

石化项目环境风险评价

——以某拟建渣油催化裂解制丙烯等化工原料项目为例

张秀青, 曲丹丹, 张令戈, 孙娜

(大连市环境科学设计研究院, 大连 116023)

摘要: 以某拟建的渣油催化裂解制丙烯等化工原料项目为例, 对石化项目环境风险评价的要点进行了分析, 对项目的重大风险源进行了识别, 并给出了最大可信事故及源强的确定方法, 分别采用世界银行推荐的 TNO 气团爆炸公式及非正常状态下的面源模式对确定的最大可信事故后果进行预测, 给出了风险计算和评价风险管理的结果。

关键词: 石化项目; 环境风险评价; 实例分析

中图分类号: X820.4

文献标识码: A

文章编号: 1671-1556(2009)04-0023-04

Study on the Environmental Risk Assessment of Petrochemical Projects — Taking the Risk Assessment of Chemical Materials by Residue Catalytic Pyrolysis for Example

ZHANG Xiu-qing, QU Dan-dan, ZHANG Ling-ge, SUN Na

(Dalian Municipal Design and Research Institute of Environmental Science, Dalian 116023, China)

Abstract: A complete environment risk assessment (ERA) of petrochemical project generally consists of project outline, environment risk identification, accident source term analysis, consequence calculation, risk computation and assessment, risk management and so on. In this paper, the essentials of ERA on the petrochemical project are studied based on a proposed petrochemical project which will produce propylene by residue catalytic pyrolysis, including the recognition of the significant risk source for the project, the method determination of the maximum credible accident and source strength, and the consequence prediction for the definite maximum credible accident by taking the TNO air mass detonation formula and the surface source pattern under abnormal conditions recommended by the World Bank to give the results of risk calculation, evaluation and management.

Key words: petrochemical project; environmental risk assessment; case study

0 引言

石化行业是国家支柱产业, 石化行业的发展在为国家创造巨大财富的同时, 其环境风险亦不断增加。石油化工的原料及产品大多数为易燃、易爆和有毒物质, 生产过程多处于高温、高压或低温、负压等苛刻条件下, 一旦发生化学突发泄漏事故, 往往与爆炸、火灾相互引发, 且发展迅猛, 致使有毒化学品大量外泄, 或多点诱发, 从点源发展到面源, 逸散到

大气、水体中, 污染环境。因此, 对石化行业进行环境风险评价非常重要。

1 石化项目环境风险评价的内容

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ/T 169-2004)(以下简称《导则》)要求, 一个完整的石化项目的环境风险评价一般包括建设项目的概况、环境风险识别、源项分析、后果计算、风险计算和评价、

风险管理等内容。

1.1 项目概况

项目概况部分包括介绍项目的选址、项目组成、工艺路线选择等内容。

1.2 环境风险识别

1.2.1 生产设施风险识别和物质风险识别

环境风险识别范围包括生产设施风险识别和生产过程所涉及物质风险识别。其中,生产设施风险识别范围包括主要生产装置、贮运系统、公用工程系统、工程环保设施及辅助生产设施等;生产过程所涉及物质风险识别范围包括主要原材料及辅助材料、燃料、中间产品、最终产品以及生产过程排放的“三废”污染物等。依据《导则》和《重大危险源辨识》(GB 18218-2000)的判别标准,对项目涉及物质逐一进行筛选,物质风险性识别标准如表 1 所示。

表 1 物质风险性识别标准

Table 1 Material risk recognition standard

物质	识别标准
有毒物质	1 $LD_{50} \leq 5; LD_{50}^* \leq 10; LC_{50} \leq 0.1$
	2 $5 < LD_{50} \leq 25; 10 < LD_{50}^* \leq 50; 0.1 < LC_{50} \leq 0.5$
	3 $25 < LD_{50} \leq 200; 50 < LD_{50}^* \leq 400; 0.5 < LC_{50} \leq 2$
易燃物质	1 可燃气体——在常压下以气态存在并与空气混合形成可燃混合物,其沸点(常压下)是 20℃ 或 20℃ 以下的物质
	2 易燃液体——闪点低于 21℃、沸点高于 20℃ 的物质 可燃液体——闪点低于 55℃,常压下保持液态
	3 在实际操作条件下(如高温高压)可以引起重大事故的物质
爆炸性物质	在火焰影响下可以爆炸,或者对冲击、摩擦比硝基苯更为敏感的物质

