

几种典型化学物质的电离层释放效应研究*

胡耀垓[†] 赵正予 张援农

(武汉大学电子信息学院, 武汉 430079)

(2009 年 9 月 16 日收到; 2010 年 2 月 1 日收到修改稿)

建立了一个包括中性释放气体扩散、离子化学反应及等离子体扩散等过程的化学物质电离层释放三维动力学模型, 基于该模型构建了化学物质释放数值模拟软件平台, 对 H_2O , CO_2 , H_2 和 SF_6 等几种典型化学物质的电离层释放进行了数值模拟, 给出了这些物质在电离层释放后产生的扰动特性和释放区域主要粒子的时空变化规律.

关键词: 典型化学物质释放, 三维动力学模型, 电离层扰动效应

PACC: 9420V, 9410F

1. 引 言

地球电离层是日地空间环境中的一个重要纽带, 也是人类生存的近地空间环境的一部分, 充分了解电离层扰动机理是人类对自身生存环境认识和利用的重要基础. 除太阳等自然因素外, 电离层还受到一些人为因素的影响. 1973 年美国土星 V 火箭在发射天空实验室 (SKYLAB) 时, 在电离层高度上释放出大量尾气 (主要成分是 H_2 和 H_2O), 使得电离层 300 km 左右的高度上产生了一个直径达 1000 km 的巨大的电离层空洞, 该区的总电子含量减少了近 60%, 持续数小时, 导致太平洋广大地区上空的地-地通讯中断, 电离层的最大反射频率降至 2 MHz 左右^[1]. 在一些大型航天活动中, 也观测到类似现象. 近年来国外利用火箭、卫星等搭载化学物质开展了一系列专门的、有计划的空间主动科学实验.

基于已观测到的电离层洞现象, 众多学者在化学物质扰动电离层过程、扩散作用和引起电子密度损耗的机理方面做了大量的理论研究. 1961 年 Booker^[2] 提出扫雪机效应来解释这种电子密度减小的现象, 但没有充分论述这种效应的寿命问题, 也不能用来解释与堆积的火箭气体有关的大规模、长时间的电离层损耗效应. Mendillo 等^[3] 分析了 SKYLAB 发射引起电离层 F 层快速损耗的过程, 认

为电离层洞形成过程的本质主要在于电离层中的 O^+ 与尾焰中 H_2 和 H_2O 分子快速的离子-原子交换反应, 生成分子离子, 随后分子离子迅速与电离层中的电子离解复合, 造成电离层等离子体快速消耗. 几年后, 这种机理在 Los Alamos 国家实验室进行的 LAGOPEDO 项目中得到了确认^[4]. Yu 等^[5] 给出了在无损耗、指数分布大气中点源释放物质扩散的理论结果. Poirier 等^[6] 描述了一个与解析模型相对的中性气体在圆柱中扩散的数值模型. Bernhardt 等^[7,8] 将 Yu 的结果进行了扩展, 给出的释放物质的扩散包含了物质的持续释放和与高度无关的化学损失. Forbes^[9] 和 Mendillo 等^[10] 得到了包含随高度呈指数变化的化学损失项的释放物质的扩散解析解. Bernhardt 等^[11] 发展了一个中性气体在非均匀环境中的扩散模型, 该模型包括在多成分大气中的扩散、化学反应、热扩散效应和与高度有关的风引起的输运. 近年来, 我国学者也开展了部分跟踪研究, 黄文耿等^[12,13] 探讨了中性气体释放的电离层洞和人工气辉的形成机理, 由于仅考虑中性气体在电离层高度的扩散过程和离子化学过程, 因而只能对电离层洞形成初期进行近似模拟, 无法全面考察电离层洞的产生、发展直至恢复等过程.

本文首先建立了一个包括中性释放气体扩散、离子化学反应及等离子体扩散等过程的化学物质电离层释放三维动力学模型, 然后基于该模型实现了化学物质释放数值模拟软件架构, 对其有效性进

* 国家高技术研究发展计划 (批准号: 09AA8093202) 和中国博士后科学基金 (批准号: 20080430988, 200801321) 资助的课题.

[†] E-mail: Farawayhu@sohu.com

行了对比验证,继而对 H_2O , CO_2 , H_2 和 SF_6 等几种典型化学物质的电离层释放进行了数值模拟,并对这几种物质的电离层释放扰动特性进行了比较分析,给出了它们在电离层释放后产生的扰动特性和释放区域主要粒子的时空变化规律.

2. 化学物质释放动力学模型

2.1. 中性气体扩散

假设电离层背景和热层背景为平面指数分层分布,忽略热层风场的影响,中性气体点源释放的扩散方程近似解如下^[11]:

$$n(x, y, z, t) = \frac{N_0}{(4\pi D_0 t)^{1.5}} \exp \left\{ -z \left(\frac{3}{4H_a} + \frac{1}{2H_i} \right) - \frac{H_a^2 \left[1 - \exp \left[-\frac{z}{(2H_a)} \right] \right]^2}{D_0 t} - \frac{(x^2 + y^2) \exp \left[-\frac{z}{(2H_a)} \right]}{4D_0 t} - \left(\frac{1}{H_a} - \frac{1}{H_i} \right)^2 \frac{D_0 t \exp \left[\frac{z}{(2H_a)} \right]}{4} \right\},$$

其中, $n(x, y, z, t)$ 为释放物质密度,它是时间 t 和空间 (x, y, z) 的函数, N_0 为释放的总分子数, $H_a = kT/m_a g$ 为释放点处背景热层大气标高, $H_i = kT/m_i g$ 为被释放气体的标高, k 为玻耳兹曼常数, T 为中性气体温度, m_a, m_i 分别为大气平均分子量和释放气体的分子量, g 为重力加速度; αt 为由于化学反应引起的损失项. 扩散系数 D_0 是温度和释放气体与背景大气组成成分的函数, H_2O, CO_2, H_2 和 SF_6 等几种典型化学物质的扩散系数 D_0 分别为^[14]

$$H_2O: D_0 = \left(\frac{n_{O_2}}{8.46 \times 10^{17} T^{0.5}} + \frac{n_{N_2}}{2.04 \times 10^{17} T^{0.623}} + \frac{n_{O_2}}{2.02 \times 10^{17} T^{0.632}} \right)^{-1},$$

$$CO_2: D_0 = \left(\frac{n_{O_2}}{5.87 \times 10^{17} T^{0.5}} + \frac{n_{N_2}}{6.58 \times 10^{16} T^{0.752}} + \frac{n_{O_2}}{5.77 \times 10^{16} T^{0.749}} \right)^{-1},$$

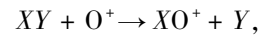
$$H_2: D_0 = \left(\frac{n_{O_2}}{2.97 \times 10^{18} T^{0.5}} + \frac{n_{N_2}}{2.8 \times 10^{17} T^{0.740}} \right)^{-1},$$

$$SF_6: D_0 = \left(\frac{n_{O_2}}{3.06 \times 10^{17} T^{0.732}} \right)^{-1},$$

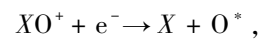
2.2. 离子化学反应

电离层释放物质可按作用后果分为两类:一类是使电离层电子密度增加的物质(如钡等碱金属),这类物质容易发生光致电离而失去电子,使释放区域在极短的时间内电子密度剧增;另外一类是中性气体分子(如 H_2, H_2O, CO_2 和 SF_6 等),主要作用于电离层的 F 区,它们将电离层中的主要离子成分 O^+ 转变为分子离子后再与电子发生离解复合,导致释放区域电离层电子密度有很大程度降低,产生所谓“电离层洞”,本文即以这一类释放物质为研究对象. 依离子化学反应路径不同,此类物质又可分为^[14]

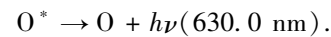
1) 正离子中间产物 (position ion intermediary, PII)



$$k_1 = 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{s},$$

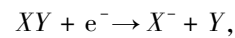


$$k_2 = 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{s},$$

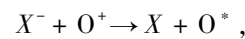


其中, k_1 和 k_2 为离子化学反应速率. XY 为 H_2, H_2O, CO_2 等物质, XO^+ 即所谓正离子中间产物, O^* 是处于激发态的原子氧.

