

The Technology of Design and Construction for
New RCC Base
of Highway Asphalt Pavement

高速公路沥青路面 新式碾压混凝土 基层设计施工技术

吴传海 许新权 周勇 著



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

高速公路沥青路面新式碾压混凝土 基层设计施工技术

吴传海 许新权 周 勇 著



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

内 容 提 要

本书系统介绍了高速公路沥青路面新式碾压混凝土基层的设计方法与施工技术,主要包括:碾压混凝土基层沥青路面结构设计,新式碾压混凝土基层材料配合比设计与路用性能,新式碾压混凝土基层施工工艺及质量控制,碾压混凝土基层沥青路面试验路铺筑效果及示范工程等。本书介绍的新式碾压混凝土基层设计施工技术对提高国内沥青路面的性能,延长路面的使用寿命提供了一个新的途径。

本书可供从事道路工程科研、设计、施工及监理的技术人员使用,也可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路沥青路面新式碾压混凝土基层设计施工技术/
吴传海,许新权,周勇著. — 北京:人民交通出版社股
份有限公司,2016.7

ISBN 978-7-114-12988-9

I. ①高… II. ①吴… ②许… ③周… III. ①高速公
路—沥青路面—设计 ②高速公路—沥青路面—道路施工
IV. ①U416.217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 095684 号

书 名:高速公路沥青路面新式碾压混凝土基层设计施工技术

著 作 者:吴传海 许新权 周 勇

责任编辑:卢俊丽 闫吉维

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:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:9.25

字 数:220 千

版 次:2016 年 7 月 第 1 版

印 次:2016 年 7 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12988-9

定 价:36.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

我国高速公路多采用半刚性基层沥青路面结构,这对提高路面结构整体刚度、降低公路工程初期造价起到了重要作用。然而,由于传统半刚性基层材料自身缺陷的存在,广东省乃至全国大部分地区半刚性基层沥青路面在使用2~3年内性能尚好,但在通车营运5年之后会出现大量的裂缝病害,经过7~8年之后就开始出现唧泥、破碎等现象,需要进行路面大修才能维持其服务水平。碾压混凝土基层相比传统的半刚性基层具有以下优点:①强度和耐疲劳性能优于传统的半刚性基层;②采用预切缝的形式释放温度和干缩应力,可减少不规则裂缝;③抗冲刷性能较优,可改善多雨潮湿地区的沥青路面唧泥、坑槽等病害;④施工期强度高,传统半刚性基层在施工车辆的作用下会出现一定程度的表面松散,而碾压混凝土基层的早期强度较高、完整性好,与封层的黏结紧密,能够保证沥青路面各结构层的整体受力。

鉴于此,广东华路交通科技有限公司(原广东省交通科研所)于2010年立项开展“基于碾压混凝土基层的沥青路面设计及应用研究”,依托广东云梧高速公路成功铺筑了双幅7.5km的碾压混凝土基层试验路。课题通过理论分析、室内试验研究和实体工程验证,形成了以下成果:提出了碾压混凝土基层耐久性沥青路面结构设计控制指标和方法,推荐了耐久性沥青路面典型结构;提出了高效率连续拌和式碾压混凝土材料的配合比设计方法;总结了一套新式碾压混凝土基层施工工艺;制定了新式碾压混凝土基层施工质量控制关键指标与标准;制定了新式碾压混凝土基层的施工定额。研究成果在广东云罗高速公路、广乐高速公路、梅大高速公路等重点项目上进行了推广使用,推广使用里程超过300km。

本书在总结归纳相关研究成果的基础上,系统介绍了我国沥青路面的发展现状及面临的主要问题、碾压混凝土基层沥青路面结构设计、碾压混凝土基层材料配合比设计与路用性能、新式碾压混凝土基层施工工艺及质量控制、碾压混凝土基层沥青路面试验路铺筑效果及示范工程等内容,旨在为提高沥青路面性能、延长路面的使用寿命做出贡献。本书可供从事道路工程科研、设计、施工及监理的技术人员使用,也可供高等院校相关专业的师生参考。

本书共分为7章,其中第1、6章由吴传海撰写,第5、7章由许新权撰写,第3章由周勇撰写,第2章由吴建良撰写,第4章由伍宇撰写。全书的审阅和统稿由吴传海完成。

本书的研究工作得到了广东省交通集团有限公司黄建跃总工程师的大力支持和帮助,课题研究过程中舒翔教授级高工、刘宇博士做了大量的指导工作,在试验路实施的过程中得到了广东云梧高速公路有限公司、广东省长大公路工程有限公司等单位的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于作者的知识及水平有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者不吝指正,不胜感谢。

