《物理与工程》

何元金

清华出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第 10 卷第 6 期(总第 80 期)　2000 年 12 月

目　　录

院士论坛
- 热物理和热工研究开发的进展与机遇 …… 王补宣(1)
- 大力开展我国电磁兼容技术的科学研究工作及若干建议(续) …… 高攸纲(5)

专　　论
- 工科物理教学改革的回顾和展望 …… 陈泽民(14)
- 知识经济与创新意识 …… 薛瑞丰　夏新颜(18)

教学研究
- 工科力学如何训练及培养学生探索未知的能力 …… 李元杰　王仁海(23)

物理实验
- Meissner 效应与磁悬浮 …… 方家光(27)
- 导出相对论质量的一种方案 …… 乔生炳(32)
- 利用半透平板测量微波波长 …… 张宝峰　廖惕生　刘文英(34)
- 热功当量实验中水的终温修正的研究 …… 赵玉屏　贾彦枝　张雪泽(36)

物理与工程
- 光学二次谐波混沌的控制 …… 何　军　李元杰(39)
- GPS 中的时空测量 …… 徐润君　陈心中(43)
- 法拉第效应及应用 …… 郭留河　李克轩　刘永辉　毕亚军(47)
- 全球定位系统及其原理 …… 朱　峰　肖胜利　尹　涛(50)

教改论坛
- 大学物理实验报告的缺弊及改革探讨 …… 凌向虎　杨长铭　江　西　王阳恩(52)
- 高校教师需要了解和掌握一些编辑规范 …… 刘　颖(55)

物理学史
- 半导体激光器发展概论 …… 刘凤英　王艳辉　李桂琴(56)

书　　评
- 中国西部生态环境安全建设需要力作—— 主编《西部开发的警示》一书的体会 …… 金　磊(60)

新书介绍
- 出版通讯 …… (62)
- 《物理与工程》(原《工程物理》) 2000 年总目录 …… (63)

封　　面
- 清华大学出版社　科学出版社最新出版《高技术辞典》

热物理和热工研究开发的进展与机遇

王补宣
(中国科学院院士, 清华大学热能工程系教授, 北京 100084)
(收稿日期: 2000-09-14)

关键词 热物理和热工; 工程热物理; 能源节约和综合利用; 生态环境和生命系统中的热物理; 高技术发展中面对的微细尺度化

ON THE ADVANCES AND OPPORTUNITY FOR R&D OF THERMOPHYSICS AND THERMAL ENGINEERING

Wang Buxuan

Key Words thermophysics and thermal engineering; engineering thermophysics; energy conservation; thermophysics in biological environment; microscale thermophysics for high technological development

兴起中的“工程热物理”, 归属技术科学, 成为沟通热物理研究和热工技术开发的桥梁, 曾被原苏联学者称为“物理热工学”, 也曾在我国使用过“热物理工程学”, 亦即运用物理学知识的进展深化对热工问题的分析研究, 容许按工程学分析处理的方法抓主要矛盾和矛盾的主要方面作渐近的合理假设, 推动相关工程技术的开发创新. 工程热物理的数值模拟计算要严肃对待物理模型的可信性. 传统的划分方式认为: 科学发现是为了认识世界, 工程技术是为了改造世界, 正确认识世界才能合理改造世界, 但并不排斥在改造世界的过程中改进和丰富对客观真实的认识. 于是, 在国际上又把热物理和热工合称为“热科学与工程”. 在世纪更替之际, 对工程热物理在我国的兴起以及热物理和热工的开拓进展作些回顾与展望, 或将有助于迎接 21 世纪前叶的发展机遇.

1 工程热物理的开拓是经济发展和社会进步的需要

工程热物理是技术科学中担负着为技术创新提供所涉及的热物理问题分析计算的科学依据, 正在向不同工程技术领域不断渗透[1].

热、电(磁)、光、声、化学反应与核反应, 和在外力作用下的整体机械运动都是物质运动的基本形式, 表征不同形式的能量. 热运动是指物质内部分子的无序运动, 所具能量属低位级别, 并与宏观统计性的特征量“温度”高低有关. 自然界到处存在着温度差异和物质多样化及其分布不均匀的浓度差异, 而温度差异又常引起物质扩散, 是地球生物圈内大气环流和物质与能量自发传递的根本动力. 原则上, 任何温度差异都可以作为能源开发利用, 只是温差越小, 开发的技术难度越高, 经济竞争性越低. 尚待开发的海洋能, 不

仅限于波浪携带的机械运动能. 海水表面与深层间的温差能, 还有与温度分布有关的盐分差异引起扩散迁移能. 在一定条件下运动形态又可以相互转换, 但物质与运动的总量保持不变, 而且照例会引起从有序向无序运动的蜕化, 伴随着能位降低而“发热”. 因此, 热物理现象是普遍存在的自然趋向. 随着生产的发展和追求规模效益, 现代工程设计和工艺过程中, 势必经常遇到有关加热、冷却、相变、温控等各种各样热工问题[2, 3], 工程热物理的兴起顺应着经济发展和社会进步的实际需要, 并从中得到不断的充实和丰富.

1900 年, 普朗克在导出炽热物体辐射的能谱式时, 提出了量子学说, 产生了量子理论, 与相对论的创立成为 20 世纪最杰出的两项重大科学发现. 20 世纪上半叶经历了两次世界大战, 迎来了后半个世纪的相对平稳和繁荣, 促进了科技创新的蓄势待发与突飞猛进, 形成“知识爆炸”. 但人口激增, 地球资源有限, 急剧的工业化也造成了对能源动力供应与材料开发的苛求, 使生态环境恶化. 社会的发展从常规的工业化走向信息化, 开始显示出知识经济时代的曙光. 当前日新月异的高技术发展, 使科学与技术的传统界限逐渐模糊, 学科的人为分割和分化面临更多的挑战, 推动着原有学科走向交叉和组合与重整. 这种开拓趋向, 将是今后不断形成新的学科前沿的主流. 可以展望 21 世纪将继续深化和推动社会信息化, 促进空间能源和资源的开发利用, 推动生物和仿生技术的积极开拓. 工程热物理也将面对需要, 探索解决温度场、流速场、浓度场与电磁场、光场、声场、化学势场等不同特征量的场分布相耦合情况下更复杂的能量与物质传输和温度控制问题的新机遇. 计算机的普及和高容量化, 计算方法与新型测试技术的不断改进, 将丰富工程热物理开拓研究的手段和加快研究发展的进程.

