

物理实验导论

朱世坤 辛旭平 聂宜珍 冯笙琴 编著



科学出版社

www.sciencep.com

设计创新型物理实验导论

朱世坤 辛旭平 聂宜珍 冯笙琴 编著

科学出版社

北 京

版权所有，侵权必究

举报电话：010-64030229；010-64034315；13501151303

内 容 简 介

本书主要包括创新思维方法和创新技法概述；设计创新型物理实验与创新人才的培养；不确定度理论和数据处理方法在设计创新型物理实验中的应用；力学、热学、电磁学、光学、近代物理及综合应用设计创新型实验典型例题分析、专题实验研究；一种新的物理实验数据分析软件 PAW(Physics Analysis Workstation)的介绍。

本书可作为普通高等学校物理学专业和其他理工科专业本科生开设设计创新型物理实验课程的教材，也可作为高等学校从事物理实验教学的教师和实验技术人员的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

设计创新型物理实验导论/朱世坤等编著. —北京：科学出版社，2010
ISBN 978-7-03-026264-6

I. 设… II. 朱… III. 物理学—实验—教学研究—高等学校
IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 235000 号

责任编辑：吉正霞 / 责任校对：李磊东
责任印制：彭 超 / 封面设计：苏 波

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

武汉市科利德印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 1 月第 一 版 开本：B5(720×1000)

2010 年 1 月第一次印刷 印张：20

印数：1—1 500 字数：388 000

定价：49.80 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前 言

在物理实验教学中,设计创新型实验是培养学生创新意识和创新能力的有效模式。设计创新型物理实验是学生经过常规和综合物理实验训练之后,为进一步培养和锻炼学生的科学素质而开设的一种具有创造性的实验。它不仅要求学生综合运用多门学科的知识、原理、方法、技能和多种实验仪器来设计实验方案,而且要求学生能充分运用所掌握的知识去发现问题、分析问题和解决问题。

设计创新型实验的选题具有一定的探索性,实验内容较为先进,难度适中,适合学生作为课题研究。许多高校都在积极探索,并且取得了可喜的成绩。但是,目前还没有教学大纲,很少有系统的教材。

在设计创新型实验研究方面,一方面积极探索和实践,另一方面进行了广泛调研,充分吸取了许多兄弟院校的经验。与同类设计创新物理实验专著相比,《设计创新型物理实验导论》具有 5 个方面特征。

1. 用创新思维法指导设计创新型物理实验

设计创新型物理实验,离不开创新思维方法的指导。创新思维方法是人们在长期的社会实践和科学研究中探索总结出来的,它对所有的创新实践活动具有普遍的指导意义。传统的物理实验教学计划 and 教材没有涉及创新思维方法的学习,是因为只注重学生的知识传授,对学生没有设计和创新的要求。设计创新型物理实验是以学生为主体的具有创造性的教学实践活动,学生要根据实验要求,设计出科学合理的实验方案,并对实验中各种实验现象给予合理解释。没有创新理论作指导是根本不行的,为了弥补这方面的不足,本书在前面两章对逻辑推理创新思维法和非逻辑创新思维法作了简要而系统的概述。

2. 将有关创新技法应用于设计创新型物理实验

创新技法是指创造学家收集大量成功的创造和创新的实例后,研究其获得成功的思路 and 过程,经过归纳、分析、总结,找出规律和方法以供人们学习、借鉴和仿效。也就是根据创新思维的发展规律而总结出来的一些原理、技巧和方法。创造技法给出了在一定条件下,创新活动可遵循的基本法则,这些法则具有一定的普遍意义。设计创新型物理实验无论是选择课题、方案设计、实际操作还是问题分析研究,我们只要主动借鉴组合法、置换法、类比法、列举法等创新技法,就可以启迪思路,明确研究的主攻方向和要解决的主要问题。书中重点介绍了几种对设计创新型物理实验具有重要启发意义的创新技法。但是,创造技法由于具有一定的针对性和局限性,对于综合性较强、难度较大的创新课题,还要充分发挥创新人员的主

