



柳海矿运输大巷返修工程深部软岩支护设计研究

何满潮^{1, 2}, 郭志彪¹, 任爱武², 胡永光¹

(1. 中国矿业大学(北京) 岩土工程研究所, 北京 100083; 2. 中国地质大学 工程技术学院, 北京 100083)

摘 要: 通过现场调查、室内试验以及理论分析, 柳海矿运输大巷支护现状进行分析研究, 总结破坏原因。根据现场工程地质条件、岩石特性和破坏特点, 确定软岩变形力学机制为高应力膨胀性软岩, 并提出采用预留刚隙柔层支护技术进行支护。

关键词: 运输大巷; 返修工程; 深部软岩; 预留刚隙柔层支护

中图分类号: TU 452 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 4548(2005)09 - 0977 - 04

作者简介: 何满潮(1956 -), 男, 河南灵宝人, 教授, 博士生导师, 主要从事软岩、边坡及工程地质、地热工程等方面的研究。

Deep softrock supporting technology of the repair project for transport tunnel in Liuhai Coal Mine

HE Man-chao^{1, 2}, GUO Zhi-biao¹, REN Ai-wu², HU Yong-guang¹

(1. Institute of Geotechnical Engineering, China University of Mining and Technology Beijing 100083, China; 2. School of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The supporting technology of the transport tunnel in Liuhai Coal Mine and was analyzed the cause of its destruction was summarized through field investigation, laboratory test and theoretical analysis. According to the geological condition, rock characteristics and destruction features, deformation mechanism of soft rock was ascertained as swell under high stress, and the supporting technology of flexible layer with rigid gap was put forward.

Key words: transport tunnel; repair project; depth softrock; rigid gap flexible layer supporting

0 前 言

由于柳海矿属深部第三系(-500 m)软岩矿井, 地层岩石成岩作用差, 时期短, 岩石强度低, 柳海矿业有限公司柳海矿包括运输大巷在内的井底车场巷道基本全部破坏, 面临关闭停建状态。为此, 公司特邀请有关专家进行论证, 专家通过井下考察、现场调研和论证分析后, 一致认为, 柳海矿软岩问题是国内软岩工程中的最大难题。原有的支护形式由于缺乏对运输大巷等井底车场巷道岩性、物理力学性质准确判断, 因此不能从根本上控制围岩的变形。使得运输大巷等巷道多次返修仍不能稳定, 浪费大量的人力和物力, 而且延误工期, 使得矿井的投产期延后至少一年。

1 工程概况

本次进行支护设计的巷道为-480 m 运输大巷(I 段)。巷道设计长度: 850 m。运输大巷地面相对位于矿区中央, 自南山高尔夫会馆保安煤柱穿过, 北至海岸线。地面标高+10.3 m~+25.74 m。属开拓巷道, 周

围无其它采区工作面施工。上覆煤 1 尚未开采。

运输大巷主要位于煤 2 底板砂砾岩中, 层厚 8.65~15.3 m, 平均厚度 11.2 m。该岩层为灰白色, 局部为泥岩互层, 结构复杂, 硬度系数 $f=2\sim3$, 并且砂砾岩下部含水。

砂砾岩的平均单轴抗压强度为 2~3 MPa, 抗压强度较低。

运输大巷顶、底板岩性特征详见表 1。

表 1 底板岩性特征表

Table 1 Characteristics of the floor rock

顶底板名称	岩石名称	厚度/m	岩性特征
直接顶板	粘土岩	13.88	灰色, 松软, 膨胀性强, $f=0.2$
直接底板	砂砾岩	11.22	灰白色, 遇水软化膨胀, $f=3.0$

运输大巷自井底车场重车线开门, 按 265°方位、

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目 (50490270)

收稿日期: 2004 - 10 - 21

+4‰坡度施工 56 m 后,按 260°方位、0°坡度掘进 100 m,然后改为按 288°方位、+4‰坡度施工 694 m。工程量共计 850 m。

2 破坏特点及破坏原因分析

运输大巷原支护形式为 U29 型钢可缩性支架,巷道形状为三心拱形,采用导洞放压的方式进行施工。

在巷道形成初期(一般为 7~10 d),压力主要来源是含油泥岩自身可塑性及上覆岩层自重,巷道揭露含油泥岩后,泥岩的成岩作用力失去平衡,作用力集中释放,时间短,变形量大。

