

# 穿越砂层巷道注浆超前支护方案试验研究

韩晓雷, 徐生玉, 李桂贤, 张 涛, 贺 博

(西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘 要:** 结合下峪口煤矿新建运输平硐的建设, 对穿越砂层巷道的超前支护方式进行了现场试验研究。试验过程中分别采用了马丽散、水玻璃-氯化钙2种注浆超前支护技术。其中, 马丽散注浆加固体扩散直径仅为281 mm, 且扩散直径变化无规律; 水玻璃-氯化钙注浆加固体扩散直径可以达到401.2 mm, 扩散直径沿注浆导管方向逐渐变小, 并提出用长度为2 m的前后循环加固体相互叠加的方法来弥补。从现场试验结果来看, 水玻璃-氯化钙注浆超前支护技术很好地解决了砂层巷道掘进过程中面临的地面开裂、地面建(构)筑物不均匀沉降等问题。

**关键词:** 砂层; 巷道; 超前支护; 水玻璃-氯化钙; 注浆加固机理

**中图分类号:** TD 327 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2012)06-0026-03

## Experiment Study on Grouting and Pilot Support Plan of Mine Roadway Passing Through Sand Layer

HAN Xiao-lei, XU Sheng-yu, LI Gui-xian, ZHANG Tao, HE Bo

(School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** In combination with the construction of a new transportation adit in Xiayukou Mine, a site experiment study was conducted on the pilot support method of the mine roadway passing through sand layer. During the experiment process, two grouting and pilot support technologies with Marithan and sodium silicate-calcium chloride were applied. Among that, the reinforced solids expansion diameter of Marithan grouting was only 281 mm and there was no variation law of the expansion diameter. The reinforced solids expansion diameter of sodium silicate-calcium chloride grouting could reach to 401.2 mm. The expansion diameter would steadily reduced along the grouting pipe direction. An overlapping method with two meters long circulated solids was provided for the compensation. The site experiment results showed that the pilot support technology with sodium silicate-calcium chloride grouting could well solve the floor cracking in the mine roadway heading process in sand stratum and the uneven subsidence of the surface buildings.

**Key words:** sand layer; mine roadway; pilot support; sodium silicate-calcium chloride; reinforcement mechanism of grouting

粉细砂层地质条件下巷道围岩稳定性差、围岩变形和破坏强烈, 巷道维护十分困难。目前穿越砂层巷道的掘进支护方式大都采用盾构法<sup>[1]</sup>及预支护法。盾构法由于其施工成本大等原因, 工程应用中受到一定的限制。预支护法又分为管棚超前支护、注浆加固超前支护等方法。管棚超前支护技术是通过打入砂层的超前钢管来支撑其上部砂层, 进而起到巷道超前支护的作用, 但其受施工过程中产生的振动作用影响较大, 易于导致砂体坍塌。对于砂层巷道掘进, 注浆加固超前支护因其浆液具有较

强的渗透性以及加固体强度高特点, 因此以韩城矿务局下峪口煤矿为例, 对穿越砂层巷道进行了注浆加固超前支护研究。

## 1 工程概况

为了解决韩城矿务局下峪口煤矿原煤运输能力不足的问题, 并实现原煤运输自动化, 下峪口煤矿计划新建1条运输平硐, 方位角设计299°10'00", 向西北延伸埋深逐渐加大, 开口埋深6~8 m, 平硐总长4 495.35 m, 其中砂层段总长约835 m, 其

收稿日期: 2011-12-28; 责任编辑: 王晓珍

作者简介: 韩晓雷(1957—), 男, 陕西兴平人, 教授, 博士。E-mail: hanxiaolei1218@163.com

网络出版时间: 2012-06-15 10:27:00; 网络出版地址: [http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120615.1027.201206.26\\_007.html](http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120615.1027.201206.26_007.html)

引用格式: 韩晓雷, 徐生玉, 李桂贤, 等. 穿越砂层巷道注浆超前支护方案试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(6): 26-28, 32.

