

## 一氧化碳： 一个机修工的方法

### 应用文章

这并不总是技术类女佣式服务。有时候 HVAC 专业人员会获得一份神秘回报，有机会将其技术检测技艺应用到工作之中。我们准确解决燃烧奥秘的能力直接涉及到我们对科学技术的理解、工具和测试设备的选择、以往的经验，甚至我们的想象力。



#### 答案在表象之下

消费者的一氧化碳意识越来越强。越来越多的消费者正在其生活和工作场所安装 CO 检测器。这很好，为居民提供了前所未有的安全，同时也为专家(您)提供了深入现场分析的机会。

那么通常应该如何展开工作呢？居民在发生 CO 报警后打电话给消防队。消防员可能看不到明显的 CO 来源，所以他们建议让暖气承包商(燃烧专家)检查燃气炉(或锅炉)。您的工作是在现有条件下找到 CO 来源，或者尽量复现可能产生 CO 的变工况。这是一项艰巨的任务，这一过程要求消除可能出现的故障以及对变化因素的敏锐意识，例如建筑卸压和气体(空气和通风产物)，这些因素可能会出人意料。

您驱车赶到现场，关掉收音机，然后思考各种可能性。将结构视为一个整体系统。燃烧器具仅仅是整体的一部分。其他什么东西在争夺或干扰燃烧空气、燃料供应、通风功能？氯化物、硫化物、VOC、灰尘和污垢等污染物对部件的完整性和操作有何影响？

根据您以前曾看到的希望节省能源成本的用户，考虑所有可疑的创造性工程。考虑所有可能存在的不同化石燃料器具和产物、木材壁炉和炉灶：有些是固定式的，有些是便携式的，有些是移动式的。考虑可能产生燃烧产物，并且该产物会被吸入到居住空间的结构外的装置：空转的校车或卡车、处于运动状态的备用发电机、布局或安装不当的风机。

嫌疑对象清单没完没了，并且往往是两个或多个过程存在问题。某个过程可能从第一天就在可接受的临界状态工作，而第二个过程足以令第一个过程濒临崩溃。每项工作都各有不同，可从中学到宝贵的经验教训。要善于观察，使您的头脑能够发现可能的系统故障模式及其相互影响。

#### 外部调查

当您到达工作现场时，观察系统的外部(建筑及其周边环境)。在进入建筑物之前，打开您的环境测量仪(例如 Fluke 975)，使其在室外预热并调零。这样您也有时间四处走走。

留意烟囱、垂直通风口、侧通风口、进气口和排气口、可能成为进气口的排气口(例如从纤维屑堆积物中伸出的干燥机通风口)、靠近门窗的建筑贯穿通道,以及测量仪位置。观察下方的铺板和门廊、车库位置、通风口的内部角落,并且留意灌木丛和树木、常刮风向和可能的影响,以及地基类型(平板、管线槽、地下室)。观察窗井和管线槽竖井,以及常规的注意事项。

随后,当您关注燃气炉或锅炉、热水器、排气或通风等各个部分时,您将返回到室外,特别注意各个功能的细节和相互影响。您可能会非常惊讶,看似无关的室外因素会影响室内功能。

## 不仅限于检查 CO

在您进屋之前,记录室外环境的 CO<sub>2</sub>,由此即可将其与室内进行比较。在农村或海岸地区,室外 CO<sub>2</sub> 水平可能低至 380 ppm 或更低,而拥挤城市的 CO<sub>2</sub> 水平可能高于 500 ppm。接着,当您开始室内调查时,利用环境测量仪记录 CO<sub>2</sub> ppm、CO ppm 和湿度。LEED-EB IEQ2<sup>(1)</sup> Credit 1 CO<sub>2</sub> 浓度范围可从不足 1,000 ppm CO<sub>2</sub> 到超过 2,000 ppm CO<sub>2</sub>,取决于人均通风要求和 Met (新陈代谢)率活动水平<sup>(2)</sup>。CO<sub>2</sub> (呼吸)浓度升高可能说明结构通风不良,但无排气口(泄漏)的燃烧产物也会造成居住空间的 CO<sub>2</sub> 浓度和湿度升高。厨房的 CO<sub>2</sub> 浓度升高可能是有机物(垃圾)分解所致。化石燃料完全燃烧时产生 CO<sub>2</sub> 和水(蒸气),不完全燃烧时产生 CO 和水(蒸气)。每 100,000 Btu 输入时,一台燃气炉、锅炉或热水器一般产生 80,000 ppm 至 30,000 ppm (8%至 13%)的 CO<sub>2</sub>,取

