

胶凝砂砾石坝施工工艺对压实度影响分析

杨凯竣

中国水利水电第十六工程局有限公司 福建 福州 350000

【摘要】：胶凝砂砾石坝由于造价低、施工简便、结构稳定，被广泛应用于中小型水利枢纽工程。坝体压实度是判断坝体施工质量、保证防渗性能和结构强度的重要指标，施工工艺的各种参数直接影响压实质量。本文以莆田市西音水库胶凝砂砾石坝为研究对象，以现场工艺试验的数据为基础，分析拌和、运输、平仓、碾压、层间处理等施工工艺对坝体压实度的影响规律，整理施工过程中需要控制的关键要点，确定适合本工程的最优施工工艺参数，提出压实度质量控制措施。研究结果可以给同类胶凝砂砾石坝工程压实施工提供技术参考，有利于提高坝体施工质量。

【关键词】：胶凝砂砾石坝；施工工艺；压实度；碾压参数；质量控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.002

引言

胶凝砂砾石筑坝技术属于新型水工筑坝技术，以水泥、粉煤灰为胶凝材料，用天然砂砾石料、外加剂、拌和水拌合而成筑坝材料，平仓碾压成型。与常规混凝土坝相比，该坝型取材方便、施工过程简单、温控压力小，工程综合造价更低。压实度是胶凝砂砾石坝的中心质量指标，直接影响到坝体的密实程度、抗压强度以及抗渗性，压实度不达标的容易造成坝体沉降、渗漏、开裂等质量病害。目前行业内关于胶凝砂砾石材料配比、力学性能的研究比较多，结合现场原位试验系统分析施工工艺对压实度影响的研究较少。本次采用莆田市西音水库工程现场工艺试验，对平层碾压与斜层碾压两种施工方式的拌和方式、摊铺厚度、碾压参数、层间间隔等工艺因素对压实度的影响进行研究，提出施工工艺控制标准，保证大坝施工质量。

1 工程概况

西音水库位于莆田市涵江区庄边镇西音村，枢纽工程主要是以胶凝砂砾石拦河坝、泄水建筑物和引水发电系统为主。水库正常蓄水位为 190.5m，总库容为 2755 万立方米，水电站装机容量为 1500kW。拦河坝为胶凝砂砾石坝，最大坝高 52.0m，坝顶长 395m，坝顶宽 6.0m。坝体内部用 C1806 胶凝砂砾石，上游、下游防渗及防护区使用富浆胶凝砂砾石。为了保证施工工艺参数和配合比的合理性，在开工前对现场进行施工工艺试验。试验场地设在大坝上游坝轴线 40m 处，场地底高程 157.0m，试验总浇筑量为 308.30 立方米，分设平层碾压试验区和斜层碾压试验区，用 22t 振动碾、14t 双钢轮振动碾进行碾压，同时检测不同施工工况下坝体的压实度。

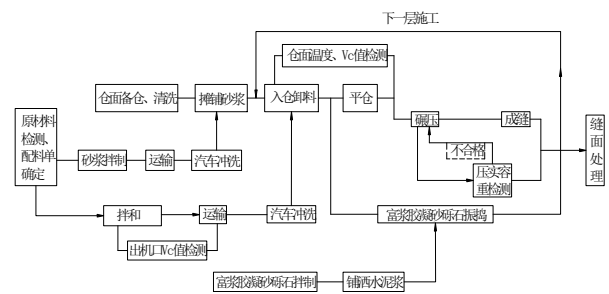


图 1 施工工艺流程图

2 试验原材料与试验方案

2.1 试验原材料

试验所用的原材料和主坝施工材料相同，各项原材料的检测结果都符合规范要求。水泥为 P.O42.5 普通硅酸盐水泥，掺合料为 II 级粉煤灰，外加剂为专用减水剂。砂砾石料取自当地料场，根据料场砂石分布不均、含砂量低的特点，用两种料场的石料按比例掺混，改善骨料级配。拌和用水取自工程生产供水系统，水质符合水工混凝土施工规范要求。

