

《精密温控机组技术规范》编制说明

（征求意见稿）

一、工作简况（包括任务来源、制定背景、起草过程等）

1 任务来源

【编制依据】2024年12月31日国家标准化管理委员会下达了关于修订国家标准《精密空调机组性能测试方法》的公告（国标委发[2024]60号），项目计划号：20243711-T-604。

【项目概况】计划项目名称：精密空调机组性能测试方法；项目周期：16个月；计划下达时的主要起草单位：合肥通用机电产品检测院有限公司等。

2 制定背景

在半导体加工、超精密机械/光学加工、微纳坐标测量等超精密加工领域，常采用热污染控制技术消除测量与加工过程中的热致误差，热污染控制技术是相关尖端装备实现亚微米、纳米级精度的必要保障。美国劳伦斯实验室在统计了大量涉及精密加工的项目后得出结论：在精密加工领域，热污染是最大的单一误差来源。国内也有相关研究表明：在超精密加工过程中，热污染导致的误差占总加工误差的40%-70%。对于以光刻机为代表的大型复杂超精密装备而言，内部各种类型的热污染均会影响其极端设计精度的实现，具体一般包括：（1）电磁执行机构无用功产生的热量，如各类型电机、磁浮机构等；（2）零部件相对运动摩擦产生的热量，如各类机械轴承、摩擦导轨等；（3）各类电路中部分电子元器件产生的热量，如电压转换芯片、功率三极管等；（4）激光光源发热、光束能量被光学元件吸收产生的热量，如各类激光器、透镜等等。这些热污染通过热传导、对流、辐射的方式扩散到装备的各个部件中，在装备内部的空间维度上形成温度场分布，在时间维度上产生温度波动、漂移，从而导致装备的温度敏感部件产生热变形、热漂移。所有热污染集中体现为产品的不良率或测量结果中的误差，限制了超精密测量/制造装备设计功能、精度的实现。

超精密热污染控制技术成为超精密制造装备的核心关键技术之一，且超精密热污染控制技术的使用场景与常规环控系统有较大区别。随着国际环境变化和科技竞争加剧，设备进口采购风险难以把控，严重影响我国精密制造装备产业核心竞争力，不利于我国核心技术自主可控，迫切需要补齐产业短板、解决“卡脖子”国产化替代问题。目前该领域国内标准更是处于空白状态，限制了相关产业的发展，亟需制定相关产品标准。

3 主要工作过程

起草阶段：计划任务下达后，在冷标委和体标委秘书处的共同组织下，成立了以合肥通用机电产品检测院有限公司为牵头单位的标准起草工作组，并开始着手标准的起草工作。标准起草组通过大量的文献检索、调研，总结分析了国内外相关产品的现状及技术特点，考虑生产制造和技术水平，系统地掌握了精密温控机组的用户侧需求。根据编制的标准与国家标准体系协调一致的原则，并体现科学实用，便于实施的特点，讨论确定了标准的基本结构和编制原则。2025年6月4日，由全国冷标委秘书处组织在合肥召开了标准的第一次行业研讨会。会议就标准的主要内容进行了深入细致的讨论，会后起草组依据讨论的结果，对标准稿件做了进一步的修改完善，并形成正式的征求意见稿，经组长审核后提交冷标委秘书处。

二、国家标准编制原则、主要内容及其确定依据（修订国家标准时，还包括修订前后技术内容的比对）

1 标准编制原则

本标准修订过程中遵循以下原则：

（1）本标准在结构编写和内容编排等方面依据 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》进行编制。

（2）本标准在制定过程中遵循“面向市场、服务产业、自主制定、适时推出”的原则，标准制定与技术创新、试验验证、产业推进、应用推广相结合，统筹推进。

（3）标准制定既要考虑与国际接轨，同时也应充分反映国内产业的发展水平和技术现状，既要使标准规定的技术要求符合用户需求，保护消费者利益，同时还要使试验方法具有较强的可操作性，便于实施落地。

2、标准主要内容

2.1 适用范围

本文件规定了精密温控机组（以下简称“机组”）的术语和定义、分类和测试方法。

本文件适用于在特定空间内精确维持环境温度或湿度稳定，控制空气温度波动范围不大于 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于 $\pm 2\%$ 或控制液体温度波动范围不大于 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 的机组。

2.2 术语和定义

本文件给出了“精密温控机组”、“控制精度”、“抗负载冲击能力”、“温度稳定性”等术语和定义。

2.3 型式

2.3.1 按机组的控制对象分为：

- 控制对象为空气：环控型；
- 控制对象为液体：冷却水型。

2.3.2 按机组的热源侧冷却方式分为：

- 风冷型；
- 水冷型。

2.3.3 按机组的控制精度分为：

- 精密型；
- 高精密型；
- 超精密型。

2.4 基本参数

各类型机组性能试验的标准工况按表1-表2的规定。

表1 环控型机组性能试验工况

项 目	室内侧入口空气状态		出风静压	室外侧状态			
				风冷型		水冷型	
	干球温度/ $^{\circ}\text{C}$	湿球温度/ $^{\circ}\text{C}$		干球温度/ $^{\circ}\text{C}$	湿球温度/ $^{\circ}\text{C}$	进水温度/ $^{\circ}\text{C}$	出水温度/ $^{\circ}\text{C}$
名义制冷	22	14.7	额定值	22	/	30	35

