

# 水库围坝填筑压实度智能控制施工方法探析

马洪志, 鞠鹏, 吴德塔

(中国电建市政建设集团有限公司, 天津 300392)

**【摘要】**官路水库围坝填筑土料来源主要为老围坝挖除土料及库盆开挖土料。为提高围坝填筑碾压质量,采用压实度智能控制施工方法,对填筑土的含水率和压实度进行实时精确控制,提高了施工效率和施工质量的稳定性,确保了水库围坝碾压质量。

**【关键词】**官路水库;水库围坝;压实度;智能控制

**【中图分类号】**TV697

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1009-6159(2025)-11-0041-03

## Analysis of Intelligent Control Construction Method for Compaction Degree of Reservoir Surrounding Dam Filling

MA Hongzhi, JU Peng, WU Degong

(STECOL Corporation, PowerChina, Tianjin 300392, China)

**Abstract:** The soil material for the Guanlu Reservoir surrounding dam filling is mainly from the excavated soil of the old surrounding dam and the reservoir basin. To improve the filling and rolling quality of the surrounding dam, an intelligent control construction method for compaction degree is adopted to realize real-time and precise control of the moisture content and compaction degree of the filled soil. This method improves the construction efficiency and the stability of construction quality, and ensures the rolling quality of the reservoir surrounding dam.

**Key words:** Guanlu Reservoir; Reservoir surrounding dam; Compaction degree; Intelligent control

官路水库是为缓解胶东地区尤其是青岛市日益严重的水资源短缺而建设的大型调蓄工程,是保障青岛市未来高质量发展的关键工程,可有效缓解青岛市城市供水短缺的严峻局面,极大提高青岛市的供水安全保障能力,支撑青岛高质量发展。官路水库位于青岛胶州市和潍坊高密市交界处墨水河下游(墨水河入南胶莱河口上游约1 km处),水库南距青岛胶州市15 km,西距潍坊高密市18 km。工程规模为大(2)型,工程等别为Ⅱ等。水库总库容2.11亿 $m^3$ ,设计最高蓄水位28.80 m,兴利库容1.92亿 $m^3$ ,死水位9.70 m,死库容0.19亿 $m^3$ ,水库采用均质坝,围坝轴线总长12.689 km,围坝最大坝高24.4 m。围坝筑坝土料来源主要为老围坝挖除土料及库盆开挖土料,属于一般填筑料,岩性以粉质壤土为主。其中,填筑一区(WB7+000—WB7+900)需土方137.58万 $m^3$ ;

填筑二区(WB7+900—WB8+400)需土方89.02万 $m^3$ ,填筑三区(WB8+400—8+850)需土方71.22万 $m^3$ ,填筑四区(WB8+850—9+300)需土方74.45万 $m^3$ ,填筑五区(WB9+300—10+200)需土方145.67万 $m^3$ ,填筑六区(WB10+200—10+800)需土方97.11万 $m^3$ 。

## 1 压实度智能控制方法

压实度智能控制系统用以保证大坝填筑材料达到所需的压实度和稳定性。利用高度自动化的技术和精确的控制系统来优化压实操,确保施工质量和效率,如图1所示。

### 1.1 压实设备选择与智能化配置

在工程实施前,根据围坝填筑材料类型(砂

收稿日期:2025-06-19

作者简介:马洪志(1987—),男,工程师

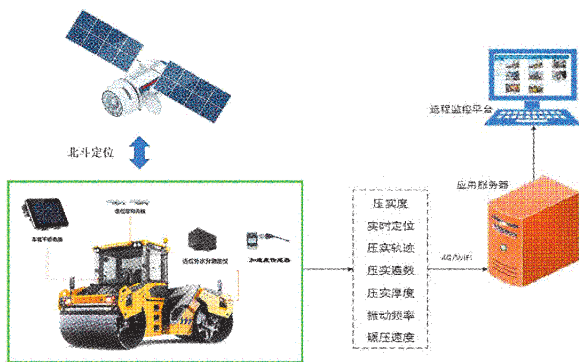


图1 智能碾压机工作示意图

土、黏土、砾石料等)、目标压实深度以及坝体规模,选择合适的压实机械,一般包括振动压路机、轮胎压路机以及小型夯实设备等。对于主坝填筑及重要部位,多采用大吨位振动压路机,以保证足够的压实能量和压实深度;对靠近结构物、狭窄区域,则配置小型振动碾或蛙式夯、平板振动器等设备进行精细压实。在传统设备基础上,需要对压路机进行“智能化改造”<sup>[4]</sup>。在压路机上加装一套车载信息采集与控制系统,包括:

1)车载终端显示及控制器:负责采集各类传感器数据,执行 PLC 或控制程序指令,并将关键压实参数实时显示给驾驶员;

2)高精度定位定向天线:通过接收北斗卫星信号,实现压路机厘米级的实时定位和航向角测定,形成完整的压实轨迹;

3)加速度/位移传感器、轮速传感器:安装在振动轮或机身关键位置,用于采集振动加速度、振动频率、振幅、车辆速度等信息,通过特征提取间接反演填料刚度和压实度;

4)近红外或激光测距仪、超声波传感器:可用于估算填筑层厚、检测压路机与坡面或构筑物的距离,辅助安全控制和质量评估。

通过上述传感器与车载终端的集成,压路机由单一施工设备升级为“移动压实检测与控制单元”,为后续的智能控制提供数据基础。

## 1.2 PLC 集成与程序设定

为实现多台压实设备的统一调度与集中控制,需要将各车载终端与中央 PLC 系统进行集成。PLC 系统既可以部署在现场控制室,也可以与右侧应用服务器集成,形成“边缘控制+云端分析”的架构。在 PLC 或上位机系统中,首先根据设计文件和相关规范,设定围坝不同部位的压实标

准和控制参数。这些参数以配方或控制策略的形式写入 PLC 程序,形成多工况下的压实控制逻辑。例如,当检测到某一区域填料含水率偏高时,系统自动降低行驶速度、适当增加振动频率及压实遍数;当设备驶入已达到压实标准的区域时,则提示驾驶员减少重复碾压,避免过度压实和能源浪费。将压实设备的智能控制模块与中央 PLC 控制系统集成,以实现中心化管理和控制。在 PLC 系统中设定压实标准和参数,包括压实深度、覆盖次数、压实速度等,根据填料含水率和其他现场数据动态调整。

## 1.3 实时监测与数据收集

在实际压实过程中,压路机在坝体上沿预定路线来回行驶。车载终端通过加速度传感器实时采集振动轮的加速度响应,并结合轮速、振动频率等数据,利用已建立的“加速度特征-土体刚度-干密度”关系模型,在线估算当前位置处填料的相对压实度或刚度指标<sup>[5]</sup>。同时,北斗定位天线持续向车载终端提供高精度坐标与行驶方向信息,实现对压实机位置信息的实时追踪。由此,每一个时间步都对应着一组空间坐标与一组压实参数(压实度、振速、速度、遍数等),形成“空间-时间-压实状态”的多维数据。

车载终端对数据进行初步滤波和压缩处理后,通过 4G/WIFI 无线网络,实时发送至右侧应用服务器和 PLC 控制系统。对于信号不稳定区域,可采用“缓存+断点续传”机制,确保数据完整性。

## 1.4 数据分析与处理

应用服务器/PLC 系统接收到来自各台压路机的数据后,首先对其进行清洗、校正与融合,包括剔除异常值、时间对齐、坐标转换、插值补点等操作,再将压实度估算值与设计目标进行对比分析。根据数据分析结果,PLC 自动调整压实参数,包括压实遍数、压实路径、压实速度等。

## 1.5 控制执行

根据 PLC 的决策输出,压实设备通过其智能控制模块自动调整操作模式,确保压实效果最优化。压实过程中,根据最新的监测数据,PLC 继续调整压实操作,实现闭环控制。

## 1.6 记录与报告

根据上一步分析与决策结果,压实设备通过其智能控制模块执行具体操作。对于自动化程度

较高的设备,车载控制器可根据 PLC 下发的参数,自动调整振动系统的频率和振幅,限制车辆速度,控制压实模式(静碾、弱振、强振等);对于需要人工干预的场景,驾驶员则按照终端提示调整行驶路线和碾压遍数。在执行过程中,传感器持续采集新的数据并回传,PLC 系统再次进行分析评估。若压实质量仍未达到要求,则继续发出调整指令;直至所有监测点的压实度满足设计或规范要求,系统则将该区域标记为“合格”。

