

纤维增强塑料无损检验方法

X 射线检验方法

1 主题内容与适用范围

本标准规定了纤维增强塑料的 x 射线照相检验方法。

本标准适用于厚度小于或等于 160mm 的层压、模压、挤压、缠绕(包括纤维、布带)和手糊成型制件内部缺陷(裂纹、空洞、树脂淤积、疏松、夹渣物和皱折等)的 x 射线照相检验。其检验范围和质量控制标准,应由设计图样和有关技术文件规定。

2 引用标准

GB 4792 放射卫生防护基本标准

GJB 593. 2 无损检测质量控制规范 X 射线照相检验

3 设备与器材

3.1 X 射线机

当被检的玻璃纤维制件厚度小于 20mm,碳纤维制件的厚度小于 50mm 时,应采用铍窗口的软 X 射线机。当厚度大于上述值时,可以使用通常的 X 射线机。

3.2 胶片

3.2.1 胶片的类型(见表 1),一般应根据制件材料的透照厚度和质量要求选取适宜的胶片。

表 1 胶片的选用

胶片类型	粒度	感光速度	胶片牌号				
			天津	KODAK	DupoNT	Agfa	FujiI
1	超微粒胶片	极低速	—	R M	45	D ₂	50
2	微粒胶片	低速	V	T	55~65	D ₄	80
3	中粒胶片	中速	VI III	AA	75	D ₇	100

3.2.2 胶片的质量应符合 GJB 593.2 第 5.1. 2~5.1. 4 条的规定。

3.3 增感屏

当使用的透照电压高于 100KV 时,可使用铅增感屏,一般前屏厚度为 0.02~0.05mm,后屏厚度为 0.03~0.1mm。

3.4 暗盒

应用无杂质的照相用黑色纸或黑色塑料薄膜制造。

3.5 工装夹具

根据被检制件的形状、尺寸或成型方法应备有专用的工装夹具。

3.6 象质计

3.6.1 本标准推荐使用以下象质计：

- a. 槽型象质计见图 1, 规格见表 2；
- b. 线型象质计见图 2, 规格参照表 3。

该象质计是将经浸胶固化后的七根直径不同的碳纤维丝缝装在透明的塑料薄膜内制成；象质计应由与被检件吸收特性相同或相似的材料制造。

3.6.2 槽型象质计适用于玻璃纤维增强塑料制件, 其 A 型适用于透照厚度小于或等于 70mm 的制件, B 型适用于透照厚度为 70~160mm 的制件；线型象质计适用于透照厚度小于或等于 160mm 的碳纤维增强塑料制件。

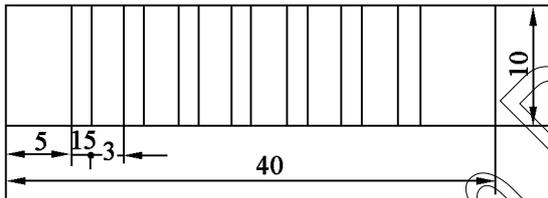
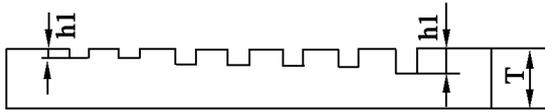


图 1 槽型象质计示意图

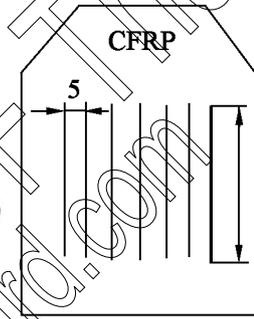


图 2 线型象质计示意图

表 2 槽型象质计规格

mm

象质计 型号	厚度 T	沟槽深度							极度偏差
		h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	
A	2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	± 0.02
B	5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	± 0.03

