

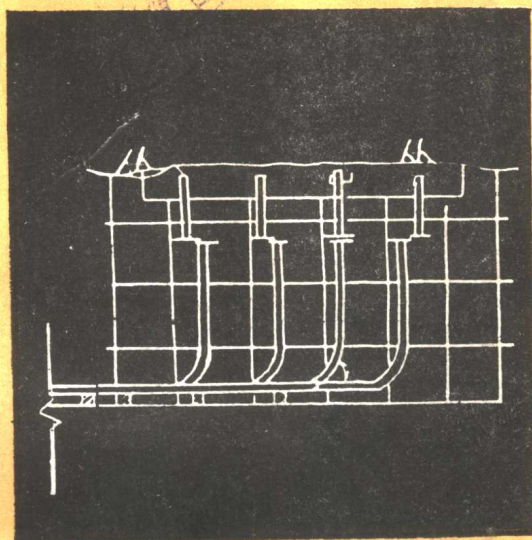
水力发电
技术知识
丛书
中国水力发电工程学会主编

926372

第十三分册

水工混凝土 工程施工

吴来峰 岳 强



水利电力出版社

V544
6052

926372

TV544
6052

水力发电技术知识丛书

中国水力发电工程学会主编

第十三分册

水工混凝土工程施工

吴来峰 岳 强

水利电力出版社

水力发电技术知识丛书

第十三分册

水工混凝土工程施工

吴来峰 岳 强

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 9.875印张 217千字

1991年1月第一版 1991年1月北京第一次印刷

印数0001—2460册

ISBN 7-120-01170-7/TV·432

定价7.25元

关于编写《水力发电技术知识 丛书》的说明

为了水力发电战线广大职工学习科学技术，适应现代化水电建设和生产的需要，中国水力发电工程学会组织编写了一套《水力发电技术知识丛书》。丛书是从普及水力发电科学技术知识的角度出发，着重介绍水力发电的基本概念和基础知识，对我国在实践中取得的经验和国外水平以及发展前景也作适当介绍。

读者对象以具有中等学校文化程度以上的各级管理干部为主，使他们能系统地了解水力发电的科技知识。不断提高业务能力和管理水平。对于中等学校文化程度的技术工人，也可通过学习本丛书为学习专业技术打下初步基础，并在工作中不断提高技术水平。对于有某种专业的技术干部，也可了解其他相邻专业的一般知识。

本丛书共分二十五个分册：

第一分册 水力发电概况

第二分册 水能规划和综合利用

第三分册 水能经济

第四分册 水电工程地质

第五分册 水电工程勘测

第六分册 水文测验和水文计算

第七分册 坝、泄洪和进水建筑物

第八分册 引水工程及发电厂房

- 第九分册 过船过鱼过木建筑物
- 第十分册 水工机械设备
- 第十一分册 水工建筑物的运行维护和观测
- 第十二分册 水电工程的施工组织和管理
- 第十三分册 水工混凝土工程施工
- 第十四分册 土石工程及地下工程施工
- 第十五分册 施工导流工程
- 第十六分册 水轮机和辅助设备
- 第十七分册 发电机和电气设备
- 第十八分册 水电站集中控制、继电保护和自动化
- 第十九分册 机电设备的安装
- 第二十分册 机电设备的运行维护
- 第二十一分册 水电站水库调度
- 第二十二分册 水电站经济运行
- 第二十三分册 小型水电站
- 第二十四分册 抽水蓄能电站
- 第二十五分册 潮汐电站

本丛书各分册承蒙从事水电事业内有关单位和院校的专家教授大力支持，花了大量时间和精力进行编写和审校，特此一并致谢。

《水电发电技术知识丛书》编辑委员会

1982年8月

《水力发电技术知识丛书》编辑委员会

主 任 施嘉炆

副主任 陆钦侃 舒扬桢 刘颂尧

编 委 (按姓氏笔划为序)

