

空间缆索结构自锚式悬索桥 上部悬吊系统的防腐施工

石伟 李新春 彭春阳 张日亮 郑国坤

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要:本文通过对天津富民桥主缆、索夹、吊索等结构的防腐施工的描述,论述了空间缆索结构的自锚式悬索桥上部悬吊系统的防腐施工。

关键词:富民桥 主缆系统 主缆缠丝 防腐体系

1 前言

现代悬索桥的主缆系统通常暴露于自然环境中,极易在空气、雨水和应力等的共同作用下被腐蚀破坏,严重地影响到桥梁的安全。随着桥梁技术的快速发展,人们对桥梁主缆系统的防腐工程也愈加重视,针对悬索桥主缆的防腐系统已形成一套主缆系统防腐标准。

作为天津海河两岸综合开发项目主要内容之一的富民桥工程位于天津市光华桥与海河大桥之间,北起河东区的富民路,南接河西区的洞庭路,桥梁长340.3米,是一座新建跨海河桥梁。按照规划,富民桥为机非混行桥,桥宽40米,机动车双向6车道,人行道设置在主梁的下方。富民桥是国内首座单塔空间索面自锚式悬索桥,这种悬索桥采用空间缆索结构,主缆线形是空间结构,在竖直面、水平面上的投影同时呈曲线线型分布。

富民桥主缆采用抗拉强度1670MPa的表面镀锌高强平行钢丝束。由于设计上要求主缆的寿命等同于桥梁的寿命,因此对于主缆的防腐要求也特别高。对于这种新型悬索桥,防腐上有着更高的要求。该桥新颖的结构不仅是国内首创,而且施工难度和技术含量在同类桥梁中也是首屈一指的,没有先例可借鉴。

2 主缆缠丝

本桥主缆缠丝采用传统的 $\phi 4\text{mm}$ 镀锌钢丝,其缠丝力控制在2.0kN左右。由于成桥后其主缆的线形为空间线形,而所用的天车索道线形不能与主缆线形一致,因此在缠丝机的选择上采用小型的、可以人工搬动的缠丝机。根据所用缠丝机

的工作原理,其缠丝的方向从下而上进行缠丝。

3 富民桥上部悬吊系统的防腐施工

3.1 产品安装施工前的防腐

缆索产品(包括索鞍、索夹、散索套等)出厂后需经过运输、存贮、施工安装等过程,特别是经运输至工地存放及安装好还未进行防腐时,极易发生腐蚀破坏,因此在出厂前对其进行某些防腐处理是非常必要的。一般情况下选择喷涂富锌底漆加环氧中间漆,然后喷涂一道面漆。其中的富锌漆有保护阴极腐蚀的作用,而环氧中间漆具有密封作用,因此对产品具有很好防腐效果,这也常用于重防腐体系。考虑富民桥所处的环境及气候,防腐工程可以不采用重防腐体系,因此设计上从总体考虑选择了易快干、密封性较好的环氧油漆。富民桥的索鞍、索夹、散索套、底座等表面防腐处理采用了环氧油漆(见表1)。吊索的镀锌钢丝采用外包双层PE,其间用防腐油脂填充,吊索其余部份采用镀锌保护。

表1 喷涂油漆一览表

涂装部位	涂装材料	涂料颜色	涂装厚度 (μm)
索鞍、索夹、散索套、底座等	HCPE-1特种带锈防腐底漆	铁红	40
	HCPE-1特种带锈防腐底漆	中灰	40
	HCPE-1特种云铁防腐中间漆	铁红	40
	HCPE-1特种云铁防腐中间漆	灰色	40
	HCPE特种桥梁防腐专用面漆	乳白	40

注:在喷漆前须进行喷砂处理,除锈等级为Sa2.5^[1]。

3.2 现场防腐

现场防腐可分为主缆防腐、吊索防腐、结构缝隙防腐和其他钢构件表面防腐^[2]。而主缆防腐又分为主缆缠丝段、主缆非缠丝段、主缆索股从散索套引出至端横梁预埋管部分、主缆散索套内分散段、主缆索股在端横梁预埋管内部分及主缆的索鞍段等各段的防腐。主缆非缠丝段指散索套或索鞍到第一个索夹的区域,该区域由于主缆的截面形状不规则又称为主缆不规则段。主缆的索鞍段是指主缆的在鞍槽内的上表面,直接与锌填充块接触的表面。

3.2.1 主缆防腐

富民桥上部悬吊系统的防腐施工最关键的部分是主缆防腐。主缆防腐首先要考虑的是防腐材料的寿命,设计要求其寿命应等同于或高于桥梁的寿命;第二,防腐程度要按重防腐的体系来做;第三,在施工方面严格把关,避免偷工减料;第四是在涂刷前必须严格按施工规程做好清洁工作。

在涂装油漆前必须对主缆待涂区域进行清洗,先用硬板刷或其他清扫工具除去涂装表面上的灰尘和锈蚀等杂物,然后分别用二甲苯与丙酮对主缆待涂区各清洗一遍。二甲苯的去油渍及污渍的能力强于丙酮,而其挥发性不如丙酮,两者结合一起用具有更好的效果。

