

“十二五”国家重点图书

水利水电工程施工技术全书

第二卷 土石方工程

TUSHIBA LIQING HUNNINGTU  
FANGSHENTI SHIGONG JISHU

第七册

# 土石坝沥青混凝土 防渗体施工技术

汤用泉 张小华 等 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

全施  
书工

卷外篇

水利水电工程施工技术全书

第二卷 土石方工程

第七册

# 土石坝沥青混凝土 防渗体施工技术

汤用泉 张小华 等 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本书是《水利水电工程施工技术全书》第二卷《土石方工程》中的第七分册。本书系统阐述了土石坝沥青混凝土防渗体施工技术和方法。主要内容包括：综述、施工规划、沥青混凝土原材料、配合比设计及试验、沥青混合料制备与运输、沥青混凝土心墙施工、沥青混凝土面板施工、施工质量控制、安全监测、工程案例等。

本书可作为水利水电工程施工领域的工程技术人员、工程管理人员和高级技术工人的工具书，也可供从事水利水电工程科研、设计、建设及运行管理和相关企事业单位的工程技术人员、工程管理人员使用，并可作为大专院校水利水电工程及机电专业师生教学参考书。

### 图书在版编目（CIP）数据

土石坝沥青混凝土防渗体施工技术 / 汤用泉等编著  
— 北京：中国水利水电出版社，2018.4  
(水利水电工程施工技术全书. 第二卷, 土石方工程;  
第七册)  
ISBN 978-7-5170-6554-8

I. ①土… II. ①汤… III. ①土石坝—沥青混凝土—  
防渗体—混凝土施工 IV. ①TV544

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第138006号

书 名	水利水电工程施工技术全书 第二卷 土石方工程 第七册 土石坝沥青混凝土防渗体施工技术 TUSHIBA LIQING HUNNINGTU FANGSHENTI SHIGONG JISHU
作 者	汤用泉 张小华 等 编著
出版发行	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 22.25印张 528千字
版 次	2018年4月第1版 2018年4月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	98.00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

# 《水利水电工程施工技术全书》

## 编审委员会

顾问：潘家铮 中国科学院院士、中国工程院院士

谭靖夷 中国工程院院士

陆佑楣 中国工程院院士

郑守仁 中国工程院院士

马洪琪 中国工程院院士

张超然 中国工程院院士

钟登华 中国工程院院士

缪昌文 中国工程院院士

名誉主任：范集湘 丁焰章 岳曦

主任：孙洪水 周厚贵 马青春

副主任：宗敦峰 江小兵 付元初 梅锦煜

委员：(以姓氏笔画为序)

丁焰章 马如骐 马青春 马洪琪 王军 王永平

王亚文 王鹏禹 付元初 江小兵 刘永祥 刘灿学

吕芝林 孙来成 孙志禹 孙洪水 向建 朱明星

朱镜芳 何小雄 和孙文 陆佑楣 李友华 李志刚

李丽丽 李虎章 沈益源 汤用泉 吴光富 吴国如

吴高见 吴秀荣 肖恩尚 余英 陈茂 陈梁年

范集湘 林友汉 张晔 张为明 张利荣 张超然

周晖 周世明 周厚贵 宗敦峰 岳曦 杨涛

杨成文 郑守仁 郑桂斌 钟彦祥 钟登华 席浩

夏可风 涂怀健 郭光文 常焕生 常满祥 楚跃先

梅锦煜 曾文 焦家训 戴志清 缪昌文 谭靖夷

潘家铮 衡富安

主编：孙洪水 周厚贵 宗敦峰 梅锦煜 付元初 江小兵

审定：谭靖夷 郑守仁 马洪琪 张超然 梅锦煜 付元初

周厚贵 夏可风

策划：周世明 张晔

秘书长：宗敦峰(兼)

