真空安全手冊

安全手冊

操作說明安 **300314311_026_C1**

原始說明翻譯版本

版權公告

©Copyright 2026. 版權所有。

發佈：9/9/2026

目錄

1 簡介 **6**

1.1 本出版物範圍 6

1.2 危害分析 6

1.3 發生危害時 7

1.3.1 設計 7

1.3.2 結構 7

1.3.3 作業/試運轉 8

1.3.4 維護/除役 8

2 化學危害源 **9**

2.1 危險的製程氣體 9

2.2 化學反應 9

2.2.1 均質反應 9

2.2.2 非均質反應 9

2.2.3 交叉汙染 9

2.3 可燃/爆炸性材料 10

2.3.1 爆炸危險 11

2.3.2 潛在爆炸性氣體或蒸汽混合物的來源 12

2.3.3 避免可燃區 12

2.3.4 防漏密封度（大氣漏氣） 15

2.4 氧化劑 15

2.5 易燃材料 16

2.6 有毒物質 17

2.7 腐蝕性物質 18

2.8 摘要－化學危害源 19

3 物理危害源 **20**

3.1 泵浦排氣過壓 20

3.1.1 排氣過壓防護 20

3.1.2 排氣阻塞 21

3.2 進氣過壓 21

3.2.1 壓縮氣體供應與背壓 21

3.2.2 沖洗系統過壓 21

3.2.3 錯誤的泵浦作業方式 22

3.3 温度 22

3.4 摘要－物理危害源 23

目錄

4 系統設計 **24**

4.1 系統中的額定壓力 24

4.2 消除停滯空間 24

4.3 排氣吸氣系統 24

4.4 使用阻火器防護系統（HazLoc 系統） 24

4.5 水洩漏進入真空系統中 25

4.6 排氣吸回 25

4.7 引火源 25

4.8 摘要－系統設計 26

5 一般實務 **27**

5.1 管道中形成沉積物 27

5.2 使用變頻器 - 使用密碼 27

5.3 入口閥位置 27

5.4 熱阱 27

5.5 冷阱 27

5.6 冷凝器 27

5.7 系統完整度 28

6 選擇正確的設備 **29**

6.1 油封旋轉葉輪及活塞泵 29

6.2 乾式泵浦 30

6.3 管線設計 30

6.3.1 伸縮管 30

6.3.2 軟管 30

6.3.3 固定點 30

6.3.4 密封 30

6.4 物理過壓保護 30

6.4.1 釋壓 31

6.4.2 過壓警報/跳脫 31

6.4.3 壓力調節器 31

6.4.4 隔焰屏 31

6.5 清掃系統 31

6.6 摘要－選擇正確的設備 32

7 操作程序與訓練 **33**

目錄

8 修改真空系統 **34**

9 摘要 **35**

1 簡介

1.1 本出版物範圍



警告：

若未遵循本手冊與相關泵浦說明手冊中所提供的安全說明，可能會造成重傷或死亡。

本文件記錄了我們在真空泵浦和真空系統的規格、設計、作業和維護方面的經驗，以利於泵浦和泵浦系統的使用者。本文件除了將指出可能發生的潛在危險外，亦將提供指南，協助您將發生安全危害的機率降至最低，並確保在發生危害時能進行適當的處理。這特別重要，因為危險製程化學品使用越來越多，導致發生危險狀況的可能性越來越大。

本文件中所包含的資訊不能被視為一份詳盡的清單，而旨在傳達可預見的危險。任何真空設備使用者都必須自行進行危害/風險分析，以證明符合法規要求。

本文件的結構考慮了以下領域的安全：

- 製程材料
- 压力
- 系統設計
- 設備選擇
- 系統作業與訓練

所有這些領域都需要仔細考慮，以將風險降至最低。

本文件可供真空泵浦及真空系統的規範編製人員、設計人員、安裝人員、操作員，或維修人員閱讀， 我們建議在閱讀時一併參考以下文件：

- 隨設備提供的說明手冊
- 製程氣體及化學品供應商提供的資訊
- 貴公司安全部門提供的資訊。
- 泵浦手冊
- 系統手冊
- HAZOP 分析
- 物質安全資料表
- 一般標準、機械指令等

我們對於本文描述之資訊或程序（或其應用）的準確度、實務做法、安全性與結果概不負責，亦不作出任何擔保。若因仰賴本簡報所含之資訊或因提供之資訊不正確或不完整而產生任何損失或損害，我們概不負責。請注意，本文所含資訊僅供參考，且我們雖可提供危險物質潛在使用危害之相關指引，但終端使用者需負責進行其作業與環境的風險評估/危害分析以及遵守政府規範。

若需要與產品在製程應用中之適合性，或真空泵浦或真空系統安全性有關的任何詳細資訊，請聯絡我們或供應商。

1.2 危害分析

危害分析技術可提供一個結構化的方法，辨識及分析正常使用及故障和失效情況下可能會發生的系統危害。這些技術會提供一項危害管理方式；在許多情況下，法律皆規定必須使用這些技術。為確保完全有效，危害分析必須從系統的初始設計階段開始，延續至系統的安裝、作業、維護及除役階段。

本文件將不詳細討論危害分析技術， 因為大部分的危害分析技術，在其他文件中皆有完整的說明。化學加工業常用的技術為 HAZOP （危害與可操作性分析）。這是一種與辨別潛在危害和操作問題有關的危害分析程序。

危害分析通常能產生與危害類型、危害嚴重度及危害發生機率有關的資訊。這些資訊能夠用來決定將危害的影響降低至可接受程度的最佳方式。危害可視來源的不同，而設法去除危害、減輕危害的嚴重度及/或降低發生的機率。但是，危害通常很難完全去除。

在決定最好的危害管理方法時，必須考量危害可能造成的所有影響。例如，一小塊高溫表面可能會對操作員造成燙傷的輕度危害。為了降低燙傷的發生機率，系統設計者可提供一個高溫表面的視覺警告功能，或在該表面周圍設置防護罩， 但是，系統的危害分析也可能會指出同一塊高溫表面，可能為可燃蒸汽提供一個引火源， 而導致爆炸或釋放有毒蒸汽雲。為了降低引火機率，系統設計者必須降低高溫表面的溫度，或確保可燃蒸汽不會接觸到高溫表面。

1.3 發生危害時

危害會發生在系統生命週期的所有階段， 這些階段包括：

- 設計
- 結構
- 作業/試運轉
- 維護/除役。

以下將概略說明發生於各階段的問題類型。您必須瞭解的是，不論在哪一個階段，只有通盤瞭解設備與系統中的製程/應用，才能將系統危害降至最低。若有任何疑問，務必洽詢供應商，要求提供更多資訊或建議。

1.3.1 設計

設計系統時，必須選擇適合製程應用的設備類型。您必須考量：

- 設備的技術規格
- 設備構材
- 設備耗材 （如潤滑油及其他操作液體）
- 製程條件及材料。

您必須通盤考量設備在應用中的適合性，並確保會在規定的操作條件下使用設備。

您必須製定設計程序書，以確保將設計上的錯誤減至最少。程序書內容應包括獨立檢查設計計算書，以及諮商設計參數。

危害分析必須是屬於設計審查的一部分。若能審慎考量設備對系統的適合性，將能免除許多潛在危害。

1.3.2 結構

利用技術人員與合格人員以及品保程序，降低施工期間發生危害的機率。技術人員除了能辨識裝配所需的正確組件外，還能辨識故障或製造不良的組件及設備。而品保程序則有助於辨別和矯正不良製品，以確保能嚴格遵守設計規範。

安裝人員將新設備安裝至曾抽吸、產生，或目前仍殘留毒性物質或腐蝕、可燃、窒息性、自燃或其他有害物質的系統時，必須特別注意並遵守所有的安全注意事項。

技術/合格人員必須依地方及國家的所有相關電氣法規，安裝電氣設備。

1.3.3 作業/試運轉

設備及組件可能會因為老化、不當使用或疏於維護，而在作業期間故障，進而引起危害。請透過設備的適當使用（及維護）訓練，降低發生此類危害的機率。請在必要時，參照我們及其他供應商透過說明手冊、訓練及售後服務提供的資訊。

1.3.4 維護/除役



警告：

應進行完整的危害分析，包括所有維護程序。請勿在未考慮可能的風險和必要的保護設備的情況下進行任何維護。

在維護曾經抽吸或產生毒性、腐蝕、可燃、自燃、窒息性或任何其他危險物質的系統時，必須特別小心並遵守所有的安全注意事項，以避免人員接觸到危險物質。

所有真空系統都需要在某個時間點進行維護，維護的品質會對系統的安全性產生重大影響。危害分析應考慮維護程序的細節，以確保這些不會導致危險狀況。以下是一些需要考慮的因素：

- 真空系統內部可能會受到可能危害健康的製程材料污染。
- PFPE 油等特定材料可能已經選擇用於製程氣體。如果在維護期間變更這些材料，則可能產生新的危險情況。
- 意外停機的泵浦可能含有危險的製程氣體，在這種情況下，拆卸泵浦時可能需要採取特殊程序來保護人員。
- 在移除組件之前，可能無法觀察到真空系統內的過壓情況，它是在壓力下強制排出的。
- 在真空系統上開始任何維護程序之前，必須隔離電氣設備。
- 請考慮清潔溶劑對真空系統的影響，特別是如果溶劑具有腐蝕性或可燃。

應遵守即定的維護計畫，並應妥善安全處理可能受到危險物質汙染之組件。您必須遵守所有設備之說明手冊所提供的維護建議，以確保運作安全可靠。HazLoc 系統通常具有額外的要求。

2 化學危害源

2.1 危險的製程氣體

危險氣體和蒸汽可定義為以下一種或多種材料：

- 易燃
- 腐蝕性
- 自燃
- 放射性
- 毒性
- 爆炸
- 氧化劑

由於其危險性質，必須考慮其特性以及其對真空系統安全造成影響的方式。指定真空系統時，通常會與您的真空供應商討論這些類型的製程氣體；然而，以下幾點概述了一些危險。

備註：
真空系統內非危險製程氣體的反應有時會產生可能被視為危險的副產物。

2.2 化學反應

務必審慎考量在正常使用、誤用及失效條件下，真空系統的任何部位可能發生的所有化學反應。必須特別注意可能導致爆炸之氣體和蒸汽的反應。根據經驗顯示，爆炸可能與系統設計者原先未想到的材料，或未考慮到的設備失效模式有關。

2.2.1 均質反應

均質反應會發生在氣相狀態下的兩種或多種氣體分子之間， 氣體通常是以此形式產生燃燒反應。例如，我們所知的矽烷 (SiH_4) 與氧氣 (O_2) 間的反應，皆為均質反應。因此，若在製程中發生這類反應，必須謹慎地控制製程壓力和反應物的濃度，以避免發生反應速率過高的情形。

