

● 现代土木工程精品系列图书

实验结构力学

SHIYAN JIEGOU LIXUE

王焕定 陈再现 著



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

现代土木工程精品系列图书

实验结构力学

王焕定 陈再现 著

哈尔滨工业大学出版社

内容提要

本书弥补了“结构力学”课程无实验的缺陷,在所发明的“积木式平面结构力学性能万能实验台架”的基础上,设计了几乎覆盖“结构力学”全部教学内容的可选择实验:连续变截面柱受力变形,桁架受力变形及模型修正,静定刚架受力变形及模型修正,线弹性结构“位移互等”定理,超静定结构(力法、位移法)受力变形及模型修正,结构变形影响线等静力实验内容和频率、振型及阻尼测定等动力学实验内容。将系统识别(也称模型修正)的内容通过介绍其思想和使用软件,使学生能够深刻理解该方向的前沿研究课题。

本书适合所有开设“结构力学”课程的专业学生使用,也可供对模型修正感兴趣的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

实验结构力学/王焕定,陈再现著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2016.7

ISBN 978-7-5603-5916-8

I. ①实… II. ①王…②陈… III. ①结构力学-实验 IV. ①0342-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 062153 号

策划编辑 王桂芝 张 荣
责任编辑 张 荣 王桂芝
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 黑龙江艺德印刷有限责任公司
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 7.25 字数 180 千字
版 次 2016 年 7 月第 1 版 2016 年 7 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-5916-8
定 价 25.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

近年来,“结构力学”作为土木工程等学科非常重要的专业基础课,在教育部力学教学指导委员会的领导下,经相关教师的多年努力,与时俱进地推出了《定性结构力学》和《趣味结构力学》等创新教材和教学参考资料,为提高“结构力学”教学质量做出了重大贡献。

但我们认为在当前的教学中仍有两点尚需进一步改革:(1)在“理论力学”都增设了实验课的今天,“结构力学”仍然没有实验课,这是一大缺陷,亟须改进;(2)与绝大多数课程一样,“结构力学”的教学模式仍停留在教师课堂讲授、学生被动接受知识的状态,没有体现以学生为主体、教师为主导的先进教学理念。

为此我们经过十多年的探索和实践,结合国家优秀教学团队的建设项目,发明了“积木式平面结构力学性能万能实验台架”(包含实验构件、支座等),获得国家发明专利(ZL 2011 1 0266352.8),为开设“实验结构力学”课程奠定了技术支撑。该专利之所以命名为“积木式”,因其实验模型由学生自主设计,测点位置由学生自主确定,结果分析与实验改进由学生自主探索,实验时间由学生自主控制。显而易见,是要凸显以学生为主体、教师为主导这一先进的教学理念。

“结构力学”为解决结构的强度、刚度和稳定性问题,就必须要有相应的力学计算模型。可是通观目前“结构力学”的所有教材(当然也包括我们自己的教材),所介绍的力学计算简图,全是前人在计算技术(相对目前)相当落后的时代所提出的,根本没有与时俱进。最具有代表性的例子就是所谓的“桁架”,众所周知它目前的计算简图是“直杆理想铰接体系”。但作为钢结构桁架,它的实际构造是杆件通过节点板或焊接、或铆接、或高强螺栓连接,它们与理想铰链连接显然相距甚远;作为钢筋混凝土桁架,各杆件是整体浇筑且弦杆中的配筋是连续的,也根本不是理想铰链连接。显然,桁架计算简图虽在“轴线交于一点、荷载作用于节点”前提下能抓住结构轴力是主要因素这一特征,但它与实际结构受力和变形显然是存在较大差异的。用现有力学模型计算相应结构与实际存在较大误差,这需要通过实验增加学生的感性认识,为学生以后进一步深造及解决实际工程问题提供相应的概念。因此,通过开设“实验结构力学”使学生深刻理解实验的重要性,对培养21世纪的学生是必要的。

随着轻质、高强材料的采用,随着结构大型化、复杂化,工程造价剧增。因此,应运而生了对现有结构的力学模型进行修正(或称系统识别)、健康监测或检测、结构安全评定等新课题,而对现有力学模型的修正是基础。然而,本科生对力学模型修正课题是缺乏必要知识储备的。因此,将远远超过本科生知识储备的内容作为“黑盒子”,学生通过利用计算机软件在已知荷载与响应的前提下,识别出与实验结果更为接近的力学模型,这对学

