

海上油气生产安全风险分析

张兴才 宋立崧

中国海洋石油总公司,北京 100027

申仲翰

中国科学院力学研究所,北京 100080

摘要 安全风险分析技术是海上油气生产安全管理的重要手段。针对“海上油气生产中因油气泄漏可能引发火灾和爆炸造成人员伤亡”进行了安全风险分析和风险评估,以影响图和事件树的具体方法介绍了安全风险分析程序,提出了风险评估中的最低合理可行原则和可接受的行业标准,并指出了我国海上油气生产中应采取的安全风险分析措施。

关键词 风险分析 海上平台 油气生产 影响图 事件树

安全风险分析用于预测潜在危险程度,系统地利用已知信息,去辨识危险并估计人员、财产、环境危险的大小。它是现代化工业生产中所涉及的重要问题之一,其核心是在谋求生产安全与所付出的代价之间寻求一种最佳平衡,从而实现以最小付出求得最大收益的目的。

安全风险分析通常包括危险辨识、风险估计和风险评价3个内容,其作用是为决策提供理论依据,即通过风险分析结果与可接受风险准则的比较,为进一步的风险管理作出科学的决策。

本文以锦州20-2凝析气田生产设施为研究对象,针对海上油气生产中由于油气泄漏可能引发的火灾和爆炸造成人员伤亡进行了安全风险分析和风险评估。

1 安全风险分析程序

1.1 安全风险分析内容

1.1.1 功能区划分、人员分布和救生设备分布

由于采油平台机构庞大,在风险分析中,需要将其划分为多个子单元作单独剖析,然后汇总。根据每个功能区至少应有1个以上的危险源(如油气处理设备、存储容器、管线、阀门、法兰等)和确定的具体边界(如隔离墙、防火墙、甲板等)的原则,可把采油平台划分成井口区、管汇区、油气处理区等。平台各功能区和各位置上的人员分布概率可根据作业制度、倒班时间、岗位分布、巡检路线等资料确定;救生设备可能受到破坏的概率,则根据救生设备的布设位置与风险源的距离来确定。

1.1.2 生产设备和检测仪器失效分析

管线、法兰、阀门、泵、放空/关断阀等设备的失效概率,根据出厂时的质量指标和检修周期进行确定;漏检概率则根据检测器的质量指标、检修周期及覆盖情况确定。

1.1.3 消防设备的失效分析

消防设备的消防效果,根据消防设备的质量、数量、分布进行确定,并以概率形式给出在火灾、爆炸后事故恶性发展和升级的可能性。

1.1.4 风险分析计算中的简化和假定

(1) 事故大小的简化 在分析中,首先把事故简化成小火、中火、大火、爆炸4类。小火指短时喷射式火焰;中火指一定时间的喷射式火焰;大火指喷射式火焰;如果平台是非封闭式的,那么爆炸即为无限制形式。

(2) 后果分析的假定 当某功能区发生小火灾时,如果该功能区只有1人,那么火焰对他喷来的可能性只有50%,因此小火时单人的伤亡概率假定为0.5。当某功能区发生中火、大火或爆炸时,如该功能区只有1人,则保守地认为其伤亡概率为1;但如有多人,则认为可能有个别人于事故发生前离开了本功能区,不会

出现所有人同时伤亡的情况，因而对其伤亡概率作了适当修正，详见表1。

(3) 人为失误的考虑 风险分析模型设计的基本前提是平台处于“正常作业状态”，即设计按规范、人员操作按程序、维修按制度进行的状态下。计算结果代表了当时设备状态、作业方式、人员配置、环境条件等客观因素，和非故意的人为因素以及设备老化、某些产品未被发现不合格等。

在安全风险分析中，人为失误分为正常人为失误和非正常人为失误。正常人为失误指已被人们认识并可事先加以防范的现象，非故意人为因素即属此类。例如，在人员巡检中因心理状态欠佳或敏感性素质所致出现的漏检现象，故在风险计算中确定了一个漏检系数。非正常人为失误指目前尚未被设计人员、管理人员和评估人员所认识的现象，因而在风险分析中得不到反映。

