

沥青路面加铺级配碎石结构 补强施工技术

盛余祥 安平 丁伟 编著



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

Liqing Lumian Jiapu Jipei Suishi Jiegou
沥青路面加铺级配碎石结构

Buqiang Shigong Jishu
补强施工技术

盛余祥 安 平 丁 伟 编著

人民交通出版社股份有限公司

内 容 提 要

本文结合某沥青路面改造工程,通过研究级配碎石材料的非线性特性,对级配碎石非线性应力状态进行分析,利用 BISAR 计算软件对级配碎石的三向应力状态及范围进行了分析。依据路面强度 CBR 值和动态模量双控指标进行了级配碎石的组成设计研究,推荐了用于上基层的起到防止反射裂缝作用的级配碎石级配范围。采用动三轴试验方法获得了级配碎石动态模量的参数及永久变形的参数,对影响级配碎石的主要因素进行了分析。研究了影响级配碎石动态模量的各结构参数,通过试验路性能检测以及利用 KENLAYER 对试验路结构进行疲劳寿命分析,对比理论计算结果修正了级配碎石动态模量预估模型参数。根据级配碎石非线性分析、工程实践经验及力学分析推荐了适宜的沥青路面补强结构组合形式。

图书在版编目(CIP)数据

沥青路面加铺级配碎石结构补强施工技术/盛余祥, 安平, 丁伟编著. -- 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2015.5

ISBN 978-7-114-12152-4

I. ①沥… II. ①盛… ②安… ③丁… III. ①沥青路面—碎石—路面修补—研究 IV. ①U416.217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 064929 号

书 名: 沥青路面加铺级配碎石结构补强施工技术

著 作 者: 盛余祥 安 平 丁 伟

责任编辑: 丁润铎 任雪莲 张一梅

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: 720 × 960 1/16

印 张: 7

字 数: 121 千

版 次: 2015 年 5 月 第 1 版

印 次: 2015 年 5 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12152-4

定 价: 35.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

级配碎石具有良好的排水和消除反射裂缝的功能,将其作为柔性基层用于沥青路面补强中具有良好的作用。本书依据路面强度 CBR 值和动态模量双控指标进行了级配碎石的组成设计研究,推荐了用于上基层防止反射裂缝的级配碎石级配范围。通过试验路性能检测,对比理论计算结果修正了级配碎石动态模量预估模型参数,推荐了适宜的路面补强结构组合。

根据室内研究结果,结合沥青路面改造工程进行了试验路的铺筑。为了监测路面结构长期使用性能衰变情况,验证路面结构补强设计的参数,对路面进行了长期检测,主要包括弯沉、裂缝及其他破损。通过弯沉检测结果反算路面强度,以判断路面结构强度的衰减情况。同时,利用 KENLAYER 对试验路结构进行疲劳寿命分析。通过分析,对级配碎石作为路面结构补强设计时的模量参数进行了修正。根据级配碎石非线性分析、工程实践经验及力学分析,推荐了适用于沥青路面结构补强设计的结构组合形式。

结合沥青路面改造工程,应用新技术、新材料,对沥青路面的改造作了进一步研究,力图寻求一套符合我国国情的、切实可行的改造措施。通过对补强设计以及柔性基层的应用研究,为路网的改造积累了经验并总结出关键技术。从长远看来,该方法有良好的应用前景,开辟了路网改造的一种新思路,同时对以后的高速公路补强设计也有重要意义。

作 者

2015 年 1 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 我国沥青路面结构的发展现状	(1)
1.2 国外沥青路面结构的发展现状	(5)
1.3 国内外沥青路面结构对比分析	(6)
1.4 级配碎石研究现状	(9)
2 原沥青路面性能检测评价	(11)
2.1 原路面概况	(11)
2.2 原路面性能评价	(11)
3 级配碎石在路面结构中应力状态分析	(25)
3.1 力学模型建立	(25)
3.2 路面结构类型及参数取值	(26)
3.3 各因素对级配碎石应力状态的影响	(27)
3.4 级配碎石应力范围	(37)
4 级配碎石动三轴试验及级配组成设计	(39)
4.1 级配碎石动态模量试验	(39)
4.2 级配碎石动态模量影响因素分析	(52)
4.3 级配组成设计	(58)
4.4 级配碎石永久变形模型参数试验	(65)
5 沥青路面加铺层力学分析	(73)
5.1 路面结构组合	(73)
5.2 路面结构组合一	(73)
5.3 路面结构组合二	(76)
5.4 疲劳寿命分析	(81)
6 路面加铺结构设计与实施	(85)
6.1 路面加铺结构设计	(85)
6.2 排水设计	(85)
6.3 路面加铺方案的实施	(86)
6.4 级配碎石压实度检测结果	(91)

