

文章编号: 1001-7372(1999)02-0018-07

首都国际机场东跑道沥青面层 的设计与铺筑

沈金安

(交通部公路科学研究所, 北京 100088)

摘要: 介绍了首都国际机场东跑道沥青面层整修工程及其采用的改性沥青及沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)新技术的设计、施工和使用性能。

关键词: 飞机场跑道; 沥青面层; 改性沥青; 沥青玛蹄脂碎石混合料

中图分类号: U 416. 217 **文献标识码:** A

The design and construction of asphalt overlay of eastern runway of Beijing capital international airport

SHEN Jin'an

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

Abstract: This paper presents the design, construction and performance of the asphalt overlay of eastern runway on Beijing capital international airport by adopting the new technology of the modified asphalt and stone matrix asphalt (SMA).

Key words: airport runway; asphalt pavement; modified asphalt; stone matrix asphalt (SMA)

北京首都国际机场东跑道始建于1954年,跑道长3 800m,宽60m,原有水泥混凝土道面自1981年11月第二次改造后已使用了15年,1986年开始出现局部破损,近年来由于飞行架次增长很快,路面破损越来越严重,部分段落出现脱空、水平推移或龟裂。经FWD弯沉测试、钻孔取样等种种调查,按B 747—400机型使用要求进行了旧道面整修设计,在旧道面上加铺沥青混凝土面层16~21cm,控制最小厚度18cm(中心线最小厚度21cm),其中表面层6cm,中面层7cm。

东跑道整修配套工程是国家重点工程——首都国际机场航站区扩建工程的第一个大会

收稿日期: 1997-11-11

作者简介: 沈金安(1941-),男,研究员,博士生导师

战。1996 年 4 月 1 日开工, 1996 年 6 月 25 日完工, 7 月 1 日起交付使用。在机场跑道沥青面层上使用 SBS+PE 综合改性沥青及沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA) 面层在国际上尚属首次。使用几年来, 经过夏季高温、暴雨及冬季严寒季节飞行的考验, 没有发现车辙、拥包、开裂等破损现象, 表面粗糙、平整, 至今使用效果良好, 受到国内外民航部门及道路部门的重视。经专家委员会鉴定该科研成果为国际领先水平, 并获得了民航总局科技进步一等奖。

东跑道整修配套工程沥青面层的铺筑, 为改善首都国际机场的飞行区条件, 提高安全保障能力, 保证航班正常、满足航空业务量不断增长的需要发挥了重要作用, 同时产生了巨大的经济效益。此项技术将有力地推动民航建设事业的发展, 据国家计划安排, 西跑道的加铺工程也将在近期进行。

本工程由中国民航机场规划设计研究总院设计, 北京市市政工程总公司及北京市公路局联合体承担施工, 中国国际工程咨询公司四方监理公司及民航西北监理所负责监理, 北京市建设工程质量监督总站负责工程质量的检查和监督, 笔者负责改性沥青配制及 SMA 的配合比设计, 承担全部室内外试验检测, 并受聘机场指挥部任总工程师。

1 结构设计

随着大型飞机的使用, 飞机起降架次的增加, 对机场道面的要求越来越高。针对东跑道的具体情况, 着重考虑了以下几个问题:

- (1) 防止旧水泥混凝土道面接缝的反射缝;
- (2) 承受大型飞机起降的水平剪切力, 夏季不产生推挤、车辙;
- (3) 防止冬天寒冷季节沥青面层的温缩裂缝;
- (4) 有良好的粗糙表面, 提供抗滑的面层;
- (5) 经久耐用。

东跑道沥青加铺层是铺筑在水泥混凝土道面上的, 要求底面层具有良好的抵抗旧道面接缝反射缝的能力, 并具有与混凝土板的良好粘结力。为此, 在水泥混凝土板的接缝上方铺设一层宽度 50cm 的改性沥青油毡, 同时首次将底面层设计为 AC-25 I 型密级配沥青混凝土, 采用 AH-90 沥青, 现在中国高速公路底面层普遍采用 II 型沥青混凝土, 空隙率大, 沥青用量少, 对水稳定性、低温韧性及抗裂性能都是不好的。

中面层起到承上启下的作用, 应特别注意提高高温稳定性, 为此采用与底面层相同的 AC-25 I 型密级配沥青混凝土, 但采用 AH-110 号沥青改性, 不损失低温抗裂性能, 却有较好的高温稳定性。

