ISSN 1673－7644
中国科技核心期刊

山东建筑大学学报

Journal of Shandong Jianzhu University

Vol.30 NO.6 Sum.136
2015
2015/6
第 6 期
第30卷 总第136期

中国 济南
Jinan China

山东建筑大学学报

第30卷　第6期　　2015年12月

目　次

研究论文

火灾下钢筋混凝土托梁转换结构承载性能分析 …… 傅传国，孔维一，王玉镯(511)

济南市绿地建设水平综合评价研究 …… 鲁敏，宗永成，杨盼盼，陈嘉璐，丁珍(519)

LD与柱状楔形透镜光纤的耦合特性研究 …… 于海鹰，王猛，刘耀东，王艳，秦旭辉(527)

基于供需平衡的城轨线网规模计算方法 …… 宋传增，李鑫磊，张朔(532)

阳光小区住宅楼桩基质量问题与加固设计研究 …… 肖俊华，孙剑平(537)

加热研磨法制备高质量再生骨料影响因素研究 …… 隋玉武，田清波，岳雪涛，张丰庆(544)

居住区景观生态绿化模式的构建——以济南市为例 …… 冯兰东，赵鹏，徐杨，宗永成，陈嘉璐(550)

被动房住宅围护结构节能设计关键参数研究——以寒冷地区天津市为例 …… 房涛，管振忠，何文晶(558)

活态保护目标下北方泉水村落环境价值评价研究 …… 宋凤，肖华斌，张建华(564)

综合述评

人工湿地植物根区氧气来源与进化研究进展 …… 关卓今，李达，王恩怡，贺中翼(572)

工程实践

基于开放建筑理念的高校科研实验中心设计——以山东建筑大学科研实验楼概念设计为例 …… 李东和，仝晖，李达(579)

太阳能烟囱建筑设计案例分析 …… 杨倩苗，薛一冰，张晨悦(590)

淄博建筑工程学校综合实训楼结构设计 …… 魏伟，伊永忠，李明义，逯芳(596)

教学研究

高等数学数形结合教学法的研究与实践——以山东建筑大学为例 …… 王爽，李秀珍，赵永谦，孙亚楠(600)

第30卷总目次 …… (607)

期刊基本参数：CN37－1449/TU＊1986＊b＊A4＊104＊zh＊P＊￥10.00＊1300＊14＊2015－12

主编：鲁敏　　**责任编辑**：李雪蕾　吴芹　项东　王光银　　**英文编辑**：宋秀葵

文章编号:1673－7644(2015)06－0600－07

高等数学数形结合教学法的研究与实践
——以山东建筑大学为例

王爽[1],李秀珍[1],赵永谦[1],孙亚楠[2]
(1. 山东建筑大学 理学院,山东 济南 250101;2. 山东医学高等专科学校,山东 济南 250002)

摘要:高等数学是工科院校学生的重要基础理论课,运用数形结合教学法可以将抽象的概念直观化,提高学生的积极性和学习效率。文章结合山东建筑大学高等数学教学,分析了教学过程中几何教学法存在的问题和数形结合的重要性,提出了可以用于教学实践的数形结合教学方法,采用启发式教学法与几何教学法相结合的手段,通过分析图像提出问题引导学生学习,并在山东建筑大学高等数学教学中取得了一定的成绩。

关键词:高等数学;数形结合;直观性;抽象概念;动态图像
中图分类号:O13－4; G642　　**文献标识码:**A

Application of geometric interpretation in the advanced mathematics teaching

Wang Shuang, Li Xiuzhen, Zhao Yongqian, *et al.*
(School of Science, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract: Advanced mathematics is an important foundation of the whole university learning for engineering college students. The geometric interpretation method can be beneficial to illustrate the abstract concepts and stimulate the students' interest. According to the actual experience of higher mathematics teaching in Shandong Jianzhu University, this paper analyzes the problems of geometry teaching method and the importance of combining abstract mathematical conclusions with geometry. Then, the geometric interpretation method is proposed which combines heuristic teaching method and geometry teaching method. Through asking appropriate questions and the analysis of images, teachers guide the students' learning process and have made some achievements in higher mathematics teaching of Shandong Jianzhu University.

