

雷暴云下空间电荷层形成的数值研究*

孙安平 言穆弘 张义军 郅秀书

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

p427 A

摘 要 利用一个引入了地面尖端电晕放电物理过程的二维轴对称积云起电模式, 讨论了雷暴云下空间电荷层的空间分布和随时间的演化规律。在模式计算上采用了“时步分离法”, 即在小时步上计算电导及各种反极性离子的复合作用, 在大时步上计算平流、对流和湍流扩散项, 对于不同的时间步长垂直方向采用不同的格距。通过模拟分析, 得到了一些较为合理的结果。最后简单地讨论了本工作在以后需改进的地方。

关键词: 地面尖端; 空间电荷层; 电晕电流

1 引言

在雷暴云下, 由于地面突起尖端物附近电场强度能引起尖端电晕放电。Schonland^[1]和 Wormell^[2]以及 Vonnegut^[3]和 Wilson^[4]都研究指出, 地面尖端电晕放电所传输的电荷量比地闪和降水粒子所转移的电荷量还大。对于雷暴下近地面空间电荷层的形成和云中对流起电机理, 地面尖端电晕放电所产生的电晕离子起着重要的作用。

对于地面自然尖端前人做过许多研究工作, Standler^[5]利用一维时变模式计算了地面大量树木尖端的电晕放电过程, 探讨了地面自然尖端电晕放电对电场的影响。言穆弘^[6]通过二维轴对称模式计算了雷暴下金属尖端放电对空间电荷层形成的作用。郅秀书^[7]讨论了近地层空间电荷层对地面及空间电场的屏蔽作用。以上研究在考虑离子传输的过程中只考虑电导而忽略了平流输送作用。本文进一步探讨在考虑平流作用后地面自然尖端放电过程及其对周围电场的影响。

2 模式和参数

本文所用模式是在二维轴对称积云起电模式和一维地面自然尖端电晕放电模式基础上发展起来的, 它实际上是一个积云起电和地面自然尖端电晕放电的耦合模式。模式中考虑的水成物种类包括水汽、云水、雨水、冰晶和冰雹五类, 包含的微物理过程主要有凝结、凝华、云雨自动转化、雨滴对云滴的碰并、雨滴的蒸发、冰雹碰冻冰晶、冰雹碰冻云滴、雨滴的冻结、冰雹的融化和冰晶繁生等微物理过程。所涉及的起电过程包括扩散和电导起电、感应和非感应起电以及次生冰晶起电五种起电机理。模式基本结构和方程组见文献[8]。本文在此基础上另外增加了中性气溶胶粒子和正、负大小离子时变方

1999-09-24 收到, 1999-12-27 收到修改稿

* 国家自然科学基金资助项目 49775254, 同时得到中国科学院寒区旱区环境与工程研究所创新项目 210037 资助

程, 并在正、负小离子方程中引入了地面尖端放电项。

模式增加的方程组为

$$\begin{aligned} \frac{\partial n_+}{\partial t} &= -\frac{1}{r} \frac{\partial(ru_r n_+)}{\partial r} - \frac{1}{r} \frac{\partial(r\mu_+ E_r n_+)}{\partial r} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho w n_+)}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho n_+ \mu_+ E_z)}{\partial z} \\ &\quad + F_{n_+} + G - \alpha n_+ n_- - \beta_{+0} n_+ N_0 - \beta_{+-} n_+ N_- + n_{p+}, \\ \frac{\partial n_-}{\partial t} &= -\frac{1}{r} \frac{\partial(ru_r n_-)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r\mu_- E_r n_-)}{\partial r} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho w n_-)}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho n_- \mu_- E_z)}{\partial z} \\ &\quad + F_{n_-} + G - \alpha n_+ n_- - \beta_{-0} n_- N_0 - \beta_{-+} n_- N_+ + n_{p-}, \\ \frac{\partial N_+}{\partial t} &= -\frac{1}{r} \frac{\partial(ru_r N_+)}{\partial r} - \frac{1}{r} \frac{\partial(r\mu'_+ E_r N_+)}{\partial r} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho w N_+)}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho N_+ \mu'_+ E_z)}{\partial z} \\ &\quad + F_{N_+} + \beta_{+0} n_+ N_0 - \beta_{-+} n_- N_+, \\ \frac{\partial N_-}{\partial t} &= -\frac{1}{r} \frac{\partial(ru_r N_-)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r\mu'_- E_r N_-)}{\partial r} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho w N_-)}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho N_- \mu'_- E_z)}{\partial z} \\ &\quad + F_{N_-} + \beta_{-0} n_- N_0 - \beta_{-+} n_+ N_-, \\ \frac{\partial N_0}{\partial t} &= \beta_{-+} n_- N_+ + \beta_{+-} n_+ N_- - \beta_{-0} n_- N_0 - \beta_{+0} n_+ N_0 + F_{N_0}, \end{aligned}$$

式中, n_+, n_-, N_+, N_-, N_0 分别表示正、负小离子和正、负大离子及中性气溶胶粒子的数密度 (单位: 个/ m^3); β_{+0}, β_{-0} 表示正负小离子被中性气溶胶粒子的俘获系数, β_{+-}, β_{-+} 为正、负小离子和反极性大粒子之间的复合系数, α 为不同极性小离子之间的复合系数; G 是自由大气中离子产生率; F_x 是湍流输送项, K 为湍流扩散系数。在柱坐标系中, 有^[8]

$$F_x = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[Kr \frac{\partial x}{\partial r} \right] + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left[\rho K \frac{\partial x}{\partial z} \right] - K \frac{x}{r^2};$$

