

“十二五”国家重点图书出版规划项目  
交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护

**C**onstruction Technologies for  
Eco-friendly Asphalt Pavement in Highway Tunnel

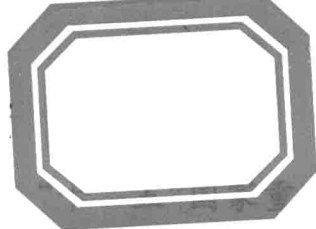
# 环境友好型隧道 沥青路面建设技术



裴建中 李彦伟 著



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



图书出版规划项目

——— 中国公路建设丛书 · 公路基础设施建设与养护

# 环境友好型隧道沥青路面建设技术

裴建中 李彦伟 著



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

## 内 容 提 要

本书以隧道沥青路面为对象,以环境友好型与节能减排为目标,以理论、方法和实践为切入点,针对隧道沥青路面在施工过程、运营阶段和突发火灾时存在的环境问题,较为系统地介绍了施工过程中的节能减排技术、运营过程中的尾气降解技术、突发火灾时的阻燃抑烟技术。提出用温拌沥青混合料来降低施工过程中沥青的热排放,用光催化纳米材料来降解运营过程中汽车的尾气污染,用 ATH/OMMT 协同阻燃体系来延缓突发火灾时沥青路面的烟气排放。

本书可供交通运输领域及其他节能减排领域从事教学、科研、设计与施工的技术人员参考使用,也可作为相关专业研究生教材或学习参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

环境友好型隧道沥青路面建设技术 / 裴建中, 李彦伟著. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2014. 8  
(交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护)  
“十二五”国家重点图书出版规划项目  
ISBN 978-7-114-11447-2

I. ①环… II. ①裴… ②李… III. ①沥青路面—路面施工 IV. ①U416.217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 112852 号

“十二五”国家重点图书出版规划项目

交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护

书 名: 环境友好型隧道沥青路面建设技术

著 者: 裴建中 李彦伟

责任编辑: 周 宇 潘艳霞

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.ccpres.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: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 23.5

字 数: 554 千

版 次: 2014 年 8 月 第 1 版

印 次: 2014 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11447-2

定 价: 75.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

## 交通运输建设科技丛书编审委员会

主任：赵冲久

副主任：洪晓枫 袁 鹏

委员：郑代珍 林 强 付光琼 赵之忠 石宝林 张劲泉  
费维军 关昌余 张华庆 蒋树屏 沙爱民 郑健龙  
唐伯明 孙立军 王 炜 张喜刚 吴 澎 韩 敏

# 总 序

近年来，交通运输行业认真贯彻落实党中央、国务院“稳增长、促改革、调结构、惠民生”的决策部署，重点改革力度加大，结构调整积极推进，交通运输科技攻关不断取得突破，促进了交通运输持续快速健康发展。目前，我国公路总里程、港口吞吐能力、全社会完成的公路客货运量、水路货运量和周转量等多项指标均居世界第一。交通运输事业的快速发展不仅在应对国际金融危机、保持经济平稳较快发展等方面发挥了重要作用，而且为改善民生、促进社会和谐作出了积极贡献。

长期以来，部党组始终把科技创新作为推进交通运输发展的重要动力，坚持科技工作面向需求，面向世界，面向未来，加大科技投入，强化科技管理，推进产学研相结合，开展重大科技研发和创新能力建设，取得了显著成效。通过广大科技工作者的不懈努力，在多年冻土、沙漠等特殊地质地区公路建设技术，特大跨径桥梁建设技术，特长隧道建设技术，深水航道整治技术和离岸深水筑港技术等方面取得重大突破和创新，获得了一系列具有国际领先水平的重大科技成果，显著提升了行业自主创新能力，有力支撑了重大工程建设，培养和造就了一批高素质的科技人才，为交通运输科学发展奠定了坚实基础。同时，部积极探索科技成果推广的新途径，通过实施科技示范工程，开展材料节约与循环利用专项行动计划，发布科技成果推广目录等多种方式，推动了科技成果更多更快地向现实生产力转化，营造了交通运输发展主动依靠科技创新，科技创新服务交通发展的良好氛围。

