



低噪声沥青路面

Low-Noise Asphalt Pavement

王旭东 李美江 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

Low-Noise Asphalt Pavement
低噪声沥青路面

王旭东 李美江 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

近些年来,低噪声路面的修建技术在国内道路工程行业引起广泛关注。本书从路面设计的角度较为全面地介绍了近三十年来国内外低噪声路面技术发展的历程和相关的技术成果,主要从多孔吸声、改善路面纹理、增加路面弹性三大路面降噪原理出发,介绍实现路面降噪的技术措施和工程对策,以及相应的路面噪声检测方法及其标准,并且着重介绍了笔者从事相关研究十多年来,在研发适用于我国交通环境的低噪声沥青混凝土材料、自主研发我国第一台噪声检测拖车设备,以及制定相关技术标准等方面的研究与应用成果。

本书适用于从事公路设计、管理、科研的技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

低噪声沥青路面/王旭东,李美江编著. —北京:
人民交通出版社股份有限公司,2015.3
ISBN 978-7-114-12077-0

I. ①低… II. ①王…②李… III. ①低噪声—沥青
路面—研究 IV. U416.217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 033815 号

书 名:低噪声沥青路面

著 作 者:王旭东 李美江

责任编辑:王文华

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:17.75

字 数:420 千

版 次:2015年3月 第1版

印 次:2015年3月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12077-0

定 价:49.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

随着经济的发展、社会的繁荣,汽车保有量迅速增加,交通噪声对人们生活品质的影响日益严重。减少交通噪声、改善人们生活品质,是新时期对道路交通提出的新要求。

21 世纪初,欧洲道路研究中心展望了 2040 年的道路建设远景,提出未来道路建设新概念(NR2C),即:舒适安全、高品质、环境友好型、低能源消耗、低污染、低维修率、适应交通发展、费用效率高;具体表现为:可靠、绿色、智能、安全和人文化。其中减少交通噪声污染是绿色理念的主要内涵之一。同时,近些年来,“环境友好型”的道路建设理念已逐渐成为我国道路建设、养护的基本原则之一。降低交通噪声,改善人居环境,是建设绿色、人文交通的重要体现。

一般来说,交通噪声的组成是多方面的,主要有汽车本身的机械噪声、汽车在行驶过程中产生的风噪、轮胎与路面的摩擦噪声以及周围环境影响产生的噪声等。鉴于交通噪声形成原因的复杂性,本书将主要讨论轮胎/路面的摩擦噪声问题。

早在 20 世纪 70 年代末、80 年代初,欧洲和美国等发达国家就已开展路面降噪原理和工程技术方面的研究与应用,到 90 年代末,降低轮胎/路面噪声的技术体系已初步形成。我国于 90 年代末才开始该领域的研究,当时交通部科教司首次立项开展“沥青路面减噪技术研究”,由交通部公路科学研究所承担。之后的十余年,交通部公路科学研究所的科研人员结合我国路面工程的实际情况,通过大量的室内试验和实体工程验证,在路面降噪机理、轮胎/路面噪声检测方法、低噪声沥青路面设计方法等方面进行了较为广泛、深入的研究。为了进一步推动我国低噪声路面(主要是低噪声沥青路面)技术的发展,本书将结合这些研究工作以及国际上低噪声路面的研究历程,较为全面地介绍低噪声沥青路面相关的技术原理、检测手段及相关技术成果。

本书共分为六章。第 1 章介绍了国内外交通噪声的防治情况。第 2 章介绍了有关噪声的声学初步知识、轮胎/路面噪声的形成机理、轮胎对路面噪声的影响,以及从路面角度减少轮胎/路面噪声的三大原理。第 3 章围绕路面降噪的三大原理,首先介绍了国外相关的研究和实践结果,随后详细介绍了我国在这方面的工程实践经验和室内试验研究的一些成果,最后介绍了由交通运输部公路科学研究院编制的《耐久性低噪声沥青路面设计应用技术指南》的相关内容。第 4 章详细介绍了国内外轮胎/路面噪声的不同检测方法及我国第一台配重式轮胎/路面噪声检测车的研制过程。该设备的成功研制,解决了我国在开放交通环境下,屏蔽环境噪声的干扰,准确评价轮胎/路面噪声的技术难题。同时还介绍了交通运输部公路

科学研究院结合这种噪声检测手段编制的《低噪声沥青路面噪声检测方法》。为了进一步推进我国低噪声路面技术的发展,在第5章较为详细地介绍了国外主要国家关于低噪声路面噪声分级及预测模型的相关内容。针对我国低噪声沥青路面研究、应用现状和国际发展趋势,第6章指出,我国未来应在路面材料噪声性能的评价方法与指标、路面噪声检测、评价体系的标准化和低噪声路面分级体系,以及低噪声沥青路面技术标准的建立等方面进一步完善,以形成较为完整的我国低噪声沥青路面的应用技术体系。

