

摘 要

随着客车需求档次不断提高,客车内装材料档次和种类也在不断变化,对内装材料的质量要求也越来越高;各种花色的防火板以其外观高档及阻燃性被客车设计者所认可,在我国的客车内装材料中被大量使用。近几年来,随着客车的高档化,一些部件的断面也由过去的直角、直面向流线、曲面发展,所选装饰性防火板也随之由过去的直板向弯板发展;随着防火板中客车应用的不断扩大,也发生不少开裂的问题。同时,也由于我国客车制造的品种和结构设计也在日新月异,某些结构还没有经过时间的验证就纷纷上线运行,有些部件仅是家具业的翻版,以及我国车辆走行区间环境变化差异较大,从北方严寒干燥到南方的酷热潮湿。这种情况也导致了内装材料的开裂问题发生。2000年以来防火板批量开裂质量问题不仅给客车制造厂家造成巨额损失,同时也降低了制造厂家的质量信誉。因此研究防火板开裂的原因,并根据这些原因制定有效控制措施,解决开裂质量问题具有十分重要的现实意义。同时研究此种材料,还将对于判定车辆内饰材料的长远发展方向有重要的意义。将来的车辆内装材料是向木工业发展还是向玻璃钢复合材料、或工程塑料件方向发展?此次研究目的在于给予防火板件客观评价,为车辆制造业对内装防火板件的取舍提供科学依据,促进我国车辆制造的内装水平全面提升。通过对各个防火板厂家制造工艺过程、防火板粘接加工过程、不同车型的车辆设计装配过程、以及车辆运行的环境等各个环节进行深入细致的调研及分析,我们认为只要积极采取有效控制措施,防火板在一定时期内仍将是我国车辆内装的主要材料之一。通过大量试验分析认为防火板开裂原因是多方面造成的,但主要原因还是防火板自身质量与车辆结构及运行环境不匹配。对开裂问题的控制必须从设计、原材料、工艺加工全面系统地加以控制。通过对防火板的制造工艺、原料进行分析,以及对试验数据进行数理统计,总结出车辆用防火板不应拘泥于国标和铁标,应制定合理的性能指标要求:直板抗拉强度应 ≥ 85 Mpa,弯板抗拉强度应 ≥ 90 Mpa;设计选材必须根据车辆运行的客观环境出发因地制宜,对于诸如兰州局等干燥特殊区域运行的车辆在防火板的尺寸变化率和强度上应有特殊的要求;其次在设计结构上对于高承载件应使用直板结构,或用厚质可弯防火板,同时注意超大面积的墙板

应采取分块拼接的方式消除应力；在可弯板使用时设计必须考虑弯板最大可弯半径，如有特殊要求必须确定防火板的可弯性能指标；工艺上防火板粘接过程中应使用 PVAC 乳胶粘接；防火板必须在规定的温度、湿度条件下进行熟化；钉眼、开孔加工时应按工艺规定严格控制。只要生产厂家按此要求进行落实，防火板开裂即可避免，客车内装质量就会得到保证。

关键字：客车 防火板 开裂

Abstract

With the improvement of the standard of the coach demands and the changes of the standard and kinds of the internal materials, the quality demand of the internal materials is higher and higher. All kinds of fireproof boards of designs and colors and the high standard of appearance are approved by coach designers and are used a lot on internal materials in our country. In recent years, sections of some parts have changed from right angles and vertical surface to streamlines and curved surface; the fireproof boards chosen for ornaments have developed from vertical boards to curved boards. With the increasing applications of fireproof boards to coaches, cracking has happened a lot. Meanwhile, because the kinds and structure designs of our coach manufacture have change day after day, some of structures having not been tested for a long time have come into operations. Some parts are just duplication of furniture. The operation condition varies a lot as driving, from chilliness and dryness in the north to heat and moisture in the south which causes the cracking. By 2000, the problem of cracking has not only brought dollars of loss to manufacturers, but also decreased the quality credit of manufacturers. So it is of great significance researching the reasons of cracking and working out an effective measure according to the reasons to resolve the problem. At the same time researching the materials has great significance in the long run of the decision of the internal materials. Do the internal materials for coaches change to carpentry or glass fiber reinforced plastic composite material or engineering plastics in future? This research aims at evaluating the fireproof boards objectively and providing scientific basis to alternative of internal fireproof boards for rolling stock building which will improve the level of internal ornaments in the rolling stock building in our country. Through the deep and meticulous research and analysis of the technological process of the fireproof boards manufacturers, work piece process of cementing of fireproof boards, assembly process of different kinds of coach designs and the operating conditions, we draw a conclusion that fireproof boards will still be the main material in certain

time if we take an effective measure .A large number of experiments prove that cracking of fireproof boards is due to many aspects .But the main cause is still the fireproof boards themselves and the non-matching between the coach structures and the operating conditions .To resolve the problem of cracking ,we must control the integrated system of designs ,raw materials and technological process ,Through the analysis of the technological process, raw materials and mathematical statistics of the experiments ,we conclude that the use of fireproof boards should not be restricted to GB or railway standard but make a reasonable performance index: the tensile intensity for vertical boards should be over 85 Mpa , the tensile intensity for curved boards should be over 90 Mpa ; the design for materials should vary according to the objective operation condition ;idiosyncratic demand for the rate of mutation for size and intensity is needed in the wet area such as Lanzhou ; and then when designing the structures we should use vertical boards structures or thick ,curved fireproof boards to the high weight .Meanwhile ,we should eliminate the stress by the way of blocks joint to the super large area boards ;when using the curved boards ,max curved radius must be considered .If it is necessary ,we should make sure the curved performance index of the fireproof boards ;PVAC adhesive bonding technology is needed in technological process .Fireproof boards should be cured at prescribed temperature and in the prescribed humidity condition ;nail hole and starting a hole should control strictly according to the technological process .If only manufacturers finalize in accordance with it, they will avoid fireproof boards cracking and the quality of the coach internal ornament will be guaranteed.

Key word: Car, Fireproofing Board, Crack

第一章 引言

1.1 客车内装饰的发展趋势

随着客车需求档次不断提高，客车内装材料档次和种类也在不断变化，对内装材料的质量要求也越来越高。中国铁路客车近二十几年经历过的几次变化：老 22B 型车内就是简单防火板贴面件的墙板间隔或刷漆的铁板件等，其仅仅满足了当时的使用功能，随着车型改变，内装件更注重功能与装饰并重。25B 型车内装产品逐步发展为手糊玻璃钢件侧墙板和塑贴板胶合板件的间壁组合的内装，铁件也发展为喷塑件，内装中基本消除了刷漆的内装件；25G 型车硬座硬卧车内仍然以直板塑料防火板贴合的胶合板件为主，但其花色的翻新已层出不穷，近 3 年直板防火板件发展为塑料封边件，在胶合板的端面上起到了美观的作用；并且在一些高档车如餐车和软卧车上应用了弯板件后成型防火板贴面的胶合板，一改传统中的板材料的平直端面，墙板外露边线变为小圆弧的防火板件。在 25K 车型中又发展流线型大部件胶合板产品，如走廊的圆弧壁子等产品。这期间车辆内装中其它的材料虽然也曾应用，如 PC、ABS 工程塑料类、模压玻璃钢制品复合材料的墙板、顶板等，但这些车型中胶合板粘防火板件仍占有相当重要的角色。由于各种花色的防火板以其外观高档及阻燃性被客车设计者所认可，其一直是我国的客车内装材料中的主角而被大量应用。近几年来，随着客车的高档化，内装材料逐渐向高档家具化方向发展，所选的防火板从过去的单一花色到现在多色样、高光、亚光、麻面、高防火等多品种方向发展；一些软卧车的墙板和门板均向高档化方向发展，一些部件的断面也由过去的直角、直面向流线、曲面发展，所选装饰性防火板也随之由过去的直板向弯板发展；而被装饰的基材也从过去单一的胶合板发展为铁板、铝板、铝蜂窝制品、复合材料等。

1.2 客车用防火板开裂现象

在 2000 年下半年,从 CCK139 快速车开始,新出厂的客车客室墙板和顶板相继发生大批量的开裂现象,并很快扩散到其他车型;开裂现象最初主要集中在灯口或其它开口点等直角处,以此为起始点,顺防火板的纤维方向延伸,形成裂纹,严重时导致整张防火板自上而下完全开裂,到 2000 年底至 2001 年初,开裂现象更加严重,外端墙板和客室间壁防火板都产生了开裂现象,而且开裂的数量很大;2001 年使用广州劲志防火板粘的上海高质车的餐车和软卧车,在餐车的走廊处的一块顺间壁防火板从上部的钉口处自上而下开裂,并且在顺着纤维的方向上收缩了 3~4mm 左右,而在包间间壁处防火板纤维方向上每边收缩 1~2mm 左右。2001 年冬季,用双面胶膜粘接的锅炉室铝门,由于室内外温差变化较大,防火板的膨胀后由于铝边阻隔,防火板在门中间鼓包。2001 年上海局车采用“3M”胶膜粘接防火板的外端墙钢板,由于南北方温、湿度变化较大,发生大面积鼓包问题;2000 年,兰州局生产的软卧车在包间的门后镜的边角处产生裂纹,长度在 90~300mm 不等;2002 年 9 月份为兰州局生产的新造客车在嘉峪关段还未开通运行时,25B553226、5547462、553566、553567、674626、349298、349290 硬卧车、软卧车的平顶板的灯口处和墙板相继产生开裂,2002 年 11 月份生产的 K80 车走廊处的弯形间壁的基材胶合板圆弧处采用梯形或三角形胶合板条拼接,拼接后存在胶合板条之间缝隙较大、胶合板条粘接不牢和内圆弧面欠材等现象,导致圆弧处后成型防火板与胶合板基材粘接不牢和发空等问题,最终导致了防火板产生裂纹;2003 年 2 月生产的沈局编组 K54 次 RW19K5538886 车 3、5、7 包间顶板开裂,7 包间裂长 1300mm;YW25G674542 车乘务员室墙板裂长 600mm;YW25G674563 车乘务员室墙板裂长 700mm;YW25G674547 车乘务员室墙板裂长 700 毫米,1 号卧铺顶板裂长 1200mm;2003 年 4 月出厂的配属银川车辆段 RW19K553956 高包车墙板防火板鼓包、裂纹 3 处:50\30\20,2003 年 2 月生产的 12 辆专运处高包车墙板出现不同程度的大面积严重裂纹;以下列表(1-1)说明新造客车近几年来产生的典型的防火板开裂质量问题。

表 1-1 近年来防火板典型开裂质量问题一览表

生产厂家	型号	时间	开裂现象
江苏美亚	D116	2000 年下半年起	自 XL25K 型车开始, 顶板, 墙板, 间壁等件从灯口或开口处呈放射性裂纹
广州劲至	2904	2001 年	上海高质车餐车顺间壁自钉孔处通长裂纹, 并在纤维方向上收缩 3~4mm 左右, 包间间壁防火板收缩 1~2mm 左右。
广州劲至		2000 年	兰州局软卧车包间门后镜边角处放射性裂纹, 在更换防火板后仍有部分开裂问题。
大庆	270	2001 年	在 25G、25K 型车外端墙板、间壁、门板等处产生大面积的开裂现象, 放射性裂纹较多, 数量较多。
韩国唯信	1547	2002 年	2002 年 9 月份兰州局新造客车在未开通前在顶板和墙板产生大量放射性裂纹, 软卧车的间壁、外端墙板等处多处裂纹
富美家	933	2002 年	
威盛亚	2904	2002 年	K80 餐车走廊处弯型间壁圆弧处采用后成型防火板, 由于采用手工操作粘接不实, 导致大圆弧处产生开裂。

从表 1-1 中, 我们可以看出, 防火板开裂已成为批量质量问题, 防火板开裂问题对工厂的生产和产品质量都带来了极坏的影响, 已经到了非解决不可的地步了。以下是裂纹图片 (图 1-1):

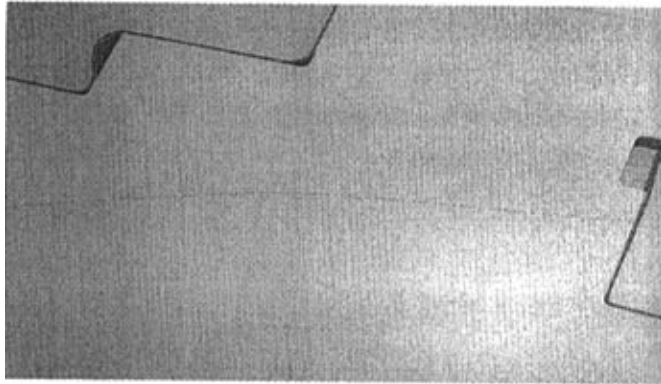


图 1-1 裂纹图片

1.3 课题的提出

随着国内车辆内装档次的不断提升，防火板在客车装饰装修需求的不断扩大，国内国外的一些企业纷纷加入到这个行列中，由于其质量水平参差不齐，在实际应用时发生不少开裂的问题。同时，由于我国客车制造的品种和结构设计也在日新月异，某些结构还没有经过时间的验证就纷纷上线运行，有些部件仅是家具业的翻版，以及我国车辆走行区间环境变化差异较大，从北方严寒干燥到南方的酷热潮湿，客车均要经历。这种情况也造成了内装材料的开裂问题。这种质量问题的出现给客车制造厂家维修更换带来诸多的麻烦，同时也降低了制造厂家的质量信誉。

针对客车中出现的防火板质量问题，我认为应从设计选材及车辆运行的客观环境出发，不拘束于普通家具装饰材料，考察研究防火板的应用情况及技术工艺状况，进行防火板的失效分析，同时制定改进符合车辆自身特点的技术指标和加工工艺，确保内装质量的提高和客车内装制造水平进步。

本文拟对防火板在车辆部件的运用设计、运行环境、使用状态、车辆装配工艺、板材制造工艺、板材加工工艺、物资储存等全方位、多方面的研究分析，并提出改进措施，研究内容包括：

- 1、应力研究分析包括静态应力研究和动态应力研究；
- 2、材料本身的研究；
- 3、研究防火板的后加工工艺过程；
- 4、对车辆墙板、门、顶板的设计研究；
- 5、对车辆运行的环境及状态进行研究；
- 6、对车辆装配过程进行研究。

1.4 课题的工程使用意义

2000 年以来防火板批量开裂质量问题不仅给客车制造厂家造成巨额损失，同时也降低了制造厂家的质量信誉。因此研究防火板开裂的原因，并

根据这些原因制定有效控制措施，解决开裂质量问题具有十分重要的现实意义。据统计，目前各铁路车辆制造修配公司都先后批量发生过开裂的质量问题，这已不是一家工厂或公司的问题，而是全路面临需急迫解决的惯性质量问题。仅长春客车厂近两年里就因防火板开裂而拆修损失近千万元。因此，该课题如能解决好质量问题，其意义不但是创造良好的经济效益，而且也有深远的社会意义。

通过对各个防火板厂家制造工艺过程、防火板粘接加工过程、不同车型的车辆设计装配过程、以及车辆运行的环境等各个环节进行深入细致的调研及分析，针对各个环节积极采取有效控制措施，防火板开裂是能完全得以解决的。

同时研究此种材料，还将对于判定车辆内饰材料的长远发展方向有重要的影响。将来的车辆内装材料是向木工业发展还是向玻璃钢复合材料、或工程塑料件、铝制品方向发展？此次研究目的在于给予防火板件客观评价，为车辆制造业对内装防火板件的取舍提供科学依据，促进我国车辆制造的内装水平全面提升。

第二章 原材料对装饰板质量的影响

防火板正式名称叫高压装饰板，是用多种专用纸张，分别浸渍热固性三聚氰胺树脂、酚醛树脂等合成树脂，经干燥后，制成各种浸渍纸，并按照一定的要求组坯，再经热压（单位压力不低于 4.9MPa），而制成的薄片状装饰材料。

制造高压装饰板的原料主要是热固性合成树脂和各种原纸。高压装饰板习惯上又称为塑料贴面板、塑面板、也有叫纸质装饰层积板、装饰层积塑料板等名称，按照国家标准（GB7911.1-87）称为热固性树脂装饰层压板，简称装饰板，产品标记 ZC。根据新的国家标准（GB/T 7911.1-1999）称为热固性树脂浸渍高压装饰板，简称高压装饰板。产品代号 HPL^[36]。

一般情况下，高压装饰板是三聚氰胺树脂浸渍的表层纸及装饰纸、酚醛树脂浸渍的芯层纸，这几种树脂浸渍纸按不同的产品结构和功能要求组合，压制成薄片状装饰材料，厚度规格在 0.5-5.0mm，通用产品厚度为 0.8-1.5，产品的幅面尺寸为 1220*2440；1220*3050；1220*3660；915*1830。

车辆主要应用 1mm 厚和 0.7-0.8mm 厚的两种规格产品。厚度为 1mm 的单面高压装饰板，一般需要用几张 130g/m² 原纸组成，正面有装饰图案。这种高压装饰板比较薄，不能单独承受压力，主要用来胶贴在胶合板上。如果单面使用，由于收缩系数不等，再加上板材结构不对称，所以当气候干湿变化时，往往使产品干缩和湿胀应力不均，易发生翘曲问题。因此客车上一般应用双面粘板的产品，主要用于车辆的墙板、顶板、间壁上。这种厚度为 1mm 产品我们一般称之为直板。而 0.7-0.8mm 厚板，主要用于弯形板材的装饰面上，因此我们多称之为弯板。

