



胶凝砂砾石筑坝技术 在龙溪口枢纽超长库区防护中的应用

周永军¹, 陈明春², 郭 辉²

(1. 四川港航建设工程有限公司, 四川 成都 610023; 2. 四川岷江港航电开发有限责任公司, 四川 乐山 614000)

摘要: 胶凝砂砾石作为一种高水胶比、低胶凝材料用量的经济环保型筑坝材料, 其填筑施工工艺与混凝土碾压施工近似, 同时具有单次摊铺厚度更厚、施工效率更高的特点。以龙溪口航电枢纽工程五一坝防护库区为例, 对胶凝砂砾石筑坝技术在超长库区防护的应用进行研究, 通过分析其力学特性以及渗透性, 进一步阐明胶凝砂砾石筑坝技术在水库库区安全防护中的应用科学性。结果表明, 胶凝砂砾石筑坝技术在承受库区水压等外部力的作用下表现出优异的稳定性和抗压能力, 其结构紧密、材料均匀, 有助于减少水分渗透, 从而保护库区内部的稳定性和安全性。

关键词: 胶凝砂砾石; 库区防护; 水利工程; 五一坝防护工程

中图分类号: U614; TV61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)10-0115-04

Application of cementitious sand and gravel dam construction technology in protection of super-long reservoir area of Longxikou Junction

ZHOU Yongjun¹, CHEN Mingchun², GUO Hui²

(1. Sichuan Port and Channel Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu 610023, China;

2. Sichuan Minjiang Port & Shipping & Electricity Power Development Co., Ltd., Leshan 614000, China)

Abstract: As an economical and environmentally friendly dam construction material with high water-binder ratio and low cementitious material consumption, cementitious sand and gravel fill construction process is similar to that of concrete rolling construction. It has the characteristics of thicker single paving thickness and higher construction efficiency. This paper takes Wuyi Dam protection area of Longxikou Navigation-power Junction project as an example, studies the application of cementitious sand and gravel dam construction technology in the protection of super-long reservoir area, and analyzes two aspects of its mechanical properties and permeability to further expound the scientific application of cementitious sand and gravel dam construction technology in the safety protection of reservoir area. The results show that the cementitious sand and gravel dam construction technology has excellent stability and compressive resistance under the action of external forces such as water pressure in the reservoir area, and its tight structure and uniform material help to reduce the water penetration, thereby protecting the stability and safety of the reservoir interior.

Keywords: cementitious sand and gravel; reservoir protection; water conservancy engineering; Wuyi Dam protection project

近年来, 水利工程施工紧跟国家环境保护的方针政策, 同时考虑减少对工程建筑材料的需求, 减小弃渣处置, 减轻大坝对环境的影响已经成为坝型选择的一个重要因素。为了更好地利用现场

材料, 在碾压混凝土坝和面板堆石坝基础上的胶凝砂砾坝逐渐发展成为一种新型坝体。由于其对集料要求低, 可利用坝基开挖出的砂砾石, 从而节省工程造价, 其也成为近年来学者们研究的一

收稿日期: 2023-06-07

作者简介: 周永军 (1968—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水运工程、公路工程施工管理。

种新型坝体，具有广阔的应用前景^[1]。水库淹没、水库渗漏、库岸崩塌等造成了各种不良影响，应该进一步加强对水利工程的库区防护。为了更加科学地对水库工程进行有效管理，必须制定针对性的防护措施，夯实基础，提升资源利用率，从而在根本上增加库区泄洪能力^[2]。

崔忠^[3]在新疆 EH 输水工程首部拦河枢纽工程中提到，胶凝砂砾石换填方案把拦河枢纽基础全部拦截，不会发生渗透破坏，从工程安全运行的角度考虑采用胶凝砂砾石换填方案优于砂砾石换填方案；盛玉明等^[4]针对老挝南欧江梯级电站纵向围堰建造过程中遇到的问题，开展了胶凝砂砾石筑坝技术的适应性研究，该实践经验充分利用当地材料、降低工程造价、生态环境友好、施工方便快捷，有效应对工程筑坝材料限制和工期压力，科学经济地解决了工程难题。综上可以看出，胶凝砂砾石筑堤具有施工速度快、成本较低、安全可靠性高、堤顶可过水等优点。国外已建最大高度 107 m 的胶凝砂砾石坝，国内已相继在福建、云南、贵州等地建成多座围堰，经历了过水考验，同时水利部已将胶凝砂砾石筑堤坝技术列为中小型水利工程的推广应用项目。故在超长库区防护中采用胶凝砂砾石堤坝有着一定的前瞻性和科学合理性，也有着极高的研究意义。

