

胶凝砂砾石坝在 MQ 水库中的应用

王建勇 毛长贵

(中水北方勘测设计研究有限责任公司 天津 300222)

摘要 胶凝砂砾石坝是一种新坝型,具有经济性、环境友好性、适应性强等特点。本文结合 MQ 水库的实际设计情况,经济分析后推荐胶凝砂砾石坝。文章阐述了寒冷地区大坝结构设计及基础处理,对类似工程具有一定的指导意义。

关键词 胶凝砂砾石 寒冷 大坝结构 基础处理

中图分类号: 文献标识码: A

1 研究背景

胶凝砂砾石是近些年发展起来的新型筑坝技术,其特点是采用胶凝材料和砂砾石拌合进行筑坝,使用高效率的土石方运输机械和压实机械施工,施工速度快、节省投资、减少弃渣、安全和环境友好,与常规的混凝土或土石坝比,优点明显。该技术扩大了坝型选择范围,放宽了筑坝条件,丰富了以土石坝、混凝土坝、砌石坝等为主的筑坝技术体系。通过合理的筑坝技术选择和组合,大坝施工可以充分利用当地材料,减少弃渣,减少施工对周围环境造成的影响。胶凝砂砾石筑坝技术的研究及推广应用对我国大量的中小型水利水电工程建设和水库除险加固工程具有重要的意义,推广性强。

2 工程概况

MQ 水库位于西藏自治区昌都市贡觉县境内,坝址位于热曲支流上,工程的任务主要以供水、灌溉为主。水库正常蓄水位为 3708.00m,总库容 1608 万 m^3 ,工程规模为中型。大坝为胶凝砂砾石坝,最大坝高 44.75m。设计洪水标准为 50 年一遇洪水,校核洪水标准为 500 年一遇洪水;泄水建筑物消能防冲设施防洪设计标准为 30 年一遇洪水。

3 工程地质

3.1 工程地质条件

工程区位于羌塘-三江构造区的昌都-思茅陆块昌都-芒康盆地。工程区基本地震动峰值加速度为 0.10g,相应地震基本烈度为 VII 度。区域构造稳定性评价标准,工程区属区域构造稳定性较好。

坝址区两岸山体宽厚,河谷呈对称“V”字型纵向谷,植被覆盖条件差,地形完整性较好。出露地层主要有古近系始新统贡觉组砾岩和第四系覆盖层。无区域性断裂和褶皱通过,无小规模断层分布,构造形迹主要以裂隙为主,左岸裂隙较发育,右岸裂隙发育相对较少。

3.2 筑坝材料

坝址附近砂砾石较多,以第四系全新统冲积砂卵砾石为主,主要由卵石、砂和砾石组成,含少量漂石,漂石含量占 2%~12%,卵石含量占 17%~36%,砂含量占 10%~20%,为中粗砂,砾石含量占 40%~65%。漂卵砾石原岩成分主要为砂岩、灰岩和砾岩。质量和储量满足要求。

坝基开挖料主要为卵石混合土,主要由卵石、砾石、砂和少量细粒土组成,颗粒级配不良,分选性和磨圆度较好,多呈次圆状,卵砾石原岩成分主要为砂岩和灰岩,含泥量少,属低压缩性土,物理力学性质较好,此开挖料可用于坝体填筑。

4.坝型选择

坝型一般包括拱坝、重力坝和当地材料坝三种基本坝型。坝型比选一般可根据地形、地质、天然建筑材料及枢纽布置等条件进行选择。根据坝址处的地形、地质、料源等情况分析，初步拟定碾压混凝土重力坝、沥青心墙砂砾石坝和胶凝砂砾石坝三种坝型进行比较。

碾压混凝土重力坝坝体结构简单，可灵活布置泄洪建筑物，水力学条件较好；引水建筑和泄洪建筑均可布置在坝上，结构稳定安全系数更高。碾压混凝土重力坝方案水库工程建筑物布置简单、紧凑。

