

建筑外覆面系统防火性能评价

傅智敏

中国人民武装警察部队学院消防工程系,河北廊坊 065000

摘要 在分析建筑外覆面系统火灾蔓延特点的基础上,重点从外覆面系统建筑材料及构件燃烧性能的评价和外覆面系统整体防火性能的评价两个方面综合比较了欧美建筑外覆面系统防火性能评价体系,根据外覆面系统建筑材料及构件的燃烧性能以及是否存在空腔结构,提出了外覆面系统防火性能分级方法及其相应的防火性能评价要求,建议在进一步发展完善我国建筑材料及构件的不燃-难燃-可燃量化评价方法的同时,尽快建立外覆面系统整体防火性能评价方法以及确保测试构件与建筑外覆面系统实际状况相一致的机制,并把外覆面系统的防火性能要求纳入到建筑整体消防安全问题中统筹考虑,在国家强制性通用消防技术规范中明确提出外覆面系统防火性能的原则性要求及具体测试标准,进一步强化建筑行业自身在确保建筑外覆面系统防火性能方面的责任。

关键词 建筑防火;被动消防;非承重外墙;外覆面系统;(外)幕墙;外墙保温系统;外墙保温材料

中图分类号 X932

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.07.009

Evaluation on Fire Performance of External Cladding Systems for Buildings

FU Zhimin

Department of Fire Protection Engineering, Chinese People's Armed Police Force Academy, Langfang 065000, Hebei Province, China

Abstract The mechanisms of fire spread by way of the external cladding systems for buildings are discussed. And the standard test methods for fire performance of the external cladding systems for buildings in Europe and America are analyzed. The fire performance classification of external cladding systems and the corresponding fire test requirements are proposed based on the burning characteristics of building materials, construction products and building elements of the external cladding systems and for cases with cavities existing in the external cladding systems. Suggestions are made for developing a fire performance evaluation system for the external cladding systems for buildings in China. The evaluations of the burning characteristics of building materials, construction products and building elements of the external cladding systems are important for keeping the external cladding systems intact without significant fire spread or system collapse. The provisions to limit the susceptibility of the external surface of walls to ignition and to fire spread should be adopted if there are combustible materials and/or cavities in the external cladding systems of buildings. Therefore, the full scale tests for integrated fire performance of the external cladding systems for buildings are necessary, which involve tests for fire resistance, fire spread, and so on. It is urgent to develop the evaluation methods for the integrated fire performance of the external cladding systems and to determine the ensuring mechanism for test specimen to be representative of a facade used in practice, both in constructions and products in China. At the same time, it is necessary to develop a quantitative system of non-combustible, limited-combustible and combustible for building materials, construction products and building elements of the external cladding systems. The fire performance requirements should be established for external cladding systems of buildings in the whole fire safety considerations of buildings. The fundamental and fire test standards should be put forwards clearly in the national general codes for fire techniques. The construction industry should take the responsibility in guaranteeing the fire performance and construction quality of the external cladding systems for buildings.

Keywords fire protection for high-rise building; passive fire protection; external nonbearing walls; external cladding systems; exterior curtain walls; external wall insulation systems; external thermal insulating materials

收稿日期:2011-11-04;修回日期:2012-02-10

基金项目:教育部消防工程特色专业建设项目

作者简介:傅智敏,教授,研究方向为消防工程专业教育、工业企业防火、材料火灾危险性评价、火灾风险分析技术、易燃易爆危险品消防、消防标准化及灭火剂,电子信箱:fuzmin2002@yahoo.com.cn

0 引言

建筑外覆面系统是指用作建筑非承重外墙或附加在非承重外墙表面的保护性与装饰性覆盖层,(外)幕墙和外墙保温系统是最为常见的外覆面系统,多应用于多层或高层建筑^[1-5]。幕墙最早出现在 19 世纪 50 年代,20 世纪 50 年代之后迅速发展;外墙保温技术于 20 世纪 50 年代在欧洲兴起,1969 年引入美国,中国于 1983 年开始了幕墙技术的应用,外墙保温系统的发展则开始于 20 世纪 90 年代。21 世纪以来,随着我国城镇化进程的快速推进以及建筑节能技术的推广应用,建筑外墙保温系统及幕墙在建筑上的使用越来越普遍,随之而来的消防安全问题也越来越突出,尤其是高层建筑外覆面系统火灾往往会造成严重后果。与欧美国家相比,中国不仅城市住宅以中高层建筑为主,而且较为注重建筑立面装潢的综合性公共建筑更是以高层甚至是超高层为主。据报道,截至 2011 年 6 月底,中国已建成高层建筑 27.5 万座,高度超过 100m 的超高层建筑 2377 座,高度超过 300m 的摩天大楼至少 46 座^[6]。这种趋势在“十二五”规划纲要所提出的“中国城镇化率在未来 5 年中将增长 4%,达到 51.5%”的大背景下会进一步强化。建筑外覆面系统的消防安全问题虽然已引起了人们的普遍关注,国内也开始了相关试验方法研究,但在外覆面系统建筑材料、制品、构件以及整体防火性能评价方面的综合研究还不够充分。目前的试验研究主要偏重于对无空腔系统的外墙保温系统防火性能的评价,对涉及空腔结构的外墙保温系统以及幕墙的消防安全问题研究相对较少;在开展外覆面系统整体防火性能试验方法研究时有脱离建筑实际的倾向^[7-10]。这些问题对从根本上切实提高外覆面系统的消防安全水平是非常不利的,因而有必要对外覆面系统防火性能的评价方法开展深入系统的研究。

1 外覆面系统的火灾蔓延

建筑外覆面系统发生火灾时火灾蔓延的各个关键阶段如图 1 所示^[7]。

1.1 建筑外部火灾的形成

外覆面系统火灾可能由靠近建筑的外部火源引起,如燃放烟花爆竹形成的明火或高温、建筑施工过程中使用的明火、垃圾焚烧火灾或蓄意纵火;也可由建筑内部火灾引起,建筑室内火灾在发展形成轰燃后通过窗户或门突破着火房间直接对建筑外部形成威胁,无论外覆面系统的材料是否可燃,轰燃后突破建筑的火焰高度通常都要比开口的上部高出 2m。因此,外覆面系统保护面层的耐火性及影响耐火性的完整性、厚度和强度对防止建筑外部火灾的形成具有重要作用。

