

NIANYA HUNNINGTU KUAISU ZHUBA JISHU

# 碾压混凝土 快速筑坝技术

◎田育功 著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

# 碾压混凝土 快速筑坝技术

◎田育功 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



## 内 容 提 要

本书阐述了碾压混凝土快速筑坝技术的理论、方法、经验与工程实践,引用了大量丰富的第一手碾压混凝土试验研究成果、招标投标资料和快速筑坝的工程实例。是一本具有较高理论水平和丰富工程实践的技术专著。

全书共 13 章,内容包括:碾压混凝土筑坝技术发展水平,碾压混凝土坝设计与快速施工,原材料与工程实例,碾压混凝土配合比设计与实例,碾压混凝土性能研究与应用,碾压混凝土掺合料研究与应用,石粉在碾压混凝土中的研究与利用,变态混凝土施工技术,碾压混凝土快速施工关键技术,碾压混凝土温度控制与防裂,碾压混凝土质量控制与工程实例,钻孔取芯、压水及原位抗剪试验,碾压混凝土围堰与 CSG 筑坝技术等。

本书是从事水利水电工程建设、设计、科研、施工、监理的广大工程技术人员及大专院校相关专业师生的重要参考资料。

## 图书在版编目(CIP)数据

碾压混凝土快速筑坝技术 / 田育功著. — 北京 :  
中国水利水电出版社, 2010. 10  
ISBN 978-7-5084-7923-1

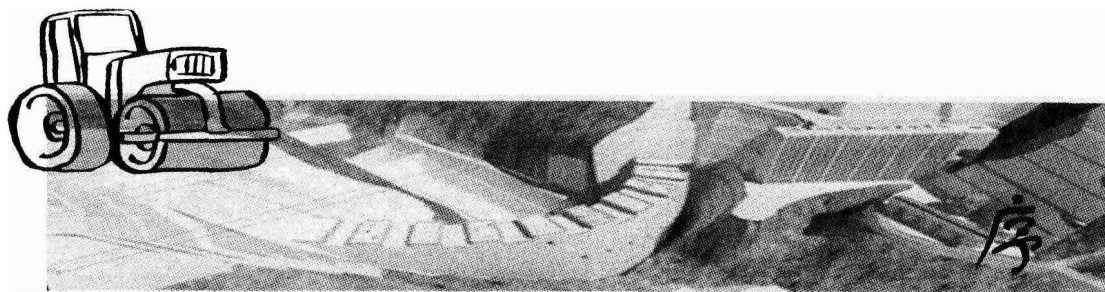
I. ①碾… II. ①田… III. ①碾压土坝: 混凝土坝  
IV. ①TV642. 2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第181409号

|      |                                                                                                                                         |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 碾压混凝土快速筑坝技术                                                                                                                             |
| 作 者  | 田育功 著                                                                                                                                   |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038)<br>网址: www. waterpub. com. cn<br>E-mail: sales@waterpub. com. cn<br>电话: (010) 68367658 (营销中心) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                                     |
| 排 版  | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                                         |
| 印 刷  | 北京中科印刷有限公司                                                                                                                              |
| 规 格  | 184mm×260mm 16 开本 33 印张 782 千字                                                                                                          |
| 版 次  | 2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷                                                                                                     |
| 印 数  | 0001—2500 册                                                                                                                             |
| 定 价  | 95.00 元                                                                                                                                 |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



近年来我国先后建成 200m 级碾压混凝土重力坝和多座百米级碾压混凝土双曲薄拱坝。在建设过程中，显示出施工速度快、造价省、工程质量好的优越性，标志着我国碾压混凝土筑坝技术通过认真总结经验，积极开展探索和试验研究，不断革新，在总体上已有突破性的发展，技术水平越来越高，越来越成熟。这些新技术成果和工程成就给国际坝工界带来许多有利的影响。

回溯初期，我国碾压混凝土坝工程，由于认识朦胧、普遍沿用国外通用的“干硬性”混凝土，结果经常因浇筑层面缺乏泛浆导致层间结合不良，形成“千层饼”现象。由此引起对碾压混凝土坝体质量问题的质疑。针对这一状况，许多工程科技人员和科研人员，仍持坚韧不拔的精神，不断从混凝土的材料方面和施工技术措施方面进行探索、调整和改进，最终形成了现今广泛采用的泛浆性能好、易于压实并能防止振压沉陷的“亚塑态”碾压混凝土技术模式。较好地解决了混凝土热缝结合问题，彻底提高层面的抗渗性能和抗剪断性能，为修建 200m 级高碾压混凝土重力坝解决了安全和防渗问题。和国外一些碾压混凝土筑坝技术相比，我国筑坝碾压混凝土材料和施工技术具有独特的技术理念，仔细解剖各项技术，内容丰富，应用方便，易于掌握。更可贵的是每完成一项大的碾压混凝土坝，几乎都有所创新、改进。对于各方面的技术进步，很多工程科技人士撰写了大量专门论述或专著，深受业内同行的欢迎。

快速是碾压混凝土筑坝技术的最大优势，具有强大的生命力。一般百米级高度以上的混凝土大坝，采用碾压混凝土筑坝技术，大坝 2~3 年即可建成，与常态混凝土筑坝技术相比可缩短工期 1/3 以上，而且工程实践证明，碾压混凝土筑坝技术质量可靠，优势明显。

碾压混凝土快速筑坝技术创新设计是关键。技术创新不仅需要扎实、科学的技术功底，还需要有承担失败的勇气，通过实践达到技术创新的目的。

“层间结合、温控防裂”是碾压混凝土快速筑坝的核心技术。近年来，随着碾压混凝土坝高度和体积的增加，为了缩短工期，高温季节连续浇筑碾压混凝土已成惯例，这样碾压混凝土的温控措施越来越严，已经和常态混凝土没有什么区别，使碾压混凝土温控措施呈现越来越复杂的趋势。在这方面应该借鉴地处亚热带地区的泰国、柬埔寨、老挝、缅甸等国的碾压混凝土坝施工技术，这些国家的碾压混凝土坝均不采取冷却水管的温控措施，设计指标采用单一的强度指标和骨料级配，这些坝的设计理念及温控措施值得我们学习和借鉴。

碾压混凝土坝的施工具有一次性的特点，施工质量始终处于受控状态尤为重要。特别是碾压混凝土现场施工，VC值动态控制、及时碾压、喷雾保湿、覆盖养护等施工环节，直接关系到层间结合质量和温控防裂性能，要上升到质量问题的高度来认识其重要性。

