参 考 文 献

1 Li S, Jagoutz E, Zhang Z, et al. Structure of high_pressure metamorphic belt in the Dabie Mountains and its tectonic implications. Chinese Science Bulletin, 1995, 40(2): 138~ 140
2 董树文, 孙先如, 张 勇, 等. 大别山碰撞造山带基本结构. 科学通报, 1993, 36(6): 543~ 545
3 Cong B, Wang Q, Zhai M, et al. Ultra_high pressure metamorphic rocks in the Dabie_Su_Lu region, China: their formation and exhumation. The Island Arc, 1994, 3(3): 135~ 150
4 Zhang R Y, Liu J G, Tsai C H. Petrogeneses of a high_temperature metamorphic belt: a new tectonic interpretation for the North Dabieshan, Central China. J Metamorphic Geol, 1996, 14: 319~ 333
5 李曙光, Hart S R, 郑双根, 等. 中国华北、华南陆块碰撞时代的钐_钕同位素年龄证据. 中国科学, B辑, 1989(4): 312~ 319
6 聂永红, 李曙光. 北大别地体同碰撞镁铁_超镁铁岩侵入体及其地质意义: Sm_Nd年代学证据. 科学通报, 1997, 42(10): 1 086~ 1 088
7 Hacker B R, Wang Q. Ar/Ar geochronology of ultrahigh_pressure metamorphism in central China. Tectonics, 1995, 14: 994~ 1 006
8 聂永红, 李曙光. 缓慢冷却岩石的Rb_Sr矿物等时线与矿物封闭年龄的误差. 地球化学, 1997
9 Dodson M H. Closure temperature in a cooling geochronological and petrological system. Contrib Mineral Petrol, 1973, 40: 259~ 274
10 Giletti B J. Rb and Sr diffusion in alkali feldspars, with implications for cooling histories of rocks. Geochim Cosmochim Acta, 1991, 55: 1 331~ 1 343
11 陈江峰, 谢智, 刘顺生, 等. 大别造山带冷却年龄的$^{40}Ar_^{39}Ar$和裂变径迹年龄测定. 中国科学, B辑, 1995, 25(10): 1 086~ 1 092
12 孙卫东, 李曙光, 陈 文, 等. 构造剪切与变质角闪石过剩Ar的引入: 北秦岭丹凤群斜长角闪岩的Sm_Nd, Rb_Sr和$^{40}Ar/^{39}Ar$测年证据. 高校地质学报, 1996, 2(4): 382~ 389
13 Harrison T M. Diffusion of ^{40}Ar in hornblende. Contrib Mineral Petrol, 1981, 78: 324~ 331

(1997-05-07收稿, 1997-10-10收修改稿)

论闪电先导的双向传输

王才伟 言穆弘 刘欣生 张义军 董万胜 肖庆复 张翠华
(中国科学院兰州高原大气物理研究所, 兰州 730000)

摘要 利用成象率为每秒1 000幅的高速数字化摄象系统、时间分辨率为0.1 μs的闪道电流和地面电场变化同步测量, 对空中和地面人工触发闪电初始先导的特点进行了研究. 结果表明: 由于空气间隙的断流作用, 空中触发闪电产生先导的双向传输, 而地面触发闪电没有观测到双向先导现象. 一次正环境电场下空中触发闪电下行正先导的始发先于上行负先导843 μs. 下行先导不论其极性如何, 接地时都会产生沿通道不均匀的亮度(电流)分布.

关键词 闪电 先导 双向传输 接地过程

先导是一种持续击空的电荷传输过程, 它的激发和传播一直是闪电研究中的一个热点. 早期Schonland[1]提出先导的源电荷模式, 认为先导从空间电荷源始发, 以单极性向一个方向

传输, 在先导通道中电荷分布均匀. 此后, Kasemir[2, 3] 提出了双向不带电先导概念, 将闪电看作环境电场中的导体, 极性相反的先导从环境电场吸取能量并沿不同方向传输, 而整个先导系统为电中性. 这一观点长期来未受到重视, 原因是不同极性双向传输的先导始发于同一个雪崩源处, 难以被人接受. 最近 Mazur[4] 应用双向不带电和单向带电先导的静电学模式, 对不同类型的自然闪电和触发闪电中的共同的物理过程作了解释. 本文根据火箭触发闪电先导的高速摄象、通道底部电流和地面电场变化测量, 讨论先导双向传输特点, 并提出一些新看法.