2 能源动力和工艺节能与温控是推动热工开拓进展的传统领域

能源被喻为生产现代化的“粮食”. 蒸汽机的出现促进了产业革命. 20 世纪由蒸汽机到内燃机、汽轮机、燃气轮机、喷气推进和火箭机等动力机械的更新换代, 从常规的蒸汽动力和内燃动力到核动力开发, 推动着人类社会工业化的加速发展. 20 世纪 50 年代, 我国就把电力和交通作为工业建设的两大先行官. 能源供应不足, 曾长期制约了我国经济发展的速度. 80 年代初, 明确了能源是我国经济和社会发展的战略重点, 并且制定了“开发与节约并重, 近期要把节约放在优先地位”的能源对策总方针. 20 年来, 在动力设备的大型化、核动力开发与安全性研究、飞行器发射与回收以及增大电力供应和热设备与工艺节能等多方面展开了热物理的基础和应用研究, 取得了工程热物理的积极开拓和明显的经济效益. 但在粗放型经济增长方式下的能源利用效率只是提高到大约 33%, 仍远低于发达国家, 而且工业用能所占全部用能量的份额高达 2/3, 生活用能仅占了 16%, 表明工业节能的潜力巨大[4]. 我国已制订并颁布了《节能法》, 强调能源的优化配置与合理的集约型利用, 要从设备节能走向更高层次的系统节能, 提出要重视建筑隔热、通风、采暖、制冷、空调等综合的系统节能. 并将逐步调整能源供应结构, 使能源利用多样化, 促进国民经济的可持续增长, 保障社会发展, 满足人民生活水平不断提高的需求.

能源开发与利用状况的改善, 体现着科学技术整体水平的提高. 人均用能量常被用来衡量一个国家或地区综合实力的强弱. 优化热物理过程和降低能耗, 可望在更高起点上考虑新材料、新工艺和信息等高技术监控的已有进展, 为中低位工业余热利用、实施“总能”系统以至多能源互补, 综合利用的“泛

能”系统开创新局面. 所谓的“能源危机”应科学地理解为开发应用技术上已成熟的、常规使用的化石能源资源有枯竭而引起难于供应之虑. 21 世纪将是新能源面临着新的大发展机遇. 例如, 拟议中的以同步轨道卫星在地球大气层外全天候地接收太阳能发电, 借助微波方式传至地面, 将使太阳辐射能成为 21 世纪真实的洁净替代能源. 地面上的太阳能热发电, 也可望使用反射聚焦使到达地面的太阳能流密度成倍地浓集, 从而提高动力装置的运行效率和降低发电成本. 自然界还蕴藏有至今仍不清楚或尚难开发利用的大量分散或者非连续性的潜在能源. 比如火山行将爆发前所蓄积的巨大能量, 如能予以人工疏导, 可化解天灾而又造福人类. 物质世界是可认识的, 但认识只能是渐进地积累. 人类正是在不断改善生存环境的斗争中积极地进取.

科学的探索和成果开拓总会趋向两极的分化, 以满足不同需求. 20 世纪在迅速大型化的同时, 也谋求小型、轻型、紧凑化. 例如, 从核动力反应堆到核武器就经历着小型、轻型化的技术突破. 在能源集中开发与供应基地建设的同时, 正在出现建立分散补充型热、电、气、冷多功能灵活联供的小型化能源中心的发展趋向, 藉以缩短资金回收期, 并有利于防止污染源的集中而危害生态环境. 于是小型化的高级新型发动机, 例如热离子机和温差直接发电机等设想, 由于投资风险的减轻, 又引起新的研究开发的兴趣. 信息材料、超导材料、生物与仿生材料等的实用化都对有效工作的温度范围有极其严格的苛求, 将促使温控技术的创新发展. 除非真能实现有争议的“冷聚变”, 要开发核聚变高能成为实际可用能源, 就必须解决超高温等离子体脱离与壁面材料直接相接触的有效防护性冷却措施.

3 生态环境和生命系统中的热物理研究亟待开拓

工业的兴起和城市化的扩大, 使我国的环境污染严重、生态平衡恶化, 出现酸雨和土壤盐碱化和沙漠化. 我国正在执行可持续发展的战略, 重点在整治环境污染, 保障人民的生活健康. 环境和生态领域召唤工程热物理研究的渗透. 例如, 兴建大规模的核电站必须考虑核废料长期安全存放的释热问题和核辐射泄漏的大气扩散; 工业与城市废水和废液被注入地下或排往江河湖泊, 由于有温度梯度引起自然对流而出现污染源的扩散及其治理问题等等。大型和巨型热电站的运行, 无论常规的冷水塔水冷或者空冷, 都会有集中的热污染, 改变就近的大气环境, 影响局部地区的“微”气象。

多孔介质中物质与能量的输运是地球生物圈内普遍存在的自然现象. 土壤和生物组织就都是天然的多孔介质. 除了非常致密的金属、某些塑料和岩石, 所有的固体或者类固体都程度不同地具有空隙性. 土壤表层季节性的冻融过程将直接制约土壤中水、热、湿迁移的动态规律, 不仅给农业生产、也给工程基础设施造成影响, 特别是冻涨现象会出现破坏性的挤压力. 经典的达西渗流定律和毛细滞后学说现已受到科学质疑, 正经受实践的考验[3]. 在农业工程化过程中, 揭示土壤温度的动态变化, 弄清这个温度-时间关系的影响因素及其影响程度, 将有助于控制水份的需求和肥效, 从而调控植物生长的速率, 还将有助于最适时地施用杀虫剂. 搞清日照、气流传热作用下的植物所需水量的供应关系, 还将有望利用在排灌水中添加抑制剂降低蒸发率, 这对干旱和西部与北部缺水地区实现节水和节能农业将产生可观的社会经济效益. 农牧产品及其加工处理, 包括谷物干燥、果蔬的人工催熟和贮存保鲜, 不但依靠气流, 还会依靠辐射的耦合, 以优化热、湿迁移的生态环境. 农作物的生长造成地面起伏式的粗糙变化, 将影响气流和辐射, 干扰温度分布和水份蒸发. 冷表面层的长期稳定将引起封冻, 需要研究破坏其稳定性的方法与技术. 就连城市

需要全本请访问 www.ertongbook.com

公园的设置和绿化,也会对城市气候产生影响.

21 世纪预计是生物工程与仿生技术大发展的时代,也将是医用器具高性能和多功能化,极具高科技商业竞争的时代.这要求生物医学工程热物理研究的积极配合,作好相应的科学储备[5].生命系统是典型的开放系统,离不开与赖以生存的环境进行物质和能量的交换.生命活动实际反映出生物体、特别像人体在中枢神经控制下通过血液流动、呼吸换气、汗腺发汗、寒颤等生理反应所具备的自适应调控本能,增减衣着或配备防护措施,是调温反应的补充,以削弱受体环境的影响程度.对外界的感受和刺激还会造成心理因素的随机多变性,使生化反应的迁移热物性数据测定的不确定性明显增大,只能有概率统计性的意义.总之,生命体总耦合着热物理现象,但其定量分析远比非生命体的因素难得多.兴起中的生物组织工程认为病理的状况将是环境改变了表层细胞传给器官的生物信息,启动了基因组织隐性或显性的转变,医疗正是要纠正、修补、回复自适应的调控本能.进展中的低温生物医学技术[6]正在实现生物材料的长期存活,相应的降温和复温都有生物活体耐变的适应问题,需要防止组织液受冷冻结而出现冰晶化和受热融化时的损伤破坏作用.