在 7~10 d 后,进入第二阶段,主要受巷道上覆岩层压力、构造地应力及岩石膨胀力三种作用力的综合作用。巷道围岩经过前阶段释放成岩作用力后,含油泥岩层面光滑,纵向节理发育,顶板下沉出现活动空间,在重力的作用下,逐渐波及上覆深部岩层,使其作用于巷道。泥岩膨胀力主要表现为巷道底臃,即锚喷、空气湿度等水渗入底板含油泥岩以及底板承压含水层,补给含油泥岩,致使其吸水膨胀^[1, 2]。

根据精查报告分析可知,本矿区处于柳海、草泊断层组附近,并且该断层组处于微活动期,受构造应力影响较大,这也是巷道支护困难,变形严重,多次支护失败的主要原因。

在上述原因下,运输大巷自成巷以来,巷道围岩一直处于活动期,处于长期蠕变状态。其特点表现为巷道压力大,矿山压力持久。

3 软岩巷道变形力学机制分析

3.1 微观试验及矿物成分分析

通过表 2 和表 3 试验结果及其分析,可以对运输大巷巷道围岩的矿物成分微观结构有一个全面的认

识,总之,柳海矿业巷道围岩是典型的物化膨胀性软岩,并且所有岩石非晶质含量都相对较高,是造成巷道变形大,难支护的主要原因之一。并可据此初步确定围岩的变形力学机制。

3.2 巷道变形力学机制分析

根据现场工程地质调查及资料分析,可以确定运输大巷巷道围岩为高应力膨胀型软岩,该类软岩是软岩巷道支护中最难以控制的一类。

根据理论分析和大量工程实践,作者曾提出将软岩巷道变形力学机制分为三大类^[3],即物化膨胀类、应力扩容类和结构变形类,各类中又依据引起变形的严重程度不同分为 A、B、C、D 四个等级,共 13 种基本类型。软岩巷道的变形力学机制通常是 3 种以上变形力学机制的复合型。

软岩巷道难支护的根本原因是其具有复杂的变形力学机制。

成功进行软岩巷道支护的关键是:

- (1) 正确地确定软岩变形力学机制;
- (2) 有效地将复合型变形力学机制转化为单一型;
- (3) 合理地运用复合型变形力学机制的转化技术。

在这一原则的指导下,经过现场工程地质初步调查分析和微观试验,确定了运输大巷巷道围岩含有大量吸水膨胀的泥质(主要成分为粘土矿物)岩层,且巷道变形严重程度与埋深有关,同时受巷道所在岩层结构控制。因此,可将研究巷道围岩的变形力学机制确定为 I_AII_{BD}III_{BA} 复合型变形力学机制,即:含粘土矿物的分子吸水膨胀机制和重力、工程偏应力机制以及软弱夹层走向型的复合型变形力学机制。

根据现场支护条件及现有支护技术,各变形力学

表 2 矿物 X-射线衍射分析报告(日期:2004-07-02)

Table 2 X-ray diffraction of the mineral (Date: 2004-07-02)

分析号	取样位置	岩石性质	岩样特征	矿物种类和含量/%					粘土矿物总量/%
				石英	钾长石	斜长石	黄铁矿	非晶质	
1	煤层 2 运输大巷迎头	煤	黑灰色块状、裂隙发育	1.5			0.5	~90	7.0
2	煤层 2 底板运输大巷迎头	泥岩	黑灰色块状	24.8	0.7	0.3		~30	44.2
3	煤层 2 底板运输大巷迎头	砂砾岩	灰色块状	25.6	3.9			~30	40.5

表 3 粘土矿物 X-射线衍射分析(报告日期:2004-07-02)

Table 3 X-ray diffraction of the clay mineral (Date: 2004-07-02)

分析号	取样位置	岩石性质	粘土矿物相对含量/%				混层比/%S
			S	I/S	I	K	I/S
1	煤层 2 运输大巷迎头	煤		43	4	53	65
2	煤层 2 底板运输大巷迎头	泥岩		19	1	80	55
3	煤层 2 底板运输大巷迎头	砂砾岩		21	1	78	55



