

计算机辅助教学

丛书

电磁场理论

王瑞禹 编著



西安交通大学出版社

电磁场理论计算机

辅助教学

王瑞禹 编著

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书是为工科院校电类专业和理科院校物理学科的学生在学习《电磁场》、《电磁场与电磁波》、《电动力学》、《电磁学》等课程时进行计算机辅助教学而编写的学习指导书，同时也是一本自学的辅导教材。

书中详细阐述了《电磁场》、《电磁场与电磁波》的计算机辅助教学系统的组成、内容、特点和教学功能，同时也着重介绍微机编程技术（IBM-PC 机）在 CAI 教学课件设计中的应用。本 CAI 系统曾获 1987 年国家教育委员会科技进步二等奖。

本书反映了西安交通大学电工原理教研室多年来在电磁场理论课程教学中的经验，同时也是编者多年从事计算机辅助教学实际工作的经验总结，内容别具一格，富有特色。它不仅可作为大专院校（包括电大、夜大、职大）的学生与研究生学习电磁场理论等课程的辅导教材，也可供从事理论电工、物理学教学的教师和从事其他学科 CAI 课件研制的大中学校师生和研究人员参考。

电磁场理论计算机辅助教学

潘 禹 编著

责任编辑 李亚东

西安交通大学出版社出版：

（西安市咸宁路 28 号）

航天部西北信息公司电脑排版

西安交通大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 850×1168 1/32 印张 10.625 字数：266 千字

1988 年 12 月第 1 版 1988 年 12 月第 1 次印刷

印数：1——6000 册

ISBN7-5605-0113-3/TP·12 定价：2.65 元

序

“电磁场理论”或“电磁场与电磁波”是工科电类各专业的技术基础课程。由于“场”比较抽象以及课程中应用数学工具较多，无论国内、国外，学生在学习时常有“难”的感觉。

王瑞禹等同志从 1985 年起根据西安交通大学电工原理教研室多年的教学经验，结合《电磁场》(冯慈璋主编)和《电磁场与电磁波》(谢处方、饶克谨合编)两本高校教材，研究并编制了“电磁场理论”(含场与波，下同)的计算机辅助教学系统软件。此系统先在西安交通大学试用，以后推广到 50 多所院校工科电类专业和理科物理专业，受到广大师生的普遍欢迎。特别是学生不仅通过该系统中的辅导测验、分析计算部分复习和巩固了课堂教学内容，而且通过其中的实验模拟和示范编程、场图显示等部分拓宽了知识面。使用该系统后，学生不但学习信心得到增强，而且对该课程发生了兴趣。同学们希望有一本与该系统相应的文字资料。

为了满足广大学生的上述要求，并进一步推广、发挥教学成果的作用，王瑞禹同志编著了《电磁场理论计算机辅助教学》一书。该书的出版不仅填补了国内电磁场理论课程在计算机辅助教学方面的空白，有利于深化教学改革，同时也为提高电磁场理论课程的教学质量作出了贡献。可以预期，它必将受到读者的欢迎。

冯慈璋
于西安交通大学
1988.3

出版者的话

在过去的 30 年中, 计算机技术在教育领域里得到了迅速发展, 逐渐形成一门新的综合性学科——计算机辅助教学 (Computer Assisted Instruction, 简称 CAI)。

CAI, 是通过计算机与学生之间的信息交流来实现其教学功能的。它具有交互性强, 便于因材施教等特点, 可在一定程度上代替教师的工作。但是, 由于编制 CAI 课件 (程序教学软件) 在目前还是一件比较繁杂的工作, 因而在一定程度上影响了这一学科的发展速度。

为了推动 CAI 课件的开发与应用, 提高现代化教育技术在我国的应用水平, 我社编辑出版了这一套计算机辅助教学丛书。

本丛书包括对 CAI 的理论研究、CAI 课件开发工具及多种课程设置的 CAI 教材。我社还将出版发行为多种课程所配置的 CAI 软件包。我们的目的是将国内外有关 CAI 理论研究, 新的应用技术和成果介绍给广大读者, 满足 CAI 理论研究者、课件开发者和大中学校师生的要求。

