



The Applied Technology Guide of Structure Design and Construction
for Asphalt Pavements with Asphalt Treated Base and Dense Graded Aggregate Base

沥青稳定碎石与级配碎石 结构设计与施工技术应用指南

李福普 严二虎 等 编著



人民交通出版社
China Communications Press

**The Applied Technology Guide of Structure Design and Construction for Asphalt
Pavements with Asphalt Treated Base and Dense Graded Aggregate Base**

沥青稳定碎石与级配碎石 结构设计与施工技术应用指南

李福普 严二虎 等编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为交通运输部重点科研课题“沥青稳定碎石与级配碎石结构设计指标”的成果总结,主要阐述了沥青稳定碎石与级配碎石两种柔性基层的结构设计与施工技术,内容包括:国内外沥青路面结构使用情况调查、沥青稳定碎石基层混合料设计与施工、级配碎石基层混合料设计与施工、柔性基层沥青路面结构参数及设计指标、柔性基层沥青路面结构设计指南等。本书对我国柔性基层的沥青路面结构研究、设计与施工均有重大的指导意义。

本书可供公路设计、施工及科研人员使用,也可供相关院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

沥青稳定碎石与级配碎石结构设计与应用指南/
李福普, 严二虎等编著. —北京: 人民交通出版社, 2009.5
ISBN 978-7-114-07746-3

I. 沥... II. ①李...②严... III. ①沥青-稳定性-碎石-
结构设计-指南②沥青路面-工程施工-指南 IV. U416.217-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 069785 号

书 名: 沥青稳定碎石与级配碎石结构设计与应用指南

著 作 者: 李福普 严二虎 等

责任编辑: 郑蕉林

出版发行: 人民交通出版社

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) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×960 1/16

印 张: 18.25

字 数: 345 千

版 次: 2009 年 6 月 第 1 版

印 次: 2009 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07746-3

印 数: 0001—3000 册

定 价: 46.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

从20世纪80年代末开始,以1988年沈大高速公路、沪嘉高速公路、京石高速公路的建设为标志,我国的公路事业进入了高等级公路建设的新时代,公路建设的历史开始谱写最光辉的一页。在已经建成的高速公路沥青路面中,大部分路面的使用状况是比较好的,但也有一些路面的使用寿命不长,发生了不应有的早期损坏现象。尤其是在多雨潮湿地区,有些路段通车不久就发生了大规模破坏,不得不挖除重新铺筑。造成早期损坏的原因是很复杂的,有设计、路面结构、施工、材料及管理等各方面的原因。

我国以半刚性基层为主的路面结构,是由我国的国情决定的。由于半刚性基层具有整体强度高、板体性好等优点,使沥青路面具有很高的承载能力。在我国沥青路面的建设和发展中起到了重要的作用,尤其是在许多干旱或半干旱地区,大部分高速公路的使用情况是好的。但半刚性基层也有收缩性大、易开裂的固有缺点和不足,是导致沥青路面发生早期损坏的原因之一。

随着时代的发展,在沥青路面结构问题上,我们也需要放眼世界,使我国沥青路面的结构多样化,可以根据不同的条件,选择更加合理的路面结构及厚度。因此,开展柔性基层的研究、应用,可以丰富我国沥青路面结构形式,同时也是适应我国地域辽阔,自然条件各异,以及各地经济水平和交通量差别大现状的需要。沥青稳定碎石和级配碎石柔性材料在世界各国得到了大量成功应用,柔性基层沥青路面成为各国高速公路、重载道路最主要的路面结构形式。但这种结构在我国应用很少,积累的经验不多。2002年,交通部课题“沥青稳定碎石与级配碎石结构设计指标”立项,交通部公路科学研究院、哈尔滨工业大学、东南大学交通学院等多家单位联合,深入开展相关领域研究。之后,相关成果在福建等省得到了推广应用。

本书在总结该课题成果的基础上,从提高路面长期性能和沥青路面耐久性出发,详细阐述了沥青稳定碎石、级配碎石柔性基层混合料的合理级配范围、材料技术要求、混合料设计方法和标准等技术,在试验路数据基础上,对施工工艺和质量管理的进行了阐述;对路面结构材料设计参数、路面结构设计指标和设计标准进行了深入探讨;最后,提出了柔性基层沥青路面结构设计指南,为我国今后柔性基层的

研究、设计与施工提供了一定的参考。同时,柔性基层在我国应用的时间毕竟还不是很长,一些技术问题还有待于在实践中进一步完善和发展,其中一些论述还可能存在一些偏颇。

书中引用了“沥青稳定碎石与级配碎石结构设计指标”课题的一些数据和资料,这也是各参加单位共同努力所取得的成果结晶,编者在此谨向参加项目研究的单位和研究人员表示衷心的感谢!

