

PBL 在“测量原理”课程中的应用与探索

胡梅,周超,王光明,陈建云,郭熙业

(国防科技大学 智能科学学院,湖南 长沙 410073)

摘 要:“测量原理”是测控技术与仪器专业的一门学科基础课。由于测量科学技术形态的复杂性和课堂讲授学时限制,该课程采用抽象的、形式化的公式语言符号来表达一种凝练的知识结构,将各种测量原理和方法的外延知识最大限度地化简,因而教学难度极大。为了让学生更好地理解课程的重难点知识,特引入 PBL 教学法,通过问题引导学生积极深入地思考,从而领会更加透彻,掌握更加牢固。首先系统梳理课程知识点,通过分析测量信号区别度这个知识点的特性,将“什么是区别度”和“为什么研究区别度”两个根本问题细化为 10 个具体问题进行教学实践,取得了良好的教学效果。

关键词:PBL;测量原理;信号区别度

中图分类号:G642.0

文献标志码:A

文章编号:1674-5884(2021)01-0060-06

1 PBL 教学法和“测量原理”课程特点

PBL(Problem-based Learning)始创于 20 世纪 60 年代,是加拿大 McMaster 大学教授 Barrows 在临床课程的教学实践。PBL 自提出并应用以来,受到教育界的广泛关注与推广。PBL 教学法最初多用于医学教学领域,收效可观^[1,2],因此在工科基础课程和理科基础课程教学中均得到了有效推广^[2-5]。目前,PBL 教学法已在模拟电路课程教学、数字电子技术课程教学、大学物理课程教学中进行了应用和实践^[2-4],其教学改革模式具有一定的借鉴意义。

PBL 教学法是“以问题为基础、以学生为中心、教师为导向”的一种学习方法,强调对学生学习进行启发式的教学,以培养学生自学和解决问题的能力^[6]。“兴趣是最好的老师”,PBL 教学法通过提出问题引起学生的兴趣、带着问题思考,最后通过回答问题引导学生真正掌握问题背后的知识点,培养学生的逻辑思维能力和科学探究能力,进而锻炼学生自主学习能力和终生学习的能力,是一种广泛应用于多个学科领域,得到教师和学生

普遍认可的教学方法。

“测量原理”是测控技术与仪器专业的学科基础课程,是本专业学生进行抽象思维、理论分析与技术设计的学科专业基础,对培养学生的专业创新能力、完善学生的专业技能具有极为重要的作用。测量具有广泛的应用领域及复杂多样的表现形式,为了掌握测量内涵所遵循的公共原理,便于学生学习,课程选择浅显易懂的典型实例,引导学生通过抽象思维掌握测量的基本概念,通过形式化的数学物理模型掌握实际测量问题的理论分析框架,运用已有的数学工具及信号系统与控制方面的知识掌握测量系统的体系结构与分析方法。

按照测控技术与仪器专业中的抽象、理论和设计三个学科形态,“测量原理”课程将“抽象”与“理论”这两个学科形态凝聚于“测量”这一关键词中,结合“数学不断线”这一教学理念,将测量原理抽象为一组逻辑严密的数学物理方程及解决测量问题的数学方法。在课程衔接上,“测量原理”课程安排在“信号与系统”“控制理论”之后、

收稿日期:2020-02-24

基金项目:国防科技大学教育教学研究课题(U2019020)

作者简介:胡梅(1982-),女,湖北天门人,副教授,博士,主要从事空间仪器工程研究。

“仪器与测试系统”等专业课之前,一方面可加强数学、物理、信号系统与控制等基础知识的应用,另一方面可为后续专业课程中“设计”这一学科形态打下理论基础。

从测控技术与仪器专业的层面讲,“测量原理”课程可为学生在“测量”“测控”两方面提供基本的理论知识,也可为“仪器”类技术知识的学习打下良好基础。在专业技能培养方面,“测量原理”课程可使学生掌握基本的“对象认知能力”,并为“技术综合能力”(需求分析)、“实验技能”(实验设计)两方面的技能培养打下理论基础。

