

文章编号: 0451-0712(2003)12-0005-05

中图分类号: U443.33

文献标识码: B

# 关于钢桥面沥青混凝土铺装层 界面抗剪问题的研究

张志宏

(中国路桥集团总公司经营一部 北京市 100011)

**摘要:** 通过对钢桥面铺装使用条件和目前钢桥面沥青混凝土铺装主要病害原因的分析,提出了钢桥面铺装界面抗剪的观点,进而提出了将特制防水卷材用于钢桥面铺装抗剪和防水的设计思路,并进行了初步的试验对比。

**关键词:** 钢桥面铺装; 界面抗剪; 沥青混凝土; 防水卷材

随着我国交通事业的发展,越来越多的大跨径钢桥相继建成。钢桥面铺装问题的研究也越来越引起工程技术人员的重视。

大跨径钢桥在温度和荷载的作用下其变形量很大。钢箱梁具有良好的温度传导性,易受外界温度变化的影响。在夏天高温季节钢箱梁顶面的钢板实测温度有时可达 70℃。此外,钢箱梁一般均由光钢板焊接制成,其顶面异常光滑。这些都是钢箱梁有别于其他桥梁的显著特点。因此,在钢箱梁上进行沥青混凝土桥面铺装是十分困难的,有时甚至被称之为“世界难题”。其主要原因是钢箱梁上的沥青混凝土铺装层的使用条件和受力状态十分恶劣。它要求铺装层不仅要有良好的追随钢桥变形的适应能力,同时还要在高温和汽车荷载作用下不能产生过大的推移变形。另外,还要求铺装结构要具有良好的不透水性,以防止铺装层渗水导致钢箱梁锈蚀。在满足这些要求的同时,它还要求铺装层要有较长的使用寿命和耐疲劳开裂等特性。

以往的研究多集中于对铺装层沥青混凝土特性的考察,试图选配出一种特殊的沥青混凝土能兼顾上述所有的使用要求。当前较流行的双层 SMA 的铺装结构即是这种意图的一种体现。但从某些大桥实际使用情况看,效果不甚理想,铺装层的推移开裂现象十分严重,有的裂缝宽度已超过 20 cm,深度直达钢板表面,而且难以通过简单修复使其稳定。究其原因,是以往的研究偏重于铺装层沥青混凝土自身,对光滑的钢板顶面和高温状态所导致的铺装层的界面抗剪问题认识不足,选用的界面处置方式和材料也不妥。

## 1 对钢桥面铺装开裂原因的分析

过去,钢桥面采用的界面处置方式是在钢板上进行喷砂除锈后喷涂一层富锌底漆,对钢板进行防腐。然后由洒布机在高温状态下喷洒一层高粘度的防水粘结材料和一层预拌碎石颗粒,形成所谓的防水粘结层,用于保障铺装层对钢板的良好粘结和提

收稿日期: 2003-09-10

- [2] Rion rising. Greece's major bridge take shape. Bridge design & engineering 2003 First Quarter Issue No. 30.
- [3] Firm Foundations. Bridge design & engineering 1999 Second Quarter Issue No. 15.
- [4] Paints & Coatings. Bridge design & engineering 2002 Fourth Quarter Issue No. 30.

- [5] 多间径连续斜张桥(その2) Bridges With Multiple Cable-Stayed Spans. プレストレスト コンクリート, Journal of Prestressed Concrete, 2002, (44)5.
- [6] 金增洪. 多跨斜拉桥(上)[J]. 中交公路规划设计院技术论坛 2003, (2).

高铺装层的不透水性,最后加铺 2 层 SMA 混合料,完成钢桥面的铺装结构。

防水粘结剂是一种橡胶类的高粘度复合改性沥青材料。其设计的主要性能为:软化点大于 100 ℃;对钢板粘结的抗拔力在 25 ℃时不小于 1.2 MPa;200 ℃时其粘度要低,以便于机械洒布施工。希望通过这层防水粘结剂实现铺装层与钢板的良好结合和有效防水。然而,实际使用情况未能实现这一目标。这层防水粘结剂的缺陷导致铺装层产生了意外的滑移开裂,主要的原因可归结如下。

(1)防水粘结剂对钢板的粘附力与钢板的温度条件密切相关。随着温度的升高其粘附能力也随之大幅下降。根据对粘结剂的研究检测,当钢板温度达到 70 ℃时,其防水粘结剂对钢板的抗拔力仅约 0.15~0.30 MPa,也就是说,在高温状态下界面的抗剪能力因粘结剂变软而变得非常薄弱。对于非常光滑的钢板表面来说,铺装层非常容易滑动。

