

高速铁路动车组二等座座椅的防火标准对比分析及 优化座椅的防火性能测试*

张丽博 刘小霞 王大朋 韩璐 张 戌

(中车唐山机车车辆有限公司产品研发中心,063035,唐山//第一作者,工程师)

摘 要 针对高速铁路动车组二等座座椅中非金属材料的防火测试要求,对比分析了 TB/T 3237—2010、DIN 5510-2—2009、BS 6853—1999 等相关的常用防火标准与 EN 45545-2—2013 的异同。基于 EN 45545-2—2013 对座椅的防火性能进行测试,并提出了优化方案。优化方案不论在非金属材料还是整椅的燃烧性能上都满足 EN45545-2—2013 对车辆防火最高等级的要求。EN 45545-2—2013 对非金属材料的要求更全面,但也存在着不足之处:其在针对座椅非金属材料的防火要求测试与整椅的燃烧测试上并不能完全对应,有待于进一步优化。

关键词 高速铁路动车组;座椅;防火标准;非金属材料;EN 45545-2—2013

中图分类号 U298.4;U266.2;U270.38⁺7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.06.018

Comparative Analysis of Fire Standards and Improvement of Fire Performance Test for High-speed EMU Second Class Seat

ZHANG Libo, LIU Xiaoxia, WANG Dapeng, HAN Lu, ZHANG Xu

Abstract According to the fire performance test requirements of nonmetallic materials for the high-speed EMU (electric multiple units) second class seat, the differences between current fire standards of TB/T 3237—2010, DIN 5510-2—2009, BS 6853—1999 and EN 45545-2—2013 are compared and analyzed. Then based on EN 45545-2—2013 standard, the seat fire performance is tested and an optimization scheme is proposed, which can meet the highest requirements of EN 45545-2—2013 standard in terms of non-metallic materials or the whole chair flammability. Though the requirements are more comprehensive, there are still deficiencies in EN 45545-2—2013 standard, the fire resistance test for seat nonmetallic materials and the combustion test of the whole seat are not completely corresponding, therefore the standard needs further

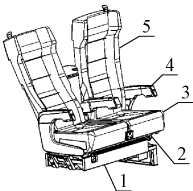
optimization.

Key words high-speed EMU; train seat; fire standards; nonmetallic materials; EN 45545-2—2013

Author's address Production R&D center, CRRC Tangshan Co., Ltd., 063035, Tangshan, China

随着我国高速铁路的快速发展,其车辆的防火安全已成为了一项极为重要的安全指标。座椅作为列车内典型的含有大量非金属材料(如面料、防火层、弹性填充材料、塑料扶手、塑料桌板、搭扣布等)的部件,具有数量大、分布广、直接与乘客接触等特点。一旦发生列车火灾,座椅的防火要求直接关系到火势的发展情况,因此提高座椅的防火要求对车辆的防火安全性能具有重大意义。

高速铁路列车标准动车组的二等座座椅主要由坐垫、靠背、底架、转架、扶手等组成,如图1所示。其中,座椅中的非金属材料主要涉及坐垫、靠背、扶手、折叠桌、油漆和少量电线等;坐垫和靠背的非金属材料主要包括蒙面、发泡、防火粘;折叠桌和扶手的非金属材料主要包括扶手前盖板、折叠桌和扶手上盖板等;转架和底架的非金属材料主要是油漆;底架围板防撞块为橡胶(约150 g)。此外,座椅中还有少量电线。本文主要讨论高速铁路动车组二等座座椅的防火标准问题。



注:1—底架;2—转架;3—坐垫;4—扶手;5—靠背

图1 高速铁路列车二等座座椅组成示意图

* 国家重点研发计划课题(2016YFB1200403)

1 座椅相关防火标准分析

对于轨道交通车辆非金属材料的防火标准,各国的测试标准及要求都有所区别。我国尚未形成完善的防火标准体系,没有防火等级分类,也没有针对不同线路制定相应的车辆防火要求。目前我国轨道交通车辆防火主要执行 DIN 5510-2—2009^[1]或 BS 6853—1999^[2]等标准。从 2018 年 1 月开始,欧盟范围内轨道交通车辆的防火上必须执行 EN 45545 系列标准。随着 EN 45545 在欧盟的强制执行,该标准凭借其优越性势必会成为我国轨道交通车辆行业中首选的防火标准体系。因此,我们需要尽快掌握 EN 45545 系列标准与现有标准的差异性,以便更好地掌握目前动车组车内使用的非金属材料对 EN 45545 标准的符合性。因此,本文依托高速铁路标准动车组二等座座椅防火要求的测试优化,开展对 EN 45545-2—2013^[3]标准的研究,以期早日建立我国自己的轨道交通车辆防火体系起到抛砖引玉的作用。

