



岩土锚固 技术的新进展

● 阎莫明 徐祯祥 苏自约 主编

人民交通出版社

YANTU MAOGU JISHU DE XINJINZHAN

岩土锚固技术的新进展

——中国岩土锚固工程协会
第九次全国岩土锚固学术研讨会论文集

阎莫明 徐祯祥 苏自约 主编

人民交通出版社

北京·2000

内 容 提 要

本书系中国岩土锚固工程协会第九次全国岩土锚固学术研讨会论文集,共编入论文 55 篇。内容包括:专题综述、理论研究与试验、工程设计与施工方法、隧道与地下工程锚固、边坡锚固与滑坡治理、深基坑锚固、基础工程与结构锚固、锚固材料、机具与测试仪表。并收集到三峡、小浪底、大朝山、南昆铁路、东方广场等一批国内重点工程及各大类岩土锚固工程的实例。这些珍贵的技术资料使本论文集增色不少。本论文集展示了我国近年来在岩土锚固技术领域所取得的巨大成就与最新进展,既有严谨的理论性强的文章,又有生动实用的工程应用性文章,内容十分丰富。本论文集可供水电、建筑、铁道、公路、冶金、煤炭、地矿、军工等部门从事岩土锚固工程设计与施工的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩土锚固技术的新进展/阎莫明,徐祯祥,苏自约主编.
北京:人民交通出版社,2000.9

ISBN 7-114-03755-4

I. 岩... II. 中... III. 岩石-锚固-技术-学术会议-文集 IV. TV223.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 60107 号

岩土锚固技术的新进展

——中国岩土锚固工程协会第九次全国岩土锚固学术研讨会论文集

阎莫明 徐祯祥 苏自约 主编

正文设计:周 园 责任校对:尹 静 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:17 字数:424 千

2000 年 10 月 第 1 版

2000 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—1500 册 定价:50.00 元

ISBN 7-114-03755-4
U·02721

《岩土锚固技术的新进展》

编审委员会

主任委员：程良奎

委员：段振西 刘启琛 刘玉堂 吴国森 田裕甲 何益寿
韩学广 陶义 杨林德 王建宇 贺长俊 罗朝廷

主编：阎莫明 徐祯祥 苏自约

总审校：段振西

序

2000年10月,在成都召开的第九次全国岩土锚固学术研讨会,是我国在世纪之交结合西部开发,专题讨论岩土锚固问题的一次规模宏大的学术盛会。这次会议共收到有关岩土锚固机理分析、设计方法、施工工艺、工程监测和工程实录等方面的论文50余篇。它反映了近年来我国岩土锚固技术的新进展。更可喜的是三峡、小浪底水利枢纽工程、南昆铁路、大朝山水电站等一批国家重点工程岩土锚固工程的宝贵经验以及单孔复合锚固(压力分散型锚杆)、复合土钉墙、抗浮锚杆等新技术、新成果在论文中占有相当的比重,标志着我国的岩土锚固技术已达到一个新的水平。

岩土锚固能有效调用岩土体自身的强度和自稳能力,是提高岩土工程稳定性和解决复杂岩土工程稳定问题最经济最有效的方法之一,在工程建设中充满着勃勃生机。特别是随着国家基础设施的大量兴建和西部开发的积极推进,交通、能源、水利和城市基础设施建设力度的加大,边坡工程、地下工程、桥梁、机场、航道、电站、大坝、码头、水库及建筑结构的抗浮、抗倾等工程,将为永久性岩土锚固的应用提供空前的机遇和广阔的空间,同时也提出了许多更为复杂的课题。如高承载力锚固技术、荷载传力机制、腐蚀与防护、长期工作性能、变异荷载及动载条件下的锚固特性等,这是摆在我国广大岩土锚固工作者面前急需解决的岩土锚固技术领域中的理论与实践课题。

我期望,在召开下一次全国岩土锚固学术会议的时候,将会有更多的论文来讨论永久性岩土锚固及锚固结构的长期工作稳定性等课题,把我国岩土锚固技术提高到更高的水平,在工程建设中发挥更大的作用。

