

# 某现浇箱梁桥施工期间顶板开裂原因分析及处理

彭荣<sup>1</sup>, 姜冲虎<sup>2</sup>

(1.湖南高速工程咨询有限公司, 湖南 长沙 410153; 2.长沙理工大学, 湖南 长沙 410114)

**摘要:** 通过现场调查, 结合结构计算, 分析某现浇连续箱梁桥施工期间顶板产生严重开裂的原因。因为低温施工期间养护不当导致裂缝产生, 结构受力、混凝土收缩、车辆通行、裂缝渗漏等导致裂缝加剧, 并提出封闭裂缝、桥面铺装补强、桥面设置环氧覆层等处理措施。

**关键词:** 桥梁; 现浇箱梁桥; 顶板开裂; 施工期间

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)03-0118-04

## 1 工程概况

湖南省某高速公路互通主线桥为(18.0+25.0+18.0) m 预应力混凝土现浇箱梁+(17.5+18.0+17.5) m+(3×18.0+4×18.5+3×18.0) m 普通钢筋混凝土现浇箱梁+(25.0+32.0+25.0) m 预应力混凝土现浇箱梁, 桥梁全长 385.5 m。原设计桥面铺装为 11.0 cm 厚沥青混凝土。

该桥箱梁于 2011 年施工完成。2012 年 4 月, 准备铺设桥面铺装层时, 发现左幅第四联(9#~13#墩)箱梁顶板出现密集裂缝。该联箱梁采用(4×18.5) m 普通钢筋混凝土结构, 桥面宽度为 16.50~20.06 m, 截面形式为单箱四室, 梁高 1.3 m, 采用 C40 混凝土(见图 1)。该联箱梁采用满堂支架现浇施工, 支架系统进行了专项设计并通过了方案评审, 施工过程中支架未发生异常变形。

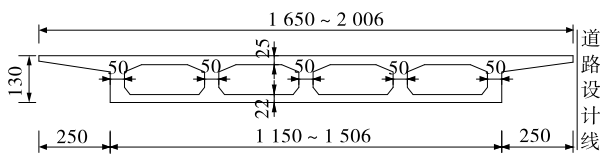


图 1 箱梁横断面示意图(单位:cm)

## 2 病害情况

根据检测单位提供的箱梁顶板裂缝专项检测报告, 该联箱梁的主要病害如下: 箱梁顶板裂缝主要为横桥向裂缝和网状裂缝, 部分裂缝横桥向搭接、贯通; 顶板顶部裂缝集中区域对应的翼缘板底部多见渗水(见图 2)。共统计较大裂缝 81 条, 大部分裂缝宽度为 0.2 mm 左右, 最大裂缝宽度为 0.50 mm。通过钻芯法对裂缝深度、混凝土密实情况进行检查, 8 个芯样的裂缝深度大都在 10 cm 以内, 最大值为 13 cm, 芯样混凝土均较密实。全联裂缝分布见图 3。

