

管棚帷幕注浆法在含高压气体巷道掘进中的应用研究

吴 璋

(煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西 西安 710054)

摘 要:帷幕注浆在建井时应用于封堵地下水涌入技术已经比较成熟,但用于封堵地层中气体涌入危害仅见个别实例。在总结前人研究成果的基础上,借用水力学安全厚度的计算方法,研究了煤矿巷道开挖碰到含高压瓦斯、 H_2S 气体构造破碎带的情况,首次将管棚支护技术与帷幕注浆法相结合,确保安全掘进的技术措施。并将研究成果应用于四川龙滩煤矿 +450 回风石门的掘进,取得了成功。

关键词: 高压气体; 破碎带; 管棚; 帷幕注浆法

中图分类号: TD353 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)11-0072-04

Application Study of Pipe Roof Curtain Grouting Method in Having High Pressure Gas Tunneling/WU Zhang (Xi'an Branch of China Coal Research Institute, Xi'an Shaanxi 710054, China)

Abstract: Curtain grouting method is a mature technology applied to block up the underground water in tunneling. But it was applied to block up the high pressure gas what is very seldom. Driving the coal mine tunnel in fracture zone where having vast high pressure gas (CH_4 and H_2S) was research. On the basis of studying existing research achievements, the calculating method of Hydraulics safety thickness was applied to count the critical safety thickness. The technique combined the pipe roof technic and curtain grouting method and assured the tunneling safety. This research achievement was triumphantly applied tunneling at +450 wind road, Sichuan province Longtan coal mine.

Key words: high pressure gas; fracture zone; pipe roof; curtain grouting method

注浆技术是一项实用性很强、应用范围很广的工程技术,它是用液压、气压或电化学的方法把某些能很好地与岩土体固结的浆液注入到岩土体的孔隙、裂隙中去,使岩土体成为强度高、抗渗性好、稳定性高的新结构体,从而达到改善岩土体的物理力学性质或者防渗等特殊要求的目的。

注浆技术的发展已有百年历史,20 世纪 40 年代,注浆技术的研究和应用进入了一个鼎盛时期,水泥浆材和各种化学浆材相继问世,注浆技术的应用范围及规模越来越大。我国注浆技术的研究和应用于 50 年代初开始起步,经过 40 多年的发展,在注浆技术方面已取得了较大进展,注浆应用的领域逐渐扩大到水利、建筑、铁路和矿业等多个领域。

在煤矿建设中,注浆技术应用极为广泛,主要应用于巷道支护、底板隔水层加固、出水点的封堵等。张灿等曾采用注马丽散的方法掘进通过高瓦斯压力的断层^[1],运用注浆技术封堵有害气体,解决了掘进难题。

1 问题的提出

2007 年 4 月,四川龙滩煤矿在矿井 +450 回风

石门的掘进工作面遭遇富含高压、大储量、高浓度的瓦斯和 H_2S 气体的重大地质构造,巷道掘进工作严重受阻。为了矿井建设的顺利进行,在超前地质钻探勘查的基础上,对该构造带实行了注浆加固、封堵高压有害气体的治理研究工作。首次综合运用管棚支护技术与帷幕注浆技术,解决了煤矿井下巷道掘进穿越含高压瓦斯和 H_2S 气体构造带的技术难题。经过细致地研究和精心地组织施工,2007 年 10 月下旬安全通过该富含高压瓦斯和 H_2S 气体的构造带。

2 地质条件及勘查结果

井田位于华蓥山腹部,地貌表现为山脊脊部宽缓,一般标高 1050 m 左右,向东、西两侧低下,龙王洞背斜东翼飞仙关组三段隆起,构成井田地表分水岭,最高点标高 1092.81 m,最低点标高 364.20 m,属中山~中低山地形,中等切割区。井田长 11.3 km、宽 2.8 km,面积 30.26 km²。含煤地层为二叠系,含煤两层,仅 K1 煤层可采。井田出露最老地层为二叠系上统长兴组,最新地层为三叠系中统雷口坡组。