组织出版《交通运输建设科技丛书》，是深入实施创新驱动战略和科技强交战略，推进科技成果公开，加强科技成果推广应用的又一重要举措。该丛书分为公路基础设施建设与养护、水运基础设施建设与养护、安全与应急保障、运输服务和绿色交通等领域，将汇集交通运输建设科技项目研究形成的具有较高学术和应用价值的优秀专著。丛书的逐年出版和不断丰富，有助于集中展示和推广交通

运输建设重大科技成果，传承科技创新文化，并促进高层次的技术交流、学术传播和专业人才培养。

今后一段时期是加快推进“四个交通”发展的关键时期，深入实施科技强交战略和创新驱动战略，是一项关系全局的基础性、引领性工程。希望广大交通运输科技工作者进一步解放思想、开拓创新，求真务实、奋发进取，以科技创新的新成效推动交通运输科学发展，为加快实现交通运输现代化而努力奋斗！

王 吕 顺

2014年7月28日

# 序

公路隧道的路面分为水泥混凝土路面和沥青路面两类。水泥混凝土路面因其较长的使用寿命和隧道内较好的照明效果被大量采用，但其行车噪声大、舒适度不高，施工技术和施工控制要求严格，一旦产生破坏，修复较为困难。加之部分已建隧道水泥混凝土路面强度和耐久性不足，通车后很快被磨损，产生路面粉尘多，抗滑能力下降等问题，一度被业界指摘。相比水泥混凝土路面，沥青路面以其低噪声、少灰尘、易养护、舒适度好等特点，近年来得到越来越广泛的应用。但其缺点也是明显的，隧道沥青路面施工中产生的浓重烟尘和大量废气、粉尘，不易排除，严重影响到施工进度、质量、环境和施工人员的身体健康。隧道通车后汽车排放的尾气，也严重影响和威胁到隧道环境和车内人员的健康。此外，隧道发生火灾时，沥青的助燃作用将增加隧道火灾的危险性，在长隧道内尤为严重。目前通过添加阻燃剂降低沥青助燃作用的做法，其效果和不利影响还有待确定，这也是欧美国家在长隧道中避免采用沥青路面的重要原因。

基于以上问题，本书重点围绕隧道沥青路面施工和运营期内的有关问题，提出了解决方案。内容包括：研究提出了使用温拌沥青混合料替代传统热拌沥青混合料路面，降低长隧道中的沥青路面摊铺温度，减少沥青路面施工过程中排放的高温浓重烟尘和废气；研究分析了利用各类化学阻燃剂，降低沥青在火灾时的助燃作用；全面介绍了利用光催化材料吸收分解汽车尾气的污染，净化隧道内的环境。全书紧扣以上三类核心技术问题，分别从理论、方法和实践角度进行了全方位阐述，对于优化隧道的规划、设计、运营，指导隧道内沥青混凝土路面材料选择和施工，都具有重要参考意义，对促进隧道沥青路面向环境友好型方向发展具有推动作用。

裴建中教授和李彦伟博士撰写的《环境友好型隧道沥青路面建设技术》是一本在隧道沥青路面修筑和长隧道运营环境提升领域具有很高价值的专著，内容广泛详尽，全面系统。相信本书的出版，必将促进学术界和工程界在隧道方面广泛推广和正确应用沥青路面，必将推动隧道环境友好型沥青路面修筑技术的研究和发展。

赖森荣

2014年3月17日

于美国佐治亚理工学院

# 前 言

我国是一个多山的国家，公路隧道因具有提高路线指标、缩短运营里程、保护生态环境等优点，而越来越受青睐。随着高等级公路建设向山区延伸，隧道工程的数量也越来越多，工程规模也越来越大，特别是在我国西部，独特的地域条件决定了公路隧道建设的不可替代性。截至2011年年底，全国公路隧道为8522处、共625.34万m。其中，特长隧道326处、共143.32万m；长隧道1504处、共251.84万m。2007年1月建成的秦岭终南山隧道，全长18.02km，位居亚洲第一。我国已经成为世界上隧道工程最多、最复杂、发展速度最快的国家。