富民桥所用的主缆防腐体系是在采用目前应用成熟的钢结构重防腐体系(磷化底漆+环氧底漆+丙烯酸聚氨酯)的基础上再增加有不干性密封膏、缠绕镀锌钢丝及聚硫型密封剂(见表2)。

表中磷化底漆对钢丝的表面的机械损伤有磷化修复功能,并能增加有机涂层与金属表面的附着力;环氧云铁底漆具有降低涂层的透水、透气性、抵抗水、氧电解质腐蚀,钝化金属表面的功能,具有长效的缓蚀作用和抗腐蚀功能;不干性密封膏其分子的结构饱和度很高,对光、热、臭氧等具有高惰性,可长期保持柔软状态、不硬化、不开裂、不霉变,在密封空间内其有效使用寿命长达100年;聚硫型密封剂具有优异的耐水

稳定性,良好的粘接性能和抗拉伸性能,其有效使用寿命为20至30年,但作为外层的涂料可以重复涂装及修补;聚氨酯面漆具有优良的耐紫外线老化、耐水、耐盐酸、耐酸碱和耐化学介质性能,有良好的柔韧性和抗拉伸性能,不变黄、不粉化,并有优异的装饰效果。上述材料彼此间具有良好的相容性,性能上互相支持,对主缆系统形成一个完整的保护体系。主缆缠丝区涂装防腐油漆如图1、图2所示,主缆非缠丝涂装防腐油漆如图3、图4所示。

表2 富民桥主缆涂装材料表

序号	防护涂装部位	涂装材料	涂装厚度(μm)
1	主缆缠丝区	磷化底漆	10
		不干性密封膏	填满结构缝隙
		缠绕钢丝	φ4镀锌钢丝
		磷化底漆	10
		环氧云铁底漆	80
		聚硫型密封剂	2000
		聚氨酯面漆	120
2	主缆非缠丝区	磷化底漆	10
		环氧云铁底漆	80
		橡胶条	填满结构间隙
		聚硫型密封剂	2000
		高强玻璃布	二层
		聚氨酯面漆	120
		安装封闭索夹连接套	
3	主缆索股从散索套引出至端横梁预埋管部分	磷化底漆	10
		环氧云铁底漆	80
		聚氨酯面漆	120
		安装钢套筒	
4	主缆索股在端横梁预埋管内部分	防腐油脂	填满用环氧砂浆密封
5	主缆的索鞍段	磷化底漆	10
		环氧云铁底漆	80
6	主缆散索套内分散段	聚硫型阻蚀密封剂	填满结构间隙



图1 主缆缠丝区缠丝后涂环氧云铁底漆



图2 主缆缠丝区刷涂聚氨酯面漆



图3 主缆非缠丝区缠高强玻璃布

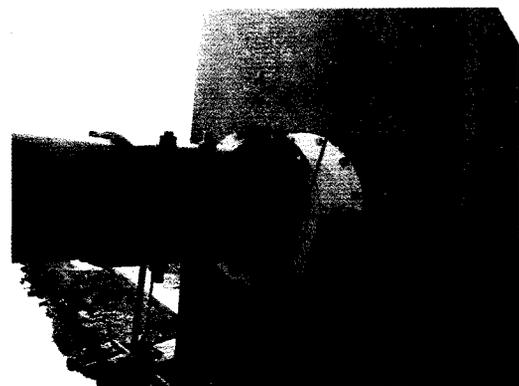


图4 主缆非缠丝区安装连接套

在涂装前另一个问题就是如何控制好涂层的厚度。涂层的厚度无法通过测厚仪直接在主缆上测量出来，只能在平面结构上的涂装才能测量出。在富民桥的施工中采用重量控制法来估算涂装的厚度。为了使涂装厚度较为均匀，每次所用的油漆重量以主缆1m长度作为标准用量来控制使用。

从清洗到涂不干性密封膏分三组人员同时进行，每个组完成一道工序。这样既加快了施工进度同时又减少了每道工序间的灰尘的污染。由于不干性密封膏与其他油漆料不粘结，因此缠丝后在钢丝之间被挤出的不干性密封膏必须用钢丝刷配合二甲苯及丙酮清洗干净。对聚硫型密封剂的使用要求温度在5℃以上，否则密封剂不硫化而改用其他配比防腐材料。聚硫型密封剂须在该主缆段完成缠丝后方可进行，以免在施工过程中碰伤密封层，涂层厚度为2000 μm 。为了加快其硫化速度及控制厚度的均匀性，涂层分为三次刮涂，每层的刮涂间隔时间视已刮涂层的硫化情况而定。在涂聚氨酯面漆时要保证聚硫型密封剂的充分硫化才可进行，同时要注意清洗涂装前的污渍。

3.2.2 吊索防腐

吊索除PE层外其他部位都是采用镀锌处理，对于镀锌零件在施工完成后表面还需刷涂油漆以增强防腐效果。在刷涂前零件表面必须清洁、干燥、不含油脂，对已经氧化的锌盐应采用清水冲洗干净。其防腐方案为一道磷化底漆，厚度10 μm ，再涂二道环氧云铁底漆，厚度80 μm ，最后涂三道聚氨酯面漆，涂层总厚度为120 μm 。