收稿日期:2009-05-27; 改回日期:2009-10-15

作者简介:吴璋(1973-),男(汉族),陕西富平人,煤炭科学研究总院西安研究院高级工程师,钻探工程、岩土工程专业,硕士,从事煤矿井下钻探技术研究、岩土工程及注浆技术研究和施工工作,陕西省西安市雁塔北路 52 号,wzh7318@126.com。

+450回风石门位于龙王洞背斜西翼,地层属于二叠系茅口组灰岩。该组灰岩上部为灰、浅灰色厚层状粉晶灰岩,质地坚硬、致密,局部含燧石,层厚16.36~36.55 m,其顶部10 m内裂隙较发育,岩心较破碎,方解石呈树枝状、网状;中部为深~黑灰色中厚层泥质灰岩夹灰质泥岩,层厚8.43~38.81 m,富含生物碎屑, H₂S含量高,乃至隔数月敲打岩心仍具浓愈的臭味;下部为棕灰色、灰色粉晶灰岩,含燧石结核及方解石脉。该组灰岩位于煤层底板,上距K1煤层4.45 m。井田内未出露,埋藏较深,为一封闭式、富水性中等的岩溶裂隙含水层。其地下水位标高905.52~709.08 m,据单孔水位观测,地下水位受构造控制,地下水以背斜轴为分水岭,流向东、西翼,其中西翼水力坡度大,水位变化规律明显,东翼水力坡度小,水位变化规律性不强。

为探明回风石门构造带的宽度及影响范围、瓦斯和 H₂S 的含量及压力,共在回风石门施工超前地质勘探孔5个,其中上仰孔3个、近水平孔1个、下斜孔1个。上仰孔控制范围直达煤层,下斜孔控制范围为+450回风石门以下25 m。5个孔钻进过程中均明显钻遇两个岩体破碎的裂隙构造带,且构造带内均含有高压瓦斯和 H₂S 气体,发生喷孔现象。在第二构造带内高压瓦斯和 H₂S 气体喷孔严重,造成钻孔无法继续施工,构造带宽度不详。目前矿头位置距第一裂隙构造带影响边缘5 m左右。

钻孔孔口实测 H₂S 气体浓度最高达1300 ppm,瓦斯浓度97%,气体喷出压力最高达3 MPa,单孔瓦斯涌出量最大达20 m³/min。2007年4月9日夜开始对此处瓦斯进行抽放,抽出瓦斯混合量为15 m³/min左右,纯量5 m³/min左右,累计抽出瓦斯21万 m³,抽出的 H₂S 浓度200 ppm,抽出纯 H₂S 量130 m³。抽放一个月后,瓦斯和 H₂S 浓度和流量未见明显的变化。

3 注浆帷幕研究与方案设计

3.1 注浆帷幕研究

3.1.1 管棚帷幕预注浆

巷道、隧道等地下工程在其建设过程中穿越断层、破碎带等地质构造时,经常出现坍塌、涌水、气等现象而影响正常的施工进度。为保证巷道安全通过构造带,必须进行预注浆封堵及加固处理。管棚帷幕注浆法就是在巷道、隧道等地下工程施工断面周围均布超前注浆孔并在钻孔中安设钢管,通过管棚预注浆将破碎岩土体进行固结,从而起到加固破碎

岩土体及封闭水、气于帷幕外的作用。龙滩矿由于探测出存在破碎构造带,故在帷幕注浆的同时,为确保掘进的安全,设计采用了管棚帷幕注浆。

3.1.2 管棚注浆法作用机理^[2,3]

管棚帷幕作用机理有两类:一是梁拱效应,管棚因前端嵌入周围岩土体中,露出端架设在巷道支撑上,从而在巷道周边形成一组纵向支撑梁,并承担其上部地压、抑制变形;二是强化土体效应,由管棚管注入的浆液经孔壁挤入围岩裂隙内,固化围岩,从而提高洞室围岩土体的弹模和强度。通过分析研究以往经验,管棚在软弱土体内其作用机理为前者;而在岩体内上部荷载主要由注浆固结体承担,管棚更多是起到分散上部荷载的作用。