在本书编写过程中,郭朝阳、沈国辉等参与了大量的室内试验和室外噪声检测工作,并提供了一些基础数据;张蕾、肖倩负责本书部分外文资料的翻译工作;周兴业、张宇、谢国瑞、赵禧等参与了部分室内外试验工作,在此,对于这些同志的帮助予以感谢。同时,由于作者水平有限,书中一些疏漏之处,请业内同行予以指正。

作 者

2014年9月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 国际上对噪声及交通噪声的认识	2
1.1.1 美国对噪声及交通噪声的认识	3
1.1.2 欧洲对噪声及交通噪声的认识	6
1.2 我国交通噪声现状及防治	11
1.2.1 主要城市的交通噪声现状	11
1.2.2 我国交通噪声防治的主要政策	13
1.2.3 城市声环境质量监测与评价方法	15
1.3 交通噪声的防治对策	16
1.3.1 车辆降噪	18
1.3.2 工程降噪	18
1.3.3 工程措施的比较	20
本章参考文献	22
第2章 轮胎/路面噪声的形成与降噪原理	25
2.1 声学基础知识	25
2.1.1 声波的基础知识	25
2.1.2 计量声音的物理量	27
2.2 轮胎/路面噪声的形成机理	30
2.2.1 噪声的概念及评价指标	30
2.2.2 轮胎/路面噪声的组成	32
2.2.3 轮胎/路面噪声的形成与增强机理	34
2.2.4 轮胎/路面噪声的叠加与传播	38
2.3 轮胎/路面降噪的声学机理	40
2.3.1 消声原理	40
2.3.2 阻抗匹配降噪	40
2.4 关于轮胎降噪的研究	41
2.4.1 轮胎对噪声的影响	41
2.4.2 轮胎噪声标准	43
2.4.3 轮胎降噪设计的途径	44

2.5 路面降噪的原理	45
2.5.1 路面降噪的三个基本原理	46
2.5.2 影响路面降噪的环境因素	52
2.5.3 路面降噪的工程原则	55
本章参考文献	58
第3章 降低噪声的路面对策	61
3.1 多空隙沥青混凝土的降噪技术	62
3.1.1 多空隙沥青混凝土的产生	62
3.1.2 降噪效果评价	65
3.1.3 从单层多空隙到双层多空隙路面	67
3.1.4 多空隙沥青混凝土的降噪耐久性 & 养护技术	69
3.2 改善路面纹理的路面降噪技术	73
3.2.1 路面纹理的划分	74
3.2.2 路面纹理与降噪	76
3.2.3 沥青路面改善纹理实现降噪的应用	80
3.2.4 水泥路面改善纹理实现降噪的应用	96
3.3 改善路面黏弹性的路面降噪措施	102
3.3.1 路面材料的黏弹性	102
3.3.2 采用橡胶沥青实现路面降噪	110
3.3.3 几种弹性路面类型	113
3.4 我国低噪声沥青混合料的研究	115
3.4.1 河北低噪声沥青路面试验路概述	116
3.4.2 橡胶沥青在低噪声路面中的应用	124
3.4.3 关于多空隙沥青混凝土的认识	127
3.4.4 低噪声沥青混合料的试验研究	130
3.4.5 沥青混合物物理力学性能对降噪性能的影响	138
3.5 我国《耐久性低噪声沥青路面设计应用技术指南》的编制	154
3.5.1 概述	155
3.5.2 材料	156
3.5.3 低噪声沥青混合料配合比设计	160
3.5.4 低噪声沥青混凝土施工工艺	165
3.5.5 橡胶沥青防水黏结层	170
3.5.6 施工质量管理和验收	173
本章参考文献	175

第4章 路面噪声的检测及评价模型	180
4.1 国外轮胎/路面噪声检测综述	180
4.1.1 通过法	180
4.1.2 近距离测量法	184
4.1.3 通过法与现场近距法的比较	196
4.1.4 辅助的噪声测量方法	200
4.2 我国轮胎/路面噪声检测技术的发展	201
4.2.1 早期的噪声检测方法研究	201
4.2.2 CPB 方法测试的路面噪声频谱分析	206
4.2.3 配重式噪声检测拖车的研发	222
4.2.4 低噪声沥青路面噪声检测方法	238
本章参考文献	248
第5章 国际路面噪声分级现状	251
5.1 主要国家路面噪声分级概述	251
5.1.1 奥地利	251
5.1.2 比利时	253
5.1.3 法国	253
5.1.4 德国	254
5.1.5 匈牙利	254
5.1.6 意大利	255
5.1.7 日本	256
5.1.8 荷兰	256
5.1.9 斯洛文尼亚(前南斯拉夫共和国)	258
5.1.10 西班牙	259
5.1.11 瑞士	259
5.1.12 (大不列颠)联合王国	260
5.1.13 美国	260
5.1.14 北部欧洲	261
5.2 欧洲国家主要噪声项目	263
5.2.1 HARMONOISE	263
5.2.2 SILVIA	264
5.2.3 EU WG 8	264
5.2.4 ROTRANOMO	265
5.2.5 EffNoise	266

