

中国煤矿锚杆支护 理论与实践

何满潮 袁和生

靖洪文 王方荣 景海河 等著

中国煤矿锚杆支护理论与实践

何满潮 袁和生 靖洪文 王方荣 景海河 等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书总结了10年来各位作者的研究成果,基本反映了煤炭系统锚杆支护研究理论和实践经验的最新成就,集中体现了世界第一采煤大国——中国煤炭行业锚杆支护工程的理论和技术水平。

本书主要介绍了锚杆支理论、设计方法、支护材料和配套机具,详细介绍了巷道掘进及支护的最新技术、监测方法以及锚杆支护智能设计系统,并进行了工程实例分析。

本书可供从事岩石力学的高等学校教师及研究生、院所的研究人员和设计部门的设计人员参考,也可以作为高校本科生和从事支护工程的现场工程技术人员、工程管理人员的学习教材。

图书在版编目(CIP)数据

中国煤矿锚杆支护理论与实践/何满潮等著. —北京:科学出版社, 2004

ISBN 7-03-012745-5

I. 中… II. 何… III. 煤矿—锚杆—巷道支护—研究 IV. TD353

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 000459 号

责任编辑:毕颖 吴伶俐 / 责任校对:包志虹

排版制作:科学出版社编务公司 / 责任印制:安春生

封面设计:黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年4月第一版 开本: B5 (720×1000)

2004年4月第一次印刷 印张: 35 3/4

印数: 1—4 000 字数: 684 000

定价: 43.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈新欣〉)

前 言

锚杆支护作为一种有效的采准巷道支护方式，由于对巷道围岩结构的改变和强度的强化作用，可显著提高围岩的稳定性，加之具有支护成本较低、成巷速度快、劳动强度低，以及提高巷道断面利用率、简化回采面端头维护工艺、明显改善作业环境和安全生产条件等优点，可提高矿井的经济效益，因而成为世界各国矿井巷道的一种主要支护形式，代表了煤矿巷道支护技术的主要发展方向。

我国自 1956 年开始在煤矿岩巷中使用锚杆支护，至今已有 40 余年的历史。在“八五”期间，原煤炭工业部把煤巷锚杆支护技术作为重点项目进行了攻关，取得了一大批水平较高的科研成果，并应用于新汶、铁法、兖州、峰峰、淮南等多个矿区，基本上解决了一般条件下巷道支护问题，但是对于困难条件(如复合顶板、破碎顶板、煤层顶板巷道，以及沿空掘巷等)锚杆支护的可行性和适用性还没有得到深入细致的研究。“九五”期间，在支理论、设计方法、支护材料、施工机具、质量检测等方面进行了研究，基本形成了适合我国煤矿特点的成套技术和装备，初步解决了高强度材料问题，设计制造了先进、可靠的风动锚杆钻机，生产应用了高层指示仪、无损伤拉拔计、测力锚杆等多种实用、新型的观测仪器，自主开发了我国独创的小锚索、经济型树脂锚固剂生产线等技术装备，基本上满足了煤巷锚杆支护技术的需要。煤巷锚杆支护的推广应用对加快综采推进速度和保障安全生产起到了很好的作用，同时也给企业带来了显著的经济效益。“十五”期间，重点开展巷道快速掘进、支护技术与装备材料的研究。

自锚杆支护技术在我国煤矿应用以来，我国采矿科技人员在支理论理论与试验研究方面做了很多工作，积累了大量资料，取得了丰富经验，特别是针对软岩问题初步提出了具有我国特色的软岩巷道支理论，到 20 世纪 90 年代逐渐形成了一门新兴的学科，并日益受到人们的重视，在国内外具有相当的影响。最近几年，在中国煤炭工业协会领导的关心和支持下，中国煤炭工业协会支护专业委员会、煤矿支护培训中心和中国岩石力学与工程学会软岩工程专业委员会通力合作，组织了全国范围内有关专家进行了多次研讨，学术上兼容并蓄，百花齐放，百家争鸣，互相交流，相互切磋，取长补短，大大促进了煤矿巷道锚杆支护新理论、新设计、新技术和新方法的形成，呈现一派欣欣向荣、蓬勃发展的局面。

