

文章编号: 1002-0268 (2006) 09-0036-04

# 机场混凝土道面新型封缝材料应用现状分析

刘晓曦, 王硕太

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

**摘要:** 新型封缝材料在机场、公路工程中广泛应用, 但仍存在一定的破坏现象。在对多个新建和翻修的机场混凝土道面封缝材料使用现状调研的基础上, 分析了新型封缝材料在道面上的使用特点、存在的问题及原因, 并提出相关建议。分析认为, 大多数新型封缝材料较以往使用的材料表现出良好的性能, 但仍产生破坏的原因, 除材料自身和施工方面的原因外, 接缝设计上存在的问题也是其中一个重要因素。

**关键词:** 机场; 混凝土道面; 接缝; 封缝材料

中图分类号: U414.3

文献标识码: A

## Analysis of Present Application of New Type Airport Concrete Pavement Sealing Materials

LIU Xiao-xi, WANG Shuo-tai

(Engineering Institute, Air Force Engineering University, Shaanxi Xi'an 710038, China)

**Abstract:** The new types of sealing materials were widely used in airport and road engineering, with a few distresses occurred. Based on investigation of several existing new and rebuilt airport concrete pavement sealing materials, the using characteristics, damage problems and its reasons of the new type sealing materials were analyzed, and some relevant recommendious brought forward. Most of the sealants exhibit good capability compared with those used in the past, but joint seal distresses still exist. In addition to material itself and the method of construction, problems in joint design are other important factor to cause damage.

**Key words:** airport; concrete pavement; joint; sealing material

### 0 前言

机场混凝土道面接缝密封的主要目的是尽量减少水分和石子等硬物进入接缝, 水分进入接缝会导致道面的多种病害(常见的如冻胀), 硬物进入接缝将导致接缝侧壁混凝土产生应力集中, 易使混凝土碎裂(见图 1)。接缝密封失效的主要原因是因为以前所采用的封缝材料聚氯乙烯胶泥性能不好, 空军从 2000 年禁止使用聚氯乙烯胶泥类封缝材料, 开始全面推广应用新型封缝材料; 民航机场、高等级公路也开始采用新型封缝材料。新型封缝材料是指由高分子有机材料聚合而成的密封材料, 其弹性、粘

结性和耐老化等性能相对于过去使用的材料均有大幅提升。目前, 我国机场道面工程中推广应用的新型封缝材料主要是双组分的聚氨酯和聚硫。最近几年我军使用的新型封缝材料也大多数是这两种材料, 但由于其生产厂家、品种牌号等各不相同, 经过几年的实际使用后, 其使用状况差异很大, 有的使用 2~3 年即开始破坏, 加速了道面的破损, 影响了机场的正常使用。为使新型封缝材料在机场道面工程中得到更好应用, 有必要对其使用状况进行调研分析。

### 1 机场道面新型封缝材料应用现状

课题组对最近几年新建和翻修的军用机场进行

收稿日期: 2005-07-26

基金项目: 军队科研基金资助项目 (KH0017001)

作者简介: 刘晓曦 (1979-), 男, 湖南株洲人, 博士生, 从事机场建筑施工与材料研究. (liuxiaoxi1xx@163.com)