为了使这套丛书能发挥应有的作用, 我们热忱希望得到有关专家、读者的支持, 惠予赐稿, 不吝指教。

西安交通大学出版社

前 言

电磁场理论是工科电类专业的一门重要的技术基础课，它理论性强，概念抽象，数学推导繁多，历来被公认为是一门“难教”、“难学”的课程，因此如何解决这一“难”字，提高教学效果，已成为当前教学改革中亟待解决的一个重要课题。1985年初，在全国教学改革与计算机普及的形势下，我们围绕着冯慈璋教授主编的《电磁场》、谢处方与饶克谨教授合编的《电磁场与电磁波》两本教材开展了CAI研究，其初步成果于1985年10月在全国工科高等学校电磁场实验工作经验交流会和高等学校工科电磁场课程指导小组扩大会上展出演示后，受到与会同行与专家们的一致好评，被大会评选为六个优秀的演示项目之一。在此鼓舞下，经进一步完善后于1986年3月初通过省高等教育局主持的技术鉴定会，参加鉴定会的专家、教授认为该课件立意新颖，内容丰富，较全面地反映了高校工科《电磁场》、《电磁场与电磁波》两门课程教学大纲及教学的基本要求，这对解决《电磁场》、《电磁场与电磁波》两门课程“难教”、“难学”的状况是一个很好的开端，取得了有突破意义的进展。专家们一致认为该课件为国内最早在IBM-PC机上研究成功的《电磁场》、《电磁场与电磁波》课程的CAI课件，在国内处于领先地位。同年6月与10月，经国家教委仪器设备总公司推荐分别参加了国际教具展览会和第六十届广州交易会，向国内外推广应用，1987年5月美国CBE学会代表团来华访问时，要求交流该CAI课件。目前国内50多所院校几万学生人次使用了此课件，并得到师生们的一致好评。

该课件于1985年获西安交通大学教改一等奖，1986年获西

安交通大学科技成果二等奖，1987 年获国家教育委员会科技进步二等奖，这是西安交通大学，也是我国近年来在教学领域中所取得的一项重大教学科研成果。参加该课件研制的人员有王瑞禹、钱秀英、谭华、申忠如、应柏青、黄东、刘天祥等。

为了总结、发挥并进一步推广电磁场理论教学科研成果，满足电类专业学生学习电磁场理论课程的需要，推动我国的计算机辅助教育事业的发展，作者编著了《电磁场理论计算机辅助教学》一书。此书与倪光正、钱秀英、周佩白编写的《电磁场的计算机辅助分析》一书构成了姐妹篇，目的在于提高教学质量、减轻教师工作并加强工科高等院校电类专业学生应用计算机的能力。

计算机辅助教学是现代教育的一个重要手段。国外一些先进国家这方面的发展已趋于相当大的规模，而我国近七、八年才刚刚起步。为此，本书介绍了计算机辅助教学的发展简况、原理、特点、课件设计原则以及微机编程技术在 CAI 课件设计中的应用。无疑对从事其他学科计算机辅助教学课件研究的大、中学校及研究人员本书也是一本有参考价值的书。

本书对电磁场理论 CAI 课件的程序内容、特点以及功能作了详细的介绍，并根据电磁场理论课程的教学要求，提出了学生必做或选做程序的建议，每个程序后还附有由该程序引伸出较深的提高性习题（大多选自近年来国内外研究生考题），供给学生课外思考，以加深与扩展学生使用该 CAI 课件所得到的概念与知识，并可作为该课程课堂讨论的参考题。

本书例题程序中(包括附录 2)，由于排版需要，有许多行被断成两至三行，读者引用时，将它们顺序输入即可，在断开处切勿加回车键，否则将发生错误。

本书紧密配合电磁场理论 CAI 教学课件（含软盘三片），二者结合起来使用，将会取得更加显著的教学效果。为满足读者的要求，西安交通大学出版社可提供与本书配套的英文或中文提示的计算机软盘。

