

中国高等教育培训中心
高职信息类专业国际合作组织

联合引进



德国国家远程教育中心 (ZFU) 批准

电气技术人员认证远程教育课程

【德】Robert Eckert博士远程教育学院 编著

电工技术 (第二册)



华文出版社
Sinoculture Press

电气技术人员认证远程教育课程

电工技术

第二册

[德] Robert Eckert博士远程教育学院 编著
北京泛华德教育科技有限公司 翻译

华文出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术/德国Robert Eckert博士远程教育学院编著;
北京泛华德教育科技有限公司译—北京: 华文出版社, 2009.12

电气技术人员认证远程教育课程
ISBN 978-7-5075-2961-6

I. ①电… II. ①德…②北… III. ①电工技术—工程技术人员—远程教育—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第213410号

电气技术人员认证远程教育课程：电工技术（第二册）

编 著： 德国Robert Eckert博士远程教育学院
翻 译： 北京泛华德教育科技有限公司
责任编辑： 吴 晶
责任校对： 华 一
出版发行： 华文出版社
社 址： 北京市宣武区广安门外大街305号8区2号楼
邮政编码： 100055
网 址： <http://www.hwcbcs.com>
投稿邮箱： hwcbcs@126.com
电 话： 010-58336255 010-58336259
经 销： 新华书店
印 刷： 北京市艺辉印刷有限公司
开 本： 210×297 1/16
印 张： (全套3册)23.5
字 数： (全套3册)1063千字
版 次： 2010年2月第1版
印 次： 2010年2月第1次印刷
标准书号： ISBN 978-7-5075-2961-6
定 价： (全套3册)232.00 元

版权所有，侵权必究

德国《电气技术人员认证远程教育课程》中文版

导言：光荣与梦想

众所周知，德国是一个高度发达的工业化国家，在德国工业化进程中，德国政府始终如一地把职业教育作为国家经济发展的中坚力量，这不仅体现在理论上，更重要的是在教育实践中创造出闻名于世的“双元制”职业教育模式。进入新世纪后又发起了“职业教育攻势国家行动”，设立了全国“职业教育日”，颁布实施了新的《联邦职业教育法》等发展职业教育的重大举措。摆在我们面前的这套11000页，1800万字完整的电气技术专业课程，由中国高等教育培训中心、高职信息类专业国际合作组织联合引进，经德国国家远程教育中心批准，Robert Eckert博士远程教育学院编写的电气技术人员认证远程教育课程，就是在这样的经济社会环境制约下的德国职业教育课程一个具有代表性的建设成果。

在欧洲颇具影响的Robert Eckert博士远程教育学院根据职业院校培训框架计划开发的课程充分体现了学校配合企业的培训设计学习领域，实施项目教学。可以看出，这套课程是对学科体系的调整与改革，课程内容侧重知识的应用与技能的培养。我国很多优秀的院校都曾选派教师赴德国ECKERT教育集团Robert Eckert博士远程教育学院进行课程建设培训，国家示范性高职院校邢台职业技术学院、成都航空职业技术学院、淄博职业学院、常州信息工程学院、浙江工商职业技术学院、包头职业技术学院等院校的教师赴德归国后普遍感到受益匪浅。

《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》指出：“积极引进国（境）外优质职业教育资源。鼓励国（境）外组织和个人依照我国法律和办学资格要求，同我国境内职业教育机构和其他社会组织，合作举办高水平的职业学校或职业培训机构。努力拓展职业学校毕业生国（境）外就业市场”。在中德职业教育合作30年后的今天，中国职业教育已经站在了一个新的历史起点上，积极引进国际上先进的职业教育理念和优质教学资源将对我国职教未来发展起到很重要的作用。教材作为一种重要的教学资源，不仅是体现教育思想、实现教育目标的载体，也是人才培养过程中掌握知识、发展能力和提高素质的重要信息载体，是课程最具体的形式。德国基于工作过程导向理念、“双元制”职业教育模式的落脚点都聚焦在课程体系和课程内容上。对于日益重视职业教育课程建设的中国职业教育事业而言，系统地了解德国专业的课程体系、结构和课程内容，破解德国核心教育技术，无疑会对我们本土化的课程改革与建设，取得“他山之石，可以攻玉”的功效。

