

文章编号: 0451-0712(2006)01-0179-04

中图分类号: U414.03

文献标识码: B

# 环氧沥青混合料低温性能研究

周晓华<sup>1</sup>, 宗海<sup>1</sup>, 王晓<sup>2</sup>, 王建伟<sup>2</sup>

(1. 南京长江第四大桥筹建处 南京市 210008; 2. 东南大学交通学院 南京市 210096)

**摘 要:** 环氧沥青混合料是一种新型的高强钢桥面铺装材料。主要通过低温弯曲试验与低温弯曲蠕变试验来评价环氧沥青混合料的低温性能, 再结合线收缩系数试验分析了环氧沥青混合料在钢箱梁桥桥面铺装应用中的低温特性。

**关键词:** 环氧沥青混合料; 低温性能; 钢桥面铺装

沥青混凝土路面最为严重的病害状况之一就是低温开裂, 尤其是在寒冷地区的路面。温度降低过快, 来不及消散的温度应力逐渐积聚, 超过沥青混合料的极限抗拉强度, 发生开裂病害。钢桥面铺装层由于其独特的使用环境, 对铺装层混合料的低温抗裂性要求更高。

大跨径正交异性钢箱梁桥的温度变化要较一般的路面复杂的多。根据我们在国内某铺装环氧沥青混合料的钢箱梁桥内埋设温度传感器而实际测得的桥面铺装温度数据来看, 冬季环氧沥青混合料铺装层中的极端最低温度可达到约  $-13^{\circ}\text{C}$ , 且日温度变化幅度也较大。这对铺装的环氧沥青混合料无疑是一个极大的考验。因此, 研究钢桥面环氧沥青混合料的低温性能是一个十分有必要的课题。

## 1 环氧沥青混合料

### 1.1 环氧沥青及环氧沥青混合料

环氧沥青是由环氧树脂与掺配固化剂的石油沥青, 按照一定配合比混合后发生固化反应, 从而生成不可逆的环氧沥青聚合物。

在环氧沥青两组分混合的同时掺配一定级配的集料, 混合后固化成型, 即成为环氧沥青混合料。环氧沥青混合料是一种热固性聚合物, 固化后不会出现高温下自由沥青在混合料内部的“迁移”。表 1 中所示的是环氧沥青混合料的主要技术指标。

### 1.2 混合料级配类型

为了满足大跨径钢箱梁防水性能, 环氧沥青混合料采用了密级配类型的集料级配形式, 如表 2 所示。

表 1 环氧沥青混合料主要技术指标

指标项目		试验条件	单位	实测值	技术要求
马歇尔试验	稳定度	60℃, 固化试件	kN	56.0	$\geq 40.4$
	流值		0.1 mm	36.3	20~50
劈裂试验	劈裂强度	15℃, 50 mm/min	MPa	5.83	—
	破坏应变		$10^{-3}$	12.7	$\geq 10.0$

表 2 环氧沥青混合料级配类型

筛孔尺寸/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
通过百分率/%	100	100	95~100	65~85	50~70	28~40	7~14

由表 2 中的级配数据可知, 环氧沥青混合料所用级配类型比标准 AC-5 型级配还要略细, 这对于保证桥面铺装防水及抗疲劳特性有较大的意义。

### 1.3 集料与矿质填料

根据大跨径钢箱梁桥桥面铺装使用寿命的要求, 选用优质耐磨的玄武岩集料与优质石灰岩矿质填料, 各项技术指标均满足《公路工程集料试验规程》(JTJ 058-2000) 的要求<sup>[1]</sup>。

### 1.4 最佳油石比

确定混合料各组成材料后, 可以通过马歇尔试验, 综合考虑疲劳特性确定其最佳油石比。本次试验所用的油石比为室内最佳油石比 6.5%。

按照配合比设计结果, 确定了最佳油石比之后, 即可进行混合料的低温性能评价。主要通过低温弯曲试验、低温蠕变以及线收缩系数试验进行评价。

## 2 环氧沥青混合料低温性能试验

### 2.1 低温弯曲试验



按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)的规定成型标准车辙板,待试件完全固化后(4 h, 120℃),切割成长 30 mm×35 mm×250 mm 的标准棱柱体小梁试件。采用万能材料试验机(MTS-810)进行小梁弯曲试验。标准跨径为 200 mm,试验温度为-15℃、-10℃、0℃,加载速率为 50 mm/min。不同温度下的弯曲试验荷载~位移曲线如图 1 所示。

