

47039

电工理論基础

第一册

3-1

3-2

3-3

3-4

上海交通大学
电工原理教研組編

TM/011031

江南大学图书馆



91090236

目

緒論	1
第一章 靜電場	
1-1 靜電場與電場強度	10
1-2 電壓、電位與電位梯度	19
1-3 高斯定理	27
1-4 偶極子的電場及其受外電場作用的轉矩	33
1-5 電介質的極化	35
1-6 電位移與高斯定理的一般形式	38
1-7 靜電場的基本特性。兩種媒質分界面上的邊界條件。	42
1-8 電容	47
1-9 靜電場中的能量	53
1-10 靜電場中的力	56
第二章 穩定電流	
2-1 電流與電流密度	63
2-2 物質的電性能	65
2-3 歐姆定律，電阻與電動勢	69
2-4 基爾霍夫定則	78
2-5 穩定電流的電場的基本特性。兩種媒質分界面上的邊界條件。	80
2-6 功率與楞次—焦耳定律	83
第三章 綫性直流電路	
3-1 簡單電路	87
3-2 兩綫輸電綫的傳輸特性	90
3-3 網絡幾何	94
3-4 支路電流法	95
3-5 回路電流法	97
3-6 節偶電壓法	102
3-7 迭加原理	109
3-8 互易原理	112
3-9 替代原理與補償定理	114

3-10	二端网络	118
3-11	星形连接与三角形连接的互换	126
3-12	四端网络	133
3-13	对偶原理;比拟法	145
第四章 非线性直流电路		
4-1	非线性电阻元件	152
4-2	非线性电阻的联接	161
4-3	计算非线性电路的图解法	163
4-4	计算非线性电路的逐次逼近法	169
4-5	计算非线性电路的分析法	170
第五章 稳定磁场		
5-1	稳定磁场与磁应	177
5-2	磁通量与磁通量连续性原理	185
5-3	磁感应矢量的环量	188
5-4	物质的磁化	198
5-5	磁场强度与全电流定律	203
5-6	稳定磁场的基本特性。两种媒质分界面上的边界条件。	205
5-7	磁通势,磁位降,磁阻与磁路概念	209
第六章 铁磁质的磁性能,磁路		
6-1	铁磁质的磁性能	218
6-2	磁路与磁路定律	222
6-3	无分支的磁路	226
6-4	有分支的磁路	230
6-5	具有永久磁铁的简单磁路	234
第七章 电现象与磁现象的联系及其统一		
7-1	电磁感应	241
7-2	自感与互感	252
7-3	磁场中的能量	257
7-4	铁心损失	265
7-5	磁场中的力	269
7-6	位移电流与涡动电流	276
7-7	电现象与磁现象的统一	283
7-8	似稳的电磁现象	295

緒 論

一

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，正沿着社會主義和共產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、斗志昂揚，各項工作都實現了全面大躍進。現在，我們正在為建設一個具有現代工業、現代農業和現代科學文化的偉大的社會主義強國而奮鬥。為了完成這一光榮而艱巨的任務，電氣事業有着頭等重要的意義。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。大家可能知道，几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。電燈、電熱、電話、電影、無線電廣播、電視等等都是電在生活上廣泛的應用。

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。

最近，党中央提出了要在全国农村实现机械化、电气化、水利化、化学化的伟大号召。这是进一步提高我国农村生产水平和改变劳动人民生活条件的英明措施。

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工业、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,在世界上是史无前例的。目前,全国已经形成了25个电压等级在11千伏以上的电力系统,最大电力系统的容量达到270万千瓦。大跃进以后,电力工业的发展速度更加迅速,1958年的装机容量是179.7万千瓦,1959年的计划装机容量是230万千瓦。具有世界意义的长江三峡水利枢纽工程,正在积极勘测设计中,这座不久即将建成的三峡水电站,无论在机组容量、电压等级等方面,都将超过世界水平。