参与本书编写的主要人员有:李福普、严二虎、吴大元、黄祥谈、孙建林、方炬洋、杨金栋、潘向阳、林明庆、陈元水、陈景、姚震中、冯德成、黄晓明。

由于作者的时间及经验有限,难免有疏漏或不当之处,恳请各位读者批评指正。

编著者

2008 年 12 月

目 录

1	引言	1
2	国内外沥青路面结构调查报告	5
2.1	沥青路面结构形式概述	5
2.2	我国沥青路面结构形式的发展	8
2.3	半刚性基层沥青路面问题研究	13
2.4	柔性基层沥青路面应用情况调查	18
2.5	国外沥青路面结构应用情况调查	30
2.6	我国沥青路面合理结构形式分析	43
3	沥青稳定碎石基层混合料设计与施工	55
3.1	概述	55
3.2	沥青稳定碎石基层材料技术要求	55
3.3	沥青稳定碎石基层设计方法	59
3.4	沥青稳定碎石与沥青碎石、沥青混凝土混合料性能对比	80
3.5	沥青稳定碎石的施工工艺及质量管理	85
3.6	沥青稳定碎石基层在道路工程中的应用实例	93
4	级配碎石基层混合料设计与施工	103
4.1	概述	103
4.2	级配碎石技术要求	104
4.3	级配碎石合理的级配范围	116
4.4	级配碎石的设计技术指标	130
4.5	级配碎石混合料试件成型方法	138
4.6	级配碎石的施工工艺	149
4.7	级配碎石的施工质量管理	169
4.8	级配碎石渗水问题的探讨	171
5	柔性基层沥青路面结构参数及设计指标	173
5.1	概述	173

沥青稳定碎石与级配碎石结构设计与施工技术应用指南

5.2 路面结构材料设计参数和气候环境因素	175
5.3 路面结构设计指标和设计标准	197
6 柔性基层沥青路面结构设计指南	253
6.1 设计方法说明	253
6.2 结构设计基本思想	254
6.3 路面结构组合设计	257
6.4 路面结构厚度设计步骤	260
6.5 结构厚度设计标准轴载	261
6.6 设计标准轴载累计轴次	262
6.7 结构设计参数	263
6.8 结构层间接触条件	271
6.9 破坏类型和设计指标	271
6.10 沥青路面疲劳寿命方程.....	274
6.11 设半刚性层的二阶段设计方法.....	275
6.12 Miner 累计损伤原理	277
参考文献.....	280

1 引 言

改革开放以来 30 年,是我国公路历史上交通发展速度最快、规模最大、最具活力的时期。自 1990 年沈大高速公路建成通车以来,我国的公路事业进入了以建设高等级公路为主的新时期。高速公路里程,1989 年全国仅 271km,到 1999 年突破 1 万 km,到 2007 年底达到 5.39 万 km,高速公路的总里程已经跃居世界第二位。我们仅用短短的十多年时间就走完了发达国家半个多世纪的发展历程。由于公路建设的发展,带动了交通运输事业的发展,在各种运输方式的总运量中,公路运输完成的客货运量和客货周转量所占比重大幅度提高。

在已经建成的高速公路沥青路面中,大部分路面的使用状况相对较好。如 1991 年建成的京津塘高速公路(天津—杨村段)、1994 年建成的广深高速公路等至今没有发生严重的破坏,仅进行表面功能性的维修养护。另外,1996 年建成的沪宁高速公路、八达岭高速公路以及随后建成的京沪、京哈、京珠三大高速公路主干线,大部分路段都达到了相当高的使用水平。

不过,也应清楚地认识到,由于我国高速公路的建设起步晚,技术力量的储备较少,经济基础较差,以及我国的气候和交通荷载条件恶劣,车辆超载严重,优质的道路石油沥青原料不足等原因,铺筑的高速公路路面结构还存在种种问题,一些路段的建设水平尚有差距,甚至发生了通车前几年就不得不大规模维修的车辙、开裂、泛油、坑槽等早期损坏现象。尤其是在多雨潮湿地区,在通车不久就发生了大规模的严重破坏,不得不挖除重新铺筑,许多路段发生了不该有的早期损坏现象。造成早期破坏的原因是很复杂的,有管理上的原因,也有设计、施工、材料各方面的原因。其中,关于沥青路面结构和设计方面的原因也是广大道路工作者研究的热点。