表 3 线型象质计规格

mm

型号	标志	使用范围 (透照厚度)	象质 指数及直径							
			象质指数	1	2	3	4	5	6	7
I	cfRP	40~160	象质指数	1	2	3	4	5	6	7
			丝直径	3.20	2.50	2.00	1.60	1.25	1.00	0.80
II	cfRP	20~50	象质指数	6	7	8	9	10	11	12
			丝直径	1.00	0.80	0.63	0.50	0.40	0.32	0.25
III	cfRP	<20	象质指数	10	11	12	13	14	15	16
			丝直径	0.40	0.32	0.25	0.20	0.16	0.125	0.10
丝直径范围		0.10~0.125	0.16~0.50			0.63~1.60			2.00~3.20	
直径极限偏差		± 0.005	± 0.01			± 0.02			± 0.03	

3.7 辅助阶梯试块

本标准推荐四种厚度范围的阶梯试块, 其形状见图 3, 尺寸见表 4。它应由与被检件吸收 X 射线相同或相似的材料制作。

3.8 观片灯

观片灯应具有可调的亮度,最大亮度不低于 $100000\text{cd}/\text{m}^2$,能观察黑度为 3.5D 的底片。光的颜色一般为日天色。应以漫射光照明,照明区域的大小应可调整。

3.9 放大镜

需仔细辨认缺陷时,观片可使用 3~10 倍并有刻度的放大镜。

表 4 阶梯试块尺寸

编号	阶梯厚度							$h_1 \sim h_7$ 极限偏差
	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	
1	1	2	3	4	5	6	7	± 0.20
2	5	10	15	20	25	30	35	± 0.25
3	40	50	60	70	80	90	100	± 0.30
4	110	120	130	140	150	160	170	± 0.40

3.10 黑度计

3.10.1 测定纤维增强塑料制品底片的黑度计,其技术性能一般应满足下列要求:

- 光孔直径: $\Phi \geq 3\text{mm}$;
- 可测黑度: $0 \sim 3.5\text{D}$; 精度 $\pm 0.05\text{D}$ 。

3.10.2 当使用光孔直径 φ 小于 3mm 的黑度计测定底片黑度时,应在底片的被测的有效部位取三个点的黑度平均值作为底片的黑度值。每个点的黑度应达到规定要求。

4 检验步骤

4.1 制件的表面要求

目视检查被检制件的表面,不应有空洞、翘起、隆起、溢胶等缺陷。这些缺陷若不能修复,且影响透照结果,如无特殊规定,应不予检验。

4.2 透照方法的选择

4.2.1 选择透照方法时,根据制件的铺层结构、成型工艺和形状,应选择最利于发现缺陷的方向进行透照。本标准推荐四种透照方法(见表 5),透照方法的示意图见附录 A(参考件)。

4.2.2 用切线法透照制件时,可分别按最大透照厚度 $T_{A_{\max}}$ 和 $\frac{1}{2}T_{A_{\max}}$ 选取相应曝光参数。每一透照区域应进行二次透照。

表 5 透照方法的选用

序号	透照方法	主要使用范围
1	垂直透照法	纤维缠绕制件的裂纹,模压制件的树脂淤积、疏松和夹杂物,层压板的夹杂物,纤维排列和分布不均
2	平行透照法	层压制件的分层和裂纹,小型布带缠绕锥体的裂纹、皱折和疏松
3	切线透照法	布带缠绕制件的裂纹、疏松,回转体形模压制件的裂纹、疏松和树脂淤积
4	斜线透照法	容器曲面端部及其端部及其端部接嘴处的空洞的树脂淤积

注:平行透照法不适用于碳纤维薄板检验。

4.3 曝光参数的选择

4.3.1 选择焦距,透照纤维增强塑料采用的焦距一般应不小于 900mm;当用大焦点 X 射线机透照大厚度制件时,可用下列公式计算:

$$f_{\min} \geq \frac{d \cdot T_A}{u_g} + T_A$$

式中： f_{\min} —射线源焦点至胶片的最小距离，mm； d —射线源焦点的尺寸，mm； T_A —制件上表面至胶片的距离，mm； u_g —几何不清晰度，mm。