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,并且在东北和上海等地建立了电机制造工业的基地。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室和试验室,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,并且亦由于苏联和其他社会主义国家的无私援助。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。根据最新的资料,单以长江而论,其水能蕴藏量达2.3亿千瓦。我国的煤、铁、铜、铝

等矿蘊藏量都极丰富,最近又发现了不少新的銅矿。由此可見,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。只要我們有工人阶级“战胜地球、建立强国”的雄心壮志,我們就一定能够在祖国的大地上实现高度的电气化。

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論和电工技术的研究分不开的。这里,不妨讓我們来回顧一下电磁理論和电工技术的发展历史。談到这方面問題的时候,很多人往往把电磁理論和电工技术的发展完全归之于創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駛的。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,至多只能算作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“宇宙之秘奥”;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,我国已經发现了靜电現象的作用。由此可見,我国劳动人民的智慧才华早就显露,只是由于当时社会制度的落后和生产水平的低微,才把他們的創造和发明埋沒下去了。

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没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,并且阐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)对此亦有重大贡献,不幸他在一次試驗时被閃电襲击而殉身科学。罗蒙諾索夫对于科学的其他領域亦頗有贡献,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,是与电磁現象的近代理論相符合的。同时,他还发现了热电現象和静电感应現象。

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)发现了电弧現象,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針有力的作用,这一发现表明了电磁現象之間的內在联系。

1820年,安培(Ampere)証实載流螺綫管具有和磁鉄相同的作用,依此,他表述了关于磁鉄內部存在着“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,进一步証实了电磁現象之間有着緊密的联系。

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,即当一个线圈对磁铁移动时会在该线圈内产生电流。这一现象的发现,不仅是电磁关系的明证,而且是近代电工技术的重要理论基础。同时,法拉第还是场的观念的建立者。

1832年,希陵(П. 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)创立了电磁惯性原理,这是对于奥斯特和法拉第的发现进一步发展。同时,楞茨和焦耳(Joule)两人分别发现了电流产生热量的规律,这就是楞茨——焦耳定律。

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

1845年,基尔霍夫(Kirchhoff)发现了电路中电流连续性的规律以及闭合回路中电动势和电压降之间相互关系的规律,这就是基尔霍夫第一定律和第二定律。

1871年,斯托列托夫(А. Г. Столетов)发表了“关于软铁的磁化作用的研究”的报告,这一报告确定了铁的磁化率与其磁化强度之间的关系。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“论电与磁”的经典著作,在这部巨著中,他综合了前人的实践经验,加以演绎和推理,归之于数学的形式,从而创立了严密的电磁场理论。麦克斯韦的创造性工作,是电磁理论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,他还发明了铁芯变压器。

1877年,皮罗茨基(Ф. А. Пироцкий)进行了一系列电力传输方面的试验,并且发表了“论以水为原动力的电能的远距离传输”一文,所有这些试验和论文,促进了电力传输技术的发展。

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,他認為大功率远距离輸电必須升高电压。

1881年,台普萊(М. 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,台普萊建立了一个距离为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(Н. Hertz)完成了电磁波的发生和傳播的試驗,这一試驗从實踐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年用實驗証明了光压的存在,这一實驗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)創造性地完成了关于无綫电輻射和通訊的實驗工作;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、超高压远距离輸电、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,在高等工业学校的專業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、电讯、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论基础,这个理论基础就是本课程——“电工理论基础”所研讨的对象。

根据现行教学计划的规定,“电工理论基础”课程是电力类、电机类、电讯类和电气运输类各专业学生的必修课程。多年来的教学实践证明,本课程的教学效果对于以上各专业学生的培养质量具有决定性的作用。

“电工理论基础”课程的主要任务是把电磁理论应用到电工实际中去,并把电气工程中的实际问题提高到理论上来加以认识。所以,它是一门理论与实际密切结合的课程。

“电工理论基础”是一门技术基础课,它的性质与基础课和专业课都有所不同,在本课程内,我们将要研讨电气工程各专业的一般性问题,其中包括各种电工装置中所发生的电磁现象和所进行的电磁过程,因此,本课程的实践性较之基础课为强;同时,我们对于电工实际问题的研讨是以严格的理论分析为依据的,因此,本课程的理论性较之专业课为高。也就是说,“电工理论基础”是一门具有高度的理论性和强烈的实践性的课程。