1.2 安全风险分析的理论模型——影响图

在海上油气生产平台的安全风险分析中，特别在定量计算过程中，主要考虑3类基本参数：(1)可能发生泄漏的管线、法兰、阀门、泵等设备的数量、规格以及其他可燃物体的存在数量和位置；(2)油气的物理性质参数，如油气操作压力和温度(泄漏前)、组分密度、燃烧值、流量(流速)等；(3)环境参数，包括风向、风速、气温、受影响对象、泄漏源距离及区域布置等因素。

由于定量风险计算涉及因素较多，计算过程较复杂，本文用表示计算过程和数据因果关系的影响图，来说明整个系统各因素间的相互影响，见图 1。

表 1 现场人员伤亡概率估算表

事 故	1人的伤亡概率	多人伤亡概率
小火灾	0.50	0.25
中火灾	1.00	0.50
大火灾	1.00	0.50
爆 炸	1.00	0.50

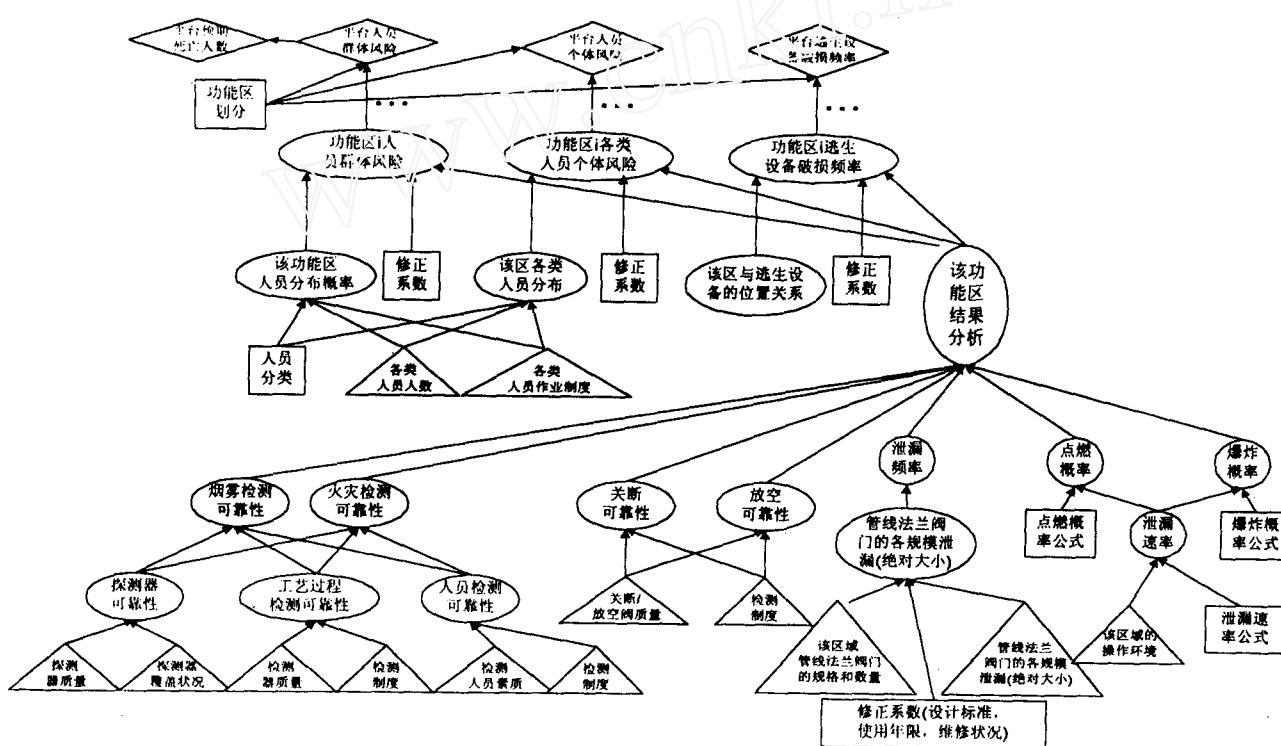


图 1 影响图

图 1 中：△中的元素表示输入的原始数据，对具体平台是确定的量；□内列出的元素是人为决策因素，即根据专家经验选择的分析模型、计算公式(包括经验公式和实验公式)、参数、简化假定及修正系数等；○内的元素是计算过程中的一些中间结果和变量；◇内的元素为定量风险分析的最终结果。根据各类元素的特征，可以从图 1 中找出各阶段的过程及最终状态。按照自下而上，自左而右的搜索方式逐级上溯，最终可得到每个具体功能区的风险表达结果。其中每个结果又分别与“功能区划分”的人为因素一起作用，而导出最终结局，即“平台人员群体风险”“平台人员个体风险”及“平台逃生设备破损频率”，从而给出“平台

