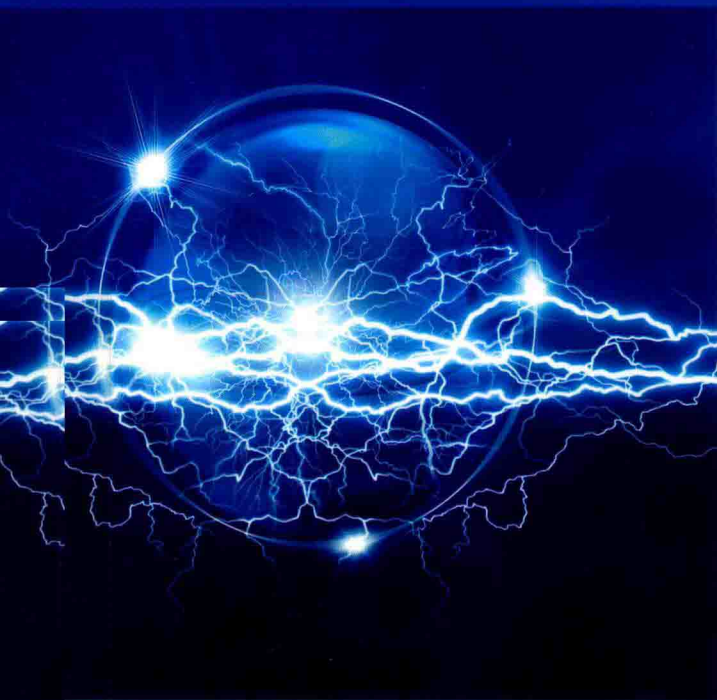


大气电与雷电 形成和变化

DAQIDIAN YU LEIDIAN
XINGCHENG HE BIANHUA

申积良 岳干钧 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

大气电与雷电 形成和变化

DAQIDIAN YU LEIDIAN
XINGCHENG HE BIANHUA

申积良 岳千钧 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书阐述了大气中各种电现象的形成和变化机理,重点为大气电场和雷暴电场的形成、闪电梯级特征的形成、闪电与实验室长间隙放电实验之间的差别、大气电场中充电电流测量问题、千年木塔未遭雷电危害的原因分析及消雷可行性分析。

全书共分9章,第1章和第2章介绍了大气电学发展及大气中的电现象;第3章阐述了大气中上升气流形成的气流电动势及其特征;第4章阐述了大气电场的形成及大气电流测量;第5章阐述了雷云的介质特征及雷暴电场的形成;第6章阐述了运动电荷的电场特征和地闪的梯级特征的形成;第7章介绍了大气及雷暴电场中电场能的形成和变化规律;第8章和第9章对雷暴与降水之间的相互关系、雷电危害防护、千年木塔未遭雷电危害原因、消雷的可行性等问题进行了讨论。

本书可供从事大气电、气象和地球环境等学科研究及从事高电压技术和雷电防护技术的现场工作人员参考,还可供大气电学、防雷工程、电力工程和气象学等专业的大专院校师生、研究生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

大气电与雷电形成和变化 / 申积良, 岳千钧著. —北京: 中国电力出版社, 2017.7
ISBN 978-7-5198-0849-5

I. ①大… II. ①申… ②岳… III. ①大气电—普及读物②雷—普及读物③闪电—普及读物
IV. ①P401-49②P427.32-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 143106 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 马 青 (010-63412784)

责任校对: 王开云

装帧设计: 张俊霞 赵姗姗

责任印制: 邹树群

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2017 年 7 月第一版

印 次: 2017 年 7 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 10.75 1 彩页

字 数: 231 千字

印 数: 0001—1000 册

定 价: 55.00 元

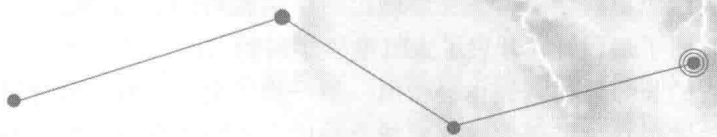
版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换





