

# 深井巷道底板预应力锚索快速加固技术研究

张 辉<sup>1,2</sup> 康红普<sup>1</sup> 徐佑林<sup>1</sup>

(1. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013; 2. 中国矿业大学(北京) 资源与安全工程学院, 北京 100083)

**摘 要:** 为解决深井巷道底鼓治理难度大的难题, 通过分析制约底板加固技术发展的因素, 提出了底板预应力锚索加固的方法和工艺; 阐述了搅拌头、锚固剂和止浆塞对锚固效果的影响作用。试验结果表明: 钢管树脂锚固剂固定式搅拌头和大直径快、慢速混合使用的锚固剂, 锚固效果最好, 满足了巷道底板预应力锚索初始支护的要求; 采用锚索专用止浆塞实现了锚索自由段带压注浆, 增强了底板围岩的强度, 保证了底板锚索的锚固性能。预应力锚索加固不仅使巷道底板锚索及时主动承载, 而且使底板围岩及锚索锚固性能得到强化, 最大程度保持底板围岩的完整性, 保证加固效果, 降低了支护成本。

**关键词:** 预应力锚索; 快速锚固; 底鼓; 注浆; 搅拌头; 止浆塞

中图分类号: TD322

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2013)04-0016-04

## Study on Rapid Reinforced Technology with Pre-Stressed Anchor for Floor of Mine Roadway in Deep Mine

ZHANG Hui<sup>1,2</sup>, KANG Hong-pu<sup>1</sup>, XU You-lin<sup>1</sup>

(1. Department of Mining and Design, Tiandi Science and Technology Company Ltd., Beijing 100013, China;

2. School of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to solve a high difficult problem of the floor heave control in the mine roadway of the deep mine, the paper analyzed factors to restrict the development of the floor reinforcement technology and provided the method and technique of the floor pre-stressed anchor reinforcement. The paper stated the mixing head, anchoring agent and packer affected to the anchoring effect. The experiment results showed that the steel tube resin anchoring cartridge with fixed mixing head and the anchoring agent with large diameter fast and slow mixing would have a best anchoring effect and could meet the initial support requirements of the pre-stressed anchor for the floor of the mine roadway. With the special packer the free section of the anchor could be pressurized grouted to enhance the strength of the floor surrounding rock and to ensure the anchoring performances of the floor anchor. The reinforcement of the pre-stressed anchor would not only make the floor anchor timely and actively loading, but could make the floor surrounding rock and the anchoring performances enhanced. Thus the integration of the floor surrounding rock could be maximally kept to ensure the reinforcement effect and reduce the support cost.

**Key words:** pre-stressed anchor; rapid anchoring; floor heave; grouting; mixing head; packer

## 0 引 言

矿井进入深部开采阶段后, 引起高地压、高地温、高岩溶水压和强烈的开采扰动影响; 冲击矿压、煤与瓦斯突出、瓦斯爆炸、矿井突水、矿压显现剧烈、巷道围岩大变形、冒顶片帮及强烈的底鼓等灾害日趋严重, 对深部矿井的安全、高效开采带来巨大威胁<sup>[1-3]</sup>。强烈的巷道底鼓不仅带来大量维修工作,

增加巷道维护费用, 而且严重影响了巷道围岩整体的稳定性, 阻碍了矿井的正常生产<sup>[4-5]</sup>。随着我国煤炭生产规模的日益扩大, 开采深度不断增加, 复杂岩层条件开采的机会越来越多, 目前很多矿井都不同程度地存在着巷道底鼓现象。巷道底鼓引起的维护量约占巷道总维护量的50%以上, 某些矿井每米巷道维护费用高达数万元以上<sup>[6-7]</sup>。国内外多年的实践经验表明: 巷道底鼓的预防比治理更为重要, 有

收稿日期: 2012-11-14; 责任编辑: 杨正凯

基金项目: 国家自然科学基金委与神华集团有限公司联合资助项目(U1261211)

作者简介: 张 辉(1983—), 男, 河南商丘人, 博士研究生。Tel: 15201290491, E-mail: caikuangzhang@163.com

引用格式: 张 辉, 康红普, 徐佑林. 深井巷道底板预应力锚索快速加固技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(4): 16-19, 23.

