



OXFORD
INSTRUMENTS

The Business of Science®

安全事项

为科学创造安全的环境

OXFORD
INSTRUMENTS
The Business of Science

为科学创造安全的环境

我们的承诺

Oxford Instruments NanoScience 在超导磁体和超低温环境的设计、制造和无缝集成方面是国际公认的领导者，推动了科学研究的真正进步。公司的超导磁体和低温技术是用于纳米技术和凝聚态物理研究的仪器的核心，其特定应用包括光谱学、量子流体、超导性、单电子传输、自旋电子学和量子电子学。

我们还为分析技术（例如核磁共振波谱、傅立叶变换质谱和 X 射线晶体学）提供关键系统元件，这些元件在药物发现和生命科学应用中起着至关重要的作用。

Oxford Instruments NanoScience 以原创性思维、技术专长和超越客户需求的决心与客户合作，以了解并满足其最苛刻的实验要求。

拥有超过60年经验的 Oxford Instruments NanoScience，将继续为超导磁体和低温技术树立新的标准。我们旨在加深对客户需求的了解，来创造新的创新记录。我们的产品可满足具有挑战性的技术要求，为科学家在诸多不同的研究和商业应用中取得真正进步创造了环境。

从标准套装到与客户密切合作开发的定制解决方案，我们可提供广泛的产品范围，并始终将客户的需求放在我们业务战略的核心位置。

在设备操作过程中提倡高标准的安全性，是我们客户支持活动的重要组成部分。

编写该指南旨在为低温实验室环境中工作的人员提供必要的安全指导。这些准则应作为所有人员在处理低温设备和强磁场之前所必须接受培训的补充。此外，通过全面的 Oxford Instruments Direct Cryospares® 备件和附件服务，我们能够提供在实验室中实现最佳安全实践所需的诸多物品。

我们不仅致力于为科学创造合适的环境，而且还努力与科学界合作，为实验科学研究创造安全的环境。



本手册包含与 Oxford Instruments 的低温和高磁场磁体系统的安装、使用和维修相关的重要安全信息。如不遵守此信息，则会在使用这些系统时发生危险，并可能导致死亡或严重伤害。

- 除非已阅读本手册，否则请勿使用或允许其他人使用这些系统。
 - 未经适当培训，请勿使用或允许他人使用这些系统；本手册不可代替培训。
 - 本手册是为受过技术培训的用户编写，这些用户需要在实验室环境中使用此类设备进行工作；未经培训人员不应使用此类设备。
 - 本手册使用英语编写。您必须确保使用这些系统的人员能够理解英语，或确保他们以其所理解的语言接收到本手册中包含的信息。
-
- Ce manuel est écrit en Anglais. Vous devez vous assurer que les personnes utilisant ces systèmes comprennent l'Anglais ou alternativement vous assurer qu'ils reçoivent l'information contenue dans ce manuel dans une langue qu'ils comprennent.
 - Dieses Handbuch ist auf Englisch geschrieben worden. Sie müssen sicher sein, dass die Anwender der Systeme die englische Sprache beherrschen. An sonsten müssen Sie dafür sorgen, dass den Anwendern die im Handbuch enthaltenen Informationen auf eine ihnen bekannten Sprache zur Verfügung gestellt wird.
 - Questo manuale é in lingua Inglese. É necessario assicurarsi che chiunque utilizzi questi sistemi comprenda l'inglese o, in alternativa, riceva le informazioni contenute nel manuale in un linguaggio conosciuto.
 - Este manual está escrito en Inglés por lo que deben asegurarse de que las personas que usen estos sistemas entiendan el idioma Inglés o por otra parte asegurarse de que reciban toda la información contenida en este manual en el idioma que ellos entiendan.
 - このハンドブックは英語で記載されています。このシステムを使用する人は英語がわかる、もしくは理解できる言語で本書に記載されている情報を把握していることを確認してください。
 - 本手册以英文撰写。您必须确保使用这些系统的人员理解英语，或者确保他们以他们理解的语言接收本手册中包含的信息。

Oxford Instruments NanoScience

Tubney Woods, Abingdon, Oxon, OX13 5Qx, UK

电话: +44 (0)1865 393 200

传真: +44 (0)1865 393 333

通用电子邮件: nanoscience@oxinst.com

支持电子邮件: ServiceNSUK@oxinst.com

- 警告：** 本手册包含重要的安全信息和警告，可帮助您降低使用 Oxford Instruments 所提供低温或强磁场系统时的风险。请确保在未阅读本手册相关部分的情况下，任何人均不得使用该系统。
- 范围：** 本手册介绍了您在使用 Oxford Instruments 提供的液氮和液氮低温恒温器、与之相关的真空系统以及超导磁体时通常会遇到的危险。手册未说明任何国家/地区的法律，不涵盖液氮和液氮以外的其他制冷剂，也不针对大规模安装。
- 培训：** 必须由具有当地相关知识的胜任人员进行适当的培训，因为所有制冷剂均具有潜在危险；本手册不能代替此类培训。
- 注意：** 请遵守本手册是警示和指令，也请遵守《操作者手册》（其中可能包含针对您的系统的特定警示和流程）。这些文档是系统必不可少的部分，应在系统的整个生命周期中随其保存（即使您将系统出售或转让给他人）。
- 免责声明：** 尽管我们已尽一切努力确保本手册中的信息准确无误、及时更新，但仍可能会发生错误。Oxford Instruments 对任何一方使用或依赖本手册的内容概不承担任何责任，并且在法律允许的最大范围内，Oxford Instruments 不承担以任何方式造成损失或损害的责任。但是，如果您发现任何错误或遗漏，或有任何其他建议，请告诉我们您的经验，以便我们继续完善本手册。您的经验可能会帮助到他人。

版权所有 © 2020 Oxford Instruments Nanotechnology Tools Ltd, Tubney Woods, Abingdon, OX13 5QX, UK. 保留所有权利。

本文档的版权归 Oxford Instruments Nanotechnology Tools Ltd. 所有。特此授权任何人可在以下条件下查看、复制、打印和分发本文档：本文档仅作参考之用；本文档只能用于非商业目的；本文档或其任何部分的任何副本都必须包含此版权声明。

本文档“按原样”提供，没有任何明示或暗示、法定或其他形式的保证；在不限上述规定的前提下，明确排除质量保证、适合特定目的或不侵权的保证，并且在任何情况下 Oxford Instruments 都不对任何直接或间接损失或任何形式的损害负责，包括利润、收入、商誉以及可预期存款的损失。因此，在法律允许的最大范围内，排除所有此类保证。

Oxford Instruments 对本文档中所含信息的准确性不承担任何责任，该信息的使用后果自负。该信息可能包括技术上的不准确性或印刷错误。此处包含的信息将定期进行更改；这些更改将合并到文档的新版本中。

目录

1 简介	9
1.1 本手册中使用的符号规则	9
1.2 您应阅读的部分	10
1.2.1 设置实验室	10
1.2.2 低温系统	10
1.2.3 带低温制冷机系统（无磁体）	11
1.2.4 太重无法用手抬起系统	11
1.2.5 带超导磁体系统	11
1.2.6 使用核定向温度计	11
1.3 为低温与磁场实验室常见危害	11
1.4 独自工作	12
1.5 设置您的实验室	12
2 使用真空和高压系统	15
2.1 真空泵操作	15
2.2 真空容器和超压	15
2.3 真空容器和塌陷	15
2.4 高压气瓶	16
2.5 高压低温制冷机	16
3 操作低温系统	19
3.1 个人防护装备	19
3.2 制冷剂的储存、运输和处理	21
3.3 制冷剂溢出	21
3.4 液氮 — 特定技术	21
3.5 液氮 — 特定技术	24
3.5.1 带窗低温系统	25
3.6 防止窒息/缺氧	25
3.7 窒息阶段指南	26
3.8 计算制冷剂溢出后可能的耗氧量	27
3.9 通风	27
3.10 防止火灾隐患	28
3.11 防止堵塞 — 止回阀	29
3.12 清理堵塞的管道	31
3.13 VTI 阻塞，样品杆/极低温插件冻结	32
3.14 预防 VTI 样品空间阻塞 — 最佳实践	34
3.15 检测 VTI 样品空间阻塞	35
3.15.1 从冷 VTI（温度低于 77 K）取出样品杆	36
3.15.2 从暖 VTI（温度高于 77 K）取出样品杆	36
3.16 在样品杆/ULT 插件冻结时系统升温	37
3.17 系统升温	37
3.18 危险制冷剂	38
3.19 干式低温系统操作注意事项	38
3.20 冻伤的急救治疗	39

4 超导磁体系统	41
4.1 磁体通电前	41
4.1.1 超导磁体系统接地	43
4.2 当磁体有磁场	43
4.3 对人员和仪器的影响	43
4.4 暴露于磁场的暴露极限值	44
4.5 医用植入物	44
4.6 超导磁体失超	45
5 使用电气设备	49
5.1 保护接地	49
5.2 工作环境	49
5.3 维修与调整	49
5.4 超导磁体的电气危害	50
5.5 磁体引起的电气危害概述	51
5.6 磁体电流引线和接头	51
5.7 连接多个装置 (Mercury iPS)	52
6 起重和运输重型设备	55
6.1 吊点	55
6.2 起重和运输重型设备	55
6.3 安全运输系统	56
6.4 维护	56
7 有毒有害物质	59
7.1 放射源 — 钴-60	59
7.2 稀土材料—低温制冷机	60
8 附录	61
8.1 氦和氮的性质	61
8.2 风险评估	61
参考文献	63

1 简介

Oxford Instruments 设计并制造可安全使用的低温系统。但是，在使用我们的设备时，您务必了解液氮、液氦、真空系统和强磁场可能造成的潜在危害。使用 Oxford Instruments 设备的所有用户应当具有合格的在实验室或测试环境工作的技术能力。习惯于在实验室环境中工作的用户需了解推荐操作步骤的原因。本手册以适当的技术术语概述了最常见的危险。

此版本的 *安全事项* 已得到扩展，可为“干式”（有时称为 Cryofree®）系统的用户提供更多指导：在该系统中，液态（“湿式”）制冷剂被低温制冷机取代。在某些情况下，可使用低温冷却器来冷凝一定量的液态制冷剂 — 在这种配置下，应同时遵循“湿式”和“干式”系统的指导原则。

操作系统的所有人员都应阅读并理解本手册。请将手册保存在低温系统附近，并使用手册来提示自己正确的程序。还应使用其他关于安全性的优质手册。例如《低温技术安全手册 — 良好实践指南》。¹

所有制冷剂均具有潜在危险，了解其性质将有助于您理解为何需要采取预防措施。液氮和液氦无毒且不易燃，因此比其他某些致冷剂危害小一些。

请务必注意本文档中包含的信息。例如，即使很轻微的低温灼伤也非常痛苦，并且可能需要很长时间才能痊愈。如不加以注意，使用低温系统方法不当，可能会导致严重伤害甚至死亡。

请注意：

- 如未按 Oxford Instruments 指定方式使用设备，则设备提供的保护作用可能会下降。
- 设备不适用于爆炸性或易燃气体。
- 设备不适合在易爆、易燃或其他危险环境中使用。
- 维护：只有具备资质的人员和授权人员才能对设备进行维护和修理工作。
- 应仅使用原装 Oxford Instruments 部件。请与 OI Direct 或 Oxford Instruments 客户支持联系以获取这些部件。²

本手册中的所有内容仅供参考和指导。该内容并未免除用户和安装人员自行进行风险评估并根据当地法规和最佳实践自行制定危害管理计划的要求。Oxford Instruments 将所提供的指导视为最低标准。

1.1 本手册中使用的符号规则

本手册通篇使用以下一般符号，以特别提示最重要的信息。在某些情况下，还会使用其他更具体的符号。但是，未标记符号的段落仍应仔细阅读，因为这些段落可能说明了其他危险，或提供了进一步的解释。

