

《磁悬浮自轴承泵送系统应用规范》 标准编制说明

（征求意见稿）

标准起草组

2025 年 6 月

《磁悬浮自轴承泵送系统应用规范》编制说明

（征求意见稿）

一、工作简况

（一）任务来源

本项目由全国磁悬浮动力技术基础与应用标准化工作组（SAC/SWG28，以下简称工作组）与全国泵标准化技术委员会（SAC/TC211）共同归口；由苏州苏磁智能科技有限公司、中国科学院上海应用物理研究所、苏州大学、山东天瑞重工有限公司等单位负责起草；任务来源于国家标准化管理委员会 2025 年 3 月 27 日印发的《国家标准化管理委员会关于下达 2025 年第三批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发〔2025〕12 号），通知中下达了项目名称为“磁悬浮自轴承泵送系统应用规范”、计划编号为“20251011-T-469”的标准制定计划。项目周期为 18 个月，计划完成时间是 2026 年 9 月。

（二）标准制定背景

中共中央、国务院印发的《国家标准化发展纲要》，将标准化提升到党和国家事业发展全局的战略高度，其中，提升产业标准化水平的重要举措之一是：推进产业优化升级。实施高端装备制造标准化强基工程，健全智能制造、绿色制造、服务型制造标准，形成产业优化升级的标准群，部分领域关键标准适度领先于产业发展平均水平。

《2024 年国家标准立项指南》的总体要求之一是：围绕产业稳链加大关键标准研制。推动标准化与科技创新互动发展，加快产业链关键环节、关键领域、关键产品的技术攻关和标准研制，确保产业链标准协调配套、有效衔接，提升产业链供应链韧性和安全水平。

磁悬浮动力技术具有无机械接触摩擦、无环境污染、能量损耗少、免维护、长寿命等显著特点，目前已广泛应用于工业、医疗、能源、航空航天等领域中。自轴承薄片电机技术是磁悬浮动力技术的重点发展方向之一，基于自轴承薄片电机技术的磁悬浮自轴承泵送系统因具有独特的无轴和无轴封的紧凑结构，在半导体、生物制药、化工等高洁净领域具有独特而又明显的优势。由于国外自轴承薄片电机技术在半导体、生物医药等行业走在前列，而且国外自轴承薄片电机产品又对中国采取限售、禁售等

政策，导致自轴承薄片电机技术成为跨半导体、生物制药等多行业的卡脖子技术，这严重制约了我国多个相关产业的优化升级。

近年来，国内一些公司突破卡脖子技术，打破国外公司的技术垄断，成功研发了基于自轴承薄片电机技术的磁悬浮自轴承泵送系统等多款产品，在性能和功能上已实现对国外产品的完全替代，并已实现规模化应用，这对于推进国家相关产业优化升级具有重要支撑作用。为了促进半导体、生物制药等产业向高端化发展，充分发挥自轴承薄片电机技术在高洁净领域的优势，在更大范围内推广更新换代新技术产品——磁悬浮自轴承泵送系统，急需制定可以指导产业选型、应用的国家标准，填补国内空白，推进产业优化升级。

目前，国内还没有明确的标准对磁悬浮自轴承泵送系统的应用技术要求、应用改造流程及应用效果评价等做出统一的规范，国内磁悬浮自轴承泵送系统供应商之间对磁悬浮自轴承泵送系统的组成、泵送机构的基本结构、控制器功能、性能、环境、运行等应用技术要求的设置存在较大差异，国内磁悬浮自轴承泵送系统使用单位也缺少应用改造流程、应用效果评价及选型规范指引。因此，制定磁悬浮自轴承泵送系统相关应用规范已成为行业发展的迫切需求。《磁悬浮自轴承泵送系统应用规范》标准的制定及实施，将为半导体、生物制药、化工等高洁净领域推广应用磁悬浮自轴承泵送系统提供生产、使用、维护、选型及应用等多方面的参考依据，从而有效助推磁悬浮动力技术的应用，加快卡脖子技术产业化，促进半导体、生物制药等卡脖子产业向高端化发展，提高产业整体竞争力，实现国家可持续发展的战略目标。

（三）主要工作过程

按照国家标准委的要求与项目组的进度计划，目前《磁悬浮自轴承泵送系统应用规范》国家标准起草组完成了以下工作：

1. 标准草案启动及研制阶段

2024年4月，根据工作组的“关于征集2024年度国家标准计划项目的通知”，成立了关于“磁悬浮液体泵”的标准起草小组，确定了标准的主要编写单位。

2024年5月，标准起草小组与工作组进行多次沟通研讨，形成了《磁悬浮动力系统技术应用规范 磁悬浮无轴承离心泵系统》标准草案的框架及主要内容。

2024年6月，工作组组织召开了关于针对《磁悬浮动力系统技术应用规范 磁悬浮无轴承离心泵系统》标准草案的标准研讨会议，针对标准草案的名称、标准草案各

章条的具体内容进行了详细研讨，根据研讨会的专家意见及建议，标准起草小组决定将标准名称更改为《磁悬浮动力技术应用规范 磁悬浮自轴承离心泵送系统》，并根据 GB/T1.1—2020 的要求对各章条的具体内容进行了重新梳理和修改完善。

