

# 岩巷掘进快速湿式喷射混凝土支护技术

马 利<sup>1</sup>,许 鹏<sup>2</sup>

(1. 冀中能源股份有限公司 河北 邢台 054000; 2. 中国矿业大学(北京) 力学与建筑工程学院 北京 100083)

**摘要:**为在锚喷支护中实现快速喷射混凝土作业,采用理论分析和现场试验的方法,在邢台矿区井下采用岩巷湿式喷射混凝土技术的基础上,通过配套设备和工艺改进,实现了锚喷巷道快速湿式喷射混凝土作业,湿式喷射混凝土速度达30 m/d,减少了锚喷巷道施工粉尘浓度,回弹率降低至12.15%,从而改善了作业环境、降低了材料消耗,每米巷道使用喷射混凝土材料1.33 m<sup>3</sup>,且湿式喷射混凝土技术混凝土抗压强度提高了37%,为邢台矿区实现湿式喷射混凝土技术的推广应用提供了理论和实践经验。

**关键词:**锚喷支护;湿式喷射混凝土;粉尘浓度;回弹率;混凝土强度

中图分类号:TD353 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2013)04-0005-03

## Rapid Wet Shotcreting Support Technology of Mine Rock Roadway

MA Li<sup>1</sup>, XU Peng<sup>2</sup>

(1. Jizhong Energy Corporation Ltd., Xingtai 054000, China;

2. School of Mechanics and Architecture Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to realize a rapid shotcreting operation in the bolt and shotcreting support, a theoretical analysis and a site experiment method were applied. Based on the wet shotcreting technology of the mine rock roadway in Xingtai Mining Area, with the improvement on the matched equipment and technique, a rapid wet shotcreting operation in the bolt and shotcreting roadway was realized and the wet shotcreting speed was 30 m/d. The dust content in the bolt and shotcreting operation of the mine roadway was reduced and the rebounding rate was reduced to 12.15%. Thus the operation environment was improved and the material consumption was reduced. The shotcreting material applied was 1.33 m<sup>3</sup> per meter of mine roadway. The concrete compressive strength of the wet shotcreting technology was improved by 37% and could provide the theoretical and practical experiences to the promotion and application of the wet shotcreting technology in Xingtai Mining Area.

**Key words:** bolt and shotcreting support; wet shotcreting; dust density; rebounding rate; concrete strength

## 0 引言

我国于20世纪60年代末,在隧道中采用锚喷支护,并在20世纪70年代发展了湿式喷射混凝土技术<sup>[1-2]</sup>。马千里等<sup>[3]</sup>对SPL-4型湿式混凝土喷射机的应用进行了试验研究,解决了现有湿式混凝土喷射机的粘结和堵管问题,推广湿喷机在煤矿井下的应用。秦廉等<sup>[4]</sup>介绍了新型喷射混凝土用无碱液态速凝剂的研制与优化方法。谢忠强<sup>[5]</sup>采用数值模拟的方法对锚喷支护巷道喷射混凝土作业粉尘分布规律进行研究。王治世等<sup>[6]</sup>针对地下矿山

喷射混凝土施工中存在的作业环境差、施工效率低、材料浪费严重等问题,提出了在井下支护中推广湿式喷射混凝土施工工艺的建议。惠功领等<sup>[7]</sup>采用湿式喷射混凝土技术对矿井综合防尘技术进行研究,解决粉尘对突出矿井的安全生产和人员健康带来的威胁。随着国内外学者对湿式喷射混凝土技术的研究,通过改进喷射混凝土机具及相关配套设备,实行机械化喷射混凝土技术<sup>[2-3]</sup>,优化浆液配合比<sup>[8]</sup>,使用速凝剂等方式<sup>[9-10]</sup>,使湿式喷射混凝土逐步成为喷射混凝土技术的主要技术。湿式喷射混凝土技术在德国、挪威、英国及加拿大等国家的隧道

收稿日期:2012-11-18;责任编辑:杨正凯

作者简介:马 利(1970—),男,河北尚义人,高级工程师,博士。Tel:13633292208 E-mail:mlyx508@163.com

引用格式:马 利,许 鹏.岩巷掘进快速湿式喷射混凝土支护技术[J].煤炭科学技术 2013 41(4):5-7,12.

