

高等学校試用教科书



电工理論基础

DIANGONG LILUN JICHU

第一册

上海交通大学电工原理教研組編

人民教育出版社

目 录

緒論.....	1
---------	---

第一章 靜电場

1-1 靜电場与电場强度.....	9
1-2 电压, 电位与电位梯度.....	18
1-3 高斯定理.....	26
1-4 偶极子的电場及其受外电場作用的轉矩.....	32
1-5 电介质的极化.....	34
1-6 电位移与高斯定理的一般形式.....	37
1-7 靜电場的基本特性, 两种媒质分界面上的边界条件.....	41
1-8 电容.....	46
1-9 靜电場中的能量.....	52
1-10 靜电場中的力.....	56

第二章 稳定电流

2-1 电流与电流密度.....	62
2-2 物质的电性能.....	64
2-3 欧姆定律, 电阻与电动势.....	68
2-4 基尔霍夫定则.....	77
2-5 稳定电流的电場的基本特性, 两种媒质分界面上的边界条件.....	79
2-6 功率与楞次—焦耳定律.....	82

第三章 綫性直流电路

3-1 简单电路.....	86
3-2 两綫輸电綫的傳輸特性.....	89
3-3 网络几何.....	98
3-4 支路电流法.....	94
3-5 回路电流法.....	97
3-6 节偶电压法.....	101
3-7 迭加原理.....	108
3-8 互易原理.....	111
3-9 替代原理与补偿定理.....	119

3-10	二端网络	117
3-11	星形连接与三角形连接的互换	125
3-12	四端网络	132
3-13	对偶原理, 比拟法	143
第四章 非线性直流电路		
4-1	非线性电阻元件	150
4-2	非线性电阻的联接	159
4-3	计算非线性电路的图解法	161
4-4	计算非线性电路的逐次渐近法	167
4-5	计算非线性电路的分析法	168
第五章 稳定磁场		
5-1	稳定磁场与磁感应	175
5-2	磁通量与磁通量连续性原理	183
5-3	磁感应矢量的环量	186
5-4	物质的磁化	196
5-5	磁场强度与全电流定律	201
5-6	稳定磁场的基本特性、两种媒质分界面上的边界条件	203
5-7	磁通势、磁位降、磁阻与磁路概念	207
第六章 铁磁质的磁性能·磁路		
6-1	铁磁质的磁性能	212
6-2	磁路与磁路定律	221
6-3	无分支的磁路	225
6-4	有分支的磁路	229
6-5	具有永久磁铁的简单磁路	233
第七章 电现象与磁现象的联系及其统一		
7-1	电磁感应	240
7-2	自感与互感	251
7-3	磁场中的能量	256
7-4	铁心损失	264
7-5	磁场中的力	269
7-6	位移电流与运动电流	274
7-7	电现象与磁现象的统一	281
7-8	似稳的电磁现象	291

緒 論

我們偉大的祖國，在中國共產黨和毛澤東主席的英明領導下，正沿着社會主義的道路飛躍前進。具有歷史意義的黨的八大二次會議，制訂了鼓足干劲、力爭上游、多快好省地建設社會主義的總路線。在總路線的光輝照耀下，全國人民意氣風發、鬥志昂揚，各項工作都實現了全面大躍進。現在，我們正在為把我國建設成為一個具有現代農業、現代工業、現代國防和現代科學技術的社會主義強國而奮鬥。為了完成這一光榮而艱巨的任務，電氣事業有着非常重要的意義。關於這一點，正如列寧所曾經指出：“共產主義——這就是蘇維埃政權加上全國電氣化”（列寧全集，第31卷484頁）。

