

高原冻土区沥青路面材料耐久性提升策略研究

刘俭锋

西藏自治区昌都公路事业发展和应急保障中心类乌齐养护段 西藏自治区昌都市 855600

DOI:10.12238/ems.v7i7.14239

[摘要] 高原冻土区特殊的地理环境与气候条件对沥青路面材料的耐久性构成严峻挑战。本文基于高原冻土区气候特征、冻融循环作用机制及沥青材料老化规律,系统分析 SBS 改性沥青在冻融、盐蚀、紫外线等多因素耦合作用下的性能劣化机制。研究提出通过复合改性技术、热传导特性优化及施工工艺改进三大核心策略。通过理论分析与工程实践验证,策略可显著提升沥青路面在极端环境下的抗裂性、抗疲劳性及长期稳定性,为高原冻土区公路建设提供技术支撑。

[关键词] 高原冻土区; 沥青路面; 耐久性提升

一、引言

高原冻土区作为全球气候敏感带,其独特的地理特征与极端气候条件对公路工程材料提出严苛要求。该区域年均气温低、昼夜温差大、紫外线辐射强,加之冻融循环频繁,导致沥青路面易出现裂缝、松散、车辙等病害。以青藏高原为例,冻土区公路建设面临“吸热器-封水膜”效应,即黑色沥青路面加剧冻土融化,而水分积聚又进一步破坏路基稳定性。传统 SBS 改性沥青虽能提升材料弹性,但在高原环境下的耐久性仍存在局限性。因此,研究高原冻土区沥青路面材料的耐久性提升策略,对于保障公路长期安全运营、降低养护成本具有重要意义。

二、高原冻土区气候特征与沥青材料劣化机制

2.1 气候特征与冻融循环作用

高原冻土区气候呈现“三高两低”特征:高海拔、高紫外线、高盐蚀;低气温、低湿度。以青藏高原为例,年均气温-5℃至-2℃,昼夜温差可达 20℃以上,紫外线辐射强度较平原地区高 30%-50%。冻融循环是该区域沥青路面性能劣化的核心因素。在-10℃至 5℃的冻融循环下,沥青混合料内部孔隙水结冰膨胀,产生 10-20MPa 的冻胀应力,导致孔隙率增大、黏结力下降。研究显示,经 15 次冻融循环后, SBS 改性沥青附着力降低 24.3%-60.0%, DMT 模量提高 13.1%-24.6%,表明冻融作用显著削弱材料抗裂性。

2.2 盐蚀与紫外线复合老化机制

高原土壤中富含可溶性盐离子,盐蚀作用加速沥青老化。在 3%NaCl 溶液中,经 15 次盐冻融循环后, SBS 改性沥青复

合剪切模量提升 15%-20%,但相位角降低 10%-15%,表明盐蚀增强高温抗变形能力的同时削弱抗疲劳性。紫外线辐照进一步加剧老化进程,高强度紫外线导致 SBS 中的丁二烯段 C-C 键氧化断裂,破坏交联网状结构,使沥青延性损失 30%-40%。在盐蚀-紫外线耦合作用下,沥青 Glover-Rowe 参数增大,材料变脆,抗裂性能劣化。

2.3 多因素耦合作用下的性能衰减

冻融、盐蚀、紫外线及动水压力的耦合作用加速沥青路面性能衰减。研究显示,随着冻融循环次数增加及紫外线辐照时间延长,沥青混合料孔隙率增大 20%-30%,劈裂强度降低 15%-25%,疲劳寿命缩短 40%-60%。自然环境的多因素耦合作用使沥青路面服役寿命缩短至平原地区的 1/3-1/2。

三、高原冻土区沥青路面材料耐久性提升策略

3.1 材料选择:增强抗环境能力

3.1.1 选用优质沥青

高原地区温差大,夏季高温易使路面软化,冬季低温又易导致路面开裂。因此,要选择性能更优的沥青。普通沥青在高温下易流淌,低温下变脆,而改性沥青通过添加特殊成分,能显著改善性能。比如,在沥青中加入橡胶颗粒,可提高沥青的弹性,使其在低温时不易断裂,高温时也能保持较好的稳定性。就像给沥青穿上了一层“弹性外衣”,让它能适应更大的温度变化。