## 询问的问题

进入结构内部之后,要将自己视为警探和犯罪现场调查员的双重身份。

需要询问以下问题:

- 发生了哪种类型的 CO 报警?
- 何时发生的报警?
- 报警器是不是符合 UL 2034 标准的 CO 探测器,也就是必须在 70 ppm CO 下的 1 至 4 小时内进行报警;还是报警器具有较低水平的报警模式,在 CO 达到 15 ppm 至 34 ppm 的 5 分钟内进行报警。
- 是否能够查看报警存储器中保存的最高 CO 浓度水平?
- 消防员检测到的 CO 水平是多少?
- 除了寻求暖气承包商的帮助外,消防员还给出了其他什么建议?
- 在凌晨时分,当所有人在熟睡时,警报声是否意味着可能存在通风或排气问题?
- 是否有居民表现出了身体症状?
- 在所有人都醒了之后响起的报警声,是否表明因为有人使用加热器或配套车库中汽车预热形成了报警条件?
- 是不是在朋友或亲戚来吃晚饭的周日下午响起了警报?
- 是否进行了烧烤、燃烧,或者忘记了锅里炖的食物?
- 厨房里是否有排风扇,是否使用了?
- 是否有户外烧烤炉,在什么位置?
- 汽油动力工具和设备呢?
- 室内是否允许吸烟?
- 是否在大家晚上都离开后就响起了报警,夜晚使用壁炉了吗?

决于燃料类型,以及大约 1 加仑水。如果 I 类通风口泄漏燃烧产物,居民首先感觉到的可能是窗户上的凝结增大,因为湿度高于之前。

## 用火的首要法则

必须安全地限制和控制用火,同时保证正确的燃料供给、氧气供给和点火温度。我们在室内生火时,必须知道燃烧产物会排放到室外。燃气炉、锅炉或热水器等设计用于长时间工作的器具,必须直接向室外排放。对于工作时间有限的产品,例如炉灶、烤箱和加热器,通常认为燃烧产物非常少,足以被常规的建筑通风排放掉,这可能完全依赖于建筑结构内空气流通的自然渗透。

随着氧气被消耗以及排放物排出建筑之外,必须持续从室外引入新鲜空气,否则将发生灾难。

## 燃烧分析

- 在室外预热并调零您的燃烧分析仪。
- 必须在任何通风罩、通风调节风门或任何稀释空气喷射之前对燃烧产物进行采样。(有些高效直排锅炉可能从空气进口将空气吸入到排气管之前的助燃风机。)

