

电线电缆燃烧性能常用标准的 差异化分析和应用研究

吴怀喜¹ 但丹² 韩英健¹ 赵玲艳¹ 贺艳萍³ 张乐¹

(1.深圳市联嘉祥科技股份有限公司; 2.深圳市标准化协会; 3.深圳自动化学会)

摘要:本文在介绍电线电缆燃烧性能基础上,通过对比解读GB/T 19666-2019《阻燃和耐火电线电缆或光缆通则》等标准,分析了各标准的制定目的、等级划分和技术要求等方面差异和各自所侧重的衡量指标,并结合案例,探讨增加诸如燃烧性能等条件后,在工艺设计、生产、标准制定等方面的实践应用研究,旨在推动电线电缆相关企业的标准化工作。

关键词:电线电缆, 燃烧性能, 阻燃, 耐火, 标准化

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2023.04.016

Differentiation Analysis and Application of Commonly Used Standards for Combustion Performance of Wires and Cables

WU Huai-xi¹ DAN Dan² HAN Ying-jian¹ ZHAO Ling-yan¹ HE Yan-ping³ ZHANG Le¹

(1. Shenzhen Lianjiaxiang Science & Technology Co., Ltd.;
2. Shenzhen Association of Standardization; 3. Shenzhen Association of Automation)

Abstract: The paper introduces the combustion performance of wires and cables, compares commonly used standards such as GB/T 19666: 2019, General rules for flame retardant and fire resistant electric wires and cables or optical fiber cables, analyzes the differences in the purpose, grade division and technical requirements of these standards, and the measurement indexes they focus on. Based on cases, it also discusses the application in the aspects of process design, production, standards development after adding conditions such as combustion performance, aiming to promote standardization work in wires and cables companies.

Keywords: wires and cables, combustion performance, flame retardant, fire resistant, standardization

1 引言

随着近年我国经济快速的发展,电气火灾呈现高发趋势,鉴于电线电缆火灾的危险性,国家制定了电线电缆燃烧性能的相关标准。电线电缆方面的国家标准、行业标准均有各自详细的规定,但由于制

定目的不同、适用领域的差异,对于电线电缆同一类性能的规定不尽相同,例如:燃烧性能。这些专业且差异化的标准对于从业者而言至关重要,但要完全理解各标准对同一类性能和而不同的规定,并能根据这些规定在企业内部进行科学合理地安排并形成标准化,需要从业者对标准进行深入而细致

地解读,甚至需要大量的试验验证工作。

本文通过对GB/T 19666-2019《阻燃和耐火电线电缆或光缆通则》、GB 31247-2014《电缆及光缆燃烧性能分级》、GA 306.1-2001《阻燃及耐火电缆塑料绝缘阻燃及耐火电缆分级和要求 第1部分 阻燃电缆》、GA 306.2-2001《阻燃及耐火电缆 塑料绝缘阻燃及耐火电缆分级和要求 第2部分 耐火电缆》4项不同层级的常用标准进行比较性解读研究和差异化分析,梳理各标准对电线电缆燃烧性能规定的差异点,即侧重点,并从企业标准化工作的角度进行审视,探讨对这些差异点进行归统安排,方便企业合理利用标准,增强企业技术实力。

2 电线电缆的燃烧性能

电线电缆的燃烧性能,就是指在电线电缆火灾事故发生时,能够阻滞、推迟火焰沿着电线电缆扩散和延伸,尽量减少电线电缆火灾范围扩展的能力。ISO 13943:2017对燃烧性能的定义是试样在规定条件下燃烧时对火的反应或耐火性的反应^[1]。电线电缆的燃烧性能不同于导体直流电阻、传输速率等用途性性能,是指在规定条件下电线电缆被燃烧时所表现出来的附加性性能,如:延缓火焰蔓延的阻燃性、保护线路运行的耐火性、释出有害气体的卤素含量多少、产生有害烟雾的烟密度大小以及烟气的毒性程度等,在实际使用场景中,通常有限定值的要求。

