

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2016.06.035

# 引导式结构力学课程主观题在线 答题与自动评判方法研究

侯祥林, 郑夕健

(沈阳建筑大学 机械工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

**摘要:**以结构力学课程无纸考试为出发点,分析了主观考试题在线答题与计算机评定的难点问题,提出了引导式主观考试题型的交互答卷与自动评判的程序方法。在VB软件平台下,以图乘法计算结构位移问题为例,描述了结构力学课程主观题型在线交互答卷与成绩自动评判的程序机理,给出包括静定结构弯矩图绘制、图乘法计算结构位移、超静定结构力法与位移法求解和结构固有特性问题在线答题与自动评判实例。此研究解决了结构力学课程主观题型的无纸化考试与自动评判问题,其研究思路将为力学等工程类课程主观题型的考试与评定提供有效的程序方法。

**关键词:**结构力学;主观题型;无纸考试;成绩自动评判;程序设计

**中图分类号:**G642.0;TU311

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2016)06-0161-07

无纸考试方法就是摆脱传统以纸张作为测试的信息载体,运用现代计算机技术对学生进行知识和技能考核判定的一种手段。随着计算机技术的迅猛发展,多媒体技术和网络技术的运用,无纸化测试技术在不断提升。20世纪80年代初,计算机代替手写将试题打印到蜡纸上,初见计算机在教学领域的魅力;20世纪80年代中期,高考考卷普遍采用答题卡,无纸化测试迈入了读卡时代,显示出计算机的优势;20世纪90年代至今,由于数据库、各种软件以及互联网的全面发展,无纸测试考试也日益完善,可以应用题库的方式生成试卷,机考、机改并生成成绩与分析报告,实现了计算机等级考试、大学英语四六级考试、注册师考试等<sup>[1-3]</sup>。

但是需要注意的是,目前所有的“无纸考试”通常是针对客观题型的考试。通过答题卡和在线考试只能评定客观题,如单项选择题、多项选择题、判断题、填空题。由于主观题类型的考试比较繁琐,确实很难采用计算机评判,因此很少有这类问题的研究。随着高等教学的创新发展,希望通过交互式答题和自动评判,完全实现主观和客观题的在线评判,以减少教师工作与实现成绩评定的公平性,是一个重要的理论和实际课题。怎样实现主观题无纸测试评定一直是亟待解决的技术研究问题。

收稿日期:2015-05-08

基金项目:2016年度辽宁省本科教学改革项目“工科力学系列课程在线考评方法与实现的研究”;辽宁省“十二五”教育科学规划项目“机械类结构力学课程无纸考试系统研究与实践”(JG15DB348)

作者简介:侯祥林(1962-),男,沈阳建筑大学机械工程学院教授,博士,主要从事机械工程中的力学问题研究,(E-mail)drhouxl@tom.com。

目前人们主要针对以文字为主的主观题的探讨评定问题,多采用借鉴汉语自动分词技术,实现以关键词匹配为主、语意贴适度计算为辅的主观题自动阅卷方案。这种评判方法的实质上是针对以语言描述为主的客观题评定问题<sup>[4-6]</sup>。

实际上,针对考核最多的是理工类课程主观题型问题,力学类课程最为突出,力学类课程主观题答卷过程是以绘图和公式求解为主的,判定答题的正误是要判定图绘制情况、公式的具体内容以及表达情况和计算结果等。结构力学课程主观题型主要包括梁与刚架弯矩图绘制、图乘法计算位移、超静定结构力法求解和位移法求解等几种典型类型。

本文基于多年力学课程教学和辅助软件的研发实践<sup>[7-10]</sup>,并依托2016年度辽宁省本科教学改革项目“工科力学系列课程在线考评方法与实现的研究”和辽宁省教育规划课题“机械类结构力学课程无纸考试系统研究与实践”,针对结构力学课程主观考试

问题,找到了可行的在线答题与成绩自动评判途径,并在可视化VB平台下,研发了结构力学课程在线交互式答卷与成绩自动评定系统,解决了弯矩图绘制、图乘法计算位移、超静定结构的力法求解和位移法求解等几类主观题在线答题与自动评判方法。以下以图乘法计算结构位移为题型,阐述怎样实现在线答题与在线评判。

