

JISHUI PAISHUI GONGCHENG

ZHUANYE

SHIYAN JIAOCHENG

给水排水工程专业 实验教程

胡锋平 主 编

唐朝春 童祯恭 鲁秀国 副主编



化学工业出版社

给水排水工程专业国家级特色专业建设点项目 (TS10913) 资助
江西省高等学校教学改革研究省级课题 (JXJG-06-5-22) 资助

JISHUI PAISHUI GONGCHENG

ZHUANYE

SHIYAN JIAOCHENG

给水排水工程专业 实验教程

胡锋平 主 编

唐朝春 童祯恭 鲁秀国 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书依据全国高等学校给水排水工程专业指导委员会制订的给水排水工程专业相关课程教学基本要求,结合给水排水工程专业国家特色专业建设点建设需要编写而成,主要包括给水排水工程专业工程力学、物理化学、水力学、水处理生物学、泵与泵站、水分析化学、水质工程学7门课程共计57个实验项目。

本书可作为高等学校给水排水工程专业本科、专科教学用书,也可供高等学校环境工程专业本科、专科教学参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

给水排水工程专业实验教程/胡锋平主编. —北京:
化学工业出版社, 2010.5
ISBN 978-7-122-07916-9

I. 给… II. 胡… III. ①给水工程-实验-教材
②排水工程-实验-教材 IV. TU991-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第040626号

责任编辑: 邹宁
责任校对: 王素芹

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张8 $\frac{1}{4}$ 字数216千字 2010年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究



《给水排水工程专业实验教程》

编写组

主 编：胡锋平

副主编：唐朝春 童祯恭 鲁秀国

参 编：（按姓氏笔画排序）

丰桂珍 王秋华 兰 蔚 向速林 刘占孟

刘雪梅 李 丽 吴彩斌 邹定环 陈 鹏

张卫风 夏 坚 喻晓今 戴红玲

前言

FOREWORD

本书依据全国高等学校给水排水工程专业指导委员会制订的给水排水工程专业相关课程教学基本要求，结合给水排水工程专业国家特色专业建设点建设需要编写而成，主要包括给水排水工程专业工程力学、物理化学、水力学、水处理生物学、泵与泵站、水分析化学、水质工程学 7 门课程共计 57 个实验项目。

本书的出版得到了华东交通大学给水排水工程专业国家级特色专业建设点项目(TS10913)、江西省高等学校教学改革研究省级课题(JXJG-06-5-22)的资助。

全书由华东交通大学胡锋平主编，第一章由喻晓今、邹定环编写，第二章由夏坚编写，第三章由唐朝春、向速林、陈鹏编写，第四章由丰桂珍、刘占孟、张卫风、王秋华编写，第五章由戴红玲编写，第六章由鲁秀国、兰蔚、李丽、王秋华编写，第七章由童桢恭、胡锋平、兰蔚、吴彩斌、刘雪梅、戴红玲编写。

本书可作为高等学校给水排水工程专业本科、专科教学用书，也可供高等学校环境工程专业本科、专科教学参考使用。

本书在编写中参考了一些单位和个人的著作和资料，在此谨向他们表示衷心的感谢。由于作者水平有限，书中不妥之处敬请批评指正。

编者
2010年2月20日

目 录

CONTENTS

第一章 工程力学实验	1
实验一 拉伸试验	1
实验二 压缩试验	6
实验三 梁的弯曲正应力实验	8
第二章 物理化学实验	17
实验一 燃烧热的测定	17
实验二 乙酸电离平衡常数的测定	20
实验三 电位差计法测定原电池电动势	21
实验四 溶液表面张力的测定	24
实验五 蔗糖水解反应速率常数的测定	25
第三章 水力学实验	29
实验一 点压强量测实验	29
实验二 流线演示实验	30
实验三 点流速测定实验	31
实验四 能量方程实验	33
实验五 流量系数测定实验	35
实验六 动量方程实验	37
实验七 流态演示实验	39
实验八 沿程阻力系数测定	41
实验九 水击演示实验	43
实验十 水面曲线实验	43
实验十一 流速分布图绘制实验	45
第四章 水处理生物学实验	48
实验一 显微镜的使用及几种微生物个体形态的观察	48
实验二 微生物的细胞计数实验	49
实验三 细菌的革兰氏染色	50
实验四 培养基的制备及灭菌实验	52
实验五 细菌的纯种分离培养、接种及保存技术	54
实验六 生活饮用水细菌菌落总数的测定	55
实验七 多管发酵法测总大肠菌群数	56
第五章 泵与泵站实验	59
实验一 水泵构造认识实验	59