由于电线电缆广泛运用于轨道交通、机械装备、建筑楼宇中,其燃烧性能的优劣,直接关系到社

会财产安全和人民群众的生命健康安全。因此,各种电线电缆标准对燃烧性能均有相应的规定,但各自侧重不同。

3 标准内容的差异化分析

3.1 标准制定的目的

通过查阅GB/T 19666《阻燃和耐火电线电缆或光缆通则》等4项标准的首次发布版本^[2-4],可了解到标准制定的目的等相关情况(详见表1)。

由表1可知,公安部及消防局作为提出单位的GB 31247和GA 306制定的目的侧重于消防安全方面,标准性质均为部分强制,而中国电器工业协会作为提出单位的GB/T 19666制定的目的则是统一国内生产和使用,适应国际贸易和技术交流,标准性质为推荐性。同时,GB/T 19666和GA 306还对电线电缆除燃烧性能以外的其他性能做出了说明或规定。通过这些信息,可以更真实地还原标准制定的过程,更深入地理解标准的技术条款。

3.2 标准对燃烧性能的规定

(1) 燃烧性能的分类、代号和分级

经对上述标准的最新版标准进行查阅^[5-7],新版本对燃烧性能的分类、代号、分级等方面有详细而明确的规定,但表述各异(详见表2)。

表2从阻燃和耐火两方面将各标准对燃烧性能的分类进行了梳理。阻燃是指试样在规定条件下被燃烧,在撤去火源后火焰在试样上的蔓延仅在限定范围内,具有阻止或延缓火焰发生或蔓延能力的特性。耐火是指试样在规定火源和时间下被燃烧时能

表1 标准制定的目的

标准	GB/T 19666-2005	GB 31247-2014	GA 306.1 ~ 306.2-2001
名称	阻燃和耐火电线电缆或光缆通则	电缆及光缆燃烧性能分级	阻燃及耐火电缆 塑料绝缘阻燃及耐火电缆分级和要求 第1部分 阻燃电缆 阻燃及耐火电缆 塑料绝缘阻燃及耐火电缆分级和要求 第2部分 耐火电缆
目的	为统一国内的生产使用,并适应国际贸易和经济技术交流的需要	使防火安全要求更加科学合理,并将可能产生的火灾危害降至最低	有一个统一、科学的产品标准,以指导该两类产品的研制、开发和生产,并为该类防火安全产品的质量监督提供可靠的依据
提出单位	中国电器工业协会	中华人民共和国公安部	中华人民共和国公安部消防局
归口单位	全国电线电缆标准化技术委员会	全国消防标准化技术委员会防火材料分技术委员会	全国消防标准化技术委员会第七分委员会
负责起草单位	上海电缆研究所	公安部四川消防研究所	公安部四川消防科研所等

持续地在指定条件下运行的特性^[5]。可以理解为, 阻燃针对的是火焰燃烧和蔓延的炭化长度, 而耐火针对的是被燃烧时线路能否运行(传输电能或信号)。

阻燃性能方面, GB 31247和GA 306.1在类别上进行了进一步细化, 如GB 31247对B₁、B₂级要求增加3个方面的附加信息、GA 306.1对每一类别再分为4个级别, 共计12个小级别。

耐火性能方面, GB/T 19666按供火以及是否有机械冲击、喷水进行分类, 而GA 306.2按不同供火温度等试验条件分类。这为火灾发生时产生不同反应的实际使用场景的选型提供了方案。

(2) 燃烧性能的技术要求

由于GB 31247未涉及耐火性能, 本节仅对标准中有关阻燃等其他性能的技术要求进行对比, 详见表3。

从表3对比分析可看出, 各标准的技术要求差异在于以下3个方面。

1) 对试验过程性指标和结果性指标选取不同

GB/T 19666和GA 306.1对技术要求的项目大致相同且侧重于结果性指标, 即燃烧试验结束后所测量的指标数据, 如: 炭化高度、pH值、电导率、烟密度等, 而GB 31247不仅关注炭化高度等结果性指标, 还关

