



主编◎苏自约 林强有
丁国贵 王贤能

YANTUMAOGUJISHU
DEXINFAZHANYU
GONGCHENGSHIJIAN

岩土锚固技术的 新发展与工程实践



人民交通出版社
China Communications Press

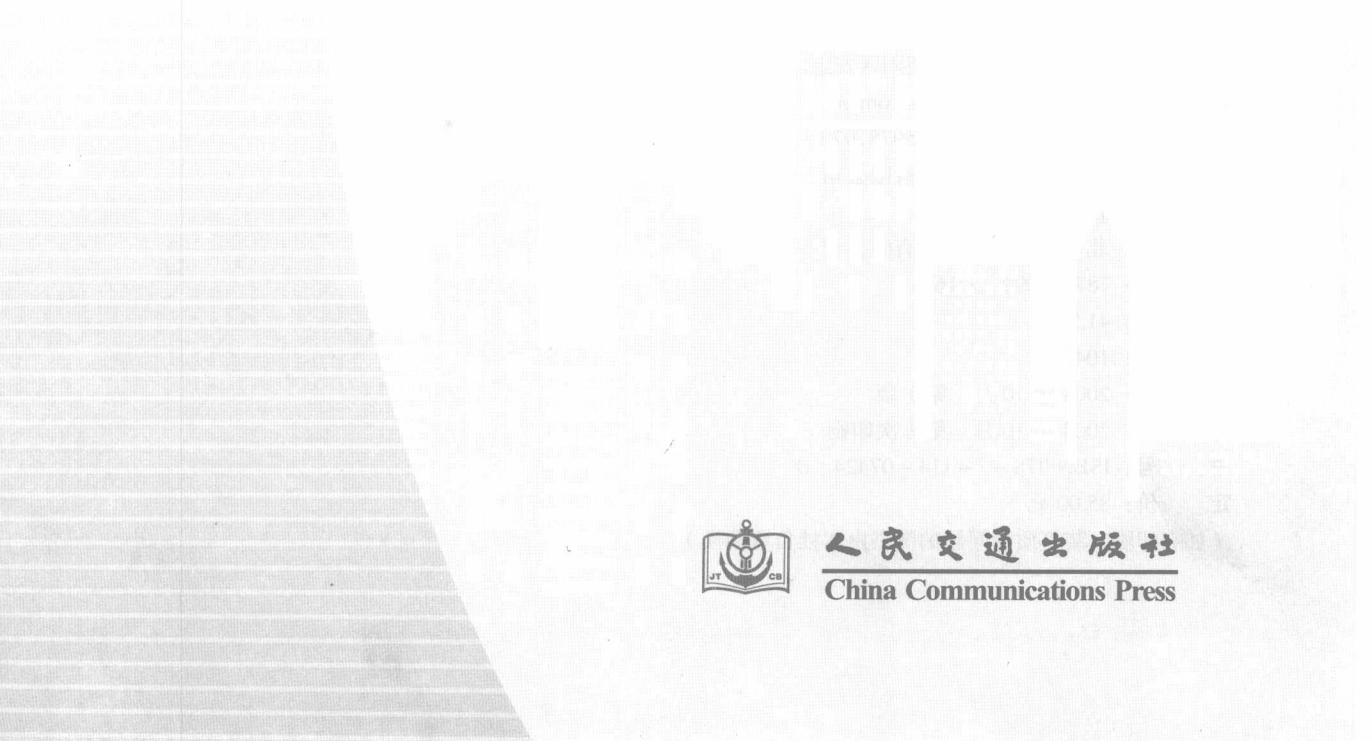


主编◎苏自约 林强有
丁国贵 王贤能

岩土锚固技术的新 发展与工程实践



人民交通出版社
China Communications Press



内 容 提 要

本书系中国岩土锚固工程协会第十七次全国岩土锚固学术研讨会论文集,共编录论文 103 篇。内容包括:专题综述、理论研究与工程测试、工程设计与施工技术、边坡加固与滑坡治理、深基坑支护与基础工程、隧道与地下工程、工程材料与施工机具等。本书既反映了近年来我国科技人员就岩土锚固技术在工程应用中提出的热点难点问题,开展科学研究和技术攻关所取得的新成果,又收纳了一批大型岩土锚固工程实例及其成功的新经验,内容丰富,涵盖面广,实用性强。

