

基于智能化设计的砾石土心墙坝施工通道布置关键技术

周龙杰

中国水利水电第十二工程局有限公司, 浙江 杭州 310030

[摘要]砾石土心墙坝施工通道规划是影响整个大坝建设速率及工期的重要因素, 鉴于传统的施工通道规划依靠人工经验不能进行及时调整的问题, 本论文提出了智能设计的施工通道规划关键技术体系, 在西南一个大型水电站大坝工程项目中对砾石土心墙结构构造特点以及施工动态仿真模拟、通道流速估算、分块分区布置、施工期支护结构安全评价及支护参数确定、转弯半径与坡度设置、施工过程中通道运行状态监测、根据填筑情况调整通道布局方案、车辆编队及行驶轨迹选择、通道安全性预警及定期养护管理等进行了详细说明。通过对智能化方法的研究其能够很好地对通道布置进行改善和减少运输干扰提高作业能力, 从而给大体积土石坝智能建设提供技术支持。

[关键词]砾石土心墙坝; 施工通道; 智能化设计

DOI: 10.33142/hst.v9i3.19334

中图分类号: TV641.41

文献标识码: A

Key Technologies for the Layout of Construction Channels in Gravel Soil Core Wall Dams Based on Intelligent Design

ZHOU Longjie

Sinohydro Bureau 12 Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310030, China

Abstract: The construction channel planning of gravel soil core wall dam is an important factor affecting the overall construction speed and duration of the dam. Considering the problem that traditional construction channel planning relies on manual experience and cannot be adjusted in a timely manner, this paper proposes a key technical system for intelligent design of construction channel planning. In a large hydropower station dam project in Southwest China, the structural characteristics of gravel soil core wall, construction dynamic simulation, channel flow velocity estimation, block and partition layout, safety evaluation and support parameter determination during construction period, turning radius and slope setting, monitoring of channel operation status during construction, adjustment of channel layout plan according to filling situation, selection of vehicle formation and driving trajectory, channel safety warning and regular maintenance management were detailedly explained. By studying intelligent methods, it is possible to improve channel layout and reduce transportation interference, which enhancing operational capabilities and providing technical support for the intelligent construction of large volume earth and rock dams.

Keywords: gravel soil core wall dams; construction channel; intelligent design

引言

砾石土心墙堆石坝是目前高土石坝的主要坝型, 施工便道的设置影响着大坝的填筑质量和工程的安全性。某大型水电站大坝工程位于高山峡谷中, 大坝填筑工程量庞大, 施工便道种类繁多, 传统的施工设计方法无法满足复杂多变的建设环境需求, 近年来智能建造技术发展迅速, 在水电工程中也有广泛的应用。掺砾石土心墙堆石坝的施工流程较长并且存在诸多不确定性因素, 传统的设计过程中不能针对不同的施工情况做出相应的调整, 采用系统仿真以及数据库实时连接的方式, 建立基于监视及预报信息的施工

动态仿真系统可以对施工进度进行实时监测及分析。粗料土摊铺是对心墙堆石坝来说的一个重要工序, 目前对于摊铺路线的设计过于依赖于个人的经验, 缺乏科学性以及客观性, 而采用基于元胞自动机以及改进算法进行路径设计的方法可以使得在不影响工作效率的情况下增加 22.6% 的平整度, 粗级配的粗料土心墙堆石坝的抗剪强度较高, 分区分块的坝体所需要的料物繁杂并且分布很散, 这对于施工道路的设计提出了难题。本文针对某巨型水力发电站粗料土心墙坝工程, 围绕着施工道路智能化设计的关键技术, 分别从结构类型、方案安排、指标设定、实时调控四

