

# 侵入岩分布对地铁车站基坑支护安全性的影响

甄小博

徐州中矿岩土技术股份有限公司, 江苏 徐州 221000

DOI:10.61369/ERA.2026020010

**摘 要 :** 伴随城市轨道交通建设向复杂地质区域推进, 侵入岩分布不均引起的工程问题变得日益突出。本文以徐州地铁4号线一期工程湘江路站为研究对象, 依托详细的勘察成果, 系统分析燕山期闪长斑岩侵入体的分布特性, 从支护结构受力、基坑稳定性、地下水控制及施工风险四个方面, 探究侵入岩分布不均匀对基坑支护设计安全的影响机理, 并提出针对性的安全控制手段。研究表明: 侵入岩风化程度差别大、厚度起伏明显、与周边岩层接触带充分发育, 造成支护结构受力不均衡、基坑抗滑移稳定性变差、地下水渗流路径复杂, 显著增加了支护设计的难度。

**关键词 :** 侵入岩; 分布不均; 地铁基坑; 支护设计; 安全性

## Influence of Intrusive Rock Distribution on the Safety of Subway Station Foundation Pit Support

Zhen Xiaobo

Xuzhou Zhongkuang Geotechnical Technology Co., LTD., Xuzhou, Jiangsu 221000

**Abstract :** As urban rail transit projects expand into complex geological zones, engineering challenges caused by uneven distribution of intrusive rocks have become increasingly prominent. This study focuses on Xiangjiang Road Station of Phase I of Xuzhou Metro Line 4, utilizing detailed survey data to systematically analyze the distribution characteristics of Yanshanian diorite intrusions. By examining four key aspects—support structure stress distribution, foundation pit stability, groundwater control, and construction risks—the research investigates the impact mechanisms of uneven intrusive rock distribution on foundation pit support design safety, and proposes targeted safety control measures. The findings indicate that significant variations in weathering intensity, pronounced thickness fluctuations, and well-developed contact zones between intrusive rocks and surrounding strata lead to uneven stress distribution in support structures, reduced anti-slide stability of foundation pits, and complex groundwater seepage pathways, substantially increasing the complexity of support design.

**Keywords :** intrusive rock; uneven distribution; subway foundation pit; support design; safety

### 引言

侵入岩是岩浆侵入地壳内部冷却凝固所形成的岩石, 其岩性坚实、力学强度较大, 但受岩浆侵入过程、地质构造运动等因素影响, 往往呈现空间分布极不均衡的特性, 表现为岩脉穿插、岩性突变、风化程度差异显著等复杂地质情况。地铁车站基坑工程属于临时性工程, 但支护结构的安全程度直接关系到工程施工安全以及周边建(构)筑物和地下管线的正常运行。在侵入岩分布不均的区域, 传统基于均匀地质条件的支护设计方法往往难以适应实际, 容易导致支护结构选型不当、受力计算偏差, 进而引发基坑边坡失稳、支护结构开裂、渗漏水等安全隐患, 甚至造成工程事故。深入研究侵入岩分布不均对地铁车站基坑支护设计安全性的影响, 揭示其作用机制, 提出科学合理的优化设计方案, 对保障复杂地质条件下地铁基坑工程安全顺利开展具有重要理论价值与工程实践意义。

#### (一) 站点基本信息

湘江路站位于徐州市铜山区湘江路与大学路交叉口, 沿大学路西侧绿化带呈南北走向布设, 为地下三层单柱两跨岛式车站。车站全长160m, 标准段宽度约19.9m, 盾构井位置宽度为24.1m, 底板埋深22.1~26.5m, 顶板上方覆土厚度约3.0m。车站共设4个出入口、2组风亭, 均采用明挖法施工。

#### (二) 区域地质背景

场地坐落于山前坡洪积裙地貌单元, 地表地势平缓开阔, 高程介于49.22~52.50m。该区域位于F49云龙湖-罗岗断层影响带内, 此断层为压扭性质的非全新活动断裂, 呈NNE15°走向展布, 导致场地岩石破碎, 侵入岩广泛分布。区域地层以第四系人工填土、坡洪积黏土为主, 下部伏存震旦系石灰岩、泥灰岩及燕山期闪长斑岩侵入体。

