

湖南省高速公路平安百年品质工程 标准化建设指南 (专业篇 上篇)

湖南省交通运输厅
二〇二三年 七月

湖南省高速公路平安百年品质工程 标准化建设指南

审定委员会

主任委员：罗 恒

副主任委员：任成志 喻 波

委 员：吕健鸣 王世斌 罗 勇 傅 励 周利金

编写人员

主 编：巢万里 宁小春 喻泽文 胡柏学

编写人员：钟梦武 杨春林 张 科 刘国民 鲁爱芝

曹佳宝 戴剑军 徐 钦 岳 铭 戴利生

姜引利 王文军 龚锦林 王立宏 张连山

喻峥嵘 祝 勇 张晓军 毛阿立 刘 雄

蒋 康 樊 颖 雷顺成 董 城 张敬宇

陈名邦 廖文杰 张国顺 刘 洋 罗 栋

庄宝利 刘旺明 周 轮 刘 灿 康 黔

前言

2015年10月，在全国公路水运工程质量安全工作会议上，交通运输部首次提出建设“品质工程”的概念，标志着我国交通事业开始由快速发展逐步向高质量发展转变。2018年底，在推行品质工程的基础上，再次提出建设“平安百年品质工程”。这既是践行“四个工程”的要求，也是加快建设交通强国，推进交通基础设施高质量发展的具体举措。

2022年底，我省高速公路通车里程达7330km，位居全国前十，但高速公路的相对密度仍较低，发展前景仍十分广阔。为及时总结近十年高速公路建设的技术和管理成果，促进科技创新和“四新技术”应用，提高高速公路标准化建设水平，提升高速公路基础设施使用寿命，实现我省高速公路高质量发展目标，更好地指导“平安百年品质工程”建设，省交通运输厅提出了《湖南省高速公路平安百年品质工程标准化建设指南》（以下简称为“《指南》”）的编制任务，湖南省交通科学研究院有限公司和湖南省交通建设工程监理有限公司承担了《指南》的编制工作。

根据编制要求，《指南》以标准化建设为抓手，融合提炼省内外高速公路建设管理的成功经验，注重管理与技术相结合，强化参建各方职责，侧重新技术应用和解决工程质量通病。内容主要涵盖高速公路建设管理全过程，分为综合篇和专业篇两大部分，包括管理职责、质量管理、安全管理、造价管理、环水保管理、信息化建设管理、路基工程、路面工程、桥梁工程、隧道工程、交通安全设施工程、房建工程、改扩建工程等。《指南》以国家及行业现行法律法规、标准规范为依据，全面总结湖南省高速公路标准化管理、品质工程、绿色公路建设经验，可作为参建单位日常工作的行动指南。

本篇为《指南》的专业篇，共分为上下篇12章，其中上篇包括：路基工程、路面工程、桥涵工程、隧道工程，下篇包括：交通安全设施工程、环境保护与生态景观工程、机电工程、房建工程、改扩建工程、两区三厂建设、工地试验室建设、其他临时工程。本篇侧重对高速公路建造技术进行总结，充分吸纳近年来国内外应用较成熟、成功的“四新技术”，着力推进BIM+GIS、大数据、人工智能等先进技术在高速公路建设中的应用，并对影响工程品质和耐久性的质量通病进行了深入分析、诊断，提出了有针对性的解决方案，可供湖南省交通运输行业主管部门、高速公路工程项目参建

单位和参建人员使用，其他公路建设者可根据需要借鉴参考。

本篇与指南的《综合篇》组成了指南的完整体系，是湖南省高速公路建设“平安百年品质工程”的指导性文件，高速公路各参建单位应在实践中整体把握和使用。

《指南》在编制过程中得到了湖南省高速公路集团有限公司、湖南省交通水利建设集团有限公司、湖南省路桥建设集团公司、湖南中铁炉慈桑龙高速公路有限公司等单位的大力支持。省交通运输厅造价站、省交通建设质量安全监督管理局、省公路事务中心等职能部门为《指南》的完善提供了宝贵意见，在此一并表示感谢。

本《指南》在实施过程中，请各单位将发现的问题和意见函告湖南省交通运输厅基本建设处（地址：长沙市天心区湘府西路199号，邮编：410015，电话：0731-88770091）或湖南省交通科学研究院有限公司（地址：长沙市芙蓉中路三段472号，邮编：410015，电话：0731-85223006），以便修订时参考。

本《指南》由湖南省交通运输厅归口并负责解释。

目 录

前 言	3
第一章 路基工程	1
1.1 总 则	1
1.2 一般规定	1
1.3 一般路基施工	2
1.3.1 土质路堑开挖	2
1.3.2 石质路堑开挖	2
1.3.3 填土路基填筑	3
1.3.4 填石路基填筑	5
1.3.5 结构物台背回填	5
1.4 特殊路基施工	6
1.4.1 软土路基施工	6
1.4.2 红黏土路基施工	9
1.4.3 全风化花岗岩路基施工	10
1.4.4 岩溶及采空区路基施工	11
1.4.5 红砂岩填筑路堤	12
1.5 防护与支挡工程	13
1.5.1 边坡锚杆锚固防护	13
1.5.2 边坡锚索锚固防护	13
1.5.3 边坡喷播防护	14
1.5.4 三维网植被绿化	15
1.5.5 植生袋边坡防护	15
1.5.6 挂板式桩板墙	16
1.5.7 抗滑桩	17
1.5.8 混凝土挡土墙	18
1.6 路基排水工程	18

1.6.1	地表排水	18
1.6.2	地下排水	19
1.7	质量通病防治	20
1.7.1	土质路堑滑坡	20
1.7.2	石质路堑滑坡	21
1.7.3	路基沉陷	22
1.7.4	路基边坡滑塌	24
1.7.5	路堤与构筑物错台	24
1.7.6	地基表层实度达不到标准	25
1.7.7	路基填土压实达不到标准	25
1.7.8	路肩压实宽度不足	26
1.7.9	路基弹簧	27
1.7.10	碎石垫层不平整、粗细粒料分离	28
1.7.11	CFG 桩断桩	28
1.7.12	路基边坡冲刷	29
1.7.13	泄水孔梗塞	30
1.7.14	沉降缝不垂直	31
1.7.15	挡土墙滑移	31
1.7.16	边沟积水	32
1.7.17	排水及防护工程开裂	33
1.7.18	排水工程线形及尺寸不合格	33
1.8	四新技术推广应用	34
1.8.1	工业数码电子雷管施工	34
1.8.2	边坡智能监测	35
1.8.3	泡沫轻质土路堤	38
1.8.4	土工格室植草护坡	40
1.8.5	绿色加筋土挡土墙	42
1.8.6	微型桩加固技术	44

1.8.7	引导防护系统	45
1.8.8	复合渗沟	47
1.8.9	雷诺护垫护坡	48
第二章	路面工程	51
2.1	总则	51
2.2	施工准备及一般规定	51
2.2.1	路面工作面的交工验收	51
2.2.2	施工组织设计	52
2.2.3	交叉施工的规定	53
2.2.4	材料调查与储备及集料管理要求	54
2.2.5	试验路要求	55
2.2.6	其它	55
2.3	垫层	56
2.3.1	原材料要求	56
2.3.2	主要施工设备要求	56
2.3.3	材料试验	57
2.3.4	施工要点	57
2.3.5	质量控制与检验	59
2.4	底基层与基层	60
2.4.1	主要材料要求	60
2.4.2	主要施工设备要求	61
2.4.3	混合料配合比设计	63
2.4.4	施工要点	63
2.4.5	质量控制与检验	69
2.5	透层、封层、粘层与砼桥面防水粘结层	69
2.5.1	一般规定	69
2.5.2	透层	70
2.5.3	封层	71

2.5.4	粘层	73
2.5.5	桥面防水粘结层	74
2.6	热拌沥青混合料面层	75
2.6.1	主要原材料技术要求	75
2.6.2	主要施工设备要求	78
2.6.3	沥青混合料配合比设计	80
2.6.4	施工要点	80
2.6.5	接缝施工	85
2.6.6	开放交通及其它	85
2.6.7	质量控制与检验	86
2.7	水泥混凝土面层	87
2.7.1	主要原材料技术要求	87
2.7.2	主要施工设备要求	89
2.7.3	路面砼配合比设计	90
2.7.4	施工要点	90
2.7.5	质量控制与检验	95
2.8	路面排水与附属工程	95
2.8.1	一般规定	95
2.8.2	现浇排水沟	96
2.8.3	路缘石	96
2.8.4	土路肩	97
2.9	沥青路面工程质量通病及预防措施	97
2.9.1	半刚性基层沥青路面反射裂缝	97
2.9.2	高速公路沥青路面车辙	99
2.9.3	路面沥青混合料离析	101
2.9.4	沥青路面坑槽	103
2.10	四新技术	104
2.10.1	水泥稳定土振动拌和技术	104

2.10.2	大厚度大宽度抗离析摊铺技术	106
2.10.3	节水保湿养生膜	108
2.10.4	智能监控技术（包括拌和、运输、摊铺与碾压全过程）	109
2.10.5	耐久性排水沥青路面	111
第三章	桥涵工程	113
3.1	总 则	113
3.1.1	目的	113
3.1.2	适用范围	113
3.1.3	编制依据	113
3.1.4	章节划分	113
3.2	一般规定	113
3.3	桥梁下部结构	115
3.3.1	灌注桩	115
3.3.2	明挖基础	119
3.3.3	承台	121
3.3.4	桥墩	122
3.3.5	盖梁	125
3.3.6	桥台	128
3.4	桥梁上部结构	130
3.4.1	预制梁安装施工	130
3.4.2	支架现浇施工	131
3.4.3	悬臂浇筑施工	133
3.4.4	钢结构桥梁安装施工	139
3.5	桥面系及附属工程	142
3.5.1	护栏施工	142
3.5.2	桥面铺装	144
3.5.3	伸缩缝	146
3.6	涵洞工程	148

3.6.1	混凝土管涵	148
3.6.2	波纹钢管涵	150
3.6.3	拱涵	153
3.6.4	装配式通道	153
3.7	质量通病防治	155
3.7.1	灌注桩常见缺陷	155
3.7.2	混凝土外观缺陷	158
3.7.3	混凝土裂缝	161
3.7.4	预应力混凝土质量缺陷	162
3.7.5	悬浇箱梁施工常见缺陷	163
3.8	四新技术推广应用	166
3.8.1	智能张拉与压浆	166
3.8.2	装配式桥墩快速建造技术	169
3.8.3	挤扩支盘桩	177
3.8.4	波形钢腹板预制拼装技术	179
3.8.5	基于BIM可视化技术的智慧梁场	184
第四章	隧道工程	187
4.1	总则	187
4.2	一般规定	187
4.3	洞口及明洞工程	188
4.3.1	洞口施工	188
4.3.2	明洞施工	189
4.4	超前地质预报	190
4.4.1	相关要求	190
4.4.2	物探法	190
4.4.3	超前钻探	191
4.4.4	不良地质超前预报	191
4.5	洞身开挖	191

4.5.1	开挖方法	191
4.5.2	钻爆作业	193
4.5.3	小净距隧道	194
4.5.4	连拱隧道	194
4.5.5	非爆破开挖	195
4.6	支护与衬砌	195
4.6.1	喷射混凝土	195
4.6.2	锚杆	196
4.6.3	钢筋网	197
4.6.4	钢架	197
4.6.5	模筑混凝土衬砌	198
4.6.6	仰拱衬砌、仰拱回填及垫层	200
4.6.7	衬砌钢筋	201
4.7	防水与排水	201
4.7.1	洞口段、浅埋段防排水	201
4.7.2	施工期间排水	202
4.7.3	防排水结构	202
4.8	辅助工程措施	205
4.8.1	超前小导管施工	205
4.8.2	超前大管棚施工	205
4.9	监控量测	206
4.9.1	监测要求	206
4.9.2	监测要点	206
4.9.3	数据分析	207
4.10	质量通病防治	207
4.10.1	洞门墙开裂、错台及渗水	207
4.10.2	超欠挖	208
4.10.3	喷射混凝土质量通病	209

4.10.4	初期支护与围岩不密贴或存在空洞	210
4.10.5	初期支护下沉、收敛及开裂	210
4.10.6	二衬表观质量差	211
4.10.7	二次衬砌开裂	212
4.10.8	二次衬砌渗漏水	213
4.10.9	预埋预留质量通病	214
4.11	四新技术推广应用	215
4.11.1	棚洞工程	215
4.11.2	数码电子雷管	216
4.11.3	水压爆破技术	216
4.11.4	隧道防坍塌预警预报系统	217
4.11.5	隧道二衬防脱空系统	218
4.11.6	自粘式防水卷材	219
4.11.7	排水式快速安装止水槽	220
4.11.8	窄翼超前小导管	221

第一章 路基工程

1.1 总 则

1.1.1 本章依据国家、交通运输部及湖南省、交通运输厅等工程建设主管部门发布的相关文件、标准、规范、规程、指南和行业内采取的成熟和先进的施工工艺、工法、技术和管理办法编制。本章未涉及内容按相关文件及技术规范等执行。

1.1.2 本章适用于湖南省所有新建高速公路项目路基工程的施工管理。

1.1.3 根据我省实际情况，从工序、技术、工艺和管理等角度，更加有效地消除路基施工质量通病，提供施工管理水平。

1.2 一般规定

1.2.1 分项工程开工前，工程所需的材料、机械设备、人员应到位；施工方案和开工报告应按规定完成批复，按相关规范规定进行首件工程或试验段并总结。场地规划、三通一平、驻地建设等临时工程，应满足正常施工需要。

1.2.2 路基施工应做好临时排水总体设计和施工，临时排水应与永久性排水设施相结合，与自然排水系统相协调。

1.2.3 路基施工应积极而慎重的推广新技术、新工艺、新材料的应用，积极总结各种成熟和先进的施工工艺、工法，提高路基施工管理和技术水平。对拟采用新技术、新工艺、新材料、新设备的工程项目，应提前做好试验研究和论证工作。

1.2.4 在进行现场调查时，应搜集当地气象、水文和地质资料，调查了解施工材料供应（包括土、石料场、钢筋、水泥等）和各施工点进场道路等条件，选择并确定施工营地、取土场、弃土场位置。

1.2.5 公路用地范围内清表及清理原有构造物、树木等，应严格按照设计图纸要求进行处理；对于须保护的文物、古树、有移栽价值的大树或珍稀植物等，应上报监理和业主，采取必要的保护措施。

1.2.6 详细调查现有道路、供水管线、排水沟渠等构筑物设施，当需要临时或永久改移时，承包人应尽早妥善处理和安排施工，避免引起纠纷，干扰施工。

1.3 一般路基施工

1.3.1 土质路堑开挖

1.3.1.1 开挖前先做好堑顶截、排水设施，保持排水通畅，不得损害路基及周边设施。

1.3.1.2 土质路堑自上而下进行开挖，及时对边坡进行复测，不得乱挖、超挖，严禁掏底开挖。开挖至边坡线时，应预留 30cm 厚度刷坡。

1.3.1.3 对尚未完成防护的边坡,雨天应对坡面进行遮盖,并设置临时急流槽,防止水流对边坡侵蚀和掏空。

1.3.1.4 严格执行“开挖一级，防护一级，绿化一级”的“三同时”施工原则，施工过程中注重修正边坡平整度，减少施工过程中的边坡病害。

1.3.1.5 护坡道、碎落台应按设计要求施工并及时封闭,同时做好防渗处理。

1.3.1.6 施工过程中按批准后的方案进行监测并及时反馈监测数据，尽量采用精度高、速度快的边坡智能监测系统实施监测。



图 1.3-1 土质路堑开挖施工中



图 1.3-2 土质路堑开挖施工后

1.3.2 石质路堑开挖

1.3.2.1 根据空中缆线、地下管线位置、临近建筑物类型，制定爆破技术安全方案，按规定程序报批。影响既有公路安全地段需架设临时防护措施。

1.3.2.2 软弱、松散岩质路堑宜采用分层开挖、分层防护，必要时对坡脚进行预加

固。严格执行“开挖一级，防护一级，绿化一级”的“三同时”施工原则。

1.3.2.3 根据地形岩质，路堑断面的形状，进度要求进行爆破设计，并结合土石方调配方案，编制施工组织设计，施工工艺和工序质量控制设计。路堑爆破开挖不宜采用药壶或药室等大爆破。

1.3.2.4 采用光面爆破或预裂爆破开挖的石质路堑边坡，竖孔炮眼残留率不低于85%，中硬质岩石边坡不平整处不应超过 $\pm 15\text{cm}$ ，软质岩石边坡不平整处不应超过 $\pm 10\text{cm}$ ；施工过程中，施工、监理须用坡度尺检测每处边坡的坡率。

1.3.2.5 爆破完毕，及时组织人员清除边坡凸面悬危石、浮石、渣堆杂物，采用自卸汽车配合挖掘机或装载机械进行爆破石方的清运。

1.3.2.6 边坡表面的破碎岩石应全部清除，高出设计高程的应辅以人工凿平、铲除；边坡上出现的坑穴、凹槽用浆砌片石嵌补平整。



图 1.3-3 石质路堑开挖局部



图 1.3-4 石质路堑开挖全貌



图 1.3-5 石质路堑爆破开挖前



图 1.3-6 石质路堑爆破开挖后

1.3.3 填土路基填筑

1.3.3.1 每 10m 为一断面在边桩上标示出填高，通过划分格网以体积、面积来控制填筑厚度。

1.3.3.2 优先选取级配良好的砾类土、砂类土等粗粒土作为填料。采用细粒土填筑，CBR 值不满足规范要求时，需掺石灰、水泥、粉煤灰等无机结合料进行改良。

1.3.3.3 确定堆放密度，采用推土机摊铺，以方格网、插标杆控制松铺厚度、路拱、路基横坡等。路基每侧超宽填筑不小于 50cm，设计和超宽边线撒白灰标识。

1.3.3.4 采用平地机精平，形成路拱，松铺厚度经检测合格后方可进行碾压作业。平地机刮土时，应低速行驶，刮刀的升降量不得相差过大。

1.3.3.5 对大于 8m 的高填方路基，宜采用冲击式压路机进行冲击补强。当填土平面长或宽大于 80m，且冲击碾压深度 2m 内无涵洞或其他构造物时，填土路基每填高 2m 冲碾一次，填石路基每填高 3m 冲碾一次。

1.3.3.6 高填方路堤中心沉降速率大于 1cm/d 或坡脚水平位移速率大于 0.5cm/d 时，立即停止填筑，增大监测频率，待观测值恢复到限界值以下再开始填筑。



图 1.3-7 填土路基填筑施工



图 1.3-8 填土路基碾压



图 1.3-9 高填方路基冲击式压路机冲碾



图 1.3-10 沉降观测

1.3.4 填石路基填筑

1.3.4.1 路基用地范围的树根应全部挖除，坑穴用合格填料分层填平夯实，压实度应不小于 90%。

1.3.4.2 压实机械宜采用不小于 18t 的振动压路机，先稳压，后振动碾压。碾压时压路机遵循从路边向路中、从低侧向高侧的原则。

1.3.4.3 边坡码砌石料强度不低于 30MPa，最小边尺寸应大于 30cm。路堤表面无明显孔洞，大面平顺，大粒径石料不松动，铁锹挖动困难，边坡码砌紧贴、密实，无明显孔洞、松动，砌块间承接面向内倾斜，坡面平顺。

1.3.4.4 对大于 12m 的高填方石质路基,应采用冲击式压路机进行冲击补强,应每填高 2m 冲碾一次。



图 1.3-11 填石路基填筑施工



图 1.3-12 填石路基碾压



图 1.3-13 填石路基边坡码砌



图 1.3-14 沉降观测

1.3.5 结构物台背回填

1.3.5.1 结构物达到设计强度，隐蔽工程验收合格，方可进行过渡段施工。

1.3.5.2 画出分层压实厚度标线，并在每条线上标注相应层数，每层最大压实厚度不得大于 20cm。回填施工应采用大型压路机为主，小型压实机具配合。

1.3.5.3 采用小型压实机具夯实铺筑厚度不得大于 10cm。



图 1.3-15 台背回填施工记录



图 1.3-16 台背回填施工现场

1.4 特殊路基施工

1.4.1 软土路基施工

1.4.1.1 强夯

(1) 放样夯点桩位，桩位误差 $\leq 3\text{cm}$ ，经复核确认后，用白灰（插明显标签）准确放出桩位点。

(2) 应采用带有自动脱钩装置的履带式起重机或其它专用设备。夯锤重一般为 10~20t 之间，其底面宜采用圆形，锤底面积宜在 3~6m²。

(3) 施工现场必须封闭，施工前对机械各部位的状态、钢丝绳的完好情况进行检查。夯锤起吊至预定高度，起吊速度应均匀，夯锤或挂钩不得碰吊臂。

(4) 按试夯确定夯击次数及控制标准，依次对各夯点进行强夯，完成第一遍夯实，并测量地面高程，如此反复，按规定的间隔时间，逐次完成全部夯击遍数。

(5) 每次测量锤顶标高，判断是否歪斜，若夯锤斜面，及时将坑底整平。



图 1.4-1 路基强夯施工机械



图 1.4-2 路基强夯施工现场记录

1.4.1.2 浅层换填

- (1) 放样路基路堑顶部、路堤边脚、排水沟等具体位置，并设置护桩。
- (2) 在换填的两侧先挖排水沟，沟底至少低于换填层底面 0.2m。
- (3) 采用机械挖除软弱土层时，应避免坑底原状土层受扰动,可保留 30cm 厚的土层暂不挖除，待铺填换填料前再用人工挖至设计标高。
- (4) 压实换填料时应控制碾压机械速度，静压 1~2 遍后，再采用振动碾压。
- (5) 按要求每层进行压实检验，做密实度和承载力检测；最后一层碾压完成后，应检查高程和平整度，低洼处应及时补充填料找平验收。



图 1.4-3 浅层换填施工



图 1.4-4 浅层换填质量检测

1.4.1.3 粒料桩

- (1) 按设计文件桩间距及形式绘制碎石桩施工平面图，按桩位图准确放出桩位并编号，桩间距允许差为 $\pm 150\text{mm}$ 。
- (2) 填料应就地取材(如碎石、卵石、砂砾、矿渣等都可使用,但易风化、崩解材料不得使用)。对填料颗粒级配没有特别要求时,填料最大粒径一般不大于 63mm。

(3) 碎石桩密实度抽查频率为 2%，采用重Ⅱ型动力触探测试，贯入量 100mm 时。击数大于 5 次。



图 1.4-5 碎石桩机就位



图 1.4-6 碎石桩施工

1.4.1.4 CFG 桩

(1) 测设 CFG 桩桩位，桩位误差 $\pm 10\text{m}$ ，经复核确认后，用白灰（或插明显标签）准确放出桩位点。

(2) 施工时宜按照隔桩跳打的工艺要求；当出现串孔、液化、地面隆起等现象时，应加大跳打间隔；当邻近既有建筑物时，应向背离建筑物方向进行施工。

(3) 拔管速率应按试桩确定参数控制，拔管至桩顶，成桩后应覆盖加以保护。



图 1.4-7 CFG 桩施工



图 1.4-8 CFG 桩成桩

1.4.1.5 堆载预压施工

(1) 堆载预压材料不得使用淤泥土或含垃圾杂物的材料，对于缺乏土石的路段，可采用水袋作为堆载预压材料。

(2) 堆载预压荷载应分级加载，确保每级荷载下地基的稳定性。填筑完成后采用

压路机压实，行与行之间轮迹重叠 0.4m，相邻两区段纵向重叠 2m，以保证无漏压、无死角，确保碾压的均匀性，压实系数不小于 0.89。

(3) 预压荷载填筑完成后，将土工膜回折于预压土顶面，每侧宽度不小于 3m，并用土压好，防止预压土流失，污染坡面。

(4) 卸载填料采用机械挖除，不能污染路基。



图 1.4-11 路基堆载预压施工



图 1.4-12 路基堆载预压过程

1.4.1.6 软土路基填筑速率应根据监测数据确定，不能快于设计等要求，设计未要求的边桩水平位移量每天不得大于 5mm，路堤中心地面沉降量每天不得大于 10mm，当超过以上控制指标时应停止填筑，待沉降值恢复至控制指标以内时，方能恢复填筑。

1.4.2 红黏土路基施工

1.4.2.1 路基施工前，应对路基基底土相关物性指标进行测试，判断是否能够直接用于路基基底用土。取样点宜不少于 2 个/公里，土质变化较大时，应根据实际情况酌情增加取样点数。

1.4.2.2 红黏土路堤填筑前应按设计做好地基处理、清表、斜坡地形开挖反向台阶等基础工作。

1.4.2.3 低洼和地下水位较高的路段，应提前开挖纵向及横向排水边（盲）沟，以降低路基范围的地下潜水位及疏干地基。

1.4.2.4 不宜采用大吨位汽车运输，以免在较低稠度下运输设备过分碾压致使路堤出现软弹，影响土的压实。

1.4.2.5 填筑质量以试验路确定的施工工艺参数及压实度为指标进行控制，并根据试验结果评定填料是否满足路基设计要求，其试验方法按《公路土工试验规程》(JTG E40) 执行。

1.4.2.6 路堤直接采用红黏土填筑时，在填料 CBR 值满足《公路路基设计规范》(JTG D30) 强度要求和路堤施工沉降控制的前提下，压实度标准经过试验论证可适当降低，但压实度的下降值不宜大于 5%。



图 1.4-13 红黏土路堤填料翻晒



图 1.4-14 红黏土路堤填筑施工

1.4.3 全风化花岗岩路基施工

1.4.3.1 工地试验室对拟使用的土样进行土质分析，试验方法按《公路土工试验规程》(JTG E40) 执行，试验结果报监理试验室、中心试验室认可。

1.4.3.2 按试验路总结的参数和运输车辆的装载量划格上土，用推土机进行粗平，再用平地机精平，控制松铺厚度是否与试验段相吻合，同时检查现场土料含水量，对于全风化花岗岩土质来说，现场含水量宜高于最佳含水量 2%-4% 以内。

1.4.3.3 全风化花岗岩路基的压实度及其工艺应根据各个标段现场试验路进行确定，可参照一下标准确定压实工艺：先用振动压路机静压 1 遍(来回)，再用 22t 以上振动压路机碾压 3-4 遍（18t 振动压路机碾压 4-6 遍）后又静压 1 遍，最后采用振动压路机压实 1-3 遍。施工工艺应通过各个合同段试验路试压检测数据确定。

1.4.3.4 应尽量避免在雨季施工，采取铺设彩条布、加大横坡等措施避免雨水对路基的冲蚀。路堤填筑每层面做好 4% 的横坡，便于横向排水。

1.4.3.5 施工过程中,每一压实层均必须检验压实度,检测频率为每 1000m 每压实层检验 2 点,压实度采用灌砂法测定,取土样的底面必须达到本层的底面位置;压实度应符合《公路工程质量检验评定标准》(JTC F80/1)的规定。

1.4.3.6 全风化花岗岩路基应进行包边防护,包边土应与全风化花岗岩同步施工,宽度宜不小于 2m。



图 1.4-15 全风化花岗岩路堤翻晒



图 1.4-16 全风化花岗岩路堤碾压

1.4.4 岩溶及采空区路基施工

1.4.4.1 对路基基底的岩溶泉或冒水进行处理后,应保证路床范围的土石方不受浸润,保证不因温差作用而使水汽上升。

1.4.4.2 当路基溶洞位于边沟附近且较深时,可采用钢筋混凝土板封闭,防止边沟水渗漏到溶洞内。

1.4.4.3 对影响路基稳定的人工坑洞(如煤矿采空区、古墓、枯井、掏砂坑、防空洞等),应在查明原因后,参照《公路路基施工技术规范》(JTG-T 3610) 7.5 岩溶处置方法进行处理。

1.4.4.4 对岩溶区路基注浆处理的溶洞,应钻冒浆孔,严格控制注浆效果,注浆完成后采用雷达扫描、抽芯等方法验证注浆效果。施工过程中应实行影像制管理,监理工程师做好工序验收。



图 1.4-17 岩溶路基钻孔



图 1.4-18 路基底部溶槽处治施工

1.4.5 红砂岩填筑路堤

1.4.5.1 红砂岩填料 10000m³ 取样进行单轴饱水抗压强度试验和浸水崩解试验，按《公路工程岩石试验规程》（JTGE41）进行。

1.4.5.2 红砂岩石方当强度很高时，以爆破方式开挖，一次爆破量应大于路堤的 15-20 天的填筑量。对于强度不高的红砂岩，利用带犁的推土机或炮机。

1.4.5.3 应尽量避免雨季施工。I、II 类红砂岩应避免在雨季进行施工，路堑开挖到位后应连续作业，各道工序紧密衔接，一气呵成。雨后作业面应晾干且重新翻松压实合格后，方可进行下道工序施工。

1.4.5.4 红砂岩路堤的质量检测项目为：每层顶面标高、压实厚度、压路机、羊足碾等施工机械规格、压实遍数、压实沉降差等。正常路堤施工时,应采用试验路确定的压实沉降差与工艺参数相结合的双控检测方法。同时应配合外观检查，以确保红砂岩路堤施工质量。

1.4.5.5 红砂岩路基应进行包边防护，包边土应与红砂岩同步施工，宽度宜不小于 2m。



图 1.4-19 红砂岩路堤填摊铺



图 1.4-20 红砂岩路堤填碾压

1.5 防护与支挡工程

1.5.1 边坡锚杆锚固防护

1.5.1.1 根据锚固地层类型、孔径、深度、施工场地条件等选择钻孔设备;岩层中应采用潜孔冲击成孔,对易塌缩孔或卡(埋)钻地层应采用跟管钻进技术;钻孔作业应搭设稳固的施工平台,钻孔机不得固定在边坡平台上;钻孔应干钻,不得采用水钻。

1.5.1.2 钻孔速度应严格控制,防止钻孔扭曲和变径。钻孔完成后在 24 小时内及时安装锚杆并注浆。

1.5.1.3 用地质岩芯钻杆配合钻头反复扫孔、清除浮碴;采用高压风从孔底向孔口清理钻碴。

1.5.1.4 模板采用加盖钢模板,用短锚杆固定在坡面上,混凝土浇注时,要仔细振捣,尤其保证锚孔周围质量。



图 1.5-1 定型加盖钢模板



图 1.5-2 锚杆框格梁骨架护坡

1.5.2 边坡锚索锚固防护

1.5.2.1 钻孔速度应严格控制，防止钻孔扭曲和变径。

1.5.2.2 用地质岩芯钻杆配合钻头反复扫孔、清除浮碴；采用高压风从孔底向孔口清理钻碴。

1.5.2.3 锚索安装采用人工推送，用力均匀一致，避免锚索转动、扭压、弯曲。

1.5.2.4 注浆时，应等待锚孔水泥浆面稳定后停注，不稳定时，应继续缓慢加压注浆。在注满孔道并封闭排气孔后，宜再继续加压至 0.5~0.6MPa，稍后再封闭注浆孔。注浆过程中需缓慢搅拌浆液，一直到注浆结束。

1.5.2.5 对锚索进行检测，验收合格后方可进行封锚工作。必须用机械切割余露锚索，严禁电弧焊或氧焊切割，并预留 5~10cm 外露锚索。

1.5.2.6 用水泥净浆注满锚垫板及锚头各部分空隙，并按设计要求封锚处理。



图 1.5-3 锚索框格梁护坡施工中



图 1.5-4 锚索框格梁护坡施工后

1.5.3 边坡喷播防护

1.5.3.1 边坡修整后凸出或凹进均不应大于 10cm，不利于草种生长的坡面应回填改良土，并用水润湿让改良土自然沉降至稳定。

1.5.3.2 可采取客土喷播或液压喷播的施工方法，将客土、水、木纤维、草籽、粘合剂、保水剂等按照规定程序加入罐内搅拌，持续搅拌 5~10min。

1.5.3.3 喷播后应及时覆盖无纺布，坡顶延伸 30cm 用土压住，两幅相接叠加 10cm，用“U”型钉按间距 100cm 进行固定，待草长到 5~6cm 或 2~3 片叶时揭去无纺布。



图 1.5-5 路堑边坡喷播防护



图 1.5-6 路堤边坡喷播防护

1.5.4 三维网植被绿化

1.5.4.1 清理坡面碎石和塑料垃圾等,将粒径超过 20cm 的土块打碎,使其有利于有机基材和坡面的紧密结合,按照坡面纵向间距 20cm 开挖 3~5cm 深平行横沟。

1.5.4.2 三维网在坡顶延伸 50cm 埋入截水沟或土中,然后自上而下平铺到坡脚,网间平搭、紧贴坡面,无褶皱和悬空现象。

1.5.4.3 喷播种子后,及时用无纺布覆盖好,然后用 U 型钉进行固定,当幼苗植株长到 5~6cm 或 2~3 片叶时揭去无纺布。



图 1.5-7 边坡三维网植被绿化施工



图 1.5-8 边坡三维网植被绿化成品

1.5.5 植生袋边坡防护

1.5.5.1 骨(框)架施工完成后,先将边坡骨(框)架内多余碎石、泥土、浮根等杂物清除干净并整平,坑洼处填平夯实。

1.5.5.2 选取当地种植土调配基质,植生袋填装的绿化基质按 5 份土、2 份砂、3 份泥炭土以及少量复合肥拌和均匀,可参适量的保水剂。

1.5.5.3 植生袋堆码应与坡面密贴，表面与骨（框）架顶面齐平，植生袋之间堆码平整、衔接良好、不留缝隙，注意应把袋子缝线结合一侧贴紧坡面摆放。

1.5.5.4 植生袋堆码完成固定后，及时进行养护，对滑落的植生袋进行填补及保证水分供应。



图 1.5-9 路堑植生袋边坡防护



图 1.5-10 路堤植生袋边坡防护

1.5.6 挂板式桩板墙

1.5.6.1 采用工厂化预制，模板采用定型钢模，运输过程中采取有效措施防止构件破损。按照规范要求做好预埋件的下料、弯制、绑扎、焊接等工序。

1.5.6.2 安放钢筋笼前用混凝土或砂浆铺底，厚 10~20cm，为防止钢筋笼运转吊装过程中的变形，可增设加劲箍筋。

1.5.6.3 混凝土采用集中厂拌、串筒下料、分层浇筑、振捣，分层厚度不大于 50cm，振捣时振动棒应插入下一层 5~10cm。

1.5.6.4 挡土板安装时严格控制垂直度，安装后应做好挡土板板后排水设施。

1.5.6.5 墙后填筑应在桩身强度达到设计强度后方可施作，填料质量及密实度应满足设计。



图 1.5-11 路堑挂板式桩板墙



图 1.5-12 路堤挂板式桩板墙

1.5.7 抗滑桩

1.5.7.1 孔口地面下 0.5m 内应先做好加强衬砌，地面上加筑适当高度的围梗。

1.5.7.2 开挖应在上一节护壁混凝土终凝后进行，模板支撑应在混凝土强度能够保持护壁结构不变形后方可拆除。

1.5.7.3 孔口应高出地面 30cm，周围应修好排水沟、截水沟，设置不小于 1.2m 围挡，并设防雨设施。

1.5.7.4 挖孔过程中每次护壁施工前必须检查桩身净空尺寸和平面位置、垂直度，保证桩身质量，浇筑护壁混凝土时不得侵占抗滑桩截面空间。

1.5.7.5 安放钢筋笼前用混凝土或砂浆铺底，厚 10~20cm，为防止钢筋笼运转吊装过程中的变形，可增设加劲箍筋。

1.5.7.6 混凝土集中厂拌、串筒下料、分层浇筑、振捣，分层厚度不大于 50cm，振捣时振动棒应插入下一层 5~10cm。



图 1.5-15 抗滑桩锁口



图 1.5-16 桩身开挖

1.5.8 混凝土挡土墙

1.5.8.1 边坡稳定性差且基坑开挖较深时，应分段跳槽开挖，并设临时支护。开挖完成后，核对地质情况，清理基底，及时封闭。

1.5.8.2 墙身采用定型钢模浇筑成型，保证墙面平顺整齐，伸缩缝、沉降缝竖直平齐。

1.5.8.3 泄水孔预先埋设，向排水方向倾斜，保证排水通畅，折线挡土墙易积水处应设泄水孔。

1.5.8.4 回填料顶部做成向外 $\geq 4\%$ 的排水坡，黏土夯填封闭；墙背反滤层、防渗设施齐备、实用，与回填料同时施工。



图 1.5-19 重力式挡土墙



图 1.5-20 扶壁式挡土墙

1.6 路基排水工程

1.6.1 地表排水

1.6.1.1 路基边沟施工宜采用滑模设备，采用自动成型机施工纵向边沟，全程自动化作业，施工效率高，质量易于控制，线形和外观质量好。



图 1.6-1 路基边沟施工



图 1.6-2 路基排水沟施工

1.6.1.2 各式地面排水沟均应对其平、纵面准确放样，挂线施工，确保沟体线形美观，直线线型顺直，曲线线形圆滑。

(1) 直线段水沟内腔顶部边缘线的整齐度不得大于 3mm（用 3m 直尺测量）。

(2) 曲线段水沟的内腔顶部边缘线应为圆顺的曲线，不得呈现出明显的折线形状。

(3) 沟底顺坡平整，不得积水。边沟沟底纵坡宜与路线纵坡一致，并不宜小于 0.3%。

(4) 沟底开挖至设计高程时，应留出 5-10 公分富余，由人工修整成型，确保边沟、排水沟的边坡平整稳定，严禁贴坡。



图 1.6-3 路基截水沟



图 1.6-4 路基急流槽

1.6.1.3 截水沟、排水沟等排水设施侧壁回填土应夯实并做好防渗处理,迎水面沟顶高程应严格控制,防止水流直接渗入沟底。

1.6.1.4 预制块、砌体工程应采用破检法检测铺砌厚度,现浇混凝土宜采用钻芯法检测沟底浇筑厚度。

1.6.2 地下排水

1.6.2.1 在填挖交界处地下水丰富的地段应根据地形设置截排水组合形式的盲沟。

挖方路基和半填半挖路段挖方一侧当土体含水较大时，应设置纵、横向盲沟。在坡脚设置的边沟(排水沟)与各种水沟的连接应顺畅。

1.6.2.2 当采用无纺土工布作反滤层时，应先在底部及两侧沟壁铺好土工布，并预留顶部覆盖所需的土工布，拉直平顺紧贴下垫层,所有纵向或横向的接缝应交替错开，搭接长度不得小于 30cm。

1.6.2.3 盲沟的埋置深度，不得低于原有地下水位。当排除层间水时，盲沟底部应埋于最下面的不透水层上。

1.6.2.4 盲沟的底部和中部用较大碎石或卵石（粒径 30~50mm）填筑，在碎石或卵石的两侧和上部，按一定比例分层（层厚约 150mm）较细颗粒的粒料（中砂、粗砂、砾石），做成反滤层。

1.6.2.5 当渗沟开挖深度超过 6m 时，须选用框架式支撑，在开挖时自上而下随挖随加支撑，施工回填时应自下而上逐步拆除支撑。

1.6.2.6 渗沟的出水口宜设置端墙，端墙下部留出渗沟排水通道，端墙排水孔底面比排水沟沟底的高差不小于 0.2m。



图 1.6-4 路基渗沟、盲沟施工前



图 1.6-5 路基渗沟、盲沟施工后

1.7 质量通病防治

1.7.1 土质路堑滑坡

1.7.1.1 病害现象

以路堑形式通过土质山体，由于各种外部因素的作用，边坡土体沿土质边坡某一软

弱面（带）整体以水平方向为主位移的地质现象。

1.7.1.2 原因分析

（1）由于边坡土质属于很容易变松的砂类土、砾类土以及受到雨水侵入后易于失稳的土，而在设计或施工时采用了较小的边坡坡度。

（2）主要发生在 20~45° 地形条件。

（3）暴雨、久雨或强震之后，雨水渗入土体，一方面会增加边坡土体的重量，另一方面能使裂隙中的填充物或岩体中的某些软弱夹层软化，产生静水压、动水压，使斜坡岩体的稳定性降低。或者是由于流水冲刷下部坡脚，削弱斜坡的支撑部分，亦或是由于地震改变了坡体的稳定性及平衡状态而发生边坡破坏。

1.7.1.3 防治措施

（1）设置排水沟以防止地面水侵入边坡变形地带，采取防渗措施。在地下水影响较大的情况下，应根据地质条件设置地下排水设施。

（2）根据滑坡推力的的大小、方向及作用点，可选用重力式抗滑挡土墙、抗滑桩等支挡结构。

（3）在保证卸载区上方及两侧土体稳定的情况下，可在滑体牵引段、主滑段卸载，但不得在抗滑段卸载。

（4）在滑体的抗滑段采取反压提高滑体的阻滑安全系数。

1.7.2 石质路堑滑坡

1.7.2.1 病害现象

以路堑形式通过石质山体，在一定的地形、地质条件下，由于破坏边坡岩体力学平衡的各种自然或人为因素的影响，路堑边坡岩体在重力作用下，沿边坡内部某一软弱面（带）整体以水平方向为主位移的地质现象。

1.7.2.2 原因分析

(1) 排水措施不当或施工不及时造成地表水和地下水。地表水不易排除（如坡顶上截水沟滞水、渗水、漏水等），甚至形成积水向下渗透，水分沿裂隙渗入岩层，降低了岩性间的粘聚力和摩擦力，增加了岩体的重量，促使了崩塌、滑坡的发生，或由于水的侵蚀而影响了岩堆的稳定性。

(2) 大爆破施工，施工时路堑开挖过深、过陡，或由于切坡使软弱结构面暴露，使边坡岩体推动支撑；由于坡顶不恰当的弃土，增加了坡体重量。

1.7.2.3 防治措施

(1) 设置截水沟以防止地面水侵入边坡塌落地带，必要时采取防渗措施。在地下水影响较大的情况下，应根据地质条件，设置地下排水。

(2) 削坡减载，通过降低坡高或放缓坡角来改善边坡的稳定性，削减不稳定岩土体的高度。

(3) 边坡人工加固，通过挡土墙、抗滑桩、锚杆（索）、锚等支护措施加强边坡稳定性。

1.7.3 路基沉陷

1.7.3.1 病害现象

路堤用细粒土填筑时，由于各种因素的影响，在路基完工后产生较大的沉降，运营后更为严重，出现各种路基病害，如路肩宽度不足、不能保持路基稳定等，给线路养护维修带来很大的困难，甚至危及行车安全。

1.7.3.2 原因分析

(1) 地基处理不当。路基填土的压密下沉包括填土本身的压密下沉和在填料土体重力作用下地基的压密下沉。地基在路基填筑前，如果没有进行认真的施工调查，没有针对不同地质和水文状况，按照设计文件和规定的要求制定出相应的措施，那么在路基填筑后，地基的沉降将造成路基产生较大的沉降。

(2) 路基填料压实密度不足。在施工过程中，施工方法选择不当、工艺不细、填料的含水量控制不当、压实机械的选择或操作上存在问题，都会造成路基压实密度达不到设计和规范规定的要求。

(3) 填料的鉴定与选择。施工准备阶段对于取土场的填料进行取样试验时，取样的方法不当，不能真实地反映取土场的实际情况，或者取土的范围超出了取样试验的范围而又未及时补做试验并根据试验结果及时调整路基填筑施工的工艺参数。

(4) 没有根据填料的不同类型选择不同的试验段进行填筑前的摊铺压实工艺试验、确定主要工艺参数，而是用一种填料的摊铺压实工艺参数代替全部，简化了施工工艺，以致造成填料压实密度不足。

1.7.3.3 防治措施

(1) 路基基床以下与路基基床在填筑前均应选择试验段做摊铺压实试验，确定主要工艺参数，作为指导施工的依据；当填料性质发生变化时，应重新试验。

(2) 路基摊铺压实应按四区段八流程作业方式作业。碾压时，各区段交接处应重叠压实，纵向搭接长度不得小于 2m；纵向行与行之间的轮迹重叠压实不小于 0.3m，横向同层接头处重叠压实不小于 1m；上下两层填筑接头应错开不小于 3m。

(3) 严格控制填土厚度。根据试验段得出的最佳填土厚度，按照运输车辆的吨位计算卸土间距，并设专人指挥，防止卸土量过大或卸车不均，造成填土层过厚。

(4) 压实机械的性能应根据填料的性质和试验段的试验结果选用，禁止用拖拉机或推土机作为压实机械。

(5) 由于路基施工是在自然环境下实施的，填料的含水量在不断变化，因此，要根据环境的变化定时测定填料的含水量，当其结果与最佳含水量比较超出 $-3\sim+2\%$ 范围时，应洒水或晾晒，达到标准后再进行碾压。洒水或晾晒要经常翻动填料层。

(6) 对取土场应根据取土范围与取土深度确定试验坑的布置，按土层分层取样试验。施工过程中，发现土层性质与试验结果不同时，应重新试验。试验结果未出来以前，

不得取土填筑施工。

1.7.4 路基边坡滑塌

1.7.4.1 病害现象

路基边坡塌陷或沿某滑裂面滑塌。

1.7.4.2 原因分析

- (1) 路基边坡坡度过陡，尤其在路基填土高度较高时，未进行滑裂验算。
- (2) 路基边坡没有同路基同步填筑。
- (3) 坡顶、坡脚没有做好防排水，由于水的渗入，填土内聚力降低，或坡脚被冲洗掏空。
- (4) 位于沿河、鱼塘地段的路基，由于未采用防护办法，长期受水浸淹，使路基坡脚和边坡逐渐侵蚀，造成坍塌。

1.7.4.3 防治措施

- (1) 路基应按设计要求或有关规范要求的坡度放坡。如因现场条件所限达不到规定的坡度要求时，应请设计进行验算，制定处置方案，如采用反压护道，砌筑挡土墙，用土工合成材料包裹等。
- (2) 路基边坡应同路基一起全断面分层填筑压实。填筑宽度应比设计宽度高出20~50cm（有设计说明的以设计为准），然后削坡成型。新旧路基填方，边坡的衔接处，应开挖台阶，台阶底应为2%~4%向内倾斜的坡度。
- (3) 坡顶、坡脚要开好排水沟或做好其他排水办法，路基边坡较高时，可设置拦水带，并通过急流槽将水排出路基。
- (4) 沿河、鱼塘地段的路基可设边坡防护。如抛石防护，石笼防护，浆砌或干砌块石护坡，或加高边坡，一般在设计水位以下可采用不陡于1:1.75。

1.7.5 路堤与构筑物错台

1.7.5.1 病害现象

由于路堤与构筑物的纵向不均匀沉降，造成构筑物连接处发生沉降差，引起错台。

1.7.5.2 原因分析

(1) 构筑物与路堤之间的纵向不均匀沉降，致使路堤竣工后沉降偏高，引起错台。

(2) 构筑物后的填土，特别是开挖后的回填土，施工时分层填筑不严格，碾压效果差，压实度偏低。

1.7.5.3 防治措施

(1) 回填材料严格按设计标准控制。

(2) 严格按设计和规范要求填筑路桥过渡段路基。

(3) 桥涵基坑回填材料和工艺必需满足设计和规范要求。

1.7.6 地基表层实度达不到标准

1.7.6.1 病害现象

地基表层经压实后达不到规定的压实度。

1.7.6.2 原因分析

(1) 基底空中表层的种植土、草皮、树根、淤泥等没有清除。

(2) 基底空中原为水田、水池、洼地，土的含水量高，水又无法排出。

1.7.6.3 防治措施

(1) 路基填筑以前应清除地表种植土、草皮、树根、淤泥，然后再进行基底空中压实。

(2) 对水田、水池、洼地，土的含水量高的情况，应先开纵横向排水沟，排水疏平，再进行压实。如仍无法达到压实度，则可用石灰均匀拌入，或换填含水量接近最佳含水量（ $\pm 2\%$ ）的土，然后再进行压实。

1.7.7 路基填土压实达不到标准

1.7.7.1 病害现象

填土压实达不到规范规定的压实度。

1.7.7.2 原因分析

- (1) 填土含水量偏高或偏小，达不到最佳含水量。
- (2) 填土颗粒过高，颗粒之间空隙过高，或者填料不符合要求。
- (3) 填土厚度过高或压实度不够。

1.7.7.3 防治措施

- (1) 应使土的含水量接近最佳含水量（±2%）时进行压实。
- (2) 优先选择级配较好的粗粒土作为路堤填料，填料的最小强度和最高粒径应符合设计和规范要求。
- (3) 应通过试验来确定压实机具和压实遍数。
- (4) 填料不符合要求应挖出换土。
- (5) 对含水量过高的土，可采纳翻松晾晒或均匀掺入石灰粉来降低含水量；对含水量过小的土，则洒水湿润后再进行压实。
- (6) 如压实厚度过大或压实机具压实度不够时，则应翻挖厚层重新减薄厚度后再进行压实，或用增高压实度的机具来压实。

1.7.8 路肩压实宽度不足

1.7.8.1 病害现象

路肩的碾压宽度缺乏，局部或全部小于路面结构的宽度造成路面结构处与未压实的软路基上，在雨水渗入后，土基失稳路边下沉。

1.7.8.2 原因分析

- (1) 施工放样后的边线宽度不足。
- (2) 填筑过高，刷坡整修不及时；刷坡前，未放样确定边线。

1.7.8.3 防治措施

(1) 施工测量放样确定边线，施工单位须用白灰标识好设计边线。

(2) 每填筑 2m 高，边坡应进行刷坡整修；刷坡前，施工单位应准确测量放好边线桩位，打桩并洒灰线；路基宽度、中线偏位须经监理验收，合格后施工单位方可进行刷坡修整，坡率用坡度尺控制。

1.7.9 路基弹簧

1.7.9.1 病害现象

路基土的压实时发生受压处下陷，四周弹起，如弹簧般上下颤动，路基土形成软塑状态，体积没有压缩，压实度达不到要求，俗称弹簧土。

1.7.9.2 原因分析

(1) 填土为粘性土，含水量过高，而水分又无法散发，在这种情况下进行压实，就会发生弹簧土。

(2) 下卧层软弱，含水量过高，在上层碾压过程中，下层发生弹簧反映了上层弹簧，或者下层水分通过毛细作用，渗入上层，增加了上层的含水量，引起弹簧。

(3) 过度碾压，使土颗粒之间空隙减小，水膜增厚，抗剪力减小，引起弹簧。

1.7.9.3 防治措施

(1) 防止用天然稠度小于 1.1，液限高于 40，塑性指数高于 18，含水量高于最佳含水量两个百分点的土作为路堤填料。

(2) 填土在压实时，含水量应控制在最佳含水量两个百分点之内。

(3) 填上层土时，应对下层填土的压实度和含水量进行检查，待检查合格后方能填筑上层土。

(4) 在填土时应开好水沟，或采用其他办法降低地下水位到路基 50cm 以下。

(5) 将弹簧土翻开晾晒，风干接近最佳含水量（ $\pm 2\%$ ）时再进行压实，或将弹簧

土挖除换干土或透水性资料，如：砂砾、碎石等回填、压实。

(6) 用石灰粉或其他固化资料均匀拌入弹簧土中，经一按时间闷料，吸收土中水分，减少含水量，然后再进行压实。

1.7.10 碎石垫层不平整、粗细粒料分离

1.7.10.1 病害现象

不密实，粗细分离，垫层松散，有凹坑，车辙等。

1.7.10.2 原因分析

- (1) 原材料级配，粗、细料含量不妥，多是细料缺乏。
- (2) 碾压法施工时，含水量过低。
- (3) 上覆层施工不及时，重型车辆在其概况行驶时变速，转向。

