

水工施工技术在水利水电工程中的应用分析

文 / 莫广波 中寅建设集团(广东)股份公司

摘要: 鉴于社会对水利水电工程需求持续上升、要求持续提高,而且工程建设处于复杂地质、水文以及环保挑战的情形下,以往的施工技术与手段无法契合需求。为应对水利水电工程建设面临的形势,本文首先对水利水电工程中水工施工的重要性做了深入剖析,认清它在能源供应、民生保障与经济增长等方面的关键意义。细致分析了目前水利水电工程中水工施工技术应用出现的围堰材料选择不恰当问题;围堰的结构稳定性欠佳;地基处理手段滞后等问题,面对这些问题,本文提出了一系列有效举措,完成了水工施工技术的改进与提升,提升了水利水电工程的建设质效。

关键词: 水工施工技术; 水利水电工程; 围堰材料; 围堰结构

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.083

引言

全球能源结构持续优化调整的大环境下,水利水电身为清洁、可再生的优质能源,在能源领域的作用愈发显著。水利水电工程的修筑,不仅对维护国家能源供应体系的稳定意义非凡,在防洪、灌溉、供水这类涉及民生的领域也起到了不可替代的作用,切实带动了社会经济稳定进步。伴随城市化进程推进以及人口持续增长,社会对水利水电工程的规模、功能与安全性给出了更高要求,在这种形势下,水工施工技术作为水利水电工程修筑的核心依靠,它的重要性显而易见。科学、先进的水工施工工艺,不仅可以保证工程的质量与安全,切实减少工程费用,还可以在提高工程效益的阶段,更有效地达成对生态环境的保护,对水工施工技术在水利水电工程中的应用进行深入探究,具备重大的现实作用与深远的战略意义。

一、水利水电工程中水工施工的重要性

水利水电工程承担起发电、防洪、灌溉、供水等多重民生与能源保障工作,而水工施工借助对挡水、泄水、输水等关键建筑物的建造,将工程设计构想转变为实际可利用的设施,是达成这些功能的关键基础。倘若水工施工的质量不达标,建筑物结构的完整性和稳定性欠佳,会直接引起工程功能削弱,例如挡水建筑物出现渗漏也会让防洪标准降低,输水建筑物强度不足会降低供水效率。

水利水电工程一般建在河流、峡谷等复杂地理环境的区域,长期遭遇水流冲击、地质变动、极端天气等外部因素的干扰,而提升水工施工质量是应对这些风险的核心要点。施工期间对混凝土浇筑强度、钢筋设置密度、基础处理深度等技术指标的把握,直接关联到建筑物的抗渗、抗滑以及耐久能力,要是施工环节存在差错,也许引发溃坝、结构开裂这类重大安全事故,危及下游居民生命财产安全以及生态环境稳定。

二、水利水电工程中水工施工技术应用出现的问题

(一) 围堰材料选择不当

水利水电工程水工施工的阶段,围堰作为临时性挡

水建筑物,其材料的选用直接关乎挡水效果与施工安全。当前围堰材料选用不当的情形比较突出,在一些施工操作中,未充分依照工程所在区域的水文条件、地质特征及施工周期要求来选定材料,仅根据经验以及成本因素选用单一类型材料,致使材料性能与实际工况不契合。在水流快、冲刷力强的区域,如果选用透水性好但抗冲能力差的土石材料,常常会出现围堰渗漏、边坡受冲刷坍塌等现象;如果在低温寒冷地区,倘若未选用抗冻性强的材料,冬季的低温易造成材料冻胀开裂,致使围堰结构失去完整性。

(二) 围堰结构稳定性差

围堰结构的稳定性对水利水电工程水工施工的顺利开展至关重要。目前施工中围堰结构稳定性欠佳的状况,主要是由于结构设计与实际施工衔接缺乏、受力分析不透彻和施工工艺把控不细致。结构设计方面,部分围堰结构设计未能充分顾及施工过程中的动态受力变化,仅按照静态工况核算荷载,没有顾及水流冲击、水位起伏、施工机械抖动等动态因素给结构带来的影响,引发设计方案与实际受力状况出现偏差,结构承载能力无法达到实际的需求标准^[1]。

