

试验研究

# 预埋件对玻璃钢蜂窝夹层结构增强效应的实验研究

何玉梅  
(南京化工大学, 南京 210009)

林有才  
(南京电子技术研究所, 南京 210013)

**摘要:** 研究了某地面雷达天线罩采用的含有预埋件的玻璃钢蜂窝夹层结构试件的强度和刚度, 讨论了预埋件对玻璃钢蜂窝夹层结构的增强效应, 比较了内含预埋件结构和外加加强片结构的增强效果, 探索了一种估算预埋件增强效应的简易方法。

**关键词:** 玻璃钢; 蜂窝夹心板; 预埋件; 增强

中图分类号: TB333      文献标识码: A      文章编号: 1001-4012(2001)05-0188-03

## EFFECT OF PREFORMED INSERTS ON THE MECHANICAL PROPERTY OF FRP HONEYCOMB CORE SANDWICH PANELS

HE Yu mei  
(Nanjing Chemical Engineering University, Nanjing 210009, China)

LIN You cai  
(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210013, China)

**Abstract:** In this paper, strength and stiffness of FRP honeycomb core sandwich panels containing preformed inserts is studied. The reinforce efficiency of preformed inserts is discussed. A easy estimation method of the reinforce efficiency of preformed inserts is presented.

**Keywords:** FRP; Honeycomb core sandwich panels; Preformed inserts; Reinforce

### 1 引言

自从 1940 年世界上第一件先进复合材料构件——用玻璃纤维增强酚醛树脂制成的战斗机前雷达罩诞生以来, 复合材料以其优良的透电磁波特性和结构的可设计性在军事电讯领域的应用日益广泛。

雷达罩常采用玻璃钢蜂窝夹层结构制成, 为满足支撑点的强度、承受集中荷载, 常在夹层结构内安置预埋件。在雷达罩的设计中, 既要满足结构设计的要求, 又要满足电讯性能的要求。从结构方面考虑, 预埋件的尺寸越大, 结构强度越高; 而从电讯方面考虑, 预埋件的尺寸越小, 电讯性能越好。所以, 预埋件的尺寸成为雷达罩结构设计的关键之一。夹层结构, 特别是内含预埋件的夹层结构在生产过程

中需花费大量劳动力, 工艺复杂, 造价高, 设计一试验一再设计一再试验的过程无疑要花费大量的人力、物力和财力。本文研究了某地面雷达天线罩采用的含有预埋件的玻璃钢蜂窝夹层结构试件的强度和刚度, 同时与把预埋件同样材料的加强件置于夹层结构外部起增强作用的情况作了对比, 试图探索一种根据外加加强片结构的性能大致推测内含预埋件结构性能的方法, 以达到减少设计一试验一再设计一再试验的重复试验的目的。

### 2 实验

**2.1 试件材料与形状**

试件蒙皮材料为玻璃纤维布, 芯层为芳纶纸六角型蜂窝, 预埋件呈圆盘状, 其材料为环氧玻璃层压板。试样为 380mm×380mm×*h* 的方板(图 1), 预

埋件在板中心处, 中心孔用于安装连接用支撑杆, 周围圆孔用于安装边界固定螺栓。试件共四组(图2), G 为内含预埋件试件; H1 为外加  $\phi 63\text{mm}$  加强片试件, H2 为外加  $\phi 85\text{mm}$  加强片试件, H3 为外加  $\phi 105\text{mm}$  加强片试件。

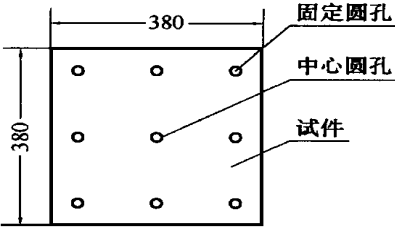


图1 试件平面尺寸(mm)

