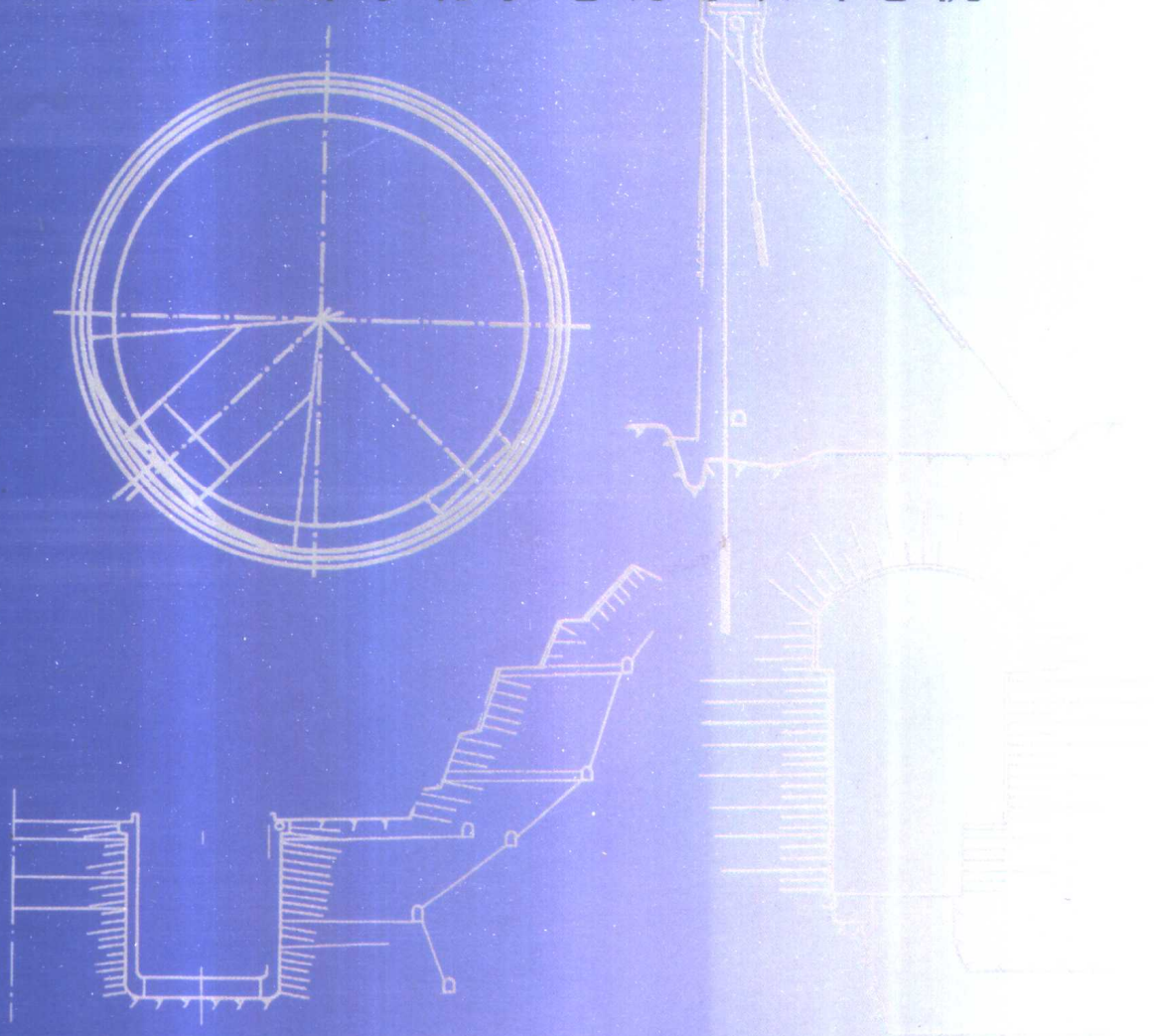


预应力锚固技术

水利部水利水电规划设计总院



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

预应力锚固技术

主 编 赵长海

副主编 董在志 陈群香



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统地总结了我国水利水电工程预应力锚固技术的研究成果和工程实践,对预应力锚固技术的工作机理、预应力锚固体系的最新发展,做了较全面的概括。书中对地下洞室、各种水工建筑物的地基、各种类型的边坡的预应力锚固,以及对各种水工建筑物的补强加固、承受高水推力的预应力闸墩和水工隧洞环锚预应力衬砌锚固设计、施工和预应力锚固工程的原位监测技术等,都做了较为全面的介绍。