生了解最新科学技术、启发学生的创新探索精神是大有益处的。为此,我们开发了配套的“实验结构力学专用软件”,为开好“实验结构力学”课程增加了技术保障。

本书研究并设计了几乎覆盖目前结构力学全部内容的力学实验,其中还有几个是超出教学基本要求的,当然不可能要求每个学生都完成全部实验,需要做什么实验、如何通过它们达到最佳的教学效果,这就需要充分发挥教师的主导作用了。仁者见仁,智者见智,经过大家一段时间的探索,我们相信一定会得到较为满意的结果。

本书可供所有需要开设“结构力学”课程的本科和大专学生使用,也可供相关的技术人员参考。

本书承蒙华南理工大学魏德敏教授和大连理工大学陈廷国教授审阅,他们提出了许多宝贵的意见和建议,对书稿的部分内容给出了具体的修改意见,他们认真负责的精神让人钦佩,对他们给予的帮助特致以衷心感谢!

限于作者的能力和水平,作为第一本《实验结构力学》书籍,难免还存在不妥之处,为此恳请使用本书的教师和学生等能不吝赐教,以便共同为改进和提高教学质量做出贡献。在此,谢谢诸位了!

作 者

2016.3

目 录

第1章 绪论	1
第2章 平面结构积木式万用实验台简介	5
2.1 实验平台	6
2.1.1 实验平台底板	6
2.1.2 实验平台立柱	7
2.1.3 实验平台横梁	7
2.1.4 实验平台盖板	8
2.2 平面结构加载方式	9
2.2.1 砝码加载	9
2.2.2 蜗轮蜗杆加载	9
2.3 测试设备	11
2.3.1 应变测量仪器仪表	11
2.3.2 位移测量仪器仪表	16
2.3.3 动力测量仪器仪表	19
第3章 积木式实验模型简介	21
3.1 杆件及其连接件	21
3.2 各类支座	23
3.3 积木式实验模型举例	27
第4章 实验结构力学专用软件简介	30
4.1 引言	30
4.2 实验结构力学专用软件功能简介	30
4.2.1 图形建模和计算结果显示	30
4.2.2 力学核心计算程序	32
4.3 图形建模举例	33
4.3.1 刚架结构的图形建模举例	33
4.3.2 对图形建模软件所创建文件的说明	39
4.3.3 利用文本编辑软件创建模型举例	41
4.3.4 借助 test1.inp 文件和文本编辑软件创建模型举例	42
* 4.4 软件核心计算模块编制的基本思想	46
4.4.1 变截面单元的单元刚度方程	46

4.4.2 位移图的算法、测点位移和应变的确定	49
4.4.3 “正分析”系统识别的基本思想	52
4.5 传统计算举例	53
4.6 全自动识别系统参数举例	57
4.6.1 全自动识别的模型例子	57
4.6.2 全自动识别的准备工作	57
4.6.3 全自动系统参数识别	59
4.7 逐步识别系统举例	62
第5章 结构力学静力实验	64
5.1 静定结构受力变形	64
*5.1.1 变截面柱的受力和变形实验	64
5.1.2 静定桁架的受力和变形实验	66
5.1.3 静定刚架的受力和变形实验	67
5.2 线弹性结构“位移互等”定理验证	70
5.3 超静定结构受力变形	71
5.3.1 力法实验	71
5.3.2 位移法实验	72
*5.4 变形影响线	74
第6章 结构力学动力实验	76
6.1 单自由度钢框架模型动力特性测试	76
6.2 多自由度钢框架模型动力特性测试	78
*第7章 实验结构力学专用软件的进一步应用	81
7.1 刚架结构分析的补充例子	81
7.2 连续变截面塔架的近似分析	86
7.3 传统桁架模型的计算	91
7.3.1 借助 test1.inp 文件和文本编辑软件创建桁架模型	91
7.3.2 实验桁架模型按传统方法计算的结果	95
7.4 桁架结构的识别分析	101
7.4.1 tradition_modeling_informationw.txt 文件的建立	101
7.4.2 “桁架”结构的识别分析	104
第8章 展望	106
8.1 大型均匀设计表的自动生成	106
8.2 主次分步分析的专家系统	106
8.3 更有效的智能识别方法	107
8.4 软件的与时俱进	107
参考文献	108

第1章 绪 论

1. 结构力学与结构检验课程之不足

翻开任何一本《结构力学》教材,在绪论中都明确指出其研究对象主要是平面杆件体系(简称平面结构),其任务是解决该类结构的强度、刚度和稳定性问题,目的是为结构设计提供必要的理论依据,确保结构的安全性。

