

湖南省交通建设质量安全监督管理局文件

湘质安监督〔2022〕243号

关于印发《湖南省高速公路智能建造施工指南》 (试行)的通知

各在建高速公路项目公司:

现将《湖南省高速公路智能建造施工指南》(试行)印发给你们,请参照执行。

湖南省交通建设质量安全监督管理局

2022年12月26日



抄送:省交通运输厅、省高速公路集团有限公司、省建设投资集团有限责任公司、中铁交通投资集团有限公司。

湖南省交通建设质量安全监督管理局办公室 2022年12月26日印发

湖南省高速公路智能建造施工指南

(试 行)

湖南省交通建设质量安全监督管理局

2022 年 12 月

前 言

科技引领未来，智能提升交通。在交通运输部推进平安百年品质工程的背景下，我省交通建设行业要统一思想、凝心聚力，以强化科技创新为驱动，积极推动“四新”技术在交通建设工程中的应用，引导数字化转型、智能建造的应用，顺应高体量、高质量、智能化、新基建等发展态势。

根据省交通运输厅 2022 年重点工作的部署和要求，为推动智能建造在我省高速公路建设领域落实见效，特制定本施工指南。本指南适用于我省高速公路建设智能建造施工，主要包括智慧梁场、隧道机械化施工、智慧仓储、智能压实、智慧管理云平台等五个章节内容。

本指南由湖南省交通建设质量安全监督管理局组织编写，湖南智桥工程科技有限公司、中铁五局集团有限公司桑龙高速第三合同段、湖南致同工程科技有限公司等单位参与编写，编写过程中得到了湖南省交通科学研究院有限公司、湖南路桥建设集团有限责任公司等单位大力支持。

本指南在推行过程中如有任何意见及建议，请函告湖南省交通建设质量安全监督管理局，以便修订时参考。

目 录

1 总则与基本规定	1
1.1 目的.....	1
1.2 适用范围.....	1
2 智慧梁场	2
2.1 主要建设内容.....	2
2.2 智能设备设施配备.....	3
2.2.1 钢筋智能数控加工设备.....	3
2.2.2 整体式液压钢模板（外模）.....	4
2.2.3 龙门吊滑触线.....	4
2.2.5 预应力张拉设备.....	5
2.2.6 智能压浆设备.....	5
2.2.7 智能养生设备.....	5
2.2.8 智能振捣设备.....	6
2.2.9 安全环保智能化管控设备.....	6
2.3 软件系统.....	8
2.3.1 原材料智能管控.....	8
2.3.2 试验检测智能管控.....	8
2.3.3 钢筋加工智能管控.....	9
2.3.4 混凝土智能管控.....	9
2.3.5 工序生产智能管控.....	9
2.3.6 质检与评定智能管控.....	9
2.3.7 混凝土智能浇筑管控.....	9
2.3.8 智能振捣管控.....	9
2.3.9 智能养生管控.....	10
2.3.10 智能张拉压浆管控.....	10
2.3.11 安全智能监控.....	10
2.3.12 二维码智能溯源.....	10
2.3.13 LED 梁场信息智慧发布系统.....	10
2.4 设备要求.....	10
2.4.1 智能张拉设备.....	10
2.4.2 智能压浆设备.....	11
2.4.3 混凝土智能浇筑设备.....	11
2.4.5 智能振捣设备.....	12
2.4.6 智能养生设备.....	12
2.5 智慧梁场智能管控关键数据要求.....	13
2.6 智慧梁场配置要求.....	13
3 隧道机械化施工	15
3.1 大型机械化配套设备配置.....	15
3.2 设备使用情况.....	18
3.3 隧道机械化施工优势.....	22
3.4 隧道机械化配置条件.....	23
4 智慧仓储	24

4.1	建设内容.....	24
4.2	智慧仓储.....	24
4.2.1	智慧仓储硬件.....	24
4.2.2	智慧仓储软件系统.....	26
5	智能压实	27
5.1	主要建设内容.....	27
5.2	智能设备设施.....	27
5.2.1	摊铺智能管控设备.....	27
5.2.2	碾压智能管控设备.....	28
5.2.3	压路机安全防撞设备.....	29
5.3	系统功能.....	29
5.3.1	摊铺智能管控子系统.....	29
5.3.2	碾压智能管控子系统.....	30
5.3.3	压路机智能安全防撞子系统.....	33
5.4	智能压实设备配置要求.....	34
6	智慧管理云平台	35
6.1	建设内容.....	35
6.2	功能要求.....	35
6.2.1	试验检测智能管控.....	35
6.2.2	拌合站智能管控.....	36
6.2.3	物料智能管控.....	36
6.2.4	质检与评定智能管控.....	36
6.2.5	工序智能管控.....	36
6.2.6	质安排查治理.....	37
6.2.7	安全智能监测与监管.....	37
6.2.8	智慧梁场.....	37
6.2.9	BIM应用	38

1 总则与基本规定

1.1 目的

为推动我省高速公路建设高质量发展，实现数字赋能，提高施工智能化、机械化建造水平，推进和规范我省高速公路建设智能建造，印发本指南。

1.2 适用范围

本指南适用于我省范围内的高速公路建设工程，其他工程可参照执行。

2 智慧梁场

为提升梁场生产与监管智能化水平，采用智能控制技术、物联网技术、云技术、RFID、移动互联技术等现代信息技术，构建“物联网+智慧梁场”，实现对人、机、料、法、环的实时数据采集、分析、预警。以工序流程管理为主线，实现对原材料、钢筋加工与绑扎，混凝土拌合与运输，梁体预制与养生，工序质量检验与评定、梁板存放与安装等全过程智能控制；以质量安全管理为重点，加强预制梁生产关键工序智能管控和安全环保智能监测控制。

通过物联网技术保证梁体数据的可追溯性，达到如下建设目标：

- (1) 提升预制工效；
- (2) 提高预制梁质量；
- (3) 确保安全和环保；
- (4) 降低预制梁成本。

2.1 主要建设内容

智慧梁场建设主要包括梁场智能化硬件设备（设施）和智慧梁场软件系统。

梁场智能化硬件设备（设施）主要包括：钢筋智能数控加工设备、整体式液压钢模板、龙门吊滑触线、混凝土智能浇筑设备、预应力张拉设备、智能压浆设备、智能养生设备、智能振捣设备、安全环保智能化管控设备等。

智慧梁场软件系统主要包括：智慧梁场生产智能管控系统、智慧梁场监管预警系统及智慧梁场大数据中心。实现原材料智能管控、试验检测智能管控、钢筋加工智能管控、混凝土智能管控、工序生产智能管控、质检与评定智能管控、混凝土智能浇筑管控、振捣智能管控、养生智能管控、张拉压浆智能管控、安全及人员智能监控等。



2.2 智能设备设施配备

2.2.1 钢筋智能数控加工设备

1. **焊接机器人**。主要包括机器人和焊接设备两部分。机器人由机器人本体和控制柜（硬件及软件）组成。而焊接装备，以弧焊及点焊为例，则由焊接电源，（包括其控制系统）、送丝机（弧焊）、焊枪（钳）等部分组成。传统方式焊接好 1 片盖梁骨架片需要 2 个人耗时 1 个小时，1 天可以完成 9 片骨架片的焊接任务。采用焊接机器人只需要 1 个人，机器人可以按照设定好的程序自动焊接，平均每片骨架只需要 50 分钟左右，焊接机器人每天可以完成 10 片骨架片。机器人焊接质量比人工更加稳定和焊缝更加饱满，焊接效率更高。

2. **智能钢筋墩粗车丝一体机**。按结构分为横向上料架，墩粗部



套，套丝部套，打磨部套，收料仓及电器控制操作系统。智能钢筋锯切滚丝机器人解决了直螺纹钢筋下料及剥肋滚丝工序，实现直螺纹钢筋下料、剥肋、倒角、滚丝等工序的流水线作业。