1.7.10.3 防治措施

- (1) 原材料级配应符合规范要求。
- (2) 碾压时含水量控制一般为8~12%。
- (3) 碾压成型后，应及时进行上覆层施工，在上覆层未施工前严禁重型车辆行驶。
- (4) 添加适量细料，重新翻拌，控制合适的含水量进行碾压。
- (5) 碾压成型后封闭交通，并及时进行上覆层的施工。

1.7.11 CFG 桩断桩

1.7.11.1 病害现象

断桩。

1.7.11.2 原因分析

(1) 混凝土灌注时钻头提升速度过快，造成钻头提出混凝土外从而土方掺入混凝土内造成断桩。

(2) 混凝土泵送未能连续，造成钻杆内无混凝土，钻头拔出混凝土造成断桩。

(3) 混凝土质量原因造成堵管从而导致断桩。

(4) 前一车混凝土未能灌满桩体，后一车混凝土未能及时达到现场，造成已灌的混凝土已初凝，造成断桩。

1.7.11.3 防治措施

(1) 严格控制钻杆提升速度，依照试桩得出的工艺参数，灌注混凝土时每分钟钻杆提升速度不高于 3m/min。

(2) 泵送时有专人负责统一指挥混凝土泵送与钻杆提升，做到相互配合。

(3) 每车混凝土均在灌注前由试验人员做坍落度试验，将混凝土坍落度控制在 16.0-20.0cm，并观察混凝土外观质量，如坍落度超标或混凝土离析禁止灌注。

(4) 当罐车内混凝土不够灌注一根桩时不得灌注混凝土，待第二车混凝土到现场后方可灌注。

(5) 经观察造成断桩后立即在混凝土未凝固前重新钻孔，重新灌注。

(6) 当混凝土已凝固无法在原位钻孔时，在监理工程师的允许下做加桩解救。

1.7.12 路基边坡冲刷

1.7.12.1 病害现象

路基边坡处于沿河或浸水路段受到水流冲刷。

1.7.12.2 原因分析

(1) 路堑边坡存在不良的工程地质和水文地质条件，设计不合理。

(2) 排水不畅，受到水的浸润或水的冲刷。

(3) 路堤填筑有效压实宽度不足。

(4) 边坡过陡。

1.7.12.3 防治措施

(1) 在路堑开挖过程中，当地质水文条件发生变化与设计不符时，应进行变更设

计。

(2) 路基填筑必须按要求做好临时排水设施，包括路拱横坡、拦水埂、临时急流槽等，损坏后应及时修复，施工时应做好临时排水总体设计和施工，临时排水应与永久性排水设施相结合，与自然排水系统相协调。

(3) 分层检查路基填筑宽度，确保有效压实宽度。

(4) 检查边坡坡度，严格按照设计坡度施工。

1.7.13 泄水孔梗塞

1.7.13.1 病害现象

挡土墙面前填土湿润，含水量高，但泄水管却长期不出水，周围块石长期干燥无水迹。

1.7.13.2 原因分析

(1) 泄水孔进水口处反滤层资料被梗塞，因反滤层碎石含泥量高或反滤层外未包虑布，填土进入反滤层。

(2) 反滤层设置位置不妥，不起排水作用。

(3) 泄水孔被杂物梗塞。

1.7.13.3 防治措施

(1) 反滤资料的级配要按设计要求施工，外包虑布，防止泥土流入。

(2) 用含水量较高的粘土回填时，可在墙背设置用渗水资料填筑厚度高于 30cm 的连接排水层。

(3) 泄水孔应高出空中 30cm，墙高时，可在墙上部加设一排泄水孔，泄水孔间距为 2~3m，孔径为 5~10cm。

(4) 如条件许可，可挖开墙后填土，重新填筑反滤资料。

(5) 如泄水孔梗塞，则清除孔内梗塞物。

1.7.14 沉降缝不垂直

1.7.14.1 病害现象

沉降缝不垂直或上、下错位，缝宽不一致；有时沉降缝虽垂直，但墙身内部块石相互交叉重叠，形成假缝。

1.7.14.2 原因分析

- (1) 砌筑时，沉降缝处未设样架，或样架不垂直，位置不正确。
- (2) 块石规格不符合要求，转角石两个面不垂直，不平整。
- (3) 砌筑时，上、下块石没有对直，相互错位或者边线不垂直。
- (4) 压顶混凝土浇筑时，沉降缝处模板胀模或走动。

1.7.14.3 防治措施

(1) 砌筑前必需认真放样，竖好样架，并经检查后方能施工，在砌筑过程中应随时检查样架是否走动，如有走动应随时纠正样架。

(2) 用于砌筑沉降处块石应经过加工，块石形状应基本方正，高小适中，表面平整，相邻面相互垂直；用于转角处的块石至少有两个面经过加工，平面处有一个面经过加工。

(3) 砌筑时做到上、下对齐，正面垂直，座浆丰满，填缝密实，缝宽一致。

(4) 浇筑混凝土压顶的模板做到支立牢固，尺寸符合要求，缝隙与墙身一致。

(5) 视现场挡土墙沉降情况，将影响沉降的块石裁撤重砌；如条件允许可或质量另有要求时应全部裁撤重砌。

1.7.15 挡土墙滑移

1.7.15.1 病害现象

挡土墙整体外移，与相邻挡土墙发生错位，且上、下位移高致相等。

1.7.15.2 原因分析

(1) 基底碎石垫层未夯实，碎石没有嵌入土基内，使基底摩擦系数没有达到设计要求。

(2) 挡土墙基础两侧填土没有同时回填，主动土压力减少，导致滑移。

(3) 挡土墙墙身后回填土采用推土机或挖掘机回填时，没有按要求做到分层填筑，分层压实，而是将高量土推向墙身或推靠在墙身上，由于推土机引起的主动土压力和未压实土主动土压力增加形成很高的水平推力。

(4) 采用淤泥或过湿土回填，减低了填土的摩擦角力，增高了土压力，如挡土墙排水不顺畅，还会引起静水压力和膨胀压力。

(5) 基础埋深不够，主动土压力减少。

1.7.15.3 防治措施

(1) 基底碎石垫层必需夯实，嵌入土基内，以增加基础与土基的摩擦力。

(2) 基础回填必需两侧同时填筑，分层填筑，分层夯实；每层填筑厚度不宜超越30cm，夯实后为20cm，且分层夯实的密实度必需达到设计要求。

(3) 严禁用推土机将高量的土直接推向墙身或用挖掘机向墙身扔堆填土。必需采用分层填筑，分层压实的方法回填土方。

(4) 设计上可把基底做成向内倾斜的斜面（斜面的坡度应小于0.2:1）或在基底设置混凝土土榫，利用土榫前土体的主动土压力来增加抗滑稳定性。

(5) 宜采用稳定土和渗水资料做墙后填料，以改善墙身受力情况。

(6) 可将墙身后填土挖除，按规范要求重新分层填筑，分层压实，需要时采用稳定土或渗水资料作为回填资料。

(7) 如条件许可，可增加墙前填土的高度，以增加挡土墙的主动土压力。

1.7.16 边沟积水

1.7.16.1 病害现象

边沟长期处于积水状态，无法排水。

1.7.16.2 原因分析

- (1) 边沟长期不疏通，造成淤塞。
- (2) 边沟排水口由于冲洗等原因梗塞。
- (3) 原排水系统破坏。

1.7.16.3 防治措施

(1) 应经常养护，坚持设计断面，及时清除杂物，沟底坚持不小于 0.5%的纵坡，平原地域排水困难的地段应坚持不小于 0.1%的纵坡，对沿线开发的路段一般在 300~500m 左右分路段将水流接入地域的排水分流。

- (2) 及时清理杂草、淤泥，疏通边沟且修整至设计断面尺寸和纵坡。

1.7.17 排水及防护工程开裂

1.7.17.1 病害现象

排水及防护工程砌体开裂。

1.7.17.2 原因分析

砌体工程座浆不饱满、不密实，沉降缝设置不合理、不贯通。

1.7.17.3 防治措施

砌体工程内应座浆饱满、密实；勾缝平顺无脱落、密实、美观、缝宽均衡协调；抹面应平整、压光、直顺，不得有裂缝、空鼓现象。每 10~15m 设置 1 道沉降缝，沉降缝应做到缝宽一致、整齐垂直、上下贯通。

1.7.18 排水工程线形及尺寸不合格

1.7.18.1 病害现象

排水工程线形及尺寸未达到设计要求。

1.7.18.2 原因分析

(1) 模板本身刚度不够，或支撑不牢固，致使施工过程中产生跑模。模板周转次数过多，产生变形。

(2) 排水沟、边沟、截水沟的测量放样加密不足，线性差。

1.7.18.3 防治措施

(1) 通过验算，采用刚度符合要求的材料做模板，并严格支撑。模板周转次不得过多，一般为3次左右。

(2) 排水沟、边沟、截水沟的测量放样应适当加密，挂线施工；确保开挖深度，沟底平整，沟体线性顺直、圆滑。排水沟、边沟、截水沟开挖后监理应对线型、沟槽尺寸等进行验收，验收合格后方可进行下道工序。

1.8 四新技术推广应用

1.8.1 工业数码电子雷管施工

1.8.1.1 技术特色

电子雷管是一种可以任意设定并准确实现延期发火时间的新型电雷管，其本质是采用一个微电子芯片取代普通电雷管中的化学延期药与电点火元件，不仅大大地提高了延时精度，而且控制了通往引火头的电源，从而保证了雷管的安全。与传统的工业雷管相比，电子雷管具有无法比拟的安全性和管控功能，其安全系数高、管理环节方便、社会危害系数低，可实现火工品的闭合管理。

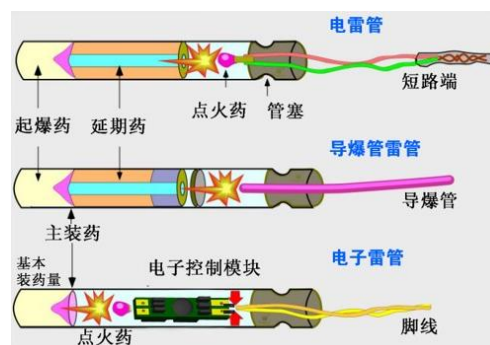


图 1.8-1 雷管类型

1.8.1.2 工艺流程

雷管入孔前检测、入孔装药、注册编号、网络连接、网络测试、延期修改以及起爆操作等环节。



图 1.8-2 工业数码电子雷管产品



图 1.8-3 爆破现场

1.8.2.3 控制要点

(1) 电子数码雷管的抗拉性能、抗撞击性能、抗弯性能、抗跌落性能、抗直流性能、抗交流性能、静电感度性能和射频感度等均应满足《工业数码电子雷管》(WJ9085)要求。

(2) 爆破作业应符合《爆破安全规程》(GB 6722)的有关规定。

1.8.2 边坡智能监测

1.8.2.1 技术特色

边坡智能监测技术采用物联网监测设备采集数据,通过大数据技术、计算机编程等手段构建一个基于 WEB-GIS 的系统软件平台,实现公路边坡风险总体评估、智能监测风险预警以及后期运营监控诊断的边坡风险管控制系统。此技术具有如下特点:通过边坡智能监测,判断边坡的滑动面深度、滑动范围及其变形发展趋势,评估对边坡周边结构(尤其是桥梁墩柱)的影响,及时提供预警信息;依据现场实际情况进行工序和工艺的调整,优化施工方案,避免或减少边坡工程事故的发生,确保施工安全、快捷地进行;检验变更方案、加固效果和工程质量;提供运营期边坡监测预警,提升公路运营安全水平。

1.8.2.2 工艺流程

现场物联网设备主要包括：GNSS 地表位移、固定测斜仪、雨量计、渗压计以及倾角计等。物联网设备应具有 485 信号接口并通过 4G 网络传输至网络云台。

(1) GNSS 地表位移安装流程：基础开挖→埋设地笼→浇筑砼→安装支架→安装太阳能板→安装配电箱→安装北斗设备→接线通电→调试。



图 1.8-4 GNSS 设备安装



图 1.8-5 太阳能充电板安装

(2) 固定测斜仪安装流程：机钻孔开孔→安装测斜管→安装全向位移计→安装支架→安装太阳能板→安装采集仪配电箱→接线通电→调试。



图 1.8-6 固定测斜仪安装



图 1.8-7 固定测斜仪

(3) 雨量计安装流程：制作混凝土基础→搭设膨胀螺丝→安装雨量计→接线安装至 4GDTU→调试。



图 1.8-8 雨量计(一)



图 1.8-9 雨量计(二)



图 1.8-10 水位计安装（一）



图 1.8-11 水位计安装（二）

(4) 水位计安装流程：机钻孔开孔→安装打孔 PVC 管→埋设水位计→接线通电→调试。

(5) 压差式静力水准仪安装流程：浇筑混凝土基础→埋设压差式静力水准仪→安装储液罐→安装太阳能板→安装配电箱（内线 DTU）→接线→接透气、通液管→注入防冻液→防冻液排气泡→安装保温棉→通电调试。

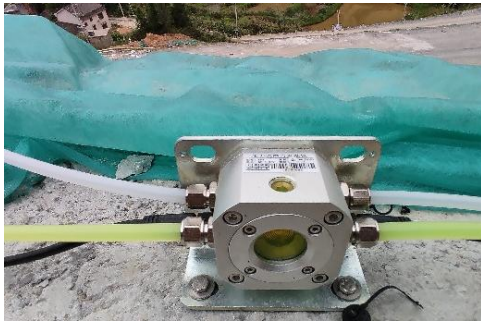


图 1.8-12 压差式静力水准仪安装（一）



图 1.8-13 压差式静力水准仪安装（二）

1.8.2.3 控制要点

(1) GNSS 设备基站及测点应尽量安装至相对空旷位置，尽量避开大型乔木及高耸建筑物，防止卫星遮挡，导致的信号不准确。

(2) GNSS 本身属于电磁设备，周边应安装避雷针，减少雷电现象对设备的影响。

(3) 测斜管周边应灌注细砂或者水泥砂浆，防止管周边松动造成的测量误差。安装完毕后应及时采用罗盘记录管口方向，以便于判定滑动方向。

(4) 水位计安装后应及时记录孔口高程以及埋深深度，为推算水位做好基础准备工作。

(5) 压差式静力水准仪应根据量程大小确定几个测点的相对高程（如量程 2000mm 的压差式静力水准仪，各个测点之间的水位差尽量控制在 5000mm 内。储液罐的最高水位与最低测点之间的高差应控制在 20000mm 内）。

(6) 压差式静力水准仪通液管内气体必需排除，气泡因受温度影响压力变化较大，应用导致测量误差的产生。

(7) 压差式静力水准仪的设备、通气、通液管建议采用保温棉进行温度保护。

(8) 物联设备应具备自动报警功能，设备损坏或运行异常状态下可通过 4G 网络发送报警信息至网络云台。

(9) 预警等级应符合表 1.8-1 的规定。

表 1.8-1 滑坡等级划分与速率预警指标推荐表

等级划分	四级（蓝色）	三级（橙色）	二级（橙色）	一级（红色）
速率指标 (mm/d)	(2,4]	(4,8]	(8,10]	(10,∞)

1.8.3 泡沫轻质土路堤

1.8.3.1 技术特色

泡沫轻质材料是一种以胶凝材料为基础，结合粉煤灰、矿渣等工业废料组分形成液态料浆，再与物理发泡形成的泡沫相混合，经物理化学作用形成的一种轻质高强材料。该技术融合了岩土工程技术和材料技术，具有轻质性、重度和强度可调节性、自流平自硬化的施工性、固化后的自立性等优点。

1.8.3.2 工艺流程

制作水泥浆→输送水泥浆→制作泡沫轻质土→输送泡沫轻质土→分区分层浇筑及养护。

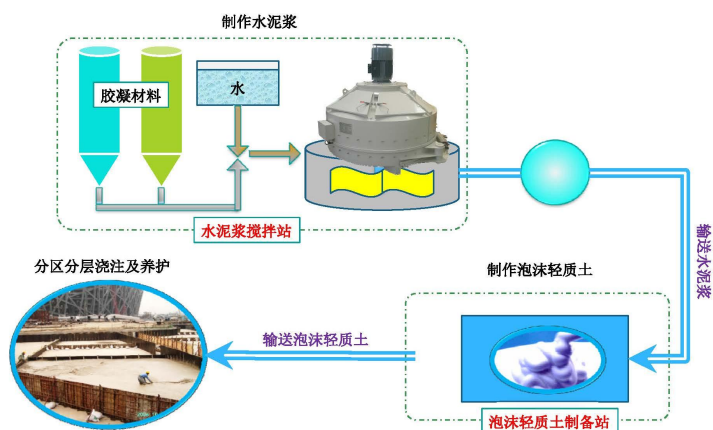


图 1.8-14 施工流程

1.8.3.3 控制要点

- (1) 泡沫轻质土技术指标应满足规范及设计要求。
- (2) 施工前，应清除浇筑区基底杂物，尤其应排清基底的积水。当在地下水位以下浇筑时，应有降水措施，严禁在基底有水的状态下浇筑施工。
- (3) 施工前，应将路基划分为面积不大于 400m^2 、长轴不超过 30m 的浇筑区，每个浇筑区单层浇筑厚度宜为 $0.3\sim 0.7\text{m}$ 。
- (4) 轻质土的现场制作、输送与浇筑施工应采用自动化设备，设备应具有自动进料、电子计量、自动控制、综合信息显示等功能，设备控制系统应具有自动统计和汇总功能。
- (5) 浇筑过程中应减少对泡沫轻质土的扰动，不应在泡沫轻质土里面随意走动或移动浇筑管。
- (6) 泡沫轻质土单层浇筑超过 48h ，应覆盖塑料膜或无纺土工布进行保湿养护，养护时间不宜少于 7d 。
- (7) 浇筑将至顶层时应采用后退方式拖移浇筑管进行人工扫平，尽量使浇注口保持水平，直至浇注高度为止，浇筑层终凝后方可进行上层的浇筑施工。
- (8) 保护壁为钢筋混凝土挡土墙类保护壁时，可在泡沫轻质土施工前一次性施工至设计标高，其施工质量控制按普通混凝土工程控制即可。砌块类保护壁，砌筑砂浆应

满足 M7.5 号砂浆的质量要求，砌缝宜采用勾缝，缝宽不应超过 1cm；砌筑高度应超过当前泡沫轻质土浇筑面 3 层砌块高度，按照随浇随砌的原则施工。



图 1.8-15 水泥混凝土预制块



图 1.8-16 泡沫轻质土浇筑

(9) 分区分层浇注应及时进行洒水养护。浇注至设计高程后，应及时铺设防渗土工膜。如不能及时铺设防渗土工膜，则应采用塑料膜或无纺土工布进行表面覆盖，以对轻质土路基进行保湿养护，养护时间不宜少于 7d。

(10) 养护期内严禁在轻质土路基顶部直接行驶工程机械或车辆；如出现工程车辆或机械意外在轻质土路基顶部直接行驶的状况，应对行驶轮迹附近遭受粉碎破坏的轻质土进行清除处理，清除导致的高程减低部位由路面底基层料补填。

(11) 养护期过后，如施工需要在轻质土路基顶部行驶车辆或工程机械，应在轻质土路基顶部至少先行铺筑路面基层和底基层。

1.8.4 土工格室植草护坡

1.8.4.1 技术特色

土工格室是具有三维蜂窝状限制系统土工合成加筋材料，可以在很大范围内显著提高普通填充材料在承载和虫蚀控制应用中的性能。土工格室与植草相结合形成的一种新型护坡形式，在三维蜂窝状侧壁与土壤的摩擦和对土壤的约束力的共同作用下，形成了一种立体网状约束结构，改变了坡面水的流向，使水主要沿蜂窝状边缘流动，延长了水的流动路径，使水的动能减弱消耗在三维蜂窝状限制系统上，降低了坡面水的径流和流速，防止土壤冲刷并有效形成土壤稳定及防止水土流失，结合植被恢复形成有效的边坡

防护和生态复绿。

1.8.4.2 工艺流程

平整坡面→排水设施施工→土工格室施工→回填客土→喷播施工→盖无纺布→前期养护。

1.8.4.3 控制要点

- (1) 土工格室产品技术指标应按规范及设计要求采用高强度、自透水的材料。
- (2) 整平坡面至设计要求，并采用人工修坡清除坡面的浮土、浮石、危石、杂物等，避免坡面不平整对格室整体性能的不利影响。
- (3) 土工格室施作时应强化格室条带受力而弱化节点受力，避免主受力方向格室搭接（受限于坡面尺寸可对土工格室规格定制满足工程对铺设尺寸的要求）。
- (4) 坡面格室铺设应采用定角式施工。沿坡面铺设的区域(每组土工格室网格单元尺寸)边缘起始位置相互成直角挂线，并在土工格室单元各边打下铁楔等（应高出土工格室厚度 1~3cm）。应注意各相邻格室单元连接件的预搭接，使土工格室紧贴坡面。
- (5) 土工格室应按设计要求在坡顶、坡脚及坡面固定。边坡较陡时，可在各级边坡坡顶开挖沟槽埋设一定长度土工格室后锚固并回填压实土。
- (6) 土工格室铺设张拉应满足条带平直并张紧，格室节点的条带夹角不得小于 80° ，经检查无施工损伤后，铺设工作结束。依次铺设固定下一土工格室单元。

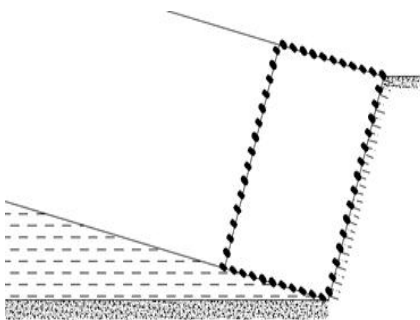


图 1.8-17 定角式施作画线及固定楔



图 1.8-18 定角式格室坡面敷设



图 1.8-19 现场培土施工



图 1.8-20 人工整理坡面

(7) 覆土前，应洒水使坡面土体稳定密实并保持湿润。覆土时应自上而下采用挖掘机（或喷射机）等将事先准备好的种植土料置于土工格室中，土料应完全覆盖并高出土工格室顶面 1~2cm，并整平坡面。土料含水率低时应及时洒水浸润，但不能外漏土工格室条带。

(8) 按设计比例配合草种、木纤维、保水剂、粘结剂、肥料、染色剂及水的混合料，通过喷播机均匀喷射于坡面。



图 1.8-21 现场施工整体效果



图 1.8-22 后期绿化效果

1.8.5 绿色加筋土挡土墙

1.8.5.1 技术特色

绿色加筋土挡土墙是一种以土力学、生态学为基础，兼具安全支挡和生态景观功能的绿色路基防护技术。该技术最大程度降低对水泥、石料等不可再生材料的需求，整体式可植生面墙系统能够实现全墙面的植被绿化，实现减排降碳，利于环境可持续发展；采用组装式施工工艺降低人工和机械成本，缩短施工工期；配合聚酯纤维纤塑格栅提高

加筋间距，能有效降低工程成本，改善加筋范围路基土体的力学性能，提高路基整体稳定性。



图 1.8-23 绿色加筋面墙及筋材安装



图 1.8-24 后期绿化效果

1.8.5.2 工艺流程

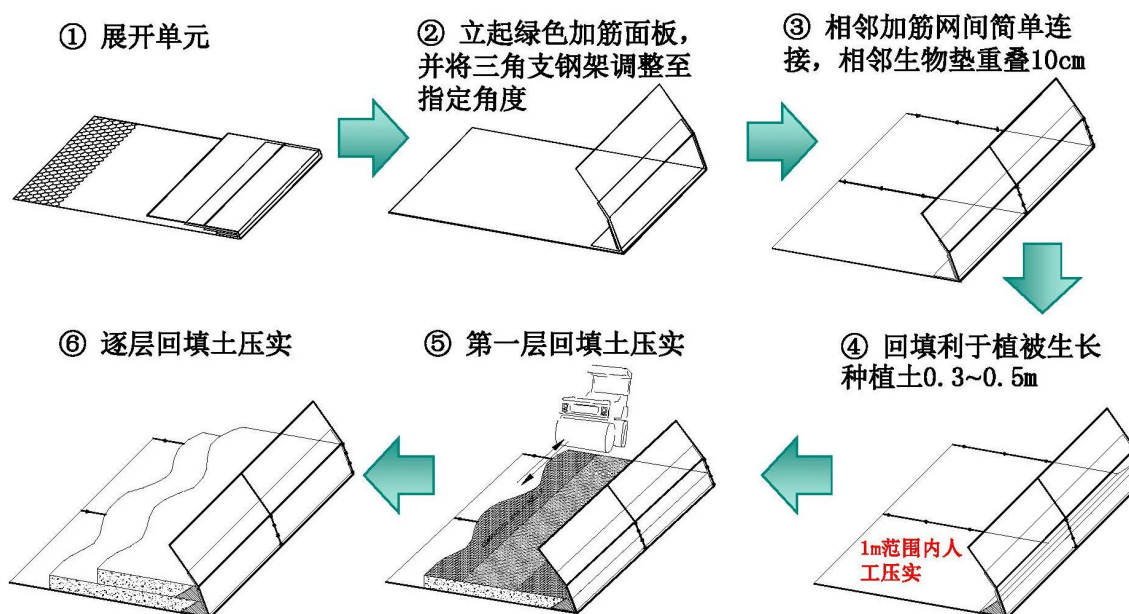


图 1.8-25 施工流程

1.8.5.3 控制要点

- (1) 挡土墙材料的技术指标应满足规范及设计要求。
- (2) 施工前，应做好排水系统，避免水软化地基的不利影响。基坑开挖后应及时封闭。
- (3) 面墙采用可绿化的绿色加筋面墙，应选取技术参数满足设计与规范要求、具有足够耐久性的材料。

(4) 按设计要求选用的各批次加筋材料使用前应进行性能抽查测试。按设计长度裁剪筋材,并在已经整平、压实的地基上按筋材主强度方向垂直于墙面铺设底层筋材,筋材应平铺、拉直,不得重叠、卷曲、扭结。

(5) 绿色加筋面墙先在平整的场地展开并按设计的角度进行组装,相邻绿色加筋面墙单元构件均需按每米间隔以绞合钢丝绞合连接,后部的筋带必须平直,并在尾部以间隔 1.0m 的小木桩(或钢筋)固定。

(6) 墙后填料应选择透水性良好的砂土、碎(砾)石土进行填筑。严禁使用腐殖土、淤泥等作填料。填料中不应含有机物、草皮、树根等杂物及生活垃圾。

(7) 加筋填料摊铺施工时应注意对已铺设好的筋材进行保护,避免筋材受损,应根据试验段参数确定摊铺厚度。卸料机械作业时机械距面墙的距离应保持 1.5~2.0m。

(8) 回填必须均匀、平整,填料顶面应按设计要求设置横坡,其坡度一般为 2~3%。在墙后 1.5m 范围内,不得有大型机械行驶或作业。墙后填筑时,应分层填筑,分层厚度不应超过 0.20m。压实度应满足规范和设计要求。

(9) 施工安装完成后,按设计要求对绿色加筋面墙进行绿化施工(可以采用喷播覆绿等),加强前期养护。另外,也可在回填种植土时撒播种子。

1.8.6 微型桩加固技术

1.8.6.1 技术特色

微型桩是利用桩工机械或其他小型设备在岩土体中形成直径不大于 300mm 的灌注桩。由于其具有施工快捷、对施工场地要求低、见效快等特点,被广泛应用于滑坡应急抢险工程中。对于地质条件简单的部分中、小型滑坡也得到了一定的应用。

1.8.6.2 工艺流程

平整场地→注浆钢管制作→测量放线→孔距定位→钻孔机就位钻孔(每 2m 接钻杆一次)→清孔→安装注浆机→下放钢管、PVC 注浆管及管内钢筋→灌注水泥浆。



图 1.8-26 微型桩加固施工



图 1.8-27 微型桩加固施工

1.8.6.3 控制要点

- (1) 钢花管节长一般为 3m 或 4m，每间隔 50cm 打 1cm 直径的溢浆孔。钢花管两端分别采用车床套丝，确保两段钢花管的连接稳定性。
- (2) 测量时应根据设计要求的间距、排距及设计提供的标高进行测量放线。
- (3) 孔距定位时可使用筷子（上绑红绳）打入地下进行定位。
- (4) 应采用干钻成孔方式，严禁采用水钻。在下钢筋前应清除干净孔内浮渣，清孔次数一般为 2 次。
- (5) 安装钢管时应注意将套丝钢管旋紧。如有条件，钢管套接处采用 3 根钢筋外表焊接加固，相邻钢管接头处应错开。
- (6) 下放钢筋应位于钻孔中心，钢筋焊接搭接长度不小于 30cm。同一钢管内的 3 根钢筋接头处应相互错开，钢筋接头不得与钢管接头处错开。
- (7) 水泥浆应采用专用机械进行拌制，浆液中添加防水材料聚丙烯腈。水灰比及注浆压力经现场试验确定。
- (8) 注浆应采用孔底注浆法。若发现注浆量过大，应及时停止注浆并查明原因，最后进行二次注浆。
- (9) 工程整治不宜在雨期施工。应加强对边坡影响区的监测及巡查工作。

1.8.7 引导防护系统

1.8.7.1 技术特色

引导防护系统主要由分布于边坡顶部的一排锚杆与柔性金属网组成，金属网仅在边坡顶部和坡脚与锚杆连接，并在重力作用下顺坡面垂挂，直至坡脚。该系统的主要作用是限制坡面落石的下落速度和动能，防止落石下落过程中发生弹跳，引导落石低速滑落至坡脚；通过控制落石运动方式、引导落石运动轨迹的方式防止落石灾害的发生。该系统结构简单、施工简便、成本低廉，且具备优异的生态兼容性能。



图 1.8-28 系统布置示意图

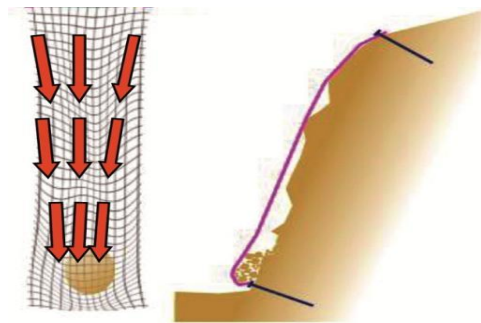


图 1.8-29 工作示意图

1.8.7.2 工艺流程

核查地质情况→表面清理及设立安全防护措施→基准线放线与锚杆孔定位→锚杆孔钻凿→锚杆安装→上支撑绳安装→从上向下铺设加筋网面→下支撑绳安装→钢丝绳网固定及缝合→检查与验收。



图 1.8-30 现场施工

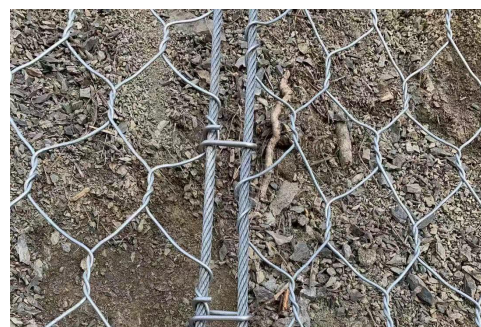


图 1.8-31 水平相邻网面连接

1.8.7.3 控制要点

(1) 清除坡面防护区域内威胁施工安全的浮土或浮石，对不利于施工安装和影响系统安装后正常功能发挥的局部地形（局部堆积体和凸起体）或植被进行适当修整。

(2) 以防护范围的顶部边界为基准线放线布置上沿锚杆孔位。必要时，可做局部加密或加长处理。若坡顶覆盖层较厚，锚杆布置时可适量向坡上方调整。

(3) 成孔后应及时清孔内残渣。插入锚杆杆体底端应距离孔底不小于 50mm。

(4) 砂浆应随拌随用，放置超过初凝时间的砂浆不得使用。

(5) 应先插入锚杆后注浆，注浆应采用孔底注浆法。注浆管应插至距孔底 50~100mm。在进行下一道工序前注浆体养护不少于 3 天。

(6) 支撑绳安装。在坡顶，以某一锚杆为起点，将上支撑绳反包并固定在该锚杆锚头套环上，沿坡走向依次经过相邻锚杆锚头的套环，直至终点锚杆锚头后将支撑绳拉紧，并以与起点同样的方式反包固定。支撑绳反包的长度不小于设计要求，反包处至少用 3 个绳夹进行固定。下撑绳安装参见上支撑绳的安装方法。

(7) 从上向下铺挂双绞六边形加筋网。将网片顶部绕过上支撑绳并折叠反包，用绳夹和绞合钢丝对反包段进行固定。每根加筋钢丝绳处用两个绳夹。沿坡走向依次铺挂，直到将坡面设计防护区域完全覆盖。水平相邻网面采用专用连接扣进行连接。

(8) 加筋网竖向连接时，下部网幅应铺设在上部网幅的外侧，且将搭接长度控制在 0.5m 以内，搭接处固定的绳夹数量不得小于设计值。

1.8.8 复合渗沟

1.8.8.1 技术特色

复合渗沟作为地下排水的盲沟，充分利用复合排水垫的高效截排水功能和透水管的导水功能，降低水位，防止外部水分进入路基结构。同时，作为轻质排水结构，可以提高施工效率，减少基槽开挖宽度，降低成本，节约砂石料，保护自然环境。



图 1.8-32 现场施工



图 1.8-33 土工复合排水材料

1.8.8.2 工艺流程

开槽→排水管材安装拼接→复合渗沟入槽→回填压实。

1.8.8.3 控制要点

- (1) 软式透水管及土工复合排水材料性能指标应满足规范及设计要求。
- (2) 以人工或机械设备按设计尺寸开槽。沟槽应平顺，并控制槽底坡度。
- (3) 在槽口附近将软式透水管及土工复合排水材料平整展开。
- (4) 按设计长度将相邻两块土工复合排水材料进行连接。连接时，将土工复合排水材料的芯材裁切约 5cm 后，将两块排水垫的排水芯材靠近拼接。之后，采用缝合线将两块土工复合排水材料的土工布缝合连接。
- (5) 土工复合排水材料与软式透水管连接。土工复合排水材料下部应预留一定长度土工布（长度一般至少为软式透水管周长+10cm），预留的土工布应包裹软式透水管，以缝合线缝合固定。另外，上部也应有一定长度土工布反包排水芯材。
- (6) 清除沟槽壁上棱角颗粒，将成型的复合渗沟（软式透水管在下端）放入已经开好的沟槽中，使其紧贴沟槽一侧。
- (7) 采用符合设计及规范要求材料回填沟槽并压实。

1.8.9 雷诺护垫护坡

1.8.9.1 技术特色

雷诺护垫是将低碳钢丝经机器编制而成的双绞合六边形金属网格组合的工程构件，

在构件中填石构成主要用于冲刷防护的结构。该结构具有抗冲刷性强、自透水性、环境亲和性、施工便捷性等诸多优势，既能达到保护河道、堤防岸坡安全稳定的目的，又可实现水体自然交换,增强水体自净能力,保护和改善水质,亦可实现坡面植被绿化、美化景观,最终实现工程建筑与生态环境的有机结合，被称为“会呼吸的堤岸”。



图 1.8-34 现场效果（一）



图 1.8-35 现场效果（二）

1.8.9.2 工艺流程

施工组织准备→测量放样→基础开挖及整平→铺设反滤层→雷诺护垫摆放→石料装填→闭合封盖。



图 1.8-36 雷诺护垫施工现场



图 1.8-37 雷诺护垫现场效果

1.8.9.3 控制要点

- (1) 雷诺护垫、无纺布等材料性能指标应满足规范及设计相关要求。
- (2) 施工前应查验边坡坡比是否满足设计要求。坡面应平整、密实、稳定，不含杂物。
- (3) 雷诺护垫用于坡面防护时隔板要平行于水流方向，用于护底、护坦时隔板垂直于水流方向。

(4) 填充物采用卵石、片石或块石,不应选用薄片、条状等形状的石料。石料粒径以 D70~150mm 为宜,孔隙率不超过 30%。石料质地坚硬,抗风化,不应采用易崩解和水解填石料。

(5) 石料装填时要求密实并有 2.5~4cm 的超高。石料的装填,面墙平整,最好成鱼背形,尽量减少空隙率。

(6) 摆放好的雷诺护垫外轮廓线应该整齐划一,紧密靠拢。

第二章 路面工程

2.1 总则

2.1.1 为统一规范湖南省高速公路路面工程施工，淘汰落后工艺、设备和技术，推广应用四新技术，提升路面施工技术水平和管理水平，克服质量通病，避免质量隐患与工程损失，提高路面使用品质和耐久性，延长使用寿命，降低全寿命周期成本，确保工程质量达到品质工程的总体目标，特编制本《指南》。

2.1.2 本指南是在总结吸收了省内外多年来公路路面方面的科研成果和施工经验的基础上，结合湖南省高温多雨的气候特征与地材供应、经济水平、高速公路路面典型病害等具体情况，依据国家、交通运输部、工程建设标准化协会等工程建设标准主管部门发布的与公路路面工程相关的标准、规范、规程、指南和湖南省交通运输厅颁布实施的有关文件及行业内通行的先进施工工艺、管理方法等编制而成。

2.1.3 本《指南》对现行有关规范在项目实施过程中疏于控制、操作上执行力度不足的有关要求加以了强调；对不符合本省实际情况的技术指标和可操作性不强的一些相关规定进行了调整；对部分关键技术指标予以提高；对国家及部颁相关规范的通用条款，作了适当简化处理。凡本指南未作说明或未作详细规定的应按现行国家和部颁有关技术标准、规范、规程和指南执行。

2.1.4 本指南适用于湖南省高速公路建设项目，其它等级公路项目可参照使用。

2.2 施工准备及一般规定

2.2.1 路面工作面的交工验收

2.2.1.1 路面施工承包人应参加业主与监理组织的路面工作面（主要包括路床、桥面砼铺装层与隧道路面的下承层）的现场交验，当验收检测项目符合设计及规范要求时，须与路基、桥梁与隧道施工承包人达成共识并办理签字认可手续。

2.2.1.2 桥面砼铺装层（或整体化层）交验时，桥面排水系统应完善，泄水孔的排水管顶（对于竖向排水孔）或管底（对于横向排水孔）标高应低于桥面砼铺装层 1-2cm。对桥头搭板与过渡板要按桥面砼铺装层的标准进行交验。

2.2.2 施工组织设计

2.2.2.1 路面施工必须作好前期准备工作，施工单位应根据设计要求并结合合同段具体情况，详细制定路面施工组织设计，力争做到流水作业、不间断施工。合理安排护栏、路肩和中央分隔带填土、路肩和中央分隔带预制块砌筑、路面排水、防护工程、通讯管线工程、交通安全设施等附属工程施工，防止污染已施工的路面结构层，特别是各沥青面层。

2.2.2.2 施工组织设计的内容应包括：原材料的储备计划（含料源地点、采备方式、运输形式、堆放场地等），路面用混合料拌和场的位置及建设、试验路段及各结构层的施工计划、机械设备的配备和人员的安排计划、采用的工艺和工序的衔接要求、特殊气候（雨季、高温、低温）条件下的施工对策，以及自检和质保体系、安全与环保措施等。

2.2.2.3 编制路面施工组织设计时应考虑以下要求：

- （1）拌合场的选址应考虑原材料运输在主线上行驶路线较短；
- （2）各路面结构层施工的合理衔接，以避免发生层间污染（特别是各油面层）和造成已铺路面各结构层（特别是底基层和基层）表面甚至结构的早期损坏；
- （3）水稳基层、底基层不宜安排在 7-9 月高温季节施工，宜在 2-6 月以及 10-12 月施工。沥青路面的三个结构层不宜跨年度施工，宜安排在 4~10 月内完成；
- （4）对运料车要制定可行的交通组织与管制措施，并安排专人负责，运料车不得严重超载（轴重不得超过 13 吨），做好运料车的交通分流工作，使之不在行车道上形成渠化交通，防止破坏已交验的路基、垫层、底基层、基层和出现交通安全事故；

(5) 防污染与环保措施：妥善处理各种施工废料，包括拌和楼除尘系统收集的粉尘，不得随意堆放，避免污染环境，影响附近居民的生产、生活。完工后，按合同要求清理场地或复耕。协调好交叉作业的有关事项，以避免在施工过程中对路面产生污染，特别是各沥青结构层要做到“零污染”施工；

(6) 对桥梁预留伸缩缝位置应采取有效措施保护预埋钢筋，并使施工车辆平稳通过；

(7) 应编制具体的质量、安全保障体系，包括相关的制度、监理程序的执行、原材料及路面施工层的质量检验要求，施工现场的安全防范措施等，并将相关责任落实到人。

2.2.3 交叉施工的规定

2.2.3.1 业主、路面单位和监理单位应协调好路基、绿化、机电、交通安全设施等施工单位交叉作业的事项，以免相互干扰，并减少路面污染。

2.2.3.2 路面基层施工前（尽可能在底基层施工前），所有预埋横向管道必须施工完毕，不能因为预埋管道的开挖和铺设而破坏基层甚至底基层。

2.2.3.3 中央分隔带内附属工程的施工，各单位必须严格按以下顺序施工：

(1) 在完成底基层施工后，基层施工前应将中央分隔带的临时排水或中央分隔带的渗沟完成并确保中央分隔带不积水；

(2) 在双幅上基层完成后，可进行通信管线施工， 监理必须按规定协调好路面施工单位与通信管线施工单位的衔接；

2.2.3.4 在路面施工前应封闭所有的临时路口（路面施工的运料口除外）， 监理应协调好施工全线的交通管制，以减少对路面的污染。

2.2.3.5 沥青路面施工时应先完成施工路幅两侧的填土和附属工程（砼护栏、绿化、路肩沟、路缘石等）的施工；沥青路面上面层施工前，除标志标线外，其他工程的施工

应全部完成。

2.2.4 材料调查与储备及集料管理要求

2.2.4.1 当合同规定水泥、沥青、碎石、矿粉、纤维等路面主要材料，由路面施工单位自行采购时，施工单位进场后，应尽早组织对上述主要材料的供货厂商进行调查。对拟选择的材料进行取样和试验，技术指标全部满足本指南及有关规范、标准和招标文件的要求后，将试验报告和材料样品同时报送监理，由监理通过平行试验认可后予以批准并报建设单位备案。最终选择的材料供货厂商必须能够保证材料的供货能力满足施工进度要求。

2.2.4.2 路面施工承包人要充分重视原材料的储备工作，在开工前，要储备足够的原材料，以满足路面各层大规模连续施工的需要，其中：

(1) 路面底基层和基层施工的粗、细集料应能满足 3km（半幅）以上施工用量、水泥应能满足施工进度要求，方可开工；

(2) 沥青路面各层施工用的集料应能满足 10km（半幅）以上施工用量、沥青应能满足施工进度要求，方可开工。

2.2.4.3 路面集料管理的一般要求

(1) 沥青拌和场用储料仓的数量不得少于 5 个（需要考虑两层交叉施工时，不少于 9 个），储料仓面积不少于 4000 m²；基层与水泥混凝土拌和场的储料仓的数量不少于 4 个，储料仓面积不少于 2500 m²。各料仓的面积大小应根据估算的大致用料比例进行分配。

(2) 在订购集料之前，应对料场每种不同规格（或粒级）的集料进行取样做筛分试验。在确保能够配制符合所需级配要求的前提下，按筛分情况计算出每种规格集料的备料比例。如果不能配制出符合所需级配要求的混合料时，应向材料供应商提出改进意见或更改料源。订货时，应向材料供应商提出各档集料的粒径规格要求（对于油面集料，

集料分档应与拌和楼热料仓的振动筛筛网尺寸相匹配，以减小混合料级配的波动)。该步工作应与混合料配合比设计工作紧密配合。

(3) 建立集料的进场验收制度，材料进场时，要有专人验收，除按规定频率对有关技术指标进行试验检测验收外，每车料都必须经有经验的材料员或试验员目测检查，认为材料的规格、洁净程度与形状没有问题，且不含泥团、杂质与风化石后方可卸料，凡不符合规定的集料应拒收。

(4) 不同规格、不同厂家的集料应分仓堆放，并设置醒目标识牌，注明材料名称、用途、规格、产地、检验时间、检验结果等信息，并根据材料实际进场检验情况及时更新。

(5) 对发现的不合格材料，应立即设置醒目标志牌，并在限定时间内清除出场。

2.2.5 试验路要求

2.2.5.1 在各路面结构层正式开始施工之前，均应修筑不少于 200m 的试验路段。各项技术指标符合要求的试验路可作为永久工程的一部分，否则应铲除，重做试验路。

2.2.5.2 在试验路段的铺筑过程中，承包人应认真作好记录；铺筑成功后，承包人应就各项试验内容与结果进行总结，确定正式的施工方案，提出完整的试验路总结报告，报监理工程师审查批准，并作为正式开工的依据。经试验段确定的施工设备、施工工艺和各种施工参数等均应作为后续施工控制的依据。

2.2.6 其它

2.2.6.1 高速公路路面施工的技术要求、质量控制与检验（包括外观检查、质量检测的项目、检测频率等），除应执行“《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20-2015”、“《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40-2004”、“《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30-2014”的有关要求之外，还须应满足本“指南”的各项要求。

2.2.6.2 路面工程开工前，业主应组织设计单位向监理和施工承包人进行技术交底，

重点说明工程质量控制和安全生产的技术要点；施工承包人应对施工、试验、机械、施工现场及管理岗位的技术人员和各工种技术工人进行培训，未经培训的人员不得上岗操作。

2.2.6.3 为严格要求施工单位将原材料质量和路面各层施工质量的偏差系数降低至最低，监理进行抽样检查时，可视情况采取“外观问题优先”的原则，即外观有缺陷的部位应考虑重点抽查。

2.3 垫层

2.3.1 原材料要求

2.3.1.1 垫层材料的选材应本着技术可行、就地取材与经济节约的原则，宜选用采石场生产的碎石统料（即未筛分碎石），也可采用经加工的隧道石碴、挖方石碴、矿碴等，或者质量较好的天然碎石土、天然砂砾土、天然砂砾，但均须满足质量要求。未筛分碎石、隧道石碴、挖方石碴等应选用石灰岩、变质砂岩等强度较高、水稳定性较好的材料，不得采用强度低、水稳定性差的泥质页岩、泥质板岩、红砂岩等材料。

2.3.1.2 垫层材料质量要求：最大粒径 $\leq 53\text{mm}$ ，压碎值 $\leq 30\%$ ，液限 $\leq 28\%$ ，塑性指数宜 $\leq 6\%$ ，4.75mm 以上部分粗集料中针片状的含量不得大于 25%，不得含有粘土块、植物碎屑等有害物质，级配应符合表 2.3-1 要求。

表 2.3-1 垫层级配范围

筛孔尺寸 (mm)	53	31.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
通过质量 百分率 (%)	100	70~100	54~84	29~59	17~45	11~35	6~21	0~15

2.3.2 主要施工设备要求

2.3.2.1 摊铺设备：1~2 台稳定土摊铺机。

2.3.2.2 碾压设备：2 台自重不小于 20t 的振动压路机，2 台小型夯实机（或 1 台小

型压路机), 必要时再配 1 台自重不小于 30t 的胶轮压路机。

2.3.2.3 配套的自卸车、洒水车数量应符合施工组织的要求。

2.3.3 材料试验

2.3.3.1 对垫层材料进行压碎值、液限、塑性指数等材质指标试验, 并进行筛分试验。当级配不满足表 2.3-1 要求时, 可掺加石屑、天然砂等材料, 并试验确定石屑或砂的掺量。

2.3.3.2 对满足材质与级配要求的垫层材料进行重型击实试验, 确定垫层料最佳含水量和最大干密度。如垫层材料中大粒径料较多, 难以进行击实试验, 需要采用固体体积法进行压实质量检查的, 应进行毛体积密度检测。

2.3.4 施工要点

2.3.4.1 施工准备

(1) 下承层验收后没有及时进行垫层施工的路段, 垫层施工前应重新对下承层进行外观检查、清理与修整, 并用自重 20t 以上的振动压路机进行碾压检验, 在碾压过程中, 如发现路床土过干、表面松散, 应适当洒水, 如土过湿, 发生“弹簧”现象, 应采用挖开晾晒、换土、掺石灰或粒料等措施进行处理。对经雨淋与行车损坏较严重的路段, 必须重新进行验收。路基表面须平整密实、无坑洼、不松散、无“弹簧”, 横向坡基本一致, 标高、路拱应符合设计要求。

(2) 补设遗失或松动的测桩; 恢复中线, 直线段每 20m 设一桩, 平曲线段每 10m 设一桩, 并在两侧路肩边缘外 0.3~0.5m 设指示桩, 并进行水准测量, 用红漆标出垫层边缘的设计高程。

2.3.4.2 备料

(1) 碎石垫层一般采用未筛分的碎石统料, 在料场应对未筛分碎石取样做筛分试验, 如达不到级配要求, 可掺加石屑或天然砂, 并根据筛分试验结果, 计算石屑或砂的

用量。

(2) 如果需添加石屑或砂，未筛分碎石和石屑（或砂）在料场按预定的比例混合，同时洒水湿润，也可以将两种材料运到现场进行集中拌和。使混合料的含水量超过最佳含水量约 1%。

2.3.4.3 碎石运输

(1) 垫层材料装车时，应在车箱前后均衡装料，按前→后→中顺序分 3~6 次装料，尽量避免材料离析。

(2) 混合料运输过程中应采用篷布覆盖，减少水分散失与污染；严禁混合料运输车辆 在垫层上转弯调头或急刹车。

2.3.4.4 垫层摊铺

(1) 垫层摊铺应采用摊铺机摊铺。根据项目实际情况，可半幅全宽一次摊铺，也可以将半幅分成两小幅进行摊铺。

(2) 提前放样布点，布点一般为 10m 一个桩（曲线超高段桩距应加密至 5m），一次挂线一般以 100~150m 长为宜，钢丝张紧力应不小于 100kg，要使“基准钢丝”在两桩之间产生的最大挠度值不超过 2mm，必要时要加密支撑杆。挂线应采用“悬臂法”，钢丝置于悬臂之上，严禁直接把钢丝绑扎在桩杆上。