2.2.2 非均質反應

非均質反應必須在固體表面上進行，即有些氣體分子只有在吸附於表面時才會產生反應，在低壓氣相狀態下不會產生反應。對某些製程而言，這是一種理想的反應，原因是它會將製程室內部反應的影響降至最低、減少微粒物質的數量，以及降低汙染機率。

大多數非均質反應都會在較高的壓力（通常遠低於大氣壓力）下，轉化成均質反應， 這表示氣體在製程室內的反應方式，不一定與氣體在真空泵浦壓縮下的反應方式有關聯。

2.2.3 交叉汙染

真空系統通常會切換到使用不同製程氣體的應用，這可能是因為設備在不同應用上重複使用，甚至是因為特定應用上的不同製程步驟所致。

在所有這些情況下，必須考慮來自一個製程的製程氣體/蒸汽/材料與來自另一個製程的製程氣體/蒸汽/材料之間交叉汙染的可能性，在某些情況下，兩種材料之間可能會發生危險反應，而這些材料在個別泵送時通常不會造成危險。

在可能發生危險反應的情況下，正常做法是在製程步驟之間使用惰性氣體沖洗 ~15 分鐘，這通常會在泵送第二種材料之前移除第一種材料；然而，應注意的是，在某些真空系統中，可能存在無法透過沖洗步驟有效去除的

製程氣體截留。可能發生危險反應時，應仔細考慮真空系統的設計和任何截留量的識別。

製程前/後沖洗

為了避免不必要的化學反應，常見做法是在引入製程氣體前後使用惰性沖洗氣體沖洗真空泵浦 15 分鐘。製程前沖洗會去除所有痕量的大氣氧氣和水，而製程後沖洗會去除殘留的製程氣體。

異常反應問題

化學品接觸系統設計者事先未想到的氣體或材料時，可能會發生異常的反應， 例如，因為出現漏洞導致大氣中的氣體滲入系統，或毒性、可燃、爆炸性或其他有害氣體滲入大氣而發生異常反應。

為避免發生異常反應，應使系統維持於 1 x 10^{-3} mbar l/s (1 x 10^{-1} Pa l/s) 或更低的防漏密封度。而高真空應用通常維持於 1 x 10^{-5} mbar l/s (1 x 10^{-3} Pa l/s) 或更低的防漏密封度。此外，亦必須確保系統內的所有閥件在閥座內皆具有防漏功能。

在製程循環中通常不會彼此接觸的氣體，可能會在泵浦系統及排氣管內混合。

當真空泵浦在入口處於真空狀態時關閉，排氣管/系統會吸回排氣。如果此氣體含有空氣/氧氣，則可能會與製程氣體或內部沉積物產生不良的化學反應。建議在可能的情況下，真空泵浦的排氣口應裝有單向止回閥，以減慢排氣的逆流。此外，在真空泵浦上使用氮氣沖洗，可確保排除真空系統中的空氣。

完成例行維護程序後，製程室內可能會殘留水蒸汽或清潔液。在清洗與清潔製程室後，可能會發生上述情形， 水蒸氣也可能會經由排氣管及廢氣洗滌塔進入系統。

使用溶劑沖洗真空系統的製程沈澱物時，應確保所選擇的溶劑能與真空系統內的所有製程材料相容。

相變

真空系統旨在將泵送氣體和蒸汽的壓力從真空升高到大氣壓力，藉此使材料可能發生相變，轉變為液態甚至固態。經歷相變的材料可能會造成危害，例如管道堵塞、腐蝕，甚至是可燃性材料。正常情況下，壓力接近乾式泵浦內的大氣壓力時，會發生相變；然而，在極冷的環境條件下，材料可能會在真空泵浦的前級中發生相變。

如果這可能會造成危險狀況，建議使用微量加熱或乾燥惰性沖洗氣體。

如果前級中形成固體顆粒，則有可能在壁上形成層，一段時間後這些顆粒可能會掉落並移入泵浦 - 請參閱章節管道中形成沉積物 第 頁之 27。

如果希望回收凝結的材料，建議在真空系統中安裝冷凝器和接收器，以便安全收集這些材料。

2.3 可燃/爆炸性材料

許多氣體與粉塵在氧化劑中達特定濃度時，只要遇到引火源便會燃燒及/或爆炸，例如氫氣 (H_2)、乙炔 (C_2H_2)、丙烷 (C_3H_8) 以及細碎的矽塵。例如，局部熱堆積很容易就會形成引火源。請參閱引火源 第 頁之 25 中的詳細討論。

可燃氣體/蒸汽是指與一定量的空氣或氧化劑混合時可能會形成爆炸性混合物的氣體/蒸汽，但並非所有濃度都是危險的。

確保可燃區內無任何潛在可燃性混合物，即可避免發生爆炸危害。更多詳情，請參閱 避免可燃區 第 頁之 12。

去除引火源是另一個也許可以降低爆炸機率的方法， 請參閱引火源 第 頁之 25 中的詳細說明。

危險濃度落在可燃範圍內，通常稱為「潛在爆炸性環境」，因為它們可能點燃而產生爆炸。可燃範圍是指燃料/空氣濃度介於可燃上限與可燃下限之間的範圍。在此範圍內的混合物若接觸引火源，將會燃燒或爆炸。

如果無法避開可燃區，則必須確保將設備設計為能避免或遏制任何可能的爆炸，而且不會發生爆裂或使火焰漫延至外部大氣。有關隔焰屏的使用事宜，請參閱使用阻火器防護系統（*HazLoc* 系統） 第 頁之 24。若真空系統的外部大氣具有危險性，必須確保所有設備在這方面都具有適當的額定值。

HazLoc 清楚指引了應如何設計擬用於潛在爆炸性環境的設備。

如果在各種條件下皆可避免泵送潛在的爆炸性氣體，即可使用各類型的我們的真空泵浦泵送可燃蒸氣或氣體。

爆炸來源通常包括以下幾項：

- 氧化劑
- 可燃/爆炸性材料
- 易燃材料
- 疊氮化鈉。

備註：

歐盟（以及某些其他）國家/地區的製程材料供應商，必須依法出版與其銷售之材料有關的物理及化學資料（通常以物質安全資料表的形式發行）。若可行，物質資料表應包含爆炸上限及下限、物質的物理及熱力學屬性，以及物質的使用與健康危害等資訊。請參照此資訊並以此作為指導。

2.3.1 爆炸危險

備註：

可用泵浦符合有關潛在爆炸性環境所用設備的歐洲 *ATEX* 指令。

若實際做法偏離安全準則，必將發生爆炸。但是，有些爆炸事件非常猛烈，甚至造成重傷或死亡。

真空系統組件發生劇烈爆炸通常是因為可燃性材料著火或泵浦排氣管堵塞或受到阻礙， 為了避免發生危害，請仔細閱讀以下安全操作真空泵浦及真空系統的注意事項。

- 除非您的系統能泵送濃度高到可能在真空泵浦中引燃的材質，否則您必須確保可燃物質與氧化劑的混合物持續處於可燃範圍之外。使用惰性氣體沖洗是實現此目的的方法之一。請參閱避免可燃區 第 頁之 12。
- 確保在作業期間不會因為機械組件（如閥件或盲板）、製程材料，或沈澱在管內的副產品、濾材及其他排氣組件而發生排氣阻塞（除非您的系統已設計能處理該情況）。
- 僅可使用 PFPE（全氟聚醚）油，潤滑暴露於高濃度氧氣或其他氧化劑中的泵浦機構部分， 其他標示為「不可燃」的市售潤滑油，只適合用於濃度不超過 30 % v/v 的氧化劑。
- 確保原本即已關閉且隔離的真空系統， 不會因為壓力調節器或沖洗控制系統失效，而意外發生壓力過高的情形。
- 若抽吸的產品會和水產生劇烈反應，建議在冷卻回路中使用水以外的冷卻物質 （例如，熱傳遞液）。請向我們洽詢建議。

爆炸性材料在沒有空氣或氧化劑的情況下可能發生反應，對泵送特別危險。

爆炸性聚矽固體會在真空系統中產生，並會聚集在水平表面上。通常會透過定期使用強氧化劑（如 NF_3 或 SF_6）進行蝕刻步驟，將材料形成量降至最低，這可確保真空室中存在的材料較少，並降低危險事件的可能性。應特別注意真空系統的設計，以避免聚矽沉積物可能形成但無法有效被蝕刻氣體沖洗的殘留量。此類設計的常見範例為水平波紋管，其中沉積物可在捲曲內形成，但蝕刻氣體只能蝕刻小暴露表面。

此處的解決方案是避免使用波紋管或以垂直方向安裝波紋管。

2.3.2 潛在爆炸性氣體或蒸汽混合物的來源

可燃氣體或蒸汽與正確濃度的氧氣或其他適當的氧化劑混合時，會形成潛在爆炸混合物，並會在存有引火源的環境中點燃。

一般而言，雖然被泵送物質是否具有潛在爆炸性往往顯而易見，但根據我們的經驗，在某些情況下，卻會因為該製程系統在設計時未納入考量的因素，而產生潛在的爆炸性混合物。您必須找出設備可能產生潛在爆炸性混合物的所有製程條件，以及這些混合物的所有可能來源， 以下是根據我們的經驗提出的範例，但此清單並未窮盡所有情況：

- 交叉汙染 – 使用於多種任務的真空泵浦，在個別物質的應用中可能安全無虞，但若泵浦未經清掃即應用另一種物質，就可能會發生交叉汙染並會產生意外反應。
- 清洗液 – 使用清洗液可能不會造成安全問題，但如果是使用可燃清洗液，並隨後透過真空泵浦抽氣來進行乾燥，便可能會產生潛在爆炸性混合物。
- 非預期材料 – 在利用真空泵浦來建構分散式真空系統的「中央真空」任務時，可能會泵送在設計系統時未考慮到的可燃性材料。而這些材料的自動點火溫度可能低於真空泵浦的內部溫度或額定溫度。
- 溶解的蒸汽 – 這種蒸汽可能會在製程作業期間生成，必須謹慎為製程選擇正確的內部溫度。一般在化學製程的市場中，HazLoc 規定已對此做出規範。
- 漏氣 – 空氣或氧化劑意外滲入系統，可能會改變可燃氣體或蒸汽的濃度，並產生潛在爆炸性混合物。
- 可燃性密封液 – 若以可燃液體作為液環真空泵浦中的密封液，空氣滲入時將會產生可能具有爆炸性的內部混合物。
- 凝結的製程材料 – 若可燃物質可能會在您的系統內凝結，請注意，這些物質可能會和來自其他製程步驟的氧化劑或是（例如排氣系統中的）空氣發生反應。可藉由適當控制溫度或分壓來避免這個情形。

