

2023 年度山东土木建筑科学技术奖报奖材料公示信息

一、项目名称

基于垂直振动成型技术的沥青面层及水稳基层材料设计方法研究

二、提名单位

山东省交通规划设计院集团有限公司

三、提名等级

山东土木建筑科学技术奖一等奖

四、项目简介

随着交通量大幅度增长和车辆荷载重型化，我国沥青路面损坏问题日趋严重，传统方法设计的路面结构与材料已难以胜任重交通发展需要。鉴于此，在目前我国交通状况发生了巨大变化、施工技术水平有了极大提升，而路面材料设计理论与方法并没有本质变化的背景下，开展基于垂直振动成型技术的沥青面层及水稳基层材料设计方法研究，是非常及时和必要的。

主要研究内容及技术经济指标：（1）调查研究了重交通路面早期损坏中混合料设计密度的影响，研究了当前施工机械压实水平下沥青路面所能达到最大密度，统计分析路面车辙处密度变化规律和施工机械压实能力，提出了重交通压实标准并进行了评价。结果表明：现行 Marshall 设计密度偏小，导致通车 3~4 年后轮迹带处路面密度达 $(0.993\sim 1.040) \times \text{Marshall 密度}$ ；当前施工机械已具备提高压实标准的能力，沥青混合料现场密度可达到 $(1.008\sim 1.037) \times \text{Marshall 密度}$ ，Marshall 击实方法已经落后于施工实际。综合考虑，重交通压实标准密度取为 $1.02 \times \text{Marshall 密度}$ 。

（2）针对（底）基层材料，优化了 VVTE 结构参数，提出了 VVTE 选型标准，开发了水泥稳定碎石垂直振动试验方法 VVTM，评价了 VVTM 可靠性。结果表明：VVTM 试件力学强度准确度可达 93%，解决了重型击实与静压法试件测试精度不足 36% 的问题。

（3）针对面层材料，优化了 VVTE 结构参数，提出了 VVTE 选型标准，开发了沥青混合料垂直振动试验方法 VVTM，评价了 VVTM 可靠性。结果表明：

VVTM 试件物理力学特性测试精度可达 91%，解决了 Marshall 试件测试精度不足 67%的问题。

(4) 对比研究了振动试验方法与传统试验方法，提出了现代交通压实标准：水稳基层材料压实标准密度为 $1.03 \times$ 重型击实密度，沥青混合料压实标准密度 $=1.02 \times$ Marshall 密度；确定了 VVTM 试验方法的振动时间、工作频率、上下车配重等工作参数后，提出了水稳基层材料及沥青混合料 VVTM 试验方法，并分别进行了评价，VVTM 水稳基层材料试件 7d 强度约为现场芯样的 93%，VVTM 沥青混合料试件力学强度与芯样的相关性 $>91\%$ 。

(5) 分析了水泥稳定碎石收缩机理，基于逐级填充试验提出了水泥稳定碎石强嵌挤骨架密实级配，并与规范级配进行了对比。结果表明：与规范级配相比，强嵌挤骨架密实级配具有“三多一少”的特点：9.5mm 以上集料、4.75mm 以下集料和 0.075mm 以下集料用量多，4.75~9.5mm 集料用量少。力学强度至少可提高 8%。

(6) 分析了水泥稳定碎石强度形成机理，研究了养生龄期、级配类型、水泥剂量对 VVTM 水稳基层材料力学特性的影响规律，提出了相应的强度增长方程。结果表明：水泥稳定碎石力学强度及抗压回弹模量均在前期形成较快，分别在 30d、60d 龄期后，增长趋势开始趋于平缓，且 60d 龄期形成强度、模量均为极限值的 80%左右。

(7) 建立水泥稳定碎石疲劳方程，研究了级配类型、水泥剂量及压实度对 VVTM 水稳基层材料疲劳特性，分析了材料的疲劳破坏机理。结果表明：水泥剂量相同条件下，骨架密实级配水泥稳定碎石抗疲劳性能优于悬浮密实级配，且在低水泥剂量时，该优势更明显。水泥剂量增大，材料抗疲劳性能越好，但水泥剂量增大，对水泥稳定碎石疲劳寿命影响不如悬浮密实级配水泥稳定碎石显著。

