Leybold

真空安全手册
安全手册

操作说明书 **300314311_011_C1**

原始使用手册翻译版本

版权声明

© 版权所有 2026。保留所有权利。

发布日期：9/9/2026

目录

1 简介 **6**

1.1 本手册的范围 6

1.2 危险分析 6

1.3 出现危险时 7

1.3.1 设计 7

1.3.2 结构 7

1.3.3 操作/调试 8

1.3.4 维护/停运 8

2 产生危险的化学起因 **9**

2.1 危险工艺气体 9

2.2 化学反应 9

2.2.1 均相反应 9

2.2.2 异相反应 9

2.2.3 交叉污染 9

2.3 易燃/易爆材料 10

2.3.1 爆炸风险 11

2.3.2 可能爆炸的气体或蒸汽混合物的来源 12

2.3.3 避免易燃区域 12

2.3.4 密封性（大气泄漏） 14

2.4 氧化剂 15

2.5 易着火材料 16

2.6 有毒材料 16

2.7 腐蚀性材料 17

2.8 总结 - 产生危险的化学起因 18

3 产生危险的物理起因 **20**

3.1 泵排气系统压力过大 20

3.1.1 防止排放气体压力过大 20

3.1.2 排气堵塞 21

3.2 进气口压力过大 21

3.2.1 压缩气体供应和背压 21

3.2.2 吹扫系统过压 21

3.2.3 错误的泵操作 22

3.3 温度 22

3.4 总结 - 产生危险的物理起因 23

目录

4 系统设计 **24**

4.1 系统中的额定压力 24

4.2 清除停滞体 24

4.3 排气抽空系统 24

4.4 使用阻火器保护系统（HazLoc 系统） 24

4.5 水泄漏到真空系统中 25

4.6 排放气体吸回 25

4.7 火源 25

4.8 总结 - 系统设计 26

5 一般实践 **27**

5.1 管道中形成沉积物 27

5.2 使用变频器 - 使用密码 27

5.3 进气阀位置 27

5.4 热捕集器 27

5.5 冷捕集器 27

5.6 冷凝器 27

5.7 系统完整性级别 28

6 正确选择设备 **29**

6.1 油封旋片和活塞泵 29

6.2 干泵 30

6.3 管道设计 30

6.3.1 波纹管 30

6.3.2 挠性管 30

6.3.3 固定点 30

6.3.4 密封件 30

6.4 过压保护物理装置 30

6.4.1 压力安全 31

6.4.2 过压警报/跳闸 31

6.4.3 压力调节器 31

6.4.4 阻火器 31

6.5 吹扫系统 31

6.6 总结 - 正确选择设备 31

7 操作程序和培训 **33**

目录

8 改装真空系统 **34**

9 摘要 **35**

1 简介

1.1 本手册的范围



警告：

如不遵守本手册安全使用说明和泵使用手册，可能导致严重人员伤亡事故。

本文档记录了我们在真空泵和真空系统的规格、设计、操作和维护方面的经验，以使泵和泵系统的用户受益。本文档介绍了可能引发的潜在危险，并提供了旨在帮助将出现安全危害的可能性降至最低的指导，并确保在出现危险时进行妥善处理。这一点尤其重要，因为越来越多地使用危险工艺化学品会导致发生危险情形的可能性更大。

本文档中包含的信息不能被视为一个详尽的列表，而是旨在传达可预见的危险。任何真空设备用户都必须进行自己的危险/风险分析，以证明符合法规要求。

本文档的结构考虑了以下区域的安全：

- 工艺材料
- 压力
- 系统设计
- 设备选择
- 系统操作和培训

为了最大限度地降低风险，需要仔细考虑全部这些区域。

本文档适用于确定、设计、安装、操作或维护真空泵及真空系统的任何人员阅读。我们建议结合以下内容进行阅读：

- 设备附带的使用手册
- 工艺气体和化学品供应商提供的信息
- 安全部门提供的信息。
- 泵手册
- 系统手册
- HAZOP 分析
- 材料安全数据表
- 通用标准、机械指令等

我们就本手册所述信息、流程或其应用的准确性、实操性、安全性和结果概不承担任何责任或担保。如果因本陈述或所包含信息的任何可靠性或任何方面的不准确或不完整导致任何损失或损害，我们不承担任何相关责任。请注意，本手册所包含信息仅供参考，我们可提供有关使用危险货物的潜在危险的相关指导，但最终用户有责任根据其操作和环境实施风险评估/有害物质分析，也有责任遵守政府的规定。

如果需要有关您的产品是否适用于您的工艺应用的更详细信息，或者有关真空泵或真空系统的安全信息，请与供应商或我们联系。

1.2 危险分析

危险分析的方法提供了一种辨别和分析系统正常使用过程中的危险以及在故障状态下可能会出现的危险的结构化方法。此类方法提供了一种危险管理路线， 在许多情况下，使用这些方法属于法定/合法要求。危险分析必须从系统初始设计过程中即开始，并在系统安装和操作以及维护与退役过程中继续进行，这样才能保持完全有效。

有关危险分析方法的详细研究不在本手册讨论范围内。但是，其他手册中介绍了许多危险分析方法。例如，化学加工业中常用的一种方法是 HAZOP（危险与可操作性分析）。这是一种与辨别潜在危险和操作问题相关的一个危险分析过程。

通常情况下，危险分析将会产生与危险类型、严重程度以及出现危险的概率相关的信息。通过对此类信息的分析，可寻找出将危险后果降低到可接受水平的最佳方法。根据危险来源，可以选择清除危险、降低危险严重程度和/或降低出现危险的概率。不过，完全去除危险几乎是不可能的。

决定管理危险的最佳方法时，必须考虑所有可能的危险后果。例如，小块高温表面会导致烫伤，可能会对操作员造成较小危险。要降低出现烫伤的概率，系统设计员可以提供高温表面视觉警告，或者可在高温表面四周设立保护装置。但是，对系统进行的危险分析可能还表明，同一高温表面会成为可燃气体的点燃源；这可能会导致爆炸或释放有毒蒸汽云。要降低着火可能性，系统设计员必须降低高温表面的温度，或确保可燃蒸汽不会接触到高温表面。

1.3 出现危险时

在系统使用期的所有阶段，都有可能出现危险。这些阶段为：

- 设计
- 结构
- 操作/调试
- 维护/停运。

以下总结了每个阶段出现的问题类型。在任何情况下，都必须了解，仅当深入了解系统中的设备以及流程/应用时，才能够将系统中的危险降至最低。如果您有任何疑问，可从供应商处获得更多信息或建议。

1.3.1 设计

设计系统时，必须为应用选择正确的设备类型。您必须考虑：

- 设备的技术规格
- 设备结构中使用的材料
- 与设备一起使用的工作消耗品（如润滑油和工作液）
- 工艺条件和材料。

您还必须考虑设备对应用的总体适用性，确保始终在指定的工作条件下使用设备。

您必须建立设计程序以确保最大限度地减少设计中的错误。此类程序应包括独立检查设计算法以及审议设计参数。

设计审核中必须始终包括危险分析。通过仔细甄选系统中使用的设备，可避免许多潜在危险。

1.3.2 结构

在安装过程中，使用专业合格人员并遵循质量保证流程，可有效降低发生危险的概率。专业技术人员能够在组装过程中确定需要的正确组件，还能够识别存在故障或粗制滥造的组件和设备。质量保证流程可帮助确定并纠正低劣工艺，确保严格遵守设计规范。

在曾抽取、产生或可能仍存在有毒、腐蚀性、可燃性、令人窒息、易着火物质或其他危险物质的系统中安装新设备时，工作人员必须特别小心并采取所有安全措施。

电气设备必须由专业/合格技术人员按照所有适用的当地和国家电气规程进行安装。

1.3.3 操作/调试

操作过程中，因年限、使用不当或维护不良导致的设备和组件故障可能会产生危险。通过相应的设备使用（和维护）培训，可降低出现此类危险的概率。如果必要，请参考我们及其他供应商以使用手册、培训和售后服务等形式提供的信息。

1.3.4 维护/停运



警告：

应进行全面的危险分析，包括全部维护程序。请勿在未考虑可能的风险和所需的保护设备的情况下进行任何维护。

为防止人员接触到危险物质，在维护曾抽取或产生有毒、腐蚀性、可燃性、易生火花、令人窒息的或任何其他物质的系统时，必须特别小心并采取所有安全措施。

所有真空系统在某个时间点都需要维护，维护的质量会对系统的安全性产生重大影响。危险分析应考虑维护程序的细节，以确保不会导致危险情形。需要考虑的几点包括：

- 真空系统内部可能被可能对健康有害的工艺材料污染。
- PFPE 油等特定材料可能已选用于工艺气体。如果这些材料在维护期间发生变化，则可能会产生新的危险情况。
- 意外停止的泵可能含有危险工艺气体，在这种情况下，拆卸泵时可能需要采取特殊程序来保护人员。
- 在拆除组件并在压力下强制排出之前，可能无法观察到真空系统内的过压情况。
- 在真空系统上开始任何维护程序之前，必须隔离电气设备。
- 考虑清洁溶剂对真空系统的影响，尤其是腐蚀性或易燃性溶剂。

此外，还应考虑计划维护程序以及安全废弃可能被危险物质污染的组件。必须遵守所有设备使用手册中提出的维护建议以确保安全可靠地操作。通常，HazLoc 系统有特别要求。

2 产生危险的化学起因

2.1 危险工艺气体

危险气体和蒸汽可以定义为具有一个或多个以下特征的材料：

- 易燃
- 腐蚀性
- 起火
- 放射性
- 有毒
- 爆炸性
- 氧化剂

由于它们具有危险性质，必须考虑它们的特性以及它们对真空系统安全的影响。在指定真空系统时，通常需要与真空供应商讨论这些类型的工艺气体；但是，以下几点概述了一些危险。

