

浅谈破碎地质条件下钻孔安装多点位移计的锚固技术

袁木

北京东方新星勘察设计有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i4.8847

[摘要] 破碎地质具有岩体完整性差、节理裂隙发育、强度低、稳定性差等特点，给工程监测工作带来了极大挑战。多点位移计用于监测工程建筑物基础、边坡及地下工程围岩等钻孔内不同深度岩体的沉降和变形。而锚固技术则是多点位移计安装过程中的关键环节，直接影响设备的长期稳定运行。本文结合破碎地质的工程特性，分析破碎地质条件下钻孔安装多点位移计的锚固工艺的操作要点，结合工程实例验证了不同锚固技术的应用效果，为同类破碎地质条件下多点位移计的锚固施工提供理论参考和实践借鉴。

[关键词] 破碎地质；多点位移计；钻孔安装；锚固技术；质量控制

A Brief Discussion on the Anchoring Technology for Installing Multi-Point Displacement Meters in Drilled Holes under Fractured Geological Conditions

Yuan Mu

Beijing Dongfang Xinxing Survey and Design Co., Ltd.

[Abstract] Fractured geological conditions are characterized by poor rock mass integrity, well-developed joints and fractures, low strength, and poor stability, posing significant challenges to engineering monitoring. Multi-point displacement meters are used to monitor settlement and deformation of rock masses at various depths within drill holes, including foundations, slopes, and surrounding rock of underground structures. Anchoring technology is a critical step in the installation process of these meters, directly affecting their long-term stable operation. This paper analyzes the key operational principles of anchoring techniques for installing multi-point displacement meters in fractured geological environments, evaluates the effectiveness of different anchoring methods through engineering case studies, and provides theoretical references and practical guidance for similar anchoring operations in such conditions.

[Key words] fragmented geology; multi-point displacement meter; borehole installation; anchoring technology; quality control

引言

在岩土工程建设中，破碎地质工程区域岩体结构松散、胶结性差，受施工扰动或自然环境影响易发生坍塌、变形，严重威胁工程施工安全和长期稳定性^[1]。多点位移计是一种用于监测岩土体内部不同深度位移变化的精密监测仪器，通过在钻孔内不同深度设置锚固测点，能够实时捕捉岩土体的变形规律，为工程安全预警和施工优化提供数据支撑。然而，破碎地质条件下，钻孔孔壁易坍塌、掉块，浆液易渗漏，锚固界面结合强度低，导致多点位移计的锚固难度大幅增加，若锚固质量不达标，会出现测点松动、位移传递失真等问题，甚至导致监测设备失效，无法准确反映岩土体的实际变形状态^[2]。本文结合破

碎地质的工程特性，对多点位移计的锚固技术进行系统探讨，以期同类工程提供参考。

一、破碎地质条件下多点位移计锚固工艺及操作要点

(一) 注浆锚固工艺

注浆锚固工艺核心是通过注浆设备将锚固浆液注入钻孔内，填充孔壁与锚头之间的间隙，形成牢固的锚固体，适用于大多数破碎地质条件，尤其适用于破碎程度高、裂隙发育的区域。其操作流程是钻孔施工→清孔处理→锚头安装→注浆施工→养护处理。钻孔需按监测要求确定孔深、孔径（比锚头大20-30mm），选用金刚石或螺旋钻机，控制速度并可采用套管跟进，及时清粉、检测垂直度（误差≤1%）。

(二) 膨胀锚固工艺

膨胀锚固工艺是利用膨胀锚头的机械膨胀作用，与钻孔孔壁形成机械咬合，实现多点位移计的锚固，适用于破碎程度相对较轻、孔壁相对稳定的破碎地质条件，其优点是施工便捷、工期短，无需注浆，缺点是锚固力相对较低，不适用于变形量大、裂隙发育严重的区域。其操作流程及要点是钻孔施工→锚头安装与膨胀→固定与检测。钻孔要求与注浆锚固工艺基本一致，需根据膨胀锚头尺寸确定孔径，通常比锚头直径小5-10mm，确保锚头能与孔壁紧密咬合；钻孔时控制速度防坍塌，清孔后保证孔内无岩粉、积水。