1 工程概况

五一坝保护区堤防于岷江主河道沿线及下游端沐川河河口左岸布置，总长度 6 220.75 m，主要包括中坝、龙君坝和大木溪。该区域分布有五一村全部 15 个村民小组和同益村的 6、7 组，分

布人口 5 400 余人，耕地约 33.33 万 m²，小学 1 所。区域内耕地地面高程为 311~315 m，人口居住地面高程为 315.5~317.7 m。库区防护后五一坝保护区 20 a 一遇回水高程为 317.16~320.14 m。

1.1 流域概况

岷江干流全长 735 km，流域面积 13.58 万 km²，平均比降 4.84‰。龙溪口航电枢纽工程位于四川省乐山市犍为县，坝址以上集水面积为 13.20 万 km²。

1.2 气象条件

根据犍为气象站实测资料，该地多年平均气温为 17.5 ℃，极端最高气温 38.2 ℃，极端最低气温-2.6 ℃；多年平均年降雨量 1 185.7 mm，其中 6—9 月的降雨量占全年雨量的 68.4%；多年平均风速 1.5 m/s，历年最大风速 19 m/s，相应风向 N。

1.3 地质概况

五一坝分布于岷江干流库区下游右岸，距闸址区 2.4~9.5 km，其下游端为沐川河口。坐落于 I 级阶地之上，其平面呈半月形，南、西侧靠山，北、东侧临岷江，顺河长约 6.6 km，一般宽 1.3~2.2 km。区内地势平坦、宽阔，临河一带河漫滩高程为 303~306 m，地面高程一般为 308~317 m，河水面高程为 302~306 m。

由地质测绘调查和钻孔勘察可知，该 I 级阶地是由第四系河流冲积层 (Q^{al}) 堆积构成，该冲积层 (Q^{al}) 具有二元结构特征。在防洪堤沿线冲积层 (Q^{al}) 厚度一般为 13.50~22.60 m，最厚 23.70 m。其上部为粉土 (Q₂^{al}) 层，厚 1.75~8.86 m；下部为砂卵砾石 (Q₁^{al}) 层，厚 11.50~15.50 m。各岩土层物理力学参数建议值见表 1。

表 1 表 1 岩土层物理力学参数建议值

土类	密度/(g·cm ⁻³)		孔隙比	渗透系数/(cm·s ⁻¹)		压缩模量/ MPa	内摩擦角/(°)		黏聚力/ kPa	允许承载力/ MPa
	天然	饱和		天然	击实后		天然	饱和		
残、坡积黏土夹碎石 (Q ^{el+dl})	1.91	1.95	0.6	0.085	-	14	19	16	5	0.20
砂卵砾石 (Q ₁ ^{al})	2.00	2.10	0.5	8.000	-	45	36	34	0	0.42
粉土 (Q ₂ ^{al})	1.72	2.02	0.6	0.300	0.020	8	16	13	10	0.14

2 胶凝砂砾石特性

2.1 力学特性

1) 最优含砂率存在于工程常用配合比范围内, 最优含砂率值为 20%左右, 此时胶凝砂砾石材料的 28 d 立方体试件的抗压强度最高。

2) 抗压强度与水泥用量成正比, 水泥用量每增加 10 kg/m^3 , 28 d 立方体试件的抗压强度可提高 15%~20%。

3) 最优水胶比存在于各种配合比下, 工程常见含砂率 10%~40% 对应最优水胶比为 1.0~1.4, 含砂率高时对应的最优水胶比取上限, 反之取下限。

4) 28 d 立方体试件的抗压强度随粉煤灰掺量的增加而提高, 粉煤灰掺量每增加 10 kg/m^3 , 28 d 立方体抗压强度提高 1%~10%, 强度提升效果不如水泥明显。粉煤灰掺量为胶凝材料总量(水泥+粉煤灰)的 50%时, 为最优掺量。

