

# 浅谈耐蚀纤维增强塑料的非实验室检测

江先龙

(上海欧扬化工有限公司, 上海, 201108)

**摘要:** 本文系统总结了纤维增强塑料 (FRP), 尤其是不饱和聚酯树脂和乙烯基酯树脂纤维增强塑料 (FRP) 的非实验室的检测方法, 并对纤维增强塑料 (FRP) 积层中一些常见的缺陷, 分析了原因, 提出了解决办法。

**关键词:** 纤维增强塑料 (FRP); 非实验室检测; 缺陷; 解决办法

**中图分类号:**

**文献标识码:**

**文章编号:**

## Discussion on Non-laboratory Testing & Inspection of Anti-corrosion FRP

Jiang Xianlong

(Shanghai Ouyang Chemical Co., Ltd. Shanghai, 201108, China)

**Abstract:** This paper systematically summarizes non-laboratory testing and inspection of FRP, especially for unsaturated polyester resins FRP and vinyl ester resin FRP. Some fabrication quality defects of FRP and their reasons are analyzed, and then put forward some solutions

**Key Words:** FRP; Non-laboratory Testing & Inspection; Defects; Solutions

## 0 引言

在“树脂重防腐<sup>[1]</sup>”领域, 力学性能、耐热、耐腐蚀、耐疲劳、耐老化等实验和分析工作, 但这些都属于实验室性质的分析检测, 一直有客户经常提出来一些要求, 诸如“现场如何快速的定性判断纤维增强塑料 (FRP) 的固化度?”、“除外观外, 现场如何有效的检查纤维增强塑料 (FRP) 的质量?”、“如何辨别一些玻璃钢的缺陷? 如何修复? ”。笔者借此机会, 总结一下自己在“耐腐蚀纤维增强塑料 (FRP) 制品非实验检测和判断”的一些经验, 期望为广大下游用户提供简易的、快速的判断纤维增强塑料 (FRP) 质量好坏的方法。

纤维增强塑料 (FRP) 设备所有制作完成后, 在设备投入使用之前应彻底检查。检查工作从制造车间开始直到安装现场, 检查发现任何问题, 应立即修复, 相对而言工厂内修复更加方便。安装后检查确保纤维增强塑料 (FRP) 设备没有机械损伤 (运输和安装过程中容易引起机械损伤)。安装后, 应定期检查监控设备确保需要维修或更换时及时发现。此外设备修复或大修时, 应记载修复时使用的树脂类型、纤维增强材料类型、修复方法、日期、地点等信息。

## 1 目视检查

一个简单有效的检查方法就是目视检查<sup>[2,3,4]</sup>。纤维增强塑料 (FRP) 的许多缺陷只需目视检查 (有时需要背对光源看) 就可以检查出来, 如气泡多少、气泡大小、气泡均匀与否、裂缝、纤维是

**【联系作者】** 江先龙, 上海欧扬化工有限公司, 13918593706, 1305154187@qq.com

否含浸充分等。常见纤维增强塑料（FRP）缺陷检测信息可以参见《ASTM C582 在化学药品环境中使用的自承重结构用增强塑料层压材料》或《ASTM D2563 玻璃纤维增强塑料层压零件中可见缺陷分类的标准方法》。纤维增强塑料（FRP）的表面也应仔细检查，好的纤维增强塑料（FRP）其表面异常光滑，颜色均一，没有未含浸的纤维斑点、没有明显的局部纤维外露和凸起。有时，检查还要求对结构层进行切割，检查厚度是否均一并满足设计要求、是否有空洞、层间粘结好不好、整体均匀性好不好等。