课程主要从“抽象”与“理论”两个过程(学科形态)传授知识与技能。在“抽象”过程中,选择测量领域中的典型实例,通过形式化的数学物理方程,将仪器学科范围内各种有关测量的“技术语言”最大限度地统一为“数学语言”,使学生掌握测量的核心概念与形式化方法;在“理论”方面,围绕测量的“可行性”与“有效性”,使学生掌握分析和解决测量问题的数学方法。由于测量科学技术形态的复杂性和课堂讲授学时的限制,该课程采用抽象的形式化的公式语言符号来表达一种凝练的知识结构,将各种测量原理和方法的外延知识最大限度地化简,因而教学难度极大。

2 “测量原理”的知识点梳理

对于“测量原理”的构成,我们可以用两组关键词来概括。第一组关键词是5个名词,包括量值、信号、算子、误差、系统;第二组关键词是3个动词,包括分析、计算、设计。这两组关键词主体上可以构成“测量原理”的基本语言符号,而基本的语法规则是按测量概念的本质,借鉴数学与哲学的语法逻辑来表达。针对课程各章的重难点知识,围绕两组关键词,提炼梳理了相应的知识点。

第一章:测量的基本概念。测量原理涉及两个主题词,即测量、原理。什么是“测量”?什么是“原理”?测量,作为一种以实践为基础的认识,应该理解为动词,完整的含义是将“量”“测”出来。那么,到底什么是“量”?量的真值到底是什么?测量的定义是什么?测量的基本属性是什么?

第二章:测量的数学物理模型。首要的两个问题是:测量的数学物理模型有哪些?数学模型能否反映测量本质?将这两个问题再一一分解:

测量信号是什么?测量信号的数学物理模型是什么?其基本要素有哪些?有信号就必然会有噪声,按幅度将噪声划分为小幅度噪声和大幅度噪声两种情形。由此提出的问题是:如何选定幅度划分的界限值?怎样才能从测量信号中提取出被测量值?针对任何一个有效测量信号,是否都有对应的测量算子——“普适性测量算子”用来求解?测量算子的误差是什么?如何对误差进行度量?

第三章:测量的有效性分析。测量信号的有效性有哪些定量指标?测量信号的波形值有哪些?测量信号的距离函数是什么、有什么用?测量信号的区别度是什么?为什么要研究区别度?测量信号的灵敏度是什么?为什么要研究灵敏度?针对测量信号的等间隔采样问题,以怎样的时间间隔进行离散取样,能够保证有限点取样的结果是有效测量信号?测量算子的全局误差与信噪比之间的函数关系是什么?普适性测量算子的误差上界是多少?

第四章:测量中的计算方法。普适性测量算子可否用有限次算术运算实现?普适性算子的基本实现方法是什么?算法代价有多大?以减小算法代价,尤其是计算代价,普适性测量算子有快速算法吗?能否从信号的幅值域入手,寻找普适性算子的其他快速算法?针对被测对象是“时延量值”,如何通过普适性测量算子来求解量值?它的测量信号模型是什么?和匹配滤波有何关联?针对线性测量信号模型,如何通过普适性算子来求解量值?和最小二乘法算法有何关联?

第五章:测量系统。什么是测量系统?测量系统有何属性?测量系统的抽象定义是什么?测量系统由哪些功能组成?每一部分的作用是什么?测量系统有哪些性质?测量链组成结构和功能分别是什么?控制链组成结构和功能分别是什么?误差链包含哪些环节?误差综合公式是什么?

3 PBL在测量信号区别度中的教学实践

“测量原理”的知识点很多,测量信号的区别度是课程最重要的基本概念之一。下面通过分析测量信号区别度这个知识点的特点,基于“什么是区别度”和“为什么研究区别度”两个根本问题,进行具体的教学实践。

3.1 测量信号区别度知识点相关问题提出

要回答什么是区别度,首先要回顾什么是测量信号、什么是测量信号的距离函数。

考虑某个一维量值及其测量信号,假设 $V = [V_a:V_b]$, 以 $v_0 \in V$ 为参考点,其距离函数 $\rho(v_0, v)$ 的曲线图可能是什么形式? 已知,在 $v = v_0$ 点 $\rho(v_0, v) = 0$ 为最小值点。以 $v = v_0$ 为分界点,则曲线类型可分为哪几种不同的情形呢? 有没有规律可循? 从中能够定义什么是区别度吗?

