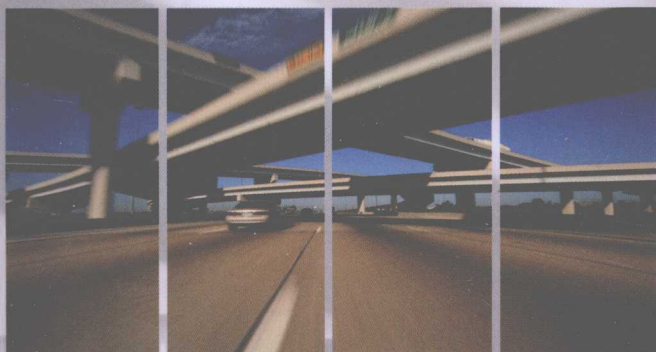


Gonglu Gongcheng
Xinjishu

二级建造师继续教育培训教材

**Gonglu
Gongcheng
Xinjishu**



公路工程 新技术

山东省二级建造师继续教育培训教材编委会 组织编写

王志辉 主编

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

二级建造师继续教育培训教材

公路工程新技术

山东省二级建造师继续教育培训教材编委会 组织编写

王志辉 主编

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书从路面和桥梁两个方面介绍了国内外最新的发展情况,分别介绍了路面新材料、路面新型结构、路面改造技术、桥梁新结构、桥梁加固新技术等内容。

本书是二级建造师的培训教材,也可作为大中专院校相关专业的教学用书和从事公路工程技术的人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

公路工程新技术 /王志辉主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2008.3

ISBN 978 - 7 - 81107 - 930 - 2

I.公… II.山… III. 道路工程—新技术—技术培训—教材 IV. U41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 011752 号

书 名 公路工程新技术

组织编写 山东省二级建造师继续教育培训教材编委会

主 编 王志辉

责任编辑 吴学兵

责任校对 徐 玮

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 7.75 字数 193 千字

版次印次 2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

定 价 18.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

山东省二级建造师
继续教育培训教材编审委员会

主任委员	顾发全		
副主任委员	刁伟明	董林玉	王华杰
委 员	顾发全	刁伟明	董林玉
	王华杰	葛金平	王孝亮
	杨建武	王东升	李 军
	张尚杰	于文海	黄丽丽

《公路工程新技术》 编委会

主 编 王志辉

副 主 编 杨绪磊 刘深远 曹玉亮

参编人员 刘金慧 徐向峰 周秀凤

出版说明

根据《中华人民共和国建筑法》、《建设工程质量管理条例》、《建设工程安全生产管理条例》和人事部、建设部印发的《建造师执业资格制度暂行规定》(人发〔2002〕11号)、《关于建造师资格相关科目专业类别调整有关问题的通知》(国人厅发〔2006〕213号)的规定,为了加强建设施工管理,提高工程技术人员、工程管理人员业务素质,规范施工管理行为,保证工程质量和施工安全,使我国建设事业向又好又快的方向发展,国家对从事建设项目总承包及施工管理的专业人员实行建造师执业资格制度。

为了尽快培养和建立一支懂法律、会管理、善经营和高水平的建造师队伍,我们受山东省建设厅执业资格注册中心委托,编写了二级建造师继续教育培训教材。在编撰过程中,我们本着理论联系实际,着重解决实际问题的能力,重点体现综合性、实践性、通用性和前瞻性。本套教材与中等学历相结合,与二级项目经理结合,与现行工程建设法律、法规及标准相结合,与中、小型规模工程建设需要相结合。

本套教材共有31分册,在知识体系上由公共课、专业必修课、专业选修课三部分组成。从专业领域上又进一步分为建筑工程、公路、市政、机电、水利共5个专业。

本套教材编撰者为大专院校、行政管理、行业协会和施工企业等方面的专家和学者,可以作为二级建造师继续教育培训用书,也可供工程类大专院校师生教学时参考。

在本套教材编写过程中,得到了山东省建设厅、山东省建管局、山东省水利厅、中国海洋大学、山东建筑大学、青岛理工大学、山东交通学院等单位的大力支持,在此表示衷心的感谢。

本套教材,虽经反复推敲核证,仍难免有疏漏之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

山东省二级建造师继续教育培训教材编委会

2008年2月

前 言

土木工程作为传统学科,在我国社会建设中发挥着巨大的作用,焕发着新的青春。近 20 年来,我国公路建设事业飞速发展,新结构、新材料、新工艺不断涌现。本书从路面和桥梁两个方面介绍了国内外最新的发展情况,分别介绍了路面新材料、路面新型结构、路面改造技术、桥梁新结构、桥梁加固新技术等内容。

