

“十二五”国家重点图书

全施  
书工

水利水电工程施工技术全书

第二卷 土石方工程

KAIWA YU TIANZHU  
SHIGONG JISHU

第二册

# 开挖与填筑 施工技术

吴高见 张永春 田中涛 高尚泰 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



水利水电工程施工技术全书

第二卷 土石方工程

第二册

# 开挖与填筑 施工技术

吴高见 张永春 田中涛 高尚泰 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》中的第二分册。本书系统地阐述了土石方开挖与填筑工程的施工技术和方法,并根据土石方工程施工技术的发展趋势和工程实践着重介绍机械化施工、数字化施工、安全防护等技术内涵及应用,主要包括:综述、施工组织设计、施工水流及地下水控制、土方开挖、石方开挖、土石方运输与堆存、土石方填筑、数字化施工技术、安全防护等。

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

开挖与填筑施工技术 / 吴高见等编著. — 北京 :  
中国水利水电出版社, 2018. 7  
(水利水电工程施工技术全书. 第二卷, 土石方工程;  
第二册)  
ISBN 978-7-5170-6873-0

I. ①开… II. ①吴… III. ①水利水电工程—清除开挖—建筑施工②水利水电工程—填筑—建筑施工 IV.  
①TV53

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第211212号

书 名	水利水电工程施工技术全书 第二卷 土石方工程 第二册 开挖与填筑施工技术 KAIWA YU TIANZHU SHIGONG JISHU
作 者	吴高见 张永春 田中涛 高尚泰 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
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 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	天津嘉恒印务有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 26.75印张 634千字
版 次	2018年7月第1版 2018年7月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	120.00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：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 中国葛洲坝集团机电建设有限公司	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：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》

### 第二册 《开挖与填筑施工技术》

#### 编写人员名单

主 编：吴高见

审 稿：吴高见 张永春 孙林智

编写人员：吴高见 张永春 田中涛 高尚泰 孙林智

# 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工作需要，并注重参考和指导价值。该全书内容涵盖了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》共分为十册，《开挖与填筑施工技术》为第二册，由中国水利水电第五工程局有限公司编撰。

近 20 年来，水利水电工程建设取得了突飞猛进的发展，特别是三峡、小浪底、水布垭、瀑布沟、糯扎渡、长河坝及南水北调等大型水利水电工程的建设，极大地推进了土石方开挖与填筑工程施工技术的发展。本册在编写过程中总结了近年来土石方开挖与填筑工程的先进施工经验，在借鉴和吸取相关资料精髓的基础上，充分吸纳了土石方开挖与填筑工程施工技术机械化、信息化及绿色施工发展的新理念、新成果，并与大量的工程实例相结合，图文并茂，较全面地反映了土石方开挖与填筑的主要施工内容和方法。

本册简要回顾了土石方工程的发展历史，对土石方工程施工技术的发展提出了展望。施工组织设计主要介绍了开挖与填筑工程施工组织设计编制、施工进度计划及作业流程、土石方平衡、料场及渣场规划，以及施工设施规划布置等；施工水流及地下水控制主要介绍了开挖与填筑过程中地表水和地下水的控制；土方开挖和石方开挖主要介绍了开挖特点及施工要求、开挖规划、开挖方法、开挖设备选型与配套等；土石方运输与堆存主要介绍了运输方式方法、中转料场和弃渣场堆存规划要求等；土石方填筑主要介绍了填筑材料、填筑规划、施工方法、设备配置和质量控制等内容；数字化施工技术主要介绍了设备智能控制技术、施工过程智能管理系统、数字化填筑控制系统等；安全防护主要介绍了施工过程中安全防护的范围、类型、原则，以及安全防护技术等。



在本书的编写过程中得到一些领导、专家、技术人员的支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

限于作者水平，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

作者

2017年6月

# 目 录

序一

序二

前言

<b>1 综述</b> .....	1
1.1 土石方工程发展与展望 .....	1
1.2 开挖与填筑工程范围与分类 .....	6
1.3 开挖与填筑工程施工特性 .....	8
<b>2 施工组织设计</b> .....	11
2.1 施工组织设计概述 .....	11
2.2 施工组织设计编制 .....	13
2.3 施工进度计划及作业流程 .....	20
2.4 土石方平衡 .....	34
2.5 料场及渣场规划 .....	38
2.6 施工布置 .....	42
2.7 场内交通及排水规划 .....	47
2.8 生产设施及生活区布置 .....	55
2.9 仓库系统规划布置 .....	67
2.10 施工用风水电和通信系统 .....	76
<b>3 施工水流及地下水控制</b> .....	98
3.1 概述 .....	98
3.2 施工水流控制 .....	100
3.3 地下水控制 .....	110
3.4 水的工程损伤效应控制 .....	144
3.5 工程实例——某供水工程井点降水 .....	169
<b>4 土方开挖</b> .....	176
4.1 土的工程分类、分级及性质 .....	176
4.2 土方开挖特点及施工要求 .....	182
4.3 开挖规划 .....	184
4.4 开挖方法 .....	187

