

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.02.021

基于 CONE 的电缆火灾危险性分析与多层次综合评价

张博思¹, 张佳庆^{2,3,4}, 谢辉^{2,3,4}, 王刘芳^{2,3,4}, 范明豪^{2,3,4}

(1. 中国劳动关系学院安全工程系, 北京 100048; 2. 国网安徽省电力公司电力科学研究院, 合肥 230601;
3. 电力火灾与安全防护安徽省重点实验室, 合肥 230022; 4. 国家电网公司输变电设施火灾防护实验室, 合肥 230022)

摘要: 采用锥形量热仪开展了十种不同型号电缆火灾危险性试验研究, 测量得到了各型号电缆在不同辐射热通量条件下引燃时间、热释放速率、生烟量、CO 和 CO₂ 释放率等火灾危险性表征参数, 分析了辐射热通量、阻燃等级和防火涂料对电缆火灾危险性的影响。结果表明, 以热释放速率、毒性气体释放率和生烟量等参数分别作为判定指标, 或在不同辐射热通量条件下分析时, 各电缆火灾危险性对比评价结果存在差异。基于以上情况, 建立了电缆火灾危险性的多层次综合评价方法, 综合考虑多个准则, 对不同型号电缆火灾危险性开展了综合分析, 所得评价结果更为全面、准确。

关键词: 电缆; 锥形量热仪; 火灾危险性; 综合评价

中图分类号: TM247+.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)02-0103-07

Risk Analysis and Multi-level Comprehensive Assessment on Cable Fires based upon CONE

Zhang Bosi¹, Zhang Jiaqing^{2,3,4}, Xie Hui^{2,3,4}, Wang Liufang^{2,3,4}, Fan Minghao^{2,3,4}

(1. Department of Safety Engineering, China University of Labor Relations, Beijing 100048, China; 2. State Grid Anhui Electric Power Research Institute, Hefei 230601, China; 3. Anhui Province Key Laboratory of Electric Fire and Safety Protection, Hefei 230022, China; 4. State Grid Laboratory of Fire Protection for Transmission and Distribution Facilities, Hefei 230022, China)

Abstract: Experiments on fire hazard of ten type cables were conducted by cone calorimeter (CONE). Fire parameters, including ignition time, heat release rate, total smoke rate, CO and CO₂ release rate, were measured under different radiation heat fluxes. The effects of radiation heat flux, retardant level and fire retardant coating on the fire hazard of cables were explored. Results showed that the assessments on fire hazard of cables were distinct according to different criteria, such as heat release rate and toxic gases release rate. The fire hazard ranks on the tested cables were variable under different radiation heat fluxes. In view of the above situation, a comprehensive assessment model on cable fire hazard was established, in which the ignition character, thermal hazard, smoke generation and toxicity were included. The assessment of cable fire hazard by using the comprehensive assessment model was more completely and accurately.

Keywords: cables; CONE; fire hazard analysis; comprehensive assessment

随着我国电力行业的快速发展, 电缆应用更为广泛, 而电缆火灾问题也日益突出, 近年来电缆引发的火灾事故频发, 带来了巨大的损失, 电缆火灾相关问题得到了研究人员的关注^[1-3]。其中, 电缆火灾危险性分析与评价方法, 对于不同场所内电缆的选型以及电缆敷设场所内火灾探测与防火措施的应用都具有指导和参考意义。

在电缆火灾危险性分析与评价手段中, 锥形量热仪 (CONE) 具有十分广泛的应用^[4-8]。利用 CONE 可获得电缆引燃时间、热释放速率、生烟量以及毒性气体释放率等电缆火灾危险性评价参数。付强等^[9]采用 CONE 对不同护套材料的电缆燃烧性能开展了试验研究, 分析了电缆热释放速率、CO 和 CO₂ 释放率的变化规律。李晓康等^[10]利用 CONE

基金项目: 安徽省自然科学基金项目 (1408085MKL94), 国家电网公司总部科技项目 (52120517000X)

通讯作者: 张博思, 博士, 讲师, 研究方向为电力系统火灾防护 E-mail: bosi_zhang@163.com

收稿日期: 2017-11-15

引用格式: 张博思, 张佳庆, 谢辉, 等. 基于 CONE 的电缆火灾危险性分析与多层次综合评价 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(2):103-109.

Zhang Bosi, Zhang Jiaqing, Xie Hui, et al. Risk analysis and multi-level comprehensive assessment on cable fires based upon CONE[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(2):103-109.

