

# 废气焚烧炉运行过程中的危险因素及安全措施

陈万有

广东港竣建筑工程有限公司

DOI:10.12238/eep.v5i2.1550

**[摘要]** 随着环境质量要求的提高,全国各地加强了化工厂废气排放监测工作。为了消除废气焚烧炉燃烧造成的空气污染,大多数化工公司都在必要时引进了特殊的废气燃烧装置。然而,由于缺乏对环保系统安全运行的重视,近年来在废气燃烧中发生了许多火灾爆炸事故。因此,分析废气燃烧运行的风险并提出有效的改进措施具有重要意义。

**[关键词]** 废气焚烧炉; 尾气; 风险分析; 安全措施

中图分类号: X701 文献标识码: A

## Risk factors and safety measures during the operation of exhaust gas incinerators

Wanyou Chen

Guangdong Gangjun Construction Engineering Co., Ltd

**[Abstract]** With the improvement of environmental quality requirements, the monitoring of exhaust emissions from chemical plants has been strengthened throughout the country. In order to eliminate air pollution caused by the combustion of exhaust gas incinerators, most chemical companies have introduced special exhaust gas combustion devices when necessary. However, due to the lack of attention to the safe operation of environmental protection systems, many fire and explosion accidents have occurred in the combustion of exhaust gases in recent years. Therefore, it is of great significance to analyze the risk of exhaust gas combustion operation and propose effective improvement measures.

**[Key words]** exhaust gas incinerator; exhaust gas; risk analysis; safety measures

### 引言

通过改善环境保护方法,所有废气排放的现场都加强了对化学工业污染物排放的控制。为了满足环境保护的要求,化工企业增加了最终气体处理的环保设施。目前化工企业废气处理厂引发的安全事故表明,废气处理厂的运行重点是环保和合规,但缺乏必要的安全风险管控和措施,这导致了各种安全事故。例如,在2015年期间一家化工公司的蓄热式燃烧炉(RTO)工厂发生爆炸。事故的直接原因是气体冷凝温度高,冷凝后气相中有机化合物含量增加,且排气歧管上的稀释空气分配不足,导致进入RTO的废气浓度达到爆炸极限。间接原因是排气歧管上未设置在线排气浓度检测器和防爆泄压系统。2019年时候,国内某制药厂的RTO装置因废气中甲醇浓度突然升

高而发生爆炸。可能的原因:一是装置没有配备实时废气浓度检测仪,无法及时检测并关闭高浓度废气,导致高浓度废气在加热过程中在炉内蓄热材料中爆炸;第二,该装置没有配备火焰分离器,不能阻止爆燃废气反射到排气进气部分。因此,在增加排气系统的同时,采取有针对性的安全措施,提高排气系统的本质安全性是非常重要的。

### 1 焚烧炉的类型

燃气燃烧装置一般分为废气直接燃烧装置和再生式燃气燃烧装置。其中之一是直接废气燃烧(to)。假设绝热高温燃烧,其主要功能是分解废气中的有机废物,生成二氧化碳和水。例如,霍尼韦尔UOPKellert燃烧技术与上海一家设备公司开发的直燃式废气燃烧装置可以在950℃的工作温度和良好的烟气紊流

设计下,燃烧去除率大于99.99%(最恶劣工况下不低于97%)。2015年,上海石化安装了直接燃烧废气燃烧装置,用于处理碳氢化合物废气,废气处理能力为2000nm<sup>3</sup>.h; 2012年,珠海一家添加剂公司安装并使用了一个垂直燃烧装置来处理酒精废气。第二种是再生式废气燃烧(RTO)。采用蓄热式氧化燃烧技术。挥发性有机废气经再生器吸热升温后进入燃烧室进行高温燃烧,使废气氧化转化为二氧化碳和水,蓄热后排入另一再生器。储存的热量用于预热新进入的废气,并定期改变气流方向,以保持炉膛温度的稳定性,与传统的直接燃烧氧化炉相比,它具有热回收率高、有机废气去除率高等特点。目前,该技术广泛应用于精细化工企业的废气处理。利民化工股份有限公司于2018年在二期安装并使用废气蓄