## 2 巴氏硬度检测

巴氏硬度经常被用于评价纤维增强塑料（FRP）积层品的树脂固化程度高低，至少读取10~12次数据，并去掉最小值和最大值，再计算平均值。

巴氏硬度检测的关键点：①巴氏硬度计需要用高硬度和低硬度的两片金属铝盘经常进行校正检查；②室温25℃左右使用巴氏硬度计测试；③经常清洁和重置硬度计的指针；④确保测试二次粘结处的数据准确性，尤其是法兰、内部结合处等，这些数据都非常重要；⑤纤维含量高的积层品，当硬度计的指针碰到纤维时，往往其硬度值会很高；⑥如采用有机表面毡，接触到有机毡的数据可能只有下降2~3；⑦不恰当的固化剂比率会导致巴氏硬度数据偏低；⑧固化剂混合不充分不完全也会导致巴氏硬度变化较大；⑨表面液蜡残留过多会导致巴氏硬度数据偏低，这时需轻微地擦去表面0.025mm~0.05mm的石蜡层，再进行测试。

巴氏硬度值表征树脂的固化程度高低，值越大越接近理论后固化处理值，固化得越完全。纤维增强塑料（FRP）的表面巴氏硬度随着树脂不同、纤维不同而不同。一般而言，纤维增强塑料（FRP）只要固化完全，都会有一个30的最低巴氏硬度值。据《ASTM C581-15 Standard Practice for Determining Chemical Resistance of Thermosetting Resins Used in Glass-Fiber-Reinforced Structures Intended for Liquid Service》记录，巴氏硬度至少达到供应商给出来数据的90%才可以被接受（通常UPR&VER的纤维增强塑料，一般巴氏硬度达40~50，则达到较为理想的固化程度，即可投入使用了）。UPR&VER每个牌号的单页技术资料上都清楚地标注了该牌号的巴氏硬度数据值。ASTM D2583是检查纤维增强塑料（FRP）设备巴氏硬度的标准，通常需要记载下来平均巴氏硬度值。

OYCHEM 乙烯基酯树脂每个牌号的单页技术资料<sup>[5]</sup>上清楚地标注了该牌号的巴氏硬度数据值（摘取部分见表1）。ASTM D2583是检查纤维增强塑料（FRP）设备巴氏硬度的标准，通常需要记载下来平均巴氏硬度值。

表1 典型浇铸体巴氏硬度测试值

	典型浇铸体表面巴氏硬度值		
	室温固化24h	120℃后处理2h	实际使用中可接受最小值
OYCHEM <sup>®</sup> 8441	20~30	35~42	30
OYCHEM <sup>®</sup> 8001	20~30	35~42	30
OYCHEM <sup>®</sup> 8007	30~40	45~50	40
OYCHEM <sup>®</sup> 8005	20~30	40~45	35

OYCHEM® 8008	15~25	30~40	25
--------------	-------	-------	----

巴氏硬度值的高低受到很多因素的影响：①纤维增强塑料（FRP）表面的纤维含量高，无机填料，尤其是石英砂、金刚砂、碳化硅、氮化硅、陶瓷粉等填料含量大，巴氏硬度值会较高；②表面富树脂层上面有一层蜡，先将小面积的蜡质层抛掉或用细砂纸擦掉再进行测量，否则巴氏硬度值容易偏低；③表面富树脂层如果采用的是有机表面毡，如聚酯纤维表面毡，也会引起巴氏硬度值偏低；④局部由于促进剂固化剂没有混合均匀或固化剂加少了导致局部树脂固化不完全，测试的巴氏硬度值明显会偏低；⑤弯曲面上测试时，巴氏硬度计压头支撑不住力气，也会导致测试数据偏低。

### 3 丙酮敏感性试验

用手触纤维增强塑料（FRP）产品表面无粘感；用干净棉球蘸取丙酮放在制品表面观察，棉花是否出现颜色；敲击制品听声音，应清脆而不是模糊；用硬币划不出伤痕。丙酮敏感性试验和巴氏硬度法是最典型的现场接触式检查。

丙酮敏感性试验也是常用检查纤维增强塑料（FRP）表面树脂固化是否完全的一种简易方法。具体测试方法如下：将待测试面，用棉球蘸满丙酮进行擦拭，或滴上四到五滴丙酮用手指进行擦拭，擦拭完待丙酮挥发干，再用手指触摸擦拭面，明显发粘发软说明固化不完全，反之则说明固化完全。测试前，待测试表面应无脱模剂、蜡、灰尘、污垢等。后固化处理可以大大提高纤维增强塑料（FRP）的固化度，提高表面巴氏硬度值，改善丙酮敏感性。

