

深部巷道底鼓变形治理技术研究

张治福（山西焦煤西山煤电集团有限责任公司，山西 太原 030053）

摘 要：某煤矿综采工作面顺槽底鼓变形严重。通过对工作面地质和开采资料收集整理，对巷道底鼓变形破坏原因进行分析，得出：工作面所在区域地应力水平高，巷道底板积水，巷道底板遇水容易膨胀，原巷道支护方案设计不合理是造成巷道底鼓严重的重要原因。基于以上原因，提出相应底鼓治理方案，并进行效果监测。实践证明：采用新支护方案后，巷道底鼓治理效果明显，能满足矿方生产需求。

关键词：底鼓变形；底板积水；地应力

1 工程地质概况

综采工作面顺槽是井下巷道底鼓严重的区域，巷道围岩稳定时间短，巷道变形严重，底鼓量最大达到 350mm，断面面积收敛率 37.5%，底板破坏严重。巷道底鼓变形特征由中线两侧向巷内隆起，底鼓隆起速度快，在巷道淋水的作用下，底鼓变形更严重。

1.1 综采工作面工程地质概况

综采工作面地表标高 +620~+680m，工作面煤层底板标高 +523~+545m，煤层埋深 135~157m。综采工作面顺槽位于矿井一采区西部，该工作面东部为西翼北回风大巷和西翼北辅助运输大巷，南部为工作面采空区，西部为实体煤，工作面北部为待采工作面。

综采工作面掘进时运输顺槽预计瓦斯绝对涌出量为 0.29m³/min，回风顺槽瓦斯绝对涌出量为 0.30m³/min，回采时瓦斯涌出量为 0.98m³/min。巷道开采揭露发育一条小型落差 5m 的正断层 F1。未见陷落柱构造，无岩浆岩侵入，地质构造简单。工作面现采 3 号煤层，其直接充水含水层为山西组及下石盒子组砂岩含水层，据区域资料显示，富水性弱，工作面正常涌水量 16m³/h，最大涌水量 24m³/h。

3 号煤条痕为黑色，粉状—块状，玻璃光泽—强玻璃光泽，参差状—阶梯状断口，条带状结构，层状构造，以亮煤为主，暗煤次之，夹镜煤条带。为半亮型煤。视密度为 1.32~1.42m³/t，平均为 1.35m³/t。3 号煤层顶板岩性变化较大，有的区域直接顶为泥岩和砂质泥岩，直接顶厚度较大；有的区域直接顶厚度较小，老顶为厚层状的砂岩。从测试结果来看，直接顶泥岩强度较低，直接顶泥岩强度主要集中在 20~30MPa 之间，砂质泥岩强度在 40~50MPa 之间，泥质砂岩强度在 50MPa 左右，顶砂岩强度高，主要集中在 80~100MPa。

1.2 工作面开采技术参数

综采工作面采用倾斜长壁、全部垮落、后退式综合机械化采煤方法，由东向西回采。工作面走向长度：1234.594m，工作面倾斜长度：150.00m。

综采工作面为两巷布置方式：胶带进风顺槽供进风、运煤、供电、供液、供水用；轨道回风顺槽供回风、运料用，工作面顺槽、切眼及均沿煤层底板掘进。

综采工作面进风顺槽、切眼与矿界留设 20m 的保护

煤柱；综采工作面进风顺槽与北部相邻工作面留设 20m 的保护煤柱；该综采工作面回风顺槽与相邻北部工作面留设 25m 的保护煤柱，与南部待采工作面留设 25m 的保护煤柱；综采工作面停采线与邻近联络巷道留设 40m 的保护煤柱，与已采工作面留设 90m 的保护煤柱。

该综采工作面顺槽均采用高强度螺纹钢锚杆、锚索、金属网、钢筋梯子梁联合支护；切眼采用高强度螺纹钢锚杆、锚索、金属网、钢筋梯子梁、单体柱联合支护。

表 1 综采工作面主要巷道断面特征表

巷道名称	断面形状	支护形式	排距 (m)	净断面尺寸 (mm)		净断面积 (m ²)	允许通过最大风量 (m ³ /min)	备注
				宽	高			
胶带进风顺槽	矩形	锚网梁索	0.8	4000	2200	8.80	2112.0	
轨道回风顺槽	矩形	锚网梁索	0.8	3600	2200	7.92	1900.8	
工作面切眼	矩形	锚网梁索	0.8	5800	2200	12.76	3062.4	