施工中应用较为广泛<sup>[11]</sup>。然而在我国煤矿巷道锚喷支护施工中,干式喷射混凝土因其结构简单、操作方便,应用较为广泛,由于湿式喷射混凝土机是从原有的干式喷射机改进而来,结构与干式喷射机类似,很难达到湿喷的效果,且设备磨损严重,脉冲现象明显,粉尘污染严重,因此,目前湿式喷射混凝土技术在国内的应用还有很多问题需要解决<sup>[12]</sup>。鉴于此,笔者对邢台矿区井下岩巷湿式喷射混凝土技术进行研究,以期达到提高喷射混凝土作业的速度,保证喷射混凝土质量,改善作业环境的目的。

## 1 工程概况

邢台矿区地质条件复杂,断层、陷落柱等地质构造比较发育,岩巷年进尺约25 km,巷道为半圆拱,断面面积9~15 m<sup>2</sup>。试验选择在邢东矿二水平运输下山扩修段、轨道下山的联络巷、章村矿南翼运输巷3处进行湿式喷射混凝土工业性试验。3处巷道断面分别为矩形、矩形、半圆拱形,均采用锚喷支护,巷道顶板均采用高强度螺纹钢锚杆全长锚固,并铺设钢筋梯子梁和金属网,帮部均采用圆钢锚杆端部锚固,并铺设金属网,锚杆间排距均为800 mm×800 mm;滞后进行湿式喷射混凝土作为永久支护,设计喷射混凝土厚度为100 mm。

## 2 湿式喷射混凝土技术的实施

### 2.1 湿式喷射混凝土技术

锚喷支护已成为煤矿巷道的主要支护形式<sup>[5]</sup>,喷射混凝土施工作为锚喷支护的重要部分,普遍采用的是干式喷射混凝土和湿式喷射混凝土2种方式。干式喷射混凝土是把水泥、骨料和速凝剂按比例拌匀,加进喷射机后用压缩空气将物料通过软管,在喷嘴处加水,形成料束,高速喷射到巷道壁上。由于干式喷射混凝土技术成熟、工艺简单,因此,应用较为广泛<sup>[6]</sup>。但是,随着对作业环境的重视和喷射混凝土强度要求的提高,湿式喷射混凝土的优越性越来越突出。湿式喷射混凝土技术是将除速凝剂外的所有集料组分按一定配比后送入喷射机,在喷嘴处与雾化速凝剂混合,形成料束,喷射到巷道壁上<sup>[12]</sup>。由于其能够准确控制混凝土的水灰比,有利于水和水泥的水化,因而强度易于保证,确保了喷射混凝土的质量;且能够大幅降低作业地点的粉尘浓度和回弹率、提高生产效率;同时还能降低对设备、

材料的损耗<sup>[7]</sup>。因此,湿式喷射混凝土技术具有极大的推广价值,是巷道锚喷支护发展的必然趋势。

### 2.2 湿式喷射混凝土设备

现场试验主要对巷道顶板和帮部进行湿式喷射混凝土。考虑到矿井的实际情况,试验选用SPB7-T型矿用活塞式混凝土湿式喷射机进行喷射混凝土,该设备是目前国内降低粉尘、降低回弹率、节约材料等综合性能较好的锚喷支护机具,采用全液压控制,具有作业安全性高,防爆性能高,整机体积小,质量轻,便于使用和维修等优点,其主要技术参数如下:

|   |                   |
|---|-------------------|
| 机器生产能力/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 6~7               |
| 使用材料水灰比                                   | 0.4~0.5           |
| 最大骨料粒径/mm                                 | 15                |
| 输料管内径/mm                                  | 50                |
| 耗风量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )  | 7~8               |
| 电动机功率/kW                                  | 15                |
| 最大输送距离(水平)/m                              | 80                |
| 上料高度/m                                    | 1.2               |
| 最大输送距离(垂直)/m                              | 30                |
| 工作风压/MPa                                  | 0.3~0.6           |
| 电压等级/V                                    | 660/1 140         |
| 整机质量/kg                                   | 1 500             |
| 外形尺寸/(mm×mm×mm)                           | 2 000×1 200×1 400 |