警告符号



黄色警告三角形用于突出可能导致受伤或在极端情况下可能导致死亡的危险。文字说明了可能的危害和正确的程序。警告三角后面可能带有特定的符号和说明。

注意符号



蓝色圆圈带有白色符号用于表示您必须执行的操作。一般警告符号用于强调为防止设备损坏而必须采取的措施。

PPE 符号



这些符号表示应使用个人防护装备 (PPE)，例如应穿着宽松衣物、佩戴绝缘手套和防护面罩，以防液氮和液氨溅出。

功能性接地符号



此为功能性接地符号。

1.2 您应阅读的部分

由于本手册旨在涵盖广泛的产品范围，因此您可能不必阅读本手册的全部内容。本节应帮助您找出与您相关的部分。在开始使用任何低温或真空设备之前，应由具备资质的人员进行适当的培训。请与您的安全员联系，以安排必要的培训，然后将本手册作为您最可能遇到的危险的概要。请记住，您有责任确保实验室内或附近的所有人员、设备、似乎翻译成“公共设施”更妥当些，我理解此处是指水管，电线等公共设施或数据链接的安全。

1.2.1 布置实验室

如果您要设计一个新实验室，或计划在现有实验室中安装新设备，请阅读：

- 第 1.5 节：设置您的实验室

1.2.2 低温系统

如果您使用低温系统（无磁体），请务必阅读以下各节，这些节为您提供有关基本安全程序的建议：

- 第 1.3 节：低温实验室常见危害
- 第 2 节：使用真空和高压系统

- 第 3 节：运行低温系统
- 第 5 节：使用电气设备

1.2.3 带低温制冷机系统（无磁体）

如果您使用的是包含低温冷却器的低温系统，请务必阅读以下各节有关基本安全程序的建议：

- 第 1.3 节：低温实验室常见危害
- 第 2 节：使用真空和高压系统
- 第 3 节：运行低温系统
 - 第 3.19 节：干式低温系统操作注意事项
- 第 5 节：使用电气设备

1.2.4 太重无法用手抬起系统

如果您使用的系统太重而无法用手抬起，请务必阅读以下各节有关基本安全程序的建议：

第 6 节说明了如何安全地提升沉重的系统。

1.2.5 带超导磁体系统

如果您使用的系统包含磁体，那么请阅读前面列出的所有节，以及以下各节：

- 第 4 节：超导磁体系统

1.2.6 使用核定向温度计

低活性钴-60 (⁶⁰Co) γ 射线源的使用流程请参阅

- 第 7 节：有毒有害物质

1.3 为低温与磁场实验室常见危害

下表所示为使用实验室尺度的低温恒温器时可能遇到的各类危险。您可以按照本手册中所述的步骤来保护自己免受所有这些危害，并以《操作者手册》中的材料作为补充。

- 极度寒冷，以及由此引起的冻伤或冻疮风险；
- 窒息（大气中的氧气被置换时）；
- 火灾和爆炸危险（通过富氧产生）；
- 磁场对医疗植入物的影响；

- 磁体之间以及磁体和磁性物体（如钢铁制品）之间的强大吸力；
- 电气危险（包括高电压危险）；
- 真空危险；
- 高压危险；
- 来自用作温度计的核定向源的放射性污染；
- 使用不正确的程序或者起吊重型设备引起的损坏或伤害。

可能正在形成危险的迹象：

- 异常高（或低）的制冷剂蒸发速率；
- 大气水分在低温恒温器的任何部分上发生异常凝结；
- 低温恒温器任何部位上意外出现冰片；
- 难以打开或关闭任何阀门。

您系统的《操作员手册》可能会提供本手册未涵盖的其他相关危险信息，以及应遵循的特定程序。

如果您对系统操作的任何方面有疑问，请联系当地专家或您的供应商。如果您将系统出售或转让给他人，则有义务以书面形式警告他们潜在的危險；您可能希望使用本手册来作出警告。



如果您怀疑系统存在故障（可能出现上面列出的迹象之一），请立即停止实验，停用设备。立即采取措施修理故障（如果您知道如何做）或关闭设备，并请有资质人员进行维修。

1.4 独自工作



独自工作可能很危险。如果您遇到事故，将没有人可以帮助您。请勿独自工作。

如果在知晓此警告的情况下，您仍然冒险承担单独工作的风险，则必须确保已为实验室制定了经过风险评估和批准的单独工作政策。您有责任确保制定此类政策，以确保您的安全。

1.5 布置您的实验室

设立实验室时，您应该：

- 在设计实验室时考虑安全性。
- 咨询具有布置其他类似实验室经验的专家。
- 制定任何人使用设备的都应遵循的程序。
- 确保始终遵循正确的程序和当地法规。

- 培训所有人员并对其进行适当的监督。
- 展示明确的通知，以警告人们正进入潜在的危险区域。请记住，即使门是锁着的，其他人也有钥匙。例如，清洁工和安全人员经常在周围没有其他人的情况下工作。他们也有危险。
- 告知当地安全员您系统的相关信息，并要求他们让当地紧急服务人员注意危险，因为这可能会影响他们在处理火灾或其他事件时所遵循的程序。
- 请咨询您当地的消防部门，您需要安装什么设备来应对火灾发生。消防部门可能要求便携式消防设备为非磁性。请他们检查您的烟雾探测器是否会被氦气触发（有时会出现此类情况）。
- 仔细考虑实验室地板的强度是否足以承受系统的重量。如有必要，请寻求专业意见³。
- 如果使用超导磁体系统，请考虑系统附近是否有较大的磁性物品（例如地板中的钢梁）。检查杂散场是否会影响实验室或附近其他房间（乃至在其他楼层）³中的其他设备或人员。请参考您的杂散场图中的信息以及此处的指南。
- 安装能够安全提升设备的桥式起重机（或其他提升设备）。
- 如果制冷剂经常溅在地板上，请确保地板的材料不会损坏（或变得危险）。
- 将系统放置在不必通过低温恒温器即可到达安全出口的位置。
- 提供合适的排气孔。
- 确保实验室通风良好。如有疑问，请安装传感器，如果氧气含量危险地降低（低于18%），传感器将发出警告。固定式和便携式氧气监测器应同时配置²。氦气倾向于聚集在天花板附近，而冷氦气倾向于聚集在地板附近。因此，建议您将一台监测器安装在较高位置，另一台安装在低处。
- 提供一个接地点，用于将接地电缆连接到低温恒温器；这对于没有通过磁体电源接地的超导磁体的系统尤为重要。
- 提供适当的急救设备。
- 请参阅相关的当地健康和安全出版物。

如果您需要建议或希望进行现场调查，则应联系 Oxford Instruments 咨询台 (ServiceNSUK@oxinst.com)。

2 使用真空和高压系统

2.1 真空泵操作



如果操作的旋转泵未配备制造商所说明或当地法规所要求的合适的烟雾/灰尘过滤器，则旋转泵会排放油雾/灰尘，从而危害健康。请勿运行未配备烟雾过滤器的旋转泵。

不要吸入这些油雾/灰尘。如果没有合适的过滤器，则必须将泵的排气通过管道输送到建筑物外部。

2.2 真空容器和超压



如果发生故障，低温系统中的真空空间可能会发生超压和破裂，从而可能导致死亡或伤害。所有真空空间都必须使用超压泄压阀进行保护。

如果系统长时间运行，则少量漏气的情况可能被忽略。泄漏到真空空间中的空气遇冷表面即发生冻结，或被吸收到吸附泵中（如果已安装）。只有在对系统进行升温时，才会发现系统已收集大量空气。这些空气可能会膨胀，填充真空空间，使其压力超过安全承受的压力。

如果装有低温液体的容器损坏，则可能会发生危险情况。此时，低温液体可能被释放到真空空间中，在真空中，液体会破坏（软化）真空，迅速加热并汽化低温液体。

为防止这两种情况的发生，在液体和真空空间都需要适当的泄压阀来排出产生的气体。所有 Oxford Instruments 系统都受到这种保护。见图 2.1。

2.3 真空容器和塌陷



除非容器设计用途为在真空下工作，否则请勿对容器抽真空。泄放真空容器时需缓慢进行。

如果真空空间中的压力上升太快，则可能会损坏某些系统。突然的压力升高可能会导致本来安全的管路发生塌陷。一些系统必须缓慢排气，以使系统的不同部分实现压力平衡。有关详细信息，请查阅系统用户手册。

2.4 高压气瓶



您必须确定和高压气瓶有关的当地法律法规，并遵守这些法律法规。

高压气瓶通常用于存储压力高达 200 bar 的气体。大多数国家/地区均存在有关高压气瓶使用的法律法规。氦气和氮气是低温实验室最常见的配置要求。

- 始终直立存放气瓶并进行固定，以防止其倾倒。务必采取固定措施。
- 将气瓶存放在没有意外损坏危险的地方。
- 在阀门关闭且调节器和其他设备被拆下的情况下，通过专门设计的手推车直立移动气瓶。气瓶不得以其侧面接触地面滚动。
- 仅使用设计用途和标记与气瓶中的气体相符的调节器。
- 气瓶只能由经过培训的人员更换。
- 气缸必须标明内容物、压力、尺寸和安全信息。
- 将气瓶存放在磁场低于 10 高斯的位置。



如果高压气瓶破裂或阀门被敲除，它们可能会发生弹射，冲破厚实的墙壁，或因类似火箭推进作用而行进数百米，从而造成危险。务必小心操作高压气瓶。

2.5 高压低温制冷机

大多数低温冷却器、互连管线和压缩机均包含高压气体。在弃用装有低温冷却器的系统时，应考虑这些高压的存在。

应联系 Oxford Instruments，以获取有关如何最好地处置该系统的建议。第3.19 节包含有关使用配备低温冷却器的系统的其他指导。



将高压管线分离可能很危险。断开管路连接时，请始终使用 2 个扳手，以确保接头不会旋转并松动。

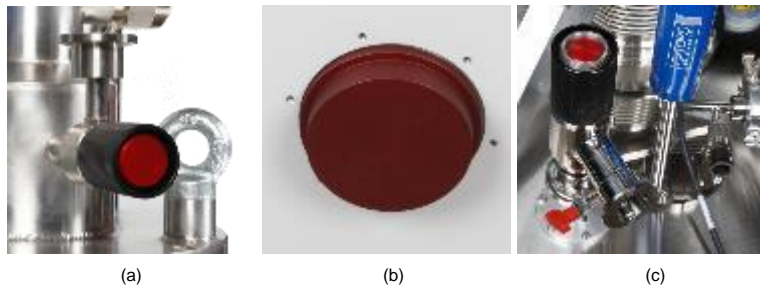


图 2.1: Oxford Instruments (红色) 过压释放机构示例。

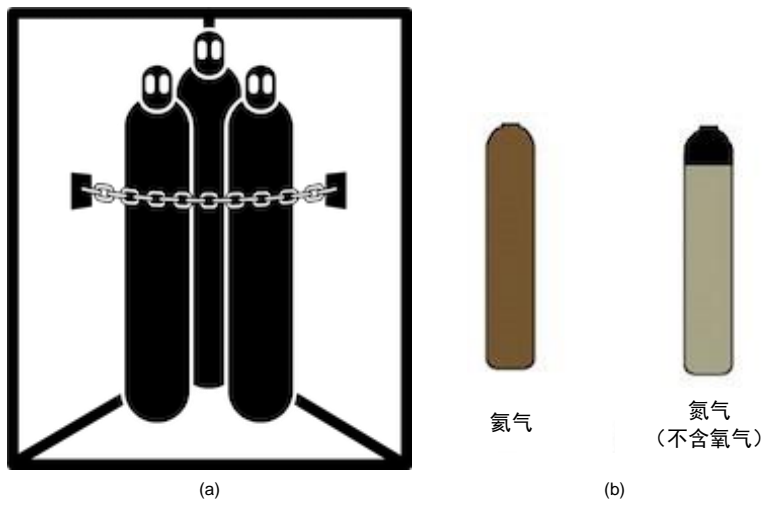


图 2.2: 氮气瓶和氮气瓶的气瓶安全性和 EU 颜色代码。

3 操作低温系统

由于极冷、快速膨胀会导致危险的压力增加或极冷蒸气的加压射流，快速膨胀也会导致可能引起窒息的氧气置换，因此，制冷剂处理会非常危险。您有责任保护自己和他人免受潜在危害。确保您了解所使用制冷剂的特性并正确处理。您可以穿着合适的服装和个人防护装备 (PPE)，保护自己免受极度寒冷的危害，但对于其他危险，您只能确保这些危险不会发生，才能保护自己。