对于高压装饰板产品分类，如按结构可以分为单面高压装饰板、双面高压装饰板、浮雕高压装饰板、柔光高压装饰板、特殊高压装饰板（包括后成型高压装饰板、耐燃高压装饰板等）；车辆常用阻燃型单面高压装饰板、后成型高压装饰板。

2.1 树脂的影响

防火板，是由表层的装饰纸浸渍三聚氰胺树脂和芯层纸浸渍酚醛树脂后，在温度约为 150℃以上、6Mpa 以上的压力下胶合在一起的层压板，其简单的生产工艺流程如下：

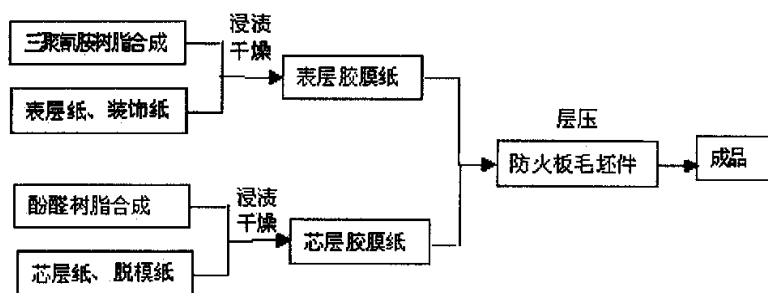


图 2-1 防火板生产工艺流程图

2.1.1 防火板生产中常用的树脂及其特性

三聚氰胺甲醛树脂 简称三聚氰胺树脂。它作为装饰板树脂，有一定的优点，有较高抗热和防潮性能，以及三聚氰胺树脂在灯光下光亮透明的真实感，无臭味和无色性能，使其在饰面人造板的应用上具有很多优越性。主要用于浸渍表层原纸、装饰原纸和覆盖层原纸，其浸渍纸张时很容易渗入到纸张纤维的毛细孔内部，而后在加热和加压条件下，得到透明的具有独特性能的固化树脂层。其质地坚硬、无色无毒，可以任意着色，具有耐沸水、耐划伤、耐腐蚀、耐溶剂等性能，特别是在其分子中含大量的氮，在燃烧过程中，分解时可以逸出，使制品具有熄灭性。[36]

三聚氰胺的缺点是，硬化后产品较脆，树脂的流动性较差，树脂储存期短，因此一般使用的是改性三聚氰胺树脂。改性树脂的胶层热压时收缩量小，所以改性树脂胶膜纸贴面的防火板稳定性较好，不易翘曲。

三聚氰胺的分子式： $C_3H_6N_6$

相对分子质量：126

三聚氰胺甲醛反应方程式:

三聚氰胺+甲醛 \rightarrow 羟甲基三聚氰胺

树脂化的反应过程可分为三个阶段[8、13]。第一阶段:三聚氰胺、尿素、苯酚这些化合物与甲醛反应,生成水溶性的低聚物。此阶段是在反应釜中完成。第二阶段:这些低聚物浸渍原纸,在热的作用下,蒸发一部分水分和小分子溶剂等,这时树脂分子量较大,水中一般不溶,但还是可溶解许多有机溶剂。这个过程是在浸渍干燥机中实现的。第三阶段:树脂在压力和热的作用下进一步提高分子量,而成为不溶不熔的坚硬固体树脂。最后阶段的实现,可以用不同浸渍纸组合成坯,在热压机中经高压高温作用,树脂进一步缩聚而最终固化,把几张浸渍纸牢固的粘接在一起,而制成高压装饰板。

三聚氰胺甲醛浸渍树脂的主要组分是甲醛水和三聚氰胺,它们的质量和投料比例决定树脂的质量、树脂的稳定性及其它性能。配方中的其他组分是助剂,目的是提高装饰表面的质量[5、8]。

甲醛水-----48-50

三聚氰胺-----34-37

甲基鸟粪胺、蔗糖、碳酸钠、碱-----3-6

对甲苯磺酰胺-----1.0-1.5

丙二醇-----0.5-0.8

蒸馏水-----8-9

酚醛树脂[13] 主要用于浸渍芯层纸和隔离纸;其特点是良好的耐热水性、机械强度和绝缘性,缺点是板面有赤褐色,颜色会逐步加深,表层会有丝裂现象。

2.1.2 树脂合成与防火板开裂的关系分析

从以上简单介绍可以看出:三聚氰胺树脂和酚醛树脂的合成质量对于防火板质量有着关键决定因素。

防火板中浸渍纸所使用的树脂是热固性树脂,完全固化后有一定的脆性,树脂质量和含量的高低,代表着防火板的柔韧性能,做为层压板的主

要材料，基材的酚醛树脂、表层板的三聚氰胺树脂都是连接板内纸纤维和层与层之间的结合材料，因此其质量好坏决定防火板的脆性和强度等性能，如树脂质量不好、或使用脲醛树脂，或者树脂配方不理想，以及在纸张烘干的过程中工艺调整不当，将会造成板开裂、翘曲和分层鼓包，使防火板发脆、没有弹性、在防火板物理性能上反映出的即是冲击强度不够、抗拉强度低等缺点；

固化后三聚氰胺树脂的性质又取决于固化时的反应条件、干燥工艺和所使用的改性剂[5、8]。固化后未改性三聚氰胺树脂的分子脆、没有弹性，其原因，一是分子的柔性差，二是拥有大量氢键。树脂的交联密度也有一定作用。横向线型连接越长，树脂越富有弹性。通常，在固化的树脂中仍有未参加反应的羟甲基，因而树脂具有某种吸湿性。在湿度经常变化的大气中，树脂从空气中吸附或排出水分，这与改变线性膨胀系数一样，能使树脂发生改变，产生剩余应力，而最终将导致脆性树脂发生裂纹。交联程度的增大和由于剩余羟甲基进一步缓慢缩合而引起的树脂逐渐干缩，也是产生应力和裂纹的原因；

一定含量的热固性树脂，树脂可以使防火板的强度有一定的提高，但树脂含量过高，防火板本身的树脂在固化收缩时的应力就会增加，防火板的强度不但不会提高，还会有下降的趋势。在压力为 6MPa 的条件下压制的层积材料，其强度起初随着纸中树脂含量增大而提高。树脂含量为 130-150% 时，强度最高。若树脂含量继续增大，材料的强度反而下降，其原因是树脂的收缩应力已经增大到纸纤维无法抵销的程度。

通过以下试验可明确层压板强度与树脂含量的关系：

试验一：将树脂含量不同的表层纸在压力 6Mpa 条件下热压成板材，每张板材剪裁 6 个哑铃形试样，做拉伸试验强度试验，每张板取得的 6 个数据进行算术平均值计算。拉机速度按 5mm/min 进行；所得结果如下：表(2-1)

表 2-1 拉伸试验结果

树脂含量%	100	110	120	130	140	150	160	170
强度 MPa	70	80	160	240	290	280	220	200

层压板强度与纸中树脂含量的关系如图 2-2

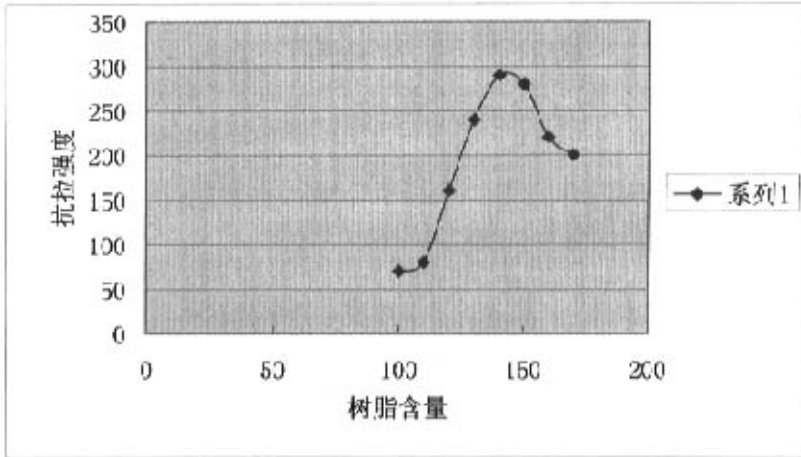


图 2-2 树脂含量与层压板强度的关系

纸中树脂含量为 120-140% 时，人造板饰面时的粘附力最大。用这种纸饰面，纸纤维之间的孔隙和纹孔将充满树脂，而且在板上树脂能均匀流散。

从上述试验可看出：生产厂家在配比时控制树脂含量要适度，就控制在 130-150%。不适当的增加树脂含量，反而使防火板的柔韧性降低，脆性加大，防火板就越容易开裂；

在树脂干燥固化过程中不只是干燥蒸发溶剂的过程，而且还有发生树脂缩合反应。轻度缩合的树脂流动性好，但热压胶贴时收缩量大，这将导致表面出现裂纹。国家标准中并未对防火板的树脂含量和缩合度做出明确规定，但可以通过简单的吸水试验来表征缩合情况，从而控制树脂的缩合度和树脂含量。

试验二：将树脂缩合度分别为 60% 和 99% 的厚度为 1 mm 层压板分别进行吸水试验；将每张板裁剪 5 块 50*50mm 试样，常温下放入蒸馏水中

每间隔 10 天进行一次称重，

吸水率 = (吸水后重量 - 吸水前重量) / 吸水前重量

所测数据如下：

表 2-2 吸水率与缩合度试验结果

吸水率	0	10	20	30	40 天
60%缩合	0	4.9	7.8	10.5	12
99%缩合	0	1.8	3.5	4.5	6.5

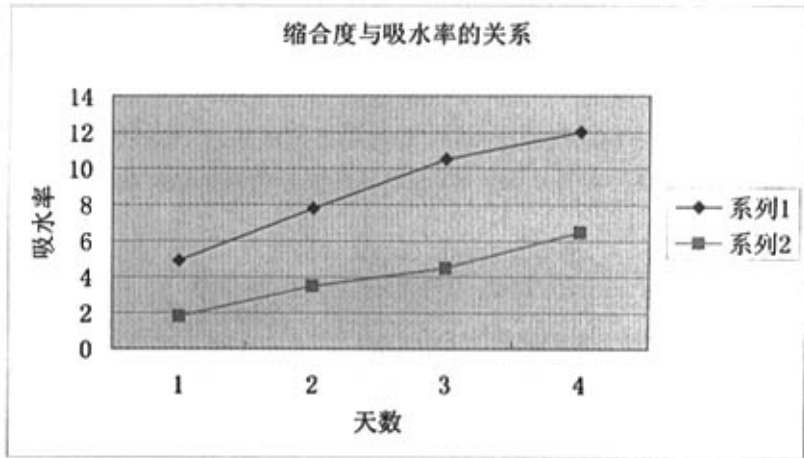


图 2-3 吸水率与缩合度关系

从这个试验可以看出：缩合度轻的树脂固化后吸水率大，缩合度大的树脂吸水率就小。这表面我们可以通过吸水率的测定来控制防火板的树脂含量和缩合度大小。

2.2 纸张的影响

高压装饰板的生产还需要一些不同种类的纸张，称为原纸。根据不同层次和不同产品，其纸张可分为：表层纸、装饰纸、覆盖纸、芯层纸、脱模纸。饰面人造板所用各种不相同的纸总的要求是有理想的吸湿性和渗透性，有一定的力学强度，尤其是拉伸强度，湿强度。以化学木浆原料造的纸最好，其次是棉纤维纸及棉纤维纸及混合棉纤维与亚硫酸盐法木浆纤维制成的纸。

原纸分类：三聚氰胺树脂纸质装饰板所需要的原纸，一般分为五类：

表层原纸、装饰原纸、覆盖层原纸、芯层原纸和隔离层原纸。

表层原纸：表层原纸是放在装饰板最上层，经浸胶干燥热压后，具有高度透明性与坚硬性，起到保护装饰表面作用。因此要求这种纸张要洁白和纯净。一般用高级 A₁ 纤维素纸浆制成。

覆盖层原纸：一般在制造浅色装饰板时，放在装饰纸下面，以防止层酚醛树脂渗透到表面，因此要求有良好的覆盖力。

芯层（底层）原纸：是装饰板的基材，经浸渍酚醛树脂热压后，在装饰板中提供机械强度的。一般用不加防水剂的牛皮纸。

隔离层原纸：与芯层原纸相同，但比芯层原纸薄，放在装饰板最底层，浸以油酸酚醛树脂，主要是防止热压时装饰板与钢板粘结，起脱膜作用。

表 2-3 各种原纸的技术指标^[6]

	表层原纸	覆盖原纸	芯层原纸	隔离原纸
指标	精制木浆	精纸木棉浆	硫酸盐木浆	硫酸盐木浆
定量（克/平方米）	25-40	120-150	90-140	90-100
容量（克/平方米）	0.4-0.6	0.6-0.7	0.5-0.7	
干断裂度（米）	≥3000	≥3000	≥5000	≥3000
白度	≥90	≥90		
吸水性（MM/10MIN）	≥20	≥25	≥15	
灰分%	≤1	≤10		
水分%	≤7	≤7	≤7	≤7
PH	7-8	7-8	7-8	

原纸浸胶后经干燥后叫胶膜纸，它们的技术指标如表 2-4 所示。

表 2-4 胶膜纸技术指标

胶膜纸类型	树脂含量%	挥发物含量%
表层原纸用于浅色	130-145	6.0-7.5
表层原纸用于深色	130-145	7.0-9.0
装饰原纸	50-60	5.0-7.0
覆盖层原纸	60-70	5.0-7.0
芯层原纸	38-45	7.0-9.0
隔离层原纸	18-25	5.0-7.0

由于防火板主要是由牛皮纸和面纸浸渍树脂后层压制得的，而防火板所用牛皮纸却又是决定防火板成本的重要组成部分，不同质量等级的牛皮纸，其价格相差也很大，牛皮纸的质量越好，所层压的防火板的抗拉强度就越高，防火板开裂的几率就越低；而牛皮纸的原料一般有两种，原生木浆牛皮纸和以再生浆为原料的牛皮纸，原生木浆牛皮纸的特点是该牛皮纸的纤维较长、均匀，在浸渍树脂时整张牛皮纸的含胶量比较均匀，而用再生浆生产的牛皮纸由于其中的纤维较短，分布也不均衡，因此在浸渍树脂时整张牛皮纸的树脂含量也分布不均，导致整张防火板各个位置的抗拉强度不均匀，因此防火板的自身内部存在应力的薄弱点，在使用过程中会产生开裂的隐患；而目前在国际的牛皮纸市场上质量最好的牛皮纸生产厂家主要有以下几家：美国的 WESWACE（威斯威克）公司、美国的 IP 公司和芬兰的 STONENS 公司，三个生产厂家牛皮纸占市场份额的 80% 以上，其中市场上份额最大的是美国的 WESWACE 公司生产的牛皮纸，该公司产品占市场的 70% 左右，而 IP 和芬兰公司占市场份额的 10% 左右，而后成型防火板所用牛皮纸的质量又以芬兰牛皮纸最佳、WESWACE 的产品次之，而其他厂家生产的牛皮纸不论是从质量上还是从市场占有率上都无法与上述三家相提并论；目前国内大多数防火板生产厂家使用的牛皮纸质量同上述三家相比还存在一定的距离，因此在防火板的质量上无法达到车船专用板的使用要求，与国外防火板存在差异。

2.3 生产工艺的影响

1、生产设备和过程

我们在对我们批量使用的防火板的生产厂家进行调研，认为在防火板在生产过程中的工艺控制极其重要，该生产工艺过程主要包括浸胶及烘干设备、和对牛皮纸和面纸的热压设备，目前国内防火板厂家的浸胶设备大部分为国产设备，威盛亚公司的是台湾产卧胶机，该生产工艺过程需要进行严格的工艺控制，需要根据不同的树脂配方和牛皮纸、面层纸等对卧胶机的行走速率和上胶间隙进行调整，以正确控制牛皮纸和表层纸的树脂含

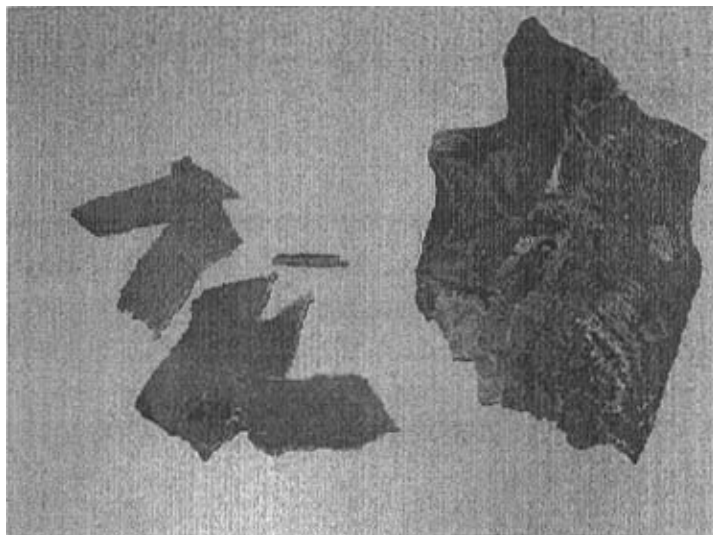
胶量和烘干速率，因此需要有成熟的工艺能力，而车船用防火板较普通家具用防火板在使用条件上更加苛刻，因此对防火板的生产工艺要求更高，

