

## 前 言

对于纤维增强塑料结构件的失效分析,目前既无国外同类标准,也无国内类似标准。本标准是根据纤维增强塑料结构件本身固有的特点,在广泛地调研,征求意见,进行有关验证试验,参阅国内外有关标准、方法、资料的基础上制定出来的。

本标准由国家建筑材料工业局提出,由全国纤维增强塑料标准化技术委员会归口。

本标准由北京航空航天大学负责起草。

本标准主要起草人:徐修成、殷立新。

# 中华人民共和国国家标准

## 纤维增强塑料结构件失效分析一般程序

GB/T 16778—1997

General procedure of failure analysis  
for fiber reinforced plastic structural products

### 1 范围

本标准规定了纤维增强塑料结构件失效分析的一般程序。  
本标准适用于各种纤维增强塑料结构件的失效分析。

### 2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

- GB/T 2576—89 纤维增强塑料树脂不可溶分含量试验方法
- GB/T 2577—89 玻璃纤维增强塑料树脂含量试验方法
- GB/T 3365—82 碳纤维增强塑料孔隙含量检验方法 显微镜法
- GB/T 3854—83 纤维增强塑料巴氏(巴柯尔)硬度试验方法
- GB/T 3855—83 碳纤维增强塑料树脂含量试验方法
- GB/T 6041—85 化工产品用质谱分析方法通则
- GJB 1038.1—90 纤维增强塑料无损检验方法 超声波检验
- GJB 1038.2—90 纤维增强塑料无损检验方法 X射线检验方法
- HB 5416—88 航空非金属材料红外光谱检验方法
- JC 287—81 玻璃钢孔隙含量试验方法

### 3 失效分析一般程序

对于纤维增强塑料结构件的失效分析应按照程序进行。

#### 3.1 明确任务要求

##### 3.1.1 任务来源

失效分析任务可以由上级主管部门下达,也可由设计、研究、生产或使用部门委托。

##### 3.1.2 接受任务

接受任务时应应对失效件的情况做如下了解:

- a) 失效件的名称;
- b) 失效件所属的组件;
- c) 使用环境和所受应力状态;
- d) 失效现象、历史背景以及对整体失效分析的情况等。

#### 3.2 进行调查研究

##### 3.2.1 事故现场的观察与记录

应对事故现场作详细的观察、记录、照相及录像等,不得遗漏造成事故的任何重要情况。

### 3.2.2 调研内容

调查研究内容包括:

- a) 事故发生的时间、地点、失效现场的环境;
- b) 寻找失效的残骸,了解并记录残骸的分布与状态;
- c) 失效件在失效前的运转(工作)情况及出现的异常现象;
- d) 有关的设计、工艺图纸、计算书、生产制作、出厂检验、贮运包装、调试测试等资料;
- e) 失效件的质量情况;
- f) 相关结构件的损伤情况;
- g) 调查询问有关人员对结构件失效的见解与建议;
- h) 需要调查的其他有关情况。

