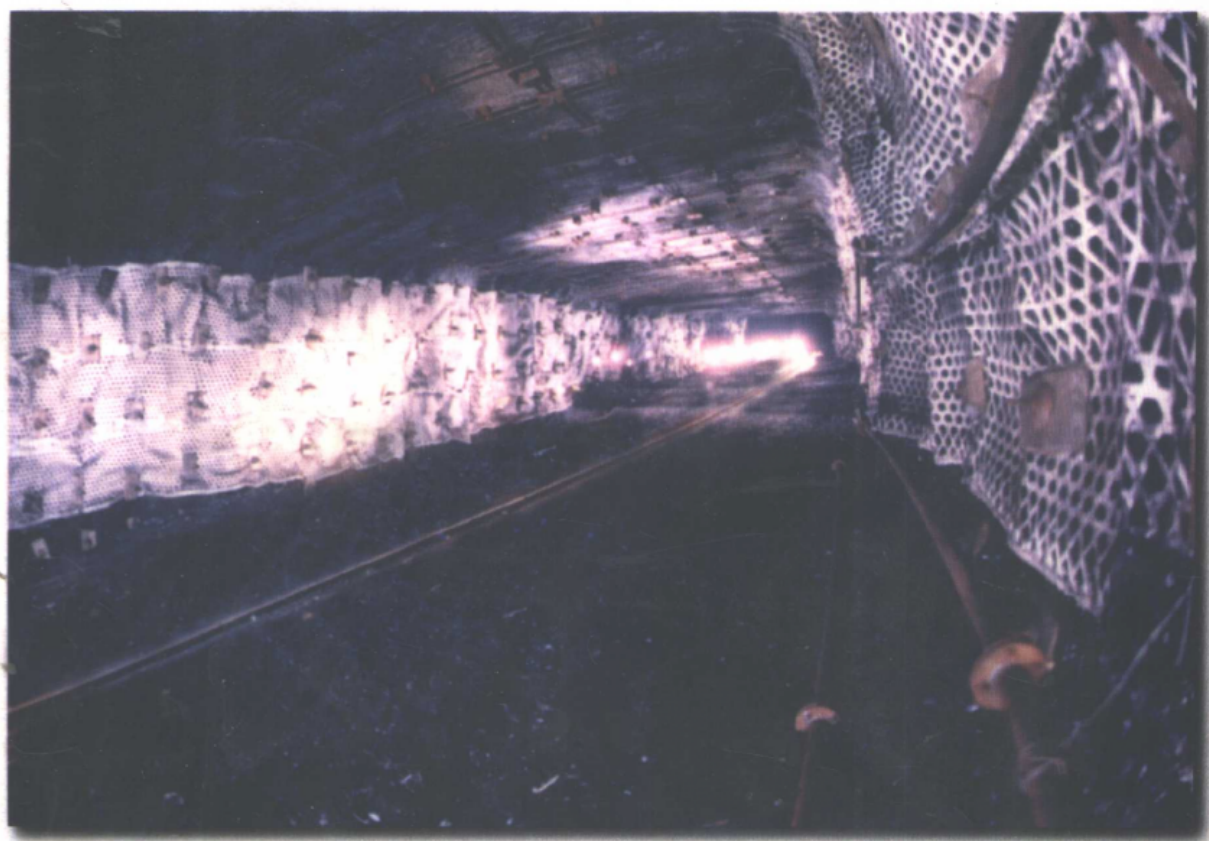


国家“九五”重点图书

煤巷锚杆支护

侯朝炯 郭励生 勾攀峰 等著

国家自然科学基金重点项目 (59734090) 资助

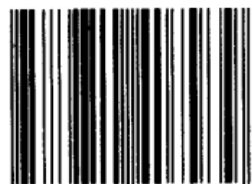


中国矿业大学出版社

责任编辑 朱明华 姜志方

封面设计 肖新生

ISBN 7-81040-793-7



9 787810 407939 >

ISBN 7-81040-793-7 / TD-84

定价: 35.60 元

T0050
R-2210

国家“九五”重点图书

煤巷锚杆支护

侯朝炯 郭励生 勾攀峰 等著

国家自然科学基金重点项目 (59734090)资助

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是系统论述煤巷锚杆支护理论和实用技术的专著。主要内容有：巷道锚杆支护围岩强度强化理论、设计方法、快速施工、加强支护、监测技术、信息反馈及处理等。同时，还专门介绍了锚杆类型、支护结构和巷道围岩稳定性分类。当前，困难、复杂条件下的煤巷锚杆支护是技术上的难点，书中作了较深入的阐述和探讨，对澳大利亚在我国进行的煤巷锚杆支护技术演示也作了介绍，便于读者探讨和借鉴。

