

堆石混凝土技术

Rock-Filled Concrete Technology

金 峰 安雪晖 周 虎 著



中国建筑工程出版社

堆石混凝土技术

金 峰 安雪晖 周 虎 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

堆石混凝土技术/金峰等著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015.11

ISBN 978-7-112-18545-0

I. ①堆… II. ①金… III. ①混凝土坝 IV. ①TV642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 240513 号

堆石混凝土是我国自主知识产权的新型混凝土技术, 具有水化热低、工艺简便、施工快速、节省成本等特点, 得到了国家发改委和水利、水电、铁路、交通、港口等行业认证与推广, 近年来在我国水利、水电行业得到了一定的推广和应用。为全面推动水电行业堆石混凝土技术的发展和运用, 为堆石混凝土工程建设提供理论依据和实践经验, 本书结合实际工程对堆石混凝土的综合性能、仿真分析、结构设计、施工工艺、控制标准和检验方法等开展了试验研究、数值模拟、现场试验, 并依托沙坪二级水电站主体工程堆石混凝土施工开展了工程实践, 取得了良好的效果。

责任编辑: 辛海丽

责任设计: 张 虹

责任校对: 张 颖 关 健

堆石混凝土技术

金 峰 安雪晖 周 虎 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京盈盛恒通印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 11 字数: 268 千字

2017 年 1 月第一版 2017 年 1 月第一次印刷

定价: 36.00 元

ISBN 978-7-112-18545-0

(27777)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

堆石混凝土技术自 2005 年首次在北京军区某部蓄水池工程中成功应用以来，至 2016 年已在全国的二十多个省份的近 100 个工程建设中成功应用，在节省施工成本、加快建设速度、简化施工工艺、保证施工质量等方面发挥了积极有效的作用。

堆石混凝土坝的出现与推广应用，进一步完善了坝工技术体系，2016 年 7 月国际大坝委员会专门编写期刊《Rock-Filled Concrete Dam》来系统介绍堆石混凝土技术，新型筑坝技术的发展正在进入一个崭新的阶段。堆石混凝土技术也成为出现在筑坝技术发展历史中的首个中国创造，相信不久的未来，堆石混凝土技术将走出国门，走向世界，作为坝工技术的一个重要分支，在全球越来越多的工程建设中得到应用。

最后，堆石混凝土技术能由室内研究成果转化为一种新的行业通用施工技术，要十分感谢行业朋友的大力支持！

目 录

1	概述	1
1.1	堆石混凝土技术简介	1
1.2	堆石混凝土技术发展情况	4
1.3	堆石混凝土工程应用情况	5
1.3.1	堆石混凝土地域分布情况	5
1.3.2	堆石混凝土行业应用情况	5
1.3.3	堆石混凝土工程部位应用情况	6
1.4	堆石混凝土典型工程	9
1.4.1	堆石混凝土重力坝——山西围滩水电站	9
1.4.2	堆石混凝土拱坝——山东蒙山水库	9
1.4.3	堆石混凝土拱坝加固——恒山水库	10
1.4.4	堆石混凝土固废循环利用——广东中山长坑三级水库	11
1.4.5	堆石混凝土防洪堤——福建洋庄防洪堤	11
1.4.6	抛石型堆石混凝土——向家坝电站沉井回填	12
2	堆石混凝土综合性能试验研究	14
2.1	研究内容	14
2.2	原材料	14
2.3	自密实混凝土配合比	15
2.4	力学性能试验	16
2.4.1	立方体抗压强度试验	16
2.4.2	抗拉力学性能试验	19
2.4.3	弹性模量试验	22
2.4.4	冷缝直剪试验	24
2.5	变形试验	28
2.5.1	干缩变形试验	28
2.5.2	自体积变形试验	30
2.6	耐久性试验	31
2.6.1	抗渗性能试验	31
2.6.2	堆石混凝土抗冻性能试验	35
2.7	堆石混凝土热学性能试验	41
2.7.1	线膨胀系数	41
2.7.2	绝热温升	42
2.8	本章小结	48