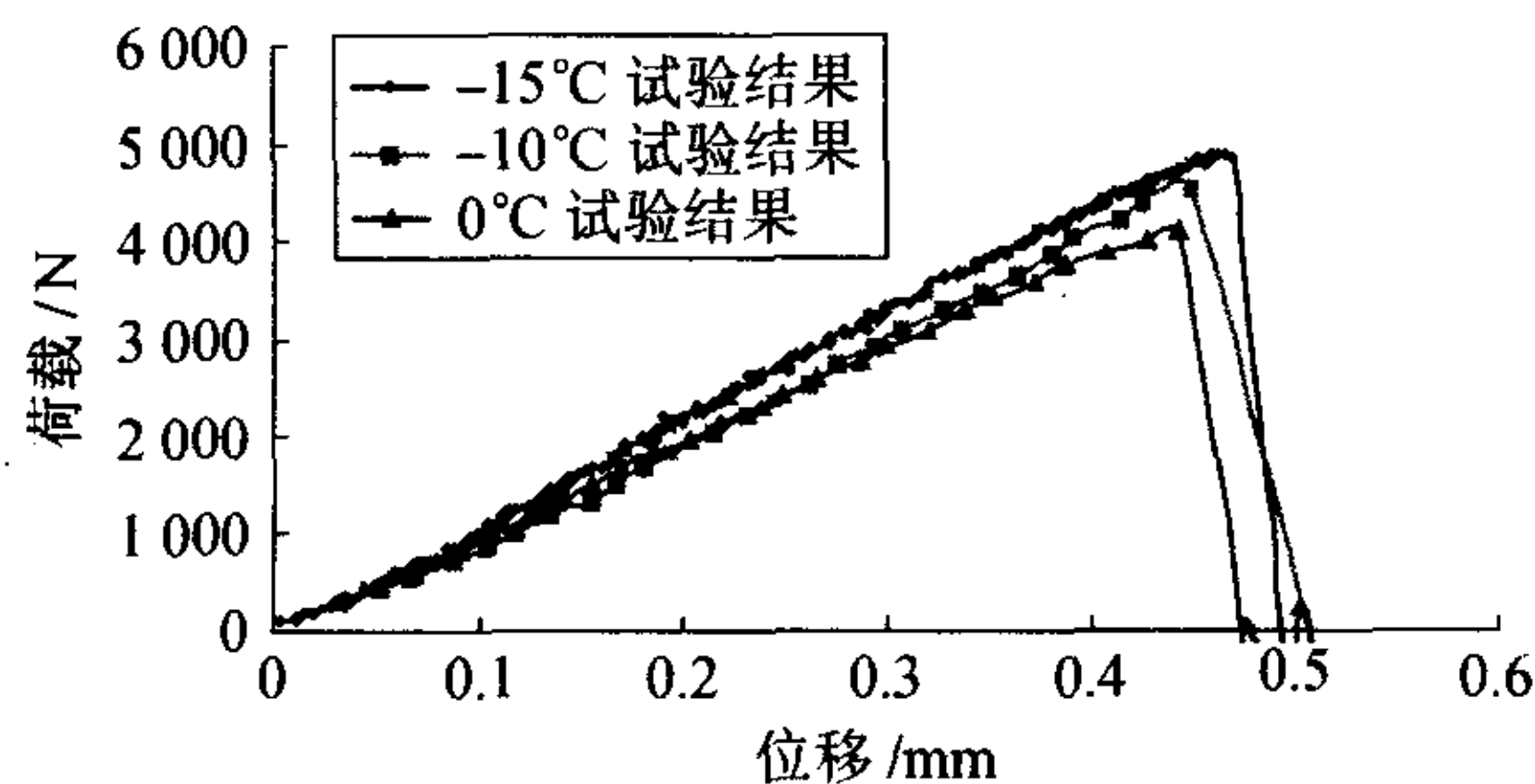


图 1 低温弯曲试验荷载~位移关系

## 2.2 弯曲应变能

对大跨径钢箱梁桥桥面铺装而言,强度与变形能力是两大最重要的技术指标。为了综合评价铺装混合料的低温性能,可以引入弯曲应变能 $J^{[2]}$ 。弯曲应变能 $J$ 是混合料强度和变形能力的复合评价指标,其函数关系式可以表示为:

$$J=f(\text{强度;变形}) \quad (1)$$

弯曲应变能的几何意义可以解释为应力~应变曲线与横轴围成图形的面积,可以通过积分求得。

普通混合料弯曲应力~应变曲线可以由三次抛物线进行回归拟合。由图 1 可知,环氧沥青混合料的低温弯曲荷载~位移曲线近似于线性,这也是由于环氧沥青混合料在此低温环境下接近于弹性材料,应力~应变关系呈线性变化而导致的。因此,可以进行简单的线性回归,可靠度可以达到 98% 以上,即可以简单采用三角形面积来计算临界弯曲应变能的数值,如表 3 所示。

