

Yantu Maogu Jishu

Yu Gongcheng Yingyong Xinfazhan

岩土锚固技术与 工程应用新发展

徐国民 李伟中 李文平 李鸿芳 主编



人民交通出版社
China Communications Press

岩土锚固技术与工程应用新发展

徐国民 李伟中 李文平 李鸿芳 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为中国岩土锚固工程协会第二十一次全国岩土锚固工程学术研讨会论文集,共编入论文 84 篇。内容包括岩土锚固技术专题综述、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、施工机具与工程材料等。

本书内容丰富,实用性强,可供铁路、公路、水利、水电、市政、城建、地矿和军工等部门从事岩土锚固工程设计、施工、科研、教学的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩土锚固技术与工程应用新发展/徐国民等主编

·——北京:人民交通出版社,2012.9

ISBN 978-7-114-10058-1

I. ①岩… II. ①徐… III. ①岩土工程—锚固—学术会议—文集 IV. ①TU753.8-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 205483 号

书 名:岩土锚固技术与工程应用新发展

著 作 者:徐国民 李伟中 李文平 李鸿芳

责任编辑:吴有铭 李 农 田克运

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:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:29.5

字 数:748 千

版 次:2012 年 9 月 第 1 版

印 次:2012 年 9 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10058-1

定 价:108.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《岩土锚固技术与工程应用新发展》

编 审 委 员 会

主任委员:徐祯祥

委 员:(按姓氏笔画排序)

刁天祥	王 卓	刘 军	刘玉堂
刘成洲	朱本珍	朱继永	闫莫明
何 伟	李元林	李文平	李成江
李伟中	李 虹	李志谦	李象范
李鸿芳	张 雁	苏自约	陈 谦
杨俊志	罗 强	贺长俊	胡时友
赵有明	唐树名	徐国民	陶 义
梅志荣	萧 岩	韩学广	彭宣常

执行编审:苏自约 闫莫明

序 言

昆明，一座美丽且富有魅力的城市。十年前，也是在这座四季如春的城市，也是在这花香飘逸的金秋时节，第十一次全国岩土锚固学术研讨会在此召开。在全国各地经历了九次对学术问题的研讨切磋之后，今天，岩土工程界的朋友们又欢聚在滇池湖畔，共庆第二十一次全国岩土锚固学术研讨会的顺利召开。

本次研讨会共收到应征论文 93 篇，经编审委员会的审阅，共有 84 篇论文被选入本论文集。在论文征集过程中，很多会员和科技人员在百忙之中挤出时间撰写论文、积极投稿；特别是其中有不少单位的负责人和协会理事带头，组织专人或项目组人员搜集资料并最后撰写成文。本次应征稿最多的会员单位一次投稿 15 篇！广大会员和理事这种热情、认真的精神和对每次学术研讨会的真心支持，都令我们内心深深感动！

第十一次年会的研讨主题是《岩土锚固技术与西部开发》，该次研讨会上宣读和发表了不少论文，乃至在会上争论的学术问题大多围绕着在我国西部开发建设中的工程技术问题，特别是针对当时西部正在紧张施工的小湾水电站高边坡、大朝山水电站地下洞室、金川矿高应力区巷道岩体破坏等等问题进行了热烈讨论。这些讨论对当时在建工程的安全质量和加快施工进度起到了积极的作用。随着岩土工程整体技术的进步，在其后的每年研讨会上发表的论文和讨论的问题，都会在技术深度和创新方面有所反映。例如，在成孔难度大的大卵砾石地层和含水砂卵石地层中的长钻孔施工技术、在以粉细砂为主的混合地层中的注浆止水技术、地震动载地带高边坡安全防护技术、在难度极大的城市立交环境体系中穿越工程的合理施工工法和技术，等等。以上技术的发展和进步，在本次会议发表的论文中均有较好的体现。据此，将第二十一次年会的主题定为《岩土锚固技术与工程应用新发展》。我们期望，每年的研讨会都能读到反映工程应用技术新发展的好文章。

在拜读了论文集集中的 84 篇令人耳目一新的学术论文之后，首先应该真情感谢积极撰写文章的每一位作者，同时要特别感谢为本论文集出版给予鼎力支持的会议协办单位——西南有色昆明勘测设计(院)股份有限公司。

最后，祝愿第二十一次全国岩土锚固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
2012 年 10 月

目 录

一、专 题 综 述

预锚技术的新发展.....	王泰恒(1)
隧道塌方防治.....	部 强 蒋中庸(6)
爆炸动载条件下不同形式锚索受力特点研究	
.....	沈 俊 顾金才 张向阳 陈安敏 徐景茂(16)
城市地铁工程中岩土锚固技术的综合应用研究	徐祯祥(25)
抗震锚索及其应用	罗 斌 唐树名 饶泉宇 文志兵(32)
无粘结锚索的隐患	刘玉堂(37)
预应力锚索工作锚具的锚固性能试验及防腐蚀探讨	王宪章 杨志银 冯申铎(42)

