

平煤十矿曲面 D 型钢管混凝土支架支护技术

刘立民¹, 赵世军¹, 曹君陟², 张 淼¹, 朱思刚¹, 朱同功³

(1. 山东科技大学 矿业与安全工程学院, 山东 青岛 266590;

2. 泰安方舟矿业科技有限公司, 山东 泰安 271026; 3. 平煤神马集团十矿, 河南 平顶山 467013)

摘 要: U 型钢支架作为一种传统的巷道支护方式, 在围岩破碎和复杂地应力条件下并不能起到很好的支护作用。以平煤十矿—320 开采水平专用回风下山支护为工程背景, 研发了曲面 D 型钢管混凝土支架, 通过设置与 U 型钢支架支护的对比试验巷道, 观测巷道围岩动态及矿压显现规律, 对曲面 D 型钢管混凝土支架支护技术进行观测研究。现场观测表明: 曲面 D 型钢管混凝土支架支护的巷道顶板在初期经一段时间较明显下沉后, 支架的支护作用逐渐显现, 巷道表面位移速率明显降低, 最终巷道相对位移量趋于稳定, 能够有效控制围岩变形, 取得了显著的支护效果。

关键词: 巷道支护; D 型钢管支架; U 型钢支架; 对比试验; 经济效益

中图分类号: TU528

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2015)02-0007-07

D-type Concrete-filled Steel Tube Support in No. 10 Coal Mine of Pingdingshan

Liu Limin¹, Zhao Shijun¹, Cao Junzhi², Zhang Miao¹, Zhu Sigang¹, Zhu Tonggong³

(1. College of Mining and Safety Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao,

Shandong 266590, China; 2. Taian Ark Mine Science and Technology Co. Ltd, Taian, Shandong 271026, China;

3. No. 10 Coal Mine of Pingmei Shenma Group, Pingdingshan, Henan 467013, China)

Abstract: U-steel support as a traditional roadway support does not play a good supporting role when there are broken surrounding rock and complex ground stress. Based on the —320 mining level special return air roadway support in No. 10 Coal Mine of Pingdingshan, the D-type concrete-filled steel tube (D-CFST) supporting method was developed and applied. Contrast supporting test roadways between U-steel and D-CFST were set to observe the dynamic features and strata pressure behaviors of surrounding rock, and a study on D-CFST supporting technology was conducted. Field observations show that the supporting role of D-CFST manifests after the initial sink of the roof surface supported by D-CFST and remarkable supporting results are achieved when the obviously lowering roadway surface displacement is ultimately stabilized and the surrounding rock deformation can be effectively controlled.

Key words: roadway support; D-CFST support; U-steel support; contrast tests; economic benefits

高地应力、地质构造复杂以及软岩等巷道支护问题严重制约着煤矿开采向深部发展。目前,我国深井高地应力巷道支护主要是高强锚网索和加强 U 型钢支架两种方式,甚至锚网索和 U 型钢支架一起使用,但仍然不能有效地控制巷道围岩变形^[1]。U 型钢支架是定型的型钢支架,其主要缺点是连接点达不到 U 型钢本身的强度,不能适应深部复杂的围岩应力条件,已有的巷道围岩控制技术难以解决深井动压软岩巷道的支护问题。钟善桐等^[2-4]对钢管混凝土结构在土建工程中的应用进行了深入研究:钢管混凝土的增强机理,在于轴向受压时钢管对混凝土产生套箍作用,使管内混凝土处于三向受压状态,从而使其总体承载力大大提高。钢管混凝土支架是近年发展起来的一种新型支护方式,由于钢管及核心混凝土在受力过程中存在组合作用,使其具有优越的

收稿日期:2014-05-03

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(51404144)

作者简介:刘立民(1962—),男,山东潍坊人,教授,博士,主要从事巷道支护、开采沉陷和三下开采方面的研究。

E-mail: lmluhhu@163.com

力学性能。统一理论把各种受力状态的钢管混凝土构件统一在同一个理论基础上并采用一个统一公式来进行承载力计算^[5-7],为工程现场应用提供了理论依据。张耀春等^[8-9]对薄壁钢管混凝土短柱进行研究,结果表明:不同截面形状的钢管混凝土短柱的轴压力学性能有较大差异。通过一系列的数值模拟计算和工程实践得出:在一定的地应力条件下,当钢管的截面近似为 D 型时其力学性能最佳^[10-11],与目前常用的圆形断面相比,D 型断面钢管更容易折弯成型,且结构容易区分,方便安装定位,能够提高施工效率。