备注：
真空系统内的非危险工艺气体的反应有时会产生可能被视为危险的副产品。

2.2 化学反应

必须仔细考虑正常使用、滥用和故障条件下真空系统内的任何点可能出现的所有可能的化学反应。特别是，必须仔细分析认真思考涉及爆炸气体和蒸汽反应所必须的安全措施。经验表明，在使用系统设计人员最初未考虑的材料及未考虑设备的故障模式的情况下会出现爆炸。

2.2.1 均相反应

两种或更多种类型的气体分子之间的气相中会出现均相反应。气体燃烧反应通常就属于此类。例如，据我们所知，硅烷 (SiH_4) 与氧气 (O_2) 之间的反应总是均相反应。因此，如果制造工艺中出现此类反应，则必须小心控制工艺压力和反应物浓度，防止反应速率过快。

2.2.2 异相反应

异相反应需要在固体表面上发生，例如，一些气体分子仅当被吸附到表面后才会发生反应，但不会在低压气相中发生反应。此类反应非常适用于某些工艺，因为它最大限度地降低了处理腔中的反应作用，减少了微粒产生并降低了污染可能性。

大多数异相反应会在压力更高时变为均相反应，该压力通常远低于大气压力。这意味着，处理腔中的气体反应方式不一定与它们在真空泵压缩下的反应方式相关。

2.2.3 交叉污染

真空系统通常切换到使用不同工艺气体的应用，这可能是由于设备在不同应用中重复使用，甚至是由于特定应用中的不同工艺步骤。

在所有这些情况下，必须考虑来自一个工艺的工艺气体/蒸汽/材料与来自另一个工艺的工艺气体/蒸汽/材料之间交叉污染的可能性。在某些情况下，两种材料之间可能发生危险反应，这些材料在单独抽取时通常不会造成危险。

在可能发生危险反应的地方，正常做法是在工艺步骤之间用惰性气体吹扫 ~15 分钟，这通常会在抽取第二种材料之前去除第一种材料；但是应注

意，在一些真空系统中，可能存在无法通过吹扫步骤有效去除的工艺气体残留。在可能发生危险反应的地方，应仔细考虑真空系统的设计和识别任何残留量。

工艺前/后吹扫

为了避免不必要的化学反应，通常在引入工艺气体前后使用惰性吹扫气体吹扫真空泵 15 分钟。工艺前吹扫将去除所有残留的大气氧气和水，而工艺后吹扫将去除残留的工艺气体。

导致异常反应的问题

当化学品与系统设计人员未预期到的气体或材料接触时，将会出现异常反应。例如，当出现泄漏而导致大气进入系统或者有毒、可燃性、爆炸性或其他有害气体漏出到大气中时，将会出现异常反应。

为防止发生这些反应，系统中的密封性应保持 1 x 10^{-3} mbar l/s (1 x 10^{-1} Pa l/s) 或更低。高真空应用通常会保持 1 x 10^{-5} mbar l/s (1 x 10^{-3} Pa l/s) 或更低的密封性。此外，还必须确保系统中所有阀门的阀座都密封完好。

工艺循环过程中一般不会相互接触的气体可能会在泵系统和排气管中混合。

当真空泵在进气口处于真空状态关闭时，将会从排气管道/系统中吸回排放气体。如果此气体含有空气/氧气，则可能与工艺气体或内部沉积物发生不良化学反应。建议在可能的情况下，在真空泵的排气口安装一个止回阀，以减慢排放气体的回流。此外，在真空泵上使用氮气吹扫可确保排出真空系统中的空气。

执行常规过程后，处理腔中可能会存在水蒸汽或清洁液。对处理腔进行冲洗和清洁后，将会出现此情况。水蒸汽还可能通过排气管和废气洗涤器进入系统。

使用溶剂冲洗真空系统中的工艺沉积物时，确保所选溶剂与真空系统中的所有工艺材料相兼容很重要。

相变

真空系统设计用于将抽取的气体和蒸汽的压力从真空升高到大气压，这样材料就可以相变为液态甚至固态。经过相变的材料有可能造成危险，如管道堵塞、腐蚀甚至易燃材料。通常，当干泵内部的压力接近大气压时，会发生相变；但是，在非常寒冷的环境条件下，材料可能会在真空泵的前级真空管线中发生相变。

如果这可能造成危险情形，建议使用伴热或干燥惰性吹扫气体。

如果固体颗粒在前级真空管线中形成，则有可能在壁上形成层，随着时间的推移，这些颗粒可能会掉落并进入泵中，请参阅章节管道中形成沉积物 参考页码： 27。

如果希望回收冷凝的材料，则建议在真空系统中安装冷凝器和接收器，以便安全收集这些材料。

2.3 易燃/易爆材料

如果提供一个火源，许多气体和粉尘，如氢 (H_2)、乙炔 (C_2H_2)、丙烷 (C_3H_8) 和精细硅粉在一定浓度下都是易燃和/或易爆的的氧化剂。许多原因（如局部热堆积）可能引发火源。这将在火源 参考页码： 25 中讨论。

易燃气体/蒸汽是指与一定量的空气或氧化剂混合时可能形成爆炸性混合物的气体/蒸汽，但并非全部浓度都是危险的。

可以通过将潜在可燃混合物的浓度控制在可燃区域外避免爆照危险。有关详细信息，请参阅避免易燃区域 参考页码： 12。

降低爆炸可能性的另一种方法是严禁所有烟火。有关详细信息，请参阅火源 参考页码： 25。

危险浓度处于易燃范围之内，通常称为“潜在爆炸环境”，因为它们可能被点燃，进而产生爆炸。易燃范围是指燃料/空气浓度在易燃上限和易燃下限之间的范围。在此范围内的混合物接触火源会燃烧或爆炸。

如果无法避免易燃区域，则必须确保设备可避免或遏制任何爆炸而不会破裂或向外喷出火焰。阻火器的使用在使用阻火器保护系统（*HazLoc* 系统） 参考页码： 24中讨论。如果真空系统的外部环境处于危险状态，必须确保所有设备为合理级别。

HazLoc 就用于潜在爆炸环境的设备设计给出了明确指导。

如果在所有情况下都能够避免造成可能的爆炸环境，则可使用我们任何类型的真空泵来抽取易燃蒸汽或气体。

爆炸危险的起因一般属于以下类别之一：

- 氧化剂
- 易燃/易爆材料
- 易着火材料
- 叠氮化钠。

备注：

在欧盟（和其他一些）国家，根据法律，工艺材料的供应商需要公布所售材料的物理和化学数据（通常以材料安全数据表的形式）。适用时，材料数据必须包括有关爆炸上下限值的信息、材料的物理和热力属性以及与材料使用相关的任何健康危害。请参考该信息以获得指导。

2.3.1 爆炸风险

备注：

此泵符合有关潜在爆炸环境下使用设备的欧洲 *ATEX* 规定。

不遵守安全指南一定会导致意外爆炸。而且，某些爆炸事故极其剧烈，可能导致严重人员伤亡。

真空系统组件出现爆裂的常见原因是可燃材料着火，或泵排气口阻塞或受到限制。为避免危险，应注意以下事项以确保安全操作真空泵和系统。

- 除非您的系统专为真空泵内可点燃泵材料设计，您必须确保可燃物和氧化物的混合物不在可燃范围内。使用惰性气体吹扫是达到此目的的一种方法。参见避免易燃区域 参考页码： 12。
- 确保操作过程中不会出现以下原因导致的排气堵塞：机械组件（如阀或遮蔽板）；工艺材料或管道、过滤器和其他排气组件中出现副产品沉淀，除非您的系统已为解决该问题而设计。
- 只能使用 PFPE（全氟聚醚）油脂润滑泵机械机构，该油脂可耐受高浓度氧气或其他氧化剂。其他市售的“不可燃”润滑油类型可能仅适用于体积浓度不超过 30% 的氧化剂。
- 确保故意关闭和隔离的真空系统中不会出现意外过压；例如，因压力调节器或吹扫控制系统中的故障所致。
- 如果泵抽出的产品会与水产生强烈反应，则建议在冷却线路中使用水以外的其他冷却材料（如传热流体）。请咨询我们的建议。

在没有空气或氧化剂的情况下，爆炸性材料会发生反应，对泵尤其危险。

产生危险的化学起因

爆炸性聚硅固体可能在真空系统中产生，并聚集在水平表面上。通常通过定期使用强氧化剂（如 NF_3 或 SF_6）进行蚀刻步骤，以最大限度地减少这种材料形成量，这可确保真空腔中存在的材料较少，并降低发生危险事件的可能性。应特别注意真空系统的设计，以避免聚硅沉积物可能形成但无法被蚀刻气体有效冲洗的量。此类设计的一个常见示例是水平波纹管，其中在卷曲位置内可能形成沉积物，但蚀刻气体只能蚀刻较小的暴露表面。

此处的解决方案是避免使用波纹管或以垂直方向安装。

2.3.2 可能爆炸的气体或蒸汽混合物的来源

当可燃气体或蒸汽与浓度正确的氧气或其他适合的氧化剂混合时，将形成可能会爆炸的混合物，该混合物可能会在有火源时点燃。

如果抽出的材料可能会爆炸，一般会很明显，而根据我们的经验，另外一些情况是因为设计工艺时未考虑到的条件而生成可能会爆炸的混合物。您必须确定设备会生成的可能会爆炸的混合物的所有可能工艺条件和可能来源。以下列出了从我们经验总结的一些示例，但该列表绝不是说毫无遗漏：

- 交叉污染 - 使用真空泵执行多种工作时，用于单独材料时可能是安全的。但是，如果在用于其他材料前未对泵进行吹扫，则可能会出现交叉污染而导致意外反应。
- 清洁液 - 一种应用可能被视作无害，但使用易燃清洁液以及随后通过真空泵抽出进行干燥会形成可能会爆炸的混合物。
- 意外材料 - 执行“室内真空”任务时，将使用真空泵来提供分布式真空系统，则可能会抽出在进行系统设计时未考虑到的易燃材料。这些材料的自动点火温度可能低于真空泵的内部温度或额定温度。
- 溶解的蒸汽 - 这些可以在工艺操作过程中慢慢进行，需要注意选择正确的内部温度。通常在化学工艺市场，HazLoc 要求会涵盖此项。
- 空气泄漏 - 系统中意外进入空气或氧化剂可能会更改易燃气体或蒸汽的浓度，由此形成可能会爆炸的混合物。
- 易燃密封液 - 在液环真空泵中使用易燃液体作为密封液时，空气进入将会形成可能爆炸的内部混合物。
- 冷凝工艺材料 - 如果有可能让可燃材料在系统内部冷凝，必须注意的是，它们可能与其它工艺步骤或空气（如废气）中的氧化剂发生反应。可以通过适宜的温度或部分压力控制避免此问题。

