

The Design and Construction of Long Life Semi Rigid Pavement
for Heavy Traffic with Heavy Wheel-load



重载交通长寿命 半刚性路面设计与施工

沙庆林 著



人民交通出版社
China Communications Press

The Design and Construction of Long Life Semi Rigid
Pavement for Heavy Traffic with Heavy Wheel-load

重载交通长寿命半刚性 路面设计与施工

沙庆林 著

人民交通出版社

前 言

近年来,我国的高速公路建设得到了飞速发展,高速公路通车里程迅速增加,截至2010年底,我国高速公路通车里程已达7.4万公里。高速公路在服务经济社会发展中的作用愈加显著,但随着我国经济的持续快速发展,社会对交通运输的需求也越来越大,高速公路尤其是东中部地区的国道主干线高速公路的交通流迅速增长,通行车辆中的重型车比例也在与日俱增,这就向我国的高速公路建设提出了新的挑战,即如何建成满足这种重载交通需求的长寿命高速公路,成为摆在广大高速公路建设者面前的一道难题。

由作者主持完成的西部交通建设科技项目“重载交通长寿命沥青路面关键技术研究”,取得了一系列创新成果,使半刚性基层沥青路面处于国际领先水平。交通运输部颁布的《公路水路交通运输“十二五”科技发展规划》中,也将重载交通长寿命半刚性基层沥青路面设计与施工技术列为科研成果的重点推广领域之一。为了给我国的重载交通长寿命路面提供一种切实可行的设计与施工方法,作者整合近40年的科研成果,并总结了在秦皇岛修筑的重载交通长寿命试验路的实践情况,撰写了本书。

本书共分七章。第一章绪论。简要介绍了当前我国高速公路上交通状况的显著变化以及我国半刚性基层与半刚性基层沥青路面的发展历程。

第二章国内外的重载交通沥青路面。着重介绍了国际上柔性路面的典型代表——澳大利亚柔性路面的结构和设计思想;扼要介绍欧洲的重载交通沥青路面,以及国内重载交通沥青路面的状况。

第三章国内外的长寿命沥青路面。主要包括:法国1998年的典型结构、20世纪60年代初哈尔滨二十道街长寿命半刚性路面、21世纪初我国新建的几条长寿命沥青路面试验路的情况。

第四章半刚性基层沥青路面的设计理论和力学计算。这是本书的重点之一,首先明确了20世纪60年代初交通部公路科学研究所提出的我国独特的路面设计理论——“强基、薄面、稳土基”及其包括的四大内容:路面结构组合设计、材料设计、厚度设计和路基路面综合设计。同时以重载交通长寿命半刚性路

面为例,具体说明如何在高速公路路面建设中贯彻实现这个设计理论。利用力学计算结果论证了在路基顶面下 1.5m 处设置水平沥青膜隔断层的重要作用,并介绍了层间黏结的具体措施。还利用力学计算结果介绍了路面各力学指标间有很好的相关性和两种不同轴载的比较。

第五章重载交通长寿命沥青面层的设计理论及应用。这是本书的重点内容,主要介绍粗集料断级配 SAC 系列的设计理论、设计方法、检验方法以及应用等。

第六章新水泥碎石基层混合料的设计与检验。详细介绍了粗集料断级配新水泥碎石基层混合料的级配设计方法,并根据路上的实践经验确定其粗集料的含量,采用了两种密实性检验方法,得到其孔隙率很小,并提供了水泥碎石强度很小变化的级配范围。

第七章施工工艺。内容包括沥青混合料与水泥碎石混合料拌和厂设备的添置和改造;适用于各种级配的粗集料单一粒级专用筛分机等。本章还介绍了凸块钢轮压路机的创新性应用,土基隔断层、水泥碎石基层与沥青面层的施工,以及黏结层与黏结防水层的施工等。

