

地下空间开发中地下水动态监测与风险评估体系构建及应用

顾传敬

江苏南京地质工程勘察院

DOI:10.12238/pe.v3i2.12486

[摘要] 城市化建设的发展,对空间利用规划提出新的要求,也是城市发展的重要方向。本文对地下空间开发中地下水动态监测和风险评估体系的构建及应用进行研究。分析地下水对地下空间开发的影响,介绍当前地下水监测技术发展情况,阐述地下水风险评估体系构建过程,并构建水流动模型和水质模型的风险评估模型,为地下空间开发中的地下水风险评估提供了科学依据。

[关键词] 地下空间开发; 地下水动态监测; 风险评估体系构建

中图分类号: TV62+3 **文献标识码:** A

Construction and Application of Groundwater Dynamic Monitoring and Risk Assessment System in Underground Space Development

Chuanjing Gu

Jiangsu Nanjing Geological Engineering Survey Institute

[Abstract] The development of urbanization poses new requirements for spatial utilization planning and is also an important direction for urban development. This article discusses the construction and application of a groundwater dynamic monitoring and risk assessment system in underground space development. Analyzing the impact of groundwater on underground space development, introducing the current development of groundwater monitoring technology, elaborating on the construction process of groundwater risk assessment system, and constructing risk assessment models for water flow and water quality models, providing scientific basis for groundwater risk assessment in underground space development.

[Key words] Underground space development; Groundwater dynamic monitoring; Construction of risk assessment system

地下空间是城市化建设中的重要资源,也是城市建设的重要组成部分。尤其是建设地下商业街、地铁、地下停车等基础设施建设能提升地下空间使用效率,改善城市土地使用紧张问题。但是在地下空间开发过程中,监测地下动态变化,保证施工安全、环境、地下空间结构长期稳定成为需要关注的问题^[1]。所以需要地下水动态监测和风险评估,改善地下开放问题。地下水动态监测和风险评估对地下水的水位、流速、水质等参数监测,根据地质环境特征系统评估风险,为地下控制开发提供安全保障。通过构建科学的地下水风险评估体系,能够及时发现潜在风险,并采取有效措施予以预防,确保地下空间开发的安全性和可持续性。

1 地下水动态监测的必要性

地下水变化会影响到地下空间开发生产,其中地下水位变化、流速波动、水质污染都会对地下工程施工安全和长期稳定性产生直接影响。

1.1 地下水对地下空间开发的影响

1.1.1 水位波动。地下水水位的波动会对地下空间开发基础

的稳定性产生直接影响,水位的快速上升会引起软化土体、沉降和流失,对地下功能安全造成威胁。

1.1.2 水流流速变化。地下水流速的改变会对土壤渗透性和地下水流动方向产生改善,直接影响地下结构的基础稳定性。

1.1.3 水质变化。地下水含有重金属、盐分等有害物质,腐蚀周围环境和地下建筑材料,对地下空间的使用寿命产生影响。所以监测地下水动态能有助于掌握地下水变化规律、预测地下水位,直接影响到空间开发,具有重要意义^[2]。

1.2 地下水监测技术

地下水的监测技术有水位监测、流速监测和水质监测等多种方式。水位监测是利用水位计等设备对地下水位实时监测,对地下水变化趋势做出分析和判断。流速监测,是利用电磁流速计、多普勒流速计等设备,对地下水流动速度和方向实时监测^[3]。水质监测,是利用自动化水质监测仪,对地下水中的溶解氧、pH值、重金属含量等指标监测,评估水质变化。

2 地下水风险评估体系的构建

地下水风险评估体系构建的目的是按照地下水动态监测数据分析地下水对地下空间开发项目的潜在风险,对灾害做出预测,并采取有效的预防措施。风险评估体系主要由风险识别、风险分析、风险评估、风险控制和风险监测等构成。

2.1 风险识别

地下水风险识别的目标是对现场调查和监测数据分析,及时发现潜在的地下水风险源。常见的地下水风险源有以下内容:

2.1.1 水位波动。地下空间在施工期间水位波动会引起土地松动或是地下水水平涌入施工区域,对工程建设进度和安全造成影响。另外水位波动还会增加地下结构的浮力,增加失稳风险^[4]。所以在风险识别阶段要关注水位波动幅度、频率和引起的连锁反应,为后期风险评估和分析提供数据支持。

