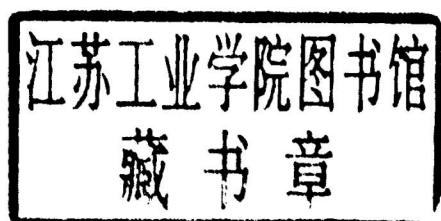


全国无损检测新技术学术会议

论文集



中国·南京

1990.10

全国无损检测新技术学术会议论文集

审 编(以姓氏笔划为序)

陈金根 周在杞 姜玲珍

郭新民 蔡云良

责任编辑: 蔡云良

出 版: 南京航空学院

(南京御道街 29 号)

印 刷: 南京航空学院印刷厂

(打字排版胶印)

开本 787/1092 1/16 印张 790 千字

W. S. Y

全国无损检测新技术学术会议 组 织 委 员 会 名 单

蔡云良 姜玲珍 周在杞

陈积懋 贺潜源 朱建堂

徐光华 郭新民 陈金根

中国无损检测学会新技术专业委员会

序

工业技术的迅猛发展,对无损检测提出了越来越高的要求,它在受到很大冲击的同时,又显现出了巨大的作用。

新材料、新工艺、新结构的应用,新的产品品种的出现,是依赖于对质量上新的使用要求、可靠性和可维修性的满足,以及其与制造费用之间的平衡。当前一些新技术、新品种的出现,正由于没有解决相应的无损检测手段而不能迅速得到广泛的应用。无损检测技术无疑是提高工业水平、开发新产品、实现质量控制、保障安全、节约原材料、降低成本、提高成品率和劳动生产率,获取重要的社会效益和经济效益的必要手段。这一现实已越来越广泛地被设计部门、工艺部门和有远见卓识的企业领导人所接受。

随着尖端技术的发展,为了适应对材料和产品质量保证所提出的更高要求,将现代物理学、电子学和计算机技术等学科的新成就应用于无损检测,形成了无损检测技术由NDT—→NDI—→NDE的发展过程。作为定量检测的NDE(无损评价)技术,不但要探测缺陷的有无,而且要对材料和产品质量给出定量的评定,进而评定产品的安全使用寿命。无损评价是无损检测更高层次的发展,充分体现了无损检测新技术的发展水平和潜力。因而,有人认为,现代工业是建立在无损检测的基础上的,而无损检测的发展更是依赖于现代科学技术的发展,依靠新技术的应用。

这次的全国无损检测新技术学术交流会,是第一次全国性的有关无损检测新技术的学术讨论会。会议征文内容强调围绕国民经济急需的“无损检测新技术的基础研究和应用”这一中心。应征的来稿十分踊跃,反映了国内同行对无损检测新技术研究和应用的重视,也反映了无损检测新技术的研究和应用在国内已建立了稳固的基础。更可喜的是,来稿的作者中有不少从事物理学等方面有关学科的专家、教授。无损检测与评价技术是一门新兴的多学科的技术,它的发展正是要依靠有关学科专业人员的相互交流和协作。

经筹备组和编辑组同志的努力,《全国无损检测新技术学术会议论文集》已在会议召开之际和读者见面了。我们殷切期望,这本文集的出版会在促进我国无损检测新技术的研究、应用和发展诸方面作出应有的贡献。

陈积懋

编者的话

为了促进我国无损检测新技术的研究、应用和交流,进一步推动无损检测新技术的发展和更有效地发挥它在国民经济建设中的积极作用,在 1990 年首届全国无损检测新技术学术会议召开之际,特编了本论文集。

我国从事无损检测的科技工作者,积极适应科技体制改革的新形势,认真贯彻科学技术必须面向经济建设和为国民经济服务的方针,在科学研究中,根据国家建设需要选择课题,研究解决科学和工程中迫切需要解决的问题,取得了成效。同时,在无损检测学会全体成员和国内无损检测工作者的共同努力下,近年来的学术交流活动也已有了很大的发展和提高。学会自发出征文通知后,一年多来,收到了不少科研论文,现经专家审稿小组评审,共录用了 90 篇。

