巷道支护理论与技术

三软强变形煤巷复合支护技术研究

张 沛[1,2]，黄庆享[1,2]
(1. 西安科技大学 能源学院，陕西 西安 710054；2. 西部矿井开采及灾害防治教育部重点实验室，陕西 西安 710054)

[摘 要] 告成煤矿属于典型的三软强变形煤层，通过分析原有支护的变形特征和失效原因，进行了巷道断面优化，确定了全断面锚杆锚索+钢筋梯子梁+金属网喷浆复合支护方案，取消了 U 型棚，经过工业性试验，技术经济效果显著。

[关键词] 三软煤层；复合支护；断面优化；U 型棚
[中图分类号] TD353 [文献标识码] A [文章编号] 1006-6225 (2017) 02-0044-03

Study of Compound Supporting Technology of Coal Roadway with Three Soft and Large Deformation

ZHANG Pei[1,2], HUANG Qing-xiang[1,2]
(1. Energy School, Xi'an University of Sciences and Technology, Xi'an 710054, China;
2. Education Ministry Key Laboratory of Mining & Disaster Prevention, Xi'an 710054, China)

Abstract: Gaocheng coal mine is typical three soft and large deformation coal seam, the deformation character of old supporting and failure reasons were analyzed, the section of roadway was optimized, the compound supporting as all section cable and anchor and steel beam and metal net shotcrete was determined, and U type shed was abolished, after industry test, significant technical and economic effects was obtained.

Key words: three coal seam, compound supporting, optimized section; U type shed

郑州煤电股份有限公司告成煤矿矿井地质条件特殊，存在滑动构造。矿井主采二$_1$ 煤层，其顶板受滑动构造影响范围 21.5km^2，占含煤面积的 79.6%，属于豫西典型的三软强变形煤层。

告成煤矿工作面上下副巷受到采动等因素的影响，巷道变形剧烈，不能满足安全生产的需求，扩修率达到 60% 以上，巷道翻修不仅费时费力，增加生产成本，而且也影响了矿井的正常采掘接替。因此，以告成煤矿 21061 下副巷为研究对象，确定三软强变形煤巷的合理支护方式和支护参数，不仅对该矿区具有直接的实践价值，对发展复杂构造条件下的三软煤层支护技术具有重要的理论意义。

1 巷道围岩力学条件

分别在 21061 下副巷对二$_1$ 煤层、顶板、底板进行现场取样，开展力学参数测试。煤层及顶底板松软破碎，属于典型的三软强变形煤层，围岩力学性质如下:

(1) 二$_1$ 煤层平均厚 4.86m，一般煤层倾角为 11~13°，煤层受构造影响，节理裂隙发育，呈粉末状，疏松易碎。密度 1350kg/m^3，抗压强度平均 0.9MPa，水软化系数 0.32，抗拉强度平均 0.094MPa，黏聚力 0.7MPa，内摩擦角 20°，弹性模量 32.98MPa，泊松比 0.28。

(2) 顶板为平均厚度 8.56m 的破碎带角砾岩，岩性为泥岩、砂质泥岩和细砂岩，容易泥化。密度 2650kg/m^3，抗压强度平均 24.62MPa，抗拉强度平均 2.88MPa，黏聚力 5.2MPa，内摩擦角 35°，弹性模量 351.2MPa，泊松比 0.20。

(3) 底板为砂质泥岩，强度低，密度 2440kg/m^3，抗压强度平均 14.47MPa；抗拉强度平均 3.241MPa；黏聚力仅 0.8MPa，内摩擦角 25°，弹性模量 413.8MPa，泊松比 0.20。

2 巷道原支护条件及支护失效分析

2.1 巷道原支护条件及变形特征

告成煤矿 21061 下副巷原断面设计巷道净断面 15m^2，掘进断面 17m^2。巷道采用 36 号 U 型钢支护，棚与棚之间采用 7 道工字钢联锁配合直径 17.8mm 锚索 (8m 长) 加固，棚距为 500mm。

[收稿日期] 2016-10-17 [DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2017.02.012
[基金项目] 西安科技大学博士启动基金 (6310113032)；西安科技大学能源学院青年创新基金 (2210115019)
[作者简介] 张 沛 (1979-)，男，河南泌阳人，博士，讲师，从事采矿与岩层控制教学和研究工作。
[引用格式] 张 沛，黄庆享. 三软强变形煤巷复合支护技术研究 [J]. 煤矿开采，2017，22 (2)：44-46.