我们坚信，通过这套电气技术人员的认证教材，从中可以研究德国工作过程导向思想在职业学校的专业课程体系是如何落实的，德国职业学校的教育活动如何应对经济技术发展。对比分析中国相应的专业课程体系，寻找相似与差异；系统分析教材的内容架构，研究课程设置依据、课程与课程之间的内在教育技术逻辑关系，比较研究中德职业教育在设计专业课程体系的内在逻辑思路的异同；分析教材的编写结构、传递技术信息的逻辑思路、编写方法、教材的形式、体例和模式，与国内同类教材比较各自的特色。所有这一切，都将为推动中国当代的职教课程改革提供新颖的视角、建设性的借鉴与参考。

高职信息类专业国际合作组织已开始与Robert Eckert博士远程教育学院、国际教育技术

研发机构北京泛华德教育科技有限公司合作开发与上述课程相配套的课件、教案及多媒体教学资源、教学参考、实训手册等。这套课程发行后将陆续举办与其配套的师资培训班、通过中德职教专家上示范课、开展交流研讨和观摩等途径，为职业院校以及职业培训机构的教师借鉴德国的职业教育理念、教育模式以及教学方法等提供切实有效的参考，本着洋为中用的原则，最终旨在提升广大教师驾驭本土化课程建设的能力。

对于那些区域经济条件不尽如人意，渴望交流学习的职业学校以及培训机构，高职信息类专业国际合作组织愿将其多年来的成功经验与丰硕成果以及对德国乃至其他发达国家职业教育合作的良好资源，无私地奉献出来。

我们的行动宗旨是：运用国家示范性高职院校的建设成果、借鉴德国的职业培训模式和课程体系、依托新媒体的远程教育平台、面向不发达地区扶持职业教育的弱势群体、整合国内外的教学、实习、实训与就业资源，为中国职业教育的宏图伟业做出自己的贡献。

德国《电气技术人员认证远程教育课程》中文版编委会

2009年12月 北京

德国《电气技术人员认证远程教育课程》

中文版编委会

- 主 编:** 钟玉琢 清华大学深圳研究生院信息学部主任
- 执行主编:** 曲克敏 中国高等教育培训中心副主任
高职信息类专业国际合作组织秘书长
- 副 主 编:** 周长海 中国高等教育培训中心教育技术部首席顾问
- 徐玉彬 工业与信息化部电子教育与考试中心主任
- 左志成 中国电子科技集团公司人力资源部主任
- 刘 丛 国家示范性高职院校邢台职业技术学院院长
- 张学库 国家示范性高职院校宁波职业技术学院副院长
- 李学锋 国家示范性高职院校成都航空职业技术学院
院长助理\教务处长\国家级教学名师
- 委 员:** 姜义林 国家示范性高职院校淄博职业学院副院长
(按姓氏笔画排序)
- 吴志荣 宁波职业技术学院电子系主任
- 邱寄帆 成都航空职业技术学院计算机系主任
- 宗美娟 淄博职业学院示范建设办公室专职副主任
- 林训超 成都航空职业技术学院电子工程系主任
- 祝登义 成都航空职业技术学院教务处副处长
- 郭震震 中国高等教育培训中心教育技术部主任助理
- 高爱国 淄博职业学院信息工程系主任
- 曾照香 淄博职业学院电子电气系主任\国家级教学名师
- 褚建立 邢台职业技术学院信息工程系主任