轴线上方地面沿途经过下峪口矿生产区、家属区、12~13栋各类建筑(位于平硐上方约30 m处),且建筑物密集,地形地貌复杂。

1) 地质情况。根据工程地质勘察报告揭露的地层情况来看,运输平硐主要位于粉细砂层,孔隙率36.5%,主要为第四系上更新统河流相冲洪积物:上部以粉砂、细砂为主;中部以中砂、细砂为主;下部以中砂、粗砂为主。该砂体处于中密状态,稍湿,胶结性差。其中,粉细砂层强度低,开挖后自稳能力很差,易坍塌,地面沉降难以控制,严重时可能发生洞内涌砂现象,将导致施工无法进行。因此必须对土体进行预加固,才能保证工程环境和开挖工作面的安全。

2) 永久支护方式。平硐采用了“29U型钢支架+金属网+喷混凝土”联合支护方式进行支护,钢架间距400 mm,搭接长度450 mm;金属网规格为12号菱形铁丝网,网孔规格50 mm×50 mm;混凝土强度不低于C20,支护厚度200 mm;每掘进400 mm,立即架一钢架并铺网、喷混凝土支护。

3) 存在的问题及应对措施。目前工作面处于细砂层中,埋深34 m,地质情况复杂,前期施工过程中先后2次出现洞顶漏砂现象,主要表现为:平硐断面拱顶位置大量砂体坍塌、冒落。如果不进行任何预支护措施,极易导致平硐周围粉细砂层应力释放后而发生坍塌事故,造成穿越砂层巷道工程施工无法顺利进行。

第1次洞顶漏砂发生在挖掘过程中,工作面前方砂体坍塌涌出,并夹有涌水,地面同时发生塌陷。第2次是施工支护已完成,在工作面的后方,平硐上部地面发生塌陷、楼房墙体发生开裂,大量砂体涌出,严重影响煤矿采掘接续。漏顶产生的原因主要有:①砂层巷道永久性支护过程中,粉细砂应力释放;②永久支护形成之前,整个掘进过程中,巷道缺少临时性的超前预加固措施。根据以上分析,为避免因洞顶漏砂造成的地面沉降问题,有效解决途径有:对拟掘平硐周边砂体进行超前预注浆加固或预支护后,再进行永久支护施工。

## 2 注浆加固机理分析

注浆加固超前支护技术是指通过注浆小导管上的出浆孔,将浆液均匀地压注到围岩中,以达到加固围岩的目的。根据浆液的运动形式和替代方式、

浆液对岩土体的作用机理,将注浆加固技术分为以下3种<sup>[2]</sup>:渗透注浆、压密注浆和劈裂注浆(图1)。<sup>①</sup>渗透注浆<sup>[3]</sup>是在不足以破坏地层构造的压力(即不产生水力劈裂)下,把浆液注入到粒状土的孔隙中。浆液一般是均匀地扩散到土颗粒间的孔隙内,将土颗粒胶结起来,增强土体的强度和稳定能力。该注浆理论适用于砂土加固。<sup>②</sup>压密注浆是指通过钻孔在土层中注入极浓的浆液(坍落度小于25 mm),在注浆处形成球形浆泡,浆体的扩散主要靠对周围土体的压缩。压密注浆的注浆压力对土体产生挤压作用,极易造成砂层结构性的破坏。该注浆理论主要用于中砂地基,或有适宜排水条件的黏性土。<sup>③</sup>劈裂注浆<sup>[4]</sup>是指浆液在注浆压力作用下先克服底层的切应力和抗拉强度,使其在垂直于小主应力的平面上产生水力劈裂,进而形成新的裂缝,或原有裂缝继续扩展、张开,浆液沿此劈裂面渗入和挤密地层体,对灌浆载体起到加固固结作用,劈裂注浆是破坏性的加固措施,主要应用于基岩、砂土和黏性土。

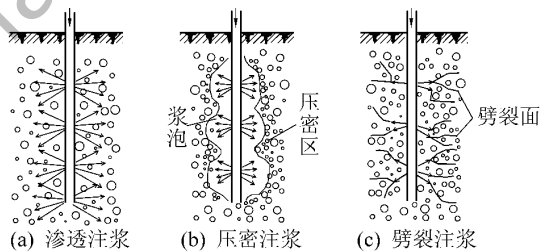


图1 注浆机理示意

该试验所采用的水玻璃-氯化钙注浆加固属于渗透注浆类型,马丽散(高浓度)注浆加固属于压密注浆类型。

## 3 超前支护试验研究

### 3.1 马丽散注浆超前支护

1) 方案设计。采用马丽散对掘进工作面的松散砂层顶板进行超前加固,通过对砂层的加固控制,为巷道永久支护系统提供充分的施工时间和空间。注浆孔深5 m,间距330 mm,沿平硐周边布置在顶部85°范围内,每循环共计11个注浆孔。