Key words: advanced mathematics; geometric representations; visibility; abstract concepts; dynamic image

0　引言

高等数学是一门重要的基础理论课,其教学效果直接影响工科类专业的本科教学质量以及创新人才的培养。高等数学的内容严谨,高度逻辑性的分析语言体现了数学之美,但是抽象的数学概念也造成了学生理解上的困难,如何改进高等数学的教学过程一直是教学研究的重要课题。2015年教师节前夕,李克强总理提出希望教师做精做细教学本职,激发和挖掘学生的创新能力。在教学手段日益丰富的今天,教师应该思考适应时代要求、适于学生学习

收稿日期:2015－07－06
基金项目:山东省高等学校教学改革研究项目(2009262);山东省高等学校教学改革研究项目(2012298);山东建筑大学博士科研基金(XNBS1338)
作者简介:王爽(1984－),女,讲师,博士,主要从事数学教学和科学计算等研究. E-mail:persever1019@163.com

的教学方法,培养学生的数学思维,激发学生的创新能力。

随着多媒体课件以及数学软件的兴起,几何教学法近年来越来越受到重视[1]。几何图像可以将抽象的高等数学概念具体化,使学生通过形象思维直观地理解概念,但是单纯应用几何图像教学往往具有具体性的特征,无法展示数学的逻辑性。已有文献多是对几何图像进行举例展示,较少涉及对几何图像的引入分析[2-3]。如果教师在几何教学的过程中通过提问、对比等方式启发学生思考,使学生能够用代数语言描述几何问题,或者用几何图像分析代数问题,那么对于培养学生的创造力和解决问题的能力都有重要意义。

文章结合山东建筑大学数学教学,分析了教学过程中几何教学法存在的问题和数形结合的重要性,将启发式教学法[4]与几何教学法相结合,通过分类举例详细说明数形结合教学法在高等数学中的应用,在对教学内容进行几何展示的同时,分析几何图像并提出问题,引导学生用数学思维去观察、解决问题。

1　高等数学教学中几何教学法存在的问题

1.1　教学学时不足和资源有限

高等数学是工科类专业学生学习后续技能的必备课程,例如大学物理、力学、电学等课程都用到了高等数学的知识,机械设计课程与定积分的几何应用密切相关。但是高等数学课程教学学时不足,教师只能将教学内容进行压缩,删减复杂的定理证明,忽视引导学生从问题来源和几何直观化方面理解概念定理,缺少必要的几何应用训练教学[5]。普通工科院校的另一现状是教学资源有限,以山东建筑大学为例,高等数学采用大班授课,学生过多导致教师无法兼顾每一个学生的学习特点和学习进度,不能采用以学生讨论为主的教学方法,学生被动地接受知识,缺乏独立思考和创新思维的能力。

1.2　教学方法单一

学生对课程的关注度主要由学生的学习热情和积极性决定,几何教学法可以将数学的美和神奇展现出来,使学生在生动活跃的学习环境中培养对数学的兴趣。但是教师过分强调几何图像的展示,缺少对数学思想的阐述,或者以几何图像代替对定理概念的理论证明,使得学生对问题的认识仅能停留在感性阶段,难以上升到理性阶段[8]。建筑工程中存在着大量的几何问题,而高等数学的定理概念都是用代数语言去描述的,如果学生不知道代数理论与几何现象之间的联系,那么面对工程问题时就难以应用所学的数学知识解决实际问题。

1.3　教学应用存在误区

借助于现代教具,教师可以通过数学软件的作图能力构造生动准确的几何图像,解决板书教学时难以处理的作图问题[6-7]。但是教师在做几何展示的过程中容易产生以偏概全的假象,学生会错误地认为通过构造特殊函数的几何图像可以代替应用严格的分析语言证明定理。事实上采用几何图像演示教学内容在本质上说是通过举例的方法进行授课,列举法不能涵盖所有的情况,因此在教学时需要慎重选择几何示例,并说明举例的特殊性,必要时可以选取多个几何示例作对照。

2　高等数学数形结合教学法的重要性

分析高等数学的内容和方法会发现,研究几何问题是微积分的重要起源,也渗透于高等数学的每一个章节[9]。有些直观的几何现象用抽象的数学分析语言描述出来就是高等数学中的概念定理。应用几何图像可以直观地理解抽象概念[10]、寻找证明思路、化简积分的计算[11-12],化难为易。

数形结合的过程既是将抽象的数学语言与直观的图形相结合,实现抽象概念与形象表现之间转化的过程,也是学生的形象思维与抽象思维共同运用、互相促进的过程,学生通过形象思维理解数学概念,可以提高学习积极性和学习效率。因此可以应用数形结合的方法启迪学生思考、激发学生兴趣。

我国古代从宋元时期就形成了数形结合的思想,通过用代数语言描述一些几何现象,将几何关系的研究归结为函数表达式之间的代数关系,成为解析几何的先驱。因此教师在高等数学教学中加强培养学生的兴趣和应用数学知识解决问题的能力有很重要的实际意义。