(三) 复合锚固工艺

复合锚固工艺是结合注浆锚固工艺和膨胀锚固工艺的优点，先采用膨胀锚头进行初步固定，再通过注浆填充孔壁与锚头之间的间隙，形成“机械咬合+黏结锚固”的双重锚固体系，适用于破碎程度高、变形量大、地下水丰富的破碎地质条件，其锚固效果优于单一的注浆锚固或膨胀锚固工艺，是目前破碎地质条件下多点位移计锚固的优选工艺。其操作流程及要点是钻孔与清孔→膨胀锚头安装与初步固定→注浆施工→养护与检测。钻孔与清孔要求与注浆锚固工艺一致，需确保钻孔孔径、深度、垂直度达标，清孔后孔内无岩粉、积水^[3]。

二、工程实例分析

(一) 工程概况

某国家石油储备地下水封洞库工程选址于沿海地区，主体洞室埋深80-120m，总储油规模 $100 \times 10^4 \text{m}^3$ ，主要由储油洞罐、水幕巷道、施工巷道及竖井等组成。该区域地质条件复杂，洞室穿越断层破碎带，岩体以破碎花岗岩、片麻岩为主，节理裂隙极其发育，形成密集裂隙网络，地下水补给充足、渗透性强，岩体单轴抗压强度6-9MPa，围岩稳定性极差，属于IV/V级不稳定围岩。地下水封洞库作为隐蔽性深地工程，洞室围岩的长期稳定直接决定工程安全运营，一旦发生围岩变形、坍塌，将导致洞库密封失效、油品泄漏，造成重大安全事故和经济损失，因此对围岩变形的实时、精准监测至关重要。多点位移计作为监测围岩深层多部位位移、沉降的核心设备，是保障该水封洞库施工及运营安全的关键，本次共设置15个多点位移计监测断面，覆盖主洞室、水幕巷道及竖井周边关键区域，每个断面布置3个多点位移计，采用4点式，监测部位间隔分别为1.5m、3m、7m；核心要求锚固力不低于180kN，监测数据准确率不低于98%，监测精度达到0.01mm，确保及时捕捉围岩细微变形，为安全预警提供精准数据支撑。

(二) 锚固技术选择

结合该地下水封洞库破碎程度高、裂隙发育密集、地下水丰富且渗透性强的核心地质特性，同时考虑到洞库长期运营的安全性要求，经过多方案对比论证，确定采用复合锚固工艺，

选用水泥-树脂复合注浆材料，膨胀锚头采用高强度耐腐蚀钢制膨胀锚头，适配地下水封洞库的复杂工况，具体选择如下：

一是锚固材料：选用水泥-树脂复合注浆材料，配比为普通硅酸盐水泥:环氧树脂:减水剂:膨胀剂:水=100:35:2.5:3.5:42，该材料兼具水泥基材料的低成本、高耐久性和树脂材料的高黏结强度、高抗渗性，流动性优良，能够快速填充岩体细微裂隙，同时具备微膨胀特性，可有效弥补浆液收缩间隙，提高锚固界面结合强度，彻底解决地下水丰富区域浆液渗漏、被稀释的难题，适配水封洞库长期浸水的运营环境。

二是锚头：选用直径30mm的高强度钢制膨胀锚头，膨胀片采用耐磨、耐腐蚀合金材料，经过防腐处理，可有效抵御地下水侵蚀，确保膨胀后与孔壁紧密咬合，提供充足的机械锚固力，配合复合浆液的黏结作用，形成双重锚固保障，避免因围岩长期蠕变导致锚头松动。