效的底板加固不仅有效地控制了底鼓,而且对巷道围岩整体的稳定也起着重要的作用<sup>[8-10]</sup>。然而目前巷道底板加固的方法和施工工艺的局限性成为制约巷道底鼓防治技术发展的瓶颈。鉴于此,笔者进行巷道底板预应力锚索快速加固技术进行研究,以期达到对深井巷道底鼓治理的目的。

## 1 巷道底鼓治理现状

巷道底板加固技术是控制巷道底鼓最有效的方法,然而巷道底板所处的环境特殊,各种加固底板的方式又都存在着不可克服的缺点<sup>[11-13]</sup>:①底板锚杆(索)控制底鼓的效果,不仅受到底板岩层性质及应力状态的影响,而且受底板锚杆(索)的锚固方式(一般使用水泥/水玻璃锚固,7 d后施加预紧力)及支护参数的影响,导致底板锚固施工进度慢,且达不到及时主动支护的目的,致使底板锚杆(索)加固底板的效果较差。②底板注浆适用于加固比较破碎的底板岩层,在一定程度上强化了底板围岩强度,但对于深部高应力巷道及底板围岩裂隙发育差的软岩巷道,底板注浆控制底板围岩具有较大的局限性,致使底板注浆一段时间后发生底鼓落底更加困难。③封闭式支架属于被动支护,它与围岩性质、应力状态、支架工作特性等有关,浅部低应力巷道底板中,封闭式支架可以达到较好的控制效果,但在深部高应力巷道及软岩遇水膨胀巷道中,封闭式支架的支护阻力远达不到控制底板围岩的要求,并且施工进度慢、支护成本高。

## 2 底板预应力锚索加固技术

### 2.1 巷道底板预应力锚索加固原理

加固原理主要包括以下 4 个方面: ①底板锚索预应力锚固使底板围岩较大范围得到加固, 不受巷道断面大小及锚固方式的限制, 并及时施加预紧力, 形成底板锚索锚固圈。②底板锚索自由段注浆, 不仅使锚索自由段破碎围岩强度增强, 提高锚索的锚固力, 而且使锚索之间破碎岩体连接为一体, 形成锚索注浆内加固圈。③底板锚索带压注浆, 浆液在底板围岩更大范围内扩散, 使得巷道两帮底角破碎岩体得到增强, 提高了巷道两帮的稳定性, 形成锚索注浆外加固圈。④底板锚索锚固圈与锚索注浆加固圈 (锚索注浆加固圈包括锚索注浆内加固圈和锚索注浆外加固圈) 形成的底板岩层加固体, 可以有效控

制巷道底鼓,提高了巷道围岩整体稳定性。底板锚索锚固圈与锚索注浆内加固圈相互叠加,使底板岩层得到强力加固,有效控制巷道底鼓;底板岩体较完整的新掘巷道中,底板加固范围保持在锚索注浆内加固圈内即可,而对于返修巷道底板围岩的加固必须带压注浆,使底板岩层注浆范围控制在锚索注浆外加固圈范围内,控制巷道整体的稳定性。

为了克服巷道底板加固施工速度慢、效果差、成本高的难题,实现底板的快速强力加固,提出采用底板下锚上注预应力锚索加固控制巷道底鼓的方法:

①锚索下端部采用树脂锚固剂进行锚固,及时施加预紧力,提高围岩自承能力;②返修巷道及新掘巷道底板受加固时间滞后的影响,直接底板围岩一定范围内将出现破碎现象,底板锚索自由段注浆一方面改善底板上部破裂岩体的结构及力学性能,另一方面锚索实现了全长锚固,提高锚索的锚固力,达到多层加固效果。该方法集中了锚索锚固和注浆的优点,锚索孔兼做注浆孔,可以实现巷道底板锚注一体化预应力强力加固,减少底板注浆另打钻孔的工序,巷道底板围岩预应力锚索加固原理如图1所示。

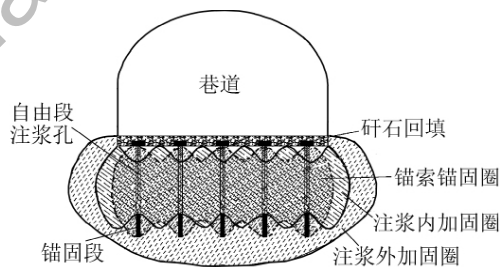


图 1 巷道底板围岩预应力锚索加固原理

## 2.2 巷道底板预应力锚索加固方法

使用矿用锚索对底板进行锚注,锚索下端使用树脂锚固剂进行锚固,及时施加高预应力,锚固长度需达到设计的预紧力;上部自由段实行注浆,使底板围岩及锚索锚固性能得到增强,从而实现底板锚索强力加固。底板锚固系统构件包括矿用锚索、搅拌头、树脂锚固剂、止浆塞、锚索托盘、底板托梁及钢筋网等,底板预应力锚索加固方法结构如图 2a 所示。