2) 现场试验。试验共计实施2个循环,5 m孔深的实际注浆量为:马丽散催化剂注入量52.5 kg/孔,马丽散树脂注入量41.1 kg/孔。每循环要求在进尺2.8 m时,开始下一个循环施工,实际施

工过程中,当进尺为 1 200 mm (第 3 架棚) 时,工作面已经无法继续掘进。

对马丽散加固体在砂层中的扩散直径进行了统计。由统计结果可以发现,马丽散在砂层中的扩散效果总体不是很好,加固体主要集中在注浆口,不能很好地扩散到整个注浆孔内。400 mm 进尺时注浆体平均扩散直径为 281 mm,800 mm 进尺时仅为 87 mm,直径缩减快且无规律,这给巷道掘进工程造成了一定的安全隐患。由于实际施工过程中开挖第 3 架棚时,工作面出现漏砂现象,故马丽散扩散直径范围只能统计到 800 mm 进尺位置。

3) 试验结果。经过两循环马丽散注浆超前支护控制平硐顶部松散砂层冒落试验,不同程度地发生了 3 次严重的洞顶漏砂。通过本次注浆情况及施工时的观察记录发现:①注浆后的加固体扩散无规律,无法估测扩散直径的大小;②马丽散具有很高的膨胀性<sup>[5-6]</sup>,容易挤压周围砂层,致使原始砂层结构遭到破坏;③马丽散加固体强度较高,需用风镐对其进行破碎,这对周围砂层震动较大,另外注浆扩散致使原始砂层的破坏,最终导致漏顶。拱顶砂层出现冒落后,必须进行充填、封顶,这给施工带来了不必要的影响。就目前施工情况来看,马丽散注浆超前支护在砂层中的加固效果不是很理想。

### 3.2 水玻璃-氯化钙<sup>[7]</sup>注浆超前支护

1) 方案设计。按注浆方案设计要求及现场砂层情况,平硐全断面布孔 63 个,沿平硐周边孔间距 300 mm 布置,孔位布置如图 2 所示。用风煤钻钻孔,孔径 42 mm,孔深 4.0 m,采用  $\phi 40$  mm  $\times$  2.4 mm 的 PVC 管及钢管作为注浆管,以 10° 倾角打入砂体。由于现场为中密细砂、孔隙率 36.5%,

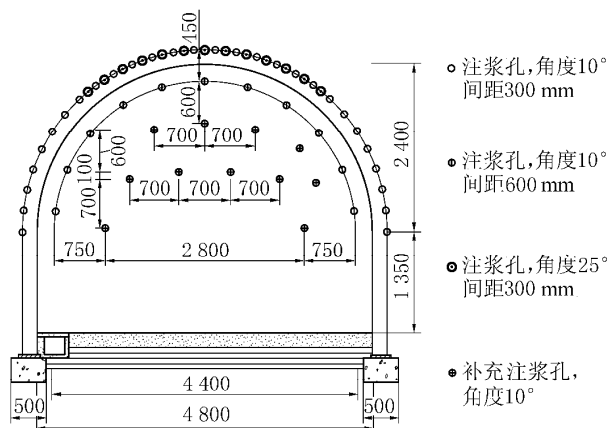


图 2 平硐全断面注浆孔布置

注浆浆液为:波美度为 39°Bé 的水玻璃,凝胶时间 13 ~ 15 min,模数 3.27;  $\text{CaCl}_2$  溶液质量分数为 25%。注浆顺序:沿巷道轴线由低到高,由下向上,隔孔进行注浆<sup>[8]</sup>。单孔顺序为:①先注水玻璃  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (加 10% 热水);②将注浆管内液体排净后,再将  $\text{CaCl}_2$  溶液 (速凝剂) 依次注入。