$\mu_+, \mu_-, \mu'_+, \mu'_-$ 分别表示正、负小离子和正、负大离子的迁移率, 根据文献[6], 取为

$$\begin{aligned} \mu_+ &= 1.4 \times 10^{-4} e^{0.14 \times 10^3 z}, & \mu_- &= 1.9 \times 10^{-4} e^{0.14 \times 10^3 z}, \\ \mu'_+ &= 1.4 \times 10^{-6} e^{0.14 \times 10^3 z}, & \mu'_- &= 1.9 \times 10^{-6} e^{0.14 \times 10^3 z}; \end{aligned}$$

n_{p+}, n_{p-} 分别为自然尖端上单位时间、单位体积内电晕放电释放的正、负小离子个数 (单位: 个/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s})$)。根据文献[7], 有

$$J_c = a_1 (E_b - E_c)^3 + a_2 (E_b - E_c)^2 + a_3 (E_b - E_c), \quad n_p = J_c / e\mu |E_b|,$$

其中, J_c 为传导电流密度 (单位: A/m^2), E_b 为雷暴下地面环境电场, E_c 是地面尖端电晕放电的临界环境电场, a_1, a_2, a_3 为与地面尖端有关的电晕常数。模式计算中 E_c 采用 Kasemir 的测量值 $780 \text{ V}/\text{m}$ ^[9]。其他参数见表 1。

表 1 模式中所用的各种参数值

参数	β_{+0}	β_{-0}	β_{+-}	β_{-+}	α	a_1	a_2	a_3	G
单位	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	A/V^2	A/V^2	A/V^2	对/ (m^3/s)
量值	2.9×10^{-12}	3.5×10^{-12}	5.0×10^{-12}	6.0×10^{-12}	1.6×10^{-12}	3.1×10^{-20}	1.0×10^{-22}	0	1.54×10^7

3 计算方法和初边值的处理

模式着重于分析雷暴下近地层电晕离子的转化过程。因此,初始大气电场、正负小离子数密度取为晴天大气时的值;初始正、负大离子数密度根据文献[2]取为 10^4 个/ m^3 ;气溶胶粒子数密度根据文献[5]取为 10^{10} 个/ m^3 。

由于地面自然尖端电晕放电物理过程的时间常数较云的动力和微物理过程时间常数小得多,因而耦合模式在做积分计算时采用了“时步分离法”,其具体做法是:首先在二维积云起电模式中根据动力和电初始场以10 s的时间步长、400 m的垂直空间步长计算下一时步的动力、微物理和电参量,然后判断地面各格点上电场值的大小,如果电场值小于地面尖端放电的临界场强(780 V/m)则进行下一时步的计算,如果电场值大于地面尖端放电的临界场强,则以0.1 s的时间步长、10 m的垂直空间步长积分10 s计算地面尖端电晕放电过程。由于在这样小的时间和空间步长内平流、对流和湍流扩散对离子的传输过程可以忽略不计,因而每步只计算电传导及各种离子的复合项,积分10 s后再单独计算一次平流、对流和湍流扩散过程。模式的水平网格距为400 m。

模式的上边界:垂直速度 $w|_{z=\text{top}}=0$,垂直电场取同高度的晴天大气电场,即 $E_z=-6.11$ V/m,将晴天大气电场积分至模拟区域顶部得到上边界电位 $\psi=716\,528$ V。正负小离子数密度 n_+ 和 n_- 取同高度上晴天大气时的值。

下边界处:垂直速度 $w|_{z=0}=0$,电位 $\psi=0$ 。

外场观测结果显示有部分超级单体、多单体风暴都发生在较强低层风切变环境中^[10,11]。对于这种环境中发展起来的雷暴,其内部强烈电活动的发生区域水平尺度很大。但本文所用的模式为轴对称积云模式,因而无法描述发生在切变环境中的雷暴发展。而对于在非切变环境中发展起来的雷暴,起电和放电过程一般发生在距离云轴心几公里范围内^[12]。由于文中主要针对地面的自然尖端,而在自然地表面上几乎处处都有自然尖端物,其高度也不均匀,因此在模式计算时,将地面尖端设在地面距离轴心10个网格点上,10个网格点以外的区域上由于地面电场很小,因此没有考虑。为了计算方便,将地面尖端置于第一层垂直次网格点上。

在以上条件下数值计算了雷暴云下近地面空间电荷浓度、正负大离子、小离子浓度和电场的时空变化特征,分析了地面尖端电晕放电对雷暴云内部电结构的影响。

4 结果分析

4.1 地面轴心处最大电场随时间的变化

模式积分计算至第35 min时地面尖端开始电晕放电。图1为 $N_0=10^{10}$ 个/ m^3 ,模拟时间从35 min至37 min时的地面轴心处垂直电场随时间的分布,由图可见,在考虑和不考虑地面尖端电晕放电两种情况下,地面轴心处的垂直电场随时间的变化截然不同,当不考虑地面尖端电晕放电过程时,由于云内水成物粒子的增加,使得云内的起电过程越来越强,37 min时电场达到3 200 V/m。而当考虑电晕放电过程时,地面轴心处的垂直电场随时间在200 V/m和800 V/m之间振荡。从图中可看到,35 min

