

# 无氧作业及其安全措施探讨

张志坚

(中国石化金陵分公司煤化工运行部,江苏南京 210033)

**摘要:**以煤化工为例,根据H<sub>2</sub>、CO等可燃气爆炸相图,对无氧作业理论依据、控制条件和安全措施进行探讨。

**关键词:**无氧作业 爆炸性混合气体 爆炸极限 安全措施

煤化工与其它石化生产装置一样,具有易燃易爆、有毒有害、有催化剂等特点。因设备原因常需停车或不停车抢修消缺、排险作业,而这些设备所处的工艺过程不同,介质组成复杂,将设备内易燃易爆、有毒有害介质置换到符合空气环境下用火等作业的安全标准比较困难,即使在时间相对充足有计划的年度大修期间,置换后采样分析也常有不合格现象,影响进度。无氧作业的出现在排险、抢修消缺任务中发挥了重要作用。本文就无氧作业的理论依据、控制条件和安全措施进行探讨。

## 1 无氧作业理论依据、控制条件

### 1.1 可燃气、助燃气、惰性气三元系燃烧爆炸

要防止燃烧爆炸的发生,最理想的措施是同时消除可燃气、氧气和火源3个要素,但实际上很难做到,因为在进行消缺作业时有的明火还必须要利用。理论上只要控制其中一个要素,如把氧气降低到一定浓度以下即可防止发生燃烧爆炸。图1是可燃气F、助燃气O、惰性气N三元系燃烧爆炸示意图,为方便说明,设含有可燃气的混合气符合Le Chatlier公式,则其爆炸上下限均为直线。设可燃气在空气中的爆炸上限是U,在氧气中的爆炸上限是U',在空气中的爆炸下限是L,在氧气中的爆炸下限L',直线U'UC

与直线LLC的交点C称之为临界点。延长LC交FN边于Q,则图1分为三个区域,一是有爆炸性的U'L'C区域;二是有可燃性但无爆炸性的FU'CQ区域,当混合气组成落在该区域内时,若从密闭的容器中泄漏到大气中后,遇火源会燃烧,但在密闭的容器中即使遇火源也不会发生燃烧爆炸;三是无燃烧也无爆炸性的L'ONQ区域。图中ON边上A点含氧为21%,即空气组成点,常见在空气环境下的用火作业就在A点附近,因为距爆炸区域较远,所以可安全用火。

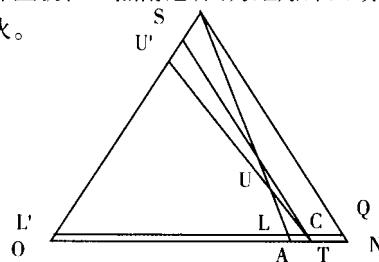


图1 可燃气F、助燃气O、惰性气N三元系示意

### 1.2 N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>对最大氧含量的影响

图1中C点的氧含量又称不发生燃烧爆炸的最大允许氧含量,如果把可燃物中的氧含量控制在该最大允许氧

收稿日期:2011-05-23

作者简介:张志坚,工艺工程师,注册安全工程师,1981年毕业于南京化工学院化工工艺专业,现在中国石化金陵分公司煤化工运行部从事煤化工安全生产技术与监督管理工作。

含量以下,就不会发生燃烧爆炸。每一种可燃气都对应有唯一的不发生爆炸的最大允许氧含量,见表1。

表1 常见可燃气加入惰性气体后

可燃气	最大允许氧含量实验值 %	
	加入N <sub>2</sub>	加入CO <sub>2</sub>
H <sub>2</sub>	4.0	5.0
CO	4.5	5.0
CH <sub>4</sub>	9.5	11.5

要把可燃物中的氧含量控制在最大允许氧含量以下,一般采用N<sub>2</sub>或CO<sub>2</sub>等惰性气体置换、稀释。由表1可看出CO<sub>2</sub>的惰化作用比N<sub>2</sub>更有效,这可能与热容有关。对于大型煤化工生产装置而言,N<sub>2</sub>由配套的大型空分装置深冷分离空气而得,纯度很高且可用量也很大,所以一般不使用CO<sub>2</sub>而用N<sub>2</sub>,实际操作时要求连续通入,所加入的N<sub>2</sub>量理论上可视为无穷大。

加入N<sub>2</sub>后,一方面N<sub>2</sub>会形成屏障,将可燃气与氧分子隔离,使它们不能有效碰撞,减少氧分子与可燃气接触反应机会;另一方面,直接导致氧气和可燃气浓度降低而N<sub>2</sub>浓度上升,增加了活化分子与惰性气体分子撞击的损失,降低了活化能,使可燃气惰性化,从而有效地防止燃烧爆炸的发生。表现在爆炸相图上就是增加N<sub>2</sub>含量后,会显著降低爆炸上限,因为在爆炸上限氧含量很低。但惰性气N<sub>2</sub>对下限影响较小,因为在下限氧过剩很多,所以下限线L'LC几乎与底边ON平行。当氧气和可燃气浓度被N<sub>2</sub>置换后降低到一定的数值后,就会离开爆炸区域而不发生爆炸。

