ICS 11.040.60
CCS C 43

中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

医用轻离子治疗装置　旋转机架超导磁元件

Medical light ion therapy device—Superconducting magnetic components for rotating gantry

（工作组讨论稿）

XXXX - XX - XX 发布　　XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前　言

本文件按照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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国医疗装备产业与应用标准化工作组（SAC/SWG26）提出并归口。

本文件起草单位：国科离子（杭州）医疗科技有限公司、兰州泰基离子技术有限公司、机械工业仪器仪表综合技术经济研究所。

本文件主要起草人：

医用轻离子治疗装置　旋转机架超导磁元件

1　范围

本文件规定了医用轻离子治疗装置旋转机架超导磁元件的基本组成和工作条件、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输、贮存和随行文件。

本文件适用于医用轻离子治疗装置旋转机架超导磁元件的设计、生产、检验、安装和验收。

本文件不适用于医用轻离子治疗装置旋转机架常温磁元件。

2　规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191　包装储运图示标志

GB 4824—2025　工业、科学和医疗设备射频骚扰特性　限值和测量方法

GB/T 9969　工业产品使用说明书　总则

GB/T 12325　电能质量　供电电压偏差

GB/T 12326　电能质量　电压波动和闪变

GB/T 14549　电能质量　公用电网谐波

GB/T 15543　电能质量三相电压不平衡

GB/T 17626.2—2018　电磁兼容　试验和测量技术　静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.4—2018　电磁兼容　试验和测量技术　电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5—2019　电磁兼容　试验和测量技术　浪涌(冲击)抗扰度试验

GB 18871　电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 19661.1—2005　核仪器及系统安全要求　第1部分：通用要求

GB/T 19661.2　核仪器及系统安全要求　第2部分：放射性测量计的结构要求和分级

GB/T 42125.1—2024　测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第1部分：通用要求

YY 9706.102—2021　医用电气设备　第1-2部分：基本安全和基本性能的通用要求　并列标准：电磁兼容要求和试验

3　术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

旋转机架超导磁元件　superconducting magnetic component for rotating gantry

在医用轻离子治疗装置旋转机架中，利用超导线圈在低温环境下通电产生磁场，用于弯转、聚焦、修正或传输带电轻离子束流的关键磁性部件。

3.2

磁场上升速率　magnetic field ramping rate

指磁铁主场量（如偶极磁铁的主磁感应强度，或四极磁铁梯度）随时间变化的速率，用于表征磁铁在加速周期或磁场调节过程中的动态变化能力。

注：磁场上升速率描述了磁体从低场状态（通常为零场或注入场）提升到高场状态（额定工作场）时，磁场增长的快慢。

3.3

磁感应强度　magnetic flux density

单位面积通过的磁通量，单位为特斯拉（T）。

3.4

多层绝热材料　multilayer insulation material

在旋转机架低温恒温器冷屏或超导磁元件外侧用于减少辐射漏热的材料，由隔热层和反射层交替组合而成。

3.5

好场区　good field region

在磁体工作孔径内，为保证束流轨道控制精度与光学函数稳定性而规定的有效磁场区域。

3.6

积分场均匀度　integral field homogeneity

磁铁在规定的测量路径上对应设计轨道方向的磁场积分量相对于其参考积分值的最大偏差，用以表征磁铁对束流所提供的实际磁刚度或聚焦能力在空间上的一致性。

3.7

冷屏　thermal shield

旋转机架低温恒温器组件，在夹层真空中介于真空腔和超导磁元件之间并包裹多层绝热材料。

注：冷屏用于减小超导磁元件辐射漏热，一般为铝或铜材料。

3.8

热点温度　hotspot temperature

在线圈失超过程中，由局部电阻功率产生的绕组内部最高温度，是用于评估导体稳定性、绝缘安全性及保护系统有效性的关键参数。

3.9

失超　quench

超导体局部区域因温度升高、磁场增强、机械扰动或电流密度超过允许限值而从超导态转变为常导态的现象。

注1：该常导态区域具有有限电阻，并在承载运行电流时产生焦耳热，使正常区进一步扩展。当正常区扩展速度超过冷却能力时，整个线圈将迅速进入常导态，形成宏观失超。失超的特征信号为线圈电压中出现超过电感性基线的不可忽略电阻电压。

