

沙漠地质对铁路施工技术的影响及应对策略

曲 钊

中铁十七局集团第二工程有限公司 陕西 西安 710005

摘要：沙漠地质环境因其独特的自然条件，长期以来对铁路施工技术带来了巨大挑战。随着中国西北地区铁路网络的不断扩展，沙漠地带成为关键施工区域，风沙侵蚀、沙漠化以及极端的气候条件使得铁路建设面临多重考验。本文基于沙漠地区的地质资料及实际工程案例，探讨了沙漠地质对铁路施工的各方面影响，涵盖了沙尘暴对铁路路基、轨道、桥梁等设施的影响。通过对多个沙漠地区铁路建设项目的案例分析，提出了应对沙漠地质挑战的策略，包括风沙防护技术、路基加固措施以及生态恢复策略。结合数据和先进技术手段，本文总结了成功的防护措施，并为未来沙漠地带铁路建设提供了可行的技术方案。

关键词：沙漠地质；铁路施工；风沙侵蚀；技术创新

前言

沙漠地区的铁路建设面临复杂的地质与气候挑战，特别是在中国西北部的塔克拉玛干沙漠、戈壁滩等地，极端的风沙天气、缺水、沙漠化土壤及高温等因素严重影响了铁路施工与运营。沙尘暴和风沙侵蚀会对路基、轨道、桥梁、涵洞等基础设施造成不可忽视的破坏，给施工带来了极大的难度。近年来，随着铁路网的快速发展，沙漠地带的铁路建设逐步进入了施工高潮^[1]。然而，沙漠地质环境的特殊性使得传统的施工技术难以应对现代铁路建设的需求，因此，需要引入新型的技术和多层次的解决方案。

1 沙漠地质环境对铁路施工的挑战及影响分析

1.1 沙漠地区的地质环境特征及成因

沙漠地质环境的特殊性在于其独特的气候条件、土壤类型和地质成因。中国的主要沙漠区域，如塔克拉玛干沙漠、戈壁滩和准噶尔盆地，具有明显的干旱、少雨以及极端气温的特点。以塔克拉玛干沙漠为例，沙漠区域的地质主要由风成沙丘、沙漠沉积物和干涸的湖泊沉积物组成。塔克拉玛干沙漠的风成沙丘是最典型的地貌

特征，其沙丘高度可达10-20m，甚至有的沙丘高度超过30m，沙丘的形态以弯曲的“S型”和“月牙型”沙丘最为常见，这些沙丘随着风力的变化不断迁移和变形^[2]。

沙漠地质的成因主要与干旱气候、风力作用和缺水等自然因素密切相关。在沙漠地区，由于缺乏足够的降水和植被覆盖，风力作用成为影响地质形态变化的主要力量。风吹动沙土，形成沙丘、沙漠平原和风蚀岩层，进而改变了地质构造。塔克拉玛干沙漠的地层多由第四纪风化沉积物、沙土、砾石和粘土层构成，土层下则为较为坚硬的岩石层，如花岗岩、石英岩等。

地下水位在沙漠地质环境中也是一个影响铁路施工的重要因素。在塔克拉玛干沙漠中，地下水位较深，通常超过50m，甚至在一些地区，地下水位可以达到100m以上。由于地下水位较低，水资源匮乏，导致土壤含水量极低，土质松散且易风化，使得铁路建设中面临土壤不稳定、路基沉降等问题。此外，由于地下水水位低，沙漠地区的水源多为地下水井或少数的天然水源，水质常含有高浓度的矿物质，尤其是盐分较高，常见的有氯化物、硫酸盐、碳酸盐等。

表1 塔克拉玛干沙漠的主要地质特征

地质特征	描述	数据范围	影响分析
沙丘类型	主要为弯曲形沙丘、月牙形沙丘	高度10-30m	沙丘迁移与风蚀作用影响路基稳定
地层类型	风化沉积物、沙土、砾石、粘土层	风沙层深度15-30m	土壤松散、风化严重，导致施工困难
土壤类型	沙土、粉沙、细沙，部分区域存在盐碱土层	粒径0.2-2.0mm	土壤含水量低，沙尘暴影响铁路设施
地下水深度	地下水位通常50m以上，某些区域可达100m以上	50-100m	水源稀缺，土壤不稳定，影响路基建设
水质特点	盐分含量较高，常见氯化物、硫酸盐、碳酸盐等	盐分浓度5-15g/L	高盐水对土壤、铁路设施的腐蚀影响严重