表 3 环氧沥青混合料低温弯曲应变能

温度条件/℃	-15	-10	0
弯曲应变能/kPa	43.248	41.189	34.233

由表 3 中的数据可知,环氧沥青混合料的低温弯曲应变能远远大于相同温度条件下的其他沥青混合料,说明环氧沥青的低温性能较其他沥青混合料要好的多。

## 2.3 脆化点温度

从沥青混合料的弯曲应力~应变曲线可以将混合料的破坏状况分为柔性破坏、脆性破坏以及柔性向脆性过渡的破坏状况。柔性破坏典型的特点就是应力应变关系呈三次抛物线,混合料出现破坏是以试件开始出现微裂缝为基准。脆性破坏的特征就是应力应变关系近似线性变化(如图 1),即为弹性材料,混合料出现破坏是以脆性断裂为特征。在一定的加载速率下,混合料出现从柔性向脆性过渡的破坏状况所对应的温度称为脆化点温度。脆化点温度可用于评价混合料的低温性能。为此,需要补充 40℃ 与 15℃ 条件下的弯曲试验。

判断混合料的脆化点温度可以根据混合料的低温弯曲破坏强度~试验温度曲线、弯曲破坏应变~试验温度曲线以及弯曲劲度模量~试验温度关系综合评价。环氧沥青混合料的相关试验结果如图 2~图 4 所示。

