

浅埋深大倾角切眼下山综掘施工技术及应用

张一亮 郑宗儒

宁夏煤业枣泉煤矿 宁夏 银川 750001

摘 要:针对浅埋深大倾角下山巷道掘进过程中,存在巷道倾角超过综掘机自适应坡度、综掘机倒机困难、人员在行走容易滑倒、刮板机运输期间煤矸滚落伤人、辅助运输困难等问题等一系列问题,采取底板预留少量底煤,增大摩擦力,油缸辅助拉移综掘机倒车等技术措施。通过优化组织推进、施工工艺、技术应用、配套设备、安全管理等环节,使掘进效能得到充分发挥。实践证明:一系列措施突破了综掘机最大爬坡能力 $\pm 18^\circ$ 的极限,消除了传统大倾角巷道采用爆破掘进带来的安全隐患,减轻了人工劳动强度,降低掘进成本,提高了掘进单进水平,实现了安全高效快速掘进。

关键词: 大倾角下山; 切眼导硐; 增大摩擦力; 油缸辅助; 安全高效

引言

枣泉煤矿五分区150202工作面切眼（导洞）设计长度为240m，设计坡度-28°至-34°，平均坡度达-32°，巷道设计断面为矩形，掘进断面积 18.05m^2 ，煤巷，坚固性系数 $f = 3\sim 4$ 。若采用传统的炮掘方式，顶板管理难度大，爆破风险高，劳动强度大，掘进效率低，为提高施工质量和效率，探索出大倾角切眼（导洞）下山综掘施工方案，实现圆班掘进8米，开启了国家能源集团宁夏煤业公司大倾角下山综掘工作面快速掘进先河^[1]。

1 工作面概况

150202工作面切眼（导洞）使用EBZ200综掘机配合二运皮带搭接40T刮板输送机运至工作面回风巷安设的胶带输送机运输。工作面揭露为2#煤层，为复杂结构煤层，厚度在7.76~8.66m之间变化，设计巷道底板沿2#煤层底板施工，工作面上口开口距离地表最浅为37m。煤层直接顶为炭质泥岩与细粒砂岩、粉粒砂岩互层，老顶为细粒砂岩，直接底为泥岩、粉粒砂岩。临时支护采用机载前探梁，顶板采用“锚、网、索、钢带、桁架”联合支护形式，帮部采用锚杆+锚网进行支护。分别见平面图1、巷道断面图图2、油缸辅助拉移综掘机。

2 综掘机施工时存在的关键问题

第一：EBZ200综掘机适应坡度为 $\pm 18^\circ$ ，由于巷道施工坡度已经远远超过综掘机适应坡度，综掘机与煤层底板摩擦力过小，由于综掘机自重产生下滑，综掘机割底量减小，不能满足有效卧底量；综掘机后退铲底时，铲板抬起后，上部煤渣滚落进入铲板下部及履带，造成综掘机后退范围小或无法后退，继续向前施工时，综掘机下部存积煤渣逐渐增多，综掘机无法实现铲板最大挖底量，截割后巷道底板逐渐抬起，巷道高度无法满足设计