7 加铺路面长期性能检测及疲劳寿命分析	(92)
7.1 路面的跟踪检测实施及数据分析	(92)
7.2 路面寿命分析及设计参数修正	(95)
参考文献	(98)

1 绪 论

近年来,我国许多公路已经开始进入维修养护和加宽改造的阶段。半刚性基层沥青路面的损坏往往是结构性的,一般无法通过沥青面层的维修得到解决,其维修养护往往采用“开膛破肚”式的,对社会和交通影响极大。目前,在半刚性基层沥青路面的结构强度损失不是很大的情况下,往往采取直接在原路面加铺罩面的方式对原路面进行补强。但要对原路面进行补强设计,如果仅加铺沥青面层,对于低等级道路在经济上不合适且对于抵抗反射裂缝效果不佳。本书通过综合考虑经济性以及抵抗或减缓裂缝的能力,提出了对于较低等级道路补强设计采用级配碎石作柔性基层。

如果路网中原路面上的纵缝和横缝较为严重,改造时将其作为基层在上面直接加铺沥青面层将不可避免地产生反射裂缝,为了减轻甚至消除反射裂缝的产生,国内外进行了许多有益的研究。现在比较普遍认同的方法是加厚沥青面层,但这样也仅仅是减缓了反射裂缝的发生,并没有从根源上消除裂缝且增加了工程造价。在沥青面层和原路面之间加铺一层弹性模量低、韧性好的材料作为应力吸收层以吸收原路面的反射裂缝是目前国际上应对此类问题的一种方法。本书研究的主要目的就是为解决在原路面上加铺沥青层后的反射裂缝以及路面使用性能等问题作探索,力求找出一套合适的、可行的设计方法以及应力吸收层材料组成的设计方法,这对以后的改造工程有着重要的借鉴意义。

1.1 我国沥青路面结构的发展现状

近年来,在高速度、大流量、重荷载交通的要求下,我国开始建设了大量高等级公路,这些公路多采用沥青路面。沥青路面结构是以“强基薄面”的半刚性基层沥青路面为主要形式。但是为了提高沥青路面的使用性能,我国已试验铺筑了许多新型沥青路面。其中在沥青上尝试了改性沥青的应用,并且还铺筑了柔性基层的沥青路面结构。为满足日益增长的交通荷载的需要,水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料成为最普遍的基层结构,这种半刚性基层沥青路面成为我国沥青路面结构的主要形式。当然由于半刚性基层的整体强度高、板体性好等杰出

的优点,使沥青路面具有很高的承载能力。但是随着时代的发展,目前我国对半刚性基层以及薄沥青面层的研究开始产生了许多新的看法,并逐渐对半刚性基层路面形成了更客观的认识。

首先,国内外普遍重视的半刚性基层可能引起收缩裂缝的反射裂缝问题是个客观的事实。我国虽然采取了增加碎石用量,减少细颗粒含量,取消泥灰结碎石等类型,把石灰土等稳定细粒土限制在底基层,努力控制施工含水率等一系列减少干燥收缩和温度收缩的措施,使路面收缩裂缝的反射缝有了明显减少、间距有了明显拉长,有些沥青面层较厚的高速公路甚至很少有反射缝。但从总体来说,由于沥青面层较薄,使半刚性基层开裂引起反射缝的问题,仍然不可能得到彻底解决。另外,由于半刚性基层中细颗粒部分较多,尤其像二灰稳定土那样的结构,仅石灰、粉煤灰的比例一般超过 20%,半刚性基层中的粗集料已经不能或很难形成嵌挤,完全成为一种悬浮密实状态。再加上我国路面设计主要以弯沉作为承载能力设计指标,一般认为路面破坏是由于弯沉不足造成的。在这种设计思想的指导下,容许弯沉值随之不断减小,规范对半刚性基层的强度要求也不断提高。这样下来,半刚性基层的强度越来越高。而大量的工程实践证明,半刚性基层强度过高,将使基层开裂及反射裂缝问题更严重。

