

胶结坝新坝型筑坝技术研究进展

左宁¹,李振东²

(1.南水北调中线信息科技有限公司,山西省,037000;2.南水北调中线信息科技有限公司,河南省平顶山市,467000)

摘要:本文介绍了胶结坝新坝型的含义,重点阐述了胶结坝在我国的应用及施工工艺,并对胶结坝的研究方向进行了展望。胶结颗粒料坝是我国提出的一种新坝型,是介于土石坝和混凝土重力坝的一种新坝型。例如胶凝砂砾石坝、胶结堆石坝以及胶结土坝等。胶结颗粒料新坝型不仅解决了土石坝易发生漫顶决堤的风险,而且成本低,其安全度也不低于同等坝高的其他坝型。胶结坝新坝型应用“宜材适构”的设计理念,大大提高了大坝的稳定性和经济性,需进一步提高大坝的施工技术,使得胶结颗粒料坝得到广泛使用。

关键词:胶结颗粒料坝、施工工艺、施工技术

中图分类号: TV 64

文献标识: A

1. 概述

我国水库大坝的建设随着科学技术的进步也在经历着一个不断提升的历程。1949年之前,我国水库大坝稀少,洪涝灾害较多;1949年-1978年,人民群众开始大兴水利工程,进入建坝高潮,这段时期建成的水库大坝多为土石坝;1978年-2000年,随着人们对国外先进筑坝技术的汲取和创新,我国的建坝水平不断提高;2000年之后,我国水库大坝在设计、建设和理论等方面已达到世界领先水平。我国水库大坝的模式主要以土石坝和混凝土重力坝为主,其中,土石坝占95%,混凝土重力坝占5%,这也是国际筑坝通用的技术模式^[1]。通过实践经验观察到,土石坝和混凝土重力坝在使用中均有明显的缺点,土石坝存在漫顶溃决的风险,混凝土重力坝虽然解决了这一问题,但是混凝土坝造价高,对基础的要求较高,造成施工成本高、难度大等问题。介于当前水库大坝建坝技术存在的这些问题,基于国内外实践经验,中国大坝工程学会副理事长兼秘书长贾金生在国际上最早提出了胶结颗粒料坝的概念。

胶结颗粒料坝是介于土石坝和混凝土重力坝之间的一种新坝型,它是利用水泥、砂浆、混凝土等胶结材料将砂砾石、堆石、块石等颗粒材料胶结筑坝,例如胶凝砂砾石坝、胶结堆石坝、胶结土坝等。

作者简介:左宁(1993-),女,山西省大同市,硕士,主要从事调水工作, E-mail:674863676@qq.com。

胶结颗粒料坝这种新坝型不仅解决了土石坝易发生漫顶溃决的风险，而且造价低，其安全度也不低于同等坝高的其他坝型，胶结颗粒料坝具有安全、经济、环境友好等优点。胶结颗粒料筑坝技术主要包括堆石混凝土和胶凝砂砾石两种材料的筑坝技术，是我国自主研发的新材料、新技术，充分体现了工程安全、经济合理、施工便捷、生态环保等特点。

2. 工程应用

为改善混凝土重力坝成本高、水热化高、施工期温控复杂等缺陷，法国等国家研制了硬填料坝^[2]，日本发展了胶凝砂砾坝^[3]，1975-1982年，巴基斯坦在塔伯拉泄洪洞的修复工程中，使用大量的凝胶颗粒料，该修复工程使用未经筛洗的砂砾石料加入少量水泥拌和，经过振捣碾压，修复被摧毁的部位，在42天内共填筑 $35 \times 10^4 \text{m}^3$ ，平均日浇筑强度为 $8371 \text{m}^3/\text{d}$ ，最大日填筑强度达 $18438 \text{m}^3/\text{d}$ ，显示出凝胶颗粒在抢险修复过程中可以快速施工的巨大潜力^[4]。胶结坝新坝型也已经广泛应用到我国的水利工程建设当中，我国发展了凝胶砂砾石坝和堆石混凝土坝^[5]。2004年，我国建成第一座胶凝砂砾石围堰，堰高 16.3m ^[6]，相继又建成了福建洪口水电站上游过水围堰，云南功果桥水电站上游围堰，贵州沙沱水电站下游围堰，四川飞仙关水电站一期纵向围堰等。山西守口堡水库胶凝砂砾石坝是我国第一座开工建设的胶结颗粒料坝，守口堡水库位于山西省阳高县，水库的总容积为980万立方米，属于小型水库。在初步设计阶段，守口堡水库选用的是碾压混凝土重力坝，最大坝高为 61.6m ，该水库坝址附近的砂砾料储量较为丰富，并且施工条件良好，有利于施工布置和大型机械作业，其坝基覆盖层厚度较小，不会出现深层滑动和浅层滑动的现象，具备胶凝砂砾石筑坝的条件。经过技术论证，从技术的可行性、结构的安全性以及工程的经济性，都存在着很大的优势，而且实践证明，胶凝砂砾石坝还可以节省13%的投资，经济效益较为显著^[7]。四川顺江堰水利枢纽胶结颗粒料坝是我国第一座建成的胶结颗粒料坝，于2016年4月28日蓄水，已运行两年半。顺江堰水利枢纽工程位于四川省都江堰灌区新津县，主要包括溢流坝、泄洪闸、进水闸、上下游护堤组成，溢流坝坝芯采用C10胶结砂砾石，方量为27130立方米，基础面层和上游面层采用C20富浆胶结砂砾石，方量为12212立方米^[8]。四川岷江航电犍为枢纽塘坝乡防洪堤，14.1米高，