长期以来，长大隧道中一般采用水泥混凝土路面，但是调查发现，水泥混凝土路面施工周期长，运营时噪声大，粉尘多，进出口段抗滑能力衰减快，已经成为隧道安全、环保的瓶颈。

近年来，对隧道路面安全性、舒适性、环境友好和人性化等方面提出的更高的要求，一些隧道中开始采用沥青路面代替水泥混凝土路面，或者在原来水泥混凝土路面上加铺沥青面层，以提高隧道路面的使用性能和改善隧道运营环境。这逐渐成为近期隧道路面发展的趋势。

隧道内的污染问题，已经逐渐引起广泛关注。隧道是个相对封闭的空间，只有进出口和有限通风设施与外界相通，污染物不能很快扩散，所以隧道内空气污染物会逐渐积累。当积累的浓度超过一定值时，不仅危害养护维修人员和过往驾乘人员的身体健康，导致人体急性中毒；同时，还会降低隧道内的能见度，妨碍行车安全。

隧道内污染物的来源主要有两种。沥青路面施工中的烟尘较大，加热的沥青用以铺设道路时会产生沥青烟逸散到空气中；在运营过程中，汽车尾气释放出多种有害气体，对隧道形成污染。

在国际上，隧道交通的防灾安全，一直为人们所高度关注。作为一个有洞体遮盖的结构物，隧道内的湿度明显高于洞外，湿度的增加将对路面产生一定的侵蚀，并引起路面湿滑。同时，由于隧道道路路面一般比较狭小、视觉空间小、能见度较差、情况比较复杂，相对其他路段更容易发生车辆相撞事故而引起火灾，导致隧道内温度急剧上升，产生大量的烟尘，造成灾难性的后果。

当前关于隧道工程的研究主要集中在隧道洞体的结构设计、施工技术、通风



照明等方面，无论是在隧道工程还是在道路工程中，对隧道沥青路面的研究都涉及较少。国内外对隧道沥青路面的功能研究，从最早认识到隧道火灾的危险性，主要偏重于阻燃沥青的研究，而较少直接对施工排放污染和汽车尾气路面吸收等方面进行研究，只是近些年来，随着人们对环保的越发重视，才开始对其他隧道污染问题有所涉及。因此，迄今为止，这方面的工作仍然在探索当中，更缺乏对环境友好型隧道沥青路面的全方位思考。

目前，隧道建设中的沥青路面，基本上都采用的是传统的热拌沥青混合料 HMA。这不仅要消耗大量的能源，而且在生产和施工的过程中还会排放出大量的废气和粉尘，严重影响周围的环境质量和施工人员的身体健康。近年来，改性沥青的大量使用和对沥青路面压实度要求的提高，使得沥青混合料的拌和及压实温度也须提高，从而导致生产沥青混合料时的能源消耗和烟尘等废弃物的排放增多。1995 年开始，一种环保型的温拌沥青混合料 WMA 逐渐替代传统的热拌沥青混合料 HMA。目前，国际上在制备 WMA 时，通常采用以下几种技术途径：掺加一种叫 Aspha-Min 的人工合成沸石，可以使沥青中充满泡沫；采用由两种组分构成的沥青系统，在混合料拌和过程中加入由两种单独的沥青所构成的调和沥青，其中，硬沥青是以泡沫沥青的形式加入；加入低熔点的有机外加剂，从而从化学上改变沥青的黏温曲线，有机外加剂主要包括合成蜡状物和低分子量的酯；应用包含乳化剂、提高裹覆能力及混合料和易性、提高黏附力等多种作用的改性剂。

汽车是一种流动的污染源，其排放的尾气主要成分为一氧化碳（CO）、碳氢化合物（HC）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、二氧化硫（SO<sub>2</sub>）和一些颗粒物（包括铅化合物、炭黑颗粒和油雾等），严重污染了环境，对人体健康造成损害。采用光催化技术来净化汽车尾气，是近年来广泛研究的减少汽车排放污染的有效措施。光催化技术是一项新的环境能源技术，有机污染物在光照下，通过催化剂实现分解，具有能耗低、操作简便、反应条件温和、可减少二次污染、可连续工作等优点，日益受到人们的重视。其中，TiO<sub>2</sub> 因廉价无毒、稳定等优点备受青睐，在净化环境污染物方面应用最广。国内只有在建筑环境与设备领域里有所涉及，而在道路交通中则研究较少。目前虽已开始重视，但距离应用尚有很长的路要走，其中的基础理论和核心技术还未实现突破。