本书共分六章,其中第一章由王志辉编写,第二章由杨绪磊编写,第三章由刘深远、曹玉亮编写,第四章由周秀凤编写,第五章由刘金慧编写,第六章由徐向峰编写,本书由王志辉主编。

在本书编写过程中,参考并引用了大量公开出版和发表的文献,在此向原编著者表示衷心的感谢。

限于时间和水平,书中难免存在疏漏和错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 1 月

目 录

第一章 绪 论	1
第二章 公路工程新材料	3
第一节 高性能混凝土的特性与应用	3
第二节 改性沥青材料	5
第三节 废弃材料在公路中的应用	6
第三章 路面新结构	10
第一节 开级配路面	10
第二节 永久性路面	13
第三节 SMA 路面	14
第四节 无细集料水泥混凝土路面	20
第四章 道路改造再生新技术	22
第一节 沥青路面冷再生技术	22
第二节 道路旧水泥混凝土在水泥混凝土中的再生利用	23
第三节 沥青路面微表处改造技术	28
第四节 混凝土路面快速修复技术	34
第五节 混凝土路面碎石化改造技术	37
第五章 桥梁新结构	42
第一节 桥梁设计新理念	42
第二节 桥梁景观设计	44
第三节 新型桥梁结构	51
第四节 桥梁施工新技术	57
第五节 新材料在桥梁中的应用	62
第六节 桥梁施工过程中的监控技术	66
第六章 桥梁加固新技术与实例	77
第一节 国内外服役期桥梁改造加固新动态	77
第二节 桥梁检测评定技术	80
第三节 桥梁维修加固的新理念、新技术	94
第四节 桥梁加固新技术实例	102
参考文献	112

第一章 绪 论

我国交通发展历史源远流长,从 6 000 多年前的古代到近代的交通史,在每一阶段都闪耀着中华民族的聪明才智。千百年前,先后建成的四川都江堰、河北赵州桥、京杭大运河等举世工程杰作,显示了中国交通在世界交通史上所占有的重要地位,反映了我国交通工程技术在历史上就处于世界领先地位。

建国之后,大规模的经济建设促进了交通业的发展,使其从建国初的一个落后产业部门逐步发展成为一个拥有较高水平的勘察、设计、施工、生产、监理和科研队伍,技术力量雄厚、专业齐全,能承担各种交通建设任务的重要产业部门。

多年来,交通业的发展不仅体现在量的大幅增长,也反映在公路技术和质的提高。我国公路工程的技术进步和科技创新正是随着交通业的振兴、交通事业的需要而发展起来的,并取得了巨大的进步,对推动我国经济发展和进步发挥了重大作用。

公路工程技术进步的反映是多方面、全方位的,覆盖了公路工程各有关专业领域的理论研究、设计方法、施工技术、监测试验、工程材料等,以下仅择具有代表性的几项有关公路桥梁结构、地基基础、工程材料和计算机应用等几方面进行阐述。

改革开放以来,公路建设尽管有了迅速的发展,但与发达国家相比,还有很大差距,尤其是人均公路里程是更落后的,比巴西、印度都少。这意味着今后我国公路建设的任务还相当繁重。譬如,甘肃省为适应西部大开发,加强交通基础建设,仅 1999 年就完成投资达 41 亿元,其中重点公路建设完成投资 30 多亿元。可见,建设公路大发展还将持续一段时期。

工程材料是公路桥梁工程的物质、技术基础,是直接影响公路桥梁技术应用和发展的关键性因素。我国经济建设的发展,促进了工程材料(无论是金属建材还是非金属建材产品)以很快的速度发展,一些主要材料都有了大幅度增长,基本满足了工程建设的需要。

某些建材产品的产量、质量和品种也跃居世界先进行列。建国以来的各个时期中,根据国家当时的经济、技术状况,建材的发展和应用研究是各有侧重的。20 世纪五六十年代,重点是研究发展钢材、水泥、木材(当时称三大材料)等主要结构材料及其节约技术,开展工业废料的综合利用;70 年代,重点是研究发展量大面广的中、高强钢材及其应用技术等;80 年代主要是研究发展和应用各种功能性材料;90 年代之后,除了上述一些建材继续研究和应用外,根据国家节能、节材和保护耕地的政策,重点研究应用和发展新型材料、高强高性能混凝土、冷轧带肋钢材、轻钢和高强钢材等。