2024 年 9 月，工作组秘书处组织召开了立项研讨会，与会委员及专家根据标准主要起草单位的汇报内容进行了深入的讨论，对该标准草案的必要性和可行性进行了充分的论证，并提出了进一步明确标准的适用范围、增加技术成果鉴定等方面的建设性意见。标准起草小组根据意见建议对标准文本作了进一步的补充和完善。

2025 年 4 月，工作组发布了征集参编单位的通知，增加了起草组的人员和单位，包括北京北方华创微电子装备有限公司，华海清科（北京）科技有限公司、浙江启尔机电技术有限公司，湖南凌翔磁浮科技有限责任公司，浙江大学，东南大学等。

2025 年 5 月，扩充后的起草组对标准草案进行了研讨、论证，并结合讨论结果对标准文本作了进一步的补充和完善。

2. 公开征集意见阶段

2025 年 6 月，起草组根据标准推进计划，再一次补充和完善了标准文本，形成了标准草案的征求意见稿，并编写了编制说明，提交工作组，进行公开征集意见。

二、标准编制原则和主要内容

（一）编制原则

本标准的起草，严格遵守 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》的规定，文字表述力求简明准确，标准内容追求严谨合理，表达方式做到图文并茂。

本标准利用先进信息化手段，充分利用各类信息化工具，与现行国际标准、国家标准主流体系协调一致，保持标准的逻辑性、科学性和适用性，使各项技术指标达到国内先进水平。

（二）主要内容

本标准界定了磁悬浮自轴承泵送系统（以下简称为泵送系统）的术语和定义，规定了泵送系统的要求，描述了其试验方法及泵送系统应用。主要内容如下：

1. 术语与定义

本章给出了本标准中用到的关于磁悬浮自轴承泵送系统的基本术语共20项，包括转子磁体、励磁线圈、旋转励磁线圈、悬浮励磁线圈、自轴承定子、P 极磁通、两自由度主动悬浮、三自由度被动悬浮、自轴承薄片电机、磁悬浮自轴承泵送系统、悬浮间隙、径向悬浮间隙、轴向悬浮间隙、擦壳保护、调节时间、洁净度、泵头洁净度、运输液体洁净度、泵类系统运行效率、活细胞密度等，并对每个术语进行了定义和说明。

2. 泵送系统要求

本章规定了磁悬浮自轴承泵送系统的结构和性能的相关要求或建议，泵送系统结构要求包括泵送系统的组成、一般要求，泵头、泵机、控制器和线缆的要求或建议。泵送机构性能要求包括悬浮稳定性的悬浮间隙、悬浮运转和保护机制，泵送系统的控制模式、水力性能、性能曲线、流量调节能力、转速误差、调节时间、温度、振动、噪声、密封性、防腐性、洁净度、生物相容性和保养等内容。

3. 试验方法

本章对用于磁悬浮自轴承泵送系统性能指标检测的试验方法进行了描述，包括运转试验、水力性能试验、流量压力曲线、流量调节能力、转速误差、调节时间、振动、噪声、密封性、防腐性、洁净度等。

4. 泵送系统应用

本章描述了应用磁悬浮自轴承泵送系统应符合的环境及使用条件，对使用磁悬浮自轴承泵送系统单位的生产流程如何进行流程改造进行了描述，同时描述了应用效果的验证，包括推荐的验证项目和验证方法等。验证方法包括半导体行业应用中的运输液体洁净度及泵类系统运行效率的验证和生物制药灌流培养中活细胞密度的验证。

5. 附录

附录结合图示对磁悬浮自轴承泵送系统在生物制药行业及半导体行业各环节如何应用做了补充和说明。附录包括附录A和附录B，附录A给出了磁悬浮自轴承泵送系统在生物制药过程中的灌流培养（细胞）、深度过滤（光刻胶）、液体转移（超纯水）、切向流过滤（浓缩料液）等环节应用的示意图。附录B给出了磁悬浮自轴承泵送系统在半导体制程中电镀、湿法清洗、湿法刻蚀、抛光、匀胶显影等环节应用的示意图。

（三）解决的主要问题

本标准的制定填补了国内磁悬浮自轴承泵送系统标准的空白，对推动行业技术进步和产业升级具有重要意义。标准的内容围绕磁悬浮自轴承泵送系统的推广应用，以泵送系统应满足的结构及性能要求为基础，扩展了磁悬浮自轴承泵送系统应用的一般改造流程及应用效果验证的内容。主要解决了磁悬浮自轴承泵送系统在半导体、生物制药等相关产业链推广应用缺少统一的应用规范问题，同时解决了行业或使用单位的生产流程中缺少磁悬浮自轴承泵送系统应用流程改造及应用效果评价指引的问题。标准的实施可为相关单位提供生产、使用、维护、选型及应用等多方面的参考依据；对于规范行业技术发展，提升产品质量，加快卡脖子技术产业化，引导半导体、生物制药等卡脖子产业创新发展，推进产业优化升级具有重要意义。