1.2 建筑外部火灾的发展

一旦火焰作用于含有可燃材料的外覆面,外覆面系统就可能着火并通过其空腔结构和建筑表面加速外部火灾蔓延。外覆面系统所使用材料的燃烧性能直接影响到其火灾蔓延速率;空腔可以是外覆面系统的组成部分,也可是外覆面系

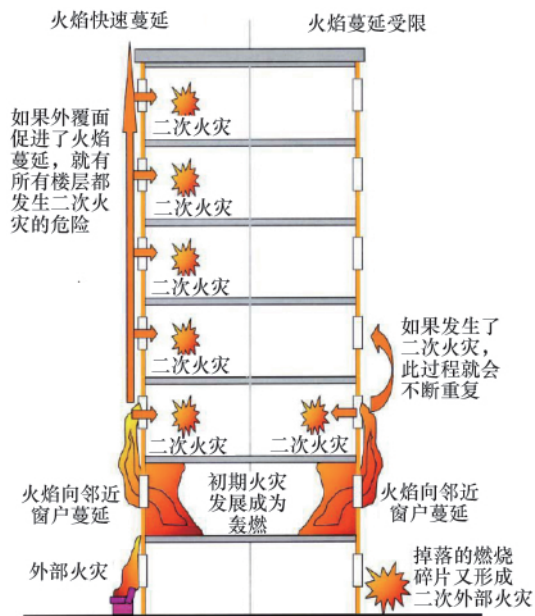


图 1 建筑外覆面系统火灾蔓延过程

Fig. 1 Mechanisms for external fire spread by way of the external cladding systems for buildings

统在火灾时的分层或脱落形成的。在火灾条件下,由于外覆面系统中热塑性保温材料受火后的收缩、熔化甚至燃烧,可能导致空腔的形成或封闭空腔的贯通,对系统的阻火性产生不利影响。如果火焰局限在外覆面系统的空腔内,不论构成空腔的材料是否可燃,都会在燃烧过程中形成 5—10 倍于原火焰长度的火焰。如果没有充分的防火隔断,火焰会通过外覆面系统快速蔓延。因此,包括防火隔断在内的整个外覆面系统的防火特性对于建筑消防安全非常重要。

1.3 火灾进入建筑内部

窗户或其他未保护区域是外覆面火焰蔓延进入建筑内的可能途径,这使得火灾可能进入任一楼层而引发二次火灾。如果二次火灾继续发展形成轰燃,火焰又会突破着火楼层进一步扩展。

1.4 消防应急救援

在建筑外覆面系统对楼层之间的火灾蔓延没有显著促进作用时,消防部门的应急救援有助于阻止建筑外部火灾的进一步蔓延。但当外覆面系统对火灾蔓延速率有促进作用时,火灾可能同时影响到建筑的多个楼层,不仅实施灭火救援非常困难,而且消防救援人员的人身安全也往往会受到极大威胁。

2 欧美对外覆面系统防火性能的评价

2.1 美国对外覆面系统防火性能的评价

美国对建筑外覆面系统防火性能的评价主要分为建筑材料及构件燃烧性能的评价和系统整体防火性能的评价两个方面,如图 2 所示。根据燃烧性能不同,建筑材料被划分为

不燃材料 (noncombustible material)、限燃材料或难燃材料 (limited-combustible material) 以及可燃材料 (combustible material) 3 类^[18-21]。美国消防协会标准 NFPA 5000《建筑结构与安全规范》规定^[22],若外覆面系统中使用了可燃保温材料或可燃复合金属材料 (Metal Composite Materials, MCM),则含有可燃组成的非承重外墙应满足 NFPA 285《评价含有可燃组成的非承重外墙火灾传播特性的标准火灾测试方法》规定的有关火灾蔓延性方面的判据要求^[23],UL 1040《保温墙结构火灾测试》及 ANSI FM 4880-2001 提供了类似于 NFPA 285 的可替代测试方法^[24-25];含有泡沫塑料保温材料的非承重外墙除应满足其所含保温材料的燃烧性能要求外,还应满足 NFPA 268《用辐射热能确定外墙构件引燃性的标准测试方法》以及 ASTM E119-11《建筑构件及材料火灾试验标准测试方法》或 UL 263《建筑构件及材料火灾试验》规定的有关引燃性能和耐火性能的要求^[26-28];如果在建筑外墙上使用了 MCM,则 MCM 的使用不应改变外墙及建筑的耐火等级。若外覆面系统为幕墙结构,还应按照 ASTM E119-11 或 ASTM E2307《使用中等规模、多层试验设施确定周边防火隔断系统耐火性的标准试验方法》的规定对外墙与楼板之间周边防火隔断材料的耐火性或周边防火隔断系统的耐火性进行评价^[29-30]。

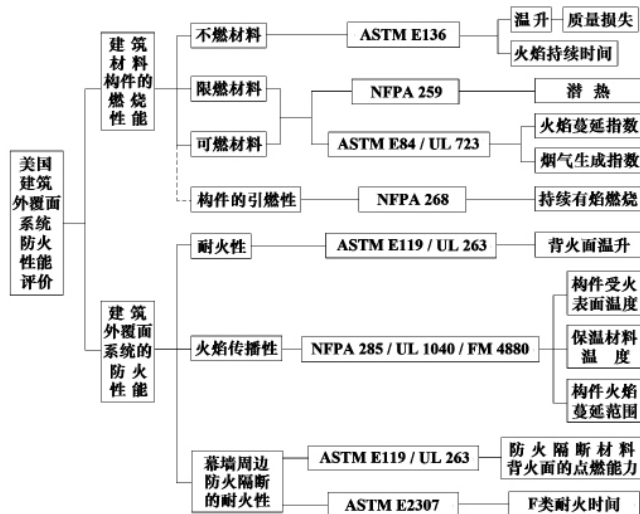


图 2 美国建筑外覆面系统防火性能评价方法

Fig. 2 Test methods for fire performance of the external cladding systems for buildings in the US