5.2.6 EU WG-AEN	266
5.2.7 SILENCE	266
5.2.8 SIRUUS	266
5.3 讨论	266
本章参考文献	271
第6章 发展趋势与展望	273
6.1 路面材料噪声性能的评价方法与指标	273
6.2 路面噪声检测、评价体系的标准化	274
6.3 大规模轮胎/路面噪声的检测以及我国典型道路路面噪声库的建立	275
6.4 我国低噪声路面分级体系及低噪声沥青路面技术标准的建立	276

第1章 绪 论

道路作为人类社会活动的主要载体之一,伴随着人类社会的发展而不断完善。2003年,欧洲国家公路研究实验室论坛(Forum of European National Highway Research Laboratory,简称 FEHRL)将几千年来人类道路建设的发展划分为五代^[1]:第一代道路以保障通行顺畅为目的,鉴于当时的工业基础和交通工具,表面铺装材料主要以碎石、块石、砾石和土等为主。直到19世纪初期,为了改善这种“土路”“晴天一身土,雨天一身泥”的行驶状态,出现了有铺装的路面,即第二代道路的产生。随着现代汽车工业的产生,为了进一步改善行驶的舒适性,沥青混凝土和水泥混凝土路面应运而生,即产生了第三代道路。在20世纪中期,为了充分发挥道路快捷、安全、方便的运输特点,诞生了汽车行驶的专用公路和高速公路,从而迎来了第四代道路建设的高峰。如今,随着人类社会的发展,道路已不仅是人、货通行的途径,而且逐渐成为人们日常生活中不可缺少的一部分,从而对传统道路的需求有了质的飞跃,即第五代道路的发展。

按照第五代道路的要求,道路已不仅是满足传统意义上对“耐久、舒适、安全”的基本要求,而是被赋予了更多新的内涵,如:适应性(adaptable)、自动化(automated)和耐候性(climate change resilient)等,降低行车噪声是其中一个具体体现。

展望2040年的道路建设远景,21世纪初期,欧洲提出未来道路建设新概念(NR2C)^[2],包括可靠、绿色、智能、安全和人文化等几方面内容,具体表现为舒适安全、高品质、环境友好型、低能源消耗、低污染、低维修率、适应交通发展、费用效率高等特点,其中减少交通噪声污染是绿色理念的主要内涵之一。

2007年,美国国家沥青路面协会(National Asphalt Pavement Association,简称 NAPA)、美国联邦公路管理局(Federal Highway Administration,简称 FHWA)、美国国家高速公路和交通运输协会(American Association of State Highway and Transportation officials,简称 AASHTO)、美国沥青协会(Asphalt Institute,简称 AI)等单位联合制定了美国沥青路面发展路线图(national asphalt roadmap)——一个对未来的承诺^[3]。其中“减少路面噪声”作为未来沥青路面表面层技术的一个主要研究内容。

在我国,尽管高等级公路的建设较世界发达国家晚了近半个世纪,但随着改革开放和经济快速发展的需要,自20世纪80年代末期以来,我国高速公路建设得到跨越式的发展。如今我国已基本建成以高速公路为代表的国道主干网。进入21世纪以来,随着国家经济的发展和人民生活质量的提升,建设可持续发展的绿色、平安交通^[4]已成为新时期公路发展的目标。降低城市以及周边道路的行车噪声,改善道路周边的人居环境和驾乘人员的行驶环境,是建设绿色交通的一个具体体现。

本章主要介绍交通噪声的危害以及国内外关于交通噪声的防控措施及相关政策。

1.1 国际上对噪声及交通噪声的认识

“噪声是一个无所不在的问题,我们每个人都曾深受其害。它严重地影响了我们的生活品质。因此,消除噪声是政府要优先解决的问题之一”^[5]。根据世界卫生组织(World Health Organization,简称WHO)的报告^[6],噪声对人体健康的危害是多方面的,主要表现为疼痛、听觉疲劳、听觉损坏、情绪焦躁、行为失常、失眠(长期或短期的影响),对心脑血管也有影响,激素反应(应激激素)异常等,并可能对人体的免疫系统和新陈代谢产生影响,导致学习和工作能力降低等。

