

深井软岩巷道底鼓综合治理技术研究及工程实践

张建林

(山西兰花科创玉溪煤矿有限责任公司)

摘 要:近年来随着煤矿开采深度的增加,地压也随之地大,特别是井底车场区域的巷道、硐室布置比较集中密集,周围巷道受采动相互影响,应力叠加重新分配,巷道围岩又以泥岩为主,胶结程度差,层理、节理发育,松软破碎,易风化。巷道反复变形底鼓破坏,传统的软岩巷道底板加固技术,很难有效治理。通过深入研究与分析比较,提出了深井软岩巷道底鼓综合治理技术,采用预应力全长注浆锚索锚固+钢筋笼+“几”字型钢筋梯子梁+混凝土浇筑的联合底鼓治理技术,并进行了现场工程实践,经过一年多的观察,起到了很好的治理效果。

关键词:软岩巷道;巷道密集区域;应力叠加;巷道地板底鼓破坏;注浆加固;全长注浆锚索;钢筋笼;“几”字型钢筋梯子梁联合加固

1 工程概况

玉溪煤矿设计生产能力240万吨/年,井田面积为26.147km²,开采3号煤层,可采储量为1.6425亿吨,矿井服务年限为50.7a;

主斜井井口标高+797.2m,井底标高+320m,斜长1731m,井筒倾角16°,净断面17.9m²。井筒内装

备B=1200mm胶带输送机提升煤炭,另外装备架空乘人器担负矿井人员的上下井任务。主斜井井筒落平点为+320m水平井底车场。主斜井井筒完成铺底及皮带安装后不到两个月,主斜井落平点向上至管子道口约108m,出现底鼓变形,特别是皮带机尾张紧装置段及部分皮带架下巷道底板底鼓变形严重,虽然及时对其实施了底板注浆加固修复治理,但四

个月以后,主斜井井筒最下段88m巷道再次出现了更大范围和更为严重的变形底鼓。底板底鼓的超过800mm,两帮位移600mm,顶板下沉200mm,致使井筒内架设的40a工字钢多根弯曲变形,工字钢上的消防水管破坏,机尾滚筒、皮带架倾斜致使主皮带不能正常运行、架空乘人器无法运转,严重影响了安全生产。

2 井筒下段巷道地鼓变形原因分析

巷道底鼓变形与破坏的主要影响因素主要有以下几方面原因:

2.1 地质因素及围岩性质的影响

+320m水平井底车场主斜井井筒落平段正好处朝阳坡背斜中南段的轴部,朝阳坡背斜位于山神坪、朝阳坡、玉溪以西等一线,轴向北部为N22W,中部由N45°W转为N30°E,南部N65°E,呈向东凸出的弓形。轴部出露 P_2sh^2 、 P_2sh^1 、 P_2s^3 地层,部分黄土覆盖。东翼倾角为2~4°,最大为16°;西翼倾角为2~5°,最大为6°。区内长6000m南北延出井田。构造以宽缓褶曲为主,在背斜轴部附近倾伏端易产生局部应力场,引起煤层顶底板稳定性降低,受地质应力影响强烈,岩石裂隙发育较强;而此段巷道正好位于3#煤层下约0~25m,其围岩以泥岩、粉砂岩、细粒砂岩互层岩组为主中间有软泥质夹层,层理较发育,其中鳞片状页岩岩性软,易碎,整体稳定性较差,组成轻微可塑、可塑的直接底,是不稳定,极不稳定的直接底;褶曲地质构造应力和残余应力都将影响原岩应力场的分布和应力的的大小,水平应力比垂直应力要大,容易在背斜区域聚集大量的弹性能,形成高应力区。高应力区积聚的大量弹性能,在巷道开掘过程中出现卸压空间的条件下,能量的突然释放,受地

质应力影响就造成了巷道失稳破坏,特别是薄弱的巷道地板强度小、围岩松软破碎、承载能力小,因此更易发生地鼓变形和破坏。

2.2 矿井开采深度的影响

主斜井井筒落平点至管子道口此段巷道埋深约400m,随着矿井开采深度的增加,以自重应力为主的地应力也随之增加,从而使作用于巷道上的支承应力增加,地压显现明显,巷道开挖后,原有的支护强度不够,作用在巷道四周的压力随开采深度的增加而加大,当巷道支护不均匀时,往往周边最弱的地方——底板最先受到挤压,导致变形破坏发生底鼓现象。