研究了防火涂料对电缆燃烧性能的影响,以热释放速率、产烟量和 CO 产率为指标对比分析了涂覆有防火涂料和未涂覆防火涂料电缆燃烧性能的差别。结果表明在较高辐射热通量条件下,防火涂料的作用较为有限。王蔚等^[11]采用 CONE 开展了不同型号聚氯乙烯电缆燃烧性能试验,分析了辐射强度和护套厚度对电缆热释放速率的影响。结果表明,增大辐射强度和护套厚度均会导致电缆热释放速率增大。王蔚等^[12]还利用 CONE 开展了电缆点燃性能的试验研究,建立了一维电缆点燃模型。杨守生等^[13]利用 CONE 研究了电缆燃烧过程生烟速率与热释放速率之间的对应关系。结果表明,电缆燃烧中热量的释放滞后于烟气的释放,同时他们还针对电缆放置角度、附着基材和环境氧浓度对电缆燃烧产烟特性开展了研究^[14]。赵锐敏^[15]在高辐射热通量条件下,开展了聚氯乙烯电缆燃烧性能试验研究,分析了电缆直径和辐射热通量对电缆热释放速率、质量损失速率等参数的影响。

通过以上研究可以看出,利用 CONE 可以得到热释放速率、烟生成量和毒性气体释放率等一系列可用于评价电缆火灾危险性的参数指标,然而当前研究多针对各指标分别开展分析研究,综合考虑各指标的电缆火灾危险性评价少有开展。基于以上情况,笔者采用 CONE 研究了十种不同型号电缆的火灾危险性,分析了各类电缆火灾危险性评价参数变化规律;进而综合考虑电缆引燃性、热危害性、烟生成性和毒性指标,建立了电缆火灾危险性的多层次综合评价体系,并利用 CONE 试验结果开展了不同辐射热通量条件下各型号电缆火灾危险性的综合评价及分析。

1 电缆 CONE 试验结果分析

1.1 试验条件与试验工况

试验采用英国防火测试技术公司的 FFT-0007 型锥形量热仪测量各型号电缆在不同辐射热通量条件下的热释放速率、烟气生成量以及毒性气体释放率等参数,选择十种不同型号的常用电缆,如表 1 所示。1[#]~5[#] 电缆为阻燃电缆,其中 1[#] 电缆为普通阻燃电缆,其余为 A 级阻燃电缆;6[#]~8[#] 电缆为三种常用的非阻燃电缆;9[#] 电缆和 10[#] 电缆分别为涂覆有水性溶剂型防火涂料的非阻燃电缆。采用以上十种类型的电缆作为试验样品,旨在对比分析评价电缆阻燃和涂覆防火涂料对降低其火灾危险性的效果。测试电缆中,直径均在 20~30 cm,试验中电缆

测试样品并列排铺满样品托盘。

表 1 试验电缆信息

电缆编号	规格及型号	电缆类型	生产厂家
1 [#]	Ø22 mm, ZR-YJV22	阻燃交联聚乙烯绝缘铜芯电缆	上海某电缆公司
2 [#]	Ø26 mm, ZA-YJV22	A 级阻燃交联聚乙烯绝缘铜芯电缆	
3 [#]	Ø21 mm, ZA-VLV	A 级阻燃聚氯乙烯绝缘铝芯电缆	
4 [#]	Ø28 mm, ZA-VLV	A 级阻燃聚氯乙烯绝缘铝芯电缆	
5 [#]	Ø26 mm, ZA-VLV	A 级阻燃聚氯乙烯绝缘铝芯电缆	
6 [#]	Ø25 mm, VLV	非阻燃聚氯乙烯绝缘铝芯电缆	
7 [#]	Ø25 mm, VLV22	非阻燃聚氯乙烯绝缘铝芯电缆(钢带铠装)	
8 [#]	YZ	中型橡胶套软电缆(未涂覆防火涂料)	河北某电缆公司
9 [#]	YZ	中型橡胶套软电缆(涂覆溶剂型防火涂料)	
10 [#]	YZ	中型橡胶套软电缆(涂覆水性防火涂料)	

针对每个型号的电缆,在不同辐射热通量条件下开展试验,较小的辐射热通量试验对应火灾初期火场中电缆的危险性分析;较大的辐射热通量试验对应火灾全面发展阶段火场中电缆的危险性分析。

1.2 CONE 试验结果分析

(1) 辐射热通量对电缆火灾危险性影响分析。

以 3[#] 电缆和 6[#] 电缆为例,研究不同辐射热通量条件下电缆火灾危险性,其中 3[#] 电缆为 A 级阻燃电缆,而 6[#] 电缆为非阻燃电缆。3[#] 电缆和 6[#] 电缆引燃时间、热释放速率和 CO 释放速率变化曲线如图 1~图 3 所示。在引燃性方面,电缆引燃时间随着辐射热通量的增大而减小,相比于 3[#] 电缆,6[#] 电缆引燃时间较短。在热危险性方面,3[#] 电缆在较低辐射热通量条件下不能持续燃烧,热释放速率随着辐射热通量的增大而增大。对于 6[#] 电缆,热释放速率随辐射热通量的增大先升高后降低,这是由于在