要回答为什么研究区别度,首先要回答测量的目的是什么。再根据区别度的概念和定义过程,从不同的侧面回答这个问题。

在什么情况下,两个量值对应的信号区别度会小到不足以区分量值呢? 区别度和测量信号抗噪声干扰性能的判别指标有什么关系? 区别度可以用于信号优选吗? 能否通过一个常见的实例,来计算和比较相对区别度的大小,从而理解区别度的物理含义?

基于“什么是区别度”和“为什么研究区别度”两个根本问题,将测量信号区别度知识点细化为以下问题向学生提出:

(1) 什么是测量信号? 测量信号的函数表达式和参数定义分别是什么?

(2) 测量信号的距离函数定义是什么?

(3) 考虑一维量值的距离函数,以真值为分界点,距离函数曲线可能出现哪几种类型?

(4) 测量信号在量值 $GV = 5$ 点上的区别度是如何定义的?

(5) 测量信号的全局区别度是什么? 相对区别度是什么?

(6) 对于测量信号而言,区别度是不是越大越好?

(7) 测量信号的区别度和测量信号抗噪声干扰性能的判别指标有什么关系?

(8) 在有噪声的情况下,要想通过测量信号解算出正确的量值,噪声的幅度大小有何限制?

(9) 测量信号相对区别度可以用于信号优选判别吗?

(10) 结合天平称重和弹簧秤称重的测量信号,比较两个信号的相对区别度。

3.2 测量信号区别度教学实践反馈

(1) 什么是测量信号? 测量信号的函数表达式和参数定义分别是什么?

这个问题,学生都很熟悉。测量信号是一个与被测量有函数关系的量,统一表示为函数式:

$$\begin{cases} x(t) = g(t; v, a, c) + w(t) \\ v \in V, \quad t \in T \\ a \in A, \quad c \in C \end{cases}。$$

测量信号属于时间函数,其中 $g(\quad)$ 是函数的形式,时间 t 是函数的自变量, $w(t)$ 表示测量噪声,量值 v 、结构关系参数 a 和环境条件参数 c 均为参变量,对应的定义域分别为 V, A, C 。

(2) 测量信号的距离函数定义是什么?

学生通过回顾,很快找到了答案。对于任意两个量值 $v_0 \in V, v \in V$,则两者对应的理论测量信号的差别可用下述欧氏距离定量表示:

$$\rho(v_0, v) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{T_b - T_a} \int_{T_a}^{T_b} g(t; v) - g(t; v_0)^2 dt} & T = [T_a: T_b] \\ \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N g(t_n; v) - g(t_n; v_0)^2} & T = \{t_1, t_2, \dots, t_N\} \end{cases}。$$

以 $v_0 \in V$ 为固定点、以 $v \in V$ 为可变的点,则 $\rho(v_0, v)$ 是 v 的函数, $\rho(v_0, v)$ 称为测量信号的距离函数。

(3) 考虑一维量值的距离函数,以真值为分界点,距离函数曲线可能出现哪几种类型?

学生反馈这个问题有点难,主动思考很难全面,在课后分组讨论时结合教材,多次阅读才逐渐弄懂四种情形的来龙去脉。针对学生掌握还不太牢固的情况,在课堂上及时通过重新绘图——分析讲解,使学生对距离函数曲线的四种情形理解得更加透彻了。因为只有真正理解了距离函数的四种情形,才能在给出测量信号区别度定义时逐一分析、全面考虑每一种单点区别度定义的物理含义。

考虑某个一维量值及其测量信号,假设 $V = [V_a:V_b]$, 以 $v_0 \in V$ 为参考点,其距离函数 $\rho(v_0, v)$ 如图 1 所示。在 $v = v_0$ 点 $\rho(v_0, v) = 0$ 为最小值点。以 $v = v_0$ 为分界点,曲线类型可分为图 1 中的四种情形^[7]:

(4) 测量信号在量值 $GV = 5$ 点上的区别度是如何定义的?