2.2 欧洲对外覆面系统防火性能的评价

欧盟对建筑外覆面系统防火性能的评价主要集中在材料、制品及构件燃烧性能的评价。欧盟标准 BS EN 13501-1《建筑制品与构件燃烧性能分级—第 1 部分:使用对火反应试验数据分级》将除铺地材料以外的建筑材料、制品及构件的燃烧性能细化为 A1 级、A2 级、B 级、C 级、D 级、E 级和 F 级 7 个等级,如表 1 所示^[31-35];欧盟标准 BS EN 13501-2《建筑

制品与构件燃烧性能分级—第 2 部分:使用耐火试验数据分级(除通风设施外)》提出了包括外覆面系统在内的建筑制品及构件的耐火性能评价方法。但对于外覆面系统火焰传播性的评价,欧盟还没有形成统一的方法^[36]。ETAG 004《欧洲技术指南—薄抹灰外保温系统》提出了针对薄抹灰建筑砌筑外墙保温系统 (External Thermal Insulation Composite Systems, ETICS) 的性能要求,明确规定 ETICS 要按照 BS EN 13501-1 的要求进行燃烧性能分级,ETAG 004 虽然提出应限制 ETICS 在火灾情况下火焰与烟气的产生和蔓延、建筑物内的人员能够安全地离开着火建筑,并且要考虑救援人员的人身安全,但该指南未涉及对建筑外保温系统整体防火性能的评价^[37]。英国《建筑规章指南 消防安全》(Approved Document B,第 2 卷)要求建筑外覆面系统不应成为火灾蔓延的媒介,18m 及以上高度建筑的保温材料及制品、填充材料应采用限燃性材料 (A2 级或 A1 级),否则应按照 BS 8414-1《外覆面系统防火性能—第 1 部分:建筑立面非承重外覆面试验方法》或 BS 8414-2《外覆面系统防火性能—第 2 部分:固定在结构钢框架上并由其支撑的非承重外覆面试验方法》的要求对外覆面系统进行全尺寸试验;若外覆面系统含有空腔结构或为幕墙,则应采取良好的防火隔断措施^[2-3,38]。

2.3 ISO 对外覆面系统防火性能的评价

BS EN 13501-1 所引用的 4 种 EN ISO 标准试验方法都是国际标准化组织 (International Organization for Standardization, ISO) 采用的标准。ISO 13785-1《建筑外立面对火反应试验—第 1 部分:中等规模试验》和 ISO 13785-2《建筑外立面对火反应试验—第 2 部分:大规模试验》分别对非承重建筑外覆面(立面)建筑制品及结构防火性能的中等规模筛选试验和大规模试验做出了规定^[4-5],这两个标准均要求外覆面试件在材料使用、结构设计及施工等方面与建筑实际工程情况相符,并且试件应由具有此类建筑结构施工资质的人员搭建。

3 发展中国建筑外覆面系统防火性能评价体系的建议

3.1 对外覆面系统的防火性能进行分级

3.1.1 外覆面系统防火性能的评价要求

归结起来,对外覆面系统防火性能的评价不外乎建筑材料、制品、构件的燃烧性能评价和外覆面系统整体防火性能评价两个方面,如图 3 所示。

外覆面系统建筑材料、制品、构件的燃烧性能评价是判断外覆面系统防火性能的基础。美国标准用温升、失重、能否形成持续有焰燃烧、潜热、火焰蔓延指数 (Flame Spread Index, FSI) 和烟气生成指数 (Smoke Development Index, SDI) 等指标判断材料的燃烧性能,明确提出用在外墙上的泡沫塑料、保温板等材料、制品或构件的 FSI 均不应大于 25, SDI 均不应大于 450,并要求对使用泡沫塑料作为保温材料、制品的外墙构件进行引燃性评价;欧盟标准则用温升、失重、能否形成持续

表 1 欧盟标准对建筑材料、制品及构件的燃烧性能分级

Table 1 Classification for burning characteristics of building materials, products and elements in EU

分级	分级判据	试验标准	评价指标及临界值	中国等同采用的标准
A1 级	1	EN ISO 1182	$\Delta T \leq 30^\circ\text{C}, \Delta m \leq 50\%, t_f = 0$	GB/T 5464
		EN ISO 1716	$PCS \leq 1.4\text{MJ}/\text{m}^2$ (非匀质制品的任一内部次要组分) $PCS \leq 2.0\text{MJ}/\text{kg}$ (其余组分及整体制品)	GB/T 14402
	2	EN ISO 1182	$\Delta T \leq 30^\circ\text{C}, \Delta m \leq 50\%, t_f = 0$	GB/T 5464
		EN ISO 1716	$PCS \leq 1.4\text{MJ}/\text{m}^2$ (非匀质制品的任一内部次要组分) $PCS \leq 2.0\text{MJ}/\text{m}^2$ (非匀质制品的任一外部次要组分) $PCS \leq 2.0\text{MJ}/\text{kg}$ (主要组分及整体制品)	GB/T 14402
A2 级	3	EN ISO 13823	$FIGRA \leq 20\text{W}/\text{s}, LFS < \text{试样边缘}, THR_{600s} \leq 4.0\text{MJ}$	GB/T 20284
		EN ISO 1182	$\Delta T \leq 50^\circ\text{C}, \Delta m \leq 50\%, t_f \leq 20\text{s}$	GB/T 5464
	4	EN ISO 13823	$FIGRA \leq 120\text{kW}/\text{s}, LFS < \text{试样边缘}, THR_{600s} \leq 7.5\text{MJ}$	GB/T 20284
		EN ISO 1716	$PCS \leq 3.0\text{MJ}/\text{kg}$ (主要组分及整体制品), $PCS \leq 4.0\text{MJ}/\text{m}^2$ (非匀质制品的任一次要组分)	GB/T 14402
B 级	5	EN ISO 11925-2	60s 内 $F_s \leq 150\text{mm}$ (点火时间为 30s)	GB/T 8626
		EN ISO 13823	$FIGRA \leq 120\text{W}/\text{s}, LFS < \text{试样边缘}, THR_{600s} \leq 7.5\text{MJ}$	GB/T 20284
C 级	6	EN ISO 11925-2	60s 内 $F_s \leq 150\text{mm}$ (点火时间为 30s)	GB/T 8626
		EN ISO 13823	$FIGRA \leq 250\text{W}/\text{s}, LFS < \text{试样边缘}, THR_{600s} \leq 15\text{MJ}$	GB/T 20284
D 级	7	EN ISO 11925-2	60s 内 $F_s \leq 150\text{mm}$ (点火时间为 30s)	GB/T 8626
		EN ISO 13823	$FIGRA \leq 750\text{W}/\text{s}, LFS < \text{试样边缘}, THR_{600s} \leq 7.5\text{MJ}$	GB/T 20284
E 级	8	EN ISO 11925-2	20s 内 $F_s \leq 150\text{mm}$ (点火时间为 15s)	GB/T 8626
F 级	无性能要求或不能满足 EN ISO 11925-2 对 E 级材料的性能测试要求			