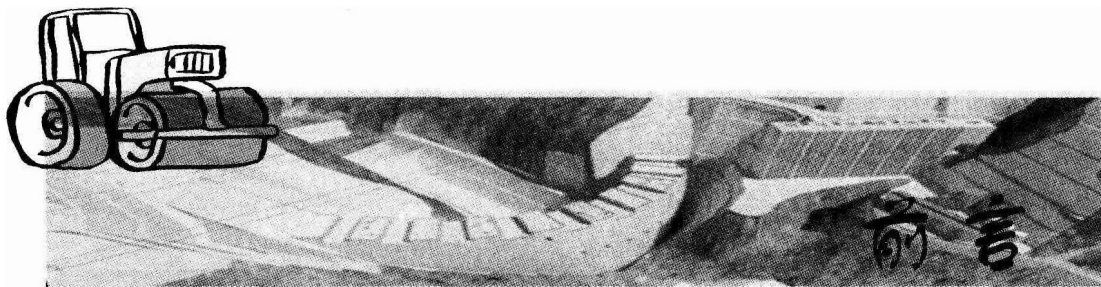
本书作者汇集了国内大量碾压混凝土坝工程的实践资料和多方面的科学试验研究成果，并对这些成果进行梳理分析的同时，结合自身参与施工建设碾压混凝土坝的探索研究，进行了深化展示和阐述，对“塑性碾压混凝土”作者有着更多的体会和认识。碾压混凝土筑坝目前还是发展中的技术，如混凝土材料、施工工艺、坝工设计、施工管理、温度控制与防裂，都还有改进与发展的空间。不断进行总结、分析、研究、交流，对技术发展是有利的。拜读本书后，本人很受裨益，也扩展了眼界。

在本书付梓之际，作者索序于我。以上文字聊表我对碾压混凝土快速筑坝技术的关注。是为序。

中国水力发电工程学会碾压混凝土筑坝专业委员会原主任

王圣浩

2010年9月  
于北京



碾压混凝土（RCC）筑坝技术是世界筑坝史上的一次重大技术创新。碾压混凝土筑坝技术以其施工速度快、工期短、投资省、质量安全可靠、机械化程度高、施工简单、适应性强、绿色环保等优势，备受世界坝工界青睐。特别是建坝周期比同类的常态混凝土坝可以缩短工期 1/3 以上，显示出蓬勃发展的强大优势，给大坝建设注入了一股清风和活力，符合又好又快又省的发展方向。

快速是碾压混凝土筑坝技术的最大优势，具有强大的生命力。采用碾压混凝土筑坝技术，虽然仅有短短的 20 多年，但其建坝速度之快、大坝建设数量之多，是其他筑坝技术无法比拟的。截至 2008 年底，我国已建、在建的碾压混凝土坝（包括围堰）已达 180 座之多，居世界首位。碾压混凝土筑坝技术最大的魅力是它的兼容性，碾压混凝土既有混凝土的特性，符合水胶比定则，不论是碾压混凝土重力坝或拱坝，其坝体断面设计与常态混凝土大坝相同；同时施工又具有土石坝快速施工的特点。大量的工程实践证明，碾压混凝土坝已成为最具有竞争力的坝型之一。

采用碾压混凝土筑坝技术，豪迈大气、实实在在，大坝内部质量良好，外表美观，其质量毫不逊色于常态混凝土坝。碾压混凝土筑坝虽然大气，但施工并不粗糙，碾压混凝土筑坝技术十分细腻，具有条理清晰的规范化施工，施工现场，人员稀少，碾压混凝土从入仓、摊铺、碾压有条不紊。

碾压混凝土筑坝是集科研、设计、施工、质控等多方面的系统工程，最能体现碾压混凝土快速筑坝特点的是通仓薄层浇筑，改变了枢纽布置和坝工结构的设计理念。枢纽布置设计不但要从满足碾压混凝土快速施工、简化大坝布置入手考虑，还需要从大坝结构、温度应力、整体性能等方面进行深化研究。采用碾压混凝土筑坝对设计是一种促进，设计理念必须超先，在大坝的布置上要与常态混凝土坝有所区别，要结合碾压混凝土自身特点和全断面

施工、通仓薄层浇筑、简单快速的筑坝技术出发，大坝的结构布置越简单，其优势越明显。

“层间结合、温控防裂”是碾压混凝土快速筑坝的核心技术，通过大量的试验研究和工程实例，针对碾压混凝土人工砂石粉含量波动大或偏低的问题，采用外掺粉煤灰或外掺石粉代砂、石粉精确控制拌和、VC 值动态控制、通仓斜层碾压等技术的成功应用，有效改善了碾压混凝土可碾性、液化泛浆和层间结合质量，促进了碾压混凝土快速筑坝技术的发展。“浆砂比”已成为碾压混凝土配合比设计重要的参数之一，具有与水胶比、砂率、用水量三大参数同等重用的作用。石粉在碾压混凝土中越来越受到人们的重视，已成为碾压混凝土材料不可缺少的组成部分。水工碾压混凝土已经发展为无坍落度的半塑性混凝土，令人担忧的层间结合质量问题得到很好的解决，明显提高了极限拉伸值和抗冻性能。

回眸碾压混凝土钻孔取芯、现场压水试验历程，从早期钻孔取芯最长 60 多 cm 的芯样发展到目前 16m 以上的超长芯样，大于 10m 的芯样已屡见不鲜。钻孔取芯充分证明了碾压混凝土快速筑坝技术的日臻成熟，从一个侧面反映了碾压混凝土性能的改变，对提高坝体层间结合质量和防渗性能的确是十分有利的。

碾压混凝土也有其两面性，由于碾压混凝土采用低水泥用量、高掺掺合料，需要采用先进的设计理念对抗冻性、极限拉伸值、碳化等性能（与常态混凝土相比）不断进行创新深化研究。

作者自 1988 年龙羊峡大坝左副坝碾压混凝土试验研究筑坝技术开始，20 多年来，见证了我国碾压混凝土筑坝技术发展壮大的历程，是我国碾压混凝土筑坝技术的主要参与者、实施者、研究者和推广者之一。本书是作者先后参加主持的龙首、蔺河口、百色、光照、金安桥、喀拉塑克等多座碾压混凝土坝的试验研究、施工技术、技术咨询、蓄水验收以及建设管理等方面的成果，和国内外公开发表的 40 余篇论文（论著）的基础上编著而成的，有许多宝贵的第一手资料首次披露，是了解和掌握我国碾压混凝土筑坝技术发展水平的一个窗口。