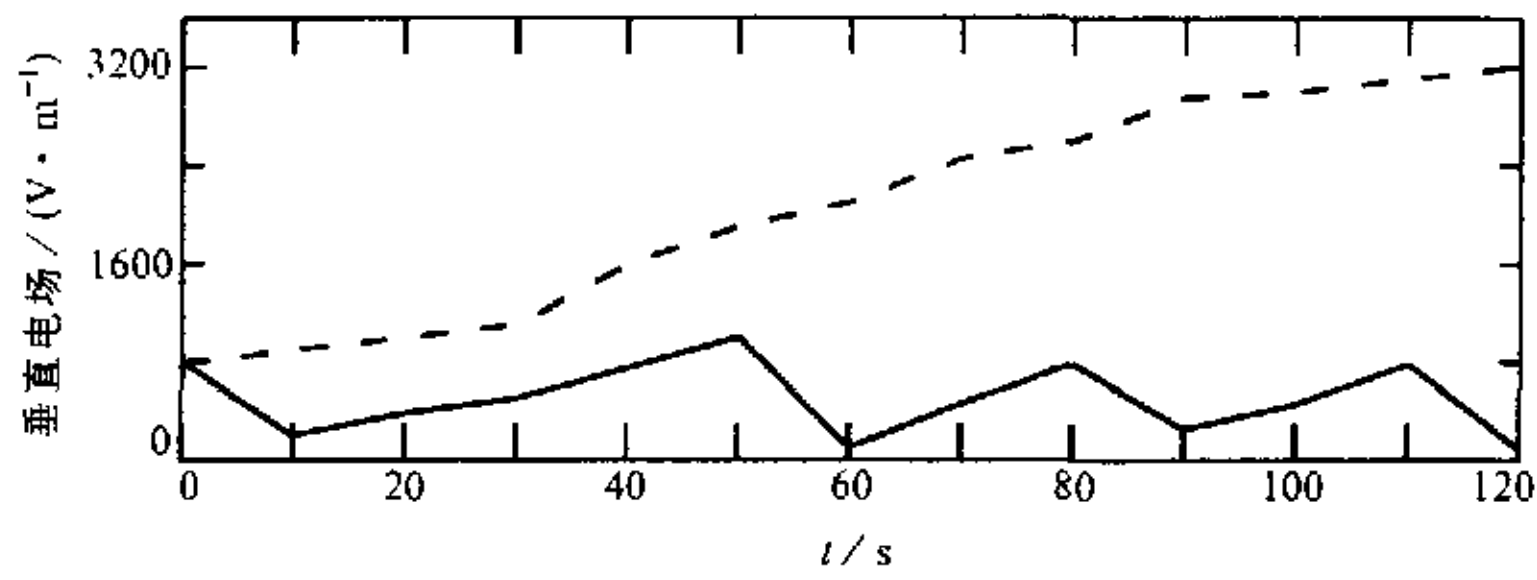


图1 地面轴心处 ($r=0$) 垂直电场随时间的变化
实线和虚线分别为考虑和不考虑地面电晕放电时的电场

时由于电场达到 800 V/m , 地面尖端开始电晕放电, 经过 10 s 的电晕放电过程到 $35 \text{ min}10 \text{ s}$ 时电场降到 190 V/m , 此后在云内起电过程的作用下, 到 $35 \text{ min}50 \text{ s}$ 电场又一次超过 780 V/m , 又一次的电晕放电过程开始, 10 s 后 (36 min) 电场降到 100 V/m 左右。可见, 地面尖端电晕放电对雷暴下地面电场的抑制作用是很明显的。

4.2 地面尖端电晕放电对雷暴云电结构的影响特征

图 2a 和 2b 分别为考虑电晕放电过程模拟至 $36 \text{ min}50 \text{ s}$ 和 $38 \text{ min}50 \text{ s}$ 时电荷密度空间分布, 图 2c 为不考虑电晕放电过程模拟至 $38 \text{ min}50 \text{ s}$ 时的电荷密度空间分布。图中虚线代表负值, 等值线间隔为 1.0 nC/m^3 ($36 \text{ min}50 \text{ s}$) 和 2.0 nC/m^3 , 实线代表正值, 等值线间隔为 0.5 nC/m^3 。由图 2a 看到由于从 35 min 开始的多次电晕放电已使得雷暴云下距离轴心 2 km 到 4 km 范围内正电荷开始积聚, 此时地面附近最大正电荷浓度达到 0.57 nC/m^3 , 而在轴心附近 2 km 内由于原来的负电荷浓度较高, 因而还未出现正电荷, 但电荷浓度已从 -0.85 nC/m^3 减少到 -0.4 nC/m^3 。模拟至 $38 \text{ min}50 \text{ s}$ (图 2b) 时地面附近的负电荷完全消失, 正电荷浓度有所增加, 分布范围在水平和垂直