1 工程概况

平煤十矿井田位于汝河以南,沙河以北的丘陵地带,呈西北高东南低地势。井田东西走向长 5.6 km,南北倾斜宽 7.0 km,含煤岩系总厚度约 900 m,主要可采煤层总厚 13.74 m,煤层倾角 0~35°。受煤层赋存条件及地表山体影响,煤层埋深在 450~1 100 m,煤层直接顶及底主要以砂质泥岩、泥岩为主,老顶老底以沙岩为主。北翼中区戊组瓦斯专用回风巷位于-320 水平北翼中区中部,埋深 443~939 m。巷道开口在集中轨上山车场内,岩层倾角 10°~28°。巷道上部位于戊 8 煤层老顶细至中粒砂岩内(该层砂岩厚 20 m 左右),巷道底板距戊 8 煤层顶板 20 m 左右。巷道位于戊 8 直接顶内,该层岩石为 0~5 m 细砂及砂质泥岩。

2 试验段支护设计

2.1 矿井巷道支护基本情况

平煤十矿和平煤集团的其他矿井极为相似,属于典型的单斜构造矿井,随着矿井的采掘延深,矿井开采深度快速增加,在该复杂地质采矿条件(动压、构造复杂和深井高应力)下的巷道支护问题是目前面临的一个重要技术难题。平煤十矿多年来针对其特殊的地质采矿条件进行了各种尝试和探索,之前曾应用高强复合锚网、加强 U 型钢支架等支护技术,但效果不明显。

因受侧向采动和围岩软弱破碎的影响,平煤十矿-320 开采水平矿压显现剧烈,现-320 水平中区专用回风巷浆体开裂、底鼓严重,维修使用的 U 型钢支架,在较短的时间内就发生较大的扭曲变形,每年需要重新维修一至两次,再次返修时施工量大,施工难度高,给煤矿的安全生产带来严重影响。

平煤十矿尝试使用曲面 D 型钢管混凝土支架(下文简称 D 型钢管支架)作为主要支护方式,控制片帮量和底鼓量取得了较好的效果,为验证 D 型钢管支架是否比原有的 U 型钢支架(U36,下同)更适合深部开采,在-320 水平北翼中区设置两条长 100 m 的试验巷道,分别采用 D 型钢管支架和 U 型钢支架作为主要的支护方式,对比分析两者的支护效果并优选更合理的支护方式。

2.2 试验段巷道支护施工设计

在其中一条试验段巷道内采用 D 型钢管支架(D-type concrete-filled steel tube,D-CFST)作为主要的支护方式,D 型钢管的截面如图 1 所示,D 型钢管支架结构如图 2 所示,实际支护效果如图 3 所示。

在另一条试验段巷道内采用 U 型钢支架作为主要的支护方式,U 型钢支架结构如图 4 所示。

D 型钢管支架与 U 型钢支架的技术参数及支护施工设计如表 1 所示。

表 1 D 型钢管支架与 U 型钢支架技术参数汇总表

Tab. 1 Technical parameters of D-CFST support and U-steel arch support

项目	D 型钢管支架	U 型钢支架
材料规格	Q235 钢管;钢管型号 $\Phi 150 \times 5$ mm;C60 微涨素混凝土	U36 型钢
支架周长	11 530 mm	12 350 mm
支架间距	(650±50)mm	(650±50)mm
截面尺寸	支架宽度:最大宽度 4 680 mm;支架高度:4 050 mm	支架宽度:最大宽度 4 530 mm;支架高度:3 980 mm
支架形式	马蹄形支架,分为四段	拱形支架,分为六段
连接形式	套管连接;套管型号 $\Phi 165 \times 6.5$ mm;长度:400 mm	卡缆连接;每个搭接处必须使用三道卡子连接;搭接长度:400 mm