4 高技术发展中面对的微细尺度化是物理研究的新兴前沿热点

工程问题通常处理的空间尺度约为 10^{-3} ～10^{1}m,地热和石油开采可达 10^{2}～10^{3}m 量级,航天器的发射可达远离地面的 5×10^{5}m 量级.计算机的小型和微型化以及微电子、光电子器件的急速发展,带动了微米、纳米加工技术的兴起,促进了微细结构如计算机的超高集成电路、微型器件、微机械系统与微电子机械系统的迅猛开发.这种微细化尺寸的空间,对于气体将产生“稀薄性”效应,亦即介质连续性假设有待修正.大气压力下空气的分子平均自由径约 0.1 μm,可见光波长小于 1 μm,超薄材料或涂层已可薄到 1 μm 左右,超级抛光表面的粗糙度或空穴尺度已可小于 500nm,氢原子直径大约 0.1nm,小于 1mm 的微米量级,还远不能与微观层面相混淆,不能单纯使用分子运动论.微米量级仍处于由宏观向微观过渡的“细观”层面,仍须考虑分子群体的相互作用,包括边壁的表面力和相际界面效应,毕竟有别于熟悉的由宏观法则所预示的,出现一些“超常性”.空间尺度微细化后,重力对流体的影响削弱、直至消失,趋近于航天失重情况下因微重力、零重力引起流体浮升力的消失,气、液相变也将由重力主控型转向表面张力主控型,使蒸气泡形成、跃离、运动的动力学机制为之改观.壁面不平整度(粗糙率)对流体流动的影响扩大,而且在非常薄的贴壁层内流体的行为也会受到壁面固体分子的干扰作用,使流体的粘性和导热系数发生变异.就连传统的、作为热物理基本宏观统计量“温度”,在空间尺度微细化后如何正确定义和测定也成了争议的问题.在微尺度条件下,还将涉及光子、声子、电子等的耦合作用,使问题涉及非线性化、非局域平衡性等复杂现象.这些,都有待于热物理的研究开拓,提高对实际认识的更高和更深层次.

机遇与挑战总是相孪生的,本文只是概略地展望工程热物理将在新世纪科技进步的挑战中获得众多的发展机遇.

参 考 文 献

[1] 王补宣.面临新世纪机遇的工程热物理.世界科技与发展,1998,20(5):68～70.

[2] 王补宣.工程传热传质学 上册.科学出版社,1982.

[3] 王补宣.工程传热传质学 下册.科学出版社,1998.

[4] 节能.《能源百科全书》.中国大百科全书出版社,1997.

[5] 王补宣.前进中的生物医学工程热物理.科学前沿与未来.第三辑.科学出版社,1998.104～116.

[6] 华则钊,任禾盛.低温生物医学技术.科学出版社,1996.

大力开展我国电磁兼容技术的科研工作及若干建议(续)

高攸纲
(北京邮电大学, 171 信箱 100876)

(收稿日期: 2000-05-15)

9 计算机中的电磁兼容

9.1 计算机电磁兼容性问题综述

当前, 计算机已经普遍地应用在工农业、国防、科技、教育、管理等各个领域, 家庭和个人使用计算机的情况也逐渐深化和普及. 计算机作为一种数据处理和存储系统, 外界电磁场干扰可能对其正常运行和信息安全造成危害; 而作为一种电子设备, 它的寄生辐射和电磁泄漏也可能污染外界电磁环境或造成自身信息失密。计算机系统的电磁兼容性已成为一个迫切需要研究的问题。

计算机电磁兼容性问题具有一般电子设备的共性, 又有其突出的特点. 它既是一个敏感设备, 又是一个干扰源. 它是低电平电子系统, 从电磁兼容的角度而言, 主要地是一个敏感设备. 它的主要电路是数字电路, 数字电路的逻辑元件都有一定的阀电平和与之相对应的干扰容限, 因而它不会响应低于容限的干扰, 但对于其所受到的高于容限的干扰的破坏却没有恢复功能. 计算机主要由脉冲数字电路和工作于开关状态的电路组成, 所处理的是脉冲信号, 因而易受外界脉冲干扰的影响, 也向外界产生干扰脉冲. 脉冲信号具有很宽的频谱, 计算机的主频也有很宽的范围, 包括长波、中波、短波、米波及分米波等很宽的波段与电力电子设备、广播、电视、通信、雷达等的基本工作波段相同, 使计算机工作在一个相当复杂的电磁环境之中, 同时也在很宽的波段内向外界辐射和泄漏电磁干扰, 有人对未采取防泄漏措施的微机进行过测量, 结果表明在很宽的波段内泄漏均显著地超过规定标准的极限值, 在低频段和主振频率及其倍频附近尤为严重. 目前, 计算机向高速、宽带、高密集度、小型化发展, 可能会导致干扰问题更加严重, 给计算机电磁兼容性问题带来更多急待解决的问题, 但是利用数字化系统的高速运算功能、存储功能和判断功能, 也有可能进一步开辟新的抗干扰路径.

计算机的外界干扰主要来源是射频干扰、工频电源干扰、静电干扰及雷电脉冲干扰等四类. 若计算机房处于大功率无线电发射设备、高频大电流设备或射频理疗设备等附近, 当这些设备工作时, 其空间电磁场强若超过 1V/m(120dBμV), 则计算机的工作将受到严重的干扰. 在电磁干扰环境中, 计算机所受到的危害取决于干扰场强、频率和计算机自身的电磁敏感度. 实验证实, 在离微机 6m 处开关电流为 10A 的交流感性负载, 其接触器触头电弧产生的干扰足以使计算机产生误动作. 工频电源电压的大幅度波动或电流冲击有可能通过电源线进入计算机系统, 使计算机出现运行错误或故障, 甚至破坏计算机的某些部件. 此外, 某些电气设备产生的尖峰脉冲、工业火花等也可通过供电线路进入计算机. 例如, 开关电传机可产生 1kV 的尖峰脉冲, 它足以损坏某些部件. 研究表面, 工频电源干扰和通过电源线的射频干扰十分严重. 静电干扰是造成计算机 MOS 电路损坏的主要原因, 有人研究指出, 当穿塑料鞋走动、穿尼龙或丝绸工作服在工作台前长期工作都可产生很高的静电电压. 美国有统计表明, 由于静电导致计算机及其元器件的损坏造成的经济损失每年高达数亿美元. 雷电脉冲通常通过电网供电电源进入计算机造成干扰, 甚至使计算机或某些部件损坏. 在我国, 由于雷电而致使计算机损坏的事例屡见不鲜. 提高计

算机系统的抗干扰能力的措施概括起来主要有几个方面. 首先, 从硬件、软件设计着手提高系统自身的抗干扰能力, 在硬件设计中要进行 EMC 设计, 综合采用各种抗干扰措施. 在软件设计中, 利用冗余技术、容错技术、标志技术、数字滤波技术都是有效方法, 逻辑电路技术与软件技术的巧妙结合, 可以用来作为抑制噪声的有力工具. 其次屏蔽接地是提高计算机抗干扰能力的又一有力措施, 屏蔽包括机房屏蔽、整机屏蔽、元部件之间的屏蔽和隔离, 电源的进线及传输线的输入线和输出线也应屏蔽接地. 系统与机房不仅要有良好的接地, 而且要有针对性对交直流接地、高频接地、防雷接地和安全接地进行合理设计. 此外, 滤波也是抑制传导耦合干扰的重要方法. 电源线滤波器可以显著降低来自供电网的干扰, 在屏蔽体的出入口或导线的适当位置安装滤波电路也是非常必要的. 采用光技术能传输高密度信息不易受电磁感应噪声影响, 是提高计算机抗干扰能力的途径.