根据工程经验,浆液有效扩散直径按 350 mm 计算。孔深 4 m (由于注浆导管露出段 500 mm 范围内没有射浆孔,故有效长度按 350 mm 取值),则每孔的注浆量  $Q_z = K\pi R^2 L\eta = 0.147 \text{ m}^3$ ,其中: $R$  为浆液扩散半径, m;  $L$  为注浆段长, m;  $\eta$  为砂层孔隙率;  $K$  为修正系数,与浆液、砂层的种类、充填率和浆液消耗有关,一般取 1.1 ~ 1.3,该试验取 1.2。双液法注浆中水玻璃和氯化钙溶液各占 50%,则 4 m 深孔中水玻璃每孔注浆量为 0.074  $\text{m}^3$ ,氯化钙溶液每孔注入量为 0.074  $\text{m}^3$ 。

2) 现场试验。试验共实施 2 个循环,每循环加固 4 m (沿进尺方向),实际开挖 2 m 就开始下一个循环施工,这样前后循环就会有 2 m 的加固重叠区,可以弥补注浆加固体的扩散直径沿导管逐渐变小的缺点,作为下一个循环的保护段<sup>[9]</sup>。实际施工过程中,巷道掘进 2 m 进尺时,没有出现砂体冒落现象。对水玻璃-氯化钙在砂层中扩散直径进行统计,结果表明,采用水玻璃-氯化钙注浆方案加固平硐细砂层具有显著效果。注浆加固体扩散直径分布均匀有规律,最大可以达到 401.2 cm,2 m 的加固重叠区有效解决了加固体扩散直径沿注浆导管方向逐渐变小的问题,且水玻璃浆液在砂层渗透性良好、无毒无污染<sup>[10]</sup>,工作面砂体强度及其整体性明显提高,固结效果明显。

3) 试验结果。经对水玻璃-氯化钙注浆超前支护方案进行注浆效果检验,平硐顶板经注浆加固形成了支护壳体,能够正常掘进而不漏顶,有效控制了砂层的冒落。为施工支护系统提供了充分的时间和空间,同时小导管可起到超前管棚预支护的作用<sup>[11-12]</sup>。

## 4 结 论

马丽散加固体扩散直径最大为 281 mm,且扩散不均匀,其高膨胀性挤压砂体造成原始砂层结构遭到破坏,加速砂体冒落;水玻璃-氯化钙浆液在

(下转第 32 页)

定,但基本上也是先有短期的增大而后逐渐减小,在建立测站前4 d,巷道两帮移近量及两帮移近速度均大于顶底板移近量及移近速度,但4 d之后,顶底板的移近量及移近速度均超过两帮,其两帮及顶底板平均移近速度分别为4.2、5.9 mm/d。

通过以上观测结果总结可知,采用钻孔卸压与U型钢联合支护后,巷道顶底板移近量、两帮移近量均比未卸压时降低55%左右,其巷道两帮及顶底板的平均移近速度比未卸压时移近速度降低55%左右,巷道围岩得到了较好的控制,因此钻孔卸压与U型钢联合支护方案取得了较好的效果。

#### 4 结 论

卸压技术是将巷道周边围岩内的高应力区向围岩深部转移,从而使高应力围岩转化为可以支护的低应力围岩,最终达到减小围岩变形目的一种支护技术。利用FLAC<sup>3D</sup>数值模拟软件分析了钻孔卸压对巷道围岩变形及巷道周边围岩应力转移的作用,即实施钻孔卸压后,巷道围岩的变形量减小,围岩应力峰值向深部转移,巷道处于应力降低区。工业试验表明,钻孔卸压与U型钢联合支护技术完全可以适用于三软煤层回采巷道,取得了较好的支护效果和经济效益,为矿井的高产高效提供了技术保障。采用钻孔卸压和U型钢联合支护的技术,降低了巷道的维修量和维修频率,将应力向巷道深部转移,杜绝了以前边掘边修、前掘后修的状况,提