这次选编的论文集内容十分丰富,包括:现代光学无损检测(含激光全息检测、散斑检测、云纹检测、光纤光学检测以及光热和激光超声技术等)、红外检测、微波检测、声振技术、CT 技术、非寻常涡流检测和其他无损检测新技术。计算机在 NDT 领域的应用(包括数字图像处理技术)方面的论文也编入了论文集。本文集涉及的研究领域包括:各种材料(含新材料)的缺陷检测、各种构件(含胶接粘合构件、焊接构件和新结构构件)的缺陷检测、零构件位移场(含振幅场、应力场和残余应力场)的检测、温度场的检测、流场(含粒子场)的检测以及无损检测新仪器、新设备的研究等方面。研究工作还涉及了考古等一些领域。这些论文反映了我国近几年来的无损检测新技术的研究成果。

在文集的编辑过程中,为减少篇幅,删去了一些论文中不清楚或过多的图表,对一些字迹不清、潦草的文稿,在文字上亦作了修改。对此,我们未能与作者本人取得联系,特此说明。

由于时间仓促和条件所限,本论文集所用名词、术语、符号、代号以及单位不尽统一,内容上也略有重复,错误之处亦在所难免,敬请读者批评指正。有少数论文,因收到的时间较晚而未能编入,谨向作者表示歉意。

编者

目 录

序

编者的话

印刷电路板焊点的激光无损检测

..... 吕跃广 姜铃珍 邹立勋 耿完桢 洪 晶 (1)

气象卫星仪器板的激光全息无损检测

..... 田光义 黎逢春 刘战捷 (6)

全息测量三维位移场的误差分析法

..... 蔡云良 (11)

一种组合式三维 LDA 系统

..... 程元中 朱 岩 王晓宇 徐力平 (22)

大型预包复固体火药柱粘接质量激光全息无损检测系统与方法

..... 王任达 孙永平 (27)

反射全息法测量陀螺马达端盖变形场的均匀度

..... 曹正元 陈 方 陈萍萍 杨念仁 郁松娟 (32)

机械变形方向的全息分析

..... 蔡云良 (36)

用全息干涉法确定压力表经疲劳试验失效时其弹簧管的形变性质

..... 李文兰 钟 安 (43)

激光全息干涉技术测量人体下颌骨皮质骨泊桑比的试验研究

..... 朱建堂 (50)

用全息干涉计量术监测应力腐蚀裂纹扩展

..... 余拱信 (54)

准透明绝缘材料内杂质的全息检测与数字化分析

..... 赵军武 李锦泉 胡柱国 (59)

飞机舱盖有机玻璃内裂纹的检测方法

..... 李晓辉 (67)

一次完成检测轮胎的多光束激光全息干涉仪

..... 葛方兴 (78)

非接触测量技术在泵阀试验中的应用探讨

..... 马德岩 吴 江 彭胜商 (81)

光导纤维在脉冲激光全息检测中的应用

..... 王国志 丰 善 王正荣 王淑岩 李丽娟 周广宽 (86)