(3) 采用两台摊铺机进行梯队摊铺时，两台摊铺机前后相距 5~10m，并保证所有摊铺参数一致。如采用一台摊铺机分两小幅进行摊铺时，先摊铺的一幅，在靠近纵向接缝部位，应预留约 50cm 宽暂不碾压，做为第二幅的摊铺参考高度，再与第二幅一起碾压。两幅摊铺不宜相距太远，以 200m 左右为宜。

(4) 摊铺机应匀速连续摊铺，摊铺速度应与供料能力相协调，摊铺机不应停机待料，摊铺速度一般宜在 1.5-2m/min。

(5) 摊铺机料槽里的混合料高度应高于螺旋布料器 2/3 高度，且全长同高；螺旋布料器在全部工作时间内应匀速转动，避免过快或停顿。

(6) 摊铺时不应收斗，不应出现空仓情况，尽量避免产生粗细集料离析现象。发现有严重离析现象时，应设专人及时处理，特别是局部粗集料窝应该铲除，并用粗细均匀的材料填补。

(7) 摊铺施工过程中，现场施工员应不时地用 6 米直尺进行横向平整度的检查，要求横向平整度小于 15mm。对超出 15mm 的部位，应采用必要的措施处理。

2.3.4.5 碾压

(1) 摊铺后，当混合料的含水量等于或略大于最佳含水量时，应及时进行碾压，碾压过程中，应控制好碾压时混合料含水率，以免因“粘轮”造成局部坑洼或因混合料干燥造成表面松散。混合料表面应始终保持湿润，如水分蒸发过快，应及时喷洒少量水。碾压一直进行到要求的密实度为止，并使表面无明显轮迹。凡压路机不能作业的地方应采用夯实机进行夯实，直到达到规定的压实度为止。

(2) 严禁压路机在已完成或正在碾压的路段上调头和急刹车。

(3) 两段作业衔接处，前段留下 5~8m 不进行碾压，待后续段施工时，将前段预留未碾压混合料适当洒水至最佳含水率后与新摊铺混合料一并碾压。若两个作业段施工间隔时间过长，则不需预留，前段必须碾压至接头处，后续段施工时，应将前段端部标高和平整度不符合要求的部分清除，接缝面必须为垂直面。

2.3.5 质量控制与检验

2.3.5.1 严格控制原材料质量，主要检测材料的压碎值、液限、塑性指数、针片状含量与级配，均需满足本指南才能使用。施工过程中，随时抽检以上指标，但每 10000m³ 不少于 1 次，级配每 2000m³ 不少于 1 次。

2.3.5.2 垫层表面应平整密实、无坑洼、松散、弹簧现象，无压路机碾压轮迹。实测项目及标准应表 2.3-2 执行。

表 2.3-2 碎石垫层的实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差		检查方法（半幅）
1	压实	固体体积率 (%)	代表值	83	1、每 200m 压实层测 2 处。 2、用灌砂法或水袋法测干密度，并通过试验计算集料的毛体积密度，求固体体积率。
			极值	80	
		压实度 (%)	代表值	96	
			极值	92	
2	弯沉 (0.01mm)		符合设计要求		按路基精加工弯沉检测的频率
3	平整度 (mm)		15		3m 直尺，每 200m 测 2 处×5 尺
4	纵断高程 (mm)		+10, -15		水准仪：每 200 延米 4 个断面
5	中线偏位 (mm)		50		每 200 延米 4 个断面，弯道加测 HY、YH 两点
6	宽度 (mm)		不小于设计值		尺量：每 200 延米 4 处
7	厚度 (mm)		代表值	-10	每 200m 每车道 1 个点
			极值	25	
8	横坡 (%)		±0.3		水准仪：每 200 延米测 4 个断面

注：如果碎石垫层级配较粗，表面呈松散状，难以准确检测弯沉时（或以弯沉指标验收存在争议时），可以用承载板检测的垫层顶面当量回弹模量满足路基设计模量要求来进行验收。

2.4 底基层与基层

2.4.1 主要材料要求

2.4.1.1 湖南省高速公路底基层与基层一般应采用水泥稳定级配碎石。水泥可采用普通硅酸盐水泥、硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥。水泥的初凝时间应大于 3h，终凝时间应大于 6h 且小于 10h。不得使用快硬、早强和已受潮变质的水泥。所用水泥的强度等级不应高于 42.5 级，宜采用 32.5 级。一般采用散装水泥，夏季高温作业时，水泥入罐温度不宜高于 50℃，否则，应采取降温措施。

2.4.1.2 集料

(1) 用于水泥稳定碎石底基层与基层中的碎石应质地坚硬、洁净，具有良好形状和规格。在供货条件与材料加工特性指标基本相当的情况下，应优先选用石灰石。技术

指标应满足表 2.4-1 的要求。为防止和减少温缩、干缩裂缝的发生，应采用骨架密实型的集料级配，其合成级配应符合表 2.4-2 的要求。

表 2.4-1 水泥稳定碎石底基层与基层用集料技术要求

结构 层次	粗集料				细集料			
	压碎值 (%)	针片状颗粒 含量 (%)	粉尘含量 (%)	软石含量 (%)	有机质 含量 (%)	硫酸盐 含量 (%)	液限 (%)	塑性 指数
基 层	≤26	≤18	≤1.2	≤3	<2	≤0.25	≤25	≤17
底基层	≤30	—	—	≤3	<2	≤0.25	≤28	≤17

注：1、表中塑性指数是指 0.075mm 以下材料的；对于 0.5mm 以下材料的塑性指数应≤5%。

2、必要时检测细集料的砂当量，宜≥50%。

表 2.4-2 水泥稳定碎石底基层与基层的集料级配范围

结构 层次	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)							
	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
基 层	100	90~100	68~86	38~58	22~36	16~28	8~15	2~5
底基层	100	—	60~90	40~64	25~40	15~30	6~20	2~5

注：有条件时，底基层尽量采用与基层相同的级配。

(2) 水稳碎石用集料应按 4 种以上规格备料。可按 19 ~ 26.5mm、9.5 ~ 19mm、4.75 ~ 9.5mm、0 ~ 4.75mm 4 种规格或 19~ 26.5mm、9.5 ~ 19mm、4.75 ~ 9.5mm、2.36 ~ 4.75mm、0~2.36mm 5 种规格备料。

2.4.2 主要施工设备要求

2.4.2.1 高速公路水泥稳定级配碎石（底）基层必须采用集中厂拌法拌制混合料，采用摊铺机摊铺。

2.4.2.2 拌和设备应采用带自动打印功能的专用稳定土集中厂拌机械设备。应采用两个长度均大于 3m 的拌缸串联拌和，最好采用振动拌缸进行拌和。产能不低于 600t/h 的水泥稳定碎石拌和机，采用 5 仓式自动计量，具备电脑控制及打印功能。要求装配高精度电子动态计量器（应经有资质的计量部门进行计量标定后方可使用）。配料允许质

量偏差应满足表 2.4-3 的要求。拌和机各料仓开口大小和皮带输料计量精度应事先标定，并在施工过程中随时检查和调整。每台拌和机应配备容量不少于 80t 的水泥钢制罐仓 3 个以上，每个罐仓应配置附着式振动器，以免水泥起拱下料不畅。冷料仓宜采用钢结构包封处理，料仓之间隔板高度应不小于 0.8m，以防串料；供料仓顶部应安装钢制筛网，筛除超粒径集料和杂物；料仓正面应设置材料规格标识牌。细集料仓宜配备仓振器等破拱装置，增设缺料报警装置。

表 2.4-3 配料允许质量偏差

材料名称	水泥	水	粗、细集料
允许质量偏差 (%)	±1	±1	±2



图 2.4-1 双拌缸水稳拌和机



图 2.4-2 振动拌缸水稳拌和机

2.4.2.3 摊铺宜采用 1 台初始密实度高、抗离析、大宽度、大功率摊铺机（单机功率 $\geq 260\text{KW}$ ）半幅全断面一次摊铺；也可采用 2 台同型号、新旧程度基本一致的沥青摊铺机或稳定土摊铺机进行梯队摊铺。不允许采用人工或平地机铺筑。对于互通、服务区、停车场等部位的主线加宽部分，必须增加一台摊铺机，将主线加宽部分同时摊铺。



图 2.4-3 大宽度大功率抗离析摊铺机摊铺

2.4.2.4 每个摊铺工作面应配备自重 22t（最好 26t）以上的单钢轮振动压路机 2~3 台，自重 30t 以上的轮胎压路机 1~2 台，自重 12t 以上的双钢轮压路机 1 台。平板振动夯或小型压路机 1~2 台。

2.4.2.5 容量 6000L 以上的洒水汽车（带喷雾式喷头）不少于 2 台。

2.4.2.6 槽钢侧模（当设计侧面为垂直面时），宽度与摊铺层厚度相等，槽钢侧模固定支撑宜采用钢支撑，支撑固定孔应采用机械钻孔（与固定钢钎大小正好合适以防侧模松动）。

2.4.3 混合料配合比设计

2.4.3.1 承包人应参照《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20-2015）中的步骤及方法进行混合料的配比设计。确定最大干密度指标时宜采用重型击实方法。

2.4.3.2 水泥稳定级配碎石底基层 7d 无侧限抗压强度应不小于 3MPa，水泥剂量宜控制在 3.5% ~ 4.5%；水泥稳定级配碎石基层 7d 无侧限抗压强度应不小于 4MPa，水泥剂量宜控制在 4.5% ~ 5.5%；水泥稳定级配碎石基层、底基层的实际水泥用量用抗压强度控制。

2.4.3.3 配比设计最终确定的水泥剂量应综合考虑试验温度与延时的影响，允许延时时间不宜小于 2h。实际施工时采用的水泥剂量应根据实际强度、机械设备、施工水平等情况，比配合比设计最终确定的水泥剂量适当增加，但最多增加 0.5%（如果设备很好、施工水平高、强度有较大富余，在能确保施工质量情况下，可不增加）。

2.4.4 施工要点

2.4.4.1 一般要求

（1）水泥稳定级配碎石（底）基层宜在气温较高的季节施工，日最低气温应不低于 5℃。宜避免在雨季施工，严禁雨天施工。夏季高温季节施工时，也应避开 35℃ 以上的高温时段。

(2) 为使(底)基层达到强度满足要求、抗裂能力良好的效果,应控制水泥与细集料用量,控制好粉料含量,并严格控制泥土含量,根据施工时气候控制好含水量。

(3) 底基层上不宜开放交通,宜在下基层养生结束后才开放交通。

2.4.4.2 准备工作

(1) 下承层应保持在交接验收时的良好状态,在摊铺施工之前,用清扫机辅以人工将工作面清扫干净,适量洒水润湿下承层表面;若下承层受雨水淋浸、施工机械(车辆)行驶破坏,存在缺陷,路面施工承包人应进行处理,使下承层的强度、平整度等技术指标满足要求,无任何松散、软弱和积水等现象。



图 2.4-4 专用清扫机+人工辅助清扫工作面

(2) 应做好放样工作。恢复中线时,每 10m 设一个中桩,并在两侧边缘外设指示桩,桩上应明显标记出该层边缘设计高度,用白灰画出该层的边缘线。

(3) (底)基层宜立模施工,每个(底)基层摊铺点的边部模板应至少准备两天的使用量,当天摊铺前宜至少支护预计工作量的 80%,模板应线形顺直,固定牢靠,如图下图所示。挂线施工时,挂线要求与垫层施工要求相同(参见 2.3.4.4 条)。



图 2.4.-5 基层立模

2.4.4.3 混合料拌和

(1) 每天开始拌和前，应检查场内各种集料的含水量，计算当天的施工配合比，外加水与天然含水量的总和要比最佳含水量略高（1%左右）。

(2) 在正式拌和混合料之前，必须先调试所有设备，使混合料的颗粒组成和含水量都达到规定的要求。开工后每隔 3 个月或设备出现异常时，应重新校核各集料上料速度和水泥流量称。

(3) 每天开始拌和后，出料时应取样检查混合料是否符合设计的配合比，正常生产后，每 1~2 小时左右应检查一次拌和情况，抽检其配比、含水量；高温作业时，早晚与中午要有所区别，要按温度变化进行适当的调整。拌和时的外加水与集料天然含水量之和比最佳含水量略高，潮湿天气时宜高 0.5~1.0%，干燥、高温、风大天气时宜高 1%~1.5%，以弥补混合料在延迟时间内的水分损失，使碾压时混合料的含水量在最佳含水量与最佳含水量加 1%之间。发现干湿不均、离析严重的混合料要废弃。

2.4.4.4 混合料运输

(1) 运输车辆每天开工前，要检查其完好情况，装料前要将车厢清理干净，自卸汽车数量一定要满足拌和能力和摊铺需要，并略有富余。

(2) 混合料出料直接装车运输，装车时车辆按下图所示顺序，分至少 5 次装料，料箱较高时最好分两层装料，以避免混合料离析。车上的混合料必须覆盖，特别是在气温较高、阳光大和有风的气候条件下，以减少水分损失。

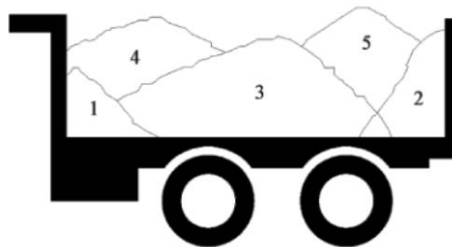


图 2.4-6 5 次装料工艺及顺序

(3) 应尽快将拌和的混合料运送到铺筑现场，保证在容许的施工时间内能压实好。如果运输途中车辆出现故障，必须立即在最短的时间内排除。当不能确保车内混合料在水泥初凝时间前摊铺压实好，必须予以废弃。

(4) 运料司机必须严守纪律，跟各方面密切配合，按要求装料、卸料，特别是已摊铺好的基层，养护期未到时，不得在上面行车。严禁混合料运输车辆在水泥稳定级配碎石（底）基层上急转弯掉头或紧急刹车。

2.4.4.5 混合料摊铺

(1) 水泥稳定碎石混合料摊铺宜优先采用 1 台初始压实度高、抗离析、平整度好的大宽度、大功率摊铺机代替双机联铺，半幅全断面一次摊铺。也可以采用两台同型号、新旧程度基本一致的摊铺机梯队作业进行摊铺，两摊铺机前后相隔 5m~10m，两幅之间应有 30cm~40cm 左右的搭接宽度，上、下层摊铺的纵向接缝应错开 20cm 以上，并避开车道轮迹带；两台摊铺机各项工作参数（速度、摊铺厚度、松铺系数、横向坡度、振动频率等）应保持一致，两机摊铺接缝应平整。

(2) 互通、服务区等有加宽的道路，不应分两次摊铺，以免产生纵向施工缝。

(3) 下基层、上基层摊铺施工时，在经洒水湿润的下承层顶面先喷洒薄层水泥净浆（或采用先撒干水泥粉后水车洒水成浆方式），水泥用量应不得低于 1.5kg/m²。水泥浆（或水泥）的洒布长度以不大于摊铺机前 30m~50m 为宜；不得一次洒布过长，影响上下层的粘结强度。

(4) 待等候卸料的混合料运输车多于 5 辆后方可开始摊铺，摊铺行进速度应不高于 3m/min；摊铺过程中应有运料车 2~3 辆等候卸料，以保证摊铺连续。

(5) 摊铺机在安装、操作时应采取混合料防离析措施。如降低布料器前挡板的地面高度或加装橡胶挡板，调节好螺旋布料器高度与料槽中料位高度，螺旋布料器应有三分之二以上埋入混合料中，严禁空仓收斗与空仓，尽量少收斗，收斗应在运料车离去、料斗内尚存较多混合料时进行，收斗后应立即连接下一台运料车向摊铺机内喂料，以尽量避免产生粗细集料离析现象。发现有离析现象时，应设专人及时处理，特别是局部粗集料窝应该铲除，并用新拌混合料填补。

2.4.4.6 混合料碾压

(1) 碾压要及时，每摊铺完 40m 左右后（不应超过 60m），在混合料含水量处于或略大于最佳含水量（气候炎热干燥时，可大 1%-1.5%）时开始进行碾压。碾压过程中，混合料表面应始终保持湿润，如水分蒸发过快，应及时喷洒少量雾状水。碾压段按初压（稳压）、复压、终压（收光）分区应层次分明，设置明显的分界标志。

(2) 水稳碎石采用双钢轮压路机、重型单钢轮振动压路机配合重型胶轮压路机进行组合碾压。碾压顺序为：应先用钢轮压路机静压 1 遍（必要时进行平整度修整后再静压 1 遍），然后用重型胶轮压路机碾压 2~3 遍，紧接着用重型钢轮振动压路机由弱振到强振 3~5 遍，再胶轮压路机碾压 1~2 遍，直至压实度合格为止，最后必要时用钢轮压路机静压收光，直到无轮迹为止。碾压时，轮迹重叠为 30~50cm。

(3) 压路机倒车必须原路返回，在未碾压的一头换挡、倒车位置应错开，要成斜线锯齿状（参见下图），出现个别拥包时，应专配工人进行铲平处理。严禁压路机在已完成的或正在碾压的路段上调头和急刹车，以保证水稳层表面不受损坏。碾压过程中，如有“弹簧”、松散、起皮等现象，应及时处理。

(4) 为防止跑模和塌边，边部宜先用平板振动夯初步夯实或用小型压路机初步压实。压路机碾压不到的部位，应用平板夯夯实或用小型压路机压实。



图 2.4-7 碾压图片（锯齿状端部与模板边部夯实）



图 2.4-8 边部夯实图片

(5) 为及时指导现场压实工作，现场宜配备无核密度仪或核子密度仪进行压实度快速检测。另外，在碾压过程中应进行标高、平整度的及时跟踪检测。纵、横向平整度（包括接缝）采用 6m 直尺检查，要求达到底基层小于 12mm、下基层小于 10mm、基层小于 8mm 的要求。对不满足要求的部位，应采用必要的措施及时处理。

(6) 从加水拌和到碾压终了的时间，应小于允许延时时间且不宜超过 2 小时，严禁超过水泥的初凝时间。

2.4.4.7 接缝施工要求

(1) 水稳层摊铺施工，必须连续作业不中断，如因故中断且超过施工容许延迟时间（一般不超过 2h），应设置横向接缝；每天施工结束时应做横向接缝。接缝面垂直于路基顶面，并与路线中心线垂。从接缝处接续往前摊铺时，要用水泥浆涂刷接缝断面；开始碾压时，压路机先沿接缝横向碾压，由接缝处逐渐推向新铺层，接缝碾压完毕再进行正常碾压。

(2) 水稳层的施工应避免设置纵向干接缝。两台摊铺机梯队摊铺时的纵向搭接缝，碾压时必须跨缝碾压。当需要设置纵向干接缝时，纵缝必须垂直相接，立模施工，严禁斜接；铺筑新混合料前，应在接缝断面上涂刷水泥净浆，碾压时应由接缝处逐渐推向新铺层。上、下层的纵缝应错开 20 cm 以上。

(3) 水稳层的施工应接缝紧密、连接平顺，不得产生明显的接缝离析。上、下层的横向接缝应错开 1 m 以上。用 6 m 直尺检查平整度，应符合 2.4.5.6 (5) 规定。

2.4.4.8 养生及交通管制

(1) 水稳碎石层碾压完成并经压实度检查合格后，应及时采用节水保湿养生膜覆盖养生，压膜用砂袋应统一规范制作，摆放整齐，纵横向间距应不大于 2 米。水稳碎石层养生应全周期覆盖（即在上层施工前，养生膜不得揭开）且养生期不得少于 7d。在整个养生期内，必须始终保持处于湿润状态。加水保湿养生时，洒水车应做成喷头形式，且向上喷洒，使水成雾状自由下落到水稳层表面，禁止用压力水或水流直接洒向水稳层表面。

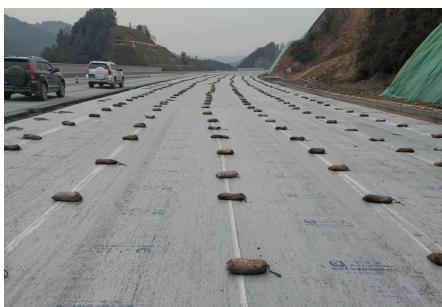


图 2.4-9 节水保湿养生膜覆盖养生（统一制作的压膜砂袋）

(2) 水泥稳定碎石养生期间，应封闭交通，至少 7d 最好 15d 内严禁任何车辆通行。7d~15d 后确实不能封闭时，应采取至少符合下列要求的交通管制措施。

1) 通行的重车，轴重不应超过 13t，行驶速度不应超过 30km/h，且不得急转弯、调头及急刹车。

2) 应在硬路肩划出重车通道并设置指示标志，以避免对已铺行车道表面的损坏。

2.4.5 质量控制与检验

2.4.5.1 水泥稳定级配碎石（底）基层施工过程中的质量控制与检验标准应符合《公路路面基层施工技术细则》（JTG/T F20-2015）第 8 章有关要求。

2.4.5.2 随机取样的钻芯芯样应完整、均匀、致密，上、下之间应联结良好芯样个数应达 70%以上。水泥稳定碎石基层的平整度合格率应不小于 80%。

2.5 透层、封层、粘层与砼桥面防水粘结层

2.5.1 一般规定

2.5.1.1 施工透层、封层、粘层与砼桥面防水粘结层前，下承层表面应坚实、稳定、平整，必须彻底清扫、清洗干净（基层顶面应采用自行式强力清扫机进行全面清扫），并晾晒干燥。同时应采取措防止喷洒时沥青飞溅到路缘石、砼护栏等喷洒区附近的构造物上。监理工程师应对已准备好的工作面进行工序验收检查，在未批准前不得进行喷洒施工。

2.5.1.2 洒布透层、封层、粘层与砼桥面防水粘结层的气温不应低于 10℃，且是稳定而上升的温度。大风或即将下雨天气不得施工。

2.5.1.3 沥青洒布车喷洒不到的部位，应采用人工补洒。

2.5.1.4 透层、封层、粘层、砼桥面防水粘结层施工后，应封闭交通，严禁一切车辆和行人通行，并及时进行上覆层的施工。

2.5.2 透层

2.5.2.1 材料要求

(1) 水泥稳定碎石基层上的透层沥青应采用慢裂型乳化沥青或煤油稀释沥青。透层油的用量为 0.8~1.2L/m²。

(2) 透层用慢裂型乳化沥青技术指标应符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40—2004) 中表 4.3.2 中的相关规定。

(3) 透层用煤油稀释沥青的基质沥青宜采用针入度较大的石油沥青，煤油与沥青的参考掺配比例可按煤油：沥青=40~50：60~50（重量比），以粘度 C_{25,5}=8~15（s）及渗透深度不小于 5mm 来调整掺配比。其主要技术指标要求见表 2.5-1。

表 2.5-1 透层油的主要技术指标要求

项 目		技术要求
道路标准粘度计粘度 C _{25,5} (s)		8~15
闪点 (°C)		≥65
基质	针入度 (25°C,100g,5s) (0.1mm)	60-200 (宜为 100~200)
沥青	延度 (15°C,5cm/min) (cm)	≥80

2.5.2.2 施工要点

(1) 透层沥青应采用智能型沥青洒布车一次喷洒均匀，不应出现花白条。洒布时应注意起、终点以及纵向搭接处的洒布量，原则上不重叠或少重叠，也不应露白。露白处与花白处需用人工补洒。

(2) 煤油稀释沥青透层油的洒布温度宜为 70℃~90℃；乳化沥青透层油宜在常温

下洒布，加温洒布的乳液温度不得超过 60℃。

(3) 待煤油挥发（或水分蒸发）后应尽早施工下封层。

2.5.2.3 质量控制与检验

(1) 透层沥青每批或每 50t 检测一次技术指标。

(2) 透层沥青洒布应均匀，无露白；渗透深度宜不小于 3mm。洒布量检测标准与频率应符合表 2.5-2 的要求。

表 2.5-2 透层沥青洒布检验标准

项 目	规定值或允许偏差	检查频率
透层油用量	±10%	每次三处
(L/m ²)	±5%	每次总量检验

2.5.3 封层

2.5.3.1 材料要求

(1) 高速公路沥青路面下封层宜采用 SBS（或橡胶）改性沥青同步碎石封层。SBS 改性沥青用量一般采用 2kg/m²（橡胶改性沥青一般采用 2.4kg/m²），质量技术指标应满足《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40-2004）中表 4.6.2 I-D 的要求。

(2) 封层用集料宜采用粒径为 13.2~19mm（最好采用 16~19mm 的）的石灰岩单粒径碎石，应石质坚硬、洁净、干燥、无风化、无杂质，具有良好的颗粒形状，其技术要求应满足《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40-2004）中表 4.8.2 的要求。使用前应过筛处理，筛除超粒径和逊粒径料部分。当集料表面粘有过多粉尘不易筛除时，应水洗晾干或采用沥青拌合楼烘干、除尘、筛分，且宜加入 0.3%~0.5%沥青进行预拌处理。碎石撒布量为满铺面积的 60~70%（约 12kg/m²）。

2.5.3.2 施工要点

(1) 下封层施工应采用智能型同步碎石洒布车一次性均匀洒（撒）布。在正式施工前应进行洒（撒）布试验，以检查智能型同步碎石洒布车的性能状况和正确的行进档

位、速度，保证施工时沥青洒布量和碎石撒布量的准确性和均匀性。

(2) 在工作面的两端应用土工布或油毛毡等将起点和终点边界铺垫整齐，以便封层车起步和停车时不正常状态下喷洒出的沥青与撒布的碎石落在预先铺垫好的土工布或油毛毡上，以防重叠、漏洒（撒）和打花，并能保持整个现场的整洁。另外，洒（撒）布时还应注意纵向搭接处的洒（撒）布，原则上不应重叠，也不应漏洒。漏洒处与花白处需用人工修补。

(3) 下封层施工时，应安排辅助民工将抛撒在撒布范围之外的零散碎石和重叠的碎石扫除；并对碎石撒布量严重不足的部位进行人工补撒，特别是可能被料车和摊铺机履带碾压到的部位。



图 2.5.3 同步碎石封层施工

(4) SBS 改性沥青的洒布温度不得低于 170°C 。当所喷洒的沥青温度冷却至 $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ 时应采用轻型胶轮压路机稳压 1~2 遍。

2.5.3.3 质量控制与检验

(1) 每批或每 100tSBS 改性沥青，取样检验所要求的技术指标。

(2) 每批集料进场，均应进行取样检验所要求的技术指标。

(3) SBS 改性沥青封层的改性沥青洒布应均匀，无漏洒和油层过厚现象。SBS 改性沥青封层的单粒径碎石撒布应均匀，不重不漏。改性沥青和碎石的用量应采用单点检测和总量检验双重控制，检验标准与频率见表 2.5-3。

表 2.5-3 改性沥青封层的检验标准

项 目		允许偏差	检查频率
改性 沥青 封层	改性沥青用量 (%)	±10	每次三处
		±5	总量检验
	单粒径碎石用量 (%)	±5	每次三处

2.5.4 粘层

2.5.4.1 材料要求

(1) 高速公路沥青路面粘层应采用快裂的洒布型阳离子改性乳化沥青 (PCR)，其基质沥青可用 A 级 70 号道路石油沥青或与面层所用沥青的种类、标号相同。改性剂应为 SBS 或 SBR。质量技术指标应满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004) 表 4.7.1-2 中对 PCR 的要求。

(2) 沥青用量为 $0.2\sim 0.3\text{kg}/\text{m}^2$ (指按乳液浓度折算为纯沥青的用量)，按 50% 浓度计算乳液用量为 $0.4\sim 0.6\text{kg}/\text{m}^2$ 。当粘层油上铺筑排水路面结构层时，乳液用量宜增加到 $0.6\sim 0.8\text{kg}/\text{m}^2$ (必要时可分两次喷洒)。

2.5.4.2 施工要点

(1) 各沥青结构层之间均应洒布粘层沥青，以确保层间结合良好。

(2) 粘层乳化沥青应采用智能型沥青洒布车洒布。喷洒应均匀，注意起步或终止和纵向搭接处的洒布量。不得有洒花漏空或呈条状，也不得有堆积。对于局部喷洒量过多的部位应刮除，对于漏洒的应人工补洒。在与新铺沥青路面结构层接触的路缘石、砼护栏、集水井等结构物的侧面，应人工涂刷粘层沥青，涂刷应均匀，数量要充足。

(3) 喷洒粘层沥青后，待乳化沥青破乳、水分蒸发完后即应紧接着铺筑上一层沥青混合料。黏层应在上覆层施工当天 (高温) 或前一天 (低温季节) 进行，不宜过早施工，一次洒布长度不宜过长，能满足上覆层施工需要即可。

2.5.4.3 质量控制与检验

(1) 粘层用的改性乳化沥青，每批或每 100t 取样检验其质量技术指标。

(2) 粘层沥青洒布应均匀，无漏洒和油层过厚现象。洒布量检验标准与频率见表 2.5-4（偏差值指按 50%浓度考虑的乳液量）。

表 2.5-4 粘层检验标准

项 目	允许偏差	检查频率
粘层油用量 (kg/m ²)	±0.1	每次三处
	±5%	总量检验

2.5.5 桥面防水粘结层

2.5.5.1 材料要求

(1) 在桥面砼铺装层（包括砼搭板、砼过渡板）上铺筑沥青混合料结构层前，应铺设防水粘结层。防水粘结层可采用“1.5kg/m²的 SBS 改性沥青+沥青预拌碎石”，并用沥青同步碎石封层车施工。

(2) SBS 改性沥青的质量技术指标应满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004) 中表 4.6.2 中 I-D 的要求。

(3) 碎石应采用粒径为 4.75~9.5mm 的石灰岩单粒径碎石，应石质坚硬、洁净、干燥、无风化、无杂质，具有良好的颗粒形状，其技术要求应满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004) 中表 4.8.2 的要求。使用前应采用沥青拌合楼烘干、除尘、筛分，且加入 0.3%~0.5% 沥青进行预拌处理。预拌碎石撒布量为满铺面积的 70~80% (约 8kg/m²)。

2.5.5.2 施工要点

(1) 在施工桥面防水粘结层之前，应对经交验合格的桥面砼铺装层（包括搭板与过渡板）进行抛丸或精铣刨处理，清除表面浮浆，使之成为平整、粗糙界面。精铣刨深度应按 3~5mm 控制，抛丸后表面构造深度应不小于 0.45mm。

(2) 如桥面砼铺装层存在较多的微裂缝，在桥面防水粘结层之前，可洒布适量改性乳化沥青 PCR。

(3) 其它施工要点同封层施工，按照 2.5.3.2 条执行。

2.5.5.3 质量控制与检验

与封层相同，按照 2.5.3.3 条执行。

2.6 热拌沥青混合料面层

2.6.1 主要原材料技术要求

2.6.1.1 沥青

(1) 用于下面层沥青混合料的粘结料应采用适合 1-4 区的 A 级 50 号或 A 级 70 号道路石油沥青。沥青采购时，应要求沥青厂家按 40~55 控制 50 号沥青针入度，按 60~70 控制 70 号沥青针入度。

(2) 中、上面层混合料的粘结料应采用以适合 1-4 区的 A 级 70 号道路石油沥青为基质沥青的 I-D 级 SBS 改性沥青，其质量技术指标应符合表 2.6-1 的要求。

表 2.6-1 SBS 改性沥青技术要求

试验项目		技术要求
针入度 (25℃, 100g, 5s)	(0.1mm)	30~55
针入度指数 PI	最小[1]	0
延度 5℃, 5cm/min (cm)	最小	20
软化点 TR&B (℃)	最小	75
运动粘度 135℃ (Pa·s)	最大[2]	3
闪点 (℃)	最小	230
溶解度 (%)	最小	99
离析, 软化点差 (℃)	最大	2.5
弹性恢复 25℃ (%)	最小	85
TFOT 后残留物	质量变化 (%)	最大 ±1.0
	针入度比 25℃ (%)	最小 65
	延度 5℃ (cm)	最小 15

2.6.1.2 粗集料

(1) 中、下面层用粗集料应采用具有足够强度和耐磨耗性的石灰石碎石，上面层

粗集料应采用质地坚硬、表面粗糙、耐磨、具有良好嵌挤能力的玄武岩、安山岩、辉绿岩等硬质石料破碎的碎石。碎石应洁净、干燥、无风化、无杂质，其颗粒形状应具有多棱角，接近立方体。粗集料的主要技术指标应满足表 2.6-2 的要求。

(2) 为确保粗集料的颗粒形状符合要求，沥青面层用粗集料在细破作业时，不得采用鄂式破碎机加工，必须采用反击式或锤击式碎石机破碎或圆锥碎石机破碎，如仍不能满足颗粒形状要求时，应增加整形设备进行整形处理。

表 2.6-2 沥青面层粗集料质量指标要求

指 标		技术要求	
		中、下面层	上面层
压碎值	不大于 (%)	26	20
洛杉矶磨耗损失	不大于 (%)	28	22
石料磨光值	不小于 (BPN)	/	42
表观相对密度	不小于	2.6	
吸水率	不大于 (%)	2.0	
对沥青的粘附性	不低于 (级)	5	
坚固性	不大于 (%)	12	
针片状颗粒含量	混合料 不大于 (%)	15	
	其中粒径大于 9.5mm 不大于 (%)	12	
	其中粒径 4.75~9.5mm 不大于 (%)	18	
小于 0.075mm 颗粒含量 (水洗法) 不大于 (%)		1	
软石含量	不大于 (%)	1	
杂石含量	不大于 (%)	1	

注：在没有进行任何处理前，粗集料与沥青的粘附性应不低于 4 级，但达不到 5 级的石料，必须采取掺加水泥以代替等量矿粉的抗剥离措施，用量不超过矿料总量的 3%；对于上面层，同时，还应掺抗剥落剂，掺量一般为沥青的 0.3%。

(3) 沥青路面上、中、下面层 (含 ATB) 用粗集料宜分别按以下规格分档生产备料：

- 1) 上面层：2.36~4.75mm、4.75~9.5mm、9.5~13.2 (或 16) mm。
- 2) 中面层：2.36~4.75mm、4.75~9.5mm、9.5~19mm。
- 3) 下面层：2.36~4.75mm、4.75~9.5mm、9.5~19mm、19~26.5mm。

2.6.1.3 细集料

(1) 中、下面层(含 ATB)用细集料宜采用由石灰石破碎的机制砂,也可采用质量良好的石灰石石屑,但应具有较好的颗粒形状。上面层用细集料必须采用由制砂机专门生产的优质石灰岩机制砂。

(2) 细集料应干净、坚硬、干燥、无风化、无杂质和其他有害物质,并有适当的颗粒级配。其主要质量技术指标要求见表 2.6-3。级配应满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)表 4.9.4 中 S16 要求。

表 2.6-3 细集料的主要质量技术要求

指 标	技术要求
母岩强度	不小于(MPa) 80
表观相对密度	不小于 2.50
坚固性(>0.3mm 部分)	不大于(%) 12
砂当量	不小于(%) 60
亚甲蓝值	不大于(g/kg) 2.5
棱角性	不小于(s) 30

2.6.1.4 填料

(1) 填料必须采用石灰岩经磨细得到的新鲜矿粉,不应含泥土杂质,要求干燥、洁净、不结团,能自由地从矿粉仓流出。不得采用 0~2.36mm 或 0~4.75mm 石屑研磨,应采用 4.75mm 以上石灰石碎石研磨。其技术指标必须符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)表 4.10.1 的要求。

(2) 为提高沥青混合料的水稳性,可用水泥作为填料代替等量矿粉,水泥用量不宜超过集料总量的 3%。对于上面层,必须添加 2%~3%水泥代替等量矿粉。

2.6.1.5 抗剥落剂

当需要掺加抗剥落剂以提高沥青混合料的水稳性时,应在沥青中添加具有耐热、耐水和长期效果的抗剥落剂,抗剥落剂的选择和掺量由试验确定,掺量一般为沥青的 0.3%。

2.6.2 主要施工设备要求

2.6.2.1 承包单位必须配备齐全的施工机械和配件，重要机械宜配备备用设备，并预备足够的易损件。

2.6.2.2 沥青拌和楼

沥青混合料拌和楼必须采用 4000 型以上的间歇式拌和楼，额定拌和能力不小于 320t/h，并满足以下要求：

(1) 冷料斗不少于 5 个，热料仓不少于 5 个，配备电子重量传感器和红外线温度传感器能准确控制材料用量和温度，具有沥青二次计量功能，配有二次除尘设备与一个 150 吨以上能保温的成品储料仓。

(2) 必须配有 2 套粉料加入系统。为防止粉料出口起拱堵塞，应在粉料贮罐底部安装附着式振动器。

(3) 能实时逐盘打印集料和沥青的加热温度、混合料的拌和温度和每锅混合料所用集料、矿粉（水泥）、沥青及混合料的质量，停机时能自动汇总一个台班所用各种原材料的质量等。

(4) 拌和楼热料仓振动筛宜参照表 2.6-4 的规格配置。

表 2.6-4 拌和机热料仓振动筛配置要求

沥青混合料类型	振动筛的配置（方孔筛，mm）				
下面层 AC-25C（ATB-25）	30	22（23）	11	6	3~4
中面层 AC-20C	/	22（23）	11	6	3~4
上面层 AC-13C、SMA-13	/	16(17)	11	6	3~4

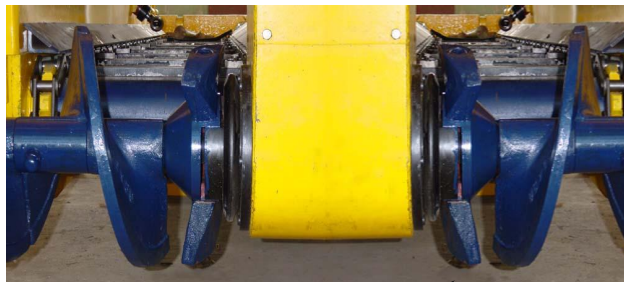
(5) 拌和楼应配备不小于 300t 的具有保温和加热功能的沥青储罐。在储罐两端各 1/3 处分别安装一个搅拌器。在沥青卸油池处应加装一个搅拌装置，以便抗剥落剂与沥青的混溶。

2.6.2.3 摊铺机：每一主线摊铺工作面宜优先配备 1 台初始密实度高、抗离析、大宽度、大功率摊铺机（单机功率 $\geq 260\text{kW}$ ）（也可采用两台同型号、同品牌、新旧程度基

本一致且性能不低于 ABG8820 的履带式摊铺机进行双机联铺)。另外,每标段应加配一台性能不低于福格勒 1800-2 伸缩摊铺机,用于互通、服务区、停车场等主线加宽部位的同步摊铺,避免冷接缝。每台摊铺机配置一套非接触式平衡梁。为防止离析,宜在料槽的前挡板下部加设柔性挡板,在螺旋布料器上加装反向叶片。



前挡板



反向叶片

图 2.6-1 加设柔性挡板

图 2.6-2 加设反向叶片

2.6.2.4 压路机:每一主线面层工作面:自重 12t 以上双驱双振双钢轮压路机 3~4 台,30t 以上带自动喷淋防粘剂装置的轮胎压路机 3~4 台(对于 SMA 与 OGFC 沥青层:自重 12t 以上双驱双振双钢轮压路机于 6~8 台,自重 30t 以上带自动喷淋防粘剂装置的轮胎压路机 1 台。);1~2t 的小型振动压路机或振动夯板:1~2 台。



图 2.6-3 带自动喷淋防粘剂的轮胎压路机

2.6.2.5 运输车辆:根据运距和拌和机生产能力,配备数量足够的载重量不小于 15T 的带自动蓬盖的自卸汽车,总运力不小于拌和机产量。应有紧密、清洁、光滑的金属底板和侧板,车厢四角应密封坚固。每台运料车还应加配一床保温用的棉被。

2.6.2.6 其它设备:3m³以上装载机不少于 3 台;6000L 以上洒水车 2 台;路面强力

清扫车 1 台等等。

2.6.3 沥青混合料配合比设计

2.6.3.1 应严格按照规范要求的“目标配合比设计”、“生产配合比设计”和“生产配合比验证”三阶段方法来确定实际使用的配合比，并应获得监理工程师批准。经监理批准的沥青混合料配合比不得随意更改，承包人应采取措施保证在整个施工过程中原材料质量的稳定和生产工艺的一致性，从而确保沥青混合料生产质量的稳定。

2.6.3.2 高速公路常用沥青混合料的工程设计级配范围宜符合表 2.6-5 要求。

表 2.6-5 常用沥青面层混合料矿料级配范围

筛孔	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
ATB-25	100	90-100	70-84	57-71	48-62	36-48	24-34	15-25	10-19	7-14	5-11	3-8	2-6
AC-25C	100	95-100	72-84	62-74	52-64	40-52	27-37	17-27	10-20	8-14	5-11	4-9	3-6
AC-20C		100	90-100	74-86	62-74	46-58	29-39	19-29	13-22	9-16	6-12	4-9	3-6
SMA-13				100	90-100	50-72	20-30	16-24	14-21	12-18	10-16	9-14	8-12
AC-13C				100	90-100	60-74	34-46	26-38	19-31	13-25	9-19	6-14	4-8

2.6.3.3 配合比设计的沥青混合料技术指标应满足下列要求：

(1) AC 类与 ATB 的设计孔隙率均应为 3~5；SMA 的设计孔隙率为 3~4.5，料间隙率 VMA 应不小于 16.5%（马歇尔试件的击实次数按双面 75 次）；

(2) 普通石油沥青的 AC-20C、AC-25C 与 ATB-25 的动稳定度分别不小于 1500、2000 与 2500，SBS 改性沥青混合料的动稳定度不小于 5000；

(3) 其它技术指标应满足现行沥青路面施工技术规范要求。

2.6.4 施工要点

2.6.4.1 一般要求

(1) 沥青混合料一般不得在气温低于 10℃，以及下雨、路面潮湿、寒冷季节遇大风降温的情况下施工，当因工期原因需要在冬季气温低于 10℃条件下进行沥青路面施工时，必须采用有效的低温施工措施。

(2) 对各种施工机具应做好开工前的全面检查、保养与调试，对拌和楼的冷料仓流量进行标定、对各种温度传感器与称量传感器进行检定，并应得到监理的认可。

(3) 摊铺前，下承层表面必须干净、干燥。各沥青结构层应连续施工并联结成一个整体，推行“零污染”施工，路面施工承包人和监理单位应协调好路基、绿化及交通工程等施工承包人交叉作业的事项，避免对沥青结构层造成污染。

2.6.4.2 拌和

(1) 每天开工前应检测含水量，以便调节冷料进料速度，并确定集料加热温度，集料含水量超过 3%时不得使用。

(2) 不得随意更改经试验路总结的标准配合比。

(3) 不得使用回收粉替代矿粉。

(4) 拌和过程中，应尽量使冷料流量、热料仓料位稳定，以确保混合料温度、级配、质量的稳定。

(5) 当配料过程中出现等料现象时，严禁采用手工配料。

(6) 成品储料仓中混合料贮存过程中降温不得大于 10℃，且不能有沥青滴漏。普通沥青混合料的贮存时间不宜超过 10 小时，改性沥青的贮存时间不宜超过 6 小时。OGFC 混合料宜随拌随用。

(7) 沥青混合料的拌和除应满足上述要求外，还应符合现行沥青路面施工技术规范的有关要求。

2.6.4.3 运输

(1) 施工前应对全体驾驶员进行培训，加强对汽车的保养，避免运料途中汽车抛

锚，导致混合料冷却受损。装料时汽车应按照前、后、中的顺序多次来回挪动，或分两层装料，避免混合料离析。在连续摊铺过程中，运料车应在摊铺机前 10~30cm 处停步，不得撞击摊铺机；卸料过程中运料车应挂空档，由摊铺机推动前进。

(2) 混合料装车后和运至施工地点时，均应测试温度，发现温度异常的或有花白现象的，应予废弃。

(3) 运料车辆应行驶在平整坚实的道路，减轻车辆颠簸，对行驶路线的坑槽应及时维修，以免混合料离析；运料车应加设保温性好的篷盖，在卸料过程中继续覆盖直到卸料结束时移开篷盖，以便保温和避免污染环境。

(4) 密切掌握沥青混合料的出厂温度和运到现场温度；应在运料卡车侧面中部设专用检测孔，孔口距车箱底面约 300mm；温度检测应采用数字显示插入式热电偶温度计，插入深度要大于 150mm。

(5) 运料车载重量宜达到 15 吨以上，应有紧密、清洁、光滑的金属底板，底板应涂一薄层隔离剂或防粘剂，以防止混合料粘到底板上，但不得有多余残液积留在车厢底部。每次使用前后必须清扫干净。

(6) 运料车必须确保性能正常，不得超载运输，在已施工路面上行驶时不得急刹车、急转弯掉头，以免造成已铺路面层的损坏。

2.6.4.4 摊铺

(1) 下面层应采用导线控制高程的方式进行摊铺，挂线要求与垫层施工要求相同（参见 2.3.5.4 条）；中、上面摊铺，在下承层标高、平整度均满足要求的情况下，可采用非接触式平衡梁控制摊铺厚度，否则，也应挂线摊铺。

(2) 沥青混合料采用两台摊铺机成梯队摊铺时，两台摊铺机摊铺的混合料应具有相同的初始密实度与横坡度。两台摊铺前后位置应尽量靠近，宜为 5~10m；两幅之间应有 5~10cm 的搭接宽度，以确保纵向接缝质量。接缝位置必须避开车道轮迹带，上面层的纵向接缝应位于超车道和行车道之间的路面标线处，中面层的纵向接缝外移 15~

20cm，下面层的纵向接缝再外移 15~20cm，使上下层的纵向接缝错开。收工时，两台摊铺机必须摊铺至同一横断面。

(3) 对于互通、服务区、停车场等主线加宽部位，应增加一台伸缩式摊铺机同时进行摊铺，避免产生纵向冷接缝。

(4) 为保证摊铺连续性，摊铺机前方至少应有 5 辆运料车等候卸料，方可开始摊铺作业，摊铺首车料采用到场等候的温度较高那车料开始摊铺。摊铺过程中摊铺机前方始终应有运料车等候卸料。

(5) 摊铺机在安装、操作时应采取防止混合料离析措施。如降低布料器前挡板的离地高度或加装橡胶挡板，调节好螺旋布料器高度与料槽中料位高度，严禁空仓收斗与空仓，尽量少收斗（下面不宜收斗），并用人工配合铲动受料斗边角粗料堆，收斗应在运料车离去、料斗内尚存较多混合料时进行，收斗后应立即连接下一台运料车向摊铺机内喂料，以尽量避免产生粗细集料离析与中途停机待料现象。发现有离析现象时，应设专人及时处理，特别是局部粗集料窝应该铲除，并用新拌混合料填补。

(6) 摊铺机必须缓慢、匀速、连续不间断地摊铺，不得随意变换速度或中途停顿，以提高平整度，减少混合料离析。摊铺速度应与拌和机产量相协调，普通沥青混合料宜按 2m/min~4m/min，改性沥青混料及 SMA 混合料的摊铺速度宜放慢至 1m/min~3m/min。在铺筑过程中，摊铺机螺旋送料器应保持匀速旋转，并保持有不少于送料器高度 2/3 的混合料，保证在摊铺机全宽度断面上不发生离析。

(7) 沥青混合料的摊铺除满足上述要求外，还应符合现行沥青路面施工技术规范的有关其它有关要求。

2.6.4.5 碾压

(1) 沥青混合料摊铺后，压路机必须立即在尽可能高的温度下紧跟碾压，不得等候，按试验路总结确定的碾压工艺进行及时压实。一般不需要对初压与复压进行分区分段，而应紧跟摊铺机进行碾压，压路机每次应由两端折回的位置成阶梯状地随摊铺机向前推进，使折回处不在同一横断面上；在摊铺机连续摊铺的过程中，压路机不得随意停顿。如压实后已无明显轮迹时可免去终压。需要终压时，采用双钢轮压路机静压不少于 2 遍。

(2) AC类与ATB沥青砼应采用双钢轮压路机与轮胎压路机进行组合碾压。压路机的数量应根据拌和机产量决定，但不得少于最低配置要求，一般采用2台双钢轮压路机和2台（4000型拌和楼供料）或4台（4500型以上拌和楼供料）胶轮压路机组合紧跟摊铺机进行碾压，1台双钢轮压路机终压收光。SMA路面一般采用4台（4000型拌和楼供料）或6台（4500型以上拌和楼供料）双钢轮压路机紧跟摊铺机进行振动碾压，1台双钢轮压路机终压收光；低温施工时，必要时可增加胶轮压路机在离摊铺机相对较远路表温度小于90℃的范围内进行补充碾压1~2遍，以增加密水性。双钢轮压路机振动碾压时应遵循“紧跟、慢压、高频、低幅”原则。

(3) 压路机的碾压段长度（即每次往返的距离）应保持基本相同，以20~40m为宜。气温高，风速小时，碾压段宜长；气温低，风速大时宜短。

(4) 压路机碾压过程中有沥青混合料粘轮现象时，应立即清除。为防止沥青混合料粘轮，可向碾压轮喷淋雾状水（水中可添加少量表面活性剂），但必须严格控制喷水量且必须成雾状，以钢轮始终湿润无粘轮现象且在油面上不留有水迹为宜。对于胶轮压路机，开始碾压阶段，可喷淋或涂刷少量隔离剂或防粘结剂。

(5) 必须加强边部压实，增加两边的压实遍数，特别是桥面横坡较高一侧的边部压实，应以不渗水为原则。对于桥梁边部、拐弯死角、尖角等大型压路机碾压不到的部位，应采用小型压路机或振动夯板进行压实。

(6) 碾压过程中，应时刻采用6米直尺进行纵、横向平整度检测，发现有明显不平整的部位，应及时采取措施进行处理。

(7) 沥青混合料碾压除满足上述要求外，还应符合现行沥青路面施工技术规范的其他有关要求。



图 2.6-4 钢轮与胶轮压路机分组组合碾压



图 2.6-5 压路机紧跟摊铺机碾压

2.6.5 接缝施工

2.6.5.1 沥青路面接缝施工必须做到接缝紧密粘结，充分压实，连接平顺，不得产生明显的接缝离析。接缝施工应采用 6m 直尺检查平整度，确保平整度符合要求。

2.6.5.2 纵向接缝不应采用冷接缝，且应避免轮迹带，表面层纵向接缝应位于标线中间，上、下层的纵向接缝应错开 15~20cm（热接缝）或 30~40cm（因特殊原因产生的冷接缝）。采用梯队摊铺作业的摊铺机，收工时必须摊铺至同一横断面，以避免产生纵向冷接缝，上、下层的横向接缝应错开 1m 以上。

2.6.5.3 沥青混合料接缝施工除满足上述要求外，还应符合现行沥青路面施工技术规范的其他有关要求。

2.6.6 开放交通及其它

2.6.6.1 任一沥青混合料结构层应待摊铺层完全自然冷却，混合料表面温度低于 50℃后，方可开放交通，且 12h 内（SMA、OGFC 路面 3 天内）应限制重车通行，以免破坏路面。