道面面层直接与飞机轮胎接触, 又暴露在大气中, 不仅要求有良好的高温稳定性、低温抗裂性, 还应有良好的抗滑性能。经过认真考虑, 充分参考国际上最新技术的发展趋势, 确定采用 SMA 结构, 并采用 AH-110 号沥青改性。这种结构在国际上也是个新结构, 技术要求高, 使用性能好。SMA 结构是间断级配, 由于粗集料含量高且有良好嵌挤, 故有非常好的高温抗车辙能力; 由沥青、矿粉、纤维及细集料组成的沥青玛蹄脂结合料充分填充碎石骨架的间隙, 有强韧的粘结作用, 混合料的低温变形性能好; 混合料的空隙率很小, 基本上不透水, 水稳定性、耐老化性能及耐疲劳性能好, 使用耐久; 表面构造深度大, 抗滑性能好。实践证明, 同时采用 SMA 结构和改性沥青两项新技术, 就从矿料级配和沥青结合料两个途径全面改

善了沥青混合料的使用性能。

2 改性沥青和纤维稳定剂

本工程采用日本进口沥青,质量符合重交通道路沥青技术要求,尤其是其蜡含量低、延度大是显著的特点。由于当时中国缺乏改性沥青的制造设备,改性沥青由奥地利 R F 集团的改性设备在现场加工 (NOVO PHALT)。根据首都机场高速公路的实践经验及笔者的研究,东跑道沥青加盖工程采用了两种聚合物改性剂及一种稳定剂。

(1) 高压低密度聚乙烯 (LDPE) 的质量符合 GB 11115-89 标准 PE M-18DO 22 的要求,由北京燕山石化公司化工一厂生产,它具有较高的机械强度和良好的熔融流动性,外观为白色颗粒。

(2) 热塑性橡胶 SBS, 它是以丁二烯和 1, 3-苯乙烯为单体,采用阳离子聚合制得的热塑性弹性体嵌段共聚物,由岳阳石化总厂巴林橡胶厂生产,质量符合 SH/T 1610-95 的 1401 规格要求(后来的研究证明如采用 4303 将会更好)。SBS 高分子链具有串联结构的塑性段和橡胶段,形成了类似合金的“金相组织”结构。SBS 的端基苯乙烯塑料段在高温时软化流动,有利于拌和和施工,而在使用温度下为固体,具有硫化橡胶的特征,中间基丁二烯有较好的弹性、抗疲劳性能、低温柔性。当 SBS 熔入沥青后,端基软化并流动,中基吸收沥青的软沥青质组分,形成海绵状的材料,体积增大许多倍。冷却以后,端基再度硬化,且物理交联,使中基嵌段进入具有弹性的三维网状之中。

(3) 沥青玛蹄脂所用的纤维稳定剂,使用德国 JRS 公司生产的木质素纤维 V I A TOP 66,它是将木质素纤维与沥青按 2 : 1 重量比拌制成的颗粒状产品,平均直径 4mm,颗粒长度 2 ~ 8mm,木质素用量为混合料的 0.3%,稳定剂实际用量为 0.45%。

机场跑道沥青改性的目的是既要提高高温稳定性,又要提高低温抗裂性及水稳性。首都机场高速公路的实践证明,LDPE 对高温稳定性的提高作用相当明显,而对低温抗裂性的提高作用不显著。SBS 在高温性能、低温性能方面都要优于 PE,且有特别好的弹性。鉴于当时 SBS 的价格昂贵,为 PE 的 3 倍多,再加奥方的强烈要求,采用了 SBS+ PE 的综合改性方案,对不同掺配比例进行试验的结果如表 1 所示。从表 1 可知,随着 PE 剂量的增加,针入度减小及软化点增加明显。掺加 SBS 后,软化点增加明显。但针入度减小较小,尤其是使针入

表 1 不同比例改性沥青的效果比较

改性剂品种及剂量	软化点 ()	针入度 (0.1mm)			PI	T ₈₀₀ ()	T _{1.2} ()	塑性范围 ()	延度 10
		15	25	30					
基质沥青 AH-110	43.0	30.8	106	166.3	- 1.27	44.1	- 13.9	58.0	> 150
+ PE4%	45.8	24.3	75.6	137.1	- 1.43	45.4	- 11.1	56.5	10.2
+ PE5%	48.0	25.8	67.1	114.9	- 0.48	49.8	- 15.9	65.7	10.7
+ PE6%	51.0	23.0	59.6	97.7	- 0.29	51.9	- 15.7	67.6	7.8
+ PE4% + SBS2%	51.8	26.2	71.2	122.7	- 0.70	48.4	- 15.0	63.4	15.2
+ PE3% + SBS3%	57.5	27.9	72.5	122.4	- 0.42	49.3	- 17.0	66.3	22.3
+ SBS6%	64.5	28.8	72.2	110.7	+ 0.15	51.9	- 20.3	72.2	55.6