3. **钢筋弯曲中心**。采用自动定尺装置确定钢筋端头位置，由伺服



电机控制自动定位，无需人工测量和固定，有自动锁定机构，确保钢筋端头定位精度。该装置的摆动式挡板自动避让钢筋，确保钢筋弯曲精度，具有定位精度高、安全可靠等优点。

4. **智能弯箍机**。集矫直、弯曲成型、切断三种功能于一体，



钢筋弯箍，一次成型，加工范围大，可正反弯曲，弯曲角度 180°，固定切刀可双面使用，提高使用寿命，降低成本。

5. **数控调直机。**采用数控调直机，保证了在连续生产的前提下其他工序照常进行，同时也使规格多、但规格数量少的作业变得更方便；而且该设备可以在一个任务单中设置不同的钢筋长度，数控系统会



一次性将所有的不同长度的任务单依次加工完成，大大提高了工作效率。

2.2.2 整体式液压钢模板（外模）



箱梁采用液压式整体模板，通过液压系统进行模板就位和拆模；内模采用钢模板，应保持平顺、接缝密实。

2.2.3 龙门吊滑触线

预制场龙门吊采用滑触线,降低了龙门吊电缆在砂槽、卷缆盘中拖拽破损等安全风险,线型美观,安全简便。



2.2.4 混凝土智能浇筑设备



通过传感器（温度传感器、定位仪、激光测距仪等），智能布料机可实现混凝土自动布料、密实检测、自动浇筑以及浇筑速度控制。

2.2.5 预应力张拉设备

预应力智能张拉技术是指采用计算机、通信、控制、液压等现代技术对预应力整个张拉过程进行控制，不受人为了因素干扰，全过程按规范要求自动完成的预应力张拉工艺。同时使用无线传输技术以及物联网技术自动采集智能张拉系统数据，通过无线网络实时传输至智慧梁场协同管理平台。



2.2.6 智能压浆设备

智能压浆由自动上料制浆系统、进浆口测控箱、出浆口测控箱组成，通过在桥梁预应力管道进出浆口安装流量、压力传感器、水胶比传感器，实时监测压浆流量、压力及水胶比参数，同时通过多参数控制模型计算，自动判断压满，自动关闭出浆口阀门时间，及时准确地关闭出浆口阀门，自动完成保压，自动完成注浆，不需人工干预。同时使用无线传输技术以及物联网技术自动采集智能张拉系统数据，通过无线网络实时传输至智慧梁场协同管理平台。



2.2.7 智能养生设备



温湿度双控自适应智能喷淋养生控制系统由智能供水系统、喷淋智能控制中心、梁体 LORA 温湿度感知系统、远程控制云平台、喷淋系统等组成。由喷淋智能控制中心通过每个台座设置

的 LORA 温湿度传感器，系统自动感应梁场环境以及每片梁体的温度及湿度。将温湿度信息自动反馈至智能控制中心，根据喷淋养生控制模型，自动循环喷淋，远程监控云平台可以实时远程监控，异常预警。喷淋养生数据实时采集、记录存储、无线数据传输。

2.2.8 智能振捣设备



智能振捣设备由 PLC 控制系统、变频器、高频附着式振捣器和远程监控系统等组成。系统实时采集振捣频率、激振力、振捣时间等振捣参数并进行优化控制，确保振实后的梁件外表光滑，气泡、缩空明显减少。可节约成本，加快工程进度，提高工程质量。

2.2.9 安全环保智能化管控设备

1. 安全帽与反光衣智能监测

实现施工现场安全帽和反光衣智能监测，异常预警。



2. 龙门吊安全监控

对预制梁场所有龙门吊进行实时监测，保证龙门吊运行的安全性。



同时龙门吊设备采用自动夹轨器。自动夹轨器可自动将门式起重

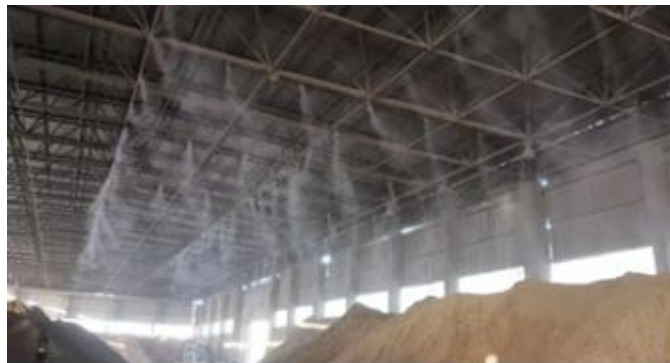


机锁定在轨道上，以防止受意外推力时而滑动；夹轨器在大车行走状态自动开启，其它状态自动夹紧。在不改变原机操作动作的前提下，通过 PLC 系统将起重机行走机构的行走与

停止、制动器的开启与制动、夹轨器的开启与夹紧等动作实行自动控制,提高了整机稳定性及安全性。

3. 料仓喷雾除尘智能控制。

通过安装智能化除尘喷雾设备，实现对拌合站料仓喷雾除尘智能控制。宜在料仓口安装喷雾系统，以利于砂石料含水量控制。



4. 智能环境监测

通过安装环境监测设备，对施工场地内的环境进行 24 小时监测。

配合场地内的除尘喷雾设备，改善施工区域的作业环境，做到文明环保施工。



2.3 软件系统

智慧梁场软件系统主要包括：智慧梁场生产智能管控系统、智慧梁场监管预警系统及智慧梁场大数据中心。主要功能包括原材料智能管控、试验检测智能管控、钢筋加工智能管控、混凝土智能管控、工序生产智能管控、质检与评定智能管控、振捣智能管控、养生智能管控、张拉压浆智能管控、安全及人员智能监控、二维码智能溯源、梁场信息智慧发布系统等。

2.3.1 原材料智能管控

工地无人值守地磅称重系统和原材料管控系统。工地无人值守地磅称重系统具有车辆自动出入管理、自动称重数据判断采集、数据共享、远程传输等功能，能有效、实时地采集现场原材料的进场信息。实现原材料的入库和出库智能化管理。

2.3.2 试验检测智能管控

实时采集压力机、万能机试验数据，对试验室养生进行监控。试验数据自动分析处理，自动生成报表。

2.3.3 钢筋加工智能管控

钢筋加工自动化设备和钢筋焊接机器人，实现钢筋加工自动化和焊接自动化。同时要求设备具有联网功能，实现数据的在不同设备间的传输交换。现对钢筋的生产加工过程进行智能管控，实现从钢筋需求—钢筋制作加工—钢筋半成品出库—现场安装绑扎全过程动态跟踪，历史溯源。

2.3.4 混凝土智能管控

混凝土质量管控主要包括混凝土生产监控、运输监控、浇筑监控、检测监控等。实时采集监控混凝土生产过程数据，主要包含生产配合比、搅拌时间等。以及浇筑工程名称和部位，全程监管。

2.3.5 工序生产智能管控

根据制梁工序，生产管理人员可以快速实现梁板生产任务下发、施工、验收、溯源等功能，并对制梁关键工序的质量指标进行管控。

2.3.6 质检与评定智能管控

对梁板实体质量检验智能管控。工程划分基础数据单位工程、分部分项工程管理；质检表与工序智能管理；质检与评定表数据处理与自动生成管理；质量评定标准智能管理；质检资料统计与智能追溯；试验检测数据与质检数据共享，一体化集成管理。

2.3.7 混凝土智能浇筑管控

实现混凝土浇筑的自动布料、密实检测、自动浇筑以及浇筑速度控制。

2.3.8 智能振捣管控

系统实时采集振捣频率、激振力、振捣时间等振捣参数并进行优化控制。

2.3.9 智能养生管控

养生智能控制系统，实现温度和湿度双控，实时采集养生温度、湿度，喷淋时间和喷淋间隔时间等，及时预警。

2.3.10 智能张拉压浆管控

实时采集预制梁张拉压浆数据，实时监控张拉力和伸长量，压浆压力、水胶比、流量、保压压力、保压时间等参数，异常预警。

2.3.11 安全智能监控

龙门吊和人员监控及视频安全智能分析，自动识别安全隐患，及时预警。

2.3.12 二维码智能溯源

实现预制梁编号、何时浇筑、何时张拉、压浆、负责人是谁等全过程管理。

2.3.13 LED 梁场信息智慧发布系统

通过 LED 梁场信息智慧大屏，及时显示梁场生产情况，如共计多少片梁，已经浇筑了多少片，张拉压浆完成了多少片，设计存梁多少片，已经存梁多少片，施工工人多少人等信息。