但是由于各方面的原因，我国煤矿巷道锚杆支护在理论与设计上仍然存在一些问题，这主要是由于目前真正系统掌握先进的锚杆支护技术的还是少数矿区和工程单位，而大部分基层生产单位还未了解，仍处在经验支护的状态中。特别是

遇到软岩问题，先用一般支护技术来对付，然后反复维修，造成了每年数以亿计的巨大经济损失。造成这一局面的原因是科研院所所掌握的科技成果和生产、基建单位所采用的工程技术严重脱节，从而导致在实践上盲目性大、针对性差、成功率低，在人力、物力、财力上造成了严重浪费。

本书正是针对我国目前锚杆支护技术推广过程中存在的问题，总结了各位作者多年来的研究成果，基本反映了煤炭系统锚杆支护研究理论和实践经验的最新成就，集中体现了我国煤炭行业锚杆支护工程的理论和技术水平。其理论之系统，技术之全面、设计之新颖、机具之配套、分析之透彻和内容之前瞻，都可能是前所未有的。本书可以作为从事支护工程的现场工程技术人员和工程管理人员的培训教材，也可以作为从事岩石力学的高等学校教师及研究生、研究院所的研究人员和设计部门的设计人员的参考书。

本书的著者均是经常深入到第一线，与现场工程技术人员并肩作战的专家。本书内容十分丰富，要求读者在很短时间内掌握并在生产实际中应用，难度是很大的。为此，我们专门开发了与本教材内容相配套的两套锚杆支护智能设计系统，即适用于煤矿一般巷道工程的“煤矿巷道工程规范化支护设计系统”和适用于软岩巷道的“煤矿软岩巷道支护智能设计系统”。每个系统均有4个功能：输入地质条件和工程条件的功能、分析计算的功能、设计及设计图纸绘制的功能和自动编写报告的独特功能。本书试图营造一个现代化工作平台，把先进的科学技术，通过现场工程技术人员的辛勤劳动，和现场的工程实践紧密结合起来，架起理论和工程实践的桥梁，使新理论、新技术落实得更迅速、可靠。

本书的整体构思、前言撰写及全书的统通稿和审定由何满潮教授负责。编写人员有：何满潮(第1章、2.4、3.3、4.5、8.3、9.2、9.3)、袁和生(8.1)、王方荣(7.1、7.3.1)、马小钧(2.2、4.2、10.3.1~10.3.7)、王祖和(10.4、10.5.1、10.5.2、10.5.4、10.5.5、10.5.7)、孙晓明(3.1、5.1、6.1、6.22、6.23、10.1、10.2、10.5.3、12.5)、李士岗(第11章)、宋宏伟(3.2、4.4、13.5)、张农(4.3、9.1、10.5.6、13.4)、陈桂娥(7.2、7.4)、陈恢翰(7.5)、岳峰(7.3.2)、单仁亮(8.2)、闻敢年(4.1、5.2、6.2.1、10.3.8、13.1~13.3)、景海河和晨春翔(5.3、13.6、13.7)、段庆伟(12.1~12.4)、靖洪文(2.1、2.3)。

在本书的编写过程中，董方庭教授、聂孟荀编审审阅了全书并提出了许多宝贵的意见；本书的有关研究成果得到了国家自然科学基金委员会冶金与采矿学科重大项目基金、创新研究群体科学基金(No.50001402)和高校博士点基金(No.2000029005)的资助，本书的编撰出版受到了如下厂家的赞助：江阴市矿山器材厂、石家庄中煤支护设备厂、石家庄煤矿机械有限公司、浙江衢州煤矿机械厂、江苏建湖县工矿机械厂、北京中煤矿山工程有限公司、武穴长江工具厂、西安泾渭机电设备公司、西安全烁超硬模具有限公司，在此一并表示衷心的感谢。

