

水泥混凝土路面 设计与施工技术

孙廷选 武建民 主编
蒋应军 刘根昌
戴经梁 陈忠达 主审



黄河水利出版社

水泥混凝土路面设计与施工技术

孙廷选 武建民 主编
蒋应军 刘根昌
戴经梁 陈忠达 主审

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了水泥混凝土路面的设计方法与施工技术。全书共分 11 章,内容包括水泥混凝土路面的发展概况、水泥混凝土路面基层和面层的特点、水泥混凝土路面的结构设计、水泥混凝土路面基层和面层的施工技术与质量控制、路面混凝土的配合比设计,以及其他类型的混凝土路面和旧水泥混凝土路面加铺层设计。

本书可供公路与城市道路设计、施工和管理(监理)部门的工程技术人员在工作中参考使用,也可供高等院校相关专业的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

水泥混凝土路面设计与施工技术/孙廷选等主编.
郑州:黄河水利出版社,2005.8
ISBN 7-80621-944-7

I.水… II.孙… III.①水泥混凝土路面-设计
②水泥混凝土路面-工程施工 IV.U416.216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 089863 号

策划组稿:马广州 ☎ 0371-66023343 E-mail:mgz@yrcp.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940 传真:0371-66022620

E-mail:yrcp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:19

字数:440 千字

印数:1—2 000

版次:2005 年 8 月第 1 版

印次:2005 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-944-7/U·13

定价:39.00 元

前 言

随着我国公路建设事业的高速发展,水泥混凝土路面在我国得到了广泛的应用。截至 2004 年年底,已建成各级公路的混凝土路面总里程超过了 20 万 km,每年在建的水泥混凝土路面里程达到了 2.5 万 km 以上。我国在水泥混凝土路面修筑技术方面也进行了较为全面的研究,目前已经建立了较为成熟的水泥混凝土路面设计理论体系,对普通混凝土路面以及钢筋混凝土、钢纤维混凝土、连续配筋混凝土、碾压混凝土等新型混凝土路面都建立了较为完善的设计方法。同时,经过近 20 年技术引进和自主开发,在水泥混凝土路面施工技术上也有了巨大的进步,全面掌握了滑模、轨道、碾压、三辊轴、小型机具等施工工艺,在接缝施工、表面功能(抗滑构造)、桥面铺装等方面都具备了较高的技术水平,并建立了完善的水泥混凝土路面施工质量管理与检查体系。这些都为水泥混凝土路面在我国的进一步发展提供了有力的技术支持。

本书根据作者近年来的工程实践和研究成果,结合交通部最新颁布的《路基、路面设计与施工规范》,参考国内外的工程实践经验及最新研究成果,面向公路建设一线的工作人员,系统介绍了水泥混凝土路面基层和面层的特性、水泥混凝土路面结构设计及材料组成设计、基层和混凝土面板的施工工艺和施工质量控制,以及旧水泥混凝土路面加铺层设计等内容,对钢筋混凝土路面、连续配筋混凝土路面、钢纤维混凝土路面、碾压混凝土路面等也进行了较为详细的介绍。

本书共分 11 章,第一章由孙廷选、武建民编写;第二章由丁宁、琚晓辉编写;第三章由盛晓军、刘根昌编写;第四章由丁智勇、蒋应军编写;第五章由蒋应军、赵淑敏编写;第六章由赵新坡、施笃俭编写;第七章由武建民、蒋应军编写;第八章由仵卫东、施笃俭编写;第九章由安建中、孙廷选编写;第十章由刘根昌、蒋应军编写;第十一章由武建民、孙廷选编写。全书由武建民、蒋应军统稿,孙廷选、刘根昌定稿。

本书由长安大学戴经梁教授、陈忠达教授主审,在此表示衷心的感谢。

本书所引用的文献均列于各章末,书中不再一一注明。在此,向文献的作者表示感谢。

由于作者水平有限,书中缺点错误在所难免,还请广大读者及同行专家不吝赐教,批评指正。

编 者

2005 年 5 月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 水泥混凝土路面发展概况	(1)
第二节 水泥混凝土路面结构及其特点	(3)
第三节 水泥混凝土路面设计内容与方法	(4)
第二章 水泥混凝土路面基层特性	(8)
第一节 概 述	(8)
第二节 柔性基层	(10)
第三节 半刚性基层	(19)
第四节 刚性基层	(30)
第三章 水泥混凝土面层特性	(38)
第一节 面层混凝土的强度特性	(38)
第二节 面层混凝土的变形特性	(48)
第三节 面层混凝土的疲劳特性	(53)
第四节 面层混凝土的耐磨性能	(58)
第五节 面层混凝土的抗渗和抗冻性能	(60)
第六节 面层混凝土的其他特性	(67)
第四章 水泥混凝土路面构造设计	(69)
第一节 结构组合设计	(69)
第二节 接缝设计	(73)
第三节 端部设计	(80)
第四节 路面排水设计	(84)
第五节 路肩设计	(90)
第五章 水泥混凝土路面板厚设计	(92)
第一节 概 述	(92)
第二节 水泥混凝土路面荷载应力分析	(93)
第三节 水泥混凝土路面温度应力分析	(103)
第四节 水泥混凝土路面板厚设计	(107)
第五节 国外的设计方法简介	(118)
第六章 水泥混凝土路面基层施工技术	(124)
第一节 半刚性基层施工	(124)
第二节 贫混凝土基层施工	(137)
第三节 沥青稳定碎石基层施工	(144)