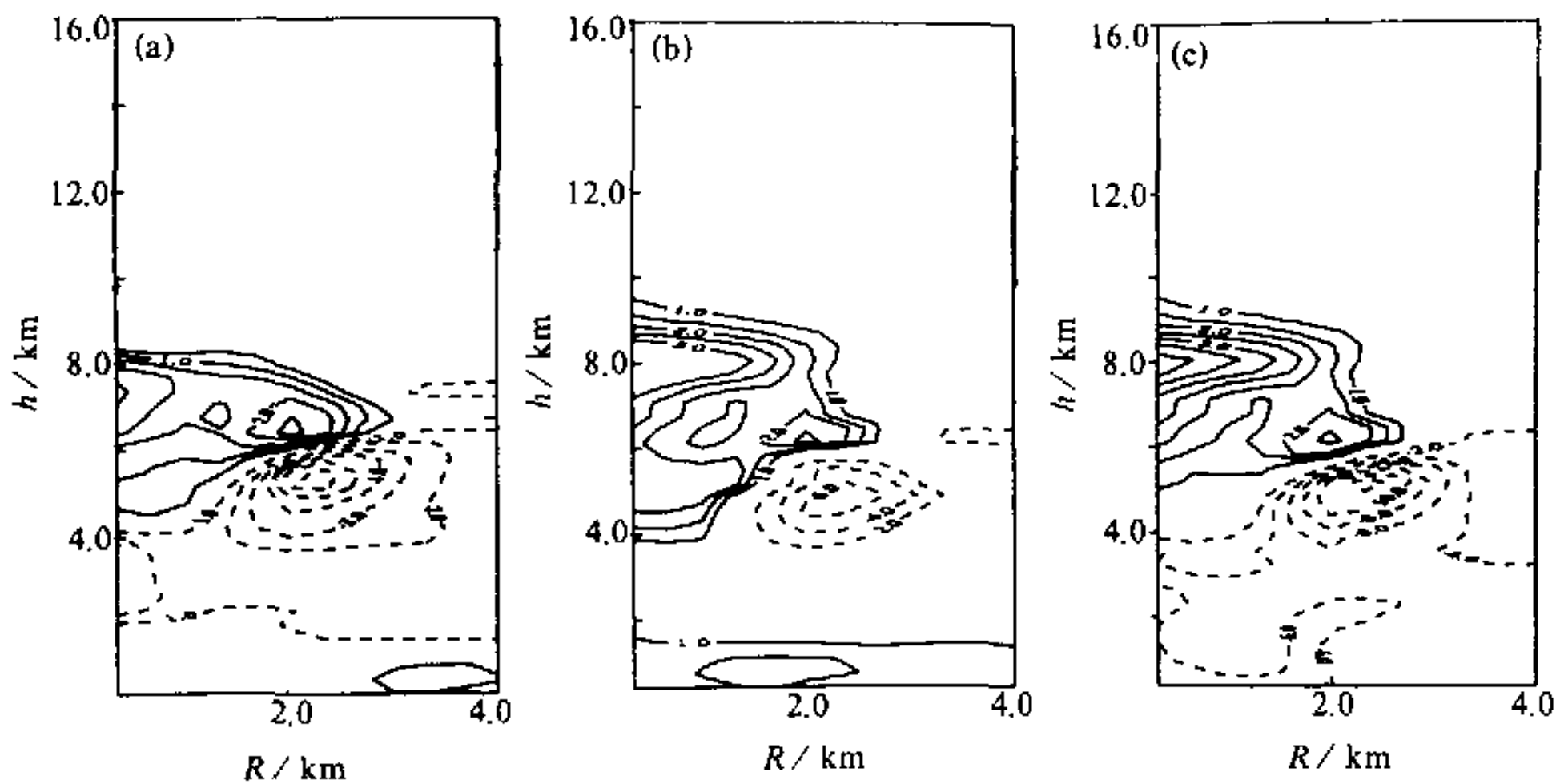


图2 电荷浓度的空间分布
(a) $36 \text{ min}50 \text{ s}$; (b) $38 \text{ min}50 \text{ s}$; (c) $38 \text{ min}50 \text{ s}$ (无尖端放电过程)

方向都相应有所增宽和增厚, 此时最大正电荷浓度达到 1.2 nC/m^3 , 电荷层高度在 36 min50 s 时仅为 1.2 km, 到 38 min50 s 时已接近 2 km。与图 2b 相比发现, 当没有考虑地面尖端电晕放电时 (图 2c), 两算例中在雷暴云的中上部正电荷浓度分布区域相差不大, 其值也非常接近, 而在雷暴云的中下部电荷分布有明显区别。在图 2c 中由于没有电晕放电过程的作用在地面附近积聚了最大浓度为 -6.4 nC/m^3 的负电荷, 同样在 5 km 左右高度上的负电荷中心由于没有受来自地面附近的正离子的中和作用, 其电荷浓度达到 -11.0 nC/m^3 , 而在图 2b 中其最大浓度只有 -6.6 nC/m^3 。

可见, 地面尖端电晕放电产生的自由离子在对流和平流的作用下由地面向上输送, 对雷暴云的中下部电结构有一定的影响, 特别是在云的下部靠近地面附近, 而在云的中上部, 由于降水粒子对电晕离子的吸附使这种影响相对较小。