由于著者水平有限，书中难免存在一些缺点和不足，恳请专家、学者不吝批评和赐教！

何满潮

2004年3月于北京

目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 锚杆支护的技术优越性	1
1.2 国内外锚杆支护的发展现状	3
1.2.1 国外锚杆支护的发展现状及技术特点	3
1.2.2 我国煤矿锚杆支护技术的发展现状及存在问题	6
1.3 我国煤矿锚杆支护技术展望	9
第 2 章 巷道支护围岩分类方法	11
2.1 巷道支护围岩分类概述	11
2.1.1 围岩分类的意义	11
2.1.2 国内外巷道支护围岩分类方法现状	12
2.1.3 围岩分类方法评述	18
2.2 煤巷围岩极限平衡区分类方法	20
2.2.1 极限平衡区分类的概念	20
2.2.2 分类指标的确定	20
2.3 围岩松动圈分类方法	21
2.3.1 围岩松动圈概念及支护对象	21
2.3.2 围岩松动圈分类方法的理论根据	22
2.3.3 围岩松动圈分类表	28
2.3.4 围岩松动圈测试	39
2.4 软岩工程围岩分类	45
2.4.1 软岩的概念	45
2.4.2 软岩的基本力学属性	48
2.4.3 软岩的工程分类体系	50
第 3 章 锚杆支护理论	54
3.1 传统锚杆支护理论	54
3.1.1 悬吊理论	54
3.1.2 组合梁理论	55
3.1.3 组合拱(压缩拱)理论	56
3.1.4 最大水平应力理论	57

3.2	围岩松动圈支护理论	58
3.2.1	围岩松动圈支护理论的组成	59
3.2.2	巷道围岩中的松动圈	60
3.2.3	围岩的支护对象	68
3.3	软岩工程力学支护理论	75
3.3.1	软岩巷道工程变形力学机制	75
3.3.2	软岩巷道工程支护原理	82
第4章	锚杆支护设计方法	89
4.1	常规锚杆支护设计方法	89
4.1.1	经验公式计算法	90
4.1.2	工程类比法	91
4.1.3	锚杆支护结构形式和参数合理选择分析	102
4.1.4	树脂锚杆与其支护构件的选择	106
4.2	极限平衡区锚杆支护设计方法	115
4.2.1	设计理论依据	115
4.2.2	极限平衡区锚杆支护设计方法	120
4.3	煤层巷道围岩预应力锚杆支护设计方法	126
4.3.1	煤巷层状顶板的预应力结构理论	127
4.3.2	煤巷预应力支护设计方法	129
4.4	围岩松动圈锚喷支护设计方法	132
4.4.1	围岩松动圈中的锚杆受力特征	132
4.4.2	围岩松动圈与锚杆支护机理	133
4.4.3	松动圈锚喷支护设计方法	135
4.5	软岩巷道工程支护设计方法	138
4.5.1	软岩巷道工程非线性大变形力学设计理论基础	138
4.5.2	软岩矿井总体巷道布局设计原则	145
4.5.3	软岩巷道工程非线性大变形力学设计方法	147
第5章	锚杆的分类与特征	149
5.1	锚杆的种类	149
5.2	树脂锚杆及其构件	150
5.2.1	锚杆结构特点	150
5.2.2	锚杆杆体	150
5.2.3	树脂药卷	152
5.2.4	锚杆及支护结构构件	154
5.3	其他锚杆形式及其特征	158

5.3.1	缝管式锚杆	159
5.3.2	水泥锚杆	159
5.3.3	木锚杆和竹锚杆	160
5.3.4	水力膨胀式锚杆	161
5.3.5	内注式注浆锚杆	162
5.3.6	可延伸锚杆	162
5.3.7	高强度和超高强度锚杆	167
5.3.8	超高强度螺纹钢锚杆	169
第 6 章	锚索分类及锚索支护	170
6.1	锚索的类型及结构	170
6.1.1	锚索类型	170
6.1.2	锚索结构	171
6.2	锚索的支护作用分析	173
6.2.1	锚索支护的使用条件	174
6.2.2	锚索加强支护设计原则	174
6.2.3	锚索支护参数的确定	175
第 7 章	锚杆支护配套机具	177
7.1	国内外锚喷支护机具发展概况	177
7.1.1	国内外锚杆钻机发展概况	177
7.1.2	国内外混凝土喷射机发展概况	185
7.2	锚杆钻机	187
7.2.1	锚杆钻机的分类	187
7.2.2	锚杆钻机破岩机理	187
7.2.3	回转式锚杆钻机钻削性能分析	188
7.2.4	锚杆钻机的选型	194
7.2.5	单体顶板锚杆钻机	195
7.2.6	帮锚杆钻机	220
7.3	锚索钻机及锚索张拉机具	228
7.3.1	锚索钻机	229
7.3.2	锚索张拉安装机具	230
7.4	锚杆支护钻具	235
7.4.1	钻头的类型、结构特点及选择	236
7.4.2	钻杆的类型、结构特点及选择	241
7.5	混凝土喷射机	244
7.5.1	概述	244

