

文章编号: 1009-6094(2007)06-0116-04

石油化工行业可接受 风险水平研究*

李 漾¹, 周昌玉², 张伯君²

(1 江苏省安全生产科学研究院, 南京 210042;

2 南京工业大学机械与动力工程学院, 南京 210009)

摘要: 石油化工行业存在着巨大的潜在风险, 为了明确该行业的风险可接受水平, 制定一个合理可行的可接受风险准则极为必要。本文在对国内外风险可接受水平研究的基础上, 系统分析了国内外有关标准, 对生命风险水平、经济风险水平和环境风险水平确定的基本思想进行了详尽阐述, 分别给出了3种风险的可接受水平公式, 提出了确定石化行业可接受风险水平的方法, 需同时满足可接受生命风险、经济风险和环境风险。

关键词: 安全评价; 石油化工; 可接受风险水平; 生命风险; 经济风险; 环境风险

中图分类号: X92

文献标识码: A

0 引言

风险存在于工业领域的各个方面, 人们将“能导致伤害的灾害可能性和这种伤害的严重程度”定义为“风险”^[1]。所谓可接受风险水平, 是指社会公众根据主观愿望对风险水平的接受程度^[2]。可接受风险准则用于表达工程的风险可接受性水平, 描述了人员伤亡、环境损害和财产、商业利益受损风险的最高情况^[3]。

国外从20世纪60年代末就已经开始了有关可接受风险的研究。1974年, 英国已在法律中采用了风险决策领域的ALARP(As Low As Reasonably Practicable)准则^[4], 该准则对于可接受风险的选择以及制定合理的风险减少方案具有重要意义。1981年剑桥大学出版的 *Acceptable risk: a critical guide*^[5]一书就可接受风险进行了专门探讨, 主张风险不是无条件接受的, 仅仅在所获利益可以补偿所带来的风险时才是可以接受的。Thompson^[6]强调要通过考虑社会背景的多样性来理解风险的可接受性。Douglas等^[7]主张不同群体中个人对风险的认识是基于特殊的文化背景的。对风险除了进行技术评估以外, 还要进行社会科学领域的研究, 这一观念丰富了风险理论与风险技术^[8]。

由于石化行业潜在的高风险性, 一旦发生事故, 将造成巨大的经济损失和人员伤亡, 给国家财产和人民生命安全带来巨大威胁。因此, 建立适用于石化行业的可接受风险水平显得尤为必要。本文就石化行业可接受生命风险水平、经济风险水平及环境风险水平等3方面展开初步研究。

1 石化行业可接受生命风险水平

每个国家都有自己的社会风险水平。统计表明^[9], 就个

人实践而言, 常见的风险水平为 $10^{-3} \sim 10^{-6} a^{-1}$ 。当事故产生的风险水平为 $10^{-3} a^{-1}$ 或高于该值时, 社会是不能允许的; 而风险水平为 $10^{-6} a^{-1}$ 或低于这个数字时又为社会所忽视。

按美国EPA规定, 小型人群可接受风险水平为 $10^{-5} \sim 10^{-4} a^{-1}$, 社会人群可接受风险水平为 $10^{-7} \sim 10^{-6} a^{-1}$ 。法国炼油厂灾难性事故的可接受水平的上限为 $10^{-4} a^{-1}$ 。化工行业风险水平统计值为 $8.33 \times 10^{-5} a^{-1}$ 。故一般而言, 风险水平 $10^{-4} a^{-1}$ 可作为最大可接受风险值^[9]。

本文采用失效概率表示社会风险的可接受水平, 以类比法确定石化行业发生事故的社会可接受人员死亡率, 取可接受的人员伤亡风险水平为 $10^{-4} a^{-1}$, 可忽略的人员伤亡风险为 $10^{-6} a^{-1}$ 。

参照 $F-N$ 曲线^[10] 与 ALARP 准则^[2], 本文采用如下公式

$$P_{F_N}(x) = 1 - F_N(x) < \frac{C}{x^n} \quad (1)$$

式中 P_{F_N} 为事故概率, 即死亡概率; $F_N(x)$ 指年死亡人数的概率分布函数; x 为人员死亡数; C 、 n 为常数, 与可接受的风险水平及对风险的控制程度有关。 x 越大, 表明事故越严重, 可接受程度越低, 需加大风险控制力度, 取 n 值越大。

