

6天专修
课程!

电磁场

基本原理66课

電磁気学
の基本66

[日] 土井 淳 著
王卫兵 徐倩 纪颖 译

要点简明、完整，
问题讲解流畅、深入浅出

覆盖大多数大专院校入学考试和职业资格考试内容，
适合作为复习用书



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

6天
专修课程

电磁场

基本原理

课

[日] 土井 淳 著
王卫兵 徐倩 纪颖 译



机械工业出版社

6日でマスター! 電磁気学の基本 66, Ohmsha, 1st edition, by 土井 淳, ISBN: 978-4-274-21079-2.

Original Japanese edition 6 ka de Master! Denjiki-gaku no Kihon 66 by Atsushi Doi.

Copyright © 2011 by Atsushi Doi.

Published by Ohmsha Ltd.

This Simplified Chinese Language edition published by China Machine Press, Copyright © 2016, All rights reserved.

This title is published in China by China Machine Press with license from Ohmsha. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书由 Ohmsha 授权机械工业出版社在中国境内(不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01-2015-0867 号。

图书在版编目(CIP)数据

电磁场基本原理 66 课/(日) 土井 淳著; 王卫兵, 徐倩, 纪颖译. —北京: 机械工业出版社, 2016. 9

(6 天专修课程)

ISBN 978-7-111-54675-7

I. ①电… II. ①土… ②王… ③徐… ④纪… III. ①电磁场—基本知识 IV. ①O441.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 202931 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张沪光 责任编辑: 张沪光

责任校对: 肖琳 封面设计: 陈沛

责任印制: 李洋

北京汇林印务有限公司印刷

2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

148mm × 210mm · 17.25 印张 · 279 千字

0001—3500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-54675-7

定价: 39.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

本书内容主要分为数学基础、电场基本理论、磁场基本理论以及电流与磁场的相互作用四个部分，基本涵盖了与电磁场原理相关的全部技术内容及必要的知识点。本书从电磁场理论必要的数学基础知识开始，详细介绍了真空中的静电场、带电导体的电场和电位、电介质、带电导体间的电容及静电电容、直流电流、真空中的静磁场、磁性体、磁路、磁场的能量及能量密度等相关理论和相关计算。在此基础上对电磁相互作用力、电磁感应、电感、电磁波等相关理论和相关计算进行了深入的讲解。全书以图解为基础，直观易懂、内容全面、讲解深入、理论与实际联系紧密，既有基本原理的介绍，同时也具有良好的实用性和解决实际问题的针对性。

本书可作为在校学生的学习、复习用书，也可作为工作实际中技术人员的参考用书，同时也是非电气专业技术人员以及电气技术爱好者快速了解电磁场基本原理的科普读本。

译者序

6天专修课程丛书《电工电路基本原理66课》、《电子电路基本原理66课》和《电磁场基本原理66课》三本日文图书，其内容涵盖了电工电路、电子电路以及电磁场基本原理的全部技术内容及必要的知识点，深受日本电气技术人员的欢迎。

电作为基础的工业技术在人类现代文明的发展中起着关键的作用，并且在未来仍将是重要的基础技术。

当今的社会实践中，电工电子的相关原理已经成为各个领域所必须了解的重要知识和技术。不仅是电气专业技术人员需要掌握，其他非电气专业的技术人员，甚至一般的非技术人员也应该予以了解。这三本书正是为满足当前的实际需求而翻译的，并且以丛书的形式出版，呈现出完整的电气技术人员的技术基础知识，以满足广大读者学习需要。

作为发达国家的日本，电工电子技术是深受全社会重视的一类重要技术基础。有一种被称为《全国第三种电气主任技术者考试》的全国性职业资格考试，简称为电验三种。每年9月考试，共分为基础、电力、机械、法规四个科目，一天考完。除了基础科目以外，电力、机械和法规科目全部是具体的生产实践知识。四个科目只要在连续三年分别通过即可拿到电气主任技术者资格证书。每年日本有数万考生参加考试，通过率不到10%。丛书的三位作者均为资深的电气专业教育工作者，其中的土井淳先生还是日本电验三种资深的培训专家，出版了多部电验三种培训教材。

丛书归纳了读者应该了解和掌握的电气相关技术基础知识。与传统的技术参考书不同，丛书并不只是为了单纯地学习知识，还总结归纳了现代电气工程技术所需的技术要点和知识框架，将复杂的技术内容进行了全面的梳理和精心的安排，并以专题课的形式呈现给读者，以便于读者的学习和实践。

