

大坝加高 混凝土施工技术

Concrete Construction Technology
of Dam Heightening

周厚贵 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

大坝加高 混凝土施工技术

周厚贵 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

大坝加高混凝土施工具有其不同于常规水工混凝土施工的技术与管理独特性。本书在构建大坝加高混凝土施工技术体系的基础上,系统阐述了大坝加高混凝土施工所特有的关键技术及管理要点。其内容主要有:大坝加高的发展及技术研究现状、大坝加高施工技术体系、老混凝土拆除技术、新老混凝土结合技术、新浇混凝土施工技术、施工管理与决策技术,以及丹江口大坝加高工程实例等。

本书可供从事水利水电工程技术的科研工作者和工程技术人员使用和参考,也可供相关专业的高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

大坝加高混凝土施工技术 / 周厚贵编著. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2014. 12
ISBN 978-7-5170-2763-8

I. ①大… II. ①周… III. ①大坝—加高一混凝土施工 IV. ①TV642

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第296543号

书 名	大坝加高混凝土施工技术
作 者	周厚贵 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	北京三原色工作室
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 19印张 383千字
版 次	2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷
定 价	68.00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

序

水利水电工程是国民经济的重要基础设施，其大坝拦截河流形成水库，发挥了防洪、发电、航运、供水等综合效益。在水利水电工程规划设计和建成运行后，为拓展其利用功能的需要，将有较多大坝的坝体需要进行加高工程建设。大坝加高技术和工艺涉及对已建坝体和坝体内的泄水孔及引水流道等建筑物进行续建、改建、扩建和重建，其所实施的加高、增厚和延长、加固、置换等单一性或综合性的项目建设均可纳入广义的大坝加高工程中。通过实施大坝加高工程，在确保大坝安全运行的前提下，可以扩大水库库容，增加电站发电量，加大供水引水量，提高下游防洪能力，更加充分利用现有水利枢纽控制范围内的水资源，以最大程度兴水利而除水害。如果说新建大坝创造了大坝“生命”，那么大坝加高工程则是赋予大坝“新生命”或“二次生命”，使其重新焕发活力、拓展功能，发挥更大的综合效益。

大坝加高既是坝体工程建设的延续，更是有别于新建大坝工程的一项专门的工程技术。大坝加高的建设环境、施工条件、技术要求等方面都与新建工程存在很大差别，其施工关键技术与管理等已经形成其独特的体系。大坝加高施工技术经历了从无到有、逐步发展、不断完善、趋于成熟的过程。从加高坝型上看，已从小型土石坝加高逐步发展到大型土石坝、浆砌石重力坝、混凝土重力坝、混凝土拱坝等，时至今日，各类坝型的大坝加高技术都已基本完善。从加高方式上看，已逐步建立了包括后帮整体式、后帮分离式、前帮整体式、前后帮综合式、预应力锚索加高式、坝顶直接加高式等在内的适应于不同坝型、不同加高高度、现有枢纽运行期不同要求的加高方式。从加高程度上看，从最初的加高几米发展到加高几十米，如日本的 Kurobe 坝在原坝高 120m 的基础上加高 68m，美国 Lake Spaulding 拱坝在最初坝高 68.6m 的基础上实施了 3 次加高，依次加高 10.7m、4.6m、83.9m。从加高规模上看，加高高度、

老坝体结构拆除量、新老混凝土结合面面积等量值量级不断被刷新，如中国的丹江口大坝加高工程的加高规模、施工技术难度等位于世界前列。大坝加高工程技术发展到今天，较为系统、完善的施工技术体系基本形成，可以较充分地满足工程建设领域各类型、各层次的大坝加高施工需要。因此，站在水利水电科技进步发展的视角上，大坝加高又是一门始终保持与时俱进和具有现代特色的工程技术。

