

# 风险管理在炼化装置评价中的应用

大庆石化分公司质量安全环保处

(黑龙江大庆 163714)

朱大为 宫本贵

**摘 要** 本文根据风险评价的基本理论和方法,结合某石化公司炼油厂常减压车间的工艺特点和生产实践,给出了风险评价在炼化装置上应用的程序、方法以及在风险评价中应注意的问题。

**关键词** 风险管理 评价方法 应用 问题

## 1 前言

风险管理是健康、安全与环境管理体系的基本要素。它是通过一种超前的风险预测和分析,确定活动、产品、服务中可能发生的危险及后果,从而采取有效的防范手段和削减措施,防止事故发生,以减少可能引起的人员伤害、财产损失的有效管理模式。风险管理要求装置从计划、设计、施工、投产各个阶段都应该正确分析评估它的危险性。同时,按不同情况对风险进行分类,找出发生事故的基本原因,采取一定的措施加以预防,经济有效地把风险减到最小程度。

## 2 风险管理的内容和基本方法

一个系统全面的评价是建立健康、安全与环境管理体系的良好开端,它能搞清公司运行过程中对健康、安全与环境可能产

生的危害 并对以往健康、安全与环境管理进行总结 找出优势和不足。根据评价的结论，公司可按照自己的实际情况制定有效的削减措施和应急反应措施 将公司的活动对健康、安全与环境的不利影响降到最低。评价是建立和实施健康、安全与环境管理体系的一项基础性工作 是通过收集、调查一系列信息 对公司当前活动、生产和服务中全部已有或可能存在的健康、安全与环境危害、影响及其控制、管理现状进行全面分析和系统评价的一项工作。

## **2.1 内容**

评价的主要内容包括以下几点：

- (1) 确定有关的法律、法规要求及公司的方针 建立判别准则，以便根据该准则判定危害及其影响；
- (2) 确定危害和影响健康、安全与环境的因素；
- (3) 评价已识别的危害和影响的可能性和严重性；
- (4) 检查现有各种管理的实践和程序；
- (5) 对以往事故进行调查总结；
- (6) 了解相关方对公司健康、安全与环境方面的意见和要求；
- (7) 建立说明危害和影响的文件；
- (8) 制定具体目标和表现准则并形成文件；
- (9) 制定有效的风险削减措施。

## **2.2 基本方法**

评价的基本方法有：

- (1) 事故树分析 (FTA)；

- (2) 故障类型及影响分析 (FMEA);
- (3) 可操作性研究;
- (4) 火灾爆炸指数评价法;
- (5) 安全检查表法, 等。

### 3 风险评价方法的应用

随着对安全生产过程的深入认识, 相应的安全风险评价的要求也不断提高。然而, 每种评价方法都有各自的优缺点。对于不同的评价对象 必须选用适当的方法 才能取得真实的评价结果。为了获取真实的评价结果 在选用方法之前 必须考虑到评价目标、评价结果的表现形式、评价资料及相关信息、评价人员和评价时间等。根据不同的生产过程、产品性质、工艺特点, 以及不同的出发点 选用适当的评价方法及方法组合 才能达到预期的目的。

炼化化工生产装置的特点是高温高压、易燃易爆、连续性生产 易发生火灾、爆炸事故 而火灾、爆炸指数法 恰恰是评价火灾、爆炸危险性的方法。因此 在炼化化工生产装置的评价中采用了火灾、爆炸指数法。首先根据《火灾爆炸危险等级区域评定》等资料 对装置进行定性分析后 再根据美国道化学公司火灾、爆炸危险指数评价方法 第七版(以下简称“道氏七版”)的单元划分原则划分评价单元。对于易发生火灾、爆炸的单元和区域采用道氏七版的火灾、爆炸指数评价方法进行评价 计算出各评价单元火灾、爆炸指数 (F&EI) 然后选取火灾、爆炸指数高的单元, 采用故障类型及影响分析 (FMEA) 法进行进一步分析。对于分析结果不能接受的单元, 则采用事故树 (FTA) 分析法进

行最后的分析，确定应重点预防的事件及所采取的相应措施。

现以某石化公司炼油厂常减压车间常压加热炉的评价为例。

### 3.1 评价程序

3.1.1 总体评价程序见图 1)

