

# 水文地质条件对重大工程稳定性的影响及对策

孟庆斋 郭祥义 马海会

山东省地矿工程勘察院(山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队)

DOI:10.12238/gmsm.v7i12.2061

**[摘要]** 本研究主要关注水文地质条件对重大工程稳定性的影响,以及应对的办法。详细分析了地下水水位变化、水质情况,还有岩土体渗透性,这些因素怎么影响工程稳定性,像引起地基沉降、边坡不稳、结构腐蚀、渗流破坏和排水难等问题。从工程勘察、设计、施工到运营阶段,给出了一系列针对性措施,目的是为保障重大工程长期稳定运行,提供科学依据和实践指导。

**[关键词]** 水文地质条件; 重大工程; 稳定性; 影响机制; 对策

**中图分类号:** P5 **文献标识码:** A

## Influence of hydrogeological conditions on the stability of major projects and its countermeasures

Qingzhai Meng Xiangyi Guo Haihui Ma

Shandong Institute of Geology and Mineral Engineering Investigation Institute (81st Hydrogeology and Engineering Geology Brigade of Shandong Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development)

**[Abstract]** This study focuses on the impact of hydrogeological conditions on the stability of major projects and the ways to respond. Detailed analysis of groundwater level changes, water quality, and the permeability of rock and soil mass, how these factors affect the stability of the project, such as causing foundation settlement, slope instability, structural corrosion, seepage damage and drainage difficulties and other problems. From the engineering survey, design, construction to the operation stage, a series of targeted measures are given, aiming to ensure the long-term stable operation of major projects and provide scientific basis and practical guidance.

**[Key words]** hydrogeological conditions; major projects; stability; influence mechanism; countermeasures

### 引言

社会经济发展快,各种重大工程,像高层建筑、桥梁、水利枢纽、地下工程等越来越多。这些工程稳不稳定,直接关系到老百姓生命财产安全,还有社会经济能不能持续发展。水文地质条件是影响工程稳定性的关键因素之一,作用越来越明显。地下水水位的变动、水质的变化,还有岩土体渗透性不一样,都可能对工程的基础、结构等产生复杂影响,威胁到工程整体稳定性。深入研究水文地质条件对重大工程稳定性的影响原理,并且提出可行的应对办法,理论和现实意义都很大。

### 1 水文地质条件对重大工程稳定性的影响机制

#### 1.1 地下水水位变化的影响

##### 1.1.1 地基沉降

地下水水位下降的时候,岩土体里的有效应力会增加,特别是在松散的砂土、粉土,还有软黏土地区,土体的压缩性变强很多。土体里的孔隙水压力没了以后,土体颗粒重新排列,就会让地基沉降。比如说,有些城市过度抽取地下水,建筑物地基经常沉降。上海在20世纪60年代,因为长期大量开采地下水,市区地

面平均沉降了1.69米,有些地方沉降超过2米,严重影响了建筑物安全和正常使用。

然而,地下水水位上升也会引起地基沉降问题。水位上升,土体会被水浸透,土的重量增加,像湿陷性黄土这种特殊土,可能会发生湿陷变形。而且,水位上升还可能让地基土的抗剪强度降低,地基更容易出现不均匀沉降,对上面的结构造成损害。

##### 1.1.2 边坡失稳

地下水水位变化,对边坡稳定性影响很大。水位上升,边坡岩土体重量变大,下滑力增加。同时,地下水在岩土体孔隙里形成孔隙水压力,降低了岩土体的有效应力,岩土体的抗剪强度就变小了<sup>[1]</sup>。比如,山区的公路边坡,连续降雨后,地下水水位很快上升,经常导致边坡土体抗滑力大幅下降,引发滑坡灾害。据统计,我国每年因为降雨让地下水水位变化,引发的边坡失稳事故有好几百起,造成很大经济损失和人员伤亡。

地下水水位下降的时候,因为水力坡度变化,可能产生动水压力,边坡岩土体受到渗流作用,也容易引发边坡失稳。特别是在砂质土,或者节理裂隙多的岩石边坡,这种影响更明显。

## 1.2 地下水水质的影响

### 1.2.1 混凝土结构腐蚀

地下水化学成分很复杂。要是里面有侵蚀性介质,就会严重腐蚀混凝土结构。拿硫酸根离子来说,要是水中硫酸根离子含量高,就会和混凝土里水泥的水化产物起化学反应。具体来讲,硫酸根离子会和水泥水化生成的氢氧化钙等物质反应,接着生成钙矾石。钙矾石生成的时候,体积变化很明显,能膨胀大概1.5倍。这么大的膨胀,会在混凝土内部产生很大应力,最后让混凝土结构膨胀破坏,导致结构开裂、变疏松。

而且,水中的氢离子、镁离子等侵蚀性也很强。它们会和混凝土中的碱性物质发生中和反应,慢慢破坏混凝土内部原本紧密的微观结构。这种破坏会降低混凝土强度,让它承受不了设计荷载,还会大大削弱混凝土的耐久性,使得在长期使用中更容易受外界环境因素影响。

