

天津大沽桥钢桥面铺装的设计与施工

刘 云 钱振东 程 刚

东南大学，交通学院，南京 210096

摘 要：根据天津大沽桥所处的气候与环境条件及钢桥面铺装的特殊要求，合理选择环氧沥青混凝土作为铺装材料并进行了严格的混合料配合比设计。环氧沥青混凝土是一种特殊的热固性材料，具有优越的路用性能。本文介绍了大沽桥钢桥面铺装方案及实施过程，以及在施工过程中应该注意的细节问题。方案的实施可为以后的环氧沥青铺装施工提供借鉴。

关键词：桥面铺装；天津大沽桥；环氧沥青；铺装方案

中图分类号：U443.33

文献标识码：A

文章编号：1672-4747(2005)04-0094-07

Design and Construction of Steel Deck Pavement of Dagu Bridge in Tianjin

LIU Yun QIAN Zhen-dong CHENG Gang

Transportation College,

Southeast University, Nanjing 210096, China

Abstract: According to the weather and environment conditions of Dagu Bridge in Tianjin and special requirements of steel deck pavement, epoxy asphalt concrete was chosen to be the material of pavement. Design of mixture ratio was done strictly. Epoxy asphalt concrete is a kind of special thermosetting material with outstanding road performances. This paper introduces the schemes and construction process of steel deck pavement of Dagu Bridge in Tianjin as well as the detailed problems in construction process. Other construction of epoxy asphalt could refer to the construction process.

Key words: Bridge deck pavement, Tianjin Dagu Bridge, epoxy asphalt, paving schemes

0 引 言

随着我国经济的快速增长，交通运输业也有了很

大发展。近十几年来，国家建设了许多大跨径桥梁。大跨径桥梁作为一种常用的加劲梁结构，采用纵向加劲肋的扁平流线型钢箱梁，被广泛采用于中国大跨径

收稿日期：2005-03-25.

作者简介：刘 云（1981-），男，南京人，东南大学交通学院硕士研究生，专业方向：道路与铁道工程。

刚桥的建设中,如已经建成的江阴长江公路大桥、南京长江二桥南汊斜拉桥和正在建设中的润扬长江大桥、苏通长江大桥、杭州湾大桥等^[1]。但是,正交异性钢桥面的桥面铺装问题,在国内外尚未得到很好的解决,是大跨径钢桥建设的关键技术,一直受到国际上工程界和学术界的重视。

桥面铺装直接铺设在正交异性钢板上,在行车荷载、风载、温度变化及钢桥面局部变形等因素影响下,其受力和变形远较公路路面或机场道面复杂,因而,对其强度、变形特性、温度稳定性、疲劳耐久性等均有更高要求。同时,又由于铺装所处的特殊位置,在使用性能上又提出重量轻、粘结性高、不透水等特殊要求。桥面铺装是桥梁行车系的重要组成部分,它的好坏直接影响到行车的安全性、舒适性、桥梁耐久性及投资效益和社会效益。环氧树脂沥青混合料作为大跨径桥面铺装材料,美国在60年代后期开始研究和应用,一些桥梁的桥面铺装都采用环氧沥青混合料。当前,在我国大跨径桥梁建设事业迅速发展的背景下,深入研究环氧沥青混合料桥面铺装材料的组成和性能,寻求适合我国大跨径桥梁建设要求的桥面铺装材料类型及设计方法,具有重要的理论意义和很强的实用价值。

大沽桥钢桥面环氧沥青铺装是由东南大学桥面铺装课题组主持设计。东南大学交通学院桥面铺装课题组无论是在对钢桥面环氧沥青铺装层的理论分析还是试验研究上都取得了骄人的成果,参与了南京第二长江大桥、润扬大桥、江阴大桥、舟山桃夭门大桥等重点工程桥面铺装的设计与施工。

1 铺装方案设计

1.1 工程概况

天津大沽桥位于天津市几何中心、和平区、河北区的交界处的海河上,它连接着河北区的博爱道和平区的大沽北路。大沽桥也位于正在规划中的都市消费娱乐区,连接着海河开发启动的核心节点——海河广场及和平路地区的交通,是构成天津市中心商业