在编排形式上，丛书的风格统一，每本书的内容均分为6天来学习，每天由11个专题课组成，每一课均为一个重要的技术专题，每本书共计66个专题课。在每一课的前半部分均以图解的形式直观地给出相关的基本

原理，以便于读者全面了解相关的技术内容，形象生动，概括性强，方便读者的理解和记忆。在每一课的后半部分均配以进一步的文字讲解和接近实际问题的例题及解答，以利于读者的深入理解和掌握。全书以图解为基础，直观易懂、内容全面、讲解深入、理论与实际联系紧密，既有基本原理的介绍，同时也具有良好的实用性和解决实际问题的针对性。

丛书可作为在校学生的学习、复习用书，也可作为工作实际中技术人员的参考用书，同时也是非电气专业的技术人员以及电气技术爱好者快速了解电工电路、电子电路和电磁场基本原理的科普读本。

《电工电路基本原理 66 课》由王卫兵、徐倩、孙宏翻译，其中第 1~64 课由王卫兵翻译，第 65 课由徐倩翻译，第 66 课由孙宏翻译。《电子电路基本原理 66 课》由尹芳、王卫兵、贾丽娟翻译，其中第 1~64 课由尹芳翻译，第 65 课由王卫兵翻译，第 66 课由贾丽娟翻译。《电磁场基本原理 66 课》由王卫兵、徐倩、纪颖翻译，其中第 1~64 课由王卫兵翻译，第 65 课由徐倩翻译，第 66 课由纪颖翻译。丛书的翻译过程中，得到了王义南先生的指导，韩再博、张慧峰、白小玲、张霖、张惠等也参与了部分翻译及文字编排工作，在此一并表示感谢！

由于翻译的工作量较大，技术内容覆盖面较广，翻译中的错误之处在所难免，敬请广大读者指正。

译者

2016 年 5 月 于哈尔滨

前 言

本书是由大学授课的《电磁场》课程的全年讲义内容集成到一书中编写而成的，可作为大学、高等专科学校以及工业高中的电气、电子等专业学生的自学参考书。本书从国际标准单位制和必要的数学基础知识开始，将真空中的静电场、静电电容、电介质、直流电流、真空中的静磁场、磁性体、电磁感应、电感、电磁波等内容分成66个专题课。全书的内容分为6天来学习，每天由11个专题课组成。

每一课的内容分为4页，每页的安排及内容如下：

① 第一页是关于本课内容要点的图解，并将具有代表性的公式归纳在一起，以突出本课的要点和知识框架。第二页到第四页是详细的内容解读、公式的推导与展开以及应用例题等。

② 第一页的要点图解中，列出了本课的要点和知识框架，并用详细的标注予以说明，在重要的地方、难理解的地方还作了补充说明。

③ 在第二页的开始部分，对该课所必须学习的原理、定理以及公式等予以总结和归纳。

④ 接下来的内容为课程的解读，是对本课公式的推导和展开部分，是对第一页的图以及有代表性的公式的详细说明和介绍。

⑤ 在每一课的最后部分，给出了两个例题，在具有具体数值的环境下，用例题的形式对本课的要点进行进一步的解释和说明，以增进读者的理解和掌握。

本书的编写目的是为了使学生能够真正地掌握电磁场的学习内容。适合作为在校学生课后复习的自学参考书，或作为大学或研究生入学考试人员的复习备考资料。在此，期望对上述目的的达成有所帮助。此外，虽然1天的内容由11课组成，读者也可根据各自学习和理解的情况，合理地安排66课的学习时间，适当调整学习节奏。另外，每天提供的备注和提示，以便于要点的理解、复习以及对例题的反复练习，请灵活使用。

2011年9月

作者 土井淳

第1天课目

第1课	2
电磁学的单位与国际单位制 (SI)	
第2课	6
矢量	
第3课	10
矢量的内积与外积	
第4课	14
线积分、面积分与体积分	
第5课	18
偏导数与全微分	

第6课	22
物质与电荷、静电感应	
第7课	26
库伦定律	
第8课	30
电场的定义、电场与电力线的关系	
第9课	34
电场中的高斯定理	
第10课	38
电位差与电位、由点电荷引起的电位	
第11课	42
电位梯度与电场强度	