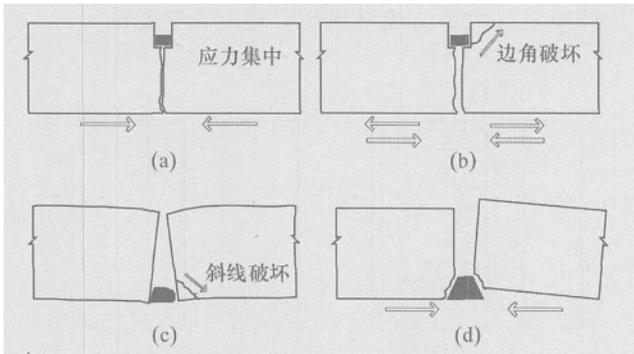


图 1 硬物进入接缝后导致混凝土破损

Fig.1 Distress induced by incompressible material in joint

表 1 道面横缝接缝位移和封缝材料应用状况

Tab.1 Displacement of transverse joint and performance of sealant

机场	接缝平均宽度/mm		活缝位 移/mm	施工 时间/年	材料类型	颜色	破坏类型	破坏 率/%	密封 效果
	最冷月	最热月							
1	9.54	8.15	3.03	2000	聚硫	浅灰色	粘结破坏/内聚破坏	24.2	一般
2	8.50	8.04	1.16	1999	聚氨酯(焦油型)	黑色	粘结破坏	53.3	较差
3	8.85	7.72	1.55	1998	聚氨酯	浅褐色	粘结破坏/内聚破坏	41.7	较差
4	8.53	7.84	1.33	1999	聚氨酯	黑色	粘结破坏	2.0	良好
5	8.12	7.00	1.60	2000	聚氨酯	灰色	粘结破坏	3.8	良好
6	8.46	7.80	1.34	2002	聚氨酯	黑色	粘结破坏	1.4	良好
7	8.23	7.52	1.29	2002	聚氨酯	黑色	粘结破坏	0.8	良好
8	8.92	7.30	1.62	1997	聚氯乙烯胶泥	黑色	挤出/脱空/碎裂	完全破坏	很差

了 8 个机场的封缝材料破坏类型和破坏率 (破坏长度占总长的百分比)。

调研观测的 12 个机场中, 11 个采用新型封缝材料灌缝的机场经过几年的使用后, 有 8 个机场接缝密封仍处于比较好的状态 (如表 1 中的 4#、5#、6#、7#)。封缝材料产生粘结破坏 (密封材料与混凝土粘脱开)、内聚破坏 (密封材料自身断裂) 的现象很少, 密封效果较好, 接缝处基本不渗水, 道面基础稳定, 道面表面平整度保持良好, 有效地保证了部队飞行训练和安全。由此可以看出, 新型封缝材料较以往使用的聚氯乙烯胶泥类材料具有优良的特性。

但是, 有些机场虽然使用了新型封缝材料, 但仍然发生了较为严重的破坏现象, 表现为材料出现较多的粘结、内聚破坏, 雨水、雪水渗入道面, 道面基础产生不均匀下沉, 道面表面产生错台、冻胀现象较多, 严重影响了飞行训练和安全, 部分民航机场也有类似现象发生。

## 2 破坏原因分析

从表 1 中可以看出, 新型封缝材料在实际使用

了调研<sup>[1]</sup>, 这些机场道面接缝密封主要是采用新型封缝材料。从东北、西北、华北、华东、中南、西南六大区选出有代表性的 12 个机场进行观测。其中中南、西南选取的 4 个机场, 2002 年施工, 道面接缝全部采用优质聚氨酯密封胶灌缝, 2004 年观测, 密封效果良好, 基本上没有破坏现象, 其余 8 个机场道面接缝和封缝材料观测情况见表 1。另外还观察了华东、华北、西北地区 6 个民航机场接缝材料的使用情况。

封缝材料在使用过程中都不同程度的受到紫外线照射、水的侵蚀等外界自然因素的影响, 因此材料表现出的破坏形式和程度都不相同。表 1 中给出

中密封效果差异较大, 1#、2#、3# 机场发生了较为严重的破坏现象, 破坏类型大多为粘结破坏, 其次为内聚破坏, 其原因主要有材料质量、施工质量和接缝设计等方面的原因。

### 2.1 材料原因

2#、3# 机场采用的是聚氨酯封缝材料, 出现破坏的形式大多为全深度粘结破坏, 同时还存在材料沉入接缝和被挤出现象, 这说明选用的封缝材料性能较差。目前我国生产聚氨酯的工厂有 15 家之多, 生产的聚氨酯密封胶品种也很多, 性能差异较大, 从现场的调研情况可以看出, 以下几种聚氨酯不适用于机场道面接缝密封。

