

水利枢纽工程地质勘察中断层活动性评价研究

李泽发

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

DOI:10.61369/WCEST.2025020007

摘 要 : 本文针对水利工程枢纽工程地质勘察里的断层活动性评价展开研究, 开篇阐述工程地质勘察的目的以及主要工作内容, 剖析断层活动性对工程稳定性和地震次生危害产生的影响, 接着叙述地质地貌分析、地球物理勘探、年代测定、大地测量、监测等评价方法。研究显示, 多种手段融合使用可以很好地评判断层活动性, 这项成果给水利枢纽工程的规划、施工、经营赋予了科学根据, 对于确保工程安全稳定运行有着非常重要的意义, 为水利行业的地质勘察工作提供了新的思路和方法。

关 键 词 : 水利枢纽工程; 地质勘察; 断层活动性; 评价方法

Study on Evaluation of Fault Activity in Geological Investigation of Water Conservancy Projects

Li Zefa

Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute Co., LTD. Urumqi, Xinjiang 830000

Abstract : This paper focuses on the evaluation of fault activity in geological surveys for water conservancy hub projects. It begins by explaining the objectives and main tasks of engineering geological surveys, then analyzes how fault activity affects the stability of projects and secondary earthquake hazards. The paper further describes various evaluation methods, including geological and geomorphological analysis, geophysical exploration, dating, geodetic surveying, and monitoring. The study shows that integrating multiple methods can effectively assess fault activity. This finding provides a scientific basis for the planning, construction, and operation of water conservancy hub projects, ensuring their safe and stable operation. It also offers new ideas and methods for geological surveys in the water conservancy industry.

Keywords : water conservancy project; geological survey; fault activity; evaluation method

引言

水利枢纽工程属于重要的基础设施, 在防洪、发电等领域发挥着作用, 然而它通常会建在地质状况复杂的地区, 存在断层就会出现各种危险, 活动断层也许会引发地震、地面变形等状况, 为工程安全带来很大的威胁, 准确判断断层是否活跃, 是工程选地、建造结构以及抗震设计时非常关键的部分, 关乎整个工程寿命期间的稳定运转情况, 当下由于工程变得越来越大, 建造需求也增多, 深入探究断层活动性评判的方法就变成一件很急迫的事情。

一、水利枢纽工程地质勘察概述

(一) 水利枢纽工程地质勘察目的与意义探究

水利枢纽工程地质勘察目的就是了解整个工程区域的地质情况, 地层岩性, 地质构造, 水文地质情况等, 为整个工程设计和施工提供详细的、准确的地质情况资料。其意义就是确保整个工程是安全的、稳定的, 不会因为地质原因导致工程事故; 合理的设计工程, 降低工程成本; 可以准确的预测到整个工程施工过程中

会遇到的地质问题, 提前做好相应的解决措施。比如三峡水利枢纽工程建设中, 通过大范围、细致的地质勘察, 了解到该地区地质情况, 为整个水利枢纽工程的建设奠定基础, 使得整个水利枢纽工程能够顺利的建设, 并且能够以安全可靠的状态持续稳定地运行, 不会出现任何可能导致危险或者异常的状况^[1]。

(二) 水利枢纽工程地质勘察要点

水利枢纽工程地质勘察涵盖诸多方面内容, 地层岩性勘察需明确不同地层的分布情况, 岩性状况, 物理力学性质, 这些都会

影响到工程基础的承载能力及其稳定性；地质构造勘察重点在褶皱、断层等构造形式上，以及对岩体完好的影响，断层的地点、规模、倾向、活动状况属于工程地质勘察的主要部分；水文地质状况勘察包含地下水的种类、水位、水量、水质以及含水层和隔水层的分布情况，这些都是工程防渗、排水设计的重要参考；岩体的风化程度，不良地质情况，比如滑坡、泥石流等也是勘察范围，它们会对工程的安全和稳定产生潜在威胁，需要详细评估和分析^[2]。

二、断层活动性评价的重要性

（一）断层活动对水利枢纽稳定性的作用分析

断层活动对水利枢纽工程的稳定性影响非常大。活动断层由于地震等活动会运动，而造成工程建筑物的基础被破坏，大坝、水闸等会倾斜、开裂、倒塌。美国的圣安德烈亚斯断层就是一条活动断层，1906年旧金山大地震就发生在该断层上，造成严重的破坏。若水利枢纽工程要建在类似活动断层附近，一旦断层发生活动，水利枢纽工程的稳定性将受到严重威胁。断层活动会引起周围岩石变形、破裂，导致岩体强度和完整度降低，增加边坡失稳、坝基渗漏的风险^[3]。

（二）断层活动诱发地震及次生灾害风险评估

活动断层是地震发生的最主要构造原因，断层突然错动会释放出巨大能量，造成地震。若水利枢纽所在地发生地震，不仅会破坏工程建筑物，同时还会产生一系列次生灾害，如水库大坝因地震而遭受破坏，大坝溃决，造成洪水泛滥，使下游大片地区受灾，造成大量人员伤亡和经济损失；还可能引发山体滑坡、泥石流等地质灾害，堵塞河道，对水利枢纽的正常运转构成威胁，同时对下游地区造成严重威胁。2008年汶川地震造成许多水利设施遭到破坏，某些水库出现险情，人们开始关注水利枢纽工程在地震及其次生灾害影响下的安全性^[4]。

