

煤矿深部高地压巷道锚索支护技术对策研究

邵德盛, 杨张杰, 聂建伟, 杨永刚, 赵 磊

(安徽省煤炭科学研究院, 安徽 合肥 230001)

[摘 要] 为了解决煤矿延伸至深部后出现的高地压巷道支护难题, 通过对锚索锚固机理、锚固结构及锚固工艺等进行基础性实验研究, 提出了以孔壁注浆锚索为核心的煤矿深部高地压巷道锚索支护技术对策, 包括: 孔壁注浆锚索及其锚固技术; 胀壳式端头机械锚固锚索及其安装技术; 铰接箱形梁组合锚索支护技术。采用胀壳式端头机械锚索及与其配套的孔壁注浆锚固技术, 可实现锚索的全长锚固, 提高锚索内锚固的可靠性和锚索的内锚力; 采用箱形梁锚索组合结构, 可提高锚索支护外锚结构的强度、刚度和整体性, 能有效地将巷道围岩表面压力绝大部分转移到围岩深部。从技术上有效解决煤矿深部巷道锚索支护难题。

[关键词] 高地压巷道; 孔壁注浆锚索; 锚索支护; 全长锚固

[中图分类号] TD353 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2018) 05-0057-04

Studying of Cable Supporting Technology Countermeasures of High Ground Pressure Roadway in Deep

SHAO De-sheng, YANG Zhang-jie, NIE Jian-wei, YANG Yong-gang, ZHAO Lei

(Anhui Province Coal Research Institute, Hefei 230001, China)

Abstract: In order to solve roadway supporting difficulty problem with high ground pressure as coal mining extend to depth, according fundamental experimental studying of cable anchoring mechanism, anchoring structure and technology, so roadway cable supporting technology with high ground pressure in deep of coal mine was put forward, which key technology was bore wall grouting cable, include bore grouting cable and it's anchoring technology, sleeve end mechanical cable and it's installation technology, hinge joint box girder combination cable supporting technology, fully length of cable supporting could be realized by sleeve end mechanical cable and it's matched bore wall grouting anchoring technology, so inner anchoring reliability and inner anchoring force of cable were improved, after box girder cable combination structure was applied, and strength, stiffness and integrity of outer anchoring structure of cable supporting were improved also, so most of roadway surface pressure could be effectively transfer to depth. Cable supporting difficulty problem in deep of coal mine was solved effectively from technical side.

Key words: high ground pressure roadway; bore wall grouting cable; cable supporting; fully length anchored

在我国, 锚索支护已经取代 U 型钢支架成为煤矿巷道的第三代支护技术并被普遍采用, 这主要是因为锚索支护可以提供各种地质、采矿条件下巷道支护设计所需要的支护强度和围岩变形控制技术, 这种支护强度和控制技术是以前其他各种支护方法所无法达到的^[1-5]。

当前, 随着矿井的不断延深, 地质条件与采矿条件较浅部发生较大变化, 锚索支护技术暴露出越来越多的问题, 如: 深井高地压锚索支护巷道的变形难以有效控制, 巷道垮落及巷道支护事故不断增加, 锚索布置密度已增加到不能再增加的程度, 钢绞线的直径已经增大到 22~28mm。锚索支护的实际情况也表明, 现有的锚索支护技术已经不能满足

煤矿深部高地压巷道的支护要求, 急需提出技术改进对策来与其相适应, 从而保证深井高地压巷道的安全高效支护^[6-13]。

1 传统锚索支护现状及存在问题

现在煤矿传统锚索技术现状是锚索的锚固结构无法提供与钢绞线破断力相匹配的锚固力, 或无法提供巷道支护所需要的锚固力; 锚固介质也无法提供深井巷道支护所需要的锚索锚固性能^[14]。存在问题主要体现在以下几点。

1.1 锚索载荷远低于其额定工作载荷

对淮南矿区潘三、新庄孜、张集、顾桥、顾北、潘一、潘二共 7 对矿井的 34 条煤巷不同规格

[收稿日期] 2018-06-19

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2018.05.015

[基金项目] 安徽省重点研究与开发计划项目: 煤矿深部高地压巷道锚索支护技术对策研究 (1704a0802130)

[作者简介] 邵德盛 (1961-), 男, 安徽宣城人, 副研究员, 安徽省煤炭科学研究院副院长, 主要从事煤矿巷道锚网支护技术研究与科研管理工作。

[引用格式] 邵德盛, 杨张杰, 聂建伟, 等. 煤矿深部高地压巷道锚索支护技术对策研究 [J]. 煤矿开采, 2018, 23 (5): 57-60.