2、热压机方面

目前国内防火板生产厂家在层压过程中使用的是蒸汽压力机，在 150℃左右的温度下，加 7Mpa 以上的压力下对牛皮纸和表层纸进行层压，蒸汽压力机的缺点是各处的压力和温度不均匀，而国外防火板质量较好的生产厂家在纸张加温加压的工艺过程中使用的是先进的水压力机，水压力机的工作原理是，水压力机在一定的压力下，沸点升高直至的防火板所要求温度（150℃左右），该压力机的特点是加压和加温程度在防火板的各个部位都分布均匀，目前国内防火板生产厂家中，使用水压力机的只有三家，包括上海的威盛亚公司，该公司生产的防火板时，水压力机压力达到了 10Mpa 左右，由于这种先进的压机价格较高，国外防火板生产厂也很少使用这种水压力机，目前韩国防火板生产厂家中，也只有 LG、西韩、美莱通等三个生产厂使用水压力机，因此目前在国内完全达到车船用防火板的使用要求防火板的生产厂家较少；

对于热压的过程也是要求相当严格，层压的温度是否精确，每层的热传导是否均匀都是影响防火板质量的决定因素，如果温度控制不精确，即可能出现防火板分层的问题，如下图 2-3。

(a)



(b)

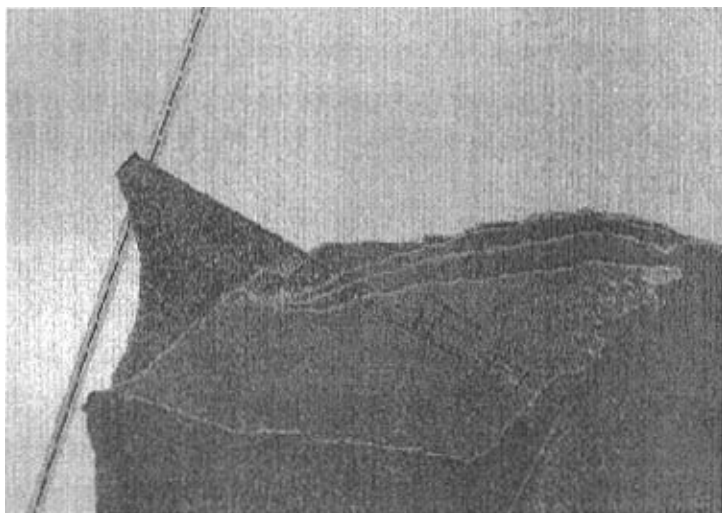


图 2-4 防火板的分层现象

第三章 开裂理论分析及应力分析

3.1 防火板开裂理论依据

根据聚合物脆性断裂理论，防火板开裂可分为两方面：

首先是先天的，即在生产防火板时由于防火板本身缩合不完全，或本身其它产品质量方面缺陷，可能会造成开裂的原因。根据 Griffith[1][2]的连续理论，在产品制备过程中应力和相关应变能在产品中分布得不均匀，它们集中在样品预先存在的微裂纹附近。因此通过这些微裂纹的传播就产生了破坏或脆性断裂。这种微裂纹可能在制备过程中引起的，而且在裂纹顶端局部应力集中特别大。根据 Griffith 理论，引起横向裂纹扩展所需施加的临界拉伸应力为：

$$F_c = (2Er / \pi c)^{1/2} \quad (3-1)$$

其中 E—弹性模量

r—表面能

C—预先天裂纹的长度

3-1 式表明使裂纹扩展和产生脆性断裂所需要的应力，随预先存在的裂纹尺寸增加而减少，但却随模量的增加或随表面能的增加而增大。根据这一理论，我们必须对防火板自身的材料、工艺、性能加以控制，从源头上减少开裂的可能

其次防火板在后续生产中加工、粘接、环境变化等外界因素引起的开裂。根据聚合物开裂理论，在没有明显的塑性形变的某些临界应力条件下所发生局部断裂，产生脆性断裂的主要条件是温变、高载荷速率（冲击），以及长时间施加交变应力，这可发生在动态加载的构件中。虽然在缓慢施加拉伸载荷条件下，当应力作用时间很长时这些聚合物也可在低应力值时破坏。因此应注意温度、时间、交变应力、高应变率和应力状态对力学性能产生的影响。而车辆上防火板恰恰是在温湿环境和交变应力作用下和车辆的振动下的复杂条件下存在的，以下就这些条件分别进行分析。

3.2 应力分析

防火板粘在基材胶合板上所产生应力的分析是胶接应力的分析过程，这里根据胶接理论[3][9][15]对此进行分析。

胶接是使胶粘剂相和被胶接相形成必要的具有稳定的机械强度的体系，即通过将胶粘剂夹在中间把被胶接物连接在一起的过程，因此，胶接接头是一个复杂的体系。许多学者根据接头的微观结构，以接头材料组成分布梯度，将接头划分为五层。



图 3-1 接头分层

图 3-1 中，1 为高压装饰板、5 是胶合板；2、4 为胶粘剂与被胶接物的界面层，3 是胶粘剂。这 5 层中如胶粘剂本身强度足够高时，且与被粘物间的粘合力足够大时，即胶粘剂本身强度及其与被粘物间的胶强度比被粘物本身强度还大时在外力作用下就可能生发生被粘物破坏；在发生被粘物破坏时破坏一般都是在粘接面（接头）邻近处发生，因为那里的应力最为集中。

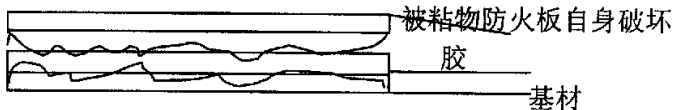


图 3-2 被胶接物破坏现象

而其中高压装饰板内每层之间也是胶粘一起，靠树脂的连接与贴附压实而成的薄板。高压装饰板自身就有 5 层结构，每层之间也是靠聚氰胺树脂和酚醛树脂热压在一起。按图 3-3 所示。



图 3-3 将饰板的层结构

图 3-3 中, 1----表层纸、2----装饰纸 3----遮盖纸 4 芯层纸 (3-4 张)
5 脱模纸。

胶合板自身也是由七层或多层旋切单板彼此胶合而成厚胶合板, 其邻层纤维按一定方向排列, 相互垂直对称配置, 每层之间靠酚醛树脂或脲醛树脂热压粘接在一起的。

从上述表明高压装饰板粘合在胶合板上的过程分析实际是层面之间的分析, 如按粗分是高压装饰板、胶粘剂与胶合板之间的层面分析, 细分一个至少是 17 层之间界面的分析。那么整个的层面力学分析就是一个胶接界面分析的过程。从胶接理论来分析, 在粘接形成与使用过程中主要存在以下因素影响:

一、 胶接面内应力

胶接面内存在内应力将导致粘接面强度下降, 甚至会造成界面自动破裂;

内应力主要有两方面原因:

- 1) 收缩应力 胶粘剂固化造成体积收缩产生的收缩应力, 由于胶粘剂无论用什么方法固化, 都会发生一定体积收缩。而在胶粘剂失去流动性之后体积还没有达到平衡数值时, 进一步固化引起体积收缩就会产生内应力, 溶液胶粘剂当溶剂挥发使胶层失去变形能力时也会产生内应力。如三聚氰胺树脂固化时缩聚反应历程进行固化的一类高分子材料有低分子反应物逸出, 而有较大体积收缩。

当高压装饰板与胶合板的反应不完全, 存在后固化就存在收缩应力:

收缩应力测定可根据下式计算: ^[9]

$$P = E_2 h_2 \left\{ (1 - mn^2)(1 - m) + [mn(n+2) + 1]^2 + m(mn^2 + 2n + 1)^3 \right\} / 12 \rho n(n+1)(1 + mn^2) \quad (3-2)$$

其中:

$$m = E_1 / E_2 \quad n = h_1 / h_2$$

ρ ---- 曲率半径;

h_1 ----- 胶层厚度

h_2 ----- 箔片厚度

E_1 ----- 胶层弹性模量

E_2 -----金属箔的弹性模量

将长 2440 防火板粘在金属箔片上固化 10 天后，测得曲率半径为 5360mm,

h_1 -----防火板厚度 1mm

h_2 -----箔片厚度 1mm

E_1 -----防火板弹性模量 $217 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$

E_2 -----金属箔的弹性模量 $340 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$

代入上式得 $P=89 \text{ kg/cm}^2$

结论：防火板后固化所产生应力收缩应力约为极限强度 850 kg/cm^2 的十分之一。

2) 热应力 被粘物、胶粘剂不同的热膨胀系数，在温度变化时产生的热应力。当温度变化时就会在胶接界面中产生热应力，热应力的大小与温度的变化，胶粘剂与被粘物膨胀系数的差别以及材料的物理状态和弹性模量有关。

高分子材料与金属材料、无机材料热膨胀系数 α 相差很大，如：
[3][9][19]

不锈钢 $--20 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

铝 $--24 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

天然橡胶 $-220 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

酚醛树脂 $--45 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

胶合板（横纹） $2.98--4.28 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

胶合板（顺纹） $2.98--4.28 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

高压装饰板（纵） $\alpha : 50 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

高压装饰板（横）： $60 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

各材料的拉伸弹性模量 E ：

胶合板（横纹） $141 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$

胶合板（顺纹） $127 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$

高压装饰板： $217 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$

热应力值计算公式：

$$\sigma = \alpha \cdot \Delta T \cdot E \tag{3-3}$$

由于南北方温度差或室内外温差按 $\Delta T=30$ 计算：

A 胶合板粘防火板

首先计算：胶合板受温度影响产生的应力：

$$\sigma_{(横纹)} = 30 \times 141 \times 10^3 \times 4.28 \times 10^{-5} = 18.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{(顺纹)} = 30 * 127 * 10^3 * 4.28 * 10^{-6} = 16.3 \text{ kg/cm}^2$$

计算高压装饰板受温度影响产生的产力:

$$\sigma = 30 * 217 * 10^3 * 50 * 10^{-6} = 325.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta \sigma = \sigma_{(装饰板)} - \sigma_{(胶合板)} = 325.5 - 18.1 = 307.4 \text{ kg/cm}^2$$

结论: 通过以上计算可以清楚地看到: 高压装饰板随温度的变化所产生的形变及应力远远大于胶合板的形变和应力; 占防火板极限强度 850 kg/cm^2 的 35% 左右, 因此仅热应力不能产生开裂。

3) 高分子材料物理状态与内应力^{[12][29]}: 热固性树脂, 当温度升高时, 由于树脂弹性模量高, 内应力直线上升, 当温度升高一定值后, 由于模量下降, 内应力增加减慢。此后由于分子链活动能力增强而使内应力减少, 至玻璃态 (已固化) 温度以上时, 热应力降至接近于零^[3]。

$$\sigma = \Delta \alpha \cdot \Delta T \cdot E / (1 - \mu) \quad (3-4)$$

其中

$\Delta \alpha$ --- 高分子材料和被粘物的线膨胀系数差

ΔT --- 温度差

μ --- 胶的泊桑系数

E --- 材料的弹性模量

高压装饰板弯板存在树脂后固化的问题, 由于其树脂中 40% 的树脂是在后成型过程中固化, 有必要对这部分的后固化的树脂进行计算:^{[1]、[3]、[4]、[9]、[25]、[24]}

$$\alpha_{(纵向纸纤维)} = 3 * 10^{-6}$$

$$\alpha_{(酚醛树脂)} = 45 * 10^{-6}$$

$$\Delta \alpha = 42 * 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_g - T_{(实验)} = 115 - 25 = 90$$

$$\mu = 0.41$$

$$E = 28 * 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

代入 (3-4) 式得:

$$\sigma = 28 * 10^3 * 90 * 42 * 10^{-6} / (1 - 0.41) = 179 \text{ kg/cm}^2$$

当热应力与材料的极限强度比较: 其较极限强度 850

仅占一小部分 21%。

二、受到环境介质的作用所产生外应力

胶接界面的破坏一般是在环境应力作用下,通过胶接体系内的缺陷造成应力集中而导致破坏的,环境应力包括外界的作用力,温度波动的热冲击及水等介质时胶接界面的物理化学作用。

而对于高压装饰板,其主要原料是纸张,是亲水性材料,在干燥气候条件下,水及挥发物可以渐失去,在长期潮湿气候条件下,又会重新吸收大量的水,而大量的吸水或失水必然引起严重的体积收缩,体积收缩。除了纸纤维与树脂胶层间收缩——膨胀率有很大差异外,纸张中各种细胞之间,细胞膜与细胞质之间收缩、膨胀也有较大的不同,这就必然导致在这些地方产生很大的收缩、膨胀应力。此外环境温度的周期性变化照例还会产生热应力。有资料表明:用偏光显微镜观察大气老化的木材微小的裂缝首先在细胞膜或细胞间生成。然后扩展到整个表面。用显微镜观察胶合板在水煮、干燥、连续水煮等加速试验表面和断面变化情况,也证实了表面与断面的裂缝及胶层的剥离破坏,几乎都是首先从收缩——膨胀率差别大的地方开始发生,然后扩展到其它地方[9]。

从层压板的尺寸变化率可以看出此材料受环境温湿度变化所产生的尺寸变化是惊人的,下面是一个具体试验及数据。

将每张装饰板试件横纵向各取 140.0*12.7mm 的 6 条试件在 25℃和相对湿度 45-55%的恒温恒湿箱中平衡处理 96 小时,将所有试件放在刚性夹具上,用外径千分尺测量长度,将 12 条试件分为两组,每组各有纵/横向试件各 3 条。其一组放入 70℃的烘箱内,保证空气循环,处理 24 小时后,取出放入干燥器内冷却 1 小时,放入刚性夹具内测量。将另一组试件放入 40℃,相对湿度 90-95%的恒温恒湿箱内,处理 96 小时后取出,吸去表面水分,测量长度。按下式进行计算:

$$\Delta L = (L_2 - L_1) / L_1$$

再分别计算出各组试件中三个横向和三个纵向长度变化百分率的算术平均值,根据高湿和低湿试验中得出的平均长度率对横向和纵向试件分别计算出复合尺变化率。若高/低湿试验造成的试件长度变化方向相反,则复合尺寸变化百分率为高低湿试验长度变化百分率平均值的绝对值之和,若高低湿试验造成的试件长度方向相同,则复合尺寸变化百分率为二数中绝对值大者。实验结果如表 3-1 所示。

表 3-1 材料受环境温湿度变化所产生的尺寸变化

牌号	方向	95%湿度 96H 40℃	50%湿度 24H 70℃	复合尺寸 变化率%
771	纵	0.13	-0.286	0.41
	横	0.44	-0.33	0.77
7054	纵	0.11	-0.14	0.25
	横	0.3	-0.07	0.37
NT150	纵	0.1	-0.1	0.2
	横	0.16	-0.37	0.43
可弯板	纵	0.1	-0.39	0.49
	横	0.32	-0.27	0.59
直板	纵	0.04	-0.25	0.29
	横	0.36	-0.29	0.65
直板	纵	0.14	-0.13	0.27
	横	0.20	-0.46	0.66
平均	纵	0.103	-0.216	0.319
	横	0.3	-0.298	0.598

高压装饰板(纵)的线干缩系数

$$\alpha = (0.286+0.14+0.1+0.39+0.25+0.13)/6/(70-25)=4.8 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$$

高压装饰板(横)线干缩系数

$$\alpha = (0.33+0.37+0.27+0.29+0.46)/6/(70-25)=6.3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$$

湿度产生的应力影响分析:

$$\sigma = \Delta L \cdot E$$

按照上述试验所得高湿情况下的平均尺寸变化率:

高压装饰板(纵): $\sigma_{纵}=0.103\% \times 217 \times 103 \text{kg/cm}^2=223 \text{kg/cm}^2$

高压装饰板(横): $\sigma_{横}=0.3\% \times 217 \times 103 \text{kg/cm}^2=651 \text{kg/cm}^2$

结论:在高湿情况下横向的应力已接近或超过材料极限强度,这种情况就是断裂的主要原因之一。

此外还有基材变化应力,含水率每变化 1%胶合板的胀缩率% [36] 如表 3-2 所示。

表 3-2 胶合板的尺寸变化率

胶合板 脲醛胶	长度方向胀缩率		厚度胀缩率
	平行表板纤维方向	0.012-0.020	0.026—0.367
垂直表板纤维方向	0.011—0.020		

胶合板的胀缩应力计算:

$$\sigma = \Delta L \cdot E$$

按照胶合板的含水率变最大时干燥季节为含水率 8-12,潮湿季节为 20,这时最大变化量为 8;

$$\sigma = 0.02\% \times 8 \times 127 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2 = 203 \text{ kg/cm}^2$$

结论:胶合板的变化应力也是较大的,如果其与上面的装饰板同时受湿加剧了断裂的危险。

胶合板的尺寸稳定性直接影响到饰面板的质量。在胶合板含水率变化时,随着收缩及膨胀,饰面材料反复受到拉、压应力,如高压装饰与胶合板之间的粘接强度不够大时,装饰板刚性又好,则造成材料之间的剥离。如粘接强度大,而装饰板材料比较脆,结果产生裂纹。

因此,要求胶合板的表面的饰面材料要具有一定的弹性与韧性,能补偿胶合板的湿胀与干缩。同时在制品背面也贴上一层吸湿性能弹性模量相近的材料,平衡应力。

综上所述:防火板所受力全部为:

- 1) 收缩应力 89 kg/cm^2 。
- 2) 高压装饰板受高温影响产生的热应力: 307.4 kg/cm^2
- 3) 高压装饰板受湿度影响产生的高湿应力
 - 高压装饰板(纵): 223 kg/cm^2
 - 高压装饰板(横): 651 kg/cm^2
- 4) 基材高湿状态下应力: 203 kg/cm^2

