



# 短波长X射线体应力无损分析仪 填补国内外用短波长X射线检测 材料内部应力技术空白

Filling the Gap in Internal Stress Nondestructive Analysis Technique Using Short Wavelength X-Ray

本刊记者 良辰

【编者按】2015年10月17日,国家科技部重大科学仪器设备开发专项“短波长X射线体应力无损分析仪科技成果和新产品”鉴定会在四川省江油市召开。鉴定委员会听取了项目研制工作报告、技术报告,观看了技术研发视频,审核了第三方机构检测报告,考察了仪器现场,经质询、讨论,最终一致同意通过科技成果鉴定,建议加快推广应用。此次鉴定会的圆满成功,充分展示了中国工程物理研究院材料研究所等承研单位的自主研发实力、产品精良工艺及优良品质。新产品为我国新材料技术发展提供了检测手段支撑,将服务于国防军工部件的生产及大飞机项目。

## 短波长X射线体应力无损分析仪科技成果和新产品鉴定会召开

短波长X射线体应力无损分析仪科技成果和新产品鉴定会于2015年10月17日在四川省江油市召开。国家科技部、四川省科技厅、四川省

经济和信息化委员会、绵阳市经济和信息化委员会、中国工程物理研究院、中国工程物理研究院材料研究所、四川艺精科技集团有限公司相关领导,及该项目负责人张鹏程研究员、项目骨干等出席了本次会议。鉴定委员会由中科院物理研究所/中国物理学会X射线衍射联合委员会

主任麦振洪研究员、清华大学材料学院院长张政军教授分别任正、副主任,还邀请了中国工程物理研究院科技委前副主任孙颖研究员等12位专家作为见证嘉宾。

鉴定委员会听取了项目研制工作报告、技术报告,观看了技术研发视频,审核了第三方机构检测报告,

考察了仪器现场,经质询、讨论,一致同意通过科技成果和新产品鉴定。

### 项目背景和研发目的

材料或工件内部的残余应力对其服役性能有重要影响,由残余应力引起的零部件失效案例比比皆是。目前,采用X射线无损测量残余应力是使用最广泛的方法。但普通X射线应力分析仪只能获得材料表层约 $10\mu\text{m}$ 深的应力分析结果,为了无损测定内部应力,发达国家采用中子源产生的中子和高能同步辐射产生的短波长X射线来测定材料、工件的内部应力,并将该技术用于相关基础研究和工业产品的研发,但是这2种技术分别需要核反应堆和高能同步辐射装置作为光源,造价昂贵且

只能在装置所在地进行分析,其应用受到限制。

“短波长X射线体应力无损分析仪开发及应用”项目是2012年国家科技部重大科学仪器设备开发专项,由四川艺精科技集团有限公司作为牵头单位,联合中国工程物理研究院材料研究所、中国兵器工业集团第五九研究所等单位共同研发。采用短波长特征X射线作为光源,除具备常规波长特征X射线的功能外,还具有穿透能力强的优势,可分析数十毫米晶体材料内部的晶体学信息,可用于材料内部的物相分析、应力测量和织构分析等。

研制目标为攻克相关核心技术及关键部件,通过系统集成和工程化,研制出具有自主知识产权的短波长X射线无损分析仪,通过对轻合金加工、焊接件、表面涂层内部应力分析,建立应力分析方法,实现产业化应用。

### 项目成果

自主研制的短波长X射线体应力无损分析仪采用重金属靶材发出波长短、穿透性强的特征X射线,通过独特的X射线能量分辨方法,可根据工件的材质、形状及厚度,选择透射式或反射式的测量方法,实现了对材料内部残余应力的无损精确测定。此外,短波长X射线体应力无损分析仪还可用于材料和工件内部物相、织构等的无损检测,为基础科研、工艺优化、产品性能评估等提供基础数据和技术支撑。在仪器研发的同时,项目组进行了短波长X射线应力分析的试验方法与应用研究。根据短波长X射线对材料的穿透能力和衍射光路特点,建立了透射式和反射式2种不同的材料内部和表面应力测试方法,制定了短波长X射线应力分析仪的仪器规范和测试方法中物院标准,完成了铝合金、钛合金、钢铁材料、铍等多种材料的内部

应力与物相测试研究。仪器的研制成功使我国在材料、构件内部体应力分析方面取得突破性进展,填补了国内外利用短波长X射线检测材料内部应力技术的空白,提升了我国在国际应力分析检测领域中的影响力。新技术属于国际首创,获得2项国际专利授权、4项国内专利授权。

短波长X射线体应力无损分析仪主要技术指标如下:

- (1) 样品台最大承重20kg,仪器可24h不间断工作;
- (2) 仪器利用重金属钨靶,目前可测试工件的最大厚度已达到铝合金当量厚度40mm;
- (3) 无应力铁粉测试误差小于 $\pm 20\text{MPa}$ ,达到该领域测量国际标准;
- (4) 仪器具有可调的空间分辨能力,最小空间分辨率为 $0.1\text{mm} \times 0.2\text{mm} \times 2\text{mm}$ (宽 $\times$ 高 $\times$ 厚),对具有一定厚度的样品能够获得三维空间应力分布。

### 短波长X射线体应力无损分析仪推广及应用前景

短波长X射线体应力无损分析仪解决了长期困扰科研生产中内部残余应力测量难题,为高校、科研院所和企业提供了一种目前国际/国内市场上尚无的无损测定材料、工件内部应力分布状态的国际领先的检测分析工程化仪器。该仪器已在航空航天、高铁、核能等领域开展了大量应用研究,如对航空发动机叶片进行残余应力分析,并测量了叶片内部残留物;对航天用 $\text{SiC}_p/2024\text{Al}$ 复合材料的残余应力进行了分析等。

本项目研发推广的科学仪器是实验室用装置,体积小、价格低,既可测定体应力,又可市场化推广,截至目前,该单位已生产并销售2台仪器。作为新产品,短波长X射线体应力无损分析仪还有进一步改进的空间,以满足用户的个性化需求。

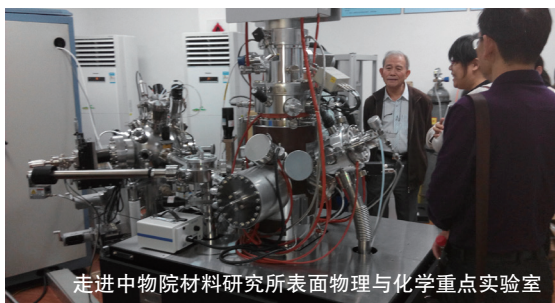
(责编 春早)



项目组向鉴定委员会进行研制工作报告



张鹏程副总工程师带领参观短波长X射线体应力无损分析仪



走进中物院材料研究所表面物理与化学重点实验室