### 一、引导式答题的程序思想

(一)图乘法计算结构位移主观题题型的答卷求解

通常结构力学课程主观题型的求解过程是有步骤的。图乘法求解结构位移一般有三个步骤:一是绘制载荷下的弯矩图 $M$ ;二是施加单位载荷,绘制单位载荷下的弯矩图 $\bar{M}$ ;三是应用图乘法计算位移。

以图1(a)所示刚架为例,刚架的载荷和尺寸如图,弯矩刚度均为 $EI$ ,计算 $C$ 垂直位移 $\Delta y_c$ 。

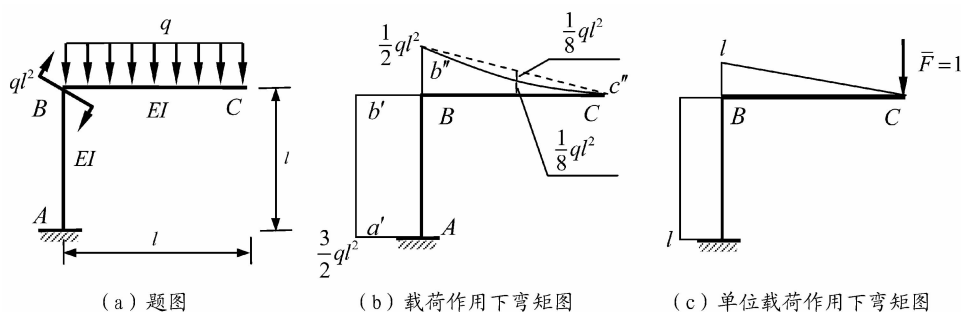


图1 图乘法计算结构位移的弯矩图

按图乘法求解结构位移步骤,正常在卷纸上答卷,首先针对刚架绘制载荷下弯矩图,正确结果为如图1(b),之后针对刚架在 $C$ 点,施加单位载荷 $\bar{F} = 1$ ,绘制单位载荷下的弯矩图,正确结果为如图1(c),最后应用图乘法计算位移 $\Delta y_c$ ,其正确结果的具体表达式为:

$$\Delta y_c = \sum \frac{\omega y_j}{EI_j} = \frac{1}{EI} \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} ql^2 \cdot l \right) \cdot \left( \frac{3}{4} l \right) + \frac{1}{EI} \cdot \left( \frac{3}{2} ql^2 \cdot l \right) \cdot l = \frac{1}{8} \frac{ql^4}{EI} + \frac{3}{2} \frac{ql^4}{EI} = 1.625 \frac{ql^4}{EI}$$

#### (二)求解过程分析

若在线交互答题,针对弯矩图绘制,需要使得答题者绘制杆段 $AB$ 的 $A, B$ 两点弯矩 $Aa' = Bb' = \frac{3}{2} ql^2$ ,并用直线连接 $a'b'$ ;绘制杆段 $BC$ 的 $B, C$ 两点弯矩 $Bb'' = \frac{1}{2} ql^2, Cc'' = 0$ ,并用抛物线连接,抛物线

中心处弯矩下降值为 $\frac{1}{8} ql^2$ ,而中心处弯矩值为 $\frac{1}{8} ql^2$ 。此后,使用绘制弯矩的结果、连接方式,按段应用图乘法计算位移。由此在计算上若完成这些操作,并将回答结果记录下来,通过与正确结果比对,就可以实现自动评判。

#### (二)引导式在线交互答题的程序设计实现思路

##### 1. 试题参数数据文件与初始化

为了给答题者提供绘制弯矩图和计算变形的环境,每个备答题目均含有一个图形文件和一个文本数据文件。图形文件提供该题目的JPG图形。数据文件记载对应题目的载荷单位、尺寸单位、杆段数量、杆段的关键点(弯矩突变点)和特殊点(分布载荷)的坐标、正确的弯矩值、方位(上、下、左、右)、关键点之间连接方式、约束类型、单位载荷施加方向、各段位移正确结果等。

载荷单位、尺寸单位,以字符串记载,如  $l$ 、 $a$  和  $m$  都可以为长度单位,  $q$ 、 $F$  和  $N$  都可以作为载荷单位,弯矩由载荷单位和长度单位形成。那么,答题者答题过程主要涉及数值。

初始化数据文件的形式:长度单位,载荷单位;最大弯矩;最大长度,最大宽度;杆段数。关键点输入:关键点数,关键点字母,关键点横坐标  $x$ 、纵坐标  $y$ ,弯矩方位,正确弯矩值。特殊点输入:特殊点横坐标  $x$ 、纵坐标  $y$ ,特殊点类型,特殊点正确弯矩值。约束输入:约束类型,约束横、纵坐标。