1.1 座椅非金属材料测试方法对比分析

座椅的防火要求主要分为两部分:非金属材料的防火要求和整椅燃烧的防火要求。目前,动车组客室二等座座椅非金属材料执行 TB/T 3237—2010^[4]的要求,整椅燃烧执行 DIN 5510-2—2009 的要求。表 1 为国内外常用防火标准对非金属材料的防火要求对比分析。

1.2 整椅防火测试方法对比分析

依据 DIN 5510-2—2009 和 EN 45545-2—2013,对整椅燃烧试验方法和评价指标的对比如表 2~4 所示。通常整椅燃烧试验需要考核四个指标,即热释放速率峰值(RHR_{Peak})、热释放量(W_{MARHE})、总产烟量(TSP)和火焰高度。表 4 中的 HL 代表防火等级,从 HL1 至 HL3,车辆的防火等级依次升高。

1.3 对座椅相关防火标准的分析结论

1) DIN 5510-2—2009 和 BS 6853—1999 对于非金属材料的防火要求比较全面,均依据线路条件确定了车辆防火等级、火焰蔓延、烟密度和毒性的要求。BS 6853—1999 较其他标准相对严格。但这 2 个标准发布时间较早,而动车组车内材料种类较多、结构多样,这 2 个标准难以全面涵盖。在我国,BS 6853—1999 主要在地铁车辆上应用较广泛,DIN 5510-2—2009 在高速铁路和地铁中都有应用,但欧盟范围内该标准已经废止。

表 1 常用防火标准中对非金属材料的要求对比

序号	标准	非金属材料的防火要求
1	EN 45545-2—2013	材料和部件的阻燃要求,首先分为列表产品和非列表产品。列表产品根据其位置和功能分为车内、车外、家具、电器和功能部件。针对每一个部分,再根据其位置和特殊功能进行细分;对于非列表产品,不同材料评价指标不尽相同,具有针对性。防火要求更全面(包括热释放速率、火焰蔓延、可燃性/点燃性、产烟浓度和烟气毒性)
2	NFPA 130—2017 ^[5]	材料的分类较粗,仅仅分为坐垫、纺织物、弹性密封材料;电缆和其他车辆部件仅对火焰传播指数和烟密度有要求
3	BS 6853—1999	按车辆防火等级和外露表面的朝向确定材料的防火要求(包括火焰蔓延、氧指数、烟密度和气体毒性)
4	DIN 5510-2—2009	按车辆防火等级和零部件安装位置确定材料的防火要求(包括可燃性、烟密度、熔滴和气体毒性)
5	TB/T 3138—2018 ^[6]	包括内饰材料和电线电缆的防火要求(包括氧指数、燃烧性、烟密度)。顶板、墙板、间壁、地板和行李架按外露面朝向确定材料防火要求,其他则按材料的性质或使用部位确定防火要求
6	TB/T 3237—2018	仅为动车组内饰材料的防火要求(包括氧指数、燃烧性、烟密度和烟气毒性)。总体上依据零部件使用位置确定材料的防火要求,但防寒材又按材料性质规定防火要求。所有材料的烟密度要求相同

2) NFPA 130—2017 没有车辆防火分级,对基础设施防火要求规定较多,但对车辆本身非金属材料的防火要求不够全面。该标准多用于北美项目,在我国轨道交通车辆上的应用较少。

3) EN 45545-2—2013 对非金属材料的防火要求更为全面、具体,有针对性地引入了热释放指标。材料热释放的大小直接反映了材料燃烧快慢及其规模,对于火灾的发展至关重要;另外,EN 45545-2—2013 由线路条件和车辆类别共同确定车辆防火等级,其分级更为合理。我国的轨道交通车辆正在逐步推行该标准。

4) TB/T 3237—2010 和 TB/T 3138—2018 对非金属材料的防火要求分类不够全面、分类规则不统一,且没有对部件整体的防火性能进行要求;TB/T

