

燃气燃烧器回火现象及其预防措施

在化工生产中，很多工艺加热炉以气体燃料燃烧作为热源，可燃气体燃烧需要很多空气，如：人工煤气需 1.2~4.0 (m³/m³)，天然气和液化石油气则需 10~25 (m³/m³)。可见欲使燃气充分燃烧须有大量空气与之混合方可。因此，燃气与空气的混合方式，对燃烧情况有很大影响，也关系到燃烧系统能否正常安全运行。燃烧系统运行时，如果产生回火现象将烧坏燃烧器或发生安全事故。

1. 回火现象及原因：

1 燃气的燃烧方法及特点

根据燃气与空气混合情况不同将燃烧分为三种方式，即扩散式燃烧、预混部分空气燃烧（大气式燃烧）和无焰燃烧。燃烧过程处于哪一类是根据一次空气系数 α_1 （一次空气量与燃烧理论空气量之比）来判断的。

1. 1 扩散式燃烧

燃气未预先和空气混合而进行的燃烧称为扩散式燃烧，其 $\alpha_1=0$ 。扩散式燃烧的燃烧速度与燃烧完全程度主要取决于燃气与空气分子间的扩散速度和完全程度。

扩散式燃烧的特点：

(1) 燃烧稳定、在燃气系统不产生负压、空气不被吸入的情况下，不会回火，燃烧器工作稳定。

(2) 过剩空气多，燃烧速度慢，火焰温度低。对燃烧碳氢化合物含量较高的可燃气体时，在高温下由于火焰面内氧气供应不足，碳氢化合物分解出碳粒、氢和重碳氢化合物。碳粒和重碳氢化合物很难燃烧，结果造成化学不完全燃烧。一般说来，对天然气不宜采用扩散燃烧法。

(3) 燃烧强度低，在工业炉上为提高燃烧强度多采用机械鼓风方式的燃烧器。

1. 2 预混部分空气燃烧

其 $0 < \alpha_1 < 1$ 。在这种情况下，由于可燃混合物中空气量较小，因此，部分燃烧按纯动力学方法燃烧，其余燃气则按扩散燃烧方法进行燃烧。

预混部分空气燃烧的特点：

(1) 在绝大多数情况下能保证燃烧设备以任何比例的燃气与空气进行工作。因此，设备热负荷的调节范围大。

(2) 由于先吸入部分空气，所以克服了扩散燃烧的一些缺点，提高了燃烧速度，降低了不完全燃烧程度。

(3) 当一次空气系数 α_1 合适时，此种燃烧方法有一定的稳定范围。

(4) 一次空气系数 α_1 越大，燃烧稳定范围就越小，因此，一次空气系数 α_1 不可选取过大。

1. 3 无焰燃烧

燃气与空气预先按化学计量比混和，即 $\alpha_1=1$ （工业装置上无焰燃烧 $\alpha_1=1.05\sim 1.10$ ），此可燃混合物在高温的稳燃装置（火道、燃烧室）配合下，瞬时完成燃烧过程，这种燃烧方法称为无焰燃烧）。

无焰燃烧的特点：

- (1) 热强度大，约为每立方米燃烧室容积可达 $11.63 \times 104\text{kW} \sim 11.63 \times 105\text{kW}$ 。
- (2) 燃烧温度高，其接近于理论燃烧温度，热能利用得好。
- (3) 燃烧完全，几乎不存在化学不完全燃烧。
- (4) 燃烧稳定性差，容易回火。

2. 回火危害及原因

2. 1 回火危害

对于大气式燃烧器和无焰燃烧器，燃气—空气的混合物从火嘴喷出并被点燃后，不一定形成稳定的火焰，当混合气体流速小于火焰传播速度时，火焰可能逆流传播进火孔，使燃烧在喷嘴内进行，这种火焰在火孔内部燃烧的现象称为回火。

回火（对大气式和无焰式燃烧器而言）是当燃气—空气混合物的速度在燃烧焰面的法线方向上的分量小于该混合物的火焰传播速度而破坏了焰面稳定性所造成的。

回火是不允许的，它破坏了一次空气的吸入（当燃气引射空气时则造成空气不足；当空气引射燃气时则造成空气量过大），造成不完全燃烧，影响燃烧器的稳定工作，同时还引起爆鸣声和噪音。假若在燃烧器混合管内燃烧，有可能把钢制混合装置烧得变形、铸铁混合装置烧出裂缝。当几个燃烧器共用一个混合器，而且燃气—空气混合物的输送管道容积又很大时，若回火就有可能发生爆炸事故。