本书可供水利、水电、公路、铁路、市政、城建、煤炭、地矿、军工等部门从事岩土锚固工程科研、教学、工程设计与施工的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩土锚固技术的新发展与工程实践/苏自约等主编. —北京:
人民交通出版社, 2008.10
ISBN 978-7-114-07424-0

I. 岩… II. 苏… III. 岩土工程-锚固-学术会议-文集
IV. TU753.8-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 153951 号

书 名: 岩土锚固技术的新发展与工程实践

主 编: 苏自约 林强有 丁国贵 王贤能

责任编辑: 陈志敏

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京宝莲鸿图科技有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 41.25

字 数: 1040 千

版 次: 2008 年 10 月 第 1 版

印 次: 2008 年 10 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07424-0

定 价: 85.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

谨以此论文集献给中国岩土
锚固工程协会成立 20 周年
(1988——2008)



《岩土锚固技术的新发展与工程实践》
编 审 委 员 会

主任委员:徐祯祥

委 员:(按姓氏笔画排列)

刘玉堂	朱本珍	闫莫明	何 伟
陈 谦	李成江	李志谦	李 虹
李鸿芳	李象范	杨 松	杨俊志
张 雁	胡时友	贺长俊	陶 义
韩学广	萧 岩	梅志荣	

主 编:苏自约 林强有 丁国贵 王贤能

序 言

深圳,一座魅力无限的城市,其魅力源于她的宜居、美丽、开放和活力,但更引人注目的是,今年,深圳已正式成为我国首个国家级创新型城市。对一座城市来说,这不仅意味着她获得了一种新的发展机遇,而且预示着她将创造出更加辉煌的未来。中国岩土锚固工程协会第十七次全国岩土锚固学术研讨会有幸在此召开,希望深圳所具有的市场化和本土化的创新理念能给岩土锚固工程技术的进步和协会工作的发展以更有意义的启迪!

本次研讨会共收到应征论文 115 篇,经编审委员会的审阅,共有 103 篇论文被选入本论文集。本次入选论文的特点是将近年来岩土锚固技术的研究成果在工程设计、施工、监控等领域进行了实际应用。在设计理论方面更侧重于岩土稳定性、工程结构安全性、锚索可靠性的研究及其在相应工程中的应用;在施工方面,我们高兴地看到以往几次研讨会上提出的新技术、新工艺、新机具材料等已在某些工程中崭露头角。不同结构的新型锚索技术、复杂地层中的大吨位高强锚索技术、基坑中的新支护工法、边坡工程中的滑坡治理、城市立交隧道中的抗浮技术等在不同论文中进行了充分的论述。在监控技术方面,有若干论文对最近在岩土锚固工程中采用的自动变形监测系统和远程自动监测系统等进行了详细阐述,反映出我国工程监测技术已经与国际先进水平站在了一个相同的高度上。论文中关于滑坡治理方面的论述对地震造成山体坍塌的整治会有一定的参考价值,但是本论文集中专就地震和滑坡问题,以及相应的傍山公路地质选线与地震的关系等问题尚未涉及。因此,建议将地震与岩土工程问题作为专题进行一次研讨,以汶川大地震造成的山体大滑坡致使大量公路被摧毁瘫痪的惨痛实例为借鉴,讨论和研究在高地震烈度地带的山区公路规划、选线、设计和边坡加固等问题,更新我们在该类地区进行工程设计的理念,以便更好地为地震区工程设计服务。

本次研讨会恰逢中国岩土锚固工程协会成立 20 周年的庆典,20 年来,本着为工程建设和协会会员服务的宗旨,在全体会员单位和广大岩土工程科技工作者的努力下,协会对岩土锚固技术事业和工程应用的发展起到了重要的推动作用。迄今为止的 17 次学术研讨会以及在会上发表的数以千计的、内容丰富实用的论文无疑都对技术进步和发展做出了贡献。今后,要在继续立足于工程实际和服务于会员的基础上,进一步活跃学术交流和技术咨询活动,为岩土锚固技术的创新发展不断努力工作。

借此机会,让我们热烈祝贺中国岩土锚固工程协会成立 20 周年!

祝愿中国岩土锚固工程协会第 17 次学术研讨会圆满成功!

