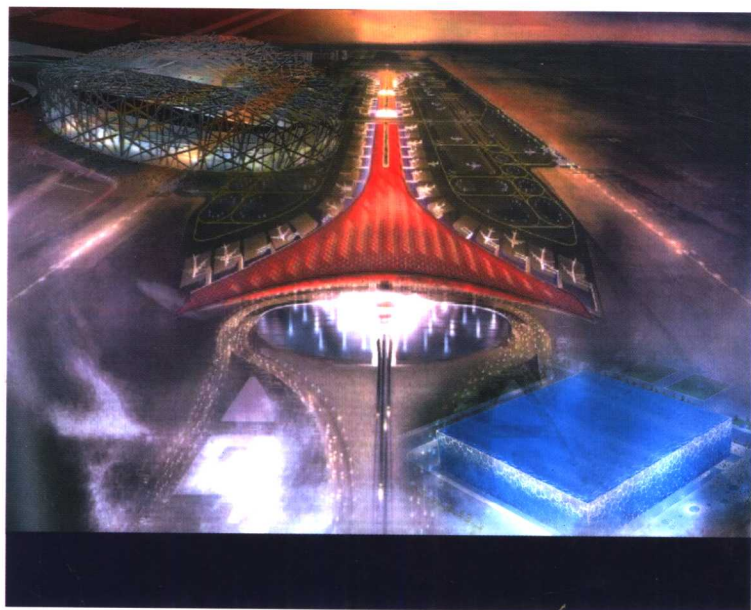


李引擎 主编

建筑防火性能化设计



Chemical Industry Press



化学工业出版社

建筑防火性能化设计

李引擎 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑防火性能化设计/李引擎主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 5

ISBN 7-5025-7138-8

I. 建… II. 李… III. 建筑物-防火系统-建筑设计 IV. TU892

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 051533 号

建筑防火性能化设计

李引擎 主编

责任编辑: 窦 臻 仇志刚

责任校对: 陈 静 宋 玮

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 27 $\frac{3}{4}$ 字数 592 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7138-8

定 价: 53.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

本书编写人员

主 编 李引擎

编写人员（按姓氏笔画排序）

仝 玉 刘文利 孙 旋 李 磊 李引擎

肖泽南 张向阳 赵克伟 袁宝平 唐 海

前言

建筑物防火安全设计需对建筑规划、结构耐火性能、防火区划、内部装修、防火设备、防排烟系统及避难对策等方面做出考虑。应该说现行的条文式的设计方法对上述的问题都有相对独立、完整的考虑。但其存在的最大弱点是没有清晰、统一的安全水准,无法体现各消防系统间的协同功效,并导致综合经济性低下。尤其对于一些特殊、高大、功能复杂的建筑,现行条文式标准的适用性更差。

近二十年来,一些国家进行了火灾物理、火灾结构、火灾化学、人和火灾的相互影响、火灾探测、火灾统计和火险分析系统、烟的毒性、扑灭技术与消防救援方面的研究,推动了火灾防护和防火、灭火技术工程方面的显著进步,并由此产生了性能化的防火设计理念和方法。

性能化设计方法是当前建筑防火领域最先进的技术,是人们关注的最前沿、最活跃的研究领域。

它不是根据确定的、一成不变的模式进行设计,而是运用消防安全工程学的原理和方法,首先制定整个防火系统应该达到的性能目标,并针对各类建筑物的实际状态,应用所有可能的方法去对建筑的火灾危险和将导致的后果进行定性、定量地预测与评估,以期得到最佳的防火设计方案和最好的防火保护。

由于采用了性能化的防火设计方法,使得建筑功能设计具有更大的创造性和灵活性,从而最大限度地实现了建筑物的建筑功能、防火安全和经济投资三方面最优的统一。目前性能防火设计已应用于多项国家重大工程项目中,为解决这些工程项目的防火设计问题提供了最有利的技术支持。

本书通过对国内外有关性能化理论综合分析,试验数据的整合,法规体系的梳理,实际工程的应用,较完整地展现了性能化防火设计的基本内容和实施过程。

本书共十三章。本书由李引擎主编,其中第一至第六章由李引擎、赵克伟、袁宝平执笔;第七章由张向阳执笔;第八章由刘文利执笔;第九章由唐海执笔;第十章由肖泽南执笔;第十一章由仝玉执笔;第十二章由李磊执笔;第十三章由孙旋执笔。