中国岩土锚固工程协会理事长

程良奎

2000年8月

目 录

| | |
|--------------------------------|-----------|
| 单孔复合锚固法的机理和实践 | 程良奎(1) |
| 围岩大变形巷道的可缩式长锚索支护 | 孙 钧(7) |
| 复合土钉墙的研究 | 李象范等(14) |
| 复合土钉墙支护位移控制及预估方法 | 毕孝全等(27) |
| 分段承压型锚杆的应用与研究 | 周颖军等(36) |
| 复合型土钉墙的弹塑性分析 | 杨林德等(41) |
| 复合型土钉墙土钉的受力分析 | 莫暖娇(47) |
| 三峡永久船闸岩石高边坡 3 000kN 系统对穿锚索受力观测 | 周彦清(53) |
| 预张拉对土层锚杆弹性变形影响的试验及分析 | 唐保付(57) |
| 锚喷加固岩土边坡的理论计算与分析 | 杨重存等(61) |
| 基坑边坡锚喷支护计算 | 张成斌等(67) |
| 软岩抗浮锚杆的试验、设计及施工 | 贾金青等(72) |
| 三峡永久船闸高边坡块体处理动态设计 | 李洪斌(76) |
| 深埋锚拉桩的优化设计方法 | 许建平(81) |
| 小浪底地下发电厂房岩壁梁设计施工与安全监测 | 伍安宝等(86) |
| 复杂地层复合型土钉墙变形控制 | 李象范等(91) |
| 地下工程桩锚护壁体系的设计与信息施工 | 韩学广(97) |
| 狮子包变形体锚固工程设计 | 李继生(105) |
| 复杂土层锚杆成孔技术 | 孙廷仁等(110) |
| 预应力全长防护锚索在大朝山水电站主厂房中的应用 | 张福明等(114) |
| 预应力锚索技术加固大变形井筒马头门工程 | 孟宪义等(119) |
| 迈式锚杆在隧道初期支护和超前支护中的应用 | 谢晋水等(122) |
| 锚固支护成套技术在常村煤矿的研究与应用 | 赵福祥等(127) |
| 治理主溜井特大塌方的托斗锚固新技术 | 高永涛等(131) |
| 土钉墙、超前钢管桩、地锚联合支护在成都地区基坑支护中的应用 | 刘晓理等(140) |
| 复合土钉支护技术在饱和淤泥质地层中的应用 | 赵清荣等(144) |
| 中华世纪坛 B 段北侧基坑锚喷支护设计与施工 | 董颖等(147) |
| 岩土锚固技术在海口市深基坑工程中的应用及发展 | 王家道(150) |
| 信息化施工在集泰花园基坑支护中的应用 | 张成斌等(154) |
| 大直径锤击沉管灌注桩在某高层建筑中的应用 | 刘文若等(158) |
| 土钉加锚杆的复合支护在大型深基坑工程中的应用 | 陈浩生等(161) |
| 程潮铁矿淹井后井巷大面积坍塌的综合治理 | 宋卫东等(164) |
| 隧道施工中的小导管注浆技术 | 洪炼治(169) |
| 浅埋、大跨、不良地质隧道新奥法施工实例 | 吕麟信(175) |

| | |
|------------------------------|-----------|
| 矿用锚索及其配套机具····· | 阎莫明等(177) |
| 三峡永久船闸边坡预锚施工····· | 王根柱等(181) |
| 漫湾不稳边坡施工中几个关键技术问题及处理····· | 华代清(184) |
| 尾水隧洞出口边坡综合治理工程····· | 甘文鸿(188) |
| 软弱破碎岩体条件下的高边坡治理技术····· | 徐祯祥等(191) |
| 南昆铁路某挡墙自钻式锚杆加固方案的设计····· | 冯玉勇等(195) |
| 北京虎峰山庄边坡滑坡整治技术····· | 范景伦(200) |
| 预应力锚杆挡墙在治理深圳河二期工程中的应用····· | 李震等(204) |
| 锚喷支护在公路边坡防护中的应用····· | 李江华(210) |
| 永安洪田箭丰滑坡的治理和监测····· | 刘中辉(215) |
| 预应力锚管在滑坡治理中的应用····· | 王晓楠等(218) |
| 锚喷支护边坡的工程实践····· | 任志龙(223) |
| 斗山街滑坡治理工程设计与施工····· | 马中伟等(226) |
| 穿孔钢管锚杆在边坡加固中的应用····· | 宫宏达等(231) |
| 北京东方广场深基坑工程的设计与施工····· | 李宝生等(234) |
| 预应力锚索加固病险坝的实践与经验····· | 张志良(244) |
| 锚杆桩技术在横山桥加固中的应用····· | 黄培锋(248) |
| 环形无粘结预应力混凝土衬砌的试验与实践····· | 朱 璘(251) |
| DKM 型钻机与导直钻进工艺在三峡工程中的应用····· | 孙灵慧等(257) |
| 预应力树脂锚杆在大型水利水电工程中的应用····· | 黄祖泉(260) |
| XPM 多效多功能外加剂····· | 王 芳(264) |

单孔复合锚固法的机理和实践

程良奎

(冶金部建筑研究总院 北京 100088)

摘要 本文论述了单孔复合锚固法的基本原理、工作机理和工程实践。与传统的锚固法相比,单孔复合锚固法能将荷载分散地传递给钻孔内的几个较短的固定段,不会发生粘结效应逐步弱化或“脱开”现象,能有效地调用天然地层强度,显著地提高锚杆承载力。笔者指出,在传统的锚杆设计中,将固定长度上杆体与注浆体、注浆体与地层之间的粘结应力视为均匀分布是不合理的。在计算锚杆承载力时,应引入固定长度有效因子这一概念。

关键词 单孔 复合锚固 工作机理

1 前言

由于围绕杆体的灌浆体与岩土体的弹性特征同杆体的弹性特征难以协调一致,当岩土体中埋设的锚杆受荷时,它不能将荷载均匀分布于固定长度上,因此会出现严重的应力集中现象。在多数情况下,随着锚杆上荷载的增大,在荷载传至固定长度最远端之前,在杆件与灌浆体或灌浆体与地层界面上就会发生粘结效应逐步弱化或脱开的现象。这是与固定长度上粘结应力分布的不均匀性紧密相关的。

锚杆固定段粘结效应逐步弱化或脱开,会大大降低地层强度的利用率。如图 1a)所示,在处于固定长度深部的地层强度被利用的条件下,固定段前端的地层已超出其极限强度值,该处锚杆与土体界面上只具有某些残余强度。然而能有这样一种锚固方法,它可将荷载分散地传递给钻孔内几个较短的固定长度上,而不会发生粘结效应逐步弱化或脱开现象,因而可以有效地调用天然地层强度,同时能显著地提高锚杆承载力,如图 1b)所示,这就是本文要论述的单孔复合锚固体系(SBMA 法)。