中国岩土锚固工程协会 理事长
徐祯祥

2008 年 10 月

目 录

1 专题综述

岩土锚固技术成就之今昔	徐祯祥(3)
地铁与岩土锚固技术	贺长俊等(17)
深圳地区岩土锚固技术的发展及应用	冯申铎等(25)
水电水利工程复杂地层锚索施工技术研究与应用	杨俊志等(34)
土层锚杆在城市深基坑工程中若干问题的探讨	贺美德等(45)
三峡船闸预应力锚束施工技术回顾	陈孝英(50)
云南红层软岩地区高速公路挖方边坡岩土锚固技术应用综述	蔡立等(67)
土层锚杆预应力损失原因分析与补偿对策研究	任新见等(75)
永久性锚索的防护及选用	刘玉堂等(80)

2 理论与研究与工程测试

工程岩体稳定性的研究现状和存在的问题	肖永建等(91)
基岩地层全长粘结型锚杆锚固段剪应力分布的试验研究	张晶等(100)
压力分散型预应力锚索应用的可靠性	肖喜斌等(105)
某深基坑工程边坡锚喷支护结构稳定性分析	李东勇等(110)
关于断层带边坡的变形失稳机理与防治对策	李树琼等(117)
软岩洞室让压支护设计及承载体强度分析	余伟健等(123)
屈服锚索的工程意义	刘玉堂等(134)
盾构近距离穿越大型桥区安全监测技术应用研究	崔晓青等(137)
全站仪自动变形监测系统在北京某地铁工程中的应用	刘继尧(145)
地震与锚固系统的抗震分析及各种类型锚索对动荷载的反应	孙学毅等(150)
远程自动监测系统在锚索预应力监测中的应用	梁龙龙等(152)
锚索应力监测在工程中的应用及一些问题的探讨	罗杰等(156)
输水隧道邻近既有桥桩施工措施研究与监测	李东海等(161)
锚固类结构杆体临界锚固长度问题综合研究	曾宪明等(166)
动荷载作用下路基内孔压变化规律研究	郭允林等(181)

3 工程设计与施工技术

上部土钉下部桩锚的复合型围护结构计算方法的探讨	尹骥等(187)
小湾水电站坝址区 6 000kN 级大吨位锚索施工实践	余江洪等(192)

某水电站厂房后边坡稳定分析及处理设计·····	石 毅等(196)
压力分散型锚索不宜作为永久性锚索·····	刘玉堂等(200)
深圳新世界四季山水花园抗浮锚杆设计与试验·····	王贤能等(205)
武落钟离山风景区危岩加固方案的探讨·····	王 平(211)
压力型锚索锚固力的探讨·····	吴志刚等(217)
桩头预应力锚索设计拉力及锁定值的规划求解·····	刘代文等(223)
预应力锚固在喜河水电站表孔闸墩的应用·····	王毅鸣等(230)
预应力锚索在岩溶地区灾害治理中的应用·····	汤永福等(235)
土体中扩大头压力型预应力锚索研究及工程应用·····	孙 凯等(241)
压剪筒压力分散型锚索锚固工法·····	孙学毅(249)
化学灌浆试验技术在锦屏一级电站工程中的应用·····	范光华(252)
锚杆注浆体水灰比探讨·····	项小珍等(258)
高强度大直径预应力锚杆在巴贡水电站的应用·····	徐方才等(262)
压力分散型锚索的施工工艺及质量控制·····	吴国华等(266)
小湾水电站大吨位闸墩预应力锚索施工技术·····	黄中权等(271)
长河坝水电站导流洞进口边坡破碎岩体锚索施工技术·····	陈军龙等(274)
深井高地压大变形围岩巷道支护技术及锚杆设计·····	王亚杰(277)

4 边坡加固与滑坡治理

三峡船闸高强锚杆的应用与研究·····	陈孝英(291)
锦屏一级水电站大吨位超长预应力锚索施工实践·····	余江洪等(298)
浅析丽龙高速公路某滑坡特征及治理措施·····	何昌平等(302)
滑动边坡治理工程的施工方法·····	肖喜斌(307)
高速公路某标段高边坡治理工程实践·····	张志勇等(312)
陕西铜黄高速公路老窑子古滑坡体综合治理·····	侯延华等(316)
预应力锚索挡板墙在高大填方边坡治理中的应用·····	李四全等(322)
某滑坡治理工程方案比选与论证分析·····	李 丽等(329)
城市垃圾回填高边坡的加固措施及施工方案的探讨·····	王润厚(335)
某高速公路绿水村滑坡防治工程之探讨·····	张志勇等(338)
某高速公路既有喷射混凝土边坡加固实例·····	高和斌等(344)
变形监测网在考塘滑坡动态变形监测中的应用·····	杨 军等(348)
广东省河(源)-龙(川)高速公路某边坡稳定性评估与治理方案 ·····	黄 波等(353)
落石防护理论简介及柔性被动防护网工程成功实例·····	柳书秋等(358)
岩石坡面植被群落演替与物种多样性动态研究·····	王 琼等(365)
龙滩水电站高边坡处理中预应力锚索设计与实践·····	董金玉等(371)
甬台温高速公路柳市山体崩塌的原因分析与治理·····	黄晓华(377)
高阳寨隧道右线进口高边坡的综合治理·····	孟希强等(382)