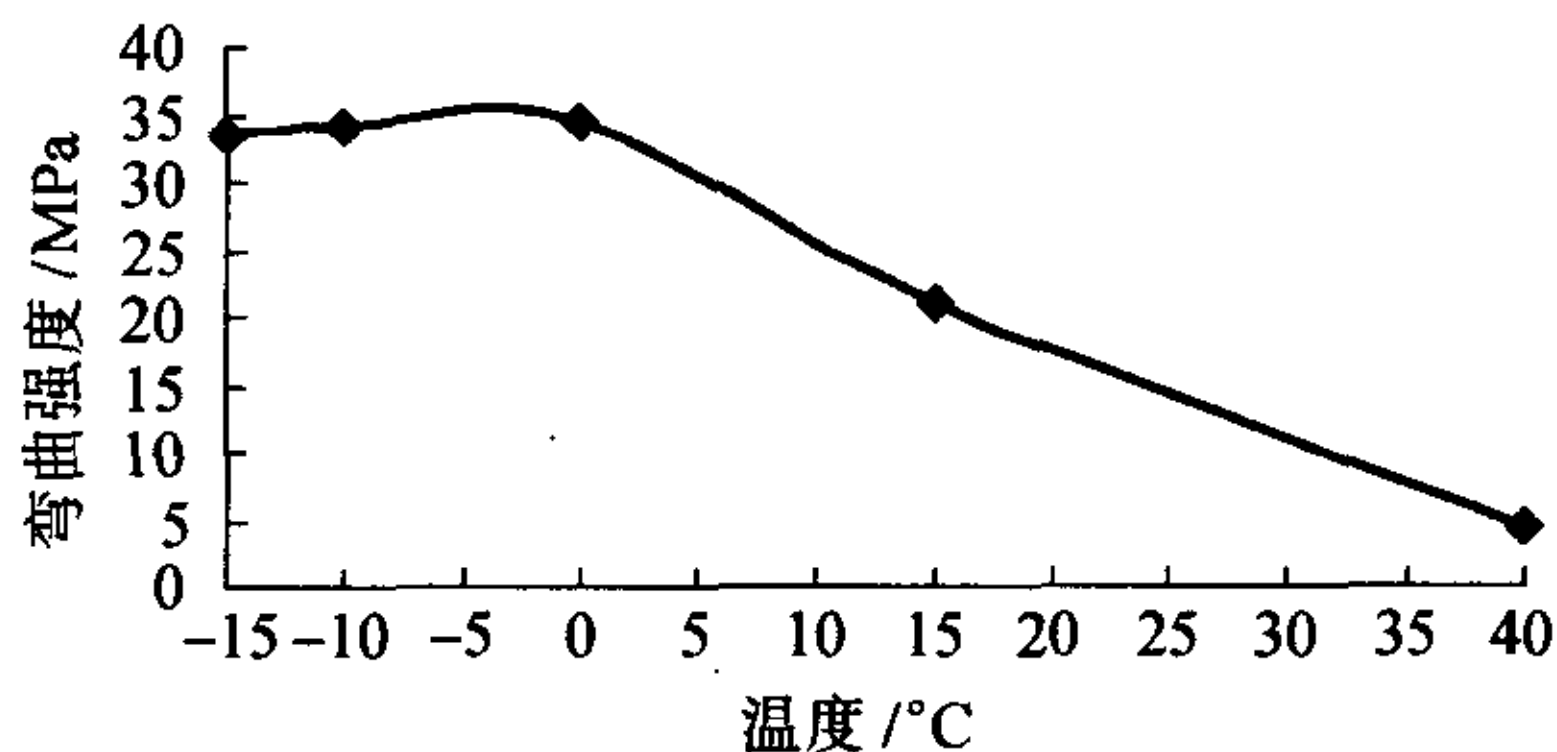


图 2 环氧沥青混合料弯曲强度~温度关系

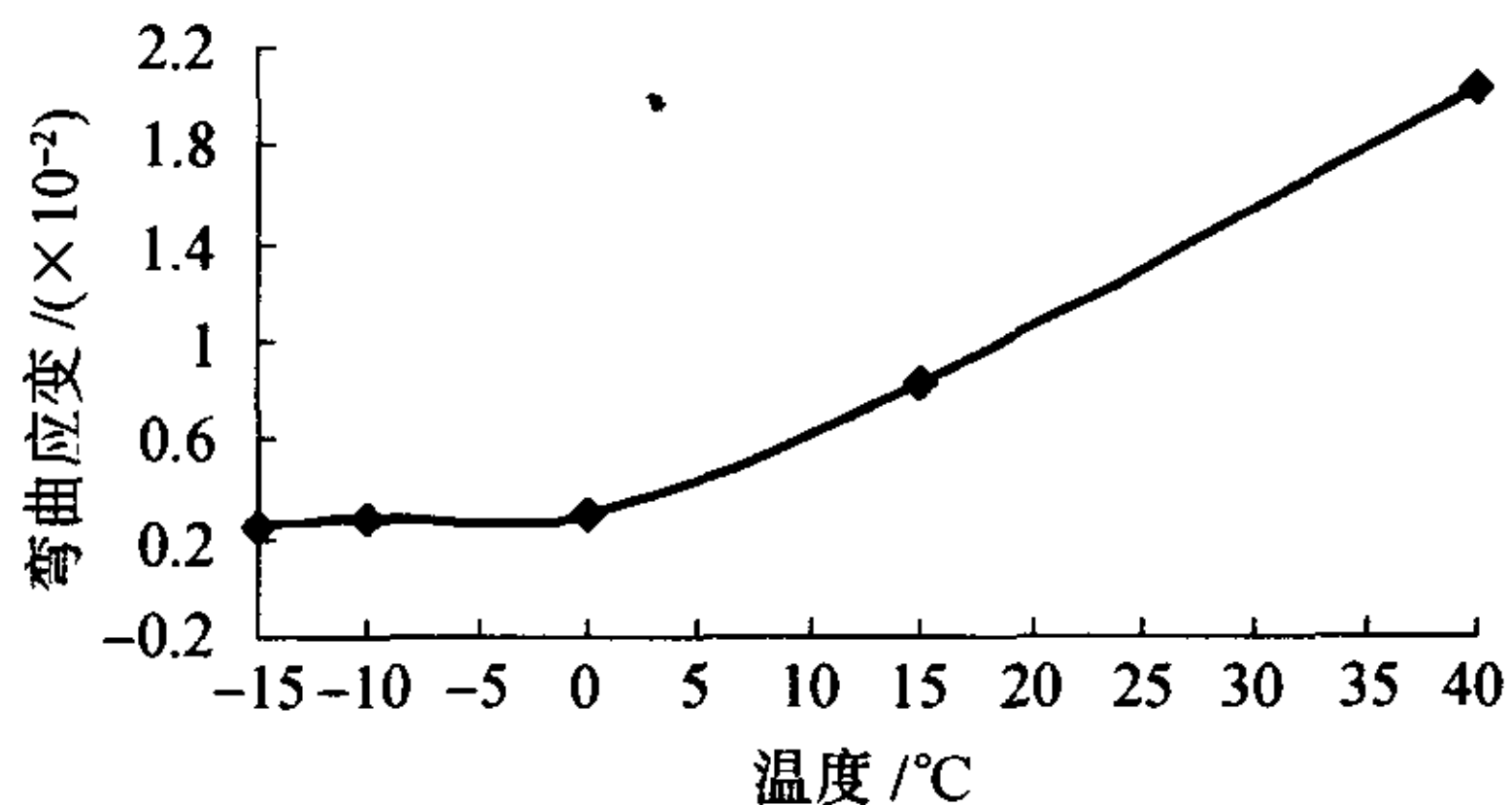


图 3 环氧沥青混合料弯曲应变~温度关系

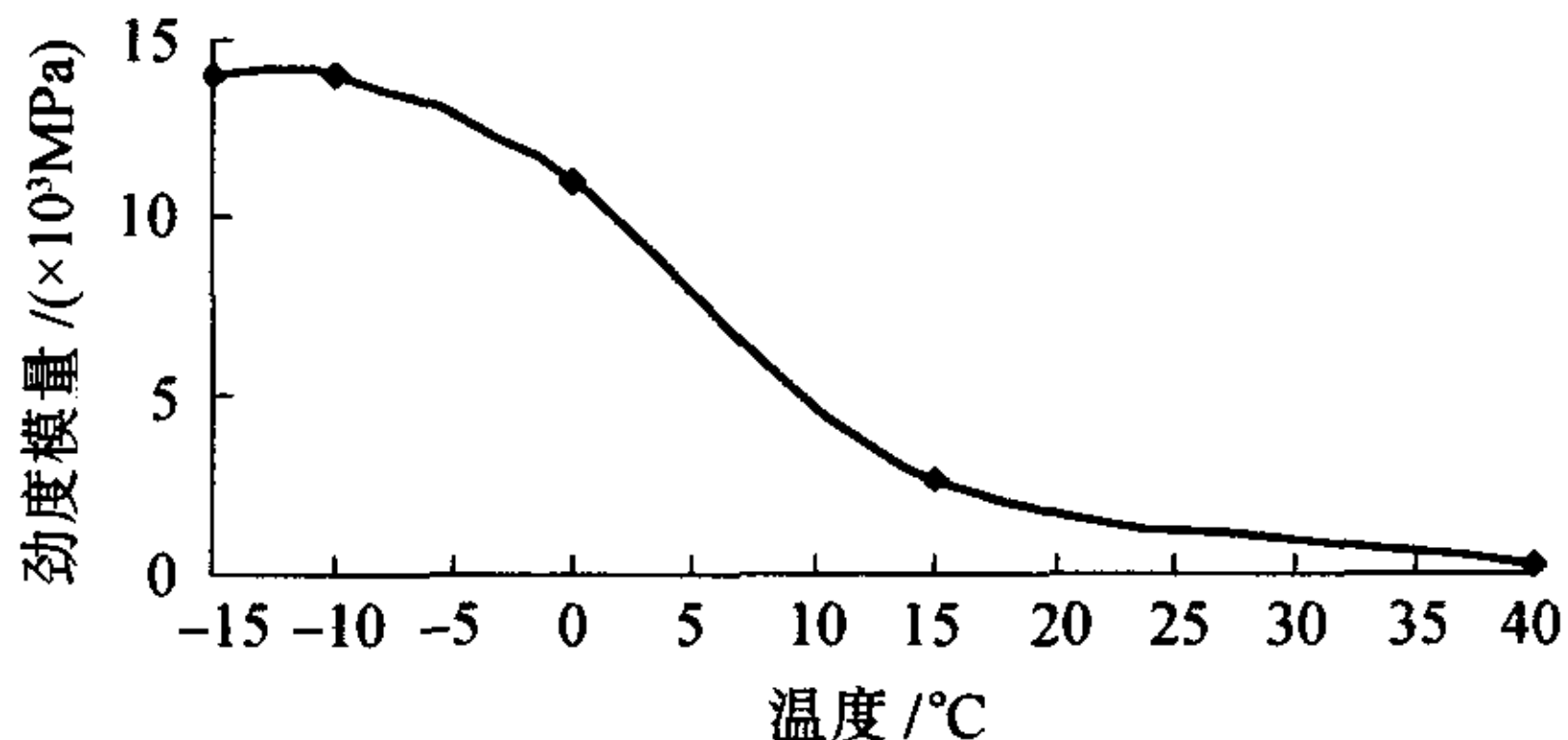


图 4 环氧沥青混合料弯曲劲度模量~温度关系

综合图 2~图 4 中应力~温度曲线峰值、应变~温度曲线拐点以及模量~温度曲线变坡点所对



应的温度,可以判断环氧沥青混合料的脆化点温度为 $-6\sim-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。但是,脆化点温度较高也并不能说明该混合料的低温性能较差,而且不同试验方法得到的脆化点温度也有较大的差距。如低温劈裂试验结果约比弯曲试验结果低 $5\sim8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此,应该综合分析混合料的弯曲强度与变形的特性,来判断混合料的低温性能。由低温弯曲试验应变~温度曲线可知,环氧沥青混合料在 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下的应变约为0.002 5,对于浇注式桥面铺装材料,室内研究的配方:新沥青+30%TLA+3%改性剂的新型浇注式沥青混凝土铺装材料在 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下的弯曲应变只有 $0.001\text{ }2^{[3]}$ 。这说明环氧沥青混合料具有相当优异的低温变形能力。