观能动性,综合运用创新思维方法探索适用于所研究问题的特有方法,从而达到创新的目的。

3. 加强了不确定度理论在设计创新型物理实验中的应用

在创新思维方法指导下,应用创新技法拟定若干种设计方案以后,在实施方案选定时除了要考虑经济性和可行性之外,还要考虑尽可能使测量不确定度减小。书中论述了用不确定度理论分析选择实验方案、测量方法、测量仪器、测量条件的有关问题,分析影响测量结果的主要因素,并分别举例进行了说明,以帮助学生理解,使其达到触类旁通、举一反三的效果。

4. 丰富了设计创新型物理实验数据处理方法

本书除了对常用的列表法、图示法、图解法、逐差法、平均值法、最小二乘法实验数据处理方法进行了介绍以外,还对用 Excel 软件、Origin 软件、Matlab 语言处理实验数据的方法进行了介绍,并举例进行了说明。特别是专门用了一章的篇幅介绍了一种新的物理实验数据分析处理软件 PAW (physics analysis workstation)。PAW 是物理分析工作站的英文简写,它是由欧洲核子物理研究中心的工作人员研制和开发的数据分析软件。工作平台是依赖欧洲核子物理研究中心程序库(CERN program library)。它最早主要用于高能物理实验数据分析,但随着 PAW 应用的深入,现在它已被广泛用来协助理论和实验工作者做数据模拟和分析计算,也可作为用图形展现的软件工具。它通过提供一些直方图(histograms)、事件库(ntuple)以及矢量等为物理工作者提供直观的图形表示和分析结果。学生通过这些数据处理方法的学习,可以拓宽数据处理视野和实际创新能力。

5. 突出了典型实验分析和专题研究相结合的编写特色

对力学、热学、电学设计创新型实验以典型实验分析为主,分析实验方案、误差和产生的原因、常见的问题以及解决问题的方法,使学生从常规实验过渡到设计创新型实验。光学、近代物理及综合部分设计创新型实验以专题研究为主,光学部分选择了透明物质折射率测量这一专题,列举了用多种光学仪器来进行测量的方法;近代物理部分选择了电子比荷测量这一专题,对各种测量方法进行了介绍和比较;综合部分选择了非电学量电测和微小长度及其改变量的测量两个专题,引导学生利用发散性思维方式,将力、热、电、光等多种知识和测量技术结合起来解决实际问题。

本书第1章至第6章由朱世坤编写,第7章和第8章由辛旭平编写,第9章和第10章由聂宜珍编写,第11章由冯笙琴编写,全书由朱世坤策划和统稿。

在本书编写过程中,三峡大学物理实验示范中心全体老师和实验技术人员给予了关心和帮助,得到了三峡大学和理学院有关领导胡翔勇、马克雄、杨斌、王忠龙、于林、罗从文、龚海燕等同志的大力支持,在此一并感谢!另外,编写过程中参

阅了大量的有关创新和物理实验方面的文献资料,吸取了众多研究者的经验,所录参考文献中如有疏漏敬请谅解。作者对被引用文献的从事创新理论研究和物理实验教学研究的专家和学者致以诚挚的感谢!

本书的出版得到了三峡大学教材出版基金的资助,同时也得到了 2009 年三峡大学教学研究重点项目:“地方综合性大学数理科学基础课程群精品课程建设的研究与实践”(项目编号: J2009014)的资助,2008 三峡大学教育科学研究项目:“综合性、设计性、创新性实验与大学生创新能力培养的研究”(编号: 07016)的资助,谨此致谢!