此书的作者周厚贵同志及其所带领的团队在这方面做了大量的研究与创新工作，对大坝加高施工技术体系的构建与完善做出了重要的贡献。我略读书稿，深感此书的特点可以概括为三个方面：第一，“全”，书中内容涵盖了大坝加高施工的原结构体拆除、新老混凝土结合施工、加高部位新混凝土浇筑、施工管理等诸多方面的内容，形成了较为系统的大坝加高施工技术体系；第二，“新”，书中介绍的理论与工程实践技术反映了当前大坝加高领域的前沿科技，创新性较强，有不少成果都是首创；第三，“实”，书中介绍的施工技术、施工工艺、施工材料、施工设备等，都已经在丹江口大坝加高等工程中得到应用，成效显著，都是实用的技术，可直接在工程实践中推广应用或加以借鉴。

随着我国水利水电工程建设的不断发展，一方面，运行数十年的大坝功能将衰减和逐渐老化，需要进行大坝后续的加固改建；另一方面，可供选用的优质坝址将日益减少，为提高现有水资源的利用率，需要实施已建大坝加高扩建和重建。可以预见，在这类工程的建设过程中，此书系统总结和形成的大坝加高施工技术体系成果必将发挥积极的引导作用，以进一步促进坝工技术的发展和完善，全面推动我国水利水电事业的可持续发展。

郑守仁

2013年5月于溪洛渡

前 言

大坝加高最早可以上溯到两千多年以前，历史悠久、源远流长。水利水电工程由于库区严重淤积、坝体材料经年老化、自然灾害影响等以及长间歇分期建设、抬高水位运行、增加新的功用、加大利用水能资源等被动或主动的需要，使得已建的很多大坝都进行了加高施工。

由于受到空间和时间等诸多条件的限制，大坝加高工程施工具有场地狭窄、干扰因素多、工期较长、技术难度大、工艺复杂、制约因素多等突出特点，尤其是混凝土的施工存在着新老混凝土结合、新混凝土的设计与浇筑、坝体老混凝土及其设施的拆除转移、施工管理与决策等诸多关键技术难题。随着大坝加高工程需求的增长和难度的增加，迫切需要开展全面系统的科学攻关和技术创新，并在此基础上形成一整套大坝加高混凝土施工技术体系。

本书正是基于这一客观要求和现实需要，依托南水北调水源工程——丹江口大坝加高等工程混凝土施工，在开展大量试验、研究、分析、总结、提升的基础上，对所取得的一系列成果及其应用实例加以编著而成。本成果从结合机理研究出发，采用自主研究的试验方法，重新揭示了新老混凝土结合的内在机理；以此为理论指导，研制新型环保界面密合剂，增进新老混凝土之间的化学结合力和范德华力；研发人工键槽成型施工“锯割静裂法”，大幅提高新老混凝土之间的机械啮合力；创新设计界面混凝土，有效传递新老混凝土之间的约束；开发混凝土通水冷却智能控制系统，有力推动新浇混凝土温控智能化；研发狭窄空间内的混凝土输送方法及设备，解决多重限制条件下的混凝土浇筑手段问题；创建基于 VR 的高效施工管理与决策平台，显著提升现场施工管理水平；等等。这些成果即构成了大坝加高混凝土施工技术体系的支撑架构。

本书涵盖了大坝加高混凝土施工中有别于常规混凝土施工的各项技术与管理工作，主要包括大坝加高的发展与技术研究现状；大坝加

高施工重点与难点、加高施工技术对策；坝体老混凝土拆除技术、拆除安全防护；新老混凝土结合技术、增强结合的解决方案；坝体新浇混凝土界面设计、新浇混凝土综合温控技术；大坝加高施工现场管理技术、基于 VR 的加高施工管理与决策；丹江口大坝加高工程混凝土施工典型实例。

本书是中国葛洲坝集团公司相关科研及技术人员和参与大坝加高工程全体建设者多年工作的结晶。在本书的编著过程中，许多专家和人员都为之做了大量的工作，付出了辛勤的劳动，王章忠、谭恺炎、曹生荣、段宝德参与了相关章节的编写，王端明、赵志方、李焰、程雪军、程润喜、朱明星、马江权、熊刘斌、吴琴凤、刘剑峰、王博等提供了相关工程资料；在本书的出版过程中，张海燕、刘嫦、罗丁、张建花等给予了协同和帮助，在此一并表示衷心地感谢！