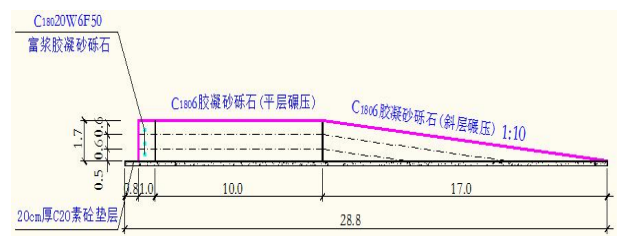


图 2 胶凝砂砾石平层、斜层碾压现场试验剖面图

表 1 不同施工工况坝体压实度检测统计表

浇筑部位	测试项目	测试点数 (n)	平均值 (X)	最大值 (max)	最小值 (min)	合格率 (%)
大坝 10#~11#坝段 EL141.90~EL143.40	压实容重(kg/m ³)	24	2295	2313	2284	100
	压实度(%)	24	96.8	97.6	96.4	100

大坝 8#~11#坝段 EL148.30~EL149.40	压实容重(kg/m ³)	36	2295	2313	2269	100
	压实度(%)	36	96.9	97.6	95.7	100
大坝 7#~11#坝段 EL149.40~EL150.90	压实容重(kg/m ³)	45	2289	2314	2276	100
	压实度(%)	45	96.6	97.6	96.0	100
大坝 6#~11#坝段 EL150.90~EL152.40	压实容重(kg/m ³)	60	2294	2307	2286	100
	压实度(%)	60	96.8	97.2	96.2	100
大坝 9#~11#坝段 EL155.00~EL156.50	压实容重(kg/m ³)	34	2291	2305	2276	100
	压实度(%)	34	96.7	97.3	96.0	100

2.2 试验总体方案

本次试验把平层碾压和斜层碾压分成两个区域,平层试验区尺寸为 10m×6.8m,斜层试验区尺寸为 17m×6.8m,坡比设为 1:10。试验设置两种摊铺厚度,压实厚度分别为 50cm、60cm,

对应虚铺厚度分别为 56cm、68cm。碾压先无振后有振,振动碾行驶速 1.0~1.5km/h。试验时同时测定拌和均匀性、VC 值、压实容重、层间结合力,分析各种工艺条件下压实度的变化规律。压实度采用挖坑法加核子水分密度仪进行检测,碾压 10 分钟后数据作为判断的标准。

表 2 胶凝砂砾石现场平层、斜层碾压试验施工步骤

步骤	项目	内容
第一步	准备工作	场地冲洗、水电布置、洗车台、入仓道路铺筑、原材料检测、测量放样、模板安装、入仓口立模、层厚标识等。
第二步	第一层 50cm 厚填筑	出机口检测、砂浆及胶凝砂砾石摊铺、碾压遍数+行走速度配合压实度检测最佳碾压遍数组合、仓面常规试验检测 (VC 值、气温、胶凝砂砾石温度等)、摊铺层厚 (测量)、模板位移 (测量)、成缝。
第三步	第二层 50cm 厚填筑	出机口检测、胶凝砂砾石摊铺、碾压遍数+行走速度配合压实度检测最佳碾压遍数组和、仓面常规试验检测 (VC 值、气温、胶凝砂砾石温度等)、摊铺层厚 (测量)、模板位移 (测量)、成缝。
第四步	层间间隔	初凝后终凝前,层间处理分 2 区分别洒净浆或铺砂浆。
第五步	第三层 60cm 厚填筑	出机口检测、胶凝砂砾石摊铺、碾压遍数+行走速度配合压实度检测最佳碾压遍数组和、仓面常规试验检测 (VC 值、气温、胶凝砂砾石温度等)、摊铺层厚 (测量)、模板位移 (测量)、仓面冲毛养护。
第六步	层间间隔	胶凝砂砾石终凝后,冷缝处理层间分 2 区分别铺砂浆或铺小骨料混凝土。
第七步	第四层填筑	出机口检测、胶凝砂砾石摊铺、碾压遍数+行走速度配合压实度检测最佳碾压遍数组和、仓面常规试验检测 (VC 值、气温、胶凝砂砾石温度等)、仓面常规试验检测 (VC 值、气温、胶凝砂砾石温度等)、摊铺层厚 (测量)、模板位移 (测量)、仓面冲毛养护。