本书可供水利水电工程及铁道、煤炭、交通等部门的工程勘测设计、施工等有关人员阅读使用,也可供大专院校有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

预应力锚固技术/赵长海主编. —北京:中国水利水电出版社, 2001.8
ISBN 7-5084-0582-X

I. 预… II. 赵… III. 预应力-锚固 IV. TV223.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 029253 号

书 名	预应力锚固技术
作 者	赵长海 主编
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部) 全国各地新华书店
经 售	
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	水利电力出版社印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 21.25 印张 498 千字
版 次	2001 年 12 月第一版 2001 年 12 月北京第一次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	58.00 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

编写委员会

主 审 汪易森

主 编 赵长海

副 主 编 董在志 陈群香

编写人员 赵长海 董在志 陈群香 王永年 田裕甲

 王 槟 王俊杰 黄福德 吕祖珩 王福庆

 何定恩 于洪民 李金祥 金正浩 谢 东

 赵玉江 武龙甫 侯延华 鲁小新 金 旻

 赵学文 周增富

序 一

应用预应力锚杆（索）实施对岩（土）体的加固，是一种对岩（土）体扰动小、施工快捷、安全可靠，又十分经济的岩（土）体加固技术，在水利水电建设中已广泛应用于大型地下洞室、大坝基础和各种类型边坡的加固，还应用在各种水工建筑物的补强和加固工程中。目前，在建的大、中型水利水电工程，均不同程度地遇到了要对岩（土）体加固的问题。一些已建工程由于运行条件的变化，也需要补强和加固，由于采用了预应力锚固技术，使加固工程变得简单而经济。实践证明，预应力锚固技术是一种经济、安全、高效的岩体加固技术。

我国的岩体锚固技术，起步于 20 世纪 60 年代初。在陆浑水库建设中，首先应用了普通砂浆锚杆对地下洞室围岩实施了加固；1964 年采用了 2400kN 级预应力锚杆对梅山水库的大坝基础实施了加固，总锚固力达到 160000kN。在 20 世纪 60 年代末、70 年代初，有关部门开始应用预应力锚杆加固 37m 跨度的地下洞库，还研制并应用了二次注浆预应力锚杆加固了地质条件很差的大跨度“T”形交叉洞室，使我国预应力锚固技术又向前推进了一步。

为了适应水利水电工程中大型地下厂房和其它地下建筑的需要，开始对预应力锚固的工作机理、预应力锚杆的张拉工艺及其施工工艺进行了系统的研究，成功地解决了镜泊湖水下岩塞爆破进水口的边坡加固，白山水电站地下厂房不稳定岩体的加固和白山电站大坝#15 坝段裂缝的加固等工程问题。在此过程中，还对预应力锚杆的加固效果、预应力的保持、被加固对象的应力分布规律以及预应力锚杆的构造、施工工艺等方面，进行了全面的分析研究，这些成果和工程实践，为我国预应力锚固技术的发展打下了良好的基础。“七五”至“九五”期间，国家将预应力锚固技术列为重点攻关项目，全面系统地对预应力锚固机理、预应力锚固体系、岩（土）体的加固效果、预应力锚杆材料、锚杆体的防腐、施工工艺和原位监测技术进行了研究。在此期间，先后研制出 6000kN 级预应力锚杆的锚夹具、张拉设备和监测机具。应用这些系列产品，成功地实现了对丰满大坝基础的加固，使我国的锚夹具加工生产水平、预应力锚杆的预应力损失、42 股预应力筋应力分布的均匀性，都达到或超过了国际先进水平，使我国的预应力锚固技术进入了世界先进行列。接着又成功地使用了 8000kN 级预应力锚杆加固了石泉大坝，还在李家峡水电站边坡加固中，进行了 10000kN 级预应力锚杆的试验。