实验二	离心泵特性曲线测定	63
第六章	水分析化学实验	67
实验一	HCl 溶液的配制与标定	67
实验二	水中碱度的测定	68
实验三	水的总硬度测定 (络合滴定法)	69
实验四	水中 Cl ⁻ 的测定 (沉淀滴定法)	71
实验五	水中溶解氧的测定	73
实验六	水中高锰酸盐指数的测定	75
实验七	水中化学需氧量的测定 (密封法)	77
实验八	水中色度的测定	78
实验九	水中浊度的测定 (吸收光谱法)	79
实验十	吸收光谱的绘制	81
实验十一	水中 pH 值的测定	83
实验十二	气相色谱演示实验	85
第七章	水质工程学实验	87
实验一	混凝实验	87
实验二	自由沉淀实验	89
实验三	过滤试验	91
实验四	加压溶气气浮的运行与控制	93
实验五	曝气设备充氧性能的测定	96
实验六	污泥沉降比和污泥指数 (SVI) 的测定与分析	100
实验七	污泥比阻的测定	102
实验八	完全混合式活性污泥法处理系统的观测和运行	105
实验九	生物滤池实验	107
实验十	生物转盘实验	108
实验十一	电渗析除盐实验	110
实验十二	树脂类型鉴别实验	113
实验十三	树脂总交换容量和工作交换容量的测定	114
实验十四	活性炭吸附实验	117
实验十五	过滤中和与吹脱实验	119
实验十六	膜生物反应器模型演示实验	121
实验十七	电泳及 ζ 电位测定	123
参考文献	126

第一章 工程力学实验

固体材料包括松散体，岩土，天然固体，制造的有形、一体材料等，工程力学主要研究承力结构材料。

实验一 拉伸试验

拉伸试验用于主要确定承力结构材料在受到单向应力状态下的应力与应变之间的关系。

一、目的

- ① 测定低碳钢的屈服极限 σ_s 、强度极限 σ_b 、延伸率 δ 和断面收缩率 Ψ 。
- ② 测定灰口铸铁的强度极限 σ_b 。
- ③ 观察拉伸过程中的各种现象（屈服、强化、颈缩、断裂特征等），并绘制拉伸图（ $F-\Delta L$ 曲线）。
- ④ 比较塑性材料和脆性材料力学性质的特点。

二、原理

把欲测试的材料制成符合国家有关部门标准的试件，安装于试验机上进行加力试验。

将划好刻度线的标准试件，安装于万能试验机的上下夹头内。开启试验机，油压作用便带动活动平台上升。因下夹头和蜗杆相连，一般固定不动。上夹头在活动平台里，当活动平台上升时，试件便受到拉力作用，产生拉伸变形。变形的大小可由滚筒或引伸仪测得，力的大小通过指针直接从测力度盘读出， $F-\Delta L$ 曲线可以从自动绘图器上得到。

低碳钢是典型的塑性材料，试样依次经过弹性、屈服、强化和颈缩四个阶段，其中前三个阶段是均匀变形的。

用试验机的自动绘图器绘出低碳钢和灰口铸铁的拉伸曲线图（如图 1-1-1）。对于低碳钢试件，在比例极限内，力与变形成线性关系，拉伸曲线图上是一段斜直线。试件开始受力

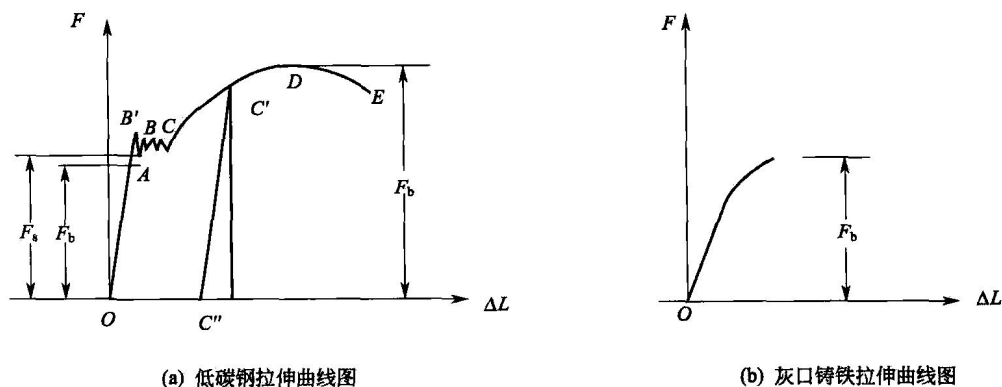


图 1-1-1 拉伸曲线图

时, 头部在夹头内有一点点滑动, 故拉伸曲线图最初一小段是相对明显的曲线。

低碳钢的屈服阶段在试验机上表现为测力指针来回摆动, 而拉伸图上则绘出一段锯齿形线, 出现上下两个屈服荷载。对应于 B' 点的为上屈服荷载。上屈服荷载受试件变形速度和表面加工的影响, 而下屈服荷载则比较稳定, 所以工程上均以以下屈服荷载作为材料的屈服极限。屈服极限是材料力学性能的一个重要指标, 确定 F_s 时, 需缓慢而均匀地使试件变形, 仔细观察。

试件拉伸达到最大荷载 F_b 以前, 在标距范围内的变形是均匀分布的。从最大荷载开始便产生局部伸长的颈缩现象; 这时截面急剧减小, 继续拉伸所需的载荷也减小了。试验时应把测力指针的副针 (从动针) 与主动针重合, 一旦达到最大荷载时, 主动针后退, 而副针则停留在载荷最大的刻度上, 副针指示的读数为最大荷载 F_b 。