3 施工工艺对压实度的影响分析

3.1 拌和工艺对压实度的影响

拌和是保证胶凝砂砾石材料均匀的前提工序,拌和不均匀会导致局部骨料集中、胶凝材料分布不平衡,在碾压后坝体密实度离散性增大。本次试验使用的是智能化连续式拌和设备,设置了三种投料顺序做对比试验。试验结果说明,先投入砂砾石的拌合方式成品最均匀,胶凝材料不容易粘结成块,骨料分布均匀。

拌和时间控制在 15s 左右,拌和时间不足会导致砂浆包裹

性差、骨料分离严重,拌和时间过长会使材料水分蒸发、VC 值降低,增加碾压施工难度。同时骨料含水率的波动会影响到拌和物的工作性能,含水率过高容易产生泌水现象,含水率过低会导致材料干燥不能压实。试验期间实时监测骨料含水率,根据含水率的变化动态调整加水量,保证拌和物 VC 值处于合理的范围内,为碾压压实提供基础条件。

3.2 运输与卸料平仓工艺对压实度的影响

本次使用 25t 自卸汽车运输胶凝、砂砾石,运输路线设有洗车台,防止泥水杂物带进仓面污染材料。运输过程中拌和物

会出现 VC 值损耗, 气温越高、运输时间越长, 损耗就越严重。严格控制运输时长, 保证拌和物从加水拌合到碾压完成的间隔时间不超过 2h, 减少材料性能的衰减。卸料方式为退铺法, 比较单点卸料和双点叠压卸料、梅花型料堆和矩形料堆的成型效果。试验结果表明, 采用双点叠压卸料、梅花型堆料可以减少骨料分离的概率, 料堆比较均匀。采用专用平仓机进行摊铺, 保证摊铺厚度一致、平整度高、无突起和沉降。平仓厚度的控制范围是 $\pm 5\text{cm}$ 之内, 平仓厚度如果太小或者过大都会引起碾压的受力不均匀, 造成局部欠压、过压的现象, 从而降低压实的均匀性。

3.3 碾压工艺对压实度的影响

3.3.1 摊铺厚度影响

试验设置了两个压实厚度, 分别为 50cm 压实层对应虚铺厚度 56cm、60cm 压实层对应虚铺厚度 68cm。从检测数据可知, 在相同的碾压参数下, 50cm 薄层压实度的均值比其他厚度高, 层间密实度均匀性好。在厚层摊铺条件下, 振动能量的传递衰减严重, 下面一层的材料压实不均, 上层容易产生过碾起浆。根据工程施工效率和压实质量综合考虑, 本工程优先选用 50cm 压实层厚, 在特殊地区可以选用 60cm 压实层厚并适当提高碾压遍数。

3.3.2 碾压遍数与行驶速度影响

碾压遍数为控制压实度的主要参数, 本次采取先无振后有振的方式碾压, 无振碾压 2 遍完成材料平整工作, 然后进行有振碾压。试验结果显示, 在有振碾压 2 遍到 6 遍的范围内, 压实度随着碾压遍数的增加而不断增大, 碾压 6 遍以上以后, 压实度增长趋缓, 继续碾压容易造成骨料破碎、砂浆离析, 产生过碾病害。最优碾压组合为无振 2 遍加有振 4 遍。

振动碾行驶速度设定为 1.0km/h、1.5km/h 两个档位, 低速行驶工况下振动作用时间较长, 骨料嵌挤密实度较高, 压实效果优于高速行驶。工程施工时碾压行驶速度保持在 1.0km/h 到 1.5km/h 之间, 搭接宽度控制在 30cm 到 40cm 之间, 端头搭接长度不小于 100cm, 避免碾压盲区。

3.4 层间处理工艺对压实度的影响

层间结合质量直接决定坝体整体连续性及压实稳定情况, 此次试验设置了各种层间处理措施。初凝前铺净浆、初凝终凝后铺砂浆或小骨料混凝土。检测结果表明, 在初凝阶段铺设砂浆的层间结合效果最好, 层间无明显缝隙, 压实度差值小。终凝后出现冷缝, 即使进行冲毛铺料处理, 层间密实度也比连续浇筑层低。

施工时严格控制层间间隔时间, 常温环境下胶凝砂砾石层之间最大间隔时间为初凝时限。针对冷缝施工区, 用高压冲毛机处理缝面, 清除表面松散骨料, 再铺设同标号砂浆后再做上层铺筑, 减弱冷缝对压实质量的不利影响。