(2)对由于车辆荷载在桥面上刹车制动产生的剪力和界面抗剪要求研究不足。当重车特别是超载车在桥面减速制动时,施加于铺装层上的水平剪力是非常大的。例如:汽—超 20 级荷载在 20 m 的距离内由 80 km/h 车速刹车停住时,其后轮作用于路面上的惯性剪力约为 176 kN,若不计车轮触地面积周边的沥青混凝土对触地面积的约束作用,则触地面积下界面的剪应力约为 1.12 MPa;再考虑到桥面纵坡以及钢板与沥青混凝土热膨胀系数不同等因素引起的界面剪应力增加值,在不利组合的情况下,其界面剪应力可能超过了 1.7 MPa;当汽车超载运行时,其后轴载远比汽—超 20 级的轴载大,其界面剪应力就更大了。比较高温时粘结剂只有 0.15~0.30 MPa 左右的抗剪能力可知,粘结剂界面的抗剪能力远不够充分。也就是说,界面抗剪能力的不足使车轮触地面积周界面界面的沥青混凝土铺装层承受了额外的剪力和拉力,见图 1 所示。这也就是铺装层产生裂缝的力学原因。值得注意的是,由于车辆行驶的单向性和沥青混合料的可塑性,这种受力引起的变形是塑性累加的、不可恢复的。当这种变形累加到一定程度时,铺装层沥青混凝土的某个薄弱位置必定因受拉超过了其允许的变形能力而开裂。而主裂缝必定是月牙形的。周边裂缝则接近于行车方向,受剪面积的前方和侧方必定产生相应的推拥变形。一旦裂缝出现,滑移部分周界的约束能力则进一步降低。同时,地表水渗入裂缝起了润滑作用,裂缝则迅速扩展,很快就可

达到一定的宽度。在这种情况下,对裂缝浇灌沥青或填充沥青混合料等修复手段都不能阻止铺装层继续产生新的滑动位移,因而裂缝不断扩展,难以简单修复。

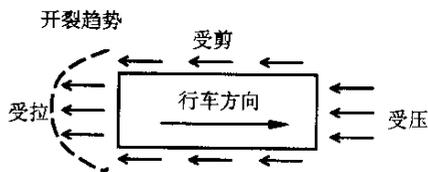


图 1 车轮触地面积周边受力示意

(3)另外,从实际破坏情况看,桥面 SMA 铺装层完成后,防水粘结层不能独立存在,它已与加盖的 SMA 层溶为一体。洒布量约 1 kg/m<sup>2</sup> 左右的粘结剂在 SMA 混合料高温摊铺碾压时很容易造成上浮,使 SMA 铺装层底部的沥青含量相对高于正常的设计配比含量。对于高温且光滑的钢板表面来说,这一局部高沥青含量的混合料其抗剪切蠕变的性能显然是趋于不利的;而且一旦铺装层开裂,裂缝就直达钢板表面,粘结剂的防水功能也就不存在了,钢板也因此产生锈蚀。

综上所述可以初步得出结论,钢桥面铺装成败与否的首要问题是解决铺装层在光滑的钢板表面上的界面抗剪问题。特别是高温多雨地区和桥面纵坡较大或直桥接有急弯陡坡出口的钢桥面铺装工程,尤其如此。

对比水泥混凝土桥面的铺装层相对不易发生推移开裂的情况则很容易理解,是粗糙不平的混凝土表面对铺装层提供了足够的界面约束力。其沥青混合料的性能尽管不及钢桥面混合料的性能优越,但却能承受相应剪力的冲击,主要原因就是界面约束力不同和界面温度条件不同。

从目前的使用情况看,尽管铺装结构相似,SMA 混合料的品性相似以及气候和荷载条件相差不大,但斜拉桥的钢桥面铺装的使用情况明显好于悬索桥的铺装。对此,我们的解释是除了斜拉桥刚度较大的因素外,斜拉桥的钢箱梁多采用螺栓连接。约每 12 m 一道数排凸起 2~3 cm 的接连螺栓对铺装层的滑动起到了一定的类似于剪力键的限制作用。

因此可以说,在光滑的钢桥面板上用沥青类的防水粘结剂作为界面材料,既要粘结抗剪又要防水,可能是要求过高了。在这种情况下,即使采取特殊措施,部分地提高沥青混合料自身的抗裂性能和强度,也不能完全弥补界面抗剪能力的不足。