我国碾压混凝土筑坝技术居世界领先水平，这与我国大批水利水电工程建设的科研、设计、技术咨询、监理、施工等广大人员不断的努力和创新分不开，特别是与碾压混凝土筑坝专业委员会所做的大量、科学、艰辛的努力和所付出的心血分不开。

本书针对水工碾压混凝土特点，从碾压混凝土快速筑坝的机理、应用等

多方面作了较为详尽的分析研究，通过对碾压混凝土快速筑坝技术探讨，对典型工程实例进行剖析、总结，从正反两方面进行探讨研究，始终坚持把大坝的质量安全摆在第一的重要位置，使碾压混凝土筑坝技术更具生命力、更安全可靠、更趋完美。

建设世界一流的碾压混凝土坝，是编著本书的出发点。由于碾压混凝土筑坝技术研究的课题很多，限于作者的水平和时间，要对这么多的课题逐一进行梳理、分析、研究，难免挂一漏万，恳请读者批评指正！

作者

2010年9月

# 目 录

序

前言

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>第1章 综述</b>            | 1   |
| 1.1 我国碾压混凝土筑坝技术发展水平      | 1   |
| 1.2 碾压混凝土坝的发展历程          | 10  |
| 1.3 碾压混凝土筑坝技术推广应用        | 12  |
| 1.4 碾压混凝土快速筑坝关键技术探讨      | 15  |
| 1.5 碾压混凝土快速筑坝技术创新及反思     | 21  |
| <b>第2章 碾压混凝土坝设计与快速施工</b> | 24  |
| 2.1 概述                   | 24  |
| 2.2 碾压混凝土坝设计与快速施工        | 25  |
| 2.3 碾压混凝土设计指标与坝体材料分区     | 33  |
| 2.4 碾压混凝土坝设计简介           | 35  |
| 2.5 结语                   | 52  |
| <b>第3章 原材料与工程实例</b>      | 54  |
| 3.1 概述                   | 54  |
| 3.2 水泥性能与工程实例            | 55  |
| 3.3 粉煤灰性能与品质检测           | 64  |
| 3.4 水工混凝土外加剂性能           | 74  |
| 3.5 骨料性能与工程实例            | 79  |
| 3.6 结语                   | 89  |
| <b>第4章 碾压混凝土配合比设计与实例</b> | 91  |
| 4.1 概述                   | 91  |
| 4.2 碾压混凝土配合比参数选择         | 92  |
| 4.3 配合比设计依据及内容           | 105 |
| 4.4 碾压混凝土配合比设计方法         | 107 |
| <b>第5章 碾压混凝土性能研究与应用</b>  | 113 |
| 5.1 概述                   | 113 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 5.2 碾压混凝土性能及影响因素 .....             | 114 |
| 5.3 外加剂、VC 值、温度与凝结时间关系研究 .....     | 138 |
| 5.4 自生体积变形、绝热温升及徐变试验 .....         | 142 |
| 5.5 人工砂掺河砂碾压混凝土性能试验研究 .....        | 154 |
| <b>第 6 章 碾压混凝土掺合料研究与应用</b> .....   | 160 |
| 6.1 概述 .....                       | 160 |
| 6.2 碾压混凝土掺合料微观分析研究 .....           | 161 |
| 6.3 SL 掺合料在戈兰滩工程中的研究与应用 .....      | 191 |
| <b>第 7 章 石粉在碾压混凝土中的研究与利用</b> ..... | 208 |
| 7.1 概述 .....                       | 208 |
| 7.2 石灰岩石粉 .....                    | 210 |
| 7.3 石粉对碾压混凝土性能影响 .....             | 213 |
| 7.4 碾压混凝土外掺石粉代砂工程实例 .....          | 216 |
| 7.5 百色辉绿岩人工砂石粉在碾压混凝土中利用研究 .....    | 225 |
| <b>第 8 章 变态混凝土施工技术</b> .....       | 266 |
| 8.1 概述 .....                       | 266 |
| 8.2 变态混凝土配合比试验 .....               | 268 |
| 8.3 变态混凝土施工技术 .....                | 270 |
| 8.4 防渗区变态混凝土掺纤维试验研究 .....          | 273 |
| 8.5 变态混凝土在百色 RCC 主坝中的应用 .....      | 278 |
| <b>第 9 章 碾压混凝土快速施工关键技术</b> .....   | 283 |
| 9.1 概述 .....                       | 283 |
| 9.2 碾压混凝土快速施工关键技术 .....            | 285 |
| 9.3 金安桥大坝碾压混凝土快速施工关键技术 .....       | 316 |
| 9.4 严寒干燥地区的龙首拱坝 RCC 施工 .....       | 329 |
| <b>第 10 章 碾压混凝土温度控制与防裂</b> .....   | 337 |
| 10.1 概述 .....                      | 337 |
| 10.2 温度控制基本资料及标准 .....             | 339 |
| 10.3 碾压混凝土温度控制措施 .....             | 346 |
| 10.4 温度控制与防裂技术创新与探讨 .....          | 355 |
| 10.5 某水利枢纽工程碾压混凝土重力坝温度控制 .....     | 359 |
| <b>第 11 章 碾压混凝土质量控制与工程实例</b> ..... | 383 |
| 11.1 概述 .....                      | 383 |
| 11.2 质量控制和评定规定 .....               | 385 |
| 11.3 碾压混凝土其他质量控制措施及探讨 .....        | 394 |
| 11.4 核子密度仪在碾压混凝土中的应用 .....         | 399 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第 12 章 钻孔取芯、压水及原位抗剪试验</b>    | 406 |
| 12.1 概述                         | 406 |
| 12.2 大坝碾压混凝土钻孔取芯                | 407 |
| 12.3 碾压混凝土现场压水试验                | 414 |
| 12.4 碾压混凝土芯样性能试验                | 421 |
| 12.5 碾压混凝土原位抗剪断试验               | 424 |
| 12.6 大坝碾压混凝土钻孔取芯及压水试验           | 427 |
| 12.7 金安桥大坝碾压混凝土芯样性能试验           | 433 |
| 12.8 大坝碾压混凝土现场原位抗剪断试验           | 436 |
| <b>第 13 章 碾压混凝土围堰与 CSG 筑坝技术</b> | 449 |
| 13.1 碾压混凝土围堰                    | 449 |
| 13.2 胶凝砂砾石 (CSG) 筑坝技术           | 450 |
| 13.3 龙滩碾压混凝土围堰设计与快速施工           | 452 |
| 13.4 功果桥上游围堰 CSG 配合比设计及应用       | 459 |
| 附录 1 国家级工法——《水工混凝土配合比试验工法》      | 475 |
| 附录 2 国家级工法——《碾压混凝土筑坝中变态混凝土施工工法》 | 486 |
| 附录 3 某工程大坝碾压混凝土施工工法             | 491 |
| <b>主要参考文献</b>                   | 512 |