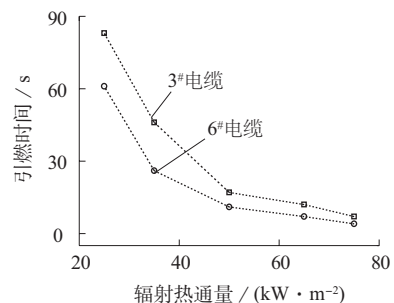
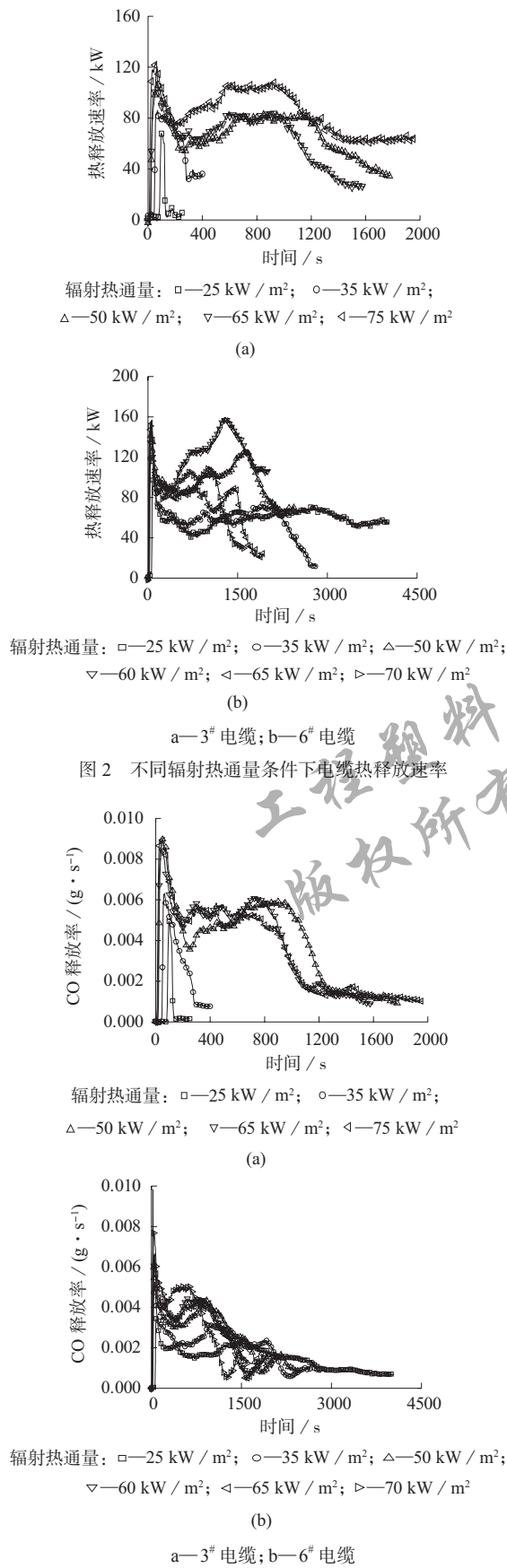


图 1 不同辐射热通量条件下电缆引燃时间



较高的辐射热通量条件下,电缆的有效燃烧热降低而导致的。在毒性方面,3[#] 电缆在较低辐射热通量条件下不能持续燃烧,此时 CO 释放率较低,随后随着辐射热通量的增大 CO 释放率显著增高;对于 6[#] 电缆,CO 释放率随辐射热通量的增大而增大。两种电缆相比,3[#] 电缆燃烧明显具有更强的毒性。

通过以上分析可以看出,电缆火灾危险性会受到外加辐射热通量的影响,这说明在实际火灾过程中,电缆火灾危险性是不断变化的,同时阻燃电缆并非能够在各项指标上均降低电缆火灾危险性,在本研究中,相比于非阻燃电缆,阻燃电缆尽管延长了引燃时间,降低了燃烧的热危害性,然而其燃烧毒性反而增强。

(2) 不同阻燃等级电缆火灾危险性分析。

阻燃等级对电缆燃烧特性的影响通过 1[#] 电缆和 2[#] 电缆的试验数据对比进行表征,其中 1[#] 电缆为普通阻燃电缆,2[#] 电缆为 A 级阻燃电缆,实验结果见表 2。由表中数据可以看出,在引燃性方面,2[#] 电缆引燃时间略低于 1[#] 电缆,但需要指出的是 2[#] 电缆在较低辐射热通量条件下未能持续燃烧。在热危害性方面,2[#] 电缆的热释放速率明显低于 1[#] 电缆。在生烟性和毒性方面,能够发生持续燃烧的工况中,2[#] 电缆总生烟量和 CO 平均释放量均明显高于 1[#] 电缆。由此可以看出, A 级阻燃电缆在引燃性和热危害性方面表现出了较低的火灾危险性,而以生烟性和毒性为指标分析, A 级阻燃电缆的火灾危险性反而更高。