3 低温弯曲蠕变

为了评价极端低温条件下环氧沥青混合料的性能,可进行低温弯曲蠕变试验。蠕变速率是反应材料在试验荷载、温度条件下的性能的重要指标。可以简单地使用蠕变稳定期内的应变变化速率来表征材料的蠕变特性。低温下的蠕变速率越大,混合料的低温变形能力越好。

蠕变试验采用标准尺寸的棱柱体试件( $30\text{ mm}\times35\text{ mm}\times250\text{ mm}$ ),在万能材料试验机MTS-810上进行试验。试验温度为南京长江第二大桥环氧沥青混合料设计温度的下限,即 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,同时测定 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的蠕变试验进行对比。试验荷载统一取0.2应力比,主要分析评价蠕变稳定阶段。试验结果如图5所示。

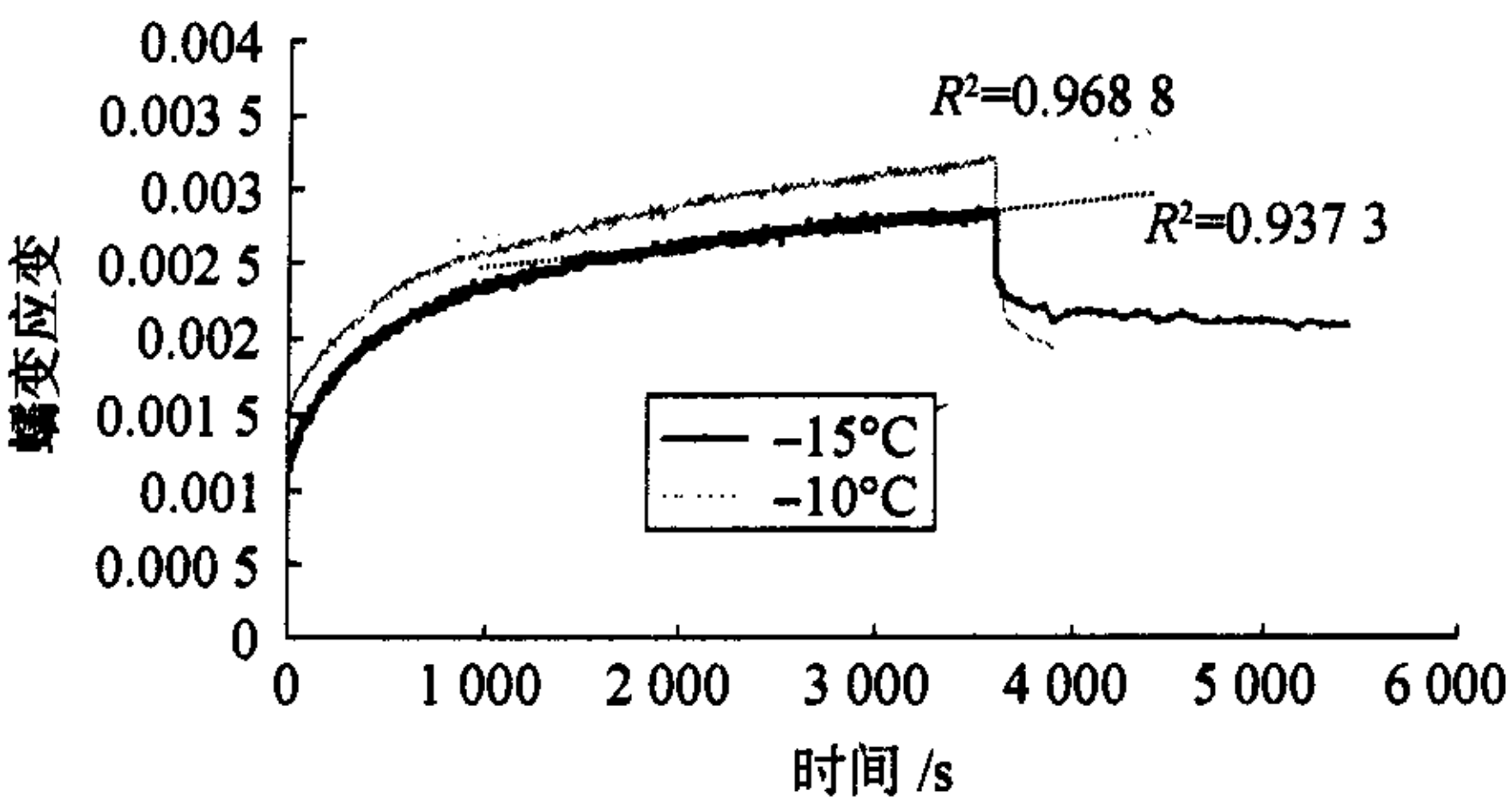


图5 环氧沥青混合料低温弯曲蠕变试验

由本次低温弯曲蠕变试验结果可知,环氧沥青混合料在0.2应力比, $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下的蠕变速率约为 $6.60\times10^{-7}/\text{s}/\text{MPa}$ (相关系数0.94), $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下的蠕变速率为 $1.33\times10^{-6}/\text{s}/\text{MPa}$ (相关系数0.97)。参考文献[4]中列举了不同科研机构实际测

得的不同混合料低温蠕变速率( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,1MPa)。对比表中的相关数据可知,环氧沥青混合料表现出优异的低温变形性能。

4 线收缩系数试验