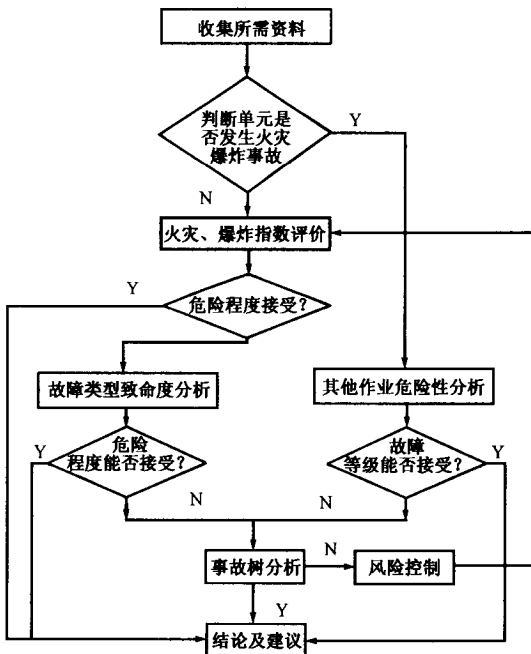


图 1 评价程序

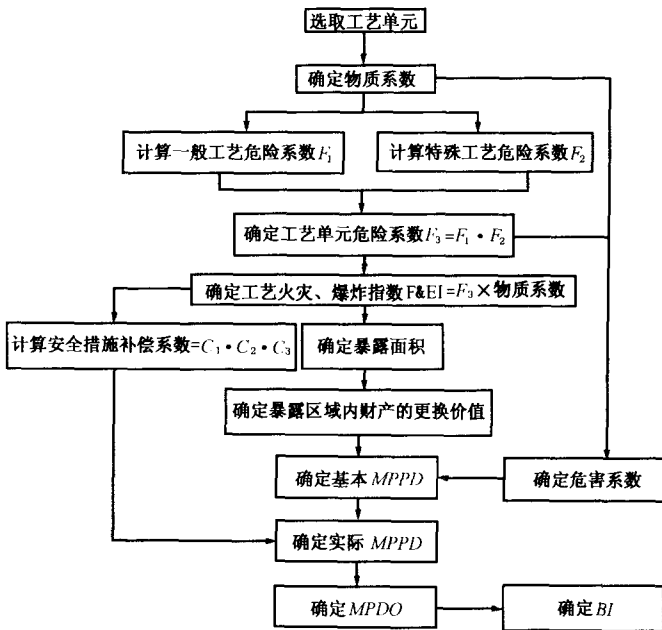


图 2 风险分析计算程序

### 3.1.2 火灾、爆炸危险指数评价程序 (见图 2)

根据以上评价程序可确定出单元的危险指数，具体划分见表 1。

表 1 F&EI 值及危险等级表

F&EI 值	危险等级
1 ~ 60	最 轻
61 ~ 96	较 轻
97 ~ 127	中 等
128 ~ 158	很 大
> 159	很 大

## 3.2 评价内容

### 3.2.1 区域火灾爆炸危险等级评定

(1) 加热炉区域火灾爆炸危险环境评定：

加热炉炉膛内采用鼓风机、引风机对炉膛内进行通风，正常条件为良好，一旦出现设备故障改为自然通风，条件较差。

在正常生产过程中，各火嘴的燃料正常燃烧产生二氧化碳和氧化氮等混合物，经过余热回收后由重合烟道排入大气。

炉膛及余热回收系统设有防爆门、防爆片等，一旦发生爆炸将缓解炉膛内压力。

操作人员经过系统培训，操作技术和操作经验已达到良好水准。

加热炉火灾爆炸危险范围：33 013mm × 33 013mm × 33 013mm。

(2) 加热炉区域可燃物质火灾爆炸类别：

依据《石油化工企业设计防火规范》(GB 50160—1992) 第 2.0.1 和 2.0.2 条 以及表 2.0.1 和 2.0.2 及附录二、附录三 两种燃料在炉膛内的燃烧分类分别为甲类和丙<sub>B</sub>类。因为在生产中两种燃料混合燃烧，根据火灾爆炸危险等级按高级别划分原理 因此 加热炉区域的可燃物质火灾爆炸类别为甲类。

(3) 依据《火灾爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—1992 第 2.2.5 条及火灾爆炸危险区域划分 按释放源级别和通风条件确定，加热炉区域为一区。