重载交通长寿命路面作为全寿命周期成本最低的一种路面形式,很符合我国建设资源节约型和环境友好型高速公路的需求,在我国有着广阔的应用前景,作者期望本书能为随后相关标准规范的出台提供技术依据,并为我国重载交通长寿命路面的建设提供有价值的参考。书中参考了相关课题的研究成果,在此对参与课题研究的相关人员表示感谢。本书的撰写历时三年,虽经多次修改和完善,但限于作者的时间和精力,书中的不妥之处,恳请读者批评指正。

作者

2011年9月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概况	1
第二节 我国半刚性基层与半刚性基层沥青路面的发展历程	11
第二章 国内外的重载交通沥青路面	20
第一节 国外的重载交通沥青路面	20
第二节 国内重载交通沥青路面状况	26
第三章 国内外的长寿命沥青路面	31
第一节 国外的长寿命路面	31
第二节 我国已有的长寿命半刚性路面	38
第三节 我国新建的长寿命沥青路面试验路	42
第四章 半刚性基层沥青路面的设计理论和力学计算	60
第一节 “强基、薄面、稳土基”设计理论	60
第二节 路面结构组合设计	71
第三节 材料设计	91
第四节 路面厚度设计	95
第五章 重载交通长寿命沥青面层的设计理论及应用	115
第一节 SAC 系列矿料级配的设计理论	115
第二节 新 SAC 系列矿料级配的设计方法	120
第三节 新 SAC 系列矿料级配的检验方法	126
第四节 新 SAC 矿料级配的性能	145
第五节 SAC 矿料级配优点	159
第六节 新 SAC 的应用	160
第七节 硬质沥青的应用	174
第六章 新水泥碎石基层混合料的设计与检验	189
第七章 施工工艺	212
第一节 土基的施工	212

第二节	基层的施工	217
第三节	层间黏结层的施工	221
第四节	添置和改造水泥碎石与沥青混合料拌和机和质量检验	224
第五节	沥青面层的施工	227
第六节	铺筑试验路	238
第七节	沥青混合料的变异性	243
参考文献		251

第一章 绪 论

第一节 概 况

一、我国高速公路的交通状况

在设计高速公路时,根据 OD 调查等资料是很难准确预测未来年份的交通量和交通组成的,就以往沥青路面设计使用期为 15 年的情况下,要预测 15 年后的累计标准轴次也是很困难的,可以说其误差相当大。以下简要叙述我国三条比较有代表性的高速公路的交通情况。

1. 沪宁高速公路

双向 4 车道沪宁高速公路是一个典型实例。早在 20 世纪 90 年代,我国主干线高速公路和国道上的交通量就相当大。例如,1996 年建成通车的沪宁高速公路,设计年限为 15 年。设计时预计 2000 年的交通量为 20 198 辆/d,2010 年为 36 602 辆/d。该路运营期间的交通量见表 1-1。

沪宁高速公路江苏段历年日均全程交通量一览表(单位:辆/d) 表 1-1

时 间	苏州	无锡	常州	镇江	南京	全线平均
1996 年	11 238	11 877	11 110	9 916	9 140	10 402
1997 年	14 224	12 914	10 587	10 541	12 099	13 285
1998 年	16 285	14 718	12 018	12 796	14 182	13 964
1999 年	19 895	16 879	13 359	14 321	16 067	16 235
2000 年	23 200	19 290	13 684	15 170	16 999	18 087
2001 年	28 231	23 358	15 340	16 558	19 766	21 013
2002 年	—	—	—	—	—	25 349
2003 年	—	—	—	—	—	31 021
2006 年	—	—	—	—	—	39 451
2007 年	—	—	—	—	—	48 409
2008 年	—	—	—	—	—	49 327

由表 1-1 可以看出:

(1)当初预计的 2000 年交通量与运营期间全线平均的实际交通量基本一致;

(2)东段(无锡枢纽—花桥)交通量明显高于全线平均水平,是全线平均交通量的 1.21 ~ 1.26 倍;