题目选择时,程序初始化,读入相应数据文件,记载变量,同时,将绘制载荷下弯矩图和单位载荷下弯矩图的图片框 Picture 内,程序将以 Line 控件形成可点击操作的杆段结构、以 label 控件显示关键点字符,并按约束类型绘制约束。

## 2. 宏观引导步骤

主观题答题过程需要引导,宏观引导告诉答题者完成几大做题步骤,与正常答卷大体一致,包括:通过列表框内选题;单击绘制载荷作用下弯矩图框内杆段和关键点绘制弯矩值,选取连接方式连接图形;施加单位载荷,绘制单位载荷下的弯矩图;弯矩图绘制后,按图乘法选取杆段填写系数进行结构变

形计算;完成后上交评判。

## 3. 引导式在线答题

第一,载荷作用下弯矩图在线交互绘制。程序将刚架视为不同杆段,通过引导答题者在关键点绘制弯矩大小。如图 1 由  $AB$  和  $BC$  两个子段组成,  $A$ 、 $B$  为  $AB$  子段的两个关键点,  $B$ 、 $C$  为  $BC$  子段的两个关键点。

答题者针对这类主观题在线答题,按照自己的思路绘制弯矩图,答题者绘制弯矩图都应针对每个杆段在其关键点上绘制一定大小的弯矩标高线,然后根据杆段受力类型选择连接方式连接。

按宏观引导,答题者点击杆段和对应的关键点,当答题者鼠标击中某个杆段和相应关键点,杆段和关键点通过变色,表明杆段和关键点被选中,此事件将触发程序弹出关键点的弯矩绘制方向选择对话框。如图 2 所示,即为选择  $BC$  杆段的关键点  $B$ 。程序继续引导答题者按自己意愿选择箭头方向,如图 2 (a) 所示为可以选择上下方向,选择向上或向下箭头方向,程序将提供文本框图 2 (b),引导答题者输入弯矩具体值,答题者自己填入数据,确认后,程序将按答题者的要求绘出并显示关键点弯矩值,图 2 (c),若选择 0,则绘制弯矩值在当前点,显示 0 值。

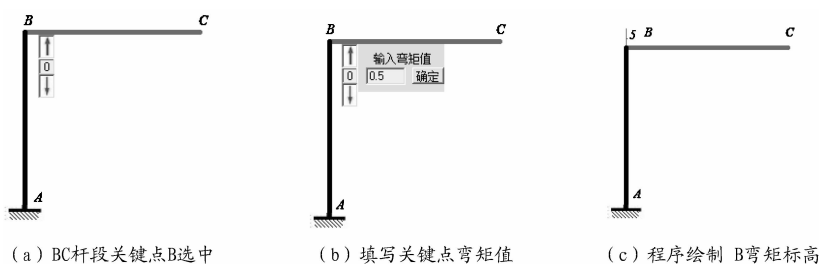


图 2 杆段关键点弯矩绘制图例

当某杆段已经绘制关键点弯矩值超过 2 个。满足可连接条件,答题者点击杆段的一侧,程序将提供给答题者连接方式,每个杆段的连接方式有 2 种抛物线和直线两类三种形式。当答题者点击  $BC$  杆段

上方,出现的图 3 (a),若如图选取,并在中点弯矩值文本框内输入弯矩值,将在  $BC$  段绘制图 3 (b) 抛物线,中点标高落下 0.125 的数值。

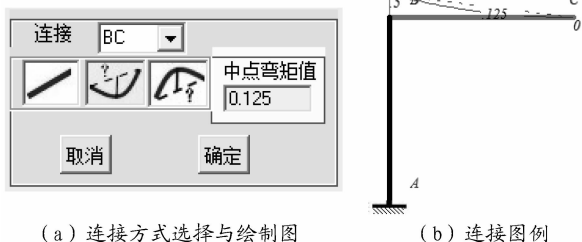


图 3 杆段关键点连接方式选择与绘制图

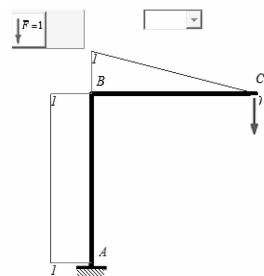


图 4 杆段单位载荷下弯矩图绘制

第二,单位载荷下弯矩图在线交互绘制。程序引导施加单位载荷,之后,弯矩图绘制与载荷作用下弯矩图绘制过程大致相同(见图4)。

第三,图乘法计算位移在线交互过程。针对每段杆段位移计算,程序提供10处可能输入参数的文本框,初始值赋的是1。考虑到复杂分数情况,每项系数可输入分子和分母数值,可以采用分数或小数计算。

