

文章编号: 1671-251X(2022)12-0123-07

DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.18045

煤矿井下无线电波防爆安全功率阈值研究

梁伟锋¹, 孙继平², 彭铭², 潘涛^{3,4}, 张高敏²

(1. 国家能源集团国神公司 三道沟煤矿, 陕西 府谷 719400; 2. 中国矿业大学(北京) 机电与信息工程学院, 北京 100083; 3. 国能信息技术有限公司, 北京 100011;
4. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所无线传感网与通信重点实验室, 上海 200050)

摘要: 为防止煤矿井下无线设备发射的无线电波引起瓦斯爆炸, 需限制煤矿井下无线电波的功率和能量。介绍了不同标准中规定的连续无线电波防爆安全功率阈值: ① GB/T 3836.1—2021《爆炸性环境 第1部分: 设备通用要求》和国际标准 IEC 60079-0:2017《Explosive atmospheres-Part 0: Equipment-General requirements》参考了欧洲标准 CLC/TR 50427:2004《Assessment of inadvertent ignition of flammable atmospheres by radio-frequency radiation-Guide》的相关内容, 省去了当爆炸性环境中不存在能作为接收天线的细长结构物体(如起重机)时, I类环境(代表性气体为甲烷)中连续无线电波防爆安全功率阈值为 8 W 这一条款, 并不加区分地规定 I 类环境中连续无线电波防爆安全功率阈值为 6 W; ② 英国标准 BS 6656:1991《Guide to prevention of inadvertent ignition of flammable atmospheres by radio-frequency radiation》规定 I 类环境中连续无线电波工作频率大于 30 MHz 时, 无论是否有起重机等细长环形结构物体, 连续无线电波防爆安全功率阈值均为 8 W; ③ 英国标准 BS 6656:2002《Assessment of inadvertent ignition of flammable atmospheres by radio-frequency radiation-Guide》及欧洲标准 CLC/TR 50 427:2004 均规定没有起重机等细长环形结构物体的 I 类环境中连续无线电波防爆安全功率阈值为 8 W, 有起重机等细长环形结构物体的 I 类环境中连续无线电波防爆安全功率阈值为 6 W。分析了煤矿井下环境和设备特点: 煤矿井下一般没有起重机; 煤矿井下为受限空间, 巷道较长, 但巷道断面较小; 沿巷道轴向敷设的电缆、水管、铁轨、钢丝绳、架空线、胶带架等轴向导体细长, 但不会形成利于无线电波接收的环形天线; 巷道工字钢支护等横向导体可以形成利于无线电波接收的环形天线, 但工字钢导体截面大, 不满足细长结构特征; 综采工作面液压支架可以形成环形结构, 但液压支架千斤顶将其分为多个环形结构, 支架导体截面大, 不满足细长结构特征。指出了煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值没有执行 6 W 之前, 漏泄、感应、透地、多基站等矿井无线通信系统已广泛应用煤矿井下, 未见有引起瓦斯和煤尘爆炸事故的案例。因此, 不加区分地将煤矿井下无线电波防爆安全功率阈值定为 6 W, 缺乏理论分析和实验验证。特别是 5G, WiFi6, UWB, ZigBee 等矿用移动通信系统及人员和车辆定位系统工作频率较高, 因此煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值应为 8 W。

关键词: 矿井无线电波; 连续无线电波功率; 电气防爆; 安全功率阈值

中图分类号: TD655

文献标志码: A

Research on safe power threshold of radio wave explosion-proof in coal mine

LIANG Weifeng¹, SUN Jiping², PENG Ming², PAN Tao^{3,4}, ZHANG Gaomin²

(1. Sandaogou Coal Mine, CHN Energy Guoshen Group, Fugu 719400, China; 2. School of Mechanical Electronic and Information Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China; 3. CHN Energy Information Technology Co., Ltd., Beijing 100011, China; 4. Key Laboratory of Wireless Sensor Network and Communication, Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

Abstract: In order to prevent gas explosion caused by radio waves emitted by wireless equipment in the coal

收稿日期: 2022-10-14; 修回日期: 2022-12-14; 责任编辑: 盛男。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0801800); 中国科学院无线传感网与通信重点实验室开放课题(20190913)。

作者简介: 梁伟锋(1984—), 男, 陕西扶风人, 工程师, 现从事煤矿生产技术、机电管理及智能化建设方面的工作, E-mail: liangweifeng17@163.com。

引用格式: 梁伟锋, 孙继平, 彭铭, 等. 煤矿井下无线电波防爆安全功率阈值研究[J]. 工矿自动化, 2022, 48(12): 123-128, 163.