计算机的寄生辐射和传导所造成的电磁泄漏具有很宽的频谱, 它一方面是外部敏感设备的噪声源; 另一方面也造成计算机数据信息的失密和失窃的可能. 测试结果表明: CPU、内存、I/O 接口、时钟、视频、字库、传输线、电源线等部位都有较强的电磁辐射, 一般辐射约为 40～80dBμV, 最高可达 75dBμV, 用灵敏度较高的接收机或电视机在几百米外就可有效地截收显示器显示信号. 在低频段, 数字时钟谐波次数低, 信号较强, 更易截收显示器视频显示信息, 有实验研究说明, 计算机显示信息泄漏的主要途径是显示控制器与显示器之间的接口传输电缆所产生的辐射. 抑制计算机电磁泄漏的手段主要是屏蔽技术、接地技术、滤波技术、隔离技术和源场抵消技术. 此外. 采用光纤接口可有效地提高微机系统防电磁泄漏的能力. 实验表明, 采取防泄漏措施之后, 传导泄漏在整个频段内都能达到技术标准要求, 对于辐射泄漏, 除低频段、主振频率及其倍频之外, 也都能达到标准的要求.

9.2 计算机 TEMPEST 技术

计算机 TEMPEST 技术发展至今已有 40 年的历史, 它是在电磁兼容(EMC)领域发展起来的一个新的研究方向. TEMPEST 计划的具体内容是针对信息设备的电磁辐射与信息泄漏问题, 从信息接收和防护两个方面所展开的一系列研究和研制工作, 包括信息接收、破译水平、防泄漏能力与技术、相关规范标准及管理手段等.

以美国为首的几个少数发达国家在 TEMPEST 发展中经历了这样几个阶段:

(1) 认识阶段(50 年代初、中期). 这个阶段主要解决信息泄漏严重性的认识问题, 对具体技术问题进行归类预研.

(2) TEMPEST 技术发展阶段(50 年代后期至 70 年代末). 这一阶段主要制定了 TEMPEST 发展方案, 对 TEMPEST 问题展开了一系列有计划、有组织、有针对性的攻关研究, 使 TEMPEST 技术系统化、成熟化.

(3) TEMPEST 技术标准化、专业化、市场化(80 年代后期至今). 这一阶段制定和颁布了一系列 TEMPEST 标准和规范, 建立了一整套利用信息设备的电磁发射来获取信息情报更为及时、准确、广泛、连续, 且安全、可靠、隐蔽. 技术与行政管理机构, TEMPEST 技术也开始产品化、市场化. 由于其他高新技术的发展, 又进一步促进了 TEMPEST 技术的提高, 使 TEMPEST 问题的研究深入到一个更新的层次.

由于计算机系统是各种信息处理设备中最关键和重要的组成部分, 因而也是利用信息设备的电磁发射来获取信息情报更为及时、准确、广泛、连续, 且安全、可靠、隐蔽. 正是这样, TEMPEST 防护研究一般都是针对计算机系统及其外设配置而言的. TEMPEST 的研究对象还包括接收系统、电传机、数字电话等.

信息处理设备的电磁辐射有两方面影响:

(1) 对电磁环境构成污染;

(2) 对信息安全与信息保密会构成严重威胁.

通过捕捉各种电磁波谱来获取所需要的情报和信息已是司空见惯,这是现代科技在侦察技术上的集中表现.例如在海湾战争中,美国就发射了一颗间谍卫星,据悉这颗卫星装有最先进 TEMPEST 收发系统用以截取伊拉克及海湾地区的政治、军事、经济情报,这些情报中一部分是破译出来的,而相当多的部分是利用对方电子设备无意电磁发射来截取的,这颗卫星的另一个功能是由 TEMPEST 发射系统释放乱真发射,以保证美军 C^3I 系统的情报信息不被破译.

已经分析表明:对于由数字电路组成的信息处理设备来说,由于辐射频谱及谐波非常丰富,因而很容易被窃收和解译,其信息泄漏问题更为突出和严重.以计算机视频显示器为例,其中各种印刷电路板、各部件之间的电源、信号接口与连线、数据线、接地线、驱动电路、阴极射线管等都可以产生程度不同的电磁辐射.在辐射频谱中,所包含的信息也各不相同,包括时钟、数据信息、视频信息等.从理论上讲这些信息都是可以接收和解译的,只是难易程度有所区别.利用信息设备的电磁发射来获取信息情报更为及时、准确、广泛、连续,而且安全、可靠、隐蔽.

总之,在信息化社会,研究计算机 TEMPEST 技术已和研究计算机病毒一样,被认为是涉及计算机安全的重要方面,受到国内外学者的广泛关注.

最近美国国防部召开 E^3 (Electromagnetic Environmental Effects) 工程,议题很广,有人倡言电子战(Electronics Warfare)之后为信息战(Information Warfare),并提出孙子兵法中之知己知彼,百战百胜的名言,我们也应为此作好相应准备,迎接挑战.

9.3 计算机印刷电路板(PCB)中的电磁兼容(EMC)问题

信息化社会的电子产品越来越趋向高速、宽带、高灵敏度、高密集度和小型化,这种趋势导致了 EMC 问题更加严重.计算机系统中 PCB 是一个典型的代表,PCB 的电磁兼容(EMC)问题是目前微型计算机设计中急待解决的技术难题.

(1) 印刷电路板(PCB)中带状线、电线、电缆间的串音和电磁耦合

印刷电路板(PCB)中带状线、电线、电缆间的串音是印刷电路板线路中存在的最难克服的问题之一.这里所说的串音是较广意义上的串音,不管其源是有用信号还是噪声,串音用导线的互容和互感来表示.当在 EMC 预测和解决 EMI 问题时,首先应确定发射源的耦合途径是传导的,辐射的、还是串音.例如,当 PCB 上某一带状线上载有控制和逻辑电平,与其靠近的第二条带状线上载有低电平信号,当平行布线长度超过 10cm 时,预期产生串音干扰.当一长电缆载有几组串行或并行高速数据和遥控线时,串音干扰也成为主要问题.靠近的电线和电缆之间的串音是由电场通过互容,磁场通过互感引起的.

当考虑在 PCB 带状线、电缆中导体或靠近的电线和电缆的串音问题时,最主要的是确定电场(互容)、磁场(互感)耦合哪个是主要的.确定那种耦合模型主要取决于线路阻抗、频率和其他因素.对线路阻抗,一个粗略的原则是;

① 当源和接收器阻抗乘积小于 300^2 时,耦合的主要是磁场.

② 当源和接收器阻抗乘积大于 1000^2 时,耦合的主要是电场.

③ 当源和接收器阻抗乘积在 300^2 ~ 1000^2 之间时,则磁场或电场都可能成为主要耦合,这时取决于线路间的配置和频率.