前言



无论怎样评价人类认识电对整个自然科学及现代科学技术发展的影响均不为过。电学包括和电学密切相关的电磁学，是物理学中非常重要的部分。现代科学研究越来越清楚地认识到，和物质变化有关的各种化学变化过程，其实质仍然是微观的电的变化过程，是物质微粒间静电不平衡作用的结果。

随着现代科学技术的发展，大气中的各种电现象越来越引起人们的关注。大气电是地球大气环境中一个非常重要的组成部分，不但形成了能够观测到的大气电场、雷电等现象，还极大程度地影响着地球环境中气候和天气的变化、生命的形成和动植物的生长等生命活动、人类生活和生产活动等。

对于电学的认识，关于宏观上有关各种电特性、电力作用过程及有关理论的研究和应用，微观上静电力平衡所涉及的各种化学过程等的研究都已经非常广泛和深入，而现代人类关心的科学领域之一的生命科学，涉及生命的形成与生命活动、动植物的生长，本质上是不同物质间的转换和信息传递，涉及各种复杂的化学变化过程，这些变化过程实质也是微观粒子之间的静电平衡。人们猜测，雷电导致有机化合物的合成，其平衡过程是在电的剧烈变化过程后形成的。而通常情况下，生命活动中的平衡过程主要是一些长时间缓慢的电平衡过程。

植物种子经历搭载宇宙飞船在太空遨游后，会发生一系列变异，这可认为主要是由于植物种子经历了宇宙飞船中失重、外界电、磁场等环境变化过程后，影响了粒子间的电平衡关系。

现代凝态物理学开创了这种物质微粒间电平衡关系的研究，应该也是今后生命科学研究的重要方向之一。

观测表明，晴天大气中始终存在方向竖直向下的大气电场，而处于扰动天气的局地区域，还会出现剧烈变动的雷暴电场。有关大气空间电学量的观测，大气电场及整个大气电场中雷暴电场是如何形成的、雷暴电场与大气电场之间的相互关系，全球电路等研究，已经形成一门独立的学科——大气电学。

有关大气电场及整个大气电场中的雷暴电场是如何形成的、雷暴电场与大气电场之间的相互关系等问题，人们进行了非常广泛的观测和分析，积累了大量的观测和研究资料，但一直没有对相关问题的形成合理的、令人满意的说明。

美国杰出科学家富兰克林通过科学实验对闪电的“电”的本质进行了实验论证，并由此发明了避雷针，开启了大气电学学科的大门。1752年，Lemonier发现一根竖直的绝缘放置的长导体在晴天也会带电，第一次提出了大气电场无时无刻不存在，在随后的观察中他发现导体若带尖端，它就会放电，并确认导体在晴天荷电的电荷极性为正，在雷雨天气则多半为负。他通过观测、分析，认识到大气中有正空间电荷。

英国剑桥大学的 Lord Kelvin 于 1860 年第一个明确提出了电位的概念，提出了多方面研究大气电场的方法和原理，并发明了象限静电计，该仪器至今仍不失为观测大气电场的基本仪器。

20 世纪，大气电学研究主要集中在大气导电、闪电、雷云起电机和云中电荷分布等方面。Coulomb C A 于 1795 年发现大气也是导体。他根据所观察到的大气电流进行估算，发现如果没有补充来源，地球所带电量会在 10min 内消耗完。

Elster Geited (1899) 和 Wilson (1990) 等分别发现了大气中存在不同大小、带有正电或负电的小粒子。大气中带电粒子有正有负，它们会相互吸引复合而消失。实际观察表明，大气中带正电的粒子和带负电的粒子浓度会保持一定的数值，这是为什么？为维持这种状态，大气中应存在电离源。进一步研究认识到，大气中的电离源主要是来自地球以外空间、大气空间和地球表面放射性物质的辐射。

大气中存在的正、负带电粒子数并不相等，因此，大气空间中存在净空间电荷，正是由于这些净空间电荷，大气中出现了大气电场。在大气电场作用下，大气中的空间电荷会在大气电场中运动，从而形成大气中微弱的电流，使大气能够导电。由于大气能够导电，大气中的空间电荷总会消失。观测表明，大气中的空间电荷始终存在，大气电场一直维持。