LIANG Weifeng, SUN Jiping, PENG Ming, et al. Research on safe power threshold of radio wave explosion-proof in coal mine[J].

Journal of Mine Automation, 2022, 48(12): 123-128, 163.



扫码移动阅读

mine, the power and energy of radio waves in coal mines should be limited. This paper introduces the safety power threshold of continuous radio wave explosion-proof specified in different standards. ① GB/T 3836.1-2021 *Explosive atmospheres-Part 1: Equipment-General requirements* and the international standard IEC 60079-0:2017 *Explosive atmospheres-Part 0: Equipment-General requirements* refer to the European standard CLC/TR 50427:2004 *Assessment of inadvertent ignition of flammable atmospheres by radio-frequency radiation-Guide*. When there is no slender structure object (such as a crane) that can be used as a receiving antenna in an explosive environment, the clause that the explosion-proof safety power threshold of continuous radio wave in Class I environment (representative gas is methane) is 8 W is omitted. It is indiscriminately stipulated that the safe power threshold of continuous radio wave explosion-proof in Class I environment is 6 W. ② The British Standard BS 6656:1991 *Guide to prevention of inadvertent ignition of flammable atmospheres by radio-frequency radiation* specifies that for continuous radio-wave operating frequencies greater than 30 MHz in a Class I environment, the safe power threshold for continuous radio-wave explosion-proof is 8 W, Whether there is a crane or other slender annular structure object. ③ The British Standard BS 6656:2002 *Assessment of inadvertent ignition of flammable atmospheres by radio-frequency radiation - Guide* and the European Standard CLC/TR 50427:2004 both specify a safety power threshold of 8 W for continuous radio-wave explosion-proof in Class I environments without slender annular structures such as cranes. The safe power threshold of continuous radio wave explosion-proof in Class I environment with slender annular structures such as cranes is 6 W. The characteristic of the underground environment and equipment in the coal mine are analyzed. Generally, there is no crane underground. The underground coal mine is a confined space, with a long roadway but a small roadway section. Cable, water pipe, rail, steel wire rope, overhead line, tape rack and other axial conductors laid along the roadway axis are thin and long, but will not form a ring antenna conducive to radio wave reception. Transverse conductors such as roadway I-beam support can form a ring antenna conducive to radio wave reception. However, the section of the I-steel conductor is large, which does not meet the characteristics of slender structure. The hydraulic support in the fully mechanized working face can form an annular structure. However, the hydraulic support jack divides it into multiple annular structures. The support conductor section is large, which does not meet the characteristics of slender structure. It is pointed out that before the explosion-proof safety power threshold of continuous radio wave in coal mine is implemented to 6 W, the mine wireless communication systems such as leakage, induction, through-the-ground and multi-base stations have been widely used in the coal mine. And there is no case of gas and coal dust explosion accident. Therefore, the threshold of explosion-proof safety power of radio wave in the coal mine is set as 6 W without distinction, which lacks of theoretical analysis and experimental verification. In particular, 5G, WiFi 6, UWB, ZigBee and other mining mobile communication systems and personnel and vehicle positioning system working frequency is higher. Therefore, the coal mine continuous radio wave explosion-proof safety power threshold should be 8 W.