注2：若该常导区未被抑制或冷却，常导区将传播并将系统储存的电磁能转换为热能，可能引起器件损伤或制冷系统/环境危险。

3.10

失超电压　quench voltage

失超电压是指当超导线材局部从超导态转变为常导态时，由于该区域出现有限电阻并承载运行电流而产生的可测量端电压或局部电压增长。

3.11

失超泄能时间　quench dumping time

从失超保护系统介入到完成超导磁体中能量泄放所需要的总时间。

3.12

无液氦冷却　helium-free cooling

用4K GM制冷机通过铜等固体组件直接传导冷却超导磁元件的冷却方式，不依靠低温液氦冷却。

3.13

旋转机架低温恒温器　cryostat in rotating gantry

在医用轻离子治疗装置旋转机架中，为超导磁元件提供低温、真空、绝热环境，维持超导磁元件稳定运行的真空容器。

3.14

有效长度　effective length

沿参考轨迹方向对磁场分量进行线积分后，将该积分结果等效为一段具有恒定主谐波磁场幅值的理想磁铁长度。

注：有效长度反映了非理想磁场分布情况下，磁体等效为“理想均匀磁场磁体”时的作用长度。

3.15

真空腔　vacuum chamber

旋转机架低温恒温器组件，用于维持内部真空和隔绝外部大气的装置。

4　旋转机架超导磁元件基本组成和工作条件

4.1　基本组成

4.1.1　系统组成

旋转机架超导磁元件包括下列主要组成部分：

a)　超导磁体系统；

b)　失超探测与保护系统；

c)　旋转机架低温恒温器；

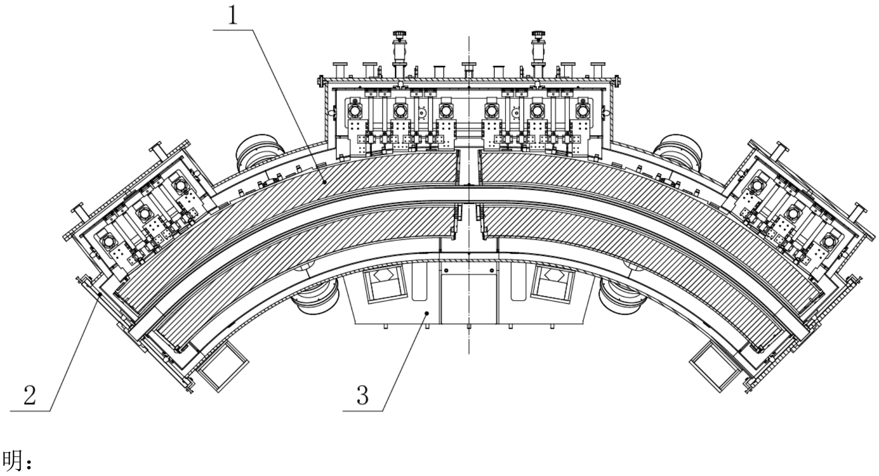
d)　控制系统；

e)　电气电源系统；

f)　支撑调节系统。

4.1.2　结构布局

示例：见图1。



标引序号说明：

1——超导磁体系统；

2——旋转机架低温恒温器；

3——支撑调节系统。

图1　一种旋转机架超导磁元件结构示意图

4.1.3　系统关系

旋转机架超导磁元件各系统之间的关系如图2所示。

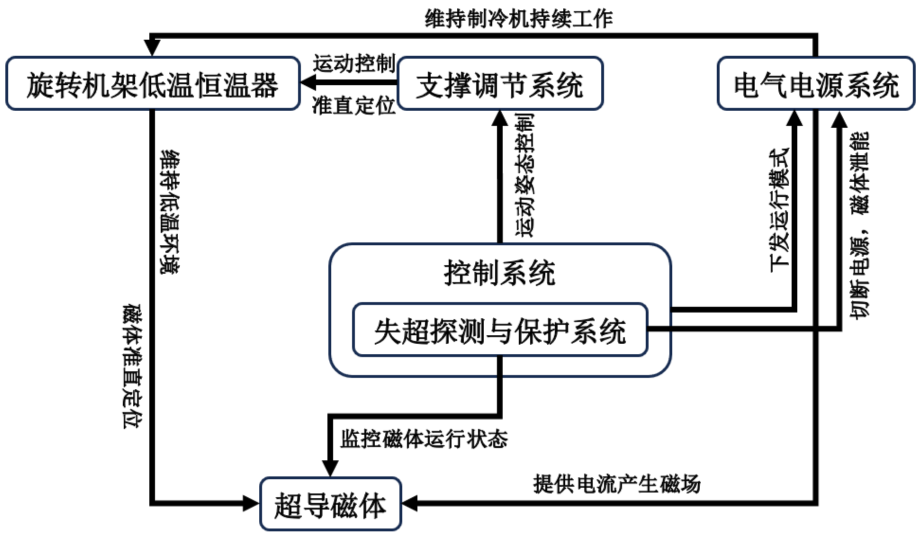


图2　旋转机架超导磁元件各系统关系图

4.2　基本工作条件

4.2.1　旋转机架大厅

旋转机架大厅的运行环境条件宜满足如下要求：

a)　环境温度：24 ℃±2 ℃；

b)　温度控制精度：±1 ℃；

c)　相对湿度：小于 65%；

d)　室内外压差：旋转机架大厅室内保持负压排风，压力范围为-20 Pa～-30 Pa。

4.2.2　电源室和控制室

旋转机架超导磁元件所用电源以及控制室运行环境条件的要求如下：

a)　电源：低压三相四线制供电，电压应采用交流 380 V/220V，标称频率 50 Hz。设备受电端的电源质量电压偏差应符合 GB/T 12325 要求，电源波动和闪变应符合 GB/T 12326 要求，公用电网次波应符合 GB/T 14549 要求，三相电压允许不平衡度应符合 GB/T 15543 要求；