大气电现象最引人注意的是闪电，Walter 于 1903 年用照相记录研究闪电，第一次使人们认识到一次闪电是由几次放电组成的。1926 年 Boys 设计了一种旋转相机，利用这种相机揭示了地闪的梯级发展结构，Bruce (1944)、Schonland (1953)、Pierce (1955) 年先后提出了闪电先导理论。闪电的观测资料表明，闪电并不像人们想象的那样，一次性地从雷云中直通地面，而是按一定的时间，向下发展然后停顿片刻，再向下发展再停顿，按梯级方式逐级向地面发展。对地闪为什么不直接冲向地面，而是以梯级形式逐级向地面发展，人们至今未能从理论上得到很好的解释。

闪电是由雷暴电场产生的，雷暴电场是如何形成的，以往的研究中提出了各种不同的雷云起电机，但所有这些机制都未能对雷暴电场的形成和发展过程做出合适的令人满意的解释。

雷暴电场是由雷云中的空间电荷构成的，这些电荷反抗不断增强的雷暴电场，从云体外部进入云体中，并在云体内聚集，最终导致大气空气介质击穿，产生闪电的雷暴电场强度。

以上列举的诸多有关大气电现象，都是人们最为关注的问题。本书在以往研究的基础上，结合已有的大量观测资料，对这些问题进行了研究分析。带电质点随地球自转在地球磁场中运动受洛伦兹力作用，趋向大气空间运动，向大气空间输送电荷，地表上升

气流携带空间电荷竖直向上运动，形成气流电动势不断向大气空间输送电荷，形成并维持大气电场。

雷暴区的上升气流携带雷云下层空间电荷反抗大气电场向上运动，形成的气流电动势不断向云体内输送电荷，使雷云所在的竖直区电场不断增强，气流电动势随着增大，在雷云区逐渐出现电荷密度大、电场不断增强、云体周围电场强度由里向外逐渐减弱的非均匀电场区。在这种非均匀电场区，富含水性质点的空气介质，促使空间电荷趋向由电场较弱、空气介质 $\epsilon\rho$ 值较小的云体外向电场较强、空气介质 $\epsilon\rho$ 值较大的云体区聚集，使雷暴云体内空间电荷密度持续增大，最终形成云内电场不断增强的雷暴电场。

分析气流电动势向云体充电回路，在云体以下区域存在反向充电区，因而在云下区会形成电场方向和云体内的电场方向相反的反电场区。

电荷在空间运动时，若运动速度接近或达到光速，电荷运动方向和垂直于运动方向的四周区域的电场会发生畸变，运动方向上的电场强度减弱，垂直于运动方向的四周区域的电场增强，速度越大，这种效应越显著。当雷暴电场强度达到云内空气介质击穿强度值时，便发生闪电，在电场力的作用下，闪电先导内的电荷速度急剧增加，当电荷速度接近光速时先导周围的电场严重畸变，先导前进方向的电场急剧减弱；当其电场强度减弱到空气介质击穿强度时，空气介质对先导运动的阻力增加，先导便会停止运动，出现短暂停顿。随着先导速度的变化，先导前端的电场强度逐渐恢复，同时先导后部及通道周围区的电荷沿闪电通道进入先导内，先导内电荷密度增加，电场又会逐渐增强，在强度到达空气介质击穿强度值时，空气介质再次发生击穿，先导又会向前推进，循环往复，形成闪电的梯级发展通道。

电场能量是电场的基本属性之一，大气电场能量的分布和维持、雷暴电场能量的分布形成、雷暴电场能量损耗形式等也是大气电学研究的问题之一。以往的研究中实际观测资料较少，本书对这些问题进行了简单的分析。

雷暴总是和降水相伴，雷暴和降水形成需要的大气条件有很多相同的地方，本书就雷雨云中空气介质特性，阐述了雷暴形成与降水形成之间相互影响和依存的关系。

大气中的雷暴形成后，经常发生剧烈的闪电现象，对人类的生产和生活产生危害，本书对雷电危害类型、雷电防护的一般概念进行了介绍。

本书还对海洋和沙漠上空的雷电为什么偏少、实际闪电与实验长间隙放电实验之间的差异、千年古塔未遭雷电危害的原因、消雷的可能性等问题进行了讨论。

谨向所有帮助我写成和出版此书的同事、朋友和出版社编辑等致谢，特别感谢西安交通大学施围教授在我写成此书的过程中给予的鼓励和帮助。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥和疏漏之处，恳请读者批评指正。