第四节	粒料类基层施工·····	(147)
第七章	路面混凝土配合比设计·····	(154)
第一节	路面混凝土技术要求·····	(154)
第二节	原材料技术要求·····	(156)
第三节	普通路面混凝土配合比设计·····	(167)
第四节	其他路面混凝土配合比设计·····	(180)
第八章	水泥混凝土面层施工技术·····	(190)
第一节	施工准备·····	(190)
第二节	混凝土拌和与运输·····	(192)
第三节	小型机械组合施工·····	(195)
第四节	三辊轴机组施工·····	(207)
第五节	轨道摊铺机施工·····	(210)
第六节	滑模摊铺机械施工·····	(213)
第七节	接缝、抗滑构造施工与养生·····	(221)
第九章	水泥混凝土路面施工质量控制·····	(229)
第一节	工程质量检验评定方法·····	(229)
第二节	基层施工质量控制·····	(232)
第三节	水泥混凝土面板施工质量控制·····	(239)
第四节	水泥混凝土路面施工质量评定与检验·····	(245)
第十章	其他混凝土路面·····	(266)
第一节	钢筋混凝土路面·····	(266)
第二节	碾压混凝土路面·····	(270)
第三节	连续配筋混凝土路面·····	(273)
第四节	钢纤维混凝土路面·····	(278)
第十一章	旧水泥混凝土路面加铺层设计·····	(282)
第一节	路面结构性能评定·····	(282)
第二节	水泥混凝土加铺层设计·····	(286)
第三节	沥青加铺层设计·····	(290)
第四节	加铺层路面排水设计·····	(297)

第一章 绪 论

第一节 水泥混凝土路面发展概况

一、概述

水泥混凝土路面作为一种高级路面结构形式,其最早建造史可追溯到大约公元前 1 世纪。当罗马人通过偶然机会了解到火山灰可作水硬性胶凝材料而用在建筑、水利、港口工程上时,就开始将其应用到重要的道路和广场工程上了。

近现代意义上的水泥混凝土路面是在 1824 年 10 月 21 日英国工匠 Leads 和 J. Aspdin 取得了波特兰水泥的发明专利后,从欧洲开始发展起来的。

全世界第一条水泥混凝土路面是 1865 年在英国修筑的,至今已有 140 年的历史。

1914 年德国人 Friedrich Todt 博士在柏林建造了汽车专用道路,美国在纽约长岛私人住宅的道路上开始使用水泥混凝土路面。

1924 年前后,法国公路部总工程师 Daniel Bouted 在法国 43 号公路上开始进行连续板块式混凝土路面试验并铺筑了长约 100km 的水泥混凝土路面,当时采用的路面厚度为 18cm,横向接缝为 10~20m,采用的是小型搅拌机拌和的干硬性水泥混凝土,需要夯碾压实。同时,比利时也在矿区道路上开始使用水泥混凝土路面。

1930 年前后,美国开始使用水泥处置土做地坪和重交通道路的基层,并用水泥混凝土建设其重要公路干线和城镇道路。当时建设的某些城镇水泥混凝土路面有的至今还在使用,且没有大修过,美国使用年限最长的水泥混凝土路面达 78 年之久。

1933 年,水泥混凝土路面在各主要的发达国家大量使用并发展起来,德国在当时还没有沥青路面高速公路的情况下建成了第一条水泥混凝土路面的高速公路。

20 世纪 30 年代发展起来的水泥混凝土路面,包括上层 5cm 的磨耗层,板厚为 24cm。这一时期,经过多年的试验观测,水泥混凝土路面的经验性设计理论、计算方法和施工技术得以迅速的发展。

我国第一条水泥混凝土路面是 1928 年在浙江奉化溪口镇修筑的,当时采用的是日本进口的水泥,至今已有 77 年的历史。自 1936 年开始,我国引进德国技术设备,在唐山建立了第一家生产和销售水泥的启新洋灰公司,开始在室内建造水泥混凝土地面和室外地坪,并在该工厂建造了一段示范水泥混凝土路面试验段。1940 年前后,日本帝国主义在我国天津和沈阳督造了少量水泥混凝土路面,板厚大约 20cm。然而随着经济的发展,这些最早在我国建造的水泥混凝土路面都没能保留下来。

