

# 板式无碴轨道用充填式垫板的研制与应用

郑水蓉<sup>1,2</sup> 李铁虎<sup>3</sup> 张聪莉<sup>1</sup> 孙曼灵<sup>1,2</sup> 侯锐钢<sup>2</sup> 姚常平<sup>2</sup>

(1. 西北工业大学理学院应用化学系, 西安 710072; 2. 西北工业大学-华东理工大学高速铁路新材料联合研究所, 西安 710072;

3. 西北工业大学材料学院, 西安 710072)

**摘要** 对板式无碴轨道用充填式垫板所用树脂基体、增强芯材、注入袋材料进行优选, 对垫板进行了落球冲击试验, 并在火车线路上进行了现场施工和试用, 效果良好, 能满足高速铁路轨道安全要求。

**关键词** 乙烯基酯树脂 增强材料 无碴轨道 充填式垫板

高速铁路和客运专线轨道的平顺度是保障列车运行的安全性与舒适性的重要条件之一, 无碴轨道的刚度相对较大, 如果不平顺, 对线路各部件及下部结构的冲击会显著增大。由特殊结构组成的板式无碴轨道, 其轨道板为标准设计的预制平板。当将其应用于轨道标高渐变的缓和曲线或竖曲线地段时, 最小厚度为 2 mm 的轨道调高垫板难以实现对板长范围内轨道不平顺的精细调整。必须研制与板式轨道相配套的无级调高垫板<sup>[1]</sup>。

充填式垫板是将具有浇口和冒口的内置增强纤维片材的注入袋放在轨道与轨道板之间, 当调整好轨面标高后, 通过压力将液态树脂注入塑料袋中, 在室温下固化后形成无级调高垫板。

2001 年 7 月铁道部板式无碴轨道用充填式垫板科研项目立项。近年来, 西北工业大学与相关生产厂家一起配合铁道部铁建所进行了一系列的研究与应用试验工作。

## 1 实验部分

### 1.1 原材料

乙烯基酯树脂: MFE 系列, 华东理工大学华昌聚合物有限公司;

橡胶增韧改性乙烯基酯树脂: SW982、SW908 系列, 上纬精细化工有限公司; Atlac580, 金陵帝斯曼树脂有限公司;

增韧剂改性乙烯基酯树脂: 牌号 韧化/新华 3201, 北京清华大学奇士新材料技术有限公司;

玻璃毡: I 型, matline 强芯毡系列, 诺德公司; II 型, 北京科拉斯化工技术有限公司;

高强方格玻璃纤维布: SWR480-100, 南京玻璃纤维研究院;

注入袋材料: 聚氯乙烯 (PVC) 薄膜、聚乙烯 (PE) 薄膜、聚酯薄膜和 PE/尼龙复合膜, 市售;

纳米 SiO<sub>2</sub>: 浙江余姚奋发塑业有限公司;

硅微粉: 19 ~ 38 μm, 陕西华瑞化工科技有限责任公司;

固化剂: II 型过氧化甲乙酮, 浙江黄岩焦坑化学厂;

润湿分散剂: EFKA-5044、EFKA-8605, 德国汽巴精化公司。

### 1.2 主要仪器与设备

万能材料试验机: Instron 1195 型, 英国 Instron 公司;

冲击试验机: XJJ-5 型, 承德试验机有限公司;

树脂传递模塑 (RTM) 成型机: SPARTAN 型, 北京科拉斯化工技术有限公司。

### 1.3 试样制备

试样制备、试样状态调节及试验标准环境等参照 GB/T 2567-1995 进行。树脂固化条件: 室温/24 h + 80℃/3 h。

### 1.4 性能测试

压缩强度按 GB/T 2569-1995 测试;

弯曲强度按 GB/T 2570-1995 测试;

拉伸强度按 GB/T 2568-1995 测试;

断裂伸长率按 GB/T 2568-1995 测试;

冲击强度按 GB/T 2571-1995 测试。

## 2 充填式垫板的研制

板式无碴轨道用充填式垫板由树脂基体、增强芯材和注入袋等 3 部分组成。先优选这 3 部分材料, 然后对优选出的材料制备的 4 ~ 8 mm 厚充填式垫板进行室温和低温落球冲击试验。

### 2.1 树脂基体的研制

#### (1) 树脂的确定和筛选

常用的热固性树脂有环氧树脂、不饱和聚酯树脂和聚氨酯树脂等。综合考虑充填式垫板施工性和

使用性的要求, 选用乙烯基酯树脂体系。

乙烯基酯树脂品种繁多, 通过对 30 多种不同型号和配方的乙烯基酯树脂进行了筛选和优化, 最后选出 2 种完全达到铁道部要求的树脂 SW982 - 2、MFE - 9。