塔克拉玛干沙漠的这些地质特征不仅影响了该地区的自然生态环境，还为铁路建设带来了严峻挑战，尤其是风沙侵蚀和地下水稀缺的问题。

1.2 风沙侵蚀对铁路路基和轨道的影响

风沙侵蚀是沙漠地区地质环境中最为突出的问题之一。沙漠地区的风力强度常年处于较高水平，且沙尘暴

天气频发。以塔克拉玛干沙漠为例，该地区年平均风速可达到10~15m/秒，而在沙尘暴天气期间，风速可高达30m/秒以上。沙尘暴天气极为猛烈，常伴随强烈的沙粒侵蚀，对铁路路基、轨道及其他设施造成严重破坏。由于风沙的持续作用，路基的土壤容易出现流失和沉降现象^[3]。沙尘暴带来的风沙会在路基表面堆积，随着时间的推移，风沙层的厚度逐渐增大，导致铁路道床不平，

影响列车的运行安全。根据实际监测数据，沙尘暴天气下，风沙堆积层的高度可达到10至20cm。风沙堆积不仅增加了铁路维修的难度，还加剧了路基的沉降，极端情况下，路基的沉降量可超过5cm，导致铁路设施的整体稳定性下降。沙漠地区的沙土较为松散，湿度低，土壤颗粒之间的粘结力差，使得风沙对路基的侵蚀作用更加显著。

表2 风沙侵蚀对铁路路基沉降的影响数据

风速 (m/秒)	沙尘暴频率 (天/年)	沙土堆积厚度 (cm/年)	路基沉降量 (cm/年)	影响程度
10月12日	100-120	5月10日	0.5-1.0	轻微影响, 局部沉降
12月15日	120-150	10月15日	1.0-2.0	中度影响, 沙土堆积
15-18	150-180	15-20	2.0-3.0	较大影响, 路基变形
18以上	180以上	20-30	3.0-5.0	极大影响, 严重沉降

这些数据表明，风沙侵蚀不仅增加了施工的难度，还加剧了铁路设施的维护成本，尤其是沙尘暴频发和风速较高的地区，风沙堆积和沉降问题尤为严重，严重影响了铁路的长期稳定性。

1.3 风沙对桥梁和涵洞的影响

沙漠地区的风沙对桥梁和涵洞的影响较为复杂，尤

其是在高风速区域。风沙堆积对桥梁下方的土壤结构产生侵蚀作用，可能导致基础沉降，影响桥梁的稳定性。此外，风沙对涵洞的影响也极为显著。风沙侵入涵洞内，可能导致涵洞口的堵塞，影响水流的排放，进而影响铁路的正常运行。

表3 风沙对桥梁及涵洞影响的监测数据

影响区域	风沙堆积量 (cm/年)	风沙侵蚀速度 (m/年)	影响程度	主要影响
桥梁基础区	0.5-1.5	0.5-1.0	中等	桥梁基础土壤侵蚀, 可能导致沉降
桥梁结构区	0.2-0.8	0.3-0.6	较轻	风沙对桥梁上部结构影响不大
涵洞入口区	1.0-2.0	1.0-1.5	严重	风沙堆积, 影响涵洞排水功能
涵洞内部区	0.5-1.0	0.5-1.0	中等	堵塞排水系统, 造成结构腐蚀

些数据显示，在沙漠地区，由于风沙的长期积累和侵蚀，铁路设施的损坏与维护成本大大增加，尤其是桥梁和涵洞等结构物的稳定性和排水功能受到了显著影响。

2 沙漠地区铁路施工的应对策略

2.1 风沙防护设计: 防止风沙侵害, 保障铁路安全

风沙是沙漠地区铁路建设中的主要挑战之一。以塔克拉玛干沙漠为例，作为世界第二大流动沙漠，年均风速可达到5-7m每秒，而在沙尘暴天气中，风速可迅速达到25m每秒以上。这种强风沙气候不仅对铁路轨道、路基和基础设施造成严重损害，还影响施工进度和质量。因此，防风沙设计成为沙漠铁路建设中的重要环节。

首先，为了降低风沙的侵害，必须设计合理的防风沙设施。沙障和风障是最常用的防护措施。根据实际情况，沙障的设计高度、密度和材料需根据当地风速、沙尘频率等气象数据来定制。以和若铁路为例，其S4标段采用了高立式芦苇沙障和木质防风栅栏组合，实施了多层次的防护设计。通过模拟风沙模型测试，风障能够将局部风速降低70%以上，从而有效地减缓沙土的迁移，确

保轨道稳定。此外，针对风沙对路基的长期侵蚀，采用了地表植被与人工防风林带结合的方案。



图1 格库铁路米兰戈壁区芦苇把栅栏 (A) 和大网格 (B) 防沙体系断面流场和输沙率观测

例如，研究表明，胡杨树、梭梭等植物在沙漠地区的固沙效果显著。胡杨树的根系可深入地下3m以上，其强大的地下根系能够有效固定沙土，减少风沙对土壤的破坏。通过生态工程与人工管理的结合，沙漠地区的生态屏障能够长期保持，从而有效降低风沙对铁路线路的影响。根据相关资料，塔克拉玛干沙漠区域的胡杨固沙效果被多项研究验证，研究表明，胡杨树每年能够固沙量达到40-60吨每亩，是典型的沙漠植物固沙标杆。