由于编者水平有限,书中难免会有一些疏漏和不尽如人意的地方,恳请读者予以批评、指正。

李引擎

2005年3月于中国建筑科学研究院

目 录

第一章 建筑防火性能化设计的概念和基本过程	1
第一节 概念	1
第二节 性能化设计的框架和支撑体系	3
一、性能规范	3
二、技术指南	4
三、评估模型	4
第三节 性能化设计的基本内容	8
一、引燃及火灾发展子系统	10
二、火灾延烧及管理子系统	10
三、火灾探测与控制子系统	11
第四节 性能化设计的基本步骤	11
一、确定工程参数及具体评估内容	11
二、确定消防安全总体目标、功能目标和性能指标	12
三、制定设计目标	12
四、确定火灾场景	13
五、建立设计火灾	13
六、提出和评估设计方案	13
七、编制报告和说明	14
第二章 性能化设计规范概述	15
第一节 指令性规范与性能设计规范之间的主要差别	15
第二节 有关国家的性能设计规范简介	17
一、英国	17
二、澳大利亚	18
三、新西兰	19
四、日本	21
五、瑞典	22
六、美国	23

第三章 火灾荷载与燃烧过程	27
第一节 火灾荷载的确定	27
一、材料的燃烧热值	27
二、火灾荷载密度及其确定方法	30
第二节 火灾燃烧过程	33
一、阶段描述	34
二、热释放速率	36
三、设计火灾的场景	40
第三节 火灾成长过程的计算	41
第四章 烟气的蔓延与控制	46
第一节 常规的烟控系统设计	46
一、加压送风方式	47
二、自然排烟方式	48
三、机械排烟方式	48
第二节 性能化烟气控制系统设计	49
第三节 烟气质量流率的计算	51
一、英国烟气质量流率的计算	51
二、美国 NFPA92B 的烟气质量流率公式	53
三、日本烟气质量流率的计算	54
第四节 烟气流动的计算	55
一、烟流的平均温度计算	55
二、烟流的体积流率	56
三、由窗、门溢出的烟流	56
四、烟沉降时间的计算	57
第五节 排烟量的计算	61
一、发烟量	61
二、有效排烟量	62
第六节 我国台湾采用的计算方法	64
一、烟层下降时间的计算	64
二、蓄烟空间体积的计算	65
三、发烟量 V_s	65
四、有效排烟量 V_e	66

五、排烟效果系数计算	66	二、疏散行动时间	129
六、排烟量 E	67	三、参数的确定	133
七、自然排烟的排烟量	67	第六节 自动喷淋灭火系统对疏散	
八、机械排烟的排烟量	69	的同等替代问题	139
第五章 建筑结构耐火计算	70	第七章 商业建筑	141
第一节 耐火安全度的验算程序	71	第一节 商业建筑的特征与火灾	
第二节 火灾持续时间的计算	72	特点	141
一、计算可燃物总发热量 Q_t	72	一、商业建筑及其类型	141
二、可燃物每秒平均发热量 q_b	74	二、商业建筑的火灾特点	142
第三节 结构耐火时间的计算	75	第二节 常规消防设计的要点与存	
一、火灾室温度的计算	75	在的问题	145
二、钢结构柱的计算	76	一、常规消防设计要点	145
三、钢筋混凝土柱的计算	82	二、消防设计中面临的挑战	152
四、钢筋混凝土梁的计算	82	第三节 商业建筑性能化设计的	
五、钢筋混凝土墙的计算	83	要点	154
六、钢筋混凝土楼板的计算	84	一、安全目标的确定	154
七、砖墙结构的计算	84	二、性能指标的选择	156
第六章 人员安全疏散的分析与		三、火灾场景的设计	157
计算机模拟	86	四、关键参数的确定与计算	158
第一节 安全疏散的概念与原则	86	五、性能化设计中应该注意的	
一、条文式疏散设计原则	87	问题	160
二、性能化疏散设计的思路	87	第四节 性能化工程案例介绍	161
第二节 性能化疏散理论	88	一、工程描述	161
一、安全疏散的标准	88	二、确定评估目标和安全判定	
二、影响安全疏散的火场因素与		指标	162
T_{crit} 的确定	89	三、防火分隔问题的分析	163
三、疏散阶段	92	四、中庭排烟问题	169
四、疏散基础理论	93	五、钢结构防火问题	170
第三节 国外性能疏散计算方法的		六、人员疏散问题	171
差异	99	第八章 机场航站楼建筑	176
一、楼层避难	100	第一节 机场航站楼建筑的发展、	
二、整栋建筑避难	104	特征与火灾特点	176
第四节 安全疏散的计算机模拟	106	一、发展历程	176
一、基本概念	106	二、建筑特征	177
二、基本因素的考虑	107	三、火灾特点及危害	180
三、有关疏散软件的比较	109	第二节 消防设计面临的问题和	
四、几个常用著名模拟软件的		挑战	182
简介	109	一、主要问题	182
第五节 日本的疏散时间计算		二、性能化的设计方法	185
方法	127	第三节 工程性能化设计案例	
一、疏散开始时间	128	介绍	186

