

# 光纤传感技术在公路结构健康监测中的应用探索

王振圆 包文强

内蒙古路桥工程技术检测有限责任公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i3.6635

**[摘要]** 本文探讨了光纤传感技术在公路结构健康监测领域的应用。首先介绍了光纤传感技术的原理和特点，然后分析了其在公路结构监测中的优势与挑战。接着详细阐述了光纤传感技术在公路结构健康监测中的具体应用案例，并总结了目前存在的问题和未来的发展方向。

**[关键词]** 光纤传感技术；公路结构；健康监测；应用探索

## Exploration of the application of optical fiber sensing technology in the health monitoring of highway structure

Wang Zhenyuan, Bao Wenqiang,

Inner Mongolia Road and Bridge Engineering Technology Testing Co., Ltd

**[Abstract]** This paper discusses the application of optical fiber sensing technology in the field of health monitoring of highway structure. Firstly, the principles and characteristics of optical fiber sensing technology are introduced, and then its advantages and challenges in highway structure monitoring are analyzed. Then, the specific application cases of optical fiber sensing technology in the health monitoring of highway structure are elaborated in detail, and then the existing problems and future development directions are summarized.

**[Key words]** optical fiber sensing technology; highway structure; health monitoring; application exploration

### 引言：

随着交通基础设施的不断发展，公路结构的安全和健康监测变得愈发重要。而光纤传感技术作为一种新兴的监测技术，具有传感范围广、精度高、实时监测等优势，逐渐受到工程界的关注和应用。本文旨在探讨光纤传感技术在公路结构健康监测中的应用，为相关领域的研究和实践提供参考。

### 一、光纤传感技术简介

#### 1.1 光纤传感技术原理

光纤传感技术是一种通过利用光纤材料的特殊性质来实现测量和监测的技术。其基本原理是通过在光纤中注入光信号，通过测量光纤中信号的变化来获取待测物理量信息。光纤作为传感器的核心部件，可以将来自外界的压力、温度、位移等信息转换为光信号传输，并通过光纤的光学特性进行传输和解码。

其中，光纤传感技术的原理主要包括两个方面：干涉效应和散射效应。干涉效应是通过光波在光纤中传播过程中与物理量的相互作用引起的干涉效果。当待测物理量作用在光纤上时，光波会发生干涉效应，从而改变光波的干涉图样，通过测

量干涉图样的变化可以获得物理量的信息；散射效应是基于光波传播过程中与材料内部微观结构的相互作用引起的散射效应。不同物理量作用下，光波通过散射的方式进一步改变，根据散射光波的特征可以得到待测物理量的信息。

#### 1.2 光纤传感技术特点

光纤传感技术作为一种新型的传感技术，具有许多独特的特点，使其在公路结构健康监测等领域得到广泛应用。

光纤传感技术具有高灵敏度和高测量分辨率的特点。光纤本身具有高度灵敏性，微小的物理量变化就可以引起光信号的变化，因此可以实现对微小物理量的高精度测量。同时，光纤传感技术具有极高的测量分辨率，可以实现对物理量变化的高分辨率监测，能够提供更加准确和详细的数据信息；光纤传感技术具有分布式测量和多参数测量的能力。由于光纤可以被切割成不同长度，因此可以实现对物理量的分布式测量。这种分布式测量方式不仅可以提供更加全面的数据信息，还可以实时监测结构的整体和局部情况，为工程实践提供更有价值的指导。此外，光纤传感技术还可以实现对多个物理量的同时测量，能够满足不同应用场景中的复杂要求；光纤传感技术具有抗干

扰能力强和耐高温性能好的特点。光纤作为传感器具有良好的隔离和屏蔽能力，可以有效抵抗外界的电磁干扰和噪声干扰，保证测量的准确性和可靠性。此外，光纤材料具有优良的耐高温性能，可以在高温环境下长期稳定工作，适应各种复杂工况的监测需求。

综上所述，光纤传感技术以其高灵敏度、分布式测量和多参数测量的能力，以及抗干扰能力强和耐高温性能好的特点，成为公路结构健康监测等领域的重要工具和技术手段。它不仅提升了工程实践的可靠性和效率，也为相关研究和应用领域带来了巨大的发展潜力。

## 二、公路结构健康监测需求分析

公路结构健康监测作为保障交通安全和路网可持续发展的重要手段，对于掌握公路结构健康状况、提前预警潜在风险具有十分重要的意义。因此，对公路结构健康监测需求进行全面、准确的分析是实现高质量监测的基础。