三、主要试验（或验证）情况及预期效益

（一）主要试验（或验证）情况

标准草案第 4 章是关于磁悬浮自轴承泵送系统的要求，这些要求在主起草单位得到了广泛验证，主起草单位的磁悬浮自轴承泵送系统产品在多个用户单位得到了应用验证。

1、磁悬浮自轴承泵送系统测试结果

以 600 W 磁悬浮自轴承泵送系统为例，各检测项目测试结果汇总如表 1 所示。

表 1 600 W 磁悬浮自轴承泵送系统项目测试结果汇总

序号	检测项目	计量单位	技术要求	检验结果	判定
1	高温存储	—	在 80 ℃环境下存储 72 小时后外观、性能无异常	符合要求	合格
2	低温存储	—	在 0 ℃环境下存储 72 小时后外观、性能无异常	符合要求	合格
3	恒温恒湿存储	—	在 45 ℃，90% RH 的环境下存储 72 小时后外观、性能无异常	符合要求	合格
4	温度变化	—	温度-20 ℃~80 ℃；温度速率 1 ℃/min 保持时间 2 小时；循环次数 100 次，产品取出后静置 24 小时后外观、性能无异常	符合要求	合格
5	最大转速	r/min	9000	9000	合格
6	最大流量	L/min	70	70	合格
7	最大压力	MPa	0.32	0.32	合格
9	最大功率	W	600	600	合格
10	电机转子支持方式	—	完全磁悬浮	符合要求	合格