第2天课目

第12课	46
带电导体的电场和电位——导体球	
第13课	50
带电导体的电场和电位——线形导体和圆柱形导体	
第14课	54
带电导体的电场和电位——平行导体板间	
第15课	58
电镜像法的基本原理与平面导体的电镜像法	
第16课	62
电位系数与容量系数	

第17课	66
静电电容与平行平板电容器	
第18课	70
电容器的连接	
第19课	74
静电场中的能量和导体之间的作用力	
第20课	78
导体球的静电电容	
第21课	82
同轴导线的静电电容	
第22课	86
平行线路的静电电容	

第3天课目

第23课 90

电介质与相对介电常数

第24课 94

极化与电通密度

第25课 98

电通的高斯定理

第26课 102

电介质分界面的边界条件

第27课 106

电介质所储存的能量和作用力

第28课 110

直流电流与电流的类型

第29课 114

欧姆定律与电阻

第30课 118

直流电路的定理、定律

第31课 122

焦耳定律与最小焦耳热的原理

第32课 126

热电效应

第33课 130

电流与磁场、电流产生的磁场、安培
右螺旋定则

第4天课目

第34课 134

毕奥-萨伐尔定律与环形回路电流的磁场

第35课 138

由直线电流产生的磁场

第36课 142

安培环路积分定理

第37课 146

流过无限长圆柱形导体的电流产生的
磁场

第38课 150

流过无限长螺线管的电流产生的磁场

第39课 154

电磁力、洛伦兹力及弗莱明左手定则

第40课 158

平行导线间的作用力

第41课 162

矩形电流回路的作用力

第42课 166

磁性体与磁感应

第43课 170

磁化强度、磁场强度与磁导率

第44课 174

磁性体分界面的边界条件

第5天课目

第45课	178
磁路	
第46课	182
强磁性体的磁化	
第47课	186
磁铁与磁极、磁偶极子的磁矩	
第48课	190
电磁感应与法拉第定律	
第49课	194
由物体运动产生的电动势与弗莱明右手定则	

第50课	198
涡流与趋肤效应	
第51课	202
自感与互感	
第52课	206
电感的连接	
第53课	210
磁能与磁场的能量密度	
第54课	214
磁能与作用力	
第55课	218
铁心线圈的电感	

第6天课目

第56课	222
螺线管的电感	
第57课	226
平行往复线路的电感	
第58课	230
同轴线路的电感	
第59课	234
过渡现象	
第60课	238
位移电流	

第61课	242
麦克斯韦方程式	
第62课	246
矢量算子 ∇ 的定义与矢量的散度	
第63课	250
高斯散度定理、矢量旋度与斯托克斯定理	
第64课	254
深度学习麦克斯韦方程式与电磁波	
第65课	258
平面电磁波	
第66课	262
电磁波的能量	

第1天课目

第1 ~ 11课

第2天课目

第12 ~ 22课

第3天课目

第23 ~ 33课

第4天课目

第34 ~ 44课

第5天课目

第45 ~ 55课

第6天课目

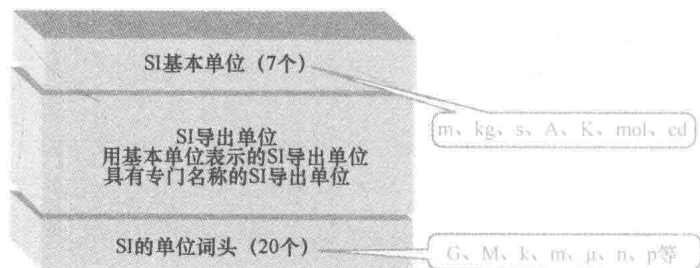
第56 ~ 66课

6天专修课程!

