

关于地铁盾构区间煤矿采空区注浆法处理施工技术研究

龙李锋

中交隧道工程局有限公司 江苏南京 211000

摘要: 南航新村站~新市墟站盾构区间属嘉禾三井田, 据煤矿采矿总结报告资料揭示, 矿井生产在浅部进行时, 瓦斯涌出量数值很低, 随着矿井生产不断延深发展, 瓦斯相对涌出量数值也越来越大, 矿井瓦斯相对涌出量在 0.96 ~ 25.5 方/吨, 对地铁施工和未来地铁运营带来较大安全风险, 故对于煤矿采空区的处理施工技术研究尤为重要, 可为以后地铁区间煤矿采空区处理积累宝贵经验。

关键词: 煤矿; 瓦斯; 涌出量; 地铁施工; 地铁运营; 采空区

Research on construction technology of grouting treatment of goaf in coal mine in metro shield section

Lifeng Long

China Tunnel Engineering Co., LTD, Nanjing 211000, China

Abstract: The shield interval between Nanhangxincun Station and Xinshixu Station belongs to the Jiahe 3 mine field. According to the data of the coal mining summary report, the gas emission value is very low when the mine production is carried out in the shallow part. With the continuous development of the mine production, the relative gas emission value is also increasing. The relative gas emission of the mine is 0.96~25.5 m³/t, which brings great safety risks to the subway construction and future subway operation. Therefore, it is particularly important to study the treatment and construction technology of coal mine goaf, which can accumulate valuable experience for the future treatment of coal mine goaf in metro section.

Keywords: Coal mine; Gas; Emission; Subway construction; Subway operation; Goaf

一、引言

煤层遇水易软化, 较松散, 不稳定, 构造软煤易活化, 普遍受到水流活化作用, 风化成软塑状, 煤层的分布直接影响了轨道面的稳定; 煤矿采空区的平面分布非常密集, 导致地层岩芯整体较为破碎, 受采动影响较大; 采空区可能与导水断裂带连续性较好, 破碎带和采空区巷道形成汇水通道, 在盾构施工时会存在突水的风险; 煤层瓦斯存在爆炸的风险, 对地铁施工运营影响较大。后续地铁施工、运营形成的动载会进一步加快不稳定煤层采空区的活化, 故必须对煤矿采空区进行科学的处理, 确保盾构施工期间及后续地铁运营安全。

二、工程概况

从南航新村~新市墟区间揭露的煤层特征来看, 煤层岩层遭受强烈的变形缺失破坏, 形成了典型的构造软煤,

呈叶片状、片状及粉末状结构, 呈现较多的小擦痕及挤压面, 煤显示不出原生层理, 煤层原生结构无法保存, 煤层稳定性较差。

区域煤矿发生过瓦斯爆炸, 井田构造及其发育程度往往是控制煤层瓦斯赋存状态的重要因素, 地下工程建设极有可能对应力、裂隙场及流体系统造成扰动, 采空区影响带内的岩土体裂隙场及地下水、瓦斯流体系统可能对工程建设产生较大的影响。松软煤包中瓦斯含量较高, 且异常涌出严重, 生产过程中, 一旦受工程揭露振动时, 采动应力增大, 瓦斯压力升高, 容易发生煤与瓦斯突出事故。