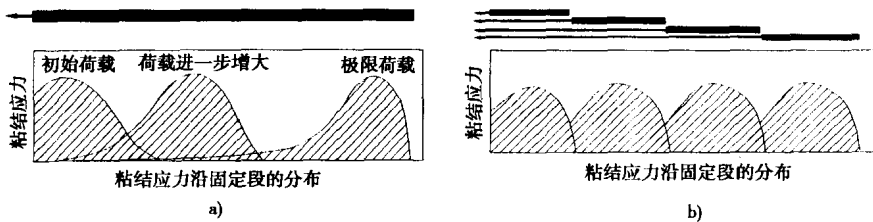


图 1 单孔复合锚固法与普通锚固法的比较

a)普通型锚杆;b)单孔复合型锚杆

2 单孔复合锚固法的基本概念

单孔复合锚固系统是在同一个钻孔中安装几个单元锚杆,而每个单元锚杆有自己的杆体、自由长度和固定长度,而且承受的荷载也是通过各自的张拉千斤顶施加的,并通过预先的补偿

张拉(补偿各单元锚杆在同等荷载下因自由段长度不等而引起的位移差)而使各单元锚杆承受相同的荷载。

当单元锚杆的固定长度很小,而不会出现粘结效应逐步弱化或脱开的情况下,能最大限度地调用锚杆整个固定长度范围内的地层强度;此外,使用这种锚固系统的整个固定长度在理论上是没有限制的,锚杆承载能力可随固定长度的增长而提高。对普通锚杆而言,当固定长度大于8~10m时,其承载能力增量很小或无任何增加。

当锚杆的固定段位于非均质地层中时,可以合理调整单元锚杆的固定长度,即比较软弱的地层中单元锚杆的固定长度应大于比较坚硬的地层中单元锚杆的固定长度,这样能使不同的地层强度都得到充分地利用。如果需要,单孔复合型锚杆可采用全长涂塑的无粘结钢绞线,并绕承载体弯曲呈“U”型的单元锚杆复合而成。该种锚杆完全处于多层防腐的环境中,它既可用做高耐久性的永久性锚杆,也可用做可拆除芯体(钢绞线)的临时性锚杆。

3 单孔复合锚固法的试验研究

从1997年开始,笔者主持的课题组对单孔复合锚固法进行了试验研究。

我们开发的单孔复合锚固法是一种压力分散型锚杆。它由无粘结钢绞线(预应力筋)、承载体、灌浆体及锚头组成。绕过承载体弯曲成“U”型的无粘结钢绞线构成一个独立的单元锚杆。在同一钻孔中,可安放多个单元锚杆(见图2)。

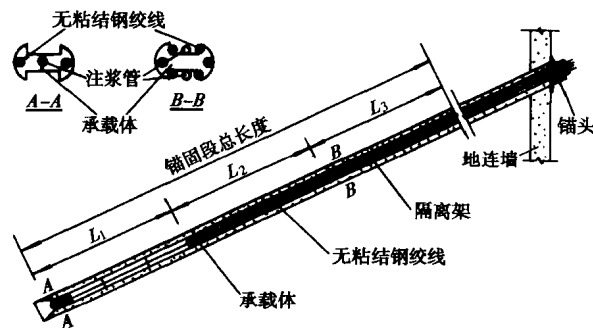


图2 单孔复合锚固体系(压力分散型锚杆)的结构构造

为了揭示单孔复合型锚杆的工作特点及粘结应力分布规律,我们进行了现场锚杆抗拔试验、锚杆轴力及粘结应力分布有限元分析和工程锚杆应力测定等项研究工作。

3.1 现场锚杆抗拔试验

我们在北京中银大厦基坑工程和广州凯城东兴大厦边坡工程中大量应用了单孔复合型锚杆,并对相似条件下的单孔复合型锚杆与普通锚杆进行了抗拔试验,试验结果比较见表1。

锚杆抗拔试验结果表明:

在相似条件下,单孔复合锚杆比普通锚杆的承载力提高了23%~58%。显然这是由于单孔复合型锚杆的整个锚固长度上粘结应力分布较均匀,各单元锚杆固定长度较短,不会出现逐步粘结破坏现象,固定长度周围的地层强度得到合理利用的结果。

应当指出,锚杆的抗拔试验是结合工程进行的,锚杆荷载并没有达到破坏值,且压力分散型锚杆各单元锚杆的承载能力还受到灌浆体轴向抗压能力的限制,因而单孔复合锚杆(压力分散型锚杆)的各单元锚杆固定长度上的粘结能力并未充分发挥,其提高承载能力的潜在优势并未完全被挖掘出来。

单孔复合锚杆的现场抗拔试验

表 1

| 锚杆类型 | 荷载传递方式 | 单元锚杆个数 | 单元锚杆固定长度(m) | 锚杆总固定长度(m) | 地层地质条件 | 锚杆抗拔力(kN) | 试验现场 |
|--------|--------|--------|--------------------|------------|-----------|-----------|----------|
| 普通锚杆 | 拉力型 | 1 | 21.0 | 21.0 | 粉质粘土、细、中砂 | 1 200 | 北京中银大厦 |
| 单孔复合锚杆 | 压力分散型 | 4 | 4.5、5.0 5.0、5.0 | 19.5 | 粉质粘土、细、中砂 | 1 480 | 北京中银大厦 |
| 普通锚杆 | 拉力型 | 1 | 18 | 18 | 粉质粘土 | 510 | 广州凯城东兴大厦 |
| 单孔复合锚杆 | 压力分散型 | 3 | 6.0、6.0 6.0 | 18 | 粉质粘土 | 810 | 广州凯城东兴大厦 |