电磁场基本原理 66课

第 1 课

电磁学的单位与国际单位制 (SI)



国际单位制 (SI) 的构成

● 7 个 SI 基本单位

单位符号

长度	米	m
质量	千克	kg
时间	秒	s
电流: I	安 [培]	A
热力学温度	开 [尔文]	K
物质的量	摩 [尔]	mol
发光强度	坎 [德拉]	cd

SI 基本单位

● 20 个 SI 的单位词头

单位词头
名称

10^{24}	10^{21}	10^{18}	10^{15}	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^2	10
尧 [它]	泽 [它]	艾 [可萨]	[拍]它	太 [拉]	吉 [咖]	兆	千	百	十
Y	Z	E	P	T	G	M	k	h	da
10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}	10^{-24}
分	厘	毫	微	纳 [诺]	皮 [可]	飞 [母托]	阿 [托]	仄 [普托]	幺 [科托]
d	c	m	μ	n	p	f	a	z	y

SI 单位词头

注: 了解电量的单位也有助于理解电量的定义。

[1] 电磁学的单位

◆由基本单位表示的 SI 导出单位◆

量名称	单位名称	单位符号
电流密度: J	安 [培] 每平方米	A/m^2
磁场强度: H	安 [培] 每米	A/m
相对磁导率: μ_r	(数) 1	1 ^①

① 该量用数值表示, 单位符号为“1”, 实际应用中通常不表示。

◆用专门名称和符号表示的 SI 导出单位◆

量名称	单位名称	单位符号	用基本单位表示
频率: f	赫 [兹]	Hz	s^{-1}
能 [量], 功, 热量: Q	焦 [耳]	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
功率, 辐 [射能] 通量: P	瓦 [特]	W	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
电荷 [量]: Q	库 [伦]	C	$A \cdot s$
电压, 电动势, 电位, (电势): V, E	伏 [特]	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
电容: C	法 [拉]	F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
电阻: R	欧 [姆]	Ω	$m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
电导: G	西 [门子]	S	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁通 [量]: Φ	韦 [伯]	Wb	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁通 [量] 密度, 磁感应强度: B	特 [斯拉]	T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
电感: L, M	亨 [利]	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$

◆具有专门名称和符号的 SI 导出单位◆

量名称	单位名称	单位符号
电场强度: E	伏 [特] 每米	V/m
电荷 [体] 密度: ρ	库 [伦] 每立方米	C/m^3
电荷面密度: σ	库 [伦] 每平方米	C/m^2
电通 [量] 密度, 电位移: D	库 [伦] 每平方米	C/m^2
介电常数, (电容率): ϵ	法 [拉] 每米	F/m
磁导率: μ	亨 [利] 每米	H/m

[2] 电磁学恒定常数

元电荷 $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

真空中的光速 $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$

真空介电常数 $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

国际单位制 (SI)

SI 是国际上确定的单位制, 在法文 “Le Système International d’ Unités” 中就是国际单位制的意思。以前, 各个国家在各个领域中采用各种单位, 这种混乱情况促进了国际单位制的发展。目前, 全世界通用的单位制统一称为 SI, 现在这种世界公认的单位制在全世界普遍使用。

学术论文等中都要求使用 SI 单位, 如果你没有使用这种单位, 就会被要求按照 SI 单位进行修改。

SI 有 7 个基本单位组成, 再由基本单位通过加、减、乘、除关系, 导出新的导出单位, 并且还包含一个十进倍数单位与分数单位的单位词头。

电磁学的导出单位

以电流为基本单位, 其他的单位可由 SI 基本单位和导出单位, 或是由它们的组合进行导出。对于在电磁学中所使用的单位, 有很多单位被赋予了专门名称。

电荷的单位库 [伦] (单位符号: C) 就是一个专门名称, 从 1s 的时间内流过 1A 电流时的电荷的总量的定义, 可以用 $C = A \cdot s$ 表示。其他的组合单位, 也同样可以根据其定义由其他的 SI 单位来表示。以下为具有特定符号的 SI 导出单位。

$$J = N \cdot m \quad W = J/s \quad V = W/A \quad F = C/V$$

$$\Omega = V/A \quad S = A/V \quad Wb = V \cdot s \quad T = Wb/m^2$$

$$H = Wb/A$$

例题 1

若功的单位由 SI 基本单位来表示, 为 $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$, 则以下的量可用 SI 基本单位来表示:

- (1) 频率: Hz
- (2) 功率: W
- (3) 电动势: V
- (4) 电阻: Ω

【例题 1 解】

- (1) 频率

$$\text{Hz} = \text{s}^{-1} \quad \text{-----} \quad 1\text{s} \text{ 时间内交变的电振动的次数}$$

- (2) 功率

$$\begin{aligned} J &= \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \\ W &= J/\text{s} = \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}/\text{s} = \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \end{aligned}$$

- (3) 电动势

$$V = W/A = \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}/A = \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot A^{-1}$$