副秘书长：楚跃先 郭光文 郑桂斌 吴光富 康明华

# 《水利水电工程施工技术全书》

## 各卷主（组）编单位和主编（审）人员

卷序	卷名	组编单位	主编单位	主编人	主审人
第一卷	地基与基础工程	中国电力建设集团（股份）有限公司	中国电力建设集团（股份）有限公司 中国水电基础局有限公司 中国葛洲坝集团基础工程有限公司	宗敦峰 肖恩尚 焦家训	谭靖夷 夏可风
第二卷	土石方工程	中国人民武装警察部队水电指挥部	中国人民武装警察部队水电指挥部 中国水利水电第十四工程局有限公司 中国水利水电第五工程局有限公司	梅锦煜 和孙文 吴高见	马洪琪 梅锦煜
第三卷	混凝土工程	中国电力建设集团（股份）有限公司	中国水利水电第四工程局有限公司 中国葛洲坝集团有限公司 中国水利水电第八工程局有限公司	席浩 戴志清 涂怀健	张超然 周厚贵
第四卷	金属结构制作与机电安装工程	中国能源建设集团（股份）有限公司	中国葛洲坝集团有限公司 中国电力建设集团（股份）有限公司 中国葛洲坝建设有限公司	江小兵 付元初 张晔	付元初
第五卷	施工导（截）流与度汛工程	中国能源建设集团（股份）有限公司	中国能源建设集团（股份）有限公司 中国葛洲坝集团有限公司 中国水利水电第八工程局有限公司	周厚贵 郭光文 涂怀健	郑守仁

# 《水利水电工程施工技术全书》 第二卷《土石方工程》编委会

主 编：梅锦煜 和孙文 吴高见

主 审：马洪琪 梅锦煜

委 员：（以姓氏笔画为序）

王永平 王红军 李虎章 吴国如 陈 茂

陈太为 何小雄 沈溢源 张小华 张永春

张利荣 汤用泉 杨 涛 林友汉 郑道明

黄宗营 温建明

秘 书 长：郑桂斌 徐 萍

# 《水利水电工程施工技术全书》

## 第二卷 《土石方工程》

### 第七册 《土石坝沥青混凝土防渗体施工技术》

#### 编写人员名单

主 编：汤用泉 张小华

审 稿：梅锦煜

编写人员：张小华 汤用泉 喻 玥 周巧端 李棉巧  
邱书茵 胡方华 秦淑岚 虞贵期 张海莉  
方凤梅 雷金年 董姣芝 陈 锐 雷敬伟  
陈卫烈 洪 亮 肖 振 朱培典 邹兴文  
张 敏 徐腊锋 李家富 檀瑞青 杨小华  
费波涛 饶孝国 廖 斌 向玉林 任 超  
万 霞 张 荣 王 辉 胡云峰 刘世艳  
吴清华 武慧芳 庞文占 全黎明 于润明  
高秋艳

# 序 一

水利水电工程建设在我国作为一项基础建设事业，已经走过了近百年的历程，这是一条不平凡而又伟大的创业之路。

新中国成立 66 年来，党和国家领导一直高度重视水利水电工程建设，水电在我国已经成为了一种不可替代的清洁能源。我国已经成为世界上水电装机容量第一位的大国，水利水电工程建设不论是规模还是技术水平，都处于国防领先或先进水平，这是几代水利水电工程建设者长期艰苦奋斗所创造出来的。

改革开放以来，特别是进入 21 世纪以后，我国的水利水电工程建设又进入了一个前所未有的高速发展时期。到 2014 年，我国水电总装机容量突破 3 亿 kW，占全国电力装机容量的 23%。发电量也历史性地突破 31 万亿 kW·h。水电作为我国当前重要的可再生能源，为我国能源电力结构调整、温室气体减排和气候环境改善做出了重大贡献。

我国水利水电工程建设在新技术、新工艺、新材料、新设备等方面都取得了突破性的进展，无论是技术、工艺，还是在材料、设备等方面，都取得了令人瞩目的成就，它不仅推动了技术创新市场的活跃和发展，也推动了水利水电工程建设的前进步伐。