我国混凝土年产量已达 6 亿 m^3 ,居世界首位,广泛应用于建筑、水利、交通、港工和农田建设中,已成为我国工程建设中最主要的材料之一。

我国用以提高和改善混凝土性能所必不可少的各种外加剂,也从无到有,年产能力已达 20 余万吨,产品有减水剂、速凝剂、防水剂、防冻剂、膨胀剂、引气剂等 200 多个品种。

为改善混凝土性能和节约水泥,在综合利用工业废料方面,我国几十年来根据国情,大力开展了粉煤灰综合利用的研究,在工程应用中也取得了显著效果,已成为我国的一项建筑

技术政策。

从混凝土工程技术看,长年以来,特别是近 20 年,在研究成果和工程经验的基础上,已应用和开发的有轻集料混凝土、膨胀混凝土、纤维混凝土、高强混凝土。此外,根据特殊工程的需要,我国发展、应用的混凝土还有水工大坝混凝土、特细砂混凝土、防腐(酸)混凝土、预拌混凝土、装饰混凝土及自应力混凝土等。

展望未来,中承式钢管混凝土拱桥跨度可能达到或超过 400 m;用钢管混凝土作支承骨架的上承式混凝土箱形截面拱桥跨度可能达到或超过 450 m;桁式组合拱桥跨度将超过 350 m。刚架桥跨度可能达到或超过 320 m。钢结构斜拉桥跨度可能达到或超过 1 000 m,如苏通长江大桥为跨度 1 088 m 的斜拉桥;预应力混凝土斜拉桥跨度将可能达到或接近 600 m;独塔单索预应力混凝土斜拉桥跨度可能超过 250 m。悬索桥跨度将超过 1 500 m。在 21 世纪,这些桥型都可能在我国的江河湖海上出现。我国跨海桥的建造将增多。新世纪可能建造 3 000 m 或以上的悬索桥,但悬索可能采用抗拉强度高、质量轻的碳纤维代替钢材以大幅度减轻质量(仅为钢索质量的 20%)。如同建筑物那样,旧有桥梁结构采用纤维加固的场合将越来越多。

我国铁路隧道将超过 20 km,公路隧道在现有基础上将增加 25%~50%。可能有 10 多个城市开通地铁,而有些城市将发展轻轨。越江隧道将会在南京、武汉等地的长江江面之下建成。

目前,我国的能耗是发达国家的 2 倍,人均资源十分有限,因此必须走可持续发展道路,这带来道路养护维修费用增大,同时也促进维修技术的发展。监理队伍人员素质总体水平偏低,尚未形成自上而下的完善配套的监理行业体系,同时存在深度远未到位、费率偏低等问题。

总之,回顾过去,我国公路桥梁工程技术的发展和进步是巨大的,为国家经济建设和人民生活水平的提高提供了物质基础。充分体现“以人为本”,最大限度地满足人的出行要求,创造出安全、舒适、便捷的交通条件,使用户直接感受到高速公路系统给生产、生活带来的便利。

在新世纪,随着公路桥梁科技及其产业化发展的加快,交通业还将会发生更大的变化,公路桥梁技术的水平还会更快地提高,但这种变化已不仅仅是公路桥梁工程的某一专业技术、某一学科领域的变化和提高,它将更明显地表现在交通生产方式和交通涵盖内容的巨大变化。就我国而言,将要实现两个根本性的变化:一是目前还占有一定范围的公路桥梁手工业生产方式将向公路桥梁工业化生产方式的全面转变;二是通过高新技术的开发应用,公路桥梁工程技术与电子信息技术和节能技术的交融、渗透和结合,交通工程将会越来越多地出现涵盖自动化、信息化、生态化的智能交通和充分体现可持续发展的节能交通。

可以确信,在持续、快速的经济发展的驱动下,有人才和物质资源等有利条件的保证,不久的将来,展现在人们面前的将是真正意义上的高科技与交通艺术相结合的,功能、安全、技术、经济、艺术、环境相协调统一的高速公路。