其次,半刚性基层的强度主要来自于结合料的剂量和严格的压实,因此导致半刚性基层本身非常致密,几乎成为完全不透水的层次。来自沥青层的水将积存在基层表面,无法通过基层排走,加之我国路面结构层排水设施并不完善。再有沥青面层越薄,作用到沥青层底部的荷载压力越大,在荷载作用下,基层表面越容易破坏成为灰浆。这就成为沥青面层水损坏的重要原因。

第三,半刚性基层与沥青层之间的连接是个困难的问题,路面设计规范规定路面设计是按照界面完全连续的界面条件考虑的。实际上,当沥青层渗水不能通过基层扩散,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,在荷载作用下早于基层首先发生弯拉开裂,并逐渐向上扩展成为破坏的根源。另外,为了提高平整度,高速公路沥青层在我国一般分 3 层铺筑。试验表明,沥青层的 3 层之间是不完全连续的。当然,基层与底基层的半刚性基层也不能完全连续。

目前,关于我国半刚性基层沥青路面的设计方法有以下一些问题值得思考:

(1)路面设计的宗旨是防止在设计年限内总交通量反复荷载作用引起路面疲劳破坏,实际上绝大部分路面是在交通量远未达到设计交通量的早期已经破坏了,疲劳破坏的指标没有起到作用。

(2)结构设计的基本思想是路面承载能力主要依靠半刚性基层,误认为路面破坏就意味着是基层破坏。实际上,除了少数基层施工不好的情况外,弯沉值都非常小,开挖发生破坏的路面可见基层往往是完好的。路面破坏程度与路面验收时的弯沉并不相关。

(3)结构设计假定路面各层的界面条件连续,使薄的沥青层底面弯拉应力不会超过容许强度。实际上,沥青层与基层之间、沥青层各层之间,在有水或层面间有污染时不可能完全连续,而是部分连续或者滑动的界面。

(4)路面结构设计以容许弯沉作为最主要的指标,甚至是唯一的指标。这造成基层强度越来越强,产生对基层材料设计的误导。这在旧路改造加铺罩面时尤为突出,对弯沉超过的路段只能判断为强度不足,并重新设计使其小于容许弯沉。实际上,以弯沉作为唯一的设计指标是不能满足现状的。

(5)路面设计采用了先进的理论计算方法,可大多数设计参数还停留在静态模量的阶段,一般仅利用查表得到的模量设计。

我国高速公路的路面结构有三大类:半刚性基层沥青路面,约占80%;水泥混凝土路面,也常简称刚性路面,约占18%;刚性组合式路面(在水泥混凝土或碾压混凝土板上铺一层沥青混凝土),约占2%。部分高速公路的路面结构见表1-1。

我国高速公路沥青路面结构

表1-1

高速公路简称	沥青面层厚度(cm) 名称	基层厚度(cm) 名称	底基层厚度(cm) 名称	总厚度 (cm)
沂淮江	16.5 中粒式、中粒式、粗粒式	34 二灰碎石	20 二灰土	70.5
淮盐	18 细粒式、中粒式、粗粒式	38 水稳碎石	20 二灰土	76
京福(山东段)	15 中粒式、中粒式、粗粒式	26 二灰碎石	29 二灰土	70
沪嘉	19 中粒式、粗粒式、贯入式	36 石灰粉煤灰碎石	20 砂砾	75
莘松	23 中粒式、粗粒式、沥青碎石	34 石灰粉煤灰碎石	15 砂砾	72
京石(北京段) 一期、二期	10 细粒式、中粒式、沥青碎石	15 二灰碎石	40 石灰土	55
京石(北京段) 三期、四期	15 细粒式、中粒式、沥青碎石	20 水泥砂砾	20 二灰砂砾	55
京深	12 中粒式、粗粒式	15 二灰碎石	40 石灰土	67
广花	7 中粒式	20 水泥碎石	34 水泥石屑	61
广佛	15 中粒式、粗粒式、沥青碎石	20 水泥碎石	28 水泥石屑	63
广深	32 中粒式、粗粒式、沥青碎石	23 水泥碎石	55 级配未处治碎石	110