本书的前言，第一、二章，第三章 3.2.9、3.2.10 节，§ 3.3 由王瑞禹编著，第三章的其余部分由谭华、黄东编著，全书由王瑞禹统稿。另外在课件的编制与本书的编著中曾得到冯慈璋教授、盛剑霓教授，钱秀英、周佩白、肖衍明、梁德群、张传德等副教授，以及西安交通大学教务处、科研处、计算中心、计算机微机实验室、电工原理教研室、电测教研室同志们的热情支持，全书承冯慈璋教授(主审)和刘甘娜副教授审阅，他们提出了许多宝贵的意见，在此一并表示深切的谢意。

由于作者水平有限，本书定有不少缺点与错误，敬请广大读者批评指正。

编 者

一九八七年十一月于西安交通大学

目 录

前 言

第 1 章 计算机辅助教学概述

§ 1.1 计算机辅助教学的发展与应用	1
§ 1.2 计算机辅助教学的原理与特点	4
§ 1.3 电磁场理论 CAI 课件设计	7
§ 1.4 电磁场理论 CAI 课件内容简介	8

第 2 章 电磁场理论计算机辅助教学系统

§ 2.1 静电场 (SEF)	12
2.1.1 导体与电介质、电场强度与电位	13
2.1.2 两带电球上电荷的分布与电场强度、 电位的分析计算	17
2.1.3 泊松方程、拉普拉斯方程	21
2.1.4 点电荷对球形导面的镜像	24
2.1.5 线电荷对平行圆柱导面的镜像(电轴法)	32
2.1.6 点电荷对无限大平面介质分界面的镜像	34
2.1.7 静电能量与力	38
2.1.8 电容及部分电容的分析计算	42
2.1.9 雷击实验模拟	44
2.1.10 静电场典型场图演示	47
2.1.11 极化力的实验模拟	48
2.1.12 两铜球之间气隙放电的实验模拟	51
§ 2.2 恒定电流场 (SCF)	52
2.2.1 接地电阻的分析计算	53

2.2.2	偏心电缆漏导的分析计算	55
2.2.3	静电比拟的实验模拟	57
2.2.4	有损介质交界面电荷积累演示	61
§ 2.3	恒定磁场 (SMF)	63
2.3.1	矢量的散度、旋度与恒定磁场的性质	63
2.3.2	物质的磁化和安培环路定律	66
2.3.3	恒定磁场的基本概念	69
2.3.4	两线输电线磁场	73
2.3.5	磁场中的镜像法	76
2.3.6	自感与互感	80
2.3.7	短线电流的磁场和向量磁位	81
2.3.8	同轴电缆电感的分析计算	84
2.3.9	恒定磁场典型场图演示	86
2.3.10	两同轴平行圆环间互感的分析计算	87
2.3.11	螺线管轴线上磁场分布的实验模拟	89
2.3.12	磁化力的实验模拟	92
§ 2.4	边值问题 (BVP)	94
2.4.1	均匀电场中置入长直介质圆柱后引起 的畸变电场	95
2.4.2	均匀电场中置入长直导电圆柱后引起 的畸变电场	99
2.4.3	半封闭平行板电极电场的分析与场图演示	102
2.4.4	计算接地金属槽电位分布的有限差分法	104
2.4.5	计算不同媒质中电流场电位分布的有 限差分法	105
2.4.6	计算不同媒质中电流场电位分布的有 限元法	109
§ 2.5	时变场 (TVF)	112
2.5.1	电磁感应定律的实验模拟	112

