动压软岩巷道耦合支护技术研究

常国徽，朱战超，李永刚，田菲菲
（郑州煤炭工业集团 裴沟煤矿，河南 新密 452382）

[摘　要] 软岩巷道尤其是动压影响下巷道支护技术一直是煤矿巷道支护研究的重点，针对裴沟煤矿-300水平东大巷所处泥岩岩性差，地质构造复杂，巷道水患大，巷道净断面大和距离上部工作面较近的特点，详细分析原有巷道锚网支护破坏失效的原因，从提高巷道围岩强度和支护结构稳定性出发，提出动压软岩巷道耦合支护技术方案，并得到成功应用。

[关键词] 动压；泥质软岩；巷道；耦合支护
[中图分类号] TD353.6 [文献标识码] B [文章编号] 1672-9943(2008)03-0023-03

0 引　言

大量工程实践表明[1-3]，单纯依靠主动支护或被动支护都无法控制软岩巷道经受动压影响后的强烈变形。

裴沟煤矿-300水平东大巷是矿井后期开采的主要开拓大巷，巷道断面为直墙半园拱形，净断面6.0×4.0(m^2)，初始设计采用锚网喷支护。如图1所示，该巷道设计层位为L_7灰岩间，但掘进过程中受断层影响巷道大部处于二$_1$煤层底板的砂质泥岩中，且该断层与巷道下方部含水层导通，巷道全断面淋水，成巷不到一周，巷道两帮及顶底板相对变形量变形均超过1.0 m，随即进行修复并改为U型钢支护，并进行化学浆液加固，断层破碎带巷道变形得到有效控制，然而随着围岩状况逐渐改善，由于化学浆液成本较高，难以推广，同时距离巷道顶板平均厚度10 m左右的上部工作面平行于巷道掘进方向推进，因此，迫切需要对该动压软岩巷道支护方式进行深入研究，保障该巷道经受动压影响后正常使用。

地层系统			柱状	层号	层厚	岩层名称	物理性质描述
系	统	组	(1:500)		(m)		
二叠系	下统	山西组		1	2.4~5.5 / 4.1	砂岩	ρ=2.67 g/cm³，垂直抗压强度21.56 MPa/cm²，平行抗压强度81.93 MPa/cm²，抗拉强度垂直：4.73~8.34 MPa/cm²，平等抗剪强度42.83 MPa/cm²，内摩擦角63° 26′ ~85° 14′，普氏系数5~12。
				2	2.4~4.8 / 3.9	砂丘泥岩	ρ=2.66 g/cm³，垂直抗压强度34.10~101.14 MPa/cm²，平行抗压强度60.66 MPa/cm²，平行抗拉强度5.16 MPa/cm²，内摩擦角75° 58′ ~84° 18′，普氏系数4~10。
				3	3.0~16.5 / 9.5	二$_1$煤	ρ=1.4 g/cm³
				4	5.1~10.9 / 9.0	砂质泥岩	ρ=2.60 g/cm³，垂直抗拉强度1.08~1.37 MPa/cm²，平行抗拉强度1.57 MPa/cm²，（砂丘泥岩）和3.92 MPa/cm²（泥岩）。
石炭系	上统	太原组		5	2.8~3.6 / 3.2	L_8灰岩	ρ=2.89 g/cm³，垂直抗压强度32.63~133.18 MPa/cm²，垂直抗拉强度1.17~5.81 MPa/cm²，平行抗拉强度9.31 MPa/cm²，内摩擦角71° 33，普氏系数3。
				6	0.8~1.3 / 1.0	泥岩	
				7	7.4~8.4 / 7.8	L_7灰岩	ρ=2.68 g/cm³，垂直抗压强度33.32~202.86 MPa/cm²，平行抗压强度52 MPa/cm²，垂直抗拉强度3.53~7.21 MPa/cm²，平行抗拉强度3.56~8.66 MPa/cm²，平行抗剪强度10.88~17.35 MPa/cm²，内摩擦角33° 30′ ~86° 25′，凝聚力23.62 MPa/cm²，普氏系数4~16。
				8	3.5	砂质泥岩	同2
				9	6.5	砂岩	同1
				10	5.0	L_6灰岩	同7