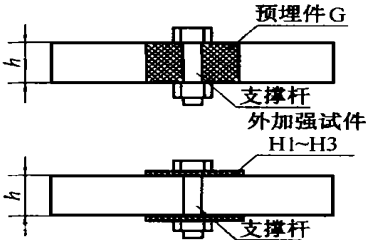


图2 试件的加强件类型

2.2 试验设备与装置

试验在万能材料试验机上进行, 图3 为自行设计的加载装置。位移测量采用位移传感器, 输出用数字式电压表。在测点圆周, 传感器采用四点对称均布安置(图4)。

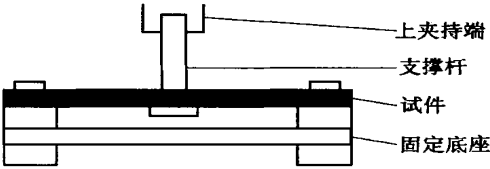


图3 加载装置

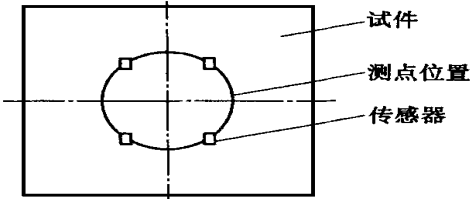


图4 传感器探头布置

2.3 标定

试验前对位移传感器进行了标定, 得到其标定

曲线及标定因子( $K1K4$ ), 见图5。

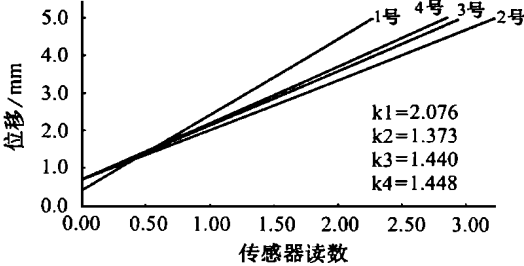


图5 14号传感器标定曲线

3 结果与分析

内含预埋件试件在加载过程中呈现几个阶段性变化: 开始加载, 试件即开始变形, 加载到一定阶段, 试件内部产生轻微响声(第一声响), 表明试件的蜂窝芯层开始破坏; 随后响声由间断过渡到连续(连续响), 表明试件的蜂窝芯层大面积损坏; 继续加载, 试件变形继续增大, 伴随着较大的响声(第一次退载), 载荷下降, 此时试件的塑性变形已相当明显; 稍后载荷回升, 变形加大, 如此反复几次后, 载荷达到最大值(最大载荷), 表明试件彻底丧失承载能力。

为确定试件的特征载荷, 在不同的载荷阶段卸载观察试件变形情况, 加载至第一声响载荷和连续响载荷时卸载, 试件无明显变形; 加载至第一次退载时卸载, 试件的加载面在载荷作用范围内有轻微凹陷, 背面中心孔周围有轻微凸起; 加载至最大载荷时卸载, 试件的加载面在载荷作用范围内有严重凹陷, 背面在预埋件范围内明显凸起, 而且板面还有不规则损坏。可见, 试件最初的和最主要的破坏是在预埋件和蜂窝板的交界面上发生。由此, 模拟这种破坏形式, 设计了与预埋件同样材料的几种不同尺寸的垫片放在蜂窝板外部起加强作用, 用同样的方法进行了试验。

鉴于试件在加载及破坏过程中呈现的上述变化特征, 我们对试件第一声响时的载荷、连续响时的载荷、第一次退载时的载荷及最大载荷予以记录并作为试验结果(表1), 同时用增量法测量了试件在第一声响发生前各级载荷下试件的位移。

3.1 强度增强效应分析

从表1 可以看出, 预埋件对玻璃钢蜂窝结构的增强效应是明显的。内含预埋件试件的强度明显高于外加与预埋件同样尺寸的加强件试件的强度, 第一声响载荷、连续响载荷、第一次退载载荷和最大载

表 1 试件的各级载荷测试结果 kN

试件	第一声响 载荷	连续响 载荷	第一次 退载载荷	最大载荷
G	6.5	8.9	14.1	18.0
H1	5.5	6.2	13.4	15.0
H2	6.5	8.5	15.3	17.5
H3	7.4	9.9	17.4	19.8