### 4 回弹法检查

回弹法是把小钢球从一定高度落向被测固化树脂表面，由于固化程度不同，树脂的刚性是不同的，所以回弹高度亦不同，回弹高度可表明固化程度。

### 5 积层缺陷检查

绝大多数纤维增强塑料（FRP）的检查，如硬度检测等都是看得见摸得着的，物理性能测试一般都是破坏性的。然而，可以通过最终观察纤维增强塑料（FRP）制品辨别出其缺陷和瑕疵，表2简要列出一些常见的缺陷问题及原因和解决办法。

纤维增强塑料（FRP）缺陷很多，为方便各位对比外文资料中关于纤维增强塑料（FRP）缺陷的描述，笔者在这里将常见的纤维增强塑料（FRP）缺陷的中英文列举如下：砂眼（blister）、针孔（pinhole）、剥离（delamination、peeling）、片状（<30mm<sup>2</sup>）剥落（flaking）、块状（≥30mm<sup>2</sup>）剥落（scaling）、鼓泡隆起（lifting）、膨润溶胀（swelling）、软化（softening）、变色（discoloration）、白化（whitening）、粉化（chalking）、龟裂（浅，表面的裂纹）（checking）、

银纹(craze)、深裂纹(cracking)、磨损/损耗(abrasion、wear)、线性外部损伤(scratch、external damage)、点状外部损伤(chipping、little external damage)、变形(deformation)、脆化(brittleness)、翘曲(warping)、表面发黏(tacky)。

纤维增强塑料(FRP)设计上导致缺陷的可能的原因有基材含水量超标、基材设备整体处于动态或施工后设备本身变形、基材设备内应力未消除导致施工后应力集中释放、设备整体受撞击或冲击、介质高速流动且流速变化、介质流体冲击纤维增强塑料(FRP)器壁的角度位置发生变化、纤维增强塑料(FRP)内外温差变化频率过大、纤维增强塑料(FRP)内外压差剧烈变化等。

使用纤维增强塑料(FRP)过程中导致缺陷的可能的原因有搬运或安装不当、外部重量冲击、运输过程热量冲击、点检损伤、储存不当等。

使用过程由环境导致缺陷的可能原因有气候(温度、热、酸雨、氧化、紫外线)、药品介质浸透、使用环境中介质的溶出、使用过程中纤维增强塑料(FRP)中物质的析出、使用过程中药物介质本身的化学变化、使用过程中药物介质的溶胀膨润、药物本身受环境应力影响、药物介质中含预先未知有的固体状的杂质并产生纤维增强塑料(FRP)内壁冲击、动态药物介质、介质流动过程可能带来的静电等。

分析每种缺陷的可能原因,在每个环节进行预防工作;一旦发生某种缺陷,大部分可以有补救措施,如不能补救,也需分析出原因,在下次成型操作上避免同样缺陷;具体的对策措施根据原因各不相同,在此不赘述。

施工中导致缺陷的可能的原因有气泡未赶净、异物混入、含浸不足、膜厚不足、膜厚过大、基材处理不足、底层涂层与基材附着力不够、树脂固化不充分、发热过大或发热集中、空干剂未加或不足等。

从产生气泡的来源来分类。

第一个来源:内部因素。树脂本身产生的气泡,有两种,主要是“钴水/过氧化甲乙酮”加进去后,氧化还原反应,常温固化体系,气泡是必定有,只是多少的问题。

第二个来源:外部因素。外界导入的气泡,这里就有很多来源:搅拌带入的、层铺时布没拉平、基材的不平整、纤维空隙、压赶气泡时(赶出来又带进去)等。

先分析“内部因素”,由树脂本身带入的气泡,怎么去最大限度降低这个因素,从以下几点入手。

①树脂本身的黏度。黏度大,气泡肯定难以逸出,但是黏度大小是树脂商决定的,因此工程方是不可能去改变什么,千万不要动不动就以加苯乙烯稀料来解决黏度大导致的施工困难,加入过多苯乙烯,最终的纤维增强塑料(FRP)过脆,力学性能和耐腐蚀性能都受到严重影响。UPR&VER选择的稀料,一般为苯乙烯,不可选择丙酮、甲苯、二甲苯、甲乙酮、环己酮等作为稀料,应在混合配