综合以上评定结果 根据《黑龙江省石油化工生产企业火灾爆炸危险等级评定暂行办法》第五条 确定加热炉区域的火灾爆炸危险等级为一级。

### 3.2.2 火灾、爆炸危险指数的评价

#### 3.2.2.1 评价单元的划分

由于常减压车间的生产工艺过程复杂、设备密集、加工量大 工艺过程均处于高温、高压状态下 参考装置的《火灾、爆炸危险区域评定》 根据火灾、爆炸指数法的单元划分原则 再考虑到装置生产的连续性和独立性，选取了一些对装置生产影响较大的设备或区域作为评价单元。

本装置共划分为 5 个系统，16 个单元，具体划分如下：

(1) 常压系统 初馏塔(塔 - 1)单元、常压塔(塔 - 2)单元、常压汽提塔(塔 - 3)单元、常压泵房单元、汽油泵房单元、初顶产品罐(容 - 3)单元、航煤脱硫醇罐(反 - 1)单元；

(2) 减压系统 减压塔(塔 - 4)单元、减压泵房单元；

(3) 加热炉系统 常压炉(炉 - 1)单元、减压炉(炉 - 2)单元、高压瓦斯罐(容 - 12)单元；

(4) 电脱盐系统 电脱盐罐(容 - 1)单元、冷油泵房单元、氨罐(容 - 9)单元；

(5) 换热系统 换 - 39 单元(框架 - 4 中最危险单元)；

#### 3.2.2.2 确定评价单元的物质系数

常压炉内采用明火加热拔头原油，燃料为瓦斯和渣油，查“物质系数表”并修正后得物质系数均为 21。由于拔头原油的量远远大于瓦斯量，故取拔头原油的物质系数作为单元的物质系数 即  $MF = 21$ 。

### 3.2.2.3 一般工艺危险性 $F_1$ (基本系数为 1.0) (见表 2)

表 2 一般工艺危险性系数表

单元项目	$F_1$ 值
A. 本单元有瓦斯和渣油在燃烧,属中等放热反应	$F_{1A} = 0.5$
B. 本单元无吸热反应	$F_{1B} = 0$
C. 本单元无物料处理与输送	$F_{1C} = 0$
D. 本单元为非封闭单元	$F_{1D} = 0$
E. 本单元消防通道符合要求	$F_{1E} = 0$
F. 本单元泄漏后易发生火灾	$F_{1F} = 0.5$

因此,  $F_1 = 1.0 + F_{1A} + F_{1B} + F_{1C} + F_{1D} + F_{1E} + F_{1F} = 1.0 + 0.5 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0.5 = 2.0$ 。

### 3.2.2.4 特殊工艺危险性 $F_2$ (基本系数为 1.0) (见表 3)

表 3 特殊工艺危险性系数表

单元项目	$F_2$ 值
A. 本单元主要物质为拔头原油	$F_{2A} = 0.2$
B. 本单元不存在负压操作	$F_{2B} = 0$
C. 燃烧范围或其附近的操作	$F_{2C} = 0.3$
D. 本单元不存在粉尘	$F_{2D} = 0$
E. 本单元不属于压力容器	$F_{2E} = 0$
F. 本单元无低温操作	$F_{2F} = 0$
G. 易燃和不稳定物质的数量	$F_{2G} = 2.0$
H. 本单元腐蚀速率小于 0.127mm/a	$F_{2H} = 0.1$
I. 本单元不存在泄漏	$F_{2I} = 0$
J. 本单元即明火设备	$F_{2J} = 1.0$
K. 本单元采用明火加热油品	$F_{2K} = 0$
L. 本单元鼓风机、引风机功率分别为 160kW 和 220kW	$F_{2L} = 0$

表 3 中，易燃和不稳定物质的数量 (G)：

瓦斯消耗量为 33t/d 燃料油消耗量为 25.28t/d 拔头原油  
7988t/d 故进入本单元的物质量为：

瓦斯 :33t/24d = 1375kg/h = 3031 lb/h<sup>①</sup>；

渣油 :25.28t/24d = 2322.16 lb/h；

拔头油 :7988t/24d = 0.7338 × 10<sup>6</sup> lb/h；

根据本装置用瓦斯的组分计算其燃烧热值 (10min) 为  
0.0109 × 10<sup>9</sup> Btu/lb<sup>②</sup>；燃料油的燃烧热值 (10min) 为 0.0333 ×  
10<sup>9</sup> Btu/lb 拔头油的燃烧热值 (10min) 为 2.605 × 10<sup>9</sup> Btu/lb 合计：  
2.649 × 10<sup>9</sup> Btu/lb。