二、理论研究工程测试

锚索抗滑桩板墙补强措施负效应问题的探讨	徐国民 李文平(46)
扩体锚杆破坏类型模型试验研究	刘 钟 郭 钢 王保军 卢璟春 张 义(53)
隧道施工过程中桩—土—隧道相互影响研究	柳 飞 吴炼石(58)
某地铁站基坑开挖支护与主体结构浇筑三维有限元分析	李胤铎 林旭明 范 伟(63)
单桩水平静载试验研究及实例分析	郭 盛 张爱江(68)
光纤光栅传感器在煤矿巷道实时监测系统的研究	张 杰(75)
压力分散型锚索的极限承载力试验研究	王宪章 杨志银 姜晓光 王召磊(80)
北京地铁某大型深基坑监测与数据分析	刘新禄(84)
虎家崖前池高边坡综合治理监测成果分析	张述清 徐 巍 薛小攀 周泽阳(88)
帷幕灌浆对既有暗涵结构的影响监测与分析	
.....	李东海 房彦梅 刘 勇 吴 冰 贺美德 李凤龙(93)
输水隧洞盾构无加固近距下穿既有地铁监测设计及精度分析	
.....	刘继尧 萧 岩 李 宁(98)
大柳塔煤矿斜井扩硐工程数值模拟与监控测量.....	李胤铎 罗 静 刁天祥(103)
地耦型地质雷达隧道衬砌非接触检测研究.....	杨艳青(108)
超高密度直流电法物探新技术在滑坡勘探中的应用	
.....	熊 晋 王建松 刘庆元 高和斌(115)
深基坑监测与分析.....	陈克刚(121)

锚杆无损检测技术应用于大型水电工程的试验研究·····	徐永明	(127)
某挡墙滑坡病害的检测分析和思考·····	张爱江 刘 涛	束毅力(131)
地铁机场线下穿机场高速路及北皋匝道桥沉降监测及变形规律 ·····	马雪梅 高爱林	任 千(135)

三、工程设计与施工技术

某边坡治理工程中预应力锚索抗滑桩的结构计算方法·····	孙亚男	高彦昆	(141)
岩质基坑过大变形分析与加强支护设计·····	张启军 冯 雷	艾华亮	林西伟(146)
某地铁车站洞桩法施工新技术·····		刁天祥	(152)
预应力锚杆在洞口围岩加固施工中的应用·····		徐永明	(156)
西安地铁 1 号线明挖区间穿越 f3 地裂缝施工工艺探讨 ·····	李小刚 张 东	郝其才	(161)
深大基坑开挖支护施工技术·····	何洪波 刘关华	刘 禹	(167)
置入式可回收土钉试验研究·····	王立明	张全胜	(174)
周边环境复杂的超深基坑支护设计·····	刘海龙	张治华	(178)
工作面预注浆技术在矿山竖井涌水治理中的应用·····	陈丽娟 李 英	王五松	(185)
邻近软弱浅基建筑物条件下深基坑支护设计与施工 ·····	邹 海 张启军	孟宪浩	刘 笛(191)
高压旋喷桩在填海垃圾场中的应用·····	何洪波 李绍才	钟 雪	(198)
复杂工程环境下高地下水位深基坑支护设计与施工控制要点·····		徐晓伟	(203)
钢质锚墩应用及施工控制·····	尹 衡 车维斌	康 东 柏 东	(210)
喷射混凝土技术探讨·····		王军民	(213)

四、边坡加固与滑坡治理

扩孔锚索及其在某边坡治理工程中的应用·····	徐国民 李文平	周建明	(217)
压力分散型深孔预应力锚索在 500m 级复杂地质高陡边坡加固治理中的应用 ·····	李正兵 罗建林	蒋学林	(224)
某矿山箕斗竖井边坡治理工程预应力锚索施工·····	李才琴	王旭峰	(231)
高填方区新型快速锚固技术的探索与应用·····	徐国民	李文平	(237)
全粘结钢筋锚杆在某边坡支护工程中的应用·····	钟家声 马秋柱	和曙泉	高秉勋(244)
预应力锚索挡墙在水库库岸防护中的应用·····	何 平 万 军	李文晏	李小榜(248)
复杂地层古滑坡稳定性分析及处理措施研究·····	宁 宇 孙怀昆	冯业林	夏菲菲(252)
山地建筑“基坑式”高边坡支护工程实践·····	王贤能	张领帅	(261)
金安桥水电站 B2、B20 崩塌堆积体稳定性分析及工程处理措施研究 ·····	王 昆	崔小东	(267)

云南某水电站软弱岩质边坡的失稳机理及处治措施·····	张万奎	王文远	王 昆	(272)
小湾水电站 3 号山梁部位边坡治理·····	叶光明	冯汉斌	刘东勇	(277)
向家坝水电站边坡预应力锚索施工质量控制实例·····			徐永明	(283)
岩土锚固工程高边坡排架设计施工要点及控制·····	尹 衡	车维斌	康 东	柏 东(288)
上海世茂天马深坑酒店深坑边坡支护设计·····	白彦光	庞有超	翟金明	(295)
超高密度电阻率法在边坡治理工程中的应用·····	杨伟俊	王建松	刘庆元	高和斌(302)
一处锚固边坡变形原因分析及防护对策·····	王建松	聂 标	刘庆元	高和斌(307)
某滑坡演化泥石流解析及其防治工程探讨·····	徐凌霄	李俊宏	李文平	徐国民(313)

