

文章编号: 1002-0268 (2003) 01-0006-04

林齐试验路不同基层类型使用情况 10 年跟踪调查

王端宜¹, 张肖宁¹, 田书田²

(1. 华南理工大学道路工程研究所, 广东 广州 510640; 2 齐齐哈尔市路桥公司, 黑龙江 齐齐哈尔 161001)

摘要: 简要介绍林齐试验路设计和路面结构强度、表面裂缝产生和发展情况以及道路的使用状况。试验路不同基层类型使用情况近 10 年的跟踪调查指出, 试验路所采用的 3 种结构均可以满足设计使用寿命的要求, 但综合效果存在巨大差别, 级配碎石加水泥砂砾复合基层结构具有明显的优越性, 更适用于寒冷地区高等级沥青路面结构, 值得在寒冷地区进一步研究。

关键词: 试验路; 沥青路面结构; 弯沉; 裂缝

中图分类号: U416 217

文献标识码: A

Ten Years Investigation of Base Courses Used in Lin-Qi Trial Sections

WANG Duan-yi¹, ZHANG Xiao-ning¹, TIAN Shu-tian²

(1. Road Institute of South China University of Technology, Guangdong Guangzhou 510640, China;

2. Highway and Bridge Company of Qiqihaer, Heilongjiang Qiqihaer 161001, China)

Abstract In this paper, the issues of the design and the structure strength as well as the cracks origin, propagation of Lin-Qi trial sections are briefly introduced. The results of nearly ten years investigation on the effect of the base courses used in the trial section indicate that all of the three structures perform well satisfying design life. But there are some differences in all-around evaluation. The graded aggregate material over cement granule sub-base as composite base course structure has obvious advantages and it is more suitable for the asphalt pavement structure built in cold region. Further research on this type of base course is worth while.

Key words: Trial Section; Asphalt Pavement Structure; Deflection; Crack

0 前言

林齐二级路位于 301 国道林甸至齐齐哈尔段, 于 1992 年建成通车, 是衔接哈尔滨—大庆高速公路, 沟通齐齐哈尔市和黑龙江省西北部地区的一段重要道路, 平均日交通量 3 000pcu/d, 其中载重车占 10% 左右。当年为了评价和选择寒冷地区适宜的沥青路面结构, 结合林齐路的建设特别修筑了 3 段共 500m 对比试验路段。包括试验路在内的整段道路在近 10 年的使用时间内, 未出现大的结构性破坏, 基本实现了预期设计使用寿命, 这在我国有相当数量沥青路面出现早期破坏的背景下是非常难得的。道路建设是一个经

验依赖性非常强的工程领域, 试验路以及道路的长期使用性能观测和研究 (LTPP) 是道路技术研究的重要内容。从历史上看, 对道路技术发展的主要贡献也来源于试验路和长期观测数据。为此, 2001 年在林齐试验路改扩建成为一级路的前夕, 对该段路进行了回访和观测。现将试验路近 10 年的跟踪调查情况介绍如下, 希望对于我国高速公路沥青路面结构形式的评价、选择和工程实践具有一定的参考作用。

1 试验路情况介绍

1.1 试验路修筑背景

与全国一样, 黑龙江省从 1960 年代初开始修筑

沥青路面，主要的路面结构形式为大庆渣油表处+石灰土基层。作为一种造价低廉的路面结构形式或路面改善措施，基本上完成了由砂石路向沥青路的过渡。随着交通量的增大，路面大量出现翻浆、裂缝、拥包等病害。受当时条件的限制，虽然也进行了大量的研究，但道路的质量并没有得到根本性的改善。1970 年代末到 1980 年代初，随着大规模二级公路网建设，开始大量采用沥青混凝土面层，此时的主要沥青路面结构为沥青混凝土面层+贯入式联结层+石灰土基层。由于沥青质量的原因、路面结构的原因和施工水平的问题等，路面早期破坏的问题依然十分严重（3 至 5 年）。很多人因此对沥青路面失去信心，认为黑龙江省的气候条件、土质条件不适合修筑沥青路面结构，开始大规模修筑水泥混凝土路面，如哈一阿一级路、哈一大高速公路半幅等。然而由于多种原因，水泥混凝土路面并没有达到预期的使用效果，短时间内就出现脱皮、纵向开裂、横向断板等问题，同时还带来了相当困难的维修问题。随着国家七五重点攻关项目的主要成果“重交通道路石油沥青”出现，以及其他省份半刚性基层上沥青路面成功经验的取得，黑龙江省又开始在新的起点上尝试修筑沥青路面，并由省交通厅立项开展“寒冷地区高等级沥青路面配套技术的研究”。林齐试验路正是在这一背景下结合林齐路的建设修建的。当时修建试验路的主要目的是：探索