本书可供从事采矿、岩土工程的科研、生产、教学、设计单位工程技术人员、研究人员和师生参考，也可作为大专院校本科、研究生有关专业的参考教材。

煤巷锚杆支护

侯朝炯 郭励生 勾攀峰 等著

出版人 解京选

责任编辑 朱明华 姜志方

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 18 字数 443 千字

1999年2月第1版 1999年2月第1次印刷

印数 1~3000 册

ISBN 7 - 81040 - 793 - 7

TD·84

定价：35.60 元

序

通常使用的锚杆支护属于“主动”支护,在锚杆安装以后即对围岩提供支护阻力,而且随着围岩的变形,支护阻力不断增加,因而能够及时地、有效地提高巷道围岩强度、防止围岩早期离层和控制围岩变形。锚杆支护施工简单,巷道维护成本较低,能显著改善劳动条件和作业环境,保证矿井安全生产。锚杆支护现已成为世界各国煤矿井下巷道支护的一种主要形式。

我国煤矿采深较大,采动引起的巷道压力显现强烈,相当一部分巷道围岩松软、变形剧烈,加之煤巷锚杆支护理论、设计方法、施工监测手段还不够完善,煤巷和半煤岩巷道的比重虽达 80%,但锚杆支护的发展却十分缓慢。

“九五”前的 1995 年,国有重点煤矿中煤巷锚杆支护所占比重仅为 15.15%,主要用在围岩稳定条件较好的 I、II、III 类巷道。从矿井安全、经济、高产高效的需要出发,迫切需要迅速发展我国煤巷锚杆支护。原煤炭工业部将“煤巷锚杆支护”列为煤炭工业“九五”五大科技攻关项目之一,以期通过五年的努力使煤巷锚杆支护技术提高到一个新的水平,使用的比重有较大幅度的增长。

本书作者做了大量煤巷锚杆支护理论、技术的研究和现场应用推广工作,有丰富的理论和实践经验。他们本着理论和实际相结合的原则,在国内外现有研究的基础上发展了我国的煤巷锚杆支护理论和实用技术。本书系统地论述了巷道锚杆支护围岩强度强化理论、锚杆支护结构、锚杆支护设计方法、锚杆支护快速施工、加强支护、锚杆支护监测技术、信息反馈及处理等,资料翔实,内容新颖。当前,困难、复杂条件下的煤巷锚杆支护是技术上的难点,本书从理论和实用技术上进行了系统阐述和探讨。我相信,本书在我国煤巷锚杆支护发展的热潮中出版,必将为人们提供理论指导和新的经验,为推动这一领域的理论研究和实用技术的发展做出贡献,也会对从事锚杆支护技术的广大工程技术人员有所裨益。

范维澄
九六年一月

前 言

由于锚杆支护对巷道围岩强度的强化作用,可显著提高围岩的稳定性,加之支护成本较低,明显改善作业环境和安全生产条件,可提高矿井的技术经济效益,因而成为世界各国矿井巷道的一种主要支护形式。我国煤矿自1956年使用锚杆支护以来,在岩巷中发展迅速,1998年锚杆支护比重已高达60.85%。但是,由于煤层巷道围岩松软、地应力大、受采动影响强烈,加之煤巷锚杆支护的理论和技術还不够完善,因而发展比较缓慢。原煤炭工业部将“煤巷锚杆支护”列为煤炭工业“九五”重点科技攻关项目以后,我国煤矿一场继“综采”之后的第二次支护技术革命已经蓬勃展开,煤巷锚杆支护比重从1995年的15.15%提高到1998年的20.14%。为了对我国煤巷锚杆支护的发展和技术水平的提高做出我们的贡献,特出版本专著。

本书是我们多年来从事煤巷锚杆支护理论研究和工程实践成果的系统总结和丰富提高,力求从理论上和实用技术上较全面地反映当前的最新成就,使其具有科学性和可操作性。本书的主要内容包栝煤巷锚杆支护理论、设计、施工、监测、信息反馈及处理、加强支护等几大部分。为了将问题阐述透彻,还专门写了锚杆类型及支护结构、巷道围岩稳定性分类两章。困难、复杂条件下的煤巷锚杆支护是当前的技术难点和进一步发展的突破口,本书用较大篇幅进行了介绍,既有理论又有工程实例,便于操作。1996年和1997年我国引进澳大利亚煤巷锚杆支护先进技术,对其演示情况也作了系统介绍,以资借鉴。

全书的整体构思、编写细纲、统稿和审定由侯朝炯负责,郭励生、勾攀峰协助。执笔分工如下:第一章,侯朝炯、郭励生;第二章,侯朝炯、勾攀峰;第三章,张益东;第四章,邹喜正、柏建彪;第五章,勾攀峰;第六章,侯朝炯;第七章,柏建彪;第八章,勾攀峰;第九章,侯朝炯、王培荣;第十章,侯朝炯负责,张农、柏建彪、张益东、勾攀峰、邹喜正、陈立武参加;第十一章,郭励生、侯朝炯。

本书得以顺利出版,是与很多同志的技术指导、中肯建议或提供资料分不开的。特别是原煤炭工业部有关领导、科教司和生产协调司的很多同志,煤炭工业部锚杆支护专家组组长郭宏亮及其他成员,中国矿业大学学科建设办公室和黄平、马念杰,煤炭科学研究总院北京开采所刘玉堂、古全忠、王泽进以及邢台、新汶等矿务局的同志们给予了很多帮助和支持,在此对所有的同志表示衷心感谢!