2.8.1	堆石混凝土大尺寸试验体系的建立	48
2.8.2	堆石混凝土力学性能试验结论	49
2.8.3	堆石混凝土变形性能试验结论	49
2.8.4	堆石混凝土耐久性能试验结论	49
2.8.5	堆石混凝土热学性能试验结论	50
3	堆石混凝土细观力学性能与本构研究	51
3.1	混凝土多相细观力学损伤断裂模型	51
3.1.1	数值模型的基本思路	51
3.1.2	细观单元的损伤本构关系	51
3.2	随机场相关因子对材料性能的影响——Weibull 分布模型的改进	53
3.2.1	随机场相关尺度的引入	54
3.2.2	相关尺度的数值实现	55
3.3	堆石混凝土三相介质力学性能的试验研究	56
3.3.1	试件的制备	56
3.3.2	试验装置与试验步骤	57
3.3.3	试验结果	58
3.4	用多相细观力学模型研究堆石混凝土性能	59
3.4.1	基本条件	59
3.4.2	多相材料的离散	60
3.5	堆石混凝土四点弯梁试验与数值验证	60
3.5.1	四点弯梁试件的制备及试验方法	60
3.5.2	试验结果与数值仿真的比较	62
3.6	本章小结	64
4	堆石混凝土三维有限元温度应力仿真分析	67
4.1	堆石混凝土温度应力仿真分析的基本理论	67
4.1.1	热传导基本方程及边界条件	67
4.1.2	求解温度场问题的泛函描述	68
4.1.3	不稳定温度场的有限单元法求解	69
4.1.4	混凝土绝热温升	71
4.1.5	混凝土的弹性模量	72
4.1.6	混凝土的徐变及应力场求解	72
4.2	沙坪二级水电站温度应力仿真分析成果	75
4.2.1	堆石混凝土与常规混凝土温度应力对比分析	75
4.2.2	基本工况计算成果与分析	75
4.2.3	浇筑温度提高为 28℃、30℃、32℃的影响	78
4.2.4	取消坝段分缝的影响	78
4.2.5	仿真分析主要结论	83
4.3	松林水库温度应力仿真分析成果	85
4.3.1	温度应力成果分析	85

4.3.2	仿真分析主要结论	86
4.4	本章小结	88
5	堆石混凝土结构设计	90
5.1	堆石混凝土大坝设计概述	90
5.1.1	堆石混凝土重力坝	90
5.1.2	堆石混凝土拱坝	90
5.2	堆石混凝土坝体分缝和止水	91
5.2.1	横缝的设置	91
5.2.2	纵缝和水平施工缝	92
5.2.3	坝体止水	92
5.3	堆石混凝土坝体防渗	92
5.3.1	坝体防渗设计	92
5.3.2	自密实混凝土防渗层一体化浇筑技术	93
5.4	堆石混凝土坝体温度控制与防裂措施	95
5.5	堆石混凝土坝其他细部构造	96
5.5.1	堆石混凝土建基面	96
5.5.2	堆石混凝土坝体内排水	97
5.5.3	堆石混凝土坝体内钢筋混凝土	97
5.6	堆石混凝土大坝设计工程案例	97
5.6.1	堆石混凝土重力坝案例	97
5.6.2	堆石混凝土拱坝案例	101
5.7	本章小结	104
6	堆石混凝土现场试验	105
6.1	现场试验段布置	105
6.2	现场试验浇筑方案	105
6.2.1	仓面清理	105
6.2.2	模板支立	105
6.2.3	堆石入仓	105
6.2.4	自密实混凝土浇筑	106
6.3	堆石混凝土现场试验	106
6.3.1	自密实混凝土配合比	106
6.3.2	现场实际生产配合比	107
6.3.3	堆石混凝土施工过程	107
6.4	堆石混凝土性能检测	111
6.4.1	自密实混凝土性能检测	111
6.4.2	堆石混凝土浇筑质量检测	112
6.4.3	堆石混凝土抗渗性能检测	112
6.4.4	堆石混凝土实测温升检测	112
6.4.5	堆石混凝土力学性能检测	113

6.5	本章小结	113
7	堆石混凝土施工工艺	114
7.1	施工流程简介	114
7.2	仓面处理	115
7.3	模板支立	115
7.3.1	组合钢模板	115
7.3.2	浆砌石模板	116
7.3.3	悬臂模板	116
7.3.4	预制件模板	117
7.3.5	模板质量控制措施	117
7.4	堆石选取	120
7.4.1	堆石料储备	120
7.4.2	堆石筛选	120
7.5	堆石冲洗	121
7.5.1	筛分冲洗同步	121
7.5.2	中途冲洗	121
7.6	堆石入仓	123
7.6.1	自卸车通过上坝公路直接入仓	123
7.6.2	塔机+吊斗入仓	124
7.6.3	吊车+吊斗入仓	124
7.6.4	挖掘机辅助卸料和平仓	125
7.7	堆石施工质量控制措施	126
7.8	自密实混凝土施工	127
7.8.1	自密实混凝土的生产和运输	127
7.8.2	自密实混凝土浇筑方法及原则	128
7.8.3	自密实混凝土浇筑工具及方式	129
7.9	养护	130
8	堆石混凝土质量控制体系研究	131
8.1	堆石质量控制	131
8.2	自密实混凝土质量控制	131
8.2.1	自密实混凝土“理论—实际—生产”配合比体系的建立	131
8.2.2	自密实混凝土的试拌复核方法	132
8.2.3	自密实混凝土实际配合比调整方法	134
8.2.4	自密实混凝土的生产控制	135
8.2.5	自密实混凝土性能检测与生产资料的要求	136
8.3	堆石混凝土工程质量检测方法	137
8.3.1	堆石混凝土工程质量检测方法概述	137
8.3.2	孔内电视检测堆石混凝土浇筑密实度	138
8.3.3	超声波检测堆石混凝土浇筑密实度	138

