

水工环工程中的地质风险评估与应对策略

刘丹丹

江苏省生态地质调查大队，江苏省南京市，210000；

摘要：水工环工程因地理位置常遇滑坡、地面沉降等复杂地质风险，危及工程与周边环境，运用地震反射、电阻率成像及钻探样本分析等地质勘探技术，可获地下详情。借助实时数据监测分析系统与 GIS、MATLAB、Python 软件平台，达成风险早识与即时响应，引入环保举措保障工程环保性，显著提升工程安全，降低环境影响，规避灾害，确保工程可持续运行与环境稳定。

关键词：地质风险评估，环境保护，实时监测，水工环工程，技术应用

DOI：10.69979/3029-2727.25.01.055

引言

水工环工程地质风险评估中，除文中技术外，还有如合成孔径雷达干涉测量技术，可精准监测地表形变；激光扫描技术，能详细构建地形地貌三维模型辅助风险判断；地球物理层析成像技术，可探测地下地质体内部结构特征等先进技术，发展高效评估与管理策略，结合案例分析应对效果，构建综合风险管理框架并重视环保措施极为关键。

1 水工环工程中地质风险的现状与挑战

1.1 当前水工环工程面临的主要地质风险

地面沉降多因地下水抽取过度或土壤沉积不均而发生，其可致使重大工程结构遭受损毁，山区水库与坝体工程常面临岩体滑移风险，降雨或震动情形下，岩石稳定性易丧失，进而诱发滑坡或坍塌灾祸。处地震活跃区域工程，不得不应对地震所致地面振动，此类振动可对大坝、水库等水工结构予以破坏，尤其是坐落断层带附近工程。受水文地质异常作用，地下水流动不稳定状况会使工程基础受损，地下水突涌现象不仅危及施工人员生命安全，可能造成施工延期并使工程成本增加^[1]。

1.2 地质风险对工程安全与环境的影响

地质风险对工程安全与环境施加影响如下：因地下水过度抽取引发地面沉降，不但可能致使工程结构失稳并引发生产事故，可能致使周边土地环境恶化，生态系统功能受创。工程区域内岩体滑移与土壤侵蚀会给水质带来消极影响，使水处理成本与难度增大，严重时可致重要水源地遭受污染，地震活动引发土地破裂与土壤液化现象，可导致大规模环境破坏，断层活动可能改变地表水系统，对地区水循环及生物栖息地产生作用。不稳定水文地质条件如地下水突涌，不仅直接对施工安全构成威胁，还可能借由将污染物引入地下水体而间接对广

泛区域环境健康产生影响，鉴此类风险存在，工程设计与施工进程中，务必考量深入地质风险评估及环境保护举措，以保障工程与环境长期安全稳定状态。

2 地质风险评估的方法与技术

2.1 地质勘探技术在风险评估中的应用

地震反射技术凭借对地表下地震波反射信号的记录，能够构建出地下结构的详尽剖面图，在实际操作流程中，地表布置数量可达数百个的地震传感器，各个传感器间的间距约处 10 米至 20 米区间，后借助人工或自然源来激发地震波。此技术能够深入至数千米的地层深处，其精度可至数米范围，进而精准地映射出潜在的地质断层以及不连续体，为水工项目供应极为关键的地质信息。电阻率成像技术是利用地层针对电流所呈现出的阻抗差异来描绘地下结构，在地表安置电极，注入特定频率的电流，并对地面不同点位的电压响应予以测量，便可推断出地下岩石的类型、含水量及其分布状况。该技术在评估地下水情形以及土壤含水量方面尤为适用，其探测深度能够达到数百米，分辨率处几十米范畴内^[2]。

钻探样本分析为水工环工程贡献了基实际地层数据的深度见解，在地质风险评估中占据不可或缺地位，此方法涵盖从特定地点开展系统的钻探作业，各个检测点依据设定的平方千米密度加以布局，以此确保足够的覆盖范围以及数据的代表性。工程师得以依据具体的地质状况与工程需求，判定钻孔的适宜深度，通常处 20 米至 100 米间，自钻孔中提取的岩石与土壤样本被送往实验室以开展详尽的物理与化学分析。实验室中，专业人员测定样本的诸多参数，诸如岩石的抗压强度与弹性模量，这些数据对理解材料的力学特性至关重要，样本分析包含对土壤与岩石的渗透性、孔隙率以及水化学

特性的评估，这对预测与处置地下水动态以及评估含水层的稳定性具备重要意义。这种精确的地下实况勘查手段为识别与评估潜在的地质风险，诸如地面沉降与岩体滑坡，提供了科学依据。