3.1.3 帷幕注浆孔的布设及结构

管棚注浆工程,管棚注浆孔一般只布置在巷道、隧道等地下结构的拱顶部位,两帮及洞底基本不用布置(龙滩矿+450回风石门由于存在高压瓦斯与 H₂S 气体,基于安全考虑两帮及洞底也布置了管棚注浆孔)。管棚帷幕注浆法中的管棚注浆孔要求沿巷道开挖轮廓四周,间隔一定的间距,沿洞轴以一定的外插角呈外插状环形分布。管棚管起双重作用:一是起超前管棚作用;二是起注浆管的作用。管棚帷幕注浆通常采用单排布置,孔间距取30~50 cm,孔深主要根据破碎带的宽度及施工难度确定。注浆孔结构一般分两部分,注浆孔前端设孔口管并用高强度水泥砂浆固定,其长度根据注浆压力确定;孔口管后孔径视管棚管直径确定。

3.1.4 浆液扩散半径^[4,5]

浆液扩散半径 R 是一个重要的参数, R 值可进行理论估算。

$$R = \sqrt[3]{3khr / (\beta n)} \quad (1)$$

式中: R ——浆液扩散半径, m; k ——渗透系数, cm/s; h ——注浆压力, Pa; r ——灌浆孔半径, m; t ——凝固时间, h; β ——水与浆液之间粘度比; n ——空隙率, %。

3.1.5 安全厚度校核计算

临界安全厚度计算公式:

$$M_L = L(\sqrt{\gamma_r^2 + 8K_p H_p} \pm \gamma_r L) / (4K_p) \quad (2)$$

式中: M_L ——能够阻隔压力 H_p 的临界安全厚度, m; γ_r ——岩层岩石容重, t/m³; K_p ——岩层抗张强度, kN/m²; H_p ——实际水、气压力值, kN/m²; L ——巷道空间顶、底宽, m。

式中 \pm 的选择: + 为顶板计算采用, - 为底板计

算采用。

3.1.6 防喷封孔器的设计研究

由于地层中含有高压瓦斯和 H_2S 气体,管棚和注浆孔施工过程中肯定会发生喷孔现象,特别是在

构造破碎带施工必须选用能够防止意外喷孔的封孔器。在本项目的研究中我院设计生产了一种新型水气害探治防突封孔装置(见图1),成功地解决了意外喷孔的危害。

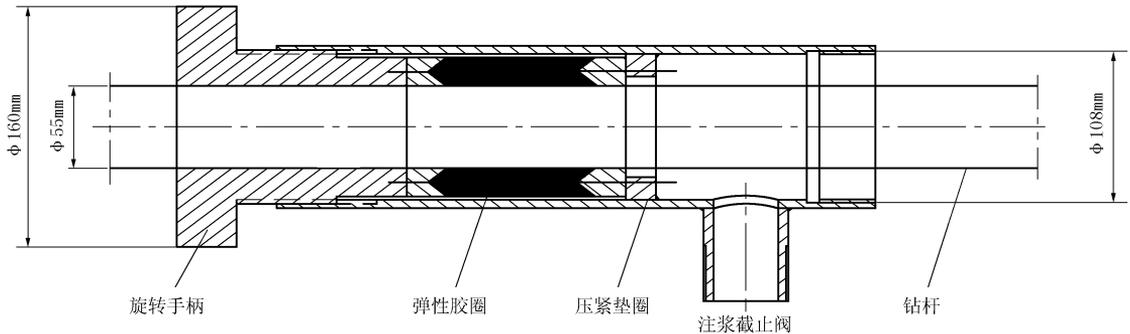


图1 水气害探治防突封孔装置示意图

该防喷封孔器操作简便合理,以机械原理工作,由旋转手柄、弹性胶圈及压紧垫圈组成。工作时通过旋转手柄向压紧垫圈施加外力并传递给弹性胶圈,从而使耐压胶圈和钻杆完全密闭。在施工过程中突然发生喷孔现象时,不用退出钻杆,通过旋转手柄就可轻松关闭封孔器,从而实现封堵高压水、气体从孔内喷出。实践证明该防突封孔器具有拆卸简便、封孔密实、耐压好、耐用性好的特点。