11	外观	-	外观完整，无裂纹、缺口等异常	符合要求	合格
----	----	---	----------------	------	----

2、压力流量曲线/功率流量曲线

压力流量曲线和功率流量曲线如图 1 和图 2 所示。

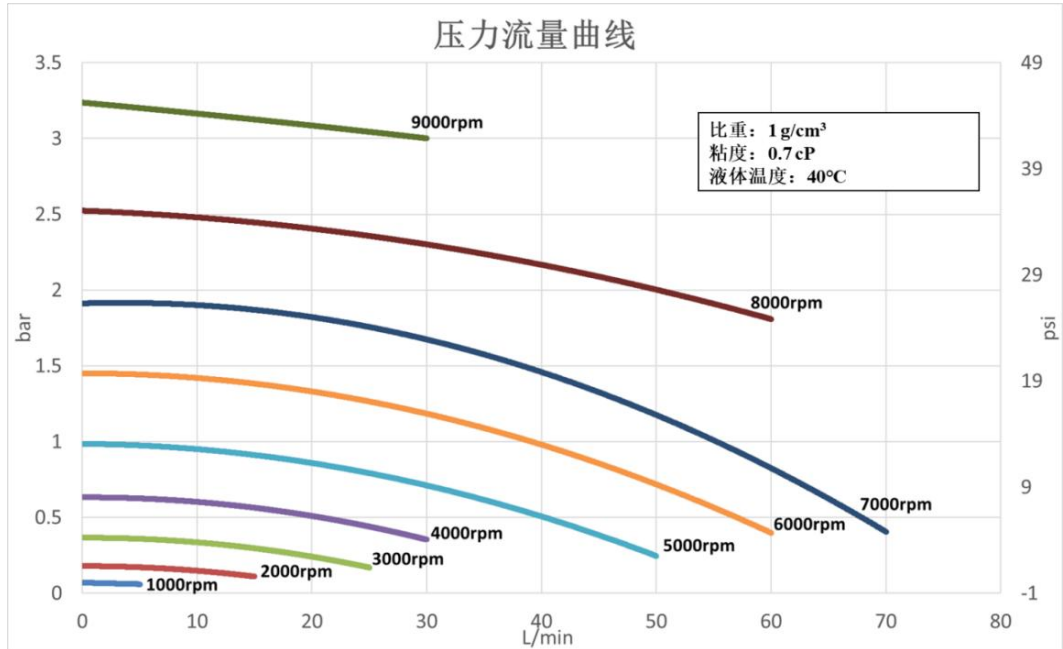


图 1 SCP 600 压力流量曲线

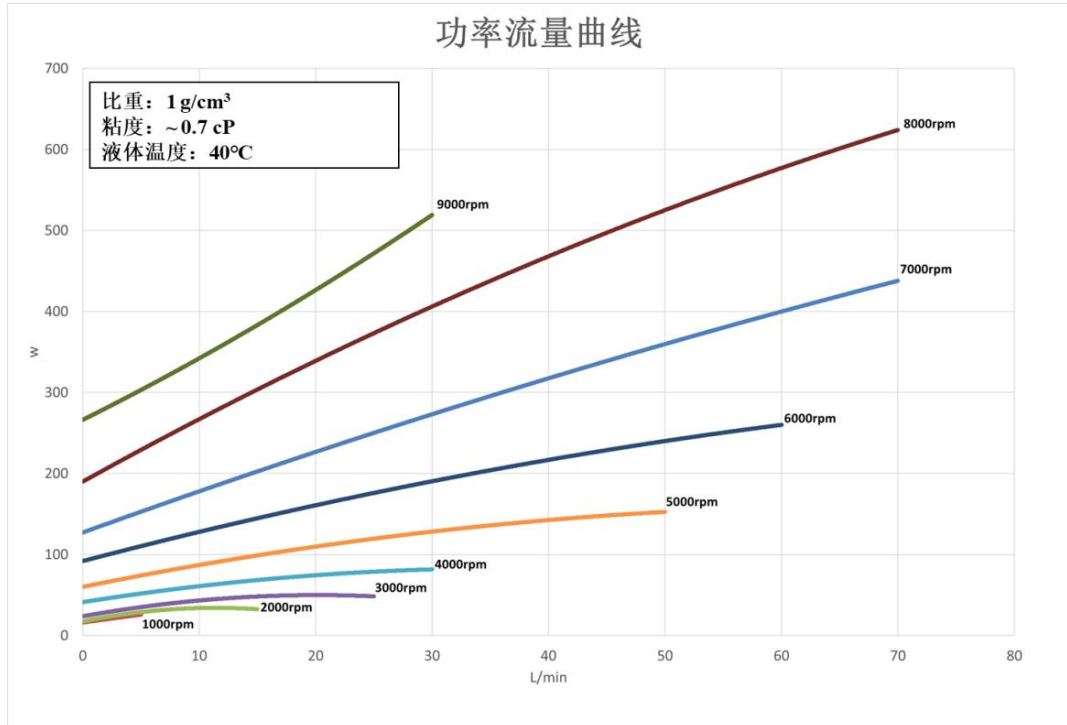


图 2 SCP 600 功率流量曲线

3、产品应用证明

磁悬浮自轴承泵送系统产品不同单位的应用证明如下。

产品应用证明


应用单位	苏州英赛斯智能科技有限公司
应用单位地址	苏州市吴江区库浜路 198 号
应用起止时间	2024 年 7 月 1 日起
产品名称	磁悬浮自轴承离心泵送系统
产品提供单位	苏州苏磁智能科技有限公司

应用情况：

我司于 2024 年 7 月 1 日开始在生物反应器项目中使用苏州苏磁科技有限公司提供的磁悬浮自轴承离心泵送系统（包括泵头、泵机和控制器）产品，使用过程中，该产品的泵机在控制器的控制下无接触的驱动叶轮稳定磁悬浮和旋转，以泵送我司反应器中的培养液介质，整个使用过程中，产品运行稳定，压力和流量输出基本能够满足应用场景需要，目前正在进一步优化参数中。

应用单位（公章）

2024 年 10 月 9 日



产品应用证明

应用单位	上海艾时微技术开发有限公司
应用单位地址	中国（上海）自由贸易试验区临港新片区宏祥北路 83 弄 1-42 号 20 幢 118 室
应用起止时间	2024 年 5 月 1 日起
产品名称	磁悬浮泵送系统
产品提供单位	苏州苏磁智能科技有限公司

应用情况：

我司于 2024 年 5 月 1 日开始在量测设备上使用苏州苏磁智能科技有限公司提供的磁悬浮液体输送泵（包括泵头、泵机和控制器）产品，使用过程中，该产品的泵机在控制器的控制下无接触的驱动叶轮稳定磁悬浮和旋转，相较于之前所用的隔膜泵和风囊泵，尺寸更小，噪音更小，安装维护更方便，且无泄漏风险。整个使用过程中，产品运行稳定，压力和流量输出基本能够满足应用场景需要，目前正在进一步优化参数中。

应用单位（公章）

2024 年 10 月 28 日



产品应用证明

应用单位	宁波积硅电子材料有限公司
应用单位地址	浙江省宁波市镇海区骆驼街道慈海南路 1792 号
应用起止时间	2024 年 3 月 1 日起
产品名称	磁悬浮液体输送泵
产品提供单位	苏州苏磁智能科技有限公司
<p>应用情况：</p> <p>我司于 2024 年 3 月 1 日开始在半导体专用材料中试线上使用苏州苏磁智能科技有限公司提供的磁悬浮液体输送泵（包括泵头、泵机和控制器）产品，该产品的泵机在控制器的控制下无接触的驱动叶轮稳定磁悬浮和旋转。整个使用过程中，产品运行稳定，压力和流量输出基本能够满足应用场景需要，目前正在进一步优化参数中。</p> <div style="text-align: right;"><p>应用单位（公章）</p><p>2024 年 10 月 14 日</p></div>	

产品应用证明

应用单位	錫成國際股份有限公司
应用单位地址	台灣新竹縣湖口鄉仁政路 13 號
应用起止时间	2023 年 12 月 1 日起
产品名称	磁悬浮液体输送泵
产品提供单位	苏州苏磁智能科技有限公司

应用情况：

我司于 2023 年 12 月 1 日开始在半导体清洗装置上使用苏州苏磁智能科技有限公司提供的磁悬浮液体输送泵（包括泵头、泵机和控制器）产品，使用过程中，该产品的泵机在控制器的控制下无接触的驱动叶轮稳定磁悬浮和旋转，相较于之前所用的隔膜泵和风囊泵，尺寸更小，噪音更小，安装维护更方便，且无泄漏风险。整个使用过程中，产品运行稳定，压力和流量输出基本能够满足应用场景需要，目前正在进一步优化参数中。



应用单位（公章）

2024 年 10 月 25 日

4、应用场景图片

磁悬浮自轴承泵送系统产品不同工况的应用场景图片如图 3～图 7 所示。



图 3 半导体 SDS（供应与配送系统）输送



图 4 化工 CDS（化学品配送系统）输送



图 5 半导体水平电镀中输送



图 6 显影液反应釜循环



图 7 化工灌装

（二）关于标准草案中相关参数的说明

（1）在磁悬浮自轴承泵送系统领域，国外仅有瑞士 Levitronix 一家供应商，代表了国际先进水平，占据全球半导体用磁悬浮自轴承泵送系统市场的主导地位。本标准中涉及的磁悬浮自轴承离心泵送系统，与 Levitronix 的磁悬浮无轴承泵系统属于同类产品。为保持标准的先进性，本标准中第 4 章规定的技术要求，包括泵送系统组成、一般要求、泵头、泵机、控制器及线缆要求和建议等内容中的大部分要求参考了 Levitronix 的磁悬浮无轴承泵系统的产品手册及主起草单位的实际应用经验。

