

## 公路隧道土建结构病害养护处治策略与实践探索

张煦

江苏现代路桥有限责任公司, 江苏 南京 210002

**[摘要]** 公路隧道土建结构在长期运营过程中, 受环境、交通等因素的影响, 常出现裂缝、渗漏、沉降等病害问题。为确保隧道的安全性和使用寿命, 需对其进行定期养护与处治。结合实际案例, 通过对隧道结构病害的分类、成因分析及养护方法进行探讨, 尤其针对隧道土建结构渗漏水提出了一系列针对性养护处治措施。实施这些措施能有效延缓结构老化, 提升隧道运行的安全性和稳定性。

**[关键词]** 公路隧道; 土建结构; 养护处治策略; 安全性

DOI: 10.33142/sca.v8i1.15078

中图分类号: TU4

文献标识码: A

## Exploration and Practice of Maintenance and Treatment Strategies for Civil Structure Diseases in Highway Tunnels

ZHANG Xu

Jiangsu Xiandai Road and Bridge Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210002, China

**Abstract:** During the long-term operation of highway tunnel civil structures, problems such as cracks, leakage, and settlement often occur due to environmental and traffic factors. In order to ensure the safety and service life of the tunnel, regular maintenance and treatment are necessary. Based on practical cases, this paper discusses the classification, cause analysis, and maintenance methods of tunnel structural diseases, and proposes a series of targeted maintenance and treatment measures, especially for the leakage of tunnel civil structures. Implementing these measures can effectively delay structural aging and improve the safety and stability of tunnel operation.

**Keywords:** highway tunnels; civil engineering structure; maintenance and treatment strategies; safety

### 引言

随着公路隧道的广泛应用, 隧道土建结构病害问题逐渐凸显, 给隧道的安全运营带来了巨大的挑战。裂缝、渗漏、沉降等病害, 不仅影响通行安全, 还可能导致维修成本的不断攀升。如何有效预防和处置这些病害, 成为当前公路隧道管理中的一项关键任务。通过深入分析隧道结构病害的成因与特点, 探索科学的养护和处治策略, 不仅能延长隧道使用寿命, 还能确保公路交通的安全高效运行。

### 1 公路隧道土建结构病害现状与分类

公路隧道作为重要的交通基础设施, 在长期运行过程中, 由于受环境因素、交通荷载、地质条件等多种因素的影响, 土建结构病害问题日益突出。隧道结构病害的类型多种多样, 常见的包括裂缝、渗漏、沉降、混凝土老化等问题。这些病害不仅影响隧道的安全性和稳定性, 还可能加速结构老化, 增加维护成本, 严重时甚至可能导致隧道的使用寿命缩短, 威胁交通的正常运行。因此, 识别并分类隧道土建结构病害, 成为隧道管理和养护中的一项重要任务。

裂缝是公路隧道中最常见的土建结构病害之一, 主要由荷载作用、地质变化、温度变化等因素引起。裂缝的发生通常会导致水渗透, 使得隧道内部环境恶化, 进一步加剧混凝土的腐蚀, 甚至影响到隧道的结构稳定性。此外, 隧道内部的排水系统如果设计不当或老化, 极易出现渗漏

现象, 水分长期浸泡可能导致混凝土的膨胀和脱落, 形成严重的病害。沉降问题也是公路隧道常见的病害之一, 尤其是在地质条件复杂或者隧道开挖不当的情况下, 沉降不仅会影响隧道结构的安全性, 还会导致隧道线形的变化, 影响交通安全。

针对不同类型的病害, 其成因各异, 影响因素较为复杂。外部环境条件如地下水位变化、气候波动、地震等自然因素都会直接或间接导致土建结构的损坏。施工过程中, 若设计不合理或施工质量不达标, 隧道的结构抗压性、抗裂性等性能将会大打折扣。此外, 隧道长时间的交通荷载以及车辆频繁通过, 也会使得隧道结构承受持续的压力, 增加了病害发生的风险。隧道病害的分类与成因分析, 是有效开展养护和处治工作的基础。通过准确识别病害类型并深入分析其成因, 可以为后续的养护方案提供科学依据。