3.2 方案设计

根据龙滩矿现有地质资料,综合考虑地层压力、水压、瓦斯和 H_2S 气体压力,龙滩矿 +450 回风石门过含高压瓦斯和 H_2S 构造带采用管棚帷幕预注浆的治理方案,具体施工方案示意图见图2。

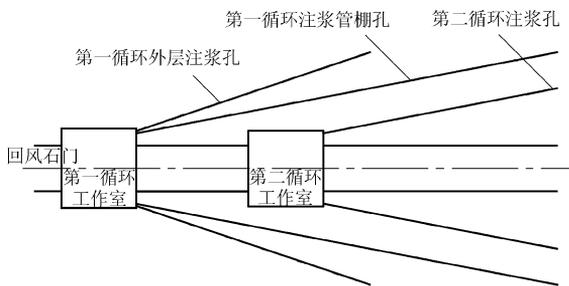


图2 +450 水平回风石门管棚帷幕注浆孔施工剖面示意图

3.2.1 管棚帷幕注浆孔布置及技术参数

与一般管棚注浆不同,本项目除进行巷道围岩加固外还有另一项重要目的即封堵高压瓦斯和 H_2S 气体。综合考虑地层情况及治理效果,采用分循环、长短结合的治理方案。全部工程分2个循环进行,每个循环均设内外2层。第一循环内层为管棚注浆孔、外层为补强注浆孔。第二循环内层布设补强注浆孔,外层为第一循环的内层管棚注浆孔。内外两

层呈梅花状布置,从而保证帷幕加固圈严密可靠。

3.2.1.1 第一循环内层管棚注浆孔技术参数

布孔方式:全断面布孔

数量:56个

孔深:45 m

间距:直线段 40 cm、弧线段 7°

外插角: 9°

管棚管:直径 50 mm、壁厚 4 mm 无缝钢管

3.2.1.2 第一循环外层补强注浆孔技术参数

布孔方式:全断面布孔且与内层管棚注浆孔呈梅花形布置

数量:58个

孔深:25 m

间距:直线段 40 cm、弧线段 7°

外插角: 15°

3.2.1.3 第二循环补强注浆孔技术参数

布孔方式:全断面布孔

数量:56个

孔深:25 m

间距:直线段 40 cm、弧线段 7°

外插角: 9°

3.2.2 注浆技术参数

注浆压力:孔口压力控制在 5 MPa

浆液水灰比:(0.8~1.2):1

浆液扩散半径:2 m

安全厚度:顶板 4.06 m,底板 3.91 m

结束标准:单孔注浆量 $\geq 10 m^3$

注浆压力 $\geq 5 MPa$

3.2.3 施工顺序

为保证注浆形成的帷幕固结体严密可靠,管棚

帷幕注浆施工顺序为先内层后外层,具体部位施工顺序为先底板,后两帮,最后拱顶。施工要求间隔交叉进行,从而减小钻探对原始平衡的扰动及窜浆、漏浆现象。

3.2.4 效果检验标准

单孔瓦斯和 H_2S 涌出量: $\leq 2 \text{ m}^3/\text{min}$

检验注浆厚度:顶板 $\geq 4.06 \text{ m}$ 、底板 $\geq 3.91 \text{ m}$

3.2.5 信息化施工设计

信息化施工一般指根据工程施工过程中揭露的实际地质情况,对设计、施工进行反馈调整,从而达到最佳设计和施工效果的新型施工技术。煤矿巷道过断层管棚注浆施工较为危险,且前期获得详细工程地质条件非常困难,所以采用信息化施工技术来优化治理效果就尤为重要。管棚帷幕注浆工程信息化施工应遵循设计—施工—设计优化—施工的流程。