### 2.3 浆液配合比

试验表明,喷射混凝土材料配合比对喷射砂浆的强度及喷射混凝土效果有很大影响,合理的配合比不仅能够提高喷射混凝土的强度,还能增加附着量,降低回弹率,改善浆液的性能<sup>[7]</sup>。结合现场条件,笔者通过调研考查,试验分析得出最佳喷射混凝土配合比,每立方米混凝土所需材料中水泥、水、中粗河砂、石子、无碱速凝剂SA160、减水剂Rheoplus26的质量分别为450~500、200~250、1 012.5、675、18~30.3 kg。试验设计喷射厚度为100 mm,喷射混凝土设计强度等级为C20,喷射混凝土中的水泥、石子和中粗河砂的质量配合比为1.00:1.50:2.25,水灰比1.00:0.44。其中,水泥标号为P.C42.5,砂为纯净中粗河砂,石子粒径为5~8 mm,石子过筛,最大直径不超过10 mm,并冲洗干净。为保证混凝土的流动性和可泵送性,可在拌料时在搅拌机中加入约为水泥质量1%的减水剂;同时为保证喷射出的混凝土快速凝固,减少混凝土的初凝时间,减少混凝土的回弹率,在喷射混凝土过程中加入速凝剂,并由管路输送至喷头处加入,其掺入量应为水泥质量的4%~

6%, 并根据实际情况进行适量调整。

## 2.4 湿式喷射混凝土工艺流程

进行湿式喷射混凝土作业时,按一定的配合比将水泥、砂、石子和水放入搅拌机,搅拌后对巷道顶板和两帮进行喷射混凝土。湿式喷射混凝土工艺流程如图1所示。喷射混凝土时,喷头与受喷面的垂直距离以0.8~1.0 m为宜,且喷头处空气压力应大于0.5 MPa,喷射过程中要确保料斗始终充满混凝土,以免吸入空气。经过多次现场试验,发现当风压为0.35 MPa、泵压为3.5~4.5 MPa、混合料流量为4.5~5.5 m<sup>3</sup>/h,速凝剂流量为0.09~0.11 m<sup>3</sup>/h时,湿式喷射混凝土效果较好。



图1 湿喷工艺流程

为保证喷射混凝土后巷道拱部圆滑、两帮平顺、整体无明显凸凹处(以喷层的凹凸度不超过50 mm为准)。作业前应对岩帮进行清洗,清除浮矸和有害的粘着杂物等,有涌水的地方需做好排水,受喷面吸水性较强时需预先洒水。作业时,巷道应分段、分部、分块进行湿式喷射混凝土(分段长度不应超过6 m,分部应按照“先墙后拱,先下后上”的原则进行,分块大小应为2 m×2 m),必要时还需进行分层湿式喷射混凝土,一次湿式喷射混凝土厚度以混凝土不滑移、不坠落为宜,前后层湿式喷射混凝土的间隔应为2~4 h。此外,作业时喷头应与受喷面保持垂直,但在铺设有钢筋网的巷道段处进行作业时,喷头应靠近受喷面,并与垂直方向有一个小角度,但不宜小于70°,使钢筋网后面的混凝土更加密实。如果喷头与受喷面的角度太小,就会造成混凝土湿料在工作面上的滚动,出现高低不平的波形喷面,增加回弹量;在湿喷巷道内转角时,应在2个受喷面夹角处沿角平分线方向进行喷射,当内转角已被填满成一个曲面后,再向两侧壁面逐渐延伸,然后按与壁面成90°的角度进行喷射;在湿喷巷道外转角时,可先将喷头垂直于一个受喷面进行喷射,然后再喷射外转角的另一侧。为了尽可能减少回弹量,形成厚度均匀的混凝土层,喷头应有节奏地做连续不断的螺旋状圆周运动,螺旋直径为20~30 cm,后一圈覆盖前