目前,我国预应力锚固技术的应用范围之广,数量之多,堪称世界之最。仅三峡水利枢纽永久船闸的高边坡加固中,就应用了 3000kN 和 1000kN 级预应力锚杆 4000 余根,长度为 8~14m 的张拉锚杆达 10000 余根。小浪底水利枢纽共布置预应力锚杆 2329 根,其中进口高边坡 600 根,施加的总锚固力 70800kN;地下厂房 325 根,施加的总锚固力为 487500kN;出口边坡 377 根,施加的总锚固力为 873000kN。

在进入 21 世纪的时候,我国西部大开发的战鼓已经擂响,我国西部丰富的水力资源有待于开发和利用。在此过程中,将会遇到更为复杂的地质条件。深刻认识恶劣的地质条件,合理利用岩体固有特性,有效改造岩体条件,必将进一步地发挥预应力锚固技术的作用。我祝愿本书的出版,能在促进我国预应力锚固技术进一步发展过程中,起到积极的作用。

原水利部副部长

严克强

2000 年 11 月

序 二

应用预应力锚杆对不稳定岩体进行加固和应用预应力锚杆改善结构物内部的应力条件,是近20年来在我国迅速发展的一种新技术。应用这种预应力锚固技术,成功地解决了水利水电建设中遇到的较为复杂的稳定和应力超限问题。

20世纪70年代初期,我国预应力锚固技术还刚刚起步。镜泊湖水电站进行扩建时,其进水口采用水下岩塞爆破的方式开挖,但由于进水口顺坡节理发育,再加上平行岸坡的F₆断层和顺坡#5岩脉的切割,爆破开挖时岸坡稳定是采用水下岩塞爆破技术的关键。为了保证开挖过程中进口边坡的稳定,在岩塞爆破之前,采用1100kN级预应力锚杆共20根,对进水口边坡实施预应力锚固后,就成功地解决了这一问题。

1981年,我国第一座150m高拱坝——白山重力拱坝施工至347.5m高程时,在第#15坝段发生4条与坝轴线平行,并贯穿整个坝段的裂缝。其中第一条裂缝距上游面11.0m,裂缝开展深度达11.5m,而此裂缝距深孔底板高程250.00m仅2.5m,又处于深孔的下唇部位,由#1裂缝引起的不稳定坝体的下滑力达42416kN,如不及时处理,将造成无法下闸的严重后果。为保证正常施工,不影响下闸蓄水,采用了预应力锚杆对四条裂缝进行了加固,为论证加固的安全性,还在加固部位埋设了测缝计等仪器。实践证明,预应力锚固是弥补施工缺欠、处理裂缝最为简单易行、快速高效的技术措施。

在松辽流域的水利水电建设中,我们还应用预应力锚固技术成功地实现了对丰满大坝基础和坝体的加固、丰满泄洪洞集渣坑高边墙的加固、白山水电站地下厂房不稳定岩体的加固、葭窝水库大坝裂缝的加固、大伙房水库溢洪道闸墩的加固,以及桦树川水库岸坡的加固等。我们紧密地结合工程需要,深入地开展了对预应力锚固机制、预应力锚固体系、预应力锚固施工工艺和预应力锚固效果的研究,进一步推动了我国预应力锚固技术的进步,使我国预应力锚固技术走在世界强国之列。进入20世纪90年代,我国第一台6000kN级预应力锚杆张拉设备及相配套的锚夹具和6000kN级压力传感器问世,揭开了我国预应力锚固技术发展新的一页,由此也进一步推进了我国水利水电工程、桥梁建筑、边坡加固、工业民用建筑、铁路、公路等行业预应力锚固技术的发展。

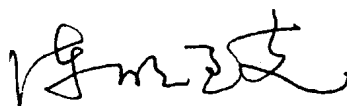
这部《预应力锚固技术》,全面系统地总结了国内外预应力锚固技术的经

验。它是作者们在编制我国首部 SL212—98《预应力锚固设计规范》的过程中，将多年来的研究成果和收集的资料系统地整理而编撰的，是一部供工程设计、施工、监理及工程管理人员参考的完整而系统的技术资料。