2.6.6.2 业主和监理单位要督促绿化、机电、交通安全设施等单位合理安排施工，尽可能避免与路面，特别是沥青面层交叉施工。无可避免时，必须采取防污染措施。



图 2.6-7 土路肩和护栏施工时的防污染措施



图 2.6-8 采用彩条布覆盖中分带防污染

2.6.6.3 加强对路面取芯工作的管理：

(1) 取芯应避开行车道轮迹带，表面层取芯宜在标线位置或硬路肩内取芯，防治产生路面坑槽病害；

(2) 路面取芯时，应在钻头周围铺垫一层海绵以防污染；取芯结束后，应将取芯时流散的浆液冲洗干净；

(3) 应及时对取芯孔进行回填，回填材料宜采用同一面层级配的沥青混合料，回填时应对钻孔清理干净，并在取芯孔的孔壁涂刷改性乳化沥青，采用击实锤对回填材料进行分层夯实至不渗水，回填材料的顶面应与路表齐平。

2.6.6.4 对已完成的沥青路面，承包人应经常进行巡查，阻止轮胎带泥的车辆及履带车辆在沥青层面上行驶。

2.6.7 质量控制与检验

2.6.7.1 完工后的沥青面层应线形顺畅、平整密实、不积水，不应有明显的轮迹、裂缝、推挤、油汀、油包等缺陷，且无明显离析，接缝处应紧密、平顺、烫缝不枯焦；面层与路缘石、桥梁护栏及其它构筑物衔接应紧密。

2.6.7.2 沥青混合料生产过程中，各种进场原材料的质量必须按表 2.6-6 规定的检查项目与频度进行抽样试验，其质量应符合本指南与有关规范、标准的规定。

表 2.6-6 施工过程中沥青混合料材料质量检查的项目及要求

材料	检查项目	频率
粗集料	筛分、针片状颗粒含量、小于 0.075mm 颗粒含量（水洗法）	随时（但至少每 2000 吨要有 1 次）
	压碎值、磨光值（仅上面层）、粘附性、洛杉矶磨耗值、坚固性、表观相对密度、吸水率、软石含量、杂石含量	必要时，但至少一次
细集料	颗粒组成（筛分）、砂当量	随时（但至少每 2000 吨要有 1 次）
	坚固性、表观相对密度	必要时，但至少一次
矿粉	表观相对密度、亲水系数、含水量	必要时，但至少一次
	粒度范围	随时（但至少每 500 吨要有 1 次）
石油沥青	针入度、软化点、延度（10℃、15℃）	每天 1 次
	全套指标	每 2000t 一次
SBS 改性沥青	针入度、软化点、低温延度（5℃）	每车 1 次
	离析试验（对成品改性沥青）	每周 1 次
	全套指标	每 1000t 一次
纤维	全套指标	必要时（至少一次）

2.6.7.3 平整度(标准差)应满足下列要求:下面层(包括 ATB)1.4mm; 中面层 1.1mm; 上面层 0.8mm。施工过程中,用 6m 直尺随时检测路面平整度(包括接缝)应满足下列要求:中、下面层:5mm; 上面层:3mm。

2.6.7.4 密实结构的沥青层渗水系数应满足下列要求:下面层(包括 ATB)120mm/min; 中面层 100mm/min; 上面层 80mm/min。为提高沥青路面抗水损害性能,下面层渗水系数合格率应不小于 90%,中、上面层渗水系数合格率应达 100%,渗水不合格部位,应采取经监理工程师同意的方案进行处理。

2.6.7.5 沥青路面施工过程中的质量控制与验收标准除要满足上述要求外,应符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG/T F40-2004)第 11 章有关要求。

2.7 水泥混凝土面层

2.7.1 主要原材料技术要求

2.7.1.1 水泥

(1) 高速公路水泥混凝土路面应使用大厂旋窑生产的散装道路硅酸盐水泥、硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥，一般情况下不应使用早强或早凝水泥。强强度等级不低于42.5。

(2) 运至工地的水泥必须附该批水泥的质量检验单，当发现送达的水泥温度超过65℃不得使用，应作退货处理；

(3) 应使用水泥储罐储存散装水泥，当水泥储存时间过长时，应通过取样检测储存水泥的各项性质，根据试验结果确认其强度满足技术要求时方可继续使用。

(4) 在同一路段上铺筑水泥路面时，不宜使用2个及其以上不同牌号的水泥

2.7.1.2 粗、细集料

(1) 粗集料必须采用洁净、耐久、质地坚硬的石灰岩碎石，不得含有泥块。粗集料级别不应低于Ⅱ级，压碎值不得大于25%，其它物理力学指标必须符合现行“水泥路面施工技术细则”的要求。

(2) 粗集料不得使用统料，应按4.75~9.5mm、9.5~19mm和19~26.5mm进行三级备料。其级配应符合表2.7-1的要求。

表 2.7-1 砼路面用碎石级配范围

筛孔 (mm)	31.5	26.5	19	16.0	9.5	4.75	2.36
通过百分率 (%)	100	95~100	60~75	30~50	10~30	0~10	0~5

(3) 细集料应采用质地坚硬、耐久、洁净的天然砂，不应低于Ⅱ级，优先采用河砂，细度模数宜为2.5~3.5。

2.7.1.3 外掺材料

(1) 砼路面应谨用粉煤灰；也不宜使用硅灰和磨细矿渣等外加材料。

(2) 使用的减水剂、缓凝剂、抗渗剂、引气剂等外加剂，必须保证供应材料性能的稳定；用其进行的混凝土配合比设计结果经监理工程师批准后，不得中途更换供应厂商和品种型号，以免引起混凝土质量的波动。

2.7.1.4 钢筋

(1) 砼路面所用钢筋应顺直，不得有裂纹、断伤、刻痕、表面油污和锈蚀。

(2) 传力杆及拉杆钢筋加工时应采用电锯锯断，不得挤压切断；断口应垂直、光滑，用砂轮打磨掉毛刺，并加工成 2~3mm 倒圆角。

2.7.1.5 接缝材料

(1) 胀缝接缝板：胀缝板宜选用能适应砼面板膨胀收缩，施工时不易变形，复原率高，耐久性良好的弹性塑胶板或预制橡胶嵌缝条。

(2) 填缝料应具有与砼板缝壁粘结牢固、回弹性好、不渗水、高温时不挤出、不流淌、抗嵌入能力强、耐老化、负温拉伸量大、低温时不脆裂、耐久性好等性能。

(3) 背衬垫条：使用常温和加热施工式灌注型填缝材料填缝时，应使用背衬垫条控制形状系数。

2.7.1.6 其它材料

(1) 用于胀缝传力杆端部的套筒应采用塑料或塑胶管，厚度应为 1.0-2.0mm，要求端部密封不透水，内径较传力杆直径大 1.0mm，套帽长度 27cm，顶部空隙长度为 3cm。

(2) 养生剂宜选用一级品，最小喷洒剂量不少于 0.3kg/m²，不得使用易被雨水冲刷掉的和对混凝土强度有影响的养生剂。采用新型混凝土节水保湿养护膜复盖，则可以不必要喷洒养生剂。

2.7.2 主要施工设备要求

2.7.2.1 搅拌设备：水泥砼路面施工必须配备满足施工速度及工期要求的具有足够生产容量的自动重量计量的双卧轴或行星立轴强制式的自动搅拌楼，且要求具有二级以上计算机控制加水量装置；至少应配有 4 个砂、石料供料仓，供料仓之间的隔板应采用钢板焊接加高至少 50cm，以防串料。

2.7.2.2 摊铺设备：目前高速公路一般只有收费广场、隧道复合式路面的下面层等

局部有砼路面，数量一般不大，采用 5001 型三辊轴机组施工即可。

2.7.3 路面砼配合比设计

2.7.3.1 高速公路路面混凝土的配合比设计，应根据施工条件的不同（气温、施工机械、坍落度变化等）进行多组配合比设计，以探求能适应不同施工条件下的混凝土配合比。

2.7.3.2 高速公路路面混凝土的配合比设计时，最佳水泥应按“弯拉强度”、“工作性”、“耐久性”、“经济性”四项技术经济要求选定，即在满足“弯拉强度”、“工作性”、“耐久性”三项技术要求的前提下，以单位重量水泥获得的弯拉强度最大为经济性评价标准；砼路面最大水泥用量不宜大于 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 。

2.7.3.3 在进行配合比设计时，应针对减水剂品种和施工时的气温条件，测试混凝土坍落度随时间延长的损失变化规律，以便指导路面混凝土的摊铺施工。

2.7.3.4 应加入适量引气剂；引气剂与减水剂或其它外加剂复配在同一水溶液中时，应注意它们的可共溶性，防止外加剂溶液发生絮凝、沉淀现象；如产生絮凝现象，应分别稀释并分别加入搅拌机。有沉淀的液体或粉末外加剂，应每 1d 清除一次稀释池中的沉淀物。

2.7.4 施工要点

2.7.4.1 一般要求

(1) 施工前应对各种施工机具应进行全面检查、检修、保养与调试，确保处于良好工作状态，搅拌机楼必须通过法定计量部门的标定，并应得到监理工程师的认可。

(2) 砼路面板摊铺施工应在 $10\sim 30^\circ\text{C}$ 气温的阴、晴天气进行；雨天不得施工；当气温低于 5°C 或高于 35°C ，不得进行施工；气温在 $5\sim 10^\circ\text{C}$ 时施工，应采取提高养生温度的措施；气温在 $30\sim 35^\circ\text{C}$ 时施工应采取降温拌制混凝土的措施。

2.7.4.2 水泥混凝土的拌制和运输

(1) 搅拌楼配料计量误差不得超过表 2.7-2 的规定。施工中应每 15 天校验一次搅拌楼计量精度。不得使用手动配料生产。严禁使用沥水的砂石料拌和混凝土。

表 2.7-2 搅拌楼的混凝土拌和计量的允许误差 (%)

材料名称	水泥	掺和料	砂	粗集料	水	外加剂
每盘	±1	±1	±2	±2	±1	±2
累计每车	±1	±1	±2	±2	±1	±1

(2) 应根据拌合物的粘聚性、均匀性及强度稳定性，经试拌确定最短拌和时间，保证混凝土拌合料的均匀性。一般情况下，行星立轴和双卧轴式搅拌机总拌和时间为 60-90s，最短纯拌和时间不宜短于 30s。最长总拌和时间不宜超过高限值的 2 倍。

(3) 当混合料掺加外加剂时，应以（稀释）溶液加入搅拌锅，其稀释用水和原液中的水量，应从总加水量中扣除。外加剂稀释池中的沉淀物，应每天清除一次。纯拌和时间宜比不掺外加剂的混凝土延长 5-10s。

(4) 承包人应保证进入拌和场粗、细集料的洁净要求；粗集料不得有超粒径颗粒；含泥量超标的粗集料应采取清洗措施；含泥量超标的细集料应清除场外。

(5) 一次拌和数量不应大于其额定容量的 90%；掌握充足的搅拌时间。

(6) 砼的运输宜采用砼灌车。采用翻斗汽车运料时，车箱应密缝不漏浆，并加设篷盖每装 1 盘料应挪动一下车位，以防离析。砼灌车及翻斗车车箱应注意清洗干净，不得存留结硬的混凝土和污染装运的混凝土。

(7) 在某一路段铺筑施工的混凝土，应考虑运输时间长短选择合适的混凝土配合比，由于运输时间较长而导致坍落度损失严重的混凝土应予以废弃。

2.7.4.3 砼摊铺

(1) 路面水泥混凝土摊铺施工之前，应将下承层清扫干净，并安装好模板。

(2) 混凝土路面开始摊铺时，停留待卸的运料车所载混凝土数量应至少超过连续摊铺 20m，摊铺机方可起步作业。

(3) 混凝土路面板块划分的注意事项：

1) 板块划分除应按设计的尺寸要求之外, 还应将纵向施工缝与车道分划线或车道与硬路肩的分划线边缘重合。

2) 当砼路面板紧靠路侧“新泽西”型式的防撞墙时, 应采取刷沥青等措施使路面混凝土与防撞墙砼隔离, 或将砼路面板横向缩缝与防撞墙的分节缝处对齐

3) 匝道及变宽路面板块的划分: 匝道路面纵缝应避免轮迹位置; 在变宽路面的边宽起点处不宜切纵缝, 须在离开起点 5~10m 处开始切纵缝; 弯道纵缝应与路线中心线平行, 小半径弯道的纵缝可由小折线组成, 但折线接头处应准确相连。

(4) 运至施工现场的混凝土拌合料必须每车抽样进行坍落度试验, 坍落度小于 10mm 的不得使用, 也不得加水使用, 应予废弃; 坍落度大于 75mm 的不宜用摊铺路面, 可用于其他工程。

(5) 在运输过程中发生离析、过量泌水的、受污染的混凝土均不得使用。

(6) 摊铺布有补强钢筋网和横向缩缝传力杆支架的混凝土板块时, 应采用侧向布料机或挖机传送混凝土。

(7) 摊铺时, 应有专人检查路面的外观质量, 如发现有麻面、渗出浮浆、塌边、漏振、表面轻微凹凸等情况时, 应及时检查原因; 经调整工艺操作, 继续摊铺 10m 仍不能解决时, 应停机检查; 若因机械故障修理时间超过当时气温下混凝土初凝时间的 4/5 时, 应停止施工。

(8) 新铺混凝土表面可用麻质饰面布拖毛处理, 但其构造深度不宜大于 1.0mm。

(9) 对于少量局部麻面、缺料等情况, 可由人工进行局部修整; 但对于表面缺陷不得在整个表面加薄层料修补; 所有修补面应采取措施达到与大面混凝土的色泽相近。

(10) 在日温差 $>10^{\circ}\text{C}$, 或有 4 级及 4 级以上大风的环境施工, 应对铺筑的混凝土路面采取防止塑性收缩开裂的技术措施。

(11) 每铺完一段水泥混凝土面层, 应立即在左侧边缘用红油漆标出百米桩和起讫桩号, 并注明施工时间, 以便为后续的锯缝、养护、刻槽施工提供方便。

2.7.4.4 补强钢筋的布设

(1) 水泥混凝土路面中各种补强钢筋的尺寸、间距应满足设计要求；发生锈蚀或污染的应将锈斑和污物清除干净。

(2) 钢筋网的绑扎、架立应保证一定的强度和刚度，须能承受浇筑混凝土时的施工荷载，不致受压变形和塌陷。

2.7.4.5 接缝施工

(1) 缩缝及施工缝

1) 横向缩缝应按垂直路线中心线布设，不宜采用斜交缝；缩缝一般按设计等间距布置，在特殊情况下须调整板长时，最大板长不宜大于 6.0m，最小板长不宜小于板宽。

2) 拉杆和传力杆钢筋

① 所有横向缩缝应设传力杆钢筋。

② 拉杆和传力杆钢筋的规格、尺寸、加工和安放的平直度必须满足设计图纸的要求。

③ 传力杆钢筋套帽的内径不宜过大，只需钢筋能在其内自由伸缩即可，套帽口应适当填塞沥青封口，避免混凝土浆液进入。

3) 切缝要求

① 所有横向缝和纵向缝的位置必须准确，无论直线还是曲线均应事先画线标记。

② 操作切缝机的工人应技术熟练，能保证切缝不偏离标记线。

③ 应根据混凝土施工日的昼夜温差选择“硬切缝”还是“软切缝”方法，并掌握好切缝的时间，切缝深度宜采用板厚的 1/3.5，以有利于混凝土路面板在切缝处断开，防止早期不规则断板。

④ 每条缩缝应采取 2 次锯缝的方法，即先用 5mm 厚的薄锯片切到设计要求的深度，再使用 6~8mm 锯片或叠合锯片扩宽填缝槽；切缝宽度不得小于设计要求。

⑤ 切缝施工产生的浆液应及时冲洗干净，不得使其留于切缝的缝隙中。

4) 灌缝施工

① 灌缝施工应在阴、晴天气进行，首先应用切缝机清缝，并用吹风机吹干填缝槽，确定缝壁及缝槽内干净、干燥后将背衬条塞至填缝槽底部。

② 灌缝材料应具有与混凝土的粘合性、弹性恢复和一定的抗老化性能；灌缝材料硬化后能被轻易从缝槽内拉出者，不得使用。

③ 灌缝材料灌入深度应达到背衬条顶部，在缝口留有深度 1~3mm 的凹槽。

(2) 胀缝施工

1) 胀缝施工方法应根据施工时所处季节进行选择，当施工是在气温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的热季，可与路面混凝土连续摊铺作业同时进行；当施工是在气温 $< 25^{\circ}\text{C}$ 的温、冷季节，则宜采取预留空板，待气温回升后再施工胀缝板的方法。

2) 路面混凝土连续摊铺作业同时施工胀缝时，应在胀缝两侧分别设置胀缝补强钢筋支架，将补强钢筋支架按照设计图纸安装固定之后，再安装胀缝板和传力杆钢筋，然后浇筑混凝土。

3) 胀缝板宜采用橡胶类材料，以其较优的弹性复原率保证胀缝下部的严密性。

4) 无论采用哪种胀缝施工方法，接缝两面的混凝土应垂直，胀缝版安装应平直，传力杆钢筋的加工应符合设计或规范的规定、安装应水平、并与接缝的混凝土面垂直，浇筑混凝土时不得受扰动。

5) 嵌缝

① 待砼达到设计强度后，先将胀缝内上部 6mm 厚的胀缝板取出，然后彻底清除胀缝中杂物，确保缝壁及内部清洁。

② 在缝槽口干燥、清洁状态下，将粘结剂均匀、连续地涂在缝壁上，形成一层约 1mm 厚的粘接剂膜，以便粘结紧密，不渗水。

③ 采用专用工具将嵌缝条嵌入缝内。

④ 嵌缝条施工期间和粘结剂固化前，应封闭交通。

2.7.4.6 养生与抗滑构造施工

(1) 宜采用喷洒养生剂与节水保湿养生薄膜联合进行养生的方法：

1) 在新铺路面混凝土泌水完毕后喷洒养生剂，喷洒养生剂的工作应由操作人员在横梁式工作凳上进行，不得让工人踩踏新铺混凝土。

2) 根据气温情况，喷洒养生剂养护 1 天~2 天，即应进行切缝和硬刻槽施工。

3) 对已完成切缝和硬刻槽施工的混凝土路面洒水，同时覆盖节水保湿养生薄膜；洒水应按照细喷慢洒的方式，使喷洒的水能被混凝土充分吸收；覆盖的薄膜应紧贴混凝土表面，全幅盖满，搭接膜在上，用重物压紧膜边和搭接处。

4) 按气温情况和设计要求确定保湿养生天数，在养生期间应安排工人巡视检查，发现养生膜破损或被揭开时，应及时修补和重新覆盖。

5) 在养生期间应采取措施，中断一切交通。

(2) 砼路面表面抗滑处理，应采取横向硬刻槽的方法，槽深 4mm，槽宽 3mm，槽间距 20mm。

2.7.5 质量控制与检验

水泥混凝土路面施工过程的质量检查与检验，按现行“水泥路面施工技术细则”执行。

2.8 路面排水与附属工程

2.8.1 一般规定

2.8.1.1 路面排水沟、路缘石可采用集中预制、安装或采用现浇施工或滑模施工。



图 2.8-1 滑模施工排水沟



图 2.8-2 滑模施工路缘石

2.8.1.2 应核查超高排水沟、集水井的盖板及隧道内的排水边沟与路面标线的位置关系。

2.8.1.3 小型预制件移动、堆放、安装时，其混凝土强度应不得小于设计强度的 70%。外观上应颜色一致、无裂缝、不缺棱角。卸车前先确定卸车地点及数量，尽量减少二次搬运。

2.8.1.4 排水边沟、路缘石的线型应平顺，严格控制顶面高差，保证路面排水。

2.8.2 现浇排水沟

2.8.2.1 基层平整完毕后，再铺设混凝土垫层，垫层表面应平整、密实，宽度大于缝隙式（盖板式）排水沟宽度。

2.8.2.2 排水沟与路面相接处，应设置一条碎石流水槽，或铺设透水管，导排路面结构层渗出的水。

2.8.2.3 模板应牢固，且在模板底部往上 3~5cm 的位置穿孔，穿塑料套管及紧固件，加固模板，同时保证钢筋保护层厚度。

2.8.2.4 排水沟盖板或缝隙式排水沟顶面标高应比路表的标高略低，两者的高差应不超过 10mm。

2.8.3 路缘石

2.8.3.1 根据设计图纸，以道路中心线为横向控制线，采用水平仪、经纬仪、钢卷尺、工字尺及其他必要的量具准确测距定位、并逐段挂线施工。

2.8.3.2 路缘石必须安砌稳固，顶面平整，缝宽均匀，勾缝密实，路缘石顶面衔接平顺，在曲线段圆滑美观。

2.8.3.3 安装完毕的路缘石排水口整齐、通畅，无阻水现象。坐浆应饱满，坐浆抹平后安放路缘石，并稍稍锤击确保路缘石安装稳固。

2.8.3.4 勾缝前必须再进行挂线、调整至顺直、圆滑、平整方可进行勾缝，缝宽0.5-1cm。先把缝内土及杂物剔除干净，并用水湿润。

2.8.4 土路肩

2.8.4.1 路肩土在施工前，对用于路肩土的土质进行调查，做到路肩土土质符合规范要求。

2.8.4.2 上基层施工完并经监理工程师验收合格后,进行路肩土放样,每20m放一控制桩,暂定1.8的松铺系数,按照设计宽度及高度要求进行分层施工。

2.8.4.3 保证培土路肩的横坡为4.0%，确保路肩线直顺、曲线圆滑。

2.8.4.4 培土路肩的压实标准为95%以上。

2.8.4.5 培土路肩也可采用滑模施工工艺。



图 2.8-3 滑模施工土路肩

2.9 沥青路面工程质量通病及预防措施

2.9.1 半刚性基层沥青路面反射裂缝

2.9.1.1 反射裂缝现象

在半刚性基层沥青路面上，因半刚性基层接、裂缝而引起油面层开裂的现象，称为反射裂缝。反射裂缝通常比较顺直，垂直（横向反射裂缝）或平行（纵向反射裂缝）于路线方向，路上一般以横向反射裂缝为主，纵向反射裂缝很少、甚至没有。

2.9.1.2 反射裂缝成因

半刚性基层在高低温循环与干湿循环的环境条件下，不可避免地会产生干缩与温缩两种收缩疲劳裂缝，统称为收缩裂缝。半刚性基层开裂后，一方面，不仅会导致沥青面层中的荷载应力增大（包括弯拉应力和剪应力），还会导致沥青面层本身因低温收缩产生的温度拉应力的增大；另一方面，基层低温收缩时在裂缝处会引起沥青面层产生附加拉应力。在交通荷载及温度变化的反复作用下，在基层收缩裂缝对应位置的沥青层中渐渐产生由底部到顶面或由顶面到底部的疲劳裂缝，即半刚基层沥青路面的反射裂缝。另外，在半刚性基层的施工缝处，也同样容易产生沥青路面的反射裂缝。

2.9.1.3 防治措施

（1）采取措施尽量减少甚至避免半刚性基层产生收缩裂缝，从根源上防止反射裂缝的产生。

1) 选择合适的原材料并确保料源稳定，水泥初凝时间、细度、比表面积、凝结时间、安定性、强度等指标必须满足规范要求，石料的热膨胀系数要小。严格控制集料的粉尘含量，集料生产线应配备振动喂料筛和除尘装置，以减少集料的粉尘含量，确保细集料及细集料中 0.075mm 以下部分的塑性指数符合要求，必要时对细集料采用砂当量指标（ $\leq 50\%$ ）进行控制。

2) 基层混合料的配合比设计，应采用骨架密实结构的级配，少用细集料，同时不应采用过高的设计强度，尽量降低水泥用量。

3) 准确控制混合料拌和用水量，避免混合料含水率过高导致产生干缩裂缝。

4) 应尽量避免高温季节施工半刚性基层，高温季节施工容易产生收缩裂缝。

5) 尽量减少半刚性基层的纵、横向施工接缝，并对纵、横向施工接缝严格按照规范

要求进行处理。

6) 及时采用保湿养生膜覆盖养生, 养生应采用全周期覆盖养生。

7) 严禁车辆在基层强度未达到龄期前通行, 养生期结束后也应尽量避免重车通行; 在水泥稳定基层养生结束后, 应尽快进行下面层的施工。

8) 采用双拌缸拌和或振动拌和, 提高基层混合料的均匀性及抗裂性。

(2) 采取措施提高沥青层本身的抗裂能力

1) 采用低温抗裂性能良好的沥青结合料, 如 SBS 改沥青、SBR 改性沥青、高粘高弹沥青、橡胶沥青等。

2) 采用低温抗裂性能良好的沥青混合料, 如 SMA、复合改性橡胶沥青混合料。

3) 在沥青混合料中掺抗裂纤维, 如聚酯纤维、玄武纤维等。

(3) 延长反射裂缝的路径, 从而延长反射裂缝产生的时间, 即路面结构设计时可考虑增加沥青面层的厚度、增设沥青稳定碎石基层。

(4) 设置防裂层

1) 在已产生较多收缩裂缝的半刚性基层上设置防裂钢丝网。

2) 设置应力吸收层, 如级配碎石层、SBS 改性沥青或橡胶沥青同步碎石封层等。

(5) 其它防治措施

1) 在已产生收缩裂缝的半刚性基层上粘帖抗裂帖、聚酯玻纤布、单面燃毛土工布等抗裂材料。

2) 在半刚性基层收缩裂缝对应位置的中、下沥青层的顶面加铺自粘式玻纤格栅。

2.9.2 高速公路沥青路面车辙

2.9.2.1 现象

车道轮迹带凹陷并往往伴随两侧隆起的现象, 称为车辙。根据车辙形成的原因不同, 可将车辙分为失稳型车辙、结构型车辙、磨损性车辙和压密性车辙四类型。我国高速公

路绝大多数都是半刚性基层沥青路面，一般不会产生结构型车辙。磨耗性车辙和压密性车辙一般来说深度很小，对行车的安全性与舒适性影响较小。失稳型车辙是我国高速公路沥青车辙的主要类型，是我国高速公路上最普遍、最严重的车辙，是沥青路面处于高温状态时，在行车荷载作用下沥青砼发生横向剪切流动变形而产生。失稳型车辙通常发生在轮迹带位置，两侧有隆起，呈 W 型，主要由于沥青混合料的高温稳定性不足造成的。本指南仅针对失稳型车辙进行分析讨论。

2.9.2.2 产生失稳型车辙的主要因素

(1) 外因：重车多，超载严重；高温。

(2) 内因

1) 线型因素：长大纵坡，设有超高的弯道。

2) 沥青混合料本身的内在因素

① 沥青混合料级配偏细，粗集料在混合料中处于悬浮状态，嵌锁力太弱，导致抗剪强度不足。

② 油石比偏大或偏小，导致高温稳定性不足。

③ 沥青高温性能差，沥青针入度大，粘度小，软化点低。

④ 粗集料表面微观构造不够粗糙，细集料棱角性差。

⑤ 集料粉尘含量大，除尘不干净，或矿粉掺量过大，导致粉胶比过大，油膜厚度太薄，使混合料内部粘结力太弱，抗剪强度不足。

⑥ 集料、矿粉含泥，大大降低了沥青混合料内部粘结力，导致抗剪强度不足。

⑦ 粗集料形状差，针片状含量过大，使沥青混合料嵌锁力较弱，抗剪强度不足。

⑧ 集料与沥青的粘附性差，在路面渗水的情况下，沥青剥落，导致沥青混合料松散，从而产生车辙。

3) 沥青层层间结合不良

① 下承层污染未处理干净。

② 未洒粘层油或粘层油喷洒不足，或暴露时间过长而导致粘层失效。



图 2.9-1 失稳型车辙

2.9.2.3 失稳型车辙的防治措施

(1) 采用性能良好的沥青与优质集料，选择针入度小、60℃动力粘度大、软化点高、含蜡量低的沥青和表面粗糙、洁净、无风化、颗粒形状良好、与沥青粘附性好的集料。施工过程中严格控制原材料质量。

(2) 在混合料设计方面，采用粗型级配，最好采用骨架密实型级配，严格控制 2.36~4.75mm 的集料用量，并采用合适的油石比。

(3) 在沥青或沥青混合料中掺加可提高沥青混合料高温稳定性的外掺剂，如 SBS、抗车辙剂、高粘剂等等。

(4) 沥青混合料拌和过程中，严格控制集料级配、油石比和粉胶比，加强除尘，尽量将粗、细集料中的粉尘去除干净。

(5) 施工过程中，严格控制混合料离析，加强压实，确保密实、不渗水。

(6) 对长大陡坡路段（坡度 2%以上、坡长 500m 以上）的沥青路面，可采取适当降低油石比或掺加抗车辙剂等措施。

2.9.3 路面沥青混合料离析

2.9.3.1 现象

沥青路面离析有矿料颗粒离析和温度离析两种，但通常所讲的沥青路面离析一般是指矿料颗粒离析，即某些区域集中为粗集料或细集料，使得沥青路面在某些性能上体现

出明显差异性。粗集料较多的离析部位，沥青胶浆、沥青含量就会偏少，往往沥青路面不密实、渗水，容易产生早期水损害，且抗裂性能与抗疲劳性能也相对较差，严重影响路面的使用寿命。而细集料较多的离析部位，路面中则往往沥青含量偏多、空隙率偏小，较容易出现光面、泛油、车辙等病害。沥青路面矿料颗粒离析根据成因不同而主要分为片状离析、纵向带状离析、竖向离析和横向离析四种类型，比较突出的是片状离析和纵向带状离析。

2.9.3.2 沥青路面矿料离析形成的主要原因

- (1) 原材料严重离析、规格很差，导致混合料级配严重偏离设计级配。
- (2) 拌和楼配料准确性与稳定性太差，拌和不均匀，导致混合料级配严重偏离设计级配。
- (3) 装、卸料过程中，大粒径碎石的滚动。
- (4) 摊铺机空仓收斗、料槽中的混合料料位高度不合适、螺旋分料器的高度位置不合适，以及摊铺机操作不当等情况，都会导致沥青混合料产生离析现象。
- (5) 摊铺机的构造设计欠佳，如链条箱的尺寸、螺旋叶片的设计（尺寸、布置）、吊臂的形状与尺寸、料槽构造、熨平板结构刚度等等设计欠佳。

2.9.3.3 防治措施

- (1) 加强原材料管理，严格控制集料规格，尽量减少原材料离析。
- (2) 加强拌和楼的质量管理，确保混合料配料准确、拌和均匀。
- (3) 混合料装车时采用运料车多次移动装料的方式进行装料，水平分两至三层装料，在将沥青混合料从成品贮料仓往运料车上装料时，运料车在料仓下一直缓慢移动，尽量避免产生装料离析。
- (4) 采用抗离析摊铺机（如中大摊铺机）进行摊铺，或对摊铺机采取一些抗离析措施，如：合理布置螺旋叶片、加装反向叶片、加装主机部位前挡板与两侧料槽部位前挡板（减轻竖向离析）。并将摊铺机调试到最佳状态，使螺旋布料器匀速旋转，料槽中

的料位始终高出螺旋布料器 2/3 以上，做到匀速摊铺。

(5) 摊铺粒径较粗的沥青混合料时，不应收斗（严禁空仓收斗），直至收工或横向施工缝处，并要求将料斗两侧已降温的粗集料废弃，不得摊入路面中。摊铺粒径较细的沥青混合料时，应控制摊铺过程中收斗的频率，应根据施工气温情况每卸两至三车料收一次斗。

2.9.4 沥青路面坑槽

2.9.4.1 现象

沥青路面坑槽指的是在行车荷载及自然因素的作用下，局部沥青混合料脱落而产生的坑洼。坑槽是较常出现且危害性较大的沥青路面病害之一。特别是在降雨后或冬春季之交雪水反复冻融后，容易产生大量的坑槽破损，并在行车的反复作用下，破损面会逐渐加大、加深，导致路面的平整度降低，严重影响汽车驾驶的舒适性和安全性。

2.9.4.2 坑槽产生的主要原因

- (1) 基层强度过低，基层龟裂、松散。
- (2) 沥青路面因离析、压实不足等原因导致路面长期渗水。
- (3) 集料与沥青粘附性差。
- (4) 集料不干净，含泥量过大；矿粉塑性指数不合格；重油燃烧不充分等，造成沥青胶结料粘性降低。
- (5) 集料潮湿（特别是吸水率大于 2%的集料），没有充分烘干。
- (6) 沥青混合料的油石比偏低。
- (7) 沥青混合料温度控制不当。温度过高，易造成沥青老化，胶结料粘度降低；温度过低，混合料均匀性差，骨架松散，路面压实度不足。
- (8) 裂缝未及时封闭，在雨水侵蚀作用下发展为坑槽。
- (9) 面层施工层间污染严重，造成层间联结不良，易引发沥青路面产生坑槽。

(10) 低温施工，沥青路面压实不足，产生渗水现象。

(11) 路面排水系统不完善。

2.9.4.3 防治措施

(1) 加强基层施工管理，规范施工，确保基层质量。

(2) 选择合格的沥青和集料，各项指标均应满足现行标准或规范要求。

(3) 拌和楼选用重油做燃料时，应该选择粘度适中，燃烧性能好，热值高，雾化性能好，燃烧完全，产生的积碳和灰分少的重油。

(4) 控制好出料、摊铺及碾压等过程温度，避免料温过低而导致混合料压实不足。

(5) 集料在生产、贮存过程中，尽量避免雨淋，或进行覆盖，防止集料含水率过大。采用吸水率低（小于 2%）的干燥集料生产沥青混合料。

(6) 沥青混合料设计时，采用合适的油石比，检验沥青混合料的水稳定性。

(7) 沥青路面产生裂缝后，应及时灌缝封闭，避免雨水进入路面内部。

(8) 沥青面层施工时，下承层必须清扫、清洗干净，防止层间污染。

(9) 加强沥青路面均匀性质量控制，从原材料、拌和、装车、卸料、摊铺等环节，防止沥青混合料产生离析，尽量做到沥青路面不渗水。

(10) 应避免低温施工沥青路面，加强压实，防止沥青路面因压实不足而产生渗水现象。

(11) 完善路面排水系统，防止路面结构层内部积水。

2.10 四新技术

2.10.1 水泥稳定土振动拌和技术

2.10.1.1 技术特色

稳定土振动搅拌技术是通过振动强化拌和过程，改善混合料的细观与微观拌和均匀

性，充分发挥材料本身潜能，从而减少水泥等材料用量，提高水泥稳定土基层耐久性、抗裂性与寿命的一种新方法和新技术。其技术特色如下。

(1) 充分分散水泥团和细集料团，有效控制混合料离析

振动拌和设备通过强制振动搅拌对混合料产生高速剪切和高频振动，不仅有效根治了常规稳定土拌和中少数水泥团和细集料团难以充分分散的问题，而且加速了粉料与水的扩散运动以及水泥水化反应，同时粗骨料与水泥的水化产物频繁碰撞，使得混合料各组分紧密联系，混合料的宏观与微观均匀性均得到改善，使得后续运输、摊铺过程中混合料的离析程度显著减小。

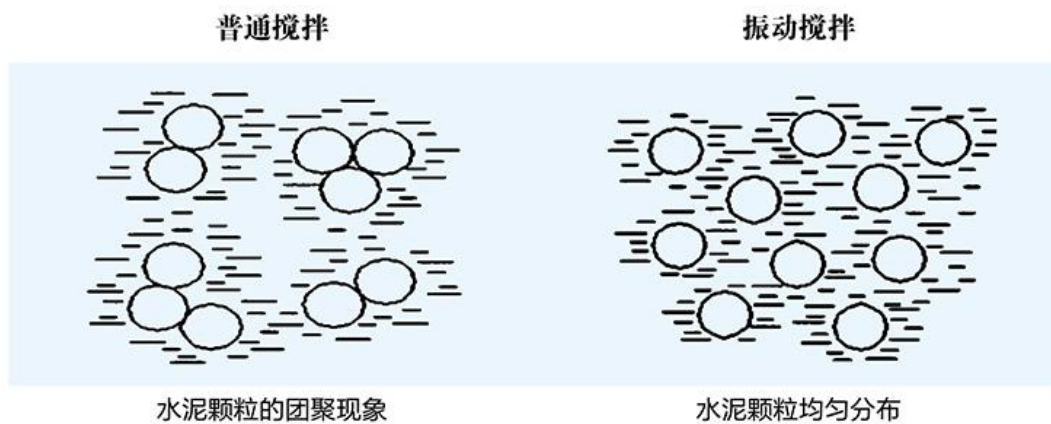


图 2.10-1 振动搅拌技术能充分分散水泥团

(2) 和易性好，容易压实

振动搅拌使水泥充分分散、水化，水泥水化产物和细集料将粗骨料包裹均匀，大粒径的粗骨料表面相当于均匀涂抹了一层“润滑剂”，骨料间的摩阻力降低，压实功更容易向下传递。

(3) 提高强度，延长寿命

混合料在振动搅拌作用下充分拌和均匀，稳定土中粗集料分布上下均匀，取芯效果底部完整密实。据研究，相同配合比情况下，强度较传统拌和工艺提高 30%左右，强度变异系数也较传统拌和工艺大幅降低，路面使用寿命得到有效延长。

2.10.1.2 工艺流程

采用水泥稳定土振动搅拌技术的水稳拌和工艺流程与采用普通的单拌缸水稳拌和机的完全相同。

2.10.1.3 控制要点

- (1) 实际施工所用水泥剂量按室内配合比设计确定的水泥剂量即可，不必增加。
- (2) 拌和用水量可比非振动拌和的略少。

2.10.2 大厚度大宽度抗离析摊铺技术

2.10.2.1 技术特色

大厚度大宽度抗离析摊铺技术是一种有效整合了大功率发动机、大扭矩螺旋动力装置、螺旋多级折叠式防离析伸缩熨平板等技术的优势，有效突破了传统摊铺技术的局限，在能够控制好离析的同时，实现路面混合料大厚度大宽度摊铺的新技术。其技术特色如下。

(1) 可进行大厚度大宽度物料摊铺。从发动机输出开始至每一驱动终端均采用大功率、长寿命设计理念，功率流合理高效匹配，各系统和谐协调工作。采用压力等级更高的螺旋泵、马达系统，与行星减速机组成液压机械复合传动，并以齿轮传力取代传统链条，单边功率可达 100kW 以上，保证超宽度、超厚度工况下平稳高效的输料能力，最大摊铺水稳厚度（松铺厚度）可达 50cm 以上（四车道高速公路半幅宽度情况下），最大摊铺宽度可达 20m 以上（小厚度情况下）。

(2) 有效改善离析问题。拥有较传统摊铺机更大的螺旋直径和料仓储料容量，在摊铺过程中仍能确保物料始终能满埋螺旋，且料位保持稳定。二次强制搅拌不仅能有效减小前面工序产生的离析（如拌和站卸料离析、运输车装、卸料离析和摊铺机收斗离析等），同时能有效解决摊铺施工过程中的离析（如级配离析、沥青混合料的温度离析和并机接缝离析等）。

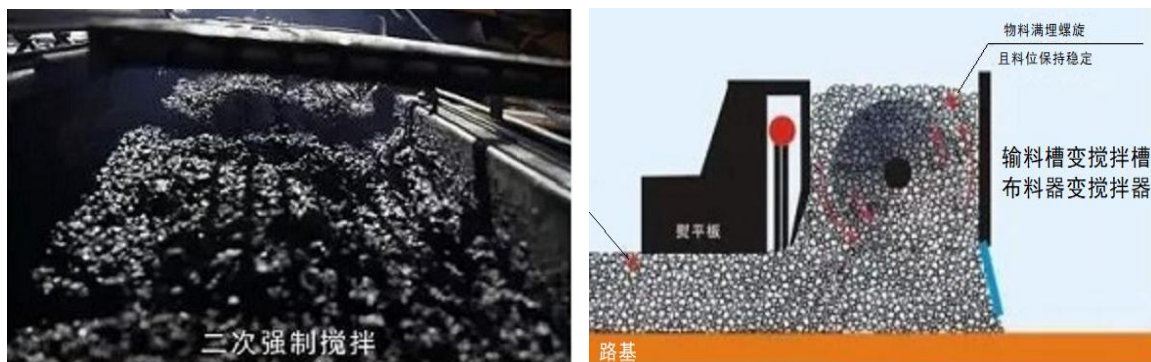


图 2.10-2 二次强制搅拌、物料满埋螺旋

(3) 提升路面均匀度、密实度、平整度。摊铺平整度由单套找平仪控制，找平基准无需进行多次转换，消除了多机性能差异；独立的高度和仰角调整机构，保证熨平板伸缩段与固定段前后位置错位时高度与仰角的一致；无纵缝摊铺，路面连续完整，提高了横向密实均匀度，使路面横向均匀度、密实度、平整度一致，保证设计指标的实现。



图 2.10-3 整体摊铺提升路面均匀度、密实度、平整度

(4) 一机替代多机，减少单个工作面劳动人数和工人劳动强度，使施工工序由繁入简，减少对施工质量的干扰，同时降低施工过程中的安全风险。

(5) 采用大厚度水稳底基层可大大减少甚至避免底基层施工过程中的经常产生的行车荷载裂缝。大厚度摊铺技术，可大大提高路面结构的承载能力和使用寿命，并可缩短工期、节省成本。

2.10.2.2 工艺流程

大厚度大宽度抗离析摊铺技术的工艺流程与采用一般摊铺机的相同。

2.10.2.3 控制要点

(1) 料槽中的料位高度要稳定、均衡一致并满埋螺旋，强制二次挤压搅拌功能。

(2) 摊铺大厚度水稳基层时，要更换与大厚度配套的料槽前挡板下的防滚落竖向离析的柔性橡胶挡板。

(3) 摊铺大厚度水稳基层，要配置相应的超大吨位的压路机进行配套，如超重吨位、超大激振力单钢轮压路机（YZ36、YZ39）、超重吨位的胶轮压路机（YL37）等。具体碾压工艺与压路机吨位配置，应根据实际摊铺厚度通过试验路确定。

2.10.3 节水保湿养生膜

2.10.3.1 技术特色

节水保湿养生膜是以吸水保水高分子材料为核心原料，与塑料薄膜复合而成的高新材料。其技术特色如下。

(1) 高倍节水、持久保湿

吸水保湿高分子材料吸水后将液态水变为固态水，形成一个微型的小水池，同时养生膜紧贴路面基层，通过毛细管作用在路面基层表面传递和渗透，不间断地为路面基层提供养生用水，并反复吸收养生体的蒸发水，形成水分内循环，只需覆盖养生膜时喷洒一次水，养护期间基层表面总能保持湿润，每平方米养生膜固水量平均达 2kg，可节约养护用水 95%以上。

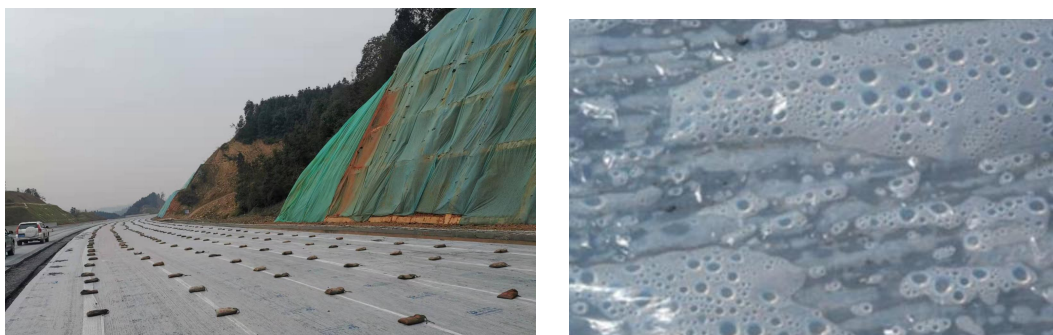


图 2.10-4 水分均匀充足、持久保湿

(2) 有效保温、提高性能

膜内温度变化均匀，形成了温、湿均衡的养护环境，平缓了昼夜温差，缩小结构层内部温度与表面温度及环境温度的温差，在提高基层强度的同时有效抑制微裂缝的产

生。

(3) 清洁施工、无毒无害

施工现场整洁，无浮砂，改善施工形象；核心材料可降解，为环境友好型产品。

2.10.3.2 工艺流程

表面喷洒水→覆盖保湿养生膜→整理搭接部位及两边侧面（使其粘帖紧密）→拓压砂袋。

2.10.3.3 控制要点

- (1) 覆盖前，基层表面必须洒水湿润。
- (2) 两幅之间的搭接，利用节水保湿养生膜自带的涂胶粘帖紧密。

2.10.4 智能监控技术（包括拌和、运输、摊铺与碾压全过程）

2.10.4.1 技术特色

沥青路面施工智能监控技术是一种基于物联网架构的传感技术，通过在各关键机具设备上安装传感设备，实时、全面获取沥青混合料的拌和、运输、摊铺与碾压全过程关键数据，并通过对数据的计算、分析和反馈，及时发现问题，从而监督、指导现场施工。拌和、运输、摊铺与碾压过程的智能监控均可通过各自的智能监控子系统单独运行。



图 2.10-5 智能监控系统

(1) 沥青拌和楼智能管控系统

拌和楼智能管控系统主要包括拌和楼数据采集设备、拌和楼远程报警平台、远程电脑查询与分析系统以及移动终端查询系统。该系统对沥青混合料生产过程中的各个热料仓、沥青和矿粉的配料计量数据、拌和时间、温度数据和产能情况进行实时采集，对单仓计量、关键筛孔通过率、油石比、加热温度、拌和时间 and 产量等数据进行分级预警，如出现异常会在第一时间以短信的方式发送给相关人员。

(2) 沥青运料车智能管控系统

运料车智能管控系统主要包括运料车现场管控设备及运料车远程分析系统。该系统通过在拌和楼出料口、摊铺机以及运料车上安装射频识别器、天线、电子标签以及 MMIT 数据处理和发送等设备，对运料车装料、卸料等数据的采集和处理，通过无线网络实时上传到远程服务器，实现了运输周期查询和混合料溯源功能。

(3) 沥青路面摊铺智能管控系统

沥青路面摊铺实时监控系統主要包括摊铺现场监控设备、摊铺远程电脑查询与分析系统、摊铺温度云图绘制与分析以及摊铺机定位系统。该系统利用多个红外温度传感器组成阵列，定频采集铺面温度，温度测点均匀分布在铺面上，单点温度数据映射成温度分布云图。基于温度云图，通过计算机处理技术，提取温差、各温差面积等相关参数，建立以温度离析指数和低温面积指数的双控指标的评价方法。同时通过加装厘米级精度的定位系统，实时采集摊铺速度和摊铺轨迹等数据，通过后台系统分析位置、速度波动等数据，达到全过程全断面监控沥青路面摊铺温度、摊铺速度和摊铺轨迹的目的。

(4) 沥青路面压实智能管控系统

智能压实监控系统综合利用现代传感器、三星精确定位、物联网、移动通信等技术，对压路机实时位置、压路机的振捣状态和施工路面温度进行实施监测，构建了沥青路面压实作业全过程中“人、机、场景”之间的无障碍连接。可实现压实作业工序严格把关、压实过程智能控制、压实数据信息化应用三大功能，将压实质量的管理从事后抽验结果

控制提升到全过程监控，从而达到全面、整体反映压实质量的效果，完美解决了对路面压实作业的全过程、全面监控的难题。

2.10.5 耐久性排水沥青路面

2.10.5.1 技术特色

耐久性排水沥青路面是指能达到正常的沥青路面设计寿命，由空隙率 18%以上的沥青混合料铺筑，路表水可渗入路面内部并横向排出的一种沥青路面类型。其技术特色如下。

(1) 高效排水，提升雨天行车安全

一方面路表雨水能够及时被排干，消除给行车带来安全隐患的路表水膜，防止“水漂”，并大大减少高速车轮引起的水雾；另一方面排水沥青路面的路面构造深度大，提高了轮胎与路面的摩擦系数，从而提高了雨天行车的安全性。



图 2.10-11 排水沥青路面与普通沥青路面对比

(2) 降低噪音，提升行车舒适性

因其独特的多孔路面构造，不仅能够吸收车辆高速行驶引起的噪声，同时由于轮胎与路面的接触面减少，附着噪声也会降低，从而提升了行车舒适性。

(3) 耐久性排水沥青路面采用粗集料骨架嵌挤孔隙型结构，同时综合了高黏改性沥青和纤维稳定剂等材料的技术优势，相较于早期的排水沥青路面技术，具有更优异的抗飞散、抗水损害、抗车辙等性能和更长的使用寿命。

2.10.5.2 控制要点

(1) 在耐久性排水沥青路面表面排水功能层与下承层之间应设置防水黏结层，在加强层间联结的同时，务必防止雨水进入下承层。防水黏结层施工前，采用改性乳化沥青等材料，对接缝、裂缝、离析等明显渗水部位进行防水处理。防水黏结层施工后应检测其防水效果，以不渗水为合格。

(2) 应高度重视路面边缘排水系统的设计与施工。

(3) 耐久性排水沥青路面应采用适合项目交通及气候特点的排水沥青路面高黏度改性沥青。高粘剂添加采用“干法”施工时，试验室试配的高黏度改性沥青的 60℃动力粘度应不小于 40 万 Pa·s，软化点不小于 90℃。

(4) 采用直投式复合改性高黏度沥青时，其拌和工艺宜为：“集料+高粘剂+纤维”干拌 15s 后，喷洒沥青拌和 10s，然后再加矿粉，矿粉加完后拌和 35~40s。

(5) 混合料压实主要采用双钢轮压路机静压，在混合料温度低于 80℃时，可采用胶轮压路机补充碾压 1~2 遍。

第三章 桥涵工程

3.1 总则

3.1.1 目的

为规范湖南省高速公路桥涵工程施工，提高管理水平，确保各道施工工序工作到位，克服质量通病，保证工程质量，保障施工安全，编制本技术指南。

3.1.2 适用范围

本指南适用于湖南省内高速公路桥梁施工、监理及第三方检测、材料供应商等参建单位。

3.1.3 编制依据

- (1) 国家、交通运输主管部门发布的与公路建设相关的标准、规范、规程及文件。
- (2) 湖南省省颁布实施的与公路建设管理相关的文件。
- (3) 公路行业内通行的先进施工工艺和管理办法。

3.1.4 章节划分

本指南共八节，分为总则、一般规定、桥梁下部结构、桥梁上部结构、桥面系及附属工程、通道、涵洞工程、质量通病防治、四新技术推广应用。

3.2 一般规定

(1) 建设单位应组织建立项目桥涵工程专家库，组织专家对各参建单位进行桥涵工程施工技术培训，组织专家研讨项目、难点技术问题，审查重大技术方案。

(2) 桥涵工程开工前，建设单位应组织设计单位对参建施工单位、监理单位等单位进行设计交底，明确设计要点、施工要点和注意事项。

(3) 监理单位应认真对施工组织方案进行论证审查，建设单位应参加关键、重点部位的施工组织方案论证审查。

(4) 施工单位在开工前应按《关于开展公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估试行工作的通知》（交质监发〔2011〕217号）的要求开展施工安全风险评估工作，对评估等级达到Ⅲ级及以上桥梁工程及高风险施工作业区段进行专项风险评估，并制定合理的风险管控措施。