由图 3 可知该联箱梁顶板裂缝分布具有以下特点: 1) 裂缝绝大部分为横向裂缝, 纵向裂缝及斜裂

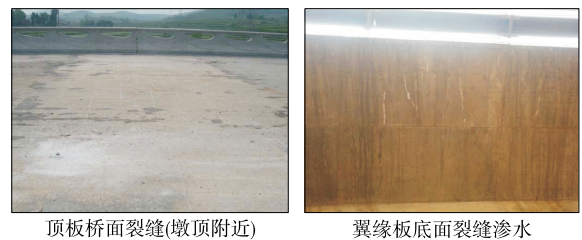


图 2 典型病害图片

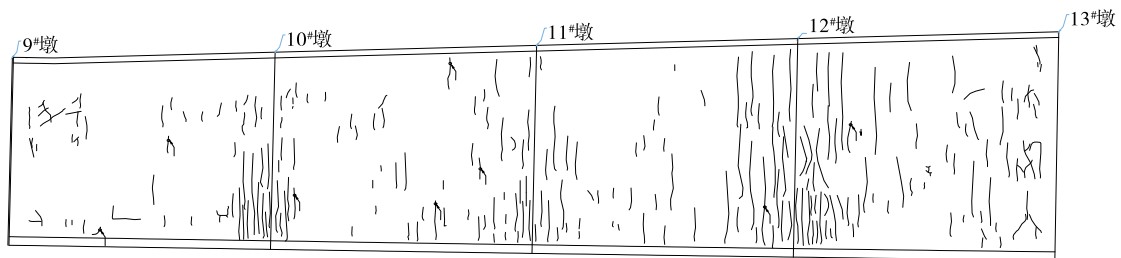


图 3 全联裂缝分布

缝较少。2) 中墩墩顶处裂缝最密集,裂缝数量多,长度大,以 10<sup>#</sup>、12<sup>#</sup>墩墩顶处最明显。3) 跨中处裂缝数量少,长度短。4) 桥梁内侧(靠近道路中心线一侧)裂缝发展比外侧更剧烈。

### 3 裂缝成因分析

现浇箱梁施工期间开裂的常见原因有支架沉降或变形、混凝土原材料或配合比缺陷、混凝土施工和养护不当、混凝土水化热及温度变化、混凝土收缩、模板和支架拆除时机不当、结构提前受力等<sup>[1-2]</sup>。通过深入了解现场施工情况,结合结构受力分析,分析该联箱梁裂缝产生及发展的原因。

#### 3.1 低温施工是导致裂缝产生的直接原因

据了解,该桥左幅第四联于 2011 年 1 月浇筑混凝土,箱梁竖向分两次浇筑,第一次浇筑底板及腹板,第二次浇筑顶板。第一次浇筑时气温为 8~10℃,情况基本正常;第二次浇筑时突遇寒潮,温度降至 0℃左右,属低温施工。而施工方对于突然的降温准备不足,未采取低温施工必要的养护、保温措施,导致箱梁顶部与箱室内部温差过大。在顶板降温作用下,箱梁顶板产生纵向拉应力,当拉应力超过混凝土抗拉强度时,产生横向裂缝<sup>[3-5]</sup>。据现场人员介绍,箱梁浇筑后不久即在箱梁顶板发现细小裂纹,因极其细微未引起重视,这在一定程度上验证了低温施工导致顶板开裂的推断。

为进一步探明箱梁内外温差与顶板应力的关系,采用桥梁博士建立全联箱梁有限元模型进行结构分析。将全联箱梁离散为 56 个梁单元,计算模型的边界条件按实际支座布设进行模拟,11<sup>#</sup>墩处设置纵向约束支座,其他桥墩处均释放纵向约束,每个桥墩均在内侧设置横向约束支座。由于该联箱梁施工时箱室内外实际温差已无法得知,假定顶板降温 15℃进行计算,得到箱梁顶、底板的应力(见图 4、图 5)。压应力为正,拉应力为负,与联端的距离是指至 9<sup>#</sup>墩的水平距离。

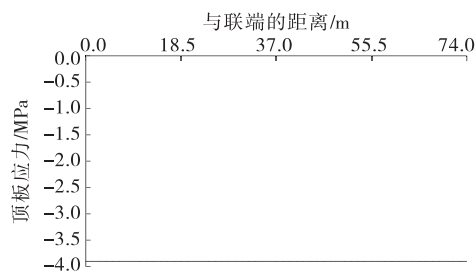


图 4 顶板降温 15℃时顶板应力

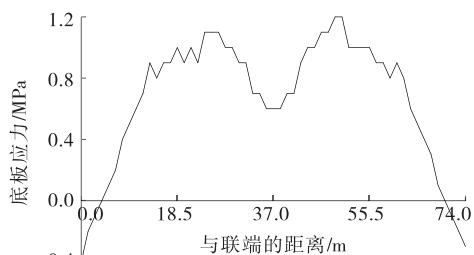


图 5 顶板降温 15℃时底板应力

由图 4、图 5 可知:顶板降温 15℃时,箱梁顶板产生拉应力,应力值各处基本相同,已超过 C40 混凝土抗拉强度标准值(2.4 MPa),会导致顶板开裂;箱梁底板基本为压应力,故底板未出现裂缝。