我国大量采用半刚性基层沥青路面结构,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,使沥青路面具有很高的承载能力。尤其是在许多干旱或半干旱地区,不少半刚性基层为减薄沥青面层、节省工程造价起到了重要作用,大部分高速公路的使用情况是好的。我国部分高速公路路面结构形式见表 1-1。

我国部分高速公路路面结构

表 1-1

道 路 名 称	面 层	基 层
海南环岛公路(东线)	12cmAC	30cm 水稳碎石基层+15~19cm 级配碎石底基层
广州—深圳高速公路	22cmAC+10cmAM	23cm 水稳碎石基层+25cm 级配碎石底基层
广州—佛山高速公路	9cmAC+6cmAM	25cm 水稳石屑基层+28~37cm 水稳土底基层
广州—花都高速公路	7cmAC	20cm 水稳碎石基层+30cm 水稳石屑底基层
深圳深南大道	5cmAC+8cmAM	40cm 水稳石屑基层+20cm 水稳石屑底基层
厦漳高速公路	14cmAC	33cm 水稳碎石基层+20cm 水稳、石灰综合稳定土
杭甬高速公路	3~4cmAC +4~6cmAC +5~8cmAM	28~34cm 二灰、水泥稳定碎石基层+20cm 级配碎石底基层
沪嘉高速公路	10cmAC+7cmAM	46cm 粉煤灰三渣+20cm 砾石砂垫层
沪杭高速公路	17cmAC	37cm 二灰碎石基层+20cm 水泥碎石土
沪宁高速公路	16cmAC	18~40cm 二灰碎石基层+18~40cm 二灰土 (或二灰砂,石灰土)
安新高速公路	9cmAC+7cmAM	20cm 水稳碎石基层+35cm 二灰土底基层
京津塘高速公路	10~13cmAC + 10 ~12cmAM	25cm 水稳碎石(砂砾)基层+20~45cm 石灰土 (二灰土)
济青高速公路潍坊段	15cmAC	24cm 二灰碎石基层+42cm 石灰土
京福高速公路山东段	15cmAC	26cm 二灰碎石基层+29cm 二灰土
京石高速公路	4cmAC+8cmAM	15cm 二灰碎石基层+40cm 石灰土
沈大高速公路	9cmAC+6cmAM	25cm 水稳碎石基层+30cm 水稳土底基层

随着时代的发展,研究者逐渐对我国的沥青路面结构只采用半刚性基层沥青路面以及停留在较薄的沥青面层上产生了一些新的看法。这种单一的路面结构形式,与我国地域广阔、气候各异以及各地经济水平和交通量差别较大的现状不相适应。通过实际使用情况及调查,发现半刚性基层沥青路面在优点之外,也隐藏着一些严重的弱点,主要是在多雨潮湿地区,它往往成为这些地区沥青路面早期损坏的重要原因之一。近几年高等级公路,特别是高速公路的使用实践证明半刚性基层沥青路面客观存在一些不可避免的技术问题,如由于半刚性基层材料的收缩特性而导致的沥青路面早期开裂、半刚性基层材料在水的综合作用下而出现的基层唧泥现象,半刚性基层沥青路面早期破坏现象等已经引起道路界同行们的重视。大量的应用与研究发现,因半刚性基层因素而引发的病害主要有如下几种。

(1)由于半刚性基层干缩和温缩特性形成的沥青路面的反射裂缝。尽管我国通过研究,采取了种种措施,使路面收缩裂缝的反射缝有了明显减少,特别是对沥

青面层较厚的高速公路反射缝比较少,但从总体来说,沥青面层较薄时半刚性基层开裂引起反射缝的问题仍然不可能得到彻底地解决。尤其是当基层级配不太合理、基层中细颗粒含量较多时(如二灰碎石),基层中的粗集料不能或很难形成嵌挤,形成一种悬浮密实式的结构,其强度主要取决于无机结合料的剂量。此外,我国路面设计主要以弯沉作为承载能力设计指标,致使容许弯沉值不断减小,基层强度要求也不断提高。有的高速公路在铺筑沥青层之前就发生了宽度为5~20mm左右的裂缝。实践证明,半刚性基层的强度过高将使基层开裂及反射性裂缝问题更严重。