Key words: mine radio wave; continuous radio wave power; electrical explosion-proof; safety power threshold

0 引言

为防止煤矿井下无线设备发射的无线电波引起瓦斯爆炸,需限制煤矿井下无线电波的功率和能量。煤矿井下无线电波防爆安全功率(或能量)阈值限定得较低,利于防爆安全;但在无线传输衰减和接收灵敏度等一定的条件下,无线覆盖半径小,需增加无线基站和分站数量,增加系统成本和维护工作量,不利于 5G, WiFi6, UWB, ZigBee 等矿用移动通信系

统及人员和车辆定位系统在煤矿井下应用。煤矿井下无线电波防爆安全功率(或能量)阈值限定得较高,在无线传输衰减和接收灵敏度等一定的条件下,无线覆盖半径大,系统成本低,便于使用和维护,但不利于防爆安全,会引起煤矿井下瓦斯爆炸。

国内外学者研究了无线电波防爆安全功率(或能量)阈值,并形成了相关标准。国家市场监督管理总局和国家标准化管理委员会发布的 GB/T 3836.1—2021《爆炸性环境 第 1 部分:设备 通用要

求》规定用于煤矿瓦斯(主要是甲烷)气体环境的I类环境设备连续无线电波防爆安全功率阈值为6 W。欧洲电工标准化委员会(European Committee for Electrotechnical Standardization, CENELEC)发布的欧洲标准 CLC/TR 50427:2004《Assessment of inadvertent ignition of flammable atmospheres by radio-frequency radiation-Guide》规定用于煤矿瓦斯(主要是甲烷)气体环境的I类环境设备连续无线电波防爆安全功率阈值为8 W(除起重机等细长结构外)。因此,有必要进行相关研究,提出合理的煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值。

1 我国煤矿井下无线电波防爆安全功率(或能量)阈值

GB/T 3 836.1—2021 规定了9 kHz~60 GHz的连续无线电波和脉冲时间超过热起燃时间的脉冲发射无线电波(以下简称连续无线电波)防爆安全功率阈值(发射器的有效输出功率与天线增益的乘积),见表1,同时规定发射器硬件的物理发射功率必须满足要求,不得采用程序进行设定或对软件进行控制的方式;规定了脉冲时间比热起燃时间短的脉冲雷达或其他发射形式的无线电波(以下简称脉冲式无线电波)采用防爆安全能量阈值(脉冲式无线电波发射中能接收体获取的单个脉冲的最大能量),见表2。

表1 GB/T 3836.1—2021 规定的连续无线电波防爆安全功率阈值

Table 1 Explosion-proof safety power threshold of continuous radio wave specified in GB/T 3836.1-2021

设备类别	连续无线电波防爆安全功率阈值/W	热起燃时间(平均时间)/μs
I	6	200
IIA	6	100
IIB	3.5	80
IIC	2	20
III	6	200

表2 GB/T 3836.1—2021 规定的脉冲式无线电波防爆安全能量阈值

Table 2 Explosion-proof safety energy threshold of pulsed radio wave specified in GB/T 3836.1-2021

设备类别	脉冲式无线电波防爆安全能量阈值/μJ
I	1 500
IIA	950
IIB	250
IIC	50
III	1 500

I类设备用于煤矿瓦斯气体环境;II类设备用于除煤矿瓦斯气体环境之外的其他爆炸性气体环境(IIA类,代表性气体为丙烷;IIB类,代表性气体为乙烯;IIC类,代表性气体为氢气和乙炔);III类设备用于除煤矿之外的爆炸性粉尘环境。

