

# 风积沙填筑路基的长期耐久性及维护策略

刘亮

新疆生产建设兵团第十师交通运输服务中心, 新疆 北屯 836099

**[摘要]**随着我国基础设施建设的持续推进,尤其是西部地区交通网络的不断扩展,风积沙路基的应用逐渐增多。这些地区独特的自然条件,如强风沙、降水稀少及土质松散,使得传统的路基施工方法难以有效应对。面对风积沙的特殊性与复杂性,深入研究其物理力学性质及长期耐久性显得尤为重要。有效的加固与维护策略不仅能提升风积沙路基的稳定性,还能显著减少路基沉降与裂缝问题,从而保障交通安全,并为相关地区的可持续发展提供有力支持。为应对风积沙的特殊挑战,还提出了针对性的方法与技术,旨在为未来的风积沙路基设计与施工提供参考与借鉴。

**[关键词]**风积沙;填筑路基;耐久性;维护

DOI: 10.33142/ect.v3i3.15705

中图分类号: U416

文献标识码: A

## Long Term Durability and Maintenance Strategy of Wind Blown Sand Filled Roadbed

LIU Liang

Transportation Service Center, the 10th Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Beitun, Xinjiang, 836099, China

**Abstract:** With the continuous promotion of infrastructure construction in China, especially the continuous expansion of transportation networks in western regions, the application of wind blown sand subgrade is gradually increasing. The unique natural conditions in these regions, such as strong sandstorms, scarce precipitation, and loose soil, make it difficult for traditional roadbed construction methods to effectively cope. In the face of the particularity and complexity of wind blown sand, it is particularly important to conduct in-depth research on its physical and mechanical properties and long-term durability. Effective reinforcement and maintenance strategies can not only improve the stability of wind blown sand roadbeds, but also significantly reduce roadbed settlement and cracking problems, thereby ensuring traffic safety and providing strong support for sustainable development in relevant areas. To address the special challenges posed by wind blown sand, targeted methods and technologies have been proposed, aiming to provide reference and inspiration for future design and construction of wind blown sand roadbeds.

**Keywords:** wind blown sand; filling the roadbed; durability; maintenance

### 引言

风积沙填筑路基在公路建设中被广泛应用,尤其是在干旱、半干旱及沙漠化地区。尽管风积沙作为常见的施工材料具有一定优势,但其独特的物理力学性质使得在长期使用过程中,路基容易面临一系列稳定性与耐久性问题。风积沙因其松散的结构、较强的透水性以及较低的抗剪强度,路基填筑后容易出现沉降、裂缝、水土流失等问题。这些问题不仅影响路面的平整度,还对交通安全构成威胁。因此,提升风积沙路基的稳定性、延长其使用寿命,并针对其特殊性质制定有效的维护与加固方案,已成为公路建设和养护领域亟待解决的关键问题。

### 1 风积沙物理力学属性

风积沙作为路基填筑材料,具备一系列独特的物理力学特性。风积沙具有结构松散、级配不良、透水性强、孔隙率大、保水性差以及抗剪强度低等特性,这些特点使得风积沙在实际使用中容易面临稳定性方面的挑战。风积沙中含有丰富的石英、长石和云母等矿物成分,这些成分在一定程度上影响了材料的塑性与抗剪性能,从而导致风积沙可塑性较差,成型难度较大。因此,保持合理的松铺系