表 2 不同阻燃等级电缆燃烧特性对比					
外部辐射强度 / (kW · m ⁻²)	电缆编号	引燃时间 / s	平均热释放速率 / (kW · m ⁻²)	总生烟量 / (m ² · m ⁻²)	CO 平均释放量 / (kg · kg ⁻¹)
25	1 [#]	182	92.02	1 822.37	0.022
	2 [#]	106	14.90	190.93	0.049
35	1 [#]	55	97.47	2 859.11	0.027
	2 [#]	53	28.41	279.71	0.069
50	1 [#]	24	105.36	3 548.20	0.030
	2 [#]	18	74.05	3 619.26	0.068
65	1 [#]	12	135.89	3 814.25	0.030
	2 [#]	11	77.21	4 182.30	0.070
75	1 [#]	6	138.18	3 695.99	0.030
	2 [#]	7	76.94	4 384.13	0.066

(3) 不同防火涂料电缆火灾危险性分析。

防火涂料等级对电缆燃烧特性的影响通过 8[#], 9[#], 10[#] 电缆的试验数据对比进行表征,三组电缆均为中型橡胶套软电缆,其中 8[#] 电缆未涂覆防火涂料, 9[#] 和 10[#] 电缆分别涂覆有水性和溶剂型防火涂料,

实验结果见表3。由表中数据可以看出,相比于8[#]电缆,9[#]电缆的燃烧时间明显增长,热释放速率和CO释放量也均有所降低,然而总生烟量却出现了升高;相比于8[#]电缆,10[#]电缆燃烧所产生的CO释放量有所减小,但引燃时间缩短,同时热释放速率和总生烟量增大。由此可以看出,与电缆阻燃作用相似,涂覆防火涂料可能仅在一个或者几个指标上缓解电缆火灾危险性,而在另外一些指标方面效果并不明显甚至可能出现恶化。

表3 不同防火涂料电缆燃烧特性对比

外部辐射强度 / (kW·m ⁻²)	电缆编号	引燃时间 / s	平均热释放速率 / (kW·m ⁻²)	总生烟量 / (m ² ·m ⁻²)	CO平均释放量 / (kg·kg ⁻¹)
25	8 [#]	175	129.20	2 880.00	0.045
	9 [#]	19	105.07	2 818.68	0.039
	10 [#]	500	120.34	4 302.37	0.043
35	8 [#]	70	112.07	2 903.23	0.040
	9 [#]	7	122.29	3 431.96	0.037
	10 [#]	297	91.49	5 309.44	0.046
50	8 [#]	31	124.68	3 162.78	0.043
	9 [#]	4	126.04	3 669.04	0.038
	10 [#]	52	93.07	4 857.94	0.047
65	8 [#]	14	112.15	3 753.67	0.040
	9 [#]	4	129.61	3 651.23	0.037
	10 [#]	20	116.28	4 663.87	0.040
75	8 [#]	8	111.71	3 199.22	0.042
	9 [#]	3	153.26	3 932.4	0.033
	10 [#]	23	108.39	5 680.04	0.041

2 电缆火灾危险性综合评价

2.1 综合评价体系建立

利用CONE评价电缆火灾危险性,当采用引燃性、热危害性和毒性等参数分别判定,所得评价结果可能存在差异甚至相反。同时在不同辐射热通量条件下,各类电缆火灾危险性排序也可能存在差异。因此仅在某一特定辐射热通量水平下或者仅采用一个火灾危害性评价指标分析得到的电缆火灾危险性评价结果是不全面的。

基于以上问题,综合考虑各项电缆火灾危险性指标的综合评价亟待开展。层次分析法是一种成熟的多准则决策方法,可用于定性分析和定量计算,目前已经被广泛应用于各类火灾风险评估和安全评价中^[16-18]。层次分析法在电缆火灾评价中也已经有所应用^[19-21]。笔者利用层次分析法,建立了考虑电缆引燃性、热危害性、生烟性和毒性的电缆火灾危险性综合评价体系,如图4所示。评价体系中以电缆引燃性、热危害性、生烟性以及毒性指标作为一级准则,并根据CONE试验测量参数设立二级子准则。各子准则指标的评分标准是基于试验结果并参考前人研究^[19]建立的,如表4所示。