3　高等数学数形结合教学改革方法

针对高等数学教学中几何教学法存在的问题,

考虑到工科院校教学学时不足、教学资源有限的现状一时难以改变，提出如下改革方法：

3.1 重视对数学思维的阐述

例如，曲线的凹凸性是曲线的一种几何现象，但是怎样用代数表达式来定义和判断曲线的凹凸性呢？在讲课时让学生观察图 1(a)和图 1(b)中曲线弧 L1 和 L2 上，弦 AB、CD 与相应弧的位置关系，及在点 x_1, x_2 的中点$\frac{x_1+x_2}{2}$处弦和弧上对应函数值的大小。容易看出，对于上凹的曲线 L_1，曲线上点$\frac{x_1+x_2}{2}$的纵坐标 $f(\frac{x_1+x_2}{2})$ 小于弦上点的纵坐标$\frac{f(x_1)+f(x_2)}{2}$，而对于上凸的曲线 L_2 情况恰好相反。由此启发学生自己归纳出凹凸性的定义。

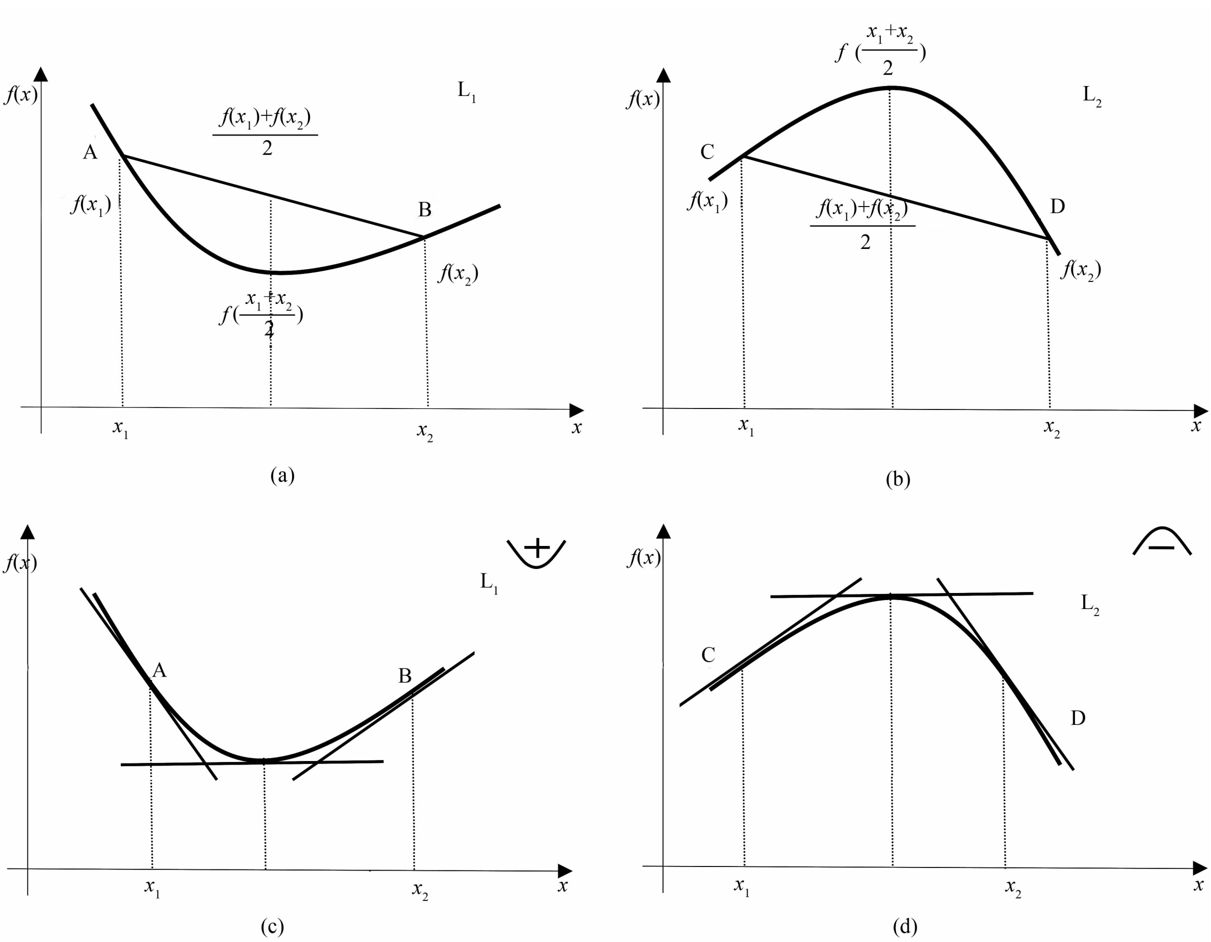


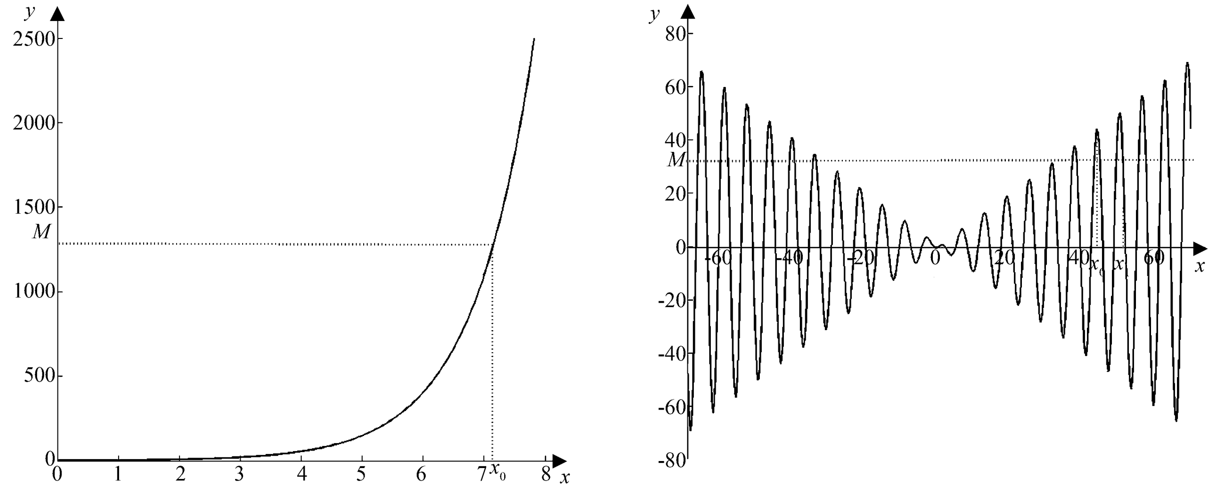
图 1 曲线凹凸性示意图

(a) 上凹曲线的图像；(b) 上凸曲线的图像；(c) 上凹曲线的切线变化；(d) 上凸曲线的切线变化

由图像得到了凹凸性的定义，进一步地通过图像总结出判定定理。为得到凹凸性和导数之间的关系，根据导数的几何意义，可以过曲线上自变量依次递增的三个点做切线，让学生观察这三点处曲线的切线倾斜程度。学生对比发现图 1(c) 中凹弧的切线倾角随着自变量的增大而增大，即一阶导数单调递增，如果函数二阶导数存在，那么二阶导数大于 0。