

文章编号: 1002-0268 (2006) 03-0010-05

# 新型沥青路面结构在我国的应用研究

李福普, 陈景, 严二虎

(交通部公路科学研究院, 北京 100088)

**摘要:** 中国的高速公路沥青路面绝大多数采用半刚性基层沥青路面, 为发展高速公路建设起到了重要作用。但采用一种沥青路面结构存在许多不足, 不少高速公路沥青路面产生了耐久性差、使用寿命短的现象。文章分析了国际上多种路面结构在高速公路上的使用现状, 介绍了我国开展的包括柔性基层、组合式基层在内的不同结构的沥青路面在高速公路上的应用情况。最后建议对沥青路面的设计进行完善, 明确其适用范围, 应推广采用组合式基层、柔性基层等其它路面结构。

**关键词:** 沥青路面; 柔性基层; 组合式基层

**中图分类号:** U416.217

**文献标识码:** A

## Study and Application of New Asphalt Pavement Structures in China

LI Fu-pu, CHEN Jing, YAN Er-hu

(Research Institute of Highway of the Ministry of Communications, Beijing 100088, China)

**Abstract:** Semi-rigid base is adopted in almost all expressways of asphalt pavement in China. Although this type of structure has played an important role in setting up China's expressway system, there are disadvantages such as poor durability and short life. Several types of pavement structure applied in expressways in the world are analyzed in the article. Application of flexible and combined base in expressways of asphalt pavement in China is also introduced.

**Key words:** Asphalt pavement; Flexible base; Combined base

在我国, 已经建成的高等级公路中, 采用的路面结构型式以沥青路面为主。其中采用沥青路面结构的约占 80% ~ 90%, 采用水泥混凝土路面结构的约占 10% ~ 20%。在沥青路面中 95% 采用的是半刚性基层沥青路面, 5% 采用的是其它基层结构。

我国高速公路沥青路面长期以来采用半刚性基层沥青路面这种单一型式的结构, 这是由于以往经济基础差和缺乏沥青的原因。随着大规模的建设高速公路, 各地的气候、交通、原材料、地质等条件差异极大, 在进行高速公路沥青路面设计时应该考虑各地具体的情况来采用不同的结构型式, 采用一种沥青路面结构显然是不合理的。

### 1 我国高速公路沥青路面结构的使用情况

我国高速公路沥青路面之所以绝大多数采用了半刚性基层沥青路面是有其历史原因的, 在过去的几十年中, 我国缺乏优质的沥青, 同时碎石生产的水平以及天然砂砾的质量比较差, 由于这些理由, 强基薄面的半刚性基层沥青路面成为中国沥青路面结构的主要型式, 并几乎成为包括高速公路在内的惟一的结构形式, 如图 1 所示。即使是高速公路, 除了最早修建的京津塘、广深珠高速公路沥青面层较厚, 以及北京地区一般采用 18cm 外, 普遍将沥青面层减薄至 3 层总厚度为 15 ~ 16cm 的结构, 而基层的强度则逐渐从

收稿日期: 2005-12-12

作者简介: 李福普 (1953 - ), 女, 重庆人, 教授级高级工程师, 主要从事道路工程沥青路面及机场工程的研究。(fp.li@rioh.cn)

3MPa 提高到 5MPa 以上, 在施工中甚至强度更高。

表面层 40mm	沥青层总厚度 15 ~ 18cm
中面层 50 ~ 60mm	
下面层 60 ~ 80mm	
1 层或 2 层水泥、石灰、粉煤灰稳定碎石(砂砾)基层 厚度 30 ~ 40cm	
1 层或 2 层水泥、石灰、粉煤灰稳定碎石(砂砾、土)	
底基层 厚度 15 ~ 20cm	

图 1 我国现有的高等级公路沥青路面典型结构

Fig.1 Typical asphalt pavement structure of expressway in China

由于单一地采用一种沥青路面结构型式, 产生了众多的弊端, 如无法防止开裂和进水, 基层不能迅速排水, 使基层界面条件恶化; 基层强度、刚度过高导致轴载换算系数变大, 增加了对重载车的敏感性; 半刚性基层材料的强度和模量会衰减, 开裂使整体变成大块, 最后变成小块、碎块等等。沥青路面的使用寿命取决于基层, 是形成我国沥青路面耐久性差、使用寿命短, 无法成为永久性路面的重要原因。