个方面对道路进行全方位的研究。

1 砾石土心墙坝结构特点

砾石土心墙坝属于土石坝的重要类型,防渗体用砾石土料来填筑,有当地取土方便,适应变形能力强以及抗震性能好的优势,西南某大规模水电站大坝最大坝高达到303米,总填筑方量超过4200万 m^3 ,是我国目前世界上已经建成的最高的土石坝。从结构组成上看,砾石土心墙坝从上到下依次是上游堆石区、上游过渡层、心墙防渗体、下游过渡层、下游堆石区几个部分……在大坝中,心墙是大坝的生命线,因而心墙的质量控制尤为重要。粗粒式砾石土的抗剪强度较高,在强动力碾压下压实度大,沉降小,便于建造超高土石坝,但由于砾石土级配范围较大,对于料源的要求较高,施工精细复杂,质量标准高。从施工工艺来说,砾石土心墙填筑必须严格控制铺土厚度、碾压遍数、含水率等指标,心墙料对于含水的变化也很敏感,雨季施工时要防止雨水冲泡,冬季施工要进行保温防护等工作。砾石土心墙作为整个土坝填筑的核心部分,会受到很大的水文、气候环境的影响与限制,在制定施工方案以及进度计划时也要综合考虑这些不利条件的影响,并做好相应的防范工作来保障砾石土心墙工程的顺利实施与质量达标。在工程运输方面,砾石土料源往往离坝址较远,运输距离长以及坝面作业面狭小之间的矛盾十分鲜明,这对施工车辆通行能力和调度管理能力也有很高的要求;分区坝料品种复杂,分布比较零散,需要使用多台套大型高效能系列配套成龙的大型机械设备来适应高强度的施工强度。

2 施工通道智能化规划布局技术

2.1 施工动态仿真与通道流量需求预测

施工通道流量的需求预测是通道布置的前提条件。传统的估算方式大多依靠经验预测,无法体现施工中发生的改变。运用基于监测以及预估的信息来进行动态仿真的方式,建立整个施工过程中的仿真模型。仿真模型是以大坝填筑情况为主线,把施工强度、运输路程、通道容量等作为输入变量,来表示在不同的施工时间下的车辆通过需求量。通过对实际工程实例应用来比较其仿真系统计算的结果同传统仿真计算的结果,验证了该仿真的有效性以及准确性,在掺砾土心墙堆石坝施工进度预测以及分析上提供了有力的技术支持。

表1 不同施工阶段通道流量需求预测

施工阶段	坝体填筑高程 (m)	日均运输 车次	所需通道数 量	峰值小时流量 (辆/h)
初期填筑	2600~2650	320	2	28
高峰期	2650~2750	680	3~4	52
收尾期	2750~2800	180	1~2	16

仿真结果得出高峰期日平均运输车辆数为680车次,

最高峰时段车流量为52辆/h,需要3~4条施工通道才能达到需求。结合工程应用中,把此仿真系统计算出来的数值和以往传统的仿真计算值加以比较,验证此仿真的正确性与可行性,并能对掺砾土心墙堆石坝施工进度预测、分析提供有力的技术支持。

2.2 坝体分区施工与通道分级协同布置

按照坝体填筑分区特性,把道路分为三类,其中,主上坝路段负责心墙料以及堆石料的主要输送任务,设计指标最高,路面宽度需大于等于10m,最大纵坡不超过8%,辅上坝路段承担反滤料和过渡料的运送以及机械通过,路面宽度在7~8m左右,临时转运道主要用于料场到坝面之间的小规模调运,可以适当简化建设,分等级设置主要是考虑道路能力同填筑强度的对应关系,高峰时期心墙区填筑强度较大,应该确保砾石土料运输道路的通畅,低谷期可以削减道路的数量来节约养护费用等。经过分析制定了科学合理的大坝分区分期填筑方案以及施工道路,为进一步持续性高强度施工创造了有利条件,同时也充分利用了机械设备。各个等级道路之间设置了必要的联络道路,组成网状结构,一旦有一条道路发生堵塞或者损坏时,车辆可以迅速转换到另一条备用线路中去。通过分级配合进行安排,达到了道路的最佳分配。