2.3.3 避免易燃区域

仅当可燃材料与空气或氧气或其他氧化剂组合且其浓度介于易燃性下限 - LFL（或爆炸下限 - LEL）与易燃性上限 - UFL（或爆炸上限 - UEL）之间时，才会形成可能的爆炸环境。请注意，文中大多数数据是指在空气中的易燃性边界值，如氧气作为为氧化剂的情形。下文中所有更多信息均基于这一假设。

可能爆炸的必要条件还包括氧气浓度超过最小氧气浓度 - MOC（或限制氧气浓度 - LOC）。多数可燃气体的 MOC (LOC) 是体积占 5% 或更高。

备注：
这不适用于需要特殊预防措施的易着火材料。

可通过许多策略来避免在易燃区域内操作气体混合物。策略的选择将取决于工艺和泵系统的风险评估（危险分析）结果：

根据欧盟爆炸环境指令（“ATEX 114”，即 2014/34/EC），确保易燃气体安全的首选方法是确保其空气中的浓度不在易燃范围内，从而确保在出现火源时不会燃烧。因此，必须采取以下措施之一：

- 保持可燃气体的浓度低于 **LFL (LEL)**

要最大限度地降低易燃气体意外进入易燃区域的风险，应使用低于 LFL (LEL) 操作的安全余量。

安全余量应在用户进行风险评估后确定。有些机构建议将浓度保持在 25% LFL (LEL) 以下。

保持浓度低于 LFL (LEL) 的常用方法是在泵进气口和/或吹扫接口中引入惰性气体吹扫（如氮气）进行稀释。稀释系统和任何警报或互锁所需要的完整性将取决于在稀释系统失灵时形成的危险区域。

通常可在气体或蒸汽供应商提供的 MSDS（材料安全数据表）中找到易燃下限；这是易燃气体混合物可能被点燃并产生火焰或爆炸的空气/氧化剂最低浓度。

为避免潜在爆炸环境并提供安全余量，必须使用惰性气体稀释，直到燃料/空气[或氧化剂]浓度达到可燃性下限浓度的 25%。

这是首选运行模式，因为进入真空系统的空气泄漏只会进一步稀释易燃气体/蒸汽；但是，必须将惰性气体系统视为安全关键。

备注：

确保采取了合理预防措施，以避免窒息的危险。

- 保持可燃气体的浓度高于 **UFL (UEL)**

  通常可在气体或蒸汽供应商提供的 MSDS 中找到易燃上限；这是易燃气体混合物可能被点燃并产生火焰或爆炸的空气/氧化剂最高浓度。

  为避免潜在爆炸环境并提供安全余量，必须将空气/氧化剂浓度限制为空气/燃料可燃性上限所需空气/氧化剂浓度的 60%。

  这种运行模式需要仔细控制工艺容器、管道和真空系统中的空气泄漏；此外，必须考虑因操作或维护活动（如打开阀门或更换惰性气体瓶）而意外进入空气。

  这种方法的优势在于，无需使用惰性气体吹扫，从而更容易/更有可能减排工艺气体，节省成本。

- 保持氧气浓度低于 **MOC (LOC)**

  该操作模式需要监测抽出的气体中的氧气浓度以确保安全操作。要最大限度地降低可燃气体意外进入易燃区域的风险，应使用低于 MOC (LOC) 操作的安全余量。可用工业标准表明，持续监测氧气浓度的区域，应保持氧气体积低于 2%， 低于公布的气体混合物的最低 MOC (LOC)。除非 MOC (LOC) 低于 5%，氧气浓度必须保持在不超过 MOC (LOC) 60% 的水平。如果仅通过常规检查氧气水平来进行监测，则氧气水平不得超过公布的最低 MOC (LOC) 的 60 %，除非 MOC (LOC) 低于 5%，则氧气浓度必须保持在低于 MOC (LOC) 40 % 的水平。

  保持氧气水平低于公布的最低 MOC (LOC) 的首选方法是在工艺和泵系统中通过严格除去空气和氧气，并在需要时，通过在泵进气口和/或吹扫接口中接入惰性吹扫气体（如氮气）对抽出的气体进行稀释。空气/氧气排除措施及任何警报和互锁的所需完整性将取决于在排除和稀释系统失灵时形成的危险区域。

  本节末尾提供了从工艺和泵系统中严格排除空气所需的预防措施。

  最低氧气浓度是可能存在潜在爆炸环境的氧气浓度。当氧气浓度低于此水平时，易燃混合物不可能发生燃烧或爆炸。

  为避免潜在爆炸环境并提供安全余量，必须将氧气浓度限制为最低氧气浓度的 60%。

  同样，此操作模式需要仔细控制工艺容器、管道和真空系统的空气泄漏；此外，必须考虑因操作或维护活动（如打开阀门或更换惰性气体瓶）而意外进入空气。

- 保持可燃气体的浓度高于 **UFL (UEL)**

  当可燃气体的浓度非常高时，超过 UFL (UEL) 的操作可能更适用。要最大限度地降低任何意外进入易燃区域中的风险，应使用高于 UFL (UEL)

操作的安全余量。建议尽可能将气体中的残余氧气水平保持在一般可燃气体 UFL (UEL) 浓度的绝对氧气水平的 60% 以下。

保持氧气水平低于此安全余量的首选方法是严格排除工艺和泵系统中的空气和氧气。另外，可能还需要在泵进气口和/或吹扫接口引入惰性吹扫气体（如氮气）或其他易燃气体（“填充”气体）来对抽出的气体进行稀释。空气排除措施、任何吹扫气体引入系统、任何警报和互锁的所需完整性将取决于在排除和稀释系统失灵时形成的危险区域。

- 将易燃气体浓度保持在最低爆炸气压以下

  每一种易燃材料都有一个最低气压，低于此气压就不会发生爆炸。如果真空泵进气口的压力能够安全地保持在此压力以下，则该真空泵内点燃的火将无法扩散到该进气口。真空泵排气必须特别小心。

  严格排除工艺和泵系统中的空气一般需要的预防措施如下所示：

- 清除漏气

  使用检漏仪或执行压力“升速”测试。在处理腔中引入可燃材料前，可以执行测试以确定泄漏到真空系统中的空气（氧气）位于允许限制内。

  要执行压力“升速”测试，对空处理腔进行排空以便压力刚好低于正常运行压力，然后将它与真空泵隔离。接着，记录固定时间段内的处理腔中的压力。已知处理腔的体积和允许的最大漏气量，则可以计算出固定时间段内会出现的最大允许压力升。如果超过该最大压力限值，则必须采取措施密封进入处理腔的空气（氧气）的来源， 然后在允许将可燃材料引入处理腔之前，成功地重复执行测试。

  某些情况下，可使用真空系统实现良好的基本压力的能力来标识系统密封性。

- 启动工艺前清除系统中的所有空气

  在工艺中引入任何可燃气体之前，应对系统进行完全排空和/或用惰性气体（如氮气）吹扫来清除系统中的所有空气。在工艺末尾重复此过程以排除任何可能存在的易燃性气体，然后将系统最后与大气相通。

- 对于干式真空泵

  在任何情况下，都要确保任何轴杆货吹扫封口气体都不是由空气提供或被空气污染，同时确保任何气囊口密封或仅用于引入惰性气体。

- 对于湿式真空泵（旋转式活塞或回转叶片泵）

  保持轴杆封口与制造商的说明完全一致，并使用抽取和带有压力的油润滑系统，该系统具有指示油压降低的报警功能。该系统可能包含一个带有压力开关的外部附件，以提供经过滤和加压的润滑油。确保任何气囊口密封或仅用于引入惰性气体。启动工艺前，先对油箱进行充分的惰性气体吹扫以清除空气。

- 对于鲁氏真空增压泵

  保持主要传动轴的轴杆封口与制造商的说明完全一致，并确保任何吹扫或“通气”孔接口仅用于引入惰性气体。

- 逆流

  确保系统操作过程和装置能够保护系统免受任何因泵故障可能导致的逆气流的影响。确保任何抽取的可燃气体都可在泵排气系统的最后通风口处得到安全处置。启动可燃气体工艺之前及在该工艺结束之后，通过使用适合的惰性气体吹扫管道，可确保排气管中不会出现可燃气体混合物。而且，通过在操作过程中使用充足的惰性气体进行吹扫，可防止空气紊流回混并进入排气系统。

2.3.4 密封性（大气泄漏）

必须仔细评估处理危险工艺气体的真空系统，以确定进气泄漏的后果。建议进行风险分析以确定风险水平；这应考虑正常操作、故障模式和维护程序。典型问题包括：

- 与易燃气体发生反应

- 将易燃气体和蒸汽移入易燃区域
- 由于大气水份进入而导致腐蚀
- 与工艺气体发生不良反应。

没有真空系统是 100% 密封紧固的，即使在超高真空系统上，也始终存在一定程度的空气泄漏。如果密封性不足会导致安全问题，则应进行计算，以确定创建安全条件所需的密封性水平。

真空系统通常设计为密封紧固。不过，无法确保相连系统的密封性。必须使用适合的泄漏检测方法（如氦质谱分析泄漏检测仪）确认真空系统与排气系统的完整性。建议使用 ISO-KF 或 ISO-K 等真空标准管道，因为其设计可按照真空标准进行密封紧固。如果抽取的气体超过爆炸上限，请考虑整个安装的密封性。定期检查泄漏速度。