度指数 PI 和塑性范围 ($T_{800} - T_{1.2}$) 的增加明显。以 6% SBS 与 6% PE 相比, 软化点提高了 13.5 , 针入度减少 12.6。用 3% PE+ 3% SBS 后, 比 6% PE 的针入度减少 12.9, 而软化点增加 6.5 。按美国 SHRP 沥青规范的方法进行实验的结果表明, 基质沥青符合 PG58-28 要求, 采用 6% PE 改性或 3% SBS+ 3% PE 改性提高为 PG70-22, 采用 3.5% SBS+ 3% PE 的改性沥青提高到 PG76-28。由此说明, 首都机场东跑道在当时不能全部采用 SBS 的条件下, 采用 SBS 与 PE 综合改性较单一 PE 改性的效果要好得多。

3 沥青混合料的配合比设计和施工

3.1 配合比设计

按照规范规定的步骤, 经过目标配合比设计、生产配合比设计及试验段铺筑验证三阶段配合比设计, 反复确定的沥青混合料矿料级配标准范围和合成级配如表 2 所示。

表 2 沥青混合料的矿料级配和油石比

筛 孔 (mm)	底面层、中面层 AC-25 I 型		表面层 SMA-16	
	级配范围 (%)	合成级配 (%)	级配范围 (%)	合成级配 (%)
26.5	95~ 100	100	—	—
19.0	75~ 90	81.8	—	—
16.0	62~ 80	72.9	95~ 100	97.5
13.2	53~ 73	65.9	72~ 92	84.9
9.5	43~ 63	55.3	54~ 72	62.8
4.76	32~ 52	44.2	25~ 40	32.5
2.36	25~ 42	32.4	17~ 31	23.3
1.18	18~ 32	26.3	14~ 26	20.0
0.6	13~ 25	17.9	10~ 22	16.1
0.3	8~ 18	9.8	8~ 17	12.2
0.15	5~ 13	6.8	7~ 15	10.4
0.075	3~ 7	5.8	7~ 11	9.1
设计油石比 (%)		底面层 4.5 (不改性) 中面层 4.7 (改性)		6.2 (改性, 实际 控制 6.0~ 6.2)

由于当时国际上尚缺乏成熟的 SMA 配合比设计方法, 参照美国 SMA 指南 IS 118 建议的马歇尔试验技术要求进行(表 3)。同时特别重视车辙试验进行验证。在试拌试铺阶段, 利用现场取样混合料, 进行了 60 车辙试验, 当荷载为 0.7MPa 及 0.8MPa 时, 动稳定度分别为 8 206 次/mm、5 728 次/mm, 达到了非常满意的效果。

表 3 SMA 配合比设计技术要求

指标	击实次数	空隙率	VMA	稳定度	流值	沥青用量
要求	双面各 50 次	3~ 4%	不小于 17%	> 6.2kN	2~ 4mm	不小于 6%

3.2 沥青改性效果

改性沥青制造过程的质量控制, 主要通过显微镜放大 100 倍观察是否均匀, 并检验针入

度和软化点来评价改性效果,测试数据如表 4 所示。原设计采用改性剂比例为 3% PE+ 3% SBS, 由于奥地利改性设备加工效果不太理想,施工一半后又增加了 0.5% PE。采用改性沥青后,全部施工温度都要比不改性的提高 20 左右, SMA-16 混合料的出厂温度规定为 175 ~ 185 。

表 4 改性沥青指标试验结果(施工检验平均值)

沥青原样		+ 3% PE+ 3% SBS 改性		+ 3.5% PE+ 3% SBS 改性	
针入度(0.1mm)	软化点()	针入度(0.1mm)	软化点()	针入度(0.1mm)	软化点()
110.5	43.4	73.7	51.0	69.5	51.4