## 2 建议采用的界面处置方式

在钢桥面光滑的钢板上,采用何种材料既能有效防水又能有效粘结、抗剪,一种值得考虑的方式是采用特制的防水卷材。

防水卷材一般用于建筑物的屋面防水。它是由聚脂类胎基浸涂沥青后挤压形成的。采用高强聚脂胎基制成的防水卷材具有很高的抗拉强度和良好的变形适应性。因而具有良好的防水效果和较长的使用寿命。近年来随着改性沥青技术的发展,改性沥青防水卷材技术已趋成熟。APP类和SBS类防水卷材已广泛用于公路机场的白加黑路面反射裂缝的防治和防水,并取得了较好的使用效果。

根据钢桥面的使用需要,我们可以对生产防水卷材的浸涂沥青进行特殊改造,从而可以生产出特殊品质的防水卷材。表1是某防水材料公司生产的一种特制防水卷材的性能。

表1 防水卷材性能

检测内容	单位	实测性能	试验方法
抗拉强度	N/5 cm	$\geq 800$	GB18243-2000
粘结强度	MPa/25 C	$\geq 1.2$	拉力试验
抗剪强度	MPa/25 C	$\geq 1.1$	拉力试验
高温稳定性	C/2h 无滑动、流淌、滴落	$\geq 150$ C	GB18243-2000
低温抗裂性	R=35 mm, 对折不开裂	-10 C	GB18243-2000
延伸率	%	$\geq 25$	GB18243-2000
防水性	MPa/min	$\geq 0.3/30$	GB18243-2000

对比防水粘结剂存在的问题,将特制的防水卷材用于钢桥面铺装的界面处置有以下几个方面的显著优点。

(1)由于防水卷材预先在工厂内生产,在现场仅进行烘烤粘贴施工,避免了机械洒布高粘度防水粘结剂产生的洒布困难。因此可以将生产卷材的浸涂沥青改造的更粘,从而提高处置后的界面的抗剪能力。

(2)用防水卷材粘贴桥面后,抗拉强度很高的聚脂胎基连成了整体。当界面因车辆制动受剪时,连成一体聚脂胎基将相互牵扯共同受力。这实际上是大大地扩大了刹车剪力作用于界面的有效面积,降低了界面单位面积的受剪强度,从而提高了界面的抗剪能力。另外,由于聚脂胎基自身有一定的厚度且并非像钢板一样坚硬不可嵌入,当铺装层摊铺碾压

作业时,在压路机的作用下部分矿料颗粒会微小地嵌挤进胎基层,使铺装层不易在胎基面上产生滑动,这对整个结构的抗剪稳定是大有好处的。

(3)卷材法较粘结剂法在防水功能方面具有更明显的优势。防水粘结层在沥青混合料施工完成后,实际上不能有形地单独存在,它与沥青混凝土已溶为一体。当铺装层推移破坏时,裂缝深度往往直达钢板的富锌漆层,粘结剂的防水作用已完全丧失了。而防水卷材的方法则不同,当铺装层沥青混合料施工完成后,聚脂胎基仍完整地存在着。除非将聚脂胎基拉断或发生大面积整体滑动,否则地表水不能接触到钢板,即使铺装层产生了疲劳开裂,防水卷材仍具有良好的防水功能,保护钢箱梁面板不锈蚀。

(4)防水卷材不仅具有良好的追随钢桥变形的适应能力。同时还有吸收并消散集中的应力、应变的作用,这对于改善铺装层在钢箱梁横隔板及U形加劲肋等处的受力状态也是有益的。此外我们还应注意到,聚脂胎基的防水卷材对高温的钢桥面来说具有一定的隔热作用,这对于改善铺装层的温度使用条件也是非常有益的。

此外,防水卷材的施工比较简便,无需使用大型专用设备。工程造价也相对低廉,而且在层面防水、白加黑路面裂缝处置工程中经常使用,有较成熟的工艺和经验。我们感到将防水卷材用于钢桥面铺装的界面处置可能会有比较好的效果,因此我们对卷材与粘结剂界面进行了一些对比性试验。

