

中国混凝土 面板堆石坝 30 年

—— 引进 · 发展 · 创新 · 超越

水电水利规划设计总院

中国水力发电工程学会混凝土面板堆石坝专业委员会

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

水利水电土石坝工程信息网

国家能源水电工程技术研发中心高土石坝分中心

编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国混凝土 面板堆石坝 30 年

—— 引进 · 发展 · 创新 · 超越

水电水利规划设计总院

中国水力发电工程学会混凝土面板堆石坝专业委员会

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

水利水电土石坝工程信息网

国家能源水电工程技术研发中心高土石坝分中心

编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

在我国引进消化、自主创新、突破发展混凝土面板堆石坝筑坝技术 30 年之际，中国水力发电工程学会混凝土面板堆石坝专业委员会组织出版了本论文集。论文集共收录文章 76 篇，其中祝贺稿 1 篇，综合类 7 篇，设计类 27 篇，施工类 23 篇，科研类 11 篇，运行监测类 7 篇，反映了 30 年来我国面板堆石坝引进、发展、创新、超越的发展历程和最新成果。

本论文集可供从事混凝土面板堆石坝设计、施工、科研、监测和运行管理工作的工程技术人员阅读，也可供相关专业院校师生参考。

图书在版编目（C I P）数据

中国混凝土面板堆石坝30年：引进·发展·创新·超越 / 水电水利规划设计总院等编. — 北京：中国水利水电出版社，2016.10
ISBN 978-7-5170-4853-4

I. ①中… II. ①水… III. ①混凝土面板坝—堆石坝—中国—文集 IV. ①TV641.4-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第263158号

书 名	中国混凝土面板堆石坝 30 年——引进·发展·创新·超越 ZHONGGUO HUNNINGTU MIANBAN DUISHIBA 30 NIAN ——YINJIN·FAZHAN·CHUANGXIN·CHAOYUE
作 者	水电水利规划设计总院 中国水力发电工程学会混凝土面板堆石坝专业委员会 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司 编
出版发行	水利水电土石坝工程信息网 国家能源水电工程技术研发中心高土石坝分中心 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：sales@waterpub.com.cn 电话：(010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话：(010) 88383994、63202643、68545874 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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 38 印张 901 千字
版 次	2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷
印 数	0001—1200 册
定 价	128.00 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

《中国混凝土面板堆石坝 30 年——引进·发展·创新·超越》

编辑委员会

顾问	马洪琪	蒋国澄	孙永娟	
主编	周建平	杨泽艳	张宗亮	
副主编	孔宪京	徐泽平	艾永平	杨和明
	余挺	姚栓喜	孙来成	熊泽斌
	朱晟	余英	朱永国	吴毅瑾
	杨建敏			

编委 (按姓氏笔画排列)

王亚文	王富强	孔宪京	邓毅国
冯业林	孙役	孙永娟	孙来成
朱晟	杨和明	杨泽艳	吴晓铭
吴梦喜	吴毅瑾	吴鹤鹤	余挺
张宗亮	陈振文	周恒	周建平
徐泽平	黄宗营	黄晓辉	喻葭临
傅方明	湛正刚	蔡昌光	熊泽斌

编辑 王富强 马淑君 周少萍

贺中国混凝土面板堆石坝 30 年（代序）

蒋国澄

（中国水利水电科学研究院）

1 祝贺

中国用现代技术修建混凝土面板堆石坝始于 1985 年，以湖北西北口水库为试点工程率先开工建设，并列入“七五”国家重点科技攻关计划，从而开始了对这一种新坝型的引进、消化吸收和再开发的进程，直至在全国普及，与碾压混凝土坝一起，成为主管部门列为重点推广的两种新坝型，在中国坝工建设中取得了巨大的经济效益。

在引进这种新坝型的工程中，有两件事值得一提。一是当时参加国际大坝会议的中国专家，在会后参访巴西的大坝建设时，注意到巴西建设的混凝土面板堆石坝这一新鲜事物，回国后进行了宣传介绍，特别是马君寿全面推介的文章，起到了启蒙作用。二是中国专家曹克明等参加了 1985 年美国土木工程师协会年会，会议的主要议题是混凝土面板堆石坝，全面反映了此前国际上建设混凝土面板堆石坝的实践经验，会议论文集被称为混凝土面板堆石坝的“第一本绿皮书”，加上两期美国土木工程师协会的后续报道，使我们有可能了解国际动态，并在较高的起点上进行中国的混凝土面板堆石坝的建设。同时也开始结识了 J. B. Cooke、J. L. Sherard 等许多知名专家，对中国混凝土面板堆石坝的发展有很大帮助。