为了对当今水利水电工程施工技术进展进行科学的总结，及时形成我国水利水电工程施工技术的自主知识产权和满足水利水电建设事业的工作需要，全国水利水电施工技术信息网组织编撰了《水利水电工程施工技术全书》。该全书编撰历时 5 年，在编撰过程中组织了一大批长期工作在工程建设一线的中青年技术负责人和技术骨干执笔，并得到了有关领导、知名专家的悉心指导和审定，遵循“简明、实用、求新”的编撰原则，立足于满足广大水利水电工程技术人员的实际工作需要，并注重参考和指导价值。该全书内容涵盖了水

水利水电工程建设地基与基础工程、土石方工程、混凝土工程、金属结构制作与机电安装工程、施工导（截）流与度汛工程等内容目标任务、原理方法及工程实例，既有理论阐述，又有实例介绍，重点突出，图文并茂，针对性及可操作性强，对今后的水利水电工程建设施工具有重要指导作用。

《水利水电工程施工技术全书》是对水利水电施工技术实践的总结和理论提炼，是一套具有权威性、实用性的大型工具书，为水利水电工程施工“四新”技术成果的推广、应用、继承、创新提供了一个有效载体。为大力推动水利水电技术进步和创新，推进中国水利水电事业又好又快地发展，具有十分重要的现实意义和深远的科技意义。

水利水电工程是人类文明进步的共同成果，是现代社会发展对保障水资源供给和可再生能源供应的基本需求，水利水电工程施工技术在近代水利水电工程建设中起到了重要的推动作用。人类应对全球气候变化的共识之一是低碳减排，尽可能多地利用绿色能源就成为重要选择，太阳能、风能及水能等成为首选，其中水能蕴藏丰富、可再生性、技术成熟、调度灵活等特点成为最优的绿色能源。随着水利水电工程建设与管理技术的不断发展，水利水电工程，特别是一些高坝大库能有效利用自然条件、降低开发运行成本、提高水库综合效能，高坝大库的（高度、库容）记录不断被刷新。特别是随着三峡、拉西瓦、小湾、溪洛渡、锦屏、向家坝等一批大型、特大型水利水电工程相继建成并投入运行，标志着我国水利水电工程技术已跨入世界领先行列。

近年来，我国水利水电工程施工企业积极实施走出去战略，海外市场开拓业绩突出。目前，我国水利水电工程施工企业在亚洲、非洲、南美洲多个国家承建了上百个水利水电工程项目，如尼罗河上的苏丹麦洛维水电站、号称“东南亚三峡工程”的马来西亚巴贡水电站、巨型碾压混凝土坝泰国科隆泰丹水利工程、位居非洲第一水利枢纽工程的埃塞俄比亚泰克泽水电站等，“中国水电”的品牌价值已被全球业内所认可。

《水利水电工程施工技术全书》对我国水利水电施工技术进行了全面阐述。特别是在众多国内外大型水利水电工程成功建设后，我国水利水电工程施工人员创造出一大批新技术、新工法、新经验，对这些内容及时总结并公

开出版，与全体水利水电工作者分享，这不仅能促进我国水利水电行业的快速发展，提高水利水电工程施工质量，保障施工安全，规范水利水电施工行业发展，而且有助于我国水利水电行业走进更多国际市场，展示我国水利水电行业的国际形象和实力，提高我国水利水电行业在国际上的影响力。

该全书的出版不仅能提高水利水电工程施工的技术水平，而且有助于提高我国水利水电行业在国内、国际上的影响力，我在此向广大水利水电工程建设者、工程技术人员、勘测设计人员和在校的水利水电专业师生推荐此书。

