

基于地质灾害调查的城市道路拓展工程规划优化研究

——以芜湖市中江大道北延工程为例

刘 瑞

(安徽省地勘局第一水文工程地质勘察院,安徽 蚌埠 233000)

摘 要:本文基于《安徽省芜湖市地质灾害调查与区划报告(1:10万)》及相关政策文件,针对芜湖市中江大道北延(中江大道已建段-泰山路)建设工程,系统开展了地质灾害危险性评估工作。通过综合分析评估区内的气象、水文、环境及地质条件,查明了地质灾害现状及危害程度,预测评估了工程建设和运营过程中可能引发的地质灾害及其危害程度。在此基础上,提出了建设工程地质灾害危险性分区及防治措施,旨在优化城市道路拓展工程规划,确保工程安全与可持续发展。

关键词:地质灾害危险性评估;城市道路拓展;规划优化;中江大道北延;芜湖市

中图分类号:P69 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2736(2025)06-0059-7

0 引言

随着城市化进程的加快,城市基础设施的建设与扩展成为推动经济社会发展的重要力量^[1]。然而,伴随而来的地质灾害风险也不容忽视^[2],特别是在地质条件复杂、地质灾害易发的区域进行大规模建设时常遇到。本文以安徽省芜湖市中江大道北延工程为例,基于详细的地质灾害调查与评估,旨在保障国土空间规划、优化城市道路拓展工程规划,确保工程建设的安全、经济和环境的可持续发展^[4]。

1 地质灾害评估区概况与评估依据

1.1 评估区概况

中江大道北延工程所在区域位于安徽省芜湖市,地处沿江丘陵平原区。该区域地势总体特征是西北高东南低,地形平坦,地面高程在5.74-15.07m之间。地貌类型属于平原,进一步可分为冲积平原,微地貌类型为河漫滩,地形平坦。

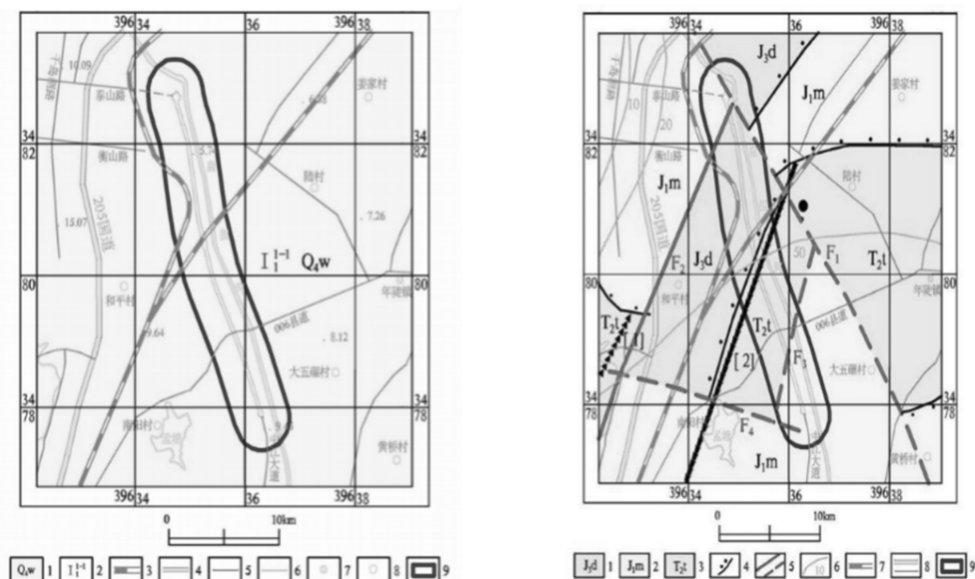
区域内的地层岩性较为复杂,从古生界至新生界均有不同程度的揭露。具体来说,区内地层属于华南地层大区扬子地层区,包括侏罗系上

统大王山组、侏罗系下统磨山组和三叠系中统铜头尖组等地层。地表出露的地层为新生界第四系地层,而隐伏的基岩由侏罗系和三叠系地层组成,区内松散层最大厚度约50m。其中,第四系全新统芜湖组主要由粉质黏土、淤泥质粉质黏土、粉细砂等组成。图1展示了评估区地质环境条件。

