

济南章丘某建筑项目采空区地基处理施工与检测

袁洁

济南市公园发展服务中心

摘要：济南市章丘区存在较大范围的矿井和巷道，随着我国城镇化建设的不断推进和城市的扩容，在采空区上开发和建设的需求日益增多。通过采空区勘查分析评价场地稳定性和拟建工程建设适宜性，采空区地基常需进行治理。本文论述了章丘区某建筑项目采空区地基注浆遵循“分序间隔灌注”的原则及全孔一次性注浆的方法进行施工，并对注浆过程中出现采空区治理塌孔现象提出的优化解决方案，通过治理后的检测结果表明，该注浆填充效果良好，场区注浆后无不良异常现象，与物探、钻探检测结果相吻合，已基本消除了场区内地基稳定性的隐患，达到了预期设计目标，可为类似工程项目提供借鉴。

关键词：采空区；地基处理；施工检测

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.16.088

一、采空区勘察成果

（一）场地地质条件

根据《山东省淄博矿务局埠村煤矿3号井精查补充勘探地质报告》等资料搜集图1-1、图1-2，某工程场地位于章丘煤田埠村煤矿3号井采矿边界附近，开采煤层为9-2煤，10-1及10-3煤层未采，9-2煤层底板标高约0-50m，煤层厚0-1.96m，平均厚度0.98m，可能存在煤矿采空区。

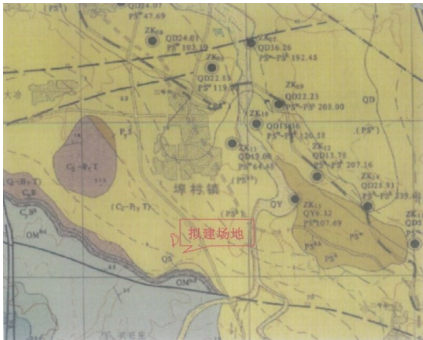


图 1-1 区域地质图

（二）勘查措施

为了查明本场地采空区的分布范围和覆存特征，委托勘察单位承担本项目的采空区勘察工作，通过资料搜集并进一步分析和研究，结合项目场区内的地质条件，投入高密度电法、微重力及地质钻探三种勘探手段，完成本次采空区勘察工作。

（三）采空区治理结论与建议

结论：本次采空区勘察结果，拟建场地位于埠村煤矿3号井田采矿边界附近，存在9-2煤层采空区，产状为 $29^{\circ} < 27^{\circ}$ ，采厚约1.0-1.6m，采空区底板埋深约70-110m，相应标高约40-80m，东北深，西南浅。拟建场地采空区存在空洞，钻探过程中出现掉钻，采空区垮落不充分，对工程建设影响程度大~中等，工程建设对采空区稳定性影响小，工程建设适宜性差，需进行采空区治

理。

建议：设计合理有效的注浆方案，在施工过程中应做好注浆效果自检工作，全部注浆工作结束后应对该场区的注浆效果进行检验，由检验方提交该场地注浆检验合格报告，经检测符合要求后，再进行主体工程施工；再建筑物建设过程中和建成后，按规范要求对建筑物及项目场地进行长期变形监测，以确保建筑物的使用安全。

二、采空区治理方案设计

（一）注浆处理范围

拟建工程地基处理设计等级为乙级，根据《煤矿采空区建（构）筑物地基处理技术规范》（GB51180-2016），注浆治理范围为施工区域内注浆孔及周边一定范围内的帷幕孔。

（二）注浆孔布置

（1）平面布置

根据《煤矿采空区建（构）筑物地基处理技术规范》（GB51180-2016），注浆孔按15m间距采用正三角形布置，在处理边界上按10m间距布置帷幕孔，共布置帷幕孔53个，注浆孔89个，其中包括8个取芯孔（J4/J20/J30/J33/J63/J66/J74/J87），施工时先施工取芯孔，根据取芯孔揭露采空区情况可适当调整相应区域注浆孔深度。



图 2-2 现场取芯

经观察，钻孔取芯的底层现状和勘察报告的钻孔数据接近。

（2）注浆孔深度

注浆孔深度由9-2煤层底板标高确定，处理至煤底板以下3m，根据采空区勘察报告综合成果推断图，治理范围内9-2煤采空区底板标高约30~80m，施工时注浆孔深度根据孔口标高以及设计孔底标高确定，孔深约74~124m。

