

煤制烯烃工程火灾风险探讨

王璐

(公安部天津消防研究所, 天津 300381)

摘要:与传统石油化工项目相比,以煤制烯烃为代表的新型煤化工项目火灾危险性有很大的不同。从物料、关键装置、工艺过程等多个方面就煤制烯烃工程的总体火灾危险性进行分析,并将其与传统石化项目的火灾危险性进行了对比。

关键词:煤制烯烃;火灾危险性;煤化工;石油化工

中图分类号:TQ51

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2014)04-0014-03

Fire risk analysis of coal-to-olefins industry

WANG Lu

(Tianjin Fire Research Institute, Tianjin 300381, China)

Abstract: Coal chemical industry, especially the coal-to-olefins project, is vigorously developed in China nowadays. However, compared with the traditional petrochemical industry, the fire risk of coal-to-olefins is obviously different and should be deeply investigated. The overall risk of feedings, key installations and processes of the coal-to-olefins industry are analyzed.

Key words: coal-to-olefins; fire risk; coal chemical industry; petrochemical industry

低碳烯烃特别是乙烯、丙烯是化学工业中最重要的2种基础有机原料,在我国,乙烯和丙烯有着广阔的市场需求,供需矛盾非常突出^[1]。而目前乙烯、丙烯基本是由石油路线而来,但由于我国石油资源相对不足,传统石油路线生产乙烯、丙烯已不能满足要求^[2]。因此近些年来,人们开始致力于非石油路线的开发,煤制烯烃工艺应运而生并得到飞速发展^[3]。目前,我国已经建成多个煤制烯烃示范性项目^[4],例如,年产60万t烯烃的神华包头项目(MTO),年产50万t聚丙烯的神华宁煤项目(MTP),年产46万t聚丙烯的大唐多伦项目(MTP)等。随着大量项目的建设、投产,煤制烯烃工程正向着大型化、集约化发展,一旦发生火灾事故,不仅会对人民生命安全和企业的经济财产造成重大危害,还会影响到我国的能源战略安全,因此其消防安全引起人们的关注。

煤制烯烃的工艺流程长,反应装置复杂^[5]。在一般的煤制烯烃项目中,均以高挥发分煤炭为原料通过煤气化反应制得粗合成气,以处理后的合成气为原料制备甲醇,甲醇精馏后进行转化反应制备烯烃,最后再由烯烃制备聚乙烯、聚丙烯。由此可见,煤制烯烃的工艺流程主要由煤气化制合成气、合成气制甲醇、甲醇制烯烃及烯烃聚合等关键装置组成^[6]。

煤制烯烃工艺流程与传统的石油化工工艺相比

区别较大,与石油化工的火灾危险性不同。因此,需要对煤制烯烃工程中关键生产装置、工艺过程、所涉及的物料和产品的火灾危险性进行研究评估,并在此基础上提出煤制烯烃工程的总体火灾危险性,以便为防火设计提供科学的指导,从本质上提高煤制烯烃项目的安全性。

1 煤制烯烃工程物料与产品的火灾危险性

1.1 主要危险物质及其分布

煤制烯烃工程的主要危险物质的特性如表1所示。由表1中数据可以看出,煤制烯烃工程中不涉及原油、石脑油、柴油等油品,所以与传统的石油化工相比所涉及的危险物质相对简单,火灾危险性有所降低。

表1 煤制烯烃工程中主要危险有害物质的特性

介质名称	闪点/ ℃	引燃 温度/ ℃	爆炸极限 (体积分 数)/%	火灾 危险 类别	爆炸危险 类别	
					类级	组别
煤粉(尘)		235		乙(固)	ⅢB	T ₁₂
甲醇	11	385	6.7~36	甲B	ⅡA	T ₂
乙烯		425	2.7~36	甲	ⅡB	T ₂
丙烯	-108	455	2.0~11.1	甲	ⅡA	T ₂
乙炔	< -50	305	25~82	甲	ⅡC	T ₂
一氧化碳		609	12.5~74	乙	ⅡA	T ₁
氢气	< -50	400	4.1~74.1	甲	ⅡC	T ₁
硫化氢	< -50	260	4.0~46.0	甲	ⅡB	T ₃

续表

介质名称	闪点/ ℃	引燃 温度/ ℃	爆炸极限 (体积分 数)/%	火灾 危险 类别	爆炸危险 类别	
					类级	组别
硫磺	207	232	爆炸下限 2.3 g/m ³	乙	ⅢB	T ₁₂
甲烷	-188	482~632	5.3~15	甲	ⅡA	T ₁
乙烷	< -50	472	3.0~16	甲	ⅡA	T ₁
丙烷	-104	450	2.1~9.5	甲	ⅡA	T ₁
1-丁烯	-80	385	1.6~10	甲		T ₂
高密度聚 乙烯		450	爆炸下限 (粉云) 10 g/m ³	丙		
聚丙烯		420	爆炸下限 (粉云) 20 g/m ³	丙		
二甲醚	-41	235	3.4~27	甲	ⅡB	T ₃