由于作者水平有限,恳请各位同行和读者对书中的错误和不当之处提出批评和斧正。

朱世坤

2009 年 10 月

目 录

前言

第 1 章 演绎创新思维法	1
1.1 逆向思维法	1
1.1.1 功能倒逆	3
1.1.2 结构倒逆	4
1.1.3 因果关系倒逆	4
1.1.4 缺点逆用	5
1.2 置换思维法	5
1.3 移植思维法	6
1.3.1 方法移植	6
1.3.2 原理移植	7
1.3.3 材料移植	7
1.3.4 结构移植	8
1.3.5 功能移植	8
1.4 分析思维法	9
1.5 综合思维法	10
1.6 类比创新法	11
1.6.1 类比思维法	11
1.6.2 模拟思维法	12
1.7 联想创新法	13
1.7.1 相似联想	14
1.7.2 接近联想	15
1.7.3 对比联想	16
1.7.4 因果联想	16
1.7.5 强制联想	17
1.7.6 培养、提高联想能力的方法	18
第 2 章 非逻辑创新思维法	21
2.1 想象	21
2.1.1 发散思维法	23
2.1.2 迂回思维法	26

2.1.3 智力激励法	29
2.1.4 信息交合法	31
2.2 直觉思维	34
2.2.1 主要特点	34
2.2.2 功能作用	35
2.2.3 直觉的训练	36
2.3 灵感	38
2.3.1 灵感的定义及其基本特征	38
2.3.2 如何引发灵感	40
2.3.3 引发灵感时常用的基本方法	41
第3章 创造技法简介	43
3.1 创造技法的概念	43
3.2 创造技法的原理	43
3.3 创造技法的特点	44
3.4 创造的基本法则	44
3.4.1 综合法则	45
3.4.2 移植法则	45
3.4.3 置换法则	46
3.4.4 对应法则	47
3.4.5 换向法则	47
3.4.6 变化法则	48
3.4.7 群体法则	48
3.5 常用创造技法介绍	48
3.5.1 组合法	48
3.5.2 置换法	49
3.5.3 移植法	51
3.5.4 类比法	52
3.5.5 检核表法	57
3.5.6 列举法	59
3.5.7 新技术应用法	61
3.5.8 自然现象探求法	62
第4章 设计创新型实验与创新人才的培养	63
4.1 正确理解创新型人才的内涵	63
4.2 破除枷锁,大胆创新	64
4.3 创新人才应该培养的几种素养	68

4.4	实验教学中要突出创新人才的培养	73
4.5	科学素质与设计创新型物理实验的关系	77
第5章	测量不确定度与设计创新型实验	79
5.1	测量	79
5.1.1	直接测量、间接测量与组合测量	79
5.1.2	等精度测量与非等精度测量	80
5.2	误差及其分类	80
5.3	测量的精密度、准确度、精确度	82
5.4	测量结果的最佳值与随机误差的估算	83
5.4.1	随机误差的统计规律	83
5.4.2	算术平均值	83
5.4.3	随机误差的表示法	84
5.4.4	随机误差的估算	85
5.5	判别和剔除具有粗大误差(坏值)的数据	87
5.6	非等精度测量	89
5.6.1	“权”的概念和加权平均值	89
5.6.2	“权”和精度参数的关系	90
5.6.3	加权平均值 $\bar{x}_p$ 的精度参数 $\sigma_{\bar{x}_p}$	92
5.7	仪器误差	93
5.7.1	仪器的示值误差限	93
5.7.2	仪器的标准误差	94
5.7.3	仪器的灵敏阈	95
5.8	测量结果的不确定度评定	95
5.8.1	测量不确定度的基本概念	96
5.8.2	不确定度的分量	96
5.8.3	不确定度的合成	97
5.8.4	直接测量量的标准不确定度 $U_C(x)$	97
5.8.5	间接测量量的不确定度评定	101
5.9	不确定度理论在设计创新型实验中的应用	107
5.9.1	分析确定最有利的测量条件	107
5.9.2	分析和选择实验方案与测量方法	111
5.9.3	用不确定度理论指导测量仪器的选择	114
5.9.4	用不确定度理论评价实验结果	117
第6章	设计创新型物理实验中常用的数据处理方法	119
6.1	列表法	119