### 2.3 影响底板预应力锚索锚固力的因素分析

1) 底板锚索搅拌头。由于底板锚固孔深度大,成孔效率低,致使锚固孔成孔直径大(一般在  $\phi 50$  mm 左右)树脂锚固剂锚固锚索成功的关键在于锚固剂的搅拌效果。这就需要锚索端头安装一种搅拌头来充分搅拌锚固剂,底板锚索的锚固方法如图

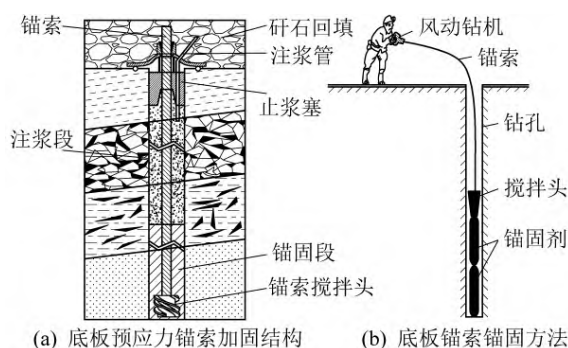


图2 锚索锚固施工

2b所示。根据钻孔直径( $\phi 50$  mm)大小,在现场试验了4种搅拌头进行锚固,分别锚索端头钢绞线剖开式搅拌头、锚索端头铁丝缠绕式搅拌头、钢管(外壁焊接左旋肋)铁丝固定式搅拌头、钢管树脂锚固剂固定式搅拌头,并进行了锚固力性能试验,每种搅拌头试验3根。4种搅拌头的平均锚固力分别为65、141、106和154 kN。

试验结果表明:锚索端头钢绞线剖开式搅拌头在锚索搅拌过程中,由于底板钻孔孔壁较破碎,造成剖开的钢绞线与孔壁作用,锚索推不到孔底就无法继续推进,造成树脂锚固剂未能充分搅拌,锚固长度达不到设计的要求。任意选择3组此种方式锚固的锚索,其锚固力均低于100 kN,且大部分锚索露出孔口较长;锚索端头铁丝缠绕式搅拌头锚索比较顺利,锚固力均达到140 kN,完全满足设计的要求;钢管(外壁焊接左旋肋)铁丝固定式搅拌头锚索比较顺利,但常出现铁丝破断,搅拌头滑落现象,锚固效果较差,锚固后的锚索有时用手即可拔出;钢管树脂锚固剂固定式搅拌头锚索比较顺利,锚固效果好,锚固力均达到150 kN。因此,锚索的锚固力大小受搅拌头的形状与锚索的连接方式影响很大。

2) 底板锚索锚固剂。目前,底板锚索锚固的方法多采用水泥灌浆端锚,7 d后进行施加预紧力,严重制约底板加固施工的速度,同时,底板锚索未能及时主动支护。采用树脂锚固剂锚固底板锚索,不仅可以及时施加高预紧力,而且是底板快速加固的前提,为锚索锚固后的其他工艺提供有利条件。由于巷道底板所处的地质条件和特殊的环境,底板锚固孔成孔直径较大(普遍在50 mm以上),无论是干式打孔还是湿式打孔,钻孔内时常有积水,树脂锚固剂的型号和锚固速度对底板锚固效果影响很大。该试验把锚固剂分5种情况进行现场锚固试验见表1

(选择钢管树脂锚固剂固定式搅拌头锚索),底板钻孔岩性多为细砂岩,每组试验测试3根锚索;由于条件的限制,现场只做了1种大直径慢速锚固剂的试验,且未进行大直径快速锚固剂试验。

表1 不同锚固剂条件下的锚固效果

锚固剂型号	锚固剂数量	平均锚固力/kN
K2835	4	102
M2835	4	64
K2835 + M2835	3 + 1	126
M4250	2	145
K2835 + M4250	2 + 1	180