3.2 单孔复合锚杆轴力及粘结应力分布的有限元分析

计算分析时,取钻孔直径为 130mm,注浆体强度等级为 M25,单孔复合(压力分散)型锚杆由 3 个单元锚杆组成,各单元锚杆的固定长度均为 5m,锚杆的总固定长度为 15m,普通(压力型)锚杆的固定长度也为 15m,并假定:注浆体为弹性各向同性材料;土体介质符合 Drucker-Prager 屈服准则的各向同性的弹塑性材料;不考虑地层覆盖层压力的作用。

按该假定条件,问题的求解可归结为平面轴对称问题,计算分析时采用 8 节点等参元。

图 3a)是取单位荷载(kN)作用时压力型与压力分散型锚杆的轴力曲线;图 3b)为取单位荷载(kN)作用时压力型与压力分散型锚杆的注浆体—土体界面上的粘结应力分布曲线。计算时土的弹性模量为注浆体的 1/400,泊松比为 0.3。

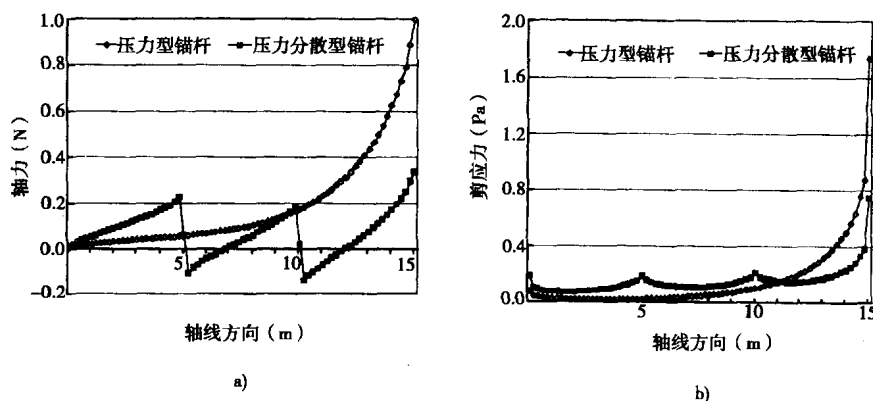


图 3 普通(压力)型与单孔复合(压力分散)型锚杆的轴力曲线与粘结应力分布曲线
a)轴力曲线;b)粘结应力分布曲线

图 3 显示:

(1)单孔复合(压力分散型)锚杆固定长度上的轴力及注浆体—土体界面上的粘结应力峰值远小于普通(压力型)锚杆,仅为普通锚杆的 0.33 和 0.43,大大改善了锚杆固定长度轴力和粘结应力分布的不均匀性。

(2)单孔复合型锚杆的轴力和注浆体—土体界面上的粘结应力分布在 15m 长的整个固定长度范围内,普通锚杆的轴力和注浆体—土体界面上的粘结应力分布范围远比压力分散型小,轴力主要集中分布在约 8.0m 长度范围内,粘结应力主要分布在约 6.0m 长度范围内。

从锚杆的有限元分析资料可以看出,单孔复合锚杆可大大降低注浆体—土体界面上的粘结应力,并能较均匀地分布于整个锚固长度上。

3.3 锚杆固定长度灌浆体轴向应力的测定

我们曾在中银大厦基坑工程中,测定了单孔复合(压力分散型)锚杆各单元锚杆固定段注浆体的轴向应力,结果表明:

(1)固定于中细砂层中的单元锚杆,其固定长度为 5.0m,测得的灌浆体轴向应力随锚杆荷载的增加而增加(见图 4)。当荷载为 220kN 时,轴向应力分布主要集中在 2m 范围以内。

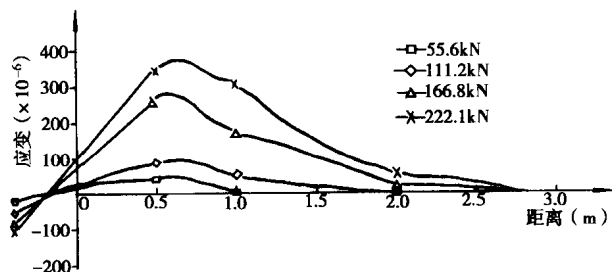


图 4 锚杆锚固体应力分布曲线

(2)对单孔复合锚杆的各单元锚杆施加荷载时,各单元锚杆固定段注浆体的轴向应力数值有一定差异,但分布形态是相似的。这说明,与普通锚杆不同,单孔复合型锚杆可以大幅度降低固定段灌浆体的应力峰值,并使轴向应力分布在整个锚固长度上;同时还说明,在砂质土中,在充分发挥单元锚杆预应力筋(2 根直径为 $\phi 12.7\text{mm}$ 钢绞线)抗拉强度的条件下,单元锚杆的固定长度可比 5.0m 短得多,可能 2.0~3.0m 是较为适宜的。

总之,通过对单孔复合型锚杆的抗拔试验、有限元分析及应力测试,我们从不同的侧面揭示了其独特的荷载传递机制,即在外力作用下这种新型锚杆的应力能较均匀地分布在整个固定长度上,因而它能充分利用土层的抗剪强度,显著地提高锚杆的承载力。