2 甲烷气体环境无线电波防爆安全功率阈值研究现状

1979年, P. S. Excell等^[1]通过设计的放电点火实验装置,测量了在不同大小源阻抗下的放电点火功率,结果表明,连续无线电波工作频率分别为2.2, 9.1 MHz时,在源阻抗为50 Ω和点火概率为0.01%的情况下,点燃最易燃浓度甲烷气体的最小功率分别为233, 130 W;在源阻抗为2 kΩ和点火概率为0.1%的情况下,点燃最易燃浓度甲烷气体的最小功率分别为13.4, 12.1 W。1981年, D. J. Burstow等^[2]通过放电点火实验装置,测量了连续无线电波工作频率为10 MHz以下环形金属结构和9 GHz以下偶极子类型的金属结构作为接收天线时,点燃最易燃浓度甲烷气体的最小功率为10 W,并研究了多发射机发射的连续无线电波防爆安全功率阈值。D. P. Howson等^[3]通过设计的放电点火实验装置,使用钨丝和镉盘作为点火电极,测量了连续无线电波工作频率为2, 9 MHz时,点燃最易燃浓度甲烷气体的最低电压和电流,结果表明,射频源阻抗越高,点火所需功率越低。J. L. J. Rosenfeld等^[4]研究了连续无线电波工作频率为1.8~21 MHz、作为接收天线的金属结构的接收效率为30%时,产生放电火花点燃最易燃浓度甲烷气体的最小功率为9 W。A. J. Maddocks等^[5]在天然气输气站中测量了远处基站发射功率为20 kW、连续无线电波工作频率为2.8 MHz时,连续无线电波辐射能量耦合到天然气输气站内环形金属结构(起重机)时产生的电压和功率,结果表明,在起重机构成的周长为56 m环形结构中,产生的电压为6.3 V、功率为15.8 mW。S. S. J. Robertson等^[6]通过实验装置测得的结果表明,在回路阻抗为5 000, 500 Ω时,点燃最易燃浓度甲烷气体的最小功率分别为6, 12 W。1986年, P. S. Excell等^[7-8]根据无线电波波长与金属结构尺寸的相对大小,将金属结构等效为电小尺寸和电大尺寸的接收天线进行了研究,认为在金属结构的断点处直接击穿空气、产生放电火花需要非常大的电压;发射器发射大功率无线电波,金属结构感应的电压一般不会产生放电火花;但如果断点之间发生刮擦,则较小功率的无线电波辐射能量耦合到金属结构上也能产生放电火花。1987

年, R. A. James 等^[9]质疑了英国标准 BS 6 656 所有的假设条件都是在最恶劣的条件下, 高估了无线电波辐射能量引发可燃性气体爆炸的风险, 认为这会给企业增加不必要的经济负担, 并用概率分析方法分析了各种假设下引发可燃性气体爆炸的概率。1988 年, P. S. Excell 等^[10]总结了无线电波辐射能量耦合到作为等效接收天线的金属结构上的效率计算公式, 经过分析认为, 现有标准的规定并不合理。2013 年, 孙继平等^[11]分析了煤矿井下无线电波辐射能量耦合到作为接收天线的金属结构时, 产生的磁耦合共振和电磁辐射谐振能量耦合这 2 种情况下的能量传输效率, 并给出了发射天线距井下金属结构应保持最小安全距离的计算公式。2021 年, 刘晓阳等^[12]采用基于射线跟踪法的电磁仿真软件 Wireless Insite 模拟了 4 发 4 收的多天线发射机总输出功率为 24 W(即分配到每根天线的输出功率为 6 W)时, 引发煤矿井下瓦斯爆炸的风险, 结果表明, 在安全距离为 0.25 m 范围内没有能作为接收天线的金属结构时, 不会引发矿井瓦斯爆炸。Meng Jijian^[13]分析研究了煤矿井下连续无线电波发射功率能否突破有关标准规定的 6 W, 通过火花实验台, 进行了发射功率为 10 W 的连续无线电波点火实验, 结果表明, 连续无线电波发射功率为 10 W 时, 不会引爆爆炸性气体混合物。郑小磊等^[14]探讨了 5G 通信基站多天线发射功率的叠加计算问题, 认为采用直接相加的方式, 将多天线发射功率限制为 6 W, 虽然有利于满足煤矿井下无线电波防爆安全的要求, 但会限制实际无线电波发射功率, 不利于 5G 通信在煤矿井下的应用。2022 年, 张勇^[15]研究了连续无线电波近场谐振耦合的防爆安全问题, 通过电磁仿真软件模拟了发射功率为 10, 50, 100, 200 W 时, 等效环形接收线圈断点处产生的电压, 发现近场谐振耦合的能量传输效率较高, 金属断点处可以产生较大的电压, 但难以击穿空气产生电火花。

可以看出, 国内外学者对煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值 6 W 存在争议, 认为现行的煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值 6 W 较低, 不利于 5G, WiFi6, UWB, ZigBee 等矿用移动通信系统及人员和车辆定位系统在煤矿井下的应用。

3 GB/T 3836.1—2021 溯源分析

GB/T 3836.1—2021 对国际电工委员会(International Electrotechnical Commission, IEC)发布的 IEC 60079-0:2017《Explosive atmospheres-Part 0: Equipment-General requirements》的相关内容进行了