在荷载平缓上升的强化阶段, 若卸载, 则走成 $C'-C''$ 一段, 复加载时沿 $C''-C'$ 返回, 称此现象为冷作硬化。

灰口铸铁试件在变形极小时, 就达到最大荷载 F_b , 而突然发生断裂。没有屈服和颈缩现象, 是典型的脆性材料, 其拉伸曲线见图 1-1-1。

三、仪器设备

1. 液压式万能试验机

液压式万能试验机为 WE 系列试验机, 能给试件 (或模型) 施加的最大荷载通常为 50kN、100kN、300kN、600kN、1000kN 和 2000kN 等多种, 能兼作拉伸、压缩、剪切和弯曲等多种试验并广泛应用于材料试验中。其组成结构可分为四大部分: 加载部分、测力部分、自动绘图器和操作面板。其外形见图 1-1-2, 结构原理如图 1-1-3 所示。



图 1-1-2 液压式万能试验机外形

1—摆锤; 2—摆杆; 3—从动针; 4—主动针; 5—测力度盘; 6—小横梁; 7—工作油缸; 8—活动立柱; 9—大横梁; 10—上压板; 11—下压板; 12—支座; 13—活动平台; 14—上夹头; 15—试件; 16—下夹头升降按钮; 17—下夹头; 18—固定立柱; 19—蜗杆; 20—下夹头升降电动机; 21—底座; 22—启动按钮; 23—停止按钮; 24—回油阀; 25—进油阀; 26—自动绘图器; 27—绘图笔

(1) 构造及工作原理

1) 加载部分 在机器底座上, 装有两个固定立柱, 它支承着大横梁和工作油缸。开动电动机, 带动油泵, 将油液从油箱吸入工作油泵, 经油泵的出油管送到进油阀内, 当进油阀手轮打开时, 油液经进油管进入工作油缸内, 通过油压推动工作活塞, 由活塞顶起小横梁, 再由小横梁带动活动立柱和活动平台上升。若将试件两端装在上下夹头中, 因下夹头固定不

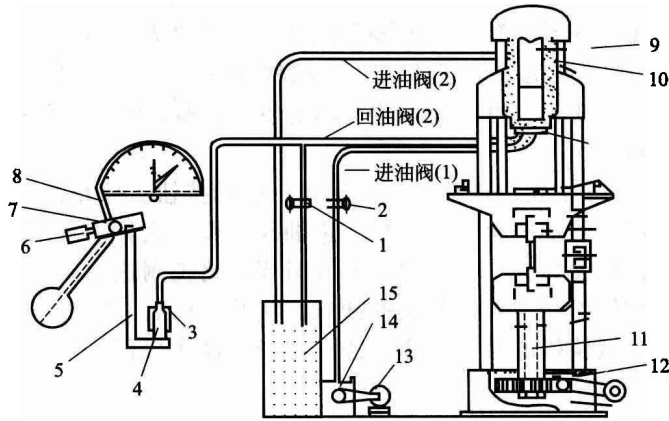


图 1-1-3 液压式万能试验机结构原理

1—回油阀；2—进油阀；3—测力油缸；4—测力活塞；5—拉杆；6—平衡砣；7—支点；8—推杆；
9—工作活塞；10—工作油缸；11—蜗杆；12—蜗轮；13—电动机；14—油泵；15—油箱

动，当活动平台上升时，试件便受到拉力。若把试件放在活动平台的下压板上，当活动平台上升时，由于上压板固定不动，试件与上压板接触后，便受到压力，产生压缩变形。把弯曲试件放在两支座上，当试件随活动平台上升并碰到上夹头后，便产生弯曲变形。一般试验机在输油管路中都装有进油阀门和回油阀门。进油阀门用于加载，控制进入工作油缸中的油量，以便调节试件变形速度。回油阀门用于卸载，打开时，可将工作油缸中的压力油流回油箱，活动平台由于自重而下落，回到原始位置。

根据拉伸的空间不同，可启动下夹头升降电动机，转动底座中的蜗轮，使蜗杆上下移动，以调节下夹头的升降位置。注意当试件已夹紧或受力后，不能再开动下夹头升降电动机。否则，就要造成下夹头对试件加载，以致损伤机件，烧毁电机。

2) 测力部分 主要由测力度盘、指针、回油管、测力油缸、工作油缸、摆锤、拉杆等组成。加载时，工作油缸中的压力油推动活塞的力与试件所受的力随时处于平衡状态。由回油管将工作油缸和测力油缸连通，工作油缸内油压通过回油管，传到测力油缸并推动测力活塞向下。通过拉杆使摆锤绕支点转动而抬起，同时摆上的推杆推动螺杆，螺杆又推动齿轮，齿轮又带动主动针旋转。这样操作者便可从测力度盘上，读出试件受力的大小。