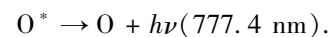
2) 负离子中间产物 (negative ion intermediary, NII)



$$k_1 \sim 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{s},$$



$$k_2 \sim 10^{-7} \text{ cm}^3/\text{s},$$



XY 为 SF_6, CF_3Br 和 $Ni(CO)_4$ 等物质.

一般 NII 的 k_1 大约是 PII 的 k_1 的 100 倍,因此 NII 比 PII 类物质能产生更强的电离层扰动.

2.3. 等离子体扩散

电离层化学物质释放区域电子密度的改变,破坏了原有的带电粒子的密度分布结构和动态平衡. 由等离子体扩散理论,并假设等离子体被限制只能

沿着磁力线运动,可得到等离子体扩散方程^[15]

$$\begin{aligned} \frac{\partial n_p}{\partial t} = & D \cdot \cos^2 I \cdot \frac{\partial^2 n_p}{\partial x^2} + D \cdot \frac{\cos I \sin I}{H_p} \cdot \frac{\partial n_p}{\partial x} \\ & - \cos I \cdot v_D \cdot \frac{\partial n_p}{\partial x} \\ & + D \cdot \sin^2 I \cdot \frac{\partial^2 n_p}{\partial z^2} + \left(\sin^2 I \cdot \frac{\partial D}{\partial z} \right. \\ & + D \cdot \sin^2 I \cdot \frac{1}{T_p} \cdot \frac{\partial T_p}{\partial z} + D \cdot \sin^2 I \cdot \frac{1}{H_p} \\ & \left. - \sin I \cdot v_D \right) \cdot \frac{\partial n_p}{\partial z} \\ & + \left(\sin^2 I \cdot \frac{\partial D}{\partial z} \cdot \frac{1}{T_p} \cdot \frac{\partial T_p}{\partial z} + \sin^2 I \cdot \frac{\partial D}{\partial z} \cdot \frac{1}{H_p} \right. \\ & \left. + D \cdot \sin^2 I \cdot \frac{\partial \ln T_p}{\partial z^2} \right. \\ & \left. + D \cdot \sin^2 I \cdot \frac{\partial (1/H_p)}{\partial z} \right) \cdot n_p + P - L, \end{aligned}$$

其中, n_p 是离子或电子密度; P 和 L 分别代表带电粒子的产生率和复合率, $L = L_0 + \sum_{i=1}^M k_{i1} n_p n_i$, L_0 是 O^+ 与其他粒子反应和光解反应的损失率, 释放中性气体由 M 种中性分子组成, n_i 为第 i 种中性气体的密度, k_{i1} 为第 i 种中性气体与 O^+ 的化学反应速率; $T_p = (T_e + T_i)/2$ 是等离子体温度; H_p 是等离子体标高, $H_p = 2T_p k / (m_p g)$; I 是磁倾角; D 是有效双极扩散系数, $D = (1 + T_e/T_i) D_i$, D_i 是离子扩散系数; v_D 为外加漂移速度(风速), 若忽略其影响, 则 $v_D = 0$.

3. 化学释放数值模拟程序

基于 Matlab R2007a 实现的化学物质释放数值模拟程序, 流程图如图 1 所示.

背景电离层、热层和磁场参数分别由国际参考电离层 IRI-2007, MSIS-E-90 和 DGRF/IGRF 1945—2010 得到, 忽略中性风场影响, 其他重要参量如化学反应速率、扩散系数等可参考文献[8, 14]. 点源释放参数包括地点(经纬度)、高度、释放物质种类和释放量等.

4. 数值模拟结果

本文首先对动力学模型的有效性进行了对比

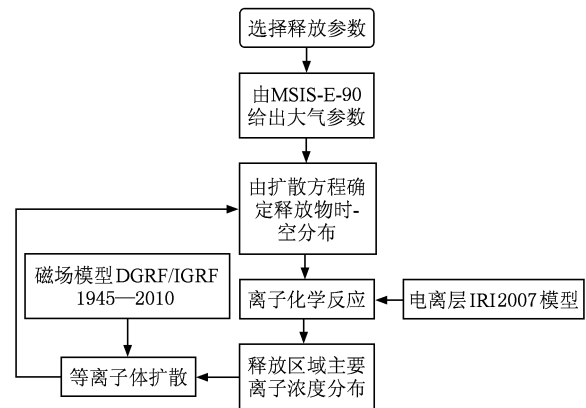


图1 化学物质释放数值模拟流程图

验证, 然后对 H_2O , CO_2 , H_2 和 SF_6 等几种典型化学物质的电离层释放进行了数值模拟, 探讨了在不同高度、不同释放量情况下, 它们的电离层扰动效果、电离层洞形态和动力学特性等. 这里采用“物质分子式-摩尔数/质量-释放高度-释放时间”标记不同试验, 如“ H_2O -100mol-300km-300s”表示在 300 km 高度释放 100 mol 的水, 历时 300 s. 其他参数如下: 释放地区: 海口 (E110, N20); 释放高度: 250, 300 km; 释放量: $1-1 \times 10^4$ mol; 扩散时间: 约 600 s.

4.1. 对比验证

采用本文建立的释放模拟程序和 Anderson 等^[16]在赤道电离层释放 H_2 的模拟结果进行了对比, 给出 H_2 -5 kg-300 km, H_2 -20 kg-300 km 和 H_2 -10 kg-350 km 释放在不同时刻的电离层电子密度分布, 如下图 2, 3 和 4 所示. 为便于比较, 这里采用与文献[16]相同的坐标系和单位, 其中横轴表示水平距离, 纵轴表示距地面高度, 等高线代表了电子密度的对数值 $\log_{10} N_e$ (单位 cm^{-3}).

释放后 52 s 时刻释放中心处电子密度相对变化率对比如下表 1 所示.