2.3 巷道四邻居的影响

周边巷道布置过于密集,且立体纵横交错,主斜井井筒落平点至管子道口此段巷道,左上方布置有中央胶带大巷机头搭接硐室,左下方与盘区回风斜巷垂直距离不到10m;右上方布置有管子道;下方立交为胶轮车库回风道,右下方布置胶轮存放硐室;前方连接为清理撒煤硐室及机头变电所架空乘人器存放硐室。靠近井底巷道密集布置,处于应力集中区,巷道开掘后,破坏了原岩应力平衡,引起应力重新分布所表现出的压力显现,巷道间相互影响,原有的锚网索喷联合支护承载能力不足,出现了巷道失稳破坏,喷体开裂掉块现象,虽然经过两次修复加固,但随着时间推移,巷道反复变形,两帮产生大量横向变形,底鼓强烈,最严重的致使巷道内的四架架空乘人器横梁挤压变形,井筒内底板开裂地鼓,台阶、水沟破坏,主皮带机尾底鼓变形,致使皮带、架空乘人器无法运行。

虽然前期进行了二次软岩巷道底板加固,第一次用30kg道轨加工制作成反拱,排距800mm;第二次采用水泥注浆加固,但实践证明两次修复治理都不能实现对底板的有效治理,三个月后底板发生变

形破坏,严重影响安全生产。

3 井筒巷道底板修复治理方案设计

通过对前两次巷道底板治理失败原因的分析,得出两个结论,第一加固强度不够,第二两帮底角及水沟细节处理不到位影响治理效果,第三整体性不强,反拱和预应力全长锚索没有对底板形成整体加固效果。因此,传统的单一的软岩巷道底板加固技术已经不能有效治理深井巷道变形底鼓问题。经过工程技术人员现场测量和研究并寻求西安科技大学的理论支持,提出了预应力全长注浆锚索锚固+钢筋笼+“几”字型钢筋梯子梁+混凝土浇筑的联合底板修复治理技术,并将此项技术成功应用于玉溪煤矿井筒下段巷道修复治理。具体方案设计如下:

预应力全长注浆锚索锚固+钢筋笼+“几”字型钢筋梯子梁+混凝土浇筑的综合治理技术

3.1 巷道清理开挖

先对破坏的巷道底板进行起底清理,为保证巷道底板加固质量,将巷道内变形破坏台阶、水沟及底鼓部分,包括前两次加固破坏的道轨反拱、注浆塑料管全部清除。为预留变形空间,在施工时比设计毛底板多起100mm,为保证两帮及底板整体加固强度,巷道两帮你底板结合处需要进行掏槽处理,巷道两端各掏槽长*宽=200*400mm,夯实底板后进行加固。底板和两帮开挖深度应严格控制,不能欠挖,尽量控制超挖,以保证底板与底梁有效作用以及底梁在两帮的有效埋深。

3.2 底板综合加固

注浆锚索锚固+钢筋笼+“几”字型钢筋梯子梁+混凝土浇筑,其原理是在巷道底板铺设钢筋笼,然后钢筋梯子梁将每组钢筋笼连在一起,再用预应力全

长注浆锚索锚固在钢筋梯子梁上,这样使有巷道的钢筋笼连成一个整体,最后进行混凝土浇筑。

首先施工预应力全长注浆锚索

预应力全长注浆锚索支护施工,施工时要严格控制锚索外露长度,确保锚索外露张拉段不露出上层钢筋笼。

锚索规格:长度7300mm,其中300mm为外露张拉段。

钻 孔:钻孔深度7000mm±100mm。帮部底角下扎钻孔采用地质钻机打孔,其余钻孔孔口段采用地质钻机开孔,其中钻头直径Φ56mm,开孔深度3000mm,然后换用顶锚杆钻机打孔,钻头直径Φ30mm,钻进深度4000mm。

锚固方式:全长锚固,端部采用水泥灌浆锚固。灌浆锚固长度1500~2000mm,预留铝塑管进行二次注浆,以上锚索孔为第二次注浆张拉预紧段。

锚索角度:两帮底角锚索外扎30°,中间锚索垂直井筒底板布置。(如图1)