试验结果表明:底板锚索锚固力的大小不仅受树脂锚固剂凝固速度的影响,而且受锚固剂直径大小的作用,且锚固剂的直径对锚索锚固力的作用更大。这是由于:①底板锚索钻孔直径大,即使在锚索搅拌头的作用下,小直径锚固剂也搅拌不均匀,起锚固作用的锚固段较短,从而造成锚固力较低;②底板钻孔内存在积水,在锚索搅拌过程中,锚固剂的锚固效果受水的影响较大,而锚固剂凝固速度表现为与水的作用时间,因此,快速锚固剂在很大程度上提高了底板含水钻孔的锚固力。因此,不同凝固速度的锚固剂合理搭配决定了底板锚索锚固的效果,是底板锚索预紧力及时主动支护取得成功的前提。

3) 底板注浆。巷道底板锚索高预紧力及时主动支护后,由于其锚固强度可能达不到底板加固的设计要求,需要对底板进行注浆加强支护。借助底板锚索钻孔进行注浆,即提高了底板岩层的强度,又提高了锚索锚固力,且减少了专门钻打底板注浆孔的工序,因此,对底板锚索自由段进行注浆对巷道底板的加固具有重要意义。目前,对锚索注浆进行封孔的方式主要分为2种:止浆塞和水泥(或其他化学材料)。水泥封孔虽然成本低,但操作工艺复杂,且封孔效果差;尤其在对锚索施加高预紧力时,锚索的移动很大程度上破坏了封孔体,很难完成对底板锚索带压注浆。锚索专用止浆塞能很好地解决以上问题,但成本略高,止浆塞塞体与锚索钻孔合理匹配,在张拉锚索施加预紧力时在止退管的作用下,止浆塞与孔壁接触越紧密,密封效果越好。底板锚索注浆自由段注浆使用止浆塞,首先,可以使底板施工的后续工作继续进行,对锚索进行集中注浆,底板锚索注浆如图3所示;其次,封孔效果较好,可以实现带压注浆,对于破碎底板具有重要作用。

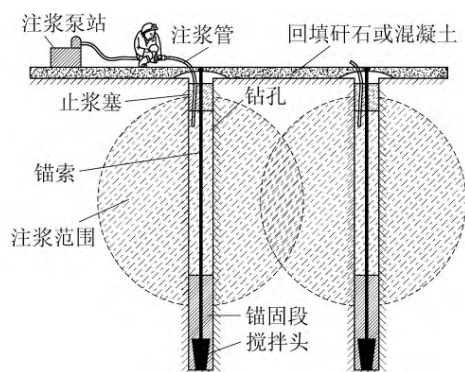


图3 底板锚索注浆示意

### 3 工程试验

#### 3.1 工程概况

华丰煤矿-1 180 m 东岩巷, 巷道宽 5.5 m, 高 4.3 m, 直墙圆拱形, 岩层倾角  $32^\circ$ , 巷道位于 10 号煤层与 11 号煤层之间的岩层中, 底板多为中砂岩、粉砂岩、局部含有灰岩, 岩石强度较高。其中, 10 号煤层以半暗煤为主, 厚度为 0.3 m; 中粒砂岩呈灰白色, 厚层状, 层理发育, 厚度为 10.0 m; 粉砂岩呈灰黑色, 性脆, 局部夹细砂岩薄层或泥质透镜体, 厚度为 8.7 m; 11 号煤层以半亮煤为主, 夹暗煤及丝碳条带, 夹矸为棕褐色铝矾土, 厚度为 0.8 m。通过水压致裂法地应力测试测得巷道的最大水平主应力为 30.27 MPa, 最小水平主应力为 16.78 MPa, 垂直主应力为 31.82 MPa, 根据文献[14]提出的判断标准, 华丰煤矿-1 180 m 东岩巷为超高应力区。在超高应力的作用下, 巷道围岩出现大变形, 尤其是裸露的底板底鼓量较大, 导致巷道顶板与两帮围岩的控制效果极差, 巷道经常返修。

#### 3.2 底鼓治理方案

巷道底板采用预紧力锚索快速加固技术进行试验, 方案如下: 锚索为  $\phi 22 \text{ mm} \times 6\,200 \text{ mm}$  的 1×19 股高强钢绞线; 锚索搅拌头为特制, 与锚索孔直径相匹配, 使用锚固剂固定在锚索端头; 每孔采用 2 支 K2835 和 1 支 M4250 树脂药卷锚固; 锚索托板为  $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$  高强度托板, 托板设有直径为 18 mm 的注浆孔; 锚索间排距  $1\,300 \text{ mm} \times 1\,300 \text{ mm}$ ; 托梁使用  $\phi 20 \text{ mm}$  的钢筋焊接而成; 止浆塞为特制, 与锚索孔直径相匹配; 注浆压力 2~3 MPa, 水泥浆水灰质量比 0.6:1.0; 锚索钻孔使用最新研发的新型底板钻具, 钻孔直径 50 mm, 锚索施加预紧力为 100~150 kN。

