IP 15标准在海外油气田地面工程危险区划分中的应用

海外油气田地面工程危险区域划分多遵循API 505、API 500和IEC 60079标准，但也有一些国家和地区遵循IP 15标准。API 505、API 500和IEC 60079均有国内标准相对应，国内设计人员已较为熟悉，但IP 15介绍不多。对IP 15标准划分危险区范围的方法和步骤进行简要介绍，并结合工程实例中的具体应用，为类似设计提供一些借鉴。

梅业伟　马　坤　彭怀忠　王雨薇/中国石油集团工程设计有限责任公司北京分公司

梅业伟/工程师

关键词/Keywords
油气田地面工程·
危险区划分·
直接实例法·
点源法·

0　引言

在油气田地面工程设计中，危险区域划分是是项目HAZOP（Hazard and Operability Analysis）分析的重要基础资料，也是电气、通信和仪表等设备选型的依据，更是满足整个工程安全防护要求的施工指导。因此，合理的危险区域划分对油气田地面工程油气生产设施预防火灾爆炸事故具有重要意义。

1　危险区划分主要标准

海外油气田地面工程设计中的危险区划分常用的标准是API 505、IEC 60079和API 500。其中，API 505、IEC 60079 对应IEC体系，将爆炸性气体危险区域（Class Ⅰ）分为Zone 0、Zone 1和Zone 2；API 500对应美国NEC体系，将爆炸性气体危险区域（Class Ⅰ）分为Division 1、Division 2。

Part－15 of the Institute of Petroleum Model Code of Safe Practice in the Petroleum Industry（IP 15）标准由英国石油协会颁布，应用于石油行业的危险区划分，IP 15标准对气体释放区域的定义遵循IEC体系，即与API 505与IEC 60079－10－1一致。

2　IP 15划分危险区的步骤及方法

2.1　基本流程

IP 15划分危险区的基本流程如下。

1）确定易燃物的量是否超过IP 15标准，若未超过，一般无须划分。

2）易燃物是否会发生泄漏，若无泄漏可能，无须划分。

3）易燃物的分级。

4）根据工艺设施类型选用不同划分方法。

基本流程里的前两个步骤主要针对小规模设施，如化验室等，对于油气田地面工程主要考虑后两个步骤。

工艺流程所处理的易燃物可依据IP 15标准进行分级，IP 15 标准定义了5种易燃流体介质，分别是A、B、C、G(i)和G(ii)[1]。

易燃物分级后依据不同的油气处理设施类型选用不同的危险区划分方法。IP 15标准给出了3种划分方法，分别是直接实例法、点源法和风险导向法。

2.2　各划分方法特点及在油气田地面工程的适用性

（1）直接实例法

直接法主要应用于储罐、公路/铁路/海上装卸设施、灌装设施、零售终端、高挥发性/高蒸汽压易燃物贮存设施、钻井及修井等设施。满足直接法工况的相同或类似设施均可直接使用IP 15标准给

出的危险区划分实例进行划分。

直接法简单适用，但适用范围有限，油气田地面工程中原油储罐和装车站适用该方法。

（2）点源法

不适用于直接法的设施和设备均可使用点源法进行危险区划分。点源法综合考虑危险区半径、设备或设施具体几何形状和形状系数等因素，最终得到危险区的三维划分。

该方法适用的典型设备与油气田地面工程主要的工艺设备和设施基本一致，因此该方法在油气田地面工程中的应用最为广泛。

（3）风险导向法

风险导向法用于在释放速率不确定的情况下确定二级释放源的释放孔径，也可用来调整释放频率和危险区半径以满足特定工况条件。

油气田地面工程工艺设施集约化程度不高，多是露天安装运行，通风条件较好，一般不存在特定操作工况，且油田离散控制系统（DCS）的自动化监控水平已经能很大程度地减少运营阶段现场巡检工作量，所以按照点源法进行危险区划分已经足够满足要求，因此风险导向法在油气田地面工程中一般不使用。

3 点源法的应用范围及划分程序

3.1 应用范围

点源法主要适用于释放源为泵、压缩机、放空管、设备排污及取样点、管道系统、收&发球筒和污油池等工艺设备以及工艺设施的危险区划分。IP 15标准列出的这些典型释放源也是油气田地面工程主要的工艺设备和设施。

3.2 点源法一般步骤及内容

应用点源法划分危险区可分5步：识别释放源、确定释放源等级与介质分类、划分危险区类别、确定危险区半径以及确定危险区三维区域范围。

释放源可分为3种：连续释放源、一级释放源和二级释放源。长期释放和短期较高释放频率的释放源，或年释放时间大于1 000 h的释放源均为连续释放源。正常运行时周期或偶尔释放，或年释放时间在10～1 000 h之间的释放源属于一级释放源。正常运行时不会释放，即使释放也仅是偶尔短时释放的释放源，或年释放时间小于10 h的释放源属于二级释放源。