五、深基坑支护与基础工程

某新建地铁车站深基坑施工监测及数值模拟研究

·····	崔玉萍	孙玮泽	董 军	董 飞	徐祯祥	(319)
抗浮锚杆在地下室维护中的应用·····					王贤能	(324)
钻孔桩结合旋喷桩在深基坑支护工程中的应用·····	刘肖伟	刘 猛			刘利伟	(329)
综合防渗支护系统在深基坑工程中的应用·····					李明星	(333)
玉水金岸 3 号地块项目地下车库桩锚结构基坑工程·····	李 琦	徐建彬			李象范	(340)
旋喷桩锚支护在常州润华环球中心基坑中的应用·····	赖允瑾	杨 春			雷秋生	(345)
复合锚杆桩加固既有结构桥桩的沉降影响研究·····					严 宽	(351)
地铁高米店南站受基坑施工影响的沉降数据浅析·····					赵江红	(356)
盾构机吊装阶段采用预应力锚索控制基坑变形分析·····	王光明	翟永山			萧 岩	(360)
双叶片螺旋锚及其在桅杆锚固工程中的应用·····					赖允瑾	吴永清(364)
击入式钢管土钉在黄漫滩地区深大基坑工程中的应用						

·····	王建成	王伟男	张 伟		张治华	(370)
-------	-----	-----	-----	--	-----	-------

三门峡某综合楼深基坑支护设计与施工

·····	翟金明	程守玉	李砚召	蔡庆华	徐国兴	(377)
预应力锚索在深厚填土层中的应用·····	姜晓光	张 俊	冯申铎		杨志银	(382)

六、隧道与地下工程

隧道的初期支护和超前防护·····	蒋中庸		刘昌用	(386)
超前锚杆在不良地质条件水工隧洞中的应用·····	王军林		梁继玲	(394)
水平旋喷预加固技术在富水未成岩粉细砂层中的施工应用研究·····			潘 威	(396)
牛栏江—滇池补水工程长输水隧洞特殊地质问题处理措施研究				
·····	李 云	朱国金	凌 云	(401)
复合加固措施在黄土地层大断面隧道施工中的应用·····			李小刚	(407)

连拱山岭隧道的开挖和防水..... 董长明 巫志农 刘 镜(414)

软土地层地铁盾构隧道近距离侧穿建筑物桩基影响研究..... 陈飞成 卢致强(420)

管棚预支护技术在浅埋暗挖过街通道中的应用研究..... 章玉伟 徐双龙(425)

水平旋喷新技术在不同地层中成桩机理分析..... 肖盛能(429)

大跨城市隧道近距穿越既有建筑物安全控制技术研究..... 牛晓凯 束毅力 苏 洁(435)

岩爆冲击条件下屈服大变形恒阻锚杆支护..... 王亚杰(440)

矿用单束锚索的应用与发展..... 闫莫明(445)

七、施工机具与工程材料

高强度锚固钻杆的研发及应用..... 高中友 蔡纪雄 赵虎泽 陈胜甫(450)

浅议焊管杆件在昆明地区基坑支护杆件中的分类问题..... 顾 翔(454)

抗水树脂锚固剂在石槽村煤矿的应用..... 张燕军 耿会英 刘 刚(459)

预锚技术的新发展

王泰恒

(中国水电顾问集团北京勘测设计研究院)

摘 要 结合预应力锚固工程实践,介绍了预应力锚固技术在工程应用、理论研究、锚索结构施工能力、长期性能等方面的最新进展与研究成果。

关键词 预应力锚固 新进展 新成果

1 前言

预应力锚固技术在解决重大岩土稳定问题时,表现出的快速、高效和经济的鲜明特点,得到工程界广泛重视和认可,其应用领域不断扩大,成为岩土加固技术中发展速度最快、最有前途的实用工程技术。

将一群可承受拉力的专用结构系统(锚索、锚杆),按照计划,有规律地布置于岩土体或建筑结构中,并立即向被加固物施加主动压应力,最终达到限制被加固物发生有害变形和位移的目的,这种技术被称为预应力锚固技术(简称预锚技术)。

预锚技术在加固过程中,能将稳定岩土体与被加固物紧密结合在一起,形成一种新的、稳定的结构复合体,它能有效调用岩土体自身的强度和自稳能力,来解决复杂岩土工程的稳定与加固问题。

近年来,随着国内基础工程大规模地展开,预锚技术在岩土工程诸多领域都获得迅速发展并日趋成熟。

2 预锚技术的最新进展

最近十几年,随着我国“开发西部”、“西电东送”等发展战略的实施,预锚技术也迎来了自身发展的黄金时机。在这一时期,预锚技术多次攻克重大工程中的具有世界级难度的岩土体稳定问题,获得显著效果,在理论研究、技术创新、工程应用等方面取得许多丰硕成果。