作者简介: 甄小博(1989.08-), 男, 河北衡水人, 本科, 工程师, 研究方向: 岩土工程勘察。

### (三) 侵入岩分布及工程地质特征

#### 1. 分布特征

场地内的侵入岩主要为燕山期闪长斑岩，按风化程度划分为全风化(8)-1-1)、强风化(8)-1-2)、中风化(8)-1-3)三个亚层，分布呈现出显著的不均匀性：

平面分布：车站范围内侵入岩广泛分布，但厚度差异极大。全风化层厚度为2.80-14.00m，强风化层厚度介于1.20m和12.50m之间，中风化层厚度为3.00-23.60m，部分区域与灰岩、泥灰岩呈交错接触。

垂向分布：侵入岩自顶部向下风化程度逐渐降低。全风化层多呈粉土状、砂状；强风化层裂隙发育充分、岩体破碎杂乱；中风化层呈柱状、短柱状，局部存在软弱夹层与岩溶孔洞。

接触带特征：侵入岩与灰岩、泥灰岩的接触带宽度为5~35m，岩石破碎程度高，节理裂隙密集发育，为地下水渗流提供了便利通道。

#### 2. 工程地质性质

侵入岩各风化层的物理力学特性差异显著，各项具体指标见表1。全风化闪长斑岩强度偏低，压缩性中等，天然状态下含水量为26.1%，孔隙比为0.870，黏聚力为10kPa，内摩擦角为25°；强风化闪长斑岩归类为极软岩，岩体基本质量等级为V级，天然状态下密度为2.46g/cm<sup>3</sup>，黏聚力为90kPa，内摩擦角为25°；中风化闪长斑岩属于软岩至较硬岩范畴，岩体基本质量等级为III~IV级，饱和状态下单轴抗压强度达16.30MPa，弹性模量为7.58GPa，泊松比为0.33，力学性质较好，但分布均匀性欠佳(如表1)。

表1 侵入岩各风化层物理力学性质指标

岩土层编号	岩土层名称	天然含水量 (%)	天然密度 (g/cm <sup>3</sup> )	孔隙比	黏聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)
(8)-1-1	全风化闪长斑岩	26.1	-	0.870	10	25
(8)-1-2	强风化闪长斑岩	-	2.46	-	90	25
(8)-1-3	中风化闪长斑岩	-	2.59	-	-	-

## 一、侵入岩分布不均衡对基坑支护设计安全性的影响

### (一) 支护结构受力不均风险

#### 1. 侧向土压力分布差异

侵入岩各风化层物理力学性质差异极为显著，全风化层为松散介质，强风化层为破碎岩体，中风化层为相对完整岩石，导致基坑侧壁侧向土压力分布极不均匀。在全风化闪长斑岩分布区域，侧向土压力接近松散土体计算值；而在中风化闪长斑岩区域，侧向压力多表现为岩体侧向压力，数值远大于土体压力<sup>[1]</sup>。

侵入岩厚度起伏剧烈，同一断面内不同位置岩性可能发生突变，造成支护结构不同部位承受的侧向压力差异达3~5倍，引发支护结构局部应力集中。湘江路站K3+120至K3+190里程段，基坑侧壁同时存在强风化闪长斑岩、破碎状石灰岩及中风化闪长斑岩，侧向压力分布杂乱，易导致支护桩产生不均匀弯曲变形。

#### 2. 支护结构内力畸变

钻孔灌注桩、咬合桩等基坑支护结构，通常适配均一地质条件下的受力模式。由于侵入岩分布不均，支护结构嵌入层位差异较大，部分支护桩嵌入中风化闪长斑岩，承载力较高、变形较小；部分桩体打入强风化层或接触带破碎岩体中，承载力较低、变形量偏大，进而引发支护结构内力异常畸变。

侵入岩与周边岩层接触带存在软弱夹层，支护桩穿越该区域时，桩侧摩阻力急剧降低，单桩承载力不达标，易引发桩体剪切破坏或过量沉降。检测结果表明，接触带区域支护桩的侧摩阻力，较均质中风化岩区域减少40%~60%，给支护结构安全埋下严重隐患。