特别鸣谢中国工程院郑守仁院士在百忙之中为本书作序，并给予了我们巨大的鞭策与鼓励！

本书是基于对现阶段研究工作和技术成果的系统性总结，由于水平有限，书中不当甚至谬误之处在所难免，恳请业内专家、学者批评指正，以促进大坝加高混凝土施工技术体系更加完善，为我国的水利水电建设可持续发展做出更大贡献！

编著者

2013 年 11 月

目 录

序

前言

第1章 概述	1
1.1 大坝加高的发展	1
1.1.1 大坝加高的定义	1
1.1.2 大坝加高的缘由	1
1.1.3 大坝加高的起源与发展	3
1.1.4 大坝加高的意义和作用	3
1.2 大坝加高的类型	4
1.2.1 大坝加高的分类	4
1.2.2 各类型的比较与选择	9
1.2.3 各类型典型工程实例	10
1.3 大坝加高及混凝土施工研究现状	18
1.3.1 国外研究现状	18
1.3.2 国内研究现状	26
1.3.3 研究现状的综合归纳	31
1.4 研究技术内容	34
1.4.1 老混凝土拆除技术	34
1.4.2 新老混凝土结合技术	35
1.4.3 新浇混凝土施工技术	36
1.4.4 施工管理与决策技术	37
第2章 大坝加高施工技术体系	39
2.1 大坝加高施工特点及要求	39
2.1.1 与新建大坝的区别	39
2.1.2 加高施工特点	39
2.1.3 加高施工要求	42
2.2 大坝加高施工技术重点与难点	44
2.2.1 老混凝土拆除	44
2.2.2 新老混凝土结合	45
2.2.3 新浇混凝土施工技术	46

2.2.4	施工管理与决策	47
2.3	大坝加高施工技术对策	48
2.3.1	老混凝土拆除	48
2.3.2	新老混凝土结合	49
2.3.3	新浇混凝土施工	49
2.3.4	施工管理与决策	51
2.4	大坝加高施工技术体系的建立	51
2.4.1	理论模型的创建	51
2.4.2	关键技术及创新点	52
2.4.3	技术体系的创建及优势	54
第 3 章	老混凝土拆除技术	58
3.1	概述	58
3.1.1	总体思路及目标	58
3.1.2	研究内容	59
3.2	拆除条件与要求	59
3.2.1	拆除条件分析	59
3.2.2	拆除技术要求	60
3.3	拆除方法与创新	61
3.3.1	人工拆除法	62
3.3.2	机械拆除法	63
3.3.3	静裂拆除法	66
3.3.4	控制爆破拆除法	70
3.4	拆除质量与环境保护	74
3.4.1	拆除质量控制	74
3.4.2	拆除环境保护	75
3.5	拆除安全防护	76
3.5.1	拆除安全综合措施	76
3.5.2	拆除作业的防护	80
3.5.3	保留体的防护	83
3.5.4	周边设施的防护	84
3.6	本章小结	86
第 4 章	新老混凝土结合技术	87
4.1	概述	87
4.1.1	总体思路及目标	87
4.1.2	研究内容	88

4.2	结合机理研究	89
4.2.1	结合性能研究	89
4.2.2	结合模型与结合机理	100
4.2.3	机理研究成果	104
4.3	增强结合的解决方案	105
4.3.1	方案的基本原则	105
4.3.2	方案构架	106
4.3.3	方案的创新点	110
4.4	结合面人工键槽成型技术	111
4.4.1	人工键槽的设计	111
4.4.2	传统成型方法及分析	112
4.4.3	成型方法的技术创新	113
4.5	结合面复合锚固技术	115
4.5.1	锚固体系的布设	116
4.5.2	锚筋(锚筋桩、砂浆锚杆)施工	117
4.5.3	植筋施工	120
4.5.4	预应力锚索施工	122
4.5.5	复合锚固技术创新	126
4.6	界面密合技术	127
4.6.1	界面密合材料的技术要求	128
4.6.2	密合剂的技术原理	129
4.6.3	密合剂研制试验	134
4.6.4	密合剂的技术创新	143
4.7	本章小结	145
第5章	新浇混凝土施工技术	147
5.1	概述	147
5.1.1	总体思路及目标	147
5.1.2	研究内容	148
5.2	界面混凝土	149
5.2.1	界面混凝土的作用	149
5.2.2	界面混凝土设计	149
5.3	新浇混凝土设计	151
5.3.1	新浇混凝土技术要求	151
5.3.2	设计配制方法	152
5.4	新浇混凝土施工	154