2.1.2 水质污染。地下水中的有害物质污染,尤其是在接近工业区、垃圾填埋场等地方,水质污染的风险较高。水质污染不仅影响地下水的使用价值,还通过渗透作用对地下空间的结构材料造成腐蚀,降低其耐久性和安全性。因此,在风险识别阶段,需重点关注地下水中的污染物种类、浓度及其变化趋势,以便准确评估污染风险^[5]。同时,还需结合地下空间的具体用途和周边环境因素,综合分析水质污染带来的长远影响,为后续的风险分析和评估提供全面而准确的数据支撑。

2.1.3 水流变化。地下水流速和流向的变化会对水流的路径产生改变,引起施工区域的水土流失和地下水排放的问题。水流变化会造成地下空间渗透压改变,对地下结构稳定性产生影响。尤其是地下水位过高或是流速过快都会增加渗透力,威胁到地下空间防水性能和结构安全。所以风险识别阶段需要对地下水流速和流向变化规律和评估地下空间开发潜在影响做出分析。利用科学风险识别和分析制定风险防控措施,保证地下空间开发的安全性和稳定性。

2.2 风险分析

风险分析是结合风险识别结果构建数据模型和数值模拟方法量化分析地下水的动态变化,根据不同地下水风险因素预测地下空间开发的潜在影响。其中风险方式包含以下几种:

2.2.1 水流动数值模拟。借助MODFLOW等地下水流动模拟软件,模拟地下水流动特征,评估地下水流动方向、速度以及对地下工程产生的影响。

2.2.2 水质分析模型。结合水质监测数据和污染源特征,构建水质变化监测模型,对地下水中的污染物传播情况做出评估。

2.2.3 地质力学分析。借助地质力学模型,对水位变化引起的土体和结构变化影响进行模拟,进而对地下水造成的地基沉降或是建筑物倾斜问题评估。

2.3 风险评估

风险分析过后就是实施风险评估。风险评估借助量化指标对地下水风险带来的工程风险做出分析,常见的风险评估指标有以下内容:

2.3.1 水位波动风险。在评估施工区域风险的时候需要结合地下水位变化幅度和频率信息。水位的大幅度波动会影响到施

工区域土壤的稳定性,提升地基沉降和建筑物倾斜的风险。另外,频繁水位变化会对施工进度和工程质量产生不利影响。频繁的水位变化会影响到施工进度和工程质量,因此需要采取科学的预防和治理措施。

2.3.2 水流流速风险。在地下水流动度土体冲刷作用和地下结构威胁评估时需要水流变化程度进行采集。水流速度过快会引起土体强烈冲刷,导致土体流失和土壤稳定性。尤其是地质条件脆弱或是地下结构复杂的区域,水流速度过高会冲刷地下结构,损坏结构功能。所以风险评估过程中需要高度关注水流变化,采取科学的措施减少对地下空间的影响。

2.3.3 水质污染风险。结合地下水中污染物浓度监测值,对工程结构受到水质变化的潜在影响做出评估。污染物浓度偏高会恶化地下水环境,破坏水生态系统,打破人类健康和生态平衡。另外污染物有较强的渗透性,渗透到地下结构会腐蚀建筑材料,降低结构强度。在严重的情况下,污染物会造成不可逆的地下水污染,不利于地下空间开发的可持续性和安全性。所以风险评估过程中,要监测地下水污染物的种类和浓度,并根据环境条件和工程特征,对水质变化带来的潜在风险做出评估。

2.4 风险控制

风险控制是结合风险评估结果制定科学的预防措施,常见的风险控制方法有以下几个方面:

2.4.1 水位控制。在地下空间开发期间,以安装降水井或是水泵系统方式对地下水水位波动做出控制,预防施工期间水位过高引起的土地松动现象。

2.4.2 水质治理。在地下空间开发期间安装水质净化装置,治理地下水水质污染情况,常见的有地下水注入处理、化学沉淀处理等。

2.4.3 地基加固。在解决地下水流动引起地基沉降问题的时候,利用注浆加固、深基坑等方式。

2.5 风险监测

风险管理的最后步骤是风险监测,目的是通过地下水实时监测方式,发现潜在的风险并做出预警处理。常见的监测方式有水位监测、流速监测和水质监测,通过安装自动监测设备,确保对地下水的动态变化保持高度敏感。

3 风险评估模型的构建

地下水风险评估模型构建在地下水风险管理中处于核心位置,通常采用数学建模与数值模拟相结合的方式。下面介绍一种基于数值模拟的地下水风险评估模型。

3.1 水流动模型

评估地下水风险,水流动模型是基础。地下水流动模型常采用有限差分法或有限元法。以MODFLOW模型为例,MODFLOW是基于有限差分法的地下水流动数值模拟工具,可以模拟地下水在复杂地质条件下的流动特性。其主要方程为:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{K}{\phi} \nabla^2 h - \frac{S}{\phi} h$$