(5) 在工程开工前，施工单位应组织经验丰富的技术人员充分熟悉设计文件，对结构设计尺寸和关键施工参数进行核对，并进行现场核实。对图纸中存在的问题及对设计的建议，应及时上报，接受设计单位的技术交底，并由设计代表书面回复，必要时应进行现场路勘确认。

(6) 施工单位接桩后应在14d内完成导线点、水准点复测和加密测量工作，加密、复测完成后应及时将测量成果上报监理工程师。对存在异议的导线控制点、水准点，施工单位应及时向监理工程师提交书面报告，并提交一份列有勘误高程的修正表。监理工程师应对施工单位提交的复测、加密结果进行核对，必要时进行独立平行的复核测量，并转由设计代表、业主代表共同确认。

(7) 施工单位在签订合同协议书后的一个月内，应在对工程进行施工调查及现场核对后，根据设计要求、合同条件及现场情况等，编制总体施工组织设计和安全风险评估，对风险等级三级及以上的编制专项施工方案，并按规定报批。对大型以上桥梁工程，施工单位应当组织专家对施工方案进行评估。

(8) 对施工中所用的临时受力结构、大型临时设施、挂篮架桥机、塔吊等专用设备，应进行专项设计与验算，明确质量和安全的验收标准，并应编制安装、使用、维护和拆除的作业方案。

(9) 开工前应建立健全质量、安全、环保管理体系和施工组织机构，施工人员配备应满足工程施工的需要，并在进场时对其进行岗前培训和技术、安全交底。

(10)现场规划、驻地建设、四通一平等临时工程，均应满足正常施工的需要。应根据施工需要，配备足够的机械设备和生产工具，且应在施工前进行安装调试。

(11)工程实验室所有仪器设备应通过国家法定计量机构的检定或校准。原材料进场时，应按相关标准规范的规定进行质量检测和试验工作，进场后应根据不同的品种、规格及用途分别妥善存档，对容易受潮、锈蚀的材料应有防雨、防潮或防锈的措施。

(12)应充分考虑施工过程对陆上和水上交通的影响，特别是应保证主航道和陆上主要交通干线不得中断。跨越公路和河道，特别是跨越等级公路和航道时，应事先与交警、路政、海事、港监、航道、水务等有关部门沟通，按照规定设置相关设施，办理有关手续。

(13)分部或分项工程开工前 14 天应向监理工程师提交开工报告，主要内容包括：施工段落与工程名称、现场负责人名单、施工组织和劳动力安排、材料供应、机械进场、材料试验及质量检查手段、水电供应、临时工程的修建、施工方案、进度计划及其他需要说明的事项等。需要进行应力、承载力验算的，应附第三方验算报告。

3.3 桥梁下部结构

(1) 承包人应根据地质资料，选择合适的成孔方法和设备；

(2) 在岩溶区、花岗岩球状风化（孤石）发育区应进行逐桩钻探，防止出现桩基承载能力不满足设计要求；

(3) 采取技术措施防止出现：地层液化、坍孔、突泥、串孔、缩颈（夹泥）、断桩等；

(4) 如设计要求进行桩基承载能力试验以确定桩基参数的应先行试桩施工并根据试验成果进行桩基设计修正；

(5) 桩基施工应注重环保，防止对自然资源的损害；

3.3.1 灌注桩

3.3.1.1 一般要求

(1) 承包人应根据地质资料，选择合适的成孔方法和设备。从施工安全考虑优先采用钻孔桩，尽量减少挖孔桩施工。承包人挖孔桩施工应编制专项施工方案，根据地质和水文条件，制定安全措施和防护措施，明确护壁类型及厚度和强度，石质地层开挖的爆破设计等。

(2) 灌注桩施工应满足 3.3 节桥梁下部构造第 (2) (3) (4) (5) 点的要求。

3.3.1.2 施工工序

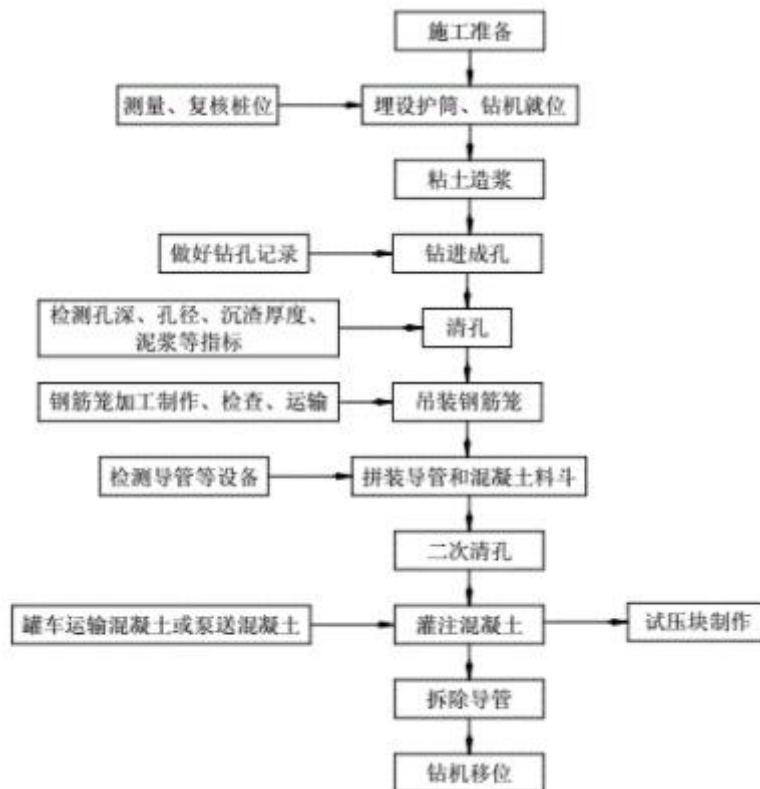


图 3.3.1 钻孔灌注桩施工工艺流程图

3.3.1.3 施工要点

(1) 护筒设置

1) 护筒顶高度应符合下列要求：

①护筒顶宜高出地面 0.3m 或水面 1.5m。当处于潮水影响地区时，应高于最高施工

水位 1.5-2.0m，并应采用稳定护筒内水头的措施。

②当孔内有承压水时，应高于稳定后的承压水位 2.0m 以上。

2) 钢护筒的壁厚宜按刚度要求经计算确定。当钢护筒长度大于 10m，需要锤击或振动下沉时，其径厚比宜不大于 120。

3) 水中群桩基础施工时，水中钢护筒不宜参与施工平台受力。应严格控制深水基础护筒在竖直方向的倾斜度，各护筒间宜加强纵横向平联，确保护筒平面定位精度。

4) 对于易受水流冲刷而发生混凝土剥落、主筋露出锈蚀等病害的河流、航道中的桩基础，宜保留钢护筒作为桩身永久防护结构。

(2) 泥浆池设置

1) 泥浆池宜结合地形建设，池容量根据桩径、桩长计算确定，形状宜为规则的矩形。推荐采用钢制沉渣箱，采用活动拉杆固定，可重复利用，壁板四周用原状土回填夯实。

2) 泥浆池应按“两池一墙”建设：沉淀池、储浆池、中隔墙。中隔墙宜采用砖砌或钢板，缺口位置增设钢丝滤网；砖砌墙应抹面处理，池壁应使用砂浆封闭。

3) 泥浆的配合比和配制方法宜通过试验确定，其性能应与钻孔方法、土层情况相适应。

4) 钻孔过程中，应随时对孔内泥浆的性能进行检测，不符合要求时应及时调整。

5) 泥浆池内沉渣应定期清理，防止泥浆溢出污染。

6) 深水桩基的泥浆循环和净化，当具备条件时，宜在岸上设泥浆池，制造、净化泥浆，水中可采用深仓船进行泥浆拌制。

(3) 挖孔桩施工

1) 孔口第一节混凝土护壁必须高出地面 30cm 以上，护壁混凝土强度小于 2.5Mpa 时不宜爆破作业。

2) 挖孔时如有水渗入，应及时支护孔壁，防止渗水在孔壁流淌浸泡造成坍孔。如孔内水量较大时应及时抽水。若土层松软，地下水较大者，应对角开挖，相邻两根桩严

禁同时开挖，以避免孔间隔层太薄造成坍塌。

3) 挖孔直径应按设计桩径加 20cm 控制截面大小，挖孔过程中，不必将孔壁修成光面，要使孔壁稍有凹凸不平，以增加桩的摩擦力。

4) 孔内遇到岩层须爆破时，应专门设计。施工时应按照施工组织设计的要求进行打眼放炮，严格控制用药量，以松动为主。放炮前孔口应加防护盖，防止石渣飞出。孔内放炮后应立即排烟，并经检查孔内无有害气体后，人员方可下孔施工。

5) 在挖孔过程中，须经常检查桩径尺寸、平面位置和倾斜度。挖孔掘进和护壁这两道工序必须连续工作，尽量不停顿，以防坍孔。出碴时卷扬机应慢速提升。

6) 挖孔临近至设计终孔标高以上 50cm 处应采用风镐开挖，严禁爆破开挖。

7) 当临近一孔进行爆破及浇筑混凝土时，孔内的作业人员应撤离至安全地带。

8) 应经常检查有害气体浓度，二氧化碳含量超过 0.1%，其它有害气体超过允许浓度或孔深超过 10m 时，均应采用机械通风措施。

9) 在土质或孔周地质破碎松软条件下，须设混凝土护壁，以确保施工安全。护壁模板应具有相应刚度，保证护壁混凝土圆(直)顺及孔径、孔的倾斜度符合要求。

10) 护壁混凝土强度等级不低于 C20, 当作为桩身混凝土一部分时不应低于桩身混凝土强度等级, 遇到不良地质时, 应加强护壁或降水设施, 必要时采用钢护筒防护。每挖掘 0.8~1m 深时, 须立模浇筑混凝土护壁。两节护壁之间留 10~15cm 的空隙, 以便混凝土的浇筑施工。护壁模板应在护壁混凝土浇筑完成 24 小时后方可拆除。

11) 每节护壁混凝土施工均应在当日连续施工完毕。

(4) 岩溶桩施工

1) 施工阶段岩溶区桩位补充地质勘察宜采用钻探与物探结合的方式，物探宜采用桩位跨孔 CT 法。

2) 桩基溶洞处置方法可采用钢护筒结合片石及黏土回填法、覆盖层静压注浆法、溶洞压浆法、旋喷帷幕法等，溶洞桩基处理应采用一桩一方案。

3) 安全敏感路段尤其是房屋密集区的岩溶区桩基可采用全套管全回转钻施工方法。减少施工振动、噪声，并减少对软弱易塌覆盖层的扰动，避免塌孔。

4) 单桩穿越大型溶洞或串珠溶洞，当无可靠持力层、常规处置方案实施难度大且经济性差时，在确保安全的前提下，宜优先考虑调整桥梁跨径或基础形式以避让溶洞。

5) 钢护筒设置不深时，宜采用护筒超前、振动下沉的方式，确保护筒外侧土体密实；当护筒设置较深时，可采用引孔跟进方式下沉，钢护筒跟进方法应采用分段驳接振入法。

(5) 桩基检孔

钻孔灌注桩在终孔后，应对桩孔的孔位、孔径、孔形、孔深和倾斜度进行检验；清孔后，应对孔底的沉淀厚度进行检验。挖孔桩终孔后监理单位还应对孔底处理情况进行检验。

桩孔钢制检孔器宜采用粗钢筋、钢板、槽钢等组合制作，应具有足够的强度和刚度。检孔器外径应不小于设计桩径，长度宜为桩径的 4 ~ 6 倍。

3.3.2 明挖基础

3.3.2.1 一般要求

(1) 明挖基础宜在少雨季节施工。基坑顶面应在开挖前做好防、排水设施，排水措施应有效。深基坑施工应采用坑外降水，防止邻近建筑物产生沉降。

(2) 基坑有动载时，坑口边缘与动载间的安全距离应根据基坑深度、坡度、地质和水文条件及动载大小等情况确定。

(3) 所需的各种车辆、振捣器、开挖机具等应到位，完成基础所在地表测量放样，确定开挖轮廓及开挖数量。

3.3.2.2 施工工序

在明挖基础施工前，承包人应编制施工工艺流程图，作为各工序施工操作、保证施

工进度的依据，并悬挂在现场。明挖基础施工工艺可参照图 3.3.2 进行。

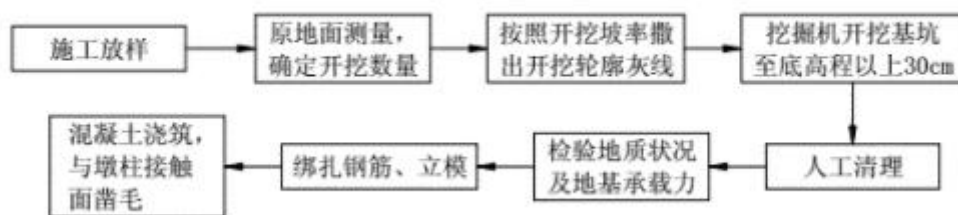


图 3.3.2 明挖基础施工工艺流程图

3.3.2.3 施工要点

(1) 基坑开挖前应根据水文、地质、开挖方式及施工环境条件等因素，验算基坑边坡的稳定，如不稳定应对坑壁采取支护措施。建设单位、监理单位应对基坑的支护方案、地基承载力检验和基底处理进行重点管控。

(2) 当基坑深度较小且坑壁土层稳定时，可直接放坡开挖；坑壁土层不易稳定且有地下水影响，或放坡开挖场地受到限制，或放坡开挖工程量过大时，应按设计要求对坑壁进行支护，设计未要求时，应结合实际情况选择适宜的坑壁支护方案，并应进行支护的专项设计。

(3) 基坑开挖时，弱风化岩层基底若呈倾斜形状，应凿成不小于 30cm 的台阶，在靠近基底 30cm 处开挖需要放炮时，应采用松动爆破，保证基底地质不受扰动。

(4) 挡板施工基坑时，基坑顶不得堆放机具等杂物，坑顶排水沟离坑壁 1.0m 以上，并采取防渗措施。

(5) 基坑机械开挖应连续施工，避免晾槽，一次开挖距基坑底面以上要预留 20~30cm，待验槽前人工一次清除至设计标高，以保证基坑地基承载力不受到影响；基坑顶四周采用围栏全封闭，挂密目网、挂警示牌。坑缘边留有护道，静载距坑缘不少于 0.5m，动载距坑缘不少于 1.0m。

(6) 混凝土施工：

- 1) 明挖扩大基础混凝土浇筑模板严禁使用土模，应采用组合钢模。
- 2) 混凝土灌注时，应采用泵送或串筒灌注，罐车运输。
- 3) 厚度达到 3m 的大体积基坑混凝土浇筑必须设置冷却管，通过循环冷却水确保混凝土内外温差不大于 25℃。

(7) 当浇筑量过大，设备能力难以满足施工要求，或大体积混凝土温控需要时，可分层或分块浇筑。

3.3.3 承台

3.3.3.1 一般要求

桩基检测应已完成并符合要求，对于水上承台，还应完成围堰施工并符合要求。

3.3.3.2 施工工序

在承台施工前，承包人应编制施工工艺流程图，作为各工序施工操作、保证施工进度依据，并悬挂在现场。

承台施工工艺流程：围堰施工（水上承台）→清理基坑→绑扎钢筋→立边模→混凝土浇筑→养生、与墩柱接触面凿毛。

3.3.3.3 施工要点

(1) 承台施工时，应保证桩头的完整性。桩基混凝土强度达到 15MPa 以上方可破桩头。桩头应采用环切法破除，严禁采用炸药或膨胀剂等材料进行，也不得使用大功率镐头机进行。



图 3.3.3 环切法破桩头

(2) 伸入承台的墩柱（台身）钢筋准确预埋到位，并按设计要求与桩基主筋连接，预埋筋轴线偏位不得超过 10mm，承台混凝土施工完成后对墩柱（台身）范围内的混凝土表面进行凿毛，其余部分顶面应抹平压光。

(3) 混凝土施工

1) 浇筑混凝土时，应避免雨天或晴热天气，并提前做好防雨措施，大体积混凝土应采取措施降低水化热。当浇筑量过大，或大体积混凝土温控需要时，可分层或分块浇筑。

2) 水中承台的混凝土采用泵送或船运输等方法进行，应充分考虑混凝土的坍落度损失，输送泵输送混凝土时，坍落度一般控制在 14~16cm 之间。

3) 封底混凝土应达到设计强度的 70% 后，方可进行围堰内抽水，抽水时严格控制速度，以确保安全。当采用风镐凿毛时混凝土强度须达到 15MPa 以上，小型构件和薄壁构件不得采用风镐凿毛，推荐采用人工凿毛。

凿毛应凿除接触面表面的水泥浆和软弱层，露出新鲜混凝土，并且外露的粗骨料分布均匀，一般要求表面凸凹高度在 2~20mm 左右。

3.3.4 桥墩

3.3.4.1 一般要求

(1) 施工前应完成场地平整压实，清除杂物。临时电力、水的供应已具备。施工技术人员与工人应全部到位，并进行技术交底，明确质量、安全、工期、环保等要求；钢筋、水泥、砂、碎石等材料均应到场，并检验合格。

(2) 桥梁基础等上道工序应检验合格，墩柱施工用的地锚应事先设置好，桥墩、盖梁的测量放样已经完成，经监理工程师检测合格。

(3) 可采用无人机对盖梁施工安全、质量进行监管。

3.3.4.2 施工工序

在墩柱施工前， 承包人应编制施工工艺流程图， 作为各工序施工操作、保证施工进度依据， 并悬挂在现场。墩柱施工工艺可参照图 3.3.3 进行。

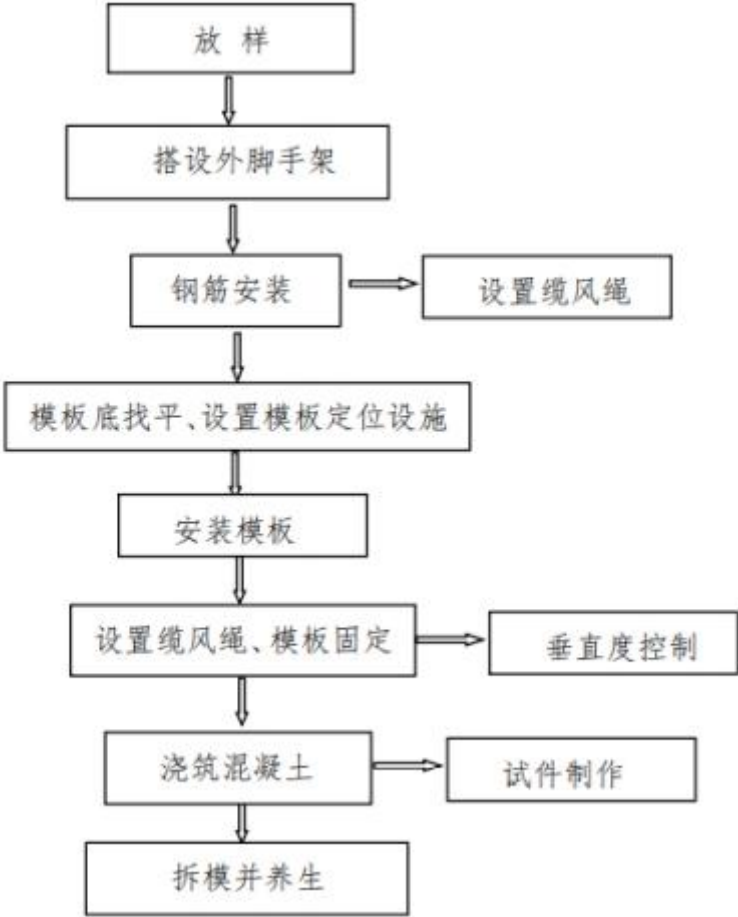


图 3.3.3 墩柱施工工艺流程图

3.3.4.3 施工要点

(1) 钢筋加工与安装

1) 钢筋笼运至现场起吊时应设置起吊扁担，减少钢筋骨架的变形。钢筋笼吊装就位时应控制钢筋笼钢筋中心位置及其垂直度。已安装好的墩柱钢筋骨架，在安装模板前应有临时稳定措施，防止倾倒。

2) 高墩盖梁施工预埋支撑件（如剪力销、型钢）与墩身钢筋存在冲突时，可适当调整预埋件处墩身钢筋间距，不得直接切断墩身主筋。

(2) 模板

①墩柱模板应采用定型钢模，面板采用厚度不小于 5mm 的钢板，后面用槽钢或角钢加强，以保证模板具有一定的刚度。

②模板与钢筋的安装工作应配合进行，操作脚手架不应与模板连接，避免引起模板振动、变形。

③墩柱模板应注重墩柱垂直度控制，15m 以上高墩不应采用吊锤法应采用光束定位；应排除滑模工艺，原则采用翻模与爬模技术。

(3) 混凝土浇筑

1) 应尽量缩短首节桥墩墩身与承台之间浇筑混凝土的间隔时间，间歇期宜不大于 10d。墩身平面尺寸较大时，首节墩身可与承台同步施工。

2) 墩高 $H \geq 40\text{m}$ 的高墩混凝土的垂直输送宜采用泵送方式。

(4) 养护

1) 墩身拆模后应立即进行养护。墩柱应采用塑料薄膜将立柱包裹，并采取墩顶滴灌方式进行养护。推荐外层加罩雨衣。

2) 高墩墩身应在模板支撑平台下设置计时自动养护系统，喷淋洒水养护墩身，喷淋系统随模板体系同步升高。

3) 墩身养护用水应加强水源补给频率，确保结构物表面湿润。

4) 每一节段墩身养护时间应不少于 7d。



图 3.3.4 圆柱墩风衣养



图 3.3.4 高墩喷淋养护

3.3.5 盖梁

3.3.5.1 一般要求

(1) 盖梁施工前应对立柱、墩身、台身混凝土强度、轴线偏位、顶面高程、垂直度进行检测，检测合格后方可进行盖梁施工。

(2) 盖梁施工宜采用定型一体化钢平台，平台四周设置护栏，护栏高度不小于 1.2m，作业平台宽度不得小于 50cm，底部应设踢脚板，有坡度的应设防滑条。

(3) 可采用无人机对盖梁施工安全、质量进行监管。

3.3.5.2 施工工序

在盖梁施工前， 承包人应编制施工工艺流程图， 作为各工序施工操作、保证施工进度依据， 并悬挂在现场。墩柱施工工艺可参照图 3.3.5 进行。

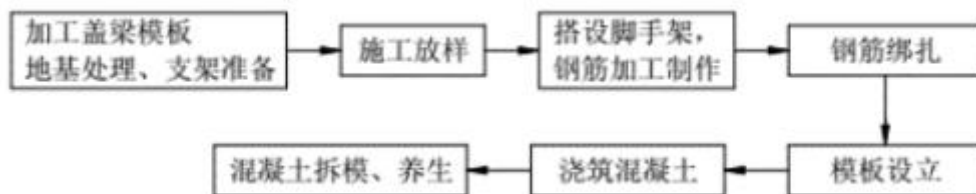


图 3.3.5 盖梁施工工艺流程图

3.3.5.3 施工要点

(1) 钢筋加工与安装

1) 盖梁钢筋骨架加工推荐采用钢筋骨架焊接机器人施工。一般情况下，盖梁钢筋的加工和组装宜在钢筋加工场内完成，整体运输到施工现场吊放安装。确因地形限制、运输困难的，可在现场安装骨架片和箍筋并应采用定位卡槽控制钢筋间距。

2) 盖梁钢筋整体吊放安装时，应采用多点吊装方法，防止盖梁钢筋骨架变形；整体骨架的底面、侧面应预先按梅花形绑扎高强混凝土垫块，确保保护层厚度。

3) 盖梁钢筋骨架顶面可视盖梁尺寸情况预埋数个钢筋吊环，便于支座垫石施工人员固定作业安全绳，吊环钢筋类型、强度等级、埋置深度等应符合相关安全技术规范并经安全验算。



图 3.3.5 盖梁施工

(2) 支架

1) 盖梁施工的支撑方式可采用落地支架法、摩擦钢抱箍托架法、剪力销（穿心棒）托架法等，具体方式应结合现场实际情况确定，并应进行受力分析计算与验算。

2) 盖梁施工采用“摩擦钢抱箍托架法”施工时，应采用双层抱箍，新加工的抱箍应进行预压试验，检验抱箍承载力；抱箍安装应采用力矩扳手确保高强螺栓紧固符合要求；采用剪力销（穿心棒）托架法施工时，剪力销钢棒应经过探伤和受力试验。

3) 盖梁托架不得使用千斤顶作为支承设施，宜使用钢楔块或砂筒。

4) 盖梁模板支架采用摩擦钢抱箍托架法施工时，应符合下列要求：

①抱箍施工前应彻底清除墩身覆盖养护风衣及养护薄膜，抱箍内壁宜加垫摩阻力较大的柔性材料增大抱箍与立柱之间的摩擦力，不得使用土工布衬垫。

②抱箍安装好后，应在抱箍下方做好标记，并在抱箍承受荷载后持续观察，如发现下沉异常时应及时处理。

5) 盖梁模板支架采用剪力销（穿心棒）托架法施工时，应符合下列要求：

①严格控制剪力销预留孔高程，剪力销孔应垂直于盖梁横向中心线。

②预留孔可采用 PVC 管填塞沙并用水泥封堵，待拆模后敲除水泥封堵层卸掉填塞料并使用高压风机进行吹灰后方可安装穿心棒。

③预留孔 PVC 管径宜大于钢棒直径 10mm。剪力销直径及外露尺寸应满足施工方案要求，两端应设置防转动装置。

(3) 模板

1) 盖梁模板应采用大型冷轧组合钢模，底模应采用不小于 6mm 厚的不锈钢面板整体轧制复合模板。

2) 底模与立柱的贴合处，应采取有效措施防止其漏浆。

3) 侧模宜整体吊装，侧模接缝处、侧模与底模接缝处宜粘贴双面胶条，且宜采用对拉杆使模板就位，拉杆应有足够的强度和较小的变形，拉杆和模板内支撑应设置在同一平面，通过内外支撑对模板进行调整、对中、加固。

(4) 混凝土浇筑

1) 盖梁混凝土的浇筑顺序应为从中间分别向两端对称、分层、连续浇筑。

2) 为防止盖梁顶面混凝土龟裂，应进行不少于三次收浆抹面作业，即在混凝土浇筑完成伊始收浆抹面一次，混凝土初凝前粗平一次，精平一次。

3) 浇筑盖梁混凝土时，应采取措防止水泥浆垢污染墩柱，影响外观。浇筑完成后如发现有漏浆，应及时冲洗墩柱。

4) 挡块混凝土宜与盖梁混凝土同时浇筑。

(5) 拆模、拆架

1) 底模的拆除时间应符合设计规定，待混凝土达到一定强度，盖梁承载力满足要求后方可进行。侧模的拆除应在盖梁混凝土强度达到 2.5MPa 以上，并应能保证其表面及棱角不因拆模而损伤方可进行。

2) 拆除抱箍时应严格按照方案执行拆除作业，做好安全措施和墩身保护措施，不得拆卸螺栓后任其自行落地。

3) 对盖梁混凝土进行养护时，侧模拆除前其顶面可采用浸水土工布覆盖养护；侧模拆除后，可采用透水土工布包裹，滴灌养护，保证混凝土表面始终处于湿润状态。养护时间应不少于 7d。

3.3.6 桥台

3.3.6.1 一般规定

参考本章第 3.3.4.1 条。

3.3.6.2 施工工序

在桥台施工前，承包人应编制施工工艺流程图，作为各工序施工操作、保证施工进度依据，并悬挂在现场。墩柱施工工艺可参照图 3.3.6 进行。

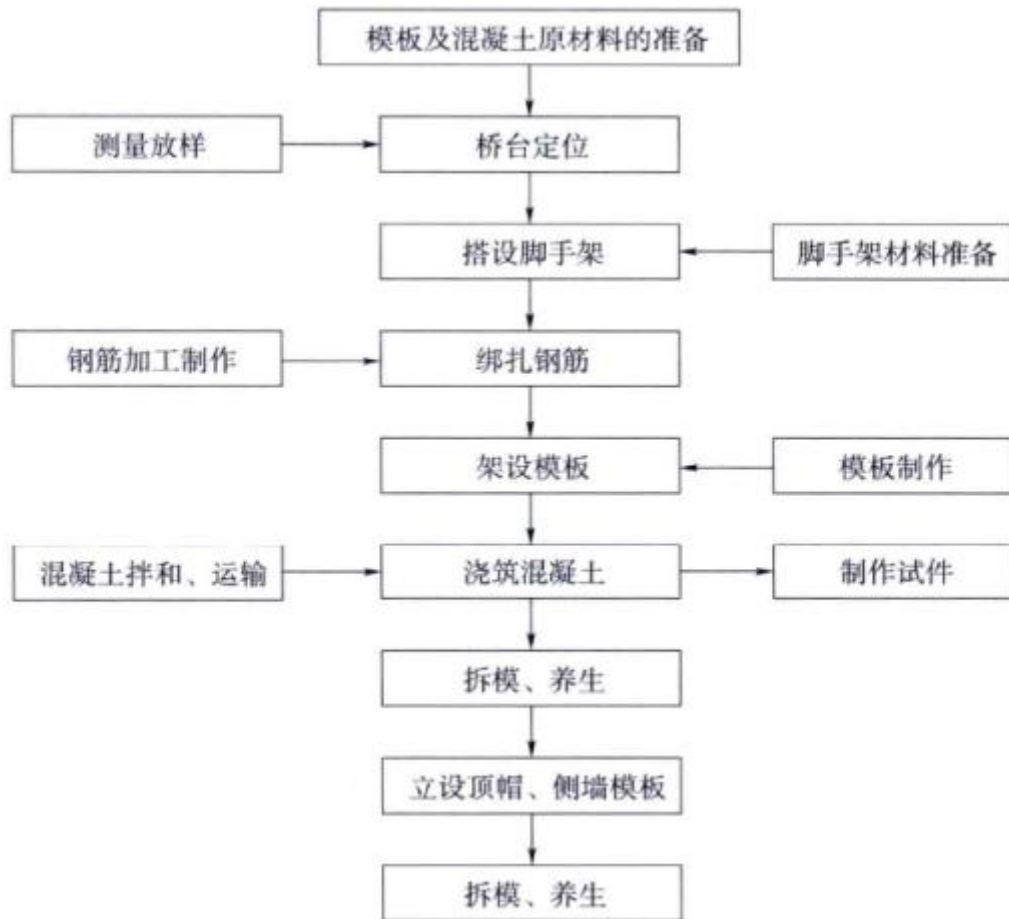


图 3.3.6 桥台施工工艺流程图

3.3.6.3 施工要点

(1) 模板一般采用大块钢模（尺寸大于 $1.5\text{m} \times 1.0\text{m}$ ）或大型竹胶板拼装，严禁使用自制木模，模板强度、刚度、平整度应满足规范要求。

(2) 桥台位于曲线上时，耳墙应结合路线平面设计方向和现场实际情况，合理调整与背墙、台帽间的夹角，确保耳墙护栏与前后护栏顺接。耳墙混凝土浇筑完成后，应根据设计坡度人工对混凝土进行找平，确保耳墙坡度符合设计及规范要求。

(3) 大体积桥台混凝土浇筑应选择适合天气，在一天中气温较低时进行，在混凝土中掺加外加剂，控制水化热释放速度，混凝土的坍落度宜控制在 $5\sim 8\text{cm}$ 。

(4) 若背墙影响梁体预应力施工，则背墙可在预应力施工完成后浇筑。

(5) 肋式桥台台背填土和锥坡的回填应同步进行，应分层在肋侧对称、均衡地进行

填筑。

3.4 桥梁上部结构

3.4.1 预制梁安装施工

3.4.1.1 一般要求

(1) 预制梁安装前应核验预制梁设计长度、细部尺寸、角度等技术指标,完成安装专项施工方案编制,并经监理单位审核批准。

(2) 预制梁安装前应对墩台的施工质量进行检验,并应对支座或临时支座的平面位置和高程进行复测,经验收合格后方可进行梁、板等构件的安装。

(3) 施工单位应根据预制梁结构特点、现场环境状况编制运输和架设方案;长度不小于 40m 的预制梁运输与安装专项方案应组织专家审查论证。

(4) 架设时严格按预制编号架梁,并应保证伸缩缝位置的梁端间隙。预制箱梁架设完成后应立即对梁端安装间隙进行测量,每片梁端部采集不少于 2 个数据,建立数据台账。

(5) 梁端间隙与设计偏差较大时,施工单位应分析偏差原因,编制专项处治方案,报监理单位、设计单位、建设单位研究审查。

3.4.1.2 施工要点

(1) 架桥机必须设置有效的限位装置,在轨道有效行程范围内设置缓冲器及端部止挡,盖梁上的架桥机前支腿宜采用枕木及型钢组合支撑,保证钢轨横坡小于 0.5%,架桥机应设置安全监控系统。

(2) 采用移动吊车双机联吊梁板属于非常规起重设备、方法,施工单位应编制专项吊装方案,监理单位应组织审查。吊装前应组织相关人员查看现场,方案应经过吊装司机确认。

(3) 装车时,预制梁应按设计支点放置,设计未规定时,后支点离梁端不得超过

1.5m, 防止出现结构性损伤。

(4) 架梁前, 应检查支承结构(墩台、盖梁)的混凝土强度和预埋件(包括预留锚栓孔、锚栓、支座钢板等)的尺寸高程及平面位置符合设计要求。

(5) 预制梁安装过程中, 吊具、捆绑钢丝绳与梁底面、侧面的拐角接触处, 应安放护梁铁瓦或消力橡胶垫等防护设施, 避免钢丝绳等损伤混凝土表面及钢丝绳被剪断出现安全事故。

(6) 安装在相邻孔跨的梁、板, 梁、板上有预留相互对接的预应力孔道的, 其中心应在同轴线上, 偏差应不大于 4mm。梁、板之间的横向湿接缝, 应在一孔梁、板全部安装完成后方可进行施工。

(7) 应在构件安装就位完毕并经检查校正符合要求后, 焊接或浇筑混凝土固定构件。简支梁安装后, 应采取措施保证梁体的稳定性, 防止倾覆, 不得无侧向支撑而单独放置于桥墩上。

3.4.2 支架现浇施工

3.4.2.1 一般要求

(1) 人员配置合理。支架搭设、拆除人员应持有特种作业证书。

(2) 张拉设备应满足施工要求。

(3) 进行专项施工组织设计评审、加载试验。

3.4.2.2 施工工序

图 3.4.2 为预应力钢筋混凝土现浇箱梁的施工流程, 其他形式的混凝土结构浇筑只需跳过相应的预应力施工步骤即可。

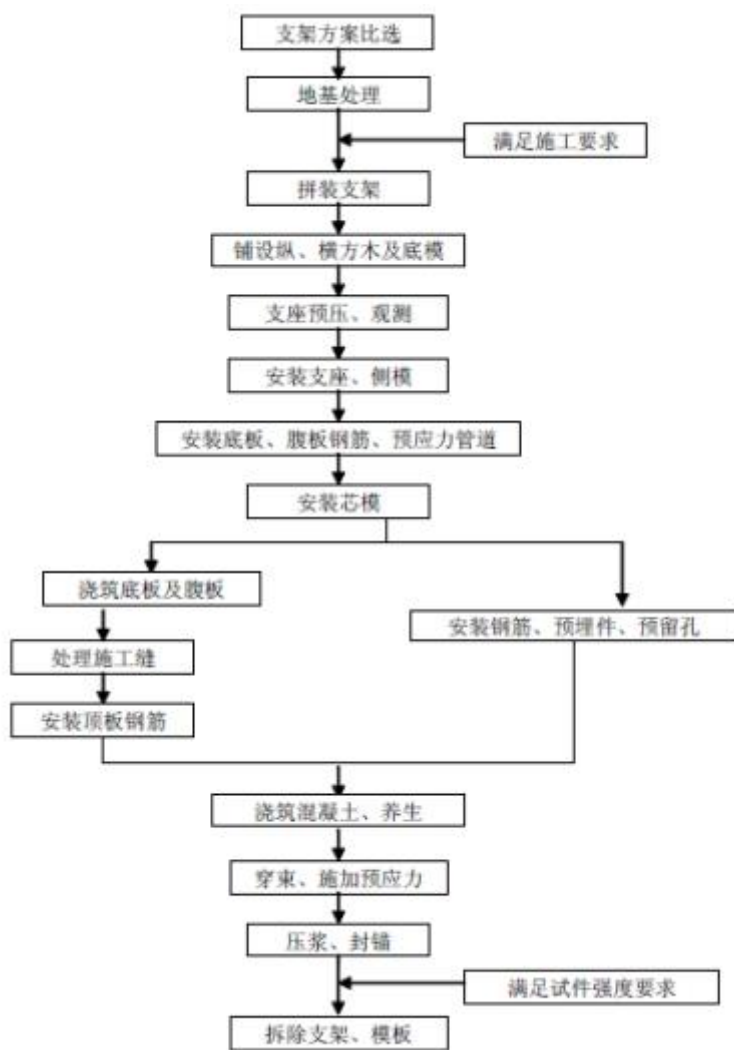


图 3.4.2 支架式现浇施工工序流程图

3.4.2.3 施工要点

(1) 现浇支架

- 1) 地基处理保证地基承载力满足要求、支架构件连接保证强度和稳定性要求。
- 2) 软基地段优先采用梁式支架（钢管桩基础及贝雷梁或工字钢施工支架）；梁式支架不宜采用拱式结构。
- 3) 在梁式支梁中，宜设置砂筒或钢楔块，用于调整模板的高程及用作模板的卸落装置。

(2) 模板安装

- 1) 底模安装前应复核支座的中心位置、轴线偏差、型号及活动支座滑移方向。

2) 混凝土全断面一次浇筑时，应采取措施防止内模上浮、下沉或移位：分两次浇筑时，第一次可只立内模侧板，在底板和腹板混凝土浇筑完成后再立顶板内模。

(3) 浇筑混凝土

1) 箱梁混凝土分两次浇筑时，两次浇筑的间歇期不宜超过 7d，浇筑的分界点宜设在顶板与腹板的交界处，并适当浇高 20mm 左右，在第二次浇筑前将此 20mm 混凝土凿除，以保证连接面混凝土的质量。

2) 梁体混凝土在顺桥向宜从低处向高处进行浇筑，在横桥向宜对称进行浇筑。

3) 在直线段一次浇筑长度超过 70m 时（对于小半径匝道，长度可适当减少），宜分段浇筑，防止混凝土因收缩和温度变化等因素引起开裂，纵向分段接缝应设在 $1/5$ 跨的弯矩零点附近。

4) 锚具附近应选择小型振捣棒辅助振捣，加密振捣点并适当延长振捣时间。

(4) 养护

混凝土梁浇筑完毕且顶面拉毛后，顶面宜采用土工布覆盖养护，保证混凝土表面始终处于湿润状态；翼板底面、腹板内外侧面宜采用淋水养护。养护时间均不少于 7d。

(5) 模板、支架拆除

模板拆除时，应先翼板后底板，并从跨中对称往两边拆，当跨径大于 20m 时，支架拆除宜分两阶段进行，从跨中对称往梁端卸载，卸载后从跨中往梁端拆除。

3.4.3 悬臂浇筑施工

3.4.3.1 一般要求

(1) 悬臂现浇箱梁施工应编制专项施工方案，进行专项施工组织设计评审。悬浇施工的挂篮、0 号块支架(托架)、边跨支架、合龙段吊架等临时支撑结构应进行专项设计，并应对临时支撑结构的强度、刚度和稳定性进行验算。

(2) 挂篮加工完成后应进行试拼装。挂篮在现场组拼后，应由施工单位、监理单

位成立联合验收小组，全面检查其安装质量，并应进行模拟荷载试验，符合挂篮设计要求后方可正式投入使用。

(3) 悬臂式现浇混凝土强度要求较高，应加强拌和站的设备和技术管理，严格控制原材料质量和配合比，保证搅拌时间，确保拌和质量。

(4) 监理单位应对悬臂浇筑梁混凝土强度、断面尺寸、相邻梁段间错台、合龙后同跨对称点高程差进行重点管控。

(5) 悬臂现浇桥梁施工过程中由有专业资质且有成熟监控经验的单位对桥梁线形、应力等指标控制进行第三方监控测量，并指导施工现场控制。建设单位应对悬臂浇筑梁监控量测工作进行管理。

3.4.3.2 施工工序

在悬臂浇筑施工前，承包人应编制施工工艺流程图，作为各工序施工操作、保证施工进度的依据，并悬挂在现场。悬臂浇筑施工工艺可参照图 3.4.3 进行。

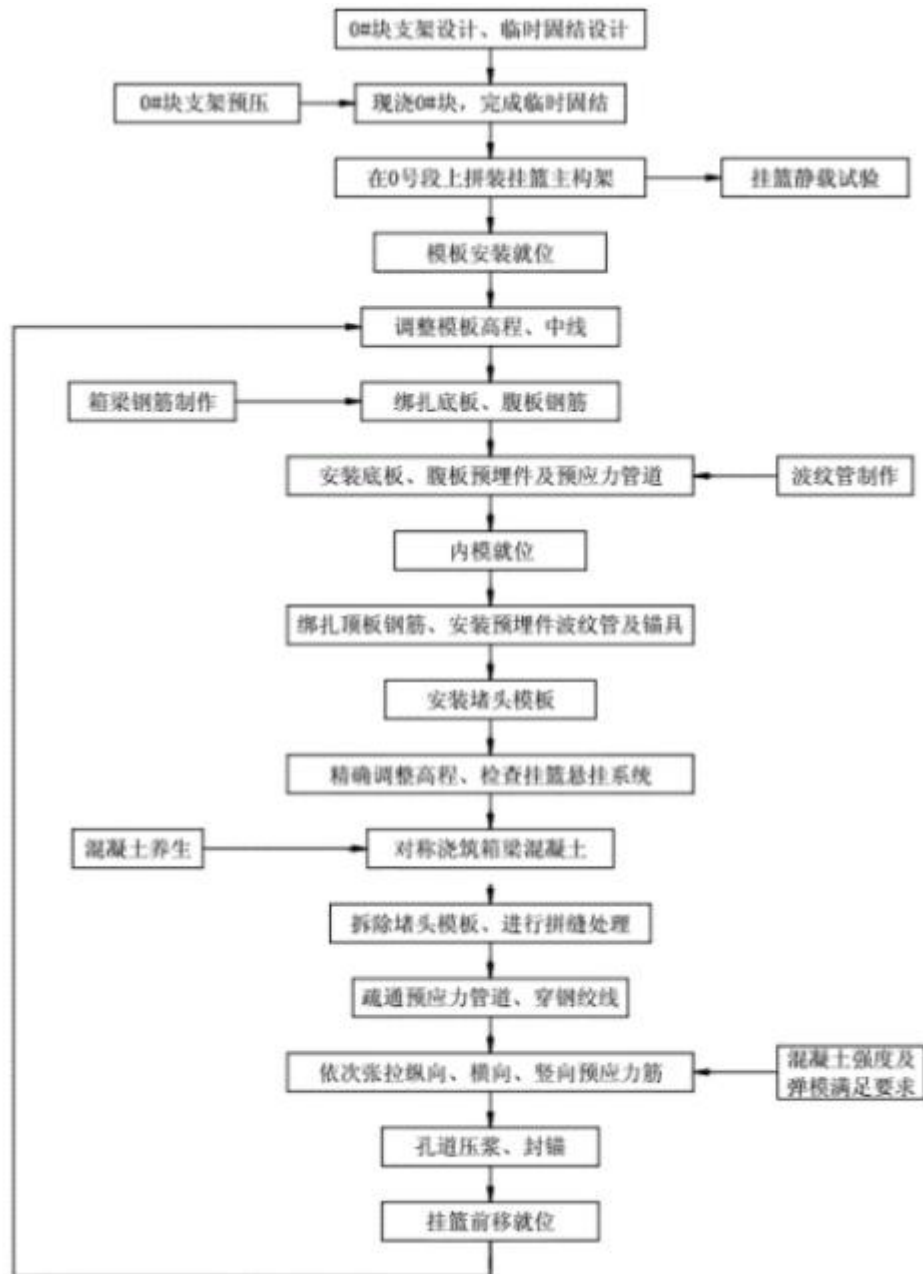


图 3.4.3 悬臂浇筑施工工序流程图

3.4.3.3 挂篮选用

(1) 挂篮设计

1) 挂篮设计一般由施工单位根据实际情况设计，综合考虑各部位刚度、强度、稳定性，委托专业钢结构厂家生产，设计时必须按照规范确保各项安全系数。

2) 挂篮外模板应采用大块整体钢模，内模板可用钢木结合模板。

3) 构件连接宜用销接或栓接模式，尽量减少焊连方式：吊杆连接应采用万向节，确保自由转动，避免吊杆挠曲，防止发生断裂事故。

4) 挂篮出厂前按照设计图纸进行试拼，并对结构焊缝做超声波探伤检查并记录。

(2) 挂篮静载试验

挂篮静载试验的目的在于取得挂篮结构刚度与挠度值之间的线性关系，同时检验机构自身的安全性。在块施工完成后拼装挂篮，用砂袋按照最不利情况进行预压，预压荷载超过最大荷载 20%，预压稳定后卸载，如此循环三次。

3.4.3.4 施工要点

(1) 0 块施工

1) 支架严格按照设计方案及规范要求设置剪刀撑、扫地杆等构件，并进行超载 20% 预压。

2) 0 支架应考虑到悬臂施工挂篮安装及推进的要求。

3) 0 块临时固结设计应满足拉压双重荷载工况的要求，宜使用易于拆装的钢结构或高强度混凝土结构（抗压），配合穿心的精轧螺纹钢（抗拉）。

4) 宜一次浇筑成型，浇筑前做好内模上浮防护措施。

5) 0 块隔墙厚度 $\geq 1.5\text{m}$ 时应设冷却水管，防止水化热导致内外温差过大。

6) 混凝土浇筑应按由外向内的顺序分层对称浇筑，分层厚度不得大于 30cm。

(2) 悬臂段施工

1) 纵坡大于等于 2% 时，挂篮应设置限位装置，防止其纵向滑移。

2) 悬臂混凝土浇筑应对称进行，宜采用可控方向的三通泵管来控制，最大容许不平衡重应以临时固结设计数据控制，但实际施工中宜控制偏差方量为 $1\sim 2\text{m}^3$ 混凝土。

3) 悬臂浇筑混凝土配合比试验除强度指标外，还应做弹性模量指标试验，确定 85% 及 100% 弹性模量的龄期时间，以作为节段张拉时间的控制依据。

4) 所有顺桥向预应力管道应在混凝土浇筑时使用衬管，防止漏浆堵管。

(3) 悬臂现浇

竖向线形控制箱梁在悬浇施工中，由于受自重、温度、外荷载等因素影响会产生挠度，同时，混凝土自身的收缩、徐变等因素也会产生标高变化，并随着悬臂长度的加大而增加。

为了使成桥后的线形达到或接近设计要求，因此必须在悬浇过程中对箱梁悬浇的各工况进行监控测量，并以此调整悬浇的立模标高。

1) 挠度观测的工况选择

挠度按如下三大工况进行监测：挂篮就位后、混凝土浇筑后、张拉完成后，特殊情况下如箱梁块件长度与截面尺寸变化的首件、施工至 $1/2$ 悬臂长度以及合拢前的 3~4 个块件，将根据需要增加预应力张拉前和混凝土浇筑前 2 个工况进行测量。

2) 挠度测量监控的原则和方法

挠度监测首先需做到四定原则：定人、定仪器、定时、定点。为避开日照、温差对挠度所造成的影响，观测时间宜选在日出前。

每次均需做好测量记录，并记录气象、温度等环境条件，测量完成后及时将数据进行整理分析。

混凝土浇筑前，监测单位在混凝土预埋控制元件，通过监测，联合标高测量，提供模板立模标高，保证桥梁线形。

(4) 合拢段施工

合拢段应根据既定的合拢顺序及配重方案，按照以下几个要求施工：

1) 合拢段配重方案是合拢施工的关键，应按工序逐一计算每一工况配重，宜采用水箱配重。



图 3.4.3 水箱配重

2) 卸载过程应有专人指挥，根据浇筑混凝土进展，逐步卸去。

3) 对连续刚构两端的悬臂梁段采用施加水平推力的方式调整梁体的内力时，千斤顶的施力应对称、均衡，千斤顶对顶的位置及预顶力的大小应由设计单位或监控单位提供，对顶后再焊接劲性骨架。

4) 合拢段劲性骨架先初步与合拢段的一端焊接牢靠，在一天中气温较低时，再与另一端焊接牢靠。合拢段劲性骨架锁定后应尽快浇筑合拢段混凝土。

5) 合拢段应在设计图纸要求的气温条件下浇筑，设计无规定时，选择温度变化较小的日期，一天中气温较低的时间进行浇筑，并一气呵成。浇筑完成后混凝土养护至合拢钢束张拉前。

(5) 预应力施工

1) 对纵向预应力长钢束的张拉，宜通过必要的试验确定其张拉程序和各项参数，长钢束的张拉持荷时间宜增加 1 倍；当钢束的伸长值不能满足要求时，可采取补张拉或多次张拉的措施，但张拉应力不得超过设计规定的最大控制应力。

2) 竖向预应力宜采用多次张拉的方式进行，多次张拉的次数应以钢束的伸长值达到要求且可靠锚固而定。

3) 箱梁三向预应力筋的张拉顺序应符合设计规定，设计未规定时可按先纵向、横向最后竖向的顺序进行。

3.4.3.5 质量控制

(1) 悬浇块件前，必须对桥墩根部（0#块件）的高程、桥轴线作详细复核，保证其符合设计要求后，方可进行悬浇。

(2) 轴线和挠度应在设计要求和允许误差范围内。

(3) 施工预拱度应在设计预拱度的基础上增加 $L/3000$ 。

(4) 在施工过程中，梁体不得出现受力裂缝。出现裂缝时，应查明原因，经过处理后方可继续施工。

(5) 应确保接头质量，拆模后立即进行人工凿毛，相邻块段的接缝应平整密实，色泽一致，棱角分明，无明显错台。

(6) 线形应平顺，梁顶面应平整，每孔无明显折变。

3.4.4 钢结构桥梁安装施工

3.4.4.1 一般规定

(1) 安装施工前，应根据桥位环境条件和桥梁结构及构件特点，合理选择安装方法，制定专项施工方案；当专项施工方案在实施过程中出现意外情况时，应进行修改或完善，并应按技术管理规定进行论证和审批。对各施工工序应编制作业指导书。