如果提供密封紧固系统对安全至关重要，则应计算真空系统的性能水平以确定风险水平。

如果密封紧固对于避免危险情形至关重要，则必须定期检查以确认系统保持密封性。应特别注意可能导致意外空气泄漏和潜在危险的维护活动。

备注：
如果系统的密封性对安全至关重要，但无法提供所需的完整性水平，则建议使用惰性气体稀释工艺气体，使其低于安全限值。

2.4 氧化剂

真空系统中通常会抽出诸如氧气 (O_2)、臭氧 (O_3)、氟 (F_2)、三氧化二氮 (NF_3) 和六氟化钨 (WF_6) 等氧化剂。氧化剂很容易与真空系统中的各种物质发生反应，包括 O 形圈、聚合物和油等弹性体，反应通常会产生热量和增加气体压力。可能的危险包括泵和/或排气系统中导致火灾和压力过高。

要安全地抽出这些气体，必须遵守气体供应商的安全说明及以下建议：

- 当氧气体积浓度大于 25% 时，必须为 O 形圈、泵叶片等部件使用 PFPE 润滑剂和耐化学腐蚀的聚合物。抽取纯氧气时，必须使用符合 O2 标准的泵。
- 对于用于抽取氧气体积浓度一般不超过 25% 的气体的泵，请使用 PFPE 润滑油，但在故障状态下，该浓度会上升而超过 25%。如果抽取的是除氧气以外的氧化剂，请向润滑油供应商咨询该氧化剂的建议水平。
- PFPE 润滑油是首选润滑油，但是，如果使用适合的惰性气体进行吹扫来保证油不会接触到不安全级别的氧化剂，则可使用烃类润滑油。

这些氧化剂的实际效果取决于气体的压力和温度；两者都影响反应速率。随着反应速率的增加，发生过压或火灾的可能性也随之增加。正常情况下，PFPE 润滑油在油封旋片、活塞泵油箱或齿轮箱中不会氧化也不会分解，从而除低了爆炸的可能性。

注意，存在空气和黑色金属时，PFPE 润滑油可能会在 290 °C 或更高温度时发生热分解。但是，当存在钛、镁、铝或它们的合金时，热分解温度会降至 260 °C。

如果不希望在油封旋片或活塞真空泵中使用 PFPE，则可使用干氮等惰性气体将氧化剂稀释到安全浓度。

此方法仅对低流速氧化剂气体可行。必须在系统中安装安全功能以确保始终保持将氧化剂的浓度降低到安全级别所需要的最小流速的惰性稀释气体，确保氧化剂的流速不会超过允许的最大流速。必须设计相应系统，以便在未满足这些条件时，立即停止氧化剂的流动。

我们推荐使用我们的干泵来抽取氧化剂（请参见干泵 参考页码： 30）。干式真空泵的工作容积中不包括密封液，因此如果您使用的是干式真空泵

处理氧化剂，爆炸的发生概率会大大降低。我们建议，当使用碳氢化合物润滑剂时，在轴承间及齿轮箱使用惰性气体清洗。

2.5 易着火材料

在大多数条件下，诸如硅烷 (SiH_4) 和磷化氢 (PH_3) 等易着火气体或易着火粉尘在大气压下的空气中会自燃，因此，当这些气体在气压足以支持燃烧的环境中与空气或其他氧化剂接触时，将会燃烧。易燃气体与空气接触时会自燃；它实际上是易燃性上限为 100% 的一种易燃气体。如果有空气进入系统，或者，如果系统排气装置与大气接触，则会出现此情况。氧化剂与易燃气体反应所产生的热可能成为易爆炸物质的火源。

不仅气体易着火，粉尘和粉末也可能易着火，对于真空腔中升华形成的金属粉尘和粉末尤其如此。这些粉尘未形成保护性氧化层，因此暴露于空气中时易于自燃。

该粉尘还可以用作易燃和易着火工艺气体的吸收剂。高压力、低温度和大表面面积会增加粉尘的吸附率。

如果不同工艺中的排放气体通过通用抽空系统排放，则可能会导致燃烧和/或爆炸。因此，在抽取易着火材料时，建议使用独立抽空系统。使用磷的工艺可能会导致在真空系统或排气系统中冷凝生成固体磷。在含有空气时，即使轻微的机械搅拌（如，启动阀或压力差导致泵旋转），磷将会自燃而释放有毒气体。建议使用惰性气体吹扫泵并充分积累热量以将磷的浓度降到最低。

PFPE 润滑油可吸收工艺气体，当存在易着火材料时，这些气体会在润滑油与空气接触后导致局部着火。在维修过程中或在易燃气体或粉尘后通过系统抽出氧化剂的情况下，此危险将变得尤其明显。如果使用的是工作容积中不含润滑剂的干泵，可以减少这种危险发生的可能性。必须确保在排放或处理之前已经钝化所有易燃材料。

处理易燃气体、粉尘或沉积物时，必须排除可能导致危险反应的空气泄漏。较小的空气泄漏会与易燃气体发生反应，但可能不会产生危险情况，需要为每种应用计算允许的泄漏量并确定合适的安全余量。

易燃粉尘和粉末可以收集在过滤器中，或者可能只是在管道中形成层，暴露在大气中时，它可能会发生放热非常剧烈的反应。应采取措施确保在正常操作、维护和故障状态下排除这些系统中的空气。需要将系统通风到大气中时，建议使用氮气。如果需要拆卸真空系统，则应使用保护设备以防发生意外反应。

备注：
应注意识别全部危险材料并确定合适的处理策略。

打开泵系统通风之前，建议使用吹扫气体运行一段时间，以去除任何粉尘层中吸附的气体。通过抽取低浓度氧气进行受控氧化可用于去除粉尘中的易燃气体，还可用于氧化粉尘。这种方法需要仔细定义，因为存在仅处理表面材料，而大部分粉尘层保留其吸收的气体的潜在风险。

使用水浴或油浴，在拆卸后可将真空系统组件浸入其中，这非常有效；然而，对于每种应用，都需要考虑此类程序的安全性。

硅和聚硅等其他材料会在真空系统内形成不稳定的沉积物，这些材料处于易着火和易爆材料的界线处。请参见爆炸物相关章节。

2.6 有毒材料

许多真空应用涉及处理有毒和腐蚀性材料，需要特别程序。

有毒材料本质上有害健康。但是，危险性质取决于材料及其相对浓度。应遵守材料供应商提供的正确处理程序及适用法律。

真空系统是处理有毒材料的出色方式，因为真空侧的泄漏只会从大气中吸入空气，不会让有毒工艺气体逸出。当您开始考虑真空系统的排气管时，情况就不同了，这里的压力接近大气压或略高于大气压，泄漏将导致抽取的任何有毒气体泄漏。

此外，还应考虑以下各项：

- 气体稀释 - 旨在稀释有毒工艺气体，因为它们会通过真空泵进入排气系统。您可使用此稀释方法将浓度降低到毒性限值以下。我们建议您监视稀释气体供应，从而在没有供应时发出警报。特别针对油脂密封泵，请参阅泵使用手册从而了解所需油回收包。
- 轴封（干泵） - 许多干式真空泵使用气体吹扫系统，以确保工艺气体不会进入齿轮箱和轴承，从而也不会进入真空系统周围的环境。在处理有毒物质时，必须确保该气体供应的完整性。如压力调节器 参考页码：31 中讨论的，非排放型调节器必须结合止逆检查阀使用。
- 轴封（其他泵）喷油轴杆封口设计（如 EH 机械增压泵和 EM 旋片泵）最大限度地降低了工艺气体泄漏（或空气漏入）的风险，可在出现危险之前提供视觉警告（漏油或油位降低）。其他密封设计可能无法提供足够的故障警告。
- 磁力传动 - 如果需要完全密封，请联系您的客户服务团队获取进一步建议。考虑全部可能的泄漏源。根据泵的不同，可以提供特定的密封件，例如磁力传动和双机械密封。

如果使用层间压力安全阀或爆裂盘来释放过多的压力，则确保通过适合的排气系统进行安全通风，从而防止毒害。

必须仔细考虑真空系统的排气，因为可能无法将有毒材料直接通风到大气中。在这种情况下，建议向减排公司寻求建议，以找到安全处置废气流的方法。

抽取有毒气体时，很可能内部表面或内部残留量中含有有毒物质。拆除与有毒气体接触过的泵或组件之前，建议对其进行吹扫，以去除全部危险气体。

备注：
应注意识别全部危险材料并确定合适的处理策略。

拆除泵时，应密封全部真空法兰；无法密封的部件应存放在气密容器中。当泵需要拆除以进行维护时，务必将其送回具有专门净化设施的服务机构。

当您将受污染的真空设备返回至我们进行维修或维护时，您必须遵循特定的程序（表格 HS1）并完成设备附带使用手册中规定的声明（表格 HS2）。

2.7 腐蚀性材料

许多真空应用涉及处理腐蚀性材料，需要特别程序。腐蚀性气体有可能损坏真空系统并造成危险情况。

某些腐蚀性材料如氟、氯、其它卤素或卤化物和氧化剂如臭氧或还原剂如硫化氢也可能侵蚀与之接触的材料，且无需任何液体存在。在这些情况下，腐蚀性材料部分压力应通过适当使用稀释气体而得以最小化。应选择与预期浓度特定气体兼容的真空系统结构材料和泵模型。由于高温可能会加速腐蚀，所以应在其他工艺允许的情况下尽可能采取措施将腐蚀最小化。应审查维护周期，以考虑腐蚀性材料对系统的影响。

应识别全部腐蚀性材料，并确认它们与真空系统中材料的兼容性，但必须注意以下几点：

- 腐蚀基于物理、化学或电化学反应。

产生危险的化学起因

- 最常见的金属腐蚀基于电化学反应，因此必需电解液；这通常意味着存在水。当腐蚀性材料为无水[不含水]时，不可能发生反应。
- 某些化学品（如卤素或有机酸）可能会与不存在水的抽取材料发生反应，从而产生由抽取材料中的离子和腐蚀性气体组成的反应产物。根据材料的类型，这些反应产物可能形成多个层，从而防止/最大限度减少进一步反应。一些反应产物，如 $AlCl_3$；SiF_4 具有相对较高的蒸汽压力，将与气流一起去除。在这种情况下，泵材料会随着时间的推移而去除，并对泵产生损坏。
- 强氧化材料（如 NF_3 或氟）可能会与泵内使用的有机材料发生反应，并对这些组件造成破坏。此类材料包括密封件、垫圈、油脂等。
- 如果腐蚀性材料可以保持在蒸汽相，则通常不会发生腐蚀。
- 聚合物和陶瓷材料可能发生化学或物理反应。