由此可见,结构力学作为力学与结构之间一门承上启下的专业基础课,在土木、水利、水工(港工)、桥梁交通等专业教学计划中有着极其重要的作用,这是众所周知的。

那么,结构力学当前的教学情况如何呢?广大教师首先意识到的是结构力学所涉及的计算模型(计算简图)与工程实际结构的构造存在显著差异,因此许多人认为应该在结构力学中增加建模能力的培养。此想法无疑是对的,但作为一门承上启下的专业基础课,在学生尚无专业知识的情况下,如何能够承担结构建模之任务?虽有一些探索,但在教学学时有限的情况下,至今尚未见到被大多数人认同的良策。

随着教学改革的深入,清华大学袁驷教授首先提出除了要重视计算力学的电算之外,还必须增强学生的“脑算”一定性分析能力的培养。经过多年的努力,在同济大学朱慈勉教授的配合下编写了《定性结构力学》教学讲座资料。这当然是一项创新,对提高结构力学教学质量具有重大意义。此外,东南大学单建教授撰写了《趣味结构力学》,既提高了学生学习兴趣,也与《定性结构力学》资料一样,加强了定性能力的培养。但是,由于学制计划学时数所限,绝大多数学校无法将《定性结构力学》或《趣味结构力学》纳入教学计划,只能在授课过程中尽量注意对学生“脑算”一定性分析一能力的引导。

自中华人民共和国成立以来,土木工程等学科开设的结构力学都是沿袭前苏联的模式,将力学分成三门课程:理论力学、材料力学和结构力学。在三门力学课程中,仅仅材料力学课程有实验要求,理论力学(除少量演示性实验外)和结构力学都没有实验要求。近年来,随着力学基地建设,理论力学也增加了实验内容,但结构力学仍原地踏步,始终保持没有实验的状态。

可能有人不赞同该观点,他们认为虽然结构力学没有实验,但培养计划中有结构实验与检测课程,因此不能说没有实验。姑且认可这种说法——因为据了解许多学校的教学计划中已经没有该课程,即便有也仅仅是任选的选修课。下面让我们来了解一下结构实验与检测课程是如何开设的。该课程除介绍实验仪器、仪表如何使用外,也对虽非足尺结构或构件等比较大型的模型(一般为桁架和钢筋混凝土梁)进行实验测定。无可非议这是非常必要的,当然也是很好的。但是,一个结构力学实验室能有多少台可供实验的设备?由此需要多少人一组进行实验?一些条件稍差的学校,可能只进行演示性的实验,学生仅仅作旁观者观看实验而已。即便是条件较好的学校,一个实验小组的人数恐怕也要多到两位数。这能使大多数学生得到实际操作的锻炼吗?回答应该是否定的!

另一方面,就目前结构力学教学情况而言,虽然大量采用了现代教学技术,增加了单位时间信息量,但是基本上仍然还是教师讲解、学生被动接受的“灌注式”(或称“注入式”)教学模式。作者曾经探索如何在结构力学课程教学中体现以学生为学习的主体,尽量培养学生自主学习、自主获取知识的能力。作者发表过相关论文,在有关会议上作过报告,在精品课程建设中还研发了配套的电子教案,但至今都没有得到推广。

综上所述,虽然结构力学的教师都在勤勤恳恳地为提高学生培养质量而努力,但是还有许多不尽人意的地方,需要大家一起共同努力来克服。

2. 两个明显的误区

在所有《结构力学》教材的绪论中都指出,为解决结构的强度、刚度和稳定性问题,首先需要将结构进行抽象简化,即要将复杂的实际结构变成能用结构力学原理、方法和计算技术进行计算的“计算简图”,并且指出确定计算简图的原则是“既要尽可能接近实际,又要确保能够计算”。

但遗憾的是,给出了这个毋庸置疑的正确原则,却没有与时俱进地介绍应该如何利用这一原则确定某个实际结构的计算简图。在教学及实际工程设计中至今所用的计算简图无不都是科技水平远不如当前的前人所遗留下来的。最具代表性的是所谓“桁架”计算简图,限于前人当时的计算技术水平,为满足确保能够计算,设计桁架结构时要求相互连接的杆件轴线(指延长线)交于一点,要求荷载作用在杆件相交的结点处。在此条件下为解决杆件主要受力特征的计算,建立了“直杆铰接”的桁架计算简图,几百年来一直承袭至今没有任何变化。

那么实际所谓桁架结构的构造又是如何的呢?即使在保留轴线交于一点、荷载作用于结点的前提下,对钢桁架而言杆件是通过所谓结点板连接的,杆件与结点板之间或为铆接,或为焊接,或为高强螺栓连接。它们那种构造都和计算简图的理想光滑铰链相距甚远!那么在现代计算技术飞速发展的情况下,按“既要尽可能接近实际,又要确保能够计算”的计算简图确定原则,更好的计算简图该是如何的呢?至今无人考虑,当然也就无法回答!