# 第1章 综 述

## 1.1 我国碾压混凝土筑坝技术发展水平

### 1.1.1 碾压混凝土筑坝技术优势

碾压混凝土(RCC)筑坝技术是世界筑坝史上的一次重大技术创新。碾压混凝土筑坝技术以其施工速度快、工期短、投资省、质量安全可靠、机械化程度高、施工简单、适应性强、绿色环保等优点,备受世界坝工界青睐。

“快速”是碾压混凝土筑坝技术的最大优势,具有强大的生命力。碾压混凝土筑坝技术最大的魅力是它的兼容性,碾压混凝土即有混凝土的特性,符合水胶比定则,不论是碾压混凝土重力坝或拱坝,其坝体断面设计与常态混凝土大坝相同;同时施工又具有土石坝快速施工的特点,所以碾压混凝土筑坝技术的优势是其他筑坝技术无法比拟的。大量的工程实践证明,碾压混凝土坝已成为最具有竞争力的坝型之一,符合又好又快的发展方向。

从20世纪60年代开始,各国开始碾压混凝土的试验研究,到1980年日本建成世界第一座碾压混凝土坝——岛地川重力坝(坝高89m)开始,碾压混凝土坝发展极其迅猛,至2008年底,全世界已经有30多个国家已建和在建15m以上坝高的碾压混凝土坝400余座。

我国碾压混凝土筑坝技术研究与应用从20世纪80年代初开始的探索期、90年代初的过渡期到90年代后期的成熟期、发展到目前的创新领先期。20多年来,碾压混凝土筑坝技术经过引进、消化、吸收、提高和不断的自主创新发展,我国应用碾压混凝土筑坝技术在大坝数量、坝型以及成套施工技术水平上均遥居国际领先地位,取得了令人瞩目的进展和成就,积累了宝贵的经验,形成了一整套具有中国特点、具有自主知识产权的碾压混凝土快速筑坝的理论和施工技术体系。

我国碾压混凝土筑坝技术具有低水泥用量、高掺掺合料(粉煤灰)、中胶凝材料、高石粉含量、掺外加剂、低VC值、薄层摊铺、全断面碾压连续上升施工等特点,已经完全掌握了在高温、高寒、潮湿多雨和干燥少雨任何地域修建碾压混凝土坝的技术。特别是近10年来碾压混凝土筑坝技术在我国越来越成熟,世界公认中国是碾压混凝土筑坝技术的领先国家。目前,已建成高达192m的龙滩、200.5m的光照水电站工程大坝,标志着中国碾压混凝土筑坝技术已跨进200m级水平。充分显示了碾压混凝土快速筑坝技术强大的生命力,大量工程实践证明,碾压混凝土筑坝技术质量可信、可靠。

我国自1986年建成第一座坑口碾压混凝土重力坝以来,从“七五”规划到“十五”规划期间,积极采用新材料、新技术、新工艺、新设备的“四新”技术,开展了对碾压混凝土坝的材料性能、坝体结构设计、防渗体系、温度控制、施工工艺及相关的施工技术配



套设备等进行了全面系统研究和试验,极大的促进了碾压混凝土筑坝技术的快速发展。截至 2009 年底的不完全统计,我国已建、在建及拟建的碾压混凝土坝(包括围堰等临时工程)已达 180 座之多详见表 1.1~表 1.4。

### 1.1.2 碾压混凝土筑坝技术发展水平

碾压混凝土坝的优越性已得到全世界坝工界的认可,在任何一个国家,只要建成一座碾压混凝土坝,其快速、经济、安全的优越性突显,得到快速推广。无论是发达国家还是发展中国家都修建有碾压混凝土坝,近年来,亚洲国家采用碾压混凝土筑坝技术的国家日益剧增,如越南、柬埔寨、泰国、马来西亚、缅甸、蒙古等国。

有关资料表明,国外即将建设超过 200m 级的碾压混凝土坝主要有:缅甸南部的钽桑坝即将动工,坝高 235m,坝体总体积 865 万  $\text{m}^3$ ,装机容量 7100MW,它将是迄今为止兴建的最大的碾压混凝土坝。此外,老挝的 Nam Ngum 三级电站正在设计中,计划高度为 220m;在建的老挝 Nan Theun 1 号,坝高 180m。巴基斯坦的 Basha 坝也在设计中,高度可能近 300m。碾压混凝土重力坝的高度可以与常态混凝土相媲美,是没有强制限制的。

#### 1. 碾压混凝土重力坝

我国的碾压混凝土重力坝从坑口起步开始,20 世纪 80 年代建设的碾压混凝土坝高度多在 60~80m 的水平,90 年代后期开始,百米级以上碾压混凝土高坝逐年增多。目前,正在建设的金安桥(160m)、官地(168m)、功果桥(105m)、观音岩(159m)、龙开口(119m)、鲁地拉(140m)、阿海(138m)等大型水电站工程,其主坝均为碾压混凝土重力坝,采用全断面碾压混凝土筑坝技术,混凝土量巨大。迄今已建或在建的百米级碾压混凝土重力坝已达 30 多座,重力坝已成为碾压混凝土坝首选的主流坝型。

#### 2. 碾压混凝土拱坝

我国于 1993 年建设的普定水电站拱坝,开创了中国碾压混凝土拱坝筑坝技术的先河。普定拱坝最大坝高 75m,为当时世界最高的碾压混凝土拱坝,一开始就确立了其世界领先地位。这项技术的成功,实现了碾压混凝土筑坝技术的新突破,推动了碾压混凝土拱坝的迅速发展和提高。迄今已建或在建的百米级高拱坝有沙牌(132m)、石门子(109m)、蔺河口(100m)、大花水(134.5m)、白莲崖(104.6m)、云龙三级(135m)、天花板(110.5m)等,以及龙首(厚高比达 0.170)、招徕河(厚高比达 0.176)等的超薄拱坝。中国是当前世界建设碾压混凝土拱坝数量最多、拱坝最高、体型最薄的领先国家。