进入 21 世纪以来，中国的混凝土面板堆石坝的建设又有了新的突破。不但 100m 级坝的成套技术已经普及，而且也掌握了 200m 级高坝的成套技术，并向 300m 级高坝进军。中国在本土及国外修建的 150m 以上的高坝几乎占了世界总量的半壁江山。以科技进步引领着事业的稳定发展。

中国在发展混凝土面板堆石坝的过程中，也积极参与国际上的相关活动，为混凝土面板堆石坝在国际上的发展做出了自己的贡献。1993 年北京的高土石坝国际学术研讨会和 2000 年北京国际大坝会议会前的国际混凝土面板堆石坝学术研讨会的论文集被称为第二本、第三本“绿皮书”。国际大坝委员会的许多学术活动中，少不了混凝土面板堆石坝的议题，也少不了中国专家的身影。中国技术也走出国门，在国外修建了包括马来西亚 Bakun 坝（坝高 205m）在内的一批混凝土面板堆石坝。

在中国发展混凝土面板堆石坝的历程中，中国水力发电工程学会混凝土面板堆石坝专业委员会的参与厥功至伟。组织和协调全国科技力量，开展学术活动，培训基层科技人员，出版学术书籍和刊物，开展技术咨询，推广先进技术，培养积极分子等方面，都是成绩斐然。在混凝土面板堆石坝 10 年和 20 年的时代，都有隆重的庆祝活动，以及反映工程总结和科研成果的论文集，以留住历史的脚步。值此混凝土面板堆石坝 30 年之际，专业委员会又组织了相应的纪念活动，缅怀既往，展望未来，混凝土面板堆石坝必将取得更大

的发展和成功。

祝贺中国混凝土面板堆石坝 30 年的成就,祝贺混凝土面板堆石坝专业委员会的成功运作,期望未来混凝土面板堆石坝发展更上层楼。

2 回顾

2.1 中国混凝土面板堆石坝的建设和研究水平稳居世界前列

中国混凝土面板堆石坝建设起点高,投入大,发展快,在数量、高度、规模、技术难度等方面,都稳居世界前列,但其发展过程不是一帆风顺的,说是历尽坎坷也不为过。西北口坝的混凝土面板大量裂缝,沟后坝的垮坝事故,天生桥一级大坝面板混凝土沿竖向缝的挤压破坏,三板溪坝面板混凝土沿水平缝的挤压破坏,株树桥坝的大量渗漏等情况,都在当时对混凝土面板堆石坝的建设起到负面影响。混凝土面板堆石坝的安全性、经济性、适应性良好的优越性在坝工界已取得共识,在逆境中奋起,总结经验,坚持发展,仍是当时的主流。遇到问题,研究解决,就意味着进步。国家、相关行政领导部门,以及业主单位对混凝土面板堆石坝发展的精神和物质方面的支持,有力的组织领导,各方面科技人员的共同努力,是取得重大科技进步的源泉,由此也反映了中国集中力量办大事,体现了社会制度的优越性。

2.2 在实践中认知变形控制是保证混凝土面板堆石坝安全运行的主要因素

土石坝安全的主要因素是不漫顶,以及满足渗流、稳定和变形等方面的要求,混凝土面板堆石坝也不例外。

实践证明堆石坝在渗流控制和坝坡稳定方面的问题,是不难解决的。由于堆石料本身是非冲蚀性材料,且混凝土面板堆石坝的断面设计和坝料分区配置上,已充分注意到不同坝料的层间关系,能做到满足反滤要求,在采用半透水垫层及要求过渡料对垫层料起反滤作用的条件下,做到堆石坝体即使没有混凝土面板,也能保持其渗透稳定,使得混凝土面板的作用主要是减少渗流量和对垫层料的保护。

