

济南地铁 1 号线钢化玻璃自爆梳理及原因分析

任 飞¹ 王振华²

(1.2. 济南轨道交通集团第一运营有限公司 山东 济南 250000)

DOI:10.12238/jpm.v3i2.4656

[摘要] 本文通过对济南地铁 1 号线试运营以来全线车站钢化玻璃自爆情况的梳理及数据统计, 分析了其内在机理及诱因, 提出了降低钢化玻璃自爆率的建议措施及运营维护期间降低安全隐患的技术措施, 并据此建立了此类故障处理机制, 对同类问题的预防和应对具有一定的参考价值。

[关键词] 玻璃自爆; 内在机理; 处理机制

Abstract: Through the combing and data statistics of the self-detonation of tempered glass in all stations since the trial operation of Jinan Metro Line 1, this paper analyzes its internal mechanism and inducements, puts forward the recommended measures to reduce the self-detonation rate of tempered glass and the technical measures to reduce safety hazards during operation and maintenance, and establishes such a fault handling mechanism accordingly, which has certain reference value for the prevention and response of similar problems.

Keywords: glass self-detonation; internal mechanism; processing mechanism

1 引言

济南地铁 1 号线是济南开通的首条地铁线路, 位于济南西部城区, 全长 21.6km, 共设置 11 座车站, 其中高架站 7 座, 依次为工研院、创新谷、园博园、大学城、紫薇路、赵营、玉符河, 地下站 4 座, 依次为王府庄、大杨、济南西站、方特。

车站整体体现“一站一景、和而不同”的设计理念, 秉承泉城济南独有的儒家中庸之道, 专注于每个站点的特色设计, 车站侧倾的外墙近屋顶处向上收起, 中间辅以印花玻璃进行采光, 外墙部分清水混凝土与竖向玻璃相结合增强通透感。因玻璃集采光、景观、围挡于一体具有较强的装饰性, 同时满足人们多元化的审美建筑需求, 被广泛应用到高架站立面及屋顶、地下站出入口、疏散通道等位置, 全线各类钢化玻璃共设置约 15812 块。

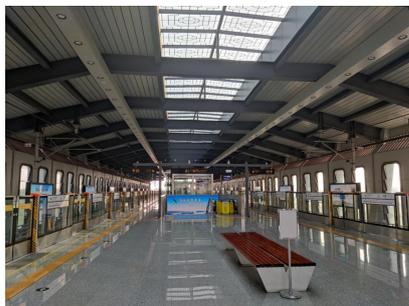


图 1 高架站顶棚及百叶窗

随着钢化玻璃在地铁车站的大量使用, 其作为建筑材料存在的弊端也逐渐暴露, 一方面玻璃自爆及其造成的面板高空脱落对地铁乘客及设备带来难以估量的危害, 另一方面自爆后的玻璃若不能够及时更换存在安全隐患的同时也影响整体车站的装饰外观。自 2019 年试运营以来, 经统计全线玻璃自爆故障共发生 251 项, 自爆玻璃占总数的 1.6%, 远高于行业千分之三自爆率的参考值, 本文将结合现场情况, 分析其内在机理及诱因, 同时提出此类故障处理措施及改进建议。

2 玻璃自爆情况梳理

2.1 设计情况

全线车站玻璃主要分布在高架站顶棚、站台层百叶窗、站厅层铝合金窗、空调候车室, 高架及地下站幕墙、室内外垂梯、客服中心、站内栏杆、挡烟垂壁等位置, 除挡烟垂壁及部分门体玻璃外, 均采用双层钢化夹胶玻璃, 玻璃单层自爆时仍可保证整体不脱落。

2.2 自爆情况梳理

为使分析数据更加客观, 较为真实的反应地铁车站玻璃设备状态, 选取具有完整统计数据的 2020 年、2021 年两个年份分别从玻璃类型、所属车站、所处时间三个维度进行分析, 2021 年故障 125 项, 2020 年 104 项, 共计 229 项。

按照玻璃类型维度梳理, 可划分为顶棚、站台层百叶窗、

栏杆等 9 种类型，统计情况如下图所示。其中 2020 年自爆占比较高的分别是站台百叶窗 41%、栏杆 18%、幕墙 15%、顶棚 14%，四项合计占比 88%，2021 年自爆占比情况也基本一致，此四项占玻璃自爆总数的绝大部分。同时根据自爆率统计情况，除站厅层铝合金窗这一类别，其余类别的年度自爆率均高于千分之三这一参考值，自爆率在两个年度相比较总体成下降趋势。