三、施工工艺技术

(一) 拟治理采空区范围

1. 采空区埋深 $\leq H$: 隧道边线外6m (如采空区巷道与隧道平行或交角较小, 且巷部分位于6m处理范围内, 则整条巷道均需处理)。

2. $H <$ 采空区埋深 $\leq H+10m$: 隧道拱腰3、9点位向

作者简介: 龙李锋, 1991年2月, 男, 工程师, 大学本科, 主要从事地下工程与盾构施工技术研究。

下45°范围线所包围的区域。

3.H+10m<采空区埋深≤55m: 隧道拱腰3、9点位向下45°范围线与隧道底以下10m分界线点垂直向下延伸至地面以下55m地层分界线所包围的区域。

注: H为隧道底埋深。

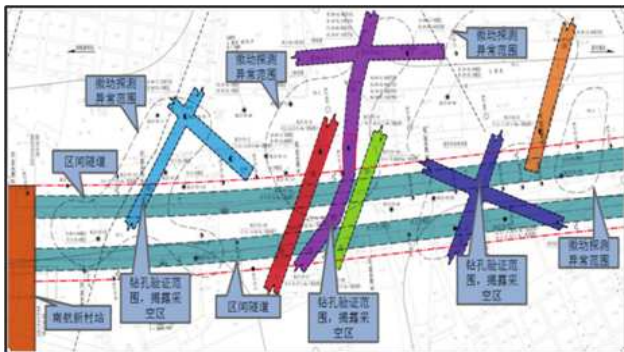


图 3.1-1 微波探测异常区域及采空区分布

根据采空区专项勘察报告采空区分布范围为: 左线 ZDK18+349.800~ZDK18+620.000 长约 270m, 区间右线里程 YDK18+349.800~YDK18+615.000 长约 265m, 深度可

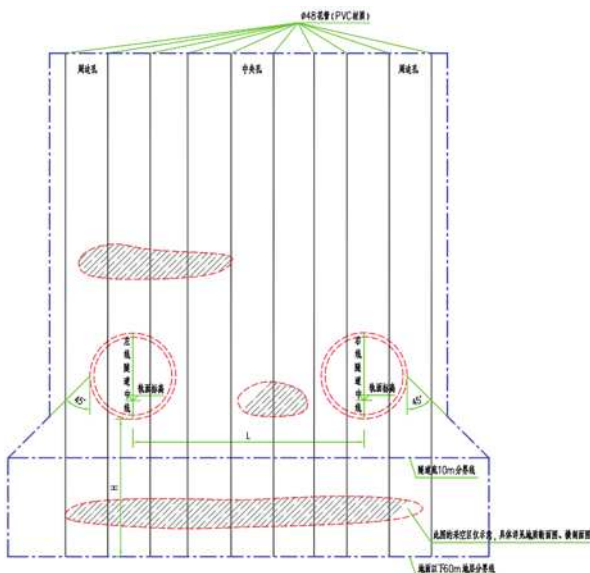


图 3.1-2 采空区处理范围剖面图

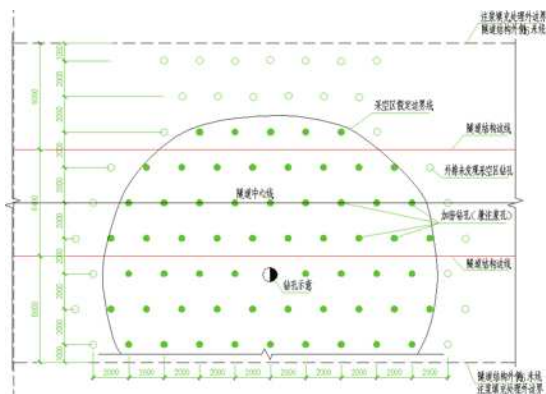


图 3.1-3 加密钻孔平面布置示意图

达地面以下55m。探测异常的6个区域, 按处理范围原则, 南新区区间共计10个钻孔揭露的采空区位于处理范围内, 分别为: NX-143、NX-16、NX-148、NX-159、NX-18、NX-60、NX-150、NX-70、NX-22、NX-160。

(二) 采空区治理方案设计

1. 采空区治理范围及治理思路

依据对物探异常及钻探验证后的情况分析, 初步判断采空区的形态为“小土洞”的形式, 联通性较差, 同时区域内的也可能存在勘察盲区, 故采空区治理治理的第一原则为“动态设计、动态调整”原则, 即钻孔的布置和注浆的形式, 根据现场实际情况进行动态调整。整体注浆分三部分:

第一部分: 在隧道外侧6m处设置一排间距2m的注浆孔(为结构边界外的帷幕钻孔), 注双液浆封边, 孔间距可以根据相邻钻孔联通情况做适当调整(如采空区巷道与隧道平行或交角较小, 且巷部分位于3m处理范围内, 则整条巷道均需处理), 采空区巷道范围根据现场情况向结构线外增加钻孔注双液浆封边, 确保巷道充填完整;

第二部分: 区间隧道范围采空区治理区域, 设置一排或2排间距为4m的注浆孔, 注单液浆。施工期间, 根据钻孔掉钻、串浆情况及时调整孔间距, 满足治理效果要求;