2.4 设备要求

2.4.1 智能张拉设备

1. 精确控制有效预应力力值大小，准确、实时测量预应力钢筋伸长量，实现张拉过程智能控制。
2. 保证张拉同步、停顿点、加载速率、持荷时间等张拉过程要素完全符合规范要求，有效确保和提高预应力张拉施工质量。
3. 设备应具有自动控制和手动控制两种控制方式，并能绘制力

—时间、位移—时间曲线，在控制方式之间应能实现无冲击切换。

4. 张拉数据历史追溯。自动保存张拉数据，进行统计分析和生成张拉报表，可历史追溯。

5. 具有传感器和采集系统直接采集张拉实时数据和联网上传数据功能。

2.4.2 智能压浆设备

1. 须安装水胶比传感器和流量传感器等，实时监测浆液水胶比、流量、压浆压力、保压时间、保压压力五大参数，异常自动报警。

2. 实现压浆全过程智能控制，精确控制浆液水胶比、流量、压浆压力、保压时间、保压压力。

3. 自动判断压浆饱满程度，自动关阀，自动保压。排除压浆过程中关阀及保压的人为因素影响。

4. 压浆数据历史追溯。自动保存压浆数据，进行统计分析和生成压浆报表，可历史追溯。

5. 具有传感器和采集系统直接采集压浆实时数据和联网上传数据功能。

2.4.3 混凝土智能浇筑设备

1. 基于数字仿真技术、智能机器人、智能传感、智能识别、精准定位等前沿高新技术，实现智能混凝土精准布料。

2. 无线和有线两种方式遥控移动臂架进行混凝土布料，可 360 度旋转布料，也可上下类似手臂一样灵活

3. 通过自动控制系统，实现自动浇筑以及浇筑速度控制。

4. 通过密实度自动检测系统，实现浇筑质量控制。

5. 具有传感器和采集系统直接采集浇筑实时数据和联网上传数据功能。

2.4.5 智能振捣设备

1. 实现振动频率、激振力和振动时间等工艺参数自动调控优化。
2. 实现振捣的精确智能控制。自动精确控制每个振捣器的振动频率、激振力和振动时间等工艺参数。
3. 实现振捣的远程实时监控预警。通过互联网和传感技术实时采集振捣的原始数据,异常情况及时报警,实现振捣全过程远程监督。
4. 实现振捣记录的历史追溯。通过二维码及云平台技术,快速随时随地查询每片梁振捣历史记录。
5. 具有传感器和采集系统直接采集振捣实时数据和联网上传数据功能。

2.4.6 智能养生设备

1. 每个台座设置独立的温湿度传感器,实现温湿度双控的喷淋养生精确智能控制。根据采集的温湿度,根据养生规范要求,自动精确控制喷淋频率和喷淋时间。
2. 实现“全自动、无人值守、无死角”的智能喷淋养护。在预应力桥梁养生过程中,通过自动感知梁体温度、湿度进行智能控制,控制喷淋设备启停,智能调节喷淋的时长和周期,使混凝土表面保持充分湿润,提高了预制梁的梁体强度。
3. 实现喷淋养生的远程实时监控预警。通过互联网和传感技术实时采集喷淋养生的原始数据,异常情况及时报警,实现喷淋养生全过程远程监督。
4. 实现喷淋养生记录的历史追溯。通过二维码及云平台技术,快速随时随地查询每片梁喷淋养生历史记录。
5. 具有传感器和采集系统直接采集养生实时数据和联网上传数据功能。

2.5 智慧梁场智能管控关键数据要求

为保证梁场质量安全相关数据的真实性、完整性、准确性，按规定的频率直接采集原始数据和实时上传，防止修改。智能管控关键数据如下：

1. 原材料智能管控：物料名称、入库数量、入库时间
2. 钢筋加工智能管控：钢筋入库数量、入库时间
3. 混凝土智能管控：混凝土配合比、各拌合集料数据、搅拌时间、浇筑部位
4. 试验室智能管控：试件（原材料）名称、取样地点、试件尺寸、力值、时间
5. 质检与评定智能管控：质检表数据、评定表数据、填报时间
6. 智能振捣管控：振捣频率、激振力、激振时间
7. 智能养生管控：温度、湿度，喷淋开始时间，喷淋结束时间
8. 智能张拉管控：张拉力、伸长量、停顿点、持荷时间
9. 智能压浆管控：实时压浆压力、水胶比、流量、保压压力、保压时间
10. 智能浇筑管控：浇筑位置、浇筑速度、浇筑量
11. 安全智能监控：龙门吊起重量、起升高度、行程

2.6 智慧梁场配置要求

表 2.1 智慧梁场硬件、软件配置一览表

类别	配置内容	预制梁场规模（梁片数）			备注
		≤500	500-1000	≥1000	
硬件 要求	智能张拉	√	√	√	本配置 为智慧 梁场基 础配 置，示
	智能压浆	√	√	√	
	智能振捣	√	√	√	
	智能养生	√	√	√	

	数控钢筋加工设备	√	√	√	示范性梁场可以在此基础上增加配置
	焊接机器人			√	
	液压模板		√	√	
	智能浇筑			√	
	龙门吊滑触线		√	√	
	龙门吊安全监控	√	√	√	
	除尘智能控制		√	√	
	LED 智慧大屏	√	√	√	
软件要求	智慧梁场云平台及监管系统	√	√	√	

3 隧道机械化施工

当前国家基础建设方兴未艾，工程规模越来越大，技术难度也越来越高。施工面对如何保证工程质量、提高安全系数、改善作业环境、降低作业强度、提升作业工效、有效节约资源等施工中的重点和难点，传统、粗放的“人海战术”已无法应对，而通过隧道机械化施工能有效地解决这些问题，并即将成为新形式下隧道施工的主流。

3.1 大型机械化配套设备配置

项目	基本配置	大型机械化	使用工序
主要设备	风钻	三臂凿岩台车	开挖
	风钻		锚杆、超前支护
	混凝土湿喷机	混凝土湿喷机械手	喷射混凝土
	多功能台架	钢拱架安装台车	钢架安装
	仰拱栈桥	自行式仰拱栈桥	——
	多功能台架	防水板自动铺设台车	防水板铺设、二衬钢筋
	模板台车		拱墙二衬混凝土
	仰拱模板台架	全弧模板（与自行式仰拱栈桥配套）	仰拱二衬混凝土
	沟槽模板	沟槽移动模架	沟槽混凝土

表 3.1 隧道常规设备施工与大型机械化配套施工设备对比表

1.三臂电脑式凿岩台车是目前隧道施工中较常用大型机械化设备。凿岩台车可用施作炮眼、锚杆孔、超前钻孔工序，适用于全断面，大断面施工时效率提高尤为明显。



2. 传统钢拱架架设完全依靠人工的方法，工作效率较为低下，钢拱架安装台车大大提高了钢架架设的机械化程度，可一次立多榀钢架，适用于全断面，节约初期支护的施作时间，对提高施工进度较为有利。