堤长总计 80 多 km，由于在类似的工程中使用钢筋混凝土面板堆石坝挡水，发生过洪水漫顶溃堤，维修加固困难且费用昂贵，因此在新的工程中需要使用漫顶不溃且经济适用的胶凝砂砾石坝方案，作为堤底地基，分布着 8.3-10.5m 厚的砂砾石，防护堤挡水水头小，并且当地砂砾石储量丰富，具备采用凝胶砂砾石的筑堤的条件，与土石堤相比，胶凝砂砾石作为胶结体可允许堤顶过水，整体抵抗漫顶破坏的安全性显著提高。

3. 施工工艺

3.1 施工方法

胶结颗粒料坝采用了“宜材适构”和“功能分区”的设计理念，大大提高了大坝的稳定性。金峰、安雪晖等提出了一种新型的大坝施工方式，就是利用自密实混凝土流动的特性，使得自密实混凝土充满于堆石内，形成完整的混凝土，通过该种施工方式，可以得到高强耐久、密实性良好的堆石混凝土，而且施工工期短、成本低^[9]。纪杰杰、李洪涛等针对常规胶结砂砾石耐久性不足的问题，基于“宜材适构”的筑坝的理念，提出在胶结砂砾石增加胶结材料用量，形成富浆胶结砂砾石作为坝体的防渗保护结构，结合国内首座胶结砂砾石永久性工程—四川省顺江堰引水枢纽工程实际，研究得出一套适用于胶结砂砾石坝防渗保护结构的施工工艺和质量控制方法^[10]。周平、陈新等基于碾压式混凝土坝施工技术，在顺江堰胶结砂砾石坝工程实践中，经研究，总结得出以下 3 点胶结砂砾石坝施工的技术要点：（1）备料过程中，定期检测砂砾石的级配及含水率并作出调整；（2）采用小型连续式搅拌设备拌制，既能减少骨料离散性对胶结砂砾石质量的影响，又能降低成本；（3）运输入仓过程中，要严格控制运输时间和减少骨料离析^[11]。贾金生、刘宁等分别以最粗级配、最细级配和平均级配的砂砾石作为实验对象，选取不同用水量进行凝胶砂砾石强度试验，得出最大骨料粒径分别为 150mm、100mm、60mm 试件的抗压强度是最大骨料粒径为 40mm 试件抗压强度的 88%、90%和 95%。并且基于超宽带定位和物联网信息技术，研发了凝胶砂砾石施工质量监控系统，通过智能化数据采集、动态分析和实时预警，对原材料配合比、拌合物质量和胶凝砂砾石的碾压施工等施工过程进行实时监控和预警，是胶凝砂砾石坝建设不可或缺的技术组成部分^[12]。

3.2 结构设计

金峰、安雪峰等根据堆石混凝土的强度高、水泥用量少、绝热温升低等特性，提出了堆石混凝土拱坝或重力坝、堆石混凝土心墙堆石坝、堆石混凝土堆石混合坝这几种新型堆石混凝土大坝结构型式^[9]。为了避免出现拉应力并且使得应力均匀分布，贾金生、刘宁等提出胶结颗粒料坝采用梯形断面的结构，梯形断面的面积介于混凝土重力坝和面板堆石坝之间，既具备这两者的优点，又有独特之处，扩大了适应性。与混凝土重力坝相比，坝体断面较大，应力分布均匀且应力水平较低，对基础和材料强度要求降低，可充分利用砂、砾、石基岩开发料、髯公破碎料等筑坝，骨料选择范围宽，可做到少弃料，降低造价，而且有利于环境保护，水泥用量少，绝热温升低，可简化或者不进行温度控制，使施工更加快速、简便。与堆石坝比，断面显著减小，筑坝材料中加入胶凝材料，经碾压后形成胶结体，因此坝体具有一定的抗冲蚀能力，提高了运行时抵抗洪水漫顶破坏的安全度，且泄水建筑物可以直接布置在坝体上^[10]。