申积良

2017年5月于长沙

符 号 说 明

常用物理量名称及单位符号

焦耳 (J)	$1\text{J} = 10^7 \text{erg}$
瓦特 (W)	$1\text{W} = 10^7 \text{erg/s}$
库仑 (C)	$1\text{C} = 2.998 \times 10^9 \text{esu}$
安培 (A)	$1\text{A} = 2.998 \times 10^9 \text{esu/s}$
伏特 (V)	$1\text{V} = 1/299.8 \text{S} \cdot \text{V}$
欧姆 (Ω)	$1\Omega = 1.139 \times 10^{-12} \text{s/cm}$
法拉 (F)	$1\text{F} = 9 \times 10^{11} \text{cm}$
亨利 (H)	$1\text{H} = \frac{1}{9} \times 10^{11} \text{s}^2/\text{cm}$

大气电有关的物理量:

电荷量

$$1\text{C} = 2.998 \times 10^9 \text{esu}$$

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

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

电荷面密度

$$1\text{C}/\text{cm}^2 = 3 \times 10^9 \text{esu}/\text{cm}^2 = 6.24 \times 10^{18} \text{e}/\text{cm}^2$$

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

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

电荷体密度

$$1\text{C}/\text{cm}^3 = 3 \times 10^9 \text{esu}/\text{cm}^3 = 6.24 \times 10^{18} \text{e}/\text{cm}^3$$

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

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

电流强度

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

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

电流密度

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

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

电位

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

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

电场强度

$$1\text{V/m} = \frac{1}{3 \times 10^9} \text{esu/m}$$

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

磁感应强度

$$1\text{T} = 1\text{Wb/m}^2 = 10^4 \text{Gs} = \frac{1}{3 \times 10^6} \text{esu}$$

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

$$1\text{esu} = 3 \times 10^6 \text{T} = 3 \times 10^{10} \text{Gs}$$

磁场强度

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

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

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

电阻

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

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

电导率

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

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

高斯 (CGS) 单位

距离:	s	厘米 (cm)	基本单位
质量:	m	克 (g)	基本单位
时间:	t	秒 (s)	基本单位
速度:	v	厘米/秒 (cm/s)	$v = ds / dt$
动量:	p	克 · 厘米/秒 (g · cm/s)	$p = mv$
力:	F	达因=克 · 厘米/秒 ² (g · cm/s ²)	$F = dp / dt$
功、能:	W	尔格=克 · 厘米 ² /秒 ² (g · cm ² /s ²)	$W = \int F \cdot ds$
功率:	P	尔格/秒 (erg/s)	$P = dW / dt$
电荷密度:	ρ	静电单位/厘米 ² (esu/cm ²)	$q = \int \rho dV$ (V 为体积)
电流:	I	静电单位/秒 (esu/s)	$I = dq / dt$
电流密度:	J	(静电单位/秒) / 厘米 ² (esu/s) / cm ²	$I = \int J \cdot da$ (a 为面积)

常用物理常数

自由空间中的光速:	$c = 2.997\,924\,58 \times 10^8 \text{ m/s}$
自由空间的磁导率:	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} = 1.256\,6 \times 10^{-6} \text{ H/m} = 1.256\,6 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{s/m}$
真空介电常数:	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
电子静质量:	$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
质子静质量:	$m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
中子静质量:	$m_n = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
玻尔兹曼常数:	$\kappa = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
普朗克常数:	$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
1 电子伏特:	$1\text{eV} = 1.602\,2 \times 10^{-19} \text{ J}$

