

不同矿藏地区雷电参数分布特征及对比分析

孙文成¹, 张杰¹, 李健², 吴敏², 汤亮亮², 谢迎谱²

(1. 国家电网有限公司西南分部, 四川 成都 610041; 2. 国网电力科学研究院
武汉南瑞有限责任公司, 湖北 武汉 430074)

摘要:为研究雷电参数与矿藏之间的关系,根据雷电定位系统2013年1月至2022年12月的监测资料,对四川凉山州5个不同矿藏地区(镍矿、铁矿、铜矿、钨矿和锡矿)的地闪频次、雷电流幅值、雷电日等雷电参数分布特征进行了统计分析。结果表明,不同矿藏地区的地闪频次、雷电流幅值、雷电日差异较为明显,在年变化、月变化和日变化中:镍矿地区的地闪频次相较于其余4个矿藏地区最为突出,其余矿藏地区的地闪次数也有明显的差异;不同矿藏地区的雷电流幅值有明显差异,其中钨矿的雷电流平均幅值最大,镍矿的雷电流平均幅值最小;不同矿藏地区的雷电日也有明显的差异,镍矿地区10年的平均雷电日最大,铜矿和钨矿地区次之,铁矿和锡矿地区最小。

关键词:矿藏; 雷电日; 地闪次数; 雷电流强度; 分布特征

中图分类号: TM 86 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2024)03-0052-05

DOI: 10.16527/j.issn.1003-6954.20240309

Distribution Characteristics of Lightning Parameters in Different Mineral Deposits and Its Comparative Analysis

SUN Wencheng¹, ZHANG Jie¹, LI Jian², WU Min², TANG Liangliang², XIE Yingpu²

(1. Southwest Branch of State Grid Corporation of China, Chengdu 610041, Sichuan, China;
2. Wuhan NARI Co., Ltd. of State Grid Electric Power Research Institute,
Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: In order to study the relationship between lightning parameters and mineral deposits, statistical analysis is carried out for the distribution characteristics of lightning parameters such as cloud-to-ground lightning frequency, lightning current amplitude and lightning day in five different mining areas (nickel, iron, copper, tungsten and tin) in Liangshan prefecture of Sichuan, based on the monitoring data from January 2013 to December 2022 by the lightning positioning system. The results show that there are significant differences in cloud-to-ground lightning frequency, lightning current amplitude and lightning day in different mining areas. In terms of annual, monthly and daily changes, the cloud-to-ground lightning frequency in nickel mining areas is the most prominent compared to the other four mining areas, and there are also significant differences in the number of ground flashes in other mining areas. The lightning current amplitude varies significantly among different mining areas, in which tungsten ore has the highest average amplitude and nickel ore has the lowest average amplitude. There are also significant differences in lightning days between different mining areas, in which nickel mining areas has the highest average lightning days over the past 10 years, followed by copper and tungsten mining areas, and iron and tin mining areas has the lowest average lightning days.

Key words: mineral deposits; lightning days; number of ground flashes; lightning current intensity; distribution characteristics

0 引言

雷电是雷暴云中的剧烈放电现象,其中云对地的放电,被称为云地闪,产生高电压、大电流和强磁

基金项目:国家电网有限公司科技项目(SGSW0000SCJS2310043)

场等物理效应,经常会引起严重的自然危害。随着当今经济的快速发展,雷电给人们带来的危害日益显著,经常造成严重的人员伤亡和经济损失^[1-2]。雷电特征参数有地闪频次、雷电流幅值和雷电日等,通过收集和统计某个地区的雷电特征参数,可分析出该地区雷电活动的时空分布,从而可以提前采取