而图 1(d) 中凸弧恰好相反，切线倾角随着自变量的增大而减小，即一阶导数单调递减，二阶导数小于 0。得到了凹凸性的判定定理后，再结合图像加以证明。最后，为避免学生混淆凹凸性与二阶导数的关系，可以通过图 1(c) 和图 1(d) 中右上角的符号帮助学生加深记忆，凹弧二阶导数符号为正，凸弧二阶导数符号为负。

再比如，在学习一元函数与极限中无穷大的概念时，学生经常将无穷大与无界函数的概念相混淆。无穷大的定义为[13]：如果对于任意给定的正数 M，总存在正数 δ(或正数 X)，只要 $0 < |x - x_0| < \delta$(或

$|x| > X$) 时,函数 $f(x)$ 的绝对值都大于 M,那么称 $f(x)$ 为当 $x \to x_0$(或 $x \to \infty$)时的无穷大。而无界函数的定义为[13]:如果对于任意给定的正数 M,总存在 $f(x)$ 的定义域内的一点 x_0,使得函数 $f(x)$ 的绝对值大于 M,那么称 $f(x)$ 在定义域内是无界函数。从数学分析语言上学生难以理解和区分这两个概念,此时可以借助几何图像举例说明。例如:函数 $y = e^x$ 是当 $x \to +\infty$ 时的无穷大,其图像如图 2(a) 所示,当 $x \to +\infty$ 时,函数值逐渐增大,函数曲线向 y 轴的正无穷方向延伸,通过在 y 轴上任意选取 $y = M$,总可以对应地找到 $x_0 = X$,使得 $|x| > X$ 时,$|e^x| > M$。



