



中华人民共和国国家标准

GB/T 26610.3—2014

承压设备系统基于风险的检验实施导则 第3部分：风险的定性分析方法

Guideline for implementation of risk-based inspection of
pressure equipment system—Part 3: Qualitative approach to risk

2014-05-06 发布

2014-12-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

前 言

GB/T 26610《承压设备系统基于风险的检验实施导则》分为 5 个部分：

- 第 1 部分：基本要求和实施程序；
- 第 2 部分：基于风险的检验策略；
- 第 3 部分：风险的定性分析方法；
- 第 4 部分：失效可能性定量分析方法；
- 第 5 部分：失效后果定量分析方法。

本部分为 GB/T 26610 的第 3 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分参考了 API RP 581《基于风险的检验》，并结合我国的实际情况制定。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本部分起草单位：合肥通用机械研究院、中国特种设备检测研究院、福建特种设备检测研究院、中国石油化工股份有限公司、中国石油天然气股份有限公司、中国石油化工股份有限公司茂名分公司、大连西太平洋石油化工有限公司。

本部分主要起草人：陈学东、艾志斌、杨铁成、胡久韶、顾望平、贾国栋、王辉、李光海、谢国山、王笑梅、张志超、何承厚、李信伟、韩建宇、曲豫。

承压设备系统基于风险的检验实施导则

第3部分：风险的定性分析方法

1 范围

GB/T 26610 的本部分给出了针对石油化工装置承压设备系统进行风险定性分析的方法，其他工业承压设备系统实施的风险定性分析也可参照采用。

本部分适用于 GB/T 26610.1 所指的承压设备系统。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 26610.1 承压设备系统基于风险的检验实施导则 第1部分：基本要求和实施程序