查道氏七版“总能量—危险系数图”进入本单元物质数量  
的修正系数为： $F_{2C} = 2.0$ 。

$$\begin{aligned} \text{由表 3 得 } F_2 &= 1.0 + F_{2A} + F_{2B} + F_{2C} + F_{2D} + F_{2E} + F_{2F} + \\ &F_{2G} + F_{2H} + F_{2I} + F_{2J} + F_{2K} + F_{2L} \\ &= 1.0 + 0.2 + 0 + 0.3 + 0 + 0 + 0 + 2.0 + 0.1 + \\ &0 + 1.0 + 0 + 0 = 4.6 \end{aligned}$$

本单元的工艺危险系数为： $F_3 = F_1 \cdot F_2 = 2.0 \times 4.6 = 9.2$ 。

故  $F_3$  值取 8 则本单元的火灾、爆炸指数为： $F\&EI = F_3 \cdot MF$   
 $= 8 \times 21 = 168$ 。

3.2.2.5 计算单元的安全设施修正系数 ( $C = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3$ )

(1) 工艺控制补偿系数  $C_1$  (见表 4) 为

① 1lb = 0.454 kg；

② 1Btu = 252 cal = 1055 J。

$$\begin{aligned}
 C_1 &= C_{1a} \cdot C_{1b} \cdot C_{1c} \cdot C_{1d} \cdot C_{1e} \cdot C_{1f} \cdot C_{1g} \cdot C_{1h} \cdot C_{1i} \\
 &= 1.0 \times 1.0 \times 0.98 \times 1.0 \times 0.93 \times 1.0 \times 0.91 \times 1.0 \times 0.96 \\
 &= 0.796
 \end{aligned}$$

表 4 工艺控制补偿系数表

a. 本单元无紧急动力源		$C_{1a} = 1.0$
b. 本单元无骤冷装置		$C_{1b} = 1.0$
c. 本单元装有防爆门、防爆片		$C_{1c} = 0.98$
d. 本单元无紧急切断装置		$C_{1d} = 1.0$
e. 本单元有在线计算机控制		$C_{1e} = 0.93$
f. 本单元无惰性气体保护系统		$C_{1f} = 1.0$
g. 本单元有完整的操作规程： g-1: 开车 g-2: 正常停车 g-3: 正常操作条件 g-4: 低负荷操作条件 g-5: 备用装置启动条件(单元全循环或全回流) g-6: 超负荷操作条件 g-7: 短时间停车后再开车规程 g-8: 检修后的重新开车 g-9: 检修程序(批准手续、清除污物、隔离、系统清扫) g-10: 紧急停车 g-11: 设备、管线的更换和增加 g-12: 发生故障时的应急方案	$g_1 = 0.5$ $g_2 = 0.5$ $g_3 = 0.5$ $g_3 = 0.5$ $g_5 = 0.5$ $g_6 = 1.0$ $g_7 = 1.0$ $g_8 = 1.0$ $g_9 = 1.5$ $g_{10} = 1.5$ $g_{11} = 2.0$ $g_{12} = 3.0$	$C_{1g} = 1.0 - 13/150$ $= 0.91$
h. 活性化学物质检查		$C_{1h} = 1.0$
i. 其他工艺过程危险分析		$C_{1i} = 0.96$

(2 物质隔离补偿系数  $C_2$  见表 5)为

$$C_2 = C_{2a} \cdot C_{2b} \cdot C_{2c} \cdot C_{2d} = 0.98 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 0.98$$

表 5 物质隔离补偿系数表

a. 本单元有远距离控制阀	$C_{2a} = 0.98$
b. 本装置无备用泄料装置	$C_{2b} = 1.0$
c. 本单元无紧急排放到火炬系统	$C_{2c} = 1.0$
d. 本单元无连锁装置	$C_{2d} = 1.0$

(3 防火措施补偿系数  $C_3$  见表 6)为

$$\begin{aligned} C_3 &= C_{3a} \cdot C_{3b} \cdot C_{3c} \cdot C_{3d} \cdot C_{3e} \cdot C_{3f} \cdot C_{3g} \cdot C_{3h} \cdot C_{3i} \\ &= 1.0 \times 0.98 \times 0.94 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.98 \times 0.98 \\ &= 0.885 \end{aligned}$$