（2）标准草案 4.2.1.1，由于悬浮间隙是一个多目标优化和平衡的过程，需要综合考虑水力性能、结构安全与动态稳定性、泵机性能与功耗、制造与装配公差和材料选择等因素。关于表 2 中转子叶轮与蜗壳之间的悬浮间隙的数值，主起草单位综合多方面因素，考虑到悬浮间隙过大会降低泵的容积效率、有效流量和扬程，过小会存在擦壳风险以及过载与失控，根据综合考虑和实际应用经验给出了范围推荐建议值。基于不同的许用功率，泵送系统的生产设计单位可以参考推荐范围值进行进一步的优化设计。

表 2 转子叶轮与蜗壳之间的悬浮间隙

许用功率 W	径向悬浮间隙 mm	第一轴向悬浮间隙 mm	第二轴向悬浮间隙 mm
20~≤600	≥0.4~≤1	≥1.5~≤9.2	≥1.15~≤5.2
600~≤2000	1~≤1.3	9.2~≤11.3	5.2~≤11.9

2000~≤4000	1.3~≤1.5	11.3~≤17	6.5~≤11.9
注：悬浮间隙过大会降低泵的容积效率、有效流量和扬程，过小会存在擦壳风险以及过载与失控。			

（3）标准草案 4.2.1.3，关于保护机制，由于磁悬浮自轴承泵送系统工作状态是完全悬浮和旋转运行，为了确保系统的长期稳定悬浮运行、提高可靠性以及保护设备免受潜在损害，磁悬浮自轴承泵送系统需要设置多种保护机制。基于主起草单位的研发设计和实际应用经验，要确保磁悬浮自轴承泵送系统的悬浮稳定性，至少需要擦壳保护、断电保护和过温保护三种保护机制。标准中给出的擦壳保护流程、断电保护流程、过温保护流程以及标准停机流程，进一步明确了保护机制的逻辑和原理，有利于磁悬浮自轴承泵送系统的行业应用推广。

（4）标准草案 4.2.2，关于控制模式，磁悬浮自轴承泵送系统的应用行业较多，不同的行业应用关注的重点不同，为了满足不同应用场景的需求，并确保系统的高效运行、稳定性和灵活性，控制模式包括速度控制模式和工艺过程控制模式。工艺过程控制模式包括流量模式和压力模式，速度控制模式适用于对流量、压力、温度不敏感的流体输送。流量模式适用于对流量需要精确控制的流体输送，压力模式适用于出口压力稳定的输送场景。基于磁悬浮自轴承泵送系统的特点，可以实现工艺流程 0 流量到最大流量的流体输送、0 压力到最大压力的流体压力输出。

（5）标准草案 4.2.3-4.2.5，关于水力性能、性能曲线和流量调节能力，由于磁悬浮自轴承泵送系统集成了先进的传感器和控制系统，可以实现对流量、压力等参数的精确控制，确保系统稳定运行。因此，磁悬浮自轴承泵送系统的水力性能主要取决于流量压力曲线、最大转速、最大流量和最大压力，由泵送系统的流量压力曲线可见，在各许用功率下的多个设定转速均能实现从零流量到最大流量连续稳定的流量输出和压力控制。因此，体现性能的流量压力曲线包括与多个设定转速对应的多条曲线。根据最大流量压力曲线可以选择不同的许用功率型号。根据许用功率的流量压力曲线，在许用功率下，磁悬浮自轴承泵送系统可以工作在多个设定转速，而且在每个设定转速（例如 4000 r/min、5000 r/min、6000 r/min、7000 r/min、8000 r/min），磁悬浮自轴承泵送系统均可实现从零流量到最大流量连续稳定的流量输出和压力控制。

（6）标准草案 4.2.6，关于在许用功率下，泵送系统在各设定转速稳定悬浮运转时的转速误差应不高于 5% 的规定，主要是为了满足泵送系统的高精度控制的需求。在许多高端应用中（如半导体制造、生物医药等），对流体输送的精度要求非常严格，即

即使是微小的转速误差也可能导致流量或压力的变化，从而影响最终产品的质量。磁悬浮自轴承泵送系统通过电磁力实现转子悬浮和旋转，控制系统需要实时调整磁场以保持转子位置和速度的稳定性。较小的转速误差意味着系统具有更高的动态响应能力和更精确的控制。在这个范围内的误差对大多数精密应用场景来说是可以接受的，同时又能保证系统的可靠性和使用性能。