(三) 导流技术应用失误

导流技术作为水利水电工程水工施工中的核心技术之一,应用导流技术出现失误会直接对施工进度和现场安全造成影响。目前导流工作主要有导流方案和实际工况不契合、导流建筑物施工质量欠佳以及导流过程缺少动态调控等问题。导流方案设计与应用方面,有部分施工单位对工程所在流域水文特征的勘察不够充分,好比没有确切掌握汛期流量、水位的变化规律及泥沙含量,造成制定出来的导流方案与实际水文情形不一致。倘若汛期流量大大超出预期,导流建筑物过流能力设计欠佳,容易导致导流河道漫溢,进而淹没施工区域;枯水期,如果导流方案未顾及流量过小造成的通航、供水矛盾,会影响周边居民的日常生产生活,而且会对施工进度形成制约。

（四）地基处理技术落后

地基作为水利水电工程建筑物承载的依托，其处理的质量直接关乎建筑物的长期安定性。目前水工建设中地基处理技术滞后的状况，主要显示出技术选型不恰当、施工工艺落后以及质量检测手段短缺的弊端。技术选型方面，部分施工单位未根据工程地基的地质特征（如土层分布、岩土特质、地下水位状况）选定合适的处理技术，依然沿用传统且单一的处理途径，引发处理效果难以符合设计期望。软土地基区域，如果依旧采用简单的换填方式，未联合真空预压、水泥土搅拌桩等技术进行深层强化，较易引起地基承载力不够，后期建筑物产生不均匀下沉；开展岩基处理事宜时，如果不按照岩石风化程度、裂隙发育情形选用恰当的灌浆技术，只是采用常规水泥灌浆，则难以切实填充岩基裂隙，会削弱地基的抗渗性与整体稳定性。

三、水利水电工程中水工施工技术应用的有效对策

（一）精准选材，防范渗漏崩塌

围堰作为工程临时挡水核心结构，材料性能直接影响着挡水效果，如果材料选择欠佳，易引发渗漏、崩塌，引起施工中断^[2]。

鉴于此应精准选料，防范围堰出现渗漏崩塌状况，开始选材前开展材料适配性的勘察，结合工程区域水文数据和地质数据，界定材料核心参数；同时开展针对地基土层承载力的检测，如果河床表层土承载力不超过150kPa，则选用重度 $\leq 18\text{kN/m}^3$ 的轻质高强类材料，防止地基因过载而沉降。

按照围堰不同部位功能的差异选择对应材料：迎水侧选用C25碾压混凝土，添加聚丙烯纤维增强抗裂能力，添加的掺量为 0.9kg/m^3 ，把厚度定为1.2m；背水的那一侧选用级配碎石土，粒径5-30mm的碎石占比为60%；堰顶路面采用C30型混凝土，强化抵御车辆碾压的能力；衔接之处采用橡胶止水带与遇水膨胀止水条联用，让材料衔接处实现密封。

现场设立“批次抽检+见证取样”机制：每一批次进场的混凝土原料，需对水泥初凝时间、粉煤灰烧失量、砂石含泥量加以检测；于碾压混凝土浇筑工作开展前，按每 500m^3 制作3组标准试块，检验28天抗压强度与抗渗等级，不接纳不合格材料进入场地^[3]。同时施工人员还需关注材料存储环节的把控，依据不同特性的材料采取不同的存储手段，如水泥要存放在可防雨防潮的密封仓库中，堆放高度不宜超过10袋，防止因受潮结块影响水泥强度；级配碎石土要分区堆放好，杜绝混入别的杂质，而且要开展排水处理，防止雨水浸泡引起级配错乱。在材料运用期间，必须严格依照施工配比开展拌制，指派专人对混凝土坍落度等指标进行监督，保障拌制质量契合设计规定，创建材料使用追溯办法，记载每批材料的使用部位、用量与施工人员，若发现问题可迅速进