数对保证风积沙路基的长期稳定至关重要。在自然状态下,风积沙的含水量通常在 1%至 5%之间,干湿容重分别为  $1.4\text{g}/\text{cm}^3$  与  $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ , 经过压实后,其最大干密度可达到  $1.78\sim 2.01\text{g}/\text{cm}^3$ , 展现出较强的压实性能。风积沙的颗粒组成均匀,不均匀系数 ( $C_u$ ) 介于 2.6~3.2 之间,曲率系数 ( $C_c$ ) 在 0.9~1.7 之间。粒径范围为 0.25~0.074mm 的颗粒占比高达 85%至 95%,且粒径分布集中,级配曲线陡峭,这表明风积沙的颗粒大小分布较为均匀,呈现一定规律性。尽管其物理特性较为优越,但随着风积沙路基填筑高度的不断增加,常常会遇到渗水问题。水分从便道渗入可能导致路基的交通阻塞及沉降。因此,在填筑风积沙路基时,必须采取有效的洒水控制措施,并设置合适的排水系统,以避免渗水对道路稳定性产生不利影响。风积沙的压缩变形较小,且其压缩量与荷载之间呈现指数关系。回弹模量通常位于 75~90MPa 范围,在反复荷载作用下,回弹模量有时甚至可超过 100MPa,显示出良好的恢复能力。尽管如此,风积沙的最大干密度和 CBR 值通常难以通过传统的重型击实试验进行准确测量,同时在干燥状态下,其黏聚力几乎为零。这些特性决定了风积沙材料

在设计与施工过程中需要特别的处理方式,以确保其路基的长期稳定性与耐久性。

## 2 风积沙填筑路基的长期耐久性

### 2.1 风积沙填筑路基的结构演变

风积沙填筑路基的结构演变是一个受到多种因素交互作用的复杂过程。在路基填筑初期,风积沙的结构通常较为松散,颗粒间的联结较弱,导致稳定性差。随着时间的推移,风积沙经历一定程度的沉降,主要由于其天然的松散性和较高孔隙率引起。自重与外部荷载的作用下,颗粒的相对位置发生了变化,结构逐渐密实化,沉降量随之逐步减少,这个过程通常是渐进的,达到相对稳定状态需要长期荷载作用的影响。风积沙路基的结构演变与水文条件密切相关,在湿润或降水较多的环境中,水分的渗透加速了颗粒的沉降与压实,增强了结构的密实度。然而,若水分过多,路基可能出现软化、滑动,甚至发生湿陷。相反,在干燥或降水稀少的地区,过快的水分蒸发可能导致风积沙出现裂缝或龟裂,从而影响长期稳定性。随着填筑高度的逐步增加,风积沙路基的结构演变也受到填土压实程度的影响。底层通常经历了较为充分的压实,而上层则因松散性较强而显得较为薄弱。在长期荷载与环境变化的作用下,风积沙路基的上层容易出现不均匀沉降,进而影响整体稳定性。为有效控制这一过程,合理的填筑顺序和精确的压实控制至关重要。

### 2.2 风积沙在不同环境条件下的变化规律

风积沙在不同环境条件下的变化规律受到气候、湿度与温度等因素的显著影响,展现出明显的动态特性。在干旱或半干旱地区,含水量较低的风积沙,因颗粒之间结合力较弱,易受到风力与水流的侵蚀,导致表面风蚀或沙丘迁移的现象。在这些地区,风积沙的结构松散,保水性差,容易发生风沙侵扰、干缩以及裂缝等问题,进而影响路基的稳定性。尤其在降水量少、蒸发强烈的季节,干硬层可能在风积沙表面形成,使水分无法有效渗透,进一步加剧风蚀现象,造成路基表层的干裂或水土流失。相对而言,湿润或多雨地区的风积沙表现有所不同。湿气与降水作用增强了颗粒之间的接触力,使压实效果显著,结构趋向密实。尽管风积沙具有较强的渗透性,水分渗透却可能带来湿陷性问题。特别是在雨季,水分的积聚可能导致风积沙软化,继而引发路基沉降或变形,进而影响道路的承载能力。在这种环境下,风积沙的耐久性通常受水文条件的制约,若排水措施不到位,容易发生积水、路基变形,甚至出现水土流失或结构失稳。温度变化对风积沙的影响同样显著,在寒冷地区,温差引起的冻融作用会导致风积沙体积变化,从而加剧沉降与裂缝问题。而在高温环境中,水分蒸发加速土体干燥与收缩,导致风积沙的结构更加松散,抗剪强度降低。