这是测量信号区别度知识点最核心的问题,也是教学的重中之重、难点所在,通过教材给出的定义,分四种情况一一进行讲解,学生才能够弄清

楚为什么这么定义。

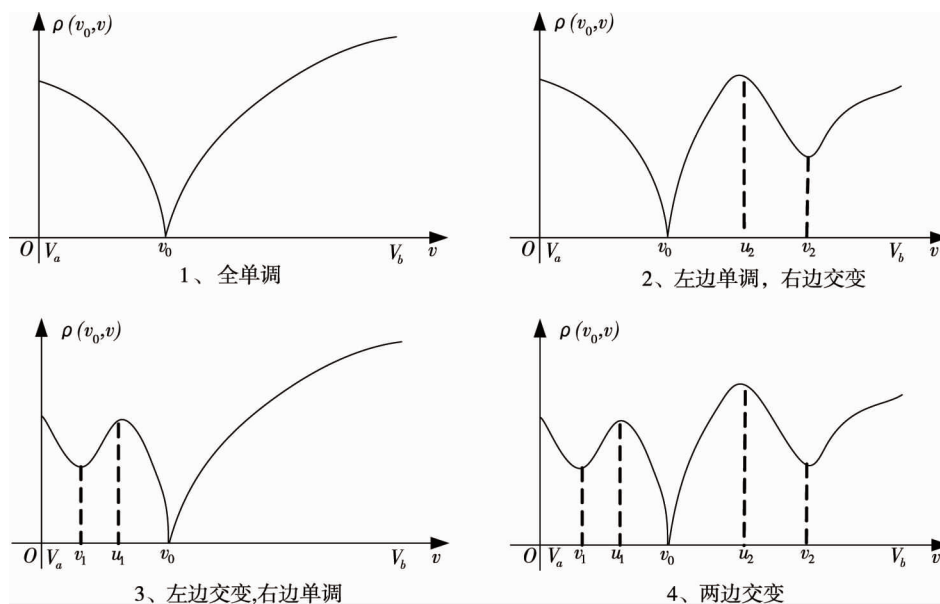


图1 v_0 点的距离函数曲线

在横坐标上,以 v_0 为分界点,距离函数曲线图形被分为左右两个半边。按照单调和交变(交替变化)两种变化,距离曲线分为四种情形,则将测量信号在量值 v_0 点上的区别度定义为:

$$GV(v_0) = \begin{cases} \max\{\rho(v_0, V_a), \rho(v_0, V_b)\} & \text{case(1)} \\ GV(v_0) = \rho(v_0, v_2) & \text{case(2)} \\ GV(v_0) = \rho(v_0, v_1) & \text{case(3)} \\ \min\{\rho(v_0, v_1), \rho(v_0, v_2)\} & \text{case(4)} \end{cases}^{\circ}$$

(5)测量信号的全局区别度是什么、相对区别度是什么?

这个问题很好理解,全局区别度就是求所有单点区别度的最小值,相对区别度就是区别度除以测量信号的幅度值,进行归一化处理。

在定义域 $V \times T$ 内的所有量值 $v \in V$, 所有的单点区别度的最小值称为测量信号的全局区别度,简称为区别度,并用符号 GV 表示,即

$$GV = \min_{v \in V} \{GV(v)\}。$$

若要定量比较两个不同测量信号之间的区别度,还需要讨论由全局区别度导出的定量值——相对区别度,将测量信号的全局区别度 GV 与信号幅度的 A_{mp} 比值称为测量信号的相对区别度,并用符号 GV_R 表示,即

$$GV_R = \frac{GV}{A_{mp}}。$$

(6)对于测量信号而言,区别度是不是越大

越好?

针对这个问题,学生异口同声回答,肯定是区别度越大越好。至于为什么,学生答不上来,需要在课堂上进行启发引导和更多解释。

测量的目的就是为了得到量值。而量值是从测量信号中提取或计算出来的。区别度反映的是在量值定义域内,任意两个量值对应的测量信号的最小差别程度,也就是可区分的程度。直观分析,为了得到量值,希望任意两个量值对应的测量信号的区别程度越大越好。定性的结论:区别度大小反映了测量信号的优良程度。

(7)测量信号的区别度和测量信号抗噪声干扰性能的判别指标有什么关系?