按顶板降温 5~25℃进行计算,得到顶板应力与温差的对应关系(见表 1)。

表 1 顶板降温与顶板应力的对应关系

顶板降温/℃	顶板应力/MPa	顶板降温/℃	顶板应力/MPa
5	-1.3	20	-5.2
10	-2.6	25	-6.5
15	-3.9		

由表 1 可知:顶板拉应力与顶板降温温差基本呈线性变化,顶板降温达到 10℃时,顶板拉应力已略超过 C40 混凝土抗拉强度标准值,可能导致顶板开裂。混凝土浇筑时箱室内外温差宜控制在 10℃以内。

#### 3.2 拆除支架后结构受力导致裂缝重分布

支架拆除后,箱梁独立承担荷载。施工期间的荷载主要为箱梁自质量、部分二期恒载(该桥为防撞护栏)和施工荷载,主要为箱梁自质量和二期恒载。箱梁自质量和二期恒载作用下该联箱梁的顶板应力见图 6。

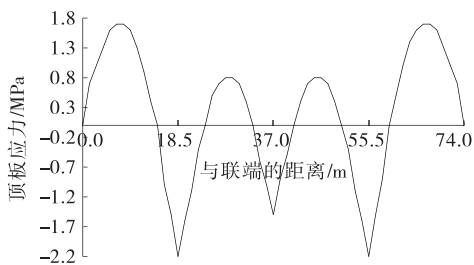


图 6 箱梁自质量和二期恒载作用下顶板应力

由图 6 可知:在箱梁自质量和二期恒载作用下,箱梁顶板在墩顶负弯矩区产生拉应力、跨中正弯矩区产生压应力。负弯矩区拉应力虽然小于混凝土抗

拉强度标准值,但在该处已产生裂缝的情况下会加剧裂缝发展;跨中正弯矩区产生的压应力会一定程度上抑制和约束裂缝的发展,这是墩顶处裂缝比跨中处更严重的原因。10<sup>#</sup>、12<sup>#</sup>墩墩顶处拉应力大于11<sup>#</sup>墩墩顶处拉应力,与10<sup>#</sup>、12<sup>#</sup>墩墩顶处裂缝比11<sup>#</sup>墩墩顶处更密集的情况相符。

### 3.3 混凝土收缩促进裂缝发展

混凝土凝结初期或硬化过程中出现的体积缩小现象即为混凝土收缩。在这个过程中,钢筋会阻碍混凝土变形,使钢筋受压、混凝土受拉,可能导致收缩裂缝。混凝土浇筑30 d和500 d时箱梁顶板应力分别见图7、图8。

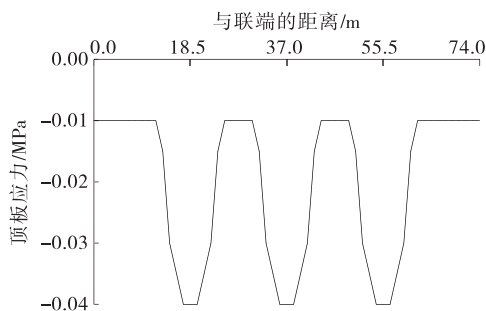


图7 30 d龄期时混凝土收缩作用下顶板应力

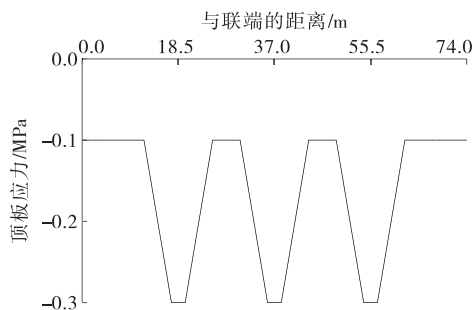


图8 500 d龄期时混凝土收缩作用下顶板应力

由图7、图8可知:混凝土收缩作用下箱梁顶板均承受拉应力,初期应力很小,随着时间的推移应力有所增大;连续墩墩顶处应力较大,跨中和边墩处应力较小,与裂缝分布情况一致。虽然应力总体不大,但对裂缝发展仍会产生一定促进作用。

### 3.4 车辆通行加剧裂缝发展

据现场人员介绍,从2011年下半年开始,该桥即部分开放交通供施工车辆通行。车辆靠道路内侧单车道通行,车流量虽不太大但车辆荷载较大。在左幅第四联已出现裂缝且未处理、桥面铺装尚未施工的情况下通行车辆,进一步加剧了裂缝的发展。按单车道车辆荷载计算,该联箱梁顶板应力见图9。

