THE LINDE GROUP

激光气体和气体供应系统

LASERLINE®. 全球气体解决方案

目录

03 前言

04 适用于材料加工的激光器

04 激光气体

用于二氧化碳激光器的激光气体
用于准分子激光器的激光气体

06 激光气体纯度

杂质与激光器性能
激光气体中的关键杂质
激光气体中的非关键杂质
杂质来源

09 气体容器

激光气体容器
手动/自动气体供应系统

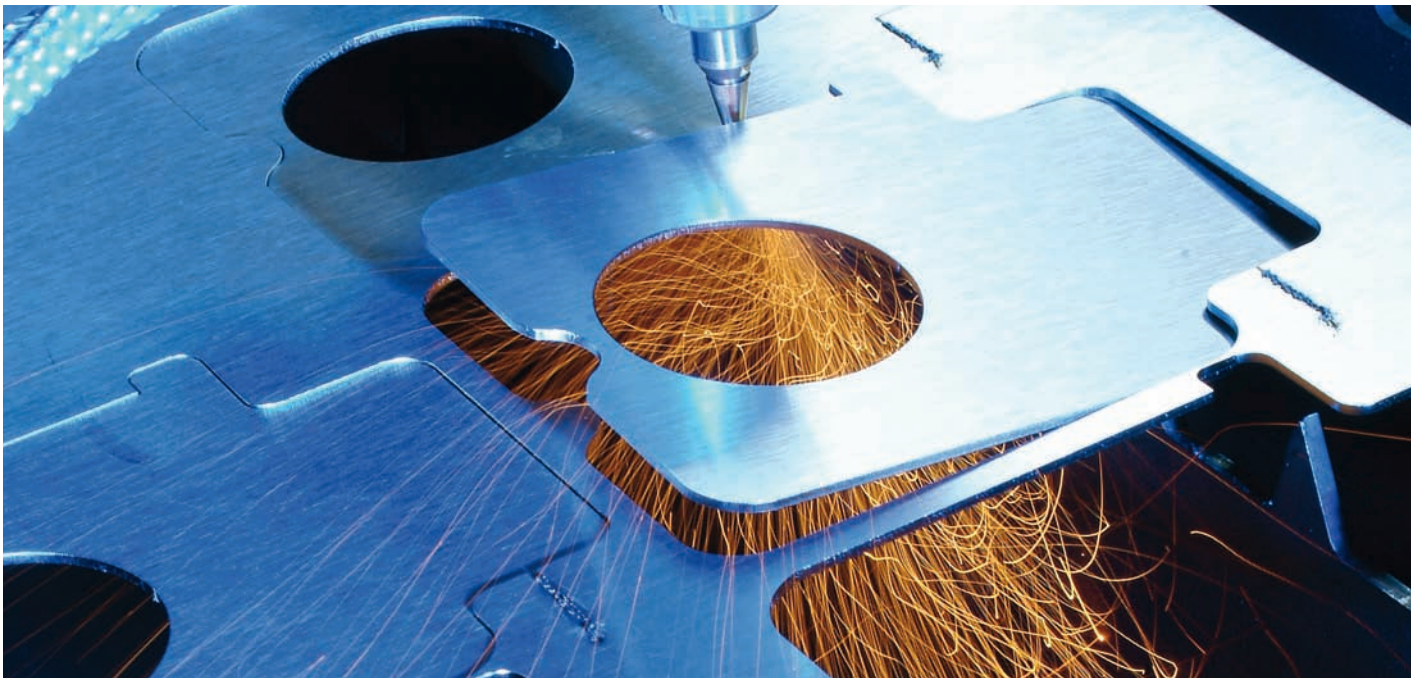
10 激光气体供应系统

钢瓶减压器或汇流排
气体供应管路
使用点

14 LASERLINE® 激光气体和服务

LASERLINE® 是林德集团的注册商标。

前言



激光器被用于许多材料加工应用，例如金属和非金属材料激光切割，激光焊接和表面处理，气体激光器和固态激光器等。二氧化碳气体激光器最常用于金属激光切割。相比较而言，金属激光焊接和表面处理会用到多种不同类型的激光器（其中包括固态激光器）。而固态激光器正越来越多地被用于激光焊接。

气体激光器（例如二氧化碳或准分子激光器）需要混合气生成激光束。各种激光器类型不同混合气配比也各不相同。这些混合气的纯度对于确保最佳性能、效率和较高的投资回报率是非常重要的。

在钢瓶中供应的高纯度激光气体，但是，并不保证共振腔内的激光混合气具有相同的质量。气体供应系统和操作人员必须能够正确地对高纯度的激光气体进行操作处置，以保持最高的纯度水平。

本文件概述了生成激光束所需的气体的作用，并且介绍了与激光器可靠运行有关的气体供应系统的相关事实信息。这些事实信息是在林德集团应用实验室进行的项目或林德集团发起和赞助的项目中获得的。

用于材料加工的激光器

受激的辐射光放大（激光）产生单一和特定波长的狭窄和强大的光束。激光器把一种能量形态（电、光子、辐射）转换成另一种能量形态（也就是激光，参见图1）。这样将产生能够长距离移动的激光束，把激光束聚焦在一个小光斑上将产生非常高的温度。