料时同促进剂一起加入，不可超过树脂供应商规定的上限（一般认为不超过树脂量的5%）。在整体强度和耐热要求较为苛刻的地方，不可随意添加苯乙烯稀料，需要得到树脂供应商的同意。

②树脂商本身在树脂中是否添加有消泡剂之类的助剂。绝大部分常规的树脂产品，是不会添加的，那样无疑会增加成本，但有特殊要求的客户可选择补加。加了消泡剂的话，肯定对消泡有帮助。这个一般只有供应商告诉你，你才知道，否则作为施工者是不可能知道的。

③树脂固化体系。这是相当重要的一点，树脂本身的活性，施工者是没法决定的，但是你可以决定使用的固化体系。一般的蓝白水体系，气泡肯定会较多，尤其是目前市面上过氧化甲乙酮的双氧水含量普遍较高的现状下，气泡都很多。选择诸如Butanox LPT之类双氧水含量较低的过氧化甲乙酮，可一定程度上减少气泡。

④使用BPO和DMA体系，没有多少气泡，但是有更多的弊端，相比蓝白水体系，其常温固化固化度不足、固化物泛黄等。

⑤目前国内一些厂家已经推出“无气泡固化剂”（其实是极少气泡的效果，并非无泡）。

再分析“外部因素”，外界导入的气泡需要降到最低，主要注意如下一些细节。

①蓝白水的配比合理；气泡的逸出需要一定时间，树脂需要熟化后再使用。

②压赶气泡的工夫是锻炼出来的，更是工人的责任心的体现。

③“工欲善其事，必先利其器”。压赶气泡，不仅需要采用毛刷或硬毛猪鬃辊，必要时还需使用四氟辊、金属辊，刮刀等工具。

④不要过于追求积层的速度，不要过于追求铺布的速度，那样必定会有气泡的。一旦最底层的气泡，尤其是小气泡形成了，开始没赶压彻底，到积了几层之后，就很难再赶走了。

⑤纤维的选择也很重要，布不易浸透，毡较容易浸透，规格越大的纤维连续材料，越难脱泡，越需要工人的责任心，越需要配料人员把握可使时间的尺度。

⑥如果施工时不是使用树脂胶液，而是使用树脂胶料，即树脂中加入了粉料（可以降低树脂使用量，降低成本），这样的话，粉料的加入不利于气泡的逸出；在桶里面加入粉料搅拌时，搅拌杆太浅，容易导入过多气泡。

⑦不平整的特殊部位，更容易挤压缝隙，导致气泡难逸出，这时需要施工监督者认真监督，一定要用腻子或其他必要的办法将其补平填实，否则后面再想赶净气泡几乎不可能了。

⑧搭接边界时刷树脂和赶气泡时，也是易产生气泡的时候，这时需要工人不要嫌麻烦，在搭边地方多重复地压几遍。

⑨表面毡上面涂时，面涂的树脂含量不要太省，加入过多粉料肯定会不利于最终的气泡逸出和平整度。

⑩通常施工人员作假的方法，或者说掩盖瑕疵的方法主要是加入黑色或者其他有色的粉料，使

最终的纤维增强塑料（FRP）看不透，下面或底下的气泡，即便有，业主和监理也看不出来了。挑气泡的毛病只能仅仅在表面那一层可以看得出来的地方挑了。

对于纤维增强塑料（FRP）手糊成型时小气泡的清除，前提是先做好压赶气泡工作，除此之外，可以继续改善的方向有如下几个。

①在双氧水含量较低的过氧化甲乙酮或者“无气泡”固化剂或“无泡促进剂”上做文章。

②树脂加完“蓝白水”后，熟化时间拉长些（如果不够用，可选用“后程固化”较快的树脂牌号），对于看不见的小气泡的逸出有好处（而实际施工后又有），这就需要尽量达到凝胶慢、凝胶之后固化快的效果，否则熟化时间拉长了，施工时间就不够用了。