注: ΔT —温升; Δm —失重; t_f —持续燃烧时间; PCS —总热能; $FIGRA$ —燃烧增长率指数; LFS —火焰横向蔓延长度; THR_{600s} —600s 总放热量; F_s —燃烧长度。

Notes: ΔT —temperature rise; Δm —mass loss; t_f —duration of sustained flaming; PCS —gross calorific potential; $FIGRA$ —fire growth rate index; LFS —lateral flame spread; THR_{600s} —total heat release within 600s; F_s —flame spread

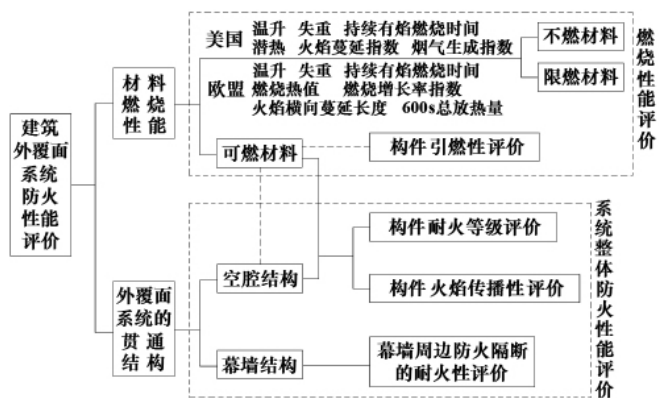


图 3 建筑外覆面系统防火性能评价体系

Fig. 3 Evaluation system for fire performance of external cladding systems for building

有焰燃烧、燃烧热值、燃烧增长率指数、火焰横向蔓延长度和 600s 总放热量等参数来表征材料的燃烧性能,但目前欧盟尚未提出统一明确的外覆面系统材料、制品或构件燃烧性能的

最低要求。一旦在外覆面系统中使用了可燃材料,外覆面系统就有可能成为火灾蔓延扩大的途径,因而必须要对外覆面系统的整体防火性能进行测试。

如果外覆面系统使用了可燃材料、制品、构件或系统可能存在贯通结构,无论其燃烧性能如何,都必须要进行包括耐火性、火焰传播性在内的系统整体防火性能评价,美国标准还专门提出了针对幕墙结构周边防火隔断的耐火性评价。

3.1.2 外覆面系统防火性能的分级

对建筑外覆面系统防火性能进行评价的根本目的在于,无论是建筑内部还是建筑外部的火灾作用于外覆面系统时,外覆面系统都不应对火灾的扩大蔓延起到促进作用。由前面讨论的外覆面系统的火灾蔓延过程可以看出,是否使用可燃材料以及是否存在空腔结构对外覆面系统的防火性能具有决定性的影响。因此,根据外覆面系统建筑材料、制品及构件的燃烧性能以及是否存在空腔结构或是否为幕墙来划分外覆面系统的防火性能等级是可行的,其相应的防火性能评价要求则可借鉴欧美及 ISO 对外覆面系统防火性能的评价方法,如表 2 所示。

表 2 外覆面系统防火性能分级及评价要求

Table 2 Classification for fire performance of external cladding systems for buildings and corresponding fire test requirement

防火性能级别	外覆面系统结构及燃烧性能描述		防火性能评价要求
	空腔结构或幕墙	含可燃材料、制品或构件	
1	否	否	不燃或难燃材料的燃烧性能试验评价
2	是	否	不燃或难燃材料的燃烧性能试验评价 外覆面系统的火灾蔓延性试验评价 幕墙周边防火隔断的耐火性试验评价
3	否	是	可燃材料的燃烧性能试验评价 外覆面系统构件的引燃性试验评价 外覆面系统构件的耐火性试验评价 外覆面系统的火灾蔓延性试验评价
4	是	是	可燃材料的燃烧性能试验评价 外覆面系统构件的引燃性试验评价 外覆面系统构件的耐火性试验评价 外覆面系统的火灾蔓延性试验评价 幕墙周边防火隔断的耐火性试验评价

3.1.2.1 外覆面系统防火 1 级

当外覆面系统既非幕墙又不存在空腔结构,且所有材料均为不燃或难燃材料时,其消防安全程度最高,可认为外覆面系统具有 1 级防火性能。对于防火 1 级的外覆面系统,只需进行材料、制品或构件燃烧性能的评价,即不燃或难燃性能测试。

3.1.2.2 外覆面系统防火 2 级

当外覆面系统为幕墙或为存在空腔结构的外墙保温系统时,即使所有材料均为不燃材料或难燃材料,若没有良好的防火隔断,贯通的空腔构造仍然会对建筑火灾的蔓延具有较大的促进作用,此时可认定外覆面系统具有 2 级防火性能。对于防火 2 级的外覆面系统,需要进行材料、制品或构件燃烧性能的评价和系统的火灾蔓延性评价,即需要进行不燃或难燃性能测试和外覆面系统的火灾蔓延性测试;如果是幕墙,还要进行幕墙周边防火隔断的耐火性试验。

3.1.2.3 外覆面系统防火 3 级

若外覆面系统既非幕墙又不存在空腔结构,但含有可燃材料、制品或构件,此时可判定外覆面系统具有 3 级防火性能。对于防火 3 级的外覆面系统,由于可燃材料受火时的收缩、熔化及燃烧能够导致空腔的形成或贯通封闭的空腔,因而需要对外覆面系统进行材料、制品或构件燃烧性能的评价、构件的耐火性能评价和系统的火灾蔓延性评价,即除了对外覆面系统可燃材料的燃烧性能进行判断,还要进行外覆面系统构件的引燃性及耐火性试验和外覆面系统的火灾蔓延性测试。

