

利用 SD 型闪电频数识别高原雷雨云和冰雹云

黄彦彬, 王振会

(南京气象学院电子信息与应用物理系, 南京 210044)

摘要: 分析了青海省西宁市和互助县两地的闪电频数资料, 结果表明: 在青海省人工防雷区山多、地形复杂的情况下, 使用 SD 型闪电计数器可以识别炮点周围 40 km 的雷雨云和冰雹云; 当雷暴由山区向平地移动时, 5 min 闪电频数不小于 40 次, 可作为作业指标; 而雷暴从平地向山区移动时, 作业指标不小于 30 次/(5 min)。雷暴云闪电频数的升度大于 10 次/(5 min) 也可以作为识别雷雨云和冰雹云的指标, 但时效较短。利用 SD 型闪电频数识别高原雷雨云和冰雹云是一种简便、经济实用的手段, 有助于没有雷达等观测设备的偏僻山区防雷作业。

关键词: 闪电频数, 雹云, 雷雨云

中图分类号: P482 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2001)02-0275-06

青海省是我国降雹天气最频繁的地区之一, 为了减少冰雹灾害, 青海省利用“37”高炮进行人工防雷, 取得了一定的成效。目前, 青海省在人工防雷作业区布设 3 cm 波长天气雷达 1 部, 用于探测雷雨云和冰雹云, 指挥人工防雷作业, 但由于作业区地处青藏高原, 属多山地区, 且山大沟深、地形复杂, 许多作业点处于雷达探测盲区内, 同时也由于雷达探测距离的限制, 使近 2/3 的炮点只能目测云体发展情况, 凭经验进行防雷作业, 作业的盲目性很大。因此, 如果能够做到早期识别雷雨云和冰雹云, 提前预测出雷雨云向冰雹云的过渡, 及时作业, 就可以人工影响云中雹粒子的形成, 减少雹灾。

结合防雷开展雷雨云和冰雹云的探测研究, 已取得了大量的成果。强对流活动经常伴随强烈的雷电活动^[1]。王昂生等^[2]认为, 用云中闪电特征来识别冰雹云是可行的。70 年代开始, 我国在防雷作业中曾广泛利用闪电计数器来监测冰雹的发生^[3], 结果表明, 冰雹云的闪电频数(5 min 的计数) 远大于雷雨云, 并且利用闪电频数的差异来识别冰雹云, 准确率达 80% 以上。

但是闪电计数器不具备测定闪电源空间位置以及区分闪电极性和强度的能力, 也不能鉴别云闪和地闪^[4], 故随后研究渐少。尽管近年来随着雷电探测技术的发展, 能解决上述问题的闪电定位系统在对流风暴观测中受到重视^[5-9], 但是在地形复杂、经济欠发达且没有雷达、闪电定位系统的地区, 闪电计数器由于具有操作简单、价格便宜、容易维护的特点, 仍比较适合作业炮点结合目测的办法用于识别雷雨云和冰雹云。

SD 型闪电计数器的有效探测距离为 40 km, 具有抗干扰性强、操作简便的特点, 每隔

5 min 自动显示这一时段闪电频数,并自动报警;使用干电池作为电源,不受时间和地点的限制。1997 年青海省引进了一台 SD 型闪电计数器用于人工防雷指挥试验,并于同年布设在青海省西宁市,对其周围 10 余个炮点进行人工防雷指挥试验。1998 年在冰雹出现次数较多的互助县南门峡乡继续进行防雷指挥试验,取得了大量有效资料。通过对闪电频数的观测和分析,识别雷雨云和冰雹云,指挥防雷炮点作业,取得了较好的效果。

根据 1997 年在青海省西宁市和 1998 年在青海省互助县两地区用 SD 型闪电计数器观测的闪电频数资料,本文分析总结了高原雷雨云和冰雹云的闪电时间变化特征和统计特征,供实际应用参考。

1 雷雨云、冰雹云中的闪电频数的个例分析

Reynolds 等^[10]指出,雹粒子与冰晶在碰撞时可分离电荷,此种起电机制的物理原因之一是在雹粒子与冰晶碰撞处存在温度梯度,当离子沿温度梯度进行扩散时,由于 H^+ 离子的迁移率远大于 OH^- 离子,因而在较低温度的冰晶一侧出现较多的 H^+ 离子,从而带有正电荷,在雹粒上聚集较多的 OH^- 离子,因而带有负电荷。在重力作用下,积云内的电荷进一步分离,就会逐步形成几个不同极性的空间电荷中心,随着云内电场的逐渐增强,就会在云内和云地之间产生极强烈的放电过程。由此可见,云中闪电活动的强弱与冰雹云的发生、发展和演变密切相关。因此研究闪电活动与冰雹云的关系,并使用根据闪电资料研究雷暴的发生、发展情况,对于雷雨云和冰雹云的识别和进行有目的的人工防雷作业都是非常有意义的。