在稳定方面,由于坝主体是堆石、砂砾石等粗颗粒材料,其抗剪强度是较高的,在现在采用的坝坡条件下,坝坡稳定经过实践检验是没有问题的。即使在极端情况下失稳,也只是表面石块的滚动或表层的脱落,不影响坝主体的稳定。除非使用软岩坝料、坝基有软弱夹层或有强烈地震等情况,一般不需要进行坝坡稳定分析。

实践表明堆石体的大量和不均匀变形,以及因此引发的混凝土面板的裂缝和断裂、接缝张开、止水失效而导致的大量渗漏和渗透稳定,带来的经济损失,甚至发展到垮坝事故,乃是混凝土面板堆石坝安全和经济的关键。并发现对高坝而言,其应力应变关系与一般 100m 级的坝有所不同,由于高应力,特别是石块边棱等接触点的应力集中,导致颗粒破碎和颗粒排列的调整,使运行期仍将有一定数量的后期变形,对混凝土面板和接缝止水有破坏作用。在此认识的基础上开展了一系列研究和实践活动,对前人基于 100m 级面板坝经验而形成的一系列经验设计的理念和方法提出了许多颠覆性的结论,用于指导更高面板坝的建设。最早的体现是高 185m 的洪家渡水电站混凝土面板堆石坝的成功实践。

洪家渡大坝集成使用了国内高混凝土面板堆石坝变形控制的理念和方法,在两岸严重不对称、左岸高陡的河谷中成功地建成并正常运行多年。这些理念和方法主要如下:

(1) 在断面坝料配置和压实要求上,不认为下游堆石区可以采用较差的材料和较低的

压实标准,而采用了与上游堆石区相同的材料和压实标准,尽量减小各区材料的模量差。还在下游堆石区率先使用了压实功能更高的冲击碾。

(2) 在压实标准方面,摒弃了只需要 10t 振动碾压 4 遍、再多压是浪费的传统观点,用 25t 振动碾压 8~10 遍,使堆石体的孔隙率减少到 20% 以下,以取得更为密实、模量更高的堆石体,以尽可能减少大坝变形。在提高压实密度的同时,也可减少因流变、湿化等因素而导致的后期变形。

(3) 在左岸高陡边坡无法开挖到要求坡度的情况下,采用贴坡设置过渡料填筑的增强模量区,人为造成较缓的边坡与堆石区相接,以减小接坡处从岸坡基岩到堆石体间的变形梯度,缓解周边缝的负担。

(4) 施工中除第一个汛期设置临时断面度汛外,做到全断面均衡填筑,同时上升,以减小坝体各部位因时间差而导致的不均匀变形。

(5) 在浇筑混凝土面板前,在堆石体顶高程与拟浇筑面板顶高程间留一适当高差,以缓解后续填筑坝体荷载所引发的变形对已浇筑面板的影响。设置堆石体在浇筑面板前的预沉降期和预沉降速率的要求,在堆石体变形高峰过去后再浇筑面板,以便在面板浇筑前尽量消除对面板有害的变形。

(6) 在混凝土面板分缝及接缝止水的设计方面,在实验研究的基础上,选用能适应高坝大变形、高水头的新型止水材料和结构。根据天生桥一级坝混凝土面板挤压破坏的处理经验,在第三期面板压性缝区适当设置可压缩缝,以适应两岸向河谷方向的变形。

这一系列变形控制技术的集成使用,包括减小总变形量,减小各部位间因模量差和时间差导致的不均匀变形和变形梯度,减小面板浇筑后的有害变形,使用适应堆石体变形的结构措施,成就了洪家渡大坝工程的成功建设,并对更高混凝土面板堆石坝的建设有重要参照意义。

2.3 混凝土面板堆石坝的各项创新技术

中国混凝土面板堆石坝建设过程中,对国外引进的技术和一些知名专家的意见并不是照抄照搬的,而是根据中国国情和工程具体情况不断创新的。具体如下:

(1) 浇筑混凝土面板的无轨滑模设备。在西北口混凝土面板堆石坝试点工程中,开始照搬国外的有轨滑模,发现有许多不便之处,而创新了无轨滑模设备和工艺。在天生桥一级面板坝施工中,负责现场技术工作的巴西专家开始也照搬巴西有轨滑模的经验,不认可中国的无轨滑模,但经过第一期面板浇筑的实践,他们也认为中国的技术好,而在后续施工中,采用了无轨滑模。现这项技术已不断完善,并在国内外普遍推广。