预防措施^[3]。

雷电的形成复杂且影响因素众多^[4],地形地貌对雷电活动也发挥着相应的作用。文献[5]通过三维可视化的方式直观地反映了雷电活动与特殊地形山地和水域之间的关系,结果发现在雷电天气下雷击地点大多发生在近水域和山地。文献[6]通过 IEEE 推荐的经验公式计算雷电活动参数,计算出舟山群岛年平均雷电日明显比相邻大陆地区少。文献[7]根据 2007 年 1 月—2018 年 12 月湖北省雷电定位系统(lightning location system, LLS)监测数据,使用计算机编程和数学统计的方法,对地闪次数和雷电流幅值等参数进行分析,最终得到了雷电流幅值的累积概率公式。文献[8]利用湖北省闪电监测与雷暴日观测等数据中的雷暴日、地闪密度、雷电流坡头陡度等 6 个雷电参数作为雷电风险指标,使用投影寻踪的方法构造出了一种可以对雷电灾害风险作出合理评估的模型,利用该模型对湖北省的雷电风险进行了综合评估和风险区域划分。文献[9]分析了宾金线浙江段的走廊宽度,结果发现该地区走廊宽度对雷电参数的影响较小。文献[10]通过对 1999—2008 年的雷电数据统计分析,得到了广州部分地区的雷电流幅值差异和导致差异的原因。文献[11]对雷电日和地闪位置数据运用多种分析相结合的方法,得到了雷电危害致灾的危险等级划分方法。文献[12]使用 GIS 空间分析、数理统计等方法分析了 2008—2016 年重庆市闪电监测资料和数字高程模型,结果发现山地的高度、坡向都会影响地闪密度。文献[13]通过对天气相关数据以及美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)和国家大气研究中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)联合研制的 NCEP/NCAR 全球大气再分析数据的分析,采用多种方法相结合对冷涡的气象条件进行了分析。文献[14]通过单点观测,成功预测了该点的雷电危害。文献[15]在重庆市选择了 8 个自动气象站,使用 4 种气象要素与 ADTD(advanced direction and time-of-arrival detection system,雷电定位系统)地闪定位资料,通过特征工程、重采样、交叉验证等机器学习技术的组合应用,构建了一种雷电临近预警方法。

在中国,矿藏资源较为丰富,不同的矿藏类型与土壤电阻率关系较大,而土壤电阻率的大小影响雷电的相关特征。上述文献中,未看到针对雷电与矿

藏之间关系的研究。为此,在凉山彝族自治州选取了 5 个不同矿藏地区(镍矿、铁矿、铜矿、钨矿和锡矿),依据 2013—2022 年的雷电数据资料,按照年变化、月变化和日变化分别统计出各个地区中的地闪频次、雷电流幅值和雷电日天数,并对这 3 个雷电特征参数进行分类对比分析,研究不同矿藏地区对雷电特征参数的影响和差异。

1 数据来源与分析方法

1.1 矿藏数据

矿藏数据来源于全国地质资料馆的地质科学数据出版社中的全国矿产地数据库^[16],该数据库含有中国 29 个省(市、区)的 232 种矿藏和 27 569 个矿产地的资源信息。该数据库覆盖全国,其中包括各种矿藏的种类、地名、交通位置、经度、纬度、矿床成因和矿产规模等信息。

1.2 雷电数据

雷电数据来源于中国电网广域雷电地闪监测系统,该系统使用雷电探测站来测量雷电的电磁波,通过磁定向与时间差结合的方式来判断雷电地闪的位置^[17]。雷电数据中包含了 2013—2022 年凉山彝族自治州 10 年的雷电相关数据,如发生地闪位置的经纬度、雷电流幅值和发生的时间等。

1.3 分析方法

根据全国矿产地数据库和 2013—2022 年凉山彝族自治州雷电数据资料,在凉山彝族自治州选取了 5 个含有不同种类矿藏(镍矿、铁矿、铜矿、钨矿和锡矿)的地区,这 5 个地区地理位置较为接近,气象和地形地貌条件类似。去除雷电数据中的无效数据,将有效数据(雷电流 2~300 kA)按年、月、日分别对 5 个矿藏地区进行筛选和统计,最终得到地闪频次和雷电流幅值的年变化、月变化和日变化以及雷电日的年变化。最后根据各类统计数据得到相应的折线图,从而分析不同矿藏地区对雷电参数特征的影响。