5 深基坑支护与基础工程

烟台阳光 100 广场工程基坑围护·····	李象范等(389)
分散拉力型锚杆在基坑支护工程中的应用·····	张智浩等(396)
压力分散型抗浮锚杆技术在北京第五广场工程中的应用·····	陈国强(403)
地铁基坑 SMW 工法围护结构开挖变形规律研究·····	丁振明等(408)
土钉式桩间护水平加固技术在复杂深基坑设计中应用的研究·····	刘兴旺等(416)
护坡桩—预应力锚杆联合基坑支护技术·····	石金山(422)
北京大钟寺现代商城基坑支护与降水技术·····	张 飏等(427)
深基坑涌水事故案例分析与预防措施·····	赵智涛(435)
深圳政协联谊大厦深基坑支护实例分析·····	刘明辉等(439)
复杂工程环境条件下超深基坑支护设计·····	易建伟(444)
海口市梦幻园商住小区裙楼地下室基础上浮原因及处理意见·····	王 兵(452)
复合地基在博鳌水城工程中的应用及桩间土抗液化试验成果分析·····	王 兵等(455)
旋喷桩止水与自进式锚杆支护在基坑工程中的应用·····	张启军(462)
高层建筑深基坑疏排桩与土钉墙组合型支护结构·····	王家道(468)
双排桩桩基托梁重力式挡墙的应用·····	初振环等(474)
景洪水电站坝基工程地质问题及处理措施·····	魏植生等(480)
明挖深基槽土钉墙支护设计与位移控制·····	李艳春等(484)
组合注浆技术加固湿陷性黄土地基·····	王宏权等(489)

6 隧道与地下工程

北京地铁基坑土钉与锚杆应用现状·····	刘 军等(499)
北京地铁 4 号线西单站暗挖段大直径管棚预支护效果数值模拟·····	潘庆明等(512)
北京西单地铁上穿工程永久性抗浮技术措施的探讨·····	王润厚(519)
注浆加固技术在盾构近接既有桥梁施工中的应用·····	牛晓凯等(525)
预应力自钻式锚杆在暗挖隧道中作为抗浮措施的应用·····	潘庆明等(530)
小洞室自钻式预应力锚杆施工工艺的探讨·····	满都拉(540)
预应力锚固技术在水平薄层岩体大跨度洞室顶拱支护的应用·····	周长兴(544)
琅琊山抽水蓄能电站地下厂房开挖支护设计·····	王阳雪等(548)
千米埋深小煤柱顺槽让压锚杆支护技术研究·····	孙国庆等(554)
深井动显综放巷道锚杆、锚索、桁架组合支护技术研究·····	高法民等(559)
工序过渡型锚杆在地铁工程中的应用研究·····	刘永勤等(564)
大跨渡线隧道注浆大管棚方案分析与施工技术·····	王武京等(571)
富水强风化花岗岩地层工程特性及加固机理研究·····	路 威等(575)
全方位高压喷射注浆拱棚施工新技术·····	刘 钟等(580)
应用岩土变形控制技术优化隧道施工方案工程实例分析·····	谢达文等(587)
城市地铁暗挖车站多导洞施工地层变位过程控制技术·····	黄明利等(594)

反井钻机在秦岭终南山特长公路隧道通风竖井施工中的应用.....	刘志强(602)
---------------------------------	----------

7 工程材料与施工机具

新型高强锚索成套技术及应用.....	岳 峰(609)
嵌砂型环氧涂层钢绞线的粘结性能试验研究.....	费汉兵(617)
XPM 系列产品在煤矿治理大型涌水中的应用	胡效生等(621)
YGL 系列全液压多功能履带工程钻机的研制与应用	罗 强等(628)
新型锚杆拉力计的造型与锚固检测方法的研究.....	高素英(633)
新型立井钢丝绳罐道监测装置.....	邓 昀等(637)
一种新型矿用锚杆增力扳手.....	周伟征等(641)