(2) 用 GPS 技术对坝面施工质量进行自动化的实时控制。由于原有坝面质量控制全靠人工操作,成果受人为因素影响很大,且较为费时,不适应大型工程的需要。水布垭混凝土面板堆石坝堆石坝施工过程中,引入 GPS 技术,采集各项施工参数数据,传输到中心控制室,进行实时控制,并将问题及时反馈到现场。这项技术还可为建设数字大坝提供基础数据,是对传统技术的突破。

(3) 混凝土面板堆石坝防渗体系的创新。混凝土面板堆石坝的防渗体系首先是堆石坝体本身的分区坝料配置和级配选择,用半透水垫层料、对垫层料起反滤作用的过渡料、各分区坝料间有反滤过渡层保护等措施,保持坝体本身能起到减少入渗水量、保持渗透稳定

的作用。

中国的高混凝土面板堆石坝工程中,接缝止水系统除保留传统的底部铜止水外,重点研究和发展施工中能置于肉眼观察之下、易于控制安装质量、便于维修更新的高效表层止水结构和材料。用于表层止水的塑性材料的性能远优于国外使用的 IGAS 材料,接缝止水的结构型式也比国外采用的有所不同,各道止水可以协同或独立起止水作用以提高其安全裕度,并应用了波纹状止水、复合止水材料、潮湿面黏结剂、表面塑性填料机械化施工等新技术,形成完整的接缝止水体系,可在大变形和高水头长期作用下不渗水。

对面板混凝土性能及防裂措施,中国科技人员作过深入的研究。从原材料选择、外加剂和掺合料、施工配合比、温控措施、浇筑后的养护等方面入手,研制出低用水量、低坍落度、低水化热的混凝土配比,还有的掺加各种纤维材料以提高混凝土的极限拉伸达到防止温度和干缩裂缝的目的。对运行期的结构性裂缝也提出了防治措施。有些工程还采用了混凝土表面喷涂防渗涂料以提高混凝土耐久性和使用寿命的措施。

用混凝土防渗墙处理深覆盖层坝基,并将坝体置于覆盖层上的措施已成为常规技术。

(4) 多用或全用开挖料填筑坝体。中国的许多混凝土面板堆石坝的主体是用建筑物有效挖方填筑的,有的工程全部采用开挖料填筑,有的工程还有意识地扩大开挖范围,取得更多就近料源,以便不设或少开专用料场,有极大的经济、社会、环保效益。如天生桥一级混凝土面板堆石坝,坝高 178m,坝体填筑方量约 1800 万 m^3 ,全部采用溢洪道开挖的灰岩料填筑,在最后填筑方量不足时,还将溢洪道引渠段加深开挖 5m,取得补充的方量。对抽水蓄能电站上水库,利用库盆开挖料筑坝,还可以取得扩大水库库容的利益。如十三陵抽水蓄能电站上水库混凝土面板堆石坝就是全部由库盆开挖料填筑的。这种安排已成常规。

2.4 混凝土面板堆石坝由经验坝型向理论分析与经验判断相结合的过渡

国外的混凝土面板堆石坝一直是一种经验坝型,其设计理念基本上按已建工程的类比和经验判断为主要导向。中国的混凝土面板堆石坝工程在建设早期也是这样开始的。但随着坝高和工程规模不断增加、坝址自然条件日益复杂和不利,许多工程已不是已有经验可以覆盖的,而要进行全面的科学试验和理论分析,提高理论水平,以弥补经验的局限,并提供新的经验,使经验判断有更好的理论基础。具体如下:

试验室的材料试验和物理模型试验:对粗颗粒材料,建立了相应的大型试验设备,如模拟各种应力状态和应力途径的大型三轴仪、压缩仪、流变仪、相对密度仪、大型动力三轴仪等;大型土工离心模型试验机,适合于模拟岩土工程中以重力式为主的结构中的应力状态;能模拟任意地震波的大型振动台等,所有这些设备都有自动化程度很高的量测、传输、纪录、分析等附件,且已由少数单位拥有,到有不少单位都有的普及趋势。