(3)据调查,通车 6 年后,2002 年 1 ~ 8 月份,仅 8 个月时间,东段平均交通量为 33 478 辆/d,已很接近当初 2010 年的预计数。2006 年沪宁高速公路拓宽改建成双向 8 车道高速公路。据介绍,2007 年沪宁高速公路折算成全线平均的交通量(各种车辆)为 4.8 万辆/d,已超过设计时的 2010 年交通量的 31%。东段(无锡到上海)为 5.8 万辆/d,其中货车占 35%,即 1.68 万辆/d。如各种货车都折算成标准轴次,则累计当量标准轴次会显著超过 2 万辆/d。而且其中重型货车和超限超载车辆逐渐增多。到 21 世纪初的前 6 年,这种现象达到高峰。但总的来看,沪宁高速公路重载货车占的百分率并不大。

2. 广深高速公路

广深高速公路是另一个典型实例,该路为双向 6 车道。2008 年,广深高速公路深圳市辖段的交通量为 8 万辆/d,其中大客车和货车约各占一半,这也是设计时没有预测到的。广深高速公路设计时预估使用期 15 年内的累计标准轴次是 3 100 万。实际上该路通车后不久,其交通量和货车数量就已跃居全国高速公路之首。近几年来每天收费超过 1 000 万元(仅指省辖的 100km)。由于该高速公路特殊的地理环境,据统计通过各种车辆,2007 年就达 36 亿辆之多,平均每天约 986 万辆;2008 年达 33 亿辆,平均每天约 904 万辆。广深高速公路近两年的交通量见表 1-2。表中二轴六轮、三轴、四轴及多轴均为货车的统计数据,广深高速公路将此三种货车换算成 BZZ-100kN 所采用的系数分别为 $\times 0.76$ 、 $\times 4.69$ 和 $\times 7.25$ 。用这些系数计算的结果,2007 年的累计当量标准轴次 $ESAL = 23.54$ 亿次,平均每天 $ESAL = 645$ 万次;2008 年的 $ESAL = 18.85$ 亿次,平均每天 $ESAL = 516$ 万次。近几年广深高速公路的收费总额每年在 36 亿 ~ 40 亿之间。

其他国道主干线高速公路也都有实际累计标准轴次显著超过设计时预估值的类似情况。特别是北南纵向主干线高速公路的重载交通和 $ESAL$ 更大。早在 20 世纪 80 年代,美国就总结提出实际交通量往往是预估交通量的 2 ~ 4 倍。

广深高速公路近两年的交通量

表 1-2

车 辆 类 型		出口车流量(万车次)		交通总量(百万车次)	
		2008 年	2007 年	2008 年	2007 年
收 费 车 辆	二轴四轮	8 407.57	8 778.13	2 453.77	2 663.01
	二轴六轮	2 010.48	2 174.70	546.84	618.36
	三轴	224.11	254.63	51.93	64.98
	四轴及多轴	745.05	896.57	169.12	217.84
	小计	11 387.21	12 104.03	3 221.66	3 564.19
免费车辆		331.03	232.34	93.69	68.56
合 计		11 718.24	12 336.37	3 315.35	3 632.75

实际调查显示,一些主干线高速公路和国道上实际货车的后轴重分布状况为,轴载 100~120kN(10~12t)和 120~140kN(12~14t)的分别约占 13%。轴载超过 130kN(13t)的占 50% 多。轮胎充气压力一般在 0.9~1.0MPa,而实际中,后轮充气压力大于 1.1MPa 的接近 50%。这些重载货车使不少高速公路的沥青路面产生了严重辙槽和严重水破坏。

3. 京珠高速公路

2010 年 2 月,笔者调查了北南主干线京珠高速公路沿线几个主要路段的交通状况,结果见表 1-3。表中包括日平均交通量、日平均重载货车的数量及重载货车所占的百分率,其中,重载货车是指载货大于 8t 的货车。

京珠高速公路沿线的交通状况

表 1-3

名 称	日平均交通量(辆/d)	日平均重载货车(辆/d)	重载货车比例
京石高速	52 124	9 076	17.4%
石安高速	48 534	13 162	27.1%
安新高速	15 501	5 930	38.3%
豫南高速	10 662	5 670	53.2%
临长高速	35 836	10 080	28.1%
未宜高速	21 370	4 955	23.2%