在过去的三十多年里，欧美、日本等进行了有关隧道火灾的研究工作。隧道内的火灾与隧道外道路中常见的火灾情况有着非常大的区别。由于隧道火灾的复杂性和特殊性，不管是模型试验还是全尺寸试验，都需要耗费很大的精力和财力，试验次数很少，通过试验得到的火灾信息也有限。随着计算机硬件、数学模

型以及计算方法的改进和发展,各国科研工作者越来越多地将场模型应用到隧道火灾事故中。目前,国内外部分生产厂家及科研机构已开始研究并试生产阻燃沥青,以满足建筑、涂料和隧道工程等对阻燃沥青的需求。基于对沥青易燃性和交通安全的考虑,我国对阻燃沥青的研究已越来越重视,但总的说来,尚处于起步阶段,还远没有达到工业化应用的程度。目前国内对隧道沥青路面防火研究,主要限于开发阻燃沥青,通过沥青混合料的难燃性,来达到提高沥青路面防火性能。阻燃是一个层次要求,而抑烟是更高的层次要求。

在这样的背景下,作者在陕西省自然科学基金重点项目等的支持下,采用多学科交叉和综合运用研究思路开始了探索。以实现环境友好型与节能减排为目标,从源头上对隧道沥青路面施工、运营期、发生火灾时存在的问题进行系统的研究,揭示隧道沥青路面在环境与荷载多重因素作用下的阻燃、抑烟、低排放和净化汽车尾气机理,研制并开发出阻燃、抑烟、低排放、净化汽车尾气的新型隧道沥青路面材料,优化现代隧道沥青路面材料设计,推动隧道沥青路面向环境友好型方向发展,以保障我国重大隧道工程的安全建设和高效运营。

本书共分四篇,为了便于阅读,按照篇章的结构展开。第一篇利用数值模拟的方法重点揭示了在隧道施工、运营过程中,发生火灾时的环境污染物分布性状与变化规律,为提出科学的防治对策提供依据;第二~四篇分别从路面材料和技术的角度,就施工过程中的节能减排、运营过程中的尾气降解、突发火灾时的阻燃、抑烟进行了系统的阐述,深入介绍了隧道在施工阶段沥青的排放特性与影响因素,从本质上揭示了沥青的有害物加热分解挥发机理,从化学上探索了降低排放的有效途径;系统研究了运营过程中隧道内汽车尾气流动过程与净化机理,考虑隧道特征和汽车尾气对人的影响,制备并表征了汽车尾气光催化高效吸附材料;全面剖析了火灾时沥青混合料燃烧特性与阻燃抑烟机理,提出了合成新型有机无机杂化无卤阻燃材料的技术途径。

本书是众多人智慧和汗水的结晶:长安大学裴建中、石家庄市交通运输局李彦伟进行编著统稿;在成果的研究过程中,研究生周凌昊参与了第一篇第1~4章的研究工作,研究生徐士翠参与了第二篇第5~10章的研究工作,研究生邢向阳参与了第二篇第11~13章的研究工作,研究生刘勇参与了第二篇第14章的研究工作,研究生杜红昭参与了第三篇第15~19章的研究工作,研究生温永参与了第四篇第20~25章的研究工作;长安大学道路研究所李蕊副教授在成果的研究和本书最后的成稿阶段做了大量的工作;长安大学张久鹏副教授、张增平副教授、曹蕾蕾副教授、常明丰博士,河北省公路管理局杜群乐博士,石家庄市交通运输局赵永祯教授级高工和石鑫博士,在课题研究中提出了很多、很好的思路和

建议，在此一并表示感谢！

我国著名道路专家王秉纲教授和汪双杰教授级高工在本书的写作中给予了详细指导，字字句句凝聚着期望和鼓励；作者裴建中在美国访学期间，有幸得到 Georgia Institute of Technology 资深教授赖森荣博士的关照和指点。赖教授在百忙之中通读了全书，提出了很多很好的修改建议，并欣然提笔为本书作序。大家的意见高屋建瓴，使本书陡然生辉。