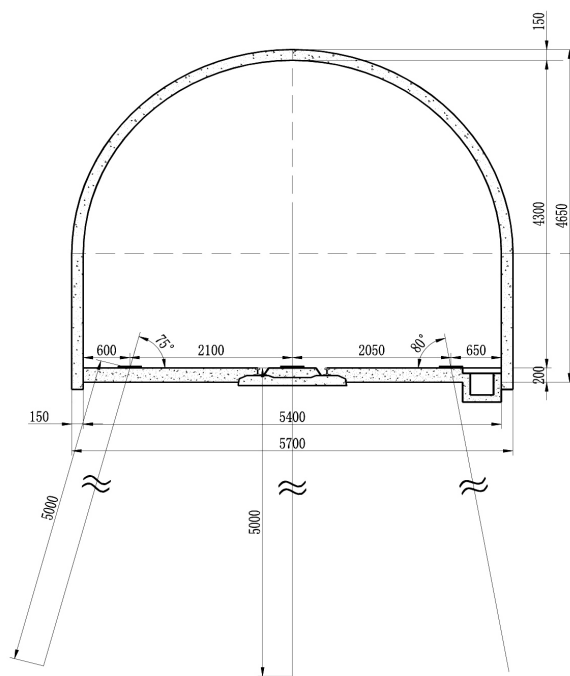


图1 预应力全长注浆锚索布置图

注浆材料:

水泥浆、水泥水玻璃双液浆。

注浆材料及配比:水灰比为0.6~1:1;水泥浆和水玻璃体积比为1:0.4~0.6。

锚索预紧力: $\geq 200\text{kN}$ 。

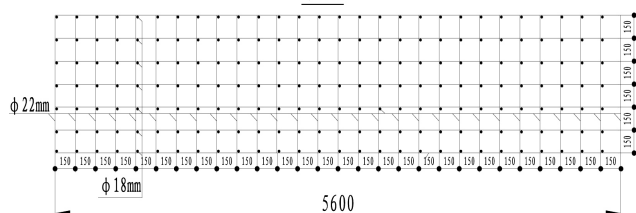
注浆压力:锚索孔终止压力2~3MPa。根据现场情况进行调整。

注浆施工过程中,必须保证注浆压力,如果底葩其他部位出现局部漏浆时采取相应措施,堵漏或压水后复注,漏浆严重导致停注的区域补打注浆孔。

第二,自制钢筋笼并铺设在巷道内:钢筋笼用 $\phi 22\text{mm}$ 的螺纹钢自制成双层钢筋笼的横筋与纵筋间排距为150mm,每一组长*宽=5600*900mm(巷道净宽为5200mm)(如图2);为保证两帮及底板整体加固强度,巷道两帮你底板结合处需要进行掏槽处理。然后将每组双层钢筋笼间隔300mm铺设在巷道底板。最后经混凝土浇筑后形成抗弯抗剪力极强的底梁结构。

钢筋混凝土浇注配筋示意图

平面图



剖面图

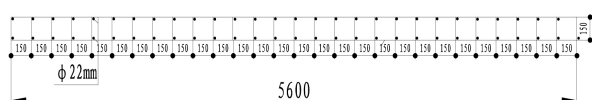


图2 钢筋笼结构图

底梁载荷确定

由于前期的底板加固方案中,锚索承受的应力为0.055MPa,此强度不能抵抗底板变形压力,必须提高。结合围岩二次应力分布规律,选取原岩应力

的2%,即0.44MPa,作为底板压力。此次方案承载能力的8倍,选取该值作为底梁围压,理论上满足要求。

将巷道两帮看作底梁的两个支点,并根据底梁尺寸,将围压换算为均布荷载,见下式:

$$q = 440 \times 0.3 \text{ kN} / \text{m} = 132 \text{ kN} / \text{m}$$

结果如图3所示。

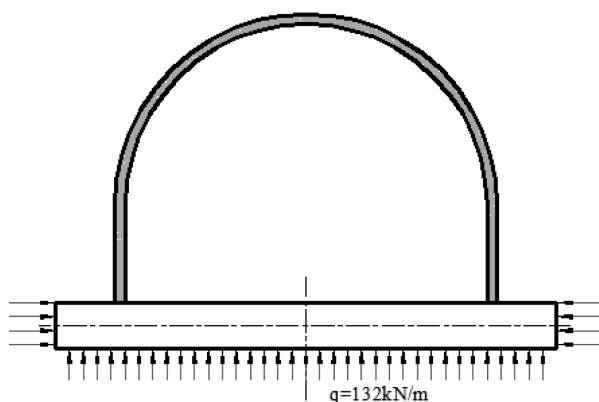


图3 底梁受力图

以均布荷载形式考虑自重:

$$g = 0.3 \times 0.8 \times 25 \text{ kN} / \text{m} = 6 \text{ kN} / \text{m}$$

该斜井角度为 16° ,将自重分解为沿底板方向和垂直于底板方向的两个力,则

$$g_1 = g \sin 16^\circ = 1.65 \text{ kN} / \text{m}$$

$$g_2 = g \cos 16^\circ = 5.77 \text{ kN} / \text{m}$$

底梁处于双向受弯状态

$$\theta = \arctan \frac{1.65}{66 - 5.77} = 1.57^\circ < 5^\circ$$

(为合力与q的夹角)

故按单向受弯进行计算。

根据梁受力情况,计算弯矩和剪力:

$$M_{\max} = \frac{1}{8} (q - g) l^2 \left(\frac{\tan u}{u} \right) = \frac{1}{8} \times (132 - 5.77) \times 5.2^2 \times \left(\frac{\tan 0.043}{0.043} \right) \text{ kN} \cdot \text{m} = 426.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

其中,

$$u = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{F_1}{EI}} = \frac{5200}{2} \sqrt{\frac{105.6 \times 10^3}{3 \times 10^4 \times \frac{300 \times 800^3}{12}}} = 0.043$$

$$V_{\max} = \frac{(q-g)l}{2} = \frac{1}{2} \times (132 - 5.77) \times 5.2 = 328.2 \text{ kN}$$

第三,自制“几”字型钢筋梯子梁,并从双层钢筋笼中间穿过与巷道轴线方向一致,平行布置四组。考虑到梯子梁压接钢筋笼的效果以及锚索对梯子梁的锚固作用,特地将钢筋梯子梁作成“几”字型(如图4)

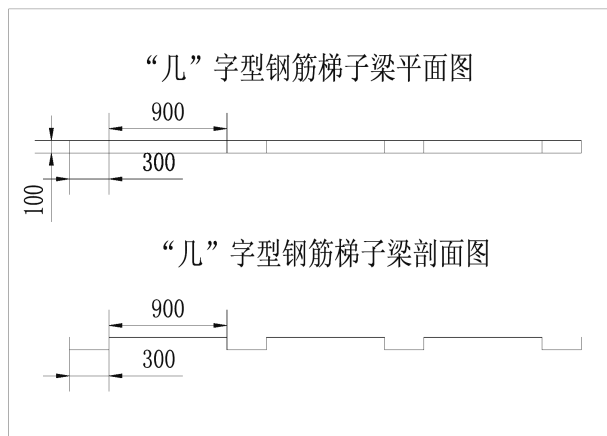


图4 钢筋梯子梁平剖面图

第四、二次对注浆锚索张拉并锚固:锚固方式:全长锚固,端部采用水泥灌浆锚固。灌浆锚固长度1500~2000mm,预留铝塑管进行二次注浆,以上锚索孔为第二次注浆张拉预紧段,灌浆完成七天后,将锚索托盘和锁具安装在“几”字型钢筋梯子梁上进行锚索张拉,锚索预紧力: $\geq 200 \text{ kN}$,然后对锚索预留铝塑管进行二次水泥注浆。

锚索角度:所有锚索均垂直井筒底板布置。

第五、浇筑混凝土:

浇筑混凝土前要重新清理钢筋笼下的矸石、泥沙、积水等杂物,混凝土强度等级为C30,在浇筑过

程中按规定使用和移动振动器,中途停歇后再浇捣时,新旧接缝范围要小心振捣;对钢筋较密的部位应分次下料,缩小分层振捣的厚度;砂、石、水泥(包括散装水泥、水外加剂)必须严格按照规定配比进行配料,并搅拌均匀;浇筑时钢筋笼两端与巷帮掏槽处之间不留间隙。为了实现早支撑,在混凝土中添加早强剂。由于各地材料不同,早强剂添加需验证,一般来说为水泥量的3%~6%,如添加0.05%的三乙醇胺和1.5%的硫酸钠。