6.2	图示法	120
6.3	图解法	123
6.4	平均值法	126
6.5	用最小二乘法求经验公式	127
6.5.1	一元线性回归(又称直线拟合)	128
6.5.2	二元线性回归	137
6.5.3	可化为线性回归的非线性回归	143
6.6	求周期性经验公式	144
6.6.1	谐波分析法的基本原理	144
6.6.2	6点坐标法	145
6.6.3	用计算机求解周期性经验公式简介	147
6.7	逐差法	148
6.8	用计算机软件处理实验数据简介	150
6.8.1	用 Excel 软件处理实验数据	150
6.8.2	用 Origin 软件处理实验数据简介	154
6.8.3	用 Matlab 语言处理实验数据简介	157
6.9	实验结果的正确表达方式	158
第7章	力学、热学设计创新型实验	159
7.1	单摆实验研究与讨论	159
7.2	气轨上碰撞实验研究与讨论	164
7.3	物体密度的测量研究与讨论	171
7.4	牛顿第二定律实验研究与讨论	176
7.5	金属比热容测定实验研究与讨论	179
7.6	部分力学、热学设计创新型实验项目	183
7.6.1	用光杠杆法测定物质的微小形变量	183
7.6.2	用作图法测定刚体的转动惯量	183
7.6.3	用作图法测定不良导体导热过程中稳定点	183
7.6.4	用弦音仪测定弦上传播的横波的波速	183
7.6.5	超声波频率的测量	184
7.6.6	自选实验项目	184
第8章	电磁学设计创新型实验	185
8.1	伏安法测电阻实验的讨论	185
8.1.1	伏安法测线性电阻的讨论	185
8.1.2	二极管伏安特性测绘实验的讨论	190
8.2	软磁材料磁滞回线的测绘与讨论	193

8.3	霍尔效应及应用实验的讨论	198
8.4	惠斯通电桥测定电阻实验的讨论	203
8.5	用双电桥测低电阻实验的讨论	207
8.6	部分电学、磁学设计创新型实验项目	213
8.6.1	组装欧姆表	213
8.6.2	用电位差计校准电流表	214
8.6.3	用补偿法测量电流	214
8.6.4	用示波器测量电容	214
8.6.5	用霍尔效应测量通电线圈的匝数	214
8.6.6	自选实验项目	214
第9章	光学与近代物理设计创新型实验	216
9.1	测量透明物质折射率的设计创新型实验研究	216
9.1.1	等厚干涉法测量溶液浓度和折射率	216
9.1.2	用掠入射法测量介质折射率	218
9.1.3	利用分光计测定液体折射率	220
9.1.4	利用迈克耳孙干涉仪测量液体折射率	222
9.1.5	利用迈克耳孙干涉仪测量薄膜厚度和折射率	224
9.1.6	利用全息光栅测量薄透镜的焦距和折射率	225
9.2	测量电子比荷的设计创新型实验研究	228
9.2.1	磁聚焦法测量电子的比荷	228
9.2.2	磁控管法测量电子的比荷	232
9.2.3	塞曼效应测量电子的比荷	236
9.3	部分光学、近代物理设计创新型实验项目	240
9.3.1	多种方法测量透明液体的折射率	240
9.3.2	多种方法测量半圆形透明玻璃砖的折射率	241
9.3.3	光栅特性的研究	242
9.3.4	用自准直法测凹透镜焦距	243
9.3.5	利用干涉法测定介质折射率	243
9.3.6	利用分光计做双棱镜干涉实验	244
9.3.7	衍射现象的研究	245
9.3.8	偏振现象研究	245
9.3.9	双棱镜干涉现象的研究	246
9.3.10	利用等边三棱镜测量液体折射率	247
9.3.11	利用全息实验台制作全息光栅	248
9.3.12	利用迈克耳孙干涉仪制作全息光栅	248