特别是，您需要保护自己免受：

- 极寒；
- 窒息；
- 火灾和爆炸危险；
- 与用于容纳制冷剂的真空系统相关的危险。

在低温容器上贴上清晰的标签，以展示其内容物。标签还可以帮助其他人确定需要采取哪些预防措施来确保自己的安全。请记住，您有责任确保他人的工作环境安全，否则您可能会承担责任。



系统将装有一个或多个用于释放压力的安全装置。请勿改动、完全或者部分阻碍这些设备。



如果安全装置运行（打开），则可能会排放大量的冷气。必须对实验室活动进行监管以考虑到这种可能性。

3.1 个人防护装备

个人防护装备应方便易得，并有效使用，见图 3.1。

- 戴上面罩保护您的面部，特别是眼睛。眼睛受伤很难痊愈。
- 如果有接触冷金属的危险，请使用低温手套。这些防护装备应宽松穿戴，以便您可以轻松脱下。如果您要转移少量的液氮，并且没有接触冷金属的危险，那么不佩戴手套通常更安全。
- 穿着连裤工作服或类似服装，不要有口袋或卷边。
- 佩戴低温围裙以防止液体溢出。制冷剂的粘度低，比水的渗透速度快得多。
- 穿上合身的鞋子（不要穿凉鞋），并确保裤子覆盖鞋子的顶部，以防止溢出的制冷剂流进鞋子。

如果液氮意外溅到裸手上，请在移开手时张开手指。这将有助于防止因液滴附着在手指之间而引起的低温灼伤。

即使您试图推开或扔掉与裸露皮肤接触的极冷物体，物体也可能粘住皮肤（迅速冻结局部水分）并撕裂皮肤。不要低估此冻结过程的发生速度，与操作员的反应速度相比，冻结过程非常急速。



图 3.1: 全套 PPE, 包括低温围裙、手套和面罩。



图 3.2: 液氮不锈钢输送管

3.2 制冷剂的储存、运输和处理



仅使用专门设计的容器来储存和运输制冷剂。请参见图 3.3 示例。

竖直储存和运输低温容器。内部支撑通常固定在颈管顶部的区域，如果将容器倾斜，偏离竖直方向，可能很容易损坏容器。

- 储存和运输用的容器必须由合适的材料制成。许多材料（甚至是某些普通钢材）在低温下会变得危险易碎。
- 盖子（或塞子）应绑在容器顶部。这样可以防止其丢失，并确保它们不会被高压吹出而发生危险弹射。
- 如果使用磁体系统，则低温恒温器和运输容器应使用非磁性材料制成。
- 切勿使用空心管作为浸入式液面计。如果将热管插入液氮中，由于管内液体的汽化和快速膨胀，液体将从管顶部喷出。

3.3 制冷剂溢出

制冷剂溢出后将大大降低其所接触物品的温度；这可能会在许多方面影响该物品。

- 溢出到真空设备上的制冷剂可能会冻结橡胶真空密封件（例如 O 形圈），并导致真空隔绝损失。应使传输管远离真空密封圈，并在开始结冰时使用热风机。
- 如果您将制冷剂洒在电缆上，制冷剂可能会冻结电缆并使绝缘层破裂，从而引起电气危险。将所有电缆都保持在制冷剂上方，而不是置于地面上。
- 溢出的制冷剂还会凝结空气中的水分，形成浓雾，使您的视线模糊。如果您被一团冷气包围，则可能失去平衡并跌倒。如果您站在平台上，就更加危险。
- 如果制冷剂溢出，可能会损坏实验室地面。尤其是，塑胶地板可能会变得非常脆或可能因快速冷却而破裂。

3.4 液氮 — 特定技术

液氮不应储存在敞开的杜瓦瓶中，否则会暴露在空气中。由于液态氧的沸点比液态氮的沸点高，因此来自空气的氧气将凝结到液氮中。如果允许这种情况继续下去，氧气浓度可能会变得很高，使得液氮变得像液氧一样危险，难于处理。宽颈杜瓦瓶尤其如此，并且存在潜在的火灾或爆炸危险。



(a)



(b)



(c)

图 3.3: (a) 为敞开容器示例, (b) 为自增压液氮存储容器示例。² (c) 为可翻转手推车的示例。



图 3.4：常见的液氮存储容器。



图 3.5：常见的便携式氧气监测仪。

可以使用漏斗或可翻转手推车从小型容器中倒出液氮。如果存储用的杜瓦瓶太大而无法翻倒，或者可能损坏，可利用氦气或氮气（而不是空气）对存储杜瓦瓶加压来转移液体。

仅使用合适的金属管转移制冷剂。请勿使用橡胶、硅橡胶或塑料管，因为这些材料会因热冲击而破碎。尽管有时会使用聚乙烯和尼龙，但不建议这样做。您决定使用的任何材料均应在安全条件下进行仔细测试，并且只有在得到制造商认可的情况下才能使用。可以使用非绝缘的传输线，但是应该预期会造成传输损失，并且管道周围的氧气富集可能导致潜在的火灾隐患。

对液氮容器进行以下日常检查：

- 检查蒸发量，并检查其是否高于或低于预期。
- 检查液位并在必要时重新加注。
- 检查泄压阀是否被改动。
- 对于每个阀门，目视检查排气机构是否正确地安置在阀门中。
- 将液氮转移到液氮屏蔽的氮容器中后，请检查氮气口是否仍然畅通。
-



请记住，将热管子插入液氮杜瓦瓶中会导致冷气体（可能还有液体）从开口端排出。



即使装有惰性制冷剂（例如液氮）的容器也可能存在着火灾或爆炸危险。不要将制冷剂容器敞开暴露于空气中。杜瓦瓶应盖有盖子，以尽量减少与空气的接触。

3.5 液氮 — 特定技术

液态氮是温度最低的低溫液体。因此，液氮会冷凝并固化与之接触的任何其他气体。在正常操作中，任何足以冷凝空气的表面都可能使氧气浓度增加到危险水平。由于液态氧易发生凝结，因此液氮容器经常带有“易燃液体”标签，即使液氮本身并不易燃。

液态氮必须保存在专门设计的存储或运输容器（杜瓦瓶）中，以防止高蒸发率、高容器压力 and 存储容器外部发生结冰（请参见图 3.4 示例）。应始终在杜瓦瓶氮气排放管路中安装止回阀，或者使杜瓦瓶与氮气回收系统连接，以免空气进入瓶颈部并发生结冰阻塞。

如有可能，应将液态氮保持在略微正压下，这样，如果发生泄漏，氮可能会泄漏出来，但空气不会泄漏进瓶中。

对液氮容器进行以下日常检查：

- 确保止回阀（或回收系统）仍安装在排气口上。
- 检查顶板上的所有其他开口是否正确密封。
- 对于每个阀门，目视检查排气机构是否正确地安置在阀门中。
- 检查蒸发量，并检查其是否高于或低于预期。
- 检查液位并在必要时重新加注。

液氮的汽化潜热很小，因此，除非使用专门设计的带有真空隔热层的输送管，否则液氮在各个容器之间转移会导致高蒸发率和潜在的危险压力。这些使用技术将在《操作员手册》中进行说明。使用前请检查传输管的真空度。

将温暖的物体插入液氮会导致高蒸发率。将温暖的物体非常缓慢地插入液氮容器中。这样可以确保在到达液体之前，这些物体已被冷气体充分冷却，并且：

- 减少了因快速沸腾而产生的冷气喷射的危险。
- 大大减少了液氮的消耗，从而节省资金。



液氮可能导致泄放口堵塞或氧气富集。



仅使用带有真空绝缘层的专门设计的传输管传输液氮。使用前请检查传输管的真空度。



按照“氧气清洁”标准清洁任何在正常操作中会冷凝空气的表面。请参见 3.10 节。



将热管子插入氮气杜瓦瓶中会导致冷气体（可能还有液体）从开口端排出。

3.5.1 带窗低温系统

某些系统可能配有光学窗口，用于提供到样品位置的光学通道。这些窗口可以构成外部真空室 (OVC) 的一部分。窗口可能特别容易损坏，应保护未使用的窗口免受损坏。光学窗口的损坏会导致 OVC 真空度降低，并可能导致系统中制冷剂的快速蒸发。

3.6 防止窒息/缺氧



氧气含量少于 18% 的大气具有潜在危险。不建议进入氧气含量少于 20% 的大气中。

由于缺氧引起的窒息往往很快，受害人不易提前察觉。您发生窒息时不会有呼吸困难的迹象，因为呼吸困难是 CO₂ 浓度过高而不是氧气浓度过低的症状。下表给出了在缺氧的大气中容易发生的一般症状，尽管每个人的反应差异较大。

表 3.1: 大气中氧气含量不足对人体产生的影响。

O ₂ 含量 (体积百分比)	影响 (在大气压下)
20.95	正常水平
19–21	正常行动
17–19	适合健康者, 但不适合呼吸道或心脏疾病的操作人员。
14–17	即使对于健康者也不安全
11–14	在人不知情的情况下发生身体和智力表现下降。
8–11	短时间可能无预兆地晕倒。
6–8	几分钟内晕倒; 如果立即进行复苏, 则可以救回。
0–6	几乎立即晕倒; 随后死亡; 即使抢救也会对脑部造成伤害。

3.7 窒息阶段指南

受害者可能意识不到窒息的发生。如果在可能发生窒息且未使用呼吸器的情况下出现以下任何症状, 请立即将出现症状者转移到户外, 并在必要时进行人工呼吸:

- 快速喘息
- 快速疲劳
- 恶心
- 呕吐
- 虚脱或丧失行动能力
- 异常行为

务必要做好相关准备, 然后再冒险。对于缓慢降低的氧气水平, 最初的症状将是脉搏和呼吸频率增加, 判断力受损, 但是这些症状可能没有引起注意。下一阶段是无法站立甚至爬行。此时, 您可能为时已晚, 无法自救。

在进行工作之前, 您必须进行窒息风险评估。可以防范该风险的缓解措施如下:

- 确保您自己的实验室和附近其他房间通风良好。
- 安装传感器, 如果氧气含量过低, 传感器将发出警报, 除非您确定房间通风的有效性。价格低廉的便携式氧气监测器方便易得²-见图 3.5。
- 如果大量冷气体迅速释放 (例如, 超导磁体突然失超, 将其能量释放到液氮中), 请立即离开房间。
- 如果要用液氮对大型系统进行预冷却, 请确保房间通风良好。
- 如果大量液体溢出, 请立即离开房间。如有发生火灾的危险, 请考虑发出火警警报, 或迅速清理该区域。
- 如果房间中可能缺氧, 请屏住呼吸, 以提醒自己离开该区域的紧迫性。
- 请勿在狭窄的空间内 (尤其是在电梯、升降机或封闭的车辆中) 陪同存储或运输低温液体容器。

- 使用合适的排气系统将废气从低温恒温器输送到大气或进入回收系统。排气方式需要由称职的工程师来设计。
- 如果您将低温液体容器存放在通风不良的房间中，请在门上贴好警告标志，以确保直到通风良好之前没有人进入房间。在任何人进入房间之前，应将房间锁好并检查氧气浓度。
- 请记住，冷氮气往往会聚集在地面附近，而氦气则会聚集在天花板附近。