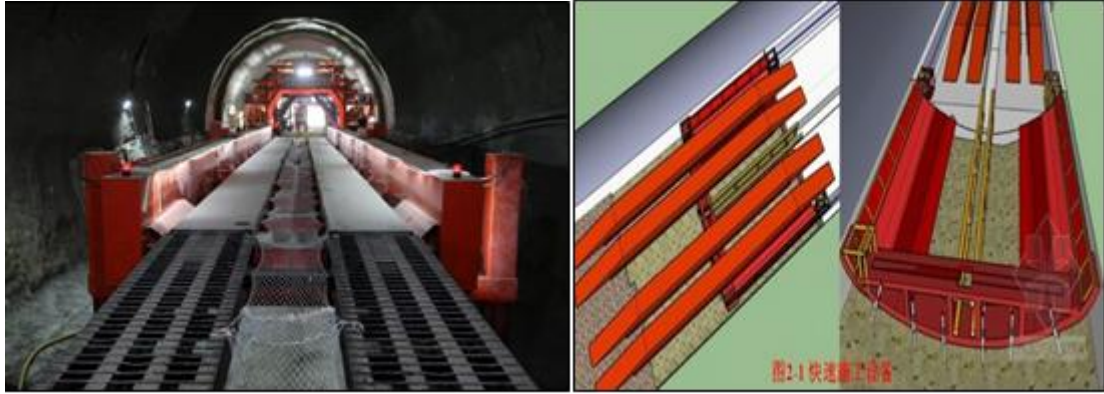
3. 湿喷机械手由湿喷机、蠕动剂量泵和喷射机械臂装在轮式汽车底盘上，喷射混凝土一般可达 15-30 方/h。在围岩条件较好的全断面法段采用时效果较好，短台阶法也可适用。



4. 自行式仰拱栈桥由主体结构、行走系统、液压系统和电气系统四部分组成。栈桥自带液压和行走系统，可自行实现洞内纵向移动，

移动时不需要借助挖掘机，方便施工，栈桥刚度大，确保洞内车辆运输及仰拱施工人员安全，栈桥跨度大，每循环施工长度大，有效提高施工工效，加快仰拱施工进度。

仰拱全环弧形模可保证衬砌轮廓和纵向施工缝完全符合设计要求，减少作业人员的劳动强度，保证工程施工质量并加快仰拱施工进度满足步距要求。



5. 防水板自动铺设台车由走行系统、主体台架、铺设轨道、铺设小车、扇形活动支撑以及液压系统、电气系统组成。主体台架底部铰接在行走箱体上，铺设轨道和扇形活动支撑通过连接钢筋板固定在主体台架上，工作平台和人行平台栓接在主体台架四周。防水板自动铺设台车可减少作业人数、降低劳动强度、提高铺设质量，部分防水板自动铺设台车具有二衬钢筋绑扎台架功能。



6. 水沟电缆槽移动模架分电缆槽移动模架和中心水沟移动模架。电缆槽移动模架根据电缆槽结构尺寸采用定型模板、门架及行走系统组装而成，模架可一次性浇筑 12 米，施工效率高。中心水沟自行式整体移动模架：主要包括液压系统的模板支撑调整机构、模架、模板、

电气控制系统和行走系统。采用水平和竖向液压系统，控制台车模板系统准确定位。

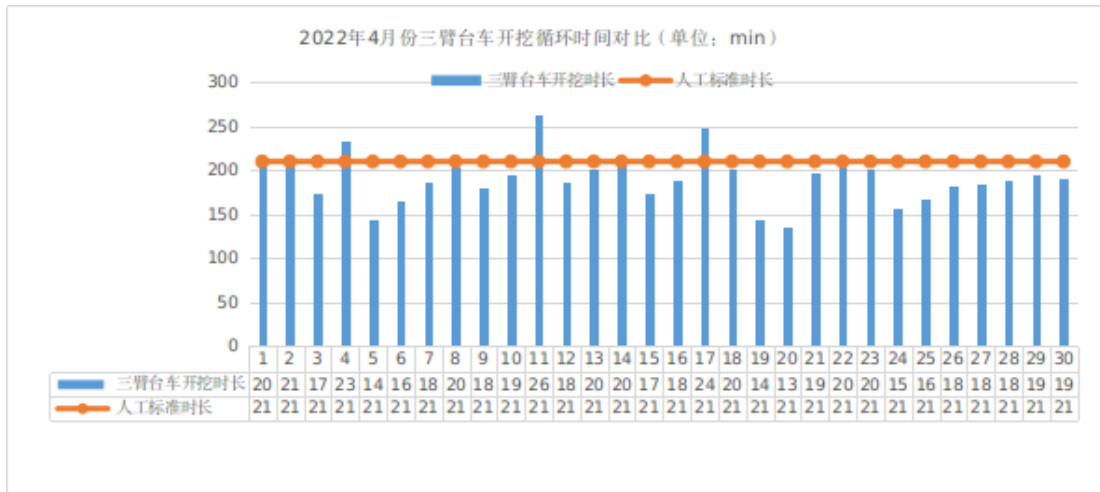


3.2 设备使用情况

目前桑龙高速公路雷家山隧道为我省在建最长公路隧道，通过大型机械设备的施工技术应用,确保了高速公路隧道的安全、快速施工,对公路隧道的机械化推广具有重要意义。雷家山隧道进口左幅采用大型机械化配套组织施工,目前全电脑三臂凿岩台车及拱架拼装台车已进场,各设备均已运转正常。雷家山隧道进口左幅从 K22+196 开始采用大型机械化施工,与其他隧道施工作业面相比,大型机械化配套施工无论是在安全质量还是进度工效等方面均取得显著成效,具体使用效果如下:

1. 三臂凿岩台车

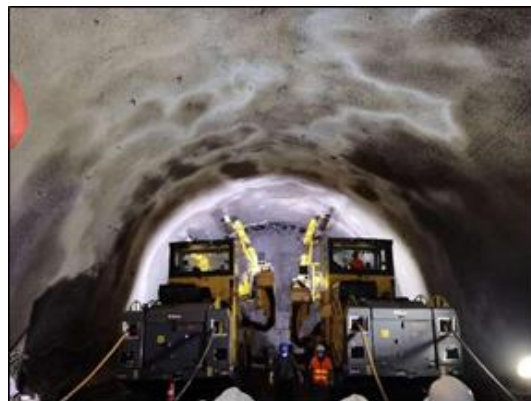
工效方面:雷家山隧道进口左幅三臂台车于 2022 年 3 月 1 日进场,3 月份设备磨合期不进行工效对比。4 月份比对情况分析,平均每循环节约时间 19 分钟,提高工效约 9%。本月雷家山隧道进口左洞围岩滑层且破碎,钻杆易卡钻且外插角度因围岩破碎造成角度偏移,致使工效受到一定影响。围岩较好时预计工效可提升 20% 以上。4 月份每日开挖循环对比如图:



4 月份三臂台车每日开挖循环时间对比

安全方面：与传统人工作业相比，凿岩台车掌子面配置 5 人(队长 1 人，操作手 2 人，配合 2 人)，人工钻爆需配置 15 人，凿岩台车操作平台上面有安全顶棚保证人员安全，降低了作业过程中掉块、噪音、有害气体、机械伤害等带来的人身伤害风险。

质量方面：相比较人工钻爆，凿岩台车炮孔布置根据围岩情况动态调整很好的控制了钻爆孔的间距、钻眼角度，提高了光爆效果，同时对于锚杆、管棚、小导管和锁脚锚杆等的施工质量有显著提高。凿岩台车兼做锚杆钻机使用，能有效解决人工操作拱顶锚杆角度限制，确保锚杆施做质量。