1 双向先导的光学图象

本工作所用的高速数字化摄象系统的感光部件是 256 × 256 的 CCD 阵列, 采用同步成象方式, 成象率 1 000 幅/ s, 电子快门时间为 0.08 ms, 动态范围 48 dB. 图 1 是 1996 年 7 月 8 日南昌地区一次雷暴过程的负环境电场条件下, 空中触发闪电下行先导的最初两幅高速数字摄象照片(图 1(a), (b)) 和闪道亮度垂直分布(图 1(c)). 导线下端尼龙线长度为 30 m, 它造成了导线与地之间的绝缘间隙. 摄象在离闪电 380 m 处进行, 视野的垂直尺度为 120 m. 从图 1(a) 可见, 火箭升空到达约 430 m 高度时(根据声学方法和残余导线长度推测), 在导线下端(离地 30 m 处) 激发出下行负先导, 1 ms 之后(图 1(b)) 此先导已经接地. 从发光轨迹看, 下行先导开始时基本上沿导线的延伸方向前进, 行进了 12 m 之后, 明显改变方向并出现分枝. 其中右枝的亮度由强到弱, 发展了 9 m 就消亡了, 左分枝曲折前进并最终接地. 图 1(c) 为图 1(b) 同一时刻闪道相对亮度随高度分布, 由此二图都可看到先导接地时亮度分布是不均匀的, 不论 30 m 以下的空气离化通道还是 30 m 以上的金属导线汽化通道的亮度都大体自下向上减弱. 这是因为先导发展过程中沉积于通道中的电荷密度为下大上小, 从而造成先导接地时电流密度的不均匀, 而闪道亮度与电流成正相关, 所以亮度也呈现下强上弱的分布. 至于 30 m 附近亮度的突变, 是由于金属汽化通道和空气离化通道发光特性的不同所引起的.

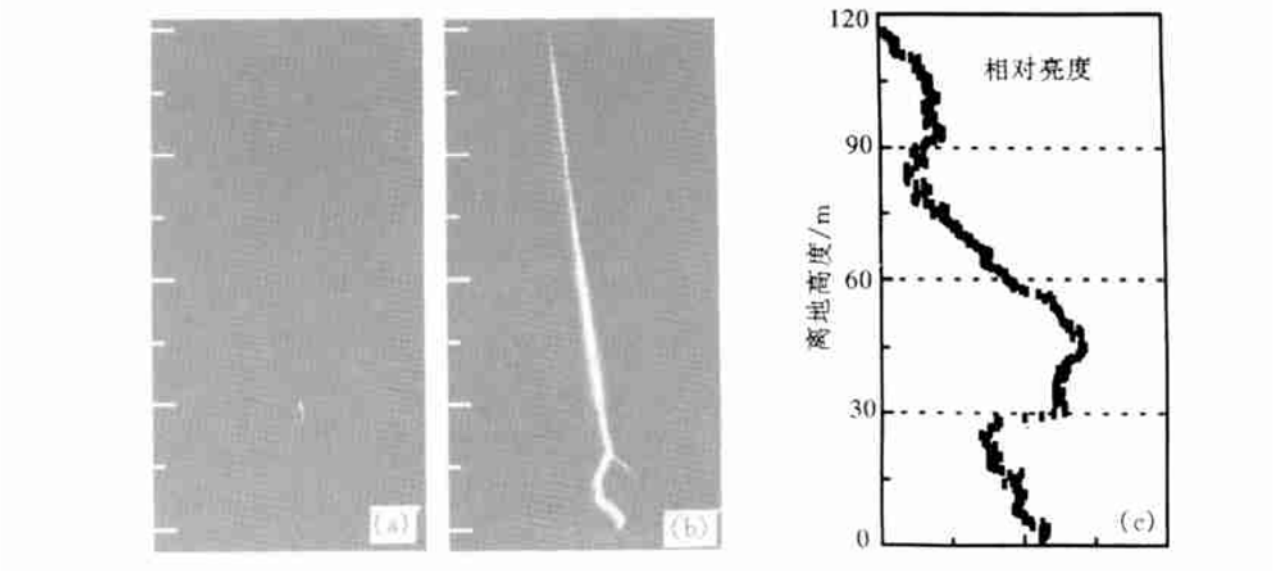

图 1 一次空中触发闪电下行先导的高速数字化摄象照片((a), (b)) 和亮度随高度分布(c)
1996 年 7 月 8 日, 江西南昌

1997 年 7 月 26 日在甘肃平凉成功地引发了两次闪电, 闪电发生时地面均为正电场. 图 2 为这两次闪电初始先导的高速数字化摄象照片, 摄象的距离为 3.5 km, 视场的垂直尺度约为