4. 结论

胶结颗粒料坝是我国提出的新坝型，具有安全、经济、环境友好的优点，弥补了传统土石坝和混凝土坝的不足之处，采用了新型的设计理念，以后会更加广泛的应用到各种坝型的建设当中。胶结颗粒料坝的施工技术倡导通过结构设计的改进以尽可能地适应当地材料性能，因此，在胶结颗粒料坝施工过程中，其结构设计、稳定性设计、过程控制显得尤为重要。需大力开展胶结坝筑坝技术施工技术的研究，以使得胶结坝筑坝技术成熟化、规范化。主要从以下几方面展开研究：一、对地基的施工，胶结颗粒料坝具有一定的刚性，对地基变形的适应能力较差，因此，地基施工在考虑经济的同时，也需要具有一定的刚度；二、渗透性研究，提高坝体的抗渗性能，会降低滑坡的几率；三、结构设计，适当增加胶结坝的断面面积，使得应力分布均匀，也降低了对基础和材料的强度要求，断面面积增加也会造成填筑工程量增加，受到气候的影响也相应增加，需适当选择筑坝面积；四、沉降，胶结颗粒料坝相比土石坝减小了沉陷值，但是会出现不均匀沉降的现象，做好土料压实，减弱不均匀沉降现象。

胶结颗粒料坝虽已得到应用，但其施工工艺还需深入研究，降低施工难度、对基础及材料的要求，提高使用性能，以使得胶结颗粒料坝得到普遍推广。

参考文献：

- [1] 王海蕴. 胶结坝是适合当前国情的创新选择专访中国大坝工程学会副理事长兼秘书长、国际大坝委员会荣誉主席贾金生[J]. 财经界, 2018, 000(034):30-31.
- [2] Batmaz S. Cindere dam - 107m high Roller Compacted Hardfill Dam (RCHD) in Turkey[A], proceedings of the 4th International symposium on RCC Dams[C], Spain, 2003, 121-126.
- [3] Takashi YOKOTSUKA Application of CSG Method to construction of gravity Dam[A], proceedings of the 20th ICOLD[C], China, Beijing, 2000, 989-1007.
- [4] 刘学章, 李宪. 凝胶砂砾石坝特点及国外已建工程[J]. 广西水利水电, 2011(3): 75-79.
- [5] 贾金生, 马锋玲, 李新宇, et al. 胶凝砂砾石坝材料特性研究及工程应用[J]. 水利学报, 2006, 037(005):578-582.
- [6] 翟杰, 胶结人工砂石坝研究及应用[D], 2013.
- [7] 贾金生, 刘宁, 郑瑾莹, et al. 胶结颗粒料坝研究进展与工程应用[J]. 水利学报, 2016, v.47;No.474(03):69-77.
- [8] 纪杰杰, 李洪涛, 高尚, et al. 富浆胶结砂砾石防渗保护结构施工工艺及质量控制方法[J]. 中国农村水利水电, 433(11):160-164+169.
- [9] 金峰, 安雪晖, 石建军, et al. 堆石混凝土及堆石混凝土大坝[J]. 水利学报, 2005, 36(11):1347-1352.
- [10] 纪杰杰, 李洪涛, 高尚, et al. 富浆胶结砂砾石防渗保护结构施工工艺及质量控制方法[J]. 中国农村水利水电, 433(11):160-164+169.
- [11] 周平, 陈新, 周武松, et al. 基于顺江堰工程的胶结砂砾石坝施工工艺[J]. 中国水运, 2019, 19(3): 154-155.
- [12] 贾金生, 刘宁, 郑瑾莹, et al. 胶结颗粒料坝研究进展与工程应用[J]. 水利学报, 2016, v.47;No.474(03):69-77.

Research progress of new dam construction technology for cemented dam

ZUO Ning¹, LI Zhen dong²

(1.Information technology company of middle route of South to North Water Transfer,Shanxi,037000, China;
2.Information technology company of middle route of South to North Water Transfer,Henan,467000, China)

Abstract:This paper introduces the meaning of the new dam type of cemented dam, focuses on the engineering application and construction technology of cemented dam in China, and prospects the research direction of cemented dam.Cemented granular material dam is a new dam type proposed by China, and it is a new type between earth-rock dam and concrete gravity dam.For example, cemented gravel dam, cemented rockfill dam and cemented earth dam.The new dam type of cemented granules not only solves the risk of earth-rock dams being prone to flooding and breaking dams, but also has low cost and its safety is not lower than other dam types of the same dam height.The new dam type of cemented dam adopts the design concept of "suitable materials and suitable structure", which greatly improves the stability and economy of the dam, further improves the construction technology of the dam, and makes the cemented granular material dam widely used.

Key words:Cement particle dam; Construction process;Construction Technology

第一作者简介：姓名：左宁，通讯地址：北京市海淀区玉渊潭南路1号D座，电话：18519086862，E_mail：674863676@qq.com。