因此,结合这些植被种植技术,不仅能够提升防风沙能力,还能改善沿线的生态环境,进一步加强铁路建设的可持续性。

2.2 地质勘察与路基加固:确保铁路稳固,防止路基沉降

沙漠地区的地质条件多样,尤其是风积沙、粉沙等松散土壤层的存在,给铁路的建设和后期运营带来巨大挑战。塔克拉玛干沙漠的土壤含水量低,干燥且疏松,其承载力远低于普通砂土。特别是在干旱季节,风沙侵袭加剧,土壤的松散性会导致路基的不稳定,严重时会引起路基沉降、轨道错位等问题。

为了解决这些地质问题,必须进行详细的地质勘察,以评估土壤的稳定性与承载力。通过现场钻孔取样和试验,分析沙土层的粒径、土壤密度、含水量等参数。例如,根据塔克拉玛干沙漠某区域的勘探数据,该地区的风积沙层厚度通常为5-15m,土壤的承载力仅为30-50kN/m²,远低于城市建设中的土壤标准。因此,必须采用加固措施,提高地基的承载能力。



图2 砂石垫层压法施工

具体的加固方案包括使用水泥土桩、深层搅拌法和砂石垫层等技术。例如,深层搅拌法通过将水泥与沙土混合并进行搅拌,能够在不破坏原地质结构的情况下,提升土壤的强度和稳定性。据统计,通过深层搅拌加固,路基的承载力可以提升至200kN/m²以上,有效避免沉降现象。对于松散的沙土层,还可以采用砂石垫层法,在地基上方铺设一定厚度的砂石层,通过分散荷载来提高地基稳定性,防止路基沉降。

2.3 植被恢复与生态修复:构建生态屏障,促进区域稳定

植被恢复在沙漠铁路建设中的作用不仅体现在美化环境,更重要的是它能够起到固定土壤、减少风沙侵害、改善局部气候等多重效应。尤其是在塔克拉玛干沙漠等典型沙漠地区,合理的植被修复能够显著降低风沙对铁路设施的破坏。在和若铁路的S4标段,植被恢复

采取了多样化的策略,结合了乔木、灌木和草本植物的综合应用。具体而言,乔木以胡杨树、梭梭为主,灌木以梭梭、沙枣等为辅,草本植物则以羊草、芦苇等为代表。通过综合种植,这些植物能够在一定程度上减少风沙对铁路的影响,形成强大的自然屏障。根据研究数据,胡杨树的年生物量可达2-5吨每亩,根系深度可达3m,固沙效果显著,且胡杨树能够有效防止水土流失,提高土壤结构的稳定性。



图3 (左) 多样化种植 (右) 智能灌溉

除了固沙功能外,植物恢复还能够改善当地微气候条件。研究表明,植物覆盖层能够有效减少地表温度波动,降低风速,并增加空气湿度,从而改善沙漠地区的干燥气候,创造有利的铁路建设和运营环境。与此同时,植物的根系通过改善土壤透气性和保水能力,有助于提升路基的稳定性。在施工过程中,还采用了人工灌溉系统和自动化监测系统,以确保植物能够适应沙漠中的极端气候。智能灌溉系统根据土壤湿度和天气变化自动调节水量,有效提高了植被成活率。通过这些综合手段,铁路沿线的植被恢复率达到85%以上,为铁路建设提供了可靠的生态保障。

3 结束语

沙漠地质环境对铁路施工提出了诸多挑战,但随着技术的不断进步,尤其是防风沙技术和生态恢复技术的创新应用,越来越多的沙漠地区铁路建设项目得以顺利实施。综合防护体系的建立,不仅有效解决了风沙侵蚀对铁路设施的影响,还为铁路的长期稳定运行提供了保障。未来,在沙漠地区铁路建设中,结合现代化技术、生态修复措施与智能监测手段的全面应用,将进一步推动铁路施工技术的可持续发展。

参考文献

- [1]王海龙,张治,孙婧,刘畅,李玉龙.戈壁铁路沿线防风沙栅栏设计参数优化分析[J].铁道科学与工程学报,2019,16(06):1420-1426.
- [2]赵建斌,汤宇,刘云龙,彭学军.铁路沿线风沙综合防护治理技术研究[J].中国设备,2022年05期.
- [3]王涛.中国风沙防治工程[M].科学出版社,2011:141-163.