此外,环境噪声不仅对人体的健康和生活质量产生影响,而且导致社会成本的增加。相应的欧洲资料表明:噪声导致的社会成本大约为国内生产总值(Gross Domestic Product,简称GDP)的0.2%~2%^[7],至少达120亿欧元。

环境噪声的来源是多方面的,图1-1和图1-2分别为比利时某地区环境噪声的组成图谱^[8]以及美国统计的相关图谱^[9]。从图1-1可见,道路、铁路、航空产生的交通噪声,达到整个社会环境噪声的54%,而仅道路交通噪声就达到40%。在美国(图1-2),城市的噪声组成中,交通噪声的能量通常占环境噪声总能量的70%~80%,而仅道路交通噪声就达到60%以上。由此可见,交通噪声已逐渐成为城市环境噪声污染的主要来源,特别地,道路交通噪声对城市环境构成严重威胁。

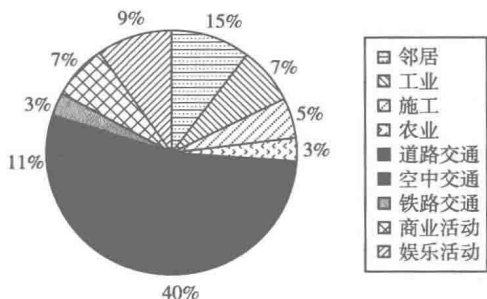


图 1-1 城市噪声组成(比利时)

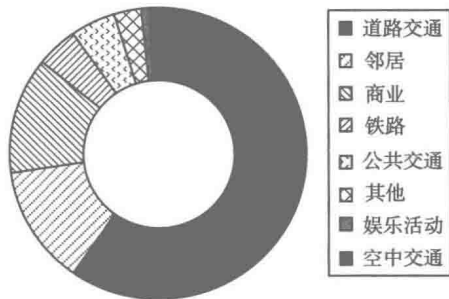


图 1-2 城市噪声组成(美国)

图1-3为荷兰调查统计得到的1993~2003年不同噪声源影响的比例分布^[10]。由此进一步看出,道路交通噪声不仅是最主要的噪声源,而且其比例逐年增加。

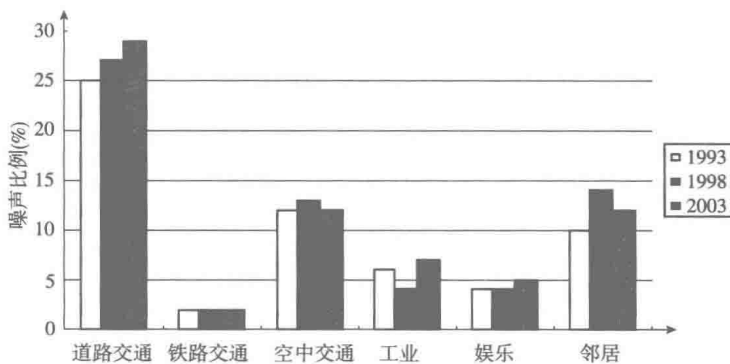


图 1-3 不同噪声源产生噪声比例的变化

最新的统计表明^[11],30%的欧洲居民暴露在交通噪声高于世界卫生组织(WHO)规定的人体可接受的噪声水平,而且大约10%的居民夜间由于受到交通噪声的干扰而影响睡眠。具体来说,在欧洲联盟(简称欧盟)国家,大约有8000万人生活在噪声危害的环境中,大约1.7亿人生活在所谓的“灰色地带”。

美国环境保护局(U. S. Environmental Protection Agency,简称EPA)调查后也发现,交通是最主要的室外噪声源之一。在《噪声危害手册》一书中,EPA估计,美国有超过1亿人受到家庭附近交通噪声的侵扰。最近的研究表明,当噪声水平在60dB(A)以上时,其对心肌梗塞的影响是普遍的^[12]。据经济合作与发展组织(Organization for Economic Co-Operation and Development,简称,经合组织,OECD)的报告^[13],交通噪声水平在55dB(A)时,人就会受到干扰,当噪声水平达到65dB(A)后,人就难以忍受了。英国编制了世界上最大的噪声地图,从地图上可发现,最吵闹的地区在伦敦市区,超过43%的地区的噪声水平达到了60dB(A)。