4.5	开挖设备选型与配套 .....	201
4.6	工程实例——南水北调主干渠某段土方开挖 .....	207
<b>5</b>	<b>石方开挖 .....</b>	<b>208</b>
5.1	岩石的工程分类、分级及性质 .....	208
5.2	石方开挖特点及施工要求 .....	217
5.3	开挖规划 .....	222
5.4	开挖方法 .....	236
5.5	开挖设备的选型与配套 .....	281
5.6	工程实例 .....	297
<b>6</b>	<b>土石方运输与堆存 .....</b>	<b>304</b>
6.1	土石方运输 .....	304
6.2	土石方堆存 .....	310
6.3	工程实例 .....	313
<b>7</b>	<b>土石方填筑 .....</b>	<b>318</b>
7.1	填筑材料的分类及性质 .....	318
7.2	填筑规划 .....	320
7.3	填筑设备选型与配置 .....	326
7.4	施工试验 .....	333
7.5	摊铺、碾压与坡面修整 .....	345
7.6	填筑质量控制 .....	355
7.7	特殊土料处理 .....	360
<b>8</b>	<b>数字化施工技术 .....</b>	<b>374</b>
8.1	设备控制技术 .....	374
8.2	设备自动管理技术 .....	376
8.3	数字化填筑控制系统 .....	378
<b>9</b>	<b>安全防护 .....</b>	<b>385</b>
9.1	防护类型及选择原则 .....	385
9.2	边坡工程安全防护 .....	387
9.3	基坑工程安全防护 .....	402
	参考文献 .....	412

# 1 综 述

## 1.1 土石方工程发展与展望

土石方工程是水利水电工程的基础性工程和重要施工内容，大型水利水电枢纽工程往往伴随着大型的土石方工程。土石方开挖与填筑，不仅是水利水电工程施工的先行施工工序和关键施工过程，也是以土、石等当地材料填筑的临时或主体建筑物（施工场地、建筑物基础、道路路基、土石围堰、土石坝、渠堤等）的主要组成部分或主要施工作业程序。

土石方工程是伴随着工程材料、施工工具、施工机械、施工方法和工程理论的技术进步逐步发展的。

土石方工程的发展基本上与工业革命的发展同步，可划分为第一次工业革命以前的早期发展阶段、第一次工业革命至第二次工业革命期间的近代发展阶段及第三次工业革命以后的现代发展阶段等。

### 1.1.1 发展阶段

#### 1.1.1.1 早期发展

18 世纪 60 年代以前属于土石方工程的早期发展阶段。

人类从最初以木、石、骨制简陋工具进行掘土为穴、构木为巢的原始土木活动，以及进行简单的栽桩架屋、移木搭桥、平土治水等早期的土木工程活动，多为因地制宜、就地取材，所用材料为天然或手工制备，施工工具简陋，施工方法简单。

伴随青铜器和铁器的出现，产生了简单的施工机械。铁制工具及简单施工机械的普遍使用与施工方法的改进，大大提高了土石方工程的施工效率。这一期间我国经历了夏、商、周向春秋、战国时代的转变，出现了鲧禹父子、李冰父子等治水事迹，也产生了很多著名的水利工程，如芍陂、邗沟、鸿沟、引漳溉邺、都江堰、郑国渠、黄河堤防等。秦统一全国后，我国进入封建社会，也相继修筑了许多大型水利工程，如灵渠、坎儿井、六门堰、海塘、它山堰、京杭大运河、元大都水利工程等，所有这些工程都堪称中华民族的骄傲。

同一时期，世界其他地区也出现了大量的土石方工程。建于公元前 3200 多年位于现约旦王国杰瓦地区的小土坝群，是已知的最古老土石坝；大约 4000 年前，古埃及、印度、秘鲁等地即有修建土石坝的记载，有记录的还有古巴比伦王国的阿基拉大坝、幼发拉底河上的运河汗漠拉比渠、古代也门的马里卜水坝、尼罗河流域的异教徒坝、马拉水库、苏丹大蓄水池，以及罗马帝国时期欧洲建设的一系列城市供水系统和引水渠道，如意大利的阿