3 术语和定义

GB/T 26610.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

设备因子 equipment factor

EF

与装置（单元或工段）中可能发生失效的设备总数相关的表征数值。

3.2

损伤因子 damage factor

DF

装置（单元或工段）中潜在的损伤机理种类的量化表征。

3.3

检验因子 inspection factor

IF

当前检验程序的有效性及其对识别装置（单元或工段）中潜在损伤机理的能力的量化表征。

3.4

维护状态因子 maintenance condition factor

MCF

被评估装置（单元或工段）的设计制造水平、企业管理和维护程序运行的有效性的量化表征。

3.5

工艺因子 process factor

PF

装置（单元或工段）运行连续性、工艺稳定性和安全保护装置可靠性的量化表征。

3.6

机械设计因子 **mechanical design factor**

MDF

装置(单元或工段)设计规范的先进性及与现行标准的符合性的量化表征。

3.7

燃烧与爆炸后果 **damage consequence**

可燃性介质泄放到环境中引起着火与爆炸造成的各种损失的量化表征。

3.8

燃烧与爆炸后果等级 **damage consequence category**

根据化学因子、破坏量值因子、状态因子、自燃因子、压力因子和安全防护因子的组合所确定的后果等级类别。

3.9

化学因子 **chemical factor**

CF

介质发生燃烧的可能性的量化表征,由可燃因子和反应因子组成。

3.10

可燃因子 **flash factor**

FF

介质固有的可燃性的量化表征。

3.11

反应因子 **reaction factor**

RF

介质暴露于一点火源时发生反应的可能性(稳定性)的量化表征。

3.12

损伤量值因子 **damage quantity factor**

DQF

失效事件发生后,装置中的可燃介质最大程度泄放导致的破坏程度的量化表征。

3.13

状态因子 **state factor**

SF

介质泄放到大气中被闪蒸成蒸汽的难易度程度的量化表征。

3.14

自燃因子 **auto-ignition factor**

AF

介质泄漏后自行燃烧的可能性的量化表征。

3.15

压力因子 **pressure factor**

PRF

失效事件发生后,介质泄放到环境中的快慢程度的量化表征。

3.16

安全防护因子 **credit factor**

CRF

装置在设计、制造过程所赋予的安全特性的量化表征。

3.17

中毒后果 toxic consequence

有毒介质泄放到环境中引起的中毒造成的各种损失的量化表征。

3.18

中毒后果类别等级 toxic consequence category

根据中毒量值因子、扩散因子、安全防护因子以及人口因子的组合所确定的后果等级类别。

3.19

中毒量值因子 toxic quantity factor**TQF**

失效事件发生后,装置中的有毒介质最大程度的泄放导致的破坏程度的量化表征。

3.20

扩散因子 dispersibility factor**DLF**

介质扩散能力的量化表征。

3.21

人口因子 population factor**PPF**

失效事件发生后,可能受到某一有毒介质泄放影响的人数的量化表征。

4 总则

4.1 定性分析的程序

分析前应首先确定被评估装置(单元或工段)的物理边界和介质特性,然后按第5章确定其失效可能性,按第6章确定其失效后果,按第7章确定其风险等级。

4.2 一般原则

4.2.1 当装置(单元或工段)中有若干种主要的介质时,应根据介质种类分别计算该装置的失效后果,并确定风险级别,以风险级别最高的结果作为该装置最终的风险级别。

4.2.2 在进行风险的定性分析时,为保证评估结果的一致性,当某一问题有多种可选答案时,应选择其中的一种,而不是使用插值。

4.3 定性分析的应用

4.3.1 风险的定性分析方法可以单独应用,也可以和定量方法结合起来使用。在受条件限制无法进行全部定量风险分析时,可通过定性分析方法筛选出定性风险相对较高的部分进行定量风险分析,再依据定量风险分析的结果制定基于风险的检验策略。

4.3.2 进行不同装置(单元或工段)定性风险对比时需要考虑装置(单元或工段)中的设备数量,只有设备数量相近的装置(单元或工段)才能进行对比。

5 失效可能性评估

5.1 失效可能性的评估步骤

5.1.1 根据被评估装置(单元或工段)的具体情况,分别对下列6个因子进行赋值或计算:

- a) 设备因子(EF);
- b) 损伤因子(DF);
- c) 检验因子(IF);
- d) 维护状态因子(MCF);
- e) 工艺因子(PF);
- f) 机械设计因子(MDF)。

5.1.2 将上述 6 个因子的值相加,计算失效可能性因子,按表 1 确定失效可能性等级(即图 1 风险矩阵图的纵轴)。

表 1 失效可能性等级

失效可能性因子	失效可能性等级
0~15	1
16~25	2
26~35	3
36~50	4
51~75	5

5.2 各因子的赋值或计算方法

5.2.1 设备因子(EF)

根据被评估装置(单元或工段)中可能发生失效的设备总数对设备因子(EF)进行赋值,其最大值为 15:

- a) 对完整的装置进行评估(可能发生失效设备数量大于 150 台),取 EF=15;
- b) 对装置中的某个单元进行评估(可能发生失效设备数量为 20 台~150 台),取 EF=5;
- c) 对装置中的某个工段进行评估(可能发生失效设备数量小于 20 台设备),取 EF=2。

5.2.2 损伤因子(DF)

判断装置(单元或工段)中是否存在发生某种损伤机理的可能性,并分别赋值:

- a) 存在导致碳钢或低合金钢发生腐蚀开裂的可能性,取 DF1=5;
- b) 存在因低温、回火脆化或其他原因可能引起碳钢发生脆性断裂的可能性,取 DF2=4;
- c) 存在发生热疲劳或机械疲劳的可能性,取 DF3=4;
- d) 存在发生高温氢腐蚀的可能性,取 DF4=3;
- e) 存在由于工艺原因引发奥氏体不锈钢应力腐蚀开裂的可能性,取 DF5=3;
- f) 存在发生局部腐蚀的可能性,取 DF6=3;
- g) 存在发生全面腐蚀的可能性,取 DF7=2;
- h) 存在发生蠕变损伤的可能性,取 DF8=1;
- i) 存在材料退化(如 σ 相析出、渗碳、珠光体球化等)的可能性,取 DF9=1;
- j) 存在已经识别的其他损伤机理的可能性,取 DF10=1。