综上所述,中江大道北延工程所在区域的地理位置、地形地貌以及地质条件均对工程建设有着重要的影响。在后续的地质灾害危险性评估及城市国土空间规划和城市规划优化与防治措施制定过程中,需要充分考虑这些地质环境条件,以确保工程的安全、经济和环境的可持续发展。

1.2 评估工作依据

在开展中江大道北延工程的地质灾害危险性评估工作中,严格执行《地质灾害防治条例》和《地质灾害危险性评估规范》(GB/T40112-2021)等政策法规及技术标准,确保评估的科学性和规范性。通过收集相关地质、气象水文资料及初步设计报告,并进行现场踏勘和地质灾害调查及综合分析,确定了评估范围和级别。野外调



(a) 地貌及第四纪地质图

注:1—全新统芜湖组;2—冲积平原;3—铁路;4—国道;5—普通道路;6—水系;7—乡镇;8—村库;9—评估区

(b) 区域基岩地质图

注:1—侏罗系上统大王山组;2—侏罗系下统磨山组;3—三叠系中统铜头尖组;4—不整合接触界线;5—断层;6—松散层等厚线及数值;7—铁路;8—道路;9—评估区

图 1 评估区地质环境条件

查重点关注地质环境条件和灾害类型及其危害程度,通过使用 1 : 1000 地形图和 GPS 定位,对关键点进行记录。这些综合评估工作为工程的安全建设与运营提供了科学依据,并为城市规划优化及防治措施制定奠定了基础^[4]。

2 地质灾害危险性评估

2.1 现状评估

通过野外现场调查,本研究对芜湖市中江大道北延工程区内的地质灾害类型、分布特征、规模及危害程度有了初步了解。该区域内主要存在软土变形(在有荷载时产生地基不均匀沉降甚至地面沉降)这一地质灾害类型。其中松散层最大厚度约 50m,主要由第四系全新统芜湖组(Q4w)的淤泥质粉质黏土、粉质黏土等组成,这些特殊土层在特定条件下容易发生软土变形。评估区地震动峰值加速度为 0.05g,相应地震基本烈度为 VI 度,不具备发生崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害的地形地貌条件。

现场评估情况如图 2 所示。

周边软土变形地质灾害具有侧向滑动、沉降或基础下土体挤出等现象,对建筑物地基产生影响。根据《中江大道北延(中江大道已建段-泰山路)建设工程岩土工程勘察报告》显示,评估区内第②、④层淤泥质粉质黏土土体孔隙比 1.011~1.026,天然含水量大于液限,为软弱土层,平均土层厚度分别为 7.86m、7.95m,拟建道路沿线多有分布,软土变形地质灾害发育。现状调查发现多处房屋存在开裂、变形现象,主要分布于扁担河两侧附近的村庄。

综上所述,研究认为评估区的软土变形地质灾害危险性中等,其可能造成的危害程度也适中,需要在后续的国土空间规划与优化,以及防治措施制定过程中给予足够的重视。

2.2 预测评估

2.2.1 工程建设过程中可能引发地质灾害危险性预测评估

在芜湖市中江大道北延工程中,设计包括一



照片1 评估区地貌类型为冲积平原,微地貌类型为河漫滩,地形较平坦,地面高程。



照片2 现状调查评估区内发现多处房屋开裂现象,开裂宽度 0.5~3.5cm,呈“上宽下窄”,开裂长度 0.5~2m,横贯整个房屋开裂方向一般与地面垂直,开裂位置位于房屋中部,具备因软土变形引发房屋开裂的特征。

图2 现场评估情况

座桥梁、16个涵洞和管线工程,施工过程中需要进行基础开挖,最大开挖深度达3.5m。根据地质条件分析,若施工不当,也有可能引发基坑边坡发生崩塌地质灾害。为预防这种情况,应遵循相关工程技术规范,采取科学合理的施工方法,确保工程安全顺利进行。基坑崩塌地质灾害危险性预测评估如下^[5]:

(1) 计算公式

根据《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2013),崩塌范围可按下式计算:

$$L = \frac{H}{\tan(\theta)} \quad (1)$$

其中, L 是影响距离,即边坡滑动区边缘至坡底边缘的投影距离(m); H 是边坡高度(m); θ 是边坡破裂角($^\circ$),取 $45^\circ + \frac{\phi}{2}$, ϕ 为内摩擦角。

