

岩土工程中的锚固技术

中国岩土锚固工程协会 主编

地震出版社

第一次全国岩土锚固学术会议论文集

岩土工程中的锚固技术

中国岩土锚固工程协会主编

地 震 出 版 社

(京)新登字095号

内容提要

本书为第一次全国岩土锚固学术会议论文集,共收入论文60多篇。内容包括:岩土锚固技术的现状与发展,矿山、巷道、采场、交通隧道与地下工程的锚杆支护新技术及峒室稳定性,边坡加固与坝基稳定工程中预应力锚索的设计与施工,深基坑支挡、结构抗浮及旧有建筑物地基加固工程中土层锚杆的设计与应用,岩土锚固工程量测技术,岩土锚固新技术、新工艺、新材料、新成果及各类大型岩土锚固工程实例。可供水电、水利、建筑、铁道、冶金、煤炭、地矿等部门从事岩土工程设计施工的技术人员参考。

岩土工程中的锚固技术

中国岩土锚固工程协会主编

※

地震出版社出版

北京民族学院南路6号

北京渤海印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

※

787×1092 1/16 22.125印张 552千字

1992年4月第一版 1992年4月第一次印刷

印数 0001—2500

ISBN 7-5028-0467-6/TU·36

(855)定价:22元



前 言

岩土锚固是岩土工程领域中的一个重要分支。岩土锚固能合理调用岩土的自身强度和自稳能力,简化结构体系,减小结构体积,提高结构物的稳定性,并有少占地、安全施工、缩短工期、降低造价等优点。因而,它在国内外的发展尤为迅速,应用范围十分广阔。近年来锚固技术已用于我国土木建筑工程的许多领域,如隧道与地下工程支护、边坡加固、滑坡整治、坝基稳定、深基坑支挡、结构抗浮和抗倾覆等工程方面,已经取得了巨大的经济和社会效益,显示了勃勃生机。无疑,它对于发展我国交通、能源、采矿、地下空间及其它工业与民用建筑事业具有重大作用。

为了进一步推动我国岩土锚固工程的发展,中国岩土锚固工程协会于1990年12月1日至5日在广西柳州召开了第一次全国岩土锚固学术会议。参加会议的有来自全国水利水电、铁道、冶金、煤炭、有色金属、城市建设、地矿、军工和高校等部门的100多位代表,会议的主题是岩土工程的锚固技术。会议期间,广泛交流了岩土锚固的科学试验、设计施工、工程应用和现场监测等方面的新进展与新成就,并讨论了今后的发展方向。现将会议收到的70余篇论文经适当修改加工后汇编成论文集,以飨广大读者。

本论文集涉及岩土锚固的各个方面,主要有综合述评,锚固机理的研究与测试,岩土边坡加固,矿山井巷、隧洞与地下工程支护,深基坑支挡,坝基稳定和岩土锚固新机具、新工艺。这些论文理论联系实际,具有鲜明的实用价值,并展示了大量的工程实例和广阔的发展前景。

我深信,论文集的出版,必将进一步加强学术交流,极大地促进岩土锚固技术的发展,使岩土锚固的潜能更强烈地释放出来,在我国社会主义现代化建设事业中发挥更大的作用。

中国岩土锚固工程协会理事长 程良奎

1991年6月

编辑委员会

主任委员 程良奎

委 员	段振西	田裕甲	徐禎祥	苏自约
	何益寿	陶 义	韩学广	吴国森
	刘玉堂	阎莫明	冯申铎	李 虹

目 录

一、综述

我国岩土锚固技术的现状与发展	程良奎 (1)
锚杆支护在新汶矿区的应用	葛仁国 (6)
华东矿区锚喷支护应用浅析	申秀磊 (11)

二、岩土锚固机理的研究与现场测试

不同锚固方式效果研讨及工程模型试验研究	朱维申 刘泉声 (15)
爱建公寓四号楼基坑土锚应力研究	李象范 张 巽 王寿春 (20)
影响岩体预应力锚固效果的主要因素	戴林岐 (27)
原状岩体锚固抗剪效应试验研究	郭映龙 夏万仁 (32)
风化辉长岩锚杆试验研究	车忠祥 (38)
软弱岩体中地下洞室锚喷支护的现场监控量测	孙景玉 (41)
岩体拱中的预应力锚固	何益寿 (47)
长锚索在金属矿采场中的应用及其作用机理探讨	陈新万 (54)
全长粘结型短锚杆的研究与应用	徐祯祥 刘月芬 (60)
锚定式整体支挡结构的设计与施工	龙国英 (67)
硬岩地下洞室稳定性分析的原理与施工监控	杨林德 莫海鸿 朱合华 (73)

三、锚固新结构、新工艺、新机具

GYM - 6000kN级锚索在丰满大坝加固工程中的应用	田裕甲 (78)
预应力张拉千斤顶检定初探	朱 瑛 (85)
OVM锚固体系工程应用工艺要点	黄是勇 (88)
DVF - Z闸墩预应力锚索体系的研究	江文明 (91)
LC - 6000kN级轮辐式测力传感器的研制与应用	宋浩契 田裕甲 (95)
YJ型快硬水泥卷锚杆	冯申铎 周彦清 (100)
岩土锚固的新设备——土星系列钻机	石磊 刘跃进 蒋秋苹 (106)
土层锚固成孔设备	王宪章 朱宏 (112)