用激光散斑法测量碳复合材料的弹性模量	王淑琴 魏恩生 孙 德	(93)
锥镜错位散斑干涉用于无损检测的研究	陈炳泉	(100)
水下微小位移的散斑测试方法和表面裂纹应力强度因子 K_I 的测量	王云山 黄小平 潘秉智 刘业厚	(103)
TALBOT 剪切干涉法及其在斜率和曲率测量中的应用	曹王俊 周鸿康 陈华丽	(109)
利用散斑剪切干涉法对板表面进行无损检测	王伶俐	(119)
激光显微光谱分析在材料工程中的应用	萧慧梅	(123)
用脉冲全息法测旋风粒子场	徐 敏 吴添画	(127)
用 FTIR 光谱检测碲镉汞微区特性	吴人齐	(135)
贴片云纹干涉法测量离面位移及振动	刘小廷 伊宁卡 苏英坚	(139)
弥散体相关散射的体一面平均直径 D_{32} 的检测	胡柱国 牛社团	(147)
用自相关滤波法测量散斑照相杨氏条纹	胡逸群	(158)
激波管中蒸汽凝结过程的实验研究	史 琳 胡柱国 蔡颐年	(163)
激光在 NDT 领域的新应用—激光超声	魏成斌 陈 斌	(168)
非对称型外差激光探针	高求是 陆钟楠 张淑仪	(181)
用球面波 Talbot 效应获得虚应变光栅	李文兰 钟 安	(189)
利用计算机实现散斑计量自动化	龚耀寰 王仕潘 肖 丹	(198)
JCF-2 激光自动测标仪的研制	周承志	(206)
粉体粒度的全息测试技术	班 焜 满德发 于 助 刘国华 王义杰	(210)
光纤全息无损检测技术的研究	金英浩 于 助 班 焜 刘国华	(216)

激光显微光谱分析仪及其在文物保护中的应用	宗仁鹤	(221)
光热方法在无损检测中的应用	顾 彤	(228)
利用成像板的计算机射线检验新技术	周新伦 关绮玲 周在杞	(237)
复合材料构件手动 C 扫描检测系统的研制	生 甦	(245)
超声断层显像研究中的几个问题	武知武	(252)
固体内部应力的计算机超声应力层析技术	李文卿 吴克成	(258)
超声迟延合成断面成像探伤法原理的研究	郭重雄 陈钟贤 于石声 李彦章 李继昌 本岡誠一	(265)
CT 技术在工业探伤中的应用评述	周在杞	(271)
用 X-CT 研究陶瓷转子体内密度分布	凌健荣 周 群 匡 杲	(279)
国外大型固体火箭发动机无损检测技术的发展与应用	郝松林 徐群英	(283)
高能 X-CT 在固体火箭发动机 NDT 中的应用	唐国金 宋先村 沈怀荣	(290)
岩芯的计算机层析技术	顾本立 刘 军 葛 云	(295)
微波探伤方法在固体火箭发动机检测中的应用	沈怀荣 宋先村 赵 海	(300)
微波法检测劣化绝缘子新技术	刘长久 周在杞 黄永潘	(305)
金属表面裂纹微波检测法	周在杞	(310)
一种新型宽范围快速微波测厚仪	陈正发	(316)
微波频域干涉仪检测分层介质缺陷	周在杞	(324)
ZSWY-1 型织物含水率微波检测仪的研制	王者起 荆汉清	(330)
利用史密斯(Smith)阻抗圆图计算微波对多层介质板的反射	陶旺斌	(337)

无损检测中的微波传感器及其应用	赵克玉 许福永 杨忠英 段燕文	(344)
一种新型计数器的研制及其应用	许福永 赵克玉 杨忠英 李宝奇	(350)
工程塑料棒材微波自动探伤技术	白宝泉 葛瑞瑾	(354)
飞机巡线探伤	侯善敬	(360)
IRIP 多功能红外热像仪微机图像处理与分析系统	范迺中	(365)
采用红外热像仪测量压铸过程中的铸模温度场	乐书华 陆克明 印 飞 沈立勇 张增泰	(373)
用红外热像仪检测钢的高温断裂韧性	李晓刚 赵克勤	(379)
一种新的压力容器红外应力评价技术	黄 毅	(384)
耐磨合金磨损温度场的测定	徐 军 黄 毅 林雪荣	(399)
热辐射应力图分析方法	曹正元 张祖巡 顾绍德	(405)
催化裂化装置的红外热像检测	仲跻生 巴恒越 方 顺	(410)
红外无损检测技术的研究、开发及展望	贺潜源	(415)
红外热成像技术用于检测物料界面和焊缝缺陷的应用研究	成庆顺	(418)
声振检测材料强度的方法及机理	仲维畅	(425)
胶接结构阻抗法检测与单片机的应用	刘松平	(436)
固体火箭发动机喷管复合结构胶接质量的声振检测	陈金根	(447)
混凝土无损检测的研究动向	林维正	(458)
剪应力对磁性法测量残余应力的影响	陈怀宁	(465)
应用于残余应力测量的二维声弹性方法	吴克成 蒋立强	(471)