2. 2 回火的原因

(1) 一次空气系数大小影响，一般稳定燃烧时，大气式燃烧器 $\alpha_1=0.4\sim 0.8$ ，无焰燃烧器 α_1 约为 1.05。燃气的性质、燃烧形式和燃烧器结构不同， α_1 也不同。因为火焰传播速度与可燃混合气体中的可燃气体含量有关，而火焰传播速度是影响回火的一个主要因素，理论上一次空气系数为 1 时，火焰传播速度最大。

(2) 燃气—空气混合物通过火孔的速度大小的影响，如由于燃烧器在低负荷下运行，燃烧系统压力下降，或燃烧器火孔堵塞等原因使可燃混合气体出火孔速度小于火焰传播速度，产生回火。

(3) 气流在混合管内流动发生振动，而在燃烧室内燃烧也发生振动，当混合气体在混合管内的脉冲频率与其燃烧室的脉冲频率相等时，将会产生共振。共振一方面产生噪音，另一方面则加剧燃烧道的脉冲，也可能引起回火。

(4) 燃烧器结构设计不合理或混合管内结垢、结冰等原因，而使速度场不均匀或各火孔流速差别很大，这时，即使预混可燃气体出火孔的平均流速比火焰传播速度大很多，但在局部地方或一部分火孔处流速

仍可能低于火焰传播速度而引起回火。

(5) 燃烧器头部加热情况的影响，如燃烧器头部冷却不好，燃气一空气混合物温度升高，火焰传播速度加快引起回火。

3. 防止回火的措施

防止回火的方法是以降低火焰传播速度，提高燃气一空气混合物的出火孔流速，保证速度场均匀等为前提而制定的。在安装及生产中采取的防回火措施主要有以下几个方面：

1 根据燃气的性质合理选取燃烧方法，火焰传播速度快的燃气（氢含量高的燃气）不宜采用大气式燃烧和无焰燃烧，而采用扩散式燃烧方式，选用外混式燃气烧嘴。各种燃气火焰传播速度见表 1：

气体名称	最大火焰传播速度时，气体在混合物中的体积百分数	最大火焰传播速度 m/s
一氧化碳	45.0	1.25
氢	38.5	4.83
甲烷	9.8	0.67
乙烷	6.5	0.85
乙烯	7.1	1.42
丙烷	4.6	0.82
丁烷	3.6	0.82

表 1 各单一气体的最大火焰传播速度（管径 25.4mm）

2 使用较脏的燃气时，应设置净化装置（如过滤器等），当净化装置仍不能防止燃气喷头和混合管结垢时，应对燃烧装置进行除垢处理，或采用便于清除污垢的结构，并规定定期清洗的操作制度。

3 使用含水的燃气时，应该有水分离器，以免燃气喷头和混合管在天寒时结冰。

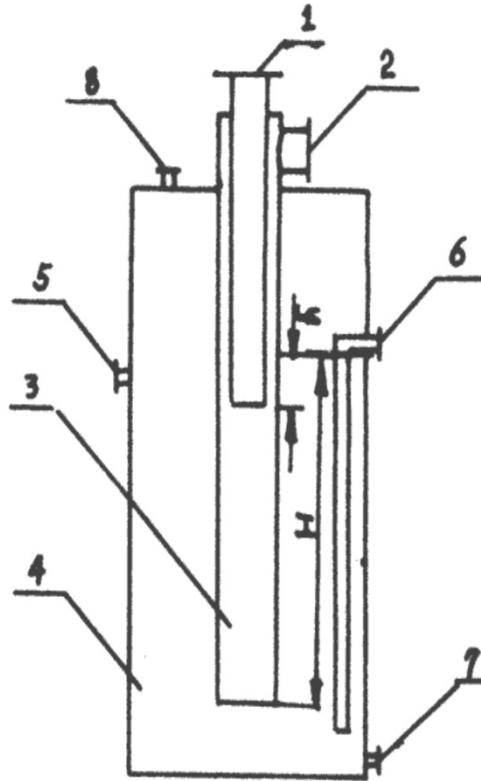
4 炉子在低负荷下操作时，应熄掉部分燃烧器烧嘴，以保证运行的燃烧器负荷不低于允许的最小负荷。