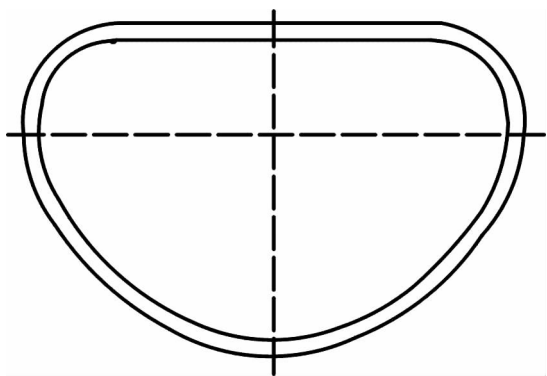


图 1 D 型钢管截面图

Fig. 1 Cross section of D-type tube

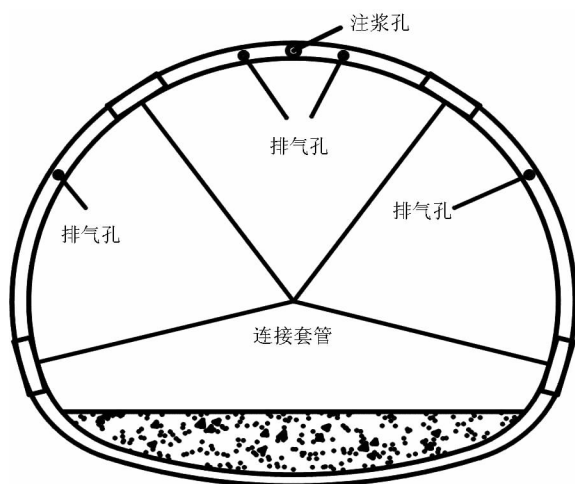


图 2 D 型钢管支架结构图

Fig. 2 Dimension of D-CFST support



图 3 D 型钢管支架实际支护效果图

Fig. 3 Supporting results of D-CFST

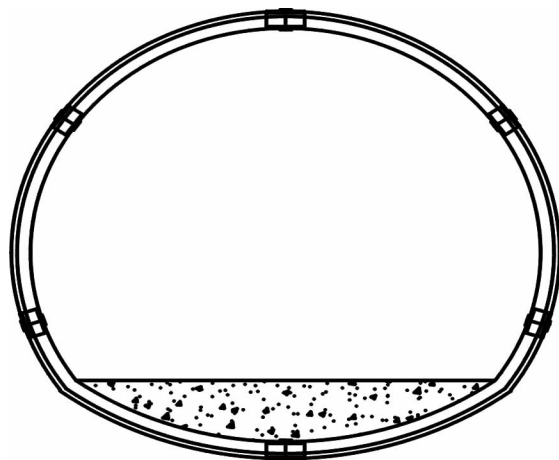


图 4 U 型钢拱形支架结构图

Fig. 4 U-steel arch supporting structure

3 支护效果观测

3.1 试验段巷道观测设置

在两条试验段巷道中,支架间排距为 650 mm,共 153 架支架,每 6 架支架设置一个测点,在支架架设好后设置 25 个测点,分别编号为 1# ~ 25# 测点。

3.2 巷道支护效果的观测内容

矿压观测是检验巷道支护效果的有效手段,主要通过观测巷道围岩变形量、巷道两帮移近量、巷道顶底板移近量以及支架受损情况,为确定合理的支护方式提供科学依据^[12],需要观测收集的数据包括,巷道的两帮移近量、顶底板移近量和巷道围岩变形量。观测时间段为:2012 年 8 月至 2014 年 3 月。

3.3 试验段巷道观测结果分析

经过一段时间后,U 型钢支架支护试验段巷道变形严重,影响现场正常使用,进行返修后巷道才能继续使用。D 型钢管支架支护试验段巷道围岩经过小幅变形后趋于稳定,可以保证巷道正常使用。由于 U 型钢支架支护段巷道进行了返修,故不对其数据进行分析,在此针对 D 型钢管支架选取有代表性的部分测点的顶底距离演化规律及两帮距离演化规律分析如图 5~14 所示。

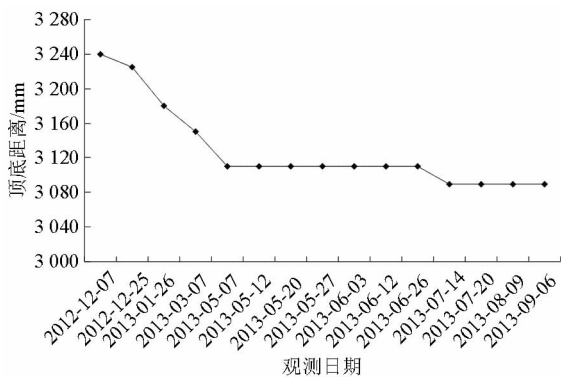


图 5 测点 3 顶底距离演化曲线

Fig. 5 Evolution curve of the distance between roof and floor in the 3rd observation point