(2) 应根据桥梁结构、施工条件、构件特点合理选择安装设备及配套机具；安装设备和配套机具应具有较好的适用性和足够的安全性，满足安装施工的需要。

(3) 对临时受力结构，应进行专项设计和安全性复核算。对特别复杂的大型临时受力结构，应委托第三方进行复核算。

(4) 安装时应进行施工监控，使桥梁结构的内力和线形符合设计要求。对斜拉桥、悬索桥、拱桥、采用悬臂法施工连续刚构桥和连续梁桥以及采用顶推或转体方法施工的钢结构桥梁工程，应编制专项施工监控实施方案。

3.4.4.2 施工准备

(1) 安装施工前的准备工作应包括技术准备、资源准备和现场准备等。安装施工正式开始时,各项准备工作应充分、到位。

(2) 安装施工前,应对施工测量控制网进行复测和加密,使其满足构件安装的测量精度要求;未经复测或不能满足测量精度要求时不得使用。

(3) 对重要、复杂的安装施工工艺,宜通过仿真或模拟试验验证其可靠性和安全性,必要时应进行现场工艺试验。

(4) 对专门设计的起重吊装装置等,应进行现场加载试验并应符合设计要求。吊点及连接的形式、位置和方向应满足起重吊装工艺的要求。

3.4.4.3 施工要点

(1) 悬臂拼装

1) 应对悬臂拼装施工过程中节段和梁体的受力进行模拟计算分析,计算所采用的施工荷载应与实际的重量和位置相符合,节段和梁体在各施工阶段的应力和变形应符合设计要求。

2) 双悬臂拼装节段时应对称平衡施工,各工况下整体抗倾覆安全性应符合设计要求;单悬臂拼装节段时最不利工况抗倾覆安全系数应大于 1.3。

3) 起重设备的能力应满足构件吊装的要求,所有吊装工况均应通过安全性验算。配套所用的卷扬机、滑轮组、钢丝绳等机具和材料应采用状况良好的合格产品。

4) 悬臂拼装施工宜按吊装就位、调整定位、复核坐标、临时固定、连接的顺序进行,其中复核坐标应包括复核轴线、里程和高程,对斜拉桥主梁尚应复核索力,坐标与索力应满足设计和施工监控的要求。

5) 在同一墩或塔的两侧进行钢梁节段双悬臂拼装时应对称平衡施工,不平衡重量应控制在设计的允许范围内。相邻墩或塔的悬臂拼装施工进度宜保持基本同步。

6) 钢桁梁主桁杆件的拼装顺序应符合设计要求,设计未要求时应左右两侧对称拼装成闭合三角形,并应尽快安装纵横向联结系,保证结构的空间稳定性。

7) 采用焊接连接方式进行悬臂拼装施工时, 构件或节段在对接时宜使用导向装置; 钢箱梁宜采用组对匹配的连接件临时连接, 允许误差应不大于 1mm。临时连接的强度应依据所承受的荷载经计算确定, 且起重吊钩应在构件或节段临时连接并完全固定后方可松钩。焊接连接应按设计要求的顺序进行, 设计未要求时, 横向应从中线向两侧对称进行。

8) 拱桥的拱肋采用斜拉扣挂系统进行悬臂拼装时, 锚固点、扣索和风缆的设置应符合设计方案要求, 对其强度或承载力应进行检测, 保证安全可靠。拱肋的安装应先从拱脚开始, 依次向拱顶分段吊装就位, 拱肋各节段的上端头均应通过扣索的调整使线形达到预拱度要求。

9) 悬臂拼装施工过程中, 应对各种临时荷载进行管理, 使其位置、数量、加载时间等与施工方案一致。

(2) 顶推施工

1) 顶推施工应编制专项施工方案, 并进行专项施工组织设计评审。

2) 顶推施工一般应采用步履式顶推法, 不宜采用滑道式顶推。

3) 顶推施工的临时构件(导梁、滑道、临时墩)应进行专项设计, 并应对临时构件的强度、刚度和稳定性进行验算。

4) 应进行顶推全过程受力计算分析, 确保结构受力安全。

5) 顶推施工应编制梁体动态纠偏控制方案。

6) 顶推滑道的长度应大于水平千斤顶行程加滑块的长度, 宽度应为滑板宽度的 1.2~1.5 倍, 滑动装置的摩擦系数宜经试验确定。

7) 采用单点或多点水平千斤顶方式顶推时, 实际总顶推力不应小于计算顶推力的 2 倍; 采用单点或多点拉杆方式顶拉时, 拉杆的截面积和根数应满足项拉力的要求。拉锚器的锚固和放松应方便、快捷, 设置在各墩顶的反力台应牢固且应满足顶拉反力的要求。多点顶推(拉)时, 各点的水平千斤顶应同步运行。

8) 宜在墩顶上设置导向装置，防止梁体在顶推过程中产生偏移。顶推过程中，宜对梁体的轴线位置、墩台的变形、主梁及导梁控制截面的挠度和应力变化等进行施工监控：发生异常情况时。应停止顶推，查明原因并进行处理后方可继续施工。

9) 顶推时至少应在两个墩上设置保险千斤顶。如遇到顶推故障需采用千斤顶将梁顶高时，最大顶升高度不得大于 10mm，起顶的反力值不得大于计算反力的 1.1 倍。

10) 落梁前在拆除墩台上的滑动装置时，梁体的各支点应均匀顶起，其顶力应按设计支点反力的大小进行控制，顶起时相邻墩各顶点的高差不得大于 5mm，同墩两侧梁底顶起时高差不得大于 1mm。

11) 落梁时，应根据设计规定的顺序和每次下落量进行，同一墩台的千斤顶应同步运行。

3.5 桥面系及附属工程

3.5.1 护栏施工

3.5.1.1 一般规定

(1) 施工前，应对防撞护栏预埋钢筋进行复核，对缺、漏、错位的钢筋整改到位后，方能开始防撞护栏施工。

(2) 先施工桥面铺装的应在桥面铺装混凝土强度达到设计要求且养护期结束后才能开始防撞护栏施工。

3.5.1.2 施工工序

清洗桥面→精确放样→凿毛、调整预埋钢筋→钢筋制作安装→安装模板→浇筑混凝土→拆模→养生→表面修整。

3.5.1.3 施工要点

(1) 清洗桥面预制梁板边梁浇筑护栏位置应采用电动凿毛锤或人工凿毛的方法做凿毛处理，并采用空压机清理浮渣，最后用高压水枪冲洗干净。

(2) 测量放样

①采用全站仪按直线段每 5 米放样控制点，曲线段每 2 米放样控制点，确保桥上护栏与耳墙上护栏线型与设计平面线型一致。用四等水准测量方法在桥面设置 2 个水准控制点位。施工放样点位应准确、顺直。

②为确保桥面净宽满足设计要求，应将护栏控制点位向护栏侧移 5mm，并在护栏控制点埋置 2 个短钢筋头（护栏两侧），短钢筋采用 $\phi 12$ ，要求埋置 5cm，外漏 5cm。

③用水准仪测量预埋钢筋头的标高，反算钢筋标高及砂浆带标高，拉线控制钢筋标高和砂浆带整体标高。

(3) 钢筋制作与安装

钢筋骨架按设计要求制作，并与梁顶预埋钢筋进行连接，钢筋连接应按照有关规范严格执行。安装钢筋时应根据放样控制点采用拉线控制钢筋标高。

(4) 安装模板

1) 模板应采用整钢模，由面板、纵横加劲肋，背楞等组成，刚度和稳定性应满足施工要求，确保其在施工过程中不变形。模板交角处采用倒圆角处理，使其线形平顺，尺寸严格按照设计要求制作。

2) 模板在使用前需进行现场拼装、编号，分规格堆放。护栏模板的安装应严格按照规范进行，确保混凝土在施工过程中不出现跑模、错台、变形、漏浆等现象，并保证混凝土外观质量。

3) 模板接缝采用塑料胶带粘贴于模板接缝处，模板之间采用螺栓扣紧，模板与铺装层采用海绵材料填充，保证接缝严密，不漏浆，不污染。护栏模板安装完毕后，应对护栏模板顶面标高和垂直度进行复测，确保模板的线形满足要求。并采取有效措施确保模板牢固稳定。

4) 选择专用脱模剂，保证混凝土颜色均匀、表面光滑。

(5) 混凝土浇筑

1) 同一跨内的单侧护栏应一次性浇筑。混凝土浇筑采用分部、分三层斜向浇筑的方法，第一层控制厚度为 25cm，第二层浇筑到护栏顶 35cm 左右，然后浇筑到护栏顶。

2) 浇筑时振捣棒要快插、慢拔，以便使气泡充分溢出。振捣棒要插入已振完混凝土下层 5cm，已消除分层接缝；振捣时应严禁碰撞模板，以免模板损伤，影响混凝土外观质量。

3) 浇筑至护栏顶面时，应派专人进行顶面抹面修整，确保护栏成型后，顶面光洁，线形顺畅。

(6) 模板拆除模板拆除期限应在混凝土强度能够保证其表面及棱角不至因拆模而受损坏时方可拆除，一般应在混凝土强度达到 2.5MPa 时拆除模板。拆除模板时，不允许用强烈的敲打强扭等方法进行，严禁抛扔。拆模后，模板应及时修整，分类妥善保存。

(7) 养生采用土工布覆盖，洒水养护，养生时间不少于 7d。

(8) 表面修整混凝土浇筑完成后，应对混凝土表面进行局部修整，使混凝土表面光洁。发现表面有缺陷时，方案需报监理工程师批准后方可进行修复。

3.5.2 桥面铺装

3.5.2.1 一般规定

(1) 桥面施工前应对伸缩缝处预埋钢筋进行检验，对缺、漏、错位的钢筋应整改合格后，才能开始桥面铺装施工。

(2) 对双车道桥面铺装应采用全幅施工；对三车道以上桥梁应尽量采用全幅施工。分幅施工原则上只能分两幅施工，以减少纵向接缝。分幅应合理划分，纵向接缝位置应设置在车道标线处。

(3) 施工前梁顶应平顺，高程符合设计要求，预应力钢筋应张拉完毕并封锚，混凝土构件强度应达到设计要求。

(4) 施工过程中的设备机具：平板振捣器、振捣梁、振捣梁行车轨道、操作平台、

凿毛风镐、空压机、高压水枪等应已经检验进场。

3.5.2.2 施工工序

凿除浮渣、清洗桥面→测量放样→钢筋网绑扎→安装振捣梁行走轨道→支垫钢筋网片、控制高程→浇筑混凝土→收面、抹面→混凝土养生→泄水孔安装。

3.5.2.3 施工工艺

(1)施工前，应对梁顶面进行凿毛处理，并采用高压水枪及空压机将梁顶面冲洗干净。

(2)制作钢筋网时，应在梁顶面进行画线，然后铺设绑扎钢筋网。钢筋网整个桥面应连续，并且钢筋要横平竖直，钢筋交叉位置用扎丝扎牢，钢筋接头应注意错位。

(3)应根据中线放样和高程控制数据确定轨道高程，在混凝土调平层两侧安装 8cm 槽钢轨道兼做边模。轨道初步安装后，应及时进行高程复核，在轨道下按 1m 间距垫薄钢板进行调节，并将槽钢轨道与定位钢筋进行点焊，应将高程偏差控制在规范允许的范围内。轨道下缝隙要用高标号砂浆填塞密实。

(4)钢筋绑扎好后，采用 $\phi 8$ 架立筋，每平方米不少于 4 个，呈梅花行布置，并与纵向钢筋点焊连接，利用两边已经安装好的轨道拉线控制钢筋网片的顶面高程，将钢筋网距调平层顶面净保护层厚度控制在 2.5cm。

(5)按批准后的配合比进行混凝土拌制，施工过程应严格控制混凝土塌落度。

(6)浇筑前应对桥面进行清理，并洒水充分润湿。混凝土卸料要从桥面外侧向内侧进行，卸料不应堆放过高，及时人工摊铺，人工布料时应用铁锹反扣，严禁抛掷和搂耙。在混凝土浇筑过程中，严禁人员机械直接踩踏挤压钢筋网片，应制作人工平台。

(7)振捣时，先采用插入式振捣器振捣，使得骨料分部均匀，一次振捣时间不宜小于 20s，然后采用平板振捣器纵横交错全面振捣，其振捣面重合 100~200mm，一次振捣时间不宜少于 30s，位移控制以振捣器底部和边缘泛浆 $3\pm 1\text{mm}$ 为限。最后采用振捣梁沿轨道进行全幅振捣，直至振捣密实。

(8)振捣梁振捣密实后，表面宜用刮尺刮除水泥浆。然后用叶片式抹面机往返 2~3 遍整平饰面。在抹面机完成作业后，应进行清边，清除粘浆，修补缺边、掉脚。使用抹刀将抹面机留下的痕迹抹平，并用长铝合金尺或 3m 直尺检查表面平整度。

(9)混凝土铺装完成后，应立即进行养生。一般可采用覆盖土工布，持续洒水，保持铺装层始终处于潮湿状态。养生时间不少于 7d。

3.5.3 伸缩缝

3.5.3.1 一般规定

(1)伸缩缝应由厂家或专业队伍到现场负责安装施工。

(2)伸缩缝材料应固定平放，以防变形。伸缩缝产品必须有合格证，经验收后才能用于安装。

(3)应在桥面铺装前检查和整改预留槽宽度，预埋钢筋应定位准确，并经验收合格。

(4)应先安装一条工艺试验伸缩缝，待检验合格后，方可进行大面积施工。

3.5.3.2 施工工序

伸缩缝的施工一般采用反开槽法施工。

施工工序：预留槽口放样→切割伸缩缝预留缝→调整伸缩缝预埋钢筋→清除槽口杂物→安放伸缩缝→焊接钢筋→支模、浇筑混凝土→养生、成品保护。

3.5.3.3 施工工艺

(1)放样槽口、开槽

1) 沥青混凝土铺装层完成并验收合格后，根据施工图的要求确定开槽宽度，准确放样，打上线后用切割机锯缝，锯缝线以外的沥青混凝土路面，必须用塑料布覆盖并用胶带封好，以防锯缝时产生的石粉污染路面。锯缝应整齐、顺直，并注意将混凝土切透，以免开槽时缝外混凝土松动。

2) 采用风镐开槽，开槽深度不得小于设计要求，应将槽内沥青混凝土、松动水泥

混凝土凿除干净，应凿毛至坚硬层，并用吹风机和高压水枪清除浮沉和杂物。开槽后严禁车辆通行，严禁施工人员踩踏槽两侧边缘，以免槽两侧沥青混凝土受损。

3) 梁端间隙内的杂物，尤其是混凝土块必须清理干净，然后用泡沫塑料填塞密实。如有梁板顶至背墙情形，须将梁端部分凿除。

(2) 理顺、调整槽内预留钢筋，对漏埋或折断的钢筋应进行修复，统一采用钢筋胶或环氧树脂胶进行钢筋补植，补植深度不小于 15cm，补植后的钢筋须经监理、设计验收后方可使用。

(3) 安装伸缩缝

1) 伸缩缝安装之前，应按照安装时的温度调整安装时的伸缩值，伸缩缝定位宽度误差为 $\pm 2\text{mm}$ ，要求误差为同一符号，不允许一条缝不同位置上同时出现正负误差。

2) 应用水平尺检查伸缩缝顶面标高与桥面沥青铺装高差是否满足要求，一般伸缩缝应比桥面沥青铺装低约 2mm。

3) 控制伸缩缝的标高，然后应对伸缩缝的纵向直线度也要进行调整。伸缩缝标高和纵向直线度满足设计要求后，方可进行临时固定。固定时应沿桥宽的一段向另一端将伸缩缝边梁上的锚固装置与预留槽内的预埋钢筋每隔 2~3 个锚固点进行点焊，两侧对称施焊，保证抄平后的伸缩缝不发生变形，严禁从一端平移施焊，造成伸缩缝翘曲。

4) 安装时伸缩缝的中心线与两端中心线相重合。如果伸缩缝较长，需将伸缩缝分段运输，到现场后在对接，对接时，应将伸缩缝上平面置于同一水平面上，使两段伸缩缝接口处紧密靠拢，并校直调正。按规范要求焊接，焊接结束后用手提砂轮机磨平顶面。

(4) 浇筑混凝土前应在两侧铺设塑料布，以防止污染路面。混凝土振捣时应两侧同时进行，为保证混凝土密实度，特别是型钢下混凝土的密实度，用振捣棒振至不再出现气泡为止。振捣密实后，用抹板搓出水泥浆，分 4~5 次按常规抹压平整，应保证混凝土的平整度。

(5)混凝土浇筑完成后，应覆盖土工布或者麻袋，洒水养护，养生时间不得小于 7d。养生期间严禁车辆通行。

(6)混凝土强度达到设计强度的 50%以上时，可安装橡胶密封条，安装前必须把缝内清理干净。

3.6 涵洞工程

3.6.1 混凝土管涵

3.6.1.1 一般要求

(1)相关的设计图纸和文件已经过详细审核，提出的问题已得到相关部门的批复，并对有关作业班组做了详细的技术交底。

(2)所需的材料已进场并检验合格，管涵基础砼配合比已完成。如用外购圆管涵，已取得监理工程师批复；如为自制管涵，已完成砼管的配合比批复，并已完成各种试验检测，开始生产。

3.6.1.2 施工工序

施工工序见图 3.6.1。

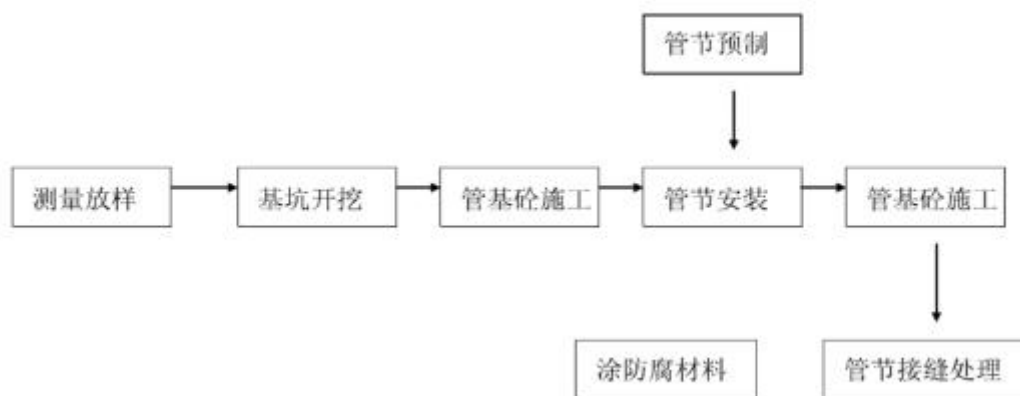


图 3.6.1 混凝土管涵施工工序图

3.6.1.3 施工要点

(1)圆管涵基坑的开挖应采用机械开挖。基坑开挖前放出基坑的开挖线，用白灰撒出做为标志。开挖时测量人员跟随配合观测，机械基底开挖后的标高应比设计高出 10~20cm，采用人工开挖整修。

(2)对插口管、接口应平整，环形间隙应均匀，并应安装特制的胶圈或用沥青、麻絮等防水材料填塞，不得有裂缝、空鼓漏水等现象，对平接管，接缝宽度应不大于 10~20mm，禁止用加大接缝宽度来满足涵洞长度要求。

(3)用于灌溉、水电设施的管涵，进水口管涵底标高应低于渠道标高 $1/4 \sim 1/5R$ (R 为圆管涵半径)。

(4)预制管节建议采用离心法旋转成型工艺，工厂集中预制可向水泥制管厂订制，管节段长度分别为 2.0 米和 0.5 米（调整涵长用）的正管节及斜管节，并应在端面标注型号，如 $\Phi 150$ 、斜 10° 、 30° 等字样，斜管节也可在现场浇筑。

(5)管基基底地基承载力不小于 160KPa，如实际地基土质较差，应联系设计单位调整。

(6)根据涵洞的涵底纵坡和地基土情况，每隔 4~6m 设置一道沉降缝，其位置以设在路基中心线和行车道外侧为宜。

(7)施工放样时，必须注意管涵的全长与管节的配置以及洞口端墙的准确位置，斜涵交角可按实际沟渠斜交角作适当调整。若现场沟底高程与设计出入较大，可对适当调整设计洞口高程，以防止洞口悬空或开挖过大。

(8)管基混凝土可分两次浇筑，先浇筑管底以下部分，此时注意预留管壁厚度及要放管节坐浆混凝土 2-3 厘米，待安放管节后，再浇筑管底以上部分，并保证新旧混凝土结合及管基混凝土与管壁的结合。

(9)涵洞顶上及洞身两侧在不小于两倍孔径范围内的填土须分层对称夯实，压实度在 96% 以上。亦可在路基填筑后进行反开挖，但施工期间须满足排水要求，防止涵洞上游壅水。

(10)施工过程中，当洞顶填土厚度小于 0.5 米时，严禁任何重型机械通过。

3.6.2 波纹管涵

3.6.2.1 一般要求

(1) 施工单位应加强现场环境核查，存在下列情况时不宜采用波纹管涵洞：

- 1) 长期（每年 2 个月以上）积水的涵洞结构。
- 2) 易于淤塞且与潮湿性材料长期（每年 2 个月以上）接触的涵洞结构。
- 3) 近海或中、强腐蚀环境（pH 值小于 5.5，电阻率小于 $50 \Omega \cdot \text{m}$ ）。
- 4) 软基路段或地基沉降较大时，涵洞基础的地基承载力、压实度和沉降量不满足设计要求时。

3.6.2.2 施工工序

施工工艺流程：施工前准备→施工放样→设置围堰→排水清淤→平整场地→基础分层回填→检测压实度、含水量等→水准测量→平整场地→施工放样→拼装管节（板片）→检测密水情况及管底纵坡→检测并涂刷防腐涂层→涵管就位→两侧分层回填→检测压实度、含水量等→管顶分层回填→进出口处理。

3.6.2.3 施工要点

(1) 基础部分

1) 基坑开挖应以拟建的钢波纹管涵为三倍于钢波纹管涵的宽度为宜。如因工地过小不得已时至少应确保跨径以外 1.5m 以上的作业空间。这样既方便组装，又利于钢波纹管涵周围的回填及密实。

2) 地基要对整个钢波纹管涵保持均匀的承载力。要避免软弱层和岩基交叉的地基，如果实在不可避免软弱地基要用优质砂石及砾石压实成形，岩石地基挖掘后用砂砾重新换填，厚度至少 30cm, 尽量减少整道涵洞的沉降量。

3) 基础的厚度从钢波纹管涵的底部算起 30-80cm 左右为宜，用透水性好，粒度分

布良好的沙质土、沙砾或碎石土成形，密实度达到设计要求。材料的最大粒径不得超过橡胶软连接波长的 1/2 或不大于 50mm。

4) 与波纹钢板接触部分要铺设厚度 15cm 以上的粗砂垫层，其最大粒径为 12mm。基础砂垫层的压实度不应小于 96%。

(2) 两侧及顶部回填

1) 钢波纹管涵填土之前，在波纹涵管的侧面每 20-30cm 高度作出填高标示，以便确定每层的压实程度及状态。

2) 钢波纹管涵的楔形部密实很重要，回填料采用粗沙，其含水量比正常大 3% 左右，单孔及多孔的楔形部可采用截面 15×15cm 的木夯捣实，单次冲击力要达到 9Kg；或可以用“粗沙”水密实法振捣密实，或用流态粉煤灰及轻型混凝土浇注到楔形部。

3) 两侧填土压实可用 12-20T 的压路机压实，靠近管体 30cm 范围采用小型夯实机械夯实，多孔间的两侧回填可采用小型夯实机械夯实，但一定要达到 96% 密实要求。靠近管体周围 0.5 米范围内，不允许有大于 50mm 的石块等硬物。

4) 压实后压实厚度每层应在 20-30cm 以下，压实要求要满足设计要求。

5) 与回填土相接触的堆土或挖土的斜坡面应处理成锯齿或阶梯状并压实，松软部分在填土前应处理。

6) 钢波纹管涵两侧回填应同时进行，压实落差应小于 30cm，对于端部挡墙的涵洞，从两端向结构的中心进行回填；对于没有端部挡墙的涵洞，从结构的中心向两端进行回填。

(3) 各种土质地基处理方法

1) 一般性土质地基

承载能力不太高的普通地基，需设定厚度一定的基础。但是，若将涵管底基槽原状土经严格夯实（其夯实度到重型击实密实度的 90% 以上）以后，也可直接将波纹管置于地基上。

2) 岩石地基

波纹管不能直接置于岩石或混凝土基床上，因过于刚性的支承，不但会降低管壁本身所具有的良好柔性，而且还会减小涵管的承载能力。所以对岩石地基应挖掉一部分软岩，换填上一层优质土，一般换填厚度不小于 30cm 为宜，并认真夯实。开挖软岩沟槽，不能使用烈性炸药和放深孔炮，以避免将过多的外层被炸松散。岩石风化层地基不能作为基础，需换填 3D 宽度的优质土。

3) 软土地基

当涵管处于软土地基上时，需对软土路基进行处理，涵洞地基处理方法同该路段的路基处理力法，然后在其上填一层大于 30cm 厚的优质砂砾垫层。

湿陷性黄土地基因湿陷性黄土的土质具有特殊性，基坑开挖后，基底回填不小于 50cm 的片石混凝土（或 3:7 的白石灰土），在其上回填厚度 30-80cm 的优质砂砾垫层。

4) 淤泥河道地基

处于常年流水的河道，往往淤泥没有受承载能力，一般处理为采用抛石的方法，抛石厚度约为 1.5-3m 让其稳定后，采用压实机械压实，在其上设不小于 30cm 的沙砾垫层。如河道沉积为沙石材料，压实后可直接铺设波纹管涵。

(4) 多孔钢波纹管涵管的横向间距

多孔波纹管或跨度大于 1.20m 的管拱，相邻两管（拱）间应有足够的填土宽度，使管（拱）间的填土易于压实。国内钢筋混凝土圆管涵，当直径 $D \leq 2.0\text{m}$ 时，净间距一般为 0.25m，关于波纹管两管间净间距 e 如表所示。

表 3.6-1 波纹管两管间净间距 (m)

波纹管直径 D	两管间净间距
$D \leq 0.6$	0.3
$0.6 < D \leq 2.0$	$0.5D$, 但不大于 1.0
$D > 2.0$	$1.0 \leq e \leq 3.0$

3.6.3 拱涵

(1) 拱圈和出入口拱上端墙的砌筑施工，应由两侧向中间同时对称进行。

(2) 拱涵混凝土的现场浇筑施工在涵长方向宜连续进行；当涵身较长不能一次连续完成时，可沿长度方向分段进行浇筑，施工缝应设在涵身的沉降缝处。

(3) 现浇混凝土拱圈时，应自拱脚对称浇筑，最后浇筑拱顶，或在拱顶预留合龙段，最后浇筑并合龙。

(4) 预制混凝土拱圈安装时，拱座与拱圈、拱圈与拱圈的拼装接触面，应先拉毛或凿毛（沉降缝处除外），安装前应浇水湿润，再以水泥砂浆砌筑。

(5) 拱架拆除和拱顶填土应符合下列规定：

1) 先拆除拱架再进行拱顶填土时，拱圈和护拱的砌筑砂浆或混凝土的强度应符合设计规定，设计未规定时，应达到设计强度的 85% 后方可拆除拱架，且在拱架拆除时应先完成拱脚以下部分回填土的填筑。

2) 拱圈和护拱的砌筑砂浆或混凝土的强度达到设计强度的 100% 后，方可进行拱顶填土。

3) 在拱架未拆除的情况下进行拱顶填土时，拱圈和护拱砌筑砂浆或混凝土的强度应符合设计规定，设计未规定时，应达到设计强度的 85% 后，方可进行拱顶填土；拱架应在拱圈强度达到设计强度的 100% 后方可拆除。拆除应由两侧向中间对称进行。

3.6.4 装配式通道

3.6.4.1 一般规定

(1) 构件预制可采用工厂定制，也可采用建设预制场地生产。

(2) 构件预制、运输和拼装应制定完备的实施方案，并进行专题评审。预制方案应包括预制场地建设；运输方案应包括构件出场检验和运输安全；拼装方案应包括结构安全验算。

(3) 构件强度达到设计强度的 75% 以上方可拆模、起吊、移动，达到设计强度的 90% 以上方可出厂。

(4) 构件预制前，应进行混凝土配合比、坍落度等专项试验。

(5) 构件运输前，应进行运输通道的检查和修整。

(6) 构件拼装前，应在预制场（厂）内进行试拼装，验证施工配置的可行性、结构的安全性和稳定性。

(7) 构件预制运输和拼装的所有机械、设备、工具、材料等应进行工前和定期检查。

(8) 构件预制、运输和拼装过程中应进行部品、部件保护，避免磕碰和变形引发的损伤。构件若出现损伤，应进行评估、修复，必要时更换。

(9) 通道的基坑开挖、垫层施工、回填施工、洞口面板施工、通道路面施工应按现行规范相关规定执行。

3.6.4.2 施工要点

(1) 主体拼装

1) 主体拼装应按先安装预制底板，再安装侧墙、顶板的顺序进行，当采用现浇底板时应按照先安装侧墙，再安装顶板，后浇筑底板的顺序进行。

2) 侧墙拼装时，底座与垫层应密贴，纵向拼接应平顺，横向位置和相对距离应适时检查、调整。

(2) 底板施工

1) 底板采用预制构件拼装时，湿接缝在顶板安装后浇筑。

2) 底板湿接缝现浇或整体现浇时，应注意断开沉降缝处的钢筋和混凝土。

(3) 洞口拼装

1) 洞口拼装在主体拼装、底板浇筑后进行。洞口拼装应按先施工端墙或帽梁，再施工基座、洞口面板和翼墙的顺序进行。

2) 洞口拼装时，作业应由主体端部向外进行。

3) 翼墙拼装时，构件应密贴。基座处的孔隙或间隙应及时灌注混凝土。

(4) 防渗漏处理

1) 通道拼装接缝、沉降缝应按下列规定进行防渗漏处理：

①拼装平接缝、沉降缝内部空隙应以沥青麻絮等进行填塞；

②拼装铰接缝内部应进行检查，出现空隙应以水泥砂浆或沥青麻絮等进行填塞；

③拼装接缝、沉降缝应按通道内勾浅凹缝、通道外勾平缝的方式采用水泥砂浆等进行填塞；

2) 通道用作过水涵洞时，应同步施工面板前端的截水墙。

(5) 开挖和回填

1) 装配式通道的基坑开挖可采用反开挖施工。

2) 土体回填应在通道底板施工完成后进行，通道两侧应对称回填。

3) 通道侧墙区回填时，侧面 0.5m 范围内应使用小型压实设备压实，压实设备的运行方向应与通道轴线平行；通道顶板上回填时，厚度小于 0.5 m 范围应采用静压设备压实。

3.7 质量通病防治

3.7.1 灌注桩常见缺陷

3.7.1.1 坍孔

(1) 通病现象

在成孔过程中或成孔后，孔壁坍塌，造成钢筋笼放不到底，桩底部有很厚的泥夹层。

(2) 原因分析：

- 1) 泥浆比重不够，起不到可靠的护壁作用。
- 2) 水头高度不够或孔内出现承压水，降低了静水压力。
- 3) 护筒埋设太浅，下端孔坍塌。
- 4) 散砂层中钻进时，进尺速度太快或停在一处空转时间太长，转速太快。

(3) 预防措施：

- 1) 在松散砂土或流砂中钻进时，应控制进尺，选用较大比重、粘度的优质泥浆（或投入粘土掺片、卵石，低锤冲击，使粘土膏、片卵石挤入孔壁）。
- 2) 如地下水位变化过大，应采取升高护筒，增大水头。

3.7.1.2 钻孔漏浆

(1) 通病现象

在成孔过程中或成孔后，泥浆向孔外漏失的现象，造成桩身尺寸不符合设计要求。

(2) 原因分析

- 1) 遇到透水性强或有地下水流动的土层。
- 2) 护筒埋设太浅，回填土不密实或护筒接缝不严密。
- 3) 水头过高使孔壁渗浆。

(3) 预防措施

- 1) 加稠泥浆或倒入粘土，慢速转动，或在回填土内掺片、卵石，反复冲击，增强护壁。
- 2) 在有护筒防护范围内封闭接缝，稳住水头。

3.7.1.3 桩孔偏斜

(1) 通病现象

成孔后孔不直，出现较大垂直偏差。

(2)原因分析:

- 1) 钻孔中遇较大的孤石或探头石。
- 2) 在有倾斜度的软硬地层交界处，岩石倾斜处，或在粒径大小悬殊的砂卵石层中钻进，钻头所受的阻力不匀。
- 3) 扩孔较大，钻头偏离方向。
- 4) 钻机底座未安置水平或产生不均匀沉陷。
- 5) 钻杆弯曲，接头不直。

(3)预防措施:

- 1) 安装钻机时要使转盘、底座水平，起重滑轮缘、固定钻杆的卡孔和护筒中心三者在同一轴线上，并经常检查纠正。
- 2) 钻杆、接头应逐个检查，及时调整。发现主动钻杆弯曲，及时更换。
- 3) 在有倾斜的软硬地层钻进时，应吊住钻杆控制进尺，低速钻进，或回填片、卵石，冲平后再钻进。
- 4) 在偏斜处吊住钻头，上下反复扫孔，使孔校直。⑤在偏斜处回填砂粘土，待沉积密实后再钻。

3.7.1.4 断桩

(1)通病现象

成桩后，桩身中部没有混凝土，夹有泥土层。

(2)原因分析:

- 1) 混凝土较干，骨料太大或未及时提升导管以及导管位置倾斜等，使导管堵塞，形成桩身混凝土中断。
- 2) 混凝土供应不及时，使混凝土不能连续浇筑，中断时间过长。
- 3) 导管挂住钢筋笼，提升导管时没能扶正，以及钢丝绳受力不均匀等。

(3)预防措施:

- 1) 控制好混凝土的坍落度。
- 2) 浇筑混凝土前与搅拌站联系，及时供应。
- 3) 浇筑水下混凝土时，做到连续作业，一气呵成。浇筑时勤测混凝土顶面上升高度，随时掌握导管埋入深度，避免导管埋入太深或脱离混凝土面。
- 4) 钢筋笼主筋接头要焊平，导管法兰连接处罩以圆锥形白铁罩，底部与法兰大小一致，并在套管头上夹住，避免提导管时，法兰挂住钢筋笼。

3.7.2 混凝土外观缺陷

3.7.2.1 混凝土蜂窝、麻面、孔洞

(1) 原因分析：

- 1) 模板接缝不严，板缝处漏浆。
- 2) 模板表面未清理干净或模板未涂隔离剂。
- 3) 混凝土振捣不密实、漏振造成蜂窝麻面、不严实。
- 4) 混凝土搅拌不均，和易性不好；混凝土入模时自由倾落高度过大，产生离析。
- 5) 混凝土搅拌时间短，加水量不准，混凝土和易性差，混凝土浇筑后有的地方砂浆少石子多，形成蜂窝。
- 6) 混凝土浇灌没有分层浇灌，下料不当，过振造成混凝土离析，出现蜂窝麻面。

(2) 预防措施：

- 1) 混凝土浇筑前应检查模板缝隙严密性，模板应清洗干净并用清水湿润，不留积水，并使模板缝隙膨胀严密。
- 2) 混凝土浇筑高度一般不超过 1.5 米，超过 1.5 米时要采取措施，如用串筒等进行下料。
- 3) 混凝土入模后，必须掌握振捣时间，一般每点振捣时间约 20-30 秒，使混凝土不再显著下沉，不再出现气泡，混凝土表面出浆且呈水平状态，混凝土将模板边角部分

填满充实。斜模板时应采用橡胶锤有规律地持续敲击或者安装附着式偏心振捣器进行振捣。

3.7.2.2 混凝土露筋

(1) 原因分析:

- 1) 混凝土振捣时垫块移位或垫块太少，钢筋紧贴模板，致使拆模后露筋。
- 2) 构件截面尺寸较小，钢筋过密，遇大石子卡在钢筋上水泥浆不能充满钢筋周围，使钢筋密集处产生露筋。
- 3) 混凝土振捣时，振捣棒撞击钢筋，将钢筋振散发生移位，造成露筋等。

(2) 预防措施:

- 1) 钢筋混凝土施工时垫足垫块，固定好。同时保证保护层厚度。
- 2) 钢筋较密集时，要选配适当石子，以免石子过大卡在钢筋处，如遇普通混凝土难以浇灌时，可采用细石混凝土。
- 3) 混凝土振捣时严禁振动钢筋，防止钢筋变形位移。

3.7.2.3 混凝土夹层

(1) 通病现象

混凝土内存在水平或垂直的松散混凝土或其它杂物夹层，影响结构安全性和耐久性。

(2) 原因分析:

主要是桥梁施工质量不良造成的。

- 1) 在浇筑混凝土前，没有认真处理好施工缝表面，没有充分湿润已结硬混凝土面，与之接触部分的新浇筑混凝土水份被已结硬混凝土吸取，造成新浇筑混凝土水份流失形成缝隙夹层:

- 2) 对施工部位的新浇筑混凝土振捣不够;
- 3) 钢模板隔离剂涂刷不均匀或局部漏刷，混凝土被粘损，形成麻面;

4) 已结硬混凝土的施工缝表面的施工杂物未加以清理，连续浇筑新混凝土使之形成混凝土的缝隙夹层。

(3) 预防措施：

a) 认真按施工验收规范要求处理施工缝及变形缝，缝表面应凿毛并将混凝土碎屑清除干净；

b) 接缝处锯屑、泥土砖块、多余的止水材料等杂物应清理干净并洗净；

c) 确保集料符合规范规定要求；

d) 连续浇筑混凝土时，上层混凝土振捣应插入到下层 5~10cm，确保接缝处混凝土振捣密实；

e) 避免振动棒拖振；

f) 可在模板低处设置预留孔以利于清除杂物。

3.7.2.4 混凝土破损

(1) 通病现象

表面或边角处混凝土局部掉落，影响外观，减小了构件截面，易使破损处裸露的钢筋锈蚀，影响结构安全性和耐久性。

(2) 原因分析：

1) 施工过程中质量控制不良，拆模较早或拆模时不注意棱角保护；

2) 拆模时粘模导致混凝土破损；

3) 吊装过程中不注重成品保护，碰撞损伤。

(3) 预防措施：

1) 木模板在使用前应认真清除表面水泥浆，均匀涂刷脱模剂，避免粘模；不得使用不平整、有缺陷的模板，防止粘模或木模板吸水膨胀将边角拉裂；

2) 混凝土浇筑后应认真保湿养护，在混凝土强度达到要求时，方能拆模，防止因拆模过早，混凝土强度过低，出现表面受损；

- 3) 拆模时注意保护棱角，分片分块拆模，避免棱角被碰掉
- 4) 在构件安装施工过程中，加强对成品的保护，防止撞击。

3.7.3 混凝土裂缝

3.7.3.1 收缩裂缝

(1) 表现形式及原因分析：

裂缝为混凝土收缩引起的。裂缝位于结构表面且宽度较细，成龟裂状，形状无规律，影响外观，减小有效保护层厚度，加速钢筋锈蚀。

(2) 预防措施：

- 1) 优化混凝土配合比，适当降低用水量和水泥用量；
- 2) 对新浇混凝土要及时保温保湿养生并采取防风、防晒的措施；
- 3) 加强对砂石料含水量的检查，根据含水量的变化及时调整施工配合比；
- 4) 改善混凝土振捣工艺，加强混凝土振捣过程控制，严禁拖振。

3.7.3.2 施工裂缝

(1) 原因分析：

在混凝土结构浇筑、脱模、堆放、拼装及吊运过程中，因施工工艺不合理、施工质量差，产生的各种裂缝。

(2) 预防措施：

- 1) 选用刚度好的模板并固定牢靠，防止模板变形、移位产生裂缝；
- 2) 严格控制拆模时间，在混凝土达到规定强度后拆模，拆模时避免野蛮操作；
- 3) 严格按规范处理支架基础，施工前对支架基础充分预压，待沉降稳定后进行施工；
- 4) 严格按规范要求对混凝土接缝的处理，防止在新旧混凝土和施工缝之间出现裂缝；

- 5) 构件按规范要求堆放，运输及吊装过程中避免颠簸、碰撞；
- 6) 严格按照设计预留构件间隙，防止因温度变化产生挤压裂缝。

3.7.3.3 温度应力裂缝

(1) 原因分析：

混凝土在浇筑过程中由于内外温差过大而产生的裂缝。

(2) 预防措施：

- 1) 蒸汽养护或冬期施工时应减小温度升降速率，避免混凝土内外产生较大的温差；
- 2) 夏季应及时覆盖土工布等并洒水养生，保证湿润；
- 3) 春秋季昼夜温差大于 15℃时，应延迟 1-2 日拆模并保持模板湿润，在拆模后立即保湿养护，防止混凝土表面出现裂纹；
- 4) 与预埋件进行焊接时，应采取有效措施，避免预埋件周围混凝土温度过高。

3.7.3.4 混凝土冷缝

(1) 原因分析：

因连续浇筑中断，在两次混凝土浇筑结合位置出现冷缝。

(3) 预防措施：

- 1) 浇筑前做好充分的施工准备，安排好人员、设备、材料，保证混凝土连续施工；
- 2) 在高温期施工，应调整混凝土施工作业时间，尽量安排在气温相对较低的夜间施工混凝土；
- 3) 应保证分层浇筑的间隔时间小于前层混凝土的初凝时间，必要时可加入缓凝型外加剂；
- 4) 因特殊原因造成连续浇筑中断时，应按规范要求进行处理。

3.7.4 预应力混凝土质量缺陷

3.7.4.1 混凝土质量问题

参照本指南第 3.7.2 节和第 3.7.3 节的相关内容。

3.7.4.2 封锚不规范

(1) 原因分析

- 1) 未及时封锚或封锚不完全，预应力筋锈蚀；
- 2) 封锚用砂浆强度不足，后期开裂或破坏。

(2) 预防措施

- 1) 压浆后及时封锚，应将外露锚具及预应力筋全部封住；
- 2) 封锚用砂浆强度应不低于梁体设计强度的 80%，加强封锚砂浆养护。

3.7.4.3 压浆问题

(1) 表现形式及原因分析

1) 张拉后未及时压浆、封锚，或压浆不饱满，留有大量空洞，预应力筋易产生锈蚀；

2) 压浆用浆液不合格，稠度不符合规范导致难以压浆，膨胀率不足无法保证水泥浆与构件间粘结紧密；

3) 违反施工规范要求，梁板张拉后未压浆就进行了移梁，降低承载能力，易在移梁时造成梁板损坏。

(2) 预防措施

1) 加强技术交底，提高作业人员对不及时压浆、压浆不饱满造成钢绞线锈蚀及对结构物产生损害的认识；

2) 宜采用真空辅助压浆且应保证压浆设备在压浆期间连续正常工作；

3) 压浆口封堵严实，宜采用控制阀门封堵，严格按照规范规定的压力及持续时间进行压浆；

4) 严格按照规范，在压浆强度达到规定要求时进行移梁。

3.7.5 悬浇箱梁施工常见缺陷

3.7.5.1 墩顶梁段（零号块）临时固结不牢

(1) 原因分析

- 1) 临时固结措施选用不当。
- 2) 对临时固定结构的计算及稳定性验算考虑欠周到。

(2) 预防措施

- 1) 正确选用临时固结方式和采用可靠的支承措施。
- 2) 临时固结或支承措施的要求是固结和支承可靠，确保施工中的稳定与安全，同时又能在体系转换时，方便快捷地解除约束。
- 3) 正确设置临时支座。

3.7.5.2 起步段（零号段两侧安装挂篮的起始节段）线形偏差过大

(1) 原因分析

- 1) 起步段长度选择不当，对安装吊蓝要求考虑不周。
- 2) 支架设计未经整体刚度、稳定性验算。支架未经预压或抛高不够。结构弹性、非弹性变形过大或地基沉降过大。
- 3) 施工时实际工况与设想相差过大，对施工中可能发生的因素考虑不周。

(2) 预防措施：

1) 为拼装挂篮，需在桥墩中心两侧先用支架浇筑一定长度的梁段，称为起步段。其施工支架可视实际情况，分别支承在墩身、承台或经过加固的地基上。该起步段可在零号段完成后利用支架对称浇筑，亦可将起步段与零号段同时浇筑。

2) 起步段应有足够的长度能满足两侧拼装挂篮的作业长度。同时确定其长度时应与全桥节段施工相协调，混凝土工艺与机械设备应与工程量相配套。

3) 施工支架的长度视所选用的挂篮拼装的需要而定。支架顶面应与箱梁底面纵向线形的变化一致。支架有扇形、门形等。

4) 为了减少支架变形，除了考虑支架的强度和刚度外，还应尽可能增大支架的整

体性，并采用等荷载预压，设置抛高及调整措施，以减少支架变形对混凝土箱梁质量的影响。

5) 支架上模板安装及混凝土浇筑，应符合模板施工和混凝土施工的要求。

3.7.5.3 支座安装缺陷

(1) 原因分析：

1) 墩顶支座安装面不平整，未经修整找平。

2) 支座中心线与标高未经校核，放样不准。

(2) 预防措施：

1) 安装永久支座的墩顶表面应按设计标高修整，并精确放样。在墩顶画出中心线或轮廓线，并需经复核。

2) 支座除标高符合设计要求外，还应保持平面的两个方向水平，支座的四角高差不得大于 2mm。支座中心线与主梁中心线应平行。

3) 安装地脚螺栓时，螺杆顶面不得低于螺母的高度。

4) 考虑橡胶的压缩，在安装支座时一般抬高 10mm，以便在体系转换后保证成桥时的梁顶面设计标高。

5) 用悬臂浇筑法施工连续梁，一般应先将墩顶梁段（即零号块）与桥墩临时固定，合拢前由各墩临时支座承受反力，而永久支座不受力。合拢后，临时支座的反力全部按连续梁支点反力的要求进行转换。此时，支座反力的调整，应以标高控制为主，反力作为校核。

3.7.5.4 中跨合拢段施工线形偏差过大

合拢段混凝土发现裂缝，合拢处下挠，线形与设计不符。

(1) 原因分析

1) 当悬臂较长时，由于结构的恒载和施工重量将产生较大的挠度，这些施工变形在各节段施工过程中经过不断调整后，将最后反映在合拢段两端。如果高差过大或合拢

段施工不当，将不仅使合拢段两端变形过大，还会影响全桥最终的线形和成桥后的受力状态。

2) 对影响合拢段的各项因素，如温度、临时“锁定装置”的刚度、强度、混凝土工艺、体系转换的方式与时机等考虑不周。

3) 施工组织、技术措施不当。

(2) 预防措施

1) 按照设计要求，正确制定合拢段施工顺序。

2) 临时锁定合拢段两端。

3) 做好合拢段混凝土浇筑前的准备工作。

4) 做好合拢段混凝土的浇注和养护工作。

5) 按设计要求完成结构体系转换。

3.8 四新技术推广应用

3.8.1 智能张拉与压浆

3.8.1.1 技术特色

智能张拉技术的应用一般需要得到控制平台、智能千斤顶、智能张拉仪的支持，具体如图 3.8.1 所示。基于图 3.8.1 进行分析可以发现，智能张拉仪负责千斤顶控制，计算机与张拉仪无线连接，以此实现信息的接收和反馈，能够精准实现预设命令。在高精度压力传感器和电子位移传感器支持下，智能千斤顶能够通过精确测量保证施工质量，计算机实时获取张拉数据可保证控制指令的及时发出。智能张拉和压浆技术具备全程自动化、张拉应力精度高、钢绞线伸长量控制精准、数据真实、节约成本、浆体密实等优势，能够较好地满足公路桥梁工程预应力施工需要。

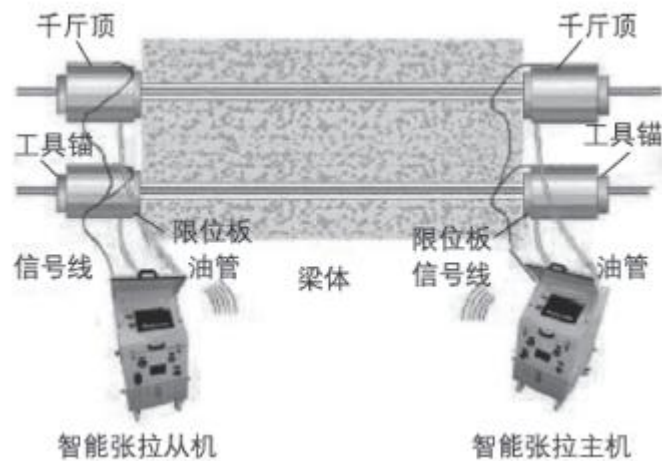


图 3.8.1 智能张拉系统示意图

3.8.1.2 工艺流程

(1) 智能张拉

1) 准备环节。在智能张拉和压浆技术应用前，施工人员对夹片、锚具、钢绞线等配套材料开展尺寸、外形、强度、力学性能等检验，同时保证检测设备如油压表校验合格。现场操作配备 2~3 人，电脑操作由 1 人负责，其余负责张拉过程监测，上岗前需开展严格的技术交底。控制站设置于无阳光直射且不会影响现场施工的区域，案例工程选择待张拉梁板的侧面。在两侧张拉端分别布置千斤顶和张拉仪，梁板两端张拉过程的同时观测能够顺利实现；

2) 设备安装。钢绞线下料并穿束应在设备安装过程中首先完成，采用薄片砂轮机切割钢绞线，需规避“毛头”、“散头”等问题，相较于千斤顶的工作长度，钢绞线外露长度需多出 200mm。套上工作锚板后需要在锚垫板处进行固定，由于存在较为干燥的施工环境，施工人员将一层黄油涂在锚板锥孔内。工作夹片安装前，用钢圈箍起每副夹片，随后将其轻轻送入锚板锥孔。限位板安装需结合钢绞线的规格控制限位尺寸，千斤顶装设需保证限位板与前端止口对准。工作夹片和工具锚安装需要对正前端张拉端锚，得到排列一致的孔位并避免钢绞线交叉扭结，装好工作夹片后应轻敲卡紧。通过设置防护板和张拉操作台，设备的稳定和安全能够更好得到保障，将紧靠梁体两端的铁架作为操作

台，千斤顶用导链悬挂于上面，千斤顶周围设置防护板。最后连接千斤顶的油表、油管与油泵电源，通过通信测试完成无线网络配置；

3) 系统设置。智能张拉和压浆技术的应用离不开智能张拉系统的支持，因此需做好该系统的参数设置，具体涉及项目信息、张拉参数，项目信息设置需围绕施工单位、工程名称、梁号、梁型等信息开展，张拉参数设置需围绕基本参数、桥梁参数、系统参数、压强校准、位移校准等内容开展，并针对性输入梁孔参数、理论伸长量、起始压强等参数信息，伸长量与张拉力数据必须预先计算得出，二者属于智能张拉施工的关键所在；