- 在启动时采样 O<sub>2</sub> 和 CO，并在过程稳定到稳态工作时进行监测。CO 在启动时可能比较高，并在达到稳态工作时降低到正常值。至少稳态工作 15 分钟。
- 考虑测量对象。为了检测过量空气(燃烧过程未使用的空气)，我们需要测量 O<sub>2</sub> 或 CO<sub>2</sub>；为了检测燃烧质量，我们需要测量 CO。
- 在我们所有人进入这个行业之前，国家标准就规定通风产物的通风口中无空气的最大 CO 含量为 400 ppm<sup>(3)</sup>。无空气的含义是：如果我们移除样本中的空气，CO 浓度是多少？或者，化学计量空气下的 CO 读数是多少：仅供完美燃烧的足量空气，没有任何过量空气。任何产品都不得超过该值，但一些较老的设备可能以门限值工作。
- 现代天然气、LPG 和 2 号燃料油设备的稳态最大 CO 样本水平目标值不应超过 100 ppm CO。高效运行设备的设定值应为 10 ppm CO 至 100 ppm CO。这些值是实际样本水平，而不是修正到“无空气”水平。这是非常好的经验法则，推荐使用，除非设备制造商有特殊规定。
- O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 为过量空气测量值，各个产品之间差异非常大。O<sub>2</sub> 是采用现代化电子分析仪测得的，基本上可直接说明过量空气。无论燃料是天然气、LPG 还是 2 号燃料油，6%的 O<sub>2</sub> 等于大约 40%的过量空气。为了便于比较，6% O<sub>2</sub> 和 40%过量空气等于(使用典型的最终 CO<sub>2</sub> 值) 8.6% CO<sub>2</sub> (天然气) 或 9.8% CO<sub>2</sub> (LPG) 或 11% CO<sub>2</sub> (2 号燃料油)。

**本生型(一次空气与燃气混合喷射)燃烧器: 6%至 9%**

**O<sub>2</sub>, 11 ppm 至 99 ppm CO**

- 天然气: 6.8% 至 8.6% CO<sub>2</sub>
- LPG 液化气: 7.8% 至 9.8% CO<sub>2</sub>

**电或特殊燃烧器(油或气):**

**3%至 6% O<sub>2</sub>, 11 ppm 至 99 ppm CO**

- 天然气: 8.6% 至 10.3% CO<sub>2</sub>
- LPG 液化气: 9.8% 至 11.7% CO<sub>2</sub>
- 带有火焰稳定器的 2 号燃料燃烧器: 11.1% 至 13.4% CO<sub>2</sub>

- 按照制造商的规定设置燃烧器和空气或水流量。关于过量空气和 CO 值，您可能需要查阅产品服务手册或直接咨询制造商。
- 如果没有制造商的过量空气指标，可用以下的简称指南作为典型值<sup>(4)</sup>。
- 除物理定律之外，每一条规则都有例外。封闭的房顶气体设备可能有特别高的 O<sub>2</sub> (14% O<sub>2</sub> 或 4% CO<sub>2</sub> 天然气)，以控制侧面排气口温度(火焰温度与过量空气成反比)<sup>(5)</sup>。低火情况下，可变容量燃烧器可在 10% 以上 O<sub>2</sub> 下工作。没有火焰稳定器的较老 1725 RPM 燃烧器的设定范围可能是 8% 至 10% CO<sub>2</sub>。如果燃烧器不能完全遵守，不要强迫其以典型值工作。
- 与许多诊断过程一样，没有任何一种因素可作为独立的证据。我们凭借感观、仪器、知识和常识来收集尽可能多的信息，以支撑我们关于某个过程是否正常的理论。
- 如果安装了要求现场转换为 LPG 的天然器具，在完

成转换之前不要操作器具。如果天然气设备使用 LPG 工作，会产生大量 CO，很可能产生煤烟，引起多种头疼症状。如果在安装时无法完成 LP 转换，请禁用器具，使其在完成转换之前无法工作。

- 设备、部件和通路必须保持清洁。无论是物理上还是操作上，部件的机械状态必须良好，且正确对齐。如果通风产物中的 CO 含量较高，一般说明存在其中一种或多种此类因素。
  - 换热器必须整洁、干净。检查是否存在金属剥落、结构或烟尘，特别是法兰周围尺寸是否会否较小。
  - 不要忽视喷射(本生型)燃烧器喉管清洁的重要







性。如果燃烧器内部积累有绒毛，生锈，或者存在可能会在喉管中产生摩擦力的任何涂层，那么带入的一次空气量将少于正常值，会产生二次空气无法清洁的脏火。

- 来自室外油箱的冷油会造成通过油嘴的油量增大，有碍雾化以及正确的燃油/空气混合。减小喷嘴尺寸并增大泵压可清洁火焰。
- 如果 CO 在燃烧器工作时稳定增大，一般说明可能存在燃烧空气和/或通风问题。