由于水平所限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

一九九九年二月

目 录

序	范维唐
前 言	1
第一章 绪 论	1
第二章 锚杆支护理论	7
第一节 现有锚杆支护理论	7
第二节 巷道锚杆支护围岩强度强化理论综述	10
第三节 岩石破裂后的力学特征	11
第四节 锚固体强度强化的相似材料模拟试验	12
第五节 锚固体强度强化后的力学行为分析	17
第六节 巷道锚杆支护围岩稳定性的工程判别准则	31
第三章 锚杆类型与支护结构	38
第一节 普通圆钢粘结式锚杆	38
第二节 可延伸锚杆	39
第三节 高强度和超高强度锚杆	44
第四节 “三径”合理匹配及锚固方式	48
第五节 管缝式锚杆和水力膨胀锚杆	50
第六节 竹锚杆和木锚杆	51
第七节 可切割锚杆和可回收锚杆	52
第八节 锚梁网组合支护	53
第九节 桁架锚杆支护	56
第四章 巷道围岩稳定性分类	62
第一节 概述	62
第二节 巷道围岩稳定性分类方法	62
第三节 开拓、准备巷道围岩稳定性分类	69
第四节 回采巷道围岩稳定性分类	84

第五章 巷道锚杆支护设计方法之一——工程类比法、理论计算法	92
第一节 工程类比法	92
第二节 理论计算法	95
第六章 巷道锚杆支护设计方法之二——锚杆支护系统设计法	104
第一节 数值模拟分析法.....	104
第二节 系统设计法的基本内容.....	105
第三节 煤巷锚杆支护计算机辅助设计系统.....	120
第四节 锚杆支护系统设计法的特点.....	123
第七章 锚杆支护快速施工及巷道加强支护	125
第一节 国内外煤巷锚杆支护施工状况.....	125
第二节 我国煤巷锚杆支护快速施工的发展.....	128
第三节 小孔径预应力锚索加强支护.....	131
第四节 巷道围岩注浆加固加强支护.....	134
第八章 锚杆支护监测	141
第一节 测力锚杆.....	142
第二节 多点位移计.....	149
第三节 顶板离层指示仪.....	156
第四节 锚杆拉力计、液压枕	162
第五节 巷道表面位移量测.....	166
第九章 监测信息反馈及处理	171
第一节 监测信息反馈指标选取.....	171
第二节 监测信息反馈指标数值的确定.....	172
第三节 修改与不修改设计准则.....	175
第四节 应用示例.....	176
第十章 困难、复杂条件下的煤巷锚杆支护	178
第一节 支护的一般准则和方法.....	178
第二节 加固巷道帮、角控制底鼓的理论与实践	180
第三节 沿空窄煤柱巷道锚杆支护.....	186
第四节 深井煤巷锚杆支护.....	191
第五节 显德旺矿软煤、复合顶板锚杆支护	199
第六节 白集矿深井三软煤巷锚杆支护.....	206
第七节 章村矿三软煤巷锚杆支护.....	210
第八节 权台矿极不稳定巷道锚架注联合支护.....	213

第九节 高强度锚杆支护系统在跨采下山的应用.....	217
第十一章 东庞煤矿引进澳大利亚煤巷锚杆支护技术演示.....	233
第一节 概述.....	233
第二节 演示用的支护材料、机具设备、监测仪器仪表.....	235
第三节 演示技术.....	241
第四节 演示巷道监测数据分析.....	255
第五节 高强度锚杆支护技术推广情况.....	258
第六节 技术经济效益分析.....	258
附录 1 开拓、准备巷道围岩稳定性分类计算程序文本	261
附录 2 回采巷道围岩稳定性分类计算程序文本	269
参考文献.....	275

第一章 绪 论

一、锚杆支护的技术经济优越性

在巷道支护中,锚杆支护与传统的棚式支护相比,具有显著的技术、经济优越性。其主要表现在:锚杆支护可充分利用围岩的自承能力将载荷体变为承载体;一般棚式支护属于“被动”支护,基本不具有初阻力,只是在围岩变形后,随着围岩变形的增加,支架支护阻力随之增加,而通常使用的锚杆支护属于“主动”支护,在锚杆安装以后,锚杆即对围岩提供轴向或横向的支护阻力,且随围岩变形支护阻力不断增加;与棚式支护相比,锚杆支护更有利于改善巷道的维护状况,保持巷道围岩的长期稳定,在相同生产地质条件下,锚杆支护的巷道围岩变形量通常要比棚式支护减少一半以上;锚杆支护还可以节约大量钢材,减少支护材料的运输和装卸支架工作量,减轻工人的劳动强度和改善作业环境;由于锚杆支护巷道围岩稳定性好,巷道服务期间基本不需要维修,因而能够保持两道和开切眼的畅通,为回采工作面快速推进和高产高效低成本生产创造有利条件;锚杆支护巷道施工简单,机械化程度高,可大幅度降低巷道支护成本,提高掘进速度和生产效率。

