

国外粉尘防爆标准体系研究

任常兴

(公安部天津消防研究所,天津 300381)

摘要:分析了欧盟(EN、CEN)、美国(NFPA、ASTM)、德国(VDI)标准化组织关于可燃粉尘防爆标准体系的构成及特点,综述了各国粉尘燃爆参数测试标准及测试设备,并给出了粉尘爆炸性评估程序。从惰化、抑爆、泄爆、隔爆、抗爆等粉尘爆炸预防及防护技术标准方面进行对比分析,探讨了标准体系的发展趋势,对我国粉尘防爆标准体系的发展具有借鉴意义。

关键词:粉尘爆炸;防爆;标准体系

中图分类号:X921, X928.1 **文献标志码:**A

文章编号:1009-0029(2013)10-1156-04

从世界范围来看,加工工业粉尘爆炸的严重性和危害程度与蒸气云爆炸和沸腾液体扩展蒸气爆炸几乎相当,往往造成重大人员伤亡和巨大经济损失,如2010年秦皇岛骊骅淀粉股份有限公司“2·24”粉尘爆炸事故,造成19人死亡,49人受伤,直接经济损失1773万。随着粉体相关工业向机械化、规模化发展,可燃粉尘爆炸事故呈上升趋势,工业化国家几乎每天至少发生一起粉尘爆炸事故。为预防和防护粉尘爆炸,各国都建立了相关的粉尘防爆标准体系,主要从粉尘惰化、抗爆、泄压、抑爆、隔爆等方面给出具体设计及预防技术要求,而粉尘爆炸参数是进行粉尘防爆设计的基础。

1 国外粉尘防爆标准发展概况

20世纪初欧美等发达国家首先开始对粉尘爆炸开展研究,20世纪40年代中期德、美等国建立了粉尘防爆相关标准规范;20世纪70至80年代粉尘防爆研究快速发展,开展了一系列大中型爆炸试验,防爆方法与标准趋于统一,IEC与ISO防爆标准陆续出台;20世纪90年代以来,欧洲标准化委员会设立了一系列粉尘爆炸的研究项目,成立了CEN/TC 305“爆炸性气氛危险区爆炸预防与防护标准技术委员会”(简称非电气防爆标委会),形成了统一的欧洲标准。

目前,国际上广为采用的是德国VDI系列涉及粉尘防爆的标准以及美国NFPA 68系列涉及粉尘防爆的标准,我国现有粉尘防爆系列标准多修改采用这些粉尘防爆标准体系。其中,美国防火协会(NFPA)的相关粉尘防爆标准体系相对比较完善且更新及时。

2 粉尘爆炸参数测试标准及防爆评估

对于粉尘火灾爆炸安全性的研究和评估主要基于粉

尘爆炸性测试试验标准,并在此基础上开展防爆安全性设计,采取预防和控制粉尘爆炸技术措施。本质安全设计通过在工艺上的改进,从根本上消除或减少粉尘爆炸的频率,限制粉尘爆炸的危害。Kletz最先提出本质安全防爆的概念和基本方法,Amyotte和Khan针对粉尘处理工艺提出了采用本质安全防爆进行粉尘防爆的框架。基于火灾三角原则,引起火灾需要燃料、氧化剂和足够的引火源三个基本要素,而粉尘爆炸还需要具备另外两个条件:粉尘和空气混合、形成粉尘云爆炸性环境,即为粉尘爆炸五边形。

欧盟、德国和美国等标准化组织关于粉尘爆炸性参数的测定主要包括粉尘云最低着火温度(Minimum Ignition Temperature of dust Cloud, MIT-C)、粉尘层最低着火温度(Minimum Ignition Temperature of dust Layer, MIT-L)、粉尘云最小点火能(Minimum Ignition Energy, MIE)、粉尘云爆炸下限(Minimum Explosion Concentration, MEC)、粉尘云最大爆炸压力(Maximum Explosion Pressure, MEP)、粉尘云最大爆炸压力上升速率(Maximum Rate of Pressure Rise, MRPR)、粉尘云最大爆炸指数(Maximum Explosion Index, MEI, Km)、粉尘云极限氧体积分数(Limiting Oxygen Concentration, LOC)和粉尘可燃性分类(Burning Classification, BZ)等。

