

# 钢桥面铺装技术的研究与发展

张 力<sup>1</sup>, 陈仕周<sup>2</sup>

(1. 交通部重庆公路科学研究所 重庆市 400067; 2. 重庆市智翔铺道技术工程有限公司 重庆市 400067)

**摘 要:** 该文介绍了浇筑式沥青混凝土等多种钢桥面铺装体系, 并阐述各种铺装体系的优势与不足及适应条件, 以及各种铺装体系的发展方向。

**关键词:** 钢桥面; 铺装体系; 发展方向

## 0 前言

正交异性板钢桥面铺装, 是一直困扰我国长大跨径钢桥建设的关键技术之一。

由于钢桥面铺装的使用条件远较一般路面、机场道面严酷, 因而对钢桥面铺装有较高的性能要求。同时, 钢桥面铺装与桥梁结构, 特别是桥面系结构紧密相关。需要桥梁结构和路面两方面的技术人员紧密配合, 从结构和材料两方面出发, 尽可能减小钢桥面铺装承受的拉压应力(应变)、改善桥面铺装温度使用条件(如在钢桥梁中设通风设备)、提高桥面铺装材料性能等等, 以解决钢桥面铺装这一关键技术。

概括地说, 钢桥面铺装应具备以下基本性能:

(1) 应具备良好的疲劳抗裂性能以承受反复复杂变形。

(2) 应具备优良高温稳定性能, 以满足高达 70℃ 的高温使用条件要求。

(3) 完善的防排水体系。以保证钢板不被侵蚀。

(4) 良好的层间结合, 保证铺装与桥面板的协同作用。

(5) 对钢板变形良好的追随性, 以适应钢板变形。

(6) 良好的平整度与抗滑性能。

钢桥面铺装方案多种多样, 从最初的采用普通密级配沥青混凝土, 到使用 Gussasphalt、Masticasphalt、改性密级配沥青混凝土、沥青玛蹄脂碎石(以下称 SMA)、改性环氧磨耗层铺装等等。本文对铺装进行阐述, 并探讨钢桥面铺装的发展方向。

## 1 浇筑式沥青混凝土

浇筑式沥青混凝土(Gussasphalt)源于德国, 并

在日本等国家得到较普遍的应用。

沥青玛蹄脂混合料(Masticasphalt)源于英国, 主要在英联邦国家得到应用。

两者的共同特点是两阶段高温拌和, 拌制的混合料具有一定流动性, 浇筑式摊铺(不需要碾压), 一般使用天然硬质沥青(德国也已开始使用聚合物改性沥青), 混合料组成相近, 混合料结构的强度形成原理一致, 但拌制工艺略有区别。

### 1.1 浇筑式沥青混凝土组成

Gussasphalt、SMA 及密级配沥青混凝土 AC-13 的组成对比如表 1 所示。

表 1 各种混合料组成对比

筛孔/mm	通过率/%		
	Gussasphalt	SMA13	AC-13
19	100		
16		100	100
13.2	95~100	90~100	95~100
9.5		<75	70~80
4.75	65~85	20~30	48~68
2.36	45~62	16~24	36~53
1.18		14~20	24~41
0.6	35~50	12~18	18~30
0.3	28~42	11~17	12~22
0.15	25~34	10~14	8~16
0.075	20~27	8~11	4~8
油石比范围/%	7.0~10.0	6.0~7.0	4.5~6.0
纤维用量/%	--	0.3~0.5	--

很明显可以看到, Gussasphalt 比密级配沥青混凝土(以下称 AC)有高得多的矿粉用量和相对较高的沥青用量。而 SMA 则有较高的碎石用量, 矿粉用

量则介于 Gussasphalt 和 AC 之间。

与 Gussasphalt 组成相近的是沥青玛蹄脂混合料(曾用于青马大桥、并已用于江阴大桥)。其组成为 14%~16% 的硬质沥青与石灰岩细集料(矿粉含量 40%~60%)拌制沥青玛蹄脂,再与 45%±5% 粗碎石(总混合料重量比)拌制成沥青玛蹄脂混合料。Masticasphalt 的两阶段拌和组成如表 2 所示。