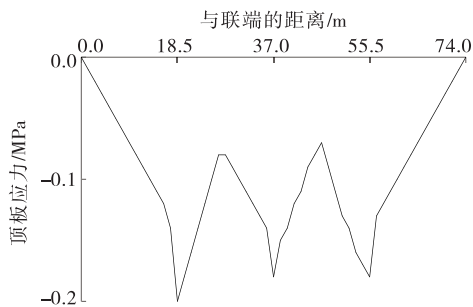


图9 车辆荷载作用下顶板最小应力

由图9可知:在车辆荷载作用下,全联各部位箱梁顶板均可能出现拉应力,虽然其值不大,但考虑到以下两点,在裂缝尚未修复的情况下通行重车是裂缝加剧发展的重要原因。1) 这次计算按平面杆系单车道进行,计算结果是截面整体受力的平均值。而实际上,该联箱梁的宽跨比约为1:1,属于典型的扁平箱梁,空间效应明显,在偏载作用下箱梁截面横向各区域的受力差异很大。车辆靠道路内侧通行,内侧区域的受力远大于外侧区域,明显大于平均受力。因此,从裂缝分布来看,箱梁内侧裂缝比外侧裂缝发展更剧烈。2) 这次计算为静力计算,不能反映车辆冲击、振动对裂缝发展的影响。对车辆冲击下混凝土梁桥裂缝扩展性能及规律的研究成果表明,随着梁体损伤比和车辆质量的增加,裂缝扩展的风险会加速增高<sup>[6-9]</sup>。

### 3.5 水、气渗漏加剧裂缝发展

箱梁顶出现初始裂缝后未及时封闭,加上桥面铺装未施工,裂缝暴露时间达1年以上。现场观察发现箱梁翼缘板下缘有明显的渗水痕迹,从钻芯芯样也可看到顶板裂缝中存在严重渗水现象。水、气渗漏会将有害物质运输到混凝土内部并发生物理或化学作用,主要表现为混凝土碳化、氯离子侵蚀、碱集料反应、冻融破坏和钢筋腐蚀等<sup>[10]</sup>,对结构造成破坏。该联箱梁裂缝在2011年发展尚不明显,进入2012年后几个月内突然猛烈加剧,这与裂缝水在2011年冬季经历寒潮期产生冻胀直接相关。

## 4 裂缝的处理

为确定合理的裂缝处理措施,对裂缝对箱梁受力性能的影响进行分析。对于全联顺桥向整体受力,在中墩墩顶负弯矩区域,顶板受拉、底板受压,由于计算钢筋混凝土截面抗弯承载能力时不考虑受拉区混凝土参加工作,顶板裂缝对负弯矩区抗弯承载能力的影响不大;在跨中正弯矩区域,顶板受压、底

板受拉,顶板裂缝对抗弯承载能力有一定削弱,但所幸跨中部分裂缝较少,总体影响不大。对于横桥向桥面板受力,顶板裂缝对桥面板承载能力有一定削弱,但由于该联箱梁采用单箱四室截面,箱室宽度较小,桥面板总体受力不大,且受弯以负弯矩为主,正弯矩很小,桥面板受力仍可满足要求。

基于以上分析,可认为裂缝对该联箱梁受力性能的影响在可控范围内,箱梁顶板具备维修处理、补强加固的条件和价值,无须采取顶板全部凿除重新浇筑的极端措施。综合考虑该联箱梁裂缝分布、裂缝成因及受力影响,确定采用裂缝封闭处理、顶板补强、桥面设置环氧覆层的处理措施。

#### 4.1 裂缝封闭处理

根据前文的分析,该联箱梁从出现初始微裂缝到裂缝剧烈发展,未及时封闭裂缝是重要原因之一。若任其继续发展,很可能出现多条横、竖向贯穿顶板的裂缝,直至顶板失效。因此,封闭裂缝是病害处理的首要措施。施工前应对裂缝进行全面调查,现场核实裂缝数量、长度、宽度等,对裂缝编号,做好记录,并与检测单位提供的裂缝分布图对照,进行补充完善。对于宽度 $>0.15\text{ mm}$ 的裂缝,采用压力灌注法进行处理;对于宽度 $\leq 0.15\text{ mm}$ 的裂缝,采用表面封闭法进行处理<sup>[11]</sup>。