要求,严重制约前探梁临时支护可靠性及永久支护空间受限^[2]。综掘机主要技术特征见表1。

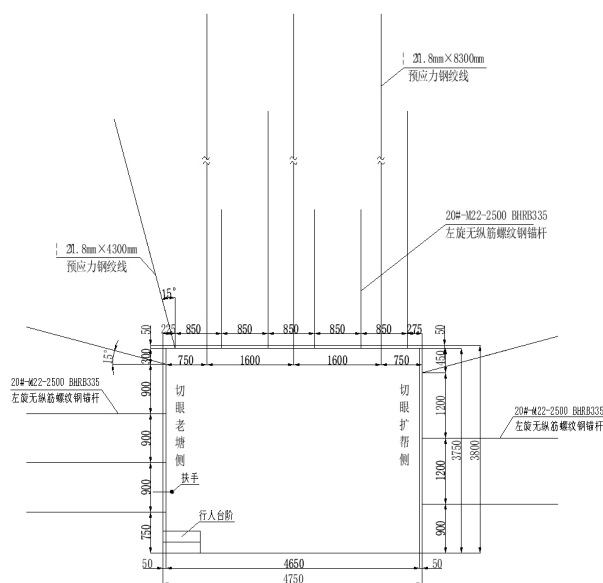


图1 巷道断面图

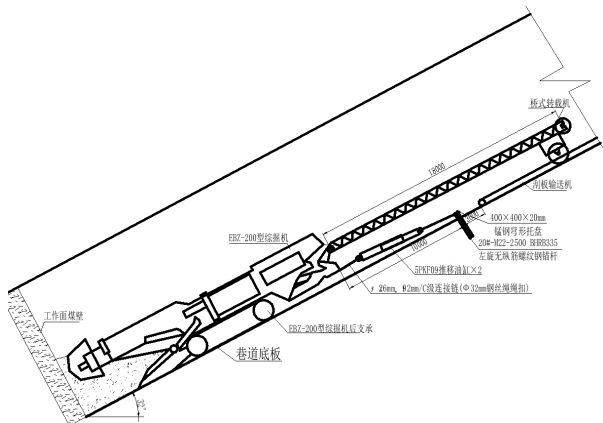


图2 油缸辅助拉移综掘机

表1 EBZ200型综掘机主要技术特征

性能指标		参数	性能指标		参数
截割功率/kW		200	长度/m		10.81
总重量/t		59	适应坡度/(°)		±18°
定位截割范围/m	宽度	6.51	宽度/m	总体	3.6
	高度	5.2		机身	2.2
铲板最大挖底量/mm		255	铲板最大抬起量/mm		400

第二：大倾角下山施工条件下，当渣量较大时，综掘机后方刮板输送机上山运输困难。

第三：大倾角下山施工条件下，巷道破底后，受综掘机割煤时的喷雾水及永久支护时湿打眼水的影响，巷道粘泥较多，综掘机二运皮带打滑，影响出渣效率。

3 解决方案分析

3.1 解决综掘机下滑、拉底问题

大倾角条件下，综掘机与煤层底板摩擦力过小，针对这种情况，采用以下技术方案解决：一是出矸时留一定量符合要求的碎渣，增大综掘机和地板的摩擦力；二是综掘机履带垫道木、圆木，增加摩擦力保证综掘机定位稳定。

大倾角条件下，操作综掘机时，将铲板抬起后，煤渣进入铲板下部，综掘机无法实现铲板最大挖底量。针对这种情况，采取以下技术方案解决：一是规定综掘机司机割煤时，禁止随意抬起铲板，每循环支护结束后，组织人员清理综掘机履带两侧积渣；二是在综掘机后补增设一组型号为5PKF09型辅助倒车油缸，油缸升起后6.0m，推移重量37.7t，辅助后退综掘机，将铲板下部积渣装载运出（或进行二次割底，割底完毕后，将煤渣装载运出），消除使用绞车辅助后退综掘机带来的安全隐患^[3]。

辅助倒车油缸通过Φ32mm钢丝绳或φ26mm×92mm/C级连接链两端分别与综掘机后支撑和地锚固定。具体为：在综掘机后支撑正后方10m处两侧底板上分别各打设4根规格为20#-M22-2500 BHRB335号左旋无纵筋螺纹钢锚杆为一组固定地锚，两侧分别各一组，锚杆在底板上外露300~500mm。将自制的锰钢托盘（锰钢托盘加工6个孔，其中4个孔用于固定锰钢托盘，2个孔用于连接钢丝绳绳扣）穿入锚杆内进行固定；钢丝绳绳扣采用Φ32mm钢丝绳插接，插接长度是钢丝绳直径的30倍，钢丝绳绳扣加工长度2-3m。钢丝绳扣（或用φ26mm×92mm/C级连接链）配合使用32T卸扣体进行连接。