b)　环境温度：20 ℃ ± 5 ℃；

c)　相对湿度：小于 65%。

4.2.3　循环冷却水系统要求

循环水冷却系统主要包括电源系统循环冷却水与旋转机架低温恒温器循环冷却水系统，应满足如下要求：

a) 电源系统循环水冷却系统：
   1) 水质：去离子水，绝缘电阻大于 1 MΩ·cm；
   2) 水压：0.3 MPa～0.5 MPa；
   3) 进水口温度：20 ℃～28 ℃。
b) 旋转机架低温恒温器循环水冷却系统：
   1) 水压：0.3 MPa～0.5 MPa；
   2) 进水口温度：20 ℃～28 ℃。

4.3 安装定位要求

4.3.1 低温恒温器安装

旋转机架低温恒温器安装时，超导磁元件在恒温器中的相对位置应与理论束流轴线位置相匹配，定位精度误差小于或等于0.1 mm。

4.3.2 低温恒温器旋转位移

旋转机架旋转运行过程中，旋转机架低温恒温器中超导磁元件相对束流轴线的位置偏差不应超过±1 mm。

4.3.3 低温恒温器冷却冷量偏差

旋转机架低温恒温器制冷机在随旋转机架旋转过程中，冷却冷量偏差不应大于10%。

4.3.4 支撑调节系统安装

支撑调节系统安装要求如下：

a) 超导磁元件设计时应合理布置吊环、吊耳等吊装点；
b) 超导磁元件外表面应合理布置靶标座，靶标座布置应考虑旋转机架在不同角度下的准直需求；
c) 超导磁元件应有固定、锁紧装置或接口；
d) 支撑调节系统结构应便于制造，便于超导磁元件的安装、调节、维修及更换；
e) 支撑调节系统整体结构应具备较高的刚性，并在满足刚度要求的情况下，尽可能减轻重量；
f) 支撑调节系统应具备三维调节结构，调节范围应为±20mm；
g) 准直调节完成后，支撑调节系统应能固定超导磁元件位置，保证旋转过程中超导磁元件在旋转机架上的位置不变。

5 技术要求

5.1 外观和警示标志

5.1.1 外观

超导磁元件外观应色泽均匀协调、整洁无损伤，设备布局有利于操作人员进行设备检修、运行、调试、巡视和记录。

5.1.2 警示标志

超导磁元件电离辐射警示标志应符合 GB 18871要求，高电压警示标志应符合 GB/T 19661.1—2005要求，磁场警示标志应符合 GB/T 19661.2要求。紧急开关应设在操作人员容易接近的地方，且有明显的状态标志。安全联锁标志应设置在醒目位置。

5.2 磁场性能指标

旋转机架超导磁元件磁场性能指标宜满足：

a) 磁感应强度范围：0 T～3.5 T；
b) 好场区 20 mm～60 mm；
c) 积分场均匀度优于 1‰；
d) 磁场最大上升速率范围：0.2 T/s～0.6 T/s；
e) 工作温度：小于或等于 4.5 K。