#### 3.3 底板加固效果

巷道掘进后, 受施工工艺的限制, 首先对巷道顶板及两帮进行矿压监测, 底板施工后再进行底板矿压监测。巷道围岩变形量随时间变化的曲线如图 4 所示。由图 4 可知, 巷道围岩变形可分为 3 个阶段: ①巷道支护初期, 主要在锚杆锚索支护作用下, 巷道围岩顶板及两帮围岩变形剧烈, 顶板下沉量达 50 mm, 两帮移近量达 100 mm, 底鼓量受现场施工的限制, 未能监测, 此阶段属于巷道围岩剧变期; ②顶板及两帮锚索注浆后阶段, 巷道围岩注浆后, 使锚固区围岩的承载拱强度大幅增强, 有力地控制巷道围岩的剧烈变形, 这一阶段巷道顶板及两帮的位移速度显著降低, 此阶段属于巷道围岩渐稳期; ③底板锚固加固后阶段, 巷道围岩得到全断面强力支护后, 巷道围岩体强度大幅加强, 不仅有效控制了巷道的底鼓, 而且使得顶板及两帮的围岩变形速度显著降低, 进一步表明了加固巷道底板, 有利于巷道整体的稳定性, 此阶段属于巷道围岩稳定期。

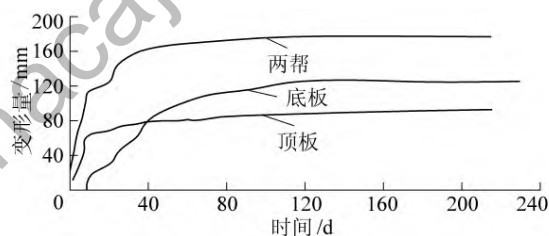


图4 巷道围岩变形量随时间变化的曲线

因此, 巷道底板预应力锚索加固不仅有效地控制了巷道底鼓, 对深井高地应力巷道围岩整体的稳定性起着重要的作用。技术方面, 巷道底板预应力锚索加固与巷道底板锚索先灌浆锚固相比较, 7 d 后施加预紧力。树脂锚固剂锚固可以及时施加预紧力、自由段集中注浆, 显著提高了底板施工的速度, 简化了底板加固的工艺; 经济方面, 与封闭式支架、底拱砟、底板锚索灌浆相比, 显著降低了人工成本和材料费用。采用底板预应力锚索加固技术, 巷道底板的施工速度可以提高 10 倍以上, 材料费和人工费降低 70% 以上。

### 4 结 论

1) 受底板特殊环境的限制, 锚索是实现底板树脂锚固的前提, 而锚索搅拌头的形状和锚固剂的直径及凝固速度对树脂锚固锚索的效果有着重要的影

(下转第 23 页)

关系如图 7 所示。

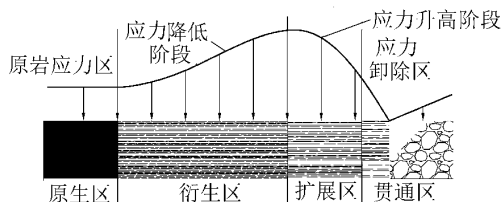


图 7 工作面前方煤体裂隙发育和应力变化过程

## 5 结 论

1) 煤矿现场试验方法操作简单方便, 数据采集真实, 结果处理可靠。顶底板采动裂隙观测采用钻孔电视法, 煤壁前方煤体裂隙检测采用声测法, 各自观测方法简单易行, 又可避免试验缺陷。钻孔电视法观测采用裂隙密度处理采集结果, 以横向裂隙做标准, 其他裂隙形态按破坏程度做概化处理; 声测法通过分析声速波形曲线特征获得处理结果。

2) 处理结果表明, 采动裂隙随距离工作面位置的不同, 裂隙发育程度不同, 顶底板裂隙分为原生区、扩展区、贯通区和缩减区, 煤壁前方煤体裂隙分为原生区、衍生区、扩展区和贯通区。

(上接第 19 页)