电气技术人员认证远程教育课程

《电工技术》

审校委员会

主任：林训超

副主任：李明富

委员：梁颖 周兴 黄燕

第3分册 电场与磁场 胡巍翻译 邹涯梅主审、终审

第4分册 磁场感应与力的作用 胡巍翻译 邹涯梅主审、终审

第3分册

电场与磁场

目 录

引 言.....	1
1 电 场.....	2
1.1 场的概念	2
1.2 电流场	2
1.2.1电场的产生与方向	2
1.2.2 匀强电场与非匀强电场	5
1.2.3 电场强度	5
1.3 静电场	7
1.3.1 静电场的作用	9
1.3.2 电容系数	12
1.3.3 击穿场强	14
1.3.4 电子位移通量与位移通量密度	15
1.4 电容器	16
1.4.1 电 容	16
1.4.2 电容的并联	21
1.4.3 电容的串联	22
1.5 静电能	23
1.6 静电场力	24
1.7 电容器的接通与断开	26
1.7.1 充电过程	26
1.7.2 放电过程	29
2 磁 场.....	34
2.1 磁场的产生、作用与现象	34
2.2 磁场参数	37
2.2.1 磁化安匝	37
2.2.2 磁通量和磁通密度	38

2.2.3 磁电阻和电导	39
2.2.4 磁场强度	40
2.2.5 磁动势	41
2.3 非铁磁性材料中磁场的计算	42
2.4 铁磁性材料磁场的计算 (渗透率 $\mu_r > 1$)	44
2.4.1 铁磁学	44
2.4.2 材料过渡部分的磁场参数	48
2.4.3 无分支的磁电路的计算	50
2.4.4 有支路的磁路的计算	58
2.5 电场与磁场的类比查看	62
练习题答案.....	65
参考文献.....	75

引言

在这本自学指导教材中我们将首先介绍电场和磁场，因为我们在场的计算方面常常局限于匀强场在技术领域中会出现的一些特殊情况，同时还缺乏普遍的场的概念。而本书中的计算题对数学要求也不是很高。

您将从自学指导教材数学8、几何学中了解到矢量的概念，并从数学7、代数第二章中认识一些积分学的起源，同时还将在数学7以及代数第一章中学习微分学。作为基础，对指数函数与欧拉数 e 的掌握在电容器的充放电以及电感的闭合与断开章节是十分必要的，而这部分内容将在第三级算数的第三章中提及。

通过本书的学习，您将了解到电容电路以及简单的磁路知识，如节流阀的计算。此外，这里的磁场还为在下一本书中将学习到的法拉第电磁感应定律作了铺垫，使读者能很好地理解所有的电机，例如变压器或者发电机。

只要读者的数学功底扎实，就可以逐步推导出所有的公式，而这样也能对数学和物理学的相互关系有一个更深层次的理解。对本书的使用者而言，首要的是推导的结果以及人们如何运用这些成果去解决技术上存在的问题。因此，在单个的知识点上读者应当适当的抛开那些数学知识，这样才能更好地学习这本书。

为使读者能检测自己是否真正理解所学知识以及能否将其运用于实际，本书还设置了大量的习题。参考答案仅用于检测读者的解题思路。除答案中提及的方法外，很多时候还有其他的解法。

1 电 场

■ 1.1 场的概念

在物理学中经常会出现“场”的概念，本书也将涉及到电场和磁场。说到场，人们通常认为它是一个具有有效物理量的空间。而在电场中，场则是指一定电压对电子施加的力的作用。若一个导体位于场区中，则它能使带电粒子朝一个方向运动，从而产生力的作用，因此，又把电场称为电流场。相反的，若是一个绝缘体位于场区中，则会因为缺少带电粒子的自由移动而无法形成电流。此时，电场的效果表现为绝缘体微观结构上的局部充电延缓。另外，我们需注意的是，除真空以外是不存在完全的绝缘体的。通常我们用作绝缘体的材料，是由于其单位体积内通过的自由带电粒子的数量相对于导体来说要少 $10^{10}\sim 20^{10}$ 个。因此，人们可以根据实际需求来定义绝缘体。另外一个验证力的作用的方法则是利用场区中的非导体，通过下列方式来实现，即将外部加载样本带入电场中。因本书是将电场中的绝缘体当作一种瞬时恒定的场来研究，故又将其称为静电场。而适用于该电场的规律同样也适用于瞬时非恒定的场，即随成因和电压不同而改变的场。

