

原子力显微镜校准规范

(编制说明)

预审稿

2025-9

原子力显微镜校准规范校准规范

编制组

主编单位：国合通用测试评价认证股份公司

一、工作简况

1.立项目的

原子力显微镜是一种可以用来研究包括绝缘体在内的固体材料表面结构的分析仪器。它可以对样品的表面形貌起伏、结构变化进行表征，获得样品表面的形貌、粗糙度和结构尺寸等信息。原子力显微镜可以在真空、超高真空、气体、溶液、电化学环境、常温和低温等环境下工作，在科学研究中的应用非常广泛，目前被认为是在纳米尺度上可视化和量化结构的不可或缺的工具，其量值的准确性对于有色金属材料的研发、生产和应用具有重要意义。为保证原子力显微镜测试结果的准确可靠，需要对其进行校准，保证其量值准确、可靠、有源可溯。

本规范重点解决了原子力显微镜校准方法不统一、校准方法差异化、计量标准技术指标不明确、校准点的选择不统一、原子力显微镜的校准方法未规定等问题，弥补原子力显微镜校准的空白，为进行量值传递提供了有效保证，进一步提高了原子力显微镜的准确性。

2.任务来源

根据工业和信息化部《关于印发 2024 年行业计量技术规范制修订计划的通知》（工厅科〔2024〕602 号）文的要求，行业计量技术规范《原子力显微镜校准规范》由国合通用测试评价认证股份公司负责起草。该项目计划编号为 JJFZ（有色金属）008-2024。

3.项目编制组单位简况

3.1 编制组成员单位

本规范的编制组单位为：国合通用测试评价认证股份公司、国标（北京）检验认证有限公司、国合通用(青岛)测试评价有限公司、国家纳米科学中心、西安交通大学、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、天津大学、北京科技大学、微仪光电（天津）有限公司、包头稀土研究院、北京航空航天大学分析测试中心。

3.2 主编单位简介

国合通用测试评价认证股份公司是中央企业中国有研科技集团有限公司控股子公司，创始于 1952 年，主要从事金属材料检测、汽车用材料和零部件可靠性检测、标准溶液、标准样品、计量校准、综合评价和产品认证等科技服务业务。公司在北京、上海、青岛、重庆、深圳、德阳、西安等地建立了专业实验室，装备高端仪器设备 4200 余台套，具有 CMA、CNAS 等资质，测试评价项目涵盖化学成分、微观组织结构、机械和物理性能、磨擦磨损特性、环境可靠性、材料及结构完整性等各个方面，为万余家金属材料的研究、生产和应用单位提供“一站式”服务。作为有色金属大国的检测科技支撑，公司持续推动金属材料测试评价技术进步和行业标准化建设，在 70 年的发展历程中，取得 180 余项部级以上科技成果，起草国际、国家和行业标准 770 余项，研制国家标准物质（标准样品）190 余个；主编校准

规范 25 项，参编校准规范 28 项，共计 53 项。

该单位主要负责本规范的起草工作，成立编制组并根据委员会的工作安排组织编制组成员单位开展相关校准工作，组织各单位对规范的《征求意见稿》、《预审稿》及《送审稿》进行认真的讨论，并就提出的意见和建议进行反馈和修改，在编制组中发挥了主要带头作用。

3.3 成员单位简介

3.3.1 国标（北京）检验认证有限公司

国标（北京）检验认证有限公司是我国有色行业的材料研究、材料检测和仪器校准的权威机构，该公司运行着国家新材料测试评价平台有色金属材料行业中心、国家有色金属及电子材料分析测试中心、国家有色金属质量检验检测中心、北京市有色金属新材料产业计量测试中心。中心拥有雄厚的技术力量，先进的仪器，齐全的校准测试方法，在国内外科技期刊上发表论文 1200 余篇，撰写论著 22 部。起草国际标准 7 项、国家/行业标准 720 余项；主编校准规范 8 项，参编校准规范 13 项，共计 21 项。

该单位积极参与编制组的各项工作会议，对规范的技术指标 or 校准项目 or xxx 部分内容提出了有效建议，是该规范的验证单位（附验证报告），在编制组中发挥了主要作用。