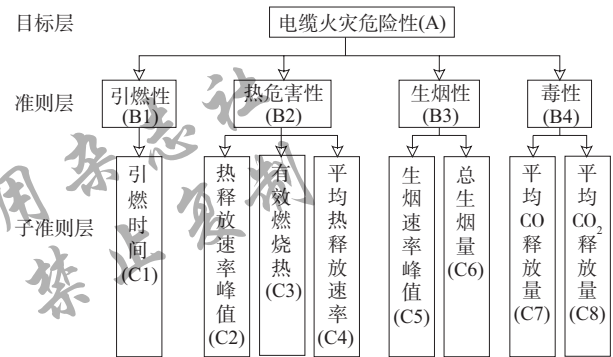


图4 电缆火灾危险性综合评价体系

邀请五位电缆火灾专家采用层次分析法中经典的9标度法^[22],对同一层次中的指标两两比较并进行打分,得到判断矩阵。权重向量的常用计算方法有几何平均法、算数平均法、特征向量法和最小二乘法。邓雪等^[22]指出,利用前三种方法所得结果基本一致。本研究中采用几何平均法求得权重向量。在求得子准则层元素对于准则层权重,以及准则层元素对于目标层权重后,即可综合得到子准则层各元素对于目标层权重。

表4 各指标评分标准

分数	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0分	>200	<80	<12	<50	<0.03	<500	<0.03	<0.5
1分	190~200	80~90	12~14	50~55	0.03~0.04	500~1 000	0.03~0.035	0.5~0.6
2分	160~190	90~100	14~16	55~60	0.04~0.05	1 000~1 500	0.035~0.04	0.6~0.7
3分	130~160	100~110	16~18	60~65	0.05~0.06	1 500~2 000	0.04~0.045	0.7~0.8
4分	100~130	110~120	18~20	65~70	0.06~0.07	2 000~2 500	0.045~0.050	0.8~0.9
5分	70~100	120~135	20~22	70~80	0.07~0.08	2 500~3 000	0.055~0.06	0.9~1.0
6分	40~70	135~140	22~24	80~90	0.08~0.09	3 000~3 500	0.06~0.065	1.0~1.1
7分	30~40	140~160	24~26	90~100	0.09~0.10	3 500~4 000	0.065~0.070	1.1~1.2
8分	20~30	160~180	26~28	100~110	0.10~0.11	4 000~4 500	0.070~0.075	1.2~1.3
9分	10~20	180~200	28~30	110~120	0.11~0.12	4 500~5 000	0.075~0.08	1.3~1.4
10分	<10	>200	>30	>120	0.12	>5 000	>0.08	>1.4

汇总各位专家评分数据,并对判断矩阵进行一致性分析,进而计算得到图 4 子准则层中引燃时间、热释放速率峰值、有效燃烧热、热释放速率平均值、生烟速率峰值、总生烟量、CO 释放量和 CO₂ 释放量八个指标相对于目标层“电缆火灾危险性”的权重值,并采用算术平均法得到综合权重值,计算结果如表 5 所示。由计算结果可以看出,各评价指标中,权重值较大的指标为引燃时间、平均热释放速率和 CO 平均释放量。

表 5 各评估指标相对于目标层权重

指标	相对于顶层目标综合权重
C1	0.165 0
C2	0.123 2
C3	0.050 8
C4	0.198 2
C5	0.120 4
C6	0.084 7
C7	0.199 5
C8	0.058 2

2.2 综合评价结果分析

基于以上建立的火灾综合评价体系,利用 CONE 试验结果,即可对各型号电缆开展火灾危险性综合分析。不同热辐射通量条件下,各型号电缆火灾危险性综合评分结果如表 6 所示,分数越高代表电缆的火灾危险性越大。由表 6 可以看出,随着辐射热通量的增大,电缆综合火灾危险性总体呈现增大的趋势;而在不同辐射热通量条件下,电缆火灾危险性排序具有明显的不同。总体来说,相比于非阻燃电缆,阻燃电缆具有较低的火灾危险性,而在高辐射热通量条件下,阻燃与非阻燃电缆之间火灾危险性综合评分差距缩小,这是由于此时阻燃电缆燃烧毒性增强而导致的。在防火涂料方面,水性防火涂料,对于降低电缆火灾危险性具有相对良好的效果,而溶剂型防火涂料,尽管在降低电缆燃烧热危害性方面具有一定效果,然而由于明显减小了引燃

表 6 电缆火灾危险性综合评分结果

电缆编号	热辐射通量/(kW·m ⁻²)				
	25	35	50	65	75
1 [#]	3.78	5.04	6.18	6.79	7.04
2 [#]	1.29	2.44	6.24	6.58	6.99
3 [#]	1.46	3.39	5.77	6.05	7.23
4 [#]	2.4	3.38	6.08	6.78	6.22
5 [#]	2.38	3.48	5.70		
6 [#]	3.62	4.92	7.26	6.84	7.03
7 [#]	1.49	2.14	6.64	6.53	
8 [#]	5.77	6.32	7.26	7.47	7.75
9 [#]	5.18	4.58	5.93	6.78	6.45
10 [#]	7.25	8.43	8.23	7.84	8.18