包括计算项符号选择、刚度系数、面积类型系数、面积系数、长度系数、高度系数、标高系数(如图5所示)。

答题者针对不同杆段,按照自己思路添加计算项。可以按照自己思路绘制的弯矩图,在给定的输入计算位移量框架内,输入各段具体的图乘法的各项系数数据。程序提供帮你计算按钮获得计算结果。图6为本题的正确输入。

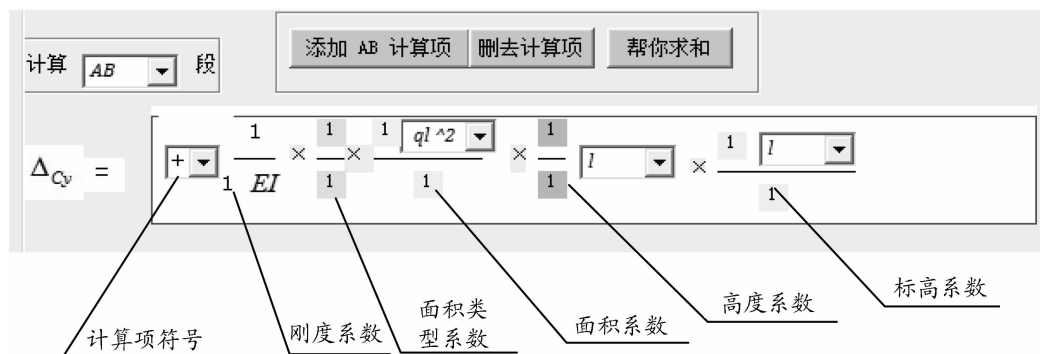


图5 图乘法相关系数描述

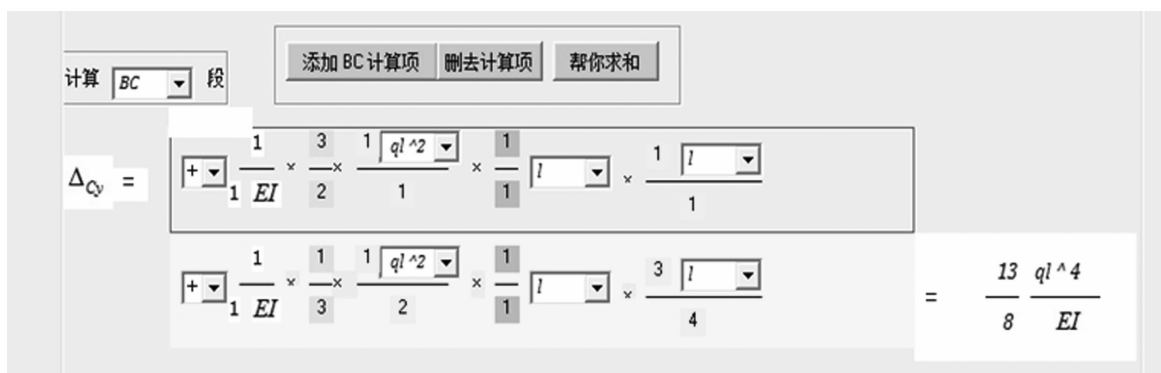


图6 图乘法输入计算实例图

## 二. 在线评判

### (一) 答题过程跟踪程序记载

答题者无论是载荷下弯矩图的绘制、单位载荷施加与单位载荷下弯矩图的绘制、图乘法每段输入与计算,都将以变量的形式被记载。若答题过程修改,程序将记载答题者最后一次确认的杆段关键的弯矩值、弯矩点绘制方向,特殊点弯矩变化数值,单位载荷施加方向,每段位移计算系数的输入和确认后的分项结果。