几何不清晰度 u_g 值见表 6。

表 6 几何不清晰度 u_g

射线能量	u_g mm
≤ 100	≤ 0.2
> 100	≤ 0.4

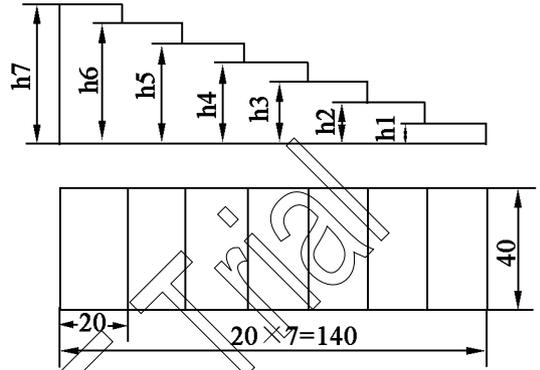


图 3 辅助阶梯试块

4.3.2 曝光量一般不小于 $20\text{mA} \cdot \text{min}$ ，其它应按 GJB 593.2 中 6.11 条、6.13 条和 6.14 条的规定执行。

4.4 照相灵敏度要求

除非另有规定，照相灵敏度一般应达到表 7 要求。

表 7 照相灵敏度

透照厚度	象质计类型	灵敏度
$T_A \leq 3$	线型	应至少能辨认出直径为 0.10mm 的丝
$3 < T_A \leq 5$		至少能辨认出直径为 0.125mm 的丝
$5 < T_A \leq 8$		应至少能辨认出直径为 0.16mm 的丝
$T_A > 8$		$\leq 2\%$
$T_A \leq 7$	槽型	应至少能辨认出深度为 0.1mm 的沟槽
$7 < T_A \leq 70$		1.5%
$70 < T_A \leq 160$		1.25%

4.5 象质计的放置

4.5.1 象质计一般应放置在射线源一侧的制作表面被检区域的一侧；若放置在胶片一侧的制件表面时，必须做对比试验，使实际照相灵敏度达到规定要求。线型象质计应放置在被检区域接近边缘处，且最细的丝居于外侧。槽型象质计应放置在被检区域的中心处。

4.5.2 当被检的制件上不宜放置象质计时，也可将象质计放置在与被检制件相同材质和厚度的辅助试块上，并使该试块尽可能贴近被检的制件。

4.5.3 每张射线底片上至少有一个象质计的影象。但如果被检区截面的厚度不同，则在每一有效透照区域内应放置两个象质计，一个置于最厚区，另一个置于最薄区，且两个象质计处计算出的照相灵敏度均应达到标准要求。

4.5.4 当一次同时透照多个相同类型的制件时，应在透照区域的两端各放置一个象质计。

4.5.5 当采用周向 360° 透照时，应每隔 90° 放置一个象质计。

4.5.6 象质计的观察方法：在黑纸板上开一个宽度略小于象质计的窗口，观察时，把黑纸板从线型象质

计最细丝的一侧移向最粗丝的一侧,或从槽型象质计槽深度最浅的一侧移向最深的一侧,以最初能清晰地发现丝的直径(长度不小于 10mm)或发现槽的深度(长度不小于 10mm)为准。

4.6 散射线的屏蔽

4.6.1 为减少无用散射线的影晌,可以使用光栏来限制射线束的照射范围。

4.6.2 制件的非检验部位和底片袋背面用厚度为 1mm 以上的铅板加以屏蔽,以防止来自侧面和背面的散射线的影晌。必要时,其影响的程度可用以下方法证实:在底片袋背面贴附一个高度为 13mm,厚度为 1.6mm 的“B”的铅字,如果在射线底片上出现“B”字的暗淡影象,则说明背散射防护不够,应予重照。

