

贴膜工艺在城市轨道交通车辆车体外表面上的应用

王 炜¹ 肖瑞金²

(1. 3M 中国有限公司研发中心,200336,上海;
2. 北京城建设计发展集团股份有限公司,100037,北京//第一作者,高级技术专家)

摘 要 我国城市轨道交通车辆外表面装饰普遍采用的油漆涂装传统工艺,能耗较高,污染环境,工艺复杂。贴膜工艺具有施工灵活快速、色彩丰富、画面制作简单易行、质量相对轻、无挥发性有机化合物排放、环保等优点,逐渐被市场所接受。对轨道车辆车体贴膜的历史、优缺点以及国内外应用作了介绍,对贴膜工艺的实施进行了研究。

关键词 城市轨道交通; 车辆车体; 贴膜工艺

中图分类号 U270.6⁺5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.05.039

Application of Film Posing Technology on Urban Rail Transit Vehicle

WANG Wei, XIAO Ruijin

Abstract Urban rail transit vehicles in China generally adopt the traditional process of painting on the outer surface, which has a number of disadvantages like high energy consumption, environmental pollution and complicated process. The film posing technology features flexible construction, rich colors, simple screen production, relatively light weight and environmental protection without volatile organic compound emission, and has been gradually accepted by the market. In this paper, the history, advantages and disadvantages of vehicle body film posing in the world are introduced, the application of film posing process are studied.

Key words urban rail transit; vehicle body; film posing process

First-author's address 3M China Limited, 200336, Shanghai, China

城市轨道交通行业的发展,必将促进车辆制造及其日后翻新保养市场的快速增长。目前,轨道车辆表面装饰普遍采用油漆涂装的传统工艺^[1]。这一工艺具有高能耗、高污染、施工速度慢的缺点,且油漆的环保问题也未得到很好的解决。而相对较新的贴膜工艺,则因其固有的施工灵活快速、色彩丰富、画面制作简单易行、可降低车身自重、无 VOC

(挥发性有机化合物)排放以及绿色环保等优势,逐渐被市场所接受。

1 贴膜工艺概况

1.1 贴膜的构成

车体贴膜通常采用聚氯乙烯(PVC)材料制成。PVC 分为软 PVC 和硬 PVC。软 PVC 一般用于地板、天花板以及皮革的表层。由于软 PVC 中含有柔软剂(这也是软 PVC 与硬 PVC 的区别),容易变脆,不宜保存,所以使用范围受到局限。硬 PVC 不含柔软剂,柔韧性好,易成形,不宜脆,无毒无污染,保存时间长,因此具有很大的开发应用价值。PVC 本质上是一种真空吸塑膜,因用于各类面板的表层包装,所以又被称为装饰膜或附胶膜,应用于建材、包装、医药等诸多行业。

目前,应用于城市轨道交通车辆车体外表面装饰的贴膜主要为 PVC 贴膜,厚度在 0.08 mm 左右;如果实际使用环境对抗涂鸭性及耐磨性有较高要求,还可以配套使用相应的保护膜。贴膜的主要结构由上到下依次为透明保护膜层、PVC 贴膜层、背胶层、衬纸层(见图 1)。



图 1 PVC 贴膜的主要结构示意图

通常,这些优质贴膜的制造商还会应用专利技术在背胶上作一些特殊处理,如涂布一层玻璃微珠以方便贴膜施工时的预定位,并使用带导气槽的背胶以加快施工速度,提高施工质量。使用铸造法制造的皮膜通常具有高达 140% 的延展率和小于 0.4 mm 的收缩率,为施工于车身复杂表面提供了可能性。

1.2 贴膜的使用寿命

市场上常见的优质品牌贴膜,质保期可达到10年左右,使用期则更长,完全能满足城市轨道交通车辆外部装饰的需求。

1.3 贴膜的历史

大约10年前,城市轨道交通车辆制造业比较发达的欧洲和日本就开始了以贴膜替代油漆涂装应用于车辆外表面装饰的研究。欧洲的NedTrain和RET公司从2007年开始,陆续将贴膜工艺应用于翻新铁路车辆表面的装饰。迄今为止,这两家公司已经施工了超过700辆车。考虑到欧洲涂鸦文化比较盛行,NedTrain公司还特地使用了保护膜,以提供优异的防涂鸦功能。