20 L球爆炸测试装置和1立方爆炸测试装置都是国际上通用的爆炸性参数测试装置,主要测试可燃粉尘的爆炸下限、最大爆炸压力及最大爆炸压力上升速率、爆炸指数和极限氧体积分数等。关于粉尘云爆炸下限的测试标准主要有GB/T 16425《粉尘云爆炸下限浓度测定方法》、IEC 61241-2-4《存在可燃性尘埃时的电气设备 第二部分 测试方法 第四节 粉尘最低爆炸浓度测试方法》、EN 14034-3《粉尘云最低爆炸下限测试方法》、EN 50281-2-4《存在可燃性尘埃时的电气设备—测试方法—最低爆炸浓度测定方法》和ASTM E 1515-07《可燃粉尘最低爆炸浓度测定方法》等;粉尘云最大爆炸压力、最大爆炸压力上升速率及爆炸指数的测试标准主要有GB/T 16426《粉尘云最大爆炸压力和爆炸指数测定方法》、ISO 6184《爆炸防护系统 空气中可燃粉尘爆炸指数测定方法》、EN 14034-1《粉尘云最大爆炸压力测试方

法》、EN 14034-2《粉尘云最大爆炸压力上升速率测试方法》和 ASTM E 1226-05《可燃粉尘爆炸压力和爆炸压力上升速率测定方法》等；粉尘云极限氧浓度的测试标准包括 EN 14034-4《粉尘云极限氧浓度测试方法》、ASTM E 2079《气体和蒸气中极限氧(氧化剂)浓度的标准试验测定方法》等，国内正在制定相关的测试标准。

粉尘层电阻率测试标准涉及 GB/T 16427《粉尘层电阻率测定方法》、IEC 61241-2-2《存在可燃性尘埃时的电气设备 第二部分 测试方法 第 2 节 粉尘层电阻率的测定方法》和 EN 50281-2-2《存在可燃性尘埃时的电气设备—测定方法—粉尘层电阻率测定方法》等，采用标准的试验槽测试。粉尘云最小点火能测试标准包括 GB/T 16428《粉尘云最小着火能量测定方法》、IEC 61241-2-3《存在可燃性尘埃时的电气设备 第二部分 测试方法 第三节 粉尘空气混合物最小点火能测定法》、EN 50281-2-3《存在可燃性尘埃时的电气设备—测试方法—粉尘空气混合物最小点火能测定方法》、EN 13821《粉尘空气混合物最小点火能测定方法》和 ASTM E 2019-03《空气中粉尘云最低点火能标准测定方法》等，测试设备为 20 L 球或 1.2 L 哈特曼管。粉尘云最低着火温度测试标准包括 GB/T 16429《粉尘云最低着火温度测定方法》、IEC 61241-2-1《存在可燃性尘埃时的电气设备 第二部分 测试方法 第一节 粉尘最低引燃温度测定法》、EN 50281