二、国外水泥混凝土路面发展

国外水泥混凝土路面发展经历了两大发展时期。

第一个时期是在 20 世纪 30~40 年代,随着汽车工业的发展,战争物资和军队的调运,客观上对路面的质量要求大大提高。这一时期,最明显的标志是德国建设的世界上第一条汽车专用高速公路,其使用的就是水泥混凝土路面结构形式。当时几乎所有的发达国家,如日本、美国、英国、法国、比利时都竞相发展水泥混凝土路面,有的将水泥混凝土路面技术扩展到其殖民地国家。这个时期水泥混凝土路面主要施工方式是小规模的人工加小型机具辅助。

第二个时期是在 20 世纪 70 年代,世界性的石油能源危机,使一些主要使用沥青建造高速公路的国家,如美国、法国、原联邦德国等,认识到必须尽量减少高速公路建设对石油沥青的依赖性,节约沥青资源和能源。他们在高速公路水泥混凝土路面技术上开始了新一轮的研究开发,从国家战略利益考虑,增加了对水泥混凝土路面的科技投入和建设规模。上述国家不仅对设计理论和计算方法进行了更新和提高,而且将主要的施工方式从人工施工向大规模机械化施工转变,建立了目前仍在采用的轨道链式机组和快速滑模摊铺机施工方式。在此期间,由于要求水泥混凝土路面要适应各种各样的地质地形条件,发展了水泥混凝土路面的多种新型结构形式,如钢筋混凝土路面、预应力钢筋混凝土路面、镶嵌混凝土块式路面等。这一时期,美国从政策上扶持水泥混凝土路面的建设,由原来水泥混凝土路面在公路网中只占 20% 发展到 70 年代后期的 49% 左右。法国和原联邦德国也开始打破沥青路面占绝对主导的格局,加快了水泥混凝土路面的发展。

各国在发展水泥混凝土路面技术上的一个重要特征是密切结合本国实际和资源约束条件,其直接影响因素是本国水泥和沥青资源供给和价格情况。美国是典型的黑、白两种路面几乎均等的国家,在整个国家高速公路网中,水泥混凝土路面占 49%,沥青路面占 51%。这一方面是出于能源方面的考虑,另一方面其经济对比分析是建立在建设、维修、养护全部建设和运营总费用最低的价值工程基础上,强调在路面使用年限内,每平方米每年的费用最低,投资效益最高。这样水泥混凝土路面即使建设费用较高,但使用寿命长,全过程投入并不高。法国和原联邦德国是水泥混凝土路面比重相对较小的国家,原民主德国几乎全都采用水泥混凝土单一路面,这主要取决于水泥和沥青资源的供应、单价和带动其他工业部门发展的情况。

三、我国水泥混凝土路面发展

我国水泥混凝土路面已有 70 多年的发展历史,特别是新中国成立以后,水泥混凝土路面在城镇道路上得到了较快的发展。但在 20 世纪 70 年代之前,我国水泥混凝土路面的里程仅有 200km,占高级和次高级路面总里程的 0.87%。至 1980 年,混凝土路面的里程增加到 1 600km,仍仅占高级和次高级路面总里程的 1.01%,10 年内平均每年铺筑 140km。随着高速公路建设的发展,水泥混凝土路面相应地也得到了较快的发展,至 1990 年,里程迅速增加到了 11 773km,占高级和次高级路面总里程的 4.37%,10 年内平均每年铺筑 1 017km。至 2003 年年底,已建成各级公路的混凝土路面总里程超过了 19 万

km,每年在建的水泥混凝土路面里程达到了2.5万 km 以上,水泥混凝土路面得到了越来越广泛的应用。

水泥混凝土路面在我国的发展是具有一定优势的。我国石灰石资源丰富,水泥产量很大,目前已居世界第一,而我国的沥青资源相对匮乏且质量较差,因此从合理利用资源的角度,我们更应该大力发展水泥混凝土路面。为此,国家的有关部门非常重视,我国的道路工作者在这方面也进行了不懈的探索和努力。从“六五”、“七五”开始,交通部对水泥混凝土路面就予以高度重视和大力推广,在以后的时间内,先后组织多次联合科研攻关,解决水泥混凝土路面设计和施工中的有关技术问题,制定了水泥混凝土路面发展对策,并先后出台了水泥混凝土路面设计、施工、养护等规范,为推动我国水泥混凝土路面发展作出了积极的贡献。