4) 启动系统。钢束张拉时应力加载应分段依次进行，依托精密传感器，智能张拉系统需要在张拉过程中监测伸长量、张拉力、位移、油压等数据，以此对误差率进行分析并生成曲线，如理论值与实际伸长量偏差过大，系统会自动报警并停止张拉。如存在90%以下的张拉力，系统能够自动补张，“双控”由此实现。张拉完成后的数据查看较为便利，系统同时具备历史记录查询和表格导出功能。

(2) 智能压浆

智能真空辅助压浆技术，施工过程中需要连接出浆端阀门与真空泵，同时将入浆端阀门关闭并抽气至负压，具体控制为 $-0.06\sim-0.10\text{MPa}$ 。将压浆机开启后，排出空气、积水及其他残留物，并连接锚垫板的压浆孔与管道。压浆端阀门开启后进行注浆，需做好负压容器内水泥浆稠度的检查，压浆机和真空泵需要在水泥浆稠度达标后暂停，继续压浆在排气阀打开后进行，排气阀关闭需要以泥浆稠度达标为依据。智能压浆需在压力 0.7MPa 时保持 3min ，最终将设备关闭即可完成施工。

3.8.1.3 控制要点

(1) 设备的选用与连接。选择水环式真空泵作为真空泵，同时设置有浆体过滤贮存器和气水分离装置。选择螺杆式灌浆泵作为压浆泵，通过连续注入浆体，其能够实现空气混入的控制，未采用出口压力波动大且活塞缸气密性差的传统活塞式压浆泵。为

保证浆体均匀性及综合质量，采用强制性搅拌机负责水泥浆拌制，同时保证所有阀门的气密性满足规范要求，为随时观察浆体，应选择透明管作为连接管；

(2) 浆体材料选择及配比设计。案例工程采用水、水泥、外加剂配比成的浆体进行施工，选择普通硅酸盐水泥，标号为 42.5，水中氯盐、硫酸盐质量分数需分别控制在 0.5%、0.1% 内，同时选择专用浆体外加剂作为外加剂。作为压浆工序的关键，浆体配比设计需结合密实度及和易性要求，并设法减少离析及孔隙等问题，以此将水灰比适当降低，控制为 0.3~0.4，并按照 5~35℃ 区间控制浆体搅拌及压浆温度，拌和 3h 后浆体需要具备 2% 以内的泌水率且完全吸收能够在 24 内完成。浆体的稠度需控制为 10~25s，初凝时间 3~4h，同时控制体积变化率在 2% 内；

(3) 压浆控制。按照先下后上顺序进行压浆施工，需一次性完成每个孔道压浆，不得中断，需在施工过程中密切观察出浆孔道的出浆情况。完成施工后需开展 28d 的标准养护，并得到满足设计规定的抗压强度。

3.8.2 装配式桥墩快速建造技术

3.8.2.1 技术特色

桥梁的桥墩是桥跨的支撑结构，其中柱式桥墩一般由基础上的承台、柱式墩身和盖梁组成。优点是能减轻墩身自重，节约圬工材料，比较美观，刚度和强度都较大，在有漂流物和流冰的河流中可以使用。

当前，我国桥梁施工，尤其是桥墩施工基本上大多采用现浇施工方法。现浇施工工艺落后，施工周期长、过程繁琐，造成交通拥堵、环境污染，难以满足当今社会经济快速发展的需求。而相应的装配式结构，可以提前在工厂预制各构件，运输至现场后直接拼装，免除支模、浇注混凝土、养护等工序。大大缩短了现场施工周期、减少了场地占用，同时工厂化预制使得工程质量容易控制，受气候限制较小。尤其是在交通繁忙路段的旧桥改造、加固，可以显著减少对交通的影响。

3.8.2.2 工艺流程

(1)准备工作

1) 预制构件制作前，建设单位应组织设计、生产、施工单位对其技术要求和质量标准进行技术交底，明确各阶段质量控制要点，生产、施工单位应制定生产方案；生产方案应包括生产工艺、模具方案、生产计划、技术质量控制措施、成品保护、堆放及运输方案等内容。

2) 预制构件的预埋件、吊点等应由施工单位进行验算，设计单位及监理单位进行复核。构件安装施工前，施工单位应根据实际情况对预制构件的现场安装制定专项技术方案、质量和安全保障措施。

3) 安装施工前，宜选择有代表性的单元进行构件试安装。必要时，根据试安装结果及时调整完善施工方案和施工工艺。

4) 应根据环氧粘结剂在不同温度下固化速度制定施工方案。

(2)墩柱、盖梁预制

(3)灌浆套筒安装

(4)灌浆金属波纹管安装

(5)承台施工

(6)立柱与承台安装

立柱安装宜采用以下工艺流程：外露钢筋除锈→拼接面凿毛清理→拼接缝测量放样→挡浆模板铺设→调节垫块找平→拼接缝表面充分湿润→匹配拼装→砂浆垫层铺设→立柱吊装就位→调节设备安放→竖直度、轴线、标高测量→精确调整→灌浆套筒连接或灌浆金属波纹管连接。

(7)立柱间节段安装

立柱间节段安装宜采用以下工艺流程：拼接缝表面处理并充分干燥→拼接缝测量放样→匹配拼装→环氧粘结剂涂刷→立柱节段安装→调节设备安放→竖直度、高程测量→

精确调整→临时固定→灌浆套筒连接。

(8) 盖梁与立柱安装

盖梁安装宜采用以下工艺流程：拼接面凿毛清理→拼接缝测量放样→铺设挡浆模板→调节垫块找平→拼接缝表面充分湿润→匹配拼装→砂浆垫层铺设→盖梁吊装就位→轴线和顶面高程测量→盖梁空间坐标调整→灌浆套筒连接或灌浆金属波纹管连接。

(9) 盖梁间节段安装

(10) 灌浆连接

灌浆连接宜采用以下工艺流程：灌浆料倒入搅拌设备→计算用水量并精确称重→自动搅拌→浆料倒入储浆装置→浆料倒入灌浆设备并连接压浆口压浆→出浆口出浆或端部出浆→持续出浆后停止压浆并塞入止浆塞→下一个套筒或金属波纹管压浆。

3.8.2.3 控制要点

(1) 墩柱、盖梁预制

1) 钢筋笼应在专用胎架上制作加工成型，胎架上支撑定位体系应保证主要受力钢筋定位准确。

2) 预制构件宜采用钢模板，并根据安装、使用和拆除工况进行模板专项设计；钢模板应具有足够的强度、刚度和稳定性，并满足多次重复使用不变形的要求。模板在出厂前应进行拼装验收，模板安装尺寸的允许偏差应符合国家现行相关标准的规定。

3) 钢筋笼应满足构件设计图要求，宜采用专用定位板，钢筋笼应符合下列要求：

①钢筋笼尺寸应准确，钢筋笼吊装时应采用多吊点的专用吊架，防止钢筋笼产生变形；

②钢筋笼合模后，应按设计图纸要求对钢筋位置、规格、间距、保护层厚度等进行检查，允许偏差应符合本标准及国家现行相关验收标准的规定。保护层垫块宜采用同强度混凝土垫块，且应与钢筋笼或网片绑扎牢固；垫块宜按梅花状布置，间距应满足钢筋限位及控制变形要求；

③钢筋笼合模时应平直、无损伤，表面不得有油污或者锈蚀；

④钢筋的加工宜采用高精度专用数控设备；钢筋下料长度应严格控制，允许偏差为±2mm，插入套筒的主筋端部应打磨平整；

⑤应按构件设计图纸安装好灌浆套筒(套筒方向应正确放置)或金属波纹管、连接件、预埋件、进浆管和出浆管等；

⑥钢筋笼主要受力钢筋(纵筋和箍筋连接)宜采用气体 24 保护电弧焊；7 主要受力钢筋的连接接头宜采用机械连接。

4) 灌浆套筒或金属波纹管应与箍筋、锚固钢筋制作成整体模块后置于钢筋笼内，必要时模块应进行加固以确保混凝土浇筑时模块不变形。

5) 灌浆套筒或金属波纹管安装定位允许偏差为±2mm。

6) 钢筋笼内应安装成品所需的吊点预埋件、现场调节设备用的预埋件、支座预埋件等各类预埋件并采取固定措施，同时吊点处应局部加强。

7) 模板安装位置应准确，各部位的连接应牢固可靠，对拉螺栓宜采用高强度精轧螺纹钢，对拉螺栓位置应对称均匀；接缝应严密且不漏浆。

8) 混凝土浇筑前应再次对钢筋笼、灌浆套筒或灌浆金属波纹管定位进行检查，允许偏差均为±2mm；同时应对台座表面标高及水平度进行复测，标高允许偏差±1mm，水平度允许偏差为±1mm/m。

9) 混凝土应一次性浇筑完成，浇筑时宜先行浇筑灌浆套筒或灌浆金属波纹管范围内混凝土。振捣过程中应确保金属波纹管不发生挤压变形和损伤。

10) 预制完成后应对墩柱、盖梁空间尺寸进行复测，灌浆套筒定位或灌浆金属波纹管定位各向允许偏差均为±2mm。

(2) 灌浆套筒安装

1) 灌浆套筒预制厂内安装前应按厂家提供的有效的型式检验报告及产品说明书检查套筒外观质量、尺寸偏差和配件等。

2) 半灌浆套筒的钢筋机械连接应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/TF50 的有关规定。钢筋机械接头性能应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ107 中 I 级连接接头要求。

3) 全灌浆套筒预制端和钢筋连接接头应放入止浆塞，并确保密封牢固。

4) 灌浆套筒压浆管、出浆管和对应的压浆口、出浆口连接应密封牢固，压浆管、出浆管长度应根据承台、墩柱或盖梁尺寸预留准确，并用止浆塞塞紧。

5) 灌浆套筒现场装配端应采用装有定位销的定位板定位，安装允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ 。

6) 灌浆套筒预制安装端及现场拼装端钢筋伸入长度均不应小于 $10d_s$ (d_s 为被连接纵向钢筋直径)；套筒下端应设置压浆口，套筒上端应设置出浆口，压浆口下缘与端部净距应大于 30mm ；套筒制作允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ ；安装时套筒方向应正确放置。

7) 灌浆套筒与箍筋应进行绑扎固定，不得采用焊接。

8) 预制构件拆模后，应及时全数检查灌浆套筒内腔是否干净通畅，确保无水泥浆等杂物，如有漏浆或杂物，应及时清理干净。

(3) 灌浆金属波纹管安装

1) 金属波纹管安装前应按现行行业标准《预应力混凝土用金属波纹管》JG225 的相关规定进行质量检验。

2) 金属波纹管应采用内衬钢管等措施保证预制过程中不变形。

3) 压浆管、出浆管和对应的金属波纹管压浆口、出浆口连接应密封牢固，压浆管、出浆管长度应根据承台或盖梁尺寸预留准确，并用止浆塞塞紧；如直接由上端出浆，端部应采取密封保护措施。

4) 金属波纹管全长不应小于 $24d_s$ (d_s 为被连接纵向钢筋直径)，且不得拼接；内径不宜小于 d_s (d_s 为被连接纵向钢筋直径) + 40mm ，内径尺寸允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ ；对于内径不大于 10cm 的波纹管，其钢带厚度（壁厚）应不小于 0.45mm ，波纹管肋高应不小于 3.10mm 。

5) 金属波纹管应与箍筋进行绑扎固定，不得采用焊接。

6) 预制构件拆模后，应全数检查灌浆金属波纹管管道内是否干净通畅，如有漏浆或杂物，应及时清理管道。

(4) 承台施工

1) 套筒区钢筋采用模块化制作，模块安装应采用固定措施，确保模块的稳定性及定位的准确性。

2) 承台顶凹槽模板应严格按照设计尺寸进行支设，确保凹槽尺寸及形状精准，并对凹槽表面进行粗糙处理。

3) 承台浇筑混凝土前，全部模板和钢筋预埋件、套筒位置、套筒压浆管、出浆管应按图纸要求进行检查，并检查套筒密封性，未经监理工程师检查验收，不得浇筑混凝土。

4) 两个相邻套筒区应采用专用定位器进行位置准确定位，为防止浇筑过程中对定位器产生扰动，在承台混凝土浇筑过程中及完成后须对定位器纵横向中心距离进行复测，以免造成偏差而对后期上部墩柱安装造成困难。

5) 在承台浇筑时必须控制其标高和水平度精度。套筒区预埋钢筋坐标允许偏差±2mm，标高允许偏差为±5mm，拼接面水平度允许偏差为±1mm/m。

6) 承台施工属于大体积混凝土施工的情况，应编制专项施工方案，审批后严格按照方案执行。

7) 承台中灌浆套筒或金属波纹管应采取有效的保护措施，防止积水及杂物进入套筒或波纹管中。

(5) 立柱与承台安装

1) 安装施工前应对立柱与承台拼接面的坐标、标高和水平度进行复测。

2) 立柱与承台安装前应进行匹配拼装，同时对外露钢筋的锈蚀、位置等情况进行检查，钢筋应平直、无损伤，表面不得有裂纹、油污、颗粒状和片状老锈。

3) 调节设备宜采用千斤顶等工具，千斤顶的型号规格应满足调节需要。

4) 在拼接面位置，承台上应布置调节垫块，调节垫块总高度不宜大于 3cm，调节垫块的材质和强度应符合设计要求。

5) 立柱安装就位后应设置临时安全措施。

6) 垫层砂浆在拌浆时应制取试件，对应安装部位每个班组应制取不小于 3 组。7.3.8 砂浆垫层施工环境温度宜为 5℃~35℃；低于 5℃时不宜施工。

7) 砂浆垫层应及时进行养护。

(6) 立柱间节段安装

1) 安装前应对立柱节段拼接缝进行表面处理，确保表面无油、无水及无可见灰粉。

2) 安装前应对立柱节段拼接缝表面进行复测，标高允许偏差为±5mm，水平度允许偏差为 1mm/m。

3) 环氧粘结剂应均匀涂刷，涂刷时间宜控制在 30min 内，涂刷前、后均应采取防雨、雪、尘措施。在节段间的环氧粘结剂固化过程中，立柱节段间压应力应不小于 0.3MPa。

4) 上节立柱应设置调节设备，用于调节的预埋件应在立柱预制时安装。

5) 立柱安装就位后应设置临时支撑措施防止倾覆。

(7) 盖梁与立柱安装

1) 安装前应对立柱与盖梁拼接缝表面进行复测，标高允许偏差为±5mm，水平度允许偏差为 1mm/m。

2) 盖梁与立柱安装前应进行匹配拼装，同时对外露钢筋的锈蚀、位置等情况进行检查，钢筋应平直、无损伤，表面不得有裂纹、油污、颗粒状和片状老锈。

3) 调节设备宜采用千斤顶等工具，千斤顶的型号规格应满足调节需要。

4) 在拼接面位置，立柱上应布置调节垫块；调节垫块的材质和 32 强度应符合设计要求。

5) 盖梁拼装就位后应设置临时安全措施。

- 6) 垫层砂浆在拌浆时应制取试件，对应安装部位每个班组应制取不小于 3 组。
- 7) 砂浆垫层施工环境温度宜为 5℃~35℃；低于 5℃时不宜施工。
- 8) 砂浆垫层应及时进行养护。

(8) 盖梁间节段安装

1) 盖梁间节段安装前应进行拼接面处理，确保表面无油渍、水和可见灰粉。

2) 环氧粘结剂应均匀涂刷，覆盖整个拼接面，涂刷时间宜控制在 30min 内，施加临时预应力时，环氧粘结剂应在全断面均匀挤出，节段间的环氧粘结剂固化过程中，节段间压应力应不小于 0.3MPa，同时应对孔道口做好防护，严禁环氧粘结剂进入预应力筋孔道；当施工环境温度低于 5℃时应采取保温措施。

3) 临时预应力钢筋和永久预应力钢筋的布置、预应力钢筋类型、张拉顺序、张拉力应严格按照设计要求执行。

4) 预应力混凝土构件张拉完成后应尽快完成压浆封锚，且宜在 48h 内完成，否则应采取避免预应力筋锈蚀的措施。预应力张拉全过程监理应进行旁站，应 100%进行影像和图片资料记录存档。

(9) 灌浆连接

1) 灌浆连接应由执证上岗的专业人员操作，宜由构件预制厂专业班组施工。

2) 连接部位压浆实施前，应现场模拟构件连接部位的压浆方式，对每种规格钢筋应制作不少于 3 个套筒灌浆连接接头，进行试压浆，压浆质量检验合格后方可进行批量压浆作业。

3) 灌浆前应再次清理套筒或金属波纹管，检查进、出浆管，确保内腔通畅无杂物。

4) 灌浆料使用前，应检查产品包装上的有效期和产品外观；按照灌浆料使用说明书的操作规程进行浆料均匀搅拌，确保浆料无干灰、无结块、无泌水，满足相关要求后方可进行灌浆作业。

5) 灌浆套筒或灌浆金属波纹管中使用的套筒灌浆料的技术指标应符合设计规定。

套筒灌浆料应在安装前一天进行流动度测试及 1d 龄期抗压强度测试，符合标准后方可用于现场安装连接。

6) 套筒灌浆料在拌和时应制取试件，对应每个安装部位同条件养护试件应制取不少于 3 组，分别测试 1d、3d 和 28d 龄期抗压强度。

7) 灌浆施工应保持连续，如在灌浆过程中遇停电等突发状况时，现场应启动应急发电设备，采用高压水枪等设备及时进行清洗。

8) 灌浆完成后应及时清理残留在构件上的多余浆体。

9) 灌浆全过程监理应进行旁站，并在压浆作业记录单上签字确认，应 100%进行影像和图片资料记录存档。

10) 安装定位固定后灌浆时间、灌浆压力、临时支撑措施拆除时间等应满足预制构件安装专项施工方案要求。

11) 当工地昼夜平均气温连续低于 5℃或最低气温低于-3℃时，安装时应对套筒灌浆料进行保温，灌浆料的温度应不小于 10℃且不大于 40℃；同时应对拌合所需的水进行加热，温度应不小于 30℃且不大于 65℃。

12) 雨天施工应防止雨水进入灌浆料。

3.8.3 挤扩支盘桩

3.8.3.1 技术特色

挤扩支盘桩是一种新型结构的钢筋混凝土灌注桩，其受力机理明确，它采用支盘挤扩机械，根据地质情况在硬土层中通过液压挤扩，对各分支和承力盘周围土体施以三维静压，挤扩支盘桩空腔，经挤密的周围土体与空腔内灌注的桩身、支盘紧密地结合为一体，发挥了桩土共同承力作用形成挤扩支盘桩。该技术能充分利用地基承载土层，在有效地减小桩径和桩长的同时大幅度提高桩的承载力，并减少桩体沉降量。

3.8.3.2 工艺流程

(1) 桩定位放线→挖桩坑、设钢板护套→钻孔机就位→钻孔至设计深度→钻机移位至下一桩位钻孔→第一次清孔→将支盘成型器吊入已钻孔内→在设计位置压分支、承力盘→下钢筋笼→下导管→二次清孔→水下灌注混凝土→清理桩头→拆除导管、护筒。

3.8.3.3 控制要点

(2) 挤扩支盘桩应进行逐墩勘察，选择合适的土层设置盘或支，设计应明确各承支盘土层的挤扩压力最低值标准。

(3) 根据地质情况和支盘尺寸选择匹配的支盘设备，进场前应对支盘设备油压表进行标定。

(4) 挤扩支盘桩施工前宜先试成孔或试桩，使用挤扩支盘设备对土层进行探查检测，收集土层技术参数。

(5) 挤扩支盘桩主桩成孔、钢筋笼制造和安装、清孔、混凝土灌注遵循现行钻孔灌注桩要求。

(6) 挤扩支盘桩采用变截面时，应采取措施保证大直径和小直径桩基中心重叠，宜采取不移动钻机更换钻头的方法。

(7) 挤扩支盘桩主桩成孔宜采用优质泥浆，相对密度一般控制在 1.05~1.25，施工单位宜通过试成孔确定合理的泥浆指标。

(8) 支盘施工前应对主桩孔径和倾斜度进行检测，检验合格后进行清孔。支盘挤扩采用静力挤扩工艺，挤扩压力值应满足设计要求，盘腔挤扩叠加率应大于 15%。

(9) 支盘施工时应根据挤扩压力值标准对支盘周围土质进行检测，结合支盘尺寸和盘腔稳定的检测数据，由设计单位对支盘承载力进行评判和调控。

(10) 挤扩支盘桩的检查及验收按照现行《桥梁挤扩支盘桩》(JT/T855) 执行。桩身混凝土完整性检测宜采用超声波无损检测及一定比例的抽芯。

3.8.4 波形钢腹板预制拼装技术

3.8.4.1 技术特色

波形钢腹板预制拼装技术结合了短线匹配预制、架桥机悬臂拼装施工工艺，波形钢腹板先在钢结构厂制造，然后运输至混凝土构件预制场地，采用短线匹配预制工艺逐节段成型组合梁节段，待存放期满足要求后转运至施工场地。梁段预制的同时施工下部结构，具有缩短现场施工时间、减少对既有交通环境影响的优点。

3.8.4.2 工艺流程

(1) 钢筋-钢腹板组合骨架入模

波形钢腹板组合梁节段钢筋骨架入模方式可分为分部入模和整体入模。分部入模流程为：底板底层钢筋吊装→波形钢腹板吊装定位→波形钢腹板贯穿钢筋调整、固定→底板顶层钢筋安装→顶板钢筋笼吊装→波形钢腹板顶部贯穿钢筋安装；整体入模则为顶、底板钢筋笼与波形钢腹板制作为整体后吊装入模。整体入模可缩短预制台座内的作业时间，但会增加整体吊装难度及波形钢腹板在预制台座内难以调整的风险；分部入模易施工，但钢筋骨架组装效率较低。对于被钢筋混凝土连接件或波形钢腹板断开的区域，应增加辅助连接钢筋，以提高钢筋笼吊装时的整体稳定性，减少变形。

(2) 短线匹配预制模板系统设计与使用

针对变截面特点，将端模分为端模固定块、端模活动块，固定块与端模支架焊接固定，确保端模顶标高不变，通过调整、更换端模底部变化块形式拟合箱梁断面变化；同时，将底模设置为高度可调节的结构形式，以满足梁高变化需求。

(3) 波形钢腹板模内安装定位

利用 PBL 连接件预留孔进行吊装。吊装边腹板节段时，在底部缆风绳牵引下，沿侧模倾斜入模；中腹板节段则垂直吊装入模。波形钢腹板模内定位包括匹配梁侧定位、固定端模侧定位。由于波形钢腹板节段出厂前已按制造线形预拼，并在相邻节段间设置临时匹配连接件，因而除起始节段外的标准节段，波形钢腹板均可通过临时匹配件与匹配

梁进行连接后调位，各匹配件间应紧密贴合并打入冲钉。固定端模侧利用固定端模及侧模处三向调位工装，辅助千斤顶、手拉葫芦等措施将波形钢腹板精确定位，并通过限位挡板及止浆耳座等进行固定。波形钢腹板定位后，应再次进行定位复测，并确保定位措施能有效控制波形钢腹板在浇筑过程中的移位。

（4）钢筋混凝土结合部混凝土浇筑

确保波形钢腹板与混凝土顶、底板结合部混凝土浇筑质量是关键控制内容。针对埋入式连接构造，底板布料顺序为：底板中央→被波形钢腹板隔开的箱室内侧承托→被波形钢腹板隔开的箱室外侧承托，横向两侧对称浇筑。为确保底板混凝土浇筑的均匀性，浇筑时在固定端模顶面挂设串筒，并经溜槽输送至底板进行布料浇筑；局部波形钢腹板承托不易布料处则利用铁锹、灰斗、人工布料，严禁用振捣棒直接“赶料”。混凝土振捣以插入式振捣为主、附着式为辅。

（5）新型组合梁脱模、吊装与存放

波形钢腹板箱梁横向抗弯刚度及空间抗扭刚度偏小，需研究脱模及吊装时机、吊点及存放支点布置、转运过程中的增强措施等。通过有限元分析及现场测试，结果表明：①混凝土抗压强度分别达到设计强度的75%，85%后方可进行脱模、吊装作业；②针对宽幅双箱室节段梁，采用12吊点方案进行起吊，双层存梁时，需在中腹板处增加柔性支垫；③在箱室内增加交叉刚性支撑，可有效减小桥面板横向挠曲变形，提高抵抗侧向偶然撞击的能力。交叉刚性支撑为槽钢，在模板拆除后、箱梁吊运前安装，如图3.8.2所示。

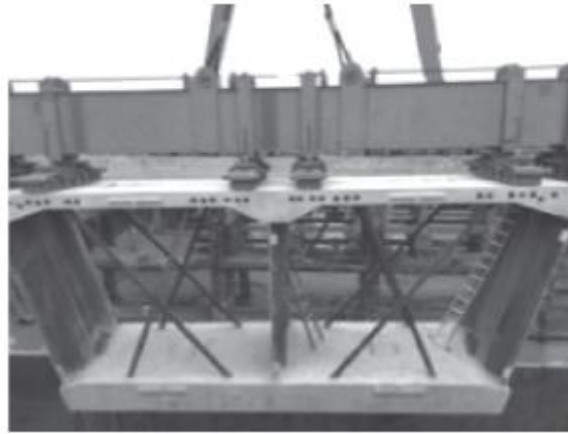


图 3.8.2 交叉刚性支撑

(6) 波形钢腹板箱梁节段架桥机悬臂拼装

1) 总体方案

波形钢腹板箱梁采用架桥机对称悬拼施工，先安装左幅再安装右幅。首先搭设墩顶 1, 2 号块拼装支架和 0 号块现浇支架，采用履带式起重机吊装 1 号块；0 号块现浇完成后，在 0, 1, 2 号块上拼装桥面吊机，对称拼装标准节段。边跨箱梁在架桥机上调节定位，预应力张拉后直接落梁到边墩支座上；浇筑中跨湿接缝，完成中跨合龙。由于架桥机跨度较小，需在中跨跨中设临时墩，用以架桥机过跨，如所示图 3.8.3。

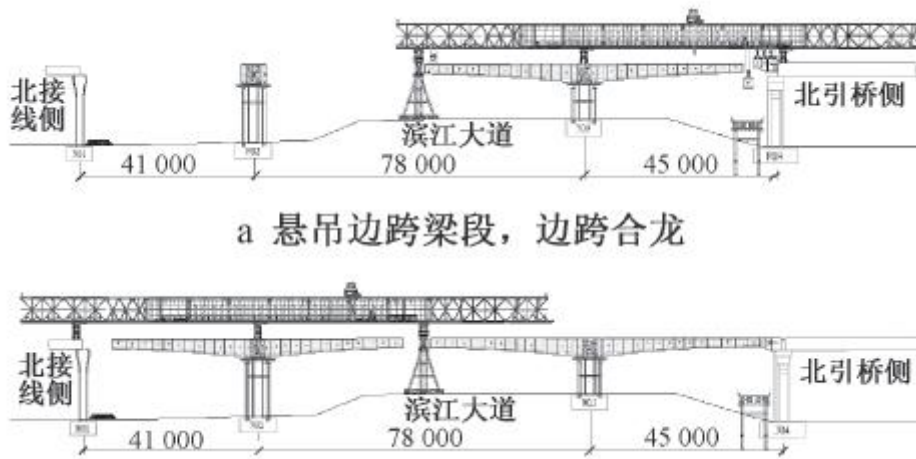


图 3.8.3 架桥机悬臂拼装典型工序

2) 1号块高精度安装

1号块采用200t履带式起重机进行安装。吊装前在墩旁支架上放样1号节段纵横桥向边线，定位箱梁两侧腹板及底板位置，焊接外腹板两侧及顺桥向靠近墩顶侧的限位挡板，横向限位挡板与箱梁间预留1cm空隙；利用4台三向千斤顶进行位置精准调整，先驱动平推顶，调整轴线及里程位置，然后驱动竖向顶，调整标高，调整完成后复测，直至定位精度满足要求，轴线偏位 $<2\text{mm}$ ，四角顶面高程偏差为 $\pm 2\text{mm}$ ；精调完成后，将准备好的梁底楔形垫块塞紧，保证回顶后梁体无回落；用薄钢板塞入并焊接横桥向限位挡块与箱梁间缝隙，使箱梁横桥向限位牢固；顺桥向限位挡块始终与箱梁底板端面密贴。通过2根JL32精轧螺纹钢筋临时锚固梁体与墩旁支架，利用顶、底板内临时预应力将0号块两侧1号块拉结固定，以消除0号块混凝土现浇部分侧压力对1号块的影响。

3) 标准节段悬臂拼装

2号块拼装由于1号块支承于支架上方，而2号块通过架桥机安装，节段支撑条件的差异必然带来匹配口变形差异，进而影响2个节段的顺利密贴。2号块安装前，一方面通过计算分析掌握吊装过程中的变形量，另一方面对1号块进行精确测量，对比两者变形差，提出调整措施。此外，还需控制箱梁顶板内横向预应力的张拉时机。

钢筋混凝土匹配连接节段试拼完成后，在规定时间内完成涂胶作业，并将待安装节段向已安装节段靠拢完全拼接；安装拼装节段顶、底板的临时预应力拉杆，按设计值和规定的顺序张拉临时预应力；环氧胶固化后，张拉顶板体内纵向预应力束，并及时进行预应力管道压浆，完成1对梁段的拼接；随后完成波形钢腹板节段间的焊接，如图3.8.4所示。



图 3.8.4 标准节段架桥机悬臂拼装

3.8.4.3 控制要点

波形钢腹板组合梁节段预制模板系统设计需考虑以下几点：

- 1) 固定端模应在腹板区域设置活动块，方便波形钢腹板下放入模；
- 2) 固定(浮动)端模、侧模应布置波形钢腹板三向调位及定位工装；
- 3) 为避免混凝土浇筑过程中漏浆，在波形钢腹板与箱梁顶、底板结合部位设置断面方向钢顶板与内(侧)模间可调节式止浆装置、采取固定端模与波形钢腹板间安装端头底模等止浆措施。专用匹配预制模板系统如图 3.8.5 所示。

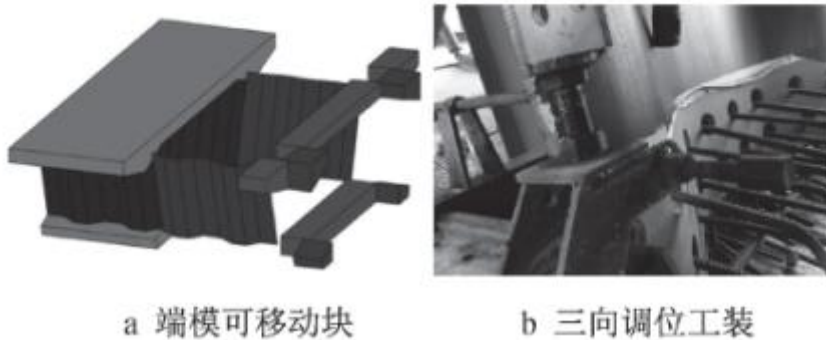


图 3.8.5 专用匹配预制模板系统

3.8.5 基于BIM 可视化技术的智慧梁场

3.8.5.1 技术特色

基于BIM 可视化技术的智慧梁场，利用BIM 技术模拟梁场全貌，将建（构）筑物及施工现场3D模型与施工进度一一关联，同时集各阶段施工信息于一体。图3.8.6为工程智慧梁场的技术构架，涵盖可视化施工、生产进度、信息管理等方面。该预制梁场实现了施工进度、施工质量、安全管理和材料消耗的BIM信息集成管理，以及施工过程中的可视化模拟，能全面实现系统化、可视化和数字化。

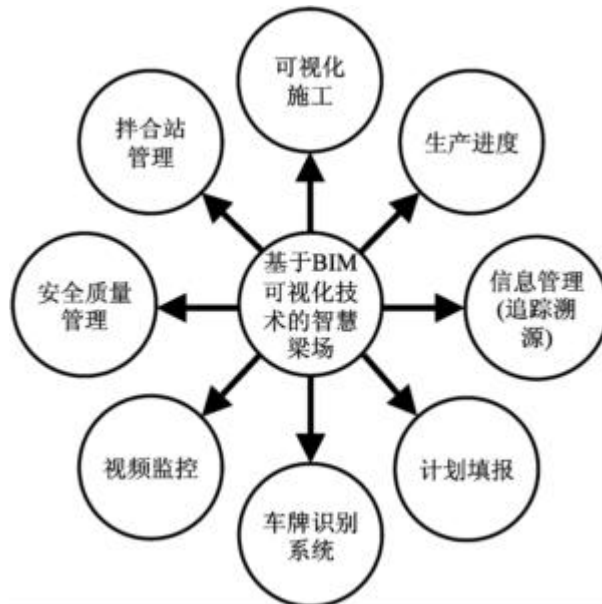


图 3.8.6 智慧梁场的技术构架

3.8.5.2 工艺流程

图3.8.7为可视化建模的基本流程，首先综合GIS软件系统、设计图纸及相关地形图，通过3D软件建立模型，最后形成3D GIS和BIM，完成地形和BIM建造后，依靠后期程序驱动并加载模型。最终，可视化梁场采用Unity3D技术再现了真实梁场的场景布局，给人一种“场地漫游，身临其境”的感觉。图3.8.8展示了可视化三维梁场和预制T梁的可视化施工模拟。基于可视化施工管理，预制梁场的施工生产过程更加符合科学、高效和环保的标准化建设理念。

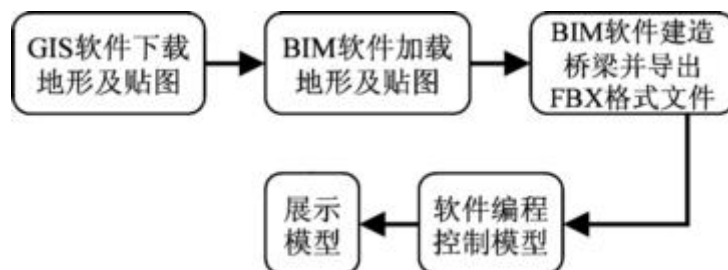


图 3.8.7 可视化建模流程

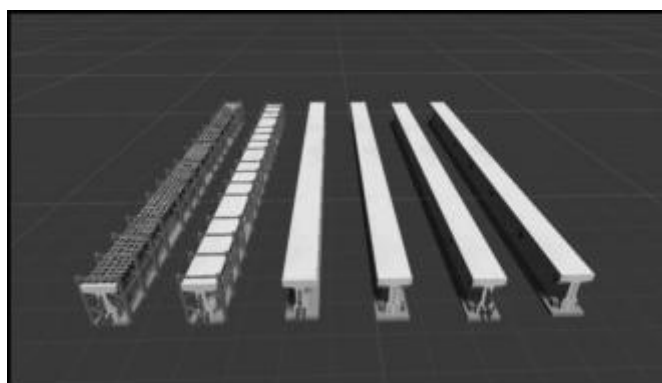


图 3.8.8 可视化建模流程

此外，可视化建模对不同软件的性能要求也不同。其中，GIS 软件需要具有完善的、可伸缩的、面向服务的系统架构，强大的空间分析和图层管理功能，以及支持大规模地形的下载需求和多种模型格式。建模软件应对大规模地形的加载响应速度较快，能兼容多种格式且能导出同一类型模型文件。模型编程控制软件需要能够加载单个场景速度快，加载大型地形场景速度适度且易编程控制生成 GIS 和 BIM 模型。

3.8.5.3 控制要点

(1) 可视化质量管理

基于可视化智慧梁场，项目质检人员及安全人员在现场发现问题后，可以通过手机拍照上传到云端，同时将问题分类、图文并茂详细叙述并将责任分配到人，达到质量管理可视化的目标。随后，施工人员将实时收到质量安全问题提醒，按时整改后及时上传整改结果照片及描述。同时，项目管理层也可随时随地通过网络客户端调取信息。可视化智慧梁场实现了对质量问题的存档与实时查阅，让质量安全问题的解决流程透明化和直

观化。

(2) 可视化进度管理

在整体进度管理中，基于 BIM 模型，智慧梁场系统可以根据不同周期内的进度动态显示和对比梁体施工生产总计划数量和实际生产数量。可视化进度管理可以保证管理者及时掌控梁场生产进度，当实际生产数量落后于计划数量时及时调整资源配置，优化施工组织。

(3) 可视化动态监控系统

结合物联网和移动互联网技术，智慧梁场建立了可视化动态监控系统，包括车辆识别系统和施工点动态监控。其中，车牌识别系统可以捕捉到进出车辆的实时画面信息，通过车牌识别程序提取车辆的车牌信息，并发送放行指令，如图 3.8.9(a)所示。施工点动态监控是指在关键施工现场安装视频监控系统，实现施工现场安全的实时监控，图 3.8.9(b)为预制梁区的动态监控画面。可视化动态监控系统有利于及时掌控各个施工现场的建设情况，全面知晓施工进度和设备材料等信息，及时发现和解决新问题，为指挥中心提供第一手资料，方便管理者作出及时准确的决策，实现项目建设的动态可视化管理。

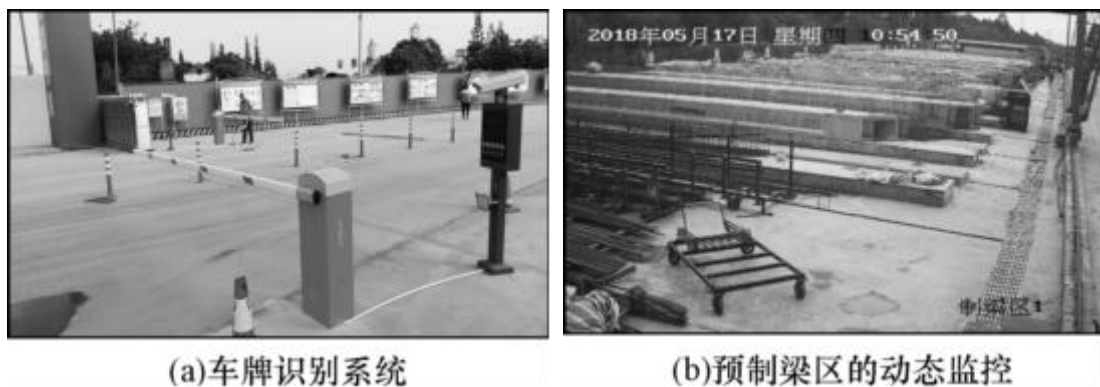


图 3.8.9 可视化动态监控系统

第四章 隧道工程

4.1 总则

4.1.1 为全面推进现代工程管理，打造公路工程“平安百年品质工程”，规范公路隧道工程施工，消除当前隧道施工中常见的质量通病，提高管理水平，保证工程质量安全，结合湖南省公路建设实际情况，编制本指南。

4.1.2 本指南适用于湖南省新建高速公路采用复合式衬砌的隧道工程。

4.1.3 本指南立足高质量发展理念，兼顾管理和技术要求，凝聚公路建设标准化成果和行业内成熟的工艺、工法以及先进的技术、管理经验兼顾指导性和灵活性。

4.1.4 为不断提高隧道机械化、智能化水平，鼓励隧道建设从单一工序机械化施工逐步转向全工序机械化施工，积极采用新型智能化设备，以提高施工效率、改善施工条件、降低劳动强度、减少人为偏差。

4.2 一般规定

4.2.1 应积极推广“零开挖”进洞理念，遵循“早进洞、晚出洞”施工原则，最大限度地减小边仰坡开挖工程量，减少对环境的影响。明洞原则上应尽早施作并实施回填，确保边仰坡稳定。

4.2.2 隧道开挖前必须进行超前地质预报以确保安全。应将超前地质预报作为隧道施工的一道工序，纳入施工组织设计，并根据隧道的长短和地质复杂情况编制超前地质预报方案。

4.2.3 开挖前应核实掌子面地质情况，并结合超前地质预报结果及时调整开挖方法和支护参数。应提高隧道施工机械化、智能化程度。

4.2.4 在浅埋、严重偏压、自稳性差的地段以及大面积淋水或涌水地段施工时，应按设计采用稳定地层和处理涌水的辅助工程措施。

4.2.5 为保证衬砌工程质量，隧道一般地段（含洞身、明洞、加宽段）的二次衬砌施工应采用全断面模板台车和泵送作业。隧道二次衬砌台车应执行准入制度。

4.2.6 隧道防排水施工应遵循“防、排、截、堵相结合，因地制宜，综合治理”的原则，保证隧道结构物和运营设备的正常使用和行车安全，并妥善处理地表水、地下水，形成一个完整、通畅的防排水系统。

4.2.7 监控量测是保障隧道施工安全的一个重要手段,可为设计和修正支护结构形式和参数、正确选择开挖方法和支护施作时间提供依据,为隧道施工和长期使用提供安全信息,是研究新奥法力学机理和设计理论的重要途径。对于分岔隧道、连拱隧道及小净距隧道应增加爆破振动监测。

4.3 洞口及明洞工程

4.3.1 洞口施工

4.3.1.1 应积极推广“零开挖”进洞理念,遵循“早进洞、晚出洞”施工原则。根据地形、地质条件可采取“半明半暗进洞”、“先回填后暗挖”及棚洞(见4.11.1)等方式。



4.3-1 半明半暗进洞



4.3-2 棚洞

4.3.1.2 当洞口围岩条件很差时,要严格控制进洞施工顺序。应在完成套拱和超前大管棚后,立即进行明洞主体模筑衬砌施工并完成洞顶回填,然后再进行暗洞浅埋段施工。洞口偏压严重时,应先消除偏压后进洞。

4.3.1.3 在满足施工场地的前提下,洞口应尽量预留左右线之间的核心土,防止大开挖引起仰坡纵向失稳。



4.3-3 洞口保留左右线间核心土(一)



4.3-4 洞口保留左右线间核心土(二)

4.3.1.4 做好桥隧相接段施工组织,充分考虑施工场地与施工便道的影响,降低

桥隧间施工干扰，确保安全。当洞口处地形陡峭且存在落石风险时，可设置倒削竹式洞门。



4.3-5 桥隧相接



4.3-6 倒削竹式洞门

4.3.1.5 “半路半隧段”施工

对于半幅路堑半幅隧道段，应先施工路堑段。当路堑与隧道净距较小时，路堑内侧宜增设挡墙以减小另半幅隧道的偏压。



4.3-7 半路半隧（一）



4.3-8 半路半隧（二）

4.3.1.6 隧道洞口场地应进行混凝土硬化处理，并使用 20cm 厚石渣垫层，汽车运输通道应采用 20cm 厚的不低于 C20 混凝土作为面层。宜将洞口场地硬化层设置为路面结构层，永临结合，避免资源浪费。

4.3.2 明洞施工

4.3.2.1 明洞位于陡峭山坡或破碎、松软地层时，宜先施作明洞衬砌轮廓外的整幅或半幅套（护）拱，必要时还应在外侧施作挡墙，然后在套拱护顶下暗挖明洞土石方，并及时支护边墙，成形后按暗挖隧道施作明洞衬砌。

4.3.2.2 偏压明洞的外边墙基底，在垂直路线方向应按设计要求挖成一定坡度、向内的斜坡，以提高基底的抗滑力。若基底松软，应采取措施增加基底承载力。

4.3.2.3 明洞宜及早施作，明洞仰拱应安排在明洞拱墙衬砌施工前浇筑。隧道采用爆破开挖时，宜在洞身掘进适当距离后施作明洞；非爆破开挖时，宜先施作明洞，

然后开挖隧道。

4.3.2.4 明洞衬砌应采用整体式台车浇筑，当设置较长明洞时，推荐采用双模板液压台车，以确保浇筑质量。



4.3-9 双模板液压台车(一)



4.3-10 双模板液压台车(二)

4.4 超前地质预报

4.4.1 相关要求

4.4.1.1 项目法人单位应建立隧道超前地质预报管理制度，将超前地质预报工作纳入施工工序管理，按照国家规定的程序合理选择监控量测实施机构。

4.4.1.2 隧道超前地质预报单位应在预报工作实施前，依据勘察设计资料和超前地质预报要求，结合区域水文、地质情况和隧道地质灾害特点，完成隧道超前地质预报实施细则的编制，并报项目法人单位审查和批准。

4.4.1.3 建设单位应建立超前预报结果共享互通机制，各方应相互协调、信息传递顺畅、反馈及时、决策处理迅速。

4.4.1.4 地质预报单位对超前地质预报成果及数据真实性负责，并及时分析和研究超前地质预报成果，发现地质情况与设计情况不符的，要按程序及时通知各参建单位。

4.4.2 物探法

4.4.2.1 对下列隧道或地段，应使用两种或两种以上物探方法进行预报：

- (1) 施工图设计阶段评估为高风险或极高风险的软弱围岩及不良地质隧道；
- (2) 工程地质、水文地质复杂的长隧道和特长隧道；
- (3) 可能存在诱发重大地质灾害的隧道或地段；
- (4) 地下水活跃或含富水断层的隧道或地段；

- (5) 高瓦斯或高地应力隧道或地段；
- (6) 可能发生突(涌)水、突(涌)泥的隧道或地段；
- (7) 设计划分围岩等级为 V 级的地段。

4.4.2.2 地质雷达法应采用屏蔽天线预报掌子面前方 30m 范围内的地质情况，包含预报段周边 30m 范围内的围岩富水情况。

4.4.2.3 地震波法应具备三维成像功能，能预报掌子面前方 100m 范围内，包含不少于 1 倍洞径范围内的断层破碎带、软弱围岩段、岩溶段等不良地质。

4.4.3 超前钻探

4.4.3.1 当施工进度与超前钻探发生矛盾时，施工应为超前地质预报让路。

4.4.3.2 当不良地质段较长，采用中距离钻探对正常施工干扰频繁时，推荐采用超长距离水平定向钻，快速获取隧道设计轴线处围岩的岩性变化及断裂破碎带分布范围，预判隧道涌水情况。



4.4-1 超长距离水平定向钻主钻机



4.4-2 超长距离水平定向钻钻杆

4.4.4 不良地质超前预报

4.4.4.1 岩溶地层超前地质预报应坚持物探与钻探相结合的原则。短距离物探推荐采用高分辨直流电法或红外探水。每循环开挖还应通过加深炮孔进行地质预报。

4.4.4.2 煤层瓦斯地段的超前预报按照《公路瓦斯隧道设计与施工技术规范》(JTG/T 3374-2020)的相关要求执行。

4.5 洞身开挖

4.5.1 开挖方法

4.5.1.1 隧道的开挖应根据隧道长度、断面大小、结构形式、工期要求、机械设备、地质条件等，选择适宜的开挖方案。开挖方案应具有较大适应性，且必须与支护、衬砌施工相协调。如需变换开挖方法，工法转化应有过渡措施。

4.5.1.2 对于地质条件较好的特长和长隧道开挖宜采用多臂式液压凿岩台车。选择凿岩台车时，应根据其技术、经济指标的合理性和先进性，分析对比择优选用。当采用多臂式液压凿岩台车时，二衬与掌子面的安全步距应根据配套机械设备作业空间需要进行专家论证。

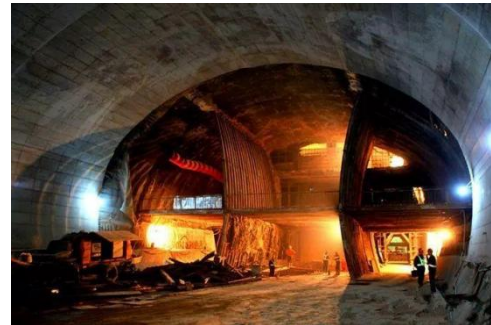
4.5.1.3 对不宜爆破且挖掘机开挖困难的软弱围岩，鼓励采用铣挖机配合装载机进行开挖施工。

4.5.1.4 当围岩自稳能力较好时，隧道开挖方法宜按照全断面法、两台阶法、三台阶法、中隔壁法（CD法）、交叉中隔壁法（CRD法）及双侧壁导坑法（DCD法）的顺序选择。

4.5.1.5 三车道浅埋段的V级围岩应按中隔壁法、交叉中隔壁法或双侧壁导坑法施工，若围岩较好也可经专家论证后采用三台阶（七步）法施工。



4.5-1 交叉中隔壁法



4.5-2 双侧壁导坑法

4.5.1.6 当地表下沉量要求严格而围岩条件很差时，浅埋大跨隧道应选用交叉中隔壁法或双侧壁导坑法施工，且应采用锁脚锚管加强锁脚。



4.5-3 锁脚锚管



4.5-4 锁脚锚杆

4.5.1.7 各种开挖方法的施工条件、施工工序、每循环开挖进尺及施工要点等按

照《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660-2020) 执行。

4.5.2 钻爆作业

4.5.2.1 隧道爆破硬岩应采用光面爆破，鼓励采用水压爆破技术（见 4.11.3）；施工中应优化钻爆设计、提高钻眼效率和爆破效果，降低工料消耗。

4.5.2.2 隧道爆破应大力推广数码电子雷管（见 4.11.2）的应用力度，推进起爆器材向安全、可靠、高效及提高社会公共安全水平方向转型。

4.5.2.3 应提高隧道开挖机械化施工程度。对于地质条件较好的长、特长隧道，宜使用多臂凿岩台车进行全断面或台阶法开挖。



4.5-5 多臂凿岩台车施工



4.5-6 DJ3A 三臂凿岩台车

4.5.2.4 周边眼应沿隧道开挖轮廓线布置，保证开挖断面符合设计要求，硬岩开眼位置在开挖轮廓线上，软岩可向内偏 5~10cm。

4.5.2.5 隧道近接敏感建（构）筑物施工且确需采用爆破时，应制定科学合理的爆破方案，重点控制爆破振速和降低爆破噪音，降低对周边环境的影响。

4.5.2.6 所有人员撤至安全地点后才能引爆。爆破后应通风排烟，不得少于 15min 且洞内空气质量应符合相关规定。

4.5.2.7 瓦斯隧道施工前应编制实施性瓦斯专项施工组织设计，施工期间应校核评定瓦斯工区类别，当瓦斯工区类别发生变化时应调整瓦斯专项施工组织设计。瓦斯隧道施工应全程检测瓦斯，瓦斯工区应连续通风。瓦斯工区电气、瓦斯检测与监测、通风及作业机械等设备应按通过的最高瓦斯工区类别的要求配置。对有瓦斯溢出的隧道，施工还应符合现行《煤矿安全规程》（2016 版）及《公路瓦斯隧道设计与施工技术规范》（JTG/T 3374-2020）的相关规定。