1 200 m. 图2(a)和(b)是空中触发闪电9703最初2 ms照片,火箭携带的导线下端有一段长度为86 m的尼龙线,它又与长度为35 m的接地导线相连接. 图2(a)中火箭已到达离地约550 m的高度,导线的上端和下端出现了明显的发光. 其上端的发光为从导线顶端始发的上行负先导,下端的发光则起因于从空中导线的下端向下传输的正先导. 下部的发光段比上部的长且已经接地,它由已汽化的35 m接地导线、86 m离化击穿了的空气间隙和一部分已汽化的空中导线组成. 介于上下两个发光段之间的那一段空中导线没有可探测到的亮度,表明这时流经它的电流还不足以使它汽化,因而具有较小的电阻率而不发光. 接地导线和由火箭拖带到空中的导线都是同样的直径为0.22 mm、电阻率为4 Ω/m的钢丝. 前者已经汽化发光,后者除下部一小段外都不发光,这一事实再一次证明了下行先导接地瞬间电流密度沿通道的不均匀性,这也是空中触发闪电所特有的,这是迄今为止在国际同类研究中首次获得的先导双向传输的照片. 在1 ms后的第2幅照片(图2(b))中,通道的亮度明显增加,原来不发光的那一段空中导线也已汽化并明亮地发光. 对其中的物理过程解释如下:与地绝缘的空中导线在正环境电场作用下,其上端会堆积负电荷,下端为正电荷. 随着火箭上升,导线上下端积累的反极性电荷越来越多,其周围的局地电场也越来越强. 由于正流光始发的电场比负流光的低得多,所以在导线下端附近空气首先被击空,激发出向下传输的正先导. 与此同时,由空气离化产生的负电荷沿导线向上传输,使导线上端的局部电场进一步增强直到击穿而产生向上传输的负先导.

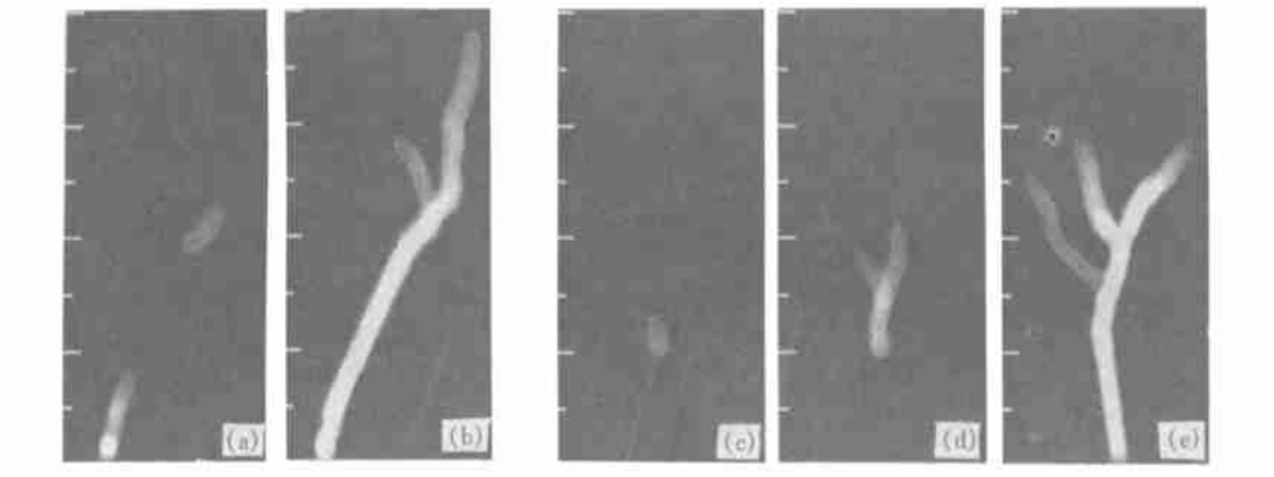

图2 人工触发闪电初始先导的高速数字化摄象照片

(a)、(b)为空中触发闪电9703;(c)~(e)为地面触发闪电9704. 1997年7月26日,甘肃平凉

图2(c)~(e)是导线接地的地面触发闪电9704的初始先导. 图2(c)是上行负先导始发的第1幅照片,先导发源于高度约300 m的接地导线顶端,亮度很弱. 1 ms以后(图2(d))其前锋已到达600 m左右的高度并出现了分枝,但因电流小300 m高度以下的导线仍未发光. 图2(e)是第3毫秒的照片,先导又向上发展了近300 m且出现了第3个分枝,此时先导电流已增加得使导线汽化而明亮地发光.