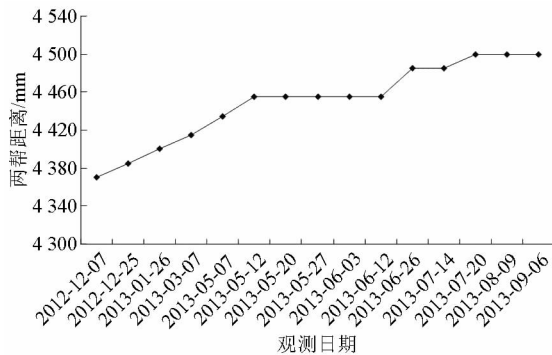


图 6 测点 3 两帮距离演化曲线

Fig. 6 Evolution curve of the distance between two sides of roadway in the 3rd observation point

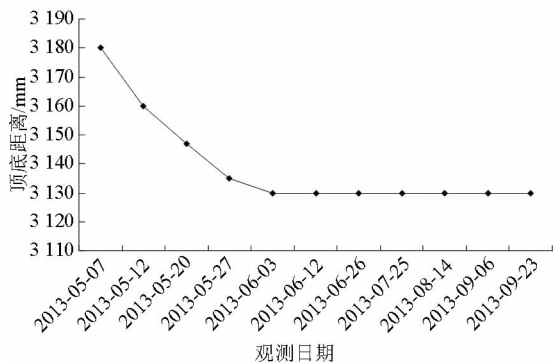


图 7 测点 13 顶底距离演化曲线

Fig. 7 Evolution curve of the distance between roof and floor in the 13th observation point

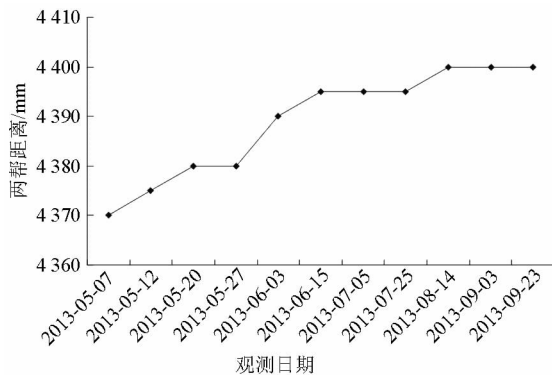


图 8 测点 13 两帮距离演化曲线

Fig. 8 Evolution curve of the distance between two sides of roadway in the 13th observation point

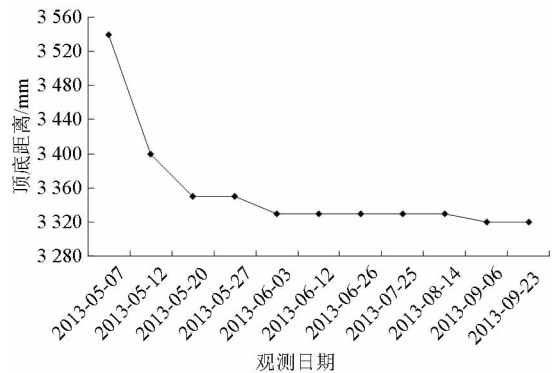


图 9 测点 17 顶底距离演化曲线

Fig. 9 Evolution curve of the distance between roof and floor in the 17th observation point

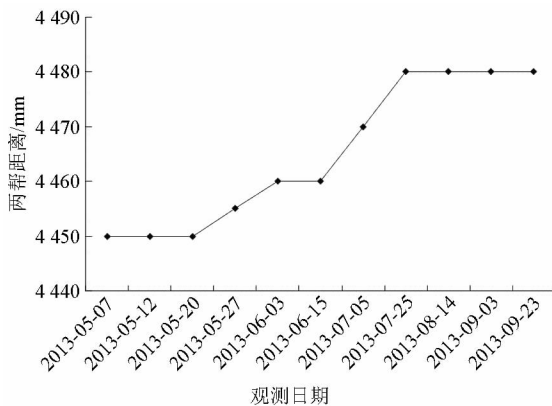


图 10 测点 17 两帮距离演化曲线

Fig. 10 Evolution curve of the distance between two sides of roadway in the 17th observation point