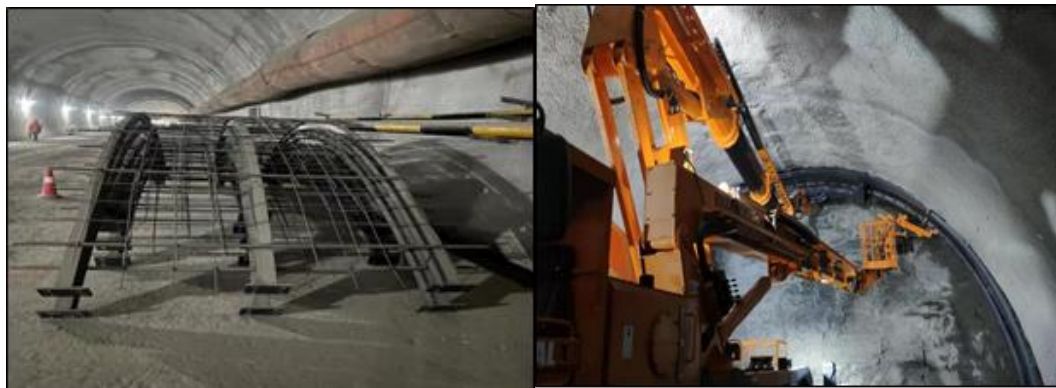
2. 拱架安装机

功能工效方面：实现了全自动抓举大断面钢架并定位安装;实现了钢架精准定位，可一次立多榀钢架，节约初期支护的施作时间;具备全方位施作系统锚杆、锁脚锚杆、超前小导管的钻孔、安装的功能;配合机械化成孔注浆施工、实体无损检测、装药等。IV 及围岩传统人

工每循环立架时间约 210min，拱架安装机可一次立多榀，每循环立架时间平均节约 85min，提高工效 40%。拱架安装机每台配置 6 人(司机 1 人，操作手及配合 5 人)，传统台架人工安装需配置 13 人，人工少、劳动强度低。

安全方面：拱架安装机与传统台架相比，采用遥控操作，施工人员可以站立初喷面下，远离了高危区域，安全性高，提高了作业人员的安全性。

质量方面：拱架工厂化作业，提前拼装好，半成品质量得到有效保障，大幅度提高了钢拱架的整体刚度及安装精度。



拱架工厂化加工

拱架安装

3. 湿喷机械手

功能工效方面：喷射面积全覆盖,全部操作采用无线遥控,集行走、泵送和喷射三大功能于一体,湿喷机械手具有作业范围广，操作灵活，性能稳定，布料均匀，喷射能力强等优势。

安全质量方面：与普通湿喷机作业相比，减少粉尘对人体的伤害，作业环境好;操作灵活，作业人员少,由于回弹量的减少，使作业面的能见度提高，同时由于湿喷机械手的臂长达 10m 以上，可有效保障作业人员的安全。作业人员劳动强度低，湿喷机械手自动化程度高。回弹率降低，普通湿喷机的回弹率为 25%左右，而湿喷机械手由于便于控制喷射角度，保持喷射距离,控制风压等特点，其回弹率仅为 15%，比普通湿喷机的回弹率降低 10%;喷射混凝土表面平整度、喷射砼强度提高，有效控制了由于初支面不平整带来的衬砌背后脱空等质量缺陷。

4. 自行式仰拱栈桥+仰拱全弧模板

功能工效方面：自行式仰拱栈桥及模板浇筑完一节段后，采用步履式行走，能够快速自行至下一浇筑节段，容易实现仰拱与二衬节段施工缝对齐。仰拱栈桥有效作业长度 28 米（12m+12m+4m），前一浇筑节段 12 米进行模板对位安装及砼浇筑的同时，可以对下一浇筑（12m+4m）节段进行仰拱绑扎钢筋、初支施工，可以实现平行作业，缩短总体工序时间。自带整体式钢堵头模板，弧形模板、仰拱小边墙纵向止水带专用夹具、一体式中心水沟模板，确保了仰拱施工质量。通过仰拱弧模依次从下往上逐层浇筑、振捣，弧形仰拱能一次成形，避免两侧仰拱浇筑时出现冷缝，也避免仰拱与填充不同标号混凝土混浇。

5. 多功能防水板作业台车

功能工效方面：该台车通过提升系统实现防水板铺设的机械化作业；利用扶贴机构将防水板、土工布支撑于隧道面上，使施工更方便；钢筋定位装置可保证环向钢筋间距及上下位置符合设计要求。多功能防水板铺设台车的成功研发及应用，可有效降低作业人员的劳动强度，满足隧道施工机械化作业要求。

安全质量方面：与普通台架相比，该台车施工提高了作业人员的防坠安全性，设置有斜步梯，多层可伸缩操作平台，多采用圆钢管结构，突出物较少，平台高度适宜，两侧有固定的曲拱圈作为临边防护，从一定程度上能够减少对人员的伤害。施工人员通过可伸缩的平台，可直接接触到围岩面，另土工布及防水板采用机械摊铺，速度可控，安装平顺度控制好，松弛均匀，质量有保证。



6. 电缆槽移动模架

功能工效方面：电缆槽自行式整体移动模架：主要包括液压系统的模板支撑调整机构、模架、模板、电气控制系统和行走系统。采用水平和竖向液压系统，控制台车模板系统准确定位。模板可在横梁上进行独立上下升降，满足精调精度。立模完毕后连上横向定距杆确保沟槽横向间距保持不变。模架就位、挡头模安装固定后进行砼浇筑。

安全质量方面：传统拼装模板浇筑电缆槽，沟身线形难以控制，多为“S”型，拼接处多有错台，需人工打磨。且拼装模板安装拆除均耗费大量时间及人工，周转不便，施工效率极低。采用电缆槽移动模架立、脱模方便快捷，有效避免边角混凝土破损，混凝土外观质量好，线性直；劳动强度低、工效高、进度快；施工自动化程度高，操作简单、实用，不需使用临时支撑结构和材料，现场施工环境文明整洁，施工效率高，成本低。



缆槽移动模架

电缆槽成品效果

3.3 隧道机械化施工优势

1. **远离危险源**：台车和喷浆机械手操作人员作业时离掌子面较远，且处在初期支护成型段的保护之下，作业安全提高。

2. **安全系数高**：凿岩台车操作平台上面有安全顶棚保证人员安全，降低了掌子面落石伤人的危险性。

3. **改善作业环境**：凿岩台车开挖采用电力作动力，不产生粉尘，对原有空气状况改变不大，清洁无污染。只有一定量的噪音，与风钻相比，消除了气动凿岩机排气时发出的高分贝噪音，噪音比较小，大大减少噪音对人体的伤害。

4. **降低人员密度**：降低了工人的劳动强度，降低了掌子面人员密度，提高作业质量和效率。

5. **节能环保**：台车低耗能，使用电量少，节约了能源，同时无三废排放，符合环保要求。

3.4 隧道机械化配置条件

表 3.1 隧道机械化施工配置一览表

类别	配置内容	适用条件	步距要求
机械化	三臂凿岩台车	2 台阶或全断面开挖	相比传统步距需增加设备操作空间约 25m
	混凝土湿喷机械手	所有隧道	三臂台车操作空间考虑在内
	钢拱架安装台车	有钢架支护的初支	三臂台车操作空间考虑在内
	自行式仰拱栈桥+仰拱全弧模	有仰拱施工	相比传统步距需增加预留 1 环初支及作业平台共计约 20m
	防水板自动铺设台车	所有隧道	/
	沟槽移动模架	所有隧道	/

4 智慧仓储

为提升仓储智能化管理水平，采用物联网技术、云技术、RFID、移动互联技术等现代信息技术，构建“智能物联网+智慧仓储”，实现对物料验收、进库、出库的全过程智能化管理。

4.1 建设内容

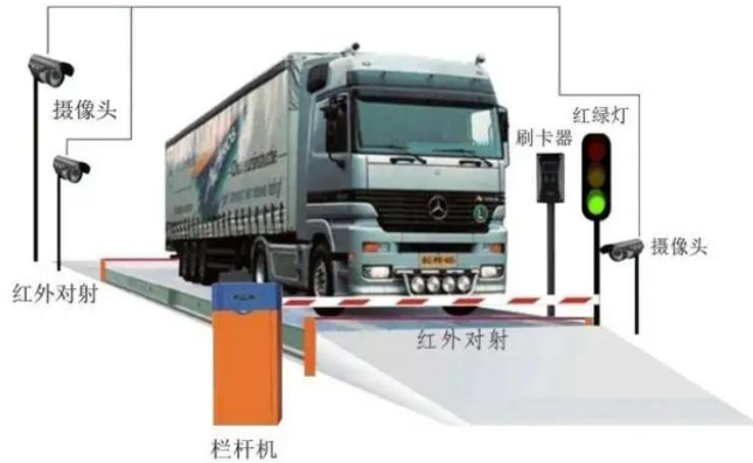
智慧仓储与试验检测主要包括智能化硬件设备（设施）和软件系统。智慧仓储智能化硬件设备（设施）主要包括：无人值守地磅。软件系统主要包括：物料入库智能管控、物料库存智能管控、物料统计智能管控。