2 双向先导的电学证据

图3(a)为空中触发闪电9703的通道底部电流和70 m处的电场变化同步记录,采样时间为0.1 μs. 这是一次典型的在正环境电场下触发的闪电,它是没有回击的短暂的连续电流放

电过程, 持续时间只有 16 ms. 图中 $t=0$ 时的正电流脉冲(已饱和) 就是上一节所说的下行正先导接地时的浪涌电流. Uman 等人[5] 把这种下行先导接地时快速的电荷中和过程也称作回击, 但由图 2(b) 的照片可见, 此时上行先导并未入云, 云-地之间的放电通道尚未形成, 而且接地瞬间只有下行先导的正电荷流入大地, 所以它与自然闪电的首次回击是不同的. 这个浪涌电流脉冲(先导下部正电荷的中和) 造成了 $t=0$ 时地面电场的快速负跃变, 而在此之前电场比较缓慢的正变化则是由下行先导输送的正电荷所引起. 图 3(b) 为图 3(a) 中 $t=0$ 之前电流和电场变化的放大波形. 由图 3(b) 可见在接地过程前 853 μs 出现了第 1 个电场变化脉冲 A, 它对应于下行正先导出现的时刻. 在此之后约 160 μs 出现第 1 个电流脉 冲 B, 它可能与从 35 m 接地导线顶部流光的激发有关. 下行正先导的发展过程呈脉冲式, 开始时由它引起的电场正向变化比较缓慢, 843 μs 后突然加快, 意味着此时出现了上行负先导, 它对下行正先导的增强有正反馈作用. 上行负先导出现后 10 μs 下行正先导就接地了, 它引起了 $t=0$ 时的浪涌脉冲电流和电场的负跳变.