#### 4.2 顶板补强

顶板裂缝会对结构受力产生一定影响,降低安全富余,有必要对顶板进行适当补强。原设计桥面铺装为 $11\text{ cm}$ 厚沥青混凝土,为加强顶板受力,将其改为 $10.3\text{ cm}$ 厚C50防水混凝土现浇层,并配置 $\phi 16\text{ mm}$ 带肋钢筋网。为使桥面现浇层能充分参与受力,采取以下处理措施:

(1) 对箱梁顶板表层进行凿毛处理,在裂缝密集区域适当凿深一些,将保护层内松散部分全部凿除。

(2) 在箱梁顶板设置植筋,植入 $\phi 12\text{ mm}$ 钢筋,间距为 $50\text{ cm}\times 50\text{ cm}$ 。钢筋植入前探测原顶板钢筋位置,以免对其造成损伤。

(3) 浇筑桥面现浇层前在箱梁顶板喷洒界面剂,以加强新、老混凝土的结合。

(4) 为避免因新、老混凝土龄期差异过大导致桥面现浇层收缩开裂,在现浇层混凝土中加入适当微膨胀剂,并设置必要的后浇带。

#### 4.3 桥面设置环氧覆层

桥面铺装改为混凝土铺装后带来如下新问题:

该高速公路全线均采用沥青路面,该桥其他联也采用沥青混凝土铺装,若该联采用混凝土桥面,则不仅颜色明显突兀,行车体验也不佳,同时运营期间桥面现浇层的磨耗、破损会使其补强作用大打折扣。若在桥面现浇层上再铺设一层沥青铺装,一方面会增加荷载,另一方面会使该联的桥面高程高于原设计标高,导致全桥及桥头接线标高调整,影响太大。

综合考虑,决定采用环氧覆层桥面。环氧覆层是一种新型路面面层材料,由双组分路面环氧胶和耐磨防滑骨料组成,施工时在桥梁铺装基层上涂刷双组分环氧胶后撒上适量耐磨骨料即可<sup>[12]</sup>。其主要特点如下:1) 防滑、耐磨、排水,可缩短 $40\%$ 制动距离,降低路面噪声和雨天行车水雾,提高行车安全性和舒适性。2) 厚度小,质量轻。覆层厚度不到 $1\text{ cm}$ ,基本不影响设计标高,不增加桥梁荷载及铺装厚度,设计更灵活。3) 耐久性能优异,使用寿命长,高温下性能稳定,低温下抗裂<sup>[13-14]</sup>。4) 防水、耐腐蚀,可防止各种腐蚀介质随雨水等渗透,特别适于桥面。5) 绿色环保,不含挥发性溶剂,不需加热施工。6) 色彩丰富,可通过采用不同骨料来调整颜色。

该联箱梁在桥面现浇层上设置 $7\text{ mm}$ 厚环氧覆层,使桥面铺装总厚度与原设计一致,不需调整标高;环氧覆层的颜色与沥青混凝土铺装基本一致,近距离仔细对比才会发现少许差异,从驾驶员或乘客的视角来看几乎无差别。

#### 4.4 处理效果

该联箱梁按以上措施完成维修处理后,取得了满意的效果,裂缝封闭后未重新发展,桥面现浇层浇筑后也未出现反射裂缝。经成桥检测,整联箱梁强度、刚度等性能均满足规范及使用要求。该高速公路于2012年底开通运营至今,该联箱梁总体状况良好。

### 5 结论

(1) 低温施工时箱梁内外温差极易导致箱梁顶板开裂,施工期间应加强养护和温差控制。

(2) 裂缝出现后应及时进行封闭处理,否则结构受力、混凝土收缩及水、气渗漏等会导致裂缝加剧。

(3) 应结合裂缝分布、成因和结构受力综合确定合理的处理措施,达到事半功倍的效果。

(4) 环氧覆层具有厚度小、质量轻、防滑、防水、

(下转第131页)