由于钢桥面铺装层的特殊性,铺装层与桥面钢板热变形会相互影响和制约,在铺装层内部及铺装层和钢板联接界面上分别产生拉应力和层间剪应力。如果铺装层和钢板的热收缩系数相差较大,在温度应力的综合作用下可能会导致铺装开裂。因此,需要研究环氧沥青混合料的线收缩性能。

试验采用标准的棱柱体试件( $30\text{ mm}\times35\text{ mm}\times250\text{ mm}$ ),常温下用卡尺测定其4条长边的长度,取平均值后作为试件长度,然后将试件放置在石英玻璃板上。在小梁两端用502粘结剂各粘贴一个架有千分表的铝制圆柱,千分表测头抵住小梁两端(如图6所示)。记录常温下千分表的读数。将玻璃板连同小梁试件和千分表放入低温箱内,玻璃板平放在泡沫塑料上。将温度依次下降至 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,每次降温4h后读取千分表读数,根据读取的数据计算环氧沥青混合料的线收缩系数如表4所示。

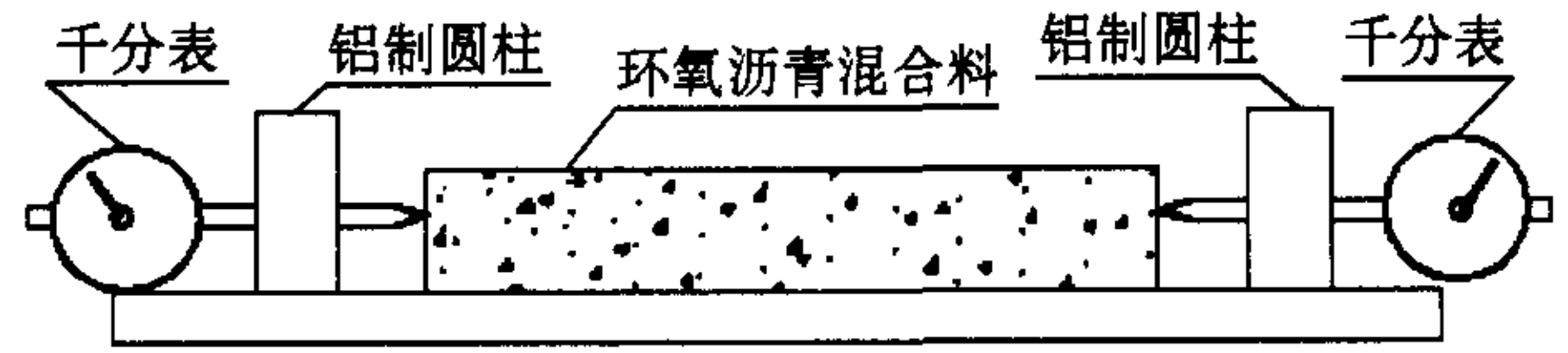


图6 线收缩系数测定示意

表4 环氧沥青混合料线收缩系数测定

温度变化/ $^{\circ}\text{C}$	$0\sim-5$	$-5\sim-10$	$-10\sim-15$
收缩系数/ $^{\circ}\text{C}^{-1}$	$1.70\times10^{-5}$	$1.47\times10^{-5}$	$1.29\times10^{-5}$

由表3中的试验结果可知,温度在 $0\sim-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内变化,环氧沥青混合料的收缩系数约在 $1.3\times10^{-5}\sim1.7\times10^{-5}$ 的范围内变化。这与钢材的收缩系数( $1.1\times10^{-5}\sim1.4\times10^{-5}$ )非常接近。因而,在低温季节内,由铺装层与钢板收缩不协调引起铺装层开裂的可能性较小。