4 单孔复合锚固法的工程应用

近年来,单孔复合锚固在国内外岩土锚固工程中获得了迅速发展。我国冶金部建筑研究院近年来开发的单孔复合锚固法是一种压力分散型锚杆,已在基坑及边坡工程中共使用 20 000 余根单元锚杆。在中国银行基坑工程的中细砂及粉质粘土地层中,由 4 个单元锚杆组成的单孔复合型锚杆在其承载力已达 1 500kN 时仍未见破坏,并全部实现了芯体拆除,从根本上排除了对开发周边地下空间的障碍。香港在新机场建设中,采用单孔复合锚固法创造了单根土层锚杆承载力的新纪录:位于砂和完全风化崩解的花岗岩层中的单孔复合型锚杆,由 7 个单元锚杆组成,单元锚杆的固定长度分别为 5m 和 3m,锚杆固定总长度达 30m,在 3 000kN 荷载作用下,未见异常变化。台湾大地工程有限公司已完成单孔复合型锚杆的总长度达 80 000m,主要用于基坑工程的可拆除地锚。

英国是开发单孔复合型锚杆较早的国家之一。应用在英国 Bracklesham Beds 粘土中的由 5 个单元锚杆组成的单孔复合型锚杆,用测力计测得到的锚杆总荷载为 1 337kN。

在日本边坡加固工程中广泛采用的是一种被称之为 KTB 的锚固工法,实质上就是一种单孔复合型锚杆。它也是一种压力分散型锚杆,即将无粘结钢绞线绕承载体弯曲成“U”型,构成单元锚杆,一般由 3~4 个单元锚杆组成单孔复合锚杆。该种锚杆用于土层、强风化或软弱破碎的岩层中的极限承载力通常为 800~1 200kN。

5 关于改进锚杆设计的讨论

目前关于锚杆的设计,锚杆的极限承载力与锚杆的固定长度成正比。计算锚杆极限承载力的方程为:

$$T_u = \pi DLq_s$$

式中: T_u ——锚杆的极限承载力;

D ——钻孔直径;

L ——固定段长度;

q_s ——灌浆体与土体界面上的粘结强度。

在上述表达式中,是将锚杆受荷过程中固定长度上周边的粘结应力视为均匀分布。然而,如前文所述,由于锚杆杆体、灌浆体以及经过灌浆处理地层的弹性模量不协调,在杆体—灌浆体或地层—灌浆体界面处的逐步“分离”阻碍着粘结应力的均匀分布。因此,假定锚杆荷载传递过程中,作用在锚固段整个周边的粘结应力均视为均匀分布,并采用锚杆的承载力与锚固长度成正比的设计原则是不合理的。

通过对单孔复合锚杆与普通锚杆现场试验、有限元分析与工程锚杆的应力测试,我们可以对传统的锚杆设计公式作如下修正,即:

$$T_u = \pi DL\psi q_s$$

或

$$T_u = \pi DL\psi\alpha c_u$$

式中: T_u ——锚杆极限承载力;

L ——锚杆固定段长;

D ——钻孔直径;

q_s ——灌浆体与地层间的粘结强度;

ψ ——与固定长度有关的有效因子;

α ——粘结系数;

c_u ——地层的平均不排水抗剪强度。

粘结系数 α 考虑了设置锚杆地层的变异以及钻孔和施工技术的变化,而有效因子 ψ 则是考虑了随着固定长度的增加地层强度有效利用率逐渐降低的一种系数。

英国 A.D Barley 通过在粘土中对 61 个单元锚杆的试验,其中有 21 个单元锚杆和 2 根普通锚杆发生了破坏,对该结果分析整理后,并综合考虑了粘结系数以及有效锚固长度随固定长度增加而降低的影响,最终得出了伦敦极坚硬的粘土中锚杆固定长度与综合有效因子(f_c)的关系曲线(见图 5)。

图 5 表明,当使用短的(2.5~3.5m)固定长度时有效因子为 0.95~1.0,几乎能完全调用粘土的抗剪强度。此后随着固定长度的增加,综合有效因子 f_c 急剧下降。当使用很长的(25m)的固定长度时,锚杆的有效因子 f_c 可降低到 0.25。

笔者认为,在锚杆设计中,必须建立固定长

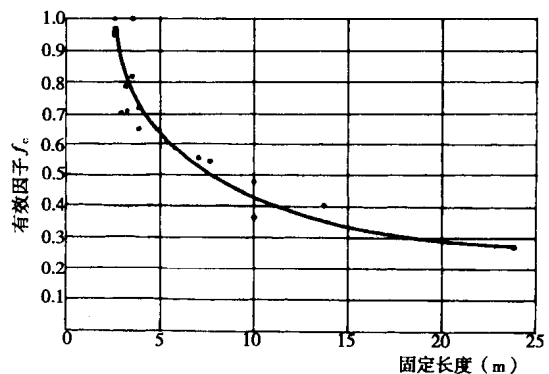


图 5 坚硬粘土中锚杆固定长度与综合有效因子(f_c)的关系曲线

度有效因子的概念。但对砂质土、软粘土、硬粘土、软岩、中硬岩、硬岩等不同地层,固定长度的有效因子 ψ 随长度变化的规律是不同的。今后应通过更多的试验获得不同地层中的有效因子,为修改锚杆设计提供定量的科学依据。

6 结语

(1)与传统的锚固法相比,在同一钻孔中安设多个单元锚杆的单孔复合锚固法能使粘结应力较均匀地分布在整個锚固长度上,因而能更有效地利用地层强度。

(2)设计单孔复合锚固法时,除应考虑地层强度的变异性外,应特别重视地层抗剪强度的有效利用率将随锚杆固定长度的缩短而提高。

(3)单孔复合锚固法的固定长度可达 30m,其承载力可随固定长度的增加而成比例地提高,为在土层及软弱破碎岩石力中大幅度提高单根锚杆的承载力提供了经济有效的方法。

(4)随着锚杆荷载的增大,锚杆固定段前端过高的粘结应力峰值会导致注浆体与地层或注浆体与杆体界面处粘结效应弱化或分离。因而以往的锚杆极限承载力计算公式将沿固定段全长的粘结应力按均匀分布处理是不合理的。在计算锚杆承载力时,应引入固定长度有效因子 ψ ,该值随锚杆固定长度的增加而急剧减小。