二、国外锚杆支护的发展

由于锚杆支护显著的技术经济优越性,现已发展成为世界各国矿井巷道以及其他地下工程支护的一种主要形式。早在 40 年代,美国、前苏联就已在井下巷道使用了锚杆支护,以后在煤矿、金属矿山、水利、隧道以及其他地下工程中迅速得到了发展。几十年来,世界锚杆支护经历了如下发展历程:1945~1950 年,机械式锚杆研究与应用;1950~1960 年,采矿业广泛采用机械式锚杆,并开始对锚杆支护进行系统研究;1960~1970 年,树脂锚杆推出并在矿山得到应用;1970~1980 年,发明管缝式锚杆、胀管式锚杆并应用,研究新的设计方法,长锚索产生;1980~1990 年,混合锚头锚杆、组合锚杆、桁架锚杆、特种锚杆等得到应用,树脂锚固材料得到改进。

美、澳等国由于煤层埋藏条件好,加之锚杆支护技术不断发展和日益成熟,因而锚杆支护使用很普遍,在煤矿巷道的支护比重中几乎达到了 100%。西欧、中欧一些主要产煤国家,过去巷道中主要采用金属支架支护,随着巷道维护日益困难和支护成本的增加,各国均在积极发展锚杆支护。锚杆支护发展最快的是英国。在 1987 年以前,英国煤矿巷道支护 90% 以上采用金属支架,而且主要是矿工钢拱形刚性支架。由于回采工作面单产低、效率低、巷道支护成本高,因而亏损严重。为了摆脱煤炭行业的这种困境,在巷道支护方面,积极发展锚杆支护,但也有过几上几下的经历,没有取得很大的进展。到 1987 年,英国从澳大利亚引进了成套的锚杆支护技术,从而扭转了过去的被动局面,煤巷锚杆支护得到迅猛发展,1994 年在巷道支护中所占的比重已达到 80% 以上。在此期间,为了扭转煤矿的严重亏损局面,除了在巷道支护上积极发展锚杆支护外,还采取了以下措施:(1)采用集中化生产,使用重型采煤机,

每矿回采工作面数目由平均 6 个减少到 1 个；(2) 关闭一批生产条件差的严重亏损矿井。以广泛推广使用锚杆支护技术的 1994 年与推广前的 1984 年相比，英国煤矿所获得的技术经济效益如表 1.1 所示。从表中可以看出，通过发展煤巷锚杆支护，矿井吨煤成本和巷道支护费用显著降低，巷道掘进速度有了很大提高，支护质量和安全条件得到了很大改善，找到了英国煤矿生产发展的技术途径。德国是 U 型钢支架使用最早、技术上最为成熟的国家。自 1932 年发明 U 型钢支架以来，U 型钢支架发展迅速，支护比重很快达到了 90% 以上，从井底车场一直到回采工作面两道均使用 U 型钢可缩性支架。但是自 80 年代以来，随着矿井开采深度日益增加，矿井机械化开采程度提高而引起巷道断面的不断扩大，使得巷道围岩变形量增加，维护日益困难。面临这种困境，德国采用不断增加金属支架的型钢重量、逐步减小棚距的做法，这不仅使巷道支护费用增高，而且施工、运输更加困难和复杂。即便如此，巷道维护困难的状况仍然难以改观，于是寻求成本较低、运输和施工简单方便、控制围岩变形效果较好的锚杆支护变得尤为重要。到 80 年代初期，锚杆支护经在鲁尔矿区试验成功后获得推广，现已应用到千米的深井巷道中，取得了许多有益的经验。法国煤巷锚杆支护的发展也很迅速，到 1986 年其比重已占到 50%。在采区巷道支护中同时发展金属支架、锚杆支护、混凝土支架的俄罗斯，锚杆支护的发展也引人注目。他们研制了多种类型的锚杆，在全国第一大矿区——库兹巴斯矿区巷道支护所占比重已达 50% 以上。

表 1.1 英国煤矿取得的技术经济效益

项 目 \ 年 份	1984 年	1994 年
平均吨煤成本 (英镑/t)	约 70	35
回采工作面平均单产/ $t \cdot d^{-1}$	500	4500
平均全员效率 (t/天·人)	3	13.5
煤巷平均成巷速度 (米/周)	44	>100
巷道支护费用比值/%	100	50
事故率比值/%	100	10

总结各国发展锚杆支护的经验，主要有以下几个特点：

1. 结合本国巷道围岩地质及生产条件，发展适宜的锚杆类型。例如美国，使用了树脂锚固钢筋锚杆、机械式锚杆、摩擦式锚杆（缝管式、水力膨胀管式）、混合式锚杆等，此外桁架锚杆在煤矿中也有了较大发展。澳、英等国则以全长树脂锚固金属锚杆为主要发展方向，也使用一些缝管锚杆、树脂可切割锚杆。德国除发展树脂锚固金属锚杆外，还大力发展可伸长锚杆。他们认为安装锚杆的目的是为了控制围岩的变形，但在围岩剧烈变形的条件下又要能适应围岩的变形，使锚杆本身不受到损坏，因此发展既有足够的支护阻力又有一定延伸性的可伸长锚杆是必要的，现已研制出了若干种类型，延伸率最大的可达 50%。俄罗斯煤巷锚杆支护亦是多种类型同时使用。