8.3.4	堆石混凝土芯样抗压强度检测方法	138
8.3.5	钻孔压水检测堆石混凝土抗渗性能	138
8.4	本章小结	139
9	堆石混凝土在沙坪二级工程的应用	140
9.1	堆石混凝土应用概况	140
9.2	堆石混凝土施工工艺流程	140
9.2.1	仓面处理	141
9.2.2	模板支立	141
9.2.3	堆石的选取和入仓	142
9.2.4	自密实混凝土施工	146
9.2.5	自密实混凝土养护	148
9.3	堆石混凝土施工管理	149
9.4	堆石混凝土工效统计	153
9.4.1	堆石混凝土施工现状	153
9.4.2	堆石混凝土施工效率分析与改进意见	153
9.5	堆石混凝土综合成本测算	154
9.6	堆石混凝土综合性能检测	154
9.6.1	密实度检测	154
9.6.2	自密实混凝土抗压强度检测	155
9.7	水下自密实混凝土和堆石混凝土工程应用	156
9.7.1	水下自密实混凝土及堆石混凝土应用概况	156
9.7.2	水下自密实混凝土及堆石混凝土施工流程	156
9.7.3	水下自密实混凝土及堆石混凝土成本测算	159
9.7.4	水下自密实混凝土及堆石混凝土质量检测与评价	160
9.8	本章小结	161
10	总结与展望	162
10.1	主要成果	162
10.2	展望	164
	参考文献	166

1 概述

1.1 堆石混凝土技术简介

大体积混凝土，特别是大坝混凝土，为了降低混凝土的水化热和成本，都希望降低水泥用量。一般而言，可以采用减少用水量或采用大粒径骨料以增加骨料用量的方法。前者，如碾压混凝土，即是采用干硬混凝土的方法，但需要大功率的碾压机械，依靠强大的机械力量使混凝土密实。在常态混凝土中，如大坝混凝土往往采用四级配骨料，骨料最大粒径可达到 150mm，但受到拌合与振捣能力的限制，难以使用更大的骨料。混凝土砌石、毛石混凝土、埋石混凝土等方式也较为普遍地用于筑坝，但是，这些筑坝方式需要较多的技术工人，施工质量主要受工人技术水平和责任心的控制，在目前的技术和管理水平下，实际工程中往往难以保证质量，再加上近年来人工费用的不断上涨，混凝土砌石、毛石混凝土、埋石混凝土等筑坝技术正面临越来越大的困难。

堆石混凝土（Rock-Filled Concrete，简称 RFC）技术具有低水化热、工艺简便、造价低廉、施工速度快等特点。堆石混凝土是指先将满足一定粒径要求的块石（或卵石）自然堆满仓面，然后在堆石体表面浇筑满足特殊要求的自密实混凝土（Self-Compacting Concrete，简称 SCC），无需振捣仅依靠其自重充填堆石体的空隙，所形成完整密实的混凝土，其构成如图 1.1-1 所示。

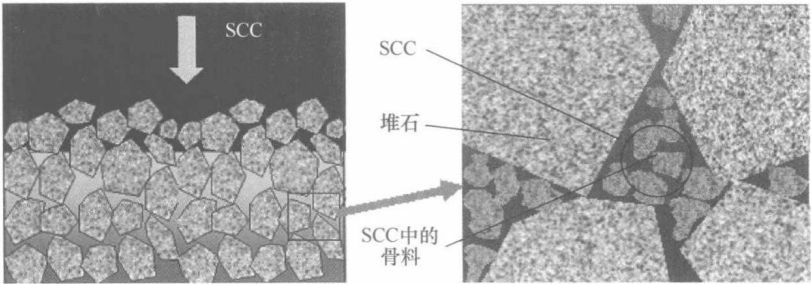


图 1.1-1 自密实混凝土充填堆石体形成堆石混凝土示意图

堆石混凝土施工技术作为一种全新的大体积混凝土施工技术，利用了大量堆石，混凝土中堆石的体积比例一般可以达到 55%~60%，能够充分利用初级开采的石料或者开挖料中的大块石，最大限度地降低了胶凝材料的用量。同时，堆石混凝土施工技术还在骨料破碎、混凝土生产浇筑等施工环节上大大节约了能源，减少了二氧化碳的排放。因此，堆石混凝土技术是一种新型低碳环保的混凝土施工方法。