（7）标准草案 4.2.7，关于调节时间，调节时间是指从一个稳定工作状态切换到另一个稳定工作状态所需的时间。在这个时间段内，磁悬浮自轴承泵送系统会经历一系列动态响应过程，直到达到新的稳态。由于调节时间是可以反映控制系统响应速度和阻尼程度的综合指标，体现了磁悬浮自轴承泵送系统的响应性能，因此泵送系统的调节时间规定不大于 5 s，主要是为了确保系统能够快速响应并稳定在新的工作条件下，满足高效、精确控制的需求。较短的调节时间意味着系统能更快地从扰动中恢复，维持稳定的运行状态，这对于需要高精度控制的应用场景（如半导体制造、制药等）至关重要。同时在遇到突发故障或紧急停机时，系统能够在短时间内安全停止或切换到备用模式，降低事故风险。

（8）标准草案 4.2.8，关于温度，对控制器和泵机温度的限制主要是为了确保系统的安全运行、延长设备寿命以及保持高效性能。对控制器温度不应超过 80 °C 的规定是因为大多数用于控制器中的半导体元件（如晶体管、集成电路等）都有特定的工作温度范围，通常在 -40 °C 到 +85 °C 之间。然而，在接近上限温度时，这些元件的可靠性和寿命会显著下降。如果控制器温度持续高于 80 °C，可能会导致内部热量积累，影响散热效率，增加故障风险。关于泵机温度不应超过 100 °C 的规定，是因为泵体及关键部件（如叶轮、密封件等）通常由金属或其他耐高温材料制成，但长期暴露于过高温下会导致材料性能退化，增加磨损和腐蚀的风险。电机绕组的绝缘材料在高温下容易老化，降低绝缘电阻，增加短路风险，从而影响整个系统的安全性。

（9）标准草案 4.2.11，关于密封性，磁悬浮自轴承泵送系统主要应用在半导体行业和生物制药行业输送高洁净液体或带有腐蚀性的液体，这些应用场景导致磁悬浮自轴承泵送系统的泵头要具有较高的密封性，如制药、食品加工等，任何泄漏都可能导致不同批次产品之间的交叉污染，严重影响产品质量。许多工业流体具有腐蚀性，泄漏会直接损害泵内部的关键部件（如电机、传感器、电子元件等），缩短设备使用寿命。转子完全密封在转子叶轮内，是因为大多数磁悬浮自轴承泵送系统使用的转子磁铁是永磁体，永磁体对湿度和化学物质非常敏感。如果磁铁暴露在湿气或腐蚀性介质

中，可能会导致磁性能下降甚至完全丧失磁性。为保护磁铁免受物理损伤，密封设计可以防止颗粒物或其他杂质进入并损坏磁铁表面，确保其长期稳定工作。此外，输送高洁净液体也可能导致金属离子析出，从而污染输送介质，这在半导体行业是不允许的。

（10）标准草案 4.2.12，关于防腐性，在磁悬浮自轴承泵送系统的许多应用中，输送的流体可能含有腐蚀性化学物质（如酸、碱、盐溶液等）。如果泵头和泵机材料不具备良好的防腐性能，这些化学物质会侵蚀金属表面，导致部件损坏，缩短设备的使用寿命。

（11）标准草案 4.2.13，关于洁净度，主要是为了满足半导体制造行业对流体纯净度的严格要求。对于半导体行业应用，泵送系统运输高洁净液体（超纯水及液态化学品）时，泵头洁净度应通过 SEMI F57-0622 标准的测试认证，满足洁净度测试要求，泵头洁净度测试项目应至少包括离子污染、金属污染、总有机碳污染、表面粗糙度等，这是行业应用的标准要求。

（12）标准草案 4.2.14，关于生物相容性，生物相容性是指材料与生物组织之间相互作用的能力，具体来说是指材料在特定应用条件下是否会引起毒性反应、炎症或其他不良生物学反应。对于植入人体或与人体接触的医疗器械和药物输送系统，生物相容性至关重要。磁悬浮自轴承泵送系统在运输高洁净液体（生物药液及细胞培养液）时，泵头应通过生物相容性测试，生物相容性检测内容至少包括潜在的细菌内毒素、潜在的急性全身毒性、潜在的皮内反应、潜在的细胞毒性。

（三）预期经济效益、社会效益和生态效益

一是提升磁悬浮自轴承泵送系统产品的一致性和质量。统一的技术要求能够确保各制造商的产品在性能、安全性和可靠性方面达到一致水平，减少因质量差异导致的市场混乱。通过遵循统一的技术要求国家标准，企业可以获得权威的质量认证，增强消费者对产品的信任度，从而扩大市场份额。磁悬浮自轴承泵送系统中相应的技术指标具有国内先进性，可以提供清晰的技术方向和发展目标，激励企业加大研发投入，推动技术创新和技术升级；统一的术语也有利于行业内的技术交流与合作。《磁悬浮自轴承泵送系统应用规范》国家标准的实施能够促进上下游企业的协同发展，优化整个产业链的资源配置，提高整体效率。

二是促进磁悬浮自轴承泵送系统的应用与推广，带动传统产业全面转型升级。磁悬浮自轴承泵送系统基于自轴承薄片电机技术，具有无机械摩擦、不产生颗粒、低剪切、低析出、流量压头范围宽、无脉动、控制智能、体积紧凑等优势，可以引导和支持相关产业向智能化、绿色化方向发展，推动产业结构优化升级。根据行业预测模型，2025 年全球磁悬浮自轴承泵送系统市场规模预计达到 1.6 亿~1.7 亿美元区间，2023—2029 年的年复合增长率（CAGR）为 7.2%，经济和社会效益显著。该标准通过明确磁悬浮自轴承泵送系统的技术要求、应该改造流程及应用效果评价，为磁悬浮自轴承泵送系统及其工艺设备的广泛应用和推广提供了应用规范，对实现经济的高质量发展具有重大意义。