在沿海地区,因为海水入侵等原因,地下水含盐量高,腐蚀性强。在工业污染区域,大量工业废水排放,让地下水中有各种腐蚀性化学物质。在这些地方,桥梁、水工建筑物等混凝土结构面临很严重的腐蚀问题,严重威胁工程设施的安全和使用寿命。

### 1.2.2 金属结构腐蚀

地下水腐蚀金属结构,主要是通过电化学腐蚀。地下水是电解质溶液,和金属结构形成腐蚀电池。金属在这种环境里,表面的金属原子失去电子变成离子,进入溶液,就发生腐蚀了。比如,地下工程里的金属支撑结构、地铁轨道的金属部件等,长期在地下水环境里,容易被腐蚀。水里溶解的氧气、氯离子等,会加快金属腐蚀。相关研究显示,在一些水质差的地区,金属结构腐蚀速度能达到每年几毫米,严重影响金属结构使用寿命和工程安全性。

## 1.3 岩土体渗透性的影响

### 1.3.1 渗流破坏

岩土体的渗透性决定了地下水在里面的流动情况。岩土体渗透性大,而且工程作用下形成大的水力梯度,可能发生渗流破坏。常见的渗流破坏有管涌和流土。管涌是指在渗透水流作用下,土中的细颗粒在粗颗粒形成的孔隙通道里移动,被带出去。流土是指在向上的渗透力作用下,表层土体颗粒一起浮动。在水利工程的堤坝建设中,如果对地基岩土体的渗透性考虑不够,在高水位差作用下,容易发生管涌或者流土,导致堤坝渗漏,甚至溃决。如1998年长江流域洪水期间,有些堤坝就因为地基渗流破坏出现危险情况。

### 1.3.2 工程排水困难

岩土体渗透性差,工程排水就困难。在地下工程,比如地铁、地下室等施工和运营的时候,需要及时排掉地下水,保证工程正常进行。要是岩土体渗透性低,地下水排不出去,地下水位就会上升,增加工程结构的水压力,影响结构稳定性。而且,积水还可能弄坏施工设备,耽误施工进度<sup>[2]</sup>。例如,在一些黏土多的地层进行地下工程施工,因为黏土渗透性低,排水难,经常要采用特殊排水措施,像井点降水、深层搅拌桩截水帷幕等等。

## 2 应对水文地质条件影响的对策

### 2.1 工程勘察阶段的应对措施

#### 2.1.1 详细的水文地质勘察

工程勘察的时候,要全面、详细地做水文地质勘察。首先,要准确测量地下水水位,以及它的动态变化规律,通过设置长期观测孔,得到不同季节、不同年份的地下水水位数据。其次,对地下水水质采样分析,确定水里各种化学成分含量,评估对工程材料的腐蚀性。另外,还要测试岩土体的渗透性,可以用现场抽水试验、压水试验等方法,得到准确的渗透系数等参数。在某个大型桥梁工程勘察中,通过详细的水文地质勘察,发现桥址处地下水水位变化大,而且水质腐蚀性强,给后面工程设计提供了重要依据。

#### 2.1.2 水文地质模型建立

在实际工程建设中,根据严谨勘察得到的数据,建立准确的水文地质模型特别重要。用像 MODFLOW 这类专业的数值模拟软件,能高效模拟地下水的流动情况,准确预测水位变化趋势,还能深入研究它和工程之间的相互作用机制。对这个模型深入分析后,在不同场景设定下,能准确预测工程场地水文地质条件的动态变化,给工程设计和施工提供科学、可靠的预测依据。

就某城市地铁工程来说,在项目筹备的时候,专业团队认真建立水文地质模型,准确预测出施工时地下水水位会下降。同时,仔细评估了水位下降对周边建筑物的影响范围和程度。根据这些信息,工程方提前制定并采取了一系列有针对性的防护措施,有效保证了周边建筑的安全和稳定,也让地铁工程能顺利推进。

### 2.2 工程设计阶段的应对措施

#### 2.2.1 基础设计优化

根据详细的水文地质勘察结果,仔细分析地下水水位、土层结构、岩土特性等关键数据,用先进的模型分析方法,准确评估工程基础可能面临的风险,从而优化工程基础设计。针对可能出现地基沉降的复杂情况,可以灵活选择桩基础、筏板基础等合理的基础形式。桩基础靠深入土层的桩体,把上部荷载传到深层坚实土层,大大提高基础承载能力;筏板基础通过大面积的钢筋混凝土板,有效分散荷载,增强基础稳定性。在地下水水位变化大的地方,基础埋深设计很重要。要充分考虑水位变化影响,仔细计算,保证基础能稳稳地在稳定土层。比如某高层建筑设计,因为场地地下水水位波动大,综合考虑后,通过采用桩筏基础,把基础埋深精确设置在地下水水位以下的稳定持力层,成功避免了地基沉降问题,保障了建筑安全。