公路结构健康监测需求分析需要根据公路的使用环境、设计、材料等因素来确定会对公路结构产生影响的因素。例如，自然环境因素，如温度、湿度、风等，以及人为因素，如车流量、超载、盗挖等，都可能对公路结构造成一定程度的损伤。因此，对这些因素的监测需求应该纳入考虑范围之内；公路结构健康监测需求分析需要识别出公路结构监测的目标与目标状态。监测的目标主要包括路基、路面、桥梁等各种公路结构，而目标状态则是指这些结构在使用过程中所处的不同状况，如裂缝、位移、变形等。通过对目标与目标状态的明确，可以更好地确定监测的内容和方法；公路结构健康监测需求分析还需要考虑监测的时间周期和时效性。公路结构的健康状况可能会随时间发生变化，因此，监测需求应该根据具体情况确定监测的时间周期。另外，监测数据的时效性也非常重要，及时获取并分析数据可以为公路维护提供准确的基础信息；公路结构健康监测需求分析还需要考虑监测方法和监测设备的选择。根据监测的目标和目标状态，可以选择合适的监测方法，如传感器技术、无线通信技术等。同时，还需要选择适合的监测设备，包括传感器、数据采集装置等，以确保监测数据的准确性和可靠性。

综上所述，公路结构健康监测需求分析需要充分考虑公路使用环境、设计、材料等因素，并明确监测的目标与目标状态，确定监测的时间周期和时效性，选择合适的监测方法和设备。只有通过对公路结构健康监测需求的全面分析，才能为公路的安全运行和可持续发展提供有效的支持。

## 三、光纤传感技术在公路结构监测中的应用探索

### 3.1 光纤传感技术在裂缝监测中的应用

在公路结构监测领域，裂缝是一种常见的损伤形式。通过

使用光纤传感技术，我们能够实时监测公路结构中的裂缝情况，从而及时采取相应的维护措施，保障公路的安全性和可靠性。

光纤传感技术在裂缝监测中的应用主要体现在以下几个方面。

光纤传感技术可以实现对裂缝的定量测量。传统的裂缝监测方法通常依赖于目视检查或测量仪器，存在着误差大、监测频率低等问题。而光纤传感技术基于光学原理，能够将光信号转化为电信号，实现对裂缝宽度和裂缝张开程度的高精度测量；光纤传感技术还可以实现对裂缝的快速识别。光纤传感网络能够在公路结构中布置成网状结构，通过监测光纤传感器上的光信号变化，可以快速识别裂缝的位置、长度以及发展趋势，提前预警裂缝扩展的风险；光纤传感技术还具有对多个裂缝进行同时监测的能力。光纤传感系统可以通过多个传感器对公路结构进行覆盖，并通过光纤互联的方式将数据传输到中心处理系统。这样，我们可以同时监测不同位置、不同类型的裂缝，提高监测效率和准确度。

总的来说，光纤传感技术在公路结构裂缝监测中有着广泛的应用前景。通过光纤传感技术，我们可以实现对裂缝的定量测量、快速识别以及多个裂缝的同时监测，为公路结构维护和管理提供科学依据和技术支持。

### 3.2 光纤传感技术在变形监测中的应用

光纤传感技术作为一项新兴的监测技术，在公路结构变形监测中发挥着重要的作用。它通过利用光纤传感器实时监测墙体、桥梁和其他公路结构的变形情况，以预防事故的发生并保障交通安全。

在公路结构变形监测中，光纤传感技术的应用主要表现在以下几个方面。

光纤传感技术可以实现对结构变形的实时监测。传统的变形监测方法需要安装多个传感器，并且存在着监测频率低、无法远程监测等问题。而光纤传感技术可以通过布置在公路结构中的光纤传感器，实时获取结构变形信息，包括位移、倾斜等参数，并将数据传输到监测中心进行处理和分析；光纤传感技术可以实现对较大范围内的结构变形的监测。传统的变形监测方法往往需要安装大量的传感器，工作量大且费时费力。而光纤传感技术可以通过布置延长的光纤传感器，实现对较大范围内结构变形的监测，不仅简化了安装过程，还提高了监测效率；光纤传感技术还可以实现对结构变形的多参数监测。通过对光纤传感器的设置，可以实现对结构的位移、压力、温度等多个参数的监测。这样一来，不仅可以更加全面地监测结构的变形情况，还可以提高监测结果的准确度和可靠性。

综上所述，光纤传感技术在公路结构变形监测中具有广泛

的应用前景。通过实时监测，对较大范围内进行变形监测以及多参数监测，可以有效预防事故的发生，提高公路的安全性和可靠性。

### 3.3 光纤传感技术在温度监测中的应用

在公路结构监测中，温度是一个重要的参数，对道路的安全性和使用寿命有着重要的影响。光纤传感技术在温度监测中的应用可以帮助我们实时掌握公路结构的温度变化情况，从而采取相应的措施来保障公路的正常运行。