1.4 国外应用案例

2011年开始的日本银座线地铁复刻项目(原指书籍重新刻印发行,这里指日本的一条地铁线完全按照1930年代的外观、外形设计重新展示),是日本第一个用贴膜替代油漆涂装施工于新车表面对车辆进行全包的项目。日本车辆制造株式会社(Nippon Sharyo Ltd.)使用PVC贴膜,直接施工于铝合金光铝车身表面,如图2~4所示。共计施工了228辆车。



图2 贴膜前的车体



图3 正在贴膜的车体



图4 贴膜后的列车

1.5 国内应用案例

我国以贴膜替代油漆涂装工艺应用于城市轨道交通车辆外部装饰最早始于2001年。当时的长春客车厂在广州地铁2号线的车辆腰线上使用了彩色贴膜,大大节省了传统腰线喷漆涂装工艺所必需的遮蔽、烘干等工序时间。此后,长春客车厂生产的绝大部分不锈钢城市轨道交通车辆和部分铝合金城市轨道交通车辆的盲窗、腰线均采用贴膜工艺代替传统的喷漆涂装工艺。

2006年之后,随着高铁的兴起,贴膜开始应用于高速列车市场。虽然当时贴膜只局部应用在车身表面,但积累了大量的测试数据,为贴膜替代油漆涂装工艺进行车辆全包提供了必要的数据支撑。

国内使用贴膜替代油漆涂装进行车辆全包始于2012年。当时的南车集团株洲车辆厂在储能车项目上进行了初步的尝试,采用的方案是贴膜直接贴附于底漆表面。该项贴膜施工迄今为止已有6年多时间,通过观测可以看到,贴膜在颜色改变率和其他抗老化性能上表现良好,未发现与油漆涂装车身有明显差异;在失光率的性能上,贴膜相比于油漆表现更好(如图5)。



图5 储能车车体全包贴膜

2 贴膜工艺的试验数据

以下是对某品牌PVC贴膜进行的一系列实验

室测试。

2.1 人工紫外加速老化试验

参照 GB 14522—2008 的测试方法。试验设备为 QUV 紫外线加速老化试验箱及 UVB(紫外线 B 灯管)。UVB 的波长为 313 nm,辐照度为 0.49 m²。采用 8 h 紫外光暴露((70±3)℃)+4 h 冷凝((50±3)℃)。本试验以紫外/冷凝循环 1 周为 1 个周期,共 6 个周期。在各周期取出样板进行性能检测。1 008 h 人工加速老化试验前后的色彩模型数据及光泽度数据见表 1 和表 2。

表 1 经 1 008 h 人工加速老化试验后贴膜颜色变化

测试样品	试验前			试验后			ΔE
	L	a	b	L	a	b	
3M 180C-10 (白色贴膜)	94.34	-1.13	0.48	93.51	-1.55	4.28	3.9
3M 8993+3M 180C-10(透明保 护膜+白色贴膜)	94.10	-1.73	1.48	93.61	-2.36	4.92	3.5

注:L 表示亮度;a 表示从红色到绿色的范围;b 表示从黄色到蓝色的范围;ΔE 为在均匀颜色感觉空间中,人眼感觉色差的测试单位

表 2 经 1 008 h 人工加速老化试验后贴膜光泽度变化

测试样品	光泽度(60°时)		光泽度 保持率/%
	试验前	试验后	
3M 180C-10 (白色贴膜)	73.2	71.3	97.0
3M 8993+3M 180C-10 (透明保护膜+白色贴膜)	111.8	112.5	100.6

由表 1 和表 2 可知:在经过 1 008 h 的人工加速老化试验后,贴膜的颜色有轻微的发黄迹象,而光泽度的改变靠肉眼难以识别;保护膜的使用对颜色及光泽度的保持都有作用。