预期伤亡人数”的最终结果。

1.3 定量风险计算中常用的参数和公式

在定量计算中, 首先要确定油气泄漏频率、点燃频率、爆炸频率及气体火焰长度、液体火焰半径、热辐射距离和爆炸压力等数据, 然后才能分析它对人员的伤害程度。

1.3.1 初因事件(泄漏)的发生频率

泄漏频率与管线、法兰、阀门、泵等泄漏源的数量、规格和质量状况密切相关。为了便于统计和计算, 首先以统计方法算出相对泄漏频率(分为大、中、小 3 级, 其单位为每年中每 m 长度构件之泄漏次数), 然后再用等效面积法换算绝对泄漏频率。以管线为例, 当泄漏孔径小于管径的 1/100 时定义为小泄漏, 当泄漏孔径等于或大于管径时则为大泄漏, 这 2 者之间为中泄漏, 其参数示于表 2。

表 2 内所示参数为经验数据, 是在分析了海、陆油气处理设施有关泄漏的历史资料基础上得出的。在换算绝对泄漏频率时, 应引入控制直径的概念, 即在油气流程中, 往往有流体从小直径管流向大直径管的情况; 上游小直径就是下游大直径的控制直径。

1.3.2 泄漏物的点燃和爆炸概率计算

(1) 泄漏速率计算

泄漏速率表达为 $m = 0.8G''$,

对于天然气有 2 种表达式:

当泄漏速率低于音速时

$$G'' = \frac{C_D}{\gamma_2} \sqrt{2p_1 \gamma_1 \frac{k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}$$

当泄漏速率高于音速时

$$G'' = C_D \sqrt{\frac{p_1 k}{\gamma_1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k-1}{k}}}$$

对于原油

$$G'' = C_D \sqrt{2p_1 (p_1 - p_2)}$$

式中: k 和 C_D 为量纲一的常数, $k = 1.3$, $C_D = 0.82$; γ 为天然气比容, $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$; p 为压力, Pa ; ρ 为原油密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; 下标 1、2 分别表示泄漏前后情况。

(2) 泄漏物的点燃概率

着火频率 = 泄漏频率 × 点燃概率

泄漏物的点燃概率与泄漏速率有关, 表 3 给出了无明火正常生产条件下的油气点燃概率。

对于中泄漏, 其点燃概率是泄漏速率的幂函数。

对于天然气 $P = e^{-4.16} m^{0.642}$

对于原油 $P = e^{-4.33} m^{0.392}$

表 3 中所列点燃概率, 其火源来自天然因素, 允许一定范围的人员失误、设备意外失效及产品未被发现不合格等因素。如果现场有明火, 其条件概率将成倍增长。

(3) 泄漏物的爆炸概率

与点燃概率一样, 根据经验和统计数据, 可以认定气体的爆炸概率也是泄漏速率的幂函数, 见表 4。对于中泄漏, 其爆炸概率为 $P = e^{-2.995} m^{0.38}$, 于是, 爆炸频率 =

点燃频率 × 爆炸概率。

1.3.3 与油气燃烧和爆炸有关的其他物理量

油气燃烧和爆炸涉及了多种与人身伤亡有关的物理因素, 如气体火焰长度、液体火焰半径、火焰热辐射、气体爆炸压力等, 其计算已有相应的经验公式。例如, 对不同条件下高压气体的火焰长度, 在气流速度低于音速时可取 $L_0 = 2.76Q^{0.457}$; 对超音速气流采取 $L_0 = 1.442Q^{0.457}$ 。式中 Q 为燃烧放出的热量, 为气体平均低热值与泄漏速率的乘积。平均低热值一般由试验测定。

表 2 管件泄漏频率 次·(m·a)⁻¹

直径/mm	大漏	中漏	小漏
25	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}
50	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}
100	3×10^{-7}	6×10^{-6}	3×10^{-5}
300	10^{-7}	3×10^{-6}	10^{-5}