孙洪水

2015年4月8日

## 序 二

《水利水电工程施工技术全书》作为我国水利水电工程技术综合性大型工具书之一，与广大读者见面了！

这是一套非常好的工具书，它也是在《水利水电工程施工手册》基础上的传承、修订和创新。集中介绍了进入 21 世纪以来我国在水利水电施工领域从施工地基与基础工程、土石方工程、混凝土工程、金属结构制作与机电安装工程、施工导（截）流与度汛工程等方面采用的各类创新技术，如信息化技术的运用：在施工过程模拟仿真技术、混凝土温控防裂技术与工艺智能化等关键技术，应用了数字信息技术、施工仿真技术和云计算技术，实现工程施工全过程实时监控，使现代信息技术与传统筑坝施工技术相结合，提高了混凝土施工质量，简化了施工工艺，降低了施工成本，达到了混凝土坝快速施工的目的；再如碾压混凝土技术在国内大规模运用：节省了水泥，降低了能耗，简化了施工工艺，降低了工程造价和成本；还有，在科研、勘察设计和施工一体化方面，数字化设计研究面向设计施工一体化的三维施工总布置、水工结构、钢筋配置、金属结构设计技术，推广复杂结构三维技施设计技术和前期项目三维枢纽设计技术，形成建筑工程信息模型的协同设计能力，推进建筑工程三维数字化设计移交标准工程化应用，也有了长足的进步。因此，在当前形势下，编撰出一部新的水利水电施工技术大型工具书非常必要和及时。

随着水利水电工程施工技术的不断推进，必然会给水利水电施工带来新的发展机遇。同时，也会出现更多值得研究的新课题，相信这些都将对水利水电工程建设事业起到积极的促进作用。该全书是当今反映水利水电工程施工技术最全、最新的系列图书，体现了当前水利水电最先进的施工技术，其

中多项工程实例都是曾经创造了水利水电工程的世界纪录。该全书总结的施工技术具有先进性、前瞻性，可读性强。该全书的编者都是参加过我国大型水利水电工程的建设者，有着非常丰富的各专业施工经验。他们以高度的社会责任感和使命感、饱满的工作热情和扎实的工作作风，大力发展和创新水电科学技术，为推进我国水利水电事业又好又快地发展，做出了新的贡献！

近年来，我国水利水电工程建设快速发展，各类施工技术日臻成熟，相继建成了三峡、龙滩、水布垭等具有代表性的水电工程，又有拉西瓦、小湾、溪洛渡、锦屏、糯扎渡、向家坝等一批大型、特大型水电工程，在施工过程中总结和积累了大量新的施工技术，尤其是混凝土温控防裂的施工方法在三峡水利枢纽工程的成功应用，高寒地区高拱坝冬季施工综合技术在拉西瓦等多座水电站工程中的应用……，其中的多项施工技术获得过国家发明专利，达到了国际领先水平，为今后水利水电工程施工提供了参考与借鉴。

目前，我国水利水电工程施工技术已经走在了世界的前列，该全书的出版，是对我国水利水电工程建设领域的一大贡献，为后续在水利水电开发，例如金沙江上游、长江上游、通天河、黄河上游的水电开发、南水北调西线工程等建设提供借鉴。该全书可作为工具书，为广大工程建设者们提供一个完整的水利水电工程施工理论体系及工程实例，对今后水利水电工程建设具有指导、传承和促进发展的显著作用。

《水利水电工程施工技术全书》的编撰、出版是一项浩繁辛苦的工作，也是一个具有创造性的劳动过程，凝聚了几百位编、审人员近5年的辛勤劳动，克服了各种困难。值此该全书出版之际，谨向所有为该全书的编撰给予关心、支持以及为此付出了辛勤劳动的领导、专家和同志们表示衷心的感谢！



2015年4月18日

# 前 言

由全国水利水电施工技术信息网组织编写的《水利水电工程施工技术全书》第二卷《土石方工程》共分为十二册,《土石坝沥青混凝土防渗体施工技术》为第七册,由中国葛洲坝集团第一工程有限公司编撰。

沥青混凝土以防渗性能好,同时有良好的柔性,较好的适应各种不均匀沉陷和易于施工等特点而被应用于水工防渗体。国外从20世纪20年代开始应用至今已有百年的历史了。随着石油工业技术不断发展,沥青混凝土施工机械不断进步以及施工工艺标准不断提高,使沥青混凝土施工技术得到了很快发展。以目前国内外沥青混凝土施工技术水平,可以快速、高质量地进行各种不同类型的百米以上土石坝沥青混凝土防渗体的施工,所以有必要进行全面总结、归纳和提炼。

