

水电站混凝土面板堆石坝填筑施工技术要点分析

袁伟伟

中国水利水电第十一工程局有限公司

DOI:10.32629/pe.v4i2.20031

[摘要] 为提升水电站混凝土面板堆石坝坝体稳定性与防渗性,延长工程使用寿命,本文基于堆石坝基本结构与特点,系统分析填筑施工全流程技术要点、质量检测方法及常见问题,并梳理出密实度、级配等检测指标的适用方法,提出针对性问题解决对策。结果表明,严格把控各环节技术要点、落实质量检测、及时处理施工隐患,能有效提升填筑施工质量。该研究可为同类水电站混凝土面板堆石坝填筑施工提供技术参考。

[关键词] 水电站; 混凝土面板; 堆石坝; 填筑施工; 技术要点

中图分类号: TV731 文献标识码: A

Analysis on key points of filling construction technology of concrete face rockfill dam of hydropower station

Weiwei Yuan

China 11th Water Conservancy and Hydropower Engineering Bureau Co., Ltd.

[Abstract] In order to improve the stability and seepage resistance of the concrete face rockfill dam of hydropower station and prolong the service life of the project, based on the basic structure and characteristics of the rockfill dam, this paper systematically analyzes the technical points, quality inspection methods and common problems in the whole process of filling construction, combs out the applicable methods of testing indexes such as compactness and gradation, and puts forward countermeasures to solve the targeted problems. The results show that the quality of filling construction can be effectively improved by strictly controlling the technical points of each link, implementing quality inspection and dealing with construction hidden dangers in time. This study can provide technical reference for the construction of concrete face rockfill dam of similar hydropower stations.

[Key words] hydropower station; Concrete panel; Rockfill dam; Filling construction; Technical points

引言

混凝土面板堆石坝具有材料来源广泛、施工工期短、造价合理及适应性强等诸多优势,因此近些年成为水电站坝体建设的主流型式之一。而填筑施工质量直接决定了坝体的整体稳定性、防渗性能及长期运行安全性,若技术把控不到位,易引发骨料分离、坝体沉降、渗漏等隐患。当前,复杂地质与恶劣气候条件对填筑施工技术提出更高要求,因此,系统分析水电站混凝土面板堆石坝填筑施工技术要点,完善质量控制体系,解决施工常见问题,对推动水电站工程高质量建设具有重要现实意义。

1 水电站混凝土面板堆石坝基本结构与特点

混凝土面板、堆石坝体、趾板及防渗系统是水电站混凝土面板堆石坝的基本结构组成,其中堆石坝体是最为关键的承重结构,按功能可分为垫层区、过渡区、主堆石区及下游堆

石区,各区域协同作用保障坝体稳定。混凝土面板铺设于堆石坝体上游面,起到防渗作用,趾板衔接面板与坝基,增强防渗整体性。

混凝土面板堆石坝具有以下四个方面的特点:一是就地取材,可利用工程周边岩石资源作为堆石材料,大幅降低施工成本;二是施工便捷,采用分层碾压工艺,施工效率高,受气候条件影响较小;三是稳定性强,堆石体密实度高、抗剪强度大,能有效抵御水压力与地震荷载;四是防渗可靠,面板与趾板、止水系统配合,可有效阻断渗水通道。

2 水电站混凝土面板堆石坝填筑施工技术要点

2.1 施工准备工作

只有做好前期准备工作,才能保障整个填筑施工的顺利推进,具体可从技术、现场、设备、人员四方面全面落实。首先,

组织专业人员会审施工图纸,明确各区域填筑技术要求,开展技术交底,同时布设测量基准点并定期复测,建立现场试验室,通过击实试验确定坝料最优含水率、最大干密度等核心参数。其次,合理布设施工道路,确保路面宽度、纵坡满足坝料运输需求,做好料场勘察与复查,优化爆破参数保障坝料质量与供应稳定,清理施工区域障碍物与积水。再次,配备挖掘机、振动碾、洒水车等设备,做好调试与养护。最后,配置专业管理人员、技术人员与作业人员,开展岗前培训与技能考核。