三是锚固工艺：采用“膨胀锚头初步固定+复合浆液注浆”的复合锚固工艺，先通过膨胀锚头快速固定多点位移计，防止位移计下滑、偏移，为后续注浆施工提供稳定基础；再通过高压注浆将复合浆液注入钻孔，填充孔壁与锚头间隙、膨胀锚头与孔壁缝隙及周围岩体裂隙，形成完整、致密的锚固体，实现“机械咬合+黏结锚固”双重防护，确保多点位移计与围岩同步变形，保障监测数据的真实性和及时性。

(三) 锚固施工过程

1. 钻孔施工

钻孔孔径开孔是170mm，孔深2m，随后改为91mm的孔径，钻至设计孔深；钻孔垂直度误差严格控制在0.8%以内，避免因钻孔倾斜导致锚头安装偏移，影响监测精度；钻孔过程中采用双层套管跟进技术，防止破碎岩体坍塌、掉块，保护孔壁完整性；钻孔完成后，采用高压空气进行清孔，清孔压力控制在0.5MPa，反复冲洗孔内，直至孔内排出的空气无岩粉、杂物为止；对于地下水渗漏严重的钻孔，采用专用抽水设备持续排出孔内积水，确保孔内干燥，避免积水稀释浆液，影响锚固效果。

2. 锚头安装与初步固定

将膨胀锚头与多点位移计的连接杆牢固连接，逐一检查连接部位，确保无松动、无间隙；采用专用吊装工具将安装好锚头的位移计缓慢放入钻孔内，放入过程中匀速平稳，避免碰撞孔壁、损坏锚头或扰动围岩；待锚头到达预定监测深度后，采用专用扳手拧紧膨胀锚头的螺栓，使膨胀片均匀张开，与孔壁紧密咬合，初步固定位移计，确保位移计无下滑、无偏移，为后续注浆施工提供稳定支撑，同时避免位移计与孔壁摩擦影响监测精度。

3. 注浆施工

采用高压注浆泵进行注浆，注浆压力控制在1.0MPa，注浆速度控制在7-9L/min，结合地下水封洞库裂隙发育特点，采用

“分段注浆、间歇推进”的方式，每段注浆长度为4m，每段注浆完成后停留60分钟，待浆液初步凝固形成封堵层，再进行下一段注浆，有效减少浆液渗漏；注浆过程中，实时监测注浆压力和注浆量的变化，若注浆压力突然升高，说明孔内裂隙已被浆液填充，立即停止注浆；若注浆压力持续偏低、注浆量过大，说明浆液渗漏严重，及时添加速凝剂，调整注浆速度，确保浆液充分填充各类间隙；注浆完成后，及时采用专用封堵材料封堵注浆口，防止浆液倒流，确保锚固体的完整性和致密性，适配水封洞库的防渗要求。

4. 养护与检测

注浆完成后，对钻孔进行全封闭处理，防止雨水、地下水进入孔内，影响浆液凝固和锚固体强度；根据复合注浆材料特性，确定养护时间为7天，养护期间严禁对钻孔周围岩体进行扰动，避免锚固体受损，同时定期检查位移计的安装状态，确保锚头无松动、位移计无损坏；养护完成后，对锚固效果进行全面检测，采用拉拔试验检测锚固力，每个测点随机抽取3个样本进行检测，检测结果显示，锚固力均在190-210kN之间，满足设计要求（不低于180kN）；同时，对多点位移计进行全面校准，确保监测精度达到设计标准（0.01mm），监测数据准确率达到99%，完全符合地下水封洞库高精度监测的要求。

（四）应用效果分析及监测数据分析

该地下水封洞库工程采用复合锚固工艺和水泥-树脂复合注浆材料，成功解决了破碎地质、地下水丰富条件下多点位移计锚固的核心难点，实现了多点位移计的稳定安装和精准监测，充分发挥了多点位移计在隐蔽工程围岩监测中的核心作用，其重要性和监测数据的精度高、及时性特点得到充分体现，具体如下：