目 录

前言
符号说明

第1章 绪论	1
第2章 大气中的电现象	5
2.1 大气电学及其发展	5
2.2 晴天大气电场	8
2.3 大气中的空间电荷	10
2.4 大气中的离子及离子迁移率	12
2.5 晴天大气电导率	19
2.6 大气中的电流	22
2.7 大气中的雷电	24
2.8 全球电路	29
第3章 非静电力形成的电动势	31
3.1 稳恒电路中的电荷与静电场	31
3.2 非静电力与电源电动势	32
3.3 非静电外力作用下电荷运动形成的电动势	35
3.4 含空间电荷气流运动形成的气流电动势	37
3.5 随气流运动电荷形成的电动势	38
第4章 大气电场的形成与维持	41
4.1 大气电场形成的环境条件	41
4.2 不同极性电荷的分离过程	45
4.3 大气电场的形成与维持过程	50

4.4	大气电场中气流电动势及电流的测量	52
4.5	全球大气电场分布特征	53
第5章	雷暴电场的形成与发展	55
5.1	雷云起电机制	55
5.2	雷暴区的大气状态特征	57
5.3	云雾介质的电特性	58
5.4	云雾介质中空间电荷分布规律	73
5.5	极化介质在电场中的受力及运动	77
5.6	雷暴电场的形成与发展过程	82
5.7	雷暴云体下方电场的形成与发展	85
5.8	雷暴中电场强度的估算	87
5.9	雷暴电场的分布特征	88
5.10	雷暴过程中的尖端放电	90
5.11	尖端放电测量	91
5.12	地面条件对雷暴发展的影响	93
5.13	海洋和沙漠上空的雷电	94
第6章	闪电的形成与特征	96
6.1	大气中的闪电	96
6.2	地闪的特征	96
6.3	闪电先导理论	102
6.4	雷暴电场中介质特性对闪电的影响	103
6.5	引路先导的形成	106
6.6	地闪通道及其结构	108
6.7	运动电荷的电场	108
6.8	运动电荷在电场中所受电场力	111
6.9	地闪梯级特征的形成与发展	112
6.10	地闪的闪击距离	115
6.11	影响闪击点的其他因素	116
6.12	闪电和长间隙放电实验之间的差异	117
第7章	大气及雷暴电场能量	119
7.1	电荷的电场能量	119
7.2	电容器的电场能量	121
7.3	静电场中的电场能量	122
7.4	晴天大气电场中能量的维持	124

7.5	雷暴电场中能量的形成	124
7.6	雷暴电场中的能量消损	125
第8章	雷暴与降水	127
8.1	雷电与雷雨云	127
8.2	闪电与降水	128
第9章	雷电危害及雷电危害防护	131
9.1	雷电危害	131
9.2	雷电危害的分类	133
9.3	雷电危害防护	137
9.4	雷电危害防护技术措施	138
9.5	防雷设备及器件	144
9.6	电力设备雷电危害防护	147
9.7	电子设备雷电危害防护	149
9.8	防雷接地技术	150
9.9	屏蔽与等电位连接	152
9.10	千年木塔未遭雷电危害的原因分析	153
9.11	消雷的可能性	154
参考文献		158

第 1 章

绪 论

大气中存在各种电现象，包括大气电场、大气电场作用下的大气电流、雷电、极光等现象。越来越多的研究表明，大气电在很大程度上影响着整个地球环境，包括地球气候、气象的变化，甚至生命的形成等。人们从不同角度对大气电现象的研究也在很大程度上影响着现代科学，特别是电磁科学技术的进步和发展。由于雷电现象使人们感官感觉强烈，而且存在的范围广泛，因此人们对于大气电现象的关注和研究是从雷电现象开始的。

自有人类历史以来，科学唯物世界观和封建神学等唯心世界观的斗争，始终错综复杂地交织在一起，遵循科学的人们以唯物世界观观察阐述事物的现象和变化规律，推动科学进步和发展，信奉封建神学的人则以唯心世界观左右人们的意识，阻碍科学进步和发展。科学本身正是在这种斗争中得以进步和发展。而在对电和雷电的认识上这种斗争反应得更强烈。

由于雷电现象使人们感官感觉强烈，可以想象，最初人们对这种现象应该是恐惧、迷惑、敬畏的，以至于这种现象被神化，这是可以理解的。但是在后来，某些利益集团利用了这些观念为他们的利益服务，许多崇尚科学的人们一面在进行自己的科学探索，一面还要和封建神学等唯心世界观进行斗争。正是这种斗争刺激和激励了人们不断探索的热情。