热系统,用于处理甲硫醇、污水处理厂废气、污水盐干燥等废气,废气处理能力为40000Nm<sup>3</sup>-h;2017年,百川化工(如皋)有限公司安装并使用废气蓄热器处理部分酸酐车间、三辛烷氢化物车间和醋酸盐车间的废气<sup>[1]</sup>。

## 2 焚烧厂运行过程中的风险因素

燃烧装置的运行与上游废气密切相关。一般安全风险分析可以全面识别由废气本身、废气收集系统和燃烧装置运行过程的风险引起的风险因素。

### 2.1 废气的风险

化工公司的最终气体通常包含多种成分气体,这些气体决定了其固有的危险特性。常见的最终气体包括甲醇、二氯苯、氮氧化物等。甲醇是一种易燃液体,爆炸极限为5.5%~44%,闪点为12℃;二氯苯属于急性毒性吸入,3类气体,职业接触限值(PC-TWA)50mg/m<sup>3</sup>;氮氧化物、氧化性气体、1级压力气体、急性吸入毒性、3级、职业接触限值(PC-TWA)15mg/m<sup>3</sup>。这表明废气具有易燃、有毒、腐蚀等危害。

### 2.2 排气进气系统的操作风险

一般情况下,来自上游装置的废气通过自身压力排入燃烧装置,或通过气液分离罐进行分离,然后通过风机压力引入燃烧装置进行处理。在废气收集和运输过程中会出现以下风险:首先,如果在废气收集过程中未对废气采取适当的预处理措施,可能会导致废气管腐蚀损坏、堵塞和增压,导致排气管故障,进而导致废气损失,从而导致火灾、中毒等事故。第二,如果在任何废气产生现场的废气管和废气总管之间,或废气总管和废气缓冲罐之间没有安装阻火器等安全装置,或者如果消防装置出现故障,如果某些排气管发生火灾事故,可能会点燃整个排气系统,导致严重事故;第三,如果每个废气中的污染物成分中都有相互禁忌的成分,则进入主管后会发生反应,导致管道中的温度和压力升高,从而保持管道压力,容易造成废气损失;第四,如果新的排气管布置不合理,没有采取一定的防腐措施,可能会腐蚀和损坏管道;

第五,排气管的防静电和防火措施未完全安装,排气管存在焊接和安装错误,可能导致排气损失、火灾,甚至整个排气系统发生火灾<sup>[2]</sup>。

### 2.3 焚烧厂的运营风险

当达到爆炸极限时,高浓度废气进入炉内蓄热材料,在加热过程中可能发生爆炸。以下操作条件会增加废气浓度:首先,上游装置排放的废气从洗涤塔中冲洗出来,以降低废气浓度和温度。废气仍排入焚烧厂,有机物浓度和废气温度将严重超标;其次,上游装置工况剧烈波动,导致大量废气排放,或上游装置的应急废气也送焚烧炉处理,因为废气中的有机物浓度和废气温度严重超标;第三,如果没有对排气管进气点的有机物浓度进行有效检测和报警,并且如果排气的有机物浓度超过标准,有效浓度稀释,气体惯性,未采取事故气体缓冲和高空排放等措施。焚烧厂使用天然气作为燃料,以支持燃烧废气的氧化过程。天然气是一种可燃气体。如果进入焚烧厂的天然气压力过低,可能会发生启动和爆炸;如果引入的天然气未得到适当控制,并导致过剩,则设备的燃烧室内可能存在爆炸性环境;一旦天然气从管道中排出,也可能导致燃烧和爆炸事故。在燃烧装置点火失败和二次点火过程中,炉内可能形成爆炸性气体环境。如果未检测到气体成分和氧含量,直接点火可能会导致爆炸。燃烧装置燃烧室内燃烧器设计不合理,可能导致燃烧效率低、燃烧器未配备长明火或装置故障,这可能会导致燃烧室内的爆炸环境,并可能导致燃烧和爆炸事故。如果由于进气过量、燃烧器故障、蓄热罐过热和废气排放系统堵塞而导致燃烧装置燃烧室超压,高温气体可能会返回排气管网,甚至导致回火,这会导致排气管发生燃烧和爆炸事故,严重时会影响上游设备和设施。如果燃烧装置的引风机发生故障,会导致燃烧室内超压,导致气体温度升高和回流。高温气体返回管网会导致温度控制、燃烧和爆炸,甚至对上游设备和设施造成严重影响。如果燃烧装置的排气口不能及时关闭,或高浓度废气的紧急排放口进