然而,上述标准并不适用于所有的情况,例如在地(底)板上 PCB 带状线之间的串音,这时,PCB 上带状线特性阻抗可能较低,而负载和源阻抗可能较高,但串音仍以电场(互容)耦合为主.

一般来说,在高频时电容耦合是主要的,但是如果源或接收器之一或两者采用屏蔽电

缆并在屏蔽层两端接地,则磁场耦合将是主要的.另外;低频一般有较低的电路阻抗,电感耦合是主要的.

串音预测计算程序是计算机辅助 PCB 设计软件中的重要内容,通过串音预测,可以保证 PCB 上数字和模拟信号适当的间距.由 Quantic 实验室编制的程序 GREENFIELF2 TM 和 EESOF 编制的 μWave SPICE 程序可预测串音、延时和振荡.该程序可确定几层 PCB 布置的电压和脉冲上升时间表格.

电磁耦合预测:当导体之间或信号导体与返回导体(可以是地平面)之间的距离较大时,采用电流元和电流环的发射和接收特性进行耦合预测更为精确.例如 PCB 上带状线端接高阻抗并远离地平面时,用电流元模拟电场和磁场的发射特性更为方便.当带状线形成环路时,无论是圆形还是矩形,都可用环的接收和发射特性模拟.当两环在同块 PCB 表面时,则为共面耦合.当一环在一块 PCB 上面,另一环在附近 PCB 上时,则为共轴耦合.

从现有文献看,具有一定精度的耦合模型的建立并非易事,有待进一步研究.

(2) 数字 PCB 的采用使计算机的电磁辐射加重

计算机等电子设备的电路一般都是由数字 PCB 实现的,在很多情况下,数字 PCB 产生的辐射问题要比模拟 PCB 更为严重.

由于数字电路的驱动电流较大,致使辐射的强度也较大;而高速时钟脉冲和数字信号又使得辐射频带加宽,由于时钟电路产生的信号一般都是周期方波,其谐波分量都是以基频为倍频的分立频谱,因而,时钟电路的辐射频谱也都是分立的.而数字化的信息信号一般都是非周期信号,其辐射频谱将是窄带与宽带两种辐射的叠加,频率可从几兆到数百兆赫兹,如此宽的辐射频率范围,不可避免地会引起一系列 EMI 和 TEMPEST 问题.

PCB 电磁辐射分两种基本类型:差模辐射与共模辐射.差模辐射的特点取决于闭合环路中电流的特性;共模辐射由对地的干扰(噪声)电压引起.目前的文献中对共模辐射讨论较少,但实际 PCB 中电路并非都是由单根或回路轨迹组成,而且即使是并行电路轨迹中的电流也并非相等反向,所以在分析辐射问题时,只考虑差模电流的作用远远不够,必须考虑轨迹中所有电流的作用,同时因为差模电流的辐射是相减的,尽管不完全抵消,而共模电流的辐射则是相加的.所以共模电流即使比差模电流小很多,也会产生相当程度的辐射电场.

电磁辐射主要表现在:对周围的电子系统构成窄带与宽带干扰;另一方面造成潜在的信息泄漏问题.

影响 PCB 电磁辐射的因素主要是 PCB 的结构和激励因素:PCB 的结构不同,其辐射效果也不相同,传输带的长度、回路面积、地线走向、整体布局等都会影响到辐射效果.除结构因素外,激励因素如幅值、周期、脉冲宽度、上升与下降时间、频率等,也都是影响辐射效果及频率特征的重要因素.显然,PCB 的布局设计,将直接关系到整机电磁辐射的强弱.在确定的激励状态下,整机系统辐射水平的抑制和降低,必须从 PCB 的辐射分析及布局的优化设计着手.

目前已有不少文献对 PCB 的辐射问题进行讨论,提出 PCB 辐射的简化计算方法和测试手段.然而,由于结构参数与激励参数的差异,PCB 的辐射问题不可能像其他通用电路那样,用一种模型就可以分析解决.比如:电偶极子和磁偶极子的辐射模型只有在电路线度远小于波长和测试点距离的情况下才能适用.另外,对一块 PCB 来说,众多的线路和回路是潜在的辐射源.所以 PCB 的整体辐射效果应是各辐射单元辐射效果的叠加,总体辐射作用的大小主要与频率、辐射源长度或面积、激励强度、方位等因素有关;此外,布线结构的合理设计对降低 PCB 辐射也具有关键的作用.

消除辐射干扰最有效的方法是采用屏蔽,屏蔽噪声源或屏蔽敏感电路.除屏蔽方法外.还可以通过改变电路设计来提高系统的

抗干扰能力.

从 TEMPEST 意义上讲, 凡与串行数据和信息相关的 PCB, 其辐射水平都应设法降低到最低点, 对并行数据的 PCB, 则相应放宽限制, 但应注意避免通过耦合作用为串行信息提供通路.

为了抑制 PCB 电磁辐射, 除了采用相应的技术措施外, CISPR、CENELEC、FCC 和 VDE 等国际组织先后颁布了有关数字电子设备电磁辐射的约束规范. 目前辐射标准覆盖的频率从 30MHz 到 1GHz, 在不久的将来会扩展到 5～40GHz.

(3) 计算机 PCB 的发展新趋势

① 逻辑电路技术与软件技术的巧妙结合, 可以用来作为抑制噪声的有力工具. 软件特点是可靠性高, 且易于修改. 无论噪声从哪个阶段或部位侵入系统, 均可用纠错技术将错误检查出来并加以纠正.

② 采用光纤或光束传输信号和处理信号的技术, 显示了无可比拟的优越性和广泛的应用前景. 目前光纤通信已进入实用阶段, 光变换与传输器件性能日益完善. 光技术能传输高密度信息且不受电磁感应噪声影响, 这两大优点也引起人们的极大关注. 用光电或电光变换的高频率元件做光电接口器件, 必将使 PCB 的制作推向一个崭新的阶段.

10 电磁场的生态效应

在电磁波被发现以来, 早在 18 世纪, 伽凡尼(Galvanic)就研究过电磁波对生物组织的作用. 第二次世界大战以后, 由于无线电技术的发展, 电磁波的广泛应用, 社会公众更关心电磁波辐射对生物, 特别是对人体的影响. 现在这一现象的研究已成为热点. 人类开始大规模使用电能到现在也不过才只有 100 多年历史, 那么人们不禁要问, 人类在地球上已生存了几十万年, 人类的生存和发展过去仅仅是在地球自然磁场伴随下的, 而近百年人类却要生活在数百万千瓦的电能环境中, 对人的生态及人体的健康究竟会有什么影响呢? 电磁波和生物组织的作用, 有很强的频率依赖性. 当前研究最多的是两个频段, 一个是电力工频(50～60Hz), 另一个是无线电波段(射频), 包括微波在内. 近年来, 在这一研究领域内, 获得很大进展. 它形成了一系列的无线电辐射照射的标准. 但是总的来说, 在已得到的数据库中还缺乏系统的长期的测试结果.