2.2 坝基与岸坡处理技术要点

坝基与岸坡处理效果与坝体稳定性密切相关,必须引起高度重视,通常需严格遵循“清理彻底、缺陷根治、排水通畅”的处理原则。坝基清理需根据基础类型清除表层植被、腐殖土及软弱土层,如岩石基础清除松动岩块与风化层,确保基础面平整、承载力满足设计要求,同时排除基础积水。坝基溶洞、断层破碎带等地质缺陷采用混凝土填充、盖板浇筑或灌浆加固等专项措施,彻底消除安全隐患。岸坡则需修整至设计坡比,人工清理表面松动岩土,采用水泥砂浆找平,沿岸坡铺设过渡料增强衔接性^[1]。此外,合理布设坝基与岸坡排水系统,结合固结灌浆、帷幕灌浆提升防渗性能,为后续填筑施工奠定坚实基础。

2.3 坝料填筑技术要点

水电站混凝土面板堆石坝填筑施工过程中,坝料填筑是最为关键的一个环节,施工人员必须做好坝料选择、运输、摊铺及含水率调整等相关工作。首先,按区域功能合理选择坝料,一般垫层选用级配连续的轧制砂石料,过渡区选用级配合理的碎石,堆石区选用坚硬抗风化的岩石。其次,采用专用车辆运输坝料,并综合考量多方面因素科学规划路线,避免坝料二次分离,卸料采用进占法或后退法,控制卸料间距确保均匀。此外,采用分层模式摊铺坝料,并严格控制摊铺厚度及含水率,不同坝料填筑关键参数如下表1所示:

表1 坝料填筑参数分析表

坝料类型	最大粒径要求	松铺厚度	最优含水率范围	卸料方式
垫层料	≤80mm	30-40cm	12%-18%	后退法
过渡料	≤300mm	30-40cm	8%-12%	后退法
堆石料	≤压实层厚度	60-80cm	6%-10%	进占法

2.4 碾压成型技术要点

碾压成型施工质量对坝体密实度具有极大的影响,施工中需根据坝料类型优化碾压参数与工艺。一般而言,碾压设备选用适配坝料的振动碾,垫层料、过渡料采用轻型振动碾,堆石料采用重型振动碾,碾压前需调试设备,确保振动频率、振幅、碾压

速度符合要求。与此同时,碾压遵循“先静压、后弱振、再强振”的原则,碾压轨迹重叠宽度不小于1/3轮宽,避免漏压^[2]。不同坝料碾压遍数不同,垫层料静压2遍、弱振2遍、强振2遍,堆石料静压1遍、强振4-6遍,碾压后及时检测密实度,不合格部位需补压返工。坝体边缘、岸坡附近等边角部位采用小型振动碾补压,确保碾压无死角。

2.5 分区填筑施工控制要点

由于混凝土面板堆石坝各区域有着不同的填筑要求,所以应进行分区填筑,保障各区域衔接紧密。如,堆石区分为主堆石区与下游堆石区,主堆石区作为主要承重结构,需选用高强度岩石,严格控制碾压密实度;下游堆石区侧重保护主堆石体,可适当放宽料源要求^[3]。过渡区位于堆石区与垫层区之间,需控制坝料级配连续,避免颗粒级配突变,起到反滤保护作用。垫层区紧贴混凝土面板,需确保表面平整、密实度达标,为面板施工提供良好基础。各分区填筑控制核心要求如下表2所示:

表2 各区填筑施工控制要点分析表

填筑分区	核心作用	密实度控制标准	施工控制重点
主堆石区	承受水荷载,核心承重	孔隙率≤2%-23%	坝料强度、碾压参数
下游堆石区	保护主堆石体,稳定边坡	孔隙率≤25%	料源抗风化性
过渡区	衔接堆石区与垫层区,反滤保护	相对密度≥0.80	级配连续性
垫层区	支撑面板,辅助防渗	相对密度≥0.85	表面平整度、级配