适宜的沥青路面结构形式，特别是基层类型；评价材料设计参数；适宜的沥青面层混合料级配；施工方法等。

1.2 试验路结构形式与设计

1. 路段自然环境 试验路段位于黑龙江省齐齐哈尔市至林甸县间，林齐二级公路 K55+000~K55+500。当地极端年最高气温为 39.9℃，极端年最低气温为-39.5℃，全年累计负温天数为 142 天；最大冻深>2 m；土质为粉质中液限粘土。

2. 试验路所在路段原设计结构 试验路路面容许弯沉值^[1]0.72 mm。路面结构如图 1 所示。

中粒式沥青混凝土 4cm
沥青碎石 5cm
水泥砂砾 16cm
水泥石灰稳定土 16cm
土 基

图 1 林齐试验路原路面结构

3. 试验路结构设置 除原路面结构作为对比路段外，修筑了 3 种结构形式的试验段。考虑试验路结构改变后路面标高与原路段标高的衔接问题后，设置试验路段的结构形式如图 2 所示。试验段全部面层中粒式沥青混凝土采用哈尔滨建筑大学（现哈尔滨工业大学）推荐的按体积法（CAVF）设计的混合料级配^[4]。

(I)	(II)	(III)
中粒式沥青混凝土 4cm + 粗粒式沥青混凝土 5cm		
级配碎石 32cm	二灰（石灰、粉煤灰）砂砾 16cm + 水泥石灰土 16cm	水泥砂砾 16cm (8%) + 水泥 砂砾 16cm (4%)
水泥砂砾 10cm (4%)	砂垫层 20~30cm 土 基	

图 2 林齐试验路结构设置示意图

4. 试验路厚度验算 试验路采用与原路段相同的容许弯沉值 0.72 mm（按当时规范^[1]，二级路采用弯沉一个指标控制设计），材料参数（回弹模量）采用规范^[1]推荐值，取值示于表 1。

试验路材料参数 表 1

材料名称	回弹模量（MPa）
中粒式沥青混凝土	1200
粗粒式沥青混凝土	700
级配碎石混合料	150
二灰砂砾	400
水泥砂砾	800
水泥石灰土	300
土基（包括砂垫层）	100

试验路的厚度验算结果 表 2

试验路段	I	II	III
计算弯沉值（1/100 mm）	37.5	38.6	34.0

上述计算结果指出：试验路段在强度上是可以满足要求的。

5. 试验路防冻厚度校核 根据规范的要求，对应于试验路所处的地理位置以及自然条件，路面防冻最小厚度应为 70~80 cm，试验路结构总厚度为 41~51 cm，不足部分用砂砾垫层补足，故试验路结构能够满足防冻的要求。

1.3 关于试验路段设置的考虑

试验路设置 3 种形式路面结构是基于以下考虑。

级配碎石+水泥稳定砂砾基层结构：当时已有研究成果指出^[3]，沥青路面的基层类型对沥青路面的温度场具有显著影响，采用热传导系数较大的碎石基层时，沥青面层内积蓄的“开裂能”^[4]，小于半刚性基层上的沥青路面，因此碎石基层上的沥青路面应该有较低的低温开裂率。希望通过试验路验证理论研究成果，同时也希望采用这一结构形式能有效降低寒冷地区沥青路面的低温开裂率。考虑到将碎石基层直接铺筑到土基或垫层上不易压实，同时也考虑到路面结构初始整体强度的问题，在碎石基层的下面设置低剂量水泥稳定砂砾（4%）底基层，成为复合型基层结构（既不是柔性基层，也不是半刚性基层）。