岩土锚固技术的新发展与 工程实践



专题综述

岩土锚固技术成就之今昔

徐祯祥

(中国岩土锚固工程协会 中国铁道科学研究院)

1 前言

尽管岩土工程作为一门技术学科被国际学术界公认至今只有 50 年的历史,它作为一门工程专业学科被引入我国也只有 20 余年的时间,但是,可以毫不夸张地说,目前我国岩土工程的实践和发展水平在世界上是名列前茅的,其应用领域也是最广泛的。无论是规模宏大的三峡、小湾、龙滩等大型水电工程,还是具有特大埋深和长度的南水北调隧道工程;无论是世界海拔最高的川藏、滇藏、青藏公路和铁路工程,还是具有高技术难度的各类大跨度城市地下工程,所有这些工程的庞大计划和随之而来的工程安全问题已经吸引了国内外专家的高度重视和参与,并正在策划着各种中远期的综合技术措施。在保证岩土工程成功和安全的所有措施中,岩土锚固技术无疑是可供选择的最成熟和最经济可靠的技术之一。正因为如此,对于正在立项和在建大型工程中的高边坡、深基坑、大跨度地下工程来说,岩土锚固技术已经成为一项具有重要意义的关键技术。

翻开锚固工程技术的发展史我们可以看到,在与岩土有关的工程中,它的应用可以追溯到 20 世纪初。据文件记载,1910~1911 年期间,美国已首先在煤矿巷道和其他岩石矿山中应用锚杆支护顶板。此后,作为有一定代表性的工程应用,1918 年在西利西安矿山开采中应用了锚索支护,1934 年在阿尔及利亚的舍尔法大坝的边坡加固工程中应用了预应力锚杆,1957 年前联邦德国鲍尔公司在深基坑中应用了土层锚杆。我国锚杆的工程应用开始于 20 世纪 50 年代后期,并随着地下工程中锚杆技术的逐步应用,与喷射混凝土,其后又与其他的岩土加固技术(如注浆、桩墙等)相结合,形成了一整套使用广泛的岩土锚固工程技术。

由于岩土锚固工程技术的新发展,近年来用此技术在大量边坡加固和整治工程中,在很大程度上取代了传统的浆砌片石式挡墙或重力挡墙结构;在相当数量的深基坑工程中取代了水平横撑式支挡结构;在几乎所有采用矿山法施工的地下工程中取代了分步开挖木支撑式临时支护结构。在其他方面,如深基础工程、抗浮结构工程、大坝加固工程、抗震工程、公路拓宽工程以及悬索桥的锚固等工程中,岩土锚固工程技术的优势也都得到了充分发挥。

与传统的各类加固支护技术相比,岩土锚固工程技术的主要优势是:由于锚固力学机理的本质是改造和利用岩体自身的力学性能,将原来作为单纯外荷的岩体改变为部分自承载体,从而保证了工程整体的稳定性和安全性,改善了周围环境和工程质量,大幅度地节约了工程材料并缩短了工期。这些优点已被大量的工程实践所证明。

2 岩土锚固技术取得的主要成就

回顾岩土锚固技术及大量相应工程走过的路程,总结我国几十年来在该领域的成就,主要

有以下几方面:

(1)岩土锚固技术的应用领域日趋广泛,工程规模不断扩大。

①已经建成了一大批在极端复杂和困难的工程地质和水文地质条件下的隧道与地下工程,在软弱、松散的围岩中成功地采用了各种型式的锚杆技术(配合喷射混凝土、注浆等综合措施)进行有效的加固。

②在大跨度的地下洞室、地下厂房工程中,预应力长锚索已得到了广泛应用。

③在坝基加固方面,采用高强的预应力长锚索作坝基锚固处理。由于可以不放空水库进行加固施工,经计算分析认为对抗震稳定性也十分有利,是一种经济有效的坝基稳定处理方法。

④在岩土高边坡工程中,如铁路公路的深路堑、高路堤、露天矿边坡、坝区和厂房边坡以及挡土墙工程中,特别是对高陡边坡的整治和加固处理,采用锚固技术是十分有效的。

⑤在城市建筑以及地铁建设的深基坑支护工程中,土层锚杆技术已占有极重要的地位,它与地下连续墙或各种护壁桩、围护结构(如钢板桩、钢筋混凝土板桩、密排灌注桩、旋喷桩和水泥深层搅拌桩等)相结合采用,已成为土质深基坑开挖施工中的有效手段。由于在基坑内部可以不用横向支撑,这使大型深基坑(例如高层建筑基坑和大跨度地铁车站基坑)的施工成为可能,对坑内采用大型机械施工十分有利。在一些大城市,还在深基坑施工开挖的围护结构锚固方面采用了可以回收的预应力锚索,均取得了很好的技术、经济效果。