锚索载荷进行实测统计, 见表 1。

表 1 锚索载荷统计

锚索型号	最大平均 载荷/kN	最小平均 载荷/kN	平均载 荷/kN	巷道 数/条
$\phi 15\text{mm}$	124	88	121	6
$\phi 18\text{mm}$	145	87	121	18
$\phi 22\text{mm}$	170	89	117	10
合计				34

通过对锚索载荷数据统计得出以下结果:

(1) 锚索平均载荷 120kN 左右, 远低于其理论破断力, 特别是对于 $\phi 22\text{mm}$ 锚索, 锚索的实际测量载荷仅为其理论破断力的 21%。

(2) 随着所使用的钢绞线直径加大, 锚索的最大平均载荷增加, 但最小平均载荷却没有增加, 或基本保持不变。

(3) 锚索的平均载荷没有与钢绞线的直径成正比, 即没有随着钢绞线直径的增加而增加, 即尽管钢绞线直径增加, 但锚索的平均载荷却基本上保持不变。

通过对以上统计结果分析得出以下结论:

(1) 煤矿巷道支护中锚索的实际支护强度远低于其设计支护强度。

(2) 锚索高承载能力的支护性能远没有得到利用和发挥。

(3) 一味通过增大钢绞线直径来提高巷道支护强度, 或提高巷道支护的安全性, 并不能取得明显的实际效果。

1.2 拉力集中型锚索的固有缺陷

拉力集中型锚索锚固的破坏过程: 锚固段外端最先达到最大剪应力并发生剪切破坏; 锚索粘结剪应力峰值及整个粘结剪应力分布向孔底方向移动, 锚索的锚固长度保持不变, 锚索锚固力保持不变, 直到其到达孔底; 锚固段外端最大粘结剪应力不断降低, 锚索的锚固长度不断缩短, 锚索的锚固力逐渐降低直至锚固破坏。

锚索锚固力大小取决于锚固介质的粘结强度、锚索粘结剪应力分布及锚固长度等。采用拉力集中型锚固结构, 由于现用的树脂锚固剂的粘结强度较低, 锚索粘结剪应力峰值集中度高, 锚索有效锚固长度短等, 这些锚固性能本身决定了这种锚固结构在较低的锚固力水平下就会发生破坏。在需要提供较高支护强度的深井巷道支护中, 采用拉力集中型锚索进行支护, 显然是不适当的; 而应该重新研究和选择适合于煤矿巷道支护需要的具有较高锚固力的锚索。

1.3 锚索外锚结构与高强度钢绞线不匹配

目前, 煤矿在采用组合锚索支护巷道时, 多数采用槽钢梁作为锚索的组合梁。尽管槽钢梁的使用型号有增大的趋势, 但计算表明, 煤矿巷道支护中使用的槽钢梁的抗弯强度一般仅为 10~20kN。这与锚索的锚固强度不匹配。锚索承载, 甚至在安装时预紧张拉, 槽钢梁也会屈服, 进而发生弯曲。锚索梁弯曲, 锚索载荷上不去, 锚索的高支护强度性能得不到利用和发挥。当锚索的实际支护强度远低于其设计支护强度时, 顶板压力必然通过围岩的严重变形与破坏无限制地释放; 而围岩的变形与破坏将会使锚索的外锚功能进一步降低, 从而形成恶性循环。可见, 即使锚索支护结构没有破坏, 但巷道照样可能会发生严重的变形破坏; 即使增加锚索支护密度, 加大锚索钢绞线直径, 如果锚索梁的强度和刚度不提高, 并不能提高锚索支护系统的支护能力。巷道支护中常常出现这样的情况, 即锚索工作状况看上去完好, 但巷道顶板却发生整体沉降, 或发生严重变形破碎, 特别是在围岩比较松软破碎的巷道, 情况更是如此, 有的甚至出现巷道大面积垮塌。