四、隧道与地下工程的锚固

在软岩隧道中使用的锚固技术	倪晓庚 严若澜 (119)
锚固技术在浅埋偏压隧道施工中的应用	陈振林 吴寅娟 (122)
软岩浅埋隧道地表砂浆锚杆预加固效果的研究	张振仪 (129)
亚丁环城公路隧道树脂砂浆锚杆的施工工艺及现场测试	梅志荣 (136)
地下岩石工程锚固技术——论变形量与支护的关系	段振西 (145)
快硬水泥卷锚杆采场护顶技术研究	洪石笙 朱绳武 (151)

预应力锚索在煤矿巷道加固工程中的应用	阎莫明 (157)
预应力锚杆及预应力可塑锚杆在冶金矿山地下工程中的应用	孙学毅 等 (163)
煤矿地下工程的岩体工程地质力学与锚固技术研究	毕思文 尤逢仕 (166)
锚喷临时支护过巷道塌方	霍雷声 (172)
塑料网喷射混凝土与锚杆支护在软岩巷道中的应用	姚嘉祥 等 (178)

五、边坡锚固与滑坡整治

漫湾水电站采用预应力锚索加固边坡的设计	华代清 (182)
漫湾水电站左岸边坡加固中预应力锚索的施工工艺	刘玉堂 (187)
GYM-2000型锚索在桦树川边坡加固工程中的应用	李勇 田裕甲 (195)
岩体边坡预应力锚杆加固技术	范景伦 胡建林 (200)
长江三峡链子崖危岩区成因及治理措施	王经五 (205)
边坡开挖中的预应力锚杆	郭彬 (210)
锚固在岩土边坡中的应用	郭可纲 等 (215)
边坡破坏的三维模型试验及加固方案的选择	王天金 (219)
锚固岩石边坡稳定性分析及锚固设计	高谦 (224)
锚杆技术加固黄土错落陡壁的应用与实践	李成 李毓林 (230)
1200 kN级预应力自由锚索在天生桥水电站滑坡治理中的应用	任黔云 (236)
凡口铅锌矿铲修厂滑坡治理	王福源 (240)
工业厂房挡墙加固技术	熊传治 等 (248)

六、坝体与闸墩的锚固

2.2MN级无粘结锚索在丰满大坝加固工程中的应用	王泰恒 刘纪昌 (255)
岩滩水电站闸墩预应力锚索施工措施	邓成佳 等 (259)
泾惠渠混凝土溢流坝预应力锚固工程	刘俊柏 (263)
水工锚固的试验工程	彭敏而 (266)

七、深基坑与基础工程的锚固

岩土预应力锚杆设计与应用中的若干问题	程良奎 (271)
深基坑桩锚护壁体系的设计施工及质量控制	韩学广 (277)
北京穆斯林大厦深基坑锚杆施工技术	郝铭莲 (281)
岩土锚固技术在深基坑支挡工程中的应用	李文雄 (285)
武警综合楼基坑帷幕桩及土层锚杆的设计与施工	周洪生 朱世杰 (291)
广州华侨大厦深基坑锚杆施工与监测	赵慧璋 程振亚 (296)
上海地区软地层土锚的发展和应用	李象范 肖昭然 (302)
锚杆用作输电杆塔抗拔基础的试验研究	周群 等 (309)
软土地基悬索桥土锚锚锭结构初探	曹正康 (315)
硬岩河床水下墩基底端支锚桩的施工	贺加乐 (320)
岩土锚固技术在神朔铁路路基设计中的应用	陈之遴 (324)

滑坡区高层建筑基础锚杆的设计.....	舒天碧	郑生庆 (329)
钻孔压浆桩及其在工程中的应用.....	陶 义	王德林 (334)
饱和淤泥质软土中的爆扩桩锚固技术.....	黄国信	刘 瑛 (339)

我国岩土锚固技术的现状与发展

程良奎

(冶金部建筑研究总院)