5) 胶凝砂砾石材料 90 d 抗压强度为 28 d 抗压强度的 11%~140%。在水泥和粉煤灰作用下, 胶凝砂砾石材料 180 d 抗压强度为 90 d 抗压强度的 115%左右。立方体试件 90、28 d 强度增长率随

着水胶比的增大而增大。

6) 边长 300 mm 立方体试件抗压强度为边长 150 mm 立方体试件的 87.5%, 边长 450 mm 立方体试件抗压强度为边长 150 mm 立方体试件的 71.5%^[5]。

2.2 渗透性

渗透系数对单因素的敏感程度由大到小依次为粉煤灰掺量、砂率、水胶比。渗透系数随着粉煤灰掺量的增加而降低, 粉煤灰掺量越高其降幅越高; 随着砂率和水胶比的增加, 渗透系数均呈现出先增大后减小的趋势, 最优砂率为 0.2, 最优水胶比为 1.0^[6]。

3 胶凝砂砾石筑坝工艺在超长库区防护中的应用

五一坝防护堤平面布置见图 1。可以看出, 库区防护工程施工距离长, 在水库防护堤布设选择上应尽量选取土质均匀且坚实的地基, 避免将防护堤布设于可能受河流冲刷的区域。防护堤布设线路应与水流方向相同, 防止迎面水流冲顶, 并确保河道具有合理的过洪断面。典型堤身断面见图 2。