3.1.2.4 外覆面系统防火 4 级

当外覆面系统为幕墙或为存在空腔结构的外墙保温系统,且含有可燃材料时,可认定外覆面系统具有 4 级防火性

能。这种情况对建筑外立面火灾蔓延的促进作用最大,原则上应严格限制其存在。此时必须要进行外覆面系统材料、制品或构件燃烧性能的评价、构件的引燃性及耐火性能评价和系统的火灾蔓延性评价(即针对防火 3 级外覆面系统的全部试验评价),对于幕墙还应进行周边防火隔断的耐火性试验。

虽然在中国当前技术及经济条件下,防火 3 级和防火 4 级外覆面系统的存在难以避免,但存在空腔结构和/或使用可燃材料、制品或构件的外覆面系统无论如何不应成为火灾蔓延扩大的途径,因而必须要有足够的控制和弥补措施,除了进行大尺寸外覆面系统整体防火性能评价外,还应考虑充分的主动消防措施限制一旦发生火灾可能引起的蔓延扩大。

3.2 完善外覆面系统建筑材料及构件的不燃-难燃-可燃量化评价方法

随着建筑保温材料、制品以及幕墙材料技术的发展,保温材料、保温制品及复合金属保温板的更新换代,建立起统一有效的外覆面系统建筑材料、制品及构件的量化评价体系是非常重要的。目前我国参照欧盟标准已基本建立了建筑材料、制品及构件的燃烧性能评价体系(参见表 1),沿用了欧盟对可燃材料、制品及构件燃烧性能的细化分级方法^[8-12]。事实上,对于外覆面系统而言将可燃材料的燃烧性能做进一步的细化分级意义不大,采用量化评价方法区分材料或构件的不燃性、难燃性以及可燃性才是最重要的。建议结合中国《建筑设计防火规范》中所采用的不燃材料、难燃材料、可燃材料以及不燃烧体、难燃烧体、燃烧体概念^[4],考虑把美国标准对材料燃烧性能的评价方法作为中国已建立评价体系的补充或可替代标准试验方法,进一步发展完善外覆面系统材料、制品及构件燃烧性能的不燃-难燃-可燃量化评价体系,如图 4 所示。

外覆面系统 建筑材料 及构件 燃烧性能 量化评价	不燃材料 不燃烧体	GB/T 5646	$\Delta T \leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Delta m \leq 50\%$ $t_f = 0$
		GB/T 14402	PCS < 1.4 MJ/m ² (非匀质制品的任一内部次要组份) PCS < 2.0 MJ/kg (其余组份及整体制品)
		GB/T 5646	$\Delta T \leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Delta m \leq 50\%$ $t_f = 0$
		GB/T 14402	PCS < 1.4 MJ/m ² (非匀质制品的任一内部次要组份) PCS < 2.0 MJ/m ² (非匀质制品的任一外部次要组份) PCS < 2.0 MJ/kg (主要组份及整体制品)
		GB/T 20284	FIGRA < 20 W/s LFS < 试样边缘 THR _{600s} < 4.0 MJ
		ASTM E136	$\Delta m \leq 50\%$ $\Delta T \leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_f = 0$ (30s)
	难燃材料 难燃烧体	ASTM E136	$\Delta m \geq 50\%$ $\Delta T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_f = 0$
		GB/T 5646	$\Delta T \leq 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Delta m \leq 50\%$ $t_f < 20\text{ s}$
		GB/T 20284	FIGRA < 120 W/s LFS < 试样边缘 THR _{600s} < 7.5MJ
		GB/T 14402	PCS < 4.0 MJ/m ² (非匀质制品的任一次要组份) PCS < 3.0 MJ/kg (主要组份及整体制品)
		GB/T 20284	FIGRA < 120 W/s LFS < 试样边缘 THR _{600s} < 7.5MJ
		NFPA 259	潜热 < 8141kJ/kg
可燃材料 燃烧体	ASTM E84 / UL 723	FSI < 50 (样品厚度 < 3.2mm)	
	ASTM E84 / UL 723	FSI < 25 无连续燃烧迹象(以使用厚度及形式)	

图 4 中国建筑外覆面系统材料及制品燃烧性能分级

Fig. 4 Classification system of non-combustible, limited-combustible and combustible for burning characteristics of building materials, construction products and building elements in the external cladding systems for buildings in China

至于 ASTM E1354-11a《用氧消耗量热仪测量材料与制品热量及可见烟气释放速率的标准试验方法》，其作用主要是确定可燃材料燃烧时释放的热量、质量损失、持续有焰燃烧时间和烟气生成速率，以区分可燃材料的相对燃烧特性，该方法不能用于判断材料或制品是否具有不燃或难燃特性^[45]。由于外覆面系统的整体防火性能不仅取决于其材料、制品的燃烧性能，还与外覆面系统的结构、施工质量等诸多因素相关，当外覆面系统存在贯通的空腔结构时，即使较弱的燃烧性能也会表现出一定的火灾传播能力，因而 ASTM E1354 不适合于外覆面系统材料、制品及构件燃烧性能的评价^[46]。

3.3 确立外覆面系统整体防火性能评价方法及测试构件与建筑外覆面系统实际状况相一致的保障机制

经过不燃-难燃-可燃量化评价方法的分析判断，如在外覆面系统中使用的材料、制品或构件既不满足不燃材料或不燃烧体的条件，也不符合难燃材料或难燃烧体的判据，既在外覆面系统中不得使用可燃材料、制品或构件时，就要从整个外覆面系统的防火构造着手，限制其火灾蔓延能力，并对系统的整体防火性能进行严格评价，以确保外覆面系统不具有促进火灾发展蔓延的能力。可以说，对外覆面系统的整体防火性能进行评价是对降低外覆面系统材料、制品或构件燃烧性能要求的补偿，是从本质安全要求降低到了性能安全要求，这种性能安全要求必须要得到充分的保障。