摘要 岩土锚固是岩土工程领域中的一个重要分支。本文从锚固材料、施工工艺、设计方法、理论研究和应用领域等方面,论述了我国地层锚固技术的新进展。

此外,为了适应广泛采用岩土锚固技术的需要和提高锚固工程的长期可靠性,作者还提出了若干有益的建议。

关键词 岩土锚固 锚杆 预应力

在岩土工程中采用锚固技术,能充分挖掘岩土能量,调用岩土的自身强度和自承能力,大大减轻结构自重,节约工程材料,取得显著的经济效果,并确保施工安全与工程稳定。因而世界各国都大力发展岩土锚固技术。据记载,美国于1911年首先用岩石锚杆支护矿山巷道,1918年西利西安矿山开采使用锚索支护,1934年阿尔及利亚的舍尔法坝加高工程使用预应力锚杆,1957年西德Bauer公司在深基坑中使用土层锚杆。目前,国外各类岩石锚杆已达600余种,每年使用的锚杆量达2.5亿根。日本土锚的用量已比三年前增加了5倍。西德、奥地利的地下开挖工程,已把锚杆作为施工中的重要手段,无论硬土层或软土层,几乎没有不使用锚杆的。我国岩石锚杆起始于50年代后期,当时有京西矿务局安滩煤矿、河北龙烟铁矿、湖南湘潭锰矿等单位使用楔缝式锚杆支护矿山巷道。进入60年代,我国开始在矿山巷道、铁路隧道及边坡整治工程中大量应用普通砂浆锚杆与喷射混凝土支护。1964年,梅山水库的坝基加固采用了预应力锚索。70年代,北京国际信托大厦等基坑工程采用土层锚杆维护。近几年来,我国岩土锚固工程的发展尤为迅速,几乎已触及土木建筑领域的各个角落,如矿山井巷、铁路隧洞和地下洞室支护。岩土边坡加固,坝基稳定,深基坑支挡,结构抗浮与抗倾,悬索建筑的地下受拉结构等等,无不与锚固技术结下了不解之缘。

可以预料,锚固技术将以独特的效应、简便的工艺、广泛的用途、经济的造价,在岩土工程领域中显示旺盛的生命力。

一、我国岩土锚固技术的主要成就

1. 应用领域与工程规模日益拓宽,取得了明显的社会效益

在矿山井巷和隧洞工程中,利用岩石锚杆加固围岩的力学效果和经济效益极为显著,锚杆的应用最为普遍,据煤炭、冶金矿山井巷工程中采用锚杆支护或锚杆与喷射混凝土联合支护的初步统计,至1986年末,累计使用量为16000km,年使用量已超过1000km。矿山井巷工程的实践证明,采用锚杆与喷射混凝土支护取代传统的混凝土支护,可以加快支护速度2—4倍,节省劳动力50%以上,节约全部模板木材和40%以上的混凝土,降低支护成本40%,从根本上改变了矿山井巷支护的落后面貌。特别是进入80年代后,把锚杆、喷射混凝土支护与现场监控量测、信息反馈技术巧妙地结合起来,采用及时支护,分期实施,柔刚适度,全环封闭等一整套充分发挥围岩自承能力的原则与方法,已建成一批复杂和困难地质条件下的隧

洞工程,如高地应力(水平应力达30MPa以上),大变形(巷道水平收敛量达25cm)地层中的金川镍矿巷道工程;处于软弱、遇水膨胀的三板岩中的张家洼铁矿巷道工程;开拓于半胶结的泥页岩中,并受到采矿动压影响的舒兰煤矿巷道工程;覆盖层厚度仅10余m的Q₄黄土质粘土中的军都山双隧洞工程,这些有代表性的地下锚固工程的建成,标志着我国软弱地层中地下工程的建造技术有了新的突破。

在大跨度地下洞室工程中,预应力锚杆的应用取得了可喜的进展。1969年,我国海军某大跨度地下工程首先采用大锚杆加固了高40m的岩墙,比原计划的钢筋混凝土边墙支护节约投资250万元,并缩短了工期,提高了工程质量。继后,跨度为40m的海军某地下机库、碧口电站隧洞、白山电站地下厂房边墙和小浪底坝址大跨度隧洞,均采用了预应力长锚索。

在坝基加固工程中,采用预应力锚索可不放空水库进行加固施工,而且不必增加坝体重量,对抗震稳定也有利,是最为经济有效的坝基稳定处理方法。早在1964年,我国水电系统就对使用中出现偏斜和裂缝的梅山水库右岸坝基采用长30—47m的预应力锚索加固。每根杆体由123根 $\phi 5$ 钢丝或165根 $\phi 5$ 钢丝组成。每孔最大张拉荷载达2400kN或3240kN。加固后坝基抗滑稳定系数由0.95提高到1.05,并减少了剪切变形,保证了大坝的正常工作。近年来,麻石、双牌、白山、南河、葛州坝、丰满等大坝的坝基、闸墩、导流壁也分别采用预应力锚索加固,大大提高了坝基和闸墩的稳定性。

在岩土边坡,包括铁路路堑、路堤、露天矿边坡、坝区、厂房边坡和城市建筑物边坡加固工程中,采用锚杆技术已十分普遍,根据不同的工程特点,形式多种多样。在西南地区铁路建设中,采用锚杆挡土墙处理工程边坡较多。在城市坝区或厂房岩石边坡整治工程中,用预应力锚索、砂浆锚杆和喷射混凝土相结合的方法也日趋增多。兴建中的云南漫湾水电站左岸边坡曾于1989年初发生10万m³的滑坡,采用1000—3000kN级预应力锚索1000多根与锚固洞、锚固桩相结合,使滑坡得到有效的控制,这是目前国内使用预应力锚索加固边坡规模最大的一个工程。

在深基坑支挡工程中,土层锚杆技术占有重要地位,它和地下连续墙或各种护壁桩相结合已成为土体开挖施工中控制侧向位移的有效手段。北京国际信托大厦、王府井宾馆、京城大厦、亮马河大厦、新桥饭店、隆福大厦、上海太平洋饭店、上海展览中心、沈阳中山大厦等基坑工程均采用了预应力锚索,并取得了良好的技术经济效益。

上海太平洋饭店总高度110.5m,地表以下深11.65m,所处地层为饱和淤泥质粘土,采用钢筋混凝土板桩与四排预应力锚索支挡结构,预应力锚索长30—35m,采用二次高压灌浆工艺,预应力值为500—600kN,有效地维护了基坑稳定。

