

# 水利水电工程大坝填筑施工技术和方法

唐万里

(四川省交通建设集团有限责任公司, 四川 成都 610041)

**摘 要** 本文系统阐述水利水电工程大坝填筑施工技术和方法。首先介绍了分层碾压填筑、振动压实、含水率实时控制及填筑质量检测等核心技术, 分析了各技术对提升填筑体密实度的作用。其次重点论述了分段流水作业、填筑匹配均衡施工、薄层多遍碾压以及全断面同步填筑四种施工方法, 详细说明了施工全流程工艺要点。结果表明, 科学运用水利水电工程大坝填筑施工技术和方法, 是保障大坝填筑施工质量的关键。

**关键词** 水利水电工程; 大坝填筑; 分层碾压填筑技术; 振动压实技术; 含水率实时控制技术

中图分类号: TV541.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.17.013

## 0 引言

大坝填筑是水利水电工程的核心工序, 其施工质量直接关系到工程质量。大坝填筑施工是将土料、石料及混合料等筑坝材料, 通过标准化工艺分层摊铺, 然后碾压密实, 最后成型固结的系统性工程, 兼具多重技术要求。随着水利水电工程建设规模不断扩大, 坝型结构日趋复杂, 填筑施工技术也朝着精细化方向持续升级, 既需适配不同地质条件, 也要兼顾施工效率与成本管控。对此, 优化大坝填筑施工技术与方法, 强化质量全过程管控, 成为推动行业技术升级的重要方向。

## 1 水利水电工程大坝填筑施工技术

### 1.1 分层碾压填筑技术

分层碾压填筑是大坝填筑的核心基础工艺, 核心思路是将填筑料按设定厚度分层摊铺, 再借助专业碾压机具逐次压实, 以此保障填筑体整体密实度与结构稳定性, 解决全域一次性填筑易出现的压实不均、受力失衡等通病。在水利水电工程中, 大坝填筑质量直接关乎防洪调度、发电运行、农田灌溉等核心功能的落地效果, 而分层碾压工艺通过精细化管控摊铺、碾压全流程, 能大幅缩减填筑体内部孔隙率, 从源头降低后期不均匀沉降、坝体渗漏等质量风险, 同步提升坝体抗渗性能与竖向承载能力<sup>[1]</sup>。该工艺适配性极强, 土料、砂砾混合料、堆石料等主流填筑材料均可适用, 施工中只需结合料性调整分层参数与碾压标准, 就能实现质量精准管控。结合工程实操经验, 土料填筑层厚一般控制在 20~30 厘米, 砂砾料层厚 30~50 厘米, 堆石料层厚可放宽至 80~120 厘米, 碾压遍数结合机

具吨位调整, 通常静压 2~3 遍、振压 4~6 遍即可达到设计密实度要求。分层压实后各层料体紧密咬合、形成连续受力整体, 既能抵御汛期水流冲刷、渗透压力, 也能适配地基微量沉降, 保障大坝长期服役的结构完整性。相较于整体填筑模式, 分层碾压在保证质量的前提下, 还能兼顾施工效率与成本控制, 是现代大坝填筑全程必须落实的核心工艺。

### 1.2 振动压实技术

振动压实技术依托高频振动能量传递, 打破填筑料颗粒间的摩擦力与松散结构, 促使颗粒重新排列嵌挤, 是解决粗粒料、砂砾料压实难题的关键技术, 也是分层碾压工艺的核心配套技术。相较于传统静压压实, 振动压实能穿透更厚的填筑层, 对松散颗粒的密实效果提升 30% 以上, 尤其适配堆石坝、砂砾石坝等大粒径填料填筑场景。在实际施工中, 技术人员会根据填筑料粒径、级配特性, 灵活调整振动碾的激振力(通常 100~300 千牛)、振动频率(20~35 赫兹)、行走速度(2~4 千米每小时)三大核心参数, 确保不同工况下压实质量稳定可控。该技术的核心优势在于, 能快速将松散填料碾压成致密整体, 提升坝体抗变形能力与抗渗性能, 抵御水流冲击、地质形变等外部干扰。同时, 振动压实的施工效率比静压提升 20%~40%, 既满足大坝填筑的严格质量标准, 又能压缩工期、降低机械损耗, 贯穿填筑全流程, 对工程整体质量与使用寿命起到决定性作用。

### 1.3 含水率实时控制技术

填筑料含水率是影响压实效果的关键指标, 含水率过高会导致碾压出现弹簧土、压实度不达标; 含水

作者简介: 唐万里(1990-), 男, 本科, 研究方向: 水利水电。

率过低则会引发料体松散、孔隙率偏大,后期极易出现沉降、开裂、渗漏等问题,直接制约大坝功能发挥。含水率实时控制技术通过全程动态监测、精准调控,将填料含水率稳定在最优区间,筑牢坝体压实质量根基<sup>[2]</sup>。该技术依托便携式含水率快速检测仪、在线监测设备,对进场填料、摊铺后料体实时取样检测,数据采集后同步联动洒水、晾晒、拌料等调控工序,实现“监测—反馈—调控”闭环作业。结合水利工程施工规范,黏性土填筑最优含水率控制在18%~24%,砂类土最优含水率控制在8%~12%,针对不同料性、天气工况,可灵活微调调控策略,避免含水率大幅波动。通过实时管控,能彻底解决含水率失衡带来的质量隐患,强化填筑体整体性与抗渗能力,保障碾压工序高效推进。