表 2 Masticasphalt 混合料组成

沥青玛蹄脂				粗集料(通过率)		
细集料	筛孔/mm	分计筛余/%		尺寸/mm	要求	实测
		要求	实测			
	2.36	—	0.5	14	—	100
	0.6	0~25	22.4	10	—	99.7
	0.212	5~35	18.6	6.3	<40	38.8
	0.075	10~30	13.5	5	—	17.7
	<0.075	40~60	45	3.35	—	2.8
可溶性沥青含量:14%~16%				—		

可以看到 Masticasphalt 与 Gussasphalt 混

料组成非常相近,但 Masticasphalt 在 0.6~6.3 mm 间有明显的断级配倾向。在沥青玛蹄脂混合料(Masticasphalt)基础上增大碎石含量(4.7~5 mm 以上碎石达 70%左右或以上),改进而得到沥青玛蹄脂碎石(SMA:Stone Mastic Asphalt)混合料,也是一种更明显的断级配混合料。

按上述资料推算 Masticasphalt 合成级配见表 3。

从上述 Gussasphalt 和 Masticasphalt 的组成及与 SMA 和密级配沥青混合料比较可知,Gussasphalt 与 Masticasphalt 均是一种完全悬浮式结构混合料,骨料间毫无嵌挤。依赖于硬质沥青的高软化点和高矿粉含量和高温施工所带来的薄沥青膜(基本没自由沥青)以形成其强度和达到热稳性要求。

此外,在日本 Gussasphalt 所用硬质沥青为 25%左右的天然湖沥青与 75%左右的针入度 20~40 直馏沥青混合而成。而在香港青马大桥 Masticasphalt 中,硬质沥青为 70 号的天然湖沥青与 30%左右的针入度为 70 左右的道路沥青混合而成,见表 4。

表 3

筛孔/mm	14	10	6.3	5	3.35	2.36	0.6	0.212	0.075
要求通过量/%	100	90~100	<70	—	—	30~65	30~53	25~45	20~30
实际通过量/%	100	99.8	67.6	56.4	48.5	46.8	36.3	27.5	21.2

注:推算合成级配并不非常准确,仅供参考。

表 4 日本用于掺配硬质沥青材料及硬质沥青性质

	日本 Gussasphalt 用硬质沥青性能要求			Masticasphalt	
	直馏沥青	天然沥青	硬质沥青	要求	实测
针入度(25℃)/0.1 mm	20~40	1~4	15~30	10~25	14
软化点/℃	55.0~65.0	93~98	58~68	60~70	68.1
延度(25℃)/cm	≥50	—	≥10	—	—
蒸发质量变化/%	≤0.3	—	≤0.5	≤2	0.25
甲苯可溶含量/%	≥99.0	52.5~55.5	86~91	66~70	68.9
闪点/℃	≥260	≥240	≥240	—	—
密度(15℃)	≥1.00	1.38~1.42	1.07~1.13	1.17~1.30	1.257

浇筑式沥青混凝土的动稳定度虽然不高,但整体性较强。在使用温度未达到硬质(混合)沥青软化点附近时,热稳性仍能满足要求。

### 1.2 浇筑式沥青混凝土基本施工工艺及使用结构

在日本、德国所使用的 Gussasphalt,一般用于铺装下层(在过去也曾较多采用双层浇筑式混凝土),面层一般采用改性沥青混凝土(如日本的本四桥)。在

德国面层还采用 SMA 混合料(也用于下层)。铺装总厚度一般为 7~9 cm。用于青马大桥和江阴大桥的 Masticasphalt,只铺装一层主铺装层,总厚度一般为 4~5 cm。

Gussasphalt 的拌和,首先在拌和楼中 200℃左右温度下拌和(加入天然沥青),然后将混合料放入拌和运输车中,边拌和边升温达到 230~250℃,拌制的

混合物有一定流动性,再采用专用摊铺机浇筑式铺筑。一般为增强铺装、下层的结合及增强浇筑式混合物的热稳性,在其上撒布一层粒径约5~13 mm及13~20 mm的预拌碎石(8~15 kg/m<sup>2</sup>),并压入浇筑式混凝土中。

Masticasphalt的拌和,则首先是将湖沥青与直馏沥青拌和均匀,并加入矿粉及细集料,拌制成沥青玛蹄脂(可制成块状物运输至异地使用),将沥青玛蹄脂及加热的碎石按比例加入拌和运输车中,拌和升温至240~270℃左右,采用专用摊铺机浇筑式铺筑。为了保证铺装层的抗滑性能,在其表面需撒布一层高耐磨的预拌沥青碎石,压入浇筑式混凝土中(约留1/3高度露出)。由于拌和时间较长,Masticasphalt施工效率相对较低,青马大桥4台拌和车,每日作业面积单车道只有约60~100 m长度。