堆石混凝土施工技术作为一种全新的大体积混凝土施工技术，利用了大量的块石作为建筑材料，并且充分发挥了低水化热自密实混凝土性能优势，具有以下特点和性能优势。

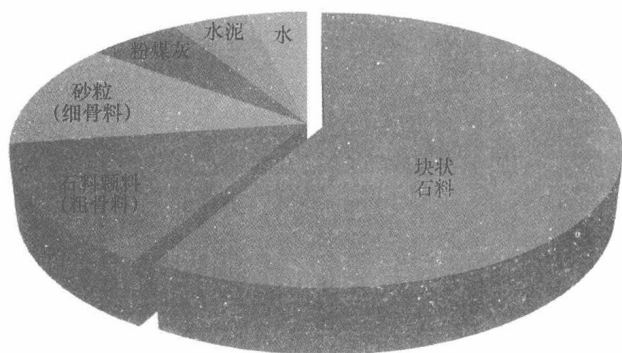


图 1.1-2 堆石混凝土的构成

1. 低水泥用量与低水化热

常规的 C15~C25 混凝土一般需要 200~350kg 的水泥，而 C15~C25 堆石混凝土只需要 70~100kg 的水泥；其单方水泥用量与碾压混凝土相当，与常规混凝土相比减少了 70% 左右。其原因在于堆石混凝土使用了大量的块石（约 55%）作为主要建筑材料，只需要使用 45% 的自密实混凝土进行空隙的充填。另外，堆石混凝土可以充分利用粉

煤灰、矿渣粉、石粉等活性或惰性掺和料，配合低水泥自密实混凝土配合比设计方法保证了低水泥用量的实现，因此对于水泥的用量显著降低。堆石混凝土的构成如图 1.1-2 所示。

工程实测的大体积混凝土实际水化温升在 10℃ 左右，在大体积混凝土施工过程中可以减少，甚至取消温控措施。

对吉牛水电站、蒙山水库、清峪水库、佰佳水电站、恒山水库、布尔津山口电站、藏木水电站、贵州石龙沟水库、新疆乌苏铁路、向家坝沉井回填、中山长坑水库工程共计 11 个工程总计 170 个测点的温升监测数据进行了统计，分布如图 1.1-3 所示。

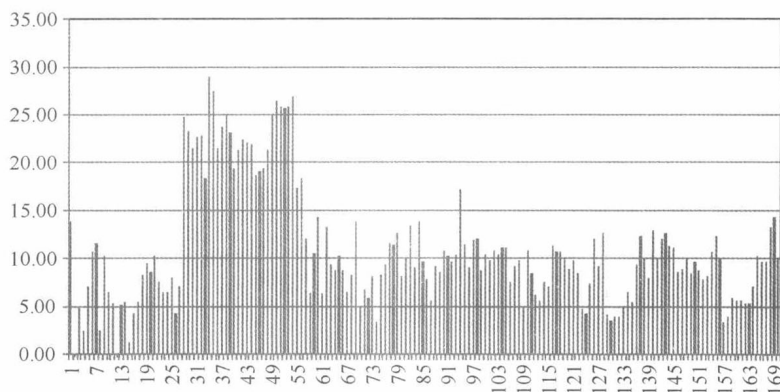


图 1.1-3 温升分布图

从图中可以看出堆石混凝土的温升一般能控制在 15℃ 以内。经统计 170 个测点中：0~10℃ 的 94 个占 55%；10~15℃ 47 个，占 28%；15℃ 以上 29 个，占 17%；且基本全部在吉牛水电站、蒙山水库的监测中出现。

经过对现有温升监测结果的分析总结，主要有以下结论：

(1) 堆石混凝土控制层高 1.5~2.0m 和 SCC 填充率在 45% 以内，在不进行任何温控措施的情况下最大温升一般可以控制在 15℃ 以内。

(2) 堆石混凝土层高超过 2.0m，或者填充率超过 45% 的情况下要密切关注温升情况，如果超过标准需要进行适当的温控措施及解决方案。

2. 工艺简便, 施工快速

堆石混凝土施工主要包括两道工序: 堆石入仓和自密实混凝土的生产浇筑。通过合理的施工组织设计, 两道工序均可以通过大规模的机械化施工来完成, 减少了工人的参与, 避免了人为的干扰。

在完成一定堆石仓面后堆石入仓和混凝土生产浇筑可以平行进行, 工序间干扰小, 生产效率成倍提升的同时还降低了设备生产强度的要求。

堆石混凝土施工工艺保证施工层面会有大量的块石棱角裸露, 增加了层间混凝土的结合面, 通过混凝土与块石棱角的咬合可提高堆石混凝土层间的抗剪能力, 可以免除或者简化层间结合面的凿毛工序。