目前，我国正在实施西部大开发战略，在水力资源非常丰富的西部，将建设溪洛渡、锦屏、向家坝、瀑布沟、构皮滩等等一批大型水利枢纽，这些工程所处位置地质条件恶劣，工程地质问题十分复杂。采用预应力锚固技术对岩体进行加固，对加快西部水电资源的开发和利用，减少工程投资，保护自然生态环境，是非常有效的技术措施。随着这些工程的建设，也必将使我国的预应力锚固技术得到更大的发展。

本书的作者们多年来从事工程设计和科研工作，对预应力锚固技术尤有精湛的研究和丰富的实践，他们在编写 SL212—98《水工预应力锚固设计规范》之后，又编写了这部巨著，这对发展预应力锚固技术和推动工程建设将有很大的贡献。

中国工程院院士
原松辽水利委员会主任



2000年12月

前 言

预应力锚固技术的最大特点，是尽可能少地扰动被锚固的土体或岩体，并通过锚固措施合理地提高可利用岩体或土体的强度。所以预应力锚固技术是最为高效和经济的加固技术，因此得到了各行各业的高度重视和迅速的发展。

在土木工程建筑中，利用钢丝或钢绞线具有较高抗拉强度的特性，用于建筑和加固各种工程，已取得了良好的效果。早在 20 世纪初，预应力锚杆就做为一种新的支护手段，用于西利西安的矿山开采。进入 20 世纪 30 年代以后，阿尔及利亚的舍尔法坝采用预应力锚杆加固取得了成功。到 20 世纪 50~70 年代，则有更多的工程应用了预应力锚杆技术。这种高效、经济的预应力锚固技术，近年来又得到了迅速的发展，目前已广泛地应用于工业民用建筑、桥梁、矿山建设、高陡边坡、大型地下洞室的围岩加固、大型弧门闸墩加固、坝基的加固，以及各种建筑物的维护和补强。在国际上对单根预应力锚杆施加的锚固力已达 13000kN，在我国已发展到了 10000kN。锚杆的结构类型不仅种类繁多，而且越来越先进。在水利水电建设中，应用预应力锚固技术也越来越普遍，葛洲坝、白山、漫湾、龙羊峡、李家峡、岩滩、小浪底、三峡等大中型工程都不同程度地采用了预应力锚固技术。

预应力锚固技术是发展中的对岩（土）体和各种建筑物的加固技术，这种技术不仅施工快捷，而且经济安全可靠，所以应用十分广泛。为了有利于这种新技术的推广和应用，现将在编制 SL212—98《水工预应力锚固设计规范》过程中收集的国内外预应力锚固的有关资料以及将多年来从事预应力锚固技术研究和工程实践的专家们积累的经验加以整理编写出版成书，供从事预应力锚固设计施工、科研及工程管理人员参考。本书主要内容包括：预应力锚杆的工作机制；预应力锚固体系；岩体的预应力锚固技术；边坡加固技术；预应力闸墩的设计与研究；水工压力隧洞的环锚预应力衬砌；坝体和水工建筑物的补强与加固技术和预应力锚固的监测技术等。

本书较全面地反映了预应力锚固技术在国际和我国发展的进程，并吸收了预应力锚固技术的最新研究成果和工艺，还通过国内外的工程实例说明了预应力锚固技术的发展前景。

由于水平有限，掌握的资料有限，本书可能存在一些不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2000 年 12 月

目 次

序一

序二

前言

第一章 概述	1
第一节 预应力锚固技术发展简史及其应用概况.....	1
第二节 预应力锚杆的基本工作机制.....	9
一、对围岩的整体加固作用	9
二、对层状岩层的加固作用	10
三、对不稳定岩体的局部加固机理	11
第三节 预应力锚固技术的新进展	11
一、应用领域与范围扩展迅速	11
二、预应力锚杆张拉力的提高	15
三、预应力锚固体系的研制取得新进展	15
四、胶结材料强度进一步提高	18
五、原位监测技术得到重视和加强	19
第四节 预应力锚固设计中应注意的几个问题	19
一、内锚固段的工作机理和长度的确定	19
二、锚杆体材料强度利用系数	21
三、最优锚固角的选择	22
四、关于预应力损失	22
五、关于预应力锚杆的防腐处理	25
第二章 预应力锚固体系	27
第一节 外锚头的结构类型与性能	28
一、墩头锚具	28
二、锥型锚	32
三、JM _F 型锚具	32
四、XM 型锚具	33
五、QM 型锚具	35
六、OVM 锚夹具	35
七、LM 螺丝端杆锚具	45
八、精轧螺纹钢钢筋外锚具	45
第二节 内锚头（内锚固段）的结构类型与性能	45