2. 国外锚杆日益向高强度、超高强度发展，其技术途径主要有二：一是研制强度高和具有较好延伸率的材料；二是加大锚杆直径。关于锚杆材质，大致可分为三类：一是普通锚杆，材料的屈服强度 $\sigma_s < 340$ MPa；二是高强度锚杆，材料的屈服强度 $\sigma_s = 340 \sim 600$ MPa；三是

超高强度锚杆,材料的屈服强度 $\sigma_s > 600$ MPa。不论哪种材料,其延伸率均应大于15%~17%。国外三种类型的锚杆材质均在使用,而以高强、超高强的居多。例如,澳大利亚锚杆材料的 σ_s 一般均在400~600 MPa之间,有的甚至大于600 MPa,近年又在研制 σ_s 达800 MPa的更高强度钢材;英国使用的锚杆钢材的 σ_s 达610 MPa;美国的达520 MPa。关于锚杆直径,多数使用 $\phi 20 \sim \phi 22$ mm,也有使用 $\phi 24$ mm的。由于钻孔直径一般均为 $\phi 28$ mm,因而锚杆直径的提高受到一定限制。从锚杆直径和材质综合考虑,锚杆破断载荷一般均在200 kN以上,后来又发展到300 kN以上,近年来英、澳均在研究400 kN以上的大锚杆。

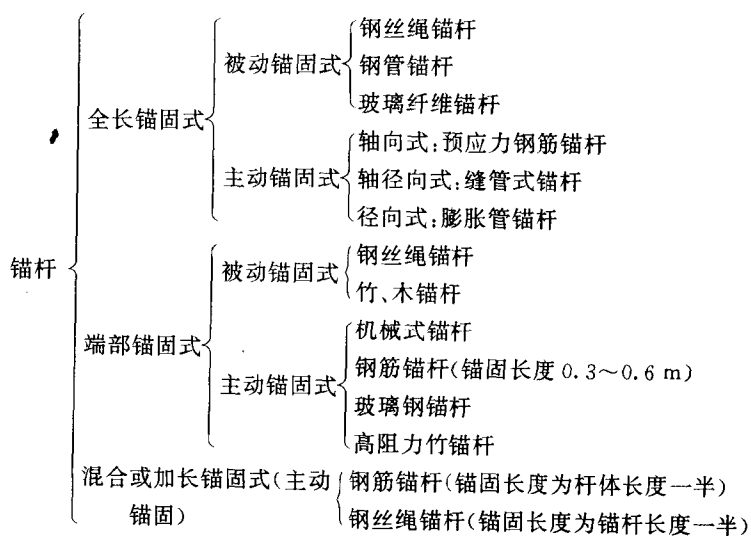
3. 完善锚杆施工配套机具也是各国促进锚杆技术发展的重要原因。掘锚联合机组的发展为巷道掘进和锚杆施工创造了极为有利的条件,奥钢联和乔伊公司的掘锚联合机组应用较多。单体锚杆钻机也有很大发展,主要是风动锚杆钻机,并配有使用方便、耐磨性好的锚杆钻头以及快速安装系统等。

4. 建立一套适合自身条件的锚杆支护设计方法。随着新奥法、收敛约束法在国际上的流行,澳、英等国在充分考虑水平地应力作用的条件下,采用了“地质力学评估——计算机数值模拟进行初始设计——现场施工、监测——信息反馈、修改完善设计”这种设计方法。法国的设计方法以经验为基础,适合于其地质条件变化相对较大的情况。德国煤层埋藏条件相对较为简单,常用有限元、有限差分进行分析、计算。美国在现场监测和信息反馈的基础上进行锚杆支护设计,把顶板特性和锚杆参数结合起来,形成一个通用的方程式或诺模图,以选择合理的锚杆类型、支护参数及安装方式。西班牙利用计算机贮存量大的特点,采用信息贮存与检索法获取现场资料,经计算机处理数据,提供可选择的支护参数和预计顶板下沉量。

5. 完善锚杆支护监测系统。锚杆支护是一种隐蔽性很强的工程,只有完善锚杆支护监测系统才能确保锚杆支护巷道的安全可靠。在使用常规的矿压仪器的基础上,发展到使用顶板离层指示仪、钻孔探测仪等仪器,以监测顶板的离层破坏情况,并发展到可以遥控自记。同时,还制定了锚杆支护的规范、标准,严格锚杆支护施工质量。

三、锚杆的种类

锚杆种类繁多,大体可归纳为以下几种类型:



四、我国煤巷锚杆支护技术的发展现状及技术途径

1. 发展现状

我国从 1956 年起在煤矿岩巷中使用锚杆支护,至今已有 40 余年的历史。60 年代锚杆支护开始进入采区,但由于煤层巷道围岩松软,受采动影响后围岩变形量很大,对支护技术要求很高,加之锚杆支理论、设计方法、锚杆材料、施工机具、监测手段等还不够完善,因而发展缓慢。1995 年国有重点煤矿当年新掘巷道中锚杆支护所占比重为 28.19%,其中岩巷中占 57.2%,半煤岩巷中占 30.07%,煤巷中占 15.15%。从上述数字可以看出,锚喷支护已经成为岩巷支护的主要形式,煤巷、半煤岩巷中所占比重还很低,而且主要使用在条件比较简单的 I、II、III 类回采巷道,条件比较复杂的 IV、V 类回采巷道还处于试验、总结经验阶段或者采用锚杆与其他支护的联合支护形式,因此,在煤巷、半煤岩巷中发展锚杆支护还有很大潜力。煤巷与岩巷不同之处在于:煤巷围岩比较松软,在采动影响下巷道围岩变形十分剧烈。在使用金属支架时,顶底板、两帮相对移近量一般均在 300~500 mm,少则 100~200 mm,严重时超过 1000 mm。煤巷使用锚杆支护时,必须要有较高的支护强度以控制围岩变形,而且不能喷浆封闭围岩,因为在围岩剧烈变形时必然导致喷层破裂而失效。由于煤巷是为回采工作面服务的,随工作面的推进而逐渐报废,煤巷服务时间较短,因而要求锚杆支护成本要低,这样给煤巷锚杆支护带来了相当大的难度。煤巷锚杆支护不同于一般岩巷的锚喷(网)支护。它的主要型式是单体锚杆,锚杆加 W 钢带(或钢筋梁)或加网,或者加 W 钢带(钢筋梁)及网,简称为锚梁、锚网或锚梁网支护。我国煤巷锚杆支护在不断发展中也取得了不少宝贵经验,主要有:单体锚杆支护,锚梁网组合支护,桁架锚杆支护,软岩巷道锚杆支护,深井巷道锚杆支护,沿空巷道锚杆支护,可伸长锚杆,电动、风动、液压锚杆钻机,锚杆支护监测仪器,锚杆与金属支架联合支护等。我国进入“九五”期间,原煤炭工业部将“锚杆支护”列为煤炭工业科技发展的五个项目之一,经过教学、科研与生产单位的联合攻关,煤巷锚杆支护技术有了较大提高,煤巷中锚杆支护的应用也有了迅速发展,到 1998 年,煤巷锚杆支护比重提高到了 20.14%,半煤岩巷中则提高到了 29.74%。发展煤巷锚杆支护是我国继推行综采后的第二次重大支护技术革命,将给我国煤矿带来巨大的技术经济效益。

2. 技术途径

为立足于我国国情及煤巷的围岩地质及力学条件,确保锚杆支护的安全可靠、经济和快速施工,将我国煤巷锚杆支护技术提高到一个新的水平,需要开展以下工作:

(1) 积极开展地应力测量,提高锚杆支护的科学性

巷道围岩力学性质和地应力数据是设计、使用锚杆支护最重要的基础资料,应当把测取的三维地应力大小及方向数据作为锚杆支护设计(参数确定、锚杆布置等)和巷道布置的重要依据。巷道围岩塑性区的分布和变化与地应力状况有很大关系,设计锚杆支护时也必须予以考虑。

(2) 煤巷锚杆支理论及设计方法的研究

煤巷具有围岩非均质性和分层性显著、受采动影响后围岩应力和变形剧烈变化的特点,围岩破碎区和塑性区较大,一般以帮、角为最大,表现出了煤巷塑性区分布的不均匀性和变化性。为此,需建立围岩强度强化、控制围岩塑性区发展和保持围岩稳定的锚杆支理论,相应地设计锚杆支护主要力学参数(锚固方式、锚固力、工作阻力,锚杆直径、长度、间排距等)及其他组合支护技术。帮锚杆的作用应格外引起重视,它不仅能控制两帮的移近,而且对控

制巷道底鼓和顶板下沉与离层起着十分重要的作用。锚杆支护设计有三种方法:工程类比法、理论计算法、数值模拟法。在煤巷锚杆支护设计中进行数值模拟、改变锚杆支护参数、进行多方案优选的方法将有良好的发展前景。

(3) 适当提高锚杆支护参数,保证锚杆支护的安全可靠性

为了保证锚杆支护的安全可靠和杜绝一切顶板事故,有必要适当提高锚杆支护参数。锚杆材质可选用 Q235, 16Mn, 20MnSi, 25MnSi 等,锚杆直径可采用 16 mm, 18 mm, 20 mm, 22 mm, 锚杆长度 1.6~2.4 m, 锚杆间排距 0.6~1.2 m。锚杆工作阻力一般为 70~200 kN(条件不好时还可适当加大),锚固力应大于杆体破断力。根据围岩具体情况分别采用端锚、加长锚或全锚,但应保证锚固可靠并达到设计要求。宜采用锚固可靠性高的树脂药卷。在巷道围岩变形量大或断层破碎带附近可采用可延伸增强锚杆。

(4) 根据不同的巷道围岩类别,采用不同的锚杆支护形式

围岩稳定性类别为 I, II 类时,可用单锚。III, IV 类应发展组合锚杆(群锚),包括锚网梁组合支护和桁架锚杆组合支护等。V 类巷道可采用联合支护,也可试验高强、超高强锚杆支护系统。

