

# Identification of groundwater migration path and effectiveness analysis of seepage prevention measures in geotechnical engineering investigation of faulted fracture zone

Xiaoyu Chen Yao Wang

Liaoning Province Geological Mineral Survey Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110034, China

## Abstract

Faulted fractured zones, characterized by loose soil structures and extensive fractures, serve as primary conduits for groundwater migration, posing significant threats to the stability and safety of geotechnical engineering projects. This study focuses on identifying groundwater migration pathways and evaluating the effectiveness of seepage prevention measures in geotechnical engineering investigations within these zones. The paper first details technical methodologies for pathway identification, including geological analysis, geophysical exploration, drilling techniques, and hydrological testing. Subsequently, it examines seepage prevention strategies tailored to different migration pathways, such as grouting reinforcement, curtain impermeability barriers, and pressure reduction through drainage systems. Finally, using an engineering case study from Liaoning Geomining Group, the paper demonstrates the practical effectiveness of these identification methods and seepage prevention measures, aiming to provide valuable references for geotechnical engineering investigations and construction in faulted fractured zones.

## Keywords

fault fracture zone; geotechnical engineering exploration; groundwater migration path; identification method; seepage prevention measures; effectiveness analysis

# 断层破碎带岩土工程勘察中地下水运移路径识别及防渗措施有效性分析

陈晓宇 王瑶

辽宁省地质矿产调查院有限责任公司, 中国·辽宁 沈阳 110034

## 摘要

断层破碎带因岩土体结构松散、裂隙发育, 成为了地下水运移的主要通道, 其对岩土工程的稳定性和安全性构成了严重的威胁。本文则聚焦于断层破碎带岩土工程勘察中地下水运移路径识别及防渗措施有效性分析, 先详细地介绍了地下水运移路径识别的技术方法, 即地质分析法、物探法、钻探法及水文试验法等等; 其次探讨了针对不同运移路径的防渗措施, 包括了注浆加固、帷幕防渗、排水降压等等; 最后结合辽宁地矿集团的工程案例分析了上述识别方法及防渗措施的应用有效性, 希望能够为断层破碎带岩土工程勘察和施工提供参考意义。

## 关键词

断层破碎带; 岩土工程勘察; 地下水运移路径; 识别方法; 防渗措施; 有效性分析

## 1 引言

断层破碎带是地壳运动过程中岩石受力破裂后形成的破碎区域, 通常由破碎岩块、岩屑、断层泥等组成, 具有孔隙率大、渗透性强等特点。实际在岩土工程当中, 断层破碎带往往是地下水富集和运移的关键区域, 而地下水的运移不仅会改变岩土体的物理力学性质, 降低地基的承载力, 还可能引发管涌、突水、边坡失稳等工程灾害。目前随着工程

建设向复杂地质条件区域的推进, 断层破碎带中的地下水问题日益突出。因此在断层破碎带岩土工程勘察中, 准确地识别地下水运移路径, 并采取有效的防渗措施, 对于保障工程的顺利施工和安全运营具有非常重要的意义。本文通过对断层破碎带地下水运移路径识别方法和防渗措施的研究, 再结合辽宁地矿集团的实际工程案例分析其有效性, 为类似的工程了提供借鉴和参考, 有望推动断层破碎带岩土工程技术的发展。

【作者简介】陈晓宇(1992-), 女, 中国辽宁大连人, 本科, 高级工程师, 从事水工环地质研究。

## 2 断层破碎带岩土工程勘察中地下水运移路径识别

### 2.1 地质分析法

地质分析法为识别断层破碎带地下水运移路径的基础方法,其是通过对区域地质资料的收集和现场地质调查,分析出断层的性质、规模、产状、破碎带的物质组成及与周边地层的接触关系等,进而推断地下水的运移路径。若使用该方法,首先需要收集区域地质图、水文地质图、钻探资料等,以此了解断层的分布、延伸方向和切割深度,判断出断层是否为导水断层。因为导水断层的规模较大且破碎带发育,与含水层连通性好,所以一般是地下水运移的主要通道,而隔水断层对地下水的运移起到了阻隔作用。其次便需要进行现场地质调查,核心在于观察断层破碎带的出露情况,记录下破碎带的宽度、岩性组成、裂隙发育程度等。由于破碎带中裂隙密集且贯通性好的区域,往往是地下水运移的优势路径。最后便是分析断层与含水层的关系,如果断层切割多个含水层,就可能形成地下水的垂直运移通道,使不同含水层中的地下水发生混合和补给<sup>[1]</sup>。

### 2.2 物探法

物探法是基于地球物理场的变化,来探测地下地质体的分布和性质,从而识别地下水运移路径的有效手段。就断层破碎带的岩土工程勘察而言,常用的物探方法有电法勘探、电磁法、地震勘探等等。其中,电法勘探需要通过测量地下不同部位的电阻率差异,来推断地质构造和地下水分布。像断层破碎带,由于其孔隙率大、含水量高,因此电阻率通常较低,在电法勘探成果图上一般会表现为低阻异常带。通过对低阻异常带的形态、走向和分布范围的分析,便可以判断出断层破碎带的位置和延伸方向,进而推断地下水的运移路径。电磁法则包括大地电磁测深法、可控源音频大地电磁法等,它具有探测深度大、分辨率高的特点,能够识别深部断层破碎带和地下水的分布。而地震勘探需要通过激发地震波并接收其反射信号,以此为依据再分析地下地质体的界面和结构。