北京王府井宾馆基坑最大开挖深度为16m,采用三排预应力锚索杆与钢筋混凝土地下连续墙联合结构,该结构在基坑开挖期作挡土挡水结构,以后则与内衬墙一起,以复合墙结构形式承受水土侧压力及建筑结构的垂直荷载,预应力锚索长14.3—27.5m,每根锚索的张拉荷载为408—1030kN。

北京京城大厦是目前最深的基坑支护工程。地面以下23.5m,采用488×300H型钢(长27m,间距1.1m)和3排预应力锚索作支挡结构,有效地维护了基坑的稳定。

在结构抗浮工程中,采用土锚结构能大量节约材料和工程投资。以上海龙华污水处理厂在饱和软粘土地层内建造二次沉淀池为例,该沉淀池直径40m,埋入土中4m,当池内放空时由垂直锚杆平衡地下水浮力,锚杆长22m,锚固体直径为18cm。该工程共用锚杆1028根,节

约工程投资20%左右。

2. 锚杆结构与工艺不断革新, 提高了锚杆在不同条件下的适应性

为了适应不同地质和不同工作条件下岩土锚固工程的需要, 近年来锚杆结构型式单一化的状况有了很大改变。

以树脂作为粘结剂的锚杆和快硬水泥卷锚杆都具有早期强度高, 能及时提供足够的支护抗力等优点, 在煤炭矿山及铁路隧道中的应用日见增多。

开缝式摩擦锚杆(缝管锚杆)是一条沿纵向开缝的高强钢管, 当其被强制推入比其外径小2—3mm的钻孔中, 能立即对围岩施加三向预应力。这种锚杆的延展性好, 随着时间的推移, 经受爆破震动或岩石移动后, 锚固力会大幅度增长。因而, 它特别适用于软弱围岩或受爆破震动的巷道工程。目前管缝锚杆已在全国100多个煤矿和金属矿中推广应用。

让压锚杆(又称屈服锚杆或伸缩式锚杆)比普通锚杆具有更大的变形能力, 在过大的围岩压力作用下, 能产生柔性卸压作用, 从而能更好地保证支护体系和工程的稳定。这种锚杆的出现给大变形和受动压作用的巷道工程提供了一种有效的支护形式。锚杆所具有的让压作用可通过锚杆的摩擦滑移、屈服元件或延伸率高达10—20%的钢材来实现, 这种让压锚杆已开始在一些大变形的煤矿巷道中使用。

近年来, 无论是岩层中还是土体中的预应力锚杆(索)技术都有很大发展, 用于水电站坝基稳定的预应力锚索最长达90m, 最大张拉荷载达6000kN。土层中的预应力锚索最长达40m, 最大张拉荷载大于1000kN。为了提高土层锚杆的承载能力, 已研究采用了端部扩大型锚杆和二次高压灌浆型锚杆。后者是借助特别的注浆管和密封袋, 以压力高达3—3.5MPa的注浆工艺, 使第一次注浆形成的强度约为5MPa左右的注浆体产生贯通裂缝, 浆液则沿裂缝深入土体中, 在锚杆上形成一串球状体, 不仅可以提高锚杆周围土体的抗剪强度, 还能增大土体与锚固体间的接触面积, 从而显著地提高了锚固强度。

3. 新型锚固施工机具不断出现, 充实了岩土锚固技术

用于地下工程的锚杆安装机具已有新的发展, 研制应用了多种型式的锚杆钻孔安装机。马鞍山矿山研究院等单位研制的砂浆锚杆钻装机, 可以连续地进行锚杆成孔、注浆、插杆作业, 具有施工速度快、效率高等优点。冶金部建筑研究总院研制的风动型自进式缝管锚杆安装机, 重14.5kg, 高45cm, 解决了低矮工作面缝管锚杆的安装问题, 该安装机已获得国家发明专利, 在1988年国际发明展览会上展出, 获得铜牌奖。

土层锚固工程中的关键设备——钻孔机, 国外多采用全液压全方位多功能钻机。该钻机施工效率高, 行走就位方便, 特别是可在带有保护套管条件下进行成孔作业, 适用于各种软硬土层。我国已从德国、意大利、日本等国引进了这类钻孔机, 最近, 国内冶金部建筑研究总院与柳州建筑机械总厂合作, 已初步研制成这类钻机, 正在工程中试用。北京机械施工公司与中国建筑地下工程公司等单位自制的干式螺旋钻机, 已较普遍地用于北京等地的土层锚杆干作业施工。

为了满足发展高承载能力的预应力锚索的需要, 东北水电勘测设计院科研所与柳州建筑机械总厂合作, 研制成6000kN的张拉设备和锚固装置, 已在丰满电站大坝工程中使用。柳州建筑机械总厂等单位大批量生产各种系列的张拉设备和锚具, 可以满足不同种类锚杆张拉和固定的需要, 为发展我国岩土锚固技术, 奠定了良好的基础。