根据国家标准 GB 6442—1986《企业职工伤亡事故调查分析规则》^[11]、GB 6441—1986《企业职工伤亡事故分类标准》^[12]、GB 6721—1986《企业职工伤亡事故经济损失统计标准》^[13] 和石化行业发生事故的实际情况, 本文将事故后果(此处为死亡人数)划分为如下几个区间: 当没有人员死亡即 $x < 1$ 时, 事故后果比较轻微, 因而较大的失事概率可以接受, 控制其发生概率在 $10^{-4} a^{-1}$ 以下即可; 当死亡人数为 $1 \sim 2$ 人即 $1 \leq x \leq 2$ 时, 事故后果较为严重, 需要对风险加以控制, 取 $n = 1$, 可接受风险为中立型风险; 当死亡人数为 $3 \sim 5$ 人即 $2 < x \leq 5$ 时, 事故后果很严重, 需要加大风险控制力度, 取 $n = 2$, 可接受风险为厌恶型风险; 当死亡人数为 $5 \sim 9$ 人即 $5 < x < 10$ 时, 事故后果非常严重, 需要高度警惕, 因此取 $n = 3$, 必须采取严格措施控制风险; 当发生事故死亡 10 人及 10 人以上即 $x \geq 10$ 时, 属于国家规定的特大伤亡事故和特别重大事故, 这种风险是绝对不被允许的, 即事故造成死亡人数超过 10 人(包括 10 人)时, 风险值落入不可接受区。从以上的区间划分可以看出, 石化行业事故后果(死亡人数)越大, 可接受风险就越低。

一般地, 用 $F-N$ 曲线表示死亡人数 x 与事故概率之间的关系(图1)。对石化行业某一装置进行风险评估时, 将发生事故的概率和可能导致的人员死亡数量在 $F-N$ 图上表示出来, 若该点落在 $F-N$ 曲线下方或曲线上, 则认为该风险可以接受; 反之, 则认为此风险不可接受, 必须采取强制措施降低其风险。

2 石化行业可接受经济风险水平

到目前为止, 不同领域内可接受经济风险水平的研究还没有形成比较一致的标准, 可接受经济风险水平随着经济发展、物价水平的变化而变化。

根据国家标准 GB/T 6721—1986《企业职工伤亡事故经济损失统计标准》^[13] 中经济损失程度分级标准以及目前的发展水平, 确定石化行业事故的社会可接受经济风险水平。

* 收稿日期: 2007-04-23

作者简介: 李漾, 硕士研究生, 从事化工安全技术研究; 周昌玉(通讯作者), 博士, 教授, 从事化工设备的可靠性、寿命预测及预防维修技术研究。

本文取可接受经济风险水平为 $10^{-4} a^{-1}$, 可忽略经济风险水平为 $10^{-6} a^{-1}$ 。参照可接受人员伤亡风险水平的确定过程, 选取如下公式

$$P_{f_i}(x) = 1 - F_L(x) < \frac{B}{(3lgx - 14)^n} \quad (2)$$

式中 P_{f_i} 为发生经济损失事故的概率; $F_L(x)$ 指年经济损失的概率分布函数; x 为事故的年经济损失; B 、 n 为常数, 与可接受的风险水平及对风险的控制程度有关。 x 越大, 表明事故越严重, 可接受程度越低, 需加大风险控制力度, 取 n 值越大。

本文将经济损失划分为如下几个区间: 当经济损失 $x < 10^5$ 元时, 事故后果比较轻微, 因而较大的失事概率可以接受, 控制其发生概率在 $10^{-4} a^{-1}$ 以下; 当经济损失在 $10^5 \text{元} \leq x < 10^6$ 元时, 事故后果较为严重, 取 $n = 1$; 当经济损失为 $10^6 \text{元} \leq x < 10^7$ 元时, 事故后果很严重, 取 $n = 2$; 当经济损失在 $10^7 \text{元} \leq x < 10^8$ 元时, 事故后果非常严重, 取 $n = 3$; 当经济损失 $x \geq 10^8$ 元时, 属于特别重大损失事故, 会造成极大的经济损失和恶劣的社会影响, 这种风险是绝对不被允许的, 即事故造成的经济损失超过 10^8 元(包括 10^8 元)时, 风险值落入不可接受区。