确保按照制造商的说明定期校准氧气监测器。



切勿在电梯或升降机中看守低温容器。

3.8 计算制冷剂溢出后可能的耗氧量

当低温存储容器的全部内容物泄漏到房间中时，风险评估过程中应有一部分考虑到最坏的情况。例如，体积为 V_d (m^3) 的杜瓦瓶中充满了液/气比为 f 的低温液体（参见第 8.1 节）。如果假设杜瓦瓶的输液损失为 10%，则损失到房间的气体总量为：

$$1.1V_d f \quad [m^3]$$

如果房间的容积为 V_r ，则氧气百分比可能从 21% 降低至

$$\frac{21}{V_r}(V_r - 1.1V_d f) \quad [\%]$$

例如：房间尺寸为 7 x 8 x 2.5 米（140 m^3 ）。25 升杜瓦瓶中刚刚充填了液氮。如果全部液氮溢出，氧气浓度将降低至

$$\frac{21}{140}(140 - (1.1 \times 25 \times 694)/1000) = 18.1 \quad [\%]$$

根据表 3.1，房间足够大，足以让一个健康者在其中工作。

该计算假定氮气在整个房间内均匀分散，但是应特别考虑在坑中工作的操作员，因为冷氮气会沉入坑中并导致氧气消耗量高于上述建议值。

3.9 通风

通风类型取决于多种因素，例如位置类型、气体类型、可能的泄漏等。通风可以是自然通风，也可以是强制通风。设计标准是每小时换气次数。

在地面以上没有特殊通风口的位置，依靠自然通风，通常每小时进行一次换气。在窗户紧密密封的建筑物中情况并非如此。对于带有小窗的地下房间，每小时通风 0.4 次可认为是平均值。要达到每小时换气两次以上，必须使用强制通风系统。对于不同的情况，不同的法规可能会建议或要求每小时进行不同次数的换气。

在地面以上使用可运输低温容器，自然通风通常足以应付换气，前提是该房间足够大或任何室外区域都不被墙壁包围。室内区域应设有通风孔，通风孔的总面积应为地面面积的 1%。通风孔应在整个房间的对角线上放置。还应考虑气体的密度，对于比空气轻的气体（例如氦气），主通风孔应开在最高点；对于比空气重的气体（例如冷氮气），应在地面设置通风孔。



低于正常地面高度的任何实验室区域（例如坑洞）都容易富含氮。必须将此类区域视为特殊危险并加以相应限制，或采用适当的传感器和应急程序。必须为该区域设置局部风险评估和危害管理计划。Oxford Instruments 对系统操作人员未能采取适当预防措施而承受的伤害或损坏不承担任何责任。

3.10 防止火灾隐患



富氧可能导致自燃。



万一发生火灾，请发出火警警报并确保所有人离开该区域。灭火后，请确保系统安全。

在通常实验室尺度低温系统中遇到的大多数火灾隐患是由富氧引起的。液态氧会从空气中凝结到温度低于 90 K 的表面上。如果传输液氮太快或磁体已失超，您经常会看到液态空气从冷的氦回收管道表面滴下。即使使用通常不被认为可燃的材料，液态空气也可能引起火灾。

由于氧气的沸点高于氮气的沸点，因此敞开放置的桶中的液氮往往会将大气中的氧气冷凝成溶液。在平衡状态下，液态空气中的氧气浓度可能高于 50%。暴露于该液体中的任何可燃物都会自燃。装有液氧的泡沫塑料桶存在严重危险。

液态空气和液态氧可以安全地进行处理，但是只有经过必要培训的人员才能进行处理。

如果通过非真空隔绝的管路输送液氮，请记住，在管路外部会发生氧气富集。与该液体接触的任何易燃材料（例如布料或聚苯乙烯），如果被意外点燃，就可能会剧烈燃烧。有些材料甚至会在液氧中自燃。

采取以下预防措施可避免火灾危险：

- 可能暴露在液态空气中的零件（即使是偶然液化的空气）也应按照“氧气清洁”标准进行清洁，即，应确保没有颗粒、纤维、油脂和其他污染物。
- 请勿使用压缩空气将液氮从低温恒温器中吹出，因为压缩空气中的氧气很容易凝结到液体中。
- 禁止在处理制冷剂的区域吸烟。
- 确保配备合适的灭火器；通常推荐使用二氧化碳灭火器。
- 训练相关人员正确使用灭火器。

安全扑灭此类火灾需要特殊的专业知识，因此，如果您尚未受过此类灭火培训，请找到接受过培训的人员。如果您选择了错误类型的灭火器或使用不当，低温恒温器的排气孔可能被冰堵塞。下一节将讨论堵塞问题。

3.11 防止堵塞 — 止回阀

这些准则仅适用于防止因意外压力积累而导致的低温容器破裂。压力的增加可能是由于排气管路意外阻塞，或者是加热低温恒温器造成，低温恒温器会将污染物从大气中意外凝结到冷表面上。这些说明对于大多数实验室系统来说应该已足够。易燃或易爆制冷剂可能会因点燃而引起爆炸，此种情况不在本手册阐述范围之内。

部分或完全堵塞的征兆包括：

- 制冷剂蒸发率异常高或低。
- 压力读数异常高或低。
- 难以拆卸辅助配件，例如可拆卸的电流引线，测量探头或输液管。
- 液氮传输效率低下。

堵塞通常是由于 O 形圈破裂或位置不当导致的泄漏，或者由于低温操作不当（例如将低温容器的颈部暴露在大气中）引起的。

定期检查系统蒸发情况。如果没有蒸发，并且您知道系统不是空的，请检查是否有堵塞物阻止了自然蒸发。低温恒温器内部的压力可能会上升，直达到危险的高水平。始终在至少一个液氮容器开口安装一个止回阀（参见图 3.7、3.6 示例）。

即使在所有液体蒸发之后，随着容器中的气体升温，仍应有明显的废气流。换句话说，即使容器中不包含任何液体，在达到环境温度之前也不是“空的”或安全的。



如果排气口连接到直径太小的泵送管路上，或连接到容量不足的氦气回收系统，则在磁体失超的情况下，这会对氦气流动产生阻抗，由此可能会导致系统危险的压力上升。确保管道直径足够大，可以承受预期的气体流量。通常，您应该假定管的直径绝不能小于排气口的直径。



图 3.6: Oxford Instruments 低温恒温器的液氮容器装有失超泄压阀和止回阀。



图 3.7: 用于标准 Oxford Instruments 低温恒温器的氮气排出口的止回阀/泄压阀



液氦容器排气口必须装有止回阀或连接到氦气回收系统（请参见图 3.6 示例）。回收系统必须包括足够大小的瓣阀，以防止从回收系统回流到低温恒温器。

这样可以防止环境空气漏回到低温恒温器中。该阀应至少足够大，以在液氦传输过程中处理正常的气流。



系统必须装有泄压阀，以使氦气和氮气快速排出系统。如果您的系统在供货时装有这些阀门，则切勿在没有它们的情况下冷却系统。

系统上的所有泄压阀应足够大，以处理可能同时发生的所有故障模式（例如磁体失超和真空夹层故障）引起的最大气流。万一发生磁体失超或重大真空故障，蒸发的氦气将通过阀门安全地排出。本指南中对各种泄压阀进行了说明。



真空隔绝的快速失效会导致低温恒温器中的所有液体非常迅速地蒸发。



如果系统排气孔被阻塞，则危险压力会迅速在系统中累积，从而导致容器破裂。确保所有排气孔都未被冰堵塞。经常定期检查堵塞情况。

确保系统排气口的温度高于 0 °C，以免水在通风孔发生冻结。在排气管上安装一小段塑料管（例如 20 厘米）会有所帮助；通风管路易被冰覆盖，但是如果管路足够长，则开口端将足够温暖以保持干燥。确保将系统存放在没有雨淋或受潮的地方，除非对其进行了适当的保护。

3.12 清除堵塞的管道

如果发现容器的所有排气口均被堵塞，则应迅速而平静地撤离该区域，然后寻找经验丰富的低温技术人员来帮助清除该区域。专业人员有资格决定在太危险而不能靠近之前花费多少时间清除堵塞。如果只有一个通风孔被堵塞，并且容器仍在安全地通过另一个通风孔进行通风，则可能无需紧急处理，但您仍应尽快清除堵塞物。

如果找不到专业人员，建议您在尝试清除之前，先联系 Oxford Instruments 客户支持。他们将能够提供详细的建议。例如，如果磁体在现场处于恒场模式，你将不得不比较磁体降场到零（在降场过程中将增加液氦蒸发）的风险，磁体升温足以失超损坏磁体的风险，在两个风险中做出权衡。

疏通过程需要在室温下供应氦气，或使用加热的铜管或不锈钢管，或两者结合。请记住，疏通管道或通风孔的过程不可能完全清除系统中的冻结水或空气。疏通只是将其移动到系统中的其他位置。

经常定期检查氮气容器是否堵塞（见图 3.8），并尽快将其清除。最好使用温暖的气体管线，并将热氦（或氮气）吹向堵塞的管子，以熔化堵塞物。如果不可能，则可以使用刚性杆，但是需要格外小心，以免损坏低温恒温器的薄壁管。



如果通风孔被阻塞的时间未知，或者您无法清除阻塞物，请从该区域疏散所有人，并尽一切可能减少可能破裂的容器带来的二次风险。如果无法确保该区域的安全，请考虑将容器移至安全的地方，但这需要进行仔细的风险评估，因为移动系统的行为会增加内部蒸发，从而提高压力上升的速度。



清除堵塞的管子时，在堵塞物被清除时，可能会突然喷出非常冷的气体甚至液体，导致裸露的皮肤被冻伤。

应注意确保穿着适当的防护服。

3.13 VTI阻塞，样品杆/极低温插件冻结



如果您发现系统的可变温度插件被阻塞，并且测量探针或超低温插件被冻结，则存在探针弹射的风险。必须特别注意将其安全拆下。

Oxford Instruments 可变温度插件 (VTI) 有两种形式：

动态： 样品安装在顶部加载样品杆上，该样品杆通过低温恒温器顶部板上的法兰插入 VTI 的中心管中。液氦通过针阀从主容器中抽出，并从中心管顶部抽走。样品空间构成了 VTI 气体回路的一部分。

静态： 样品安装在顶部加载样品杆上，该样品杆通过低温恒温器顶板上的 NW 法兰插入 VTI 的中心管中。VTI 的中心管通常称为样品空间，通常填充有 4He 交换气体，以使样品与 VTI 热交换器之间保持良好的热接触。样品空间中的交换气体与流过 VTI 热交换器的氦气完全隔离。



图 3.8：使用金属探针检查液氮容器是否堵塞。

可以在《操作手册》中找到更多详细信息。

由于 VTI 的体积相对较小，如果发生堵塞并且 VTI 升温，则会很快产生非常高的压力。对于静态 VTI 尤其如此，其中包含交换气体和探针/超低温 (ULT) 插件的中心腔是密封管。

在正常操作下，在低温下运行 VTI 时，VTI 样品空间中的压力低于大气压。因此，泄漏会导致空气不断进入 VTI 空间。这些泄漏可能发生在探针/ULT 插件和 VTI 空间之间的连接法兰上或探针/ULT 插件的室温配件上。在这种情况下，空气中的氮气和氧气会在 VTI 空间的下部冷凝。同时，空气中的水蒸气会凝结并冻结，从而在空间上方形成冰。这种冰可能会阻塞气体从 VTI 样品空间的下部到上部的路径。随后，VTI 的升温会在 VTI 空间的下半部分造成压力的快速危险累积。被冰堵塞位置下方的压力可能会增加到一定程度，使得合力超过冰堵塞的剪切强度和探针/ULT 插入式连接法兰夹具的剪切强度。这可能会导致危险情况，其中探针/ULT 插入物会从 VTI 的顶部弹出。

仅在运行 1 个月以上时，进入 VTI 样品空间的泄漏量大于 10^{-3} mbar·l/s 的情况下，这种情况才被认为可能发生。动态 VTI 被认为不太可能出现这种故障模式，因为在正常操作中 VTI 样品空间是连续泵送的，因此任何通过泄漏进入的空气都将被泵从 VTI 中抽出。

3.14 预防 VTI 样品空间阻塞 — 最佳实践

应采取一些最佳实践步骤，以避免 VTI 样品空间阻塞的可能性。对于长期的实验应格外小心，因为预期测量探针/ULT 插入物会持续保持低温数周。最可能的泄漏源是 VTI 顶部的 O 形圈（或 co-seal），该处与测量探针/ULT 插件连接。