图1　综合柱状图

1　巷道破坏原因分析

-300 水平东大巷断层破碎带通过化学浆液加固后围岩状况明显改善，但基于支护成本考虑，该技术方案难以在整条巷道应用，而通过断层破碎带后由于巷道断面较大和上部工作面采动影响单纯采用锚网支护或 U 型钢支护又难以控制巷道两帮和底板的强烈变形，同时由于矿井涌水量较大，巷道底板水沟设计尺寸为 $1\times1(m^2)$，远大于 U 型钢支架底板扎入深度，造成巷道水沟帮支架抗侧压能力大大降低，支架结构极易失稳。综合以上分析，-300 水平东大巷支护失效原因主要如下：

(1)巷道围岩承载能力差。从巷道掘进过程中揭露的围岩状况表明，巷道岩性以砂质泥岩为主，局部地段见灰岩，岩块本身的强度适中，但层理和节理在该段围岩极其发育，在上部工作面开采引起的高支承压力作用下仍然容易沿结构面剪切滑移，岩体整体承载能力很差。

(2)巷道支架承载能力没有得到有效发挥。由于围岩完整性较差，巷道表面围岩与 U 型钢支架接触关系不佳，使得支架承载大多为偏载状态，极易导致结构性失稳，造成 U 型钢实际承载能力与理论承载能力相差较远。

(3)巷道支架支护强度不足。在高应力软岩巷道中，巷道支架所能提供的支护阻力是控制巷道强烈变形的关键因素之一。如表 1 所示，与 U29 型钢相比，U36 型钢重量每米增加 6.78 kg，约增加 23.4%，但它沿横截面两个方向的惯性矩 Ix、Iy 和抗弯截面模量 Wx、Wy 分别增加 56%~60.5%和 41.7%~43%。显然 U36 型钢力学性能相对 U29 型钢有大幅度提高。

表 1　U29 型钢与 U36 型钢力学性能对比

型号	重量/(kg/m)	X-X		Y-Y	
		Ix	Wx	Iy	Wy
29U	28.98	612.1	92.3	770.7	102.3
36U	35.76	955.5	132.1	1237.0	145.0
增加率	23.39%	56%	43%	60.5%	41.7%

(4)支护体本身结构上不稳定。U 型钢支架抗侧压能力较差。

(5)单一支护方式无法控制高应力软岩巷道的强烈变形。现代支护理论强调，围岩本身不再单独是支护体的载荷，而是具有自稳能力的承载体。围岩的自稳能力远大于支护的作用，因此近年来大力推广锚杆支护技术，但在松软破碎围岩中，围岩本身的可锚性差，高强树脂锚杆的锚固性能难以发挥，特别是围岩松动范围大，顶板围岩松散破碎的情况下，围岩本身的自稳能力较差，允许空顶时间较短，并不适宜采用锚网支护；而单纯采用被动支护，在巷道浅部围岩变形屈服后方才承载、抗压，无法控制塑性屈服区域向围岩深部扩展，必然最终破坏失稳。

因此，必须通过耦合支护发挥主动支护和被动支护特点，才能有效控制此类动压软岩巷道的强烈变形。

2　动压软岩巷道耦合支护技术方案

综上所述，控制该巷道在动压影响下的强烈变形，要求支护体必须具备较高的支护阻力和结构稳定性，因此结合东大巷具体地质状况提出支护技术方案，如图 2 所示，该方案技术核心为：

(1)U 型钢棚壁后充填注浆，实现围岩－支架耦合支护。针对东大巷围岩松散破碎和支架强度偏低的特点，在采用高强度 U36 型钢支架的同时，采用壁后注浆技术一方面能够将松散破碎的岩体进行胶结，提高工程岩体的完整性，使得围岩体本身的强度有所提高达到岩体强度补偿目的，另一方面能够显著改善支架与围岩相互作用关系，使得支架承载均匀性大大提高，有利于发挥支架的承载能力。

注浆锚杆参数为：顶帮注浆锚杆长度 1 500 mm，注浆锚杆间排距 1 500 mm × 1 500 mm；

(2)通过高强度工字钢锚索托梁，实现主动支护－被动支护耦合，即将 U 型钢支架与锚索耦合为一体，可以很好地解决支架的结构稳定性难题，变不稳定支架结构为稳定支架结构，提高支架结构本身的稳定性，充分发挥主动支护和被动支护各自的优越性。通过结构补偿，大大提高支护体系的整体承载能力。

考虑到 U 型钢支架拱部承载能力较高，两帮薄弱的特点，巷道顶板点锚索布置在肩窝和拱顶，两帮锚索采用耦合装置与 U 型钢支架耦合为一体，锚索参数为：锚索长度 5 000 mm，锚索位置如图 2 所示，帮锚索间排距为 1 000 mm × 1 500 mm。