4.3 雷暴云内电结构对地面尖端电晕放电的反馈影响

表 2 为 35 min、35 min50 s 和 39 min40 s 电晕放电时 5 s 内的电晕电流密度 J_c 值, 可见 35 min50 s 时电晕电流密度减小幅度较 35 min 小, 并且电晕放电持续了 2 s, 而 35 min 时电晕放电只持续了 1 s, 由图 1 看到这两个时刻的电场分别为 800 V/m 和 1000 V/m 左右, 可见雷暴下地面电场越强, 尖端电晕放电持续的时间越长, 所产生的正小离子也越多。而 39 min40 s 时, 由于冰雹下落至云底附近 (图 3), 在云底部正电荷开始堆积并引起负的电晕放电过程。

表 2 电晕电流密度 J_c 随时间的变化

时间	0.2 s	0.5 s	1 s	2 s	5 s
35 min50 s	0.21×10^{-11}	0.63×10^{-12}	0.41×10^{-15}	0.26×10^{-17}	0.0
35 min	0.19×10^{-13}	0.24×10^{-15}	0.52×10^{-18}	0.0	0.0
39 min40 s	-0.56×10^{-15}	-0.78×10^{-19}	0.0	0.0	0.0

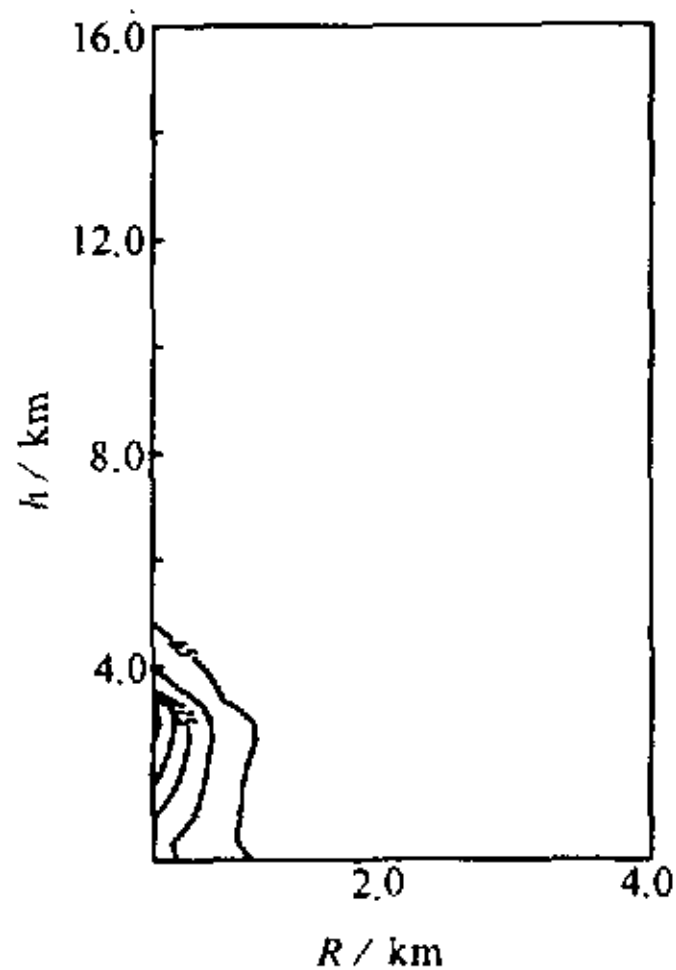


图 3 冰雹分布垂直剖面图

从上面分析的结果可见, 地面尖端电晕放电过程与雷暴下部的电荷分布有很大关系, 在雷暴发展初期, 由于云中还未出现冰雹粒子, 因而在云中下部区域空间电荷以负极性为主, 当负电荷累积到一定程度, 地面尖端电晕放电产生正电晕离子, 这些正离子在对流作用下中和了云底的部分负电荷, 使地面电场减小; 当雷暴云发展至成熟阶段时, 部分冰雹粒子降落到云底, 使云底的电荷区呈现为正极性, 这时当电荷区浓度累积使地面场强超过阈值时, 则产生负电晕离子, 从而削弱了地面电场强度。因此, 雷暴云内的电结构决定着电晕放电的极性和程度, 同时地面电晕放电又抑制着雷暴云下部的电荷累积过程, 两者是相互作用的。

通过与文献[6]的分析结果比较发现当考虑了平流和对流作用后, 地面自然尖端电晕放电释放的电晕离子在水平和垂直方向上分布范围大大增加, 在文献[6]中, 电晕离子在水平径向扩展最大范围仅为 80 m 左右, 垂直方向

大约为 200 m, 而在本算例中, 电晕离子在水平和垂直扩展范围分别达到 4 km 和 7 km 左右。另外, 文献[6]中的环境电场是一假定的常数, 无法反映真实雷暴云电场变化时电晕电荷层的演化特征。因此如果不考虑对流和平流的作用, 而仅考虑湍流扩散和电导对离子的输送作用时, 地面自然尖端电晕产生的离子对雷暴云内电结构的影响将是很小的, 这显然是不符合实际的。

4.4 各种离子浓度随高度的变化特征

图 4a 和图 4b 分别是轴心处 ($R=0$) 36 min 和 38 min 两时次电荷密度和正、负大小离子浓度随高度的变化趋势图, 图 4c 为不考虑地面尖端放电时地面轴心处 36 min 的电荷密度和正、负大小离子浓度随高度的变化趋势图。图中粗实线表示电荷密度, 细实线表示 N_+ 离子浓度, 虚线表示 n_+ 离子浓度, 三点划线表示 n_- 浓度, 两点划线表示 N_- 离子浓度。