著 者
2016年1月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 我国沥青路面发展现状	1
1.2 半刚性基层存在的主要问题	2
1.3 碾压混凝土应用概况	4
1.4 新式碾压混凝土基层	9
第 2 章 碾压混凝土基层沥青路面结构设计	11
2.1 碾压混凝土基层沥青路面结构	11
2.2 碾压混凝土基层沥青路面荷载应力分析	12
2.3 碾压混凝土基层沥青路面温度应力分析	24
2.4 碾压混凝土基层沥青路面结构设计方法	30
2.5 碾压混凝土基层沥青路面典型结构	35
第 3 章 碾压混凝土基层材料配合比设计与路用性能	37
3.1 碾压混凝土配合比设计方法简介	37
3.2 碾压混凝土性能影响因素	40
3.3 碾压混凝土性能试验	50
3.4 碾压混凝土配合比设计方法	58
3.5 碾压混凝土配合比设计应用示例	61
第 4 章 新式碾压混凝土基层施工工艺	66
4.1 碾压混凝土的拌制与运输	66
4.2 碾压混凝土的摊铺	70
4.3 碾压混凝土的压实	72
4.4 碾压混凝土基层的养生与切缝	77
4.5 碾压混凝土基层防反射裂缝技术	78
第 5 章 新式碾压混凝土基层施工质量控制	82
5.1 碾压混凝土基层原材料质量控制	82
5.2 碾压混凝土基层施工过程质量控制	84
5.3 碾压混凝土基层施工质量控制与质量标准	87
第 6 章 碾压混凝土基层沥青路面试验路铺筑效果及评价	90
6.1 试验路概况	90
6.2 碾压混凝土基层试验路铺筑质量	90
6.3 试验路防反射裂缝措施及效果	102

6.4	试验路路面使用性能	108
6.5	碾压混凝土基层沥青路面经济性	110
第7章	碾压混凝土基层沥青路面应用示范工程	118
7.1	云罗高速公路碾压混凝土基层沥青路面	118
7.2	梅大高速公路碾压混凝土基层沥青路面	123
7.3	广乐高速公路碾压混凝土基层沥青路面	127
参考文献		138

第 1 章 绪 论

1.1 我国沥青路面发展现状

改革开放 30 多年来,是我国高速公路历史上交通发展速度最快、规模最大、最具活力的时期。我国仅用短短十多年的时间走完了发达国家半个多世纪的发展历程。根据交通运输部统计资料,截至 2014 年年底,全国公路总里程 446.39 万 km,其中,二级及以上公路里程 54.56 万 km,高速公路里程 11.19 万 km,农村公路(含县道、乡道、村道)里程 388.16 万 km。

路面结构是公路建设的重要组成部分,在我国高等级公路中,沥青路面结构是高速公路的主要路面形式。因此,合理选择沥青路面的结构形式,是减少沥青路面早期损坏、提高路面耐久性、延长使用寿命的重要措施之一。伴随着高速公路事业的发展,我国科研工作者也积极开展高速公路沥青路面的研究,并取得了众多喜人的成果,其中,关于沥青路面结构设计施工方面的研究是广大道路工作者研究的热点。我国早期的沥青路面结构大量采用半刚性基层结构,这是由当时我国的国情决定的。由于半刚性基层具有整体强度高、板体性好等优点,使得沥青路面具有很高的承载能力。但是,近几年高等级公路,特别是高速公路的使用实践证明,传统半刚性基层沥青路面客观存在一些不可避免的技术问题,如半刚性基层强度衰减过快、对重载较为敏感,以及开裂、唧泥等现象已引起道路界同行的重视,国内学者开始转向柔性基层、复合式基层路面的研究。

通过近几十年的发展,我国沥青路面结构已由传统的薄沥青层和半刚性基层组合成的单一结构形式发展成为多种结构形式并存的新时期,特别是交通运输部公路局发布的《关于防治高速公路沥青路面早期损坏的指导意见》(交公路发[2005]523 号)指出,高速公路沥青路面应增加沥青层厚度,同时研究和推广应用柔性沥青路面结构,以减少早期损坏,提高沥青路面耐久性。在此之后,我国沥青路面结构形式走向新的发展局面。当前我国新建高速公路沥青路面结构形式如图 1.1-1 所示。

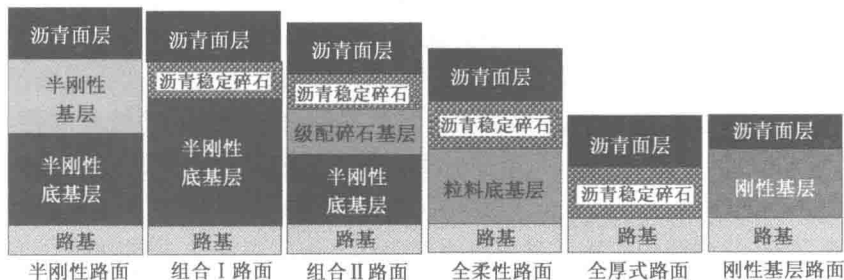


图 1.1-1 当前我国新建高速公路沥青路面结构形式

2005 年以来,我国沥青路面主流发展方向是由薄沥青层和强而厚的半刚性基层组成的沥青路面结构,向柔性基层形式、厚沥青层方向发展;同时,沥青材料由单层改性沥青向双层改性沥青方向发展,而且南方由 70 号沥青向 50 号、30 号低标号沥青发展,甚至部分采用三层改性沥青。

当前我国高速公路总里程中,包含 6 种结构的沥青路面结构形式,其中比例最大的是传统半刚性沥青路面结构,约占 59.6%,这主要是由于 2005 年之前,我国高速公路基本上 80% 以上都是这种结构;其次是组合式 I 路面,其主要特征是沥青层较厚,半刚性基层减薄或作为底基层,实际上 2005 年之后 75% 以上新建高速公路采用这种结构;2006 年之后,级配碎石作为下基层的组合式 II 路面开始逐渐得到应用,如福建、河北、吉林、辽宁、云南、贵州、重庆、湖北、湖南、广西、广东等省(自治区、直辖市),目前总里程达到 7 000km 以上。对于厚沥青层厚级配碎石(28cm 以上)的全柔性路面以及刚性基层沥青路面也都有应用,但是尚未成为主要结构形式之一。全厚式沥青路面在我国仅限于试验路,很少有实体工程大面积应用。我国高速公路沥青路面不同结构形式比例(2012 年)如图 1.1-2 所示。