2.3.3 避免可燃區

可燃物質只有在與空氣、氧氣或其他氧化劑結合，且濃度介於可燃下限（LFL，又稱為爆炸下限－LEL）以及可燃上限（UFL，又稱為爆炸上限－UEL）之間，才會產生潛在爆炸性環境。請注意，大部分的文獻資料都是提到空氣（即以氧氣為氧化劑）中的可燃限值， 因此以下所提供的進一步資訊都是以此假設做為基礎。

形成爆炸性的另一條件是，氧氣濃度必須超過最小氧氣濃度（MOC，又稱為最低氧氣濃度－LOC）， 大多數可燃氣體的 MOC (LOC) 皆為 5 % vol. 或以上。

備註：
這不適用於需要特殊預防措施的易燃材料。

在操作時，有多種方法可避免接觸到可燃區域內的氣體混合物， 而方法的選擇須視製程及泵浦系統的風險評估（危害分析）結果而定：

根據歐盟爆炸性環境指令（「ATEX 114」，即 2014/34/EC），確保可燃氣體安全的首選方法是確保其空氣中的濃度不會落在可燃範圍內，因為此時發生引火源時，可燃氣體不會燃燒。因此，有必要採取以下動作之一：

- 將可燃氣體的濃度維持在 **LFL (LEL)** 以下

  為了將可燃氣體意外進入可燃區域的風險降至最低，應以一定的安全裕度維持低於 LFL (LEL) 的操作。

  使用者應進行風險評估並根據結果來決定安全裕度。某些主管機關建議，濃度應維持在低於 LFL (LEL) 的 25 %。

  將濃度適當維持在低於 LFL (LEL) 之常用方法，是將惰性沖洗氣體（如氮氣）導入泵浦入口及/或沖洗連接件以進行稀釋。稀釋系統及任何警報或連鎖系統所需的完整度，必須視稀釋系統失效時可能導致的危害區域而定。

  可燃下限通常可在氣體或蒸汽供應商提供的 MSDS（物質安全資料表）中找到；這是可燃氣體混合物能夠被點燃並持續燃燒或爆炸所需的最低空氣/氧化劑濃度。

  為避免潛在爆炸性環境，並提供安全餘量，必須使用惰性氣體稀釋，直到燃料/空氣 [或氧化劑] 濃度達到可燃下限濃度的 25%。

  這是較佳的操作模式，因為漏氣進入真空系統，只會進一步稀釋可燃氣體/蒸汽；然而，必須將惰性氣體系統視為安全關鍵。

  備註：

  請確定採取適當的預防措施，以避免窒息的風險。

- 將可燃氣體的濃度維持在 **UFL (UEL)** 以上

  可燃上限通常可在氣體或蒸汽供應商提供的 MSDS 中找到；這是可燃氣體混合物能夠被點燃並持續燃燒或爆炸所需的最高空氣/氧化劑濃度。

  為了避免潛在爆炸性環境，並提供安全餘量，必須將空氣/氧化劑濃度限制在空氣/燃料可燃性上限所需的空氣/氧化劑濃度的 60%。

  此操作模式需要仔細控制製程容器、管線和真空系統的漏氣；此外，必須考慮因操作或維護活動而意外進入空氣，例如打開閥門或更換惰性氣體瓶。

  這種方法的優點在於不需要使用惰性氣體沖洗，因此更容易/且有可能對製程氣體進行廢氣處理，並節省成本。

- 將氧氣濃度維持在 **MOC (LOC)** 以下

  這種運作模式需要進行泵送氣體的氧氣濃度監控，以確保運作安全。為了將可燃氣體意外進入可燃區域的風險降至最低，應以一定的安全裕度維持低於 MOC (LOC) 的操作。現有的產業標準指出，在持續監視氧氣濃度的情況下，氧氣濃度應維持在低於相關氣體混合物現行 MOC (LOC) 2 % vol 的水準。除非 MOC (LOC) 小於 5 %，否則氧氣濃度必須維持在不超過 MOC (LOC) 的 60%。若監測僅採取常規氧氣濃度檢測的方式，則氧氣濃度不得超過已公佈之最低 MOC (LOC) 的 60 %；但若 MOC (LOC) 低於 5%（在此情況下），則氧氣濃度必須維持在該 MOC (LOC) 的 40% 以下。

  為了將氧氣濃度維持在低於已公佈之最低 MOC (LOC) 的水準，首選方法就是嚴格排除製程與泵浦系統內的空氣與氧氣，並視需要將惰性沖洗氣體（如氮氣）導入泵浦入口，及/或沖洗連接件以稀釋泵送氣體。空氣或氧氣排除措施以及任何警報或連鎖系統所需的完整度，都必須視排除及稀釋系統失效時可能導致的危害區域而定。

  嚴格排除製程與泵浦系統內的空氣時必須注意的一般事項，將於本節的最後段落說明。

  最低氧氣濃度是指可能存在爆炸性環境的氧氣濃度。當氧氣濃度低於此等級時，可燃性混合物將無法維持燃燒或爆炸。

為了避免潛在爆炸性環境，並提供安全餘量，必須將氧氣濃度限制在最低氧氣濃度的 60%。

同樣地，此操作模式需要仔細控制製程容器、管線和真空系統的漏氣；此外，必須考慮因操作或維護活動而意外進入空氣，例如打開閥門或更換惰性氣體瓶。

- 將可燃氣體的濃度維持在 **UFL (UEL)** 以上

  若可燃氣體的濃度很高，則超過 UFL (UEL) 的操作反而比較為有利， 因此為了將任何意外進入可燃區域的情形降至最低，應以一安全裕度維持高於 UFL (UEL) 的操作。建議將氣體中的殘餘氧氣濃度維持在低於絕對氧氣濃度 60 % 的水準，絕對氧氣濃度係指在可燃氣體 UFL (UEL) 濃度下通常存在的濃度。

  嚴格排除製程及泵浦系統內的空氣與氧氣，是將氧氣濃度維持在安全裕度以下的較好做法。但可能還需要將惰性沖洗氣體（如氮氣）或額外可燃氣體 （「填補」氣體），導入泵浦入口及/或沖洗連接件以稀釋泵送氣體。空氣排除措施、任何沖洗氣體導入系統及任何警報和連鎖系統所需的完整性，必須視排除及稀釋系統失效時所造成的危害區域而定。

- 將可燃氣體的濃度維持在最低爆炸壓力以下

  每種可燃材質只要處於其最低壓力以下，都無法產生爆炸。若能將真空泵浦入口處的壓力安全地維持在此壓力之下，即使真空泵浦內起火燃燒，火勢也無法蔓延至入口處。儘管如此，還是必須對真空泵浦的排氣採取預防措施。

  嚴格排除製程與泵浦系統內的空氣時必須注意的一般事項：

- 解決空氣洩漏問題

  使用防漏偵測器或進行壓力「升率」測試， 可在將可燃性材料導入製程室之前，先測試確認滲入真空系統的空氣或氧氣在允許的範圍內。

  在進行壓力「升率」測試時，應將空的製程室排放至略低於正常工作壓力的水準，然後將其與真空泵浦隔離， 在經過一段固定的時間後，記錄製程室的壓力。由於製程室的容積和最大允許漏氣量皆為已知，故可計算經過一段預定時間後的最大允許壓升， 若超過最大壓力極限，則必須採取行動密封空氣或氧氣滲入製程室的源頭。在允許可燃性材料進入製程室之前，必須重複進行此測試至成功為止。

  在某些個案中，可使用真空系統可達到良好基準壓力的能力，指示系統的防漏密封性。

- 製程開始前完全排放系統內的空氣

  允許任何可燃氣體進入製程前，系統應完全排空及/或使用惰性氣體（如氮氣）沖洗，以完全清除系統內的空氣。並應於製程結束時，在系統最後排放至空氣前重複此程序以除去任何可燃氣體。

- 乾式真空泵浦

  確保任何軸封或清洗密封氣體無論在何種情況下，皆不會伴隨空氣供應或受空氣汙染，亦應確保所有氣體鎮流沖洗口皆已密封，或僅供導入惰性氣體使用。

- 濕式真空泵浦 （例如油封旋轉活塞或迴轉葉片泵浦）

  嚴格遵守製造商的說明維持軸封，並使用提供油壓損耗警報功能的泵送加壓油潤滑系統。此系統可透過外部配件提供濾後加壓潤滑油，並使用壓力開關控制壓力。確保所有氣體鎮流沖洗口皆已密封，或僅供導入惰性氣體使用。並在製程開始前先以惰性氣體清掃油箱，以清除空氣。

- 適用於 **Roots** 真空增壓泵

  依製造商說明維持主要傳動軸完整密封，並確保任何淨化或「通氣」口連線只能用於導引惰性氣體。

- 回流

  確保系統操作程序及設施能保護系統，避免因為泵浦故障而發生空氣回流， 確保能在泵浦排氣系統的最後排放階段，安全處理所有泵送的可

燃氣體。在可燃氣體製程開始前及結束後，以適當的惰性氣體沖洗管線， 並在操作期間以適當的惰性氣體進行沖洗，可確保排氣管內不會形成可燃氣體混合物，避免空氣沿著排氣管發生紊流逆混合的情形。

2.3.4 防漏密封度（大氣漏氣）

必須仔細評估處理危險製程氣體的真空系統，以確定進氣漏氣的後果。建議進行風險分析，以確定風險等級；這應考慮正常作業、故障模式和維護程序。典型的問題包括：

- 與自燃氣體的反應
- 將可燃氣體和蒸汽移入可燃區域
- 因大氣濕度滲入而導致腐蝕
- 與製程氣體產生不良反應。

沒有真空系統 100% 密封無漏，即使是超高真空系統，也始終存在一定程度的漏氣。如果防漏密封度不足可能造成安全問題，則應進行計算以確定建立安全條件所需的防漏密封度等級。

真空系統通常設計為密封無漏。但無法確保相鄰系統的防漏密封度， 必須使用適合的測漏法 （例如：氦質譜測漏法） 確認真空及排氣系統的完整性。建議使用 ISO-KF 或 ISO-K 等真空標準管線，因為其設計符合真空標準的密封無漏要求。如果在超過爆炸上限的情況下進行泵送，請考慮整個裝置的防漏密封度。定期檢查洩漏值。

如果提供密封無漏的系統對於安全性至關重要，則應計算真空系統的效能等級，以確定風險等級。

若防漏密封度對於避免危險狀況至關重要，則必須進行定期檢查以確認系統保持密封無漏。應特別考慮可能導致意外漏氣和潛在危險的維護活動。

備註：

當系統的防漏密封度對於安全性至關重要，但無法提供所需的完整性等級時，建議使用惰性氣體稀釋製程氣體，使其低於安全極限。

2.4 氧化劑

真空系統經常需泵送氧氣 (O_2)、臭氧 (O_3)、氟 (F_2)、三氟化氮 (NF_3) 及六氟化鎢 (WF_6) 等氧化劑。氧化劑容易與真空系統中的各種物質發生反應，包括彈性體（如 O 型環、聚合物和油），反應通常會產生熱量和增加氣體壓力。可能產生的危險包括泵浦及/或排氣系統發生火災與壓力過高。