图2为双对数坐标系, 表示经济损失与事故概率之间的关系。对石化行业某一装置进行风险评估时, 将发生事故的率和可能产生的经济损失在 $F-L$ 图上表示出来, 若该点落在 $F-L$ 曲线下方或曲线上, 则认为该企业的风险可以接受; 反之, 则认为此风险不可接受, 必须采取强制措施降低其风险。

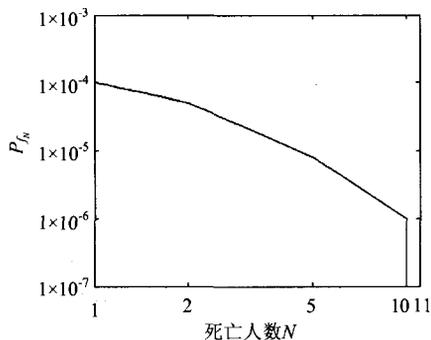


图1 可接受生命风险水平的 $F-N$ 曲线

Fig.1 $F-N$ curve for acceptable level of life risk

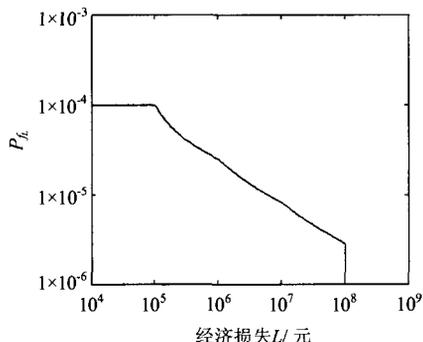


图2 可接受经济风险水平 $F-L$ 曲线

Fig.2 $F-L$ curve for acceptable level of economic risk

3 石化行业可接受环境风险水平

对社会公众而言, 最大可接受风险不应高于常见的风险值, 可忽略的风险水平则应远小于常见风险值。一般而言, 对有毒有害工业环境风险水平的可接受程度以自然灾害风险值 $10^{-6} a^{-1}$ 为背景值^[9]。

3.1 环境质量评价

本文采用环境质量指数评价法确定环境质量, 并作为可接受环境风险水平的指标。单因子环境质量指数^[14]为

$$I_i = C_i / C_{si} \quad (3)$$

式中 C_i 为第 i 个污染物浓度; C_{si} 为第 i 个污染物的评价标准; I_i 只代表一种污染物的环境质量状况。

内梅罗污染指数是一种常用环境质量的定量描述方法^[15], 其计算公式为

$$I = \sqrt{\frac{(I_{\max})^2 + (\bar{I})^2}{2}} \quad (4)$$

式中 I_{\max} 为各单因子指数最大者; \bar{I} 为均权指数, $\bar{I} =$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i; n \text{ 为参与评价的因子数。}$$

3.2 污染因子质量指数的确定

国家环境保护总局发布的 HJ/T 89—2003《环境影响评价技术导则—石油化工建设项目》^[16] 中, 规定了与石油化工行业有关的污染因子有: 大气污染物、废水污染物和固体废物。《环境保护标准的分类》^[17] 中, 将“环境介质”分为水、大气、环境噪声与振动、固体废物与化学品、土壤、核辐射与电磁辐射、生态环境保护等几大类。

本文根据石化行业的特点, 将废气、废水、固体废物、土壤污染 4 种污染因子作为环境质量评价的指标。

1) 大气污染质量指数的确定。

对大气质量进行评估时, 采用 GB 3095—1996《环境空气质量标准》^[18] 中推荐的方法测量各项污染物的浓度值, 根据式(3)和(4)分别计算空气中各种污染因子的质量指数和大气污染内梅罗指数 I_a (a 指大气污染)。

2) 水污染质量指数的确定。

水环境的质量评价应根据国家标准 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》^[19] 中对水域功能类别和污水排放级别的规定, 选取相应的污染因子进行评价。

石化行业的污水排放应遵循 GB 8978—1996《污水综合排放标准》中规定的第二类污染物排放标准^[20], 本文根据 HJ/T 88—2003《环境影响评价技术导则—石油化工建设项目》中有关规定^[16], 选取化学需氧量(COD)、石油类含量、氰化物含量、氨氮含量等作为废水污染物指标, 对石化行业水污染进行定量分析。