光纤传感技术在温度监测中的应用主要表现在以下几个方面。

光纤传感技术可以实现对公路结构不同部位温度的实时监测。通过布置在公路结构中的光纤传感器，可以获取公路结构各个部位的温度信息，并将数据传输到监测中心进行实时分析。这样一来，我们可以及时了解公路不同部位的温度变化情况，为公路管理者提供科学依据；光纤传感技术还可以实现对温度异常事件的快速识别。通过对光纤传感器的设置和数据分析，可以建立公路结构温度的模型，并对异常事件进行敏感识别。如当温度超过设定的阈值时，系统能够立即发出警报，提示公路管理者及时采取措施。

综上所述，光纤传感技术在公路结构温度监测中具有重要的应用价值。通过实时监测、温度异常事件的快速识别以及长期监测，可以为公路管理者提供温度变化的准确数据，从而保证公路的安全性和使用寿命。

## 四、光纤传感技术在公路结构健康监测中的优势与挑战

光纤传感技术作为一种先进的监测手段，正逐渐在公路结构健康监测领域得到广泛应用。在探索应用的过程中，光纤传感技术展现出了独特的优势，同时也面临一些挑战。

光纤传感技术具有高精度和高灵敏度的特点，能够实时监测公路结构的变形、温度、湿度等参数。通过将光纤布放在公路结构内部或表面，可以精确测量材料的应力应变分布，提供准确的结构健康状态信息。这种高精度监测能力使得光纤传感技术成为了公路结构健康评估的重要工具；光纤传感技术具有灵活布放和远程监测的优势。光纤可以柔性布放在公路结构中，不受场地限制，不影响交通运行。与传统的传感器相比，光纤传感技术可以实现对更大范围的监测，同时可以进行长距离的数据传输和实时监测。这样的远程监测方式节省了人力物力资源，并且减少了对公路运行的干扰。

然而，光纤传感技术在公路结构健康监测中也存在一些挑战。安装和布放光纤需要专业人员和一定的技术支持，对技术要求较高；此外，光纤传感技术的设备和维护成本相对较高，

需要进行定期检修和保养；另外，光纤传感技术在复杂环境下对于温度和光照等外部影响较为敏感，因此需要合理的排布和防护。

综上所述，光纤传感技术在公路结构健康监测领域拥有显著的优势，但也面临着一些挑战。发展和推广该技术需要不断优化技术方案，提高监测精度和稳定性，降低成本，并加强技术培训和人才队伍建设。相信随着技术的进一步突破和发展，光纤传感技术在公路结构健康监测中的应用前景将变得更加广阔。

## 五、未来发展方向展望

光纤传感技术作为一种先进的监测手段，其在公路结构健康监测中具有广阔的应用前景。未来的发展方向主要包括技术创新和应用拓展两个方面。

在技术创新方面，光纤传感技术需要不断完善和改进，以提高其监测的精确性和灵敏度。科研人员可以在光纤传感器的制备工艺、信号处理算法以及数据分析方法等方面进行深入研究，以提高传感器的性能和准确性。同时，使用先进的材料和制备技术，以实现传感器的小型化和集成化，提高其对复杂环境中变化的响应能力；在应用拓展方面，光纤传感技术可以进一步应用于更多公路结构的健康监测中。目前，该技术主要应用于桥梁、隧道和大型公路路基等关键部位的监测。然而，公路结构的健康监测范围还可以扩大到多个层面，如路面状况、地基稳定性等。因此，在未来的发展中，科研人员可以开展相关研究，将光纤传感技术应用于更广泛的公路结构监测中，提高公路交通运输的安全性和可靠性。

### 结束语：

随着科技的不断进步，光纤传感技术在公路结构健康监测领域展现出巨大的潜力。通过对其应用的探索与研究，我们可以更好地监测和维护公路结构，确保道路的安全性和可靠性。希望本文的讨论能够为相关领域的研究者和从业人员提供一定的参考和启发，共同推动光纤传感技术在公路工程领域的发展与运用。

### [参考文献]

- [1]丁建峰,王燕平,徐雨歌.光纤传感技术在隧道结构健康监测中的运用[J].四川建材,2020,46(11):86-87.
- [2]赵勇,王敏,高文旗,陶津.分布式光纤传感新技术在盾构隧道结构变形监测中的应用[J].公路,2017,62(07):326-329.
- [3]钟东.分布式光纤传感技术在大型过江隧道健康监测系统中的应用[J].现代交通技术,2017,14(03):67-71.
- [4]姜芝坤,封亮,陈佳瑜.光纤传感技术在隧道健康监测中的施工[J].交通世界(建养.机械),2010(08):143-144.