### (二) 基于程序的成绩自动评判

评判结果时,程序分别检查每个杆段的关键点弯矩输入方位和输入值、特殊点输入方位和弯矩值是否与数据文件给定的正确值和正确方位是否一

致,按步给分累计成绩。

图乘计算过程,程序检查施加单位载荷的方向,每段杆件的图乘结果与输入文件的正确结果是否一致,按步给分累计成绩。正确给出对号标记显示,错误给出答叉号标记显示,累计分值,显示本题答题结果。

### 三、图乘法主观题在线答题与自动评判实例

实例1,图7所示刚架,载荷和尺寸如图,弯矩刚度均为 $EI$ ,计算 $C$ 垂直位移 $\Delta_{Cy}$ 。图7和图8为实例1两种答卷与成绩评定情况。

实例2,图9所示梁,载荷和尺寸如图,弯矩刚度为 $EI$ ,计算 $B$ 垂直位移 $\Delta_{Cy}$ 。下面为命题与评定情况。

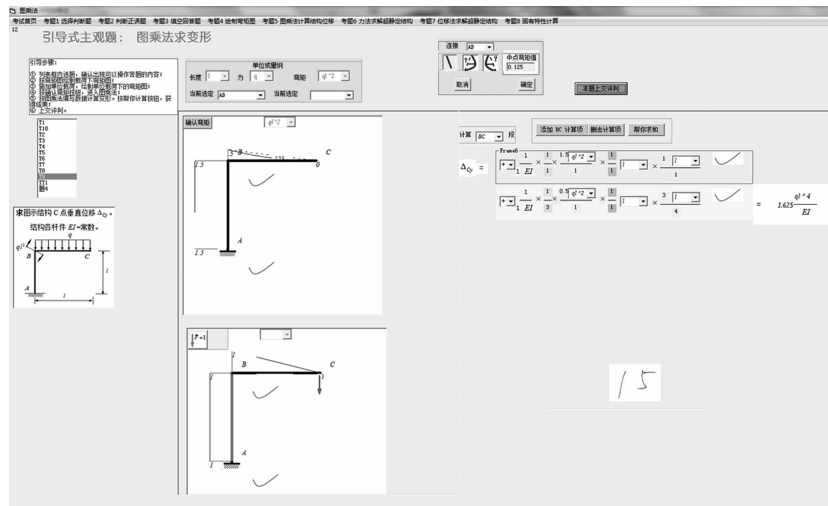


图 7 实例 1 答卷与成绩评定(完全正确情况)

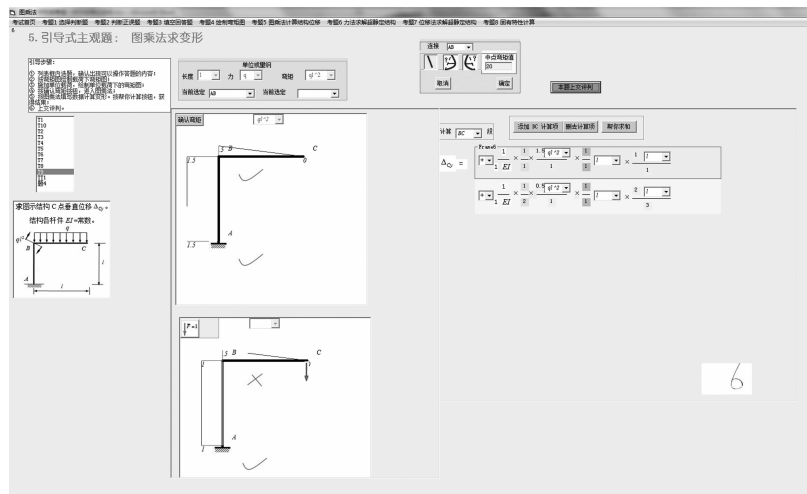


图 8 实例 1 答卷与成绩评定(部分错误情况)