表1 释放后 52 s 时刻释放中心处电子密度相对变化率对比

释放试验	电子密度相对变化率/%	
	文献[16]	本文模拟结果
H_2 -5 kg-300 km	37	40.24
H_2 -20 kg-300 km	54	74.51
H_2 -10 kg-350 km	51	60.45

对比显示, 本文和文献[16]给出的电离层释放区域电子密度分布模拟结果基本一致, 电离层受扰

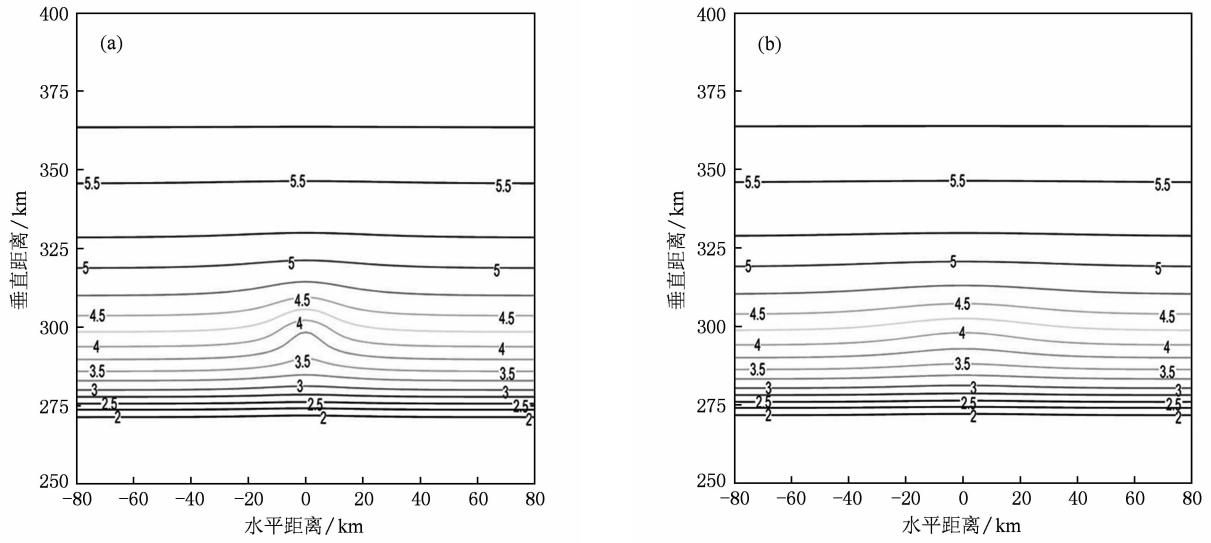


图 2 H₂-5 kg-300 km 电子密度对数分布 (a)20 s;(b)52 s

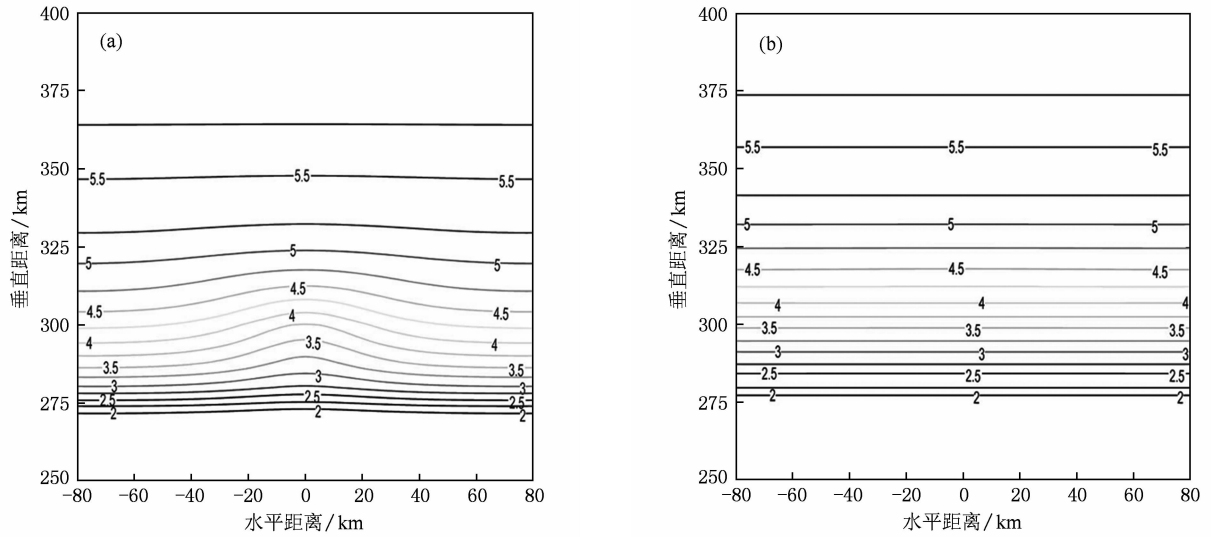


图 3 H₂-20 kg-300 km 电子密度对数分布 (a)52 s;(b)1252 s

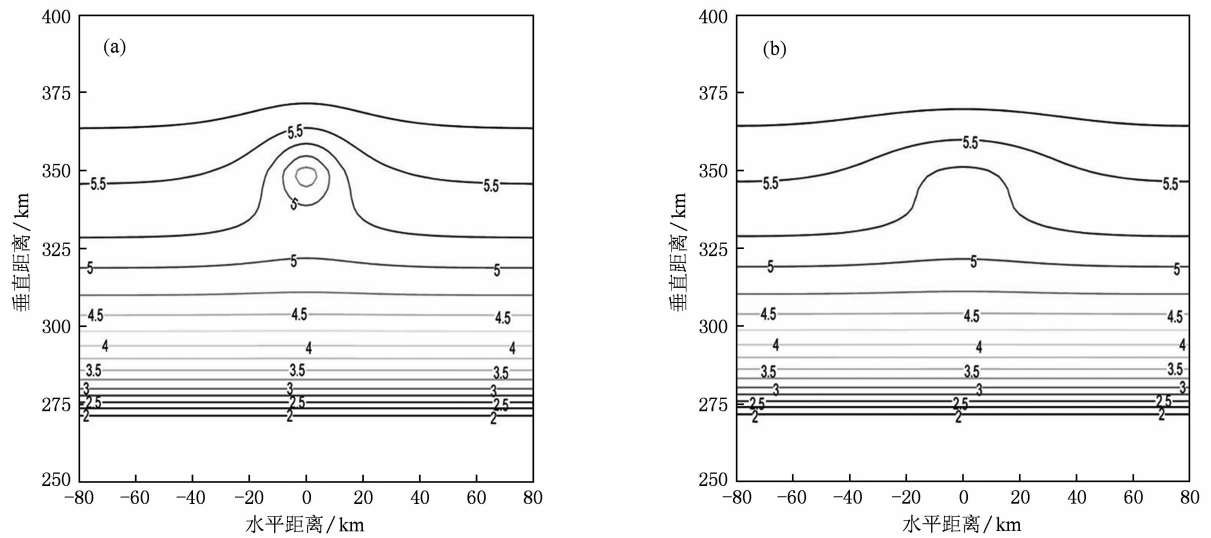


图 4 H₂-10 kg-350 km 电子密度对数分布 (a)20 s;(b)52 s

区域(电离层洞大小)和强度(电子密度相对变化率)相当. 由于所选用电离层模型、动力学模型的不同, 两种结果之间存有一定差异是合理的.

4.2. H₂O-1 mol-300 km-300 s

图 5 给出释放后 30, 300 s 时刻, 释放中心处电子密度剖面信息, 图 6 给出的是释放点处电子密度随时间的变化. 结果显示, 在 300 km 高度处释放 1 mol 的 H₂O, 不能形成明显的电离层洞.