通常有两种类型的激光器被用于材料加工：气体激光器和固态激光器。二氧化碳和准分子激光器是常用的气体激光器。二氧化碳激光最常用于激光切割，激光媒质是一种气体，或者更准确而言，是一种以二氧化碳作为活性组分的混合气。准分子激光器最适用于表面处理应用和微加工。准分子混合气由一种稀有气体/卤素组成。准分子（受激二聚体）是指在电子激发状态把一个卤素原子和一个惰性气体原子相结合的短寿分子。在激发状态，它们形成一种亚稳态复合物（准分子）。

固态激光器涵盖许多系统（例如Nd:YAG或Yt:YAG激光器、二极管激光器和光纤激光器），这些系统中的激光媒质是一种固体。因此，这些激光器不需要气体生成激光束。

关于激光原理和激光器类型的更多信息，参见技术信息“工业应用激光器”。

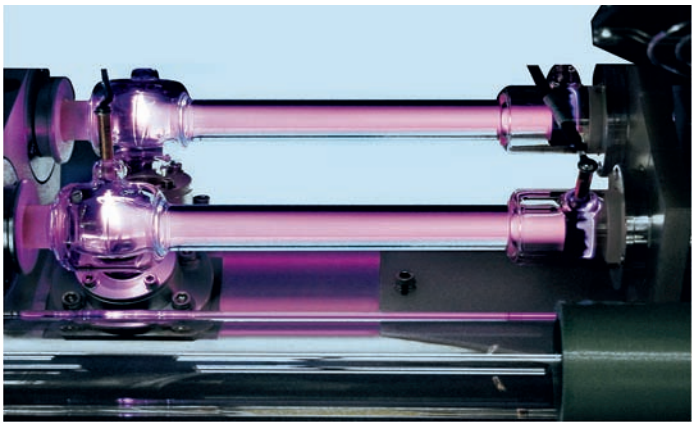


图1：激光器共振腔内的激光气体激发

激光气体

用于材料加工的气体激光器可以分成两类：二氧化碳激光器和准分子激光器。这两类激光器生成不可见的激光辐射。还有许多低功率气体激光器会生成可见激光束例如氦氖激光器，它们被用于二氧化碳激光加工系统中的材料定位。

用于二氧化碳激光器的激光气体

顾名思义，气体激光器需要气体生成激光束。二氧化碳激光器是其中最常见的一种，它使用二氧化碳作为活性激光媒质。激光混合气中不仅含有二氧化碳，而且还有其它组分（例如氦和氮）。根据激光器的不同类型，在混合气中可能需要配比少量其它气体（例如氧、一氧化碳、氢或氙）

二氧化碳的作用

二氧化碳是生成激光（也就是波长10.6 μm的红外辐射）的活性气体。通过二氧化碳分子中的不同振动能级之间的跃迁产生辐射。

激光辐射产生过程：

1. 通过与放电中的电子碰撞，二氧化碳分子被激发到激光上能级。
2. 通过从激光上能级跃迁到激光下能级，产生10.6 μm激光辐射。
3. 在达到激光下能级之后，通过与其它气体分子碰撞，二氧化碳分子被转移到最低能级。这被称为“弛豫”。

可以仅使用二氧化碳作为激光气体来运行二氧化碳激光器。但是，为了产生激光切割和焊接所需的功率，有必要添加氮和氦。

氮的作用

通过电场或放电，相对易于把氮分子激发到第一振动能级。氮的这个第一能级具有几乎与二氧化碳的上能级相同的能含量（参见图2）。通过两个分子之间的碰撞，完成从氮到二氧化碳的振动能转移。因此，通过引入氮，更易于激发二氧化碳的激光上能级。把氮添加到二氧化碳中将获得更高的激光功率。

氦的作用

氦的主要作用是有助于二氧化碳弛豫（也就是从下能级移到最低能级并且再进入激发过程）。氦原子与二氧化碳分子碰撞，振动能从二氧化碳分子被转移到氦原子。因此，可以获得更高的激光功率。

氦还有助于把热量导离电场或放电（在所有的气体中，氦的导热系数是最高的）。这对于慢流二氧化碳激光器是非常重要的，在这类激光器中，必须把过热传导到放电管壁。对于快流二氧化碳激光器，氦能够提供更稳定的放电并且支持激发效率。