第二章 公路工程新材料

第一节 高性能混凝土的特性与应用

机场水泥混凝土道面与公路水泥混凝土路面所铺筑的混凝土,即道面混凝土,按抗折强度设计,道面板内一般不设置钢筋,混凝土承受弯拉应力。混凝土承受拉伸作用时,对混凝土中存在的裂缝、孔隙等缺陷很敏感,在重复荷载作用下,裂缝比较容易扩展并进而引起破坏,所以要求混凝土具有良好的内部结构和匀质性,对混凝土进行的质量检验应该采用抗折强度检验,而不应该用抗压强度检验代替。道面混凝土大面积铺筑在露天环境之中,承受气候和环境的长期破坏作用,如反复作用的温度应变、干湿循环、冻融循环等。道面板的上表面与雨雪等地表水直接接触,还可能承受除冰盐的作用,可能产生剥落、裂缝;其下表面与基础、土基接触,受土基中水及水中离子的作用,可能产生化学侵蚀。特别由于道面板一面和土基接触,一面为蒸发面,会带来更不利的后果,当上表面的水分蒸发或水分结冰时,道面板内以及土基内的水溶液向上表面迁移,使水分和各种离子向表面集中,加剧冻胀、化学侵蚀、盐类结晶等破坏作用。此外,道面上有大量的伸缩缝,表面水通过封缝不严的接缝渗入基层,降低接缝处基层的强度,当轮载通过接缝附近的道面板时,可在道面板表面形成与横缝平行的裂缝。

综上所述,可以认为道面混凝土是处于比较恶劣的工作条件之下的,故而其耐久性问题非常重要。实际工程中出现不少因耐久性不足在使用期限内提前破坏的例子也说明了这一点。

当前水泥混凝土道面设计使用寿命是在荷载重复作用次数下按强度计算得出的,没有认真考虑耐久性问题。如果混凝土耐久性好,可以实现设计的使用寿命;如果耐久性不好,就会提前损坏。所以为了保证设计使用寿命得以实现,就必须在设计时提出耐久性要求。进一步说,就应该采用高耐久性、高强度的高性能道面混凝土。

随着对交通运输要求的日益提高,以及为使政府的投资更有效,近年来国外提出“发展长寿命、低维护路面”的课题,将路面设计使用寿命提高到 50 年,并且在 50 年内将维修工作量减至最小。由此可见,采用高性能道面混凝土、提高混凝土的抗折强度与耐久性是当前道面混凝土的发展趋势。

为了便于推广应用,且在不增加一次投资的情况下也能够应用高性能道面混凝土,配制研究工作应在现有施工水平与可能获得的材料的条件下进行。同时将高性能道面混凝土的抗折强度分为三个级别,应用时根据工程的重要性及工程所处环境的恶劣程度选择适当的强度等级。

一、国外发展情况

FHWA(美国联邦公路局)用四个耐久性参数和四个强度参数来定义用于公路结构物的高性能混凝土(HPC),每一个参数包含三项内容,即性能指标、测试性能的试验方法及相应于某一个不利现场条件建议的性能取值。

FHWA 科学研究与技术协调委员会(RTCC)最近提出发展长寿命低维护公路路面的课题。其措施除采用较厚的路面、减小横缝间距、修建全断面路肩、正确设置路面下排水之外,最主要的是采用高性能混凝土。但这种路面的初始费用较高,对于 30 cm 厚的混凝土路面,如果用 50 年寿命设计路面,估计费用是传统费用(使用寿命 20 年)的 1.24 倍。但随着高性能混凝土技术条件的发展,这一费用会逐渐降下来。RTCC 提出了全寿命费用的概念,即与传统路面比较,长寿命低维护路面具有较低的全寿命费用,也就是说运行 50 年不需要大修,在此期间所花费的总经费减少,政府投资更有效。除此之外,因交通堵塞、车速降低、路线改变以及车辆、人员事故等引起的问题和费用也会大大降低。

1997 年召开的十六届国际混凝土路面会议,提出路面设计不仅要考虑平均强度要求,还应考虑耐久性要求,按耐久性要求选择水泥、骨料、矿物外掺料、外加剂,并进行试验,测试混凝土混合物的耐久性能。并对封缝和填缝材料有严格的要求。提出研究使用抗压强度为 70 MPa 的高强混凝土,不主张使用水泥用量过多、水化热大、收缩大、费用高的混凝土。在未来的发展方向中提出抗拉强度达 17 MPa 的超高强混凝土,用于铺筑连续的混凝土路面。关于道面的损坏,过去认为是由于板底面受弯拉而破坏,现在根据长期观测提出,在接缝处板的反复摆动可以使板产生断裂,此外腐蚀、磨耗、冻融都集中发生在表面,都有可能使道面板表面层的强度降低,促使裂缝发生,所以提高混凝土道面表面的致密性、抗渗性都是很重要的,而这需要通过使用高性能混凝土来实现。