3.3.2 国合通用（青岛）测试评价有限公司

国合通用（青岛）测试评价有限公司运营着国家新材料测试评价平台-主中心青岛实验室，重点面向新材料行业领域提供测试评价服务与技术标准研究。具有 CMA、CNAS、Nadcap 等资质，建立以材料力学、设备校准、化学分析、显微组织结构、无损检测、样品加工为核心的分析测试服务平台，具备对产品开展多参数、多尺度、高精度、全成分范围检验评价的能力，在国内实验室处于领先水平。面向航空航天、轨道交通、风电核电、工业润滑、船舶等行业领域，提供化学成分分析、力学性能测试及校准、组织结构分析、失效分析等测试评价服务，满足各类新材料产品研发、生产、应用需要。

国合通用（青岛）测试评价有限公司参与新立项校准规范，配合制定校准规范中各项参数的规范，并且对讨论稿积极提出修改意见。

3.3.3 国家纳米科学中心

国家纳米科学中心由中国科学院和教育部共建，2003 年经中央编办批准成立，是中国纳米科技领域的核心研究机构。中心下设纳米生物效应与安全性、纳米标准与检测等 6 个实验室及纳米技术发展部，构建了覆盖研发、检测与公共服务的开放平台。成立二十年来，中心取得多项突破：开创“纳米毒理学”新领域，攻克纳米物质体内定量检测难题，首次实现分子间局域作用直接成像，推动纳米自组装技术发展；研发国内首个含“纳米”命名的抗肿瘤新药，其纳米超黑涂层应用于卫星光学系统，显著提升探测能力。主导构建我国纳米技术标准体系，牵头全国纳米技术、微细气泡技术等标准化委员会，成为全球纳米标准最丰富的国家之一。

国家纳米科学中心参与新立项校准规范，配合制定校准规范中各项参数的规范，并且对讨论稿积极提出修改意见。

3.3.4 西安交通大学

西安交通大学是国家教育部直属的综合性研究型全国重点大学，中央直管高校，位列国家“211工程”、“985工程”、“双一流”A类重点建设高校，也是“七五”“八五”重点建设单位、九校联盟（C9）、国家卓越工程师学院建设高校。西安交通大学依托“机械制造系统工程国家重点实验室”、“高端制造装备协同创新中心”等科研平台，长期从事微纳制造与检测相关研究，已建成从微纳制备到表征测试的工艺平台，拥有电子束直写光刻机、多功能磁控溅射仪、原子力显微镜等价值超1亿元的大型设备。研究团队在微纳米几何量标准物质设计制造与测量溯源领域具有丰富经验，拥有四项国家一级标准物质，十项国家二级标准物质，相关成果曾获得中国机械工业科学技术进步一等奖、中国计量测试学会科学技术进步二等奖、陕西省科技工作者创新创业大赛一等奖等。

西安交通大学参与新立项校准规范，配合制定校准规范中各项参数的规范，并且对讨论稿积极提出修改意见。

3.3.5 中国科学院宁波材料技术与工程研究所

中国科学院宁波材料技术与工程研究所建于2004年4月，围绕“材料研究”，先后布局了材料技术、材料+制造、材料+能源、材料+医工4大领域。经过20多年的努力，已成为新材料及相关领域的重要研究基地和技术提供者。根据研究所科研布局及区域新材料产业分布特点，于2007年建立了公共技术中心（简称中心）。中心于2009年通过了国家计量认证（CMA）和实验室认可（CNAS），现集中了用于材料科学研究的大型精密仪器250余台套，价值5亿元，具备材料成分、结构、性能、服役特性等全方位的评估评价能力。近年来中心承担了国家发改委、工信部、海洋局等重大平台建设项目，以及对区域科技型企业的优秀支持，被评为国家级中小企业服务平台，国家级小巨人公共服务平台，已成为支撑研究所科研和区域科技创新的重要服务平台。