图2：氮在二氧化碳激发过程中的作用

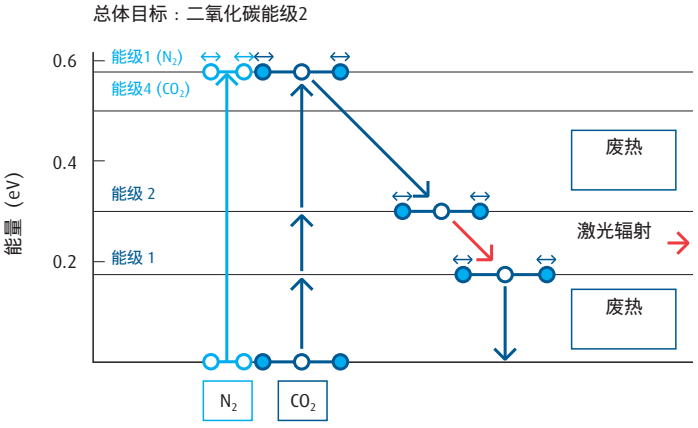


图3：准分子气体安全柜

激光气体成分

二氧化碳激光混合气中几乎总是含有氦、氮和二氧化碳作为基本组成。某些激光器可能要求添加少量一氧化碳、氧、氢和/或氙，触发共振腔内的化学过程。一氧化碳和氧抵消二氧化碳分解（解离），从而获得更高的输出功率。氢具有类似的作用，能够有助于共振腔内更均匀的放电。还可以通过添加氙来改进输出功率和效率。这具有最低的电离势和最大的电离界面，从而成为放电中的离子的主要来源。

激光发生气体可以分置在不同的钢瓶中分开供应，或者也可以在单个钢瓶中预混合。

用于准分子激光器的激光气体

准分子激光器也是多气体激光器。可以生成多个光谱线（波长）（取决于激光混合气中的稀有气体/卤素组合类型）。在激发状态，它们形成一种被称为“准分子”（受激二聚体）的亚稳态复合物。当这种复合物崩解时，射出紫外辐射。氪氟激光器是这类激光器的典型示例（生成248 nm激光辐射）。另一种类型是氙氯激光器（射出308 nm辐射）。稀有气体通常是氩、氪或氙、缓冲气体、氦或氖以及代表卤素的氟或氯。

氟和氯有毒性和高度腐蚀性（尤其是在与水分接触时），对于气体供应系统以及在处理激光废气时，要求执行特殊流程和规程（参见图3）。

在提供准分子激光器时，一般供应定制混合预混合气（卤素成分被稀释低于10%）。

激光发生气体的纯度

气体纯度被描述为一个百分比数字或者一个对百分比数字进行缩写的两位数的数字。后者计数9的个数并且加上最后一位数（例如氦99.996%对应于氦4.6）。

所有的主要激光器制造商限定了激光发生气体的"最低纯度"：

激光发生气体的最低纯度

激光氦	99.996 % (4.6)
激光氮	99.996 % (4.6)
二氧化碳	99.995 % (4.5)

但是，仅仅是这些纯度水平并不能保证可靠的激光器运行。气体中存在的某些杂质可能影响激光器性能，即使是在这些高纯度水平上。然而，氮作为氦气中的一种杂质并不产生任何影响，因为氮已经是激光混合气的一个成分。但其它杂质可能对激光器性能产生灾难性的有害的影响。

杂质与激光器性能

激光混合气中的某些杂质可能影响二氧化碳激光器性能，从而导致以下某些后果：

放电不稳定性
阴离子（例如NO_2^-、H^-或OH^-）导致放电中越来越多的热不稳定性。这可能导致普通辉光放电收缩成不利的电弧放电或者电流和电压的波动。因此，电极或发电部件可能受到损坏。

反射镜上的沉积物
在烃化合物（例如油蒸气）放电过程中产生的粉尘颗粒和粉尘解离将导致在水冷反射镜上形成沉积物从而影响反射率。反射镜上的沉积物吸收激光辐射，并且可能导致间歇性过热和反射镜涂膜受到严重损坏（参见图4）。热冲击将导致激光束的均匀性受到破坏，反射镜将最终失效，并可能发生非常惨重的后果，例如铜基底熔化。

激光功率损失
杂质可能以某些方式降低激光功率。某些杂质吸收10.6 μm激光辐射，这些杂质可能解离并且与存在的其它元素发生进一步反应。其它杂质可能与被激发到上能级的二氧化碳分子碰撞。这些被激发的二氧化碳分子将失去能量，不射出激光辐射。

图4：受到损坏的激光光学部件

对激光器性能的影响

在日常运行中，无法轻易地把激光器性能问题归因于杂质。激光功率损失在开始时是最小的，可以通过提高功率设定或降低切割速度来补偿激光功率损失，也可以通过功率或速度调节来补偿反射镜上的沉积物导致的激光束轮廓中的小凹陷。因此，激光器故障通常是意外发生的，并且可能导致高成本损失（不仅包括修理成本和部件成本，而且包括激光器停机、生产延迟和失去客户导致的收益损失）。

激光气体中的关键杂质

杂质可能对激光器性能产生损失惨重的影响，杂质是一种切实存在的风险。

水蒸气

由于水蒸气杂质可能在放电中分解并且生成阴离子OH^-和H^-，因此放电变得不稳定。这个问题对于高功率激光器是尤其严重，因为这些激光器总是在极端条件下运行。在分解中生成的活性氧可能产生进一步反应（其中包括脆性反射镜和输出窗表面受到损坏）。

碳氢化合物

碳氢化合物可能以多种方式影响激光器性能。碳氢化合物在放电中分解，可能在反射镜上形成碳或聚合物沉积物。碳氢化合物还可能减少激光增益。激光增益是激光器放大激光辐射的能力的一个衡量指标，激光辐射对激光器的输出功率和性能有影响。