图 1 运输大巷返修巷道支护对策

Fig. 1 The repair project for supporting of transport tunnel

机制对应的转化技术为：

I_A 型: 翻修、柔层释放变形能及喷层封闭;

II_{BD}型: 锚网索耦合支护技术:

III_{BA}型: 锚杆布置三维优化技术。

运输大巷返修巷道 I_AII_{BD}III_{BA} 复合型转化为单一型的转化过程如图 1 所示。

4 巷道返修支护设计及对策

4.1 支护方式

根据对巷道变形力学机制及转换对策的分析, 对该巷道进行返修时, 根据具体工程地质条件, 采用预留刚隙柔层支护技术, 即: 锚网索喷耦合+双桁架加强支护方式。

4.2 预留刚隙柔层支护技术力学原理^[4, 5]

预留刚隙柔层支护,从力学概念上讲,是在支护体内设置刚性层和柔性层,在刚性层和柔性层之间预留一定量的间隙(通过公式 $C_p = k_p a$ 确定预留间隙,式中 C_p 为预留柔层厚度, k_p 为柔层预留系数,一般取 0.05~0.1, a 为巷道设计毛断面宽度),使其能够大幅度地吸收软岩的大变形。这样就形成所谓的“刚隙柔层”,具有充分的柔度和间隙适应软岩的大变形,同时在钢柔层相接时又具有足够的刚度限制围岩的差异性变形等有害变形,达到刚柔层的变形协调和刚度耦合。

在柔性喷层和钢架之间预留一定量的空隙，在刚隙柔层的控制下，围岩有限制的充分变形，从而形成比较均匀的外部塑性工作状态区和内部弹性工作状态区，以达到把高应力能量转化为变形、高应力转移到围岩内部的目的，待柔性喷层与钢架接触时，再喷射混凝土永久支护。

4.3 支护参数设计

运输大巷断面形状为直墙半圆拱形(见图2)。

(1) 锚杆采用 $\phi 20$ 高强螺纹钢锚杆, 长度 2200 mm, 间排距 700 mm $\times$ 700 mm, 三花布置。拉拔力不小于 10 t。

(2) 金属网用 $\phi 6.5$ mm、3号钢筋制成,尺寸为1000 mm $\times$ 700 mm,网格尺寸100 mm $\times$ 100 mm。逐扣联结。

(3) 初喷厚度 60 mm。复喷至与钢架接触。永久喷层至覆盖钢架。喷射混凝土强度等级 C20。

(4) 底拱采用浇筑混凝土, 初次浇筑 100 mm, 永久浇筑至地坪设计高度, 浇筑混凝土强度不小于 C30。

(5) 金属桁架材料为 11 号矿用工字钢, 支架间距

800 mm。墙部支架与底拱部支架之间利用平衡消力接口联结板及 M20×70 螺栓连接。支架之间通过等边[#]9 角钢连接杆及焊接 A3 钢连接件联结。

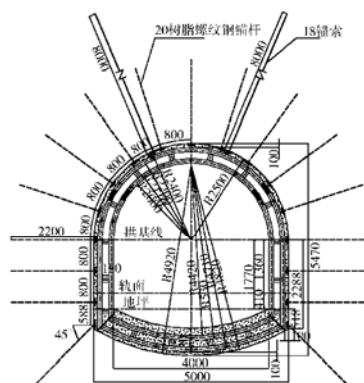


图 2 运输大巷支护设计图

Fig. 2 Design for supporting of transport tunnel

4.4 施工工序

断面成形→移前探梁→铺顶网→超前支护→出渣→联顶网及挂网→铺联帮网及挂网→预喷浆→初次支护→打角锚杆→清底→初喷混凝土→下一个锚网喷支护循环→卧底及浇底→架设工字钢桁架→浇筑底板混凝土→复喷混凝土→永久喷射混凝土。

4.5 巷道表面位移观测及结果分析

通过巷道表面位移观测数据可较好地判定巷道围岩的运动情况,分析围岩是否进入稳定状态。巷道表面位移监测包括两帮相对移近、顶底板相对移近、顶板下沉、底臃四项内容。采用该支护方式后,在扩刷巷道开口处设基准监测点。在支护实施初期,每隔 2 m 布设一个观测站。每个观测站包括顶、底和两帮共 4 个测点。测点布置如图 3 所示。