7.5.2	转子式混凝土喷射机	245
7.5.3	湿式混凝土喷射机	249
7.5.4	干(潮)式与湿式喷射的比较	255
第 8 章	巷道断面成形爆破技术	257
8.1	光面爆破技术	257
8.1.1	光面爆破的定义及分类	257
8.1.2	光爆原理	259
8.1.3	光爆参数的选择	264
8.1.4	光爆施工	273
8.2	岩巷定向断裂爆破技术	281
8.2.1	定向断裂爆破技术的诞生	281
8.2.2	定向断裂爆破方法	282
8.2.3	定向断裂爆破机理	283
8.2.4	定向断裂爆破参数的选择	284
8.2.5	定向断裂爆破施工	288
8.3	双向聚能拉伸爆破新技术	289
8.3.1	双向聚能拉伸爆破新技术的概念	289
8.3.2	双向聚能拉伸爆破原理	290
8.3.3	双向聚能拉伸爆破参数选择	291
8.3.4	微差爆破参数	293
8.3.5	双向聚能拉伸爆破施工要求	294
8.3.6	双向聚能拉伸爆破现场试验	295
第 9 章	锚杆复合支护技术	298
9.1	煤层巷道围岩预拉力锚杆支护技术	298
9.1.1	引言	298
9.1.2	高性能预拉力锚杆的研制	298
9.1.3	M 形钢带的研制	305
9.1.4	预拉力支护技术体系	309
9.2	软岩巷道锚网索耦合支护技术	314
9.2.1	锚网索耦合支护的概念	314
9.2.2	锚网索耦合支护原理	315
9.2.3	锚网索耦合支护设计步序	322
9.2.4	锚网索耦合支护设计内容	322
9.2.5	锚网索耦合支护施工	336
9.2.6	软岩巷道锚网索耦合支护技术特点	340

9.3 高应力软岩预留刚隙柔层支护	341
9.3.1 高应力软岩巷道变形破坏特点	341
9.3.2 预留刚隙柔层支护及其力学原理	342
9.3.3 预留刚隙柔层支护设计	343
9.3.4 预留刚隙柔层支护施工	344
9.3.5 预留刚隙柔层支护的技术特点	344
第 10 章 锚杆(索)支护施工及其监测系统	346
10.1 锚杆支护施工	346
10.1.1 锚杆支护施工的一般要求	346
10.1.2 锚杆支护施工工艺	348
10.1.3 树脂锚杆支护施工	348
10.1.4 缝管式锚杆施工	350
10.1.5 快硬水泥锚杆施工	352
10.1.6 竹、木锚杆施工	354
10.2 锚索支护施工	355
10.2.1 树脂锚索的施工工艺	355
10.2.2 注浆锚索的施工工艺	358
10.3 锚杆(索)特殊施工措施	359
10.3.1 断面形状的选择	359
10.3.2 锚杆布置形式	359
10.3.3 锚杆尾部力学分析及提高锚杆初锚力的措施	362
10.3.4 锚索与锚杆的变形能力匹配	365
10.3.5 锚索的“三径”匹配	367
10.3.6 锚索长度的调整	367
10.3.7 “三软”煤层巷道锚杆施工措施	367
10.3.8 通过小型构造区域支护的方法	370
10.4 锚杆支护工程质量检测与评价	373
10.4.1 锚杆、锚索工程质量检测评判	375
10.4.2 喷射混凝土质量检测与评判	379
10.5 锚喷支护工程监测系统	397
10.5.1 岩体位移监测	398
10.5.2 顶板离层监测	413
10.5.3 巷道围岩深部位移监测	418
10.5.4 锚杆受力监测	424
10.5.5 喷层应力监测	426