#### 3. 碾压混凝土围堰

碾压混凝土围堰相对于土石围堰更安全,坝顶可以漫水;由于碾压混凝土围堰断面小,可以有效减小基坑占地面积,便于快速恢复基坑施工等优势;而且导流洞显著缩短,导流标准可以明显降低;同时本身具有临时挡水发电,提前发挥效益的作用。比如,三峡工程三期上游围堰采用碾压混凝土重力式围堰,最大堰高 115m,2002 年 12 月 16 日至 2003 年 4 月 16 日三峡三期围堰浇筑完成,仅用 4 个月浇筑完成了总方量 110 万  $\text{m}^3$  的碾压混凝土,拦蓄库容达 124 亿  $\text{m}^3$ ,保证了三峡三期围堰按期挡水发电就是最好的例证。目前,胶凝砂砾石(CSG)坝新技术已在围堰工程中应用,其筑坝技术在围堰工程中有着巨大的潜力。



已建成的碾压混凝土坝

表 1.1

| 序号 | 坝名           | 地点   | 河流   | 坝高<br>(m) | 坝长<br>(m) | 坝型  | 底宽<br>(m) | 顶宽<br>(m) | 坝体积 (万 m <sup>3</sup> ) |       | 总库容<br>(亿 m <sup>3</sup> ) | 装机<br>(MW) | 建成<br>年份 | 设计<br>单位 | 施工<br>单位 |
|----|--------------|------|------|-----------|-----------|-----|-----------|-----------|-------------------------|-------|----------------------------|------------|----------|----------|----------|
|    |              |      |      |           |           |     |           |           | 碾压                      | 总量    |                            |            |          |          |          |
| 1  | 坑口           | 福建大田 | 闽江均溪 | 56.8      | 122.5     | 重力坝 | 42        | 5         | 4.3                     | 6.2   | 0.27                       | 15         | 1986     | 福建院      | 福建省局     |
| 2  | 龙门滩          | 福建永春 | 大樟溪  | 57.5      | 150       | 重力坝 | 48        | 6         | 7.1                     | 9.3   | 0.528                      | 18         | 1989     | 福建院      | 福建省局     |
| 3  | 马回           | 四川蓬安 | 嘉陵江  | 27        | 141       | 重力坝 | 26        | 13.5      | 26                      | 41    | 0.8                        | 46.3       | 1989     | 四川院      | 四川水局     |
| 4  | 潘家口下池        | 河北迁西 | 滦河   | 28.5      | 277       | 重力坝 | 15        | 6         | 0.6                     | 2.3   | 0.1                        | 10         | 1989     | 天津院      | 武警一支队    |
| 5  | 铜街子          | 四川乐山 | 大渡河  | 88        | 1029      | 重力坝 | 82        | 4         | 40.7                    | 85.5  | 2.0                        | 600        | 1990     | 成都院      | 七局       |
| 6  | 荣地           | 广西融水 | 都银河  | 53        | 136       | 重力坝 | 44        | 5         | 6.3                     | 10.8  | 0.194                      | 3          | 1991     | 广西电院     | 葛洲坝      |
| 7  | 龙羊峡副坝        | 青海共和 | 黄河   | 36        | 150       | 重力坝 | 63        | 12        | 0.46                    | 330   | 247                        | 1280       | 1991     | 西北院      | 四局       |
| 8  | 天生桥二级        | 广西隆林 | 南盘江  | 61        | 471       | 重力坝 | 43        | 6.5       | 13.8                    | 49.3  | 0.26                       | 1320       | 1992     | 贵阳院      | 武警一总队    |
| 9  | 广蓄下库         | 广东从化 | 流溪河  | 43.5      | 153.1     | 重力坝 | 32        | 7         | 3.2                     | 5.6   | 0.17                       | 1200       | 1992     | 广东院      | 十四局      |
| 10 | 万安           | 江西吉安 | 赣江   | 68        | 1104      | 重力坝 | 41        | 22        | 15.6                    | 148   | 22.1                       | 500        | 1992     | 长江委      | 武警二总队    |
| 11 | 岩滩           | 广西巴马 | 红水河  | 110       | 525       | 重力坝 | 73        | 20        | 35.8                    | 63.6  | 33.8                       | 1210       | 1995     | 广西电院     | 广西局      |
| 12 | 锦江           | 广东仁化 | 锦江   | 60        | 229       | 重力坝 | 38.4      | 7         | 18.2                    | 26.7  | 1.89                       | 25         | 1993     | 广东院      | 葛洲坝      |
| 13 | 水口(明渠、导墙、大坝) | 福建闽清 | 闽江   | 101       | 783       | 重力坝 | 68        | 20        | 61.0                    | 348.0 | 23.4                       | 1400       | 1993     | 华东院      | 华田公司     |
| 14 | 大广坝          | 海南昌化 | 昌化江  | 57        | 719       | 重力坝 | 42.3      | 8.5       | 48.5                    | 82.7  | 17.1                       | 240        | 1993     | 中南院      | 葛洲坝      |
| 15 | 普定           | 贵州普定 | 三岔河  | 75        | 195.7     | 拱坝  | 28.2      | 6.3       | 12.7                    | 14.99 | 4.21                       | 75         | 1994     | 贵阳院      | 八局       |
| 16 | 温泉堡          | 河北抚宁 | 汤河   | 49        | 188       | 拱坝  | 13.8      | 5         | 5.5                     | 6.25  | 0.07                       | 0          | 1994     | 河北院      | 河北局      |
| 17 | 水东           | 福建尤溪 | 尤溪   | 63        | 239       | 重力坝 | 4.3       | 4         | 8                       | 11.5  | 1.05                       | 76         | 1994     | 福建院      | 闽江局      |
| 18 | 山仔           | 福建连江 | 鳌江   | 65        | 273       | 重力坝 | 63        | 6         | 18                      | 24.5  | 1.81                       | 45         | 1994     | 福建院      | 十四局      |
| 19 | 观音阁          | 辽宁本溪 | 太子河  | 82        | 1040      | 重力坝 | 66        | 10.3      | 124                     | 197   | 21.7                       | 19.5       | 1995     | 辽宁院      | 辽宁局      |
| 20 | 溪柄           | 福建龙岩 | 溪柄溪  | 63        | 93        | 拱坝  | 12        | 7.4       | 2.5                     | 3.3   | 0.09                       | 2          | 1996     | 清华大学     | 葛洲坝      |
| 21 | 百龙滩          | 广西马山 | 洪水河  | 28        | 247       | 重力坝 | 36        | 84        | 6.2                     | 8.0   | 0.69                       | 192        | 1996     | 广西院      | 广西局      |
| 22 | 石漫滩          | 河南舞阳 | 滚河   | 40        | 675       | 重力坝 | 37        | 7         | 27.5                    | 35    | 1.2                        | 0          | 1997     | 天津院      | 十一局      |
| 23 | 满台城          | 吉林汪清 | 嘎哩河  | 37        | 357       | 重力坝 | 27.5      | 6         | 7.8                     | 13.6  | 1.0                        | 24         | 1997     | 延边院      | 吉林局      |
| 24 | 双溪           | 广东大埔 | 梅潭河  | 52        | 221       | 重力坝 | 40        | 5         | 11.3                    | 17.2  | 0.91                       | 36         | 1997     | 广东院      | 葛洲坝      |