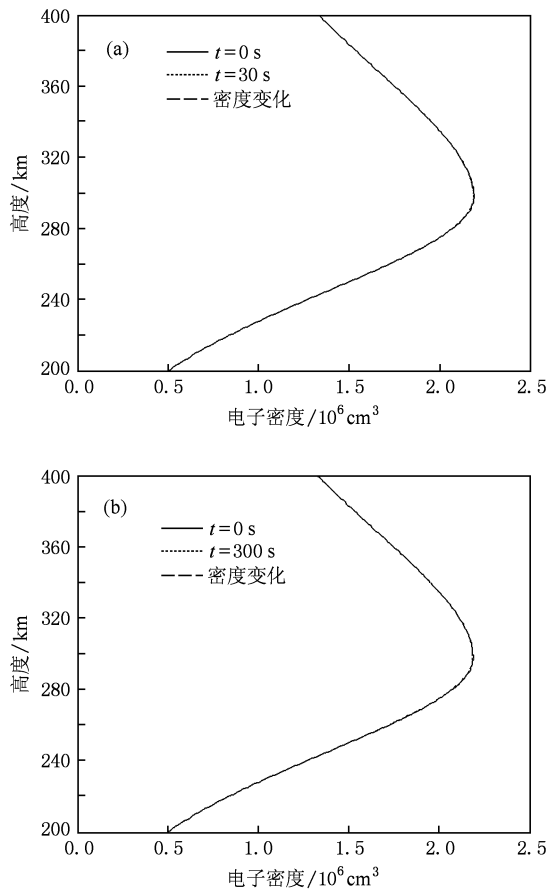


图 5 释放后不同时刻释放中心电子密度及其变化剖面图 (H₂O-1 mol-300 km-300 s) (a) 30 s; (b) 300 s

4.3. H₂O-100 mol-300km-300s

图 7, 8 显示, 300 km 高度处释放 100 mol 的 H₂O, 出现电离层洞的最大半径约 50 km, 电子密度最大相对变化率(10.1297%)出现在释放后约 30 s 时刻, 电子密度也在约 30 s 时刻达到最小值, 此后进入缓慢的恢复阶段.

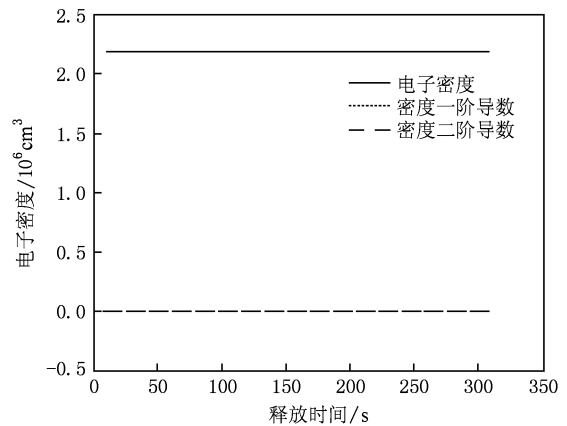


图 6 释放点电子密度变化图 (H₂O-1 mol-300 km-300 s)

4.4. H₂O-10000 mol-300 km-300 s

300 km 高度处释放 10000 mol 的 H₂O, 可形成半径约 100 km 的电离层洞, 电子密度相对变化率高达 90% 以上. 释放中心电子密度约在释放后 90s 时

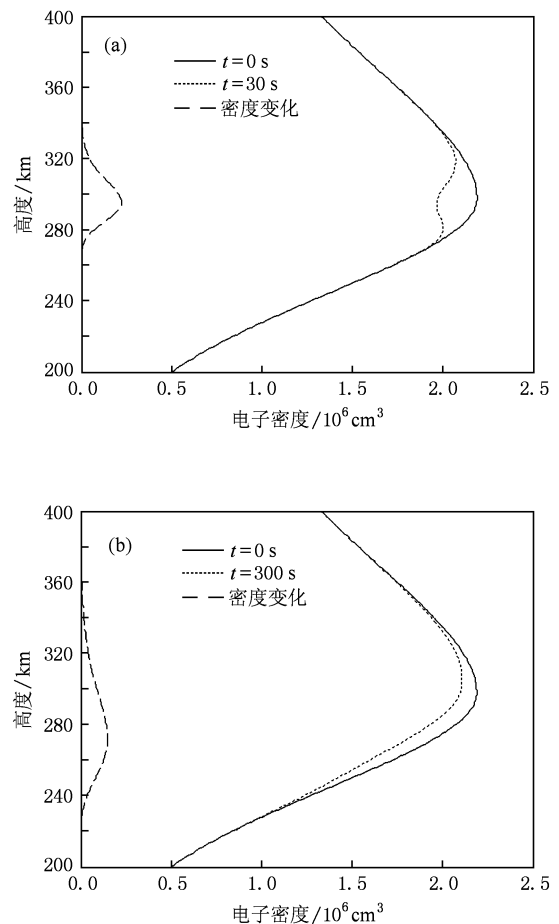


图 7 释放后不同时刻释放中心电子密度及其变化剖面图 (H₂O-100 mol-300 km-300 s) (a) 30 s; (b) 300 s

刻达到最小值. 随着时间推移, 电离层洞中心高度逐渐降低. 图 11 所示释放后 90 s 时刻释放区域各

粒子密度分布图显示, 释放物质和电离层洞轮廓都并非理想的球状, 而是呈上大下小.

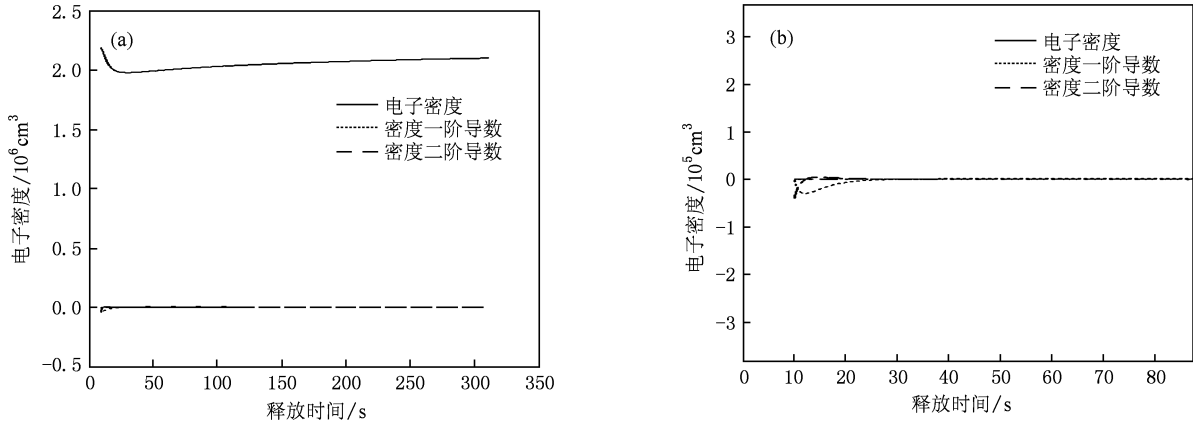


图 8 释放点电子密度变化图($H_2O-100\text{ mol}-300\text{ km}-300\text{ s}$) (a) 0—300 s; (b) 0—90 s (b) 为(a)的局部放大)