表2 标准中燃烧性能的分类、代号和分级

类别		GB/T 19666-2019	GB 31247-2014	GA 306.1-2007 GA 306.2-2007
阻燃系列	代号	阻燃: Z; 无卤: W; 低烟: D; 低毒: U	—	阻燃: ZR
	分类分级	A、B、C、D共四类	A、B ₁ 、B ₂ 、B ₃ 共4级, 且 B ₁ 、B ₂ 需有附加信息	A、B、C共3类; 每类分4 级: I、II、III、IV
耐火系列	代号	耐火: N	不适用	耐火: NH
	分类分级	单纯供火: N 供火+机械冲击: NJ 供火+机械冲击+喷水: NS	不适用	耐火和耐火A级共两类; 每 类分4级: I、II、III、IV
代号组合排列顺序		无卤(有卤省略)、低烟、低毒、阻燃和耐火	级别、附加信息	阻燃或耐火、级别、类别

表3 标准中阻燃等性能的技术要求

技术要求	GB/T 19666-2019	GB 31247-2014	GA 306.1-2007
单根阻燃性能	上夹具下缘与上炭化起始点之间的距离大于50mm; 上夹具下缘与下炭化起始点之间的距离不大于540mm; 滴落物未引燃下方的滤纸	B ₁ 、B ₂ 规定垂直火焰蔓延≤425mm	不适用
成束阻燃性能	炭化范围不应超过喷灯底边以上2.5m	B ₁ 、B ₂ 规定火焰蔓延≤1.5m、2.5m; 附加信息(滴落物等级): d ₀ : 1200s内无燃烧滴落物; d ₁ : 1200s内燃烧滴落物持续时间不超过10s; d ₂ : 未达到d ₁ 级	炭化高度≤2.5m
总热量及热释放速率	不适用	A类总热值≤2.0KJ/kg; B ₁ 、B ₂ 限定1200s热释放总量等	不适用
无卤性能/腐蚀性	pH值≥4.3、电导率≤10 μS/mm	附加信息: a ₁ : pH值≥4.3、电导率≤2.5 μS/mm; a ₂ : pH值≥4.3、电导率≤10 μS/mm; a ₃ : 未达到a ₂ 级	I、II级: pH值 ≥4.3、电导率 ≤10 μS/mm
低烟性能/烟密度	最小透光率: 60%	B ₁ ≥60%; B ₂ ≥20%; B ₁ 、B ₂ 规定产烟峰值及1,200s内产烟总量	I级: ≥80%; II级: ≥60%; III级: ≥20%
低毒性能/烟气毒性	毒性指数: 供需协商, 推荐≤5	附加信息: t ₀ : ZA ₂ 级; t ₁ : ZA ₃ 级; t ₂ : 未达到t ₁ 级	I、II级: ZA ₂ 级; III级: ZA ₃ 级

注、选取了过程性指标，如：热释放速率峰值、产烟速率峰值、燃烧增长速率指数等试验过程中获取的指标参数，是理论性地对火灾过程中危害程度的限定。

2) 技术指标要求不同

在阻燃性能方面，GB/T 19666和GB 31247对单根和成束阻燃都做了规定，而且GB 31247不仅规定了B₁级和B₂级成束阻燃的火焰蔓延长度，还增加了滴落物、热释放总量、产烟总量、热释放和产烟速率峰值等量化指标，对燃烧的衡量指标更加细化。

在无卤性能方面，GB 31247附加信息a₁级的电导率要求更高；在低烟性能方面，GB 31247和GA306.1对烟密度的要求范围更广，适用场景更多。在低毒性能方面，GB 31247和GA306.1都有明确的等级范围，而GB/T 19666提供了推荐的毒性指数。