2 统计分析结果

2.1 雷电地闪频次分布特征

2.1.1 年变化

2013—2022 年凉山彝族自治州地闪频次年变

化曲线如图 1 所示,年平均统计数据见表 1。从图 1 可以发现:1)2013 年和 2014 年,锡矿地区的年地闪频次大于镍矿、铁矿、铜矿和钨矿地区;2)2016—2022 年镍矿地区的年地闪频次大于其余 4 种矿藏地区;3)2016—2018 年铜矿地区的年地闪频次大于铁矿、钨矿和锡矿地区;4)在 2019 年之后,镍矿地区的年地闪频次远远大于其余 4 种矿藏。

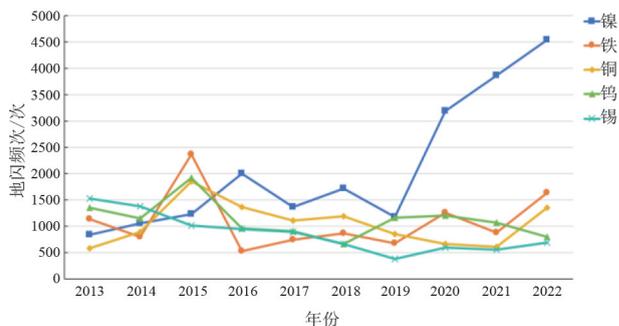


图 1 2013—2022 年凉山彝族自治州地闪频次年变化

2013—2022 年凉山彝族自治州不同种类矿藏地区的地闪频次变化趋势不同,大多数年份镍矿地区的地闪频次最多,只有 2013—2015 年镍矿小于其余 4 种矿藏。从表 1 看出,镍矿的平均地闪频次明显高于其余 4 种矿藏,其原因有待进一步研究。

表 1 2013—2022 年凉山彝族自治州年平均地闪频次

矿区	镍	铁	铜	钨	锡
年平均地闪频次/次	2 093.9	1 084.5	1 039.6	1 112.7	858.0

2.1.2 月变化

2013—2022 年凉山彝族自治州地闪频次月变化曲线如图 2 所示,月平均统计数据见表 2。从图 2 可以看出,不同矿藏地区的地闪频次是有所差异的:1)1—4 月各种矿藏的地闪频次月变化趋势相同;4—6 月各矿藏的地闪频次月变化趋势有明显不同;6—12 月各矿藏的地闪频次月变化趋势无明显规律。2)在 6 月钨矿和铁矿的地闪频次达到了峰值,分别为 472.4 次和 290.7 次。3)在 6—7 月镍矿的地闪频次快速增加,在 7 月达到最大值 595.3 次,远远大于其余 4 种矿藏;除了 6 月钨矿的地闪频次大于镍矿外,其余 11 个月都是镍矿的地闪频次最大。4)从 8 月开始到 12 月,各种矿藏地区的地闪频次逐月减少。

2.1.3 日变化

2013—2022 年凉山彝族自治州地闪频次月变

化曲线如图 3 所示。从图 3 可以看出,镍矿地区在一天中各个时间段的地闪频次都大于其余 4 种矿藏。在 0:00—7:00,锡矿地区的地闪频次大于铁矿、铜矿和钨矿地区;在 9:00—12:00,除了镍矿地区,其余 4 种矿藏地区的地闪频次接近 0 次;在 13:00—20:00,镍矿、钨矿和铁矿地区的地闪频次明显大于其余 2 种矿藏;在 0:00—6:00 镍矿、锡矿和铜矿地区发生地闪的频次明显大于钨矿和铁矿地区;在 13:00—20:00 镍矿、钨矿和铁矿地区发生地闪的频次明显大于锡矿和铜矿地区。

