

常见无机非金属材料检测误差及控制研究

张盛豪 赵玉东 石 亨

北京紫衡轩建筑工程检测有限公司, 北京 102499

[摘要]无机非金属材料检测结果准确性直接影响对材料质量评估以及施工质量把控情况。文中总结了无机非金属材料检测过程存在主要问题,把问题分成两类即仪器设备误差及人为操作误差,在此基础上针对物理性质检测、化学成分测定、微观形貌观察等方面检测工作中常见问题进行了详细阐述。随后给出了减少这些误差发生措施,有仪器标定、改进测试方法、提高工作人员技术水平、改善实验条件等。

[关键词]无机非金属材料; 检测误差; 误差来源; 质量控制; 标准化

DOI: 10.33142/ec.v9i1.18857

中图分类号: U414.101

文献标识码: A

Research on Detection Error and Control of Common Inorganic Non-metallic Materials

ZHANG Shenghao, ZHAO Yudong, SHI Xiang

Beijing Zihengxuan Construction Engineering Testing Co., Ltd., Beijing, 102499, China

Abstract: The accuracy of inorganic non-metallic material testing results directly affects the evaluation of material quality and the control of construction quality. The article summarizes the main problems in the detection process of inorganic non-metallic materials, dividing them into two categories: instrument and equipment errors and human operation errors. Based on this, it elaborates in detail on common problems in physical property detection, chemical composition determination, microscopic morphology observation, and other aspects of detection work. Subsequently, measures were proposed to reduce the occurrence of these errors, including instrument calibration, improving testing methods, enhancing the technical level of staff, and improving experimental conditions.

Keywords: inorganic non-metallic materials; detection error; sources of error; quality control; standardization

无机非金属材料是三大基础材料之一,在建筑、电子、航空等领域有着举足轻重的地位。而无机非金属材料性能测试结果是衡量材料好坏以及工程应用参考的重要依据,所以测试数据准确性和可靠性非常重要。但是在实际测试过程中会受到各种各样的影响,所以测试结果总是会有或者这样或者那样的偏差。而如果不能及时发现并且消除这些误差,那么就会造成对材料性能的误判,严重时会造成安全事故。所以研究无机非金属材料测试误差以及如何避免这些误差的发生,对提高测试水平,保证工程质量有很重要的作用。

1 无机非金属材料检测误差的主要来源

1.1 仪器与设备误差

检测仪器和设备本身的精度问题是造成误差的重要原因。实验误差及数据处理是材料物性测试的基本内容,了解误差的知识有利于对测试的结果做出正确的判断。任何一台先进的测量仪器都不可避免地存在着一定的误差,这些误差主要表现在示值误差、分辨力误差以及稳定度误差上。比如万能材料试验机的测力系统长时间使用后未经调整,则它的示值就会偏离实际值;X射线衍射仪的光学部分如果不能很好对齐,则所测得的衍射角也会有系统偏差。仪器在长时间的工作中,由于电子元器件老化,机械零件磨损,光学系统污染等原因会造成仪器性能逐渐变化,

而这种变化在测量的结果中表现为一种漂移误差。另外仪器周围的环境也是造成仪器不稳定的一个因素,例如电源电压的变化,地线电阻的变化等都会对仪器的正常工作造成干扰。我们在用电感耦合等离子体发射光谱仪测定元素的过程中,如果雾化器的工作情况发生变化,那么同样是这个浓度的试样,在不同的时间测得的信号强度就会有所不同,这就是仪器稳定性差引起的误差。

1.2 操作与人为误差

除了仪器因素外,检测人员的操作行为也会造成误差,而且这种误差往往是随机性和个人性的。在取样过程中,检测人员是否认真地按照规定对样品进行研磨、缩分、干燥等操作都会影响到样品的代表性以及均匀性。材质必须均匀,若被测元素含量不均匀,则多的地方与少的地方相差甚远,而由于XRF光谱仪的入射光束通常很细,因此所照射到样品上的面积很小,故而不均匀样品难以得到良好结果。在仪器使用中,参数选择是否合适也会影响检测结果,如光谱分析狭缝宽度以及积分时间的选择均需由操作者凭经验来确定。还有读数误差,尤其是用指针式仪表或者需要人眼判定读数时,不同的人读取数值就会有偏差和不同习惯。

2 不同检测项目中的典型误差分析

2.1 物理性能检测误差

物理性能检测是无机非金属材料测试中最基本的工

作,包括力学性能、热学性能、电学性能等。而在进行上述检测时,误差表现形式虽然各不相同但是却有迹可循。如力学性能测试中,试样的几何尺寸以及形状误差会影响到强度计算结果,比如试样的端面不够平直或者有明显的尺寸误差,在加载时会有应力集中发生,使测量得到的强度值偏低。而在热学性能测试中,加热速率的准确性和测温元件的反应速度都可能会影响最终的结果。韩国标准与科学研究院有一套较为通用的非气态杂质检测方法,在一天之内可以检测出超过 60 种杂质元素,即使有一个杂质的数据偏差很大,也满足纯度值相对不确定度为 0.005% 的要求。也就是说,在物理性质实验中,通过合理的改进实验方法以及合理的处理数据就可以降低测量不确定度的影响。在测定导热系数时,试样与加热板之间接触热阻是无法避免的一个因素,不同的人员对于试样的施加的压力不同也会造成不同的实验结果。