二、高性能道面混凝土的强度与工作性

高性能道面混凝土的重要特征是具有高抗折强度。当前道面混凝土设计计算抗折强度一般为 4.5 MPa,相应 28 d 平均抗折强度为 5.02 MPa,抗压强度约为 40 MPa,属于中等强度。高性能道面混凝土抗折强度高达 6.0~11.0 MPa,相应抗压强度约为 55~95 MPa。所以使用高性能道面混凝土可以显著提高道面的承载能力,延长使用寿命或减小道面的厚度。

高性能道面混凝土工作性的要求有两种方案:一种方案是用维勃稠度表示,要求在 15~30 s 之间,即低流动性方案,与当前采用的道面混凝土的要求相同;另一种方案是高流动性方案,即在工作性这一重要环节上对传统的道面混凝土进行突破,以降低劳动强度,加快施工进度,改善道面板内混凝土的匀质性。本书所提供的配合比与试验数据是按第一种方案得出的。

三、高性能道面混凝土的变形性质

(一) 干缩

道面板表面积很大,蒸发量大,干缩有可能引起道面板表面产生收缩裂缝,需加强养护。按 GBJ 82—85 对高性能道面混凝土(强度为 1 级)与普通道面混凝土的干缩进行了实测,结果表明,180 d 高性能道面混凝土收缩 318 $\mu\epsilon$,普通道面混凝土收缩 343 $\mu\epsilon$,二者处于同一档

次,干缩都比较小。

高性能道面混凝土,1 d 收缩 $25\ \mu\epsilon$;7 d 收缩 $100\ \mu\epsilon$;14 d 收缩 $160\ \mu\epsilon$,约占 180 d 收缩值的 50%。实际现场收缩更会趋向于在早期发生,所以应加强早期养护,延缓道面板表面干缩的发生,使徐变能起到缓冲收缩应力的作用。

(二) 抗折弹性模量

高性能道面混凝土的抗折弹性模量 E ,经实测,1 级为 $4.30 \times 10^4\ \text{MPa}$,2 级为 $4.84 \times 10^4\ \text{MPa}$,3 级为 $4.60 \times 10^4\ \text{MPa}$ 。其中强度为 3 级的高性能道面混凝土的配合比中,骨料用量较少,粗骨料最大粒径较小,可能是 E 值较低的原因。

四、应用情况

强度为 1 级的高性能道面混凝土已经在六个机场中得到应用。其中,某机场 190 组试件平均抗折强度达到 $6.10\ \text{MPa}$;另一机场铺筑的试验段平均抗折强度达到 $7.0\ \text{MPa}$ 。

应用高性能道面混凝土产生的显著效益有:

(1) 提高道面承载力,增加强度储备,可以适应比设计飞机荷载大的机型使用,部分解决因飞机发展而需要加盖道面的问题。以道面板厚度为 $24\ \text{cm}$ 为例,某飞机荷载在道面板中的计算应力为 $2.50\ \text{MPa}$,另一新型飞机正常起飞重量在道面板中的计算应力为 $2.76\ \text{MPa}$,当混凝土的计算抗折强度为 $4.5\ \text{MPa}$ 时,混凝土计算疲劳抗折强度为 $2.50\ \text{MPa}$ (累计作用 111 000 次),因此道面只能供第一种飞机使用,而当混凝土的计算抗折强度提高到 $5.0\ \text{MPa}$ 时,相应的疲劳强度为 $2.78\ \text{MPa}$,道面可供新型飞机使用,而不需加盖道面。

(2) 延长道面使用寿命。由于抗折强度提高,道面能够承受的累计作用次数增加,使用寿命随之延长。同时由于耐久性成倍提高,可以抵抗气候和环境的长期破坏作用,保证使用寿命的实现,有利于环境保护。

(3) 降低工程造价。1 级强度的高性能道面混凝土材料费用不增加;2 级、3 级虽有增加,但可适当减小道面厚度。同时耐久性提高可减少维修次数,使全寿命费用降低。

第二节 改性沥青材料

随着社会的发展需要,高等级公路建设幅度的扩大,人们对路面行车的安全性、舒适性以及路面的耐久性都提出了更高的要求。沥青的性能将直接影响到混合料的应用,因此改性沥青的研究与应用在国内外得到了广泛的关注。