介质分类在具体工程应用时应依据原油、湿气及干气物性试验结果，条件不具备时可按IP 15标准的一般分类，即稳定原油为C类，伴生气为G(i)类。

危险区类别与释放源等级、易燃物环境持续时间和通风强度有关。IP 15标准规定，在一般无限制的户外条件下，存在连续释放源的区域为Zone 0，存在一级释放源的区域为Zone 1，存在二级释放源的区域为Zone 2。

确定危险区半径需综合考虑操作压力、人员暴露频率、释放源平均个数、可能的点燃概率平均值、可燃气体释放等级、释放频率水平和释放孔径等。

3.3 危险区范围的确定

IP 15 标准在确定危险区半径时，首先应确定释放频率LEVEL等级，然后确定释放孔径，根据不同工况条件查表得出危险区半径R_1和地面危险区半径R_2，最后根据释放源高度考虑形状系数得出危险区三维区域范围。

（1）单个释放源每年的释放频率LEVEL等级

释放频率LEVEL等级应通过下列程序得出。

1）确定P_{occ}，即人员暴露在至少一个潜在释放源的概率。具体计算应以每年单个人员暴露在危险区的总时间数除以年总时间数（8 760 h）。

2）确定N_{range}，即二级释放源的平均数量。IP 15标准给出了N_{range}的典型值：露天站场的一般巡查，$N_{range}=1$；紧凑站场的一般巡查，$N_{range}=5$；拥有大量释放源的检查区域，$N_{range}=30$。

3）确定Exp，即暴露概率，$Exp=P_{occ}\cdot N_{range}$。

4）确定P_{ign}，即引燃概率。IP 15标准给出了P_{ign}的典型值：受控引燃源，$P_{ign}=0.003$；弱引燃源$P_{ign}=0.01$；中等引燃源$P_{ign}=0.1$；强引燃源$P_{ign}=1$。设置了火气探测系统的陆上引燃源定义

为受控引燃源；Zone 2的典型引燃源定义为弱引燃源；与交通、变电站和建筑物等相关的引燃源定义为中等引燃源；燃火加热器、火炬等定义为强引燃源。

5）确定释放频率LEVEL等级。IP 15标准根据Exp计算结果和P_{ign}值，由图1（IP 15 Fig.C2）得出LEVEL等级。该图是基于个人风险（IR）不大于10^{-5}得出。

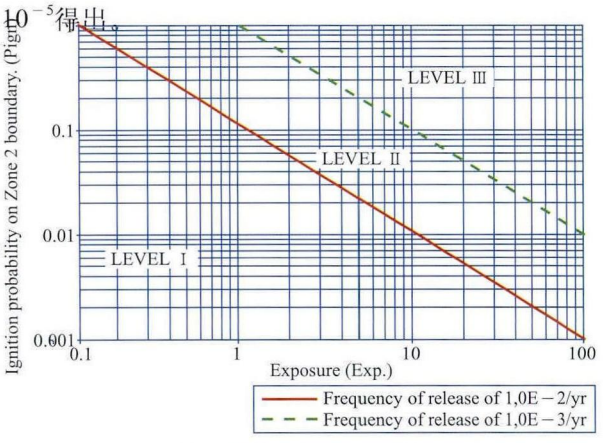

图1 释放频率LEVEL等级

IP 15标准按照下面标准将释放频率分为3种等级：LEVEL Ⅰ：单个释放源释放频率大于10^{-2}/a；LEVEL Ⅱ：单个释放源释放频率为10^{-2}/a～ 10^{-3}/a；LEVEL Ⅲ：单个释放源释放频率为10^{-3}/a～10^{-4}/a。

IP 15标准中Zone 2一般情况下选用LEVEL Ⅰ。

（2）释放孔径

释放孔径应优先使用设备制造厂家数据，无实际数据时，IP 15标准基于不同释放频率LEVEL等级和释放源类型定义了各释放源的等效释放孔径，具体如表1（IP 15 Table C6）所示。

（3）危险区范围

IP 15标准综合考虑了介质类别、危险源释放频率LEVEL等级、等效释放孔径尺寸和释放压力制定了表C9(a)与表C9(b)，两表分别给出了危险区半径R_1和地面危险区半径R_2。现将表C9(a)与表C9(b)与半径相关内容合并，R_1与R_2可直接查阅表2。