表 2 针对整椅燃烧试验的 DIN 5510-2—2009 和 EN 45545-2—2013 标准对比

标准	样件数量	火源	点火位置	座椅破坏位置
DIN 5510-2—2009	8 个	100 g 的纸垫 (热输出约 (7 ± 1) kW, 时间 180 s)	①座椅区破坏,3 个样件,坐椅面放纸垫点燃火源;②座椅区不破坏,3 个样件,坐椅面放纸垫点燃火源;③2 个座椅中间、底部点燃纸垫,1 个样件;④座椅角落、底部点燃纸垫,1 个样件	只有座位面开裂
EN 45545-2—2013	3 个	丙烷气体 (热输出约 (7 ± 1) kW, 时间 180 s)	座椅破坏,座椅面点火	座位面和靠背面都开裂

表 3 DIN 5510-2—2009 的整椅防火性能要求

测试工况	评价指标
座椅面点火	①从座椅底座表面至火焰最高点的高度不能超过 1 000 mm;②火焰必须在点燃后的 15 min 内自然熄灭;③火焰前端不能烧到座椅的 2 个侧面;④TSP ≤ 60 m ² (防火等级 2~4)
座椅底部点火	①损毁区域不得超过底座和靠背表面距边缘 50 mm 的区域;②火焰必须在点燃后的 10 min 内自然熄灭;③对于 2 个座椅之间的火源,从点火一侧起,损毁区域不得超过底座和靠背表面距边缘 50 mm 的区域;④TSP ≤ 60 m ² (防火等级 2~4)

表 4 EN 45545-2—2013 中不同等级的整椅防火性能要求 (R18)

评价指标	指标最大值/kW		
	HL1	HL2	HL3
W_{MARHE}	75	50	20
RHR_{Peak}	350	350	350

注:①试验期间,火焰扩散不得到达座椅面边缘或靠背;②试验期间,高于座椅面最高点的火焰高度不得超过 1 000 mm;③考虑到试验设备的安全性,若热释放速率峰值过高的话,则产品不符合要求

3237—2010 缺少对风挡和电线电缆的防火要求, TB/T 3138—2018 中虽然规定了内部骨架结构的防

火要求,但并没有明确是车内的哪些结构;这两个标准的评价指标不够全面、针对性不强,烟毒性要求明显低于 EN 45545-2—2013 的规定。

5) 各标准对整椅的防火要求:EN 45545-2—2013 仅考查热释放只在座椅面放置火源,火源位置单一、样品较少,座椅破坏位置为椅面和座椅背;DIN 5510-2—2009 考查指标较多,针对防火等级 2~4 级的要求限制了整椅燃烧的总产烟量,并要求在 15 min (或 10 min) 钟内自熄,火源位置和样品数量均较多,考查了座椅不同位置的防火性能,座椅破坏部位只有椅面。综合来看,DIN 5510-2—2009 对整椅的防火要求更全面。

2 基于 EN 45545-2—2013 的二等座座椅优化前后防火性能测试

按照 EN 45545-2—2013 标准,对二等座座椅所含非金属材料 and 整椅防火要求是否达到 EN 45545-2—2013 的 HL3 (车辆防火等级最高级) 进行评估。

2.1 现有座椅防火性能测试

测试样件如图 2 所示,从左到右依次为蒙面、发泡材料、防火粘、白细布、白绒布、扶手前盖板、折叠桌和扶手上盖板、油漆 + 金属基材、胶水 + 金属基材、橡胶、电线。

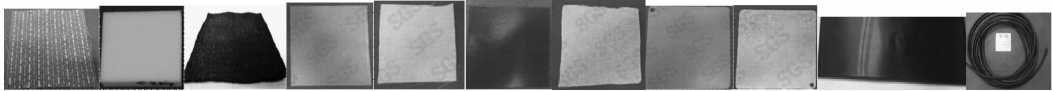


图 2 二等座椅的测试样件

二等座座椅非金属材料的评价指标主要包括:最大平均热释放速率(R_{MARHE})、烟密度(D_s , VOF)、毒性指标(CIT_g)、氧指数等。除橡胶和电线外其余 9 种样件的测试结果如表 5 所示,整个座椅防火要求测试结果如表 6 所示。其中, $R(n)$ 为 EN 45545-2—2013 防火要求,HL3 为车辆防火等级。合格即

表达为满足 $R(n)/HL3$ 。橡胶材料只考查氧指数,试验结果满足 $R24/HL3$ 。对电线的测试,考查了未燃烧部分和燃烧部分的情况,以及最大损毁长度透光率等,其测试结果满足 $R15/HL3$ 。