2.2 耐磨性试验

该试验依据 ISO 7784-2 的测试方法。3M Express 保护膜贴附于铝板表面。试验设备为:Taber 磨耗仪,CS10 磨耗轮,负载 100 kg,磨耗 1 000 转(每 200 转清洁一次表面)。试验结果见表 3。

表 3 耐磨性试验前后贴膜质量变化

测试样品	磨耗前质量/g	磨耗后质量/g	质量损失/g
3M Express 保护膜(PU)	28.579 3	28.561 4	0.017 9

ISO 7784-2 要求在使用 CS10 磨耗轮磨损 1 000

转后,质量损失最大值为 0.07 g。由表 3 可知,3M Express 保护膜的 实际质量损失远低于标准要求。

2.3 抗冲击性试验

该试验依据 ISO 6272-1 的测试方法。3M Express 保护膜和 3M 8528 保护膜分别贴附于铝板表面,在如下条件下进行冲击:①-20℃@2.5 N·m,直接冲击;②+25℃@8 N·m,直接冲击。不允许贴膜出现爆裂或破损。试验结果见表 4。

表 4 贴膜抗冲击性能试验结果

条件	3M Express 保护膜	3M 8528 保护膜
-20℃@2.5 Nm	铝板有变形,贴膜无爆裂、破损等现象	铝板有变形,贴膜无爆裂、破损等现象
+25℃@8 Nm	铝板有变形,贴膜无爆裂、破损等现象	铝板有变形,贴膜无爆裂、破损等现象

由表 4 可知,3M Express 保护膜和 3M 8528 保护膜均满足抗冲击性要求。

2.4 清洗液对贴膜光泽度及颜色的影响

将 3M 180C 银灰色贴膜裁切成 40 mm×100 mm 大小,贴敷于标准测试板上。每个颜色制作 3 块样品。

在标准温湿度状态(温度(20±2)℃、相对湿度(65±5)%)下放置 24 h。

使用喷壶,将 pH 值约为 10~11 的肥皂水均匀地喷洒于样品表面,在标准温湿度状态(温度(20±2)℃、相对湿度(65±5)%)下放置 20 min。使用硬毛刷,以约 5 N 的力往复擦洗贴膜表面 20 次。试验结果见表 5 和表 6。

表 5 清洗液对贴膜光泽度的影响测试结果

样品编号	光泽度(20°测试角)		平均变化率/%
	测试前	测试后	
G1	43.8	41.3	5.2
G2	42.7	41.0	
G3	44.2	41.7	

表 6 清洗液对贴膜颜色影响测试结果

样品编号	测试前			测试后			平均 ΔE
	L	a	b	L	a	b	
C1	58.96	-0.38	0.20	59.27	-0.42	0.13	0.220
C2	58.94	-0.40	0.08	58.99	-0.43	0.03	
C3	58.95	-0.40	0.06	59.09	-0.40	0.12	

由表 5 和表 6 可知,试验前后,贴膜光泽度有轻

微变化,贴膜颜色基本无变化。

2.5 小结

除了上述测试项目外,贴膜在城市轨道交通车辆上应用时,贴膜类产品的环保性能、安全特性也是必须要考虑的。品质较好的一些国外品牌的贴膜,在有害物限量、VOC 含量等项目上完全可满足相对应的标准,在燃烧性能上也可满足 EN 45545-2 标准中 R1 及 R7 HL3 的要求。

综上所述,高质量的贴膜完全可以满足在城市轨道交通车辆上的使用要求。

3 贴膜的粘附性及环境要求

3.1 贴膜对不同材质的粘附性

目前,适用于城市轨道交通车辆表面的贴膜通常都涂布有丙烯酸背胶。背胶的耐候性好,适应性广,在常见的不锈钢车体、铝合金车体和碳钢喷漆车体表面都可贴覆。根据实验室测量的数据,贴膜在这些车体表面的剥离强度均可达到 0.7 kg/cm 以上,完全可满足车辆表面的使用要求。