一、工程简介	186	一、常规消防设计的要点	228
二、防火设计安全目标	186	二、常规消防设计中存在的 问题	229
三、设计原则	187	第三节 性能化工程案例介绍	230
四、危险源辨识及火灾危险性 分析	187	一、工程概况	230
五、消防策略方案	188	二、消防设计	233
第四节 公共人流区安全疏散分析	190	第四节 性能化设计的范围与解决 方法	235
一、目标、判定准则与方法	190	一、性能化分析内容	235
二、疏散策略方案分析	193	二、安全目标	236
三、疏散人数确定	194	三、分析方法	237
四、主要区域疏散行动时间预测 分析	196	四、解决方法	238
五、多层人员同时疏散情况 分析	196	第五节 火灾荷载和场景的确定	240
六、疏散开始时间预测分析	198	一、火灾增长	240
七、疏散分析总结	199	二、火灾规模	240
第五节 烟气流动规律分析	200	三、设计火灾场景	242
一、火灾场景选择与设置	200	第六节 性能化计算分析	243
二、设计火灾	200	一、人员疏散时间分析	243
三、火灾场景一模拟分析	202	二、火灾烟气模拟计算	250
四、火灾场景二模拟分析	205	三、防火分区分隔两侧设置防火 门窗设置	262
五、火灾场景三模拟分析	207	四、联庭与侧庭间的火灾烟气 蔓延	267
第六节 火灾对屋顶结构安全影响 分析	210	第七节 结论和建议采取的技术 措施	268
一、火灾场景选择与设置	210	一、结论	268
二、设计火灾	210	二、建议采取的技术措施	268
三、场景模拟分析	210	第十章 体育建筑的性能化设计	270
第七节 技术与管理对策	212	第一节 体育建筑的特点与发展	270
第八节 新技术、新产品的应用 探讨	215	一、现代体育建筑的发展	270
一、集中控制型消防应急疏散 指示标志系统	215	二、体育建筑的特点以及主要 消防问题	272
二、皮带行李传输系统探测灭火 控制技术	222	第二节 常规消防设计要点	273
三、大空间自动灭火控制技术	224	一、我国规范要求	273
第九章 办公类建筑	226	二、国外的相关做法和要求	278
第一节 办公类建筑的特点	226	第三节 体育建筑的消防性能化 设计	281
一、办公建筑概况	226	一、常规消防设计的不足	281
二、高层办公建筑火灾特点及其 危害	227	二、性能化设计解决方案	283
第二节 常规消防设计的要点与 存在问题	228	第四节 工程案例	291
		一、国家体育场人员安全疏散及 钢结构计算分析	291

二、国家游泳中心钢结构耐火计算	302
三、五棵松体育馆烟气控制系统设计	306
四、某篮球馆自然排烟系统设计	312
第十一章 会展类建筑	321
第一节 会展类建筑的特点与发展	321
第二节 常规消防设计存在的问题与解决办法	323
一、火灾的特点	323
二、常规消防设计遇到的问题	323
三、性能化防火设计的应用	324
第三节 性能化工程案例介绍	326
第四节 性能化设计的范围与采用的方法	327
一、消防设计的主要问题	327
二、设计原则	328
三、设计依据	329
四、性能化设计的安全目标	329
五、性能化设计的安全判定准则、判据	329
六、性能化分析的主要方法及基本参数和假定条件	330
七、性能化消防安全策略	331
第五节 火灾荷载和场景的确定	333
一、火灾危险源辨识和火灾危险性分析	333
二、设计火灾	334
三、火灾场景设定	335
第六节 计算分析	335
一、展览厅防火安全性分析	335
二、大会堂防火安全性分析	338
三、内街区域防火安全性分析	340
四、四层公共人流区域防火安全性分析	344
五、二层典型会议室疏散安全性分析	346
六、地下一层商场防火安全性分析	348
七、地下二层商场防火安全性分析	350