4. 锚杆材料得到新发展, 改善了锚杆的工作性能

在岩石锚杆的粘结材料方面,由于硫铝酸盐水泥和各种高效早强剂的发展,使得早强水泥药卷锚杆的应用成为现实。这类锚杆能显著地提高早期限制围岩变形的能力,且成本低廉,因而具有广阔的销售市场。水利水电科学研究院与水电10局合作,研制成水泥基药卷式锚固剂1小时的抗压强度达9.7MPa,一个药卷在2小时的拉拔力达150kN,达到了日本80年代初同类产品的水平,已广泛用于各类岩石锚固工程。

在预应力锚杆杆体材料方面,发展高强、低松弛的预应力钢丝、钢绞线或钢筋,对于节约钢材、方便施工、减少锚杆预应力损失具有重要意义。现在,继天津预应力钢丝厂后,江西新余新华金属制品有限公司也开始生产预应力钢绞线,并引进了生产低松弛钢绞线的成套技术,近期可望从根本上扭转由国外进口钢绞线的被动局面。此外冶金部建筑研究总院和鞍钢、首钢、上钢等单位联合研制了精轧螺纹钢,其直径为26mm和32mm,屈服强度达750—870MPa,钢筋长度可自由选取,用套筒连接。由于这种钢材强度高、安装方便,深受用户的欢迎。

5. 理论研究工作取得一定成绩,锚固工程的设计与施工开始纳入规范化轨道

近十余年间,国内不少单位采用理论分析、模型试验、现场测试等方法,研究岩土工程锚杆的作用原理、加固效果以及相应的设计计算方法,特别在隧洞锚杆的支护性态及力学效果、土层锚杆的蠕变与松弛、影响预应力锚杆承载力和预应力变化的因素,岩土边坡锚固工程优化设计等方面,已提出了许多有价值的成果,为指导复杂地层中锚杆的设计与施工提供了理论依据。

在广泛总结国内外大量工程实践经验和科研成果的基础上,已于1986年颁发了我国国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范(GBJ86-85)》。该规范对于锚杆的分类及锚杆的设计施工等都作了明确的规定,是指导我国现阶段地下工程锚杆支护设计与施工的技术法规,规范中提出的地下工程锚杆支护设计以工程类比法为主,必要时辅以监控量测法和理论计算法,这是符合我国当前实际情况的。中国工程建设标准化委员会标准《土层锚杆设计与施工规范》将颁发,该规范对土层预应力锚杆的设计、原材料、施工、试验、监测、防腐及工程验收都作了明确的规定,对指导土层锚杆的设计与施工有重要作用。《水利水电工程预应力锚固设计施工规范》也正在编制中。所有这些都标志着我国岩土锚固技术已进入规范化的新阶段。

二、岩土锚固技术的发展方向

1. 积极发展先进的综合配套的锚固施工机具,并逐步实现国产化

无论地下工程或地面工程的岩土锚固,钻孔都是影响速度和造价的重要环节。要继续完善现有的隧洞锚杆钻孔,安装一条龙施工机具,以提高施工效率,同时要发展钻深孔(大于5m)的机具,以适应大跨度隧洞工程加固围岩的需要。

在地面工程锚固机具方面,要抓紧全液压、多功能、多方位的土层锚杆钻机和扩孔机的研制工作,使其尽快进入使用阶段。预应力锚索的调直、装配、钻孔、注浆、张拉机具要成龙配套,并向高效、轻型化方向发展。要特别重视发展适用于高空作业的高效钻孔设备,以满足岩石边坡锚固工程的需要。

2. 继续开发锚杆新品种、新工艺

对土层锚杆,要完善二次高压灌浆型锚杆,要研究开发可拆芯式锚杆、端头扩大型锚杆,以不断扩大土层锚索的使用范围。在岩石锚杆方面,要继续完善发展早强粘结型锚杆、摩擦

型锚杆和让压锚杆，以提高锚杆支护在软弱的有明显流变特征的岩石中的适应性，还要研究适用高承载力预应力锚索的结构型式，发展土钉技术，为土质基坑和边坡的稳定开辟新途径。

3. 加强施工质量控制和工程可靠性检测的研究工作

长期以来，我国矿山井巷地下工程中大量使用全长砂浆锚杆，但对最能反映其施工质量水平的灌浆密实度一直缺乏必要而有效的检测方法，这种状态要集中力量重点研究解决。此外，对于岩土预应力锚索长期稳定性，也缺乏严格的监测，其中一个重要原因是检测仪表落后。应当积极发展包括机械式、液压式、光弹式、电阻式、钢弦式等各种精度高、体积小、重量轻的测力传感器，并由专门厂家生产。

4. 把控制预应力锚索的应力损失和防腐新技术的研究放在重要位置

如何保证长期工作条件下土层锚杆的力学稳定性与化学稳定性，是工程使用者最为关注的一个问题，应当深入研究地层徐变、钢材松弛、温度及冲击荷载、变异荷载状态下的预应力锚索应力变化规律及保持允许应力值的方法。还要改进现有的锚杆（索）防腐技术，并根据不同服务年限，不同腐蚀程度，提出不同防腐标准，做到既稳妥可靠，又宽严适度，简便可行。

