

动车组盥洗室水盆台面裂纹分析研究

崔靖美 姚金钰

(中车长春轨道客车股份有限公司设备研发部,130062,长春//第一作者,教授级高级工程师)

**摘 要** 针对动车组盥洗室水盆人造石台面裂纹,调研发现,台面裂纹数量较多并且主要集中在背部接缝和台盆四角处。根据调研结果,对人造石台面进行仿真分析、拉伸强度测试、弯曲强度测试、落球冲击试验。试验结果表明,人造石台面符合标准要求,但是台面中的亚克力含量对台面强度有一定影响。根据分析和试验结果,提出了改进接缝粘接结构、加强支撑、选择高含量的亚克力台面等优化措施。

**关键词** 动车组;盥洗室;人造石台面;台面裂纹;应力  
**中图分类号** U270.38<sup>+</sup>5

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.02.023

Analytical Study on the Washbasin Countertop Cracking Problem in EMU Lavatory

CUI Jingmei, YAO Jinyu

**Abstract** Aiming at the problem of artificial stone countertop cracks in EMU lavatory, survey has shown that a larger amount of countertop cracks and concentration are on the back seams and the corners of the basin. According to survey results, simulation analysis, tensile strength test, bending strength test and falling ball impact test on the artificial stone countertop was conducted. The test results demonstrated that the artificial stone countertop meets the standard requirements, but the content of acrylic in the countertop has a certain degree of influence on the strength of the countertop. Based on the analysis and test results, optimization measures such as improving seam bonding structure, strengthening support, and selecting high-content acrylic countertop were proposed.

**Key words** EMU; lavatory; artificial stone countertop; countertop cracks; stress

**Author's address** CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

动车组盥洗室是旅客进行个人卫生和工作人员清扫卫生的重要场所,利用率极高。在盥洗室设计时,考虑到其功能性、美观性和使用者的满意度,水盆台面采用人造石材质。人造石是在天然矿石粉中加入特种树脂经真空高温制成的一种新型板

材,具有耐热、防潮、防腐、环保、抗渗漏等特性,可塑性强,并可以无缝拼接<sup>[1]</sup>。动车组盥洗室水盆台面裂纹发生数量较多,裂纹主要集中在水盆四角和背部粘接线处。本文从裂纹调研、仿真分析、强度测试、落球试验等几方面对水盆台面裂纹问题进行分析,并根据分析和试验结果提出优化措施。

1 盥洗室水盆台面裂纹调研

对某线路上载客运行的采用同种结构的 91 列某型动车组进行调研,这 91 列动车组投入运营最长时间为 2 年,最短时间为半年,部分盥洗室水盆台面出现裂纹,与原设计的盥洗室全寿命周期不符。其中,水盆四角裂纹的台面数量占有所有台面数量比例为35.5%,普查结果如表 1 所示。

表 1 动车组盥洗室水盆台面裂纹普查结果

列车类型	普查 列数/列	盥洗室 数量/个	水盆四角 裂纹数量/个	台面背部 裂纹数量/个
8 辆编组	14	98	42	23
16 辆编组	16	240	78	55
合计	30	338	120	78

注:水盆四角裂纹占比为 35.5%;台面背部裂纹占比为 23.07%

盥洗室水盆台面整体采用人造石结构,由于工艺限制,采用分块拼接的形式。台面上部有轻微凹型便于水流向盆内,台面同平整的玻璃钢对接时,将其背部局部空隙补平后使用聚氨酯胶粘接在玻璃钢上。盥洗室水盆台面结构如图 1 所示。人造石设置于盥洗室台面表层,台面在加工中手工操作较多,产生裂纹的原因有多种,如产品设计、材料选用、加工工艺、台面安装等,所以需要从多个方面综合分析。

2 盥洗室水盆台面裂纹分析

2.1 背部裂纹

盥洗室水盆台面背部 R 角位置因不能整体成型,需要拼接实现,此裂纹出现于水平台面和竖



图1 盥洗室水盆台面结构

直台面拼缝处。拼缝通过胶粘剂连在一起,粘接缝为 6 mm 宽,背部使用 GRP(玻璃钢)加强。但台面组装过程会有不同程度的受力过程,因粘接面积很小,当有应力产生时,易产生裂纹。台面背部结构如图 2 所示。