## 3 对比试验的方法和结果

### 3.1 拉拔试验

试验的目的是为了对比验证特制卷材和粘结剂在不同温度条件下对钢板粘附能力的区别。

试验取2块钢板A和B,分别涂以粘结剂和粘贴卷材制成拉拔试件,如图2所示。

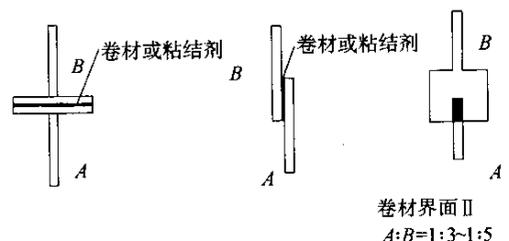


图2 剪拔试件

将试件置于烘箱内恒温30 min后取出,立即在拉力机上进行拉拔试验,试验结果见表2。

表 2 界面拉拔试验记录 MPa

温度	粘结剂界面		卷材界面 I		卷材界面 II	
	拉	剪	拉	剪	拉	剪
30 C	1.2	0.87	1.2	0.93	1.25	0.85
40 C	0.83	0.50	0.80	0.50	0.78	0.47
50 C	0.47	0.15	0.51	0.21	0.55	0.20
60 C	0.33	0.10	0.35	0.18	0.35	0.15
70 C	0.12	—	0.16	—	0.20	—

注:1 粘结剂涂量为 1 kg/m<sup>2</sup>, 卷材上沥青含量约 1.5 kg/m<sup>2</sup>;

2 卷材界面 II, A 板 B 板面积比为 1:3~1:5。

由试验结果可知:

- (1)同材料界面拉拔力大于拉剪力;
- (2)卷材界面的抗剪强度在高温时降低相对较少,但差异并不明显;

(3)当把 A 板粘贴面积扩大 3~5 倍时,卷材界面试件的破坏多发生在粘贴面积小的卷材的背面。原因是局部受拉时,卷材全面积参与受力。因此我们推断,当卷材背面是沥青混合料时,由于骨料对卷材表面的嵌挤作用,使混合料不易在卷材面上产生滑动,当铺装层受车荷剪力作用时,剪力可有效地传递到胎基层,从而使受剪面积加大。而粘结剂没有这一特性。

### 3.2 压剪试验

钢桥面铺装层在车轮作用下实际是处于压剪的受力状态,本试验的目的是对比验证不同温度条件下,界面抗压剪能力的区别。

试验利用马歇尔压力机进行。试件由击实形成。所不同的是底模制成斜面,在斜面钢板上粘贴卷材或涂粘结剂,然后加填沥青混合料击实形成试件,如图 3 所示。试验前试件在烘箱中保温 60 min,取出后立即进行压剪。试验结果见表 3。

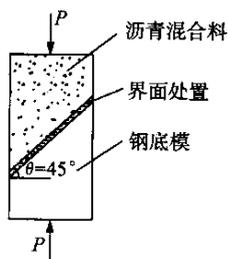


图 3 压剪试验

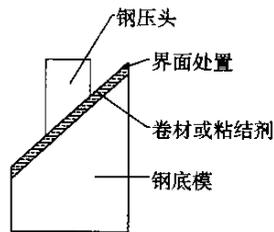
全断面压剪试验结果表明,卷材界面与粘结剂界面差别不甚明显。但可以看出,随着温度的升高,

表 3 界面压剪强度 kN/0.10 min

温度条件	粘结剂界面	卷材界面
30 C	14.6/24	13.3/35
40 C	5.3/27	4.1/35
50 C	2.2/35	3.4/31
60 C	1.7/27	2.3/22
70 C	0.8/15	1.3/19

粘结剂界面的压剪强度衰减较快,而卷材界面的强度则衰减相对要慢一些。另一个要注意的现象是,尽管试件的沥青混合料采用普通的 AC-13 配比,但试验破坏均发生在钢板的界面。混合料试件本身以及混合料和卷材的界面均未发生破坏。可见高温状态下钢板界面抗剪力最为薄弱。

值得重视的是,当汽车在钢桥面上运行时,其汽车荷载相对于钢桥面铺装层来说施加的是一个点的局部压剪荷载。在试验室模拟这种情况是用一个小面积的钢压头替代图 3 中的沥青混合料进行局部压剪试验,如图 4 所示,比较卷材和粘结剂的抗剪性能。试验结果,两者的区别是非常明显的,在荷载作用下粘结剂的抗高温流变性能是很差的,有时试件还未上压力机,试件在烘箱内受钢压头自重作用已经产生流变位移了。试验结果见表 4。



(钢压头与界面的面积比为 1:4.67)