10.1 低频场的生态效应

输电线电场对环境的影响

国外医学研究结果表明, 强电线的电磁场对人体组织将产生有害影响. 据德国医学杂志报道, 住在强电线附近的居民, 由于强电场的长时间作用, 血液和神经系统发生变性, 使一些居民受电的污染而死亡. 有一位妇女曾向法院告状: 自从电力总局在她的农场附近架设高压输电线以来, 她的奶牛产奶量开始减少, 因此要求赔偿损失. 后经鉴定, 电线附近的电场确实能影响家畜乳腺的正常功能.

在美国电磁环境问题, 特别是超高压输电线下的电磁环境问题是在 1972 年 50 万伏输电线开始应用时提出来的. 在美国这一电磁环境问题已发展成为居民的切身利害问题, 引起电磁环境问题的因素是输电线电晕放电的杂波(可听噪音、电视、收音机杂波等)、臭氧以及导体内电流及电压所产生的磁场及电场.

通常, 由于输电电压的提高, 更大功率的输电成为可能, 土地也能得到更有效的利用. 在美国, 一回路 76.5 万伏与三十回路 13.8 万伏相当, 但可节约大量土地及建筑费. 进一步的计划是将更多的交流及直流的输电电压提高到 120 万伏以上. 这时输电线下的电场环境问题就进一步恶化. 地下输电线是架空输电线建设成本的 12～16 倍左右, 在实际中广泛应用是有困难的.

日本在 1976 年修改的电气设备技术标准第 112 条第 3 项明确指出, 考虑对人体的影响, 规定在离地面高度为 1m 处的电场强度

需要全本请访问 www.ertongbook.com

应在 3kV/m 以下. 在美国电气安全规范(NESC)等文件中并没有明确规定超高压输电线下电场强度允许值, 但通常取 8～10kV/m.

生物对外界电磁场辐射所引起的反应有不同的过程, 包括主要调节系统和生物化学、生物物理的变化以及水份和离子分布的变化. 其中某些变化与场强及频率有关.

在电磁场热效应下, 处在场中的动物的某些器官内水份、离子和电阻率都会发生变化.

国外曾用白鼠进行低频场影响的实验, 将有屏蔽保护和无屏蔽保护的鼠群分别暴露在 1kHz、200V/m 场强 6 周后; 10kHz、320V/m场强 5 周后; 10kHz、3000V/m 场强或 25kHz、3000V/m 场强 3 周后, 就可注意到外界电磁场对生物生长速度的阻碍作用. 可明显发现 1kHz, 200V/m 低频电磁场对白鼠体重无重要影响. 但是其他频率及强度的低频电磁场可使白鼠体重明显减少, 最为严重的是 25kHz、3000V/m 的电磁场. 10kHz 和 25kHz 的低频电磁场还或多或少地影响到其他器官组织.

10.2 射频场的生物效应

(1) 物理的相互作用

高频辐射和生物组织的相互作用, 是多种参数的复杂函数. 在人体组织中的电磁和这些组织的电参数有关. 生物组织的磁导率和自由空间的相同, 可以忽略其影响. 组织的介电参数和组织类型(肌肉、脂肪、骨骼等)、温度、频率等有关. 介电常数分为实部和虚部. 组织的导电率是介电常数虚部和频率的函数. 介电常数和频率还确定电磁波深入生物体组织的深度. 随着频率的不同, 深入的距离变化很大. 在 100GHz 以上, 深入的深度不到毫米量级. 对于含水率高的组织, 在几吉赫时可达几厘米. 在低含水率的组织, 在 10MHz 时可超过 1m. 对于复杂的生物体, 如人体、动物等内部的电场的估算是非常复杂的. 主要是由于这些物体的形状非常的不规则, 内部的电常数也是非均匀的. 尽管这样, 我们还是要通过理论计算和试验方法, 来确定在外部电磁场的照射下, 人体与动物组织中所感应的电磁场. 就是这些电磁场和人体与动物组织相互作用, 才产生种种效应.

组织中内场的大小和照射场的参数、频率、强度、极化等有关. 它还与被照射物体的形状、大小、电参数有关, 它还和照射源与被照射物体的相对位置、附近的物体存在等有关. 由于内场和这么多参数有关, 所以在同样的外电磁场照射下, 一个人和一个老鼠所感应的内电磁场, 所引起的生物效应是完全不同的.

在剂量学中, 广泛采用所谓比吸收率 SAR(Specific Absorption Rate)来度量电磁辐射在生物单位组织中所感应的电场. 它等于在生物组织单位质量中所沉淀(Deposition)的能量率. 它的单位可表示为每公斤组织瓦(W/kg). 通过比吸收率可比较在不同动物中所测得的结果, 以及将动物测得的结果外推到人体中来. 比吸收率能够考虑热效应和非热效应. 体温升高率也和比吸收率成正比.

近年来, 在剂量学的研究, 无论在理论计算方面还是在试验方面, 都获得了很大的进展. 应用计算电磁学的许多方法, 例如 FDTD 法, 将人体分割成许多小单元, 每个单元根据不同的部位, 指定适当的电特性参数, 可计算出感应在各个部位的电磁场, 从而估量出电磁场的影响. 在试验方面, 多数是用动物来进行的, 可通过比吸收率比较, 外推到人的情况中来. 国际上已发表了大量的结果, 有的出版了手册. 在暴露的远辐射下, 人体全身的比吸收率是频率和极化的函数. 例如: 一个身高 1.75m, 体重 70kg 的人, 暴露在 1 毫瓦每平方厘米(mW/cm^2)的电场下, 当电场和人的轴线平行时, 最大吸收在 70～80MHz 之间, 这个频率称为谐振频率. 在这个频率所吸收的功率, 要比电场强度乘以人体总面积所得出的功率大好几倍. 平均比吸收率也和大小、形状有关. 老鼠、猴子和人, 暴露在同样的电

场下, 人的最大吸收发生在 70MHz 左右, 猴子则在 300MHz 左右, 老鼠则在 2450MHz 左右. 比吸收率的空间分布是不均匀的. 例如: 对于人体在 5GHz 时能量主要分布在人体的表面. 在 30～300MHz 时, 吸收主要是在头部和躯干 .

(2) 生物效应

电磁波对生物组织的效应, 可分为热效应和非热效应. 热效应的机制比较明确, 当组织中感应的电磁场达到一定的数值后, 体温就会升高. 已经定出了许多关于电磁波照射的安全值的标准. 认为在这个规定的阀值以下就是安全的. 问题是电磁波的非热效应和机制还不很清楚. 特别是在电磁波长期照射下, 虽然它的值是在安全阀值以下, 会对分子水平和细胞水平产生什么影响, 是否会引起 DNA 变化? 到目前为止, 还不很清楚. 文献上发表了很多关于这方面的测试结果, 但还缺乏系统的、长期的测试资料. 有些测试资料甚至是相互矛盾的.

例如, 有的报道说: 在老鼠身上, 辐射高达 0. 5W/kg 时, 免疫系统会发生变化; 当达到 1W/kg 时, 其血液成分会发生变化; 当达到 2W/kg 时, 中枢神经会发生变化; 当达到 2～3W/kg 时, 会引起癌变. 有的报道说: 移动电话所发射的微波辐射, 可导致老鼠暂时失去某些能力.