于开泉、王伊复、王圣培、伍正诚、冯尚友、
李毓芬、刘颂尧、沈 晋、谷云青、陈叔康、
张勇传、汪景琦、施嘉炆、陆钦侃、唐集尹、
舒扬桢、董毓新、程学敏、杨德晔

前 言

水利水电工程是将社会改造得更好，更适于人类生存的事业。水利水电工程施工是上述事业的实践，是实现水利资源利用、水能开发和水利枢纽、水电站建设的一个重要环节，也是实现我国水利、能源政策基本建设中最根本的生产实践。本书从理论到实践两个方面，从各种原材料形成混凝土的机理到砂石料开采、生产，混凝土系统布置、运输、浇筑，混凝土模板、钢筋工程，施工缝处理，隧洞衬砌支护，混凝土夏季冬季施工，大体积混凝土工程温度控制，工程质量控制与科学管理等，将整个工程生产的体系，用简练、通俗语言，科学地加以阐述，并力求反映当前国内外水利水电工程施工的先进技术。本书还简单介绍了当前混凝土坝工程发展的两个新方向：碾压混凝土筑坝和水工补偿收缩混凝土筑坝。帮助广大水利水电建设战线的科技工作者、生产实践者，最有效地利用现代化机械或现有机器的配套、完善来进行施工，并利用现代化的科学技术来进行施工组织与管理，使水利水电工程能够用最少的财力、物力、人力和最短时间完成既定任务。

本书有如下特点：

(1) 内容丰富。本书包括了1988年12月审议通过的中热、低热水泥（即原大坝水泥和矿渣大坝水泥）技术要求；有美国Rotec公司生产的专门输送混凝土的皮带机性能及应用情况；有冷耗低、工效高、质量好的连续冷却、混合上料新工艺；有加拿大1988年新发明制冷新产品；以及碾压混凝

土筑坝和补偿收缩混凝土筑坝等等。

(2) 实用性强。本书根据国内外水工混凝土建设几十年的生产实践经验, 从混凝土原材料到混凝土工程整个生产始末, 质量控制和科学管理, 混凝土温控及防裂措施, 都有全面阐述和总结。

本书前言、第二、六、八、九、十、十一章, 以及第四、七章皮带机输送混凝土、水下浇筑混凝土、高落差混凝土浇筑, 由吴来峰编写, 第一章概述、第三、五章以及第四章, 第七章一、二节由岳强编写, 全书由吴来峰统稿。本书由中国水利水电规划设计研究总院刘颂尧、吴师德总工程师审议, 并提出了很好的修改意见, 在此表示衷心感谢。

编 者

1988年10月

内 容 提 要

本书阐述水工混凝土工程包括大坝、厂房、隧洞工程的施工设计与实践。主要内容有：水工混凝土材料，砂石料开采与生产，混凝土系统布置与生产，混凝土仓面准备，混凝土夏、冬季施工与温度控制，水工隧洞混凝土施工，碾压混凝土筑坝，水工补偿收缩混凝土建坝，混凝土质量控制以及施工科学管理等。

本书可供从事水利水电工程设计、科技工作者和生产实践者应用、参考。亦可供从事混凝土工程的专业人员设计、施工时参考。

目 录

关于编写《水力发电技术知识丛书》的说明

前 言

第一章 概述	1
第一节 水工混凝土工程施工概况	1
第二节 大体积混凝土施工特点	7
第二章 水工混凝土材料	19
第一节 水工混凝土基本要求、特点与分类	19
第二节 水工水泥	20
第三节 砂石骨料	35
第四节 外加剂	38
第五节 掺合料	41
第六节 碱—骨料反应	46
第三章 砂石料开采与生产	49
第一节 天然砂石料开采与生产	49
第二节 人工砂石骨料的生产	64
第四章 混凝土的拌和、运输与浇筑	74
第一节 混凝土拌和系统布置	74
第二节 混凝土运输	81
第三节 混凝土浇筑	102
第五章 混凝土仓面准备	118
第一节 模板工程	118
第二节 钢筋工程	140
第三节 仓面施工缝处理	142
第六章 混凝土夏、冬季施工与温度控制	146
第一节 混凝土降温工程	146

