

技术方法

## 鲁村煤矿井底车场钢管混凝土支架支护应用

文增生, 史春芝

(沂源县鲁村煤矿有限公司, 山东 淄博 256104)

**摘要:**沂源县鲁村煤矿-270 m井底车场围岩为泥质粉砂岩,强度低,含粘土矿物,吸水膨胀,传统的支护方式难以保证巷道稳定,采用钢管混凝土支架进行支护试验。分析了-270 m井底车场围岩地质特征,提出基于钢管混凝土支架的综合支护方案,最后通过理论验算证实钢管混凝土支架承载能力为U29型钢支架4倍,满足巷道支护要求。

**关键词:**鲁村煤矿;钢管混凝土支架;井底车场;巷道支护;沂源县

**中图分类号:**TD353.7

**文献标识码:**B

## 0 引言

钢管混凝土支架由空钢管热煨弯曲成巷道所需断面形状,井下现场灌注成型,具有强大支护能力,是同类U型钢支架的4~5倍,施工速度大于U型钢支架<sup>[1-4]</sup>。钢管混凝土支架的结构设计与施工工艺由中国矿业大学(北京)高延法教授提出,目前已在全国数十个矿井成功应用,取得良好效果<sup>[5-8]</sup>。其中典型的深井如华丰煤矿,采深1300多米<sup>[9]</sup>;典型的软岩矿井如查干淖尔一号井,粘土含量60%,粘土中蒙脱石含量80%<sup>[10]</sup>。

沂源县鲁村煤矿位于沂源煤田,矿井始建于1978年,年产量20万t,采用一对斜井开拓。近年来为提高产量投建混合立井,-270 m井底车场开掘中遭遇红土岩地层,围岩强度低,岩性较差,导致掘进缓慢,支护特别困难。

该文分析了-270 m井底车场围岩地质特征,设计了以钢管混凝土支架为主要措施的支护方案,并进行了钢管混凝土支架承载力计算分析。

## 1 -270 m井底车场地质特征分析

## 1.1 -270 m井底车场平面布置

-270 m井底车场埋深600 m,刀形布置,车场平面布置如图1,车场巷道已掘进一半,阴影部分为马头门过渡段、等待室交叉点和绕道,最后施工,断

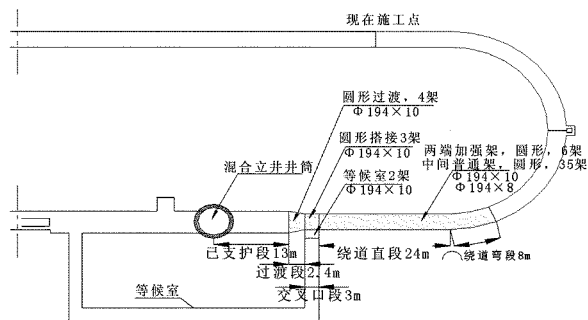


图1 混合井-270 m井底车场平面图

面较大,交叉点存在,并且施工扰动较大,掘进支护将存在较大困难,准备采用钢管混凝土支架进行支护。

## 1.2 -270 m井底车场围岩特征及巷道破坏分析

-270 m井底车场巷道围岩尚未成岩,岩石强度低,巷道稳定性差。经山东泰山矿产资源检测研究院岩石力学检测分析证实,巷道围岩为红色泥质粉砂岩,岩石单周抗压强度5.9~8.2 MPa,内摩擦角38.8°,凝聚力0.6 MPa。围岩中的粘土矿物含量为35.2%,岩石遇水具有一定的膨胀性。

目前马头门支护采用锚网喷+钢筋混凝土砌碛,锚杆长3 m,间排距为1.0 m×0.8 m,挂普通钢筋网喷层,砌碛厚度600 mm,中等配筋率。混合井左边先施工,施工6个月内巷道稳定。此后混合井右边开始施工,此时左边混凝土开裂、片帮,并越来越严重。绕道采用锚喷网+29U型钢支架支护,施