2 锚索锚固结构与锚固技术改进

现在的锚索支护技术即锚索的布置、锚索的支护参数、锚索的组合结构、锚索的安装机具等, 不能满足深井巷道围岩控制与支护的技术要求。因此, 需要就锚索的锚固结构、锚固工艺、组合结构等进行技术改进^[15-16]。

2.1 孔壁注浆锚索

目前我国煤矿大量使用的小孔径树脂锚固预应力锚索存在锚固剂深部无法充分搅拌、锚固长度受巷高限制等问题, 从而导致锚固性能与锚固力的不确定性。

为了解决现有煤矿锚索锚固技术中存在的问题, 国内近年来研制出了中空注浆锚索, 虽然在一定程度上克服了现有锚索的上述缺点, 但也存在索体破断力低、注浆孔易堵塞、成本高等缺点。

孔壁注浆锚索可以避免上述现有技术所存在的缺陷, 其杆体仍采用高强度预应力钢绞线, 通过合理设置注浆孔对钢绞线与孔壁之间的环状间隔进行注浆, 保证注浆通道畅通, 以便能够压注较高粘度、较低水灰比的砂浆, 浆液析水率低, 结石体强度较高, 注浆堵塞可能性低, 可以提高锚索的锚固强度, 并降低锚索制造成本。

孔壁注浆锚索由钢绞线与锚索注浆垫板、孔口

管、密封圈组成。锚索注浆垫板上钻锚索孔,用以安装钢绞线。同时,锚索注浆垫板上还钻有注浆孔,注浆孔为一直角弯孔,其一端与锚索孔垫板中间的锚索孔相连通,另一端安装注浆管,对锚索孔进行注浆。孔口管与锚索垫板焊接在一起。孔口管上车有沟槽,可以安装密封圈,用以封堵孔壁间隙,阻止注浆液从孔口管与孔壁之间的间隙泄漏。锚索垫板上的钢绞线安装孔车有台阶,里面安装有特制的钢绞线密封圈,用以堵塞钢绞线与垫板锚索孔之间的浆液泄漏。

孔壁注浆锚索试样见图1。

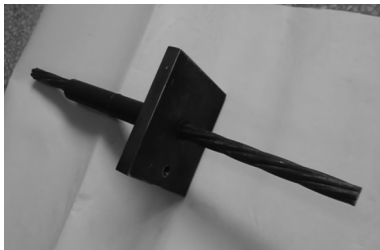


图1 孔壁注浆锚索试样

孔壁注浆锚索采用树脂锚固剂与水泥浆液混合锚固,安装工艺如下:

(1) 安装时,先向孔内推送锚固剂,用钢绞线将锚固剂推至孔底,搅拌锚固剂,实现锚索的部分长度锚固。

(2) 安装锚索注浆垫板及锚具,对锚索进行预紧张拉。

(3) 树脂锚固剂锚固后,将注浆管拧入锚索注浆垫板上的注浆孔,对锚索进行孔壁注浆,实现锚索的水泥浆液锚固。

孔壁注浆锚索是在现有的锚索安装技术及安装工艺基本不变的情况下,在锚索完成部分长度的树脂锚固以后,通过安装兼有封孔、注浆、垫板三重功用的锚索注浆垫板,实现通过锚索孔注浆的锚索全长锚固。与已有技术相比,孔壁注浆锚索具有以下创新性和先进性:

(1) 通过采用高强度预应力钢绞线作为锚索杆体,保留了煤矿巷道支护锚索的优良的机械性能和锚固性能,提高了锚索的支护强度和破断力。

(2) 采用孔壁注浆锚索,锚索的锚固深度和锚固长度不受限制;可有效提高锚索的锚固强度。

(3) 锚索的锚固介质的粘结性能及锚索的锚固质量稳定可靠。

(4) 通过锚索孔内钢绞线与孔壁之间的环状通道进行注浆,注浆通道畅通,提高锚索的注浆效

率。

(5) 孔壁注浆锚索制造成本较低。

2.2 胀壳式机械锚固锚索

目前煤矿井巷支护中采用的树脂锚固锚索存在如下问题:一是锚固剂安装困难,有的锚固剂不能全部顺利地到达锚固位置,造成锚索部分失锚;二是受到巷高限制,锚索的锚固长度受到限制,进而限制了锚索锚固力的提高;三是锚固剂包装袋不能全部搅拌碎,影响和降低锚索粘结力。