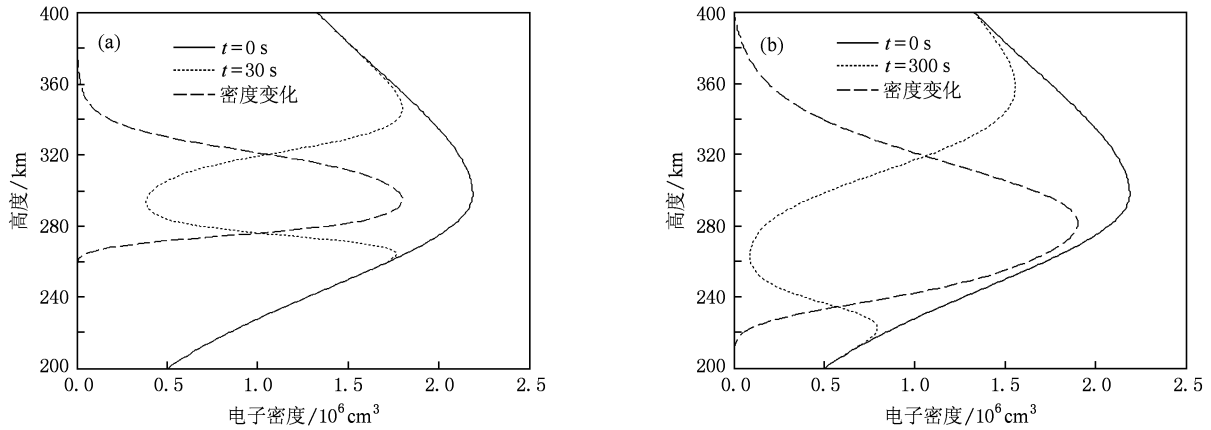


图 9 释放后不同时刻释放中心电子密度及其变化剖面图($H_2O-10000\text{ mol}-300\text{ km}-300\text{ s}$) (a) 30 s; (b) 300 s

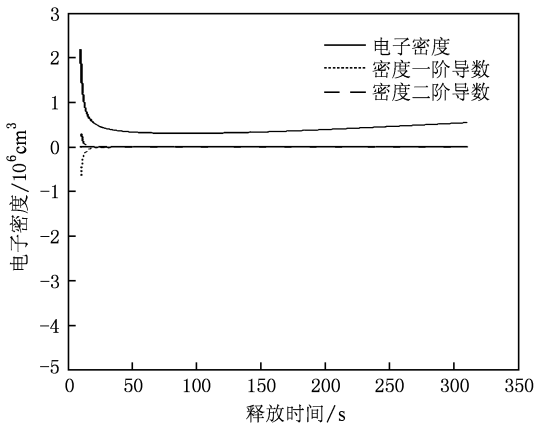


图 10 释放点电子密度变化图($H_2O-10000\text{ mol}-300\text{ km}-300\text{ s}$)

4.5. $H_2O-100\text{ mol}-250\text{ km}-300\text{ s}$

250 km 高度处释放 100 mol 的 H_2O , 形成半径约 50 km 的电离层洞, 但其形态与 $H_2O-100\text{ mol}-300\text{ km}-300\text{ s}$ 有很大差异. 释放后 30s 时刻电子密度最大相对变化率 47.1246%, 电子密度极小值约在释放后 40 s 时刻, 此后进入缓慢的恢复阶段.

4.6. $CO_2-100\text{ mol}-300\text{ km}-300\text{ s}$

300 km 高度处释放 100 mol 的 CO_2 , 形成半径不超过 40 km 的电离层洞, 释放后 30s 时刻电子密度最大相对变化率仅 4.9042%, 电子密度极小值约在 35 s 时刻.

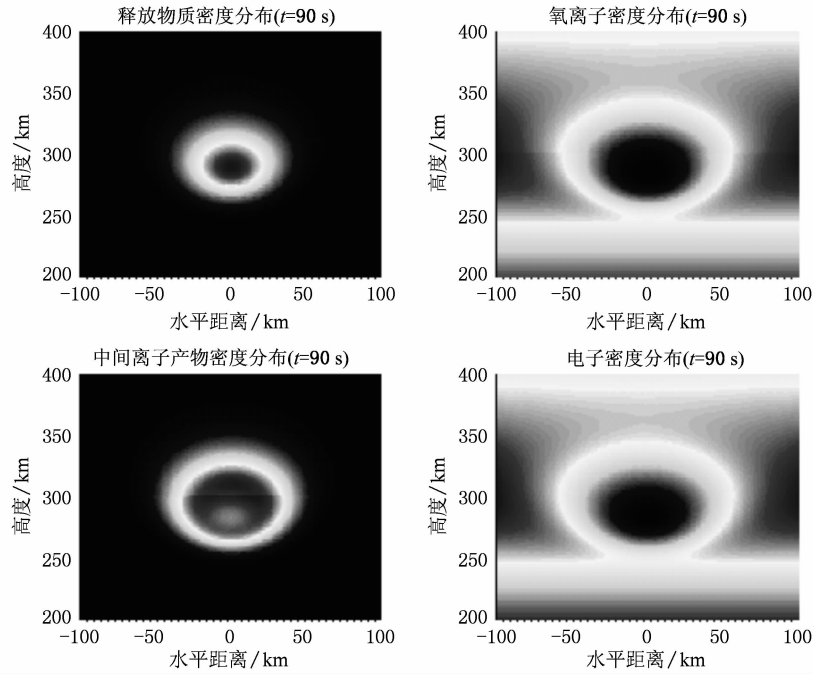


图 11 释放后 90 s 时刻释放区域各粒子密度分布 ($H_2O-10000 \text{ mol}-300 \text{ km}-300 \text{ s}$)

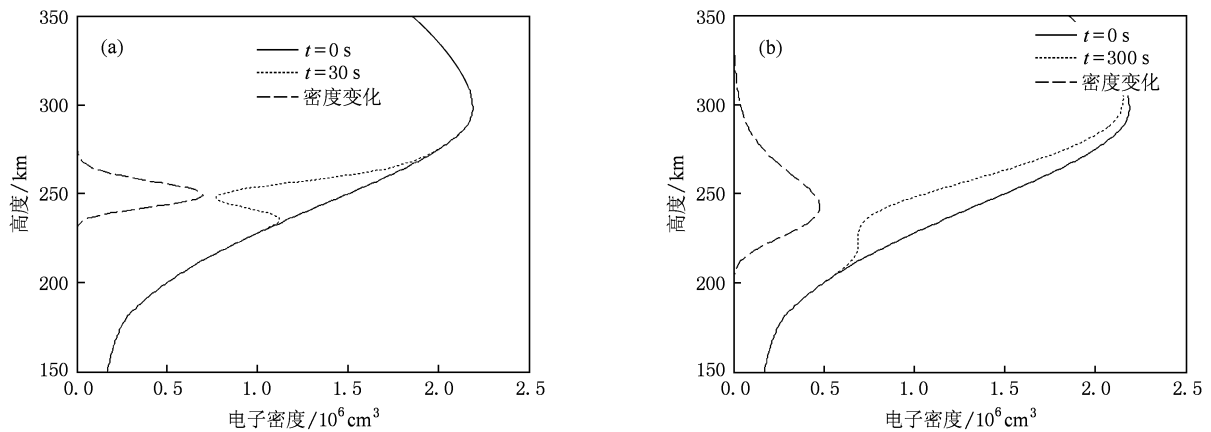


图 12 释放后不同时刻释放中心电子密度及其变化剖面图 ($H_2O-100 \text{ mol}-250 \text{ km}-300 \text{ s}$) (a)30 s; (b)300 s