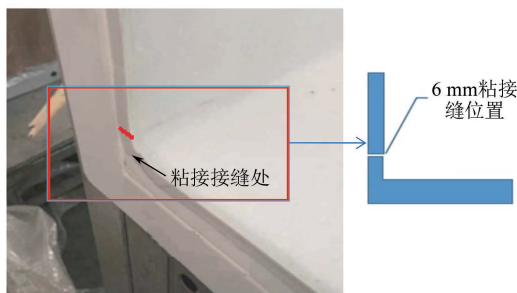


图2 水盆台面背部粘接结构

## 2.2 水盆四角裂纹

水盆裂纹多发生在水盆右侧前端,分析其原因:水盆的前端曾经被施加较大局部载荷,导致台面悬空部分根部产生较大弯曲应力,台面与水盆尖角处为应力集中点,最终导致人造台面尖角处出现裂纹,并逐步向外延伸。台面总体厚度为 19 mm,水盆周边区域倾斜造型的厚度为 11.6 mm,盆周边为拼接区域,拼接处加工有圆角,水盆拐角处为 3 条拼接线汇聚点,此处容易产生裂纹,如图 3 所示。

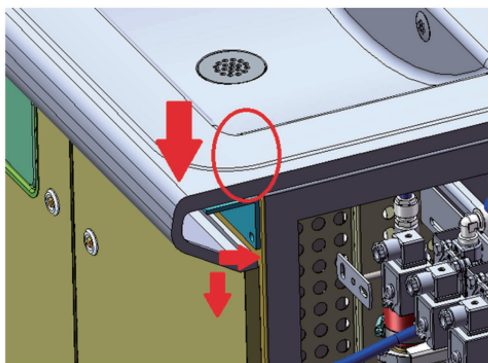


图3 水盆裂纹角处结构

## 3 盥洗室水盆台面强度测试

为进一步分析裂纹产生的原因,对盥洗室结构进行仿真分析,选取与产生裂纹台面同材质的样块进行弯曲强度测试、拉伸强度测试、落球试验。由于人造石是一种以优质不饱和树脂中添加甲基丙烯酸酯(即亚克力, MMA)复合而成的高分子产品,人造石韧性好坏取决于 MMA 的成分含量,所以试验样块同时选取应用于其它项目的 MMA 含量较高的人造石产品进行对比分析。

### 3.1 仿真分析

对盥洗室进行仿真计算,分析水盆台面裂纹是否由于盥洗室设计强度不足导致。利用 FEM 软件分析该盥洗室静强度工况下的应力和变形,有限元建模采用 Hypermesh 软件完成,计算采用 Ansys 软件完成。为了提高主要部件的计算精度,对模型进行简化,垃圾桶、电气件等在几何模型中不作保留,由刚性元连接质量元来代替,忽略这些元素不会对所关心的计算结果产生影响,但可以大大减少工作量、提高工作效率<sup>[2]</sup>。盥洗室模型中台面材料为 GRP,其力学参数为:密度 1.6 kg/m<sup>3</sup>,弹性模量 13.8 GPa,泊松比 0.1,屈服强度 120 MPa,抗拉强度 167 MPa。

通过计算得到盥洗室每个主要部件的应力云图分布及最大等效应力,如图 4 所示。

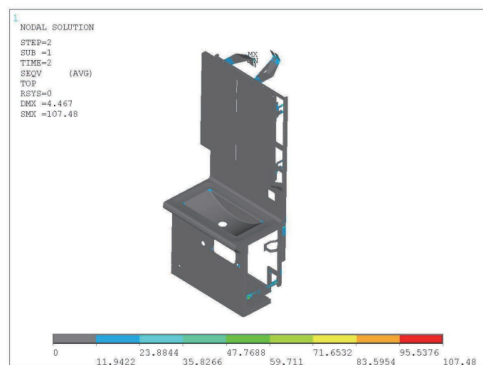


图4 盥洗室仿真分析应力云图

根据 DIN EN 12663-1-2010《铁道车辆车体结构要求》规定,动车组盥洗室在各个工况的载荷综合作用下,材料的许用应力与计算等效应力之比不应小于该标准 3.4.2 条款中给出的安全系数值  $S_2$ 。若取材料许用应力值为其抗拉强度进行校核,则  $S_2 = 1.5$ <sup>[3]</sup>。

根据 DIN EN 12663-1-2010,盥洗室台面计算等效应力为:

$$\sigma_c \leq \frac{\sigma_m}{S_2} = \frac{167 \text{ MPa}}{1.5} = 111 \text{ MPa}$$

式中：

- $\sigma_c$ ——计算等效应力；
- $\sigma_m$ ——材料抗拉强度。

图 4 中显示台面的最大等效应力为 11.94 MPa,其发生在水盆四角,远远小于计算等效应力 111 MPa,因此台面静强度满足标准 DIN EN 12663-1-2010 要求。

3.2 弯曲强度测试

按照 J/CT 908—2013《人造石》，对人造石台面的不同样块进行弯曲试验。试验结果为：两种样块破坏载荷的平均值均高于标准值,但是 MMA 含量高的人造石破坏载荷指标优于 MMA 含量低的人造石。相关试验数据见表 2。