从表 1-3 可以看到,日平均重载货车少的路段,仅 5 000 辆/d 左右,即 1 年 182 万辆左右,而平均重载货车多的路段则超过了 10 000 辆/d,即 1 年超过了

365 万辆。

从近几年了解的情况看,通常货车轴载符合规定的 100kN,但轴数增加到 5~6 个轴的半拖挂和拖挂车较多,同时轴距不超过 3m。这种多轴货车在主干线高速公路上和运煤路线上比较多见,一旦堵车就会有近百辆甚至上千辆车滞留在路上。

一些省从 2006 年开始就实施计重收费,并开始控制超载和超限车辆。例如,江苏省的沿江高速公路 2006 年 5 月,每天有各种车辆 20 000 辆,客车、货车各占一半。有 85.2% 的货车不超载,超载 30% 以下的货车占 11.9%,超载 30%~50% 的货车只有 2%,超载 50%~100% 的货车仅占 0.07%。据了解,近几年多数省已实行计重收费。在尚未实行计重收费的高速公路上和国道上,不但货车数量多,而且货车超载的情况仍然相当严重。

二、长寿命柔性路面

1997 年,英国运输研究所 TRL Michael Nunn(牛恩),在第八届国际沥青路面会议上发表了《长寿命柔性路面》论文。在此论文中,牛恩对 1984 年起英国建成的原沥青混凝土柔性路面进行了回顾分析。他指出,沥青混凝土层厚、施工质量好的柔性路面的主要损坏是表面出现裂缝和辙槽。后来的研究又发现,为了减少路面总寿命期间的费用,路面结构寿命至少要 40 年。英国现行路面设计方法的依据是已承担了 20×10^6 次标准轴载(英国的标准轴载是 80kN)的试验路。这些路的使用性能趋向被用于设计直到 200×10^6 次(2 亿次)的标准轴载。用弯沉值作为确定分期建设临界时间的依据。

1. 柔性路面

牛恩等发现,对于柔性路面,沥青混凝土层厚小于 18cm 时,在路基和沥青混凝土层中都会产生深辙槽。对于厚 9~16cm 的沥青混凝土层和厚 15cm 的柔性基层,辙槽与土基有关。以往研究已经证明,对于柔性路面,辙槽深度是由沥青面层、柔性基层与土基三部分在车轮荷载作用下产生的。所以规定土基的 CBR 值应大于 5。如沥青混凝土层厚大于 36cm,仅有主要由沥青混凝土层产生的较小的辙槽。实际上也就是说,沥青混凝土层厚大于 36cm 的情况下,柔性基层和土基不会再产生永久形变。

在沥青混凝土层厚 23~30cm 的四种路面结构上,加载 $22 \times 10^6 \sim 71 \times 10^6$ 次(2 200 万~7 100 万次)未发现有疲劳破坏现象。他指出疲劳破坏不是路面结构使用性能长寿命的主要因素。这点与澳大利亚的经验一致。

牛恩得出结论,为了得到长寿命的路面,土基的 CBR 值要大于 5,应使用有

一层最小厚度的良好的沥青混凝土,应认真施工并重视养护。同时,他提出,对于每年 5×10^6 次(500 万次)标准轴载的柔性路面,在不确定寿命时,沥青混凝土层厚建议为 26cm。对于长寿命并允许更换表层开裂的 10cm 沥青混凝土路面的上层,沥青混凝土层厚建议为 37cm。

显然,上述论述中牛恩并没有说明,表面裂缝指什么类型的裂缝。笼统地说有没有裂缝,不切合实际。实际上,沥青混凝土表面不产生裂缝是不可能的。所谓长寿命也就是在 40 年期间,柔性路面不会产生结构性破坏。实际上,英国 20 世纪 80 年代的新路面设计方法,对交通量最大的公路,柔性路面沥青混凝土层的厚度为 42cm。