对于绝缘体中电场，即静电场的问题，我们只能抽象地来处理。但对于导体电场的概念，即电流场，大部分读者已经通过各类自学教材中对直流电的讲解有所了解，而剩余部分也可以很直观地去理解，因此我们将最先研究电流场。

■ 1.2 电流场

鉴于以往对于直流电路的研究，我们以线性均匀导体为出发点，即细长（直径可忽略不计）且横截面固定不变的均匀导体。因此可以说，导体本身的这一过程其实是次要的。若上述提及到的限制条件发生了改变或是在如电镀、半导体工程以及示波器的电子射线管研究领域（参见自学指导教材测量技术1第一章），这一过程就有所不同了，但同样可以检测到导体中（或半导体中）有带电粒子的运动。而后续的研究则适用于稳定的电场，即其物理量不随时间而改变，但它对于变化的电场也同样适用。

1.2.1 电场的产生与方向

两点间任一电压都能在其周围产生一个电场。通过电场产生的效应，我们可以证实电场的存在，这种效应就是，它对存在于电导体中的移动电荷施加力的作用从而产生电流。金属导体导电是由于自由电子，而液体和气体导电则是由于离子，即有多余电子或缺少电子的原子。由于这种力的作用迫使电荷发生移动，它们在导体中运动的轨迹被人们称为电场线。这种电场线类似于液体的流线。此外，值得注意的是，那些没有受到电场力作用的带电粒子并非完全静止，而是随着周围温度的变化处于不断的无规则运动中，但这种运动的总和却远低于其他带电粒子的漂移速度，也就是说，它们所引起的电流很小。这种无规则运动在电场力的作用下会逐步叠加并形成一种统一的、具有漂移或运动速度的流体运动。在这里，只有最后一种运动是具有意义的。

注意：电场方向可按下列方式进行描述：在电场力的作用下，正电荷沿电场线方向运动，负电荷沿相反方向运动。

因此，可以说电场线是从正极出发，到负极结束的。像这样的电场就称为源电场。图1.2.1.1和1.2.1.2为导体在两种排列方式下的电场线的分布。

但是，对于某些导体，尤其是固体导体，其电场线的分布却不能被形象地描绘出来，它就像悬浮在液体中的微小粒子的运动一样。但是，我们却可以通过其他的途径弄清楚这种电场线的分布。

在自学指导教材《电工技术1——直流电路中的电气参数》中我们已经介绍过电势的概念。如图1.2.1.1和1.2.1.2，如果随意选择一个点作为参考点并设 $\varphi_1 = 0$ ，那么我们可以在这个参考点上接入一个电压表（如图1.2.1.1所示），并利用与电压表第二个端口相连接的探针在导体表面找到所有与参数点电压相同即为 U_{12} 的点，且 $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$ 。

例如，电压 $U_{15} = \varphi_1 - \varphi_2$ ，在图1.2.1.1中 $U_{15} = 0 - 0.4 \text{ V} = -0.4 \text{ V}$ 。

如此，我们可以得到一系列的虚线，它们具有等值的电势 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ 。像这样表示相同电势的线我们称之为等位线。