## 2 沥青玛蹄脂碎石铺装

如前所述(表1),沥青玛蹄脂碎石(SMA)混合料的粗骨料含量大,矿粉含量较密级配高,是一种典型的骨架型密实结构。混合料的热稳性、密水性、抗裂性能均较优良。适宜于钢桥面铺装。

在德国,SMA既可用于铺装下层,也可用于铺装面层。在日本,SMA的铺装实例主要用于铺装下层,面层则用改性沥青密级配混凝土。

改性沥青双层SMA方案,已在我国广东虎门大桥、汕头海湾大桥、汕头岩石大桥中得到应用。经过进一步完善研究,逐步定型。已使用于厦门海沧大桥、武汉白沙洲长江大桥的钢桥面铺装中。铺装厚度一般要求7.0~9.0 cm。

有关改性沥青双层SMA方案所用的材料、级配、性能要求详见“厦门海沧大桥钢桥面铺装的设计与实施”一文。

## 3 铺装的防水体系

铺装的防水体系包括喷砂除锈、防护漆或粘接剂、防水层、铺装下层(防水隔离层)以及铺装边缘的阻水用填缝料(或贴缝条)及钢桥面板的排水等内容。

铺装层的防水体系与铺装混合料类型有关,也因各国铺装研究者重视程度不同而各异。

### 3.1 日本钢桥面铺装的防水体系

日本的钢桥面铺装方案,主要是浇筑式沥青混凝土(Gussasphalt)上面铺筑改性沥青混凝土方案。由于浇筑式沥青混凝土空隙率很小,具有良好的密

水性,因而未设防水层,仅在钢板喷砂除锈后涂布两次0.2 L/m<sup>2</sup>的溶剂型沥青橡胶作为粘接剂。

一些使用改性沥青密级配混凝土作为铺装下层时,均需使用防水层。防水层一般用改性沥青卷材。卷材施工时贴合面不容易赶尽空气,施工后在钢板与卷材间留有空气产生气泡。在焊缝位置、边角部位很难贴实,需充分注意。

在日本,使用SMA作为铺装下层时,也不设置防水层。因为SMA混合物也有良好密水性。

### 3.2 Masticasphalt铺装防水层

香港青马大桥的钢桥面铺装采用的是Masticasphalt,总厚度4 cm,其中有3 mm厚的甲基丙烯酸类现场反应性树脂防水层。其下为喷砂除锈(Sa3.0级,粗糙度75~100 μm)后喷涂热喷锌(150 μm厚)作为防锈层。

此外,也有使用刮铺一层矿粉与沥青混合物(或矿粉与改性沥青混合物),一般沥青约20%~30%,矿粉约70%~80%,拌和均匀后,在高温下人工刮铺。如我国江阴大桥及丹麦的小带桥。

### 3.3 德国钢桥面铺装的防水层

应该说,国外所有桥面铺装体系中,德国钢桥面铺装的种类最多,有采用湖沥青的Gussasphalt、有采用聚合物改性沥青的Gussasphalt、也有采用SMA混合料的,铺装表面层也有用改性沥青混凝土的(底面层不允许用密级配沥青混凝土)。

对防水体系的完善也非常重视。其防水层主要有以下几种:

①两层反应性树脂防水层(上面再用沥青类粘接剂)。

②一层反应性树脂防水层上洒布改性沥青粘层(沥青防水层与反应性树脂防水层的结合)。

③沥青类防水层(洒布改性沥青)。

④反应性树脂防水层上撒小碎石(未固化前),在其上洒布改性沥青形成缓冲层。

### 3.4 我国改性沥青双层SMA铺装的防水体系

首先对钢板进行喷砂除锈达到Sa2.5级光洁度及粗糙度40~80 μm,喷涂无机富锌底漆50~100 μm,洒布改性沥青粘接剂并嵌入2.36~4.75 mm预拌沥青碎石(形成防水粘接层)。由上述几层组成铺装的防水层。铺装下层采用SMA10,设计空隙率3.0%,具有良好防渗效果(渗水率小于1×10<sup>-6</sup> cm/s),铺装下层与防水层共同组成防水隔离层。