收稿日期:2012-12-15;修订日期:2013-01-17;编辑:陶卫卫

作者简介:文增生(1976—),男,山东沂源人,工程师,主要从事煤矿安全生产管理工作;E-mail:yygtjshan@126.com。

工后 6 个月全面返修。

通过对-270 井底车场围岩特征及巷道破坏分析,其变形破坏原因主要有 3 点:①围岩单轴抗压强度低,巷道自身承载力太低;②巷道交叉布置或近距离施工扰动影响;③现有支护体强度不足,不能有效应对扰动影响。

## 2 -270 m 井底车场支护方案设计

支护方案设计原则:满足断面尺寸与支护强度要求;简化设计;成本合理,施工方便,结构可靠。

-270 m 井底车场钢管混凝土支架试验段长度约 40 m,巷道断面为圆形,试验支架数量 50 架,支架分布如图 2,其中马头门过渡段支架间距 0.8 m,净断面由 4.8 m×4.1 m 递减至 3.4 m×3.4 m;交叉口支架间距 0.75 m,净断面 3.4 m×3.4 m;等候室支架间距 0.8 m,净断面 3.0 m×3.0 m;绕道支架间距 0.8 m,净断面 3.4 m×3.4 m。

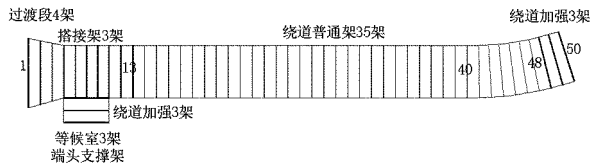


图 2 钢管混凝土支架支护分布图

支护以钢管混凝土支架为主要技术手段,巷道开挖后挂网打锚杆做临时护顶支护,然后架设钢管支架,支架后覆盖彩条布并全断面布置钢筋网,钢管支架灌注混凝土,壁后充填混凝土,支架外喷混凝土覆盖,完成全部支护措施。

### 2.1 钢管混凝土支架设计

钢管采用 20# 结构用无缝钢管,分  $\Phi 194 \times 8$  mm 和  $\Phi 194 \times 10$  mm 规格,单位重量分别为 36.7 kg/m 和 45.4 kg/m。试验段设计有马头门过渡段钢管支架设计、交叉点支架设计、等候室支架设计和绕道支架设计。

(1)马头门过渡段钢管支架结构设计。支架所用钢管型号  $\Phi 194 \times 10$  mm,支架分 4 段,套管连接,支架间使用顶杆连接,支护长度 2.4 m,共 4 架,断面逐渐缩小,第一架钢管支架结构设计如图 3。

(2)交叉点钢管支架结构设计。交叉点是支护中的难点,交叉点使用支架搭接更是难度大增。交叉点支架所用钢管型号  $\Phi 194 \times 10$  mm,交叉点长度 3 m,共 4 架搭接支架和 1 架支撑支架,搭接支架间

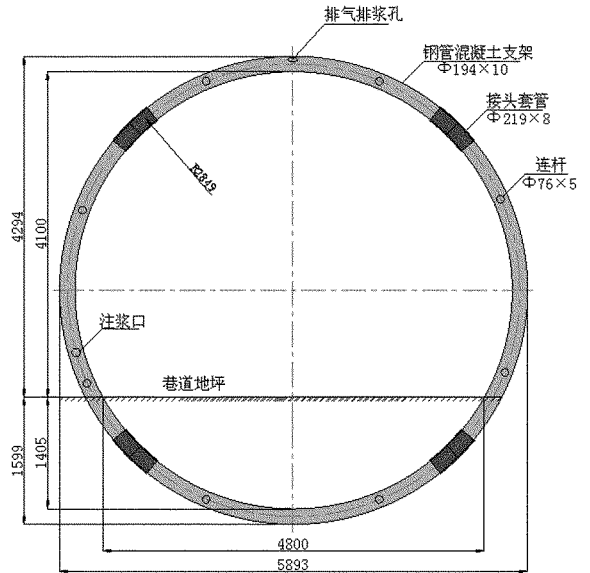


图 3 马头门过渡段钢管支架设计图

距 0.75 m。支撑架的顶弧段和反底拱段分别焊置 4 对工字钢搭接角架,搭接架顶弧段和反底拱段延长,并在延长起始点焊置工字钢搭接角架,正好与支撑架相扣,保证紧密连接,良好传递压力。搭接架分 2 种断面结构,结构设计如图 4。