现场试验已由取得施工工艺和参数为主的单纯条件试验,如碾压试验、灌浆试验等,转而解决一些试验室试验解决不了的问题,如粗颗粒材料的缩尺效应,而进行原级配材料的现场压缩、剪切、荷载板等试验,探讨试验室试验与现场试验的关系,试图从现场试验中回归出计算用的参数,减少堆石料试验中缩尺效应的影响。

大坝及其地基的渗流及应力变形分析方法和手段已有很大发展,以有限元分析法为代表的数值模拟已成为设计计算中不可或缺的手段。相应的材料本构关系的研究也有了丰硕

前言

2015 年是我国引进现代筑坝技术建设混凝土面板堆石坝的第 30 年。据统计,截至 2015 年年底,我国坝高 30m 以上混凝土面板堆石坝已建约 270 座,在建约 60 座,规划建设约 80 座,总数超过 400 座。水布垭水电站面板堆石坝高 233m,为世界上已建在建最高的面板堆石坝。我国面板堆石坝数量占全球面板堆石坝总数的一半以上,最大坝高、工程规模和技术难度等方面均处于世界前列。

在我国引进消化、自主创新、突破发展混凝土面板堆石坝筑坝技术 30 年之际,为总结和交流我国面板堆石坝设计、施工、科研、监测和运行中的最新成果和技术进展,中国水力发电工程学会混凝土面板堆石坝专业委员会决定广泛征集论文并组织出版《中国混凝土面板堆石坝 30 年——引进·发展·创新·超越》论文集。征稿通知发出后,共收到稿件 90 余篇,经编辑委精心筛选、专家评审,论文集共收录文章 76 篇,其中祝贺稿 1 篇,综合类 7 篇,设计类 27 篇,施工类 23 篇,科研类 11 篇,运行监测类 7 篇。

蒋国澄教授专门写来了“贺中国混凝土面板堆石坝 30 年”,我们用做代序。综合类中,曹克明、赵增凯等老一辈面板堆石坝专家提供了宝贵文稿,收录了反映了超高面板堆石坝安全性及关键技术研究成果和我国面板堆石坝最新技术进展的文章;设计类中,收录了坝体已填筑到设计高程、国际上第二高的猴子岩面板堆石坝及 2005 年以后的已建、在建和拟建的高面板堆石坝设计总结文章;施工类中,收录了水布垭等面板堆石坝有关坝料开采、坝体填筑、施工导流、变形控制、面板防裂、质量检测方面的文章;科研类中,收录了反映近年缩尺效应研究、计算模型改进、狭窄河谷应对、碾压试验分析等方面前沿成果的文章;运行监测类中,收录了已运行 10~20 年大坝性态、含软岩料大坝工作性态、沉降变形分析等方面的文章。

本论文集收录论文内容丰富,既有 300m 级高面板堆石坝的研究成果,又有已建高面板堆石坝的设计施工、研究试验、运行监测的总结,也包括经长期运行检验的高面板堆石工作性态分析的文章,基本反映了 30 年来我国面板堆石坝引进、发展、创新、超越的发展历程和最新成果。期待本论文集能够像《中国混凝土面板堆石坝 20 年——综合·设计·施工·运行·科研》一样,为全国面板堆石坝从业人员提供最新的资讯,激发创造力,推动我国水电工程技术进步向更好更新方向健康发展。

编者

2016 年 8 月

的成果,改进和开发了非线性弹性、弹塑性模型,研究和开发了混凝土与堆石接触面的本构关系模型、堆石流变的经验模型等,并达到实用程度。计算成果为探讨各种事物的规律性和各种方案的比较研究提供了技术依据。各种反分析手段也日益完备。除分析观测资料,说明工程的运行实态外,施工期观测资料的及时反分析可以提供原设计计算的验证,用反分析成果进行正分析,指导后续工程的施工的技术途径也日益受到重视。

混凝土面板堆石坝抗震方面试验研究有:材料的动力特性试验、振动台模型试验、带振动台的土工离心模型试验、三维真非线性和等效非线性动力分析、现场原型强震观测及观测资料的分析等,都有所创新,并取得极有价值的成果。紫坪铺坝在汶川地震中经受了远超过设计地震烈度的考验,是世界上唯一一座经强震考验的高混凝土面板堆石坝,其应急震害调查、分析研究及震损修复过程提高了混凝土面板堆石坝抗震问题的理论和实践方面的认识。