10.5.6	煤巷预应力支护监测技术	427
10.5.7	监测实例	428
第 11 章	锚杆支护技术规范编制	432
11.1	锚杆支护技术规范编制的重要性和必要性	432
11.2	锚杆支护技术规范的作用与功能	433
11.3	锚杆支护技术规范编制原则	433
11.4	锚杆支护技术规范编制方法	434
11.5	锚杆支护技术规范编制内容	434
11.6	兖州矿区锚杆支护技术规范实例	435
11.6.1	总则	435
11.6.2	煤巷锚杆支护技术	437
11.6.3	地质力学评估及煤巷围岩稳定性分类	438
11.6.4	锚杆支护设计	440
11.6.5	锚杆支护材料	444
11.6.6	锚杆支护施工	445
11.6.7	煤巷锚杆支护监测	447
11.6.8	锚杆支护工程质量检测	449
11.6.9	除尘及职业健康	452
11.6.10	巷道围岩力学性质测试(附录 A)	452
11.6.11	煤巷锚杆支护工程质量检验评定标准(附录 B)	454
11.6.12	煤巷锚杆支护工程质量检验评定表(附录 C)	457
11.6.13	锚杆拉拔力检测记录表(附录 D)	458
11.6.14	锚杆安装质量检测记录表(附录 E)	458
11.6.15	锚索安装质量检测记录表(附录 F)	459
11.6.16	本规范用词说明(附录 G)	459
第 12 章	煤矿锚杆支护智能设计系统	461
12.1	概述	461
12.2	煤矿巷道锚杆支护智能设计系统	462
12.2.1	系统输入数据及结果数据类型	462
12.2.2	系统的安装	464
12.2.3	系统的启动	464
12.2.4	系统的运行	465
12.3	软岩巷道锚杆支护智能设计系统	474
12.3.1	系统输入数据及结果数据类型	474
12.3.2	系统的安装	476

12.3.3 系统的启动	476
12.3.4 系统的运行	477
12.4 系统运行环境	488
12.5 系统功能特点	488
12.5.1 可视化的界面与多任务的执行	489
12.5.2 简单的操作与安全的运行保障	489
12.5.3 严格的执行控制与友好的用户提示	489
12.5.4 强大的图形绘制功能	489
12.5.5 完备的表格及曲线绘制功能	492
12.5.6 方便快捷的报告自动形成功能	494
第 13 章 工程实例分析	498
13.1 徐州矿区“三软”煤层巷道锚杆支护	498
13.1.1 煤层地质及生产技术条件	498
13.1.2 采用 FLAC3.3 软件进行数值模拟分析	498
13.1.3 巷道断面与支护设计	499
13.1.4 巷道施工工艺和方法	500
13.1.5 矿压观测结果与分析	502
13.1.6 锚杆支护技术经济效益分析	506
13.2 徐州矿区三河尖煤矿全煤巷道锚杆支护	506
13.2.1 地质及生产技术条件	506
13.2.2 巷道锚杆支护设计	507
13.2.3 施工工艺和方法	509
13.2.4 数值模拟锚杆预拉力结果与分析	510
13.2.5 矿压观测结果与分析	510
13.2.6 技术经济和社会效益	512
13.3 徐州庞庄煤矿松散复合顶板巷道锚杆支护	514
13.3.1 地质概况	514
13.3.2 工作面生产技术条件	514
13.3.3 巷道锚杆支护设计	515
13.3.4 松散破碎复合顶板煤巷锚杆支护施工工艺	515
13.3.5 矿压观测结果与分析	517
13.3.6 技术经济及社会效益	520
13.4 三河尖矿 7405 上风巷沿空掘巷预拉力锚杆支护	523
13.4.1 概述	523
13.4.2 支护方案及参数	525