区的重要组成部分。

大沽桥全长154 m,跨度组成为24 m+106 m+24 m。主跨为106 m下承式系杆拱。车行道全宽24 m,为双向六车道。人行道宽度由桥头的3.0 m,按曲线渐变到桥梁中心位置观景平台的8.5 m。车行道与人行道间设置一5.5 m镂空段,人行道在桥梁边墩位置以梯道形式与地面连接。

桥面系顶板采用的是带U肋的正交异性板结构,顶面板厚度根据受力特性变化,变化范围为14 mm~30 mm,U肋为梯形闭口肋。桥面系钢梁顶面与道路横纵坡一致,桥面纵坡为3.5%,竖曲线半径为1500 m。车行道为双向2%向桥梁外侧横坡,两侧人行道均为2%向桥梁内侧横坡。

1.2 使用条件和环境分析

天津市地属温带气候,气候干燥温暖,全年极端高温为41.2℃,极端低温为-27.4℃。气候条件中对铺装影响最大的因素是气温。有关测试资料表明,由于钢箱梁桥体内不通风,散热速度慢,因此,高温季节,钢箱梁桥面钢板温度比传统的桁架梁钢桥桥面温度高出10℃,而且高温持续时间更长。根据某国内大跨径钢箱梁桥对钢桥面铺装实测的资料,当最高环境气温为34℃时,桥面钢板表面温度为62℃。

根据以上资料,大沽桥桥面铺装材料的设计温度范围应取为-15℃~+70℃,据了解,这与江阴长江公路大桥桥面铺装的设计温度范围也是一致的,这也是目前大跨径桥梁桥面铺装设计最为严酷的条件。铺装的高温稳定性是设计考虑的主要问题,此外,还要考虑低温抗裂性能。

1.3 铺装方案

钢桥面大多采用正交异性板,局部变形大,且变形复杂,加之钢桥面板本身热容量小,传热快。而且需解决防水、防锈、层间结合等问题,因此,要求铺装具有以下性能^[2]:

良好的抗滑性 在铺装的服务年限内为数以百万计的车辆通过提供一个加有抗滑集料的安全持久的铺装表面;

行车的稳定性；

良好的粘结强度 铺装层和钢桥面顶板之间的复杂力学行为需要钢桥面板有很高的粘结强度,这样才能减少钢桥面板和铺装层的疲劳应力,抵抗剪切应力对桥面顶板和铺装层的分离作用,这种剪切应力是由挠曲以及因温差导致的膨胀收缩而引起的；

良好的抗疲劳开裂性 提供针对重载车辆反复作用下产生的材料裂缝的抗疲劳特性；

良好的变形特性；

耐久性 主要针对环境因素,比如日照,氧化,温差以及从过往车辆上漏出的燃料的汽油；

良好的防水功能 防止雨水渗入铺装底部锈蚀钢桥面板。

除了上述这些基本的物理化学特性,还有一些值得注意的铺装应满足的特性^[2]：

在工程完工后的一两天之内允许施工设备通行；

应尽量采用较少的材料和铺装费用；

抵抗交通火灾的特性；

在铺装层物理性能破坏和火灾发生后的易修理性；

铺装层在修复期间能允许车辆的通过。

为尽量适应上述使用条件,东南大学桥面铺装组在以往桥面铺装设计和试验的基础上,针对天津大沽桥,形成了双层环氧沥青混合料的铺装方案,铺装层的厚度为5cm。铺装方案结构如图1所示。

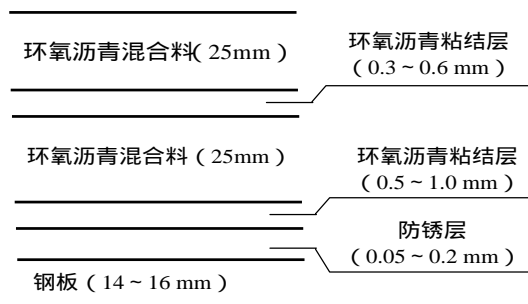


图1 铺装层结构

Fig.1 Struction of the pavement layers

课题组在混合料的级配和材料各项性能参数的检测上做足了工作,以使铺装混合料满足各自预期的使用功能。

2 铺装材料

2.1 环氧沥青

环氧沥青采用美国 ChemCo System 公司生产的专利环氧沥青产品。它由2个组分组成,即环氧树脂A和石油沥青加固剂B,固化剂与沥青的相容性很好,无分离现象^[3]。