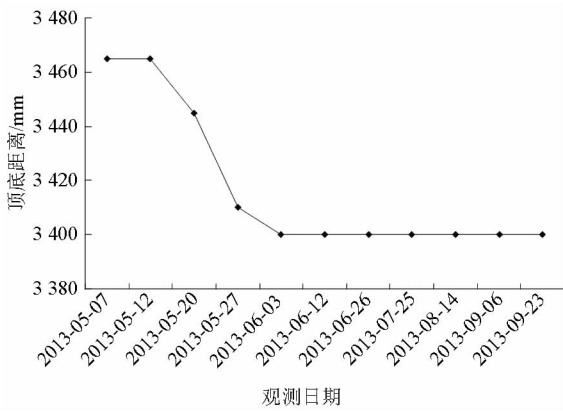


图 11 测点 21 顶底距离演化曲线

Fig. 11 Evolution curve of the distance between roof and floor in the 21th observation point

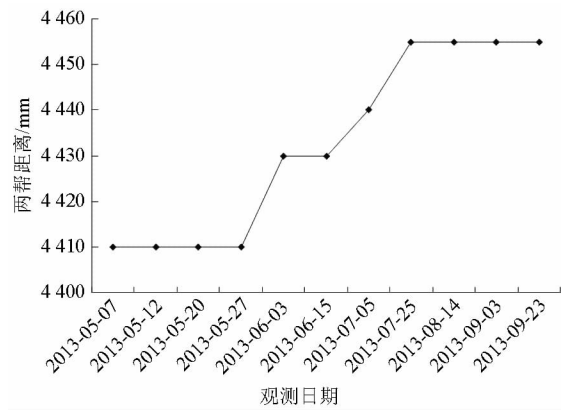


图 12 测点 21 两帮距离演化曲线

Fig. 12 Evolution curve of the distance between two sides of roadway in the 21th observation point

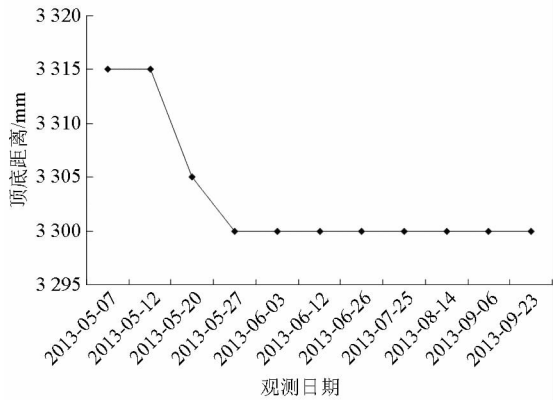


图 13 测点 25 顶底距离演化曲线

Fig. 13 Evolution curve of the distance between roof and floor in the 25th observation point

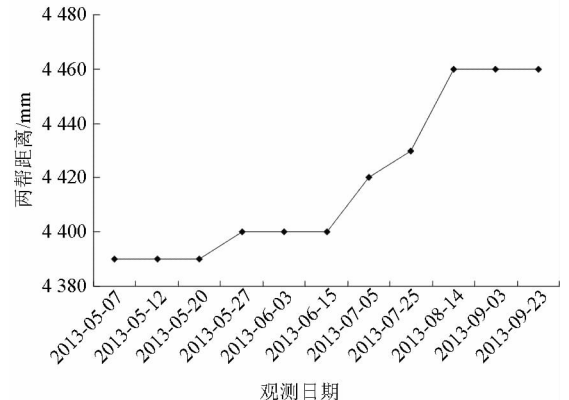


图 14 测点 25 两帮距离演化曲线

Fig. 14 Evolution curve of the distance between two sides of roadway in the 25th observation point