简化消除温控措施、混凝土生产运输浇筑量减半且无需振捣、免除或简化凿毛工序等都为加快建设速度、缩短工期提供了强有力的保证。

3. 显著降低施工成本

堆石混凝土施工的综合成本在相同条件下较常态混凝土可降低 10%~20%, 主要通过三个方面实现:

(1) 大量使用堆石减少胶凝材料用量, 堆石混凝土的材料成本较常态混凝土有所降低;

(2) 由于自密实混凝土的用量不高于 45%, 所以在混凝土生产、运输以及浇筑等工序的施工成本更能够显著降低;

(3) 堆石混凝土施工机械化程度高, 简化或消除了温控措施, 浇筑过程免去了振捣工序减少了人工成本的投入。

4. 综合性能稳定, 安全系数高

堆石混凝土是由相互搭接的堆石骨架和用于胶结堆石的自密实混凝土构成的。堆石骨架在提高材料抗压、抗剪强度, 抑制干缩变形, 提高结构体积稳定性等方面都有着显著的效果; 而自密实混凝土独特的设计与工艺, 使其具有卓越的流动性能、充填性能和抗离析性能, 在浇筑过程中不离析不泌水既保证了自密实混凝土的充填均匀性, 又避免了混凝土与骨料胶结面过渡区薄弱层的产生。

5. 环境友好, 适用面广

堆石混凝土技术采用大量块石和粉煤灰, 减少了水泥用量和大功率的碾压机械, 可以减少温室气体排放和能量消耗, 是一种环境友好的混凝土。堆石混凝土在北京、河南、四川、贵州、新疆、江西、山西等地区的实际工程的应用, 所用的堆石既有块石, 也有卵石; 自密实混凝土的粗、细骨料既有人工碎石和人工砂, 也有天然卵石和天然砂; 所有工程都使用当地的水泥和粉煤灰。这些应用成果表明, 堆石混凝土技术以及低水化热低成本自密实混凝土配合比设计方法和专用外加剂, 能够适应国内各地不同的原材料, 具有广泛的适应性。

堆石混凝土技术于 2005 年在国内工程首次应用, 至今已近 10 年, 期间主要用于水利行业的小型项目, 在堆石混凝土材料性能、结构设计体系、施工组织以及机械化快速施工工艺等方面缺乏深入系统的研究, 更缺乏在大中型工程中实践的机会。在已经实施的堆石混凝土项目中, 堆石混凝土表现出了良好的经济指标和节能减排指标, 根据已有工程的统计和相关研究, 堆石混凝土相比常态混凝土其工程造价可节约 10%~20%, 相比碾压混

凝土亦有一定程度的降低,在能耗方面堆石混凝土约是常态混凝土的 1/3,约是碾压混凝土的 2/3。本项目旨在对上述问题进行深入系统的研究,结合沙坪二级水电站主体工程堆石混凝土施工,寻找堆石混凝土技术向大中型项目推广的关键问题,客观评价堆石混凝土的施工效率、质量和成本。为堆石混凝土进一步取代常态混凝土、三级配混凝土和碾压混凝土并应用于大中型工程奠定理论和实践基础,充分发挥堆石混凝土在经济性和环保方面的优势。

1.2 堆石混凝土技术发展情况

堆石混凝土技术自 2003 年由清华大学水利水电工程系发明以来,已申请国家发明专利 6 项,获得授权 5 项(表 1.2-1),公开 1 项。自 2005 年堆石混凝土首次应用于实际工程施工以来,多次获得国家的认可与肯定。自 2008 年起,水利部已连续在郑州、太原、中山、成都举办四届“堆石混凝土技术研讨会”。

国际坝工界也密切关注堆石混凝土技术的发展,日本土木学会会刊与国际水电与大坝(International Water Power & Dam Construction)杂志先后于 2006 年和 2008 年对堆石混凝土进行封面报道。

堆石混凝土系列技术通过的认证:

- ◇ 堆石混凝土技术获得水利部先进实用技术推广证书(2008~2014);
- ◇ 堆石混凝土技术通过水利部科技成果鉴定(2008)(图 1.2-1);
- ◇ 堆石(卵石)混凝土技术通过新疆维吾尔自治区科技成果鉴定(2009);
- ◇ 固废堆石混凝土技术获中关村国家自主创新示范区新服务认证(2012)。

堆石混凝土系列技术获得的主要社会荣誉:

- ◇ 入围国家发改委、环保部、科技部、工信部四部委联合发布的《国家鼓励的循环经济技术、工艺和设备名录(第一批)》(2012);
- ◇ 固废堆石混凝土技术列入国家 863 计划(2011);
- ◇ 入围《山东水利先进实用技术第一批推广目录》(2012);
- ◇ 入围《2012 年度福建省水利先进实用技术及产品目录》(2012);
- ◇ 固废堆石混凝土综合利用技术获得北京市海淀区创新资金支持(2012~2014);
- ◇ 入选百佳低碳环保型技术,并列入《全国百佳节能(低碳)环保型技术产品目录》(2012);
- ◇ 入围《2011 年度北京市节能低碳技术推广目录》(2011);
- ◇ 新疆维吾尔自治区科学进步三等奖(2009)。
- ◇ 入围《国家重点低碳技术目录》(2014)
- ◇ 获得教育部科技成果鉴定证书(2014)
- ◇ 入选《水运工程建设新技术推广项目目录》(2014)
- ◇ 水利部发布堆石混凝土行业标准《胶结颗粒料筑坝技术导则》(2014)
- ◇ 《堆石混凝土筑坝技术导则》送审稿完成(2015)
- ◇ 《水电水利工程堆石混凝土施工规范》初稿完成(2016)
- ◇ 国际大坝委员会发布期刊《Rock-Filled Concrete Dam》(2016)

堆石混凝土技术相关发明专利

表 1.2-1

专利名称	专利号	申请日	公告号
堆石混凝土大坝施工方法	ZL031026074.5	20030214	CN1521363
一种混凝土大坝沉箱加固方法	ZL2008100114515.9	20080606	CN101285302
普通型堆石混凝土施工方法	ZL200710100315.3	20070608	CN101074560
抛石型堆石混凝土大坝施工方法	ZL200710121791.3	20070914	CN101144279
堆石混凝土和胶凝砂砾石复合材料坝及其设计与施工方法	ZL201010256664.6	20100818	CN101935995A



图 1.2-1 2008 年水利部堆石混凝土技术科技成果鉴定会

堆石混凝土技术不仅拥有完整的自主知识产权,而且已在实际工程中不断得到实践和验证。几年来针对自密实混凝土的充填性,堆石粒径对充填的影响,堆石混凝土综合力学性能、热力学性能、绝热温升规律、抗渗性能、耐久性能等展开了一系列的专项的室内试验研究和工程实践验证。在北京军区某部蓄水池试验坝、河南国网宝泉抽水蓄能电站现场试验、四川宜宾向家坝水电站现场试验和新疆乌苏、乌精二线铁路现场试验等专题研究试验结果,均表明堆石混凝土具有良好的综合性能。

1.3 堆石混凝土工程应用情况

1.3.1 堆石混凝土地域分布情况

自 2005 年北京军区某部蓄水池工程成功应用起,堆石混凝土技术已在北京、四川、云南、山西、重庆、广东、新疆、西藏等多个水利水电工程、公路铁路建设项目工程中成功应用。

1.3.2 堆石混凝土行业应用情况

堆石混凝土及其相关技术,作为新型混凝土施工技术,主要被广泛用于水利水电工程

建设中，如图 1.3-1 所示，堆石混凝土在水利、水电行业中的应用各占近 50%。在我国的能源发展占重要地位的水电行业中，堆石混凝土及其相关技术作为一种耗能低、污染小的新型混凝土施工技术，在我国水电加速发展时期，积极参与水电开发建设并推进水电创新，在四川向家坝水电站、河南宝泉抽水蓄能电站、山西围滩水电站等多个电站中得到成功应用。

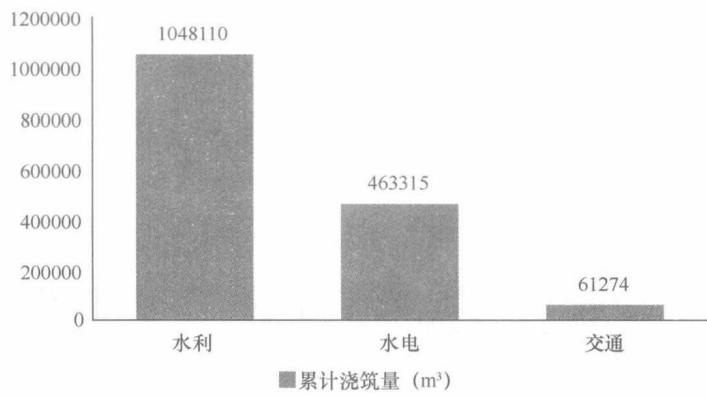


图 1.3-1 堆石混凝土在各行业中的累计浇筑方量统计（数据截至 2016 年 10 月）

另外，堆石混凝土施工技术在公路、铁路防护工程建设中，结合现场地形及施工条件，采取多种混凝土浇筑方式，方便快捷，大大提高了施工效率，确保了工期，节省了人力机械投入，减少了工程成本，已在新建赛一果高速公路挡墙、贵州惠兴高速公路挡墙新疆维吾尔自治区乌精（铁路挡土墙）工程中成功应用，正处于积极推广阶段。