(2) 树脂基体配方设计和优选

固化体系的优选和确定 影响树脂体系在不同温度(5 ~35℃) 下固化速度的主要因素是固化剂、促进剂和助促进剂的种类及配比。这些因素不仅影响了树脂体系的最终使用性能, 并且对可工作时间和可承载时间影响也很大。通过设计、试验, 最后优化出适用于不同施工温度范围的 2 种不同型号的树脂体系配方, 如表 1 所示, 其凝胶时间为 20 ~40 min。

表 1 两种型号树脂体系配方

| 树脂型号              | 施工温度 /℃ | 固化剂用量 /份 |
|-------------------|---------|----------|
| I 型 (SW908P 体系)   | 30 ~35  | 1.2      |
|                   | 20 ~30  | 1.5      |
|                   | 15 ~20  | 1.8      |
|                   | 10 ~15  | 2.0      |
| II 型 (MFE - 9 体系) | 10 ~15  | 1.8      |
|                   | 5 ~10   | 2.0      |

其它助剂的选择 为了进一步提高材料的性能并降低成本, 笔者添加了纳米 SiO<sub>2</sub> 及不同粒度的硅微粉等, 选用了润湿分散剂等助剂增加树脂对增强纤维及填料的浸润性。

(3) 树脂材料的性能

树脂固化体系、添加剂、助剂确定后, 选用 I 型树脂, 成型温度为 20 ~30℃, 按标准浇注试样, 测试其性能并与指标要求进行比较, 结果列于表 2。

表 2 树脂材料的性能

| 项 目                        | 指标要求 <sup>[2]</sup> | 实测结果   |
|----------------------------|---------------------|--------|
| 可工作时间 /min                 | ≥ 40                | 20 ~40 |
| 可承载时间 <sup>1)</sup> /h     | 6 ~10               | 10     |
| 压缩强度 /MPa                  | 165                 | 180    |
| 弯曲强度 /MPa                  | ≥ 55                | 108    |
| 拉伸强度 /MPa                  | ≥ 45                | 58     |
| 断裂伸长率 /%                   | ≥ 8                 | 9.3    |
| 冲击强度 /kJ · m <sup>-2</sup> | ≥ 7                 | 20     |

注: 1) 可承载时间是指从试样灌注完成开始计时, 直至试样压缩强度达到 100 MPa 的时间。

2.2 增强芯材的选择

增强芯材不仅需要具有较高的强度, 而且与树脂需要有很好的浸润性, 价格也要便宜。笔者使用了不同规格的玻璃布、玻璃毡及多种规格强芯毡。通过试验和综合考虑, 选用了 2 种规格的玻璃毡, 见表 3。

表 3 玻璃毡的规格

| 项 目                      | I 型       | II 型    |
|--------------------------|-----------|---------|
| 厚度 /mm                   | 2.5 ±0.25 | 5 ±0.5  |
| 面密度 /g · m <sup>-2</sup> | 270 ±25   | 510 ±50 |

2.3 注入袋材料的选择及耐压试验

试用了不同牌号和厚度的 PVC 薄膜、PE 薄膜、聚酯薄膜和 PE/尼龙复合膜。结果表明, PVC 薄膜和 PE/尼龙复合膜均能满足使用要求, 用户可根据热合方式和所使用地区的环境温度选择。普通电加热热合、温带/热带地区可用 PVC 薄膜或 PE/尼龙复合膜; 高频加热热合、严寒/寒冷地区只能选用 PE/尼龙复合膜。

注入袋耐压试验是将注入袋中充满水并封口, 置于万能材料试验机上下承力板间加压, 测试注入袋渗漏时的压力。试验表明, 注入袋渗漏时的压力为 0.33 MPa, 大于树脂注塑压力 0.15 MPa, 符合要求。2008 版技术条件<sup>[2]</sup> 对注入袋材料及热封强度、承压性能有新规定, 即热封强度 ≥8.0 N/15 mm, 承压性能 ≥0.4 MPa。为了达到此要求, 需要采用高频焊接技术与适当加宽焊接缝两条措施, 因此注入袋材料必须具有高频敏感性, 由于尼龙具有这一特性, 所以可以采用厚度 ≥0.20 mm 的 PE/尼龙复合膜。

2.4 调高垫板落球冲击试验

采用 I 型树脂在 20 ~25℃ 成型, 注入袋采用 PE/尼龙复合膜, 增强材料采用一层 I 型玻璃毡、1 层面密度为 480 g/m<sup>2</sup> 的高强方格玻璃纤维布分别制备了 2 种厚度均为 4 mm 的调高垫板各 6 块, 在成型温度下放置一周后置于环境箱中, 在测试温度下调节状态达到要求后, 用 1 kg 钢球在距离垫板上表面上方 50 cm 处自由下落做冲击试验。调高垫板在 16℃ 及在 -35℃ 冷冻 30 min 后进行落球冲击试验, 结果均无损伤。