进行风险分析时, 按照 GB 8978—1996 中规定的污水监测方法^[20], 测量 4 种污染物的实际排放浓度, 计算所排放污水中各个污染因子的环境质量指数。再根据式(4)计算水环境的内梅罗污染指数 I_w (w 指水污染)。

3) 固体废物质量指数的确定。

工业固体废物根据 GB 18599—2001《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》^[21]、《国家危险废物名录》或者 GB 5085—1996《危险废物鉴别标准》进行判别。根据 GB 5086—1997《固体废物浸出毒性浸出方法》及 GB/T 15555—

1995《固体废物浸出毒性测定方法》判定工业固体废物的污染。

在确定固体废物的污染指数时,本文建议按照 GB 5086—1997 规定方法进行浸出试验,测定浸出液中各种污染物的浓度,计算出固体废物的内梅罗污染指数 I_{s1} ($s1$ 指固体废物污染)。

4) 土壤污染质量指数的确定。

根据 HJ/T 166—2004《土壤环境监测技术规范》^[15] 和 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》规定的土壤监测常规项目、特定项目和选测项目来确定评价因子数量与项目类型。

对土壤质量进行评价时,本文仍采用内梅罗污染指数法。标准值选用国家土壤环境质量标准或区域土壤背景值,将测得的各项污染物的实际浓度代入式(3)计算得到每一种污染物的污染指数,再根据式(4)计算出土壤内梅罗污染指数 I_{s2} ($s2$ 指土壤污染)。

5) 综合环境质量指数的确定。

综上所述,分别计算出大气污染指数 I_a 、水污染指数 I_w 、固体废物污染指数 I_{s1} 和土壤污染指数 I_{s2} 后,根据式(3)和(4)计算综合环境质量指数 I 。

$$I = \sqrt{\frac{(I_{\max})^2 + (\bar{I})^2}{2}}$$

式中 I_{\max} 为 I_a 、 I_w 、 I_{s1} 和 I_{s2} 中最大者, $\bar{I} = \frac{1}{n}(I_a + I_w + I_{s1} + I_{s2})$ 。

本文根据国家环境保护总局发布的 HJ/T 166—2004《土壤环境监测技术规范》^[15] 中对土壤的内梅罗污染指数评价标准,对综合环境指数进行等级划分(见表1),确定环境的污染等级^[22]。

3.3 环境风险可接受水平的确定

与其他类型的风险可接受标准确定方法相比,环境风险可接受标准的确定方法更标准化。例如:目前加拿大标准协会对加拿大水域海上石油环境风险可接受水平的规定是 $10^{-3} a^{-1}$ 为高潜在环境污染, $10^{-5} a^{-1}$ 为低潜在环境污染^[23]。

一般而言,对有毒有害工业环境风险水平的可接受程度以自然灾害风险值 $10^{-6} a^{-1}$ 为背景值^[9]。本文取可接受环境风险水平为 $10^{-6} a^{-1}$,可忽略的环境风险为 $10^{-8} a^{-1}$ 。选取如下公式

$$P_{f_i}(I) = 1 - F_I(I) < \frac{A}{I^n} \quad (5)$$

式中 P_{f_i} 为发生环境污染事故的概率; $F_I(x)$ 指年环境污染损失 x 的概率分布函数; x 为事故年环境污染损失; A 、 n 为常数,与可接受风险水平及对风险的控制程度有关。 x 越大,表明事故越严重,可接受程度越低,需加大风险控制力度,取值越大。

根据表1的划分标准,当内梅罗污染指数 $I \leq 0.7$ 时,属于清洁状态,几乎对环境不造成污染,只需将发生污染事故的概率控制在 $10^{-6} a^{-1}$ 以下即可;当 $0.7 < I \leq 1.0$ 时,对环境造成一定污染,对风险需加以控制,取 $n = 1$;当 $1.0 < I \leq 2.0$ 时,环境污染比较严重,需要加大风险控制力度,取 $n = 2$;当 $2.0 < I \leq 3.0$ 时,环境污染非常严重,需要高度警惕,因此取 $n = 3$,必须采取严格措施控制风险;当 $I > 3.0$ 时,对环境造成的污染特别严重,这种风险是绝对不被允许的,即风险值落入不可接受区。