3.3 SMA 的施工工艺

在正式施工前,进行了 SMA 试验段的铺筑,重点研究拌和时间、油石比及压实工艺。

SMA 所用纤维是用一个特别的小桶计量,按每拌一缸 1 000kg 混合料需要 4.5kg 颗粒纤维的比例,直接由人工从拌和楼的前面及侧面的两个观察窗投入拌和缸中。加入纤维的时间必须控制在每次从热料仓放下粗集料之后投入,以便通过矿料干拌得到分散,为此干拌时间延长了 8s。由于 SMA 的级配特点,热料仓材料数量严重分配不均给混合料的拌和带来一些困难。在拌和 AC-25 I 型沥青混凝土时,4 个热料仓的材料数量大体相当。而拌和 SMA-16 时,4# 仓(20~ 32mm)空着不用,3# 仓(10~ 20mm)、2# 仓(4~ 10mm)、1# 仓(0~ 4mm)的材料数量相差 2~ 3 倍。3# 仓需要量大,经常等料,而 4# 仓则容易溢仓。矿料需要量比一般要增加 2 倍,一个螺旋升送器来不及供料,也需要等候。由于不允许使用回收粉尘,袋式回收装置很快就满,每排放一次约需 1~ 1.5h。因此, SMA 的生产率有所降低,日工 NBD-120A-U 型拌和机的产量从 $1.2 \times 10^5 \text{kg/h}$ 降低到只有 $8.0 \times 10^4 \text{kg/h}$ 左右。

改性沥青混合料粘度大,摊铺阻力大,当下层洒布粘层油时,轮胎式摊铺机将产生打滑,必须用履带式摊铺机摊铺。由于 SMA 供料速度减慢,为了保护摊铺机不间断的均匀的摊铺,摊铺速度要放慢。

SMA 的碾压不能用轮胎压路机,但采用振动压路机碾压即使温度高达 175~ 185 都不会产生推移现象,一般压 2~ 4 遍可达到要求。碾压时要遵循“紧跟、慢压、高频、低幅”的原则,并防止过压使玛蹄脂部分挤到表面,影响构造深度。采用 SBS 改性的沥青混合料,施工后第二天钻孔, SBS 橡胶会糊在钻头上,使钻件形状不规则,甚至松散,这给压实度的检查带来困难。因此需在施工过程中加强控制。

首都机场东跑道沥青加盖工程被评为北京市优良工程,道面竣工验收检测平整度为 1.07mm(标准差),构造深度 1.35mm,采用 SAAB 9000 滑溜摩擦仪以 95km/h 的速度在水膜厚度 1.0mm 时测定的摩擦系数为 0.64,满足国际民航组织规定大于 0.47 的要求。采用 SCR M 测定的摩擦系数为 0.55。

4 改性沥青 SMA 混合料的使用性能

4.1 高温稳定性能

马歇尔稳定度试验并不能正确反映高温抗车辙能力,车辙试验极为重要。施工时取样重塑试件车辙试验的结果如表 5 所示。很明显,改性沥青 SMA 表面层的动稳定度特别高,中

面层改性后远高于底面层。提高温度, 加大荷载试验的结果也一样, 说明改性沥青 SMA 有良好的抗车辙能力。

表 5 现场取样重塑试件车辙试验结果

层 次	温度 60 、荷载 0.7MPa		温度 65 、荷载 0.8MPa	
	动稳定度(次/mm)	1 500 次车辙量(mm)	动稳定度(次/mm)	1 500 次车辙量(mm)
表面层	13 500	1.21	11 812	1.57
中面层	9 020	1.84	7 670	1.84
底面层	4 134	3.03	2 151	4.50

4.2 低温抗裂性能

用常规方法对改性沥青 SMA 的低温抗裂性能进行评价是个困难的问题。笔者通过三种试验评价沥青混合料的低温性能。采用加载速率 1mm/m in, 在 20~ - 20 不同温度条件下进行混合料弯曲试验和劈裂试验, 试验结果如表 6 及表 7 所示, 在 0 条件下进行弯曲蠕变试验的结果如表 8 所示。

表 6 弯曲试验结果

温度 ()	破坏强度(M Pa)			破坏应变			破坏劲度(M Pa)		
	底面层	中面层	表面层	底面层	中面层	表面层	底面层	中面层	表面层
20	0.96	0.55	0.63	2.39×10^{-2}	2.66×10^{-2}	3.59×10^{-2}	40.2	21.0	17.6
10	4.76	3.10	2.61	4.67×10^{-3}	1.79×10^{-2}	3.62×10^{-2}	1 017.7	182.9	71.9
0	7.34	6.37	6.18	2.82×10^{-3}	4.76×10^{-3}	8.80×10^{-3}	2 556.6	1 357.7	704.3
- 10	7.82	10.00	8.15	1.71×10^{-3}	2.58×10^{-3}	2.92×10^{-3}	4 887.9	3 928.2	2 788.4
- 20	6.55	7.42	10.22	1.41×10^{-3}	1.60×10^{-3}	2.36×10^{-3}	4 618.5	4 669.0	4 347.9

