

·消防技术·

备压式七氟丙烷灭火系统的设计计算方法

王煜彤

(天津市兆龙软件开发有限公司,天津 300384)

摘要:阐述了备压式七氟丙烷灭火系统的设计方法和特点,以及核心技术氮气加压系统的设计计算方法,并通过实例进行计算说明。

关键词:备压式;七氟丙烷灭火系统;设计计算

随着国际和我国对环保要求的日益强烈,除了严格禁止卤代烷灭火剂的使用外,对二氧化碳灭火系统的使用也将受到约束。因此,洁净气体灭火系统的使用会日益广泛。目前,我国使用最为普遍的洁净气体灭火系统是七氟丙烷和IG-541两类灭火系统。这两类灭火剂性能的比较见下表1。

表1 两类灭火剂性能比较

灭火剂性能	七氟丙烷	IG-541
ODP	0	0
GWP	2 050	0
ALT(年)	31~42	0
NOAEL(%)	9	43
LOAEL(%)	10.5	52
LC50(%)	>80	
储存压力(MPa)	2.5/4.2/5.6	15/20
最小设计浓度(%)	7	37.5
灭火剂储存状态	液态	气态
灭火方式	化学	物理
输送距离	短	长
系统总成本	较高	高

注:ODP—破坏臭氧层的潜能值;GWP—温度效应的潜能值;ALT—在大气中的存活寿命;NOAEL—无毒性反应的最大高浓度;LOAEL—有反应反应的最低浓度;LC50—近似致命浓度。

国外使用的情况大致上是美国使用比较经济的七氟丙烷灭火系统较多,而西欧各国则比较喜欢使用更加环保的IG-541灭火系统。

目前我国使用七氟丙烷灭火系统较多。主要也是考虑经济因素。但近年来使用IG-541灭火系统的趋势正在加大,其重要原因之一是因为七氟丙烷灭火系统的输送距离较小。防护区面积和容积较大时,即使充装压力为4.2 MPa,其最大输送距离也难以达到40 m。造成这一问题的主要原因在于:七氟丙烷灭火

剂的蒸气压力低,喷放过程中灭火剂基本上仍维持液态,推动灭火剂流动的压力完全靠预先充入七氟丙烷灭火剂储瓶中的高压氮气推动。由于充入储存容器中的高压氮气量有限,开始喷放后随着储存容器中氮气体积的膨胀,压力迅速降低,七氟丙烷灭火剂因动力不足输送距离相当短。要想提高输送距离,只能靠减小灭火剂的充装量来增加氮气的充装量,但这样做又会使储存容器数量增加。为了解决这一问题,我国在洁净气体灭火系统设计规范中将充装压力增加了一级,即5.6 MPa。即使如此,“储压式七氟丙烷灭火系统”的输送距离仍受到很大限制。

为解决这一问题,近年来国外开发了“备压式七氟丙烷灭火系统”。这种系统与“储压式七氟丙烷灭火系统”的主要区别在于前者不是将氮气预先充入七氟丙烷储瓶而是将氮气另存在专用氮气储瓶内。喷放时氮气以比较恒定的压力连续注入七氟丙烷储瓶内,用以推动七氟丙烷灭火剂的流动。由于备压式系统可维持一定推动压力而不是随着喷放过程压力逐渐降低,所以能大大提高其输送距离。

备压式七氟丙烷灭火系统的工作原理相当简单,对我国来说硬件生产也不存在任何困难,但是这一系统的推广却并不容易。其核心问题在于国外一直没有公开氮气充压系统的设计计算方法;我国规范中也没有给出备压式七氟丙烷灭火系统的设计方法,因此,此类工程(如国家博物馆)基本上被国外公司所垄断。

为了突破这一瓶颈,我们必须自主创新研究备压式七氟丙烷灭火系统的设计方法,特别是氮气的存储和供给系统的设计计算方法。

1 备压式七氟丙烷灭火系统的设计方法和特点

(1)备压式七氟丙烷灭火系统的设计浓度、管网布

置、设计用量、灭火剂储存量及管网计算方法与储压式七氟丙烷灭火系统完全相同,可根据 GB 50370-2005《气体灭火系统设计规范》或美国 NFPA 2001《Clean Agent Extinguishing Systems》的规定执行。

(2)因为备压式七氟丙烷灭火系统的灭火剂储瓶中无须充装增压氮气,所以七氟丙烷在储瓶内的充装密度最高可达 $1\,248\text{ kg/m}^3$,明显高于储压式系统的最大充装密度 $1\,120\text{ kg/m}^3$,因而可节省灭火剂储存容器的数量。