二灰砂砾+水泥石灰土和水泥稳定砂砾（8%）+水泥稳定砂砾（4%）基层结构：这是两种国内其他省份广泛采用的基层结构类型，希望通过试验路检验其在黑龙江省的适用性。

1.4 沥青面层混合料的设计

试验路沥青混合料设计相关指标和数据 表 3	
沥青	辽河 90#
集料 V_{ca}	39%
集料 4.75mm 通过量 $P_{4.75}$	66%
沥青含量（%）	5.1
粉油比 F/A	1.2
设计空隙率 V_a	4%~6%
表面构造深度（mm）	1.0±0.1

2 试验路的技术效果

1. 弯沉测定结果 分别于试验路竣工后（1992 年 10 月）、1993 年 7 月以及 1998 年 10 月对试验路进行了弯沉盆测定（受条件限制采用 3 台弯沉仪联合测定回弹弯沉）。测定结果示于表 4 和图 2。

试验路段弯沉盆测定平均值（1/100 mm） 表 4				
结构号	测定时间 （年）	弯沉测定点距轮载中心距离（mm）		
		0	400	700
I	1992	57	30	12
	1993	27	12	5
	1998	24	10	6
II	1992	47	19	15
	1993	22	10	6
	1998	23	10	7
III	1992	30	17	12
	1993	17	8	5
	1998	16	9	6

从表 4 中数字和弯沉变化趋势图可以看出，3 种结构的初期强度随龄期均有明显增长，1 年后整体强度趋于稳定；采用碎石基层的复合型结构 5 年后强度

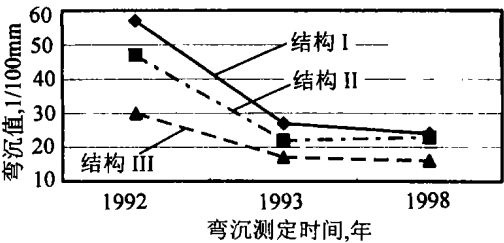


图 3 弯沉变化趋势

仍有所提高，可能是由于进一步压密的结果。

2. 材料参数评价 由于受到条件限制，试验路弯沉盆是采用 3 台弯沉仪联合测定得出的^[5]。在理论上，可以反算的路面结构层数应该等于弯沉盆的测点数，3 个测点的弯沉盆最多只能反算出 3 层路面结构。因此，实测弯沉盆反算时，将底基层以下部分作为土基考虑，使反算结构成为 3 层体系。反算结果示于表 5。

试验路结构层材料回弹模量反算结果					表 5
结构序号	材料名称	计算值（MPa）			规范推荐值 （MPa）
		1992	1993	1998	
结构 I	沥青材料层	900	1200	1500	150
	级配碎石材料	100	220	270	
	水泥砂砾（4%）+ 土基	150	350	340	
结构 II	沥青材料层	900	1300	1500	400
	二灰砂砾	460	670	940	
	水泥石灰土+ 土基	120	300	250	
结构 III	沥青材料层	900	1300	1500	500
	水泥稳定砂砾（8%）	670	840	1000	
	水泥砂砾（4%）+ 土基	200	400	400	

比较上述计算值和规范推荐值可以看出，全部材料的回弹模量值均等于或大于规范推荐值。由于含有半刚性底基层的作用，土基回弹模量呈随龄期增长趋势，水泥砂砾的增长幅度大于水泥石灰土。级配碎石材料的回弹模量也有随龄期增长的趋势，一方面可能是因为材料的不断压密，另一方面，已有大量研究指出，碎石材料的强度依赖于上下相邻层材料的强度，这一结论在试验路得到了验证。

3. 试验路结构应力应变分析 由反算参数和弹性层状体系理论，对试验路结构进行了应力应变分析。由于施工时采用了透层油和粘层油，因此计算是按 3 层连续体系进行的。结构层底面拉应力和拉应变计算结果见表 6。

由验算结果看，各结构层拉应力和拉应变均小于允许值。

4. 裂缝观测结果 连续多年对试验路段进行了

裂缝观测，结果显示全部裂缝均发生在竣工后经历的第一个冬季，第二个冬季及以后的观测发现裂缝在原位置出现，没有新的裂缝产生。观测结果示于表 7。

试验路结构应力应变分析结果								表 6
结构序号	计算点位置	应力（MPa）应变（ $\mu\text{m/m}$ ）计算值						
		1992 年		1993 年		1998 年		
		应力	应变	应力	应变	应力	应变	
结构 I	沥青材料层底面	0.96	883	0.63	482	0.64	390	
	级配碎石材料							
结构 II	沥青材料层底面	0.11	266	0.11	187	0.03	126	
	二灰砂砾层底面	0.18	379	0.10	186	0.18	188	
结构 III	沥青材料层底面	—		0.03	148	0.01	122	
	水泥砂砾层底面	0.17	251	0.10	146	0.12	138	