第七节 结论和采用的技术措施	351
第十二章 城市地下交通工程	353
第一节 城市地下交通工程的特点与发展	353
一、城市地下交通工程的特点	353
二、城市地下交通工程的发展	354
第二节 常规消防设计的要点与存在的问题	356
一、消防设计依据的规范	356
二、消防设计要点	356
三、存在的主要问题	357
第三节 性能化工程案例介绍	358
第四节 性能化设计的范围与采用的方法	359
一、隧道火灾的特点	359
二、性能化评估的必要性	360
三、性能化设计的范围与采用的方法	361
第五节 火灾荷载和场景的确定	364
一、火灾荷载	364
二、火灾场景设定	364
第六节 计算分析	365
一、疏散与防排烟系统	365
二、隧道结构防火安全性分析	383
三、车辆间的火灾蔓延分析	389
四、喷淋系统评估	391
第七节 结论和建议	393
一、结论	393
二、问题和建议	394
第十三章 博览建筑	395
第一节 博览建筑的特点与发展	395
一、博览建筑的发展	395
二、博览建筑的特点	397
三、博览建筑的火灾特点	399
第二节 常规消防设计的要点与存在的问题	401
一、我国规范要求	401
二、国外的相关做法和要求	403
第三节 博览建筑的消防性能化设计	404

一、我国常规消防设计面临的		一、某美术学院美术馆	411
问题	404	二、某电影博物馆	423
二、性能化设计解决方案	406		
第四节 工程案例	411	主要参考文献	430

第一章 建筑防火性能化设计的 概念和基本过程

建筑防火的安全水准和目标应该是明确的和高水平的，即发生火灾的概率十分小。但确保安全水准实现的方法则是多种多样的，人们可以运用所有的现代科技手段进行有机的创造性的组合。

性能设计是一种新型的防火系统设计思路，是建立在更加理性条件上的一种新的设计方法。它不是根据确定的、一成不变的模式进行设计，而是运用消防安全工程学的原理和方法首先制定整个防火系统应该达到的性能目标，并针对各类建筑物的实际状态，应用所有可能的方法去对建筑的火灾危险和将导致的后果进行定性、定量地预测与评估，以期得到最佳的防火设计方案和最好的防火保护。

第一节 概 念

性能化设计方法是当前建筑防火领域最先进的技术，是人们关注的最前沿、最活跃的研究领域。建筑防火设计最终应达到的安全目标是：①防止起火及火势扩大，减少财物损失；②保证安全疏散，确保生命安全；③保护建筑结构不致因火灾而损坏或波及邻房；④为消防救援提供必要的设施。为此，建筑物防火安全设计须对建筑规划、结构耐火性能、防火区划、内部装修、防火设备、防排烟系统及避难对策等方面做出考虑。应该说现行的、条文式的设计方法对上述的问题都有相对独立、完整的考虑。但存在的最大弱点是没有清晰、统一的安全水准，无法体现各消防系统间的协同功效，并导致综合经济性低下。因此该设计方法常常无法满足建筑物业主、设计工程师、审查部门的要求。尤其对于一些特殊、高大、功能复杂的建筑，现行设计方法适用性更差。

消防系统的性能化设计比条文式设计具有更多的优越性。

(1) 性能化设计体现了一座建筑的独特性能或用途、某个特定风险承担者的需要、或大型社区的需要。

(2) 性能化设计根据工程需要，为开发和选择替代消防方案提供了方法（例如，当规范规定的方法与风险承担者的需要不一致时）。

(3) 性能化设计可在安全水平方面与替代设计方案进行比较。通过这种对比机制，可确定安全等级与成本之间的最佳点。

(4) 性能化设计要求在分析中使用多种分析工具，从而提高工程精度，并可产生更具革新性的设计。

(5) 性能化设计体现了一种新的消防战略,即消防系统是作为一个整体考虑的,而不是孤立地进行设计。

近二十年来,一些国家进行了火灾物理、火灾结构、火灾化学、人和火灾的相互影响、火灾研究工程应用、火灾探测、火灾统计和火险分析系统、烟的毒性、扑灭技术消防救援方面的研究,涉及各种学科的交叉,反映了火灾科学在推动火灾防护和防火灭火技术工程方面的显著进步,它特别表现在以下几点。

(1) 已经提出了工程中可以应用的许多计算机程序,如建筑物火灾模型,可用于计算火焰、烟气、毒气蔓延运动,逃生时间,计算结构的火灾承受能力和稳定性及作为火灾灾害评定的专家系统。