一圈1/3,湿喷路线应自上而下,呈“S”形运行。

## 3 应用效果分析

在邢东矿二水平运输下山扩修段、轨道下山的联络巷、章村矿南翼运输巷进行湿式喷射混凝土试验,同时采用现场浆液制作混凝土标准试件,对喷射混凝土28 d后的抗压强度进行测试。采用湿式喷射混凝土技术(分加速凝剂和不加速凝剂2种)和先前采用干式喷射混凝土技术时28 d后的混凝土抗压强度对比见表1。

表1 喷射混凝土强度对比

| 喷射方式 | 28 d 后抗压强度/MPa |         |       | 平均抗压强度/MPa |
|------|----------------|---------|-------|------------|
|      | 运输下山扩修段        | 轨道下山联络巷 | 南翼运输巷 |            |
| 1    | 22.5           | 24.1    | 23.7  | 23.4       |
| 2    | 27.5           | 26.7    | 27.3  | 27.4       |
| 3    | 19.8           | 20.8    | 19.5  | 20.0       |

注:1和2分别为加速凝剂和无速凝剂湿式喷射混凝土方式;3为干式喷射混凝土方式。

由表1可知,3种方式喷射混凝土的抗压强度均达到了技术规范要求;对比三者的抗压强度可知,干式喷射混凝土抗压强度平均20.0 MPa,添加速凝剂的湿式喷射混凝土抗压强度23.4 MPa,比干式喷射混凝土提高17%;不加速凝剂的湿式喷射混凝土抗压强度平均为27.4 MPa,比干式喷射混凝土提高37%。从喷射效果看,湿式喷射混凝土混凝土整体质量也比较稳定。采用“四六制”进行施工,每天可施工巷道30 m,平均每班施工巷道7.5 m,极大地提高了锚喷效率和工程进度。粉尘浓度也降低为干式喷射混凝土的1/4。湿式喷射混凝土时混凝土回弹率明显降低,见表2,减少了材料消耗,每米使用混凝土材料1.33 m<sup>3</sup>。

表2 回弹率对比

| 喷射方式 | 回弹率/% |      |       |
|------|-------|------|-------|
|      | 直墙部分  | 拱顶部分 | 平均    |
| 湿喷   | 10    | 14.3 | 12.15 |
| 干喷   | 24    | 30.0 | 27.00 |

## 4 结论

1) 采用湿式喷射混凝土技术,喷射混凝土试块养护28 d的抗压强度为27.4 MPa,比干式喷射混凝土提高了37%,提高了锚喷支护的施工质量。

(下转第12页)

在建(构)筑物I级影响范围之内,该技术能有效控制地表移动变形。

## 5 结语

根据具体的地质采矿条件,通过数值模拟分析以及地表移动变形预计,研究了建(构)筑物下条带式Wongawilli采煤设计方案,确定了支巷支护设计参数及回采工艺方法。通过对采煤方案数值模拟分析,研究了条带式Wongawilli采煤技术的围岩应力场、位移场、塑性区及锚杆锚索应力的变化情况,为条带Wongawilli采煤技术的围岩控制和顶板管理提供参考依据。条带式Wongawilli采煤技术是将条带开采布置方式与Wongawilli采煤工艺相结合形成的一种建(构)筑物下高效采煤技术。研究结果表明:条带式Wongawilli采煤技术解放“三下”压煤是可行的,由于开采速度快、效率高,地表移动时间短,有利于地表建(构)筑物的保护,具有较好的推广应用前景。

### 参考文献:

- [1] 郭文兵,柴华彬.煤矿开采损害与保护[M].北京:煤炭工业出版社 2008:126-143.
- [2] 钱鸣高,缪协兴,许家林.资源与环境协调(绿色)开采[J].煤炭学报 2007,32(1):1-7.
- [3] GUO Wen-bing,ZOU You-feng,LIU Yi-xin. Current Status and Future Prospects of Mining Subsidence and Ground Control Technology in China [C]. The 9th Underground Coal Operator

(上接第7页)