沥青心墙坝方案坝体本身结构简单，但坝身不能结合泄洪建筑物布置，需要在岸边设置开敞式溢洪道；本工程坝高约 45m，宜布置水库放空设施，水库放空洞与导流洞结合布置；库区内需单独布置进水塔。该坝型方案水库工程建筑物布置较分散。

胶凝砂砾石坝方案坝体结构简单，布置建筑物较灵活，紧凑，坝上可布置泄洪建筑物，该方案在建筑物布置上相对较简单、紧凑。

对三种坝型分别从地形、地质条件、建筑物布置、建筑材料、施工条件、建设工期、运行管理、工程安全、环境影响和投资等方面进行综合比较。

碾压混凝土重力坝方案对材料要求较高，胶凝材料等需外购。需修建较大的砂石混凝土系统，施工工艺较复杂。沥青心墙砂砾石坝方案从料源来看，储量、质量均能满足要求，运距短，且可利用部分溢洪道开挖料筑坝，减少坝体材料耗能。胶凝砂砾石坝方案对原材料要求不高，附近料源丰富，运距短，胶凝材料等需外购，用量较重力坝少。

胶凝砂砾石坝和混凝土重力坝两种坝型采用分期导流；沥青混凝土心墙坝采用隧洞导流，隧洞均位于河床右岸，导流洞后期改造成供水灌溉洞。

从工程投资分析，胶凝砂砾石坝方案建筑工程可比投资 16403.98 万元，较碾压混凝土坝方案节省 6806.67 万元，较沥青心墙砂砾石坝方案节省 921.22 万元。

5.大坝设计

5.1 结构设计

大坝由挡水坝段、溢流坝段、引水坝段和冲砂坝段组成。大坝采用胶凝砂砾石坝，坝顶长度 306.0m，坝顶高程 3713.00m，坝顶宽度为 6m，最大坝高 44.75m。上游坝坡 1:0.6，下游坝坡 1:0.6。溢流表孔采用无闸方案，布置 2 个表孔，单孔净宽 10m，堰顶高程 3708.00m，采用挑流消能。取水口包括供水、灌溉、生态基流取水口，将三个取水口合并布置于一个坝段上，且共用一个管道。该进水口段布置在拦河坝坝体偏左岸。由塔式进水口、坝内主埋管和坝后（非碾压区）岔管、支管等组成。

坝基设 1m 厚的富胶凝混凝土（二级配 C₉₀25W4F300）垫层进行平整，再进行胶凝砂砾石的施工。大坝内部采用胶凝砂砾石（C₉₀10W2F200）。坝内小孔洞及廊道采用常态混凝土（二级配 C₂₈25W4F200）。坝顶采用常态混凝土（二级配 C₂₈25W4F300）；表孔闸墩以及上部结构等部位采用常态混凝土（二级配 C₂₈25W4F300）；过流表面采用常态混凝土（二级配 C₂₈40W6F300）。

5.2 坝体防渗

坝体防渗结构的目的是减少渗漏量和降低坝体层面的扬压力。防渗结构应满足下述原则：首先防渗结构必须安全可靠，具有很好的耐久性；其次防渗结构的施工应尽量与坝体施工协调，干扰少；防渗结构应尽可能简单、经济且对环境没有污染。

根据防渗材料的不同，胶凝砂砾石防渗可分为：厚常态混凝土防渗结构、薄层常态混凝

土防渗结构、柔性材料防渗结构及碾压混凝土自身防渗结构。

常态混凝土和柔性材料均可满足要求，柔性材料中的薄膜结构上不透水，但其耐久性较差。常态混凝土的可靠性和耐久性均较好，施工质量好且养护合理，其渗漏量很小，单从防渗效果和耐久性角度选择，可考虑常态混凝土防渗结构。胶凝砂砾石因筑坝材料和施工方法的缘故，防渗效果比上述两种防渗材料差，但通过优化配比、采取辅助措施，其防渗效果也能达到设计要求。