时间并增强了电缆燃烧的生烟性和毒性,因此综合各指标进行综合分析,其火灾危险性反而高于未涂覆防火涂料的电缆。

根据表 6 中计算得到的火灾危险性综合评分结果,不同辐射热通量条件下,各类电缆火灾综合危险性评分排序如下:

(1) 25 kW/m² 辐射热通量条件下,2[#] 电缆 < 3[#] 电缆 < 7[#] 电缆 < 5[#] 电缆 < 4[#] 电缆 < 6[#] 电缆 < 1[#] 电缆 < 9[#] 电缆 < 8[#] 电缆 < 10[#] 电缆;

(2) 35 kW/m² 辐射热通量条件下,7[#] 电缆 < 2[#] 电缆 < 4[#] 电缆 < 3[#] 电缆 < 5[#] 电缆 < 9[#] 电缆 < 6[#] 电缆 < 1[#] 电缆 < 8[#] 电缆 < 10[#] 电缆;

(3) 50 kW/m² 辐射热通量条件下,5[#] 电缆 < 3[#] 电缆 < 9[#] 电缆 < 4[#] 电缆 < 1[#] 电缆 < 2[#] 电缆 < 7[#] 电缆 < 6[#] 电缆 < 8[#] 电缆 < 10[#] 电缆;

(4) 65 kW/m² 辐射热通量条件下,3[#] 电缆 < 7[#] 电缆 < 2[#] 电缆 < 4[#] 电缆 < 9[#] 电缆 < 1[#] 电缆 < 6[#] 电缆 < 8[#] 电缆 < 10[#] 电缆;

(5) 75 kW/m² 辐射热通量条件下,4[#] 电缆 < 9[#] 电缆 < 2[#] 电缆 < 6[#] 电缆 < 1[#] 电缆 < 3[#] 电缆 < 8[#] 电缆 < 10[#] 电缆。

可以看出,在不同辐射热通量条件下,电缆火灾危险性排序具有明显的不同,在火灾初期(较低辐射热通量)具有较低火灾危险性的电缆,在火灾全面发展阶段(较高辐射热通量),火灾危险性可能反而会高于其他电缆。因此在电缆类型选取时,应对此情况予以考虑。

电缆火灾危险性综合评价体系,综合了电缆引燃性、热危害性、生烟性和毒性,对电缆火灾危险性评价更为全面。同时发现不同辐射热通量条件下,电缆的火灾危险性对比排序具有明显的不同。在火场中,电缆所接收到的辐射热通量会受到火灾发展阶段以及电缆与火源距离等因素的影响,因此在开展电缆火灾危险性综合分析时,需开展动态分析,即得到火场中不同时间和空间坐标条件下的综合评价结果,从而对电缆火灾危险性进行更为全面的评价,为电缆火灾探测、灭火设施配备提供更为准确的参考意见。需要指出的是,对于不同敷设区域的电缆,火灾综合评价指标权重可能会有所不同,在开展分析时,应有针对性的获得各指标权重,以保证评价体系的准确性。

3 结论

(1) 在不同辐射热通量条件下,电缆火灾危险性

存在明显变化,总体来说,随着辐射热通量的增大,电缆引燃时间减小,热释放速率、生烟量和毒性气体释放率基本呈现持续增大的趋势。同时,电缆阻燃和涂覆防火涂料对降低电缆火灾危险性的效果会随着外加辐射热通量的增大而减弱。

(2) 相比于非阻燃电缆,阻燃电缆能够延长引燃时间、降低电缆燃烧的热危害性,但会导致电缆燃烧毒性的增强;防火涂料在降低电缆燃烧热危害性方面具有一定效果,但可能会导致生烟量、CO 释放率的增大。

(3) 考虑电缆引燃性、热危险性、生烟性和毒性,建立了电缆火灾危险性多层次综合评价体系,利用 CONE 试验数据,计算得到各型号电缆在不同辐射热通量条件下火灾危险性综合评分,相比于单一指标评价,电缆综合评价体系中同时考虑了电缆引燃性、热危险性、生烟性和毒性指标,其评价结果更为全面、准确。