### 2.3 风积沙填筑路基的抗压强度与耐久性分析

风积沙填筑路基的抗压强度与耐久性直接决定了其

长期稳定性与使用寿命。由于风积沙结构松散,颗粒间的结合力较弱,其抗压强度普遍较低。在外部荷载作用下,尤其是在荷载较大的情况下,风积沙路基容易发生沉降,压缩变形表现得尤为明显。干湿容重、压实度以及颗粒级配等因素均会影响风积沙的抗压能力。适当的压实可以提高其密度,从而改善抗压性能,但由于风积沙颗粒形态及成分特征的限制,压实后的抗压强度仍然有限,远低于黏土等常规路基材料的抗压能力。风积沙路基的耐久性容易受到环境因素的影响,风积沙保水性差、孔隙率高,水分渗透可能导致水土流失或湿陷,尤其是在湿润或多雨地区,水分进入后可能使路基软化、沉降,从而影响其承载能力。与干燥地区的风蚀相比,这类水害问题更容易破坏路基的稳定性与耐久性。另外,风积沙的抗冻性较差,尤其在寒冷地区,冻融循环作用会加剧其结构破坏,导致沉降与裂缝的发生。长期使用过程中,风积沙路基的耐久性还与颗粒结构、级配密度以及填筑高度等因素密切相关。随着填筑高度的增加,底层承受更大荷载,密实度较高;而上层的松散性较强,造成上下层密实度差异,可能导致上层路基出现不均匀沉降,进而影响整体稳定性。因此,在施工阶段,必须严格控制压实度,并根据环境条件设计适当的排水与加固措施,以减少水害与冻融对路基的负面影响。

## 3 风积沙填筑路基的维护与加固技术

### 3.1 定期检查与维护方法

风积沙填筑路基的定期检查与维护,是确保其长期稳定性与耐久性的关键措施。通过定期检查可以及早识别潜在问题,为制定有效的维修方案提供依据,从而降低故障率并减少维修成本。检查工作应涵盖多个关键方面,其中沉降情况是首要关注点,由于风积沙的松散性与较高的孔隙率,荷载作用下容易导致不均匀沉降。因此,沉降情况必须定期监测,尤其在交通繁忙或填筑高度较大的路段。监测工作可以通过精密水准仪、沉降板等仪器进行,以确保沉降量保持在预定标准内。裂缝与变形的检查同样不容忽视,风积沙路基在温湿度变化及长期荷载作用下,容易产生裂缝或变形,进而影响路面的平整性与承载能力。检查时,应重点关注裂缝的尺寸、深度及扩展趋势,特别是在气候剧烈变化或雨季临近时,裂缝的扩大可能更为严重,需格外注意。排水系统的检查至关重要,虽然风积沙具有较强的透水性,但在多雨或湿润环境下,如果排水设施出现故障,水分积聚在路基内部可能会导致软化、湿陷等严重问题<sup>[1]</sup>。为了确保水分能够顺利排出,定期检查排水管道、排水沟等设施的畅通情况,是防止路基受损的有效措施。路基表面植被的维护也应纳入检查工作的重要内容,健康的植被能够有效固定风积沙,减少风蚀与水土流失,从而增强路基的稳定性。定期检查植被覆盖情况,及时补种或加强管理,能显著延长路基的使用寿命。

### 3.2 风积沙路基的加固技术（如加固土工布、地基处理等）

风积沙路基的加固技术在确保路基长期稳定性方面具有至关重要的作用，尤其是在风积沙自身抗压强度较低、渗透性较高的情况下。常用的加固方法包括土工布、地基处理等技术，这些手段能够有效提高路基的承载力，减少沉降与裂缝的发生，延长其使用寿命。作为风积沙路基加固中常见的材料，土工布具有显著的作用，凭借其出色的透水性与抗拉强度，土工布在风积沙路基中提供了稳定的支撑，防止风积沙与下层土体混合，从而增强了路基的稳定性。通过将土工布铺设在路基底层或加固层，它不仅有助于减少水分渗透对路基的影响，还能有效防止风蚀现象的发生<sup>[2]</sup>。在干旱或风沙较为严重的地区，土工布更能增强路基的抗风能力，发挥防护作用。地基处理技术是另一种有效的加固手段，常见的包括换填、加固及固结处理等方法。换填技术通过将不适宜的松散风积沙替换为承载力更强的土壤或其他材料，通常用于路基底层，以提高整体的承载能力和抗压性能。加固措施，如深层搅拌与注浆加固，通过改变土体的密实度和力学性质，显著提升了风积沙的稳定性。深层搅拌技术能够在风积沙中形成水泥土柱，从而增加路基的强度，减少沉降；而注浆加固则通过注入水泥浆或固化剂，改善了土壤的孔隙结构，提升了抗压强度，增强了稳定性。固结处理方法则通过调节水分，改变风积沙的压实性与稳定性。利用预压或排水板等技术，加速了土体的固结，减少了沉降及软化的风险。特别是在湿润地区，这一方法能够有效避免因水分过多渗透而导致的湿陷问题。