氧

当二氧化碳在放电中解离时形成氧，氧浓度可能达到几千ppm。氧对快速轴流二氧化碳激光器是一种杂质，可能对光学部件产生严重影响，即使是在低于1,000 ppm的浓度情况下也会产生影响。氧浓度对光学部件产生的负面影响是由于在放电中形成臭氧，从而导致光学部件受到侵蚀。与横流激光器相比，轴向流激光器通常对氧更敏感。目前还不充分了解导致这种情况的原因。但是，轴流激光器中较高的激光束强度可能是其中一个原因。

激光发生气体中的非关键杂质

非关键杂质通常并不影响激光工艺，除非这些杂质浓度超过1000 ppm，超过这个浓度，这些杂质将会影响激光混合气平衡。

由于氮本身是一种激光气体，因此在其它激光气体中存在的氮是没有关系的。

二氧化碳在放电中解离导致在激光器共振腔内生成一氧化碳。因此，在激光气体钢瓶中的一氧化碳杂质也是没有关系的。

在任何激光气体中，氩杂质都不影响激光器性能。

氮氧化物（一氧化氮、二氧化氮、一氧化二氮、三氧化二氮）可能对激光器性能产生不利影响。特别是二氧化氮和三氧化二氮可能影响放电的稳定性，即使是非常低的浓度水平上。所幸的是二氧化氮和三氧化二氮并不是常见的杂质。解离二氧化碳中的解离氮和氧原子之间的反应导致在激光器中形成一氧化氮。因此，激光气体中的氮氧化物杂质含量是没有关系的。

杂质来源

气体钢瓶经常被认为是杂质的来源，然而情况并不是这样，因为气体钢瓶在出运前经过了大量的检查。激光器共振腔混合气的潜在杂质来源包括：

- 在钢瓶更换过程中被断开的软管
- 气体管路
- 气体泄漏
- 激光束生成过程（解离、分解以及形成次生化合物的解离元素之间的反应导致在放电中形成杂质）
- 内电极溅射形成的颗粒（电弧放电）

在许多情况下，气体供应系统是涉及导致高纯激光气体在从气体钢瓶输送到共振腔的过程中受到污染风险最高的地方。

关于激光气体纯度的事实信息

- 激光器制造商限定了LASERLINE®气体纯度
- 水蒸气和碳氢化合物杂质的影响非常大，即使是在非常低的浓度（低于10 ppm）
- 氧杂质在高浓度水平上（超过100 ppm）将产生显著影响
- 最有可能的杂质来源是气体钢瓶更换、气体管路和减压器

气体容器

气体供应类型取决于消耗量和消耗曲线。在LASERLINE®气体供应系统设计过程中，都会考虑到经济和业务两方面的因素。

激光发生气体容器

由于相对较小的容量要求，因此通常在压缩气体钢瓶中供应激光气体。如果通过一个气体分配网络向许多激光器进行供应，钢瓶集装格是一种替代供应模式。

手动/自动

最简单的激光气体供应形式是运送钢瓶后由激光加工机操作人员接入气体钢瓶和订购钢瓶。在这种情况下，激光操作人员负责对气体钢瓶进行安全操作和正确更换，并且在钢瓶更换之后进行清洗和维护。为了避免气体被意外用尽，还可以提供汇流排切换和低压警报器，手动操作由用户/操作人员承担所有的相关责任。

对于寻求更加自动化和受控的气体供应服务的企业，林德集团提供众多解决方案，以减少操作人员干预并且确保低风险和供应可靠性。

关于激光气体容器的事实

- 气体钢瓶是最常用的激光发生气体供应形式
- 还有更加自动化的供应服务方案可供选择

激光气体供应系统

图5：气体供应的系统设置

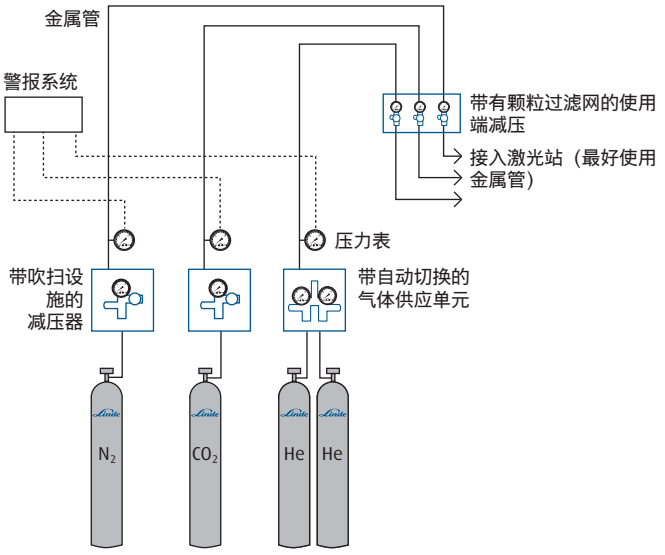
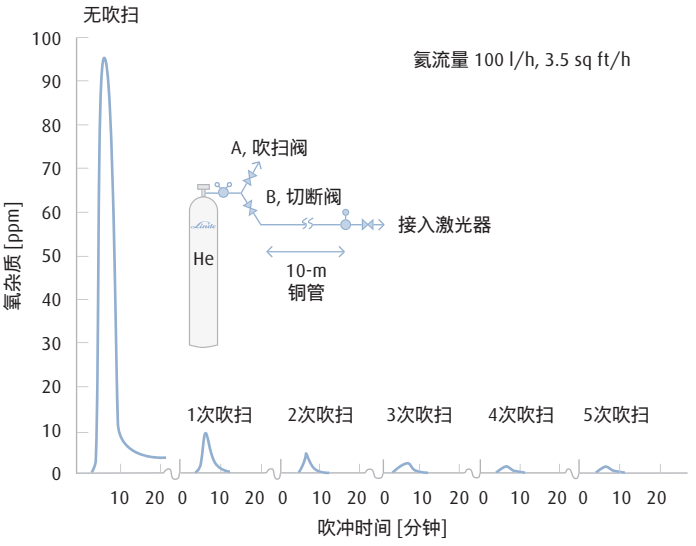