### 1.3 氧含量和可燃气的浓度控制

图1中ST线是过C点并与FN线平行的最大允许氧含量等值线,本文所称无氧,是指图1中的FSTN区域,实际应称其缺氧或微氧区域。由相图可知,只要作业点落在CTNQ区域之内是安全的,因该区域属于既不燃烧也不爆炸区域,且越靠近N角越远离爆炸区域。对于进入含有可燃气的受限空间无氧作业时,氧和可燃气含量安全标准具体应控制在多少?

对于氧含量,理论上只要低于最大允许氧含量就不会发生燃烧爆炸,参照有关文献,结合生产实际,外加安全系数,笔者认为,对于受限空间内含有最大允许氧含量大于等于4%的可燃物,控制氧含量不超过2%时足够安全。对于煤化工生产装置,无氧作业所涉及到的可燃气主要是H<sub>2</sub>、CO等,其最大允许氧含量都大于等于4%,所以,氧含量应控制在不超过2%,即使有火源,无氧作业也是安全的,且相对容易实现。为叙述方便,称此为安全氧含量。而对于炼油企业烃类产物,因它们的最大允许氧含量更高,当用N<sub>2</sub>稀释时一般在8%以上,所以还可允许控制更高一些。

对于可燃气的控制,就煤化工而言,有时虽然采取了必要的隔离、置换等安全措施,因受限空间内存有大量填料、催化剂、残渣等,仍有可能不断释放一定量的可燃气

体,常常在有限时间内,不容易将可燃气置换到0.5%以下。由图1可知,与空气环境下作业不同的是,在受限空间内氧含量不超过2.0%的前提下,只要可燃物不超过爆炸下限,就不会发生燃烧爆炸。煤化工所涉及到的可燃气爆炸下限一般大于等于4%,适当附加安全系数,建议无氧作业时可燃物安全浓度可放宽至不超过1.0%为宜,即使如此,与在空气环境作业相比,其与爆炸区域的距离不但没有变近反而更远,这也是无氧作业理论依据,图2(H<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>等可燃气与N<sub>2</sub>及空气三元系爆炸相图)更清楚地表明了这一点。对于炼油企业,当可燃气的爆炸下限在1~4%时,可燃气浓度以控制不超过0.5%为宜;当可燃气的爆炸下限小于等于1%时,可燃气浓度控制在小于该可燃气爆炸下限的30%为宜。从图1还可看出,当把作业点的氧和可燃气浓度控制在CTNQ区域之内,如果只增加氧或空气含量但不增加可燃物含量,对作业点混合气的爆炸性没有影响,因为不会进入爆炸区域。

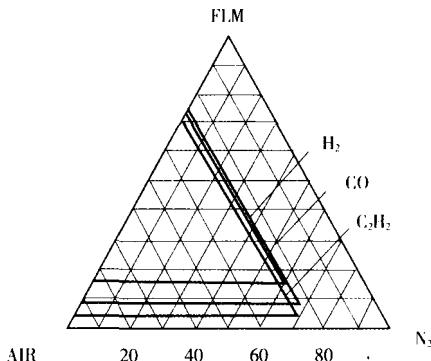


图2 可燃气H<sub>2</sub>、CO、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>与N<sub>2</sub>及空气三元系爆炸范围

## 2 安全措施

上述分析可知,控制好条件的无氧作业可以防止燃烧爆炸事故的发生,但由于涉及N<sub>2</sub>、CO、H<sub>2</sub>S等有毒气体,所以一旦隔离式供风(空气)失效,就会发生窒息性中毒事故。若在特定情况下一定要进行无氧作业,必须采取相应的安全措施。而所有的安全措施都必须紧紧围绕两点,一是保证受限空间内氧含量和可燃气在安全浓度以内;二是始终保证作业人员呼吸安全。具体应做好以下几方面安全措施。

### 2.1 严格执行无氧作业许可证

在审批前,应召开工艺、设备、安全、施工等有关单位的领导和工程技术人员会议,拟定详细全面的工艺交底方案和安全施工方案,方案要有预防性和可操作性,层层落实到人,各负其责,并报上级主管领导审批,坚持“谁负责,谁签字;谁签字,谁把关”,严禁无证作业。