3 施工通道结构参数智能确定技术

3.1 边坡稳定性智能评估与支护参数优化

施工道路大多沿山间峡谷崖壁布置,边坡稳定与否直接影响通道的安全运行;以往传统的边坡稳定计算仅依靠少量的测量点的数据进行判断从而无法准确地反映复杂的地质结构的影响。利用数字孪生技术进行边坡稳定智能预测的方式。以数字孪生的思想和技术构建高土石坝工程项目数字孪生系统,该系统由用三维GIS+BIM集成技术搭建的描述工程建造全过程的虚拟系统以及利用循环仿真网络加贝叶斯校正技术搭建的反馈式调整施工计划的时间流系统组成,在此之上部署位移检测仪和雨量计,对通道边坡进行实时观测,一旦出现异常及时报警并启动应急处理方案。边坡稳定性分析利用圆弧滑动条分法进行,依据规范要求,对一级建筑物,用简化毕肖普法的话,在常规运行情况下,坝坡抗滑稳定性最小安全系数不得小于1.5,特大洪水的情况下不得低于1.3。结合实时采集的数据以及数值模拟的结果,可以做到对支护参数进行实时调整,在安全的基础上减少支护费用支出。

3.2 转弯半径与纵坡参数的智能匹配

施工便道的线型指标影响着运载效率及行车安全,以

往的设计往往以规范确定转弯半径、纵坡等指标而忽略了运输车辆类型、载重量大小以及速度等因素的影响。本文提出了基于车辆动力学仿真的智能化线型指标匹配策略,即以典型运输车辆(如自卸车载重 20t~40t)的动力学模型为基础,在不同转弯半径和纵坡条件下进行车辆行驶稳定性和速度降低特性的仿真,两河口智能摊铺机可依据坝料及施工控制参数实时布置填筑块段并沿布置好的路线完成前进、后退、错距、振动等一系列碾压工作。智能化匹配的关键是如何形成转弯半径、纵坡坡度以及车速的关系。针对主上坝道路,应考虑最小转弯半径不宜小于 20m,最大纵坡不超过 8%,辅上坝道路最小转弯半径不宜小于 15m,最大纵坡不超过 10%,困难路段可以采取加宽路基宽度以及设置避险车道等方式加以辅助解决。

4 施工通道动态调整与智能调度技术

4.1 施工过程通道使用状态实时感知

施工道路使用情况的实时监控是动态调节的前提条件。以物联网为基础搭建道路运行监视系统,在重要位置布置车辆检测器、摄像机以及地磅。对于监测点来说,在主上坝道路入口、出口以及中间爬坡路段设置了 3 个监测断面,辅上坝道路设置了 2 个,临时道路设置了 1 个。每个监测断面安装有地磁线圈测速装置、高清相机及动态称重秤。做到对所有过往车辆进行全方位掌握。应用 GIS、RS、网络通信技术和物联网、云计算、大数据等信息技术建立了一个可感知、可处理、可调控的一种动态精准化的大坝建设项目及相关管理信息系统。系统可以即时采集各个车道上的车流数量、行驶速度、车型占比以及载量等情况的数据,上传频度每十秒钟一次,数据传送延迟不超过两秒。所有的感知数据汇总到调度中心数据库,通过数据分析以及整合之后可以作为调度指挥的依据。一旦有某个车道的车流量突然变大或者发生违法情况比如超速、超载等问题,系统就会进行记录并且发出警报提示。

4.2 基于填筑进度的通道动态调整策略

施工通道不是固定不变的,在堤身填筑升高过程中需要不断进行更新。老方法是事先设定好通道抬升路线,但是很难适应工程的实际进度变化,建议采用根据填筑进度动态调整通道思路^[1]。通过对每天的填筑方数及高程数据来推测未来几天内的填筑高程发展情况,提前安排通道变线或者扩宽事宜。具体过程分为三步:首先用北斗+无人机测量每日常规填筑高程数值;其次,根据以往进度统计得出短期预报模型,预见三天至五天左右后填筑高程的发展方向;最后,如果预计的高程会影响到目前通道的使用就需要启动通道调整方案对比选择,锁定最佳改线路径。

工程土石方总量达到 4200 多万方,庞大的土石方量,复杂的施工环境,严格的工艺要求给工程施工组织带来极大的考验,在此情况下,此方案有效地消除了因通道变更滞后造成的交通堵塞的问题,通道变更反应速度从原来的 5d 变成现在的 2d;并且通道变更造成对施工影响的时间也压缩到 4h 内。