根据告成煤矿 21061 下副巷支护实践，巷道最大变形破坏特征为：支架搭接部位出现低阻滑移，顶梁和柱腿相对滑移达 1m；巷道顶板下沉、底鼓 0.6～0.7m，巷道净高不足 2m，局部甚至不足 1.5m；巷道两侧帮脚内移明显，巷道下宽由 6.2m 缩至 3.8m；U 型钢支架背板滑脱、折断，软弱煤体从支架间挤出。如图 1 所示。

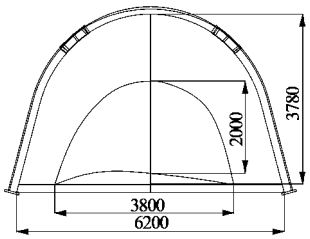

图 1　21061 下副巷典型变形特征

2.2　巷道支护失效原因分析

采用 U 型钢棚支护巷道发生了严重变形，说明采用单一 U 型钢支护难以控制巷道变形，采用 U 型钢配合工字钢及锚索等支护，施工困难，工艺复杂，成本高，巷道变形仍然剧烈，扩修率达到 60% 以上，影响了矿井的正常采掘接替。巷道支护失效的原因如下：

(1) U 型钢棚支护属于被动支护，支架与围岩之间存在架后空隙，支架对围岩没有主动支护作用，对底板没有支护作用，故无法有效控制巷道底鼓。

(2) 采用的锚杆、锚索支护属于先期用 U 型钢支护，然后待巷道掘进一段距离后，在 U 型钢钢棚间的补强支护，没有发挥锚杆支护的及时主动支护作用。

(3) 没有及时对巷道围岩进行喷浆封闭，没有考虑对底板的控制。

因此，需要对告成煤矿 21061 下副巷进行优化设计，采用底板反拱增强底板稳定性，取消 U 型棚被动支护，采取锚网加强两帮和顶板主动支护，封闭围岩。

3　巷道断面优化及支护方案设计

根据工程类比和极限平衡圈理论分析，可得：采用锚杆和锚索联合支护是正确的方向；喷浆封闭对解决松软破碎围岩支护具有显著效果；加强巷道底板和两帮的控制，可提高巷道整体稳定性。

因此，确定告成煤矿 21061 下副巷采用锚网索喷配钢筋梯子梁联合支护方式，采用底板反拱优化断面，加强底板稳定性，采用巷帮长锚杆加强两帮控制，采用顶板锚索加强顶板高平衡拱的控制，提高巷道整体稳定性。

3.1　巷道断面优化

为了充分发挥锚网支护的主动能力，根据锚网支护的“直墙壁”原则，巷道断面选择为直墙圆弧拱形。巷道面积与原设计一样，确定巷道宽度为 6200mm，净高 3600mm，墙高 2000mm。根据巷道极限平衡圈支护理论，控制底板可加强顶板的稳定性。根据实测，底板破坏深度为 1200mm，可取其一半设计反拱深度 600mm，加强底板稳定性，如图 2 所示。顶弧长 7248mm，底弧长 6353mm。

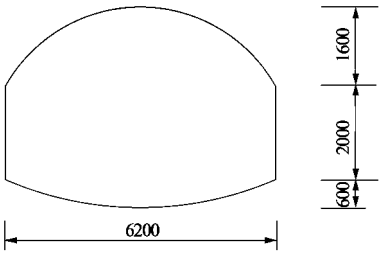

图 2　21061 下副巷优化断面

3.2　巷道支护方案

根据极限平衡圈理论[2]，结合矿区实践经验，确定支护方案如图 3 所示。巷道采用直墙圆弧拱带反拱优化断面，巷道宽度 6.2m，直墙高度 2.0m，顶拱高 1.6m，底板反拱 0.6m。全断面采用锚杆锚索+钢筋梯子梁+金属网喷浆支护，锚杆长度 2.4m，间排距 0.8m；采用锚索加强顶板和两帮支护，顶板锚索长度 6m，两帮腰线锚索长度 6m，间排距 1.2m×1.6m；全断面采用金属网封闭。

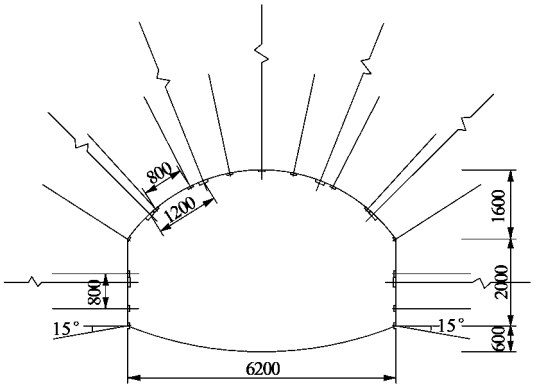

图 3　21061 下副巷优化断面支护方案

4　巷道支护效果及经济评价

4.1　巷道支护效果

在告成煤矿 21061 下副巷 995～1275m 段进行全锚网支护工业性试验，建立 4 个测站进行锚网索支护试验段表面位移观测。通过观测，巷道顶底移

近量最大为 285mm，巷道顶底收缩率范围在 1.7% ~8.3% 之间；巷道两帮移近量最大为 157mm，巷道两帮收缩率范围为 0.46% ~4.1%；巷道顶底和两帮移近量为 628 ~880mm，采用全断面锚网索梯子梁支护，对比 U 形钢支架+锚网索补强支护巷道变形量下降了 68%，巷道使用情况良好，采用全断面锚网索梯子梁支护，技术效果明显。