3) 技术要求与真实燃烧场景的贴合度不同

正是由于GB 31247标准中对过程性指标的引入，描述真实火灾发生过程、燃烧荷载、火灾规模等特性的定量化燃烧特性被大量采用^[8]，如：产热速率峰值、产烟速率峰值及燃烧增长速率指数，这些不仅关系到最终的产热总量和产烟总量，更涉及到短时间内的危害程度以及赢得救援时间的有效性问题，其对电线电缆的真实燃烧场景的模拟与处置预判更加贴合现实。

4 标准化应用研究

4.1 对标准的思考

经过对常用标准的差异化分析后发现，上述4项标准对燃烧性能进行了分级，但并未规定对应的使用场景，而与上述标准相关联的标准亦是如此。

GB 50217-2018《电力工程电缆设计标准》规定，采用符合GA 306.1和GA 306.2要求的适合的阻燃等级和耐火电缆^[9]，而GB 8624-2012《建筑材料及制品燃烧性能分级》也只对燃烧性能分级为A、B₁、B₂和B₃^[10]，并没有详细地规定或推荐何种使用场景使用A级、何种使用场景使用B₁级等材料及制品。

从目前工程建设的现状来看，使用的材料应达到何种级别的决策权更多在设计单位，而要求设计单位全面、专业地掌握燃烧性能级别之间的差异以及适用场景是相当困难的。

对此，笔者建议采用以下两种方式解决上述问题：(1)从国家标准系统化层面建立标准之间的关系网，促进相关联的国家标准、行业标准之间的工作对接、内容关联，加强制修订工作协同一致的管理，解决标准之间的衔接问题，形成闭环管理，使标准之间形成或指导或支撑或补充的关系网，方便指导从业者合理使用标准；(2)加强引导企业标准、团体标准的发展，使其积极主动发挥国家标准的补充、增强作用，成为对行业从业人员培训、引导市场选型的大平台。

4.2 选择性利用标准

标准对性能指标分级以区分性能优劣，但分级过多，整体适用性降低，选择性地利用标准是一种更适宜的方式。

从市场选择来看，GB/T 19666中成束燃烧阻燃D级的产品使用率极低，无论是招标技术要求，还是采购方的质量要求，基本要求都是阻燃C级，而GB 31247中B₃类的产品、GA 306中阻燃Ⅲ级、Ⅳ级的产品，市场使用率更低。

从材料厂家的开发成本差异来看，成束燃烧阻燃D级材料的成本并没有比阻燃C级明显降低，结合使用量少、仓储管理成本等因素，几乎无开发和量产的必要性，而GA 306中多达12个级别，各级别材料的成本差异更小，开发如此繁多的品种并不经济，现实的供需业务常用做法是以高级别材料代替低级别材料。

综上，无论从市场选择、材料厂家开发的角度，多种分级对于电线电缆制造厂家来说，选择性开发相应燃烧性能级别的产品，如：市场接受度高的成束燃烧阻燃C类、B₁级和阻燃Ⅰ级、Ⅱ级的产品，是一种更适宜的方式。

4.3 差异化的设计思维

对于燃烧性能类产品，即便是同一类别的产品，也存在一定的差异，在设计时也要应用差异化的设计思维。

(1) 成束燃烧阻燃A类的产品，通常采用低烟无卤阻燃聚烯烃材料，需要氧指数达到32以上，但固定布线用单芯类，尤其是小截面规格，燃烧不容易通过，因此小截面规格要使用氧指数35甚至更高的材料。

(2) 产品结构不同时, 加工方式的变化也会影响绝缘的机械性能, 如增加云母带耐火层, 挤出方式采用挤管式后, 无卤类材料的伸长率测试值可能会降低, 需要使用机械物理性能更高的原材料。