(3)等候室钢管支架结构设计。等候室支架与交叉点支撑架相同,其目的是保护支撑架免受端头效应,共同承担交叉点压力。支架所用钢管型号  $\Phi 194 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ ,支护长度 1.6 m,共 2 架。

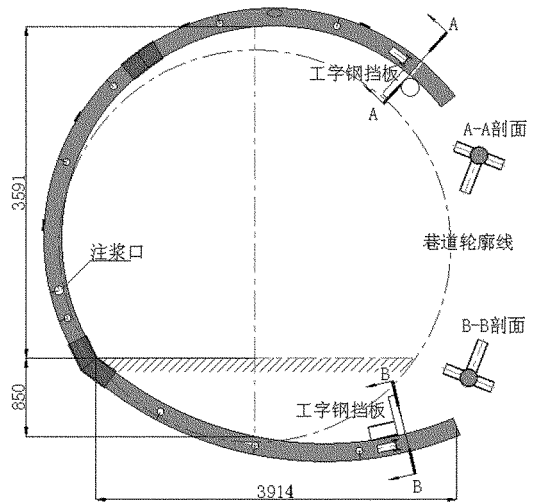


图 4 交叉点钢管支架设计图

(4)绕道钢管支架结构设计。绕道支护长度 32 m,根据其他矿井施工经验,端头钢管支架容易产生破坏,为避免该效应,在绕道两端使用  $\Phi 194 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$  加强支架,绕道中间使用  $\Phi 194 \times 8$  mm 普通

支架。其中加强支架 6 架,普通支架 34 架。支架结构设计如图 5。

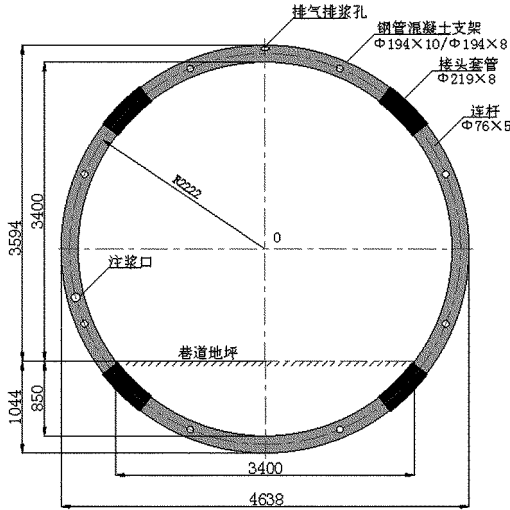


图 5 绕道钢管支架设计图

(5)核心混凝土配比设计。核心混凝土设计为强度等级 C40 混凝土,核心混凝土基本配料为水泥、砂子和石子,同时为满足泵送要求、减少混凝土用量加入减水剂,掺量 2%;为防止混凝土干缩导致核心混凝土与钢管剥离加入膨胀剂,掺量 8%;为增加混凝土的韧性和抗变形能力加入钢纤维,掺量 5%,按水泥重量比掺入。

### 2.2 锚网喷支护及壁后充填设计

巷道开挖后立即对围岩喷射 30~50 mm 厚混凝土封闭,然后挂网打锚杆,为节省材料使用塑料网,锚杆长度 3.0 m,排距 1 000 mm,顶部紧密,两帮疏松。架设钢管混凝土支架,在支架后铺设彩条布与钢筋网,钢筋网紧贴支架,彩条布与围岩预留 200 mm 空间,以 C40 混凝土或喷浆混凝土充填。绕道综合支护效果如图 6。

## 3 钢管混凝土支架承载能力验算

以绕道 Φ194 mm×10 mm 钢管混凝土支架为计算对象。钢管选用 20# 结构用无缝钢管,钢材的屈服极限  $f_s = 215 \text{ N/mm}^2$ ,钢管的横截面积  $A_s = 5778 \text{ mm}^2$ 。设计混凝土强度等级 C40,混凝土轴心抗压强度  $f_{c1} = 19.1 \text{ N/mm}^2$ ,钢管内填混凝土横截面的净面积  $A_c = 23767 \text{ mm}^2$ 。