第 10 章 综合设计创新型实验	250
10.1 非电学量电测的设计创新型实验研究	250
10.1.1 非电量电测技术	250
10.1.2 用金属热电阻测温度	252
10.1.3 用光纤传感器测量振幅和转速	253
10.1.4 霍尔法测磁场的改进	254
10.1.5 利用电涡流传感器测量位移	255
10.2 测量微小长度及其改变量的设计创新型实验研究	256
10.2.1 用光杠杆法测量微小长度改变量	256
10.2.2 用迈克耳孙干涉仪测量微小长度改变量	258
10.2.3 用光纤位移法测量微小长度	260
10.2.4 用莫尔条纹测微小长度改变量	262
10.2.5 用快门测定狭缝微小宽度	264
10.2.6 各种测量方法的优缺点分析	266
10.3 部分综合设计创新型实验项目	268
10.3.1 泰曼-格林干涉仪观察火焰场温度分布	268
10.3.2 细丝直径的测量	268
10.3.3 非补偿法测电源的电动势与内阻	268
10.3.4 可溶性物质体积的测量	269
10.3.5 光纤位移传感器的测速应用	269
10.3.6 利用迈克耳孙干涉仪测压电陶瓷的伸缩系数	270
10.3.7 用多种方法测量物质表面粗糙度	271
10.3.8 自由选题项目	272
第 11 章 一种新的物理实验数据分析方法介绍	273
11.1 PAW 数据分析和数据表示的流程图	273
11.2 PAW 程序的实例和说明	276
11.3 用 PAW 分析 E941 高能实验数据	299
参考文献	307

第 1 章 演绎创新思维法

培养学生的科学素质,离不开创新思维方法的锻炼。创新思维方法是人们在长期的社会实践和科学研究中探索总结出来的。按照逻辑推导过程形成的思维法称为逻辑创新思维法。人们把直觉、灵感、想象称为非逻辑思维法,它往往比逻辑方法具有更大的创造性,这三者常常是紧密联系和相互作用的,或是想象诱发了直觉或灵感,或是直觉和灵感唤起了活跃的形象。创新思维是逻辑与非逻辑思维的统一。设计创新型物理实验是以学生为主体的具有创造性的教学活动,学生要根据实验要求,设计出科学合理的实验方案,并对实验中各种实验现象给予合理地解释,学生的逻辑推理能力和想象能力都会得到锻炼和提高。所以,设计创新型物理实验需要创新思维方法作指导,同时,学生在设计创新型物理实验过程中又锻炼了自身应用创新思维方法的能力,两者相辅相成,相互促进。

演绎法是从普遍性结论或一般性事理推导出个别性结论的逻辑思维和推理方法。也就是从已知的一般原理、定理、规律或科学概念出发,推论出某一事物或现象具有某种属性或规律的新结论的一种逻辑思维方法和科学研究方法。演绎创新思维法主要有逆向思维法、置换思维法、移植思维法和分析思维法等。这些思维方法在设计创新型物理实验中具有重要的指导作用。

1.1 逆向思维法

逆向思维是一种重要思维方式,也叫求异思维。它是对司空见惯的已成定论的事物或观点反过来思考的一种思维方式。敢于“反其道而思之”,让思维向对立面的方向发展,从问题的反面深入地进行探索,树立新思想,创立新形象。当大家都朝着一个固定的思维方向思考问题时,而你却独自朝相反的方向思索,这样的思维方式就叫逆向思维。人们习惯于沿着事物发展的正方向去思考问题并寻求解决办法,即进行“正向思维”。“正向思维”在解决大多数问题时都会发挥有效作用,是一种有效的思维方法。但是,如果在任何情况下都沿袭这种思维方法,形成思维定式,研究工作就会受到阻碍,难以有新的突破。对于某些问题,尤其是一些特殊问题,从结论往回推,倒过来思考,从求解回到已知条件,反过去想或许会使问题简单化,甚至因此而有所发现,创造出意想不到的奇迹来,这就是逆向思维和它的魅力。在科学发展史上,正反方面的事例不胜枚举,例如,著名物理学家普朗克早在 1900 年就提出了能量子的假说,提出了能量不连续的新概念,依据这一想法,本可在经

典物理学上有所突破,但是由于受到经典物理理论体系的束缚,最终未能跨出关键的一步。1905 年爱因斯坦大胆地沿着与传统观念相反的思路寻求解决问题的方法,提出了光量子假说,成功地解释了光电效应现象。可见打破传统经验的束缚,克服思维定式是取得创新成果的重要前提。逆向思维是一种行之有效的创新思维法。