修改采用, 规定煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值为 6 W。IEC 60079-0:2017 中对煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值 6 W 的规定, 参考了 CENELEC 发布的欧洲标准 CLC/TR 50427:2004 的相关内容。CLC/TR 50427:2004 中规定了不同爆炸性气体环境类别的代表性气体(表 3)及不同爆炸性气体环境的连续无线电波防爆安全功率阈值(表 4)。从表 4 可看出, I 类环境中连续无线电波防爆安全功率阈值为 2 类: 当爆炸性环境中存在能作为接收天线的细长结构物体(如起重机)时, 连续无线电波防爆安全功率阈值为 6 W; 当爆炸性环境中不存在能作为接收天线的细长结构物体(如起重机)时, 连续无线电波防爆安全功率阈值为 8 W。GB/T 3836.1—2021 和 IEC 60079-0:2017 省去了当爆炸性环境中不存在能作为接收天线的细长结构物体(如起重机)时, I 类环境中连续无线电波防爆安全功率阈值为 8 W 这一条款; 不加区分地规定 I 类环境中连续无线电波防爆安全功率阈值为 6 W, 缺乏必要的理论分析和实验验证。

表 3 CLC/TR 50427:2004 规定的不同爆炸性气体环境类别的代表性气体

Table 3 Representative gases of different types of explosive gas environments specified in CLC/TR 50427:2004

环境类别	代表性气体
I	甲烷
IIA	丙烷
IIB	乙烯
IIC	氢气

表 4 CLC/TR 50427:2004 中规定的连续无线电波防爆安全功率阈值

Table 4 Explosion-proof safety power threshold of continuous radio wave specified in CLC/TR 50427:2004

环境类别	连续无线电波防爆安全功率阈值/W	热起燃时间(平均时间)/ μ s
I	6(对于细长结构, 例如起重机); 8(对于其他所有结构)	200
IIA	6	100
IIB	3.5	80
IIC	2	20

4 无线电波防爆安全功率阈值的适用范围

欧洲标准 CLC/TR 50427:2004 对英国标准 BS 6656:2002《Assessment of inadvertent ignition of flammable atmospheres by radio-frequency radiation-Guide》中的相关内容进行了等效采用, 规定了无线电波防爆安全功率阈值。英国标准 BS 6656:2002 是

在 BS 6656:1991《Guide to prevention of inadvertent ignition of flammable atmospheres by radio-frequency radiation》基础上修订。英国标准 BS 6656:1991 详细规定了无线电波工作频率为 15 kHz~35 GHz 时无线电波防爆安全功率阈值:若爆炸性环境中不存在起重机,假设源阻抗为 3 000 Ω ,连续无线电波防爆安全功率阈值见表 5;若爆炸性环境中存在起重机,连续无线电波工作频率为 30 MHz 以下,假设源阻抗为 7 500 Ω ,连续无线电波防爆安全功率阈值见表 6;若所有发射机发射的连续无线电波工作频率均为 30 MHz 以上,则可以采用表 5 中的连续无线电波防爆安全功率阈值。由表 5、表 6 可看出,I 类环境中无线电波工作频率为 30 MHz~35 GHz 时,无论是否存在起重机,连续无线电波防爆安全功率阈值均为 8 W;对于工作频率 30 MHz 以下,若存在起重机,连续无线电波防爆安全功率阈值为 6 W。

表 5 BS 6656:1991 中规定的不存在起重机时的连续无线电波防爆安全功率阈值

Table 5 Explosion-proof safety power threshold of continuous radio wave in the absence of crane as specified in BS 6656:1991

环境类别	连续无线电波防爆安全功率阈值/W
I和IIA	8
IIB	4
IIC	2

注:假设源阻抗为 3 000 Ω 。

表 6 BS 6656:1991 中规定的存在起重机时的连续无线电波防爆安全功率阈值

Table 6 Explosion-proof safety power threshold of continuous radio wave in the presence of crane as specified in BS 6656:1991

环境类别	连续无线电波防爆安全功率阈值/W
I和IIA	6
IIB	3.5
IIC	2

注:假设源阻抗为 7 500 Ω ;连续无线电波工作频率为 30 MHz 以下。

5 煤矿井下无线电波防爆安全功率阈值

英国标准 BS 6656:1991 规定 I 类环境中连续无线电波工作频率大于 30 MHz 时,无论是否存在起重机等细长环形结构物体,连续无线电波防爆安全功率阈值均为 8 W。煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值没有执行 6 W 之前,漏泄、感应、透地、多基站等矿井无线通信系统已广泛应用于煤矿井下,未见有引起瓦斯和煤尘爆炸事故的案例。因此,不加区分地将煤矿井下的连续无线电波防爆安全功率阈