一、机械式内锚头	46
二、胶结式内锚头	47
三、压缩分散型内锚头	50
第三节 锚杆体材料与性能	56
一、高强预应力钢丝	57
二、高强预应力钢绞线	57
三、无粘结预应力筋	59
四、高强精轧螺纹钢	60
五、自钻式预应力锚杆	62
第四节 预应力锚杆的张拉设备	63
一、YCWA 系列张拉千斤顶	63
二、YCWB 系列轻量化千斤顶	64
三、YCW 变形系列张拉千斤顶	64
四、YDC240Q 型张拉千斤顶	66
五、YC50Q 和 YC75Q 型张拉千斤顶	66
六、油泵	67
第三章 地下洞室中岩体的预应力锚固	69
第一节 围岩的加固设计	69
一、地下洞室的破坏形态与加固设计原则	69
二、整体稳定加固设计的基本方法	70
三、局部加固的设计方法	72
第二节 地下洞室预应力锚固的工程实例	73
一、国外预应力锚杆加固地下洞室工程实例	73
二、国内预应力锚杆加固地下洞室的工程实例	76
第四章 边坡加固	90
第一节 概述	90
一、边坡失稳的危害及边坡锚固技术的发展	90
二、边坡的分类	91
第二节 影响边坡稳定的因素及边坡稳定分析的方法	94
一、影响边坡稳定的主要因素	94
二、边坡稳定分析的主要方法	94
第三节 边坡锚固机理及锚固设计	102
一、边坡锚固机理	102
二、边坡锚固设计	102
三、边坡锚固设计的主要内容	103
第四节 边坡加固工程实例	105
一、三峡链子崖边坡的加固	105

二、漫湾水电站左岸边坡加固	109
三、李家峡水电站左坝肩下游边坡加固	111
四、天生桥二级水电站厂房西侧边坡加固	120
五、隔河岩水电站厂房高边坡加固	123
六、小浪底水利枢纽进、出水口高边坡加固	124
七、三峡水利枢纽永久船闸高边坡加固	128
八、二滩水电站边坡加固	132
九、龙羊峡水电站高边坡预应力锚固	134
十、镜泊湖水电站扩建工程进水口边坡加固	134
十一、十三陵蓄能电站上池边坡加固	137
十二、五强溪水电站右岸进厂公路边坡加固	138
十三、乌鲁瓦提水利枢纽左岸边坡加固	138
十四、镇江五峰山跨越长江 500kV 铁塔山体加固	138
十五、安康水电站左岸溢洪道高边坡加固	145
十六、满拉水利枢纽溢洪道边坡加固	147
十七、天荒坪抽水蓄能电站边坡加固	147
第五章 预应力闸墩的设计与研究	150
第一节 预应力闸墩的结构设计与布置	150
一、设计准则	150
二、弧门支承结构	151
三、预应力锚束布置	152
第二节 预应力闸墩结构的模型试验及应力分析计算	154
一、结构应力分析及模型试验要考虑的荷载组合	154
二、预应力闸墩的结构模型试验	154
三、支撑结构型式的模型试验	163
四、预应力闸墩颈部开槽的计算分析	165
五、锚固区应力分析	173
六、弯曲布置的锚束预应力损失分析	178
七、弯曲锚束预应力总损失估算	182
第三节 几个预应力闸墩工程的模型试验	183
一、五强溪预应力闸墩结构模型试验	183
二、岩滩水电站预应力厚闸墩的试验研究	188
三、漫湾水电站表孔预应力闸墩试验研究	192
四、大藤峡泄洪高孔预应力闸墩模型试验	194
第四节 预应力闸墩工程实例	196
一、龙羊峡水电站预应力闸墩设计与施工	196
二、葛洲坝预应力闸墩	199
三、岩滩水电站预应力闸墩结构设计	200