## 2 我国柔性基层、组合式基层沥青路面结构在高等级公路上使用的研究

### 2.1 级配碎石基层的应用回顾

在我国, 20 世纪 70 年代前后, 相当一部分的二级公路是采用的柔性基层, 许多干线公路、国道, 以及大量的城市道路主干线, 铺筑的是柔性基层沥青路面, 那时的柔性基层的质量是非常差的。公路和城市道路主要使用天然砂砾, 级配碎石是少数, 甚至根本没有用过真正意义上的级配碎石。但是一直到 21 世纪, 这些干线公路和城市道路都在运营, 只不过已经维修了多次。由于沥青层很薄, 很多路面已发生了网裂。

20 世纪 80、90 年代铺筑过一些级配碎石过渡层沥青路面试验段, 如河北正定试验路、西安试验路以及沪宁高速公路无锡试验路都进行过级配碎石过渡层结构研究。但是这些结构沥青层厚度较薄, 一般为 6 ~ 12cm, 因此有些道路部分路段已经逐渐产生网裂, 属于结构性疲劳破坏。我国在高速公路上正式使用柔性基层的是 1993 年建成通车的成渝(成都-重庆)高速公路。成渝高速公路大部分是用的采沥青层加二灰碎石的半刚性基层沥青路面, 还有相当一部分是级配碎石柔性基层沥青路面, 使用了 7 ~ 9 年后两种结构都逐渐发生了损坏。根据调查, 开挖出来的级配碎石层处于饱水状态, 极为潮湿。而损坏的级配碎石基层中使用的细料含量超标, 细料中的塑性指数超标, 液限超标, 塑性细料含量多, 说明当时施工的时候对

于原材料的质量控制不够理想, 结构层受水作用敏感性、强度下降。

通过这些工程的研究, 得到这样一些结论:

(1) 半刚性沥青路面因半刚性基层干缩、温缩开裂导致的反射裂缝成为沥青路面的主要病害之一, 而采用级配碎石基层或过渡层对于防止和减少沥青面层裂缝具有较好效果, 表现出柔性路面在克服半刚性沥青路面的大量早期横向开裂方面的优越性。

(2) 采用级配碎石过渡层结构都没有关于路面抗车辙性能差的报道, 因此至少没有证明因采用了级配碎石而减弱了路面结构的抗车辙性能。

(3) 采用级配碎石层结构的沥青路面, 如果沥青层厚度较薄时, 容易产生沥青路面疲劳破坏。

(4) 级配碎石的生产必须严格控制原材料碎石的质量。

### 2.2 厚沥青层路面的应用评述

在我国有几条高速公路采用了沥青层相对较厚的半刚性沥青路面。如北京首都机场高速公路、京津塘高速公路和广深高速公路。这些沥青路面沥青层较厚, 已经不是我国传统意义上的薄沥青层半刚性路面。

首都机场高速公路为沥青层厚度 20cm, 该高速公路从 1993 年开放交通以来, 交通量较大, 不过重车并不多。但是路面的开裂较普遍, 进一步调查发现, 这些裂缝不仅产生在行车道、超车道, 甚至在停车道上都产生了开裂。在 2003 年对现场开裂进行了钻芯, 其开裂情况见图 2。芯样中表面裂缝平均开裂深度为 4.8cm, 最深为 8.1cm, 这基本与国外一般厚沥青层沥青路面表面裂缝仅限于表面深度 7.5 ~ 10cm 内一致。即使在网裂最严重的路段, 这些钻孔发现的裂缝损坏基本上局限于表面。同时, 现场目测表明该高速公路虽然沥青面层较厚, 但是车辙变形很小。



图 2 北京首都机场高速路面开裂调查

Fig.2 Investigation of cracking in Beijing airport expressway

对京津塘高速公路北京段部分道路进行了钻芯调查, 路面结构为 (5cm + 6cm) 沥青混凝土面层 + 12cm 沥青碎石基层组成, 其下是 20cm 水稳砂砾基层 + 20 ~ 45cm 石灰稳定土。所观测的路段从病害类型看主要是路面开裂, 车辙变形不超过 10mm, 目测很