中国的混凝土面板堆石坝工程的试验研究和理论分析工作的深度和广度处于世界领先地位,虽没有达到按计算成果确定技术方案的程度,但已成为经验判断的依据和补充,并在经历着材料、模型和原型三个尺度上的验证和考验。

3 展望

(1) 中国混凝土面板堆石坝的建设已取得极大的成就,其安全性、经济性及适应性良好的优越性,在坝工界已取得共识,在科学技术水平上也处于世界前列。对 200m 级的坝,已有成功实例,也掌握了建设的成套技术。今后要建设更高的 300m 级的坝。发挥混凝土面板堆石坝的优越性,以达到更高的境界。对量大面广的一般工程,也要顾及普及和推广工作,做到提高和普及相结合,使混凝土面板堆石坝的建设事业健康发展。

(2) 坚持走中国自己的发展道路,坚持科学试验、分析计算和经验判断相结合,在国内外已有成就的基础上,以科技进步推动工程建设,增加混凝土面板堆石坝建设的科技含量,使采取的工程措施都有坚实的理论和技術基础,在堆石坝工程领域内为中国争取到更多的话语权。

(3) 一点建议。由于混凝土面板堆石坝技术业已普及,与土质心墙堆石坝一起,成为堆石坝的两个主流坝型,最大坝高均已超过 300m;沥青混凝土防渗土石坝正在兴起;土工合成材料防渗土石坝也登上历史舞台。对这些坝型都有很多工作要做。建议将混凝土面板堆石坝专业委员会改变名称为土石坝专业委员会,以适应当前土石坝发展的新形势,使学会工作在更广阔的领域里发挥作用。

目 录

贺中国混凝土面板堆石坝 30 年 (代序)	蒋国澄
前言	

综 合

我国混凝土面板堆石坝 30 年进展回顾	赵增凯 (3)
混凝土面板堆石坝设计经验法	曹克明 徐建军 曹希卓 (5)
中国混凝土面板堆石坝 30 年	杨泽艳 周建平 王富强 吴毅瑾 孙永娟 (14)
300m 级高面板堆石坝安全性及关键技术研究概述	王富强 周建平 杨泽艳 吴毅瑾 孙永娟 (22)
现代高混凝土面板堆石坝筑坝关键技术	徐泽平 (29)
中国面板堆石坝安全监测技术进展	吴毅瑾 邹 青 谭志伟 杨泽艳 孙永娟 (39)
堆石体缩尺效应研究进展分析	周 伟 常晓林 马 刚 张 宜 (51)

设 计

猴子岩水电站面板堆石坝设计与施工综述	李红心 朱永国 (63)
猴子岩水电站面板堆石坝变形控制研究	姜媛媛 (70)
猴子岩水电站面板堆石坝趾板设计	索慧敏 何 兰 (76)
论混凝土面板堆石坝在玉龙喀什水利枢纽工程坝型选择中的适应性及 风险对策	彭卫军 (82)
马来西亚巴贡水电站面板堆石坝设计综述	王君利 范建朋 (91)
混凝土面板挤压垂直缝设计	湛正刚 张合作 (99)
卡基娃水电站面板堆石坝设计	卢羽平 (106)
卡基娃面板坝下游坝坡抗震措施研究	卢羽平 (113)
滩坑水电站混凝土面板堆石坝设计、运行	陈振文 彭 育 汤 旻 李中方 (120)
溧阳抽水蓄能电站上水库工程技术难点及其对策	宁永升 胡育林 (128)
紫坪铺水利枢纽工程面板堆石坝设计	高希章 杨志宏 陈惠君 (132)
巴山水电站钢筋混凝土面板堆石坝设计、运行	齐立景 陈振文 杜雪珍 (140)