第二节	混凝土冬季施工	188
第三节	混凝土坝裂缝及控制	203
第七章	水工隧洞及厂房混凝土施工	214
第一节	水工隧洞的衬砌与支护	214
第二节	水电站厂房混凝土施工	222
第三节	深水中混凝土浇筑	232
第四节	高落差混凝土垂直输送与浇筑	235
第八章	碾压混凝土筑坝	238
第一节	碾压混凝土的特点	240
第二节	碾压混凝土筑坝的经济分析	241
第三节	碾压混凝土的配合比设计与施工	243
第九章	水工补偿收缩混凝土建坝	248
第一节	水工补偿收缩混凝土筑坝的特点	250
第二节	水工补偿收缩混凝土的自生体积变形	252
第三节	不同养护条件下混凝土的补偿收缩性质	255
第四节	约束条件下混凝土的补偿收缩性质	261
第五节	补偿收缩混凝土抗裂基本原理	265
第十章	混凝土工程质量控制	270
第一节	混凝土质量评定指标	270
第二节	质量评定与验收	273
第三节	新拌混凝土质量检测与控制	275
第四节	原材料的检测与控制	281
第十一章	加强施工管理、提高质量、降低造价	290
第一节	技术措施要与施工条件与管理水平相一致	291
第二节	混凝土生产准备工程	293
第三节	设计与施工紧密配合	295
第四节	水泥的运输、保管和定点供应	298
第五节	采用新技术, 加强施工科学管理	299
参考文献		303

第一章 概 述

第一节 水工混凝土工程施工概况

水工混凝土是一种用于水工建筑物的人工材料，可以根据不同水工建筑物对混凝土材料的设计要求，通过设计、试验而加工生产，满足各种功能的要求。一般对水工混凝土的性能要求有：抗压、抗拉、防渗、防裂、耐久、容重、抗冲耐磨、抗冻融、抗气蚀、抗腐蚀（化学腐蚀、生物腐蚀等）、抗弯折、抗剪切等物理力学和生物化学性能。

19世纪中叶，随着水泥工业生产的起步，水工建筑物的施工，特别是闸、坝的施工，也开始研究使用以水泥为胶凝材料的混凝土；但由于受当时技术发展和生产条件的局限，1900年以前的混凝土，多是用尚未完全“熟化”的波特兰水泥（粗糙见火，需要一个长的储存期来提高其稳定性）和天然砂卵石（未经筛分和冲洗），并用铁铤、铁铲手工拌制。运输浇筑方法，也是用箩筐挑或手推车推，直接进仓或满堂脚手全面进仓，铁铤平仓，简易捣实（以脚踩、夯击、木锤捣、棒插等）。当时对水灰比的影响是无知的，对拌和物的是否均匀，稠度是否便于操作，也仅能凭经验判断，施工对象限于小坝，那时全世界建坝不过1600座左右，重力坝也基本上是浆砌石坝。

本世纪初的重力坝施工，主要采用高流态混凝土和人工捣实方法，所用骨料既不筛分也不冲洗，对砂石料含水量不作测定，拌和用水量也很少注意。后来发现水灰比与混凝土

的强度有关，且其规律比较明显，才逐步开始了高流态混凝土向低流态混凝土的发展，并注意进行混凝土的级配设计工作。那时混凝土的单位水泥用量也偏高，如美国诺瑞斯坝内部混凝土使用低热硅酸盐水泥 223kg/m^3 （砂率33.5%，最大骨料粒径 152mm ）。

本世纪30年代建设的美国胡佛坝是一座混凝土重力坝，最大坝高 221m ，坝顶长 379m ，坝体混凝土体积 336万m^3 ，1930年开工，1936年建成投产。该坝在施工中注意了混凝土的级配设计与温度控制，降低了单位水泥用量并进行分块浇筑。即采用沿大坝横向分坝段，纵向分坝块，每次浇筑高度加以控制的柱状分块浇筑法。当时采用这种柱状分块浇筑法主要是考虑温度控制问题，同时在坝块混凝土中采用低热水泥，埋放水管，浇后通冷水冷却，这些措施对防止混凝土裂缝，起了一定的作用。由于采用分块浇筑，使坝体出现了不少横缝与纵缝，为了恢复坝的整体性，在大坝投入运行前，还必须进行接缝灌浆，这种灌浆应在坝体温度降至运行稳定温度时进行。由于采用这一工艺，不但增加了接缝立模工作量，而且增加了水平施工缝的处理时间和混凝土材料的浪费，也不利于缩短工期，但却对高混凝土坝的施工质量提供了条件。为了均匀浇筑，保证质量和加快工程进度，在浇筑系统的布置和混凝土运输中采用了两座日产混凝土总量达 7600m^3 的配料、拌合自动化的拌合楼和 6m^3 吊罐，并用机械吊运混凝土进仓和大型内部振捣器振捣混凝土，两年浇筑混凝土 240万m^3 。