边坡基坑崩塌方量,本次采取:

$$V = L \times H \times \frac{l}{2} \quad (2)$$

其中, l 为最大滑动长度(m)。

(2) 参数选择

H 取值为最大边坡基坑开挖深度,取本次土工试验测得的最小值, 5.3° ; l 取值为10m。

(3) 影响范围与基坑崩塌方量

边坡基坑开挖深度最大段^[6],造成影响范围与基坑崩塌方量见表1。

通过表1数据可以预测评估区内桥梁工程、涵洞和管线工程。工程建设的过程中,可能引发边坡崩塌地质灾害,其发育程度弱,危害程度小,危险性小。

2.2.2 建设工程自身可能遭受已存在地质灾害危险性预测评估

建设工程评估区内②、④层土体岩性为淤泥质粉质黏土,灰-灰黑色,流塑-软塑状,干强度及韧性低。这两层土主要分布在道路沿线扁担河河漫滩地段。②层埋藏深度为0.50~2.9m;④层埋藏深度为10.20~24.20m,土层厚度分别为7.86m和7.95m。土体孔隙比为1.011~1.026,天然含水量大于液限,属于软弱土层^[7]。

表1 预测可能引发基坑崩塌影响范围和方量一览表

建(构)物名称	边坡高度 H (m)	影响距离 L (m)	内摩擦角 ϕ ($^\circ$)	边坡破裂角 θ ($^\circ$)	最大长度 l (m)	崩塌方量 (m^3)
开挖深度最大段	3.5	3.19	5.3	47.65	10	55.83

表 2 地质灾害危害性综合评估分级量化指标表

类别		强	中	弱
基坑崩塌①	方量 $V(m^3)$	$V > 5000$	$500 < V < 5000$	$V < 500$
软土变形②	孔隙比 e	$e \geq 1.5$	$1.5 > e \geq 1.2$	$1.2 > e \geq 1.0$
	厚度 $M(m)$	$M \geq 10.0$	$10.0 > M \geq 3.0$	$M < 3.0$

注:①安徽省内经验值;②《软土地区工程地质勘察规范》(JGJ83-2011)。

表 3 地质灾害危险性综合分区一览表

分区编号	区段	面积 (km ²)	现状评估	预测评估					综合分区	
				建设工程	类别	地质灾害种类	发育程度	危害程度		危险性
I	全区	5.96	软土变形地质灾害中等发育,其危害程度中等,危险性中等。	路面工程、桥梁工程、涵洞工程和管线工程	引发 遭受	基坑崩塌 软土变形	弱 中等	小 中等	小 中等	软土变形、基坑崩塌地质灾害危险性中等区

由于软土含水量大、孔隙比大,具有流变性、触变性等易变形特点,软土地基在受荷后会发生剪切变形和缓慢沉降。这可能导致基坑开挖过程中土体滑移现象,还可能因软土变形导致路基等线状工程产生裂隙。特别是在软土区与非软土区交界处,由于两者沉降量不同,直接使路基等发生不均匀沉降^[8],引起变形甚至开裂,影响工程质量。

因此预测评估区内路面工程、桥梁工程、涵洞工程以及管线工程可能遭受软土变形地质灾害,其发育程度中等,危害程度中等,危险性中等。

2.3 综合评估与分区

地质灾害危险性综合评估原则与量化指标的确定基于评估区的多方面条件,如地形地貌、地质构造、岩土体工程地质、水文地质条件以及人类活动对地质环境的影响。评估采用“区内相似、区际相异”的原则,结合定性分析和半定量法,对地质灾害危险性进行分区评估,并据此评估建设用地的适宜性^[9]。综合评估量化指标的确定依据现状和预测评估结果,考虑地质环境

条件和潜在地质灾害隐患,专注于基坑崩塌和软土变形的发育程度等级,并建立相应的量化指标表,如表 2 所示。

根据地质灾害危险性的分区原则,结合地质灾害灾种类型和工程建设类型,将评估区 5.96km² 范围确定为 1 个区,即软土变形、基坑崩塌地质灾害危险性中等区(I),如表 3 所示。

通过表 3 可知,I 区包含路面、桥梁、涵洞及管线工程,地质环境复杂度中等。现状评估显示软土变形地质灾害中等发育,危险性中等。预测评估则指出桥梁、涵洞、管线工程建设会引发弱发育的基坑崩塌,但危险性小;而路面等工程可能遭受中等发育的软土变形地质灾害,危险性中等^[10]。综合评估认为该区为软土变形、基坑崩塌地质灾害危险性中等区,建设用地适宜性为基本适宜,可采取措施处理相关灾害。