表 6 防火措施补偿系数表

a. 本单元无泄漏检测装置	$C_{3a} = 1.0$
b. 钢结构	$C_{3b} = 0.98$
c. 本单元消防水为 1.5MPa	$C_{3c} = 0.94$
d. 本单元无特殊系统	$C_{3d} = 1.0$
e. 本单元无喷洒系统	$C_{3e} = 1.0$
f. 本单元无消防水幕	$C_{3f} = 1.0$
g. 本单元无泡沫装置	$C_{3g} = 1.0$
h. 本单元有手提式灭火器/水枪	$C_{3h} = 0.98$
i. 本单元电缆均有金属护罩	$C_{3i} = 0.98$

安全设施修正系数为

$$C = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3$$

$$= 0.796 \times 0.98 \times 0.885$$

$$= 0.69$$

则本单元的实际火灾爆炸指数为

$$F\&EI = 0.69 \times 168 = 115.92$$

### 3.2.2.6 计算单元的影响区域（暴露半径和暴露面积）

暴露半径可以从道氏七版中图 7 暴露区域半径计算图查出或用计算出的 F&EI 值乘以 0.83 得到。本次风险评价采用后一种方法，因此本单元的暴露半径为：

$$\text{暴露半径} = F\&EI \times 0.83 = 168 \times 0.83 \times 0.3048 = 42.5(\text{m})$$

暴露半径决定了暴露区域面积的大小由此可得出暴露区域面积。

$$\text{暴露区域面积} = \pi R^2 = 3.14 \times 42.5^2 = 5671.6(\text{m}^2)$$

### 3.2.2.7 计算暴露区域内的财产价值

暴露区域内的财产价值可由区域内含有的财产（包括在存的物料）的更换价值来确定：

$$\text{更换价值} = \text{原来成本} \times 0.82 \times \text{增长系数}$$

原来成本可从《装置固定资产盘点表》中查出原来成本为 42978313.82 元（含区域内在存物料）

### 3.2.2.8 计算单元的危害系数

单元危害系数是由单元危险系数 ( $F_3$ ) 和物质系数  $MF$  来确定的也可按道氏七版附录 E 中图 8 的计算方程式计算已知本单元物质系数  $MF = 21$ ,  $F_3 = 8$  按公式可计算出单元的危害系数为 0.829。

### 3.2.2.9 计算本单元影响区域内基本最大可能财产损失（Base MPPD）

公式：

基本  $MPPD = (\text{单元影响区域财产损失} \times \text{单元危害系数})$   
 则本单元的 Base  $MPPD = 42978313.82 \times 0.829$   
 $= 35629022.98$  元。

### 3.2.2.10 计算本单元实际最大可能财产损失

公式：

实际  $MPPD = \text{基本 } MPPD \times \text{安全措施补偿系数}$   
 则本单元的实际  $MPPD = 35629022.98 \times 0.69$   
 $= 24584025.86$  元。

### 3.2.2.11 计算本单元最大可能工作日损失 (MPDO)

道氏七版图 9 是最大可能工作日损失 (MPDO) 与实际  $MPPD$  之间的关系图, 可由此查出  $MPDO$ , 也可由公式计算出。因此, 本单元的实际  $MPPD = 24584025.86$  元由公式计算出最大可能工作日损失为 40.3 天。

### 3.2.2.12 停产损失 (BI)

停产损失  $BI$  按下式计算：

$$BI = MPDO \times (VPM/30) \times 0.70$$

$$= 40.3 \times 2.23665 \times 0.70$$

$$= 63.0959 \text{ (百万元)}$$

式中  $VPM$  为每月产值 0.7 代表固定成本和利润。

## 3.2.3 评价单元火灾、爆炸指数计算表 (表 7、表 8、表 9、表 10、表 11)

表 7 火灾、爆炸指数 **F&E** 计算表 (加热炉系统)