目前,我国已经建立了较为成熟的水泥混凝土路面设计理论体系,对普通混凝土路面以及钢筋混凝土、钢纤维混凝土、连续配筋混凝土、碾压混凝土等新型混凝土路面都建立了较为完善的设计方法。通过在高速公路和一级公路修筑水泥混凝土路面的实践经验积累,取得了水泥混凝土路面可靠度、路面结构排水等一大批科研成果,使水泥混凝土路面的技术水平达到了一个新的高度。同时,经过近20年技术引进及自主开发,在水泥混凝土路面施工技术上也有了巨大的进步,全面掌握了滑模、轨道、碾压、三辊轴、小型机具等施工工艺,在接缝施工、表面功能(抗滑构造)、桥面铺装等方面都具备了较高的技术水平,并建立了完善的水泥混凝土路面施工质量管理与检查体系。这些都为水泥混凝土路面在我国的进一步发展提供了有力的技术支持。

第二节 水泥混凝土路面结构及其特点

一、水泥混凝土路面结构

水泥混凝土路面,包括普通混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土、预应力混凝土、装配式混凝土和钢纤维混凝土等面层板和基(垫)层。所谓普通混凝土路面,是指除接缝区和局部范围(边缘和角隅)外不配置钢筋的混凝土路面,这种路面一般采用就地浇筑的方式施工,是目前采用最为广泛的混凝土路面。

水泥混凝土路面由面层、基层、垫层、路肩结构和排水设施等组成,如图1-1所示。图中左半侧为未设路面内部排水设施和采用沥青路肩的路面结构,右半侧为设置路面内部排水设施和采用水泥混凝土路肩的路面结构。从国内外水泥混凝土路面的设计和使用情况来看,建立完善的路面内部排水系统,可以迅速地排除从面板接缝中渗入的水分,从而大大减少水泥混凝土路面唧泥、错台和断裂等病害,有效地延长水泥混凝土路面的使用寿命。因此,目前对于水泥混凝土路面普遍要求设计并采用路面内部排水系统。

二、水泥混凝土路面特点

与其他类型的路面相比,水泥混凝土路面具有以下优点:

(1)强度高。混凝土路面具有很高的抗压强度和较高的抗弯拉强度以及抗磨损能力。

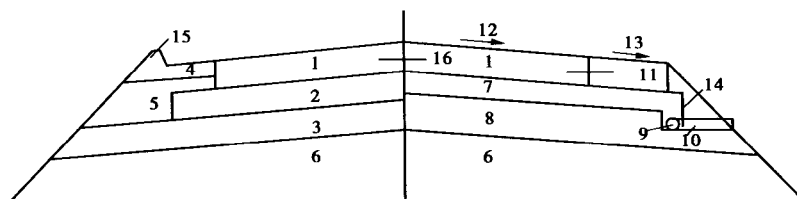


图 1-1 水泥混凝土路面结构

1—面层;2—基层;3—垫层;4—沥青路肩面层;5—路肩基层;6—路床;7—排水基层;
8—不透水垫层(或反滤层);9—纵向集水沟和集水管;10—横向排水管;11—水泥混凝土
路肩面层;12—路面横坡;13—路肩横坡;14—反滤织物;15—拦水带;16—拉杆

(2)稳定性好。混凝土路面的水稳性、热稳性均较好,特别是它的强度能随着时间的延长而逐渐提高,不存在沥青路面那种“老化”现象,并且对油类、酸碱等化学物质的耐腐蚀性要优于沥青路面。

(3)耐久性好。由于混凝土路面的强度和稳定性好,所以它经久耐用,一般能使用20~40年,而且它能通行包括履带式车辆等在内的各种运输工具。

(4)有利于夜间行车。混凝土路面色泽鲜明,能见度好,对夜间行车有利。

但是,混凝土路面也存在一些缺点,主要有以下几方面:

(1)对水泥和水的需要量大。修筑0.2m厚、7m宽的混凝土路面,每1000m要耗费400~500t水泥和约250t水,尚不包括养生用的水在内,这给水泥供应不足和缺水地区带来较大困难。

(2)有接缝。一般混凝土路面要建造许多接缝,这些接缝不但增加施工和养护的复杂性,而且容易引起行车跳动,影响行车的舒适性;接缝又是路面的薄弱点,如处理不当,将导致路面板边和板角处破坏。

(3)开放交通较迟。一般混凝土路面完工后,要经过28d的湿治养生才能开放交通,如需提早开放交通,则须采取特殊措施。

(4)修复困难。混凝土路面损坏后,开挖很困难,修补工作量也大,且影响交通。

第三节 水泥混凝土路面设计内容与方法

水泥混凝土路面设计,应根据道路的使用任务、性质和要求,结合当地气候、水文、土质、材料、施工技术、实践经验以及环境保护要求等,通过技术经济分析,以最低的寿命周期费用提供一种合适的路面结构。该路面结构在设计使用期内能按规定的可靠度水平承受预期的交通荷载作用,并同所处的自然环境相适应,满足预定的使用性能要求。