应该说,上述情况仅针对英国习惯用的沥青混合料、英国的气候条件和交通状况。

荷兰通过对 176 段柔性路面的研究,发现在厚度大于 16cm 的沥青混凝土路面上,损坏仅限于从表面向下的裂缝,直到深 10cm 处,没有典型的疲劳破坏。同时得出结论,表面损坏主要是由轮胎产生的不均匀径向应力引起,这些应力大于底面的拉应力。但是,我国的研究表明,沥青混凝土是一种热胀冷缩的材料,沥青面层的裂缝主要是由温度变化引起的低温裂缝和温度疲劳裂缝。

2. 半刚性路面

A. R. Parry 和 M. E. Nunn 等对已经承受 100×10^6 次(1 亿次)标准轴载的半刚性路面结构的施工和养护历史进行研究后指出:设计是根据保证水泥稳定基层的弯拉强度大于温度翘曲应力和交通应力之和进行的。最近几年趋向于使用较高强度的水泥稳定基层和水泥处治底基层。

对于交通量大于 100×10^6 次(1 亿次)标准轴载(80kN)的公路,英国在厚 25cm 贫混凝土基层上铺 20cm 厚沥青混凝土,同时要求 CBR > 30% 的底基层厚 35cm,要求路基的 CBR 为 5%。他们认为此设计可满足预计累计标准轴载超过 100×10^6 次。

长寿命路面的论文发表后,引起了美国、欧洲一些国家和我国公路路面研究技术人员的重视。

美国沥青路面协会(APA)将长寿命路面定义为:在沥青路面设计使用年限达 50 年内无结构性的修复和重建,仅需根据表面层损坏状况进行周期性的修复。实际上,美国有的州采用 40 年,有的州采用 50 年。2004 年,美国联邦沥青技术中心颁发了长寿命路面奖,有 8 个州的一些路段获奖,其中大部分为州际高速公路或主干线公路。这些获奖路段都正常使用 35 年以上无结构性破坏,并且

每次需表面罩面或修复的间隔时间大于 12 年。显然,这里不是指整条路,而是指某条路上的个别路段。此外,既没有介绍交通状况,也没有具体的路面结构。但联邦沥青技术中心至少证明在美国的交通状况下柔性路面是可以达到长寿命的。

在此前后,国外文献中曾出现过“永久性路面”这个名词。笔者认为,路面,包括其他工程结构物是不可能永久的。要求路面长寿命,同时给其某种定义是合适的。在我国,针对半刚性基层沥青路面,笔者提出长寿命路面的定义为:在 40 年使用期限内,路面不产生结构性破坏,仅表面层需要及时日常养护,以恢复面层的使用性能,重铺或加铺表面层的间隔时间为 10 年以上。

三、我国《公路沥青路面设计规范》交通等级的划分

《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2006)(以下简称《沥青路面设计规范》)的交通等级划分按下列两个标准进行:

(1)按设计年限内一个车道累计当量标准轴次 ESAL 或 N_e (万次/车道)划分;

(2)按通车运营后第一年的货车平均日交通量划分,即大客车、中型货车、大型货车、拖挂车等车型在每一车道上的日平均交通量[辆/(d·车道)]划分,见表 1-4。但没规定大客车等的轴重,公路上一般为 40kN。将交通等级划分为轻交通、中交通、重交通、特重交通四个等级。设计时根据上述两个条件的规定,选择一个较高的交通等级作为设计交通等级。

《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2006)的交通等级划分 表 1-4

交通等级	BZZ-100kN 累计标准轴次 N_e (次/车道)/ I_a^2 (mm)	大客车及中型以上各种货车交通量 [辆/(d·车道)]
轻交通	$<3 \times 10^6 / 0.304$	<600
中交通	$(3 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^7) / 0.230$	600 ~ 1 500
重交通	$(1.2 \times 10^7 \sim 2.5 \times 10^7) / 0.199$	1 500 ~ 3 000
特重交通	$>2.5 \times 10^7 / <0.199$	$>3 000$
超重交通 ^①	$1 \times 10^8 / <0.151$	—