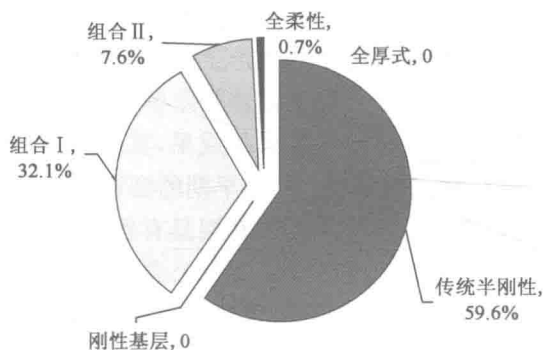


图 1.1-2 我国高速公路沥青路面不同结构形式比例(2012 年)

1.2 半刚性基层存在的主要问题

虽然我国公路事业得到了空前的发展,而且高等级公路沥青路面总体使用状况是比较好的,但是,由于我国高等级公路的建设起步晚、技术储备少、经济基础差,以及我国的气候和交通荷载条件恶劣、优质的道路石油沥青缺乏等原因,部分公路通常达不到设计寿命就发生损坏,有的高速公路甚至营运 2~3 年就开始出现较严重的车辙、裂缝、坑槽、泛油等病害,导致路面需要进行大规模的养护,造成大量的维修费用、用户费用的浪费,给社会带来巨大的经济损失,同时带来不良的社会影响。因此,延长路面的使用寿命不仅是经济效益问题,更是一个社会关注的热点问题,如何设计和建设具有更长寿命的高速公路,是广东省乃至全国公路建设管理者目前最为关心的问题。

根据调查发现,我国路面使用质量和使用寿命达不到应有水平,其主要原因是基层强度不足或基层强度衰减较快造成的。我国传统的高速公路沥青路面多为半刚性基层沥青路面结构。不可否认,半刚性基层的使用,大大增强了路面结构的整体抗变形能力,结构层底面的弯拉应力

也变得微不足道或几乎不受弯拉应力;同时,因半刚性基层能够充分利用当地较经济的材料,也大大降低了公路工程的初期造价。但是,我国传统的半刚性基层沥青路面却存在以下一些问题:

(1)传统半刚性基层易产生不规则裂缝,并反射至沥青面层。

半刚性基层由于其材料本身的特性,不可避免地会出现收缩裂缝,这种裂缝也必然会反射到沥青面层上来(图 1.2-1)。据调查统计,我国沥青路面裂缝病害在通车的前两三年表现得并不突出,但是通车四五年以后,裂缝将成为沥青路面的主要病害,并由此而导致沉陷、唧泥(图 1.2-2)、松散等众多病害的产生,造成高速公路的早期破坏。此外,由于这些裂缝发生的时间不确定,出现的位置不规则,这些不规则的裂缝会进一步增加路面发生病害的概率,也会给养护工作带来较大的困难。



图 1.2-1 不规则反射裂缝



图 1.2-2 反射裂缝处唧泥

(2)传统半刚性基层材料抗冲刷性能不足,易导致唧泥、坑槽等病害。

半刚性基层在公路路面开裂渗水或排水不畅的情况下,在面层底部与半刚性基层界面上会发生存水现象。由于传统半刚性基层不耐冲刷性,水在动力荷载作用下侵蚀半刚性基层,路面就会发生唧泥、翻浆现象,从而引起路面更大范围的坑槽、开裂,导致路面出现严重的破坏。特别是对于南方多雨地区的沥青路面,这更是一个严峻的考验。

(3)传统半刚性基层交叉施工时易出现表面松散,使得层间出现软弱滑动夹层。

我国修建高速公路,工期一般都比较短,赶工现象时有发生,使得交叉施工几乎不可避免,导致层间污染严重,见图 1.2-3。而我国传统半刚性基层早期强度较低,在施工车辆的碾压下不可避免地会出现一定程度的表面松散,松散层会将本应层间连续的路面结构变为滑动结构,使路面处于不利的受力状态(图 1.2-4)。此外,松散的基层也会使其上部的封层黏结力降低,从而失去封水的作用。

(4)传统半刚性基层强度衰减较快,对重载交通作用较为敏感。

传统半刚性基层虽然具有很好的整体性,但是在使用过程中,半刚性基层材料的强度、模量会由于干湿和冻融循环,在反复荷载的作用下因疲劳而逐渐衰减(图 1.2-5)。按照南非的理论,半刚性基层的状态是由整块向大块、小块、碎块变化。因此,目前我国这种按照整体结构的理念设计路面是偏于不安全的。另外,半刚性基层沥青路面对重载车来说具有更大的轴载敏感性。对于经济发达广东地区,交通量大,重载车比例高,传统的半刚性基层沥青路面难以