每次将测量探针/ULT 插入 VTI 时，都应进行以下检查：

- 仔细检查 O 形圈。仔细寻找：
 - 可能被卡住或部分嵌入 O 形圈的小砂粒或切屑。如有必要，请用异丙醇清洁 O 形圈；如有疑问，请更换 O 形圈。
 - 裂缝、切口或凿痕。如有疑问，请更换。
 - 凹陷或偏心会阻止其正确放置。如有疑问，请更换。
- 仔细检查 VTI 法兰的 O 形圈安装面。安装面应该没有划痕、凹痕和凿痕。如有疑问，请向系统/实验室主管寻求建议，或对法兰表面进行拍照，然后将其连同系统说明一起发送给 Oxford Instruments NanoScience 客户支持 (ServiceNSUK@oxinst.com)。
- 仔细检查测量探针/ULT 插件的 O 形圈安装面。安装面应该没有划痕、凹痕和凿痕。如有任何疑问，请征询系统/实验室主管的意见，或对法兰表面进行拍照，然后将其发送至 Oxford Instruments NanoScience 客户支持 (ServiceNSUK@oxinst.com)，并提供适用于该插件和系统的说明。

使用静态 VTI 时，系统样品空间上还有一个抽气阀和泄压阀。该抽气阀用于向静态 VTI 样品空间添加氦气交换气体（或排空该空间）。泄压阀设计用于在故障情况下保护该空间，防止在 VTI 空间中产生过高的压力。如果这些阀中的任何一个未能完全关闭，它们也可能是空气泄漏的源头。

因此，建议：

- 在不使用时，在抽口法兰上安装一个盲板，这样即使阀没有完全关闭，抽口仍会被密封。
- 插入样品杆前，加入氦气时要避免泄压阀打开，应注意样品空间充入流动氦气时，气源压力应当小于泄压阀的开启压力（典型值小于0.1bar表压）。
- 如果泄压阀曾经排出气体，则应使用质谱仪检漏仪对 O 形圈进行泄漏测试，以确保正确密封。

除了前面提到的要点外，务必要确保探针/ULT 插件上没有泄漏。Oxford Instruments NanoScience 销售，用于对测量探针/ULT 插件进行室温泄漏测试。建议每次将测量探针/ULT 插件加载到 VTI 之前，先将本测试衬套与检漏仪（质谱仪）结合使用。使用此衬套将对测试探针/ULT 插件上的每个接头进行泄漏测试；未经测试的接头仅为：

- 交换气体入口（仅限静态 VTI），应如上所述被堵死。
- 泄压阀如果排出过气体，应重新进行泄漏测试。
- 如前所述，应检查 VTI 顶部的 O 形圈。

进行上面列出的检查将有助于最大程度地减少导致样品空间阻塞的泄漏风险。除了上述测试衬套和多项检查外，用户还可以在每次加载探针后使用检漏仪（质谱仪）对样品空间内的探针进行泄漏测试。该方法可用于检查上面列出的所有接头，但是在此过程中需要额外的时间来将样品空间中的氦气背景信号降低到所需的 10^{-4} mbar·l/s 范围，以检测约 10^{-3} mbar·l/s 的总泄漏。

3.15 检测 VTI 样品空间阻塞



冷冻探针或超低温 (ULT) 插件可能会发生弹射，导致死亡或受伤的危险。切勿将身体的任何部位直接置于探针/ULT 插件上方。

阻塞的迹象包括：

- VTI 无法达到正常的最低温度。可能有其他原因，应考虑 VTI 样品空间压力读数和 VTI 气体流量/VTI 泵送管路压力
- VTI 空间压力高于低温下的预期值
- 探针/插件的高度/旋转调节无法进行原位调节
- 旋转样品台驱动杆被冻结且无法移动（只针对样品在气氛中的样品杆）

如果发现任何其他原因无法解释的迹象，建议操作员参阅第 3.16 节使用冷冻探针/ULT 插件对系统进行预热。

在以下标准 VTI 操作期间，也可能会检测到 VTI 样品空间阻塞：

1. VTI 的高温操作

在不受限制的 VTI 样品空间中，VTI 的温度与 VTI 样品空间顶部的压力之间存在明确的比例关系（通常使用 VTI 顶部的机械压力表对其进行监测）。建议在设置较高的 VTI 温度之前，将温度从基本温度升至约 65 K 时，密切监视预期的压力变化。如果压力没有正常上升，则可能表示 VTI 样品空间发生堵塞，建议操作员参阅第 3.16 节使用冷冻探针/ULT 插件对系统进行预热。

2. 卸载探针/插件

取出样品杆过程的细节将取决于是否要从冷或热的 VTI 中卸载探针/插入物，并且取决于样品杆/插件是否设计成可以原地改变其高度和/或角度位置。请记住，如果空气阻塞了 VTI 样品空间，并且 VTI 温度升高到 77 K 以上，则安装法兰夹具出现故障或拆开法兰夹具时，探针/插件可能会突然从 VTI 中弹出。

3.15.1 从冷 VTI（温度低于 77 K）取出样品杆

在卸载探针/插件之前，使用室温氦气将 VTI 样品空间与大气压相通时，由于来自温暖气体的热负荷，VTI 温度应正常升高。如果没有发生此现象，则可能表明 VTI 样品空间被阻塞，建议操作员参阅第 3.16 节使用冷冻探针/ULT 插件对系统进行预热。

如果 VTI 温度升高正常（VTI 温度低于 77 K），则：

1. 对于具有高度和/或旋转调节功能的探针/插件（包括滑动密封件），请检查探针/插件是否可以在不松开安装法兰夹具时自由移动。如果无法移动，则可能表明 VTI 空间被堵塞，建议操作员参阅第 3.16 节使用冷冻探针/ULT 插件对系统进行预热。
2. 对于没有高度和/或旋转调节的探针/插件，请松开固定测量探针/ULT 插件的夹具，然后轻轻地尝试提起探针/ULT 插件。如果卡住并且无法正常拉起，则表明 VTI 空间被堵塞，建议操作员参阅第 3.16 节使用冷冻探针/ULT 插件对系统进行升温。

3.15.2 从暖 VTI（温度高于 77 K）取出样品杆

如果空气阻塞了 VTI 样品空间，并且 VTI 温度升高到 77 K 以上，则样品空间中的压力将升高。如果安装法兰夹具失效或夹具松开，压力的这种增加可能会导致探针/插件突然从 VTI 弹出。

如果您怀疑空气阻塞了 VTI 样品空间，则建议您按照上述“从冷 VTI 卸载（温度低于 77 K）”的步骤首先检查探针/插件在 VTI 温度低于 77 K 时是否能够自由移动。如果在此过程中未发现问题，则应重新安装固定测量探针/ULT 插件的松动夹具，并应切断通向 VTI 样品空间的氦气供应。然后将 VTI 加热到 77 K 以上，直至达到所需温度，然后再重新打开通向 VTI 样品空间的氦气供应，并卸下探针/插件。

3.16 在样品杆/ULT插件冻结时系统升温



如果样品探针冻结在样品空间内，则在系统升温时可能会发生弹射。请附近人员从该区域疏散开，直到另行通知为止，并用屏障将系统封锁。

通知实验室或低温系统主管潜在的预热危险。

对于 Cryofree® 系统，请关闭脉冲管/GM 冰箱压缩机并让系统自然升温。

对于具有制冷剂储罐的系统（“湿式”系统），请使其自然升温（如果需要加速预热，请在此之前进行风险评估）。

远离该区域，直到所有系统温度传感器读数均高于 0 °C。

3.17 系统升温



将系统加热到室温时请多加注意。阅读《操作员手册》并仔细按照说明进行操作。

低温恒温器中的所有腔室都必须能够安全泄放，即使您认为这些腔室是空的。如果系统持续低温较长时间，或低温恒温器有泄漏，则空气可能已经被低温泵吸到系统内部的寒冷表面上 — 无法检测到这种情况是否已发生。随着空气的蒸发，其体积可能会迅速增加，并且容器的强度可能不足以承受产生的高压。

切记：

- 1 L 液态氮在室温和大气压 (NTP) 下膨胀为 750 L 气体，如果不能自由膨胀，则在变成 750bar 压力下的 1L 气体
- 在 4.2 K 下 1 L 的气体在 NTP 时膨胀到 70 L，如果不能自由膨胀，则变成 70bar 压力下 1L 气体
- 即使除去了所有的液体和气体，容器或抽真空管道中仍有一些空气冻结，并且将以类似的方式膨胀
- 在系统完全升温前，您无法确定其中一个腔室中是否含有冷冻空气。为了您自己的安全，请假定其中含有冷冻空气

3.18 危险您需要额外培训



在处理除氦和氩以外的其他制冷剂之前，您需要额外培训。

本手册未包含针对不太常见的可能有毒、易燃或易爆的制冷剂的正确处理程序。如果您使用的不是液态氮或液态氩制冷剂，那么获得必要的培训很重要。

3.19 干式低温系统操作注意事项

不含制冷剂的设备虽然不使用制冷剂，但使用 Cryofree® 系统时，不要对安全问题疏忽大意。始终要警惕无制冷剂设备的安全问题和影响。使用这些设备时，严重受伤或死亡的风险同样存在。堵塞和爆炸的危险与使用液体制冷剂的设备相同。另外，使用无制冷剂的设备还存在其他风险，下面将对此进行详细介绍。

Cryofree® 系统的冷却“引擎”通常是使用脉冲管或 Gifford-McMahon 工艺的机械制冷机。这些冷却器依赖于电动压缩机产生的巨大压差，电动压缩机消耗较高功率并且通常通过三相电源运行。压缩机系统会将许多风险引入实验室，用户必须意识到这些风险，这些风险与低温系统的常见风险并行存在。请遵循制造商的指导原则，以确保冷冻机设备的安全运行。

大多数低温冷却器在压缩机和冷头之间使用高压管线（最高 30 bar）运行。定期检查这些管路是否损坏或退化很重要，因为释放高压气体可能很危险。随着压力的变化，高压管线也可能不规则地移动。确保压缩机气管已固定，并且在移动时不会对人员造成伤害或对其他系统造成损坏。连接或断开高压管线时，请遵循制造商的指导原则。

大多数压缩机系统都与低温冷却器相距一定距离，并且通常位于附近的储藏室或地下室，以减少噪声的传播。压缩机系统周围的所有区域均应远离其他设备。不要在压缩机附近存放易燃材料、木材、纸张或其他可燃材料，以免引起火灾。确保压缩机周围有足够的空气流通空间。

配备压缩机的系统均以高功率负载运行，并且通常使用冷水在运行期间保持压缩机冷却。定期检查这些系统上的电气安全电路和电缆。确保没有漏水，并立即清理溢出的水。不检查这些项目会导致触电或火灾危险，对生命构成重大威胁。



将高压管线去耦可能很危险。确保遵循制造商指导原则。断开管路连接时，请务必使用 2 个扳手，以确保接头不旋转，并且在断开管路时不会意外拆卸接头。如果在管路受压的情况下意外拆卸了配件，则配件的内部组件可能会以很高的速度弹出，从而有造成严重伤害甚至死亡的危险。These are all fittings.