续表

| 序号 | 坝名    | 地点    | 河流  | 坝高<br>(m) | 坝长<br>(m) | 坝型  | 底宽<br>(m) | 顶宽<br>(m) | 坝体积 (万 m <sup>3</sup> ) |       | 总库容<br>(亿 m <sup>3</sup> ) | 装机<br>(MW) | 建成<br>年份 | 设计<br>单位 | 施工<br>单位 |
|----|-------|-------|-----|-----------|-----------|-----|-----------|-----------|-------------------------|-------|----------------------------|------------|----------|----------|----------|
|    |       |       |     |           |           |     |           |           | 碾压                      | 总量    |                            |            |          |          |          |
| 25 | 桃林口   | 河北卢龙  | 青龙河 | 82        | 524       | 重力坝 | 62        | 10.5      | 74.1                    | 151.4 | 8.54                       | 96         | 1998     | 河北院      | 武警、河北局   |
| 26 | 石板水   | 四川丰都  | 龙河  | 84        | 445       | 重力坝 | 62.5      | 12        | 23.7                    | 56.1  | 1.05                       | 115        | 1998     | 成勘院      | 三局       |
| 27 | 碗窑    | 浙江江山  | 达河溪 | 83        | 390       | 重力坝 | 61.5      | 8.5       | 32                      | 43.5  | 2.23                       | 12.6       | 1998     | 浙江院      | 浙江局      |
| 28 | 江垅    | 湖南慈利  | 娄水  | 131       | 367       | 重力坝 | 105       | 12        | 110                     | 110   | 17.5                       | 300        | 1999     | 湖南院      | 辽宁局      |
| 29 | 大朝山   | 云南云县  | 澜沧江 | 115       | 480       | 重力坝 | 85        | 16        | 9                       | 193   | 8.9                        | 1350       | 2000     | 北京院      | 八局       |
| 30 | 棉花滩   | 福建永定  | 汀江  | 113       | 308       | 重力坝 | 90        | 7         | 51                      | 61    | 2.04                       | 600        | 2001     | 上海院      | 闽江局      |
| 31 | 石门子   | 新疆玛纳斯 | 玛西河 | 109       | 176.5     | 拱坝  | 30        | 5         | 18.8                    | 21.5  | 0.8                        | 0          | 2000     | 清华大学     | 葛洲坝      |
| 32 | 汾河二库  | 山西太原  | 汾河  | 88        | 350       | 重力坝 | 64.8      | 7.5       | 36.2                    | 46    | 1.3                        | 96         | 2000     | 山西院      | 山西水局     |
| 33 | 潘溪三级  | 福建德化  | 南溪  | 86.5      | 198       | 重力坝 | 59.6      | 8         | 19.6                    | 25.5  | 0.69                       | 40         | 1999     | 华东院      | 十四局      |
| 34 | 花滩    | 四川荣经  | 蒙河  | 85.3      | 173.5     | 重力坝 | 70        | 8         | 24                      | 29    | 0.08                       | 24         | 1999     | 四川院      | 十局       |
| 35 | 长顺    | 湖北利川  | 郁江  | 63        | 250       | 重力坝 | 45        | 7         | 17                      | 20    | 0.8                        | 36         | 1999     | 湖北院      | 葛洲坝      |
| 36 | 高坝洲   | 湖北枝城  | 清江  | 57        | 188       | 重力坝 | 42        | 5         | 70.2                    | 79.8  | 4.3                        | 252        | 1999     | 长江委      | 葛洲坝      |
| 37 | 红坡    | 云南昆明  | 沙郎河 | 55.2      | 244       | 重力坝 | 26.6      | 4.5       | 7.03                    | 7.71  | 0.03                       | 0          | 1999     | 昆明院      | 八局       |
| 38 | 白石    | 辽宁北票  | 大凌河 | 50.3      | 523       | 重力坝 | 57        | 11.3      | 17.10                   | 57.5  | 1.0                        | 9.6        | 1999     | 辽宁院      | 辽宁局      |
| 39 | 阎王鼻子  | 辽宁朝阳  | 大凌河 | 34.5      | 383       | 重力坝 | 27.2      | 10        | 8.73                    | 22    | 1.35                       | 3.6        | 1999     | 辽宁院      | 一局       |
| 40 | 龙首    | 甘肃张掖  | 黑河  | 80.5      | 217.3     | 拱坝  | 13.5      | 5         | 19.7                    | 21.7  | 0.132                      | 59         | 2001     | 贵阳院      | 四局       |
| 41 | 小溪河   | 广东丰顺  | 小溪河 | 62        | 102.5     | 重力坝 | 53.8      | 5         | 4.71                    | 6.56  |                            |            | 2002     | 广东院      | 广东二局     |
| 42 | 临江    | 吉林临江  | 鸭绿江 | 104       | 531.5     | 重力坝 | 75        | 7         | 92.96                   | 152.9 | 18.16                      | 300        |          | 东北院      | 一局、六局    |
| 43 | 沙牌    | 四川汶山  | 草坡河 | 132       | 250.3     | 拱坝  | 28        | 9.5       | 36.4                    | 39.2  | 0.18                       | 36         | 2002     | 成勘院      | 八局       |
| 44 | 周宁    | 福建周宁  | 穆阳溪 | 73.4      | 206       | 重力坝 | 56        | 7.5       | 16.15                   | 19.2  | 0.47                       | 250        | 2004     | 福建院      | 闽江局      |
| 45 | 山口三级  | 广东始兴  | 澄江  | 57.4      | 179.9     | 重力坝 | —         | 6         | 10.56                   | 12.65 | 0.48                       | 6          | 2002     | 广东院      | 广东二局     |
| 46 | 杨水溪三级 | 广东乳源  | 杨水溪 | 46.2      | 201.8     | 重力坝 | 38.6      | 5         | 10                      | 13.94 |                            | 25         | 2003     | 广东院      | 广东二局     |
| 47 | 八乡三级  | 广东丰顺  | 八乡河 | 44.3      | 207.4     | 重力坝 | 33.5      | 7         | 6.3                     | 8.34  |                            | 25.5       |          | 广东院      | 广东二局     |
| 48 | 玉石    | 辽宁本溪  | 辽河  | 50        |           | 重力坝 |           |           |                         |       |                            |            |          | 辽宁院      | 辽宁局      |
| 49 | 碗米坡   | 湖南保靖  | 酉水  | 66.5      | 248       | 重力坝 | —         | 16        | 13.4                    | 27.8  | 3.78                       | 240        | 2004     | 中南院      | 七局       |