(8) 研究了施工期和运营期车辆荷载作用下水泥稳定碎石力学行为及其疲劳累积损伤规律，提出了水泥稳定碎石控制开裂破坏的强度标准及 VVTM 设计方法。研究结果表明：与传统设计方法相比，VVTM 水泥稳定碎石力学强度可提高 60%以上、抗疲劳性能至少可提高 20%，同时可降低水泥剂量至少 30%。

(9) 分析了体积参数对混合料力学性能的影响，确定了 ATB-30、AC-20 和 AC-13 沥青混合料的 VVTM 体积设计标准及设计方法，提出了相关设计示例。

(10) 研究了成型方法对混合料力学特征的影响，研究表明：相同油石比下，

VVTM 试件 MS 提高 39%、高温性能提高 32%、低温性能提高 32%、水稳定性提高 5%、疲劳性能提高 20%。

(11) 研究了 ATB-30、AC-20 和 AC-13 沥青混合料的 VVTM 体积设计标准，分析了体积参数的影响因素和体积参数对力学性能的影响，分别提出了 ATB-30、AC-20 和 AC-13 沥青混合料的 VV、VMA 和 VFA 的技术标准。

(12) 研究了 VVTM 沥青混合料设计方法，提出了 VVTM 沥青混合料配合比设计流程、设计标准和油石比设计方法；并以 ATB-30、AC-20 和 AC-13 为例进行了设计示例。

(13) 验证了 VVTM 沥青混合料路用性能，研究表明：与 Marshall 混合料相比，VVTM 混合料高温性能、低温性能和水稳定性均有明显提升，沥青混合料的 MS、动稳定度、抗剪强度分别提高 39~54%、32~39%、38~54%，VVTM 设计的低温抗裂能力 σ 分别提高 43~54%，VVTM 设计 MS₀、TSR 分别提高 2~5%、6~14%；与 Marshall 沥青混合料相比，VVTM 沥青混合料疲劳寿命可提高 61%；两种材料承受相同荷载应力 $\sigma = 1.775\text{MPa}$ 时，与 Marshall 沥青混合料 ($S=0.45$) 相比，VVTM 沥青混合料 ($S=0.359091$) 疲劳寿命可提高 356%。

(14) 研究了 VVTM 路面材料的施工工艺，从混合料的拌和、运输、摊铺、碾压、接缝、养生与交通管制 6 个方面分析了 VVTM 路面材料施工技术与提升压实度和减小离析的措施。

(15) 研究了 VVTM 路面材料施工质量管理与验收，分别提出了 VVTM 水泥稳定碎石和 VVTM 沥青混合料的施工过程的质量控制与交工验收标准。

(16) 依托济南绕城高速公路二环线东环段，论证了项目提出的基于垂直振动成型技术的沥青面层及水稳基层材料设计方法的可靠性，现场情况表明：振动法比静压成型方法更好地模拟现场实际施工效果，可作为重交通压实标准。

主要创新性成果授权发明专利 3 项，实用新型专利 5 项，发表学术论文 7 篇（SCI/EI 收录 4 篇）。

五、推广应用情况

成果已成果已在济南绕城高速（二环线东环段）的试验段桩号为 K15+072-K17+500（全长 2.428km）、G1511 日兰高速日照段超大粒径 LSAM-50 沥青路面的试验段桩号为 K55+300~K56+000（全长 700m）等工程得到推广应用，

取得了预期应用效果，并形成技术示范。成果提升了我国公路沥青路面建设理论与技术水平。

六、主要完成人

序号	姓名	性别	出生年月	技术职称	文化程度	工作单位
1	毕玉峰	男	1971.06	研究员	博士	山东省交通规划设计院集团有限公司
2	蒋应军	男	1975.11	教授	博士	长安大学
3	庄伟	男	1985.10	高级工程师	硕士	山东省交通规划设计院集团有限公司
4	宋杰	男	1988.11	正高级工程师	博士	山东省交通规划设计院集团有限公司
5	陈赛	男	1993.06	工程师	硕士	山东省交通规划设计院集团有限公司
6	焦绪旺	男	1995.12	助理工程师	硕士	山东省交通规划设计院集团有限公司
7	陈昊	男	1992.03	工程师	硕士	山东省交通规划设计院集团有限公司
8	颜卓然	男	1995.06	助理工程师	硕士	山东省交通规划设计院集团有限公司
9	齐仕杰	男	1994.12	助理工程师	硕士	山东省交通规划设计院集团有限公司
10	王健	男	1985.03	高级工程师	硕士	山东省交通规划设计院集团有限公司
11	丁婷婷	女	1987.09	高级工程师	博士	山东省交通规划设计院集团有限公司
12	王俊栋	男	1995.01	助理工程师	硕士	山东省交通规划设计院集团有限公司