(2) 已建立了材料可燃性能和毒性测试的试验设备和测试方法,找到了一批新的耐火、阻火、灭火材料。

(3) 出现了火灾安全防护的新措施、新结构、新系统,而且对这些火灾安全防护工程有了计算机辅助的火灾火险或安全评估方法。

(4) 对城市、城市街区、建筑物制定了安全防护设计方法并进行鉴评。

(5) 对整个火灾统计、评定,火灾安全防护工程中很重视谋求实效和经济效益,如欧洲共同体已提出了在建筑中降低火灾代价的问题。

火灾科学现在已发展到了应用现代科学技术进入定量分析的阶段,火灾科研在控制火灾损失方面已取得明显效果。火灾安全学是近期发展起来的一门新型学科,它的出现为性能设计及其规范的建立,奠定了坚实的理论基础。性能化方法与当今大多数消防措施的设计方式截然不同。现在的消防工程实践主要是应用条文式的要求,即工程师根据基于一般设计用途或基于危险或风险类别的预定要求进行设计。这种条文式的方法在许多工程学科中都是“标准”应用的典型。

但是,消防安全的性能化设计方法考虑到项目所特有的危险和防护这些危险所特有的消防安全措施。性能化消防安全设计专门论述建筑物的独特方面或用途以及客户的特殊需要,此外,各种工具都可以用在分析中,从而增加了工程的精确度。性能化设计可实现综合性的消防对策,所有系统都综合其中,而不是分别独立设计的。人们除了可增进对潜在的了解外,这种综合性工程方法通常可提供更具体成本-效率的建筑防火设计方案。性能设计的基本特征如下。

① 目标的确定性 所谓目标的确定性是指公众和整个社会要求不同类型的建筑物在火灾中应达到的基本安全水准,以确保建筑物内的人员和财物不受到较大的伤害。

② 方法的灵活性 在建筑安全水准确定的前提下,设计师可以选择不同的方法保证目标的实现。这些方法包括:改变建筑平面布局;减少建筑内火灾荷载容度;调整消防设施;强化消防管理等。当然也可以对各因素进行综合考虑。

③ 评估验证的必要性 对具体的设计结果,应采用一些公认较成熟的数学模型进行理论验证。这些验证模型可以评估出建筑物的火灾危险程度,可以计算出人员到达心理承受极限状态时所需的时间以及烟气运行的状态等。

性能化设计的关键在于如何对某一建筑物明确规定其所必需的消防性能指标。针对建筑物火灾的各方面危险性需制定功能目标,例如在阻燃、人员疏散安

全、防止火焰传播以及确保防火分区功能等方面。在确保人员安全方面，必须要设立避难区和疏散通道，以及确保人员免受热辐射、烟气及其他有毒气体的伤害；在火灾传播方面，必须要做到附近建筑物及周围空间不被引燃；对于防火分区的控制，必须要达到可控制火灾于本建筑内等。所有这些针对消防的功能目标涵盖了包括火源及后续火焰和烟气传播等在内的火灾中各方面的因素，而针对上述功能目标去确定性能设计的边界条件值是方法的核心所在。在工程设计中试图满足所有的消防性能指标是不可能的，因此在工程设计中只需满足与自身建筑有关的那部分防火性能指标即可，而如何正确选用所需的性能指标也是影响评估结果的重要内容。

第二节 性能化设计的框架和支撑体系

性能设计是一个比较复杂的体系，其应用需要社会环境和技术条件的支持。一般的说，性能设计的运行流程可由图 1-1 来表示。实现性能设计首先必须要有三个必要的支撑要素。

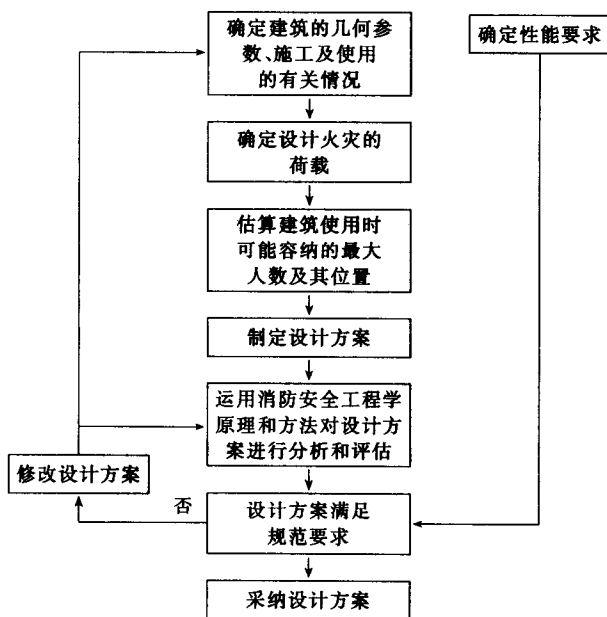


图 1-1 性能设计运行流程

一、性能规范

规范的作用是制定防火安全的系统目标。首先是社会性目标，即希望建筑物能够满足社会安全所需要达到的基本目标；其次是功能性目标，即实现社会性目标而在建筑功能设计中所采用的技术方法；第三是性能要求，即为了实现社会性目标和功能性目标所必须达到的具体的性能标准。