1.3.3 堆石混凝土工程部位应用情况

堆石混凝土技术在工程部位的应用，主要表现在筑坝工程、基础回填、临时工程、堤防建设、衬砌及钢管回填、挡土墙等工程部位建设中。

如表 1.3-1 所示，堆石混凝土在混凝土重力坝、溢流坝、拱坝的坝体建设及加固中应用最多，约占堆石混凝土全部工程方量的 46.5%；其次是溶洞回填、冲沟回填、基坑回填、沉井回填等基础回填工程，约占全部工程方量的 34.3%；堆石混凝土在围堰等临时工程中应用也较多，应用量约占全部工程方量的 11.7%。另外，堆石混凝土在各类堤防工程建设、引水洞衬砌、泄洪洞衬砌、压力钢管回填工程、挡土墙工程建设中也发挥了重要作用。

堆石混凝土技术在水利水电工程大坝施工方面，仍处于发展和推广阶段，已建工程多为中小型工程，坝体高度多在 30~70m 范围内，如图 1.3-2 所示。其中，高 30~50m 的堆石混凝土坝体工程方量约占全部筑坝工程的 40.3%，高 50~70m 的堆石混凝土坝体工程方量约占全部筑坝工程堆石混凝土方量的 48.6%。在所有筑坝工程中，堆石混凝土重力坝工程方量约占 84.4%（重力坝建设 71.8%、重力坝加固 12.6%），堆石混凝土拱坝工程方量约占 15.6%（拱坝建设 1.6%、拱坝加固 14.0%）。

分析目前堆石混凝土技术在筑坝工程中的应用情况可以发现，堆石混凝土技术在混凝土重力坝和拱坝建设方面具有较大发展空间（表 1.3-2）。

堆石混凝土工程部位应用情况分析（数据截至 2016 年 10 月）

表 1.3-1

序号	应用部位	累计工程量（m³）	百分比
1	筑坝主体工程	1111918	70.70%
2	筑坝附属工程	121326	7.71%
3	除险加固	113022	7.19%
4	堤防工程	37690	2.40%
5	挡墙建设	35840	2.28%
6	衬砌及压力钢管回填	6618	0.42%
7	基础回填	80746	5.13%
8	岩基处理	4000	0.25%
9	水下工程	5922	0.38%
10	水运工程	55524	3.53%
11	其他	92	0.01%
总计		1572698	100.00%

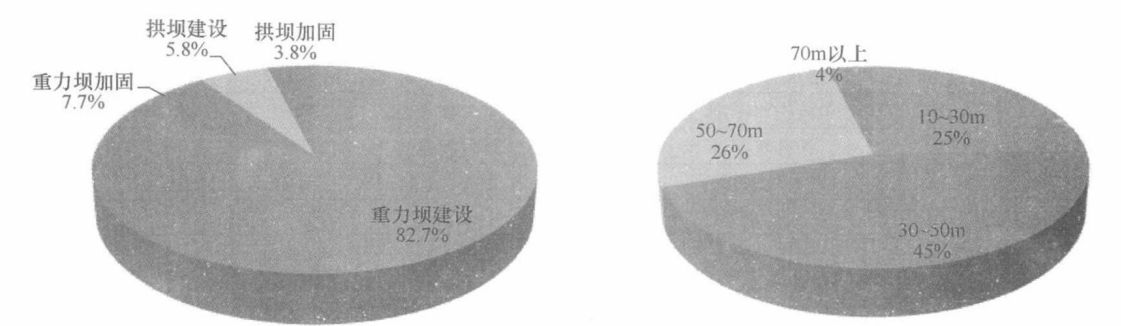


图 1.3-2 堆石混凝土在筑坝工程中应用比例图

堆石混凝土筑坝工程应用统计表（数据截至 2016 年 10 月）

表 1.3-2

序号	省份地区	名称	高度（m）	部位	工程量（m³）	开工时间	竣工时间
1	北京市	北京某水池	13.50	重力坝坝体	2000	—	—
2	山西临汾	清峪水库	42.30	重力坝坝体	39809	2009.4	2012.11
3	山西晋城	围滩水电站	59.00	重力坝坝体	41176	2009.11	2010.9
4	广东中山	长坑水库	26.50	重力坝坝体	17310	2010.7	2011.3
5	甘肃临夏	吉利电站	14.60	重力坝坝体	6200	2011.3	2011.6
6	黑龙江牡丹江	东升水电站	33.00	重力坝坝体	8406	2011.9	2012.1
7	云南曲靖	红石岩水库	62.10	重力坝坝体	1100	2011.1	2011.12
8	湖北恩施	咸盈河电站	44.50	重力坝坝体	2868	2012.6	2012.11
9	云南临沧	虎跳峡水库	55.00	重力坝坝体	46302	2012.4	2013.5
10	四川甘孜	吉牛水电站	22.00	重力坝坝体	12945	2013.3	2013.6
11	云南文山	迷牛水库	41.90	重力坝坝体	41884	2012.6	2013.12
12	山西晋中	口上水库	58.40	重力坝坝体	24185	2013.3	2013.9
13	云南文山	普腊水库	44.00	重力坝坝体	47735	2012.11	2013.12
14	青海格尔木	那河二级电站	46.00	重力坝坝体	27203	2012.8	2013.1
15	海南琼中	合口电站	12.00	重力坝坝体	3919	2013.6	2013.8
16	云南曲靖	洒谷水库	44.30	重力坝坝体	26432	2012.12	2014.5