5. 健全锚固工程的标准规范工作，提高锚固工程的设计施工水平

鉴于锚杆新品种不断增多，锚固新工艺、新技术不断出现，建议尽快修订《锚杆喷射混凝土支护技术规范（GBJ86-85）》。中国工程建设标准化委员会标准《土层锚杆设计与施工规范》颁发后，要抓紧宣传普及工作。此外《水利水电工程预应力锚固设计施工规程》的编制工作也希望能在近期完成，以努力提高锚固工程的设计施工水平。

6. 紧密结合工程实际，努力开展理论研究

当前，要围绕工程建设提出的一些重大问题，加强以下理论研究工作：

- （1）根据半理论半经验的设计原则，研究提出地下工程系统锚杆支护的实用计算方法；
- （2）在大变形巷道中，摩擦式锚杆、让压锚杆与围岩的相互作用；
- （3）锚杆承载力的时空效应；
- （4）预应力锚杆引起的岩土应力重分布；
- （5）拉力型、压力型和剪力型锚固体内应力传递规律；
- （6）地层开挖、地震、冲击荷载、冰冻、波浪、高温等条件下锚杆的性能；
- （7）锚杆与其它支挡结构（桩、喷射混凝土等）的共同工作。

锚杆支护在新汶矿区的应用

葛仁国

(新汶矿务局基建处)

摘要 本文总结了锚杆支护在新汶矿区应用情况及取得的效果。

通过现场实测的大量数据,对试用的五种新型锚杆在安装速度、锚固性能、用料加工及成本方面进行了分析比较,优选出快硬膨胀水泥锚杆在全局大面积推广应用,并在变形较大的软岩巷道中大力推广应用了锚固性能好的缝管式、水胀式管锚杆。

关键词 锚杆 支护 锚喷 围岩 井巷

锚杆是目前地下井巷支护的重要手段。在井巷施工中,采用锚杆或锚喷联合支护,与采用架棚、衬砌支护相比,具有安全好、进度快、材料消耗小、成本低等优点。为此近几年来锚杆支护在新汶矿区的井巷施工中得到了广泛应用。

一、基本情况

新汶矿区于1965年开始在禹村矿采区动压巷道中采用北京木材厂生产的压缩木锚杆支护煤巷,取得了十分显著的效果。该矿采区动压巷道原一直采用木棚支护,由于地压大,造成多次压坏、维修。由于修复跟不上去,不仅威胁着安全,还严重影响着生产,当时禹村矿坑木万吨耗量高达300m³。采用压缩木锚杆支护,巷道虽有少量整体变形,但保持了使用断面,不用维修,生产安全。

从1976年开始,由于锚喷在全矿区大量推广应用,在各矿岩巷中普遍应用了金属倒楔锚杆。该锚杆在各矿推广速度快、应用时间较长是因为它具有安装方便、加工容易、材料省、成本低等优点。但可靠性差是它的致命缺点,这是由于它是端头锚固,因此,安装质量难以保证,且易产生应力集中而松动,造成整个锚杆失效。为此,1982—1985年期间,专门试用了新型锚杆,即快硬膨胀水泥锚杆、缝管式与水力膨胀式管锚杆。新型锚杆的应用有力地促进了我局锚喷支护的发展,锚杆支护量得到了稳步增加。从1986—1989年4年内锚杆支护巷道长度达41万m,占掘进总进尺的44.3%。

二、新型锚杆的试用

1982—1985年,全局共试用了五种新型的锚杆,计101267根,支护巷道11039 m。其中:
管缝式锚杆试用1329根,支护巷道155m;
水力膨胀管式锚杆试用5368根,支护巷道556m;
树脂锚杆试用3220根,支护巷道284m;
快凝水泥锚杆试用4750根,支护巷道310m;
快硬膨胀水泥锚杆,试用86600根,支护巷道9734m。

1. 试用情况

(1) 管缝式锚杆。1982—1985年,我局试制了三批管缝式锚杆,先后在良庄、孙庄、

协庄等矿多次试用，做了两次改进，取得了较好的效果。

1982年初，我局总厂制作了100多根管缝式锚杆，其规格为：锚管壁厚为2mm、外径为44mm、开缝宽度为13mm、长1.5m。于1982年7月在良庄矿-350主斜井过10号大断层的松软围岩中，采用了管缝式锚杆加网喷混凝土支护，共安82根，抽查初锚力平均值为30kN，7天后锚固力的平均值增为44kN，平均每根增长值为14kN。到目前为止，巷道支护完好。

管缝式锚杆由于管壁较薄，初锚力较小，故将管壁厚由2mm加厚为2.5mm；外径由44mm加粗为44.8mm；长度仍为1.5m。于1984年3月在孙村矿31114顺槽掘进工作面中使用，共打556根，支护巷道38m，抽查初锚力平均值为48kN。这次试用虽有初锚力较大且稳定等优点，但安装较为困难，并存在端锚力小的缺点，为此进行了第二次改进，将管外径由44.8mm、缩细为43.8mm、壁厚仍为2.5mm、长度仍为1.5m，并在锚管里端加倒楔进行了端头锚固，称为楔缝管式锚杆。于1985年2月在协庄矿九采六层轨道上山试用500根，支护巷道70m，抽测初锚力平均值为93.5kN。

目前，从该巷道的使用情况来看，支护基本完好。而该巷道在70m之前，是采用倒楔锚杆支护段，由于围岩松动脱落，倒楔锚杆托板脱离了围岩，失去了支护作用，不得不架棚修复。前后对比，效果十分明显。