吊索的下吊点采用的是通过球头连杆与底座连接。在底座安装时底座下底面与钢套筒上表面用环氧树脂密封，在施工中要注意底座与球头连杆连接处的密封，防止水从底座口进入而造成积水。当球头连杆与吊索连接好后立即在底座入口灌防腐油脂，最后在球头连杆后上

方面安装一个防水盖。防水盖的防腐同其他钢构件的表面防腐。

3.2.3 结构缝隙防腐

本文所提到的结构缝隙包含散索套的对接直缝和入口环缝、索夹的直缝与环缝，索鞍鞍体的所有装配缝隙。

富民桥索夹是采用一种新型可转动的索夹（欧维姆公司专利），其外索夹可以绕内索夹转动 45° 角度。安装完内索夹后，在内索夹的直缝中的钢丝上涂上一层磷化底漆，然后在外索夹安装处的直缝中填充不干性密封膏，最后安装外索夹。外索夹的螺栓经过最后一道拧紧后其内孔面与内索夹的接触面已贴合，内外索夹不会产生相对振动，因此对于内外索夹的环缝采用聚硫型密封剂直接密封即可。内索夹与主缆的环缝及索鞍鞍体的所有装配缝隙同样也采用聚硫型密封剂来密封。由于索夹及散索套的对接直缝空隙较大，为了降低成本，在缝隙中先填充橡胶条后预留20mm深度填充聚硫型密封（图5索夹的直缝环缝密封），最后在表面刷涂三道聚氨酯面漆，涂层总厚度为 $120\mu\text{m}$ （图6表面刷涂聚氨酯面漆）。

3.2.4 其他钢构件的表面防腐

钢构件的表面在产品出厂之前已进行过防腐处理，但是在现场经施工后许多产品表面出现有碰伤及刮伤现象，此外在后期施工的防腐材料的选择上也不是同一厂家的产品，因此必须试验钢构件和防腐材料的相关性。试验采用二甲苯在原油漆表面擦洗，表面并未出现有油漆被擦掉、油漆表面被软化现象，试验结果表明后期所用的防腐材料可以直接刷涂于原油漆表面。

在刷涂油漆前须将表面做好预处理，不允许有锈渍、油渍、污渍等，对于碰伤造成的油漆分层需将其打磨掉。后期的防腐方案为涂二道环氧云铁底漆，总厚度 $80\mu\text{m}$ ，最后涂三道聚氨酯面漆，总厚度为 $120\mu\text{m}$ 。

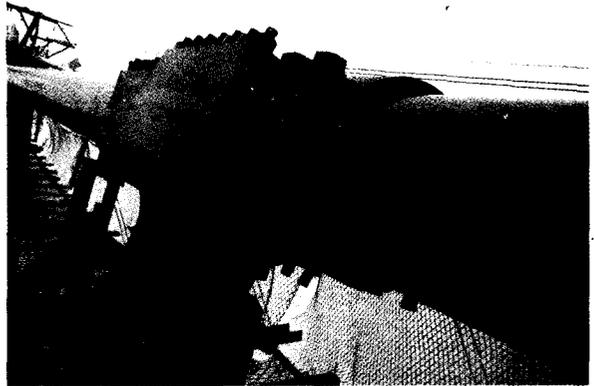


图5 索夹的直缝环缝密封

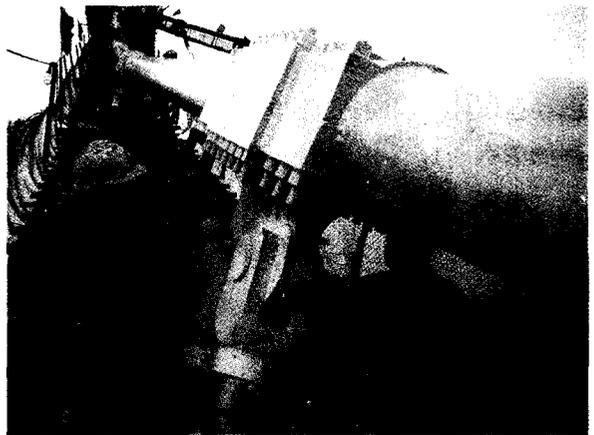


图6 刷涂聚氨酯面漆

4 结语

富民桥所采用的防腐措施是基于成熟的钢结构重防腐体系的运用，是一种可靠、完整的防腐体系。本文详细介绍了材料的选择及用量控制，并对施工过程中的技术控制加以说明，以保证整个体系的完整性。此外本文还着重介绍了一些新型结构上的防腐措施及技术要求，为今后类似结构的桥梁防腐提供参考。

参考文献

- [1] GB8923-88涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级[S]. 国家技术监督局. 1989.
- [2] JT/T694-2007悬索桥主缆系统防腐涂装技术条件[S]. 中华人民共和国交通部. 2007.