组分A是由双酚A和表氯醇(epichlorohydrin)经反应得到的液态双环氧树脂(diepoxy resin),不含稀释剂(diluent)、软化剂(flexibilizer)或增塑剂(plasticizer),也不含无机填料、色素、其他污染物或不溶物质。其技术指标见表1。

表1 A组分技术指标

Tab.1 Technical indexes of part A

| 技术指标 | 检测结果 | 技术要求 | 试验方法 |
|---------------------|-------|-----------|-------------|
| 粘度(73°F,泊) | 140 | 100~160 | ASTM D 445 |
| 环氧当量(含1克环氧当量的材料克数) | 186 | 185~192 | ASTM D 1652 |
| 颜色、加德纳(Gardner),最大值 | 2.8 | 4 | ASTM D 1544 |
| 含水量(最大百分比) | 0.03 | 0.05 | ASTM D 1744 |
| 闪点(克立夫兰敞口杯,最小摄氏度) | 234 | 200 | ASTM D 92 |
| 比重 | 1.16 | 1.16~1.17 | ASTM D 1475 |
| 外观 | 透明琥珀状 | 透明琥珀状 | 目视 |

组分 B 是一种由石油沥青和环氧树脂固化剂组成的匀质合成物。它不含不可溶物质(比如无机填料或色素等)和污染物。按其在铺装层中用途不同,可配制成粘结层材料(Id型)和结合料(V型)。其技术指标见表2。

表2 B组分技术指标
Tab.2 Technical indexes of part B

| 技术指标 | 检测结果 | | 技术要求 | | 试验方法 |
|---------------|------|------|-----------|-----------|-----------------------------|
| | Id型 | V型 | Id型 | V型 | |
| 酸值(mg, KOH/g) | 65 | 48 | 60~80 | 40~60 | ASTM D664 |
| 闪点(COC)/°C | 280 | 260 | 250 | 200 | ASTM D92 |
| 含水量/(%) | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | ASTM D95 |
| 粘度(100°C, cP) | 1000 | 200 | >800 | >140 | 布氏粘度计, HBT型采用3号轴(100转/分) |
| 比重(23°C) | 0.99 | 1.00 | 0.98~1.02 | 0.98~1.02 | ASTM D 1475 |
| 颜色 | 黑 | 黑 | 黑 | 黑 | 目视 |

组分 A 和 B 按要求混合并固化后得到的环氧沥青技术指标见表3。

表3 环氧沥青技术指标
Tab.3 Technical indexes of epoxy asphalt mixture

| 技术指标 | 检测结果 | | 技术要求 | | 试验方法 |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|--|
| | Id型 | V型 | Id型 | V型 | |
| 重量比(A:B) | 100:445 | 100:585 | 100:445 | 100:585 | |
| 抗拉强度(23°C)/MPa | 16.5 | 3.2 | 6.894~7 | 1.516~8 | ASTM D 638 |
| 断裂时的延伸率(23°C)/(%) | 270 | 310 | 190 | 200 | ASTM D 638 |
| 热固性(300°C) | 不熔化 | 不熔化 | 不熔化 | 不熔化 | 小试件放置在热板上 |
| 膨胀比(23°C) | 1.9 | 2.0 | 3.0 | 3.5 | 特殊规程 |
| 浸耗率(23°C) | 19 | 21 | 35% | 35% | 特殊规程 |
| 吸水率/(%,)(7天, 23°C) | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | ASTM D570 |
| 在荷载作用下的热挠曲温度/°C | -20 | -22 | -18~-25 | -18~-25 | ASTM D 648 mod 在油浴中使用干冰, 将试件预冷至-70 |
| 粘度增加至1000cP(121°C)/Min | 29 | 62 | 20 | 50 | 放于容器中搅拌 |