(a)　　(b)

图 2　无穷大与无界函数对比图示意图

(a) 函数 $y = e^x$ 的图像;(b) 函数 $y = x\cos x$ 的图像

与之相对应地,无界函数 $y = x\cos x$ 不是当 $x \to +\infty$ 时的无穷大[14],其图像如图 2(b) 所示,当 $x \to +\infty$ 时,函数值的振荡幅度虽然逐渐增大,并趋向于 y 轴的正负无穷方向,但是函数值始终会回落到 $y = 0$ 附近,此时任意选取 $y = M$,当 $x \to +\infty$ 时,不仅存在使 $|f(x)| > M$ 的点,也存在使 $|f(x)| \leqslant M$ 的点 x_1,即当 $x \to +\infty$ 时函数 $f(x)$ 的绝对值并不一致趋于 $+\infty$。

以上的教学实例都是结合抽象概念的几何图形,通过对比图形加深学生对概念的理解。教师不仅借助几何意义解释概念定理,更注重引导学生用数学语言描述现实中的几何现象,使学生理解数学是描述现实世界的工具,认识数学的重要性。

3.2　应用几何图像启发学生思考

许多定理的证明是几代数学家思想的结晶,直接讲解,学生难以体会数学家的思维过程,与几何图像相结合可以使学生自主地发现问题,激发学生探索的积极性。例如,$\lim\limits_{x \to 0} \dfrac{\sin x}{x} = 1$ 是非常重要的极限,在后续章节中都有应用,用定义和极限运算法则无法证明这个极限,需要应用夹逼准则证明,但是学生

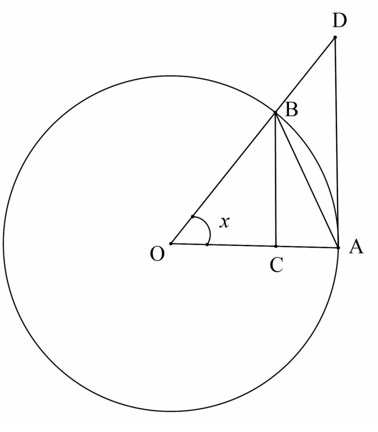


图 3　四分之一的单位圆示意图

很难找到与 $\dfrac{\sin x}{x}$ 有关的不等式。在讲解时首先利用角 x 与正弦函数 $\sin x$ 在图像中的关系,引导学生回顾中学所学的三角函数的定义,通过构造半径为 1 的单位圆,找到 x、$\sin x$、$\tan x$ 间的不等关系。如图 3 所示,设圆心角 $\angle AOB = x$,其中 $0 < x < \dfrac{\pi}{2}$,作 $BC \perp OA$,学生易知 $\sin x = 2\, S\Delta AOB$,$x = 2\, S$ 扇形 AOB 为得到 $\tan x$,过点 A 做圆的切线,使其与 OB 的延长线相交于 D,则 $\tan x = 2S\Delta AOD$ 的面积。比较面积

大小可得 $\sin x < x < \tan x$，进一步得到 $\cos x < \frac{\sin x}{x} < 1$，利用夹逼准则可证得 $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\sin x}{x} = 1$。

又如中值定理是用分析语言描述连续曲线在闭区间上的几何现象，因为曲线方程由抽象函数表示，所以证明定理存在困难。在讲解拉格朗日中值定理时，教师先对比了图4中的(a)和(b)：观察图4(a)满足罗尔定理的情况可以发现，如果一条连续的曲线弧，除端点外处处有不垂直于 x 轴的切线，且过两个端点的弦AB平行于 x 轴，那么必在AB间存在最高点C，过C点的切线平行于 x 轴，也即平行于弦AB，切线斜率为0。将图4(a)中的弦AB以A为中心旋转任意角度就得到图4(b)，曲线端点A、B不再有高度相等的限制，但过点C的切线平行于弦AB的性质仍然成立，因此过点C的切线斜率等于弦AB的斜率。

学生通过图像认识到拉格朗日中值定理和罗尔定理的相关性，接着在教师的引导下构造满足罗尔定理的辅助函数来证明拉格朗日中值定理。观察图4(b)，学生可以发现曲线与弦在A、B两点相交，也就是说曲线方程和弦的方程在这两点的函数值相等，因此假设弦的方程为 $y = L(x)$，只要构造辅助函数 $F(x) = f(x) - L(x)$，就有 $F(a) = F(b) = 0$，$F(x)$ 满足罗尔定理。由此借助罗尔定理的结论可得 $F'(\xi) = f'(\xi) - \frac{f(b)-f(a)}{b-a} = 0$，即 $f'(\xi) = \frac{f(b)-f(a)}{b-a}$。