2.5.2	位移电流	116
2.5.3	电磁能量传输的图景	117
2.5.4	短偶极子天线的辐射	119
2.5.5	天线方向图的演示	123
§ 2.6	平面电磁波 (PEMW)	127
2.6.1	理想介质与导电媒质中的均匀平面波	127
2.6.2	静电屏蔽、磁屏蔽与电磁屏蔽的实验模拟	132
2.6.3	平面波的极化演示	137
2.6.4	透入深度的实检模拟	139
2.6.5	薄平板中涡流及磁的集肤效应的实验模拟	143
2.6.6	均匀平面波的正入射、全反射及驻波的演示	145
2.6.7	均匀平面波的斜入射与反射、 透射和波导概念	147
2.6.8	矩形波导中不同模式波的电磁场与传播特性	151
2.6.9	矩形波导中 TE_{10} 波场图演示	153
§ 2.7	均匀传输线中的导行电磁波 (UTL)	154
2.7.1	平行板传输线	155
2.7.2	有损耗均匀传输线正弦稳态解的分析计算	158
2.7.3	无损耗均匀传输线在不同状态下的传输特性	161
2.7.4	无损耗线的某一实验结果的分析计算	163
2.7.5	无损耗均匀传输线的实验模拟	166
 第 3 章 CAI 课件程序设计 (BASICA)		
§ 3.1	IBM-PC 机的 BASICA 语言绘图	171
3.1.1	图形输出方式介绍	171
3.1.2	基本绘图语句	173
3.1.3	几个绘图应用程序	186
§ 3.2	CAI 课件编程技术	195
3.2.1	菜单技术	195

3.2.2	链接技术	198
3.2.3	动画技术	200
3.2.4	陷井技术	205
3.2.5	音响与音乐	211
3.2.6	曲线拟合	215
3.2.7	数据文件的应用	218
3.2.8	与编译、解释 BASICA 程序相 兼顾的批处理	224
3.2.9	输入输出技术	227
3.2.10	建立公用子程序库	228
§ 3.3	电磁场场图描绘	240
3.3.1	电磁场场图描绘的一般原则	240
3.3.2	二维场图描绘	242
3.3.3	三维场图获得	265

附 录

附录 1	《电磁场》、《电磁场与电磁波》课程 CAI 系统使用说明	285
附录 2	典型 BASICA 程序录	288
附录 3	英汉词汇对照索引	324
参考文献		326

第 1 章 计算机辅助教学概述

§ 1.1 计算机辅助教学的发展与应用

当今世界已进入信息时代，电子计算机作为新技术革命的主要标志正在对社会的政治与经济、科技与教育、工作就业与家庭生活产生着极为深远的影响。随着计算机应用技术在教育领域的广泛应用，近 30 年已形成了一门新兴学科——计算机辅助教育 (Computer-Based Education)，简称 CBE，它包括：一计算机辅助管理 (Computer-Assisted Management)，简称 CAM；二计算机辅助教学 (Computer-Assisted Instruction)，简称 CAI。

CAI 研究始于 1958 年，当时美国 IBM 公司沃其顿研究中心三位热心于教育的研究人员设计了第一个 CAI 系统，即用一台 IBM-650 计算机向小学生教二进制算术，且能根据学生要求产生习题。与此同时在伊利诺斯大学开始筹划 PLATO 教学系统，目的是探索计算机辅助教育在教育中的作用以及对它的要求。[15]

60 年代初，美国国防部开始对 CAI 发生兴趣，他们制定了利用 CAI 训练军事人员的计划，并首先在军事院校中采用 CAI。尔后，英、法武装部队也开始这方面的工作。

60 年代中、后期在美国是计算机辅助教育蓬勃发展时期。比较著名的有斯坦福大学，宾夕法尼州大学等五、六个大学，他们陆续研制了 CAI 系统，许多大计算机公司也纷纷投入力量和资金搞计算机辅助教育。1967 年，美国成立了“计算机教程公司”专门生产各种教学课件。但由于计算机昂贵，教师缺乏经

