焦作工学院学报（自然科学版），第23卷，第5期，2004年9月

Journal of Jiaozuo Institute of Technology (Natural Science), Vol.23, No.5, Sep. 2004

强膨胀软岩巷道网壳锚喷支护技术研究

刘一新，艾克忠，胡志亮

（焦作煤业（集团）有限责任公司 科研所，河南 焦作 454002）

摘要：根据古汉山矿西大巷地质特点，设计了新型的三格栅三拱组合成的双层双曲空间网壳支架，在喷射混凝土后形成网壳配筋衬砌结构，使喷层整体既具有一定的可缩性，又能承受强大的变形地压，在软岩巷道中进行的工业性试验取得了很好的支护效果.

关 键 词：软岩；锚喷；网壳；支护

中图分类号：TD353.6 **文献标识码**：B **文章编号**：1007-7332（2004）05-0342-04

古汉山矿西大巷围岩属高应力、强膨胀软岩，先后采用多种支护形式，如一次支护锚网喷+锚索强力支护，二次支护拱形钢棚、砌碹等均不能控制巷道强烈变形，经实施网壳锚喷支护新技术后，实现一次支护成功，解决了软岩支护难题.

1 古汉山矿西大巷的工程地质及岩石力学特征

1.1 巷道的工程地质特征

古汉山矿西大巷标高为－450 m，垂深为545 m，巷道揭露三条断层，最大落差达47 m. 巷道处于地堑构造内，所处地层为二叠系石盒子组下部，下距$二_1$煤层90 m左右. 巷道围岩主要为泥岩及含砂泥岩，深灰色，呈碎裂结构，层理紊乱，节理发育，岩体节理数JV平均为12～32条/m^3，平均间距小于等于0.2 m.

1.2 围岩物化及力学特征

据物化分析结果，古汉山矿西大巷岩石矿物种类及含量见表1.

表1 全岩矿物种类及含量

Tab.1 Kinds and contents of the rock

岩性	层位	矿物种类及其含量/%			
		石 英	钠长石	菱铁矿	粘土矿物
泥岩	c－p	25			75
泥岩（风化）	c－p	21		1	78
泥质砂岩	c－p	65	1	1	34
泥质砂岩	c－p	40	2	34	22

从分析结果看，泥岩中粘土矿物含量为75%～89%，其中伊蒙层含量为25%～33%，伊利石含量为2%～4%，高岭土含量为33%～46%，绿泥石含量为25%～32%，吸水率为0.59%～3.88%，平均为2.0%，遇水急剧膨胀泥化，围岩暴露后很快风化失去强度.

2 网壳锚喷支护原则

古汉山矿西大巷在开挖后很短时间内就发生强烈变形，巷道破坏表现为底臌、两帮挤出、冒顶. 在巷道锚网支护段观测资料显示，巷道开挖1月内，底臌量达800～1 000 mm，水平位移达600～

收稿日期：2004-03-17； 修回日期：2004-04-10

作者简介：刘一新（1967-），男，河南信阳人，工程师，从事矿山压力研究工作.

万方数据

700 mm. 根据巷道矿压显现特点，采取以下支护措施：

（1）巷道断面采用马蹄拱形状，采用全封闭支护以增强两帮及底板的稳定性.

（2）一次支护采用锚网喷支护形式，及时封闭岩面，防止围岩风化；加大锚杆长度，增强锚杆初锚力，使一次支护能有效地缓解围岩暴露初期的膨胀变形，以减轻二次支护所承受的压力[1].

（3）严格控制一次支护的控顶距离及控顶时间，根据围岩变形发展情况，及时进行二次支护，防止围岩松动范围不断扩大[2].

（4）二次支护由钢筋网壳支架、喷混凝土套碹及壁后充填层组成复合体系，支撑能力应达到 U36 拱棚的相当水平，同时要具有良好的可缩让压性，能承受强大的流变变形地压[3].

（5）加强对网壳喷支护体系的变形监测，实行动态设计，优化支护结构，特殊情况下，若网壳锚喷支护仍不能使围岩变形趋稳，则局部进行围岩注浆，避免网壳—混凝土壳出现大面积失稳变形[4].

3　古汉山矿西大巷钢筋网壳支架结构设计

3.1　支架断面形状及尺寸

钢筋网壳支架设计采用封闭马蹄拱形断面，其底板以上为三心圆弧拱形，并使侧帮圆弧伸入底板以下 100 mm，以提高底脚的稳定性. 底部反拱的矢高较大，以提高支架抗底压的稳定性. 其中，底板以上部分，净底跨 B，净高 H，侧弧的垂高 h_1 以及两侧弧上端的横跨 b 必须满足巷道生产要求，如图 1.

壳的厚度 d 对网壳承载能力有很大影响，较薄的网壳柔性强，但支撑力弱，不利于阻止围岩松动，太厚的网壳则要求有很强的空腔架立刚度，否则，网壳仍容易变形，承载能力提不高，初始设计 d 为 140 mm.