说明: 输油管泄漏频率由表内数据乘 1.1; 输气管泄漏频率由表内数据乘 0.9。

表 3 原油和天然气点燃概率

泄漏速率	天然气点燃概率	原油点燃概率
小($< 1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.01	0.02
中($< 1 \sim 5 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.07	0.03
大($> 50 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.30	0.08

表 4 天燃气爆炸概率

泄漏速率	天燃气爆炸概率
小($< 1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.04
中($< 1 \sim 5 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.12
大($> 50 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.30

1.4 安全风险分析的实施过程——事件树分析

影响图分析提供了海上油气平台风险分析的总体概况，而具体实施过程必须由事件树的基本模式得出。事件树的分析如图2所示。

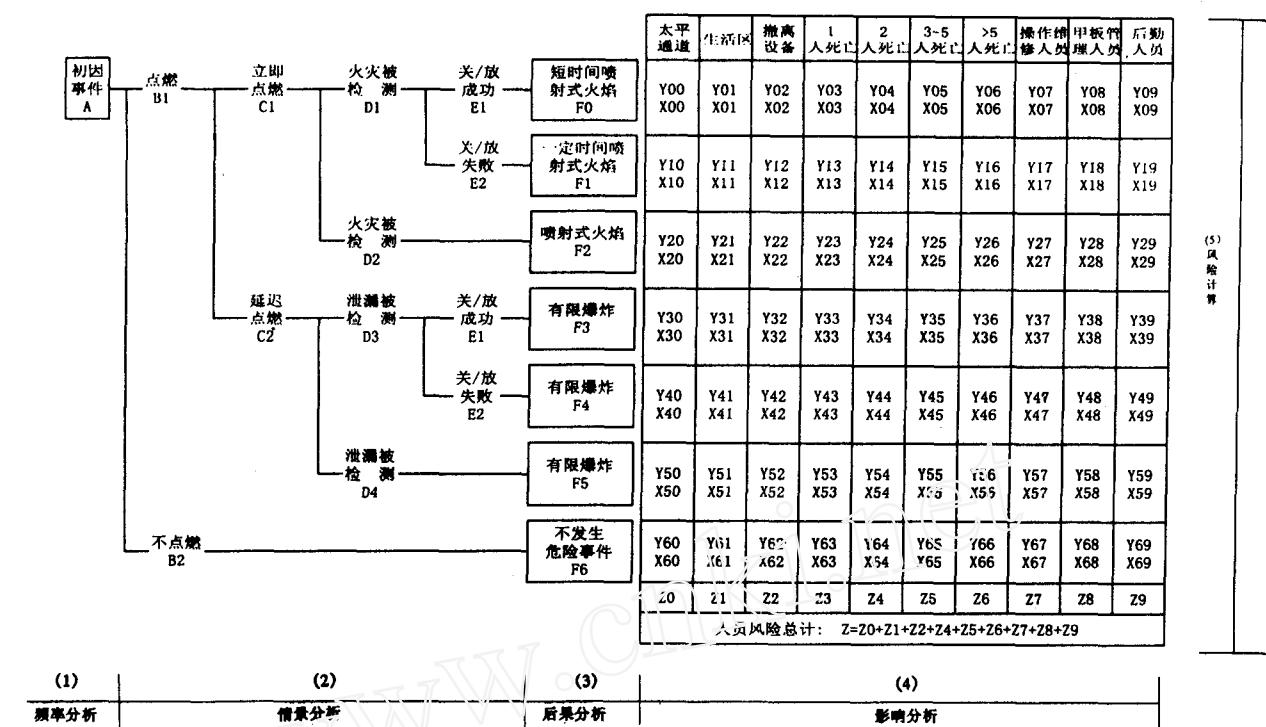


图2 事件树

1.4.1 情景分析

情景分析指对同一初因事件因外部条件不同可能出现不同的后果进行的分析。例如，当某区域发生碳氢化合物泄漏时，由于现场温度、压力、风向、风力等因素的影响，泄漏后果将有被点燃(*B₁*)和不被点燃(*B₂*)2种情况；其后者不会发生危险事件(*F₆*)，前者则可能发生事故，但有立即点燃(*C₁*)和延迟点燃(*C₂*)之别，且二者又具有各自的点燃频率及概率。依上述规律自左至右按A、B、C、D、E、F的顺序逐级进行2种可能的判断。鉴于平台安全设计中，对每种危险都安排了一定的检测和控制措施，因而会产生不同的结果。