将辅助倒车油缸的高压胶管与综掘机小溜子管路进行并联，中间增加三通和截止阀进行控制，通过操作综掘机小溜子正反转控制油缸的伸缩，从而辅助完成综掘机倒车作业。

钢丝绳绳扣校验

已知条件：

最大坡度： $\beta = 28^\circ$

钢丝绳径： $\Phi = 32\text{mm}$

钢丝绳破断拉力（6×37+1）： $Q_p = 680\text{KN}$

EBZ-200型综掘机最大牵引质量： $m_{z1} = 59\text{T}$

综掘机行走马达牵引力： $F_{\text{牵引}} = 225\text{KN} \times 2 = 450\text{KN}$

取：履带钢板与巷道底板（钢板与煤）摩擦系数： $f_1 = 0.5$

$$\sin 28^\circ = 0.46947 \quad \cos 28^\circ = 0.88295$$

方法1：使用期间时牵引综掘机所需牵引力计算：

往上拉综掘机需要牵引力：

$$F_1 = m_{z1} (\sin \beta + f_2 \cdot \cos \beta) g - F_{\text{牵引}} \\ = 59 \times 1000 \times (\sin 28^\circ + 0.5 \cos 28^\circ) \times 9.8 - 455000 = 520926 - 455000 = 65.926\text{KN}$$

方法2：按钢丝绳安全系数进行校验：

综掘机上行时， $m_{z1} = Q_p / F_1 = 680 / 65.926 = 10.314 > 6.5$ ；

如使用φ26mm×92mm/C级连接链，破断力为850kN。

由以上计算得出：采用Φ32mm钢丝绳绳扣或φ26mm×92mm/C级连接链辅助牵引EBZ-200型综掘机，经过钢丝绳安全系数校验及连接链的破断力参数，满足使用。

3.2 解决刮板输送机上山运输困难问题

150202工作面切眼（导洞）大倾角下山掘进，切眼内安设四部刮板输送机接力运输，因巷道坡度大，存在刮板输送机运输过程中返煤严重，增加刮板输送机刮板数量提高运输效率底。同时加强刮板输送机日常检修力度，确保运行良好。

刮板机的输送能力涉及多个因素，包括工作面倾角、输送机铺设长度、输送量等。具体来说，输送机电动机功率的大小需要根据工作面倾角、输送机铺设长度和输送量的大小等具体条件决定^[3]。

3.2.1 刮板输送机电动机功率的计算

$$N = F_0 \cdot V / 1000 \cdot \mu \quad \text{则 } F_0 = 1000 \cdot N \cdot \mu / V$$

式中：N-电动机的轴功率，KW；刮板输送机为55KW

F_0 -主动链轮牵引力，N；

v-刮板链速，m/s。0.86m/s

按照上式计算结果，在考虑15%~20%的备用功率之后，即为电动机的设备功率（额定功率），其值为： $N_0 = (1.15 \sim 1.20) N$

所选电动机功率应大于或等于 N_0 。在工作面切眼（导洞）使用40T刮板输送机电机功率均为55KW，刮板链速0.86m/s， μ 取0.95。

$$\text{计算得出 } F_0 = 1000 \cdot 55 \cdot 0.95 / 0.86 = 60755.81\text{N}$$

3.2.2 刮板输送机运输阻力的计算

主动链轮的牵引力。其值为

$$F_0 = 1.1\omega_f (F_{zh} + F_k)$$

式中： ω_f -附加阻力系数，取 $\omega_f = 1$ 。

$$F_{zh} = g (q\omega + q_1\omega_1) L \cos\beta + g (q + q_1) L \sin\beta$$

$$F_k = gq_1L (\omega_1 \cos\beta + \sin\beta)$$

F_{zh} -重段阻力，N；

F_k -空段阻力，N；

g -重力加速度， m/s^2 ； $9.8m/s^2$

q -每米长度重载质量， kg/m^2 ；

q_1 -刮板链每米质量， kg/m ； $19.5kg/m$

L -输送机铺设长度， m ； $50m$

β -刮板输送机铺设角度； 32°

ω 、 ω_1 -重载及刮板链在溜槽的阻力因数。 1.1

由于切眼角度大，空段阻力对刮板机牵引力影响很大。

$$\text{空段阻力为：} F_k = gq_1L (\omega_1 \cos\beta + \sin\beta) = 13976N$$

$$\text{则：} q = [(F_0 / 1.1\omega_f F_k) / g * 1 - (q_1\omega_1 \cos\beta - q_1 \sin\beta)] / (\omega \cos\beta - \sin\beta)$$