为便于运输，将整架分为 5 段构件，构件接头处皆加入厚 60 mm 的木垫板，使支架具有一定的环向可缩性.

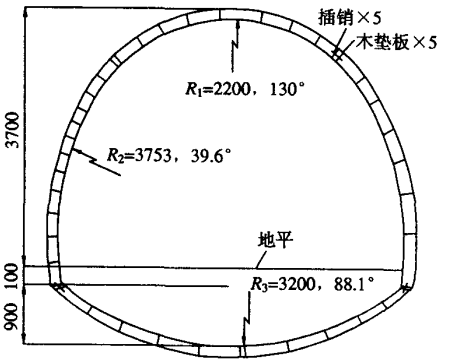

图 1　网壳支架断面形状及尺寸

Fig.1　Sectional figure and measurements of net-crust bradket

3.2　网壳结构形式设计

网壳构件的纵截面为拱形，其设计原则要求将各种钢筋组合成双层的双曲网壳，以用较少的钢材构成空间稳定性很强的承载结构. 古汉山西大巷的钢筋网壳是以 9 根纵向钢筋在构件横截面内分成 3 组，成 3 个三角形布置形式，其顶部齐平，但中间三角形的高度比两侧三角形的高度略小，三副三角形由横向桁形架连成整体，如图 2.

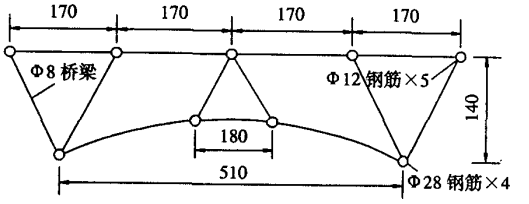

图 2　壳横截面布置

Fig.2　Net-crust horizontal section arrangement drawing

这种结构形式的优点是：纵向受力钢筋每三根为一组，各形成一副三角形截面格棚拱，承载能力强；整体又连接成双曲网壳，空间稳定性也很强；网壳的空腔较大，有利于将大部分充填喷射混凝土包围在壳内，增强喷层内的抗弯剪应力.

3.3　网壳配筋结构的模拟研究

对网壳配筋混凝土壳的承载能力进行初步理论研究及模拟试验研究发现，用同等配筋率、C25 混凝土制作了弧面网配筋与网壳配筋两种试件，使用板壳与网壳组合结构的有限元程序在均布加载条件下进行内力分析，结果表明，在弹性变形状态下，两者的挠度及弯矩如图 3 所示，后者的弯曲内力比

万方数据

前者降低一倍左右，使用千斤顶在拱顶单点加载至试件产生裂纹，后者承载能力提高到前者的 3 倍，此时，前者发生脆性裂，而后者拱顶下沉，但仍未丧失承载能力.

同样结构的构件为模型，利用 ANSYS 软件进行非线性分析，获得混凝土壳的应力分布云图及主受力钢筋应力分布图，模型试验以均布加载方式直至试件崩溃，测算极限承载能力达 1.85 MPa，荷载为144 t. 初步研究结果证实了网壳配筋衬砌结构可大幅度提高喷层的承载能力.

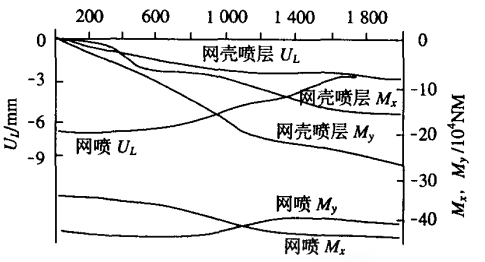

图 3 网喷及网壳喷层弯矩分布（一片试件）

Fig.3 Bending moment distribution shotcreting and net-crust shotcreting storey

4 一次支护设计

古汉山西大巷围岩属于Ⅴ类不稳定岩石，净跨为 5 m，根据松动圈围岩分类法，不稳定围岩的松动圈范围为 200～300 cm，按锚杆组合拱理论进行设计，初步选择支护参数为：锚杆长度为 3.0 m，间排距为 800 mm×800 mm，螺纹钢杆体，每根锚杆 2 卷树脂药卷，端部锚固，托盘采用 200 mm×200 mm×10 mm 的钢板制作.

5 支护效果分析

古汉山矿西大巷位于强膨胀性极软弱岩层中，巷道变形强烈，而且待续时间长，因此采取先让后抗，让压要有充分的支护措施. 在网壳构件对接处，嵌入厚度为 60 mm 的木垫板，使支架环向具有可缩让压性；支架与围岩之间有 200 mm 厚的充填层空间，使原岩应力得到一定程度的释放，然后发挥网壳的良好抗压性能，控制了围岩强烈变形.