三是提升公共健康与安全。磁悬浮自轴承泵送系统无需润滑油或润滑脂，减少了因泄漏导致的环境污染风险，特别适用于对清洁度要求极高的半导体及生物制药行业。由于其无机械接触运行的特性，减少了机械故障的可能性，降低了因设备故障而引发的安全事故风险。

四是推动资源节约环境保护，助力绿色低碳发展。磁悬浮自轴承泵送系统由于没有机械磨损，其寿命通常较长，减少了更换频率和废弃物产生量。较低的维护需求意味着消耗更少的资源用于维修和保养，同时减少了废弃零部件的数量。由于磁悬浮自轴承泵送系统的封闭式设计，有效防止了液体介质的泄漏，避免了对环境的污染，特别是在处理有毒有害物质时尤为重要。随着全球对可持续发展的重视，磁悬浮自轴承泵送系统的应用有助于企业实现绿色生产目标，满足日益严格的环保法规要求。在全生命周期内，磁悬浮自轴承泵送系统相较于传统泵具有更低的碳足迹，有利于推进国家和地区层面的减排目标。

综上所述，制定《磁悬浮自轴承泵送系统应用规范》国家标准，能够提升产品的一致性和质量；促进应用与推广，推进产业优化升级；提升公共健康与安全；推动资源节约环境保护，助力绿色低碳发展。该标准的实施，不仅能带来显著的经济效益，还能产生重要的社会效益和生态效益。

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

本标准中涉及到的磁悬浮自轴承泵送系统产品与国外 Levitronix 公司的磁悬浮泵

无轴承泵系统属于同类产品，相关系统组成、基本结构和技术原理等应用技术要求与 Levitronix 公司的磁悬浮无轴承泵系统的大致相同，本标准中涉及的参数及指标与 Levitronix 的磁悬浮无轴承泵系统的产品参数及指标大部分接近或相同。以 600 W 磁悬浮自轴承泵送系统为例，下图显示了国外产品 600 W 磁悬浮无轴承泵系统的压力-流量曲线（图 8）及泵机升温曲线（图 10）和苏磁 600 W 磁悬浮自轴承泵送系统的压力-流量曲线（图 9）及泵机温升曲线（图 11）。对比可知，各转速下压力流量技术指标接近，升温也接近相同。