图6：钢瓶更换和吹扫之后的氧杂质残余



激光气体系统把气体钢瓶的气接入共振腔（参见图5）。激光气体系统由减压器、硬管/软管、出口阀、接头和特殊设备组成。气体供应系统从气体钢瓶开始，需要把钢瓶的充装压力降至工作压力。

压力控制

在钢瓶中的高纯度气体一般被压缩到100 bar（1,450 psi）以上，从而可以在钢瓶储存更多的气体。必须把这个充装压力降至工作压力（一般低于10 bar）。不同长度的气体供应管路把气体输送到使用点（激光器被接入使用点），出口阀或出口减压器通常在这个使用点运行。

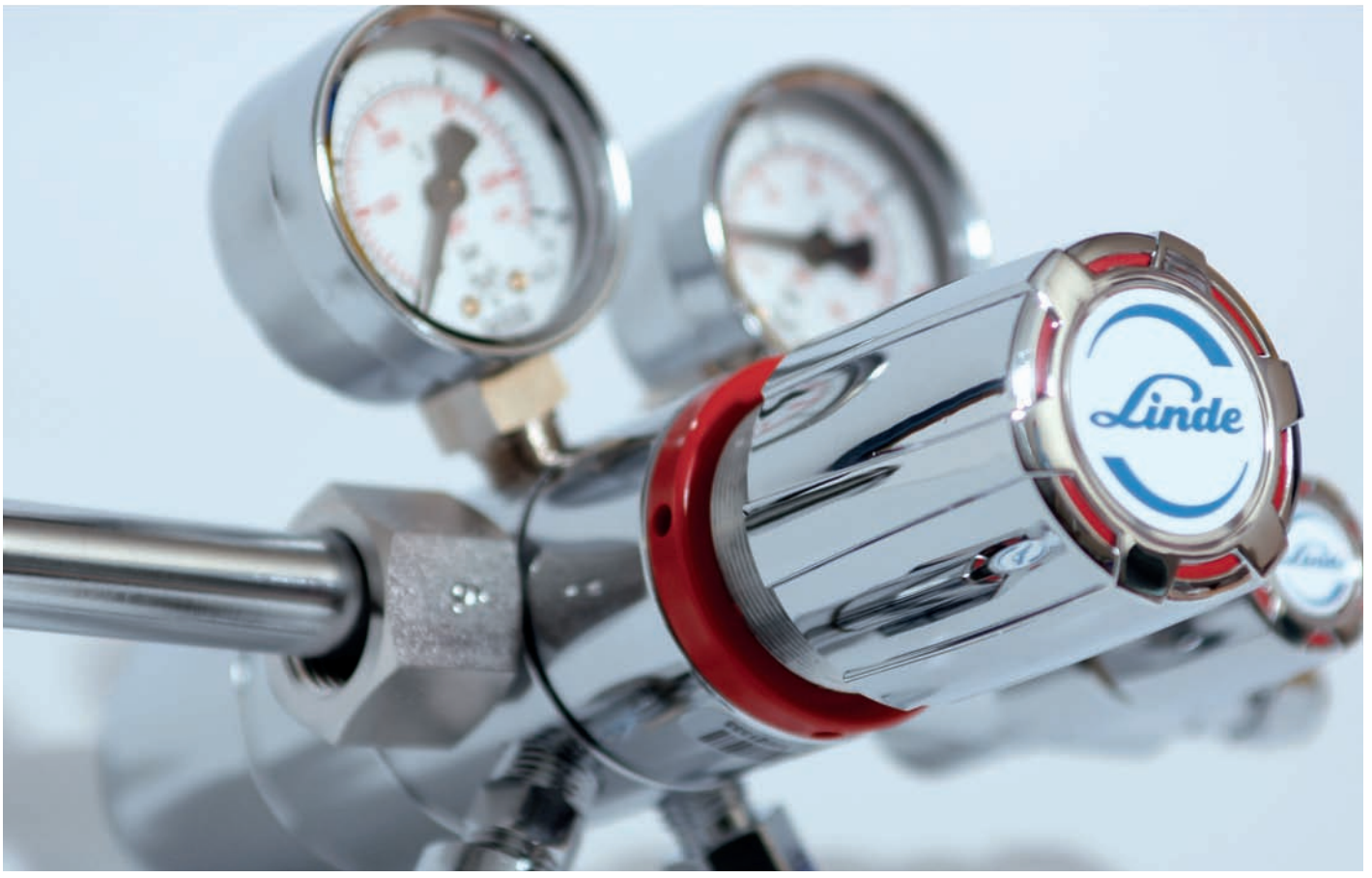
高纯减压器

要维持稳定的压力，一般要求双级减压，或直接使用高纯双级减压器，或者分别在钢瓶处和使用点各使用一个单级减压器。与标准的焊接减压器相比，高纯减压器的一个优点是高纯减压器采用的是金属膜片（与标准聚合物膜不同的是，金属膜不射出颗粒或不允许杂质渗透）。

吹扫设施

在气体钢瓶更换过程中，除非采取了预防措施，否则气体钢瓶的高压接头是暴露在外的，粉尘、烟尘、湿气和其它存在的气体可能进入软管，并且被置换气体吹入共振腔。因此，在把新的气体钢瓶气接入激光器共振腔之前，必须对这些杂质进行吹扫。