1.2 煤炭和煤粉

煤炭作为煤制烯烃工程中的特有原料其储存量和消耗量都十分巨大,通常在煤制烯烃工程的实际运行中,大多数煤气化装置都采用了 Shell 干煤气化工艺,该工艺需要使用干燥煤粉,因此需要对煤粉的危险性进行专门分析^[7]。

对于煤粉来说,自燃和爆炸是煤粉的主要危险。影响煤粉爆炸的因素很多,如挥发分含量、煤粉细度、气粉混合物的浓度、温度和输送煤粉的气体中氧的成分比例等。一般说来,煤粉挥发分含量越高、水分含量越低、粒径越细则越容易发生燃烧和爆炸。

以某煤制烯烃项目为例,其所用到的煤粉粒径大多小于 90 μm,水分含量均很低,挥发分则超过 35%,煤粉粒径分布数据如表 2 所示。因此煤粉挥发性高、粒度细、水分低,虽然煤粉制备系统使用惰

性气体保护,但是一旦发生煤粉泄漏或系统故障导致氧含量增加,就容易发生自燃和爆炸,造成严重后果。

表 2 某煤制烯烃项目的煤粉规格

分布/%	煤粉粒径/μm						水分
	≤74	≤210	≤100	≤90	≤75	≤45	
≥80	100	89	86	80	45	0	2~4

1.3 甲醇

甲醇是煤制烯烃工程中的另外一个主要危险物质。首先,甲醇作为中间物及原料被大量使用,在煤气化后合成气的温甲醇洗工序中,也会用到大量甲醇溶剂。因此,在煤制烯烃项目中甲醇的使用量大,分布广泛。

甲醇的闪点、沸点较低,属于易燃液体,其蒸气与空气可形成爆炸性混合物。其蒸气比空气密度大,能在较低处扩散到相当远的地方。而且甲醇作为一种极性溶剂,能够与水以任何比例相互混溶。这类液体对普通泡沫有较强的脱水性,可使泡沫破裂而失去灭火功效,因此需要采用抗溶型泡沫进行灭火。对于甲醇火灾,虽然其燃烧热值较低,但由于其较高的极性,泡沫灭火时所面临的难度较大。

2 煤制烯烃工程关键装置的火灾危险性

通常,操作温度、操作压力及进出物料的特性大致反映出工艺操作条件是否苛刻,而工艺操作条件又决定了装置的火灾危险性。本文中总结了煤制烯烃各个工艺过程的操作压力、操作温度及进出物料的情况,见表 3 所示。

表 3 煤制烯烃装置的操作条件和处理物料

工艺过程	装置设备	操作压力/MPa	操作温度/℃	进料	出料
煤气化	气化炉	6.5	1400	水煤浆、氧气	粗煤气
变换	变换炉	6.35	200~550	粗煤气(湿)	粗煤气(湿)
净化	甲醇洗涤塔、分离塔、再生塔、CO ₂ 汽提塔、H ₂ S 浓缩塔		-40~-20	粗煤气、甲醇	净化合成气 H ₂ S
甲醇合成	甲醇合成塔、稳定塔、常压精馏塔、减压精馏塔	7.5~8.0	275~285	净化合成气	甲醇、乙醇、废水
甲醇制烯烃	流化床反应器、催化剂再生器、脱轻塔、烯烃精馏塔	0.13(反应) 0.1~0.3(催化剂再生)	470~475(反应) 680(催化剂再生)	精甲醇	乙炔、乙烯、丙烯、丙烷、乙烷、其他轻烃
烯烃聚合					
乙烯聚合	气相流化床反应器	2.4	85~115	乙烯	聚乙烯
丙烯聚合		3.5	65	乙烯、丙烯	聚丙烯
制氢	吸附塔	2.0~2.5	40~60	干气	氢气、燃料气
硫回收	克劳斯反应器、加氢反应器、急冷塔		300~350	富 H ₂ S 酸气、空气	硫磺、排放气

由表 3 中数据可以看出,煤制烯烃工程中,煤气化、合成气变换、甲醇合成的操作压力较高,而煤气

化、甲醇制烯烃的操作温度较高。此外,煤制烯烃中的甲醇合成及甲醇制烯烃均为强放热反应,尤其是

甲醇制烯烃的反应温度也较高,在反应过程中有可能发生飞温事故,增加其装置的火灾危险性。

根据煤制烯烃工程中物料及产品的火灾危险性分布,结合煤制烯烃各个装置的主要危险,进一步确定了其火灾危险性等级,如表 4 所示。从表 4 中数据可以看到,其中备煤、煤气化、甲醇合成、甲醇制烯烃、烯烃聚合、罐区、硫磺回收等关键装置的火灾危险性为甲级。