温度及剪应力对螺栓紧固应力超声测量的影响	何存富 吴克成 穆金禄	(479)
基于声弹性的三维应力场的超声衍射成像原理	朱文浩 吴克成	(486)
微机控制的薄壁管材超声自动探伤	巨西民 胡绍庭 蔺大元 张建英	(494)
金属胶接结构的超声检测——缺陷定性和强度预测	胡绍海 张树京 袁振明	(503)
高硅氧模压件的超声检测	王 岩	(508)
P 扫描自动超声成像装置	朱成虎 周在杞	(512)
WZ-8 电子束焊缝冶金缺陷的软 x 射线检测	成 枫	(518)
焊缝射线照相底片等级自动分类系统的研究	周 伟 沈仁立	(532)
微机在钢焊缝射线照相底片等级分类中的应用	高 朋	(540)
用微机确定一次透照长度和环缝一周最少摄片张数	郑 伟 刘 强	(549)
远场涡流探头的研究动向	曲民兴 司家屯 周效宇	(557)
脉冲激励下的远场涡流现象	陈美娟 孙雨施	(565)
带漆零件的涡流探伤初探	成 枫	(574)
远场涡流效应的计算机三维数值仿真	林鹤云 孙雨施	(580)
用动画录像演示远场涡流中的能量流传输过程	司家屯 孙雨施 刘达放 屠立忠	(589)
远场涡流检测系统综述	欧阳天鹤 韩 伟 王梅香 贺家辉	(599)
液晶检测新技术的探讨	郭明俊	(605)
二种铝合金电导率测定结果的比较及标准制订的研究	周锦坤 徐光德	(610)

印刷电路板焊点的激光无损检测

吕跃广 姜铃珍 邹立勋 耿完桢 洪 晶

(哈尔滨工业大学应用物理系)

摘 要

本文对用激光全息方法进行印刷电路板焊点缺陷检测的原理作了介绍。针对检测中遇到的具有强烈复杂背景的干涉图提出了计算机处理与判别的方法。完成了图像的背景抑制、噪声去除、平滑、分割、细化与缺陷的自动识别。针对实验中遇到的焊点密度大的焊板易产生误判的问题,利用引入相移的方法,提高其检测灵敏度与可靠性。在文章第三部分我们简要地介绍了相移全息干涉方法的原理。同时给出了用这一方法检测焊点缺陷的结果。最后对这种方法进行了比较。

一、引 言

印刷电路板焊点的焊接质量的检测是目前电子行业普遍关心的一个问题。也是无损检测技术中的一个难题。焊接质量的好坏,直接影响到电子产品的可靠性与稳定性,特别是在可靠性要求高的场合,如航天等系统中,更应引起足够的重视。目前焊点检测方法中主要依靠自动视觉检测〔1〕,红外〔2〕及超声〔3〕检测方法,但这些方法都有其局限性〔4〕限制了它们在一些场合的应用。全息检测方法首先由 J. R. William〔5〕提出的,这种方法可以检测焊点的一些内部缺陷(如内部孔洞、裂缝、虚焊等)而且它对焊接过程没有特殊要求。在过去的几年里,我们在全息检测原理实验中作了一些工作。为了适应快速自动检测的需要我们又采用了计算机图像处理技术对干涉图像进行处理与识别。通过分析条纹的形成,设计出了一系列算法,完成了条纹的背景抑制、噪声去除、平滑、分割细化及识别,大大提高了检测准确度与速度。