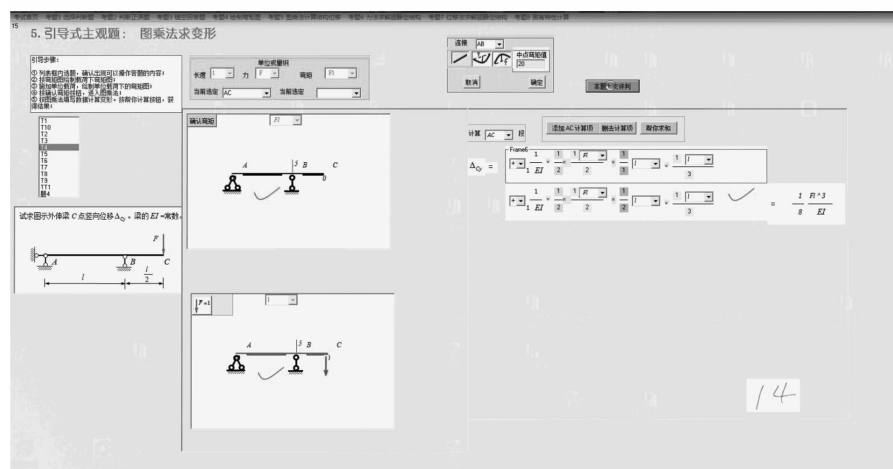
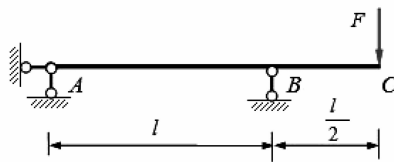


图 9 实例 2 答卷与成绩评定

### 四、结构力学课程典型主观题的答卷与自动评判

依据引导式主观题答卷的基本思想,完全实现结构力学课程无纸考试与自动评判,并建立包括选择判断题、判断正误题和填空题等3种客观题、静定弯矩图绘制、图乘法计算位移、超静定结构力法求

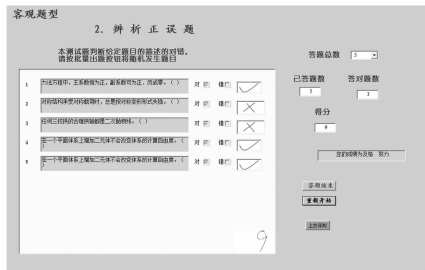
解、超静定结构位移法求解和结构固有特性计算等5种主观题的无纸考试与自动评价程序。实例化后每题的具体分数,最后程序运用VBA技术所有选题与成绩评定结果写到word文件中。图10是一组具体试卷的答题与评判情况。



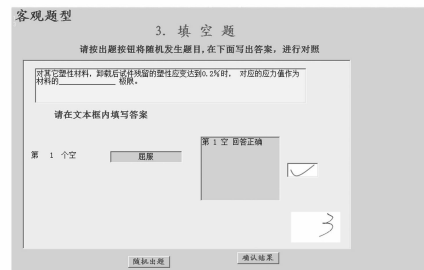
(a) 系统首画面



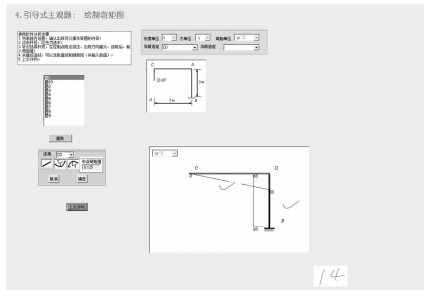
(b) 考题1 选择题 (客观题型)



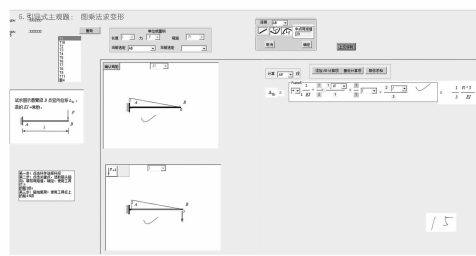
(c) 考题2: 判断正误 (客观题型)



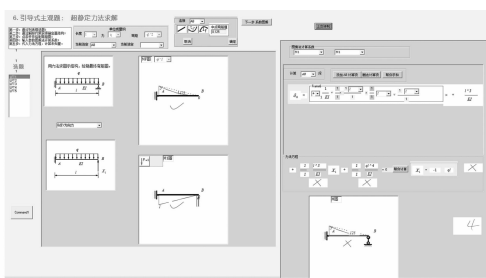
(d) 考题3: 填空题 (客观题型)



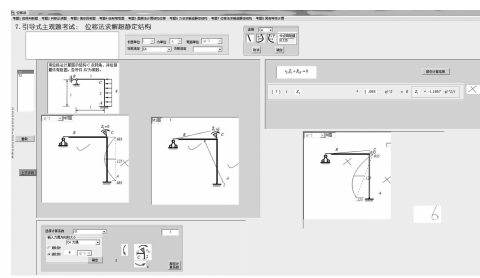
(e) 考题4: 绘制弯矩图 (主观题)