在欧美对建筑外覆面系统防火性能的诸多试验评价标准中，无论是构件的耐火等级评价，还是构件的火焰传播性

评价，或是幕墙周边防火隔断的耐火性评价，都会强调包括试件本身材料、结构以及装配、密封等在内的诸多方面都应 与建筑外覆面系统的实际状况相一致，有的标准还明确提出试件测试结果不仅要能够代表建筑外覆面系统的现实状况，还要提供能够说明在外覆面系统的整个使用周期内都能保持试件测试结果有效的数据。国内某些试验研究在引用美国 UL 1040 试验评价方法时，特意将试件设计成“两墙面交汇处采用岩棉保温，以减少测试时两面墙体间火焰和热量的传递”的做法显然是不合适的^[7,10-12]。这种做法人为降低了试验条件下外覆面系统的火灾蔓延危险程度，不能反映建筑外覆面系统的真实状况，其试验结果是不可靠的。

因此，在借鉴国际上外覆面系统整体防火性能的评价方法时，不能随意降低评价标准，更不可断章取义，应以确保外覆面系统不能具有促进火灾蔓延的作用为根本目标，紧密结合我国建筑外覆面系统材料、制品、结构及施工的实际状况进行防火性能评价。尽快确立能够代表外覆面系统整体防火性能的大尺度试验评价标准以及相应的保障机制是中国建立外覆面系统整体防火性能评价方法的重点和难点，保证施工质量、维持外覆面系统在整个使用周期内具有试件通过整体防火性能测试时的性能更是一个巨大的挑战。只有这样，进行外覆面系统的整体防火性能评价才有意义。

3.4 在国家强制性通用消防技术规范标准中明确提出外覆面系统的防火性能要求

高层建筑的火灾特点决定了其“自防自救”的防火设计理念，也决定了高层建筑外覆面系统必须要具有火灾蔓延的自限性。公安消防部门对高层建筑火灾的灭火救援作为高层建筑火灾自防自救的一种补充手段，只有在火灾尚未同时影响到多个楼层时才能对抑制火灾发挥显著作用，否则不仅不能有效地控制高层建筑火灾，还会直接威胁到救援人员的生命安全。因此，外覆面系统自身良好的防火性能是确保高层建筑消防安全的必备条件之一，建议参照英国的建筑规章指南和美国的 NFPA 5000 的有关规定，在中国《建筑设计防火规范》等国家强制性通用消防技术规范标准进行修订时，明确提出有关建筑外覆面系统或外墙防火性能的原则性目标要求及具体评价方法要求^[2,38,44]。表 3 列举了一些建筑外覆面系统应具有防火性能。

值得注意的是，外覆面系统防火性能的评价方法与性能要求应根据系统是否存在空腔结构、是外墙保温系统还是幕墙而有所不同。由于室内外火灾发展蔓延的特点不同，建筑外覆面系统的防火性能要求与建筑内装修的防火性能要求也应有所区别，相应的室内外建筑材料燃烧性能及防火性能的评价方法和性能要求在某些情况下并不遵循同样的标准。在提出外覆面系统整体防火性能要求及评价方法的同时，还应根据实际情况明确诸如自动喷淋灭火系统的设置等主动消防措施方面的要求，以弥补当前被动防火设计的不足，确保建筑消防安全。

表 3 建筑外覆面系统防火性能要求

Table 3 Fire performance requirements for external cladding systems for buildings

防火性能要求	具体内容
原则性目标要求	建筑外墙应具有足够的抵抗火灾通过外墙蔓延的能力,否则应采取措施加以限制
耐火性能要求	建筑外覆面系统应根据外墙的耐火等级要求进行耐火性能测试 只要外墙有耐火等级要求,使用泡沫塑料保温材料的 I 级、II 级、III 级和 IV 级建筑外墙都必须要进行耐火性能测试,并且要提供能够证明耐火等级可以得到保持的数据
外覆面系统建筑材料燃烧性能要求及系统整体防火性能要求	一级和二级耐火等级建筑的非承重外墙应使用不燃材料、限燃材料建造,否则应进行外覆面系统整体防火性能测试 三级和四级耐火等级建筑的非承重外墙应满足外覆面系统整体防火性能测试要求 建筑高于 24m 时,外墙保温材料及制品应满足难燃及以上燃烧性能要求(满足空腔分隔要求的砖石空心墙结构除外),否则应进行外覆面系统整体防火性能测试
防火分隔及测试要求	外覆面系统空腔结构应满足空腔防火分隔的要求 外覆面系统为幕墙时,应进行外墙与楼板间防火隔断的耐火性试验

3.5 强化建筑行业自身确保外覆面系统防火性能责任

作为影响高层建筑消防安全的重要因素之一,外覆面系统的防火性能要求应贯穿于消防通用技术规范、专业标准和相关建筑行业标准。除了在国家强制性通用消防技术规范和专业技术标准中明确提出外覆面系统的防火性能要求和评价方法,建筑行业自身也应根据国内建筑外覆面系统材料与技术的发展现状及未来的发展趋势制订出与消防规范标准要求相一致的行业标准。美国在 1981 年(引进外墙保温技术 12 年后)专门成立了外保温与饰面系统(Exterior Insulation and Finish Systems, EIFS)行业协会(EIFS Industry Members Association, EIMA), EIMA 行业标准 EIMA 99-A《外保温与饰面系统》不仅对 EIFS 的耐蚀、抗冻、防霉等性能的持久性提出了测试要求,还明确提出了 EIFS 构件及整体防火性能的测试要求,并且该标准已成为美国国家标准协会(American National Standards Institute, ANSI)认可的国家标准^[29]。中国也应该有类似的标准,有关外覆面系统的现行建筑行业标准中消防安全要求几乎为空白的现状不能继续,行业应担负起保障人身安全与社会稳定的责任与义务,建立切实可行的确保建筑外覆面系统施工质量和整体防火性能持久性的评价方法以及行业自我约束机制,确保建筑消防安全的根本。

4 结论

建筑外覆面系统全部使用具有不燃或难燃特性的建筑

材料、制品或构件是保证高层建筑消防安全的长期和根本要求,有限制地使用可燃保温材料并严格进行外覆面系统整体防火性能评价则是对我国当前保温材料技术不能满足防火要求以及外覆面系统存在空腔结构的弥补,其前提是对外覆面系统构件所进行的大型试验评价应能够代表实际建筑外覆面系统的防火性能,并且这种整体防火性能在建筑外覆面的整个使用过程中应能够得以保持。