四、安康水电站预应力闸墩	203
五、水口水电站预应力闸墩	206
六、小浪底排沙洞预应力闸墩	209
七、二滩水电站中孔预应力闸墩	213
八、大伙房水库溢洪道闸墩的加固	215
第六章 坝基与坝体加固	217
第一节 坝基的预应力锚固	217
一、地基的预应力锚固设计	217
二、国外坝基预应力锚固工程	222
三、国内大坝基础的预应力锚固工程	229
第二节 坝体补强加固	238
一、概况	238
二、预应力锚杆对水工建筑物补强的应用范围和设计原则	239
三、坝体或水工建筑物加固的工程实例	239
第七章 压力隧洞环锚式预应力衬砌	247
第一节 概述	247
第二节 环锚式预应力衬砌的工作机制、设计与施工	248
第三节 环锚式预应力衬砌工程实例	252
一、隔河岩水电站压力引水隧洞预应力衬砌	252
二、天生桥一级水电站预应力隧洞	257
三、小浪底排沙洞后张预应力衬砌	261
四、国外部分工程实例简介	267
第八章 预应力锚固监测技术	270
第一节 监测工作的重要性及其主要内容	270
一、监测工作的重要性	270
二、监测工作的主要内容和监测项目	270
三、监测工作的基本要求	271
第二节 预应力锚固监测设计	271
一、各阶段的监测设计内容 with 要求	271
二、监测设计程序	272
第三节 预应力锚固监测仪器	275
一、选择监测仪器的一般要求	275
二、测力传感器	276
三、位移计	279
四、测斜仪	281
五、应变计	282
第四节 监测仪器安装埋设和初期监测	284

一、仪器的安装与埋设	284
二、初期观测	284
第五节 监测资料的整理分析	285
一、监测资料整理分析的基本要求	285
二、监测资料的整理	286
第六节 原位监测工程典型实例	298
一、二滩水电站地下厂房的原位监测	298
二、丰满水电站#51坝段坝基锚固原位监测	301
三、白山水电站#15坝段裂缝加固效果观测	302
四、漫湾水电站左岸边坡的安全监测	305
五、葛洲坝二江预应力闸墩原型观测	309
六、小浪底水利枢纽排沙洞环锚式预应力衬砌的原型观测	313
参考文献及参考资料	322
后记	324

第一章 概 述

第一节 预应力锚固技术发展简史及其应用概况

预应力锚固技术的最大特点，是尽可能少地扰动被锚固的土体或岩体，并通过锚固措施合理地提高可利用岩体或土体的强度。所以预应力锚固技术是最为高效和经济的加固技术，因此得到了各行各业的高度重视和迅速的发展。

在土木工程建筑中，利用钢丝或钢绞线具有较高抗拉强度的特性，用于建筑和加固各种工程，已取得良好的效果。早在 20 世纪初，预应力锚杆就作为一种新的支护手段，用于西利西安的矿山开采。进入 30 年代以后，阿尔及利亚的舍尔法坝采用预应力锚杆加固取得了成功，参见图 1-1。20 世纪 50~70 年代，越来越多的工程应用了预应力锚固技术。这种高效、经济的预应力锚固技术，近年来又得到了迅速发展，目前已广泛地应用于工业民用建筑、桥梁、矿山建设、高陡边坡、大型地下洞室的围岩加固、大型弧门闸墩加固、坝基的加固，以及各种建筑物的维护和补强。预应力锚杆的结构类型不仅种类繁多，而且越来越先进。在国际上对单根预应力锚杆施加的锚固力已达 13000kN。在我国 1989 年成功地应用了 6000kN 级预应力锚杆加固了丰满水电站的#51 坝段的坝基，预应力锚杆长度达到了 61.2m，见图 1-2。以后龙羊水电站又采用了 10000kN 级预应力锚杆实施了对左岸边坡的加