#### 1.4 坝体填筑质量检测技术

坝体填筑质量检测是贯穿施工全周期的质控关口,依托专业检测原理与设备,对填筑料性能、摊铺厚度、压实度、均匀性等关键指标全程核验,为施工调整、质量整改提供科学依据,杜绝不合格工序流入下一环节。该技术融合工程地质、土工材料、精密检测等多领域技术,是保障大坝填筑质量的最后一道防线。检测环节覆盖全流程:填筑料进场前,开展颗粒分析、击实试验、含水率检测,严控原料质量;在施工过程中,采用环刀法、灌砂法、核子密度仪等方式,每100~200平方米布设1个检测点,实时核验压实度(土石坝压实度要求不低于96%~98%)、层厚偏差;填筑完工后,开展整体均匀性、抗渗性核验,及时排查局部松散、漏压、孔隙率超标等隐患。通过全方位检测,能有效规避沉降、渗漏、坝体失稳等安全风险,确保大坝长期抵御水文、地质等自然因素干扰,充分发挥防洪、发电、灌溉等综合效益,是水利水电大坝施工中不可或缺的质控支撑。

## 2 水利水电工程大坝填筑施工方法

### 2.1 分段划分,流水作业

施工人员要先结合大坝设计尺寸地形条件以及施工机械设备性能,合理划定填筑分段区域,确保各分段长度、宽度与施工队伍配置的机械设备作业半径相匹配,避免出现作业重叠或施工盲区。划定分段后,施工人员对各分段区域进行清理平整,清除地表杂草、树根以及腐殖土,对基底进行碾压夯实,确保基底承载力满足填筑要求。在夯实过程中,施工人员全程监测压实度,发现局部夯实不足的部位及时进行补压,

直至达到设计标准。基底处理完成后,施工人员按照设计要求的填料规格筛选合格填料,采用运输设备将填料有序运至对应分段作业面。在运输过程中,控制填料含水量,若含水量过高则进行晾晒处理,含水量过低则适当洒水湿润,确保填料处于最佳碾压含水量范围<sup>[3]</sup>。填料运至作业面后,采用摊铺设备将填料均匀摊铺,控制摊铺厚度符合设计规范。在摊铺过程中,及时调整摊铺平整度,避免出现局部堆积或凹陷。摊铺完成后,可以借助碾压设备对填料进行碾压。碾压时,遵循从边缘向中间、从低处向高处的顺序,控制碾压速度和碾压遍数。在碾压过程中,随时检查碾压效果,对碾压不密实的部位进行重复碾压,直至填料压实度达到设计标准。同一分段内完成一道填筑工序后,施工人员立即清理作业面,整理施工机械设备,快速转入下一道工序作业。

### 2.2 供填匹配,均衡施工

大坝填筑施工需保证填料供给与填筑作业同步推进,实现供需均衡、连续施工。施工单位结合填料储备总量、机械设备台班效率以及大坝阶段性填筑进度指标,统筹安排填料供应节奏和填筑施工进度,使填料输送速度与现场填筑速度保持匹配,既防止填料断供造成停工,也避免填料过量堆积,减少物料损耗和场地占用,降低施工管理成本。施工前期,施工人员可以自己提前规划填料储备分区,按照大坝填筑设计要求,对进场填料开展逐批次全面检测,重点检查颗粒级配、天然含水率、压实特性等指标,筛除不合格填料。填料检测合格后,根据填筑作业面的实际消耗量,调度自卸运输车辆沿规划路线转运填料。在这个时候,可以安排一些专职人员负责现场运输调度,实时记录作业面填料余量、车辆等候时间等信息,灵活调整运输频次和行车路线,保证填料按时送达作业面,同时疏导现场车流,避免车辆拥堵影响施工正常进行。填筑施工阶段,根据作业面面积和设备作业半径,合理布置施工人员和摊铺、碾压设备,明确各岗位职责,保障填筑工序连贯作业。操作人员操控摊铺机进行卸料和摊铺,将单层摊铺厚度控制在35~40厘米,随时调整摊铺平整度,修补局部凹凸部位,为后续碾压作业打好基础。摊铺完成后立即开展碾压作业,振动碾压行驶速度控制在2.5~3千米每小时,合理控制碾压力度和激振频率,并用核子密度仪实时监测压实度。压实度未达到96%设计值的区域,要及时进行局部补压,直到各项指标合格。施工全程监控填