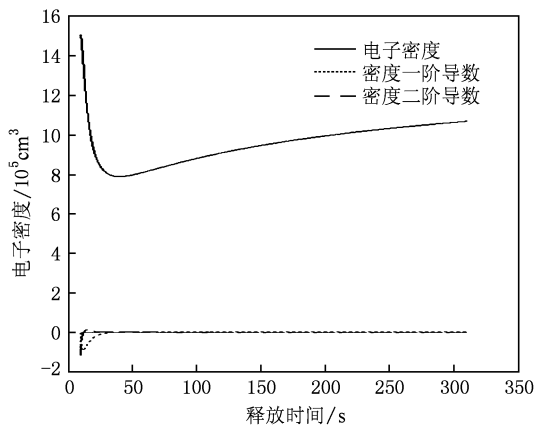


图 13 释放点电子密度变化图 ($H_2O-100 \text{ mol}-250 \text{ km}-300 \text{ s}$)

4.7. $H_2-100 \text{ mol}-300 \text{ km}-300 \text{ s}$

300 km 高度处释放 100 mol 的 H_2 , 没有形成明显的电离层洞, 释放后 30 s 时刻电子密度最大相对变化率仅为 1.1947%, 电子密度极小值约在 70 s 时刻, 并迅速得以恢复到受扰前电离层状态.

4.8. $SF_6-1 \text{ mol}-300 \text{ km}-600 \text{ s}$

300 km 高度处释放 1 mol 的 SF_6 , 即可形成最大半径约 60 km 的电离层洞, 电子密度相对变化率近 40%, 所产生的电离层扰动效果优于 100 mol 的 H_2O, CO_2 和 H_2 . 释放后 30 s 时刻电子密度最大相

对变化率为 34.7318%, 释放中心处电子密度约在 17.5 s 时刻达到最小值.

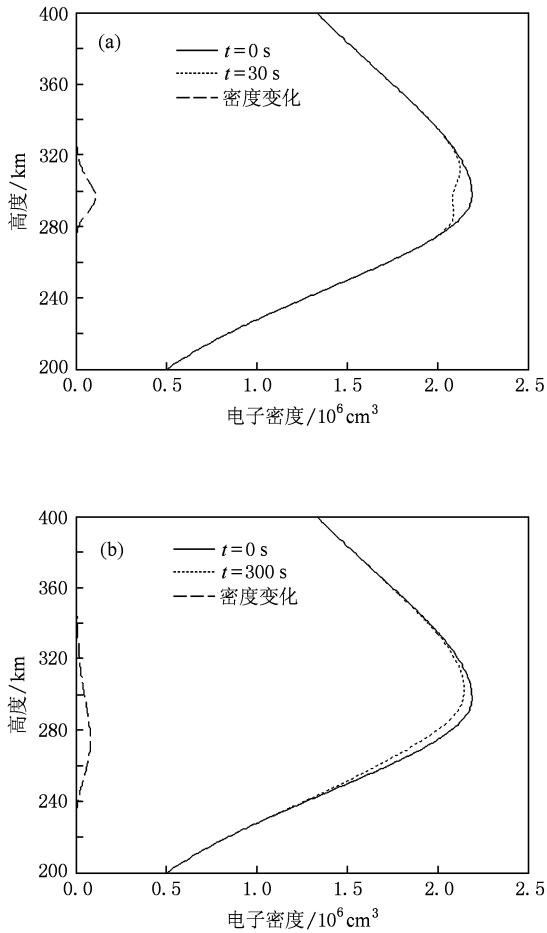


图 14 释放后不同时刻释放中心电子密度及其变化剖面图 (CO₂-100 mol-300 km-300 s) (a)30 s;(b)300 s

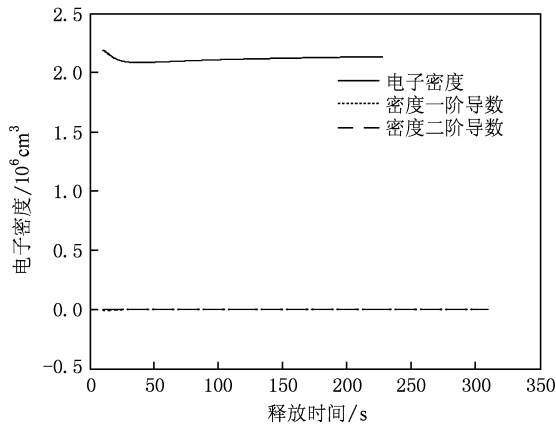


图 15 释放点电子密度变化图 (CO₂-100 mol-300 km-300 s)

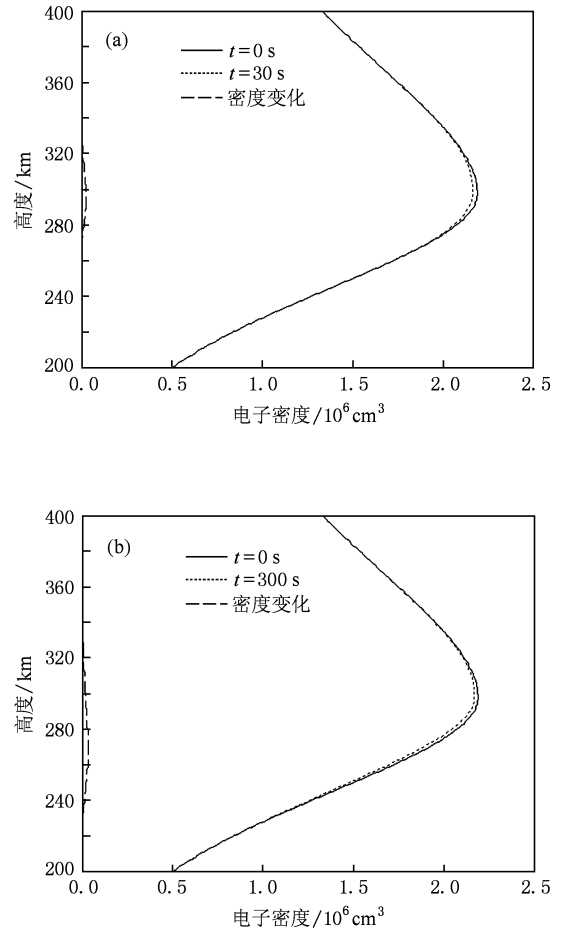


图 16 释放后不同时刻释放中心电子密度及其变化剖面图 (H₂-100 mol-300 km-300 s) (a)30 s;(b)300 s

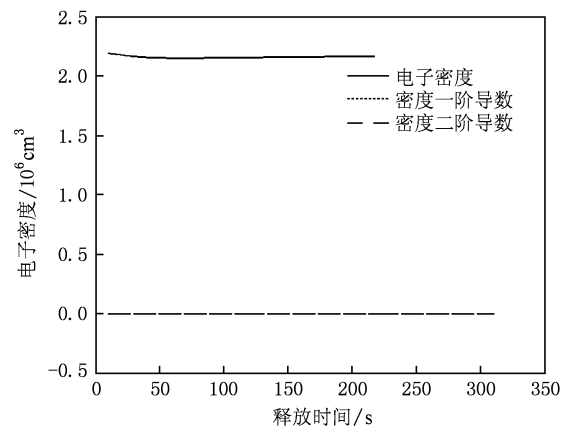


图 17 释放点电子密度变化图 (H₂-100 mol-300 km-300 s)