锚网(梁)组合支护的梁和网需进一步加强。当围岩较稳定时可用钢筋梁,围岩稳定性较差时应使用 W 型钢带。由于钢板梁承载能力太低,不应选用。网以选用有一定强度和韧性较好的网为宜,如钢筋网、菱形金属网,在围岩条件较好时也可使用经纬金属网和塑料网。视巷道宽度不同,桁架锚杆可用单式桁架或交错复式桁架。为增强其整体性,可采用连续桁架。

V 类巷道围岩变形量极大,其变形特点是:①底鼓量很大,占顶底移近量的比重高达 70%~80%;②两帮移近量很大,可达顶底移近量的 0.6~1.0 倍。在这种情况下,应积极试验高强、超高强锚杆支护系统。当单独使用锚杆支护有困难时,也可以采用金属支架与锚杆联合支护的方法。采用非封闭形金属可缩性支架与锚杆加固巷道帮、角,控制两帮移近及底鼓、减小顶板下沉及离层效果很好,必要时还可增加对巷道围岩帮、底的注浆加固。采用注浆锚杆也是一条技术途径。

(5) 改善、提高煤帮锚杆支护

为了解决采煤机对煤帮的切割,煤帮锚杆应发展可切割锚杆或锚头可切割、杆体可回收的锚杆,锚杆支护阻力应达到 40 kN 以上。对锚杆控制帮的变形、下沉与控制巷道底鼓与顶板离层的关系应从理论上进行研究,以便全面布置顶、帮锚杆,达到最好的控制围岩变形和保证安全的效果。

(6) 完善锚杆监测技术

我国十分重视锚杆监测,取得了很多成果,但有两项监测仪器应大力推广。一是顶板离层指示仪,测定锚杆锚固范围内及锚固范围外的离层情况,对顶板出现冒落危险及时报警,以杜绝顶板事故;二是非破坏性测定锚杆锚固力。

(7) 完善和发展锚杆机具

由于我国煤巷生产地质条件复杂多变,一两种钻机难以适应,因此可同时发展风动、电动、液压锚杆钻机,并形成系列。长期以来,我国存在锚杆钻机零部件质量不够高、使用中损坏较大、钻机寿命不够长等问题,在 1997 年问世的 MFT-3000 型风动锚杆钻机上已得到了解决。但钻机打眼角度不够大,难以满足施工需要,快速安装系统还不够完善,钻头、杆杆质量尚需进一步提高,这些问题需尽快解决。

邢台矿务局是近三年我国煤巷锚杆支护技术水平提高较大、推广应用最好的矿务局。在1996年和1997年两年期间,与中国矿业大学、煤炭科学研究总院北京开采所和建井所、上海分院合作,完成了原煤炭工业部重点科技攻关项目“邢台矿务局煤巷锚杆支护成套技术研究”,将邢台矿务局煤巷锚杆支护技术全面推至国际先进水平。该项目包括15个子项目,它们是:(1)煤巷围岩地应力测试技术研究;(2)以地应力为基础的锚杆支护设计方法研究;(3)邢台煤矿全煤巷道锚杆支护技术的研究;(4)极软煤层复合顶板锚杆支护技术的研究;(5)锚杆支护控制煤巷底鼓技术的研究;(6)锚杆钻孔、杆体、药卷直径合理匹配的研究;(7)煤巷锚杆支护锚索加固技术的研究;(8)高强度锚杆的研制与应用研究;(9)经济型树脂锚固剂成套包装机械及生产工艺研究;(10)柱塞式风动钻杆钻机的研制;(11)锚杆杆体辊式矫直机的研制;(12)新型帮锚杆的研制;(13)煤巷顶板离层指示仪研制和应用技术的研究;(14)测力锚杆研制与应用技术的研究;(15)煤巷掘进锚杆支护快速安装系统的研制。这些项目研制的新技术,很快在邢台矿务局及其他一些矿区推广应用。1997年邢台矿务局各类新掘巷道中锚杆支护所占比重为:岩巷95.30%,煤巷73.92%,半煤岩巷40.10%。

第二章 锚杆支护理论

正确地设计和应用锚杆支护,必须对锚杆支护机理有正确的认识,并以建立完善的锚杆支护理论作为指导。

传统的锚杆支护理论有:悬吊理论、组合梁理论、组合拱(压缩拱)理论,近期又发展了最大水平应力理论。它们都是以一定的假说为基础的,各自从不同的角度、不同的条件阐述锚杆支护的作用机理,而且力学模型简单,计算方法简明易懂,适用于不同的围岩条件,得到了国内外的承认和应用。

近年来,锚杆支护理论研究有了进一步发展,提出了巷道锚杆支护围岩强度强化理论,进一步揭示了锚杆支护的实质,扩大了锚杆支护技术的应用范围,特别是为煤巷和软岩巷道的锚杆支护提供了理论指导。

第一节 现有锚杆支护理论

一、悬吊理论

悬吊理论认为:锚杆支护的作用就是将巷道顶板较软弱岩层悬吊在上部稳定岩层上,以增强较软弱岩层的稳定性。

对于回采巷道经常遇到的层状岩体,当巷道开挖后,直接顶因弯曲、变形与老顶分离,如果锚杆及时将直接顶挤压并悬吊在老顶上,就能减小和限制直接顶的下沉和离层,以达到支护的目的,如图 2.1 所示。