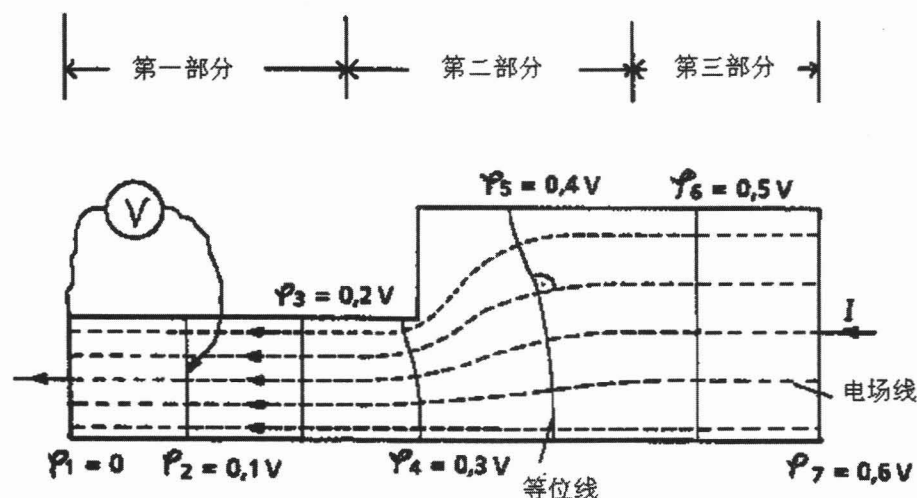


图1.2.1.1：导体中电流场的分布

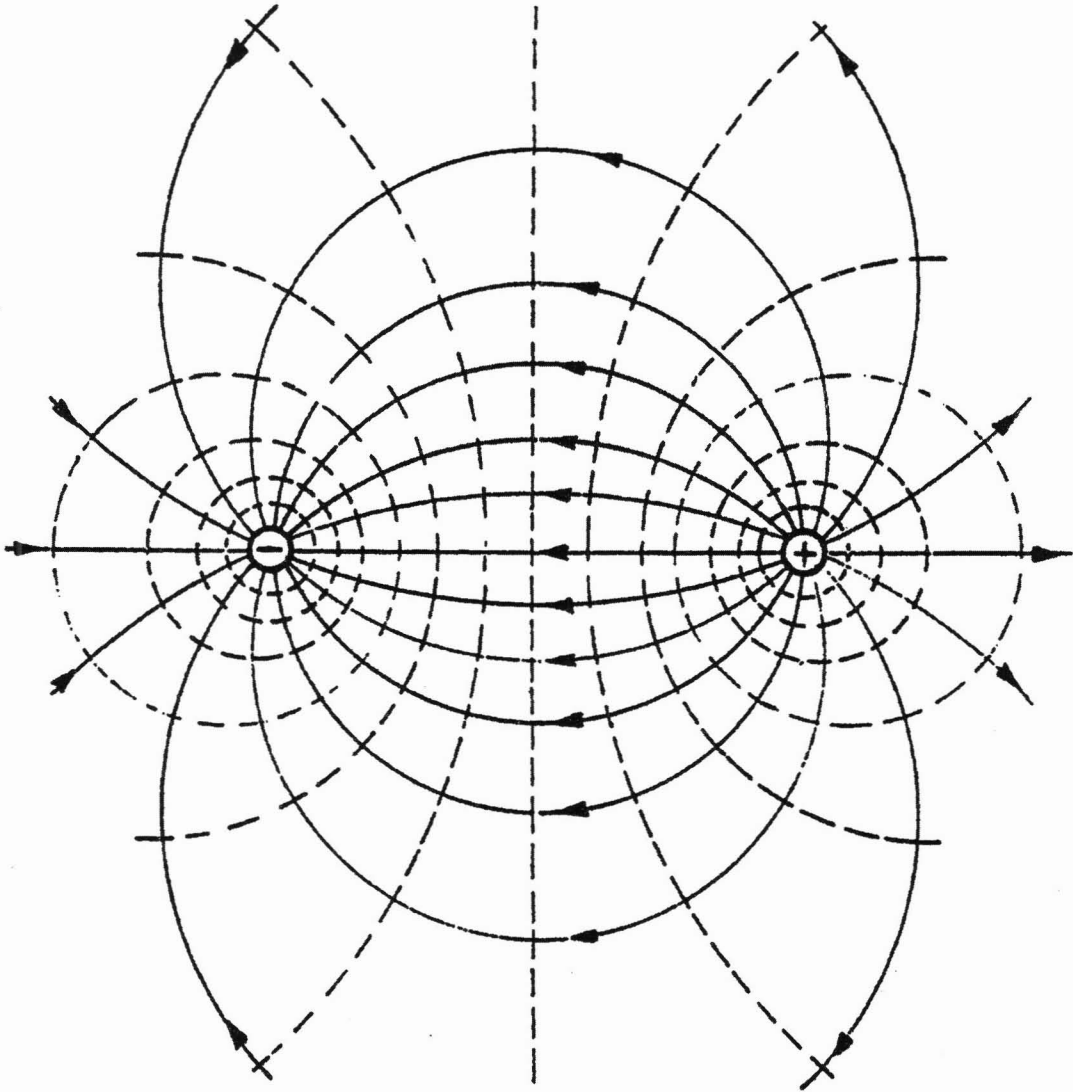


图1.2.1.2: 无限延伸的导体中的电流场分布

弄清楚等位线以后，现在我们可以得出一条简单的结构规律。

注意：所有的电场线都垂直于等位线，反之亦然。

这条规律可理解为：电场线在每一点上的方向都与该点上正电荷的速度矢量 \vec{v} 方向一致（矢量的概念参见地《自学指导教材数学3》、《几何学以及几何学的基本要素》）。若速度矢量与等位线的方向不垂直，如图1.2.1.3所示，我们可以将矢量分解为 $\vec{v}_n \oplus \vec{v}_t$ ，它由与等位线方向垂直的速度矢量 \vec{v}_n （法线方向）和与等位线方向平行的速度矢量 \vec{v}_t （切线方向）共同组成。

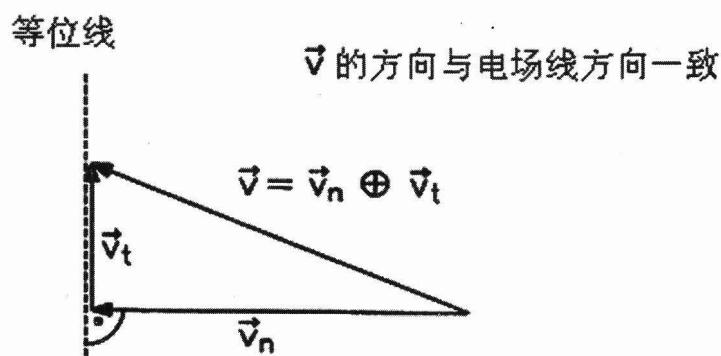


图1.2.1.3: 证明: 电场线与等位线垂直

这就向我们证实了, 带电粒子的流动是形成等位线方向 (与 \vec{v}_t 一致) 的原因, 即一种没有电势差或电压的流动。因为等位线上的各点电势都相等, 所以 $U = 0$ 。但需注意, 只要有力的作用, 就必然存在一个引起这个力的起因。

另一条规律是, 等位线垂直于导体与绝缘体的分界面, 唯有这样才会有带电粒子流到绝缘体中。

在图1.2.1.1和1.2.1.2中, 正电荷的流动方向是由高电势到低电势。因为金属中只有带负电的自由电子, 故其流动方向恰与电场线方向相反 (请与《自学指导教材电工技术1》、直流电路及技术流向的定义相比较)。

1.2.2 匀强电场与非匀强电场

当电场线在每个点上的方向都一致, 即互相平行时, 我们称这样的电场为匀强电场, 如图1.2.1.1中的第一、三部分。如果电场线方向是弯曲的或相互间的距离不一致, 我们把这样的电场叫做非匀强电场, 如图1.2.1.1中第二部分以及图1.2.1.2所示。