响。试验结果表明, 钢管树脂锚固剂固定式搅拌头锚索的锚固效果较好, 锚固力达到 150 kN 以上; 锚固剂采用型号 K2835 + M4250 快慢速混合使用的方法, 锚固力达到 180 kN, 满足了巷道底板预应力锚索初始支护的要求。

2) 底板锚索自由段注浆加固。采用锚索专用止浆塞进行封孔, 封孔速度快, 效果好, 可以随时对锚索自由段带压注浆, 有利于浆液在钻孔围岩内扩散, 增强了底板围岩的强度, 保证了底板锚索的锚固性能。

3) 预应力锚索加固巷道底板的方法和工艺, 保证了加固效果, 提高了底板加固施工的速度, 降低了成本, 是一种有效、快速、经济的深井巷道底鼓防治手段。

参考文献:

- [1] 康红普, 王金华. 煤巷锚杆支护理论与成套技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007: 143-150.
- [2] 王卫军, 侯朝炯, 冯涛. 动压巷道底鼓[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003: 125-160.

参考文献:

- [1] 胡宝林, 陈赓, 张影, 等. 中厚岩层顶板煤层采动裂隙发育特征分析[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(7): 17-20.
- [2] 林海飞, 李树刚, 成连华, 等. 覆岩采动裂隙带动态演化模型的实验分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(2): 298-303.
- [3] 张西斌, 张勇, 刘传安, 等. 基于采空区瓦斯运移规律的抽采钻场设计[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(3): 56-61.
- [4] 张勇, 刘传安, 张西斌, 等. 煤层群上行开采对上覆煤层运移的影响[J]. 煤炭学报, 2011, 36(12): 1990-1995.
- [5] 康建荣, 王金庄. 采动覆岩力学模型及断裂破坏条件分析[J]. 煤炭学报, 2002, 27(1): 16-20.
- [6] 林海飞, 李树刚, 成连华, 等. 覆岩采动裂隙演化形态的相似材料模拟实验[J]. 西安科技大学学报, 2010, 30(5): 507-511.
- [7] 赵洪亮. 综放开采覆岩结构破坏与裂隙演化的数值分析[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(5): 107-110.
- [8] 李智, 王汉鹏, 李术才, 等. 煤层开采过程中上覆岩层裂隙演化规律研究[J]. 山东大学学报: 工学版, 2011, 41(3): 142-147.
- [9] 靳钟铭, 魏锦平, 靳文学. 综放工作面煤体裂隙演化规律研究[J]. 煤炭学报, 2000, 25(12): 43-45.
- [10] 张西斌, 张勇, 刘传安, 等. 近距离煤层群采动卸压规律及瓦斯抽采技术[J]. 煤矿安全, 2011, 42(12): 22-25.
- [11] 柏立田, 张兴阳, 徐钧. 泥岩顶板巷道裂隙演化规律及控制的应用研究[J]. 煤炭工程, 2010(9): 66-69.
- [12] M 奥顿哥. 巷道底鼓的防治[M]. 王茂松, 译. 北京: 煤炭工业出版社, 1985: 13-61.
- [13] 王洪立, 王玉白, 胡冠英. 巷道底鼓的原因及防治措施[J]. 煤矿安全, 2005, 36(8): 43-45.
- [14] 高明中. 巷道压曲性底鼓的机理与控制[J]. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2008, 28(1): 20-24.
- [15] 郭保华, 陆庭侃. 深井巷道底鼓机理及切槽控制技术分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(1): 91-94.
- [16] 康红普. 软岩巷道底鼓的机理及防治[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993: 81-101.
- [17] 姜耀东, 陆士良. 巷道底鼓机理的研究[J]. 煤炭学报, 1994, 19(4): 343-351.
- [18] 何满潮, 张国锋, 王桂莲, 等. 深部煤巷底鼓控制机制及应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(S0): 2593-2598.
- [19] 王卫军, 侯朝炯. 沿空巷道底鼓力学原理及控制技术研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(1): 69-74.
- [20] 张振普, 郭军杰. 深井巷道底鼓防治技术研究[J]. 中国煤炭, 2009, 35(4): 61-63.
- [21] 王卫军, 冯涛. 加固两帮控制深井巷道底鼓的机理研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(5): 808-811.
- [22] 刘少伟, 张辉. 倾斜煤层回采巷道帮煤体滑移危险分析与应用[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(1): 14-17.
- [23] 康红普, 林健. 我国巷道围岩地质力学测试技术新进展[J]. 煤炭科学技术, 2001, 29(7): 27-30.