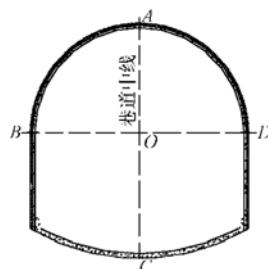


图 3 巷道表面位移观测测点布置图

Fig. 3 Arrangement of measuring point for displacement of tunnel surface

从8月15日起观测巷道表面收敛位移,截止到9月4日止,观测段巷道基本达到稳定,其中,最大累

计顶板下沉量为 28 mm, 最大累计两帮移近量为 44 mm, 最大累计底臃量为 26 mm; 顶板平均移近速率为 2.12 mm/d, 两帮平均移近速率为 2.06 mm/d, 底臃量平均速率为 1.53 mm/d。顶板和两帮围岩在 15 d 左右基本稳定, 底臃在 10 d 左右稳定。采用刚隙柔层支护与原支护形式比较, 该支护形式在允许软岩巷道有一定的变形的同时, 在达到通过计算预留的变形量时, 有足够的刚度和强度围岩阻止围岩产生差异性变形, 即不均匀变形。因此该支护具有支护变形量小, 稳定速度快等特点 (见图 4~6)。

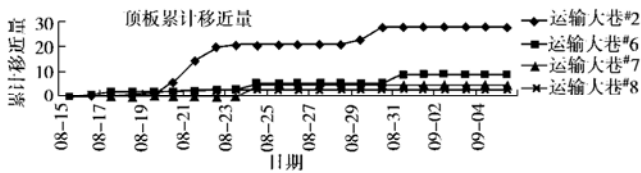


图 4 运输大巷顶板累计变化曲线

Fig. 4 Roof total displacement of the No.1 tunnel

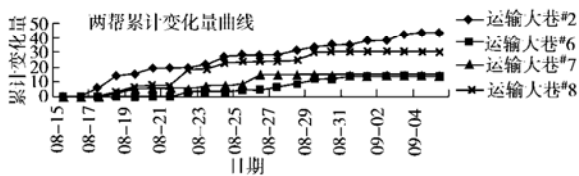


图 5 运输大巷两帮累计变化曲线

Fig. 5 Sides total displacement of transport tunnel

通过对上述数据的分析可知, 经过初次锚网喷支护后, 巷道围岩由于岩性较差, 造成巷道成形差, 由此引起不均匀变形得以控制, 使围岩成为一个整体, 变形均匀, 从而使桁架整体受力, 最终使桁架和围岩协调变形, 以及巷道围岩的稳定。

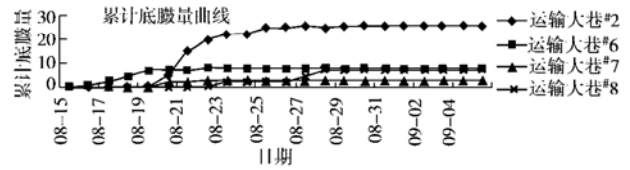


图 6 运输大巷底臃量累计变化曲线

Fig. 6 Variation of total displacement for floor of transport tunnel

5 结 论

通过现场实施情况及理论分析, 作者认为针对柳海矿高应力膨胀性软岩, 采取刚隙柔层支护方式是可行的, 并且值得在类似柳海矿的第三系软岩的矿区推广应用。从而达到在服务年限内一次支护的目的。使用该支护方式最重要的是确定合理的支护顺序, 以及恰当的支护时间。因此必须认真进行矿压观测, 准确记录数据, 为巷道支护优化设计提供资料。

参考文献:

- [1] 何满潮, 彭 涛. 软岩巷道的大变形问题[J]. 水文工程地质, 1994.
- [2] 李洪志. 中国煤矿膨胀性软岩力学化学行为及支护对策研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 1995.
- [3] 何满潮, 景海河, 孙晓明. 软岩工程力学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [4] 何满潮, 袁和生, 等. 中国煤矿锚杆支护理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [5] 何满潮, 孙晓明. 中国煤矿软岩巷道工程支护设计与施工指南[M]. 北京: 科学出版社, 2004.