行溯源排查，进一步稳固围堰防渗漏崩塌的安全防线。

（二）因地制宜，稳固围堰结构

工程所处区域地质复杂、水文状况变化频繁，要依照现场实际改良结构，杜绝围堰出现失稳现象。

第一步优化结构设计的参数，参照地质勘察结果，把围堰设定为梯形断面，顶宽为8m，底宽按照边坡坡度动态变动；就两岸松散堆积体区域而言，在围堰跟岸坡的衔接点增设锚杆，采用 $\Phi 25$ 螺纹钢作为锚杆，长度为5m，横向与纵向间距1.5m，深入到基岩3m，增强衔接的稳固性。

第二步细化地基预处理工艺，如果河床表层存在厚度为0.5-1.2m的松散砂土层，先运用振动碾进行3次碾压操作，振动碾采用300kN的激振力，让碾压速度维持在2-3km/h，完成碾压后检验表层土承载力 $\geq 200\text{kPa}$ 。

第三步进行严格的结构施工把控，浇筑碾压混凝土时采用分层推移式施工，每层混凝土浇筑厚度30cm，借助自行式振动碾碾压六遍，运用的自行式振动碾重为15t，先进行2遍静压，再进行4遍振动碾压，碾压的重叠宽度要达到20cm及以上，并将混凝土浇筑间歇时间控制到不大于2h。另外在围堰迎水侧、背水侧与堰顶每50m布设沉降观测点，采用 $\Phi 20$ 不锈钢观测钉作为沉降观测点，按每周1次的频次开展观测，到汛期把观测频次提高到每天1次，让沉降速率的控制值为 $\leq 2\text{mm/d}$ 。

（三）合理导流，促进工程进度

因工程进入汛期流量大，所以需借助科学导流防止施工区域被水淹没，保障工期。

具体实施需结合数据分析及工艺控制（导流关键参数与控制标准如表1），开展施工时首先需根据工程工期及水文周期，采用“分期导流”方式：第一期依靠左岸导流洞和右岸导流明渠联合引流，把水流引向两岸，存在2条左岸导流洞，其直径8m，每条导流洞长500m；右岸的导流明渠底宽50m，该导流明渠长度800m；第二期对右岸导流明渠进行封堵，凭借左岸导流洞与已浇筑的部分坝体进行挡水；第三期开展左岸导流洞封堵作业，依靠永久泄洪孔进行导流，实现坝体封顶及设备安装。

另外需严格管控导流建筑物施工质量，导流洞挖掘采用新奥法开展施工作业，以三臂凿岩台车进行钻孔作业；洞身衬砌采用的是C30钢筋混凝土，厚度达60cm，里面配备 $\Phi 20@200$ 双向钢筋，采用钢模台车进行浇筑，采取泵送方式让混凝土入仓，用附着式振捣器进行振捣，振捣时间设定为20-30s，杜绝产生蜂窝麻面；导流明渠以分层开挖的方式施工，每层的开挖深度是3m，开挖工作开展前在边坡顶部设立截水沟，开挖结束后迅速开展C20混凝土喷射和锚杆支护，保障边坡稳固。并安排专业人员24小时值守，利用水位传感器、流量监测仪实时采集导流洞、明渠及施工区域的水位、流量数据，一旦发现数据超出预警值，立即启动应急响应。

表 1 导流关键参数与控制标准

导流关键指标	设计控制值	实际监测值范围	调控要求
导流洞过流能力	$\geq 2800\text{m}^3/\text{s}$	2850-3000 m^3/s	每旬检测, 偏差超 5% 检修
导流明渠边坡坡度	1:1.5	1:1.48-1:1.52	每日测量, 超差及时修整
基坑地下水位	\leq 开挖面下 1m	\leq 开挖面下 1.2m	实时监测, 超位启动抽水泵
汛期导流流量匹配度	$\geq 95\%$	96%-98%	流量超设计 10% 启动备用方案