一、水泥混凝土路面设计内容

水泥混凝土路面在交通荷载和自然环境的不断作用下,可能会出现断裂、唧泥、错台以及接缝碎裂等结构性损坏。各种损坏的产生都是交通荷载和自然因素同路面相互作用的结果,并随着路面工作特性和外界因素影响程度的不同而变化。有些损坏是结构组合

或材料组成不当造成的,有些损坏则是板厚或者混凝土板强度不足造成的。水泥混凝土路面设计必须从结构、材料等多方面采取措施,以保证在预定的使用年限内路面不恶化到某一规定的程度。

因此,水泥混凝土路面设计的内容包括结构组合设计、面层接缝构造和配筋设计、路面排水设计、路肩铺面结构层组合设计、面层厚度设计、各结构层材料组成设计、路面表面特性设计等。

(1)路面结构组合设计。根据道路的交通繁重程度,结合当地环境条件和材料供应情况,选择混凝土路面的结构层次,包括路基、垫层、基层和面层的结构组合,及各层结构类型和厚度,以组合成能够提供均匀、稳定支撑,防止或减轻唧泥、错台病害,承受预期交通荷载作用,满足使用性能要求的路面结构。

(2)各结构层材料组成设计。针对各结构层在路面结构中所起的作用,依据当地材料供应情况,选择满足结构层性能要求的混合料,进行配合比设计。混合料的各项性质参数,应按有关试验规程规定的试验方法经过试验确定。

通过材料组成设计,使面层混凝土具有足够的抗弯拉强度及抗疲劳性能,基层具有良好的抗冲刷性能和一定的刚度,垫层达到要求的稳定性及一定的刚度。

(3)面层接缝构造和配筋设计。根据混凝土面层内产生的荷载应力和温度应力进行面层的平面尺寸设计。依据接缝的作用,选择缩缝、胀缝或施工缝等类型,确定接缝的间距,布设接缝的位置,设计接缝的构造,包括传力杆、拉杆的布置及确定填缝的材料,确定板内的配筋量和配筋布置。

(4)面层厚度设计。根据公路等级、材料类型和参数及当地的气候水文地质条件,确定满足设计使用期内使用要求所需的混凝土面层厚度。

(5)路面排水设计。根据路面排水要求及表面排水或内部排水设施的作用与设置条件,选择路面结构排水系统的布设方案,确定排水设施的构造尺寸和材料规格要求。

(6)路肩设计。确定路肩铺面的结构层次、各结构层的类型和厚度。

此外,面层还须具有抗滑、耐磨、平整及减轻车辆轮胎噪声等表面特性。

二、水泥混凝土路面结构设计理论

路面结构设计必须依赖反映各设计(或影响)因素与结构反应之间定量关系的模型。这些设计因素包括荷载、材料性质、环境(温度和湿度)条件以及结构组合和构造等。结构反应可表现为结构的应力、应变和变形量,而这些反应量还必须进一步同路面的各项使用性能及其特性指标相联系,才能衡量所设计的路面结构同使用性能要求的满足或适用程度。

路面使用性能所包含的功能性能中,仅舒适性(平整度)、安全性(表面构造)和经济性(运行费用)与路面的结构性质有关,但并没有明确的定量关系。混凝土路面的结构性损坏,主要有断裂、唧泥和错台以及接缝碎裂三类。板块的断裂可归结为板内的应力超出混凝土的强度而引起,因而可以通过结构分析建立荷载和环境因素作用与断裂损坏之间的定量关系。而唧泥和错台以及接缝碎裂损坏产生的机理较为复杂,很难通过结构分析建立类似断裂损坏的定量关系模型。

混凝土路面结构设计理论,主要探讨如何建立路面结构在荷载和环境因素作用下的力学响应的定量模型。20世纪20年代,Westergaard首先采用Winkler地基板模型建立了荷载应力和温度翘曲应力的计算理论;20世纪40~50年代,前苏联 *интер* 和美国 Hogg 等分别提出了弹性半空间地基无限大板的荷载应力解;20世纪70年代起,随着有限元分析方法和计算机技术的发展,各种复杂边界条件下的弹性地基板的荷载应力和温度应力都可得到满意的数值解,为混凝土路面结构分析提供了强有力的工具。

