

大气电学手册

孙景群 著

科学出版社

P427.3
SJQ

大气电学手册

孙景群 编著

科学出版社

1995

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

大气电学不仅与许多学科,而且与国民经济和国防建设中的大量实际问题密切相关.本手册除扼要介绍大气电学的基本概念和基本过程外,主要收集整理世界各地所观测大气电学量的大量典型结果.其内容包括晴天大气离子、晴天大气电场和晴天大气电流等晴天大气电学,云雾降水大气电、闪电及其结构参量、电学参量和电磁场等扰动天气大气电学,以及反映晴天大气电过程与扰动天气大气电过程之间相互关系的全球大气电学等三部分.

本手册适合于气象、电力、电讯、铁道、航空、宇航、林业、建筑、地震和国防等部门从事研究和实际工作的科技人员参考,也可作为高等院校有关专业师生的教学参考书.

大 气 电 学 手 册

孙景群 编著

责任编辑 陆 巍

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

北京市怀柔黄坎印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1995年4月第一版 开本: 787×1092 1/16

1995年4月第一次印刷 印张: 12 1/2

印数: 1—1035 字数: 280 000

ISBN 7-03-004447-9/P·790

定价: 19.30 元

序 言

大气电学不仅与许多大气物理学科，而且与国民经济和国防建设中的许多实际问题密切相关。为此，作者曾撰写了《大气电学基础》一书，主要介绍发生在对流层大气中的大气电过程。本手册则是在该书的基础上撰写而成，除扼要介绍大气电学的基本概念和基本过程外，主要收集整理世界各地所观测大气电学量的大量典型结果，以备从事有关工作的科技人员和高等院校有关专业的师生查阅。至于观测大气电学量的探测原理和仪器结构，大气电学中的理论问题，以及高层大气中的大气电过程等内容，则因篇幅所限而从略。

本手册分三大部分，共九章。第一部分为晴天大气电学，包括第一章至第四章。这部分主要介绍少云和小风条件下，晴天大气离子、晴天大气电导率、晴天大气电场、晴天大气电流和晴天大气电荷的基本概念和基本过程，以及有关大气电学量的观测结果。第二部分为扰动天气大气电学，包括第六章至第九章。这部分主要介绍云雾降水粒子电荷和云中大气电学量的观测结果，闪电的基本过程和闪电参量的观测结果，以及闪电电磁场的形成过程和观测结果。第三部分为全球大气电过程，即第五章。这部分主要介绍晴天大气电过程和扰动天气大气电过程之间的相互关系，以及全球大气电学量的观测结果。

本书承蒙北京大学秦瑜、毛节泰先生，中国科学技术大学陶善昌、姚克亚先生，南京气象学院王鹏飞先生，成都气象学院田明远先生，中国科学院空间科学与应用研究中心高潮、庄洪春、罗福山先生，以及中国科学院兰州高原大气物理研究所言穆弘先生等审阅，并提出了许多宝贵意见，在此表示深切谢意。

由于作者水平和经验所限，加上文献浩瀚，错误、疏漏和选材不当之处在所难免，欢迎读者批评指正。联系地址为100080 北京2718信箱。

在人生的艰难跋涉中，曾得到许多相识和不相识者的默默帮助，我愿将此拙作献给这些平凡而善良的人们，以表感激和敬意。

作者

1994年2月于北京中关村

大气电学量的单位换算

1. 大气电荷

$$1\text{C} = 3 \times 10^9 \text{esu} = 6.242 \times 10^{18} \text{e}$$

$$1\text{esu} = \frac{1}{3 \times 10^9} \text{C} = 2.081 \times 10^9 \text{e}$$

$$1\text{e} = 1.602 \times 10^{-19} \text{C} = 4.806 \times 10^{-10} \text{esu}$$

2. 地表面电荷密度和大气气柱电荷密度

$$1\text{C}/\text{cm}^2 = 3 \times 10^9 \text{esu}/\text{cm}^2 = 6.242 \times 10^{18} \text{e}/\text{cm}^2$$

$$1\text{esu}/\text{cm}^2 = \frac{1}{3 \times 10^9} \text{C}/\text{cm}^2 = 2.081 \times 10^9 \text{e}/\text{cm}^2$$

$$1\text{e}/\text{cm}^2 = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}/\text{cm}^2 = 4.806 \times 10^{-10} \text{esu}/\text{cm}^2$$

3. 大气电荷密度

$$1\text{C}/\text{cm}^3 = 3 \times 10^9 \text{esu}/\text{cm}^3 = 6.242 \times 10^{18} \text{e}/\text{cm}^3$$

$$1\text{esu}/\text{cm}^3 = \frac{1}{3 \times 10^9} \text{C}/\text{cm}^3 = 2.081 \times 10^9 \text{e}/\text{cm}^3$$

$$1\text{e}/\text{cm}^3 = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}/\text{cm}^3 = 4.806 \times 10^{-10} \text{esu}/\text{cm}^3$$