③尝试消泡剂的添加，但这会增加成本。

④纤维的不同，遮盖效果也不同，对最终看到的小气泡多少也有感官上的影响，这就是很多人在面涂上加一两层表面毡，乃至做成深色面层的原因。

## 6 固化后苯乙烯残留量的控制

理论上讲，UPR&VER达到100%固化是不可能的，提高固化程度，减少残留苯乙烯的含量，有利于提高FPR材料的力学性能、耐热性能、耐腐蚀性能、电气性能等，最大程度发挥纤维增强塑料（FRP）的优势，尤其是在食品接触场合，纤维增强塑料（FRP）中残留苯乙烯量是有严格限定的。室温固化3d，由UPR&VER制得的FPR的苯乙烯残留量一般在5%~15%（质量分数），室温放置6个月后会减少到3%以内；模压产品中苯乙烯残留量一般在1%以内。

影响UPR&VER固化程度的因素很多，这里不详细展开，仅介绍一些应用操作过程中，减少苯乙烯残留量，提高纤维增强塑料（FRP）的固化程度的方法。

### （1）后固化处理

加温后固化处理的FPR产品，苯乙烯残留量一般都可降到0.1%以内。UPR&VER的FPR制品，后固化处理建议如下。

①对100℃以下的用设备：后固化会延长设备的使用寿命，尤其是设备使用温度低于设备服务最高建议温度LS25时，这意味着后固化对溶剂在25℃~40℃（户外常温）温度极限内的纤维增强塑料（FRP）设备是非常有益的。

②对100℃以上的用设备：后固化在实际使用中已经完成了，足以提供使用前所需的最低巴柯尔硬度了。

③对纯的或中性盐溶液的设备：一般情况下并不要求后固化，就可达到使用要求，在使用前只要做一个“丙酮擦拭敏感性”试验，没有丙酮敏感性就可以了。

④对BPO/DMA固化体系而言：强烈建议后固化处理，后固化处理应在设备制造后的两周内进行。

⑤后固化条件建议如下：UPR和双酚A型VER以及以此为基础的变性树脂而言为80℃；酚醛型VER及以此为基础的变性树脂而言为100℃；一般建议每增加1mm厚，后固化处理时间增加1小时（一般在5h~15h）。

⑥接触食品、强腐蚀环境下，后固化处理是必须的，大型纤维增强塑料（FRP）制品后处理时间还需相应延长。

⑦后处理温度不宜过高，防止局部过热。

## （2）选用恰当的固化剂

常温固化，尽可能选择“蓝白水”固化体系，相比较BPO/DMA体系的固化程度更高。在中高温固化体系中，采用中温固化剂和高温固化剂联用可使树脂固化程度更高，苯乙烯残留更少。中高温固化时，采用半衰期温度低的固化剂，也可得到更高固化度的制品，但存放期和固化工工艺控制更难。铈的氧化物做促进剂，与过氧羧酸酯配合使用可减少固化时间，使苯乙烯残留量显著下降。

## （3）增加固化剂用量

这是一种现场常温固化较为简单的办法。常温、低温固化时，仅仅增加固化剂，往往可使时间不够，此时应该促进剂固化剂联动，稍微减少促进剂，同时增加固化剂的量达到目的。

## （4）延长固化时间




常温固化时，延长养护时间就是延长固化时间，达到固化度更高的目的。

中高温模压时也经常采取增加固化剂的量达到提高固化度的目的。在模压时，应该注意模压时间和温度也要进行联动。拉挤时，增加固化剂的量，往往也需要拉挤模具温度和拉挤速度进行联动。