按照电气工程中各种理论问题的内在联系,本课程的结构分为三个部份:一、电磁现象的基本规律,二、交流电路理论,三、电磁场理论。第一部份是在大学物理学的电磁学基础上,来进一步阐述宏观电磁现象的基本问题,如电场和磁场;直流电路和磁路等等。第二部份是研讨在电气工程中应用得最多的交流电路理论,其中包括单相电路和三相电路;电路的稳态和暂态(过渡过程);线性电路和非线性电路;具有集中参数的电路和具有分布参数的电路等等。第三部份是宏观电磁场的分析和计算的理论,内有静电场、恒定电流的电场、恒定电流的磁场和交变电磁场等等。在学习本课程以前,必须具备一定的大学物理学和高等数学的基础。

当我们明白了本课程的任务、性质、内容结构等方面以后，我们相信，同学们一定能够抱着实现我国社会主义工业化的远大理想，以献身于祖国电气化事业的宏伟气概，用顽强的毅力来学习这一门课程。

第一章 靜電場

1-1 靜電場与電場强度

1.] 所有物体都是由大量的与分立的微小粒子所組成。这些粒子有的帶正电，有的帶負电，也有不帶电的。所有粒子都不斷地运动。帶电粒子并被它們的以有限速度傳播的电磁場包圍着。帶电粒子与其周圍的电磁場都存在于我們的意識之外（客觀实在），帶电粒子的运动与电磁場的傳播就是它們的存在形式。所以帶电粒子与其电磁場，不是別的，而是物質的一种特殊形态。帶电粒子与其电磁場之間存在着緊密的連系，而且一个帶电粒子在另一个帶电粒子的电磁場中，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。电磁現象就是这种連系与这种相互作用的各种不同表現。

所有粒子都具有質量，冲量等等的物理特性。帶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。帶电粒子就是帶有电荷的粒子，它們的电荷就是表征它們与自己电磁場的連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，电荷是以庫侖（简称庫）为单位。根据实验，一个电子帶負电荷 1.602×10^{-19} 庫，是目前所能发现的最小电量。在自然界中所遇到的正的或負的电荷都是这最小电量的整倍数。

在物体的中性状态时，它的每个足够大的体积元中平均地存在着等量的正电荷与負电荷，因而这体积之外的电磁場互相抵消。但是，如果物体內或其一部分，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，这样的物体叫做帶电体。具有电子不足的物体帶正电

荷，具有电子过多的物体帶負电荷。既不能創造电荷，也不能毁灭电荷。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，同时必定有等量的負电荷存在。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時間改变的，同时这带电体对于我們观察者沒有相对的运动，則我們說这靜止的物体帶着靜电。在这样的带电体的周围，观察者只观察到不随時間改变的电現象，而观察不到磁現象，就是只观察到与带电体电荷相联系的电磁場的一个特殊方面。所謂一个方面，是說一般电磁場有电場与磁場两个方面，現在所观察到的是电場。所謂特殊，是說它是一个不随時間改变的电場。这种电場叫做靜電場。

2.] 电場(本章所謂电場都指靜電場)的特性可以利用它的任何一种表現来表征。通常所用的是电場对引进电場的另一带电体所受到的作用力。人們最初对于电現象的認識就是这种力。作确定电場特性用的带电体叫做試体，其电荷叫做試驗电荷，用 q_t 代表。試体本身的几何尺寸必須很小，然后由它确定出来的电場特性才能代表場中一点上的特性。同时試驗电荷也必須很小，然后它在場中出現才不会影响原有电荷的分布。

观察結果，試体在电場中任一点上受到的力与試体的电荷成正比，而且电荷改变符号，力也改变成相反的方向。用 q_t 与 $\mathbf{f}(x, y, z)$ 分別代表試驗电荷与它在場点 (x, y, z) 上受到的力，則比率