这是一个相对拔高层次的问题,从理论分析上升到实际应用的层面了,部分学生能够直观地给出正确的结论:区别度越大,抗噪声干扰能力越强。这个问题也需要在课堂上进行详细的讲解。

有信号就必然会存在噪声,已知可将噪声按幅度划分为大幅度噪声和小幅度噪声。这里只考虑小幅度噪声。分析“最坏情况”,因为噪声的影响,可能会使距离函数曲线上的“谷点”位置发生变化,从而估计出错误的量值。

所以,研究区别度的主要目的就是定量表征测量信号的抗噪声干扰能力。区别度越大,代表抗噪声干扰能力越强。

(8)在有噪声的情况下,要想通过测量信号解算出正确的量值,噪声的幅度大小有何限制?

这是上一个问题的深入,从定性到定量,难度更大了,事实上,这也是一个数学问题,极少数学生能够给出正确答案。在课堂上讲解正确答案后,还有大部分学生知其然但不知其所以然,再通过重新绘图分析讲解,从物理含义上入手,才解释得更清楚。

在有噪声的情况下,要想通过测量信号解算出正确的量值,即不影响距离函数最小值点的位置,噪声的幅度要小于测量信号区别度的1/2。因为考虑到“最坏情况”,即假设由于噪声的影响,使得距离函数最小值点被“抬高”了,而原来的“谷点”也就是区别度高度所在的点被“拉低”,在这种情形下,要保证原来的最小值点位置不变,就必须要求测量信号的区别度值大于噪声幅度值的2倍。这样解释,学生就豁然开朗了。

(9)测量信号相对区别度可以用于信号优选判别吗?

基于上述几个问题的反馈和讲解,这个问题的答案就呼之欲出了,学生都能正确答出来。但仍然需要在课堂上强调,与测量信号区别度不同的是,测量信号相对区别度可以用来横向比较不同测量信号的抗干扰能力。针对不同的信号,选择哪一个用于测量,可以计算各自的相对区别度,根据相对区别度的大小来进行信号优选。

(10)结合天平称重和弹簧秤称重的测量信号,比较两个信号的相对区别度。

这个问题的难度在于将实际的测量问题抽象为具体的计算问题,对学生而言有一定的挑战。这个算例在课堂上和学生一起解答,天平称重的测量信号就是量值本身,而弹簧秤称重的测量信号是弹簧的拉升长度,与待测量重量之间有一个平方的关系。因此,具体的问题是相对区别度的计算与比较:在定义域 $V \times T = [0:10] \times [0:10]$ 上,有两组有效测量信号:(1) $g(t;v) = v$; (2) $g(t;v) = v^2$ 。试用相对区别度比较两种测量信号的优劣。

解:(1)对任意 $v \in V$,其测量信号的幅度:

$$A_{mp}(v) = \sqrt{\frac{1}{T_b - T_a} \int_{T_a}^{T_b} g(t;v)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{10} \int_0^{10} |v|^2 dt} = v,$$

$$A_{mp} = \sqrt{\frac{1}{V} \int_V A_{mp}(v)^2 dv} = \sqrt{\frac{1}{10} \int_0^{10} |v|^2 dv} = \frac{10}{\sqrt{3}}.$$

对于任意两点 $v_0, v \in V$, 其距离函数

$$\rho(v_0, v) = \sqrt{\frac{1}{10} \int_0^{10} |v_0 - v|^2 dt} = |v_0 - v|.$$

符合区别度定义中的情形1即两边单调,则有单点区别度为 $GV(v_0) = \max\{10 - v_0, v_0\}$ 。

根据全局区别度的定义

$$GV = \min_{v_0 \in V} \{GV(v_0)\},$$

经计算得 $GV = 5$,

则可得相对区别度

$$GV_R = \frac{GV}{A_{mp}} = \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

