

平面平晶检测安全阀密封面平面度工艺的简介及应用

郑伟静, 梁超, 李伟明

中广核核电运营有限公司, 广东 深圳 518000

摘 要 : 通过对平面平晶检测安全阀密封面平面度工艺的步骤、原理、优点及注意事项进行介绍, 并对其应用及效果进行阐述, 表明该工艺是目前较合适的安全阀密封面平面度检测工艺, 并给出在安全阀检修中应用该工艺的建议, 以实现安全阀良好密封, 保障系统安全稳定运行。

关 键 词 : 平面平晶; 干涉条纹; 安全阀; 平面度

Brief Introduction and Application of Plane Flat Crystal Detection Technology for Flatness of Safety Valve Sealing Surface

Zheng Weijing, Liang Chao, Li Weiming

China Nuclear Power Operation Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract : This paper introduces the steps, principles, advantages and precautions of the plane flat crystal detection technology for the flatness of safety valve sealing surface, and expounds its application and effect. It shows that this technology is a suitable technology for the flatness detection of safety valve sealing surface, and gives suggestions on the application of the technology in the maintenance of safety valves, so as to achieve good sealing of safety valves and ensure the safe and stable operation of the system.

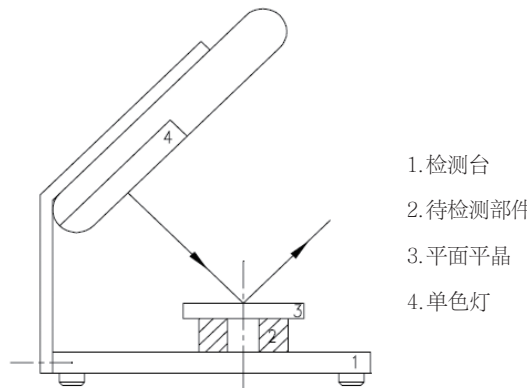
Keywords : plane flat crystal; interference fringes; safety valve; flatness

传统的安全阀密封面平面度检测工艺有红丹粉、蓝油、塞尺检测等, 存在检测精度低和可靠性低的问题, 且部分检测工艺存在损伤密封面的风险, 因此这些检测工艺已较少使用。目前大部分安全阀平面度通过使用安全阀校验台进行密封试验来间接检测, 该检测工艺可较好的从密封功能实现角度确认阀门密封面平面度满足要求^[1], 因此得到了广泛应用, 但该工艺存在局限性, 比如对于焊接安装在现场的安全阀, 如采取此工艺进行平面度检测, 需将安全阀从现场切割拆卸后, 再在车间焊接安装法兰才能进行密封试验, 试验合格后需再次切割法兰再焊接回装至现场, 不仅工作繁琐, 还存在焊接导致安全阀密封面变形造成阀门泄漏导致系统失去保护功能的风险, 因此, 对于此类安全阀, 一般采用平面平晶干涉工艺检测平面度^[2]。

一、工艺简介

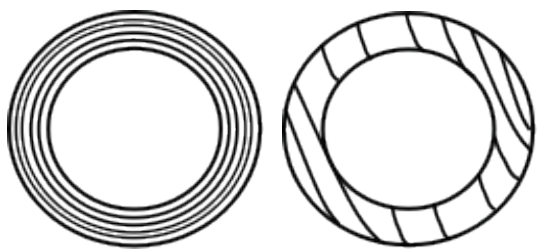
(一) 步骤

平面平晶干涉工艺简要步骤为: 安全阀密封面研磨完成经目视检查无划痕、磕碰等缺陷后, 将密封面擦拭干净参照图1所示布置进行平面度检查, 如平面度较好则会在平面平晶上显示如图2所示的其中1种干涉条纹图像, 图2左边图像为同心干涉图像, 干涉条纹数量为整个密封面上的暗条纹数量(暗条纹相较亮条纹更好辨认, 读数更精确), 图2右边图像为偏心干涉图像, 干涉条纹数量为半个密封面上的暗条纹数量, 干涉条纹数量与每条条纹对应的平面度相乘即为该密封面的平面度^[3]。



> 图1 平面度检查示意图

作者简介: 郑伟静(1988-), 男, 汉族, 浙江省丽水市人, 本科, 中广核核电运营有限公司, 工程师, 研究方向: 核电厂阀门维护管理及相关策略优化。



> 图2 干涉图像示意图

（二）原理分析

平面平晶干涉工艺使用光的干涉原理进行密封面平面度检测，其基于光波叠加原理，在干涉场中产生亮暗交替的干涉条纹，通过分析干涉条纹形态及数量测得密封面平面度。将密封面沿圆周方向等分成无限小份，平面平晶放置其上时，每份密封面同平面平晶形成如图3所示的劈尖干涉^[4]。当单色灯发出的平行光由折射率为 n_1 的平面平晶垂直入射折射率为 n 的劈尖，在劈尖上表面（平面平晶工作面）处，一部分光线 α 会反射，另一部分光线 α' 会折射进入劈尖内部，如果劈尖夹角 θ 很小，可认为反射光线原路返回，折射光线垂直于劈尖下表面（密封面），折射光线经劈尖下表面反射后进入劈尖上表面，继而折射并出射于平面平晶，在入射点与反射光线发生干涉，人眼即可在平面平晶上看见干涉条纹，用单色光源时呈现亮暗交替的干涉条纹，若正好波峰遇到波峰或波谷遇到波谷，亮度最强，呈现亮条纹，若波峰遇到波谷，亮度最暗，呈现暗条纹，最亮和最暗形成干涉条纹^[5]。