（三）注浆材料

根据收集资料及钻孔揭露情况，浆液在采空区中流淌范围、方向难以确定，根据采空区注浆治理经验，设计材料及配合比。

注浆浆液原料：水、水泥（P.S.A42.5矿渣硅酸盐水泥）、粉煤灰（二级Ⅱ类）。浆液的主要材料为粉煤

灰,由于粉煤灰黏结性不好,活性差,浆液中必须加一定比例的水泥,以提高充填体的强度和防止震动液化。帷幕孔根据情况可采用较稠的浆液或在浆液中掺入水泥质量2%的速凝剂,使注入采空区的浆液尽快凝固,以形成帷幕,防止浆液流失。

(四) 注浆工艺参数

(1) 注浆孔规格

注浆孔采用开孔直径为130mm,钻孔穿过覆盖层进入完整基岩段5m后(深度约35m),下入 Φ 127mm套管并固管,之后变径为 Φ 91mm,终孔直径为 Φ 91mm。

根据场区地层情况,本次注浆采用 Φ 32mmPPR直管,注浆管底部应下至相应采空区底板以下1.5m的部位,对于空洞的注浆孔,注浆管应下至不高于空洞顶板位置。与注浆管并排下入一根 Φ 32mmPPR直管(排气管应进入完整基岩段不少于3m)作为排气孔,排气管出露地表以上不小于0.5m。钻孔顶部孔壁与注浆管之间,用M10水泥砂浆填充,以封孔并固定注浆管。

(2) 浆液配比

浆液水固比暂按1:1,水泥粉煤灰暂按3:7考虑,可掺加适量减水剂。

在正式注浆前,应先进行注浆实验,包括地下水环境下浆液速凝实验和浆液扩散实验,实验过程中应根据实验结果调整添加剂用量、水灰比及注浆压力等参数,确保达到注浆效果,又有效防止额外的浆液流失,水灰比及添加剂用量根据注浆实验结果确定。

(3) 注浆工艺及相关参数

本方案注浆方法均为全孔一次性注浆。

注浆压力是提供浆液在裂隙中流动、渗透等作用的动力,注浆压力越大,浆液扩散半径越大,结石体强度越高,但压力太大浆液扩散太远,易造成浆液的浪费,一般根据注浆层位的静水压力来计算注浆压力,本工程根据采空区的埋深及覆存特点,设计注浆压力为0.6MPa。各钻孔的注浆压力根据钻孔的实际深度进行调整。

注浆终止条件:灌注终孔压力为注浆压力的1.5倍~2.0倍,注浆压力达到灌注终孔压力后,单位灌注量小于50L/min且稳定15min以上、地面变形严重或地面有冒浆现象出现时,可作为该孔终止注浆标准,最终标准可根据现场试验情况优化调整。

注浆量控制:当单孔灌注量达到设计平均单孔灌注量的80~120%时,灌注压力和单位灌注量均无明显改变,或单位灌注量大于250L/min时,宜调整浆液浓度。

注浆配比调整:注浆孔注浆浆液配比应按先稀浆后稠浆,起压后再灌注稀浆液的原则。

为达到最优的注浆效果,注浆过程中应及时反馈注浆速度、注浆量、注浆压力、地表变形量等数据,根据情况及时调整浆液配比和注浆压力。

(4) 预计注浆工程量

根据本次注浆治理范围和注浆孔布置,结合治理区煤矿采空区采深计算,本次注浆治理注浆孔及帷幕孔设计总工作量142孔/13933m。根据规范建议公式注浆量估算值约为7516m³,单孔注浆量约53m³。

(五) 注浆施工质量控制要求

灌注施工顺序要求:应先施工边缘帷幕孔,后施工中间灌注孔,以形成有效的止浆帷幕;帷幕孔及中间灌

注孔施工时,先施工沿倾向深部采空区的孔,并应采取从深到浅的施工顺序。

钻孔应按次序间隔成孔,成孔过程中应根据前序次注浆孔注浆情况,结合底层及采空区特征对后序次的孔位、孔距、孔数、孔深进行调整;灌注施工顺序应防止浆液无序扩散,并应遵循“分序间隔灌注”的原则。

三、注浆施工及工艺流程

因采空区垮落带于裂隙带的发育程度、连通性和透水性的不确定性,大面积灌注施工前应先进行钻孔工艺性成孔和灌注试验,试验孔数为8个(W17/W27/W49/J2/J18/J48/J53/J72)。