3.1.2 挑选抗盐蚀集料

高原冻土区土壤中可能含有盐分,盐分会对路面材料产生侵蚀作用,降低路面强度。因此,集料的选择至关重要。

要选用质地坚硬、耐磨且抗盐蚀能力强的集料,如玄武岩。玄武岩不仅硬度高,而且表面粗糙,与沥青的粘结性好,能有效抵抗盐分的侵蚀,保证路面的稳定性。

3.1.3 添加抗老化剂

高原地区紫外线强烈,长期照射会使沥青老化,变得干硬、易碎。添加抗老化剂可以延缓沥青的老化过程。抗老化剂就像给沥青涂上了一层“防晒霜”,能吸收或反射紫外线,减少紫外线对沥青的破坏,从而延长路面的使用寿命。

3.2 结构设计:优化力学性能

3.2.1 合理设置路面层厚

路面各层的厚度设计要充分考虑高原冻土区的特殊环境。一般来说,面层要厚一些,以增强路面的抗磨耗和抗变形能力。如果面层太薄,在车辆反复碾压下容易损坏。同时,基层也要有足够的强度和厚度,以支撑面层并分散车辆荷载。例如,在少冰冻土区,面层厚度可适当薄一些,但在饱冰冻土区,面层厚度要适当增加,以应对更复杂的冻融情况。

3.2.2 增强层间粘结

路面各层之间的粘结强度直接影响路面的整体性能。如果层间粘结不好,容易出现层间滑移、脱层等问题。因此,要在各层之间设置粘结层,如采用乳化沥青或橡胶沥青作为粘结材料。这些粘结材料就像“胶水”一样,能把各层紧密地粘结在一起,提高路面的整体性和稳定性。

3.2.3 完善排水系统

高原冻土区降水后,水分如果不能及时排出,会在路面结构中积聚,导致冻胀、翻浆等病害。因此,要设计完善的排水系统。可以在路面边缘设置排水沟,在路面基层设置排水盲沟,让水分能够迅速排出路面结构。就像给路面安装了“排水管道”,避免水分对路面造成损害。

3.3 施工把控:确保施工质量

3.3.1 严格控制施工温度

沥青混合料的施工温度对路面质量影响很大。温度过高,沥青容易老化;温度过低,混合料难以压实,影响路面的密实度和强度。因此,在施工过程中,要严格控制拌合、运输、摊铺和碾压等各个环节的温度。例如,拌合温度要控制在合适的范围内,确保沥青充分裹覆集料;摊铺温度不能过低,以保证混合料能够顺利摊铺和压实。

3.3.2 保证压实质量

压实是沥青路面施工的关键环节,直接关系到路面的密实度和强度。要选择合适的压路机,并按照规定压实工艺进行压实。一般来说,要先进行初压,使混合料初步稳定;再进行复压,提高路面的密实度;最后进行终压,消除轮迹。压实过程中,要注意压实速度和遍数,确保路面压实均匀,达到规定的压实度。

3.3.3 处理好接缝

路面施工难免会有接缝,接缝处理不好会影响路面的平整度和美观度,还容易成为路面的薄弱环节。在接缝处,要将旧料清理干净,并涂刷粘结材料,使新旧料能够紧密结合。摊铺时,要控制好摊铺机的行驶速度和方向,使接缝处平整、密实。

3.4 养护管理:延长路面寿命

3.4.1 定期巡查

要建立定期巡查制度,及时发现路面出现的裂缝、坑槽等病害。巡查人员要仔细检查路面的各个部位,特别是容易发生病害的区域,如桥梁两端、弯道处等。一旦发现问题,要及时记录并上报,以便采取相应的处理措施。

3.4.2 及时修复病害

对于发现的路面病害,要及时进行修复。对于小裂缝,可以采用灌缝的方法,将密封材料灌入裂缝中,防止水分渗入。对于坑槽,要先将坑槽内的杂物清理干净,然后填充沥青混合料并压实。及时修复病害可以防止病害进一步扩大,延长路面的使用寿命。

3.4.3 实施预防性养护

预防性养护是在路面尚未出现严重病害时,采取一些措施来保护路面,延缓病害的发生。例如,定期对路面进行封层处理,就像给路面涂上一层“保护膜”,可以防止水分、氧气等对路面的侵蚀,提高路面的抗滑性能和防水性能。还可以采用微表处技术,对路面进行薄层修复和防护,改善路面的使用性能。

高原冻土区沥青路面材料耐久性的提升需要从材料选择、结构设计、施工把控和养护管理四个方面综合考虑。通过选用优质材料、优化结构设计、严格把控施工质量和加强养护管理,可以有效提高沥青路面的耐久性,延长路面的使