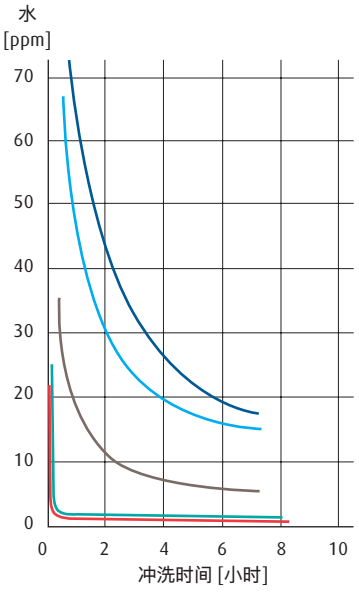
使用两个额外的阀门有助于避免所有这些问题：一个阀门关闭与激光器共振腔的连接（B），另一个阀门打开气体管路将污染物释放至大气环境中（A，参见图6）。氧杂质含量测量表明，只需少许几次吹扫即可清除减压器和软管中的氧杂质（如图6所示）。通过快速打开和关闭阀门A，对吹扫过程进行控制。打开阀门A几分钟时间形成的连续气流是不充分的，因为这无法有效地清除被截留的杂质（例如死角中的一些杂质）。相比较而言，当阀门A关闭时，高压软管中含污染的气体会被稀释；当阀门A打开时，被污染的混合气将被释出到周围环境中。



钢瓶减压器或壁装式汇流排

钢瓶减压器非常易于安装，但不允许不间断运行。壁装式汇流排允许激光器不间断运行，即使是在空的气体钢瓶更换过程中，汇流排也可实现不间断运行。可以把钢瓶储存在一个远离使用点的中心点实行集中供气，这样以符合安全法规要求并且提供更多的工作空间。另外也可以提高操作人员安全并且减少钢瓶数量，从而更便于钢瓶区的管理和监控。此外，还可以提供低压警报器和全自动气体钢瓶更换方案。