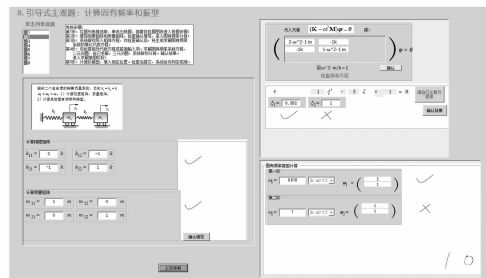
(f) 考题5: 图乘法计算变形 (主观题)



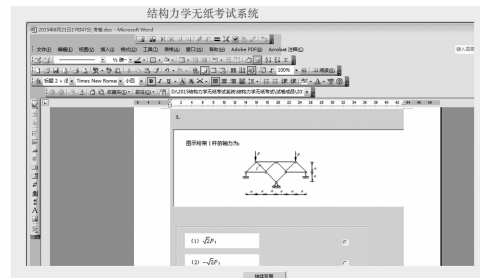
(g) 考题6: 力法求解超静定结构 (主观题)



(h) 考题7: 位移法求解超静定结构 (主观题)



(i) 第8考题: 结构振动问题 (主观题)



(j) 最终的word 试卷答案与评定文件

图10 结构力学课程无纸考试与成绩评定实例

## 五、结语

本文探讨结构力学课程主观题在线答卷与成绩自动评定问题,提出了引导式答卷与自动评判程序方法。以图乘法计算结构位移问题为例,概述了引导式答卷过程和成绩自动评定的程序机制,给出了基于主观题引导式方法的典型结构力学课程综合无纸考试的具体实例与评判。其研究思路将为力学课程等工程类主观题的考试与评定提供有效的程序方法。

### 参考文献:

- [1] 田甜,张振国. 主观题自动阅卷技术研究[J], 计算机工程与设计, 2010,31(16):3697-3704.
- [2] 何克抗,许骏. 计算机辅助测评(CAA)研究新进展—技能性非客观题的自动测评开放[J]. 教育技术研究方法, 2005(2): 75-53.
- [3] 青究,叶雪梅,陈钟,刘红. 无纸化考试系统自动组卷策略分析及改进[J], 计算机应用, 2008, 28(12):100-102.
- [4] 刘应成. 主观试题计算机辅助判卷系统的设计与实现[J]. 中山大学学报论丛, 2004(6):357-359.
- [5] 高思丹,袁春风. 语句相似度计算在主观题自动批改技术中的初步应用[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(14):132-135.
- [6] 邱季华. Visual Basic 程序设计教程[M],北京:机械工业出版社,2008.
- [7] 教育部教育管理信息中心. 侯祥林. 结构力学多媒体辅助教学系统,全国第十届多媒体课件大赛高教工科组一等奖[DB/OL],<http://www.cern.net.cn>, 2010.10
- [8] 辽宁省教育厅. 侯祥林,费焯,郑夕健. 结构力学辅助教学与测试系统,2014年辽宁省教育软件大赛本科组一等奖[DB/OL],<http://www.lnen.cn>,2014.09.02
- [9] 侯祥林,郑夕健,费焯. 结构力学多媒体辅助教学软件研发与辅助教学应用中的探讨[J],高等建筑教育,2015,24(4):139-146.
- [10] 侯祥林,郑夕健,费焯,定位于辅助地位的结构动力学软件研发与辅助教学实践研究,高等建筑教育,2016, 25(3):158-167.

## Study on online answer and automatic evaluation method about guided structural mechanics subjective examination questions

HOU Xianglin, ZHENG Xijian

(School of Mechanical Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, P. R. China)

**Abstract:** In this paper, from paperless examination about structural mechanics curriculum, online answer and computer evaluation difficulties about subjective examination questions are analyzed. Program method about guided subjective examination questions and automatic evaluation is proposed. In the VB software platform, with diagram multiplication method computing structure displacement problem, subjective questions online interactive answer and score evaluation mechanism about structural mechanics are described and practical examples are given. Online answer and automatic evaluation result about examination paper include statically determinate bending moment diagram, diagram multiplication method, statically indeterminate structure force method and displacement method, structure inherent characteristics are listed. The method will be provided for paperless examination of mechanical engineering courses.

**Keywords:** structural mechanics; subjective questions; paperless examination; score automatic evaluation; program design

(编辑 王 宣)