透水沥青混合料孔隙结构调控与排水耐久性能提升技术

田芯雨

湖北交投远大交通实业有限公司 湖北 武汉 430071

【摘　要】：改善 PAC-13 透水沥青混合料孔隙构造，提升路面排水耐久性能，依托室内马歇尔试验，探究废胎胶粉掺量、制备工艺对混合料孔隙构造及连通状态的作用效果。胶粉掺量对混合料整体空隙率影响微弱，可降低连通空隙率，沥青胶浆黏度上升会堵塞内部孔隙通道。制备工艺可重塑孔隙形貌，让混合料空隙指标与实际排水性能产生偏差。研究通过优化混合料级配、调控改性胶浆性能完善孔隙调控技术，构建双指标协同管控模式，从根源优化孔隙结构，减轻孔隙淤堵劣化问题，可为透水沥青路面排水耐久提升提供技术支撑。

【关键词】：透水沥青混合料；孔隙结构；胶粉改性；调控技术；排水耐久性

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.019

引言

透水沥青路面具备良好的渗水排水特性，广泛应用于海绵城市建设与道路生态化改造工程，混合料孔隙结构直接把控路面排水水平与使用年限。现有工程设计普遍将总空隙率作为评价标准，忽略连通孔隙的实际价值，路面空隙参数达标后仍会出现排水偏弱、长期使用孔隙淤堵破损的工程问题。本文聚焦 PAC-13 透水沥青混合料开展研究，分析改性组分与制备工艺对孔隙结构的作用机理，摸索合理的孔隙调控方式，调整混合料孔隙结构和排水性能的适配程度，强化透水沥青路面排水稳定性与使用耐久度，能够为相关工程实践提供理论依据与技术依托。

1 透水沥青混合料孔隙结构影响因素试验研究

1.1 改性组分掺量对孔隙特征的影响

依托 PAC-13 透水沥青混合料开展室内马歇尔试验，分析废胎胶粉掺量对混合料孔隙特征的作用规律。胶粉掺量对混合料总空隙率干扰较小，各组试件总空隙率最大差值仅 0.8%。未掺胶粉的空白试件总空隙率为 19.6%，5%胶粉掺量可将混合料总空隙率降至试验最低值。5%至 20%掺量区间内，胶粉掺量增加会提升沥青胶浆黏度，增加混合料压实成型难度，总空隙率随对数函数规律小幅回升[1]。胶粉掺量对连通空隙的影响效果更为显著，二者符合二次多项式回归关系，每增加 5%胶粉掺量，连通空隙率下降 0.6%左右。胶粉占比提升会降低体系内有效渗水孔隙占比，部分连通孔隙转化为不透水的闭口孔隙。胶粉颗粒嵌入孔隙通道形成封堵效果，延长水体内部渗流路径。稳定的总空隙条件下，混合料渗透性能持续衰减，渗透系数变化趋势与连通空隙率保持一致。

1.2 制备工艺对孔隙连通状态的作用

PAC-13 混合料级配与油石比保持恒定的试验环境下，改性胶浆黏度会干预马歇尔击实成型效果，改变透水沥青混合料内部孔隙连通状态。胶粉掺杂可提升沥青体系整体黏度，恒定击实功的试验环境中，集料颗粒的嵌挤与重组运动受到抑制，混合料总空隙率产生小幅波动，内部孔隙形貌结构也随之改变。高黏度改性沥青包裹集料的过程中，孔壁易形成局部薄膜附着结构，孔隙通道产生收缩形变，相邻孔隙的贯通结构被隔断，衍生出大量不具备透水功能的封闭孔隙[2]。工程应用中常出现混合料总空隙率契合设计标准，孔隙连通程度偏弱的情况，路面实际排水能力无法满足服役需求，两类空隙指标呈现差异化变化特征。单一总空隙率参数无法全面判定透水沥青混合料的使用性能，成型工艺不会明显改动总空隙率数值，可重塑孔隙通道几何形态，直接决定混合料孔隙连通的实际水平，是孔隙结构研究中需要重点考量的核心因素。

2 透水沥青混合料孔隙结构调控技术路径

2.1 混合料级配优化调控总空隙水平

混合料级配调整可调控透水沥青混合料总空隙水平。PAC-13 透水沥青混合料依托粗集料颗粒相互嵌挤形成整体骨架结构，不同筛孔的集料通过率决定骨架间隙可承载的总空隙理论极值。配合比设计环节调整 4.75mm、2.36mm 关键筛孔的集料通过率，改变细集料对粗集料骨架间隙的填充程度，可将混合料总空隙率稳定控制在预设区间，为连通孔隙生长留存充足空间。单一的级配调整方式只能约束混合料总空隙整体规模，无法改变空隙体系内连通孔隙与闭口孔隙的占比分配。工程应用中盲目抬升总空隙率并不能提升混合料透水能力，空隙数值提升不会同步改善排水性能，多数高空隙率混合料易生成大量封闭孔隙，整体透水表现依旧不佳。级配调整仅能完成孔隙结构基础优化工作，搭配改性胶浆等调控方式完善内部孔隙构造，能够最大化发挥透水沥青混合料的排水性能。