4. 大气电流强度

$$1\text{A} = 3 \times 10^9 \text{esu}$$

$$1\text{esu} = \frac{1}{3 \times 10^9} \text{A}$$

5. 大气电流密度

$$1\text{A}/\text{cm}^2 = 3 \times 10^9 \text{esu}/\text{cm}^2$$

$$1\text{esu}/\text{cm}^2 = \frac{1}{3 \times 10^9} \text{A}/\text{cm}^2$$

6. 大气电位

$$1\text{V} = \frac{1}{3 \times 10^2} \text{esu}$$

$$1\text{esu} = 3 \times 10^2 \text{V}$$

7. 大气电场

$$1\text{V}/\text{m} = \frac{1}{3 \times 10^2} \text{esu}/\text{m}$$

$$1\text{esu}/\text{m} = 3 \times 10^2 \text{V}/\text{m}$$

8. 大气磁感应强度

$$1\text{T} = 1\text{Wb/m}^2 = 10^4\text{Gs} = \frac{1}{3 \times 10^9}\text{esu}$$

$$1\text{Gs} = 10^{-4}\text{T} = \frac{1}{3 \times 10^{10}}\text{esu}$$

$$1\text{esu} = 3 \times 10^9\text{T} = 3 \times 10^{10}\text{Gs}$$

9. 大气磁场

$$1\text{A/m} = \frac{4\pi}{10^3}\text{Oe} = 1.2\pi \times 10^8\text{esu}$$

$$1\text{Oe} = \frac{10^8}{4\pi}\text{A/m} = 3 \times 10^{10}\text{esu}$$

$$1\text{esu} = \frac{1}{1.2\pi \times 10^8}\text{A/m} = \frac{1}{3 \times 10^{10}}\text{Oe}$$

10. 大气电阻

$$1\Omega = \frac{1}{9 \times 10^{11}}\text{esu}$$

$$1\text{esu} = 9 \times 10^{11}\Omega$$

11. 大气气柱电阻

$$1\Omega \cdot \text{cm}^2 = \frac{1}{9 \times 10^{11}}\text{esu} \cdot \text{cm}^2$$

$$1\text{esu} \cdot \text{cm}^2 = 9 \times 10^{11}\Omega \cdot \text{cm}^2$$

12. 大气电导率

$$1\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} = 1\text{S/cm} = 9 \times 10^{11}\text{esu}$$

$$1\text{esu} = \frac{1}{9 \times 10^{11}}\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$$

13. 单位符号和名称

C(库仑) A(安培) V(伏特) Ω (欧姆) T(特斯拉) Wb(韦伯) S(西门子)

F(法拉) H(亨利) Pa(帕斯卡)

esu(静电单位) e(电子电荷)

Gs(高斯) Oe(奥斯特)

物理常数和地球物理常数

自由空间中的光速 $c = 2.9979250 \times 10^8\text{m/s}$

自由空间的介电常数 $\epsilon_0 = \frac{10^7}{4\pi c^2}\text{F/m} = 8.8542 \times 10^{-12}\text{F/m}$

$$= 8.8542 \times 10^{-12}\text{s}/(\Omega \cdot \text{m})$$

自由空间的磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{H/m} = 1.2566 \times 10^{-6}\text{H/m}$

$$= 1.2566 \times 10^{-6}\Omega \cdot \text{s/m}$$

标准状态下的气温 $T_0 = 273.15\text{K}$

标准状态下的气压 $P_0 = 1013.25 \text{ hPa}$

地球的平均半径: 6371 km

地球表面积: $5.101 \times 10^8 \text{ km}^2$

海洋表面积: $3.61059 \times 10^8 \text{ km}^2$

海洋表面积与地球表面积之比: 70.78%

目 录

序言

大气电学量的单位换算

物理常数和地球物理常数

第一章 晴天大气离子	(1)
第一节 晴天大气离子的形成	(1)
一、大气电离源和大气电离率	(1)
二、晴天大气离子的形成和分类	(5)
第二节 晴天大气离子浓度的时空分布	(7)
一、晴天大气离子浓度的空间分布	(7)
二、晴天大气离子浓度的时间变化	(12)
第三节 晴天大气离子迁移率和迁移率谱分布	(16)
一、晴天大气离子迁移率	(17)
二、晴天大气离子迁移率谱分布	(20)
参考文献	(23)
第二章 晴天大气电导率	(27)
第一节 晴天大气电导率的基本概念	(27)
第二节 晴天大气电导率的时空分布	(29)
一、晴天大气电导率的空间分布	(29)
二、晴天大气电导率的时间变化	(35)
参考文献	(40)
第三章 晴天大气电场	(45)
第一节 晴天大气电场的基本概念	(45)
第二节 晴天大气电场的空间分布	(46)
一、晴天大气电场的地理分布	(46)
二、晴天大气电场的高度分布	(48)
第三节 晴天大气电场的时间变化	(51)
一、晴天大气电场的日变化	(51)
二、晴天大气电场的年变化	(59)
参考文献	(61)
第四章 晴天大气电流和晴天大气电荷	(64)
第一节 晴天大气电流的基本概念	(64)
第二节 晴天大气电流的时空分布	(66)
一、晴天大气电流的空间分布	(66)

