

“十二五”国家重点图书

水利水电工程施工技术全书

第一卷 地基与基础工程

ZHENCHONG GONGCHENG

第五册

振冲工程

于洪治 张志伟 王文鹏 等 编著

全
书
施
工

非
外
借



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

第一卷 地基与基础工程

第五册

振冲工程

于洪治 张志伟 王文鹏 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》第一卷《地基与基础工程》中的第五分册。本书系统地阐述了振冲工程的设计、施工、质量控制、检测与验收等技术和方法。主要内容包括：综述、工程设计、施工设备、施工组织设计、施工、质量控制与检测验收、安全环保与职业健康、节能减排、工程实例等。

本书可作为水利水电工程施工领域的施工技术人员、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的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

振冲工程 / 于洪治等编著. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2019. 3
(水利水电工程施工技术全书. 第一卷, 地基与基础工程 ; 第五册)
ISBN 978-7-5170-7053-5

I. ①振… II. ①于… III. ①水利工程—振冲加固—地基处理 IV. ①TV223

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第245966号

书 名	水利水电工程施工技术全书 第一卷 地基与基础工程 第五册 振冲工程 ZHENCHONG GONGCHENG
作 者	于洪治 张志伟 王文鹏 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	天津嘉恒印务有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 19印张 451千字
版 次	2019年3月第1版 2019年3月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	86.00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 吕芝林 朱明星 朱镜芳

向建 刘永祥 刘灿学 江小兵 汤用泉 孙来成

孙志禹 孙洪水 李友华 李志刚 李丽丽 李虎章

杨涛 杨成文 肖恩尚 吴光富 吴秀荣 吴国如

吴高见 何小雄 余英 沈益源 张晔 张为明

张利荣 张超然 陆佑楣 陈茂 陈梁年 范集湘

林友汉 和孙文 岳曦 周晖 周世明 周厚贵

郑守仁 郑桂斌 宗敦峰 钟彦祥 钟登华 夏可风

郭光文 席浩 涂怀健 梅锦煜 常焕生 常满祥

焦家训 曾文 谭靖夷 潘家铮 楚跃先 戴志清

缪昌文 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》 第一卷《地基与基础工程》编委会

主 编：宗敦峰
副 主 编：肖恩尚 焦家训
主 审：谭靖夷 夏可风
委 员：宗敦峰 肖恩尚 焦家训 于洪治 刘保平
王泰恒 汪在芹 刘 勇 赵明华 龚木金
贺永利 王海云 刘 健 张志伟 王文鹏
赵建强 孙 亮 唐玉书 张玉华 陶志斌
姜命强 陈 武
秘 书 长：孙 亮

《水利水电工程施工技术全书》

第一卷 《地基与基础工程》

第五册 《振冲工程》

编写人员名单

主 编：于洪治

审 稿：刘 勇

编写人员：张志伟 王文鹏 宋红英 李晓力 赵鹏飞

肖黎明 仇 果 郭双田 姚军平 卢 伟

刘志新 梁雪梅 朱兰花 肖 普

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。

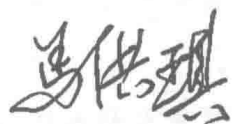
随着水利水电工程施工技术的不断推进，必然会给水利水电施工带来新的发展机遇。同时，也会出现更多值得研究的新课题，相信这些都将对水利水电工程建设事业起到积极的促进作用。该全书是当今反映水利水电工程施工技术最全、最新的系列图书，体现了当前水利水电最先进的施工技术，其中多项工程实例都是曾经创造了水利水电工程的世界纪录。该全书总结的施

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》第一卷《地基与基础工程》共分八册,《振冲工程》为第五册,由北京振冲工程股份有限公司编撰。

本书以水利水电工程振冲法地基处理技术的设计、施工设备、施工组织设计、施工、质量控制、检测与验收等方面为主线,内容系统、全面、准确、实用,重点突出对水利水电工程振冲技术实际应用的指导性。在吸取国内外相关工程经验的基础上,以水利水电工程振冲法地基处理技术为重点,突出设计、施工技术和方法,收集引用了大量国内外最新振冲设计与施工技术成果,并编入了典型工程实例,可供从事振冲工程设计与施工的技术人员、工程管理人员和高级技术工人参考。

本书在编撰过程中,紧密结合水利水电工程振冲法施工实践,围绕水利水电地基处理工程收集资料,重点突出。不仅介绍了振冲法地基处理技术的设计方法、施工及配套设备的类别及设备选型、施工组织设计编制要点、施工方法、施工质量控制措施等,还介绍了振冲技术的拓展及其发展趋势。本书对其他行业的地基处理工程也有较好的参考价值。

本书编撰人员长期从事水利水电地基处理工程的设计、施工、科研工作,既有理论研究水平,又具有丰富的工程实践经验。本书第1章综述、第4章施工组织设计、第5章施工由于洪治编撰,王文鹏参与了章节中部分内容的编写;第2章工程设计由张志伟、王文鹏编撰;第3章施工设备由宋红英编撰,朱兰花参与了章节中部分内容的编写;第6章质量控制与检测验收由张志伟、仇果、肖黎明编撰;第7章安全环保与职业健康、第8章节能减排由刘志新、梁雪梅编撰;第9章工程实例由王文鹏、郭双田编撰。编写过程中,赵鹏飞、李晓力、卢伟、姚军平、肖普等给予协助并提供了相关技术资料,在此,致

以深切的谢意!