由于性能规范只给出整体的目标,并没有对各个相关方面的具体规定,其条文非常简洁,但也正因为这样反而更难掌握,因为必须用极为凝练的语言体现出最关键的要求。怎样才能使性能目标既能保证足够的安全程度,又是符合自然规律,并在技术上可能实现的,这需要大量相关研究提供依据,因而性能规范的制定必须有配套科研项目的配合,需要来自科研、工程及管理等领域各个领域的专家共同进行。

应该指出的是,由指令性规范向性能规范的转型不是一蹴而就的。目前国际上所谓性能规范都只是包含部分性能规定,并没有百分之百的性能规范。指令性规定逐步被性能规定替代,在某个时期内二者甚至可以并存,这样既不妨碍新技术的应用,而当不具备足够的技术水准时又能够保持当前的安全程度。

二、技术指南

技术指南主要阐述了如何利用科学和工程原理保护人类和财产不受火灾侵害。它为建筑消防安全的分析和设计提供了性能化消防工程方法,并可对建筑物内消防系统整体的有效性进行评估,以确定其是否可达到指定的火灾和生命安全目标。

与性能规范相配套的技术指南提出了为实现性能目标需要考虑的问题,提供了一些比较成熟的设计方法供设计人员参考。其中还给出为实现规范中的性能目标所应达到的性能参数的取值范围。

任何性能化设计均应考虑指南中提出的一系列系数和消防安全参数。对每项设计或火灾场景,都要对将采用的系数和参数,进行统筹分析后再行决定。当然,指南中提出的所有系数和参数并非对每项设计都起到关键性作用,但是指南仍将这些系数和参数列出,以作为考虑评估的潜在要素。

由于技术指南含有大量的研究成果,所以主要由研究部门编写。

技术指南是性能设计的重要参考书籍。为了帮助设计者达到性能规范所要求的安全目标,澳大利亚消防工程设计指南具体包含了如下主要内容:①概念设计;②制定初步设计方案;③定量分析;④火灾场景分析;⑤设计方案的评估;⑥设计方案的确定;⑦编写设计报告。

美国消防工程师协会将出台的设计指南也明确表明了它的三个基本功能。

(1) 为消防工程师和消防审核部门提供指导,以帮助他们确定并验证某个建筑项目达到了消防安全目标;

(2) 对性能化设计过程中应予考虑的参数进行明确说明;

(3) 为消防工程师提供一种设计方法,使他们能够制定出既达到消防安全要求,又不受其他不必要的限制,同时又能被各有关方面所接受的消防安全设计方案。在专项工程中,工程师的作用可包括下列几点:①明确风险承担者的总体目标和功能目标;②识别火灾危害和风险,并通知风险承担者;③判断工程是否符合规范要求;④建立并执行性能化分析。

三、评估模型

性能化消防工程工具包括:定性分析技术、概率分析技术、火灾动力学理论应用、定性和概率火灾影响模型应用以及人的行为和毒性影响模型的应用等。

建立在科学实验、计算模型和概率分析基础上的评估模型可对设计方案在建筑火灾中的实际应用效果进行测算和模拟,并判断其是否能实现既定的性能目标。在火灾安全评估中有许多数评估模型,其中有两种较复杂的评估模型被认为是评价性能设计的最重要的评估模型。

(一) 区域模型

区域模型通常把房间分为两个控制体,即上部热烟气层与下部冷空气层。在火源所在的房间,有时还增加一些控制体来描述烟气羽流与顶棚射流。试验表明,在火灾发展及烟气蔓延的大部分时间内,室内的烟气分层现象相当明显。因此人们普遍认为区域模拟给出的近似相当真实。

