

“十二五”国家重点图书

水利水电工程施工技术全书

第三卷 混凝土工程

HUNNINGTU YUANCAILIAO
JI PEIHEBI

第二册

混凝土原材料 及配合比

王鹏禹 缪昌文 等 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

第三卷 混凝土工程

第二册

混凝土原材料 及配合比

王鹏禹 缪昌文 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是《水利水电工程施工技术全书》第三卷《混凝土工程》中的第二分册。本书系统阐述了水利水电混凝土原材料及配合比的施工技术和方法。主要内容包括：综述、混凝土原材料、混凝土配合比设计、碾压混凝土配合比设计、特种混凝土配合比设计等。

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（C I P）数据

混凝土原材料及配合比 / 王鹏禹等编著. -- 北京 :
中国水利水电出版社, 2016. 4
（水利水电工程施工技术全书. 第三卷. 混凝土工程;
2）
ISBN 978-7-5170-4236-5

I. ①混… II. ①王… III. ①混凝土—原材料②混凝土—配合比设计 IV. ①TU528

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第077966号

书 名	水利水电工程施工技术全书 第三卷 混凝土工程 第二册 混凝土原材料及配合比
作 者	王鹏禹 缪昌文 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 (发行部)
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	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 8印张 190千字
版 次	2016年4月第1版 2016年4月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	33.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

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 葛洲坝基础公司	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》

第三卷《混凝土工程》编委会

主 编：席 浩 戴志清 涂怀健

主 审：张超然 周厚贵

委 员：（以姓氏笔画为序）

牛宏力 王鹏禹 刘加平 刘永祥 刘志和

向 建 吕芝林 朱明星 李克信 肖炯洪

姬脉兴 席 浩 涂怀健 高万才 黄 巍

戴志清 魏 平

秘 书 长：李克信

副秘书长：姬脉兴 赵海洋 黄 巍 赵春秀 李小华

《水利水电工程施工技术全书》

第三卷 《混凝土工程》

第二册 《混凝土原材料及配合比》

编写人员名单

主 编：王鹏禹 缪昌文

审 稿：谢凯军

编写人员：王鹏禹 刘加平 李灼然 陈文耀

李来芳 赵精让

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，尤其在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，也是一项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》第三卷《混凝土工程》共分为十二册,《混凝土原材料及配合比》为第二册,由中国水利水电第三工程局有限公司编撰。

组成混凝土的主要材料胶凝材料、砂石骨料、水和外加剂中,用水量和胶凝材料用量的比例即水胶比是影响混凝土性能的主要因素,对于水工混凝土来说,强度等级只是一项指标,为满足水利水电工程不同部位,对混凝土的耐久性能、变形性能、抗冲磨性能、抗侵蚀性能和热学性能等的要求,需要根据设计提出的不同要求进行混凝土配合比设计。同时,还必须考虑建筑物结构尺寸、混凝土浇筑方式、使用的机械设备等要求确定混凝土配合比。

混凝土配合比设计是一项涉及很多因素的工作,一是要保证混凝土硬化后的结构强度和所要求的其他性能;二是要满足施工工艺易于操作而又不遗留隐患;三是在符合上述两项要求下选用合适的材料和计算各种材料的用量;四是对初步设计结果进行试配、调整使之达到工程的要求;五是要在满足上述要求的同时降低成本。

在进行混凝土配合比设计时,一般应按混凝土配合比设计的基本原则进行,即“最小单位用水量、最佳骨料级配、最佳砂率、最大石子粒径”。但有时也应根据具体情况做适当调整,如考虑到料源平衡和较少弃料及碾压混凝土减少骨料分离,采用的骨料级配不一定是最佳骨料级配,可能需要适当调整;对于碾压混凝土来说,为提高可碾性、减少骨料分离,一般在最佳砂率的基础上适当增加 $2\%\sim 4\%$ 。同时,对于碾压混凝土来说,本身用水量较低,考虑到耐久性要求和夏季温控加冰的需要,有时不一定采用最小单位用水量;有时受入仓手段和浇筑方式的影响,不能采用最大骨料粒径。

本册原材料部分水泥章节除介绍了水工混凝土常用的中、低热水泥、普通硅酸盐水泥外，对水电工程可能用到的抗硫酸盐水泥、道路水泥等也进行了简单介绍。掺合料章节除介绍了水工混凝土常用的粉煤灰、硅粉、矿渣外，对目前已用于工程的岩粉、复合掺合料也进行了简单的介绍。对于目前用于混凝土的各种纤维进行了详细介绍。配合比章节对水工混凝土常用的各种混凝土配合比设计进行了介绍，对于水电工程使用的喷射混凝土、预应力混凝土、挤压混凝土等方面，在《水利水电工程施工技术全书》的其他章节有介绍，本册不再重复。

限于作者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者

2015年8月28日

目 录

序一	
序二	
前言	
1 综述	1
2 混凝土原材料	2
2.1 水泥	2
2.2 掺合料	18
2.3 骨料	27
2.4 外加剂	30
2.5 纤维	56
2.6 水	65
3 混凝土配合比设计	67
3.1 设计原则与基本资料	67
3.2 设计方法	68
3.3 配合比设计计算实例	75
4 碾压混凝土配合比设计	81
4.1 设计原则与基本资料	81
4.2 设计方法	82
4.3 计算实例	87
5 特种混凝土配合比设计	89
5.1 纤维混凝土配合比设计	89
5.2 自密实混凝土	95
5.3 干贫混凝土配合比设计	99
5.4 抗磨蚀混凝土	103