应该说明的是，上述分析中每个结点所引出的2个分支的发生频率之和为1，即： $B_1 + B_2 = 1$ ， $C_1 + C_2 = 1$ ， $D_3 + D_4 = 1$ ， $E_1 + E_2 = 1$ ， $E_3 + E_4 = 1$ 。

1.4.2 后果分析

后果分析的目的是分析初因事件在不同外部因素的作用下所出现的不同后果，并根据初因事件发生频率和外部因素发生概率计算出各种后果的发生频率。其计算公式为：

$$\begin{aligned}
 F_0 &= A \times B_1 \times C_1 \times D_1 \times E_1 & F_1 &= A \times B_1 \times C_1 \times D_1 \times E_2 & F_6 &= A \times B_2 \\
 F_2 &= A \times B_1 \times C_1 \times D_2 & F_3 &= A \times B_1 \times C_2 \times D_3 \times E_3 & & \\
 F_4 &= A \times B_1 \times C_2 \times D_3 \times E_4 & F_5 &= A \times B_1 \times C_2 \times D_4 & &
 \end{aligned}$$

式中：*F*代表各种后果的发生频率；*A*为初因事件发生频率；*B*、*C*、*D*、*E*则是一系列外部因素的发生概率。

1.4.3 影响分析

影响分析是针对各种后果对平台工作人员和重要设施的影响所进行的分析。本文仅考虑人员和逃生设备，其中人员风险分为群体风险(生产过程中可能发生的事故所造成人员伤亡的严重程度)和个体风险(生

产过程中不同从业人员各自所面临的风险程度)2 种, 逃生设备分为太平通道、生活区、救生艇等部分。

影响分析的主要内容是确定各种后果对人员和逃生设备发生影响的概率, 即事件树模型图中的 X_{00} , X_{01} , X_{02} , …, X_{69} 。将各种后果频率与其影响人员和逃生设备的概率相乘, 即可得出该后果对人员和逃生设备影响的频率。

$$\begin{aligned} Y_{00} &= F_0 X_{00}, \quad Y_{01} = F_0 X_{01} \cdots \quad Y_{09} = F_0 X_{09} \\ Y_{10} &= F_1 X_{10}, \quad Y_{11} = F_1 X_{11} \cdots \quad Y_{19} = F_1 X_{19} \\ &\vdots \qquad \vdots \qquad \vdots \\ Y_{60} &= F_6 X_{60}, \quad Y_{61} = F_6 X_{61} \cdots \quad Y_{69} = F_6 X_{69} \end{aligned}$$

1.4.4 风险计算

风险计算是在初因事件所造成各种后果对人员和逃生设备产生影响的频率 Y_{ij} ($i = 0, 1, 2, \dots, 6; j = 0, 1, 2, \dots, 9$) 基础上, 进一步计算出该初因事件从总体方面影响人员和逃生设备的频率值 Z_j ($j = 0, 1, 2, \dots, 9$), 最后算出初因事件对平台人员的总体风险值。其计算公式如下:

$$\begin{aligned} Z_j &= \sum_{i=0}^6 Y_{ij} \\ Z &= Z_3 + 2Z_4 + 3Z_5 + nZ_6 \end{aligned}$$

式中: $i = 0, 1, 2, \dots, 9$; n 为功能区总人数; Z_0, Z_1, Z_2 分别为初因事件对太平通道、生活区及撤离设备的总影响频率或是这些设备的破损频率; Z_7, Z_8, Z_9 分别为操作维修人员、甲板管理人员及后勤人员的个人风险; Z 为人员群体风险, 代表社会风险值。

2 风险评估

风险评估是风险分析和风险评价的全过程。风险分析与评估目前还不是非常精确的。虽然定量计算可给“危险”1个数字表达, 但目前也只能是1个量级, 在分析其大小的时候, 应把数据和判断结合起来, 其重要意义不仅在于数据的精确, 而且在于对隐患的认识和准备。

2.1 最低合理可行原则(ALARP)

任何工业活动都具有风险, 预防措施不可能彻底消除风险, 而且系统的风险水平越低, 要进一步降低风险就越困难, 其成本往往呈指数上升; 因此, 必须在系统的风险水平和成本之间作出一种选择, 其主要内容示于图3。