### 3.2.3 编写调研报告

调研结束后应写出调研报告。

## 3.3 残骸分析

### 3.3.1 残骸拼凑图的绘制

把现场调研中找到的失效件残骸进行拼凑,并画出残骸拼凑图及破坏扩展方向图,同时应注明找到残骸碎片的位置。

### 3.3.2 裂纹源部位的确定

根据残骸拼凑图及破坏扩展方向图找出裂纹源及缺陷存在部位。

### 3.3.3 编写初步分析报告

根据 3.3.1 及 3.3.2 内容编写出现场残骸调研、观察的初步分析报告。

## 3.4 断口分析

根据需要进行断口分析。

### 3.4.1 断口形貌观察

- a) 断口形貌特征的宏观观察;
- b) 断口形貌特征的微观观察。

### 3.4.2 断口微区成分分析

根据需要,可对断口的微区作成分分析。

### 3.4.3 编写断口分析报告

根据 3.4.1 和 3.4.2 内容,提出断口分析报告。

## 3.5 材料质量检验

### 3.5.1 材料组分分析

根据需要,分析材料的组分。

### 3.5.2 材料性能检验

根据需要,检测材料的物理机械性能,其检测项目可视不同材料及不同结构件而定。

### 3.5.3 材料内部状况检测

根据需要,对材料的内部状况进行无损检测。

## 3.6 确定失效原因

### 3.6.1 失效原因的推测

在调研、观察、试验的基础上,对所获得的各种信息进行集中、处理、分析和归纳,初步推测其失效原因。

### 3.6.2 失效原因的确定

审查初步推测的失效原因所具备的失效条件及影响因素,并经过多次验证和修正,最后确定结构件

的失效原因。

### 3.7 失效的再现

根据需求和可行,进行失效再现工作。

### 3.8 编写失效分析报告

失效分析报告应包括下列内容:

- a) 任务来源;
- b) 对失效件的简要描述;
- c) 失效前的工作条件及失效现象;
- d) 失效分析的内容和方法;
- e) 分析意见、结论和建议。

## 4 失效分析方法

### 4.1 失效件外观缺陷

通过目视或低倍放大镜可对失效件的气泡、树脂淤积、皱纹、表面凹陷等外观缺陷进行观察分析。

### 4.2 断口分析

#### 4.2.1 断口宏观形貌

通过目视或放大镜,可观察失效件断口的宏观形貌特征。

#### 4.2.2 断口微观形貌

通过扫描电镜,可观察分析失效件断口的微观形貌特征。

#### 4.2.3 微区成分分析

通过扫描电镜的能谱仪,可分析失效件断口的微区成分。

### 4.3 材料分析

#### 4.3.1 材料的组成

根据 GB/T 6041 质谱法分析材料的化学组成;根据 HB 5416 红外光谱法可检测材料的化学键或基团,并推断出树脂、助剂的种类。

#### 4.3.2 含胶量

根据 GB/T 3855 测定碳纤维复合材料结构件的含胶量;根据 GB/T 2577 测定玻璃纤维增强塑料结构件的含胶量。

#### 4.3.3 固化度

根据 GB/T 3854 巴氏硬度法及 GB/T 2576 溶剂萃取法定量测定并推断纤维增强塑料结构件中树脂的固化度。

#### 4.3.4 材料性能

根据需求及相应标准,检测材料的有关性能,具体检测项目视结构件使用、损伤情况等确定。

### 4.4 内部缺陷的无损检测

在使用各种仪器对失效件内部缺陷进行无损检测前,通常先采用敲击法进行定性粗检。该法是用尼龙或有机玻璃制成的小锤,轻轻敲击被测制件,根据声音的清脆或沉闷,可以初步判断结构件中缺陷是否存在并可确定缺陷的大致位置。

#### 4.4.1 分层

根据 GJB 1038.1 超声波检验、激光全息照相等方法检测失效件内分层缺陷的面积及深度。

#### 4.4.2 孔洞

根据 GJB 1038.2 X 射线照相方法检测失效件内的孔洞;根据 GB/T 3365 检测碳纤维增强塑料失效件内的孔隙含量;根据 JC 287 检测玻璃纤维增强塑料失效件内的孔隙含量。

#### 4.4.3 裂纹

采用激光全息照相、X 射线照相、声发射等方法检测失效件内的树脂裂纹。

#### 4.4.4 夹杂物

通过 X 射线照相等方法,对失效件内的夹杂物进行分析检测。

#### 4.4.5 脱胶

通过声振法、超声波法、X 射线照相等方法检测夹层结构件内的脱胶缺陷。

#### 4.4.6 夹芯缺陷

根据 GJB 1038.1 超声波检验、GJB 1038.2 X 射线检验等方法检测纤维增强塑料夹层结构件内夹芯变形、压塌、密集、对接缝开裂等缺陷。

---