当使用真空泵抽取腐蚀性材料时，您应该注意以下几点：

- 湿气进入 - 您必须特别注意防止湿气进入，因为湿气会加速腐蚀。关闭程序中应涵盖惰性气体吹扫过程，以在关闭前冲洗掉系统中的腐蚀性物质。
- 稀释 - 使用适合的惰性稀释气体，可防止腐蚀性物质，从而减轻腐蚀程度。
- 温度 - 提高泵和排气管的温度可防止水蒸汽冷凝，从而限制腐蚀程度。在某些情况下高温会加剧腐蚀程度，请参照以下段落。
- 安全设备的腐蚀 - 当安全设备（如阻火器、温度传感器等）会被工艺气体流中的腐蚀性产品损坏时，必须对它们的制造材料进行选择从消除该类危害。
- 相变 - 计划外的相变会导致冷凝。要避免此类危险，必须考虑温度和压力的变化。
- 未预测到的反应 - 未预测到的化学反应会导致生成腐蚀性产品。当装置用于多个用途时，应仔细考虑交叉污染的可能性。

为避免腐蚀，可以采取以下步骤：

在气囊口或泵排气口添加吹扫气体可确保将腐蚀性气体保持在蒸汽相。

如果关闭泵，建议保持较小的吹扫气体流量（例如轴封吹扫），以吹扫泵中的腐蚀性材料，防止潮湿空气从排气管进入。此外，在泵旁边的排气管中安装止回阀可避免泵关闭时水分逆流。在安装湿式洗涤器进行气体减排时，强烈建议采用此方法。

冷表面和高压表面是最有可能发生冷凝而导致腐蚀的地方。因此，排气管中存在最高风险，尤其是如果管道位于寒冷位置（如室外），建议仔细考虑排气管的规格，以避免危险腐蚀。应仔细选择密封材料，以确保其与腐蚀性材料的兼容性。

对于处理卤素的泵，不建议使用铝或铝合金；为了避免泵材料与卤素或酸发生反应，通常会对泵室进行镀膜。不建议使用与反应性工艺气体接触的铜或黄铜。

对于使用油封泵抽取腐蚀性气体或强氧化剂，或真空腔中使用润滑脂润滑轴承的泵，建议使用 PFPE 以避免油降解。

2.8 总结 **-** 产生危险的化学起因

- 考虑系统内所有可能的化学反应。
- 为异常化学反应留出余地，包括在故障状态下出现的反应。
- 评估与工艺材料相关的可能危险时，请参考材料安全数据表。
- 使用稀释方法最大限度地减少与氧化剂和可燃材料相关的反应。

- 在指定了易燃区域的欧盟内，必须使用经认证的合适 HazLoc 真空泵。对于所有其他区域，我们建议使用已尽可能根据 HazLoc 认证的真空泵。
- 抽取氧化剂时，在泵中使用正确类型的润滑油，并考虑使用干泵。
- 如果工艺使用或会产生叠氮化钠，请勿在工艺系统的气体通道中使用重金属。
- 处理有毒、腐蚀性或不稳定的材料时，要特别小心。

3 产生危险的物理起因

过压危险的类型

真空系统中的组件过压可能是以下任何操作的结果：

- 在系统中引入高压气体
- 系统对气体进行了压缩
- 系统中易挥发气体的温度突然升高
- 相变导致固态产品沉积
- 真空系统内的反应阻塞了排气。其他可能原因。

3.1 泵排气系统压力过大

排气系统压力过大的一个常见原因是排气系统阻塞或受到限制。这会导致泵或系统中的其他组件出现故障。

真空泵都使用经过特别设计的压缩机，能够以较高的出气口至进气口压缩比进行操作。除泵操作可能会导致过压外，如果排气系统受限或被阻塞，则引入压缩气体（如吹扫或稀释气体）也会导致系统中的压力过大。

真空系统通常在恰好高于大气压到完全真空的压力范围内设计和运行。它们不是为高压而设计的，因此应小心避免可能导致危险过压的情况。需要考虑的区域如下（“排气堵塞”、“吹扫系统过压”、“设计压力”）。

当泵的排气侧装有阻火器或其他设备如过滤器或冷凝器时，必须保证排气背压不超过真空系统使用手册中列出的最高限值。应制定适合的维护计划，确保工艺沉积物不会阻塞排气系统和阻火器。

如果维护计划不切实际，则必须确保在泵与阻火器之间安装压力传感器来检测有无阻塞。类似的可能应该考虑其他排气设备，例如过滤器和冷凝器。

升华或相变会导致工艺管道被固体沉积物阻塞及出现过压危险。当泵以高气体流量运行时，排气管中形成的工艺沉积物可能会导致过压。这通常会导致真空泵因电机电流过大而停止，但在某些情况下，真空泵仍有可能产生严重的危险过压。应评估工艺沉积物在真空系统排气中积聚的可能性，如果无法避免，则应使用某种形式的压力传感来检测过压情况。应考虑防止压力传感器本身被工艺沉积物污染。

参考真空泵系统附带的使用手册，了解包括真空泵在内的所有排气组件最高和建议的连续背压。设计让这些限制得以满足的排气系统。

有关连续操作中的限制，请参阅泵使用手册。

3.1.1 防止排放气体压力过大

通常建议：仅在排气管接入自由通风的排气系统的情况下方可操作泵。但是，排气系统可能包含会导致系统受限或阻塞的组件。如果是这样，则还必须采取适当方法以防止过压。例如，此类方法包括：

部件	保护方法
排气管中的阀	对阀进行互锁以便在泵操作时始终打开。
	安装压力释放旁通阀
废气洗涤器	安装压力释放旁通阀
	安装压力监测器并将该监测器与泵互锁，以便泵在排放气体压力过高时关闭。
阻火器	排放气体压力测量。
	压差测量。

总而言之，如果排气系统中的压力接近允许的最大压力：

- 在受限或被阻塞的气体通道中使用装置降低压力。
- 减少压力来源。停止泵或关闭任何压缩气体供应。

3.1.2 排气堵塞

真空系统的排气可能以多种方式堵塞，从而导致过压。最明显的是排气管中安装的阀门。很明显，如果阀门未能打开，真空泵将产生压力，从而导致危险的过压状况。如果阀门至关重要，则其操作应与真空泵的操作小心联锁。

在某些应用中，可以对泵和/或排气管件进行温度管理，以避免堵塞。这种技术可用于具有高蒸汽压力的工艺副产品。

3.2 进气口压力过大

3.2.1 压缩气体供应和背压

由于认为将泵连接到真空系统的管道不会承受超过大气压的压力，因此，经常出现低估该管道所需的额定压力的情况。实际上，这仅适用于正常操作条件。此外，还应估计能够承受因异常或故障状态而导致的更高压力所需的压力额定值。

泵进气管中压力过大的一个常见原因是在泵未操作时引入压缩气体（如吹扫气体）。如果进气管中的组件无法承受该操作所导致的压力，则管道将会破裂，工艺气体将会从系统中泄漏出来。系统中的气体回流到无法承受回流所致压力的处理腔中时，还会导致破裂和泄漏。

通过压力调节器将压缩气体供应源连接到系统时，该调节器专用于确保在系统压力额定值范围内的压力下提供低压流量。

如果在系统中没有工艺气体流通过的情况下操作，一个常用的非排放的压力调节器会导致系统中的压力上升到调节器的气体供应压力。因此，您必须使用以下两种方法之一来防止过压：

- 降低压力，以便气体通过泵的旁路装置而流入自由通风的排气系统中
- 监测系统压力，使用正向闭合阀以预设的压力级别切断压缩气体供应。

3.2.2 吹扫系统过压

真空系统通常配有吹扫系统，以帮助可靠抽取工艺气体并防止危险化学反应。虽然这些吹扫具有非常有用的功能，但如果不仔细考虑其实施情况，它们也会产生自己的过压危险。

吹扫气体由吹扫气体罐或吹扫气体瓶供应，供应压力在 2 bar (g) 和 10 bar (g) 之间。在大多数情况下，需要使用压力调节器来降低此压力。压力调节器会将气体压力从输入供应压力降低到所需运行压力，正常情况下，工作压力范围为 0.1 bar (g) 至 1 bar (g)。

当吹扫气体进入开放式系统时，这些调节后吹扫系统运行良好，但是如果系统是封闭式系统，或者通过关闭阀门等操作形成封闭式系统，则存在过压情况的风险。

压力调节器有两种类型：一个称为“减压”调节器，另一个称为“非减压”调节器；它们的工作方式不同，可能会产生自己的危险。

减压调节器将通过将过压通风到大气来控制封闭系统中的压力，虽然这似乎是一个很好的功能，但必须记住，此过压可能是危险工艺气体的形式。

对于非减压调节器，它设计用于开放式系统，在过压情况下不会降低压力。如果将非减压调节器与封闭系统配合使用，则随着时间的推移，调节器的供气侧会有少量气体泄漏到系统中；最终会导致系统加压至供应压

力。由于大多数开放式真空系统在发生故障时都可能变成闭合式系统，因此使用此类设备存在风险，需要加以考虑。

一种解决方案是在调节器和真空系统之间使用装有止回阀的减压调节器。调节器将确保系统侧的压力被控制为所需压力，而止回阀将防止气体从系统回流到调节器。止回阀的压力差低至 25 mbar，可最大限度地减少压降。应注意，如果真空系统中存在其他压力源，则应单独考虑这些压力源，因为泄压调节器不会对此过压进行通风。