(3)东大巷道底板为层状砂质泥岩局部地段为灰岩，考虑到巷道涌水量较大，水沟深度较深，底板容易受到底板水浸泡的特点，一方面通过水泥浆液对浅部底板进行加固和密封，同时在底板

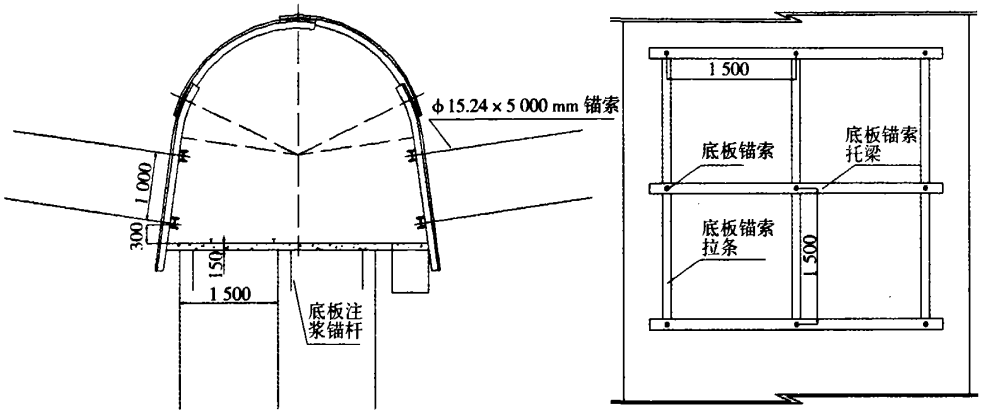
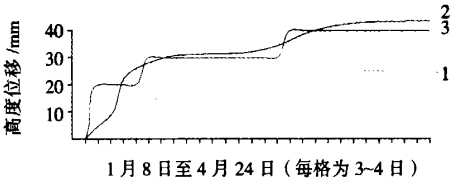


图 2　-300 水平东大巷耦合支护方案

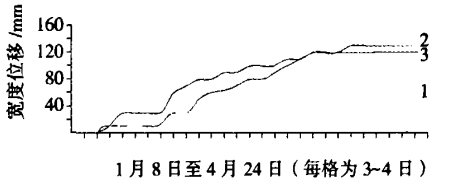
铺设钢筋网和锚索梁，对底板进行耦合支护，底板锚索支护参数与帮锚索相同。

3　支护效果分析

为对 -300 水平东大巷耦合支护技术进行观测，在巷道内由外向里布置 3 组观测点分别对巷道高度和宽度变形量进行观测，如图 3 所示。在观测期间内巷道高度最大变形量不足 40 mm，巷道宽度最大变形量不足 120 mm，达到预期支护效果。其中 2 号、3 号观测点处于动压影响区，1 号观测点处于非动压影响区。



(a)-300 东大巷高度位移曲线



(b)-300 东大巷宽度位移曲线

图3　-300 水平东大巷位移观测结果

4　结　论

-300 水平东大巷巷道围岩岩性较差，受上部工作面开采影响强烈，在此类动压软岩巷道支护设计中，应从提高巷道围岩强度、发挥支护体承载性能和支护体结构稳定性角度出发，通过注浆加固将松散破碎的岩体进行胶结提高其强度，且改善支架围岩相互作用关系，使得支架均匀承载，同时通过锚索对支架结构薄弱环节进行结构补偿，发挥主动支护和被动支护的优越性，而且必须重视大断面巷道底板支护的重要性，对巷道支护的薄弱环节进行针对性支护，从而控制动压软岩巷道的强烈变形。

[参 考 文 献]

[1] 陈炎光，陆士良.中国煤矿巷道围岩控制[M]. 徐州：中国矿业大学出版社，1994.

[2] 陆士良，汤雷.巷道锚注支护机理研究[J].中国矿业大学学报，1996,(2).

[3] 姜耀东，陆士良.巷道底鼓机理的研究[J]. 煤炭学报，1994,(4).

[作者简介]

常国徽(1981-)，男，河南巩义人，助理工程师，毕业于河南工程技术学校，现在郑州煤炭工业集团裴沟煤矿开拓掘进科从事开拓掘进管理工作。

[收稿日期：2008-02-19]