3 城市规划优化与防治措施

3.1 城市规划优化建议

基于地质灾害调查和评估结果,研究建议对中江大道北延工程的规划进行系统性优化,从空

间布局、工程设计、环境协调三个维度提出以下深化建议:

3.1.1 多方案路径比选与避让优化

结合地质调查成果,建议采用 GIS 空间分析技术对原规划路线进行多方案比选。针对扁担河两侧软土变形高风险区(厚度 $>8\text{m}$ 、孔隙比 >1.2),可通过路径西移 300-500m 避开河漫滩核心软弱层分布带。若受限于既有路网衔接需求,可采用“桥梁+高架”形式跨越扁担河段,减少软土地基处理范围。根据《城市道路路基设计规范》(CJJ194-2013),路线调整需满足平面线形半径 $\geq 600\text{m}$ 、纵坡 $\leq 3.5\%$ 的技术要求,确保行车安全与地质风险可控^[11]。

3.1.2 地层适应性工程设计分级

根据《城市道路工程设计规范》(CJJ37-2012)、《软土地基公路设计与施工技术规范》(JTG/T D31-02-2013)及场地工程地质勘察数据,按软土特性划分风险等级:

(1)低风险区(软土厚度 $<3\text{m}$):采用换填法,清除表层 2m 软弱土后回填级配砂石,压实度 $\geq 95\%$;

(2)中风险区(软土厚度 3-8m):实施复合地基处理,优先选用直径 0.5m、间距 1.2m 的水泥搅拌桩,桩长穿透软土层进入持力层 $\geq 1\text{m}$;

(3)高风险区(软土厚度 $>8\text{m}$):采用桩筏基础,预制管桩直径 600mm、桩距 3D,筏板厚度 $\geq 800\text{mm}$,并设置沉降缝(间距 30m)以适应差异沉降。

3.1.3 生态-工程协同优化

将地质灾害防治与生态修复相结合,在路基两侧设置 20m 宽缓冲绿带,种植根系发达的乔木(如池杉、落羽杉)以增强边坡稳定性。同步构建地下水位监测系统,沿线路纵向每 200m 布设 1 组孔隙水压力计,实时监控软土固结过程^[12]。通过 BIM 技术建立地质-工程耦合模型^[13,14],对填方高度、施工速率进行动态优化,将工后沉降量控制在《公路路基设计规范》(JTGD30-2015)要求的 30cm 阈值内。

3.1.4 全生命周期韧性规划

在规划阶段预留 10%的工程冗余度,针对软土流变特性,在路面结构层中加铺聚酯玻纤布应力吸收层(厚度 $\geq 2\text{mm}$),并在桥梁墩台处设置可调节支座(调节量 $\pm 50\text{mm}$)。建立覆盖工程运营期 20 年的地质灾害保险机制,每年提取工程造价的 0.5%作为专项维护基金,确保灾害防治措施的可持续性。

通过上述优化措施,可使软土区段地基承载力从 60kPa 提升至 120kPa 以上,差异沉降率降低 40%,全线路基稳定性系数提高至 1.25,实现工程安全、生态效益与经济效益的有机统一。

3.2 防治措施与建议

针对中江大道北延工程的地质灾害特征,本研究提出分级防治体系,形成“预防-治理-监测”三位一体的技术路径:

3.2.1 软土变形递进式治理技术

(1)表层处理:对软土厚度 $<3\text{m}$ 区域,采用换填法清除软弱层后分层回填(每层厚度 $\leq 30\text{cm}$),采用 20t 振动压路机碾压 6-8 遍,确保压实度 $\geq 93\%$;

(2)深层加固:对 3-8m 厚软土层,采用双向水泥搅拌桩(桩径 0.8m、桩距 1.5m)形成复合地基,水泥掺入量 $\geq 15\%$,28 天无侧限抗压强度 $\geq 1.2\text{MPa}$;