中国科学院宁波材料技术与工程研究所参与新立项校准规范，配合制定校准规范中各项参数的规范，并且对讨论稿积极提出修改意见。

3.3.6 天津大学

天津大学始建于1895年10月2日，是中国第一所现代大学。1959年被中共中央指定为国家首批重点大学。改革开放后，天津大学是“211工程”、“985工程”首批重点建设的大学，入选国家“世界一流大学建设”A类高校。天津大学是一所师资力量雄厚、学科特色鲜明、教育质量和科研水平居于国内一流、在国际上有较大影响的高水平研究型大学。现有院士13人，国家“杰出青年科学基金”获得者68人。天津大学在全国率先发布新工科建设“天大方案”并迭代更新，获2022年国家级教学成果奖特等奖1项，有国家级工程实践教育中心12个，国家级实验教学示范中心7个。学校共有1个国家重大科技基础设施、11个国家重点实验室、5个国家工程（技术）研究中心、3个国家国际科技合作基地，另有教育部、天津市重点实验室等省部级重点科研平台142个。2016年以来，获国家科学技术奖励28项，获批国家重点研发计划项目182项。

天津大学参与新立项校准规范，配合制定校准规范中各项参数的规范，并且对讨论稿积极提出修改意见。

3.3.7 北京科技大学

北京科技大学的历史渊源可追溯至1895年北洋西学学堂创办的中国近代史上第一个矿冶学科。1952年，学校由天津大学(原北洋大学)、清华大学等6所国内著名大学的矿冶系科组建而成，名为北京钢铁工业学院，是新中国建立的第一所钢铁工业高等学府。1960年，更名为北京钢铁学院，并被批准为全国重点高等学校。1984年，成为全国首批正式成立研究生院的高等学校之一。1988年，更名为北京科技大学。1997年5月，学校首批进入国家“211工程”建设高校行列。2006年，学校成为首批“985工程”优势学科创新平台建设高校。2014年，学校牵头的，以北京科技大学、东北大学为核心高校的“钢铁共性技术协同创新中心”成功入选国家“2011计划”。2017年，学校入选国家“双一流”建设高校。2018年，学校获批国防科工局、教育部共建高校。目前，学校已发展成为一所以工为主，工、理、管、文、经、法等多学科协调发展的教育部直属全国重点大学。

北京科技大学参与新立项校准规范，配合制定校准规范中各项参数的规范，并且对讨论稿积极提出修改意见。

3.3.8 微仪光电（天津）有限公司

微仪光电（天津）有限公司是一家集显微镜、显微镜自动化、显微专用摄像系统、图像分析系统的研发、生产及销售为一体的国家级高新技术企业、“专精特新”中小企业，公司拥有一支专业从事显微仪器应用技术研究、新产品新技术开发的工程技术团队，拥有多项自主知识产权的发明专利及软件著作权数条。在传统光学显微成像技术上融入了摄像计算机分析系统及机械自动化系统，根据不同应用场景不断开发出能满足科研教学、机械制造、电子材料、纺织纤维、地质矿产、石油化工、航空航天、计量科学、军事公安、农林牧渔、生命科学、医疗等相关应用领域进行研究分析的新产品和新技术，产品覆盖光学显微镜、激光共聚焦显微镜、超分辨STED显微镜、原子力显微镜、扫描电镜等产品；公司先后通过国家“ISO9001质量管理体系”认证、“ISO13485医疗器械质量管理体系”认证、“ISO14001环境管理体系”认证、“ISO45001职业健康安全管理体系”认证及医疗器械生产备案凭证；是“全国光学和光子学标准化技术委员会显微镜分技术委员会（SAC/TC103/SC2）”委员单位，主导并参与十余项国家标准制修订工作，参编校准规范一项。并被认定为国家高新技术企业、“专精特新”中小企业。