表 2 人造石台面样块弯曲试验数据表

试样编号	试样宽度/mm	试样厚度/mm	跨距/mm	破坏载荷/N
1#	20.15	11.77	60	2 041.72
2#	20.22	11.82	60	2 283.55
3#	20.15	11.81	60	2 305.00
4#	20.15	11.82	60	2 198.45
5#	20.15	11.78	60	2 315.18
6#	20.15	11.77	60	1 649.41
7#	20.26	11.87	60	1 648.94
8#	20.32	11.71	60	1 810.18
9#	20.38	11.56	60	1 636.44
10#	20.39	11.81	60	1 747.21

注：1#-5#试样宽度的平均值为 20.16 mm,标准偏差为 0.03;厚度的平均值为 11.80 mm,标准偏差为 0.02;破坏载荷的平均值为 2 228.78 N,标准偏差为 114.22;MMA 含量为 45%。6#-7#试样宽度的平均值为 20.30 mm,标准偏差为 0.10;厚度的平均值为 117.4 mm,标准偏差为 0.12;破坏载荷的平均值为 1 698.44 N,标准偏差为 76.75;MMA 含量为 40%

1#-5#试验样块弯曲试验曲线如图 5 所示,6#-10#试验样块弯曲试验曲线如图 6 所示。

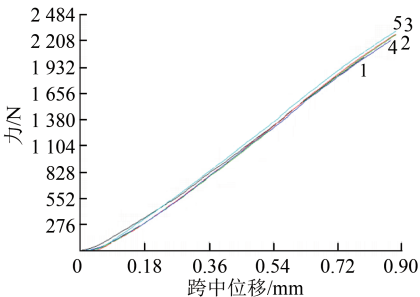


图 5 1#-5#试验样块弯曲试验曲线

3.3 拉伸强度测试

按照 J/CT 908-2013,对人造石台面的不同样块进行拉伸性能试验。试验结果为：两种样块破坏载荷的平均值均高于标准值,满足标准要求,但是

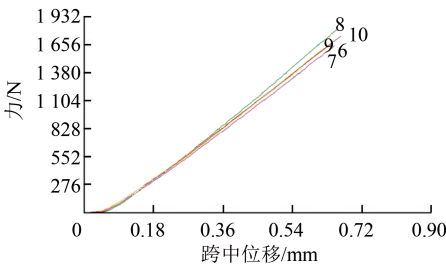


图 6 6#-10#试验样块弯曲试验曲线

MMA 含量高的人造石破坏载荷指标优于 MMA 含量低的人造石。试验数据见表 3。

表 3 人造石台面样块拉伸试验数据表

试样编号	试样宽度	试样厚度/mm	破坏载荷/N
11#	10.00	11.85	2322.99
12#	10.00	11.80	2564.33
13#	9.97	11.84	3594.16
14#	9.98	11.83	3493.26
15#	9.98	11.83	3253.82
16#	10.00	11.78	2634.60
17#	9.93	11.89	2874.04
18#	9.88	11.92	1910.57
19#	10.00	11.86	3074.02
20#	9.92	11.79	3079.75

注：11#-15#试样破坏载荷平均值为 3 045.71 N,标准偏差为 569.75;MMA 含量为 45%。16#-20#试样破坏载荷的平均值为 2 714.60,标准偏差为 484.97;MMA 含量为 40%

11#-15#试验样块拉伸试验曲线如图 7 所示,16#-20#试验样块拉伸试验曲线如图 8 所示。

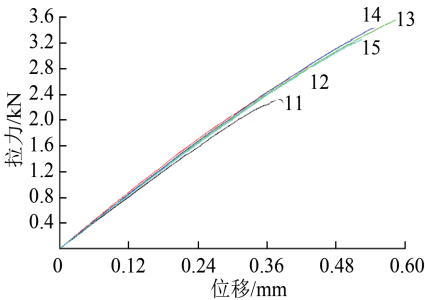


图 7 11#-15#试验样块拉伸试验曲线

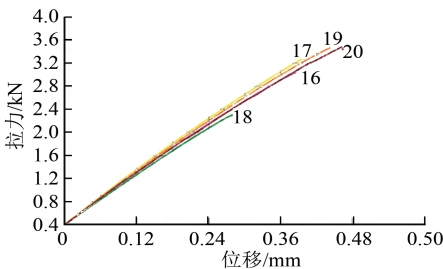


图 8 16#-20#试验样块拉伸试验曲线

### 3.4 落球冲击试验

按照 J/CT 908—2013,对人造石台面进行落球冲击试验。试验结果为:MMA 含量 40%的台面,球从距台面 1 m 左右高度落下时,台面破裂;MMA 含量 45%的台面,球从距台面 1.5 m 左右高度落下时,台面破裂。试验结果表明,MMA 含量高的板材明显优于含量低的板材。