在设计创新型物理实验中,利用逆向思维的方法,也可以收到较好的效果。举例如下:

例 1.1 选择合适的器材,设计一电路来测量电流表 A_1 的内阻 r_1 ,要求方法简捷,有尽可能高的测量精度,并能测得多组数据。电流表 A_1 (量程 10 mA, 内阻 r_1 待测,约 $40\ \Omega$), 电流表 A_2 (量程 $500\ \mu\text{A}$, 内阻 $r_2 = 750\ \Omega$), 电压表 V (量程 10 V, 内阻 $r_3 = 10\ \text{k}\Omega$), 电阻 R_1 (阻值约 $100\ \Omega$, 作保护电阻用), 滑动变阻器 R_2 (总阻值约 $50\ \Omega$), 电源 E (电动势 1.5 V, 内阻很小), 电键、导线若干。

(1) 画出电路图, 标明所用器材的符号。

(2) 若选测量数据的一组来计算 r_1 , 写出 r_1 的表达式, 并说明表达式中各符号的意义。

分析 题目提供了两块辅助电表, 故首先判断要利用伏安法测 r_1 , 初步判断有三种设计方案, 电路如图 1-1、图 1-2、图 1-3 所示。

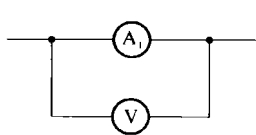


图 1-1 方案 1 示意图

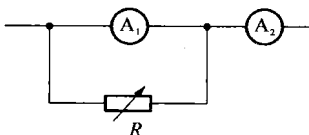


图 1-2 方案 2 示意图

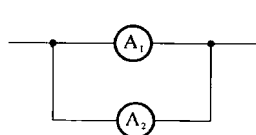


图 1-3 方案 3 示意图

[方案 1] 测量原理没有问题, 但是不便于实际测量, 因为 A_1 满偏电压约为 0.4 V, 这个电压对量程是 10 V 的电压表而言, 指针几乎不偏转, 即使勉强读数测量, 测量误差也非常大, 不满足有尽可能高的测量精度的要求, 因此, 可排除方案 1。

[方案 2] 此方案有两个问题值得注意, 一是电流表 A_2 比电流表 A_1 的量程小得多, 会带来电流测量的误差。二是 R 若选定值电阻 R_1 , 只能进行一次测量, 不满足能测得多组数据的要求; 若选滑动变阻器 R_2 , 虽然实现了滑动电阻的改变, 但每次电阻的具体数值不知道, 无法进行测量, 此方案也可排除。

[方案 3] 此方案中, 电流表 A_2 内阻已知 ($r_2 = 750\ \Omega$), 电流表 A_2 的示数与其内阻的乘积即为电流表 A_2 两端的电压, 且电流表 A_1 的满偏电压约为 0.4 V, 电流表 A_2 的满偏电压约为 0.375 V, 两者近似相等, 此方案可行。

最后画出完整的电路图, 只需在方案 3 的基础上添加可改变输出电压大小的

电源电路和保护电阻即可。

解 (1) 电路如图 1-4 所示。

(2) r_1 的表达式为

$$r_1 = \frac{I_2 r_2}{I_1}$$

式中, I_2 为电流表 A_2 的示数; r_2 为电流表 A_2 的内阻; I_1 为电流表 A_1 的示数。

解决上述问题时,就打破了常规的思维习惯,将安培表当作伏特表来用,运用逆向思维法找到了解决问题的途径。

逆向思维的理论根据是:事物间既相互对立,在一定条件下,又相互转化。当人们对事物的一面习以为常时,思维倒转过来理解事物的另一面,往往会产生新的认识成果。例如,19 世纪以前,人们一直以为电和磁是毫不相干的。丹麦物理学家奥斯特却怀疑人们的这一普遍认识,相信自然界的各种力量是统一的,大胆地深入研究电和磁的关系,终于发现了电流能够产生磁场的电磁效应。以后,人们又反过来思考,提出磁是否能够产生电的问题,这一问题促使法拉第发现了电磁感应现象。

