

“十二五”国家重点图书

全
书
施
工

水利水电工程施工技术全书

第三卷 混凝土工程

HUNNINGTU SHIGONG

第七册

混凝土施工

席浩 牛宏力 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

第七册

混凝土施工

席浩 牛宏力 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》第三卷《混凝土工程》中的第七分册。本书系统阐述了混凝土施工的施工技术和方法。主要内容包括：综述、混凝土生产与运输、混凝土浇筑、混凝土养护和表面保护、混凝土温控防裂综合措施、低温季节及雨季混凝土施工、混凝土接缝灌浆、质量控制和主要安全技术措施等。

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

混凝土施工 / 席浩, 牛宏力等编著. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2016. 7
(水利水电工程施工技术全书. 第三卷. 混凝土工程; 第七册)

ISBN 978-7-5170-4618-9

I. ①混… II. ①席… ②牛… III. ①混凝土施工
IV. ①TU755

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第190198号

书 名	水利水电工程施工技术全书 第三卷 混凝土工程 第七册 混凝土施工 HUNNINGTU SHIGONG
作 者	席浩 牛宏力 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
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
刷 印	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 13.75印张 326千字
版 次	2016年7月第1版 2016年7月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	56.00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 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 肖炯红

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》

第七册 《混凝土施工》

编写人员名单

主 编：席 浩 牛宏力
审 稿：席 浩 李克信
编写人员：牛宏力 王裕彪 李克信 郭兴忠
 杨晓伟 赵海峰 吴 涛 顾锡学

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。

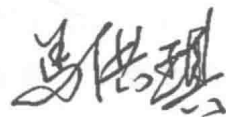
随着水利水电工程施工技术的不断推进，必然会给水利水电施工带来新的发展机遇。同时，也会出现更多值得研究的新课题，相信这些都将对水利水电工程建设事业起到积极的促进作用。该全书是当今反映水利水电工程施工技术最全、最新的系列图书，体现了当前水利水电最先进的施工技术，其

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,《混凝土施工》为第七册,由中国水利水电第四局工程局有限公司编写。

随着我国水利水电工程的快速发展,水工混凝土工程技术伴随着工程建设的需要和科学技术的发展而不断进步。进入20世纪中下叶,特别是跨入21世纪以来,随着长江三峡、雅砻江二滩、黄河拉西瓦、澜沧江小湾、金沙江溪洛渡、金沙江向家坝、雅砻江锦屏一级等一批大型、超大型水利水电站工程的建设,人们对水工混凝土施工技术的认识越来越深刻,尤其在研究和应用新技术、新材料、新工艺和新设备方面取得了一批突破性的科技成果,很多施工关键技术的研究已走在世界前列,水工混凝土筑坝技术在整体上处于世界领先水平。

本册紧密结合近10年来我国水工混凝土施工领域技术进步和科技创新成果,在编写过程中强调对实际工作的指导性,本着求新、求准、求实用的原则,结合水工混凝土施工工艺、施工流程,较全面地反映了近年来我国在水工混凝土施工技术方面所取得的成就。编写内容在吸取相关工具书经验的基础上,大量收集了近年来取得的新成果并结合工程实例,对水工混凝土施工工艺进行阐述。

在此对关心、支持、帮助过该书出版、发行的领导、专家、技术人员表示衷心的感谢。

本书在编写时难免存在挂一漏万之处,希望广大读者在学习使用过程中,多提批评指导意见,以利改正。

作者

2015年9月28日

目 录

序一

序二

前言

1 综述	1
1.1 水工混凝土施工特点	1
1.2 水工混凝土施工技术发展	2
1.3 水工混凝土施工技术展望	7
2 混凝土生产与运输	10
2.1 混凝土生产	10
2.2 混凝土运输	11
3 混凝土浇筑	27
3.1 技术要求	27
3.2 坝体分缝及浇筑分块、分层	28
3.3 混凝土仓面设计与仓面资源配置	34
3.4 建基面及施工缝处理	40
3.5 浇筑	45
3.6 典型构造部位混凝土浇筑	52
3.7 预应力混凝土结构	61
3.8 混凝土真空施工工艺	77
4 混凝土养护和表面保护	84
4.1 混凝土养护	84
4.2 混凝土表面保护	88
5 混凝土温控防裂综合措施	94
5.1 原材料的优选	94
5.2 配合比的优化	95
5.3 预冷混凝土	96
5.4 控制浇筑温度	99