第三部分: 二级治理范围治理区域, 排间距、孔间距为4m*4m。若新发现采空区, 则采用2m×2m的钻孔进行探边, 同时利用钻孔进行注浆处理。

2. 整体控制注浆

第一对隧道结构两侧边缘进行钻孔注浆, 以形成注浆帷幕, 减少浆液流失; 第二在区间隧道范围采空区治理区内隔孔注浆施工, 对采空区进行充填; 最后对结构内部充填区域的钻孔进行注浆, 对前期钻孔注浆效果进行检查, 同时对采空区进一步填充, 以达到整治效果。施工采用探注结合的方式。

根据详勘及采空区专项勘察报告, 采空区基本处于充填状态, 拟先采用φ48袖阀管注浆处理, 根据钻孔和注浆情况再决定是否采用φ220灌注水泥砂浆。

(三) 注浆钻孔设计

1. 隧道结构两侧注浆钻孔设计

该区域分为左线结构线外围6m、右线结构线外围6m两个治理区域, 钻孔间距2米, 暂定布置338个钻孔。为保障注浆效果, 实现多次扫孔注浆, 注浆钻孔若无掉钻, 钻孔直径Φ90~133mm, 下入φ48*4.5mmPVC袖阀管或Φ70~Φ127mm套管, 若掉钻且大量漏失, 钻孔直径为Φ194~216mm, 下入φ220*8mmPVC袖阀管或Φ127~200mm套管。

2. 区间隧道范围采空区治理钻孔设计

区间隧道范围已探明的采空区共计有6个区域，在各区域布置孔间距4m的一排钻孔，施工期间，根据钻孔掉钻、串浆情况及时调整孔间距，满足治理效果要求。为保障注浆效果，实现多次扫孔注浆，注浆钻孔若无掉钻，钻孔直径 $\Phi 90 \sim 133\text{mm}$ ，下入 $\phi 48*4.5\text{mm}$ PVC袖阀管或 $\Phi 70 \sim \Phi 127\text{mm}$ 套管，若掉钻且大量漏失，钻孔直径为 $\Phi 194 \sim 216\text{mm}$ ，下入 $\phi 220*8\text{mm}$ PVC袖阀管或 $\Phi 127 \sim 200\text{mm}$ 套管，暂定布置51个钻孔。

3. 二级治理范围钻孔设计

二级治理范围治理区域，共分四个区域治理，各区域梅花形布孔，排间距、孔间距为 $4\text{m}*4\text{m}$ 。针对老窿采空区赋存不规则的特征，施工期间，若发现新的采空区，则采用 $2\text{m}*2\text{m}$ 钻孔进行探边，同时利用钻孔进行注浆处，避免浆液浪费。暂定布置125个钻孔。为保障注浆效果，实现多次扫孔注浆，注浆钻孔若无掉钻，钻孔直径 $\Phi 90 \sim 133\text{mm}$ ，下入 $\phi 48*4.5\text{mm}$ PVC袖阀管或 $\Phi 70 \sim \Phi 127\text{mm}$ 套管，若掉钻且大量漏失，钻孔直径为 $\Phi 194 \sim 216\text{mm}$ ，下入 $\phi 220*8\text{mm}$ PVC袖阀管或 $\Phi 127 \sim 200\text{mm}$ 套管。



图4.3.3-1 钻孔平面布置图

(四) 注浆设计

1. 注浆工艺

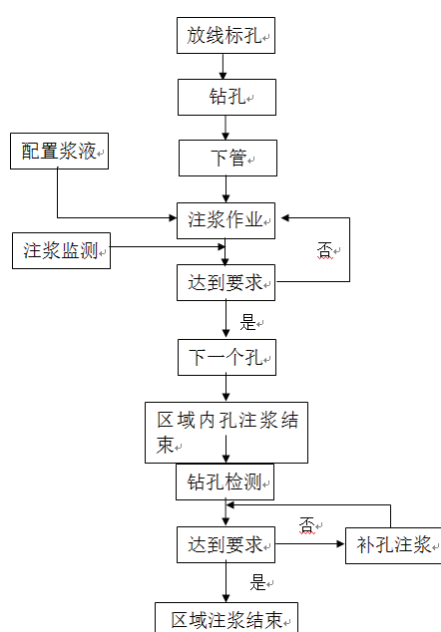


图3.4-1 注浆工艺流程图

采用边界帷幕拦截、分区多次、材料差异化、低位花管、必要时采用布袋注浆等注浆工艺，工艺步骤：施放孔位——钻探成孔——下注浆管——浇筑水泥砂浆封孔——充填浆液的配置——安装注浆加压系统——进行注浆施工。