表2 纤维增强塑料（FRP）积层中一些常见的缺陷问题及其原因和解决办法

图片	缺陷	描述	本质	可能的原因及对策
	气泡、空洞	空气被包裹在纤维增强塑料（FRP）里面	①层间气泡逃逸难，空洞未形成，内部球形连接，积层过快压赶气泡不够； ②搅拌时桨叶过高导入太多空气、基材不清洁阻碍气泡逃逸、一次积层过厚、压赶气泡不彻底； ③树脂黏度过大，纤维含量过大； ④固化剂含水量过高	①一次性积层不要过多或过厚； ②彻底压赶气泡（使用恰当的工具）； ③搅拌混合速度不要过快，桨叶不要过浅； ④树脂黏度太大时，可适当添加苯乙烯（≤5%）进行稀释操作
	小气泡			过氧化甲乙酮中双氧水含量过高、仅用毛刷赶气泡未用金属辊等工具、积层太快
	水泡	表面聚集的水泡有时能快速以圆形状态上升	严重改变纤维增强塑料（FRP）表面形状，一般是凸起的圆形状，有些是连续的，有些是独立的	固化太快、树脂纤维或填料的湿度太大
	大水疱			①固化太快，放热太高导致表面毡和纤维增强塑料（FRP）结构层出现分离； ②填料、玻纤、树脂中含水量太高； ③减少一次积层的厚度降低放热； ④减少DMA或BPO的用量，降低放热； ⑤树脂储存过程中谨防进水，玻纤、填料谨防受潮
	冲击裂纹、裂缝	裂缝裂纹，沿纤维增强塑料（FRP）表面或在表面以下	贯穿整个厚度的外表面可清晰看见的分裂裂纹	①受到冲击；增强材料不够； ②固化收缩导致；局部树脂含量过高；减少树脂相对含量； ③设备局部温度剧变导致的裂缝，如热震动热冲击导致的裂缝； ④设备运行中，减少温度波动
	龟裂	-	细微的裂纹	局部的富树脂区域；受到冲击、间歇性的温度频繁变化下使用导致内部应力致使出现龟裂；干湿环境循环导致；树脂收缩导致



	<p>层间剥离、分离</p>	<p>易出现在受高压较集中的部位，如小口径的管件、关节、法兰等连接件</p>		<p>原因：纤维含浸不够，未被饱和和浸渍，尤其是采用方格布不易含浸树脂时；二次积层时相隔数周，未进行二次粘结处理或纤维增强塑料（FRP）积层处理；小面积范围内采用快速固化体系导致；基材表面清洁度不够；纤维含量过高；进行下一层积层之前上一层的气泡未赶净；添加液蜡层的石蜡未清除就进行下一层积层了。</p> <p>对策：确保纤维充分含浸树脂；方格布不要连续两层或两层以上层铺，方格布和短切毡交替层铺；二次积层之前，对已经固化很长时间的部位进行轻微的打磨，或用砂纸轻轻拉毛；在小面积范围内，尽量采用低放热的固化体系降低收缩，减少应力聚积；切忌层间加液蜡</p>
	<p>鱼眼</p>	<p>-</p>	<p>表面或靠近表面地方有大量外来杂质，这些杂质和周边的树脂体系不相容</p>	<p>原因：细小的球星状物质并未和周围的树脂等材料混合均匀；周围材料是透明或半透明时尤为明显；基材表面不清洁；外界的不相容的物质混到树脂中去了；粉料团聚或颗粒状物质搅拌不均匀；玻纤太脏；树脂中含其他外来杂质。</p> <p>对策：确保环境和区域干净整洁；注意树脂和纤维的保存，避免受污染</p>
	<p>干斑</p>	<p>表面纤维未含浸，出现剥离</p>	<p>增强材料未被树脂彻底浸渍透；往往在积层品边缘较容易出现</p>	<p>树脂量增加，彻底含浸，彻底压赶气泡；含浸时间加长</p>
	<p>隐白</p>	<p>-</p>	<p>凝胶前积层板似乎浸渍充分，但固化之后出现白斑，局部玻纤丝非常明显变白</p>	<p>树脂和玻璃纤维表面的粘结剂不相容，在树脂固化时，粘结剂出现“相分离”，导致表面出现白色混浊的外观层；成型前，彻底评估树脂和玻璃纤维表面粘结剂的相容剂；提高放热峰温度和放热速度，延长含浸时间，提高“后期固化速度”</p>
	<p>面疱、疙瘩、花斑凸起物或褶皱</p>	<p>表面小面积的斑点状凸起物或褶皱</p>	<p>表面出现圆形的或尖锐的疙瘩，尤其在富树脂层中出现较多。</p>	<p>①底部有气泡未逸出；树脂凝胶临界状态之后再去做面涂施工； ②凝胶之后，不小心又滴落树脂到表面；凝胶之后，再用辊子去压辊气泡； ③树脂凝胶前彻底压赶气泡；一旦树脂开始凝胶，就不要再连续压辊赶气泡了；</p>