将 DF1~DF10 相加,计算损伤因子(DF),其最大值为 20。

5.2.3 检验因子(IF)

5.2.3.1 根据容器检验历史对 IF1 进行赋值:

- a) 按要求进行定期检验,检验方案符合有关规范要求,有现场监控装置(如泄漏报警、视频监控等),取 $IF1 = -5$;
- b) 仅进行过部分宏观(肉眼)检查和超声测厚等,取 $IF1 = -2$;
- c) 未进行过有效检验,取 $IF1 = 0$ 。

5.2.3.2 根据管道检验历史对 $IF2$ 进行赋值:

- a) 按要求进行定期检验,检验方案符合有关规范要求,有现场监控装置,取 $IF2 = -5$;
- b) 仅进行过部分宏观(肉眼)检查和超声测厚等,取 $IF2 = -2$;
- c) 未进行过有效检验,取 $IF2 = 0$ 。

5.2.3.3 根据检验方案对 $IF3$ 进行赋值:

- a) 已识别出设备的全部损伤机理,并全部制定了有针对性的检验方案,取 $IF3 = -5$;
- b) 仅对部分已识别的损伤机理制定了针对性的检验方案,取 $IF3 = -2$;
- c) 检验方案不满足上述各项要求,取 $IF3 = 0$ 。

5.2.3.4 将 $IF1 \sim IF3$ 相加,计算检验因子(IF),其最小值为 -15 ,但其绝对值不得超过损伤因子(DF)。

5.2.4 维护状态因子(MCF)

5.2.4.1 根据企业的管理水平对 $MCF1$ 进行赋值:

- a) 企业管理水平明显优于现行有关工业标准、规范,取 $MCF1 = 0$;
- b) 企业管理水平接近现行有关工业标准、规范,取 $MCF1 = 2$;
- c) 企业管理水平明显低于现行有关工业标准、规范,取 $MCF1 = 5$ 。

5.2.4.2 根据装置设计与制造水平对 $MCF2$ 进行赋值:

- a) 装置的设计与制造水平明显优于现行有关工业标准、规范,同时业主提出了更严格的要求,取 $MCF2 = 0$;
- b) 装置的设计与制造水平接近现行有关工业标准、规范,取 $MCF2 = 2$;
- c) 装置的设计与制造水平明显低于现行有关工业标准、规范,取 $MCF2 = 5$ 。

5.2.4.3 根据装置维修方案的有效性对 $MCF3$ 进行赋值:

- a) 装置的维修方案明显优于现行有关工业标准、规范,同时业主提出了更严格的要求,取 $MCF3 = 0$;
- b) 装置的维修方案接近现行有关工业标准、规范,取 $MCF3 = 2$;
- c) 装置的维修方案水平明显低于现行有关工业标准、规范,取 $MCF3 = 5$ 。

5.2.4.4 将 $MCF1 \sim MCF3$ 相加,计算检验因子(MCF),其最大值为 15 。

5.2.5 工艺因子(PF)

5.2.5.1 根据平均每年的计划或非计划停工次数对 $PF1$ 进行赋值:

- a) 0次~1次,取 $PF1 = 0$;
- b) 2次~4次,取 $PF1 = 1$;
- c) 5次~8次,取 $PF1 = 3$;
- d) 9次~12次,取 $PF1 = 4$;
- e) 多于12次,取 $PF1 = 5$ 。

5.2.5.2 根据工艺稳定性对 $PF2$ 进行赋值:

- a) 工艺非常稳定,不存在造成反应失控的可能性或其他不安全因素,取 $PF2 = 0$;
- b) 存在一定的操作异常的可能性,取 $PF2 = 1$;
- c) 存在导致设备损伤加速的可能性或其他不安全因素,取 $PF2 = 3$;
- d) 工艺本身非常不稳定,极易失控,取 $PF2 = 5$ 。