查得R_1与R_2后，考虑形状系数后得出危险区范围。IP 15标准根据释放源离地高度H与R_1关系分为3种情况：$H>R_1+1$ m，地面无危险区；R_1+1 m $>H>1$ m，地面有危险区，区域半径为R_2，高度为1 m；$H\leqslant 1$ m，地面有危险区，区域半径为R_2，高度为1 m。

表1 典型释放源等效释放孔径

EQUIPMENT TYPE	RELEASE FREQUENCY LEVEL			NOTES
	LEVEL Ⅰ	LEVEL Ⅱ	LEVEL Ⅲ	
PUMPS				
SINGLE SEAL THROTTLE BUSH	0.1SD	0.01A or 0.1SD or D*	0.1A	
SINGLE SEAL NO THROTTLE BUSH	0.23SD	0.01A or 0.23SD or D*		1. * = Select largest hole siz
DOUBLE SEAL THROTTLE BUSH	N/A	0.01A or 0.1SD or D*		2. N/A = Data not availabe; use a nominal hole size of 2 mm diameter
COMPRESSORS				
PURGED LABYRINTH	0.12SD	22 mm	70 mm	3. D = Equivalent diameter (mm) of seal leak from pump/compressor vendor
FLOATING RING	0.053SD			
FLANGE (UPPER BOUND)	0.6 mm	2.0 mm	6.0 mm	4. SD = Shaft diameter (mm) for pumps and compressors
COMPRESSED ASBESTOS FIBRE	N/A	0.5 mm	2.3 mm	5. A = Area of pipeline connected to equipment (mm^2) where 0.01 A and 0.1 A are equivalent to 0, 1DP and 0.3DP respectively and DP is the diameter of the pipeline connected to the equipment
SPIRAL WOUND JOINT	N/A	0.2 mm	0.5 mm	
RING TYPE JOINT	N/A	0.1 mm	1.0 mm	
VALVES	0.1 mm	2 mm	0.1 DP	6. DP = Pipeline diameter (mm) for valves
OTHER	Hole size distribution versus frequency to be determined using historical leak data if availabe synthesis technique e.g. fault trees.			

4 IP 15在油气田地面工程危险区划分中的典型应用

油气田地面工程从生产井将原油或湿气集输至采油厂等设施，经过脱水、脱盐和脱硫等工艺

表2 危险区半径R_1与R_2

FLUID CATEGORY	RELEASE PRESSURE	HAZARDOUS RADIUS R_1 /m RELEASE HOLE DIAMETER				HAZARDOUS RADIUS R_2 /m RELEASE HOLE DIAMETER			
	Bar(a)	1 mm	2 mm	5 mm	10 mm	1 mm	2 mm	5 mm	10 mm
A	5	2	4	8	14	2	4	16	40
	10	2.5	4	9	16	2.5	4.5	20	50
	50	2.5	5	11	20	3	5.5	20	50
	100	2.5	5	11	22	3	6	20	50
B	5	2	4	8	14	2	4	14	40
	10	2	4	9	16	2.5	4	16	40
	50	2	4	10	19	2.5	5	17	40
	100	2	4	10	20	3	5	17	40
C	5	2	4	8	14	2.5	4	20	50
	10	2.5	4.5	9	17	2.5	4.5	21	50
	50	2.5	5	11	21	3	5.5	21	50
	100	2.5	5	12	22	3	6	21	50
G(i)	5	<1	<1	<1	1.5	<1	<1	1	2
	10	<1	<1	1	2	<1	<1	1.5	3
	50	<1	1	2.5	5	<1	1.5	3.5	7
	100	<1	1.5	4	7	1	2	5	11
G(ii)	5	<1	<1	1.5	3	<1	<1	2	4
	10	<1	1	2	4	<1	1	2.5	5
	50	<1	2	4	8	1	2	6	11
	100	1	2	6	11	2	3	8	14

形成可外输的稳定原油或天然气。整个处理流程中既有正常工艺流程的易燃物放空，也有易燃物不可避免地从管道阀门、储罐、泵和压缩机等设施和设备中的泄漏，这些易燃物与空气混合达到爆炸浓度后，如遇引燃源，就会引起火灾或形成爆炸。因此，必须合理划分危险区来提高安全可靠性，下面结合工程实例，说明IP 15确定危险区范围的具体应用及其与IEC和API标准划分危险区域的区别。

4.1 危险区范围

该工程原油储罐危险区范围使用直接法，依据IP 15标准中的例图作为指导。原油泵、污水泵、天然气压缩机和污油池等危险区范围采用点源法划分，首先依据工艺流程处理的介质物性对其分类，然后使用点源法划分流程，得出各设施和设备的危险区域半径。