为继。图 1.2-6 为承载力不足引起的坑槽。



图 1.2-3 施工污染



图 1.2-4 半刚性材料表面松散



图 1.2-5 半刚性强度衰减



图 1.2-6 承载力不足引起坑槽

(5)传统半刚性基层沥青路面损坏后维修困难,全寿命周期费用较高。

半刚性基层路面发生的病害一般是结构性破坏,对这些病害进行修复往往要采用“开膛破肚”的方式,这种维修方式实施起来困难较大,费用较高,直接导致其全寿命周期内的费用增加。

工程实践表明,由于传统半刚性基层材料自身缺陷的存在,使得广东省乃至全国大部分地区半刚性基层沥青路面在使用一两年内性能尚好,但在通车营运三五年之后会开始出现大面积的裂缝病害,经过七八年之后就开始出现唧泥、破碎现象,十年左右路面就开始产生破碎、局部出现沉陷等严重病害,路面就需要进行大修以维持其服务性能。

1.3 碾压混凝土应用概况

1.3.1 国外应用简介

碾压混凝土(Roller Compacted Concrete,简称 RCC)是一种单位用水量较少、坍落度为零的超干硬性混凝土,适用于大体积混凝土工程。自 1981 年日本建成世界上第一座碾压混凝土

重力坝——坝高 89m 的岛地川坝以来,碾压混凝土技术在世界各国得到了广泛应用。

碾压混凝土应用于道路的发展则可追溯到第一次世界大战前后,最早应用于木材储存场、停车场、森林与矿山运输道路、军事交通道路等工程中。在 20 世纪初,比利时等欧洲国家已开始利用碾压混凝土来修筑水泥混凝土路面,但直到 20 世纪 70 年代石油危机导致石油沥青价格上涨,道路碾压混凝土才真正得以发展,其原因和背景在于:

- ①沥青价格高涨。
- ②摊铺机等施工机械的技术性能得到了较大的提高。
- ③碾压混凝土筑坝技术日趋完善和普及。
- ④道路建设、维修费用迅速增长,不断要求使用开发费用低、耐久性好的道路材料。
- ⑤重车和大交通量的发展对基层的要求日益提高。

20 世纪 70 年代中期,美、英、日等国家开始对碾压混凝土进行研究,有许多国家已进入应用阶段,如西班牙、法国、挪威、瑞典、美国、加拿大、日本、澳大利亚等。

1975 年 9 月,由美国陆军工兵部队水路试验站主持进行振动式和静载式压路机在干硬性水泥混凝土路面上振碾和压碾效率的测试。经测定,采用重型振动压路机振碾干硬性混凝土非常有效;而且,这种经振碾后的混凝土强度性能优良,路面表面平整度、表面纹理和路面承受的交通量能满足对次要道路和街道的耐磨层、牵引道、坦克试验场的使用要求。这种混凝土也可作为任何路面体系的基层。

1976 年,加拿大首次在不列颠哥伦比亚省铺筑碾压混凝土路面 $70\,000\text{m}^2$,其承载能力和强度全部超过设计要求。使用过程中,路面虽有裂缝出现,但不影响使用,至今没有发生冻融破坏。1981 年挪威开始在公路上应用碾压混凝土。相继,碾压混凝土路面在相当多的国家得到采用,如美国、法国、日本等。据统计,截至 1986 年,碾压混凝土路面施工总面积超过 800 万 m^2 ,其中施工面积西班牙 450 万 m^2 ,法国 230 万 m^2 ,加拿大 80 万 m^2 ,美国 40 万 m^2 ,瑞典 14 万 m^2 。

1985 年西班牙某高速公路拓宽车道的施工,在基层为 15cm 厚的水泥稳定层上铺筑 23cm 厚的 RCC 层,RCC 层上加铺 5cm 厚的热拌沥青混合料。安达卢西亚高速公路上,设置 20cm 的水泥稳定层,其上铺设 25cm 厚的 RCC,为了养生和兼作黏层油,洒布了沥青乳液,上层铺设了 6cm 沥青混合料联结层和 4cm 沥青混凝土。为防止反射裂缝的产生,在联结层和表层的沥青混凝土之间,使用了起加固作用的织物类材料。1984~1986 年间,西班牙在高等级干线公路上,将 RCC 作为路面下层,上层铺筑沥青层,铺设面积已经达到 $3.0 \times 10^5\text{m}^2$ 。1989~1991 年,西班牙在马德里通往法国边界的某高速公路上修筑 RCC-AC 复合式路面,双层式 AC 层厚达 12cm。

20 世纪 80 年代中后期,碾压混凝土在日本也得到迅速发展。1985 年,日本铺筑山阳道试验段,试验段长 99.5m、宽 28m,面积 $2\,540\text{m}^2$ 。1987 年,建设部关东技术事务所与日本水泥协会合作,进行了预想为重交通道路上的碾压混凝土试验路施工,取得了初步成果。1988 年,又在关东技术事务所院内道路上进行了预想为轻交通道路上的第二次碾压混凝土试验路施工。1989 年,日本铺筑了多条碾压混凝土路面试验段:①国道 18 号线上新干道试验路,国道 18 号线是连接高崎与新潟市的本州横向干线道路,该试验路是北陆地区国道 17 号线试验路后的第二条碾压混凝土试验路,试验路长 150m,宽 9.5m;②九州高速公路大手木隧道及日光谷隧道