- (4) 电阻

$$\Omega = V/A = \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot A^{-1}/A = \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot A^{-2}$$

例题 2

在本段文字的空格内填入 8 个恰当的词语。

以确立所有国家都采用的单位制为目标, 于 1960 年制定国际单位制。

国际单位制, 简称为 (1), 由长度: m, 质量: (2), 时间: (3) 等 (4) 个基本单位和它们的 (5), 还有 20 个 (6) 构成。

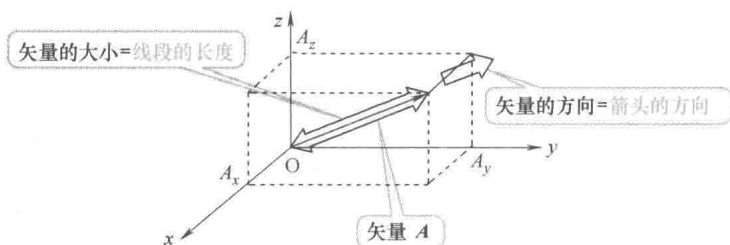
电学量的 SI 单位是在其原有的 MKS 单位制的基础上建立起来的。这里, 功的单位为 (7), 功率的单位 (W) 由 (8) 来表示。

【例题 2 解】

- (1) SI (2) kg (3) s (4) 7 (5) 导出单位
 (6) 单位词头 (7) 焦 [耳](J) (8) 焦 [耳] 每秒 (J/s)

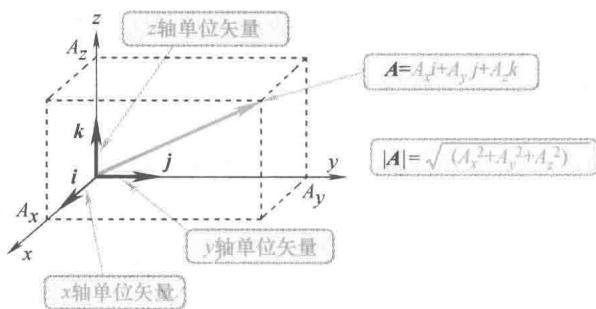
第2课 矢量

矢量用“大小”与“方向”来表示



矢量图

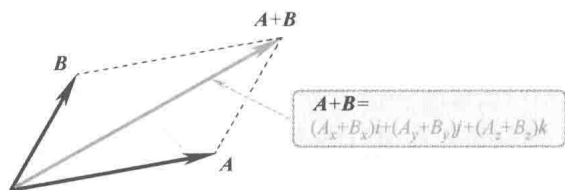
● 矢量 A 用单位矢量表示



矢量的大小

● 矢量 A 和矢量 B 的和

矢量和为各个分量之和



矢量和

注：电磁学中的电物理量，一般使用矢量来表示。

[1] 空间矢量的表示

xyz 正交坐标系中, 矢量 A 表示为

$$A = A_x i + A_y j + A_z k$$

i 、 j 、 k 为

i 为 x 轴方向的单位矢量。

j 为 y 轴方向的单位矢量。

k 为 z 轴方向的单位矢量。

A_x 、 A_y 、 A_z 为

A_x 为矢量 A 在 x 轴上的分量;

A_y 为矢量 A 在 y 轴上的分量;

A_z 为矢量 A 在 z 轴上的分量;

[2] 矢量的大小

矢量 A 的大小用 $|A|$ 用下式表示:

$$|A| = \sqrt{(A_x^2 + A_y^2 + A_z^2)}$$

[3] 矢量的和

矢量 A 和矢量 B 的和 $A+B$ 用下式表示:

$$A+B = (A_x+B_x)i + (A_y+B_y)j + (A_z+B_z)k$$

[4] 单位矢量

矢量 A 与单位矢量 α 的关系用下式表示:

$$A = |A| \alpha$$

单位矢量 α 用下式表示:

$$\alpha = \frac{A}{|A|}$$

矢量

在直角坐标平面或三维坐标空间上取 O 点和 P 点, 作一条以 O 点为起点、 P 点为终点的线段, 在 P 点上加个箭头表示矢量, 矢量是由大小和方向组成的量, 用箭头表示矢量的方向, 线段的长度表示矢量的大小。

在下图中, 矢量 A 的大小 $|A|$ 表示为

$$|A| = A = OP$$