5.3 主要子系统性能指标

5.3.1 失超探测与保护系统

旋转机架超导磁元件失超保护系统宜满足如下指标：

a) 失超热点温度小于或等于 250 K；
b) 失超电压小于或等于 800 V；
c) 失超泄能时间小于或等于 2s；
d) 失超探测触发到保护动作响应总时间小于或等于 200 ms；
e) 失超保护具备冗余方案，各自独立工作互不干扰。

5.3.2 旋转机架低温恒温器

旋转机架低温恒温器宜满足如下指标：

a) 超导磁元件不加电运行温度小于或等于 4.5 K；
b) 磁体失超后复温时间小于或等于 30 min；
c) 恒温器制冷功率大于磁体损耗功率；
d) 常温真空漏率小于或等于 5×10^{-8} $Pa\cdot m^3/s$。

5.3.3 控制系统

控制系统宜满足如下指标：

a) 控制系统可同时监控电流、磁场、温度、真空度等主参数的各项指标，并展示运行状态、故障和报警；
b) 控制系统需与失超保护系统、电源系统进行控制联锁；
c) 失超探测系统与控制系统集成，信号处理时间小于或等于 50 ms；
d) 控制界面设备状态数据刷新时间：小于或等于 500 ms；
e) 历史数据存储时间：大于或等于 1 年；
f) 历史数据存储容量：大于或等于 1 TB；
g) 故障报警响应时间：小于或等于 500 ms；
h) 控制界面指令下发时间：小于或等于 1 s；
i) 联锁动作总响应时间：小于或等于 10ms；
j) 通信中断检测与报警时间：小于或等于 500 ms；
k) 模拟信号采样周期：小于或等于 1 ms。

5.3.4 电源系统

电源系统宜满足如下指标：

a) 电源系统运行在脉冲模式运行；

b) 电源系统电流平台误差小于或等于±$2e^{-5}$，跟踪误差小于或等于±$1e^{-4}$。

5.3.5 支撑调节系统

超导磁元件随旋转机架一起转动，其工作条件如下：

a) 旋转角度大于 360°；

b) 旋转速度 0.1 rpm～1 rpm（6°/s）可调；

c) 旋转加速度 0.6°/s^2；

d) 紧急制动过冲角度：5°（速度 6°/s）；

e) 重复定位精度：小于 0.2°；

f) 角度分辨率：±0.05°。

5.4 电气安全要求

5.4.1 设备保护接地

旋转机架超导磁元件属于I类防电击的设备，应有保护接地，其电气设备的可触及零部件与保护接地端子之间应是低阻抗连接，阻抗不应超过0.1 Ω。

5.4.2 介电强度

按照 GB/T 42125.1—2024中表5的规定值进行电压试验，不应出现电气间隙飞弧或固体绝缘击穿。

5.4.3 可触及电流

旋转机架超导磁元件的电气设备在正常使用条件下，可触及零部件与保护接地端子之间的电压应符合GB/T 42125.1—2024中6.3.1，a）的规定。

5.5 电磁兼容要求

5.5.1 传导骚扰

应符合GB 4824—2025 中表2的规定。

5.5.2 辐射骚扰

应符合GB 4824—2025中表8开阔试验场地（OATS）下3 m测量距离的规定。

5.5.3 静电放电抗扰度

应符合 YY 9706.102—2021 中6.2.2的规定。

5.5.4 电快速瞬变脉冲群抗扰度

应符合 YY 9706.102—2021 中6.2.4的规定。

5.5.5 浪涌抗扰度

应符合 YY 9706.102—2021 中6.2.5的规定。

5.6 准直要求

超导磁元件安装到旋转机架上后，应对其位置进行准直，保证超导磁元件位姿精准。准直完成后，拧紧支撑调节系统上的紧固件，并做防松标记。

5.7 运行要求

5.7.1 开机与正常运行

开机与正常运行要求如下：

a) 开机前检查恒温器工作状态，磁体温度维持在 4.5 K 以下；
b) 检查失超探测与保护系统接线，控制系统与各系统联锁；
c) 检查电源系统状态，确认正常后电源系统开机；
d) 测试失超探测与保护系统与电源系统联动，确认无误后超导磁元件可以加电励磁；
e) 超导磁元件加小电流（小于 20A），主动触发失超，确认失超保护系统投入是否正常；
f) 以上操作均确认无误后，超导磁元件按要求运行模式加电运行。