可能有人根据力学知识推断认为应该是所谓弹性连接的,无疑这一推断是正确的。但接着而来的问题又使得提出这种推断的人束手无策了。那就是要能计算必须要有弹性连接的力学特征(弹性刚度),它该如何确定呢?因为它不仅跟连接构造方式有关,还与施工质量、结点板尺寸等因素有关。因此,事先根本无法确定,至今也未见有人研究并提出确定弹性刚度的方案。既然无法确定弹性连接的力学特征,当然就无法进行计算,也无法建立更为合理的计算模型——计算简图!

上述所说还仅仅是问题的一个方面。另一方面,随着计算机技术的飞速发展,现在的计算机无论是速度还是能解决的问题规模都远远超过20世纪70年代时的大型计算机。随着软、硬件的飞速发展,目前又出现了另一种倾向,那就是迷信通过计算机的计算能解决一切问题。作者的一位美国朋友曾说,美国和其他国家一批研究机场路面的顶级专家,试图通过计算机计算来得到机场路面在大型飞机荷载下任意一点的真实应力,然后以此为据来建立设计准则(规范)。事实上,不管是刚性路面还是柔性路面都是由多种材料组分混杂而成的,各种组分在路面中的位置是随机分布的。以机场的混凝土刚性路面为例,

混凝土由骨料、水泥、砂子、添加剂和水混杂而成,对机场路面来说还配有钢筋,目前所用的所谓钢筋混凝土的力学性质是由混合体的宏观力学特征统计值来确定的。这一力学特性对整体宏观受力和变形响应来说是能较好反映实际的(当然是指在恰当的计算模型前提下的结果)。但是这一结果绝对不是混凝土中任意一点实际受力和变形的本构关系。如果某次实验所研究的点正好在骨料上,而另一次实验仍然是这一点位置却可能是砂浆、也可能是空隙、也可能是钢筋,计算机计算速度再快、你所用计算理论再高精度,显而易见结果不可能是一样的!因为人们不可能知道组成混合体的各种组分在整体中是如何分布的(而且组分的形态是随机的),也不可能使浇筑的两块路面板的组分具有完全相同的形状和分布位置。可是,一点应力的力学计算要用到材料此点处的本构关系,对混凝土类的结构物来说是不可能做到的,因此是不可能获得所需计算简图的,当然也是不可能计算的。

综上所述,在目前的教学、研究和设计中存在两大误区:其一是,前人所建立的计算模型是不需要改变的,给学生的印象是按此模型进行结构分析的结果是精确的;其二是,认为计算机结构分析计算是万能的,通过所谓“精细化”分析可以得到任何结构任意一点的真实受力和变形。

3. 开设《实验结构力学》的预期目的

那么在已知荷载(作用)和结构响应的情况下,能否确定产生此荷载下如此响应的系统模型呢?回答当然是可以的,这是力学的一种“反问题”——模型修正,或称系统识别。但是,其涉及的知识储备远远超出本科生的教学内容。为了解决上述问题——建模、分析计算万能和本科生知识储备不足,作者经多方征询意见和反复摸索,提出了配合结构力学现有教学内容,增设实验结构力学课程的设想。为此,发明了用于开展结构力学实验的实验平台(专利号:ZL 2011 1 0266352.8)和为了解决本科生知识不足的相应软件(在本教材中,只介绍本科生能接受的、“反问题”中一种解法的基本内容,而将“反问题”解法的具体内容屏蔽掉,通过软件作为“黑盒子”供学生使用)。

为了弥补大多数土木工程专业教学计划中缺少结构实验课程,或者即使有也是任选的选修课或者根本没有结构检验课程,加之因为设备和实验费用昂贵、占用场地大等原因导致学生无法动手实验的缺陷,作者发明的实验平台在确保预期实验目的的前提下尽可能实现小型化(也因此大大节省了设备投资)。此外,为了充分体现学生是学习主体的思想,作者提出模型积木式搭建,教师只指出每次实验的基本要求。实验模型完全由学生自主设计,实验的测点布置完全由学生自主确定,做实验的时间由学生自主联系(以避免冲突)确定的做法,大大提高了学生的参与意识,因而取得了事半功倍之效果。

作者认为开设实验结构力学课程可以达到如下目的:

(1)使每个学生都能在材料力学(材料力学性能,单根杆件拉压、弯、剪、扭转等)实验的基础上进一步掌握杆件结构实验的相关仪器设备的应用;