-2-1《存在可燃性尘埃时的电气设备—测试方法—最低点火温度测定方法》和 ASTM E 1491-06《粉尘云最低自燃温度标准测定方法》等，测试设备为 G-G 炉。粉尘层最低着火温度测试标准涉及 GB/T 16430《粉尘层最低着火温度测定方法》、IEC 61241-2-1、EN 50281-2-1 和 ASTM E 2021-06《粉尘层热表面引燃温度标准测定方法》等，采用热板测试。德国标准 VDI 2263 Part 1《第 1 部分 粉尘安全性特征测试方法》关于粉尘层测试包括易燃性、燃烧性分级、最低引燃温度、自燃温度、发热分解性、爆炸特征和碰撞敏感性等 7 类，粉尘云测试包括爆炸下限、爆炸压力及爆炸压力上升速率、爆炸指数、极限氧浓度、最小点火能和引燃温度等 7 类参数。关于可燃粉尘分类的测试标准为 VDI 2263 Part 1 和 ISO 6184，定性分为 6 级或 3 级。此外，EN 15188 是堆积粉尘自燃测试标准。可知，我国关于可燃粉尘爆炸性参数的测试方法与欧盟、德国和美国等标准化组织基本保持一致，但仍缺少粉尘云极限氧浓度测试方法、粉尘可燃性分类以及碰撞敏感性等测试标准。

可燃粉尘的爆炸性参数与粉尘的组成、粒度分布和湿度相关，粉尘爆炸危险性评估时文献中的数据只能作为参考，必须进行实际测试来确定其爆炸性参数，进而开展防爆安全设计。粉尘燃爆特性评估及系列标准体系，如图 1 所示。

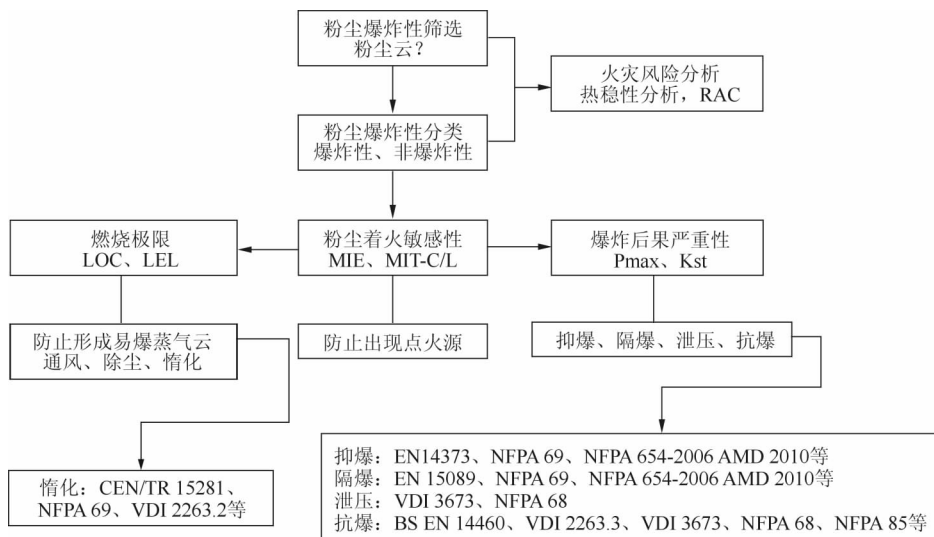


图 1 粉尘爆炸性评估分析及相关防爆标准

依据 NFPA 499:2013《可燃粉尘分类和化工工艺区电气安装分类推荐做法》，粉尘云引燃温度 MIT、最小点火能 MIE 和爆炸下限浓度 MEC 主要表征其燃爆敏感性，以点火敏感性指数表示；粉尘云最大爆炸压力 MEP 和最大爆炸压力上升速率 MRPR 主要表征其爆炸后果严重度，以爆炸严重度指数表示。以点火敏感性指数与爆炸严重度指数的乘积来表征可燃粉体的整体危险性，反映了可燃粉尘的相对燃爆危险性水平。

3 粉尘防爆标准体系及特征

关于粉尘防爆标准体系，国际上以美国、德国最为权威，美国以 NFPA 粉尘防爆标准体系为主，德国为 VDI 系列粉尘防爆标准体系。此外，欧盟也形成了一套防爆标准体系，基本与德国 VDI 类似，考虑不同国家的承受水平有技术要求上的细微差别。总体来看，国外粉尘防爆标准主要包括基础性通用标准、行业领域粉尘防爆技术标准、防爆产品技术与管理标准等，如图 2 所示。