为了进一步提高检测的成功率,实验中发现,影响检测成功率主要有两个因素:①是焊点加热后形变小,使得系统条纹变化较小,难以通过计算机判别出来。②当点间距小时,难以分清哪一个是缺陷点,容易引起误判。最近几年来,人们提出了全息相移干涉计量技术,利用它可以直接从干涉图计算出物体的位相分布,其精度可以达到 $\lambda/100$ 数量级〔6〕,把这一技术引入到焊点的无损检测中去,无疑可以大大提高其检测精度,从而提高检测成功率。

本文中,我们简要介绍了全息干涉法检测印刷电路板焊点的装置与原理以及得到的

具有复杂背景的干涉图的处理与判别。对全息相移方法进行焊点检测的原理也作了介绍并给出了一些实验结果，最后对两种方法作了一些对比讨论。

二、全息焊点检测

1. 实验原理与装置

实验系统装置如图 1 所示

由 He-Ne 激光器发出的光经快门 K 后分成两束，一束作为物光，一束作为参考光。作为物光的一束经扩束后通过条纹控制镜 M_e 照射到印刷电路板 (PCB) 上。先拍摄一幅电路板的全息像，干版经自动冲洗装置处理后，通过控制条纹控制镜 M_e 改变物光波矢量。可以控制系统条纹的疏密与走向，使得易于观察。干涉图通过变焦镜头成像到 CCD 摄像机像面，焊点则由 YAG 固体激光器通过光纤输出 1.06 微米红外光进行逐点加热。如焊点不存在焊接缺陷，在适当的热加载量下，焊点冷却后将恢复原来状态，系统条纹不发生变化；如焊点存在缺陷，冷却后焊点会有残余形变，不能回到初始状态，

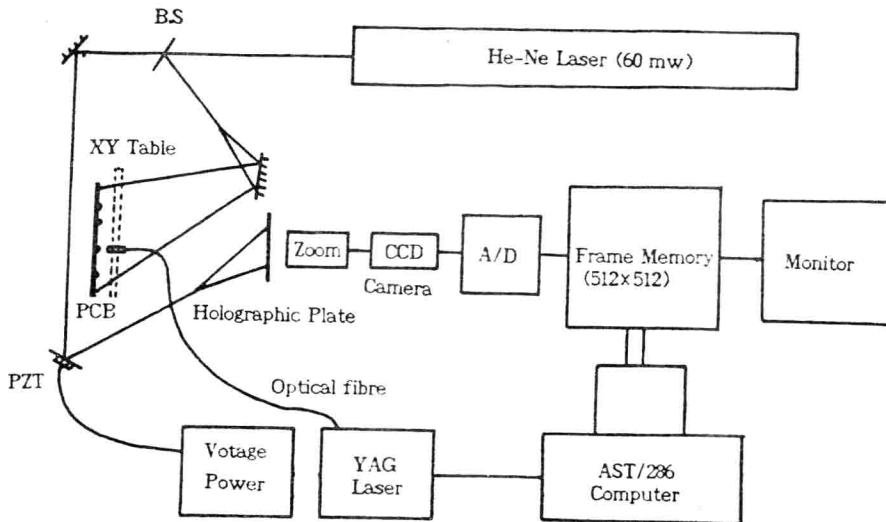


图 1. 实验装置

因而系统条纹在这点会发生变化，在缺陷点处条纹出现弯曲、拐点等。图像经摄像机取出后，由图像采集板 (512×512) 量化，然后由计算机进行处理。

2. 干涉图的处理与识别

在我们的问题中，有用的信息是包含在系统条纹中的，而这些信息又叠加在一系列强烈复杂的背景之上 (图 2)，直接进行一般图像处理会有困难。必须首先把强烈的背景抑制住。

