

引调水工程穿越活动断裂带的工程地质条件评价方法

高人和

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 天津 300220

摘要：引调水工程穿越活动断裂带时，需采用系统的工程地质条件评价方法。该方法涵盖地质勘察、模型构建、地基稳定性、地下水与地质灾害风险评估及综合评价等关键步骤。通过高精度勘探技术获取断裂带特征，构建三维地质模型，评估地基承载力与变形特性，模拟地下水动力场，预测地质灾害风险。最终，整合各环节成果，进行综合分析，划分风险等级，并提出应对措施。此方法旨在确保工程安全穿越活动断裂带，保障引调水工程的顺利实施。

关键词：引调水工程；穿越活动断裂带；工程地质条件；评价方法

引言：引调水工程在穿越活动断裂带时，面临着一系列复杂的地质挑战。活动断裂带作为地壳中活跃的构造单元，其复杂的地质特征和潜在的活动性对工程安全构成了严重威胁。为确保引调水工程能够安全、稳定地穿越活动断裂带，必须采用科学、全面的工程地质条件评价方法。该方法需综合考虑地质勘察、模型构建、地基稳定性分析、地下水与地质灾害风险评估等多个方面，为工程设计与施工提供可靠的地质依据。本文旨在深入探讨这一评价方法，为同类工程提供有益的参考和指导。

1 活动断裂带地质特征概述

1.1 活动断裂带定义与分类

1.1.1 活动断裂带的类型

活动断裂带根据断层两盘相对运动的方向和方式，主要可以分为垂直剪切型、逆冲型、走滑型和正断层型。（1）垂直剪切型断裂：垂直剪切断层主要表现为断层两侧的岩石块体沿近乎垂直的方向相互错动，这类断层可能引发明显的地表破裂和地表变形。（2）逆冲型断裂：逆冲断层则是断层上盘岩石相对于下盘岩石向上运动的断层，通常发生在地壳受挤压的环境中，断层倾角一般小于 45° ，具有挤压收缩性质。（3）走滑型断裂：走滑断层则是断层两侧岩石块体主要沿水平方向发生相对位移，断层面陡立或直立，常见于地壳板块的水平剪切运动中。（4）正断层型断裂：正断层则是断层上盘岩石相对于下盘岩石向下运动的断层，常发生在地壳受拉伸的区域，断层倾角通常大于 45° 。

1.1.2 活动断裂带与地震、地质灾害的关系

活动断裂带与地震、地质灾害之间存在着密切的联系。断层活动，特别是大型活动断裂带的强烈错动，往往是地震发生的直接原因。地震不仅会造成人员伤亡和财产损失，还可能触发滑坡、泥石流、地面塌陷等次生

地质灾害。此外，活动断裂带附近的岩土体由于长期受到断层活动的影响，其结构和强度往往发生变化，增加了地质灾害的发生概率。

1.2 活动断裂带地质特性

（1）断层活动历史与频率。了解断层活动历史和频率对于评估地震风险和进行地质灾害预警至关重要。通过地质调查、年代学测定和地震学分析等手段，可以揭示断层在过去的活动历史，包括活动强度、周期和频率。这些信息有助于科学家预测未来断层活动的可能性和规模，从而为防灾减灾提供科学依据。（2）断层带宽度与错动距离。断层带的宽度和错动距离是反映断层活动规模和强度的关键参数。断层带宽度通常指断层两盘之间发生明显位移的区域宽度，而错动距离则是断层两盘在特定历史时期内沿断层面的相对移动距离。这些参数对于评估断层活动对地表形态、地下水位和岩土体力学性质的影响具有重要意义^[1]。（3）断裂带附近地质结构与岩性。断裂带附近的地质结构和岩性对断层活动的表现和地震、地质灾害的发生具有重要影响。不同的地质结构和岩性组合对断层活动的响应不同，有的可能加剧断层活动，有的则可能起到缓冲作用。因此，在进行工程地质勘察和防灾规划时，需要充分了解断裂带附近的地质结构和岩性特征，以便准确评估断层活动的潜在风险和制定有效的防灾措施。

2 引调水工程穿越活动断裂带的工程地质问题

2.1 地层稳定性问题

（1）断裂带对地层结构的破坏。活动断裂带的活动会导致地层结构的严重破坏。断层活动会引起地层的错动、挤压和拉伸，使得地层原本稳定的结构发生紊乱。这种紊乱不仅会影响地层的承载能力，还会使得地层中的岩石和土壤变得松散和易碎。在引调水工程中，如果隧道或管道穿越这样的地层，就可能会遇到塌方、冒顶