## 4 优化措施

上述仿真分析和试验结果表明,目前选择的盥洗室水盆台面材料满足设计强度。但裂纹产生的原因不是强度不足导致的。对于台面在使用过程中出现的胶接部位和四角的裂纹,应从改善胶接工艺、改进安装结构和优化材质选择等方面进行优化。

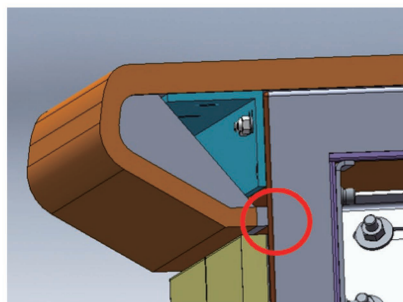
1) 对于台面背部粘接处处的裂纹:调整粘接形式,增加粘接面积;调整安装工艺,在粘接台面时,夹具加在台面上翻边上部,使底部不受力。

2) 对于水盆四角处的裂纹:优化设计安装结构,在台面下翻边与金属骨架和玻璃钢面的间隙处增加台面同材质的填充物,使台面下沿和玻璃钢支架连成一体,降低台面前端向下位移的可能,并提高台面前端的承载能力。现场调研发现,支撑台面前沿角铝稍弱,并和台面底部有缝隙,不能准确贴合,没有起到相应的作用。因此,加大支撑型材尺寸,并在顶部同台面底部打胶,提高接触性,同时,台面下沿增加人造石条,如图 9 所示。

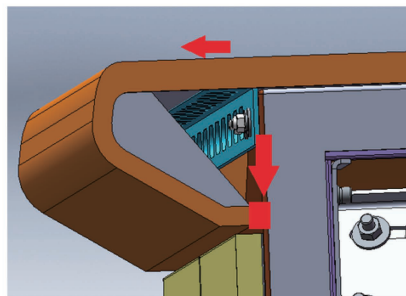
3) 选择 MMA 含量高的人造石板材。台面使用中如出现局部小裂缝时,可进行修补,其方法是用手提式铣磨机挖去裂缝部位,再用同品种石材涂胶后嵌入,固化后打磨即可<sup>[1]</sup>。

## 5 结语

盥洗室水盆台面人造石板材应选择各项性能指标均符合现行国家行业标准 JC/T 908—2013 规定的产品,选用合格的产品是保证安装质量的前提,



a) 优化前



b) 优化后

图9 盥洗室水盆角处优化前后安装结构

为防止产生裂纹,除采用合格人造石板材和按要求进行加工和安装外,还可在易开裂部位加装同一石材的加强筋,转角处为避免应力应为圆角,水盆开孔四角增加一定规格的加固托底处理。应优先选择 MMA 含量高的人造石板材。粘接时不直接采用对接结构,采用有插口或者榫接结构,粘接面尽可能增大,以提高台面整体结构强度。

## 参考文献

- [1] 钟振亚,张绍明.人造石台面加工及质量控制[J].家具,2007(2): 42.
- [2] 曾攀.有限元法[M].北京:清华大学出版社,2008.
- [3] CEN.Railway applications-Structural requirements of railway vehicle bodies-Locomotives and passenger rolling stock (and alternative method for freight wagons); BS EN 12663-1-2010[S]. Brussels: CEN,2010.

(收稿日期:2019-08-25)

## 我国智能高铁顶层规划设计取得重要成果

2020 年 1 月 4 日,中国工程院在北京组织召开“智能高铁战略研究(2035)”项目结题评审会,由张建云、聂建国等 15 名院士组成的专家组听取项目组汇报,经过充分研讨质询,一致同意项目结题。院士专家组认为,项目围绕国家高速铁路智能化发展的重大战略需求,构建了智能高铁体系架构,提出了智能高铁技术平台和关键技术,制定了智能高铁标准体系和评价体系,规划了智能高铁发展路线图及相关政策建议。研究成果具有战略性、前瞻性、综合性,提出的智能高铁 2020、2025、2035 三阶段发展战略,将对我国高铁智能化发展起到重要的指导作用。建议将成果报送国务院、国家发展改革委、交通运输部、中国国家铁路集团有限公司。这标志着中国铁路在智能高铁顶层规划设计方面取得重要成果,为未来高铁智能化发展明确了方向。

(据 2020 年 1 月 17 日《人民铁道》消息)