随着隧道使用年限的增加, 病害问题将愈加突出, 对隧道的养护管理提出了更高的要求。对公路隧道土建结构病害的现状与分类进行深入分析, 有助于制定针对性的养护策略, 延长隧道的使用寿命, 确保其在长时间运营中的安全性和稳定性。这不仅对提升隧道的综合效益具有重要意义, 也为保障道路交通安全提供了有力支持。

### 2 隧道结构病害的成因分析

隧道结构病害的成因复杂多样, 主要受到环境、施工

质量、设计因素以及使用过程中荷载的共同作用。首先环境因素对隧道结构的影响非常显著。地下水的渗透和湿度的变化容易引发混凝土的腐蚀,尤其在地下水位较高或长期暴露在水分环境中的隧道,水分的不断侵蚀会导致钢筋锈蚀,进而降低混凝土的抗压强度。温度变化和气候波动也是导致隧道结构病害的一个重要因素,尤其在寒冷地区,水分进入裂缝后冻胀作用加剧了混凝土的破裂。此外,地下隧道开挖过程中,土壤的湿度、温度、压力等因素变化也会对隧道的结构稳定性造成影响。

隧道建设中的设计与施工质量问题是结构病害的重要成因。在设计阶段,若未充分考虑隧道所处的地质环境和未来的交通荷载变化,可能导致隧道的结构不够合理,无法有效承受长期运营中的压力。例如,设计不合理的排水系统会导致积水无法及时排出,长时间的水积累容易引发混凝土的膨胀和剥落。施工阶段,若施工技术不过关或材料质量不达标,也会直接影响隧道的使用寿命。比如,施工过程中浇筑不密实、养护不到位,都会导致混凝土强度不够,增加了结构损坏的风险。

隧道长期使用中的荷载作用和老化现象也是导致结构病害的重要因素。隧道在使用过程中,车辆荷载持续作用于隧道结构,尤其是超载车辆的通行,会对隧道的承载能力造成很大压力,导致结构的变形、裂缝甚至沉降。长期的交通流量增加和交通荷载超标,可能使隧道出现不可逆的结构变形,影响整体安全性。另外,随着时间的推移,隧道的材料老化和功能下降也是病害的重要原因。即便隧道的设计和施工质量较好,但在长时间的运营过程中,结构材料也会逐渐退化,导致其承载能力逐步下降,形成裂缝、渗漏等病害。因此,隧道结构病害的成因是多方面的,涵盖了环境影响、设计施工问题以及长期荷载作用等因素。了解这些成因并进行深入分析,有助于更好地制定针对性的养护和修复方案,延长隧道的使用寿命,保障交通的安全性和隧道结构的稳定性。

### 3 公路隧道土建结构的常见病害及其影响

公路隧道土建结构的常见病害种类繁多,其中裂缝、渗漏、沉降和混凝土老化是最为典型的几种。裂缝是隧道土建结构中最常见的病害之一,通常由外部荷载、温度变化、地质沉降等因素引起。裂缝的出现不仅直接影响隧道的美观,还可能成为水渗透的通道,导致进一步的腐蚀和损坏。裂缝的加剧可能导致混凝土内部钢筋锈蚀,使结构强度降低,从而增加了维修和加固的难度。隧道中的裂缝如果得不到及时修复,可能引发更为严重的结构性损伤,影响隧道的安全性和长期使用。

渗漏问题是隧道结构病害中另一个常见且影响深远的隐患。隧道内的渗漏主要由结构裂缝、排水系统设计不当或老化引起。渗漏水不仅能加速混凝土和钢筋的腐蚀,还会影响隧道内部环境的湿度,造成设备设施的损坏,增