如果增加或减少摆锤的质量，当指针旋转同一角度时，所需的油压也就不同。即指针在同一位置所指示出的载荷大小与摆锤重量有关。一般试机有 A、B、C 三种锤重，测力度盘上也相应地有三种刻度，分别表示三种测力范围。例如 300kN 万能机有 0~60kN、0~150kN 和 0~300kN 三种刻度。实验时，要根据试件所需载荷的大小，选择合适的测力度盘，并在摆杆上挂上相应重量的摆锤即可。

加载前，测力针应指在度盘上的“零”点，否则必须加以调整。调整时，先开动电动机，将活动平台升起 5~10mm，然后移动摆杆上的平衡砣，使摆杆保持铅直位置。转动螺杆使主动针对准“零”点，然后轻轻按下测力度盘中央的弹簧按钮并把从动针拨到主动针右边附近即可。为何要先升起活动平台才调整零点的原因，是由于活塞、小横梁、活动立柱、活动平台和试件等有较大的重量。这部分重量必须消除，不应反映到试件荷载的读数中去，只有这样才能避免测力读数的误差。而要消除自重必须工作油缸里要有一定的油压，先将它们升起才能消除，这部分油压并未用来给试件加载，只是消除升起部分的重量。

3) 绘图部分 在试验机上，连有一套附属装置，可以在实验过程中，自动地画出试件

所受载荷与变形之间的关系曲线,这种装置称为自动绘图器。自动绘图器装在测力度盘的右边,由绘图笔,导轨架、滚筒、擎线和坠砣等组成。绘图纸卷在滚筒上,水平螺杆运动方向为力坐标 F ,滚筒转动方向为变形坐标 ΔL 。试件受力时,绘图笔便会自动地把拉伸图 ($F-\Delta L$) 曲线描绘在绘图纸上。由于线图的精确度较差,所以它绘出的图形只能作定性的示范,不能用作定量分析。

4) 操作部分 该部分主要由进油阀、回油阀、启动按钮、停止按钮、电源开关等组成。进油阀的作用是将油箱里的油送至工作油缸。进油阀门开得大,表示压力油送到工作油缸里的速度快,也就说明试件受力大,变形快。实验时要严格控制进油阀门的大小,保证荷载指针均匀地转动。回油阀的作用主要是使试件卸载,实验完毕后,需打开回油阀,使工作油缸里的油流回油箱。万能试验机的具体操作方法见“(2)操作规程”。

(2) 操作规程

1) 检查机器 检查试件夹头形式和尺寸是否与试件相配合;各保险开关是否有效;自动绘图器是否正常;进油阀与回油阀是否关紧。

2) 选择度盘 根据试件的大小估计所需的最大载荷,选择适当的测力度盘。配置相应的摆锤,调节好回油缓冲器。

3) 指针调零 打开电源,开动油泵电动机,检查机器运转是否正常。关闭回油阀,拧开进油阀,缓慢进油。当活动平台上升少许(约10mm)后,便关闭进油阀。移动平衡砣使摆杆保持垂直。然后调整指针指零。

4) 安装试件 做压缩试验时必须保持试件中心受力,将试件放在下夹板的中心位置。安装拉伸试件时,需开动下夹头的升降电动机,调整下夹头位置,夹头应夹住试件全部头部。

注意事项 试件夹紧后,不得再开动下夹头升降电机,否则会烧坏电机。

5) 进行试验 启动油泵电动机,操纵进油阀。注视测力度盘,慢速加载。操纵机器必须专人负责,坚守岗位,如发生机器声音异常,立即停机。

6) 还原工作 试验完毕,关闭进油阀,打开液压夹具,取下试件。拧开回油阀,缓慢回油,将活动平台回到初始位置,将一切机构复原,停机。

2. 划线器

3. 游标卡尺

四、试件

试件一般制成圆形或矩形截面,圆形截面形状如图1-1-4所示,试件中段用于测量拉伸变形,此段的长度 L_0 称为“标距”。两端较粗部分是头部,为装入试验机夹头内部分,试件头部形状视试验机夹头要求而定,可制成圆柱形、阶梯形、螺纹形。

试验表明,试件的尺寸和形状对试验结果会有影响。为了避免这种影响,便于各种材料力学性能的数值互相比较,对试件的尺寸和形状国家都有统一规定,即所谓“标准试件”,其形状尺寸的详细规定参阅国家标准《金属材料室温拉伸试验方法》(GB/T 228—2002)。标准试件的直径为 d_0 ,则标距 $L_0=10d_0$ 或 $L_0=5d_0$, d_0 一般取10mm或20mm。矩形截面试件标距 L 与横截面面积 A 的比例为 $L_0=11.3\sqrt{A}$ 或 $L_0=5.65\sqrt{A}$ 。