对于地铁运营公司现有旧车体的翻新,贴膜的优势更加明显。施工前仅需对旧车辆锈蚀破损的漆面进行打磨,再用腻子补平,即可进行贴膜施工;且贴膜施工无需专门工位,可与其他工序交叉进行,节省了很多施工时间。

高品质的贴膜,使用期可达 10 年甚至更久。贴膜的背胶根据其去除性可分为永久性背胶和可去除背胶。考虑到城市轨道交通车辆的使用时间和后续的翻新需求,建议选用质保期长且带有可去除背胶的贴膜。这样,可使贴膜的使用期和车辆的大修期保持一致,且翻新时可将旧的贴膜去除掉,施工更加便利。

3.2 车体贴膜对环境的要求

贴膜施工对环境的要求比喷漆简单很多。贴膜施工应在光照充足、清洁干燥的室内进行,要求环境温度在 $10 \sim 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$,环境相对湿度在 $10\% \sim 90\%$ 。施工现场一般要求配备固定式电动升降台或移动电动升降车。电动式升降台应贯穿车体长度,电动升降车每节车辆至少配备 2 辆。为方便施工,施工现场的照度应不低于 300 lx ,照明不足时可配备移动式 LED(发光二极管)光源进行辅助照明。大多数车辆段维修车间均可满足这些条件。

4 城市轨道交通车辆采用贴膜的优点

城市轨道交通车辆在运行 10 年后,需在大架修车辆段进行大修。大架修车辆段通常设有油漆库。

油漆库的作业会产生漆雾和粉尘,对人体有一定的危害,也容易引起火灾。为确保工作人员的健康安全,减少对厂区环境的污染,避免火灾,现行《地铁设计规范》对油漆库的设置有严格的要求。油漆库要设置通风设备,采取消防和环保措施,并对电器设备提出防爆要求。

与车体采用油漆涂装相比,车辆大修时车体采用贴膜具有以下优点:

(1) 不需要特殊厂房。油漆库属于甲类厂房,需要采取消防和环保措施。车辆车体如采用贴膜工艺,无漆雾、粉尘产生,对环境无污染。其尤其适用于有上盖开发的车辆段。贴膜作业可在组装工位上进行,可节约油漆库建筑面积约 $2\,000 \text{ m}^2$ 。

(2) 可简化车辆检修工艺流程。车体油漆时,车辆需经移车台往返油漆库和组装工位,工艺流程比较复杂。车体贴膜作业可以在组装工位上进行,车辆不必在组装工位和油漆库之间周转,简化了工艺流程。

(3) 减少了车辆检修时间。车辆通常在大修时才需进行油漆作业,故其工作量相对较少。而油漆库环保要求高,土建及设备投资较大,因此,没有特殊要求时,油漆库不按整列车同时油漆的列位设计,需按台位设置。根据统计,使用贴膜工艺,7 个人每月可完成 120 辆(相当于 6 辆编组的列车 20 列)的贴膜;而在同等条件下,采用喷漆工艺仅能完成 40 辆。与油漆工艺相比,贴膜工艺可大大提高生产效率^[2]。

(4) 不需喷漆设备。油漆库需要喷漆、通风、环保、燃气等设备,以及防爆电器等。采用贴膜工艺不需这些特殊设备,可以减少设备投资。

(5) 节约能源。采用油漆工艺,油漆库的用电总功率需 300 kW 以上;如果采用燃气烘干,天然气用量可达 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上。采用贴膜工艺,不需要太大电量,也不需要烘干作业,可以减少能耗。

5 结 语

相对于传统的喷漆涂装工艺,城市轨道交通车辆车体贴膜包覆工艺可大幅减少挥发性有机物的

(下转第 187 页)

蔽门控制系统,并加装了一个声光报警器至车控室。当后备控制器投入使用时,车控室能第一时间发现,并通知工班处理。

针对功能四:利用 S7200SMART PLC 的串口通信功能,采用 RS 485 差分串行通信,软件规约为 MODBUS 规约,实时显示当前运行状态及事件记录,显示后备控制器当前工作状态及投入的具体时间等信息。可通过工控机查询当前及历史事件记录。