您必須遵守氣體供應商的安全說明和以下建議，以確保能安全地泵送這些氣體：

- 當氧氣濃度超過 25%（按體積計）時，必須在 O 型環、泵浦葉片等元件上使用 PFPE 潤滑劑和耐化學性聚合物。泵送純氧氣時，必須使用合格的 O2 泵浦。
- 若泵浦用於泵送正常情況下體積濃度低於 25%、但在故障狀況下可能升至 25% 以上的氣體，應使用 PFPE（全氟聚醚）潤滑劑；若泵送氧氣以外的氧化劑，請向潤滑劑供應商諮詢該氧化劑的建議濃度。
- PFPE （全氟聚醚） 是理想的潤滑劑，但是，若可使用適合的惰性氣體清掃，確保潤滑油不會暴露於不安全的氧化劑濃度中時，亦可使用碳氫化合物潤滑劑。

這些氧化劑的實際影響將取決於氣體的壓力和溫度；兩者都會影響反應速率。隨著反應速度的增加，發生過壓或火災的可能性也隨之增加。在一般情況下，油封旋轉葉輪或活塞泵之油箱或齒輪箱中的 PFPE （全氟聚醚） 潤滑劑不會氧化或分解，故可降低爆炸的機率。

請注意，在空氣及鐵金屬環境下，溫度達到或超過 290 °C 時，PFPE（全氟聚醚）潤滑劑可能會發生熱裂解。但是，在鈦、鎂、鋁或其他合金環境下，熱裂解溫度將降至 260 °C。

如果不想用 PFPE（全氟聚醚）潤滑劑潤滑及油封旋轉葉輪或活塞真空泵浦，亦可使用乾燥氮氣等惰性氣體將氧化劑稀釋至安全濃度。

但是這個方法只適用於低流速氧化劑氣體。系統中必須安裝安全裝置，以確保將氧化劑稀釋至安全濃度所需的稀釋氣體，能隨時保持在最低流量，並保證氧化劑的流速不會超過允許的最高流速。您必須透過系統設計確保在不符合這些條件時，氧化劑會立即停止流動。

我們建議使用我們的乾式泵浦泵送氧化劑（請參見乾式泵浦 第 頁之 30）。乾式泵浦在排氣量中沒有密封液，因此用乾式泵浦泵送氧化劑，會大幅降低發生爆炸的機率。我們建議您在使用碳氫化合物潤滑劑時，使用惰性氣體清洗軸承及齒輪箱內部。

2.5 易燃材料

在大多數情況下，矽烷 (SiH_4) 及磷化氫 (PH_3) 等自燃氣體或自燃粉塵會在大氣壓力下與空氣自發反應，因此當這些氣體接觸到空氣或其他氧化劑且壓力高到足以促使燃燒時，便可能起火燃燒。自燃氣體與空氣接觸時會自燃；它實際上是一種可燃氣體，其可燃上限為 100%。當空氣滲入系統，或系統廢氣接觸到大氣時，便可能發生此情況， 氧化劑與自燃氣體反應所產生的熱，可作為爆炸性物質的引燃源。

不僅是自燃氣體，粉塵和粉末也可能自燃，這尤其適用於在真空室中透過升華形成的金屬粉塵和粉末。這些粉塵並未形成保護性氧化層，因此暴露於空氣中時容易自燃。

粉塵也可用作可燃、自燃製程氣體的吸收劑。高壓、低溫和大表面積會增加粉塵的吸附率。

如果不同製程所排出的廢氣是經由共用抽氣系統排放，可能會引起燃燒及/或爆炸。因此在泵送易燃材料時，建議您使用獨立的吸氣系統。使用磷的製程會在真空系統或排氣系統中凝結成固態磷。若有空氣存在，磷可能會在些微的機械震動 (如閥門作動或泵浦因壓差而轉動) 下自發地燃燒，並釋放有毒氣體。建議在泵浦運作前先使用惰性氣體進行清洗，並使其達到適當高溫，以將磷的凝結情形降到最低。

PFPE（全氟聚醚）潤滑劑會吸收製程氣體，若潤滑劑在有易燃材料存在時暴露於空氣中，即可能會導致局部點燃。若在維修期間或在泵送自燃氣體或粉塵後，於系統內泵送氧化劑，即可能會使此危險明顯升高。若使用在排氣量中不含潤滑劑的乾式泵浦，即可降低這種危險發生的機率。在排放或處理所有自燃物質前，必須先確定其已經過鈍化處理。

處理自燃氣體、粉塵或沉積物時，必須排除可能造成危險反應的漏氣。微小的空氣漏氣會與自燃氣體產生反應，但可能不會造成危險情況，需要為每個應用計算允許的漏氣量，並確定合適的安全餘量。

可燃粉塵和粉末可收集在過濾器中，或可能只是在管道中形成層，暴露於大氣中時，有可能發生劇烈放熱的反應。應採取措施，確保這些系統在正常作業、維護和故障狀況期間均能將空氣排除。當需要將系統排氣至大氣時，建議使用氮氣來達到此目的，如果需要拆卸真空系統，則應使用保護設備以防發生意外反應。

備註：

應謹慎識別所有危險材料，並確定合適的處理策略。

在打開泵浦系統接觸大氣之前，建議使用沖洗氣體運作一段時間，以去除任何粉塵層中吸附的氣體。透過泵送低濃度的氧氣進行受控氧化，可用於去除粉塵中的自燃氣體，也可用於氧化粉塵。此方法必須審慎界定，否則

可能只有表面上的材料被處理，而粉塵層內部的絕大部分仍會殘留被吸附的氣體，存在潛在風險。

使用水浴或油浴非常有效，真空系統組件拆卸後可直接浸入其中；然而，每個應用都需要考慮此類程序的安全性。

矽和聚矽等其他材料可能會在真空系統內形成不穩定的沉積物，這些沉積物的特性介於自燃性與爆炸性之間。請參閱爆炸物章節。

2.6 有毒物質

許多真空應用會涉及有毒物質的加工和處理，並且需要特定的程序。

毒性物質本質上會對人體健康造成危害， 但是，危害的性質必須視物質及其相對濃度而定， 您應遵守物質供應商所提供的正確處理程序以及適用的法規。

真空系統是處理有毒物質的絕佳方式，因為真空側的洩漏只會從大氣中吸入空氣，而不會讓有毒製程氣體逸出。當您開始考慮真空系統的排氣管路時，情況會有所不同，此處的壓力接近大氣或略高於大氣，洩漏會導致泵送的任何有毒氣體洩漏。

您還應考慮以下幾項要點：

- 氣體稀釋－在有毒製程氣體流經真空泵浦進入排氣系統的過程中，應設有稀釋的設施， 以藉由稀釋將濃度降至毒性限度以下。我們建議您監控稀釋氣體供應的情形，以在供應失效時獲得警示。請特別針對油封泵參閱泵浦說明手冊，瞭解可使用的必要回油套件。
- 軸封（乾式泵浦） － 多款乾式真空泵浦會使用氣體清掃系統，可確保製程氣體不會進入齒輪箱與軸承，進而避免其潛在地洩漏至真空系統周遭的大氣中。處理毒性物質時，必須確保供應該氣體的完整性。如壓力調節器 第 頁之 31 所述，非排氣型調節器必須與止回閥搭配使用。
- 軸封（其他泵浦） － 油浸式軸封設計（如 EH 機械增壓泵浦及 EM 迴轉葉片泵浦）可將製程氣體洩漏（或空氣滲入）的危險降至最低，且會在危險發生前提供視覺警告（漏油或油位降低）。其他油封設計可能無法提供適當的故障警告。
- 磁力驅動裝置 - 若需要完全密封，請聯絡您的客戶服務團隊以取得進一步建議。考慮所有可能的洩漏來源。視泵浦而定，可以提供特定的密封，例如磁力驅動裝置和雙重機械密封。

若需使用釋壓閥或防爆片釋放過多的壓力時，請確保皆會釋入適合的排放系統中，以避免造成毒害。

必須仔細考慮真空系統的排氣，因為有毒物質可能無法直接排入大氣中。在這種情況下，建議向廢氣處理公司尋求建議，以找到安全的廢氣流處理方式。

泵送有毒氣體時，內部表面或內部殘留量很可能含有有毒物質。在移除接觸有毒氣體的泵浦或組件之前，建議先將其沖洗，以清除所有危險氣體。

備註：

應謹慎識別所有危險材料，並確定合適的處理策略。

拆卸泵浦時，所有真空法蘭都應密封；無法密封的零件應存放在氣密容器中。當泵浦需要拆除以進行維護時，必須將其送回配備專業去污設施的服務機構。

將受到汙染的真空設備送回我們處保養或維護時，必須遵守相關程序（HS1 表），並填寫設備隨附說明手冊中的申報單（HS2 表）。

2.7 腐蝕性物質

許多真空應用會涉及腐蝕性物質的加工和處理，並且需要特定的程序。腐蝕性氣體有可能損壞真空系統並造成危險情況。

某些腐蝕性物質不需要借助任何液體也能腐蝕接觸到的物質，像是氟、氯、其他鹵素或鹵化物，以及臭氧等氧化劑或硫化氫等還原劑。在這些情況下，應使用適合的稀釋氣體，將腐蝕性物質的分壓降到最低。真空系統與泵浦型號的構材應經過慎選，以便和處於期望之濃度下的特定氣體相容。高溫可能會加速腐蝕，因此假如其他製程考量允許的話，應盡量避免高溫。應重新檢視維護作業的間隔週期，考量腐蝕性物質對系統造成的影響。

應識別所有腐蝕性物質，並確認其與真空系統中材料的相容性，但請務必注意以下事項：

- 腐蝕源自於物理、化學或電化學反應。
- 最常見的金屬腐蝕基於電化學反應，因此需要使用電解質；這通常意味著有水存在。當腐蝕性物質為無水 [沒有水] 時，不可能發生反應。
- 某些化學品（例如鹵素或有機酸）可能會在無水的情況下與泵浦材料發生反應，並產生由泵送材料的離子和腐蝕性氣體所組成的反應產物。視材料類型而定，這些反應產物可形成層，然後可防止/最小化進一步的反應。一些反應產物，例如 $AlCl_3$；SiF_4 具有相對較高的汽壓，將與氣流一起去除。在此類情況下，泵浦材料會隨著時間而移除並損壞泵浦。
- 強氧化物質（如 NF_3 或氟）可能會與泵浦內部使用的有機材料產生反應，並破壞這些組件。此類材料包括密封件、襯墊、潤滑油等。
- 在腐蝕性物質可以保持在蒸氣相的情況下，通常不可能發生腐蝕。
- 聚合物和陶瓷材料上可能會發生化學或物理反應。