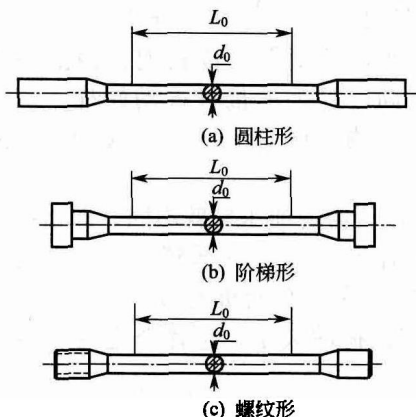


图 1-1-4 试件形状示意图

五、低碳钢的拉伸实验步骤

1. 测量试件尺寸

在试件的标距长度内，用划线器划出 100mm 的两根端线作为试件的原长 L_0 。

用游标卡尺在试件标距长度 L_0 范围内，测量两端及中间三处截面的直径 d_0 ，在每一处截面垂直交叉各测量一次，三处共需测量六次。取三处中最小一处之平均直径 d_0 作为计算截面面积 A_0 之用，要求测量精度精确到 0.02mm。

2. 选择度盘

根据试件截面尺寸估算最大荷载 ($F_{\max} = A_0 \sigma_b$)，并选择合适的测力度盘。配置好相应的砣（摆锤），调节好相应回油缓冲器的刻度。

3. 指针调零

打开电源，按下（绿色）油泵启动按钮，关闭回油阀，以手感关好即可，不用拧得太紧，打开进油阀，开始时工作油缸里可能没有液压油，需要开大一些油量，以便液压油快速进入工作油缸，使活动平台加速上升。当活动平台上升 5~10mm，便关闭进油阀，如果活动平台已在升起的合适位置时，则不必先打开进油阀，仅将进油阀关好即可；如果活动平台升得过高，试件无法装夹，则需打开回油阀，将活动平台降到合适的位置并关好即可。移动平衡锤使摆杆保持铅垂，铅垂的标准是摆杆右侧面和标示牌的刻画线对齐重合。然后轻轻地旋转螺杆使主动针对准度盘上的零点，并轻轻按下拨钩拨动从动针与主动针靠拢，注意要使从动针靠在主动针的右边。同时调整好自动绘图器，装好纸和笔并打下绘图笔。

4. 安装试件

先将试件安装在试验机上夹头内，再开动下夹头升降电机（或转动下夹头升降手轮）使其达到适当的位置，然后把试件下端夹紧，夹头应夹住试件全部头部。

5. 检查

先请指导教师检查以上步骤完成情况，并经准许后方可进行下步实验。

6. 进行试验

用慢速加载，一般进油阀顺手转 2 下，即半圈左右，缓慢均匀地使试件产生变形。当指针转动较快时，关小一些进油量，指针转动较慢时，则增大一些进油量。

在试件受拉的过程中注意观察测力指针的转动和自动绘图器上的 $F-\Delta L$ 曲线的轨迹。当测力指针倒退时——有时表现为指针来回摆动，说明材料已进入屈服阶段，注意观察屈服现象，此时不要增加油量，也不要减少油量，让材料慢慢屈服，并抓住时机，记录屈服时的最小荷载 F_s 。（下屈服点），也就是指针来回摆动时的最小值。

当主动针开始带动从动针往前走，说明材料已过屈服阶段，并进入强化阶段。这时可以适当再增大一些进油量，即用快一点的速度加载。在荷载未达到强度极限之前把荷载全部卸掉，重新加载以观察冷作硬化现象，继续加载直至试件断裂。在试件断裂前，注意指针移动，当主动针往回走，此时材料已进入颈缩阶段，注意观察试件颈缩现象，这时可以适当减少一些进油量。当听到断裂声时，立即关闭进油阀，并记录从动针指示的最大荷载 F_b 。

7. 结束工作

取下试件，并关闭电源。将试件重新对接好。用游标卡尺测量断后标距长 L_1 （即断后的两个标记刻画线之间的距离）。测量断口处的直径 d_1 ，在断口处两个互相垂直方向各测量一次。最后观察断口形状和自动绘图器上的拉伸曲线图是否与理论相符。

8. 注意事项

- ① 试件夹紧后，不得再开动下夹头的升降电机。否则要烧坏电机。

- ② 开始加载要缓慢,防止油门开得过大,引起载荷冲击突然增加,造成事故。
- ③ 进行试验时,必须专人负责,坚守岗位,如发生机器声音异常,立即停机。
- ④ 试验结束后,切记关闭进油阀,取下试件,打开回油阀,并关闭电源。

六、灰口铸铁的拉伸实验

实验步骤与低碳钢基本相同,但拉伸图没有明显的四个阶段,只有破坏荷载 F_b ,而且数值较小,变形也不大。因此加载时速度一定要慢,进油阀不要开得过大,断裂前没有任何预兆,突然断裂,是典型的脆性材料。最后观察断口形状和自动绘图器上的拉伸曲线图是否与理论相符,其断口形状与低碳钢有何不同,请教师检查试验记录。

七、数据处理

根据材料的屈服荷载 F_s 和最大荷载 F_b , 计算屈服极限 σ_s 和强度极限 σ_b :

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad \sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

根据试件试验前后标距长度及断面面积计算:

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad \psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$



思考题

1. 从试件的破坏断口及其拉伸图上,反映了两种材料的哪些异同?为什么将低碳钢的极限应力 σ_u 定为 σ_s ,而将灰口铸铁的定为 σ_b ?
2. 为何在拉伸试验中必须采用标准试件或比例试件?材料和直径相同而长短不同的试件延伸率是否相同?