5.5	通水冷却	102
5.6	洒水降温与表面保温防护	103
5.7	综合措施的应用	104
6	低温季节及雨季混凝土施工	105
6.1	低温季节混凝土施工	105
6.2	雨季混凝土施工	128
7	混凝土接缝灌浆	129
7.1	接缝灌浆布置要求	129
7.2	接缝灌浆准备	132
7.3	接缝灌浆	136
8	新老混凝土结合面处理	142
8.1	影响结合的因素	142
8.2	结合面处理	143
8.3	结合面施工及运行监测	147
8.4	工程实例	152
9	质量控制	158
9.1	原材料的质量控制检查	158
9.2	混凝土拌和质量控制检查	163
9.3	混凝土浇筑质量控制检查	164
9.4	混凝土外观质量和内部缺陷	168
10	主要安全技术措施	172
10.1	施工缝处理	172
10.2	混凝土生产	173
10.3	混凝土运输	174
10.4	混凝土平仓振捣	178
10.5	混凝土养护	179
10.6	混凝土表面保护	179
10.7	高空作业	180
10.8	雨季作业	180
10.9	冬季作业	181
11	工程实例	182
11.1	三峡水利枢纽二期工程混凝土重力坝工程	182
11.2	小湾水电站混凝土拱坝工程	189
11.3	长洲水利枢纽中江闸坝工程	193
11.4	溪洛渡水电站地下厂房工程	197

1 综 述

自 20 世纪 50 年代以来,我国的水利水电工程建设事业取得了突飞猛进的发展,相继建成了龙羊峡水电站、水口水电站、李家峡水电站、二滩水电站、三峡水利枢纽、拉西瓦水电站、小湾水电站、溪洛渡水电站、向家坝水电站、锦屏水电站等一批水利水电工程,其中混凝土坝枢纽工程已建和在建的坝高 100m 以上的大中型水电站占 50% 以上,占据主导地位,是我国水利水电工程建设中的一个重要组成部分。

纵观我国混凝土坝建设的发展历程,新中国成立以后的 30 年里,在国家计划经济环境条件下,发展速度较慢。在改革开放以后,施工技术得到了长足发展,工程建设取得了辉煌成就。进入 21 世纪后,混凝土坝施工在新技术、新工艺、新材料、新设备等方面都取得了突破性的进展,形成了一系列能够满足特大型复杂建筑结构施工要求的施工工艺和方法,我国混凝土坝建设正在向 300m 级高拱坝发展。小湾、溪洛渡、锦屏、拉西瓦等水电站超高拱坝,坝高已进入世界前列,其中锦屏一级水电站坝高达 305m,系世界上最高混凝土坝。以这些大型、特大型混凝土坝工程为依托开展施工技术研究,使我国的混凝土坝施工技术达到了世界领先水平。

1.1 水工混凝土施工特点

水工混凝土质量要求与一般工业与民用建筑混凝土不同,除强度要求以外,还要根据其所处部位和工作条件,分别满足抗渗、抗冻、抗裂(抗拉)、抗冲耐磨、抗风化和抗侵蚀等设计要求。水工混凝土施工,一般具有以下几个特点:

(1) 工程量大、混凝土浇筑强度高。大中型水利水电工程的混凝土工程量通常在几十万立方米至几百万立方米,从基础混凝土开始到工程建成蓄水(或第一台机组发电),一般需要经历 3~5 年完成。如三峡水利枢纽工程大坝全长 2309.5m,最大坝高 181m,混凝土总量达 1600 万 m^3 ,从 1998 年开始浇筑混凝土,1999—2001 年连续 3 年浇筑量均在 400 万 m^3 以上,其中 2000 年浇筑强度 548 万 m^3 、月浇筑强度 55.35 万 m^3 、日浇筑强度 2.2 万 m^3 。小湾水电站坝体混凝土总量 870 万 m^3 、2007 年浇筑混凝土 235 万 m^3 、月最高强度达 23 万 m^3 、日强度 1 万 m^3 。为了保证混凝土质量和加快施工进度,采用了综合机械化施工手段,选择了技术先进、经济合理的施工方案。