二、晴天大气电流的时间变化	(68)
第三节 晴天大气电荷	(72)
一、晴天大气电荷的基本概念	(72)
二、晴天大气电荷的时空分布	(73)
参考文献	(76)
第五章 全球大气电过程	(79)
第一节 全球大气电过程的基本概念	(79)
一、球形电容器模式	(79)
二、全球大气电学量	(81)
第二节 全球大气电过程的观测事实	(85)
一、大气与地球间的电荷输送	(85)
二、整层晴天大气电位差与雷暴活动	(86)
三、电离层和大地的电传导作用	(87)
参考文献	(89)
第六章 云雾降水的大气电	(92)
第一节 云雾降水粒子的荷电	(92)
一、云雾粒子的荷电	(92)
二、降水粒子的荷电	(94)
三、云雾降水粒子电荷与直径的关系	(101)
第二节 云中大气电特征	(104)
一、云中大气电场和大气电导率	(104)
二、积雨云电荷分布和电屏蔽层	(107)
参考文献	(112)
第七章 地闪	(119)
第一节 向下地闪	(119)
一、地闪的分类	(119)
二、向下负地闪	(119)
三、向下正地闪	(124)
第二节 向下地闪参量	(125)
一、初期放电	(125)
二、梯式先导	(126)
三、箭式先导	(126)
四、回击	(126)
五、 J 过程	(130)
六、连续电流	(134)
七、 K 过程和 M 过程	(134)
八、地闪全过程	(134)
第三节 向上地闪	(138)
一、闪电过程和分类	(138)
二、向上地闪参量	(139)
三、火箭引发的地闪参量	(139)

第四节 各类地闪参量小结	(148)
一、各类地闪的结构参量	(148)
二、各类地闪的电学参量	(148)
参考文献	(149)
第八章 云闪	(156)
第一节 云闪过程	(156)
第二节 云闪参量	(157)
第三节 云闪与地闪之比	(157)
参考文献	(162)
第九章 闪电电磁场	(165)
第一节 闪电电磁场公式	(165)
一、闪电电磁场公式	(165)
二、闪电静电场变化公式	(166)
第二节 闪电电磁场特征	(168)
一、闪电电磁场与闪电距离的关系	(168)
二、闪电电磁场与闪电过程的关系	(170)
第三节 天电	(172)
一、天电源	(172)
二、天电的频谱分布特征	(175)
参考文献	(180)
国内部分仪器简介	(183)
一、闪电单站定位仪	(183)
二、地面大气电场仪	(185)
三、大气电场探空仪	(186)
参考文献	(188)

第一章 晴天大气离子

晴天大气中始终存在带电分子和带电气溶胶粒子，并统称为大气离子。其中，带正电的大气离子称为大气正离子，带负电的大气离子称为大气负离子，大气离子的存在，使大气具有微弱导电性，并形成晴天大气电荷和晴天大气电流。

第一节 晴天大气离子的形成

一、大气电离源和大气电离率

1. 大气电离源

晴天大气在电离源的作用下形成大气离子。在对流层大气中，电离源主要由3部分组成。(1) 土壤中镭、铀和钍等放射性元素辐射的 α 、 β 和 γ 射线，(2) 由土壤逸入大气的氡和钍等放射性元素辐射的 α 、 β 和 γ 射线，(3) 来自宇宙空间的宇宙线。某高度电离源的强度可用大气电离率 q 表示，它定义为单位时间内，单位体积大气分子被电离为正、负离子对的数目，单位取 $\text{cm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$ 。大气电离率还与大气密度密切相关，因此大气电离率随高度变化。

在土壤中放射性元素辐射的诸射线中， γ 射线由于贯穿本领较强，因而是大气电离的主要电离源，其作用高度范围可达几百米， α 和 β 射线因贯穿本领较弱而对大气电离的贡献较小^[1, 2]。在大气中放射性元素辐射的诸射线中， α 射线由于辐射强度较强，因而是大气电离的主要电离源，其作用高度范围取决于放射性元素随高度的分布，一般可达2—3km， β 和 γ 射线因辐射强度较弱而对大气电离的贡献较小^[1, 2]。在土壤和大气中放射性元素所辐射诸射线的作用下，地面处大气电离率 q ，以及对应 α 、 β 和 γ 射线的相对大气电离率 q_α 、 q_β 和 q_γ 的观测结果，列于表1.1^[3, 4]。

表 1.1 地面处大气电离率 q ，以及对应各种放射线的相对大气电离率 q_α 、 q_β 和 q_γ

电 离 源	$q(\text{cm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1})$		q_α (%)	q_β (%)	q_γ (%)
	平 均 值	变化范围			
土 壤	3.5	1—16	0	8.6	91.4
大 气	4.6	1—20	96.1	0.6	3.3

宇宙线强度具有随高度递增的分布规律，因此对陆地而言，2—3km 高度以上的大气电离主要取决于宇宙线，而 4—5km 高度以上的大气电离则几乎完全取决于宇宙线。对海洋而言，由于海水和大气中的放射性元素含量极低，因此海洋上空的大气电离仅取决于宇宙线。

2. 大气电离率

大气电离率随时空变化。

地面处大气电离率 q 与地质条件和海拔高度等有关，其平均值为 $10\text{cm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$ ，变化范围为 $6-35\text{cm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$ [1, 3, 5-21]。海面处 q 的平均值为 $2\text{cm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$ ，而且与纬度有关，由赤道至纬度 $40^\circ-50^\circ$ ， q 值约递增 8—15%，纬度大于 50° 左右， q 值随纬度的增加便不明显了 [5, 6, 20, 22]。表 1.2 列出各地地面和海面处大气电离率的观测结果。