根据青海省的实际情况,将雷雨云和冰雹云划分为弱雷雨云、强雷雨云、弱冰雹云和强冰雹云 4 类。

1.1 弱雷雨云

弱雷雨云是发展不很强烈的雷雨云,地面一般不出现降水或有零星降水,云中有时出现闪电,但闪电总次数不多,一般闪电频数不超过 20 次/(5 min)。图 1 为西宁西北部山区 1997-07-10 弱雷雨云过程闪电频数随时间的变化,这次过程降零星小雨。从图可看出,弱雷雨云闪电频数较低,最大峰值仅为 20 次/(5 min),持续时间只有 40 min,闪电频数达到峰值后迅速降低,云体逐步消散。

1.2 强雷雨云

强雷雨云是发展很旺盛的雷雨云,地面没有降雹,多降雨或大雨,闪电持续时间平均达 60 min 以上,闪电频数一般为 20~50 次/(5 min),也有个别强雷雨云闪电频数多于 50 次/(5 min),并有突生、陡降现象。此时易出现雷阵雨,降雨中局部地区夹带小冰粒,这种情况在防雷过程多次出现。图 2 为 1997-07-09 观测到的由西宁市向平安县山区方向发展的一次强雷雨过程的闪电频数随时间的变化。这次雷雨过程闪电的持续时间达 70 min 以上,16:50 到 17:15 云体闪电频数从 16 次/(5 min) 到达第一个峰值 48 次/(5 min),之后降低,到 17:25 后开始猛增,5 min 内达到最大峰值 61 次/(5 min),17:27 开始出现出现降水,17:43 结束,降水量约 6 mm 左右。

1.3 弱冰雹云

弱冰雹云是指地面出现软雹、雨夹雹和直径小于 5 mm 的小冰雹的强雷暴云,是在较强的不稳定的天气系统下形成的,降雹范围较小,对农作物不造成灾害或灾害程度较轻。赵仕雄等^[11]研究发现,青藏高原的降雹多以此类云系为主,但不容忽视的是,在青海高原防雷季节的 8、9 月份,高原冰雹活动发展最为活跃,同时高原农区农作物成熟待收,任何降雹都会给农作

物带来较大的损失,因此,此类雹云也是高原人工防雷的主要对象。弱冰雹云闪电频数一般在 40~70 次/(5 min),与强降雨云差别不大,通常只降少量软雹、小冰雹,每立方米只有几个雹块,降雹时间很短,一般为 1~2 min。图 3 是 1998-09-07 互助县的一次弱冰雹云过程的闪电频数随时间的变化,闪电的持续时间达 160 min 左右,14:39 开始出现降水,之后转为大雨夹小雹,14:50 闪电达到峰值 79 次/(5 min)后快速下降,15:10 降水停止,这次过程只造成轻灾。

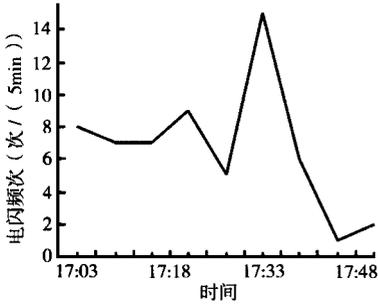


图 1 弱雷雨云闪电频数随时间的变化

Fig. 1 The lightning frequency numbers as a function of time in a weak thundercloud

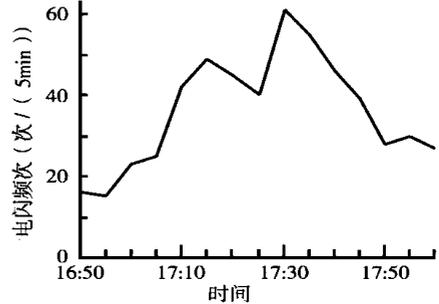


图 2 强降雨云闪电频数随时间的变化

Fig. 2 The lightning frequency numbers as a function of time in a strong thundercloud