(3)超深处理:对厚度 $>8\text{m}$ 软土层,采用预应力管桩复合地基体系。选用 PHC-400(95)型桩,桩间距 2.0-2.5m,桩端穿透软土层进入持力层 $\geq 1.5\text{m}$,桩顶设置 30cm 厚级配碎石褥垫层。施工时控制桩身垂直度偏差 $\leq 1\%$,采用锤击沉桩工艺,终桩标准以贯入度控制(最后 1m 锤击数 ≥ 200 击)。成桩后需进行单桩静载试验,要求单桩承载力特征值 $\geq 800\text{kN}$,复合地基承载力 $\geq 150\text{kPa}$;

(4)排水加速:沿路基纵向铺设厚 50cm 砂垫层(渗透系数 $>1\times 10^{-2}\text{cm/s}$),间隔 20m 设置塑料排水板(深度穿透软土层),配合预压荷载(120kPa)加速固结,使工后沉降量 $\leq 15\text{cm}$ 。

3.2.2 基坑崩塌防控体系

(1) 支护结构优化:对深度>3m 基坑采用钢板桩+内支撑复合支护,选用 FSP-IV 型拉森钢板桩(模量 $\geq 2040\text{cm}^3/\text{m}$),支撑间距 $\leq 2\text{m}$,按《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-2012)验算安全系数 ≥ 1.3 ;

(2) 动态排水系统:设置环形截水沟(断面 $0.3\times 0.4\text{m}$)与管井降水(井距 15m ,降深>基坑底 2m),确保地下水位降至开挖面以下 1m ;

(3) 智能监控预警:布设倾角传感器(精度 0.01°)与应变计(量程 $\pm 3000\mu\epsilon$),当位移速率 $> 3\text{mm}/\text{d}$ 或累计位移 $> 30\text{mm}$ 时启动应急预案^[15]。

3.2.3 全周期监测机制

建立“施工期-运营期”监测网络,在软土区每 50m 布设沉降观测点(精度 $\pm 0.5\text{mm}$),运营期前3年每月监测1次,后期每季度1次。同步构建地质灾害数据库,运用机器学习算法预测沉降趋势,实现防治措施的动态优化调整^[16,17]。通过上述技术体系,可将软土区工后差异沉降控制在 0.1% 以内,基坑崩塌风险降低 85% 以上^[18]。

3.3 可持续发展策略

在推进中江大道北延工程的过程中,应秉持可持续发展的理念,确保工程安全的同时,最大限度地减少对环境的影响。这需要通过科学规划和合理设计,特别是在软弱土区及其他地质敏感区的施工活动中,采取有效措施降低对环境的负面影响^[19]。此外,还应积极推广使用环保材料和技术,保护自然资源,实现城市发展与环境保护的和谐共生。这样的策略不仅有助于保护生态环境,还能为城市的可持续发展奠定坚实基础。

4 结语

本文通过对芜湖市中江大道北延工程的地质灾害危险性评估与规划优化研究,深入分析了该区域的地质环境条件,并提出了针对性的防治措施和可持续发展策略。通过这些措施的实施,不仅能有效预防和减轻地质灾害的影响,还能促进城市建设的可持续发展,实现城市发展与环境保护的和谐共生。本研究的成果对于类似地质条件下的城市道路拓展工程具有重要的参考价值,为城市国土空间规划和城市建设规划提供了科学依据。然而,地质灾害防治和城市规划优化是一个长期而复杂的过程,需要政府、企业、社会各界的共同努力和持续关注。在未来的研究与实践中,应进一步探索更加科学、有效的方法和技术,为城市的可持续发展提供坚实的保障。

保护的和谐共生。本研究的成果对于类似地质条件下的城市道路拓展工程具有重要的参考价值,为城市国土空间规划和城市建设规划提供了科学依据。然而,地质灾害防治和城市规划优化是一个长期而复杂的过程,需要政府、企业、社会各界的共同努力和持续关注。在未来的研究与实践中,应进一步探索更加科学、有效的方法和技术,为城市的可持续发展提供坚实的保障。

参考文献(References):