5 工艺上应根据燃气性质和燃烧器形式规定最低压力值，当燃气压力下降至低限时，应停止运行，以保证燃气一空气混合气体出喷嘴速度不小于火焰传播速度。

6 根据燃气的性质，燃烧器结构和工艺情况，如果因燃烧器头部温度过高而发生回火，可冷却燃烧器头部，减小火焰传播速度。

4. 低压燃气系统防回火水封槽

在实际生产当中，很多燃气的供应系统为低压燃气系统，压力一般在 4000~10000Pa，这种低压燃气系统在压力波动时，很容易发生回火。为了使燃烧器安全稳定运行，在燃气进入燃烧器之前设置一燃气水封槽，可有效防止回火现象。低压燃气水封槽工作原理如图 1，水封槽由燃气进口管、燃气出口管、内筒和外筒等组成，正常工作时，外筒水位保持在水满流口位置，内筒水位保持在燃气入口管以下，达到正常工作。如果突然停燃气或燃气压力低于工艺要求的下限值时，外筒的水进入内筒，将燃气入口管封住，防止燃烧器回火或空气进入燃气管道。保证水封能按设计条件正常运行，应具备以下条件（图 1）：



1—燃气入口；2—燃气出口；3—内筒；4—外筒；5—水入口管；6—水出口管（溢流）；7—排污口；8—放散口

图 1 防回火水封槽

$$(1) \quad H > P_{\max} / \rho g$$

$$(2) \quad h = P_{\min} / \rho g$$

$$(3) \quad S_a \times (P_{\max} / \rho g - h) < h \times S_c$$

式中：H——内筒下端与水满流口的高度（m）

h——燃气入口管下端与水满流口的高度（m）

ρ ——水的密度（kg/m³）

P_{\max} ——燃气系统可能出现的最大压力（Pa）

P_{\min} ——工艺要求燃气管网允许的最低压力（Pa）

Sa——内筒横截面积 (m²)

Sc——外筒横截面积 (m²)

g——重力加速度 (m/s²)

满足式 (1) 条件, 燃气压力最大时能封住燃气不进入外筒。

满足式 (2) 条件, 当燃气压力小于或等于 P_{\min} 时, 水能封住燃气入口管, 防止回火或空气进入燃气管道。

满足式 (3) 条件, 当燃气管网压力在最大值情况下突然终止供气, 保证外筒里的水迅速进入内筒封住燃气入口, 防止回火或空气进入燃气管道。

为了避免在突然停止供燃气情况下水进入燃气管道, 根据不同情况, 水封槽安装时, 燃气总管与水封槽顶应有足够高度。为了使燃气经过水封槽阻力尽量小, 燃气出口管径应大于或等于入口管径。正常运行时, 水封槽进水管应少量连续供水, 使水满流口始终处于满流状态。

这种水封槽除以上作用外, 还对燃气含的杂质、油污等起到净化作用, 能分离燃气中所含的水分, 保证燃气—空气混合气体速度场均匀, 防止回火。

5. 结论

回火是由于混合气体从燃烧器头部进入火道的速度小于火焰传播速度造成的, 在燃烧系统运行时能较好地控制这两个速度, 就能有效防止回火。

混合气本从燃烧器头部进入火道的速度主要受燃气系统压力、一次空气系数等影响。

火焰传播速度受以下几个方面因素影响:

- (1) 火焰传播速度与燃气物理化学性质有关;
- (2) 火焰传播速度与混合可燃气体组成有关 (燃气与空气的比例);
- (3) 火焰传播速度与与燃气火道孔径有关;
- (4) 火焰传播速度与可燃混合气体预热温度有关;
- (5) 火焰传播速度与燃气中惰性气体 (氮气、二氧化碳)、含量有关;
- (6) 火焰传播速度与燃气含尘量有关。

发生回火时, 综合分析各种现象, 采取正确的处理方法, 就能有效地防止回火, 保证燃烧系统正常运行。