环境问题是当今社会关注的焦点和研究的热点。在道路交通领域，与人的日常生活密切相关的城市道路和运营空间相对封闭的公路隧道，环境问题比较敏感和突出。目前围绕这两个领域的研究正在深入展开。本成果虽然是从隧道沥青路面的角度出发开展研究和进行布局，但是对于更广泛意义上的道路节能减排技术研究和实践应用仍然具有参考价值。

本书是一个阶段性成果，很多内容还很不成熟，出版的原因更多地在于希望能抛砖引玉，与业内专家探讨、交流和提高，为我国交通领域正在实施的节能减排做出一点点贡献。众所周知，这方面的研究才刚刚开始，无论对于作者还是行业内外的研究人员，前行中的希望与挑战并存，还有很长的路要走。“哥本哈根会议”给我们的启示就是，只要全球气候变化的趋势没有逆转，这方面的探索就永远有需求和价值。

由于作者水平有限，书中难免有疏漏与不足之处，敬请读者批评指正和交流探讨。

The image shows two lines of handwritten Chinese characters in black ink. The top line is the name '裴建中' (裴建中) and the bottom line is the name '李伟' (李伟). The handwriting is fluid and cursive.

2014年3月

# 目 录

## 第一篇 隧道环境数值模拟篇

第 1 章 环境场数值模拟理论与方法	003
1.1 湍流流动的数值模拟	003
1.2 有限差分方程组的建立	006
1.3 代数方程组的求解方法	010
第 2 章 施工过程中隧道沥青路面环境场数值模拟	014
2.1 无通风瞬态热扩散数值模拟	014
2.2 通风稳态热扩散数值模拟	018
2.3 沥青烟扩散数值模拟	022
第 3 章 运营过程中隧道内污染物分布数值模拟	027
3.1 模拟对象与模拟工况	027
3.2 风速的影响	028
3.3 车速影响	034
第 4 章 火灾条件下隧道环境数值模拟	039
4.1 隧道通风系统的基本形式	039
4.2 火灾规模的确定和热释放曲线的选取	040
4.3 隧道火灾数值模拟	042
本篇参考文献	056

## 第二篇 施工过程隧道沥青路面温拌节能减排篇

第 5 章 沥青结合料降黏机理	059
5.1 调黏理论与方法	059
5.2 有机降黏剂改性沥青降黏机理	065
第 6 章 温拌改性沥青的组分特性	069
6.1 温拌改性沥青的制备	069
6.2 沥青组分及其基本理论	071
6.3 掺降黏剂后的组分试验	077
第 7 章 温拌改性沥青的黏温特性	084
7.1 沥青黏度及其基本理论	084
7.2 掺降黏剂后的黏度特性	088
7.3 温拌改性沥青的黏温特性	098

<b>第 8 章 温拌改性沥青常规指标及流变特性</b> .....	103
8.1 常规路用性能指标 .....	103
8.2 流变性能评价指标与 DMA 方法 .....	109
8.3 常规路用性能 .....	113
8.4 流变特性 .....	119
<b>第 9 章 温拌改性沥青的均匀稳定性</b> .....	136
9.1 沥青稳定性及其基本理论 .....	136
9.2 均匀稳定性 .....	139
<b>第 10 章 温拌改性沥青老化特性</b> .....	146
10.1 石油沥青老化.....	146
10.2 老化机理.....	147
10.3 老化动力学模型.....	149
10.4 老化性能评价方法与指标.....	150
10.5 掺降黏剂后的老化特性.....	152
<b>第 11 章 温拌沥青混合料材料组成设计方法</b> .....	159
11.1 热拌沥青混合料配合比设计.....	159
11.2 温拌沥青混合料马歇尔变温变击实功设计方法.....	162
11.3 基于马歇尔法的温拌沥青混合料体积指标.....	163
11.4 基于旋转压实法的温拌沥青混合料体积指标.....	173
<b>第 12 章 温拌沥青混合料路用性能</b> .....	178
12.1 动态模量.....	178
12.2 高温性能.....	184
12.3 低温性能.....	186
12.4 水稳定性.....	187
<b>第 13 章 温拌沥青混合料施工技术</b> .....	192
13.1 铺筑准备.....	192
13.2 温拌沥青混合料施工工艺.....	194
13.3 施工质量控制.....	198
<b>第 14 章 SSM 共聚物温拌改性剂的研发</b> .....	199
14.1 SSM 共聚物降黏剂的合成及表征 .....	199
14.2 SSM 共聚物改性沥青的黏度特性 .....	204
14.3 SSM 共聚物改性沥青的常规性能 .....	207
14.4 SSM 共聚物的优化设计 .....	214
14.5 SSM 共聚物改性沥青的结构分析及改性机理 .....	220
14.6 SSM 共聚物改性沥青稳定性 .....	230
14.7 SSM 共聚物改性沥青的老化与黏附性 .....	235
14.8 基于 SSM 共聚物的温拌沥青混合料性能 .....	237
<b>本篇附录</b> .....	247