值定为 6 W,缺乏理论分析和实验验证。特别是 5G, WiFi6, UWB, ZigBee 等矿用移动通信系统及人员和车辆定位系统,工作频率较高,一般在 GHz 以上(不包括 700 MHz 的 5G 等),无论是否有起重机等细长环形结构物体,连续无线电波防爆安全功率阈值应为 8 W。

英国标准 BS 6656:2002 及欧洲标准 CLC/TR 50427:2004 均规定没有起重机等细长环形结构物体的 I 类环境中连续无线电波防爆安全功率阈值为 8 W;有起重机等细长环形结构物体的 I 类环境中连续无线电波防爆安全功率阈值为 6 W。这是因为起重机的吊绳和接地回路很容易形成一个大的环形结构(图 1),当这个大的环形结构作为接收天线时,接收效率高、阻抗大,在无线电波功率一定的条件下,更容易引起爆炸性气体混合物爆炸。煤矿井下一般没有起重机。煤矿井下为受限空间,巷道较长(可达 10 km),但巷道断面较小。煤矿巷道断面一般宽度不大于 6.2 m,高度不大于 4.2 m,周长不大于 20.8 m。神华神东煤炭集团有限责任公司上湾煤矿最大巷道断面宽度为 6.3 m,高度为 6.2 m,周长为 25 m,是目前世界最大的巷道断面。沿巷道轴向敷设的电缆、水管、铁轨、钢丝绳、架空线、胶带架等轴向导体细长,但不会形成利于无线电波接收的环形天线。巷道工字钢支护等横向导体可以形成利于无线电波接收的环形天线,但周长一般不大于 20.8 m,最大为 25 m,工字钢导体截面大,不满足细长结构特征。综采工作面液压支架可以形成环形结构,但液压支架千斤顶将其分为多个环形结构,临近采煤机和刮板输送机的环形结构最大,周长一般不大于 25 m,支架导体截面大,不满足细长结构特征。因此,煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值应选择没有能作为接收天线的细长环形结构物体条件下的 8 W。

6 结论

(1) GB/T 3836.1—2021 对 IEC 60079-0:2017 的相关内容进行了修改采用,规定煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值为 6 W。IEC 60079-0:2017 中对煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值 6 W 的规定,参考了欧洲标准 CLC/TR 50427:2004 中的相关内容。欧洲标准 CLC/TR 50427:2004 规定当爆炸性环境中存在能作为接收天线的细长结构物体(如起重机)时,连续无线电波防爆安全功率阈值为 6 W;当爆炸性环境中不存在能作为接收天线的细长结构物体(如起重机)时,连续无线电波防爆安全功率阈