(2)由于实验内容基本涵盖结构力学基本要求(包含有静定结构受力变形实验,“互等定理”实验,超静定结构受力变形实验——力法和位移法、影响线实验、动力特性实验等),使学生在直观、感性认识的基础上更好地掌握结构力学的基本原理、方法和技巧,为学习土木工程相关专业课程打下更为坚实的基础;

(3)通过实验使学生深刻体会到现有的“计算简图”仅是在一定前提下抽象的简化模型,简化模型的计算结果与实际模型的受力变形等的实测结果是存在显著差异的,从而为今后的工作或深入学习打下必要的基础;

(4)了解现代科技水平下已知结构作用和响应时,是可以获得更接近真实的结构模型——也即“系统”的。这里的关键是如何获得足够可靠的实验测试结果。同时也能改变学生对计算力学核心知识一知半解情况下,乱用大型商用软件做毫无意义工作的乱象。实测结果是最宝贵的,计算力学的计算结果正确与否要由实测结果来检验。

也就是说,“实验结构力学”不仅是“结构力学”的补充,也是一项创新。它弥补了“结构力学”课程没有实验和多数学校不开结构检验课程的不足,同时也为本科生课外科研活动和拓展性学习奠定了基础。

通过我校近两年多的开课实践表明,开设“实验结构力学”课程是可行的,教学效果是显著的。加上我们发明的实验平台和开发的“实验结构力学专用软件”,为开设“实验结构力学”课程奠定了坚实的基础。在本教材出版时,会附有配套的教学课件和相关视频材料,完全可以达到预期的教学目的。

第2章 平面结构积木式万用实验台简介

为了开设“实验结构力学”课程,作者在国家级优秀教学团队资金的资助下,与团队成员合作,经过多个方案的反复对比分析,终于在2011年发明了经济、实用的平面结构积木式万用实验台及实验构件、支座等,申报并获得了国家发明专利(专利号:ZL 2011 1 0266352.8),经过反复协商,现已授权公司进行生产销售,并进一步合作改进和完善,为开设“实验结构力学”课程奠定了坚实的基础。平面结构积木式万用实验台与所安装的实验模型的示意图如图2.1所示。该实验台由四大部分组成:实验平台(或称承载框架,图2.1中1、2、3、4、5)、平面结构积木式构件(图2.1中7、8、9、10)、平面结构各种支承(图2.1中11、12、13、14、15)、机械加载装置(图2.1中16、17),所用钢材均为45号钢,且经过热处理。为了节省实验经费,一个承载框架的两面均可安装横梁(图2.1中4),因此两组学生可同时进行实验。平面结构积木式万用实验台实际照片如图2.2所示。

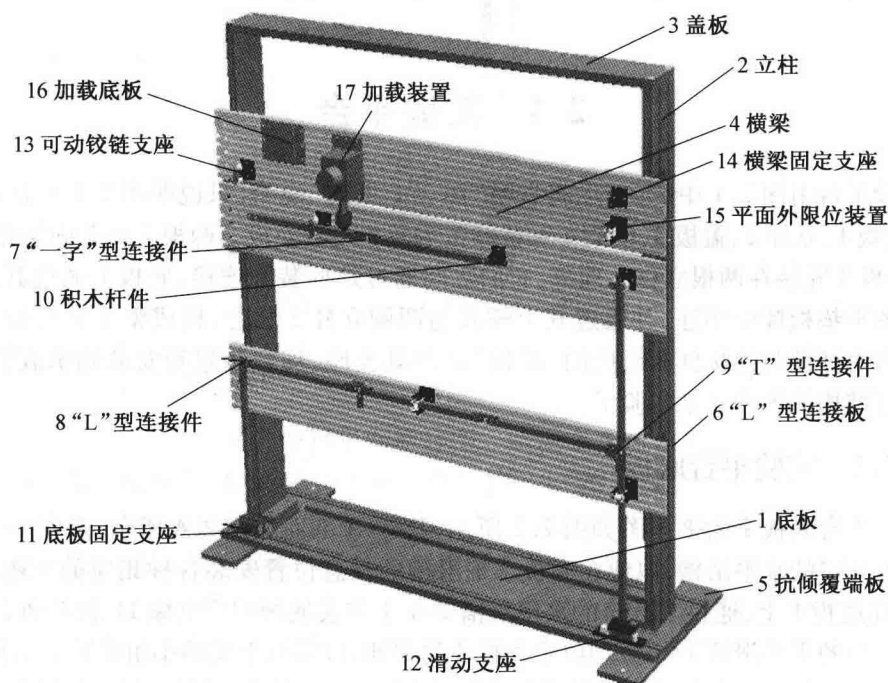


图2.1 平面结构积木式万用实验台与所安装的实验模型示意图

在本实验台上除了可以做平面杆件结构静力实验外,也可做平面杆件结构移动荷载实验和结构动力学实验。遵循学生是学习的主体这一教学理念,实验所用结构是由杆件积木式搭建组成的,因此在实验中,学生可以在教师所给定的一些基本条件下自主设计实验结构、加载方案、测点布置等。但是,如果因为学时等因素,教师也可给定实验结构模