不明显。钻芯表明,京津塘高速公路主要为纵向开裂,上面层厚度一般是4.7~4.9cm,中、上面层脱开;中下面层联结良好,没有开裂,明显是自上而下的表面裂缝。

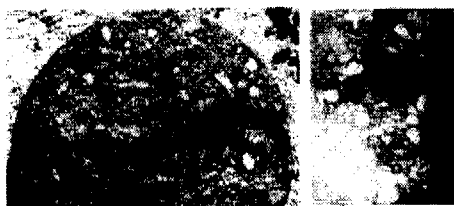


图3 京津塘高速公路表面裂缝状况

Fig.3 Surface cracking in Jing-Jing-Tang expressway

广东省广深珠高速公路(广州-深圳段),结构参考了我国86年规范及英国规范进行设计,沥青层结构为22cm 沥青混凝土+10cm 沥青碎石,沥青层总厚度为32cm,下面结构为23cm 水稳碎石基层+25cm 级配碎石底基层。广深高速1994年开放交通,到2004年日平均交通量达到20多万次,到2003年累计标准轴次达到6000万次。这条路可能是全国交通量最大的一条路。通过大交通量荷载使用后的检测结果表明,广深高速公路除了路面的使用功能有所衰减外,其整体使用性能仍然较好。到1998年几乎没有出现裂缝,到2002年裂缝也很少,路面车辙平均7.77mm,4cm厚的抗滑表层空隙率较大,出现了一定的水损害。该高速公路于2002年、2004年对全段采用了4cm的SMA-13加铺。虽然罩面后的总沥青层厚度为36cm,但是基本没有开裂,车辙也不明显,坑槽等水损坏很少。值得注意的是,广深高速使用了10年这些损坏基本限制在表面层,整个结构没有问题,通过对表面功能恢复仍然可以继续使用,体现出了极大的社会效益、经济效益。

通过这些厚沥青层路面的调查,得出以下一些结论:

(1) 采用较厚的沥青层,没有任何迹象表明这些高速公路结构强度不足。

(2) 虽然沥青层较厚,但是车辙并不大,特别是京津塘和广深珠高速公路的交通量应该说很大,这说明了增加沥青层厚度,并不意味着车辙量的增加。从广深高速公路的检测结果看,在炎热的气候条件和大交通量的情况下采用较厚的沥青层路面,其车辙量显然并不大。

(3) 这些高速路的主要裂缝表现为表面裂缝,且裂缝深度仅局限在表面层。表面裂缝平均开裂深度为4.8cm,最深为7.8cm,这基本与国外一般厚沥青层

沥青路面表面裂缝仅限于表面深度7.5~10cm内一致。当路面使用性能下降到极限状态后,只要对面层进行再生等表面维修就可以很快恢复其路面的使用性能,体现出极大的社会效益、经济效益和结构优越性。

(4) 这些道路到现在已经运行了10~15年,到目前看使用20~25年无需结构性大修应该是可以的。

### 3 我国新型沥青路面结构的研究

纵观国际上的高速公路和重交通道路,大量使用的是全厚式路面或者柔性基层沥青路面。相反半刚性基层沥青路面普遍使用于交通量不很大的公路,或者往往在半刚性基层下设置一个碎石过渡层,同样称为半刚性基层的水泥稳定碎石基层,在强度要求、具体做法上也有许多不同之处。这引起了我国研究人员的普遍重视,开始关注对沥青路面结构问题的研究,希望改变目前单一使用半刚性基层沥青路面的状况,使不同的路面结构得到合理的使用。

从2001年起,交通部公路科学研究院针对目前高速公路沥青路面早期损坏现象,充分考察了国际上高速公路普遍采用的结构,吸取了本国不同沥青路面结构应用的经验,结合西部研究课题《高速公路早期病害预防措施的研究》以及交通部公路司《沥青稳定碎石与级配碎石结构设计指标》项目的研究,结合新材料、新结构、新工艺、新技术对柔性基层、组合式基层沥青路面进行了深入细致研究。在多个省市的高速公路上铺筑了不同结构沥青路面试验路,并进行了大量研究。在这些试验路段中,结构型式主要有柔性路面、分别采用级配碎石过渡层和较厚沥青层的组合式路面,同时也试验了一些低强度的半刚性基层沥青路面,将这些结构和我国高速公路常用的沥青层较薄的半刚性基层沥青路面进行比较。

#### 3.1 江苏省沿江高速公路试验路

沿江高速公路试验路于2004年7月建成,试验路结构见表1。结构A是正常路段的半刚性基层结构

表1 江苏沿江高速公路试验路

Tab.1 Test structures of Yanjiang expressway in Jiangsu Province

A	B	C	D
	SMA-13 4cm		
	AC-20 6cm		
	AC-25 8cm		
水稳碎石 19cm	ATB-25 7cm	ATB-25 7cm	ATB-25 18cm
水稳碎石 19cm	水稳碎石 15cm	级配碎石 15cm	AC-10 9cm
二灰土底基层 20cm	水稳碎石 16cm	水稳碎石 16cm	级配碎石 16cm
石灰土路基 80cm	二灰土底基层 20cm	二灰土底基层 20cm	二灰土底基层 20cm
	石灰土路基 80cm	石灰土路基 80cm	石灰土路基 80cm