改性沥青基本可分为 SBS(聚合物)、PE(聚乙烯)、EVA(乙烯醋酸乙烯酯共聚物)和 SBR(丁苯橡胶)改性沥青。

在未来将纳米材料加入到沥青中,可以得到纳米复合材料,有希望得到高黏度、高强度、高韧性、耐高温性、抗老化的路面沥青材料。

一般认为,沥青是由沥青质、胶质、芳香酚和饱和酚组成的高分子混合物。沥青质是超微粒的固体,在沥青中是分散相,是沥青胶体结构的核心,它借助胶质分散在芳香酚、饱和酚中,形成稳定的胶体结构。当沥青质含量少,沥青质胶团分散在芳香酚和饱和酚的连续相中时,被称为溶胶型沥青,它具有较好的黏结性、塑性和流动性,但温度稳定性和弹性较差。当沥青质含量增加时,由于沥青质是由大分子量的多环芳烃组成的,碳氢比高,黏结性和塑性

较差,使沥青变脆,低温时路面易开裂。加入的高分子改性剂在沥青胶体结构中起到类似沥青质的作用,吸附沥青中的芳香酚和胶质,使沥青的胶体结构变成凝胶型,改善沥青的温度稳定性和弹性,保留或增加原沥青的黏结性、塑性和流动性等。

第三节 废弃材料在公路中的应用

自 1972 年以来,可持续发展战略逐渐受到世界各国重视,成为研究的热点之一。随着生活水平的提高,人们对环境保护问题日益重视,绿色生态观念大为普及。许多国家也制定了相应的法律法规,并成立了许多环境保护机构,加大了对环境保护的投入。我国在十五大报告中将可持续发展战略作为一项基本发展战略,环境治理就是其中非常重要的一个方面。

国外对废弃物一般采取三种处理方法,即深埋、焚烧和回收利用。因受占地面积等限制,不能把废物全部填埋,故焚烧和回收利用也在垃圾处理中占了相当比例。如美国环境保护委员会(EPA)1994 年公布的数字显示,回收废物比例达 21%。美国 NAHRP、AASH-TOASTM、TRB 和 SHRP 等研究机构或项目都把垃圾在公路中的应用作为重要的研究课题,有的已经制定了相应的标准。

一、工业垃圾

(一) 回收水泥混凝土(RPCC)

回收水泥混凝土主要用于水泥混凝土(PCC)中,但加入 RPCC 的水泥混凝土,其强度有所降低,不宜作结构性 PCC,比如桥面板、桥台、挡墙等。试验证明,RPCC 可用来制作碾压式混凝土,且使用性能良好,另外 RPCC 碾碎后可以作沥青混合料(AC)基层和底基层的集料,非破碎的 RPCC 还可以用作抛石。

(二) 回收沥青混凝土(RAP)

RAP 的回收主要采用两种方法:热法回收,将 RAP 加热后再加入沥青和石料重新拌和,生产出新的沥青混合料;冷法回收,把 RAP 磨细成均匀的混合料,再与一定的乳化沥青、水泥拌和作基层。RAP 还可用于路肩、路堤和基层等。

研究表明,当混合料中含 40% 的 RAP 时,可节省资金 5%~23%。因为 RAP 热法回收时会产生废气,为了减少废气排放量,应尽量减少加热时间。

(三) 纤维素废料

纤维素废料多为造纸厂、食品厂和地毯厂产生的废物,多数用于纤维加强混凝土,使其获得好的延展性并延长了混合料寿命;也可以通过热处理氢化反应转化为胶结料,用在 AC 中作沥青的补充料,代替部分沥青,其使用性能与普通的 AC 无明显差异;它还可以用在土基中起加强作用。

(四) 木质材料

木质材料大都为纸厂废物,可以和纤维素废料一样经过处理后作为胶结料代替部分沥青,但含量不超过 30%;也可用于轻质底基层,或用作多年冻土上的绝缘层,不仅造价低,而且具有相对好的隔热性、非常好的防水渗透性及较高的持荷能力,且施工方便;还可作为道路边坡覆盖层来保护草籽的发芽和生长。