3.20 冻伤的急救治疗

用大量温水冲洗皮肤患处，但不要使用任何形式的直接加热，例如热水或室内加热器。将伤员转移到温暖的位置（约 22 °C）。如果无法立即就医，请安排立即将伤员转移到医院。等待运输时：

- 松开任何限制性衣物。
- 继续用大量温水冲洗皮肤患处。
- 除去皮肤受影响部位的金属带、手镯等。
- 使用大块、干燥、无菌的敷料保护冷冻部位。不要紧贴，以免限制血液循环。
- 保持患者温暖和静止。
- 确保向救护人员或医院告知事故细节和已经实施的急救治疗。
- 吸烟和含酒精的饮料会减少患部的血液供应，应避免使用。

如果患者的肺部因暴露于冷空气中而引起不适，或者有疑问，请立即将其送往医院。即使是短暂地暴露于冷空气中，也会使呼吸不适并引起易感人群的哮喘发作。如果患者由于窒息而感到头昏眼花或失去知觉：

- 首先确保您的安全（某些情况下，这意味着没有呼吸器您不能进入该区域）
- 立即召集医疗救助
- 如果安全，将受害者转移到通风良好的地方
- 如有必要，请进行人工通气或复苏

4 超导磁体系统

许多低温系统包含在极高磁场下工作的超导磁体。有关磁场对健康的直接影响（尤其是与临床磁共振成像 (MRI) 相关的影响，因为在这种情况下，患者必须暴露在非常高的磁场中以进行诊断成像）⁴，请参见表 4.4 和表 4.2，获取有关暴露极限的建议。用户有责任确保遵守所有适用的规定。

至少应考虑以下危害：

- 磁性物品，包括钢铁物体，可能突然无法控制地向磁体移动；图 4.1 给出了一个示例，该图显示了在特定距离处力的突然增加。请记住，大多数工具都具有磁性。
- 有人可能会被困在大型磁性物品（例如气瓶）和低温恒温器之间，从而导致严重的伤害或死亡。
- 医用电子植入物（例如起搏器）可能会受到磁场的影响。
- 磁场是三维的，因此磁场不仅会影响同一楼层的房间，还会影响实验室上方和下方的楼层。
- 地板和墙壁中的钢筋可能会被磁化。使用杂散场图评估此类风险。
- 液态制冷剂池中包含的磁体可能会突然失超。能量的突然释放可能使液态氦汽化，从而将冷气体释放到室内，空气被置换，导致窒息风险，如第 3.6 节所述。
- 请记住本文档其他位置概述的所有潜在的低温危害。
- 信用卡、磁盘和其他磁性存储介质上的磁性数据可能损坏。

每个磁性场所均应单独检查，以确定针对这些危害采取的预防措施，强烈建议进行正式的场所调查和风险评估。³

4.1 磁体通电前

在开始给磁体通电之前：

- 确保将所有松动的铁磁物体固定住或移动到安全距离。这些物体通常在 5 高斯磁场轮廓之外是安全的（请参见您系统的杂散场图）。
- 如果磁体已从系统中拆下，请检查保护电路是否已重新连接，如果没有，请可靠连接到磁体。
有关详细信息，请参阅磁体随附的操作员说明。
- 在低温恒温器的接地点和电源之间连接一根地线，在低温恒温器的接地点和实验室接地点之间连接另一根线；有关详细信息，请参阅安装手册。
- 检查是否在电流引线端子上安装了绝缘盖。
- 在所有实验室门上展示警告标志（最好带有照明），以提示磁体正在运行。
- 展示警告标志，以提醒您可能存在的磁场以及在磁场可能超过 5 高斯的区域中的潜在危险。

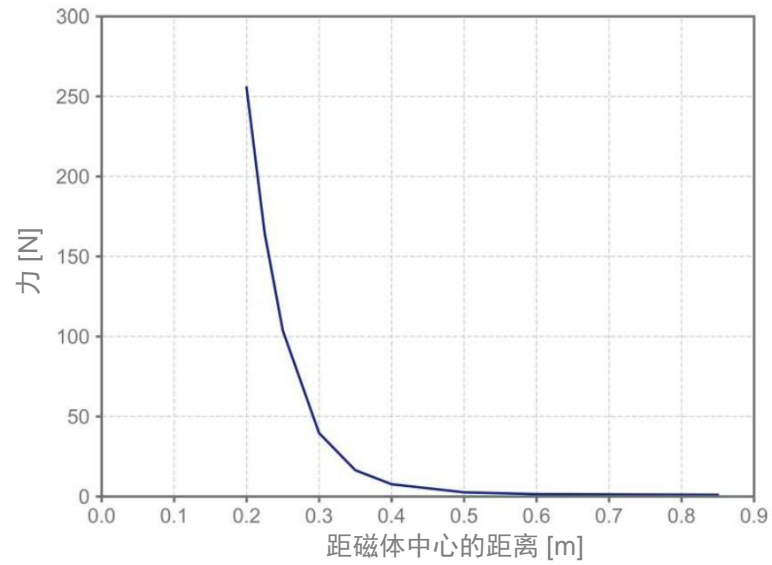


图 4.1：磁力示例显示了 200 克低碳钢物体接近大型超导螺线管时所受到的力。

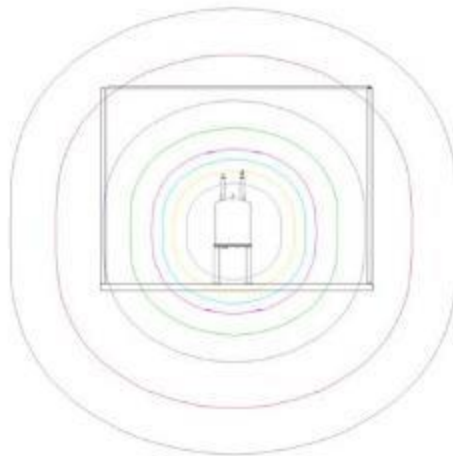


图 4.2：杂散场是三维的，会影响实验室上方和下方的楼层。

- 确保将所有电子设备和接口设备移至磁场水平足够低的区域；表 4.1 中提供了一些准则，但是您可能需要参考各个说明手册。
- 评估所有其他设备的安全工作水平，并采取适当的措施。
- 如果磁体失超，请检查是否用合适的泄压阀保护了液氮容器储罐。
- 仔细考虑在失超情况下，废气或泄压阀释放的气体是否会伤害系统操作人员。如有必要，在危险区域周围设置防护装置。
- 对于翻译成“使用”更顺畅制冷剂的系统，请检查系统中是否含有足够的液氮。
- 在无制冷剂系统中，检查磁体温度是否正常。
- 在具有光通路的系统上，窗口尤其脆弱。未使用的窗口应受到保护。建议您提供第二道防线阻挡零散的铁磁性物体，以保护“活动”窗口。以防止杂散的铁磁物体。

4.1.1 超导磁体系统接地

请参见第 5.4 节超导磁性系统的接地和电气危害。

4.2 当磁体有磁场

当磁体处于磁场中时，请定期进行以下检查：

- 对于包含制冷剂的系统，请检查液氮和液氮水平，如有必要，请重新输液。检查液氮液氮蒸发率是否正常。
- 在无制冷剂系统中，检查磁体温度是否正常。
- 检查警告标志是否仍然存在：限制未经授权的人员进入。
- 请勿将磁性物体靠近磁体。通常应将这些物体保持在 5 高斯范围之外。**切勿尝试用铁磁物体（例如标准工具）检查磁场的存在。您有遭受严重伤害或损坏设备或人员的危险。**
- 仅将非磁性杜瓦瓶和非磁性推车用于液氮和液氮存储/运输。
- 如果磁体已经通电，请使用非磁性工具来工作。
- 请记住，由于磁场感应的涡流，即使是非磁性导电材料也可能受到力或运动阻力。
- 向进入房间的人发出口头警告；请记住，钥匙和硬币通常具有磁性。
- 确保通风良好。

4.3 对人员和仪器的影响



必须限制人员，防止其进入磁场大于 5 高斯的区域；应竖立警告标志。

其他设备可能会受到强大磁场的直接影响。磁场可能会造成永久性损坏，或者可能只有暂时的影响，直到移走磁场为止。使用系统杂散场图和表 4.1 作为指导。如果您的磁体是“主动屏蔽”的，将具备两个杂散磁场图。一个是正常操作（屏蔽处于活动状态）时，另一个则是在失超期间显示最大杂散场爆发，磁场轮廓将大大扩展。

如果包含两个杂散场图，请使用“失超期间最大杂散场爆发”中的信息。

4.4 暴露于磁场的暴露极限值

随着提出新的科学和医学证据，暴露于静态 (DC) 和瞬态 (AC) 磁场的准则也在不断发展。因此，最好参考官方立法标准以获取相关文档的列表。

表 4.4 总结了来自三个来源的静态建议以及欧洲联盟理事会发布的限制。这些限制涉及使用磁场的人员的公共和职业暴露。

如果使用 Oxford Instruments 提供的磁体，在以下条件时，将会遇到低频交流磁场：

- 当磁体升场或降场时，操作员位于杂散场区域内；
- 操作员走入或走出磁场。

这些情况的暴露极限值 (ELV) 信息汇总在表 4.2 中。国际非电离辐射防护委员会 (ICNIRP) 的限制更接近欧盟理事会正在考虑的限制。如前所述，这些限制与从事磁场工作的人员的职业暴露有关；它们不适用于公众。

4.5 医用植入物

心脏起搏器等医疗电子植入物的运行可能会受到静态磁场或变化磁场的影响。



竖立适当的告示来警告访客，并确保您的员工都不易受到伤害。

起搏器并非都以相同的方式或在相同的磁场级别做出响应。您可能不知道您的访客植入了心脏起搏器，因此务必架设适当的标志以警告此类危险。您的磁体在其他周围房间中引起的杂散磁场可能足以影响他们。

其他医疗植入物，例如动脉瘤夹、手术夹或假体，可能包含铁磁材料。因此，它们可能会在磁体附近受到强大的力，这可能会导致受伤或死亡。快速变化的场（例如脉冲梯度场）可能会在任何金属植入物中感应出涡流，即使植入物不具有磁性，也会产生热量。

4.6 超导磁体失超

非常可靠和稳定的磁体，也始终存在失超的危险。外部因素会影响磁体的稳定性，因此应始终做好准备。必须考虑三个影响：

- 磁场的崩溃
- 可能产生高电压
- 制冷剂突然以气体形式释放

失超时，在包含制冷剂的系统中，磁体中存储的能量会非常快地蒸发掉大部分液氮。氮气回收系统不太可能处理如此大量的气体（几秒钟内可能达到 20 m³ 或更多），并且泄压阀会将过量的气体释放到实验室中，从而置换空气。如果合理可行，应将冷气排放到没有人受伤的安全区域。

使用系统数据来计算系统所在房间在最坏情况下的氧气消耗。假设系统中的所有制冷剂都将被释放：请使用 3.8 节中的公式。

在无制冷剂的系统中，失超影响不太明显，但是同样存在磁场崩溃和可能的高电压风险。

如果您使用 Oxford Instruments 的电源，则输出电流将自动安全切断。如果发生磁体失超（自发或感应），磁场将迅速降至零。这可能会影响房间中存在的磁性物体。

磁体失超后，应采取以下措施：

- 在通风不良区域，请立即从房间中疏散，直到您知道空气中有足够的氧气后再进入房间
- 检查泄压阀是否已正确重新密封，以免空气回流到系统中
- 更换所有损坏的破裂式保护片（如果系统中有）
- 检查氮气排放端口是否仍然畅通（如果系统有）
- 按照系统操作手册中的说明重新输液氮
- 进行标准的 4.2 K 电气和连续性故障检查
- 根据操作员手册中的说明为磁体重新通电



在磁体失超的情况下，所有致冷剂均可能释放。每 100 升制冷剂（氮气和氮气）在室温下的气体体积约为 70 m³。采取预防窒息措施。

如果超导磁体失超，将氮气释放到大气中，则应立即撤离实验室并保持良好通风，直到氮气散失为止。如果不这样做，您可能会窒息。



一些大型磁体系统装有紧急停机装置 (ERDU)；专用 ERDU 文档中提供了更多详细信息。确保您了解如何以及在什么情况下应激活 ERDU。

按下紧急停机按钮将使磁体失超。失超导致磁体损坏的风险总是存在的。仅当磁场对人员构成严重威胁时才使用紧急停机按钮，例如，有人被磁性物体困住时。

表 4.1: 某些敏感设备的安全放置准则。对于特定设备, 建议将设备放置在较低的杂散场中。

安全工作磁场 (高斯)	设备或限制
1	影像增强器
1	电子显微镜
1	准确的测量秤
1	核照相机
5	起搏器
5	无警告标志的公共通道
5	阴极射线管
10	计算机
10	钟表
10	信用卡
20	磁存储介质
25	磁体电源
25	温度控制器
25	匀场线圈电源

表 4.2: 交流磁场 (1 – 8 Hz) 的 ELV

静态磁场活动 地区	频率 (Hz)	欧洲 ⁵	美国 ⁶
慢转头	1	200 mT	60 mT
快转头	2	50 mT	30 mT
快转头	3	22 mT	20 mT
快转头	4	13 mT	15 mT
快转头	5	8 mT	12 mT
快转头	6	6 mT	10 mT
快速走进或走出	7	4 mT	9 mT
快速跑进或跑出	8	3 mT	8 mT