1.4 强冰雹云

强冰雹云是在强对流天气系统移动过程中冰雹云不断发展加强而形成的,降雹直径一般较大(5 mm),空间密度也大,常常造成严重雹灾。强冰雹云闪电频数较高,峰值也很高,多具有跃升和陡降的特征。图 4 是 1998-06-21 互助县南门峡地区发生的强冰雹云的闪电频数随时间的变化。由图可见,这次过程闪电持续时间为 130 min 左右,16:40 闪电频数达到峰值 98 次/(5 min),从 16:25 到 17:05 出现了一个连续 40 min 闪电数均大于 60 次/(5 min)的显著峰值区,这期间也是冰雹云发展最为旺盛的阶段,地面降雹出现在比最大峰值发生晚 5 min 的 16:45,与文献[6]观测的青藏高原那曲地区闪电频数峰值迟于开始降雹 3 min 的结论基本一致。这次降雹雹块平均为 7 mm 左右,最大雹块超过 10 mm,造成较大冰雹灾害。

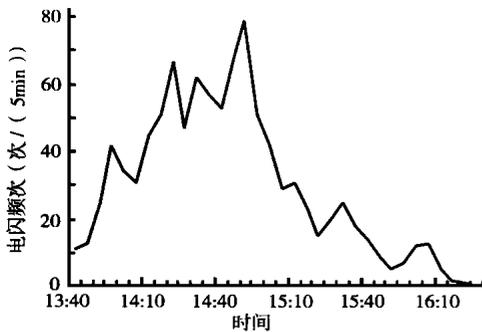


图 3 弱冰雹云闪电频数随时间的变化

Fig. 3 The lightning frequency numbers as a function of time in a weak hail-producing cloud

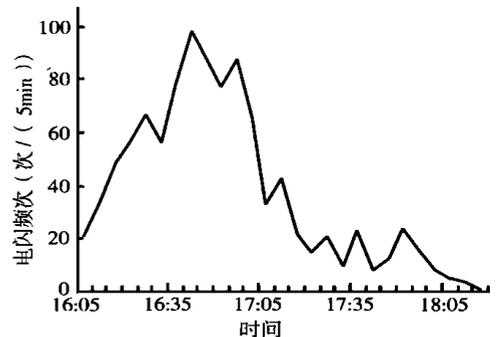


图 4 强冰雹云闪电频数随时间的变化

Fig. 4 The lightning frequency numbers as a function of time in a severe hail-producing cloud

2 雷雨云和冰雹云闪电频数的统计特征

对 1997 和 1998 年人工防雷季节的观测资料进行分析, 计算了雷雨云和冰雹云的闪电频数的平均峰值、最大峰值、峰前最大升度、峰后最大陡度和闪电平均持续时间(表 1)。

表 1 雷雨云和冰雹云闪电频数的观测资料统计量

Table 1 The lightning parameters of thundercloud and hail-producing cloud

	弱雷雨云	强雷雨云	弱冰雹云	强冰雹云
天气过程次数(次)	8	14	5	2
闪电频数平均峰值(次/(5 min))	20	50	60	80
闪电频数最大峰值(次/(5 min))	23	61	81	98
峰前最大升度(次/(5 min))	5	9	11	20
峰后最大陡度(次/(5 min))	3	4	8	12
闪电平均持续时间(min)	43	89	125	87

从表 1 可以看出:(1) 平均峰值明显地由云中对流强度决定。在不降冰雹的雷雨云中, 弱雷雨云仅有 20 次/(5 min), 强雷雨云可达 50 次/(5 min), 而强冰雹云则可高达 80 次/(5 min)。

(2) 最大峰值的基本特征与平均峰值的特征相似, 但随云中对流强度的变化更加明显。例如, 弱雷雨云的最大峰值仅比平均峰值大 3 次/(5 min), 但冰雹云的最大峰值要比平均峰值大 20 次/(5 min) 左右。因为降雹常出现在峰值前沿, 所以用最大闪电频数这一特征指标, 只能用于降雹后鉴别雹云, 可以为人工防雷效果提供依据。