5.4.1	新浇混凝土入仓手段	154
5.4.2	新浇混凝土施工要点	164
5.4.3	新浇混凝土养护与保护	167
5.5	新浇混凝土温度控制	172
5.5.1	温控防裂的要求	172
5.5.2	综合温控技术	172
5.5.3	智能通水冷却技术	174
5.6	本章小结	179
第 6 章	施工管理与决策技术	181
6.1	概述	181
6.1.1	总体思路及目标	181
6.1.2	研究内容	182
6.2	加高施工系统分析与模拟建模	182
6.2.1	已知条件和假定条件	182
6.2.2	浇筑仓位的选择方式	184
6.2.3	浇筑模拟模型的建立	187
6.2.4	联合浇筑模拟模型的建立	192
6.2.5	建模研究成果	194
6.3	加高施工 VR 技术	195
6.3.1	平台工作原理与特征	196
6.3.2	平台功能设计	198
6.3.3	模拟模型的分析 and 处理	200
6.3.4	VR 技术应用	209
6.4	基于 VR 的加高施工管理与决策	209
6.4.1	模拟思路和步骤	210
6.4.2	总体结构设计	211
6.4.3	管理数据库设计	212
6.4.4	系统集成及应用	212
6.5	本章小结	214
第 7 章	丹江口大坝加高工程实例	216
7.1	加高工程概况	216
7.1.1	工程建设情况	216
7.1.2	加高工程参数	218
7.1.3	加高施工要求	219
7.2	老混凝土拆除施工	221

7.2.1	主要拆除部位	221
7.2.2	拆除现场试验	222
7.2.3	拆除施工	225
7.3	新老混凝土结合施工	229
7.3.1	人工键槽施工	229
7.3.2	界面密合剂施工	233
7.3.3	复合锚固施工	236
7.4	新浇混凝土施工	240
7.4.1	混凝土配合比设计	240
7.4.2	贴坡加厚及坝顶加高施工	248
7.4.3	堰面加高施工	252
7.5	现场施工管理与决策	256
7.5.1	联合施工模拟与优化	257
7.5.2	基于 VR 的施工管理与决策	260
7.6	大坝加高施工成效	264
7.6.1	质量检测与安全监测	264
7.6.2	成效综合评定	277
第 8 章	结语与展望	283
	参考文献	287

第 1 章 概 述

1.1 大坝加高的发展

1.1.1 大坝加高的定义

大坝加高是坝工界一门古老的技艺。它是在坝工建筑物建成、投入运行的基础上，为满足某种或多种新的需求所进行的工程接续或再次建设活动。由于这项接续或再次施工建设的最重要的标志就是增加原坝工建筑物的高度，因此，坝工界约定俗成将所有相关的坝工建筑物接续或再次施工的项目和内容统称为“大坝加高”。

显而易见，大坝加高的范围涵盖了针对已建成投入运行的坝工建筑物进行续建、增建、改建、扩建、复建、重建等所实施的一切加高、培厚、加长、加固、置换等单一或综合项目建设。更进一步地，由于人们对大坝的功能需求是在不断地增加的，故而，在同一座大坝上两次或多次加高的情形也涵盖其中。大坝加高的主要项目部分或全部包括大坝基础加强处理、拆旧及转移、新老结合面处理、新坝体施工、设施拆除与安装、与已建大坝的生态融合建筑等。其范围非常广泛、内容极其丰富、特征异常明显、技术十分复杂。