(2)半刚性基层材料压实后非常致密,几乎成为完全不透水层。在多雨潮湿地区和季节性冰冻地区,来自沥青层及基层的水是无法避免的,这些水包括从路面裂缝进入的水、从沥青混合料离析及较大的空隙渗入的水,以及冰冻地区毛细管积水在融化期增加的水等。这些水将积存在基层表面,无法通过基层排走。沥青面层越薄,作用到沥青层底部的荷载压力就越大,在荷载作用下,基层表面就越容易破坏,成为灰浆。当中、下面层集料公称最大粒径较大、离析比较严重时,半刚性基层的灰浆逐渐充满下面层的空隙,并通过裂缝挤到路面上来,即产生唧泥,成为沥青面层水损害破坏的重要原因。

(3)半刚性基层与沥青层之间的联结是个很大的问题。在《公路沥青路面设计规范》(JTGD50—2006)中规定,路面设计应按照界面完全连续的条件来考虑。这是因为如果界面条件不连续,沥青层底面的拉伸应力和应变就可能超过沥青混合料的极限拉伸应变,这对薄层沥青路面的设计是不合理的,所以,规范将薄沥青面层情况下的界面条件规定为连续的。但是在半刚性基层上喷洒透层油的渗透情况非常不好。尤其是在多雨潮湿地区,当沥青层渗水而又不能通过基层扩散,滞留在基层表面的水将逐渐使基层软化,形成泥浆时,沥青层和基层之间的界面条件将从想象中的连续状态变为滑动状态或半连续半滑动状态。在这样的界面条件下,沥青层底部的弯拉应变将可能成为控制性指标,将有可能在荷载作用下首先发生弯拉开裂,并逐渐向上扩展,成为破坏的根源。

针对半刚性基层收缩大、易开裂的固有缺点和不足,科研工作者开始寻找新的筑路材料和筑路方法。近年来,国外对柔性基层的大量应用、研究,又再次引起了人们的注意,国内学者也已开始重视柔性基层的研究,以丰富我国沥青路面结构形式,同时这也是适应我国地域广阔、气候各异,以及各地经济水平和交通量差别较大现状的需要。

柔性基层没有在我国得到应用的原因较多,除了经济条件的制约外,也包括对基层类型长期来没有正确的认识,如早期修建的京津塘高速公路的下面层实际上相当于国外的沥青稳定碎石基层,但当时把它作为下面层,并在下面铺筑了很厚的

半刚性基层,这一点当时的外国专家很难理解。也就是说,在我国,只要是沥青层,不管多厚或者多薄,不管是什么结构都称为面层,只有半刚性基层才是基层。后来由于减薄沥青面层,就再没有采用这种结构。

对级配碎石基层,其级配、设计指标和参数、施工工艺、施工质量检验指标、施工工艺,在我国都没有进行过认真的研究,像 CY 高速公路所使用的级配碎石基层,当时使用了许多泥页岩,遇水后变成了泥土,实际上大部分是泥结碎石结构,再加上沥青层太薄,遇水后承载能力急剧降低,路面迅速破坏。这些因素严重妨碍了级配碎石基层的应用。

针对以上这些情况,为适应公路建设的需要,对沥青稳定碎石基层和级配碎石基层的柔性路面结构进行研究,提出适用于沥青稳定碎石基层和级配碎石基层所需要的配合比设计方法、设计指标、设计参数及施工工艺是非常必要的。

2 国内外沥青路面结构调查报告

2.1 沥青路面结构形式概述

根据各国路面结构使用情况,沥青路面结构类型可以大致分为全厚式沥青路面、柔性基层沥青路面(薄沥青层+厚粒料基层及厚沥青层+粒料底基层结构)以及半刚性路面(复合式、组合式和倒装结构)。

1) 全厚式沥青路面

全厚式沥青路面,在美国、德国、法国等国成为高速公路的主要结构类型之一,在重、中交通上也得到大量应用。法国的全厚式路面,对于沥青稳定砂砾基层的整个沥青层厚度一般为 23~47cm,而 EME 基层的整个沥青层厚度一般为 17~36cm。德国的全厚式路面沥青层厚度一般为 22~34cm。美国实际应用一般为 18~50cm,根据 2002 年 AASHTO 指南,对于 12~100 百万标准轴次对应的沥青层厚度一般为 29~43cm。加拿大部分地区沥青层厚度一般为 15~35cm。