表 1.2 地面和海面处大气电离率 q 的各地观测结果

观测地点	地理条件	$q(\text{cm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1})$	文献
大西洋、印度洋、地中海、红海	—	2.0	[7]
日本沿海	—	1.9	[8]
美国西部沿海	—	2.6	[9]
背篠岛 (日本)	岛屿	16.4	[10, 11]
维尔桑德 (爱沙尼亚)	岛屿	6	[12]
轻井泽 (日本)	—	10	[13]
名古屋 (日本)	—	13.6	[10, 11, 14]
伏伊科沃 (圣彼得堡, 俄罗斯)	—	9.0	[15]
赫尔戈兰 (德国)	—	5.9	[7]
都柏林 (爱尔兰)	—	35.5	[7]
华盛顿 (美国)	—	16	[16]
纽约 (美国)	—	7.4	[17]
索科罗 (新墨西哥州, 美国)	—	15	[18]
堪培拉 (澳大利亚)	—	10.7	[7]
万卡约 (秘鲁)	山城, 海拔: 3350m	25	[19]
乘鞍山 (日本)	山区, 海拔: 2770m	14.9	[10, 11, 14]
冒纳罗亚山 (夏威夷州, 美国)	山区, 海拔: 3400m	4.9	[21]
兰米尔实验室 (新墨西哥州, 美国)	山区, 海拔: 3240m	10	[18, 23]

大气电离率随高度变化，其变化规律与纬度有关 [1, 2, 4, 6, 24-34]。在陆地近地层大气中，大气电离率 $q(z)$ 先随高度 z 递减，至 2km 高度附近， $q(z)$ 达极小值，然后 $q(z)$ 随 z 递增。其中，在贴地层大气中， $q(z)$ 随 z 的变化十分显著 [13, 17, 24]。在海洋近地层大气中， $q(z)$ 随 z 单调递增。大约在 2—3km 高度以上，陆地和海洋上空 $q(z)$ 随 z 的变化趋于一致。至 10—16km 高度附近， $q(z)$ 达极大值，其值约变动于 $20\text{cm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$ 至 $50\text{cm}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间 [4, 5, 26, 28-31, 35]。然后， $q(z)$ 随 z 递减。图 1.1 为对流层下层，不同大气电离源对大气电离率的贡献，以及陆地和海洋上空大气电离率随高度的分布 [25, 36]。图 1.2 则为对流层至平流层下层，纬度分别为 13°N 和 41°N 时，大气电离率随高度的分布 [26]。

由于宇宙线强度与太阳活动密切相关 [2, 20, 34, 37-39]，因此大气电离率亦与太阳活动有关。例如，在对流层至平流层下层，对于太阳黑子数较高的年份，宇宙线强度因福布希下降而使大气电离率减小，反之亦然 [2, 41]。图 1.3 示出纬度为 78°N 的格陵兰图勒，于 1954 年和 1964 年太阳黑子数为极小值时，以及 1958 年和 1969 年太阳黑子数为极大值时，对流层至平流层下层大气电离率随高度的分布 [26, 40]。