(1)应用领域与规模扩张迅速,单项工程锚索用量已超万根。

预锚技术从水电行业起步,已普及到铁路、矿山、冶金、煤炭、交通、城建、国防、核电、文物保护等多个行业或部门,而且还在不断地扩大其应用范围。就水电行业来说,预锚技术已推广应用到边坡、闸墩、船闸、地下厂房、洞室、输水管道、溢洪道抗浮、大坝的坝体、坝基、坝肩加固、坝体抗倾、混凝土裂缝加固、水轮机钢筋混凝土涡壳加固等 10 余个细分的行业中,极大地改善了这些工程的可靠性、安全性与经济性。

近年来,预应力锚索在工程中的应用数量也在猛增。云南澜沧江小湾水电站仅在工程前期两岸边坡开挖支护中锚索的应用量已经达到 6 800 余根,而整个工程预应力锚索的设计应用量将高达 10 609 根,是国内首个锚索设计应用量超过万根的工程项目。

(2)成为整治复杂高陡边坡的关键技术,加固边坡高度已达 700m。

近年来,我国利用预锚技术等综合加固措施,成功治理了一系列具有世界级难度的高陡复杂边坡。例如,2003 年采用包括预锚技术在内的综合措施,成功治理了龙滩水电站蠕变岩体边坡和反倾向层状结构岩质边坡,倾角蠕变岩体边坡高度达到 500 余米,铅直发育深度最深达到 76m,总工程量 1 000 万 m^3 ,技术难度空前。2005 年加固治理的小湾水电站边坡的高度,左岸达到 700m、右岸达到 600m、堆积体的厚度最大达到 70 余米,工程边坡加固规模巨大,加固难度世界水电工程鲜见。边坡加固措施主要为:采用较陡的开挖边坡,坡面采用系统锚杆、喷射混凝土和预应力锚索加固,地下排水洞超前施工等综合加固措施。预应力锚索施工时,在强风化、强卸荷岩体和崩塌堆积体中,采用组合螺旋钻具跟管造孔工艺,钻孔固壁反复注浆、土工布包裹锚索自由段止漏技术,解决了锚索造孔难、穿索难、漏浆量大等技术难题。加固后的边坡变形平缓,锚索测力计显示锚索荷载平稳,绝大部分锚索荷载较锁定时有所降低。小湾 700m 高边坡至今已经过 5 个雨季考验,证明综合治理措施是非常成功的。

小湾 700m 高陡边坡的成功整治,表明我国边坡加固设计、施工技术达到世界领先水平。

目前正在用预应力锚索加固的锦屏一级水电站,岸坡岩体风化卸荷强烈,强卸荷岩体下限水平深度一般可达 50~90m,弱卸荷岩体下限水平深度一般为 100~160m,强卸荷岩体下限最大水平深度将达到 300~330m,将会创造出世界上应用锚索加固岩体的新奇迹。

(3)造孔能力显著提高,造孔深度已达 120m,孔斜率可达 0.8%。

20 世纪 90 年代初,漫湾水电站已在已滑动、破碎的边坡上,成功地钻出了深度达到 40m 的锚索孔,创下当时边坡锚索造孔纪录。到 2005 年,锦屏水电站在加固强卸荷、深裂隙带岩体时,3MN 级、165mm 孔径的锚索孔钻孔深度达到 120m,创下国内锚索造孔最新纪录。在短短 15 年间,我国在复杂地层中,锚索造孔深度就增加了 2 倍,见图 1。

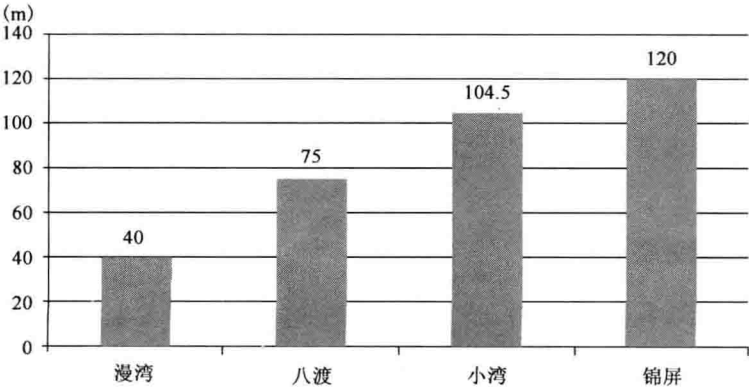


图 1 锚索造孔深度发展统计

长江三峡永久船闸锚固治理中,采用专用水平钻机,利用大直径钻杆附加扶正器的钻具和恰当工艺,钻出高精度水平孔,经检测,80%的对穿锚索孔可通视,最小孔斜率为 0.1%,平均孔斜率为 1.5%,达到极高造孔水准。近期,在龙滩水电站地下厂房锚固施工中,650 余束对穿孔的孔斜率实测达到 0.8%,极大地提高了我国锚索造孔技术水平。

(4)大吨位锚固技术稳步提高,锚索单孔荷载已达 10MN 级。

预应力锚固属高效预应力技术,提高单孔荷载,可提高预应力锚索的利用率,降低工程造价。在 20 世纪 80 年代以前我国锚索施加的荷载大多为 1~3MN 级,到 20 世纪 80 年代后期荷载提高到了 6MN 级(丰满水电站),20 世纪 90 年代中期达到 8MN 级(石泉水电站),到