2.2 数据分析与模型在地质风险预测中的作用

地质模型的构建起始广泛地质数据的收集工作，诸如岩层的分布情形、裂缝的走向与分布状况、历史上的地震记录等，运用诸如 GEO - SLOPE 或 RockScience 类的地质建模软件将这些数据转化为三维地质模型。这些模型能够呈现地下结构的真实状况，并为后续的风险评估奠定基础，在模型构建完成后，引入地质工程参数，例如岩石的抗剪强度与摩擦角，借助有限元方法 (FEM) 或离散元方法 (DEM) 实施力学分析。

尤其在应对如断层带或软弱层这般复杂的地质条件时，这些模拟技术能够精确地预测裂缝的扩展情形、坡体的稳定性以及可能出现的地表沉降区域，数据分析涵盖实时监控数据的解析，诸如地表位移、地下水位变化以及裂缝扩展速率等，将这些实时数据输入至预先构建的模型中，便可实时评估风险等级，及时调整工程方案或者采取应对举措。大坝工程中，借助持续监测大坝坝体的细微移动与水压力变化，并结合地质模型展开分析，能够有效地预测潜在的坝体失稳风险，进而实施加固或者排水等措施，保障工程的安全运作。

3 地质风险应对策略的实施

3.1 现场监测与实时数据处理的策略

水工环工程领域，借助安装各类传感器与监测设备以采集有关地下水位、土壤湿度、岩石位移、裂缝宽度以及地震活动等数据，倾斜仪被用测量地面或坝体的倾斜角度，其通常依 50 米的间距构建网络，以此覆盖整个工程区域，监测数据每 10 分钟予以更新。地下水位传感器则布设预先钻探的井内，每井深度大致处 30 米至 100 米区间，每小时自动记录水位数据，裂缝宽度

传感器安装关键结构的裂缝部位，对裂缝变化实施实时监测，数据同样每 10 分钟更新一回^[3]。

实时数据处理在水工环工程的地质风险管理进程中占据关键地位，凭借地理信息系统 (GIS) 以及 MATLAB 与 Python 这类专业软件，数据处理与风险评估能够更为高效且精确地开展。这些平台具备卓越的数据整合性能，可自多种传感器所采集的数据里提取极具价值的信息，系统对这些数据展开深度剖析，设定相应的安全阈值，一旦所监测的参数超出这些阈值，便能自动激活警报系统。此类技术可使工程管理团队及时获取风险预警，并迅速调配必要的干预举措，这不仅极大地削减了对人工监测的依赖程度，提升了针对潜在灾害的响应速率与效率，显著增强了工程的安全性与防灾能力，此一进步表明工程项目能够在风险初现端倪即予以有效管控，进而规避可能产生的损失与灾害发生。

3.2 工程设计与施工中的风险缓解措施

工程设计团队会基地质勘探成果与风险评估结果，选定适宜的工程地点并确定设计方案，设计方案涵盖采用加固材料，诸如钢筋混凝土与地下连续墙 (D - Wall)，以此强化工程结构的稳定性。地下连续墙工程中充任防水屏障，同时提升土壤的承载能力，常用大型基础设施工程，如地铁站与防洪堤，这些墙体的深度通常处 20 米至 60 米间，厚度处 0.6 米至 1.2 米区间，以确保能够有效管控地下水流动并增进土体稳定性。

施工进程中，实施严格的质量管控与监督是保障风险缓解举措得以切实行的关键所在，这包含对所用材料的质量予以严格查验，确保所有材料与设备契合国家及国际标准。施工期间定期开展工程审查与安全评估，保证施工过程遵循设计规范，并适时调整施工方案以适配地质条件的变动，倘若在施工过程中察觉新的裂缝或土体松动现象，工程团队则需重新评估设计方案并采取补充加固措施，诸如增添支撑结构或更替施工方法。如表 1 所示：

表 1：地质风险监测技术应用表

技术类别	应用设备	测量参数	数据更新频率	安装间距	监测深度
地面倾斜测量	倾斜仪	倾斜角度	每 10 分钟	50 米	地表层
地下水位监测	水位传感器	水位高度	每小时	100 米	30-100 米
裂缝宽度监测	裂缝宽度传感器	裂缝变化宽度	每 10 分钟	直接安装在裂缝	0-2 米
地震活动监测	地震传感器	地震波形	实时	200 米	地表至深层

数据来源：综合自行业标准和设备制造商技术手册

4 环保措施与地质风险管理的结合

4.1 在风险管理中融入环境保护的实践

环境保护标准被确立为工程规划的前置要件，需项目正式启动前完成环境影响评估报告的编制工作，该报

告详尽地记录了预期施工活动可能对当地生物多样性、水体、土壤以及空气质量所产生的影响，并拟定了具体的减缓举措。大型水库工程中，设计阶段会考量构建生态通道，以此保障水生生物的迁徙活动不受阻滞，此类