巷道浅部围岩松软破碎,或者开掘巷道后应力重新分布,顶板出现松动破裂区,这时锚杆的悬吊作用就是将这部分易冒落岩体悬吊在深部未松动岩层上。这是悬吊理论的进一步发展,如图 2.2 所示。

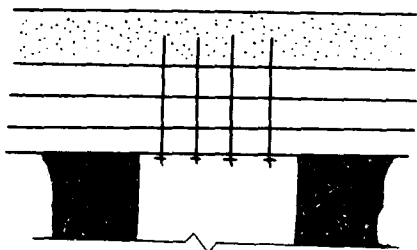


图 2.1 锚杆的悬吊作用

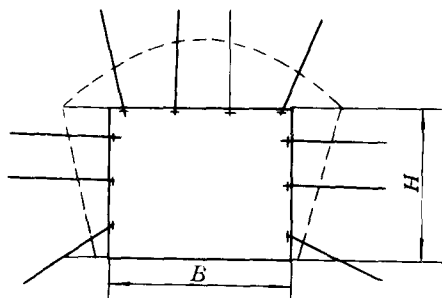


图 2.2 顶板锚杆悬吊松动破裂岩层

根据悬吊岩层的重量就可以进行锚杆支护设计。

悬吊理论直观地揭示了锚杆的悬吊作用,在分析过程中不考虑围岩的自承能力,而且将被锚固体与原岩体分开,与实际情况有一定差距,计算数据存在误差。

悬吊理论只适用于巷道顶板,不适用于巷道帮、底。如果顶板中没有坚硬稳定岩层或顶板软弱岩层较厚,围岩破碎区范围较大,无法将锚杆锚固到上面坚硬岩层或者未松动岩层上,悬吊理论就不适用。

二、组合梁理论

组合梁理论认为:在层状岩体中开挖巷道,当顶板在一定范围内不存在坚硬稳定岩层时,锚杆的悬吊作用居次要地位。

如果顶板岩层中存在若干分层,顶板锚杆的作用,一方面是依靠锚杆的锚固力增加各岩层间的摩擦力,防止岩石沿层面滑动,避免各岩层出现离层现象;另一方面,锚杆杆体可增加岩层间的抗剪刚度,阻止岩层间的水平错动,从而将巷道顶板锚固范围内的几个薄岩层锁紧成一个较厚的岩层(组合梁)。这种组合厚岩层在上覆岩层载荷的作用下,其最大弯曲应变和应力都将大大减小,组合梁的挠度亦减小,而且组合梁越厚,梁内的最大应力、应变和梁的挠度也就越小,如图 2.3 所示。

根据组合梁的强度大小,可以确定锚杆支护参数。

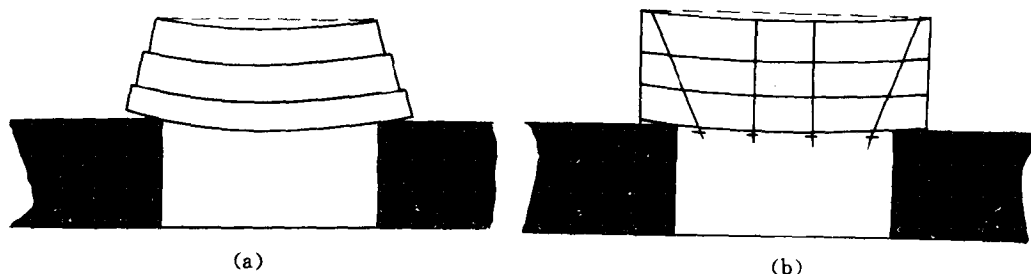


图 2.3 顶板锚杆的组合梁作用

(a) 未打锚杆; (b) 布置顶板锚杆

组合梁理论,是对锚杆将顶板岩层锁紧成较厚岩层的解释。在分析中,将锚杆作用与围岩的自稳作用分开,与实际情况有一定差距,并且随着围岩条件的变化,在顶板较破碎、连续性受到破坏时,组合梁也就不存在了。

组合梁理论只适合于层状顶板锚杆支护的设计,对于巷道的帮、底不适用。

三、组合拱(压缩拱)理论

组合拱理论认为:在拱形巷道围岩的破裂区中安装预应力锚杆时,在杆体两端将形成圆锥形分布的压应力,如果沿巷道周边布置锚杆群,只要锚杆间距足够小,各个锚杆形成的压应力圆锥体将相互交错,就能在岩体中形成一个均匀的压缩带,即承压拱(亦称组合拱或压缩拱),这个承压拱可以承受其上部破碎岩石施加的径向荷载。在承压拱内的岩石径向及切向均受压,处于三向应力状态,其围岩强度得到提高,支撑能力也相应加大,如图 2.4 所示。因此,锚杆支护的关键在于获取较大的承压拱厚度和较高的强度,其厚度越大,越有利于围岩的稳定和支撑能力的提高。