由全息学原理，干涉图在 CCD 摄像机象面的强度可以表示成

$$I(x, y) = A(x, y) [1 + m(x, y) \cos(\Delta\theta(x, y))] \quad (1)$$

$\Delta\theta(x, y)$ 是与物体形变有关的相位角, $A(x, y)$ 是背景, $m(x, y)$ 的条纹调制度。由(1)可见, 背景对条纹信息来说相当于乘性噪声, 而对背景我们可以方便地利用对应的全息再现像近似地代表。于是把干涉图与其相应的再现像相除, 然后对结果灰度级实行线性变换, 就可以实现对条纹背景的抑制。图2、3分别是原始图像及相除以后的结果。

由图3可见, 相除以后的图像显然突出了条纹信息。对其中正态分布的激光散斑噪声可以用 3×3 邻域的中值滤波去除。滤波后的图像再经过平滑, 分割及细化^[7]处理得到图4的结果。



图2. 原始图像



图3. 背景抑制

对细化后的条纹整体扫描, 判断出系统条纹整体走向与平均条纹间距 d , 然后对每一细条纹进行跟踪。如细条纹上的点偏离理想线的距离大于 $d/2$, 则判断离此点最近的焊点为缺陷点, 并标定其位置, 如图4中A、B两点处的焊点判为缺陷点, 后经金相解剖证实: A处点虚焊, B处内部有一孔洞。

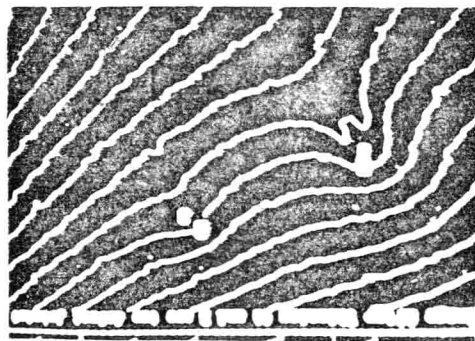


图4. 细化与识别

三、全息相移方法^[8]

这一方法的基本原理就是通过参考光中引入已知量的相移, 得到各次相移后干涉图中各点强度。由此计算出物体各点位相变化。

物体形变前后两光干涉, 干涉图强度为:

$$I(x, y) = I_0(x, y) [1 + m(x, y) \cos(\phi(x, y) - \psi)] \quad (2)$$

I_0 是平均强度, m 是调制度, ϕ 是与物体形变有关的待测角度, ψ 是任意参考位相值。通过改变 ψ , 如使它每次相移相等的角度, 相移三次后我们可以得到四个强度值:

A、B、C、D，则这一点的位相变化就可以解出

$$\varphi(x, y) = \arctan \left\{ \frac{|\sqrt{(A-D) + (B-C)}| [3(B-C) - (A-D)]}{|(B+C) - (A+D)|} \right\}$$

(3)

而缺陷焊点加热后位相改变与好焊点是不同的由算得的位相值即可区别好坏焊点。

在参考光中引入相移，只需在参考光路一反射镜中安装一压电晶体即可，改变加在压电晶体上的电压，即可引入不同的相移（见图1）。

对在全息方法检测中的同一块印刷板，我们用加相移的办法也进行了检测。图5是四幅不同相移图像中的一幅，图6是由此得到的位相分布图。判断出的A、B两缺陷点与全息方法一致。