40年代起，由于低热波特兰水泥早期强度较低，烧成困难，价格高，故从50年代起，国外就不再在大型混凝土重力坝中使用，而改用中热水泥（7天水化热约在 293kJ/kg 以

下, 28天约在 334.9kJ/kg 左右), 用量一般在 140kg/m^3 左右。如松原重力坝混凝土使用中热水泥 140kg/m^3 。

1942年建成的大古里坝, 进一步完善了胡佛坝的施工方法。这一套施工方法, 至今40多年来, 除在施工机械的大型化、高效化、自动化程度有所发展, 以及少数电站大坝坝体混凝土采用通仓浇筑外; 柱状分块浇筑仍为绝大多数混凝土坝的施工所采用。在温控措施中, 对混凝土浇筑温度的控制更加严格, 并发展了骨料冷却的施工工艺。总之胡佛坝的柱状分块施工方法, 至今仍是一种传统、典型的施工方法。

1968~1972年施工的美国德沃歇克混凝土重力坝, 代表着70年代的先进水平, 全坝段不设纵缝通仓浇筑, 严格温控措施, 并用快速缆机垂直提升混凝土进仓浇筑, 大坝均匀升高 4m/月 。

我国从50年代起, 开始建了一些坝高 100m 以内的混凝土坝, 如黄坛口重力坝高 44m , 古田溪一级宽缝重力坝高 71m , 佛子岭、梅山连拱坝高 75.8m 和 88.24m 等较低的混凝土坝。

60年代又建成一批高 $100\sim 150\text{m}$ 左右的混凝土坝。如新安江宽缝重力坝高 105m , 三门峡重力坝高 106m , 柘溪支墩坝高 104m , 新丰江大头坝高 105m , 刘家峡重力坝高 147m 。

70年代后期至80年代又建了坝高 $150\sim 200\text{m}$ 的混凝土坝, 如乌江渡拱型重力坝高 165m , 龙羊峡重力拱坝高 178m , 东江双曲拱坝高 157m , 白山重力拱坝高 149.5m 。

这些混凝土坝的施工方法大多是由开始的劳务密集型为主逐步向机械化迈进的。从混凝土拌和机看, 拌和机械也是由引进进口设备逐步向国产化过渡。60年代以前, 各工地多使用小容量 0.4m^3 或 0.8m^3 拌和机组成的拌和站, 也有工地

使用进口拌和楼，其容量多系 $3 \times 1600\text{L}$ ，小时产量 78m^3 的和 $4 \times 5000\text{L}$ ，小时产量 270m^3 。60年代起，我国开始自制 $4 \times 2400\text{L}$ 的拌合楼。

70年代中期，国产拌合楼主要规格有 $3 \times 1600\text{L}$ 、 $3 \times 2400\text{L}$ 、 $4 \times 5000\text{L}$ 等，同时还采用了电子称量装置，初步形成系列，并分别与 3m^3 、 6m^3 混凝土吊罐和 10t 、 20t 、 30t 门机、塔机、缆机等起重机械配套。

混凝土，从拌和楼到浇筑仓面的运输方式，50年代多用机车吊罐作水平运输，经 10t 门机提升到仓面脚手平台的储料箱，然后卸料到 0.2m^3 胶轮斗车，再经分料转运混凝土到下料仓口，经溜管下料到浇筑仓面。50年代后期，由于缆机引进，于是有条件将拌和楼生产的混凝土经由机车吊罐水平运输到大坝的缆机（或门机、塔机）吊点位置，再经缆机或其它起重机械直接吊进仓面，这时仓面为开敞式，节省了大量仓面脚手工作量，也提高了工效。

60年代起，也有用汽车运输混凝土直接入仓的（如三门峡、丹江口通过低栈桥直接下料进仓，或混凝土入储料箱经斗车出料入仓）。70年代起，黄龙滩也曾用汽车直接运料进仓，汽车端进法浇混凝土约 10万m^3 ，葛洲坝一期工程也曾用端进法和端退法共浇混凝土 54万m^3 ，池潭工程也曾试用过这种浇筑方法。皮带机运输混凝土直接进仓浇筑，60年代初，新安江、桓仁、富春江混凝土浇筑曾使用过。70年代后期，葛洲坝一期工程，曾使用过专用移动皮带机、双悬臂布料机或桥式布料机；采用皮带机运输混凝土具有设备简单、维修方便、功效高等优点，主要问题是混凝土分离、砂浆损失、骨料架空等。水电系统1987年引进的美制“Rotec”皮带机，较好地解决了下料分离和砂浆损失问题。地下工程的