1.1.2 大坝加高的缘由

通常情况下，大坝多是一次性施工建成、投入运行并发挥其效益，如防洪、发电、灌溉、引水、航运、挡渣等。但有些大坝在运行一段时间后，由于某种或多个方面的需要，还要在建成的大坝建筑物上接续或再次兴建，进而导致了大坝加高。

大坝加高的缘由是多种多样的，但归纳起来主要为以下几种，且每一种缘由都将相应形成一种大坝加高模式。

1. 续建（增建）模式

这种模式是在大坝建设最初的规划方案中，就已确定将工程分期或分阶段实施，当分期或分阶段时间间隔超出一定界限时，后期或后阶段的建设就构成了续建（增建）。

通常情况下，在规划中采取大坝续建（增建）方案，主要有以下几个方面考

虑：①一次建成的条件尚不具备，如投资未能落实、移民尚未解决、技术难度过高、生态条件所限等；②功能的发挥在近期和远期上采取逐步改善方式，如后期提供水源、后期满足航运需求等；③性能指标的实现在近期、远期上有较大差异，如发电输出的需求量变化、提供供水的需求量变化等。

与大坝一次建成方式相比，续建（增建）模式能够较好地考虑近期与远期的关系，更为有效地利用科学技术发展的最新成果，满足近期与远期的经济社会发展需求，充分挖掘并发挥近期与远期的功能，最大限度地发挥近期和远期的工程效益。因此，这种模式能在投资相对较少的条件下，分阶段长效地发挥大坝的各项效益，使建设施工可持续、功能发挥可持续、效益增长可持续，具有预先规划性、科学实用性和开发利用可持续性。

2. 改建（扩建）模式

这种模式是在大坝建成后，在正常运行过程中，随着经济社会的快速发展，对大坝的功能提出增大规模、容量甚至某种或多种新的需求，在这种情况下所进行的大坝建设即形成改建（扩建）。

通常情况下，这些需求的提出主要是由于：①已建成大坝的功能不全，需要扩充，如新增航运功能、调水功能等；②已建成大坝现有的功能不够、容量不足，需要增加，如扩大装机容量、防洪库容等；③已建成大坝现有功能未全面发挥或未达到额定指标，如发电量、供水量等。

改建（扩建）模式可以充分结合大坝运行后现实发展的客观实际需要，对已建成大坝再次规划和建设，以充分挖掘和利用已建成大坝的潜在功能，进而实现兴利除害、充分开发利用水资源的目的。因此，改建（扩建）模式具有技术、经济和环保等方面的显著优势。

3. 复建（重建）模式

这种模式是在大坝建设中或建成后的运行过程中，由于种种不利的因素如设计、施工重大事故、超标准洪水、大型泥石流、强烈地震、战争动乱破坏等，导致大坝严重损害，使其无法正常运行，甚至遭到彻底损毁而进行的大坝拆除后重建，或者在损毁后的大坝原址上复建等，即所谓复建（重建）。

构成上述大坝严重损害或损毁的成因，主要有以下几个方面：①由于大坝规划建设过程中的设计或施工等出现重大事故，造成工程无法正常安全运行；②由于大坝运行过程中受到自然不可抗力或人为破坏等复杂不利因素的影响，导致大坝建筑物失事；③由于大坝建设和运行过程中的各种原因引起大坝坝体损伤、破坏，使其不能正常发挥功能。

复建（重建）模式主要适用于大坝的恢复性建设，可实现按照大坝原设计将已损毁部分清除后的加高建设。与大坝的新建方式相比，复建（重建）模式可省去大坝坝体进入全面施工之前的立项、勘察、论证、审批、设计等各项工作，直