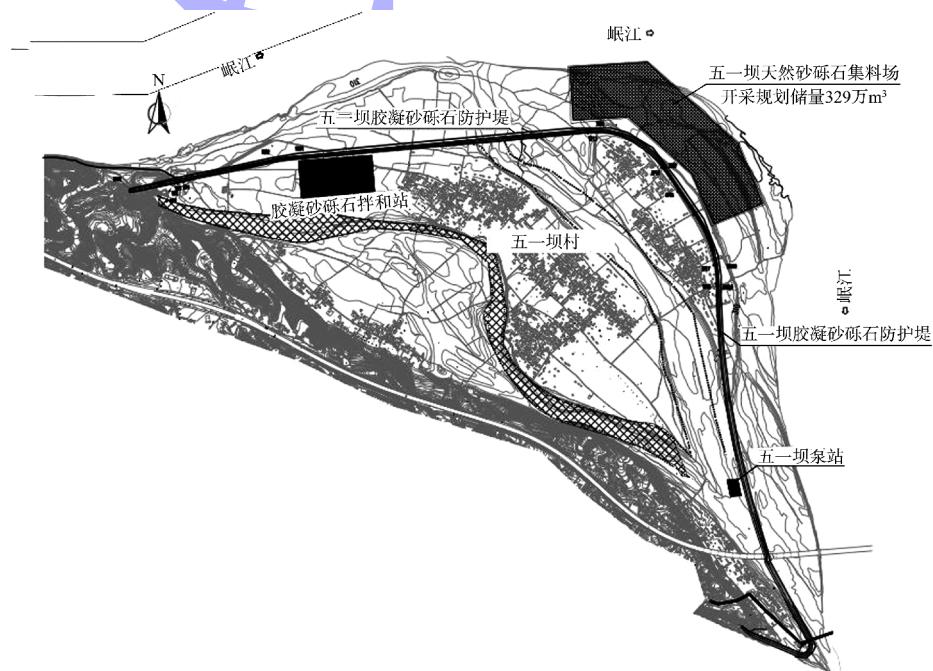


图 1 五一坝防护堤平面布置

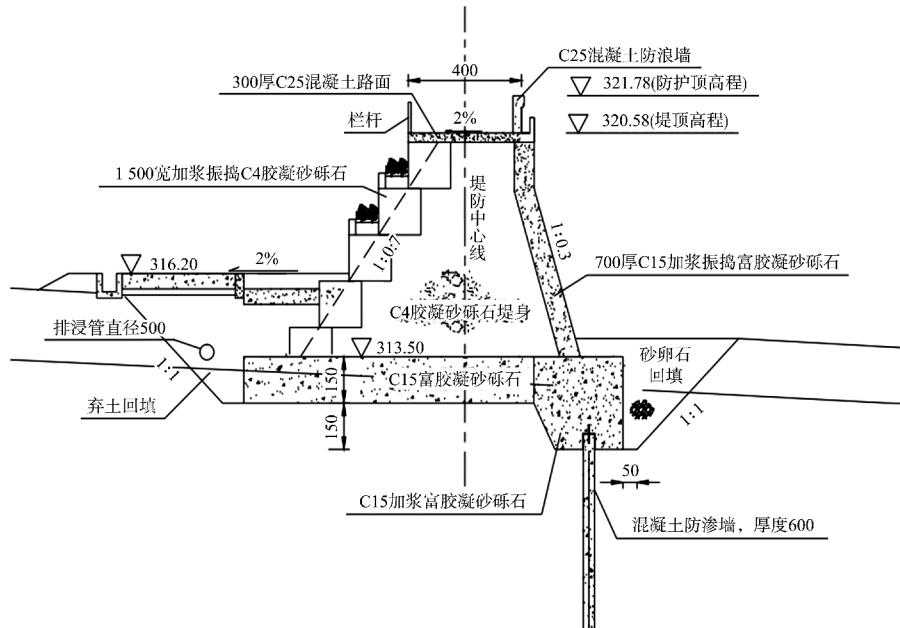


图 2 典型堤身断面 (高程: m; 尺寸: mm)

防护堤与河道及城区的距离应合理, 为布设相应的排水设施及管控提供便捷。此外, 为减少施工量, 应确保防护堤线路顺直, 缩短防护堤长度^[7]。在此基础上胶凝砂砾石筑坝技术有以下 3 点优势。

1) 传统混凝土防护堤有着体积大、施工强度大等特点, 而这些对于长距离施工来说并不适用。采用胶凝砂砾石筑坝可做到就地取材, 并具有断面较小、施工方便的特点, 可以更好地在长距离防护工程施工中应用。

2) 长距离施工要求防护堤工程背水面应有较强的抗冲刷能力, 而采用胶凝砂砾石筑坝技术可以保证背水面抗冲刷能力强、超标洪水翻堤后不易溃堤, 一定程度上增强了堤坝的安全系数。

3) 在市政绿化方面, 由于胶凝砂砾石堤型安全系数较高且占地较小, 通过背坡台阶覆土可以更好地满足市政绿化带要求。

4 结论

1) 胶凝砂砾石有着良好的力学特性, 在特定条件下具有良好的抗压性能, 能够使其作为长距离库区防护工程的筑坝材料, 避免了大片耕地淹没。

2) 在选择合适水胶比以及砂率的条件下, 可

获得最高的渗透系数, 从而提供整体堤坝安全性。将新型材料筑坝技术与特殊堤坝形态施工相结合, 使其具有断面较小、施工方便、背水面抗冲刷能力强、超标洪水翻堤后不易溃堤的优势。

3) 胶凝砂砾石筑坝技术具有在特殊堤坝中应用的优越性, 使其在后续的水利工程中有着更广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 郑雪, 卢民, 杨璐瑶, 等. 某水库胶凝砂砾石坝筑坝技术分析[J]. 珠江水运, 2022(1): 105-107.
- [2] 段旺彪. 水利水电工程中水库库区防护方案设计[J]. 中阿科技论坛(中英文), 2021(4): 89-91.
- [3] 崔忠. 胶凝砂砾石在拦河引水枢纽工程基础处理中的应用[J]. 珠江水运, 2022(1): 41-43.
- [4] 盛玉明, 罗明清. 老挝南欧江梯级电站胶凝砂砾石(CSGR)纵向围堰关键技术研究及应用[J]. 企业管理, 2021(S2): 34-35.
- [5] 孙明权, 杨世锋, 田青青. 胶凝砂砾石材料力学特性、耐久性及坝型综述[J]. 人民黄河, 2016, 38(7): 83-85, 99.
- [6] 韩立炜, 信行. 胶凝砂砾石渗透性能影响因素分析[J]. 水电能源科学, 2022, 40(11): 150-153.
- [7] 段旺彪. 水利水电工程中水库库区防护方案设计[J]. 中阿科技论坛(中英文), 2021(4): 89-91.

(本文编辑 王璁)