（1）在网壳锚喷支护完成后的前 40 d 内巷道变形很小，变形速率为 1.1 mm/d，但 40 d 后巷道两帮发生了较剧烈的变形，在 20 d 内变形将近 200 mm，平均速率达 10 mm/d. 这也说明软岩具有很强流变性，若支护强度不足，这种流变产生的应力会对支护造成长期的破坏. 造成这种状况的另一个原因是本试验段为一孤岛形巷道，其前后均为普通锚网喷巷道，围岩变形很大，对本段形成了集中应力. 在以后同样支护结构的巷道中收敛变形要小得多. 即使这样巷道总变形为 280 mm（两帮）和 31 mm（顶底），未超过 8％收敛指标（图 4）.

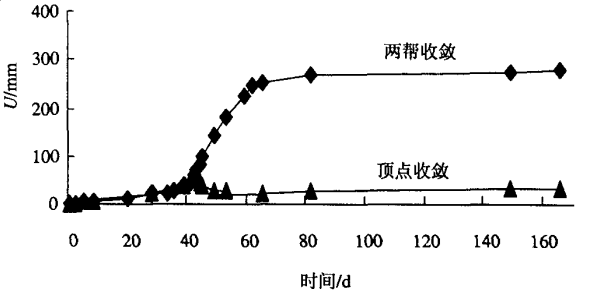

图 4 西大巷网壳锚喷支护围岩变形

Fig.4 Surrounding rock deformation of west roadway net-crust bolting and shotcreting support

（2）顶底的收敛变形非常小，充分表明了网壳锚喷支护新技术有效地控制了高水平构造应力、强膨胀型软岩巷道的底臌问题.

6 结 论

网壳锚喷支护新技术吸收了壳结构优越的力学性能，把巷道的锚网喷支护结构中层状或片状的金属网改成一种独特的空间网壳结构，兼有薄壳结构和杆系结构的优点，在结构形式上使其构成由三格栅三拱组合成的双层双曲空间网壳，并将它置于喷层中形成钢筋网壳混凝土结构，这种结构充分发挥

万方数据

了钢筋与混凝土两种材料的优点．施工后整个巷道支护体系呈现连续的双曲拱型结构，使支护具有立体化、连续化、轻型化的优势．该技术在古汉山矿西大巷高构造应力强膨胀软岩条件下应用后，取得很好的效果．

网壳锚喷支护不仅性能优良，支护可靠，成本较低，而且其支撑能力与让压性能有良好的可调节性，可以针对不同地质条件与不同地压显现特征，设计出不同规格的钢筋网壳支架，可以单独进行巷道支护，也可以与锚索或围岩注浆等构成联合支护体系，因而在各种类型的软岩巷道、动压巷道及大断面硐室中都可以使用，具有广阔的推广应用前途．

参考文献：

[1] 雷金波．钢筋网壳锚喷支护结构的研究［D］．淮南：安徽理工大学，2002．

[2] 雷金波．钢筋网壳锚喷支护结构的研究［J］．煤炭科学技术，2003，31（11）：20－23．

[3] 庞建勇，郭兰波．钢筋网壳锚喷支护在高应力软岩巷道中的应用［J］．中国矿业大学学报，2003，32（5）：508－511．

[4] 李全根，宋广太，梁建民．钢筋网壳锚喷支护结构的设计与应用［J］．煤炭工程，2001，（7）：17－19．

Study on net-crust bolt-spary support technology in strong expanding softrock roadways

LIU Yi-xin，AI Ke-zhong，HU Zhi-liang

（*Scientific Research Institute of Jiaozuo Coal Industry Group Co.，Jiaozuo* 454000，*China*）

Abstract：Based on geologic features of the West Roadway of Guhanshan Coal Mine，late-model double-deck double-bend space net-crust bracket，which is composed of three-case-bar and three-arch，is designed．After spraying，the loading-carrying structure is formed，and the structure has good plasticity，that is，it can bear great rock pressure．Good support results have been achieved on the spot．

Key words：softrock；bolt-spary；net-crust；support

（本文责任编校　李文清）

《焦作工学院学报（自然科学版）》征订启事

《焦作工学院学报《自然科学版）》由焦作工学院主办，焦作工学院学术出版中心出版，面向国内外公开发行．本刊主要报道与煤炭工业有关的新理论、新工艺、新方法，设有瓦斯地质与安全工程、地质工程、采矿工程、机械工程、电气工程、测量工程、建筑工程、环境工程、计算机及其应用、技术探讨、综述等栏目．

本刊为自办发行，全年 6 期，订费55.2 元（含邮寄费）．欲订阅本刊者可将订款汇至本刊编辑部，收款后本刊将逐期寄送刊物，并及时将正式发票挂号寄给订户．在年度内读者可随时订阅全年刊物．另外，编辑部还有少量近几年的过刊，需要者可来函索购，本刊将竭诚为订户服务．

万方数据