

粉体工业静电防护技术研究进展^{*}

周本谋^{1, †} 刘尚合² 范宝春¹

(1 南京理工大学动力学院 南京 210094)

(2 军械工程学院静电研究所 石家庄 050003)

摘要 粉体静电灾害涉及面广、危害大,开发合理的粉体静电防灾技术是国民经济发展过程中需要解决的热点问题之一。近年来,粉体静电测试研究方法、粉体静电起电与放电研究方法、粉体静电危险性评价方法、粉体静电危险性分级理论等研究工作取得了较好的研究成果。根据粉体静电现实危险性量化分析的结果而采取的粉体防静电灾害技术措施,为粉体工业生产提供了一定的安全保障。

关键词 静电防护,粉体工业,危险性评价,安全技术,研究进展

Recent developments in electrostatic protection technology for the powder production industry

ZHOU Ben-Mou^{1, †} LIU Shang-He² FAN Bao-Chun¹

(1 Institute of Power Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

(2 Institute of Electrostatic Technology, Institute of Ordnance Engineering, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract Powder electrostatic hazards may cause large scale disastrous accidents, so their prevention is an important research topic for the development of the national economy. In recent years there has been much progress in the measurement of powder electrostatics, studies of powder electrostatic charging and discharge sparking, powder electrostatic hazard assessment, and the classification theory of powder electrostatic hazards. Preventive safety measures have been developed based on quantitative analysis of the actual hazards encountered during the process of powder handling, and these technological improvements have greatly benefited the powder industry.

Key words electrostatic protection, powder industry, hazard assessment, safety technology, research development

1 引言

随着全球工业化进程的加快,生产粉尘、粉末和颗粒状物质的粉体工业迅猛发展。改革开放二十多年来,我国粉体工业生产规模迅速扩大,发展速度前所未有。以石油化工业聚烯烃粉体生产为例,1982年全国年产量不足100万吨,1989年则突破了200万吨大关,1996年年产量达到320万吨;近年来,我国合成树脂和塑料年产量仍然保持20%的增长速度。如煤炭、冶金、纺织、粮食等其他行业涉及粉体工

业的生产规模亦以年产量增长速度超过15%的态势呈规模化发展趋势。与此同时,粉体工业生产中引起的爆炸和燃烧事故也迅速增多。如哈尔滨亚麻厂粉尘爆炸事故,广东新港粮食储仓粉体爆炸事故均发生在20世纪80年代初期。据统计资料分析,随着我国经济发展速度的加快,粉体爆炸与燃烧事故越来越频繁。以粉尘爆炸统计数据资料为例,我国自1960年至1989年30年间,发生粉尘爆炸次数按年

^{*} 国家自然科学基金(批准号:19832030)资助项目
2003-11-24收到初稿 2004-04-15修回

[†] 通讯联系人, E-mail: zhoubenmou@sina.com

代百分比的分布为:1960年至1969年占总数的9.37%,1970年至1979年占总数的3.13%,1980年至1989年占总数的87.50%。此数据充分表明,粉体事故与国民经济发展规模之间有着密切的联系,同时也说明了粉体防灾技术研究的意义与作用。上述粉体灾害事故和其发展态势引起了人们的极大关注,对我国经济发展和社会稳定造成了较大的影响,我国政府和有关行业主管部门及相关的研究单位对此类灾害事故高度重视^[1,3]。这些因素对促进和加强我国粉体工业防灾技术研究工作,对防粉体灾害技术的应用推广和进一步落实企业的专项整改与治理措施等方面都起到了积极的推动作用。

统计资料显示,粉体工业灾害事故与粉体静电密切相关^[1-4]。从一组引起粉体灾害事故(粉尘爆炸)的点火源数据统计百分比分析可知:由热表面引爆的占38.71%,由明火引爆的占32.26%,由静电与电气火花引爆的占16.13%,其他因素引爆的占12.90%。由此可见,在粉体工业生产过程中,由于静电与电气火花引起粉尘爆炸事故的比例是比较大的,其中静电的危害已到了必须引起人们高度重视的程度。事实上,在人类现代生产和生活活动中,静电存在的范围很广。静电在给我们带来极大便利的同时(如静电复印、静电除尘、静电喷涂、静电成像、静电生物效应和纳米材料制备等),也给人类社会带来了各种各样的麻烦甚至引发灾难性事故。正因为静电事故遍及矿业、冶金、石油化工、纺织、医药、粮食加工与储运、交通运输、航天航空、通讯与军工等行业,所以对静电灾害与防护技术的研究一直是现代社会关注的热点课题之一^[3,4,6]。