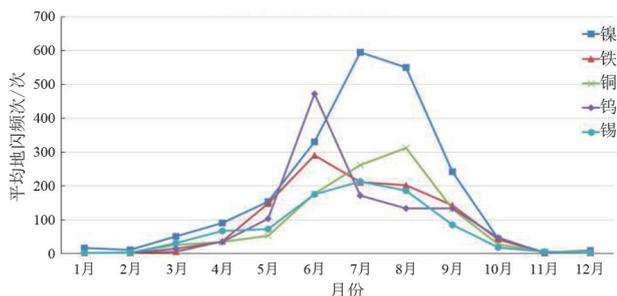


图 2 2013—2022 年凉山彝族自治州地闪频次月变化

表 2 2013—2022 年凉山彝族自治州月平均地闪频次

矿区	镍	铁	铜	钨	锡
月平均地闪频次/次	174.50	90.38	86.63	92.73	71.50

图 3 2013—2022 年凉山彝族自治州地闪频次日变化

2.2 雷电流幅值分布特征

2.2.1 年变化

2013—2022 年凉山彝族自治州雷电流幅值年变化曲线如图 4 所示,年平均统计数据见表 3。从图 4 中可以看出,不同矿藏地区的雷电流幅值和当地矿藏种类有关:1)2013—2022 年铁矿、铜矿和镍矿地区的雷电流幅值的变化趋势相同,钨矿和锡矿地区的雷电流幅值的变化趋势相同。2)在 2013—2017 年铁矿地区的雷电流幅值大于其余 4 种矿藏地区;在 2018—2022 年钨矿地区的雷电流幅值大于其余 4 种矿藏地区;在 2014—2022 年镍矿地区的雷电流幅值小于其余 4 种矿藏地区。

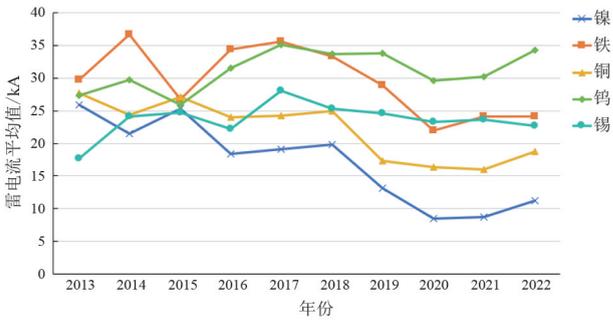


图4 2013—2022年凉山彝族自治州雷电流幅值年变化

表3 2013—2022年凉山彝族自治州年平均雷电流幅值

矿区	镍	铁	铜	钨	锡
年平均雷电流/kA	17.16	29.55	22.09	31.12	23.63

从表3可以看出,铁矿和钨矿地区的雷电流平均幅值很明显大于其余3种矿藏,其中钨矿地区的雷电流平均幅值最大,镍矿地区雷电流的平均幅值最小,且它们之间相差了13.96 kA。说明,矿藏种类不同可导致雷电流幅值差异,其具体原因有待进一步研究。

2.2.2 月变化

2013—2022年凉山彝族自治州雷电流幅值月变化曲线如图5所示,月平均统计数据见表4。从图5可以发现,按月份统计,不同矿藏地区的雷电流幅值很明显有差异:1)全年中,镍矿地区的雷电流幅值绝大多数情况下(除了11月)小于其余4种矿藏;2)1—4月铁矿地区的雷电流幅值最大,5—12月钨矿地区的雷电流幅值最大;3)铁矿和钨矿地区的雷电流幅值全年大于其余3种矿藏。