在思考和解决问题时,由于可从事物的不同方面、不同角度进行逆向思维,所以常把逆向思维分为功能倒逆、结构倒逆、因果关系倒逆、缺点逆用等。

1.1.1 功能倒逆

在客观世界中,由于很多事物功能的机理是可逆的,不少自然现象是可逆的,这就为功能倒逆创造了条件。例如,我们熟知的凸透镜可以对扩散光束进行汇聚,反过来,短焦距的凸透镜对能量集中的入射光束又可进行扩束。又如,任何一个周期性函数都可以用傅里叶级数来展开,这种用傅里叶级数展开并进行分析的方法在数学、物理、工程技术等领域都有广泛的应用。若要消除某些电器、仪器或机械的噪声,就要分析这些噪声的主要频谱,从而找出消除噪声的方法;反之,若要得到某种特殊的周期性电信号,可以利用傅里叶级数合成,将一系列正弦波形合成所需的电信号等。傅里叶分解与合成实验仪既可以实现信号的分解,又可以实现信号的合成,这套仪器是功能倒逆的综合产品。

有一学生在复习功课时,常常因为周围嘈杂的环境无法朗读和背诵课文而烦恼。一直在寻找解决问题的办法。有一次,他到医院去看病,从医生用的听诊器受到启发。找来塑料漏斗做话筒,用两个橡胶瓶塞做耳塞,中间用胶皮软管连接,于是就发明了一个“排干扰朗读者”,只要对着话筒朗读课文,不但受周围噪声的影响,还能够清楚地听到自己的朗读声。在科学发展史上,爱迪生受传话器膜片随声

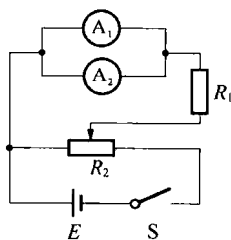


图 1-4 完整的设计电路图

音作有规律振动的启示,产生了让振动产生声音的想法,正是由于这一功能反转的探索,才使爱迪生发明了留声机。只要我们善于把握事物的机理和规律,在物理实验方案设计中,功能倒逆往往会成为一种较为方便而有效的方法。

1.1.2 结构倒逆

结构倒逆是为了达到某一目的,对已有事物的结构形式实行倒逆改造,从而实现创新的思维方法。在结构上实行上与下、左与右、“合”与“分”、“固”与“活”、“封闭”与“开放”等的反转,从而使问题有所突破。在物理实验仪器结构设计方面,以前是将所有结构封闭在一个暗箱里,学生什么也看不见,人们形象地称为“黑匣子”;现在有些仪器生产厂家将仪器由“封闭”改造为“开放”,由原来的铁皮箱换成透明的有机玻璃箱,增强了实验的直观性。又如,由气垫导轨到气垫桌,由光具座到光学平台,由固定实验仪到组合实验箱等,都是实现了由“固定”向“灵活”的反转,从而提高了实验设备的利用率,丰富了实验内容。

由我国发明家苏卫星发明的“两向旋转发电机”诞生于1994年,同年8月获中国高新科技杯金奖,并受到联合国TIPS组织的关注。1996年,丹麦某公司曾想以300万元人民币买断其专利,可见其发明价值之巨大。说到“两向旋转发电机”的发明,也应归功于逆向思维。翻阅国内外科技文献,发电机共同的构造是各有一个定子和一个转子,定子不动,转子转动。而苏卫星发明的“两向旋转发电机”定子也转动,发电效率比普通发电机提高了4倍。苏卫星说:“我来个逆向思维,让定子也‘旋转起来’。”这是他得以发明的思维基础,也是他对创造发明思想的一大贡献。