4.5.2.8 爆破器材应持证购买，爆破器材的运输及安放、爆破作业及火药物品的安全使用必须遵守现行国家标准《爆破安全规程》（GB 6722）的有关规定。

4.5.3 小净距隧道

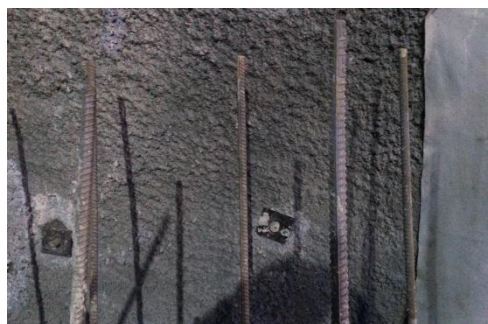
4.5.3.1 小净距隧道爆破应进行专门设计，并进行试爆，测定振动值，严格控制爆破振动。先行洞与后行洞掌子面错开距离应大于 2 倍隧道开挖宽度。

4.5.3.2 先行洞的开挖可采用与分离式隧道相同的施工方法，但应重视爆破振动对中夹岩的影响。当采用 CD 法或 CRD 法开挖后行洞时，宜先开挖靠近中夹岩侧围岩。

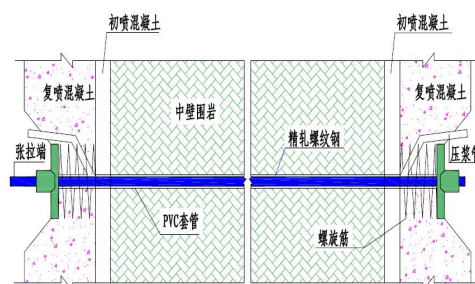
4.5.3.3 对 V 级围岩，应预加固中夹岩后再进行主洞开挖。需要采用爆破的，应重点控制爆破对中夹岩的危害，相邻爆破分段起爆间隔时间宜不小于 100ms。

4.5.3.4 为避免先行洞二衬因后行洞开挖扰动而开裂，先行洞二衬宜在后行洞开挖变形稳定后施做。

4.5.3.5 当双洞净距较小，施工时相互影响严重且中夹岩自稳困难时，可采用对拉预应力锚杆。对拉锚杆优先选用精轧螺纹钢。锚具使用前必须经过严格检定，保证各项指标符合要求。锚杆张拉后用水泥浆注满杆体及周围。



4.5-7 对拉锚杆施工



4.5-8 对拉锚杆

4.5.4 连拱隧道

4.5.4.1 连拱隧道施工应严格按设计及规范要求采取强有力的超前预支护或预加固措施以保证开挖安全，还应特别注意地形偏压带来的不利影响。当地形偏压严重时，原则上应先施工埋深小的洞室。

4.5.4.2 连拱隧道采用钻爆法施工时，应采用微震光面爆破和减振技术，以降低爆破对围岩的扰动。

4.5.4.3 连拱隧道施工应合理安排两侧主洞开挖、初支、二衬等工序的先后顺序及步距，减少先行洞、后行洞施工时相互对围岩及结构的扰动，以确保施工安全。一般情况下，不宜左右两洞齐头并进，同时开挖及衬砌。宜先左(右)洞，后右(左)洞，

再左(右)洞、继而右(左)洞的逐步推进，如此往复循环依次进行；先行洞应选择在偏压侧及地质较为软弱的一侧；先行洞开挖超前另侧主洞 30~50m，先行洞二次衬砌断面落后后行洞开挖面距离，现场可根据爆破振动监测结果确定，一般不小于 2 倍洞径。

4.5.4.4 为确保施工安全，避免二衬出现开裂，要求左右洞必须至少各配备一台二次衬砌模板台车。

4.5.5 非爆破开挖

4.5.5.1 隧道近接敏感建（构）筑物施工且无法采用爆破时，可经经济技术比选后选取 TBM（硬岩掘进机）法、铣挖机法、液压冲积锤法或静态爆破法等。



4.5-9 铣挖机



4.5-10 静态爆破

4.5.5.2 TBM 法（硬岩掘进机）一般适用于长、特长硬岩隧道的施工。

4.5.5.3 采用静态爆破法应综合考虑成本与施工效率。

4.5.5.4 当一种工法难以满足施工要求时，也可采用多种工法组合。

4.6 支护与衬砌

4.6.1 喷射混凝土

4.6.1.1 喷射混凝土应采用湿喷工艺，推荐采用湿喷机械手进行喷射混凝土作业。



4.6.1.2 隧道开挖后应及时初喷，初期支护应紧跟掌子面。

4.6.1.3 宜采用三维激光扫描仪检测开挖断面净空尺寸，有局部欠挖的应凿除。

4.6.1.4 应埋设标志或利用锚杆外露长度控制喷射混凝土的厚度，确保最小厚度满足设计要求。

4.6.1.5 岩面有渗水出露时，应先引排处理。当局部出水量较大时，可采用埋管、凿槽、排水盲沟等措施，将水引排后再喷射混凝土。

4.6.1.6 监理工程师和建设单位代表应特别监督检查超挖处喷射混凝土施工质量，不得留下空洞。

4.6.2 锚杆

4.6.2.1 为保证拱部锚杆的施作质量，锚杆宜采用锚杆钻机或（多臂）钻孔台车钻孔，侧墙及拱腰部位可采用气腿式凿岩机钻孔。锚杆施作位置用红漆进行标识。



4.6-3 钻孔、注浆及安装锚杆一体机

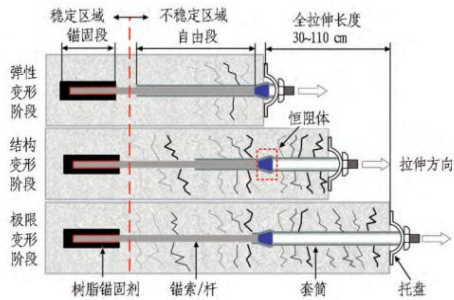


4.6-4 锚杆位置标识清晰

4.6.2.2 所有锚杆都应安装垫板，垫板应与喷射混凝土紧密接触。

4.6.2.3 无钢架地段，系统锚杆应在初喷混凝土、挂网后施作，或在初喷混凝土、挂钢筋网、复喷后施作。有钢架地段，系统锚杆应在初喷混凝土、挂钢筋网、立钢拱架、复喷混凝土后施作。

4.6.2.4 高地应力软岩地段应在开挖后优先施做锚杆以控制围岩变形。当变形控制困难时，可采用 NPR（负泊松比）锚索支护。



4.6-5 NPR 锚索工作原理



4.6-6 NPR 锚索张拉

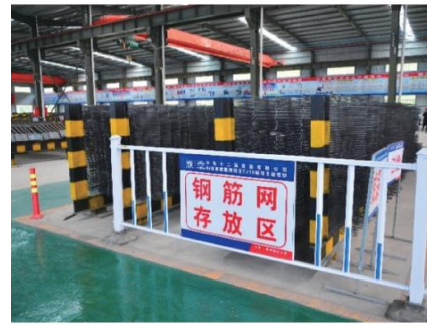
4.6.2.5 现场应选取典型地层中的锚杆进行拉拔试验。锚杆的抗拔力应根据围岩级别、锚杆长度及钻孔孔径等综合确定。

4.6.3 钢筋网

4.6.3.1 钢筋网片宜采用钢筋网片自动焊接机加工，加工完成后统一堆码。



4.6-7 钢筋网片自动焊接机



4.6-8 钢筋网存放区

4.6.3.2 钢筋网喷射混凝土的保护层厚度应不小于 2cm。

4.6.4 钢架

4.6.4.1 型钢钢架宜采用冷弯法制作成型。格栅钢架应按 1:1 制作胎模，以便控制尺寸。钢筋需采用工厂化数控设备制作，所有钢筋节点应采用双面对称焊接，宜使用二氧化碳气体保护焊。



4.6.4.2 钢架接头钢板厚度及螺栓规格应符合设计要求。制作钢板时应采用等离子切割机切割，采用液压冲剪板机制作接头钢板螺栓孔，采用砂轮机清除孔口毛刺和钢渣。同规格每榀之间应可以互换。钢板不得采用氧焊烧孔。



4.6-11 液压冲剪机



4.6-12 氧焊烧孔（不允许）

4.6.4.3 钢架安装应确保两侧拱脚必须放在牢固的基础上。安装前应将底脚处的虚渣及其他杂物彻底清除干净；脚底超挖、拱脚标高不足时，应用喷射混凝土填充；当拱脚处围岩承载力不够时，应向围岩方向加设钢垫板、垫梁或浇注强度不低于 C20 的混凝土以加大拱脚接触面积。

4.6.4.4 侧壁导坑及临时仰拱的临时钢架应满足设计的弧度，并应规范钢架间连接钢筋的施工。

4.6.4.5 钢架与锁脚锚杆间应有可靠的连接。

4.6.4.6 拱架安装推荐采用多功能拱架安装机。



4.6-13 多功能拱架安装机



4.6-14 拱架安装机现场拼装

4.6.5 模筑混凝土衬砌

4.6.5.1 隧道洞口及洞内软岩段二次衬砌应尽早施工。隧道洞口段二衬必须及时施工，掘进超过 50m 的，宜停止开挖并进行二衬施工。

4.6.5.2 二次衬砌施工(含加宽段)应采用全液压自动行走的整体衬砌台车。衬砌

台车应结构尺寸准确，各种伸缩构件、液压系统、电气控制系统运行良好，各支撑结构设置合理；应满足自动行走要求，并有闭锁装置，保证定位准确。



4.6-15 主料仓和分滑槽布置图



4.6-16 二级料仓、分滑槽布置图

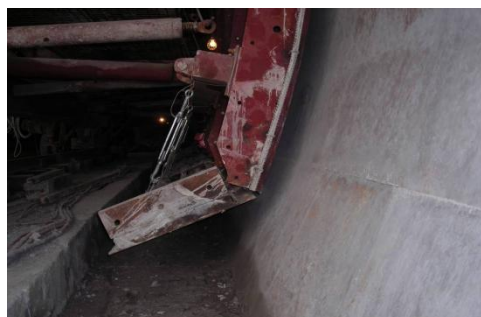
4.6.5.3 隧道二次衬砌台车应安装 RPC 注浆管及防脱空预警系统（见 4.11.5），以确保二衬灌注密实。

4.6.5.4 台车模板支撑桁架门下净空应满足隧道衬砌前方施工所需大型设备通行要求；桁架各层平台的高度应满足施工要求，应有上下行的爬梯。

4.6.5.5 为保证衬砌净空，模板外径应适当扩大。

4.6.5.6 台车面板宜采用不锈钢模板，两车道二次衬砌台车面板钢板厚度应不小于 10mm；三车道隧道二次衬砌台车面板钢板厚度应不小于 12mm；四车道的二次衬砌台车应经过计算，邀请有关专家研究审查后定制。

4.6.5.7 严禁设置矮边墙，二次衬砌应一次性整体浇筑。整体浇筑时二次衬砌台车下应挂设边墙隅角模板或二衬与电缆槽一次性浇筑模板。



4.6-17 边墙隅角钢模板



4.6-18 边墙及电缆槽模板

4.6.5.8 连拱隧道、小净距隧道一端左、右线同时开挖施工时，宜有两部二次衬砌台车，确保二次衬砌合理步距，保证结构安全。

4.6.5.9 加宽段处应专门配备加宽段整体衬砌台车，以确保加宽段二次衬砌及时施作。对于长度较大的变截面段，应采用变截面换装衬砌台车。



4.6-19 加宽段衬砌台车



4.6-20 变截面换装衬砌台车

4.6.5.10 二次衬砌台车的长度应根据隧道的平面曲线半径、地下水的发育情况合理选择，长度一般为10~12m，曲线半径小于1200m的隧道台车长度不应大于9m。

4.6.5.11 二次衬砌台车应实行准入制，施工中应根据台车的工作状况及衬砌浇筑长度进行校验。

4.6.5.12 隧道防排水设施、预埋件及预留洞室模板等的安装质量应符合设计要求及国家和行业现行有关标准的规定，不得随意改动预留预埋洞室位置及大小。

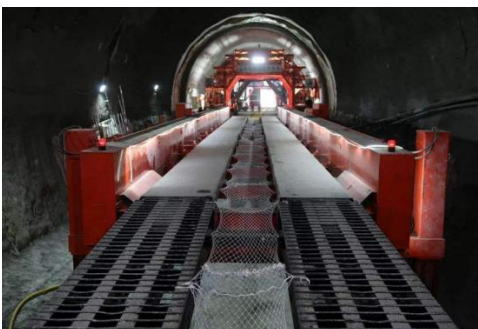
4.6.6 仰拱衬砌、仰拱回填及垫层

4.6.6.1 应确保仰拱隅角处的弧度。仰拱两隅与侧墙连接处应平顺开挖，避免引起应力集中。

4.6.6.2 IV级及以上围岩仰拱每循环开挖长度不得大于3m，仰拱混凝土接缝应平顺并做好防水处理。

4.6.6.3 仰拱宜全断面一次开挖成型，仰拱混凝土应全幅浇筑，不得左右半幅分幅、分次浇筑。仰拱回填不得与仰拱浇筑同时进行。

4.6.6.4 仰拱、铺底施工过程中应采取措施保证洞内临时交通通畅。可采用搭过梁或栈桥施工方案，设临时车辆通行平台保证不中断运输，推荐采用自行式液压带弧模仰拱栈桥台车。仰拱及铺底未达到设计强度前不得开放交通。



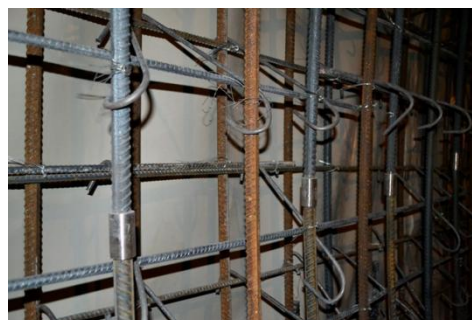
4.6.6.5 仰拱、铺底施工时，应按图纸要求预埋路面下横向盲沟、拱脚纵、横向排水管等排水设施，并注意设置与二衬贯通的变形缝。

4.6.7 衬砌钢筋

4.6.7.1 隧道衬砌受拉钢筋宜采用套筒连接，且拱部与边墙的主筋不宜采用焊接。



4.6-23 连接套筒及丝扣



4.6-24 套筒连接

4.6.7.2 钢筋保护层应全部采用高强砂浆垫块控制，平方米不少于4块，不得使用塑料垫块。

4.7 防水与排水

4.7.1 洞口段、浅埋段防排水

4.7.1.1 明洞边仰坡开挖前，应做好隧道截水沟，防止地表水下渗和冲刷。当洞口段、浅埋段发育冲沟时，应根据冲沟与隧道的相对位置关系及水量等对其进行铺砌或改移，确保洞口附近和浅埋隧道洞顶不积水。洞口段施工应尽量避免避开冲沟丰水期。

4.7.1.2 隧道穿越水库或水塘等地表水体前，应加强超前探水工作。隧道应选择水库低水位时下穿，条件允许时，可清空库容。

4.7.1.3 富水地层开挖隧道边仰坡时，可根据需要采用喷射井点、真空井点或管井降水后开挖。

4.7.1.4 富水浅埋隧道可采用地表深井降水法降低地下水位，减小水压。

4.7.1.5 隧道位于下坡段时，推荐设置横向伸缩缝式截水沟以防止路面水倒灌进隧道。



4.7-1 伸缩缝式截水沟



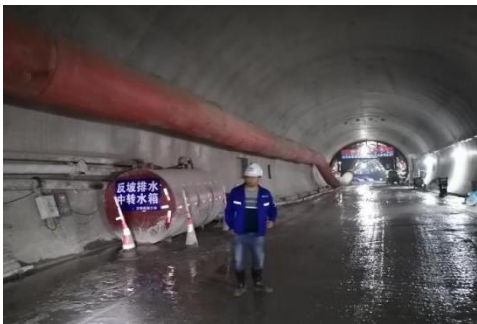
4.7-2 伸缩缝构造

4.7.2 施工期间排水

4.7.2.1 洞内反坡排水

(1) 对于反坡排水的隧道，可根据距离、坡度、水量和设备等因素布置排水管道，一次或分段接力将水排出洞外。

(2) 推荐使用分级集水箱自动泵排水方法。每间隔 50~100m 设置一个集水箱，箱内放置 1 台自动排水泵和 1 台备用水泵，当集水箱水位达到上限时，排水泵自动开启排水。



4.7-3 集水箱



4.7-4 集水坑

4.7.2.2 隧道通过不透水和透水性强的地层时，应根据设计文件和调查资料，在可能进入滞水带前 20~30m，用深孔钻机钻孔穿入透水层，以利于预探和排水。

4.7.2.3 当含水量大且地段超长时，可采用超前预注浆堵水。每循环应设置一定长度的搭接段，并设置检查孔进行注浆效果检验。

4.7.2.4 当施工中采用边水沟或中心水沟无法满足排水要求时，可在参建各方同意后设置泄水洞。泄水洞施工前，应参照设计文件提供的水文资料和涌水处理措施确定施工方法。

4.7.3 防排水结构

4.7.3.1 防水板

(1) 为确保隧道运营期间有良好的防水效果，不得使用复合式防水板（卷材），应采用防水板（卷材）+无纺土工布的防水层结构形式，主要防水层推荐采用单面自粘防水卷材（见 4.11.6）。

(2) 岩溶地区或地下水发育的硬质岩地区，可采用排水板防水层。

(3) 防水板的拼焊及铺挂应采用热合焊接热熔铺挂工艺，推荐采用超声波焊接作业工艺。应采用自动爬焊机双缝焊接，要求搭接宽度不小于 100mm，双缝焊每条焊缝宽度不小于 10mm，控制好热合机的温度和速度，保证焊缝质量。

(4) 防水板应采用专用台车铺设，台车应设有检查初期支护内轮廓的作业平台。推荐采用半自动防水板铺挂台车。



4.7-5 半自动防水板铺挂台车（一）



4.7-6 半自动防水板铺挂台车（二）

(5) 推荐使用电磁焊枪无钉铺设。将防水板与热塑圆垫圈牢牢粘接。粘接时严格控制温度，防止过焊烧伤防水板。

4.7.3.2 接缝施工

(1) 混凝土应连续浇筑，尽量减少施工缝。拱圈及仰拱不应留纵向施工缝。

(2) 水平施工缝：墙体水平施工缝不应设在剪力和弯矩最大处或铺底与边墙的交接处，宜设置在高出铺底面不小于 300mm 的墙体上。

(3) 垂直施工缝：垂直施工缝的设置宜与变形缝的设置相结合。在富水地段，仰拱施工缝宜增设衬砌中埋式止水带。

(4) 变形缝的设置位置应使拱圈、边墙和仰拱在同一里程上贯通。设置沉降缝的断面不另设施工缝。

(5) 推荐采用制品型遇水膨胀止水条，逐步淘汰腻子型遇水膨胀止水条。



4.7-7 制品型遇水膨胀止水条



4.7-8 腻子型遇水膨胀止水条

(5)为减少接缝渗水对运营的影响,推荐施工缝采用排水式快速安装止水槽(见4.11.7),沉降缝宜设置接水盒。

4.7.3.3 排水管沟

(1)排水管系统应按设计连通形成完整的排水系统,应做好纵向排水管的高程控制,确保排水通畅。

(2)管路连接应采用变径三通方式,连接牢固、畅通,安装坡度符合设计要求。用防水板将纵向排水管进行反包,并在防水板上剪一圆孔,将三通接头的出水口穿过该孔。



4.7-9 防水板反包排水管



4.7-10 三通出水口

(3)鼓励隧道排水沟、电缆沟等小型构件预制化,提高施工速度,改善施工环境。当场地条件受限,确需采用现浇的,推荐使用自行式液压水沟电缆槽台车。电缆沟推荐采用RPC(活性粉末混凝土)盖板。



(4) 当侧向水沟或中心水沟采用预制盖板且顶面需要浇筑混凝土时，其上应铺设无纺土工布隔离。

4.8 辅助工程措施

4.8.1 超前小导管施工

4.8.1.1 超前小导管直径应按设计要求选用和加工，长度应满足设计要求，宜采用数控小导管冲孔机进行冲孔，管头采用数控缩尖机制作。



4.8-1 数控小导管冲孔机



4.8-2 小导管冲孔缩尖效果

4.8.1.2 钻孔、安装小导管后，管口应使用麻丝和锚固剂封堵钢管与孔壁间空隙，管口应安装封头和孔口阀，并能承受规定的最大注浆压力和水压。

4.8.1.3 当隧道穿越全强风化地层，采用密排超前小导管后仍出现拱部坍塌、掉块时，建议采用窄翼超前小导管（见 4.11.8）。

4.8.2 超前大管棚施工

4.8.2.1 超前管棚宜采用履带式潜孔钻机钻孔。当采用潜孔钻存在钻进困难或塌孔时，可采用管棚专用钻机、套管跟进等方法钻进。



4.8-3 管棚钻机



4.8-4 跟管钻进

4.8.2.2 为保证长管棚施工质量，宜在拱脚部位选 2 个孔作为试验孔，找出地层特点，并进行注浆和砂浆充填试验。

4.8.2.3 隧道暗挖下穿运营高速公路路基时，可以采用管幕法。当地下水位较高，且排水与止水效果不佳时，可采用冷冻法。

4.9 监控量测

4.9.1 监测要求

4.9.1.1 建设、设计、监理、施工及监测单位应紧密配合，为监控量测作业创造条件，避免因抢工程进度而忽视监测工作。各方应共同研究、分析各项监测信息，确认或修正设计参数或施工方法。

4.9.1.2 施工单位应具有实施监控量测的工作能力，对地质条件和周边环境复杂的隧道、长大隧道可委托有经验的专业化队伍实施监控量测。执行第三方监测的隧道不能免除现行《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660-2020）所规定的施工单位应承担的责任。

4.9.1.3 施工单位应根据沉降变形情况动态调整预留变形量，但必须得到设计、监理等单位同意。

4.9.1.4 隧道监控量测应建立监测预警机制。

4.9.2 监测要点

4.9.2.1 监控量测分必测项目与选测项目，其具体技术要求按照《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660-2020）执行。

4.9.2.2 下列情况宜监测土体的深层水平位移：

- （1）洞口及浅埋段发育有滑坡。
- （2）隧道穿越深厚的碎石土层、坡积层及人工弃土层等。
- （3）已开裂或正在开裂的高边坡、高仰坡地段。

4.9.2.3 公路隧道下穿正在运营中的高速公路、铁路或其它不便于人工采集数据的建（构）筑物时，宜采用自动化监测。

4.9.2.4 偏压或大变形隧道，宜根据需要设置整体位移测点。

4.9.2.5 高水压、大变形、膨胀岩土等地段宜在仰拱设置底部测点，可与拱顶下

沉对应设置。

4.9.2.6 小净距隧道监测

(1) 小净距隧道监控量测应根据不同围岩级别制订量测计划。应将中夹岩稳定、地表沉降和爆破振动对相邻洞室的影响作为监控量测的重要内容。根据施工中所得到的现场量测资料,对施工方法和工序应及时进行调整,以确保工程安全、经济、合理。

(2) 后行洞开挖时应加强对中夹岩的监控量测。

4.9.2.7 连拱隧道监测

(1) 应根据地质条件、受力变形特性和施工方法,制订监控量测方案。

(2) 应对中墙顶部和底部水平位移以及先行洞掌子面至后行洞二次衬砌范围内进行重点监控。

4.9.3 数据分析

4.9.3.1 当围岩位移速率不断下降时,围岩处于稳定状态;当围岩位移速率变化保持不变时,围岩尚不稳定,应加强支护;当围岩位移速率变化上升时,围岩处于危险状态,应立即停止掘进,采取应急措施。

4.9.3.2 初期支护承受的应力、应变、压力实测值与允许值之比大于或等于 0.8 时,围岩不稳定,应加强初期支护;初期支护承受的应力、应变、压力实测值与允许值之比小于 0.8 时,围岩处于稳定状态。

4.10 质量通病防治

4.10.1 洞门墙开裂、错台及渗水

4.10.1.1 通病现象

- (1) 洞门墙横、纵向开裂,错台。
- (2) 洞门墙渗水严重,影响行车安全及洞门美观。

4.10.1.2 主要原因分析

(1) 洞门墙为大体积混凝土,浇筑时未控制入模温度。后期养护不到位,脱模时产生裂缝。

(2) 洞门墙底部的地基承载力不够。

(3) 地基软硬不均,尤其当洞门墙横向跨度大时,错台严重。

(4) 洞口段地形、地质条件差，洞门墙承受较大的水平推力。当墙体采用素混凝土时，容易开裂。

(5) 洞门墙背未设置排水措施，承担静水压力。

4.10.1.3 防治措施

(1) 洞门墙浇筑时，严格控制混凝土入模温度，并加强养护。

(2) 基底开挖时，文明施工，防止对基底产生过大的扰动。严控施工用水，防止其对基底的软化，降低承载力。当洞门墙底部的地基承载力不满足要求时，可以采用加深基础、钢花管注浆、换填及搅拌桩等方式进行加固。

(3) 洞口地形、地质条件差时，可对仰坡进行预处理，减小其作用于洞门墙背的主动土压力。对确需承受较大水平推力的洞门，应配置钢筋。

(4) 洞门墙背应构筑顺畅的排水系统，消除洞门墙背水压力，防止墙体渗水。洞门墙背后应设置反滤层及泄水孔，确保地下水或地表水顺利排除。

4.10.2 超欠挖

4.10.2.1 通病现象

(1) 开挖后轮廓线与设计轮廓线相差较大。

(2) 开挖轮廓表面凹凸不平。

4.10.2.2 主要原因分析

(1) 控制爆破设计参数不合理，或未随围岩条件变化调整控爆参数。

(2) 开挖放样不精确。

(3) 钻孔操作台架就位不准确，司钻工操作不熟练，爆破钻孔偏位，钻眼间距、深度、外插角等控制不准确。

(4) 地质条件差，围岩较破碎、节理发育，超前支护施作不到位，爆破后拱顶局部掉块或塌落。

(5) 局部欠挖未进行处理。

4.10.2.3 防治措施

(1) 加强爆破工程师与钻孔人员的沟通，针对不同围岩条件动态调整爆破参数。应合理选择周边眼的间距及最小抵抗线；严格控制周边眼药量，并采用合理的装药结构。

(2) 及时校核导线，并应在每循环开挖前准确放样。

(3) 严格落实钻爆施工技术交底，加强钻爆施工管控，确保钻孔施工质量。

(4) 地质情况差、局部出现掉块或塌落时，应根据实际情况尽快施作初期支护进行封闭处理。

(5) 严格按设计要求施作超前支护，加强对外插角、间距、数量、长度及搭接长度等的控制。

(6) 应及时处理欠挖，特别要注意边墙脚的欠挖处理。

4.10.3 喷射混凝土质量通病

4.10.3.1 通病现象

(1) 不初喷，导致施工中拱顶掉块且钢拱架保护层厚度不够。

(2) 初喷回弹大。

(3) 喷射砼厚度难以保证。

4.10.3.2 主要原因分析

(1) 施工人员及管理安全人员安全意识不强，未真正认识到初喷的作用。现场管理人员质量意识不强，将喷射混凝土当做临时支护。

(2) 水泥、砂、石和外加剂等原材料进场控制不严，拌合站未严格按照施工配合比拌料。

(3) 冬季施工保温措施不到位。

(4) 欠挖没有按要求处理。

(5) 喷射混凝土时在岩壁没有厚度标尺。

(6) 喷射工技术不熟练。

4.10.3.3 防治措施

(1) 喷射混凝土施工中严格控制砼配合比，一般采用标号稍高的水泥以降低回弹量。

(2) 喷射混凝土采用分层施作，每层厚度约 4~6cm，喷枪口距离喷射混凝土面 60~120cm 为宜。

(3) 冬季混凝土施工要制定相应的施工措施，保证混凝土出机温度，确保不影响混凝土的施工质量。

(4) 喷射混凝土前对开挖断面进行检查，有欠挖及时处理到位。

(5) 喷射混凝土厚度控制可采用钻孔或者预留孔检查。

4.10.4 初期支护与围岩不密贴或存在空洞

4.10.4.1 通病现象

(1) 在钢支撑外缘铺设石棉瓦、木板、防水板等杂物，人为造成空洞。

(2) 在喷层内填塞片石或在钢支撑与围岩间填塞片石、杂物等，造成喷射混凝土实际厚度不足、初期支护与围岩不密贴。

4.10.4.2 主要原因分析

(1) 对初期支护与围岩间不密贴或存在空洞的危害认识不足。

(2) 超挖过大时，未按规定要求进行回填密实。

(3) 偷工减料。

(4) 拱架及钢筋网易阻挡喷射混凝土与岩面接触，并形成混凝土壳体，造成空洞。

4.10.4.3 防治措施

(1) 提高控爆水平，减少超挖数量。

(2) 超挖部分应严格按照规范要求回填密实。喷射混凝土作业时要严格按照施工工艺施作。

(3) 超挖过大时，可设钢楔辅助支撑。

(4) 严格执行初期支护检测验收制度。

(5) 发现空洞后，应及时进行注浆回填处理。

4.10.5 初期支护下沉、收敛及开裂

4.10.5.1 通病现象

(1) 初期支护下沉速度快，严重影响施工安全。初期支护下沉累计值超限，侵占二衬空间。

(2) 初期支护水平收敛速度及累计值超过规范要求。

(3) 初期支护变形严重，喷射混凝土开裂。

4.10.5.2 主要原因分析

- (1) 不重视现场地质分析，贸然加大开挖进尺。
- (2) 地下水或施工用水不能及时排出隧道，聚集于台阶底部或仰拱底部软化围岩。
- (3) 工字钢底部地基承载力本身或经水泡后不足。
- (4) 上台阶长度超过规范或设计要求，初期支护长期不封闭。
- (5) 下台阶左右侧同时开挖落底，且一次开挖较长。
- (6) 不打、少打锁脚锚杆或锁脚锚杆施工质量粗糙，很难发挥作用。
- (7) 喷射砼早期强度低。

4.10.5.3 防治措施

- (1) 注重超前地质预报及掌子面地质素描，提高风险防范意识，防止产生隧道初支变形、开裂及塌方等事故。
- (2) 对地下水及施工用水应及时抽排。
- (3) 按照规范严格控制开挖进尺，对于采用台阶法的软弱围岩地段，上台阶开挖 IV 级围岩宜不大于 2 榀钢架间距，V 级围岩宜不大于 1 榀钢架间距。IV、V 级围岩下台阶每循环进尺宜不大于 2 榀钢架间距。
- (4) 初期支护应尽早封闭。当下沉与收敛较大时，可设置临时仰拱封闭。
- (5) 下台阶左、右侧开挖宜前后错开 3~5m，同一榀钢架两侧不得同时悬空。
- (6) 规范锁脚锚杆的施工构造，重视锁脚锚杆的施作质量。

4.10.6 二衬外观质量差

4.10.6.1 通病现象

- (1) 衬砌砼表面不平顺，出现接茬、错台、漏浆现象。
- (2) 衬砌砼表面蜂窝、麻面、漏筋。

4.10.6.2 主要原因分析

- (1) 衬砌台车刚度不够，模板整修不到位。
- (2) 衬砌混凝土和易性不好，泌水严重。
- (3) 两侧未进行对称浇注。
- (4) 浇注速度过快，台车上浮。
- (5) 模板涂油太多，拆模后形成鱼鳞云。

(6) 局部模板未清理干净，拆模后形成“扒皮”掉块现象。

4.10.6.3 防治措施

(1) 衬砌台车需由正规厂家加工，加工前需经强度、刚度检算。

(2) 衬砌施工前规划好台车就位里程段落，避免出现较长的搭接。

(3) 衬砌砼严格按设计的配合比施工，考虑泵送砼和易性要求，同时模板台车要涂脱模剂。

(4) 衬砌浇筑时要两侧分层对称浇筑，且混凝土自落高度控制在 2m 以内，防止离析。

(5) 浇筑前清除模板台车上粘有的混凝土。

(6) 衬砌施工前模板台车须加固，衬砌砼浇筑到圆心高度及拱腰时应将台车所有丝杠再重新加固一次，防止台车因上浮部分使丝杠松动，造成移位。

4.10.7 二次衬砌开裂

4.10.7.1 通病现象

(1) 二衬脱模时开裂。

(2) 运营阶段二衬产生环形、纵向、斜向及网状裂缝。

4.10.7.2 原因分析

(1) 二次衬砌拆模时间过早，混凝土养生不到位。

(2) 拱顶端头模板部位混凝土浇筑不饱满，在强度较低的情况下受衬砌台车顶推冲击，形成拱顶月牙形裂缝。

(3) 混凝土浇筑间歇时间过长，形成施工冷缝。

(4) 初期支护围岩变形未收敛即施工衬砌混凝土。

(5) 衬砌基底存在虚渣或基础厚度不够，导致不均匀沉降，产生斜向裂缝或纵向裂缝。

(6) 衬砌混凝土强度、厚度不足，在外力作用下边墙产生龟裂、拱部产生纵向或斜向裂缝。

4.10.7.3 防治措施

(1) 严格选用符合设计及规范要求原材料及合理施工配合比。

(2) 严格按照规范要求控制拆模时机。

(3) 加强衬砌混凝土养生。

(4) 加强施工组织协调，保障衬砌混凝土连续浇筑。混凝土间歇浇筑时间应小于前层混凝土初凝时间，超过允许间歇浇筑时间时，应按施工缝进行处理。

(5) 衬砌基底围岩出现明显软硬不均时，应在交界处设置沉降缝。

(6) 无仰拱地段浇筑混凝土前，应清除边墙基底虚渣、积水、杂物等；有仰拱地段浇筑混凝土前，应对接触面按施工缝要求进行处理。

(7) 模板台车就位前应严格检查净空断面及防水板铺挂松紧度；模板台车就位后应严格检查端头模板处和振捣窗口处的衬砌厚度，保证衬砌结构厚度。

4.10.8 二次衬砌渗漏水

4.10.8.1 通病现象

(1) 二次衬砌开裂后渗漏水。

(2) 二次衬砌沉降缝、施工缝渗漏水。

4.10.8.2 原因分析

(1) 防水板铺挂不规范

1) 对防水层铺挂质量不佳可能造成的不良后果认识不足。

2) 防水板背后未铺设无纺布；防水板背后处理欠挖后没有复喷、没有切除露头锚杆。

3) 防水板搭接宽度不够，或搭接不平顺，或焊缝不牢固、不严密；铺挂松弛度过大或过小，造成混凝土浇筑过程中防水板焊缝开裂、破损。

4) 钢筋焊接时烧坏防水板或防水板补丁过多。

5) 防水层未嵌入设备洞室铺设。

(2) 止水带破损或安装方式不正确

1) 止水带埋设位置不准确或定位不牢固，浇筑混凝土时止水带扭结。

2) 未按设计要求进行搭接，宽度不足。

3) 施工过程中止水带破损，未及时修补。

4) 反向安装背贴式止水带。

4.10.8.3 防治措施

(1) 铺挂防水层前，应对铺挂岩面进行修补，确保大面平顺，及时切除裸露的

锚杆、钢筋头及临时支撑接头，并采用喷射混凝土或砂浆抹平。

(2) 应根据初期支护表面平整情况，合理选取防水层松铺系数。

(3) 铺挂防水层前，应采用塑料管套在仰拱预埋钢筋头上，防止钢筋头损坏防水板。

(4) 在黏结热塑性热融垫圈与防水板时，严格控制温度或在焊接二衬钢筋时在防水层侧加设隔板，防止烧伤防水层。防水层在铺挂过程中出现破损时，应及时修补。

(5) 加强防水层铺挂质量检查。

(6) 浇筑二次衬砌混凝土时，输送泵管不得直接对着防水板，避免混凝土冲击引起防水板滑脱、下滑。

(7) 施工中应按设计要求安装止水带，定位准确、牢固，宜采用模板台车端头合页式钢模安装。

(8) 根据止水带材质和止水部位采用相应搭接方法。

(9) 二次衬砌混凝土浇筑前，应对止水带施工质量进行复查并及时修补。

(10) 应正确安装背贴式止水带。

4.10.9 预埋预留质量通病

4.10.9.1 通病现象

- (1) 预留洞室遗漏或偏位。
- (2) 预留洞室几何尺寸不符合设计要求。
- (3) 预埋管遗漏、偏位或堵塞管内未穿铁丝。

4.10.9.2 主要原因分析

- (1) 未按设计桩号施工，或施工放样不精确。
- (2) 预留洞室模板刚度不足，或模板尺寸不符合设计要求。
- (3) 预留洞室模板固定不牢固，在浇筑过程中产生移位、变形。
- (4) 安装预埋管线时，未采取有效定位与管口封堵措施。

4.10.9.3 防治措施

(1) 应进行精准测量放样，不得随意改动预留预埋洞室位置及大小，严格按照设计图纸施工。

(2) 预留洞室模板应定制成型且具有足够的刚度，安装时应固定牢固，确保在

浇筑混凝土过程中不跑模、不移位。

(3) 预埋管内应预穿一根铁丝，并采取有效的管线定位与管口封堵措施。

4.11 四新技术推广应用

4.11.1 棚洞工程

4.11.1.1 技术特色

沿河或傍山地段偏压严重时,可顺地形设置棚洞,既能防止大开挖,又能规避超浅埋偏压引起的塌方、二衬开裂。棚洞安全实用,环保美观,还能大大降低照明费用。当边坡基本稳定,有少量侧压力的地段,可选用拱形棚洞。根据立柱的形式分为斜柱式棚洞和直柱式棚洞两种。



4.11-1 斜柱式棚洞



4.11-2 直柱式棚洞

4.11.1.2 工艺流程

施工准备→棚洞顶部边仰坡防护施工→棚洞洞身开挖→棚洞立柱底桩基础、底板及立柱基础钢筋混凝土施工→施工棚洞立柱及托梁、洞身及顶板钢筋混凝土→棚洞内路面及水沟电缆槽等附属工程施工→棚洞顶防排水施工→棚洞顶柔性回填反压、洞顶排水沟施工→绿化工程施工。

4.11.1.3 控制要点

- (1) 边坡开挖防护前应做好截水沟。
- (2) 棚洞应采用控制爆破开挖,确保爆破质量。
- (3) 棚洞立柱底桩基础、底板施工开挖基槽后应检查基槽坑稳定性,坑壁边缘严禁堆放材料和施工机械。
- (4) 棚洞先浇筑立柱混凝土,然后浇筑洞身、立柱托梁及顶板混凝土,需对称、分层浇筑,确保衬砌台车及内外侧模板受力均匀。
- (5) 混凝土强度达到设计的100%后进行洞顶回填。回填宜使用人工配合小型夯

实机械分层夯实。

4.11.2 数码电子雷管

4.11.2.1 技术特色

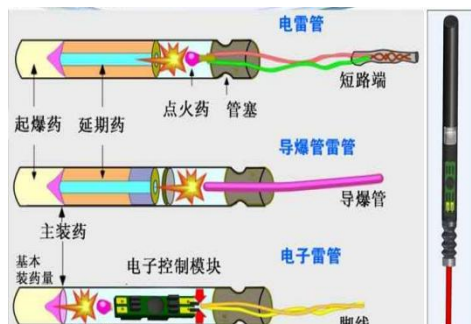
数码电子雷管是一种可以任意设定并准确实现延期发火时间的新型电雷管，可以明显改善围岩破碎块度、增加抛掷距离、减少爆破振动，有效降低爆破单耗，减少钻孔数量。数码电子雷管提高了爆破作业的安全性，简化了起爆网络施工操作。

4.11.2.2 工艺流程

放样布孔→钻孔及清孔→数码电子雷管注册及编号→组网→测试→起爆。

4.11.2.3 控制要点

- (1) 数码电子雷管技术指标应满足《工业数码电子雷管》(WJ9085)的要求。
- (2) 为提高钻孔精度，保证爆破效果及减少超欠挖，需采用全站仪放样布孔。
- (3) 风枪钻杆与隧道轴线保持平行，按钻孔布置图正确钻孔，掏槽孔和周边孔的钻孔精度较其它孔高，需严格控制钻孔角度及深度。
- (4) 待全部钻孔完成后，利用高压风将孔内余渣吹出，保证正常装药。清理钻孔需由专业人员完成，作业时严禁无关人员靠近掌子面。



4.11-3 数码电子雷管



4.11-4 数码电子雷管施工现场

4.11.3 水压爆破技术

4.11.3.1 技术特色

水压爆破时往炮眼中注入一定量的水，然后用专门的炮泥回填堵塞。由于水具有压缩性极小、变形能低、热能损失小等特性，在水中传播边界层的水激波能够按照水的“液压”作用，较均匀、几乎无损失地把能量传递到围岩中。水在爆炸气体膨胀作用下产生的“水楔”效应有利于岩石进一步破碎。炮眼中有水还可以起到雾化降尘作

用,大大降低了对环境的污染。

4.11.3.2 工艺流程

放样布孔→钻孔及清孔→填装水袋→填装炸药→再次填装水袋→炮泥满塞→测试→起爆。

4.11.3.3 控制要点

- (1) 在隧道开挖施工中,设计为光面爆破围岩段落,宜采用水压爆破。
- (2) 在打好的炮眼中填装1节水袋,这节水袋应顶至炮眼底部。然后按照设计数量填装炸药。水压爆破的炸药设计数量要比常规爆破减少1~2节。
- (3) 再次填装一定数量的水袋。首先量测装完炸药以后的炮孔深度,按照量测深度的1/2填装水袋,剩余长度按照四舍五入原则进行取舍。
- (4) 最后将剩余炮孔用炮泥回填塞满。填塞炮泥时,要用炮棍轻轻捣实。
- (5) 周边眼用炮泥堵塞时,要捣固密实,确保能量被充分利用。



4.11-5 水袋



4.11-6 现场填塞水袋

4.11.4 隧道防坍塌预警预报系统

4.11.4.1 技术特色

隧道防坍塌预警预报系统是以施工期间工程地质资料、现场监控量测、巡视资料及现场视频等为基础的开放型、远程决策管理的防坍塌决策预警系统,可实现各专业数据、信息的共享与交换,解决监控量测信息的真实性和可靠性问题,切实提高隧道工程安全的自动化、智能化、信息化管理水平。

4.11.4.2 工艺流程

接收现场监测数据→接收工作面人员信息→接收超前地质预报信息→专家会诊→提出应对措施→完善数据库。

4.11.4.3 控制要点

(1) 通过系统数据接口自动接收施工单位与第三方监测单位的监测数据，同时采集 APP 现场上传的监测数据。

(2) 通过视频接口协议接收隧道内工作面的视频信息，通过人员定位系统接口接收隧道内不同区域工作人员信息，提高施工过程的监管力度。

(3) 通过数据接口接收人工输入的超前地质预报信息。

(4) 系统通过专家会诊模块对预警事件进行会诊，由专家组长汇总给出意见，解决工程单位工程安全远程咨询问题。

(5) 通过系统对隧道施工进度统计、上传数据统计、报警分类统计，救援路线设计，提高施工过程的动态管理及塌方救援反应速度。利用数据库中的数据进行安全比对分析，对测点安全度进行智能判别，提高决策的科学性。



4.11-7 隧道防坍塌系统监控中心



4.11-8 人员信息接口模块

4.11.5 隧道二衬防脱空系统

4.11.5.1 技术特色

二衬混凝土在浇筑过程中受人为因素、技术因素、混凝土干缩及徐变等因素的影响，往往在衬砌拱顶与初支之间形成空隙。这种空隙会改变衬砌的受力模式，减弱支护强度。隧道二衬防脱空系统通过在隧道拱顶部位设置多个传感器，能检测在混凝土浇筑过程中的浇筑质量，准确定位在浇筑时未能达标的部位，并在混凝土终凝前完成带模注浆，使衬砌形成一个整体，提高承载能力。

4.11.5.2 工艺流程

施工准备（安装防水板、衬砌钢筋、排气管）→安装接触端子及导线→防脱空装置空载试验→衬砌台车就位→浇筑混凝土→点亮指示灯→判断混凝土浇筑饱满→停止浇筑，关闭电源。

4.11.5.3 控制要点

(1) 防脱空装置由接触端子、控制箱、指示灯和导线组成，工作电压采用 24V 安全电压。

(2) 接触端子材料：液位连通式防脱空装置采用裸露 1cm 端头的绝缘铜导线，压触连通式防脱空装置采用压力传感器。

(3) 接触端子数量：根据衬砌单次浇筑长度设置，采用 9m 衬砌台车时至少设 4 个，采用 12m 衬砌台车时至少设 5 个。

(4) 接触端子位置：一般安装在隧道拱部中线位置，位于两个混凝土入料孔中间、入料孔与施工缝中间部位。

(5) 接触端子固定：接触端子和导线采用粘接方式固定在防水板上，防止浇筑过程中脱落。

(6) 接触端子引出：采用绝缘铜导线从二衬台车端头拱部引出，与控制箱宜采用快速线夹头连接，控制箱和指示灯通过导线连接。

(7) 衬砌台车就位前进行防脱空装置空载试验，检测各条导线是否连通。

(8) 严格按相关要求浇筑混凝土，当所有指示灯全亮时，可初步判定拱顶混凝土浇筑密实。同时结合混凝土用量、RPC 管出浆情况等综合判断混凝土是否浇筑饱满。当确认混凝土浇筑饱满后关闭防脱空装置电源。



4.11-9 二衬防脱空系统



4.11-10 二衬拱顶防空洞监测

4.11.6 自粘式防水卷材

4.11.6.1 技术特色

与传统隧道防水板比较，自粘高分子复合防水卷材自粘层中的高分子聚合物能与混凝土中的硅酸钙相互渗透，形成互穿网络结构，产生极强的粘结力。混凝土凝固至设计强度后，防水卷材与之紧密粘结，避免了防水层与二衬间窜水渗漏，俗称“皮肤式”防水层。自粘胶层具有自愈能力，能自动修复微小的穿孔和破坏。

4.11.6.2 工艺流程

施工前准备→基面处理→定位→铺设预铺防水卷材→搭接处理→细部节点处理
→绑扎钢筋→浇筑混凝土。

4.11.6.3 控制要点

- (1) 自粘式防水卷材施工前必须对隧道的渗漏水进行封堵或采用排水处理。
- (2) 锚喷射混凝土表面的突刺必须清除，锚喷射混凝土面的凹凸半径要大于300mm，凹凸不平表面的D/L值不能大于1/6。
- (3) 隧道断面变化或转弯时，应抹成 $R \geq 500\text{mm}$ 的弧。
- (4) 铺贴卷材时由拱部中心向左、右两侧同时铺设。
- (5) 卷材长边应采用自粘边搭接，搭接宽度100mm。
- (6) 二衬钢筋绑扎前揭除卷材表面隔离膜。



4.11-11 HDPE 自粘胶膜防水卷材



4.11-12 防水卷材施工

4.11.7 排水式快速安装止水槽

4.11.7.1 技术特色

传统式止水带对渗水只堵不排，止水较为困难，且安装过程中止水带容易变形、错位，往往导致运营时隧道渗漏水严重。排水式快速安装止水槽弥补了传统止水带的缺点，优化了施工工艺，具有安装方便、堵排结合、集中引流及排水缓压的特点，能进一步提高隧道的排水能力。

4.11.7.2 工艺流程

排水槽定位→临时固定→连接排水管→插入端头模板→衬砌浇筑

4.11.7.3 控制要点

- (1) 排水式快速安装止水槽确定好安装位置后，将止水槽长翼一侧朝向衬砌段的先浇侧，排水道朝向防水层，在止水槽长翼与短翼两侧50mm处可取消纵向钢筋，

以免影响止水槽的安装效果。

(2) 按“米”字形沿隧道环向临时固定止水槽，即在几何特征位置插入端头模板。通过先临时固定止水槽，调整止水槽沿四周的松紧程度，再利用橡胶材料的弹性，使止水槽适应隧道轮廓的变化。

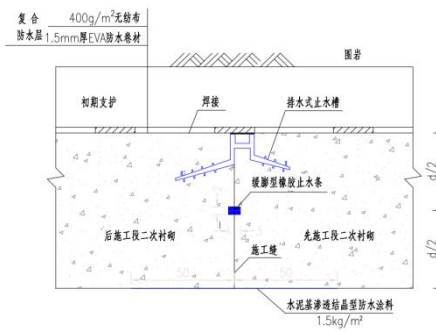
(3) 连接排水通道和纵向排水管。止水槽的长度留有余量，在止水槽的实际用长确定后，截除止水槽下端的多余部分，然后将一段 $\phi 20\text{mm}$ 的排水管的一端插入止水带下端的排水通道，引入侧水沟，埋设时保证预埋引水管的排水坡度，接缝处可填充密封胶。

(4) 自下而上逐块插入端头模板并可靠固定，止水槽安装即完成。

(5) 衬砌混凝土浇筑时，应注意止水槽止水翼两侧的振捣。



4.11-13 排水式快速安装止水槽



4.11-14 止水槽安装示意图

4.11.8 窄翼超前小导管

4.11.8.1 技术特色

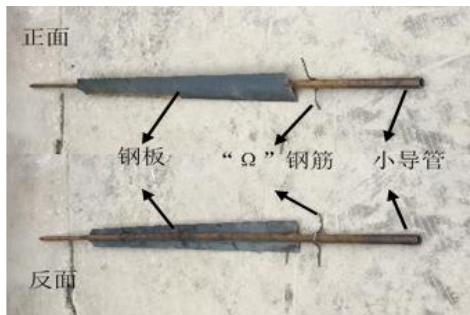
浅埋暗挖隧道下穿全强风化地层时，极易出现坍塌、掉块，坍塌体往往伴随着一定的渗水，严重制约隧道的开挖施工。小导管加密后，软弱的松散体依然会从导管间隙里塌落，不能有效地为拱架安装提供时间和空间。通过在导管上焊接钢板形成窄翼超前小导管，大大减小了导管间的环向空隙，能形成有效的超前棚护体系，防止软弱围岩体的掉块、坍塌。

4.11.8.2 工艺流程

小导管打眼、缩尖→管身焊接钢板→尾端焊接钢筋→打入围岩→注浆加固→下一根小导管。

4.11.8.3 控制要点

- (1) 选取 $\Phi 42 \times 3.5$ mm 的热轧无缝钢管，切割成设计长度。
- (2) 采用小导管缩尖机将导管前端缩尖成型。
- (3) 采用小导管打孔机将小导管管身打设 $\Phi 6$ mm 注浆孔，纵向间距 15cm，梅花型布设。
- (4) 在小导管管身距离锥型尖 1.5m，尾部 0.5m 位置上焊接 5mm 厚、20cm 宽、2m 长前端剪刀型钢板。
- (5) 在距离小导管尾部 40cm 处焊接 $\Phi 12$ 的“ Ω ”型钢筋，以便与后方拱架焊接固定。
- (6) 风枪在打设带翼小导管时，以一定角度向掌子面施打，小导管在下，钢板在上，贴着已立好的拱架面。
- (7) 当小导管上焊接的钢板打设超过已架立的拱架后，将“ Ω ”型钢筋环与钢拱架焊接在一起，固定小导管，起到超前棚护的作用。



4.11-15 窄翼超前小导管



4.11-16 窄翼超前小导管施工