三、断层活动性评价方法

（一）地质地貌分析法

1. 断层地貌特征识别

通过野外实地观察识别与断层有关的地貌特点，也是判断断层活动的一种方法，断层崖就是典型的断层地貌，当断层两侧发生垂直位移时，向上盘运动的崖坡就容易形成陡崖，如在山区可见陡峻悬崖，崖壁陡立，走向与断层走向一致。断层三角面也是断层地貌的标志之一，它是断层崖受流水冲刷切割，沿断面形成的三角形陡崖，沿断层走向分布。断层错断的山脊、水系突然转弯或错断等，也常指示断层的发育和活动，某河流在流经某一地区时，突然改变流向，两岸河谷两侧地形差异大，也就是说，地下断层活动所造成的地层错动极有可能是水系发育的一个关键诱因^[5]。

2. 地层错动与变形分析

对地层的研究判断，断层活动性研究，通过钻探所获得的资

料或是地质测绘所得到的资料来研究地层的错动状况以及地层的扭曲变形状况等，若经研究后发现地层中晚更新世（Q3）以后的地层被断层所错断，或者在地层中存在着褶皱、扭曲等变形现象，则这些变形均与断层有关，便可确定该断层具有活动性。在某一水利枢纽的地质勘察当中，通过对钻孔岩芯加以分析后得知，在第四系地层与下面基岩之间存在明显的错动面，而在第四系地层内部亦存在着轻微的褶皱现象。通过了解分析得知，以上现象都是由于附近的断层活动所造成的，由此可以得出结论该断层在晚更新世以后是有活动的，为工程建设的地质安全，断层活动的强弱程度也可以从地层变形的大小与速度上体现出来，若地层变形速率很快，或者短时间内形成大量的变形，由此表明，断层的活动性越强，对水利枢纽工程造成的危害越大^[6]。

（二）地球物理探测法

1. 地震勘探技术应用

地震勘探是地球物理探测里经常会用到的一种方法，依靠人工引发地震波，再将地下介质反射和折射回来的地震波信号接收下来，由此去推测地下地质结构，地震勘探在评判断层活动性时，会非常明确地察觉到断层所在的地点，断层的走向以及断层的大小，用高分辨率的地震勘探手段，就能识别出断层破碎带的具体情形，例如是断层破碎带有多宽，里面包含着什么等，通过细致观测地震波在断层周边的传播状况，好比波速出现波动，波形发生畸变等状况，也能判断出断层有没有活动性，以某一特定区域为例，在开展地震勘探工作时，发现地下存在一处波速异常区域，该条带状区域与基于地面勘测所推断的断层位置相重合。同时波速产生改变，这就体现出这条断层的破碎带比较宽，也许存在活动性，为后续的深入探究提供了重要线索^[7]。

2. 电法勘探原理与应用

电法勘探主若根据不同地质体之间存在的电性差异，在人工或者天然电场分布情况进行观测和分析之后，从而了解地下地质构造的一种地质探查方式，断层活动性评价过程中经常使用的电法勘探方式主要有电阻率法、激发极化法等，电阻率法可以探测出断层破碎带和断层破碎带附近岩体之间的电阻率差异情况，断层破碎带中的岩石破碎程度比较高，孔隙度大，电阻率就小，在绘制电阻率剖面图时，可以很明确地显示出断层所在的大概位置以及走向方向。激发极化法可以对断层破碎带内的水的含量和岩性进行区分，对判断断层的活动性以及和地下水的关系具有很大的好处。例如某水利枢纽工程场地进行电法勘探时，通过电阻率法发现在场地内存在一条明显的低阻异常带，根据地层资料分析认为该异常带可能是一条隐伏断层，采用激发极化法测量发现该断层破碎带含水量较大，可能存在地下水活动，说明该断层存在活动性，对后续工程建设提出了需重点关注断层活动性可能带来的影响^[8]。

（三）年代测定法

1. 放射性同位素测年基本原理

放射性同位素年代测定：利用放射性同位素的衰变规律来测定地质事件发生的年代，放射性同位素测年主要有碳-14（¹⁴C）、钾-氩（K-Ar）、铀系测年等，在断层活动性评价中最常用的为

^{14}C 测年法。 ^{14}C 是一种具有放射性的同位素，它在大气中与氧气结合成二氧化碳，在植物通过光合作用吸收二氧化碳后进入生物体内，生物死亡后 ^{14}C 就不再被补充，其含量就会按一定的衰减规律逐步减少。通过检测样品剩下多少的 ^{14}C 再与原来的 ^{14}C 含量对比，利用衰变的公式就能算出样品的年龄。对于研究断层的活动性，可以通过检测断层中的有机物（如一些古土壤、植物的遗骸等），然后对其 ^{14}C 测年，若所测结果显示断层在近期处于活跃状态，则可推断该断层为活动断层^[9]。