胀壳式锚索属于端头式机械锚固锚索,可以避免树脂锚固锚索在实际使用中所遇到的上述问题。胀壳式锚索由钢绞线、锚头、钢丝套、锥形压套、锥形瓣壳、弹簧卡等构成。钢丝套套装在钢绞线上,在钢丝套外面安装锥形压套。锥形压套通过相应模具的高压碾压,将锥形压套通过钢丝套与钢绞线紧密地咬合在一起。胀壳式机械锚固锚索结构见图2。

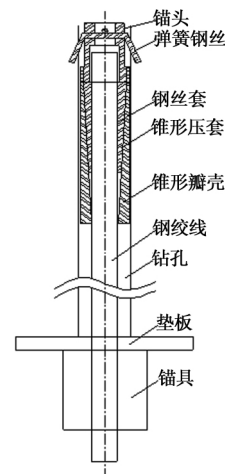


图2 胀壳式机械锚固锚索结构示意图

胀壳式机械锚索的工作原理:利用锚索锚头上的弹簧卡将锚固结构固定在钻孔底部,采用端头固定锚技术在锚索端头固定带有倒锥的锚头——锥形压套。当张拉设备张拉钢绞线时,锥形瓣壳与锥形压套产生相互错动。由于其锥度方向相反,锥形瓣壳在倒锥形的锥形压套的扩张下被撑开,并产生形变胀扩,与孔壁紧紧挤压。瓣壳与孔壁的紧密挤压所产生的摩擦力和挤压力使锚索锚固。

胀壳式机械锚固锚索的安装工艺如下:

(1) 在地面装配好锚索。

(2) 将装有锚固头的一端向上,将锚索直接推送到钻孔底部。

(3) 装上垫板和锚具,利用张拉设备张拉钢绞线,直至其到达设计预紧力。

2.3 锚索组合箱形梁及其联接

单体锚索的外锚结构主要是指锚索的托板和锚具等,组合锚索的外锚结构则包括钢梁或钢带、托板、锚具等。通过组合锚索对顶板形成整体式、组合式支护,可以较好地保证锚索锚固力得以有效发挥和利用。

采用箱形梁结构作为锚索的组合梁,可以大幅度提高锚索组合结构的强度和刚度。为此,将现在的槽钢梁改为箱形梁。箱形梁可用 7 号 π 型钢梁与扁钢组合焊接而成,也可采用其他型钢焊接组合而成。这种箱形梁,如果采用间距为 1m 的三点式加压试验,其抗弯强度可达到 100kN 左右,比普通槽钢梁的抗弯强度提高 5~10 倍。目前组合锚索的结构主要是槽钢梁与锚索组成锚索桁架:一梁二索或一梁三索。这在工程力学分析上可以称之为两跨梁结构。如果假设巷道顶板压力是均匀地作用于锚索梁上,则这种组合锚索结构可以简化为承受均布载荷的两跨梁。

锚索箱形组合梁结构见图 3。

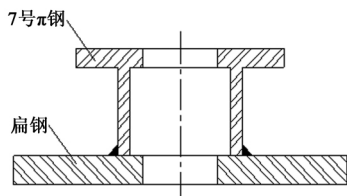


图 3 锚索箱形组合梁结构示意图

根据计算,当采用两跨锚索梁即一梁三索支护时,各锚索的承载是不均匀的,最大承载是最小承载的 2 倍以上。而随着锚索梁的加长,即采用一梁四索或一梁五索时,各锚索的承载逐渐趋于均匀。因此,在巷道支护中,按照锚索等载荷强度设计,显然是不正确的,也是无法实现的。在组合锚索设计中,应尽量采用一梁四索以上的锚索梁,或者可以形成锚索梁的纵向连续联接,这样可使各锚索的载荷趋于平均。为此,将上述的箱形梁研究设计为可以连续接长的箱形长梁。每两根梁之间可以采用铰接结构,以增加锚索梁支护的刚性,提高锚索承载的均衡性,同时,减轻锚索梁的安装重量,便于安装操作。