2.6 坡面挤压边墙施工要点

坡面挤压边墙的主要作用是定型坡面、控制坡比及保护垫层料,其属于坝体坡面的临时支护结构。挤压边墙多选用专用挤压机,按设计坡比调整设备参数,施工前精准测量放样,确定边墙位置与高程。施工采用分层挤压作业,每层高度与垫层料摊铺厚度一致,挤压成型后及时修整表面,确保边墙平整、密实,与垫层料衔接紧密。施工缝需进行凿毛处理,铺设水泥砂浆,避免出现缝隙导致渗水。同时,边墙施工需与垫层料填筑同步进行,间隔时间不超过24h,确保两者结合紧密,为后续混凝土面板施工奠定基础。

3 水电站混凝土面板堆石坝填筑施工质量检测指标与方法

3.1 密实度检测

密实度是衡量坝体综合填筑质量的一个核心指标,检测方法和标准需按坝料类型科学选择。一般而言,垫层区、过渡区采用灌水法或灌砂法检测,控制相对密度分别不低于0.85、0.80;主堆石区、下游堆石区采用灌水法检测,孔隙率分别控制在≤

22%~23%、 $\leq 25\%$ 。检测频率每1000m³取样1次,关键部位适当提高检测频率^[4]。检测时需确保检测点分布均匀,避开边角部位与施工缝,检测数据真实可靠。检测结果若不合格需及时分析原因,采取补压、返工等措施,直至检测达标。

3.2级配检测

坝料级配要求全程检测进场坝料及填筑过程中的坝料,通常采用筛分试验法,选取具有代表性的坝料试样,通过标准筛进行筛分,测定不同粒径颗粒的含量,与设计级配曲线对比,判断是否符合要求。要求垫层料最大粒径 $\leq 80\text{mm}$,过渡料最大粒径 $\leq 300\text{mm}$,堆石料最大粒径不超过压实层厚度,各粒径区间颗粒含量需控制在设计范围内。检测频率与密实度检测一致,进场坝料每批次检测1次,填筑过程中每1000m³检测1次,若级配不合格,需对坝料进行筛分调整或更换,避免因级配不良导致骨料分离、碾压不实等问题。

3.3其他指标检测

除上述几项检测指标之外,还需检测坝料含水率、含泥量及坝体沉降、渗透系数等。含水率检测采用手持式含水率仪,每500m²检测1次,确保坝料含水率控制在最优范围 $\pm 2\%$ 内,避免含水率过高或过低影响碾压效果。含泥量检测采用称重法,垫层料、过渡料含泥量 $\leq 5\%$,堆石料含泥量 $\leq 3\%$,不合格坝料严禁上坝。坝体沉降采用沉降仪监测,分层填筑完成后定期观测,控制沉降量符合设计要求。渗透系数检测采用注水试验,确保垫层区、过渡区、堆石区渗透系数满足防渗与排水要求,及时发现并处理渗透隐患^[5]。

4 水电站混凝土面板堆石坝填筑施工常见问题与解决对策

4.1坝料骨料分离

水电站混凝土面板堆石坝填筑施工中出现坝料骨料分离问题的主要原因是运输、卸料、摊铺操作不当,通常表现为大颗粒骨料集中、细颗粒骨料流失,影响坝体密实度与稳定性。

解决对策:优化料场开采时的爆破参数,避免产生过多超大粒径骨料,开采后对坝料进行筛分分级,按级配要求掺配。运输过程中控制车辆行驶速度,避免急刹车、急转弯,防止坝料分层分离。卸料时采用多点卸料、均匀布料,避免集中卸料导致大颗粒骨料堆积。除此之外,摊铺时采用推土机均匀整平,将集中的大颗粒骨料分散埋入料层中部,对细颗粒流失部位及时补充细料,确保坝料级配均匀,同时加强摊铺后的检查,及时处理骨料分离区域。