高了有效进尺,保证了工作面的正常回采,技术效果显著;同时改善了巷道支护状况,保证了有效通风断面,取得了较好的效果。

#### 参考文献:

- [1] 付国彬,姜志方.深井巷道矿山压力控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,1996:5-14.
- [2] 李大伟,侯朝炯.低强度软岩巷道大变形围岩稳定控制试验研究[J].煤炭科学技术,2006,34(3):36-39.
- [3] 彭 巍.大雁矿区深部软岩支护的研究与实践[J].煤炭科学技术,2010,38(12):39-42.
- [4] 侯朝炯.采准巷道矿压与控制的技术发展途径[J].矿山压力与顶板管理,1995,12(3):105-108.
- [5] 钱鸣高,石平五.矿山压力与岩层控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,2003:227-232.
- [6] 王襄禹,柏建彪,李 伟.高应力软岩巷道全断面松动卸压技术研究[J].采矿与安全工程学报,2008,25(1):37-40.
- [7] 王襄禹.高应力软岩巷道有控卸压与蠕变控制研究[D].徐州:中国矿业大学,2008:9-11.
- [8] 王永岩.软岩巷道变形与压力分析控制及预测[D].阜新:辽宁工程技术大学,2001:82-85.
- [9] 刘红岗,徐金海.煤巷钻孔卸压机理的数值模拟与应用[J].煤炭学报,2003,28(4):37-38.
- [10] 段克信.用巷帮松裂爆破卸压维护软岩巷道[J].煤炭学报,1995,20(3):311-316.
- [11] 王喜兵,王海君.高应力区卸压开采方法研究[J].矿业工程,2003,1(4):18-11.
- [12] 吕 渊,徐 颖.深井软岩大巷深孔爆破卸压机理及工程应用[J].煤矿爆破,2005(4):30-33.
- [5] 高志刚.马丽散注浆加固在综采面顶板管理中的应用[J].煤矿开采,2005,10(5):53-54.
- [6] 谢忠党,杨永强.马丽散加固技术在处理冒顶中的应用[J].河北煤炭,2005(1):27-28.
- [7] 孙永明,华 萍.水玻璃化学灌浆材料的发展现状与展望[J].吉林水利,2005(9):13-14.
- [8] 王越云.超前小导管注浆在上白隧道穿越砂层中的应用[J].山西建筑,2011,37(5):188-189.
- [9] 余继光,蔡振雷,左清泉.化学注浆加固技术在巷道大冒落带的应用[J].中州煤炭,2008(2):71-72.
- [10] 赵善同.粉细砂层注浆加固施工技术[J].科学之友,2009(14):17-18.
- [11] 曾君刚.超前小导管注浆施工参数试验研究[J].山西建筑,2010(4):66-67.
- [12] 肖昌军,王晓刚.超前小导管注浆技术在北京地铁10号线劲松站粉细砂地层加固中的应用[J].铁道标准设计,2008(12):231-233.
- [1] 黄正荣,朱 伟,梁精华,等.浅埋砂土中盾构法隧道开挖面极限支护压力及稳定研究[J].岩土工程学报,2006,28(11):2005-2009.
- [2] 黄 戡.裂隙岩体中隧道注浆加固理论研究及工程应用[D].长沙:中南大学,2011:4-41.
- [3] 邹 超.砂土层中超细水泥注浆机理的试验研究[D].淮南:安徽理工大学,2006:29-53.
- [4] 罗 恒.注浆理论研究及其在公路工程中的应用[D].长沙:中南大学,2010:42-55.

(上接第28页)

砂层中具有良好渗透扩散性质,其加固体扩散直径最大为401.2 mm,且扩散均匀规律,扩散直径沿注浆导管方向逐渐变小。因此水玻璃-氯化钙注浆超前支护技术更适合于细砂层巷道的超前加固。

#### 参考文献:

- [1] 黄正荣,朱 伟,梁精华,等.浅埋砂土中盾构法隧道开挖面极限支护压力及稳定研究[J].岩土工程学报,2006,28(11):2005-2009.
- [2] 黄 戡.裂隙岩体中隧道注浆加固理论研究及工程应用[D].长沙:中南大学,2011:4-41.
- [3] 邹 超.砂土层中超细水泥注浆机理的试验研究[D].淮南:安徽理工大学,2006:29-53.
- [4] 罗 恒.注浆理论研究及其在公路工程中的应用[D].长沙:中南大学,2010:42-55.