参考文献

- [1] Zhang Jiaqing, Fan Minghao, Li Wei, et al. Fire safety of cables in power grid: Tracking combustion test standards of cables and new insights on test framework[C]. International Council on Large Electric Systems, CIGRE 2016, 2016, B1-214:1-12.
- [2] 张佳庆,范明豪,杜晓峰,等. 电线电缆燃烧试验标准溯源与测试体系研究[J]. 绝缘材料, 2015, 48(9):6-11.
Zhang Jiaqing, Fan Minghao, Du Xiaofeng, et al. Tracing and analysis on combustion test standards of electrical wires and cables[J]. Insulating Materials, 2015, 48(9):6-11.
- [3] 李强,张佳庆,左嘉旭,等. 热老化对 XLPE 绝缘核级电缆火灾绝缘失效影响研究[J]. 武警学院学报, 2016, 32(4):14-17.
Li Qiang, Zhang Jiaqing, Zuo Jiaxu, et al. Experimental study of thermal ageing effect on insulation failure of XLPE nuclear grade cable[J]. Journal of Chinese People's Armed Police Force Academy, 2016, 32(4):14-17.
- [4] 张佳庆,范明豪,李伟,等. 防火电缆燃烧和毒性气体释放特性研究[J]. 绝缘材料, 2016, 49(8):72-77.
Zhang Jiaqing, Fan Minghao, Li Wei, et al. Study on combustion and toxic gas release characteristics of flame retardant cables[J]. Insulating Materials, 2016, 49(8):72-77.
- [5] 舒中俊,冯俊峰,陈南,等. PVC 电缆及其护套原料燃烧性能的对比如[J]. 消防科学与技术, 2006, 25(2):247-249.
Shu Zhongjun, Feng Junfeng, Chen Nan, et al. Experiment study on fire performances of PVC electrical cables and their sheath materials[J]. Fire Science and Technology, 2006, 25(2):247-249.
- [6] 徐晓楠,施照成,吴迪. 典型电缆锥形量热试验研究[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(5):210-214.
- [7] 王蔚,万玉田,李立明,等. 基于锥形量热仪的电缆点燃积分模型[J]. 消防科学与技术, 2009, 28(8):563-566.
Wang Wei, Wan Yutian, Li Liming, et al. An integral model of cable ignition based on the cone calorimeter test[J]. Fire Science and Technology, 2009, 28(8):563-566.
- [8] 王长春,刘延卓,陈沛云,等. 利用锥形量热仪评价 EVA/Mg(OH)₂ 基阻燃电缆料[J]. 电线电缆, 2006, (4):7-9, 12.
Wang Changchun, Liu Yanzhuo, Chen Peiyun, et al. Assessment of EVA / Mg(OH)₂-based flame retardant compound by cone calorimeter[J]. Electric Wire & Cable, 2006, (4):7-9, 12.
- [9] 付强. 基于 CONE 和 MCC 的典型电缆燃烧性能研究[J]. 消防科学与技术, 2012, 31(3):229-233.
Fu Qiang. Study on the burning behavior of representative cables by the CONE calorimeter test and the microscale combustion calorimeter[J]. Fire Science and Technology, 2012, 31(3):229-233.
- [10] 李晓康,杜文锋,徐志胜. 防火涂料对电缆燃烧性能的影响研究[J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(12):16-22.
Li Xiaokang, Du Wenfeng, Xu Zhisheng. A Study of effect of fire retardant coating on flammability of cables[J]. China Safety Science Journal, 2014, 24(12):16-22.
- [11] 王蔚,张和平,万玉田. 基于锥形量热仪的 PVC 电缆燃烧性能试验研究[J]. 安全与环境学报, 2008, 8(2):117-120.
Wang Wei, Zhang Heping, Wan Yutian. A study on the burning behavior of PVC cables in the conic calorimeter test[J]. Journal of Safety and Environment, 2008, 8(2):117-120.
- [12] 王蔚,李立明,陆松,等. 电缆点燃性能的影响因素研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2009, 39(12):1300-1304.
Wang Wei, Li Liming, Lu Song, et al. Influencing factors on ignitability of cables[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2009, 39(12):1300-1304.
- [13] 杨守生,何翊. 电缆燃烧烟气释放速率的实验研究[J]. 中国塑料, 2010, 24(7):74-77.
Yang Shousheng, He Yi. Study on smoke release rate of cables during burning[J]. China Plastics, 2010, 24(7):74-77.
- [14] 何翊,杨守生,张晓丽. 电缆燃烧产烟影响因素的实验研究[J]. 中国塑料, 2009, 23(6):74-77.
He Yi, Yang Shousheng, Zhang Xiaoli. Study on the affecting factors of smoke generation during cable combustion[J]. China Plastics, 2009, 23(6):74-77.
- [15] 赵锐敏. 电缆高辐射热通量下燃烧性能实验研究[J]. 武警学院学报, 2011, 27(8):5-7.