(1) 建议根据外覆面系统建筑材料及构件的燃烧性能以及是否存在空腔结构,将外覆面系统防火性能分为 4 级,不同的防火性能分级必须要满足相应的防火性能评价要求。含有可燃材料、制品或构件的外覆面系统以及存在或可能形成空腔结构的外覆面系统必须要进行外覆面系统火灾蔓延性测试,幕墙系统还应进行幕墙周边防火隔断的耐火性试验。

(2) 结合中国《建筑设计防火规范》中所采用的不燃材料、难燃材料、可燃材料以及不燃烧体、难燃烧体和燃烧体的概念,建议把美国有关不燃材料、限燃材料和可燃材料的标准评价方法作为我国已建立评价体系的补充或可替代标准试验方法,进一步发展完善外覆面系统材料、制品及构件燃烧性能的不燃-难燃-可燃量化评价体系。

(3) 在借鉴国际上外覆面系统整体防火性能的评价方法时,应以确保外覆面系统不能具有促进火灾蔓延的作用为根本目标,紧密结合我国建筑外覆面系统材料、制品、结构及施工的实际状况进行防火性能评价。尽快确立能够代表外覆面系统整体防火性能的大尺度试验评价标准以及相应的保障机制是我国建立外覆面系统整体防火性能评价方法的重点和难点。

(4) 在中国《建筑设计防火规范》等国家强制性通用消防技术规范标准进行修订时,应明确提出有关建筑外覆面系统或外墙防火性能的原则性目标要求及具体评价方法要求。例如,对建筑外墙抵抗火灾蔓延性能的要求、与外墙耐火等级要求相适应的外覆面系统耐火性能要求、不同耐火等级建筑非承重外墙建造材料的燃烧性能要求以及外覆面系统整体防火性能的测试要求、外覆面系统空腔结构的防火分隔要求及相应的测试要求等都需要在规范修订时进一步明确。

(5) 建筑行业自身应根据国内建筑外覆面系统材料与技术的发展现状及未来的发展趋势制订出与消防规范标准要求相一致的行业标准。行业应担负起保障人身安全与社会稳定的责任与义务,建立起切实可行的确保建筑外覆面系统施工质量和整体防火性能持久性的评价方法以及行业自我约束机制是确保建筑消防安全的根本所在。

参考文献 (References)

- [1] ASTM International. ASTM E631-06 standard terminology of building construction[S]. West Conshohocken: ASTM International, 2006.
- [2] British Standard Institute. BS 8414-1: 2002. Fire performance of external cladding systems - Part 1: Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the face of a building [S]. London: British Standard Institute, 2002.

- [3] British Standard Institute. BS 8414-2: 2005. Fire performance of external cladding systems — Part 2: Test method for non-loadbearing external cladding systems fixed to and supported by a structural steel frame[S]. London: British Standard Institute, 2005.
- [4] International Organization for Standardization. ISO 13785 -1: 2002. Reaction-to-fire tests for facades — Part 1: Intermediate-scale test[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2002.
- [5] International Organization for Standardization. ISO 13785 -2: 2002. Reaction-to-fire tests for facades — Part 2: Large-scale test[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2002.
- [6] Cai Yin, Zhao Yinan. Fire risk rising as cities grow taller[EB/OL]. [2011-06-30]. <http://www.chinadaily.com.cn/china/2011-06/30/content-12805031.htm>
- [7] 季广其, 朱春玲, 陈丹林, 等. 建筑外墙保温体系防火安全性能试验研究[J]. 建筑技术, 2007, 38(6): 447-448.
Ji Guangqi, Zhu Chunling, Chen Danlin, et al. *Architecture Technology*, 2007, 38(6): 447-448.
- [8] 宋长友, 黄振利, 季广其, 等. 外墙外保温防火技术现状及其问题探讨[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 1-7.
Song Changyou, Huang Zhenli, Ji Guangqi, et al. *Building Science*, 2008, 24(2): 1-7.
- [9] 宋长友, 季广其, 陈丹林, 等. 外墙外保温系统的防火安全性分析[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 8-11, 20.
Song Changyou, Ji Guangqi, Chen Danlin, et al. *Building Science*, 2008, 24(2): 8-11, 20.
- [10] 季广其, 朱春玲, 宋长友, 等. 外墙外保温系统防火试验研究——模型火 UL 1040 试验一[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 50-55.
Ji Guangqi, Zhu Chunling, Song Changyou, et al. *Building Science*, 2008, 24(2): 50-55.
- [11] 季广其, 朱春玲, 宋长友, 等. 外墙外保温系统防火试验研究——模型火 UL 1040 试验二[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 56-63.
Ji Guangqi, Zhu Chunling, Song Changyou, et al. *Building Science*, 2008, 24(2): 56-63.
- [12] 季广其, 朱春玲, 宋长友, 等. 外墙外保温系统防火试验研究——模型火 UL 1040 试验三[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 64-69, 108.
Ji Guangqi, Zhu Chunling, Song Changyou, et al. *Building Science*, 2008, 24(2): 64-69, 108.
- [13] 季广其, 朱春玲, 宋长友, 等. 外墙外保温系统防火试验研究——模型火 BS 8414-1 试验一[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 70-73.
Ji Guangqi, Zhu Chunling, Song Changyou, et al. *Building Science*, 2008, 24(2): 70-73.
- [14] 季广其, 朱春玲, 宋长友, 等. 外墙外保温系统防火试验研究——模型火 BS 8414-1 试验二[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 74-77.
Ji Guangqi, Zhu Chunling, Song Changyou, et al. *Building Science*, 2008, 24(2): 74-77.
- [15] 季广其. 如何看待外保温的防火问题[J]. 建设科技, 2008(8): 35-39, 43.
Ji Guangqi. *Construction Science and Technology*, 2008(8): 35-39, 43.
- [16] 欧志华, 马保国, 蹇守卫. 建筑外墙外保温系统防火的原则与思路[J]. 消防科学与技术, 2010, 29(4): 282-283, 287.
Ou Zhihua, Ma Baoguo, Jian Shouwei. *Fire Science and Technology*, 2010, 29(4): 282-283, 287.
- [17] Colwell S, Martin B. BRE report—Fire performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings[R]. Building Research Establishment (BRE), Office of the Deputy Prime Minister (BR135), 2nd Edition, 2003.
- [18] ASTM International. ASTM E136-11 standard test method for behavior of materials in a vertical tube furnace at 750°C[S]. West Conshohocken: ASTM International, 2011.
- [19] National Fire Protection Association. NFPA 259 standard test method for potential heat of building materials [S]. Quincy: National Fire Protection Association Inc, 2008.
- [20] ASTM International. ASTM E84-11 standard test method for surface burning characteristics of building materials [S]. West Conshohocken: ASTM International, 2011.
- [21] Underwriters Laboratories Inc. UL 723 standard for est for surface burning characteristics of building materials [S]. 10th ed. Northbrook: Underwriters Laboratories Inc, 2008.
- [22] National Fire Protection Association. NFPA 5000 building construction and safety code [S]. Quincy: National Fire Protection Association Inc, 2012.
- [23] National Fire Protection Association. NFPA 285 standard fire test method for evaluation of fire propagation characteristics of exterior non-load-bearing wall assemblies containing combustible components [S]. Quincy: National Fire Protection Association Inc, 2006.
- [24] Underwriters Laboratories Inc. UL 1040 standard for fire test of insulated wall construction [S]. Northbrook: Underwriters Laboratories Inc, 1996.
- [25] FM Global. ANSI FM 4880-2001 (R2007). American national standard for evaluating insulated wall or wall & roof/ceiling assemblies, plastic interior finish materials, plastic exterior building panels, wall/ceiling coating systems, and interior or exterior finish systems[S]. Norwood: FM Approvals, 2007.
- [26] National Fire Protection Association. NFPA 268 standard test method for determining ignitibility of exterior wall assemblies using a radiant heat energy source[S]. Quincy: National Fire Protection Association Inc, 2007.
- [27] ASTM International. ASTM E119-11 standard test methods for fire tests of building construction and materials [S]. West Conshohocken: ASTM International, 2011.
- [28] Underwriters Laboratories Inc. UL 263 standard for fire tests of building construction and materials [S]. 14th ed. Northbrook: Underwriters Laboratories Inc, 2011.
- [29] American National Standards Institute. ANSI/EIMA 99-A-2001 American national standard for exterior insulation and finish systems (EIFS)[S]. New York: American National Standards Institute, Inc, 2001.
- [30] ASTM International. ASTM E2307-10 standard test method for determining fire resistance of perimeter fire barrier systems using intermediate-scale, multi-story test apparatus [S]. West Conshohocken: ASTM International, 2010.
- [31] British Standard Institute. BS EN 13501-1: 2007. Fire classification of construction products and building elements — Part 1: Classification using data from reaction to fire tests [S]. London: British Standard Institute, 2007.
- [32] International Organization for Standardization. EN ISO 1182: 2010. Reaction to fire tests for products — Non-combustibility test [S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2010.
- [33] International Organization for Standardization. EN ISO 1716: 2010. Reaction to fire tests for products — Determination of the gross heat of combustion (calorific value)[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2010.
- [34] International Organization for Standardization. EN ISO 13823: 2002.