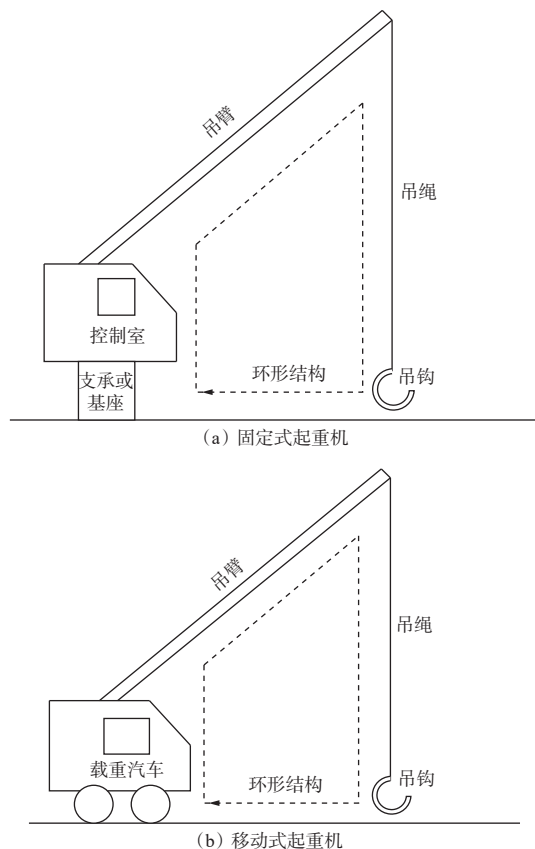


图 1 起重机构成的环形结构

Fig. 1 The annular structure composed of crane

值为 8 W。GB/T 3836.1—2021 和 IEC 60079-0:2017 省去了当爆炸性环境中不存在能作为接收天线的细长结构物体(如起重机)时,连续无线电波防爆安全功率阈值为 8 W 这一条款;不加区分地规定 I 类环境中连续无线电波防爆安全功率阈值为 6 W,缺乏必要的理论分析和实验验证。

(2) 英国标准 BS 6656:1991 规定 I 类环境中连续无线电波工作频率大于 30 MHz 时,无论是否有起重机等细长环形结构物体,无线电波防爆安全功率阈值均为 8 W。煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值没有执行 6 W 之前,漏泄、感应、透地、多基站等矿井无线通信系统已广泛应用煤矿井下,未见有引起瓦斯和煤尘爆炸事故的案例。因此,不加区分地将煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值定为 6 W,缺乏理论分析和实验验证。特别是 5G, WiFi6, UWB, ZigBee 等矿用移动通信系统及人员和车辆定位系统工作频率较高,一般在 GHz 以上(不包括 700 MHz 的 5G 等),无论是否有起重机等细长环形结构物体,连续无线电波防爆安全功率阈值应为 8 W。

(3) 英国标准 BS 6656:2002 及欧洲标准 CLC/TR

50427:2004 均规定没有起重机等细长环形结构物体的 I 类环境中连续无线电波防爆安全功率阈值为 8 W;有起重机等细长环形结构物体的 I 类环境中连续无线电波防爆安全功率阈值为 6 W。煤矿井下一般没有起重机。煤矿井下为受限空间,巷道较长(可达 10 km),但巷道断面较小,周长最大为 25 m。沿巷道轴向敷设的电缆、水管、铁轨、钢丝绳、架空线、胶带架等轴向导体细长,但不会形成利于无线电波接收的环形天线。巷道工字钢支护等横向导体可以形成利于无线电波接收的环形天线,但周长最大为 25 m,工字钢导体截面大,不满足细长结构特征。综采工作面液压支架可以形成环形结构,但液压支架千斤顶将其分为多个环形结构,临近采煤机和刮板输送机的环形结构最大,周长一般不大于 25 m,支架导体截面大,不满足细长结构特征。因此,煤矿井下连续无线电波防爆安全功率阈值应选择没有能作为接收天线的细长结构物体(如起重机)条件下的 8 W。

参考文献(References):

- [1] EXCELL P S, BUTCHER G H, HOWSON D P. Towards a safety standard for radiofrequency hazards to flammable mixtures—progress and problems[C]. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, San Diego, 1979: 1-5.
- [2] BURSTOW D J, LOVELAND R J, TOMLINSON R, et al. Radio frequency ignition hazards[J]. Radio and Electronic Engineer, 1981, 51(4): 151-169.
- [3] HOWSON D P, EXCELL P S, BUTCHER G H. Ignition of flammable gas/air mixtures by sparks from 2 MHz and 9 MHz sources[J]. Radio and Electronic Engineer, 1981, 51(4): 170-174.
- [4] ROSENFELD J L J, STRACHAN D C, TROMANS P S, et al. Experiments on the incendivity of radio-frequency, breakflash discharges (1.8-21 MHz c. w.) [J]. Radio and Electronic Engineer, 1981, 51(4): 175-186.
- [5] MADDOCKS A J, JACKSON G A. Measurements of radio frequency voltage and power induced in structures on the St Fergus gas terminals[J]. Radio and Electronic Engineer, 1981, 51(4): 187-194.
- [6] ROBERTSON S S J, LOVELAND R J. Radio-frequency ignition hazards: a review[J]. Physical Science, Measurement and Instrumentation, Management and Education-Reviews, IEE Proceedings A, 1981, 128(9): 607-614.

(下转第 163 页)