图 2.2 平面结构积木式万用实验台照片

型,各组做同样的实验。哈尔滨工业大学将“实验结构力学”课程纳入有一定结构力学知识之后的夏季短学期教学计划,因此不存在学时不足问题,可供准备开设本课程的学校参考。

2.1 实验平台

实验平台由图 2.1 中的(以下将省略“图 2.1 中的”说明,只说明图 2.1 中的名称与编号)底板 1、立柱 2、盖板 3、横梁 4 和抗倾覆端板 5 组装而成。两根立柱 2 固定在底板 1 两端,盖板 3 安装在两根立柱 2 顶部,它们之间通过螺栓装配连接,底板 1 通过其上螺孔与下部的平垫板螺栓相连,并通过其上螺孔与两侧立柱 2 相连,构成整个装置的主体框架。再将由杆件与连接件所组成的“结构”以及其支座、加载装置等安装到承载框架上,即可进行结构的各种力学实验了。

2.1.1 实验平台底板

实验平台底板 1 的平面图如图 2.3 所示,其 A-A 剖面如图 2.4 所示,图中 1-1 所示为两条上开口的水平滑槽,以便在底板水平滑槽的任意位置安装各种相应的支座。如图 2.1 中,在底板 1 上,通过上开口的水平滑槽 1-1 上安装底板固定支座 11 和滑动支座 12。两条上开口的水平滑槽 1-1 分别位于立柱 2 的两侧,以供两个实验小组安装支座使用。

实验平台底板 1 中间位置设计成带有一个凹形的盘,这既可以减轻质量以便组装和搬运,也可以放置一些工具、各类支座、积木式杆件等物品。此外,为使实验平台不至于发生平面倾倒而造成危险,底板 1 两端安装有抗倾覆端板 5,为便于实验台在基座上调平,抗倾覆端板 5 底部安装有可调高低的装置。

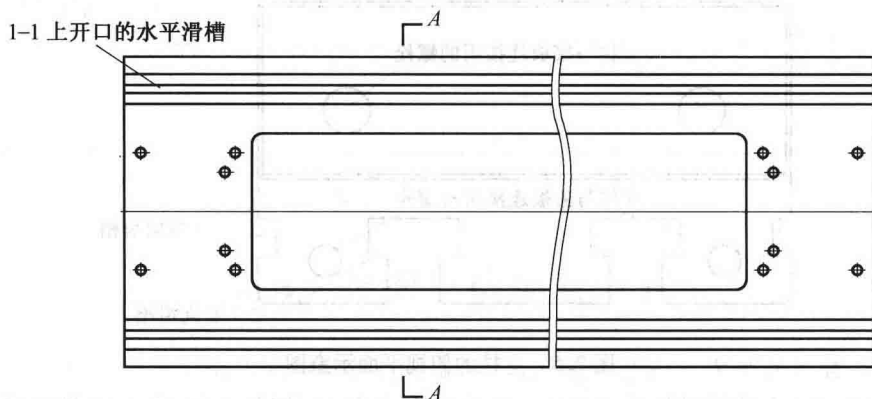


图 2.3 实验平台底板平面图

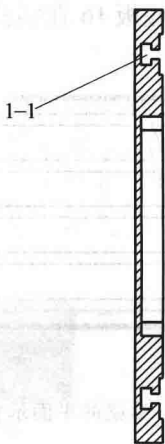


图 2.4 实验平台底板 A-A 剖面图

2.1.2 实验平台立柱

图 2.5 是实验平台立柱的俯视平面示意图。从图 2.5 可以看出,立柱 2 外侧设有竖向滑槽 2-1,其用螺栓与“L”型连接板 6 一侧连接,“L”型连接板 6 的另一侧与横梁 4 用螺栓连接固定。横梁 4 以及“L”型连接板 6 可通过调节螺栓沿竖向滑槽 2-1 相对立柱 2 上下移动,可在任意高度位置定位。为方便横梁 4 上下升降定位,立柱 2 上设有高度刻度标尺。在立柱 2 两侧还设有导向滑槽 2-2,横梁 4 背面上相应地设有与导向滑槽 2-2 配合的导向“凸条”(图 2.6)。这样可以使横梁 4 和立柱 2 之间连接、移动更可靠、稳定,从而实现横梁 4 自由上下升降(改进型的实验台具有机械提升横梁的装置)。