在使用真空泵浦泵送腐蝕性物質時，應注意下列幾點：

- 濕氣滲入 - 必須特別注意避免濕空氣滲入，以免加速腐蝕速度。應將惰性氣體清掃納入關機程序內，以在關機前沖洗系統內的腐蝕性蒸汽。
- 稀釋－使用適合的惰性稀釋氣體避免腐蝕性蒸汽凝結，降低腐蝕。
- 溫度－增加泵浦及排氣管路的溫度，以避免水蒸汽凝結，藉此限制腐蝕。在某些情況下，較高的溫度會提高腐蝕速率，請參閱下段說明。
- 安全設備腐蝕－若隔焰屏、溫度感應器等關鍵安全設備，可能會因製程氣體流內的腐蝕性產品而損壞時，必須慎選其結構材料以避免此危險。
- 相變 －意外相變可能會導致凝結及腐蝕， 應考慮改變溫度及壓力以避免此危險。
- 意外反應－意外化學反應可能會產生腐蝕性生成物。若設備不止供一種用途使用時，應特別注意可能發生的交叉汙染。

為避免腐蝕，可採取以下措施：

在氣鎮沖洗口或泵浦排氣口加入沖洗氣體，可確保將腐蝕性氣體保持在蒸氣相。

如果泵浦關閉，建議保持少量沖洗氣體（例如軸封沖洗氣體）流動，以沖洗泵浦中的腐蝕性物質，並防止潮濕空氣從排氣管路進入。此外，在泵浦旁邊的排氣管路中安裝止回閥，可避免泵浦關閉時水氣回流。強烈建議在安裝濕式洗滌塔進行廢氣處理時使用。

冷表面和高壓表面是最有可能發生冷凝從而導致腐蝕的地方。因此，排氣管線中風險最高，特別是如果排氣管線位於低溫位置（例如戶外）時，建議仔細考慮排氣管線的規格，以避免危險腐蝕。應仔細選擇密封材料，以確保其與腐蝕性物質的相容性。

不建議在處理鹵素的泵浦中使用鋁或鋁合金；為了避免泵浦材料與鹵素或酸類產生反應，通常會對泵浦室進行塗層處理。不建議使用銅或黃銅接觸反應性製程氣體。

泵送腐蝕性氣體或強氧化劑時，建議使用油封式泵浦或真空室中使用潤滑油脂潤滑之軸承的泵浦，以避免油降解。

2.8 摘要－化學危害源

- 注意系統內所有可能的化學反應。
- 為異常化學反應（包括可能在故障狀況下發生的反應）預留安全裕度。
- 在評估與製程材料有關的潛在危害時，請參照物質安全資料表。
- 使用稀釋技術將材料與氧化劑和可燃性材料的反應降至最低。
- 在已明確指明可燃區域的歐盟地區，您必須使用適合且經過認證的 HazLoc 真空泵浦。對於所有其他的地區，我們建議在可行時使用已經過 HazLoc 認證的泵浦。
- 用於泵送氧化劑的泵浦，請使用正確的潤滑劑，並考慮使用乾式泵浦進行泵送。
- 若製程需使用或產生疊氮化鈉，請勿在製程系統的氣體路徑上使用重金屬。
- 處理毒性、腐蝕性或不穩定的物質時，請特別小心。

3 物理危害源

過壓危害的類型

造成真空系統組件壓力過高的可能原因如下：

- 高壓氣體導入系統
- 系統進行氣體壓縮
- 系統內部揮發性氣體的溫度突然升高
- 相變導致固體產品沈澱
- 真空系統內的反應導致排氣受阻。也有可能是其他的原因。

3.1 泵浦排氣過壓

排氣系統堵塞或受到阻礙是造成排氣系統過壓的常見原因。這可能導致泵浦或其他系統組件故障。

真空泵浦是專為在高排氣進氣壓縮比下操作而設計的壓縮機。除了泵浦運作可能會造成壓力過高外，若排氣系統堵塞或受到阻礙，導入壓縮氣體（如作為清掃或稀釋氣體使用） 也可能會造成系統過壓。

真空系統的設計與運作壓力範圍，通常涵蓋從微高於大氣壓力到全真空。由於它們並非針對高壓設計，因此應小心避免產生可能引發危險的過壓狀況。需要考慮的方面如下（「排氣阻塞」、「沖洗系統過壓」、「設計壓力」）。

若泵浦的排氣端安裝了隔焰屏或其他像是過濾器或冷凝器等設備，基本上，排氣背壓不會超過真空系統說明手冊中規定的上限值。應採用適當的維護計畫，確保製程沈澱物不會堵塞排氣系統及隔焰屏，

若無法依計畫進行，則應在泵浦及隔焰屏之間安裝壓力感應器以偵測堵塞。對於過濾器及冷凝器等其他排氣設備，也應採取類似的考量。

昇華或相變可能會導致製程管件被固態沉積物堵塞及過壓危險。排氣管路中形成的製程沉積物可能會導致泵浦在高氣流下運作時發生過壓狀況。這通常會導致真空泵浦因為馬達電流過大而停止，但在某些情況下，真空泵浦仍可能產生顯著的危險過壓。應評估製程沉積物在真空系統排氣中累積的可能性，如果此情況無法避免，則應使用某種壓力感測方式來偵測過壓狀況。應考慮防止壓力感測器本身受到製程沉積物的污染。

請參閱真空泵浦系統隨附的說明手冊，瞭解您所有排氣元件（包括真空泵浦） 的連續背壓上限值及建議值。請將排氣系統設計為符合這些限值。

對於連續操作期間的限制，請參閱泵浦說明手冊。

3.1.1 排氣過壓防護

我們通常會建議在廢氣排入自由洩放排氣系統的環境下操作泵浦。但是，您的排氣系統組件可能會造成系統堵塞或排氣不順， 若發生此情況時，即必須另外採取適合的過壓保護方法， 例如以下方法：

組件	保護方法
排氣管內的閥件	將閥門連鎖，使其在泵浦運作時保持常開。
	安裝釋壓旁路。
廢氣洗滌塔	安裝釋壓旁路。
	安裝壓力監視器並與泵浦連鎖，以確保泵浦會在排氣壓力過高時關閉。
隔焰屏	排氣壓力量測。
	差壓量測。

總而言之，如果排氣系統內的壓力接近允許的最高壓力時：

- 利用氣體路徑上與堵塞或妨礙排氣同步運作的裝置降壓。
- 減少壓力源。停止泵浦或關閉所有壓縮氣體供應。

3.1.2 排氣阻塞

真空系統的排氣端可能會因各種原因而堵塞，從而導致過壓。最明顯的是排氣管路中的閥門安裝，很明顯，如果閥門未能打開真空泵浦，將會產生壓力，進而導致危險的過壓狀況。當閥門不可或缺時，則其運作應與真空泵浦的運作仔細地相互聯鎖。

在某些應用中，可以使用泵浦和/或排氣管的溫度管理，以避免堵塞。這種技術將用於具有高汽壓的製程副產物。

3.2 進氣過壓

3.2.1 壓縮氣體供應與背壓

由於已確認連接泵浦和真空系統的管線不會暴露在高於大氣力的環境中，因此通常會將該管線的基本額定壓力估算得太低。在實務上，只有在正常設計操作條件下才不會發生此暴露。因此在估算基本額定壓力時，應考量在異常或故障狀況下產生的較高壓力。

在泵浦未運轉時導入壓縮氣體（如沖洗氣體），是造成泵浦入口管線過壓的常見原因。若入口管線的組件無法承受產生的壓力，管線就會爆裂，而導致製程氣體洩入系統， 若氣體從系統回流至無法承受壓力的製程室，同樣會引起爆裂及洩漏。

經由提供低壓流的壓力調節器將壓縮氣體接入系統時，請確保壓力處於系統額定值範圍內。

若在無製程氣流通過系統的情況下，操作常用的非排氣型壓力調節器，會使系統內的壓力升高至送氣至調節器的氣體壓力。因此，必須使用以下兩種方法之一避免過壓：

- 降低壓力，讓氣體繞過泵浦流入自由排放的排氣系統
- 監視系統壓力，並使用正壓關閉閥在到達預設的壓力時關閉壓縮氣體的供應。

3.2.2 沖洗系統過壓

真空系統通常會配備沖洗系統，以協助可靠地泵送製程氣體，並防止危險的化學反應。雖然這些沖洗功能非常實用，但如果在實施時未予審慎考慮，本身也可能造成過壓危險。

沖洗氣體由沖洗氣體罐或瓶供應，送至真空系統時的供應壓力約在 2 bar(g) 至 10 bar(g) 之間。多數情況下，皆須透過壓力調節器來調降此壓力。壓力調節器會將氣體壓力從進氣供應壓力降低到所需的操作壓力，操作壓力在 0.1 bar (g) 至 1 bar (g) 範圍內是相當正常的。

當沖洗氣體通入開放系統時，此類調壓沖洗系統能發揮良好作用；但若系統屬於密閉式系統，或因關閉閥門等操作而轉為密閉狀態，則會有過壓的風險。

壓力調節器有兩種：一種稱為「洩壓」調節器，另一種稱為「非洩壓」調節器；這些裝置的運作方式不同，可能會造成各自的危險。

洩壓調節器會透過將過剩壓力排放到大氣中，來控制封閉系統中的壓力，雖然這看似是一項優點，但必須記住，此過剩壓力可能以危險的製程氣體形式存在。

對於非洩壓調節器，其設計是用於開放式系統，在過壓情況下並不會降低壓力。如果將非洩壓調節器與封閉系統搭配使用，則隨著時間的推移，調

節器的供應側會有少量氣體洩漏到系統中；最終會導致系統加壓至供應壓力。由於大多數開放式真空系統在故障情況下可能會轉變為密閉系統，因此使用此類裝置時，必須考量其中的風險。

解決方案是在調節器和真空系統之間使用裝有單向「止回」閥的洩壓調節器。調節器將確保系統側的壓力控制在所需的壓力，而單向「止回」閥將防止氣體從系統逆流到調節器。止回閥的壓差低至 25 mbar，從而可將壓降降至最低。應注意的是，如果真空系統中有其他壓力來源，則應將其獨立考量，因為洩壓調節器不會將此過剩壓力排放出去。

如果使用過壓排氣閥，務必考慮要排氣的氣體類型以及氣體的排放去向。若未將此點納入考量，則可能將危險的製程氣體排放至當地大氣中。

3.2.3 錯誤的泵浦作業方式

必須採取特別措施，直到確定泵浦正確運轉。

若泵浦的旋轉方向不正確，且在入口堵塞或受到阻礙的情況下操作，泵浦的入口管線內將會產生高壓。這可能會導致泵浦、管線及/或管線中的組件破裂。

務必使用螺絲將盲板鬆鬆地鎖在泵浦入口，直到確定泵浦的旋轉方向正確為止。

在高轉速下操作可能導致泵浦解體， 因此，請勿在轉速超過最大設計轉速的情況下操作泵浦。這在使用變頻器控制轉速時特別重要。

3.3 温度

熱循環

若設備會經歷熱循環 [例如，由於正常的真空抽空循環]，請務必認識到，如果沒有使用密封劑或機械裝置正確鎖固，這些熱循環可能會導致緊固件和接頭鬆動。如果存在熱循環的風險，且緊固件鬆脫的後果可能造成危險情況，則應定期檢查這些緊固件的緊固情況。

