

# 分布式光纤温度传感器在煤矿冻结建井中的应用

魏 星

中煤特殊凿井有限责任公司 安徽 淮北 235000

**摘 要:** 分布式光纤温度传感器在煤矿冻结建井中展现出独特优势。该技术通过光纤作为传感元件, 实时监测冻结壁温度分布, 为冻结施工提供精确数据支持。本文探讨传感器在煤矿冻结建井中的具体应用, 包括安装、调试、运行监测及数据处理等关键环节。通过实际案例分析, 验证分布式光纤温度传感器在控制冻结壁厚度、维护冻结管稳定、确定井筒开挖时机等方面的有效性。该技术的应用不仅提高施工效率, 还显著增强施工安全性, 为煤矿冻结建井领域的技术进步提供有力支撑。

**关键词:** 分布式; 光纤传感技术; 煤矿; 地质监测; 应用

引言: 煤矿冻结建井是一项复杂而关键的工程, 其安全性与效率直接关系到煤矿资源的开发利用和人员的生命安全。在冻结施工过程中, 温度监测是确保冻结壁稳定性和施工安全的重要环节。分布式光纤温度传感器作为一种先进的监测技术, 以其高精度、实时监测和长距离传输等特点, 在煤矿冻结建井中展现出巨大潜力。本文将深入探讨分布式光纤温度传感器在煤矿冻结建井中的应用, 以期对相关领域的技术进步和工程实践提供有益参考。

## 1 分布式光纤温度传感器理论基础

### 1.1 光纤温度传感器原理

光纤温度传感器的工作原理主要包括热致折变效应和拉曼散射效应。热致折变效应; 这是光纤温度传感器最主要的工作原理。光纤材料随着温度的变化, 其折射率也会发生变化。光纤中的光信号依赖于折射率的变化而发生改变, 进而通过光纤中的光学器件进行检测和分析, 得到温度的信息。当光纤中的温度发生变化时, 光纤的折射率也会发生变化, 光信号因此受到影响, 从而可以检测到温度的变化。拉曼散射效应; 光纤中的光信号在传输过程中会产生拉曼散射, 该散射的强度与光纤材料的温度有关。通过测量拉曼散射信号的强度, 可以获得光纤所处环境的温度信息。拉曼散射是一种非弹性散射, 其散射光的频率与入射光不同, 且散射光的强度与温度有关, 因此可以作为温度测量的依据。

### 1.2 分布式光纤测温系统构成

分布式光纤测温系统由测温光纤、测温主机等部分组成, 是一种实时、在线、多点的温度监测系统。测温光纤; 这是分布式光纤测温系统的核心部分, 它将整条光纤作为传感器, 光纤上的每一点都兼具“传”和“感”的功能。当光纤某处的温度发生变化时, 该点的

散射光会受到影响, 系统通过高速信号采集与数据处理技术, 可以准确地定位发生扰动的位置并给出实时的温度报警信息<sup>[1]</sup>。测温主机; 测温主机负责整个系统的信号采集、信号处理、数据分析、超温报警以及数据传输等功能。它集成了计算机、光纤通讯、光纤传感、光电控制等技术, 具有良好的性能指标和系统稳定性。测温主机通常包括各种接口, 如电源接口、网口、串口等, 用于与测温光纤、交换机、路由器等设备连接, 实现数据的传输和处理。分布式光纤测温系统还具有阻燃、防爆、防腐蚀、耐高压、抗强电磁场、耐辐射等特性, 适用于各种复杂环境下的温度测量。它可以精确测量感温光纤铺设方向各个位置的温度, 并定位温度异常点, 为通信、电力、石油、交通、煤矿等领域的温度监测提供了优质的解决方案。

## 2 煤矿冻结建井中温度场分布特征及监测需求

### 2.1 冻结壁形成过程中的温度场变化规律

在煤矿冻结建井过程中, 冻结壁的形成是一个复杂且关键的过程。随着冻结时间的推移, 冻结壁的温度场会经历一系列显著的变化。首先, 冻结初期, 冻结壁内部的温度场会迅速下降, 这是由于低温冷媒盐水的作用, 使得冻结锋面处的水分子开始冻结成冰。随着冻结过程的进行, 冻结壁内部的温度场逐渐趋于稳定, 但仍然存在微小的波动。这些波动主要是由于冻结过程中水分场的迁移和冻胀力的变化所引起的。其次, 冻结壁内部温度场的分布并不是均匀的, 在冻结过程中, 由于不同土层的导热性能和含水量的差异, 冻结壁在不同位置的温度下降速度也会有所不同。另外, 冻结壁内部温度场的变化还受到地下水流动的影响。地下水的流动会带走部分冷量, 从而影响冻结壁温度场的分布规律。