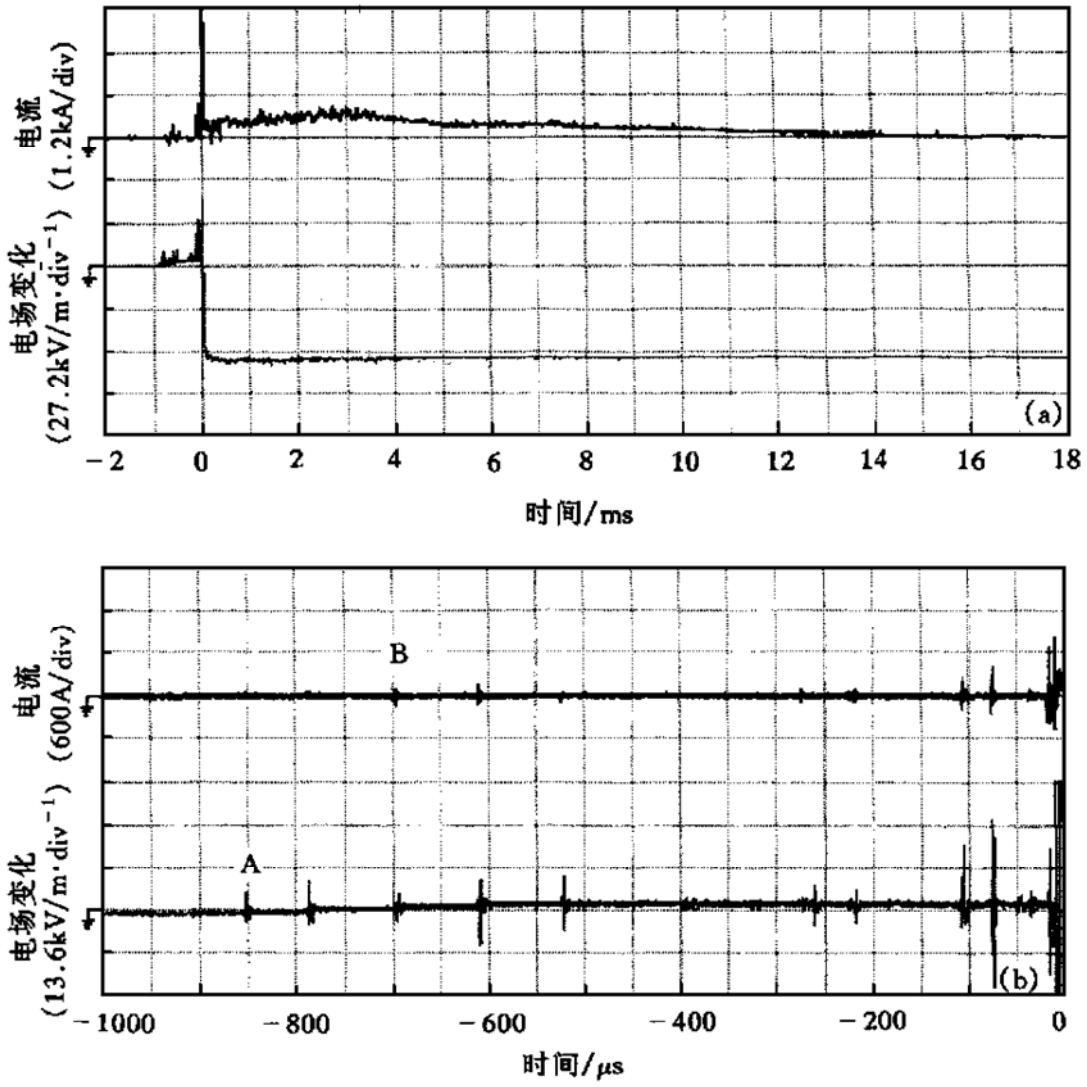

图 3　空中触发闪电 9703 的电流和地面电场变化(a) 及局部放大波形(b)

3 结论和讨论

利用空中和地面人工触发闪电初始先导的光学和电学资料分析了先导双向传输的特点发现,只有在空中触发情况下,由于空气间隙的断流作用导致反极性电荷的堆积,才能产生双向先导. 对于地面触发,由于导线接地,起不到断流作用,所以不能形成双向先导. 本文结果与Mazur[4]的双向先导概念不同,他强调上部先导分枝对下部通道的屏蔽作用,由此使下部通道电流截止. 在截止点由于反极性电荷的不断堆积,产生很大电位梯度,最后导致空气的击穿并产生反极性的先导. 根据实验观测,在两种触发方式中,上行先导都会产生分枝,但没有证据表明由此引起下部通道的电流截止,并进而引发双向先导. 至于自然闪电中先导双向传输是否存在及其出现条件,还有待进一步的实验证据.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号:49235090)和中国科学院(批准号:KZ951-B_1-405)资助项目.

参 考 文 献

1 Schonland B F J. Progressive lightning. IV Proc R Soc London Ser A, 1938, 164: 132~ 150
2 Kasemir H W. A contribution to the electrostatic theory of a lightning discharge. J Geophys Res, 1960, 65: 1 873~ 1 878
3 Kasemir H W. Static discharge and triggered lightning. In Proceedings of 8th International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity. 1983, 24. 1~ 24. 11
4 Mazur V, Ruhnke L H. Common physical processes in natural and artificially triggered lithtning. J Geophys Res, 1993, 98: 129 13~ 129 30
5 Uman M A, Rakov V A, Rambo K J, et al. Triggered lightning experiments at Camp Blinding, Florida (1993~ 1995). T IEE Japan, 1997, 117B: 446~ 452

(1997-10-07收稿, 1998-02-12收修改稿)

甘肃永昌、肃南二叠纪孢粉植物群的发现及其区系性质讨论

欧阳舒 朱怀诚 王 薰④
(中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008; ④中国科学院兰州地质研究所, 兰州 730000)

摘要 龙首山二叠纪孢粉植物群,在早二叠世(山西组+下石盒子组)是以欧美-华夏共有成分为主,以蕨类-种子蕨孢子占优势为特征. 但在下石盒子组裸子植物得到较大发展,至晚二叠世早期(红泉组或上石盒子组)可能已占主导地位,到晚二叠世晚期(大泉组或石千峰组)仍颇丰富,显示出浓厚的亚安加拉区色彩. 研究表明,此区二叠纪经历了华夏植物群由盛到衰、安加拉特别是亚安加拉植物由少到多的过程.

关键词 **孢粉植物群 植物区系 二叠纪 甘肃**

30年代,中国和瑞典科学考察团在甘肃酒泉东南部南山发现所谓"覆盖于华夏植物群之上"的安加拉植物群,曾在国际古植物学界引起轰动和广泛关注[1~3],祁连山-河西走廊一带成为研究这两大植物群关系的枢纽地带之一. 70年代以来,我国学者对这一带及甘肃北山、龙