南京长江第二大桥钢桥面铺装经历近5年的极端高低温考验,没有出现由温度变化引起的规则横向裂缝。这一方面说明了环氧沥青混凝土材料优良的低温性能,另一方面也说明了环氧沥青混合料铺装层与钢桥面板的良好变形协调性。



## 5 结语

(1) 与其他类型的沥青混合料相比, 环氧沥青混合料的低温弯曲强度较高, 弯曲变形能力较好, 弯曲应变能要比其他沥青混合料大的多。

(2) 环氧沥青混合料的脆化点温度约为  $-4 \sim -6^{\circ}\text{C}$ , 但环氧沥青混合料仍然具有较好的低温性能。 $-15^{\circ}\text{C}$  条件下的弯曲应变约是新型浇注混合料的两倍。

(3) 在  $0 \sim -15^{\circ}\text{C}$  范围内, 环氧沥青混合料的线收缩系数与钢材的线收缩系数相差较小, 大大降低由不同材料收缩差异而引起铺装开裂的可能性。

## 参考文献:

- [1] JTJ 052—2000, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [2] 葛折圣, 等. 用弯曲应变能方法评价沥青混合料的低温抗裂性能[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2002, (7).
- [3] 樊叶华. 浇注式沥青混凝土桥面铺装材料[D]. 东南大学硕士学位论文, 2004.
- [4] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 人民交通出版社, 2003.
- [5] 卢铁瑞. 道路沥青混合料低温性能评价指标的研究[J]. 石油沥青, 1998, (3).

# Research on Low Temperature Performances of Epoxy Asphalt Mixture

ZHOU Xiao-hua<sup>1</sup>, ZONG Hai<sup>1</sup>, WANG Xiao<sup>2</sup>, WANG Jian-wei<sup>2</sup>

(1. Preliminary Construction Department of Nanjing 4<sup>th</sup> Yangtze River Bridge, Nanjing 210008, China;

2. Transportation College, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** Epoxy asphalt mixture is a new kind of high performances of steel deck pavement materials. Through bend tests and creep tests of low temperature the low temperature performances of epoxy asphalt mixture are analyzed. Then the low temperature performances of using epoxy asphalt mixture as steel deck pavement are analyzed in the light of linear contraction ratio tests.

**Key words:** epoxy asphalt mixture; low temperature performance; steel deck pavement

## 中国交通建设集团有限公司成立

2005 年 12 月 18 日, 由原中国港湾建设(集团)总公司和原中国路桥(集团)总公司新设合并重组的中国交通建设集团有限公司成立大会暨揭牌仪式在北京人民大会堂隆重举行。全国人大常委会副委员长司马义·艾买提、全国政协副主席李贵鲜出席成立大会并揭牌, 国务院国资委主任李荣融、交通部部长张春贤先后致辞, 交通部副部长翁孟勇、冯正霖、徐祖远、黄先耀出席大会。

中国交通建设集团有限公司的前身——原中港集团和路桥集团是我国交通建设领域的主力军, 在港航工程、路桥工程、港机制造等领域业绩卓著, 已跨入世界 225 家国际最大承包商行列。两个集团设计承建的众多国家重点工程项目创造了我国乃至亚洲和世界水工、桥梁建设史上的诸多“第一”和“之最”。中港集团(CHEC)和路桥集团(CRBC)已成为国际工程承包领域的知名品牌。

新设合并重组的中交集团注册资本 45 亿元, 拥有 35 家全资子公司、20 家控股公司和两家上市公司, 资产总额近 700 亿元, 今年的营业总额将超过 850 亿元。中交集团也是截至目前国务院国资委涉及资产规模最大的一个合并重组项目, 集团下一步将谋求整体上市。

张春贤在致辞中指出, 在国务院国资委的大力支持下, 两个集团实行联合重组, 有利于更好地整合和优化交通建设资源, 提升企业的核心竞争力, 对做大做强交通建设企业, 跻身世界 500 强具有重要的推动作用。

张春贤强调, “十一五”是我国交通发展的关键时期, 交通事业的持续快速发展将为经济社会发展提供更有力的保障和支撑, 同时也为中交集团提供了广阔的发展空间。中交集团要以科学发展观为指导, 进一步开拓进取, 深化企业改革, 提高自主创新能力, 铸精品工程, 塑中交品牌, 努力把中交集团打造成国内一流、国际知名的企业集团, 为我国交通建设、为全面建设小康社会作出新的更大的贡献。