从上述数据比较可得出结论:防火板开裂的主要应力来自高湿环境应力。

三、疲劳强度分析^{[31-35][9][21][22]}

对于象三聚氰胺和酚醛高分子树脂的疲劳分析来看,它也象其它类材料一样,在重复载荷下聚合物在远低于静态实验的应力下而破坏,并且呈现脆性断裂,即几乎没有显示出尺寸变化或明显塑性形变。断裂通常产生

在制品中局部应力高的特殊截面上。这是因为这些地方有表面缺陷或其它缺陷和杂质的原因。疲劳产生延伸了裂纹的传播，这种裂纹可能最初存在或施加应力后产生的。当裂纹的增长使样品横截面面积减少，致使平均应力强度增加到静态断裂所要求的数值时，则有可能断裂。

根据此理论，如果控制好防火板的质量，使防火板树脂的聚合度增加使分子量增加，疲劳寿命会显著增加。同时，可对防火板加热增加后固化过程也会增加疲劳寿命。这主要是由于减少了孔隙和微裂纹的潜在来源，由于分子间相互作用的增加和截面上更均匀的应力分布的结果。此外高分子材料可能具备的较大易变性和取向性，也会使裂纹顶端的应力集中因子有效地降低[1][26][28]。表 3-3 是文献中给出的疲劳强度和静态极限强度之比 [1]

表 3-3 高分子材料疲劳强度和静态极限强度之比

层压酚醛	静态拉伸强度 MPa	10 ⁷ 循环周期 的疲劳强度	疲劳系数
横向	147	34.4	0. 23
纵向	125	27.56	0. 22

防火板的主要芯层纸为酚醛树脂制成，因此其疲劳系数应近似于 0.23。。由于车辆用防火板受外力较多及复杂，并处于动态振动中，因此应尽量减少加工过程的崩边和缺口和裁口等，减少裂源。

另一方面，从防火板装饰板粘于基材两侧来分析，也可以按薄壳力学理论来分析：防火板粘在胶合板上，属于叠层结构。这种叠层结构的受力特征主要表现在载荷的扩散和集中方面，叠层板的开孔和叠层板的屈服等方面。对于这种复合板，表层板的抗拉比强度高，但其剪切强度低，而由于板的传剪能力低而限制了板的轴向承载能力的充分发挥，因此应力求避免通过叠层板剪切来传递大的轴向载荷，当不能避免时需布置较大的受力参与区。常见的情况有受力壁板的开口区和各部件通过少数几个集中式接头对接的接合部位。复合板结构，不可避免存在机械连接，叠层板上的连接孔要切断部分纸纤维，从而削弱了板的拉压承载能力；此外开孔处的应力集中现象比金属材料要严重，铝合金材料的加载孔应力集中系数约为 3，而复合材料的非加载孔应力集中系数约为 5，连接孔一般都是加载孔，

其孔边应力集中系数比非加载孔增大大约 55%[1][9]；按应力集中系数 5 和非加载孔应力集中系数增大 55%总计应力集中系数为 7.75。

根据此理论，可以看出对于复合板，其集中系数是相当高的，因此在设计时应避免开孔和加载。如不可避免，应在开孔四角增加应力释放孔；对于加钉、加螺栓处将防火板预先划窝使外力作用直接作用于基材上，或加垫片或执材将受力区扩大。

四、实际产品的应力集中及分析

高压装饰板粘附在胶合板板面上,可以归纳到夹层板的力学计算中。按二张薄表板胶合到芯层胶合板或其它芯层如铝蜂窝结构进行表面张力的计算，实际它一是种“应力薄壳”[7]、[17]、[18]结构，表板几乎承受全部施加在平面内的边载和垂直弯曲力矩。

现就车辆中易发生开裂问题的间壁和顶板防火板件加以分析如下：

1、间壁板的受力分析：

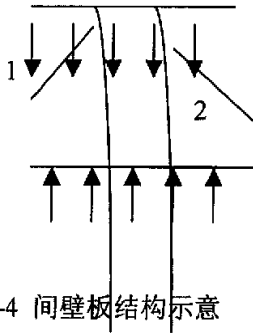


图 3-4 间壁板结构示意图

表板应力 $\sigma = NE / (E_1 T_1 + E_2 T_2)$

N----夹芯板单位宽度上平行于板面的边缘载荷

E---薄板弹性模量

E_1 ----表板 1 的弹性模量

E_2表板 2 的弹性模量

T_1表板 1 的厚度

T_2表板 2 的厚度

在车辆内装件受力较大的间壁受力最明显,因此按照客车硬卧客室间壁每块间壁受力为 6 个铺,每铺人和铺共 100kg 重量,假设全部作用于间壁上,并全部为平行于板面的边缘载荷。

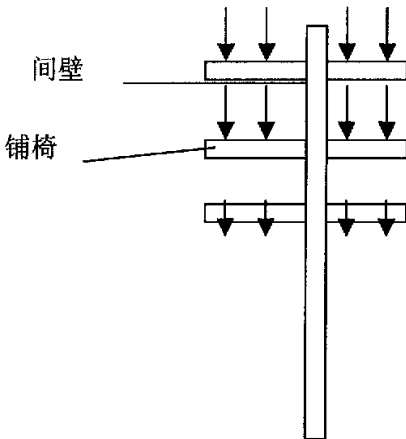


图 3-5 间壁受力情况

由于双面均为等厚同种的高压装饰板材料: $E_1 = E_2$, $T_1 = T_2$

$G_{总} = 6 * 100\text{kg}$ $L = 2\text{m}$ 板厚按直板 1 mm 计算:

表板应力 $\sigma = N/2T = 600 \text{ kg} / (2 * 2 * 1 * 10^{-3}) = 1.5\text{MPa}$

板厚按弯板 0.8 mm 计算:

表板应力 $\sigma = 1.875 \text{ MPa}$

在铺与间壁连接的螺栓孔处表板应力按集力系数 7.75 计

直板: $\sigma = 1.5 * 7.75 = 11.625 \text{ Mpa}$

弯板: $\sigma = 1.875 * 7.75 = 14.53 \text{ Mpa}$

间壁墙板动态极限强度 = 静态极限强度 * 疲劳系数 = $68 * 0.23 = 15.64$

其中静态极限强度为铁路要求防火板的强度合格指标要求。

结论：将弯板受力强度与动态极限强度比较，其数值已十分接近于极限强度，产生裂纹趋势十分明显，因此必须加大静态强度的要求，提高防火板抗拉强度标准势在必行。或者说应相应加厚间壁外板的厚度，用直板而不用弯板。

顶板的受力分析：

由弯曲力矩引起的表板最大应力：

按应力薄壳理论：

$$\sigma = M/T_1 H [1 + (1 + E_1 T_1 / E_2 T_2) T_1 / 2H]$$

M-----由芯板平面弯曲引起的单位宽度上的弯曲力矩

T₁ T₂-----表板厚度

H-----两层薄板中心距(可近于胶合板的厚度)

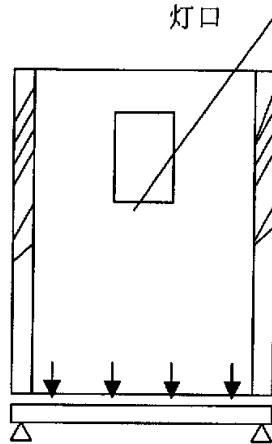


图 3-6 顶板结构示意图

长为 2 米，宽为 1 米的客室顶板所产生的表板的应力分析：

受力为均布重力和中心的灯具重量为 40Kg，

弯曲力矩 $M = (40/2) * 0.5 - 40 * 0.5 * (0.5/2) = 50 \text{ N.m}$

$E_1 = E_2$ $T_1 = T_2$ $T_1 = 1 \text{ mm}$ $H = 20 \text{ mm}$

$$\sigma = 50 / (20 * 10^{-3} * 2 * 1 * 10^{-3}) (1 + 1 * 10^{-3} / 20 * 10^{-3}) = 1.31 \text{ MPa}$$

按弯板 0.8mm 计算, $\sigma = 1.625 \text{ MPa}$

按灯孔应力集力系数 7.75 计

直板: $\sigma = 1.31 * 7.75 = 10.15 \text{ Mpa}$

弯板: $\sigma = 1.625 * 7.75 = 12.59 \text{ Mpa}$

顶板动态极限强度=静态极限强度*疲劳系数=68*0.23=15.64

其中静态极限强度为铁路要求防火板的强度合格指标要求。

弯板应力与动态强度相比, 表明其也十分接近极限强度。

通过对这两个产品的分析, 为控制开裂, 主要有两个方面措施:

- 1、 提高防火板自身抗拉强度;
- 2、 应在开孔四角增加应力释放孔。

第四章 防火板各项性能指标的试验研究

在第二章中，我们讨论原材料对产品质量的影响，而做为使用部门，应根据自身的产品要求，提出相应使用的技术条件。以下是我们就防火板的各项性能与开裂的关系做理论上的分析，同时通过试验手段对比目前国内产品和国外的客车车辆所用的防火板各种性能指标，找出差距与不同，并依此对现用品的指标加以相应的调整，制定符合铁路交通的标准要求。

防火板质量问题从检测上来看主要是反映在抗拉强度、冲击强度、耐沸水煮三个指标中，抗拉强度检测强度指标主要反映纸张强度，耐冲击和耐沸水煮指标是一对制约其树脂含量及质量的指标。如满足冲击指标，而耐水煮指标超标，说明其树脂含量不足的可能。反过来，耐沸水煮指标符合要求指标而冲击强度不高，那么预示树脂含量过大，其韧性即可能差。

根据第二章的应力分析试验和数据分析，防火板主要受以下力：

- 1) 收缩应力很小可乎略不记。
- 2) 高压装饰板受高温影响产生的热应力:307.4 kg/cm²
- 3) 高压装饰板受湿度影响产生的高湿应力
高压装饰板(纵): 223 kg/cm²
高压装饰板(横):651 kg/cm²
- 4) 基材胶合板高湿状态下应力: 203 kg/cm²

作为装饰面板，最主要的应克服即是环境应力，一般高湿和高温不同时产生应力，因此防火板最低应承受的理论极限强度应为横向的承受湿环境下最大应变应力。

如按防火板和基材同时受湿考虑：

防火板应承受的应力为：651+203=851 kg/cm²

因此防火板理论上抗拉强度最低要求应不低于 85Map。

4.1 抗拉强度试验

在防火板上裁剪 6 块长为 120mm 宽为 20mm 哑铃形试样，拉伸方向为横纹方向。每张板的强度结果为 6 个试样的算术平均值。^[30]
纹方向。每张板的强度结果为 6 个试样的算术平均值。^[30]

试验步骤

- 1、 在试件中心和距中心两侧各 25mm 处分别测量三点厚度和宽度，并取算术平均值；
- 2、 将试件固定在拉力试验机两夹头中间，间距 120mm，试件保持垂直。
- 3、 试验机速度为 5mm/min 对试件进行施加拉力，直至试件破坏，记录最大荷重；
- 4、 抗拉强度计算结果：

$$\sigma = P_{\max} / B \cdot H$$

σ --- 抗拉强度，N/mm²

P_{\max} --- 最大荷重 N

B --- 试件平均宽度 mm

H --- 试件平均厚度 mm

试验结果如表 4-1、4-2 和图 4-1 所示。

表 4-1 各种防火板抗拉结果比较

厂家	牌号	抗拉强度 σ_{ap}
唐山	A13	84.5
	9478	76.2
韩国	1444	93.4
上海	T150	72
天照	771	82.8
大庆	270	63.8
	104	60.6
西韩	1	99.5
	2	98.9
威盛亚美国	7054	102.52
	2904	94.45
日本	1573	86.2
天照	771	82.8
美亚	T150	67.9

广州	2904	67.2
----	------	------

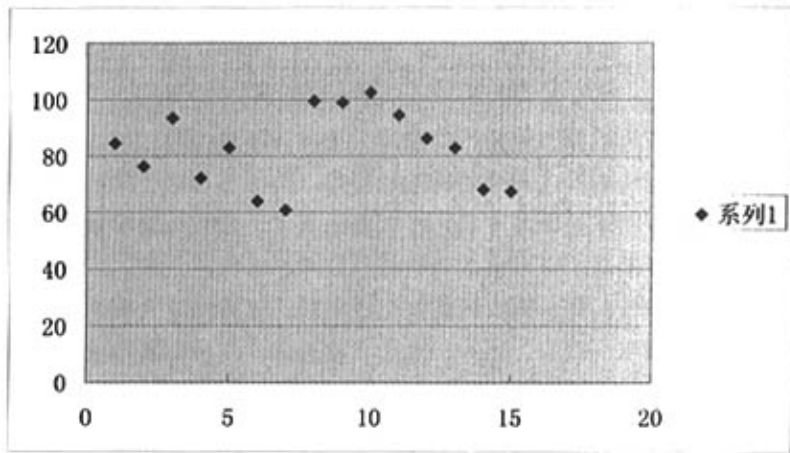


图 4-1 试验强度数值分布图

通过以上大量的试验，可以看出目前使用国产的防火板的抗拉强度普遍较低，虽然能够达到国标规定（58.5）的要求，但对于客车上的实际使用要求还相差较多，从我们发生过的质量问题看：有一些板材的确因此而开裂过。如大庆板材、江苏美亚板都由于强度低而发生开裂。以上试验一些国外防火板大多为车船专用板产品，使用的防火板的强度性能指标较高，一般超过了理论计算要求。因此将抗拉强度定为 85Mpa 是适当的。

另外防火板的质量还可通过强度数值的离散性的来表证：离散性大防火板内部强度不均匀，质量低。防火板内各部强度均匀，它的质量自然就好。我们对威生亚，唯信、上海、广州、唐山、西韩、大庆等各个厂家生产的防火板的抗拉强度指标进行测定如下：

表 4-2 防火板的抗拉强度指标

	牌号	1	2	3	4	5	6	平均值	δ (%)
威盛亚	2904	98.1	91.2	96.7	94.4	112.5	107.4	100.0	11.3
唐山天正	A13	86.4	81.9	78.8	89.1	85.2	79.4	83.5	12.3

大庆	270	81.2	73.4	78.9	86.3	88.9	85.7	82.4	18.8
西韩		96.4	93.9	92.8	97.1	91.8	95.5	94.6	5.6
广州劲志	2904	65.1	63.3	74.9	72.9	69.8	62.4	68.1	18.4
上海	771	82.3	93.8	78.1	86.4	78.9	86.1	84.3	18.6
日本	1444	86.7	78.4	91.4	87.8	88.2	84.3	86.1	15.1

表中的 δ 是指防火板测得值与平均值最大差值同平均值的比数， δ 的数值越小，纸的均匀性越好，浸渍的树脂越均匀，防火板各部位的抗拉强度值越均匀，从上面的试验表格中我们可以看出来，上述防火板中威盛亚的防火板的抗拉强度最高，以下依次为西韩、日本、唐山、大庆，广州劲志的防火板强度最低，而从防火板的均匀性来看，西韩的防火板表现最佳，其他依次为威盛亚、唐山、日本，大庆、富美家、广州劲志防火板的强度均匀性较差；强度差距原因主要是国外芯层纸的纸张定量为 300g/m^2 ，而国产纸张为 $80\text{-}130\text{ g/m}^2$ 左右，说明国产纸张内部纤维的密度较低，密度分布不均匀，树脂含量不均，导致防火板内部应力不同，在薄弱区域内易产生防火板开裂现象；因此在要求强度同时，也要求 $\delta \leq 10\%$

4.2 耐沸水煮性试验

通过耐冲击试验和耐沸水煮试验，可以间接的反映出防火板中树脂含量的高低，其中耐沸水煮试验是通过将防火板在沸水中煮两个小时后，测定其吸水率，如果吸水率数值较低，说明其树脂含量较高，防火板的柔韧性就较差，防火板开裂的几率就较大。

将试片在 50°C 的电热鼓风箱内处理 24 小时，然后放入干燥器内冷却到室温，称重，用千分尺在试件四边中心距边缘 5mm 处测量试件厚度，将试件放入沸腾水的容器内，试件应始终浸没在水中，经沸水煮 120min 后取出试件，立即放入室温的水中冷却 5min。擦干水后称重并测厚度。

试件增重百分率%=(试件经沸水煮处理前的重量—试件经沸水处理后的重量)/试件经沸水煮处理前的重量；

试件增厚百分率%=(试件经沸水煮处理前的厚度—试件经沸水处理后

的厚度) / 试件经沸水煮处理前的厚度。

试验结果如表 4-3 及图 4-2 和 4-3 所示

表 4-3 各种板材试验结果对比

厂家	牌号	沸水煮增重%	沸水煮增厚%	抗拉强度 MPa
美亚	A13	4.67	4.9	65.5
日本	9478	12.2	13	87
	1444	13	14.7	86
金豆	T150	15	17	80.6
天照	771	11.9	16.4	89
大庆	270	5.8	7.3	67
	104	3.9	5	62
西韩		14.7	14.8	90
		12.7	14.6	80
威盛亚	7054	12.7	14.5	86.6
	1573	18.6	19.5	73.3
天照	771	11.9	16.4	90.1
广州	2904	13.4	18.5	67.2