2 巷道底鼓变形破坏机理

2.1 围岩特性

3 号煤煤型为半亮型煤，顶部以暗煤为主，底部亮煤较多，煤层伪顶为炭质泥岩，厚度 0~0.2m，深灰色，薄层状，含丰富的植物茎化石，局部含煤线，平坦状断口，局部地段发育，极容易风化。直接顶以泥岩和砂质泥岩为主，灰黑色，性脆，易风化，厚度 3.6m。老顶以细粒砂岩，厚度 5m 左右，灰黑色，含植物化石，成份石具黑色泥岩条纹，夹粉砂岩薄层，裂隙发育。直接底以泥岩和砂质泥岩为主，厚度 0.2m，深灰色，薄层状，含丰富的植物茎化石，具方解石充填的水平裂隙，松软。老底以砂质泥岩和泥质砂岩为主，厚度 10.44m，浅灰色，水平层理发育，质硬，断口平坦厚层状，岩石较完整，裂隙为方解石充填。

表 2 综采工作面岩样物质成份定量分析汇总

岩性	矿物种类和含量 (%)						粘土矿物总量 (%)
	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	菱铁矿	
3 号煤底板细砂岩	38.9	/	4.8	/	/	/	56.3
3 号煤底板中砂岩	30	/	7.4	18.2	11.3	13.6	19.5

3号煤底板泥质页岩	40.8	/	4.1	/	/	1.5	53.6
3号煤底板泥岩	35.5	/	/	/	/	/	64.5
3号煤底板砂质泥岩	28.7	/	3.6	/	23.3	6.7	37.7
3号煤底板泥质砂岩	38.6	/	/	/	/	/	61.4

表3 综采工作面岩样粘土矿物成份定量分析汇总

岩性	粘土矿物相对含量 (%)							混层比 (%S)	备注
	S	I/S	I	K	C	C/S	I/S		
3号煤底板细砂岩	/	64	16	17	3	/	20	/	
3号煤底板中砂岩	/	73	12	12	3	/	20	/	
3号煤底板泥质页岩	/	61	11	24	4	/	20	/	
3号煤底板泥岩	/	68	12	16	4	/	20	/	
3号煤底板砂质泥岩	/	63	13	20	4	/	20	/	
3号煤底板泥质砂岩	/	52	11	31	6	/	20	/	

粘土分析报告中各字母代表的含义：

S-Smectite。蒙皂石类，如蒙脱石、贝得石和皂石等；I/S-Illte/Smectite mixed layer。伊利石蒙脱石混层，简称伊 / 蒙混层；I-Illite。伊利石；K-Kaolinite。高岭石；C-Chlorite。绿泥石类；C/S-Chlorite/Smetite mixed laye。绿泥石蒙脱石混层，简称绿 / 蒙混层；Smectite Layer Percentage in (%S)。混层比，一般指在混层矿物中膨胀层所占的比例；I/S %。伊 / 蒙混层，混层比；S %。绿 / 蒙混层，混层比。

通过综采工作面岩样物质成份和矿物成分分析可以得出：

① 3号煤层中有易风化、崩裂的高岭石、伊利石和绿泥石。暴露以后其自身结构随风化程度逐步弱化，影响岩体的整体承载能力，对井巷工程的安全存在很大的负面影响；

② 3号煤层围岩不同程度的都含有伊利石和高岭土等粘土成份，所以都不同程度的存在遇水软化的特点，岩石强度随含水量增高而降低，其中泥岩强度降低最为显著，从而对岩体整体强度存在很大的负面影响，进而对巷道支护的整体效果起很大的负面作用。

2.2 应力状态

原岩应力总体上以水平应力为主，构造应力占绝对优势，属于典型的构造应力场类型。所测测点最大水平主应力方向集中在 N8° E~N56° W 之间。

最大水平主应力随着深度的增加而增加，最小水平主应力也随着深度呈现近似线性的增加趋势，而垂直主应力量值随深度呈线性增加，因此可垂直主应力随深度的变化关系近似见图 1。

垂直应力： $\sigma_v=0.025H$ ；最大水平主应力： $\sigma_H=0.04H-6.621$ ，MPa；最小水平主应力： $\sigma_h=0.021H-3.274$ ，MPa。