评价单元	常压炉
单元内物质	拔头原油
物质系数	21

续表

评价单元	常压炉
1. 一般工艺危险性	
基本系数	1.0
A. 放热反应	0.5
B. 吸热反应	0
C. 物料处理与输送	0
D. 封闭结构	0
E. 消防通道	0
F. 排放和泄漏控制	0.5
一般工艺危险系数 $F_1$	2.0
2. 特殊工艺危险系数	
基本系数	1.0
A. 毒性物质	0.2
B. 负压操作	0
C. 燃烧范围附近操作	0.3
D. 可燃性粉尘	0
E. 压力修正系数	0
F. 低温	0
G. 易燃、不稳定物质	2
H. 腐蚀	0.1
I. 泄漏—接头和密封	0
J. 明火设备	1.0
K. 热油交换系统	0
L. 转动设备	0
特殊工艺危险系数 $F_2$	4.6
单元工艺危险系数 $F_3 = F_1 \cdot F_2$	8
火灾爆炸指数 $F_3 \cdot MF$	168

表 8 安全设施修正系数表（加热炉系统）

评价单元	常 压 炉
1. 工艺控制 ( $C_1$ )	
A. 紧急状态动力源	1.0
B. 骤冷装置	1.0
C. 抑爆装置	0.98
D. 紧急切断装置	1.0
E. 计算机控制	0.93
F. 惰性气体保护系统	1.0
G. 操作规程	0.91
H. 化学活性物质的评价	1.0
I. 其他安全性检查	0.96
$C_1$ 合计	0.796
2. 危险物质隔离 ( $C_2$ )	
A. 远距离控制阀	0.98
B. 卸料排放装置	1.0
C. 排污系统	1.0
D. 连锁装置	1.0
$C_2$ 合计	0.98
3. 防火设施 ( $C_3$ )	
A. 泄漏气体检测装置	1.0
B. 钢质结构	0.98
C. 地下储罐	1.0
D. 供水系统	0.94
E. 特殊灭火装置	1.0

续表

评价单元	常压炉
F.自动洒水系统	1.0
G.防火水幕	1.0
H.泡沫灭火装置	1.0
I.手提式灭火器/水枪	0.98
J.电缆屏蔽	0.98
C <sub>3</sub> 合计	0.885

表 9 单元的实际危险程度评价表

评价单元	F&EI 值	危险程度	C 值	F&EI·C	实际危险程度
常压炉	168	非常大	0.69	115.92	中等

表 10 评价单元的破坏系数及影响区域表

评价单元	F <sub>3</sub>	MF	破坏系数	F&EI 值	暴露半径(m)	暴露面积(m <sup>2</sup> )
常压炉	8	21	0.829	168	42.5	5671.6

表 11 常减压二车间各单元危险分析汇总

评价单元	常压炉
① 物质系数	21
② F&EI 值	168
③ 破坏系数	0.829
④ 区域内财产价值(百万元)	42.9783
⑤ 基本 MPPD(百万元)	35.6290
⑥ 安全修正系数	0.69
⑦ 实际 MPPD(百万元)	24.585
⑧ 损失工作日	40.3

### 3.2.4 故障类型及影响分析

根据以上火灾、爆炸指数 F&EI 评价结果 常压炉需要进一步评价 考虑到单元故障类型的相似性 分别选取该单元中危险程度较高的故障作为典型评价过程, 其他故障类型及影响分析数据由表 12 给出。

表 12 常压炉火灾、爆炸事故及故障类型

单元名称	常压系统—常压炉火灾、爆炸							
事故及故障类型	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	CE	事故及故障等级	简单处理措施
爆炸	5	2	0.7	1	0.8	5.6	重大(II)	切断油源,立即扑火
火灾	3	2	0.7	1	0.8	3.36	小(III)	切断油源,停车
泄漏	3	2	0.7	1	0.8	3.36	小(III)	切断油源,堵漏
超压	1	1	0.7	0.7	0.8	0.392	轻微(IV)	及时调节操作
超温	1	2	1	1	0.8	1.6	轻微(IV)	及时调节操作
断料	1	2	0.7	1	0.8	1.12	轻微(IV)	及时降温

在常压炉单元的故障类型中 有泄漏、火灾、爆炸、超温、超压、断料 选取爆炸作为单元评价计算过程 其他故障分析数据见表 12。

致命点数 :  $CE = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5$  .

根据致命度评点标准计算 CE 值 :

$F_1$  : 常压炉爆炸易造成生命损失 故选取系数为 5.0;

$F_2$  : 常压炉爆炸造成两个以上的重大影响, 故选取系数为