验、缺少训练以及教育经费削减等原因，使得曾风行一时的计算机辅助教育的计划不得不中途停顿下来，不过也有不少 CAI 系统因得到外来支援，或因取得良好的效果而坚持下来。70 年代中、后期由于计算机价格急剧下降和一些比较成功的系统所显示的优越性，使人们再次看到计算机辅助教育的前途。1972 年美国国家科学基金会制订了一个发展与评价 CAI 的计划，计划中拨一千万美元，支持 PLATO-IV 和 TICCIT 系统在原有基础上进一步发展。据统计，1975 年在美国有 500 多个具有一定规模的教学系统在运行。美国的 PLATO-IV 可提供 2000 多门课的教学课件，允许上千名学生在不同地方同时学习各自希望学习的课程。这个系统已发展到 PLATO-V 型，即正在开发的 MICRO-PLATO 的教学专家系统。[15]

在美国的学校里，据 80 年代初统计计算机用于 CAI 约占 30%，用于 CAM 约占 30%，用于科学计算和信息处理约占 40%，由于各课教师对 CBE 日益感兴趣，用 CAI 手段进行教学愈来愈多，因而 CBE 所占百分比正向增加的趋势发展。据统计资料，美国教育计算机和教育软件的数量已占整个计算机市场的三分之一，形成了强大的计算机教育产业。[15]

与此同时，在英国、法国、日本等一些国家 80 年代以来对 CBE 也极为重视。英国从 1980 年开始执行一个 MEP 计划发展计算机教育，每年拨款 800 万英镑，到 1986 年 MEP 计划完成后又开始 MESU 计划，其中除继续开发 MEP 计划中已研制的课件和系统的效能外，并发展更新的更先进的项目。1983 年在巴黎举行的“信息与教育”讨论会上，法国政府正式决定：从现在起到 1988 年 5 年时间内将为中等学校添置 10 万台计算机，并培养 10 万名能使用这一“新的教学工具”的老师。日本政府近两年也十分重视计算机教育的发展问题。1986 年文部省投资 20 亿日元进行 CBE 的研究工作。在日本几乎所有的计算机生产厂家，都在自己生产的计算机系统上（主要是微型计算机系统上）配置

了 CAI 系统，推出自己的教学课件产品。据日本的统计资料，从事 CAI 研究、开发的大学研究机构、社会教育团体已有 100 家以上。其中金泽工业大学推出了各课程的 CAI 系统，并编写了相对应的 CAI 教材。一些发展中国家如新加坡、印度等也很重视发展计算机辅助教育，新加坡政府专门拨出资金成立科技公司来负责这一事业的开发工作。总之，随着微型机售价不断降低，当前 CAI 已成为全球性的研究领域。[15][16]

我国对计算机辅助教育的研究是七、八年前才开始的。1978 年科学大会前后，华东师范大学根据国外的计算机辅助教育的发展状况分别论证了 CAI 在中国实现的意义和可能性，并于同年教育部批准北京师范大学和华东师范大学成立现代教育技术研究所专门从事这项研究工作。

1980 年初，我国少数院校开始研制计算机辅助教学系统，并取得了一些成果。在此鼓舞下，自 1984 年以来计算机辅助教学在我国得到进一步发展，开发了一批在教学中得到实际应用的教学课件。如华东师范大学的 ABC-BASIC 语言教学系统、西北工业大学的《电路》《信号与系统》的微机辅助系统、西安交通大学的《电磁场》《电磁场与电磁波》《工业电子学》《大学物理》、空军工程学院的《电子线路》CAI 系统及北京气象学院的微机辅助高等数学系统等。同时，也开发了一些课件开发环境与工具，如南京大学的图形工具包、华东师范大学的 ALC 语言、上海交通大学附中的 STC 汉字系统等。1987 年 3 月在上海成立了中国人工智能学会计算机辅助教育分委员会并召开了学术交流会，这表明我国在 CBE 的研究与应用方面均有相当的深度和广度。从交流的论文来看，它们大多是从中国的实际出发，具有中文显示、注意启发式教学等特点，为我国教育软件在世界市场占据一定位置提供了技术基础。为了进一步发展计算机辅助教育，国家在第七个五年计划中将中华学习机列为重点科研项目，并计划耗资百万元进行教学软件的开发与研究。在七·五计划中还