(1) 焦油型聚氨酯。2# 机场跑道、滑行道接缝密封皆采用焦油型聚氨酯, 破坏率达到 53.3%, 大多属于粘结破坏, 封缝材料已经不能起到防水密封的作用。另外, 课题组曾观察过 6 个民航机场, 由于全部使用价格较低的焦油型聚氨酯, 破坏情况与 2# 机场类似。

(2) 沥青型聚氨酯。3# 机场跑道采用了沥青型聚氨酯, 其表现为冬脆夏软, 低温模量高, 冬季气

温较低时易发生内聚破坏。3# 机场封缝材料破坏率达到了 41.7%，破坏现象较严重。

(3) 聚酯型聚氨酯。聚氨酯弹性体分聚酯和聚醚两种类型。由于酯基易水解，所以聚酯型聚氨酯弹性体的水解作用表现为主链断裂、分子链降低、拉伸强度和伸长率急剧下降。而聚醚型弹性体的水解作用表现为交联慢慢断裂，分子量慢慢降低，拉伸强度缓慢下降，伸长率开始增加，然后才下降。所以聚醚型聚氨酯明显较聚酯型聚氨酯耐水，机场道面应选用聚醚型聚氨酯。

单组分聚氨酯。其硬化过程主要有吸收空气中的水分、自身氧化和干燥硬化几种类型，硬化速度主要受环境湿度、温度的影响，同时硬化过程中变形较大，可能导致硬化体开裂。华东某民航机场采用进口单组分聚氨酯，接缝密封破坏现象也比较严重。

从以上 4 种材料的特性可以看出，在选择适用于机场道面接缝的封缝材料上还需慎重，不能认为是聚氨酯密封胶就可以随意地用于道面接缝密封。应根据有关技术指标要求<sup>[2]</sup>对材料进行检验，符合技术要求方可使用。

2.2 施工原因

(1) 选材、用材。聚氨酯产品的价格：焦油、沥青型 12 000 元/t 左右，非焦油、非沥青型 20 000 元/t 左右。有的施工单位在选材时随意性很大，一味地追求价格低的材料，甚至有的材料未经检验就用于机场道面灌缝，材料性能不满足机场道面要求，使用 1~2 年就发生破坏；也有的虽经检验，但实际施工时质量却不稳定，质量差的密封胶会带来工程隐患。

(2) 清缝、灌缝。灌缝时，接缝清理不干净，混凝土侧壁有灰尘，致使材料与侧壁不能完全粘结；在切缝后或雨后，有的施工单位为赶工期，在接缝混凝土还未干透的状态下进行灌缝，由于水的存在，封缝材料与接缝侧壁不能有效粘结；或是施工质量差、灌缝不饱满，甚至有的偷工减料，造成封缝失效。

(3) 灌缝宽度和深度。现场观测到，有的接缝破坏是由于封缝材料灌缝太深、太浅或太窄造成的。太深会使封缝材料产生较大的拉伸应力而破坏<sup>[1]</sup>，见图 2。现场取样发现，灌缝深度过浅也会由于某种外力而产生破坏。接缝宽度过窄的，封缝材料受力变形增大，也易产生破坏，现场观测到宽度为 4 mm 左右的接缝基本上都出现脱开现象。接缝设计过窄，施工单位难以按要求施工，封缝材料灌入不饱满，