续上表

高速公路简称		沥青面层厚度 (cm) 名称	基层厚度 (cm) 名称	底基层厚度 (cm) 名称	总厚度 (cm)
济德		15 中粒式、粗粒式、沥青碎石	20 二灰碎石加水泥	29 二灰土	64
杭甬		18 中粒式、粗粒式、沥青砂	25 水泥碎石	20 级配碎石	63
海南东干线		12 中粒式、粗粒式、沥青碎石	20 水泥碎石	20 水泥碎石	52
京津塘		20 中粒式、粗粒式、沥青碎石	20 水泥碎石	40 石灰土	80
济青		18 中粒式、粗粒式、沥青碎石	34 水泥砂砾	15 石灰土	67
青岛-黄岛		9 中粒式、粗粒式	20 水泥碎石	25 水泥碎石	54
太旧		15 中粒式、粗粒式、粗粒式	20 水泥碎石	15 石灰土	50
沪杭		18 中粒式、粗粒式、沥青砂	25 水泥碎石或 二灰碎石	20 级配碎石	63
郑州-洛阳		15 中粒式、粗粒式、沥青碎石	15 水泥碎石	24 石灰土	69
			+ 15 二灰碎石		
郑开		5 中粒式	22 碾压混凝土	15 水泥碎石	42
沪宁 (江苏段)	改造前	16 中粒式、粗粒式、粗粒式	28 二灰碎石	33 二灰土	77
	改造后	20 细粒式、粗粒式、粗粒式	36(40) 水稳碎石	20 旧路面铣刨料	76(80)
佛-开		18 中粒式、沥青碎石	25 水泥石屑	23 级配碎石	66
深-汕		14 中粒式、粗粒式	25 水泥石屑	32 级配碎石	71
西安-铜川		12 中粒式、沥青碎石	21 二灰砂砾	22 石灰土	55
沈大		15 中粒式、沥青碎石、沥青碎石	20 水泥砂砾		
沈铁		15 中粒式、沥青碎石、沥青碎石	32 水泥砂砾	30 天然砂砾	77
西宝		12 中粒式、沥青碎石	二灰砂砾	二灰土	
南京-南通 (扬州段)		16 中粒式、粗粒式、粗粒式	20 二灰碎石	33 石灰土	69
石家庄-安阳		15 中粒式、粗粒式、粗粒式	20 水泥碎石	40 二灰土	75
石-太(河北段)		15 中粒式、沥青碎石、沥青碎石	22 二灰碎石	25 石灰土	62
沿江高速公路 (江阴段)		18 细粒式、粗粒式、粗粒式	38 水稳碎石	20 二灰土	76
扬州绕城高速		18 细粒式、粗粒式、粗粒式	36 水稳碎石	20 二灰土	74

从表 1-1 可看出,我国的高速公路路面结构绝大部分为半刚性基层沥青路面,多数半刚性基层厚 20cm,水泥稳定碎石(砂砾)是主要的基层材料,其次是二灰稳定碎石(砂砾),仅有一条高速公路采用碾压混凝土做基层。面层厚度普遍在 14~18cm,面层最厚的为广深高速公路,为 32cm,最薄的为广花高速公路,仅为 7cm。另一个主要差别是半刚性基层厚度和类型,基层最厚的为沿江高速公路江阴段的 38cm 水稳碎石,最薄的是京深高速公路的 15cm 的二灰碎石。路面总厚度以广深高速的 110cm 为最厚,以郑开高速的 42cm 为最薄。从以上数据可以看出,我国高速公路的厚度差异较大,基层的结构类型主要以水泥稳定碎石为主,路面结构设计多数沿用了“强基薄面”的理念。

1.2 国外沥青路面结构的发展现状

分析国外的沥青路面结构使用情况可知,由于大部分国家并不存在缺乏沥青的问题,且沥青混合料便于机械化施工,所以国际上普遍采用沥青稳定碎石、级配碎石等柔性基层,甚至全厚式路面。国际上的沥青路面通常有两种典型的结构:在欧美、日本、澳大利亚等大部分国家,多半采用完全意义上的柔性基层沥青路面。一般以级配碎石作下基层,以沥青混合料作为上基层,下面还有垫层。这种路面的设计思想是只要有良好的路基(路基过差, CBR 过小的也采用无机结合料稳定粒料作为路基或底基层),承载能力主要依靠沥青层,故沥青层的总厚度较厚,一般为 20~25cm。另一类是半刚性基层沥青路面。一种是在半刚性基层上直接铺筑沥青层,在高速公路上铺筑时一般沥青层较厚,不小于 20cm;另一种是在半刚性基层上先铺筑碎石过渡层,然后再铺筑沥青层。有的国家规定直接在半刚性基层上铺筑沥青层的结构只用于交通量很小的地方道路。近年来,用半刚性基层直接作为新建高速公路基层的情况已经很少见。另外,法国等国的半刚性基层的做法也不尽相同,这些国家要求在半刚性基层上留置预切缝,并采用专用的设备在预切缝中灌入沥青材料,这种伸缩缝可以起到减少沥青路面横向开裂的效果。最近,英国、美国的学者提出了永久性路面(Perpetual-Pavement)或者称长寿命沥青路面的观点,即考虑路面各结构层的功能,铺筑有足够厚度的基层和沥青层,以后路面有损坏就铣刨表面层,再重新加铺罩面,这样可以长时间地使用下去,其设计寿命可长达 30 年以上。其主要思想是在路面内部,无论荷载应力还是温度应力,沿路面深度方向是急剧变小的,到一定深度后应力就不变了,这个深度的应力主要应该由沥青层承担,所以沥青层厚度较大。在沥青层内,表面层承受荷载、温度应力最大,又直接暴露在空气中,所以必