值得注意的是,在不同国家,全厚式沥青路面概念有差别,与厚沥青层+粒料底基层沥青路面界限往往也不是很明确。

- 在美国,根据美国沥青协会 AI 指南最初的定义,全厚式路面对路基一般不要求处治改善,仅在路基土模量低于 20MPa 或 CBR 小于 1.9% 时进行改善,改善的路基土只作为一个施工平台,不影响沥青层厚度。根据 2002 年 AASHTO 结构设计指南,当路基土等效模量大于 62MPa 时,才建议使用全厚式;如果加铺了无机结合料处治改善层或者设置了粒料层就都不属于全厚式路面。而美国各州如伊利诺伊州、得克萨斯州及新泽西州的全厚式沥青路面一般要求采用一定厚度的石灰稳定土改善层,但是如果设置粒料层,则为高强度厚沥青层路面。

- 在欧洲,法国全厚式沥青路面一般都要求设置一定厚度的粒料层或者无机稳定土、稳定粒料层;德国的全厚式沥青路面需要设置一定厚度的粒料防冻层;而英国的长寿命沥青路面(英国不称为全厚式)一般采用较厚的沥青层,无结合粒料材料做底基层、垫层,而此结构与德国、法国的全厚式沥青路面结构没有太大区别。

- 加拿大的全厚式沥青路面,需设置一定厚度的粒料底基层或者稳定土。

- 在澳大利亚,全厚式沥青路面一般采用 10cm 粒料填料作为施工平台,也可

以采用各种稳定土处治路基土。

从以上可以看出,严格按照 AASHTO 和 AI 的全厚式概念,欧洲、加拿大以及澳大利亚的“全厚式结构”应该更加接近高强度厚沥青层结构。

2) 柔性基层沥青路面

柔性路面也是各国沥青路面主要结构形式之一。可以大致分为两类:薄沥青层+厚粒料基层及厚沥青层+粒料底基层结构。

薄沥青层+厚粒料基层,是中、低等交通量道路中最主要的路面结构类型之一,一般称为传统的柔性路面。如在英国,此结构中沥青层不超过 20cm,粒料基层为 18~46cm,粒料基层一般是沥青层厚度的 2.5~3 倍。在美国,此结构中沥青层不超过 20cm,粒料基层一般为 20~80cm,结构中此类型厚度比值一般大于 2;根据 AASHTO 2002 指南,对于 12~100 百万次标准轴载一般沥青层为 20~31cm,粒料层为 56~90cm(如果 $CBR < 62MPa$,根据情况还需要 15~30cm 处治路基土),粒料基层一般是沥青层厚度的 2.5~3 倍。在法国,此结构中沥青层厚度只有 5~8cm,级配碎石基层为 15~50cm。在德国,早期结构中级配碎石甚至达到 60cm。各国大量实践经验表明,当粒料材料超过一定厚度时,增加粒料层对结构的贡献不大,且不经济,同时由于面层较薄,在交通量较大时,沥青层层底产生较大的拉应变而迅速产生疲劳破坏,因此不宜用于大交通量道路。此交通量最大限度在英国建议不宜大于 1 000 万次(标准轴载 80kN),而日本则为不大于 700 万次(标准轴载 100kN),美国 AI 要求为不大于 1 000 万次(标准轴载 80kN),法国为 70 万次(标准轴载 130kN)。

随着交通量的逐渐增加,薄沥青层+厚粒料基层结构,逐渐被厚沥青层+粒料底基层结构代替。厚沥青层+粒料底基层结构,在美国又称为高强度厚沥青路面,采用一定厚度的沥青稳定基层,该结构与全厚式路面一起成为各国高速公路最主要的路面结构形式,在重、中交通量道路中也得到大量使用。在英国,这种结构一般采用 20~39cm 沥青层,根据路基土承载能力采用 15~35cm 的粒料底基层或 15cm 粒料底基层+19~60cm 垫层。在日本,一般为 18~30cm 沥青面层下卧 10~30cm 粒料底基层。在德国,一般为沥青层 16~30cm,下面设 15~25cm 的粒料底基层,而且根据气候情况须设置一定厚度的粒料防冻层,以保证路面结构总厚度为 45~90cm。在美国,一般为 18~50cm 沥青面层下卧 10~35cm 粒料底基层;根据 AASHTO 2002 指南要求,对于 12~100 百万次标准轴载,沥青层一般为 29~53cm,粒料底基层 25~43cm。在法国,一般为 13~27cm 沥青面层下卧 20~35cm 粒料底基层(注意此结构为非结构性路网道路,因此面层相对薄些)。由以上数据可以看出,此类型路面结构中沥青层与粒料底基层平均厚度比值一般接近 1 或稍大于 1。