我国20世纪50年代开始在水力水电工程中采用水工沥青混凝土防渗体。纵观40多年施工技术的发展和工程应用中的各种经验,首先,应注重沥青混凝土所用沥青、骨料、填料、掺合料等原材料的研究和试验,只有对沥青混凝土所选用的原材料有充分的了解,掌握其物理化学性能与指标,才能进行沥青混合料配合比设计,通过场外和生产性试验,确定出满足沥青混凝土防渗体设计和施工要求的施工配合比和工艺施工参数。其次,需要先进的骨料、矿粉加工和筛分设备,自动化控制的沥青混合料拌和系统,自带红外线加热片和有预压功能的摊铺机、配套的运输和碾压设备及辅助设备。最后,要通过精心的施工组织与管理及严谨的施工工艺,才能保证做出施工质量优良的水工沥青混凝土防渗体。

本书遵照我国现行的电力和水电行业沥青混凝土面板和心墙设计、施工、试验等标准,依据国内外有关土石坝沥青混凝土防渗体施工技术理论,以简明、实用为原则,结合国内外水利水电工程土石坝沥青混凝土防渗体施工工程实例进行编写。

本书是由中国葛洲坝集团第一工程有限公司为主编单位编写的,主编汤

用泉、张小华负责统稿，中国人民武装警察部队水电指挥部梅锦煜负责审核，各章编写人员分工如下：第1章汤用泉、张小华；第2章张小华、邹兴文、张敏、徐腊锋、李家富；第3章李棉巧、檀瑞青、洪亮、杨小华、费波涛；第4章秦淑岚、张海莉、方凤梅、雷金年、董姣芝、陈锐、雷敬伟、陈卫烈；第5章饶孝国、廖斌、胡方华；第6章邸书茵、向玉林、任超、万霞、张荣、王辉；第7章张小华、胡云峰、刘世艳、吴清华；第8章喻玥、虞贵期、武慧芳、庞文占、全黎明；第9章周巧端、肖振、于润明；第10章张小华、朱培典。

在编写过程中，中国电力建设集团股份有限公司、中国人民武装警察部队水电指挥部、中国水利水电第五、第十、第十一、第十二、第十三、第十四工程局有限公司的专家，对本书编写提出了宝贵的意见。在此，谨向他们表示衷心的感谢。

由于本书作者实践经验和理论水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

作者

2017年1月

# 目 录

序一  
序二  
前言

<b>1 综述</b> .....	1
1.1 沥青混凝土定义 .....	2
1.2 水工沥青混凝土性质 .....	3
1.3 水工沥青混凝土分类 .....	7
1.4 水工沥青混凝土的发展 .....	10
<b>2 施工规划</b> .....	20
2.1 施工布置 .....	20
2.2 设备配置 .....	24
2.3 施工程序 .....	43
2.4 施工进度计划 .....	44
2.5 安全与环保 .....	47
<b>3 沥青混凝土原材料</b> .....	51
3.1 沥青 .....	51
3.2 骨料 .....	61
3.3 填料 .....	70
3.4 掺料 .....	72
3.5 工程实例 .....	76
<b>4 配合比设计及试验</b> .....	78
4.1 配合比设计 .....	78
4.2 试验 .....	87
4.3 工程实例 .....	107
<b>5 沥青混合料制备与运输</b> .....	128
5.1 拌和系统 .....	128
5.2 制备系统安装与调试 .....	148
5.3 拌和 .....	151