1 综 述

混凝土广义意义泛指将一种具有胶结性质的材料和砂石（统称骨料或集料）以及粉细颗粒（填料）混合并成型后，经凝固硬化而黏结成为具有一定强度的实体。主要成分为胶凝材料和骨料。

混凝土是当今世界上用量最大的建筑材料，广泛应用于建筑、交通、水利等工程建设中，是工程结构的重要组成部分，其质量直接影响到整个工程的质量和使用寿命，而混凝土原材料的好坏和选配是否恰当也直接影响着混凝土工程的质量。因此，确保混凝土结构质量的一个重要的因素是要从混凝土原材料的质量控制做起。原材料选用不当将导致混凝土工程产生质量缺陷或裂缝，从而影响整个工程结构的质量。如对于水工大体积混凝土，应优先考虑选用中、低热水泥，并掺入优质粉煤灰和使用高效减水剂以减小混凝土水化温升，减少产生温度裂缝的可能；对于抗冻要求高的混凝土，必须掺入优质引气剂以提高混凝土的耐久性；对于有硫酸盐侵蚀的地区，应使用抗硫酸盐水泥，并掺入抗硫酸盐侵蚀剂以提高混凝土抗硫酸盐侵蚀性；对于抗冲耐磨混凝土，由于胶凝材料用量大，应尽量选用减水率高的新型高效减水剂并在合理的范围内提高掺量以减少胶凝材料用量，并掺入抗冲磨剂和减缩剂等材料提高混凝土的抗冲磨性能和变形性能。

有了好的原材料，还必须根据设计和施工要求经济合理地确定各组成材料的用料，即对混凝土配合比进行设计。组成混凝土的材料主要有胶凝材料、砂石骨料、水和外加剂，其中，用水量和胶凝材料用量的比例（水胶比）是影响混凝土性能的主要因素，对于水工混凝土来说，强度等级只是一项指标，为满足水利水电工程不同部位对混凝土的耐久性、变形性能、抗冲磨性能、抗侵蚀性能和热学性能等的要求，需要根据设计提出的不同要求进行混凝土配合比设计，同时，还必须考虑建筑物结构尺寸、混凝土浇筑方式、使用的机械设备等要求确定混凝土配合比。

在进行混凝土配合比设计时，一般应按混凝土配合比设计的基本原则进行，即“最小单位用水量、最佳骨料级配、最佳砂率、最大石子粒径”。但有时也应根据具体情况做适当调整，如考虑到料源平衡和较少弃料及碾压混凝土减少骨料分离，采用的骨料级配不一定是最佳骨料级配，可能需要适当调整；对于碾压混凝土来说，为提高可碾性、减少骨料分离，一般在最佳砂率的基础上适当增加2%~4%；对于碾压混凝土来说，本身用水量较低，考虑到耐久性要求和夏季温控加冰的需要，有时不一定采用最小单位用水量；有时受入仓手段和浇筑方式的影响，不能采用最大骨料粒径。

混凝土配合比不但要满足设计要求，还必须有良好的施工性能，例如混凝土泌水率大或骨料分离严重，必然影响到混凝土结构的质量；混凝土坍落度损失大，必然影响到混凝土的入仓和振捣，从而影响混凝土的质量。因此，好的配合比必须在满足设计要求的同时，要有良好的施工性能，并且要经济合理。

2.1 水泥

水泥是加水拌和成塑性浆体，能胶结砂、石等适当材料并能在空气和水中硬化的粉状水硬性胶凝材料。

水泥按其用途及性能可分为三类：

(1) 通用水泥：通用硅酸盐水泥，用于一般土木建筑工程的水泥。如硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥等。

(2) 专用水泥：专门用途的水泥。如砌筑水泥、油井水泥等。

(3) 特性水泥：某种性能比较突出的水泥。如快硬硅酸盐水泥、中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、低热微膨胀水泥和膨胀硫铝酸盐水泥等。

专用水泥和特性水泥统称为特种水泥。

由于水泥熟料矿物组成不同或混合材料种类和掺量不同，使得水泥具有不同的特性。硅酸盐水泥熟料主要矿物成分、含量和特性见表 2-1。

表 2-1 硅酸盐水泥熟料主要矿物成分、含量和特性表

矿物名称		硅酸三钙	硅酸二钙	铝酸三钙	铁铝酸四钙
化学式		$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
简写		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
含量/%		37~60	15~37	7~15	10~18
主要特性	水化速度	快	慢	最快	快
	水化热	中	小	大	中
	强度	高	早期低，后期高	低	较高
	抗蚀	中	良	劣	良
	干缩	中	中	大	小
	耐磨	良	中	劣	中
	需水性	小	小	大	中

水利水电工程大体积混凝土应选用发热量较低的硅酸盐水泥。

2.1.1 通用硅酸盐水泥

(1) 定义。以硅酸盐水泥熟料和适量的石膏，及规定的混合材料制成的水硬性胶凝材