(2)同理计算得 $A_{mp} = \frac{100}{\sqrt{5}}$,

$$\rho(v_0, v) = |v^2 - v_0^2|,$$

$$GV(v_0) = \max\{(10^2 - v_0^2), v_0^2\},$$

$$GV = \min_{v_0 \in V} \{GV(v_0)\} = 50,$$

可得相对区别度 $GV_R = \frac{GV}{A_{mp}} = \frac{\sqrt{5}}{2}$ 。

比较测量信号(1)(2)可知,后者的相对区别度较大,说明测量信号 $g(t;v) = v^2$ 的抗干扰能力比 $g(t;v) = v$ 好。

总体而言,10个具体问题的交互与反馈,以及PBL教学法在测量信号区别度这个重点知识的教学实践,表明学生的掌握程度大于预期,教学效果良好。

4 结语

“测量原理”课程对于学生建立明晰的学科认识具有十分重要的作用。通过课程学习,学生能够从学科概念与内涵体系上认识本学科与相近学科的区别特征,建立起仪器科学与技术学科的形式化语言符号体系。

“测量原理”课程,从无到有,从陌生到熟悉,从自学到教学,笔者在7年的教学过程中积累了一些经验,总结了一些行之有效的方法。为了让学生更好地理解课程的重难点知识,特引入PBL教学法,通过问题引导学生积极深入地思考,从而领会更加透彻,掌握更加牢固。首先,针对课程各

章的重难点知识,围绕两组关键词,提炼梳理了五章内容中相应的知识点。其次,通过分析测量信号区别度这个知识点的特点,基于“什么是区别度”和“为什么研究区别度”两个根本问题,通过精心设计,将两个根本问题细化为10个具体问题。最后,在教学实践中,针对课前、课中、课后三个环节,通过事先提出问题、学生课后准备、小组讨论,再在课堂上结合提问和分组研讨方式,搜集分析学生的反馈信息,及时加固和深化知识点,最终实现闭环,取得了良好的教学效果。

参考文献:

- [1] 王茜,郝蕾,石铖,等.PBL教学设计思路与实施[J].
教育教学论坛,2020(9):228-229.
[2] 刘乃迪,米静,张诗荟.PBL教学法在模拟电路课程教

学中的应用研究[J].计算机产品与流通,2020(8):
208-209.

- [3] 卢胜男,甄艳坤.PBL教学模式下“数字电子技术课程设计”学生动手能力的培养研究[J].当代教育实践与教学研究,2020(2):60-61.
[4] 任芳芳,黄晓林,叶建东,等.工科《大学物理》课程PBL教学方案初探[J].教育教学论坛,2019(51):169-171.
[5] 黄佳.核心素养下PBL教学法在课堂探究中的创新设计——以“电场强度”为例[J].教物理教学探讨,2020(535):33-36.
[6] 江其玟,姜凯心,陈吉凤.PBL在工商管理类信息化系列课程中的应用与探索[J].当代教育理论与实践,2014(6):26-28.
[7] 王跃科,陈建云,张传胜,等.测量原理[M].北京:清华大学出版社,2012.

Application and Exploration of PBL in the Course of “Measurement Principle”

HU Mei, ZHOU Chao, WANG Guangming, CHEN Jianyun, GUO Xiye

(College of Intelligence Science and Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: “Measurement Principle” is a basic course for Measurement & Control Technology and Instrument major. Because of the complexity of measurement science and technology and the limitation of teaching hours in class, the course uses abstract and formal formula language symbols to express a concise knowledge structure, and simplifies the extensive knowledge of various measurement principles and methods to the greatest extent. Therefore, it is extremely difficult to teach. In order to enable students to better understand the important and difficult knowledge of the course, Problem-based Learning (PBL) method is specially introduced to guide students to think actively and deeply through problems, so as to make students understand the knowledge more thoroughly and firmly. In this paper, the course knowledge points are systematically sorted out firstly. By analyzing the characteristics of the knowledge points of measurement signal discrimination, the two fundamental questions of “what is discrimination” and “why study discrimination” are divided into 10 specific questions which has achieved good teaching results.

Keywords: PBL; Measurement Principle; signal discrimination

(责任校对 王小飞)