表1 综合环境质量指数评价标准

Table 1 Evaluation standard of comprehensive environmental quality index

等级	综合环境质量指数	污染等级
I	$I \leq 0.7$	清洁(安全)
II	$0.7 < I \leq 1.0$	尚清洁(警戒限)
III	$1.0 < I \leq 2.0$	轻度污染
IV	$2.0 < I \leq 3.0$	中度污染
V	$I > 3.0$	重污染

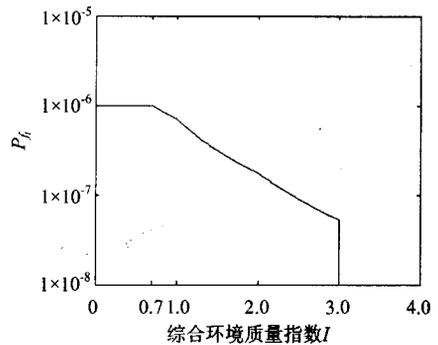


图3 可接受环境风险水平 F-I 曲线

Fig.3 F-I curve for acceptable level of environmental risk

为了对石化行业事故环境污染进行定量表示,以该行业的事故发生概率为纵坐标,综合环境质量指数 I 为横坐标作 $F-I$ 曲线(图3)。对石化行业某一装置进行风险评估后,将发生事故的的概率和可能导致的环境污染情况在 $F-I$ 图上表示出来,若该点落在 $F-I$ 曲线下方或曲线上,则认为该企业的环境风险可以接受;反之,则认为此环境风险不可接受,必须采取强制措施降低其风险。

4 石化行业可接受风险水平的确定方法

综上所述,本文分别制定出了石化行业可接受的生命风险水平、经济风险水平和环境风险水平,综合形成石化行业的可接受风险水平。

对石化行业某一企业(或装置)的生命风险、经济风险和 环境风险分别进行风险评估后,将所得到的风险结果分别在 $F-N$ 图、 $F-L$ 图和 $F-I$ 图中表示出来,若企业(或装置)的 3 项风险结果均落在 3 条曲线以下或曲线上,则认为此种风险可以接受;若 3 项风险结果中有一项落在其中某一条曲线以上,则认为此风险不可接受,必须采取强制措施降低该企业(或设备)的风险。

5 结论

本文根据国内外风险可接受水平研究成果,提出了确定石化行业可接受生命风险水平、经济风险水平和环境风险水平的方法,给出了石化行业可接受生命风险水平 $F-N$ 曲线、经济风险水平 $F-L$ 曲线和环境风险水平 $F-I$ 曲线,为制定风险可接受准则提供了依据。其他行业可以根据自身的特点和实际情况,以及企业对风险标准的不同要求,选用不同的可接受生命风险水平、可接受经济风险水平和可接受环境风险水平,参照本文方法,制定出符合企业实际情况和自身要求、合理可行的可接受风险水平。

References(参考文献)