4.9. SF₆-100 mol-300 km-600 s

300 km 高度处释放 100 mol 的 SF₆,可快速造

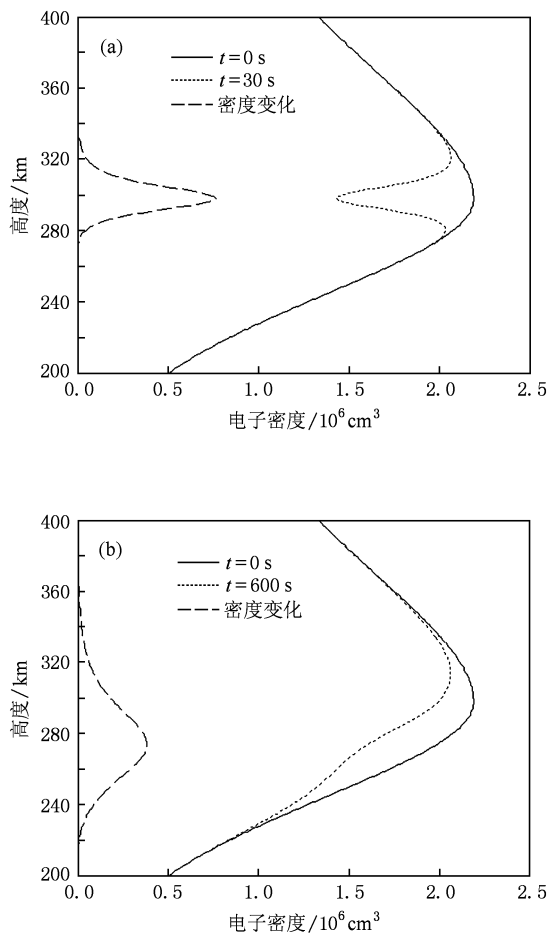


图 18 释放后不同时刻释放中心电子密度及其变化剖面图 (SF₆-1 mol-300 km-600 s) (a)30 s;(b)600 s

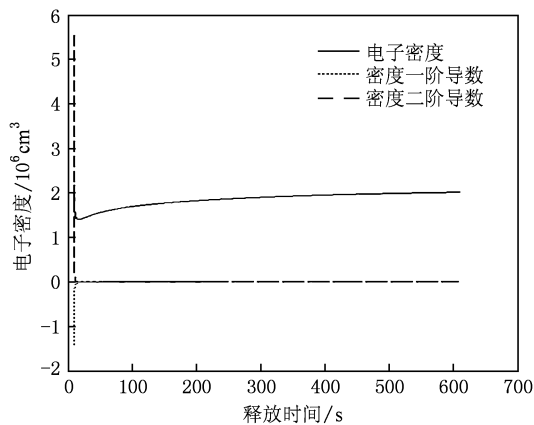


图 19 释放点电子密度变化图(SF₆-1 mol-300 km-600 s)

成该释放区域电子密度的剧降,电子密度相对变化率最大几近 100%. 形成最大半径约 100 km 的电离

层洞,且电离层洞边沿清晰,维持时间长. 释放后 30 s 时刻电子密度最大相对变化率为 99.9614%,释放中心处电子密度约在释放后 12 s 时刻即达到最小值. 图 22 表明,等离子扩散作用与电离层洞在形态上呈“互补”特性,即在电离层洞中心,其作用是抑制电子密度的下降,在周边则是促进电子密度的下降,离释放中心较远处,等离子体扩散作用甚微.

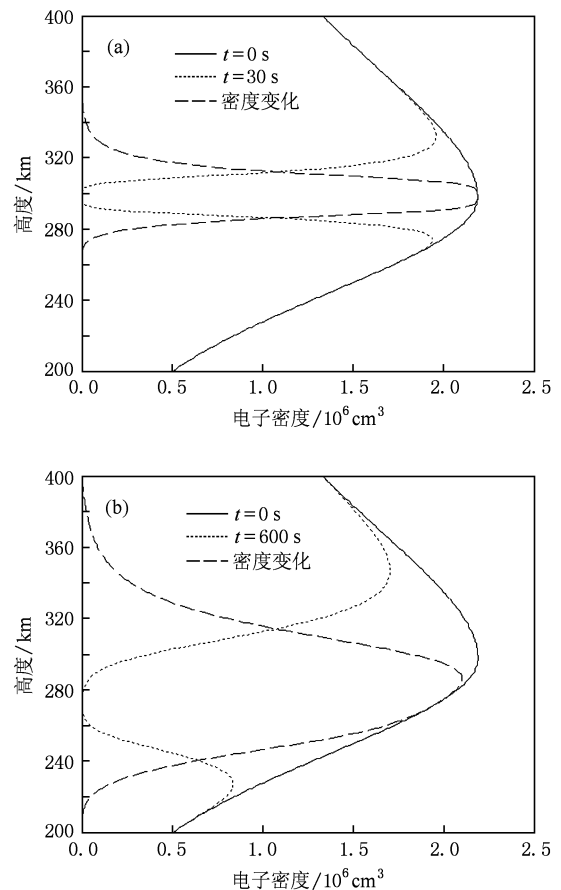


图 20 释放后不同时刻释放中心电子密度及其变化剖面图 (SF₆-100 mol-300 km-600 s) (a)30 s;(b)600 s

300 km 高度处释放 100 mol 的 H₂O,CO₂,H₂ 和 SF₆ 的模拟结果显示,干扰效果以 SF₆ 最好,释放后 30 s 时刻电子密度最大相对变化率几乎达到 100%;其次是 H₂O,释放后 30 s 时刻最大相对变化率为 10.1297%;而 CO₂ 释放后 30 s 时刻电子密度最大相对变化率约 4.9042%;电离层扰动效果最差的是 H₂,释放后 30 s 时刻电子密度最大相对变化率仅为 1.1947%,形成的电离层洞并不明显. 以上几种典型化学释放物质的电离层扰动特性定性分析结果与文献[14]报道一致.