由图3可得，入射点的光程差：

$$\delta = 2nh + \frac{\lambda}{2} = 2h + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

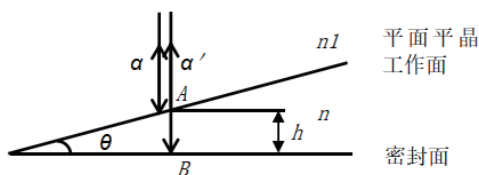
式（1）中 n 为空气劈尖折射率，为1； h 为入射点至密封面反射点间的劈尖厚度； λ 为单色光波长； $\frac{\lambda}{2}$ 为光疏介质（空气）入射光密介质（平面平晶）的半波损失（ $n < n_1$ ）。

则暗条纹的光程差：

$$\delta = 2h + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, k=0,1,2\cdots \quad (2)$$

暗条纹处的劈尖厚度：

$$h = \frac{k\lambda}{2}, k=0,1,2\cdots \quad (3)$$



> 图3 劈尖干涉示意图

相邻暗条纹所对应的劈尖厚度之差（即平面度，如图4所示）：

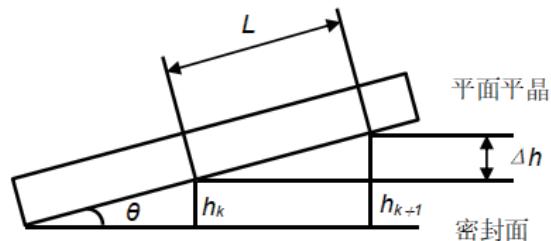
$$\Delta h = (k+1)\frac{\lambda}{2} - \frac{k\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

相邻暗条纹间距：

$$L = \frac{\Delta h}{\sin \theta} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (5)$$

由式（5）可知：条纹为等间距分布；劈尖夹角 θ 越小，条纹

越疏（对应密封面平面度越好），反之越密，如角度 θ 过大，条纹将密集到难以分辨，即看不到干涉条纹。



> 图4 劈尖厚度及条纹间距示意图

无数个劈尖干涉的条纹组成了检测时所看到的图像（如图2所示）。通过数暗条纹即可量化评估密封面平面度。由于使用的单色灯为钠光灯，其发出的光波长 λ 为 $0.5893\mu\text{m}$ ，而相邻两条暗条纹平面度之差为 $\frac{\lambda}{2}$ ，近似为 $0.3\mu\text{m}$ 。因此，暗条纹数量乘以 $0.3\mu\text{m}$ 即为密封面的平面度^[6]。

（三）优点及注意事项

综合分析可知，平面平晶干涉工艺检测精度较高，其量化评价平面度可达到微米级别，且可提供直观的图像，便于对密封面进行评估和分析，进而对密封面的研磨修复提供参考。由其原理可知，若劈尖内部存在杂质颗粒，干涉图像会受干扰，可能导致作业人员将平面度合格的密封面判定为不合格，进而重复研磨，造成人力、物力的浪费，因此，该工艺使用时需将平面平晶工作面和密封面清理干净。同时需注意平面平晶为玻璃制品，拿取时应轻拿轻放，避免磕碰损伤，其在密封面上时不可平移，避免两者滑动摩擦互相损伤^[7]。