等严重的工程地质问题。(2) 断层泥、碎裂岩等不良地质体的分布。活动断裂带中常常分布着断层泥、碎裂岩等不良地质体。断层泥是由断层活动挤压、研磨形成的细粒物质,其物理力学性质极差,具有高压缩性、低抗剪强度等特点。碎裂岩则是由断层活动导致的岩石破碎形成的,其稳定性和承载能力也大大降低。这些不良地质体的存在,会给引调水工程的施工和运营带来极大的安全隐患。

2.2 地下水问题

(1) 断裂带对地下水流的影响。活动断裂带对地下水流的影响主要体现在两个方面。一方面,断裂带的存在会改变地下水的流向和流速,使得地下水在断裂带附近形成富集区或贫水区。另一方面,断裂带的活动往往伴随着地下水的涌出或渗漏,这不仅会影响地下水的动态平衡,还可能对引调水工程的水质造成污染。(2) 突水、涌水风险。在引调水工程中,穿越活动断裂带时面临的重大风险之一就是突水、涌水。由于断裂带中的岩石和土壤结构松散,且常常分布着断层泥等不良地质体,这些地质体在水压的作用下容易发生破坏,从而导致地下水突然涌出。这种突水、涌水现象不仅会给施工带来极大的困难,还可能对隧道、管道等结构物造成严重的破坏。

2.3 地表变形与地质灾害

(1) 地表破裂、沉降。活动断裂带的活动会导致地表发生破裂和沉降。这种地表变形不仅会影响引调水工程的线路选择和施工难度,还可能对周边的生态环境和居民生活造成严重影响。在严重的情况下,地表破裂和沉降甚至可能引发更大规模的地质灾害。(2) 滑坡、泥石流等灾害风险。活动断裂带附近往往也是滑坡、泥石流等地质灾害的高发区。这些灾害的发生与断裂带的活动密切相关。在引调水工程中,如果线路穿越这样的地区,就需要采取严格的防灾措施,以确保工程的安全运营。

2.4 工程结构安全性

(1) 隧道、管道等结构物的稳定性。引调水工程中穿越活动断裂带的隧道、管道等结构物的稳定性是工程安全的关键。由于断裂带中的地质条件复杂多变,这些结构物在施工和运营过程中可能会遇到各种挑战,如塌方、冒顶、突水、涌水等。因此,在设计和施工过程中,必须充分考虑断裂带的地质特征,采取相应的加固和防护措施。(2) 施工过程中的安全风险。穿越活动断裂带的引调水工程施工过程中存在着诸多安全风险。这些风险不仅来自于地层稳定性、地下水、地表变形与地质灾害等方面,还来自于施工技术和设备等方面的限

制。因此,在施工过程中,必须严格遵守安全规程,加强施工监测和预警,以确保施工人员的安全和工程的顺利进行。

3 引调水工程穿越活动断裂带的工程地质条件评价方法

3.1 地质勘察方法

地质勘察是引调水工程穿越活动断裂带评价的基础工作,旨在为后续工程设计与施工提供可靠的地质资料。(1) 高精度地质调查与勘探技术。高精度地质调查与勘探技术是获取断裂带详细地质信息的关键。这包括但不限于地质剖面测量、地质雷达探测、瞬变电磁法、高密度电法、地震勘探等多种地球物理勘探技术。这些方法能够穿透覆盖层,揭示断裂带的空间分布、形态特征、岩性组合及断层活动历史等信息。此外,通过岩芯钻探和原位试验等手段,可以进一步获取断裂带内部的地质结构、岩体力学性质及地下水动态等数据。这些高精度地质调查与勘探技术的应用,为工程地质模型的构建提供了坚实的基础。(2) 断层活动性与潜在危害评估。断层活动性是评估断裂带对引调水工程影响程度的关键指标。通过综合分析地质调查与勘探数据,结合区域地质背景、历史地震记录及现代地壳变形监测资料,可以评估断裂带的活动性,包括活动周期、活动速率、活动强度等。同时,利用断层活动性与地质灾害发生概率的统计关系,可以初步预测断层活动可能引发的地表破裂、沉降、滑坡、泥石流等地质灾害的风险。这些评估结果为后续的地基稳定性评价、地下水与地质灾害风险评价提供了重要依据^[2]。

3.2 工程地质模型构建

工程地质模型是连接地质勘察与工程设计的桥梁,它通过将地质勘察数据整合到三维空间中,直观地展示断裂带及其周边地质环境的复杂性和多变性。(1) 三维地质建模技术。三维地质建模技术利用地理信息系统(GIS)、计算机辅助设计(CAD)及三维可视化软件,将地质勘察数据转化为三维地质模型。这些模型不仅展示了断裂带的空间分布和形态特征,还包含了岩性、岩体力学性质、地下水动态等多维信息。通过三维地质模型,工程师可以直观地了解断裂带对引调水工程线路的影响,为工程选址、线路优化及施工方案设计提供直观依据。(2) 断裂带地质结构数值模拟。断裂带地质结构数值模拟是运用有限元分析、离散元分析等数值方法,模拟断裂带及其周边地质结构在外部荷载(如自重、水压、地震等)作用下的响应。这些数值模拟可以揭示断裂带内部应力分布、位移场及变形特征,从而评估断裂