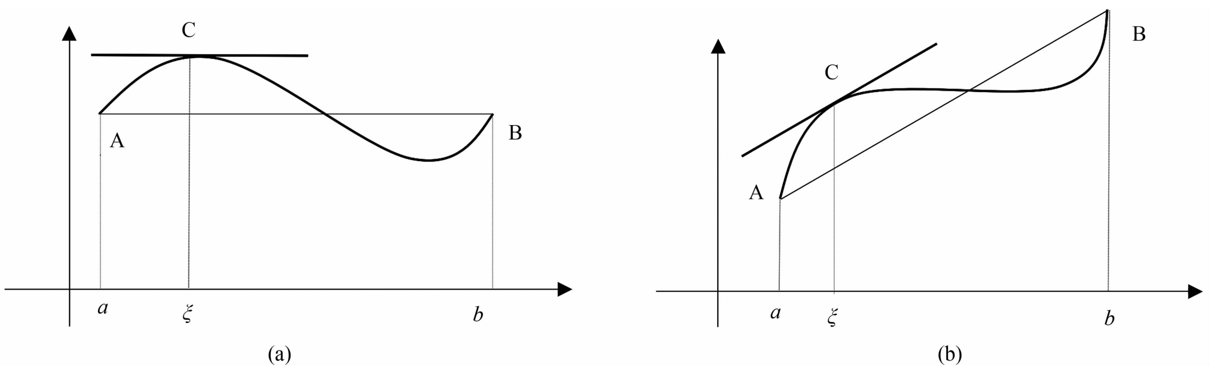


图4 中值定理的几何意义示意图

(a) 满足罗尔定理的情况；(b) 满足拉格朗日中值定理的情况

以上的教学实例说明，结合几何图形可以改变以往对证明过程繁琐沉闷的讲解方法，开拓学生的思路，帮助学生形成数学思维，活跃课堂氛围，但是不能避繁就简，代替定理在理论上的证明过程。

3.3 合理选取几何示例充实教学内容

除了一些从几何空间中抽象出的数学概念外，还有一些表面上并不具有几何直观意义的数学概念可以通过几何图像加深理解。例如，在学习无穷级数这一概念时，学生难以理解为什么需要将函数表达成无穷级数，因此难以对无穷级数的相关理论产生兴趣。采用几何图像演示的方法可以使学生看到简单函数的图像是如何逐渐接近于复杂函数图像的，继而了解用简单函数构成的无穷级数来表达复杂函数是刻画复杂函数的有效方法。

学生学过最简单的一类函数是多项式，如何用多项式在 $x=0$ 点逼近 $y=f(x)$ 呢？回顾微分的几何意义，可以用 $y=f(x)$ 在 $x=0$ 处的切线段 $y=f(0)+f'(0)\cdot x$ 来近似代替 $x=0$ 附近的局部曲线。用直线近似曲线误差较大，如果用二次曲线近似，那么在 $x=0$ 处与 $y=f(x)$ 的凹凸性相同的曲线更加贴近曲线 $y=f(x)$，即过 $(0,f(0))$ 点且二阶导数等于 $f''(0)$ 的曲线 $y=f(0)+f'(0)\cdot x+\frac{f''(0)}{2!}\cdot x^2$ 比切线段更近似函数曲线。根据几何意义以此类推，逐渐增加近似曲线的阶数，就得到一系列逐渐逼近曲线 $y=f(x)$ 的近似曲线。最后通过图像展示近似曲线的逼近程度，以指数函数 $f(x) = e^x$ 为例，由图5可以看出在 $x=0$ 附近，随着 $n\to+\infty$，曲线 $y = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \cdots + \frac{x^n}{n!}$ 越来越接近曲线 $y = e^x$，所以可以用指数函数在 $x=0$ 处的幂级数展开式计算 $f(x) = e^x$ 在 $x = 0$ 附近的函数值。