2.2 化学组成分析误差

化学成分分析是检验无机非金属材料质量的一种方法,其方法有经典的化学分析法及各种仪器分析法等。此类测试中误差产生原因较多,如样品处理过程中部分样品损失或被污染;还有仪器分析时由于基体效应和光谱干扰等原因导致误差。在消解样品时,若消解温度过高或时间过短,则会导致一些不易溶解的元素不能充分进入溶液而导致测定值偏低;而在进行仪器分析时,校准曲线也是容易产生误差的一点,在制作校准曲线的过程中,所用的标准溶液是否合适,基体是否一致都会影响到最后的结果。原子探针层析技术用于非金属材料成分测量时,表面电场对一些物理或者化学过程起到决定性影响,会使得成分测量发生一定偏移,需要考虑某一种元素损耗情况以及相应的修正措施。而当进行多种元素同时测量时,由于各元素间光谱重叠不能被很好地消除,会造成一定偏差,在我们利用 X 射线荧光光谱仪测定水泥生料成分时就出现了,如果不对样品粒度效应和矿物效应进行校正,那么计算值与化学分析法之间会有很大差距的情况。

2.3 微观结构表征误差

由于材料科学研究需要对材料微观结构进行观察和表征,在无机非金属材料研究中,扫描电子显微镜、透射电子显微镜、X 射线衍射仪等先进检测手段被大量使用到材料形貌表征及组成鉴定工作中。这种表征方法具有较高分辨力以及丰富信息量,但是也有诸多影响因素。电子显微镜观察样品前,样品表面处理也是非常重要一步,若样品表面粗糙或有污染物则会影响图像质量及分析结果;X 射线衍射法测定物相相对含量时,晶粒取向、微吸收等都会导致衍射强度与实际不符而造成物相相对含量错误。ISO 5490:2025 给出了使用扫描电子显微镜配能谱仪以及背散射电子探测器评定及统计非金属夹杂物的规定,对于仪器标定、测试条件以及图像处理都有具体的规定,表明

国际标准化组织对于微观表征方法测量误差的关注。而在能谱分析中,原子序数效应、吸收效应以及荧光效应对分析结果造成的影响必须采取适当的校正措施,否则分析误差将会很大。

3 检测误差的控制策略与方法

3.1 仪器设备的校准与维护

仪器设备的正常工作是保证实验结果真实性的基础条件之一。制定严格的仪器设备管理规定,做好计量校准及期间核查工作可以有效降低由于仪器原因引起的误差。不同类型的检测仪器应结合其使用情况制定合适的校准周期,在使用中也要随时观察仪器的工作状况,出现问题应及时解决。仪器的保养也十分重要,要定期对光学部分进行清洁,给机械传动部分加润滑油,检验电子部分的工作情况等。我们在应用过程中发现,仪器校准证书上的数据并不是一串存档的数据,而要认真分析校准结果及仪器示值的关系,在必要时对测量结果进行修正;对于大中型精密仪器,还要有详细的记录,记载每次维修、校准情况等,以便随时了解仪器状态的变化,发现隐患。

3.2 检测方法的优化与标准化

检测方法本身的科学性、合理性直接影响到误差的大小。选择并建立一个合理的检测方法,就需要对其检出限、精密度、准确度等方面作大量的工作。而在日常工作中,应尽量使用国家标准或行业标准中规定的检测方法,因为在众多的研究和应用过程中已经证实它们是可行、可靠的,具有良好的可比性。当由于某种原因需使用非标方法时,则必须对该方法进行严格的评价,以保证该方法能满足预定的要求。而优化方法也是一个不断探索的过程,在实验设计上找到最佳的样品前处理方式、仪器的工作条件等都会使方法有所提高。河钢数字制定的《钢中非金属夹杂物及碳化物智能金相检验方法》团体标准发布并施行,这个标准可作为智能金相检验系统的开发标准,给系统开发人员一个指导,完成整个检验过程信息获取、结果判断以及追溯问题根源。这也标志着检测技术发展走向标准化和智慧化方向。

3.3 操作人员的培训与规范

检测人员的技术水平以及责任感很大程度影响着操作误差大小。加强对检测人员专业技能和技术水平培养,使他们清楚明白检测方法基本原理,熟悉仪器设备使用,能够及时发现并且解决出现的问题等都是减少人为因素导致误差有效方法。培训内容应包含基础知识、实际操作技巧、数据分析等方面并且要针对工作中遇到具体情况给出相应建议。制定标准操作流程并且实施,可以避免无谓操作或者操作方式不同而造成误差。