在众多的静电研究课题中,由于粉体静电灾害问题涉及专业面广,致灾过程复杂,模拟实验难度大,费用高等原因,所以相对于现代静电研究的其他领域而言,粉体静电灾害的研究在其起电机理、致灾条件和防范对策等方面相对滞后。虽然粉体静电防灾领域需要研究解决的问题很多,但自20世纪50年代以来,这方面的研究进展一直不大,其研究水平远远落后于液体防静电灾害等技术研究,与实际要求存在较大的差距。然而从Maurer(1979年)报道了粉体大料仓堆表面放电现象之后,以瑞士Ciba公司和英国南开普敦大学为中心,在国际上迅速形成了一个以粉体工业生产实际尺度的粉体静电放电问题为研究对象的研究热点,并进一步提出了一些与生产过程密切相关的防静电规范或建议。与此同时,德国、瑞士、挪威、波兰及前苏联等欧洲防爆委员会

成员国,以及我国、日本、美国等国的相关部门和研究单位,也相继开展了超细粉尘和非标准条件下的燃烧与爆炸实验、静电场分析计算及粉体起电、放电等理论与实验研究工作。这些研究工作极大地丰富了人们对粉体静电危险性的认识,特别是与工业控制和安全评价有关的粉体静电研究结果,对粉体工业安全生产具有十分重要的意义和指导作用^[1,4,7]。

2 粉体静电灾害概况

现代工业生产过程中的粉体是粉尘、粉末及颗粒状物质的总称。一般而言,我们将粒径 $d > 0.5\text{mm}$ 的物质称作颗粒;将粒径 d 在 $100\mu\text{m}$ 和 0.5mm 之间的物质称作粉末;将粒径 $d < 100\mu\text{m}$ 的物质称作粉尘,此类物质基本上具有正常状态下在空气中飘扬的特征。统计与实验资料表明,可燃性粉尘大多数属易燃易爆物质,其燃爆事故占粉体灾害事故的60%以上。粉尘本身的静电放电火花即可成为其点火源。可燃性粉末与颗粒虽然能燃烧,但是一般难以形成爆炸性混合物,然而其静电放电或热表面等危险因素可能成为可燃性、可燃粉尘及其杂混合物等易燃易爆物质的点火源。对于非可燃性粉体而言,其静电危险性主要表现在这类物质的静电放电火花可能成为生产过程中其他易燃易爆物质的点火源^[2,4]。

粉末与颗粒粉体粒径较大,在生产过程中单个粒子的带电量也大。在一定的条件下,聚合物粉体大料仓中可能发生堆表面放电和传播型刷形放电,此类静电放电的放电能量大,足可以点燃一般的可燃粉尘。大多数粉尘中固体物质的粒径约为 $1\text{—}100\mu\text{m}$,含分子数为 $10^4\text{—}10^6$,因此小而轻且比表面积大。带静电的粉尘可漂浮于空气中,也极易吸附在物体表面上。漂浮的带电粉尘的灾害可以产生闪电状静电放电,如火山喷发时可经常看到的火山灰粉尘闪电,大气中悬浮的尘埃使大气能见度大为降低,容易引起各类交通事故。带电粉尘的吸附性亦有较大的危害。粉尘吸附在植物的叶面和躯干上会影响其生长,给人类的农业、林果业生产等造成损失;金属表面的粉尘可促使其加速腐蚀;粉尘的沉降或吸附使各种建筑物遭受污染、腐蚀加速,使许多传感器中毒、失效,使诸如集成电路等高精细材料、器件无法制造和使用,可以导致机器停运、电路短路等事故。如此种种,关于粉体静电的危害不胜枚举,而其中最具破坏性和灾难性的就是粉尘爆炸,它会造成突发的、一次性损失严重的人身伤亡和财产损失等

事故.