2.2 确定一个可接受风险的行业标准

所谓“可接受的风险”就是建立一种环境, 它使人们在这种环境下生活或工作感受到的危险是已知的、清楚的, 并且是能控制在可接受水平上的。

(1) 英国健康与安全执行委员会建议的风险容限是, 除少数例外工种(如深海作业的渔民)可面临较大风险外, 在绝大部分工作寿命内, 重要工种可接受与不可接受风险的分界线为: 年人死亡最大限度为 1×10^{-3} 。

(2) 美国在制定安全风险设计标准时, 规定对居民产生的平均瞬时死亡风险不能超过美国本底风险的 0.1% (即 1×10^{-3})。例如, 美国本底致癌风险为年死亡 2×10^{-3} , 因此核电站造成的致癌风险设计目标为年死亡 2×10^{-6} 。

(3) 风险的可接受程度是随着技术进步而变化的。经济技术尚处于发展中的国家, 如果直接采用西方发达国家规定的标准, 则难以承受由此带来的巨大成本; 但随着技术的进步, 原来巨大的安全改进措施成本可能会逐渐降低, 变得可以承受, 因此可以接受更加严格的风险标准。上述原理如图4所示。

关于风险水平的衡量标准, 目前国内尚无统一规定, 它与行业性质、人们对风险的接受程度、社会经济水平有着直接关系。海上油气生产系统的风险分析, 参照英国海上工作人员 1980~1989 年期间所试用

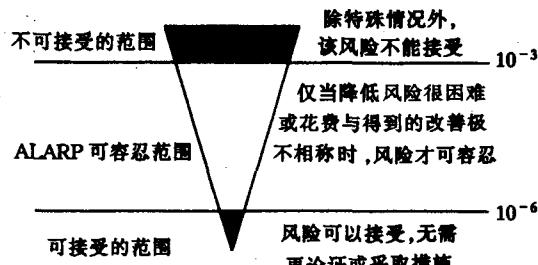


图 3 ALARP 原则示意图

的年人死亡风险 0.88×10^{-3} 的标准, 暂以年人死亡风险 1×10^{-3} 作为可接收标准, 以开展风险分析、判断和研究。

3 结论与展望

3.1 定量风险评估 (QRA)

定量风险评估是海上油气生产设施安全风险分析中最重要的组成部分, 代表当前一种先进的安全管理模式。它的应用意味着安全管理开始了 2 个现代化的转变, 即从定性管理到定量管理、从事后管理到事前管理 (即预测型管理) 的转变, 其前景和意义十分重大。

3.2 用途

作为海上油气系统安全措施, 定量风险评估技术将在如下方面发挥重要作用: (1) 考察已有的安全设计是否符合安全接受标准; (2) 考核设计方案是否需要改进; (3) 对不同的设计方案进行比较评价。

3.3 前景

海上油气生产安全风险分析技术在西方先进工业国家已日臻完善, 在我国则发展较晚, 特别是缺乏基础数据, 这势必影响定量风险评估结果的精确性, 因此今后宜采取下列措施:

- (1) 继续推进对 QRA 的研究, 力争跟上国际先进技术的发展。
- (2) 重点做好基础数据的收集和处理工作, 立足于高起点, 充分利用先进的计算机技术, 特别是数据库和网络技术; 此外要注意对安全管理统计理论的研究, 以指导以较少的成本收集到最有用的信息。
- (3) 对已取得的 QRA 研究成果, 应考虑到客观条件造成的局限性, 不应急于在生产实践中推广, 但可将这些研究成果向生产部门宣传, 以达到启发思路, 解决安全管理问题的目的。

随着实践资料的积累、动态模拟技术的发展和各种分析参数、模型的开发, 预计风险分析技术必将得到长足的进步, 把海上油气生产安全管理推向一个新水平。

4 参考文献

- 1 Smallman H. Piper Alpha and Some Other North Sea Accident. Informal Talk Prepared for the China Offshore Oil Operation Safety Office. Sep. 1995
- 2 Smallman H. An Introduction to Offshore QRA. Informal Talk Prepared for the China Offshore Oil Operation Safety Office. Sep. 1995
- 3 HSE. Prevention of Fire and Explosion, and Emergency Response on Offshore Installation. 1995
- 4 美国石油学会. 海上生产设施的设计与风险分析的推荐作法, 14J (RP 14J). 1993, 9
- 5 Roger Stone. Development of Safety Management System Based on API RP 750. SPE 27285, 1994, 615
- 6 Arnold RE, Koszla PJ and Viles JC. Improving Safety of Production Operations in the US OCE. OTC 6079, 1989, 349 - 358