2.2 改性胶浆调整连通孔隙占比

改性胶浆调控手段可细化透水沥青混合料孔隙结构，调整内部连通孔隙占比。混合料级配方案定型后，整体总空隙区间趋于稳定，胶浆掺量与黏度参数可直接改变孔隙连通分配状态。胶粉改性材料可优化沥青抗老化属性，过高的掺加比例会增大胶浆黏度，分散分布的胶粉颗粒会挤占孔隙通道空间，连通孔隙逐步转化为闭口孔隙，混合料透水性能出现衰减。路面工程设计可结合实际透水需求划定胶粉掺量上限，维持改性沥青胶浆高温稳定、抗老化等基础性能，降低胶浆挂膜、颗粒堵塞引发的连通孔隙损耗。总空隙参数保持平稳的状态下，胶浆组分优化可定向调整混合料内部连通孔隙占比，平衡两类空隙指标的匹配关系，达成孔隙参数适配效果，保障混合料结构性能与透水功能同步达标。

3 基于孔隙结构优化的排水耐久性能提升技术

3.1 孔隙结构与排水性能匹配控制

孔隙结构与排水性能的协同调控，需跳出单一依托总空隙率开展参数设计的固有思路，落实总空隙率结合连通空隙率的双参数调控设计形式。室内试验数据能够印证渗透系数与连通空隙率存在紧密关联特性，透水沥青混合料可保持相近的总空隙数值，内部贯通孔隙的占比差异会直接造成材料排水输水能力产生显著区别。胶粉复合改性透水混合料的室内试验成果可作为参考依据，道路工程可结合项目属地降雨特征与路面实际排水工况，界定适配的连通空隙率管控数值范围。现有成型的回归计算方程可直接用于量化分析改性材料掺量波动对连通空隙率、渗透系数产生的数值变化幅度[3]。工程施工常会出现总空隙参数达标但连通孔隙发育不完善的问题，路面排水体系会彻底丧失原有作用。孔隙参数设计的固有偏向能够得到有效纠正，混合料孔隙结构参数可贴合路面实际排水工况，透水路面的排水服役效果可从原材料层面得到有效保障。

3.2 抗孔隙劣化堵塞耐久提升措施

抗孔隙劣化堵塞的耐久提升措施可落实在混合料初始孔隙结构设计环节，削减透水路面投入使用后出现孔隙淤堵的隐患。混合料配合比设计环节可管控胶粉掺量，规避材料内部孔径狭窄且易淤积堵塞的孔隙通道，缩减半阻塞孔隙的整体占比，减少路面使用阶段泥沙与路面碎屑堆积留存的孔隙位置，维系孔隙结构长期贯通的工作状态。胶粉改性沥青自带的抗老化特质可得到充分利用，放缓沥青胶浆老化脆化脱落的速度，杜绝沥青老化碎裂产生的碎屑堆积于孔隙内部引发的淤堵问题。初始孔隙结构的优化调整结合改性胶浆性能的升级改良，可改善透水沥青路面长期使用中孔隙结构劣化、排水功能持续下降的常见问题，缩减后期路面养护清理的工作成本，稳固透水路面长期稳定的排水工作状态，拉长透水沥青路面的实际使用年限。

4 结语

室内试验围绕透水沥青混合料孔隙结构影响条件与调控方法展开探究，胶粉掺量与制备工序会改变孔隙连通状态，总空隙率单一评定方式存在明显评定缺陷。骨料级配优化可稳定混合料总空隙参数，改性胶浆调整可改善连通孔隙占比，双参数调控可让孔隙结构适配路面排水工况。初始孔隙结构优化结合胶粉抗老化属性，可缓解孔隙淤堵与性能劣化问题。此次研究完善混合料孔隙设计方法，提升路面排水服役稳定性，可为透水沥青路面工程应用提供可靠技术支撑。

参考文献：

[1] 王进,李国强,张博.透水沥青混凝土材料的改性设计及性能优化[J].粘接,2025,52(10):86-89.

[2] 王阿龙,焦楚杰,韩春来,等.盐蚀对冷拌透水沥青混凝土性能的影响研究[J].新型建筑材料,2025,52(7):67-70.

[3] 宋柳,刘斌清,吕大春.胶粉对复合改性透水沥青混合料渗透性能的影响研究[J].西部交通科技,2023,(6):65-67.D.