国内外地应力测量结果表明，当巷道轴线与最大水平主应力平行，巷道受水平应力的影响最小，有利于顶

底板稳定；当巷道轴线与最大水平主应力垂直，巷道受水平应力的影响最大，顶底板稳定性最差。

根据综采工作面实际开采情况，西翼开拓大巷道轴线方向与最大水平方向夹角接近平行，最大水平应力对巷道影响最小。而工作面顺槽则与最大水平应力方向夹角在 85，因而使巷道顶底板将产生较大的应力集中。因此工作面顺槽底鼓变形比西翼开拓大巷底鼓变形严重。

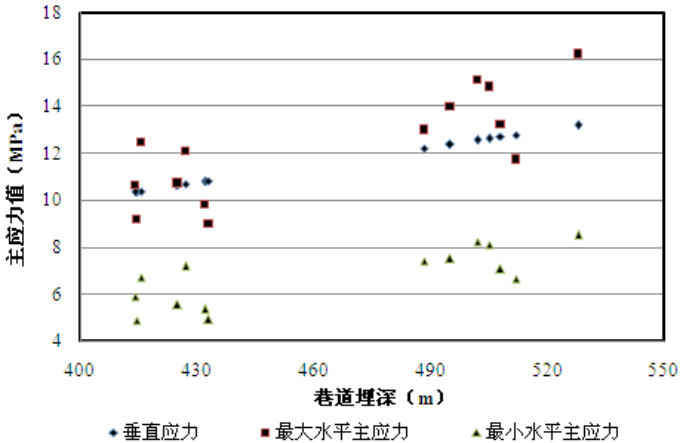


图1 主应力与埋深的关系

2.3 水理作用

综采工作面顺槽底板岩性主要是泥岩和砂质泥岩，底板破坏范围大。并且巷道顶板淋水，底板积水，使得底板遇水后快速膨胀。另一方面，巷道积水使得底板岩石强度和内聚力下降，对巷道稳定性产生了负面影响。

2.4 巷道支护结构

综采工作面顺槽支护，针对巷道两帮和顶板，缺乏对巷道底板支护，使得巷道顶板和两帮应力沿着底板滑移线转移至底板，底鼓隆起量快速增大。实践证明：原巷道支护方案在构造应力场中对水平方向最大应力控制不足，无法满足生产安全需求。

3 巷道底鼓稳定性控制技术

通过综采工作面顺槽底鼓变形破坏机理分析，对综采工作面支护方案进行优化，提出“底板灌浆 + 底板浅部注浆锚杆”支护方案，具体配套参数如下：

①锚杆采用 18×1800mm，间排距均为 800mm×800mm；巷道总的施工 5 棵锚杆，每根使用 2 节树脂锚固剂。通过巷道底板锚杆支护后，巷道底板形成较高强度支护结构，同时增加了巷道底板强度，对角围岩塑性区加以有效控制，从而起到控制底鼓的作用；

②底板浆液的配比为水泥：砂子 =1:3，速凝剂的用量根据现场实际情况来确定，一般确定为 6%~7%。巷道底板注浆后，底板形成了新的承载结构，同时降低巷道底板积水向下渗透，减少巷道底鼓变形量；

③底板如果积水，应组织施工人员进行迅速处理，进行排放；对于施工中用水，应加强注意，应提出针对性使用方案，应快速底板积水快速疏干；巷道顶板淋水，应定期观察淋水量，同时采取措施减少滴漏。工作面正常涌水量较大，建议施工队组在工作面配备排水量不小

于 60m³/h 的排水设施并保证排水管路的畅通；
④对于底鼓变形严重，应力集中区域，应采取底板打卸压钻孔方案，从方位角定为 60°，孔深 1.5m，开孔倾角为 5°~6°，间距 3m。通过底板打卸压使得底板应力集中区，向底板深部转移，尽量减少巷道底板变形。

4 现场实测

为了检验支护方案合理性，在综采工作面顺槽 100m 内进行布点监测，监测时间 2 个月，监测点布置在巷道底板中线铅锤位置，进行数据监测。现选取监测记录中代表性数据，监测曲线如图所示。