(3) 峰前最大升度 文献[12, 14]指出, 在降雹前闪电频数存在一个酝酿增加的过程, 因此峰区前沿闪电频数增长速率也是区别雹云和雷雨云的重要指标之一。

将闪电频数最大增长速率定义为闪电频数的升度: $\Delta N_{\max} = N_2 - N_1$ 。 N_1 表示前 5 min 闪电次数, N_2 表示后 5 min 闪电次数。对流越强, 闪电频数在峰前增加越快。根据统计, 高原上雷雨云的最大升度在 10 次/(5 min) 以下, 而冰雹云的最大升度在 10 次/(5 min) 以上, 强冰雹云的最大升度平均为弱雷雨云的 4 倍。用峰前最大升度这一特征指标可以用来识别雷雨云和冰雹云, 但时效太短。

(4) 峰后最大陡度 同样定义峰后最大陡度: $\Delta M_{\max} = M_1 - M_2$ 。 M_1 、 M_2 分别为前 5 min 和后 5 min 闪电次数。尽管该统计量随对流强度的变化没有峰前最大升度的特征那样明显, 但对流云的最大陡度较大, 而弱对流云的最大陡度较小仍是事实。

(5) 闪电平均持续时间 闪电持续时间指在天气过程中第一次闪电到最后一次闪电所经历的时间, 基本代表了天气过程中强天气持续的时间。一般对流越强闪电平均持续时间越长。但表 1 中强冰雹云持续时间比弱冰雹云短, 仅与强雷雨云相当, 这可能与观测样本不多有关, 其详细原因有待积累样本进一步研究。

3 地形对闪电频数的影响

由于青海省各炮点的地形差异, 所以观测的闪电频数随时间的变化特征也有所不同。互助县南门峡地区位于大通县东峡山区的下游, 雷雨云由山区向南门峡发展时, 地形的抬升作用引起的雹云强度大、闪电频数高, 是青海省冰雹灾害最多的地区之一。而临近西宁的平安县西部炮点以及湟中县东南部炮点, 由于没有上述特点, 往往冰雹强度较小, 多为小冰雹。因此, 利用

SD 型闪电计数器识别雷雨云和冰雹云时, 必须注意地形对云演变的影响, 及时做出云体发展的预测。根据两年的观测资料, 总结出在不同地形情况下识别雷雨云和冰雹云的闪电频数的参照指标(表 2)。

表 2 不同地形情况下识别雷雨云和冰雹云的闪电频数的参考指标

Table 2 The reference fingerposts of lightning frequency for identifying thundercloud and hail-producing clouds in different terrain 次/(5 min)

云型	山区向平地移动(互助)	平地向山区移动(西宁、湟中)
弱雷雨型	5 ~ 20	0 ~ 15
强雷雨型	20 ~ 50	10 ~ 40
弱冰雹型	40 ~ 70	20 ~ 60
强冰雹型	> 60	> 50

4 结 论

(1) 高原的雷雨云和冰雹云的闪电特征有明显的差异。弱雷雨云的闪电频数一般小于 20 次/(5 min); 强雷雨云的闪电频数为 10 ~ 50 次/(5 min); 弱冰雹云的闪电频数一般为 30 ~ 70 次/(5 min); 强冰雹云的闪电频数基本上都大于 50 次/(5 min), 这些指标可供识别和预测雷雨云和冰雹云时参考。但是, 峰值出现时间常接近地面降雹时间, 故识别先兆时间过短, 给防雷作业造成一定影响。因此必须结合峰前最大升度这一指标, 一般峰前升度大于 10 次/(5 min) 且闪电频数达到前述指标时可以考虑开炮作业, 这样大约可在地面降雹前 10 min 判断冰雹云。另外还必须考虑地形、不同天气形势所带来的影响。

(2) 雷雨云和弱冰雹云闪电频数峰前突升、峰后陡降, 但陡度小于升度, 而强冰雹云峰前升度和峰后陡度都比较大, 在陡度最大时往往是冰雹从云中降落之后, 这是固态粒子荷电急剧减少所形成的现象。

(3) 局地生成的雷雨云和冰雹云, 降水时间较短, 闪电持续时间也较短。

(4) 闪电活动提供了强对流活动的天气信息, 闪电计数器作为识别和预测雷雨云、冰雹云的一种重要的辅助工具, 由于操作简单、容易维护, 所以是一种简单易行、经济实用的手段。在高原远离雷达的山区炮点或雷达因故不能开机时, 可借助 SD 型闪电计数器识别雷雨云和冰雹云, 减少人工防雷作业的盲目性, 提高作业效果。