注①超重交通是笔者根据长寿命半刚性路面的要求加上的。

② I_a 按《沥青路面设计规范》计算半刚性路面设计弯沉值的公式计算得。

《沥青路面设计规范》交通等级划分的设计年限为 15 年,路面使用到 15 年产生结构性破坏,需要翻修重建是符合规范要求的。实际上,已建高速公路沥青路面平均约使用 6~7 年就开始产生结构性破坏。表面层则通车后 1~3 年就产生严重的水破坏和辙槽。美国在 20 世纪 80 年代中,调查总结了其州际高速公路沥青路面的实际使用年限。最终公布的报告指出,按美国 AASHTO 的路面设计指南,沥青路面应该使用 20 年,但实际只使用 8~12 年。这就是我国和美国的路面工作者对长寿命沥青路面十分关注的根本原因。

四、重载交通长寿命路面的累计标准轴次

目前我国公路上的交通轴载换算成当量标准轴载(100kN)ESAL 后的累计作用次数 N_e 。一般都大于 2000 万次,有的甚至超过 1 亿次。由于根据 OD 调查预测的交通量、交通组成和增长率本身的可靠性并不高,实际预估的 15 年内的累计标准轴次 ESAL 即《沥青路面设计规范》中的 N_e 。与开放交通后设计使用期内的实际交通量会有很大误差。长寿命沥青路面的设计年限是 40 年,要预估 40 年内的交通状况难度更大。表 1-3 中平均重载货车最多的路段(至今通车约 20 年)达 13 162 辆/d,一年总计 4 804 130 辆,再通车 20 年共计会超过 1 亿辆。因此,设计年限 40 年的重载交通长寿命半刚性路面的累计标准轴次 ESAL 应为 1 亿次/车道。

利用《沥青路面设计规范》中计算半刚性路面设计弯沉值的公式,可计算得重载交通长寿命半刚性路面 1 亿次 ESAL 的设计弯沉值 l_d 为 0.151mm。

2007 年完成的河北省秦皇岛长寿命半刚性路面试验路,通车一年后,2 748m 长正规试验路段的代表弯沉值左轮下(4 小段)变化在 0.124~0.155mm 之间。

五、路面类型

近 100 多年来,国际上采用的路面有柔性路面、半刚性路面、刚性路面和刚性路面上铺设沥青混凝土面层几种类型,在英国称后者为刚性组合式路面,我国称复合式路面,也有人将其简称为白加黑路面。

1. 柔性路面

路面结构层都是用沥青结合料和无结合料的粒料(如级配碎石、级配砂砾和填隙碎石等)构成的称柔性路面。

美国最早于 1873 年就开始铺筑柔性路面,至今已有 136 年历史。美国 AASHTO(各州公路运输工作者协会)总结 2002 年前的柔性路面结构列在表 1-5 中。

美国 2002 年前的柔性路面

表 1-5

传统柔性路面	厚沥青混凝土柔性路面	全厚式沥青混凝土路面
沥青混凝土面层	沥青混凝土面层	沥青混凝土面层
无结合料基层	沥青混凝土面层	沥青混凝土联结层
无结合料底基层	无结合料基层	沥青混凝土基层
压实的土基	压实的土基	压实的土基
天然地基	天然地基	天然地基

注:传统柔性路面沥青混凝土层厚常为 7cm。表中并没有注明各层的厚度和混合料的力学指标。美国高速公路主要使用柔性路面。

2. 刚性路面

水泥混凝土路面常简称刚性路面。早在第二次世界大战之前,德国就铺筑了很多水泥混凝土路面,第二次世界大战后前民主德国主要采用刚性路面,美国有的州也铺筑了不少刚性路面。在我国一般公路上水泥混凝土路面使用得很多。

3. 半刚性路面

我国早在 20 世纪 60 年代就开始使用准半刚性路面,如石灰土基层上铺渣油表面处治面层。在 80 年代初前后开始铺筑半刚性基层沥青面层试验路,正式研究半刚性路面。但是国际上正式定名半刚性路面却是在 1983 年的第 17 届世界道路会议上。会议提出,半刚性路面包括两个特点:一是路面结构层中有 1~2 层是用水泥、石灰或石灰粉煤灰等无机结合料稳定级配粒料或稳定土等材料构成的;第二是无机结合料稳定材料层具有一定的厚度,能使沥青路面结构的力学性能和承载能力显著优于柔性路面,但承载能力又不如刚性路面。换句话说,半刚性基层沥青面层这种路面结构国际上是在 1983 年从柔性路面中分离出来的。