实验二 压缩试验

压缩试验主要用于确定材料在受到单向应力状态下的应力与应变之间的关系。

一、目的

- ① 测定压缩时低碳钢的屈服极限 σ_s 和灰口铸铁的强度极限 σ_b 。
- ② 观察低碳钢和灰口铸铁压缩时的变形和破坏情况。

二、仪器设备

液压式万能试验机、游标卡尺。

三、试件

低碳钢和灰口铸铁等金属材料的压缩试件一般制成圆柱形(图 1-2-1)。其直径 d_0 与高 h_0 之间比例应控制在 $1 \leq \frac{h_0}{d_0} \leq 3$ 。即高度不能太大,以避免试件在试验中发生挠曲现象。但 h_0 也不能太小,由于上下垫板发生摩擦,也影响试验结果。由于摩擦阻止了靠近垫板部分的金属的横向变形,因而试件变形后如图 1-2-2 所示形成鼓形,越靠近垫板变形越小。这种摩擦力的影响,试件越小影响越大。所以需要在试件两端面涂上润滑剂(润滑油或石蜡),以减小摩擦。同时在安放试件时要注意放在压板的中心,并使用导向装置(图 1-2-3),使试件仅承受轴向压力。

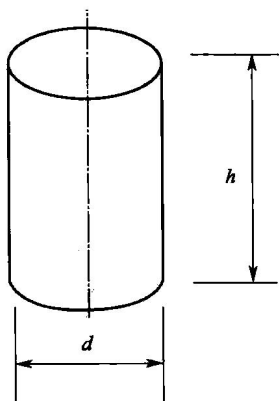


图 1-2-1 压缩试件示意图

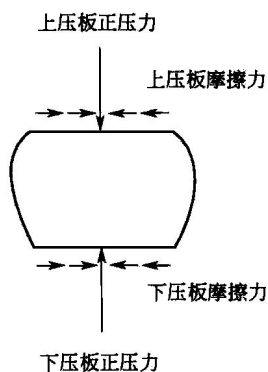


图 1-2-2 鼓形试件示意图

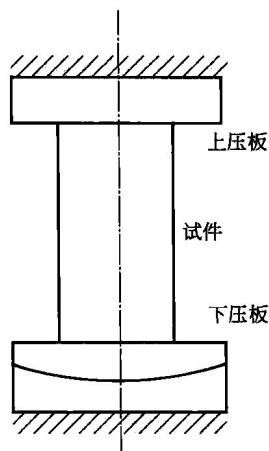


图 1-2-3 试件安放示意图

四、操作步骤

1. 低碳钢

(1) 测量尺寸

测量试件的高度和直径，直径取试件的上、中、下三处，每处垂直交叉各测量一次，取最小值来计算截面积 A_0 。

(2) 选测度盘

根据试件的截面大小估算量程，并选好测力度盘，挂好相应的砣。

(3) 指针调零

按下启动按钮，随即关闭回油阀，拧开进油阀，将活动平台提升一小段，便关闭进油阀。然后检查摆杆是否垂直，如果不垂直，调节平衡砣，使摆杆保持垂直。最后将指针调零，并装好绘图纸和绘图笔。

(4) 安放试件

将试件安放在下夹板的中心位置或压缩实验装置的中心（注意一定要放在中心，否则偏心受压）。

(5) 加载

如果试件或压缩实验装置离上压板空间较大，有几十厘米空间，此时可以将进油阀开到较大，让活动平台快速上升。这时右手控制进油阀，左手放在停止按钮上（控制台面上的红色按钮），眼睛看着试件或压缩实验装置。当试件或压缩实验装置离上压板还差 5cm 时，左手立即按下停止按钮，右手关闭进油阀（顺时针转动手轮），直到关闭为止。然后重新启动试验机，顺手转进油阀 2 下（半圈左右），并缓慢而均匀地加载。打下绘图笔，转动滚筒，使绘图笔处于合适的位置。并注意观察测力指针，如果指针转动较快，则关小一些进油量；如果转动较慢，则开大一些进油量。并注意观察自动绘图器上的 $F-\Delta L$ 曲线。曲线的开始部分为一段斜直线，说明低碳钢在弹性阶段，此时力与变形成比例。当测力指针转动速度减慢或停顿，自动绘图器上的曲线出现拐点时，此时的荷载即为屈服荷载 P_s 。记下此荷载。然后再加大一些进油量，继续加载，一般加到 250kN 即可，停机，此时试件被压成鼓状。如果继续加载，随着荷载的增大，试件将越压越扁，最后将压成饼形而不破裂（如图 1-2-4 所示）。