拉伸应力过大等造成材料与混凝土侧壁脱粘。

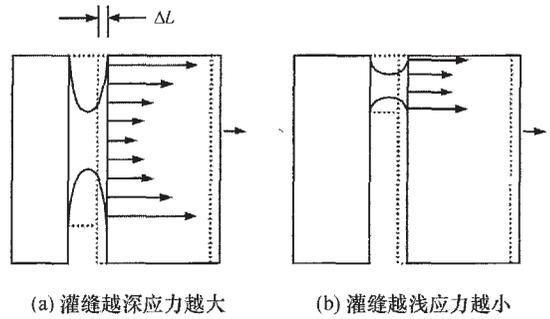


图 2 受拉时灌缝深度对封缝材料应力的影响

Fig.2 Influence of sealing depth on sealant stress under tensile force

2.3 设计原因

机场水泥混凝土道面接缝设计中通常要考虑接缝位移，接缝位移的计算一般采用<sup>[3]</sup>：

$$L=C \cdot L \cdot [( \cdot T)+Z],$$

式中，L 为混凝土道面板长度变化，m；C 为道面板底受基层摩擦力影响因子；L 为混凝土道面板长，m；为混凝土温度变形系数；T 为温度变化量，；Z 为混凝土干缩引起的道面板变形系数。

现场测得的接缝位移量与计算得出的值有较大的差异，观测到的活缝处的位移基本上大于理论计算值，其主要原因是机场道面上存在有一定数量的死缝和横向裂缝，这改变了引起接缝位移的有效板长。有效板长如图 3 所示，其中 (L, L)、(L, 1.5L)、(0, 0) 分别为接缝 A、B、C 两侧的有效板长。

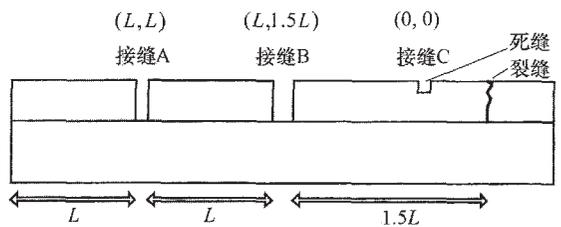


图 3 位移计算中有效板长的示意图

Fig.3 Valid length in the displacement calculation

接缝 A 与设计基本相符，接缝 C 为死缝，由于接缝 C 没有位移而导致接缝 B 的位移增大。

由于设计的接缝位移小于实际情况，这极易导致封缝材料的破坏<sup>[3]</sup>。因此，必须对引起接缝位移的混凝土板实际长度进行研究。

预测死缝出现的概率 P<sub>s</sub> 可采用 LEE 等提供的模型：

$$P_s=e^{(4.332-16.656 \cdot d/h)} \times (1+e^{(4.332-16.656 \cdot d/h)}),$$

式中，d 为接缝的深度；h 为道面板的厚度。

预测横向裂缝出现的概率  $P_1$  可采用 Hoerner 等提供的模型<sup>[4]</sup>。

在预测死缝和横向裂缝的基础上得出有效道面板长度的概率, 见表 2。

表 2 有效道面板长度的概率

Tab.2 The probability of effective slab length

有效板长	概率
0.5L	$P_1$
1L	$(1-P_1) \cdot (1-P_2)$
1.5L	$(1-P_1) \cdot P_2 \cdot P_1$
2L	$(1-P_1) \cdot P_2 \cdot (1-P_1) \cdot (1-P_2)$
2.5L	$(1-P_1) \cdot P_2 \cdot (1-P_1) \cdot P_2 \cdot P_1$

根据这一概率模型计算得出的接缝位移量与原来使用的计算公式相比接近实际观测值, 可以作为接缝设计中接缝位移量计算的依据。

#### 2.4 其他原因

在温差大的地区, 道面接缝位移量大, 超过了封缝材料的变形能力, 也是造成接缝密封失效的原因之一。如 1# 机场, 虽然使用了聚硫密封胶, 其位移能力为 LM25 级, 可以承受较大的位移变形, 但道面接缝活缝位移量达到 37%, 超过了聚硫的变形能力, 这些部位的封缝材料基本上都破坏。

### 3 建议

(1) 使用优质封缝材料。高性能的混凝土道面应采用高性能的新型封缝材料。建议气候温和地区的机场混凝土道面, 接缝材料选用优质的双组分非焦油非沥青类聚氨酯密封胶, 环境比较恶劣地区的机场道面, 选用聚硫或硅酮密封胶<sup>[9]</sup>。