表2 冷却水型机组性能试验工况

项 目	使用侧		热源侧	
	进液温度/ $^{\circ}\text{C}$	出液温度/ $^{\circ}\text{C}$	出液温度/ $^{\circ}\text{C}$	出液温度/ $^{\circ}\text{C}$
精密型	21	16	30	35
高精密型	18	16		
超精密型	15	16		

2.4 仪器要求

环控型机组测试用的仪器仪表应符合GB/T 17758的规定，冷却水型机组测试用的仪器仪表应符合GB/T 10870的规定，不同精度级别的机组测试时，应符合表5的要求。

表3 精密温控机组试验用仪表的准确度

类别	被测机组型式	准确度
温度测量仪表	精密型	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
	高精密型	$\pm 0.01^{\circ}\text{C}$
	超精密型	$\pm 0.001^{\circ}\text{C}$

2.5 测试方法

2.5.1 制冷量

环控型机组的制冷量测试应按表1规定的试验工况，按GB/T 17758规定的试验方法进行试验，试验同时，采集机组在制冷工况下的出风静压。

冷却水型机组的制冷量测试应按表2规定的试验工况，按GB/T 18430规定的试验方法进行试验。

2.5.2 制冷消耗功率

机组的制冷消耗功率应按表1规定的试验工况，按GB/T 17758、GB/T 18430规定的试验方法进行试验。

2.5.3 水泵扬程

冷却水型机组的机外扬程按GB/T 3216规定的测量方法测量。

2.5.4 制冷性能系数

机组制冷性能系数为6.4.1测得的制冷量与6.4.2测得的制冷消耗功率的比值。

2.5.5 抗负载冲击能力

被试机应连接模拟负载，施加负载能力为机组标称能力的60%，模拟负载应周期可调，变化为初始施加负载的 $\pm 12\%$ 。设定机组出水温度为 21°C 至机组运行稳定，调整模拟负载周期输出，待水温稳定后，记录30 min数据，记录水温恢复时间、施加周期、出现的最大温度偏差。

2.5.6 温度稳定性试验

被试机应连接模拟负载，模拟负载应自动可调。设定冷却水机组出水温度为 21°C ，环控机组出风温度设置为 18°C ，设置可调模拟负载自动调节至水温稳定后，改变机组出水温度（出风温度）设定值 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。记录机组对应的 1°C 温度阶跃的调节时间试验完成后设置可调模拟负载为某一固定值，该固定值应能满足机组在 21°C 出水时的制冷量，待水温稳定后，记录30 min数据，计算得到温度稳定性数据的频谱。

3 主要技术差异

本标准的修订细节如下：

- a) 更改了文件的适用范围及分类；
- b) 增加了抗负载冲击能力、温度稳定性的定义；
- c) 增加了控制对象为液体的机组的试验方法；
- d) 增加了抗负载冲击能力、温度稳定性的技术要求；
- e) 更改了所用仪表的精度；
- f) 增加了抗负载冲击能力、温度稳定性的试验方法（见A.5.6~A.5.8）；
- g) 删除了原标准的附录。

三、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

对主要修改方向下的验证如下：

（1）温度稳定性试验验证

- （1）设定循环冷却水温度装置的供水温度为 22°C ；
- （2）设置可调模拟热负载发热功率为100W，且保持恒定，从而模拟恒定热负载情况下的循环冷却水装置工况；
- （3）待循环冷却水温度调控装置供水温度稳定后，记录循环冷却水温度数据