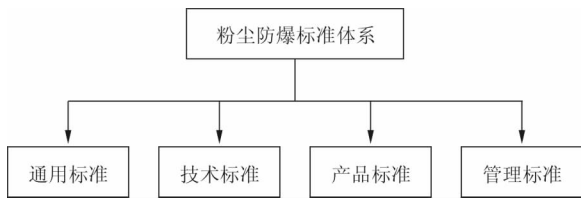


图2 粉尘防爆标准体系

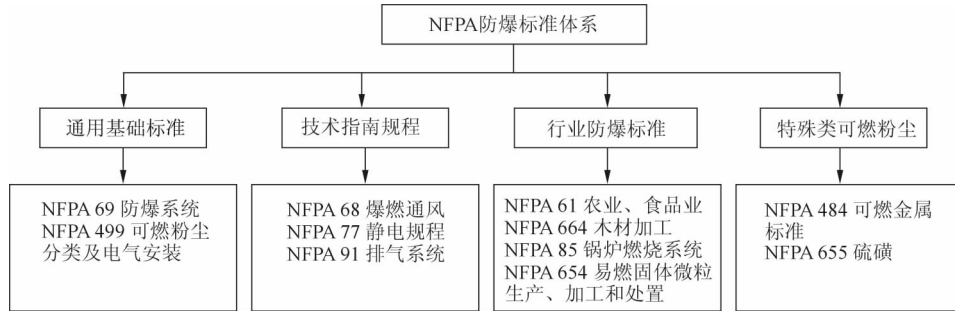


图3 NFPA 防爆标准体系

NFPA 防爆标准体系具有下述特点：

(1)以 NFPA 69 通用基础类防爆标准为主,易燃易爆物质包括可燃气体、可燃蒸气、可燃薄雾、可燃粉尘或其混合物,是爆炸性环境的总体防爆基本要求,爆炸预防技术主要基于火灾三要素进行预防,爆炸防护技术包括抑爆、隔爆和抗压设计要求,也给出了被动防爆产品的技术要求以及防爆系统的安装、监控和维护要求。

(2)防爆技术规程或指南,以 NFPA 68 为主,主要是可燃气体通风和可燃气体、薄雾及可燃粉尘或混合物爆炸泄压系统的设计、位置及安装要求,也涉及系统的监测和维护。其他通用技术类规程如 NFPA 77《静电防护推荐做法》、NFPA 91《输送水蒸气、气体、雾气和不可燃固体颗粒的排气装置》等。

(3)行业标准主要是农业、食品业、木材加工业、锅炉系统及易燃固体微粒生产、加工和处置等防爆行业规程。

(4)特殊类可燃粉尘防爆,如 NFPA 484《可燃金属、金属粉末和金属粉尘》和 NFPA 655《硫磺火灾爆炸预防》等防爆技术要求。

总体来看,NFPA 防爆标准体系以系统整体防爆规范 NFPA 69 为主,强调爆炸性环境的综合防爆技术要求,对防爆泄压及特殊类可燃粉尘给出专门的防爆标准规范,同时对易发生粉尘爆炸的行业给出防爆技术规程。

3.2 德国 VID 标准系统

德国关于粉尘防爆标准体系以 VDI 3673《粉尘爆炸泄压》和 VDI 2263 为主。其中,VDI 3673 是关于粉尘爆炸泄压的标准,我国 GB/T 15605—2008《粉尘爆炸泄压指南》与该标准技术内容基本一致。VDI 2263 为系列标准,现有 9 个部分,主要是关于粉尘火灾爆炸危险性、评估及预防措施的标准要求,也涉及粉尘危险性测试方法。其防爆标准体系框架如图 4 所示。