(2) 制订封缝材料标准。建议有关部门尽快制订适用于机场混凝土道面的新型封缝材料技术规范, 使材料在选择和使用上有合适的标准可循。由于新型封缝材料质量差异较大, 因此在施工前必须对其

进行质量检验, 检验指标建议值见参考文献 [2], 另外在施工中应经常抽查检验。

(3) 确保施工质量。封缝材料灌缝施工时应保证接缝侧壁干净、干燥。灌缝宽度和深度建议值见参考文献 [6], 并按设计要求严格控制, 确保灌缝质量。

(4) 及时修补。应对道面接缝密封状况进行长期的监测, 封缝材料破坏比较严重时, 经评定后应及时进行修补, 否则可能造成更大的损失<sup>[7,8]</sup>。

(5) 加强研究。对封缝材料的长期耐久性加强研究, 目前道面使用的封缝材料寿命一般不超过 20 年, 研究一种与水泥混凝土道面同寿命的封缝材料显得更为迫切。

#### 参考文献:

- [1] 王硕太, 刘晓曦. 机场混凝土道面接缝情况调研报告 [R]. 空军工程大学工程学院五系, 2003.
- [2] 王硕太, 马国靖, 吴永根, 等. 机场混凝土道面封缝材料技术指标研究[J]. 工业建筑, 2003, 33(2): 52-55.
- [3] LEE S W, STOFFELS S M. Effects of Excessive Pavement Joint Opening and Freezing on Sealants [J]. Journal of Transportation Engineering, 2003, 129(4): 444-450.
- [4] HOERNER T E, TARR S M, DARTER M I. Guide to developing performance-related specifications for PCC pavement [R], FHWA-RD-98-171, 1998.
- [5] 刘晓曦, 王硕太, 孔大庆, 等. 机场混凝土道面新型封缝材料应用研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2003, 4(4): 31-33.
- [6] 王硕太, 刘晓曦, 吴永根, 等. 机场混凝土道面新型封缝材料灌缝宽度与深度研究[J]. 新型建筑材料, 2004, (12): 25-27.
- [7] EVANS L D, SMITH K L, ROMINE A R. Materials and Procedures for Repair of Joint Seals in Portland Cement Concrete Pavements-Manual of Practice[R], FHWA-RD-99-146, 1999.
- [8] IOANNIDES A M, LONG A R, MINKARAH I A. Joint Sealant and Structural Performance at the Ohio Route 50 Test Pavement [C]// TRB 2004 Annual Meeting. 2004.



(上接第 26 页)

- [J]. 西安公路交通大学学报, 2001, 21(1): 29-32.
- [5] 陈华鑫, 胡长顺, 张争奇. 纤维沥青混合料配合比设计方法初探[J]. 公路, 2003, (6): 143-146.
- [6] 陈华鑫, 胡长顺, 张争奇. 纤维沥青混合料的低温抗裂性能 [J]. 华南理工大学学报, 2004, 32(4): 82-86.
- [7] 林平东, 冯德成. 纤维加筋材料在寒冷地区道路的适用性研究 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(10): 1414-1416.
- [8] JTJ 052-2000. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程 [S].
- [9] 倪良松, 陈华鑫, 等. 纤维沥青混合料增强作用机理分析[J]. 合肥工业大学学报, 2003, 26(5): 1033-1037.
- [10] 肖桂彰, 郑传超. 道路复合材料 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- [11] Y H ZHAO, G J WENG. Effective Elastic Moduli of Ribbon-Reinforced Composites[J]. Journal of Applied Mechanics, 1990, 57(1): 158-167.
- [12] 沃丁柱, 等. 复合材料大全[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [13] 郭乃胜, 赵颖华. 纤维沥青混凝土的低温抗裂机理研究 [J]. 公路, 2004, (12): 108-111.