5.2.5.3 根据保护装置可靠性,如是否会因为介质结垢或堵塞导致安全阀等失效,对 PF3 进行赋值:

- a) 运行状况清洁,发生堵塞的可能极小,取 $PF3=0$;
- b) 有轻微结垢或堵塞的可能,取 $PF3=1$;
- c) 有明显结垢或堵塞的可能,取 $PF3=3$;
- d) 在使用过程中,发现过保护装置损坏的情况,取 $PF3=5$ 。

5.2.5.4 将 $PF1\sim PF3$ 相加,计算工艺因子(PF),其最大值为 15。

5.2.6 机械设计因子(MDF)

5.2.6.1 根据设备设计、制造、维护与现行标准、规范的符合性对 MDF1 进行赋值:

- a) 所有设备均按现行标准、规范进行设计与维护,取 $MDF1=0$;
- b) 所有设备均按其建造时的有效标准、规范进行设计与维护,取 $MDF1=2$;
- c) 设备未按现行标准、规范进行设计,取 $MDF1=5$ 。

5.2.6.2 根据工艺对 MDF2 进行赋值:

- a) 工艺是通用的且符合现行标准与规范设计条件,取 $MDF2=0$;
- b) 工艺独特或所有工艺设计条件均为极端条件,取 $MDF2=5$ 。

5.2.6.3 将 $MDF1$ 和 $MDF2$ 相加,机械设计因子(MDF),其最大值为 10。

6 失效后果评估

6.1 失效后果的分类

失效后果分为:

- a) 燃烧与爆炸后果;
- b) 中毒后果。

6.2 失效后果评估原则

当某一介质泄漏仅产生燃烧与爆炸后果或中毒后果,仅需要针对实际存在的失效后果进行评估,作为最终的失效后果等级(图 1 风险矩阵图的水平轴);当介质泄漏产生两种失效后果时,如果其中一种后果带来的风险占明显主导地位时,只需确定主导风险的后果而不必考虑另一种后果,否则应对两种失效后果分别进行评估,并以其中较严重的失效后果等级作为最终的失效后果等级。

6.3 燃烧与爆炸后果等级的评估方法

6.3.1 评估步骤

6.3.1.1 根据被评估装置(单元或工段)的具体情况,分别对下列 6 个因子进行赋值或计算:

- a) 化学因子(CF);
- b) 损伤量值因子(DQF);
- c) 状态因子(SF);
- d) 自燃因子(AF);
- e) 压力因子(PRF);
- f) 安全防护因子(CRF)。

6.3.1.2 将上述 6 个因子的值相加,计算燃烧与爆炸后果因子,按表 2 确定燃烧与爆炸后果等级。

表 2 燃烧与爆炸后果等级

燃烧与爆炸后果因子	燃烧与爆炸后果等级
0~19	A
20~34	B
35~49	C
50~79	D
>79	E

6.3.2 各因子的赋值或计算方法

6.3.2.1 化学因子(CF)

6.3.2.1.1 根据介质的可燃性,对可燃因子(FF)进行赋值,见表 3。

表 3 可燃因子 FF

可 燃 性	可燃因子 FF
不会燃烧	0
需要加热才可点燃	1
在环境温度较高的情况下可以点燃	2
在各种环境温度下可以迅速点燃的液体和固体	3
在常温常压下迅速或完全汽化,或是可以迅速分散在空气中,可以迅速燃烧	4

6.3.2.1.2 根据介质的反应危害,对反应因子(RF)进行赋值,见表 4。

表 4 反应因子 RF

反 应 危 害	反应因子 RF
通常情况下稳定,即使暴露于明火中也不反应,并且不与水反应	0
通常情况下稳定,但是可能在加热加压的条件下变得不稳定,或可以与水发生反应	1
在加热加压条件下发生剧烈化学变化,或与水剧烈反应,可能与水混合后发生爆炸	2
可以在某些条件下(如被加热或与水反应等)发生爆炸	3
可以在常温常压下迅速发生爆炸	4