(收稿日期: 1998-11-27; 编辑: 张金棣)

(上接第 58 页)

5 参考文献

- 1 刘仁桥, 李湘生. 复杂绕组变压器优化设计方法. 变压器, 1995, (7)
- 2 秦曾煌. 电工学. 修订本. 北京: 高等教育出版社. 1981
- 3 王慧勋. 潜油电泵的原理及使用. 1994, 7

(收稿日期: 1998-06-08; 编辑: 张金棣)

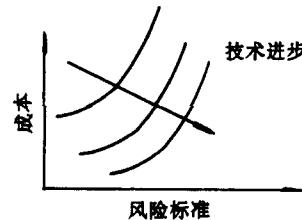


图 4 成本、风险标准与技术进步

According to the normalized experimental results, the relationship of cement slurry's three pore Pressure Drops due to Settling (PDS), Settling Gelling (PDSG) and Hydrated volume shrinking – Gelling (PDHG) without filter loss was studied, and the mechanism and law was revealed. The results show: (1) Three pressure drops are both relatively independent and inter – relative and interactive. Their occurrence usually has a time difference in proper order (PDS, PDSG and PDHG), and neighboring two pressure drops have a coexisting period. (2) The relationship between PDS and PDSG in Transformation Period (TP) totally depends on well – hole conditions and the slurry's settling stability. Under same well – hole conditions and along with the slurry's stability properties being improved, PDSG will replace PDS and become slurry's main pressure drop way, at the same time V_{pr} reduces and slurry's ability of preventing gas migration increase. (3) PDS and PDSG in TP at most decrease slurry's pore pressure to hydrostatic column pressure. (4) The relative sizes of V_{pr} at PDS and PDSG stage and PDHG stage for different slurries are not necessarily identical, which should be noted when designing the slurries for preventing gas migration. (5) The slurry pressure drip curve normalized with the initial setting time approximately eliminates the influence of setting time on the pressure drop, reflects the change of V_{pr} and is a method to directly compare and evaluate slurry's ability of preventing gas migration.

Key Words: cement slurry, pressure drop, relationship, mechanism, channeling prevention

•PETROLEUM EQUIPMENT•

The Application and Study of the Transformer Multivariable Control System on Chengdao

Production Platform *Liang Xinyi, Hu Caizhi, Chen Jun, Wang Anliang, Hou Weidong* (55)

This paper presents the principle of the transformer multivariable control system on Chengdao production platform, the method for determination and calculation of its main parameters. The design and application of the transformer multivariable control system is presented too. It is proved by theory and practices that the transformer multivariable control system is suitable production platforms, and a great deal of social and economic benefits had been gained by using it.

Key Words: Chengdao oil field, transformer multivariable control system, poly – winding transformer, production platform

•SAFETY AND FIRE PREVENTION•

The Safety Risk Analysis for Offshore Oil and Gas Production

..... *Zhang Xingcai, Song Lisong, Shen Zhonghan* (59)

The safety risk analysis technique is an important means for safety management of offshore oil and gas production. In this paper, the safety risk analysis and risk assessment is made aiming at personal casualties caused by fire and explosion due to oil and gas leakage. The authors introduce the safety risk analysis procedures using the effect diagram and the event tree methods and put forward the ALARP and acceptable professional standard. Some safety risk analysis measures that should be adopted in the future are suggested.

Key Words: offshore platform, oil and gas production, risk analysis, effect diagram, event tree

•COMPUTER•

Standard for Exchange of Open Data in the Development of CAD Technique *Ha Jianmin* (65)

Ponder the status quo of development on CAD technology, which will be affected by Data of Life in the future. Because there is no standard in process industry to unify CAD data produced from each phase of design. It introduces the status of founding and studying of STEP organization in the western industrialized countries. It is believed that the successful implementation of STEP will finally smash the development shackles of CAD technology.