图 4 局部压剪示意

表 4 界面局部压剪强度 kN/0.10 mm

温度条件	粘结剂界面	卷材界面
30 C	1.6/20	7.7/20
40 C	0.8/2.0	4.1/20
50 C	0.13/25	2.1/25
60 C	由于压头自重已流变	1.7/20
70 C	由于压头自重已流变	0.5/20

表 4 的结果表明,在钢桥面局部压剪的受力状态下,防水卷材的胎基开始受拉,使受剪部位周边的

界面也参加受力,从而大大提高了局部受力时界面抵抗荷载的能力。从理论上来说,对荷载和位移曲线进行积分求和得到的是曲线下的面积,这个面积的物理意义是车轮荷载克服界面阻力使其达到一定位移所做的功,即所需的破坏能量。比较不同温度条件下这2个能量的不同可知,卷材界面较粘结剂界面安全数倍,如图5所示。

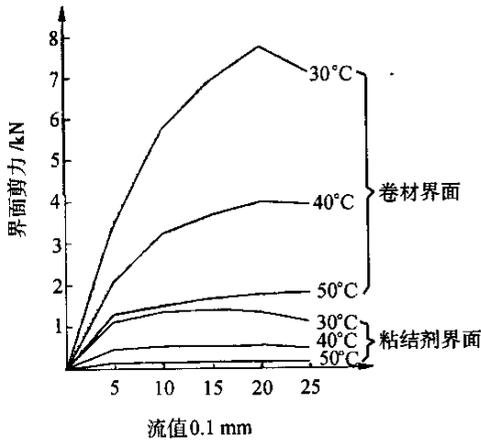


图5 界面剪力试验曲线

### 3.3 疲劳开裂试验

本试验的目的是为了验证在应力集中的状态下,沥青混合料在不同界面处置条件下表现出的耐疲劳开裂的性能。这对于铺装层在U形肋板和横隔板等应力集中位置的耐疲劳开裂是非常有帮助的。

试件在特制的钢板底模上压实成型。底模上人为锯缝尺寸为3mm×3mm,在自制的疲劳开裂试验机上加载时形成对沥青混合料的应力集中。依据试件顶面开裂时间的不同,比较不同界面处置方式对疲劳开裂的影响。为消除对判定界面作用影响的其他因素,试件采用相同的混合料。在特制的模具中统一成型。试件及疲劳试验机原理如图6所示,试验结果见表5。

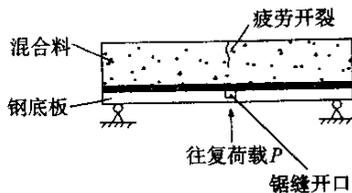


图6 应力集中下疲劳开裂试验原理

表5 疲劳开裂试验记录

次数

项目	试件					平均值
	1	2	3	4	5	
卷材界面	2 720	2 775	2 768	3 020	2 890	2 835
粘结剂界面	1 203	1 278	1 120	1 242	1 365	1 242

试验条件:温度 31 °C, 往复荷载振幅 2 mm, 试件尺寸为 25 cm × 5 cm × 5 cm; 沥青混合料 AC-10(SBS 5%)。

试验结果表明:卷材界面处置后,试件的疲劳寿命较粘结剂界面提高 2~3 倍;可明显看到卷材胎基对集中应变的吸收和消散作用。

防水卷材的这一特性已被广泛用于白加黑路面反射裂缝的防治,并取得较好的使用效果。例如国内几个机场道路的柔性加盖工程。

### 4 结论

由以上综合分析和对比试验的结果可知:

(1)钢桥面沥青混凝土铺装,其界面粘结抗剪问题十分重要,用粘结剂作为界面材料其铺装结构的高温安定性较差,综合分析看,弊多于利;

(2)用防水卷材作为界面处置材料,桥面铺装层整体性好,胎基的共同受力可有效地扩大刹车产生的受剪面积,降低单位面积的受剪强度,从而提高抗剪能力;

(3)将桥面铺装的防水功能从铺装层的沥青混合料品性中部分地分离出来交由防水卷材承担,不仅防水效果可靠,而且使铺装沥青混凝土的品性研究趋于简单化,它提示我们,钢桥面铺装可能并不一定需要十分昂贵而且性能复杂的沥青混合料,有针对性地解决问题可能会取得事半功倍的良好效果;

(4)卷材用于钢桥面界面处置施工简单便利,工程整体造价亦会随之大幅降低,例如取消富锌漆层和避免使用昂贵的纤维等。

因此,我们认为防水卷材用于钢桥面的铺装防水和抗剪,将取得更好的使用效果,是值得认真考虑的方案。