$$Q = 38.1kg/m$$

4.2.3 刮板输送机运输能力的计算

刮板输送机的输送能力，是指输送机每小时运送载货的质量。它取决于输送机每米长度上载货的质量和链速。即

$$Q = 3.6qv$$

$$Q = 3.6S \rho v$$

式中： Q -刮板输送机的运输能力， t/h ；

q -每米长度上载货的质量， kg/m ；

S -中部槽物料运行时的断面积， m^2 ；

ρ -物料的散碎密度；

v -刮板链速， m/s ， $0.86m/s$

$$Q = 3.6\Psi Spv$$

Ψ -装满因数。

注意：工作面所选刮板输送机的输送能力不能小于工作地点所需的运输能力 Q_s ，即 $Q \geq Q_s$ 。

$$Q = 3.6qv = 3.6 * 38.1 * 0.86 = 117.9576kg/m$$

$$Q = 3.6S \rho v \text{ 则 } S = Q / 3.6pv = 0.0401$$

$$S = BH, \text{ 则 } H = S / 0.6 = 0.066m$$

$$\text{根据 } N_0 = (1.15 \sim 1.20) N, \text{ 则 } Q_{\text{实}} = 117.9576 * 0.85 = 100.26kg/m$$

$$H_{\text{实}} = 0.066 * 0.85 = 0.056m$$

3.3 大倾角下山施工条件下，当渣量较大时，综掘机后方第二部运输机运煤困难。针对这种情况，采用以下技术方案解决：一是出矸时将综掘机后支撑油缸伸出，降低第二部运输机运输坡度；二是控制综掘机出渣量，

避免大量出渣，防止大块煤从二部运输机上滚落伤人，同时针对大块煤矸可能滚落伤人架设全封闭护网；三是第二部运输机使用防滑胶带，并人工加深防滑带凹槽，增大摩擦力，有效提高运输能力，减少煤流下滑现象^[4]。

3.4 大倾角下山施工条件下，巷道破底后，受综掘机割煤时的喷雾水及永久支护时湿打眼水的影响，巷道粘泥较多，综掘机第一部运输机容易阻塞，影响出渣效率。针对这种情况，采用以下技术方案解决：一是控制水量，做到及时关闭和打开，避免长流水；二是为综掘机第一部运输机加装刮泥装置；三是预留200~300mm底煤，避免破底，同时将综掘机冷却水通过DN10mm的高压胶管与综掘机一运转点喷雾连接，最大承担解决了冷却水问题，同时有效避免因巷道迎头积水造成人员滑倒。

3.5 安全防护方面主要采取刮板输送机加装全封闭式网格护网、行人侧施工人行台阶、帮部挂设棕绳辅助人员行走、每间隔30m安装绞盘式全断面安全门，人员行走或物料下放时严禁同时打开两道安全门，保证了施工期间安全^[5]。

结束语

针对枣泉煤矿150202工作面切眼煤层地质条件及炮掘对顶板造成的影响综合比较，确定了施工方法及工艺，避免了爆破施工过程中安全管理风险，保证了施工安全。

根据综掘机适应坡度，综掘机与煤层底板摩擦力过小，综掘机自重产生下滑，采取油缸辅助拉移综掘机倒车的方法，不仅解决综掘机倒车困难的问题，同时避免了传统工艺方法使用绞车辅助过程钢丝绳导致的安全事故。

大倾角下山施工条件下，运输效率低，采用胶带施工防滑槽增大摩擦力、减小刮板机刮板间距、缩小刮板机铺设长度综合措施，同时针对大块煤矸可能滚落伤人架设全封闭护网。

经实践证明150202工作面切眼综掘机下山施工技术应用，施工期间未出现顶板及运输安全问题，保障了工作面的安全生产。

参考文献

- [1]苏泽明.高应力大倾角切眼综掘施工工艺优化[J].机械管理开发,2023,38(07)
- [2]郑勇,徐犇,孙进伟.大倾角下山岩巷综掘机改进技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2020,(20)
- [3]王科.综掘机在经坊煤业煤巷下山掘进中的实践[J].山东煤炭科技,2021,39(08)
- [4]陈文晨.大倾角煤层综采工作面开切眼贯通与扩掘技术[J].煤炭科学技术,2016-S1-016.
- [5]高利军,黄妮,马云.急倾斜煤层大倾角开切眼快速施工运输方式研究[J].山东煤炭科技,2024,42(4):15-19.