(3) 对于B₁级产品的设计, 有屏蔽结构的可降低隔氧层的厚度甚至取消隔氧层, 因为屏蔽层已起到一定的隔绝作用。

4.4 归一而统的标准化

以满足燃烧性能为例, 产品的材料和结构都会与常规产品存在差异, 即现有的产品标准已不再适用于新产品, 如: GB/T 5023-2008《额定电压450/750V及以下聚氯乙烯绝缘电缆》第3部分和第5部分中60227 IEC 01(BV)型、60227 IEC 53(RVV)型号的产品, 增加燃烧B₁级性能和耐火性能, 便需要将原来的绝缘和护套材料由聚氯乙烯材质改成无卤低烟阻燃聚烯烃材质, 结构中也需要增加耐火层, 而新产品便不再适合用GB/T 5023作为执行标准。

行业内有采用两种标准并用的简单方式, 即同时采用GB/T 5023和GB 31247, 此种方式是不合适的, 因为GB/T 5023中规定了聚氯乙烯材质的机械性能、绝缘电阻等, 并未对无卤低烟阻燃聚烯烃材质的性能做出相应规定, GB 31247也未规定, 而这些性能对新产品来说又是必不可少的。

以60227 IEC 01(BV)型产品满足上述性能要求为例, 新产品的技术规范或企业标准可采取下述方式制定。

(1) 原材料的选择。导体材质采用符合GB/T 3956第1种或第2种导体, 绝缘材料采用无卤低烟阻燃聚烯烃材质、耐火材料可选择云母带。

(2) 结构的设计。导体和绝缘层之间应绕包两层云母带; 绝缘厚度可沿用原厚度。

(3) 性能参数的设计。导体电阻符合GB/T 3956规定; 绝缘电阻可参考GB/T 5023.2中的原则计算得出; 绝缘的物理机械性能可参考引用GB/T 9330.3-2008《塑料绝缘控制电缆 第3部分: 交联聚乙烯绝缘控制电缆》同类材质的指标或JB/T 10707-2007《热塑性无卤低烟阻燃电缆料》; 燃烧性能可引用GB 31247标准。

(4) 参数验证: 通过上述性能指标采用的试验方法进行相关试验反复验证, 必要时, 可调整上述材料和结构, 直至各指标参数得到试验验证。

(5) 根据GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分: 标准化文件的结构和起草规则》进行技术文件和标准的编制。

5 结语

在机场、会议中心、展览中心、剧院、室内体育场等人员密集的场所, 因过负荷、短路、接触电阻过大引发火灾时, 为防止火势不会顺着线缆扩散到其他空间, 保证整个建筑环境的安全是电线电缆最核心要求。如果电线电缆的燃烧性能出现了问题, 将会给整个建筑环境带来极大的安全隐患。阻止燃烧, 就是守护生命。因此本文通过对常用标准的燃烧性能进行差异化分析和应用研究, 希望电线电缆领域的相关企业在制定技术规范或企业标准时, 应当从新产品的材料、结构以及相应的燃烧性能等方面做出全面明确的规定, 为安全可靠使用电线电缆提供科学依据。

参考文献

- [1] ISO 13943:2017 Fire safety—Vocabulary[S]. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:13943:ed-3:v1:en>, 2017/2023-01-28.
- [2] GB/T 19666-2005 阻燃和耐火电线电缆通则[S].
- [3] GB 31247-2014 电缆及光缆燃烧性能分级[S].
- [4] GA 306.1~306.2-2001 阻燃及耐火电缆: 塑料绝缘 阻燃及耐火电缆分级和要求[S].
- [5] GB/T 19666-2019 阻燃和耐火电线电缆通则[S].
- [6] GA 306.1-2007 阻燃及耐火电缆: 塑料绝缘 阻燃及耐火电缆分级和要求 第1部分: 阻燃电缆[S].
- [7] GA 306.2-2007 阻燃及耐火电缆: 塑料绝缘 阻燃及耐火电缆分级和要求 第2部分: 耐火电缆[S].
- [8] 杨亮, 赵婧, 李玮瑜. 电线电缆燃烧性能分级体系与试验研究[J]. 消防科学与技术, 2017, 36(6): 748~749.
- [9] GB 50217-2018 电力工程电缆设计标准[S].
- [10] GB 8624-2012 建筑材料及制品燃烧性能分级[S].