- Reaction to fire tests for building products—Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2002.
- [35] International Organization for Standardization. EN ISO 11925-2: 2010. Reaction to fire tests—Ignitability of products subjected to direct impingement of flame—Part 2: Single-flame source test[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2010.
- [36] British Standard Institute. BS EN 13501-2: 2003. Fire classification of construction products and building elements—Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services[S]. London: British Standard Institute, 2003.
- [37] European Organisation for Technical Approvals. ETAG 004 guideline for european technical approval of external insulation composite systems with rendering[S] 2000 ed. Brussels: European Organisation for Technical Approvals, 2000.
- [38] Royal Institute of British Architects. Building regulations 2000 (Fire safety)—Approved document B, volume 2 [M]. London: RIBA Bookshops, 2007.
- [39] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB 8624—2006 建筑材料及制品燃烧性能分级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB 8624—2006 classification for burning behavior of building materials and products[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.
- [40] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20284—2006 建筑材料或制品的单体燃烧试验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 20284—2006 single burning item test for building materials and products[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.
- [41] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5464—2010/ISO 1182: 2002 建筑材料不燃性试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 5464—2010/ISO 1182: 2002 Non-combustibility test method for building materials [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.
- [42] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 14402—2007/ISO 1716: 2002 建筑材料及制品的燃烧性能—燃烧热值的测定(氧弹式量热计)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 14402—2007/ISO 1716: 2002 Reaction to Fire Tests for Building Materials and Products—Determination of the Heat of Combustion [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [43] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 8626—2007/ISO 11925-2: 2002 建筑材料可燃性试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 8626—2007/ISO 11925-2: 2002 test method of flammability for building materials [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [44] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 50016—2006, 建筑设计防火规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2007.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 50016—2006 code of design on building fire protection and prevention [S]. Beijing: China Planning Press, 2007.
- [45] ASTM International. ASTM E1354-11a standard test method for heat and visible smoke release rates for materials and products using an oxygen consumption calorimeter [S]. West Conshohocken: ASTM International, 2011.
- [46] 宋长友, 季广其, 陈丹林, 等. 建设部软课题“外墙保温体系防火试验方法、防火等级评价标准及建筑应用范围的技术研究”介绍[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 78-83, 122.
Song Changyou, Ji Guangqi, Chen Danlin, et al. Building Science, 2008, 24(2): 78-83, 122.

(责任编辑 岳臣)

· 学术动态 ·

“第八届全国压力容器设计学术会议”征文



由中国机械工程学会压力容器分会主办,2012年10月1日在江苏省南通市召“第八届全国压力容器设计学术会议”。

征文范围:国内外压力容器设计标准与规范的最新进展;GB 150《压力容器》相关设计问题探讨;压力容器设计的新方法、新理论与新结构;压力容器无损检测与密封技术;压力容器设计研究及重大工程案例。

摘要截止日期:2012年4月30日。

论文截止日期:2012年8月31日。

联系电话:0571-87953007,13615812385。

电子信箱:zhiping@zju.edu.cn。

会议网站:www.cpvii-cscspv.com。