(5) 闪电发生频数与降雹出现有关, 在降雹出现前约 10 ~ 15 min, 闪电频数存在一个酝酿和跃增的过程, 降雹出现时间比最大峰值出现时间滞后约 5 min 左右, 这说明闪电是降雹的成因, 而非结果。

(6) 应用闪电计数器观测雷暴云的闪电频数, 各地的观测结果有一定差异。根据青海省 1997 年和 1998 年观测结果显示, 高原雷暴的闪电频数与其他地区存在一定的差异, 高原的闪电活动比我国其他地区强度要弱^[2, 3], 而与高原西藏地区观测结果^[7, 12]相差不大。同时青海没有观测到闪电频数达数百次的雷暴, 这可能与观测仪器的性能和灵敏度有关。特别需要指出的是, 并不是闪电频数越高, 雷暴发展就越强^[4], 用闪电资料预测强烈天气发展要小心, 有待进一步积累更多的资料。

参考文献:

- [1] 林炳干, 谢兴生, 陶善昌. 福建省前汛期暴雨天气雷电特性的个例分析[J]. 南京气象学院学报, 1999, 22(2): 155 ~ 163
- [2] 王昂生, 黄美元, 许华英, 等. 防雷识别雷雨云和冰雹云的闪电观测[J]. 科学通报, 1976, 21(12): 546 ~ 549
- [3] 叶宗秀, 陈倩, 郭昌明, 等. 冰雹云的闪电频数特征及其在防雷中的应用[J]. 高原气象, 1982, 1(2): 53 ~ 59
- [4] MACGORMAN D R, HOLLE L R. Cloud-to-ground lightning flash rates relative to radar-inferred storm properties [R]. 10th international conference on atmospheric electricity, 1996. 396 ~ 399
- [5] 魏锦成, 陈泽雨. 闪电定位资料用于雷暴天气监测与诊断的个例分析[J]. 气象, 1997, 23(12): 39 ~ 42
- [6] 周筠君, 张义军, 鄒秀书, 等. 陇东地区冰雹云系发展演变与其地闪的关系[J]. 高原气象, 1999, 18(2): 236 ~ 244
- [7] 周筠君, 陈成品, 刘黎平, 等. 青藏高原那曲地区冰雹天气系统中的大气电场[J]. 高原气象, 2000, 19(3): 239 ~ 247
- [8] 张敏锋, 刘欣生, 葛正谟. 我国北方地区雷电活动的时空特征[J]. 高原气象, 2000, 19(3): 276 ~ 284
- [9] 张翠华, 张义军, 张广庶, 等. 地闪连续电流特征的统计分析[J]. 高原气象, 2000, 19(3): 276 ~ 284
- [10] REYNOLDS S E, BROOK M, FGOURLY M. Thunderstorm charge separation[J]. J Meteor, 1957, 14(5): 426 ~ 436
- [11] 赵仕雄, 李正贵. 青海省冰雹的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1991. 93 ~ 95
- [12] 杨文霞, 刘海月, 张杏敏, 等. 冷涡雷暴闪电特征分析[J]. 气象, 1998, 24(12): 18 ~ 21
- [13] 郭恩铭. 西藏地区的云[M]. 北京: 气象出版社, 1985. 15 ~ 18
- [14] 王雨增. 闪电特征的观测分析[C]. 见: 《全国云物理和人工影响天气会议文集》编写组编. 全国云物理和人工影响天气会议文集. 北京: 气象出版社, 1989. 240 ~ 246

Identification of thundercloud and hailproducing cloud based on lightning counting data

HUANG Yan-bin, WANG Zhen-hui

(Department of Electronic Information and Applied Physics, NIM, Nanjing 210004)

Abstract: Lightning counting data obtained at Xining in 1997 and at Huzhu in 1998 with an SD-type counter are analyzed. It is found that the counter can cover an area as large as 40 km in diameter even in the mountainous districts. It is also found that for hail suppression seeding to a thunderstorm lightning flash rate should be 40 times/(5 min) if the thunderstorm is moving from a mountain area to a plain area and be 30 times/(5 min) if the thunderstorm is moving from a plain area to a mountain area. The rising gradient of flash rate, if larger than 10 times/(5 min), is also indicative of the opportunity for hail suppression. It is concluded that a simple and economic lightning counter is a very useful device for identifying thundercloud and hail producing cloud and for making a decision on the opportunity of hail suppression especially when a weather radar is not available for hail suppression.

Key words: lightning flash rates, hail-producing cloud, thunderstorm cloud