4.2坝体密实度不达标

坝体密实度不足多是由于碾压参数不合理、坝料含水率偏差,或者摊铺厚度过大,密实度不足会降低坝体承载能力,易引发坝体沉降、渗漏等隐患。

解决对策:首先,根据坝料类型确定振动碾型号、振动频率、

碾压遍数与速度优化碾压参数。其次,严格控制坝料含水率,摊铺前检测含水率,采用洒水或翻晒方式调整至最优范围,避免含水率过高导致碾压起泥、过低导致颗粒松散。此外,严格控制摊铺厚度,按设计要求分层摊铺,垫层料、过渡料不超过40cm,堆石料不超过80cm,摊铺后及时整平。检测不合格部位还需增加碾压遍数、局部补压等,必要时进行返工处理,确保密实度达标。

4.3坝基渗漏与沉降

坝基渗漏与沉降问题主要是因为坝基处理不彻底、地质缺陷未根治、填筑工艺不当导致,渗漏会影响坝体稳定性,沉降过大易导致混凝土面板开裂。

解决对策:一方面,科学处理坝基,彻底清理坝基表层软弱土层与松动岩块,针对溶洞、断层破碎带等地质缺陷,采用灌浆加固、混凝土填充等专项措施,完善坝基与岸坡排水系统,降低渗水压力^[6]。另一方面,优化填筑工艺,严格控制分层碾压质量,确保坝体密实度均匀,避免出现局部碾压不实的情况。此外,加强坝体沉降与渗漏监测,实时掌握沉降量与渗漏量变化,若出现异常,及时采取灌浆加固、增设排水设施等措施,控制渗漏与沉降在允许范围内。

4.4坡面修整不规范

坡面修整不规范会出现坡面平整度,甚至存在凸起、凹陷等一系列问题,会影响后续混凝土面板施工,易导致面板开裂、渗漏。

解决对策:坡面挤压边坡施工完成后,施工人员需采用激光平地仪辅助修整,确保坡面坡比符合设计要求(一般为1:1.3~1:2.0),平整度误差控制在5cm以内。对坡面凸起部位采用人工或机械削坡处理,凹陷部位填补垫层料并碾压密实,确保坡面平整、密实。修整完成后,安排专业人员进行检查验收,重点检查坡比、平整度及坡面衔接情况,对不规范部位及时整改,为混凝土面板施工提供平整、牢固的作业面。

5 结束语

综上所述,水电站混凝土面板堆石坝填筑施工作业具有一定的综合性与系统性,施工作业涉及前期准备、坝基处理、坝料填筑、碾压成型等多个环节,技术要点繁杂,质量控制难度较大。本文系统分析了各环节施工技术要点,梳理了质量检测方法与常见问题解决对策,明确了规范施工、严格管控的重要性。实践表明,只有严格落实各项技术要求,强化全流程质量检测,及时处理施工隐患,才能确保坝体填筑质量,保障坝体长期安全稳定运行。未来,需结合智能化施工技术,进一步优化填筑施工工艺,提升施工效率与质量,为我国水电站工程建设提供更可靠的技术支撑。

[参考文献]

[1]谢宗良.碎石土用于填筑堆石坝的可行性试验研究[J].人民黄河,2025,47(S2):106-107+110.

[2]吴甘露.堆石特性对混凝土堆石坝渗流场的影响[J].水利科学与寒区工程,2025,8(06):26-29.

[3]张永乐.混凝土面板堆石坝的填筑施工及渗漏监测技术研究[J].水利科技与经济,2025,31(06):142-146+158.

[4]刘永飞.抽水蓄能电站堆石坝填筑施工方法研究[J].价值工程,2025,44(03):128-130.

[5]钟权,夏欣.长河坝水电站砾石土心墙堆石坝填筑强度分

析[J].水电站设计,2022,38(03):1-4.

[6]王樱峻,赵琳,雷显阳,等.抽水蓄能电站高沥青混凝土面板堆石坝设计[J].人民长江,2022,53(01):148-153.

作者简介:

袁伟伟(1988--),男,汉族,河南省临颖县人,本科,工程师,研究方向,土木工程、拦河大坝施工。