5.7.2 连续运行

超导磁元件按照最大不超过0.6 T/s磁场上升速率，按照旋转机架所需的运行模式超导磁元件连续运行不低于8h。

6 试验方法

6.1 外观和警示标志检查

目测检查旋转机架超导磁元件外观和警示标志是否完好。

6.2 磁场性能测量

6.2.1 磁感应强度测量

使用霍尔传感器测量磁铁孔径中的磁感应强度。

6.2.2 好场区测量

使用霍尔传感器阵列沿磁铁束流中心线运动，测量旋转机架超导磁元件好场区范围。

6.2.3 积分场均匀度测量

使用霍尔传感器阵列沿磁铁束流中心线运动，测量旋转机架超导磁元件积分场均匀度。

6.2.4 磁场变化速率测量

使用霍尔传感器测量磁体快速励磁时磁场随时间的变化关系，计算得到磁场变化速率。

6.3 主要子系统性能测量

6.3.1 失超探测与保护系统测量

由失超探测系统实时监测超导磁体运行状态，设置状态监控阈值，信号状态持续超阈值50 ms后判断为失超。失超触发后失超探测系统立即触发两路信号，一路发送至电源，停止电源输出；一路发送至失超保护系统，失超保护系统投入泄放超导磁元件中的能量。测量方法如下：

a) 通过电压采集表监控失超过程超导磁元件最高电压，确保最高电压小于或等于 800 V；
b) 通过 DCCT 采集超导磁元件中电流，电流从运行电流降低到 5 A 以下总时间小于或等于 2 s；
c) 对比实测电流衰减过程与失超仿真泄能过程较为吻和，反推热点温度小于或等于 250 K；
d) 通过示波器测量失超探测系统给出信号至失超保护系统接入总时间小于或等于 200 ms；
e) 目视确认至少具备 2 套各自独立工作的失超保护系统，检查失超保护系统接线正常，无搭接无断线裸露。

6.3.2 旋转机架低温恒温器系统测量

6.3.2.1 温度测量

利用低温温度传感器测量超导磁元件及旋转机架低温恒温器冷屏温度。

6.3.2.2 真空测量

利用高真空计测量旋转机架低温恒温器真空夹层的真空度。

6.3.2.3 复温时间检验

关闭制冷机利用加热器对超导磁体加热或超导磁体自然复温，检测低温温度传感器显示超导磁体温度由4.5K恢复至室温的时间。

6.3.2.4 制冷功率检验

制冷机出厂时由供应商对每台制冷机空载制冷功率、水平及垂直位置制冷功率进行检测并出具报告，制冷机到达现场后复测空载制冷功率，安装至旋转机架低温恒温器后利用超导磁体内部加热器输入加热功率检测旋转机架低温恒温器除静态漏热外能够提供的额外制冷功率。

6.3.2.5 真空漏率检验

在常温状态对装配好的旋转机架低温恒温器真空腔内部进行抽真空，常温真空度达到0.1 Pa以下后，将真空抽口连接氦质谱检漏仪利用外部喷氦法进行真空漏率检验，真空漏率值小于或等于5×10^{-8} $Pa\cdot m^3/s$则漏率合格，否则为不合格，需要检查排除泄漏点后重新进行真空漏率检验。

6.3.3 控制系统测量

6.3.3.1 开机和停机的试验

6.3.3.1.1 依据产品使用说明书规定的启动与关闭流程，依次执行系统开机及停机操作，并对各阶段响应与状态切换进行记录与确认，确保过程符合设计要求。

6.3.3.1.2 旋转机架超导磁元件主要参数的设定、调节与显示功能检查：参照产品说明书，对失超探测与保护系统、恒温器系统及电气电源系统等关键子系统进行主要运行参数的设定与调节，同时验证系统界面能否正确、实时地显示各项参数及其变化状态。

6.3.3.1.3 旋转机架超导磁元件工作状态与故障显示及报警功能检查：在设备正常运行期间，通过目视方式检查各子系统工作状态指示是否清晰、准确；在模拟设定故障的条件下，进一步检查系统是否能够及时显示异常信息、触发声光报警，并确认报警内容与实际故障情况一致。