### 燃气炉换热器

消防员说，罪魁祸首总是换热器泄漏，而发生泄漏的换热器是致命的。但我们知道并不一定是这样。我们知道，受限(以及无泄漏)换热器吸入的二次空气较少，并使 CO 水平升高。我们知道，如果无泄漏换热器中的管路受到足够限制，出现浮空火焰，就会增大 CO、发生滚火。但是，除非换热器泄漏干扰燃烧或通风，产生的 CO 很可能保持不变。

即使新的换热器也会发生泄漏。ANSI 标准 Z21.47 对热交换器制造的要求之一是新燃烧器的泄漏率不得大于总烟道气的 2%。新的燃烧器就可能泄漏。尽管如此，我们每年都要尽量监测换热器的完整性。通过视觉观察检查换热器泄漏通常是我们较为困难的任务之一。在使用视觉检查工具或拆开燃炉之前，**试试一些老招数：**

- 关闭新风调风器，以提高静压。如果在风机启动前后没有明显变化，那么热交换器可能是好的。
- 检查风机启动前后的 O<sub>2</sub> (或 CO<sub>2</sub>)。如果 O<sub>2</sub> 升高(或 CO<sub>2</sub> 降低)，说明可能有空气漏入换热器。
- 对于燃油炉，将烟囱 O<sub>2</sub> 与二次 O<sub>2</sub> 进行比较。如果烟囱中的 O<sub>2</sub> (较低 CO<sub>2</sub>) 高于二次 O<sub>2</sub>，则说明换热器泄漏。
- 对于直排式产品，利用三通接入正压(“+”)较高的检测管，检查风机启动时是否存在压力变化。如果压差发生变化，则说明可能存在换热器泄漏。

### 不可依赖的因素：

- 不要凭借新风调风器处的 CO 读数判断换热器完整性。这只能说明风机在工作。如果炉子的回路(假设回路不存在泄漏)和供热之间存在 CO 读数差异，则可以怀疑换热器泄漏。
- 不要依赖风机启动时的通风口 CO 读数变化判断换热器泄漏。换热器泄漏可能对燃烧质量和 CO 产物没有任何影响。

### 燃烧空气

如果通风口的 CO 增大、O<sub>2</sub> 降低(或 CO<sub>2</sub> 增大)，则说明可能存在燃烧空气问题和通风问题。

我们知道，化石燃料产品的工作必须依赖于充足的燃烧空气。仅仅符合规范要求并不意味着燃烧空气是充足的。即使未被认为是封闭的空间(大于 50 立方英尺每 1,000 BTU 输入)也可能存在燃烧空气和通风不足。

我们认为，在通风管道中钻孔检测孔来测量空气温度(干球和湿球温度、风速读数)没有任何作用，但是在允许化石燃料产品工作之前，不应在建筑围护结构中钻孔来确认我们没有对内部空间泄压吗？

我们需要的仅仅是 3/16”或 1/4”的孔，连接到微型压力计 (Fluke 922 空气流量检测仪)的“+”侧，检查设备间和室外的压力差。启动向室外排气的全部产品：燃气炉、锅炉、热水器、排气扇、衣物烘干机。关闭设备间的门窗。监测设备间和室外的压力差。然后打开设备间的门(如果是室内门)，并再次监测压力差。如果发生室内泄压，则意味着需要更多的燃烧空气。

## 通风

如果通风口的 CO 增大、O<sub>2</sub> 降低(或 CO<sub>2</sub> 增大), 则说明可能存在燃烧空气问题和通风问题。保证足够燃烧空气的大多数措施也都适用于通风。但是与燃烧空气相比, 正确通风有时候要求的条件更多。