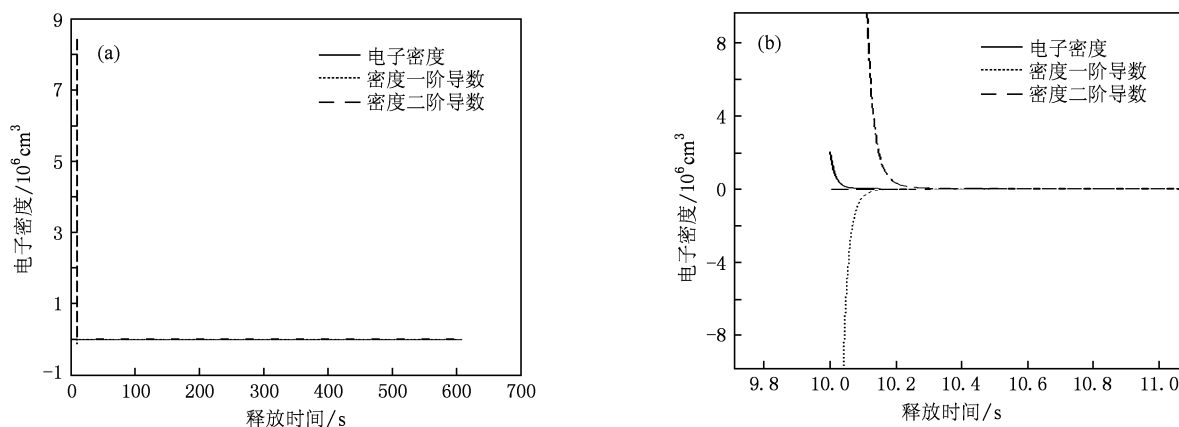


图 21 释放点电子密度变化图(SF_6 -100 mol-300 km-600 s) (a) 0—600 s; (b) 0—11.1 s (b)为(a)的局部放大)

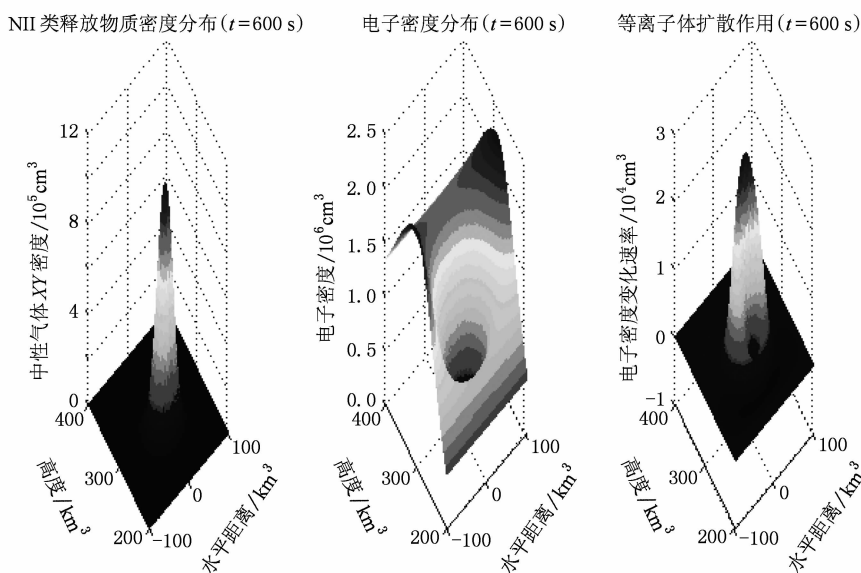


图 22 释放后 600 s 时刻释放物质、电子密度分布和等离子体扩散作用(SF_6 -100 mol-300 km-600 s)

5. 结果与讨论

对比验证模拟结果显示,所建立的化学物质电离层释放三维动力学模型是有效的.就本文所讨论的 H_2O , CO_2 , H_2 和 SF_6 等几种典型化学物质而言,基于已有的数值模拟试验,还可以得出以下一些结论:

1. 引入等离子体扩散作用,可更全面考察电离层洞的产生、发展直至恢复等过程.等离子体扩散作用与电离层洞在形态上呈“互补”特性,即在电离层洞中心,其作用是抑制电子密度的下降,在周边则是促进电子密度的下降,离释放中心较远处,电子密度变化较小,因而等离子体扩散作用甚微.该“附加

等离子体扩散作用”综合效果是使得电离层洞变浅、加宽,且逐渐趋于恢复到释放前电离层状态.

2. 释放量过少均不能造成显著的电离层扰动以形成明显的电离层洞.随着释放量增大,影响空间区域和电子密度下降率也随之增大,形成电离层洞也更大更深,维持时间更长.

3. 相同化学物质在不同高度释放,所产生的电离层扰动效果并不相同.

4. 相比于电离层洞的形成时间而言,电离层的恢复过程历时更长;处于稳定期的电离层洞形态变化不大,随着时间推移,释放物质在重力作用下下沉,电离层洞中心高度也有所降低;另外,由于高度越高,扩散系数越大,因此电离层洞轮廓并非理想的球状,而是呈上大下小.

5) 相比于 PII 类化学物质而言, 释放相对较小量的 NII 类化学物质 SF_6 , 即可在短时间内形成边界清晰、电子密度下降剧烈的电离层洞, 且具有较长

的维持时间, 是一种性能优良的化学释放物质. PII 类化学物质 H_2O , CO_2 , H_2 的电离层干扰效果依次减弱.

-
- [1] Mendillo M 1988 *Adv. Space Res.* **8** 51
 [2] Booker H G 1961 *J. Geophys. Res.* **66** 1073
 [3] Mendillo M, Hawkins G S, Klobuchar J A 1975 *Science* **187** 343
 [4] Johnson C Y, Sjolander G W, Oran E S 1980 *J. Geophys. Res.* **85** 4205
 [5] Yu K, Klein M M 1964 *Phys. Fluids* **7** 651
 [6] Poirier R V, Carr R W 1971 *J. Phys. Chem.* **75** 1593
 [7] Bernhardt P A, Park C G, Banks P M 1975 *Geophys. Res. Lett.* **2** 341
 [8] Bernhardt P A 1976 *Tech. Rep.* **17** (California: Stanford University) p1
 [9] Forbes J M, Mendillo M 1976 *J. Atmos. Terr. Phys.* **38** 1299
 [10] Mendillo M, Forbes J M 1978 *J. Geophys. Res.* **83** 151
 [11] Bernhardt P A 1979 *J. Geophys. Res.* **8** 793
 [12] Huang W G, Gu S F 2005 *Chin. J. Space Sci.* **25** 254 (in Chinese) [黄文耿、古士芬 2005 空间科学学报 **25** 254]
 [13] Huang W G, Gu S F 2006 *Chin. J. Space Sci.* **26** 819 (in Chinese) [黄文耿、古士芬 2006 空间科学学报 **26** 81]
 [14] Bernhardt P A 1987 *J. Geophys. Res.* **92** 4617
 [15] Wang Y, 2008 *MS dissertation* (Wuhan: Wuhan University) (in Chinese) [王 艳 2008 硕士学位论文(武汉:武汉大学)]
 [16] Anderson D A, Bernhardt P A 1978 *J. Geophys. Res.* **83** 4777

Disturbance effects of some representative chemical releases in ionosphere*

Hu Yao-Gai[†] Zhao Zheng-Yu Zhang Yuan-Nong

(College of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

(Received 16 September 2009; revised manuscript received 1 February 2010)

Abstract

In this paper, a 3-D chemical release dynamics model including neutral gas diffusion, chemical reaction and ambipolar diffusion of plasma, is proposed first. And then the software frame is developed for the study of chemical releases in the ionosphere. The computer simulation on some representative chemical releases including H_2O , CO_2 , H_2 and SF_6 is carried out finally. The temporal-spatial effects of the local turbulence introduced by these chemical releases are discussed.

Keywords: representative chemical releases, 3-D chemical release dynamics model, ionospheric disturbance effects

PACC: 9420V, 9410F

* Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China (Grant No. 09AA8093202), and China Postdoctoral Science Foundation of China (Grant No. 20080430988, 200801321).

[†] E-mail : Farawayhu@sohu.com