3.1 美国 NFPA 标准系统

美国的 NFPA 防爆标准体系以 NFPA 68《爆炸泄压指南》、NFPA 69《爆炸防护系统》通用基本类标准为主,包含了可燃气体、蒸气及可燃粉尘的通风及防爆技术要求,同时对特殊可燃粉体及行业防爆给出了具体防爆规程及相关技术要求,其防爆标准体系如图 3 所示。

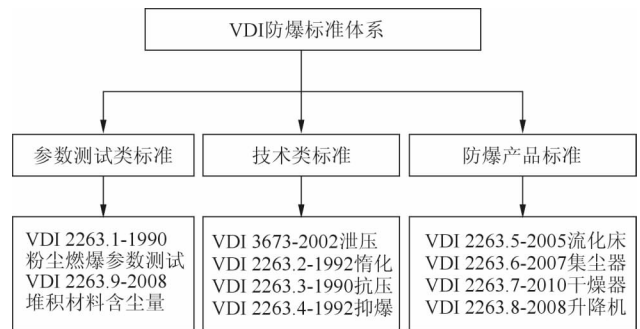


图4 VDI 粉尘防爆标准体系

VDI 标准体系的特点如下：

(1)呈系列标准,涉及粉尘燃爆危险性参数测试方法类标准、防爆技术类标准和防爆产品类标准等。

(2)粉尘防爆技术类标准包括泄压、惰化、抗压、抑爆等系列标准,内容涉及粉尘爆炸危险性分析、评估方法及预防技术措施的相关要求。

(3)粉尘防爆产品类标准给出了关键设备的防火防爆要求及检测、验证方法,并附有实例说明,更直观,操作性强。

(4)部分防爆标准基于爆炸性环境防爆要求,包括可燃气体和可燃粉尘。

3.3 欧盟粉尘防爆标准体系

欧盟的标准主要是防爆技术和防爆产品类标准,其中多数防爆标准不区分可燃气体或可燃粉尘,可能涉及可燃粉尘—空气混合物、气体(蒸气)—空气混合物、可燃粉尘—气体(蒸气)—空气混合物和雾状物等,是针对爆炸性环境的防爆技术要求和系统评估及效果检验考核标准。其中,爆炸性环境防护系统评估类标准为防爆系统评估提供了技术方法。欧盟防爆标准体系如图 5 所示。

4 结束语

(1)粉尘爆炸危险性测试标准及主要测试参数各国

基本一致,主要包括爆炸下限、极限氧浓度、最小点火能及引燃温度等,而我国还缺少关于粉尘极限氧浓度的测试标准。关于爆炸性环境的压力、温度等因素影响规律的研究一直是热点,建立权威共享的可燃粉尘爆炸性参数数据库是非常必要的基础性工作。

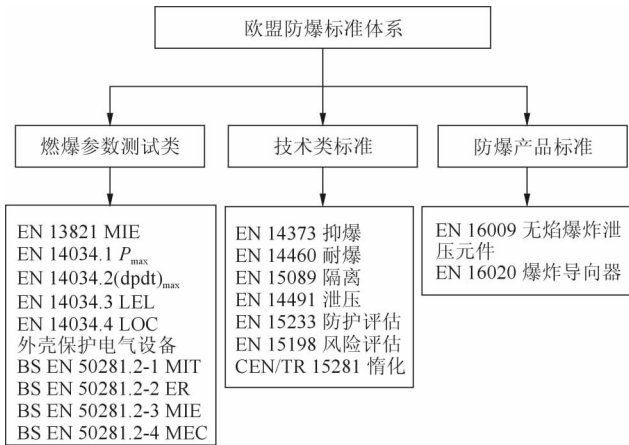


图5 欧盟粉尘防爆标准体系

(2)爆炸性环境预防及防护措施的技术要求标准不再区分是可燃气体还是可燃粉尘环境,多涉及可燃粉尘—空气混合物、气体(蒸气)—空气混合物、可燃粉尘—气体(蒸气)—空气混合物和雾状物等爆炸性环境,防爆技术包括惰化、泄压、抑爆、隔爆和耐爆等多种组合。