2.1.3 实验平台横梁

图 2.6 是实验平台横梁的平面示意图,图 2.7 是图 2.6 的 A-A 向剖视图。从图 2.1、图 2.2 中可以看出,若干个横梁 4 通过“L”型连接板 6 上下平行安装在两根立柱 2 的两侧,可沿立柱上下升降。每个横梁 4 上设有若干条等间距的侧开口水平滑槽 4-1,横梁 4

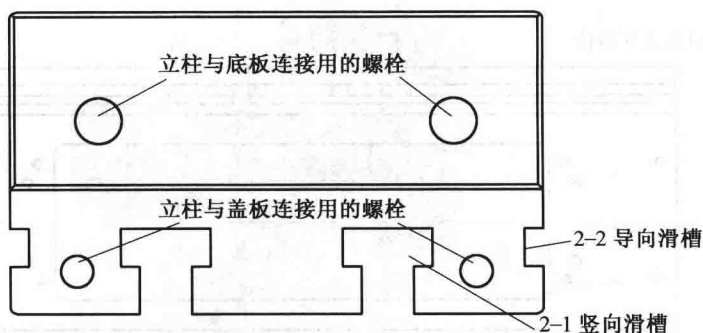


图 2.5 立柱的俯视平面示意图

上通过该滑槽可安装可动铰链支座 13、横梁固定支座 14、限位装置 15 和加载底板 16 等；侧开口的各水平滑槽 4-1 之间的间距相等。横梁 4 通过螺栓与测试仪器仪表或加载底板 16 相连,以实现测试仪器仪表、加载底板 16 在实验平台内任意位置的安装。

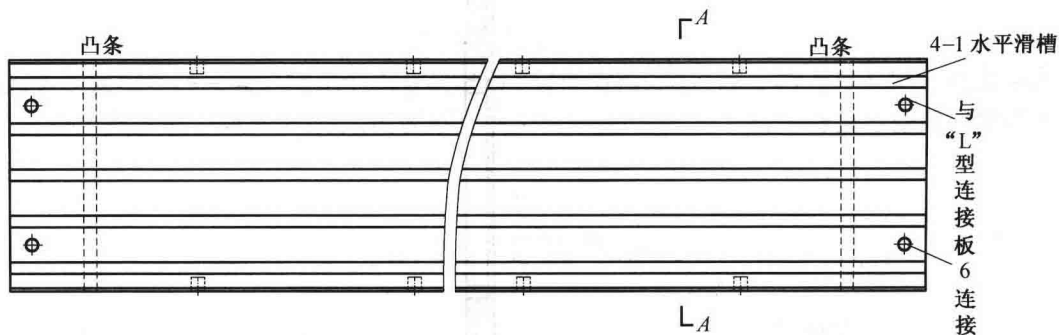


图 2.6 横梁的平面示意图

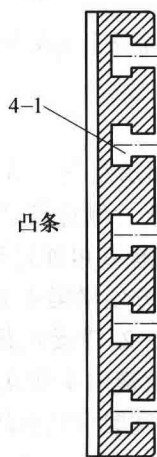


图 2.7 横梁 A-A 剖面图

2.1.4 实验平台盖板

图 2.8 为实验平台盖板 3 平面示意图,其通过图示螺孔与立柱 2 通过螺栓连接,同底

板 1 共同构成整个装置的主体反力框架。

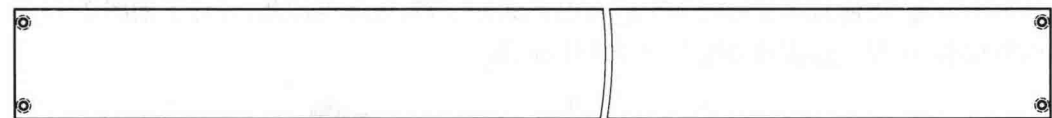


图 2.8 盖板平面示意图

2.2 平面结构加载方式

结构实验的加载方法和加载设备有很多种,为了适应结构力学平面加载及荷载值不大的特点,本实验台的加载装置采用如下两种方式:重力加载中的砝码加载和机械机具加载中的蜗轮蜗杆加载。

2.2.1 砝码加载

砝码加载如图 2.9 所示,主要是通过吊钩上放置砝码的方式实现。该方法加载简单、方便操作,然而因为砝码所施加的只能是铅垂方向重力荷载,要使其能在其他方向施加集中力,需借助滑轮来转换方向,如图 2.10 所示。图 2.10 为施加水平自左向右拉力,如果要施加自右往左水平拉力,则需将横梁上的滑轮安装到结构杆件的左侧。按此思路可实现不同位置、不同方向的荷载施加。