- [1] LU Bo(陆波), TANG Guoqing(唐国庆). Application of risk-based safety assessment on power system [J]. *Automation of Electric Power Systems* (电力系统自动化), 2000(22): 61-64.
- [2] XIAO Yi(肖义). Discussion about design safety criteria and risk analysis of dam and reservoir (水库大坝防洪安全标准及风险研究)[D]. Wuhan: Wuhan University, 2004.
- [3] WANG Tao(汪涛). Discussion about fuzzy risk assessment method of city gas pipelines (城市天然气管网运行模糊风险评价技术研究)[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2003.
- [4] MARSZAL E M. Tolerable risk guidelines [J]. *ISA Transactions*, 2001, 40: 391-399.
- [5] FISCHHOFF B, LICHTENSEEIN S, SLOVIC P, et al. *Acceptable risk: a critical guide* [M]. London: Cambridge University Press, 1981.
- [6] THOMPSON M. *Societal risk assessment: how safe is safe enough?* [M]. New York: Plenum Press, 1980.
- [7] DOUGHS M, WILDAVSKY A B. *Risk and culture* [M]. Berkely: California Press, CA, 1982.
- [8] CEN Huixian(岑慧贤), FANG Huaiyang(房怀阳), WU Qunhe(吴群河). Concept of acceptable risk [J]. *Chongqing Environmental Science* (重庆环境科学), 2000, 22(3): 17-19.
- [9] HU Erbang(胡二邦). *Applicable techniques for environmental risk assessment* (环境风险评价实用技术和方法)[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2000.
- [10] JONKMAN S N, VAN GELDER P H A J M, VRIJLING J K. An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage [J]. *Journal of Hazardous Material*, 2003, 99(1): 1-30.
- [11] Standardization Administration of the People's Republic of China(国家标准化管理委员会). GB 6442-1986 *Analysis rules of employee casualty accidents* (企业职工伤亡事故调查分析规则)[S]. Beijing: Standards Press of China, 1986.
- [12] Standardization Administration of the People's Republic of China(国家标准化管理委员会). GB 6441-1986 *Standard of classification of employee casualty accidents* (企业职工伤亡事故分类标准)[S]. Beijing: Standards Press of China, 1986.
- [13] Standardization Administration of the People's Republic of China(国家标准化管理委员会). GB 6721-1986 *Standard of loss statistic of employee casualty accidents* (企业职工伤亡事故经济损失统计标准)[S]. Beijing: Standards Press of China, 1986.
- [14] FU Zhongqiu(傅仲逵). Research on the applicable ways used on environment quality assessment for current status [J]. *Journal of the Environment Management College of China* (中国环境管理干部学院学报), 1997, (3/4): 32-37.
- [15] State Environmental Protection Administration of China(国家环境保护总局). HJ/T 166-2004 *The technical specification for soil environmental monitoring* (土壤环境监测技术规范)[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2004.
- [16] State Environmental Protection Administration of China(国家环境保护总局). HJ/T 89-2003 *Technical guideline for environmental impact assessment constructional project of petrochemical* (环境影响评价技术导则石油化工业建设项目)[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2003.
- [17] State Environmental Protection Administration of China(国家环保总局). *Classes of the environmental standard* (环境标准的分类)[EB/OL]. [2005-12-30]. <http://www.sepa.gov.cn/tech/hjhz/200512/t20051230-72956.htm>.
- [18] State Environmental Protection Administration of China(国家环境保护总局). GB 3095-1996 *Ambient air quality standard* (环境空气质量标准)[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 1996.
- [19] State Environmental Protection Administration of China(国家环境保护总局). GB 3838-2002 *Environmental quality standards for surface water* (地表水环境质量标准)[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [20] State Environmental Protection Administration of China(国家环境保护总局). GB 8978-1996 *Integrated wastewater discharge standard* (污水综合排放标准)[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 1996.
- [21] State Environmental Protection Administration of China(国家环境保护总局). GB 18599-2001 *Standard for pollution control on the storage and disposal site for general industrial solid wastes* (一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准)[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2001.
- [22] LI Yang(李漾). Discussion about risk analysis methods of reactor effluent trim cooler (加氢水冷器的风险分析方法研究)[D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2006.
- [23] MATHIESEN T C, SKJONG R. Towards a rational approach to marine safety and environment protection regulations. [C]// *Conference on Market Mechanisms for Safer Shipping and Cleaner Oceans*. Rotterdam. The Netherlands, October 10-12, 1996.

Study on acceptable level of risk in petrochemical industry

LI Yang¹, ZHOU Chang-yu², ZHANG Bo-jun²

(1 Jiangsu Academy of Safety Science and Technology, Nanjing 210042, China; 2 College of Mechanical and Power Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

Abstract: There exist huge potential risks or hazards in petrochemical production, which makes it essential to establish reasonable and practicable acceptable criteria to control such risks. It is just for this need that the present paper gives a comprehensive review of all the available research findings in this way and analyzes various domestic and overseas standards concerning how to define the said acceptable risk criteria. For our research purpose, we have been trying to give detailed analysis and explanation of the natures and likely environmental and social consequences to be caused by such risks. As a result, we have proposed acceptable level curves and methods to define such risks. Furthermore, some necessary discussions have also been made on how for the people who work in the given production field to deal with such expected and unexpected economic, social and environmental risks.

Key words: safety assessment; petrochemical industry; acceptable level of risk; life risk; economic risk; environmental risk

CLC number: X92 **Document code:** A

Article ID: 1009-6094(2007)06-0116-04