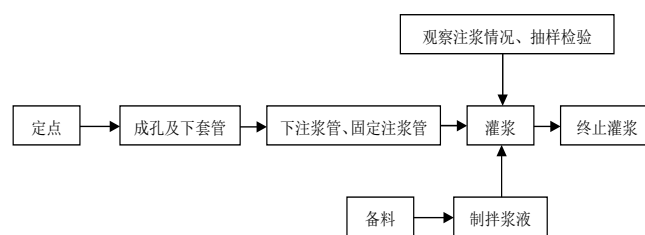


图 3-1 注浆施工工艺流程

采空区治理问题优化方案:

因采空区钻孔出现塌孔问题,套管无法按设计要求下到位。建设单位、设计单位、监理单位、施工单位到施工现场查看注浆孔塌孔问题,对出现塌孔的原因进行研究讨论,对采空区治理塌孔现象的经讨论研究提出两套解决方案,要求施工方按照新确定的方案进行试验治理、并把前期完成的注浆孔进行返工整改。

方案一是成孔后钻杆注浆,注浆时出浆口达到采空区底板,设计注浆压力为0.6MPa,灌注终孔压力为注浆压力的1.5倍~2.0倍,注浆压力达到灌注终孔压力后,单位灌注量小于50L/min且稳定15min以上、地面变形严重或地面有冒浆现象出现时,可作为该孔终止注浆标准,最终标准可根据现场试验情况优化调整。

方案二是分层注浆,注浆孔成孔时,先钻至稳定完整岩层(初步按60m埋深考虑,施工时可按现场实际情况调整),采用重力注浆使浆液注满注浆孔,待浆液初凝后,继续钻进至设计孔深,成孔完成后按原设计方方案下入注浆管、排气管并封孔,注浆方法及终止注浆标准同原设计方方案;

第一套经试验认为可行,目前采用这套方案进行大面积注浆孔工作,第二套方案因本工程工期原因耗时较长,本工程治理施工暂不考虑。

修改方案后的注浆施工,注浆量和终孔压力均符合设计要求。

四、注浆施工后检测

(一) 工后检测要求

采空区地基处理工程质量检验宜在施工结束后3个月后进行。注浆检验工作由第三方实施,并提交通过专家组评审的检验报告。

(二) 工作布置思路

本次工作所布置的高密度电法剖面部分与采空区勘察中剖面相重合,并间隔适当距离均匀布于场地之中。孔内波速和孔内电视于检测孔内进行。此次物探工作皆符合设计要求。

本次采用的检测治理区内地下采空区注浆加固治理

效果的工作方法为高密度电法、孔内波速测试、孔内电视三种物探手段。本次工作共完成高密度电法观测410点，孔内波速测试491m，孔内电视5个。

(三) 检测目的

注浆施工完成后，应委托有资质的检测单位进行注浆效果检测。首先采用综合地球物理勘探进行注浆效果查验，必须选取相同位置的物探剖面线进行治理前与治理后对比分析；并根据物探检验情况布置钻孔验证注浆效果，再根据物探和钻孔验证，结果确定是否需要补充注浆以及采空区治理下一步施工内容。

(四) 检测内容及检测方法：

(1) 检测内容

注浆效果检测内容及方法采空区治理工程的质量监控主要包括2个方面的工作：一是施工过程中的监控，主要是监理工作；二是施工结束后的质量检测工作。采空区注浆治理的监理工作主要从钻孔、制浆、注浆3个环节进行控制，一般在施工过程中完成。采空区注浆施工结束后的质量检验主要包括注浆后采空区充填率分析、充填体强度检验、充填范围检验等内容。

(2) 检测方法及工作原理

目前用于工程质量检验的技术和方法主要有注浆前后物探资料对比分析、钻探取芯及室内试验确定充填体强度、钻孔电视查看孔内裂隙充填状况、地表变形观测等。本次检测采用高密度电法、孔内波速测试、孔内电视三种物探手段，进行综合验证检测，完全遵照设计的工作方法及工作量执行。

(五) 数据处理及图件编制

(1) 高密度电法

对高密度电法勘探数据的处理包含野外和室内两部分。外业部分为采集数据阶段实施关注数据变化情况，室内数据处理包含畸变点剔除，数据预处理和最终剖面图件的计算机绘制。在上述工作完成后即得到各测线的视电阻率等值线拟断面图。