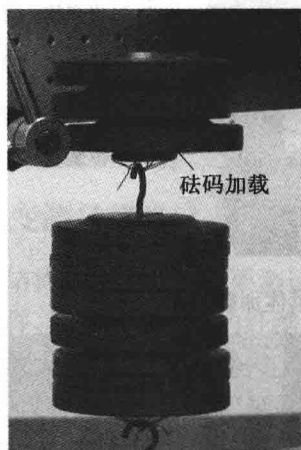


图 2.9 砝码竖向加载示意图

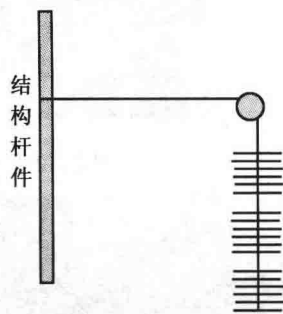


图 2.10 砝码水平加载示意图

2.2.2 蜗轮蜗杆加载

蜗轮蜗杆加载是利用齿轮及螺杆式蜗轮机构传动的原理设计,如图 2.11 所示,当摇动图示手柄时,蜗杆就带动螺旋杆顶升施加压力,反向摇动手柄则实现拉力,荷载值的大小可采用测力计测得。图 2.12 为蜗轮蜗杆具体加载图片,其具体连接如下:首先将加载底板 16 固定到横梁 4 上,再将蜗轮蜗杆机械加载装置 17 固定在加载底板 16 上;在蜗杆的端头连接 M12 的双旋套筒 18,M12 的双旋套筒 18 又与测力计 19 相连,为了实现对结

构施加集中力,测力计 19 又连接一个卡位装置 20,测力计 19 的输出端连接数据放大、转化及显示装置,以便直接读取所加荷载数值。此外,为实现多点加载,设计了如图 2.13 所示的分配梁,实现一点加载分配为两个集中荷载。

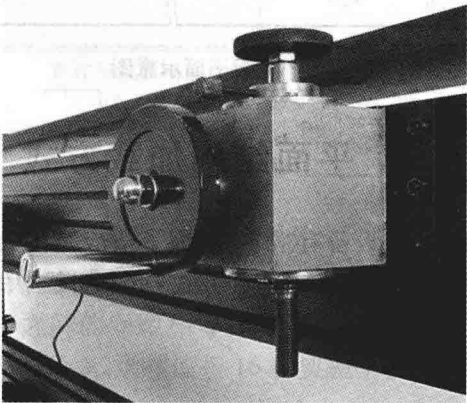


图 2.11 蜗轮蜗杆加载装置照片

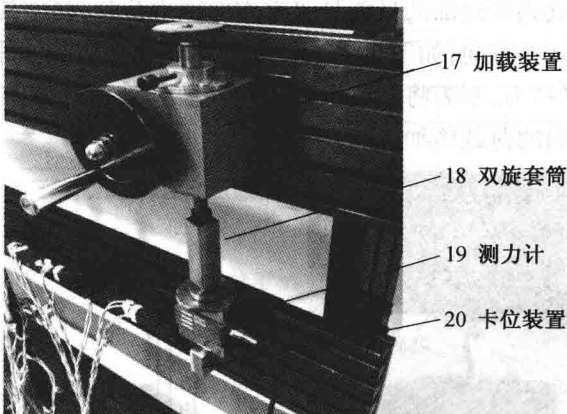


图 2.12 蜗轮蜗杆具体加载图片

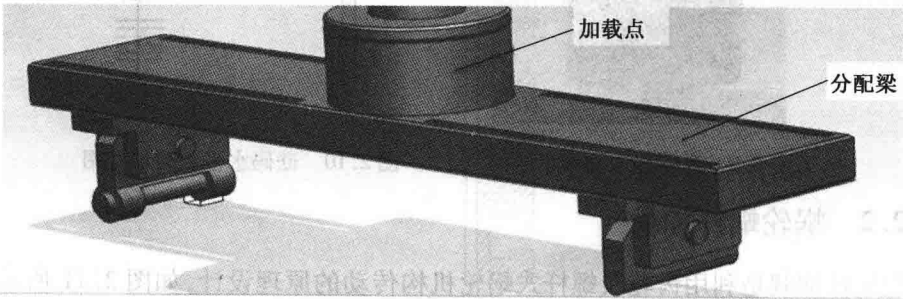


图 2.13 分配梁加载示意图