3) 半刚性路面

根据法国对半刚性路面的分类,大致可分为三类:复合式结构、组合式结构以及倒装结构。其中,薄沥青层厚半刚性层的复合式结构是各国 20 世纪六七十年代传统的半刚性路面,也是当时各国最主要的路面结构形式之一。组合式结构以及倒装结构是在对复合式结构调整的基础上发展起来的。现在,在各国,组合式结构已经代替复合式结构成为半刚性路面的主要结构形式。

当前各国高速公路中,半刚性路面使用相对不多,即使使用也是采用较厚的沥青层、较薄半刚性材料作底基层的“组合式结构”。法国复合式结构中,沥青混凝土为 6~16.5cm,水稳基层为 28~42cm,而组合式结构沥青层厚度为 19~27cm,半刚性底基层为 18~25cm。德国、意大利、比利时、西班牙以及日本均以 18~30cm 沥青层下卧 15~30cm 半刚性底基层作为主要半刚性路面结构类型。组合式路面结构中,沥青层与水稳底基层厚度比值一般接近或大于 1。由于增加了沥青层厚度,降低了半刚性层的厚度,并以半刚性层作底基层,从而有利于降低和延缓沥青路面的开裂,在一定程度上提高了沥青路面的使用性能,同时此结构具有一定的经济优势。

20 世纪 80 年代末,有些国家开始采用倒装结构,在半刚性基层与沥青层之间设置一层粒料层,主要作用是减少反射裂缝,同时不增加沥青层厚度。粒料基层不能太厚,太厚会降低沥青面层在荷载作用下的弯曲半径,加速沥青面层的疲劳破坏;但又必须具有一定的厚度便于应力的有效扩散。粒料基层必须采用高质量、级配良好、坚硬的碎石,其厚度一般为 10~15cm,如法国一般为 12cm,澳大利亚为 10cm,而南非为 15cm。但值得注意的是,现在在美国、英国、德国、法国、日本等国倒装结构不是主要的路面结构类型,在高速公路、重载交通应用不多。

通过对各国半刚性路面调查资料的分析认为:

采用较厚沥青层、较薄半刚性材料作底基层的组合式结构的半刚性路面一般有较好的使用性能,但是需要偶尔、一定量的封缝等维修工作,可用于中、重交通。

在温差变化不大的地区,采用较薄沥青层的半刚性沥青路面在中、轻交通量的道路上也能表现较好的路面性能,但需要经常、较大量的封缝等维修工作。

在温差较大,冬天温度较低的地区,如果沥青层较薄,即使是较低的交通量道路,半刚性路面也会表现出较差的性能,因此不宜采用半刚性结构。

半刚性沥青路面开裂形式多样,无论什么形式的开裂,一旦在沥青层表面开裂,此时结构的渗水性大大增大。由于水的进入,会使得沥青层与其下的支撑层剥离,使面层和基层之间的联结失去作用,同时基层和底基层材料在荷载动水压力下产生唧泥现象,进一步降低路面的承载能力,沥青路面应力状态进一步恶化。在冰冻区会加剧冰冻损坏,这样路面会加速破坏。半刚性路面的使用寿命与气候、交通

状况、是否经常封缝以及对不同交通情况下路面性能下降的可接受水平有关,因此半刚性路面的使用性能具有很大的不可预测性。

大量实践证明,对于薄沥青层的半刚性路面,横向裂缝已成为沥青路面的主要问题之一,虽然可以采取各种措施延缓、推迟其发生的时间或者减少开裂数量,但路面裂缝是不可避免的。由于在沥青面层或多或少要产生开裂,雨水下渗又不可避免,同时,半刚性材料具有对荷载疲劳的敏感性,其使用性能具有极大的不可预测性,路面的维修量很大,往往需要结构性的重建,且半刚性基层不具有较好的可再生性,因此在各国的高速公路、重载交通中的使用受到限制。