三、水泥混凝土路面结构设计方法

(一)按照力学分析与经验推断的主辅分类

按照力学分析与经验推断的主辅分类,路面结构设计方法可以大致分为经验—力学法和力学—经验法两类。

1. 经验—力学法

经验—力学法通过修筑试验路,进行行车荷载试验和观测,采集路面结构、轴载和作用次数以及路面使用性能指标的数据,经统计分析整理,建立使用性能指标同路面结构和荷载参数间的经验关系式。同时,进行试验路面结构的力学分析,建立力学指标同路面结构和荷载参数间的经验关系式。组合这两方面关系式而建立的设计模型,可用以预估不同路面结构的使用性能指标随标准轴载作用次数的变化,从而按预定的使用性能要求推求路面的使用寿命,或者确定所需的路面结构尺寸。美国各州公路与运输者协会(AASHTO)的设计方法即是以 AASHO 试验路的试验结果为基础,以服务性能指数为设计指标,以板角应力与轴载累计作用次数的关系为纽带建立起来的。

2. 力学—经验法

力学—经验法将路面结构模型化为理想的结构图式,采用弹性层状体系或弹性地基板等结构分析理论和解析法或有限元法等计算方法,建立荷载和环境作用与路面结构的应力和位移反应之间的计算模型和公式,作为分析各结构设计变量对使用性能指标相当规模影响程度的手段,检验是否达到或超过预定使用性能指标的工具。所选用的使用性能指标,往往是可以用力学指标表征的结构性能,如应力、应变、弯沉等。而设计标准和各项设计参数的确定,需要通过试验标定和使用经验的验证或修正。我国的水泥混凝土路面结构设计方法、美国波特兰水泥协会(PCA)的混凝土路面设计方法、美国陆军的机场刚性道面设计方法,都属于这类方法。

(二)按设计指标和参数分类

按设计指标和参数分类可分为确定型和概率型,路面结构设计方法可分为确定型设计法和概率型设计法。

1. 确定型设计法

确定型设计法是水泥混凝土路面传统的设计方法,即输入定值的材料和结构参数、交通参数及环境参数等,通过结构计算得到在设计使用期内满足设计指标要求所需的面层厚度。我国以往的水泥混凝土路面设计规范采用的设计方法即是一种确定型的设计方法。

2. 概率型设计法

路面结构层由不同混合材料组成,且在现场修筑,因此路面结构的物理力学性质和使用性能具有不确定性。同时,路面结构所处的环境和所承受的交通荷载也随时随地地发生变化,对它们在设计使用期内的影响和作用所作的预估,包含着更大的不确定性。此外,路面设计理论和计算公式同路面结构实际使用状况之间也存在着一定的差异。对于上述不确定性因素,确定型设计方法通过安全系数加以考虑,即对路面结构的抗力进行某种程度的缩小,而对其所承受的外部作用给予某种程度的放大,难以明确所设计路面应达到的可靠程度,以及该路面结构实际具有或可达到的可靠程度,使设计指标的可检验性下降,给施工控制和质量检验带来许多困难。

概率型设计方法引入可靠度的概念,将材料和结构参数的变异性及交通荷载参数的变异性引入结构设计中,可以估计设计方法的总方差及各项设计变量的不确定性在总方差中所占的比重,并使设计结果同施工质量管理 and 控制水平相关联,从而可以更确切地选定路面结构的相关参数,有针对性地提出改善主要设计参数变异性的设计或施工措施。我国 2002 年版设计规范即引入了结构可靠度的概念,改确定型设计方法为概率型设计方法,这对于提高设计和施工质量及管理水平均有着积极的意义。

第二章 水泥混凝土路面基层特性

第一节 概 述

一、基层的工作特性

(一)基层对混凝土面板的影响

基层的设置,可以明显减少面板内的荷载应力和板角挠度。基层厚度或模量越大,面层板荷载应力及板角挠度越小,但板角挠度要比板边应力敏感,如模量提高 1 倍,挠度可减小 29.6%,而应力只减小 5.9%。

此外,基层对接缝传荷能力的影响也会间接影响板内的应力和挠度。基层模量增大,板内的应力和挠度均减小,但对挠度传荷能力的影响要大于应力传荷能力。试验表明,不设传力杆时,柔性基层的缩缝传荷系数为 0.55~0.70,而半刚性基层的缩缝传荷系数为 0.65~0.75。

(二)基层对土基的影响

基层厚度对土基应力的影响没有基层刚度对土基的影响明显:基层厚度一定时,增加基层刚度,可使土基顶面应力急剧减小;当基层刚度很大且保持不变时,增加基层厚度对土基顶面应力产生的影响较小。

在重复荷载作用下路基会出现塑性变形累积,从而改变路面的支承条件。设置基层,一方面可避免渗入路面结构内的水在动载作用下直接冲刷路基土;另一方面使土基变形累积量大大减小,从而减小板底脱空的范围和程度。

(三)基层对路面抗冲刷性能的影响

水泥混凝土路面在使用年限内发生的非疲劳性损坏,绝大多数是重车和水对路面结构的反复作用引起的。具有足够抗冲刷性能和刚度的基层可以有效降低板边缘和角隅处的挠度,减小水对土基的破坏作用。因此,无论在路面的构造方面还是结构设计方面,基层结构性能是路面结构耐冲刷和具有良好的排水能力的核心,可以认为基层材料的选择决定了路面结构的抗侵蚀能力,直接影响路面的使用寿命。