铺筑试验段,试验段在大手木隧道 402m 长,在日光谷隧道 217m 长,宽均为 7.61m,设计车速均为 80km/h;③四国高速公路立川隧道试验路,该试验路位于爱媛县交通量很大的高速公路隧道处,建成后 2 个月累计通过大型车 1 万辆;④宇部美祢高速公路特大型车专用道路试验路,该试验路长 200m,宽 8m。试验路经过 3 个月的使用,大型车换算轴数 39 万辆,除路表稍有细颗粒飞散外,完全保持良好的状态。日本近年来碾压混凝土用于道路的比例逐渐增大,但用于高等级公路仍然较少。

澳大利亚的塔斯马尼亚州于 1986 年 11 月开始试验铺筑高强度碾压混凝土路面,至 1987 年 10 月共完成试验路铺筑 60 000m²。其中包括邓肯煤矿的运输公路、塔斯马尼亚州电力—冶金公司的一些停车场和材料堆存场、霍巴特附近国道上茶树路试验路段、霍巴特海滨公路、动力艇码头、戈里叶特水泥厂停车场和公路等。试验路段碾压混凝土强度高且强度增长快,部分试验路在铺筑后 2h 内即开放交通。此后,碾压混凝土筑路技术在澳大利亚得到推广应用。1989 年 1 月,澳大利亚 Penith 市在水泥稳定基层上修筑了 RCC-AC 复合式路面,RCC 厚 10cm,抗压强度为 30MPa,AC 层厚 17.5cm。1989 年 11 月,Orange 市直接在土基上修筑 RCC 路面厚 20cm,在其上加铺沥青磨耗层。1991 年 11 月,Lake Macquarie 市在 Medealf 街道修筑了长 700m、宽 12m 的 RCC-AC 复合式路面,该街道路面因长期受潮和重交通作用已被严重破坏;新建的 RCC-AC 路面结构为 20cm 的水泥稳定粒料基层,20cm RCC 层,4cm AC 层,设计使用寿命为 20 年,1992 年发现了几条反射裂缝,但其宽度小于 1mm,并未对使用性能产生影响。巴西一些城市也在市区承受中等交通和重交通的道路上成功铺筑了这种类型路面。

目前,北美和欧洲是世界上道路碾压混凝土应用最多、技术最成熟的地区。美国在波特兰国际机场道路工程中首次将道路碾压混凝土直接用于道面,加拿大是目前世界上道路碾压混凝土工程应用最多的国家。瑞典通常将道路碾压混凝土用于一般公路、货场、车站等;西班牙将碾压混凝土用于高速公路沥青面层(通常 8cm 厚)的下层结构;澳大利亚则将道路碾压混凝土用于高速公路路基等。日本道路协会于 1990 年提出了《碾压混凝土路面技术指南》并初步解决了其平整度难题。2002 年印度在从 Ropar 至 Punjab 公路的面层修筑中首次采用了粉煤灰取代量高达 50% 且 28d 抗压强度、抗弯拉强度分别高达 41.6MPa、7.6MPa 的新型高掺量粉煤灰碾压混凝土,取得了很好的技术经济效果。近年来,法、英等国将纤维增强技术应用于道路碾压混凝土,研发了可实现无缝路面的钢纤维碾压混凝土,并由法国申请了技术专利 FRCCTM,推动了碾压混凝土新技术的发展。

1.3.2 国内碾压混凝土应用简介

由于碾压混凝土路面具有技术经济上的诸多优势,将其应用于高等级公路的尝试成为公路建设一个引人注目的热点。我国在 20 世纪 80 年代初开始碾压混凝土路面铺筑技术的研究,先后有十多个省市列项研究,把碾压混凝土路面作为研究重点之一,对碾压混凝土路面的强度形成机理、材料组成、施工工艺及路用性能等进行了系统研究。

1981 年,交通部公路科学研究院与安徽省公路设计院合作,承担了“振动碾压混凝土路面技术的研究”课题。开始对振动碾压混凝土进行系统、详细的室内研究试验,并在安徽、江苏、山西、河北等省铺筑试验路 10 余公里。在这次研究中,不仅在理论上对振动碾压混凝土的形

成机理进行了探讨,而且对施工工艺过程也作了系统的研究,还提出了振动碾压混凝土路面的施工细则草案。特别对单层全碾式和上塑下碾双层施工路面进行了研究,所提出的上层低塑混凝土和下层振动碾压混凝土的双层施工新工艺,兼二者之所长,适宜在高等级道路路面工程中使用。同时指出,在二、三级道路工程中,可直接使用全碾式单层碾压混凝土路面。该项研究成果,已于1987年5月通过部省级鉴定,确认这两种碾压式施工路面,可在公路、城市道路、机场、停车场等工程建设中推广使用。

1988年开始的国家科技工作引导性项目《我国水泥混凝土路面发展对策及修筑技术研究》中,又组织江苏省公路局、山西省公路局和河南省交通厅等单位对碾压混凝土路面修筑技术进行了研究。从施工机械来看,当时进口的大型沥青摊铺等机械还比较少,即使拥有这些机械的单位一般也不愿用来铺筑碾压混凝土路面,只能采用人工或小型机械施工,路面质量难以提高。因此,这一时期的研究成果主要为采用人工或中小型配套机械施工的各种复合式碾压混凝土路面或用于较低等级公路的全厚式碾压混凝土路面施工技术。