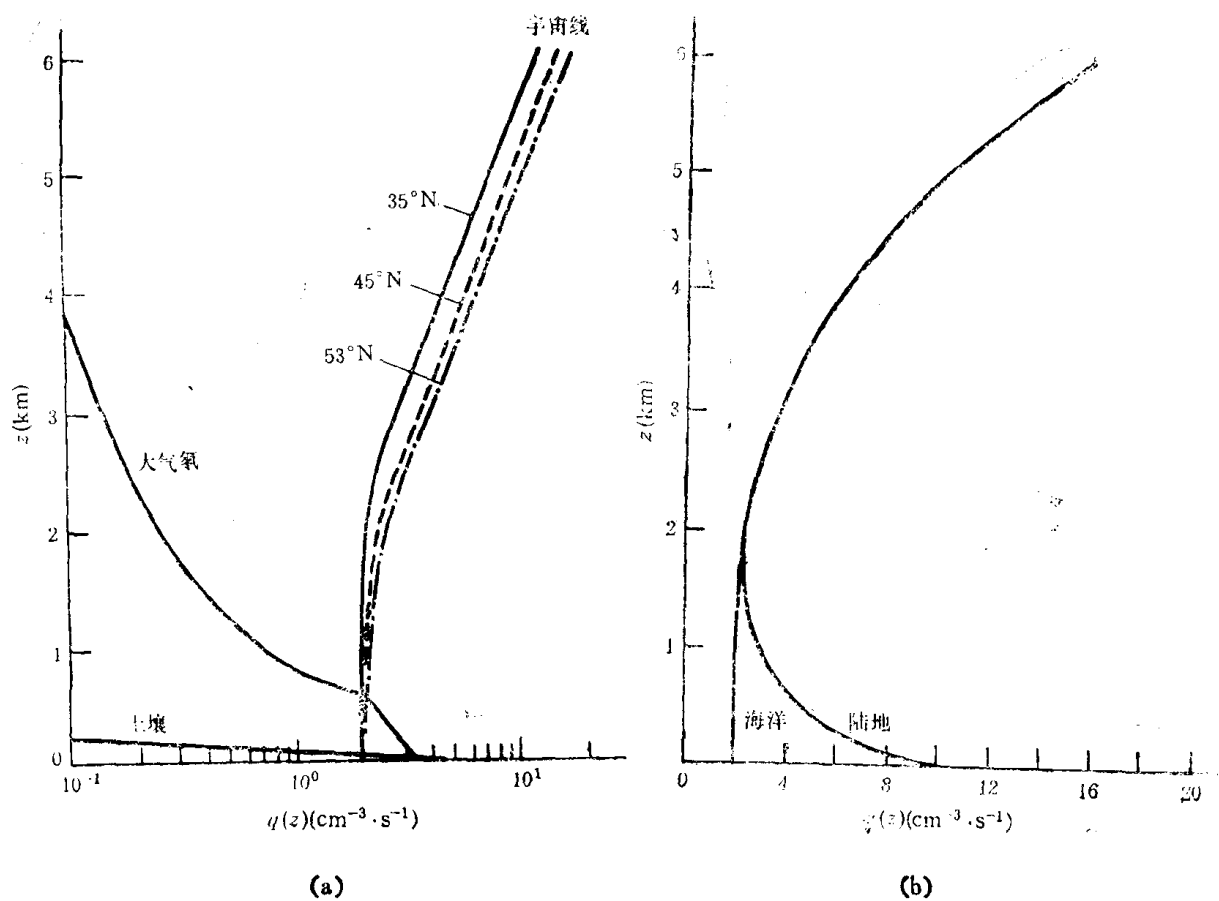


图 1.1 对流层下层，大气电离率 $q(z)$ 随高度 z 的分布
(a) 不同电离源对应的 $q(z)$, (b) 总的 $q(z)$

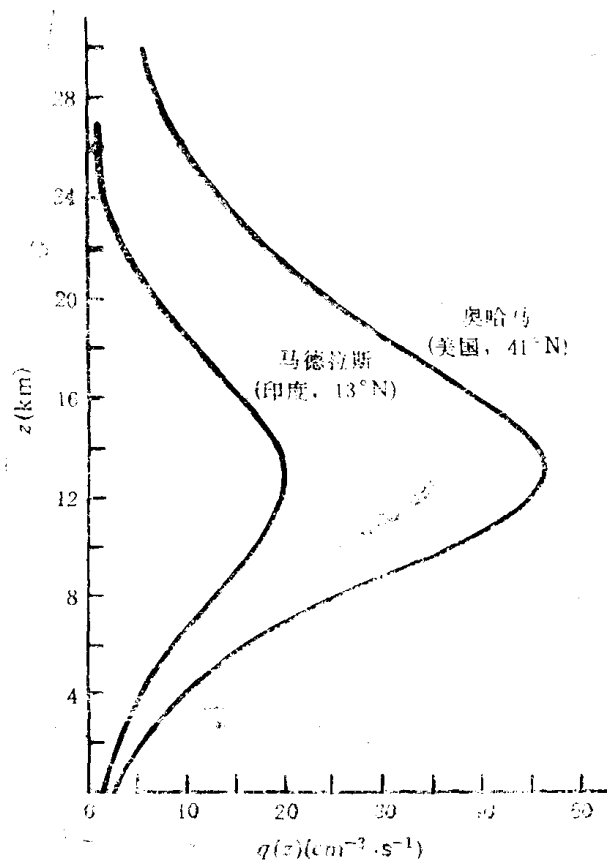


图 1.2 不同纬度时，大气电离率 $q(z)$ 随高度 z 的分布

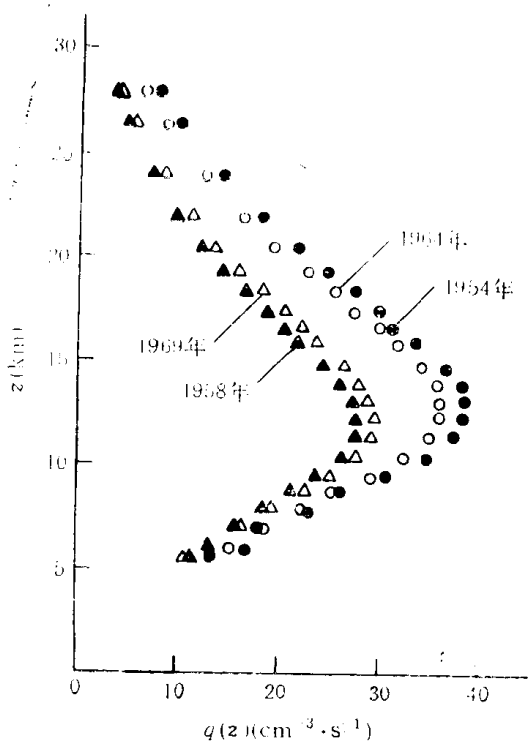


图 1.3 太阳黑子数为极值时，大气电离率 $q(z)$ 随高度 z 的分布

根据地面处大气电离率的平均值和变化范围 [1, 3, 5-21]，以及大气电离率随高度分布的各地观测结果，可获得对流层和平流层下层，大气电离率随高度分布的平均结果和变化范围，其统计结果示于图 1.4 [2, 3, 25-33, 36, 40, 41]。图中圆点表示平均值，细横线表示变化范围。表 1.3 则具体列出不同高度处，大气电离率平均值和变化范围的数值。