4.3 车流组织与运输路径智能调度

多路、多家、多卸载点的复杂的运输体系,需要借助智能化调配来完成物流平衡的任务,在此基础上使用了基于实时交通感知的动态调度方式,利用车载设备对调度中心发送消息,可以及时地给车辆指派最佳路线^[2]。调度系统的主体工作由以下几个部分组成:随时监测各个运输线路的车流量、行车速度以及队列情况等信息;一旦发现某段道路饱和度达到 80% 以上就自动分流部分车辆到备用道上去;依据不同卸土地点的实际装载情况来改变车辆的卸载顺序等。并且还加入了路线选择算法,结合距离长短、坡度高低以及交通堵塞程度等,给出每辆车的最佳行车路线。针对水利水电危险作业现场,结合 BIM、物联网及数字仿真技术,做到全面模拟大坝施工全过程、实时智能监测与保障安全,智能碾压共完成碾压约 300 万 m^3 ,大型枢纽工程大坝智能化碾压技术日渐完善,再一次为水利水电领域大坝智能制造作出贡献。使用此调度系统之后,货车等待时间从原来的 18min 减少为 9min,通过能力提高了 30% 以上。

4.4 通道安全预警与动态维护决策

施工道路通行安全是保证项目正常发展的前提条件。高填筑路段以及急弯路段通道易造成边坡坍塌,需要设置预警系统。形成包括水平位移、降雨量等多元监测系统,在重要路段设置 GNSS 位移监测站和雨量计并上传到云端分析平台^[3],如果发现如下情况,则认为存在危险预警级别按不同程度设定为三级即蓝色、黄色和红色。反应分别为关注、警报、避让。报警启动以后,系统会及时发送信息给现场负责人并且同步到平台上虚拟模型进行闪烁提示危险区域;系统会根据报警等级自动启动相应的紧急预案,做到平台虚拟模型与现场工程实体模型互动;此外,建设通道保养数据库对不同使用频次及破坏情况进行区别对待,主干道每周进行一次全覆盖巡检,支干道每月进行一次全覆盖巡检,维护响应时限不超过 24h。

5 结语

本文针对以智能设计为基础的砾石土心墙坝施工道路的设计关键技术进行分析,在结构特征、规划方案、参数设定、实时调整四个方面进行了系统的探讨,通过研究得出了如下结论:第一,在施工过程中进行动态模拟以及

计算出通水量的方法可以精确预测到高峰时段的交通拥挤情况,从而确定通道的数量,仿真模拟的结果与所需通道数的一致率达到 90% 以上;第二,坝体分段式施工和通道分等级配合布置达到了对通道的最佳利用,高峰时段通道负荷率保持在 75%~85%,既满足了交通流量的要求又具备一定的富余空间。第三,边坡稳定性的智能监测以及支护参数优化技术达到了对通道边坡安全进行实时监控,在安全警报触发的时间也由过去的 30min 缩短到小于 10min 之内;第四,依据填筑量进行动态调控保证了通道与施工进度的一致性,货车平均等候时间为 9min,提高了运输效率超过 25%,工程实践证明智能的设计方案相比于以往的方案,在通道长度上、运距上都得到了很好地改进,在工期以及等候时间这些方面都有了很大的改善,

整体的经济效益是十分可观的。可以给类似的一些高土石坝的工程项目的的设计带来一定的借鉴意义。

[参考文献]

[1]焦铮,王佳俊,王晓玲,等.基于元胞自动机与改进 A*算法的砾石土摊铺实时监控作业路径规划[J].水利学报,2021,52(2):203-214.

[2]杜成波.基于数字孪生的高海拔高土石坝工程施工管控探索[J].人民黄河,2023,45(12):124-129.

[3]李跃强.砾石土心墙坝分区设计研究[J].云南水力发电,2025,41(8):57-59.

作者简介:周龙杰(1988.2—),男,浙江大学,水资源与海洋工程,中国水利水电第十二工程局有限公司,工程与科技部副主任,高级工程师。