3 结束语

通过对锚索锚固机理、锚固结构及锚固工艺等进行基础性实验研究,提出了以孔壁注浆锚索技术为核心的煤矿深部高地压巷道锚索支护技术改进对策,包括:孔壁注浆锚索及其锚固技术;胀壳式端头机械锚固锚索及其安装技术;铰接箱形梁组合锚

索支护技术。

采用胀壳式端头机械锚索及与其配套的孔壁注浆锚固技术,可实现锚索的全长锚固,提高锚索内锚固的可靠性和锚索的内锚力;采用箱形梁锚索组合结构,可提高锚索支护外锚结构的强度、刚度和整体性,能有效地将巷道围岩表面压力绝大部分转移到围岩深部。在实际应用中,可根据围岩地质条件与巷道支护难易程度,将上述 3 种技术对策优化组合使用,在保证巷道支护安全的前提下降低巷道支护成本。综上,采用煤矿深部高地压巷道锚索支护技术改进对策可基本解决目前煤矿深部巷道的支护难题,将有效提升我国煤矿巷道锚索支护技术水平。

【参考文献】

- [1] 康红普. 煤矿巷道预应力锚索支护技术及应用 [J]. 煤矿支护, 2014 (3): 10-23.
- [2] 李树刚, 成小雨, 刘超, 等. 破碎围岩动压巷道锚索支护与注浆加固技术研究 [J]. 煤炭科学技术, 2016, 44 (1): 67-72.
- [3] 张成军, 吴拥政, 褚晓威. 应力异常区软弱顶板巷道全锚索支护技术 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40 (6): 8-11.
- [4] 王建峰. 深部高地压矿井巷道支护对策初探 [J]. 科学技术创新, 2013 (15): 50.
- [5] 孙玉福. 高强度锚索支护技术及在潞安矿区的应用 [J]. 采矿与安全工程学报, 2010, 27 (4): 595-599.
- [6] 袁亮, 薛俊华, 刘泉声, 等. 煤矿深部岩巷围岩控制理论与支护技术 [J]. 煤炭学报, 2011, 36 (4): 535-543.
- [7] 杨永刚, 张海燕. 深井高地压软岩巷道围岩压力转移支护技术研究 [J]. 煤矿开采, 2015, 20 (2): 56-59.
- [8] 吴同性, 卢红旗. 深部开采高地压巷道支护技术探讨 [J]. 煤炭技术, 2010, 29 (7): 225-226.
- [9] 张士同, 张庆和. 高地应力软岩巷道支护技术研究与实践 [J]. 煤炭工程, 2010, 42 (4): 32-34.
- [10] 张广超, 何富连. 千米深井巷道围岩变形破坏机理与支护技术 [J]. 煤矿开采, 2015, 20 (2): 35-38.
- [11] 赵延峰, 于志强, 朱跃泉, 等. 深部煤巷复合顶板锚索支护技术 [J]. 采矿与安全工程学报, 2004, 21 (1): 27-28.
- [12] 周龙寿, 丁立丰, 郭敬良. 不同压裂介质影响下绝对应力测值的试验研究 [J]. 岩土力学, 2013, 34 (10): 2869-2876.
- [13] 王拓, 常聚才, 张兵, 等. 深井坚硬顶板回采巷道锚网索支护技术研究 [J]. 煤炭工程, 2016, 48 (7): 50-52.
- [14] 薛俊华, 余国锋. 淮南矿区深部岩巷支护面临问题及对策 [J]. 煤矿安全, 2008, 39 (7): 93-95.
- [15] 王卫军, 罗立强, 黄文忠, 等. 高应力厚层软弱顶板煤巷锚索支护失效机理及合理长度研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2014, 31 (1): 17-21.
- [16] 王金华, 康红普, 高富强. 锚索支护传力机制与应力分布的数值模拟 [J]. 煤炭学报, 2008, 33 (1): 1-6.

【责任编辑: 施红霞】