我国很早就有有关雷电观察的记录，这些记录忠实客观地记录了相当多的雷电现象，并对关于雷电鬼神的观念进行辩驳，客观地说，在当时的条件下，这种认识还只是朴素的不自觉的唯物世界观。

欧洲对于雷电的研究要晚得多，但更深入、更理性，并在有关科学的各种研究中逐渐认识到了实验在科学研究和探索过程中的地位和重要性，从而进行和完成了大量有关雷电的实验，最终认识到雷电的本质就是电。在以后的观测和研究过程中，人们进一步发现，即使在晴天，大气中也存在电现象，即晴天大气电场和晴天大气电流等现象。

在我国东汉时代，王充（公元 27～公元 97 年）在《论衡·乱龙篇》中有“顿牟缀芥，磁石引针”的记载。顿牟就是琥珀，它能吸引轻小芥子，这显示了摩擦生电现象，在当时王充就能把摩擦生电现象和磁石吸铁现场并列在一起。

在国外，公元前 600 年，米利都人泰勒斯（Thales）最早注意到摩擦后的琥珀吸引

轻小物体的现象。而对于磁现象的认识始于小亚细亚麦格纳西亚（Magnesia）地方的天然磁石研究。早年人们常常将电力与磁力视作同一性质，直到公元1600年英国的吉尔伯特（W.Gilbert, 1544~1603年）才开始将两者分开。吉尔伯特是当时英国女皇伊丽莎白一世的御医，也是一位有代表性的科学家。在电学方面，他通过试验发现，不仅琥珀摩擦后能吸引轻小物体，而且还有许多物质如金刚石、水晶、硫磺、玻璃、松香等在摩擦后也有“琥珀之力”。于是他根据希腊文的“琥珀”一词创造了“电”这个名词，并把经过摩擦后的物体称为电化了的或带了电的物体。此外，他还制作了第一只验电器，以便用它来检验物体是否带电。

在磁学方面，吉尔伯特也做出了很多贡献，他曾经用一个球形磁石模拟地球做实验，观察放在球面上的小磁针的指向，发现了小磁针的行为与磁针在地球上一样，从而得出了地球本身是一个巨大磁石的结论。400多年后的今天，人们对地磁的认识当然更进一步，不过基本特征仍然如此。例如，地磁的两极位置和地理两极并不重合，且随着时间的推移有缓慢的移动。目前，地磁北极在南纬 67° ，东经 143° 处，地磁南极在北纬 75° ，西经 101° 处。地球虽然是一个巨大的磁体，但其表面的磁场很弱，两极附近的强度约为0.7Gs；赤道附近为 $0.3\sim 0.4$ Gs。地球磁场可分为稳定磁场和变化磁场两部分。后者主要起因于电离层存在的电流和太阳喷射出来的带电粒子流。而对于前者，即对于约占地磁场94%的稳定磁场部分起因的认识目前仍未解决。

吉尔伯特认为琥珀吸引轻小物体不受地球磁场的影响，其效果不可与磁铁吸引铁屑相混同。

从物理学历史来看，吉尔伯特对电和磁现象研究的贡献是很大的。甚至有些人把他称为电学之父，吉尔伯特所著的《论磁》一书，总结了当时关于电和磁性质的认识。

人类对雷电的感知比对电的感知要强烈得多，但对雷电的认识却明显迟于对电的认识。显然，只有在电学有了一定发展后，才有了对雷电科学认识的条件。第一个把实验室中的电和自然界的雷电联系在一起的人是曾任英国伦敦皇家学会馆长的 Fransis Hauksbee, 1706年他在用玻璃棒摩擦带电，研究它的发光现象时，发现静电放电产生的闪光与闪电相似，由此发生了联想。这种猜测已接触到了闪电“电”的本质，可以认为在闪电研究上已开始进入科学认识之门，但还未达到对雷电有科学认识的程度。