(2)锚固新结构、新工艺不断涌现,扩大了各类锚杆在复杂受力条件下的使用范围。

①20世纪70年代开发的树脂锚固锚杆和80年代投产使用的快硬水泥卷锚固锚杆,均具有强度高、能及时提供支护抗力的优点,它们在矿山和铁路隧道围岩加固中都有了广泛的应用。

②缝管锚杆能立即对围岩施加径向和轴向预加应力,其延展性好,在经受爆破震动或岩石变形之后会相应地增长锚固力,适用于各类岩层以及受矿山动压作用的巷道工程。

③多种不同型式的可伸缩式锚杆,或称让压锚杆,它对大变形和受采动影响作用的矿山巷道硐室工程是一种有效的支护型式。

④预应力锚杆(锚索)技术无论在岩层或土层中采用,近年来都已有了极大的发展。用于水电站,为保证坝基稳定采用的强大预应力锚索最长达90m,最大张拉荷载已达10000kN。

⑤在传统的拉力型预应力锚索的基础上,近年来陆续开发和研制了不同类型的压力型锚索、拉力分散型锚索、压力分散型锚索、拉压复合型锚索和剪力分散型锚索等等。这些新型锚索对于充分发挥地层的承载能力和提高预应力锚索的支护效果起到了重要作用。

(3)岩土锚固新型机具不断改进和完善,提高了施工效率和工程质量。

①多功能的钻孔、锚杆安装机械,如马鞍山矿山研究院研制的砂浆锚杆钻装机,可以连续地进行锚杆成孔、注浆和插杆作业,提高了施工速度。

②由冶金建筑研究总院研制的风动型自进式缝管锚杆安装机,可方便在低矮工作面上缝管式锚杆的安装。

③由柳州欧威姆机械有限公司研制的土层锚杆钻孔机和高承载力预应力锚索张拉设备及锚固装置(张拉力可高达6000kN以上)广泛地适合在土层和岩层中使用。

④由北京机械施工公司研制的干式螺旋钻机,适合土层锚杆的干作业施工。

⑤由无锡双帆钻凿设备有限公司研制的YG系列锚固工程钻机,无锡探矿机械总厂有限

公司研制的 MD 系列锚固钻机等系列钻机以及武汉天宝、成都哈迈等公司研制的 TR 型及 YXZ 型锚杆钻机在我国大型水电工程、铁路工程、公路工程乃至城市地下工程中都得到了广泛的应用。

⑥由成都岩锋科技发展有限公司研发的 TK 系列转子活塞式湿喷机已在国内外的铁路、公路、水电和市政建设领域的喷锚工程中得到广泛应用。

(4)开发了新的锚杆材料,极大地改善了锚固工作性能。

①在岩石锚杆的粘结材料方面,早强水泥药卷是一种较好的尝试,这是由硫酸铝盐水泥和几种高效早强剂的发展而研制成功的。该类锚固药卷的 1h 抗压强度已高达 5~10MPa,粘结型锚杆 2h 的最高锚固力可达 150kN,现已广泛使用于有特殊需要的岩石锚固工程。

②在预应力锚杆体材料方面,若干种高强、低松弛效应的预应力钢丝、钢绞线已由天津钢线钢缆集团等企业研制;由冶金部建筑研究总院研制的精轧螺纹钢亦很具特色。它们对节约钢材,方便施工和减少预应力损失等方面均有重要价值。

③为适应复杂地层钻孔工序中的塌孔问题并为提高锚固质量,以北京肯特莱科技有限公司为代表的一批科技型企业研制和改进了具有一定预应力的自钻式锚杆,其本身包含钻孔、注浆、锚固的功能。该类锚杆已在各类有特殊需要的岩土工程中得到广泛的应用。