图7：软管材料对水蒸气的耐渗透性



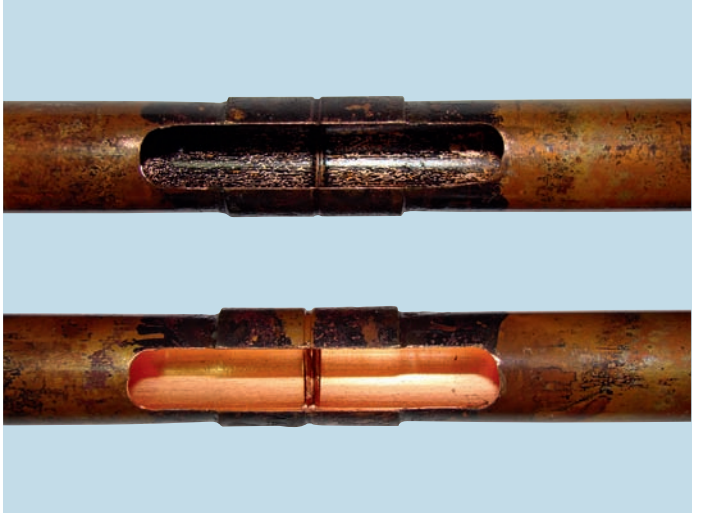


图8：硬钎焊不良导致的激光气体污染

气体供应管路

气体供应管路一端连接高压减压器，另一端连接使用点和激光器共振腔。根据当地气体钢瓶储存情况和安全法规要求的不同，管路长度可达数米。

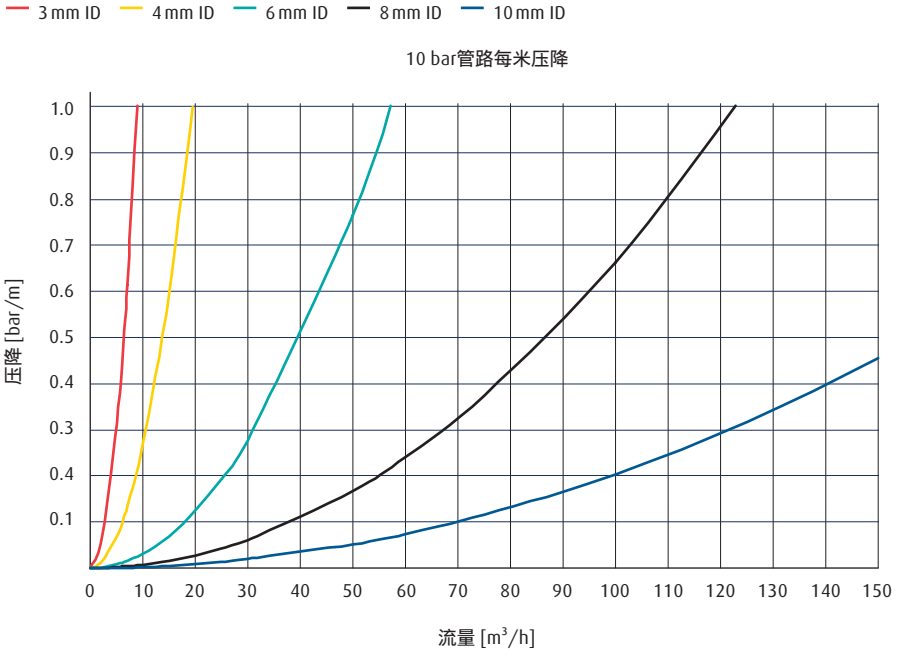
塑料软管

虽然塑料软管便于搬运和设置，但是一般不适用于激光气体供应。由于塑料软管具有渗透性，因此涉及较高的污染风险。污染量取决于塑料类型和杂质类型。图7显示了在一项试验中，不同材质的管子和软管的杂质含量的相对顺序。

试验条件允许100 l/h（3.5 sq ft/h）氦（4.5）流经长度为10 m（33 ft）的不同材质的软管和管子，然后对水蒸气、氧和氮杂质含量进行测量。

污染量取决于塑料类型和杂质类型。例如特富龙能够有效地把水蒸气杂质含量保持在低水平上，但是易受氧和氮杂质影响，因为这些杂质会通过大气环境中气体的扩散而连续进入软管。聚乙烯和聚酰胺对关键激光器杂质具有最高的耐渗透性，但是，聚乙烯和聚酰胺不具有与金属管相同的致密性，在使用时，长度应尽可能缩短。

图9：气体供应管路每米长度的压降



金属管

金属管对关键激光器杂质具有最高的耐渗透性，在使用前必须清除铜管或不锈钢管中的生产残留物并对管路进行专业的连接。

建议采用与焊根保护和卡套连接相结合的TIG焊管焊连接。由于焊根侧的氧化物污染激光气体并且妨碍激光工艺，因此许多激光器制造商一般不接受硬钎焊（参见图8）。

软管或管子

建议使用专业接合的金属管来保持最高纯度水平。如果每周7天、每天24小时运行激光器，使用塑料软管（PE、PA）即可，因为虽然少量杂质将进入激光器，但是这些杂质在共振腔正常气体更新过程中也将被清除。问题可能出现在气流中断期间（夜晚或周末），较多的杂质在气流中断期间渗透软管并且积聚。当气流恢复时，这些杂质将被直接冲入激光器。

管子或软管尺寸

管子和软管所需的直径取决于管路长度、弯管数量、进行供应的激光器数量（参见图9）。标准短距离装置的最小直径是6 mm。

使用点

在使用点，气体从气体供应系统输送到激光器。在激光器被连接前或者激光器被断开时，切断阀将保持气体管路清洁。

如果是极长的气体供应管路，第二级调压处应位于使用点处（第一级位于气体钢瓶处）。

位于使用点的微过滤器为激光器内的比例阀提供了额外的安全性。

关于激光气体供应系统的事实信息

- 使用适用高纯气体的双级减压器（带有金属膜片的高纯减压器）
- 在气体钢瓶更换之后用吹扫设备来吹扫
- 提高安全性和效率的壁装式汇流排
- 专业焊接或卡套连接的金属管路
- 尽可能短的塑料软管（PE或PA）（如果不可避免需要使用塑料软管）
- 最小管道内径6 mm