续表

序号	省份地区	名称	高度 (m)	部位	工程量 (m ³)	开工时间	竣工时间
17	四川乐山	沙坪二级电站	86.50	重力坝基础	30345	2014.4	2014.8
18	广西宾阳	清平水库	38.00	重力坝坝体	59550	2013.12	未完
19	云南迪庆	毛坡河水电站	39.30	重力坝坝体	17445	2013.1	2014.12
20	甘肃天祝	石门河水库	48.55	重力坝坝体	48294	2013.9	2015.8
21	云南红河州	早塘水库	43.80	重力坝坝体	26971	2013.12	2015.4
22	云南宣威	沈家河水库	55.70	重力坝坝体	35552	2014.5	2015.12
23	云南曲靖	迤启水库	46.20	重力坝坝体	63782	2014.4	2015.11
24	云南迪庆	小中甸水库	26.20	重力坝坝体	1554	2014.4	2014.6
25	云南永仁	拉里么水库	57.20	重力坝坝体	31459	2014.4	未完
26	青海格尔木	那河三级电站	23.80	重力坝坝体	1719	2014.5	2014.8
27	新疆吐鲁番	吐峪沟水库	22.00	重力坝坝体	4811	2014.4	2014.7
28	福建三明	黄沙坑水库	44.20	重力坝坝体	67538	2014.5	未完
29	湖南湘西	吉辽河水库	40.50	重力坝坝体	56548	2015.2	未完
30	湖南龙山	落水洞电站	33.50	重力坝坝体	1827	2015.5	2016.5
31	重庆白涛	白涛拦河闸坝	17.00	重力坝坝体	2701	2015.8	2015.1
32	云南昭通	松林水库	90.00	重力坝坝体	85785	2016.1	未完
33	福建漳州	九九坑水库	30.50	重力坝坝体	1930	2016.5	未完
34	云南曲靖	小老厂水库	51.50	重力坝坝体	8263	2016.5	未完
35	云南文山	深沟水库	52.10	重力坝坝体	5105	2016.7	未完
36	云南红河州	盐井沟水库	44.30	重力坝坝体	4414	2016.6	未完
37	山西临汾	仙洞沟水库	61.40	重力坝坝体	8960	2016.4	未完
38	贵州遵义	打鼓台水库	41.00	重力坝坝体	39016	2016.4	未完
39	湖北宜昌	横岩坪水库	47.20	重力坝坝体	18689	2016.4	未完
40	湖南怀化	火马坪水库	38.00	重力坝坝体	6250	2016.8	未完
41	山西大同	堡子湾水库	40.32	重力坝坝体	6705	2016.9	未完
42	云南曲靖	三道沟水库	36.30	重力坝坝体	850	2016.10	未完
43	浙江绍兴	九九坑水库		重力坝坝体	3000	2016.10	未完
44	贵州黔南州	大土水库	56.50	重力坝坝体	350	2016.10	未完
45	山东临沂	蒙山水库	24.50	拱坝坝体	11380	2012.6	2013.3
46	陕西安康	佰佳电站	69.00	拱坝坝体	102404	2013.1	2016.3
47	陕西汉中	娘娘滩水库	53.40	拱坝坝体	8884	2015.6	2015.8
48	山西大同	恒山水库除险加固	69.00	拱坝坝体加固	39500	2009.5	2010.1
49	河北张家口	水沟口二库除险加固	40.00	重力坝坝体加固	11475	2011.7	2012.8
50	河北秦皇岛	石河水库除险加固	46.10	重力坝坝体加固	45640	2012.4	2013.7
51	安徽安庆	大龙潭水库加固	64.50	拱坝坝体加固	8155	2012.5	2012.11
52	海南海口	娜姆水库除险加固	4.40	重力坝坝体加固	2972	2013.8	2013.11
53	海南东方	毛号水库除险加固	2.00	重力坝坝体加固	2500	2014.12	2015.2

近年来,堆石混凝土得到了迅速推广与应用。未来3~5年,国内拟采用堆石混凝土技术的工程共计166个,其中,方案已经通过主管部门审查的待建工程共计77个;除此之外,肯尼亚、赤道几内亚、柬埔寨、越南、老挝、摩洛哥等国的水利水电工程也已有明确的应用意向。