(五) 底灰

底灰主要是炉壁积累的残渣。研究表明,底灰在物理和化学性质上变异性较大,对地下水影响小,但腐蚀性强,不能用于金属结构附近。它可用来代替 AC 中的集料,但随底灰含量增加,混合料的稳定性降低,矿料间隙率 VMA 和孔隙率增加,密度降低,并容易产生车辙,因此不适用于作重交通路面,同时由于重金属会析漏,一般底灰含量不应超过细集料的 80%,但掺加底灰的 AC 抗水损害能力很强。底灰级配好,同砂规格相近,性质也与之相似,是良好的路基材料,摩擦角大,抗压强度高,可用于轻交通道路基层。它还可用于轻质 PCC、喷砂、制作防冰剂和除冰剂等。

(六) 飞灰(粉煤灰)

飞灰来源于燃煤的烟道气,含碳量高,可用来代替炭黑做塑料和橡胶的着色剂,其质量受所用煤类型、含灰量、磨细程度和收集设备影响。飞灰可以用来与水泥、砂、水制备流动性填料,此种材料多用作挖方等非结构性应用,在摊铺和压实设备不易到达的地方使用,不用振动和压实,平整度好,施工快,透水性小;也有部分飞灰用于 PCC 中,来代替 15%~30% 的水泥,能得到强度高、用水量小、工作性和耐久性好的混凝土,这种混凝土可以泵送,并可抵抗冰冻和硫损害,减少了干缩性和松散,透水性小;另外还有大量飞灰被用作路基和土壤稳定基层,比如粉煤灰稳定基层和二灰稳定基层。

其他的工业垃圾还有:鼓风炉渣,可以代替部分水泥用于 PCC 中,碾碎后用来制作矿渣水泥,或用作轻质混凝土的集料;钢渣,用于 AC 的抗滑层,但其与水反应容易膨胀,削弱结构整体性,还可以作基层、路堤填料、喷砂等的材料;铸造厂废砂,用来管道回填,用于 ACPCC 流动性填料和防冻剂等。

二、生活废弃物

(一) 炉渣和焚化炉渣

炉渣和焚化炉渣是煤和垃圾焚化后的残渣,性质变化大,需经进一步处理才能用于 AC,否则材料的规格差,不适用于作 AC 的集料。可以用炉渣代替沥青碎石中 50% 的集料,为了减小水损害,最好加 2% 的生石灰炉渣碾碎后用作基层材料,但其性质尚待研究。

(二) 橡胶废料轮胎

美国目前可用的废轮胎有 20 亿~30 亿个,它在 AC 中的使用已有 25 年的历史。利用时有两种加工方法,即湿法和干法。湿法是将沥青质量 18%~26% 的磨细橡胶粉(16 目)与沥青在 190℃~218℃ 搅拌 1 个小时制成橡胶改性沥青,在此过程中沥青的黏度开始增长很快,然后渐趋平缓,有时黏度过大,需加补充油。橡胶改性沥青最好及时使用,一般密级配混合料的拌和温度为 163℃~190℃,开级配混合料拌和温度为 13℃~163℃,混合料储存时间不宜过长。湿法加工也可用来加工应力吸收薄层(SAM)、应力吸收薄膜中间层(SAMI)和裂缝填缝料等。干法橡胶轮胎用量为湿法的 2~4 倍。将石料质量 3%~5% 的橡胶颗粒(1.6~6.4 mm)与间断级配石料一起与沥青拌和,橡胶用作 AC 中的集料。目前也有使用大颗粒(4.75~12.5 mm)橡胶与非间断级配石料一起拌和生产 AC 的。使用橡胶的 AC 抗温度裂缝、抗坑洞和抗车辙能力强,抗反射裂缝好,表面不容易结冰,同时对混合料的水稳性无损害。含橡胶的混合料运输时不用柴油作脱模剂,而用石灰水、肥皂水或聚硅树脂代替。摊铺时必须保证一定的混合料温度,使用静力钢碾压实,开放交通时间不宜过早,以

防车轮黏结起集料,也可在表面预铺一层石屑。含橡胶的沥青混凝土存在的问题是回收时会有废气产生,初始投资比较大。为了适于回收,有些研究机构建议橡胶改性沥青混凝土仅用于面层,且厚度不超过 RAP 的 $1/3$,在密级配混合料中使用沥青 $3\% \sim 5\%$ 的 8 目磨细橡胶粉,开级配中用 $5\% \sim 10\%$ 的 40 目橡胶粉。另外橡胶轮胎还用于基层隔离剂、轻质渗水路堤、道路基层和底基层、挡土墙、铁路道口及声障墙等。