荷分别高出 18.2%, 43.5%, 5.0% 和 20%。随外加加强片尺寸的增大, 强度提高。内含  $\phi$  63mm 预埋件试件的强度相当于外加  $\phi$  85mm 加强片的强度。

3.2 刚度增强效应分析

以  $P=5\text{kN}$  时为例, 各测点位移结果列于表 2。

表 2 试件的位移测试结果 mm

试件	螺栓位移	板材位移			
		$\phi$ 70	$\phi$ 130	$\phi$ 170	$\phi$ 210
G	2.8	2.51	2.22	1.89	1.58
H1	3.92	3.24	2.45	2.08	1.64
H2	2.85	-	2.29	1.94	1.61
H3	2.75	-	2.14	1.83	1.51

可以看出, 预埋件对夹层结构刚度的增强效果也是明显的。同样载荷下, 内含预埋件试件的位

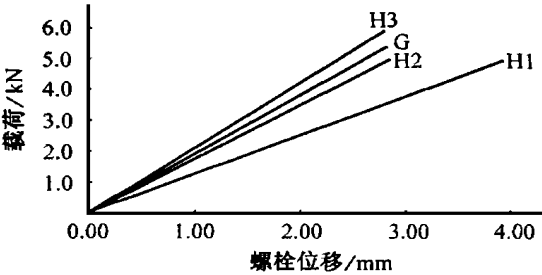


图 6 几组试件的刚度比较

移明显小于外加与预埋件同样尺寸的加强件试件的位移, 在支撑点处即  $\phi$  70mm,  $\phi$  130mm,  $\phi$  170mm 和  $\phi$  210mm 处, 位移分别减小 28.6%, 22.5%, 9.5%, 9.1% 和 3.6%。内含  $\phi$  63mm 预埋件试件的刚度与外加  $\phi$  85mm 和  $\phi$  105mm 加强片的刚度相当接近。

4 结论

- (1) 预埋件对玻璃钢蜂窝夹层结构强度和刚度的增强效应是显著的。
- (2) 综合考虑, 内含外径  $\phi$  63mm 预埋件试件的强度和刚度与外加的和预埋件同样材料的  $\phi$  85mm 加强片的强度和刚度相当。
- (3) 本文只是在根据外加加强片结构的性能推测内含预埋件结构性能方面作了尝试性的工作, 由于结构形式和预埋件形式的多样性, 进一步的工作有待完成。

中国机械工程学会科技奖等 26 个奖项  
成为我国首批准予登记的社会力量设奖

中国机械工程学会科技奖等 26 个科学技术奖项, 经国家科学技术奖励工作办公室审定, 成为我国首批准予登记的社会力量设奖([2001] 社准字体 001 号)。这些社会力量社奖是我国科学技术奖励工作的组成部分。

首批 26 个社会力量设奖是: 中国机械工程学会科技奖, 中国机械工业科学技术奖, 中国汽车工业科学技术进步奖, 何梁何利基金科学与技术奖, 杜邦科技创新奖, 森泽信夫印刷技术奖, 李四光地质科学奖, 刘永龄科学技术奖, 中华医学科技奖, 詹天佑铁道科学技术奖, 孙越崎能源科学技术奖, 中国药学发展奖, 沙产业科学技术奖, 侯祥麟石油加工科学技术奖, 侯德榜化工科学技术奖, 詹天佑土木工程科学技术奖, 青少年 21 世纪科学奖, 中国仪器仪表学会科学技术奖, 中国煤炭学会青年科学技术奖, 中国电工技术学会电工新产品技术开发奖, 高士其科普奖, 神内基金农技推广奖, 中国电力科学技术奖, 茅以升科学技术奖, 中国有色金属工业科学技术奖, 邓稼先、于敏科学技术奖。

社会力量设奖是指国(境)内外企业事业组织、社会团体及其他社会组织和个人利用非国家财政性经费或自筹资金, 面向社会设立的经常性科学技术奖, 用来奖励在科学研究、技术创新与开发、实现高新技术产业化和科技成果推广应用等方面取得优秀成果或者做出突出贡献的个人和组织。

中国机械工程学会工作总部