2. 灰口铸铁

灰口铸铁压缩实验的方法和步骤与低碳钢压缩相同，但要注意灰口铸铁是脆性材料，没

有屈服点。试件应置于低碳钢套内, 以免材料可能的破裂飞散。从 $F-\Delta L$ 曲线上可以看出, 其压缩图在开始时接近于直线, 以后曲率逐渐增大, 当载荷达到最大载荷 F_b 时, 测力指针停顿并开始往回走, 预示试件很快破裂, 这时关小一些进油量, 当听到响声后, 立即停机 (按下红色按钮), 打开回油阀, 关闭进油阀, 由从动针可读出 F_b 值。试件最后被破坏 (如图 1-2-5 所示), 破裂面与试件轴线约成 45° 角。

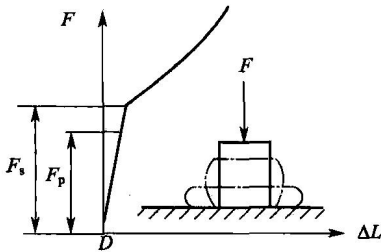


图 1-2-4 低碳钢压缩示意

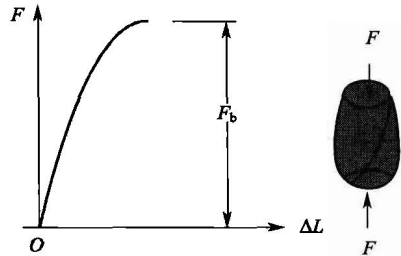


图 1-2-5 灰口铸铁压缩示意

3. 注意事项

① 当试件或压缩实验装置的顶面与上压板快接触时, 进油量一定要小, 进油阀控制在半圈即可, 否则进油量较大, 引起载荷瞬间突然增大, 超过试验的最大量程, 造成试验机损坏。

② 灰口铸铁压缩时, 不要靠近试件探望, 以防试件破坏时, 碎片飞出伤人。

五、数据整理

计算低碳钢的屈服极限和灰口铸铁的强度极限

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad \sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中, A_0 为试验前试件截面面积。

绘图表示两种材料的变形和断口形状、从宏观角度分析破坏原因; 比较并说明两种材料的力学性质特点。



思考题

1. 试件偏心时对试验结果有何影响?
2. 为什么不能求得塑性材料的强度极限?
3. 灰口铸铁拉伸、压缩破坏时断口为何不同?

实验三 梁的弯曲正应力实验

一、目的

① 测定矩形截面梁在纯弯曲时横截面上正应力的大小及其分布规律, 并与理论计算结果进行比较, 以验证纯弯曲正应力公式 $\sigma = \frac{My}{I_x}$ 的正确性。

② 学习电测法, 并熟悉静态电阻应变仪的使用和半桥接线方法。

二、仪器设备

1. 电阻应变仪

电阻应变仪相关的电测法的基本原理和电阻应变仪组成及原理如下所述。

电测法的基本原理是用电阻应变片测定构件表面的线应变，再根据应变-应力关系确定构件表面应力状态的一种实验应力分析方法。这种方法是将电阻应变片粘贴到被测构件表面，当构件变形时，电阻应变片的电阻值将发生相应的变化，然后通过电阻应变仪将此电阻变化转换成电压（或电流）的变化，再换算成应变值或者输出与此应变成正比的电压（或电流）的信号，由记录仪进行记录，就可得到所测定的应变或应力，其原理框图如图 1-3-1 所示。

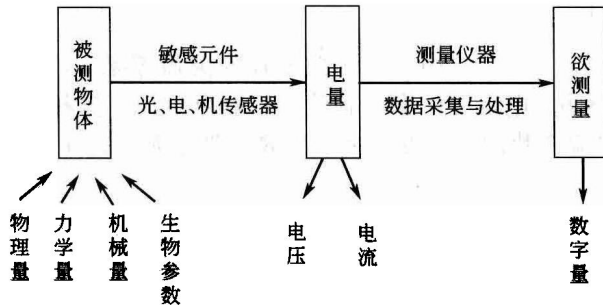


图 1-3-1 原理框图

1) 电测法的优点如下。

- ① 测量灵敏度和精度高。其最小测量灵敏度为 1 微应变（即 10^{-6} ）。在常温静态测量时，误差一般为 1%~3%；动态测量时，误差在 3%~5% 范围内。
- ② 测量范围广。可测 $\pm(1\sim 2)\times 10^4$ 微应变；力或重力的测量范围在 $10^{-2}\sim 10^5$ N 内。
- ③ 频率响应好。可以测量从静态到数十万赫兹的动态应变。
- ④ 轻便灵活。在现场或野外等恶劣环境下均可进行测试。电阻应变片最小标距仅 0.2mm。
- ⑤ 能在高、低温或高压环境等特殊条件下进行测量。
- ⑥ 便于与计算机连接并进行数据采集与处理，易于实现数字化、自动化及无线电遥测，可广泛用于生产管理的自动化及控制。
- ⑦ 可制成各种传感器，如力、位移、压力、加速度传感器等。

2) 电测法的缺点

- ① 只能测量构件表面有限点的应变，而不能测量构件内部的应变。
- ② 只能测得电阻应变片栅长范围内的平均应变值，因此对于应力集中及应变梯度大的应力场进行测量时会引起较大的误差。