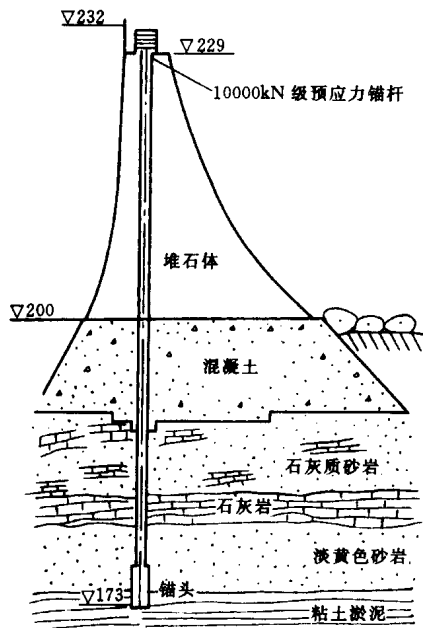


图 1-1 阿尔及利亚的舍尔法坝
(1934 年世界上第一例采用
预应力锚杆加固坝体)

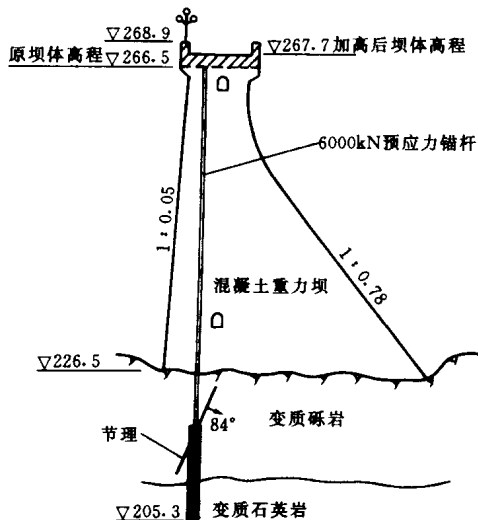


图 1-2 丰满水电站#51 坝段坝基加固
(我国第一座采用 6000kN 级预应力锚杆加固坝基)

国外一些地下工程使用预应力锚杆概况

表 1-1

国 家	工程名称	跨度 (m)	高度 (m)	地层、岩性	永久支护结构	锚索及锚杆			预应力 (kN)	建成年份
						长度(m)	间距(m)	间距(m)		
瑞 士	毕阿斯卡	30.0	25.0	片麻岩	预应力锚杆,顶拱和边墙钢筋混凝土衬砌	8~13			800	1959
瑞 士	涅恩达兹	19.1	24.1	泥质页岩	预应力锚杆,顶拱和边墙钢筋混凝土衬砌	15			1250	1959
意大利	别列扎尔	17.0	35.0	泥质岩	锚杆在边墙的一侧,顶拱钢筋混凝土衬砌,边墙喷混凝土	9			1250	1962
西班牙	毕北依	18.0	30.0	片麻岩	预应力锚杆,顶拱和边墙钢筋混凝土衬砌	5~10			顶拱 100 边墙 400~800	1963
卢森堡	维安登	17.0	29.3	粘土页岩	预应力锚杆,顶拱和边墙钢筋混凝土衬砌	9.5~13.5	4×4		900~1250	1963
前西德	泽金登	23.0	29.6	裂隙副片麻岩	预应力锚杆,顶拱和边墙钢筋混凝土衬砌	10~15	1×2		90~1700	1966
瑞 士	洪格林	30.0	27.0	石灰岩、泥灰岩	预应力锚杆和普通锚杆,喷混凝土厚15cm	4	2×2.5		80	
奥地利	柯普斯	29.0	24.0	石灰岩	预应力锚杆,顶拱钢筋混凝土衬砌,边墙喷混凝土	11.4~18.4	3×4		1250~1700	1967
						5~7	2.5×3		200	1969
						15	3		1050	1969
意大利	列克·德里奥	21.0	60.5	裂隙片麻岩	预应力锚杆,顶拱钢筋混凝土衬砌	15~30 3~5	3×3 3×3		190~1000 50~110	1971
印 度	奇布罗	18.0	32.5	裂隙石灰岩	预应力锚杆,顶拱钢筋混凝土衬砌	23.5	2.8×4.6		600	
智 利	埃里·托罗	24.5	39.5	裂隙花岗闪长岩	预应力锚杆,顶拱和部分边墙钢筋混凝土衬砌	4 15~17	3×5 3×5		180 1700	
西 德	瓦尔德克第二	33.5	54	裂隙砂岩和页岩	预应力锚杆,钢丝网喷混凝土	20~28;4~6	4×6		1700 120	1974
瑞 士	费 陶	30.5	27.0	石灰质泥灰岩	预应力锚杆及锚杆,喷混凝土加钢筋网	11~13;4			1140~1400 160	1967
加拿大	丘吉尔瀑布	24.0	46.9	花岗片麻岩, $f = 15 \sim 16$ 局部有构造破碎带	喷混凝土加钢筋网	4.5~7.5				