## 2 施工工艺

### 2.1 碾压要求

按照碾压试验确定的铺土方式、分层厚度、碾压机械、碾压遍数、填筑含水量等参数,分层填筑和碾压坝体。虚铺土厚度 40 cm,平碾静压 1 遍,弱振 1 遍,羊脚碾强振动碾压 4 遍,压实度满足 0.98 的设计要求,且最经济<sup>[1]</sup>。

### 2.2 压实

上坝土料经 PLC 控制系统评判为含水量达标后,及时进行碾压,以防止土料被晒干。对已风干的土层,进行洒水湿润处理。坝体填筑采用凸块振动碾进行碾压,碾压采用进退错距法,平行于坝轴线方向碾压,相邻碾压轨迹应彼此搭接,垂直碾压方向搭接带宽度应为 0.3~0.5 m,平行碾压方向搭接带宽度应为 1~1.5 m,不允许出现漏压,碾压行进速度控制在 2 km/h 左右。机械碾压不到的部位,应辅以夯具夯实,夯实时应采用连环套打法,夯迹双向套压,夯压夯 1/3,行压行 1/3,分段分片夯实时,夯迹搭接宽度不小于 1/3 夯径。分段碾压时设明显标志,以防漏压、欠压,上、下层分段位置应错开。相邻作业面的搭按宽度,顺碾压方向不小于 3 m,垂直碾压方向为 0.5 m。在接合的坡面上,碾压设备一般采用凸块碾,若采用其他设备碾压,铺筑下层土前需进行刨毛作业,铲除至已压实合格的土层为止。坡面须经刨毛处理,并使含水量控制在规定的范围内,然后才能继续铺筑新土进行碾压。

### 2.3 智能控制

在压实过程中,智能碾压机上的压实度传感器和近红外水分测定仪实时监测围坝填料的压实度、含水率和机械的位置;并将监测到的数据实时发送至 PLC 控制系统,供数据分析和处理;

PLC 系统接收后,分析围坝填料压实度与预设标准之间的偏差,判断是否达到设计要求;根据数据分析结果,PLC 自动调整压实参数,如增加或减少压实遍数、调整压实路径、改变压实速度等。

### 2.4 检测

压实后,土的干密度检测采用传统的环刀法。碾压完成后,质检人员即对碾压坝段进行压实度检测。检测严格按规范执行。对检测结果做详细记录,并报项目质量管理部核查,确认无误后,报监理工程师核验。监理工程师验收后,再进行下一道工序的施工。

### 2.5 接缝处理

坝体所有纵横向接缝的接合坡度不陡于 1:3,先期施工的一段坝体的接合面处开挖成高 0.5 m,宽 1 m 的阶梯状,并撒适量水湿润。

综上所述,该智能压实系统,能够在围坝填筑过程中实现压实质量的实时感知和闭环控制,使压实更均匀、更可控,显著减少欠压和过压;同时通过按需碾压避免盲目多压,提高施工效率并节约燃油、人工和设备维修等成本;全过程自动记录压实参数和轨迹,形成可追溯的数字化质量档案,配合远程监控平台增强监管透明度和安全性,并为后续坝体运行期的风险评估、智慧运维和“数字坝体”建设提供重要数据支撑。

## 3 结语

水库围坝承载能力及其稳定性是通过填筑土分层碾压来实现的,不同的含水率、压实度会产生不同的围坝质量。为此,本文在官路水库采用压实度智能控制施工方法,通过自动化手段对填筑土的含水率和压实度进行实时精确控制,减少了人为因素对施工质量的影响,提高了施工效率和施工质量的稳定性。

### 参考文献

- [1] 郑晓光,刘东亮,水亮亮,陈亚杰.适用于固化渣土路基的智能压实技术应用研究[J].城市道桥与防洪,2024(8):221-224.
- [2] 刘景全,朱建华,吕福财,王鑫岩.智能压实控制系统在穆棱市奋斗水库工程中的应用[J].黑龙江水利科技,2024,52(4):80-84.
- [3] 冯敏,曲延成,孙圣洁.菏泽市魏楼水库围坝填筑质量控制要点浅析[J].山东水利,2021(8):54-55.

(责任编辑 崔春梅)