LASERLINE®激光气体和服务

运用林德LASERLINE®方案，我们向我们的客户提供提供全套解决方案，包括提供合适的标准气体、个性化的定制气体供应系统和全面的客户服务。

文献目录

参考文献

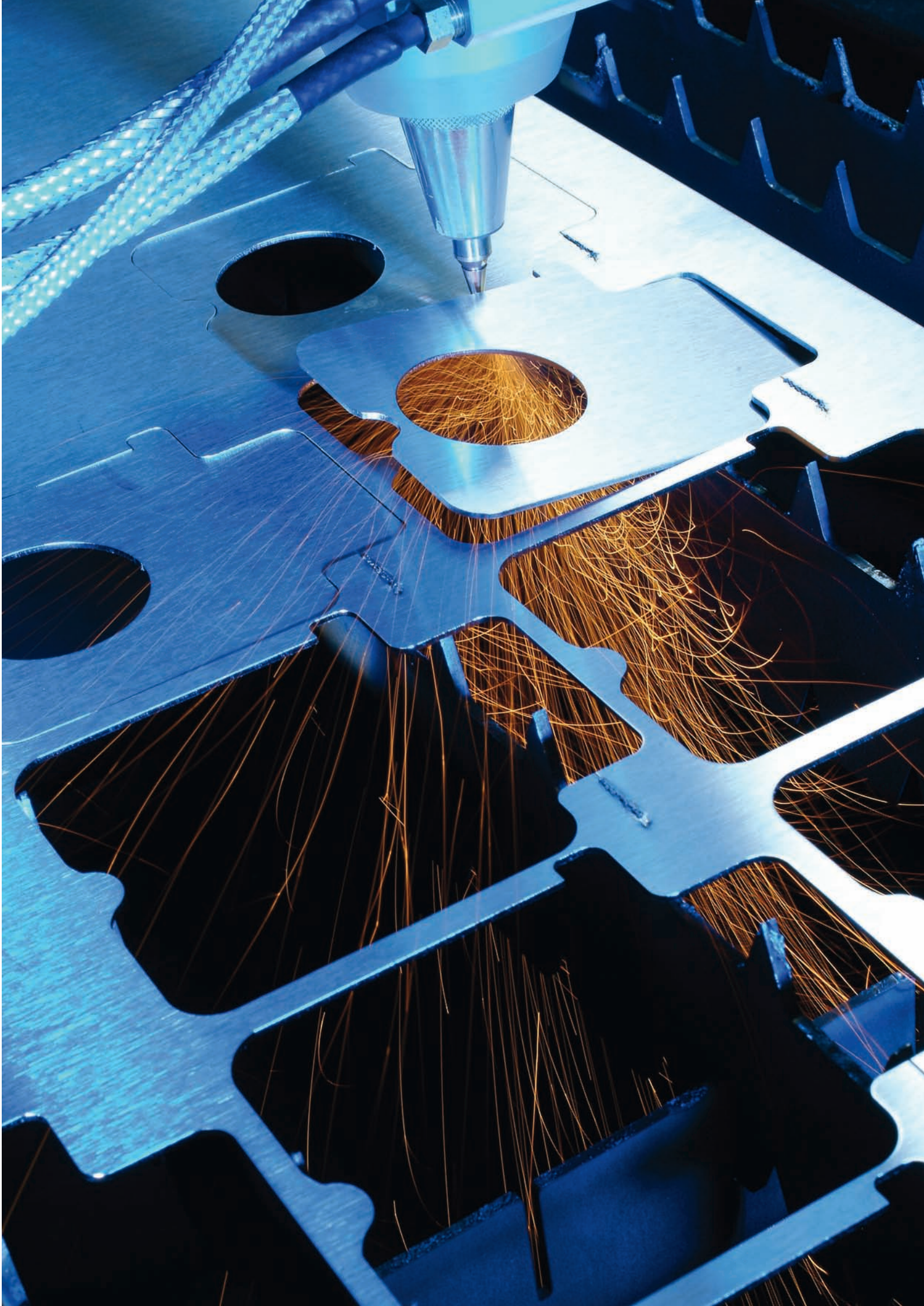
1. Gert Broden et al.: Gas supply systems for CO2 lasers, IIW-Doc. 1108-91, and Gas supply system for laser processing recommendations, IIW-Doc. 1109-91
2. C. R. Hsu et al.: The Influence of Laser Cavity Gaseous Impurities on the Performance of an Industrial CO_2 Laser, Journal of Laser Applications (1996) 8, pp. 275–283

进一步阅读文献

→ 《工业应用激光器》
→ 《激光切割工艺》
→ 《激光焊接工艺》
→ 《激光加工成本评估》
如需其它技术信息文件，请联系当地林德代表。

作者

激光解决方案团队



创新为先

林德以创新理念，在全球市场上常居先锋地位。作为技术领军者，我们以不断提升技术水平为己任。我们保持着开拓进取的优良传统，始终致力于开发优质产品和革新工艺。

林德的服务不仅于此。我们为客户创造附加值，显著的竞争优势和更高的效益。每一种理念都为满足客户的需求而量身定做 - 从标准化到定制化解决方案一应俱全，适用于所有工业和各类规模的企业。

要保持与时俱进，您需要一个把高质量、工艺优化、和高产率作为日常运作一部分的合作伙伴。我们所定义的合作不仅是在您身边待命，而是与您并肩同行。终究，通力协作才是商业成功的核心。

林德 - 精于品 诚于行

林德大中华区
比欧西（中国）投资有限公司 – 林德集团成员
中国上海浦东新金桥路27 号9 号楼 201206
电话 +86.400.820-1798, 电邮 csc.lg.cn@linde.com, www.linde.com.cn