1.1.1 美国对噪声及交通噪声的认识

早在1969年1月14日,美国联邦公路管理局(FHWA)颁布的《政策和程序谅解备忘录》[*Policy and Procedure Memorandum (PPM) 20-8*]中定义的环境因素就包括噪声^[14]。1973年2月8日,FHWA颁布了《噪声标准与程序》(*Noise Standards and Procedures*) PPM 90-2,其中提出“采取可行的措施改善噪声条件”^[15]。

1976年5月14日,FHWA针对联邦资助公路项目颁布了《联邦资助公路项目程序手册》(*Federal - Aid Highway Program Manual, FHPM*),其中进一步提出了“减小交通噪声和施工噪声的程序”^[16]。FHWA要求各州公路局应该认识到“噪声治理措施是合理的、可行的和有可能被纳入项目的”。

1982年,FHWA又针对交通噪声治理的“合理性和可行性问题”发表备忘录,即《对公路交通噪声影响的识别和减灾决策过程的全国性现场调查总结》(*A National Field Review of the Highway Traffic Noise Impact Identification and Mitigation Decision-Making Process*)^[17]。文中指出:“可行性大多是基于工程方面的考虑,如建立屏障降低噪声等。合理性是一种更主观的标准,即:业主的投入、降噪的费用、对工程的影响以及人们对降噪效果的感知等方面。合理性意味着常识应用到决策。”这是FHWA第一次关于降低噪声合理性和可行性诸多因素的明确表述,并用于指导各州交通厅。

1989年,FHWA发布了《对公路交通噪声的影响的识别和减灾决策》的现场调研报告,该报告中指出“确定治理的合理性和可行性通常是最困难的部分”^[18]。1992年5月,FHWA发表了《公路交通噪声分析:治理的合理性和可行性》(*Highway Traffic Noise Analysis: Reasonableness and Feasibility of Abatement*)。在这篇报告中,FHWA第一次提出确定合理性和可行性的标准到底是什么^[19]的问题。对此,美国各州根据各自情况进行了研究。例如,美国佛罗里达州交通厅指出:对于可行性,确定的标准首先是减噪效果,即当设置声屏障时,降噪效果为噪声水平至少降低5dB(A);其次是安全性问题,即设置的声屏障不能给居民和驾驶员造成安全障碍。对于合理性,其标准主要是费用和社会的期望^[20]。

1995年,FHWA发表了《公路交通噪声指南和政策》(*Highway Traffic Noise Guidance and Policies and Written Noise Policies*)。该报告指出:“路面是交通噪声的一个因素,噪声水平的

变化与路面类型、轮胎等因素有关。然而预测路面未来的表面状态是十分困难的,除非有足够多的关于路面类型、状态和噪声产生机理方面的知识。”

紧接着,1998年,FHWA又发表了《路面表面纹理与公路交通噪声的关系》(*Relationship Between Pavement Surface Texture and Highway Traffic Noise*)的报告,该报告在前言中指出:“继续研究路面/轮胎降噪技术为今后噪声分析提供一个新途径”^[21]。

随后,FHWA又采用问卷调查的形式(12个问题)调研了包括美国41个州在内的51个交通部门关于路面噪声问题的研究现状,结果见表1-1。可以看出,已有半数以上的交通部门开展了关于路面类型与交通噪声的关系的研究,但只有少数交通部门开展了关于路面噪声形成机理方面的研究。

FHWA 关于路面噪声问题的问卷调查^[21] 表 1-1

问 题	是(个)	否(个)
是否有机构就路面/表面噪声的影响进行过调研?	26	25
是否有机构就速度对路面/表面噪声的影响进行过调研?	11	40
是否有机构就轮胎花纹对噪声的影响进行过调研?	2	49
是否有机构就车辆内部噪声对路面噪声的影响进行过调研?	13	38
国家、州等是否采用标准方法对路面进行分类?	36	12
是否有机构考虑过采用不同路面类型降噪?	26	19
是否有机构进行过路面磨损层的长期性能跟踪?	16	30
国家、州等是否采用标准方法对路面表面纹理进行分类?	21	17
是否有机构考虑过采用不同的路表纹理降噪?	29	12
是否有机构进行过路面磨损层表面纹理的长期性能跟踪?	11	36
是否有机构进行过不同路面类型和表面纹理对抗滑性能影响的研究?	22	26
是否有机构进行过不同路面类型和表面纹理对排水性能和行驶安全性影响的研究?	5	44

该调研资料表明:41个州中的84%为密实型沥青混凝土路面,10%为水泥混凝土路面,6%为开级配沥青混凝土路面;而联邦公路项目中,刚性路面平均占18.8%,柔性路面平均占56.6%,其余24.6%为复合式路面。针对这些不同的路面形式,美国公路合作研究组织(National Co-operative Highway Research Program,简称NCHRP)调研并统计了人们对引起路面噪声的主要因素的认识,结果见表1-2。可以看出,路面表面纹理是导致路面噪声最主要的因素,其次是汽车的行驶速度和轮胎的纹理等因素。值得注意的是,认为路面空隙率对路面噪声产生显著影响的比例很少,仅为2%。