### 3.1 钢管混凝土短柱承载力

根据《现代钢管混凝土结构(修订版)》<sup>[11]</sup>,钢管

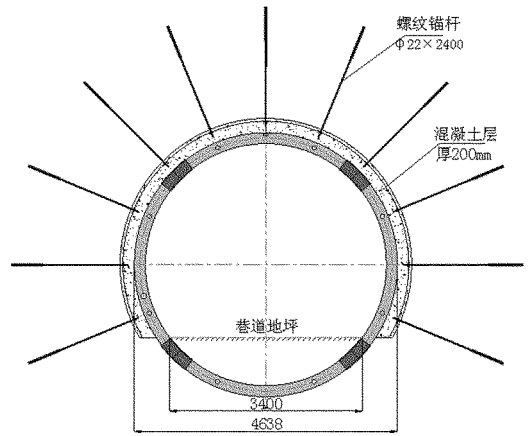


图 6 绕道综合支护设计图

混凝土结构轴压短柱极限承载力设计值为

$$N_0 = A_c f_c (1 + \sqrt{\theta} + 1.1\theta)$$

式中: $\theta$ 为套箍指标。

$$\theta = \frac{A_s f_s}{A_c f_c} = \frac{5778 \times 215}{23767 \times 1.91} = 2.74$$

$$N_0 = 23767 \times 19.1(1 + \sqrt{2.74} + 1.1 \times 2.74) = 2573 \text{ (kN)}$$

### 3.2 支架承载能力计算

根据《钢管混凝土结构设计及施工规程》,考虑钢管支架在压弯时,受长细比与偏心率影响,因此计算钢管混凝土支架的极限承载力时需要乘上相应的折减系数,因此钢管混凝土支架的极限承载能力表示为:

$$N_u = \varphi_l \cdot \varphi_e \cdot N_0 = \varphi \cdot N_0$$

式中: $N_u$ —钢管混凝土支架的极限承载力; $N_0$ —钢管混凝土轴压短柱承载力; $\varphi$ —折减系数;考虑长细比和偏心率的影响,折减系数取  $\varphi = 0.778$ 。

支架上部半圆拱的极限承载平衡方程为:

$$N_u = \varphi_l \varphi_e N_0 = \varphi N_0 = 2573 \times 0.78 = 2001 \text{ kN}$$

因此 Φ194×10 mm 钢管混凝土支架承载能力为 2001 (kN),约 200 t。

### 3.3 支架支护反力计算

巷道中钢管混凝土支架结构力学模型如图 7。根据该力学模型,马头门处钢管混凝土支架支护反力为:

$$S \int_0^{180} \sin\theta \cdot \sigma_0 \cdot R \cdot d\theta = S \cdot \sigma_0 \cdot R \int_0^{180} \sin\theta d\theta = 2N_u$$

式中: $S$ —支架间距,0.8 m; $R$ —巷道计算半径,2.23 m; $\sigma_0$ —支架的支护反力; $N_u$ —支架极限承载力。求

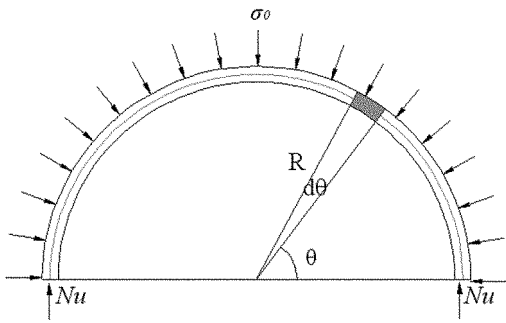


图 7 钢管混凝土支架结构力学模型

出钢管混凝土支架的支护反力为： $\sigma_0 = 1.14 \text{ MPa}$

同理对目前使用的 U29 型钢支架进行计算得支护反力为  $0.28 \text{ MPa}$ 。钢管混凝土支架的承载能力是 U29 型钢支架的 4 倍，与 U29 型钢支架支护间距相同，可以满足巷道稳定要求。