13.4.3	支护效果	527
13.4.4	基本结论	529
13.5	围岩松动圈支护理论工程实践	530
13.5.1	鸡西矿务局东海煤矿改扩建工程——二水平暗斜井	530
13.5.2	鸡西矿务局东海煤矿改扩建工程——皮带机上山通道	531
13.5.3	鸡西矿务局东海煤矿改扩建工程——皮带机头硐室	531
13.5.4	淮南潘三煤矿开拓巷道——西二采区运输石门	532
13.5.5	峰峰矿务局九龙口煤矿返修工程——南部运输大巷	533
13.5.6	兖州矿务局南屯煤矿——13 _上 04综放工作面全煤下顺槽	534
13.6	南屯煤矿九采区节理化软岩巷道锚网索支护	534
13.6.1	工程概况	534
13.6.2	工程地质概况	535
13.6.3	软岩巷道变形力学机制及其转化对策	540
13.6.4	巷道支护方案的确定	541
13.6.5	支护监测试验及结果分析	542
13.7	古山立井 HJS 复合型软岩巷道支护	545
13.7.1	工程地质概况	545
13.7.2	软岩巷道变形力学机制及支护对策	547
13.7.3	巷道支护方案及其优点	548
13.7.4	支护效果分析	549
	参考文献	555

第1章 绪 论

我国的煤炭资源丰富,煤炭产量居世界首位,而且煤炭在我国一次能源生产和消费中占75%左右。据有关部门预测,在未来20~50年内,我国一次能源生产和消费以煤为主的格局不会改变^[1, 2]。

由于我国煤炭赋存条件复杂,绝大多数矿井采用井工开采。巷道作为煤矿井下生产的脉络,每年巷道掘进和维护达千万米,保持其畅通和完好状态对改善井下的劳动条件和作业环境以及防止巷道顶板事故,保证矿井正常生产和安全生产具有重要意义。

锚杆支护作为一种有效的采准巷道支护方式,由于对巷道围岩强度的强化作用,可显著提高围岩的稳定性,加之具有支护成本较低、成巷速度快、劳动强度减轻、提高巷道断面利用率、简化回采面端头维护工艺、明显改善作业环境和安全生产条件等优点,可提高矿井的经济效益,因而成为世界各国矿井巷道的一种主要支护形式,代表了煤矿巷道支护技术的主要发展方向。

1.1 锚杆支护的技术优越性

采用锚网支护技术不仅能够显著提高巷道支护效果,增加安全程度,而且可以节约大量的支护和维修费用,在减轻工人劳动强度的同时,能够改善井下作业环境,为矿井高产高效创造条件。它与传统的棚式支护相比具有十分明显的技术优越性。

(1) 改善围岩受力状态

巷道开挖后,围岩的受力状态发生改变。不同部位的岩体,由于其受力状态不同,所表现出的强度特性也各不相同。当打入锚杆后,由于锚杆与围岩的相互作用,使得巷道围岩受力状态又发生改变。主要表现在^[3, 4]:①锚杆与岩体黏结在一起,提高了岩体的整体刚度,增强了岩体的抗变形能力,加强了岩体的整体性;②由于锚杆的抗拉作用,当锚杆穿越破碎岩层深入稳定岩层时,对不稳定岩层起着悬吊作用;③对于层状岩体,由于锚杆的作用,对岩层离层的产生有着一定的阻碍作用,并增大了岩层间的摩擦力,与锚杆本身的抗剪作用阻止岩层间产生相对滑动,从而将各个岩层夹紧形成组合梁,提高了岩层的承载能力;④由于锚杆的作用,从而形成了 σ_3 作用面,改变了边界岩体的受力状态,使其由二维应力状态转化为三维受力状态,提高了岩体的承载能力。

(2) 变“被动”为“主动”

一般棚式支护基本不具有初阻力,不可能紧贴围岩或不能全部紧贴围岩,往往形成点状受力。只有当围岩破碎、离层后,随着围岩变形的增加,支架支护阻力随之增加,才能发挥棚子的支撑作用,属于“被动”支护。锚杆支护是完全不同的一种崭新的支护方式。它利用锚固剂、锚杆、托板及各种构件或喷层,给围岩一定的支护强度,且随围岩变形支护阻力不断增加,与围岩共同组成支护体系,承受各种围岩应力和采动应力达到支护目的,通常使用的锚杆支护属于“主动”支护。