(1) 电阻应变片

1) 应变片的构造与种类 应变片的构造一般由敏感栅、黏结剂、覆盖层、基底和引出线五部分组成（见图 1-3-2）。敏感栅由具有高电阻率的细金属丝或箔（如康铜、镍铬等）加工成栅状，用黏结剂牢固地将敏感栅固定在覆盖层与基底之间。在敏感栅的两端焊有用铜丝制成的引线，用于与测量导线连接。基底和覆盖层通常用胶膜制成，它们的作用是固定和保护敏感栅，当应变片被粘贴在试件表面之后，由基底将试件的变形传递给敏感栅，并在试件与敏感栅之间起绝缘作用。

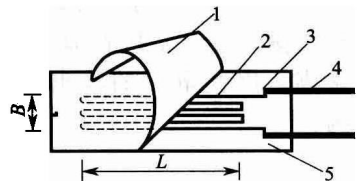


图 1-3-2 应变片构造

1—覆盖层；2—敏感栅；
3—黏结剂；4—引出线；5—基底

应变片的种类很多，常用的常温应变片有金属丝式应变片和金属箔式应变片（见图 1-3-3），其中以箔式应变片应用最广。

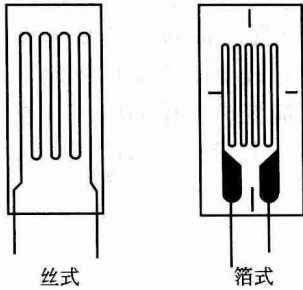


图 1-3-3 丝式、箔式应变片

2) 电阻应变片的工作原理 如果将电阻值为 R 的应变片牢固地粘贴在构件表面被测部位, 当该部位沿应变片敏感栅的轴线方向产生应变 ϵ 时, 应变片亦随之变形。其电阻产生一个变化量 ΔR 。实验表明, 在一定范围内, 应变片的电阻变化率 $\Delta R/R$ 与应变 ϵ 成正比, 即

$$\frac{\Delta R}{R} = K\epsilon$$

式中, K 为应变片的灵敏系数, 与敏感栅的尺寸、形状及电阻变化率等有关, 一般由生产厂家标定好, 其值在 2.0 左右。由上式得知, 只要测出应变片的电阻变化率 $\Delta R/R$, 即可确定试件的应变 ϵ 。

(2) 电阻应变仪

电阻应变仪是测量微小应变的精密仪器。其工作原理是利用粘贴在构件上的电阻应变片随同构件一起变形而引起其电阻的改变, 通过测量电阻的改变量得到粘贴部位的应变。一般构件的应变是很微小的, 要直接测量相应的电阻改变量是很困难的。为此采取电桥把应变片感受到的微小电阻变化转换成电压信号, 然后将此信号输入放大器进行放大, 再把放大后的信号用应变通过显示器显示出来。

下面介绍 TS3860 型静态电阻应变仪。该仪器采用直流电桥, 将输出电压的微弱信号进行放大处理, 再经过 A/D 转换器转化为数字量, 经过标定, 可直接由显示屏读出应变值 (注意: 应变仪上读出的应变为微应变, 1 个微应变等于 10^{-6} 个应变, 即 $1\mu\epsilon = 10^{-6}\epsilon$)。其原理框图如图 1-3-4 所示。

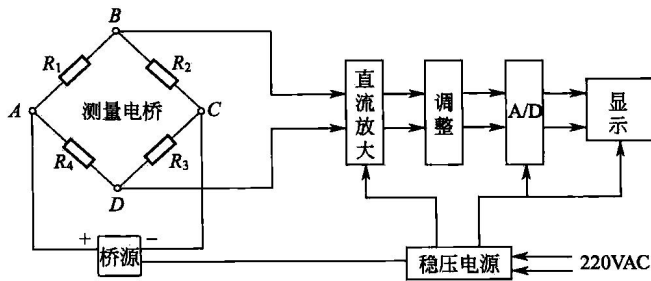


图 1-3-4 应变仪原理框图

(3) 电桥

1) 测量电桥的工作原理 应变仪的核心部分是电桥。电桥采用惠斯登电桥, 其工作原理如图 1-3-5 所示。

电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 组成电桥的四个桥臂, A 、 C 和 B 、 D 分别为电桥的输入端和输出端。输入端电压为 E , 应变电桥的输出端总是接在放大器的输入端, 而放大器的输入阻抗很高。因此电压的输出端可以看成是开路的。其输出电压为:

$$U_{BD} = E \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (1-3-1)$$

当四个桥臂上的电阻产生微小的改变量 ΔR_1 、 ΔR_2 、 ΔR_3 、 ΔR_4 时, B 、 D 间的电压输出也产生改变量

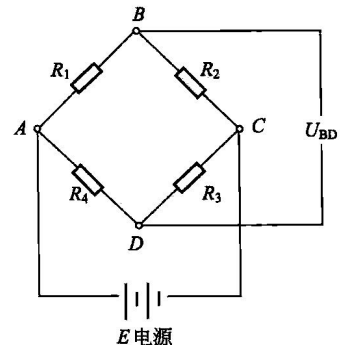


图 1-3-5 电桥