2002 年美国 AASHTO 设计指南提供的路面结构类型见表 1-6。

2002 年美国 AASHTO 设计指南的路面类型

表 1-6

用 ATB 的半刚性路面	用 CTB 的半刚性路面	倒装式路面结构
沥青混凝土面层	沥青混凝土面层	沥青混凝土面层
沥青稳定基层 ATB	水泥稳定基层 CTB	无结合料基层
无结合料底基层	无结合料底基层	ATB 或 CTB
压实的土基	压实的土基	压实的土基
天然地基	天然地基	天然地基

从表 1-5 和表 1-6 可以看到,此两表对柔性路面与半刚性路面的差别有混淆。将沥青混凝土看作是柔性的,而将沥青稳定基层 ATB 却看作是半刚性的。没有提供任何指标值,也没有遵循 1983 年第 17 届世界道路会议对半刚性路面的定义。

4. 刚性组合式路面

刚性组合式路面是在刚性路面的基础上铺筑一定厚度的沥青混凝土面层,以克服刚性路面的缺陷发展起来的。

5. 正常设计和施工的四种路面使用性能的比较

1) 柔性路面的优缺点

柔性路面的显著优点是车辆行驶舒适,噪声小。它的显著缺点是沥青混凝土层的厚度大,欧洲高速公路上通常超过 30cm;需要用品质好的碎石和大量沥青,因此投资较大。在重载货车作用下容易产生辙槽,表面会产生温度裂缝。

2) 半刚性路面的优缺点

半刚性路面的显著优点是能够用作重载交通长寿命沥青路面的结构,实际上路面结构的承载能力可完全由半刚性基层和半刚性底基层满足。其上只需铺 12cm 厚的沥青面层,在半刚性基层上的薄沥青面层容易产生反射裂缝,会增加沥青面层的裂缝数量。半刚性基层可用石料的品种较多,石料品质要求较低,可以就地取材。特别是半刚性底基层可以使用少量无机结合料稳定沿线的土。因此,半刚性路面的投资显著少于柔性路面,同时又具有柔性路面车辆行驶舒适和噪声小的优点。沥青面层的温度裂缝与柔性路面相似。

3) 刚性路面的优缺点

经过优秀设计和施工的刚性路面的突出优点是承载能力最大,其突出缺点是收缩缝太多,而且对填缝料的要求很高,我国所用填缝料的耐久性差,容易老化。收缩缝多,行车舒适性差,噪声大。填缝料一旦老化,雨水容易透入。我国常在刚性路面下设置半刚性基层,一旦雨水侵入也会导致唧浆和混凝土板的边角断裂,严重影响刚性路面的使用性能和使用寿命。按设计,刚性路面应使用 30 年,但我国刚性路面的实际使用寿命常为设计年限的五分之一左右。

4) 刚性组合式路面的优缺点

为了克服刚性路面的突出缺陷,在刚性路面上铺筑一定厚度的沥青混凝土面层,使行车较舒适和减小噪声,同时也能防止雨水透过收缩缝进入混凝土板底,大量减少混凝土板的边角断裂。这样就产生了刚性组合式路面。近 10 多年来,国内高速公路的刚性路面都先后改造成了复合式路面。但由于刚性路面的

温缩性显著大于沥青混凝土的温缩性,沥青面层仍可能产生较多反射裂缝。并使雨水通过裂缝透入刚性路面的板底,逐渐导致混凝土板破坏。这就需要各地根据沿线的气温和所用沥青混凝土的厚度和性能来研究、总结合适的减少反射裂缝的措施,以及防止反射裂缝两侧啃边的措施。最佳方案是在混凝土面板下设置一个透水排水的基层。