大部分的区域模型已被验证且为人们所接受。区域模型的基本思想是假定每个房间可分成几个部分,在每一个部分当中,一些热物理参数如温度、压力、组分浓度等相对来说差别不大,可认为是均匀的。运用这种思想解决复杂的火灾模拟计算可大大减少问题的复杂程度。它可用以求解单室内多个可燃物,以及多个通风口的火灾烟气流动问题;可用来模拟火灾发生时的热气层烟气运动规律及燃烧产物的浓度变化规律;也可研究火源在不同位置及高度对火灾发展的影响。它也可以用来模拟火灾发生时多个房间内部热气层和空气层的运行变化以及烟气流动的规律。另外它还可以计算人在火灾中的安全逃生时间。

区域模型同场模型的输入数据非常相似,每个洞口要有确定的位置和大小。如果需要,还可考虑不同的墙,墙的材料也可以不同,热释放速率曲线也可由设计者选择。开间的体积和每个墙平面足以表达一个区域模型,除此之外还需知道底楼的面积,而场模型必须知道开间真实的几何形状;同时开间内火源的位置对于区域模型来说并不是必须的,而对于场模型却是一个基本数据。

最简单的是单区域模型,即在整个开间内假设条件是一致的。因此可采用通过模型计算得到的温度来表示受火条件。这种类型的模型对于有限高度开间内的后轰燃阶段非常合适。

有时火势被开间大小所限制,燃烧气体向房间的上部聚集,同时清新干净的空气仍位于房间的底部。这就导致了两区域模型的发展。在这种模型里假定在任一区域内温度都是均匀的,但在不同区域之间是不同的。

当然计算结果除了给出最令人感兴趣的开间的空气温度外,也可得出墙体的温度或通过洞口的气流的信息。除了对结构反应有着特别影响的温度之外,一个两区域模型也会在计算结果中提供新鲜空气层厚度,而且这对于确定火灾的持续时间和消防队到达现场后确定可能的火源位置至关重要。

目前使用的比较多的、有典型作用的区域模型是由美国 NIST 开发的计算多室火灾与烟气蔓延的 CFAST 模型。CFAST 可以用来预测用户设定火源条件下建筑内的火灾环境。用户需要输入建筑内多个房间的几何尺寸和连接各房间的门窗等开口情况、壁面结构的热物性参数、火源的热释放速率或质量燃烧速率以及燃烧产物的生成速率。该模型可以预测各有关房间内上部烟气层和下部空气层的温度、烟气层界面位置以及代表性气体浓度随时间的变化。

(二) 场模型

场模型也称作 CFD 模型,即计算流体动态模型。因为,这种模型的流体动态理论的平衡方程,如 Navier-Stokes 平衡方程,需通过数值方法解出。场模型可以应用于模拟封闭系统中三维、非正常、具有强辐射和浮力效应的端流燃烧过程,其计算非常复杂。近十年来,火灾场模拟技术和计算流体力学的应用已使人们确信,它可以取得令人满意的计算结果。该模型尤其适用于模拟类似天井、走廊似的封闭火灾环境。目前高速计算机和有效的数值计算方法,已大大缩短了该模型的计算时间,增强了其应用性。

在这一模型中,把开间分隔成数量很多体积较小的单元。对于围墙也作同样的处理,有时把围墙考虑成与实际不符的绝缘材料从而得到一些分析结果。如果需要的话,还可考虑由不同材料制成的不同分层的墙体。每个洞口也根据它真实的位置和尺寸单独模拟。只要能够表示出合适的边界条件,在必要时,考虑的区域可能延伸至开间之外。

CFD 模型的主要优点是在具有复杂几何体的开间内,因为 CFD 模型对空间细致划分的灵活性使得创造出一个这样复杂的划分体成为可能。所以尽管这些模型存在大量耗费和疑难问题,但是由于其提供给防火工程师一种独特的设计工具,人们还是努力完善这些方法。它们最占优势的应用领域是那些几何形体复杂、资金充足的火灾项目,这些项目采用 CFD 模型是一个很好的选择。

从火灾模型目前的发展情况看,虽然在精确性和性能方面近期已取得很大进步,但它仍存在不足和不稳定性,这其中有计算机编码确认方面的问题,更主要的是模型正确性方面的问题。目前的部分模型在自身的正确性及是否能将最终的数值代码收敛于数值解方面缺乏自我调节功能。尽管我们可以拿出一些针对性很强的验证试验的数值来展示它的正确性,但从总体而言,我们对模型正确性的确认还是不充分的。但模型正确性的确认却是必须的,因此我们始终都要对模型的正确性加以证明,其中一个比较好的方法就是在运用火灾场模型对火情状况进行分析时,必须要将其结论与以前情况相近的真实火灾记录和情况相近的场模型分析结论相比较,从而确定其正确性。除此以外,还应对这些模型的应用界限和不稳定性进行不断的评估,直到它们被更精确的亚模型所改良。因此说基于上述目的制定出一套完善的标准数据是十分必要的,这也是今后火灾场模型研究的一个重要内容。另外,并非所有的消防状况都需应用全步骤的火灾场模型加以分析,在一些情况下,可以根据它的特殊性以及建筑设计人员的自我把握对模型加以简化后使用。