### 2.2 严格执行隔离

所有与受限空间相连且可能存在可燃易爆、有毒有害物料的管线、阀门应加盲板隔离或采取其它有效隔离措施。

### 2.3 充分置换并持续供N<sub>2</sub>

必须用水、蒸汽、N<sub>2</sub>清洗、置换合格，合格后必须连续充入N<sub>2</sub>，这是无氧作业时防止发生燃烧爆炸的关键安全措施，主要应做到以下几点。

a) 必须派专人密切监视供N<sub>2</sub>压力，至少保证200 Pa微正压，并连续供N<sub>2</sub>。

b) N<sub>2</sub>进出口应选择合理位置，防止N<sub>2</sub>走短路和可燃气角残余、积聚，出气口应引至安全场所。

c) 充N<sub>2</sub>管线应单独设置，防止其它管线、系统内的气体混入。

#### 2.4 必须进行取样分析

取样应有代表性、全面性。必须按时、定期取样分析，若发现氧和可燃气含量增高，应尽快查明原因并及时采取措施，否则应停止作业。

#### 2.5 严格作业上岗证制度

必须安排经过专业培训取得无氧作业资质并有一定安全作业经验的队伍施工。主要应做到以下几点。

a) 作业人员应充分了解作业内容、时间、地点并熟知作业中的危险有害因素。

b) 施工单位必须建立现场指挥系统，应有受限空间监视设备、防爆通讯设备。

c) 作业人员应穿防静电服装，使用防爆工具。

d) 每次进入受限空间作业应限定人数，轮换作业。

e) 如果是装卸和回填催化剂、填料等物料，还要使用专用设备。

f) 作业照明应使用电压不大于12V防爆安全行灯或防爆电筒，行灯变压器应放置在受限空间之外。

g) 如使用电动工具则应是防爆型的，并应配置隔离变压器或其它保护器，同样，隔离变压器或其它保护器应放置在受限空间之外。

#### 2.6 可靠的空气供应系统

必须具有安全可靠的与受限空间相隔离的空气供应系统，以保证作业人员安全呼吸，这是防止作业人员中毒的关键。应选用正压式空气呼吸器、供风式防护面具，检查所戴面具是否有效密封，是否有脱落的危险，严禁作业期间摘除防护面具。供风设备必须安放在上风向30 m以外，并安排专人监护，若发生故障，应及时启用备用供风系统，或通知作业人员立即停止作业，撤离受限空间。

#### 2.7 安排专人现场监护

生产和作业单位必须分别安排专人现场监护。监护人除应熟悉受限空间的工艺和环境情况、有判断和处理异常情况的能力、掌握相应急救知识和注意自身防护外，在监护过程中要高度负责，主要应做到以下几点。

a) 发现安全措施不落实或作业的受限空间条件发生变化时，应立即要求停止作业。

b) 监视受限空间N<sub>2</sub>是否保持微正压。

c) 监视风向以及受限空间出入口及其附近不得有障碍物，保证畅通无阻，便于人员出入和抢救疏散。

d) 根据约定的联络信号与作业人员保持联络，当作

业人员发出求救信号或发现作业人员情况异常时，立即正确采取救护措施，抢救人员必须佩戴隔离式防护面具进入设备，并有专人在外部上风向做联络工作。

e) 禁止与作业无关的人员和工具进入受限空间，中途停止作业期间，应在出入口处挂警告牌或采取相关封闭措施，防止其它人员误进。

f) 监护人应携带可燃气和有毒气体报警仪。

#### 2.8 建立预案并演练

必须有安全应急预案并经过演练。预案内容包括作业人员紧急状况时的逃生方向和救护方法，现场应配备一定数量的空气呼吸器、救生绳、安全带、灭火器等应急救护器具。必要时，还应安排气防、消防等专职人员到现场监护。

### 3 结语

实践证明，无氧作业较好地解决了安全与进度的矛盾，只要安全措施认真落实到位，层层负责把关，加强监督管理，无氧作业就不会发生火灾、爆炸、中毒事故，对于排除险作业、缩短抢修工期、降低检修成本、减少污染等都具有显著的意义，因此常在煤化工和石化企业得到采用。

### 4 参考文献

- [1] 佟旭,冯玉琢.工业生产安全技术概要与实用数据手册[M].北京:电子工业出版社,1994:302
- [2] 万成略,汪莉.可燃气体含氧量安全限值的探讨[J].中国安全科学学报,1999(9):48-53
- [3] 杨泗霖.防火防爆技术[M].北京:中国劳动社会保障出版社,2010:81-130
- [4] GB4962-2008 氢气使用安全技术规程[S]
- [5] GB6222-2005 工业企业煤气安全规程[S]

### Discussion on Anaerobic Work and Its Safety Measures

Zhang Zhijian

(SINOPEC Jinling Branch Coal Chemical Operation Department, Jiangsu, Nanjing, 210033)

**Abstract:** According to the H<sub>2</sub>, CO and other combustive gas explosion phase diagram, the theoretical basis of anaerobic work, control conditions and safety measures were discussed for the example of coal chemical.

**Key words:** anaerobic work; explosive mixture gas; explosion limit; safety measures 