國民經濟電氣化對於社會主義建設的巨大作用，可以從以下幾個方面來加以認識。第一、電能是近代工業、農業和交通運輸業的最主要的動力來源之一。大家可能知道，幾乎所有的近代工業生產部門，其中包括鋼鐵工業、機械製造工業、化學工業、紡織工業等等，它們的生產設備，都需要以電力來拖動。在近代化的農業生產過程中，從耕種到收割，都使用機器，而電力又是農業機器的主要發動者。近代的交通運輸工具，也正向着電氣化的方向發展。第二、電是近代新興科學技術的重要物質基礎。象原子能、半導體、電子計算技術等新興科學部門都與電有着直接的不可分割的聯繫。同時，由於電的特殊性能，它已成為控制、調整、測量、通訊等各種技術所不可缺少的條件。第三、電是人民物質生活和文化生

活的水平日益提高的手段。电灯、电热、电话、电影、无线电广播、电视等等都是电在生活上广泛的应用。总而言之，社会的电气化水平乃是社会的生产水平和生活水平的重要标志；电气化乃是高度机械化和自动化的基础。

电气事业在社会主义建设中有如此重要的地位，是与电的优越性分不开的。电的优越性大致上可以归纳成以下几点：（一）电能可以实现远距离传输，这一点，其他形态的能量很难做到；（二）电能与其他形态的能量（例如：水能、热能、机械能）相互转变比较简便；（三）电能的生产成本较低，且在传输和使用过程中损耗低微，比较经济；（四）电能在使用时控制便利、易于操纵；（五）自然现象的电效应较为准确和灵敏；（六）电可以由电磁波的形式在空中传播。

解放以后，我国的电气事业获得了空前未有的发展。十年来，电力工业、电机和电工器材制造业、电讯事业等都迅速成长，电气工程的科学研究机构和高等学校均相继增设。下面，让我们来简单地介绍一下这方面的情况。

在电力工业方面，解放以前虽然已有 67 年的历史，但是由于半封建半殖民地制度的束缚，所以生产规模极小，发展速度极慢。当时电站的地区分布极不合理，有 90% 的发电设备容量集中在沿海和东北的少数大城市，电力网的频率和电压等级没有标准。解放以后，全国的发电量迅速增长，这可以从下表看出：

年 份	发 电 量
1949 年	43 亿度
1952 年	72.6 亿度
1957 年	193 亿度
1958 年	275 亿度
1959 年	415 亿度

这样的递增速率，在世界上是少有的。

在电机和电工器材制造工业方面，解放以前，我国根本没有独立的电机制造工业，只有零星的修配工厂。现在，我国已经能够制造成套的大容量发电设备。高压大容量的水轮发电机、汽轮发电机、电力变压器和断路器的新产品正在层出不穷。其他如电缆、电线、电表、电工材料、电子器件等制造工业均已蓬勃发展。

在电讯事业方面，以北京为中心通往各省市的电讯网络已经建成，北京与莫斯科之间的直达有线电路亦已沟通。十年来，全国的长途电信线路增长 1.5 倍，市内电话交换机容量增加 135%。

解放以来，我国电气工程的科学研究和高等教育，同样获得了惊人的发展。目前，中国科学院和各有关业务部门都设立了电气工程的研究所和试验室，并且做出了显著的研究成果。在高等学校内，有关电气工程的系科和专业已经完善设置，并且新建了若干所电气工程的独立学院，它们正在担负着培养我国电气事业建设人才的光荣任务。

十年来电气事业之所以获得辉煌的成就，是由于党的正确领导和全国人民的努力。我国是一个地大物博的国家，水力资源和矿藏资源极为丰富，这就为我国的电气事业提供了十分有利的自然条件。我国的煤、铁、铜、铝等矿蕴藏量都极丰富，最近又发现了不少新的铜矿。由此可见，我国的水力发电、火力发电和电机制造工业都有着取之不尽、用之不竭的宝藏。

二

电在生产上和生活上如此广泛的应用是与人类长期以来对于电磁理论和电工技术的研究分不开的。这里，不妨让我们来回顾一下电磁理论和电工技术的发展历史。谈到这方面问题的时候，不少人往往把电磁理论和电工技术的发展完全归之于创造者和发