高密度电法勘探在工区内完成G1-G8共8条高密度电法剖面。南北方向布置的测线，其点号为南小北大；东西方向布置的测线，其点号为西小东大。（举例G1线剖面图）

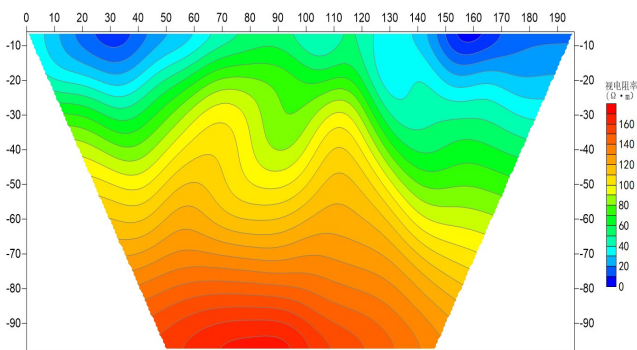


图 4-3 高密度勘探 G1 线剖面图

高密度勘探G1-G8测线，根据等值线剖面图可以看出，注浆区域视电阻值明显增高，等值线分布相对较为均匀，梯度变化平缓，整体呈层状，未发现明显异常区域。

(2) 孔内波速测试法

波速测试室内资料处理使用GeoGiga波速处理软件GEOWELL.EXE进行数据处理。根据激发的P、S波波形具有相反相位的特征，确定出S波的初至时间；根据直达波的波形特征确定出P波的初至时间。利用 $V=d/t$ 计算公式，计算出各测试点深度的Vs、Vp速度值。

根据《煤炭采空区建（构）筑物地基处理技术规范》（GB51180-2016）灌注充填质量检测标准，孔内波速测试结果，孔内注浆位置横波波速 $v_s \geq 300.0m/s$ ，按注浆规范相关规定，该场地注浆效果明显，达到治理要求。

(3) 井下电视法

对ZK1孔视频图像分析后认为，该孔在注浆区域范围内可见注浆体，井壁较完整，在测试深度69.89~71.96m处可见孔径扩大情况。

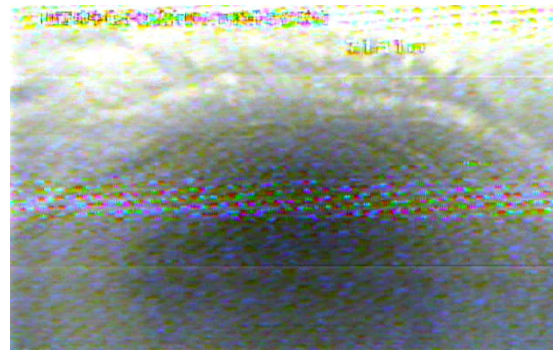


图 4-4 深度 71.51m 处孔壁环境示意图

对视频图像分析后认为，该孔在注浆区域范围内可见注浆体，井壁较完整，局部出现孔径扩大现象。根据孔内电视结果，ZK1、ZK2、ZK3、ZK4、ZK5在注浆区域范围内可见注浆体，井壁较完整，局部出现孔径扩大现象。按注浆规范相关规定，该场地注浆效果明显，达到治理要求。

五、检测结论与建议

1、通过对该工程注浆情况进行物探检测，经综合分析得到如下结论：

场区注浆后无不良异常现象，与物探、钻探检测结果相吻合，已基本消除了场区内地基稳定性的隐患。

2、通过对该工程注浆情况进行物探检测，经综合分析得到如下建议：

(1) 适当增强建筑物整体刚度，采取增强基础和上部结构抗变形的措施。

(2) 加强建筑物沉降监测，适当加密沉降监测点，提高监测频率，直至沉降稳定，且监测时间不得少于竣工后两年。

参考文献

[1] 史玉林. 高密度电法勘测技术在采空区探测中的应用[J]. 采矿技术, 2024, 24 (01) : 107-110.
 [2] 储如蝉. 建筑物下伏煤矿采空区充填注浆治理研究[J]. 城市建筑, 2022, 19 (22) : 139-142+163.
 [3] 闫旭, 杜丽文. 采空区内钻孔灌注桩常见问题及预防措施[J]. 山西建筑, 2020, 46 (17) : 84-85.
 作者简介: 袁洁, 1988年3月, 女, 汉, 山东省济南市, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 建筑工程。