### 3.3 控制沉降与裂缝的修复方法

风积沙路基在长期使用过程中，常因荷载变化、湿度波动或温度变化而发生沉降和裂缝。如果这些问题未能及时修复，可能导致路面不平，交通安全隐患增加，甚至引发更为严重的结构损害。因此，控制沉降问题与修复裂缝成为风积沙路基维护中的关键任务。沉降问题的控制与修复可通过多种技术手段实现，在初期沉降阶段，通常采用预压处理，即在路基填筑前施加一定压力，促使土体提前沉降，从而减少后期的沉降量。这一方法通常结合排水板和排水管道等设施，利用加速土体水分排放来促进固结，达到减缓沉降速度的效果。对于已经发生明显沉降的路段，则可采用注浆加固技术进行修复。通过注入水泥浆或化学

浆液等固化材料填充沉降区域的空隙，增加土体的密实度与承载力，从而恢复路基的稳定性与平整度<sup>[3]</sup>。此修复方法特别适用于沉降较为严重但仍可修复的路段。裂缝的修复首先需评估裂缝的类型及其严重性，对于小型裂缝常使用沥青灌缝或聚氨酯灌浆技术进行修复，填充裂缝的同时形成弹性接缝，防止水分渗透，避免裂缝进一步扩展。对于较大裂缝及结构性损伤较为显著的情况，需对裂缝部位进行局部挖掘，并采取加固措施。此时，可以通过拆除受损区域的路面、回填加固土体，或在裂缝部位安装钢筋网或土工布等材料，以提高路基的强度与抗裂性。如果裂缝是由冻融作用引起的，应首先采取温控措施，避免温度波动过大，再进行修复工作。为了避免未来再次出现类似的沉降和裂缝问题，定期的维护和监测显得尤为重要，通过实时监控沉降情况及裂缝的发展，能够在问题初期得到有效识别并及时采取修复措施。结合现代传感技术，沉降与裂缝的动态变化可以通过物联网系统进行远程监控，从而为后续的修复决策提供可靠的数据支持。

## 4 结语

风积沙填筑路基在工程建设中面临诸多挑战，主要由于其松散结构、较强透水性以及较低抗剪强度等特性所致。本文深入分析了风积沙的物理力学特性及其长期耐久性，探讨了不同环境因素对路基稳定性的影响，并提出了一系列有效的维护与加固措施。这些措施包括定期检查、加固技术的应用以及裂缝修复等，能够有效提升路基的稳定性，延长其使用寿命，确保道路的安全运营。综合考虑风积沙特性与环境变化后，通过科学的管理方法与技术手段，显著提高路基的长期稳定性与耐久性，为相关工程的顺利实施提供有力保障，推动区域可持续发展。

### [参考文献]

- [1]杜国发,严少发.浅谈风积沙路基填筑的关键施工技术[J].山西建筑,2010,36(27):2.
- [2]章文峰,刘长茂.风积沙路基填筑施工技术探讨[J].交通世界,2020(28):75-76.
- [3]刘艳杰.浅析风积沙路基填筑的关键施工技术[J].建材与装饰,2020(14):276-279.

作者简介:刘亮(1990.12—),毕业院校:国家开放大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:新疆生产建设兵团第十师交通运输服务中心,职称级别:工程师。