图5. 原始图像之一

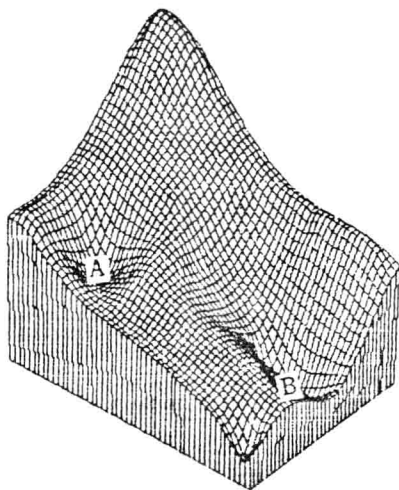


图6. 位相变化图

四、讨论

以上我们分别介绍了激光全息方法及相移干涉计量方法对焊点进行检测的原理与实验结果。大量实验表明：这两种方法对焊点的大部分焊接缺陷：如虚焊、脱焊、内部空洞、焊缝等都有一定的检测能力。对比两种方法，全息相移方法比较灵敏，对某些情况下的焊板检测成功率大，但它对环境的要求比较高，如低频振动等可以影响到检测结果；另外它操作起来也比较复杂。它适合于检测焊点密度大的焊板。对不同情况，在检测中可以选用不同的方法，以期得到较高的检测成功率。

参考文献

- [1] Y. Nakagawa, proc. SPIE., 1982, Vol. 336, P121-128
- [2] R. Wanzetti, A. C. Traub, Circuit World, Vol. 8 NO. 4 12(1982)

- [3] O. Ensminger, US patent, No. 4218922, Aug. 1980
- [4] Hong Jing et al. Proc. SPIE. Vol. 673 176 (1986)
- [5] J. R. Williams NASA Report, N72-11415, May, 1971
- [6] M. chang C. P. Hu, Appl. Opt. Vol. 24, No. 22, 3780 (1985)
- [7] 吕跃广等, 《光学学报》 Vol. 10 No. 4. (1990) (待发表)
- [8] Yueguang Lu et al. NDT International, June, 1990 (待发表)

气象卫星仪器板的激光全息无损检测

田光义 黎逢春 刘战捷

(航空航天部五院五二九厂)

摘 要

本文研究了用全息法检测大型试件——铝面板铝蜂窝芯夹层结构气象卫星仪器板缺陷的可行性和检测灵敏度,探讨了该法对不同类型伤的探测能力及被测试件的最佳检测工艺条件,并给出了实验结果。

一、引 言

随着我国航天事业的迅速发展,复合材料,特别是蜂窝夹层结构在卫星上的应用也日趋广泛,为保证产品质量,对它们进行无损检测是必不可少的。目前对复合材料进行无损检测的方法很多,如x射线照相、超声、声振法、激光全息照相、涡流、液晶显示、红外照相等方法,它们各有自己的特点,应用范围又各受到一定的限止,各单位只能根据产品的结构特点,选用不同的无损检测方法。

气象卫星仪器板为铝面板—铝蜂窝芯夹层结构,直径为2198mm,面板厚0.5mm,铝蜂窝芯壁厚0.04mm,边长4mm,高34mm。蜂窝芯中间放有起导热作用的热管和许多起联接固定作用的预埋件、预埋块,如图1所示。这样一个结构形式的蜂窝夹层结构件,我们用灵敏度高、显示直观,对产品表面形状和状态无特殊要求的 H_e-N_e 激光全息照相的方法进行无损检测,检测的结果还是比较满意的。

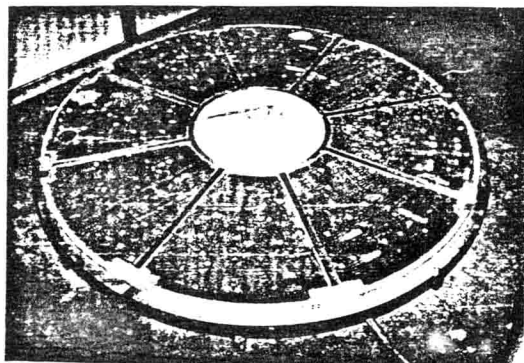
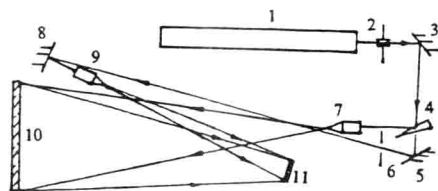


图1 气象卫星仪器板



1. 激光器 2. 6. 光栏 3. 5. 8. 反射镜 4. 分束镜 7. 9. 扩束镜 10. 样品 11. 干版

图2 光路原理示意图