(三) 塑料

美国废旧塑料的产量比废轮胎还大,只是由于分散性大而未引起人们的重视。塑料主要用来制作塑料木,同木质材料相比,塑料木防虫、不吸水、不腐烂、抗开裂、完整性好、受气候影响小,可制作野外休闲的桌椅。塑料木还可用作路标指示的柱杆、护栏、声障墙、栅栏、限速标示杆、排水管、土工布和土工格栅等。塑料可以用于 AC 中作改性剂,如 Novophalt 和 Polyphalt 就是常见的商业塑料改性沥青,同橡胶改性沥青相比,初始投资更大,但经济效益更高。并且塑料可用作轻质混凝土中的集料,这种混凝土抗压和抗弯拉强度小,但韧性好,抗干缩性强,适用于低强混凝土。ASTM 还规定废旧塑料可以用作聚乙烯的材料,并规定了材料的形状、工作性能、抗化学反应实验与韧度等指标,以控制其质量。另外废旧塑料还用于交通导向锥形物和挡墙等。

(四) 玻璃

玻璃主要用作 AC 集料 (GLASPHALT),但最多不能超过集料总量的 15% 。在 1969 年到 1988 年间,美国和加拿大有 45 个项目中使用 GLASPHALT,多用于城市道路和停车场,没有用于高速公路的。GLASPHALT 存在的主要问题是:沥青与玻璃黏结性不足,抗滑力不强,玻璃容易破碎而导致混合料松散,玻璃的供应量不够充足,生产费用较高。

玻璃一般作道路基层,最大粒径小于 9.5 mm ,常加入生石灰抵抗水损害。各州使用经验认为,加入玻璃后混合料的 VMA 和孔隙率减小;最佳沥青用量降低;AC 中加 15% 的玻璃对回弹模量和间接抗拉强度无明显影响,但破坏截面上的玻璃有破碎;抗剥落剂对改善其水稳性无作用;当混合料的来源充足时,使用玻璃作集料不会降低费用。玻璃还可用于道路的基层,制造交通漆,用作渗水层集料、底基层、路堤和管道回填材料等。

(五) 屋顶废料

屋顶废料中一般有 36% 的沥青、 22% 的坚硬碎石和 8% 的矿粉和纤维,多用在停车场的 AC 中,使用前应先破碎,最大粒径宜小于 12.5 mm ,使用屋顶废料的 AC 可减少胶结料的用量,抗车辙和疲劳性能好,但增加了初始投资,多作冷补材料。屋顶废料常用于矿区道路、铁路两边的维修便道、软弱和含淤泥质土基的表层处治等。

(六) 堆肥

堆肥来源于园林废物、腐化池淤泥、废水、下水道淤积物和动物粪便等。一般用于公路两边作草皮覆盖和固定,代替部分表层土作肥料来改善土质,控制草籽发芽和控制淤泥。

(七) 纸

主要用作覆盖料,价格比木质材料便宜。

三、矿业垃圾

即矿业生产中产出的废弃物,如采石场废弃岩石,煤矿的矿渣等。这种废弃物的利用多在矿区附近,一般用作路基的填石、抛石和道路基层,主要问题是有毒物质的析漏。有时矿

业垃圾也用于 AC 中,但注意有的废弃物会产生问题,比如无烟煤矿渣吸收性强,沥青很难完全裹附,需完全焚烧后才能使用;沥青煤残渣作 AC 集料时混合料易受水损害。

四、农业垃圾

包括农作物垃圾、动物粪便等大量的有机垃圾,主要用于堆肥,作道路边坡的覆盖物来改善土质。

我国废弃物回收在公路中并不多见,常用的只有粉煤灰,用来作二灰基层,但其使用也受来源的限制,虽也有部分的 RAP 回收,但数量很少,所以废弃物回收应用在我国有很大的潜力可挖。废弃物回收用于公路工程中,首先要摆脱一些传统观念的束缚,在综合考虑废弃物回收的经济效益和社会效益的基础上,对废弃物回收大力推广,改进、提高垃圾处理工艺,然后根据国外实际使用经验和废弃物应用的规范,修筑试验路,再根据使用情况制订适于我国的规范,从而大量推广应用。