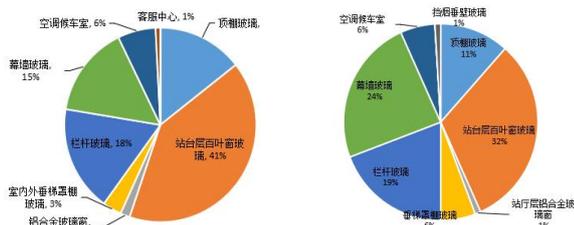


图 2-1 玻璃类型分布情况

按照所属车站维度梳理，全线共有工研院、创新谷等 7 个高架车站及王府庄、济南西站等 4 个地下车站。2020 年度自爆玻璃均发生在高架站，且分布情况比较均匀；2021 年度 87% 的玻璃自爆发生在高架站，每个车站的分布情况也较为平均。

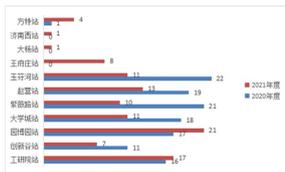


图 2-2 所属车站分布情况 图 2-3 所处时间分布情况

按照所处时间维度梳理，根据自爆玻璃发生月份进行统计分析，两个年份数据趋势基本一致，由图自爆情况集中于 5 月至 8 月温度较高的季节，且从 1 月至 12 月有明显的周期波动，1 至 3 月较为平稳，4 月起逐步上升到 6 至 7 月达到最高峰后，逐渐降低，夏期明显高于冬期，其中全年温度较高的 7 月份出现自爆情况最为突出。

3 自爆机理及诱因

3.1 自爆机理

钢化玻璃自爆是指在正常情况下无外力直接作用下玻璃自动发生破碎的现象。一种是由玻璃中的可见残缺引起自爆，如玻璃原材中混入砂砾、气泡等可见杂质等，另一种是由玻璃中不可见缺陷引起的自爆，如玻璃生产过程中混入的硫化镍类杂质，其在不同的两个相态转变产生的应力使整块玻璃自爆。由硫化镍引起的玻璃自爆碎片呈放射状分布，放射中心有与蝴蝶翅膀相似的裂纹，同时在共用边的部位有黑色斑点物质存在，此特征俗称为“蝴蝶斑”，此特征现象为现场判断玻璃自

爆的基本方法之一，实际现场查看的自爆玻璃情况多为此种情形。

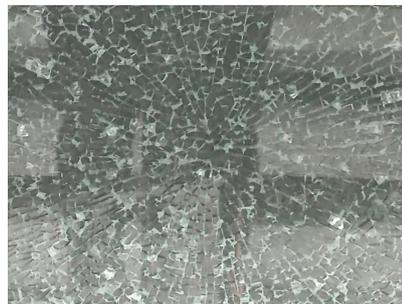


图 3 玻璃自爆“蝴蝶斑”

3.2 自爆诱因

根据对玻璃自爆机理的研究，同时结合现场数据统计分析玻璃自爆又具有其一定的规律性，存在温度因素、设计及安装因素、列车振动因素等多种诱因，造成玻璃自爆情况较为频繁的现实情况。

3.2.1 玻璃质量因素

玻璃自爆首先应从自身质量考虑，在前述玻璃类型维度统计分析中，其中 9 类玻璃除站厅层铝合金窗此类外，另外 8 类玻璃的年度自爆率若以千分之三的自爆率为参考标准，几乎所有类别玻璃自爆率均高于此项标准，其中空调候车室、顶棚玻璃的自爆率为参考值的 5-6 倍，由此不难推断此批次的玻璃存在质量缺陷或出厂前未进行均质处理，未将自爆率降低到一个合理的区间。玻璃质量主要内容为原片是否平整，厚度是否均匀，玻璃内存在的夹渣和气泡是否在规定值范围内以及是否符合相关规范规定的标准。

3.2.2 列车振动因素

高架站顶棚、站台百叶窗、空调候车室位于车站轨行区的上方及临近位置，距离列车轨道位置相对较近，从玻璃类型维度统计数据可知，此三项玻璃自爆无论从数量及自爆率方面都居于高位。虽然高架站在轨道减震方面采用了双层弹性垫板减振扣件形式的减震措施，但列车进出站时列车四周仍然可以感受到明显的振动，车站整体为混凝土结构，列车振动通过刚性材料传播距离较远。不难推断列车振动因素也是导致高架站玻璃自爆情况比地下站玻璃自爆情况更为严重的原因之一。