金沙江梨园水电站面板堆石坝设计综述	刘绍川 魏亮亮 杨再宏	(146)
马鹿塘水电站二期工程大坝设计施工综述及运行期监测	张 承 刘项民	(152)
甘肃洮河九甸峡混凝土面板堆石坝设计特点和运行情况	吕生玺 张世杰	(158)
大石门水利枢纽工程混凝土面板砂砾石坝	焦 阳	(165)
吉音混凝土面板堆石坝设计	李振纲	(170)
青海大通河纳子峡电站混凝土面板堆石坝设计	王振强	(178)
丰宁抽水蓄能电站钢筋混凝土面板堆石坝设计	屈 莎 吴吉才 王毅鸣	(184)
中梁一级电站混凝土面板堆石坝设计施工主要特点	陈 耿	(192)
柬埔寨额勒赛上电站混凝土面板堆石坝设计	段永涛 吴吉才	(201)
鲤鱼塘水库混凝土面板堆石坝设计	陈西源 陈 耿	(207)
神树水电站面板堆石坝设计特点	司才龙 吕生玺	(218)
勐野江水电站混凝土面板堆石坝软岩筑坝	焦修刚 王毅鸣 杨文利	(226)
浅议寒山水库混凝土面板堆石坝设计中的主要问题	吴 盖 赵冬莲	(233)
西龙池抽水蓄能电站下水库深厚覆盖层上沥青混凝土面板堆石坝 设计	李康宏 杨子强 孟凡珍	(240)
土工膜防渗技术在溧阳抽水蓄能电站中的应用	宁永升	(247)

施 工

水布垭面板堆石坝大坝料场爆破试验的技术分析	顿 江 陈怀均 徐新桐	(253)
混凝土面板堆石坝变形浅析、控制与对策	杨和明	(267)
江坪河面板堆石坝开挖与填筑施工技术	严匡柠 张利荣	(275)
溧阳抽水蓄能电站招标设计阶段土石方平衡调配与规划	李国权 苏军安	(283)
多样性料源填筑高面板堆石坝的质量控制技术	方 浩 练新军 陈卫建	(290)
梨园水电站施工导流研究及实践	曹军义 杨宏斌	(294)
瓦屋山混凝土面板堆石坝填筑施工技术	顿 江 陈怀均 徐新桐	(299)
混凝土面板堆石坝面板表层止水机械化施工技术研发及应用	何旭升 鲁一晖 高宗昌 周吉军 徐向东	(311)
超长铜止水一次冷压成型就位施工	李平平	(315)
荷载板检测坝料质量技术在潘口面板坝工程的应用	赵继成	(319)
河床趾板建在覆盖层上的高混凝土面板堆石坝	辛俊生	(328)
某混凝土面板堆石坝趾板施工技术	顿 江 陈怀均	(334)
混凝土面板堆石坝面板裂缝预防及处理	陈 耿 陈西源 冯秋凤	(341)
混凝土挤压边墙在温泉水电站中的应用	贾运甫	(348)
兴山县毛家河水电站混凝土面板堆石坝防渗面板施工方法研究	肖银龙 李 彬 张新军 杨宏宇	(354)
高寒干燥地区混凝土面板防裂技术探索	吴 松	(363)

勐野江水电站混凝土面板堆石坝软岩筑坝技术

..... 吴仕奇 吴盼盼 杨仲洪 杨和明 徐更晓 侯 明	(373)
南山水库混凝土面板施工技术	宋鹏刚 (385)
对紫坪铺、多诺、卡基娃、猴子岩四座面板堆石坝设计、施工中一些 细节问题的观察及思考	冯 军 (390)
高混凝土面板堆石坝快速施工技术发展与应用综述	李虎章 (397)
面板堆石坝混凝土面板相关施工技术	秦 宇 王海娟 (406)
挤压边墙技术在混凝土面板堆石坝的应用与发展	齐宏文 (413)
砂砾料相对密度试验方法在水利工程质量控制中的应用 汤轩林 赵继成 易永军	(419)

科 研

陡峻地形条件下混凝土面板堆石坝关键技术研究

..... 邴能惠 孙大伟 王年香 肖贡元 黄悦照	(429)
高面板堆石坝第二道防渗体系的设计探讨	吴梦喜 杨家修 湛正刚 (437)
黄河玛尔挡水电站混凝土面板堆石坝河谷束窄效应研究	沈 婷 李国英 (443)
解耦 $K-G$ 模型的土体原位实测沉降的 K_0 反分析法及其在水布垭 面板堆石坝的应用	高莲士 (450)
关于面板堆石坝面板受损机理和对策的探讨	艾永平 (461)
堆石料粒径效应对面板坝应力变形影响研究	杨 杰 李国英 (464)
接触面模型对面板应力变形的影响分析	米占宽 李国英 (472)
堆石坝填筑质量检测指标中含水率计算公式	钟 平 (481)
干燥气候条件下堆石面板坝混凝土面板防裂技术研究 ... 王星照 易永军	章天长 (488)
地震作用下混凝土面板堆石坝动力反应特征 ... 陈建胜 王丽新 于新华	朱 晟 (496)
仙居抽水蓄能电站上水库面板堆石坝碾压试验参数合理选择	王宏伟 王 波 (503)