入排气排放管线内,过高的排气浓度可能会在高温下爆炸。如果在燃烧装置的排气管、燃烧室等部位未安装泄压防爆装置,超压爆炸可能会造成严重事故。废气中含有有机化合物,一旦发生泄漏,可能会导致周围人员中毒和窒息<sup>[3]</sup>。

### 2.4 余热锅炉系统的运行风险

一般情况下,高温烟气燃烧后进入余热锅炉进行热回收,烟气温度下降到满足要求,产生一定温度的饱和蒸汽在厂内循环利用,节约成本。处理后的烟气进入烟囱排放,在烟囱顶部设置烟气在线监测系统,对烟气中的有害物质进行在线监测。在余热锅炉系统运行过程中,由于操作人员故障和安全保护装置失效,锅炉可能会出现缺水、满水、超压、汽水共沸等后果。如果处理不及时或不正确,可能会导致锅炉发生物理爆炸。余热锅炉和蒸汽系统可能因安全附件(主要是安全阀、压力表等)故障而爆裂甚至爆炸,或超压运行,或定期检查失败,或有效检查和年检失败,或过热,或严重腐蚀、裂纹、防护设备故障等因素。

## 3 焚烧厂的安全预防措施

### 3.1 安全装置的配置

首先,在每个废气进入焚烧炉之前,在管道上放置一个爆震阻火器或防火阀,以防止气体回流和回火影响上游管网和设备。第二,排气管和连接附件应采用金属制成,能够传导和去除静电。排气管和装置外壳必须接地,法兰上必须做接地桥,防止静电的产生和积聚。第三,排气管的横截面积应大于进气管的横截面积,以降低气流阻力,防止炉膛内的压力保持。第四,严格控制从焚烧厂进口的有机物的浓度是防止爆炸的最基本措施。尤其是,蓄热式燃烧装置本身就是点火源。如果炉内入口浓度超过爆炸下限,即使使用防爆风机和前面的防静电管,也无济于事。由于有机物的爆炸下限随着气体温度的升高而大大降低,并且由于化工企业突然排放有机废气,因此入口浓度必须远远低于爆炸下限。在排气进口和排气支管处安装在线排气浓度检测器,实时监测排气浓度,在燃烧装置进口处增加稀释空气阀和缓冲罐。增加风机等

仪表设备,确保进入燃烧装置的废气浓度低于爆炸下限的25%<sup>[4]</sup>。第五,在进入主管后,每个废气进入燃烧装置,必须在线记录氧含量。检查可燃气体中的氧含量不超过2%。第六,为防止爆炸事故的发生,在炉膛顶部设置防爆门,并在废气供应管和缓冲罐中添加防爆片。配备了这些爆炸泄压装置,爆炸时的爆炸损失可以降低到最低。防爆门必须安装在熔炉顶部,可能位于人员和设备的方向。当炉内压力急剧上升时,防爆门自动打开泄压;如果炉子过热,紧急排放阀可以通过温度锁定及时散热。第七,燃烧厂采用天然气作为燃料,在天然气管道易泄漏部位和燃烧炉入口设置可燃气体报警器。第八,为防止废气燃烧不完全引起中毒事故,在燃烧炉入口处设置一氧化碳毒气报警器。九、当管道气体温度超过60℃时,必须做好保温保护及相关警示标志,防止现场巡逻人员意外触摸造成烫伤。