总之, 电磁辐射对动物和人体的影响是一个重要的研究课题, 尽管已经取得了很大的进展, 但没有搞清楚的问题还很多, 仍需开展更多的研究, 特别是系统的、长期的、合乎科学规范的测试研究.

10. 3 电磁污染的防护措施

为了防止工频强电场的影响, 如场强超过允许值, 维护人员应采取防护措施, 例如戴屏蔽帽、穿屏蔽衣等. 至于居住在强电线附近的居民则应视污染程度采取相应措施, 其实用房屋本身的结构来屏蔽居住者就很有实际意义. 在英国, 一些房屋就位于输电线旁, 一系列的数据表明, 在室内的电场强度低于在无房层时的1/ 10至 1/ 20. 这些房屋都是用砖盖成的, 用瓦和沥青屋顶, 室内都有金属的煤气管和水管及室内布线. 因此这种屏蔽系数不一定适用于木质结构的房屋. 为了提高房屋的屏蔽效果, 必要时房屋可采用专门的屏蔽顶架, 以减少室内场强. 此外, 为了减少强电线引起的工频场电磁污染, 还可将导线的高度适当增加, 也可加设屏蔽线等.

高频场则可按下列步骤采取有效的措施进行防护: ① 对人们工作地区单位面积的高频辐射能量进行测试计算; ② 在适当地方设置告警信号以提醒人们注意; ③ 在危险区周围安置围墙; ④ 在维修设备时或需在危险区内工作时先关闭高频源; ⑤ 如高频源不能关闭的, 则可穿屏蔽衣或将高频源的输出降至安全水平; 为了轻便, 有时可着屏蔽裙及屏蔽头盔, 以保护躯体主要部分的安全, 至于眼部, 则可戴防护眼镜; ⑥ 在有可能的地方, 如在侧瓣或后瓣处, 采用屏蔽措施, 以减少辐射; ⑦ 有可能时就进行相关的试验; ⑧ 对在高频场作用下的工作人员进行医疗保健, 定期检查观测并作出记录. 我国航天医学工程研究所等单位研制成功微波辐射防护服, 此服由绝缘外套、防护层和衬里三层组成. 穿着柔软舒适, 可有效地防止微波辐射对人体的危害.

10. 4 国际上关于电磁场生态效应的科研新动态

随着环境保护意识的增强, 人们对暴露在电磁场中可能危害健康的问题极为关心. 世界各国有关科技人员对此进行了必要的研究. 研究的中心问题是: 电磁场对包括人类在内的各种生物的组织作用后产生的生物效应. 在大量文献资料分析基础上, 人们对频率范围 10MHz～10GHz 电磁场的生物效应有以下几点看法:

(1) 当人体暴露在辐射电磁场中, 外界入射场以不同的程度影响人体组织, 感应产生电流并产生能量吸收现象.

(2) 能量耦合的程度主要决定于暴露在

场中的人体形状、大小及场的参量.

(3) 一般来说, 在暴露过程中能量吸收率超过能量耗散率, 以致体温上升. 大多数电磁场生态效应就是这种热刺激的间接结果, 因此被看作热效应.

(4) 在内部场的场强与生物效应的烈度间存在着密切的关系. 内部场的强度, 常用该场向物体单位重量发出的能量来衡量, 此能量率即通常所谓的“比吸收率(SAR)”, 并以每公斤的瓦数来表示.

(5) 有一个 SAR 整体临界值, 超过此值就增大了健康危害效应的可能性.

(6) 对在局部加热比较集中的暴露部位而言, SAR 整体临界值的概念并不足以防护有害的生物效应. 当人体局部暴露于手持发信机的非均匀电磁场中, 在人体内形成复杂的场分布. 头部组织的分层结构及形状使场更偏向不均匀分布. 从比吸收率来说, 场模型需更着重考虑该组织的特性差异.

(7) 局部过分加热将产生有害的生物效应. 应尽量避免头部的暴露, 因为对温升特别敏感的眼睛水晶体及头脑的某些部位不宜受到局部加热.

(8) 为防止局部加热, 对小重量人体组织的平均比吸收率必须满足规定要求.

国际上已就局部加热及整体临界比吸收率规定了暴露标准. 目的是防止热效应对人及其他生物的伤害.

最近, 国外文献报道, 生活在 0.2 微特斯拉(μT)以上的低频磁场环境中, 将对人体产生有害影响. 从早晨开始, 电子闹钟、电动剃须刀、吹风机、电咖啡壶、搅拌机、微波炉、吸尘器、电熨斗、烘干机、洗衣机、洗碗机、电冰箱、电视机、收音机、计算机以及其他许多家用电器都会运转开来. 走出家门, 我们又会碰到电力线以及其他各种电机设备, 这些设备距离人体过近, 就将超过上述标准, 如在 400kV 高压线的正下方, 磁感应强度可达 13μT, 距它 30m 处时可达 8μT, 而在距它 200m 时, 则下降为 0.1μT. 另外人们受磁场作用时间越长, 影响越大. 如每天使用剃须刀的时间超过 150s, 就会给身体造成危害.

目前, 对“电磁污染”及“电磁饥饿”的研究正在形成一门新的交叉学科——电磁生态学. 预计今后它会迅速发展并涉及更广泛的内容.

建议

如上所述电磁兼容已成为国内外瞩目的迅速发展学科, 预计 21 世纪它还将获得更加迅猛的发展. 国外学者对我国的电磁兼容研究工作也很关心, 曾预告, 如果现在各国对电磁兼容学科还不给予足够的重视, 那么 10 年以后将会大大地后悔, 在这方面我们确实应该加速步伐急起直追. 正由于 EMC 学科范围很宽, 我们在很多方面, 都还只是处于起步阶段. 如电磁场对生态的影响, 在 70 年代 URSI 就作为专门议题进行学术讨论交流, 今年在苏黎世等学术会议上又作为大会主要议题, 进行深入讨论交流, 非常重视. 而我们在这方面做的工作相对较少, 特别是对工频场的生态效应研究工作开展得更加缓慢, 目前尚未制定出完善可行的工频磁场防护标准.

为此建议:

(1) EMC 研究与工程应用紧密结合, 只有这样, 才能真正推动 EMC 研究工作的进展.

(2) 理论研究要与测试手段、测试方法并重. EMC 研究, 特别是工程应用总离不开测试, 而国内目前尚不能生产配套的测试设备, 特呼吁有关部门重视这一问题, 给予足够的支持.

(3) 提高产品的电磁兼容性, 首先要进行 EMC 设计, 从对已有产品的测试入手, 对新产品进行 EMC 测试, 如整机元器件的选择、工艺结构设计(接地、搭接、屏蔽、布线等)、原材料的选取等都要考虑电磁兼容性, 通过建立数学模型对产品进行 EMC 预测, 把 EMC 设计到各项产品中去, 以提高产品的电磁兼容性.

(4) 加强 EMC 设备引进的计划性和宏观管理

近年来不少单位引进国外设备, 加速了

EMC 事业的发展, 但今后要防止重复引进, 造成利用率不高, 浪费外汇, 要加强宏观管理, 充分发挥进口设备的作用.