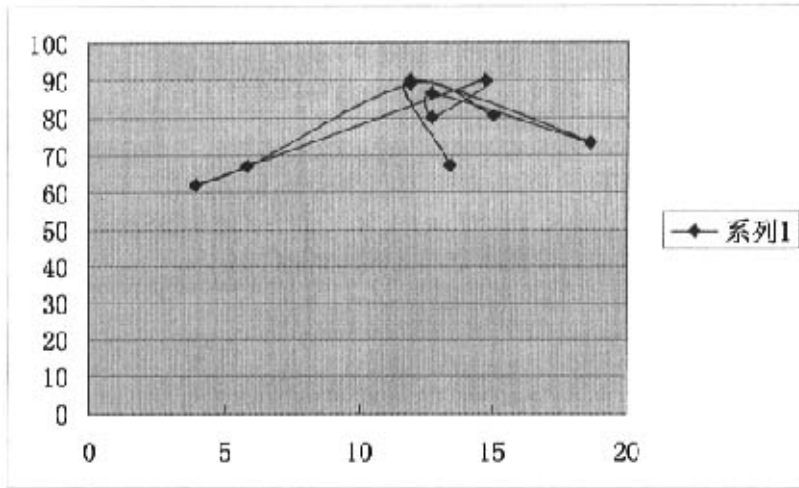


图 4-2 沸水煮增重与抗拉强度的关系图

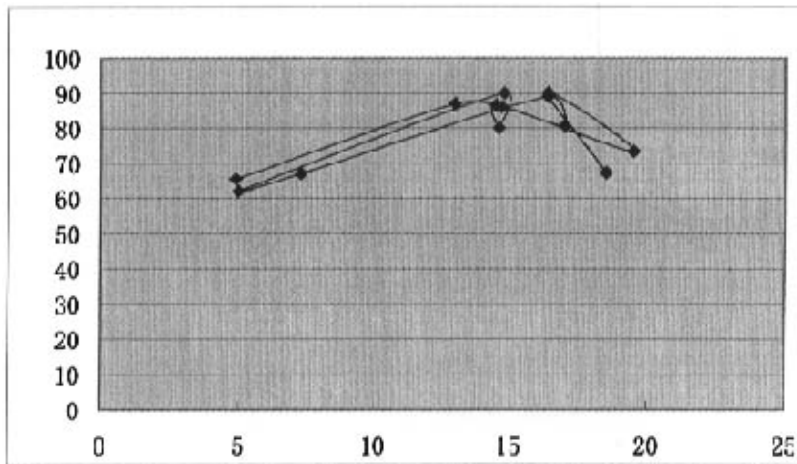


图 4-3 沸水煮增厚与抗拉强度的关系图

根据上图和数据统计结果,与国外产品对比,可以看出一般强度较高的防火

板沸水煮增重控制在 10-14%为最宜；增厚控制在 10-16%为宜。

4.3 耐冲击试验

耐冲击试验主要目的是检验防火板的脆性，耐冲击试验是用定质量的钢球在一定高度上自由下落，用以冲击防火板表面，观察防火板表背面是否有裂纹，如果存在有裂纹，说明该防火板的树脂含量过高，防火板柔韧性较差，脆性较大，防火板极易出现开裂。

试验方法：将直径为 19.05mm 钢球重约 28.1 克，冲击放在钢管横截面上的试片，钢管壁厚为 3.5mm，钢管内径 50.8mm。按不同高度对试片的中心做自由落体冲击。记录最大冲击高度。

试验结果如表 4-4 所示。

表 4-4 各种板材的冲击结果对比

厂家	牌号	最大冲击高度
唐山	A13	220
金豆	9478	250
	1444	250
金豆	T150	250
日本	771	270
大庆	270	210
	104	210
西韩	1	350
	2	350
威盛亚	7054	270
	2904	270
	1573	270
天照	771	250
金豆	T150	250
广州	2904	210

从冲击试验可以看出：对于好的质量防火板最大冲击高度应控制在 250mm 以上。

通过以上检测结果可以看出：进口板抗拉强度都较高，而国产广州劲志、美亚、大庆生产的防火板抗拉强度较低，说明该板所用基材芯层纸质量差，导致上车后产生开裂现象，而大庆的防火板抗拉指标较高抗拉 70-80，但冲击仅满足 200mm，其耐沸水煮试验中增重、增厚指标较进口板的低很多，说明其树脂含量过高或树脂配方不理想，反映在性能上是该板柔韧性差，脆性较大，冲击 210mm 有裂纹，在加工、装配过程中易产生开裂现象，而威盛亚、日本、以及韩国车所用板大都有为进口板，所用芯层纸、面纸等级高，强度能保证，树脂质量较好，既保证了防火板强度，也保证了其柔韧性，威盛亚和日韩在冲击上可达到 270mm 以上，特别是韩国防火板在整张防火板上各处取样的强度都在 89MPa 之上，其强度差值在 5% 左右，分布均匀。这种板材面纸为德国/MASA 公司，牛皮纸为美国的 WESWACE 公司生产，树脂也是著名树脂公司生产，在原料上保证了防火板的质量；国产品应加以借鉴。

4.4 其它技术指标要求

一、尺寸变化率

通过对防火板的物理性能试验和工艺性试验可知，防火板的长度方向变化率可达 0.2%，宽度方向变化率可达 0.4%，由此可看出防火板材料本身，在湿度温度变化情况下板材尺寸变化明显：在低湿度情况下，防火板比基材有收缩明显，这主要是由于板内树脂固化不完全，防火板后固化，以致纤维间隙变小，造成体积缩小；在高湿情况下，特别是南方梅雨季节，因树脂吸湿性而吸附水份，体积膨胀，而发生伸张，因此应充分考虑防火板本身的特点，制定适宜列车运行时自然条件变化的防火板的指标要求，调整防火板的尺寸变化率指标。

通过上章的应力分析，由于中国车辆运行区间较大，环境差异较大，受环境应力影响是导致开裂的最主要原因，根据防火板的极限强度，现行

指标 (0.45-0.9%) 显然不适合铁道客车车辆的运行情况。

按应力分析复合材料的应力集中系数为 5, 而防火板的极限强度按 85MPa 考虑:

不产生开裂的尺寸变化率至少应为:

$$\Delta L = \sigma / E = 850 \text{ kg/cm}^2 / 5 / 217 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2 \\ = 0.078\%$$

根据中国运行车辆的跨区域作业的实际情况, 湿度差按 30%-80% 变化, 温差的按温度 -20℃ 到 40℃ 温差变化时, 尺寸变化率不应超过 0.078%。

二、特殊功能的防火板要求

对于后成型板, 其在车辆上用量逐年递增, 而铁道部门对其要求还没有明确要求, 这使得其处于失控状态, 因此也出现不少的问题。对于所生产的后成型防火板在检测直板要求的性能外, 还应进行根据加工成型工艺性要求增加弯曲性试验和鼓泡试验的测定; 后成型防火板由于板厚比直板薄, 抗破坏能力低, 因此后成型防火板在使用过程中易出现问题; 应对此与直板的强度指标加以区别和修正。

三、后成型板强度及吸水增重增厚要求

表 4-5 后成型板强度及吸水增厚测试

厂家	牌号	沸水煮增重	沸水煮增厚	抗拉强度
金豆	9478	18.3	20	87
	1444	17	18.7	86
金豆	T150	15	17	80.6
天照	771	11.9	16.4	89
西韩		18.7	21.8	110
		17.7	21.6	108
威盛亚	7054	18.4	21	96
	2904	18.6	21.5	99
	1573	18.6	19.5	107
日本	771	20	21.4	99

金豆	T150	15.7	18.2	90.9
广州	2904	15.4	18.5	87.2

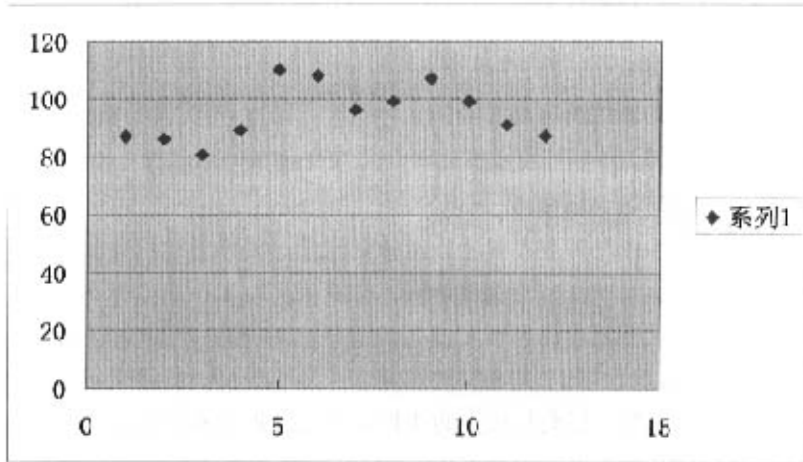


图 4-4 测量数据分布图

由于车辆用后成型板的板厚在 0.7-0.8 间，其吸水增重增厚指标不同于直板，根据试验其指标比直板高出许多。根据以上试验的结果吸水增重增厚指标应控制在：增重：16-19%；增厚：18-22%

根据借鉴国外车辆用产品试验数据及薄板的受力效应薄板的强度应最低控制在不低于 90 Mpa 。

四、可弯半径

为保证后成型防火板在加工有圆弧的工件的成功性应对其耐温和柔韧性加以试验。

工艺试验：将不同防火板放在后成型机上做实际的工艺试验，将 0.8mm 的防火板裁成 90*180mm 的，宽度方向纤维方向，在不同弯曲半径的木材上做可弯性和耐温试验。

可弯性试验：在 163℃，加热时间 30S，以不出现裂纹为极限可弯半径来判定其可弯性，弯曲半径越小质量超好；

耐最高温试验：将上述试片在后成型机的加热板上进行加热加温，以表面不鼓泡不变色的最高温度判定耐温性。

表 4-6 后成型板可弯性测试

厂家	牌号	弯曲半径	耐温性
唐山	A13	9	160-170
金豆	9478	9	160-170
	1444	9	160-170
金豆	T150	8	160-170
天照	771	6	160-190
大庆	270	11	160-170
	104	11	160-170
西韩		6	160-190
		6	160-190
威盛亚	7054	6	160-190
	2904	6	160-200
	1573	6	260-200
日本	771	7	160-190
金豆	T150	250	160-180
广州	2904	210	160-170

根据客车板材实际的弯曲半径和试验结果,如表 4-6 所示,后成型防火板可弯半径应满足 R7mm 要求,耐温性应在 160-190℃。

4.5 总结

综上所述,根据以上试验结果,国产品较国外产品指标上确存在差距。为防止开裂,车辆用防火板不应再按家具装修业的标准生产客车用品,应该相应提高进厂防火板的检测指标要求,向有成功经验的产品指标靠拢;

对后成型防火板和直板的指标加以区分，并增加对后成型防火板的弯曲性能和鼓泡性能的检测。因此我们在根据车辆自身特点的基础上对防火板目前所采用的标准进行修订，修订后的指标要高于原执行的标准。在 2000 年 10 月铁道部运装客车 166 号文要求如表 4-7 所示。

表 4-7 铁道部标准

项目	单位	指标	试验方法
耐沸水煮	%	1、增重 ≤ 10 2、增厚 ≤ 10 3、无分层起泡	GB7911、3
耐冲击		落球高度 200MM, 无 碎裂	GB7911、3
抗拉强度	MPa	横向 ≥ 68 、8	GB7911、3
表面耐磨	g/100r	≤ 0 、08	GB7911、3
耐开裂	级	不低于 1 级	GB7911、3
耐香烟		无黄黑斑、鼓包、裂 纹、	GB7911、3
耐污染		无污染	GB7911、3
氧指数	%	≥ 30	GB2406
45 度角燃烧	级	难燃级	TB2402

现修订后的直板、弯板指标要求：

1 规格尺寸

1.1 厚度：

直板公称厚度：1 mm 允许偏差： ± 0.10 mm

弯板公称厚度：0.8 mm 允许偏差： ± 0.1 mm

1.2 幅面尺寸：长度允许偏差： $+5$ mm

2 外观质量

2.1 干湿花：不允许有；

2.2 污斑：不允许有

2.3 压划痕：不允许有

- 2.4 颜色与图案：在自然光或钨灯检验时，板与板之间无明显差异；
- 2.5 表面光泽一致性：从不同视角检查时，板面光泽无明显差异；
- 2.6 砂毛缺陷与胶合性能：装饰板背面应适宜用胶粘剂与基材胶合，允许有不影响胶合的轻微跳痕；
- 2.7 边缘缺陷：不允许边缘缺损；
- 2.8 翘曲：高压装饰板，板子面向上放置，标准环境下用 1 米长度直尺测量时允许翘曲值 50mm, (国标 120)
- 2.9 边的平直度
每米边长的平直度公差允许值是 1.5mm, 被测量的边长应不小于 1 米；
- 2.10 方正度（对角线差）两对角线长度之差不得超过 6mm.
- 物理性能指标如表 4-8 所示。

表 4-8 直板防火板的物理力学性能及阻燃要求

项目	单位	指标	试验方法
耐沸水煮	%	1. 增重 ≤ 14 2. 增厚 ≤ 16 3. 无分层起泡	GB7911.3
耐冲击		落球高度 250mm, 无碎裂	GB7911.5
抗拉强度	Mpa	横向 ≥ 85	GB7911.9
表面耐磨	G/100r	≤ 0.08 表面情况：留有 花纹	GB7911.7
耐开裂(80, 20h)	级	不低于 1 级	GB7911.11
耐香烟灼烧 2min		无黄、黑斑、鼓 泡、裂纹等，允 许有光退	GB7911.10
耐污染		无污染	GB7911.8
氧指数	%	≥ 30	GB/T2406

第四章 防火板各项性能指标的试验研究

45度角燃烧	级	难燃级	TB/T2402
烟密度 D4		≤200	GB8323
甲醛释放量	mg/L	1.5	GB18580
尺寸变化率	%	湿度差 30%-80% 变化, 温度-20℃ 到 40℃度温差变 化时, 尺寸变化 率不应超过 0.078	

表 4-9 弯板标准

项目	单位	指标	试验方法
耐沸水煮	%	1 增重≤19 2 增厚≤22 3 不低于 3 级	GB/T19657-1999 4.43
耐冲击		落球高度最小 100cm 凹痕直径最大 10mm,	GB/T19657-1999 4.44
抗拉强度	Mpa	横向≥90	GB/T19657-1999 4.39
表面耐磨		表面磨损转数≥ 350 转	GB/T19657-1999 4.38
耐开裂(80, 20h)	级	不低于 1 级	GB/T19657-1999 4.46
耐香烟灼烧 2min		不低于 2 级	GB/T19657-1999 4.40
耐污染		不低于 2 级	GB/T19657-1999 4.36

氧指数	%	≥ 28	GB/T2406
45度角燃烧	级	难燃级	TB/T2402
烟密度 D4		≤ 200	GB8323
尺寸稳定性	%	湿度差 30%-80% 变化, 温度-20℃ 到 40℃度温差变 化时, 尺寸变化 率不应超过 0.078	
后成型性能	半径 mm	最小可弯 R7	GB/T19657-1999 4.47
甲醛释放量	mg/L	1.5	GB18580

指标制定说明

- 1、 以上指标中抗拉、耐沸水、耐冲击、尺寸稳定性执行试验结果标准
- 2、 耐污染：比国标大一个等级
- 3、 耐开裂：比国标大一个等级
- 4、 氧指数：指标要求 28 比直板要求小，因为弯板薄，纸张所含阻燃成份相对少，且目前防火板此检测项目很少能达到 30 的，因此执行 28。
- 5、 后成型指标国标为 12mm，现要求为 12T(T 为板厚)，如根据目前 实际设计半径最小处为 7mm，因此此项指标也可暂定为 7mm。

第五章 生产工艺研究

5.1 粘接工艺

车辆主要用高压装饰板与胶合板、金属板粘接，达到装饰作用。因此其主要合成工艺利用的粘接技术。防火板和基材间的结合强度决定了是否可以将内应力传到基材上，或选择适当胶粘剂种类，以使应力得以释放，避免防火板件应力开裂。

目前使用的防火板件的胶粘剂有以下三种：

1、白乳胶

即水溶性 PVAC 胶，是热固性聚醋酸乙烯酯胶粘剂，是粘接防火板的最适合的胶粘剂，固化后收缩变形率较小，粘接强度较高，能够对防火板和胶合板同时具有良好的浸润作用，可以使更多的应力分散到基材上，使胶合板件更耐应力开裂，所含水份能与胶粘成份一起浸渍到防火板和胶合板表面的纤维内，使得二者界面处于同一水分湿度环境，待水分发挥干燥时，二者保持同步的尺寸变化，如果不出现漏涂的现象，不会产生防火板开裂的现象。因此此种胶适合防火板直板与胶合板的粘接。

乳白胶是聚合物胶体在水中分散体，其固化过程大概是：乳液中水分逐渐渗透到多孔的被粘材料中，并挥发掉，使乳液浓度不断增大，最后由于表面张力作用，使高分子胶体颗粒发生凝聚；环境温度对乳凝聚很大影响，当环境温度足够大时，乳液凝聚成连续胶膜。若环境温度低于成膜温度时，就形成的白色的不连续的胶膜，强度很差。贴压时温度不能过高，否则引起板材各种应力改弯，从而板材产生变形。压力也不能大，压力大，除引起变形外，同时胶粘剂挤出量增多，造成剥离。