Key Words: CAD,data for life, STEP, operation easy, VR

(2) 通过对几次观测资料的分析发现, 在渤海海域, 当海冰厚度小于 10 cm 时, 海冰不发生相对于沉箱的爬升和堆积, 即此时海冰会由于强度不足而在沉箱 2 侧旁路通过, 不会在沉箱顶上造成堆积。

(3) 在渤海海域, 考虑海冰作自由漂移简化情形下, 随着海水流速和风速的大小和它们作用方向的变化, 海冰运动的方向可以达到任何方位, 故海冰能够在沉箱的任何方向上产生爬升, 从而在该方向上产生堆积; 考虑到冬季冰覆盖下的海流作用主要取决于潮流, 而锦州 9-3 海域潮流的主流方向为 SW-NE 方向, 因此该方向上的海冰爬升和堆积要强于其他方向; 另外, 由于锦州 9-3 海域 M_2 分潮控制下的海冰运动具有周期约 12 h 的回旋往复的特点, 这使得每次爬升时沉箱前沿都没有堆积的冰, 故海冰易于爬升。

(4) 据观测和计算, 海冰在沉箱上的堆积具有自身屏蔽作用, 即海冰通常只堆积在沉箱的四周, 并且堆积的宽度(这里指堆积的径向宽度)只随堆高的增大而相应地增加, 即堆高和堆宽的比受海冰堆积的内摩擦角的限制。

当然, 由于观测资料有限, 这些结论还有待以后的观测进一步验证。

5 参考文献

- 1 王可光, 吴辉碇, 刘良坤. 锦州 9-3 单沉箱的海冰爬升和堆积研究: I. 方法研究. 中国海上油气(工程), 1999, 11(2)
(收稿日期: 1998-07-20; 编辑: 张金棣)

作者简介

- 蒋世全 副研究员, 1958 年出生, 1994 年获西南石油学院博士学位, 1996 年在大连理工大学海岸及近海工程国家重点实验室博士后出站, 现在中国海洋石油生产研究中心工作
- 张国衡 高级工程师, 1935 年出生, 1960 年毕业于天津大学工程力学专业, 现在中国海洋石油渤海公司工程部工作
- 陈晓平 高级工程师, 1954 年出生, 1977 年毕业于大连工学院海洋石油工程建筑专业, 现在中海石油海洋工程公司结构室工作
- 吕屹 工程师, 1956 年出生, 1987 年毕业于天津大学机电分校金属材料及热处理专业, 现在中海石油海洋工程公司工作
- 庄一舟 1964 年出生, 1986 年毕业于华东交通大学土木系, 1996 年获大连理工大学博士学位, 1997 年为浙江大学土木系博士后
- 金伟良 教授, 1961 年出生, 1982 年毕业于大连工学院海工专业, 1989 年获大连理工大学博士学位, 现为浙江大学结构工程研究所所长, 博士生导师, 浙江大学土木系副系主任
- 常炜 高级工程师, 1964 年出生, 1985 年毕业于南开大学化学专业, 1996 年获得青岛海洋大学海洋化学专业硕士学位, 现在中国海洋石油生产研究中心工作
- 王建华 1955 年出生, 1982 年毕业于天津大学工程力学专业, 现在天津大学建筑工程学院岩土工程研究所工作
- 王可光 实习研究员, 1971 年出生, 1994 年毕业于北京大学地球物理系, 1997 年获北京大学环境科学硕士学位, 现在国家海洋环境预报中心工作
- 罗延生 讲师, 1965 年出生, 1984 年毕业于大庆石油学院机械系, 现为石油大学(北京)博士研究生
- 聂宝栋 工程师, 1970 年出生, 1991 年毕业于江汉石油学院矿业机械专业, 现在海洋石油股份有限公司渤中 34 油矿工作
- 张厚美 讲师, 1966 年出生, 1987 年毕业于江汉石油学院钻井工程专业, 1990 年获石油大学(北京)油气田开发工程专业硕士学位, 现在同济大学攻读岩土工程专业博士学位
- 孙展利 讲师, 硕士, 1957 年出生, 1982 年大学毕业, 现在江汉石油学院石油工程系从事提高固井质量的研究工作
- 梁新义 高级工程师, 1946 年出生, 1965 年毕业于新疆独山子石油学校采油工程专业, 现在胜利石油管理局海洋石油开发公司工作
- 张兴才 高级工程师, 1939 年出生, 1965 年毕业于山东海洋学院, 现在中海石油海洋工程公司工作
- 哈剑民 工程师, 1961 年出生, 1983 年毕业于北方工业大学自动化专业, 现在中国海洋石油生产研究中心工作