2.2 集料 质、近立方体颗粒反击式破碎的玄武岩,其技术指标粗集料采用清洁、干燥、不含风化颗粒、无杂质见表4。

表 4 铺装用粗集料技术指标

Tab.4 Technical indexes of coarse aggregate used in the pavement

| 技术指标 | 检测结果 | 技术要求 | 试验方法 |
|--------------------------|-------|------|------------|
| 压碎值/(%) | 9.6 | 12.0 | T0316-2000 |
| 磨耗损失/(%) | 12.1 | 22.0 | T0317-2000 |
| 视密度/(g/cm ³) | 2.936 | 2.65 | T0330-2000 |
| 吸水率/(%) | 1.1 | 1.5 | T0330-2000 |
| 对沥青的粘附性 | 4 | 4 | T0616-2000 |
| 坚固性/(%) | 0.71 | 5.0 | T0340-2000 |
| 水洗法 < 0.075 mm 颗粒含量/(%) | 0.2 | 1.0 | T0303-2000 |
| 软石含量/(%) | 0.2 | 1.0 | T0320-2000 |
| 石料磨光值(BPN) | 51 | 48 | T0321-2000 |
| 针片状颗粒含量/(%) | 1.6 | 5.0 | T0317-2000 |
| 石料冲击值/(%) | 15.2 | 28.0 | T0322-2000 |
| 抗压强度/MPa | 205 | 120 | T0213-1994 |

细集料采用坚硬、洁净、干燥、无风化、无杂质 并有适当机制砂，技术指标见表 5。

表 5 铺装用细集料技术指标

Tab.5 Technical indexes of fine aggregate used in the pavement

| 技术指标 | 检测结果 | 技术要求 | 试验方法 |
|--------------------------|-------|------|------------|
| 吸水率/(%) | 0.7 | 1.5 | T0330-2000 |
| 视密度/(g/cm ³) | 2.923 | 2.65 | T0330-2000 |
| 坚固性/(%) | 0.62 | 5.0 | T0340-2000 |
| 砂当量/(%) | 53 | 60 | T0334-2000 |

3 铺装方案的实施

3.1 粘结层的施工

粘结层是为保证铺装与钢板间有良好结合而设的，是使铺装层与桥面板协同作用的关键。它将直接影响到铺装的使用耐久性。喷洒防水粘结层时，应提前一小时用高压热空气(70 -80)烘干钢板面板，确保桥面上的喷洒区及其临近区域没有水迹，因为，桥面上凝聚的水分会破坏粘结层和钢板间的粘聚力。

东南大学的黄卫教授等在南京长江二桥钢桥面

铺装技术的研究中进行了粘结层的试验研究，说明环氧沥青作为粘结层材料有极好的耐高温性、强度和变形能力。大沽桥的粘结层材料也采用环氧沥青，为利于环氧沥青粘结层的喷涂施工并引起化学反应，将组分 A 加热至 87 ± 3 ，组分 B_{1d}加热至 150 ± 3 。

粘结料喷洒后必须在 48 h 内进行铺装作业，如因故不能按时进行铺装施工，则需在铺装施工前重喷粘结料。

3.2 级配控制

环氧沥青混凝土现场生产配合比设计是在室内目标配合比设计与试验研究的基础上进行的，根据现

场材料与拌和楼工作条件进行设计,力求使所设计的混合料符合室内设计成果并获得良好的施工性能。

环氧沥青混合料的矿料级配与沥青用量应符合表6的要求,级配尽可能接近中值。

表6 环氧沥青混合料级配与沥青用量

Tab.6 Amounts of the mixture aggregate gradation and asphalt of epoxy asphalt

| 筛孔尺寸 | 通过下列筛孔(方孔筛, mm)的质量百分率/(%) | | | | | | 沥青用量/(%) |
|------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | 13.2 | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 0.6 | 0.075 | |
| 级配范围 | 100 | 95~100 | 65~85 | 50~70 | 28~40 | 7~14 | 5.8~6.8 |

目标配合比确定以后,再进行生产配合比调整。按目标配合比确定的冷料比例上料、烘干、筛分,然后对各热仓取样筛分,与目标配合比设计一样进行矿料级配计算,得出不同料仓及矿粉的用量比例,接着按此比例进行马歇尔试验,确定最佳油石比,供试拌试铺使用。

环氧沥青混凝土的性能受温度和时间影响显著,因此,在配合比满足设计范围的前提下,要求集料干燥,并需严格控制集料的上料速度及加热温度,以达到混合料出料温度控制在110~121范围内。同时,为保证混合料的品质,环氧沥青各组分温度须在要求范围内,混合比例、用量须准确。正式施工前进行了混合料的试拌,经检验混合料出料温度可控制在要求范围内。因用于试拌的混合料的数量较少,生产时间较短,混合料大量生产时的温度控制还应引起重视。