加了隧道养护的难度。特别是地下水丰富的地质条件下,渗漏问题尤为严重,渗漏水长时间侵蚀结构表面,可能导致混凝土的表面剥落,降低整体承载能力。此外,渗漏水的积聚还会对隧道的通行安全产生威胁,尤其是在低温环境下,渗漏水可能结冰,影响路面的摩擦系数,增加交通事故的风险。

沉降问题也是公路隧道常见的结构性病害之一,尤其是在地质条件复杂或隧道建设过程中未充分考虑地质因素时,沉降现象会更为显著。隧道的沉降可能会导致隧道线形发生变化,影响交通安全。沉降带来的不均匀沉降会加剧隧道结构的变形,可能导致局部区域承载能力下降,进一步引发裂缝和变形,影响整体稳定性。随着沉降的持续,隧道结构的应力状态发生变化,可能导致更多的病害产生。尤其在隧道运行多年的情况下,沉降效应逐渐积累,可能形成较为严重的局部变形,需要通过加固等措施进行修复。

综上所述,公路隧道的常见病害如裂缝、渗漏、沉降等,都会对隧道的结构安全和使用寿命产生深远影响。裂缝不仅影响美观,还可能成为水渗透的渠道,渗漏水存在则加剧了腐蚀和设备损坏,沉降问题则可能导致隧道变形,影响交通安全。识别和修复这些病害,不仅能确保隧道的结构安全,还能有效延长隧道的使用寿命,减少后期维护成本。

### 4 隧道渗漏水病害处治技术措施

隧道病害的养护与处治技术措施中,针对渗漏问题的处理是一个至关重要的环节。渗漏通常是由于隧道的外部防水层失效、结构裂缝或周围地下水渗透所引发,长时间的渗水不仅会降低隧道的耐久性,还可能导致结构腐蚀、电气设施损坏等安全隐患。因此,针对渗漏的修复需要采取科学的技术措施。

首先,渗漏的检测和定位是处治的前提。在隧道病害的养护过程中,利用利用相关的无损检测技术,精确定位渗漏源和渗漏路径,避免过度修复和浪费材料。对于渗漏的检测和评估,应结合隧道的实际情况,选择适合的检测工具和技术,以确保准确性。

一旦确定渗漏位置,常见的处理方法包括注浆加固法和表面防水修复法。注浆加固法是一种通过向渗漏部位注入高压浆料(如水泥基浆料、环氧树脂等)来填充空隙,封闭裂缝,防止水分进一步渗透的技术。注浆材料选择时,要根据渗漏部位的性质、结构的需求以及环境的变化来决定。例如,对于软土层和砂层,注浆材料需要具备较强的渗透性和凝固性,以确保水分不再渗透;而对于硬化混凝土和岩层,则需要选择具备较高强度和抗压性能的材料。

另外,对于表面修补,采用的材料通常是防水涂料或高分子复合材料,这些材料可以形成一层有效的屏障,避免水分浸入结构内。此方法常用于隧道暴露在外部的结构层修复,尤其是在隧道外表面已有明显裂缝或水渗透的情

况下。通过涂刷防水材料，不仅能够有效封闭渗水路径，还能增强隧道表面的抗冻性和抗老化能力，提高隧道的长期使用性能。

对于渗漏较为严重或难以通过常规修复技术解决的情况，可以考虑采用更为先进的技术手段，例如气压注浆技术或注入膨胀性胶体材料。这些材料具有较强的自愈能力，能够在接触水后发生膨胀，封闭裂缝，从而防止渗漏现象的发生。此外，部分隧道在水压较高或地下水渗透强度较大的情况下，还可以考虑增设内衬系统，例如采用聚氯乙烯（PVC）或高密度聚乙烯（HDPE）板等防水材料，为隧道提供额外的防水保护层。