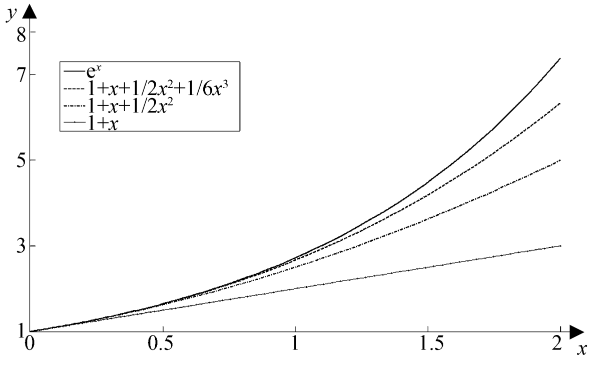


图 5 幂级数部分和逼近 e^x 的示意图

在讲解函数展开成傅里叶级数时,可以通过几何图形演示傅里叶级数的逼近过程,帮助学生理解。如图 6(a) 中,$\sin(x)$ 与 $\cos(x)$ 叠加后形成新的波形$\sqrt{2}\sin\left(x+\frac{\pi}{4}\right)$;图 6(b) 中,由奇数倍基波频率的正弦函数 $\sin x$,$\frac{1}{3}\sin(3x)$,$\frac{1}{5}\sin(5x)$,$\frac{1}{7}\sin(7x)\cdots$依次叠加后形成波形$\frac{4}{\pi}\sum_{n=1}^{7}\frac{1}{1+2n}\sin[(1+2n)x]$,从图中可以看出随着叠加的正弦波个数增多,波形越来越接近矩形波,当正弦波的个数增加到无穷多个的时候,它们最终会叠加形成一个标准的矩形波,因此可以用傅里叶级数逼近一般形式的周期函数。由此可见,数形结合可以构建概念,展现数学的神奇,教学的最终目的是通过几何图像拓展学生的想象力,激发学生的学习兴趣。

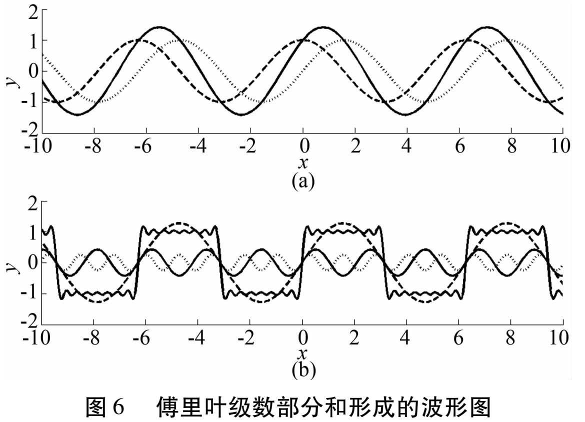


图 6 傅里叶级数部分和形成的波形图

(a) 共振波 $\sin x+\cos x$;(b) 矩形波形成过程

4 应用数形结合教学法取得的成效

我校高等数学教学团队在深入挖掘教学内容的基础上,对每个知识点都找到相应的几何意义,并对教学时所展示的几何图像补充相应的问题和说明分析,使得教学内容不仅呈现出数学的美,更加体现出数学的逻辑思维。在工学及物理类专业的高等数学教学中应用了数形结合方法后,在课时量不变的情况下,增加了师生间的互动,例如讲解微分中值定理时,以往的教学过程主要以教师讲解为主,现在教师结合图像可以提出两到三个启发性的问题,学生通过发现总结等主体思维过程主导定理的推导过程,成为课堂的主人,最终学生对三个中值定理之间的关系更加明确。

借助山东建筑大学课程教学质量学生评分体系,对应用数形结合方法前后各两个学年的得分情况进行对比,发现学生对以下五个指标的测评满意度明显增高:“教师能有效利用实例授课”、“注重思维能力培养及启发式教学”,“备课充分,多媒体课件制作精良效果好”“授课内容易于接受和掌握,学生的知识和能力得以提高”“课堂教学气氛活跃,教学效果得以保证”。通过对材料学院成型焊接两个专业学生的调研发现,学生的出勤率增加了,课后提问的学生人数也增加了,说明学生的学习主动性得以提高。

需要说明的是,在讲解时应用数形结合常常会给学生一种以偏概全的假象,学生会错误地认为通过构造特殊函数的几何图像可以代替应用严格的分析语言证明定理。事实上采用几何图像演示教学内容在本质上说是通过举例的方法进行授课,列举法不能涵盖所有的情况,因此在教学时需要慎重选择几何示例,并说明举例的特殊性,必要时可以选取多个几何示例作对照。

5 结语

文章分析了高等数学教学中存在的问题,提出了以培养学生数学思维、创新能力为最终目的的数形结合教学法,并针对教学过程中所发现的学生难以理解的知识点为例,给出了可以用于实践的数形结合教学方法。文章所举实例从多个方面说明了数形结合不仅可以生动地展现高等数学的教学内容,还可以将抽象概念直观化、开拓学生思路、拓展学生想象力,在活跃课堂氛围、增加学生学习兴趣的同时,培养学生分析问题解决问题的能力。

参考文献:

[1] Timothy P., Charlene N.. Analyzing the teaching of advanced mathematics courses via the enacted example space [J]. Educational Studies in Mathematics, 2014, 87(3):323-349.