德国自 1940 年起的 50 年间,与静电相关的重大粉体爆炸事故有斗式提升机滑槽中燕麦糠爆炸,碾碎机内的制粉半成品爆炸,斗式提升机滑槽中高梁(含粉尘多)爆炸,斗式提升机中高梁粒爆炸和粉体料仓中高分子聚合物爆炸.据日本劳动省产业安全技术研究所对 1952 年至 1975 年期间日本所发生的 177 起损失较为严重的粉尘爆炸事故点火源的调查分析可知,最多的点火原因是机件或装置中的金属异物摩擦撞击而引起的热表面和撞击火花(37 起),其次就是静电引起的放电火花(29 起).因此,引起粉体爆炸的原因与静电放电有一定的联系.

从我国石油化工有限公司近几年来 40 起聚烯烃粉体料仓燃爆事故统计资料可知,这 40 起粉体料仓燃爆事故的点火源,基本可以认定是粉体自身的静电放电火花.事实上有关高分子聚合粉体的静电危险性研究,尤其是粉体气力输送和粉体大料仓的防静电危害问题是近二十年来国际范围内静电防灾研究领域中的热门课题之一.聚合物粉体绝缘程度很高,生产过程中粉体的起电量可达 10^{-7} — 10^{-4} C/kg,静电泄漏缓慢,生产过程中的粉体往往会积聚很高的电荷.这种静电的积聚会给粉体生产带来两类危害:一类是带电粉体粒子之间,粒子与管壁、容器之间的静电力作用,给生产带来各种障碍与危害;另一类是电荷的积累能够产生很强的静电场,从而导致各种类型的静电放电发生,或引起火灾和爆炸事故,或引起人体电击事故而导致二次事故发生.

3 粉体静电危险性评价方法研究发展概况

通过对静电放电火花实际点燃危险性量化分析研究,近年来已经取得了可用于对粉体实际生产过程中的静电危险性进行定量评价的研究结果.建立在静电点燃现实危险性基础上的静电放电火花点燃危险性的量化分析理论,相关的静电参数测试方法,生产工艺过程现场数据取样和评价技术,促使粉体实际生产过程中的静电危险性定量评价技术日趋完善,有关研究和管理部门已经将相关研究结果应用于具体的生产实际^[4-7].

3.1 粉体起电机理研究

粉体是特殊状态下的固体物质,其静电起电过程遵循固体的接触起电规律.目前,人们对金属-金

属、金属-半导体的接触起电机理研究结果已经达到实用化水平的要求.然而对于高分子聚合物材料的起电机理研究而言,由于聚合物内部结构的复杂性以及起电机理性实验结果的重复性不好等原因,对其起电机理性的研究方法尚在不断的完善之中^[8].然而,对于粉体工业生产中粉体气力输送的粉体静电起电问题,人们结合两相流动力学理论、电介质物理学、粒子介质之间的相互作用等理论研究,近年来已经分析总结出了一些可用于实际分析的有关粉体起电的半经验公式^[9,10].

3.2 粉体静电参数测试技术

有关粉体状物质的静电参数(电阻率 ρ 、介电常数 ϵ 、电位 U 、电场强度 E 及电荷密度 q 等)的实验室测量,从理论分析到测试方法都比较成熟,有些测试方法和具备防爆条件的测量仪表也已经直接应用于实际生产场所的粉体静电参数的数据测试^[11,12].近年来,人们可以在工业尺度的大型粉体模拟装置上设置粉体静电试验,方便、高效地测试粉体静电参数,便利开发、试用防粉体静电灾害的技术和产品,这为进一步深入研究与解决粉体静电问题提供了实验手段上的保证.相关科研单位研究开发的非接触式管道粉体静电电荷密度测量仪,在完善防爆设计后即可应用于粉体工业输送与储运系统的粉体静电监测^[13].粉体、聚合物电荷空间分布的测量方法研究也有了较好的研究结果.几十年来,人们已经积累了大量的有关粉体方面的静电参数,从相关的基本静电参数到实际生产中不同性质的粉体起电参数都比较全面.