(5)若单孔复合型锚杆的预应力筋采用涂塑的无粘结钢绞线,则能形成多层防腐体系,既可用做高耐久性的永久锚杆,也可用做可拆除芯体(钢绞线)的临时锚杆。

参考文献

- 1.程良奎.深基坑锚杆支护的新进展.岩土锚固新技术.北京:人民交通出版社,1998.
- 2.程良奎.分散压缩型(可拆芯式)锚杆.高效预应力结构设计施工实例应用手册.北京:中国建筑工业出版社,1998.
- 3.Barley A. D. The single bore multiple anchor system. In: proc. Ground Anchorages and Anchored Structures. London: Thomas Telford, 1997.
4. Woods R 1, Bakhordari K. The influence of bond stress distribution on ground anchor design. In: proc. Ground Anchorages and Anchored Structures. London: Thomas Telford, 1997.

围岩大变形巷道的可缩式长锚索支护

孙 钧

(同济大学 上海 200092)

摘 要 本文在论述煤矿大变形软岩和膨胀岩复杂岩性条件的基础上,对此类洞室以往沿用的几种锚固支护方式的局限性和存在的问题作了分析。文中提出了一种可以适用于这类围岩洞室的可缩式长锚索加固方案,介绍了它的设计构思和工作原理,包括推荐采用的矿山废旧钢丝绳制作的可塑性锚具和供备选的屈服螺杆型锚具,并对有关的若干工程疑义问题进行了说明。

关键词 巷道围岩 大变形 可缩式 锚索 支护 锚具

1 问题的提出

煤炭矿山遇 IV、V 类的松软围岩以及在膨胀岩内挖掘巷道时,经常发生周边岩土向洞内大量挤入 (squeezing) 现象,力学性状上称之为“大变形”。对这类巷洞的支护和锚固如仍沿用一般的锚喷支护或施作复合式刚性衬砌,均多因抗力不足而失败;若换用可缩式 U 型钢拱架支撑,不仅要耗费大量型钢,且由于刚度不足被压弯,或因压曲而失稳,亦极为常见。如在河北某煤巷,甚至发生过因围岩大变形而将掘进机械卡塞在洞内的严重情况。因此,对此应谋求何种新的锚固支护手段是当前我国许多大变形煤巷极其困难而又亟待解决的问题。

上类巷洞所处岩体的属性,往往可以归结为:高地应力,构造地应力有时亦极为强烈;极软岩,岩体松散、破碎,节理、裂隙等结构面极度发育;膨胀岩。在现场往往可以观察到:

- (1) 围岩塑性、流变明显,膨胀挤压变形量很大;
- (2) 矿压大而来压快,洞周围岩变形增长速度快,流变持续时间长;
- (3) 围岩沿洞周的径向内空收敛变位量大,巷洞底鼓和两帮侧向挤入严重,断面幅员随时间锐减,预留超挖量经常不够,继续掘进和支护作业均异常困难。

根据近年来我室同志曾进行过的实地调查与量测的不完全统计,以及所得的软岩巷洞和膨胀性围岩的一些具体数字,以毛跨 $l \geq 5 \sim 7\text{m}$ (基建大巷、井底车场、马头门等) 的煤巷和矿山为例,在无支护约束情况下,洞周围岩向洞内的变形往往达到:

| | |
|-----------|---|
| 拱顶下沉和底鼓 | $\delta > 100 (150)\text{mm}$, 有的更达到 500mm 以上; |
| 两帮侧壁的相向挤入 | $\Delta\delta > 200 (300)\text{mm}$, 有的更达到 800mm 以上; |
| 收敛变形速率 | $\delta > 3 \sim 8\text{mm/d}$ 或更快,且收敛慢,流变将持续 0.5 ~ 1.5 年或更长时间。 |

可以指出,从由埋在围岩内的多点位移计的量测结果表明,这类岩体地层的深部 (距

洞周向内约 10~12 m) 变形及其变形速度往往接近洞周岩面的变形及其变形速度。因而, 一般锚杆由于杆长 ($l \approx 2.5 \sim 4\text{m}$) 不足, 其适应围岩变形的能力很小, 而经常导致失败。

2 对大变形洞室锚固方式, 国内外的若干实践与认识

众所周知, 对毛洞围岩施作合适的锚杆支护, 可以很大程度地约束围岩自由变形的发展, 使岩面向洞内的位移与位移速度均大幅度减小, 其成效极为显著。

对洞室围岩进行锚固的基本要求主要是:

(1) 尽量保持并利用施锚区岩体固有的强度。

(2) 通过锚固, 有效地约束毛洞围岩的自由变形, 由于塑性变形受抑制, 从而改善了岩性 (主要是提高了岩体的抗剪强度 c 和 φ 的值)。如若施加预应力, 岩体强度更可有进一步的提高。

(3) 施锚区可形成围岩承载圈 (支承环), 上覆岩层的巨大压力将传由粗厚的围岩承载圈来承受。此时须沿洞壁加强环向网筋, 以起到“网兜”的作用, 可进一步发挥围岩承载圈的抗力。

(4) 用废旧钢丝绳制作的长锚索 ($l \approx 10 \sim 12\text{m}$) 将洞周围岩松动区的坍塌荷载上传并锚固到弹性原岩的深部, 起悬吊作用。