裂缝观测结果					表 7
结构	裂缝条数 (条)	裂缝指数 (条/km)	平均开裂间距 (m)	开裂时间 (年.月.)	
I	1.5	15	70	1993.1.	
II	8.5	42.5	24	1992.11	
III	16	80	13	1992.11	

5. 试验路 10 年后的表现状况 试验路段经过近 10 年的使用后，总的情况依然良好，没有出现沉陷、变形和大的结构破坏。路段 I 表面未有出现破损情况。路段 II 有 4 处局部破损修补，总修补面积近 20m²，并伴有轻微的局部龟裂。路段 III 有 3 处局部破损修补，总修补面积近 12 m²。

3 结论

从试验路的观测结果看，试验路段可以实现预期的设计使用寿命，满足设计使用要求。比较几次弯沉测定的结果，3 种路面结构的初期整体强度都有大幅度的提高。对于结构 II 和 III 来说，这是由于半刚性基层材料强度随龄期增长的结果；对于结构 I 来说，一方面是由于半刚性底基层材料强度随龄期增长的结果，另一方面也与级配碎石材料经过车轮碾压不断密实有关。

由裂缝观测结果可以看出：
(1) 黑龙江省公路与城市道路沥青面层的平均开裂率为 7~15m，结构 I 的平均开裂间距为 70m，这在北方寒冷地区是十分少见的。

(2) 按试验段结构的顺序，裂缝条数和裂缝指数依次增多，平均开裂间距依次减小，开裂时间提前。显然，沥青路面的裂缝，与基层类型有关。一方面，上基层模量越大，开裂也越严重。因此，限制上基层材料回弹模量值（相应减少水泥含量），对于减少沥青面层开裂是有益的。另一方面，裂缝观测数据验证了沥青路面开裂受基层传热性能影响，碎石材料导热系数大于半刚性材料，沥青层内的“开裂能”低于半刚性基层上的沥青路面，因此有较低的低温开裂率。同时也证明采用传热学理论和沥青面层内积蓄的“开裂能”作为判据研究沥青路面的温度裂缝是合理的，结论是正确的。

(3) 由半刚性下基层加级配碎石基层组合而成的复合型基层结构具有非常好的荷载适应性和环境适应性，它不仅可以克服人们对单纯级配碎石结构强度不足的担心，以及施工碾压的问题，也可以改善半刚性基层材料环境适应性差、容易引起沥青面层开裂的弱点。因此，可以认为这是一种较好的沥青路面结构形式。

从道路的维修角度看，二灰砂砾和水泥砂砾的强度和耐久性主要来源于结合料的粘结效果和耐久性，一旦破坏或失效，基层将宣告破坏。试验路目前二灰砂砾基层有局部破坏的趋势（局部出现轻微龟裂），未来几年内，如果要罩面的话，可能要先对局部基层进行处理。水泥砂砾基层目前虽然还没有出现强度问题，但较多的裂缝一旦进水，也是引起基层和以下各层破坏的隐患。级配碎石基层的强度主要来源于碎石集料间的嵌挤，随着不断压密，强度会更高，不会出现疲劳问题。试验路目前结构 I 只需加铺罩面，改善表面功能，仍可继续使用，体现出巨大的经济效益。

参考文献:

[1] 中华人民共和国交通部. 公路柔性路面设计规范 (JTJ 014-86) [S] . 人民交通出版社, 1986
[2] 张肖宁, 等. 寒冷地区沥青混合料适宜级配形式的研究 [R] . 哈尔滨建筑大学研究报告, 1990.
[3] 王端宜, 王哲人, 张肖宁. 结构因素对沥青路面低温裂缝的影响 [C] . 加拿大: 第二届国际寒地会议, 1991.
[4] 张肖宁, 王哲人, 王端宜. 用能量的方法计算沥青路面低温开裂率 [J] . 中国公路学报, 1990 (2) .
[5] 张肖宁, 马松林. 用多点弯沉评价沥青路面结构刚度组成 [C] . 中国: 第一届国际寒地会议, 1988.