明家的功迹，这种看法，显然是与历史唯物主义的观点背道而馳的。要知道，历史乃是社会生产所决定的合乎規律的过程，因此，所謂历史，首先是劳动群众的历史。創造者和发明家的成果乃是历史本身的必然产物，他們的創造和发明，只能是时代的科学水平的体现和反映。

必須首先指出，根据可靠的历史資料証实，我們的祖先是人类历史上电磁現象的最早发现者。磁針、人造磁鉄等在我国最早应用。我国古代的自然哲学家，为了探討“宇宙之秘奧”，寻求“日月之精华”，曾經涉及过电磁現象的某些方面。根据我国东汉时代的启蒙思想家王充在“論衡”一书中的記述，在公元第一世紀，我国已經发现了静电現象的作用。由此可見，我国劳动人民的智慧才华早就显露，只是由于长期的封建統治，特别是近百年来帝国主义的侵略和二十多年的国民党反动統治，使我国的生产力发展緩慢，才把他們的創造和发明埋沒了。

一直到1600年，吉柏 (Gilbert) 发表了关于电磁現象的系統的著作，在这部著作里，他把电現象和磁現象看作是沒有联系的单一的自然現象，这当然是一种片面的認識。同时，他还指出，一切物体可以分为两大类：一类如琥珀、玻璃、松香等是可以被电化的，另一类如金属等是不能被电化的。

1729年，格来 (Gray) 指出，物体按电性能可以分为两类，即絕緣体和导体。

1753年，罗蒙諾索夫 (М. В. Ломоносов) 发表了“关于由电气的力量所造成的天空現象之报告”一文，这篇报告揭示了北极光的电气本质，并且闡述了光現象和电現象之間的相互联系。与罗蒙諾索夫共同工作的李赫曼 (Г. В. Рихман) 对此亦有重大貢獻，不幸他在一次試驗时被閃电襲击而殞身科学。罗蒙諾索夫对于科学的其他領域亦頗有貢獻，他是俄国唯物主义科学家的杰出代表。

1758年, 爱皮努斯(Ф. У. Эпинус)发表了“論电与磁的同一属性”的报告, 这一报告所表述的观念, 是与电磁现象的近代理論相符合的。同时, 他还发现了热电现象和静电感应现象。

1785年, 庫倫(Coulomb)发表了“带电体間力的相互作用和磁极間力的相互作用的量的关系”的意见, 并且指出, 电荷和磁质有本质上的区别。

1800年, 伏特(Volt)发明了化学电池, 从此以后, 人們就可以获得連續的电流。

1802年, 彼得洛夫(В. В. Петров)发现了电弧现象, 并且預言电弧可以用于照明和冶金。

1819年, 奥斯特(Oersted)通过实验发现电流对于磁针有力的作用, 这一发现表明了电磁现象之間的內在联系。

1820年, 安培(Ampere)証实載流螺綫管具有和磁铁相同的作用。依此, 他表述了关于磁铁內部存在着“元电流”的观念, 这种观念在近代电磁理論中已經得到明确的表达方式。安培的发现, 进一步証实了电磁现象之間有着紧密的联系。

1827年, 欧姆(Ohm)发表了电压和电流間基本关系的欧姆定律, 这一定律是电路理論的基础。

1831年, 法拉第(Faraday)发现了电磁感应现象, 即当一个綫卷对磁铁移动时会在該綫卷內产生电流。这一现象的发现, 不仅是电磁关系的明証, 而且是近代电工技术的重要理論基础。同时, 法拉第还是场的观念的建立者。

1832年, 希陵(И. Л. Шиллинг)发明了电报, 这一发明具有十分重要的实际意义。

1833年, 楞茨(Э. Х. Ленц)創立了电磁慣性原理, 这是对于奥斯特和法拉第的发现的进一步发展。同时, 楞茨和焦耳(Joule)兩人分別发现了电流产生热量的規律, 这就是楞茨—焦耳定律。