将汉语教学系统列入重点科研项目，也准备耗资几十万元进行系统的研究与开发。现在全国从事计算机辅助教育研究与实践的人愈来愈多，从而提供了教学软件开发的人才基础。[15]

但是我国教育软件的发展还存在着不少问题，其主要表现在数量虽多，应用不广；技术有基础，未能外销；人员不少，分散作战。目前影响推广使用的问题是微机设备费用价格太贵，一次性投资较大，教学课件开发工具不力。但是我们相信随着我国计算机事业的发展和应用技术的提高、计算机成本的降低以及教学课件的标准化与商品化，我国计算机辅助教学将渗透到各个学科中，在促进各学科的发展和提高教学质量方面做出重大的贡献。

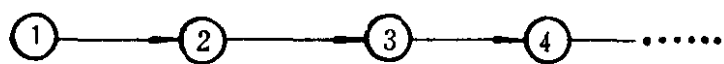
§ 1.2 计算机辅助教学的原理与特点

计算机辅助教学的基本思想是以计算机为媒介，事先将各种教案存入计算机，然后通过学生与计算机之间的对话，完成各个教学环节，达到教学目的。CAI不仅可以作为常规的教学辅助手段，同时在一定程度上还可以代替教师进行某些课程的教学。

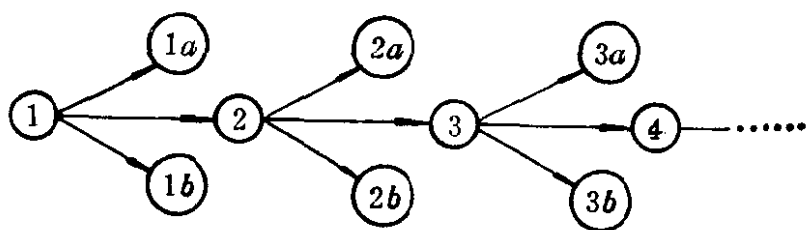
目前已有的CAI课件，大多以程序教学(Programmed Instruction)思想作为教学理论基础。1954年斯金纳以动物实验结果来解释人的学习，认为学习是一系列刺激—反应—强化的行为过程。“只要我们安排好一种被称为强化的、特殊形式的后果，我们的技术就允许我们随意地去塑造一个有机体的行为。”^①在此基础上，斯金纳形成了一套程序教学思想：针对不同的教学对象和教学目的，并考虑到学生的能力和学习心理特性与状态，用预先编好的程序来指导或控制学生学习某一学科或某种机能。CAI就是50年代末在这一程序教学基础上发展起来的。从程序

① 《学习的科学和教学的艺术》、《程序教学和教学机器人》

教学的角度来看，CAI 是把计算机用于教学程序的控制，因此可以说它是高级的程序教学，尽管个人对于程序的设计有所不同，但程序教学的理论是行为主义(联想心理学派)的刺激与反应理论。通常程序教学的基本思想是把教学内容分成若干教学单元系列，其方式可分线性程序教学和分支程序教学两大类型，如图 1.2.1 所示。



(a) 线性程序教学序列



(b) 分支程序教学序列

图 1.2.1

目前应用的 CAI 程序大多可以看成是分支程序教学的继续与发展。而且程序教学中的“刺激—反应—强化”规则在 CAI 设计中起着重要作用。[9]

CAI 的教学实践证明，CAI 有如下特点：

- 适用于因材施教和个别化教育：在 CAI 课件设计时，针对不同水平的学生可设计不同的分支程序；在 CAI 教学过程中，学生可以自行控制自己的学习进度，并且可以根据自己的学习情况与接受能力，由浅入深地进行反复学习，所以它使教学具有了针对性，因材施教落到实处。
- 直观性：计算机一般都具有很强的绘图能力且还配有彩色终端，因此可以把许多教师在课堂上或黑板上难以表达的抽象概念和理论通过终端屏幕显示出来，进行形象化教学。尤其是对一些动态过程的模拟演示其形象逼真，加深了学生对教材内容的