2. 热释光测年法的应用研究

热释光年代测定要依靠一些矿物晶体，例如石英，长石等，当这些晶体受辐射时，就会将能量储存在晶体里，后来给这些矿物加热，它们就会释放出之前储存的能量，以光的形式表现出来，同时这些矿物释放出来的光的多少和它们所遭受的辐射剂量成正比，辐射剂量又和时间有关，断层活动性评定期，通常去采集断层泥，那些经历过断层错动影响的岩层之中所包含的矿物颗粒以及其他相关物品，可以拿它们来开展热释光检测工作。借助测量这些样品种的热释光信号强度，再加上诸如环境辐射剂量等信息，就可以算出它从上一次受热事件，例如，自断层活动引发岩石破碎或重结晶等现象发生后所经历的时长。从而得知了断层的活动年代，比如说在研究某一个断层时，用断层泥里面的石英颗粒去做热释光测年，最后得到的结果显示这个断层在大约五万年前曾经发生过一次明显的活动，对于判定该断层的活动程度具有重要价值。

（四）大地测量与监测法

1. GPS 监测技术原理与应用研究

全球定位系统（GPS）监测技术，就是在断层的两侧设立很多GPS观测点，依靠卫星信号来准确地确定观测点的三维坐标发生的变化，断层活动时，两侧的岩体会出现相对位移，不断长时间监测GPS观测点的坐标变化情况，就能获取到断层的位移速率与方向等信息，从而评判断层的活动状况，GPS监测技术有着

高精度、全天候以及可实施监测这些优点，能够及时察觉断层细微的变动情形，在对某一个大型水利枢纽工程附近展开断层监测时，布置了很多GPS监测网络，通过多年的监测，发现断层两边的某些观测点存在水平位移速率，每年都能达到几毫米，同时有上下位移的情况，这就表明这个断层处于缓慢活动阶段，为工程安全评价赋予了重要的材料。

2. 水准测量与 InSAR 技术的应用研究

水准测量属于传统的测量地面垂直位移的方法，就是设置水准路线在断层两侧，定期测量水准点之间高差变化，从而观察断层垂直方向活动情况，水准测量精确度较高，然而它的测量范围比较小，同时测量结果受地形影响很大，合成孔径雷达干涉测量（InSAR）技术就是利用雷达卫星获取的干涉图像，来测量地表的微小形变，对于断层活动性监测来说，应用InSAR技术，可以很快得到断层沿线的形变情况，从中找出断层活动造成的地面下沉，上升等情形，采用InSAR技术对某个地区断层实施监测，发觉断层沿线存在明显的线性形变带，结合水准测量的数据，就能进一步判定出断层垂直方向的活动情况及其活动速率，这样就给全面认识断层活动性赋予了强有力的手段，同时InSAR技术不受天气，光照等条件制约，可以做到全天候，全天时监测^[10]。

四、结论与展望

如今各种断层活动性评价方法都被应用到水利枢纽工程地质勘察当中，这些不同的方法从各自的角度给予了断层活动性判断一些根据，以此来缩减工程风险，然而由于地质情况复杂又受到技术限制的影响，这些方法在精确度和速度方面还有改进的空间，日后需加大多种方法结合使用的力度并且开展新技术研发工作，依靠大数据，人工智能等科技手段，进一步改善断层活动性评价的效率和精确程度，从而为水利枢纽工程搭建起一道安全屏障。

参考文献

- [1] 徐琳, 陈永东, 杨荣, 等. 四川绵阳科技城新区玉皇沟断层探测与活动性评价 [J]. 城市地质, 2023, 18(02): 239–247.
- [2] 曾礼成. 某水利工程 F12 断层破碎带化学灌浆技术研究 [J]. 河南水利与南水北调, 2023, 52(04): 59–60.
- [3] 赵方彬. 则木河断裂带南段断层活动性及致灾效应研究 [D]. 成都理工大学, 2023.
- [4] 李坤, 黄镜嘉, 江涛, 等. 莱州湾凹陷同沉积断层活动性综合评价 [J]. 石油地质与工程, 2023, 37(02): 13–20.
- [5] 董来启, 刘建周, 岳克泰, 等. 小浪底水利枢纽对断层活动性的影响分析 [J]. 中州煤炭, 2009, (08): 6–8.
- [6] 黄振伟, 林仕祥, 黄海蛟, 等. 丹江口水利枢纽工程区域构造稳定性分析 [J]. 人民长江, 2009, 40(16): 43–46+98.
- [7] 黄静. 新疆克孜尔水库 F2 断层形变预测与活动性分析 [D]. 长安大学, 2009.
- [8] 伍法权, 王学潮, 国连杰, 等. 南水北调西线一期工程区断层活动性及其对工程的影响分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, (08): 1370–1374.
- [9] 夏金梧, 赵成生, 邓瑞生. 虎跳峡工程近场区断裂活动性与地震危险研究 [J]. 人民长江, 2002, (06): 22–24+59.
- [10] 王以仁. 活动性断裂与水利水电工程 [J]. 广西水利水电科技, 1990, (04): 47–50.