2. 注浆施工顺序

(1) 钻孔应采用“分区域，分序次、间隔”的原则进行。每个区域按照“先进行外围低位钻孔施工——后内部高位钻孔施工的原则进行”。分序间隔施工，一序次孔对采空区可以起到补勘的作用，根据实际地层及采空区情况对后序孔的孔位、孔距、孔数进行适当调整，弥补均匀布孔的不足。

(2) 注浆应采用“间隔式、分次序”的原则进行，一次序孔浆液可能扩散范围较大，二序孔将使前序次未充填的区域得到再次充填，从而提高充填率。

(3) 若同一序孔之间串浆，则可取消相应之间的后序孔施工。同一次序钻孔施工应遵循先产状低后产状高的原则进行施工。同一区域不同次序的孔，在前一次序的孔全部注浆完成后，方可进行后一次序孔的钻孔施工。

3. 注浆材料

注浆材料的选择根据不同注浆位置、环境及用途的不同，选择不同的材料。

(1) 隧道结构两侧钻孔

1) 水泥水玻璃双液浆

周边孔以相对小压力、多次数、较大量控制，压力 $0.6\sim 0.8\text{MPa}$ ，注浆次数以现场实际情况确定。

配比为水泥：水：水玻璃=1：1.38：0.3（质量比），水泥采用42.5级普通硅酸盐水泥，水玻璃模数 $m=2.4\sim 3.4$ （浓度 $Be=30\sim 40$ ），具体配比根据现场试验确定。

2) 改性高固相水泥-水玻璃双液浆

高固相“水泥-水玻璃”双液浆是土层压密注浆、采空区快速充填有效材料，常规水泥-水玻璃浆液存在结石体耐久性差的问题，水泥-水玻璃浆液结石体耐久性差是因为其凝胶固化主要是靠硅酸钠中的硅酸根和水泥水化产生的Ca发生反应生成C-S-H凝胶来维持。而水泥中钙的含量是固定的，其水化生成的氢氧化钙以及硅酸钠与氢氧化钙反应的量也是一定的，因此过多硅酸钠对结石体的强度无益，反而可能会使体系稀释而导致强度下降。这是因为C-S-H凝胶需要高碱性才能维持其稳定存在，NaOH的溶出会导致C-S-H凝胶分解，导致结构体破坏。当灌浆材料处于干燥条件下时，硅凝胶会脱水，结石体体积收缩产生裂纹，造成结石体粉化。建井院研发的改性水泥-水玻璃双液浆具有凝结时间段，水下抗分散能力强，且耐久性好等优点，在上海等淤泥质土、煤矿富水采空区注浆效果良好。

3) 塑性早强浆液

塑性水泥浆是在单液水泥浆的基础上, 添加复合外加剂配制而成, 添加剂主要包括无机速凝剂及高分子改性剂。通过添加复合外加剂, 提高水泥浆的悬浮稳定性, 大幅减小浆液析水率, 提高结石体的抗分散能力和早期抗压强度, 改善浆液的流变特征, 实现浆液扩散距离可控。适用于采空区帷幕孔注浆、水下浆液快速凝固化。

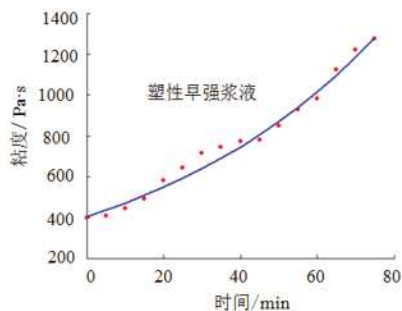


图 3.4-2 塑性早强浆液浆液黏度曲线

(2) 区间隧道范围采空区及二级治理范围区域注浆材料的选择

区间隧道范围采空区及二级治理范围区域钻孔注浆浆液主要为单液水泥浆, 水灰比为 0.8-1.5, 浆液配比如下:

表 3.4-1 单液水泥浆配比表

序号	配比	总体积 (m ³)	水泥质量 (Kg)	水的质量 (Kg)	密度 (g/cm ³)
1	0.8: 1	1	895	716	1.61
2	0.9: 1	1	821	739	1.56
3	1: 1	1	759	759	1.52
4	1.2: 1	1	659	791	1.45
5	1.5: 1	1	550	825	1.38

4. 注浆量估算

通过勘察报告成果中边界探孔、取芯形成的包络图, 依据《广州地铁建设管理有限公司轨道交通建设工程煤炭采空区处理管理办法》要求, 预估注浆总量为 5656m³, 单液水泥浆 3656m³、水玻璃水泥双液浆 1900m³, 砂浆 100m³, 为达到预期注浆效果, 单孔注浆量需达到注浆结束标准, 实际注浆量以注浆钻孔达到治理效果为准。

5. 注浆终止及封孔

注浆压力达到 0.3MPa~1MPa, 持续注浆超过 10~15min 或注浆孔周围有冒浆现象出现时, 终止注浆。

注浆结束后, 为了防止雨水通过钻孔进入地层, 造成塌方、塌陷等现象, 通过孔口带压封孔装置对钻孔注水灰比 0.6: 1 单液水泥浆, 添加 0.5% 氯化钠早强剂进行封孔。

6. 注浆加固效果检查

(1) 检查方法

采取钻探取芯配合原位标贯试验、压浆试验的综合检测方法。

1) 钻孔取芯法, 观察溶(土)洞的充盈程度及水泥结石情况, 并做抗压试验, 要求 28d 无侧限抗压强度 $\geq 0.2\text{MPa}$;

2) 采用随机原位标贯试验, 28d 标贯击数应不小于 10 击, 标贯值达到“坚硬”状土为优, “硬塑”状土为合格。

(2) 检测原则和数量

1) 检验性钻孔不应少于注浆孔总数的 5%, 且不少于 3 个孔;

2) 每孔加固块取样试件个数不少于 3 件;

3) 每个采空区均要检测一次;

4) 按 1% 孔数抽查, 且不小于 3 点, 要求每个采空区要检测一次; 对复杂场地或重要建筑岩溶地基应增加检测点;

5) 质量检查孔的压浆检查工作应在区域灌浆结束 7d 后进行。

四、结论

(1) 煤矿采空区现场处理完成后, 盾构顺利安全穿越该区域, 且后期隧道变形监测稳定, 一定程度上保证了周边环境安全及后续地铁运营稳定, 体现了煤矿采空区处理技术的安全性、适用性;

(2) 选用高固相水泥-水玻璃浆液, 在提高注浆充填效果的前期上, 一方浆液可节约 300L 水玻璃; 选用水泥-粉煤灰浆液可满足检测要求, 降低纯单液水泥浆水泥用量约 400KG/m³; 采用塑性早强浆液+布袋注浆等工艺, 有效控制帷幕钻孔及联通老窿注浆浆液扩散距离, 避免浆液浪费, 可在设计注浆量范围内完成好设计区域内采空区充填工程。

南航新村站-新市墟站煤矿采空区处理方案为后续盾构区间煤矿采空区处理施工具有一定的借鉴意义, 但采空区的客观条件变化也会导致处理方案的改变, 关于煤矿采空区的处理, 从处理技术研究的安全性、适用性、经济性和先进性出发, 仍具有相当大的研究空间和意义。

参考文献:

[1] 刘强, 刷国权. 谈铁路经过煤矿采空区的施工处理[J]. 山西建筑, 2013 年 11 期.
[2] 郭俊杰. 注浆法在煤矿采空区处理中的应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2020, (第 4 期).
[3] 于连顺, 王宗, 常红帅, 刘丽. 注浆法在煤矿采空区处理中的应用[J]. 土工基础, 2016, (第 2 期).
[4] 董军. 深层煤矿采空区处理工程关键施工技术研究[J]. 甘肃水利水电技术, 2013, (第 4 期).