6.3.2.1.3 根据可燃因子和反应因子,按表 5 确定化学因子(CF)。若 FF=0 或 RF=0,取 CF=0。

表 5 化学因子 CF

可燃因子 FF	反应因子 RF			
	1	2	3	4
1	7	9	12	15
2	10	12	15	20
3	12	15	18	25
4	13	15	20	25

6.3.2.2 损伤量值因子(DQF)

根据在单一失效事件中可能泄漏的可燃介质最大存量,对损伤量值因子(DQF)进行赋值,见表 6。

表 6 损伤量值因子 DQF

被泄放的介质质量/kg	损伤量值因子 DQF
<450	15
450~900	20
901~4 500	25
4 501~13 600	28
13 601~36 300	31
36 301~91 000	34
91 001~318 000	37
318 001~454 000	39
454 001~908 000	41
908 001~4 540 000	45
>4 540 000	50

6.3.2.3 状态因子(SF)

根据介质标准大气压下的沸点温度,对状态因子(SF)进行赋值,见表 7。

表 7 状态因子 SF

沸腾温度/℃	状态因子 SF
<-73	8
-73~38	6
39~121	5
122~204	1
>204	-3

6.3.2.4 自燃因子(AF)

若介质的工作温度低于其自燃温度,取 AF=−10;否则根据标准大气压下介质的沸点温度对自燃因子(AF)进行赋值,见表 8。

表 8 自燃因子 AF

沸点温度/℃	自燃因子 AF
<−18	3
−18~150	7
>150	13

6.3.2.5 压力因子(PRF)

若设备中的介质为气体且处于大于 1 MPa 压力下或设备中的介质为液体,取 PRF=−10,否则 PRF=−15。

6.3.2.6 安全防护因子(CRF)

根据以下条件对 CRF1~CRF10 进行赋值:

- a) 如果按相关设计规范设置了气体泄漏探测报警装置,取 CRF1=−1,否则 CRF1=0;
- b) 如果设备在惰性气氛内正常运行,取 CRF2=−1;否则取 CRF2=0;
- c) 如果消防系统在重大事故中是安全的(如消防水系统在爆炸后保持完整),取 CRF3=−1,否则 CRF3=0;
- d) 如果该区域的设备隔离能力可远程控制,取 CRF4=−1,否则 CRF4=0;
- e) 如果在最关键设备(一般为工作压力最高的设备)周围有防爆墙,取 CRF5=−1,否则 CRF5=0;
- f) 如果存在能在失效事件发生后 5 min 内处理不少于 75%存量介质的应急系统,且其可靠性达 90%及以上,取 CRF6=−1,否则 CRF6=0;
- g) 如果在结构和电缆上均已敷设了耐火材料且耐火等级符合相关技术规范,取 CRF7=−1;如果仅在结构或电缆上敷设了耐火材料,取 CRF7=0.95,否则 CRF7=0;
- h) 如果消防水持续供给能力超过 4 h,取 CRF8=−1,否则 CRF8=0;
- i) 如果安装有固定式泡沫消防系统,取 CRF9=−1,否则 CRF9=0;
- j) 如果装置的所有区域设置消防水监控器,取 CRF10=−1,否则 CRF10=0。

将 CRF1~CRF10 相加,计算安全防护因子(CRF)。

6.4 中毒后果等级的评估方法

6.4.1 评估原则

在评估中毒后果时,仅考虑瞬时剧烈效应引起的后果,而不考虑较缓慢扩散可能引起的慢性中毒。

6.4.2 评估步骤

6.4.2.1 根据被评估装置(单元或工段)的具体情况,分别对以下 4 个因子进行赋值或计算:

- a) 中毒量值因子(TQF);