富胶凝二级配碾压混凝土，其单位用水量一般为 $75\sim 100\text{kg}/\text{m}^3$ ，总胶凝材料可达到 $180\sim 220\text{kg}/\text{m}^3$ ，其中粉煤灰掺量一般不超过总胶凝材料的 55%。通过近年一些碾压混凝土坝工程的钻孔取芯试验来看，其渗透系数可达到 $1\times 10^{-9}\sim 1\times 10^{-10}\text{cm}/\text{s}$ 。

变态混凝土与常态混凝土相比，各方面性能并无多大差别，但较好地解决了与碾压混凝土之间的结合不良问题，而且可以确保两种混凝土同步上升，避免了由于不能及时变换混凝土品种使层面间隔时间过长，形成界面薄弱甚至冷缝面。近年的工程实践表明，变态混凝土可以提高碾压混凝土层面结合能力及其抗渗均匀性。上游面采用变态混凝土，结合层面采用插入式振捣可以消除薄弱面。

上游面防渗体采用富胶凝材料的二级配混凝土，并辅以变态混凝土，经工程实践证明有效，碾压混凝土各项指标均能达到设计要求，混凝土密实且层面结合良好，防渗标号满足工程实际需要。

综上所述，推荐二级配富胶凝碾压混凝土防渗方案。考虑到坝面处碾压困难，为保证大坝达到理想防渗效果，在上游坝面设高分子聚脲涂层(厚 2mm)+0.8m 厚的变态混凝土+1.2m 富胶凝碾压混凝土。

5.3 坝基处理

考虑到建筑物对河床坝基要求相对较高，河床部位将浅部卸荷岩体挖除，使基础坐落在弱风化岩体上部。两岸边坡坝段基础开挖至强风化中、下部。坝基开挖边坡按：微~新岩体 1:0.1~1:0.3；弱风化岩体 1:0.5~1:0.75；强风化岩体到上覆岩土 1:0.75~1:1.25。单级边坡高度不宜超过 15m。

为提高基岩的承载能力，加强坝体与基岩的整体性和均一性，减少坝基渗透，拟对整个坝基进行固结灌浆，灌浆深度进入基岩 7m 深，布孔范围超出基础轮廓 3~6m，间排距均为 3m。对于坝基开挖揭露有局部软岩夹层部位，需适当加密加长固结灌浆孔，对层间缝隙加强固结灌浆。

坝基覆盖层清除后，坝基渗漏通道主要是岩体结构面。根据地质渗透问题描述以及坝基透水层吕容值界限，结合坝基扬压力因素，根据规范拟在坝基范围内设置双排帷幕灌浆，帷幕深度为 5Lu 以下 5m，灌浆深度平均约 36m。

坝基岩体中存在着层间裂隙承压水，各含水层之间水力联系较差，无统一连续的承压水位。考虑渗透水影响以及规范中坝基的排水要求，结合胶凝砂砾石坝的设计特点，在坝基设一排主排水孔。主排水孔布于坝基灌浆与排水廊道内，帷幕灌浆孔下游 2m 处，孔深 15m，间距 3m。

对于开挖坡度较陡的建基面，为预防坝体混凝土侧向收缩出现张开缝隙，导致渗漏，高陡坡基础需分区分期进行接触灌浆。本工程坝基开挖斜面部分较陡，故需采取接触灌浆以保证坝体与基岩的结合完整性。

6. 结构计算

坝体抗滑稳定按《混凝土重力坝设计规范》SL319—2018的公式计算，根据试验资料，胶凝砂砾石容重取 $2.4t/m^3$ ，坝基抗剪强度 $f=0.67$ ，抗剪断强度 $f=0.95$ ， $C'=0.78MPa$ 。