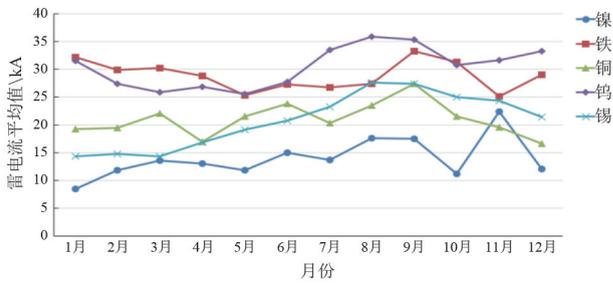


图5 2013—2022年凉山彝族自治州雷电流幅值月变化

表4 2013—2022年凉山彝族自治州月平均雷电流幅值

矿区	镍	铁	铜	钨	锡
月平均雷电流/kA	14.02	28.88	20.99	30.44	20.78

从表4可以看出:1)钨矿地区12个月的平均雷电流幅值大于其余4种矿藏;2)其中镍矿的平均雷

电流幅值最小,为14.02 kA,钨矿雷电流幅值最大,为30.44 kA,它们之间差值较大。这进一步说明不同的矿藏地区对雷电参数分布具有影响。

2.2.3 日变化

2013—2022年凉山彝族自治州雷电流幅值日变化曲线如图6所示,日平均雷电流统计数据见表5。从图6可以看出:1)全天中,镍矿地区的雷电流始终最小,钨矿和铁矿绝大多数时间的变化趋势相同且雷电流幅值大于其余3种矿藏(除7:00—12:00)。2)0:00—24:00锡矿和铜矿雷电流幅值的变化趋势相同。3)0:00—10:00和12:00—24:00铁矿或钨矿地区的雷电流最大,钨矿地区的雷电流峰值出现在7:00—8:00,铁矿地区雷电流的峰值出现在6:00—7:00。4)钨矿地区为最大雷电流的时间有16 h,铁矿地区为最大雷电流的时间有6 h,锡矿地区为最大雷电流的时间有2 h,出现在10:00—11:00。

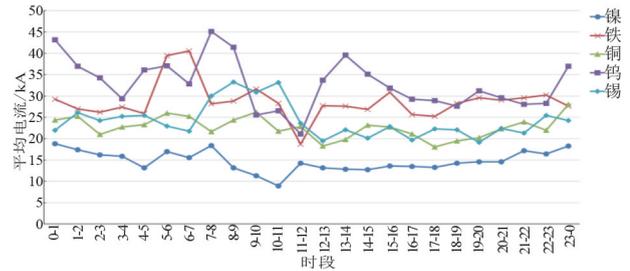


图6 2013—2022年凉山彝族自治州雷电流幅值日变化

表5 2013—2022年凉山彝族自治州日平均雷电流幅值

矿区	镍	铁	铜	钨	锡
日平均雷电流/kA	14.78	28.72	22.65	32.90	24.15

从表5可以看出:1)在一天中钨矿地区的雷电流平均幅值最大,镍矿地区的雷电流平均幅值最小,钨矿和镍矿两地区间的雷电流平均幅值相差18.11 kA;2)其余矿藏地区间的雷电流平均幅值相差也较大,如铁矿和镍矿地区相差13.94 kA,锡矿和镍矿地区相差9.37 kA等。这说明由于不同地区的矿藏种类不同,平均雷电流幅值也存在差异。

2.3 雷电日分布特征

2013—2022年凉山彝族自治州雷电日年变化曲线如图7所示,年平均雷电日统计数据见表6。从图7可以看出:1)2013—2017年5种矿藏地区雷电日的变化趋势相同。除了2013年锡矿地区和2017年钨矿地区的雷电日最多外,其余8年,都是镍矿地区的雷电日最多。2)2017—2022年镍矿地

区雷电日数与其余 4 种矿区的雷电日数之差有明显增大,且在 2020 年镍矿雷电日数达到峰值,为 176 d。

3) 2019—2022 年 5 种矿藏地区雷电日数有明显的分级,从大到小分别是:镍矿、铜矿、钨矿、铁矿和锡矿。

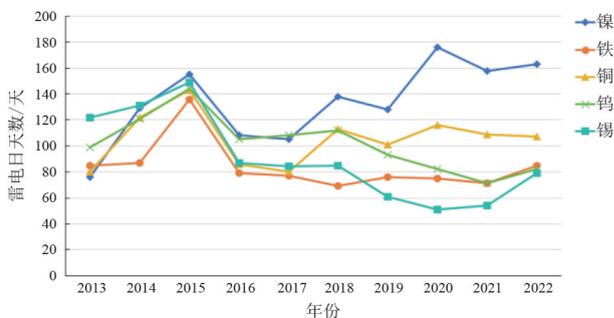


图 7 2013—2022 年凉山彝族自治州雷电日年变化

表 6 2013—2022 年凉山彝族自治州年平均雷电日

矿区	镍	铁	铜	钨	锡
年平均雷电日/d	133.6	84.0	105.7	101.7	90.3

从表 6 可以看出,5 种矿藏地区年平均雷电日相差较大,镍矿平均每年的雷电日数是最大的,铁矿平均每年雷电日数是最小的,相差 49.6 d。说明不同矿藏地区对雷电日具有影响,具体原因也有待进一步研究。