由图 4a 看到, 当考虑地面尖端放电过程时, 在 36 min 时由于气溶胶粒子对正小离子的俘获作用使进入大气的电晕正小离子浓度迅速减小, 而同时正大离子浓度在 800 m 以下渐渐增大, 800 m 处已增至 7.2×10^9 个 / m^3 , 同样由于气溶胶粒子对负小离子的

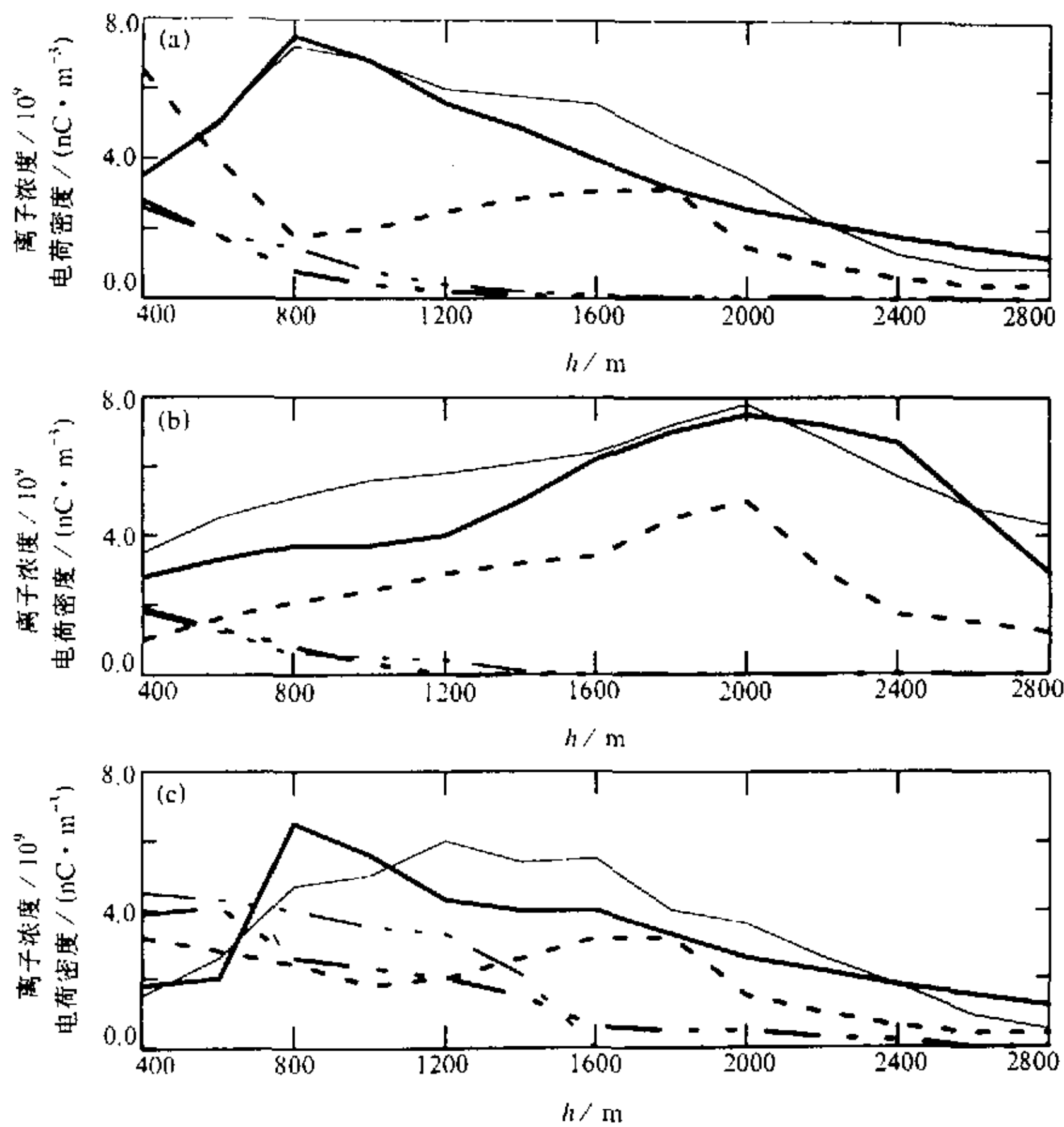


图 4 空间电荷密度及各种离子浓度随高度的变化 ($r=0$)
(a) 36 min; (b) 38 min; (c) 36 min (无尖端放电过程)

吸附使其随高度增加而减小。38 min 时 (图 4b) 在对流输送下, 地面附近的正小离子向高空运动, 在 2 000 m 处达到极大值 5.0×10^9 个 / m^3 , 空间电荷浓度极值区也由 36 min 时的 800 m 上升到 2 000 m 左右, 而负小离子分布与 36 min 时相差不多。