洗衣机的脱水缸,它的转轴是软的,用手轻轻一推,脱水缸就东倒西歪。可是脱水缸在高速旋转时,却非常平稳,脱水效果很好。当初设计时,为了解决脱水缸的颤抖和由此产生的噪声问题,工程技术人员想了许多办法,先加粗转轴,无效,后加硬转轴,仍然无效。最后,他们来了个逆向思维,用软轴代替了硬轴,成功地解决了颤抖和噪声两大问题。这是一个由逆向思维而诞生的创造发明的又一典型例子。

杭州的王盛华等同学设计了一种新型磁力小车,一般情况下轨道小车总是安放在轨道的上方,现在是把小车悬挂在轨道之下,但要用适当的磁力吸引住。磁吸引力不能太大也不能太小,磁力过大会使小车与轨道的摩擦增大而直接影响小车的运动;磁力太小会使小车掉下来。于是利用间隙调节器进行调节,达到磁吸引力稍大于重力,或者两者相互抵消,从而使摩擦力减小,满足匀速运动和验证牛顿第二定律的要求。这一新型磁力小车也是利用逆向思维方式而发明的。

1.1.3 因果关系倒逆

因果关系倒逆是指通过倒转已有事物的因果关系来引发新的创造性设想和解

决问题的新思路。例如,电动抽水机输入的是电能,输出的是水的机械能;水力发电机输入的是水力产生的机械能,输出的是电能,二者是因果关系倒逆思维方法的典型应用。法拉第成功地发现电磁感应定律,也是运用因果关系倒逆思维方法的一次重大胜利。

1.1.4 缺点逆用

缺点逆用构思法是一种利用事物的缺点,将缺点变为可利用的东西,化被动为主动,化不利为有利的思维发明方法。例如,20世纪40年代发明半导体三极管以后,电子学发生了一场深刻变革,但同时也留下一个令人头痛的问题,即晶体管的特性会随着温度变化而变化,严重影响测量仪器和控制系统的正常工作。电子学研究者为矫正此缺陷颇费心机。然而,我国发明家张开逊巧用缺陷,利用晶体管物理特性随温度变化而波动的规律去测定温度,结果发明了“pn结温度传感器”,并成为获得日内瓦发明大奖的第一个东方人。1985年国际发明大赛中,发明家刘忠坞以其发明的“三敏元件”获金牌,基本思想就是缺点逆用。他在修理仪器中发现,某一种元件常有问题,经过总结发现该类元件对粉尘、温度、湿度反映敏感,这种元件在电器中起消极作用。但是,如果把它用到其他场合,就会成为非常有用的控制元件,从而开发出了“三敏元件”。又如,在日常生活中“震动”通常是一种麻烦,运输鸡蛋时震动会使鸡蛋破损;乘车时由于汽车的震动会使车上的乘客感到不舒服,甚至晕车;日光灯镇流器的震动会发出嗡嗡的噪声,令人心烦意乱。但是,震动在有些场合不是缺点,反而成了优点,如挖马路用的风镐,它也是一种震动。这种震动可以十分省力地把马路挖掘开来。这就是对震动的一种逆用。震动逆用的例子是很多的,例如,震动床是利用有控制、有节律的震动,使人们躺在上面不但不会感到不舒服,相反会对身体按摩,使肌肉放松,血管舒张,消除疲劳,震动在这里起到保健作用。又如,激光是一种相干性很好的光源,在全息照相时,会在物体表面空间产生散斑效应,影响全息照相的清晰度。人们对这一缺点进行研究,发现利用散斑的特性可以检测物体的位移、振动等现象,从而发展成一整套散斑测试技术,化弊为利。由此可见,事物本身无所谓缺点和优点。缺点不一定有害,当我们遇到缺点的时候,不要抱怨,要学会思考,想一下缺点能不能利用,把缺点变成优点,从而有所发明和创造。

1.2 置换思维法

置换思维也称替代思维,思考过程是将目标对象和与之相似、相近、可替代的对象进行交换,从而达到解决问题的思维方法。置换思维法借用了数学和化学中的“置换”概念,把不同元素的置换或元素排列的置换用于创新思维,产生奇特的效