#### 2.2.2 结构防腐设计

针对地下水水质对工程结构的腐蚀问题,做结构防腐设计。对于混凝土结构,可以用耐腐蚀水泥、加抗腐蚀外加剂、增加混凝土保护层厚度等办法。在混凝土表面涂防腐涂层也是常用方法,像环氧涂层、聚氨酯涂层等,能有效防止地下水侵蚀介质接触混凝土。对于金属结构,可以用热镀锌、喷防腐漆等方法防护。在一些跨海大桥的金属构件设计中,使用热镀锌加高性能防腐漆的双重防护措施,大大提高了金属结构的耐腐蚀能力。

## 2.3 工程施工阶段的应对措施

### 2.3.1 地下水控制

工程施工的时候,为了保证基础施工安全,必须采取有效的地下水控制措施。需要降低地下水时,井点降水和深井降水都很有用。井点降水一般用于浅层地下水,在基坑周边按合适间距埋井点管,井点管和集水总管连接,靠抽水设备产生真空吸力,把地下水抽出来,慢慢降低地下水位,给浅层施工创造好条件。深井降水主要针对深层地下水,在基坑内或周边钻深井,井里装水泵,靠水泵的抽送能力,把深层地下水抽到地面排掉。比如某大型地下室施工项目,因为场地地下水浅层、深层都有,施工团队把井点降水和深井降水结合起来。先用井点降水降低浅层水位,再用深井降水解决深层水问题,成功把地下水位降到施工要求标高以下,保证了施工顺利进行。要注意,施工时一定要严格控制降水速度和降深,防止降水太快、太深,引起周边地面沉降、建筑物开裂等问题,保护好周边环境安全。

### 2.3.2 施工质量控制

工程建设中,严格控制施工质量,是保证各项措施能有效落实的关键。基础施工的时候,施工精度很重要。桩基础施工,要精确确定桩位,严格控制桩的垂直度,用先进测量仪器,把误差控制在很小范围,给基础承载打好基础。混凝土浇筑的时候,要严格按配合比,控制好浇筑温度和速度,分层振捣密实,防止出现蜂窝麻面、裂缝等问题。基础一旦有裂缝,地下水很容易顺着裂缝渗透,侵蚀基础内部结构,严重影响基础耐久性。对于地下防水工程,防水材料选择和施工质量都不能忽视。SBS防水卷材弹性好,耐高低温;高分子防水卷材强度高,抗渗性好。施工时,要严格按规范处理基层,保证防水层铺贴平整、牢固,搭接宽度符合要求。比如某隧道工程,施工团队在防水板铺设时,加强质量控制,对每条焊缝都严格检测,保证了防水板铺设质量,有效防止了地下水渗漏,保证了隧道正常使用<sup>[3]</sup>。

## 2.4 工程运营阶段的应对措施

### 2.4.1 监测与预警系统建立

工程运营的时候,要建立完善的监测与预警系统。实时监测地下水水位、水质、岩土体变形等参数,通过传感器把数据传到

监控中心。用数据分析软件处理、分析监测数据,监测数据超过预警值,马上发出预警信号。例如,某大型水利枢纽工程运营时,通过建立地下水水位和坝体变形监测系统,能实时掌握工程运行情况,及时发现潜在安全隐患,为采取相应维护措施提供依据。

### 2.4.2 维护与加固

根据监测结果和工程实际运行情况,定期对工程进行维护和加固。结构有腐蚀,及时修复、做防腐处理。地基沉降、边坡变形等问题,采取相应加固措施,像地基注浆加固、边坡锚杆支护等。某老旧桥梁运营时,定期检测发现桥梁混凝土结构有腐蚀,及时修复腐蚀部位,重新涂防腐涂层,同时对桥梁基础注浆加固,提高了桥梁安全性和耐久性。

## 3 结语

水文地质条件会从很多方面影响重大工程的稳定性,而且这种影响很复杂。地下水水位会变,水质有好有坏,岩土体渗透性也不一样,这些因素相互作用,可能会让地基下沉、边坡不稳、结构被腐蚀、出现渗流破坏等问题,严重威胁工程安全,让工程没法正常使用。在工程勘察、设计、施工还有运营的时候,采取一些有针对性的办法,比如严格水文地质勘察、科学建模、合理优化设计、有效控制施工,还有做好监测和维护,就能减少水文地质条件给重大工程稳定性带来的不良影响,让工程能长期稳定运行。

### [参考文献]

[1]张国胜,杨路党,吴明明.复杂水文地质条件下煤矿防治水技术探讨[J].能源与节能,2024,(11):172-174.

[2]李志刚.矿山工程地质勘察中岩土水文地质的研究[J].中国金属通报,2024,(09):157-159.

[3]谢益凯.某地区工程水文地质条件勘察分析[J].黑龙江科学,2024,15(14):94-97.

### 作者简介:

孟庆斋(1988--),男,汉族,高级工程师,本科,研究方向:水文地质、工程地质、环境地质。