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

与試驗电荷无关，而只依赖于这一点上的电場。因此，电場中每一点上的矢量 $\mathbf{E}$ 可以用来表征电場的特性，而把它叫做电場强度。力的单位是牛(牛頓的简称)，电荷的单位是庫，所以电場强度的单位是牛/庫。电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)中只代表电场作用于电荷的力,而那些可能作用于电荷非电来源的力,譬如说,重力,机械力,化学力等,都必须排除在外。

3.] 在利用试体研究电场时,发现观察点与电场相联系的或如通俗所说与产生电场的带电体之间距离比起带电体本身的线度如果是相当的大,则带电体的大小与形状都无关紧要,而它所带的电荷便可看成集中于它的作用中心点,这样的电荷叫做点电荷。

观察结果,点电荷 q 在真空中产生在一点上的电场强度的量值与 q 的量值成正比,而与场点(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场点相联系的直线上,由点电荷指向场点或由场点指向点电荷则随电荷 q 为正或负而定。在有理化实用单位制,点电荷的电场强度可以表示成:

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

式中单位矢量 r^0 是由点电荷指向场点, 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,它具有球对称性的一些公式内出现 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

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

伏是电压的单位伏特的简称 (§1-2), 伏/米与牛/库相当。今后我们

采用伏/米为電場強度的单位。

例題 1-1 点电荷 $q (q > 0)$ 位于点 $P(a_1, b_1, c_1)$, 决定点 $Q(a_2, b_2, c_2)$ 上的電場强度(图 1-1)。

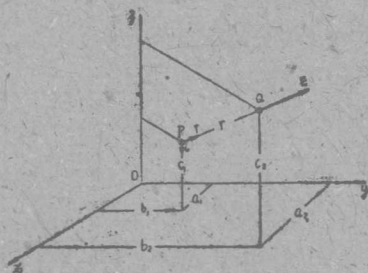


图 1-1. 例題 1-1 用图。

点 Q 的電場强度

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} r^0,$$

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

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

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

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):



图 1-2. 庫侖定律

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

式中单位矢量 $r_{12}^0 = -r_{21}^0$, 所以 $f_{12} = -f_{21}$ 。公式(1-3)叫做庫侖定律。庫侖定律表明出:同号电荷相排斥,异号电荷相吸引。这种

推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,叫做电場力或庫侖力。

5.] 公式(1-2)还具有这样的意义在內,就是根据实验結果,点电荷产生在場中一点上的电場强度与点电荷的电量 q 成正比,就是說,有綫性关系。这肯定了一个点电荷产生在場中一点上的电場强度与場中有沒有其他点电荷存在无关,就是說,有它的独立性。事实上,电荷 q 可以看做是 q 个点电荷 $q_1, q_2, \dots$ 与 q_n 合成,就是

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

这样,式(1-2)就可以写成

$$\begin{aligned} E &= \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 r^2} \mathbf{r}^0 \\ &= \frac{q_1}{4\pi \varepsilon_0 r^2} \mathbf{r}^0 + \frac{q_2}{4\pi \varepsilon_0 r^2} \mathbf{r}^0 + \dots + \frac{q_n}{4\pi \varepsilon_0 r^2} \mathbf{r}^0 \\ &= E_1 + E_2 + \dots + E_n \end{aligned}$$

式中 $E_k = \frac{q_k}{4\pi \varepsilon_0 r^2} \mathbf{r}^0$

是点电荷 q_k 单独产生的电場。既然各个电荷产生电場有它的独立性,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場强度是各个点电荷单独产生在这一点上的电場强度之和。这就是靜电場的迭加原理。

据此, n 个点电荷的合成电場:

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n = \frac{1}{4\pi \varepsilon_0} \sum_{k=1}^n \frac{q_k}{r_k^2} \mathbf{r}_k^0, \quad (1-4)$$

式中 r_k 是点电荷 q_k 与場点之間的距离, $\mathbf{r}_k^0$ 是由点电荷 q_k 指向場点的单位矢量。

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