(2) 施工条件困难。水工混凝土施工多为大范围、露天高空作业,且多位于高山峡谷地区,其施工运输、机械设备布置等受工程所处位置的地形、地质、水文气象等自然条件限制,施工条件差,施工困难。

(3) 施工季节性强。水工混凝土施工,由于受气温、降水、施工导流和度汛等因素的

制约，有时不能连续施工，有时为了达到挡水拦洪、安全度汛目标，汛前必须达到一定的工程形象面貌，因此，施工的季节性强、施工强度高。

(4) 施工工期较长。主要是受严格施工工序、混凝土龄期、混凝土后期强度增长的因素影响，混凝土施工比较占用工程直线工期。加快进度也是有前提的。

(5) 温度控制要求严格。水工混凝土多为大体积混凝土，为防止混凝土（特别是基础约束部位的混凝土）产生温度裂缝，通常需对坝体采用分缝、分块、分层进行浇筑。同时，还需根据当地条件对混凝土采取综合的温控措施。

(6) 施工技术复杂。水工建筑物因其用途和工作条件不同，一般体型复杂，常采用多种强度等级的混凝土。另外，混凝土浇筑与基础开挖、固结灌浆、帷幕灌浆、接缝灌浆、金属结构安装交叉作业，施工干扰大。

1.2 水工混凝土施工技术发展

水工混凝土工程技术伴随着工程建设的需要和科学技术的发展而不断进步。进入 21 世纪以来，随着三峡水利枢纽工程、拉西瓦水电站、小湾水电站、溪洛渡水电站和向家坝水电站、锦屏水电站等一批大型、超大型水利水电工程的建设，在混凝土的运输、浇筑、养护及表面保护、施工缝处理及温控防裂等方面发展成熟了一批新型工艺和技术。

1.2.1 混凝土原材料

(1) 胶凝材料。水工混凝土的特点决定了所用的水泥必须具有较低的水化热，较好地耐侵蚀性和体积稳定性。常用的水泥以中热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥为主，水泥等级有 42.5 级和 52.5 级；有硫酸盐侵蚀的部位，应用抗硫酸盐水泥和铁铝酸盐水泥，也可用中、低热水泥；有溶出侵蚀部位应用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥。

随着水利水电工程技术的发展，对水泥的性能提出了更高的要求。低热硅酸盐水泥是新发展起来的一种高性能水泥，该水泥具有低热、高强、高耐久性、干缩率低、体积稳定性好的特点，应用前景广阔。

(2) 骨料。在混凝土中砂石骨料是最主要的原材料，骨料的好坏直接影响混凝土的性能。骨料分为天然骨料和人工骨料两类。天然骨料外形圆滑、质地坚硬、生产费用低，但岩石种类多、级配分布不均匀，可能含有有害成分。人工骨料岩种单一、级配控制方便、表面粗糙、与水泥黏结性好，目前已被广泛采用；但孔隙率和比表面积较大、生产费用高。

(3) 外加剂。随着混凝土外加剂技术的发展，品种越来越多，性能越来越好，技术也越来越成熟，外加剂已成为现代混凝土不可缺少的重要组成部分之一。在混凝土中掺外加剂，已被认为是节约水泥用量、节省能耗、提高混凝土强度、改善性能，特别是提高混凝土抗裂性和耐久性等方面的有效措施，它能够保证混凝土在不利的搅拌、输送、浇筑、养护条件下仍有所需的浇筑质量，满足混凝土在施工过程中的一些特殊要求。因此，在混凝土中必须掺外加剂已成行业规定。目前，常用的外加剂有：引气剂、普通减水剂、缓凝减水剂、引气减水剂、高效减水剂、缓凝高效减水剂、缓凝剂、泵送剂等。

减水剂的发展经历了三代产品：第一代以木质素磺酸盐为代表的普通减水剂；第二代