料供需情况, 填料供应滞后时, 启用储备填料加快转运; 填筑进度滞后时, 增派人员和设备, 提升施工效率, 维持供需平衡。

### 2.3 薄层铺料, 多遍碾压

大坝填筑施工严格执行薄层铺料、多遍碾压工艺, 结合填料性能和设备工况, 设定铺料厚度为 28 厘米, 允许偏差  $\pm 2$  厘米, 全作业面厚度差值不超过 3 厘米。严控铺料厚度, 既能避免铺料过厚导致深层压实不合格, 也能防止铺料过薄降低施工效率、延误工期。摊铺作业安排专职测量人员, 每 3 米设置一个厚度检测点, 用测杆和水准仪检测铺料厚度, 每 10 分钟记录一次数据。厚度出现偏差时, 及时调整摊铺机速度和布料器幅度, 保证铺料厚度符合要求。填料运至作业面后, 摊铺机以 1.2 米每分钟的速度纵向匀速摊铺, 清理粒径超过 15 厘米的大块杂物, 做到全面清理无遗漏。同时修整摊铺面, 将表面高低差控制在 1 厘米以内, 消除堆积和空缺问题。铺料自检合格后, 立刻开展碾压施工, 碾压按照先边缘后中间的顺序进行, 沿横向划分 3 个碾压区段, 行驶速度控制在 2 千米每小时至 2.5 千米每小时, 碾压轮迹重叠宽度保持 15 厘米至 20 厘米, 防止填料推移离析。单遍碾压结束后, 用环刀法和核子密度仪联合检测压实度, 每 500 平方米布置 6 个检测点。压实度未达到 98% 的区域, 增加 2 遍至 3 遍复压, 复压时提高 10% 的激振频率, 直到连续 3 次检测结果均合格。在碾压过程中, 用快速含水率检测仪实时监测填料含水率, 每 15 分钟采集一次数据, 将含水率控制在最佳含水率  $\pm 2\%$  范围内。含水率超标时, 立即停止碾压作业: 含水率偏高, 用平地机翻松填料, 翻松深度 28 厘米, 每隔 30 分钟翻动一次, 加快水分蒸发; 含水率偏低, 用雾状洒水车均匀洒水, 每平方米洒水量控制在 0.8 升至 1.2 升, 防止局部结块。待含水率恢复至合格范围, 再继续碾压作业, 保证填筑质量达标<sup>[4]</sup>。

### 2.4 统筹兼顾, 全断面同步

按照统一标准同步推进全断面作业可以让各部位填筑质量保持一致, 避免出现质量差异带来的安全隐患。施工人员在施工前, 对大坝全断面的基底进行统一清理, 清除地表所有影响施工的杂物, 对基底进行全面夯实。夯实过程中安排专人分片负责, 逐区域检查基底压实度, 发现夯实不足的部位及时补夯, 确保全断面基底承载力均符合设计要求, 为后续全断面同步填筑奠定基础。施工人员根据全断面填筑需求, 合理调配填料储备、运输设备以及施工人员, 明确各

域施工岗位职责, 确保每一处作业面都有专人负责, 填料供应能够同步满足全断面各区域的填筑需求。填料进场后, 先对填料质量进行全面检验, 剔除不合格填料, 合格填料按照施工规划有序堆放, 调度运输设备分区同步运送填料, 避免某一区域填料积压而另一区域供应不足。运输过程中安排专人实时反馈各区域填料余量, 及时调整运输路线和频次, 确保全断面各区域填料能够同步运抵作业面<sup>[5]</sup>。填料运抵后, 在全断面各区域同步开展摊铺作业, 操作摊铺设备均匀摊铺填料, 严格控制摊铺厚度和平整度, 摊铺过程中随时检查调整, 确保全断面铺料厚度一致、表面平整, 无局部凸起或凹陷。铺料完成后, 全断面各区域施工人员同步操作碾压设备开展碾压作业, 碾压时遵循统一的碾压顺序和速度, 每一遍碾压完成后, 同步对全断面各区域压实度进行检测, 若某一区域压实度未达标, 便针对性增加碾压遍数、调整碾压力度, 确保全断面碾压质量同步达标。

### 3 结束语

水利水电工程大坝填筑施工是一项系统性工程, 其技术应用与施工方法的科学性直接决定大坝的长期运行安全。在实际施工中, 施工人员必须坚持质量为本的原则, 根据工程实际合理配置资源, 确保供填匹配与工序衔接。唯有将先进技术与科学管理深度融合, 方能打造优质耐久的水利水电工程。未来, 随着水利工程建设向智能化迈进, 大坝填筑施工需进一步融合智能化技术手段。施工单位应强化技术交底, 严守施工规范, 推动大坝填筑施工提质增效, 为水利水电工程安全稳定运行、发挥防洪发电灌溉等核心功能提供坚实保障。

### 参考文献:

- [1] 刘宏伟. 大坝填筑施工技术在水电工程中的应用[J]. 价值工程, 2025, 44(27): 152-154.
- [2] 李霄. 水利工程大坝填筑施工技术要点思考[J]. 中国住宅设施, 2025(06): 151-153.
- [3] 丁丹. 大坝填筑施工技术在水电工程中的应用[J]. 科技资讯, 2024, 22(07): 123-125.
- [4] 姜龙, 赵宇飞, 孟亮, 等. 水利工程智能建造 BIM 技术研究与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2023.
- [5] 张龙. 水利工程施工中的大坝填筑施工技术要点探析[J]. 工程技术研究, 2023, 08(18): 108-110.