1834年,雅可比(Б. С. Якоби)創制了电动机。1836年,他又发明了电鍍术,使电流的化学作用在技术上得到了应用。

1845年,基尔霍夫(Kirchhoff)发现了电路中电流連續性的規律以及閉合回路中电动势和电压降之間相互关系的規律,这就是基尔霍夫第一定則和第二定則。

1871年,斯托列托夫(А. Г. Столетов)发表了“关于軟鉄的磁化作用的研究”的报告,这一报告确定了鉄的磁化率与其磁化强度之間的关系。斯托列托夫的工作,对于电机和电器制造工业的发展有一定的影响。

1873年,麦克斯韦(J. C. Maxwell)发表了“論电与磁”的經典著作,在这部巨著中,他綜合了前人的实践經驗,加以演繹和推理,归之于数学的形式,从而創立了严密的电磁場理論。麦克斯韦的創造性工作,是电磁理論发展史上重要的里程碑。

1876年,雅勃洛契柯夫(П. Н. Яблочков)发明了电烛,这一发明开辟了电弧广泛应用的道路。同年,他还发明了鉄芯变压器。

1877年,皮罗茨基(Ф. А. Пироцкий)进行了一系列电力傳輸方面的試驗,并且发表了“論以水为原动力的电能的远距离傳輸”一文,所有这些試驗和論文,促进了电力傳輸技术的发展。

1880年,拉契諾夫(Д. А. Лачинов)发表了“电气机械的功能”一文,在这篇論文里,他认为大功率远距离輸电必須升高电压。

1881年,台普莱(M. Depré)发表了“远距离的电功傳輸”一文,提出了与拉契諾夫相似的看法,1882年,台普莱建立了一个距离为75公里,电压为1500—2000伏特,功率为2馬力的直流輸电系統。

1887—1889年,赫芝(H. Hertz)完成了电磁波的发生和傳播的試驗,这一試驗从实践中証明了麦克斯韦理論的正确性。

1891年,多利沃-多勃罗沃尔斯基(М. О. Дливо-Добровольский)完成了三相交流綫路的輸电工作,同时,他还創制了三相变

压器和三相交流电动机。

1895年,列貝捷夫(П. Н. Лебедев)完成了超短电磁波的发生和傳播的試驗。之后,他于1900—1901年用实验証明了光压的存在,这一实验的結果不仅証实了电磁場的物质性,而且还有力地捍卫了唯物主义的世界观。

1895年,波波夫(А. С. Попов)创造性地完成了关于无綫电輻射和通訊的实验工作;創制了世界上第一架无綫电发射器和接收器。这一成就不仅进一步証实和发展了麦克斯韦的理論,而且奠定了近代无綫电工程的基础。

自从麦克斯韦創立了电磁場理論以后,电磁理論和电工技术有了急剧的发展。在理論研究方面,由于相对論和量子論的創立,已經把电磁場理論引进了一个新的領域,成为近代理論物理学的重要内容。在电工技术方面,無論是原子能发电、超高压远距离输电、巨型大容量电机制造以及无綫电电子学等都取得了卓越的成就。

三

当代电气工程技术的发展,在高等工业学校的专业設置上得到了明确的反映。目前,我国高等工业学校在电气工程方面設有电力、电机、电訊、电气运输等类型的各种专业。所有这些专业都需要一个共同的理論基础,这个理論基础就是本課程——“电工理論基础”所研討的对象。

“电工理論基础”这門課程的主要任务是为了解决在电工技术中最帶普遍性的問題。它是一門基础技术課程,其性质与基础課程和专业課程都不相同,在本課程內要研討电气工程各专业的一般性問題,其中包括各种电工装置中所发生的电磁現象和所进行的电磁过程,因此本課程較基础課程偏重于工程实际,比专业課程