(3)因常温下七氟丙烷的蒸气压约为 0.3 MPa ,所以备压式七氟丙烷灭火系统灭火剂储瓶中的压力应略高于 0.3 MPa 以防止药剂在储瓶中汽化。

(4)开始喷放后,氮气从外设的氮气瓶通过专用管道经孔板减压后注入灭火剂储存容器中,其压力范围可用孔板孔径调整控制在 $2\sim 2.7\text{ MPa}$ 范围内。因孔板后压力不仅与孔板孔径有关而且与孔板前压力有关,所以选定的孔板后的压力在喷放过程中约有 $0.2\sim 0.3\text{ MPa}$ 左右的变化。

(5)由于备压式七氟丙烷灭火系统氮气通过孔板后的增压压力基本上是恒定的,所以七氟丙烷的输送距离可明显增加,甚至可达到 150 m 以上。此外,备压式系统的初始计算压力应按氮气的增压压力计算。由于这一点计算压力是恒定的,所以管网压力损失的计算方法与储压式系统相同,但无需计算中期压力,因此计算要比储压式系统简单。备压式系统设计的难点主要在于氮气加压系统的设计和计算。

(6)国外对七氟丙烷灭火系统喷头最低工作压力要求是 0.49 MPa ,这一点与我国规范规定的 $0.6\sim 0.8\text{ MPa}$ 有较大差别。此外,国外标准中都没有给出储压式七氟丙烷灭火系统中期压力的计算方法,按照我国规范对储压式七氟丙烷灭火系统中期压力的计算方法计算得到的中期压力与国外设计计算方法并不相同,所以喷头压力的计算结果也不会相同。

(7)由于储压式七氟丙烷灭火系统中高压氮气直接充入灭火剂储存容器内,部分氮气会溶于液态七氟丙烷中,喷放时在流经垂直三通时易于因气液两相比重不同产生的相分离造成流量误差。所以储压式七氟丙烷灭火系统不允许使用垂直分流三通。但由于备压式七氟丙烷灭火系统不是将氮气预先充入灭火剂储瓶中,所以喷放过程中液态灭火剂中溶入的氮气极少,基本上不存在相分离问题,因而国外允许在备压式系统中使用三通垂直分流。其中大三通的平衡分流流量允许达到 $15\%\sim 85\%$,远高于储压式系统的 $30\%\sim 70\%$ 的规定。

2 氮气加压系统的设计计算方法

目前备压式七氟丙烷灭火系统设计的难点及核心技术在于氮气加压系统的设计计算方法。主要包括:氮气瓶充装压力、密度;七氟丙烷储瓶中氮气的增压压力及其控制方法;需要注入七氟丙烷储瓶中及输出管道的氮气总量;七氟丙烷喷放结束时氮气瓶中的剩余压力;氮气总需求量以及氮气输送集流管管径和孔板直径的确定等等。这些技术实际上也被国外某些大公司为了保护知识产权为理由所垄断,从而造成我国生产企业难以快速、独立发展备压式七氟丙烷灭火系统的关键。

我公司是专业从事消防工程设计软件研发的企业,并且是我国洁净气体灭火系统设计计算方法方面的研究中心。通过多年努力在洁净气体灭火系统设计方面取得了许多重大研究成果。通过对储压式和备压式七氟丙烷灭火系统的独立研究,我们已成功地解决了备压式七氟丙烷灭火系统,包括氮气加压系统的设计计算方法。下面通过一个工程实例,用我们创新开发的计算方法和软件与美国某公司对同一备压式七氟丙烷灭火系统进行设计计算进行对比来说明它的可靠性和可行性。

首都博物馆新馆总建筑面积 $63\,390\text{ m}^2$ 建筑高度 36.4 m ,地上5层,地下2层。工程性质为现代化大型综合性博物馆,馆内珍藏我国五千年历史的重要文物。藏品库是全馆的核心,特别是珍品文物、精品字画、文房四宝、竹木漆器等都需要气体灭火系统加以保护。地下文物库共有29个,总面积近 1万 m^2 ,且要求储瓶间必须设置在文物库区的安全通道之外,输送距离最长达 150 m ,无法采用储压式七氟丙烷灭火系统。后经投标竞争,美国一家公司所设计的备压式七氟丙烷灭火系统中标,并提供了设计计算书^[1]。下面,我们根据美国 NFPA 2001 标准对同一工程进行了对比性设计计算。

2.1 原始数据

- (1)防护区长 \times 宽 \times 高: $18.3\text{ m}\times 10\text{ m}\times 4.2\text{ m}$;总容积 768.6 m^3 。
- (2)防护区温度: 20°C 。
- (3)设计浓度: 7% 。
- (4)海拔高度: 0 m 。
- (5)选用的七氟丙烷储瓶容积 245 L ;充装率: 1.240 kg/L 。
- (6)喷头数:4个。
- (7)喷放时间: 10 s 。