表 5-1 粘接工艺参数

胶粘剂	涂布量 g/m ²	存放时间 min	压力 MPa	加压时间 H
PVAC 胶	200-250	1-15	0.6-1.2	12

所用胶液乳白胶的指标：

胶液指标:粘度为 6500CP 以上

固体含量 50±2%

PH 值 4-6

压剪强度 9MPa

2、接触胶

接触胶属于接枝氯丁橡胶系列的胶粘剂,多用于后成型防火板快速粘接,工艺方式通过喷涂的方式。由于溶剂含量较高,粘度低,固体含量较低,粘接的最终强度不高;但固化后胶层均匀,有一定弹性和可剥性,适用于后成型防火板的粘接,和金属板的粘接。^{[26]、[27]、[28]}

根据上章应力分析,对于铝合金及铁板与防火板粘接,由于两者的热膨胀系数相差较大,聚合物的热膨胀系数比金属高一个数量级以上,热应力是导致它们粘接后开裂的主要原因。

如按防火板粘铝质金属件,按完全接合考虑,无胶弹性。

热应力计算如下:由于南北方温度差或室内外温差按 $\Delta T=30$ 计算

铝热膨胀系数 α $24 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

高压装饰板: $217 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$

热应力值计算: $\sigma = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$

高压装饰板(横)热膨胀系数 α : $60 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

热应力值计算: $\sigma = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$

$\sigma = 30 * (60 - 24) * 10^{-6} / ^\circ\text{C} * 217 * 10^3 \text{kg/cm}^2$

$= 234.36 \text{ kg/cm}^2$

在钉孔等开口处应力集中系数 5 计算:

$\sigma = 5 * 234.36 \text{ kg/cm}^2$

$= 1170 \text{ kg/cm}^2$

远远大于防火板的极限强度 850,因此会经常发生开裂。因此为满足金属件的饰面,只能选取模量低,延伸率高的胶粘剂,其可使热应力通过胶粘剂的变形释放出来。根据胶粘力理论^[4]:处于疲劳或受冲击力时,应选用能吸收能量的含橡胶胶粘剂;同时适当提高胶层厚度,选用室温固化的胶粘剂也都可减少热应力。根据这理论,选择接触胶是最适合的,可利用喷涂设备控制涂胶厚度,厚度可达 1mm;它的固化温度要求室温进行粘

接即可。同时由于接触胶的模量低，应力集中程度低的优势，降低了开裂的可能。

缺点：由于粘接强度较低，在防火板受温、湿度变化较大的情况下，胶粘剂的胶层存在开胶问题，会导致防火板与基材分层，可能存在鼓包问题。

表 5-2 接触胶主要技术指标

序号	项目	指标	试验方法
1	外观	无杂质，均匀粘稠体	GB14074
2	粘度 mpa. s	400-800	GB2794
3	固体含量%	≥20	GB2793
4	剥离强度铝-帆布 N/2.5cm	≥70	GB2790
5	环保指标：游离甲醛、 苯、甲苯、二甲苯、总 挥发有机物含量	应符合国家《室内装饰 装修材料有害物质限 量》GB18583-2001	GB18583

3、“3M”双面胶膜

曾用于防火板和钢板、铝蜂窝板的粘接。该胶膜的特点是粘接工艺简单，不需设备，成本较低。缺点：其属于压敏类胶膜，对所粘接的材质的表面要求较高，胶膜对所粘表面材料浸润不够，因此强度不高。由于防火板和金属材料在温度变化下的收缩变化率相差很大，使得双面胶膜会产生较大的内应力，有脱胶问题；再加上基材钢板的厚度较薄，在搬运或装配过程中，钢板的弯曲变形可能会导致防火板开口处或开孔处产生微小裂纹，在内应力作用下，裂纹会越来越来大，最终导致防火板的开裂。根据下面的试验结果其粘接强度也远远不能满足使用的强度要求，是三种粘接工艺中最差的一种，因此产生开裂或鼓包的几率最大。

通过以下粘接试验可以比较他们的强度：

胶合材料：胶合板与三聚氰氨装饰板胶合

胶合涂胶量：200 克/平方米

压力：0.2 公斤/平方厘米

时间：24 小时

加压温度：室温

表 5-3 接触胶主要强度参数

胶粘剂	剪切强度 MPa	湿状强度冷水浸泡 24 小时	循环处理强度（冷水浸泡 16 小时，50 干燥小时）
PVAc 胶	3.5(材质破坏)	2.0	1.8
氯丁胶	2.5	1.4	0.9
胶膜	0.3-0.5	0.1	0.09

结论：直板件或墙板间壁承载件尽量采用 PVAc 白乳胶；弯板件和金属装饰件宜采用接触胶粘接。同时，对防火板件的开孔处的边缘涂抹封口用胶粘剂，用以将加工时防火板上产生的微小裂纹用胶粘剂进行封闭，进一步减少防火板的应力薄弱点，而采用“3M”双面胶膜粘接工艺，由于双面胶膜与胶合板表面不浸润，加上胶合板表面由于含水率随空气湿度的变化而变化，使双面胶膜的粘接强度下降，因此应尽量避免采用“3M”双面胶膜粘接防火板。

5.2 基材

一、基材的选择

对于基材的选择，目前基材主要有胶合板类和铝质和铁质件几类。而客车目前最多结构件用的还是胶合板为主。通过以下试验和第二章应力分析的试验可以看出高压装饰板与胶合板的干湿变化的差异之大，而与纤维板变化率相对接近。所以防火板的基材最好是选择与防火板相同或相近材质的材料，如刨花板、中密度纤维板等；如材质不变，应对基材胶板尺寸变化加以要求和控制。^{[6][8]}

将不同材质的试件横纵向各取 140.0*12.7mm 的 6 条试件在 25℃和相对湿度 45-55%的恒温恒湿箱中平衡处理 96 小时，将所有试件放在刚性

夹具上,用外径千分尺测量长度,将 12 条试件分为两组,每组各有纵\横向试件各 3 条.其一组放入 70℃的烘箱内,保证空气循环;处理 24 小时后,取出放入干燥器内准却 1 小时,放入刚性夹具内测量.将另一组试件放入 40℃,相对湿度 90-95%的恒温恒湿箱内,处理 96 小时后取出,吸去表面水分,测量长度.按下式进行计算:

$$\Delta L=(L_2-L_1)/L_1$$

再分别计算出各组试件中三个横向和三个纵向长度变化百分率的算术平均值;根据高湿和低湿试验中得出的平均长度率对横向和纵向试件分别计算出复合尺变化率.若高\低湿试验造成的试件长度变化方向相反,则复合尺寸变化百分率为高低湿试验长度变化百分率平均值的绝对值之和,若高低湿试验造成的试件长度方向相同,则复合尺寸变化百分率为二数中绝对值大者.

表 5-4 几种板材经过干湿的尺寸变化率

材料	长度方向%	宽度方向%
木材	0.1-0.2	1.0-4.0
胶合板	0.1-0.2	0.2-0.3
纤维板	0.3-0.4	0.3-0.4
高压装饰板	0.3-0.5	0.4-0.8

如车辆内装要求必须使用胶合板,那么应对目前使用的基材胶合板进行改进和加以控制,过去使用的胶合板大多为多年生林木旋切的单板制成的,而近年来使用的胶合板的单板大多为速生林木制得,随空气中的湿度变化,其尺寸变化率相对比原来胶合板大.而防火板由于是由树脂浸渍牛皮纸制得,与胶合板的尺寸在湿度变化时的尺寸变化相差较大,因此在制成贴面胶合板件后,内部会产生更大的应力.我们在应力分析时也论证了这种尺寸变化差异是开裂的主要原因,因此必须对基材的尺寸变化加以控制.

胶合板经过干湿的尺寸变化率要求:

长度方向 \leq 0.1%宽度方向 \leq 0.2%

二、基材胶合板的含水率

应严格控制基材的含水率等易导致基材弯曲变形的物理性能指标，防止由于基材变形而导致的防火板件内部的应力加大。

表 5-5 含水率每变化 1%胶合板的胀缩率

	长度方向胀缩率		厚度胀缩率
	胶合板	平行表板纤维方向	0.012-0.020
脲醛胶	垂直表板纤维方向	0.011—0.020	

胶合板及防火板含水率应控制为：

胶合板含水率：8-12% 理想：10%

防火板含水率：4-6% 理想：5%

例如上海某车型生产中发现有板材开裂的问题，事后对所用胶合板含水率进行检测，的确存在胶合板含水率超标现象，最高达 24%，含水率超标影响防火板粘接强度，出现防火板粘接强度低或开胶现象，加工时易出现防火板崩碴和应力集中点。使贴面胶合板件出现弯曲、翘曲、扭曲等变形，产生内应力，当贴面胶合板件受力或温、湿度发生变化时，导致防火板裂纹。

三 存放及预处理

冬季对于北方施工场地，所用的胶合板和防火板一般存放温度较低，胶合板和防火板的温度与施工环境温度相当悬殊。在温度平衡时由于生产批量大，不能将胶合板加以垫离，使内部大批量的胶合板存在温差问题，温度过低的胶合板和防火板投入工序后会出现以下严重后果。

a.影响贴面胶合板件的粘接强度，易产生粘接强度低或开胶现象，加工时出现防火板崩碴和应力集中点，导致防火板裂纹。

b.易使贴面胶合板件弯曲变形，产生内应力，导致防火板裂纹。

c.胶合板和防火板胀缩相差较大而产生应力，导致防火板裂纹。

根据上述分析，我们了解到温度、湿度环境条件对其是最键两个要素，为最大限度的减少不同材质间因温湿度变化而带来的尺寸差异所产生应力增大，在防火板在加工之前，应和基材按下列要求进行储存和等温等湿处理：

1. 防火板陈化要求

- 1.1 防火板在生产下架后应在18℃以上条件下,生产厂家放置72小时以上,才可运输;
- 1.2 入厂后防火板的储存期为至少10天
- 1.3 储存条件:
 - 温度: 18-30℃; 理想温度: 24℃
 - 湿度 30-60%; 理想湿度: 45%
- 2 胶合板陈化要求:
 - 2.1 3-5mm 厚胶合板 陈化时间 7天
 - 10-15mm 厚胶合板 陈化时间 15天
 - 20-25mm 厚胶合板 陈化时间 20天
- 2.2. 储存条件:
 - 温度: 18-30℃; 理想温度: 24℃
 - 湿度 30-80% 理想湿度: 45%
- 3.1 防火板、胶合板存储时应尽可能放置同一场地内。
- 3.2 粘合前应将防火板、胶合板、胶粘剂放在粘接场地(即同一环境)至少48小时,使含水率等二次平衡;如粘接场地与储存场地温、湿度等同可相应缩短平衡时间;
- 4 粘接场地环境条件
 - 4.1 胶合板件
 - 温度: 18-30℃; 理想温度: 24℃
 - 湿度 30-60%; 理想湿度: 45%
 - 4.2 金属件粘防火板场地
 - 温度: 21-30℃; 理想温度: 24℃
 - 湿度 35-55% 理想湿度: 45%
- 5、为保证材料温湿平衡效果,板材之间应加均布垫材;保证料件周围的空气应处于循环状态。

5.3 防火板的时效期

防火板由于是牛皮纸浸渍热固性树脂后经加温加压层压制得的,热固性树脂完全固化后产生收缩,因此防火板层压完毕后,根据工艺规程,需要根据树脂含量的多少,确定在一定温度下放置一定时间(一般是3-7天),使热固性树脂完全固化,保证防火板生产后的时效期,使防火板内的应力充分释放,这样才能够保证防火板上车后不致因受热或温度变化而导致防火板的开裂;如果不能充分保证防火板生产的时效期,或由于冬季气温较低,达不到防火板中树脂含量固化的温度要求,防火板中树脂不能完全固化,当防火板粘接到胶合板或其它材料上后,在一定合适的温度等件下,防火板会产生后固化现象,使得防火板可能再次固化收缩产生较大的内应力,在外力撞击或装配时,局部产生裂纹后,防火板就会因为较大的内应力而产生裂纹。近年来发生的几次批量开裂的问题多为冬季,且一般是在生产任务较大期间,由于美工方案下发较晚,物资部门在大批量采购时,由于生产厂家没有足够的生产能力,只能突击生产或盲目的缩短生产周期,因此没有使防火板达到充分的时效期和完全固化即发往进行粘接,由于防火板库房冬季室内气温较低,而粘接厂房的温度高,在温差和湿度变化较大的情况下,产生较大内应力;进行完粘接工序后,防火板在温度较高时产生后固化,使防火板再次收缩,加大了内应力。在外力撞击下,或在装配过程中的微小变形,都会导致防火板的局部产生裂纹,并可能一直蔓延下去。

选择唐山天正 8840B 防火板,生产出厂后的第 4、5、6、7 天分别做抗拉强度试验

表 5-5 试验防火板强度变化与天数的关系

出厂天数	第4天	第5天	第6天	第7天	第8天	第9天	第10天
抗拉强度	66.5	68.9	71.5	72.8	72.0	70.5	71.5

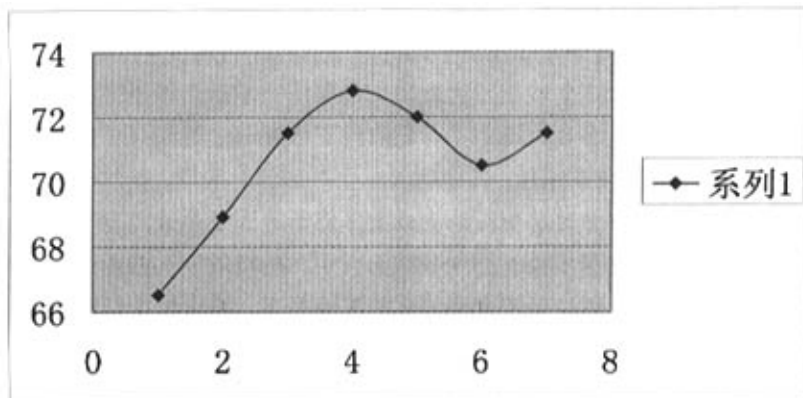


图 5-6 强度变化与天数的关系曲线

结论：抗拉强度在测试前四天可以明显看出强度值呈上升趋势，每天增加的强度在 2.5%左右，从第四天开始即出厂后第 7 天，开始出现强度波动，然后在第 7-10 天内相对稳定。

根据上述结论，在防火板出厂之日起应在 10 天后进行使用，使得树脂固化完全。

另一方面，对于存放时间过长（半年以上）可弯防火板，在进行成形煨弯时出现较严重的裂纹现象。

因此防火板的时效期应控制在生产后的 10 天---6 个月。

5.4 加工装配

防火板件在加工装配过程中，需要开槽，开方孔和在件表面钻螺钉孔，在这些过程中，边角处会产生细小裂纹，造成应力薄弱点，易产生开裂现象；这些隐患在车辆运行中受到动态载荷作用下就会造成开裂或鼓包。

一、下面我们针对几个具体车型的具体事例做如下原因分析：2003 年年初 CCK80G 餐车、CCK202 软卧车和巴铁车贴面胶合板件裂纹问题，根据分析，贴面胶合板件加工质量、装配、结构等方面问题与贴面胶合板件

板裂纹有一定的关系，主要归纳下列主要几类：

- 1、 加工后的防火板圆弧边有崩碴或细小裂纹，碰撞冲击或应力集中后，裂纹扩展延伸形成防火板裂纹。如圆头板与储藏室弯形间壁外圆弧交接处。具体分析：

1.1 应力消除孔加工中的问题

a.使用 R4 铣刀所加工的灯口、通风器等方孔直角处应力消除孔的形状和定位尺寸不符合图纸要求。如嘉峪关段 CCK202 软卧车平顶板，部分应力消除孔圆弧处防火板有应力集中点，易导致防火板裂纹。

b.使用手电钻加工平顶板灯口应力消除孔（CCK200-28-20-000/8 等件），加工时钻头从平顶板背面钻入，钻出时将正面防火板顶穿，使应力消除孔周边防火板崩边，易导致防火板裂纹。

1.2 灯口、通风器口加工中的问题

使用手提电动圆锯机进行灯口、通风器等方孔的加工，加工时圆锯片从背面锯入从正面锯出，使加工后的灯口、通风器等方孔边部存在锯口错位和防火板崩边现象，存在应力集中点，易导致防火板裂纹。

1.3 检查门口加工中的问题

平顶板上的检查门口直边是使用手提电动圆锯机加工的，而四角圆弧边是使用手动曲线锯加工的，存在手提电动圆锯机锯口与曲线锯锯口错位现象，形成应力集中点，易导致防火板裂纹。

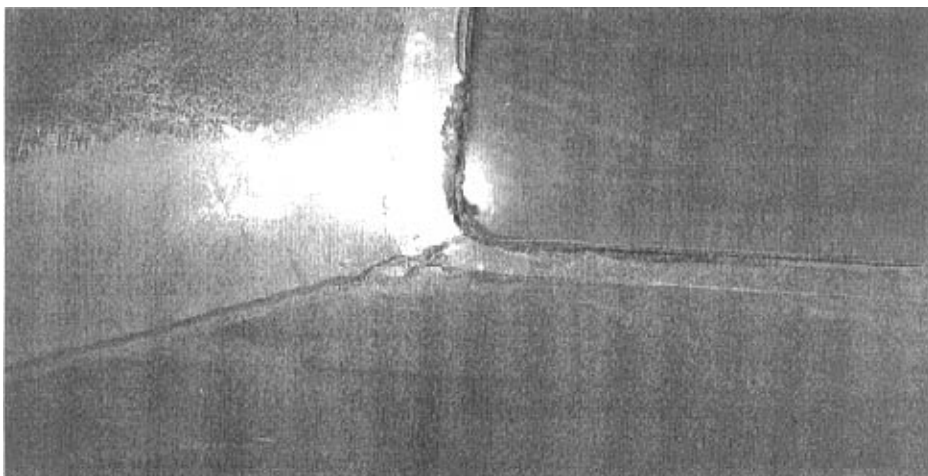


图 5-2 门口加工导致防火板裂纹

1.4 间壁板缺口加工中的问题

间壁板缺口是使用手提电动圆锯机加工的，使用手提电动锯加工间壁板缺口时，存在手提电动锯锯口过位现象，形成应力集中点，易导致防火板裂纹。



图 5-3 锯口过位防火板裂纹

1.5 防火板加工边崩碴问题

贴面胶合板件加工边崩碴和细小裂纹是防火板裂纹的原因之一，而贴面胶合板件加工边产生崩碴和细小裂纹的一个主要原因是所用切削刀具不锋利，切削刀具不锋利的主要原因是刀具刃磨不及时或缺少刃磨设备。