微仪光电（天津）有限公司参与新立项校准规范，配合制定校准规范中各项参数的规范，并且对讨论稿积极提出修改意见。

3.3.9 包头稀土研究院

包头稀土研究院（以下简称“稀土院”）于1960年按照聂荣臻副总理指示筹建，作为全国最大的综合性稀土研发机构，始终以稀土资源的综合开发、利用为宗旨，以稀土冶金、环境保护、新型稀土功能材料及在高新技术领域的应用及稀土产品分析检测、稀土行业科技信息服务等为研究重点。建院以来，共承担“863计划”“973计划”等各级各类项目2300余项，获得包括国家发明一等奖、国家科技进步

一等奖在内的省部级以上科技成果奖励 300 余项，获得国际、国内授权专利近 500 项，在稀土选矿、稀土冶金、环境保护、稀土功能材料及应用等领域的研究成果沿用至今。

包头稀土研究院参与新立项校准规范，配合制定校准规范中各项参数的规范，并且对讨论稿积极提出修改意见。

3.3.10 北京航空航天大学分析测试中心

北京航空航天大学分析测试中心，立足于服务国家战略和经济社会发展需求，以推进学科交叉与科教协同、助力高水平科研创新和高质量人才培养为宗旨，致力于提升大型科研仪器开放共享水平，构建专业性强、覆盖面广、创新性强的综合测试服务体系。依托北航深厚学科积淀，中心拥有专家领衔的团队与尖端设备，服务方向涵盖电子显微成像、化学成分分析、材料力学性能、物理性能表征等17个通用方向及3个特色测试服务方向，可有力支撑“空天信医”等学科交叉研究方向及重大任务。科研成果丰硕，曾在国际知名期刊《Nature》《Nature Photonics》等发表封面文章。

该单位积极参与编制组的各项工作会议，对规范的校准项目提出了有效建议，是该规范的验证单位（附验证报告），在编制组中发挥了重要作用。

3.4 各单位分工情况

3.4.1 编制组依据各单位情况，对整个规范的起草进行了分工。国合通用测试评价认证股份公司（主编单位）负责资料的调研、收集，完成分析方法研究工作，撰写标准文稿、编制说明和研究报告。国标（北京）检验认证有限公司、国合通用(青岛)测试评价有限公司、国家纳米科学中心、西安交通大学、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、天津大学、北京科技大学、微仪光电（天津）有限公司、包头稀土研究院对规范内容提出具体修改意见，提供对规范方法的验证工作及完成相应验证报告，并对标准文稿等提出相应修改意见，分工见表1。

表1 各单位分工表

单位	人员	职称	工作分工
国合通用测试评价认证股份公司	杨银	高级工程师	规范起草编制，试验方案编订，实验数据分析，编制说明的撰写工作，会议纪要整理及规范的完善。
国标（北京）检验认证有限公司		XXXXX	规范实验数据分析及讨论，内容审阅并提出修改意见，会议纪要整理。
国合通用(青岛)测试评价有限公司		XXXXX	实验方案讨论，内容审阅并提出修改意见
国家纳米科学中心		XXXXX	实验方案讨论，内容审阅并提出修改意见，规范验证工作

西安交通大学	XXXXX	XXXXX	内容审阅并提出修改意见，规范验证工作
中国科学院宁波材料技术与工程研究所	XXXXX	XXXXX	实验方案讨论，内容审阅并提出修改意见。
北京航空航天大学分析测试中心			实验方案讨论，内容审阅并提出修改意见，规范验证工作
微仪光电（天津）有限公司	XXXXX	XXXXX	实验方案讨论，内容审阅并提出修改意见。
北京科技大学	XXXXX	XXXXX	内容审阅并提出修改意见，规范验证工作
包头稀土研究院	XXXXX	XXXXX	内容审阅并提出修改意见，规范验证工作
天津大学	XXXXX	XXXXX	实验方案讨论，内容审阅并提出修改意见

4.主要工作过程

国合通用测试评价认证股份公司于 2024 年 9 月接到有色金属行业计量技术委员会转发的下达的制定任务后，成立了计量规范编制组，对计量技术规范编写工作进行了部署和分工，制定了本规范的制定原则及工作计划。本项目主要工作过程经过了以下几个阶段：