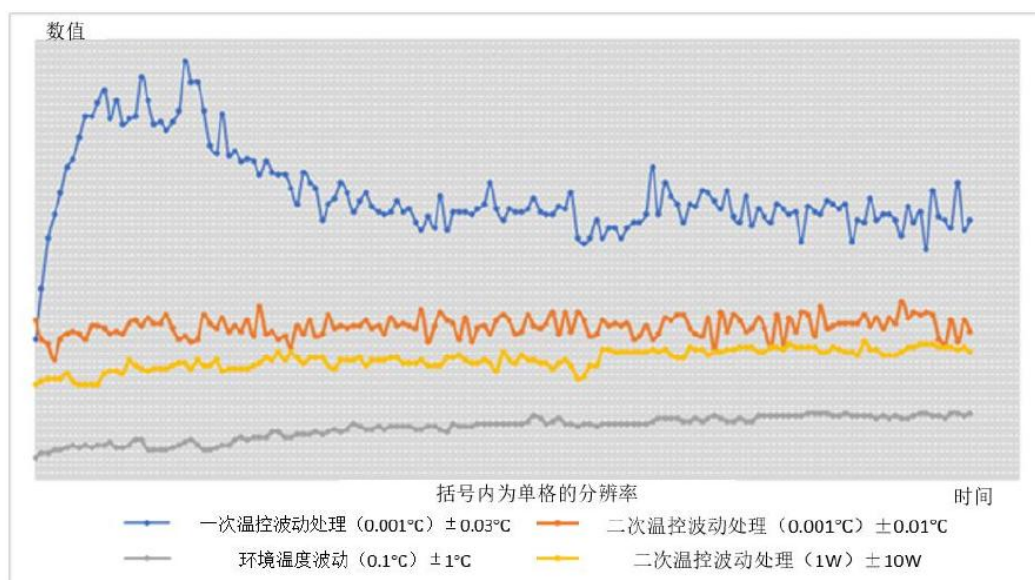


图1 温度稳定性试验结果

四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

在产业层面，国外公司起步较早，德国LAUDR公司采用创新性的数字化智能管理系统，控制精度可达到 $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ，俄罗斯KRYOTHERM公司采用半导体制冷也占有一定市场，国际主流制造商为日本SMC、ORION两个品牌（ORION的 0.01°C 控温精度1000W空调器的单台售价大于80万人民币，订货周期6个月）。国内上海微电子装备有限公司（SMEE）也实现了 $\pm 0.01^\circ\text{C}$ 的温控精度，目前国内主要的生产企业包括美的、格力、申菱、吉荣、宾肯等，已初具规模。

在研究层面，20世纪八九十年代，美国劳伦斯利福摩尔实验室实现循环油的稳定性达到毫摄氏度级别用于金刚石车床，1994年，美国国家标准与技术研究院（NIST）将分子测量机核心温度保持在 $20^\circ\text{C} \pm 1\text{m}^\circ\text{C}$ 之间，2015年，斯坦福大学采用主动温度测量控制装置，将模块化重力传感器温度稳定性峰峰值在 $1\text{m}^\circ\text{C}$ 之内，国内华中科技大学、电子科技大学、哈尔滨工业大学等均做了大量的基础研究工作：华中科技大学设计了一种高精度温度测量板卡，电子科技大学关注了产品的结构设计，哈尔滨工业大学提出了基于动态热容滤波的循环冷却水温度波动抑制方法。

在标准层面，现行GB 25858-2010《精密空调机组性能测试方法》，在精度上，对精密温控设备的基本要求为向封闭空间、房间或区域直接提供处理空气并单独或同时保持温度在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 范围内和相对湿度在 $\pm 5\%$ 范围内波动，最高温控精度要求为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ，湿度为 $\pm 2\%$ ；而对于检测用仪表的精度要求为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，

这些精度要求与例如光刻机用超精密温控设备的要求还有很大的差距；在检测项目上，现行标准重点关注精密温控设备的制冷量和ICOP（综合性能系数），虽然对产品的温控精度的检测也有所涉及，但对产品的分级要求和性能评价是按照综合性能系数来进行评判，而这样的判定标准并不能准确的验证当前超精密温控类产品的能力；在测试方法上，现行标准的规定虽然是通过动态热平衡法测试产品温控精度，但测试过程需等机组从非稳态重新平衡至状态点一段时间后再进行测试，其侧重点在于稳态的温控精度上，缺少对温控设备在环境状态瞬时变化时控制精度的判定，通过测试结果所绘制的精度曲线图无法准确的为超精密温控类设备的能力提供有效的参考。

本标准达到国内先进水平。

五、以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

本标准非采标项目，也不是参照相关国外标准制定。

六、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准在冷冻空调设备技术标准体系中属于 02 大类：基础、通用要求与方法中的“测试与评价方法”类。

本文件与目前国家现行的法律、法规、政策及相关强制性标准的规定和要求协调一致。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

八、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

九、实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

本标准为修订标准，建议批准发布 6 个月后实施，以便于组织设备制造企业或相关的检测装备供应商、产品的终端用户及运维单位等进行理解、消化和吸收。

冷标委计划在行业展会上组织年度的新标准专题技术报告会，并充分利用其他各种相关的行业论坛、会议等平台 and 机会向终端用户、设计院、制造商等相关人员进行培训和宣贯。

十、其他应当说明的事项

标准名称调整：

随着半导体制造、精密仪器制造、高端装备制造、国防装备制造与维护等对高精度环境温湿度控制要求的提升，以及当前温控技术的快速发展，行业上对“精密空调”的理解已不局限于当年的单一应用场景和单一机组型式，尤其很多风、液同供的机组用“空调”表述已明显不合理，故将“空调机组”改成了“温控机组”，以适应产业的发展，令标准更具通用性和包容性。

由于早期产品简单、应用场景单一，原标准仅侧重于描述测试方法。但在标准的修订过程中，经起草组的调研，以及行业会议的研讨，如今行业对精密温控机组的各种新要求同样关注，为了让标准能充分纳入和反映当今新产品、新技术、新工艺等先进成果，更好的规范机组的设计、制造和质量评价，本次修订后标准中新增了技术要求的章节，并与试验方法相互呼应和配套。根据 GB/T 20001.5 的规定，本标准属于规范类标准，故将原标准名称中的“性能测试方法”调整为“技术规范”。

本次名称调整后，标准化的对象、范围并未发生实质性的变化，调整后的名称既符合行业预期和产业发展现状，同时也符合标准化方面的有关规定。