影响路面噪声因素的调研统计结果^[21] 表 1-2

内 容	表面 纹理	行驶 速度	轮 胎	表面 状态	路面 类型	路面 寿命	车 辆 荷 载	空 隙 率	频 率	轮 胎 老 化	刻 槽 深 度	汽 车 类 型	潮 湿 状 态	路面 温度	感 知 距 离	路面 接 缝	摩 擦 系 数
比 例 (%)	22	18	16	9	9	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

1999年,美国在交通运输研究委员会(Transportation Research Board,简称TRB)年会上成立了交通噪声与振动委员会。该组织对美国各州交通厅发送关于低噪声研究方面的调研表,共有36个州回复。表中提出了8个有趣的问题^[22],其中前4个问题的回答很能反映美国当时对降低路面噪声的认识。第一个问题是:公路建设中,路面类型是否应该考虑降低噪声?23个州回答肯定,13个州回答否定。第二个问题是:改变路面类型后期望的降噪效果是多少?回答的降噪效果为1~6dB(A),平均3.9dB(A)。第三个问题是:各州优化路面类型实现降噪的最大障碍是什么?回答是:最大的障碍是缺乏可靠的路面噪声减小数据,其次是费用和养护问题。第四个问题是:各州关于路面/轮胎噪声领域急需研究的问题是什么?回答最多的是一般路面噪声的比较,其次是安全问题,再次是养护和路面寿命问题。

2004年,美国沥青技术中心(National Center for Asphalt Technology,简称NCAT)的报告^[23]介绍了FHWA提出的美国道路交通噪声标准(表1-3),表中关于噪声指标的含义将在后文予以介绍。但FHWA也指出:“这些规范还难以被FHWA认证,除非合理的、可行的降噪措施被纳入现存影响因素的降噪规范,并共同考虑”。

FHWA 噪声降低标准^[23]

表 1-3

分 类	$L_{eq}(h)$ [dB(A)]	$L_{10}(h)$ [dB(A)]	描 述
A	57(外部)	60(外部)	平静和安静是非常重要的,严肃的重要公共场所(需要保持安静)的地区
B	67(外部)	70(外部)	野外、娱乐和运动场所,运动场、公园、居住区、汽车旅馆、宾馆、学校、教堂、图书馆和医院
C	72(外部)	75(外部)	开发的土地、场所,不包括以上A或B类
D	—	—	没有开发的土地
E	52(内部)	55(内部)	居住地、汽车旅馆、宾馆、公共会场、学校、教堂、图书馆、医院、礼堂

(1)路面是交通噪声的影响因素之一。虽然路面和轮胎的变化确实影响路面噪声水平,但是与环境噪声和发动机噪声相比,路面和轮胎并不是显著因素,尤其是当大量载货汽车存在时。因此,关于路面、轮胎作用对路面噪声的定量研究应该进一步加强。

(2)难以预测路面表面状况的发展。除非路面类型、使用条件以及它的噪声产生特征的确切信息是已知的,在预估交通噪声方面,不同路面类型之间无法比较。研究表明,对于新路面,升级配的沥青混凝土路面可降低噪声水平2~4dB,但经过短时间的运营(大约6~12个月),降噪效果即会由于路面空隙被填充而大幅度衰减。因此,特殊的路面类型和表面纹理形式事实上并不是路面降噪的措施。

FHWA的认识应该引起重视,这从一个方面说明了降低路面噪声的复杂性。但是美国并没有放缓对低噪声路面技术的研究。相反,美国积极向欧洲学习低噪声路面的修筑技术。2004年,FHWA、AASHTO和NCHRP等研究机构联合到欧洲考察了丹麦、法国、意大利、荷兰和英国等国家在低噪声路面方面的技术发展,学习其低噪声路面的建造经验,并撰写了相关的技术报告^[24]。

近10年来,美国加利福尼亚州等州政府和普渡大学等研究机构开展了大量的关于低噪

声路面修筑技术以及降低路面噪声机理方面的研究,其有关的研究成果将在本书的后续相关章节中予以介绍。

1.1.2 欧洲对噪声及交通噪声的认识

早在 20 世纪 80 年代,欧洲已开展了路面降噪技术的研究与应用。1996 年欧洲出版的《未来噪声政策》绿皮书中指出:采用低噪声路面技术是减少交通噪声的主要措施之一^[25]。