(5) 先期释放围岩一定数值的自由变形之后, 施加锚固力, 使之“边支边让”。这里, “支”是指借助一定的锚固力来控制 and 约束毛洞自由变形的发展; “让”是指由于锚固而约束变形的能力应限制在一定尺度以内, 一般都应小于围岩变形的释放力, 起“卸压”作用。众所周知, 对于十分巨大的围岩变形释放力, 欲试图完全支撑抵住它, 既不可能、也不合理; 但若无约束地自由放压, 则又必导致围岩坍塌。此处“边支边让”的构思, 也就是当今国内外普遍采用柔性支护的基本观念。

为达到上述要求, 国内外过去曾试用过以下几种锚固支护方式:

(1) 逐次施作复喷或复锚型的复合式锚喷支护, 在前次锚喷未失效之前再施作第二次锚喷, 以此类推, 最多可反复施作 3 次左右, 但收效并不理想。

(2) 可拉伸锚杆已有数十种, 但按其特点分, 不外有两类: 一类是材质可拉伸锚杆 (增阻式); 一类是结构可拉伸锚杆 (恒阻式或增阻式)。前者主要靠改善锚杆的材质, 使之在受到一定的外载之后, 利用部分塑性变形, 达到伸长量的需要, 其缺点是如果塑性变形量过大, 则有可能导致安全度降低, 因此应尽可能约束塑性变形量; 后者则是设计一种杆体结构, 使其在受力过程中提供一定的工作阻力, 并同时提供必须的伸长量, 以适应大变形的发展。后种锚杆目前种类很多, 有机械结构滑动式、杆体破浪式、孔口结构式、杆体套筒式、挤压式等类型。但不管型式如何, 结构可拉伸锚杆多以结构滑动提供伸长量, 以摩擦提供工作阻力为主, 其缺点是结构复杂、费用较高, 现场应用尚有一定困难。

(3) 在“七五”煤炭重大科技攻关项目中, 我室在淮南矿务局曾试用过一种带有可压缩和可转式钢管铰接头的高强钢筋混凝土 (600 号) 预制大弧板, 作为二次内衬的新型复合支护。在锚喷初次支护与弧板之间设置一种具有能吸收很大塑性变形能力的衬垫 (back - packing) 材料, 它需要有机手配合吊装, 效果比较好, 成本和月进尺也都比较理想, 已于 1991 年组织了技术鉴定^[1]。

(4) 国外还采用过一种延性很好的奥氏体软钢材料为锚杆, 它具有很大的变形能力, 并有

很高的屈服强度,可以制成长锚杆或钢丝束使用。这种奥氏体钢的极限拉伸应力和极限拉伸长度分别为:

$$\sigma_{np} = 600 \sim 800(1\ 000)\text{MPa}$$

$$\Delta l_{np} = \frac{\sigma_{np} l}{E} = 60 \sim 80(100)\text{mm};$$

如以 $\Delta l_{np} = 100\text{mm}$ 计,其延伸变形率 10%,要求大于毛洞围岩的最大变位值。这种高强软钢材料的延性好,不致脆性拉断,见图 1 中 B 所示。

3 新型长锚索锚固方式的设计构思及其构造原理^[2]

这是一种经估算有一定自由变形位移预留量、采用两点锚固,由矿山废旧钢丝绳为基料组成可弯折性好的长锚索。它的设计构思要点是:

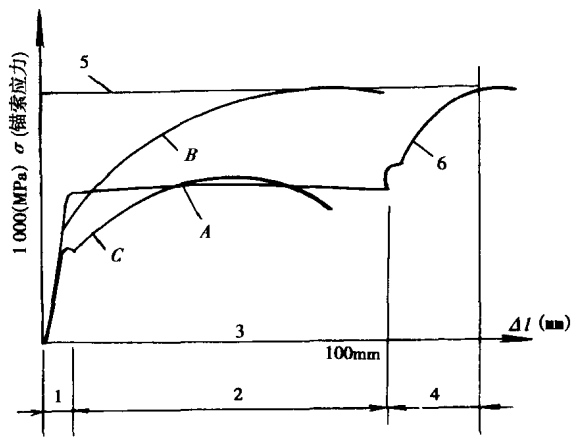


图 1 几种不同钢材的应力-位移比较曲线

1-弹性伸长;2-自由变形长度;3-锚索端位移;4-塑性伸长;
5-锚索极限抗力;6-强化的拉伸抗力
A-钢锚索;B-奥氏体软钢;C-普通软钢

(1)可以适应极软岩和膨胀围岩洞体更大的内空收敛,其 Δl_{np} 值可达 50 ~ 80mm 以上。

(2)洞室开挖后的围岩释放荷载通过长锚索 ($l \cong 10 \sim 12\text{ m}$, @ 1.8 ~ 2.2m) 上传到变形稳定的原岩弹性区承受。

(3)在锚索约束围岩自由变形的条件下,洞壁变形量受抑制而减小,围岩应力和变形释放的速度亦减缓,可以有效地控制应力和变形释放,从而在相当程度上避免重大塌方、岩爆和冲击地压等地动力现象。

(4)锚索下端由垫板加摩擦套筒构成锚头(外露锚具),它可以提供适度的摩擦滑动(其值可预估确定),使与毛洞岩面经变形约束后的位移相协调,岩面周围不致因挤压而破坏。

(5)为防落石而须使岩面屏蔽,可借用钢丝绳绑扎在锚头上,以加强网筋的网兜作用,并进一步促使锚区承载拱圈的形成。在大变形条件下,岩面喷射混凝土一般早已裂损,不能起很大作用。