(3)国外爆炸性环境及防护设备安全性评估类标准在逐渐发展,对防爆系统有效性评估及检验非常必要,我国在这一领域相对比较匮乏。

(4)德国 VID 系列防爆标准涉及危险性分析、风险评估及预防技术措施,部分标准附有实例,其应用性及可操作性强,我国相关粉尘防爆标准的制修订可以借鉴。

参考文献:

[1] Tasneem Abbasi, S A Abbasi. Dust explosions - Cases, causes, consequences, and control[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 140:7-44.

[2] R K Eckhoff. Dust explosions in the process industries [M]. USA: GulfProfessional Publishing, 2003.

[3] Holbrow P, Lunn G A, Tyldesley A. Explosion venting of bucket elevators [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2002, 15:373-383.

[4] J Gummer, G A Lunn. Ignitions of explosive dust clouds by smouldering and flaming agglomerates [J]. J. Loss Prevent. Process Ind, 2003, (16):27-32.

[5] R K Eckhoff. Partial inerting—an additional degree of freedom in dust explosion protection [J]. J. Loss Prevent. Process Ind, 2004, (17):187-193.

[6] ISO 6184/1-1985, Explosion protection systems. Method for determination of explosion indices of combustible dusts in air[S].

[7] NFPA 499, Recommended practice for the classification of combustible dusts and of hazardous (classified) locations for electrical in-

stallations in chemical process areas[S].

[8] NFPA 68-2007, Guide for venting of deflagrations[S].

[9] NFPA 69-2008, Standard on explosion prevention systems[S].

[10] VDI 2263 Part 1-1990, Test methods for the determination of the safety characteristic of dusts[S].

[11] VDI 3673-2002, Pressure release of dust explosions[S].

[12] VDI 2263 Part 2~Part 9, Dust fires and dust explosions[S].

[13] 谷庆红. 粉尘防爆标准体系的建设[J]. 劳动保护, 2007, (3):16-18.

[14] 韩伟平,姚松经,马恒,等. 我国消防标准体系建设浅议[J]. 消防科学与技术, 2006, 25(6):762-764.

[15] 徐伟,邱宣振. 国内外防爆标准对照和认证及推广的新形式[J]. 医药工程设计, 2007, (2):56-61.

[16] 李书朝. 俄罗斯防爆标准与 IEC 防爆标准的主要差异——通用要求和本安型[J]. 电气防爆, 2004, (3):11-17.

[17] 毛星. NIST 发布新的防爆标准[J]. 消防科学与技术, 2010, 29(8):725.

[18] 申金永,奚凯. VDI3673 防爆标准在煤粉仓设计中的应用[J]. 水泥工程, 2008, (1):33-34.

Discussion on the oversea standard system for dust explosions prevention and protection

REN Chang-xing

(Tianjin Fire Research Institute of MPS, Tianjin 300381, China)

Abstract: In this paper, it was introduced and overviewed on the standard system of dust explosions prevention and protection abroad, including CEN, EN, VDI, ASTM and NFPA, and their structure and characteristics were analyzed and discussed. Moreover, measurement of explosion characteristics of duct was reviewed, and the assessment procedure of dust explosion was presented. The rest of the review was focused on the contrastive analysis of different standards system of dust explosions prevention and protection from the way of dust inerting, explosion suppression, explosion venting, explosion isolation, explosion containment and so on, and the development of standard system was also described. This paper has some reference value to Chinese standard system of dust explosions prevention and mitigation.

Key words: dust explosion; explosion prevention and protection; standard system

作者简介:任常兴(1979—),男,河北临城人,公安部天津消防研究所助理研究员,主要从事风险评估、防火防爆安全技术研究,天津市南开区卫津南路 110 号,300381。

收稿日期:2013—06—07