随着高等级公路的迅速发展,进口的高密度摊铺机、振动压路机等大型设备越来越多,国内的一些筑路机械生产厂家也纷纷研制或引进技术生产施工机械,因此公路工程单位的大型机械保有量迅速增加,再加上京津塘高速公路等一些工程明确规定水泥稳定基层必须采用“厂拌机铺”,改变了一些工程技术人员认识,从而为我国高等级公路碾压混凝土路面施工中采用高密度摊铺机等大型机械创造了条件。1991年在国家“八五”重点科技项目(攻关)《高等级公路水泥混凝土路面材料及应用开发研究》中,交通部组织交通部公路科学研究所、山西省交通厅和广西壮族自治区交通厅等单位进行了碾压混凝土路面成套技术的研究,以应用于高等级公路为目标,从材料、施工技术、抗滑技术、接缝技术等方面进行了系统研究,在路面平整度、抗滑及接缝等方面取得了突破性进展,并取得了一系列配套成果,初步形成了高等级公路碾压混凝土路面施工成套技术。

路面碾压混凝土技术研究成果的取得,大大促进了碾压混凝土在我国道路工程中的发展应用:有的将碾压混凝土直接应用于道路的面层,有的则将其应用于复合式路面的下面层,还有的应用于水泥路面或沥青路面的基层,有的甚至用于路基工程等。

(1) 碾压混凝土在面层中的应用研究

碾压混凝土可用于道路面层,目前主要是用于一般新建公路(通常是二级及二级以下公路)面层与沥青混凝土共同构成(RCC+AC)复合面层,也用于高等级公路面层维修与改造等。其中,碾压混凝土与沥青混凝土共同构成高等级公路(RCC+AC)复合面层的应用相对较早。

1985年安徽合肥芜湖公路上铺筑了长460m、宽3.75m的碾压混凝土路面,取得了良好的效果,并通过部级鉴定。安徽省合派路,是安徽省合肥高新技术开发区工业走廊的重要组成部分,采用四幅路结构,全长7.5km,宽60m,路面结构采用碾压混凝土与沥青混凝土结构。

20世纪90年代初,广西先后在桂平、田阳、伊岭岩、合浦铺设全厚式碾压混凝土路面;1996年在桂柳高速公路上铺筑工业性试验路,其平整度满足高速公路要求标准;1996年在324国道南宁至柳州大修工程中,采用下碾压上沥青表处复合式路面,取得良好效果,并通过鉴定。

1992年,湖北省武汉市武昌区市政建设管理局在武昌东亭一路施工了一段长80m、宽8m上塑下碾双层复合结构的试验路。与此同时,在室内对碾压混凝土与常规混凝土的性能进行了对比试验研究。试验研究结果与施工实践表明,碾压混凝土用于市政道路,其性能优于常规

混凝土。

1997年广深珠高速公路的虎门大桥引道工程便采用了碾压混凝土路面结构。该引道总长11.172km,路面采用“24cm 碾压混凝土+5cm 沥青混凝土”的复合式面层结构,其中的碾压混凝土采用超量取代系数1.2的粉煤灰碾压混凝土,设计抗弯拉强度按高速公路路面要求取5.0MPa。施工现场抽样7d抗弯拉强度为5.5MPa、28d抗弯拉强度为6.8MPa,满足设计要求,路面平整度控制在允许偏差范围内。整个工程铺筑粉煤灰碾压混凝土122000m³,节约资金约250万元以上。至2006年,经过近十年的超限服役,该路段路面出现了较严重的病害,其中大部分路段出现了严重的纵向裂缝、断板,甚至沉陷等破坏,主车道由于货车较多且超载严重,导致大部分碾压混凝土板破碎较严重。2007年对该路段进行了大修,大修中对破损板进行了拆除,超车道由于车流量较小,碾压混凝土板仍可继续使用,对碾压混凝土板上加铺应力吸收层后实施罩面,使碾压混凝土继续发挥作用。

1999年年底通车的厦门海沧大桥引道工程采用了RCC+AC复合式路面结构。安徽合肥高新技术开发区工业走廊的合派路全长7.5km,设计为双向四车道,路面结构采用碾压混凝土与沥青混凝土结构,由垫层、基层、碾压混凝土和沥青混凝土所组成。

近年来,碾压混凝土开始在高等级公路面层维修与改造工程中得以应用,太旧(太原—旧关)高速公路维修工程便是其中一例。该路是山西省第一条高速公路,全长140.7km,1996年6月通车后,由于大型货运车辆的超负荷通行,路面和桥梁损坏严重,路况服务水平严重下降,于2004年5月起进行为期两年的路面分阶段大修工程。在路面维修的面层施工中多处采用了新型钢纤维碾压混凝土,设计与施工过程由法国FIT公司提供技术咨询。所用钢纤维碾压混凝土水泥用量和用水量均较低,分别在280kg/m³、110kg/m³左右,每方混凝土中掺入30kg直径0.75mm、长60mm的钢纤维。钢纤维碾压混凝土28d实测强度高于35MPa。该高速公路的维修工程于2006年9月完工,路面钻芯取样检验结果表明,钢纤维碾压混凝土对路面面层起到了很好的修复效果。