- 1) 2024 年 9 月成立了计量规范编制组，明确了编制组成员各自的工作内容和任务。
- 2) 2024 年 9 月~2025 年 4 月，编制组成员对《原子力显微镜校准规范》中的计量特性及校准方法进行了讨论，确定了校准项目和方法，在 2025 年 4 月形成了计量规范讨论稿。
- 3) 2025 年 5 月 7 日~9 日，在洛阳市召开有色金属计量技术规范研讨会，会上对《原子力显微镜校准规范-讨论稿》进行了讨论，会上有来自不同单位的计量委员会委员、专家、代表就《原子力显微镜校准规范-讨论稿》中的技术指标等提出了修改建议和意见，同时，会上确定了项目的参编单位及验证单位，明确了各项工作时间进度要求，具体内容见表 2。修改后形成了《原子力显微镜校准规范-征求意见稿》。
- 4) 2025 年 5 月，中国有色金属工业协会发文向社会广泛征求意见。
- 5) 2025 年 9 月 22 日~24 日，在西安市召开有色金属计量技术规范研讨会，会上对《原子力显微镜校准规范》进行了预审，会上有来自不同单位的计量委员会委员、专家、代表就《原子力显微镜校准规范》提出了修改建议和意见。修改后形成了《原子力显微镜校准规范-审定稿》。

表 2 《原子力显微镜校准规范-讨论稿》工作安排

拟参与编制单位	国标（北京）检验认证有限公司、国合通用(青岛)测试评价有限公司、国家纳
---------	-------------------------------------

	米科学中心、西安交通大学、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、天津大学、北京科技大学、微仪光电（天津）有限公司、包头稀土研究院、北京航空航天大学分析测试中心等
验证单位	国家纳米科学中心、西安交通大学、北京航空航天大学分析测试中心、北京科技大学、包头稀土研究院
时间节点安排	2025 年 9 月完成试验验证，2025 年 10 月完成规范审定，2026 年 6 月完成规范报批

二、编制原则和依据

（一）编制原则

本规范是以 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行编写。

本规范引用了 JJF1351-2012 扫描探针显微镜校准规范、GB/T19067.1-2003 产品几何量技术规范 (GPS)表面结构轮廓法测量标准 第 1 部分：实物测量标准、GB/T27760-2011 利用 Si(111)晶面原子台阶对原子力显微镜亚纳米高度测量进行校准的方法和 GB T 42659-2023 表面化学分析扫描探针显微术等相关内容。提出了对原子力显微镜计量特性的要求，制定了基本原则和编制依据，可对原子力显微镜进行校准，解决了目前没有原子力显微镜校准方法的难题。

（二）确定主要内容

1 范围

本规范适用于原子力显微镜的校准（与正文不一致）。该设备是检测有色金属纳米材料几何表面形貌特性的主要设备之一。

2 引用文件（与正文不一致）

本规范主要计量特性参数引自 JJF 1351-2012 扫描探针显微镜校准规范

针对亚纳米高度测量部分，参考了 GB/T 27760-2011 利用 Si(111)晶面原子台阶对原子力显微镜亚纳米高度测量进行校准的方法中对亚纳米高度测量进行校准的表述。

3 概述

本部分介绍了原子力显微镜的结构等内容：原子力显微镜是以逐点扫描方式工作的测量装置，它使用一个尖端足够尖锐的探针，通过利用局域物理相互作用（原子间作用力）来描绘被测物体的表面。主要用于对样品的表面形貌起伏、结构变化进行表征，获得样品表面的形貌、粗糙度和结构尺寸等信息。其主要由带针尖的微悬臂、微悬臂运动检测装置、监控其运动的反馈回路、使样品进行扫描的压电陶瓷扫描器件、计算机控制的图像采集、显示及处理系统组成。

4 计量特性

根据实际使用情况，并与国标（北京）检验认证有限公司、国家纳米科学中心等单位沟通，确定了原子力显微镜的计量特性有七个：

4.1 Z 向漂移和噪声

4.2 Z 向亚纳米高度校正比例因子

4.3 Z 向纳米高度校正比例因子

4.4 Z 向位移测量误差

4.5 X、Y 轴位移测量误差

4.6 原子力显微镜测量重复性

4.7 X、Y 坐标正交性误差

5 校准条件

5.1 环境条件

校准前，实验室环境条件根据原子力显微镜的说明书，可确定其温度、湿度、温度波动度应满足要求。仪器使用允许的环境条件，测量过程中应测量和记录环境的温度、湿度。使用的标准样板应在测量环境中稳定不小于 2h。