美国在 2005 年的欧洲调研报告中指出:欧洲最初降低交通噪声的方法是设置声障墙,但是由于其建设和养护费用过于昂贵,越来越多的工程技术人员关注从交通噪声的源头进行防治,其中包括:更安静的汽车和轮胎、控制行驶速度、建造辅助隔离措施以及低噪声路面等。欧洲的工程经验已经证明,低噪声路面能够有效地降低行车噪声。欧盟国家还在 2007 年前绘制了现有道路的噪声轮廓图。欧洲大多数国家已制定了一系列政策,要求在新建的道路工程上限制交通噪声的水平。2002 年,欧盟国家实施了重要的环境噪声指针(*Environmental Noise Directive*),要求每个成员国:

- (1) 通过噪声图确定暴露环境噪声的水平(包括郊区);
- (2) 采用统一的预测评估方法;
- (3) 确认环境噪声的信息是公开的;
- (4) 根据噪声图采取实施计划,防止或减少环境噪声。

在 21 世纪初期,由欧洲国家高速公路实验室论坛(Forum of European Highway Research Laboratory,简称 FEHRL)主持,德国、法国、英国、意大利、瑞典、丹麦、挪威、波兰及奥地利等 15 个成员组织实施了著名的 SILVIA 项目——实现交通噪声控制的可持续发展的道路面层(Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control)。该项目的主要目标为:

- (1) 使用不同的道路面层设计方法,初步解决降低噪声的问题;
- (2) 评价不同方法的费用与效益;
- (3) 论证降低噪声路面技术与其他降噪技术相结合的综合防治方法;
- (4) 制定指南,指导低噪声技术在欧洲不同成员国中的应用。

2006 年,欧洲提出了减少交通噪声的一系列主要措施^[26],主要有以下几个方面。

(1) 法律措施

法律措施有:欧洲产品标准、轮胎噪声指针、欧洲噪声指针等。这种措施尽管能促进利益相关者努力降低噪声,但是需要长期的共同努力才能产生效果。

(2) 社会经济措施

社会经济措施包括:噪声意识的提升、培训和教育,行为控制和约束,经济奖励和处罚,以及生态税收。这种措施常用于一些基本目标,如减少空气污染、保障交通安全等,但是对于交通噪声的控制也有积极的意义。

(3) 土地利用

在设计新城市和道路时,考虑交通噪声的因素,是减少交通噪声干扰最经济的方法。然而令人遗憾的是,交通噪声问题仅到现在才引起重视,在欧洲已经形成许多历史造成的“黑点”,即在人口密集的大城市,交通噪声污染严重已经成为既成事实。对于这些“黑点”的处理,需要采取其他措施。

(4)面向源头的措施

针对噪声产生的源头进行处理,这些源头主要有:①轮胎/路面噪声;②发动机噪声;③排气噪声;④空气动力噪声。应当结合相关的法律措施综合处理。

(5)交通管理

交通管理是指通过交通流的控制实现潜在的噪声降低。

(6)工程措施

工程措施一般有:铺设低噪声路面、设置声屏障和在建筑物外墙设置隔声装置三个方面,这些方法的特点及缺陷的比较见表 1-4。

不同减少交通噪声措施的比较^[26] 表 1-4

低噪声路面	声 屏 障	建 筑 隔 声
针对噪声的产生	针对噪声的传播	针对噪声传播
中等程度的降噪[现在一般的低噪声路面可以降噪 3 ~ 6dB(A)]	显著降噪[可以降噪 7 ~ 12dB(A)]	显著降噪[可以降噪 10 ~ 20dB(A)]
无干扰	有干扰	无干扰
在开放空间内降噪	在开放空间内降噪,但主要在距离声源较近的地方	只能在关闭窗户的室内降噪
相对比较便宜	昂贵(特别是施工)	最昂贵的解决方法
中等使用寿命	可能的长期使用寿命	长期使用寿命
不容易受到破坏	经常受到破坏(涂鸦乱写)	不容易受到破坏
需要养护	需要养护	不需要养护

丹麦曾经统计,有 15% 的人生活在噪声水平 55dB(A) 以上(24h 当量声级)的干扰环境中。为此,1984 年丹麦颁布了《噪声监管指南》(*Noise Regulatory Guidelines*),用于控制新建房屋和道路的噪声水平。经过 20 多年的努力,丹麦所有的新建房屋都满足了国家噪声标准[室外 $\leq 55\text{dB(A)}$,室内 $\leq 30\text{dB(A)}$]^[27]。