4.2　经济效益

通过计算，锚网梁支护每米巷道材料消耗费用为 1443.361 元，U 型棚锚网支护每米巷道材料消耗费用为 5678.241 元，每米巷道材料消耗费用降低了 74.6%。

使用锚网梁支护巷道返修工程量较少，现在告成煤矿工业性试验段，锚网梁支护没有出现巷道返修（U 型棚锚网支护巷道返修率为 60% 以上，每米巷道维护费为 320 元）。因此，在告成煤矿工业性试验段 280m 巷道，节省巷道维护费用 5.376 万元。使用锚网梁支护，单进提高了 10%，掘进工效提高了 38%，提前准备出工作面备采。

5　结　论

以告成煤矿三软强变形煤巷为对象，通过现场取样、岩石力学实验得出围岩力学参数，分析原巷道支护的变形特征及失效原因，在巷道断面优化基础上，确定了全断面锚杆锚索+钢筋梯子梁+金属网喷浆支护的方案，经工业性试验检验，技术经济效果显著。

[参考文献]

[1] 钱鸣高，石平五，许家林. 矿山压力与岩层控制 [M]. 徐州：中国矿业大学出版社，2010.

[2] 黄庆享，刘玉卫. 巷道围岩支护的极限自稳平衡拱理论 [J]. 采矿与安全工程学报，2014，31（3）：355-358.

[3] 黄庆享，石中情. 三软煤层巷道围岩自稳平衡圈分析 [J]. 西安科技大学学报，2016，36（3）：331-335.

[4] 董方庭，宋宏伟，郭志宏，等. 巷道围岩松动圈支护理论 [J]. 煤炭学报，1994，19（1）：22-32.

[5] 柏建彪，李文峰，王襄禹，等. 采动巷道底鼓机理与控制技术 [J]. 采矿与安全工程学报，2011，28（3）：1-5.

[责任编辑：邹正立]

（上接 9 页）

[3] Patel S U，Jeevan Kumar B，Badhe Y P. Estimation of Gross Calorific Value of Coals Using Artificial Neural Networks [J]. Fuel，2003，82（12）：1491-1497.

[4] 陈天生，邱嘉艳. 人工神经网络预测煤的发热量 [J]. 煤质技术，2006，7（4）：56-58.

[5] 何立新. 煤矿生产中影响煤质的十大因素及相关措施 [J]. 矿山测量，2004，3（1）：61-63.

[6] 陈文敏，刘淑云，王智灵. GB/15221-9《煤炭灰分分级》编制说明 [J]. 煤炭分析及利用，1995，12（3）：37-39.

[7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. GB/T 15224.3-2009 煤炭质量分级 第三部分：发热量 [S]. 北京：中国标准出版社，2009.

[8] 中华人民共和国建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB50359-2005 煤炭洗选工程设计规范 [S]. 北京：中国计划出版社，2005.

[9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. GB/T 15224.1-2009 煤炭质量分级 第一部分：灰分 [S]. 北京：中国标准出版社，2009.

[10] 戴少康. 选煤工艺设计实用技术手册 [M]. 北京：煤炭工业出版社，2010.

[责任编辑：周景林]

（上接 86 页）

5　结　论

（1）得到了沙吉海煤矿 B10 煤层 B1003W01 工作面的“两带”垮采比为 2.75 ~2.81，垮落带高度 18.7 ~19.7m，裂采比为 11.39 ~13.59，导水裂缝带高度为 77.4 ~82.26m。

（2）获得了首采工作面的矿压显现规律。工作面顶板周期来压步距在不同阶段具有一定的差别，周期来压步距为 10.8 ~14.7m；超前 50m 范围顶板位移开始变化，越靠近工作面，变形越快；煤体应力开始变化在超前 10m 范围，峰值离煤壁近，仅距离煤壁 2m 位置。

（3）分析了首采工作面矿压显现与“两带”破坏发展关系。首采工作面受“三软”条件、“两带”发育高度、周期来压步距短、来压动载作用以及煤体应力峰值离煤壁近的综合作用是造成工作面淋水、架前冒顶和煤壁片帮的原因。

[参考文献]

[1] 钱鸣高，石平五. 矿山压力与岩层控制 [M]. 徐州：中国矿业大学出版社，2003.

[2] 王家臣. 极软厚煤层煤壁片帮与防治机理 [J]. 煤炭学报，2007，32（8）：785-788.

[3] 方新秋，何　杰，李海潮. 软煤综放面煤壁片帮机理及防治研究 [J]. 中国矿业大学学报，2009，38（5）：640-644.

[4] 吕梦蛟，李先章，李玉申. 三软厚煤层综采工作面采动应力分布规律研究 [J]. 煤炭科学技术，2011，39（7）：21-24.

[5] 付东波，齐庆新，秦海涛，等. 采动应力监测系统的设计 [J]. 煤矿开采，2009，14（6）：13-16.

[6] 谢广祥，杨　科，常聚才. 综放开采煤层支承压力分布规律现场实测分析 [J]. 煤炭科学技术，2006，34（3）：1-3.

[责任编辑：潘俊锋]