4 施工顺序及注意事项

施工顺序:巷道起底由下向上施工,便于临时轨道铺设及运输;加固修复由上向下施工,特别是混凝土浇筑时,由上向下能避免破坏已浇筑的巷道底板,

注意事项:每段巷道一定要全段面巷道施工,这样可以保证底板、水沟、台阶的整体性;施工时一定要加装巷道临时排水系统,以避免在施工期间由于巷道上方案水对混凝土造成破坏,最好架空临时排水管线;施工时非施工人员上下应从管子道行走,避免对施工造成影响;施工时要严格控制巷道中腰线,保证巷道底板符合设计要求;施工期间必须将井筒内修复段巷道内的皮带吊挂牢固,确保安全施工;施工期间必须有足够的照明实施;混凝土浇筑后必须按规定进行养护作业。

5 修复加固后巷道底板变形量分析

主斜井落平点至管子道底板变形巷道加固完成后,要对所加固的巷道进行12个月的底板变形位移观察,具体观测方法如下:

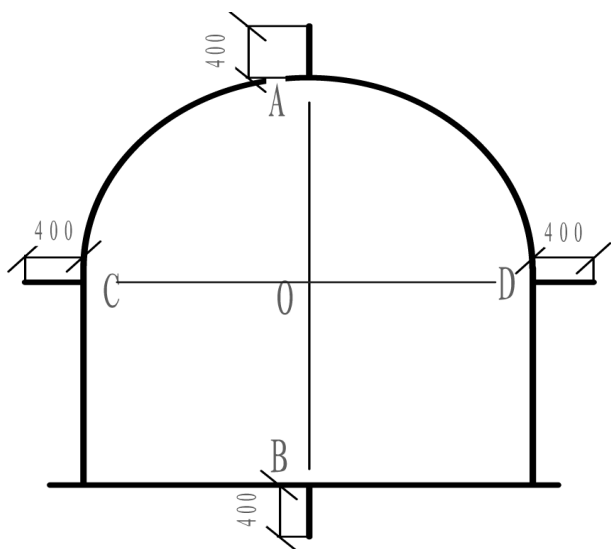


图5 巷道表面位移监测断面布置

采用十字布点法安设巷道表面位移监测断面,如图四。在顶底板中部垂直方向和两帮水平方向钻 $\Phi 30\text{mm}$ 、深 400mm 的孔,将 $\Phi 32\text{mm}$ 、长 400mm 的木桩打入孔中。顶板和上帮木桩端部安设弯形测钉,底板和下帮木桩端部安设平头测钉。观测方法为:A、B之间拉紧钢卷尺,测读AO、AB值;测量精度要求达到 1mm ,并估计出 0.5mm ;加固及扩巷施工期间 $1\sim 3$ 天1次,加固施工完成后前三个月,巷道围岩稳定前,每周2次; $3\sim 6$ 个月,每月 $2\sim 3$ 次。 $6\sim 12$ 个月,每月1次。

6 结论

主斜井落平点至管子道底板变形巷道加固完成后,通过12个月的观察修复加固过的巷道底板变形比较小,底板上移量最大 40mm ,到4个月以后趋于

稳定, $4\sim 12$ 月底板上移量基本控制在 10mm 左右。其中水沟、台阶及两帮底角和皮带机尾基础均没有发生变形破坏,说明预应力全长注浆锚索锚固+钢筋笼+“几”字型钢筋梯子梁+混凝土浇筑的综合治理效果明显,有效地控制了巷道底板的围岩变形。其加固原理是通过钢筋笼+“几”字型钢筋梯子梁+混凝土浇筑使整个巷道连成一个整体,通过预应力全长注浆锚索再将整体巷道底板充分锚固。玉溪煤矿对深井软岩巷道底鼓综合治理技术研究及工程实践的成功运用,取得了良好的底板加固效果和经济效益,为同类深井软岩巷道底板加固提供了借鉴经验;对治理软岩巷道底板反复变形和矿井的长期安全高效生产建设具有重大的现实意义。

参考文献:

- [1]《采矿工程设计手册》,煤炭工业出版社.
- [2]《软岩巷道支护技术》,吉林科学技术出版社,陆家梁.
- [3]《地质学基础》,中国矿业大学出版社.
- [4]《中国煤矿采场围岩控制》,中国矿业大学出版社.
- [5]《矿山压力及岩层控制》,煤炭工业出版社.
- [6]《中国煤矿软岩巷道工程支护设计与施工指南》,科学出版社.
- [7]《软岩巷道工程概论》,中国矿业大学出版社,何满潮,邹正盛,邹友峰.
- [8]《煤矿深部岩巷稳定控制理论与支护技术及应用/岩石力学与工程研究》科学出版社.
- [9]《岩土力学》武汉大学出版社.