### (二) 基坑稳定性降低

#### 1. 抗滑移稳定性不足

侵入岩分布不均导致基坑边坡岩土体物理力学性质差异显著，形

成潜在滑动面。全风化闪长斑岩与强风化层的接触面、侵入岩与灰岩的接触带均为软弱结构面，其抗剪强度明显低于均质岩层，易成为控制边坡滑移的关键区域。

湘江路站北端头井周边区域，侵入岩厚度从8m急剧增至23m，边坡内部形成多层潜在滑动面，抗滑移安全系数仅为1.15~1.25，低于规范要求的1.30。侵入岩风化程度不均引发的不均匀沉降，进一步提高了边坡失稳的风险。

#### 2. 坑底隆起风险加剧

侵入岩分布不均造成坑底持力层承载力差异较大，部分区域坑底位于全风化闪长斑岩或接触带破碎岩体中，承载力不足，基坑开挖后极易产生坑底隆起现象。调查结果显示，全风化闪长斑岩地基承载力特征值仅为300kPa，而中风化岩地基承载力特征值可达1200kPa，这种差异导致坑底不同区域隆起量存在明显区别<sup>[2]</sup>。

侵入岩裂隙发育，为地下水提供了良好的渗流通道，地下水渗流产生的动水压力进一步降低坑底土体有效应力，加剧坑底隆起风险。湘江路站基坑涌水量经计算为3890m<sup>3</sup>/d，强透水区域坑底隆起量可达15~25mm，超出规范允许范围。

### (三) 地下水控制难度加大

#### 1. 渗流路径复杂

侵入岩的风化裂隙与岩溶裂隙相互连通，形成复杂的地下水渗流网络。全风化及强风化闪长斑岩渗透性较强，渗透系数为1.0m/d；中风化岩渗透系数相对较小，这种差异导致地下水渗流呈现显著的非均匀性。

侵入岩与灰岩接触部位岩溶发育良好，存在大量溶蚀孔洞和裂隙，成为地下水汇聚区和强径流区。接触带区域钻孔频繁出现漏浆现象，抽水试验结果显示，该区域渗透系数达1.62~2.94m/d，地下水具有承压性，水头高度在1.80~5.20m之间，易引发

基坑涌水、突泥事故。

## 2. 支护结构抗渗性能挑战

由于侵入岩分布不均，支护结构止水帷幕施工难度增加。在强风化和全风化侵入岩区域，土体松散、裂隙发育，止水帷幕易出现搭接不紧密、孔洞等质量缺陷；在中风化岩石区域，岩石硬度较高，钻孔难度大，易造成止水帷幕深度不足，难以有效阻断地下水渗流路径。

湘江路站2号出入口周边区域，因侵入岩厚度急剧突变，止水帷幕施工期间出现多处渗漏点，地下水沿渗流通道涌入基坑，导致基坑局部积水，危及施工安全。

## 二、安全控制措施

### (一) 优化支护结构设计

#### 1. 差异化支护方案

结合侵入岩分布特性，采用差异化支护设计：中风化闪长斑岩区域采用桩径  $\Phi 1200\text{mm}$ 、间距  $1800\text{mm}$  的钻孔灌注桩，桩端嵌入坑底以下中风化岩深度不小于  $2.5\text{m}$ ；强风化和全风化区域采用  $\Phi 1200\text{mm} @ 950\text{mm}$  套管咬合桩，提升支护结构刚度与止水效果；接触带区域额外增设三轴搅拌桩止水帷幕，桩长需深入稳定隔水层不小于  $3\text{m}$ 。

针对  $K3+120 \sim K3+190$  等岩性突变地段，采用刚度渐变的支护结构设计，通过调整支护桩间距、配筋率及支撑布置方式，弱化应力集中现象；在接触带等潜在滑动区域，设置抗滑桩或采取注浆加固措施，提高边坡抗滑移稳定性。

#### 2. 强化抗浮与抗渗设计

结合侵入岩分布不均引起的地下水渗流特点，采用“坑内集水井明排 + 基岩降水井降水”的复合式排水方案。在强透水区域加密布设降水井，井间距为  $8 \sim 10\text{m}$ ，降水井深度需进入中风化岩  $5\text{m}$  以上；在岩溶发育区域，采用注浆封堵方式填充溶蚀孔洞裂隙，阻断地下水渗流路径<sup>[3]</sup>。