4.7 胶片处理及底片的质量要求

4.7.1 胶片的暗室处理应按 GJB 593.2 第 6.7 条的规定执行。

4.7.2 底片上无缺陷处的黑度应控制在 1.5~3.5D 范围,一般以 1.5~2.5D 为宜。

4.7.3 同一有效区内同一张底片的黑度变化不大于象质计所在处黑度值的 $-15\% \sim +30\%$ 。

4.7.4 标记号、底片上的部件编号、部位编号和搭接编号等应齐全。

5 结果评定

5.1 评片环境

评片环境应符合 GJB 593.2 第 3.4 条的有关规定。

5.2 检验结果评定

制件射线检验后,应按图样规定和有关质量标准文件的要求进行透照结果的评定。

6 检验记录及报告

检验结果应按 GJB 593.2 中 7.2 条和 7.3 条的有关规定进行详细记录并写出检验报告,一并存档。

7 射线照相的环境条件和防护

7.1 环境条件

- 环境温度一般要求 $2 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。
- 空气相对湿度不大于 85%。
- 应安装换风量为每小时 5~10 次的通风设备。
- 透照室光照要柔和,透照场内的照度不低于 300lx。
- 透照室应远离粉尘、高温、噪音和有害气体等污染源。

7.2 射线防护

射线照相的防护应符合 GB 4792 的有关规定。

8 人员要求

射线检验人员必须符合 GJB 593.2 第 8 章有关要求。

附录 A

纤维增强塑料制件 X 射线透照方法

(参考件)

A1 垂直透照法

中心射线束与被检制件表面垂直的透照方法,见图 A1~图 A3。

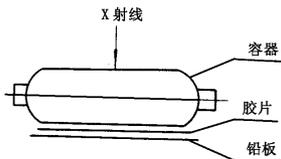
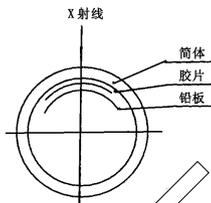


图 A1 模压容器件垂直透照法



A2 模压筒体件垂直透照法

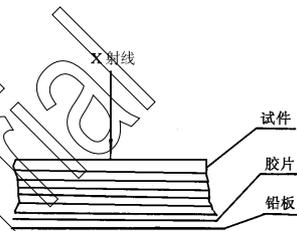


图 A3 薄板件垂直透照法

A2 平行透照法

中心射线束与锥形件的轴线或制件的铺层方向平行的透照法,见图 A4和图 A5。

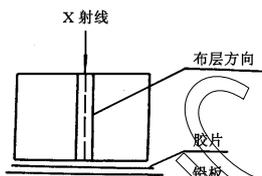


图 A4 层压件平行透照法图

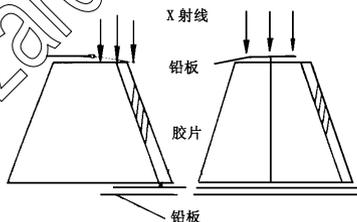


图 A5 布带缠绕件平行透照法

A3 切线透照法

中心射线束与锥形件、筒形件和管形件的圆弧面相切的透照方法,见图 A6。

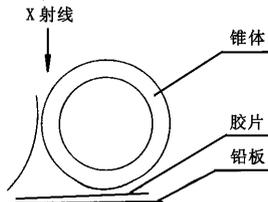


图 A6 模压锥体件切线透照法

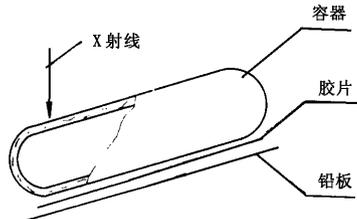


图 A7 纤维缠绕容器件斜线透照法

A4 斜线透照法

中心射线束与筒形件和容器制件的中心轴成一定倾角的透照方法,见图 A7。