表 7 劈裂试验结果

温度 ()	破坏强度(M Pa)			破坏应变			破坏劲度(M Pa)		
	底面层	中面层	表面层	底面层	中面层	表面层	底面层	中面层	表面层
20	0.54	0.54	0.41	4.24×10^{-3}	5.20×10^{-3}	6.26×10^{-3}	218.5	181.2	113.6
10	1.17	1.02	0.99	4.80×10^{-3}	5.89×10^{-3}	6.91×10^{-3}	420.2	327.2	249.4
0	1.93	1.64	1.50	5.33×10^{-3}	5.90×10^{-3}	7.07×10^{-3}	621.7	483.6	371.9
- 10	2.84	2.43	2.28	4.48×10^{-3}	5.13×10^{-3}	6.87×10^{-3}	1 089.7	821.3	583.9
- 20	3.29	3.24	2.99	4.00×10^{-3}	4.69×10^{-3}	6.02×10^{-3}	1 443.9	1 192.4	922.8

在表 6 中强度出现峰值的温度称为脆化点, 此温度表示混合料转化为脆性, 底面层、中面层混合料的脆化点分别约为- 4 、- 10 , 表面层至- 20 尚未达峰值。在表 6 及表 7 中, 表面层的破坏应变均远大于中面层, 中面层又大于底面层。破坏劲度则相反。这些均说明改性沥青 SMA 的低温抗拉性能优于中面层, 中面层又优于底面层。

在表 8 中, 混合料的应变速率及蠕变柔量越大, 低温柔性越好。表面层的应变速率能符合“八五”国家科技攻关项目提出的中国最冷的冬严寒区的要求(不小于 1×10^{-6}), 中面层能符合冬寒区的要求(不小于 0.75×10^{-6}), 底面层只能符合冬冷区要求(不小于 0.5×10^{-6})。

表 8 低温弯曲蠕变试验结果

混合料	荷载应力 (M Pa)	应变速率 (1/s)	3 600s 蠕变柔量 (1/s)	20 000s 蠕变柔量 (1/s)
底面层	0. 65	$1. 31 \times 10^{-7}$	$3. 46 \times 10^{-3}$	$6. 81 \times 10^{-3}$
	1. 25	$4. 97 \times 10^{-7}$	$2. 97 \times 10^{-3}$	$9. 53 \times 10^{-3}$
中面层	0. 70	$3. 69 \times 10^{-7}$	$3. 80 \times 10^{-3}$	$1. 25 \times 10^{-2}$
	1. 23	$8. 69 \times 10^{-7}$	$4. 08 \times 10^{-3}$	$1. 57 \times 10^{-2}$
表面层	0. 65	$9. 13 \times 10^{-7}$	$7. 91 \times 10^{-3}$	$3. 10 \times 10^{-2}$
	1. 27	$1. 70 \times 10^{-6}$	$6. 78 \times 10^{-3}$	$2. 87 \times 10^{-2}$

4.3 水稳定性能

表 9 的试验结果表明沥青混合料的浸水马歇尔试验残留稳定度均大于 75% , 且稳定度的测定值相当高, 冻融劈裂试验残留强度比也远大于 70% 的要求, 说明水稳定性很好。

表 9 浸水马歇尔试验及冻融劈裂试验结果

层次	马歇尔试验			劈裂试验		
	浸水 0. 5h (kN)	浸水 48h (kN)	残留稳定度 (%)	未冻融 (M Pa)	冻融 (M Pa)	劈裂强度比 (%)
表面层	8. 89	8. 37	94. 2	0. 875	0. 841	96. 2
中面层	18. 4	14. 1	76. 6	0. 897	1. 205	134. 4
底成层	12. 8	12. 1	94. 6	1. 022	0. 961	94. 0

5 结 语

首都机场东跑道沥青加盖工程的建成, 尤其是改性沥青 SMA 面层的建设, 起到了良好效果, 为中国民航事业及道路建设提供了有益的经验, 许多成果已经纳入《民用机场沥青道面施工规范》《公路沥青路面设计规范》《公路改性沥青路面施工技术规范》, 这些经验正在被首都机场西跑道的整修工程所采用。不过由于公路与飞机场跑道荷载条件不同, 公路部门采用改性沥青和 SMA 时必须注意到这一点。

参考文献:

[1] 交通部公路科学研究所, 中国民航机场建设总公司. 首都机场东跑道沥青面层加铺层的设计、施工与检测[R], 1996

[2] NAPA IS 118 Guidelines for Materials, Production, and Placement of Stone Matrix Asphalt (SMA) [R], 1994

[3] AA SHTO -A GC -ARTBA. Joint Committee Subcommittee on New Highway Materials Task Force 31 Report Guide Specifications Polymer Modified Asphalt [R], 1995