为确保渗漏问题的长效解决，定期检查和养护是必不可少的措施。隧道养护过程中应设置专门的防水监测系统，实时监控隧道的渗漏情况，提前发现潜在的病害隐患。通过综合采取裂缝修补、注浆加固、表面防水涂层修复等技术手段，可以有效防止渗漏问题的反复发生，延长隧道结构的使用寿命，确保隧道的安全运营。

### 5 公路隧道养护管理的优化策略与实践

公路隧道养护管理的优化策略与实践是确保隧道安全性、延长使用寿命并降低维护成本的关键。养护管理的优化需要建立科学的监测和评估体系，通过定期检查和实时监控隧道的结构健康状态，及时发现潜在病害。常见的监测方法包括裂缝监测、沉降监测和渗漏监测等，通过设置传感器和数据采集系统，可以实现对隧道结构的全方位实时监控。与此同时，利用智能化设备和大数据技术，能够快速识别隧道病害的类型和发展趋势，为养护管理决策提供依据。通过对隧道结构健康状态的定期评估，可以制定更为合理的养护计划，避免盲目和重复性的维修工作。

养护管理的优化还需要加强隧道病害的预防与早期干预，减少大规模修复所带来的高成本和安全隐患。通过引入先进的养护技术，可以提高病害处治的效率和精准性。例如，采用自愈合材料进行裂缝修补，能够在裂缝出现的初期进行自我修复，延缓病害的进一步发展。智能排水系统可以根据实时监测数据自动调节排水量，防止水分积聚导致的渗漏问题。这些技术手段不仅能够提高养护效率，还能降低人工成本和材料浪费，从而实现更加精细化和科学化的养护管理。

优化隧道养护管理还需要加强养护人员的专业培训

与管理，提升整体养护队伍的技术水平和响应能力。随着隧道病害类型的日益复杂，养护人员不仅要掌握基本的维修技术，还需熟悉新型修复技术和设备的使用。此外，优化养护管理还需要建立完善的应急预案和响应机制，在发生突发病害或灾害时，能够迅速调动资源进行修复，最大程度降低对隧道运营的影响。合理安排养护周期和优先级，确保对影响安全性和运营效率的病害进行及时处理，进而保障隧道在长期运营中的安全稳定。

综上所述，公路隧道养护管理的优化策略包括科学监测、病害预防、技术创新和人员培训等方面。通过整合先进技术与管理方法，不仅提升了养护效率和精准度，还能延长隧道使用寿命，确保安全运行。这些优化措施将为隧道的可持续发展提供有力支持，推动公路隧道管理水平不断提升。

### 6 结语

公路隧道土建结构的病害防治与养护管理对保障隧道安全性、延长使用寿命至关重要。通过科学的监测和评估、先进的修复技术及精细化的养护管理，可以有效预防和处治各类病害，确保隧道长期稳定运营。未来，随着技术的不断进步，隧道养护管理将更加智能化和精细化，为交通安全和公共基础设施的可持续发展提供有力支持。只有持续优化养护管理策略，才能应对隧道面临的各种挑战，确保其在复杂环境中的安全性与高效运行。

#### [参考文献]

- [1]夏铃.公路隧道养护管理信息及其技术评价系统研究[D].重庆:重庆交通大学,2011.
  - [2]《高速公路隧道结构安全养护管理系统研究开发》课题组.高速公路隧道结构安全养护管理系统研究开发[J].广东公路交通,2012(3):152-154.
  - [3]王立琛.高速公路隧道土建结构建设通病与后期养护对策[J].住宅与房地产,2019(34):184.
  - [4]魏拓.在役公路隧道定期检查及养护科学决策研究[J].北方交通,2024(7):58-61.
  - [5]陈园园,项彦茂,李俊,等.公路隧道土建结构病害分析及养护建议[J].工程技术研究,2024,9(8):124-127.
- 作者简介:张煦(1993.11—),男,河南工业大学;土木工程专业,江苏现代路桥有限责任公司,中级工程师(土木工程施工)。