4 治理施工

根据第一循环内层管棚注浆钻孔探明的构造带地质资料和注浆结果,将原设计方案进行如下调整:

(1)减少工程量。根据第一循环内层管棚注浆孔揭露地层情况,由于地层情况比初期预想的情况好,经研究验算,取消第一循环外层补强注浆孔及第二循环内层补强注浆孔,两个循环合并为一个循环执行。

(2)增加工程量。为消除注浆搭接范围的盲区,在第一循环内层巷道底角各增加一个管棚注浆孔。

本项目从2007年7月中旬进行施工设计,2007

年8月1日正式开工,第一循环内层管棚帷幕注浆工作于10月底结束。

注浆完成待强后,施工了2个小孔径裸孔取心检查孔,检查孔的主要目的为检查巷道开挖断面内气体涌出量、压力及注浆保护层厚度。钻探结果表明,检查孔内无气体逸出。

5 结语

龙滩煤矿巷道建设中遭遇的富含高压瓦斯和 H_2S 构造带问题在四川省乃至整个西南省份具有较典型的代表性。管棚帷幕注浆的方法在浅埋暗挖工程中应用较多,但在煤矿井下应用较少、难度较大,尤其作为封堵高压瓦斯、 H_2S 等有害气体的治理案例在国内未见报道。龙滩煤矿+450回风石门断层管棚帷幕注浆工程的成功实施证明该方法在大埋深的煤矿巷建中也是切实可行的,既解决了施工中的有害气体问题,同时也解决了破碎带的支护问题。该项目取得的成功为煤矿巷道建设提供了一种新型的支护方法,同时也是一种新型的瓦斯防治方法。

参考文献:

- [1] 张灿,赵宏志.高瓦斯条件下过断层技术及其应用[J].能源技术与管理,2007,(2):25-26.
- [2] 周顺华.软弱地层浅埋暗挖施工中管棚法的棚架原理[J].岩石力学与工程学报,2005,(7).
- [3] 王晋峰.预注浆管棚超前加固治理隧道塌方技术[J].山西建筑,2007,(8).
- [4] 煤炭科学研究院建井所注浆室.煤矿注浆技术[M].北京:煤炭工业出版社,1978.
- [5] 岩土注浆理论与工程实例协作组.岩土注浆理论与工程实例[M].北京:科学出版社,2001.

(上接第51页)

成桩的其他工序。全场钻孔灌注桩全部以此标准程序和要求进行施工。

这种施工方式使得设备搬迁较为频繁,往复跳跃施工,加之后续的大泵量换浆、下钢筋笼、浇注砼等工序需要紧凑配合跟进,劳动效率要求很高,这对现场施工组织工作提出了很高的要求。基于此,我们把工地施工设备以施工钻机为单位,分成几个施工小组,为每一个施工小组专门配备一台吊车,以方便施工调度,提高施工效率,使得设备搬动及浇砼等工序能顺利衔接,顺畅施工。

6 效果

钻孔灌注桩工程全部施工完毕后再次进行了检

测。检测结果为全部钻孔灌注桩桩身规则完整,成桩质量优良,完全达到了工程设计单位和国家相关规范的要求。对于我们施工的钻孔灌注桩工程质量,甲方极为满意。

施工效果证明我们的分析及采用的施工措施是正确和妥当的。采用“跳打法”施工膨胀土地层钻孔灌注桩,掌控好相应的施工顺序和时间节奏,是能够解决好膨胀土地层由于粘土膨胀而导致的钻孔灌注桩缩径问题的。

参考文献:

- [1] GB 50021-2001,岩土工程勘察规范[S].
- [2] DB 29-20-2000,岩土工程技术规范[S].
- [3] JGJ 94-94,建筑桩基技术规范[S].
- [4] JGJ 79-2002,建筑地基处理技术规范[S].