带活动对工程结构稳定性的影响。数值模拟结果还可以为地基加固、防水措施及防灾减灾措施的设计提供科学依据。

3.3 地基稳定性评价

地基稳定性评价是确保引调水工程穿越活动断裂带时结构安全的关键环节。(1)地基承载力分析。地基承载力分析是评估地基土体在外部荷载作用下不发生整体失稳或过大变形的能力。通过现场原位试验(如平板载荷试验、静力触探试验等)及室内土工试验,可以确定地基土体的承载力特征值。结合断裂带地质结构数值模拟结果,可以进一步评估断裂带活动对地基承载力的影响。对于承载力不足的地段,需要采取地基加固措施,如注浆加固、桩基加固等^[1]。(2)变形模量、泊松比等力学参数评估。变形模量、泊松比等力学参数是评估地基土体变形特性的重要指标。通过室内土工试验及现场原位试验,可以获取这些参数的值。这些参数对于评估地基在外部荷载作用下的变形特征、预测工程结构的长期稳定性具有重要意义。对于变形模量较小、泊松比较大的软弱地基,需要采取更为严格的加固措施,以确保工程结构的安全稳定。

3.4 地下水与地质灾害风险评价

地下水与地质灾害风险评价是引调水工程穿越活动断裂带时不可忽视的重要环节。(1)地下水动力场模拟。地下水动力场模拟是运用地下水流动数值模拟软件,模拟地下水在断裂带及其周边地质环境中的流动过程。通过模拟结果,可以了解地下水的补给、径流、排泄条件及水位动态变化特征。这些信息对于评估地下水对引调水工程的影响、设计防水措施及制定应急预案具有重要意义。对于地下水富集区或水位变化较大的地段,需要加强地下水监测和防水措施的设计。(2)地质灾害风险评估模型。地质灾害风险评估模型是运用统计学、地理信息系统及灾害风险评估理论,建立地质灾害发生概率及损失评估的模型。通过综合分析断裂带地质结构、岩体力学性质、地下水动态及历史地质灾害记录等信息,可以评估地质灾害的发生概率、影响范围及潜在损失。这些评估结果可以为地质灾害防治措施的制定提供科学依据。对于地质灾害高风险区,需要加强监测

预警、采取防灾减灾措施及制定应急预案^[4]。

3.5 综合评价方法

综合评价方法是引调水工程穿越活动断裂带工程地质条件评价的总结与提升环节。(1)多因素综合分析。多因素综合分析是工程地质条件综合评价的核心,旨在将地质勘察、工程地质模型构建、地基稳定性评价、地下水与地质灾害风险评价等各个环节的结果进行整合,形成对断裂带工程地质条件的全面认识。这一过程需要运用系统工程的思想,将各种地质因素、工程因素以及环境因素视为一个相互关联、相互影响的整体,通过定量分析与定性分析相结合的方式,揭示它们对工程安全稳定性的影响程度和机制。(2)风险等级划分与应对措施建议。在综合分析的基础上,需要对工程地质条件进行风险等级划分。风险等级的划分应基于科学的风险评估模型,综合考虑各种影响因素的权重和不确定性。根据风险等级,可以制定相应的应对措施建议,包括但不限于加固措施、防水措施、防灾减灾措施等。这些措施应具有针对性、可操作性和经济性,能够在保证工程安全的前提下,最大限度地降低建设成本和运营风险。

结束语

综上所述,引调水工程穿越活动断裂带的工程地质条件评价方法是一个复杂而系统的过程,涉及多个关键环节的深入研究与综合应用。通过科学合理地运用这些方法,我们可以有效评估工程穿越活动断裂带所面临的地质风险,确保工程的安全性和稳定性。未来的研究应进一步探索新技术、新方法的应用,以提高评价的准确性和可靠性,为引调水工程的可持续发展提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]王帆.陕北地区引调水线路工程主要工程地质问题分析[J].陕西水利,2022,(05):49-50.
- [2]袁宏利,程向民.关于隧洞TBM施工地质条件适宜性的探讨[J].资源环境与工程,2022,(10):96-97.
- [3]陆瑞海.水库大坝工程地质条件与评价要点研究[J].市政工程,2022,(03):33-34.
- [4]陈少英.关于水库区工程地质条件及坝址建筑物工程条件评价的研究[J].建筑科学,2023,(12):122-123.