更強調物理概念的分析與理論的分析。

按照電氣工程中各種理論問題的內在聯系，本課程的結構分為三個部分：一、電磁現象的基本規律、直流電路和磁路；二、交流電路理論；三、電磁場理論。第一部分是大學物理學的電磁學基礎上，來進一步闡述宏觀電磁現象的基本問題，如電場和磁場；直流電路和磁路等等。第二部分是研討在電氣工程中應用得最多的交流電路理論，其中包括單相電路和三相電路；電路的穩態和暫態（過渡過程）；線性電路和非線性電路；具有集中參數的電路和具有分布參數的電路等等。第三部分是宏觀電磁場的分析和計算的理論，內有靜電場、恒定電流的電場、恒定電流的磁場和交變電磁場等等。在學習本課程以前，必須具備一定的大學物理學和高等數學的基礎。

一九六〇年一月

第一章 靜電場

1-1 靜電場与電場强度

1. 按照近代观点,所有物体都是由大量的与分立的微小粒子所組成。这些粒子有的带正电,有的带負电,也有不带电的。所有粒子都在不断地运动,并被它們的以有限速度傳播的电磁場包圍着。带电粒子与其周围的电磁場都独立存在于我們的意識之外,带电粒子的运动与电磁場的傳播就是它們的存在形式。所以带电粒子与其电磁場,不是別的,而是物质的一种特殊形态。带电粒子与其电磁場之間存在着紧密的联系,而且一个带电粒子在另一个带电粒子的电磁場中,就是在所謂外电磁場中,与它所在处的外电磁場存在着相互作用。电磁現象就是这种联系与这种相互作用的各种不同表现。

所有粒子都具有质量、冲量等等的物理特性。带电粒子在这些特性以外,还具有另一种重要的物理特性,这特性是用电荷这一概念来表征的。带电粒子就是带有电荷的粒子,它們的电荷就是表征它們与自己电磁場的联系及与外电磁場相互作用的一种物理特性。就这种表征的量的方面來說,电荷是以庫倫(簡称庫)为单位。根据实验,一个电子带負电荷 -1.6×10^{-19} 庫,目前所能发现的最小电量。在自然界中所遇到真正的正負的电荷量是这最小电量的整倍数。

在物体呈中性状态时,它的电荷是均匀地分布在着等量的正电荷与負电荷,因而在這体积元之外的电磁場互相

抵消。但是，如果物体内或其一部分，由于某种原因（摩擦起电，光电作用，某些晶体的加热或压缩，化学作用等）破坏了中性状态而形成了电子的过多或不足，这样的物体叫做带电体。具有电子不足的物体带正电荷，具有电子过多的物体带负电荷。电荷既不能创造，也不能毁灭。电荷只能从一种分布变成另一种分布，而且在任何时候有正电荷存在，同时必定有等量的负电荷存在。这就是通称的电荷守恒定律。

如果带电体所带的电荷在宏观上是不随时间改变的，同时这带电体对于我们观察者没有相对的运动，则我们说这静止的物体带着静电。在这样的带电体的周围，观察者只观察到不随时间改变的电现象，而观察不到磁现象，就是只观察到与带电体电荷相联系的电磁场的一个特殊方面。所谓一个方面，是说一般电磁场有电场与磁场两个方面，现在所观察到的是电场。所谓特殊，是说它是一个不随时间改变的电场。这种电场叫做静电场。

2. 电场（本章所谓电场都指静电场）的特性可以利用它的任一种表现来表征。通常所利用的是电场对引进电场的另一带电体所受到的作用力。人们最初对于电现象的认识就是这种力。作确定电场特性用的带电体叫做试体，其电荷叫做试验电荷，用 q_t 代表。试体本身的几何尺寸必须很小，这样由它确定出来的电场特性才能代表场中一点上的特性。同时试验电荷也必须很小，然后它在场中出现才不会影响原有电荷的分布。