高溫表面

由於製程的性質，真空系統和真空泵浦通常會表現出高溫表面。例如，在某些製程中，必須加熱排氣管路，以防止危險氣體凝結。當表面溫度高於 70 °C 時，建議在高溫表面上貼上高溫表面警示標籤，如果溫度超過 100 °C，則必須使用某種形式的防護裝置保護表面，以防止接觸。

環境操作溫度

真空系統通常設計為在最高 40 °C 的環境操作溫度下運作。在高於此等級的溫度下，真空泵浦中的彈性密封件可能會過熱，導致可能的洩漏並可能產生危險的分解產物。應謹慎瞭解與高環境操作溫度相關的危險。

低環境溫度也可能因為彈性體（如 O 型環）脆化，或因製程副產物凝結而形成危險液體，從而導致安全風險。危險分析應考慮到真空設備的最低設計溫度以及製程副產物凝結的可能性。

排氣管路加熱

如果製程氣體在排氣管路中可能凝結或固化而導致阻塞、腐蝕或爆炸，則應加熱排氣管路。加熱排氣管路時，務必考慮此類系統的安全性，特別是在系統故障的情況下，屆時溫度可能失控上升，導致管線內的彈性體密封件過熱。

設計溫度

當容器或管線設計用於承受壓力時，必須界定該容器或管線所能承受額定壓力的最高設計溫度。請勿在高於最高設計溫度的情況下操作系統。

3.4 摘要－物理危害源

- 在進行安全計算時，必須考量所有系統組件的安全工作壓力。
- 確定泵浦排氣不會堵塞或受到阻礙。
- 如果壓力可能會超過真空系統任何部分的額定壓力，建議在您的系統內適當安置壓力測量設備。此設備必須連接至您的控制系統，讓系統能在偵測到過壓情形時處於安全的狀態。
- 在評估所需之真空系統與泵浦組件的額定壓力時，應考量異常及故障狀況。
- 確保安裝正確類型的釋壓裝置，且額定值適合您的用途。
- 應正確調節及監視壓縮氣體的供應， 以確保泵浦關閉時，供應會隨之關閉。
- 若有可能，應確保送氣至所有調節沖洗器的供應壓力，低於系統允許的最大靜態壓力， 或確保在發生組件故障時會進行釋壓。

4 系統設計

4.1 系統中的額定壓力

如物理危害源 第 頁之 20 中所述，真空系統管線與組件係設計用於在低於大氣壓力的內部壓力下運作。但在實務上，系統通常必須設計成適合在高於大氣壓力的內部壓力下工作， 若有必要，亦須安裝釋壓裝置，以防止故障狀況下發生過壓。

重要的是，不要假設即使在故障狀況下，入口管線及其他入口組件仍可一直在真空狀態下操作，而導致該區域變成系統中最弱的部分。

排氣系統的設計務必確保在操作期間，泵浦所承受的背壓盡可能低。然而，設計排氣系統時，務必確保其具備足夠的壓力額定值。該系統必須能夠承受泵浦及（例如）向系統引入壓縮氣體所產生的壓力，並須適用於所採用的過壓保護措施。

進行危害分析時，應考量以下事項：

- 外部入口，如惰性氣體連接
- 所有危害來源的隔離與限制，特別是在排氣管路內
- 製程氣體間的反應。

應注意的是，若容器中裝盛揮發性液體，且可與系統的其他部位隔離時，使用外部熱源（如火焰） 可能會導致內部壓力超過容器的設計壓力。因此必須考慮為此情況安裝適當釋壓裝置的必要性。

4.2 消除停滯空間

停滯空間是指真空管或組件內任何沒有氣體流經的空間， 例如機械增壓泵浦的齒輪箱或儀器的表頭， 而裝有閥門的管線及氮氣進氣管經隔離後，也可能成為停滯空間。

在考慮通常不會同時存在於製程室內之製程氣體的混合與反應時，必須一併考量停滯空間。管線、泵浦和製程室通常是以線性方式，一個接著一個地運送氣體或其混合物， 以這種線性流態移動的氣體，通常不會發生混合，除非排氣的流速因某種阻塞/阻滯而降低。停滯空間若未清掃，且因為系統壓力的升降而充滿製程氣體， 於此情況下，在某一製程階段流經系統的氣體可能會留滯， 並與後續製程階段的氣體產生反應。在引入不相容氣體之間，對腔室進行沖洗和徹底抽空，可防止爆炸風險。

在考量停滯空間的交叉汙染時，以及在氣體具有潛在爆炸性的情況下，務必格外小心。您應特別考量過濾器和分離器以及其他組件內蓄積的危害，若適當，使用高度密封、持續流動的惰性沖洗氣體，以降低交叉汙染的機率。這可確保您不會達到可能造成問題的混合物濃度。

在泵送可燃物質時，停滯空間內可能會充滿無法以一般清掃法清除的潛在爆炸性氣體或蒸汽， 若可能有引火源存在， 即應考慮使用特殊清掃法清掃停滯空間。

4.3 排氣吸氣系統

使用正確類型的製程排氣吸氣系統，是很重要的事。如之前所述，吸氣系統的設計必須能承受工作壓力，且系統的防漏密封性必須足以在產生或處理危害物質時，遏制製程材料及其副產品，以避免對大氣造成危害釋放。

4.4 使用阻火器防護系統（**HazLoc** 系統）

若泵送氣體與蒸汽的混合物持續或長時間（即區域 0 的情形） 具有可燃性（請參閱避免可燃區 第 頁之 12），而且在系統正常運作或可預見的失效期間具有引火源（請參閱引火源 第 頁之 25） 引燃的風險，您必須在需

要時為您的主要泵浦安裝隔焰屏（亦請參閱隔焰屏 第 頁之 31）。為了防止火焰沿著製程管線傳播或進入周圍大氣中，應使用真空泵浦測試阻火器。

若長時間存在可燃性混合物，必須在入口隔焰屏上安裝經過核准與測試的溫度傳送器，以偵測連續燃燒的情況。當偵測到此情況時，必須關閉泵浦並將其自燃料源隔離。請聯絡當地客戶中心，取得經核准之阻火器與溫度傳送器的相關建議。為了在發生罕見的故障（區域 0）情況時，為隔焰屏與泵浦提供溫度保護，必須在泵浦的排氣管中安裝排氣溫度傳送器。關閉點需視泵浦系統而定。請參閱泵浦的相關 HazLoc 手冊。

若入口與排氣管上的溫度傳送器達到上限，即表示發生故障狀況，必須採取適當行動。實際措施必須視用途而定，但可能包括：

- 停止供應燃油－關閉位於真空泵浦入口處的閥門，停止供應燃油至真空泵浦
- 消除引火源－關閉馬達電源以停止真空泵浦
- 對燃燒區域進行惰化 － 將惰性氣體迅速注入燃燒區域（通常位於泵浦的排氣歧管中，但並非總是如此），即可熄滅火焰。請注意，若未消除引火源，火焰可能會再次點燃。

4.5 水洩漏進入真空系統中

當泵送的製程氣體和蒸汽在接觸水時可能造成危險時，則必須考慮冷卻水系統的防漏密封度。可以考慮使用其他冷卻液，但在使用之前請先聯絡您當地的客戶中心。

4.6 排氣吸回

當真空泵浦在入口處於真空狀態時關閉，排氣管/系統會吸回排氣。如果此氣體含有空氣/氧氣，則可能會與製程氣體或內部沉積物發生不良反應。建議在可能的情況下，真空泵浦的排氣口應裝有單向止回閥，以減慢排氣的逆流。此外，在真空泵浦停止時使用氮氣沖洗，可確保排除真空系統中的空氣。

4.7 引火源

當真空泵浦用於泵送可燃混合物時，必須考慮所有可能的引火源。以下部分考量項目，供您進行總檢討。根據您的製程而定，您也許能避免部分或全部的引燃源。若您因為製程條件或系統要求而無法避免引火源，則必須根據該情況設計您的系統。

備註：
某些泵浦已獲得第三方認證，確認其在正確使用的情況下能遏制內部爆炸。

- 機械接觸 － 當真空泵浦與真空系統內的旋轉與靜止零件發生機械接觸，便可能產生引火源。所有真空泵浦的設計製造均確保在所有運作條件下，泵浦內部都能維持正確的運轉間隙。為了避免產生此引火源，請務必防止任何物質沉積於內部表面上，或務必對泵浦進行清潔。軸承必須保持良好狀態，經過充分潤滑與適當沖洗氣體的清潔，以防止和製程氣體接觸。請務必遵循建議的軸承維護作法，以確保運作安全可靠。
- 吸入微粒 － 所有泵送機構都可能會吸入製程或系統製造過程產生的微粒。若微粒在一移動的表面和一靜態表面之間滾轉，便可能會產生熱量。適當的進氣濾網（篩網）或過濾器將能避免微粒進入真空泵浦，將微粒的大小與體積降至安全的程度。必須謹慎為此進氣濾網或過濾器制定適當的維護方案。
- 灰塵積聚 － 若將任何泵送機構應用於產生灰塵的製程中，其內部間隙便可能會積聚壓實的粉塵。即使使用入口雜質過濾器，微小的灰塵微粒仍可能會進入泵內。壓實的灰塵可能會隨熱變化導致的微小尺寸變化，

而接觸到移動的表面並產生熱量。此外，這種熱量會引起灰塵點燃，如需更多詳情，請參閱易燃材料 第 頁之 16。

- 壓縮熱（自燃） – 必須將任何壓縮機內的內部壓縮熱，與所泵送氣體或蒸氣的自燃溫度一併考量。您必須確保泵浦的溫度等級至少與泵送的氣體相同或比該氣體更高。
- 高溫表面 – 若可燃氣體或蒸汽可接觸到高溫表面，這些氣體或蒸汽將會在超過自燃溫度時點燃。備註：若隔熱措施可能導致泵浦及隔焰屏內部（及外部）表面溫度升高，進而引發自燃，則不應對其進行隔熱處理。
- 外部熱源 – 例如，當真空設備附近發生火災時，便可能產生外部熱源。若發生此情形，內部壓力可能會超過系統的最大靜態壓力，且溫度會超過自動點火溫度。在分析系統危害時應將此點納入考量。
- 高溫製程氣流 – 入口處的高氣體溫度，可能會導致內部（或外部）表面的溫度超過所泵送物質的自燃溫度。高溫進氣也可能會導致轉子/定子卡滯。請參閱您的真空泵浦說明手冊，瞭解可允許的最大內部氣體溫度。請洽詢您當地的客戶中心以取得進一步建議。
- 催化反應 – 某些物質的存在可能導致催化點火。因此，應考量真空系統的所有結構材料與泵送氣體或蒸汽，產生催化反應的可能性。
- 自燃反應 – 若易燃材料因空氣或氧化劑滲入而燃燒，其熱源可能會成為任何可燃物質的引火源。請參見易燃材料 第 頁之 16。
- 靜電 – 在某些情況下，靜電可能會積聚在絕緣元件上，隨後以火花的形式釋放至地面。在設計系統時應考量可能的靜電蓄積。
- 閃電 – 若位於戶外場所，遭雷擊可能提供點火能量。在設計系統時應將發生雷擊的可能性納入考量。