5.2 测量标准

测量标准的技术要求应符合正文中表 1 的规定。

测量标准及其他设备包括纳米级台阶样板、具有测量值的原子台阶样品、纳米线间隔样板等，并给出相应的技术指标。

6 校准项目和校准方法

校准项目包含 Z 向漂移、Z 向亚纳米高度校正比例因子等以及具体的校准方法。

7 校准结果表达

根据实验室环境要求、校准项目校准结果、测量不确定度评定结果等，按照 JJF 1351-2012 推荐的校准报告格式，出具校准证书。

8 复校时间间隔

复校时间间隔的长短取决于其使用情况，使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间，建议复校时间间隔为 1 年。

9 附录

附录主要包含校准原始记录参考格式、校准证书内页参考格式、刻线机示值误差测量不确定度评定示例。

本规范设置了 3 个附录，便于校准时参考和规范化。

附录 A 原子力显微镜校准记录参考格式

附录 B 原子力显微镜校准证书内页参考格式

附录 C 原子力显微镜示值误差测量不确定度评定示例

三、实践检测情况

国标（北京）检验认证有限公司、国家纳米科学中心、西安交通大学、北京航空航天大学分析测试中心、北京科技大学、包头稀土研究院根据本规范的校准项目对原子力显微镜进行了全计量特性的校准，内容详见校准报告。

四、规范水平分析

目前，国家和各省检定规程和校准规范中，类似的校准规范如 JJF1351-2012《扫描探针显微镜校准规范》和 JJF(苏) 236-2020《原子力显微镜校准规范》，JJF1351-2012《扫描探针显微镜校准规范》规定了 Z 向漂移、Z 轴位移测量误差、Z 轴测量重复性的校准方法，未对 Z 向噪声、Z 向亚纳米高度校正比例因子等进行校准规定。JJF(苏) 236-2020《原子力显微镜校准规范》，规定了 Z 向噪声、Z 向亚纳米高度校正比例因子等校准方法，涉及 X、Y 向校准需参考其他校准规范，且在此规范中未规定 Z 向纳米高度校正比例因子，对于原子力显微镜的校准和检定无统一的校准依据。

目前国外没有相关技术规范，本规范水平达到国内先进水平。本规范的制定填补了有色金属行业原子力显微镜的校准空白，属于国内首创，水平达到国内领先。

五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本规范所引用的规程、规范及标准均为我国现行有效的计量规程及规范，是本规范的一部分，引用这些文件后，使本规范的要求与现行的相关法律、法规、规章及相关规程规范的关系不矛盾、不冲突，相互关系协调。

六、规范中涉及的专利或知识产权说明

无。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

八、规范作为国家（或行业）计量技术规范的建议

建议本规范作为行业计量技术规范，供行业企业参考使用。必要时可根据实际需要，结合其他行业使用要求，申报国家计量技术规范，以满足校准需要。

九、贯彻规范的要求和措施建议

本规范发布后，中国有色金属行业协会和有色金属行业计量技术委员会应加强本规范的宣传力度，以促进我国企业的技术进步和产品质量上档次，提高我国产品在国际国内市场的竞争能力。

十、废止现行有关规范的建议

无。

十一、预期效果

本规范发布后，能解决原子力显微镜校准方法不统一、校准方法差异化、计量标准技术指标不明确、校准点的选择不统一、Z 向纳米高度校正比例因子的校准方法未规定等问题，弥补 Z 向纳米高度校正比例因子校准的空白，为保证原子力显微镜测试结果的准确可靠提供保证，从而保证原子力显微镜的几何表面形貌的数据的准确性。

十二、其他应予说明的事项

无。

《原子力显微镜校准规范》编制组
2025年9月16日