实际上在很多国家,高速公路、重载交通道路上半刚性路面已经使用较少,甚至在有些地方道路网上规定不再修半刚性路面。AASHTO 2002 指南,对于交通量大于 T4(标准轴载累计轴次 4~8 百万次)的道路,不建议采用半刚性路面;华盛顿州 20 世纪 60 年代开始规定整个道路网上不采用半刚性路面。英国半刚性沥青路面一般指贫混凝土基层沥青路面,建议设计交通量不大于 2 千万次,甚至现在很多年轻的设计人员已经不知道怎样设计半刚性路面。日本半刚性路面可用于标准轴载 100kN 小于 700 万次以下道路。半刚性路面经常维修给交通管理带来很多问题,同时也给道路使用者带来很大不便,有些国家基于以上考虑,当交通量大于一定限度时限制采用半刚性路面,如法国国家公路网为 1 500 次/d,西班牙为 500 次/d,而在德国道路以及在法国的收费高速公路上,开裂是不能接受的,即使是低交通量也不采用。而加拿大基于半刚性基层材料经济性,只允许在交通量小于 500 辆/d 的道路上采用。

2.2 我国沥青路面结构形式的发展

我国沥青路面的结构有其自身的特点,这是我国国情决定的,是公路建设发展历史的必然结果。在 20 世纪 60 年代以前,我国的公路路面基本上只能用砂石材料铺筑。从 60 年代我国开发大庆油田起,开始利用质量很差、蜡含量高达 10%以上的大庆渣油,铺筑薄层的渣油表面处治,厚度一般为 2cm 左右。其主要目的是解决雨天泥泞、晴天扬尘,保证晴雨通车的问题。为了提高承载能力,基层主要采用石灰稳定土,石灰的剂量一般为 8%~12%。渣油表面处治加上石灰土的结构对解决公路晴雨通车起到了重大作用,成为当时我国公路行业的三大科研成果之一。

从 20 世纪 70 年代起,沥青路面黑色化的要求变得越来越紧迫,当时曾经一度铺筑了不少以砂石材料为基层的柔性路面。之所以只说砂石材料,是因为这些材料的材质比较乱,有轧制碎石(包括拳石、稍有级配或未筛分碎石),也有未过筛及

过筛的天然砂砾,许多含土量甚高的山皮石也用来作基层。在这期间,一些基层材料较好的公路使用情况比较好,有相当一部分直至现在已经 30 多年还在使用中,如北京市的京密公路(101 国道)、京周公路(107 国道)等很多重载道路,至今仍在使用中,只是多次维修了沥青面层。还有部分柔性路面在使用不久由于严重的翻浆、雨季强度不足而迅速破坏。因此没有多久,这些砂石材料逐渐被石灰土、二灰土、水泥稳定碎石土所取代。而逐渐认识到土在半刚性基层中的危害性后,土的用量受到了限制,发展成为以砂砾和碎石为主的无机结合料稳定集料基层。

同时,由于胜利油田的开发,我国开始正式生产道路沥青,部分渣油和沥青进入公路建设,但严重缺乏沥青资源的情况并没有改变。渣油、沥青是国家计划分配物资,包括议价和换货等各种渠道在内,每年只有 50~100 万 t 左右,远远不能满足全国需要。我国当时的经济条件也不可能从国外进口沥青,再加上筑路机械主要是沥青喷洒车,为数很少的国产小型拌和楼的拌和能力很低,像 LB-30 这样的小型拌和机都很少,且大都不能添加矿粉,许多还停留在人工铁板加热抄拌的水平上。因此,我国在努力实现公路路面黑色化的同时,竭力减薄沥青面层的厚度、提高基层强度的任务就落在了广大公路工作者的肩上。尽管在基层采用级配碎石等方面也作过许多尝试和努力,也铺筑了不少碎石和砂砾类的无结合料基层,但总体来说,由于碎石生产和天然砂砾的质量都比较差,并不能达到真正意义上的级配碎石和级配砂砾的水平,限于经济能力和机械化水平,也不可能对其规格和质量提出高的要求。为满足日益增长的交通荷载的需要,沥青面层由沥青表面处治向贯入式路面、上拌下贯式路面、半开级配的沥青碎石路面过渡,干线公路沥青层的厚度最多也只能加厚到 4~8cm(大部分为 2cm+4cm 的上拌下贯式路面),这些路在当时被称为“重交通道路”。这样,水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定粒料成为最普遍的基层结构,且将沥青路面的承重层定位在半刚性基层上,沥青面层只起到表面功能的作用。这种国情决定了我国长期来奉行“强基、薄面、稳土基”(简称“强基薄面”)的方针。正是由于这些措施,使我国公路沥青路面的水平有了显著的改善,沥青路面的里程大幅度增长。当然,沥青路面的服务性能也一直维持在一个比较低的水平上,路面的使用情况并不好,铺筑不久就需要连续不断的维修养护,路面开裂、坑槽和泛油成为最主要的损坏形式,混合交通下的滑溜事故成了最大的威胁。