表 4.3: 适用于不同地区和监管机构的 ELV。

监管机构	地区	全身	四肢
ICNIRP ^{7,8}	欧洲	8 小时内 200 mT	8 T (峰值)
NRPB ⁹	英国	24 小时内 200 mT	24 小时内 200 mT
ACGIH ⁶	美国	8 小时内 60 mT	8 小时内 600 mT
欧盟理事会 ⁵	欧洲	8 小时内 200 mT	-

表 4.4: 用于直流磁场 (0 – 1 Hz) 的 ELV。这些值为时间加权平均值。监管机构为: ICES (国际电磁安全委员会)、ICNIRP (国际非电离辐射防护委员会)、ACGIH (美国政府工业卫生专家会议) 和欧盟理事会。[†] 欧盟 2013 年 (“指令”) 和英国 2016 年 (实施该指令的 “法规”)。

监管机构	公开限制	职业限制
ICES	167 mT	500 mT
ICNIRP 2009	400 mT	2 T (8 T, 带运动控制), 四肢: 8 T
ACGIH	400 mT	2 T (8 T, 经过特殊工人培训和受控的工作场所环境), 四肢: 20 T 头部和躯干, 感官: 2 T, 四肢 8 T
EU 2013/UK 2016 [†]		身体任何部位, 健康状况: 8 T, 对有源植入医疗设备的干扰: 0.5 mT 高磁场源 (> 100 mT) 边缘场中的吸引力和弹射风险: 3 mT

5 使用电气设备

以下建议适用于 Oxford Instruments 提供的用于实验室系统的电气设备，包括：

- 超导磁体电源
- 匀场电源
- 温度控制器
- 低温液体液面计。

每个设备都将随附单独的说明和服务手册。其中包含必须阅读的注意和警告声明，尤其是在需要维修或调整时。

5.1 保护接地

除非使用内部电池为仪器供电，否则在使用仪器时必须始终将其接地（大地），以降低电击危险。仪器电源线中的接地线（绿色/黄色）必须连接到实验室电气接地。仅使用带接地导体的延长电缆。当断开仪器的保护接地时，请勿断开仪器内部或外部的保护接地，也不要将外部电路连接到仪器。使用剩余电流断路器作为附加保护较为适宜。



如果未连接接地线，则仪器不会停止工作，也没有任何迹象表明您可能处于危险之中。确保由具有资质人员进行定期检查（至少每年检查一次）。

5.2 工作环境

请勿在以下环境中使用电气设备：

- 雨水或水分过多；
- 易燃或爆炸性气体。

除非特别说明，否则 Oxford Instruments 设备并非设计为防水或防溅水，也不设计用于存在易燃或易爆气体或烟雾的区域。

5.3 维修与调整

Oxford Instruments提供的电气设备可以进行一些内部调整。尽管我们不鼓励您进行这些调整，但我们会尝试为您提供足够的信息以使您安全地进行操作。



仪器内部存在致命电压。卸下盖子或保险丝之前，请断开交流电源。仅关闭主电源开关是不够的。仅当您具有适当资质和足够的技能，了解您正在承担的所有风险并遵守所有当地法规时，才能进行此类工作。

仪器和电源滤波器中可能存在电容器，即使在断开交流电源后，电容器仍会充电至高电压。在开始工作之前，请小心将电容器全部放电。



某些故障查找和校准操作只能在连接仪器电源的情况下进行。如果必须在卸下保护罩的情况下重新连接交流电源，则必须记住，**您有生命危险。**

5.4 超导磁体的电气危害

超导磁体通常具有高电感并在大电流下运行。因此，在磁场中，大量的能量存储在磁体中。

如果磁体失超，则会产生一个感应电压，其值为

$$E = \frac{1}{2}LI^2$$

其中 L 是磁体的电感，I 是磁体中的电流。由于电流以 100 A/s 衰减的情况并不罕见，因此可能产生几千伏的电压。由于这一原因和其他许多原因，Oxford Instruments 的超导磁体被分段设计，并且在每个磁体部分都应用了保护电路。当发生磁体失超时，这种保护会吸收每个部分中很大一部分的能量，并限制每个部分上产生的电压。由于磁体分段之间电感耦合同时电气连接在一起，因此各个部分上的瞬时电压可以为正或负。出现在磁体端子上的总电压是各部分之和，将小于峰值部分电压。Oxford Instruments 超导磁体电源中的持续开关保护（如果已安装）和限压电路进一步限制了端子电压。

低温电磁系统可能装有“固定”或“可拆卸”的电流引线。具有固定引线的系统应始终保持与（接地）电源的连接。您还应该在电源接地端子到低温恒温器的接地点间连接大电流接地线（接地电缆）。接地处带有螺纹孔和螺栓，并用国际接地符号标识。

一些低温电磁系统配有“可拆卸”的电流引线。磁体通电并进入持久模式后，可将其从低温恒温器中取出。然后可以断开磁体电源。然后，必须安装特殊的“短路插头”和“挡光板”来代替可拆卸的引线。您的安装手册或操作员手册将说明如何执行此操作。短路插头 (a) 有助于保护磁体，而 (b) 可使冷的电插头免受冰冻。

为了在断开电源时使系统接地，必须将大电流接地电缆从合适的实验室接地端子连接到低温恒温器的接地点，如上所述。有关详细信息，请参阅安装手册。对于带可拆卸引线的系统，您应始终记录工作电流和极性，并与系统一起保存以备参考。



术语“可拆卸”有时用于表示超导引线和磁体之间的螺栓连接。在本文档中，这些引线应视为“固定”引线，磁体在通电有场状态下不可以拆卸引线。



超导磁体可能存储大量的能量，如果迅速将其降场，可能会产生较大的电压。对于安全操作而言，任何装有磁体的容器都必须通过足够低的阻抗导线连接到保护性接地，该链路的电流容量应足以承载降场峰值电流。



如果用户决定断开低温恒温器和磁体电源之间的接地连接，或者断开磁体电源主电源连接，则不符合 Oxford Instruments 的磁体通电建议。如果在此状态下给磁体通电，则用户有责任确保低温恒温器具有适当电流容量和足够低阻抗的替代接地。

5.5 磁体引起的电气危害概述

- 在未连接保护电路的情况下，请勿运行磁体。
- 请勿修改保护电路。
- 将所有设备接地，包括低温恒温器和电子设备。
- 如果磁体位于磁场中并且具有固定的引线，则不要断开磁体电源。
- 将绝缘橡胶盖装在低温恒温器磁体电流引线端子上。
- 如果引线可拆卸，请遵循操作员手册中的说明，其中描述了引线的拆除以及短路插头和挡板的后续安装。

5.6 磁体电流引线和接头

通常，超导磁体将以数百安培的电流工作。由于电阻元件的功耗与电流的平方成比例，因此需要特别注意电流引线和相关接头的电阻。

电流引线通常在电源的背面和低温恒温器的顶部具有接头。这些接头的确切状况对于确定接头处产生多少功率以及因此产生多少热量非常重要。对于 Oxford Instruments 提供的大多数磁体系统，电源（或电源机柜）背面的电流引线接头将由压接的孔眼组成，这些孔眼通常用黄铜 M8 螺栓固定至用氯磺化聚乙烯绝缘的镀镍铜母线绝缘引线。

螺栓旨在用作接头的机械夹具，而非主要电流路径。至关重要的是，电流引线压接端子与母线接触，以便电流可以在母线和电流引线之间流动，而只有一小部分电流流经电阻更大的黄铜螺栓。

图 5.1 显示了应如何连接电流引线。连接杆连接 2 个电源模块，在母线与电流引线端孔眼相反的一侧。这意味着它们都与母线保持良好的直接接触。M8 螺栓按正确的顺序穿过制作接头的零件：

1. 一个 M8 黄铜垫圈
2. 开槽的连接杆
3. 电源母线
4. 电流引出端孔眼
5. 第二个 M8 黄铜垫圈
6. M8 接地标记孔眼（未显示）
7. 一个 M8 弹簧垫圈
8. M8 黄铜螺母

M8 螺栓应拧紧到 9 Nm 的扭矩。始终使用 2 个扳手，以免给电源母线施加压力。

图 5.2a 所示为不当的电流引线连接方式。在此示例中，在电流引线终端孔和电源母线之间有一个 M8 黄铜螺母、M8 弹簧垫圈、M8 垫圈和接地标记 M8 孔眼。这将产生明显的电阻性接头，在正常操作中会变得非常热。这些热量将通过铜母线传导到电源中，并可能触发过热保护启动。另外，电流引线过热可能会造成损坏。

图 5.2b 所示为另一个不当的电流引线连接示例。在此示例中，在电流引线端接孔和电源母线之间只插入了一个 M8 接地线鼻，但即使这样也会对电流产生额外的障碍。因此，即使在正常操作下，更大比例的电流也会流经黄铜螺栓，使接头散发热量并变热。

5.7 连接多个装置 (MercuryIPS)

某些机架式安装的 Mercury 电源系统可能需要连接 2 个以上装置的电流输出。务必考虑到连杆仅适用于 70A。因此，通常将 2 个装置与连接杆连接在一起以形成一对。然后，使用短线连接每对装置，或将每对装置连接到后部大电流汇流板。



图 5.1：正确连接磁体电流会接通电源。磁体电流引线上的压接接头与电源母线直接接触，而垫圈、弹簧垫圈和螺母在相反侧。

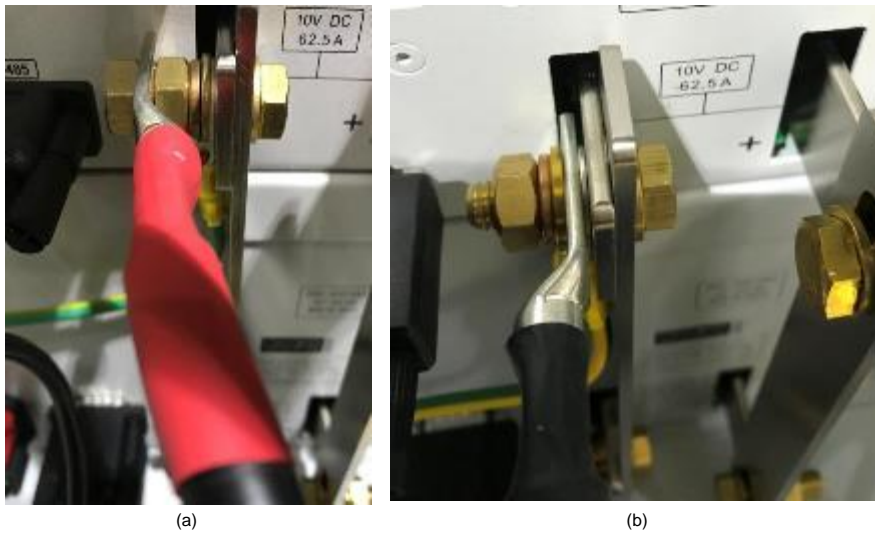


图 5.2：磁体电流引线连接到磁体电源的两个**错误**示例。在这两种情况下，磁体电流引线压接连接器均未与电源母线直接接触。

6 起重和运输重型设备

一些低温系统非常沉重，以致只能用大型起重机吊起，但其中仍然可能包含非常精密的组件。如果您选择正确的方式抬升系统，您将能够：

- 确保自己的安全
- 避免损坏易碎设备。

Oxford Instruments 的所有服务工程师都将在使用任何起重设备之前要求获得认证的证据。此外，请注意：

- 您必须确定与起重有关的当地法律法规，并严格遵守。
- 操作重型设备的所有人员均应接受适当培训；本说明不能代替适当的培训。

只能使用提供的吊点来提升系统。切勿通过在系统下方放置链条或吊带来进行吊装，因为安全操作需要特殊技能。



根据当地法规，仅可使用经正式认证可安全使用的起重设备。

6.1 吊点

Oxford Instruments 所有无法用手举起的设备都将配备合适的吊点，这些吊点旨在安全承担系统的重量。它们的位置可使系统在抬起时保持竖直。提升系统的唯一方法是使用提供的所有吊点。

图 6.1a 显示了直接焊接到系统外部容器上的吊耳。通常会有四个凸耳，应该全部使用。图 6.1b 显示了拧入系统顶板中的一（共四个）吊环螺栓，为了通顺“collar”忽略。较小的系统或子系统可能只有一个吊环螺栓，位于重心的垂直上方。