### 2.2 冻结管周围温度场与安全监测需求

冻结管是煤矿冻结建井中的关键设备之一，其周围的温度场对于冻结效果和安全施工具有重要意义。第一、冻结管周围的温度场是判断冻结效果的重要依据，在冻结过程中，需要实时监测冻结管周围的温度变化情况，以便及时了解冻结壁的扩展速度和厚度等信息。这些信息对于确保冻结壁的稳定性至关重要。第二、冻结管周围的温度场还与安全施工密切相关，在冻结过程中，如果冻结管周围的温度场出现异常波动或温度过高的情况，可能会导致冻结壁破裂或失效等安全问题，需要实时监测冻结管周围的温度变化情况，并及时采取相应措施进行处理。第三、为了满足冻结管周围温度场的监测需求，通常需要采用高精度、高灵敏度的温度传感器进行实时监测。这些传感器可以准确地测量冻结管周围不同位置的温度变化情况，并将数据实时传输到监测系统中进行处理和分析。同时还需要对监测数据进行定期分析和评估，以便及时发现和解决潜在的安全问题。

### 3 分布式光纤温度传感器在煤矿冻结建井中的应用方法

#### 3.1 传感器安装与布设技术

##### 3.1.1 光纤的选择与预处理

在煤矿冻结建井中，光纤作为传感介质，其质量和性能直接影响到温度测量的准确性，在选择光纤时，需要综合考虑光纤的折射率、直径、包层直径、衰减系数等因素。光纤还应具备良好的耐腐蚀性和抗拉伸性能，以适应煤矿复杂的地质环境和施工条件。在光纤布设前，还需要对光纤进行预处理。这包括光纤的清洁、切割和熔接等步骤。清洁光纤可以去除表面的杂质和污垢，确保光信号的顺利传输；切割光纤则需要使用专业的光纤剪刀，以保证光纤端面的平整和光滑；熔接光纤则是将两段光纤通过熔接机进行连接，确保光信号的连续传输<sup>[2]</sup>。

##### 3.1.2 传感器的安装位置与方式

分布式光纤温度传感器的安装位置需要根据冻结建井的具体情况进行确定。一般来说，传感器应安装在需要监测温度的区域，如冻结壁、冻结管周围等。在安装时，需要确保传感器与光纤的连接牢固可靠，避免在施工过程中因振动或碰撞而导致传感器脱落或损坏。传感器的安装方式可以采用直接埋设、粘贴或悬挂等方式。直接埋设是将传感器直接埋入土层中，适用于需要长期监测的场合；粘贴则是将传感器粘贴在需要监测的物体表面，适用于需要快速安装的场合；悬挂则是将传感器悬挂在空中，适用于需要监测空中温度分布的场合。

##### 3.1.3 布设方案的优化

在布设分布式光纤温度传感器时，还需要考虑布设方案的优化。这包括光纤的路径规划、布设密度的确定以及布设长度的选择等。路径规划需要根据冻结建井的施工计划和地质条件进行确定，确保光纤能够覆盖需要监测的区域；布设密度的确定则需要根据监测需求进行权衡，既要保证测量精度，又要避免资源浪费；布设长度的选择则需要根据光纤的传输性能和施工条件进行确定，确保光信号能够顺利传输到数据采集系统。

### 3.2 数据采集与传输系统构建

#### 3.2.1 数据采集设备的选择

数据采集设备是数据采集与传输系统的核心部分。在选择数据采集设备时，需要综合考虑设备的采样率、精度、稳定性以及数据传输速度等因素。同时设备还应具备良好的抗干扰能力和防水性能，以适应煤矿复杂的地质环境和施工条件。

#### 3.2.2 数据传输方式的确定

数据传输方式的选择对于确保数据的实时性和准确性至关重要。在煤矿冻结建井中，常用的数据传输方式包括有线传输和无线传输两种。有线传输具有传输速度快、稳定性好等优点，但需要在施工现场铺设电缆，增加了施工难度和成本；无线传输则具有灵活性高、施工方便等优点，但容易受到环境干扰和信号衰减的影响。因此在选择数据传输方式时，需要根据实际情况进行权衡和选择。

#### 3.2.3 数据采集与传输系统的构建

数据采集与传输系统的构建包括数据采集设备的安装、数据传输网络的搭建以及数据传输协议的制定等步骤。在安装数据采集设备时，需要确保设备与传感器的连接牢固可靠，避免在数据传输过程中因接触不良而导致数据丢失或错误；在搭建数据传输网络时，需要根据施工现场的实际情况进行规划，确保数据传输的顺畅和稳定；在制定数据传输协议时，需要明确数据的传输格式、传输速率以及数据校验方式等，以确保数据的准确性和完整性。

### 3.3 温度监测数据处理与分析方法

#### 3.3.1 数据预处理

数据预处理是温度监测数据处理与分析的第一步。这包括数据的清洗、去噪、插值以及平滑等步骤。清洗数据可以去除因设备故障或环境因素导致的异常数据；去噪则可以减少数据中的随机误差和噪声干扰；插值则可以填补因传感器故障或数据传输问题导致的数据缺失；平滑则可以提高数据的平滑度和连续性。