## 参考文献:

- [1] 刘冉冉.地震作用下列车-地铁高架桥耦合振动分析[D].西安:长安大学,2020.
- [2] 王青桥,韦晓,王君杰.桥梁桩基震害特点及其破坏机理[J].震灾防御技术,2009,4(2):167-173.
- [3] BASOZ N, KIREMIDJIAN A S. Damage to bridges from the Northridge earthquake and its consequences on highway system performance[C]//Proceedings of the 7th Proceedings of US/Japan Work on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems. Seattle: EQE International Inc,1998:23-38.
- [4] GAZETAS G, MYLONAKIS G. Seismic soil-structure interaction: New evidence and emerging issues[C]//Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III,1998:1119-1174.
- [5] 江博君,冼巧玲,周福霖.桩土效应对高铁桥梁地震反应的影响分析[J].广州大学学报(自然科学版),2016,15(1):57-63.
- [6] 中交公路规划设计院有限公司.公路桥涵地基与基础设计规范:JTG 3363—2019[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.
- [7] 燕斌.桥梁桩基础抗震简化模型比较研究[D].上海:同

济大学,2007.

- [8] 范立础.桥梁抗震[M].上海:同济大学出版社,1997.
- [9] 肖晓春,迟世春,林皋.水平地震下土-桩-结构相互作用简化分析方法[J].哈尔滨工业大学学报,2003,35(5):561-564.
- [10] 李强.地震作用下土-桩-桥梁结构动力相互作用研究[D].呼和浩特:内蒙古工业大学,2018.
- [11] 王新敏.ANSYS工程结构数值分析[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [12] 王新敏.ANSYS结构动力分析与应用[M].北京:人民交通出版社,2014.
- [13] 陈令坤,蒋丽忠,陶磊,等.考虑土-桩作用的高速列车-桥梁地震响应分析[J].岩土力学,2012,33(10):3162-3170.
- [14] 刘贝.土-桩-结构相互作用对砼自锚式悬索桥地震响应的影响研究[J].公路与汽运,2020(4):129-134.
- [15] 葛雄,魏征,邓育林.地震作用下多跨简支梁桥挡块优化设计研究[J].交通科学与工程,2021,37(2):47-54.
- [16] 中华人民共和国铁道部.铁路工程抗震设计规范:GB 50111—2006[S].北京:中国计划出版社,2006.

收稿日期:2023-01-04

\*\*\*\*\*  
(上接第121页)

耐磨等优点,在桥梁加固维修、路面改造等项目中具有广泛的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 程鹏.预应力现浇箱梁裂缝原因分析及预防处理措施[J].北方交通,2017(7):68-70.
- [2] 杨牧盘.支架现浇箱梁顶板开裂原因分析[J].公路交通科技(应用技术版),2016,12(4):242-244.
- [3] 杨昊,陈干,曾国良.高原高寒地区叠合梁斜拉桥砼桥面板接缝冬季施工温度控制[J].公路与汽运,2018(3):164-165+168.
- [4] 刘伟权.严寒地区铁路箱梁冬期施工温控实例分析[J].低温建筑技术,2020,42(5):147-149.
- [5] 罗阳青,杜召华,蒋鑫,等.连续箱梁顶板裂缝成因分析研究[J].湖南交通科技,2012,38(1):63-66+141.
- [6] 陈兴达.车辆荷载作用下开裂钢筋混凝土梁的动力特性研究[D].天津:天津大学,2017.
- [7] 李子豪.列车荷载作用下铁路混凝土简支梁桥裂缝扩

展性能及规律研究[D].成都:西南交通大学,2021.

- [8] 殷新锋,方志.车辆作用下开裂混凝土连续梁桥的动力响应分析[J].工程力学,2009,26(4):174-180.
- [9] 毛旺涛.大件运输车辆过桥实体车桥耦合振动分析与性能评价研究[D].西安:长安大学,2020.
- [10] 段艳菊.混凝土桥梁水害原因分析与处理[J].特种结构,2020,37(2):118-122.
- [11] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路桥梁加固设计规范:JTG/T J22—2008[S].北京:人民交通出版社,2008.
- [12] 陈兆军.桥面环氧覆层路用性能及加铺技术研究[J].公路工程,2014,39(4):145-148.
- [13] 李寻,王兴昌,方星,等.薄层环氧桥面铺装材料低温性能研究[J].公路,2011(5):178-181.
- [14] 王兴昌,王凯,范瑛,等.环氧薄层铺装材料耐候性试验研究[J].建材世界,2015(3):68-71.

收稿日期:2022-10-17