(3) 减少巷道维修量

与棚式支护相比,锚杆支护能及时加固围岩,从而减少围岩变形,防止顶板早期离层和片帮,更有利于改善巷道的维护状况,保持巷道围岩的长期稳定。在相同地质条件下,锚杆支护的巷道顶板下沉量和两帮位移量明显小于架棚巷道,减少了巷道维修量。从根本上改善采准巷道的支护状况,保证了安全生产。

(4) 简化工作面超前支护

综采工作面上、下顺槽采用棚式支护时,必须提前进行替棚。受工作面采动影响,撤棚、替棚工作十分复杂,用工多、速度慢,严重影响综采工作面推进速度。锚杆支护可以有效减少回采超前压力对巷道的破坏,不需要替棚工序,简化了综采工作面上、下顺槽的超前支护,从而提高综采工作面推进速度,提高了工作面单产,有利于高产高效矿井建设。

(5) 提高掘进速度

锚杆支护巷道施工简单、机械化程度高,随着锚杆机具、掘进机及其配套设备性能的完善与提高,配套材料,如钻头、钎杆性能的提高,以及一大批锚杆支护材料的应用,巷道掘进速度和生产效率可大幅度提高。

(6) 消除安全隐患

采用锚网支护技术,可以消除传统架棚支护方式的不安全因素。若采用架棚支护,由于顶煤较破碎,棚与顶板煤层之间出现空隙,则会造成煤的自然。采用锚网支护技术,钢筋网能与顶板完全接触,可防止顶煤的冒落和煤层裂隙的继续扩展,从而可以达到防、灭火的目的。特别是消除了采用架棚支护的切眼在支架安装时、回撤架棚时的不安全因素,为安全生产创造了条件。

(7) 降低支护成本

采用锚杆支护可以大幅度节约大量钢材、木材等支护材料,降低支护成本,有利于节约自然资源,改善生态环境。

(8) 减小工人的劳动强度

采用型钢及木棚支护的材料运输量大,工人劳动强度高,巷道断面越大,这一问题越突出。采用锚网支护技术,不需要运输大量的支护型钢和其他辅助材料,

改善了上、下顺槽工作环境, 不仅减小了支护材料的搬运量, 同时也减小了支护劳动量, 从根本上减轻了工人的劳动强度, 解放了生产力, 加快了循环进度, 工效也随之提高。

(9) 减小了辅助运输量

煤层巷道采用锚网支护技术, 同时也可减小辅助运输工作量。千米巷道减少材料运输量 1/8 以上, 有利于提高掘进工效和减少上下山辅助运输过程中的不安全因素, 同时减轻了辅助运输的压力, 促进了巷道掘进工作。

(10) 有利于生产组织

采用锚网支护技术, 可以简化工作面端头及超前支护, 锚网支护技术比架棚支护在抑制煤帮变形方面具有良好的效果, 片帮现象可基本消除, 保证了行人畅通, 有利于安全快速地组织生产。

1.2 国内外锚杆支护的发展现状

1.2.1 国外锚杆支护的发展现状及技术特点

1. 发展现状

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 20 世纪 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。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。几十年来, 世界锚杆支护经历了如下发展历程^[3]: 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、胀管式锚杆并得到应用, 同时研究新的设计方法, 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。

目前, 各国锚杆支护在巷道支护中所占比例详见图 1.1。

美国、澳大利亚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%。

澳大利亚锚杆支护技术已经形成比较完整的体系, 处于国际领先水平。澳大利亚的煤矿巷道几乎全部采用 W 形钢带树脂全长锚固组合锚杆支护技术, 尽管其巷道断面比较大, 但支护效果非常好。对于复合顶板、破碎顶板以及巷道交叉点、大断面硐室等难维护的地方, 采用锚索注浆进行补强加固, 控制了围岩的强烈变