3.5 其他辅助工艺影响

富浆胶凝砂砾石属于防渗保护层, 利用高频振捣器人工振捣, 保证其振捣密实度来提升周边坝体衔接的压实情况。控制振捣时间及插点距离, 防止漏振、过振, 保证富浆层和主体胶凝砂砾石紧密结合。模板施工时控制变形位移, 模板稳定性差容易造成边缘漏浆、挤压不实, 在试验中使用全站仪实时监测模板位移, 保证坝体边界压实质量。

4 施工质量控制措施

4.1 原材料质量管控

建立原材料进场检验制度, 水泥、粉煤灰、外加剂定期抽检, 不合格材料不得进场。对于本地砂砾石料场的材质不均匀情况, 用机械混合掺拌的方法进行骨料级配的改善, 冲洗出含泥量超过标准的石料。实时检测骨料含水率, 及时调节拌和加水量, 保证拌和物的工作性稳定。

4.2 拌和与运输管控

固定最优投料顺序和拌和时间, 定时对拌和设备衡器的精度进行校准, 保证材料称量的准确性。拌和完成后及时检测机口 VC 值、温度, 超过标准范围的应及时调整。优化运输路线, 设置洗车台净化运输车辆, 缩短运输时间, 减小拌和物性能的损失。

4.3 碾压施工精准管控

严格按设计规定的碾压参数进行施工, 压实层厚控制在 50cm~60cm, 碾压组合为无振 2 遍、有振 4 遍, 行驶速度不大于 1.5km/h。做好碾压搭接, 防止出现漏压、欠压情况。采用挖坑法和核子密度仪相结合的检测方式, 在每施工层设置足够的检测点位, 对压实度不达标的部位及时补碾。

4.4 层间与缺陷处理

合理安排施工工序, 尽量保证在初凝时间内完成层间铺筑。冷缝区用高压冲毛处理, 铺设砂浆提高结合性能。仓面有泌水现象时, 采用人工引排水并振捣密实。拆模之后检查外观有无变形、麻面等缺陷, 整理出问题并加以改进。

5 结论

本文以莆田市西音水库胶凝砂砾石坝现场工艺试验为依托, 对各种施工工艺对坝体压实度的影响规律进行系统的分析, 得到如下结论。二是拌和均匀性是保证压实度的前提条件, 砂砾石优先投料的拌和方式成品质量最好, 拌和时间 15s 能保证均匀性和施工效率。二是摊铺厚度、碾压遍数、行驶速度是碾压的主要控制参数, 工程最优施工参数为压实层厚 50cm, 无振碾压 2 遍加有振碾压 4 遍, 行驶速度 1.0km/h~1.5km/h。三是层间间隔时间会影响层间的压实质量, 在初凝前进行层间铺筑、初凝终凝后铺设砂浆可以提高结合密实度。四是卸料平仓、模板施工、富浆层振捣等辅助工序对坝体边缘及衔接处压

实度影响较大，必须做好精细化控制。

胶凝砂砾石坝压实度受诸多工序的协同作用而影响，在施工过程中要控制好原材料、拌和、运输、碾压、层间处理等各个过程。本次试验所确定的施工工艺参数已经成功地应用到了

西音水库主坝施工中，坝体压实度全部达到了设计要求。本次研究成果可以为东南沿海地区同类型胶凝砂砾石坝施工提供借鉴，后续可以探究温湿度、养护时间对长期压实稳定性的影响，不断改进胶凝砂砾石坝施工质量控制体系。

参考文献:

- [1] 陈晗.莆田西音水库胶凝砂砾石坝施工工艺试验[J].水利科技,2023,(03):33-35+40.
- [2] 孔祥部.胶凝砂砾石料坝在山区河谷地带筑坝的施工方法[J].低碳世界,2022,12(03):35-37.
- [3] 白文斌.胶凝砂砾石筑坝施工技术浅析[J].四川水利,2019,40(04):97-99.
- [4] 刘中伟,贾金生,冯炜,等.胶凝砂砾石坝在中小型水利工程中的最新应用与实践[J].水利水电技术,2018,49(05):44-49.
- [5] 贾金生,赵春,缪纶,等.胶凝砂砾石坝施工质量监控系统开发及应用[J].中国水利水电科学研究院学报,2018,16(01):1-8.