④为适应城市岩土及地下工程中对建设红线规划的要求,在研究了国外经验的基础上,开发研制了不同种类的可拆卸式锚杆,并已得到成功的应用。

(5)理论研究工作取得了新成果,锚固工程的设计和施工规范化,例如

①岩土工程的锚固及锚杆受力机理分析,相应的设计计算方法。

②洞室围岩施锚机理和支护特性及其力学监测。

③土层锚杆蠕变与应力松弛的实验研究。

④影响预应力锚杆承载力和预应力变化的因素。

⑤岩土边坡及深基坑锚固工程优化设计。

⑥锚固工程的设计和施工已纳入国家、行业 and 地方的规范和标准中。

⑦一批供岩土锚固工程设计用的商业化软件研制成功,等等。

3 大型岩土锚固工程实例

3.1 小湾水电站

(1)工程概况

小湾工程规模宏伟巨大,最大坝高 294.5m,是目前世界上修建中的最高拱坝,坝址又位于高地震烈区,且河谷宽高比大,其技术难度堪称世界之最。坝区峡谷深高,岸坡陡峻,左右两岸坝前均有规模较大的崩塌堆积体,并且地形狭窄,建筑物布置密集,开挖后将形成近 700m 的高边坡(目前世界上最高的水电站边坡之一)。因此高边坡开挖及支护的安全稳定是小湾工程施工能否顺利进行的关键性问题之一(图 1 及图 2)。

(2)高边坡支护及综合治理技术主要包括:

①排水系统;

②减载与反压技术;

③抗滑支挡技术;

④锚固技术。



图1 小湾电站坝址所在处全景图

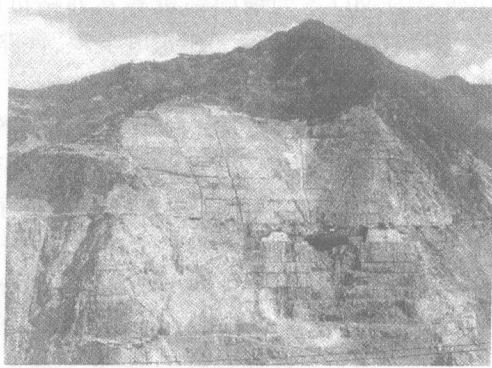


图2 小湾电站高边坡加固施工场面

3.2 其他大型水电站高边坡工程

除了小湾电站以外,近年来,我国已建和正在修建的大型水电站及其配套工程还包括:金安桥水电站(2 400MW)、天生桥一级和二级水电站(1 200MW、1 320MW)、糯扎渡水电站(5 850MW)、景洪水电站(1 750MW)、李家峡水电站(2 000MW)、龙滩水电站(4 900MW)、三峡水利枢纽(永久船闸高边坡)等等。上述工程的临近高边坡高度大致为 100~300m,有的甚至更高。高边坡的支护通常采用如下的综合措施:

- (1)对于裸露的岩土面应普遍采用锚杆喷射混凝土支护。
- (2)在有条件的地方应采用格构框架+节点锚杆(索)+框内植被的处理模式。
- (3)当遇见岩体边坡有局部不稳定体或不利结构面时,采用“系统锚杆+贴坡挡墙”的支护方式。
- (4)对于大多数高边坡来说,根据岩体稳定性试验、评估和力学分析的结果,应采用不同参数的“系统预应力锚索+岩面支护”系统。
- (5)为了加强高边坡坡脚的稳定,可采用“桩—锚”或“桩—板—锚”支护系统。
- (6)根据水文地质调查,在坡面和山体中采用不同的排水系统。
- (7)在所有上述工程中均需采用现场监控量测进行信息化施工。图3为天生桥一级电站高边坡支护和综合处理的实例。