任何通过设备间通风排放到室外的气体都需要室外空气来补充。对于 I 类通风口, 正确的通风压力非常低(-0.01”至-0.03” wc), 很容易被反作用力抵消, 例如回路泄漏。通风过量也是问题, 因为会降低产品效率、降低通风口温度以及增大建筑卸压。

为了保证在所有可能条件下正确通风, 必须严谨考虑通风口设计和补充空气。从通风分流器排放的气体最终会造成燃烧空气不足以及 CO 产物较高。由于建筑卸压的原因, 来自未妥善安装的侧面通风口的燃烧产物可能会被吸入到人居空间, 或者在结构表面或其他设备上造成破坏性凝结, 以及造成附近仪表和调节器发生工作问题。

### I 类通风

- 使用风压表或 Fluke 922 空气流量检测仪检查通风。
- 如果器具关闭时的冷封口可产生-0.03” wc 的风量, 则说明通风口可能是够用的。
- 自然通风或风扇辅助通风产品的工作风量应为-0.01” wc。石油燃烧器可能需要-0.03” wc 风量, 以克服换热器内部压降, 从而保证-0.01” wc 火上风压。应避免工作分量超过-0.03”。

- 通风不良的烟囱会从通风罩或分流器溢出烟气产物。CO<sub>2</sub> 比空气略重, 随着设备间静止空气的浓度升高, 会沉淀在热水器所在的地面上。燃烧器首先缺乏燃烧空气, 并产生较高的 CO。
- 如果通风不良, 以下是一些关键提示:
  - 封闭全部回路侧管道泄漏和过滤器检修口泄漏。
  - 在供风室增加一个小调风器, 克服设备间泄压。
  - 尽可能减少第一个弯管前烟道衬圈上的垂直高度。
  - 低于垂直部分的任何通风口部分都会失去通风作用。避免倾斜的通风连接器。采用垂直上升, 然后横向部分每英尺升高 1/4”。
  - 增大烟道衬圈处的通风连接器尺寸。规范允许最多两种尺寸的通风连接器, 通风台支持可选尺寸。
  - 密封通风泄漏, 例如漏泄的清扫口、套管中连接器配合不好、套管与粘土瓦配合不好。
  - 如果砖砌烟囱通风不好, 安装不锈钢瓦楞换衬套会增大摩擦, 造成通风更差。
- 风扇辅助燃气设备直接连接到通风口, 没有任何通风控制措施。可安装并调节双重



作用通风调节风门, 以控制通风。

- 通风罩, 包括与设备一体的通风分流器, 是一种通风分离器。这意味着燃具通风和烟囱通风是分离的。好的垂直通风不但能进行设备间通风, 而且一般也能够对器具进行通风, 但即使通风良好, 也可能在通风罩处形成气帘, 造成烟气溢出。发生这种情况时, 利用双重作用通风调节风门代替通风罩, 使器具成为通风整体的一部分, 从而控制通风——就像燃油炉通风口一样, 只不过油通风口只需要单作用而非双作用调节风门。

我们开始时考虑什么样的系统特性会影响燃烧质量。最后, 也许我们应该考虑什么样的系统特性不会影响燃烧质量? 哪个事项清单更长?

## 燃烧空气提示

与化石燃料设备位于同一空间的所有回路管道必须密封。

过滤器检修面板必须密封。

车库中的回路和过滤网检修面板必须密封，密封，密封！

当燃烧空气开口朝向室外时，始终使用两个开口：一个向右，一个向左。如果使用管道连接到室外，使用两根管，每个开口一个。如果只使用一根燃烧空气供风口或管道，可能会作为空间中的通风口，并会排出空气，而不是吸入。

在设备间的供风通路上增加一个小调风器，并确保没有回路泄漏。这样可确保设备间的空气与整个建筑结构的空气相同。提供 33 cfm/100,000 BTU 输入允许 50 % 的过量空气。当