[2] Ghislaine G., Luc T.. Mathematics teacher education advanced methods: an example in dynamic geometry [J]. Mathematics Education. 2011, 43(3):399-411.

[3] 李志明，李宏伟. 例说加强高等数学课程中的几何教学[J]. 大学数学,2013,29(3):136-138.

[4] 葛倩，李秀珍. 高等数学研究性教学方案探析[J]. 山东建筑大学学报,2013,28(1):82-85.

[5] 袁玉波，曹飞龙. 基于几何直观的微积分教学内容改革探索[J]. 大学数学, 2010,26(1):102-104.

[6] 王俭侠,龚力强. Maple在高等数学教学中的应用[J]. 广州大学学报(自然科学版),2002(6):67-73.

[7] 张颖，吴建华. 高等数学多媒体辅助教学的实践与思考[J]. 高等数学研究, 2006,9(4):110-112.

[8] 薛洪. 高等数学教学中的直观教学[J]. 大学时代, 2006(11):114-115.

[9] 高永良，王燕燕. 几何学在高等数学教育中的作用[J]. 开封大学学报, 2010(8):76-77.

[10] 赵小艳，李换琴. 借助几何图形理解高等数学中的抽象概念和结论[J]. 大学数学, 2014,30(1):84-87.

[11] 李长青. 高等数学教学中应重视几何直观的作用[J]. 高等数学研究, 2007,10(2): 25-27.

[12] 程新跃，刘祥伟. 关于高等数学课程中几何教学的认识与实践[J]. 高等数学研究, 2006,9(3):11-13.

[13] 同济大学数学系. 高等数学(第6版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2007.

[14] 李秀珍，隋梅真. 高等数学全程学习指导[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2011.

[15] 訾小艳. MATLAB在高等数学中的应用[J]. 计算机时代, 2011(5):51-53.

（学科责编:王光银）

（上接第599页）

中,采用以大跨度型钢梁为支座,设置次梁进行悬挑的方式,实现了悬挑尺寸超过7 m的结构设计。

参考文献:

[1] GB 50010—2010 ,混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2011.

[2] 华旦,吴杰,干钢. 超长混凝土结构的温度应力分析与设计实践[J]. 建筑结构,2012,42(7):56-59.

[3] 黄以庄,黄华敬,王利,等. 超长混凝土结构无缝设计[J]. 建筑结构,2010,40(6):90-92, 25.

[4] 孙璨,傅学怡,朱勇军,等. 杭州奥体中心主体育场超长混凝土结构环境温差效应分析[J]. 建筑结构,2014,44(17):34-39.

[5] 潘立,张建林. 超长混凝土地下结构组合应力弹塑性时程分析[J]. 建筑结构,2014,44(16):21-25.

[6] 王奇,张守峰,朱炳寅. 东营会展中心展馆超长结构设计[J]. 建筑结构,2009,39(7):9-12.

[7] 马林建,刘新宇,邱旭光,等. 地下超长结构环境温度效应数值模拟分析[J]. 建筑结构,2011,41(7):111-114.

[8] 彭英,柯叶君,陈威文,等. 超长混凝土结构温差收缩效应分析及工程实践[J]. 建筑结构,2010,40(10):86-90.

[9] GB 50223—2008, 建筑抗震设防分类标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2008.

[10] 蔺建中,孙守荣,王刚. 不规则大开洞结构受力性能分析[J]. 建筑结构,2007,37(10):27-29, 13.

[11] JGJ 3—2010,高层建筑混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2011.

[12] RISN-TG 002—2006, 补偿收缩混凝土应用技术导则[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2006.

[13] 王多民,陈雷,岳君威. 北京移动通信综合楼型钢混凝土结构设计与施工[J]. 建筑结构,2007,37(12):58-61.

[14] 郭子雄,林煌,刘阳. 不同配箍形式型钢混凝土柱抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2010,31(4):110-115.

[15] 张建文,司马玉洲,张仲先. 不同钢骨含钢率的钢骨混凝土梁抗弯性能试验研究[J]. 建筑结构,2005,35(8):79-80, 51.

（学科责编:李雪蕾）