与图 4a 相比, 当不考虑地面尖端放电过程模拟至 36 min 时 (图 4c), 由于没有电晕正离子产生, 空间电荷浓度和正离子浓度在 1 200 m 高度以下比考虑尖端放电时小, 例如在 800 m 处电荷浓度仅为 $6.5 \text{ nC} / m^3$, 正大离子和小离子分别减小为 4.8×10^9 个 / m^3 和 2.6×10^9 个 / m^3 , 1200 m 以上分布差别不大; 而负离子浓度在 1 600 m 以下则有所增大, 800 m 处大、小负离子浓度分别接近 3.0×10^9 个 / m^3 和 4.3×10^9 个 / m^3 , 在 1 600 m 以上变化不明显。

4.5 各种离子浓度随时间的变化特征

图 5a 和图 5b 是从 39 min 至 41 min 时段内地面和 1 000 m 高空上各种正负离子和空间电荷密度的分布, 图 5c 为不考虑尖端放电时地面的离子和空间电荷密度的分布。各种曲线所代表的意义同图 4。从图 5a 中看到, 在 40 s 之前, 由于地面尖端的正电晕

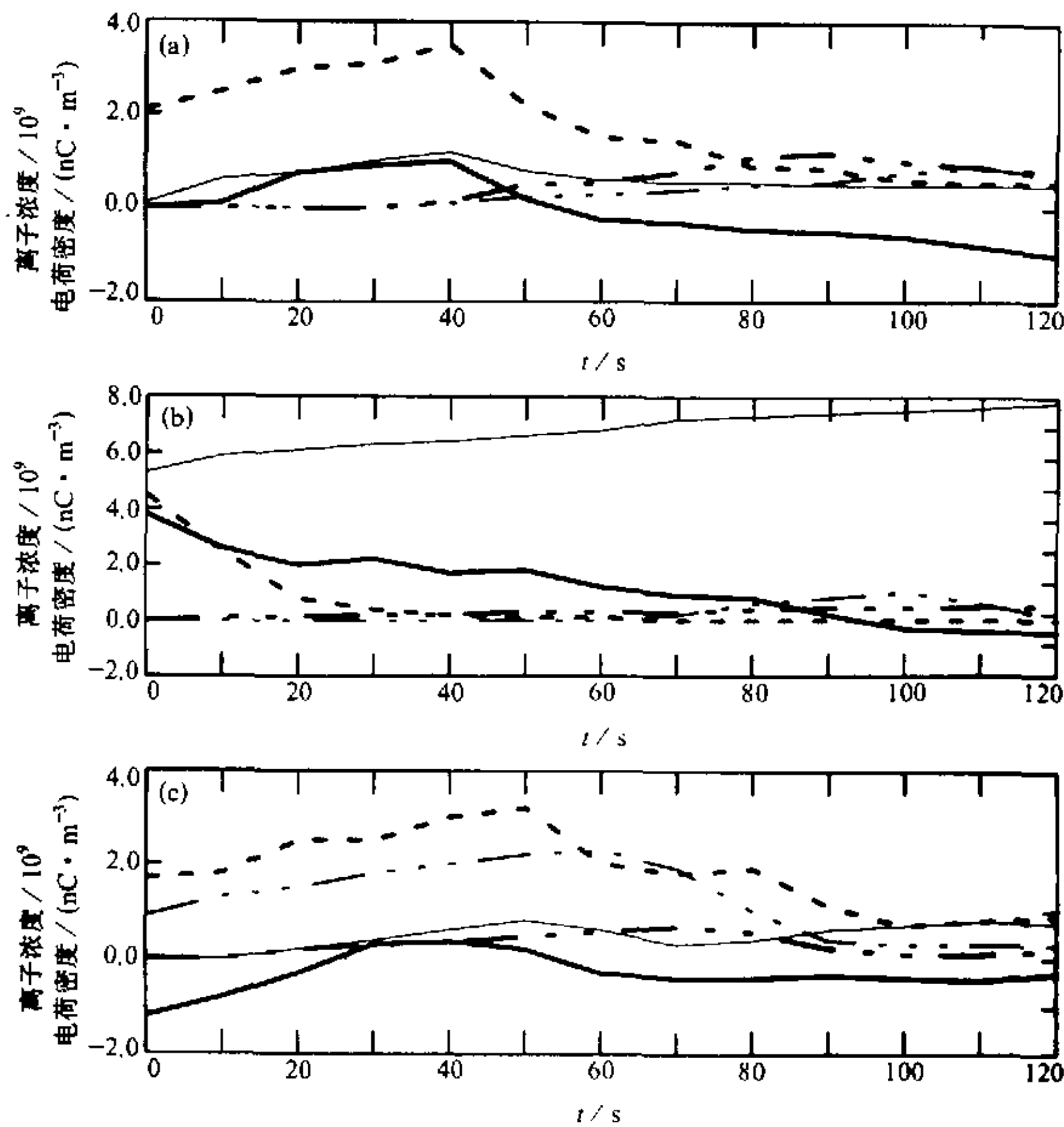


图 5 空间电荷密度及各种离子浓度随时间的变化 ($r=0$)

(a) 地面; (b) 1 000 m; (c) 地面 (无尖端放电)