衬砌，水下混凝土的浇筑现已多采用泵送混凝土，一般要求砂率34%~40%，粗骨料60%~66%，砂子颗粒要求 $d=0.2\text{mm}$ 、含量不小于5%， $d=1\text{mm}$ 含量不小于20%。混凝土泵多为活塞式，并有机械推动和液压驱动，后者有HB₃₀型，前者规格少，现引进日本IPF型混凝土泵车，性能较好。

目前我国大中型水利水电工程混凝土施工机械也正向大型化发展。如70年代以前常用的门、塔机主要为丰满10t/30t门式起重机，天津10t/25t塔式起重机和东德10t/20t门式起重机，70年代以后传统的丰满门机已向高架、大吊幅方向发展，如白山、葛洲坝工程使用的起重机10~30t，工作幅度45m，轨面以上提升高度48~70m，轨下提升高度可达50m的高架门机。此外新机型还有10t/30t高架门机，MQ540/30型高架门机、SDMQ1260/60型高架门式起重机和SDTQ1800/60型塔式起重机，缆机除原有平移式20t、幅射式10t、20t外，近年来也采用了两侧支承车式平移缆机，如岩滩、水口工程所用。

大坝混凝土的浇筑我国也大多采用国际上传统的胡佛坝柱状分块浇筑法，对温度控制也愈来愈重视，坝段横缝间距较宽一般为18~20m，个别工程也有采用间距15m和大于20m的，如龙羊峡最大24m，最小18m，分块平面形状多为纵向长、横向短，浇筑仓面面积多在400~500m²，分块高度多为1m和3m，即基础约束区内分块高度为1m或1.5m，连续4~6块以后转为3m。个别也有小于1m的（约0.5m或0.75m），如东江分块高度为1m和2m，紧水滩为1m和3m，龙羊峡为1.5m和2m。丹江口工程采用滚浇法，最大仓面面积大于1000m²，块高1.2~2m池潭和乌江渡工程

采用低流态混凝土薄层浇筑，仓面面积 $568\sim 1030\text{m}^2$ ，块高 $0.75\sim 1.25\text{m}$ 。施工缝面处理过去多用人工凿毛，现在已多用高压水冲毛处理。

由于柱状分块浇筑限制了混凝土坝的连续均衡施工，且需大量立模工作，增加水平施工缝面的处理和纵、横缝的灌浆工作，即使细致均衡地安排浇筑块的施工，但限于仓面尺寸不能过大，再加一定间歇，即使增大施工设备容量；也难于提高效率。因此，近年来，国内外都在探索混凝土坝的快速施工途径。如意大利的阿尔卑惹拉重力坝，苏联的托克托古尔坝，美国的德沃夏克坝以及日本里部四等坝都采用了通仓浇筑。如德沃夏克坝最大坝高 219m ，是美国最高的直线重力坝，坝顶长 1002m ，共分51个坝段，横缝间距 $12.2\sim 33.5\text{m}$ 不等，其中43个坝段宽 19.8m ，该工程1963年开始修建道路，1968年6月开始浇筑坝体混凝土。1978年初浇完大坝，浇筑周期56个月，共浇混凝土 512.5万 m^3 （其中大坝 497万 m^3 ），月平均浇筑强度 9.2万 m^3 ，月平均浇筑高度 3.9m ，施工高峰时仅1200人。我国在个别工程的大坝施工中也试验过通仓薄层浇筑，如前述乌江渡和池潭，但未广泛应用。通仓浇筑虽然减少了纵缝，但不能连续浇筑。70年代以来，在多次国际大坝会议和国内学术会议的推动促进下，国内外在 100m 左右的混凝土坝中试验了碾压混凝土筑坝和我国创立的水工补偿收缩混凝土筑坝新技术。

总之，从国内外混凝土坝的施工来看，正走着一条不断提高工程质量、缩短工期、优化施工方法、降低造价、减少水泥用量的道路。建国以来，我国大体积水工混凝土施工技术有了很大进展，由于大容量、高功率施工机械的采用，机械的合理选型配套，使工效不断提高，劳动条件不断改善