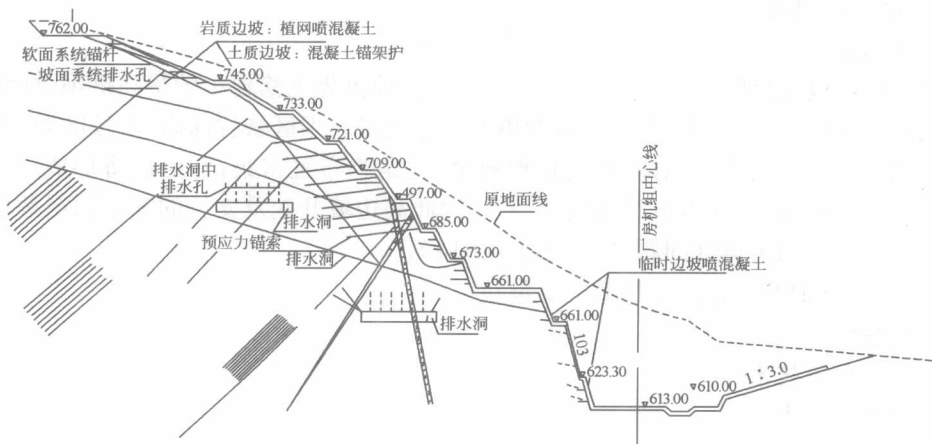


图3 天生桥一级电站高边坡支护典型断面

3.3 北京地铁5号线雍和宫站深基坑工程

北京地铁5号线雍和宫站采用明挖深基坑工法施工,基坑宽32m,深23m。由于基坑宽度大,护坡桩未用传统的水平支撑,改用桩—锚支护体系。其中一侧围护结构上部为非预应力锚杆+喷射混凝土支护,下部为桩+预应力锚索支护;另一侧由于邻近重点文物—雍和宫,为确保土体和地表的稳定,围护结构自上至下设4层锚索,均为桩+预应力锚索支护。在软土、砂砾等土层,锚索长度为20~30m,锁定拉力为300~1 000kN,其横向间距根据计算设为一桩一锚或三桩两锚。基坑施工及设计参数见图4和图5。

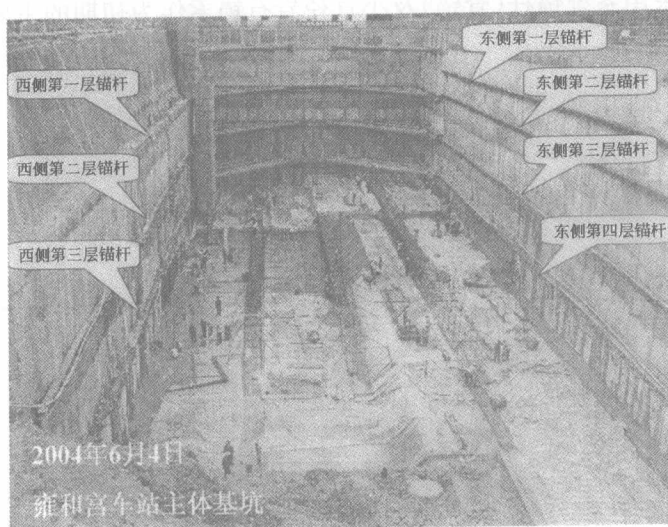


图4 北京地铁雍和宫车站深基坑施工

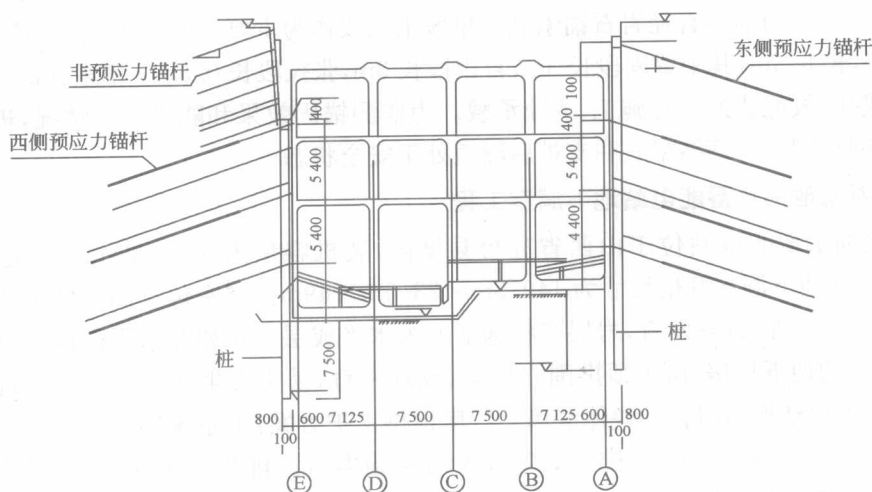


图5 北京地铁雍和宫站深基坑支护设计断面图

基坑施工全过程中,地表和基坑的监测数据证明,其沉降和变形值均在设计要求的范围之内,因此,不仅保证了地铁工程本身的安全,更重要的是确保了周边重要文物建筑和立交桥的