1.6 加工进刀方向问题

加工 CCK181 包间顶板时由于进刀方向不合理，导致顶板边部防火板崩碴和应力集中点，易导致防火板裂纹。

1.7 组装过程中造成防火板边部损伤，出现应力集中点，易导致防火板裂纹。

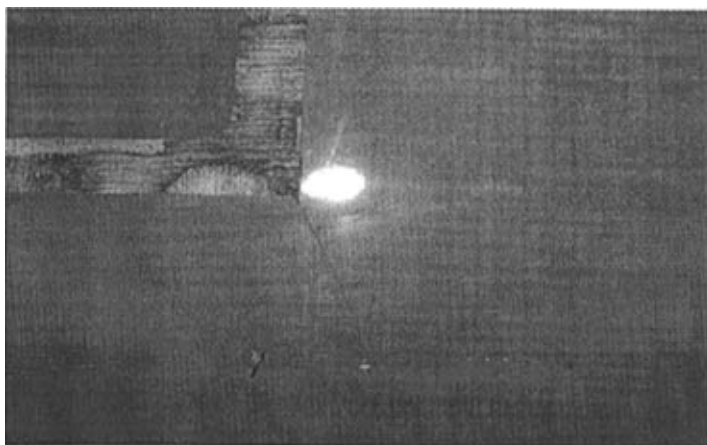


图 5-4 组装导致的防火板裂纹

- 2、防火板与基材胶合板内圆弧面粘接不实，防火板受外力冲击后产生裂纹。如餐车储藏室间壁内圆弧处防火板裂纹。具体分板如下：

2.1 弯形贴面胶合板件粘接不实问题

弯形贴面胶合板件，存在内外圆弧处贴板板粘接不实和不牢等现象，主要原因是基材胶合板弯板处内圆弧面欠材和不平所致。由于防火板与胶合板基材内圆弧处未粘实（即防火板与胶合板之间发空），该处受外力冲击

后,使防火板产生裂纹,如餐车储藏室间壁。

2.2 弯形贴面胶合板件基材加工中的问题

弯形贴面胶合板件基材圆弧处采用梯形或三角形胶合板条拼接,拼接后存在胶合板条之间缝隙较大、胶合板条粘接不牢和内圆弧面欠材等现象,导致圆弧处防火板与胶合板基材粘接不牢和发空等问题,易导致防火板产生裂纹,如餐车储藏室间壁

3、边部为后成形的贴面胶合板件,基材加工处理不平,圆弧面与胶合板平面、立面相交处有锐棱,在煨弯成形时该处防火板出现细小裂纹,扩展延伸后形成贴板裂纹。如餐车走廊饰带板下部正面圆弧处防火板裂纹

4、应力消除孔和安装螺钉孔处有应力集中点,或为未预钻孔,或为不规范,产生裂纹。如嘉峪关段 CCK202 软卧车 9 块平顶板灯口裂纹共 20 多条,约有十几个应力消除孔圆弧处防火板部分应力集中点处防火板出现裂纹。

具体原因分析:

4.1 预钻安装螺钉孔件

4.1.1 贴面胶合板墙板的安装螺钉孔为预钻孔,由于钻孔时钻头从墙板的反面钻入从正面钻出,钻头钻出时将防火板顶穿,使钉孔周边防火板出现崩边和应力集中点,易导致防火板裂纹。

4.1.2 预钻螺钉孔划孔直径小,上钉时钉头压紧后钉孔周边防火板会出现微小裂纹,进而产生防火板裂纹。

4.2 装配方面的问题

在进行贴面胶合板件装配时,不引孔而直接将木螺钉拧入或打入,防火板钉孔处易出现应力集中点,导致防火板裂纹。

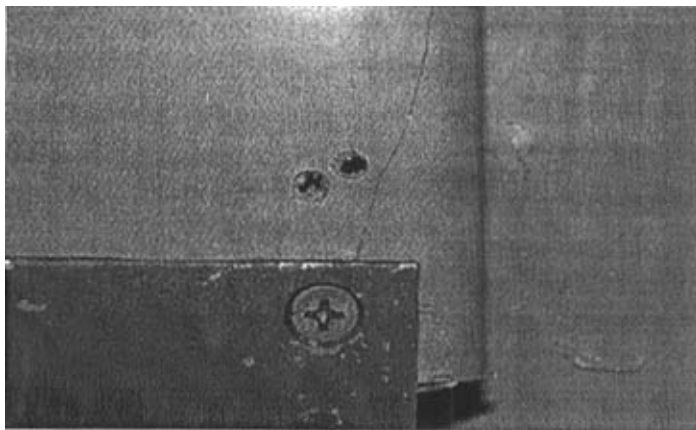


图 5-5 装配导致防火板裂纹

二、针对上述加工过程中存在主要原因，解决贴面胶合板件制造应采取的措施：

1 应力消除孔加工要求

1.1 不得使用钻头加工应力消除孔，避免应力消除孔周边出现贴面板崩碴和微小的裂纹。

1.2 用铣刀加工应力消除孔时，应力消除孔的形状、尺寸应符合图纸要求，加工后应力消除孔贴面板圆弧边应光滑，不得有崩碴和微小裂纹等加工缺陷。

2 灯口、通风器孔等方孔的加工要求

2.1 不得使用手提电动圆锯机进行各种灯口、通风器孔等方孔的加工，避免锯片过位造成应力集中点。

2.2 各种灯口、通风器孔等方孔须在镗铣机等设备上用铣刀加工，加工后的贴面板边应光滑，不得有崩碴和微小裂纹等加工缺陷。

3 检查门口加工要求

3.1 加工检查门板和检查门口时，锯口准确、平直，锯削后的贴面板边应平直，不得有应力集中点。

3.2 用手动曲线锯加工的检查门口四角圆弧边，与用手提电动圆锯机加工的检查门口直边结合处不得错位，避免出现应力集中点。

4 贴面胶合板件角形缺口加工要求

4.1 不得使用手提电动圆锯机加工间壁板等贴面胶合板件上的角形缺口，避免锯片过位造成应力集中点。

4.2 使用镂铣机等设备加工贴面胶合板件上的角形缺口时，所用铣刀应刃口锋利，加工后的贴面板边应平直光滑，避免出现应力集中点或微小裂纹。

4.3 两直边相交处应为圆弧过渡，避免出现应力集中点。

5 弯形贴面胶合板件加工要求

5.1 弯形贴面胶合板件基材加工要求

a. 合理确定弯形贴面胶合板件基材圆弧处拼接用的梯形及三角形胶合板条的形状、角度及尺寸，加工时要确保梯形及三角形胶合板条的质量和加工精度，使拼接后的各胶合板条拼实、粘牢，使胶合板条与平板拼实、粘牢。

b. 合理确定胶合板拼条的厚度，使拼接后的基材胶合板内外圆弧面均有一定的加工量，基材制造成形后对内外圆弧面进行加工，加工后应平整、光滑，使贴面板与胶合板基材圆弧部位有良好的结合面，使圆弧处的贴面板粘实、粘牢，保证贴面板的粘接强度，避免贴面板与胶合板之间出现粘接不实、发空等缺陷。

5.2 弯形贴面胶合板件加工要求

a. 采取对贴面板进行预压成形等措施，使贴面板圆弧面与基材胶合板内外圆弧面相吻合，使贴面板粘接面与基材胶合板内外圆弧面靠严、靠实，保证粘接强度。

b. 在弯形贴面胶合板件粘接时应采取胎模或工装等加压措施，使贴面板与基材胶合板内外圆弧面靠严、靠实，保证贴面板与基材胶合板之间无间隙，保证粘接强度。

6 后成形贴面胶合板件加工要求

6.1 加工后的基材胶合板圆弧面与基材胶合板平面、立面相接处圆滑过渡，不得出现锐棱，避免贴面板出现死弯而产生裂纹。

6.2 加工后的基材胶合板圆弧面与基材胶合板平面相接处如有锐棱，须取用砂布对锐棱处进行打磨等修整措施，将锐棱消除，使基材胶合板圆

弧面与胶合板平面相接处圆滑过渡。

7 安装螺钉孔加工要求

7.1 预钻贴面板胶合板件安装螺钉孔时，必须以正面为基准，钻孔时钻头从正面钻入从反面钻出，所用钻头应刃口锋利，钻削速度适当，避免钉孔周边贴面板出现崩边和应力集中点，避免贴面板产生裂纹。

7.2 预钻螺钉孔及划孔直径必须符合图纸要求，避免因划孔直径过小，导致钉头压紧后钉孔周边贴面板出现微小裂纹和应力集中点，导致贴面板产生裂纹。

8 加工顺序和进刀方向要求

8.1 合理确定加工顺序，避免不合理的加工顺序造成贴面板崩碴和应力集中点。

8.2 合理确定进刀方向，避免不合理的进刀方向造成贴面板崩碴和应力集中点。

9 贴面板自然缝边加工要求

9.1 贴面胶合板件外露自然缝直线边和圆弧边必须是精加工边，加工后的直线边应平直、光滑，圆弧边应圆滑、光滑，不得有波浪状等质量问题，各自然缝边均不得有崩碴和应力集中点存在。

9.2 加工各种外露自然缝直边时所用切削刀具须刃口锋利，切削速度适当，刀具变钝应及时刃磨。

9.3 木工分厂现在没有万能刃磨机（用于刃磨柄铣刀、硬质合金整体成形铣刀及盘铣刀等），没有能保证硬质合金圆锯片刃磨质量的刃磨机，难以保证刀具的刃磨质量。建议给木工分厂增加万能刃磨机，全自动硬质合金圆锯片齿面及齿顶刃磨机各一台，以保证刀具的刃磨质量，提高产品质量。

10 对总装配的要求

10.1 在贴面胶合板件总装配工序中，能进行预钻孔的件必须预钻孔，杜绝不引孔而直接将紧固件拧入或打入现象，避免贴面板产生微小裂纹或应力集中点。

10.2 在贴面胶合板件装配工序中，能用划孔钻代替普通引孔钻头引孔时一律使用划孔钻，避免孔周边贴面板损伤和产生微小裂纹，出现应力集中点，导致贴面板裂纹。

第六章 结构分析及改进

防火板件的开裂有很大一部分来自于受到外界负荷较大的位置，如平顶板的灯口处、间壁板、内外端墙板等处，根据应力分析章节的分析，设计者应充分考虑到材料本身的脆性、应力集中系数高、尺寸变化大、受环境影响较大的特点，在设计结构中加以避免，根据现在车型中一些开裂的案例我们进行了归纳，总结了由于设计不当造成开裂的几个原因，并提出相应的改进措施。

6.1 平顶板

平顶板板厚 20mm，大部分由于平顶板上有灯具或通风口设备，因此中心较多的开孔，应力孔设计为直角边或外圆弧。这些设备的重量也较大，一般最大不超过 10kg，位置居于板材中心，而整块板材重约为 30kg，因此是重力接近于整张平顶板的重心位置，在车辆运行振动过程中受力最大，如果防火板件稍有缺陷，极易在此处产生开裂现象；

改进 1、设计部门应当将灯口、通风器口角部的应力消除孔由外圆弧孔改为内圆弧孔，改后将各方孔长宽尺寸做相应变动；或将灯具、通风器角由直角改为圆弧角，或加大灯具、通风器的翻边，使其能将所开方孔盖住，或加大平顶板的厚度，减少该处的振动和变形；同时设计部门应将平顶板的加强筋加长、加宽和加厚，最大限度的保证平顶板不产生形变；

改进 2、覆盖于方孔上的灯体等电器设备是热源体，灯体热源作用于防火板表面，导致防火板发生变化而产生裂纹。将灯体等电器设备与贴面板之间加隔热垫，避免直接导热于贴面板表面，使贴面板发生变化和产生裂纹。

6.2 墙板 间壁

对于横间壁卧铺悬挂设计：包间间壁的卧铺支撑处是整个间壁板处受

力最大的部位，整个上铺的负荷全部集中在卧铺支撑处的螺钉口处，易导致防火板产生裂纹；我们现以具体事例进行分析如下：CCK208 软卧车多辆车横间壁卧铺悬挂螺栓穿孔处防火板出现大量裂纹，裂纹出现的共性特点：

A、卧铺悬挂的三个螺栓，所有裂纹均为上下两个螺栓孔处防火板裂纹，中间的螺栓孔处无一裂纹；

B、裂纹走向一致：均为垂直于纤维方向裂纹，沿铺水平向开裂；上端螺栓裂纹延伸方向向下延伸；下端螺栓裂纹延伸方向向上延伸；

根据以上共性和应力分析章节的研究，验证了理论分析是正确的。主要裂纹原因是设计结构原因。此次卧铺悬挂机构为悬壁梁结构，无以往吊挂链及缓冲簧；主要受力处为连接铁最上端及最下端两侧螺栓，一块横间壁两侧连接铁固定后，铺椅受向下载荷时，最下端螺栓压挤防火板，另一侧上端螺栓对防火板也产生压挤力；受到力距最大的恰是两端螺栓孔处；我们对此车进行现车实验：实验也证明了这一点，一端铺椅进行下放时，另一侧铺椅被颠起，且振幅较大；经多次反复落铺，在原有裂纹基础上，裂纹延伸了 30mm；将连接铁卸去后，发现间壁板卧铺上下两端螺栓孔处有凹陷，证明此处受挤压力最大；另一点就是此次裂纹方向均为横切纤维方向，而一般情况下防火板开裂是纵向顺纤维方向，（因为纤维与纤维之间最易裂），此现象说明开裂处受上下拉力已相当大，才易造成纤维自身切断；因此此次开裂是防火板自身质量强度不高造成的，其纵向抗拉能力不足以抵抗卧铺的上下拉力而导致裂纹；

建议采取下列措施加以改进：

A、改变这种悬壁梁结构；

B、在连接铁与横间壁之间加橡胶垫，避免连接铁与间壁“硬碰硬”连接；改变包间间壁处的受力情况，尽量平均的将负荷分配到更大的区域内，并减少对受力点的冲击。

C、在螺栓通孔处划窝处理，避免螺栓受力后塑性变性直接压在防火板上；

D、间壁的弯板应改为直板贴面。

6.3 其它共性的问题

1、板材厚度方面：对于 2002 年以来我们的高包车、专运处车、RW19K 兰州局软卧车，提速车，这些车型中多为高档软卧车，其结构设计高档，墙板多为弯板，这些车中开裂多为弯板开裂，而弯板厚度多在 0.8mm 以下，甚至某些板材厚度刚接近于 0.7mm，板薄其承受应力变化，及承载能力势必低下，开裂机率自然大。根据应力分析章节计算，我们认为在墙板结构对于大片墙面垂直用途的防火板应切割为 60cm 的宽度，可用厚度 0.8cm 的，假如每片墙宽超过 60cm，防火板则要用 1.0mm 以上的，厚度最好是 1.2mm 的防火板。特别是横竖间壁应使用 1.2mm 厚的直板；对于弯板结构，宽度尽量缩短，大的尺寸墙板应改为拼接方式。并使拼接方式优如图：

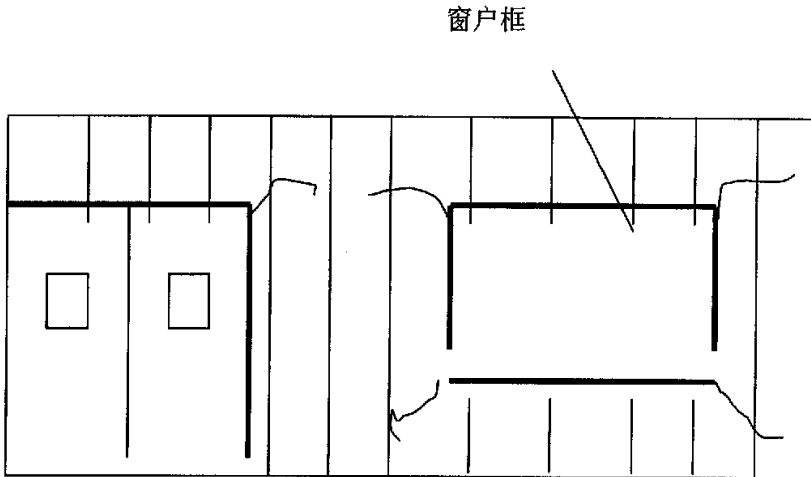


图 6-1 可能会导致裂纹的拼接方式

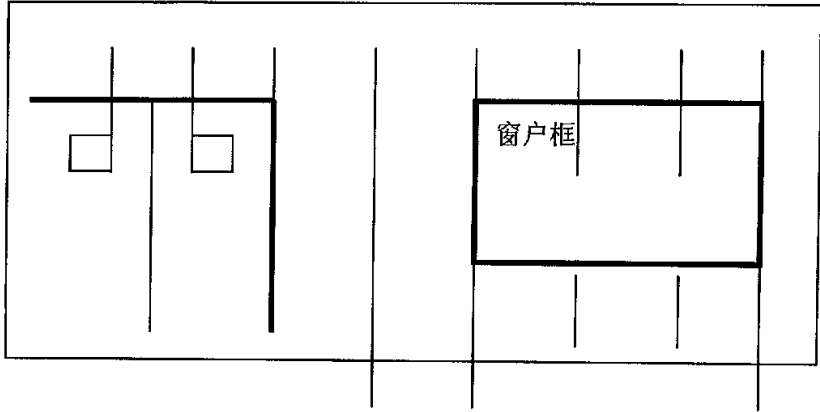


图 6-2 如按下列正确的连接可以避免裂纹的发生

2、平衡方面：现我们所用防火板一般都要要求两面均进行粘接，背面用平衡板来平衡。两种不同类型的材料有时会被贴合在面及底，因此基板两面贴的应该是相同伸张变异的材料，无论温度影响 或相对湿度影响 ，其产生的变化数值应该相近。为达到良好的平衡效果，采用同一生产厂商制造的背板粘于底部，可减少问题的产生。在我们设计时应注意以上要求，防止板材弯曲变形。