- 2)采用“四六制”作业时,平均每班可施工巷道7.5 m,提高了喷射混凝土效率,加快了工程进度。
- 3)采用湿式喷射混凝土技术后,平均回弹率由干式喷射混凝土的27.00%降至12.15%,减少了材料消耗,喷射混凝土料消耗量为1.33 m<sup>3</sup>/m,每100 m巷道较干式喷射混凝土可节省材料费32万元、人工费13万元,取得了良好的经济和社会效益。

### 参考文献:

- [1] 王永顺,王明喜,王鹤.泉上煤矿原锚喷支护改为锚网支护在施工中的应用[J].科技信息 2012(15):417-418.
- [2] 周文涛,江兆利,董凤波,等.湿式喷浆工艺在煤矿巷道工程中的应用研究[J].科技创新导报 2008(25):93.
- [3] 马千里,张雨良,邱天德,等.SPL-4型湿式混凝土喷射机应用及性能分析[J].煤炭科学技术 2009,37(1):30-33.
- [4] 秦廉,张雄,张永娟.新型喷射混凝土用无碱液体速凝剂

Conference ,Australia 2009: 357-362

- [4] Tesarik D R, Seymour J B, Yanske T R. Long-term Stability of a Backfilled Room-and-pillar Test Section at the Buick Mine, Missouri, USA [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 2009,47(7):1182-1196.
- [5] 刘克功,徐金海,缪协兴.短壁开采技术及其应用[M].北京:煤炭工业出版社 2007:1-33.
- [6] Syd S Peng. Coal Mine Ground Control [M]. New York: John Wiley & Sons Inc 2008: 203-235.
- [7] Syd S Peng. 长壁开采( Longwall Mining) [M]. 郭文兵,译.北京:科学出版社 2011: 177-200.
- [8] 周爱平.旺格维利采煤法顶板控制技术[J].煤炭科学技术,2006,34(7):46-49.
- [9] 鹿志发,王安,马茂盛,等.旺格维利采煤技术在大柳塔煤矿的应用[J].煤炭科学技术 2000,28(12):1-4.
- [10] 梁大海,张振.EML340连续采煤机在旺格维利采煤法中的应用[J].煤矿开采 2010,15(6):65-67.
- [11] 李浩荡.液压支架护顶旺格维利采煤法在大柳塔矿的应用[J].煤炭科学技术 2008,36(8):15-17.
- [12] 栗建平,李瑞群,李大勇.浅埋煤层旺格维利采煤法矿压显现数值模拟研究[J].煤炭工程 2009(10):60-62.
- [13] Singh A K, Singh Rajendra, Maiti J. Assessment of Mining Induced Stress Development Over Coal Pillars During Depillaring [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 2011,48(5):805-818.
- [14] Kushwaha A, Singh S K, Tewari S. Empirical Approach for Designing of Support System in Mechanized Coal Pillar Mining [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2010,47(7):1063-1078.
- [15] 郭文兵,邓喀中,邹友峰.条带开采地表移动参数研究[J].煤炭学报 2005,30(3):596-600.

的研制与优化配伍[J].西南科技大学学报 2007,22(4):30-34.

- [5] 谢忠强.锚喷支护巷道喷浆作业粉尘分布规律的数值模拟[J].煤矿开采 2012,17(6):96-99.
- [6] 王治世,吴冷峻.地下矿山湿式喷射混凝土施工工艺研究[J].金属矿山 2009(S1):497-501.
- [7] 惠功领,韩留生.平煤十二矿突出矿井综合防尘技术[J].煤炭科学技术 2010,38(1):45-47.
- [8] 刘峰,宋飞飞.影响湿法喷浆质量的因素研究[J].混凝土,2011(7):134-135.
- [9] 杨建国.湿式喷混凝土工法速凝剂的应用[J].铁道科学与工程学报 2008,5(3):89-92.
- [10] 龚勋.喷浆机喷射臂的虚拟样机分析及其液压系统优化与试验[D].秦皇岛:燕山大学 2012:11-12.
- [11] 刘洪斌.采用湿式喷浆工艺降低粉尘浓度存在的几个问题[J].西部探矿工程,1997,9(3):68.
- [12] 贾长科,蔡磊,张文义.王楼二号矿井初喷浆支护工艺的探索及应用[J].山东煤炭科技 2010(5):20-21.