采用 II 型树脂在 10 ~15℃ 成型, 注入袋采用 PVC 薄膜, 增强材料采用一层 I 型玻璃毡制备了厚度为 4 mm 的调高垫板 6 块, 在 16℃ 及在 -35℃ 冷冻 30 min 进行落球冲击试验, 结果在 16℃ 时冲击无损伤, 在 -35℃ 时, 注入袋材料在钢球触碰处碎裂成小块, 但垫板内层无损伤。

以上结果表明, 玻璃毡的强度与树脂基体的韧性都能经受 -35℃ 的低温考验, 只是注入袋材料不能采用 PVC 薄膜, 应采用 PE/尼龙复合膜。

图 1 为遂渝线综合试验段板式无碴轨道充填式

垫板示意图。

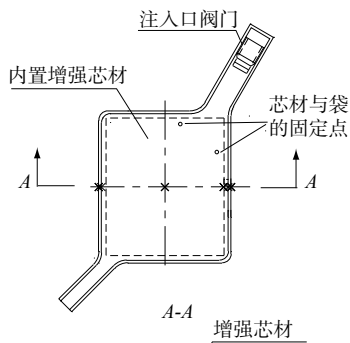


图1 充填式垫板示意图

### 3 施工方法的确定

充填式垫板现场施工方法有2种。

(1) 人工计量、搅拌和压注。其优点是设备投资少,但是影响质量的人为因素较大,原材料浪费较多,要求可工作时间长,因而可承载时间往往也较长。

(2) 采用自动计量、搅拌和压注的RTM机。其优点是自动化、机械化程度高,计量准确,搅拌均匀,影响质量的人为因素较小,原材料浪费少,施工速度快,省工,对可工作时间要求不严格,因而可大大缩短可承载时间。缺点是设备投资大。

综合利弊后,选用RTM机进行施工。

### 4 工程应用案例

在实际工程应用中,南方线路注入袋采用PVC薄膜和PE/尼龙复合膜均可,北方线路注入袋采用PE/尼龙复合膜,增强材料依据现场平顺性检测后轨道与水泥大板之间的间隙大小分别选用Ⅱ型和Ⅰ型玻璃毡。具体应用情况如下:

(1) 2001年12月在山海关火车站既有线路上试用了100块,效果良好。

(2) 2002年9月在秦沈客运专线B27标段跨双何公路特大桥板式无碴轨道上使用(执行2002年

4月铁道部科学研究院铁道建筑研究所编写的“秦沈客运专线双何特大桥板式轨道/充填式垫板的制造与施工技术条件”)。桥长703m,双轨,共用充填式垫板4496块,效果良好。B27标段跨双何公路特大桥板式无碴轨道整体被评为精品工程和优质样板工程。

(3) 2004年6月在赣龙线枫树排隧道板式无碴轨道上使用(执行2003年7月铁道科学研究院铁道建筑研究所西北工业大学西安三联防水材料有限公司共同编写的“板式无碴轨道充填式垫板制造与验收技术条件”)。隧道长719m,单轨,共用充填式垫板2288块。效果良好。

(4) 2005年9月~2006年1月,在遂渝线进行扩大实际运行考验(执行2005年6月铁道科学研究院江成、林芝珉编写的“渝遂线板式无碴轨道/充填式垫板技术条件”)。在龙凤隧道、嘉陵江大桥、张家院子、蔡家车站等路况不同的路段上,共用充填式垫板25850块(约8km)。现场抽样检测结果,性能全部达标。

(5) 2007年1月10日,进行了动车综合试验。结果显示,子弹头列车以232km/h的速度在无碴轨道上运行,平稳性、舒适度达到优级,测试的各项数据都在安全标准之内。

### 5 结论

笔者所研制的板式无碴轨道充填式垫板经过试验、现场施工应用和在多条铁路线路上实际考验,结果表明已全部达到性能指标,可以推广应用。

#### 参考文献

- [1] 铁道部科学研究院铁道建筑研究所. 秦沈客运专线双何特大桥板式轨道/充填式垫板的试验研究[R]. 北京:2001.
- [2] 蒋金洲,江成. 客运专线铁路无砟轨道/充填式垫板暂行技术条件[M]. 北京:中国铁道出版社,2008.

## STUDY AND APPLICATION ON THE FILLING PAD USED IN NO BALLAST SLAB TRACK

Zheng Shuirong<sup>1,2</sup>, Li Tiehu<sup>3</sup>, Zhang Congli<sup>1</sup>, Sun Manling<sup>1,2</sup>, Hou Ruigang<sup>2</sup>, Yao Changping<sup>2</sup>

(1. Department of Applied Chemistry, Faculty of Science Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. United Institute of Northwestern Polytechnical University-East China University of Science & Technology for New Materials Used in High-Speed Railway, Xi'an 710072, China;

3. Faculty of Materials Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**ABSTRACT** The matrix resins, reinforced materials, package materials that would be used in filling pad of no ballast slab track were selected. The product was tested by falling ball. It showed a good effect in the application on railway. It could meet the safety requirements for high speed railway track.

**KEYWORDS** vinyl ester resin, reinforced materials, no ballast track, filling pad