续表

| 序号 | 坝名   | 地点   | 河流   | 坝高<br>(m) | 坝长<br>(m) | 坝型  | 底宽<br>(m) | 顶宽<br>(m) | 坝体积 (万 m <sup>3</sup> ) |       | 总库容<br>(亿 m <sup>3</sup> ) | 装机<br>容量 (MW) | 建成<br>年份 | 设计<br>单位 | 施工<br>单位 |
|----|------|------|------|-----------|-----------|-----|-----------|-----------|-------------------------|-------|----------------------------|---------------|----------|----------|----------|
|    |      |      |      |           |           |     |           |           | 碾压                      | 总量    |                            |               |          |          |          |
| 50 | 南河口  | 陕西南皋 | 岚河   | 100       | 311       | 拱坝  | 27.2      | 6         | 23.1                    | 29.5  | 1.47                       | 72            | 2003     | 西北院      | 四局       |
| 51 | 河龙   | 吉林农安 |      | 30        | 244       | 重力坝 | 23.3      | 6         | 4.28                    | 8.98  |                            |               | 2001     | 延边院      | 延边局      |
| 52 | 山口三级 | 广东韶关 | 澄江水  | 57.4      | 179.4     | 重力坝 | 50        | 6         | 9.8                     | 11.9  | 0.482                      | 6             | 2003     | 广东院      | 广东二局     |
| 53 | 回龙上库 | 河南南阳 | 回龙沟  | 54        | 208       | 重力坝 | 40.5      | 5         | 7.49                    | 7.87  | 0.0118                     | 120           | 2004     | 黄河院      | 武警三指部    |
| 54 | 回龙下库 | 河南南阳 | 回龙沟  | 53.3      | 175       | 重力坝 | —         | 6         | 8.3                     | 10.5  | 0.0168                     | 120           | 2004     | 黄河院      | 十一局      |
| 55 | 毛坝关  | 陕西紫阳 | 汉江支流 | 61        | 140.5     | 拱坝  |           |           | 8.05                    | 10.6  | 0.223                      | 240           | 2005     | 西北院      | 三局       |
| 56 | 雷打滩  | 云南弥勒 | 南盘江  | 84        | 204.5     | 重力坝 | 59        | 8         | 20.4                    | 34    | 0.94                       | 108           | 2006     | 昆明院      | 八局       |
| 57 | 通口   | 四川北川 | 通口河  | 71.5      | 220.7     | 重力坝 | 54.3      | 6         | 14                      | 30    | 0.36                       | 45            | 2005     | 绵阳院      | 五局       |
| 58 | 鱼筒河  | 贵州息峰 | 鱼筒河  | 81        | 179.7     | 拱坝  | 16.5      | 4         | 10.5                    | 11    | 0.105                      | —             | 2005     | 贵州院      | 广东二局     |
| 59 | 小洋溪  | 贵州金沙 |      | 44.6      | 118       | 重力坝 | 33        | 5         |                         |       | 0.12                       |               |          |          |          |
| 60 | 杨溪一级 | 广东乳源 | 杨水溪  | 82        | 224       | 重力坝 |           |           | 34                      |       |                            |               |          | 广东院      | 广东二局     |
| 61 | 松月   | 吉林和龙 | 海兰河  | 31        | 270       | 重力坝 |           |           | 7.75                    |       |                            |               |          |          |          |
| 62 | 奔河口  | 河南济源 | 白莽河  | 75        | 215       | 重力坝 |           |           | 24.9                    |       |                            |               |          |          |          |
| 63 | 西溪   | 浙江宁海 | 大溪河  | 71        | 243       | 重力坝 | 53.3      | 7         | 23.1                    | 30    |                            | 6             | 2006     | 浙江院      | 八局       |
| 64 | 百色   | 广西百色 | 右江   | 130       | 734       | 重力坝 | 113       | 12        | 211.5                   | 258.2 | 56                         | 540           | 2006     | 广西院      | 闽江、四局    |
| 66 | 索风营  | 贵州修文 | 乌江   | 116       | 169.7     | 重力坝 | 104.2     | 8         | 44.7                    | 55.5  | 2.01                       | 600           | 2006     | 贵阳院      | 八局       |
| 67 | 招来河  | 湖北长阳 | 招来河  | 107       | 198       | 拱坝  | 18.5      | 6         | 18                      | 22    | 0.703                      | 36            | 2006     | 湖北院      | 十一局      |
| 68 | 下桥   | 广西河池 | 龙江   | 68        | 212       | 拱坝  | 22        | 6         | 6.7                     | 9.0   | 0.49                       | 50            | 2005     | 广西水电院    | 广西局      |
| 69 | 平斑   | 广西隆林 | 南盘江  | 62.2      | 395.5     | 重力坝 | 46.5      | 6         |                         | 75.3  | 2.78                       | 405           | 2006     | 广西院      | 广西局      |
| 70 | 大花水  | 贵州遵义 | 清水河  | 134.5     | 198.4     | 拱坝  | 25        | 7         | 59.8                    | 64.7  | 2.765                      | 180           | 2006     | 贵阳院      | 八局、武警    |
| 71 | 舟坝   | 四川沐川 | 马边河  | 72.5      | 162.5     | 重力坝 | 55.8      | 15        | 20.1                    | 29    | 2.02                       | 102           | 2006     | 成都院      | 陕工局      |
| 72 | 土卡河  | 云南江城 | 李仙江  | 51        | 300       | 重力坝 | 50        |           | 25.5                    | 57    | 0.78                       | 165           | 2007     | 北京院      | 三局       |
| 73 | 流波   | 安徽金寨 | 漂河   | 70.1      | 257.8     | 拱坝  | 21        | 6         | 13                      | 17    | 0.515                      | 25            | 2006     | 安徽省院     | 十局       |
| 74 | 玄庙观  | 湖北宜昌 | 黄柏河  | 79.5      | 243       | 拱坝  | 15.8      | 4         | 7.5                     | 9.5   |                            |               | 2006     | 天津院      |          |
| 75 | 麒麟观  | 湖北玉峰 | 南河   | 77        | 140       | 拱坝  | 12        | 4.5       | 4.5                     | 5.5   |                            |               | 2006     | 湖北省院     |          |