### 2.3 钻探法

钻探法为获取断层破碎带地下岩土体和地下水信息的直接方法,其经由钻探取样和现场测试,得以了解破碎带的物质组成、孔隙度、渗透性及地下水的水位、水压等参数,从而识别出地下水的运移路径。若在断层破碎带勘察中采用钻探技术布置钻孔,钻孔一定要穿过断层破碎带进入下伏稳定地层。随后通过对钻孔岩芯的观察和分析,确定出破碎带的厚度、岩性、裂隙发育情况等,即可判断地下水运移的可能路径<sup>[2]</sup>。

### 2.4 水文试验法

水文试验法需要通过人为改变地下水的水力条件,且同步观测地下水的动态变化,来研究地下水的运移规律和路径。实际在断层破碎带勘察中,常用的水文试验包括了抽水

试验、注水试验、示踪试验等等。而抽水试验就是在钻孔中抽取地下水,进而观测周围观测孔的水位变化,通过分析水位下降曲线和恢复曲线,确定出含水层的渗透系数、导水系数等参数,然后判断地下水的运移方向和路径。注水试验则是向钻孔中注入水,经由观察水位上升情况和水量变化,来评估岩土体的渗透性和地下水的运移能力。相比上述两种方法,示踪试验具有直观性,它能有效地识别出地下水运移路径。

## 3 断层破碎带岩土工程勘察中地下水运移路径的防渗措施

### 3.1 注浆加固

注浆加固是一直通过向断层破碎带中注入浆液,以填充裂隙和孔隙的方法,它能改善岩土体的物理力学性质,提高其抗渗性和强度,从而阻断地下水运移路径的防渗措施。实际应用时,需要根据断层破碎带的特点和地下水的运移情况,选择合适的注浆材料和注浆工艺。从注浆材料入手来看,其包括了水泥浆、水泥-水玻璃双液浆、化学浆液等等。而注浆工艺则包括了分段注浆、循环注浆、高压喷射注浆等<sup>[3]</sup>。

### 3.2 帷幕防渗

帷幕防渗即在断层破碎带周边设置连续的防渗帷幕,阻止地下水进入工程区域的防渗措施。而帷幕防渗方法有地下连续墙、防渗墙、钢板桩等等。展开来说:地下连续墙是通过专用设备在地下浇筑连续的钢筋混凝土墙体,它具有防渗性能好、强度高、整体性强等优点,较为适用于深度较大、地质条件复杂的断层破碎带。防渗墙利用了冲击钻、抓斗等设备进行成槽,然后浇筑混凝土或其他防渗材料以形成墙体,比较适用于中浅深度的防渗工程。钢板桩则是通过打入地下形成连续的钢板墙,其具有施工速度快、可回收利用等特点,更为适用于临时性或中小型防渗工程。但无论使用哪种方法,设置帷幕防渗时都应根据断层破碎带的宽度、深度、地下水水头压力等因素,确定出帷幕的深度、厚度和材料。一般情况下,帷幕应深入到下伏隔水层,此案确保防渗效果。

### 3.3 排水降压

排水降压的原理是借助排水设施,来降低断层破碎带中的地下水位和水压,从而减少地下水对工程的影响,同时还可以引导地下水按预定路径排出,避免了无序运移的防渗措施。目前常见的排水设施包括了排水孔、排水井、排水廊道等等。其中,排水孔通常布置在断层破碎带的上下游,能够通过钻孔将地下水引出;排水井则适用于涌水量较大的情况,其借助深井泵将地下水抽出,降低了地下水位;而排水廊道是在地下开挖的通道,用于收集和排出地下水,比较适用于大型的工程<sup>[4]</sup>。实际在制定排水降压方案时,务必根据地下水的运移路径、涌水量和水压等参数,来确定排水设施的布置方式、数量和排水能力。同时还要控制排水速度,以避免因水位下降过快引发地面沉降等次生灾害。

### 3.4 复合防渗措施

对于复杂的断层破碎带地下水问题,单一的防渗措施往往难以达到理想的效果,所以需要采用复合防渗措施,也就是将多种防渗方法结合起来,使其形成协同作用,达到提高防渗效果的目的。现阶段,常见的复合防渗措施有注浆加固与帷幕防渗结合、注浆加固与排水降压结合、帷幕防渗与排水降压结合等。例如某水电站坝基断层破碎带处理中,先采用高压喷射注浆形成了防渗帷幕,有效地阻断了地下水的主要运移路径,然后在帷幕下游设置了排水孔,以此降低了帷幕后的水压,进一步地减少了地下水的渗漏。基于上述这种复合防渗措施,使坝基的渗漏量减少了90%以上,成功地保障了大坝的安全运行。