(四)基层对路面初期结构性能的影响

在同一条道路上,基层结构性能对混凝土路面断板率的影响在初期表现得十分明显,随着使用年限的增长,这种影响逐渐减弱。当路面使用年限较长后,基层结构则不再是导致路面破坏的主要原因。而在相同的标准轴载作用次数下,基层刚度大的路面断板率较小。因此,高模量的基层使得路面具有良好的初期使用性能,从而延长混凝土路面的使用寿命。

二、基层的技术要求

水泥混凝土路面基层的主要技术要求有以下几个方面。

(一)足够的承载能力

基层与土基一起构成板下的地基体系,使路面板尽可能在有足够稳定性的基础上工作,能有效发挥板的刚度优势,扩散荷载。在车辆荷载的反复作用下,基层不应产生过多的残余形变,更不应产生剪切破坏(无结合料的粒料基层)或疲劳弯拉破坏(用各种结合料处治的基层)。要满足上述的技术要求,除应具有必需的基层厚度外,还要求基层材料有足够的强度。若基层抗变形能力不足,会产生塑性变形累积,特别是在板角和板边部分,从而使基层丧失连续支撑的作用,还会使面层板中产生额外的附加应力。混凝土路面的基层要具有在车辆荷载和环境荷载综合作用下的稳定性,保证基层在使用寿命期内为面层板提供连续支撑。

(二)足够的抗冲刷能力

交通量和汽车载重的增加对路面基层材料提出了更高的抗冲刷要求。国内外的研究表明,基层材料的冲刷及由此而产生的唧泥现象十分普遍。表面水和地下水会通过多种途径进入水泥混凝土路面结构层内。如果进入的水不能及时地排出,停留在面层与基层的交界面上,就会使基层局部潮湿甚至接近饱和。在行车荷载作用下,路面结构层内或基层材料中的自由水会产生相当大的动水压力。这种有压水会冲刷基层材料中的细料。一次冲刷的量是很小的,但由于行车荷载的反复作用,就会积少成多,在接缝中形成细料浆。细料浆逐渐被压挤出接缝,就形成接缝处的唧泥和错台现象。显然,路面结构层内自由水产生的水压力随行车荷载的增大而增大,同时冲刷量随行车荷载作用的次数而增加。

(三)优良的接缝传荷能力

实践证明,接缝的传荷能力不仅取决于接缝的结构形式,还与基层的刚度、强度、稳定性有很大的关系。刚度高的基层其传荷能力明显高于刚度低的基层。根据实测资料,当重型载重汽车以 30~50km/h 的速度行驶于柔性基层上的水泥混凝土路面上时,其动荷系数为 1.15~1.25,而在半刚性基层上则为 1.05~1.10。

(四)缓解土基变形,防止土基冻胀

土基是整个路面的下承层,其良好的稳定性和均匀有力的支撑是保证水泥混凝土路面使用性能的一个关键。除了选用优良的土质和确保适宜的压实度外,通过设置基层来减小土基在轴载作用下的不均匀沉降也是一个好方法。基层不仅能够扩散传递到土基表面的荷载,而且作为土基上的一层防冻层和排水层,还可以减少环境温度和湿度的影响。

三、基层类型

基层类型可以从不同的角度来划分,按基层材料类型不同可分为无机结合料稳定类、有机结合料稳定类和无结合料的粒料类。无机结合料稳定类是指采用无机结合料(石灰、水泥)稳定集料或稳定土类,如水泥稳定类、石灰稳定类和石灰(或水泥)粉煤灰稳定类等;有机结合料稳定类包括沥青贯入式碎石、热拌沥青碎石或乳化沥青碎石混合料以及沥青

混凝土等;无结合料的粒料类包括泥结碎石、泥灰结碎石、填隙碎石和级配碎(砾)石等。

从材料力学特性的相似性出发,可将基层划分为柔性基层、半刚性基层与刚性基层。柔性基层其刚度较小,抗弯拉强度较低或没有抗弯拉能力,在荷载作用下产生的变形较大,不易产生由温度和湿度变化引起的收缩裂缝,主要包括未经处治的粒料类基层和沥青稳定类基层;半刚性基层是指用石灰或水泥等无机结合料稳定土或碎(砾)石及含有水硬性结合料的工业废渣修筑成的基层,其强度和刚度随着时间的推移而有较大幅度的增长,但是最终的强度和刚度仍低于水泥混凝土;刚性基层主要是指贫混凝土基层和碾压混凝土基层,这类基层强度高、回弹模量大,具有良好的荷载扩散分布能力,在荷载作用结构层下变形极小。其中,半刚性基层在我国水泥混凝土路面中应用最为广泛。