- b) 扩散因子(DI);
- c) 安全防护因子(CRF);
- d) 人口因子(PPF)。

6.4.2.2 将上述 4 个因子的值相加,计算中毒后果因子,按表 9 确定中毒后果等级。

表 9 中毒后果等级

中毒后果因子	中毒后果等级
<10	A
10~19	B
20~29	C
30~39	D
>39	E

6.4.3 各因子的赋值或计算方法

6.4.3.1 中毒量值因子(TQF)

6.4.3.1.1 根据某单一泄漏事件中可能损失的有毒介质的最大存量对 TQF1 进行赋值,见表 10。

表 10 TQF1

被泄放的介质质量/kg	TQF1
<450	15
450~4 500	20
4 501~45 000	27
>45 000	35

6.4.3.1.2 根据介质对健康的危害,对 TQF2 进行赋值,见表 11。

表 11 TQF2

介质对健康的危害	TQF2
暴露可能导致不适,但是仅可能有轻微持续性伤害	-20
高浓度或持续性暴露可能导致暂时失去行为能力或可能造成持续性伤害	-10
短时间的暴露可能导致严重的暂时性或持续性伤害	0
短时间的暴露可能会导致死亡或重大持续性伤害	20

6.4.3.1.3 将 TQF1 和 TQF2 相加,计算中毒量值因子(TQF)。

6.4.3.2 扩散因子(DIF)

根据标准大气压下介质的沸点温度,对扩散因子(DIF)进行赋值,见表 12。

表 12 扩散因子 DIF

标准沸点/℃	扩散因子 DIF
<1	1
1~29	0.5
30~65	0.3
66~93	0.1
94~150	0.05
>150	0.03

6.4.3.3 安全防护因子(CRF)

6.4.3.2.1 如果被评估装置安装了探测器,可有效及时探测出毒性介质泄漏,取 $CRF1 = -1$,否则 $CRF1 = 0$ 。

6.4.3.2.2 根据以下条件对 $CRF2$ 进行赋值:

- a) 如果盛装毒性介质的主要容器可以根据有毒介质探测仪的泄漏报警而自动启动隔离,取 $CRF2 = -25$;
- b) 如隔离为远程手工执行,取 $CRF2 = -5$;
- c) 如隔离为手工执行,取 $CRF2 = -1$;
- d) 其他情况取 $CRF2 = 0$ 。

6.4.3.2.3 如已安装的水幕或其他减缓系统被证明能有效减缓 90%以上介质泄漏,取 $CRF3 = -5$,否则 $CRF3 = 0$ 。

6.4.3.2.4 将 $CRF1 \sim CRF3$ 相加,计算安全防护因子(CRF)。

6.4.3.4 人口因子(PPF)

根据距泄漏点 400 m 半径范围内的日间平均人数,对人口因子(PPF)进行赋值,见表 13。

表 13 人口因子 PPF

400 m 半径范围内的日间平均人数/人	人口因子 PPF
<10	0
10~100	7
101~1 000	15
1 001~10 000	20

7 风险等级的确定

当被评估装置(单元或工段)的失效可能性等级和失效后果等级确定后,将其组合在一个 5×5 的风险矩阵图(见图 1)中确定被评估装置的风险级别。

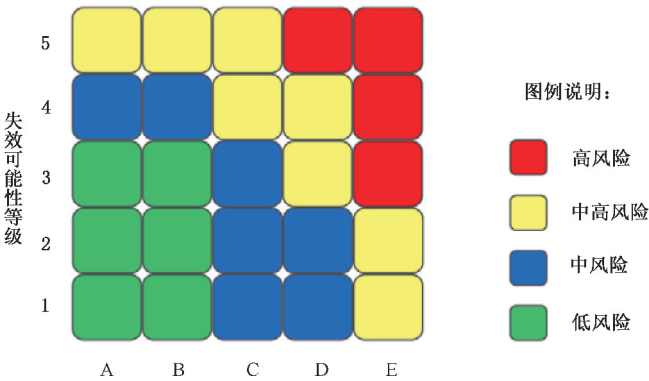


图 1 风险矩阵