运行监测

珊溪水库钢筋混凝土面板堆石坝运行 15 年回顾.....	陈振文 杜雪珍 (515)
那兰混凝土面板砂砾石坝 10 年运行性态.....	冯业林 张 珂 陈 文 (524)
东津水电站钢筋混凝土面板堆石坝运行 20 年回顾.....	陈振文 张小兵 (530)
软硬岩料填筑的董箐面板堆石坝运行状况分析	湛正刚 史鹏飞 夏遵全 (535)
董箐面板堆石坝面板挠度监测成果分析	史鹏飞 湛正刚 程瑞林 邱焕峰 (544)
面板坝弱-强风化混合料堆石体的监测分析与研究.....	周显贵 (551)
徕卡外部自动化变形监测系统在瀑布沟水电站的应用 ... 刘 君 万 飞	陈廷楠 (556)

附 表

附表 1	中国 30m 以上已建混凝土面板堆石坝统计表 (截至 2015 年年底)		(569)
附表 2	中国 30m 以上在建混凝土面板堆石坝统计表 (截至 2015 年年底)		(586)
附表 3	中国 30m 以上拟建混凝土面板堆石坝统计表 (截至 2015 年年底)		(590)

综 合

我国混凝土面板堆石坝 30 年进展回顾

赵增凯

(水利部水利水电规划设计总院)

【摘 要】 我国自 1985 年起,采用现代技术修建混凝土面板堆石坝,已历经 30 个年头,从引进、吸收到自主研发推广,现已建成高度 30m 以上的面板坝约 230 座,在数量、规模、技术难度方面均位于世界前列。本文对 30 年来的工程实践和建设发展作一简要回顾,以表赞祝。

【关键词】 面板坝 筑坝材料 接缝止水 坝体变形 成就

我国自 1985 年起,采用现代技术修建混凝土面板堆石坝(简称面板坝)已历经 30 年。从试点关门山(58m)和西北口(95m)面板坝起步,到修建天生桥 1 级(178m)、洪家渡(179.5m)、三板溪(185.5m)等一系列高坝和当今世界最高的水布垭(233m)面板坝,至今已建成 30m 以上的面板坝约 230 座,基本上遍及全国各省区;面板坝数量、规模、技术方面位于世界前列;在发电、防洪、供水等方面发挥了显著的效益;出成果,出人才;取得了显著的成就。并继续深化研究茨哈峡、古水等 250~300m 级超高坝有关特性,做好充分准备向前发展。建坝初期的工程中,发生过沟后(71m)溃坝(已重建)、株树桥(78m)大量漏水(已处理,运行正常);天生桥一级高坝(178m)发生过垫层裂缝、面板脱空和部分面板挤压破损,已加固处理,运行正常。有关部门对发生的问题进行了分析总结、多方面改进,效果较好。

30 年面板坝筑坝技术成果非常丰富,我仅列出工程实践中几项改进和创新内容为例,以示回顾和赞扬之情:

(1) 筑坝材料广泛应用。硬岩、软岩、砂砾石、硬岩软岩混合料,深入试验,合理安排。

(2) 坝体分区改善。坝体上堵下排分区,控制好垫层和过渡层渗流稳定。

(3) 面板、趾板防裂。做好混凝土配合比,优选掺合料与外加剂。

(4) 接缝止水材料与构造不断优化创新,近期有个别坝在止水防渗安全条件下,取消死水位以上垂直缝和坝顶缝的三复合橡胶板,首用增设由聚脲复合胎基布组成的手刮涂层,与混凝土粘接成一体,并取消了传统采用压板的膨胀螺丝,正在蓄水运行中检验效果,进行总结。

(5) 高坝坝基深覆盖层采用混凝土防渗墙防渗,将趾板抬高建基在覆盖层顶部。

(6) 1、2 级高坝采用有线元法进行应力和变形分析,重要工程有效应用离心模型试验了解坝体渗流稳定和变形性状等。