一对吊环螺栓的方向必须如图 6.2 所示。吊环螺栓的孔洞平面应在包含重心和吊环螺栓轴线的平面的 $\pm 5^\circ$ 范围内。

吊环螺栓具有用于轴向提升的额定安全工作负荷在角度 α 小于 30° 时则也适用。如果角度大于 30° ，则必须将 SWL 适当减小（有关详细信息，请参阅 BS EN ISO 3266:2010+A1:2015 或当地等效标准）。

如果您的系统有特殊的提升要求，则应始终参考者。

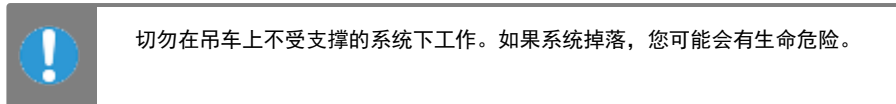
6.2 起重和运输重型设备

在使用起重机之前：

- 检查确保不超过起重机的安全工作负荷 (SWL)。
- 检查所有起重设备是否均已通过测试，是否经过正确认证以及是否超过其 SWL。
- 始终使用闭合的钩环，不要使用开放的钩子。
- 确认磁体（如果有）处于零磁场且系统中没有制冷剂。

使用适当且经过认证的起重设备安全地起吊低温恒温器。使用起重机时：

- 确保无人在未支持的负载下。
- 请始终远离负载，以防起重机或吊带发生故障。
- 将系统稍微抬高地面，并在抬高之前检查其平衡性和稳定性。不要让负载摆动。
- 避免突然移动，否则会造成高冲击负荷。
- 确保起重带保持竖直，以保证不会某一边先于另外一边离开地面，导致负载发生侧滑。



6.3 安全地运输系统

大多数系统可以放在托盘上手推车或叉车安全的运输。但是，请记住：

- 一些较高的系统重心较高，因此很容易倾倒。
- 应轻柔地移动这些系统，因为它们较为脆弱。
- 系统应始终保持竖直状态。

如果将系统移动更长的距离（例如，移至另一个实验室），则应格外小心。请联系 Oxford Instruments，以获取有关如何以最佳方式运输系统的建议。

6.4 维护

请有资质人员定期检查吊环螺栓、吊点和其他吊装设备，检查其是否有裂纹，变形和任何其他缺陷。

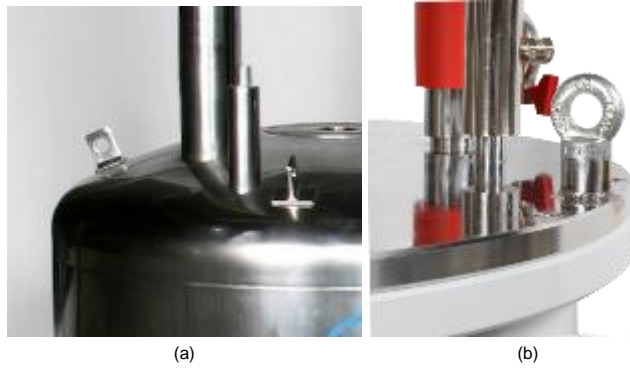


图 6.1: Oxford Instruments 系统安装的吊耳和吊环

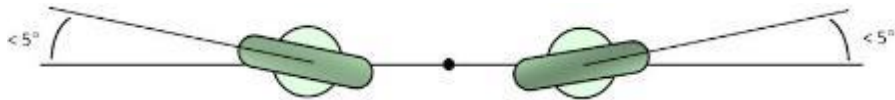


图 6.2: 吊环螺栓的孔洞平面应在包含重心和吊环螺栓轴线的平面的 $\pm 5^\circ$ 之内。

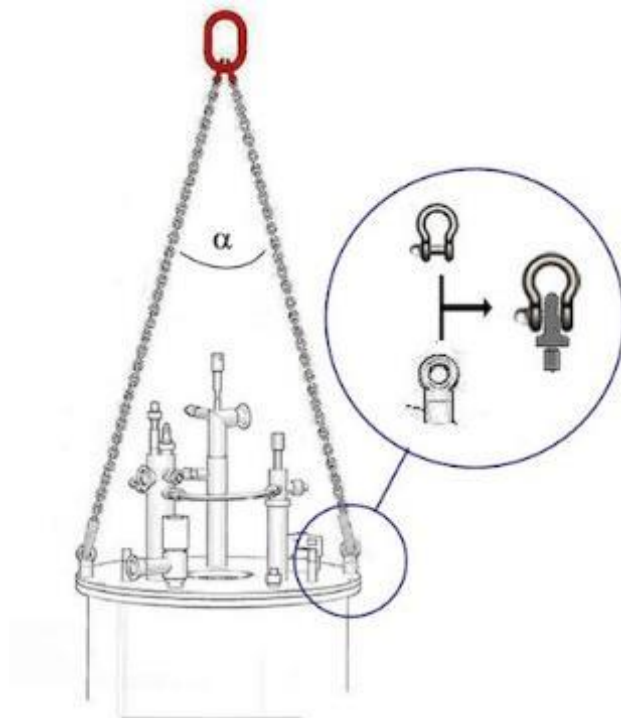


图 6.3: 使用适当且经过认证的起重设备安全地起吊低温恒温器。有关详细信息，请参见第 6.1 节。

7 有毒有害物质

某些 Oxford Instruments 系统包含在某些方面有毒或有害的材料。例如，某些窗口材料具有毒性。如果认真遵循建议的步骤，则一切可以安全处理。

考虑确定一个特殊的工作区域并定期对其进行污染监测。

危险材料将随附适当的文档，以警告您潜在的危險。（英国）对健康有害物质的控制（COSHH）法规要求使用这些材料的任何人都可以轻松获得此信息，而材料的 COSHH 表格通常是向您提供此信息的最佳方法。

在处置此设备之前，务必要与当地的适当组织进行核对，以获取有关处置和回收的当地法规的建议。在开始任何处置之前，您**必须**联系 Oxford Instruments 客户支持（提供完整的产品详细信息）。

7.1 放射源 — 钴-60



此安全信息特定于 Oxford Instruments 公司提供的钴-60 放射源。如果您使用任何其他源，则必须采取其他预防措施。



您必须确定与钴-60 放射源有关的当地法律法规，并遵守它们。

钴-60 放射源 (^{60}Co) 有时在温度低于 100 mK 的稀释制冷机系统上用作温度计。Oxford Instruments 提供的放射源的活度通常小于 185 kBq。如果要向您提供放射源，则将向您发送放射源详细信息（同位素、活动、形式、放射体类型等）和特定的安全信息。

但是，此处需重复常规的安全预防措施：

- 钴-60 晶体只能由经过培训的人员处理。
- 除非需要，否则该晶体应始终保存在其铅容器或运输包装中。如果您在当地拥有辐射库，请将其存储在那里。
- 从包装中取出后，严禁无人看管。
- 请勿裸手处理。始终佩戴无粉塑料手套并使用不锈钢镊子。巧妙地处理放射源，切记不要慌张。
- 避免身体直接接触晶体。如果发生接触，请立即用肥皂和清水清洗手和其他接触区域。
- 请勿掉落或切割晶体。
- 在合理可行的范围内，请勿直接注视放射源，因为眼睛对电离辐射特别敏感。保持眼睛与晶体的分离距离大于 30 厘米，并且保证眼睛直接聚焦在晶体上的时间不要超过安装晶体所需的时间。
- 请勿在放射源附近使用明火。
- 使用放射源后，请立即用肥皂和水彻底洗手。如果您有放射源，当地法规可能会要求您进行注册。您应确保遵守所有当地、国家/地区和国际法规。

7.2 稀土材料—低温制冷机

为有效运行低温制冷机，需要具有高热容量的蓄热器材料。这导致在一些低温冷却器的构造中会使用包含稀土金属的材料。因此，在报废一台已安装的制冷机系统时应格外小心。

应联系 Oxford Instruments 公司，以获取有关如何最好地处置该系统的建议。

8 附录

8.1 氦和氮的性质

属性	氦-4	氮气
化学式	⁴ He	N ₂
分子量	4	28
标准沸点 (NBP) [K]	4.22	77.3
临界点 [K]	5.2	126.6
NBP 时的液体密度 [g·cm ⁻³]	0.125	0.807
273 K (0 °C), 1 个大气压下的气体与 NBP 时的液体之比	750	694
NBP [J·g ⁻¹] 时的汽化潜热	20.9	198
1 瓦功率时液体在 NBP 的蒸发速率 [l/小时]	1.38	0.0225
相对于干燥空气在 288 K (15 °C) 和 1 bar 下的气体密度	0.14	0.98
273 K (0 °C) 和 0.101325 Mpa 时的气体密度	0.166	1.165
火灾/爆炸危险	否	否
空气液化危险	是	是
窒息危险	是	是

8.2 风险评估

已安装的低温电磁系统的“风险评估”将考虑和评估本手册中描述的所有风险，并在必要时实施缓解措施。在进行任何维护、检查、修改或维修工作之前，您有责任准备风险评估；这是 Oxford Instruments 工程师的正式要求。

如果您在准备风险评估时需要建议或帮助，请联系 Oxford Instruments 客户支持。

参考文献

1. Richardson, R. N. *Cryogenics safety manual: A guide to good practice*. (British Cryoengineering Society, UK, 1998).
2. Equipment described in this booklet is available from Oxford Instruments at www.cryospares.com.
3. For site guidance and service work contact Oxford Instruments Customer Support at ServiceNSUK@oxinst.com.
4. Refer to www.mrisafety.com for an in-depth discussion and extensive references.
5. Council of the European Union. Procedure 1992/0449/COD. *Official Journal of the European Communities* (1994).
6. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. *Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices*. (1995).
7. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Physics* **66**, 100–106 (1994).
8. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Physics* **96**, 4 (2009).
9. McKinley, A. Restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation. *Doc. Nat. Radiol. Protect. Board* **4**, 5 (1993).

氦和氮的性质

	氦-4	氮气
化学式	${}^4\text{He}$	N_2
分子量	4	28
标准沸点 (NBP) [K]	4.22	77.3
临界点 [K]	5.2	126.6
NBP 的液体密度 [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	0.125	0.807
273 K 时的气体与 NBP 时的液体之比	750	694
NBP [$\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$] 时的汽化潜热	20.9	198
NBP 的液体因 1 瓦的功率而蒸发 [$\text{l}\cdot\text{hour}^{-1}$]	1.38	0.0225
288 K, 1 个大气压下相对于干燥空气的气体密度	0.14	0.98
273 K, 1 个大气压 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] 下的气体密度	0.166	1.165
火灾/爆炸危险	否	否
空气液化危险	是	是
窒息危险	是	是

风险评估

已安装的低温和磁场系统的“风险评估”将考虑和评估本手册中描述的所有风险，并在必要时实施缓解措施。在进行任何维护、检查、修改或维修工作之前，您有责任准备风险评估；这是 Oxford Instruments 工程师的正式要求。

如果您在准备风险评估时需要建议或帮助，请联系 Oxford Instruments 客户支持。



技术咨询请联系：

英国

电话：+44 (0)1865 393311

电子邮件：ServiceNSUK@oxinst.com

美国

电话：+1 800 447 4717

电子邮件：ServiceNSAmericas@oxinst.com

德国

电话：+49 6122 937 171

电子邮件：nanoscience@oxinst.com

中国（上海）

电话：+86 (0) 400 678 0609

电子邮件：ServiceNSChina@oxinst.com

中国（北京）

电话：400-622-5191

电子邮件：ServiceNSChina@oxinst.com

日本

电话：+81 3 6732 8966

电子邮件：supercon.jp@oxinst.com

SO 编号：	
名称：	
系统说明：	



为科学创造安全的环境

请访问 nanoscience.oxinst.com 或发送电子邮件至 nanoscience@oxinst.com

主要服务地点：英国、美国、德国、中国、日本及印度

© Oxford Instruments Nanotechnology Tools Ltd, 2019.
保留所有权利。



The Business of Science®