采用自然通风时，该数量翻倍。这样做时，就相当于为穷人增加了通风系统。如果一根管道在室外通风罩和回路管道之间安装有平衡风门，就能够保证“按需”加压整个通风系统。

切记，任何室外空气入口都不得使用 1/4” 以下的滤网。较小的滤网可能成为纤维屑收集器，阻塞室外空气供风口。

有各种售后市场燃烧空气系统可供使用，可快速、方便地安装。

热能回输器可满足燃烧空气的要求，同时提供健康的室内空气。

看看有多少费用可用于确保充足通风、排放和燃烧空气，

然后再看看留下多少费用来购买燃气炉或锅炉。如果我们认为刹车失灵，那么就不应该启动汽车。在确保有充足的空气流通之前，您甚至都不应该考虑启动化石燃料产品。

有人可能认为直排式天然气和石油产品不存在燃耗空气问题。但是，如果设计和安装不正确，或者位置较差，排气可能会重新循环到空气进口，造成 CO 浓度升高甚至引发烟气的。在低速排放、温和天气、潮湿、低气压条件或此类条件的任意组合下，直排废气滞留的机会将增大。严格遵守制造商的直排应用和安装要求，不要将某个制造商的指导应用到另一制造商的产品。

### 脚注：

- (1) LEED-EB IEQ  
LEED = Leadership in Energy Efficiency and Design (能源与环境设计领袖)  
EB = Existing Building (现有建筑)  
IEQ = Indoor Environmental Quality (室内环境质量)
- (2) 人均 CO<sup>2</sup> 生成率 = 0.0084 cfm x 新陈代谢率  
休息新陈代谢率 = 1.0  
轻体力活动新陈代谢率 = 1.2  
烹饪新陈代谢率 = 1.8  
家庭清洁新陈代谢率 = 2.7  
健美操新陈代谢率 = 3.5  
篮球运动新陈代谢率 = 6.3
- (3) 计算无空气 CO  
(空气中的氧气/(空气中的氧气 - 排放产物中的氧气)) x 排放产物中的 CO  
(21/(21 - O<sub>2</sub> 样本)) x CO 样本  
(最终 CO<sub>2</sub>/(最终 CO<sub>2</sub> - CO<sub>2</sub> 样本)) x CO 样本  
天然气: (12/(12 - CO<sub>2</sub> 样本)) x CO 样本  
LPG: (13.7/(13.7 - CO<sub>2</sub> 样本)) x CO 样本  
2 号燃油: (15.6/(15.6 - CO<sub>2</sub> 样本)) x CO 样本  
O<sub>2</sub> 样本: (21 % O<sub>2</sub>/(21 % O<sub>2</sub> - 6 % O<sub>2</sub> 样本)) x 100 ppm  
Co 样本 = 140 ppm 无空气 CO  
CO<sub>2</sub> 样本: (15.6 % CO<sub>2</sub>/15.6 % CO<sub>2</sub> - 12.5 % CO<sub>2</sub> 样本)) x 100 ppm Co 样本 = 124 ppm CO
- (4) 基于美国 National Comfort Institute 根据多年研究数据给出的建议值。
- (5) 燃气工程师手册

福禄克，助您与世界同步！®

**Fluke Corporation**  
PO Box 9090, Everett, WA USA 98206  
**Fluke Europe B.V.**  
PO Box 1186, 5602 BD  
Eindhoven, The Netherlands  
**更多信息请致电：**  
In the U.S.A. (800) 443-5853 or  
Fax (425) 446-5116  
In Europe/M-East/Africa (31 40) 2 675 200 or  
Fax (31 40) 2 675 222  
In Canada (800)-36-FLUKE or  
Fax (905) 890-6866  
From other countries +1 (425) 446-5500 or  
Fax +1 (425) 446-5116  
Web access: <http://www.fluke.com>

©2010 Fluke Corporation.  
技术指标如有更改恕不另行通知。  
美国印刷。1/2010 3611250A A-EN-N

未经 Fluke Corporation 书面许可，严禁篡改本文内容。