须选择抗车辙、抗裂缝、抗磨损、稳定、耐久、泌水、粗糙抗滑的混合料和结构,这一层一般需要 4~7.5cm,通常采用高质量改性沥青。中面层虽不暴露于空气,但仍需考虑满足抗车辙要求,所以要选择高温性能好的改性沥青,对低温性能可以降低一级,其厚度通常为 10~17.5cm。下面的沥青层主要是抵抗疲劳,所以沥青质量主要考虑抗裂性能。沥青层的维修,只需要铣刨表面层,换新加铺即可,下面的沥青层可以长期使用。

1.3 国内外沥青路面结构对比分析

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、中交通道路上也得到了大量应用。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。美国实际应用中一般采用 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的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、德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,法国的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,欧洲国家、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的主要结构形式之一。它可以大致分为两类:薄沥青层+厚粒料基层,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,结构中此类型沥青层与粒料底基层厚度比值一般大于 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 小于 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,因此该结构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,它是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了大量使用。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,粒料底基层为 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) 半刚性基层沥青路面

国外的沥青路面结构多数采用柔性基层路面结构,部分采用“复合结构”或“混合型结构”,少部分路面采用半刚性基层路面结构。国外沥青路面结构与结构形式有以下特点:

(1) 结合料稳定的粒料材料(包括各种细粒土和中粒土)及稳定细粒土(如水泥土、石灰土等)一般只能用作底基层,有的国家只用作路基改善层,很少国家采用半刚性材料做基层。

(2) 沥青稳定基层是国外多数国家使用最广泛的结合料类型,沥青层的总厚度多数大于 20cm(南非例外,但使用也很成功)。

(3) 柔性基层、倒装式结构和全厚式沥青路面结构广泛应用,而半刚性基层路面结构一般只用于中、轻交通道路。

总体来说,多数经济发达的国家的沥青面层厚度都较厚,如日本、荷兰、德国,面层厚度为 20~30cm,主要采用沥青稳定粒料和贫水泥混凝土做基层,稳定细粒土(水泥土、石灰土)只用做底基层。国外的理论一般认为半刚性基层在铺筑沥青面层之前或之后必然要产生裂缝,并造成反射裂缝,对采用了半刚性基层的路面结构经常采用加厚沥青面层来减轻反射裂缝或者在基层与面层之间设置级配碎石、土工织物、应力吸收层等夹层结构来防治反射裂缝。由于国外高等级公路发展较早,路面结构多数采用柔性基层,新建道路较少,对半刚性基层反射裂缝的研究相对不多。近年来,由于国外的高等级道路使用时间已接近或到了当初路面的设计使用寿命,对路面反射裂缝的研究也就主要集中在旧路面加铺沥青面层如何防治反射裂缝。而我国近 20 年来半刚性沥青路面迅猛发展,在建和已建的高等级公路多数为半刚性基层沥青路面,对如何防治半刚性基层沥青路面结构的反射裂缝问题进行了较多的研究,相比国外研究来说,我国可研究的内容更多、更广,也更深入。

基于半刚性材料强度高、模量大、板体性强的优点,设计上将半刚性基层作为主要的承重层,对此我国提出了“强基薄面,稳定土基”的设计思想。虽然近几年面层设计也有增厚的趋势(一些高速公路的沥青面层加厚至 18cm,但是半刚性基层的强度仍然控制在 3~5MPa,在施工中强度甚至更高),但半刚性基层材料变形小、易断裂的缺点依然没有改变,反射裂缝仍然为半刚性基层路面的主要破坏模式。