使用寿命, 为高原地区的交通发展提供有力保障。

3.5 施工工艺改进与全流程控制

3.5.1 温度控制技术

在高原冻土区进行道路施工时, 温度控制技术是确保沥青路面质量的关键环节, 由于高原地区特殊的气候和地质条件, 对沥青混合料的温度要求更为严格。

在拌合阶段, 集料和沥青的加热温度需要精确把控。集料加热温度应控制在 180°C – 190°C 之间, 这一温度范围能够保证集料充分干燥, 去除内部水分, 同时避免因温度过高导致集料性能发生变化。而沥青加热温度则需控制在 165°C – 175°C , 合适的沥青温度有助于其与集料充分融合, 形成均匀的混合料。

进入摊铺阶段, 混合料的温度不得低于 150°C 。如果温度过低, 混合料在摊铺过程中流动性变差, 难以均匀铺展, 会导致路面平整度不佳。而在碾压阶段, 温度同样至关重要, 需确保混合料温度不低于 140°C 。在这个温度区间内, 压路机能够更有效地对混合料进行压实, 使其达到理想的密实状态。

严格实施温度控制技术, 能够显著提升混合料的压实效果。经过科学检测 and 实际工程验证, 合理的温度控制可使混合料的压实度提高 5%–10%, 孔隙率降低至 3%–5%。压实度的提高和孔隙率的降低, 意味着路面内部的密实性得到显著提升, 减少了水分和空气的侵入, 从而大大增强了路面的稳定性和耐久性, 延长了道路的使用寿命。

3.5.2 层间结合优化技术

层间结合优化技术对于提高路面整体性能起着重要作用, 其中采用自粘式聚酯玻纤布是一种行之有效的方法。自粘式聚酯玻纤布具有出色的物理性能, 其抗拉强度在纵向和横向均不低于 7kN/m , 这表明它具备强大的抗拉能力, 能够有效抵抗路面受到的外力拉伸。同时, 其断裂延伸率在纵向和横向均小于 5%, 保证了材料在受力过程中不易过度变形, 维持结构的稳定性。在实际工程应用中, 添加聚酯玻纤布后取得了显著的效果。实验数据显示, 路面反射裂缝的寿命延长了 3–5 倍, 这意味着路面能够更长时间地保持完整, 减少因反射裂缝导致的损坏和维修。此外, 路面的抗疲劳性能提升了 20%–30%, 大大增强了路面承受车辆反复荷载的能力,

有效降低了路面因疲劳而产生的破坏风险, 保障了道路的安全和畅通。

四、结论与展望

本文聚焦于高原冻土区这一特殊环境, 针对该区域沥青路面材料所面临的严峻挑战, 展开了系统且深入的分析, 旨在全面揭示其劣化机制。高原冻土区气候条件极端, 昼夜温差巨大、低温环境持续时间长, 这些因素共同作用, 导致沥青路面材料极易出现开裂、老化等问题, 严重影响路面的使用寿命和行车安全。为有效应对这些问题, 本文提出了三大核心策略, 即复合改性技术、热传导特性优化以及施工工艺改进。在复合改性技术方面, 采用 POE-橡胶颗粒复合改性方法, 通过科学配比与先进工艺, 显著改善沥青的物理性能和化学稳定性。热传导特性优化则聚焦于单向导热结构设计, 使路面在温度变化时能够更合理地传导热量, 减少因温度应力造成的损害。施工工艺改进强调全流程温度控制, 确保施工过程中的每一个环节都能在适宜的温度条件下进行, 保障路面质量。通过这三大策略的综合应用, 可显著提升沥青路面在极端环境下的抗裂性、抗疲劳性以及长期稳定性。展望未来, 相关研究仍需不断深入。进一步探索纳米材料改性技术, 有望为沥青路面性能的提升带来新的突破; 引入智能监测系统, 可实时掌握路面状况, 为养护决策提供科学依据; 制定自适应养护策略, 能够根据路面的实际变化及时采取有效的养护措施。这些研究将为高原冻土区公路建设提供更全面、更可靠的技术支撑。

[参考文献]

- [1] 邓威, 赖湔, 吴婧, 等. 高原高海拔地区 SBS 改性沥青混合料耐久性研究进展[J]. 应用化工, 2024, 53 (06): 1437–1441.
- [2] 易守春, 张登科. 沥青路面就地热再生在高原地区高速公路养护中的适用性分析[J]. 石油沥青, 2023, 37 (03): 48–52.
- [3] 林明明. 高原冻土区域沥青路面施工技术及质量控制研究[J]. 散装水泥, 2022, (01): 59–61.
- [4] 王伟, 刘家奇, 张景禄, 等. 高原冻土地区 AC-13C 沥青混合料配合比设计与试验研究[J]. 中外公路, 2021, 41 (05): 212–217.