非匀强电场的测量是非常复杂, 而且是很麻烦的。因为原则上它包含有矢量的计算, 也就是说, 需要用自学指导教材数学中提供的辅助工具, 通过绘图的方式才能解决。因此, 我们就不再继续研究这种电场。而且, 我们可以从大多数人较感兴趣的领域——匀强电场开始。因为在这种情况下, 所有的电场都具有相同的方向且是恒定的, 这样就可以忽略掉矢量的方向, 而只需考虑矢量的数值 (此数值与矢量的几何长度相等)。回想一下, 我们已经掌握了的电流强度、正在学习的电场强度以及随后在静电场中即将接触到的电流密度, 它们都是矢量, 即是用绝对数值和方向对其进行描述的量。因为我们是在均匀的场中研究它的大小, 故矢量的方向也就失去了意义。

1.2.3 电场强度

图1.2.4为一个均匀导体中电场线及等位线的分布情况, 此为一个匀强电场。与图1.2.1.1和1.2.1.2相比, 各点电势的关系是 $\Phi_1 > \Phi_2 > \Phi_3$, 并以此类推。

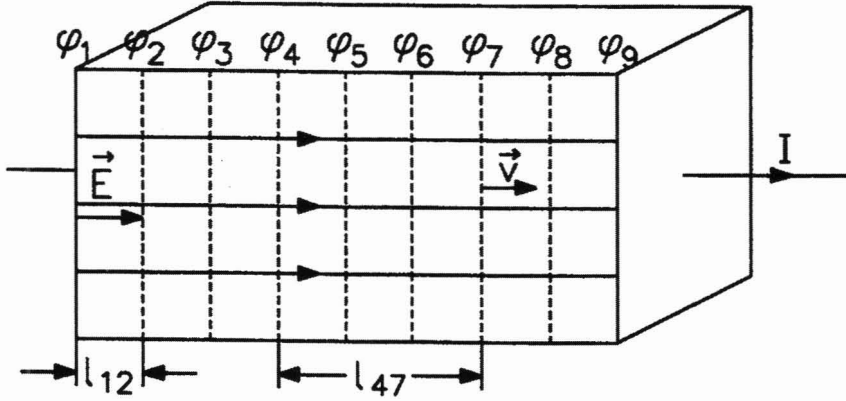


图1.2.3.1: 匀强电场

电场强度 E 即是正电荷在电场线上通过一定距离后减少的电势。因为正电荷是沿着电场线方向运动的，并且总是从高电势移向低电势，故电场强度的方向始终与电场线上正电荷的速度方向一致。该定义同样适用于 $\varphi_1 > \varphi_2$ 的情况：

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}}$$

或者其他位移情况，如经过 l_{47} 从 φ_4 移动到 φ_7 ：

$$E = \frac{\varphi_4 - \varphi_7}{l_{47}}$$

由于电势差 $\varphi_1 - \varphi_2$ 或者 $\varphi_4 - \varphi_7$ 的差值与 U_{12} 或 U_{47} 相等，因此：

$$E = \frac{U_{12}}{l_{12}} \text{ 或 } E = \frac{U_{47}}{l_{47}} \text{ 也可写为一般公式:}$$

$$(1.2.3.1) \quad \boxed{E = \frac{U}{l}}$$

电场强度的单位可由公式1.2.3.1推导得出：

$$[E] = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ m}} = 1 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