大气电离率具有日变化和年变化 [13, 15, 19, 35, 42]。

地面处大气电离率的日变化规律因地而异，图 1.5 为各地大气电离率日变化的平均结果。图 1.5 (a) 为秘鲁万卡约郊外海拔 3350m 观测站 5—8 月份的平均结果 [19]，(b) 为俄罗斯圣彼得堡郊外伏伊科沃现象台 6 月份的平均结果 [16]，(c) 为日本轻井泽 8 月份的平均

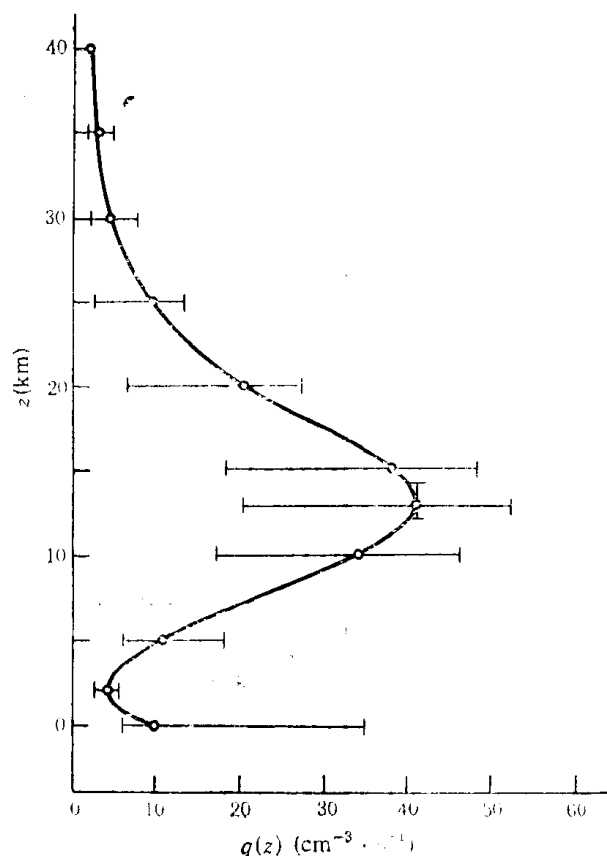


图 1.4 大气电离率 $q(z)$ 随高度 z 分布的平均结果和变化范围

表 1.3 不同高度 z 处, 晴天大气电离率的平均值 $q(z)$ 、最小值 $q_{\min}(z)$ 和最大值 $q_{\max}(z)$
(单位: $\text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$)

$z(\text{km})$	0	2	5	10	13	15	20	25	30	35	40
$q(z)$ (观测值)	10	4.2	11	34	41	38	20	9.3	3.6	2.3	1.0
$q(z)$ (曲线值)	10	4.2	11	34	41	38	20	9.3	3.6	2.0	1.2
$q_{\min}(z)$	6.0	2.3	6.0	17	20	18	6.0	2.0	1.5	1.3	—
$q_{\max}(z)$	35	5.0	18	46	52	48	27	13	7.0	4.0	—

结果^[18]. 图 1.5 (a) 和 (b) 表明, 大气电离率具有单峰、单谷的日变化规律, 峰、谷值分别位于黎明前和近傍晚. 图 1.5(c) 表明, 大气电离率具有双峰、双谷的日变化规律, 主峰和副峰分别位于午夜前后和中午前后, 两谷值分别位于清晨和近傍晚.