3 结 论

1) 2013—2022 年凉山彝族自治州不同矿藏地区的地闪频次、雷电流幅值和雷电日具有差异,其原因与该地区的矿藏种类有关。在所研究的 5 个矿藏地区中,镍矿对地闪频次和雷电日的影响最为突出,铁矿和钨矿对雷电流幅值的影响较为明显。

2) 不同矿藏地区的雷电参数有明显差异。2019—2022 年镍矿地区的地闪频次远大于其余 4 种矿藏地区。年变化中,镍矿地区 10 年的平均地闪频次为 2 093.9 次,其次是钨矿地区为 1 112.7 次,两者相差 981.2 次;月变化中,镍矿地区有 9 个月地闪频次最大;日变化中,镍矿地区有 21 h 频次最大。

3) 2013—2022 年钨矿地区的雷电流平均幅值最大,镍矿地区的雷电平均幅值最小,两矿区间相差了 13.96 kA。月变化中,铁矿和钨矿地区的雷电流幅值较大,1—4 月铁矿地区最大有 4 个月,5—12 月钨矿地区最大有 8 个月;镍矿地区的雷电流幅值较

小,雷电流幅值最小有 11 个月。日变化中,同样是钨矿和铁矿地区的雷电流幅值较大,镍矿地区的雷电流幅值较小。

4) 2013—2022 年凉山彝族自治州不同矿藏地区的雷电日有明显的差异。镍矿地区的雷电日数相较于其余 4 种矿藏差异比较大,镍矿地区 10 年的平均雷电日为 133.6 d,比其余矿藏地区平均雷电日多了 30 d 左右,且其余 4 种矿藏地区的平均雷电日也有明显差异。

参考文献

- [1] 王学良,余田野,贺姝.湖泊与陆地雷电参数分布特征及其对比分析[J].气象与环境学报,2019,35(6): 132-138.
- [2] 余田野,王学良,张科杰,等.2007—2019 年湖北省地闪分布特征及雷电强度等级划分[J].气象与环境学报,2021,37(6):79-85.
- [3] 陈家宏,张勤,冯万兴,等.中国电网雷电定位系统与雷电监测网[J].高电压技术,2008,34(3):425-431.
- [4] 陈太龙,张驰成,蒋帅.多元气象资料在雷电灾害鉴定中的综合应用[J].湖北农业科学,2020,59(S1): 333-336.
- [5] 丁黎.基于分类知识挖掘的雷电活动与地形关联性研究[D].武汉:华中科技大学,2011.
- [6] 陈军,蔡萍,陈渭民.舟山群岛雷电活动的特征分析[J].气象科学,2008,28(3):342-347.
- [7] 王学良,成勤,王清龙,等.基于 LLS 的多回击地闪及其雷电流幅值分布特征[J].热带气象学报,2021,37(3): 309-319.
- [8] 余田野,王学良,袁海锋,等.基于投影寻踪方法的湖北省雷电灾害风险区划[J].暴雨灾害,2019,38(3): 291-296.
- [9] 李特,周象贤,池伟,等.通道宽度对线路通道雷电多重回击特性统计的影响[J].浙江电力,2019,38(9): 63-68.
- [10] 刘刚,唐军,孙雷雷,等.不同地形地貌的雷电流幅值概率分布对输电线路雷击跳闸的影响[J].高电压技术,2013,39(1):17-23.
- [11] 刘焱,缪启龙,刘森,等.杭州市雷电活动特征及雷电灾害区划[J].气象与减灾研究,2011,34(4):62-67.
- [12] 赵生昊,覃彬全,刘青松,等.重庆市地形对雷电灾害主要致灾因子影响分析[J].气象科技,2020,48(1): 128-131.