注:表中 1、2、3 表示有毒物质及易燃物质的危害等级,1 级危害性最大; LD_{50} 为小鼠经口半数致死量(mg/kg); LD_{50}^* 为小鼠经皮半数致死量(mg/kg); LC_{50} 指小鼠吸入 4 h 后的半数致死浓度(mg/L)。

1.2.2 重大危险源判别

生产设施及物质风险识别结束后,依据《重大危险源辨识》及《导则》,进行重大危险源判别(即:单元内存在危险物质的数量等于或超过规定的临界量,即被定为重大危险源)。

单元内存在的危险物质为多品种时,则按下式判断:

$$\frac{q_1}{Q_1} + \frac{q_2}{Q_2} + \dots + \frac{q_n}{Q_n} \geq 1 \tag{1}$$

式中: $q_1, q_2, \dots, q_n$ 为每种危险物质实际存在量(t); $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ 为与各危险物质相对应的生产场所或贮存区的临界量(t)。

若满足式(1),则定为重大危险源。

1.3 源项分析

源项分析包括确定最大可信事故(指事故所造成的危害在所有预测的事故中最严重,并且发生该事故的概率不为 0)的发生概率及危险化学品的泄漏量,可采用定性分析和定量分析的方法。

1.4 后果计算

后果计算是针对确定的重大危险源及最大可信事故,根据不同的模式进行大气扩散计算,涉及水体的进行水体扩散计算,最后进行综合损害计算。

1.5 风险计算和评价

风险评价以风险值作为表征量,计算公式为

$$\text{风险值} \left(\frac{\text{后果}}{\text{时间}} \right) = \text{概率} \left(\frac{\text{事故数}}{\text{单位时间}} \right) \times \text{危害程度} \left(\frac{\text{后果}}{\text{每次事故}} \right) \tag{2}$$

1.6 风险管理

风险管理的内容包括风险防范措施和应急预案。

2 应用实例

根据上述风险评价要点,以某拟建石化企业渣油催化裂解制丙烯等化工原料项目为例,进行环境风险评价。

2.1 项目概况

项目建于某化工园区,为新建项目。

催化裂解工艺(DCC)是以重质油为原料,利用择形催化反应制取气体烯烃的新技术。渣油催化裂解制丙烯是在专用催化剂和特定工艺条件下,将价格较低的渣油裂解转化为丙烯等化工原料。项目工艺流程图见图 1,项目主要装置组成如表 2 所示。

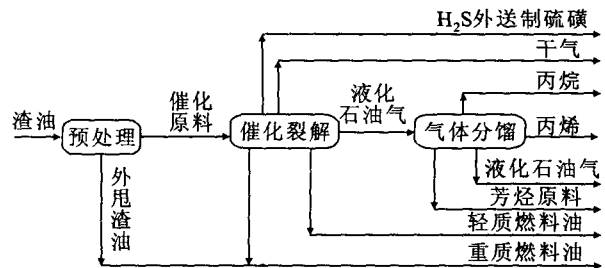


图 1 项目工艺流程图

Fig. 1 Project flow chart

表 2 项目主要装置组成

Table 2 Item design of the project

装置名称	建设内容
原料预处理装置	电脱盐罐、减压炉、减压塔
催化耦合裂解装置	催化耦合裂解 干气脱硫 液化石油气脱硫
气体分馏装置	脱丙烷塔、脱乙烷塔、丙烯塔

2.2 风险识别

2.2.1 物质风险识别

根据表1,对项目涉及的风险物质进行识别,其物质性质见表3、物质风险识别结果见表4。

2.2.2 生产设施风险识别

(1) 生产装置。依据同类企业、现有企业的情况及装置中主要物质的物化性质、反应温度及压力等,筛选出主要危险源有8处,分别为催化裂解装置的吸收塔、解吸塔、再吸收塔、稳定塔,以及气体分馏