3.2.3 设计及安装因素

从玻璃类型维度统计数据可知，幕墙类玻璃自爆占比也较大，经分析及查阅设计图纸，幕墙采用隐框设计为美观将单片玻璃面积设计的比较大，为了抵抗风压增大了镀膜玻璃厚度，玻璃尺寸及厚度越大，其自爆概率会相应提升，同时玻璃安装过程中存在造成的炸口、表面腐蚀、崩边、边缘处理不到

位等隐藏缺陷等情况均为不利因素。

3.2.4 温度因素

温度也是诱发自爆不可忽视的一方面原因,按所处时间维度进行统计分析,5月至8月自爆数量明显高于其他月份,其中全年温度最高的7月尤为典型。一是玻璃在阳光下吸收热量,温度升高膨胀产生热应力,应力超过本身抵抗能力诱发自爆;二是中空部分在升温降温过程中,易产生内外温度差诱发自爆;三是中空玻璃采用的结构胶及密封胶其受热承力能力不佳,也易诱发自爆。

3.2.5 其他因素

钢化玻璃自爆是一个复杂的多因素多维度叠加共同作用的结果,有其的必然性也有其一定的规律性。上述诱发因素与玻璃自爆有着较强的相关性,其他如风荷载和极端状态下的地震作用等也是诱发自爆的其他因素。经查阅2020年1号线高架段所在济南市长清区共发生震级大于2.0级地震4次,2021年发生地震大于2.0级地震1次,此因素也是导致高架车站出现玻璃自爆率较高的原因之一。

4 建议及处置

4.1 质量及安装把关

在玻璃质量把控方面,一是针对浮法玻璃原片,后续同类工程中应当选用优质厂家,做好品控,出厂前做好匀质处理,从源头降低钢化玻璃自爆率;二是玻璃加工过程中边缘进行倒角磨边处理,减小应力集中,同时做好成品保护,防止蹦边、掉角。在玻璃设计及安装方面,一是在设计过程中合理选用结构形式充分考虑温度及列车震动荷载影响,同时考虑主体结构在风荷载或地震作用下产生层间的变化使玻璃破裂,二是强化玻璃夹胶设计,确保当单层玻璃破碎后夹胶层粘合作用使得破碎后玻璃仍具有一定的整体性,碎渣部分不会随之掉落;三是在施工及使用过程中应采取必要的构造措施来防止热炸裂,三是安装过程中严格按照设计图纸进行施工,做好施工过程中的质量把控。

4.2 机制化处理措施

钢化玻璃自爆现象,是由钢化玻璃本身的材质特性和生产加工方式造成的,同时易受外界因素诱发生的一种特性,尚不能有效解决及避免。考虑这种特性,为防止玻璃自爆带来的安全隐患,作为地铁设备运维维保部门需要建立有效的机制化的处理措施。一是单层玻璃自爆后,虽按照自爆概率推算双层钢化玻璃同时自爆概率极低,但双层玻璃同时自爆危险性极高,会使得玻璃整体掉落,为应对此二次自爆情况,在玻璃更换之前应在破碎侧增设玻璃防爆膜(防飞溅膜)等技术措施降低玻璃碎渣飞溅风险;二是按照玻璃设计储备一定数量的备品备件或约定专业委外单位签订专项维保合同,加快玻璃更换周期;三是玻璃自爆后及时设置警示标示及围挡,做好乘客解释约定维修服务承诺时间,减少舆情风险。

5 小结

钢化玻璃自爆作为一个无法完全避免的问题,随着时间的推移状态将逐步趋于稳定,在运营初期发生频次较高,但其一旦发生又具有较大的危险性,需要持续的跟踪关注。根据前文所述的自爆机理及诱因,在后续运营维护过程中按照机制化处理措施加强故障响应,以消除其带来的安全隐患,同时对新线建设提供基础数据支持,对同类地铁运营维护具有一定的参考借鉴价值。

[参考文献]

- [1] 包亦望,刘正权. 钢化玻璃自爆机理与自爆准则及其影响因素[J]. 无机材料学报,2016,31(04):401-406.
- [2] 孟庆鹭. 玻璃幕墙玻璃自爆的原因分析与预防措施研究[J]. 门窗,2016(10):14-15.
- [3] 彭国容,熊渝兴. 建筑用钢化玻璃自爆机理及预防措施研究[J]. 重庆建筑,2011,10(08):12-15.
- [4] 朱璇. 玻璃幕墙的主要风险及防范对策研究[D]. 西安建筑科技大学,2016.

建筑节能环保型房屋工程的保温材料选择分析

朱利捷 刘宏梅

(长庆工程设计有限公司 陕西省西安市 710018)

DOI:10.12238/jpm.v3i2.4657