如果使用过压通风阀，务必考虑要通风的气体类型和气体通风位置。如果不考虑这种情况，则可能将危险工艺气体通风到当地大气中。

3.2.3 错误的泵操作

在确定泵能够正确操作之前，必须特别小心。

如果泵旋转方向不正确，且泵在进气口阻塞或受限时操作，泵将在进气管中产生高压。这会导致管路中的泵、管道和/或组件破裂。

务必通过螺钉将堵盖板松散固定到泵进气口，直到确定泵的旋转方向正确。

以高旋转速度操作会导致泵破裂。严禁以超过设计的最高旋转速度的速度操作泵；使用变频器控制速度时，这一点尤为重要。

3.3 温度

热循环

当设备经受热循环（例如，由于正常的真空泵抽空循环）时，必须认识到，如果紧固件和配件未正确用密封剂或机械装置锁定，这些热循环会随着时间的推移而松动。如果存在热循环风险，且紧固件松动的后果可能导致危险情况，则应定期检查这些紧固件的紧固性。

高温表面

由于工艺的性质，真空系统和真空泵通常表现出高温表面。例如，在某些工艺中，为了防止危险气体冷凝，必须对排气管进行加热。当热表面温度高于 70 °C 时，建议在热表面上粘贴一个热表面警告标签，如果温度超过 100 °C，则必须使用某种形式的防护装置保护表面以防止接触。

环境运行温度

真空系统通常设计为在最高 40 °C 的环境运行温度下运行。在高于此水平的温度下，真空泵中的弹性密封件可能会过热，导致泄漏，并可能产生危险的分解物。应注意了解与高环境运行温度相关的危险。

低环境温度还会因弹性体（如 O 形圈）脆化或工艺副产品冷凝形成危险液体而导致危险。危险分析应考虑真空设备的最低设计温度以及工艺副产品凝结的可能性。

排气管加热

如果工艺气体可能在排气管中凝结或固化，从而导致堵塞、腐蚀或爆炸，则应使用排气管加热器。使用排气管加热时，必须考虑此类系统的安全性，尤其是在温度可能失控且管道内弹性密封件过热的故障条件下。

设计温度

如果容器或管道设计为容纳压力，则必须定义容器或管道额定压力最高可达的设计温度。请勿在高于最高设计温度的情况下操作系统。

3.4 总结 - 产生危险的物理起因

- 执行安全计算时，确保考虑到系统中所有组件的安全工作压力。
- 确保泵排气系统未受到阻塞或限制。
- 如果真空系统额定气压出现额外高压风险，我们建议根据设备定点配备合理气压。如果检测出过压情况，必须连接控制系统，将系统置于安全状态。
- 评估真空系统和泵组件需要的额定压力时，请考虑异常和故障状态。
- 确保安装了正确类型的压力安全装置且针对应用进行了适当设置。
- 确保正确调节和监测压缩气体供应。如果泵关闭，则关闭气体供应。
- 可能时，确保任何经调节的吹扫气体的供应压力低于系统允许的最大静态压力。或者，确保在组件出现故障时也能够保持压力安全。

4 系统设计

4.1 系统中的额定压力

如产生危险的物理起因 参考页码： 20 中所述，真空系统管道和组件设计为可承受低于大气压的内部压力。但是，实际操作中，通常需要将系统设计为可承受超过大气压的内部压力。必要时，必须安装压力安全装置来防止故障状态下产生过压。

假定进气管件和其他进气组件即使在故障状态下也始终在真空下操作，则不让它们成为系统的最弱部分很重要。

排气系统必须始终设计为在操作过程中为泵提供可能最小的背压。但是，设计排气系统时，保持足够的额定压力很重要。该系统必须适用于泵可能产生以及例如因在系统中导入压缩气体而可能产生的压力，且适用于所用的过压保护措施。

执行危险分析时，应始终考虑：

- 外部进气口，如惰性气体接口
- 隔离和阻塞所有气源，尤其是在排气管中
- 工艺气体之间的反应。

应注意，当容器包含挥发性液体且可与系统其余部分隔离时，则从外部提供热（如火）可能会导致压力超过容器的设计压力。在此情况下，必须考虑安装适合的压力安全装置的必要性。

4.2 清除停滞体

停滞体是无气流通过的真空管件或组件中的任何体。例如，机械增压泵中的齿轮箱或仪器的压力表头。当带阀管件和氮气进气管件被隔离时，也会形成停滞体。

当考虑一般不会在处理腔体中同时存在的工艺气体混合物和反应时，必须考虑停滞体积。管件、泵和处理腔一般会线性传输气体，即气体或气体混合物依次进入。以此线性流方式移动气体时，一般不会混合，除非排放气体的速度因受限或阻塞而减慢。停滞体积不进行吹扫处理，可随系统中的压力升降用工艺气体进行填充。这样，在某一工艺阶段通过系统的气体将会保留。这些气体可能会与随后工艺阶段中的气体发生反应。在引入不兼容的气体前后吹扫和彻底抽空处理腔可防止爆炸风险。

当气体可能会爆炸时，考虑停滞体中的交叉污染时，必须特别小心。特别应考虑过滤器和分隔器以及其他组件中的危险堆积。适合情况下，可使用高密度的持续惰性吹扫气体流来降低交叉污染的概率。这可确保不会达到可能出现问题的混合物浓度。

抽出可燃物时，停滞体中可能会充满无法通过一般吹扫清除的可能爆炸的气体或蒸汽。当还存在火源时，应考虑对停滞体进行专门吹扫。

4.3 排气抽空系统

对工艺使用正确类型的排气抽空系统很重要。如前所述，抽空系统必须设计为可承受操作压力，且当生产或处理危险材料时，必须进行充分密封以容纳工艺材料及其副产品，防止向大气排放危险物。

4.4 使用阻火器保护系统（**HazLoc** 系统）

如果抽取气体和蒸气的混合物连续或长时间（即处于 Zone 0 状态）为可燃（参见避免易燃区域 参考页码： 12），且如果存在火源可能在正常运行或可预见的故障中被点燃的危险（参见火源 参考页码： 25），必须按要求

对主真空泵使用合适的阻火器（另见阻火器 参考页码： 31）。为了防止火焰沿工艺管道或进入周围大气传播，应使用真空泵测试阻火器。

由于易燃性混合物长时间存在，必须在阻火器入口安装一个经检验合格的温度变送器以检测持续燃烧。如果检测到持续燃烧，需关闭真空泵，隔离燃料源。请与我们联系，获取有关合格阻火器和温度变送器的意见。为了在罕见故障（Zone 0）下从温度上保护阻火器和真空，必须安装排气温度变送器为真空泵排气。关闭点取决于泵系统。请查阅与泵相关的 HazLoc 手册。

如果进气或排气口的温度变送器均达到其上限，说明出现了故障状态，必须采取适当行动。这依赖于应用，但可能包括：

- 停止燃料供应 - 关闭位于真空泵进气口处的阀将阻止向真空泵供应燃料
- 停止火源 - 通过关闭电机电源停止真空泵
- 惰化燃烧区域 - 快速往燃烧区域（通常位于但不总是位于真空泵的排气集合管）加入惰性气体，将火焰熄灭。必须注意的是，如果没有移除火源，很可能会发生复燃。

4.5 水泄漏到真空系统中

如果抽取的工艺气体和蒸汽在与水接触时会造成危险，则必须考虑冷却水系统的密封性。可以考虑使用其他替代冷却液，但在此之前，请联系您当地的客户中心。

4.6 排放气体吸回

当真空泵在进气口处于真空状态关闭时，将会从排气管道/系统中吸回排放气体。如果此气体含有空气/氧气，则可能与工艺气体或内部沉积物发生不良反应。建议在可能的情况下，在真空泵的排气口安装一个止回阀，以减慢排放气体的回流。此外，在真空泵停止时使用氮气吹扫可确保排出真空系统中的空气。

4.7 火源

凡真空泵是用来抽取易燃混合物时，必须考虑所有可能存在的火源。以下是可以考虑的一些地区，可以作为整体考察的一部分。根据您工艺的不同，您也许能避免某些或所有火源。如果因您的工艺条件和系统要求而无法避免火源，必须据此重新设计系统。

备注：
部分泵由第三方认证，以确认（如果使用正确）可防止内部爆炸。

- 机械接触 - 真空泵和系统内转动部件与静止部件的机械接触可能构成一个火源。所有真空泵专为在任何运行条件中保持泵内正确的运行间隙而设计、打造。为了避免这种火源，避免材料在内表面沉积或清洗真空泵很重要。轴承必须保持良好状态，经充分润滑，通过适用的吹扫气体，消除与工艺气体接触。必须遵循建议轴承维护制度以确保安全和可靠运行。
- 颗粒摄取 - 所有泵机械装置都有可能摄取由工艺产生或由系统制造流程导致的颗粒。当这些颗粒在运动表面和静止表面之间翻转时，可能会生成热。合适的进气口滤网（筛孔）或过滤器将阻止颗粒进入到真空泵，从而将粒子的大小和体积降低到安全值。必须注意给进气口滤网或过滤器制定适当的维护制度。
- 灰尘堆积 - 将任何泵机械装置放置在产生灰尘的工艺中时，内部间隙内将会堆积细粒粉尘。即使使用入口灰尘过滤器，细小灰尘颗粒仍有可能进入泵内。因热变化而导致出现微小尺寸变化后，粉尘会接触到运动表面并产生热。此外，这种热量会导致粉尘点燃，更多详细信息请参考易着火材料 参考页码： 16。