3.3 环氧沥青混凝土的摊铺和碾压

由于施工现场是在城区,城区白天交通状况比较复杂,运料车必须经过铁路,所以,白天施工有其不便性,施工时间定在晚上。

铺装层厚50 mm,宽度为24 m。整个铺装层分上下两层摊铺,每层厚25 mm。摊铺下层时在全宽24 m方向上分两段摊铺,即12 m+12 m。摊铺上层时分三段摊铺,即12 m+6 m+6 m。

根据供料能力及各料车送料单上的“容许卸料时间范围”及时调整摊铺速度,以不停机为原则来控制摊铺速度。摊铺时,将摊铺机熨平板的预热温度控制在110~121之间,加热温度保持均匀一致。为

防止局部过热,宜采取断续加热方式。设专人负责翻动螺旋布料器与熨平板之间的混合料,以防止产生“死料”;若已产生“死料”,立即将其清除。

初压必须紧跟着铺装层的摊铺。初压完成之前摊铺层的温度不得低于82。终压必须在摊铺层温度下降至65之前完成。所以,复压压路机和终压压路机应紧跟在初压压路机之后完成操作。

3.4 施工质量的控制与检测

大沽桥铺装设计厚度为50 mm。整个铺装层分上下两层摊铺,每层厚25 mm。铺装质量的检测包括厚度、平整度、表面摩擦系数、压实度等的检测。检测数据在这里就不列出了。摊铺施工中,由于种种原因,个别路段摊铺过薄,没有达到预期的效果,在以后的施工过程中应特别注意。

4 结束语

环氧沥青较目前采用的其他沥青混合料有着无法比拟的优点,环氧沥青已应用于南京长江二桥、江阴大桥、润扬长江大桥钢桥面铺装,使用效果良好。相信在大沽桥的桥面铺装工程中,环氧沥青也会发挥它的优点。

施工单位首先要有高度的质量意识,很好地落实施工培训细则,完善施工组织管理,才能完成好大沽桥的钢桥面铺装工程。在摊铺时要把握好摊铺速度以及注意防止“死料”的产生。还要注意接缝的处理,尽量避免横向施工缝的设置。控制好铺装厚度也是铺

装质量控制的关键，要尽量防止部分路段铺装过薄。

施工机械的连续正常运行是施工质量保证的重要环节。

参考文献

- [1] 钱振东, 罗 剑. 正交异性钢桥面板铺装层受力分析[J]. 交通运输工程学报, 2004; 4(2): 10-14.
- [2] Seim, Charles, Ingham, Tim. The Influence of wearing surfacing on the performance of orthotropic steel plate decks [C]. Transportation Research Board Annual Meeting, 2004.
- [3] 黄 卫, 钱振东, 程 刚, 杨 军. 大跨径钢桥面环氧沥青混凝土铺装研究[J]. 科学通报, 2002; 47(24): 894-897.

上接第 88 页

4 结束语

一些企业在投标过程中使用决策支持系统或专家系统,但由于我国招投标制度在逐步完善中,政策上有所变化,同时,上述计算机系统的造价也相对较高,因此,造成许多不便。鉴于 Excel 在企业中的广

泛应用,利用 Excel 的 VBA 功能编制一些小型的计算机程序则便于与已有系统的结合,如果合理利用,也可以使一些工作更加方便。本文所介绍的报价预测程序,可以在工程造价估算出来以后,为快速得出最优报价的范围作辅助之用。

参考文献

- [1] 胡新治. 复合标底投标报价的探讨[J]. 铁路工程造价管理, 2002; (3): 14-17.
- [2] 晶辰工作室. Excel 2000 中文版 VBA 开发实例指南 [M]. 电子工业出版社, 2000. 26-28.
- [3] 波德林 S.(美)著,潇湘工作室译. 中文 Excel 2000 编程 24 学时教程[M]. 机械工业出版社, 2000. 33.
- [4] Christian ,Albright S. VBA for modelers : developing decision support systems with Microsoft Excel [monograph] [M]. Pacific Grove , CA : Duxbury/ Thomson Learning , 2001. 55-56.