6.3.3.2　远程控制检验

验证操作人员能否通过控制界面，对关键运行参数进行远程配置与动态调整，并确保系统能够实时、准确地将参数数值与状态变化反馈至控制界面，实现全程可视化的监控与操作。

6.3.3.2.1　失超探测与保护系统控制检验：

远程设定并校准失超探测电压阈值、保护延迟时间及各级保护动作逻辑；实时监控探测器状态、模拟信号波形及保护回路就绪/触发状态。

6.3.3.2.2　恒温器系统控制检验：

远程调节液氦液位控制设定点、温度；实时监测各级温度、压力、液位高度及真空度，并验证超限报警功能。

6.3.3.2.3　电气电源系统控制检验：

远程设定和调整磁体励磁电流、上升/下降斜率及电流稳定度参数；实时监控电源输出电流、电压、功率及冷却水流量/温度等辅助参数。

所有参数调整需记录操作日志，且系统界面应同步、清晰地显示参数设定值、实际值、调整历史及实时趋势曲线。

6.3.3.3　安全连锁测量

验证控制系统在预设的各种运行模式与故障工况下，能否提供全面、直观的设备状态信息，并确保安全联锁逻辑可靠、及时地执行。

6.3.3.3.1　失超探测系统安全联锁测量方法：

a）　触发与响应逻辑测量：模拟失超探测器输出信号（如电压跃变），验证系统是否能正确识别失超事件，并按照预设逻辑立即执行保护动作，并同步将磁体电源切换至安全状态。

b）　状态监测与报警验证：在失超模拟及保护动作过程中，检查控制界面是否实时、准确地显示关键状态，并触发最高级别的声光报警，报警信息需明确包含失超位置和已执行的动作。

c）　系统自检与故障安全测量：验证失超探测系统自身故障（如传感器断线、信号采集卡失效）是否能被系统自动诊断，并触发“探测系统故障”报警，同时强制磁体进入或保持在安全模式（如禁止励磁或启动安全放电），确保单一故障不导致保护功能丧失。