- 压缩热（自动点火） - 对于抽取的任何气体或蒸汽的自动点火温度，必须考虑任何压缩机内的压缩热。你必须确保真空泵具有至少与抽取气体相同或更高的温度等级。
- 高温表面 - 当允许可燃气体或蒸汽与高温表面接触时，如果超过自动点火温度，则可能会着火。备注：如果对泵和阻火器进行隔热处理会升高内部（及外部）表面温度继而导致自动点火，则不应这样做。
- 外部施加的热 - 有时会出现外部施加的热，例如，当真空设备的临近区域着火时。在此情况下，可能会产生超过系统最大静态压力的内部压力，并导致温度超过自动点火温度。在进行系统危险分析时，应考虑这一点。
- 高温工艺气体流 - 进气口气体温度高会导致内部（或外部）表面温度超过正在抽取的材料的自动点火温度。进气口高温气体可能导致转子/定子起火。请查询真空泵使用手册，了解最大容许内部气体温度。请咨询您当地的客户中心以获取进一步建议。
- 催化反应 - 存在某些材料会导致催化点火。应考虑真空系统的所有建造材料与抽取的气体或蒸汽发生此类反应的可能。
- 自燃反应 - 空气或氧化剂引起的易着火材料燃烧的热可能成为任何现存可燃材料被点燃的火源。参见易着火材料 参考页码： 16。
- 静电 - 一些情况下，绝缘组件上会堆积静电，然后以火花形式对地放电。进行系统设计时，应考虑静电堆积的可能性。
- 雷电 - 处于室外时，雷击会提供点火能量。进行系统设计时，应考虑出现此情况的可能性。

4.8 总结 - 系统设计

为了设计安全的真空泵系统，必须考虑以下几点。基于您的应用，可能还有其他需要考虑的地方。

- 如果抽取危险材料，则必须将系统设计为故障安全状态。
- 抽取氧化剂时，在泵中使用 PFPE（全氟聚醚）润滑油。
- 如果使用惰性气体将可燃气体的浓度降低至爆炸或燃烧限制以下或最低氧化剂浓度或氧化剂低浓度限制以下，必须确保充足的惰性气体供应。
- 此浓度也可以保持在爆炸或燃烧限制之上，但必须准备好合适的安全防范措施，以确保浓度不会降到易燃范围。
- 使用前对系统和设备进行泄漏测试以确保密封性符合要求。
- 在将气体排放到大气中或与氧化剂气体混合之前，先使用惰性气体将易着火气体稀释到安全水平。
- 在系统气路中的任何位置，绝不允许叠氮化钠与重金属发生接触。
- 绝不允许系统最大压力超过系统的任何单个部分的安全水平。
- 您必须始终查看为要抽取的物质提供的安全信息。
- 优先考虑使用干式真空泵，其次使用油封旋片或活塞泵，因为这两者的工作容积中会存在与油脂相关的危险物。
- 真空泵用来抽取潜在易燃混合物时，必须考虑所有可能存在的火源以及可能发生爆炸的潜在后果。

5 一般实践

5.1 管道中形成沉积物

在一些应用中，沉积物可能在真空系统的前级真空管线中形成，例如在半导体沉积步骤后形成硅层。这些固体沉积物在蒸汽相中形成，形成具有多种危险的层。

- 随着层的增加，它们可能会断裂并移向真空泵。在某些情况下，这些层可能会损坏真空泵，在极少数情况下，这些层可能会造成严重的机械损坏并破裂泵外壳。
- 这些层在真空下沉积，因此通常没有保护性氧化物层，可防止它们与氧气接触而燃烧。当这些材料最终暴露在大气中时，必须小心。
- 大量层的积聚会堵塞前级真空管线，导致真空性能下降。建议在工艺沉积物可能从前级真空管线壁上脱落的地方，在前级真空管线中安装一个盲管，以捕获最大的颗粒。此外，金属网筛应垂直安装在盲管或旋风分离器旁边，以防止颗粒进入泵中。

当工艺沉积物可能具有危险性质时，真空系统用户必须进行风险分析，以确定安全处理这些材料的方法。

5.2 使用变频器 - 使用密码

变频器通常用于提高真空系统的性能，但必须小心正确设置最大转速。

许多变频器能够产生高达 200 Hz 的最大输出速度，当连接到正确类型的电机时，可产生 12000 rpm 的转速。由于大多数真空泵以 3000 rpm 至 6000 rpm 的转速运行，如果变频器意外设置为更高的转速，则存在相当大的风险。

使用变频器时，建议使用密码保护参数列表中的最大转速。这有助于确保最大速度参数不会被意外调整。

5.3 进气阀位置

位于真空系统和工艺腔体之间的进气阀通常用于在执行维护时隔离真空系统。进行维护时，此阀必须处于正确位置。

如果此阀的位置对安全至关重要，建议在危险分析中对其进行审查，以确定安全操作实践。

5.4 热捕集器

使用热捕集器捕获/反应到达真空泵的工艺气体会产生自身危险。主要危险是热，这些捕集器通常在数百摄氏度的内部温度下运行。这种温度通常不会完全传递到外表面，但相邻部件（如弹性体 O 形圈等）有可能受到热损坏。指定热捕集器时应格外小心。

5.5 冷捕集器

在使用氮气冷捕集器冷凝大气压下通常为气体或蒸汽的材料时，必须考虑意外加热的后果。加热时，液态气体和蒸汽会产生大量气体/蒸汽，如果通风到封闭系统中，可能会导致危险的过压。应仔细考虑如何对系统进行通风，以避免出现危险的过压。

5.6 冷凝器

冷凝器是从工艺流中去除蒸汽的非常有效的方法，但必须考虑冷凝器堵塞的可能性。通常，冷凝器将与位于其下方的合适接收容器一起使用，液体可以排入其中；然后安装一个液位指示器，用于确定何时清空接收器。如果接收器未排空，液体可能会溢流到真空泵中，并开始堵塞排气管。

5.7 系统完整性级别

前面章节中已讨论了使用惰性气体进行稀释的保护方法。该方法的原理是，将惰性气体（通常是氮气）与工艺气体混合在一起，以将后者稀释到不会发生爆炸或反应的水平。使用气体稀释作为主要的安全系统来防止可能的爆炸时，可能需要使用高完整性警报和系统互锁，以防止系统在气体稀释系统失灵时操作。在进行风险评估（危险分析）时，应考虑气体稀释系统的完整性，并取决于稀释系统失灵时的内部分区（即风险级别）情况。对此风险评估，应始终应用当前的最佳做法来确定所需的系统完整性级别。

例如，如果使用稀释系统来保持易燃区域外可燃气体的浓度，稀释失败的结果是泵出的气体将继续或长时间（例如 ATEX Zone 0 要求会考虑 50% 以上）位于易燃区域内，然后稀释系统必须满足以下条件之一：

- 必须在即使出现罕见的故障时也具备故障保护功能。
- 必须在出现两个故障时保持安全。
- 必须包含两个独立的稀释气体供应系统。
- 或者，如果稀释系统出现故障将导致抽取的气体偶然进入易燃区域（例如 ATEX Zone 1 状态）内，则稀释系统必须满足以下条件之一：
    - 必须在出现预期故障时具备故障保护功能
    - 必须在出现一个故障时保持安全。

如果稀释系统出现故障将导致抽取的气体不可能进入易燃区域，或可能只会短暂（例如 ATEX Zone 2 状态）地进入该区域，则稀释系统必须在正常操作时保持安全。

6 正确选择设备

为确保为应用选择正确的设备，必须考虑系统操作时需要遵守的限值。我们设备的技术数据在我们的产品目录、营销出版物和设备的使用手册中均有提供。在大多数情况下，可根据要求提供更多信息；请与我们联系以了解详情。

设计真空系统时，请考虑相关机械泵参数，例如：

- 最大静态压力（进气和排气系统）
- 运行时最大进气口压力
- 运行时最大排放气体压力
- 进气和排气组件的传导性
- 真空泵装配其它组件的压力规格
- 为防止排气管道堵塞而进行压力监控
- 对于油封旋片和活塞泵，还必须考虑如：
    - 气囊流速
    - 油箱吹扫流速
    - 油箱中收集的气体和蒸汽
    - 油箱的油中吸收的气体和蒸汽。

最大静态压力是指泵未在运行时泵的进气或出气连接可承受的最大压力。该压力取决于泵的机械设计。

油封旋片和活塞泵设计为在与大气压相同或更低的进气口压力下运行，即使最大静态压力额定值可能高于大气压，泵在运行时的最大进气口压力也绝不能超过大气压。一些制造商将泵的连续进气口压力限制为低于大气压的压力。泵运行时的最大进气口压力指的是最大运行压力。

限制最大运行压力的原因不一定与泵的机械完整性相关。在高进气口压力下，该最大压力通常与泵的额定功率成比例，并与泵或电动机的机械组件可能过热的危险相关。

因类似原因，我们建议将真空泵的出口压力保持在尽可能低的水平（通常为 0.15 bar 压力表压力或更低，连续运行时为 1.15×10^5 Pa）。泵设计为运行时的排气不受限制，0.15 bar 压力表压力 (1.15×10^5 Pa) 的出口压力通常足够高，能够驱动排放气体通过排气抽空系统和处理设备。

6.1 油封旋片和活塞泵

我们的油封旋转泵包括 E1M、E2M,、ES 和 RV 系列旋片泵与 Stokes Microvac 系列油封活塞泵。一般情况下，所有真空泵都设计为在低于大气压的进气口压力下运行，且泵排气系统可与大气自由相通。

油封旋片和活塞泵是容积式压缩机，如果出口阻塞或受限，将会产生非常高的排放气体压力。在这些情况下，压力可能会超过泵油箱的安全静态压力，且在许多情况下，会超过系统中的下游组件（如聚丙烯洗涤器或真空 O 形圈接头）的安全静态压力。因此，我们强烈建议您为真空泵排气管道安装高完整性排气压力传感器。

为实现达到安全水平的稀释，可通过连接到泵上油箱的油箱吹扫装置（可用时）增大气囊。随着气镇增大及油箱吹扫流速的增加，运送到排气系统的油量将会增多。

我们所有油封泵的油箱体积中都有相当大的一部分被可燃和爆炸性气体混合物所占用。油箱中的油可有效吸收或浓缩蒸汽和气态副产品。油中吸收的蒸汽和气体可能易于着火或有毒。因此，您必须设立特殊处理程序以确保维护过程中的安全。

6.2 干泵

该最大运行压力受相同因素限制进而影响油封泵（也就是说，泵或电动机的机械组件可能存在过热的危险）。

我们的干泵是容积式压缩机，可能产生非常高的排放气体压力。当把这些泵装入一个系统时，在此过程中可能产生固体副产物，（因此可能造成排气管道堵塞），我们强烈建议安装一个高完整性排气压力监控器。有关设置开关的参照运行压力，请查询泵使用手册。