(四) 创新技术, 强化地基稳固

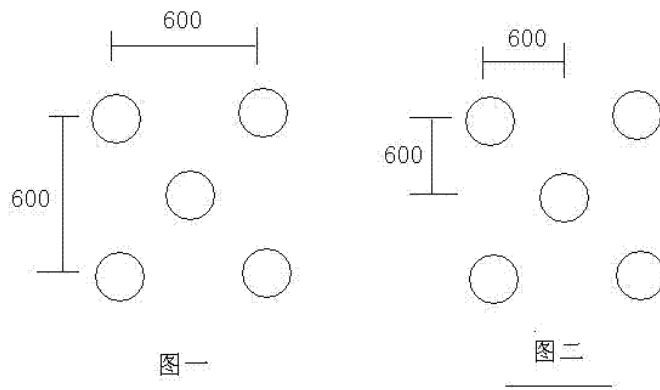
工程坝基存有砂岩风化夹层及裂隙, 惯用处理手段不能完全消除隐患, 所以应依靠技术创新提高地基承载能力与抗渗能力。

首先采用高压喷射注浆技术对坝基风化夹层进行处理, 面对坝基中厚度为 0.8-1.5m 的风化夹层, 采用三重管高压喷射的注浆方式, 所采用的浆压力为 0.5MPa。注浆孔采用梅花形布局 (如图 1), 孔的深度穿透风化夹层后进入完整基岩 0.5m; 采用水泥-水玻璃双液浆作为注浆材料; 就局部注浆存在不密实情况的区域, 采取补充注浆的方式处理, 补充注浆所采用的压力比初次注浆提高 20%。

其次运用地质雷达与灌浆相结合的技术处理岩基裂隙。技术人员首先借助地质雷达对坝基砂岩进行扫描, 厘清裂隙发育位置、走向以及宽度, 之后把裂隙位置标记为重点处理区域; 再采用分段式灌浆工艺, 从上面

往下面分段, 每段长度设定为 3m, 灌浆孔规定直径为 56mm, 各孔之间的间距为 2m, 各排的间隔距离是 1.5m; 依照裂隙宽度挑选灌浆材料; 进行灌浆过程中, 用自动灌浆记录仪监测流量与压力, 要是吸浆量不超过 0.4L/min 且压力稳定 30 分钟时, 终结该段灌浆工序; 灌浆完毕 28 天后, 实施压水试验, 试验所采用的压力是设计灌浆压力的 80%, 透水率 $\leq 1\text{Lu}$ 可认定为合格。

最后运用真空预压技术对软土地基进行处理, 针对两岸灌溉输水隧洞进出通道口处 2-3m 厚的软土地基。采用真空预压方式加固, 抽真空进程划分为三个阶段: 第一阶段把真空度提高至 50kPa, 第二阶段中真空度升高到 70kPa, 第三阶段稳定为 90kPa; 预压阶段每天对真空度、沉降量以及孔隙水压力开展监测, 一旦沉降速率稳定在 $\leq 1\text{mm/d}$, 便停止预压; 对加固后的软土地基检测, 承载力需大于 250kPa, 压缩模量增长 30% 以上, 适应隧洞基础施工的需求。



我们通常说的梅花形间距600*600是指的图一, 还是图二?

图 1 梅花形布局 (mm)

结语

精准选材、因地制宜、合理导流、创新技术等措施, 能有效解决当前水工施工技术应用中存在的围堰材料选择不当、结构稳定性差、导流技术失误、地基处理技术落后等问题, 提高水利水电工程的施工质量、保障工程进度、增强工程安全性和稳定性。未来在水利水电工程领域的革新中, 相关人员应积极寻求新技术、新材料、新工艺的应用与突破, 加强跨学科合作与交流, 注重人才培养与技术传承, 以推动水利水电工程行业朝着更加高效、智能、绿色的方向发展。

参考文献

[1] 袁峰, 常宏伟. BIM 技术在水利水电工程施工安全管理中的应用分析 [J]. 冶金管理, 2025, (08): 84-86.
 [2] 陈速洪. 边坡开挖支护施工技术在水电工程中的应用研究 [J]. 水上安全, 2025, (15): 171-173.
 [3] 郭凤莲. 防渗渠道施工技术在水电工程中的应用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (12): 205-207.
 作者简介: 莫广波, 1983 年 6 月, 男, 广东廉江人, 本科, 研究方向: 水工施工。