## 4 断层破碎带岩土工程勘察中地下水运移路径识别及防渗措施应用有效性

### 4.1 工程案例介绍

在辽宁地矿集团承担的某铁矿床露天转地下开采工程中,需穿越一条区域性断层破碎带。该断层破碎带宽度约60m,主要由碎裂岩、断层泥及角砾岩组成,其裂隙极其发育,透水性极强,且该区域的地下水非常丰富,对于矿山井下开采构成了严重的威胁。为了保障矿山开采安全,辽宁地矿集团对该断层破碎带开展了详细的水文地质勘察,旨在准确地识别地下水运移路径,且采取有效的防渗措施。

### 4.2 地下水运移路径识别有效性分析

在该工程勘察中,辽宁地矿集团综合地采用了地质分析法、物探法、钻探法和水文试验法识别地下水运移路径。经由地质分析法,再结合区域地质资料和现场调查,发现该断层为导水断层,破碎带中碎裂岩区域裂隙密集且贯通性好,初步将其判断为地下水运移的主要通道。接着采用高密度电法和地震勘探进行物探,清晰地发现沿断层走向存在一条明显的低阻异常带,随后结合地质资料,确定该异常带为地下水富集和运移的主要区域。再通过钻探取样和测试,明确了破碎带的物质组成和渗透性参数,其中碎裂岩的渗透系数较大,从而进一步验证了其其为地下水运移活跃区域的判断。最后抽水试验和示踪试验进一步地明确了地下水的运移方向和路径,检测人员发现地下水主要沿破碎带中的裂隙网络向矿山井下开采区域运移。正是通过上述多种方法的综合应用,辽宁地矿集团才准确地识别了该断层破碎带地下水的运移路径,为其后续的防渗措施制定提供了可靠的依据,此案例充分地说明了这些识别方法在实际工程中具有较高的有效性。

### 4.3 防渗措施应用有效性分析

根据识别出的地下水运移路径,辽宁地矿集团为该工程采用了注浆加固与排水降压相结合的复合防渗措施。首先在断层破碎带靠近开采区域的一侧采用水泥-水玻璃双液浆

进行超前注浆,以此填充破碎带中的裂隙,使其形成防渗体,目的是阻断地下水向开采区域的运移路径;然后在注浆帷幕后方设置排水井,将未封堵的地下水引出,以此降低地下水位和水压。

由于在施工的过程中,辽宁地矿集团对防渗效果进行了严格地监测,其通过测量井下涌水量和周边地下水位变化,评估了防渗措施的有效性。最终的监测结果显示,注浆加固后井下涌水量从原来的60m<sup>3</sup>/h减少到6m<sup>3</sup>/h以下,即周边地下水位下降幅度控制在合理的范围内,并未引发地面沉降等次生灾害。该情况表明其采用的防渗措施能够有效地阻断地下水运移,减少了地下水对矿山开采的影响,且应用效果良好。

### 4.4 经验总结

经由分析辽宁地矿集团该工程案例,得出了以下经验:第一是在断层破碎带岩土工程勘察中,应综合地运用多种地下水运移路径识别方法,通过相互验证来提高识别的准确性;第二是根据识别出的运移路径和工程实际情况,要选择合适的防渗措施,必要时可以采用复合防渗措施,以达到理想的防渗效果;第三是在施工过程中,需要加强对于防渗效果的监测,以此为基础及时地调整防渗措施,即可确保工程的安全。第四是专业地质勘查单位的技术实力和丰富经验对于工程的顺利实施至关重要,他们能够为断层破碎带地下水问题的解决提供有力的技术支持。

## 5 结语

断层破碎带地下水运移路径识别及防渗措施有效性分析是断层破碎带岩土工程勘察中的重要内容,它对于保障工程安全具有非常重要的意义。本文通过对地质分析法、物探法、钻探法和水文试验法等地下水运移路径识别方法的介绍,以及对注浆加固、帷幕防渗、排水降压和复合防渗等防渗措施的探讨,再结合辽宁地矿集团的工程案例分析了其应用的有效性。最后的研究表明,综合地运用多种识别方法能够准确地识别地下水运移路径,且选择合适的防渗措施进行有效地实施,就能够显著地提高工程的安全性和稳定性。然而断层破碎带地质条件复杂多变,加之地下水运移规律复杂,因此在实际工程中仍面临着诸多的挑战。

### 参考文献

- [1] 王德明.泥质断层破碎带隧道突水突泥灾变机理研究及应用[D].山东省:山东大学,2017.
- [2] 孙林.矿山岩土工程勘察中水文地质危害及防治措施[J].世界有色金属,2024,(17):148-150.
- [3] 冯占龙,马毅男.矿山工程地质勘察中岩土水文地质研究[J].有色金属工程,2024,14(02):I0003-I0003.
- [4] 叶林,伍开留.矿山地下水防治工程中的EH4勘查应用[J].能源技术与管理,2018,43(05):107-109.DOI:10.3969/j.issn.1672-9943.2018.05.040.