1.4 级配碎石研究现状

在国外,级配碎石层一般作为下基层,用于基层的常为优质的级配碎石,将级配碎石作为半刚性基层与沥青面层之间的中间层并不多见。在美国、澳大利亚及南非,级配碎石作为减小沥青面层反射裂缝的措施采用较多,且效果良好。国外的道路结构设计方法设计对象多为级配碎石基层和底基层,而将级配碎石层作为夹层时的结构设计方法并不多,目前只有澳大利亚的设计体系中提出有关优质级配碎石基层半刚性沥青路面的设计方法。欧洲各国和美国各州通常以 AASHTO、ASTM 等标准为蓝本^[6,7],结合各自材料和环境特点提出了级配^[8-21],这些标准较宽,不适用于作为基层的级配碎石的要求,强度较低,永久变形较大^[22]。国外近年来主要对级配碎石的力学特性进行了大量研究,对试验条件、设备、试件成型方法、尺寸、材料类型、级配等都提出了较明确的要求,但也有尚未解决的问题,如级配碎石的施工方法与控制、压实度的检验方法等。如何通过室内、室外试验得出级配碎石材料的力学反应特性,以便于应用于我国的设计体系中,也是有待于进一步深入研究的课题。

随着我国半刚性沥青路面在使用过程中反射裂缝问题日益突出,为研究防止反射裂缝的问题,铺筑了一些试验路,如河北正定试验路改性沥青应力吸收膜中间层及级配碎石基层防裂对比研究,西安试验路级配碎石基层防裂对比研究,沪宁高速公路无锡试验路级配碎石基层防裂对比研究,宁连一级公路淮阴试验路段级配碎石基层及土工格栅夹层防裂对比研究。通过对这些试验路的系统观测和分析,初步证实 10~20cm 级配碎石的加入对于防止、减少和延迟反射裂缝及其发生,有较好的效果。东南大学的何兆益^[13]对级配碎石基层结构非线性响应、碎石基层结构防止和减缓反射裂缝试验路验证及机理分析进行了初步的研究与分析。哈尔滨大学的曹建新^[23]就级配碎石组成对级配碎石混合料的力学性能的影响进行了研究。莫石秀等根据各粒径的含量对级配碎石抗剪强度的影响提出了关键筛孔的合理取值范围。哈尔滨工业大学以填充理论建立了级配碎石材料的设计方法,按层位给出了级配碎石的级配范围^[24]。目前,对于结构设计参数的选取以及影响因素的分析等问题还有待进一步的研究。

目前,我国高速公路建设投入了很大的人力、财力和物力,高速公路的建设处于快速发展期。由于我国高速公路建设起步较晚,对于高速公路的补强设计并没有完整的理论体系和丰富的经验。而对于低等级道路,虽然大都进行过养护维修,但是很少有进行完整的补强设计的,大都采用挖补或者直接罩一层沥青

层等简单的处理方法,对于补强的结构设计和材料设计的研究较少。由于高速公路的飞速发展和低等级公路投资小等多方面因素的影响,目前国内针对低等级路网道路补强的研究项目非常之少,而对于级配碎石柔性基层在补强设计中的应用方面的研究国内鲜有报道。随着路网的大力改造,道路补强设计显得尤为重要,为了更好地进行路网改造,有必要对低等级公路的补强设计以及柔性基层的应用进行深入的研究,以获取更多的技术资料 and 成果,并把技术转化为生产力应用到路网改造中去。

2 原沥青路面性能检测评价

2.1 原路面概况

原路面为双向四车道二级公路,结构形式为半刚性基层沥青路面。原沥青路面较薄,且破坏状况已经比较严重,已不能满足道路通行要求,需要进行结构补强维修,见图 2-1。



图 2-1 原路面破坏状况

2.2 原路面性能评价

在进行路面补强设计之前,首先要对原路面的使用状况有一个深入的了解。因此,需对原路面的路面使用性能进行评价,依据所采集到的路面状况数据,对路面性能满足使用要求的程度作出判断。路面使用性能评价,可以从路面功能评价和结构状况评价两个方面来进行。通过对原路面的实地调查发现,原路面的结构承载能力已经不能满足行车要求,因此原路面的评价只针对路面结构状况及破损情况。对路面结构状况作出合理的评价,为路面结构补强设计和维修对