试验检测智能化硬件设备（设施）主要包括：试件RFID电子芯片，养生智能监控设备，试验数据联网监测设备DTU，拌合站联网监测设备DTU。软件系统主要通过无线传感技术、物联网技术构建试验检测智能管控平台，对取样、试件制作、养生、试验检测全过程智能管控及试验质检自动数据处理分析、质检与评定智能管控和混凝土智能管控，保证试验检测的真实性和数据的可靠性。主要包括：试验数据联网监测与现场检测智能管控、试验数据自动分析处理与报告自动生成系统、质检与评定智能管控、拌合站混凝土智能管控。

4.2 智慧仓储

4.2.1 智慧仓储硬件

采用无人过磅系统后，基本无需司磅人员参与，车辆进入前，红外探测识别车辆，信息匹配正确，自动录入车辆信息，道闸升起，车辆过磅。全程采用LED显示屏、语音引导司机完成过磅的整个操作，高效便捷，在提高企业效益的同时节省了至少2批24小时轮班的司磅员。



1. 自动读取地磅及电子称仪表数据，且不允许手工修改，防止传统验收过程中人为干预导致的出错或作弊现象发生。

2. 称重验收过程通过拍摄验收现场视频及图片，全程监控，对有企图人员进行有效震慑。



3. 通过对比实际验收量与理论换算量、实际验收量与原始运单量，及时发现偏差，并自动触发手机预警，对混凝土亏方、“瘦身钢筋”等供应商偷工减料现象进行有效规避，并且为做物资供应商评价提供数据参考。

4. 通过预警管理查询项目部产生的所有预警信息，如称重物资重量超出允许偏差范围、连续多天未收料、收料过程网络或者视频监控异常、车辆皮重超过允许偏差范围等，并可以对这些预警信息进行及时



处理，避免进场验收环节

由于供货不合格、人为作弊等造成的不必要的损失。

5. 通过红外栅栏防止车辆不完全上磅导致的材料损失。



6. 通过互联网技术打通物资称重验收区、卸料验收区及项目办公区域、公司办公区域数据流通，让现场发生的验收过程一目了然。

4.2.2 智慧仓储软件系统

软件系统主要包括：物料入库智能管控、物料库存智能管控、物料统计智能管控。

1. 物料入库智能管控

提供物资台账管理功能、提供物资进场验收功能、提供物资称重计量功能、提供物资验收通过移动设备点验功能。

2. 物料库存智能管控

提供物料领用申请功能，提供发料功能。

3. 物料统计智能管控

提供库存盘点功能、提供库存台账功能，提供物料采购计划功能，提供物料统计、分析、查询功能。

5 智能压实

5.1 主要建设内容

沥青路面施工作业时，传统的施工和检测方法难以有效的保障摊铺压实质量和安全，仍然存在质量评价指标准确性欠缺、摊铺压实工艺控制客观性不强、质量缺陷处理难度大、质量监管模式落后、压路机施工安全性难以保证等难题。为破解这些难题，必须充分利用移动互联网、物联网、大数据和云计算、GIS 等技术，解决摊铺碾压作业过程中“人、机、场景”之间的无障碍连接，构建智能摊铺、智能压实、压路机智能防撞管控系统，实现项目管理的数字化、网络化、智能化。系统的使用能够为施工参与者提供精准的数字化施工指导，也为各级管理者打造一个“现场指挥中心”。通过该系统可以及时准确了解工地现场的状况，有效提高精细化管理水平和项目管理的效率，降低成本及施工事故发生率，保证施工质量、安全和进度。

智能压实主要建设内容包括：摊铺智能管控、碾压智能管控、压路机智能安全防撞。

5.2 智能设备设施

5.2.1 摊铺智能管控设备

本系统利用北斗定位技术和传感器监控摊铺机的位置、温度、速度等数据，使用车载平板展示实时的数据，指导现场施工；通过监控平台和视频监控系统，准确掌握现场施工状况，实现对摊铺过程的精细化管控。

摊铺智能管控设备主要有高精度北斗采集站、车载平板电脑、红外温度传感器、数据传输装置等组成，如图 5.1。



图 5.1 摊铺智能管控设备组成

5.2.2 碾压智能管控设备

系统采用三星座 GNSS 定位模块通过网络 RTK 技术精确定位压路机的实时三维坐标、数字式传感器实时测量压路机的振动频率、红外温度传感器实时监测路面的碾压温度，采集的数据通过移动互联网发送至远程数据中心，数据中心通过处理、存储、分析和可视化建模，形成可视化、动态化的碾压状态视图。压路机手可通过车载终端实时引导施工，质量管理人员可通过监控终端实时查看当前的碾压状态和碾压结果。

碾压智能管控设备组成：远程数据中心、手机 App、监控终端、数字振动传感器、红外温度传感器、一体化智能终端平板、RTK 基准站、网络传输模块。

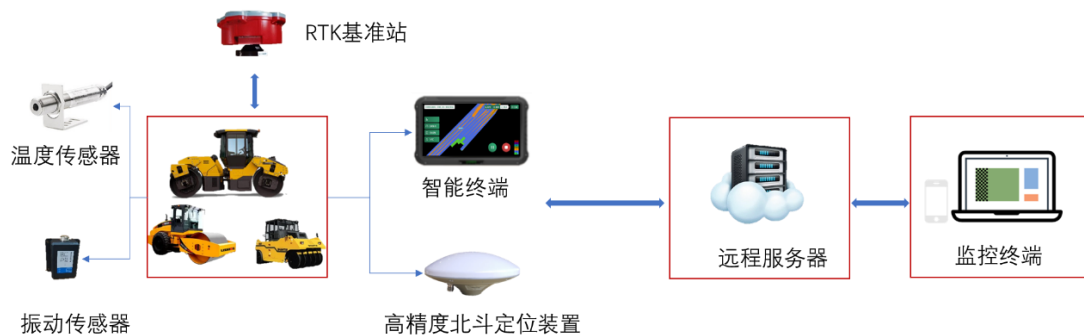


图 5.2 碾压智能管控设备组成

5.2.3 压路机安全防撞设备

本系统利用毫米波雷达技术，实现主动安全防护和被动安全防护。该系统实现 10 米障碍检测，根据设定的安全距离自动刹车，实现主动安全防护的功能，同时具有五级安全预警、声光报警提醒驾驶员减档降速、声光警示危险区域人员及时避让等被动安全防护措施。在视野盲区、视线不好、驾驶员注意力不集中、夜间施工等情况下，可有效避免施工过程中的安全事故。