接进入主体施工。

1.1.3 大坝加高的起源与发展

大坝加高有着十分悠久的历史，其最早的雏形可以追溯到两千多年以前。但加高工程有文字记录的可以追溯到几百年前，世界上的第一个大坝加高工程大约可以认定为17世纪初的波斯帝国（今伊朗）的克巴尔拱坝（Kebbar）。随后的数百年间，诸多的大坝进行了坝体加高、水库增容、工程扩建等施工建设，如西班牙的阿尔曼萨坝（Almansa）、意大利的邦达尔多坝（Pontalto）、澳大利亚的帕拉马塔坝（Parramata）、瑞士的大狄克逊坝（Grand Dixence）、委内瑞拉的古里坝（Guri）、苏丹的罗塞雷斯坝（Roseires）、美国的罗斯福坝（Roosevelt）、圣地亚哥坝（Olivenhain）以及在建的圣文森特大坝（San Vicente）等。从建坝材料的角度看，最早实施大坝加高的是土石坝，而混凝土及混凝土坝的加高则是随着水泥诞生后不久才开始的。

我国也有不少各类大坝加高工程实例，此前完工的英那河水库大坝加高和宝泉抽水蓄能电站下水库大坝加高均为浆砌石重力坝。已完工的南水北调中线丹江口大坝加高工程开创了国内混凝土坝加高工程建设规模、技术难度、施工复杂程度等的新纪录。红水河龙滩大坝的续建加高工程正在规划设计中。

随着我国经济发展的突飞猛进、科学技术的飞速提高，大坝加高的坝型、加高的工程规模尤其是加高高度、加高方式、加高技术水平都已取得了长足的发展。由于大坝加高工程的施工条件与技术要求等与新建工程差别显著，逐步形成了有别于新建大坝工程的大坝加高技术体系，成为坝工建设的一个重要分支和组成部分，得到了坝工界的广泛关注和高度重视。

针对大坝加高这一新的课题，如何运用现代筑坝理念和手段，建立和完善系统的大坝加高工程技术体系，以适应现代坝工续建、增建、改建、扩建、复建、重建等大坝加高建设的需要，是大坝加高向前推进发展的新的趋势。

所以说，大坝加高既是一项古老的技艺，同时也是坝工界面临的一个全新技术领域。

1.1.4 大坝加高的意义和作用

大坝是国民经济发展、工农业生产和人民生活的重要基础设施，关系到人民的生命财产安全。所谓大坝，即是专门用于防蓄和抵御的阻挡建筑物，如水坝、灰坝、尾矿坝及渣坝等。由于其防蓄和抵御的对象具有巨大的体积或质量，所以一旦发生失事，必然造成重大灾害甚至是毁灭性灾害，给大坝下游及其两岸带来不可挽回的损失。因此，建好大坝、保障运行安全是大坝建筑物的生命线。推而论之，在已建大坝上所进行的大坝加高建设，其安全性要求至少应等同或高于已

建大坝，由此可见，大坝加高的安全重要性不言而喻。

以水利水电工程大坝加高建设为例，进一步分析大坝加高的意义和作用。随着水利水电事业的飞速发展，坝址资源被快速地占用，最终导致可选用的坝址将越来越少，坝址质量也将越来越差。为了解决在不久将来的坝址资源短缺乃至枯竭问题，一方面需要进一步寻找新坝址利用的可能，展开大量的勘探、研究和论证工作；另一方面需要重新论证已选坝址的效能，实施对已选坝址的深化论证，以期最大限度发挥现有坝址的效能；第三方面是挖掘和扩大已建坝址的潜能，在已建大坝的基础上实施大坝加高建设，使已建大坝发挥出更大的综合效益。因此，大坝加高的重大意义和作用在于：

(1) 更好地满足国民经济和社会发展的需要，如大坝加高工程建成后，库容和发电出力将大幅增加，可有效缓解日趋紧张的供水和供电压力，提供更多的水源和电力供应。

(2) 最大限度地利用已建坝址潜在的效用，大大减少新建大坝重新选址、重新勘探、重新论证的工作量，同时规避新坝选址的风险。

(3) 通过已建大坝效用的提高，可实现建坝数量一定程度的降低，减少因重建新坝需要重新征地、移民等所带来的生态环境影响，对生态环境的保护起到促进作用。

(4) 大坝加高建设的不断实施和周期性推进，将有力地促进坝工建设的可持续发展和坝工技术的不断创新，从而更进一步地推动水资源的充分利用，实现坝工建设的绿色低碳循环发展。