为了保证后备控制器投入的可靠性,避免因线路或输入等元器件故障引发的误开门安全事件,经过公司安全委员会讨论,决定在后备控制器的输出回路中串入 ATC 开门继电器辅助触点(如图 3 所示)。如果因线路或元器件故障产生误开门信号,则通过 ATC 开门信号继电器的辅助接点来阻断输出回路,并输出声光报警信号,使工班人员及时发现故障,切除故障点。

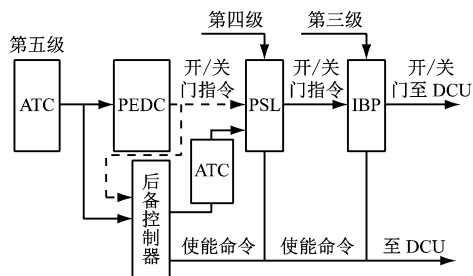


图3 屏蔽门改造后加入输出闭锁控制功能图

根据以上设计组装的后备控制器在 2 号线蜀山车辆段样机房进行了 PEDC 故障模拟、屏蔽门开至一半或关至一半时 PEDC 故障模拟等运行,后备控制器均能及时投入(投入时间小于 300 ms)使用,故

(上接第 181 页)

排放,对环境保护有着十分积极意义。目前,许多地铁集团将资源开发经营作为其持续发展的重大战略和经济增长点,把车辆段上盖开发作为经营开发的重点,构建“轨道+物业”资源开发经营的新模式。贴膜工艺替代传统喷漆涂装工艺,可从根本上解决油漆库对车辆段上盖物业开发产生的影响,有利于提高车辆段上盖开发的品质。

作为一种相对比较新的工艺,贴膜替代油漆涂装工艺装饰城市轨道交通车辆表面,尚有一些地方不够成熟,如贴膜前车身的表面处理、内装贴膜现

障恢复后后备控制器自动退出运行;此外,进行了 PSL 或 IBP 激活时后备控制器不工作的试验,共累计 500 次,达到了预期效果。

4 结语

杭州地铁 2 号线东南段 2014 年开通后,屏蔽门控制器 PEDC 多次发生故障,导致信号系统发给屏蔽门开/关门指令后,屏蔽门无法自动开/关门,延长了列车的停靠时间,并影响后续列车的正常行驶。为了保证运营安全,对屏蔽门的工作原理和主机控制器的故障现象进行分析,制作了后备控制器,于 2018 年 5 月 8 日装在 2 号线人民广场站下行方向。该系统运行至 2018 年 6 月 28 日,屏蔽门主机控制器因故障而退出运行,同时,后备控制器自动投入使用并发出声光报警,功能达到预期效果,验证了后备控制器运行的有效性。

设备改造是一个不断探索与实践的过程,只有坚持问题导向,充分验证确保安全,精益求精,才能把设备改造做好。

参考文献

- [1] 陈海辉,胡跃明,熊建明. 地铁屏蔽门控制系统方案[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2002(4):44.
- [2] 钟淋. 地铁站台屏蔽门设备控制系统优化[J]. 城市轨道交通研究,2017(9):142.
- [3] 张大华. 杭州地铁信号系统与屏蔽门系统接口电路优化[J]. 城市轨道交通研究,2016(4):60.
- [4] 何泳斌,周剑斌,张大华. 信号系统与屏蔽门系统接口控制的设计分析[J]. 城市轨道交通研究,2005(2):46.

(收稿日期:2018-09-07)

场施工工艺细节的规范以及贴膜验收标准等,需要进行更深入的研究。相信随着贴膜应用在城市轨道交通行业内的不断推广,这些问题很快会得到解决。

参考文献

- [1] 朱亚军,戴惠新,郑云昊,等. 不锈钢地铁车辆涂装工艺研究[J]. 现代涂料与涂装,2016(10):17.
- [2] 卢慧,陈小伟. 装饰性贴膜在轨道车辆上的应用[J]. 电力机车与城轨车辆,2016(2):58.

(收稿日期:2018-09-27)