进入 20 世纪 80 年代后,交通量迅速增加,江苏省宁六一级公路的建设拉开了高等级公路建设的序幕。各地普遍开始修建二级公路、一级公路。沥青质量不符合要求和数量严重缺乏的问题依然制约着公路沥青路面建设的发展。为适应这种情况,公路部门竭尽全力发展水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定集料,半刚性基层和底基层的质量不断提高,使用材料由石灰土经过碎石灰土、泥灰结碎石,逐渐

变成水泥、石灰、粉煤灰稳定碎石、砂砾；施工方式也由人工筛拌、拖拉机犁拌转变为机械路拌，并在北京市率先实现了厂拌生产。国产的土壤拌和机开始用来拌和无机结合料稳定集料，同时限制最大粒径，使级配不断改善。与此同时，基层的强度要求也随之增加。由于当时的公路大部分没有分道行驶，除了平交路口有推挤和拥包等永久性变形外，沥青路面的损坏仍然是开裂、坑槽和泛油。

我国于 1984 年开始设计修建京津塘高速公路。由于当时沥青缺乏和路面承载能力的矛盾越来越激化，京津塘高速公路成为我国半刚性基层沥青路面发展史上的一个转折点。高速公路和一级公路等高等级公路的建设，除初期有 CY 高速公路、昌九高速公路等局部采用级配碎石柔性基层以外，几乎都采用半刚性基层沥青路面，其逐渐发展成为唯一的结构形式。在公路建设大发展的同时，沥青的需求严重不足，价格飙升，作为一个发展中国家，降低投资和加快建设成了主要奋斗目标。以国家“七五”科技攻关项目“高等级公路半刚性基层重交通道路沥青路面及抗滑表层成套技术”为代表的一系列科研课题都把“减薄”沥青面层作为课题的研究目标，并起到了显著的成绩。在国外沥青路面的沥青层普遍都在 20cm 以上的情况下，我国沥青面层的厚度基本上不超过 15~16cm。一直持续到近两年，才有部分高速公路将沥青层加厚至 18cm。减薄沥青层为节省投资、加快建设速度起到了重大作用。图 2-1 为我国高速公路里程的发展图。

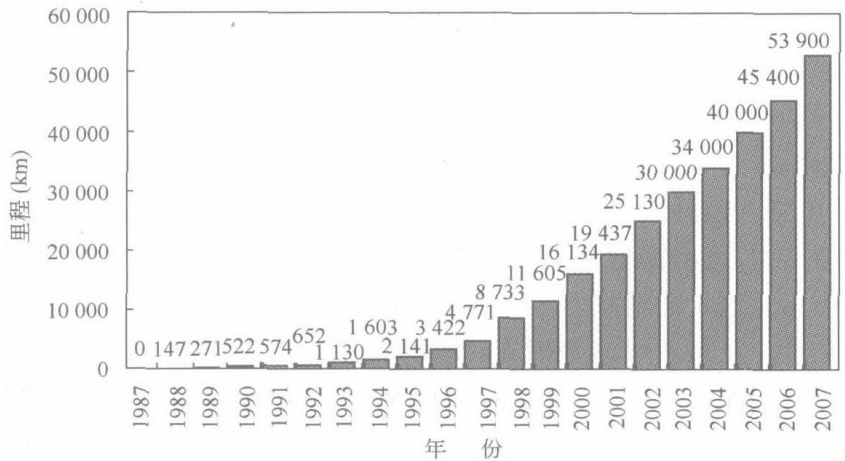


图 2-1 我国高速公路里程的发展情况

在高速公路建设过程中，半刚性基层沥青路面得到了很大的发展。其原因，一方面是沥青质量差、数量不足的状况始终未得到根本性的转变，同时交通的增长更快于公路建设的增长；更重要的原因在于经济实力不足，修路的经费有相当部分来自贷款。

我们尽管已经认识到，沥青质量是影响沥青路面使用性能的重要因素，并首次提出了“高标准道路石油沥青技术要求”（即后来的重交通道路沥青），为了提高沥