

深井三软煤巷锚杆支护技术研究

张 农 侯朝炯 王培荣

(中国矿业大学 徐州 221008)

摘要 深井三软煤巷是地压大围岩变形剧烈的一类极难维护回采巷道。分析该类巷道围岩的层状赋存特点及软弱破碎条件,提出加固帮角控制围岩稳定、高阻让压支护限制围岩变形和强化顶板保证安全的支护原理,并研究了合理的锚杆支护技术和帮顶锚固方式,包括顶板全长树脂锚固锚带网支护与两帮角小孔径加长树脂锚固可拉伸锚杆支护技术。最后介绍一个工程实例。

关键词 深井,极软煤层,回采巷道,锚杆支护

分类号 TD353

1 引言

深井三软煤巷围岩为非均质层状赋存,在高地应力作用下表现为强烈的两帮移近和底鼓,两帮松软煤体较一般软岩巷道两帮破坏更加严重,同时层状顶板易发生离层冒落,因此该类巷道不仅在采掘影响期间围岩急剧变形,而且在应力分布趋向稳定后仍保持快速流变,围岩累计变形量常以米计,巷道维护十分困难。非封闭式支架对顶板冒落的安全防范性能较好,为目前的主要支护形式,但由于支护阻力普遍较低,且常常不能及时起作用,不仅巷道支护成本高,而且维护周期短、效果差。单一的端部锚固锚杆支护,在松软围岩特别是煤体中锚固力低,锚固质量不可靠,锚杆支护阻力不够,不仅支护效果不好,而且可能发生顶板垮落,给安全生产带来隐患,因此极少采用。联合支护是近几年应用较多的一种维护方法,它利用棚式支架的护顶作用和锚杆加固煤帮的作用,起到了一定的效果,但仍存在以上缺点。国内外支护实践和研究现状表明,随采深加大,单纯地依靠加大型钢重量维护巷道已不现实,必须发展新型支护。

国内外煤巷锚杆支护主要使用在煤质中硬、围岩稳定程度较高的回采巷道中,为进一步扩大其应用范围,近年来大力开展了松软煤巷、深井煤巷、沿空掘巷等特殊条件下的煤巷锚杆支护技术研究,并取得了许多成果,特别是“九五”以来,在借鉴国外先

进水平的基础上,我国煤巷高强锚杆支护配套技术取得长足进步,深井三软煤巷锚杆支护研究正是在这一背景下开展的。

2 深井三软煤巷支护原理

2.1 加固帮角控制围岩稳定

深井煤巷围岩原岩应力场及采动附加应力场主应力多为垂直方向,两帮煤体垂直于主应力方向,但其强度一般都远低于顶底板岩层,因而其破裂范围远大于顶底板岩层,在围岩承载结构中表现为最弱的部位。而上覆岩层的重力是通过两帮传递到底板的,这样两帮的大范围破坏必将导致底板压曲变形的显著增加,可以认为两帮的稳定性对围岩的整体稳定性影响最大,对支护作用也最敏感。事实上,煤巷多为矩形,帮角在开掘卸载后是应力集中点,开巷后围岩塑性区从两帮开始发展,当底板岩层强度也很低时,塑性区从两帮和底角开始,最终也以两帮最大。加固帮角可直接提高其强度,同时有效地衰减该处围岩的应力集中度,避免帮角过早破坏而引起巷帮及底板的较大变形。加固帮角控制底鼓效果甚至超过直接处理底板,见表1。数值计算分析表明加固帮角对抑制底鼓量作用明显。另外加固帮角在工艺及施工技术上比直接处理底板更易于实现。因此加固两帮及底角是控制围岩稳定的关键技术,它反映了层状岩层中软弱煤体巷道维护的一般规律。

1998年6月15日收到初稿,1998年11月9日收到修改稿。

作者张农简介:男,31岁,博士,1989年毕业于中国矿业大学采矿工程系采矿工程专业,现任教师,主要从事采煤方法、矿山压力方面的教学与研究工作。

表 1 不同加固部位的数值模拟结果

Table 1 Results of numerical simulations with different enforcement location

加固部位	底鼓减少量/ %
煤帮	24
底板	31
帮及角	33

2.2 高阻让压支护限制围岩变形

目前常规的锚杆、型钢支护阻力偏低且不能及时起作用，是围岩不能稳定的主要原因。研究表明，在一定范围内支护阻力与围岩变形呈负指数关系，提高支护阻力可以大大减缓围岩变形；另一方面，在高地应力转移和重新分布过程中要求支护有一定的可缩性能^[1]，允许围岩有一定变形，因此应采取高阻让压支护限制围岩变形。