(6)柔性锚索能适应剧烈弯曲(约 90°),并具有较大的自由伸长量(可预估计算得出,例如达 50 ~ 80mm),因而允许在遇有岩体大节理或断裂处使用,以能够适应并承受很大的、岩体沿弱面的剪切变形位移作用,见下图 2 所示。

(7)当预留的自由变形长度耗尽以后,锚头处套筒下端的螺帽(也可以不要)自动锁紧,再进而产生一定强化的拉伸抗力和塑性伸长量,以适应围岩后续的、可能再有的少量收敛,其锚索抗力-位移特征曲线如图 1 中 A 所示。

(8)通过试验验证,这种锚索具有承受较大的抗剪及抗弯折变形的特性和能力。国外已有可分别进行弯折 90°、70°、50°和 30°的各种试验装置,见图 3 所示。

(9)国外还采用过一种 DYWIDAG 屈服型大变形锚索,将其下端锚头设计成一种螺纹式的可塑性锚具来代替上述的摩擦套筒,制作时由热辊轧压成型,在某一滑动荷载下屈服后,能维持这一屈服抗力为一不变的常值锚固力,再用机械扳手锁紧。

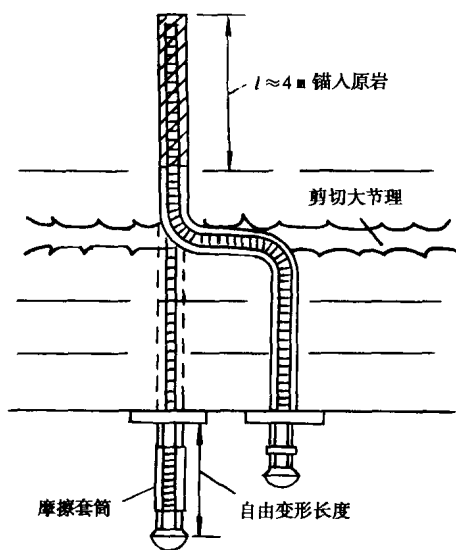


图2 洞室围岩沿弱面剪切引起的锚索弯曲变形

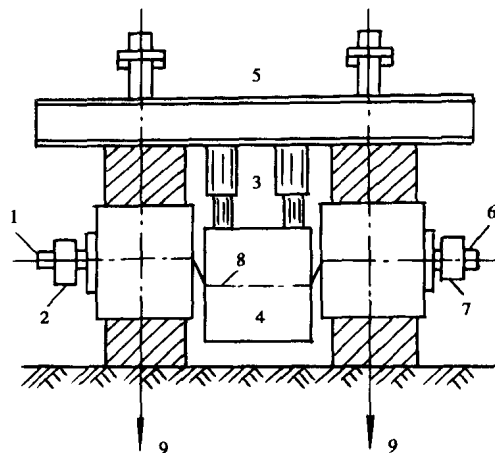


图3 锚索抗弯折变形达90°的剪切试验装置
1、6-可屈服(可塑性变形的)锚固头;2、7-压力表;3-剪切施力千斤顶;4-混凝土块以模拟岩石;5-试验框架大梁;8-试验用锚索;9-与地基相锚结

4 设计方案说明和一些细节问题

为谋求解决有关大变形软岩和膨胀岩洞室按上述要求的锚固支护问题,我室在已有研究的基础上,现提出以下两种设计方案,供有关部门参考实施,进行现场工业性试验。在此前尚应完成室内锚固试验以及锚具材料制备、调试与量测工作。

4.1 推荐方案——用矿山废旧钢丝绳制作的可塑性锚具

(1) 锚具构造

①锚体材料为矿山提升用的废旧钢丝绳,外径约 $\phi 30\text{mm}$,破断力约 $400 \sim 500\text{kN}$ 。以冶金部门为例,一种进口钢丝绳,每年就有 $10\,000\text{m}$ 以上的旧材源(按冶矿安全规定,提升钢绳须每两年一换),又如梅山铁矿和金山店铁矿的旧钢丝绳购出价约 $2\,500$ 元/t,相信煤矿方面也有类似的旧钢绳可用,因而可大大节约基材费用。用它制成的长锚索支护,结构的构造示意图如图4所示。

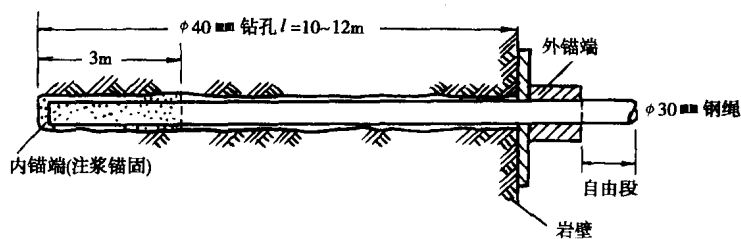


图4 长锚索支护结构构造示意图

② $\phi 40\text{mm}$ 锚孔用钻机施打,孔长约 $10 \sim 12\text{m}$,内锚端采用水泥砂浆粘结,锚固长度按握裹力计算确定长 3m 左右。往钻孔底部的内锚端进行注浆的办法是先用塑料管到底,注浆材料与压风在管中混合输送。

③外锚端为两片对开的内锚片(即两片呈半圆锥形的套筒);锚板,即外夹具(长约 $6 \sim 8\text{cm}$)则为圆柱形套筒,其内孔为锥形(锥形张角为 $2^\circ \sim 3^\circ$),与内锚片密贴箍合。用工具锚在外