4.8 摘要 – 系統設計

為了設計出安全的真空泵浦系統，請務必將以下幾點納入考量。視您的用途而定，可能還需考量其他層面。

- 若要泵送危害物質，系統的設計必須符合故障自趨安全條件。
- 在泵送氧化劑時，請在泵浦中使用 PFPE（全氟聚醚）潤滑劑。
- 若使用惰性氣體將可燃氣體的濃度降至低於爆炸或可燃下限，或降低至最低氧化劑濃度或更低濃度以下，請務必確保惰性氣體供應的完整性。
- 也可將濃度維持在爆炸或可燃上限之上，但必須備有適當的安全預防措施，確保濃度並未在可燃範圍之內。
- 使用前，應進行系統及設備的洩漏測試，以確保達到所需的防漏密封度。
- 自燃氣體在排入大氣或與氧化劑氣體混合之前，應先使用惰性氣體稀釋至安全濃度。
- 在系統氣體路徑的任何位置，確保疊氮化鈉和重金屬不會接觸。
- 系統的最大壓力不得超過系統任一部件的安全限值。
- 必須始終查閱擬泵送之物質所提供的安全資訊。
- 若排氣量中的油品存在相關危害，請優先考慮使用乾式泵浦而非油封迴轉葉片泵浦或活塞泵浦。
- 若將真空泵浦用於泵送潛在可燃性混合物，必須考慮到所有可能的引火源，以及發生爆炸的潛在後果。

5 一般實務

5.1 管道中形成沉積物

在一些應用中，真空系統的前級管路中可能會形成沉積物，例如在半導體沉積步驟後形成的矽層。這些固體沉積物在蒸氣相中形成，並形成具有多種危害的層。

- 隨著層數增加，它們可能會脫落並移向真空泵浦。在某些情況下，這些層可能會損壞真空泵浦，在少數情況下，這些層可能會造成顯著的機械損壞並使泵浦外殼破裂。
- 這些層是在真空環境下沉積的，因此通常沒有保護性氧化層，無法防止它們在接觸氧氣時燃燒。當這些材料最終暴露於大氣中時，必須格外謹慎。
- 大量積層可能會堵塞前級管路，導致真空效能下降。建議在製程沉積物可能會從前級管路壁上脫落的情況下，在前級管路中安裝一個盲管，以捕捉最大的顆粒。此外，應在盲管或旋風分離器旁邊垂直安裝金屬篩網，以防止顆粒帶入泵浦。

當製程沉積物可能具有危險性質時，真空系統的使用者必須進行風險分析，以確定安全處理這些物質的方式。

5.2 使用變頻器 - 使用密碼

變頻器通常用於提升真空系統的效能，但必須小心正確設定最大轉速。

許多變頻器能夠產生高達 200 Hz 的最大輸出速度，當與正確類型的馬達耦合時，可產生 12000 rpm 的轉速。由於大多數真空泵浦在 3000 rpm 至 6000 rpm 之間的轉速下運轉，如果變頻器意外設定為更高的轉速，可能會有相當大的風險。

建議在使用變頻器時，使用密碼保護參數清單中的最大轉速。這有助於避免意外調整最大速度參數。

5.3 入口閥位置

真空系統與製程室之間的入口閥，通常用於在進行維護時隔離真空系統。進行維護時，此閥必須處於正確位置。

當此閥的位置對安全至關重要時，建議將其作為危害分析的一部分進行審查，以確定安全操作實務。

5.4 熱阱

在製程氣體到達真空泵浦之前，使用熱阱來捕集／使其發生反應，本身也會帶來某些風險。主要危險在於熱能，因為這類熱阱在運作時，內部溫度通常高達數百攝氏度。此溫度通常不會完全傳遞至外部表面，但相鄰組件（如彈性體 O 型環等）可能會因熱損傷。指定熱阱時應格外小心。

5.5 冷阱

當氮氣冷阱用於冷凝大氣壓力下通常為氣體或蒸汽的物質時，必須考慮意外加熱的後果。液態氣體和蒸汽受熱時會產生大量氣體/蒸汽，如果將其排入封閉系統，可能會導致危險的過壓。應仔細考慮系統排氣的方式，以避免發生危險的過壓。

5.6 冷凝器

冷凝器是從製程氣流中去除蒸汽的非常有效方式，但必須考慮冷凝器堵塞的可能性。一般來說，冷凝器會與位於下方的合適接收器容器一起使用，以便將液體排入其中；接著會裝上水位指示器，用來判斷何時清空接收

器。如果接收器未排空，液體可能會溢流到真空泵浦中，並開始堵塞排氣管路。

5.7 系統完整度

在前面幾節已簡單地說明惰性氣體稀釋保護法。此方法的原理為將惰性氣體（通常是氮氣）與製程氣體混合，使製程氣體稀釋至不會發生爆炸或反應的濃度。利用氣體稀釋法作為防止爆炸的主要安全系統時，必須具備一個高度完整的警報及連鎖系統，才能避免真空系統在稀釋系統未操作時作動。在進行風險評估（危害分析）時，應將氣體稀釋系統的完整度納入考量；此完整度應視稀釋系統失效時可能導致的內部分區（即風險程度）而定。務必將目前的最佳實務應用於風險評估中，以確定所需系統的完整度。

例如，若使用稀釋系統將可燃氣體的濃度維持在可燃區域之外，且稀釋失敗將導致所泵送氣體持續或長時間處於可燃區域內（例如 ATEX 0 區的要求會將 >50 % 視為可燃區域），則該稀釋系統必須符合下列條件之一：

- 即使發生罕見故障，也必須具備故障安全功能。
- 在同時存在兩個失效的情況下依然安全。
- 必須擁有兩個獨立的稀釋系統。
- 或者，若稀釋系統失效可能會導致所泵送氣體偶爾處於可燃區域內（例如 ATEX 1 區的情形），則稀釋系統必須符合下列條件之一：
    - 即使發生意料中的功能異常，也必須具備故障安全功能
    - 發生一個失效時也必須保持安全。

若稀釋系統失效可能會導致所泵送氣體不太可能進入可燃區域內，或僅可能在短暫期間內進入（例如 ATEX 2 區的情形），則稀釋系統必須在正常運作下保持安全。

6 選擇正確的設備

為了確保能針對應用場合選擇正確的設備，您必須考慮設備在操作時的各種限制。我們設備的技術資料詳見我們的產品目錄、行銷出版品及設備說明手冊。而且在大部分情況下，我們都可依您的要求提供更多的資訊；請聯絡我們尋求更多相關建議。

當您在設計真空系統時，請參考相關的機械泵浦參數，例如：

- 最大靜態壓力（入口及排氣口）
- 最大操作入口壓力
- 最大操作排氣壓力
- 入口及排氣口組件的電導率
- 與泵搭配使用之其它組件的壓力規格
- 排氣管路堵塞時的壓力監控
- 關於油封旋轉葉輪及活塞泵，您也必須考慮以下等環節：
    - 氣體鎮流流率
    - 油箱清掃流率
    - 油箱中聚積的氣體及蒸汽
    - 油箱中的油吸收的氣體及蒸汽。

最大靜態壓力係定義為，泵浦的入口或出口接點在非工作狀態下可承受的最大壓力。此壓力值是取決於泵浦的機械設計。

油封旋轉葉輪及活塞泵，係設計在入口壓力等於或低於大氣壓力的情況下運轉，雖然最大靜態額定壓力可能高於大氣壓力， 泵浦在運轉時之最大入口壓力仍不得超過大氣壓力。有些廠商會將其泵浦的持續入口壓力限制在低於大氣壓力。泵浦運作時的最大入口壓力稱為最大工作壓力。

限制最大工作壓力的原因不一定和泵浦的機械完整度有關， 最大壓力通常是與泵浦在高入口壓力的額定功率成比例， 以及泵浦或電動馬達的機械組件過熱的潛在危害有關。

基於同樣的理由，我們建議您應盡可能地將真空泵浦維持在低出口壓力（在連續運轉的情況下，維持在等於或低於 0.15 巴壓力計，1.15 x 10^5 Pa）。泵浦係設計在排氣不受限制的情況下運轉，因此 0.15 巴壓力計（1.15 x 10^5 Pa）的出口壓力，通常即足以驅散排氣吸氣系統及處理設備中的廢氣。

6.1 油封旋轉葉輪及活塞泵

我們的油封迴轉式泵浦包括 E1M、E2M、ES 及 RV 系列之迴轉葉片泵浦，以及 Stokes Microvac 系列之油封活塞泵。一般而言， 所有真空泵浦係設計在入口壓力低於大氣壓力，且泵浦廢氣可自由排放至大氣的情況下運轉。

油封旋轉葉輪及活塞泵是屬於容積迴轉式壓縮機，當出口堵塞或受限時，即會產生非常高的排氣壓力， 此時此壓力值可能會超過泵浦油箱的安全靜態壓力，且在許多時候會超過系統下游組件（例如聚丙烯洗滌塔或真空 O 型環接合處）的安全靜態壓力。因此，我們強烈建議您在泵浦排氣管路中安裝高可靠性的排氣壓力感測器。

為達到安全的稀釋濃度，可透過連接泵浦油箱的油箱清洗器（如果本設備可使用）增加氣體鎮流。增強氣體鎮流及油箱清洗流量可增加進入排氣系統的油量。

我們的所有油封泵均具備相當大的油箱容積，可能積聚可燃性及爆炸性氣體混合物。油箱內的油可有效吸收或凝結蒸汽及氣態副產品， 不過油料吸

收的蒸汽及氣體可能具有自燃性或毒性， 因此在進行維護時，必須實施特殊處理程序以確保安全。

6.2 乾式泵浦

最大工作壓力會受到影響油封泵浦的因素限制（亦即泵浦或電動馬達機械組件過熱的潛在危害）。

我們的乾式泵浦屬於容積式壓縮機，可產生高排氣壓力。若泵浦整合至會產生固體製程副產物、且因此排氣管路可能發生堵塞的系統中，我們強烈建議安裝高可靠性的排氣壓力監測器。開關的工作壓力設定，請參閱泵浦的說明手冊。