美国杰出科学家富兰克林是第一个通过科学实验对闪电“电”的本质进行实验论证的人。他在实验室内进行了一系列电学实验，论证了实验室内静电放电现象与天空闪电的种种相似性，以科学的理性思维探索闪电的物理本质。更重要的是富兰克林通过著名的风筝实验，将雷云中的电引到地面来进行实验检验，进一步以科学实验证明了自己的分析和判断。并且根据他设计的实验方法，其他科学家均可以重复其实验结果，对闪电就是静电产生的火花放电这一科学的判断进行验证。

在现在，人们对电的本质认识已经有了比较全面深入的了解，对大气电场、雷电的观测、闪电危害及预防等的研究也比较多，但是对于大气电场是如何形成和维持；雷暴电场是如何形成与发展；闪电为何不像通常的介质击穿一次性地贯穿整个介质，而是呈梯级形式逐级向地面推进，最后形成整个空间的回击等。这些有关大气电现象的形成机

理，至今没有得到合理的解释。

美国著名物理学家费恩曼在编辑出版的《费恩曼物理学讲义》中谈及有关问题时曾经提到：“随着这么大的电流流下，在地面上的负电荷会很快放电，事实上，只需半个钟头就使整个大地都放了电。但是大气电场自从被发现以来已经不止半个钟头。它到底是怎样得到维持的呢？”他还提到：“电荷是怎样维持在哪里？它是怎样被泵回去的？既然它已降落到地面上，总得想办法把它泵回去，这就是困惑了人们相当一段时间的有关大气电的难题之一。”

在近代的有关研究中，关于大气电场形成和维持，普遍认为“在全球电路中，依靠发生在全球的雷暴维持着大气电场”。

关于雷电研究主要集中在两个方面，一个方面主要是针对雷电形成后产生的闪电特性、闪电危害及防治，主要偏重于观测和应用技术的研究；另一方面则侧重于雷电形成机理的研究。对于雷暴电场的形成主要集中在起电机制的分析和研究，但直到目前为止，已有的起电机制都不能对雷云起电过程做出合适的令人满意的解释。相对于富兰克林时代，科学界在这两个方面的研究均有一些新的认识，但一直没有新的突破性进展。

纵观过去已有的研究资料，在大气电场形成和维持、雷电形成机理及闪电过程的研究方面，进行了大量的观测，积累了相当数量的观测数据和资料。但到目前为止，许多分析和研究还停留在假设和猜测阶段。由于对相关现象形成机理还不明确，和大气电现象有关的大气环境、气象和雷电危害防护等方面的研究实际上还是凭经验，缺乏基本的理论指导。应该指出的是，有关大气电现象、雷电形成机理和闪电现象研究的基本原则是不能脱离“电”的基本属性，否则得出的结论难免出现不准确甚至谬误。在研究方法上，过多地依赖于假设和猜测，一些研究缺乏基于“电”基本原理的分析研究，特别是很少涉及大气中空气介质的电特性在“大气电”的变化过程中影响的分析和研究，甚至使研究陷入唯心的境地，误导研究方向。

大气电和雷电都是电的不同表现形式，关于大气电和雷电，在研究方法上都存在各自的不足之处，研究应该遵循的基本原则如下。

(1) 大气电和雷电的活动及变化必然遵循“电”所具有的基本特性和变化规律，即人们用以描述其特性和变化规律的电学原理以及目前人们所认识的电磁理论。

(2) 大气电和雷电的活动发生在整个地球的大气空间中，地球环境即地球电磁、大气介质和气象等环境的影响是研究不可忽视的因素。

(3) 大气电及有关现象都发生在大气中的空气介质中，空气介质的特性对大气电过程的影响非常重要，特别是当空气介质中水性粒子含量增加时，这种影响更为显著。

大气电和雷电伴随着人们的生产和生活，但有关它们形成和变化机理的研究进展却很缓慢，尽管人们对大气电和雷电的观测已经进行得相当充分，观测资料也非常丰富，但对它们的认识至今还几乎停留在富兰克林时代。究其原因主要有以下几个方面。

(1) 大气电和雷电的活动范围大，特别是有关雷电变化的现象持续时间很短，发生的时间、空间区域不确定性大，且观测一般都具有一定的危险性，给观测、研究造成很大困难。