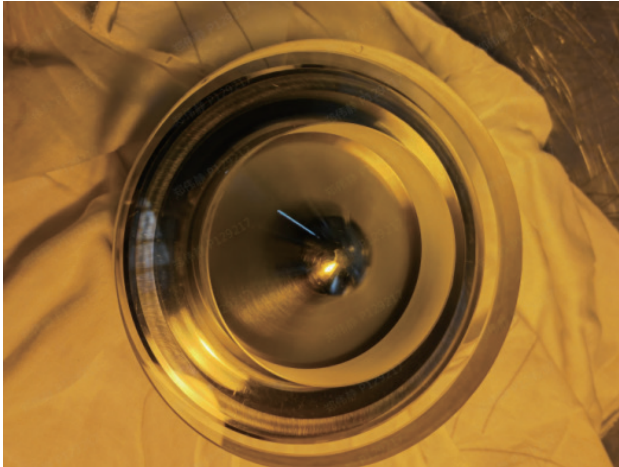
二、工艺应用及效果

以国内某核电厂为例，该工艺主要应用于焊接安装在现场的安全阀（简称“焊接安全阀”）和非焊接安装安全阀中工作压力较高的安全阀（简称“高压安全阀”）。

（一）焊接安全阀

该电厂焊接安全阀主要为主蒸汽安全阀，其下属A机组安装的为法国某厂家生产的螺旋弹簧式安全阀（简称“A型阀门”），B机组安装的为德国某厂家生产的碟形弹簧式安全阀（简称“B型阀门”），每台机组安装21台阀门，两种阀门运行条件相同，工作压力为6.8MPa。为了保证主蒸汽安全阀在较高工作压力下的良好密封，因此其密封面平面度要求较高^[8]。由于其焊接安装在主蒸汽管道上，无法通过安全阀校验台检测其平面度，因此只能采用其它检测工艺。对于A型阀门，其从机组工程阶段至今十多年，一直采用平面平晶干涉工艺检测密封面平面度（如图5所示），经检测合格（平面度 $<3\mu\text{m}$ ）的阀门运行状态良好，从未出现泄漏。而对于B型阀门，其在工程阶段，采用目视检查密封面平面度，只需确定密封面无缺陷即可，在热试期间，有3台阀门出现了泄漏，解体检查后用平面平晶干涉工艺检查密封面，发现平面度较差，因此后续将B型阀门平面度检测工艺优化为平面平晶干涉工艺，相关标准同A型阀门一致，工艺优化至今数年，未再

有阀门出现泄漏，效果良好。由此可见，对于焊接安全阀，平面平晶干涉工艺是较好的密封面平面度检测工艺，可保证阀门在工作压力下的良好密封，保障系统、机组安全稳定运行。



> 图5 平面平晶干涉工艺检测图

（二）高压安全阀

该电厂部分非焊接安装高压安全阀工作压力在10MPa以上，有的超过20MPa，因此其密封面平面度要求很高。对于此类阀门，该电厂通过安全阀校验台进行密封试验间接检测平面度，由

于其密封面研磨后仅通过目视检查确定无缺陷即进行密封试验，因此密封试验往往无法一次成功，需要重新解体阀门研磨密封面以获得更好的平面度，之后再次进行密封试验，直至合格，期间拆装阀门研磨次数可达数次，有时甚至超过10次，消耗较大的人力、物力。因此，电厂采购阀门密封面对应尺寸的平面平晶，在密封面研磨完成后先用平面平晶干涉工艺检查其平面度满足要求，再进行密封试验，一般可一次成功，大幅减少阀门重新解体研磨密封面次数，节约大量的人力、物力成本^[9]。

三、结束语

相较传统的安全阀密封面平面度检测工艺，平面平晶干涉工艺检测精度高，可靠性好，经其检测合格的密封面可实现安全阀良好的密封，同时，相较其它精度高的工艺，如激光干涉仪检测、轮廓仪测量、三坐标测量仪检测等，其成本较低，便携性好，因此，平面平晶干涉工艺是目前较合适的安全阀密封面平面度检测工艺。建议在安全阀检修中尽可能应用平面平晶干涉工艺，以获得良好的密封面平面度^[10]，实现安全阀的良好密封，保障系统安全稳定运行，有效提升运维本质安全水平。

参考文献

- [1] 丁涛，胡靖，核电主蒸汽安全阀泄漏的分析研究[J]. 设备管理与维修，2023（21）：180～182.
- [2] 刘丽萍，马忠仁，岳景春，自制平面平晶检测仪的工作原理及实际应用经验探讨[J]. 内燃机与配件，2018（12）：219.
- [3] 武超，核电厂主蒸汽安全阀内漏原因分析及处理方法研究[J]. 产业与科技论坛，2022（17）：43～44.
- [4] 王东，张清，贾虎，平行光入射时劈尖干涉误差的定量分析[J]. 物理与工程，2012（02）：23～24.
- [5] 张庆华，浅析用平面平晶检定仪器的平面度[J]. 计量与测试技术，2018（04）：28～29.
- [6] 杨琳，浅析平面平晶工作面不确定度[J]. 科技创新与应用，2015（22）：300.
- [7] 王家帮，孔祥夷，魏跃杰，安全阀常见故障的分析与处理[J]. 化工设备与管道，2012（03）：76～78.
- [8] 蒋振华，谢月丰，季明明，主蒸汽安全阀主要缺陷的原因分析及危害性预见[J]. 产业与科技论坛，2021（12）：40～41.
- [9] 杨胜凯，张小辉，周晓明，王浩，核电厂主蒸汽安全阀内漏原因分析及处理[J]. 液压气动与密封，2019（12）：85～87.
- [10] 杨波，安全阀密封面研磨方法探讨[J]. 内燃机与配件，2018（05）：141～143.