				④防止树脂溢溅
-	局部固化不良	纤维增强塑料(FRP) 表面局部软化, 固化度不足	促进剂、固化剂混合不均匀	①混合器太大了, 有死角, 有局部混合不均匀的地方, 需要改用小型容器混合, 或一次性混合量降下来; 每种助剂加入之后都需要彻底混匀; ②钴浓度较高时, 适当先用苯乙烯或树脂稀释之后再使用, 这样更容易搅匀
	树脂袋现象	-	局部小范围树脂过量聚集	手糊积层操作不当, 纤维和填料及树脂不均匀
	擦伤	-	浅痕、凹槽、皱纹、锚纹沟	运输、处理、储存不当
	螺纹孔	-		常在一些小直径的管材时发生, 固化从外至轴心发生时易出现这种情况
	皱纹、起皱	纤维增强塑料(FRP) 表面有褶皱或皱纹	①表面毡未完全铺平引起的褶皱或皱纹, 尤其是有有机纤维表面毡的耐热温度不足, 更容易引起表面起皱; ②上面涂之前积层面就不平; ③在周边或角落使用了规格大的玻璃纤维, 每平米的克数规格太大也易导致皱褶	①采用短切毡, 尽量在易产生皱褶的周边或角落不要使用方格布; ②彻底拉张平铺表面毡; ③面漆黏度太大, 如果黏度太大可适当加些(3%~5%)苯乙烯稀释; ④积层不当; 固化太快; 聚酯膜皱折
	烧伤	-	纤维增强塑料(FRP)固化时, 放热剧烈并且未能有效释放出来, 导致烧伤、变色	①放热过剧烈, 导致的原因可能是促进剂固化剂加得太多、一次性积层太厚、N,N'-二甲基苯胺加得太多等; ②减少DMA和/或固化剂的用量, 尤其是基材或环境温度较高时; ③减少一次性积层的厚度, 分层积层, 并且在上一层积层固化放热最高峰过去之后再进行下一层积层
-	表面发黏	未通过丙酮敏感性 试验	①表面氧阻聚引起的固化度不足; ②促进剂钴加得实在太少了	①面涂或表面富树脂层中添加液蜡(层间积层时切忌添加液蜡); ②增加促进剂、固化剂用量; 改用气干性面漆树脂

## 结束语

以上总结了笔者关于耐蚀玻璃钢制品及衬里的非实验室检测方法,对常见的缺陷以及现场实战提高固化度的解决方法也做了简要介绍。期待和广大耐蚀玻璃钢及玻璃钢衬里客户继续一起探讨此类问题,促进整个行业技术水平的进步。

## 参考文献

- [1] 江先龙编. 乙烯基酯树脂及其应用[M], 化学工业出版社, 2014年.
- [2] 余湘邈等编. 实用防腐蚀工程施工手册[M], 化学工业出版社, 2000年.
- [3] 张大厚编. 防腐蚀复合材料及其应用[M], 化学工业出版社, 2006年.
- [4] GB51160-2016 纤维增强塑料设备和管道工程技术规范.
- [5] 上海欧扬化工有限公司 产品说明资料.