在铺装与构造物结合部位填入高弹性沥青类填

缝料以防止路面水进入铺装下部。在雨水井周围开口,边缘纵向设螺旋排水管以保证桥面板水的排除。必要时,在路缘边缘设泄水孔。中央分隔带使用具有一定流动性的 SMA0/5 铺装(浇筑施工)。

上述组成,形成了钢桥面铺装较完善的防水系统。

#### 4 其他钢桥面铺装方案

##### 4.1 环氧树脂磨耗层方案

用于香港青马大桥内的备用车道上的环氧树脂磨耗层铺装,采用特别双组份环氧树脂,在钢桥喷砂除锈后,刮铺在桥面板上,厚度约 5 mm,在其上撒布一层厚约 2 cm 的特制耐磨石料(如煅烧铝矾土、氧化铝等)、撒布石料粒径 3~6 mm。待环氧树脂固化后,扫除多余碎石,即形成表面非常粗糙耐磨的桥面铺装。

使用环氧树脂磨耗层铺装,具有重量轻,抗滑性能优良等优点。但需注意施工时,钢板应非常干净、干燥。且应充分注意保证环氧树脂的柔性以适应钢板的变形抗裂性、桥梁的抗风振性对桥梁结构提出的相应要求等等。

##### 4.2 环氧改性沥青混凝土铺装

在日本本四桥钢桥面铺装技术研究过程中,环氧改性沥青混凝土是比较方案之一。在疲劳试验中,环氧改性沥青混凝土表现出非常优良的抗疲劳性能(较浇筑式沥青混凝土及橡胶改性沥青混凝土均优良),但在试验桥实施后约两年内,产生了大量的疲劳开裂。该研究的研究报告认为,主要原因是施工工艺要求严格,实施中难以达到试验效果。

环氧改性沥青混凝土的施工难度,主要体现在非常严格的施工温度控制和施工时间控制,且温度控制与时间控制均需充分考虑施工时的环境温度。当拌和、摊铺温度过高,掺入沥青中环氧树脂反应迅速,在有一定程度固化后,摊铺碾压都很困难。当施

工温度过低时,因相应沥青粘度较高,摊铺碾压也很困难且难以完成反应、固化。一般情况下,环氧改性沥青混凝土除进行充分的性能试验外,在 120~160℃内,应进行大量的工艺试验,选定适宜的拌和温度(及控制范围)和确定拌和后允许的施工时间。

使用环氧树脂改性沥青混凝土的另一问题是应充分考查铺装层对钢板变形的追随性(铺装层模量太高,难以适应钢桥变形,会导致严重的疲劳开裂)。

#### 5 多样化的发展与协调统一

随着材料和施工新技术的发展,为解决钢桥面铺装这一世界性难题,各国对多种新材料新工艺进行了尝试和研究。

不管采用什么样的桥面铺装结构型式,每一种钢桥面铺装方案均应是一个协调统一的铺装系统,并且均必须满足钢桥面铺装的使用性能要求,包括抗裂、抗永久变形积累、层间结合良好、平整、抗滑和完善的防水系统。

对于浇筑式沥青混凝土来说,为适应某些气候、荷载条件的要求,除调整湖沥青与直溜沥青的比例外,掺入适宜的聚合物或直接使用聚合物改性沥青,可以有效提高浇筑式混凝土的性能。

对于沥青混凝土(SMA、AC)铺装来说,通过提高材料总体性能来提高铺装层的使用性能。改性的环氧树脂磨耗层是一个重要的有前途的发展方向,如何保证环氧树脂有适当的柔性以提高其适应钢板变形的能力很关键。

通过对以往钢桥面铺装技术的调查与了解,考虑我国没有浇筑式沥青混凝土的铺装设备及封闭式箱梁与南方高温气候特点,选择改性沥青 SMA 为主要研究方向,力图使铺装方案能逐步完善并使之使用于我国钢桥面铺装中。

## Research and Development of Steel Deck Pavement Technology

Zhang Li<sup>1</sup>, Chen Shizhou<sup>2</sup>

(1. Chongqing Highway Research Institute of the Ministry of Communications, Chongqing 400067, China;

2. Chongqing Zhixiang Paving Technology Engineering Co., Ltd., Chongqing 400067, China)

**Abstract:** This paper introduces various steel deck pavement systems for guss asphalt concrete, etc.. It explains the advantages, the shortcomings, the application conditions and the development tendency of every kind of pavement systems.

**Key words:** Steel deck; Pavement system; Tendency of development