3.4 环境条件的监控与稳定

环境因素对测试结果的影响有时是非常显著的,尤其是在精密测量及微细分析中更为突出。温度变化引起被测

物体尺寸的变化以及设备的工作状态不稳定;相对湿度大造成被测物体吸水,使设备绝缘电阻降低;灰尘、振动等都会影响到设备的正常使用。所以要控制好环境条件并且使其维持在一个合理的水平上才能使测试结果准确可靠。对于有特殊环境要求的测试项目需要有恒温恒湿箱、防振台、电磁屏蔽等,并且对这些环境因素进行持续监控并做好相应记录,一旦发现环境超出设定范围就停止该类测试直到环境恢复到正常为止。我们在用电子显微镜观察中发现,如果室温变化较大,那么图像就会发生漂移,给高倍率下观察带来很大影响。

4 误差控制的技术发展

4.1 自动化与智能化检测技术

随着计算机技术和人工智能发展,检测过程自动化、智能化是提高检测水平重要途径之一。自动化检测设备能够按照预先设定程序自动完成样品传输、参数设定、测量数据获取、数据分析等,从而大大减少人工干预带来的影响,保证检测结果一致性。而智能化检测设备不仅具有上述优点,而且可根据被测样品性质以及检测过程中出现情况改变自身工作状态并对可能出现问题作出判断并采取相应措施,在检测过程中若遇到不合常理数据可重新测量或者通知工作人员检查。这样不仅可以降低偶然误差,也可以帮助发现和消除系统误差。在金相分析中对非金属夹杂物的自动识别及分类已经成为现实,与传统的依靠人眼观察的方法相比,这种方法更公正、可靠,而且不会由于长时间工作造成眼睛疲倦或标准不统一而影响判断。

4.2 高精度检测仪器的应用

仪器技术的发展对降低测量误差有着积极作用。现在的仪器比以前更灵敏、准确、可靠,能够测量很多以前无法测量或者很难测量的东西,如微量物质含量等。高精度位移传感器能很好测出材料受外力作用时发生很小变化,这对测试材料弹性模量等力学性质很有帮助。高分辨率电子显微镜可以把材料内部结构放大到纳米甚至到原子级别,便于观察其晶格排列、界面等信息。在工作中选用仪器设备时,要根据检测目的以及具体情况来决定,不能一味追求高精度仪器,还要考虑到仪器是否合适、成本效益、保养等。先进的仪器如果不会用,也起不到作用,甚至由于太先进反而增加了出错机会。

4.3 数据处理与统计分析方法的改进

检测数据的处理与解释也是误差控制的一个方面,在

此过程中会涉及到很多现代数理统计的知识来帮助我们发现并消除误差的影响,利用方差分析、回归分析、稳健统计等方法可以更好地从测量结果中获得有用的信息来更精确地评估测量不确定度。而对于系统误差可以通过使用标准物质进行比对或者加入额外的标准样来进行测定后去除,而随机误差可以通过重复测量多次然后求取平均值的方式减小。测量不确定度评定是每一个检测实验室都应具备的能力,不仅可以反映检测结果的质量,还可以用来确定各误差来源所占的比例,有利于寻找提高检测工作能力的方向。而随着计算机技术的进步,很多较为复杂的计算都可以用专门的软件进行运算,大大便利了数据处理工作。

5 结束语

无机非金属材料检测中误差问题是由多种原因引起的复杂问题,不仅包括仪器设备问题,还有操作人员以及环境等影响因素。要想做好检测误差控制,就必须从仪器校准、方法改进、人员培训及环境管理等方面加强工作,形成有效的质量保证体系。而随着科技的发展进步,自动化智能检测技术、高精尖仪器、数据分析新技术以及国际合作标准等都将有助于更好地解决检测误差问题。

[参考文献]

- [1]唐冰慧,杨伟东,董文益,等.基于深度学习的陶瓷表面缺陷检测研究综述[J].现代制造工程,2025(10):148-158.
 - [2]陈瑶.建筑工程材料实验检测技术分析[J].居舍,2025(27):31-34.
 - [3]王浩铭,李路瑶,王静,等.Li₂O-ZnO-MgO-Al₂O₃-SiO₂微晶玻璃析晶行为和性能[J].硅酸盐学报,2025,53(10):2777-2790.
 - [4]张卫之,程焰林,马迎英.无机非金属材料与金属材料连接的研究概述[J].焊接技术,2015(1):4.
 - [5]张颖,任耘,刘民生.无机非金属材料研究方法[M].北京:冶金工业出版社,2011.
 - [6]张泽晨,刘纪新,高巍,等.无机非金属脆性材料超声辅助磨削力学行为与磨削力解析建模研究进展[J].制造技术与机床,2026(1):134-153.
- 作者简介:张盛豪(1998.9—),毕业院校:武汉理工大学,所学专业:计算机应用技术,当前就职单位:北京紫衡轩建筑工程检测有限公司,职务:检测事业部检测二室检测员,职称级别:初级。