2.3 强化顶板保证安全

三软煤巷顶板为层状松软岩层，层厚不稳定且富含水平层理等弱面，顶板易产生不协调变形并导致离层冒漏，因此支护必须首先保证安全可靠，应强化顶板，促使顶板下位岩层形成整体结构，并尽量限制其相对变形。

3 合理的锚杆支护技术

锚杆支护被认为是一种有较大变形量的柔性支护，但仍难以适应大变形高地压的深井煤巷要求，必须进一步增加锚杆支护结构的可缩性能及支护阻力。深井三软煤巷顶板稳定性差，适合用全长锚固高强锚杆强化顶板整体加固。两帮对安全性能要求较低，可允许有一定变形以减缓支护压力，适合用小孔径钻孔加长锚固可拉伸锚杆支护，既保证了软弱煤体的有效锚固，又具有较大的变形能力，能够实现高阻让压支护。另外，煤巷底板不作特殊处理，允许一定的底鼓，并考虑在支护过程中清一次底煤，以进一步减小支护压力，降低支护成本。

3.1 顶板全长树脂锚固高强锚杆

全长树脂锚固高强锚杆施工可靠，人为影响因素小，其锚固力分布于杆体全长，避免了端锚锚杆锚固力集中于周边围岩、使软弱围岩受集中力破坏而导致的锚空失效。通过贯穿软弱夹层，直接对其进行加固，强化了顶板的稳定性，安全可靠大大提高。加锚岩体及加锚弱面的力学性能也较裂隙岩体有较大提高，顶板围岩的承载能力和抗变形性能得到显著改善，同时结合 W 型钢带、菱形金属网等辅助支护，能够保证安全并显著降低顶板下沉。

3.2 两帮小孔径加长树脂锚固可拉伸锚杆

两帮松软煤体表现出强烈的变形和围岩移动，主要是采掘期间高应力作用下的大范围松动破坏，及正常维护期间的塑性流变。合理的支护技术应能有效地控制围岩松动变形、降低塑性流变速度，即提供有效的侧向支护阻力。采用 42 mm 大钻孔时，树脂层过厚，三径匹配不合理，软弱煤层中锚杆锚固力低，同时孔壁易松动破坏。普通端锚锚杆(钻孔 42 mm)在软弱煤体中锚固力仅有 10 ~ 30 kN，而采用小孔径(钻孔 28 mm)加长树脂锚固(锚固长度 1 000 mm)时，锚固力可达 70 ~ 85 kN，可以大大强化锚固效果。

深井三软煤巷掘巷期变形主要反映在两帮和底角，允许两帮有一定的变形能够显著降低围岩压力，改善支护受力状态，因此两帮煤体锚杆在其有较高的锚固力的同时，还应有较强的抗变形能力。普通锚杆难以实现较大的延伸量，不能满足变形要求，应采用可拉伸锚杆。

3.3 底角加强锚杆

底板软弱煤岩体表现为强烈持续底鼓，抑制底鼓量主要通过加强帮角支护，在帮顶锚杆扇形布置的基础上，在两排锚杆之间两底角处再加打一根锚杆，以强化底角结构，锚杆型式及锚固方式与两帮相同。

4 工程实例

4.1 巷道的维护条件

白集矿位于徐州矿区东部，开采夏桥系 3 号煤层，煤层平均厚度 6.05 m，开采深度 830 m。3 号煤层煤质松软破碎，顶底板均由强度很低的页岩与砂质页岩组成。表 2 为井下锚杆支护段围岩力学性能实测值，其顶板为 2.0 ~ 3.0 m 厚不稳定砂质页岩，掘巷时易发生冒顶和片落，底板为 4.0 m 厚煤体。因煤体强度太低，取样困难，仅做试验获取了单轴抗压强度，为 2.3 MPa，另测量其硬度系数 f 为 0.22。

表 2 巷道围岩物理力学性能表

Table 2 Properties of rock around roadway

层位及岩性	孔隙率 / %	膨胀率 / %	单轴抗压强度 / MPa	粘聚力 / MPa	内摩擦角 / (°)	弹性模量 / GPa	泊松比
直接顶灰黑色砂质页岩	10.4	8.2	18.2	3.7	31	7.8	0.28
直接底灰黑色页岩	15.5	4.5	10.2	3.7	33	5.6	0.3

