

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: 目前以煤制烯烃为代表的新型煤化工项目在我国得到大力发展, 其与传统石油化工项目相比, 火灾危险性有很大的不同, 是需要人们深入研究的一个重要课题。本文从物料、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

低碳烯烃特别是乙烯、丙烯是化学工业中最重要的两种基础有机原料, 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 万吨烯烃的神华包头项目 (MTO), 年产 50 万吨聚丙烯的神华宁煤项目 (MTP), 年产 46 万吨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, 均以高挥发份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其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(°C)	引燃温度(°C)	爆炸极限(v%)	火灾危险类别	爆炸危险类别	
						等级	组别
1	煤粉(尘)		235		乙(固)	IIIB	T ₁₂
2	甲醇	11	385	6.7-36	甲 B	IIA	T ₂
3	乙烯		425	2.7-36	甲	IIB	T ₂
4	丙烯	-108	455	2.0-11.1	甲	IIA	T ₂
5	乙炔	<-50	305	25-82	甲	IIC	T ₂
6	一氧化碳		609	12.5-74	乙	IIA	T ₁
7	氢气	<-50	400	4.1-74.1	甲	IIC	T ₁
8	硫化氢	<-50	260	4.0-46.0	甲	IIB	T ₃
9	硫磺	207	232	爆炸下限 2.3g/m ³	乙	IIIB	T ₁₂
10	甲烷	-188	482-632	5.3—15	甲	IIA	T ₁
11	乙烷	<-50	472	3.0-16	甲	IIA	T ₁
12	丙烷	-104	450	2.1-9.5	甲	IIA	T ₁
13	1-丁烯	-80	385	1.6-10	甲		T ₂
14	高密度聚乙烯		450(粉云)	爆炸下限: 10g/m ³	丙		
15	聚丙烯		420(粉云)	爆炸下限: 20g/m ³	丙		
16	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 干煤粉气化工艺，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，如挥发份含量，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，煤粉挥发份含量越高，水份含量越低，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 ，水份含量均很低，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、水份低，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

项目		单位	指标
煤粉粒径	≤ 200 目(74 μm)	%	≥ 80
	≤ 210 μm	%	100
	≤ 100 μm	%	89
	≤ 90 μm	%	86
	≤ 75 μm	%	80
	≤ 45 μm	%	45
	≤ 5 μm	%	0
水分		%	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。其蒸气比空气重，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，其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能大致反应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(°C)	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、脱轻烃塔、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，又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、	火灾、爆炸、中毒	甲

装置	危险有害物质	主要危险、危害	火灾危险性
	轻烃		
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，煤制烯烃项目从原料煤一直制备得到最终的聚乙烯和聚丙烯产物，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将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，潜在着较大的事故风险^[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

总之，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，其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，基本都只经历一次加氢反应，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]当代石油石化，2004(9)，1~51
- [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)，12~15
- [3] 田云生，我国乙烯工业发展的现状和制约因素，[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(1)，17~24
- [5] Chen JQ, Bozzano A, Glover B, et al. Recent advancements in ethylene and propylene production using the UOP/Hydro MTO process, [J]Catalysis today, 2005, 106(1-4), 103~107.
- [6] 张殿奎，煤化工发展方向——煤制烯烃，[J]化学工业，2009(2)，18~22
- [7] 黄鑫，秘义行，陈彦菲，杜霞，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(3)，179~183
- [8] 秘义行，黄鑫，杜霞，陈彦菲，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(2)，145~149

——本文发表于 2014 年第 3 期《现代化工》