20 世纪末,单孔荷载已达到 10MN 级(李家峡水电站)。我国预应力锚索单孔荷载从 3MN 提高到 10MN 级,大约经历了 35 年,见图 2。

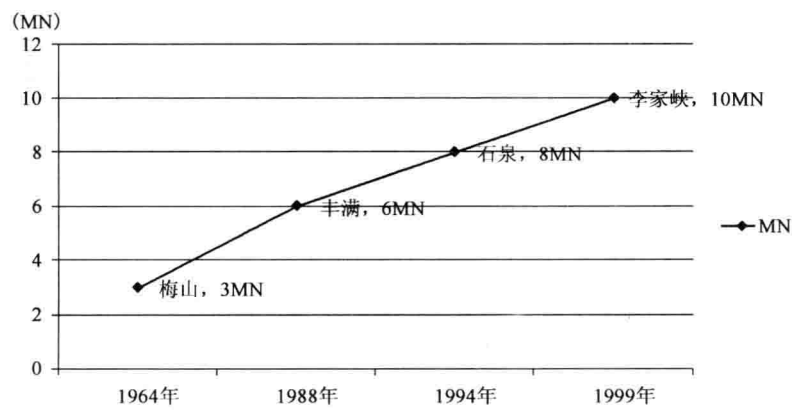


图 2 锚索单孔荷载的发展示意图

(5)在软弱地层中,锚固力可达 1.5MN 级。

最近几年,采用新型复合锚固结构,利用各种扩孔技术(机械扩孔、高压旋喷注浆、二次高压注浆等),极大地提高了锚索在第四系软弱地层中的承载能力。例如,在青岛奥帆广场基坑支护工程中,使用 JL(钜联)扩大头锚索,钻孔直径为 127mm,锚固段长 10m,高压喷射注浆扩孔长度为 5m,扩大头直径达到 800mm,是钻孔直径的 6.3 倍,锚杆承载力达到 1.5MN,工作荷载达到 950kN。

(6)锚索结构在实践中不断创新,走上多样化、良性发展之路。

对锚索结构的创新,长期以来一直是大家关注的热点和焦点,也成为推动预锚技术深入发展的原动力。在近 50 年的工程实践中,开发出拉力型、压力型、拉压复合型、单孔复合锚固型等锚索,能够满足各类工程的基本需要。特别是近期开发的各种分散型锚索,打破了锚固力只从孔内局部调用的传统观念,推动了锚索结构的多样化,促进了锚固技术的进步。

目前,锚索结构在工程实践中,仍在继续不断地创新发展,新型锚索不断涌现。主要表现在如下几个方面:

①采用新材料,提高锚索性能。例如:煤炭行业的单束锚索,将钢绞线规格由 7 丝 $\phi 15.24\text{mm}$ 和 $\phi 17.8\text{mm}$ 提高为 19 丝 $\phi 28.6\text{mm}$,从而使锚索承载力分别提高 12% 和 38%,工程应用获得显著效果。

李家峡水电站,在泄洪雨雾区塌滑体、堆积体边坡综合治理中,采用环氧涂层预应力钢绞线,制作无粘结锚索,提高了锚索长期防腐性能。

②对锚索抗动载能力的拓展开发。国防系统新近研究开发的大吨位屈服锚索,具有以柔克刚的特点,可显著提高洞室结构抗动载能力和安全度,在国防、采矿等洞室支护工程中,在边坡、抗震工程中均有广泛的应用前景。

③组合式锚索结构的创新与应用。在三峡永久船闸锚固中,开发应用了两端均带 8m 长粘结段的新型无粘结锚索,在外锚头处,由 8m 长水泥粘结段和锚具共同保持预应力,改变了无粘结锚索仅靠钢质锚具长期运行的局面,提高了锚索的耐久性。

小湾水电站 6MN 级锚索采用内、外锚固段均设置分散粘结段的新型结构形式,使得每根预应力筋在长期运行中自由段长度均能相等,可探索、解决分散型锚索预应力筋受力不均的

问题。

同样是小湾水电站,采用在无粘结锚索自由段外,再设置大直径止漏袋的结构,有效地解决了堆积体锚索永久防腐问题,并加快了施工进度,为小湾水电站大坝提前一年浇筑混凝土奠定了基础。

④不张拉锚索。李家峡水电站,在边坡加固工程中,经过多次实践发展了不张拉锚索。这类锚索的特点是:索体由高强度钢绞线制成,这与预应力锚索相同,但安装后,不施加预应力,而靠岩体后期变形产生锚拉力,在这点上又与普通锚杆类似。结构简单,施工速度快,可及时加固岩体,是这类锚索的特点。该种锚索在李家峡水电站已应用 200 余根,收到实效。此类锚索的应用,为边坡加固提供了可供参考的途径。