4.2 支护方案及参数

支护方案：顶板采用全长树脂锚固高强锚杆、W

钢带及菱形金属网联合支护, 两帮煤体采用加长锚固型可拉伸锚杆与菱形金属网联合支护, 底角加强锚杆支护。

顶板锚杆材料选用 20 SiMn 建筑螺纹钢^[2], 其较高的强度和杆体表面纹理能够满足全长锚固的要求, 但这种螺纹钢并非为加工锚杆而设计的, 不能够直接安装螺母, 锚尾必须加工成螺纹才能使用, 这就削弱了锚尾的抗拉能力。试验表明, 这种锚杆破断都发生在螺纹部位, 对其进行热处理, 可大大改善锚杆性能, 见表 3。全长锚固锚杆锚固性能与“三径”匹配密切相关。国外研究表明, 锚杆与钻孔直径相差 4~10 mm 的, 锚固效果好。国内钻孔成形质量、直度、锚杆本身直度相对较差, 根据实验研究两者相差 6~12 mm 为宜, 据此选择 20 mm 锚杆与 28 mm 钻孔匹配, 树脂药卷直径 23 mm, 能够满足充分搅拌和锚固要求。锚固长度为 100 mm, 锚固力可达 41 kN, 其他匹配锚固效果都较差。

表 3 顶板锚杆力学性能

Table 3 Properties of roof bolt

直径 / mm	锚尾特征	屈服力 / kN	破断力 / kN	延伸率 / %	破断位置
20	热处理	114	170.5	21.3	杆体
	未处理	65.9	102	16.4	锚尾螺纹

两帮及底角锚杆选 H 型杆体可拉伸增强锚杆^[2], 这种锚杆材料为 Q235, 外形与普通锚杆相同, 只需对锚杆螺纹部分进行热处理, 以保证锚尾螺纹段强度高于锚杆杆体, 性能见表 4, 端锚时即可实现可靠的支护阻力和较大的延伸率。为保证松散煤体内锚固力超过杆体强度, 采用小孔径 (28 mm), 树脂药卷加长锚固 (1 000 mm), 实测锚固力绝大多数接近杆体强度, 最大值为 85 kN。

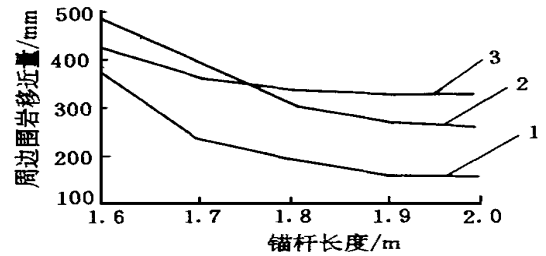
表 4 帮角锚杆力学性能

Table 4 Properties of wall and angle bolt

直径 / mm	锚尾特征	屈服力 / kN	破断力 / kN	最大伸长度 / mm	破断位置
16	热处理	60	89	215	杆体
	未处理	48	69	63	锚尾螺纹

煤巷锚杆支护设计专用软件以 FLAC 有限差分软件为数值模拟分析核心程序, 它包括汉化的前后处理程序, 能方便地进行原始数据的输入与转换、方案设计、支护参数分析比较等, 本文主要用来确定锚杆长度, 计算结果如图 1。在锚杆布置相同 (底板无锚杆) 时, 除底鼓量变化不大外, 锚杆长度对巷

道变形量影响大。当锚杆长度达到 1.8 m 后, 围岩移进量变化趋缓, 增加锚杆长度作用已不大, 因此井下试验选择顶板锚杆长为 1 900 mm, 帮锚杆长为 1 800 mm。



1—顶板下沉 2—两帮移近 3—底鼓

图 1 锚杆长度与巷道表面位移关系曲线

Fig. 1 Curves of bolting length vs displacement around roadway

试验巷道支护参数: 顶板 3 根锚杆, 规格 20 × 1 900 mm; 两帮及底角 8 根, 规格 16 × 1 800 mm, 排距 0.8 m, 布置如图 2, 按此方案进行数值计算的位移场分布如图 3。虽然巷道周围塑性区破坏较大, 围岩应力绝对值大, 分布复杂, 底板有一定鼓起, 但巷道两帮及顶板位移控制较好, 巷道成形好, 这一计算结果与井下实测相符。