挡水坝段坝体抗滑稳定计算结果见表 1。

表 1 挡水坝段坝体抗滑稳定计算结果

计算工况		抗剪断安全系数K	抗剪安全系数K	允许安全系数[K]
基本组合	正常情况	6.591	2.603	3.0/1.05
	设计情况	5.834	2.292	3.0/1.05
	冰冻情况	6.569	2.595	3.0/1.05
特殊组合	施工情况	1520	627	
	校核情况	5.676	2.227	2.5/1.0
	地震情况	3.484	1.563	2.3/1.0

采用材料力学法和刚体极限平衡法进行计算，计算结果表明坝体抗滑稳定满足规范要求。

表 2 挡水坝段坝体应力计算结果

计算工况	坝踵正应力 (MPa)	坝趾正应力 (MPa)	胶凝材料容许压应力 (MPa)
正常情况	0.429	0.504	2.5
设计情况	0.405	0.520	2.5
冰冻情况	0.427	0.505	2.5
施工情况	0.503	0.502	3.3
校核情况	0.398	0.525	2.86
地震情况	0.772	0.390	2.86

坝体胶凝砂砾石的极限强度参见其它工程取为 $10.0MPa$ 。根据规范，混凝土抗压安全系数基本组合为 4.0，特殊组合（不含地震工况）为 3.5，则混凝土容许压应力基本组合为 $2.5MPa$ ，特殊组合为 $2.86MPa$ 。同时参见地质专业提供参数，由表 2 可知，在各计算工况下，计算坝段坝趾和坝踵均不产生拉应力，压应力值均小于胶凝材料的容许压应力，满足规范要求。

7.结论

胶凝砂砾石坝采用“宜材适构，宜构适材”的筑坝理念，能够充分利用当地建坝材料，减少弃渣，环境友好。合理设置分区，充分发挥各材料性能；水泥用量少，温控措施简单，施工方便快捷。对中小型水利水电工程建设和众多的病险工程的除险加固具有重要的意义。

本文结合 MQ 水库设计情况，采用胶凝砂砾石坝，经济环保，减少弃渣量，环境友好。大坝稳定和应力成果表明，胶凝砂砾石设计合理，结构安全可靠，可为其他类似工程提供借鉴。有利于推动国内寒冷地区胶凝砂砾石筑坝技术发展，促进该技术推广。

参考文献：

[1] 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(5)：44—49.

[2] 贾金生，郑瑾莹，王月，等. 胶结颗粒料坝筑坝理论探讨与实践进展 [J]. 中国科学:技术科学，

2018, 48(10):1049—1056.

[3] 贾金生, 刘宁, 郑瑾莹, 等. 胶结颗粒料坝研究进展与工程应用 [J], 水利学报, 2016, 47(03):315—323.

[4] 冯炜. 胶凝砂砾石坝筑坝材料特性研究与工程应用 [D]. 北京:中国水利水电科学研究院, 2013.

[5] 中水北方勘测设计研究有限责任公司 西藏自治区水利电力规划勘测设计研究院. 贡觉县 MQ 水库工程可行性研究报告 [R]. 2019.

Application of cemented sand gravel dam in MQ reservoir

WANG Jianyong MAO Changgui

(Chinawater resources beifang investigation, Design and Research Co., LTD, Tianjin 300222, China)

Abstract: Cemented sand gravel dam is a new type of dam, which has the characteristics of economy, environmental friendliness and strong daptability. In this paper, combined with the actual design of MQ reservoir, the cemented gravel dam is recommended after economic analysis. This paper expounds the structural design and foundation treatment of the dam in the cold area, which has certain guiding significance for similar projects.

Key words: cemented sand gravel dam cold dam structure foundation treatment

作者简介: 王建勇 (1981-), 男, 高级工程师, 水工结构方向。

通讯地址: 天津市河西区洞庭路 60 号。

电 话: 022-28702455,13902191132。

电子邮箱: 630215492@qq.com