本试验为简化施工工艺,降低支护成本,D 型钢管支架与巷道壁之间用矸石充填,支架与巷道壁之间为线接触。陆士良等^[13]指出巷道与围岩之间的空隙是否实施壁后充填影响框式支架实际承载能力,在深井、软岩、动压等大变形巷道中,实施壁后充填能有效改善框式支架支护效果。在巷道支护初期,巷道围岩与支架未能有效接触,导致支架的承载能力不能有效发挥,因受侧向采动和围岩软弱破碎的影响,巷道顶板下沉较剧烈,位移变化速率较大。经过一段时间之后,巷道围岩与支架成为面接触且接触面积逐步增大,支架的高强度支护作用开始显现,巷道顶板的位移速率呈现逐渐减小的趋势。由于 D 型钢管支架的整体协同作用,巷道顶板围岩下沉导致支架发生外向扩张变形并呈现逐渐扩大的演化趋势^[11]。

4 经济效益评价

4.1 支护成本对比

在两条试验段巷道内,分别主要采用 D 型钢管(由圆钢管经冷压弯制加工而成)支架和 U 型钢支架,对两种支架的经济效益进行比较。表 2 所示为材料数据汇总。

1)D 型钢管支架成本(按 12 000 mm 计算):自密实混凝土体积约为 0.146 m³,成本约为 234 元(按 1 600 元/m³计算);D 型钢管成本约 997 元(222 kg),D 型钢管混凝土支架成本约 1 231 元。

2) U型钢支架成本核算(按12 000 mm计算):U36型钢成本约1 935元(430 kg,按4 500元/t计算);卡缆成本约230元,U36型钢支架成本约2 165元。

根据以上两项计算,D型钢管支架比U型钢支架单架成本节约934元,减少使用约208 kg的钢材,降低约43%的单架支架材料成本。

4.2 支护效益对比

1) 新型支护段效益

在100 m长的巷道内,按排距为650 mm计算,共需要153架支架,根据以上计算,材料成本对比如下:D型钢管支架 $1\ 231 \times 153 = 188\ 343$ 元;U型钢支架 $2\ 165 \times 153 = 331\ 245$ 元。

使用D型钢管支架比使用U型钢支架节约142 902元。

2) 新型支护段巷修效益

使用U型钢支架至少每年返修一次,返修成本约为3 000元/m,而D型钢管支架使用近一年不需要返修,则试验段100 m节约巷修费用300 000元。

每100 m巷道使用D型钢管支架比U型钢支架合计可节省44.29万元。

3) 推广效益

平煤十矿类似巷道每年掘进长度约3 000 m,若有2 000 m能够使用D型钢管支架。由此计算,可节省支护费用约 $(142\ 902 + 300\ 000) \times 20 = 8\ 858\ 040$ 元,即885.804万元,节省钢材约636 t。

5 结论

1) U型钢支架支护试验段需经返修后巷道才能继续使用,而D型钢管支架支护试验段巷道围岩经过小幅接触变形后即趋于稳定,经过近两年观测,目前仍正常使用,解决了类似巷道频繁返修的问题。进而验证了D型钢管支架支护的合理性和优越性。

2) 通过现场应用及观测,D型钢管支架支护技术,具有节省材料、支护强度高、施工方便等优点,降低了支护和维修成本,节约了大量的钢材,在支护效果优势明显的情况下D型钢管支架具有更好的经济效益。因此具有很好的推广应用前景,为类似条件下支护方式的选取提供依据,可以在深井、高地应力、地质构造复杂区域进一步试验应用D型钢管支架。

3) 为使支架与巷道围岩在支护初期就能够充分面接触,特别是在巷道围岩破碎及受动压影响强烈的巷道中,应在支架架设好之后将支架与巷道壁之间的空隙实施泵送壁后充填,使支架能够尽早发挥高强度支护作用。

参考文献:

- [1] 晏玉书. 我国煤矿软岩巷道围岩控制技术现状及发展趋势[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996: 1-17.
- [2] 钟善桐. 钢-混凝土组合结构在我国的研究与应用[J]. 钢结构, 2000, 15(4): 41-46.
Zhong Shantong. Research and application of steel-concrete composite structures in our country[J]. Steel Construction, 2000, 15(4): 41-46.
- [3] 顾维平, 蔡绍怀, 冯文林. 钢管高强混凝土长柱性能和承载能力的研究[J]. 建筑科学, 1991(3): 3-8.
Gu Weiping, Cai Shaohuai, Feng Wenlin. Research on the behavior and loading capacity of slender steel tubular columns filled with high-strength concrete[J]. Building Science, 1991(3): 3-8.
- [4] 甘丛石, 支喜华, 唐丛一. 钢管混凝土弹塑性本构方程及极限承载力[J]. 长沙交通学院学报, 1998, 14(3): 68-73.
Gan Congshi, Zhi Xihua, Tang Congyi. The elastic-plastic constitution equation and ultimate capability to steel tube filled in concrete[J]. Journal of Changsha Communications University, 1998, 14(3): 68-73.
- [5] Elremaily A, Azizinamini A. Behavior and strength of circular concrete-fill tube columns[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2002, 58(7): 1567-1591.