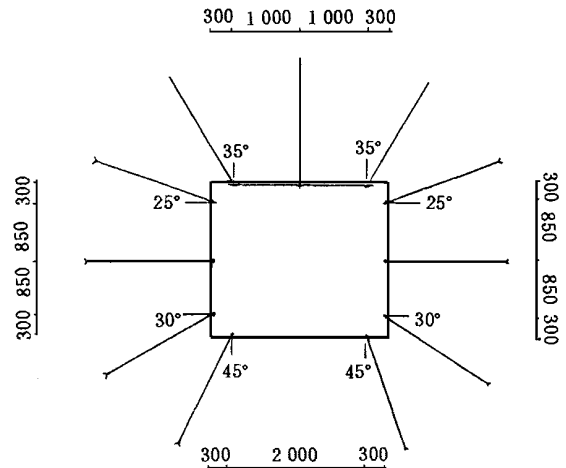


图 2 锚杆布置图

Fig. 2 Bolting layout

该区段锚杆支护效果与矿工钢支护进行了比较。矿工钢适应性极差, 维修频繁, 平均 50 d 清一次底煤, 约 500 mm; 架棚翻修周期 95 d, 两帮移近 567 mm, 巷道变形的速度始终不稳定, 日平均两帮移近 6.3 mm, 顶底移近 9.1 mm。锚杆支护巷道有相对稳定阶段, 两帮移近速度 1.2 mm/d, 顶底 1.5 mm/d,

其中顶板下沉 0.35 mm/d, 仅为矿工钢的 1/6。掘后 180 d 累计变形量两帮 270 mm, 顶底 324 mm, 此时锚杆已在屈服状态下工作, 但巷道保持良好。采动影响后期清一次底煤(约 500 mm), 两帮个别地方补打锚杆即满足了使用要求, 报废时两帮移近 430

mm, 帮顶基本完好。因此锚杆支护从根本上改善了维护状况, 能够控制深井三软煤巷围岩稳定。

5 结 论

(1) 深井三软煤巷采用锚杆支护时, 应通过有效加固煤巷顶板及帮角来实现围岩稳定。

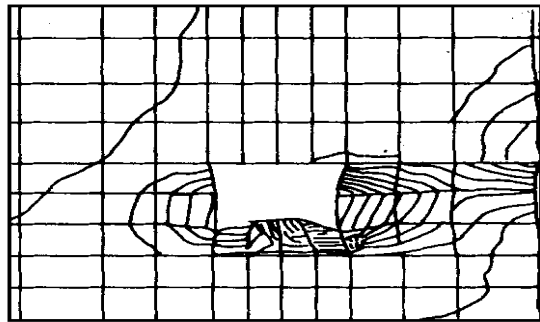
(2) 全长树脂螺纹钢高强锚杆是控制煤巷软弱顶板离层变形, 保证安全的有效支护措施。

(3) 小孔径加长树脂锚固可拉伸锚杆是保证松软煤体锚固力, 实现高阻让压支护的关键技术, 该技术与强化顶板的全长树脂螺纹钢高强锚杆相结合, 能够适应深井采动影响的软岩巷道变形。

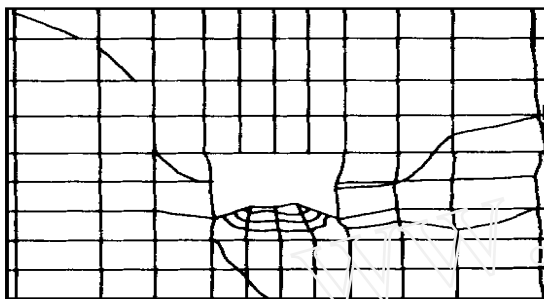
(4) 白集煤矿深井三软煤巷锚杆支护的成功实践表明, 可以在一般的深井三软煤巷中进一步研究并推广应用锚杆支护。

参 考 文 献

- 1 郑雨天, 朱浮声. 论我国软岩巷道支护的基本框架和几个误区. 见: 何满潮主编. 中国煤矿软岩巷道支护理论与实践. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996, 71 ~ 76
- 2 侯朝炯, 江 利. 高强度锚杆. 矿山压力与顶板管理, 1997, 14 (3/4): 176 ~ 179
- 3 侯朝炯, 何亚男. 杆体可拉伸锚杆. 岩石力学与工程学报, 1997, 16(6): 544 ~ 549



(a) 水平位移



(b) 垂直位移

图 3 巷道围岩位移等值线图

Fig. 3 Displacement contours of rock around roadway

ON BOLTING SUPPORT OF ROADWAY IN DEEP MINE S SOFT COAL SEAM

Zhang Nong Hou Chaojiong Wang Peirong
(Mining Department of CUMT, Xuzhou 221008 China)

Abstract The bolting support principle is introduced to support roadways in extremely soft seams of deep coal mine. The maintenance of surrounding rock is controlled by reinforcing two side walls and angles. The deformation of surrounding rock is limited with high-resistance and yielding support, the safety is ensured through strengthening the roof. Ended with an engineering instance, a new kind of successful supporting technology is introduced. The roof is reinforced using full column bonded bolts and two side walls and angles are strengthened using partial-column bonded bolt with extensible rods.

Key words deep mine, extremely soft coal seam, roadway, bolting support