6.3.3.3.2　全局安全联锁测量：

多系统联锁测量：在旋转机架运动、真空度不足、冷却水异常等条件下，验证失超探测及保护系统是否能正确接收来自其他子系统的联锁信号，并作出相应响应。

控制界面显示：检验控制界面是否在联锁触发或报警时，提供清晰的设备状态总览、报警优先级列表及初步的故障诊断引导信息，以协助操作人员快速定位并处理异常。

6.3.4　电源系统测量

电源系统功能测试：依据电源的使用说明书测试，包括远程控制功能，光信号同步触发功能，电源工作状态和故障显示、报警及保护功能。

电源系统指标测量：通过数据采集仪器对电源的指标进行测量和计算。

6.4　电气安全测量

6.4.1　设备保护接地测量

用接地电阻测试仪，施加试验电流1 min，试验电流取下列电流值的较大值：

a）　直流 25 A 或额定电源频率交流有效值 25 A；

b）　等于设备保护电流 2 倍的电流。

按上述方法，测量电气设备的可触及导电零部件与保护接地端子之间的阻抗。

6.4.2 介电强度试验

按照 GB/T 42125.1—2024 中6.8 规定的方法测试。

6.4.3 可触及电压

用交流电压表在旋转机架超导磁元件正常运行条件下，直接测量可触及零部件与安全接地端子间的电压值。

6.5 电磁兼容试验

6.5.1 传导骚扰

按照 YY 9706.102—2021中6.1.1和GB 4824—2025 规定的方法测试。

6.5.2 辐射骚扰

按照 YY 9706.102—2021中6.1.1和GB 4824—2025 规定的方法测试。

6.5.3 静电放电抗扰度

按照 YY 9706.102—2021中6.2.2和GB/T 17626.2—2018 规定的方法测试。

6.5.4 电快速瞬变脉冲群抗扰度

按照 YY 9706.102—2021中6.2.4和GB/T 17626.4—2018 规定的方法测试。

6.5.5 浪涌抗扰度

按照 YY 9706.102—2021中6.2.5和GB/T 17626.5—2019 规定的方法测试。

6.6 准直测量

使用激光跟踪仪复核超导磁元件位姿。目视检查紧固件防松标记。

6.7 运行试验

6.7.1 开机与正常运行

在低温恒温器系统和对应的水冷机组运行，保持超导磁元件不高于4.5 K温度状态下，从开机到正常运行，电流升降等运行过程等采用演示法进行试验。

6.7.2 连续运行

在设定的运行模式条件下，测量连续正常运行的时间。

7 检验规则

7.1 检验要求

产品的检验分为型式检验、出厂检验。

7.1.1 型式检验要求

产品具有以下情况之一的应进行型式检验：

a） 新产品，在批量生产开始前；

b） 新产品，批量生产过程中，定期进行检验；

c） 正式生产后，结构、材料、工艺有较大改变，经评估，可能影响产品质量时；

d） 关键部件或系统生产厂家发生变化时；

e） 出厂检验结果与最近一次型式检验结果存在较大差异时；

f） 质量监督机构提出质量抽查要求时。

7.1.2 出厂检验要求

每个产品出厂前均应做出厂检验。产品发生故障，返厂维修后，需做出厂检验。

出厂检验时，产品应符合相应的图纸、工艺、技术要求，检验时用到的检测设备应是第三方机构检定/校准合格的设备。

7.2 检验项目

旋转机架超导磁元件不同检验类型对应的检验项目如下表1所示，正常情况下，按照表格内顺序逐项检验，如有特殊需要时，可以调整检验顺序或者合并检验某些项目。

表1 旋转机架超导磁元件检验项目

序号	项目		型式检验	出厂检验	要求	试验方法
	外观和警示标志		√	√	5.1	6.1
	磁场性能	磁感应强度	√	√	5.2 a)	6.2.1
		好场区	√	—	5.2 b)	6.2.2
		积分场均匀度	√	√	5.2 c)	6.2.3
		磁场上升速率	√	—	5.2 d)	6.2.4
	失超探测与保护系统	失超热点温度	√	—	5.3.1	6.3.1
		失超电压	√	—	5.3.1	6.3.1
		失超泄能时间	√	—	5.3.1	6.3.1
		失超探测出发到保护动作响应总时间	√	—	5.3.1	6.3.1
		冗余方案	√	—	5.3.1	6.3.1
	低温恒温器	不加电运行温度	√	√	5.3.2	6.3.2
		失超后复温时间	√	√	5.3.2	6.3.2
		制冷功率	√	√	5.3.2	6.3.2
		真空漏率	√	√	5.3.2	6.3.2
	控制系统	监控功能	√	—	5.3.3	6.3.3
		连锁功能	√	√	5.3.3	6.3.3
		信号处理时间	√	—	5.3.3	6.3.3
		数据刷新时间	√	—	5.3.3	6.3.3
		数据存储时间	√	—	5.3.3	6.3.3
		数据存储容量	√	—	5.3.3	6.3.3
		报警响应时间	√	—	5.3.3	6.3.3
		指令下发时间	√	—	5.3.3	6.3.3

		联锁总响应时间	√	—	5.3.3	6.3.3
		通信中断检测与报警时间	√	—	5.3.3	6.3.3
		模拟信号采样周期	√	—	5.3.3	6.3.3
	电源系统	运行模式	√	—	5.3.4	6.3.4
		电流平台误差	√	—	5.3.4	6.3.4
		电流跟踪误差	√	—	5.3.4	6.3.4
	支撑调节系统	旋转角度	√	—	5.3.5	6.3.5
		旋转速度	√	—	5.3.5	6.3.5
		旋转加速度	√	—	5.3.5	6.3.5
		紧急制动过冲	√	—	5.3.5	6.3.5
		重复定位精度	√	—	5.3.5	6.3.5
		角度分辨率	√	—	5.3.5	6.3.5
	电气安全	设备保护接地	√	√	5.4.1	6.4.1
		介电强度	√	√	5.4.3	6.4.3
		可触及电流	√	√	5.4.4	6.4.4
	电磁兼容	传导骚扰	√	—	5.5.1	6.5.1
		辐射骚扰	√	—	5.5.2	6.5.2
		静电放电抗扰度	√	—	5.5.3	6.5.3
		电快速瞬变脉冲群抗扰度	√	—	5.5.4	6.5.4
		浪涌抗扰度	√	—	5.5.5	6.5.5
	准直		√	√	5.6	6.6
	开机与正常运行要求	维持温度	√	—	5.7.1	6.7.1
		连锁功能	√	—	5.7.1	6.7.1
		电源系统	√	—	5.7.1	6.7.1
		加电励磁	√	—	5.7.1	6.7.1
		主动触发失超	√	—	5.7.1	6.7.1
	连续运行	磁场上升速率	√	—	5.7.2	6.7.2
		连续运行时间	√	√	5.7.2	6.7.2
注：符号“√”表示应做项目，“—”表示不做项目。						