(2) 水力膨胀管式锚杆。我局科研所和总厂合作研制的水力膨胀管式锚杆是采用外径45mm、厚2mm的无缝钢管利用成形压制成外径31mm的异形管。安装时，利用充液压力将异形管鼓开压紧围岩，同时异形管膨胀时产生微量收缩(长1.5m收缩量为3mm)将托板压紧，产生预应力，起支护作用。所以它的初锚力随充液压力加大而增加。为了测得充液压力与初锚力的关系，于1982年8月至1983年8月在协庄矿-300西大巷进行了三次试验，试验采用不同的充液压力测出了相应的初锚力。当充液压力为9.8MPa时，初锚力约为40kN；当充液压力为17.64MPa时，初锚力100kN以上。

先后四次在掘进工作面试用，都取得较好效果。

第一次于1983年11月在孙村矿31114顺槽，共打583根，支护巷道43m。该巷为高地压中厚煤层采区顺槽单孔布巷，采后留巷，掘后三年内经受了上、下采煤面两次采动影响。巷道支护完好，围岩完整，断面符合使用要求。

第二次于1984年9月用于修复协庄矿-300西大巷断层带。该断层带原采用倒楔锚杆加网喷混凝土支护，因围岩变形喷层大面积片落，后采用水力膨胀管式锚杆修复，巷道稳定下来，至今使用良好。

第三次于1984年底用在协庄矿四层轨道上山，共打2000根，支护巷道288m，与采用倒楔锚杆的四层运输机上山(层位、断面相同)相比，运输机上山大部分围岩脱皮片落，倒楔锚杆托板脱离岩层而松动，支护失效，局部片冒修复多次；而采用水力膨胀锚杆支护的轨道上山基本完好。

第四次于1985年6月用在翟镇主井装载硐室，断面大(高15m、宽8m、长6m)，围岩为极其松软的泥岩，施工十分困难。由于采取自上而下分次掘进，采用水力膨胀管式锚杆喷浆支护，特别第一次先掘拱部，水胀管式锚杆有效地维护了顶板，施工安全，未发生人身事故，工期提前两个多月。

(3) 树脂锚杆。树脂锚杆的树脂包是淮南局生产的，杆体($\phi 16$ 的钢筋、长1.5m)为我局自制的。于1983年11月用在孙村矿31114顺槽，共打814根，支护巷道56m。抽测初锚力

平均值为44kN,后又在31115顺槽打2406根,支护巷道228m,两次试用效果较好。

(4)快凝水泥锚杆。快凝水泥锚杆的水泥包采用贵阳生产的双快水泥和石家庄生产的快凝水泥配制而成,杆体采用 $\phi 16$ 钢筋,长1.5m,均由我局自制。于1984年9月至1985年2月用在孙村矿-600六层东大巷,共打4750根,支护巷道310m,抽测13根,锚固力平均值为56kN,其中安装后20分钟平均值为32kN,安装后一小时平均值为61kN。

(5)快硬膨胀水泥锚杆。试用两个阶段:第一阶段从1984年底开始,采用中国矿院生产的MR-14型水泥卷($\phi 35 \times 230$ mm、重320g),杆体($\phi 14$ 的钢筋、长1.5m)是我局自制的。于1984年11月至1985年5月在孙村矿-600前组东大巷试用,共打5663根,支护巷道456m,抽查9根,锚固力平均值为5.2kN,其中最小的是锚后5分钟为2.0kN;最大的是锚后一小时为68kN。从抽查结果看,锚后20分钟均达40kN以上。

第二阶段从1985年8月开始,我局自制水泥卷($\phi 36 \times 230$ mm、重350kg),外径和密度适当加大,效果较好。先后在孙村、张庄、华丰、翟镇、潘西、南冶等矿全面推广使用,抽测其锚力均达40kN以上。其中孙村矿平均为76kN,张庄矿平均为56kN,华丰矿平均为63kN。其中在翟镇西风井的使用效果尤为明显,该井筒为 25° 斜井,围岩为第三纪和侏罗纪红色砂岩,层节理发育,岩石松软,原采用倒楔锚杆喷浆做临时支护,掘后不足10m就得衬砌支护,且局部衬砌出现裂纹;后采用快硬膨胀水泥锚杆喷浆做临时支护,掘后约30m再做永久支护,衬砌未出现裂纹。

在以后大面积推广应用过程中,快硬膨胀水泥卷的配料比做了两次改进:第一次把石英砂改为石灰石碎石,并增加其含量;第二次是适当减少外加剂。两次改进,不仅提高了锚固力,而且降低了水泥的成本。

2.可比性试验及分析

在孙村矿31114顺槽试验锚网支护的同时,还进行了新型锚杆试验。在同一条巷道内、同一施工队伍,采用倒楔、树脂、水胀式和管缝式四种锚杆各施工了37m,56m,43m和38m,(表1)进行了可比性试验。

从施工进度看,倒楔锚杆安装一根需75秒钟,日进3.7m;树脂锚杆安装一根需65秒钟,日进4.3m,比倒楔锚杆多进0.6m,提高16.2%;水胀式锚杆安装一根70秒钟,日进4m,比倒楔的多进0.3m,提高8.1%;管缝式锚杆安装一根需70秒钟,日进3.8m,比倒楔的多进0.1m,提高2.7%。