装置的脱丙烷塔、脱乙烷塔、丙烯塔A、丙烯塔B,其危险性为物质泄漏。

(2) 贮存系统。项目贮存系统主要为装置区储罐(原料及产品贮存依托所在化工园区的公用设施,不在该项目评价范围内)。根据其储存物料的危险性特征和物料毒性分析,筛选出催化裂解装置的气压机出口油气分离器,以及气体分馏装置的脱丙烷塔进料罐、脱丙烷塔回流罐、脱乙烷塔回流罐、丙烯塔回流罐为主要危险源,其主要危险性为物质泄漏。

表3 项目涉及物质性质^[1,2]

Table 3 Properties of the materials involved in the project^[1,2]

序号	名称	闪点/℃	沸点/℃	爆炸极限/(%)		LD ₅₀ (大鼠经口)/(mg·kg ⁻¹)	LD ₅₀ (大鼠经皮)/(mg·kg ⁻¹)	LC ₅₀ /(mg·L ⁻¹)	危险性类别	备注
				上限	下限					
1	重油	—	295~531	—	—	—	—	—	—	原料
2	丙烯	-108	-47.7	15.0	1.0	—	—	—	第2.1类易燃气体	产品
3	液化石油气	-74	—	9.7	2.3	—	—	—	第2.1类易燃气体	产品
4	芳烃原料	<-18	20~160	6.0	1.2	—	—	16 000(小鼠吸入4 h)	第3.2类中闪点易燃液体	中间产品,性质似石脑油
5	丙烷	-104	-42.1	9.5	2.1	5 800	—	—	第2.1类易燃气体	产品
6	轻质燃料油	—	—	—	—	—	—	—	—	产品,性质类似柴油
7	重质燃料油	—	—	—	—	—	—	—	—	产品,性质类似重油
8	硫化氢	<-50	-60.4	46	4.0	—	—	618(大鼠吸入)	第2.1类易燃气体	中间产品
9	一氧化碳	<-50	-191.4	74.2	12.5	—	—	2 069(大鼠吸入)	第2.1类易燃气体	火灾事故可能伴生
10	二氧化硫	—	-10	—	—	—	—	6 600(大鼠吸入)	—	火灾事故可能伴生

注:表中“—”表示该数据无意义或无此数据。

表4 物质风险识别结果

Table 4 Material risk recognition results

物质	种类
硫化氢、一氧化碳	易燃且有毒物质
丙烯、液化石油气、芳烃原料、丙烷	易燃物质
重油、轻质燃料油、重质燃料油、二氧化硫	非危险性物质

(3) 运输系统。项目物料的运输委托园区内专业公司进行,该项目运输系统仅包括物料由装置至储罐的管线运输,故仅对物料输送管线进行风险分析。通过对同类企业的分析,确定该项目运输过程的主要风险为含硫化氢的酸性废水输送管线。

2.2.3 重大危险源判别

按照式(1)对该项目重大危险源进行判别,其结果见表5。由表5可知,该项目催化裂解装置、气体分馏装置属重大危险源。

表5 项目重大危险源判别结果

Table 5 Data sheet of the material risk sources

设备名称	主要风险物质	q/Q	风险排序
催化裂解装置稳定塔	液化石油气	106.76	1
催化裂解装置稳定塔顶回流罐	液化石油气	25.76	6
气体分馏装置脱丙烷塔	液化石油气	77.59	2
气体分馏装置脱乙烷塔	丙烯	18.89	8
气体分馏装置丙烯塔A	丙烯	76.08	3
气体分馏装置丙烯塔B	丙烯	70.32	4
气体分馏装置脱丙烷塔进料罐	液化石油气	28.30	5
气体分馏装置丙烯塔回流罐	丙烯	19.13	7

2.3 源项分析

2.3.1 最大可信事故概率的确定

在调研国内外同类企业事故资料及对该项目进行风险识别和事故分析的基础上,设定该项目风险评价的最大可信事故如表6所示。事故概率可以通过事件树、事故树分析法或类比法确定。通过类比

国内外资料,确定该项目对环境造成重大影响的重大可信事故概率为 1×10^{-5} [3]。

表6 最大可信事故设定

Table 6 Establishment of the maximum credible accident

装置、设备	危险因子	最大可信事故
催化裂解装置稳定塔	液化石油气	设备故障,液化石油气泄漏,遇火源引起燃烧爆炸
酸性废水输送管线	硫化氢	管线腐蚀或由外力原因造成断裂,酸性废水外溢,硫化氢挥发进入大气