上述新型锚索的应用,不仅解决了加固工程难题,而且提高了预锚技术在复杂环境中的适用性、耐久性和可靠性,并促进预锚技术向更高水平发展。

(7)理论研究紧密结合重大工程实践,有了新成果。

近年来,国家对三峡工程单独立项进行科技攻关,解决工程重大技术难题,涉及岩土锚固的课题为“三峡工程高陡边坡开挖、加固技术研究”。程良奎教授等研究了锚索作用于三峡永久船闸中微风化岩质开挖边坡损伤区后,对岩体应力状态及完整性的影响,得出如下结论:3MN 级锚索能在作用点周围形成一个半径 2.0m,深约 8m 的压应力区。对岩体波速测试结果表明,锚索安装后,离坡面 4.0m 范围内,岩体波速一般提高 10% 以上,最大提高约为 48.34%,振幅也有明显增高。这些均表明,采用高承载力锚索,对边坡开挖损伤区岩体的完整性和稳定性有明显改善作用。

徐祯祥研究员等在理论研究基础上,结合工程实践,提出了群锚剪切阻尼效应理论,从不同角度反映了地层中剪应力作用的特点和破坏机理等。

上述研究成果对进一步深入研究锚固机理和工程设计方法均有指导意义,值得关注。

(8)涌现出一批新材料、新机具和新产品。

近年来,在锚固工程中涌现出一批新材料、新机具和新产品。

①水泥基锚固浆体继续沿着早强、高强、微膨胀、对预应力筋无害方向发展。有的工程,为提高浆体早期强度,已将水灰比降低到 0.32~0.28,加快了锚索施工进度;而为提高浆体防裂性能,也有向其内掺入聚丙烯腈纤维(PAN)的实例,效果均较好。水泥基锚固浆体的性能在实践中稳步提高。

②预应力钢绞线品种的多样化。目前预应力钢绞线已形成直径 13mm、15mm、18mm、21.8mm、28.6mm 等多种规格、多种系列产品,其强度可达 2 000MPa,最大可达 2 100MPa。与钢绞线配套的锚夹具、张拉设备均已齐备,锚夹具可夹持的钢绞线根数,一般为 1~55 根,最多可达 109 根,为设计、施工提供了较大的发挥空间。国内 OVM 锚具已达到世界先进水平。

无粘结预应力筋、环氧涂层钢绞线及其复合形成的预应力筋已能按系列标准化生产,提高了在腐蚀环境中预应力钢绞线的耐久性。

③最新研制的缓粘结预应力筋,在施工时具有无粘结筋的特点,方便施工,张拉固化后,又与全长粘结预应力筋一样,可提高结构极限强度,有良好的发展前途。

④工厂化成品锚索已经研制成功并试验应用。成品锚索具有防腐能力强、可靠性高的优点,由于是在工厂内批量生产,产品质量可以得到保证。

⑤国内厂家生产的 YG、MD、MGY 等系列锚固钻机已基本适应了各类工作环境、各种角度、各种不良地层状况的造孔需求。偏心、中心扩孔成套跟管钻具已在各类复杂、不良地质环

境中应用,并发挥着重要作用。

⑥测试仪器有较大发展。国内已可生产钢弦式、应变计式、液压枕式等多种类型锚索测力计。在李家峡水电站应用的测力计量程已达 10MN 级。一些自动化程度高、可远程监控的测力计也在工程中逐步推广使用,效果良好。

(9)预锚技术标准化、规范化在逐步完善。

为使我国的预应力锚固设计符合经济合理、技术先进、安全可靠的原则,1986 年我国颁布了国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(2001 年进行了修订,目前对 2001 版也在修订中),其中专门开辟章节对预应力锚杆(索)的设计、施工、试验及防腐等重大问题作了相关规定。1999 年国家标准《岩土工程预应力锚索设计与施工技术规范》(GBJ 3635—1999)颁布实施,这是首部国家级专门针对锚索设计与施工的规范。2005 年中国工程建设标准化协会颁布《岩土锚杆(索)技术规程》(CECS 22:2005),这是对 20 世纪 90 年代标准进行修订的成果。2002 年国家标准《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2002)颁布实施,其中有专门章节对锚杆(索)设计、施工作了详细规定。

在同一时期,各行业及有关协会也根据应用预锚技术的实际状况,分别制定或修订本行业的规范、规程、导则等,这些基础工作的逐步完善,对我国预锚技术的健康发展起到重大作用。

(10)对预应力锚索耐久性及长期运行安全性的深入探讨。

被用作永久支护的全长粘结预应力锚索的使用寿命究竟有多长,会否成为工程中的“定时炸弹”,使工程毁于一旦等等,类似的问题近来越来越多地受到业内人士的关注。国内学者采用现场调研、检查、检验锚固工程,收集、分析工程失效案例及理论研究等方法,对上述问题展开探究,并有初步成果。中国水利水电科学研究院任爱武等,对漫湾水电站已经服役 20 年的锚索,采用现场开挖检查与试验等方法,对全长粘结预应力锚索的长期性能与安全性进行了探讨,有如下初步结论:

①全长粘结工艺可以提高预应力锚索的长期运行安全性能。

②水泥砂浆可以起到很好的防锈效果。

③全长粘结工艺联合孔壁围岩共同作用,从而(可以)达到较好的岩土锚固效果。

对锚索长期性能与安全性的深入讨论,必将使预锚技术发生质的飞跃。

3 结语

预应力锚固是一项实践性非常强的工程技术,它伴随着工程实践,结出累累硕果。

预应力锚固是一项充满活力的工程技术,发展潜力巨大,有待广大工程技术人员,在实践中不断挖掘与创新。

参考文献

- [1] 王泰恒,等. 预应力锚固技术基本理论与实践. 北京:中国水利水电出版社,2007.
- [2] 马万祺. 小湾水电站建设中的几个技术难题. 水力发电,2009(9).
- [3] 闫莫明,等. 岩土锚固技术手册. 北京:人民交通出版社,2008.
- [4] 程良奎,等. 岩土锚固·土钉·喷射混凝土. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [5] 邹丽春,等. 复杂高边坡整治理论与工程实践. 北京:中国水利水电出版社,2006.