表 1-2 预应力锚杆加固与加高混凝土坝

坝 名	国 家	原 建 年 代	坝 型	最大坝高 (m)	顶 长 (m)	坝体混凝土 方 量 (万 m ³)	锚杆施工 年 代	锚 杆 根 数	单根锚杆 预应力 (kN)	备 注
舍尔法	阿尔及利亚	1882	重力坝	37.5	156	4.5	1934	37	10000	原坝加高,每根锚杆由 630 ϕ 5 组成
本尼·巴德尔	阿尔及利亚	1944	连拱坝	73.0	350		1952			原坝高 10m,1955 年加高 7m
卡法尔萨	埃塞俄比亚	1910	重力坝	17.0	250		1955	268	700	原坝高 10m,1955 年加高 7m
克拉尔克	澳大利亚	1949	重力拱坝	67.0	332.5	20.1	1966			原高为 61m,加高 6m 增混凝土 6000m ³
斯勃纳尔主坝	澳大利亚	1925	重力坝	38.6	278	6.3	1965	75	1350	原高 34m,加高 4.6m
斯勃纳尔付坝	澳大利亚	1925	重力坝	28.6	186	2.4	1965	42	650	原高 24m,加高 4.6m
柯因那	印度	1964	重力坝	103.0	805	130.0	1968	70	2700	1967 年水库诱发地震产生多条水平裂缝
蒙拉隆	法国		拱坝	32.0	173	1.3	1954			原坝高 20m,1954 年加高 12m
德 努	法国	1905	重力坝	35.0	137		1949		12000	原坝高 30m,后加高 5m
拉依昂	美国	1915	重力坝	25.0	381		1970		4000~9000	锚杆孔径 203mm,深 36~49m 用以加固坝体

表 1-3 新建预应力混凝土坝

坝 名	国 家	原 建 年 代	坝 型	最大坝高 (m)	顶 长 (m)	坝体混凝土 方 量 (万 m ³)	锚杆施工 年 代	锚 杆 根 数	单根锚杆 预应力 (kN)	备 注
埃尔勒斯第纳	巴 西	1954	重力坝	15.0	400	0.9	1955		2500	
丁 丁	阿尔及利亚	1963	连拱坝	82.0	510	27.6	1961			各支墩用锚杆和扁千斤顶加预应力,混凝土方量由重力坝 83 万 m ³ 减为 27.6 万 m ³
米多班克	澳大利亚	1966	支墩坝	43.0	265	6.5	1964		2700	锚杆在支墩内斜度 35°,由 72 根 ϕ 7mm 钢丝组成
六塔古尼亚	澳大利亚	1962	重力坝	49.0	282	9.2	1961	430	2000	采用锚杆,将坝体方量由 18.4 万 m ³ 减为 9.2 万 m ³ ,节省投资 20%
克卢尼	澳大利亚	1967	重力坝	30.0	204	2.8	1965	204	2000	每延米坝体加预应力 200t 锚杆按单排布置,间距 1.0m
里帕尔斯	澳大利亚	1968	双曲拱坝	42.0	207	4.4	1966	36	700	两岸重力墩用锚杆加固,左岸墩用 12 根,右岸墩 24 根
勒帕斯	法 国	1964	拱坝	22.0	180	0.9	1943			
拉西斯	法 国	1954	拱坝加支墩坝	34.0	300	1.2	1949	2	12000	主坝为拱坝,右岸副坝为支墩坝,其间重力墩用 2 根锚杆加固