- Zhao Ruimin. The research of PVC electrical cable combustion performance under high radiation flux[J]. Journal of Chinese People's Armed Police Force Academy, 2011, 27(8):5-7.
- [16] Miao Z, Wenhua S, Zhen C, et al. Risk assessment for fire and explosion accidents of steel oil tanks using improved AHP based on FTA[J]. Process Safety Progress, 2016, 35(3):260-269.
- [17] Gao Junpeng, Xu Zhisheng, Liu Ding, et al. Application of the model based on fuzzy consistent matrix and AHP in the assessment of fire risk of subway tunnel[J]. Procedia Engineering, 2014, 71:591-596.
- [18] 贾水库,田斌. 层次分析法在高层学生公寓火灾危险性评价中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(5):114-118.
- Jia Shuiku, Tian Bin. Application of analytical hierarchy process in fire risk assessment of high-rise student dormitory[J]. China Safety Science Journal, 2009, 19(5):114-118.
- [19] 付强. 典型电缆燃烧性能研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2012.
- Fu Qiang. Study on fire performance of typical cables[D]. Hefei:University of Science and Technology of China, 2012.
- [20] 钟小璇. 基于模糊层次分析法的电缆火灾危险性评价[J]. 安防科技, 2010(3):12-15.
- Zhong Xiaoxuan. Fire risk assessment of cables based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Safety & Security Technology, 2010(3):12-15.
- [21] 张琦,夏向阳,杨志峰,等. 基于模糊理论的 XLPE 电缆绝缘状态评估研究[J]. 绝缘材料, 2014, 47(2):84-88.
- Zhang Qi, Xia Xiangyang, Yang Zhifeng, et al. Insulation condition assessment study for XLPE cable based on fuzzy theory[J]. Insulating Materials, 2014, 47(2):84-88.
- [22] 邓雪,李家铭,曾浩建,等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究,数学的实践与认识, 2012, 42(7):93-100.
- Deng Xue, Li Jiaming, Zeng Haojian, et al. Research on computation methods of AHP weight vector and its applications[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2012, 42(7):93-100.

科思创中国:将在新能源汽车、风能和轻型化材料发力

“中国市场已经成为科思创业绩增长的引擎。”在接受第一财经记者采访时,科思创中国区总裁盛秉勇如此表示。

一家跨国企业的成功,往往取决于若干关键市场的业绩表现,显然在盛秉勇眼中,营收占比达到总收入 21% 的中国市场显得至关重要。

十年前,中国区业务仅占科思创全球业务的 10%,而到目前,这个比例已上升至 21%。尤其是 2017 年第三季度美国遭遇飓风后,中国区业绩已超越美国,成为科思创的第一大市场,而未来科思创仍将加大对中国的投资。在盛秉勇看来,新能源汽车、风能和轻型化材料将会成为科思创在中国市场进一步发力的增长点。

随着传统领域材料的不断升级和创新,以及越来越多行业巨头的介入,新材料市场的竞争正趋激烈。科思创、巴斯夫和杜邦等也将进一步投身于电动汽车、风力发电、生物基材料、二氧化碳等领域。

新材料在中国的发展同样因政策的扶持而进入发展的快车道。进入新世纪以来,我国的新材料产业规模不断壮大。前瞻产业研究院提供的《2016~2021 年中国新材料行业市场前瞻与投资战略规划分析报告》显示,2010 年我国新材料产业规模超过了 6500 亿元,与 2005 年相比年均增长约 20%。并在“十二五”期间,新材料产业总产值达到了 2 万亿元,年均增长率超过 25%。正因如此,科思创不断加大在华投资。截至目前,科思创在上海奉贤区总价值高达 31 亿欧元的工厂已基本建成,即将开始下一步的创新研发与市场

推广应用。科思创不仅将集团三大业务中的聚碳酸酯全球总部移师上海,还将亚太区研发中心设在上海。盛秉勇表示,“未来科思创仍将加大在漕泾的投资”。

随着中国进入工业发展的新阶段,中国市场对于材料的需求量与日俱增,针对中国快速增长的市场需求,科思创未来有没有继续增加投放产能的计划呢?盛秉勇就此表示,目前科思创在中国的产能可以满足中国市场需求,扩产尚不会很快发生。

科思创来源于拜耳,其前身是拜耳的材料科学部门。2014 年,拜耳提出剥离该部门的计划,以期在未来专注于制药和农业等生命科学业务。2015 年 9 月,材料科学部门正式从拜耳剥离并更名为科思创。

2017 年,科思创高管团队出现较大幅度调整,刚刚经历业绩不断攀升的科思创此时出现频繁的高管调整会否对公司在华战略产生较大影响?盛秉勇表示,高层的调整不会对科思创在华业绩产生较大影响。因为中国市场在科思创的业务版图中举足轻重。“继续维护在中国市场的可持续增长是科思创的战略。”盛秉勇补充道。

事实上,科思创自剥离之后,业绩一直在增长。2015 年,科思创的总销售额达到 120.8 亿欧元,同比增长 2.7%。息税折旧摊销前利润与 2014 年相比增加 41.3%,达到 16.4 亿欧元。据悉,科思创在 2017 年第三季度创造了公司历史上最为强劲的一个季度。净收入较 2016 年第三季度上涨 89.6%。同时,息税折旧摊销前利润和销售额同比分别增长了 50.2% 和 16.9%。

(第一财经)