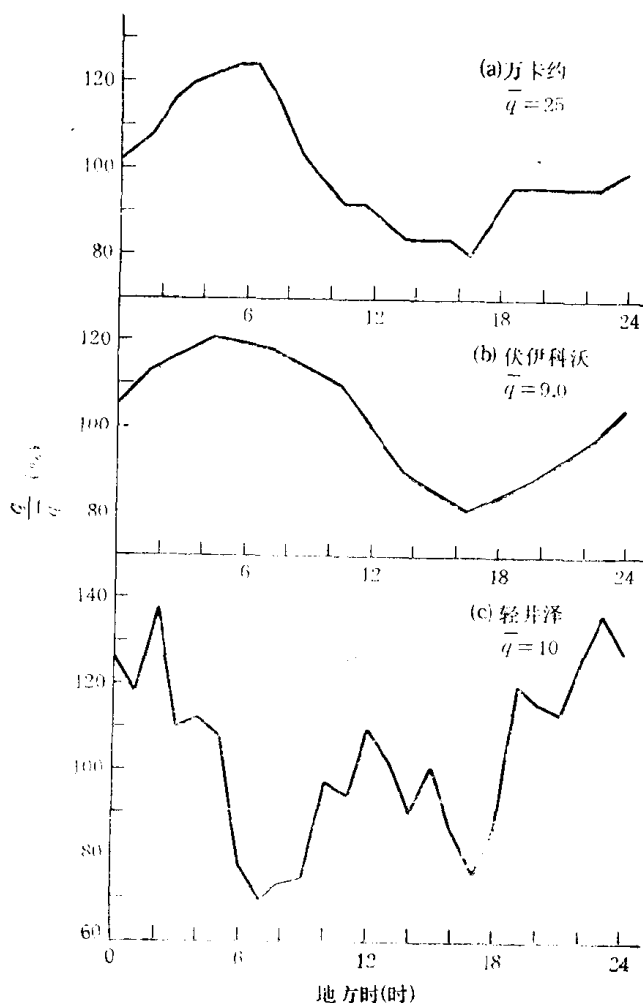


图 1.5 地面大气电离率 q 的日变化 ($\bar{q}$ 为大气电离率日平均值, 单位取 $\text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$)

二、晴天大气离子的形成和分类

1. 晴天大气离子的形成过程

大气分子在电离源的作用下, 一部分被电离而形成携带一个正元电荷(即电子电荷)的带电分子和游离电子, 游离电子又迅速被其周围的中性分子所吸附, 形成携带一个负元电荷的带电分子. 多数带电分子又经过一系列物理、化学反应, 形成由几个至十几个

分子所组成，通常携带一个元电荷的分子簇^[16, 25, 27, 43-48]，带电分子和分子簇进一步被大气气溶胶吸附，形成通常携带一个元电荷的带电气溶胶粒子。大气离子的形成过程示于图 1.6。

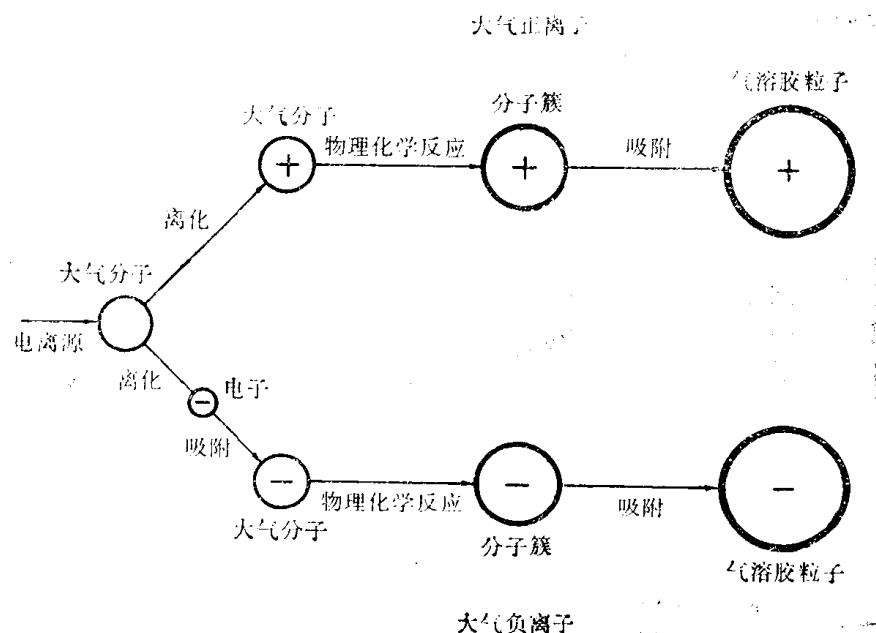


图 1.6 大气离子的形成过程

大气中除存在电离过程而形成大气离子外，还存在大气正、负离子间的碰撞，从而中和各自携带的电荷，使大气离子消失的复合过程。大气电离过程和复合过程之间达到动态平衡，形成含量相对稳定的大气离子。

大气离子的物理特性，主要由离子电荷、离子半径和离子迁移率表征。

大气离子一般只携带一个元电荷，只有半径较大的大气离子，才可能携带一个以上的元电荷^[2, 16]。

大气离子半径介于 10^{-8}cm 和 10^{-4}cm 之间。对于非球形大气离子，其半径系指等效半径。

大气离子迁移率定义为：大气离子在单位电场强度所产生静电力的作用下，于大气介质中作等速运动时的速度值，单位为 $\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 。大气离子迁移率表征了大气离子在电场中的运动特征，其值反比于大气粘滞系数，即反比于大气密度。当大气状态不变时，大气离子迁移率与大气离子半径相对应^[2, 7]。

2. 晴天大气离子的分类

大气离子根据其迁移率或半径大小，可细分为好几类^[1-3, 7, 16, 20, 22, 47, 48]。但在实际观测和研究大气电学问题时，通常将大气离子粗略地分为大气小离子和大气大离子两大类。大气小离子主要由大气分子组成，其半径较小，迁移率较大，对大气导电性起主要作用。大气大离子由大气气溶胶粒子组成，其半径较大，迁移率较小，对大气导电性的贡献较小。两类大气离子所对应大气正、负离子迁移率 $k_{\pm}$ 和半径 r 的主要范围和极限范围，列于表 1.4^[1-3, 6, 7, 22, 25, 47-62]。

大气离子的形成过程表明，大气小离子浓度与大气大离子浓度(或大气气溶胶浓度)