路面压路机安全防撞设备由双向毫米波雷达、智能终端、控制器、LED 警示屏、制动控制器、高分贝喇叭组成。

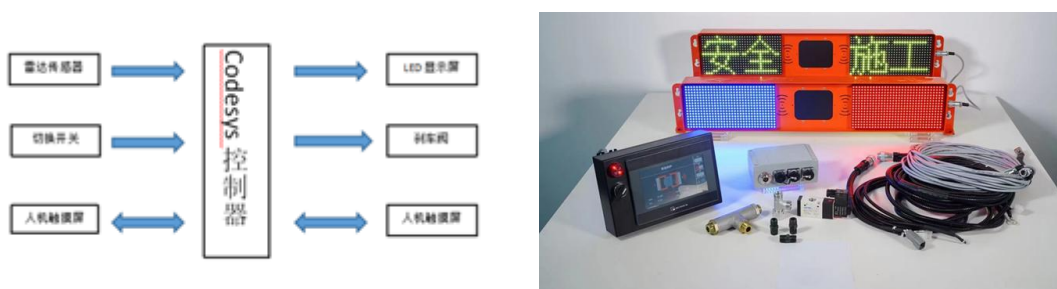


图 5.3 压路机安全防撞设备

5.3 系统功能

5.3.1 摊铺智能管控子系统

(1) 摊铺机智能管控主要监控参数有：位置、速度、温度、在线视频；

- (2) 该子系统采用北斗高精度定位获取摊铺机的实时三维位置，经过坐标转换与路段桩号进行关联并展示在系统平台、机载平板上；
- (3) 采用非接触式温度传感器采集沥青摊铺温度；
- (4) 采用 4G 高清摄像头监控施工前场实时动态；
- (5) 采集的数据通过数据传输装置发送至远程数据中心，摊铺机操作手可通过机载平板实时查看施工位置、速度、摊铺温度等数据，施工管理者、监理、业主等可通过手机、电脑等实时查看当前的摊铺状态和现场施工画面；
- (6) 能够设置和显示摊铺机的摊铺宽度；
- (7) 能够将摊铺机的轨迹画面和视频监控画面分屏展示同一个窗口界面。



图 5.4 摊铺智能管控

5.3.2 碾压智能管控子系统

(1) 实时监控

系统可显示当前登录人所辖压路机清单，点击可在地图上显示当前压路机的碾压轨迹、速度、高程、振动信息、邻近压路机的相对位置。使用不同颜色表示不同的碾压遍数，颜色支持使用者自定义。

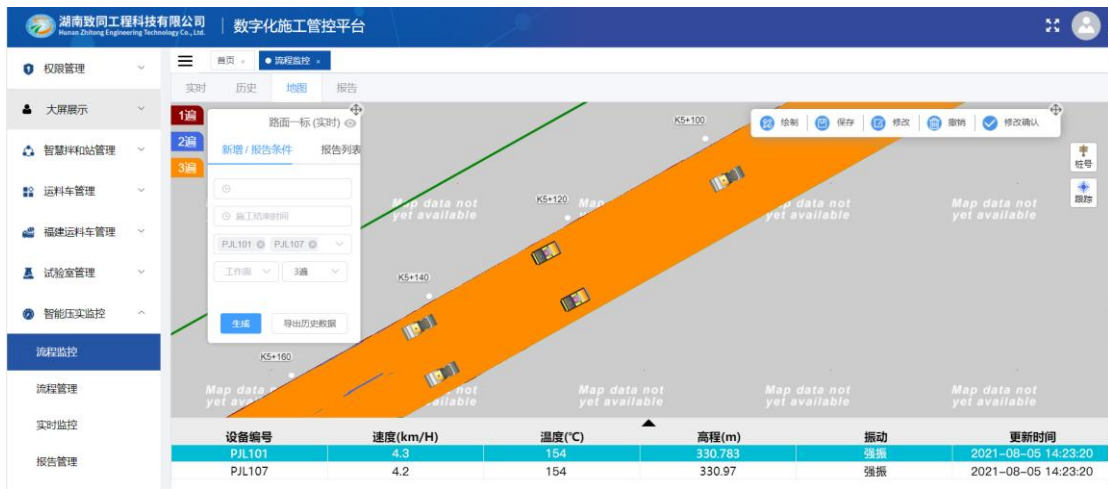


图 5.5 碾压管控显示界面

(2) 指导施工

施工作业人员可通过监控终端或机载平板实时查看施工状态数据，指导压路机碾压行进轨迹，避免超压、欠压、超速、低温等不规范作业行为。

(3) 远程监管

施工管理者能够通过手机、平板上的专用软件或电脑来登录本系统，获取压路机的实时工作状况，如碾压遍数、振动、速度等信息。也可查看或回放历史施工碾压信息，浏览并下载施工报告。可通过定位功能查看当前所在位置的碾压数据信息。

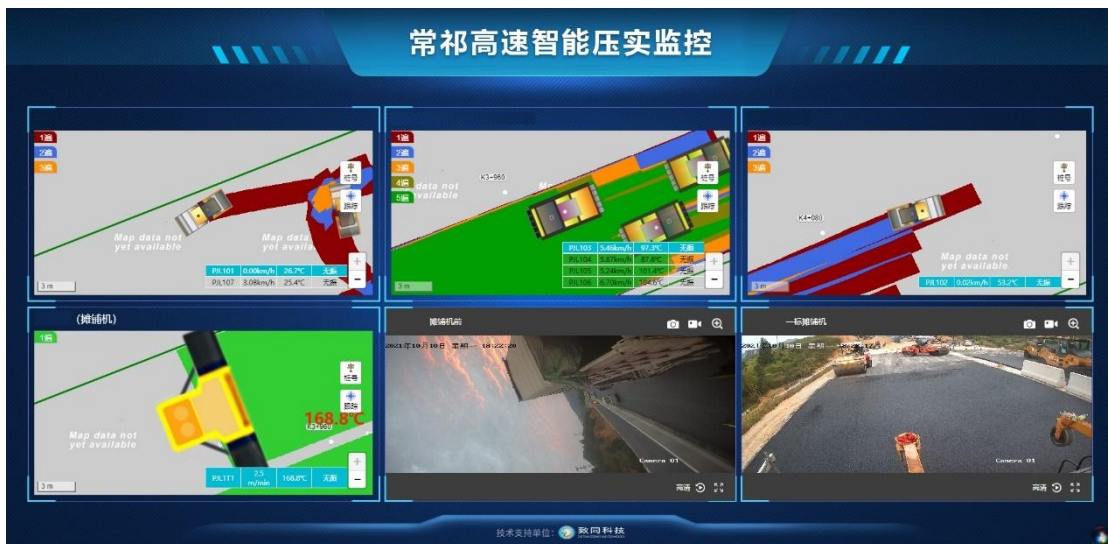


图 5.6 智能压实远程监管界面

(4) 作业报告

压实作业结束后，系统自动对当前工作面的压实施工质量进行评估，自动生成压实质量报告，并对项目所有质量报告进行归档存储，形成可永久保存、可追溯查询的电子档案。

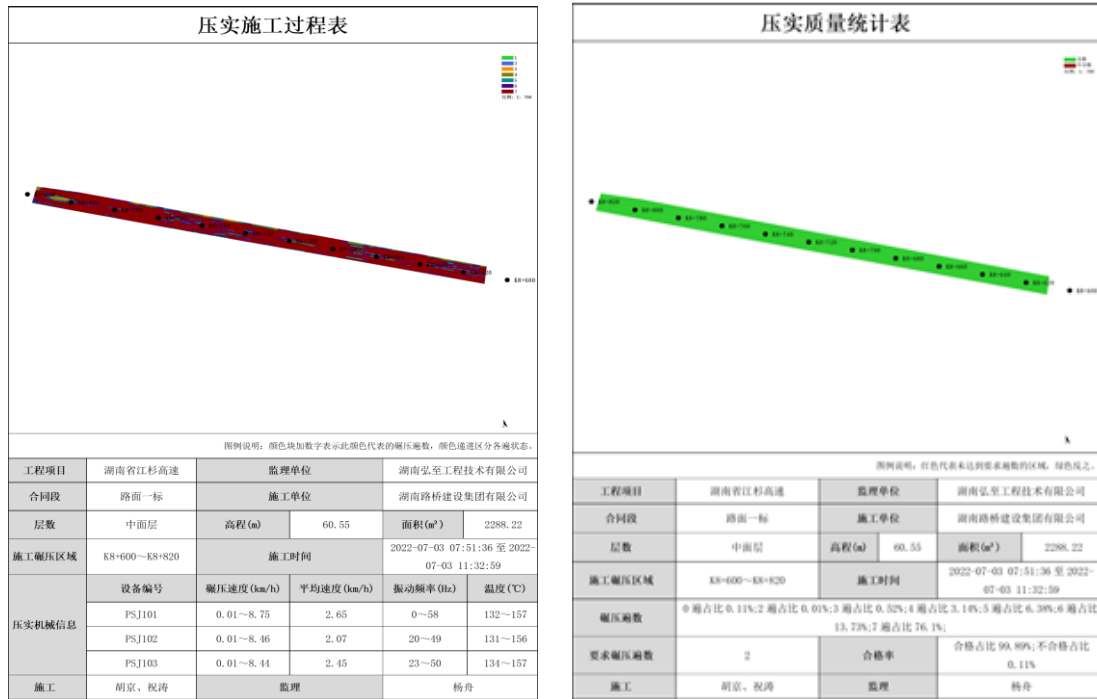


图 5.7 智能压实监控报表

(5) 智能分析与预警

智能感知压路机施工区域地理信息（位置、路段特征等），自动计算碾压遍数，图形化展示压实结果；通过大数据分析，自动推送质量预警信息。



图 5.8 智能分析与预警界面

(6) 交付成果

- 1) 压路机压实监控周报、月报；
- 2) 压路机压实监控总结报告；
- 3) 压实质量档案，包括作业面的场地环境和压路机械信息记录；
- 4) 系统消息记录统计；
- 5) 系统预警情况统计；
- 6) 压实监控报表。