通道的设计通常需确保其宽度与深度契合特定物种的生活习性需求^[4]。

在施工阶段，为降低扬尘与噪音对环境造成的影响，会运用湿式施工技术与低噪音施工设备，湿式施工技术借助喷水操作来削减土壤扬尘，尤其在干旱且风力较大的区域，每日至少开展两次喷水作业，每次喷水时长约达 30 分钟。所有施工设备均需契合国家环保标准，噪音等级不得超出 75 分贝，借助这些手段能够切实有效地减轻施工对周边环境的影响，在监测阶段，设置生态监测站点来持续追踪工程对周围环境的作用效果。监测站点依每 5 公里的间隔予以设置，主要针对水质变化、土壤侵蚀状况以及生物多样性指标展开监测，这些数据每月采集一次，并与环境保护局进行共享，以此确保所有环保措施的施行成效与初期评估承诺相符。

4.2 采用绿色技术和材料以减少环境影响

在材料抉择方面，优先选用低碳、可回收且生态友好型的建筑材料，采用高性能混凝土与再生钢筋，这些材料不但能够提供所需的结构强度，同时削减了生产流程中的碳排放，高性能混凝土的运用使传统混凝土用量缩减了约 30%，而再生钢筋则借助对废旧金属的利用减少了新资源的开采量。

在技术应用范畴内，施工项目广泛运用太阳能与风能设备为施工现场供应能源，太阳能发电板被安装临时办公室与机械仓库的屋顶上，满足了这些区域约 40% 的电力需求。为降低施工进程中的水资源消耗量，采用雨水收集系统与废水循环利用技术，所收集的雨水主要应用施工现场的日常用水与湿式施工环节，废水循环系统能够回收并净化至少 60% 的施工用水以供再次使用。凭借这些举措，工程项目不仅能够达成建设需求，同时显著地降低了对自然环境的负面影响，确保了生态系统的完整性与可持续性。

5 评估与应对策略的效果与优化建议

5.1 成功案例分析与实施效果评估

就中国南方某一大型水库项目而言，其实施进程中运用了综合地质风险评估与应对策略，并收获了显著成效，该水库坐落地质状况复杂的山区，其面积达 300 平方公里，库容量约为 10 亿立方米^[5]。项目实施前的地质风险评估结果表明，区域内存在多处潜在的滑坡与地面沉降区域，项目团队启用了多点位移传感器监测系统，共计安装传感器 200 余个，对关键区域的地面与岩层移动情形予以监控，监测数据每 15 分钟自动上传至中央处理系统，并与预设的风险阈值展开比较。

实施效果评估结果显示，在工程运行的最初两年期

间，借助实时监测系统，成功地对 3 次潜在的滑坡事件进行了预警，及时开展了预防举措，涵盖排水与加固作业，有效地规避了可能出现的灾害。水库的水质监测结果表明，运用环保型非毒性材料以及施工过程中的严格水处理措施，水库区域的水质始终维持在国家一级标准上，对周边生态所产生的影响极为微小。

5.2 策略优化建议及实施方法

基于上述案例的实施成效，为进一步优化地质风险管理策略，有必要强化以下若干方面：增添具备更高精度的地质监测设备，引入基卫星的雷达干涉测量技术（In SAR），以此提升对微小地表变化的监测效能。该技术能够提供毫米级别的监测精度，尤其适用大面积的地质稳定性评估工作，实施更为深入的地下水动态监测举措，在关键区域额外增设深度可达 100 米以上的深层水位监测井，以便更为精准地评定地下水活动对地质稳定性所产生的影响。

定期更新并完善风险评估模型，将最新的监测数据与环境变化信息纳入其中，借助构建一个动态更新的数据仓库，能够实时地调整风险评估参数与阈值，确保预警系统的敏感度与准确性。推广知识共享与跨部门协作模式，搭建一个多方共同参与的地质风险管理平台，整合政府、研究机构以及企业的资源与知识，携手提升地质风险应对的技术水准与效率。

6 结语

本研究表明，水工环工程中地质风险管理与环境保护策略至关重要，实时监测技术及现代地质评估工具的应用，有效提升了预测风险与及时应对能力，保障工程稳定运行与环境安全，未来，强化这些技术集成与优化，可增强工程项目对复杂地质的适应性，促进环境与发展和谐共生。

参考文献

- [1] 劳挺, 殷超凡. 环境保护视角下水工环地质勘查工作要点探究[J]. 中国金属通报, 2024, (05): 134–136.
- [2] 王勇宏. 探讨水工环地质技术在矿山地质灾害治理工程中的应用[J]. 中国金属通报, 2024, (04): 225–227.
- [3] 蔡源铭. 水工环地质勘查中的技术及应用分析[J]. 世界有色金属, 2023, (20): 110–112.
- [4] 邓卫卫. 水工环工程中岩溶地质灾害防治技术研究[J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36(07): 145–147.
- [5] 徐占涛. 探讨环境保护措施对矿山水工环地质工程中的影响[J]. 世界有色金属, 2023, (18): 103–105.