(2) 碾压混凝土在基层中的应用研究

碾压混凝土适用于各类、各级道路的路面基层,特别是城市道路的路面基层。将碾压混凝土用于市政道路基层,具有施工速度快、开放交通早等独特优点。

2002年,在上海云南中路、黄家路等道路的下水道改建工程中,将碾压混凝土用于城市道路路面基层的修筑。其中,云南中路工程共铺设道路碾压混凝土144m²、黄家路工程共铺设道路碾压混凝土384m²,所用碾压混凝土基层厚度为25cm,置于15cm的砾石砂底基层之上。

2005年11月,京珠国道主干线粤境高速公路甘塘至太和段路面扩建工程右幅K123+859.5~K124+080段铺筑了碾压混凝土基层试验路。碾压混凝土以28d的抗弯拉强度作为设计指标(≥ 3 MPa),并以7d的抗压强度作为施工质检指标(≥ 10 MPa)。施工所采用的配合比为,每1m³混凝土材料用量:粗碎石 $G=1363$ kg(1号料:2号料:3号料=28:14:6),细碎石 $S=704$ kg(4号料,如施工现场有河沙,可代替部分4号料石屑),水泥(“利达多”32.5号普通硅酸盐水泥) $C=220$ kg,水 $W=92.4$ kg(全干状态), $W/C=0.42$,粗细集料按饱和面干吸水率计算实际用水量。配置的碾压混凝土7d抗弯拉强度为3.52MPa,7d抗压强度为26.40MPa。拌和采用HZS150连续式拌和楼,产量为300~500t/h;摊铺采用PRE750高密度沥青摊铺机进行,松浦系数取1.25,摊铺速度取2m/min;碾压采用BW161AD-2振动压路机配合24t轮胎压

路机进行碾压。

2006年建设的连州市凤头岭到清远市的一级公路高速化改造,包括旧路改造133.725km,新建33.576km。路面结构类型为:左幅15cm级配碎石、18cm水稳、22cm碾压混凝土、28cm混凝土路面;右幅15cm级配碎石、18cm水稳、20cm碾压混凝土、30cm混凝土路面。其中碾压混凝土设计标准抗压强度为15MPa,弯拉强度3MPa,7d施工质检抗压强度10MPa。清连高速混合料级配采用基层级配,砂:1~3cm碎石:石屑:外加剂:粉煤灰=30%:43%:27%:1%:10%。每立方米水泥用量为185kg,砂634kg,1~3cm碎石909kg,石屑571kg,水130kg,外加剂2.05kg,粉煤灰20kg。试件采用重型击实成型,得到最大干密度和最佳含水率,配置的碾压混凝土7d抗弯拉强度为3.15MPa,7d抗压强度为18.8MPa,28d抗弯拉强度达3.88MPa。碾压混凝土搅拌时间控制在60~90s,混凝土出厂时的 V_c 值控制在5~10s,碾压时的 V_c 值控制在20~30s。碾压方法为:静压1~2遍,然后小振2遍和大振2遍,最后用双胶轮压路机静压2~3遍来消除轮迹和表面微裂纹。工程在完工后,由于机械摊铺的连续性、含水率控制、底基层的裂缝反射等原因使得水泥路面出现较多反射裂缝。

(3) 碾压混凝土在路基工程中的应用研究

碾压混凝土用于路基中的作用主要是针对软土地基处理,2006年年底建成通车的连盐(连云港—盐城)高速公路便在连云港段的低路堤路基填筑中采用道路碾压混凝土。连盐高速公路在连云港LY-GY4-2合同段的低路堤路基设计中采用了“手摆片石+碾压混凝土”的复合路基形式,即先在路基土上铺筑25cm厚的手摆片石层,再在其上填筑20~40cm厚的碾压混凝土层,最后再铺设防水土工布和路床。这一复合路基具有较高的整体刚度和承载力,可减小不均匀沉降,其中的碾压混凝土层既增强了路堤强度,又防止了地下水对路基稳定性的影响。该工程共使用碾压混凝土约29000m³,其7d抗压强度16MPa、抗弯折强度2.4MPa;28d抗压强度20MPa、抗弯折强度4.0MPa。

随着我国国民经济的飞速发展,对公路工程建设提出了更高、更迫切的要求,而目前国道主干线网络还需要一段时间的努力才能完成,高等级公路建设正呈现方兴未艾的发展势头。沥青资源短缺、强力筑路机械的发展,提高了水泥混凝土路面,特别是碾压混凝土+沥青混凝土复合式路面的竞争力,为公路碾压混凝土技术的广阔应用创造了有利条件,注入了催化剂。

1.4 新式碾压混凝土基层

基层是路面结构的主要承重层,要求具有足够的强度、良好的抗变形和抗疲劳开裂性能以及耐久性和水稳定性(抗剥落、耐冲刷)。基层可采用单层或多层,所用材料按结合料的类型可分为三类:无机结合料类、沥青结合料类及无结合料类。

为解决我国半刚性基层沥青路面普遍存在的早期损坏现象,近年来,各地逐渐开始尝试在高等级公路路面中采用柔性基层(粒料类基层)沥青路面、组合式基层沥青路面结构,并铺筑了试验路。由于柔性基层沥青路面一般对路基的模量要求较高(其土基顶面回弹模量需要达到80~100MPa),在我国,尤其是降水丰富的南方地区常常很难达到要求。

无机结合料类材料主要有贫混凝土、水泥稳定粒料(如级配碎石、级配砾石、未筛分碎石、天然砂砾等)、石灰—粉煤灰稳定粒料(如级配碎石、级配砾石、未筛分碎石、天然砂砾等)、水泥