通过欧姆定律可知，电场强度 E 和电流密度 S 之间还有一个重要的关系，它又被称为空间欧姆定律。

因此，电流密度又可以定义为单位横截面上通过的电流流量：

$$S = \frac{I}{A}$$

其中：A为导体横截面积。

将 $U = I \cdot R$, $I = S \cdot A$ 以及 $R = \frac{l}{\alpha A}$ 代入公式1.2.3.1中：

(若以 α 代表电导率，则 $\rho = \frac{1}{\alpha}$ 为比电阻)，于是：

$$E = \frac{U}{l} = \frac{IR}{l} = \frac{SAR}{l} = \frac{S}{\alpha}$$

$$(1.2.3.2) \quad S = \alpha E \quad \text{且} \quad \boxed{E = \rho S}$$

因此，在匀强电场中，电流强度和电流密度的场线具有相同的轨迹，只能通过不变量 α 和 ρ 加以区别。

■ 1.3 静电场

在图1.3.1中我们可以看到两块由一个恒定电压相连接的平行电板。

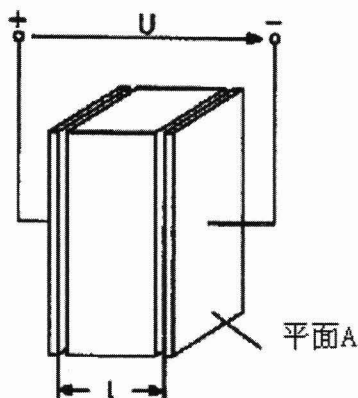


图1.3.1：导体与绝缘体间的电场

试想一下，如果我们逐步减弱两块金属板间的物质的导电性，直至使其完全绝缘，此时，电流强度和电流量（横截面保持不变）会逐渐趋近于零。但两极板间的电场强度并不受影响，此结论同样适用于 $I = 0$ 或 $S = 0$ 的情况。

$E = \frac{U}{l}$ ，我们把这种电子流动为零的电场称作静电场。

电磁感应在两块电板间作用过程将在图1.3.2中给出。

从图中我们可以看出，两极板间的电场线分布趋近于均匀，仅在边缘处为不均匀分布。当我们人为地使极板间的距离趋近于无穷小且极板的面积足够大时，可视为电场的分布是均匀的。进一步观察下发现同极总是排斥的。这条规律同样适用于磁感应线，等位线和电流场。

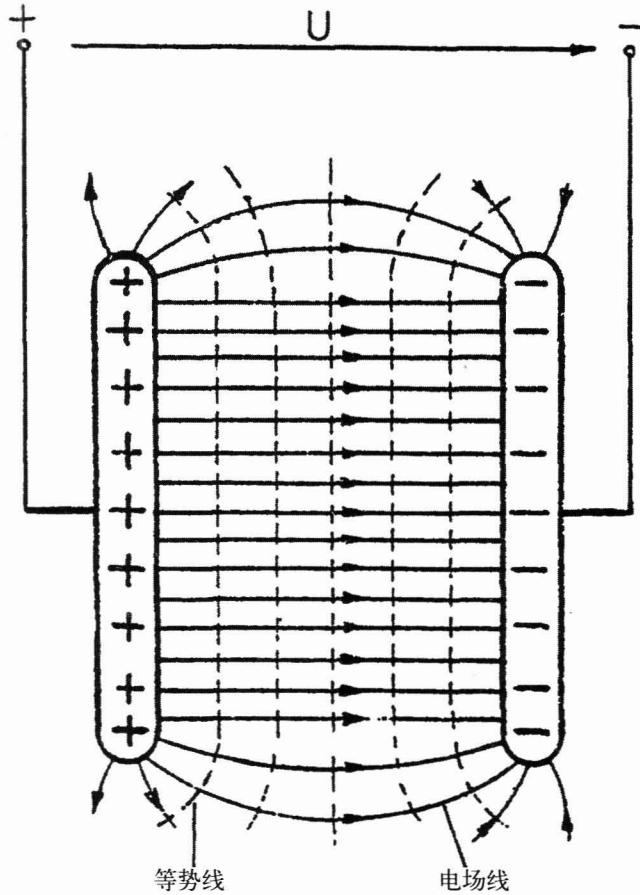


图1.3.2: 两极板间的电场线、等势线分布

当极板间存在绝缘体并处于气体或者液体中时，在电场中引入不同的材料或样本（此材料或者样本不能接触两块电板），可以显现出三种不同的效果。

力作用在带电物体上

静电感应作用于导电物体上

绝缘体中的极化作用

这三种物体在静电场中的作用将在下一章节进一步阐述。