2.2 优化座椅防火性能测试

为了全面提高座椅的防火要求,本文针对上述

燃烧试验中发热、发烟量较大和毒性指标达不到 HL3 的发泡材料和塑料件等材料进行优化。在满足产品的物理性能和环保性能前提下,通过调整产

品材质配方等方法对材料进行改良。优化后的座椅非金属材料的测试结果如表 7 所示。整椅测试结果如表 8 所示。

表 5 优化前座椅非金属材料防火性能测试结果

材质	R_{MARHE} /(kW/m ²)	D _{S,max}	CIT _g (4)	CIT _g (8)	VOF ₄	D _S (4)	结论
蒙面	合格	合格	合格	合格	合格	合格	满足 R21/HL3
发泡材料	不合格(111.4)	不合格(266.1)	合格	合格	合格	合格	不满足 R21/HL3
防火粘	合格	合格	合格	合格	合格	合格	满足 R21/HL3
白细布	合格	合格	合格	合格	合格	合格	满足 R21/HL3
白绒布	合格	合格	合格	合格	合格	合格	满足 R21/HL3
扶手前盖板	不合格(152.6)	不合格(924)	合格	不合格(1.08)	合格	合格	不满足 R21/HL3
折叠桌和扶手上盖板	不合格(257.4)	不合格(924)	合格	合格	合格	合格	不满足 R21/HL3
油漆+金属基材	合格	合格	合格	合格	合格	合格	满足 R6/HL3
胶水+金属基材	合格	合格	合格	合格	合格	合格	满足 R6/HL3

注:表中参数的符号沿用相关规范。D_{S,max}——整个过程最大烟密度;CIT_g(4)——第 4 min 时的毒性指数值;CIT_g(8)——第 8 min 时的毒性指数值;VOF₄——前 4 min 内的烟密度累计值;D_S(4)——第 4 min 时的烟密度。 R_{MARHE} 的合格标准为≤50 kW/m²;D_{S,max}的合格标准为≤200;CIT_g的合格标准为≤0.75

表 6 优化前座椅整体防火性能的测试结果

样件序号	RHR _{Peak} / kW	RHR _{peak} 出现 时间/s	W _{MARHE} / kW	W _{MARHE} 出现 时间/s	火焰是否传播到 座椅或靠背边缘	火焰高度/ mm	结论
1	8.8	172	6.3	308	否	350	满足 R18/HL3
2	9.2	182	6.4	310	否	380	满足 R18/HL3
3	8.9	180	6.3	310	否	340	满足 R18/HL3
均值	9.0		6.3				

表 7 优化后座椅的非金属材料防火性能测试结果

材质	R_{MARHE} /(kW/m ²)	D _{S,max}	CIT _g (4)	CIT _g (8)	VOF ₄	D _S (4)	结论
发泡材料	1.4	198.3	合格	合格	合格	合格	满足 R21/HL3
扶手前盖板	20.7	41.0	合格	合格	合格	合格	满足 R21/HL3
折叠桌和扶手上盖板	2.5	126.0	合格	合格	合格	合格	满足 R21/HL3

表 8 优化后座椅整体防火性能测试结果

序号	RHR _{Peak} / kW	RHR _{peak} 出现 时间/s	W _{MARHE} / kW	W _{MARHE} 出现 时间/s	火焰是否传播到 座椅或靠背边缘	火焰高度/ mm	结论
1	10	168	7.6	218	否	340	满足 R18/HL3
2	11	170	8.2	215	否	310	满足 R18/HL3
3	11	186	8.1	216	否	300	满足 R18/HL3
均值	10.7		8.0				

优化后座椅防火测试过程如下:点火器点燃后120 s,由于防火粘良好的阻燃性能和附着性,火焰未渗透到发泡材料中;在300 s时撤去点火器,座椅表面火焰明显减少,基本上是残留的蒙面在燃烧,而且蒙面燃烧后未扩散;在531 s时火焰完全熄灭,整个燃烧过程发泡材料未被点燃,仅表面部分高温碳化。但是,座椅扶手的改进效果未能在整椅测试中体现出来。

2.3 基于 EN 45545-2—2013 防火性能测试结论

1) 座椅非金属材料中的防火粘、白细布、白绒布均未被点燃,阻燃性能良好;