表 1.4 大气离子的分类

类 别	主 要 范 围		极 限 范 围	
	$k_{\pm}[\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})]$	$r(\text{cm})$	$k_{\pm}[\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})]$	$r(\text{cm})$
大气小离子	$5-5\times 10^{-1}$	$2.6\times 10^{-8}-9.6\times 10^{-8}$	10^1-10^{-1}	$2.0\times 10^{-8}-2.3\times 10^{-7}$
大气大离子	$10^{-2}-2.5\times 10^{-4}$	$7.8\times 10^{-7}-5.5\times 10^{-6}$	$10^{-1}-10^{-8}$	$2.3\times 10^{-7}-10^{-4}$

呈负相关 [2, 3, 6, 11, 18, 32, 33, 35, 47, 53]。图 1.7 为美国新罕布什尔州南部地区和大西洋上空, 大气小离子浓度与大气大离子浓度关系的观测实例 [2, 3, 32, 33, 47]。

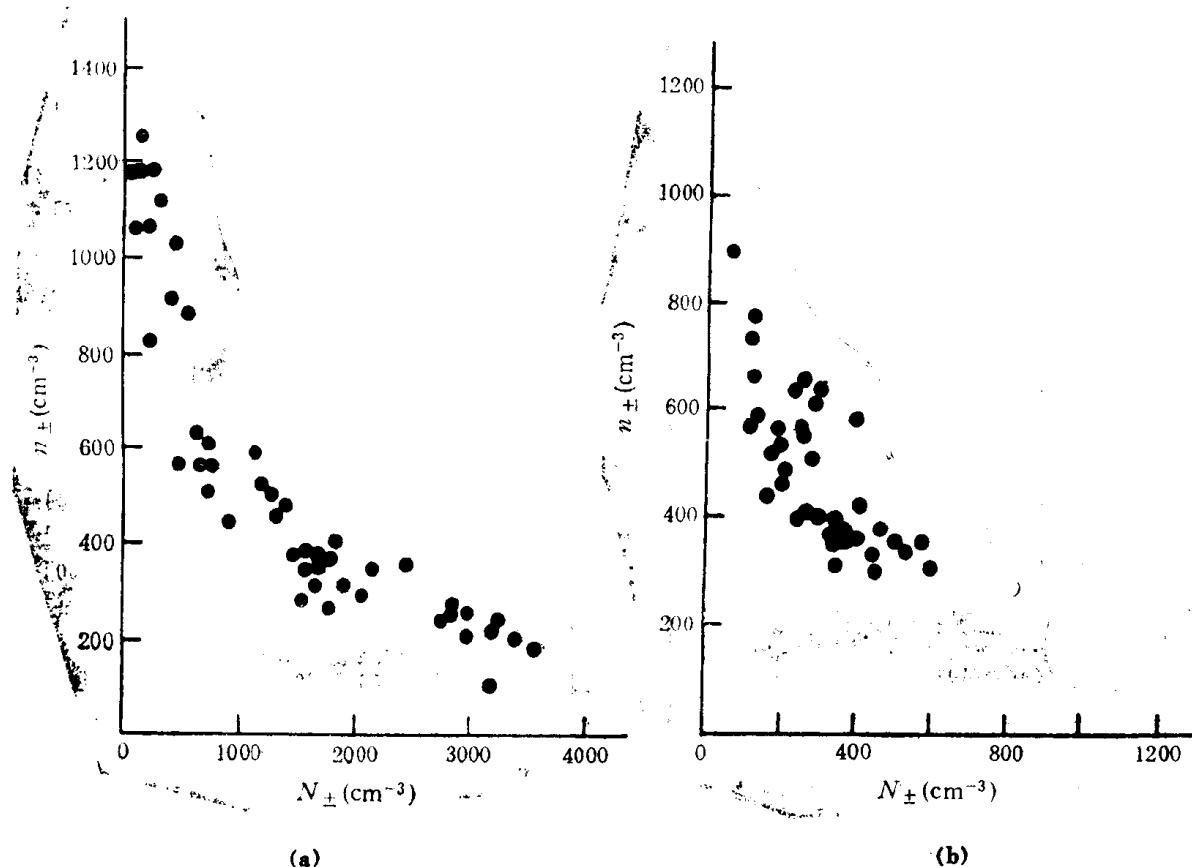


图 1.7 晴天大气正、负小离子浓度 $n_{\pm}$ 与大气正、负大离子浓度 $N_{\pm}$ 的关系
(a) 陆地 (高度: 1520m), (b) 海洋 (高度: 610m)

第二节 晴天大气离子浓度的时空分布

一、晴天大气离子浓度的空间分布

1. 晴天大气离子浓度的地理分布

地面和海面处的大气离子浓度, 各地曾进行过大量观测 [1, 7, 14, 18, 21-23, 35, 54-68], 主要观测结果列于表 1.5。表 1.5 表明, 非山区地面大气小离子浓度为 10^2cm^{-3} 数量级, 变化范围为 $200-1013\text{cm}^{-3}$ 。大气大离子浓度为 10^3-10^4cm^{-3} 数量级, 变化范围为 $2210-9860\text{cm}^{-3}$ 。海面、小岛屿和河流入海口的大气小离子浓度为 10^2cm^{-3} 数量级。