确定各设备及设施危险区半径后，根据总平面图及设备布置情况完成平、断面危险区划分图，从而完整地划分出危险区的全部范围。

4.2 IP 15与IEC及API确定危险区范围的区别

IEC与API标准确定危险区范围的方法类似。为了便于操作，IEC与API标准均定义了典型例图作为指导，综合考虑释放速率、爆炸性气体混合物的浓度、通风条件等因素确定危险区范围，属于定性分析。IP 15在确定危险区范围上比IEC与API标准系统性更强，该标准不仅有定性分析，也有定量分析。

IP 15应用实例法确定危险区范围时，方法与IEC、API类似，直接参考IP 15定义的典型例图作为指导，为定性分析。但即使采用同样方法，半径范围仍有区别，如原油储罐IEC及API给出的参考例图为3 m，而IP 15给出的例图为2 m。

采用点源法时，IP 15采用的划分原则、方法与IEC及API不同，IP 15综合考虑操作压力、人员暴露频率、释放源平均个数和可能的点燃概率平均值等因素，综合确定可燃气体释放等级、释放

频率水平和释放孔径，进而确定危险区半径，属定量分析。

5 结束语

IP 15标准涵盖了油气田地面工程的主要设施和设备，能够很好指导油气田地面工程的危险区划分。应用IP15标准进行危险区划分时，需要对工艺流程的介质、操作工况、运行期的巡检计划和释放源尺寸参数等均有较为深入和系统的了解。与油气田地面工程中常用的IEC与API标准相比较，IP 15标准使危险区域的划分有了量化比较的标准，因而在项目执行中能够很好地避免各方因理解和经验的不同而出现的争议。

参考文献

[1] Energy Institute. Part 15 of the IP model code of safe practice in the petroleum industry-area classification code for installations handling flammable fluids [S]. 2005.

[2] American Petroleum Institute. Recommended practice for classification of locations for electrical installation at petroleum facilities classified as Class I , Zone 0, Zone 1, and Zone 2, API recommended practice 505 [S]. 2013.

[3] International Electrotechnical Commission. IEC 60079 part 10-1: classification of areas－explosive gas atmospheres [S]. 2008.

[4] 祝皎琳，潘大新，杜溪婷，等. 可燃气体扩散模拟在海上油气生产设施危险区划分中的应用 [J]. 中国造船，2008，49 (增刊)：62-66.

[5] 王蓉，刘春雨，刘茜. IP15标准在LF7-2模块钻机危险区划分中的应用 [J]. 中国海洋平台，2013 (6)：1-4，11.

[6] 诸然. 石化装置爆炸危险区域划分方法应用实例 [J]. 化工自动化及仪表2012，39 (8)：1079-1082.

[7] 国家发展和改革委员会. SY/T 6671—2006 石油设施电气设备安装区域一级、0区、1区和2区区域划分推荐作法 [S]. 北京：石油工业出版社，2007.

[8] 国家经济贸易委员会. SY/T 10041—2002 石油设施电气设备安装一级一类和二类区域划分的推荐作法 [S]. 北京：石油工业出版社，2002.

（收稿日期：2016－02－16）EA

(上接第32页)

[4] 王昆，李敏雪，生宏，等. 海底电缆的故障检测及修复工艺方法 [J]. 电气传动自动化，2012，34 (5)：58-62.

[5] 沈汉红. 埕岛油田海域气象规律研究与应用 [J]. 海岸工程，2008，27 (4)：11-22.

[6] 孙明，王伯森，贾海涛，等. 海底电缆在埕岛油田的应用及发展趋势 [J]. 海岸工程，2009，28 (3)：56-62.

[7] 张效龙，徐家声. 北海—临高海底光缆路由区海底土中几种腐蚀因子的调查 [J]. 海洋环境科学，2007 (2)：175-178.

[8] 周长江，路国章. 埕岛油田动力电缆铺设环境和方案分析 [J]. 黄渤海海洋，2000 (1)：21-28.

[9] 唐中建，秦效智. 海底交联聚乙烯电力电缆敷设故障的分析 [J]. 电线电缆，2000 (1)：42-46.

[10] 周兴扬，沈泓，胡天硕，等. 基于悬链线公式的输电线路弧垂三维模拟及安全距离校验 [J]. 电气工程学报，2015，10 (12)：44-49.

[11] 贾延峰，电力系统运行中电缆故障诊断方法及仿真计算 [D]. 沈阳：沈阳工业大学，2007.

（收稿日期：2015－10－09）EA