隧道塌方防治

部 强 蒋中庸

(中铁隆工程有限公司)

摘 要 本文对发生塌方的地质条件、施工因素、设计原因进行了分析,阐述了预防塌方的技术措施和不同规模塌方的处理方法。

关键词 塌方原因 塌方预防 塌方处理原则

塌方是隧道开挖中一种不正常现象,是隧道施工中的灾害。其后果是影响施工进度,增大工程成本,可能造成人员伤亡和影响工程质量。某长隧道在开挖施工的 43 个月中共发生大小塌方 20 余次,推迟工期 3.8 个月,处理塌方的费用近千万元。过去我国铁路隧道施工时的塌方相当频繁,据某两条新线铁路 91 座隧道塌方的统计,在一年时间内共发生 144 次塌方,平均每座隧道每年发生塌方 1.6 次。近年来由于施工技术水平的提高,塌方的频率虽有所减少,但仍不断发生,因此在隧道施工中如何防治塌方,是施工的组织领导和技术人员须认真对待的问题。

1 塌方原因

1.1 发生塌方的地质条件

按围岩级别分,Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ级围岩地段开挖均可能发生塌方。

现将可能发生塌方的地质条件按围岩结构形状、破碎程度和结构面充填情况等工程地质特征综述如下。

(1) 散体结构

围岩被破碎成散体介质,是土、砂、碎石角砾状,开挖后的稳定性极差,常见于挤压强烈的断层破碎带、极破碎的接触破碎带、完全风化带和一般的第四系地层。

(2) 碎石状压碎结构

围岩经 3 组以上、小间距(多小于 0.2m)节理切割成碎石状,节理间多有充填物,开挖后稳定性很差,常见于一般的断层和接触破碎带和强风化带。

(3) 块、碎银嵌结构

围岩经 3 组以上、间距多小于 0.4m 的节理切割,节理发育,呈块石和碎石银嵌状,节理大部分有充填物。常见于褶曲构造的轴部和断层影响带内。当围岩 R_b (抗压强度)为 3~30MPa 时,或 $R_b > 30\text{MPa}$ 时有层状软弱夹层或硬软岩夹层,或层状落岩(厚度小于 0.1m),或中层(层厚 0.1~0.5m),层间结合差,多有分离现象,开挖有时可能失稳。

(4) 大块状砌体结构

围岩经 2~3 节理切割,节理较发育,节理间距多大于 0.4m,岩体成大块状,节理多数为密

封,少充填物。开挖的稳定性好,开挖后不易失稳。常见于断层影响带外和褶皱的邻近地段。

另外,其他特殊岩土和不良地质构造,如熔岩地层、岩溶、膨胀岩、高地应力均有可能造成塌方。

地下水的影响在软弱围岩中可增加围岩失稳。

1.2 施工因素

不按设计要求施工,不选定合理的施工顺序,施工方法不当,不按施工规范施工,超前管棚;初期支护的钢架连接和结合质量不能满足设计和规范要求,是造成塌方的施工原因。

根据笔者亲身遇到的 38 次隧道塌方,纯属施工失误的塌方有 24 次,其原因如下。

(1)初期支护不及时

隧道上半断面开挖后,拱脚超挖 50cm,用虚土回填,由于钢架加工不及时,未及时施工初期支护,开挖后 9h 发生塌方。

(2)采用下半段先挖中槽

采用上下断面施工,下断面采用先挖中槽,造成拱脚下围岩松动,而且挖中槽的距离长,因拱脚失稳而造成塌方。

(3)超挖采用片石、木料回填

由于超挖数量大,在钢架外采用片石、木料回填,共发生塌方 3 次。

(4)上半断面开挖进尺大,未留核心

在双线铁路隧道Ⅲ级开挖上断面,爆破进尺 2.5m,没有留核心,3.3m 的超前棚不起作用,放炮后拱顶和工作面前方发生塌方共 5 次。

(5)边墙基础开挖距离过长

开挖边墙基础一次长达 10m,造成墙角初期支护悬空而塌方。

(6)未及时处理初期支护变形

下半断面放炮后发现相邻的边墙初期支护有开裂,未及时加固造成塌方。

(7)围岩变化未及时改变施工方法

在Ⅲ、Ⅳ级围岩中围岩发生变化未及时改变施工方法和爆破进尺造成塌方共有 5 次。

上述实例仅是塌方施工原因的一部分,此外还有,例如开挖中台阶或下台阶时,一次开挖距离过长引起的塌方;Ⅴ级围岩开挖 14m 宽的隧道采用上下台阶开挖,强调用台架钻眼、机械装渣,上台阶的高度达 6m,又无环形开挖引起的多次塌方;采用双侧壁导坑法施工,采用全断面衬砌,一次拆除侧壁导坑内壁的施工支护过长而引起的塌方。