其中, h 为水头, K 为水力传导率, ϕ 为孔隙度, $\nabla^2 h$ 为水头梯度, S 为储水系数。

通过数值解法对地下水流动方程进行求解, 可以预测地下水的流动方向、流速以及水位变化情况, 从而为风险评估提供数据支持。

3.2 水质模型

水质模型主要用于评估地下水中的污染物在水体中的扩散与迁移。常用的水质模拟模型包括 Advection-Dispersion Equation (ADE) 模型, 表示为:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D\nabla^2 C - \vec{v} \cdot \nabla C + R$$

其中, C 为污染物浓度, D 为扩散系数, \vec{v} 为地下水流速, R 为源项, 表示污染物的产生或降解。结合水质监测数据, 使用该模型可以预测污染物的扩散范围, 进而进行污染风险评估。

4 应用案例分析

将某地的空间开发项目作为研究对象, 项目处于城市核心区域, 有丰富的地下水资源, 地质条件比较复杂。在项目建设中要对地下水水位、流速、水质变化实时监测, 评估地下水动态和风险, 为项目顺利实施提供保障。

4.1 数据采集与分析

在项目区域内设置了10个地下水监测点, 采集了为期6个月的水位、流速和水质数据。

表1 部分监测数据

水位数据	监测点1的水位变化幅度为1.5米, 监测点2的水位波动幅度为1米。
流速数据	监测点1的水流速为0.03 m/s, 监测点2的流速为0.08 m/s。
水质数据	监测点1的水质pH值为7.2, 溶解氧为4.5 mg/L, 重金属含量较低。

在水位方面, 监测点1的水位波动幅度较大(1.5米), 表明该地区的地下水水位波动较为明显, 受到气候、降水或地下水补给情况的影响。而监测点2的水位波动幅度为1米, 相对较小, 表明该地区的水位变化较为稳定, 受外部因素影响较少。关于流速数

据, 监测点2的水流速(0.08m/s)明显高于监测点1(0.03m/s), 这反映了监测点2所在区域地下水流动较为活跃, 水流流速较快, 影响水质和水量的分布。在水质方面, 监测点1的水质pH值为7.2, 属于中性, 表明水体的酸碱度适宜生物生长; 溶解氧为4.5mg/L, 表示水体具有一定的溶解氧含量, 有利于水生生物的存活。此外, 重金属含量较低表明水质污染较轻, 有良好的水质环境。总体来看, 监测点1的水质较为良好。

4.2 风险评估结果

通过对上述数据的数值模拟分析, 结合MODFLOW水流动模型和ADE水质模型, 评估结果表明:

(1) 水位变化较大, 部分区域的地下水位波动超过1.5米, 需采取水位控制措施。(2) 水流速度较快的区域引发土体的不稳定, 需要对地下结构进行加固。(3) 水质相对稳定, 但仍需加强监测, 防止污染源影响。

5 结论

地下水动态监测和风险评估是地下空间开发中至关重要的工作。通过合理的监测技术和科学的风险评估体系, 可以有效避免地下水变化对工程带来的潜在威胁。数值模拟和数学建模在地下水风险评估中具有重要作用, 能够提供准确的预测数据, 为地下空间开发的安全实施提供保障。

【参考文献】

- [1] 郝英红, 李晓晖, 陈忠良, 等. 城市地下空间开发地质环境质量三维评价方法研究——以合肥市滨湖新区为例[J]. 地理与地理信息科学, 2021, 37(1): 11-16.
- [2] 张宏, 王淑晴. 城市地下空间开发利用规划研究[J]. 中国科技产业, 2021(7): 3.
- [3] 徐中华, 顾正瑞, 王卫东, 等. 地下空间开发对其三面围合历史建筑影响实测分析[J]. 土木工程学报, 2024, 57(6): 221-230.
- [4] 曹晓彬. 地下水动态监测与实时预报系统的构建研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2024, 7(2): 93-96.
- [5] 易树平, 方铖, 刘君全, 等. 地下水环境智慧监管技术集成与平台应用研究[J]. 中国环境监测, 2024(001): 040.

作者简介:

顾传敬(1989--), 男, 汉族, 江苏南京人, 本科, 测量技术员, 测绘中级, 研究方向: 测绘, 基坑。