3.3 粉体起电、放电特性(包括辐射场)研究

人们在小、中、大型粉体静电模拟实验装置上,尤其是工业尺度的粉体模拟试验装置上成功地模拟了电晕放电、刷形放电、火花放电、堆表面放电及传播型刷形放电等典型的粉体生产中存在的静电放电现象,使有关粉体的静电危险性研究水平上了一个大的台阶^[14,15].在这些极为有效的试验设备上,人们成功地测定了粉体的起电量,研究了粉体的起电特性,综合研究了粉体料仓的粉体电荷密度、荷质比、放电电荷转移量、料仓内的电势分布与电场强度的分布特点、粉体放电间隔特点、放电信号频率等对于粉体静电危险性评估有重要价值的相关物理量^[7,16,17].通过大量的静电放电测试试验,统计、研究、探讨和总结了粉体工业生产中可能发生的不同类型静电放电的辐射场特性,其试验研究数据为粉体工业生产现场检测与监测仪表的电磁兼容性设计

提供了有价值的数据;同时结合气体等介质的击穿理论,建立了典型的静电放电理论模型^[17-19]。

3.4 可燃物质的燃爆特性研究

自20世纪80年代中、后期起,标准条件下(标准实验样品、标准测试条件)可燃粉体、可燃气体及其杂混合物的燃爆特性参数的测试方法和测量仪器,已经基本上达到了国际标准化。所以有关可燃物在标准状态下的最小点火能、爆炸极限、最小点燃温度、最大实验安全间隙、自燃温度、闪点、极限氧浓度等数据,基本上都可以从标准出版物上引用。近年来,有关非标准状态和非标准条件下的可燃物质燃爆参数研究,人们从实验和理论分析两方面作了不少的工作^[19,24,33]。非标准粒径粉尘最小点火能与粉尘中位粒径的关系,杂混合物最小点火能与可燃气体浓度的关系,粉尘最小点火能与温度的关系,负压条件下可燃物爆炸极限的变化,高压条件下可燃物自燃温度的变化等对实际安全评价有重要意义的燃爆参数数据库,也在积极完善之中。结合气力两相流动理论和燃烧反应动力学理论,借鉴比较完善的可燃气体燃烧理论,初步建立了粉尘、杂混合物(粉尘,可燃气)燃烧理论分析模型^[20-23]。

3.5 粉体静电放电点燃特性研究

粉体静电放电火花的火花时间特性和空间分布特征、形成放电的初始条件和放电电荷转移量等点火源因素,可燃物质的燃爆特性参数都对粉体静电放电的实际点燃能力有影响。近年来,人们将研究重点放在粉体料仓内粉体静电放电的点燃能力研究上,但由于研究手段上的原因,只能将料仓内的放电通过环形收集电极引出,在放电区以外的极隙内做点燃实验。这样由实验所得到的放电相当能量 E_{eq} ,在一定程度上反映了粉体放电的点燃能力。实验与实际静电点燃事例统计表明,粉体生产过程中可能产生静电灾害的静电放电形态和有效点燃能量 E_{ef} 大致如下:(1)电晕放电的有效点燃能量不大于0.025mJ;(2)普通的刷形放电单次放电的有效点燃能量可达3mJ;(3)料仓粉体堆表面放电单次放电的有效点燃能量可达10mJ;(4)人体放电单次放电的有效点燃能量可达30mJ;(5)火花放电单次放电的有效点燃能量可达1J;(6)传播型刷形放电单次放电的有效点燃能量可达10J。有关粉体静电放电实际点燃可燃物的过程研究,对于了解和研究放电火花的现实点燃能力是有重要意义的。结合介质击穿过程的放电物理学和燃烧学理论,关于气体、粉尘的静电放电火花点火模型理论和气体、粉尘的点燃过