表 4 各单元主要危险化学品和危险有害因素一览表

装置	危险有害物质	主要危险、 危害	火灾 危险性
备煤装置	煤尘、一氧化碳、氢气	粉尘、爆炸、火灾	甲
空分装置	O ₂ 、N ₂ 、NH ₃	中毒、爆炸、火灾	乙
煤气化 装置	煤粉、O ₂ 、N ₂ 、CO ₂ 、H ₂ 、 H ₂ S、CO、甲醇	火灾、爆炸、中 毒、粉尘	甲
甲醇合成 装置	氧、氮、氨、一氧化碳、氢 气、甲醇、轻烃	火灾、爆炸、中毒	甲
甲醇制 烯烃	甲醇、二甲醚、乙炔、乙烯、 丙烯、丙烷、乙烷及其他轻烃	火灾、爆炸、中毒	甲
PP 装置	丙烯、聚丙烯、三乙基铝、 丙烷、氢气	火灾、爆炸、中毒	甲
PE 装置	乙烯、聚乙烯、三乙基铝、 氢气、1-丁烯	火灾、爆炸、中毒	甲
罐区	甲醇、烯烃等	火灾、爆炸、中毒	甲
硫磺回收 装置	H ₂ S、SO ₂ 、硫磺、NH ₃ 、烃 类、H ₂	火灾、爆炸、中 毒、烫伤	甲

此外,煤制烯烃项目工艺十分复杂。在一个项目中往往会采用多项国际领先的工艺技术,虽然这些工艺都日益成熟,安全性程度较高,但在煤制烯烃工程中如此多的工艺过程整合在一起,尚存在许多未知,没有可以参考的项目案例,含有潜在的较大事故风险^[8]。

另外,还可以通过氢气参与的加氢反应数量来大致判断总体的火灾危险性,由于加氢反应通常需要较高的压力,且一般为放热反应,所以其火灾危险性较大。在煤制烯烃工程中,虽然各个装置中都或多或少有氢气参与反应,但是真正大量采用氢气为原料的只有甲醇合成反应,与石油化工过程的一次加氢相比,其火灾危险性相当。

最后,煤制烯烃工程中,甲醇合成及甲醇制烯烃反应均有大量的水生成,其中在甲醇制烯烃反应中将近 3/5 的产物为水。大量水的存在降低了煤制烯烃工程的火灾危险性。

3 煤制烯烃工程的总体火灾危险性

煤制烯烃项目的火灾危险性较高,但是将其与传统石油化工相比较的话,火灾危险性有所降低。

其火灾危险性主要表现在以下几方面:

(1)煤制烯烃项目涉及的物料较石油化工简单,但是其中的煤粉、甲醇等具有较高的火灾危险性。

(2)煤制烯烃项目采用的生产装置复杂,工艺链长,大部分装置的火灾危险性都为甲级,涉及到临氢、高温、高压、多相反应。

(3)对关键装置而言,煤气化装置的操作温度和操作压力都很高,装置同时存在粉尘爆炸和气体爆炸的危险,火灾危险性最高;甲醇合成装置有大量氢气为原料参与反应,为强放热反应,而且操作压力相对较高,也具有较高的火灾危险性;甲醇制烯烃装置的操作温度与石油化工装置相当,但是其操作压力要明显低很多,因此其火灾危险性小于石油炼化装置;烯烃聚合装置与传统石油化工中的装置类似,其火灾危险性也相当。

(4)对于操作条件而言,煤制烯烃与传统石油化工相比除了煤气化反应外,其他装置的操作温度及操作压力都更加温和,基本都只经历 1 次加氢反应,火灾危险性相当。

综上所述,对于新型煤制烯烃工程的消防安全,需要在参考传统石油化工工程消防安全设计的基础上,充分考虑煤制烯烃工程特殊的火灾危险性,包括煤气化装置、煤粉火灾的扑救及防治、煤粉泄漏事故的防治、水溶性易燃液体甲醇火灾的扑救、各个临氢高温高压生产装置的消防安全等方面的内容,针对煤制烯烃工程中可能出现的火灾场景制订专门的消防预案,采取合理有效的灭火救援措施,防止火灾事故的发生及升级蔓延。

参考文献

- [1] 袁晴棠. 解决乙烯原料制约加快乙烯工业发展[J]. 当代石油化工, 2004, 12(9): 1-5.
- [2] 杨春生. 我国乙烯工业发展的现状和制约因素[J]. 中外能源, 2006, 11(3): 12-15.
- [3] 田云生. 煤制烯烃-乙烯工业发展的新途径[J]. 煤质技术, 2006, (2): 20-22.
- [4] 张明辉. 我国发展煤制烯烃产业的必要性和可行性探讨[J]. 化工技术经济, 2006, 24(1): 17-24.
- [5] Chen J Q, Bozzano A, Glover B, et al. Recent advancements in ethylene and propylene production using the UOP/Hydro MTO process [J]. Catalysis Today, 2005, 106(1/2/3/4): 103-107.
- [6] 张殿奎. 煤化工发展方向——煤制烯烃[J]. 化学工业, 2009, 27(1/2): 18-22.
- [7] 黄鑫, 秘义行, 陈彦菲, 等. 煤制油工程中煤粉制备系统的火灾危险性分析[J]. 消防科学与技术, 2010, 29(3): 179-183.
- [8] 秘义行, 黄鑫, 杜霞, 等. 煤直接液化工程中煤储运系统火灾危险因素及防范措施[J]. 消防科学与技术, 2010, 29(2): 145-149. ■