5.3.3 压路机智能安全防撞子系统

(1) 毫米波雷达精准检测障碍物

通过毫米波雷达技术，压路机前后障碍物检测距离分别达到 10 米。检测范围内能够五段式分级预警，各段的检测距离支持设置。

(2) 声光报警提醒

通过毫米波雷达不间断发送接受信号，判断危险源危险等级，通过驾驶室内智能终端给出相应的声光报警信号，提醒驾驶员降档减速、注意观察；压路机前后 LED 声光报警警示危险区域人员及时避让。

(3) 主动刹车防撞

当危险源的危险等级大于设定值，自动触发刹车控制器对压路机制动，避免碰撞事故。



图 5.9 压路机智能安全防撞

5.4 智能压实设备配置要求

表 5.1 智能压实硬件、软件配置一览表

类别	配置内容	适用设备	管控关键数据要求		备注
			水稳基层	沥青面层	
硬件	摊铺智能管控	摊铺机	摊铺机的位置、桩号、摊铺速度、视频画面	摊铺机的位置、桩号、摊铺温度、摊铺速度、视频画面	适用于各种型号、类型摊铺机械
	碾压智能管控	压路机	压路机的位置、碾压遍数、碾压速度、碾压机械振动状态	压路机的位置、碾压遍数、碾压速度、碾压温度、碾压机械振动状态	适用于各种型号、类型压路机
	压路机智能安全防撞	压路机	前后障碍物距离、声光报警级别、车辆行进方向、刹车泵状态	前后障碍物距离、声光报警级别、车辆行进方向、刹车泵状态	适用于各种型号、类型压路机
软件	智能压实管控平台	—	√	√	

6 智慧管理云平台

为提高工程项目质量安全管控和监管智慧化水平，采用先进的云计算、大数据及物联网技术，采用“云平台+云端+APP”的系统架构，打造业主、施工方、监理、监督多方智能协同管理云平台。整个系统由1个大数据中心+1个云平台+10大应用系统组成。1个大数据中心即建立工程质量安全大数据中心，1个云平台即质量安全智能管控云平台，10大应用系统就是试验检测智能管控、拌合站智能管控、物料智能管控、质检与评定智能管控、工序智能管控、质安排查治理、安全智能监测与监管、智慧梁场、智能压实、BIM应用等及相应的APP系统。

6.1 建设内容

建立质量安全智能管控云平台，主要包括试验检测智能管控、拌合站智能管控、物料智能管控、质检与评定智能管控、工序智能管控、质安排查治理、安全智能监测与管控、智慧梁场、智能压实、BIM应用等服务。

6.2 功能要求

6.2.1 试验检测智能管控

1. 试验联网监控：实时采集试验机的钢筋抗拉、混凝土及水泥胶砂抗压、抗折试验过程数据，监测预警。沥青三大指标（针入度、软化点、延度）试验检测设备及沥青混合料马歇尔试验。

2. 原材料取样监控：在钢筋和混凝土试块植入RFID电子芯片、二维码，拍照见证，试块龄期自动提醒，做试验时进行试件身份验证。试验室养生监控：实时采集养生室温湿度，监测预警。

3. 试验检测数据自动分析处理：试验检测数据采集、自动分析。同时自动生成符合技术规范的试验表格和试验报告。

4. 现场检测智能管控：将钢筋保护层厚度、桩基完整性检测、混

凝土强度回弹值等原始检测数据实时上传，检测报告自动生成，并可自动溯源。

6.2.2 拌合站智能管控

1. 水泥混凝土拌和监控：实时采集监控混凝土生产过程数据，主要包含生产配合比、搅拌时间等。以及浇筑工程名称和部位，全程监管。

2. 水稳拌和监控：采集水泥稳定土的生产配合比、筛分数据等，以及摊铺工程名称和部位，全程监管。

3. 沥清混合料拌和监控：实时采集监控沥青混合料生产数据，主要包含生产配合比、筛分数据等。以及摊铺工程名称和部位，全程监管。

6.2.3 物料智能管控

1. 物料入库管理：提供物资台账管理功能、提供物资进场验收功能、提供物资称重计量功能、提供物资验收通过移动设备点验功能。

2. 物料库存管理：提供库存盘点功能、提供库存台账功能，提供物料采购计划功能，提供物料统计、分析、查询功能。

6.2.4 质检与评定智能管控

建立试验检测与质检评定一体化模块系统，实现从试验、检测、检验、评定一体化管理，自动生成质检与评定表，自动数据分析处理，自动评定，智能追溯。工程划分基础数据单位工程、分部分项工程管理；质检表与工序智能管理；质检与评定表数据处理与自动生成管理；质量评定标准智能准管理；质检资料统计与智能追溯；试验检测数据与质检数据共享，一体化集成管理。

6.2.5 工序智能管控

实现对关键工序现场验收、巡检。隐蔽工程影像原始资料管理。

开发手机 APP 报验系统。手机 APP 报验系统是一个报验平台，通过信息化手段，运用现在成熟的手机 APP 技术，优化报验程序，提升验收效率。

6.2.6 质安排查治理

对关键工序、重点部位的质量进行巡查，问题发现、整改与上报、审核、预警。对安全生产日常巡检，问题发现、整改与上报、审核、预警。

6.2.7 安全智能监测与管控

1. 重大风险源智能监测：实现架桥机、桥梁挂篮悬臂浇筑、塔吊、隧道、路堑高陡险边坡智能化动态监测。实行风险监测自动化、风险预警智能化、监督管理一体化。

2. 安全日常动态监管：实现高速公路项目安全生产日常管理及风险管控，包括风险台账、安全巡查、安全培训教育、应急预案等方面的全面管理。

3. 一会三卡智慧管控：建设项目班组人员动态管理、一会三卡、安全培训、积分管理。同时将相关数据上传智慧质监的一会三卡智慧管控云平台。

4. 隧道施工安防系统：主要运用物联网综合技术用于搭建的智慧隧道安全施工管理平台，利用多个子系统采集、处理数据和数据共享，能够实现劳务管理、安全施工、绿色施工的智能化。系统主要包含定位系统、智能广播系统、视频监控系统、指挥中心、环境监测系统等子系统。

6.2.8 智慧梁场

以工序流程管理为主线，实现对钢筋加工与绑扎，混凝土拌合与运输，梁体预制与养生，梁板存放与安装等全过程控制。主要功能包括原材料智能管控、试验检测智能管控、钢筋加工智能管控、混凝土

智能管控、工序生产智能管控、质检与评定智能管控、智能浇筑管控、振捣智能管控、养生智能管控、张拉压浆智能管控、安全及人员智能监控等。

6.2.9 BIM 应用

建立路桥 BIM 构建库，自动生成路桥模型；在 BIM 模型的基础上，结合工程进度、质量、安全管理业务，开展相应的应用。