表 4 底鼓变形监测表

时间 (d)	日变形量 (mm)	累计变形量 (mm)
0	3.05	3.05
1	2.83	5.88
2	2.62	8.50
3	2.40	10.90
4	2.19	13.09
5	1.98	15.07
6	1.80	16.86
7	1.75	18.61
8	1.70	20.31
9	1.65	21.96
10	1.60	23.57
11	1.56	25.13
12	1.52	26.64
13	1.49	28.13
14	1.46	29.59
15	1.44	31.03
16	1.41	32.44
17	1.38	33.82
18	1.36	35.19
19	1.36	36.54
20	1.35	37.89
21	1.34	39.22
22	1.33	40.55
23	1.32	41.87
24	1.31	43.18
25	1.31	44.49
26	1.30	45.80
27	1.30	47.10
28	1.30	48.39
29	1.29	49.68

从图中可以看出，工作面顺槽底板变形最大 50mm，底板变化量最大 3.25mm，前 10 天巷道底板变化最快，10 天后巷道底板变形明显变缓趋于稳定。巷道断面面积变化不大，对巷道通风无影响。巷道采用轨道运料，巷道最大变形量 50mm，在轨道运输误差量以内，能够满足巷道运料需求。因此优化的支护方案，可以满足矿井生产要求。

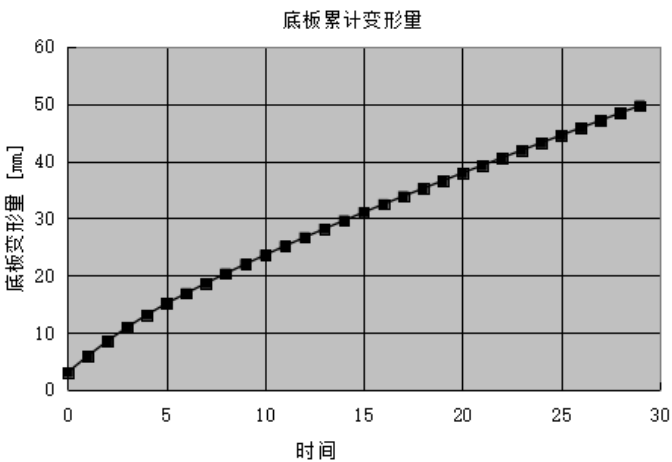


图 2 a 底鼓变形累计图

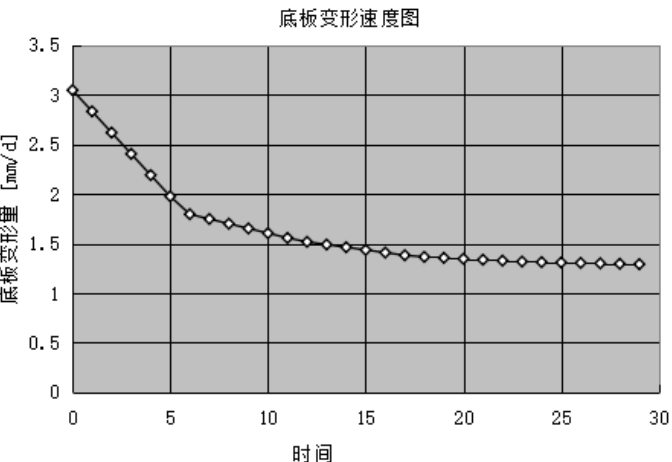


图 2 b 底鼓日变形累计图

5 结论

①综采工作面顺槽底鼓严重，经分析得出：工作面所在区域地应力水平高，巷道底板积水，巷道底板遇水容易膨胀，原巷道支护方案设计不合理是造成巷道底鼓严重的重要原因；

②根据综采工作面顺槽底鼓机理，优化了巷道支护设计，即底板灌浆 + 底板浅部注浆锚杆，对于底鼓变形严重区域采取底板打卸压钻孔方案。新支护方案，改善了巷道积水状况，强化了底板强度，减少了底板变形；

③通过现场监测，巷道底板变形量 50mm，底板变化量最大 3.25mm，对巷道运料，通风无影响，底板治理效果突出。

参考文献：

- [1] 谢和平. 深部岩体力学与开采理论研究进展 [J]. 煤炭学报, 2019, 44(5): 1283-1305.
- [2] 何满潮. 深部软岩工程的研究进展与挑战 [J]. 煤炭学报, 2014, 39(8): 1409-1417.
- [3] 江东海, 李恭建, 马文强, 等. 复杂节理岩体巷道非均称底鼓机制及控制对策 [J]. 采矿与安全工程学报, 2018, 35(2): 238-244.

作者简介：

张治福 (1983-)，男，山西孝义人，本科，采煤工程师，主要从事井下采掘工作。