抗浮设计采用围护桩兼作抗浮桩的方案，抗浮桩需嵌入中风化闪长斑岩不小于  $5\text{m}$ ，同时增加坑顶覆土厚度，提高结构抗浮稳定性。抗浮设防水位取场地场坪标高下  $0.50\text{m}$ ，施工时水位控制在场地场坪标高下  $1.00\text{m}$ 。

### (二) 加强超前地质预报与勘察

#### 1. 补充专项勘察

在初步勘察基础上，针对侵入岩分布不均区域开展专项勘察工作，采用跨孔电磁波 CT 测试、声波测试等物探方法，查明侵入岩的分布范围、厚度变化情况 & 接触带位置；在各支护桩点位布

置超前钻探孔，孔深比桩底深  $3 \sim 5\text{m}$ ，探明桩位下方岩石特性、岩溶发育及地下水情况。

湘江路站补充专项勘察共完成 13 对跨孔 CT 测试、41 个超前钻探孔，进一步细化了侵入岩分布规律，为支护设计优化提供了精准的地质资料。

#### 2. 动态地质预报

施工期间采用“超前钻探 + 地质雷达 + 红外探测”综合地质预报方法。基坑开挖前，通过超前钻探探明前方  $30\text{m}$  范围内岩性变化情况；开挖过程中，运用地质雷达实时探测边坡内部裂隙与岩溶发育情况；针对地下水富集区域，采用红外探测技术预判涌水隐患。

建立地质预报信息反馈机制，每 3 天上报一次地质预报报告，若发现异常情况，及时调整支护设计方案。

### (三) 采用动态设计与信息化施工

#### 1. 动态设计调整

基于超前地质预报结果和施工监测数据，对支护设计进行动态调整。当发现侵入岩厚度超出勘察预估范围时，及时增加支护桩嵌入深度；若监测数据显示支护结构变形速率超过预警值 ( $2\text{mm/d}$ )，则加密支撑布置或采取注浆加固措施。

建立支护设计动态调整流程：施工监测数据收集 → 地质条件核验 → 安全有效性评估 → 设计方案动态调整 → 施工方案优化，确保支护结构始终与地质条件相匹配<sup>[4]</sup>。

#### 2. 全周期信息化监测

制定覆盖基坑施工全过程的监测方案，监测内容包括支护结构变形、边坡位移、地下水位、周边建筑物沉降等。支护桩水平位移监测频率设定为 1 次 / 天，基坑开挖期间加密至 2 次 / 天；采用自动监测设备对地下水位进行监测，数据实时传输至监控中心。

设定多级预警值，当监测数据达到预警值的 80% 时，发出预警并加密监测频次；达到预警值后，立即停止施工并采取应急加固措施。湘江路站施工期间共发出预警 3 次，通过及时调整支护参数，有效避免了安全事故的发生。

## 三、结束语

侵入岩分布不均对地铁车站基坑支护设计安全性的挑战具有复杂性与普遍性，精准把握其影响机制是保障工程安全的核心前提。本文结合徐州地铁 4 号线湘江路站实际工程案例，为解决此类复杂地质条件下的工程难题提供了可行路径。随着研究的不断深入与技术的持续创新，必将进一步提升侵入岩分布区基坑支护工程的安全管控水平，为城市轨道交通建设高质量推进筑牢地质安全屏障，助力城市地下空间开发利用朝着更安全、高效、经济的方向发展。

## 参考文献

- [1] 穆保岗, 龚湘源, 陶津, 张勇. 地铁车站基坑分步开挖空间特征的实测及数值分析 [J]. 特种结构, 2020, 37(1): 40-47.
- [2] 孙超, 辛庆飞, 孙志成, 吴宇飞, 周浩, 徐东明, 杨恩泽. 土岩复合地层地铁站深基坑锚索预应力损失规律及变形控制研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(6): 87-93.
- [3] 刘江. 土岩组合地层盖挖车站基坑吊脚桩支护适用性研究 [J]. 铁道建筑, 2016, 56(5): 120-125.
- [4] 孙涛, 李浩, 吕显州, 宋高锐, 李嘉诚, 张传军. 节理带纵向贯穿异质地层地铁站施工响应与控制分析 [J]. 广西大学学报 (自然科学版), 2023, 48(2): 288-299.