放电使正小离子浓度逐渐增大, 同时由于气溶胶粒子对正小离子的俘获造成大离子浓度也随之增长, 至 40 s 时正小、大离子浓度达到最大值 3.5×10^9 个 / m^3 和 1.2×10^9 个 / m^3 ; 与此同时电荷密度也随之增长达到 $1.1 \text{ nC} / m^3$, 而从 40 s 开始由于云底部负电荷的出现负电晕放电过程开始发生, 此时, 可看到负离子浓度开始缓慢增加, 120 s 时负小离子浓度达到 0.3×10^9 个 / m^3 , 电荷密度也随之下降到 $-1.0 \text{ nC} / m^3$ 。而当不考虑尖端放电过程时 (图 5c), 同图 4a 相似, 正小、大离子浓度在前 50 s 随时间缓慢增大, 但由于没有电晕正离子的产生, 因而其浓度都比图 4a 中略有减少, 到 40 s 时仅为 3.2×10^9 个 / m^3 和 0.5×10^9 个 / m^3 左右, 此外在这一时段中负小离子浓度增加比图 5a 明显, 到 60 s 时达到最大值 2.2 个 / m^3 , 可见在前 50 s 内由于正大、小离子浓度的减小和负小离子浓度的增加使得电荷浓度比考虑放电时小。60~120 s 由于在地面附近没有负电晕离子的产生, 因而电荷浓度增加明显, 120 s 时达到 $-0.2 \text{ nC} / m^3$ 。1 000 m 高空 (图 5b), 在前 40 s 由于气溶胶粒子对小离子的吸附作用, 正小离子浓度从 4.8×10^9 个 / m^3 减小到 0.5×10^9 个 / m^3 , 而正大离子增大到 6.3×10^9 个 / m^3 , 40 s 时地面尖端负电晕放电产生的负离子在动力和电导的输送下 80 s 时达到 1 000 m 处, 100 s 时负大、小离子达到最大值 0.5×10^9 个 / m^3 和 1.1×10^9 个 / m^3 , 电荷密度减小为 $-0.2 \text{ nC} / m^3$ 。100 s 后由于负小离子逐渐被中性气溶胶粒子俘获, 其浓度慢慢减小, 而负大离子浓度缓慢增加。

5 结语

本文通过一个二维考虑地面尖端电晕放电的轴对称积云起电模式, 计算了空间电荷和各种离子在平流、对流、湍流扩散和各种离子间复合过程的作用下的空间分布和随时间的变化特征, 结果具有一定的理论意义。但由于此模式是一个轴对称模式, 因而不能讨论环境风对近地面空间电晕电荷层形成和发展的影响。以上模拟中地面自然尖端物是置于 10 m 高度上, 这不能真实反映自然地表面情况, 当然自然尖端的高度不同必然会影响到电晕放电过程, 但由于文中所引用的地面尖端电晕放电参数化关系式中没有考虑高度对电晕电流密度的影响, 因而也就无法讨论尖端高度对电晕电荷层形成的影响, 这无疑是不够的, 这将是今后模式计算中需要改进的。

参 考 文 献

- 1 Schonland, B. F. J., The interchange of electricity between thunderclouds and the earth, *Proc. R. Soc.*, 1928, **118**, 252~262.
- 2 Wormell, T. W., Vertical electric currents below thunderstorms and showers, *Proc. R. Soc.*, 1930, **127**, 567~590.
- 3 Vonnegut, B., Possible mechanism for the formation of thunderstorm electricity, *Proc. R. Soc.*, 1955, **235**, 169~181.
- 4 Wilson, C. T. R., A theory of thundercloud electricity, *Proc. R. Soc.*, 1956, **236**, 297~317.
- 5 Standler, R. B. and Winn, W. P., Effects of corona on electric field beneath thunderstorms, *Quart. J. R. Met. Soc.*, 1979, **105**, 285~302.
- 6 言穆弘, 雷暴下金属尖端放电后所至空间电荷层分布的数值计算, *大气科学*, 1986, **10**(3), 302~309.
- 7 郗秀书, 雷暴下地面自然尖端电晕放电离子时空演化的数值模拟, *地球物理学报*, 1996, **39**(增刊), 43~50.

- 8 言穆弘、郭昌明、葛正谟, 积云动力和电过程二维模式研究, I. 理论和模式, 地球物理学报, 1996, 39(增刊), 52~64.
- 9 Kasemir, H. W., Corona discharge and thunderstorm fields, Conference on cloud physics and atmospheric electricity of the AMS 1978, Issaquah, Washington.
- 10 Browning, J. A. and G. B. Foote, Airflow and hail growth in supercell storms and some implications for hail suppression, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1976, 102, 499~533.
- 11 Klemp, J. B. and R. B. Wilhelmson, Simulation of right and left-moving storms produced through storm splitting, *J. Atmos. Sci.*, 1978, 35, 1097~1110.
- 12 Winn, W. P., C. B. Moore and C. R. Holmes, Electrical field structure in an active part of a small, isolated thundercloud, *J. Geophys. Res.*, 1981, 86, 1187~1193.

A Numerical Study of Space Charge Formation Beneath Thunderstorm

Sun Anping, Yan Muhong, Zhang Yijun and Qie Xiushu

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute,
Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract With a two-dimensional axisymmetric model and a ground corona discharge model, we have numerically calculated the temporal and spatial distribution of space charge density and analyzed the formation of space charge layer, especially concerning transportation mechanism for all kinds of ions, under the thunderclouds. The results show that ground point discharge is always controlled by electric structure in the low part of the thunderstorm. On the other hand, ground point discharge, in turn, embraces the development of electric structure inside the thundercloud.

Key words: ground point; space charge layer; corona current