续表

| 序号 | 坝名    | 地点    | 河流   | 坝高<br>(m) | 坝长<br>(m) | 坝型  | 底宽<br>(m) | 顶宽<br>(m) | 坝体积 (万 m <sup>3</sup> ) |       | 总库容<br>(亿 m <sup>3</sup> ) | 装机<br>(MW) | 建成<br>年份 | 设计<br>单位 | 施工<br>单位 |
|----|-------|-------|------|-----------|-----------|-----|-----------|-----------|-------------------------|-------|----------------------------|------------|----------|----------|----------|
|    |       |       |      |           |           |     |           |           | 碾压                      | 总量    |                            |            |          |          |          |
| 76 | 沙坝    | 贵州务川  | 洪渡河  | 87        | 148.5     | 拱坝  | 20        | 6         | 6.7                     | 9     | 0.994                      | 30         | 2006     | 贵州院      | 葛洲坝      |
| 77 | 白石牙   | 广西防城港 | 西江村  | 74        | 190       | 重力坝 |           |           |                         | 24    | 0.241                      | 25         | 2006     | 广西水电院    | 广西局      |
| 78 | 喜河    | 陕西石泉  | 汉江   | 61.8      | 346       | 重力坝 | 50        | 20        | 20                      | 64    | 2.29                       | 180        | 2006     | 北京院      | 三局       |
| 79 | 屏南渡   | 云南思茅  | 李仙江  | 95        | 320       | 重力坝 |           | 13        | 54.6                    | 85.03 |                            |            | 2007     | 昆明院      | 葛洲坝      |
| 80 | 海甸峡   | 甘肃临洮  | 洮河   | 54        |           | 重力坝 |           |           | 12                      | 21    | 0.174                      | 52.5       | 2007     | 甘肃院      | 四局       |
| 81 | 彭水    | 重庆彭水  | 乌江   | 116.5     | 309.53    | 重力坝 | 90.2      | 20        | 60.8                    | 132.9 | 14.44                      | 1750       | 2008     | 长江委      | 八局       |
| 82 | 景洪    | 云南景洪  | 澜沧江  | 110       | 704.6     | 重力坝 |           |           | 29.2                    | 84.8  | 11.4                       | 1750       | 2008     | 昆明院      | 三局、葛洲坝   |
| 83 | 光照    | 贵州关岭  | 北盘江  | 200.5     | 410       | 重力坝 | 160       | 12        | 241                     | 280   | 31.35                      | 1040       | 2008     | 贵阳院      | 闽江、四局    |
| 84 | 龙潭    | 广西天峨  | 红水河  | 192       | 836.5     | 重力坝 | 168.6     | 14-33     | 521.7                   | 741.3 | 272.7                      | 5400       | 2008     | 中南院      | 七八葛、武警   |
| 85 | 洪口    | 福建宁德  | 霍童溪  | 130       | 340.1     | 重力坝 | 103       | 6         | 70.9                    | 83.2  | 4.497                      | 200        | 2008     | 福建院      | 闽江局      |
| 86 | 皂市    | 湖南皂市  | 澧水   | 88        | 351       | 重力坝 |           |           | 45                      | 123   | 14.4                       | 120        | 2008     | 湖南院      | 辽宁局、三局   |
| 87 | 大田河   | 贵州贞丰  | 大田河  | 43.6      | 140       | 重力坝 |           |           |                         | 14    | 0.0328                     | 100        | 2007     |          | 九局       |
| 88 | 龙桥    | 湖北利川  | 郁江   | 95        |           | 拱坝  |           |           |                         |       | 0.26                       | 60         | 2007     | 湖北院      | 十五局      |
| 89 | 铁城    | 甘肃永登  | 大通河  | 44        | 138.5     | 重力坝 |           |           | 6.66                    | 10.42 |                            | 51.5       |          | 甘肃省院     | 三局       |
| 90 | 白沙    | 福建龙岩  | 万安溪  | 74.9      | 171.8     | 重力坝 | 59.5      | 6         | 21.2                    | 23.8  | 1.99                       | 70         | 2007     | 福建院      | 闽江局      |
| 91 | 云龙河三级 | 湖北恩施  | 清江支流 | 135       | 143.69    | 拱坝  | 22.12     | 5.5       | 17.5                    | 18.3  | 0.43                       | 40         | 2008     | 长江委      | 葛洲坝      |
| 92 | 石堤    | 重庆秀山  | 酉水   | 53.5      | 230.3     | 重力坝 |           |           | 9.31                    | 16.9  | 3.0                        | 120        | 2008     | 中南院      |          |
| 93 | 西酬    | 重庆酉阳  | 酉水   | 62.6      |           | 重力坝 |           |           |                         |       | 1.52                       | 1200       | 2008     | 中南院      |          |
| 94 | 白莲崖   | 安徽霍山  | 漫水河  | 104.6     | 421.8     | 拱坝  | 25        | 8         | 56.1                    | 66.9  | 4.6                        | 50         | 2008     | 安徽省院     | 闽江局      |
| 95 | 蜀河    | 陕西旬阳  | 汉江   | 65        | 311       | 闸坝  |           |           |                         | 103   | 1.76                       | 270        | 2008     | 西北院      | 三局、十五局   |
| 96 | 宜兴副坝  | 江苏宜兴  | 上库   | 36.7      | 216       | 重力坝 |           |           | 6.8                     | 8.6   | 0.052                      | 1000       | 2008     | 华东院      | 葛洲坝      |
| 97 | 戈兰滩   | 云南思茅  | 李仙江  | 113       | 466       | 重力坝 |           | 10        | 94.0                    | 140   | 4.09                       | 450        | 2009     | 天津院      | 闽江局      |
| 98 | 罗坡    | 湖北利川  | 冷水河  | 112       | 191       | 拱坝  | 20        | 6         | 18.2                    | 20.7  | 0.86                       | 300        | 2009     | 湖北院      | 十五局      |
| 99 | 云口    | 湖北利川  | 乌泥河  | 122       | 152       | 拱坝  | 18.5      | 5         |                         | 20.5  | 0.35                       | 300        | 2009     | 湖北院      |          |

注 三局、四局、七局、八局、十一局、闽江局、陕工局等指中国水利水电工程局；武警支队指武警水电指挥部所属单位；贵阳院、西北院、昆明院等指中国水电顾问集团所属。