1.3 设计原因

由于设计对隧道的工程地质和水文地质条件了解不清楚和设计人员的经验不足,选定的设计方案、施工方法、支护参数、开挖辅助施工措施不当,设计对施工的指导不力均增加了塌方的可能性。

笔者参与施工的隧道中,在放炮后即发生的 17 次塌方中,其中有 15 次是没有超前支护而导致的;完成初期支护后的 4 次塌方中有 3 次初期支护未设钢架。以上没有超前支护和钢架的塌方可能有施工原因,但不排除该超前支护和钢架也是造成塌方的因素之一。

某两座隧道是在完成设计的初期支护后发生塌方的,初期支护的强度不够也是造成塌方的因素之一。

又如,某隧道在挑离段的纵坡 1:1,钢架间距为 50cm,这时超前小导管的上仰角达 45°以上,结果开挖时也发生了塌方。

2 防塌方的技术措施

(1)超前地质预报

超前地质预报是施工阶段的地质工作,是在设计阶段地质资料的基础上根据开挖面地质情况并结合量测资料预报掌子面前方短距离的工程地质条件,以判断围岩级别。预报的重点是在好的地层中可能出现的较差的地质条件,并及时调整支护参数和施工方法,其预报程序见图 1。

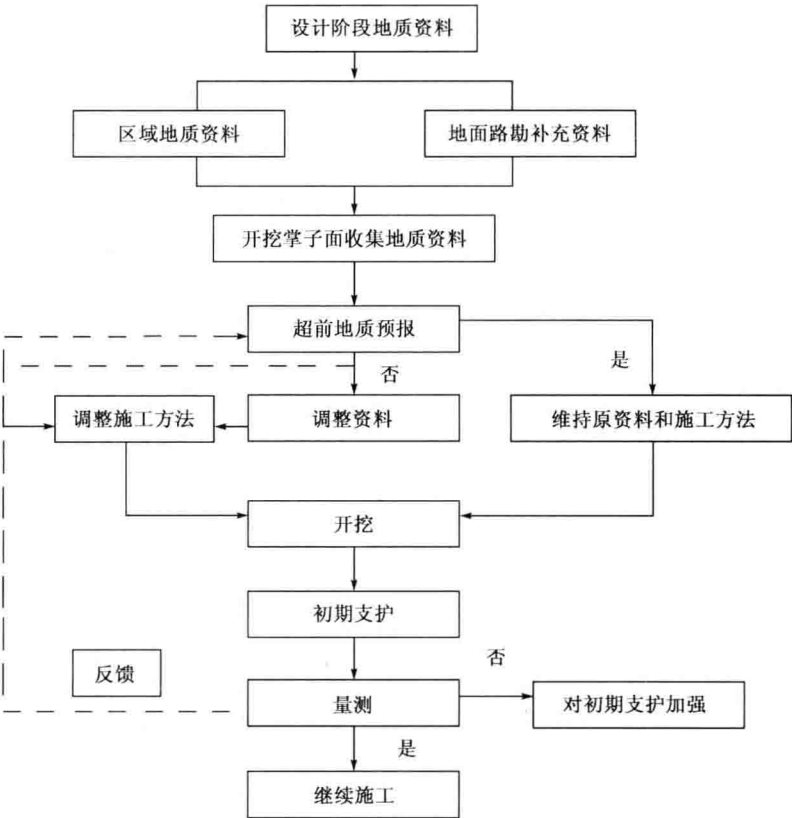


图 1 超前地质预报程序

开挖面前方超前预报的方法有 TSP 预报法、地质雷达预报法、声波测试预报法、超前风钻浅孔或地质钻深孔预报法、远红外探水法。以上这些预报方法有的需要专业设备,有的仅在特殊条件下才采用,而且大多是定性的预报,还得结合开挖面的地质素描和施工经验进行预报。

地质素描是每次放炮后用图形写实的方法记录下开挖面的地质条件,包括开挖面的岩性特点,节理倾角、走向、组数、节理充填,影响围岩稳定的贯穿性大节理和倾角走向,地下水出露等,根据前后地质条件的变化,用作图法和地质规律结合其他预报方法取得的资料进行预报。

经验预报是根据爆破后的浮石多少、开挖断面的成型、钻眼时开挖面的掉块、钻时卡钻、爆破后的岩石、喷混凝土时岩壁的掉块、开挖面上岩石破碎等情况,并且前后进行对比,以判断前方地质条件是否会变化。当然,这需要有一定的经验。

(2)根据地质条件选用恰当的开挖方法

根据开挖宽度和地质条件选用开挖方法。为预防塌方,凡有塌方可能的地段不应采用全断面开挖。采用台阶开挖时上台阶不宜过高,以防开挖面正面失稳而造成塌方。V 级围岩上