2.3.2 源强确定

(1) 假定催化裂解装置液化石油气泄漏发生火灾爆炸事故,设定源强为直径 2 400 mm、高 53 662 mm、充满度为 80% 的催化裂解装置稳定塔中发生液化石油气泄漏,遇火源引起燃烧爆炸。

(2) 含硫化氢酸性水泄漏事故,酸性水管线在任意一处发生 100% 管径断裂,酸性水溢出,其中 H_2S 瞬间挥发,15 min 后事故被发现并切断阀门。根据酸性水在线量、流量及硫化氢含量,预计 H_2S 挥发速率为 14.31 g/s。

2.4 后果计算

(1) 对催化裂解装置液化石油气泄漏发生火灾

爆炸事故,采用世界银行推荐的 TNO 气团爆炸公式进行后果计算[4],即:

$$R_{(s)} = C_{(s)} [N \cdot E_e]^{1/3} \quad (3)$$

式中: $R_{(s)}$ 为爆炸损害半径(m); $C_{(s)}$ 为定义伤害程度的经验常数; E_e 为爆炸点能量,等于燃烧热和易燃限度内的蒸汽质量之积(J); N 为效率因子,是 E_e 在压力波传播中的比例,一般取 10%。

预测结果表明:爆炸事故发生时,在近距离内(25 m)对建筑物和人员均会造成严重损害,最远可波及到 325 m 范围内。

(2) 对含硫化氢酸性水泄漏事故,采用非正常状态下的面源模式,对假定事故时的 H_2S 影响进行预测,结果表明:酸性水管线断裂事故发生后, H_2S 的致死浓度出现在距泄漏点 22 m 处,出现眼急性刺激症状浓度的范围为距泄漏点 42 m 以内,距泄漏点约 479 m 处能够达到《工作场所有害因素职业接触限值》(GBZ2-2002)规定的最高接触允许浓度 10 mg/m³。

2.5 风险计算和评价

根据式(2)计算该项目风险值,如表 7 所示。由表 7 可知,项目最大可信事故风险值为 0,与石油化工统计标准比较,项目风险处于可接受水平内。

表7 事故风险值

Table 7 Accident risk values

假定事故	设定事故概率	事故在半致死百分率区内死亡人数/(人)	最大风险值/(死亡人数 · a ⁻¹)	行业统计平均值/(死亡人数 · a ⁻¹)
液化石油气泄漏爆炸	1×10^{-5}	0	0	
酸性水泄漏	1×10^{-5}	0	0	6.75×10^{-5}

2.6 风险管理

根据对拟建项目风险评价的结果,从项目选址、总体布置、建筑安全、危险品贮运、工艺技术方案设计、自动控制设计、电气、电讯、消防等方面提出相应的安全防范措施。具体措施是:根据企业特点建立车间及厂级两级应急组织体系;确定预案分级相应条件;建立应急联络、信息报送及处置机制;与周边企业和园区建立对接及联动,制定报警、通讯联络方式;确定应急监测系统与实施计划,制定风险污染消除、减缓措施;开展培训、演习制度及公众教育;建立环境污染三级防控体系等应急预案。

3 结 语

现代石化企业日趋向装置密集化、设备庞大化和管线复杂化方向发展,且生产、贮运和控制过程的原料和产品多是易燃易爆和有毒有害物质,一旦发

生泄漏事故,其后果不堪设想。因此,对石化项目进行环境影响评价时,应将环境风险评价作为评价的重点内容。但在实际工作中,如何根据《导则》要求对项目进行风险评价是环境评价工作的难点,笔者介绍的风险评价实例解决了《导则》的实际操作问题,给出了适用于石化项目的确定最大可信事故、事故源强的方法以及事故后果的预测模式,可供石化项目风险评价的同行参考。

参考文献:

- [1] 国家环保局有毒化学品管理办公室,化工部北京化工研究院环保研究所. 化学品毒性法规环境数据手册[M]. 北京:中国环境科学出版社,1992. 552—610.
- [2] 王箴. 化工辞典[M]. 北京:化学工业出版社,1993. 300—379.
- [3] 胡二邦. 环境风险评价实用技术和方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2004. 219—249.
- [4] Washington, N. W. Technique for Assessing Industrial Hazards—A Manual[M]. USA: The World Bank Washington DC, 1990. 90.