3、开口：目前开裂问题在开口处占很大比例，见图 6-3，在墙板上直接开插座、接线盒等易出现裂纹，最好如图如示的两片防火板并接处裁切。

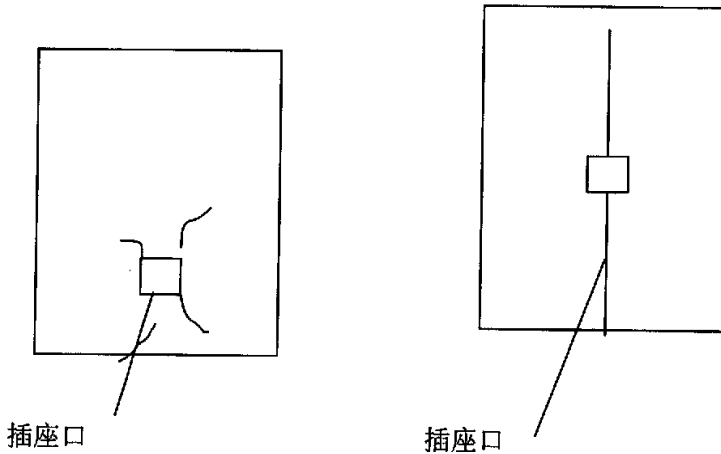


图 6-3 插座口裁切位置

因此控制及设计好板材上的开口十分关键。间壁、顶板、墙板常附装一些设备，例如插座、开关、电源出口、仪器及电灯等，所以挖洞切也在所难免，较恰善的处理方案应将方形口的四个角落做圆角处理，最好在 6MM 以上，在加工时无论方形也还是圆型孔，均应将切断面整修平齐；墙面的门窗也开口的边缘线应在并接缝处，可减少张力集中时由脆弱的角落产生的裂纹。见图 6-4

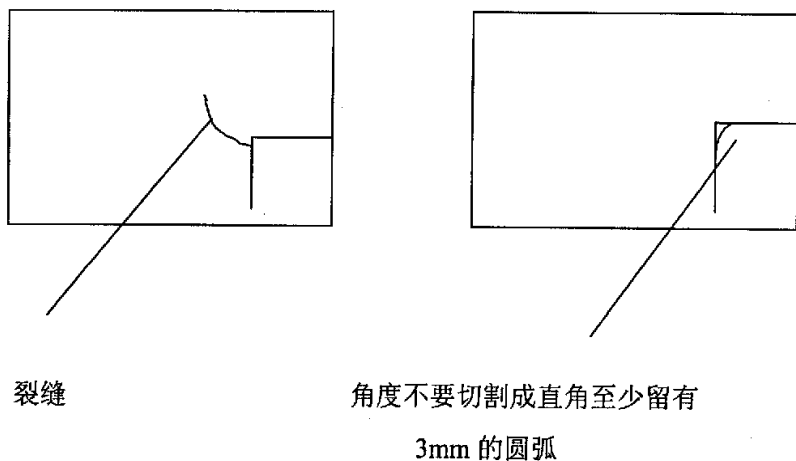


图 6-4 减少应力集中的圆角

对于覆盖于门孔洞上的设备若是导热源如电灯、加热器等，应将该热源体用垫木垫起，避免直接导热于板面上，而增加防火板变化。

4 加固上钉：固定用螺钉直接压迫于板面上，使钉孔边缘产生应力集中点，导致防火板伸缩而产生裂纹。此因素也是防火板开裂的主要原因之一。固定用螺钉不应直接压迫于板面上，因太靠近边缘，会使防火板伸缩时产生裂痕。

采用加垫片的办法，将压力平均分散在离孔远一点的地方，避免贴面板产生裂纹

措施一加附垫片，可以将压力平均散布在离洞远一点的地方。

措施二划窝，也可将压力直接作用于基材上而非防火板上，但设计时应注意划窝尺寸应大于钉帽大小。如图 6-5 所示：钉孔处划窝与未划窝产生后果不同

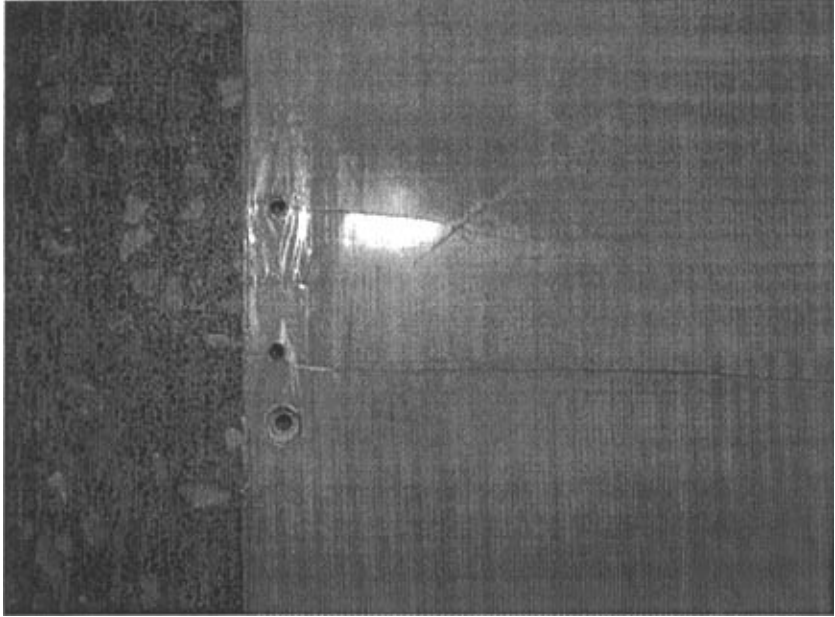


图 6-5 不同划窝产生的效果

5、目前客车产品图纸中的应力消除孔为 R4mm，由于孔径较小，应力不能完全消除，易产生裂纹。图 6-6

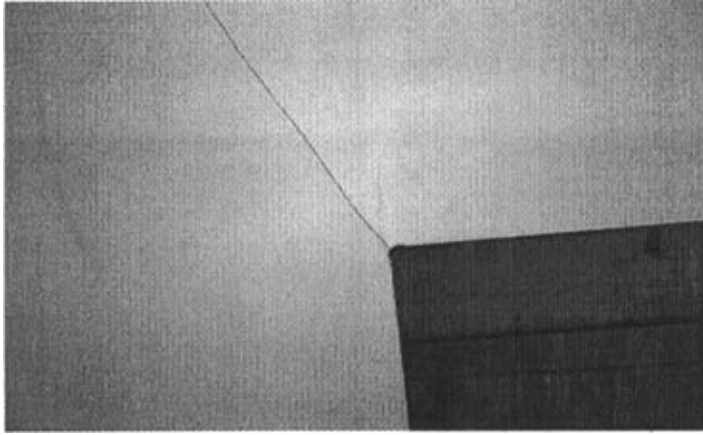


图 6-6 应力不能完全消除产生裂纹

将应力消除孔由 R4 改为 R6 或 R6 以上，孔直径加大后可减小应力集中，使应力得到释放，减少或避免贴面板裂纹。

目前所用的应力消除孔为外圆弧孔，应力消除孔为 3/4 圆，此种圆不利于应力消除而产生防火板裂纹。应改为内圆弧孔为 1/4 圆，有利于应力消除

6、个别车图纸中有直角检查门和对应的门板，直角处易形成应力集中点，导致防火板裂纹。

建议检查门四角和板上的门口内角采用 R20 圆角，即避免产生应力集中点

7、设计结构会造成裂纹（图 6-7）：如图通风口处四角走弯处无圆滑过渡

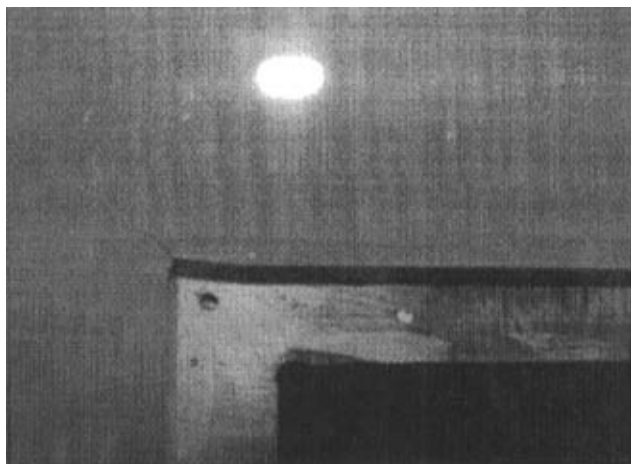


图 6-7 结构设计所产生的裂纹

墙板圆边没有直接延长，上下不成一线，造成角部受力：图 6-8

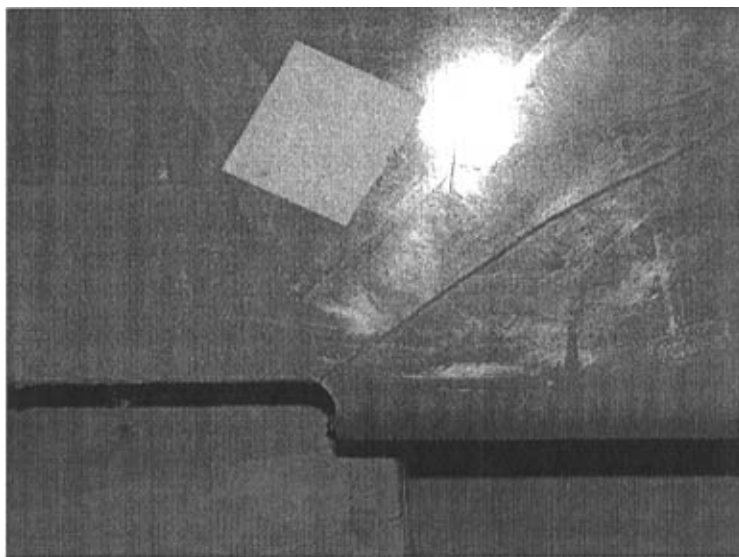


图 6-8 角部受力所产生的裂纹

板材多处开口过分集中，间隙较小，造成通长裂纹；图 6-9



图 6-9 间隙较小造成通长裂纹

第七章 总结

高压装饰板是随各种现代化工业技术的发展而生产的一种综合性技术产品。它不仅涉及到木材工业，而且涉及到化工、造纸、印刷及机械工业等各方面，而且作为车辆运输设备又有其自身特点。因此本文全面研究了这种材料的性能和工艺性，在理论上、试验上、经验上总结了开裂的原因并提出了相关的改进措施。通过 2004 年一年的实际验证，共计为第五次大提速生产了 210 辆 25T 型快速车，和 150 辆春运车和 40 辆高包车、30 辆巴基斯坦出口车等任务，全年客车生产用防火板 10 万余张，全年杜绝了防火板批量开裂的质量问题，扭转了车辆连续三年发生防火板批量开裂的局面，从而验证了本文提出的工艺改进是可靠、有效的。

通过本文的研究和实际验证可以得到下结论：防火板在受外应力和内应力的共同作用构成板面在受载时极为复杂的应力分布。而由于板面和胶接面内部缺陷（如气泡、裂缝、杂质）的存在，更增加了问题复杂性。造成局部的应力集中，当局部应力超过局部强度时，缺陷应能扩展成裂缝；进而导致板面破坏。因而必须从材料、加工、环境、结构方方面面加以综合控制，才能避免开裂。

1、材料上生产厂家在配比时控制树脂含量要适度，固化完全；纸张符合相应的克数；

2、防火板强度直板强度要求在 85MPa 以上，弯板 90Mpa 以上；弯板增加可弯要求；应根据客车车辆环境变化的特点，提出对尺寸变化的要求。

3、加工时必须注意温湿要求及陈化要求；必须与基材进行二次平衡；

4、加工中注意上钉的应力集中和应力消除的解决；

5、结构上注意受力承载的间壁应使用直板，减少弯板用量。各开孔、开口的应力消除孔应为内圆弧。

参考文献

- [1] 美 H.S.考夫曼 J.J.法尔西塔 聚合物科学与工艺学引论 科学出版社 1986
- [2] A.A.Griffith,Phil/Trans.Roy.Soc.A221,163(1921);Proceedings international congressapplied mechanics,delft,1924
- [3] 殷立新 徐修成 胶粘基础与胶粘剂 航空工业出版社 1988
- [4] 张志冬等 胶接原理与实用胶接配方 600 种 黑龙江省出版总社 1985
- [5] 苏 H.B.卡恰林 胶合板生产手册 中国林业出版社 1987
- [6] 江西省木材工业研究所编著 人造板生产手册 农业出版社 1976
- [7] 吴鸿遥 合成板、夹层板与整体板的强度计算原理 国防工业出版社 1989
- [8] 苏联 H.T.多罗宁 木材工业合成树脂 中国林业出版社 1984
- [9] 顾继友 胶接理论与胶接基础 科学出版社 2003
- [10] 于夺神 装饰板制造与应用 中国林业出版社, 1983
- [11] 张勤丽 人造板表面装饰 中国林业出版社, 1986
- [12] 王善琦 高分子化学原理, 北京航空航天大学出版社, 1993
- [13] 殷荣忠, 酞醛树脂及其应用, 化学工业出版社, 1990
- [14] Thmos M Maloney,modern particleboard dryprocessing fiberboard manufacturing finishing board,1977
- [15] 王孟钟 黄应昌 胶粘及应用手册, 化学工业出版社、1987
- [16] 陈根座, 胶粘剂应用手册, 科学出版社, 1980
- [17] 张福范, 弹性薄板, 科学出版社, 1963
- [18] Timoshenko,S.P, 板壳理论, 科学出版社, 1977
- [19] 李士学, 胶粘剂制备及应用, 天津科学技术出版社, 1984
- [20] 夏文干, 胶粘剂和胶接技术, 国防工业出版社, 1980
- [21] William C.wake,Adhesion and the formulation of adhesives,second edition London,applied science pub ,1982
- [22] Lawrence E.Nielen,mechanical properties of polymers and composites,Marcel Dekker,inc. new york,1974
- [23] 富田文一郎, 雨宫昭二, 木材接着、接着剂, 产调出版, 1996
- [24] 王玉忠, 郑长义, 高聚物流变学导论, 成都, 四川大学出版社, 1993
- [25] 李斌才, 高聚物的结构和物理性质, 科学出版社, 1989
- [26] Northcott P L,Hancock W V ASTM-STP-401,62,1966

- [27] 满久崇磨, 接着, 1969, 13 (7): 415
- [28] 后藤辉男 日本接着协会誌, 1970, 6(2):146
- [29] 邓云祥等, 高分子化学、物理和应用基础, 高等教育出版社, 1997
- [30] 金士九, 合成胶粘剂的性质和性能测试 科学出版社, 1994
- [31] L.E.Nielsen, The Mechanical polymers, Reinhold, New York, 1962
- [32] J.A.Sauer and A.E.Woodward, stress-strain temperature relations in high polymers, in polymer thermal analysis, Dekker, New, York, 1970, Chap.3, part,2
- [33] A.Pboresi, Elasticity in engineering mechanics, prentice-hall, Englewood cliffs, nj 1965
- [34] F.Bueche, physical propertie structure of polymers, wiley, New, York, 1960
- [35] E.R.Parke, materials data book ,mcgraw-hill New York, 1967
- [36] 张立芳 合成树脂饰面人造板 化学工业出版社, 2004

作者在攻读工程硕士专业学位期间发表的论文

蒋贵山, 王成涛, PC 合金材料的应用及改进建议, 铁道车辆, 2004 (8), 23-24。

致 谢

首先,感谢北京交通大学对我的教育与培养。在论文写作过程中,方跃法教授给予了积极、热情地指导和帮助。方老师渊博的学识、严谨的治学作风,给我留下了深刻的印象,特别是方老师认真、负责的工作精神和他真挚热情的品质,非常值得我学习。

通过几年来的研究生学习,使我掌握和了解了许多新知识,对我的工作起到了很大的帮助作用。在此,也感谢公司领导为我提供了深入学习的机会,同时也感谢厂内指导老师马洪光先生以及课题组的全体同志。

最后,我对所有关心和支持本次论文完成的老师和同学表示最真诚的谢意。

作者: 蒋贵山

2006年1月16日