我们的干泵具备高处理能力气镇能力。对稀释气体（如氮气）的加入可在泵机构制成，以优化反应抑制。有关气体吹扫流速，请参阅泵的使用手册。

6.3 管道设计

6.3.1 波纹管

波纹管是深回旋的短且具有薄壁的组件。它们用于减轻从泵传递到真空系统的振动。

始终直线安装波纹管，并牢靠固定两端。正确安装后，波纹管可承受较小的内部正压力（请参考波纹管附带的使用手册以了解详细信息）。请勿在干式泵排气系统上使用波纹管；请使用编织挠性管（参见挠性管 参考页码： 30）。

在频繁循环应用上使用时，请考虑波纹管出现疲劳断裂的可能性。

6.3.2 挠性管

与波纹管相比，挠性管具有更厚的壁和更浅的回旋。挠性管提供了一种方便的连接真空系统组件的方法，可帮助补偿刚性真空管道中的错位或微小移动。挠性管可形成角度相对锐利的弯，并可保持形状。

挠性管适用于安装在静态系统中。它们不适合反复弯曲，这将会导致疲劳断裂。

使用挠性管时，请使用可能最短的长度并避免不必要的弯曲。对于可能出现高排放气体压力的应用，应使用辫状挠性管。

编织挠性管是外部带有使用不锈钢编织的保护层的波纹管。安装编织挠性管时，必须遵守该编织挠性管附带的使用手册中提供的最小折弯半径。

6.3.3 固定点

必须正确固定管道和管道组件。例如，如果未正确固定波纹管，它们将无法减轻泵产生的振动，从而导致管道疲劳。

6.3.4 密封件

当真空系统的任何部分存在出现正压力的可能性（即使在故障状态下）时，则必须使用合适类型的密封件和材料，该密封件能够承受预期的真空压力和正压力。

6.4 过压保护物理装置

如前面讨论过的，系统或其组件之一受限或阻塞将会导致过压。来自泵或外部压缩气体供应源（如稀释系统的供应源）的压缩气流可能会导致过压。系统过压保护主要有两种方法：即泄压和过压报警/跳闸，请参见以下各段。

6.4.1 压力安全

可使用爆裂盘或层间压力安全阀来解决过压状态问题。装置的运行压力必须低于为系统设计的压力额定值。必须使用适合的管道将这些装置连接到特定区域，在该区域内，可以安全地排放工艺气体，且不存在排放限制。如果工艺会产生固体副产品，则必须定期检测压力安全装置以确保它们未阻塞或未受限。设计此类保护装置时，应考虑压力脉动对爆裂盘的疲劳寿命或阀的使用寿命的影响。

6.4.2 过压警报/跳闸

此保护方法在我们产品中经常使用。建议：对所有系统均使用此类保护，但可能不适用于会产生固定副产品的系统。

6.4.3 压力调节器

主要有两种类型的压力调节器：排放型和非排放型。排放型调节器可将气体排放到大气或单独的排放管道中，以便在无流量状态下保持恒定的出口压力。当管道完整性至关重要时，一般使用排放型调节器。

非排放型调节器只能在具有流量的状态下保持恒定的出口压力。在无流量状态下，一些调节器的出口压力会上升到供应压力的水平。上升速率取决于调节器的特性及其出口所连接到的容器体积。上升时间短至几分钟，长至几个月。

压力调节器未设计为用作截止阀，必须在需要隔离时与适合的隔离装置（如螺线管阀）组合使用。

或者，必须采取措施以安全排放过多压力。

6.4.4 阻火器

阻火器不是防爆装置。它们专用于防止火焰锋面沿管件或管道蔓延（请参阅使用阻火器保护系统（*HazLoc* 系统） 参考页码： 24）。阻火器可为火焰锋面提供大的表面面积和小的传导间隙，从而导致火焰熄灭。阻火器一般仅适于在用于清洁气体或蒸汽的系统中使用。

气体混合物的爆炸能量随压力增加而升高。大多数阻火器专用于保护内部压力未超过大气压的区域。必须确保阻火器前面的排气抽空系统中的运行压力不超过最大运行压力。然而，对于已认证配合化学干式真空泵使用的阻火器，请参阅产品使用手册，了解最大允许压力。同时必须考虑真空泵最大允许背压。

阻火器通过去除火焰锋面的燃烧热来发挥作用，因此具有最高安全操作温度。伴热、保温层或其中通过的气流绝不能超过此温度。

阻火器阻止火焰的能力取决于火焰锋面的速度，后者又取决于与火源的距离。当配合化学真空泵使用时，这些阻火器应该与进气口和排气口耦合。在泵和阻火器之间使用弯管和三通管件是在一定条件下对某些泵适用。请咨询我们的建议。

6.5 吹扫系统

在设备上安装惰性气体吹扫系统可在工艺循环结束后清除系统中剩余的工艺气体。

正确利用吹扫系统可确保清除腐蚀性产品，防止它们损坏泵，更重要的是，防止损坏诸如阻火器等保护系统。此外，清除工艺气体还可确保不同工艺循环中使用的材料之间不会出现不需要且可能危险的化学反应。

6.6 总结 - 正确选择设备

- 为应用选择正确类型的设备

正确选择设备

- 安装所有必要的适用安全装置以在出现故障时确保安全
- 清除停滞体
- 确保对系统进行适当控制和调节
- 适合时，安装压力安全装置
- 适合时，使用阻火器
- 使用前对系统和设备进行泄漏测试。

7 操作程序和培训

设备的操作安全性，需要适当的培训、清楚准确的使用说明和定期维护。对使用真空设备的所有人员进行相应培训、资格认证并在必要时进行监督，这一点很重要。

如果对于与我们设备相关的操作或安全的任何详细信息感到不确定，请与我们联系以获得建议。

真空系统的安全性受到设计的显著影响；然而，经验表明，正确操作系统同样重要，尤其考虑误用或故障的可能性时。

此处无法提供与任何特定真空系统操作相关的完整危险列表；这应由最终用户通过使用适当的风险分析来确定。

制定详细的操作程序尤其重要，该程序不仅涵盖正常操作，而且还涵盖在维护步骤或故障情况下应采取的措施。这些计划事件通常会导致意外危险和潜在损坏或伤害。

以下是一些示例，以便了解可能发生的意外危险的类型：

- 真空系统内产生纯金属粉末的过程采用氮气吹扫操作，以确保真空系统内的空气不含氧气。在工艺故障期间，必须打开真空室以拆除一些损坏的组件，此过程只需几分钟时间，在此期间，真空泵通过进气口隔离阀与真空室隔离。完成维护步骤后，密封腔体，然后使用工艺泵抽空。遗憾的是，腔体现在包含大气，因此进入真空泵的冲击导致反应性金属粉末点燃。
- 在炉体应用中，工艺材料通过位于排气管中的过滤器提取，需要定期清洁。由于生产压力，未能完成清洁步骤，随着时间的推移，过滤器堵塞，导致真空泵因排气压力过高而跳闸。除非工艺操作员随后通过按住绿色启动按钮并绕过电机的热保护来尝试使泵再次运行，否则这通常是安全的情况。其后果是真空泵产生了过大的背压，导致过滤器爆炸。
- 在一家化工厂中，真空泵配有排气冷凝器，用于在腐蚀性产品进入排气管之前将其捕获。部分操作程序是在高液位开关指示油箱已满时排空接收器。废气被连接到一个普通的排气管中，该排气管通常处于大气压力左右，但由于故障，该排气管处于更高压力下。当操作员打开接收器进行排放时，腐蚀性液体在压力下被迫排出，并溅到操作员身上，造成严重后果。

8 改装真空系统

真空系统通常设计用于特定用途，通常考虑特定应用进行危险分析。

如果将真空系统用于其他用途，或以任何方式改变所抽取的工艺气体，则原始危险分析将不再有效，并且存在发生意外危险的风险。

每当对真空系统进行修改或以任何方式改变工艺气体时，都必须进行新的危险分析。

9 摘要

- 执行风险评估，以确定并尽可能消除（如果不能消除则减轻）所有危险。真空系统的设计、施工、调试、运行、维护和退役都需要进行该评估。
- 考虑系统内所有可能的化学反应。为异常化学反应留出余地，包括在故障状态下出现的反应。
- 评估与工艺材料相关的可能危险（如自动点火）时，请参考材料数据表/材料安全数据表。
- 使用稀释方法最大限度地减少与氧化剂和可燃材料相关的反应。
- 抽取氧化剂和易着火材料时，请在泵中使用正确类型的润滑油。
- 如果所用工艺制造或使用叠氮化钠，请勿在泵系统的气体通道中使用重金属。
- 执行安全计算时，确保考虑到系统中所有组件的安全工作压力。确保还考虑到异常和故障状态。
- 确保安装了正确类型的压力安全装置且其额定值适用于应用。
- 确保不会发生排气堵塞。
- 确保相应调节和监测稀释气体。
- 如果抽取危险材料，则必须将系统设计为故障安全状态。
- 抽取氧化剂时，请使用 PFPE（全氟聚醚）润滑油。
- 使用惰性气体将易燃、自燃的气体稀释至安全水平，或确保在所有工艺环境（包括故障）中考虑合适的安全系数，将水平保持在可燃/爆炸限制以上。
- 绝不能让系统最大压力超过系统中任何单个部件的最大压力额定值。
- 优先考虑使用干式真空泵，其次使用油封泵，因为其工作容积中会存在与油脂相关的危险物。
- 清除停滞体。
- 确保对系统进行适当控制和调节。
- 适合时，使用阻火器。
- 使用前对系统和设备进行泄漏测试。

正常操作限值 - 请勿超过正常操作限值

真空系统可能由许多部件组成。在所有情况下，这些组件均须在其设计工作限值范围内选择和操作。否则可能导致意外故障。

Leybold

Pioneering products. Passionately applied.

Leybold GmbH
Bonner Strasse 498
50968 Cologne
GERMANY
+49-(0)221-347-0
info@leybold.com
www.leybold.com