## 4 结论

以鲁村煤矿-270 m 井底车场为工程背景，分析了围岩地质特征，提出基于钢管混凝土支架的综合支护方案，并对绕道钢管混凝土支架进行了承载能力计算分析。

(1)-270 m 井底车场围岩主要泥质粉砂岩，岩石强度低，承载能力差，现有锚网喷+U29 型钢支架支护和锚网喷+混凝土砌碇支护不能满足支护要求，需要提高支护反力。

(2)-270 m 井底车场巷道断面全部为圆形，支护布置分 4 段：马头门过渡段，支架型号  $\Phi 194 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ ，间距  $0.8 \text{ m}$ ，4 架；交叉口，支架型号  $\Phi 194 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ ，间距  $0.75 \text{ m}$ ，搭接架 3 架，支撑架 1 架；等候室，支架型号  $\Phi 194 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ ，间距  $0.75 \text{ m}$ ，2 架；

绕道，两端加强支架型号  $\Phi 194 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ ，中间普通支架型号  $\Phi 194 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ ，间距  $0.8 \text{ m}$ ，加强支架 6 架，普通支架 34 架。

(3)绕道钢管混凝土支架承载力验算得出  $\Phi 194 \times 10 \text{ mm}$  支架支护反力为  $1.14 \text{ MPa}$ ，是 U29 型钢支架 4 倍，满足巷道支护要求。

## 参考文献：

- [1] 高延法,王波,李冰,等.深井软岩巷道钢管混凝土支架支护实验研究[A]//全国冲击地压研讨会暨 2008 全国煤矿安全、高效、洁净开采技术新进展研讨会论文集[C].2008:333-338.
- [2] 高延法,王波,曲广龙,等.钢管混凝土支架力学性能实验及其在巷道支护中的应用[A]//第八届海峡两岸隧道与地下工程学术与技术研讨会[C].2009,C15-1-10.
- [3] 高延法,王波,王军,等.深井软岩巷道钢管混凝土支护结构性能试验及应用[J].岩石力学与工程学报,2010,29(增1):2604-2609.
- [4] 牛学良.深井软岩巷道稳定性控制理论与技术研究[D].山东科技大学,2008.
- [5] 王波.软岩巷道变形机理分析与钢管混凝土支架支护技术研究[D].中国矿业大学(北京),2008:8-9.
- [6] 李冰.深井软岩巷道钢管混凝土支架支护稳定性分析及工程应用[D].中国矿业大学(北京),2009:46-65.
- [7] 张长福.动压软岩巷道钢管混凝土支架支护性能与经济效益分析[D].中国矿业大学(北京),2010.
- [8] 王军,田英楠,韩立强,等.钢管混凝土支架附着式振动器[J].煤矿机械,2010,31(6):130-133.
- [9] 王军.华丰煤矿深井巷道钢管混凝土支架支护技术研究[D].中国矿业大学(北京),2011.
- [10] 文增生,张宗坤,单吉成.沂源鲁村煤矿千米混合立井围岩稳定性分析与施工措施[J].山东国土资源,2010,26(12):15-17.
- [11] 蔡绍怀.现代钢管混凝土结构[M].北京:人民交通出版社,2007.

## Application of CFST in Bottom Hole of Lucun Coal Mine

WEN Zengsheng, SHI Chunzhi

(Lucun Coal Mine Limited Corporation in Yiyuan County, Shandong Zibo 256104, China)

**Abstract:** Country rocks in the depth of  $-270\text{m}$  in Lucun coal mine is muddy siltstone rock with low intensity. It contains clay minerals and water swelling. By using the traditional supporting way, it is difficult to guarantee stability of the roadway. Thus, supporting test has been carried out by using concrete filled steel tube stents. Geological characteristics of country rocks in truck yard at the depth of  $-270\text{m}$  has been analyzed, and comprehensive supporting scheme based on steel concrete frame has been put forward. Finally, it is confirmed theoretically that carrying capacity of concrete filled steel tubular frame are four times of U29 steel supports, and can meet the requirements for roadway support protection.

**Key words:** Lucun coal mine; steel tube frame; truck yard; roadway support; Yiyuan county