程研究近年来也取得了一些较好的研究成果^[7,14,16,20,23]。

3.6 粉体静电放电危险性评估与仿真模拟

有关粉体静电放电危险性研究主要侧重于引发火灾、爆炸事故的危险性方面。对于规模一般都比较大的粉体生产而言,这种危险性主要反映在火灾、爆炸事故的敏感性参数上,也就是可燃物被静电放电火花引燃的特性上。这样,由带电粉体物质的基本静电参数、粉体量大小及边界条件所确定的带电粉体空间可能产生的静电放电类型、静电放电火花的点燃能力,结合产生静电放电场所的可燃物燃爆特性,即可以定量评价粉体静电放电的实际危险性。通过研究典型静电放电火花的实际点燃能力,对实际生产工艺过程中的静电放电火花的点燃危险性进行定量评价。静电放电火花的放电相当能量、放电火花空间分布范围和放电火花持续时间,决定了静电放电火花实际点燃可燃物的可能性大小,因此不同类型的静电放电火花点燃可燃物的差异性很大。根据数据序列理论分析,引入静电放电火花点火源序列和可燃物危险性序列之间存在的关联性,反映了静电放电火花点燃可燃物的危险程度,可用于对静电放电火花的实际点燃危险性进行量化评价。有关粉体的电荷弛豫理论和粉体静电场分析模型研究以及电场仿真和计算分析,一直是静电防灾研究的前沿热点课题。近年来由于粉体静电检测技术的发展,大力促进和支持了粉体静电仿真技术的研究,使得粉体静电仿真技术研究成果离实用阶段越来越接近^[7,24,25]。同时,有关粉体静电模拟仿真的研究结果也弥补了实际粉体静电测量技术的不足和现场测量场所的限制(如引入测量仪器对原静电场的影响等),可以帮助人们更详细地了解带电粉体空间的电场变化等情况。

4 粉体防静电灾害技术发展概况

粉体防静电灾害技术的要点在于经济实用,根据危险性定量评估的结果选用相应的防护技术是防灾减灾工作的根本内容和努力方向。我们知道,粉体工业生产中可能产生静电灾害的典型静电放电类型有6种:(1)电晕放电;(2)普通刷形放电;(3)料仓堆表面放电;(4)人体放电;(5)火花放电;(6)传播型刷形放电。理论分析与实验结果表明,这些不同形态的放电形式点燃可燃物的能力大不相同。另一方面,可能存在于粉体工业实际生产中的可燃物大多为可燃粉体(颗粒、粉末、粉尘)、可燃气以及它们

的杂混合物,这些可燃物的被点燃性能差异也很大。所以,我们在研究开发防粉体静电灾害技术的具体工作中,应在粉体静电危险性合理分级的基础上,遵从既科学合理、又经济实用的防灾减灾原则^[7,24,44]。

4.1 粉体静电危险性分级方法

有关粉体静电危险性分级,有别于静电危险场所的分级。粉体危险性分级的目的在于结合安全经济学原理,为存在粉体静电危险性场所选用既经济实用又科学合理的防静电灾害措施提供科学依据。这方面的工作可参照相关的静电危险场所分级方法^[24,26,41,44],以粉体静电实际危险性为基础,结合粉体静电可能造成的灾害程度作为分级依据来进行^[7]。

4.2 防粉体静电灾害技术

粉体静电防灾的应用技术研究,目前从相关物体的静电泄漏技术、粉体静电消电技术、泄爆技术、阻爆与隔爆技术、到可燃物质的惰化与抑爆技术等,基本上能够满足实际生产的需要。但有时候由于片面追求经济效益等方面的原因,有些成熟的粉体静电防灾技术并不能被粉体生产厂家所接受;或由于维护方面的原因,有些已选用的粉体静电防灾设施,并未在实际生产中发挥其应有的作用;所以粉体静电防灾技术的研究与开发任重道远,新技术的开发与已有技术的优化,尚有很多工作要做。概括地说,有关粉体生产防静电灾害应用技术的研究开发,从控制危害源因素和防灾减灾作用的角度考虑,已经形成了以下两大类以降低粉体静电危险性为目的的工程应用技术^[27-33]:一类是以控制粉体静电起电量(改变接触起电介质的材料特性,采用粉体消电措施,采取防静电涂层与合理接地加速静电泄放等)、控制放电类型(如防止形成击穿场强较大的绝缘层,避免产生能量大的传播型刷形放电等)为目的所采用的技术;另一类是以控制可燃物点燃特性(如加强通风,可燃气置换,控制切粒所形成的细微粉尘,注入惰性物质等)为目标而采取的技术措施。目前我国有关部门正在计划制定有关的粉体防静电灾害操作规程^[34-37]。

值得注意的是,在特定条件下,由于粉体生产过程的工艺条件或环境条件的限制,粉体静电放电火花有可能点燃、引爆可燃物质,为了减缓灾害的破坏性,防止灾害的进一步扩大,应采取防灾减灾措施。主要的应用技术有阻爆、隔爆、泄爆和抑爆技术等,以及与之配套的可燃气、可燃粉尘的温度和压力等监测监控技术。目前,与静电源监测相结合的粉体静