第二节 柔性基层

一、概述

(一)粒料类

粒料类基层可分为嵌锁型粒料基层和级配型粒料基层。

嵌锁型粒料基层包括填隙碎石、泥结碎石等,是指用筛分成几种不同规格的大、中、小单一尺寸碎石分层铺筑、分层碾压而成的基层,通常首先铺大碎石,大碎石经碾压稳定后,撒铺嵌缝碎石,继续碾压稳定,然后再撒铺小碎石,并碾压稳定。实际上,填隙料很难靠压路机将空隙填满,且多遍振动碾压使潮湿填隙料下移而造成主集料浮到填料层上,并严重丧失稳定性。因此,嵌锁型粒料不宜用做水泥混凝土路面的基层,目前已很少使用。

级配型粒料基层是指由级配符合技术规范规定的各种大小不同粒径集料组成的混合料,经压实而形成的基层,包括级配碎石、级配砾石、级配碎砾石等。级配型粒料基层由于在荷载多次重复作用下会产生塑性变形积累,从而使面层板出现脱空,失去支撑而产生断裂破坏,因此只适用于中等或轻交通量混凝土路面的基层。

(二)沥青稳定类

沥青稳定粒料基层是由一定级配的矿料与适量的沥青组成的混合料经拌和摊铺形成的基层,按其使用特性可分为密级配与开级配两种类型。

由于采用沥青作为结合料,沥青稳定粒料基层的抗冲刷性能得以显著提高,同时,由于其刚度小于半刚性基层,可以克服半刚性基层材料在抗冲刷和刚度之间的矛盾,所以目前已成为特重和重交通水泥混凝土路面备选基层之一。

二、强度形成机理及影响因素

(一)粒料类

1. 强度形成机理

决定粒料类基层力学性质的因素主要有集料的摩阻作用、嵌锁作用和黏结作用。摩阻作用本身与所产生的应力以及颗粒接触面上能达到的摩阻力有关。应力与集料层的密实度和所处的位置有关,而集料层的密实度则与颗粒级配和形状有关。颗粒接触面上能

达到的摩阻力与颗粒的强度和颗粒的表面纹理有关。因此,其强度构成可由库仑公式表示:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (2-1)$$

式中 τ ——抗剪强度,MPa;

c ——黏结力,MPa;

σ ——正应力,MPa;

φ ——内摩阻角,°。

此外,集料的含水量、加工和摊铺集料的均匀性、碾压密度以及下承层的承载能力等也是影响集料结构层力学性质的重要因素。

2. 强度影响因素

级配集料的强度和抗变形能力与集料的类型(碎石、碎砾石或砾石)、集料的级配,特别是其中的最大粒径、5mm 以下颗粒的含量、0.075mm 以下颗粒的含量有关。

1) 集料的类型

集料的类型决定了集料颗粒的强度和集料颗粒的表面纹理,从而影响着集料的摩阻力。因此,就力学性质和稳定性而言,级配碎石是级配集料中最好的材料,也是无结合料中最好的材料,级配砾石则是级配集料中最次的材料,级配碎砾石处于前两者之间。

2) 集料的级配

粒料类基层结构主要有以下三种情况(见图 2-1):

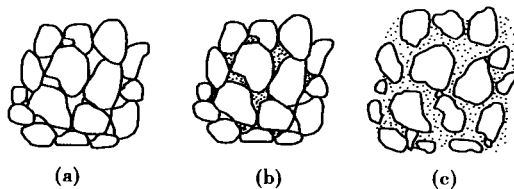


图 2-1 混合料的三种状态

(1)混合料为骨架空隙结构,如图 2-1(a)所示,其强度和稳定性依赖颗粒之间的摩阻力。此类混合料密实度较低,缺乏黏结性,但透水性好,不易冰冻。由于这类材料缺乏黏结性,施工时压实困难。

(2)混合料为骨架密实结构,如图 2-1(b)所示,它含有适量的细料,以填充集料间的空隙。这类混合料仍靠集料间的摩阻力获得稳定性,其抗剪强度及密实度得到提高,透水性降低,施工时较第一种状态易于压实。

(3)混合料为密实悬浮结构,如图 2-1(c)所示,它含有大量细料而使粗颗粒之间不能接触,即集料“浮”在细料之中。这类混合料施工时很容易压实,但其密实度较低,难以透水,易冰冻,强度和稳定性受含水量影响较大。

3) 细料含量

图 2-2 中所示为细料含量不同的砾石土混合料的密实度和 CBR(加州承载比)试验结果。图中密实度为各相应压实曲线上的最大密实度值,而 CBR 值为试件浸湿后的测定结果。由图 2-2 可以看出,压实功能增加时,密实度和 CBR 值均增加,而且密实度和