观察结果，试体在电场中任一点上受到的力与试体的电荷成正比，而且电荷改变符号，力也改变成相反的方向。用 q_t 与 $f(x, y, z)$ 分别代表试验电荷与它在场点 (x, y, z) 上受到的力，则比率

$$E(x, y, z) = \frac{f(x, y, z)}{q_t} \quad (1-1)$$

与试验电荷无关，而只依赖于这一点上的电场。因此，电场中每一

点上的矢量 E 可以用来表征電場的特性, 而把它叫做電場强度。力的单位是牛(牛頓的简称), 电荷的单位是庫, 所以電場强度的单位是牛/庫。電場强度的方向与正的試驗电荷所受到的力的方向一致。

注意, 式(1-1)中只代表電場作用于电荷的力, 而那些可能作用于电荷的非电来源的力, 譬如說, 重力, 机械力, 化学力等, 都必须排除在外。

3. 在利用試体研究電場时, 如所发现观察点与電場相联系的带电体(或如通俗所說产生電場的带电体)之間距离比起带电体本身的綫度是相当的大, 則带电体的大小与形状都无关紧要, 而它所帶的电荷便可看成集中于它的作用中心点, 这种电荷叫做点电荷。

观察結果, 点电荷 q 在真空中产生在一点上的電場强度的量值与 q 的量值成正比, 而与場点(观察点)到点电荷的距离 r 的平方成反比, 其方向沿着点电荷与場点相連的直綫上, 由点电荷指向場点或由場点指向点电荷則随电荷 q 为正或負而定。在有理化实用单位制, 点电荷的電場强度可以表示成:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \mathbf{r}^0, \quad (1-2)$$

式中单位矢量 $\mathbf{r}^0$ 是由点电荷指向場点, ϵ_0 是表征真空电特性的常数, 叫做电常数。电常数

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= \frac{1}{4\pi \times 10^{-7} \times (3 \times 10^8)^2} = \\ &= \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} = \\ &= 8.855 \times 10^{-12} \text{ (法/米)}, \end{aligned}$$

这里法是电容单位法拉的简称 (§1-8)。式(1-2)中引入 4π 而使 ϵ_0 有上述的值, 其目的是为了使一般电磁公式能够有简单的形式。而且, 让具有球对称性的一些公式内出現 4π 也是很合理的。

由公式(1-2)与电常数的单位,可见电场强度的单位是

$$[E] = \frac{\text{庫}}{(\text{法/米})\text{米}^2} = \frac{\text{庫}}{\text{法} \cdot \text{米}} = \frac{\text{伏}}{\text{米}}。$$

伏是电压的单位伏特的简称 (§ 1-2), 伏/米与牛/庫相当。今后我們采用伏/米为电场强度的单位。

例题 1-1 点电荷 $q (q > 0)$ 位于点 $P(a_1, b_1, c_1)$, 决定点 $Q(a_2, b_2, c_2)$ 上的电场强度 (图 1-1)。

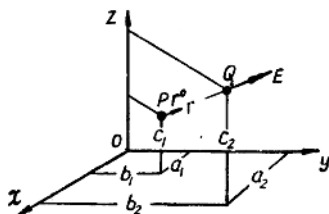


图 1-1. 例题 1-1 用图。

点 Q 的电场强度

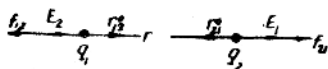
$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{r}^0,$$

式中 $r^2 = (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2 + (c_2 - c_1)^2$,

$$\mathbf{r}^0 = \cos \alpha \mathbf{i} + \cos \beta \mathbf{j} + \cos \gamma \mathbf{k} =$$

$$= \frac{a_2 - a_1}{r} \mathbf{i} + \frac{b_2 - b_1}{r} \mathbf{j} + \frac{c_2 - c_1}{r} \mathbf{k}。$$