型式,结构B是采用沥青稳定碎石基层的组合式基层,结构C是采用了沥青稳定碎石和级配碎石过渡层的组合式基层,结构D是按照永久性路面结构设计的路面结构,结构D的沥青层厚度达45cm。

在2005年进行了试验路的观测,使用情况良好,试验路全线没有发现坑槽、泛油、车辙、开裂等路面病害现象。在沥青层厚度较大的B、C、D结构段并没有产生较大车辙变形,沥青层最厚的结构D和采用级配碎石过渡层的结构C的车辙平均值均小于有较厚水稳碎石基层的结构B和正常路段。

### 3.2 青海省平西试验路

平西试验路于2002年通车,试验路的结构见表2。结构A采用低强度水稳基层结构,水泥稳定碎石的设计强度为2.5MPa,结构B是采用级配碎石过渡层的组合式基层结构,结构C是全柔性沥青路面结构,结构C的沥青层后为21cm。

表2 青海平西试验路结构

Tab.2 Test structures of Pingxi expressway in Qinhai Province

A	B	C
	AC-13 4cm	
	AC-20 5cm	
AC-25 6cm	AC-25 8cm	ATB-25 12cm
低强度水稳 20cm	级配碎石 18cm	级配碎石 34cm
水稳砂砾 30cm	水稳砂砾 30cm	天然砂砾 10cm

2002年通车的试验路及对应生产路段,2004年观测时,试验路C结构柔性基层路段均没有发现任何横向裂缝;在A结构,即低强度的水稳碎石基层路段共发现了4条横贯3个车道的横向裂缝;而在试验路的对向车道上,使用了3.5MPa的水稳碎石基层的路段,约1400m路段上出现了22条横向裂缝。在2001年7月开放交通的其它常规路段(半刚性基层),经过3个冬季低温考验以后,路面的横向开裂成为最主要的损坏形式之一,平均开裂间距为50~88m。

通过对不同结构的裂缝发展情况的比较可以看出,对于柔性基层及级配碎石过渡层基本没有出现开裂。因此,柔性基层和设级配碎石过渡层的结构可以大量减少、延缓横向裂缝的产生,因此具有重要的意义。对于不同强度的水稳碎石基层沥青路面,在2.5MPa的水稳碎石基层路段平均开裂间距为325m。而在对应的3.5MPa水稳碎石基层平均开裂间距为63m。可以看出,随着基层强度的增加,路面开裂间距减小,即开裂率越大,开裂越严重。

### 3.3 山西省祁临高速 ALF 试验段

在山西省祁临高速公路平遥服务区西侧修筑了ALF实验段,采用加速加载实验设备(ALF)进行实际路的实验验证,试验路结构见表3。其中A结构为目前常用的结构,为半刚性基层沥青路面结构,B结构采用级配碎石过渡层的组合式基层,结构C和结构D为采用沥青稳定碎石基层和级配碎石基层的组合式基层,沥青层总厚度24cm。ALF试验设备情况:试验轴载为160KN,轮胎压力为0.8MPa。

表3 山西祁临试验路

Tab.3 Test structures of Qiling expressway in Sanxi Province

A	B	C	D
AC-16 4cm		SMA-16 4cm	
AC-20 5cm	AC-20 6cm	SMA-20 8cm	AC-20 8cm
AC-25 6cm	AC-20 8cm	ATB-25 12cm	
	级配碎石		
水泥稳定碎	基层 14cm		
石基层 36cm	级配碎石	水泥稳定底基层 20 cm	
	基层 24cm		
		水泥稳定土	石灰稳定土
		底基层 20cm	底基层 20cm
	石灰稳定土底基层 16cm		

2003年4月开始不同结构形式的抗车辙性试验。试验表明采用厚度较大的沥青稳定碎石基层ATB25具有良好的抗车辙能力,相比于半刚性基层沥青路面而言,厚度增大对抗车辙能力并没有看出有明显的不良影响。研究结果还发现,当半刚性基层沥青路面设置级配碎石过渡层时,其上面的沥青层需要一定的厚度,如果级配碎石上沥青层的厚度太薄,最大剪应力的作用深度较深时,可能深入到级配碎石层,将可能发生剪切变形,并影响沥青路面的抗车辙性能,因为抗拉伸性能很弱的级配碎石自身是很容易发生推挤变形的。