5.4	运输	154
<b>6</b>	<b>沥青混凝土心墙施工</b>	<b>157</b>
6.1	结构布置与周边连接	157
6.2	施工程序	163
6.3	施工方法	163
6.4	心墙特殊部位施工	183
6.5	特殊气候条件的施工	185
<b>7</b>	<b>沥青混凝土面板施工</b>	<b>189</b>
7.1	结构布置与周边连接	189
7.2	施工程序	197
7.3	施工方法	198
7.4	面板特殊部位施工	219
7.5	特殊气候条件施工	221
<b>8</b>	<b>施工质量控制</b>	<b>224</b>
8.1	原材料的质量控制	225
8.2	沥青混合料制备与运输质量控制	227
8.3	沥青混凝土铺筑质量控制	234
8.4	施工质量缺陷处理	243
8.5	质量评定	248
<b>9</b>	<b>安全监测</b>	<b>259</b>
9.1	安全监测的项目和内容	259
9.2	仪器布置	264
9.3	仪器埋设	271
9.4	施工期监测	278
9.5	监测资料整编和分析	281
<b>10</b>	<b>工程案例</b>	<b>288</b>
10.1	三峡水利枢纽工程茅坪溪土石坝碾压式沥青混凝土心墙施工	288
10.2	天荒坪抽水蓄能电站上水库沥青混凝土面板施工	296
10.3	尼尔基水利枢纽主坝沥青混凝土心墙(碾压式、浇筑式)施工	304
10.4	冶勒水电站堆石坝碾压式沥青混凝土心墙施工	314
10.5	西龙池抽水蓄能电站上水库沥青混凝土面板施工	321
10.6	呼和浩特抽水蓄能电站上水库沥青混凝土面板施工	330
	参考文献	339

# 1 综 述

土石坝是国内外广泛采用的一种坝型，坝体构造主要由坝壳、防渗体、排水设备、护坡和坝顶等部分组成。防渗体主要采用塑性心墙、塑性斜墙、沥青混凝土防渗体、钢筋混凝土斜墙等结构，水工沥青混凝土防渗体主要应用在土石坝和抽水蓄能电站的库盆中。

水工沥青混凝土防渗体所用的沥青材料是一种有机胶结材料，是由许多高分子碳氢化合物及其非金属衍生物组成的复杂混合物。它具有较好的憎水性、黏结性、塑性，能抵抗酸碱侵蚀，抗冲击性能良好，对水质无污染。用它配制的沥青混合料亦具有相同的性质，还有施工方便、经济、修补容易等优点。因而该材料广泛应用在土石坝防渗透体和其他水工建筑物防渗结构中，特别是在坝址所在地缺少适宜的防渗土料或采用土料施工有困难的工程中使用较多。

沥青混凝土防渗体施工相对于其他防渗体施工有以下特点。

- (1) 防渗体结构较薄，工程量小，施工作业速度要求快，质量标准要求高。
- (2) 沥青混凝土施工全过程为热施工，其沥青混合料的摊铺和碾压施工必须在合适的温度下进行，施工过程温度控制要求高，需要专用施工设备和熟练操作人员。
- (3) 不与农田争地；但需外购沥青，储运较为复杂。

土石坝沥青混凝土防渗体结构分为沥青混凝土防渗面板和沥青混凝土心墙两类。

沥青混凝土防渗面板主要布置在土石坝上游迎水面填筑坝体垫层上和抽水蓄能电站水库库盆开挖土质边坡和岩石边坡垫层上，可以替代护坡，抵御风浪冲击。沥青混凝土防渗面板的结构和施工具有以下特点。

- (1) 沥青混凝土面板位于大坝上游面，其水压力由整个坝体承受，填筑坝的全部断面参与稳定计算，故可大量地节省填筑方量。
- (2) 填筑料不直接接触水，坝体呈干燥状态，因此，对填筑材料要求较低。
- (3) 在运行过程中便于对沥青混凝土面板的情况进行监测，如发现问题，修复方便。
- (4) 对采用复式断面的面板结构，通过将排水层分隔成几个舱室，可较准确地确定面板的渗漏情况。
- (5) 面板一般在坝体填筑后施工，施工干扰小。
- (6) 面板受气温影响较大，受外力作用，易老化。
- (7) 需采用专业化施工机械施工，施工工艺比较复杂。
- (8) 抗震能力较心墙弱。

沥青混凝土心墙为设置在土石坝坝体内部的防渗体，心墙两侧由坝壳料支撑和保护。坝壳料主要是过渡料和坝体填筑土石料或分区堆石料。沥青混凝土心墙的结构和施工具有以下特点。