2) 发泡材料、扶手板和小桌板材的热释放速率过高、发烟量较大,不满足 EN 45545-2—2013 的要求;优化后这些材料的 R_{MARHE} 分别下降了98%、86.4%和99.3%;烟密度 $D_{\text{S,max}}$ 分别下降了25%、95.5%和86.4%。其中,发泡材料的 $D_{\text{S,max}}$ 下降不够明显,仅能刚好满足 HL3 的要求;

3) 优化前后整椅燃烧测试结果均达到了 EN 45545-2—2013 的 R18/HL3 标准要求;

4) 受目前测试方法的限制,优化前后整椅测试结果对比中,扶手的改进效果没能在整椅测试中体现。优化后座椅的 W_{MARHE} 和 RHR_{Peak} 均比现有座椅的测试值有所提高,而且峰值出现的时间也有所提前,从这一点来看,优化后的发泡材料很可能在阻燃性能提高的同时,其传热性能也较优化前有所提升。

3 结论

1) 二等座座椅使用了大量的非金属材料,这是控制高速列车动车组发生火灾的关键部件。无论是对整椅还是座椅非金属材料进行的防火测试,相对于 EN 45545-2—2013,目前常用的 TB/T 3237—2010 和 DIN 5510-2—2009 都不够全面,没有对材料和部件热释放指标进行考查,其烟毒性指标要求也较 EN 45545-2—2013 低。

2) EN 45545-2—2013 中对整椅的燃烧测试火源设置单一、样品数量较少,尤其整椅测试期间,在座椅没被完全点燃时,扶手的改进效果没能在整椅测试中体现出来。优化前扶手等部分非金属材料虽然不能满足标准最高要求,但是优化前整椅测试结果却是满足标准最高要求的,因而,单个材料的优化并不能跟整椅燃烧测试完全对应。这些都说明

明了该标准中整椅燃烧测试方法仍不能全面考查座椅各个部位的防火性能。

3) 整椅燃烧的试验表明,阻燃粘即使在破坏的情况下仍具有良好的阻燃和附着性能。单纯针对坐椅面着火的情况,目前的座椅方案具有良好的防火效果。

4) 我国的防火标准体系还需要不断地完善。目前 TB/T 3237—2010 也在进行修订,EN 45545-2—2013 也有一定的局限性。2018年6月欧盟正式出版了 EN 16989—2018^[7],对成品座椅燃烧测试做出了详细的规定。此标准将作为整椅燃烧性能测试方法,与 EN 45545-2—2013 的新版本同时实施。此外,EN 16989—2018 将气体火源的功率由7 kW增大到15 kW,并对整椅燃烧指标增加了总产烟量的要求。

5) 未来在紧跟欧洲标准的同时,还要结合我国轨道交通车辆运行线路的情况和车辆设计的类别,制定相应的车辆防火等级。可以借鉴欧洲标准的分类方法,进一步细化完善车辆非金属材料的分类和评价指标,增加车辆结构耐火、电气防火要求、车辆紧急功能和应急疏散等方面的规定,使之形成完整的轨道交通车辆防火标准体系。

参考文献

- [1] 德国标准化研究所车道和铁路机车标准委员会. 铁路车辆预防防火: 第2部分 材料部件燃烧特性-分类、要求和检验方法: DIN 5510-2—2009[S]. 柏林: 柏林 Beuth 出版社有限公司, 2009:8.
- [2] 英国 BSI 标准委员会. 旅客列车设计和结构防火实施法规: BS 6853—1999[S]. 伦敦: 英国标准协会, 1999:1.
- [3] CEN 标准委员会. 铁路应用 铁道车辆的防火保护 第2部分: 材料和零部件防火要求: EN 45545-2—2013[S]. 布鲁塞尔: 欧洲标准协会, 2013:8.
- [4] 中华人民共和国铁道部. 动车组用内装饰材料阻燃技术条件: TB/T 3237—2010[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2010:1.
- [5] NFPA 标准委员会. 固定轨运输系统和有轨客运系统: NFPA 130—2017[S]. 马萨诸塞州昆西市: 美国消防协会, 2017:24.
- [6] 中华人民共和国国家铁路局. 机车车辆阻燃材料技术条件: TB/T 3138—2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018:1.
- [7] SGS 通标标准技术服务有限公司. 欧盟轨道车辆用乘客座椅推出新防火标准-EN 16989—2018 [EB/OL] (2018-12-11) [2019-01-15]. https://mp.weixin.qq.com/s/W4oSYEecmS9eB_sNmtO91w.

(收稿日期:2019-02-18)