7.3 判定规则

7.3.1 型式检验

在7.1.1型式检验要求a）、c）、d）情况下发现不合格项，允许对相关部件或分系统进行调整或更换，并重新检验，如仍不合格，该产品不能定型、投产。

在7.1.1型式检验要求b）、e）、f）情况下发现不合格项，应立即停止相同型号产品的生产。

7.3.2 出厂检验

检验时，每台产品对应每个检验项目验收合格为合格品，发现一项性能指标不合格，即为不合格品，允许产品的相关部件或分系统进行返修或返工，并重新检验。检验合格的产品发放合格证才能出厂。

8 标志、包装、运输、贮存和随行文件

8.1 标志

8.1.1 旋转机架超导磁元件标牌

旋转机架超导磁元件应在显著位置设置字迹清楚的永久性标志或标牌，其内容主要包括：

a) 制造商名称；
b) 旋转机架超导磁元件名称、型号；
c) 出厂编号、出厂日期：
d) 产品标准编号。

8.1.2 标牌铭牌

显示仪表、操作开关、按钮、指示灯等都要有说明其显示或操作对象内容的标志，如名字过长可用缩略语，并在技术说明中列出缩略语的定义或解释。

8.2 包装

8.2.1 包装要求

旋转机架超导磁元件应分装于若干包装箱，箱内应有明细的装箱单。包装箱应有防雨、防潮、防震措施。部件在箱内应牢固定位，压木和部件接触面以及部件间应衬以适当厚度的软性塑料，以防止运输过程中的松动和相互摩擦。

8.2.2 包装标志要求

包装图示标志应符合 GB/T 191中防倒置、防雨、防碰撞等相关要求。

8.3 运输

8.3.1 运输方式

经包装的旋转机架超导磁元件及部件可以采用汽车，火车，轮船等运输，运输中应根据磁体冷质量支撑结构的许用应力并考虑安全系数后确定允许的最大载荷力设计专用运输工装及减震措施，并监测运输过程是否超过最大允许载荷力。

8.3.2 运输条件

应严格按照包装条件标明的运输条件进行装运。装运过程中不应重放、倒置，防止碰撞，应有防雨、防冻等措施。

8.4 贮存

旋转机架超导磁元件贮存要求如下。

a) 经包装的产品应贮存在环境温度 5 ℃～40 ℃、相对湿度低于 90%（无凝结）、大气压力 60 kPa～106 kPa。环境内应无腐蚀性气体，并无强烈振动、冲击及磁场的作用。
b) 对贮存环境有特殊要求的部件，应在使用说明书规定的环境中存放。
c) 对需要长期保持真空状态的部件，应按使用说明书要求定期抽真空。

8.5 随行文件

8.5.1 使用说明书

使用说明书的编写应符合GB/T 9969的规定，并包含以下三项内容：

a） 技术说明书：产品特点、主要用途及适用范围、简要结构组成及工作原理、主要性能及参数、辐射安全保障措施、产品的工作条件、使用环境及安装要求等；

b） 操作手册：操作及使用中的安全、辐射安全防护说明及注意事项，操作程序、方法、防范措施，运行的操作记录等要求；

c） 维修手册：故障现象、原因分析及排除方法，日常运行维护、保养，正常维修程序，周期检修程序、方法，长期存放时的维护及保养等。

8.5.2 产品合格证

产品合格证应包含所执行的产品标准编号，检验结果及结论，产品编号及生产日期，检验员代码及检验部门的签章等。

8.5.3 其他文件

其他文件包括成套设备清单、备品备件清单和装箱单等。

参 考 文 献

［1］ GB 4943.1—2022 音视频、信息技术和通信技术设备 第1部分：安全要求
［2］ GB 9706.1—2020 医用电气设备 第1部分：基本安全和基本性能的通用要求
［3］ GB/T 16895.21—2020 低压电气装置 第4-41部分：安全防护 电击防护
［4］ GB/T 17045—2020 电击防护装置和设备的通用部分
［5］ GB/T 18442.1—2019 固定式真空绝热深冷压力容器 第1部分：总则
［6］ GB/T 50102 工业循环水冷却设计规范
［7］ GB 50303—2015 建筑电气工程施工质量验收规范