电防爆减灾控制体系正在完善之中^[38,42]。

5 结束语

综上所述,有关粉体静电危险性与防静电灾害技术方面的研究工作涉及面广、任务繁杂,难度较大。本文仅就其中的有关方面,结合作者近年来所做的有关具体研究工作,进行了相关专题的调查研究与统计分析,介绍了粉体工业生产中的静电危险性分析方法与防静电灾害技术的最新研究成果,有关研究结果近年来已经陆续应用于粉体工业的具体生产实际,解决了企业安全生产中的有关技术难题,取得了良好的社会效益与经济效益。作者希望有关粉体静电测试研究方法、粉体静电起电与放电研究方法、粉体静电危险性评价方法、粉体静电危险性分级理论与粉体防静电灾害技术措施等重要研究结果,在今后的研究与具体应用实践工作中得到进一步的完善、补充和检验。

参 考 文 献

- [1] Wang Dong-yan. Hazards and control countermeasures in China. In: Proceedings of the 6th international colloquium on dust explosions. Shenyang: Northeastern University Press, 1994. 1
- [2] 刘尚合,刘直承,魏光辉等. 静电理论与防护. 北京:兵器工业出版社,1999. 10 [Liu S H, Liu Z C, Wei G H et al. Electrostatic theory and protection. Beijing: Publishing company of weapon industry, 1999. 10 (in Chinese)]
- [3] 中国科协学会工作部. 工业粉尘防爆与治理. 北京:科学出版社,1990. 7 [Standing Department of CSCA. Explosion protection and prevention for industrial dusts. Beijing: Science Press, 1990. 7 (in Chinese)]
- [4] 刘尚合,谭伟. 物理,2000,29(5):304 [Liu S H, Tan W. Wuli (Physics), 2000, 29(5): 304 (in Chinese)]
- [5] 孙可平. 物理,2000,29(6):364 [Sun K P. Wuli (Physics), 2000, 29(6): 364 (in Chinese)]
- [6] 谭凤贵,周本谋. 对瑞士等国粉体静电爆炸与防护研究的考察. 见:马峰编. 现代静电技术. 西安:西安出版社,1999. 142 [Tan F G, Zhou B M. Investigation of the powder electrostatic hazards and protection in Europe. In: Ma F ed. Modern technology of electrostatics. Xian: Xi'an Press, 1999. 142 (in Chinese)]
- [7] 周本谋. 中国粉体技术,2002(8):138 [Zhou B M. Chinese powder science and technology, 2002(8): 138 (in Chinese)]
- [8] Watson P K. Journal of Electrostatics, 1997(43): 67
- [9] Bailey A G. Journal of Electrostatics, 1993(30): 168
- [10] Jones T B et al. Journal of Electrostatics, 1999(22): 231
- [11] Juliusz B G. Journal of Electrostatics, 1994(32): 297
- [12] Juliusz B G. Journal of Electrostatics, 1997(42): 231
- [13] Bassani L et al. Journal of Electrostatics, 1997(41): 401
- [14] Schwenzfeuer K. Journal of Electrostatics, 1997(40&41): 383