六、美国华盛顿州 1-90 州际高速公路不同路面结构使用性能的比较

1. 美国 1-90 州际公路

美国华盛顿州 1-90 州际公路,全长 480km。有三种路面结构:柔性路面结构占 47%,半刚性(水泥处治基层)路面占 33%,普通水泥混凝土路面占 20%。全线被 Cassade 分成东西两部分。东段夏热冬寒,部分路段交通量较小,当量标准轴次 ESAL = 37.5 万次/(车道·年),部分路段交通量很大,ESAL = 250 万次/(车道·年),平均每天每车道 ESAL 为 6 849 次,美国的标准轴载为 80kN。

2. 柔性路面与半刚性路面使用性能的比较

东段柔性路面 / 半刚性基层沥青路面性能的调查情况见表 1-7。

路面使用性能比较

表 1-7

比较项目	距第一次施工时间(年)	原施工厚度(cm)	从第一次施工到第一次维修时间(年)
平均值	29.3/38.2 ^①	24.1/23.1	12.4/10.8
变化范围	6 ~ 35/33 ~ 42	15.2 ~ 35.3/20.3 ~ 25.4	6 ~ 21/3 ~ 16
路段数	27/21	27/21	25/21
比较项目	现在磨损层时间(年)	现在平整度指数 IRI (m/km)	现在辙槽深度 RD(mm)
平均值	4.7/7.1	0.8/0.9	5/7
变化范围	2 ~ 10/1 ~ 10	0.6 ~ 1.2/0.6 ~ 1.2	1 ~ 9/1 ~ 11
路段数	25/21	25/21	25/21

注①:表中“/”前的值指柔性路面,“/”后的值指半刚性路面。

从表 1-7 可以看到:

(1) 柔性路面共 27 段,从第一次施工以来的平均寿命(考虑各段的长度加权平均)为 29.3 年,半刚性路面共 21 段,从第一次施工以来的平均寿命为 38.2 年;

(2) 柔性路面平均厚度 24.1 cm,半刚性路面平均厚度 23.1 cm;

(3)从第一次施工到第一次维修的平均时间间隔,柔性路面为 12.4 年,半刚性路面为 10.8 年;

(4)到观测时磨耗层已使用的时间,柔性路面为 4.7 年,半刚性路面为 7.1 年,即半刚性路面的使用时间较柔性路面长 2.4 年;

(5)观测时的国际不平整度指数,柔性路面为 0.8m/km,半刚性路面为 0.9m/km;

(6)观测时的辙槽深度柔性路面平均为 5mm,半刚性路面平均为 7mm。

也就是说,虽然半刚性路面的国际不平整度指数较柔性路面的大 12.5%,前者的辙槽深度较后者的大 2mm,但前者的使用期却比后者的长 2.4 年。

上述统计结果证明,水泥处治基层半刚性路面完全可以作为长寿命路面结构。

第二节 我国半刚性基层与半刚性基层 沥青路面的发展历程

一、我国第一条石灰土试验路段

1953 年交通部公路科学研究所与河北省交通厅合作,首次在国内铺筑石灰土基层中级路面试验路并取得成功。随后,国内不同地区都开始推广应用石灰土。

1. 哈尔滨市严重翻浆路段

20 世纪 60 年代初,为解决哈尔滨市二十道街沥青路面春季翻浆破坏的严重问题,笔者建议利用石灰土、石灰炉渣土等材料铺筑解决翻浆问题,使二十道街成为我国城市内第一条重载交通长寿命沥青路面。通车 45 年后,2006 年笔者再次观测二十道街时,原试验路路面未产生结构性破坏,仅 7cm 厚沥青面层进行了多次维修和重铺。

2. 20 世纪 60 年代中石灰土基层渣油表面处治

石灰土基层与渣油(石油经初步提炼后剩余的较稀的残渣)表面处治面层是 20 世纪 60 年代推广应用的主要路面结构。

3. 20 世纪 70 年代用石灰改善原黏性土做结合料的中级路面的水稳性

在 70 年代,我国主要公路上的路面是用黏性土做结合料的泥结碎石和级配砂砾。这些中级路面在当时的行车荷载作用下未发生破坏。由于这些路面的显著缺点是晴天扬灰和雨天泥泞。为克服其缺点,同时提高行车舒适性,在原路面