2003年9月开始研究不同结构形式的实验段A,B,C,D的使用性能,加载一定次数后在各段切横向裂缝,随后在每条横缝上打了两个孔径40mm的加水孔贯穿到基层,再向基层加水后加载到100.25万次。从图4中可以看出,随着向基层中加水后,半刚性基层的A结构的车辙量极大增加,而设计有良好排水性能级配碎石基层的结构的车辙量发展稳定,这说明采用级配碎石基层可以明显改善结构的抗水损坏性能。

另外在四川、江西、山东、辽宁、河南、河北等地合作开展了柔性基层沥青路面结构的推广应用。这些试验路的柔性结构自开放交通以来还没有发现任何问题,由于很多试验路刚刚开放交通,其性能还需要进一步观测。

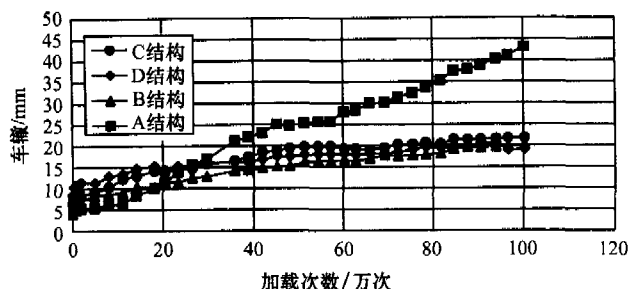


图 4 常温、基层加水后 A、B、C、D 试验路段  
最大车辙与加载次数的关系

Fig.4 Rut depth vs. load applications for test sections of A, B, C and D at normal temperature after filling the base with water

#### 4 我国新型沥青路面结构的应用

随着对于柔性基层以及组合式基层研究的深入,我国越来越多的高速公路从业者开始接受这些新的技术,特别是随着管理部门对于高速公路早期病害问题的高度重视,管理者越来越注重沥青路面的耐久性和工程全寿命周期成本的理念。我国的高速公路结构已经不再局限于原来单一的结构型式,已经开始在高速公路上尝试采用多种新型的沥青路面结构。在福建省的两条高速公路上,建设部门已经采用新型的路面结构作为主要的高速公路结构型式。福建省为多雨潮湿地区,以往该地区高速公路的结构都采用了 15~16cm 厚的沥青路面,基层为半刚性基层,设计使用年限为 15 年,但是通车后不到设计使用年限一半的时间路面病害就不断加剧。通过研究论证,新建的两条高速公路将采用组合式基层沥青路面。希望能够避免和延缓反射裂缝的出现,同时改善多雨潮湿地区基层的排水功能。在级配碎石上使用了较厚的沥青层,厚度为 22~23cm,一方面是提高沥青路面的耐久性,

另一方面是保证高速公路具有足够的强度。

新型路面结构的造价相比原来的配筋半刚性基层沥青路面结构的造价都要有所增加,增加的比例并不大,不超过总造价的 1%。但是从沥青路面全寿命周期的费用角度分析,初期投资高一些能够使得后期的维修、养护费用降低,路面的使用寿命得到延长,采取这样的方案是非常合理的。

#### 5 结语

根据不同的气候条件及交通条件选择合理的路面结构型式是非常必要的,这将有助于解决当前出现的高速公路早期病害问题,可以延长沥青路面的使用寿命,丰富我国高速公路沥青路面的结构型式。对于以往常用的半刚性基层的使用要进行改进,完善它的设计与应用,明确它的适用范围,最大限度地减少半刚性基层沥青路面的早期损坏,延长沥青路面的使用寿命。更重要的是大力推广采用组合式基层、柔性基层等其它路面结构。鉴于我国的实际情况,由于对半刚性基层有丰富的应用经验,当前应该首先发展组合式基层沥青路面,即以沥青混凝土作面层,沥青稳定碎石作基层,半刚性材料作底基层这种结构型式,也可以在半刚性底基层上加铺级配碎石过渡层以防止反射性裂缝和有利于排水。

#### 参考文献:

- [1] 交通部公路科学研究院,高速公路早期病害预防措施的研究 [R].2004.
- [2] 交通部公路科学研究院,山区重载路段沥青路面车辙变形防止措施 [R].2004.
- [3] 交通部公路科学研究院,福建省高速公路沥青路面专项设计 [R].2005.