### 3.3.2 数据分析方法

数据分析方法的选择需要根据监测需求和数据特点进行确定。常用的数据分析方法包括统计分析、时间序列分析、空间分布分析等。统计分析可以对温度数据进行描述性统计和推断性统计,了解温度数据的分布特征和变化规律;时间序列分析可以对温度数据的时间序列进行建模和预测,了解温度数据随时间的变化趋势;空间分布分析则可以对温度数据的空间分布进行可视化展示和分析,了解温度数据在空间上的分布特征和变化趋势。

### 3.3.3 异常检测与预警

异常检测与预警是温度监测数据处理与分析的重要环节。通过对温度数据进行实时监测和分析,可以及时发现施工过程中的异常情况,如冻结壁破裂、冻结管失效等<sup>[3]</sup>。一旦发现异常情况,系统应立即发出预警信号,以便施工人员及时采取措施进行处理。系统还应具备历史数据查询和对比分析功能,以便对温度数据进行长期跟踪和分析。

## 4 应用案例分析

### 4.1 案例选取原则与工程背景介绍

在选取具有代表性的煤矿冻结建井项目案例时,遵循了多项原则。首先,地质条件的复杂性是重要考量因素,包括土层的分布、岩性的变化、地下水的状况等,这些都会对冻结施工产生显著影响。其次,冻结施工方法的选择也是案例选取的关键,不同的冻结技术、冻结管的布置方式以及冻结参数的设置,都会直接影响到冻结效果和施工安全。基于这些原则,选定了一个位于复杂地质条件下的煤矿冻结建井项目作为分析案例。该项目位于我国某煤炭资源丰富但地质条件复杂的地区,地层主要由黏土、砂土和岩石组成,且地下水位较高。为了确保井筒的稳定性和施工安全,项目采用先进的冻结施工技术,通过布置多层冻结管并注入低温盐水,形成一定厚度的冻结壁。这一冻结壁不仅能够有效隔绝地下水,还能为井筒开挖提供必要的支护。

### 4.2 传感器应用过程与效果评估

在分布式光纤温度传感器的应用过程中,严格按照既定步骤进行了安装、调试和运行监测。根据冻结管布置和地质条件,确定传感器的布设位置和数量,确保能够全面覆盖需要监测的区域。然后进行传感器的安装和调试工作,包括光纤的铺设、传感器的连接以及数据采

集系统的配置等。在安装过程中,遇到光纤易受损和传感器定位困难等问题,但通过加强光纤保护措施和优化传感器安装方式,成功解决这些问题。传感器投入运行后,实时采集并分析温度数据<sup>[4]</sup>。这些数据不仅为我们提供冻结壁温度分布的直观展示,还为我们对冻结壁厚度控制、冻结管维护以及井筒开挖时机确定等方面提供了重要指导。通过对比不同位置的温度数据,能够准确判断冻结壁的扩展速度和厚度变化,从而及时调整冻结参数和施工方案。同时还能够及时发现冻结管周围的异常情况,如温度异常升高或降低,为冻结管的维护提供了预警信息,根据温度数据的监测结果,还能够确定井筒开挖的最佳时机,确保施工安全和进度。

### 4.3 经济效益与安全效益分析

分布式光纤温度传感器的应用为煤矿冻结建井项目带来了显著的经济效益和安全效益。在经济效益方面,通过实时监测温度数据并优化冻结参数,我们有效降低了能源消耗和冻结成本。同时传感器的高精度和实时监测能力也提高了施工效率和质量,缩短工期并减少人工成本。在安全效益方面,传感器能够及时发现冻结壁和冻结管的异常情况,为施工人员提供及时的预警信息,有效避免安全事故的发生。通过准确判断井筒开挖时机,还确保了施工过程中的井筒稳定性和安全性。

### 结束语

分布式光纤温度传感器在煤矿冻结建井中的应用具有重要意义。其高精度、实时监测和长距离传输的特点,为冻结施工提供了可靠的数据保障。随着技术的不断进步和应用领域的拓展,分布式光纤温度传感器将在煤矿建设及其他相关领域发挥更加重要的作用。未来,应继续深化技术研究,优化传感器性能,推动其在更多领域实现广泛应用,为行业发展和技术进步贡献更多力量。

### 参考文献

- [1]郭雅婕,张蜀华,王双双.分布式光纤传感技术在接触网附加导线的应用[J].电气化铁道,2020,31(02):36-39.
- [2]李世念,张旭革,宋宏,陈健,张益昕,陆金波,赵晓京.分布式光纤传感技术在煤矿地质监测中的应用[J].应用科学学报,2020,38(02):215-225.
- [3]谭海亮,李七明.光纤传感技术在覆岩“两带”高度探测中的应用[J].中国煤炭地质,2019, v.31;No.241(05):64-69.