本书在编撰过程中,得到了《水利水电工程施工技术全书》编审委员会和有关专家的大力支持,并吸收了他们的许多宝贵经验、意见和建议,在此,谨向他们表示衷心的感谢!

由于收集、掌握的资料和专业技术水平有限,书中难免存在不妥或错误,敬请广大专家、学者和工程技术人员批评指正。

作者

2018年12月

目 录

序一	
序二	
前言	
1 综述	1
1.1 概述	1
1.2 振冲法基本原理与设计方法	3
1.3 振冲法技术拓展	8
1.4 振冲技术发展趋势	10
2 工程设计	12
2.1 地基处理设计的程序和方法	12
2.2 振冲技术的加固原理	16
2.3 振冲法工程设计	21
2.4 振冲技术的发展趋势	64
3 施工设备	69
3.1 概述	69
3.2 设备原理、主要要求和分类	77
3.3 电动振冲器	81
3.4 附属设备	101
3.5 振冲器的组装、使用、维修和保养、故障与排除	108
3.6 出厂外观要求及产品检测	110
4 施工组织设计	112
4.1 工程概述	112
4.2 编制原则及编制依据	114
4.3 工程特点分析	115
4.4 施工组织机构	115
4.5 施工部署	117
4.6 施工进度计划	119
4.7 施工资源配置计划	122
4.8 施工现场总平面布置	126

4.9	施工质量计划	131
4.10	施工安全、环保和职业健康计划	132
4.11	项目施工成本控制计划	133
5	施工	134
5.1	施工准备	134
5.2	生产性工艺试验	137
5.3	施工顺序	138
5.4	振冲挤密施工	139
5.5	振冲桩施工	141
5.6	施工记录	146
5.7	施工中常见问题处理	147
5.8	振冲施工技术的拓展	149
6	质量控制与检测验收	153
6.1	施工质量控制	153
6.2	施工检测	169
6.3	验收	219
7	安全环保与职业健康	223
7.1	安全生产管理体系	223
7.2	施工安全	225
7.3	施工现场人员的职业健康	228
7.4	环境保护	231
8	节能减排	234
8.1	节能减排要求	234
8.2	节能减排施工原则	234
8.3	节能减排实施	234
8.4	施工的新技术、新设备、新材料与新工艺	236
9	工程实例	237
9.1	【案例 1】国华定州电厂 600MW 火力发电机组地基振冲加固	237
9.2	【案例 2】田湾河仁宗海水库电站堆石坝基淤泥壤土振冲桩地基处理	245
9.3	【案例 3】哈达山水利枢纽土坝坝基振冲处理工程	251
9.4	【案例 4】冀东油田 2 号人工岛无填料振冲挤密法地基处理工程	263
9.5	【案例 5】华能唐山港曹妃甸港区煤码头工程堆场地基处	267
9.6	【案例 6】港珠澳大桥香港口岸填海工程底部出料振冲桩施工概述	277
	参考文献	284

1 综 述

20 世纪 70 年代, 振冲法地基处理技术 (简称振冲法) 被引入我国, 历经 40 多年的应用与发展, 在水利水电、火力发电、港口交通、石油化工等行业得到了广泛应用。其适用范围从最初主要应用于砂土地基拓展到了杂填土、淤泥及淤泥质土、黏性土、湿陷性土以及松散砂卵石地基; 施工平台从以陆域施工为主拓展到海上施工; 施工工艺从以顶部填料为主拓展到气压法底部出料。随着国家改革开放战略的实施, 我国的施工企业开始进入国际市场, 经过了多年的经验积累, 国内振冲技术在施工能力、技术水平、设备制造等各方面得到了大幅度的提升, 国内领先企业已经具备了参与国际市场竞争的综合实力。

1.1 概述

1.1.1 振冲法

振冲法 (vibroflotation method) 是一种地基处理的方法, 在振冲器水平振动和高压水或高压空气的共同作用下, 使松散地基土层振密; 或在地基土层中成孔后, 回填性能稳定的硬质粗颗粒材料, 经振密形成的增强体 (振冲桩) 和周围地基土形成复合地基的地基处理方法。

根据地基处理设计要求、工程地质条件、地基土层类别以及相应的土体物理力学性质指标, 振冲法又分为振冲挤密法 (vibro-compaction) 和振冲置换法 (vibro-replacement)。

振冲挤密法适用于黏粒含量不超过 10% 的砂土地基, 按填料要求可分为填料振冲挤密法和无填料振冲挤密法。填料振冲挤密法采用振冲器造孔, 在对地基土充分振密的基础上向孔内填料振密制桩 (column), 形成复合地基; 无填料振冲挤密法采用振冲器造孔, 以孔壁坍塌砂土或向孔内填入原地基砂土, 经振动密实后形成复合地基。

振冲置换法适用于黏粒含量较高的黏性土、粉土、杂填土等地基。振冲置换法采用振冲器造孔, 向孔内填料振密制桩, 以密实的硬质粗颗粒材料置换原地基软土, 从而形成由增强体与原地基土组成的复合地基。

1.1.2 应用发展历程

振冲法于 20 世纪 30 年代起源于德国, 最初由 Keller 公司大力推广与应用, 稍后由 Steurman 在美国进一步推广, 50 年代后期传入日本和欧洲, 70 年代引入我国。

1930 年, 德国为解决大坝混凝土捣实问题发明了振捣器, 可称为振冲器最早的雏形。在振捣器的基础上, Steurman 提出了具有振动和压力水冲切性能振冲器的构思, 1937 年, 德国的 Keller 公司按照 Steurman 的设计制造了具有现代振冲器性能的第一台振冲器, 用于