(5) 加强 EMC 教育

近几年科技行业对 EMC 重要性的认识正逐步提高, 不少大学已招收电磁兼容研究方向的研究生, 电子科技大学已增设 EMC 专门化, 为 EMC 这门新兴学科培养专门人材, 只是限于财力, 每年招生人数有限, 今后除了正规教育外, 为了满足全国广泛的需要, 还应通过多种渠道培养 EMC 人材. 如开办各种形式的短期培训班. 如就总的情况来看, 国内对 EMC 重视程度仍然不够, 特别是各级领导, 要继续提高对 EMC 的认识. 在目前产品达标、创优、企业升级等工作中, 应把对产品的电磁兼容性要求提到议事日程上来.

(6) 进一步扩大国际交流

近几年我国多次邀请国外学者来访, 进行参观、讲学、展览、开办短训班, 收到较好效果. 国内学者也纷纷参加国际上的学术活动, 现已与 CISPR、IEEE、URSI、波兰伏罗兹拉、瑞士苏黎世、日本等国际 EMC 学术会议建立了交流联系, 了解到国际学术动态. 吸取了不少国外先进经验, 今后需进一步扩大这种交流, 另一方面, 这样也可扩大我国的影响, 提高我国的学术地位.

作者简历:

高攸纲 北京邮电大学教授, 博士生导师, 联合国国际信息科学院院士, 现任 IEEE 北京分部电磁兼容委员会主席, URSI 电磁噪声与干扰委员会中国分会主席, 中国电子学会电磁兼容分会主任委员及中国通信学会电磁兼容委员会主任委员等职.

(完)

工科物理教学改革的回顾和展望

陈泽民
(清华大学物理系, 北京 100084)
(收稿日期: 2000-08-11)

REVIEW AND PROSPECT ON TEACHING REFORM OF ENGINEERING PHYSICS

Chen Zemin
(Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084)

工科物理教学的改革已开展了将近十年, 现在即将迈入新的世纪, 有必要对这些年教改的情况作一回顾以总结经验展望未来.

1 工科院校物理教学的基本情况

全国有工科院校 200 余所, 物理教师近 3000 人. 课程设有: 大学物理: 120～140 学时; 物理实验: 40～80 学时, 有的学校还有后续选修课程.

80 年代末工科物理教学存在的主要问题: 内容陈旧, 体系僵化, 方法欠佳, 手段落后.

· 内容陈旧

以经典物理为主, 近代物理的基础十分薄弱.

基本上没有 20 世纪 30 年代以后物理学的新进展、新成果.

物理学与高新技术的联系很少反映. 有人形象地比喻说, 如果 19 世纪的物理学家看不懂 Phys. Rev. 等学术刊物, 但基本上能看懂我们的‘大学物理’教材.

· 体系僵化

* 过分强调系统性, 完整性, 形成一个自我封闭的体系. 不利于学科之间的交叉和相互渗透, 也不利于物理学各部分之间的相互渗透, 和科学发展的总趋势不适应.

* 过分强调按部就班、逻辑推理, 形成一个严格而僵化的教学框架. 容易束缚学生的思想, 不利于培养富于创造性的人才.

· 方法欠佳

很多教师的教学方法是一种单向灌输式的知识传授型:

平铺直叙 照本宣科
细嚼慢咽 面面俱到

教学的着眼点是: 传授知识
主观愿望是: 把学生教会

· 手段落后

黑板+ 粉笔+ 投影仪+ 少量演示实验, 实验设备陈旧技术落后.

不适应培养面向 21 世纪、能参与国际上高新技术竞争的人才的要求.

这样的人才:
要有很高的综合素质(包括科学素质)
要有很强的创新精神和创造能力,
不仅能掌握新技术、应用新技术,
还要能发展新技术、创造新技术.

2 改革工科物理教学首先要转变教育思想和教育观念

2.1 把物理教育从以知识教育为主转变为把科学素质的教育放到第一位

物理教育在培养学生的科学素质方面有

独特的作用:

(1) 培养学生现代的、科学的自然观、宇宙观和辩证唯物主义的世界观.

(2) 培养学生的探索精神、创新精神.

(3) 培养学生掌握物理学的科学方法:

分析综合、演绎归纳、科学抽象、类比联想、猜测试探、理想化方法、模型化方法、半定量方法、统计方法……

(4) 培养学生的科学思维能力, 发展学生的智力.

2.2 从强调按部就班、严格推理转变为突出创新精神的培养

敢于和善于创新是 21 世纪高科技人才的主要特色. 强调三个方面:

· 要有创新意识: 不墨守成规人云亦云, 总想探索新途径, 提出新观点, 尝试新方法.

· 要有创新的勇气: 不怕名人权威, 在新的事实面前敢于怀疑旧理论, 提出新见解.

· 敢于想象善于想象: 爱因斯坦说:“想象力比知识更重要, 因为知识是有限的. 而想象力概括着世界上的一切, 推动着进步, 并且是知识进化的源泉”

2.3 从强调依靠老师“教会”, 转变为注意引导学生“学会”, 并使学生“会学”

学生是学习的主体, 教师的主导作用应是: 激发学生的学习兴趣和热情, 教给学生正确的学习方法, 引导学生最有效地进行学习(包括进行必要的讲授).

2.4 重视学习中的非智力因素

目的、兴趣、性格…

要在注意物理教学的理论性、严谨性、科学性的同时, 努力加强物理教学的趣味性和吸引力.

3 明确改革目标, 组织实施

3.1 改革的总要求

为学生迎接 21 世纪高新技术的挑战打好一定的物理基础, 并着重培养学生的科学素质.

把工科物理课程建设成为: 既是学生学习现代科技知识的基础课又是培养学生科学素质的基础课.

内容、体系、方法的改革都要体现: 加强基础、培养能力、提高素质、激励创新.

教学内容的改革

重点是教学内容的现代化

· 加强近代物理的基础

· 经典物理的现代化

以现代观点为指导重组教学的内容; 和物理学的新发现新进展联系起来; 和现代的高新技术联系起来.

· 物理前沿的普物化

要使 20 世纪的物理学进入教学的主渠道

课程体系的改革

多种模式, 共同要求:

· 既注意严格的演绎推理, 又进行归纳综合.

· 既注意按部就班, 循序渐进, 又适当地前后穿插, 互相渗透,

· 既注意讲授必要的传统内容, 又注意加强近代物理基础, 能反映物理学的新成果、新方法, 并使它们融为一体,

· 具有先进性, 科学性, 教学适用性, 并能体现工科特色.

教学方法的改革

着眼点是在加强学生对基本概念、原理、实验技能掌握的基础上着重培养学生的创新精神和自主学习的能力

教师讲课的方法应遵循的原则:

* 讲重点、讲难点、讲思路、讲方法, 大量的一般内容留给学生自己学.

* 提出问题-分析问题-再提出问题. 要让学生带着问题来上课, 上完课带着更多(更深层次)的问题走. 讲完课最后不应是句号而是问号.

* 组织和鼓励学生进行多种形式的讨论: 讨论使学习深入, 讨论激发创新思维.

需要全本请访问 www.ertongbook.com