七、主要完成单位排序

山东省交通规划设计院集团有限公司、长安大学

八、主要知识产权证明目录

(1) 发表论文

序号	论文题目	所有作者	期刊名称	发表日期	是否被SCI/EI 收录
1	Laboratory investigation on the heat dissipation regularity and road performance of different pavement structure combinations by double-layer paving	蒋应军, 易勇, 范江涛, 田甜, 邓长清	Construction and Building Materials	2021 年	SCI
2	Effect of Compaction Methods on Physical and Mechanical Properties of Asphalt Mixture	蒋应军, 邓长清, 李强, 刘海鹏	Journal of Materials in Civil Engineering	2019 年	SCI
3	Influences of Pavement Material and Structure on the High-Temperature Stability of Double-Layer Pavements	蒋应军, 林宏伟, 薛金顺, 韩占闯, 陈浙江	Journal of Materials in Civil Engineering	2020 年	SCI
4	Performance of Stone Mastic Asphalt Mixtures Fabricated by Different Compaction Methods	蒋应军, 张宇, 薛金顺, 邓长清, 田甜	Applied Sciences-Basel	2020 年	SCI
5	超大粒径 CTB-50 劈裂增长规律与影响因素	毕玉峰 聂晨亮 蒋应军 庄伟 陈赛 陈昊	公路	2022 年	否

(2) 授权专利和软件著作权

序号	专利名称	授权号	授权时间	权利人	发明人
1	一种获取沥青膜厚度的方法	ZL201611036977.4	2020-06-19	长安大学	蒋应军; 赵淑敏; 杨超群; 陈瑞亭; 王敏
2	一种获取沥青混合集料比表面积的方法	ZL201611036524.1	2020-06-23	长安大学	蒋应军; 赵淑敏; 韩占闯; 陈瑞亭; 王敏
3	一种可控制摆杆长度的摆式仪	ZL201920078445.X	2019-11-05	长安大学	蒋应军; 李启龙; 何岩; 张长江; 陈冠希; 夏写善; 吕鹏宇
4	具有脱模功能的垂直振动压实仪	ZL 201821996976.9	2019-09-10	长安大学	蒋应军; 孙佳; 何岩; 谭云鹏; 张云萍
5	半刚性材料垂直振动压实试件快速脱模装置	ZL 201821988020.4	2019-08-09	长安大学	蒋应军; 上官宇浩; 赵任帅; 刘丹; 谭云鹏; 胡良桦
6	一种易拆卸的车辙板成型试模	ZL201821996803.7	2019-08-09	长安大学	蒋应军、吕鹏宇、尹翌星、张建民、李启龙、 王晓丽
7	一种新型车辙成型试模	ZL201821570237.3	2019-05-24	长安大学	蒋应军、李启龙、谭云鹏、王敏、胡良桦、张云萍、夏写善
8	一种道路取样用辅助取芯夹具	ZL 202122486918.X	2022-03-22	山东省交通规划设计院集团有限公司	毕玉峰 蒋应军 田甜 庄伟 陈赛 陈昊
9	一种 SMA-13 沥青混合料 VVTM 体积设计方法	202211328200.0	申请中	山东省交通规划设计院集团有限公司, 长安大学	/

(3) 团体标准

序号	标准名称	所有作者	类型	发表日期
1	沥青混合料垂直振动成型试验方法	蒋应军、乔怀玉、胡小金、刘海鹏、边永强、张毅、毕玉峰、耿兴谋、李明杰、张芳玲、方剑、纪小平、傅亮、吕露晶、徐国卫。	团体标准	2021 年
2	公路无机结合料稳定粒料基层振动法施工技术规范	蒋应军、乔怀玉、伍石生、朱学斌、李明杰、朱建华、曾瑞、刘海鹏、张毅、曹支才、孟德胤、纪小平、刘金中、曾浩、任万鹏、温海洋、张朝晖、杨波、倪邦荣。	团体标准	2021 年
3	公路沥青路面材料振动成型试验法设计与施工技术规范	山东省交通规划设计院集团有限公司、长安大学	地方标准	立项
4	垂直振动法水泥稳定碎石设计施工技术规范	蒋应军, 张宇, 薛金顺, 邓长清, 田甜	施工指南	2021 年