土、石灰土等。

无机结合料类基层具有强度大、变形小、能承受较重交通荷载的优点。然而,无机结合料类混合料为具有板体性的脆性材料,易产生温度收缩和干燥收缩裂缝,使沥青面层出现反射裂缝;同时,路表水易沿反射裂缝下渗,并冲刷这类基层的顶面,产生唧泥病害。贫混凝土的强度、刚度和抗冲刷能力在无机结合料材料中属最佳,可以用作特重和重交通等级沥青路面的基层。为控制收缩裂缝出现的位置和缝隙宽度,贫混凝土基层必须切横缝和纵缝。

新式碾压混凝土基层采用连续式拌和机拌和,自卸车运料,沥青混合料或水稳粒料摊铺机摊铺、振动压路机和轮胎压路机碾压,其主要优点是强度高、干缩率小、耐久性好、施工速度快、养生时间短、开放交通快。因此,新式碾压混凝土基层克服了传统的贫混凝土基层采用连续式拌和楼拌和、浇筑式方法施工等工艺所带来的施工速度慢、养生时间长、开放交通慢、干缩系数相对较大等缺点。

另外,新式碾压混凝土基层与传统的半刚性基层相比,主要具有如下优点:

①新式碾压混凝土基层的强度和耐疲劳性能均优于传统的半刚性基层,对提高沥青路面的总体刚度、减小路表弯沉、防止沥青路面疲劳损坏和结构性车辙大有好处。

②新式碾压混凝土基层采用预切缝的形式释放温度和湿度应力,且切缝处通过铺设合理的应力吸收层,可以大大减少传统基层易产生的不规则裂缝,并延缓其上覆沥青面层的反射裂缝病害。

③新式碾压混凝土基层材料对重载交通的敏感性及其抗冲刷性能明显优于传统半刚性基层材料,能够大大减少多雨潮湿地区沥青路面因开裂或渗水带来的行车荷载反复作用下的唧泥、松散等病害。

④新式碾压混凝土基层的早期强度较高、完整性好,与封层的黏结紧密,能够保证沥青路面各结构层的整体受力,充分发挥封层应有功能。层间污染或松散会将本应层间连续的路面结构变为滑动结构,使路面会处于不利的受力状态,而新式碾压混凝土基层恰恰能够克服传统半刚性基层早期强度较低的缺点,使得施工车辆的碾压下不易出现表面松散。

因此,采用新式碾压混凝土作为沥青路面的基层,不仅能够显著提高路面结构强度,减薄沥青路面厚度,而且能够充分利用当地材料,降低高速公路的建设成本,延长高速公路沥青路面的使用年限。

第2章 碾压混凝土基层沥青路面结构设计

2.1 碾压混凝土基层沥青路面结构

2.1.1 传统复合式沥青路面结构特点

复合式沥青路面是指面层由沥青混凝土层与其他材料结构层复合形成的路面。新建公路中复合式沥青路面面层的常见形式有沥青混凝土+水泥混凝土,沥青混凝土+配筋水泥混凝土。公路改建、大修中最常见的复合式沥青路面是在原有水泥混凝土面层上加铺沥青混凝土层的结构,俗称“白加黑”。与半刚性基层沥青路面相比,复合式沥青路面具有如下特点:

(1) 沥青层相对较薄,主要用作功能层

复合式沥青路面相对半刚性基层沥青路面,更加体现了强基薄面的设计思想,沥青上面层的厚度通车不超过10cm。复合式沥青路面尤其是“白加黑”中沥青层主要起功能层的作用:隔绝环境对旧水泥混凝土板的不利影响,维持其承载能力;改善路面平整度,提高行车舒适性。

(2) 路面下部结构的稳定性对路面性能起决定性作用

复合式沥青路面行车荷载主要由下面层承担,下面层的疲劳寿命对路面疲劳寿命起决定性作用。复合式沥青路面下面层为高剂量水泥稳定材料,路面下部结构不稳定,容易引发下面层发生脆性结构破坏,路面承载能力急剧下降。“AC+配筋水泥混凝土”复合式沥青路面能够确保下面层的稳定,但配筋水泥混凝土增加了建造成本、延长了施工工期。

(3) 易出现反射裂缝

复合式沥青路面的下面层水泥用量大,为防止温缩、干缩变形而导致不规则裂缝,通常会设置结构缝。结构缝随着通车年限的增长或多或少会反射到路面表面,最终影响路面的耐久性。目前的各种防反射裂缝措施只能够减弱反射裂缝发展的速度,难以根治。

(4) 存在车辙隐患

复合式路面下面层的模量远大于沥青混凝土上面层的模量,使得沥青混凝土面层的整体变形受限,沥青面层的荷载扩散能力较弱,沥青混凝土层的剪切应力较大,沥青混凝土面层容易出现车辙。

2.1.2 新式碾压混凝土基层沥青路面各层功能定位

传统意义上的复合式沥青路面沥青面层较薄,在较短时间内即破坏,效益—费用比较低,在建设初期投入较小,但从整体经济周期看效益较差。使用经验表明,沥青层需要大于一定厚度才能够稳定地发挥行车性能,改善功能层的作用;沥青层厚度加大亦可以有效地减小反射裂缝出现的速度,减弱荷载、环境对路面内部结构的作用。为此,碾压混凝土基层沥青路面的功