### 3.2 自动控制

燃烧装置的过程必须由自动控制系统控制。对于主要设备的重要控制参数,如排气成分浓度、排气温度、排气压力、排气流量、燃烧室温度、燃烧室压力、排气温度、排气成分浓度、排气氧含量、分液罐液位,应调整本地和远程控制仪表。控制阀等的有效监控。关键设备必须对温度、压力、流量、液位等主要参数设置显示、控制和限值报警,对重要的过程控制点设置安全锁。直接燃烧装置使用DCS控制系统和SIS安全仪表系统进行安全锁定。DCS和SIS采用两套完全独

立的系统,关键部件的冗余设计提高了系统的可靠性<sup>[5]</sup>。DCS控制系统的主要控制电路如下:第一,燃烧炉的温度控制:燃烧炉的温度控制采用分区控制。如果温度低于设定的最小值,增加燃气流量;如果温度高于设定的最大值,则减少燃气流量并增加炉膛冷却空气流量。第二种是燃烧器燃烧空气控制:燃烧器燃烧空气通过燃烧空气与总废气流量的比例以及和燃气流量相对应的燃烧空气流量之和来调节燃烧空气流量。第三,锅炉流体控制:通过调节锅炉给水泵的入口电流来调节锅炉液位。第四,气液分离的稳压采用分区控制。如果气液分离器罐低于设定值,控制氮气形成气体。当气液分离罐的压力高于设计值时,变频控制风机排气。SIS安全联锁逻辑控制点主要包括燃气压力、仪表空气压力、燃烧温度和燃烧空气流量,每个控制点与切断系统、燃气和废气双切断阀锁定<sup>[6]</sup>。

### 3.3 燃烧装置点火操作期间的注意事项

焚烧炉中可能已形成爆炸性气体环境。燃烧厂在点火过程中容易发生雷击爆炸事故,可按以下三点操作:一是对点火操作进行安全风险评估,使参与点火过程的员工对点火过程中的风险有更深入的了解。其次,点火过程中的每一步都必须严格按照操作规程进行,下一步必须经组长和车间确认后方可进行。第三,点火过程必须在层导体的统一指挥下进行,并由设备主管和工艺师进行监控和执行。冲洗时间与原来的5分钟保持不

变。点火前,必须及时处理泄漏控制阀,确保装置完好,符合工艺要求。燃烧装置燃烧室二次点火过程必须严格按照安全规程进行,必须检查必要的气体成分和氧含量,确保炉内无爆炸性环境。

## 4 结论

随着当前化工行业环保要求的提高,新型高效环保处理厂基本普及。在缺乏一般安全风险分析和适当安全措施的情况下,可能会出现潜在的安全风险。分析了化工烟气燃烧厂存在的危险有害因素,提出了预防安全事故的有针对性的措施,增加了监测设施,根据环保要求,增加自动锁闭保护等具体措施,防止事故发生,确保环境处理厂的安全运行。

## [参考文献]

[1]唐庆庆.焦化企业尾气环保治理安全风险分析及管控建议[J].山西化工,2021,(4):239-241.

[2]国家生态环保部.蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范:HJ1093—2020[S].北京:中国环境科学出版社,2020.

[3]帅启凡,董小平,陆建刚.蓄热燃烧法处理工业VOCs废气的研究进展[J].环境科学与技术,2021,44(1):134-140.

[4]谢兵文,张以福,刘玉刚.蓄热式废气焚烧炉在化工挥发性有机废气处理中的应用[J].塑料助剂,2020,(6):20-22.

[5]胡珀.废气焚烧炉的设计探讨[J].科技创新导报,2008,(9):15-17.

[6]范旭.论生活垃圾焚烧处理技术[J].广东省电力设计研究院,2009,(12):57-59.