从抽测锚力来看,倒楔锚杆平均为37kN;树脂锚杆平均为44kN,比倒楔的大7kN;水胀式锚杆平均为116.4kN,比倒楔大79.4kN;管缝式锚杆平均为48kN,比倒楔的大11kN。

从测试的顶底板移近量来看,倒楔锚杆段最大为79.5mm,平均为51.3mm;树脂锚杆段最大为37.5mm,平均为19.5mm;水胀式锚杆最大为53.5mm,平均为35.1mm;木棚支护段最大为124.5mm,平均为97.8mm。

从限制围岩变形来分析,树脂锚杆效果最好,水胀式锚杆比倒楔锚杆好,各种锚杆支护都比木棚支护好。

3.五种新型锚杆的比较分析

(1)安装方面。从安装速度分析,五种新型锚杆安装简单,施工速度快。但水胀式锚杆安装需一套液压设施;管缝式锚杆需用风钻打入;树脂和快凝水泥锚杆均需电煤钻或风动搅拌器进行搅拌,都受到风、电、机械事故的影响。只有快硬膨胀水泥锚杆与倒楔锚杆一样

表1

31114顺槽四种锚杆支护的技术参数

锚杆种类	支护长度 (m)	排距 (m)	锚杆排数 (排)	锚杆总数 (根)	锚杆密度 (根/m)	锚杆直径 (mm)	锚杆长度 (m)	锚固方式
倒楔锚杆	37	0.66	56	616	16.6	14	1.5	点摩擦锚固
树脂锚杆	56	0.76	74	814	14.5	14	1.5	集中粘结锚固
水胀式锚杆	43	0.81	53	583	13.6	48	1.5	全长摩擦锚固
管缝式锚杆	38	0.76	50	556	14.3	44.8	1.5	全长摩擦锚固

采用手工安装,不受风电机机械事故影响。

(2) 锚固原理与性能。从锚固原理分析,两种管式锚杆基本相同:都是将外径较粗($\phi 45\text{mm}$)的锚管压入较细($\phi 42\text{mm}$)的钻孔,使管外壁与钻孔壁之间产生一定接触压力,当围岩变形松动迫使锚管向外抽出时,这种接触压力使锚管与锚孔之间产生了摩擦力,此摩擦力就是管式锚杆的锚固力。为此,两种管式锚杆均属全长摩擦锚固,它的锚固性能比端头点摩擦锚固的倒楔锚杆好:一是安全可靠。因为一旦锚管打入锚孔或插入锚孔膨胀起来,围岩立即会受到锚管的支撑压力,使锚孔之间的围岩形成一个压缩预应力区,巷道整个围岩形成挤压加固带(这种作用在软岩中更为明显)。另外这种作用是产生于锚管全长的任一点上,因而不会象倒楔锚杆因一点应力集中而松动,导致整个锚杆失效。二是对围岩变形适应能力较强。当围岩变形所产生拉力大于锚力时,锚管可相应瞬时微量滑动,来减缓围岩变形时对锚管的拉力,以免将其拉断。此时,锚管虽有所抽动,而其锚力将随围岩变形挤压力的增加而增大。所以两种管式锚杆是适应变形较大软岩中的理想支护材料。

树脂与两种水泥锚杆的锚固原理基本相同:都是将树脂包或水泥包送到眼底,经搅拌冲压,使杆体与围岩紧密地粘结在一起,最后拧紧螺帽,托板压紧围岩,施加预应力起锚固作用。它这三种锚杆均属端部集中粘结锚固,其性能比端头点摩擦锚固的倒楔锚杆好,由于杆体与围岩的粘结随着树脂或水泥的凝固而增大,不会象倒楔锚杆一点松动而导致整个锚杆失效。

两种水泥锚杆虽都属粘结锚固,但所产生锚力的粘结部位并不相同:快硬水泥锚杆取决于杆体与水泥卷的粘结力,杆体往外拉所产生的拉力为其锚固力;而快硬膨胀水泥锚杆取决于水泥卷与孔壁的粘结力,焊在杆体前端的垫圈压着整个水泥卷往外拉所产生的拉力为其锚固力。此外快硬膨胀水泥卷具有微膨胀,所以它的初锚力比快凝水泥锚杆大且稳定。

从试用实测的锚力来看,五种新型锚杆均比倒楔锚杆大且稳定,特别是水膨胀式和管缝式两种锚杆平均锚力为倒楔锚杆的两、三倍(见表2)。

(3) 用料加工及成本。从用料加工来分析,倒楔与树脂两种水泥锚杆基本相同,都是用 $\phi 14-16\text{mm}$ 的圆钢加工的,所不同的是树脂包或水泥包代替了倒楔。从杆体加工来看,快硬膨胀水泥锚杆最简单,只需在锚头上焊上一个垫圈即可;水胀式锚杆采用无缝钢管利用成形机压制而成,材料短缺,加工复杂,成本高;管缝式锚杆采用厚 2.5mm 的钢板卷制而成,加工工艺要求和成本都较高。从用料加工及成本来分析,两种水泥锚杆原料充足、加工简单