- [1] 林江丽. 推进济青特大城市“平急两用”公共基础设施建设[N]. 济南日报, 2024-09-03(003).
- [2] 傅义福. 金寨县地质灾害孕灾地质条件分析[J]. 黑龙江国土资源, 2025, 23(02): 38-45.
- [3] 任小凯, 陈新杰, 刘海亭, 等. 县域地质灾害调查与风险评价方法及工程实践[J]. 西部探矿工程, 2024, 36(08): 9-11+16.
- [4] 赵国鹏, 李金鸿. 地质灾害危险性评估在工程建设中的运用探究[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(08): 93-95.
- [5] 朱瑞兵, 孙爱荣. 综合地质灾害风险评估方法的研究与应用[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(05): 302-304.
- [6] 王红奎, 黎宽. 强降雨地区公路高边坡滑坡地质调查分析及加固治理方案[J]. 中国水运, 2024, 24(04): 135-137.
- [7] 耿德祥, 李楠鑫, 宗威. 高密度电阻率法在随州市长岗镇地质灾害调查中的应用[J]. 中国水运, 2023, 23(02): 107-109.
- [8] 乔家君, 朱乾坤, 辛向阳. 黄河流域农区贫困特征及其影响因素[J]. 资源科学, 2020, 42(01): 184-196.
- [9] 关伟, 许淑婷, 郭岫垚. 黄河流域能源综合效率的时空演变与驱动因素[J]. 资源科学, 2020, 42(01): 150-158.
- [10] 曾小洁, 王芳, 冯艳芬, 等. 广东省农地边际化特征及其影响因素的地理探测[J]. 中国农学通报, 2020, 36(06): 149-156.
- [11] 马晓峰, 朱浩濛, 张义顺, 等. 省级地质灾害风险评估技术方法研究——以浙江省为例[J]. 浙江国土资源, 2021, 36(S1): 57-65.

- [12] 张蓝兮, 鲁军景, 彭纪超. 基于地理信息系统 (GIS) 的地质灾害评价现状[J]. 中国矿业, 2024, 33(S1): 223-229.
- [13] 何瑞, 陈卓霖, 万新, 等. BIM 与 GIS 技术在工程建设上的应用优势[J]. 广东建材, 2025, 41(04): 166-169.
- [14] 朱义坤, 赵景怀, 缪旭煌, 等. 综合物探方法在蚌埠隆起金多金属矿勘查中的应用——以怀远双沟勘查区为例[J]. 华东地质, 2023, 44(01): 82-92.
- [15] 张姮姐, 杜泽楠, 张思远, 等. 基于 ArcGIS 和 GD 的辽宁省国家地理标志农产品空间分异探究[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(01): 253-264.
- [16] 孔令莹, 徐远志, 赵贵章, 等. 基于多种方法联合反演的河床岩性结构特征研究[J]. 华东地质, 2023, 44(02): 150-159.
- [17] 王继龙, 林丰增, 彭博, 等. 东南沿海火山岩区域镇建设适宜性评价与实践——以福建省宁德市为例[J]. 华东地质, 2022, 43(04): 490-502.
- [18] 李云涛, 王海英, 陶犁, 等. 京郊乡村旅游地空间分布演化及其影响因素的地理探测[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(01): 214-228.
- [19] 崔晨曦, 孟凡浩, 罗敏, 等. 基于地理探测器的内蒙古耕地水资源短缺时空变化特征及驱动力分析[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(01): 150-161.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 刘瑞, 1986 年生, 男, 安徽怀远人, 安徽省地勘局第一水文工程地质勘查院, 工程师, 主要研究研究方向为水工环地质。Email: 286681437@qq.com

Optimization Study on Urban Road Expansion Project based on Geological Disaster Survey—Case Study of Zhongjiang Avenue North Extension Project in Wuhu

LIU Rui

(Anhui Provincial Bureau of Geological Survey, First Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Bengbu 233000, China)

Abstract: Based on the Geological Hazard Survey and Zoning Report in Wuhu City, Anhui Province (1 : 100, 000) and related policy documents, this paper systematically carried out geological hazard risk assessment for the construction project of the north extension of Zhongjiang Avenue in Wuhu City (already built section of Zhongjiang Avenue - Taishan Road). Through comprehensive analysis and evaluation of meteorological, hydrological, environmental and geological conditions in the area, the current situation and harm degree of geological disasters are found out, and the potential geological disasters which will occur in the process of construction and operation are predicted and assessed. Then the paper puts forward the risk zoning and prevention measures of geological disasters in construction engineering, which aims to optimize the planning of urban road expansion project and ensure the safety and sustainable development of the project.

Key words: geological disaster risk assessment; urban road expansion; planning optimization; Zhongjiang Avenue North Extension; Wuhu City