- [10] ZENG Wen, MA Hongan, LIANG Yuntao, et al. Experimental and modeling study on effects of N_2 and CO_2 on ignition characteristics of methane/air mixture[J]. Journal of Advanced Research, 2015,6(2):189-201.
- [11] 李光英. 受限空间内 CO_2 对 CH_4 爆炸特性影响研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2021.
- [12] WANG F H, YU M G, WEN X P, et al. Suppression of methane/air explosion in pipeline by water mist[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2017,49:791-796.
- [13] SONG Y F, ZHANG Q. Quantitative research on gas explosion inhibition by water mist[J]. Journal of Hazardous Materials, 2019,363:16-25.
- [14] JING Q, WANG D, LIU Q M, et al. Inhibition effect and mechanism of ultra-fine water mist on CH_4 /air detonation: Quantitative research based on CFD technology[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2021,148:75-92.
- [15] CAO X Y, REN J J, BI M S, et al. Experimental research on the characteristics of methane/air explosion affected by ultrafine water mist[J]. Journal of Hazardous Materials, 2017,324:489-497.
- [16] WANG Z H, WENG W B, HE Y, et al. Effect of H_2 /CO ratio and N_2 / CO_2 dilution rate on laminar burning velocity of syngas investigated by direct measurement and simulation[J]. Fuel, 2015,141:285-292.
- [17] 肖华华. 管道中氢-空气预混火焰传播动力学实验与数值模拟研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2013.
- [18] LUO Z M, ZHOU S Y, WANG T, et al. The weakening effect of the inhibition of CO_2 on the explosion of HCNG with the increase of hydrogen: Experimental and chemical kinetic research[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2023,48(82):32179-32190.
- [19] SU B, LUO Z M, WANG T, et al. Chemical kinetic behaviors at the chain initiation stage of CH_4 / H_2 /air mixture[J]. Journal of Hazardous Materials, 2021,403:123680.
- [20] 王新. 瓦斯浓度对爆炸传播及瓦斯爆炸诱导煤尘爆炸的影响研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2017.
- [21] ZHOU N, NI P F, LI X, et al. Experimental study and numerical simulation of the influence of vent conditions on hydrogen explosion characteristics[J]. Energy Sources Part A-Recovery Utilization and Environmental Effects, 2021:116.
- [22] 王星语. 环境友好氢氟烯炔类化合物的灭火性能和机理研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2020.
- [23] 罗振敏, 康凯. CO_2 抑制甲烷-空气链式爆炸微观机理的仿真分析[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(5):42-48.
- [24] 姜海洋, 张国宾. CO 与 H_2O 抑制瓦斯爆炸的微观反应机理[J]. 煤炭转化, 2019, 42(6):77-87.

作者简介:

杨迎昕(1996),女,硕士,工程师,主要从事输变电工程变电土建、消防专项评审及相关研究工作;

焦一飞(1985),男,硕士,高级工程师,主要从事输变电工程变电土建、消防专项评审及相关研究工作;

曾文慧(1975),女,高级工程师,主要从事输变电工程电气专业评审及变电站科技项目研究工作;

陈中国(1977),男,硕士,高级工程师,主要从事输变电工程土建专业技术监督、变电土建、消防专项评审及相关研究工作;

米红甫(1986),男,博士,副教授,主要从事地下空间火灾及油气爆炸安全防护研究;

罗楠(2000),女,硕士研究生,主要从事地下空间火灾及油气爆炸安全防护研究。

(收稿日期:2023-10-20)

(上接第 56 页)

- [13] 吴曼丽,陈力强. 一次东北冷涡天气过程雷电气象潜势条件诊断分析[J]. 气象科技进展, 2019,9(6):95-99.
- [14] 蔡益智,曾庆昌. 雷电灾害预警中多元气象资料的应用分析[J]. 科技与创新, 2022(7):149-151.
- [15] 赵生昊,覃彬全,杜乐. 基于机器学习和单站地面气象要素的雷电临近预警方法[J]. 气象科技, 2022,50(1):121-128.
- [16] 李晨阳,刘锋英,李军,等. 全国矿产地数据库[J]. 中国地质, 2019,46(S2):1-18.
- [17] 陈家宏,张勤,冯万兴,等. 中国电网雷电定位系统与雷电监测网[J]. 高电压技术, 2008,34(3):425-431.

作者简介:

孙文成(1985),男,硕士,高级工程师,主要从事电网生产技术管理工作。

(收稿日期:2023-10-22)