我們的乾式泵浦擁有高通量氣體鎮流功能。稀釋氣體（例如氮氣） 可透過泵浦的機械裝置加入，使反應抑制的過程達到最佳化。請參閱您的泵浦說明手冊以瞭解氣體清掃流率。

6.3 管線設計

6.3.1 伸縮管

伸縮管是一種長度較短的薄壁組件，表面具有較深的迴旋皺褶， 可減少從泵浦傳遞至真空系統的振動。

伸縮管必須呈直線安裝，且兩端必須以剛性固定， 若能正確安裝，伸縮管將可承受較小的內部正壓（有關詳細資訊，請參考伸縮管說明手冊）。請勿在乾式泵浦排氣口使用伸縮管， 並請使用編織軟管（請參閱軟管 第 頁之 30）。

在循環頻繁的系統中使用伸縮管時，請考慮疲勞失效的可能性。

6.3.2 軟管

相較於伸縮管，軟管的管壁較厚，表面皺褶更淺。軟管方便輕鬆連接真空系統組件，並有助於彌補剛性真空管線錯位或小幅位移的現象， 因為軟管可保持彎曲半徑相對較小的形狀。

軟管僅適合安裝在靜態系統中使用， 不適合在反覆彎曲的情況下使用，在此情況下使用可能會引起疲勞失效。

使用軟管時，請盡可能採用最短的長度，並避免不必要的彎曲。對於可能會產生高排氣壓力的應用，應使用編織軟管。

編織軟管是一種外部包有不鏽鋼絲編織而成之保護層的伸縮管， 安裝編織軟管時，必須遵守編織軟管說明手冊中規定的最小彎曲半徑值。

6.3.3 固定點

管線及管線組件須正確固定， 例如，未正確固定伸縮管，將無法減少泵浦產生的振動，而可能導致管線疲勞。

6.3.4 密封

真空系統（即使是在疲勞的情況下） 的任何部位，都可能會發生正壓，因此必須使用適當的密封類型與材質，以承受預期的真空及正壓。

6.4 物理過壓保護

如先前所述，系統或組件受限或阻塞即可能會引起過壓， 泵浦或外部壓縮氣源（例如用於稀釋系統的氣體） 的壓縮氣流，也可能會產生過壓。系統過壓主要有兩種保護方式， 即洩壓和過壓警報/跳脫（詳見後文段落說明）。

6.4.1 釋壓

您可以使用防爆片或釋壓閥釋放過壓。裝置的工作壓力必須低於系統設計的額定壓力， 因此必須使用適當的管線，將 這些裝置連接到一個可安全排放製程氣體，且沒有排放限制的區域。如果製程會產生固體副產品，還必須定期檢查釋壓裝置，以確保未堵塞或受到限制， 這種保護裝置應在設計時，考慮壓力脈波對防爆片之疲乏壽命週期或閥門生命週期的影響。

6.4.2 過壓警報/跳脫

我們經常採用此種保護方式。任何系統均可建議使用此種保護方式，但可能不適用於會產生固體副產品的系統。

6.4.3 壓力調節器

壓力調節器主要有兩種：排氣型與非排氣型。排氣型調節器可將氣體排放至空氣中，或經由一條獨立的排放管線排放氣體，讓出口壓力在非流動狀態下維持恆定。排氣型調節器通常使用於以管線完整度為首要因素的場所。

非排氣型調節器只能讓出口壓力在流動狀態下維持恆定。在非流動狀態下，某些調節器的出口壓力會升高至可供應壓力的程度， 其升高的速率是取決於調節器的特性及出口連接的空間體積， 升高持續時間則可能從幾分鐘到數個月不等。

壓力調節器並非設計作為截止閥使用，因此當需要進行隔離時，必須與適當之隔離裝置（例如電磁閥） 一起使用，

或必須設法安全排放超出的壓力。

6.4.4 隔焰屏

隔焰屏並非預防爆炸的裝置， 目的僅為防止火焰前沿，沿著管線或管道方向傳播（請參閱使用阻火器防護系統（*HazLoc* 系統） 第 頁之 24）。隔焰屏可為火焰前沿提供大的表面積和小的傳導間隙，進而使火焰熄滅， 通常僅適用於清潔氣體或蒸汽之系統。

氣體混合物的爆炸能量會隨壓力上升而增加。大部分的隔焰屏係設計為保護內部壓力不超過大氣壓力之區域。您必須確保位於隔焰屏前方之排氣吸氣系統的工作壓力，不會超過最大工作壓力， 然而，若為經認證可搭配化學乾粉真空泵浦使用的阻火器，其最高允許壓力請參閱相關產品說明手冊。也必須考量真空泵浦可允許的最大背壓。

隔焰屏係藉由消除火焰前沿之燃燒熱量來產生作用，因此擁有最高的安全工作溫度。您必須追蹤加熱、隔離裝置或流經隔焰屏之氣體溫度，確保系統溫度不超過安全溫度。

隔焰屏阻斷火焰的能力係取決於火焰前沿的速度，而此速度又取決於火焰與點火源之間的距離。當其與我們的化學真空泵浦一起使用時，應與進氣口和排氣口緊密連接。在某些情況下，則可允許在某些泵浦及隔焰屏之間使用彎管及 T 型件。請向我們洽詢建議。

6.5 清掃系統

可在設備上安裝惰性氣體清掃系統，以便在製程循環結束後清除殘留在系統內的製程氣體。

正確使用清掃系統可確保能清除腐蝕性生成物，防止其對泵浦造成損壞，更重要的是，可防止其對保護性系統 （如隔焰屏） 造成損壞。此外，清除製程氣體亦可確保在不同製程循環中使用之材料間，不會發生不需要和潛在的危險化學反應。

選擇正確的設備

6.6 摘要－選擇正確的設備

- 為您的應用場合選擇正確類型的設備
- 安裝所有適當且必要之安全裝置，以便在發生故障時確保安全
- 消除停滯空間
- 確保適當控制並調節系統
- 在適當的情況下，安裝釋壓裝置
- 在適當的情況下，使用隔焰屏
- 使用前應先進行系統及設備的洩漏測試。

7 操作程序與訓練

適當的訓練、清楚易懂的操作說明及定期維護，皆可改善設備的操作安全性， 更重要的是，真空設備的所有操作人員都應接受適當的訓練、符合資格，並視需要在監督下操作設備。

如果對我們的設備的操作或安全細節有任何疑問，請聯絡我們尋求相關建議。

真空系統的安全性很大程度上取決於其設計；然而經驗表明，系統的正確操作同樣重要，特別是在考量到可能出現的誤用或故障時。

本手冊無法在此列出任何特定真空系統作業所伴隨的所有潛在危險；這應由最終使用者透過適當的風險分析來確定。

制定詳細的操作程序特別重要，其內容不僅需涵蓋正常操作，還應包含進行維護步驟或發生故障時的應變措施。通常正是這些規劃執行的作業，反而容易引發意外危險並造成潛在的設備損壞或人員受傷。

以下列舉一些範例，以說明可能發生的意外危險類型：

- 在真空系統內製造純金屬粉末的製程中，會透過氮氣沖洗來確保系統內部處於無氧狀態。當製程發生異常時，必須開啟腔體以拆下某些損壞的組件。此過程僅需數分鐘，在此期間，真空泵浦會透過進氣隔離閥與腔體隔離。完成維護步驟並密封腔體後，隨即使用製程泵浦進行抽氣。然而，由於此時腔體內充滿大氣空氣，氣流急速衝入真空泵浦，導致泵浦內的反應性金屬粉末被引燃。
- 在熔爐應用中，製程材料透過排氣管路中的過濾器提取，該過濾器需要定期清潔。由於生產壓力，導致清潔步驟被略過。隨著時間累積，過濾器逐漸堵塞，最終使得真空泵浦因排氣端過壓而跳脫。在一般情況下這屬於安全狀況，但由於製程操作員隨後嘗試按住綠色啟動按鈕，並強制解除馬達的熱保護功能以強行啟動泵浦，因而釀成風險。其後果是真空泵浦產生了過高背壓，進而導致過濾器爆炸。
- 在某化學工廠中，真空泵浦裝有排氣冷凝器，旨在於腐蝕性副產物進入排氣管路之前將其捕捉。部分操作程序是在高液位開關指示接收器已滿時，必須將其排空。排氣端連接至通常維持在大氣壓力左右的共同排氣管路，但因發生故障，導致該管路壓力升高。當操作員開啟接收器進行排放時，腐蝕性液體因受壓而噴出，濺滿操作員全身，釀成嚴重後果。

8 修改真空系統

真空系統通常是為特定目的而設計，且通常會在考量特定應用情境下進行危險分析。

若真空系統被用於其他用途，或所抽氣的製程氣體有任何變更，則原有的危險分析將不再適用，並可能產生未預期的危險風險。

每當真空系統經修改或製程氣體有任何變更時，務必重新進行危險分析。

9 摘要

- 執行危險評估，以辨識並在可能時消除（若非減輕）所有的危險。在真空系統的設計、建構、試運轉、作業、維護及除役階段都必須這麼做。
- 注意系統內所有可能的化學反應。為異常化學反應（包括可能在故障狀況下發生的反應）預留安全裕度。
- 評估製程材料相關的潛在危險（例如自燃）時，請參閱物質資料表/物質安全資料表。
- 使用稀釋技術將材料與氧化劑和可燃性材料的反應降至最低。
- 請使用正確的潤滑劑，潤滑泵送氧化劑及易燃材料的泵浦。
- 若製程中會使用或產生疊氮化鈉，請勿在泵浦系統的氣體路徑上使用重金屬。
- 在進行安全計算時，必須考量所有系統組件的安全工作壓力。並確定亦已將異常及故障狀況納入考量。
- 確保安裝正確類型的釋壓裝置，且額定值適合您的用途。
- 確定不會發生排氣阻塞。
- 確保能正確調節及監視稀釋氣體。
- 若要泵送危害物質，系統的設計必須符合故障自趨安全條件。
- 使用 PFPE（全氟聚醚）潤滑油和潤滑劑，潤滑泵送氧化劑的泵浦。
- 使用惰性氣體將可燃性與自燃氣體稀釋至安全濃度；或確保在所有製程條件下（包括故障狀態），皆已考量適當安全係數並使氣體濃度維持在可燃/爆炸上限以上。
- 系統的最大壓力不可超過系統任一部位的最大額定壓力。
- 若油封泵浦排氣量中的油料可能會導致相關危害，請優先考慮使用乾式泵浦。
- 消除停滯空間。
- 確保適當控制並調節系統。
- 在適當的情況下，使用隔焰屏。
- 使用前應先進行系統及設備的洩漏測試。

正常操作極限 - 請勿超過正常操作極限

真空系統可由多種不同組件所組成。在所有情況下，選用與操作這些組件時，均不得超出其設計的操作極限。否則可能會導致意外故障。

Leybold

Pioneering products. Passionately applied.

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