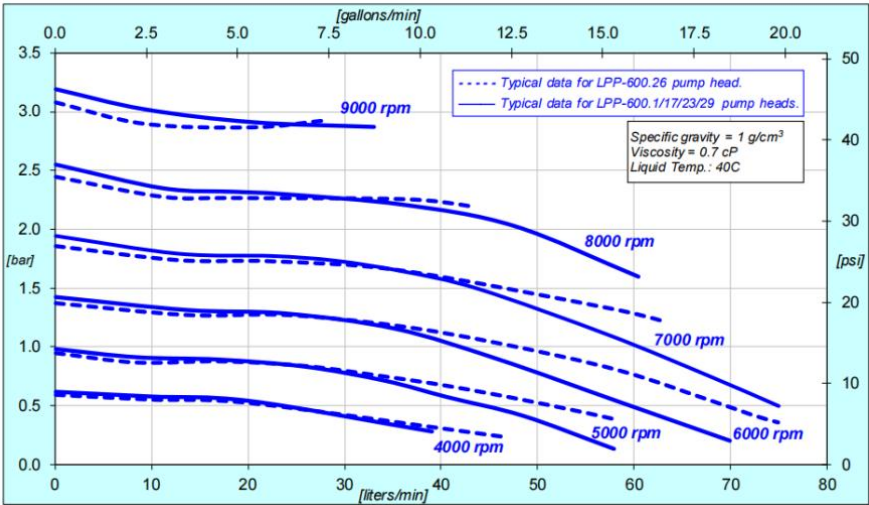


图 8 压力-流量曲线（国外产品 600 W）

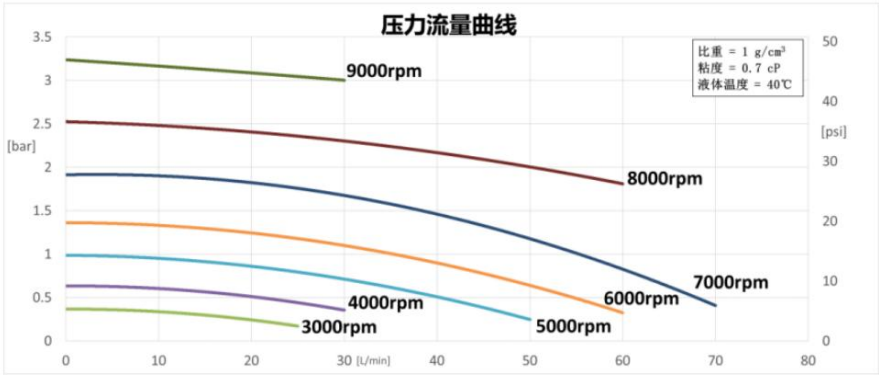


图 9 压力-流量曲线（苏磁产品 600 W）

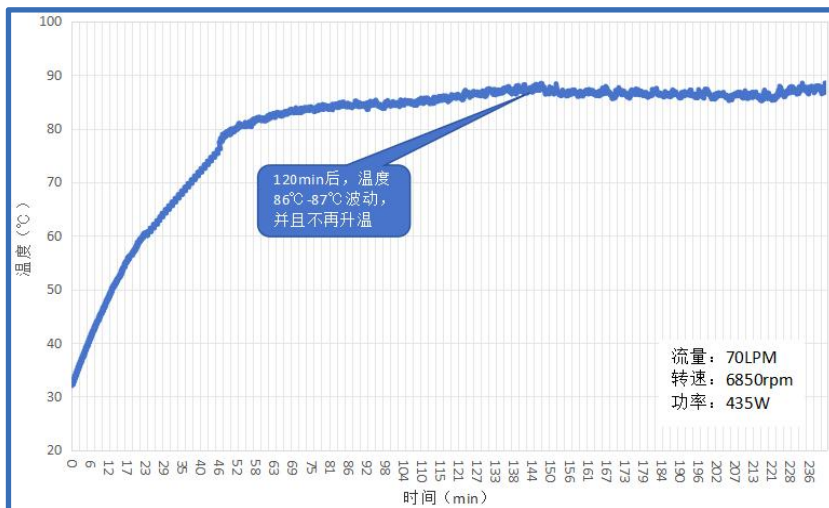


图 10 泵机升温曲线（国外产品 600 W）

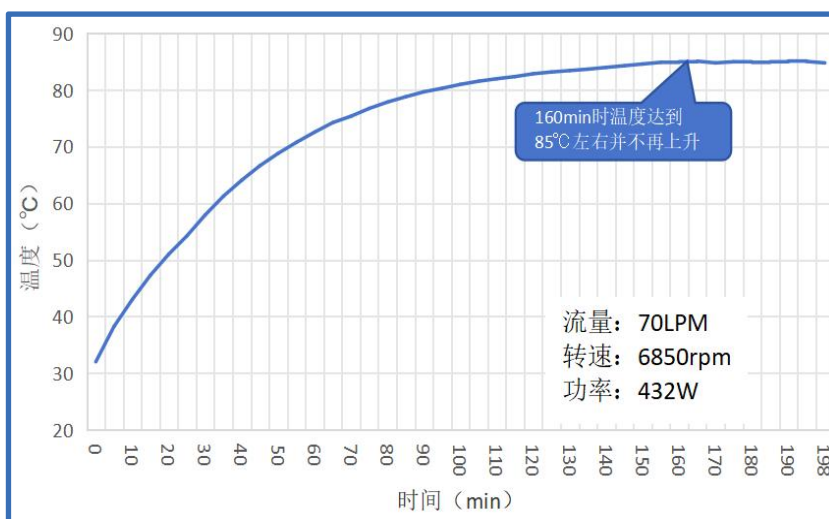


图 11 泵机升温曲线（苏磁产品 600 W）

Levitronix 600 W 磁悬浮无轴承泵系统的性能指标和苏磁 600 W 磁悬浮自轴承泵送系统的性能指标对比见表 3。

表 3 国内外泵系统的性能指标对比

指标	运转稳定	调节能力	脉动	泄漏与变形	设计寿命
苏磁	泵机温度不应超过 90 °C，控制器温度不应超过 70 °C	泵送系统应能实现从小流量到大流量连续稳定的流量输出和压力控制	泵送系统应无脉动	泵送系统的泵头应无泄漏也无可见变形	连续工作条件下，泵送系统泵机的设计寿命应不少于 10 年
Levitronix	泵机温度不应超过 90 °C，控制器温度不应超过 70 °C	泵送系统应能实现从小流量到大流量连续稳定的流量输出和压力控制	泵送系统应无脉动	泵送系统的泵头应无泄漏也无可见变形	连续工作条件下，泵送系统泵机的设计寿命应不少于 10 年

五、以国际标准为基础的起草情况。

无。

六、与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性

本标准与相关标准、现行相关法律、法规及强制性标准协调一致。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧意见。

八、标准中涉及的专利、知识产权说明

本标准不涉及专利问题。

九、贯彻标准的要求和措施建议

建议本标准由磁悬浮动力技术基础与应用标准化工作组（SAC/SWG28）组织宣贯实施，建议本标准批准发布 6 个月后实施。

十、其他应予说明事项

标准申报过程中，国家审评中心审核时专家提出建议，将原标准名称《磁悬浮动力技术应用规范 磁悬浮自轴承离心泵送系统》修改为《磁悬浮自轴承泵送系统应用规范》。工作组完全同意国家审评中心审核时专家意见，已将标准名称更名为“磁悬浮自轴承泵送系统应用规范”。

根据《公平竞争审查条例》《公平竞争审查条例实施办法》相关规定，对国家标准《磁悬浮自轴承泵送系统应用规范》全文进行了公平竞争审查，未发现存在设定歧视性技术门槛、限制市场主体准入或强制指定单一供应商等排除、限制竞争的内容，符合公平竞争审查要求。