附录 A .....	247
附录 B .....	249
附录 C .....	250
附录 D .....	250
附录 E .....	250
本篇参考文献 .....	252

### 第三篇 运营阶段隧道沥青路面汽车尾气降解篇

第 15 章 光催化材料纳米 TiO <sub>2</sub> 的制备与表征 .....	257
15.1 光催化材料纳米 TiO <sub>2</sub> 的基本原理 .....	257
15.2 纳米 TiO <sub>2</sub> 的制备及表征 .....	259
15.3 纳米 TiO <sub>2</sub> 性能影响因素 .....	261
第 16 章 纳米 TiO <sub>2</sub> 的负载 .....	263
16.1 纳米 TiO <sub>2</sub> 粒子负载的作用 .....	263
16.2 纳米 TiO <sub>2</sub> 负载所用载体 .....	263
16.3 纳米 TiO <sub>2</sub> 粒子在载体上的负载方法 .....	263
16.4 试验结果分析 .....	264
第 17 章 光催化净化汽车尾气试验系统的开发 .....	266
17.1 尾气净化设备设计与制作 .....	266
17.2 试验方法 .....	268
17.3 试验步骤确定 .....	269
17.4 仪器误差的标定 .....	269
第 18 章 净化试验结果与分析 .....	271
18.1 评价方法和指标 .....	271
18.2 未改性的纳米 TiO <sub>2</sub> 净化效率 .....	271
18.3 掺 Fe <sup>3+</sup> 的纳米 TiO <sub>2</sub> 净化效率 .....	273
18.4 负载后光催化材料的净化效率 .....	276
18.5 负载 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 和 Fe <sup>3+</sup> 掺量优化 .....	285
第 19 章 光催化涂料的制备与性能 .....	288
19.1 光催化涂料制备 .....	289
19.2 净化性能 .....	290
19.3 重复净化性能 .....	293
19.4 路用性能 .....	294
本篇参考文献 .....	296

### 第四篇 突发火灾时隧道沥青路面阻燃抑烟篇

第 20 章 沥青热解与燃烧性能 .....	299
20.1 沥青热燃过程 .....	299

20.2	试验方法	300
20.3	试验结果与讨论	302
20.4	阻燃机理及途径	308
<b>第21章</b>	<b>ATH/OMMT 阻燃体系改性沥青的制备与微观结构</b>	<b>311</b>
21.1	原材料	311
21.2	ATH/OMMT 阻燃体系改性沥青制备	313
21.3	ATH/OMMT 阻燃体系的结构表征	314
<b>第22章</b>	<b>ATH/OMMT 阻燃体系改性沥青阻燃性能</b>	<b>317</b>
22.1	沥青阻燃性能评价方法	317
22.2	LOI 阻燃试验方法	319
22.3	阻燃特性与变化规律	322
<b>第23章</b>	<b>ATH/OMMT 阻燃体系改性沥青常规路用性能</b>	<b>326</b>
23.1	沥青常规路用性能试验	326
23.2	试验结果与讨论	327
<b>第24章</b>	<b>ATH/OMMT 阻燃体系改性沥青流变性能</b>	<b>334</b>
24.1	流变性能试验	334
24.2	流变性能试验	335
<b>第25章</b>	<b>ATH/OMMT 阻燃体系燃烧特性及阻燃机理</b>	<b>341</b>
25.1	试验方法及设备	341
25.2	试验结果与讨论	342
<b>本篇参考文献</b>		<b>350</b>

## 附录 国内外在隧道环境整治与防灾减灾方面的技术标准

索引	357
----	-----

# 第一篇

## 隧道环境数值模拟篇