表2 材料数据汇总表

Tab. 2 Summary table of materials data

支护材料	截面尺寸	截面含钢面积/mm ²	单位质量/(g/mm)
U型钢(U36)	U36	4 570	35.87
D型钢管	Φ150×5 mm	2 355	18.48

- [6] 杨有福, 韩林海, 范喜哲. 钢管混凝土动力性能研究现状[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2000, 33(5): 40-46.
Yang Youfu, Han Linhai, Fan Xizhe. Present situation of research on dynamic behavior of concrete filled steel tubes[J]. Journal of Harbin University of Civil Engineering & Architecture, 2000, 33(5): 40-46.
- [7] 钟善桐. 钢管混凝土统一理论[J]. 哈尔滨建筑工程学院学报, 1994, 27(6): 21-27.
Zhong Shantong. The unified theory of concrete filled steel tube[J]. Journal of Harbin Architectural and Civil Engineering Institute, 1994, 27(6): 21-27.
- [8] 张耀春, 王秋萍, 毛小勇, 等. 薄壁钢管混凝土短柱轴压力学性能实验研究[J]. 建筑结构, 2005, 35(1): 22-27.
Zhang Yaochun, Wang Qiuping, Mao Xiaoyong, et al. Research on mechanics behavior of stub-column of concrete-filled thin-walled steel tube under axial load[J]. Building Structure, 2005, 35(1): 22-27.
- [9] 臧德胜, 韦潞. 钢管混凝土支架的研究和实验室试验[J]. 建井技术, 2001, 22(6): 25-28.
Zang Desheng, Wei Lu. Study and experimental research on concrete-filled steel tube supports[J]. Mine Construction Technology, 2001, 22(6): 25-28.
- [10] 张森. 曲面异型管混凝土支架优化设计及应用[D]. 青岛: 山东科技大学, 2013.
- [11] Liu Limin, Zhao Shijun, Cao Junzhi, et al. Study on optimal design of concrete-filled steel tube support in coal mine[C]// Taishan Academic Forum-Project on Mine Disaster Prevention and Control, Paris: Atlantis Press, 2014: 119-125.
- [12] 乔卫国, 吕言新, 李睿, 等. 深部软岩巷道矿压监测与收敛变形研究[J]. 金属矿山, 2011(10): 44-47.
Qiao Weiguo, Lu Yanxin, Li Rui, et al. Research on pressure monitoring and convergence deformation in deep soft rock roadway[J]. Metal Mine, 2011(10): 44-47.
- [13] 陆士良, 汤雷. 大变形巷道锚杆和框式支架工作阻力的研究[J]. 煤炭学报, 1998, 23(4): 371-375.
Lu Shiliang, Tang Lei. Working resistance of bolts and frame-type support in roadways with severe rock deformation[J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(4): 371-375.

(责任编辑: 吕海亮)

“矿山灾害预防与控制”研究专栏征稿

征稿范围:

- | | |
|-------------|------------------|
| ◇ 矿山岩层控制 | ◇ 煤炭科学开采理论、方法与技术 |
| ◇ 采动岩体力学 | ◇ 安全监测监控与信息化 |
| ◇ 资源规划与绿色开采 | ◇ 井下充填开采 |
| ◇ 矿井瓦斯与火灾治理 | ◇ 现代化矿井生产技术 |
| ◇ 矿山震动与冲击地压 | ◇ 瓦斯的抽采与利用 |

欢迎相关领域专家学者和工程技术人员踊跃投稿, 来稿请注明“矿山灾害预防与控制”专栏。稿件通过专家评审后优先发表, 优稿优酬。

投稿平台: http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp

电子邮箱: zkchem@sdust.edu.cn

联系电话: 0532-86057859

山东科技大学学报(自然科学版)编辑部