- [15] Maurer B *et al.* Journal of Electrostatics ,1989(23) 25
- [16] Glor M *et al.* Journal of Electrostatics ,1989(23) 35
- [17] Glor M. Journal of Electrostatics ,1997(40) 511
- [18] 谭伟. 静电放电辐射场的研究进展. 见 :马峰编. 现代静电技术. 西安 :西安出版社 ,1999. 30[Tan W. Research developments in ESD radiation field. In :Ma F ed. Modern technology of electrostatics. Xi'an :Xi'an Press ,1999. 30(in Chinese)]
- [19] 黄九生. 军械工程学院学报 ,2000(增刊) ,12 :260[Huang J S. Journal of ordnance engineering college ,2000(Supp. Aug. 2000) ,12 :260(in Chinese)]
- [20] Siwek R *et al.* Safety Progress ,1995 ,14 :107
- [21] Zhou B M *et al.* A new type of movable electrode electrostatic ignition energy apparatus. In :Proceedings of the 6th international colloquium on dust explosions. Shenyang :Northeastern University Press ,1994. 257
- [22] Piotr Wolanski *et al.* Minimum explosive concentration of dust-air mixtures. In :Proceedings of the 6th international colloquium on dust explosions. Shenyang :Northeastern University Press ,1994. 206
- [23] Glor M. Journal of Electrostatics ,1996(30) :123
- [24] Glor M *et al.* Loss prevention and safety promotion in the process industries ,1996 ,11 :44
- [25] Jones T B ,Chan S. Journal of Electrostatics ,1993(22) :199
- [26] GJB2527-95. 弹药防静电要求. 国防科技委. [GJB2527-95. Electrostatic protection measures for ammunition. STC of national defence. (in Chinese)]
- [27] ISSA Prevention Series No. 2017(E). Static Electricity(Ignition hazards and protection measures). D-69115 Heidelberg , Germany ,1996
- [28] Siwek R. Journal of Loss Prevention ,1996 9 81
- [29] Moore P E. Journal of Loss Prevention ,1996 9 3
- [30] Moore P E. Journal of Loss Prevention ,1997 9 :13
- [31] Crowhurst D *et al.* Journal of Loss Prevention ,1997 9 :113
- [32] Vogl A. Journal of Loss Prevention ,1996 3 :17
- [33] Siwek R. Latest development in explosion protection technology. In :Proceedings of the 6th international colloquium on dust explosions. Shenyang :Northeastern University Press ,1994. 35
- [34] VDI Guideline 2263 :Dust fires and dust explosions. Hazards-Assessment-Protection measures ,Beuth , Berlin and Koln ,May 1992
- [35] ISO/DIS 6184 :Explosion protection system-Part1 :Determination of explosion indices of combustible dusts in air. International Organization for Standardization ,1985
- [36] ISO/DIS 6184 :Explosion protection system-Part2 :Determination of explosion indices of combustible gases in air. International Organization for Standardization ,1985
- [37] ISO/DIS 6184 :Explosion protection system-Part3 :Determination of explosion indices of combustible feul/air mixtures other than dust/air and gas/air mixtures. International Organization for Standardization ,1985
- [38] Guideline VDI 3673 ,Part 1 :Pressure release of dust explosions. Beuth ,berlin ,July 1995
- [39] NFPA 68 :Venting of deflagrations. 1978 and 1988 edition ,National Fire Protection Association ,Quincy , Massachusetts ,USA
- [40] IEC802-22. EMC for industrial process measurement and control equipment. Part 2 :electrostatic discharge requirement. 1991
- [41] 周本谋 ,谭凤贵. 军械工程学院学报. 2000(增刊) ,12 :110 [Zhou B M ,Tan F G. Journal of ordnance engineering college ,2000(Supp. Aug. 2000) ,12 :110(in Chinese)]
- [42] 梅强. 中国安全科学学报 ,1999 ,9 :36[Mei Q. Journal of Chinense Safety Science and Technology ,1999 9 :36(in Chinese)]

光学元件库 — 欧普特科技

北京欧普特公司参照国际通常规格及技术指标，备有完整系列的精密光学零部件（备有产品样本供参考）供国内各大专院校、科研机构、实验室随时选用，我公司同时可为您的应用提供技术咨询。

光学透镜：平凸，双凸，平凹，双凹，消色差胶合透镜等。直径 1~150mm；焦距 1~1000mm；材料包括光学玻璃，紫外石英玻璃，有色光学玻璃，红外材料。

光学棱镜：1~50mm 各种规格直角棱镜，及其它常用棱镜。

光学反射镜：各种尺寸规格的镀铝，镀银，镀金，及介质反射镜。直径 5~200mm。

光学窗口：各种尺寸规格，材料的光学平面窗口，平晶。直径 5~200mm。

各种有色玻璃滤光片：规格 5~200mm(紫外，可见，红外)。

紫外石英光纤：进口紫外石英光纤，SMA 接口光纤探头，紫外石英聚焦探头。

单位：北京欧普特科技有限公司

地址：北京市海淀区知春路 49 号

希格玛大厦 B 座 #306 室

电话：010-88096218 / 88096217

传真：010-88096216

邮编：100080

网址：www.goldway.com.cn

电子邮件：optics@goldway.com.cn

sms@goldway.com.cn

联系人：聂曼珊女士

石冀阳小姐