值得说明的是:丹麦最初并没有使用低噪声路面技术,但随着声障墙成本的逐渐增加(近 1 666 美元/m),为实现最佳的费用效益比,低噪声路面技术逐渐引起重视。丹麦交通管理部门除了采取控制车速、实施欧盟环境噪声指针、研究道路噪声对人体健康的影响,还将进一步研究降低噪声的路面技术。

与丹麦相比,荷兰的人口密度、基础设施建设和汽车保有量更高,因此,荷兰对交通噪声的影响更为重视。荷兰的卫生理事会(*Health Council*)经过研究,于 1979 年提出了噪声干扰法案(*Noise Nuisance Act*),指出噪声与人们睡眠不好、情绪烦躁有关。据统计,约 10% 的人生活在噪声水平在 50dB(A) 的环境中。该法案规定,生活在每条道路的噪声带范围内的居民的噪声环境都需要调查;对于新建工程,噪声水平不应大于 50dB(A);对于现有工程,则不应大于 55dB(A)。

作为对该法案的响应,荷兰出台了改革计划(*Innovation Program*, 简称 IPG),其主要目标

是:从源头抓起,减少交通噪声,其中一个主要的对策是减少对声障墙的依赖,采取源头控制措施。早在20世纪70年代,荷兰就初步研究证明了多空隙沥青混凝土(Porous asphalt concrete,简称PAC)具有减少行车水雾的特点,并且对于小汽车可使噪声水平减少3dB(A)。因此,荷兰规定日平均交通量大于25 000次的道路需要铺设多空隙沥青混凝土,如今已有60%的道路使用了这种路面形式。

在法国,1992年出台了一部关于控制交通噪声的法律,其规定早上6点~晚上10点期间的噪声水平不大于60dB(A),晚上10点~早上6点期间的噪声水平不大于55dB(A)。该法律涉及一些预防、减小和治理交通噪声的措施,但不包括低噪声的路面技术。法国低噪声路面技术的研究应用开始于1998年。法国交通部门估计,未来20年法国交通噪声水平将会增加50%。1995年,法国颁布了一项法令,规定对于噪声大于2dB的地区需要进行技术改造。2003年11月,法国又出台了一项旨在解决噪声问题的计划,计划在未来几年内重新安置500户生活在噪声敏感区域的低收入家庭。

法国主要采取交通管理和速度控制的措施治理交通噪声。对于巴黎地区,为了保护其原有的历史文化特色,对低噪声路面技术限制使用。对于其他高速公路或者城市道路,低噪声路面技术的目标是降低噪声3~4dB(A)。

意大利于1995年10月颁布了控制交通噪声污染的相关法律,规定所有新建道路必须满足噪声标准。2004年春天,该法律的最后一部分得以通过,主要是控制道路噪声。意大利计划用3年时间完成总体的噪声控制规划,15年实施这个计划,为此每年需要拨付7%的财政预算。意大利是欧洲在现有道路上最早应用噪声地图的国家,已设置了98km声障墙,铺设了1 968km低噪声路面。意大利是欧洲第一个使用多空隙沥青混凝土路面的国家,实践证明其有改善抗滑、减少潮湿路面溅水等功能,同时也表明这种路面具有减少轮胎/路面摩擦噪声的特点。

英国一直比较注重路面抗滑性能方面的问题,如今也注意到使用低噪声路面技术以实现行车抗滑安全与降低行车噪声的平衡问题,低噪声路面技术已在公路局项目中广泛应用。早在1963年,Wilson报告已全面总结了各种噪声的来源及其水平。1973年,英国颁布了大陆补偿法案(*Land Compensation Act*),允许公众可向政府申请相关补偿。由于公共设施影响,交通噪声就是其中一个内容。英国法案规定的噪声标准为68dB(A)(早上6点~午夜, L_{10})。这个规定适用于1969年以后建成的所有道路。为此,在一些老路周边设置了声障墙。

20世纪80年代,为了改善路面抗滑性能,英国采用了不少碎石封层技术进行罩面,但是由此导致交通噪声增加。同时多空隙沥青混凝土路面在英国试验应用,其减少水雾、降低噪声的优点得到了肯定,但是由于堵孔等原因导致的耐久性不足的问题也暴露出来。为此,英国在20世纪90年代中期试验应用薄层、大纹理的混合料罩面技术,这种混合料具有造价低、施工快、耐久性好的特点,同时与英国通常使用的热碾式沥青混凝土(hot rolled asphalt pavement,简称HRA)相比,可至少降低噪声2.5dB(A)。因此,这种沥青混合料铺就的路面在英国作为低噪声路面,并与声障墙结合使用。这是因为声障墙可解决一些关键节点的噪声问题,而这种路面可大范围地降低整条路线的噪声水平。

2000年,英国出台了一项降低主要道路噪声的10年计划,其目标是在10年内对战略路