1.2 大坝加高的类型

1.2.1 大坝加高的分类

由于大坝加高是在已建坝的基础上进行的，因此必然与已建坝存在一定程度的依存关系。我们将已建坝加高的各项参数值（包括尺寸、体积、性能参数等）与已建坝相应参数值之比的百分数称之为“加高程度”。显然，加高程度最大的应属重建或复建，它基本上是在已建坝的坝基或具有较小高度的基座上进行的大幅加高；加高程度最小的要属加固或加深，它是在已建坝的坝体内或坝基中进行的加强或扩展；介于这二者之间的则是一般意义上的加高，包括续建、增建、改建、扩建等。

大坝加高按照不同的方面可以划分不同的类型，以下是大坝加高按照结构型式、筑坝材料、功能要求以及加高次数等方面进行的类型划分情况。

1.2.1.1 按照加高的结构型式划分

从大坝加高的结构型式上看,大坝加高的类型可以分为后帮整体式、后帮分离式、前帮整体式、前后帮综合式、预应力锚索加高式、坝顶直接加高式等。

1. 后帮整体式

在所有的加高方式中,最具有典型代表性和较为常用的方式是后帮整体式,(俗称“穿衣戴帽”)。后帮整体式的加高方式示意如图 1.1 所示。

由于后帮整体式加高的施工技术成熟、施工进度相对可控、对现行工程运行的干扰较少而成为混凝土坝普遍采用的加高方式。通过该方式加高后的坝体,新混凝土与老混凝土联合受力,作为一个整体共同承担各种荷载。所以在通过这一方式加高坝体的施工中,新老混凝土结合是其中的关键问题和重要技术难点,需要确保新老混凝土的良好结合,以实现整体受力、共同受力的效果。

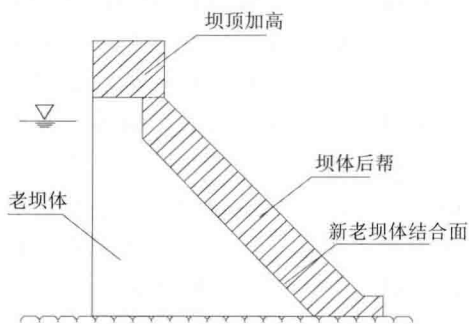


图 1.1 后帮整体式大坝加高示意图

2. 后帮分离式

与后帮整体式相比较而言,后帮分离式的差别在于:加高后坝体后帮的新浇混凝土与原有坝体是分离的,在后帮分离式加高中后帮部分压在老坝下游面上,起支撑作用,在新老坝体的结合面上用其他材料如金属板等隔开。

在这种方式中,熟铁板、合金板等的存在能使外帮部分在各向自由移动,不会产生破坏性的内应力,后帮部分降温收缩时可以减小对老坝的不利弯矩,或减少坝踵拉应力。这种加高方式需要大量的混凝土才能达到与后帮整体式相同的稳定效果,故采用得不多。

3. 前帮整体式

与后帮整体式相对应,大坝加高的前帮整体式是指在坝体的上游面及坝顶加高,如在混凝土坝的上游面和坝顶浇筑混凝土以加高坝体。其加高方式示意如图 1.2 所示。

从图 1.2 可见,在前帮整体式大坝加高工程中,需要在坝前浇筑混凝土,涉及施工期水库水位控制或者水下施工问题,相对于大坝加高后帮式,其施工过程相对复杂,对现有大坝运行的干扰比较大,所以在工程实际中应用不是很普遍。

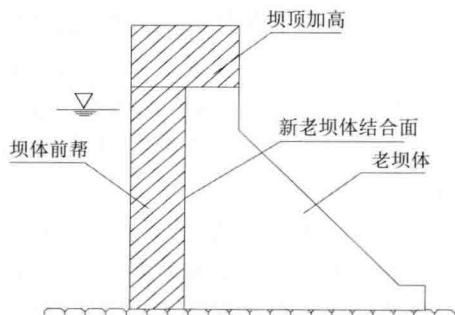


图 1.2 前帮整体式大坝加高示意图