4. 根据公式 (1-1) 与 (1-2) 可以看出, 真空中两个点电荷 q_1 与 q_2 的相互作用力 (图 1-2):



$$q_1 > 0, q_2 > 0$$

图 1-2. 庫倫定律。

$$\left. \begin{aligned} f_{21} &= E_1 q_2 = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r^2} \mathbf{r}_{12}^0, \\ f_{12} &= E_2 q_1 = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r^2} \mathbf{r}_{21}^0, \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式中单位矢量 $\mathbf{r}_{12}^0 = -\mathbf{r}_{21}^0$, 所以 $\mathbf{f}_{12} = -\mathbf{f}_{21}$ 。公式(1-3)叫做庫倫定律。庫倫定律表明:同号电荷相排斥,异号电荷相吸引。这种排斥或吸引的力是一个点电荷在另一个点电荷的場中所受到的作用力,叫做电场力或庫倫力。

5. 公式(1-2)还具有这样的意义在内,就是根据实验结果,点电荷产生在場中一点上的电场强度与点电荷的电量 q 成正比,就是说,有线性关系。这肯定了一个点电荷产生在場中一点上的电场强度与場中有没有其他点电荷存在无关,就是说,有它的独立性。事实上,电荷 q 可以看做是 n 个点电荷 $q_1, q_2, \dots$ 与 q_n 的合成,就是

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n.$$

这样,式(1-2)就可以写成

$$\begin{aligned} \mathbf{E} &= \frac{q}{4\pi \epsilon_0 r^2} \mathbf{r}^0 = \\ &= \frac{q_1}{4\pi \epsilon_0 r^2} \mathbf{r}^0 + \frac{q_2}{4\pi \epsilon_0 r^2} \mathbf{r}^0 + \dots + \frac{q_n}{4\pi \epsilon_0 r^2} \mathbf{r}^0 = \\ &= \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_n, \end{aligned}$$

式中 $\mathbf{E}_k = \frac{q_k}{4\pi \epsilon_0 r^2} \mathbf{r}^0$ 是点电荷 q_k 单独产生的电场。既然各个电荷产生电场有它的独立性,因此,我們可以作出一般的論断:位于同一点上或不同点上的多个点电荷一同产生在場中一点上的电场强度是各个点电荷单独产生在这一点上的电场强度之和。这就是静电场的迭加原理。

据此, n 个点电荷的合成电场:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \cdots + \mathbf{E}_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{k=1}^n \frac{q_k}{r_k^2} \mathbf{r}_k^0,$$

式中 r_k 是点电荷 q_k 与场点之间的距离, $\mathbf{r}_k^0$ 是由点电荷 q_k 指向场点的单位矢量。

如果电荷占有一定的体积, 则我们可以把它看成是体积分布, 而引用电荷体密度 ρ 的概念:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta V} = \frac{dq}{dV}, \quad (1-4)$$

式中 Δq 是占有很小体积 ΔV 的电荷。元电荷

$$dq = \rho dV \quad (1-5)$$

具有点电荷的性质, 于是占有体积 V 的电荷所产生的电场

$$\begin{aligned} \mathbf{E} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{dq}{r^2} \mathbf{r}^0 = \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{\rho \mathbf{r}^0}{r^2} dV. \end{aligned} \quad (1-6)$$

如果电荷是面分布, 例如, 导体上的电荷分布, 则我们可以引用电荷的面密度 σ 的概念, 就是

$$\sigma = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta s} = \frac{dq}{ds}, \quad (1-7)$$

式中 Δq 是占有很小面积 Δs 的电荷。这时, 元电荷

$$dq = \sigma ds \quad (1-8)$$

而占有面积 s 的电荷所产生的电场

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_s \frac{\sigma \mathbf{r}^0}{r^2} ds. \quad (1-9)$$

同样, 对线分布的电荷, 例如, 线径很细的导线上的电荷分布, 我们引用电荷的线密度 τ 的概念, 就是

$$\tau = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta l} = \frac{dq}{dl}. \quad (1-10)$$

这时, 元电荷

$$dq = \tau dl \quad (1-11)$$