(8) 氮气瓶容积: 70 L; 充装压力: 12.4 MPa。

(9) 氮气增压工作压力: 2.06 ~ 2.17 MPa; 平均工作压力: 2.12 MPa。

2.2 七氟丙烷管网计算

(1) 设计用量: 根据美国 NFPA 2001 标准计算,

$$W = VC/[S(100 - C)]$$

式中: W ——灭火设计用量, kg;

V ——总容积, m^3 ;

C ——设计浓度, %;

S ——灭火剂过热蒸汽压 101 kPa 大气压和保护区最低环境温度下的质量体积, m^3/kg 。

由下式计算: $S = 0.1269 + 0.0005t = 0.1369 kg/m^3$ 。

计算得: $W = 768.6 \times 7/[0.1369 \times (100 - 7)] = 422.58 kg$ 。

(2) 七氟丙烷储瓶数: 245 L 储瓶, 充装率为 1.240 kg/L 时的储药量为 $245 \times 1.24 = 303.8 kg$, 所以需要的储瓶数为 $N = 2$ 。

(3) 七氟丙烷的总储量: $M = 2 \times 303.8 = 607.6 kg$ 。

原设计中未考虑储瓶剩余量, 并认为灭火剂在 10 s 内全部喷出。在这一条件下的“实际喷射浓度”为: $C_1 = SM/[V(1 + SW/V)] = 9.77\%$ (未考虑储瓶剩余量是不正确的。若考虑剩余量则实际喷射浓度应小于 9.77%, 为了进行对比我们的计算中选取了与外国公司相同的设计浓度)。该系统的计算简图如图 1 所示。

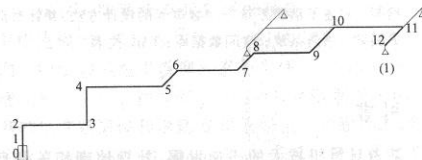


图1 系统计算简图

(4) 沿程损失: NFPA 2001 标准中和外国公司的计算书中均未给出沿程损失的计算方法和计算公式。根据我国气体灭火系统设计规范给定的公式进行计算的结果如表 2 所示。

表2 灭火系统沿程损失

管段号	节点1	节点2	流量(kg/s)	计算管长(m)	管径(mm)	上游节点压力(MPa)	下游节点压力(MPa)
1~2	0	2	304	29.72	80	2.12	2.015 81
3	2	3	608	25.43	100	2.015 81	1.932 25
4~7	3	7	608	49.59	80	1.932 25	1.254 78
8~10	7	11	608	125.02	65	1.254 78	0.558 99
11	10	11	304	8.78	65	0.558 99	0.546 77
12~(1)	11	11	152	7.56	50	0.546 77	0.495 9
14~(2)	11	15	152	7.56	50	0.546 77	0.495 9
16	10	16	404	8.78	65	0.558 99	0.558 99
17~(3)	16	18	152	7.56	50	0.546 77	0.495 9
19~(4)	16	20	152	7.56	50	0.546 77	0.495 9

原设计计算书中仅给出了喷头流量和压力的计算结果: $N_1 \sim N_4$ 四个喷头的流量均是 152 kg/s; 喷头压力均是 0.510 7 MPa。其计算结果与我们的计算结果相比, 在流量相同的条件下喷头压差为: 0.014 8 MPa, 相对差为 2.9%。说明我国规范中沿程损失的计算方法与国外软件的计算方法基本一致, 差别不大。

2.3 氮气增压系统的设计计算

已知条件是: N_2 气瓶容积为 70 L; 充装压力: 12.4 MPa; 氮气增压工作压力: 2.06 ~ 2.17 MPa; 平均工作压力: 2.12 MPa。两种计算方法的主要计算结果的对比如表 3。

参考文献中并未给出详细计算过程, 仅提供了这三项计算结果, 为了便于比较, 笔者也仅仅列出了相应的计算结果, 而略去了计算过程。

通过以此项工程为代表的多项工程的对比计算已

表3 计算结果对比

	外国公司的 计算结果	兆龙软件公司 的计算结果
氮气瓶数量(个)	4	4
氮气总需求量(m^3)	0.28	0.26
氮气孔板孔径(mm)	50.58	50.51

经证明了我们所提出的计算方法的可靠性。我公司愿与硬件生产企业合作共同推进我国备压式七氟丙烷灭火系统的快速发展。

参考文献:

[1] 郭汝艳. 首都博物馆新馆气体消防系统设计[M]. 2006 消防技术便览. 中共中央党校出版社出版, 184-189.

收稿日期: 2008-05-12; 修回日期: 2008-08-26

作者地址: 天津市新技术产业园区(环外)海泰绿色产业基地 K2-2-601

电话: (022) 85689418