一是多点位移计的核心作用凸显，保障工程安全。地下水封洞库为隐蔽工程，围岩变形具有隐蔽性、突发性特点，多点位移计通过在不同深度布设测点，实现了对围岩深层变形的全方位、全周期监测，能够精准捕捉围岩细微位移变化，及时发现变形隐患，为施工及运营期间的安全预警提供了可靠支撑，有效规避了围岩坍塌、洞库密封失效等重大安全风险，是保障水封洞库长期安全运营的“眼睛”，凸显了其在深地能源储备工程中的不可替代性。

二是监测数据精度高、及时性强，为施工优化提供科学依据。本次采用的多点位移计，结合复合锚固工艺的支撑，监测精度达到0.01mm，能够捕捉到围岩0.01mm的细微变形，远超设计要求；同时，实现数据实时采集、实时传输，每15分钟更新一次监测数据，具备极强的及时性，彻底解决了传统监测方式响应滞后、数据误差大的弊端。监测数据显示，施工期间，围岩位移主要集中在开挖后1-7天，其中1.5m部位测点最大位移量为3.2mm，3m部位测点最大位移量为2.8mm，7m

部位测点位移量小于1.5mm，且位移量逐渐趋于稳定，无异常突变；运营期间，各深度测点位移量均控制在0.3mm以内，无明显变形，表明围岩处于稳定状态，验证了施工方案的合理性。

三是锚固稳定性优良，保障监测长期可靠。通过复合锚固体系的双重防护，锚头与孔壁、浆液结合紧密，经过6个月的持续监测，所有多点位移计的锚头均无松动、无位移，锚固体完整，未出现浆液脱落、渗漏等问题，能够长期适应地下水封洞库的浸水、围岩蠕变等复杂工况，确保多点位移计长期稳定运行，监测数据持续可靠，为洞库50年长周期运营零检修提供了重要保障。

四是实用性强，为同类工程提供借鉴。该工程的实践表明，复合锚固工艺适配地下水封洞库破碎地质、地下水丰富的复杂条件，多点位移计能够充分发挥其高精度、及时性的监测优势，有效解决了隐蔽工程围岩监测难度大、数据不准确的难题，不仅保障了本工程的施工及运营安全，也为国内同类地下水封洞库、地下储备洞库等隐蔽工程中多点位移计的锚固与监测提供了宝贵的实践借鉴，对推动国家能源储备工程安全监测技术的发展具有重要意义。

结语

破碎地质条件下，多点位移计的锚固技术是保障监测数据准确、工程安全稳定的关键。本文结合破碎地质的工程特性，系统分析了破碎地质对多点位移计锚固的影响，阐述了锚固技术的核心原理和锚固材料的选择原则，详细介绍了注浆锚固、膨胀锚固、复合锚固三种常用锚固工艺的操作要点，结合工程实例验证了复合锚固工艺的应用效果，实例表明，采用复合锚固工艺和水泥-树脂复合注浆材料，能够有效解决破碎地质条件下多点位移计锚固的难点，提高锚固稳定性和监测数据准确率，为同类工程提供了实践借鉴。随着我国工程建设向深部延伸，破碎地质区域的工程越来越多，对多点位移计锚固技术的要求也越来越高。

【参考文献】

- [1]张吉宁,贾超,周唐旭,等. 矿山滑坡防治中抗滑桩与锚固技术效果对比[J]. 有色金属设计, 2025, 52(04): 28-31.
- [2]邹君静. 地质灾害治理中新型锚固技术的应用研究[J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39(11): 184-186.
- [3]赵恒,李天述,张波,等. 浅谈破碎地质条件下钻孔安装多点位移计的锚固技术[J]. 四川水力发电, 2025, 44(05): 66-69.
- [4]郑长滨. 岩土工程中边坡加固的岩土锚固技术及其应用效果[J]. 大众标准化, 2025, (17): 140-142.

作者简介：袁木，1995.2.13，男，安徽省亳州市，汉族，本科，助理工程师，北京东方新星勘察设计有限公司，研究方向：多点位移计在地下水封洞库中的应用。