从总体看,场模拟是一种更加先进,但是更加复杂的方法,这种方法需要海量计算,在若干年前,即使理论研究深度足够,计算能力也不能满足其计算需要。计算机工业按照摩尔定律的快速发展,使得近年来人们的计算的商业软件已经较为成熟,并且逐渐应用到从军事到民用,从火箭、坦克到小汽车,从天气预报到房间空气适宜度。计算流体动力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)是用数学方法,通过求解代表物理定律的数学方程,来预测流体流动、热传输、质量传输、化学反应和相关现象的学科。较为有名的有 CFX、FLUENT、

STAR-CD 等。而专业用于消防的软件也已经实用化,包括 PHOENIX 和 FDS。这里简单介绍一下目前国际上广泛采用的 FLUENT 和 FDS 软件。

FLUENT 软件采用有限体积方法,提供了三种数值算法: Segregated Solver、Coupled Explicit Solver 和 Coupled Implicit Solver。其他任何一个商用 CFD 软件都仅能提供其中的一种。FLUENT 的网格生成器 GAMBIT,具备突出的非结构化的网格生成能力,被公认为目前商用 CFD 软件最优秀的前置处理器。

FLUENT 软件提供了丰富的物理模型,包括理想气体、真实气体模型,多种燃烧模型,各种物性参数,旋转系统模型,传热模型,针对外流场与内流的特定的边界条件等。另外,FLUENT 软件包含了 8 种工程上常用的湍流模型(包括 1992 年提出的一方程的 S-A 模型,双方程的 K- ϵ 模型,雷诺应力模型和最新的大涡模拟等),而每一种模型又有若干子模型。其他任何软件都没有像 FLUENT 这样提供如此丰富的物理模型。

FLUENT 具有强大的后置处理功能,能够完成 CFD 计算所需求的功能,包括速度矢量图、等值线图、等值面图、流动轨迹图、并具有积分功能,可以求得力、力矩及其对应的力和力矩系数、流量等。对于用户关心的参数和计算中的误差可以随时进行动态跟踪显示。

FDS 软件是由美国标准与技术研究所(NIST)开发的,用于预测在拟定的最不利的可信设计火灾下所导致的火灾环境。该模型是一个基于有限元方法概念的计算流体动力学模型。

FDS 是一个由公认的政府权威机构开发的模型,并且未受到任何特定经济利益及与之关联的特定行业的影响及操纵。有相当多的关于该模型文献资料,而且该模型经过了大型及全尺寸火灾实验的验证。

FDS 模型的输入数据包括:空间环境温度,建筑内物品的燃烧特性类型,灭火系统的影响,烟气的性质,考虑或不考虑某些障碍物的影响(例如挡烟垂壁),为搜集有用数据所需的模拟时间,网格划分(计算精确度),所要测量的数据的类型及位置(数据采集),设计火灾等。

除了未经处理的输出数据外,FDS 模型还提供了多个图形输出模式,有助于直观地观察数据。“截面文件”、“等值面”、“热电偶”以及“边界文件”就是用于这一目的。输出数据的图形显示通过一个名为 Smokeview 的程序来处理,这一程序专门开发用显示 FDS 的输出数据。关于输出数据显示的更多信息可参见 Smokeview 的用户手册,该项手册可由 NIST 的网站下载。

截面文件为彩色的“切片”,或贯穿整个控制体的断面,通过这个断面可以使用户直观地观察气体内的温度分布。允许用户观察随时间改变的温度分布及变化。对于本次分析,截面文件被用来评估空气温度、能见度及减光系数。

等值面定义为具有相同数值的轮廓。例如,100℃ 的温度可通过一个三维的表面来表现,并可通过 Smokeview 软件进行图形显示。

从上述介绍可以发现,FLUENT 软件作为大型商业软件的杰出代表,在模型制作、网格划分、湍流模型等方面具有无与伦比的优势,其劣势为虽然具有燃烧模型,但是没有为消防专门进行过优化,模型配置需要较强流体力学背景;而