

高等学校试用教材

锻 锤

哈尔滨工业大学 高乃光 主编

GAO DENG XUE
XIAO JIAO CAI



机械工业出版社

030553

高等学校试用教材

锻 锤

哈尔滨工业大学 高乃光 主编

机械工业出版社

全书共分六章，着重讲解了蒸汽-空气锤、空气锤、液气锤、螺旋压力机的工作原理、结构以及设计计算方法，并专辟一章讲述锻锤类设备的基础设计要点和隔振途径。

本书系高等工业学校锻压专业锻锤课的通用教材，也可供锻压行业的工程技术人员参考。

锻 锤

哈尔滨工业大学 高乃光 主编

•

责任编辑：杨 燕

•

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

•

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $6\frac{3}{4}$ · 字数 162 千字

1987年11月北京第一版·1987年11月北京第一次印刷

印数 0,001—3,000 · 定价：1.20 元

•

统一书号：15033·7120

前 言

本书是根据1983年11月高等工业学校锻压专业教材分编审委员会制订的教学计划和教学大纲以及审定的编写大纲编写的。

本书主要讲述蒸汽—空气锤、空气锤、液气锤、螺旋压力机的工作原理、结构以及设计计算方法，在计算方法中主要着重点是能量计算。此外还讲述了锤类设备基础的设计要点和隔振途径。

本书可做为高等工业学校锻压专业教材，也可供有关专业师生、工程技术人员参考。

本书第一章由哈尔滨工业大学高乃光、太原重型机械学院朱元乾和哈尔滨工业大学陈维民编写；第二章由哈尔滨工业大学高乃光编写；第三章由太原工业大学董宗鲁提供初稿，由哈尔滨工业大学高乃光改写；第四章由太原重型机械学院邓之鹏编写；第五章由太原重型机械学院邓之鹏提供初稿，由哈尔滨工业大学陈维民改写；第六章由哈尔滨工业大学陈维民编写。但应指出，在本书编写的过程中，太原重型机械学院朱元乾教授自始至终参加了有关编写问题的讨论并提供了有关编写资料。

全书由哈尔滨工业大学高乃光副教授主编，由合肥工业大学蔡秉久教授主审。

本书在编写过程中，曾得到华南工学院黄家骧教授，山东工业大学夏天赳教授，吉林工业大学刘玉文教授，西安交通大学谢关烜副教授，哈尔滨工业大学侯松玉教授，济南铸锻机械研究所冯雅芳工程师和河北机电学院王德拥讲师等的帮助和指正，编者表示由衷的感谢。

编 者

1987年1月

目 录

前言

第一章 概论	1
一、锻锤的发展概况	1
1. 锻锤在锻压生产中的作用	1
2. 锻锤的发展趋势	1
二、锻锤的分类	2
1. 蒸汽-空气锤	2
2. 空气锤	2
3. 机械锤	2
4. 蒸汽-空气对击锤（无砧座模锻锤）	3
5. 液气锤	3
三、锻锤的打击过程和打击效率	4
四、锻锤的打击力	6
五、锻锤的工作介质及其热力参数	7
第二章 蒸汽-空气锤	10
一、蒸汽-空气自由锻锤	10
1. 蒸汽-空气自由锻锤的分类、使用范围和主要结构	10
2. 自由锻锤的配汽操纵机构	13
3. 预期示功图	15
4. 预期示功图各参数的确定	16
5. 锤头每分钟的理论打击次数和工质耗量	20
6. 滑阀和滑阀套尺寸的确定	22
7. 蒸汽-空气自由锻锤功能计算示例	25
二、蒸汽-空气模锻锤	28
1. 蒸汽-空气模锻锤的特点	28
2. 模锻锤的配汽操纵机构	33
3. 预期示功图及其参数计算	34
4. 滑阀和滑阀套尺寸的确定	37
三、蒸汽-空气对击锤（无砧座模锻锤）	38
1. 蒸汽-空气对击锤的工作原理	38
2. 蒸汽-空气对击锤的结构型式	40
3. 蒸汽-空气对击锤的操纵机构和配汽原理	42
4. 预期示功图和功能计算特点	43
第三章 空气锤	45
一、空气锤的工作原理和应用范围	45
二、配气操纵机构和配气过程	48
三、动作循环中各阶段的分析	50

四、空气锤的能量计算	52
第四章 液气锤	57
一、液气锤的特点和分类	57
二、液压模锻锤	85
1. 液压模锻锤的工作原理和结构型式	85
2. 液压模锻锤参数的计算	62
3. 液压模锻锤的计算示例	68
三、高速锤	70
1. 悬挂式高速锤工作原理	72
2. 快放油式高速锤工作原理	73
第五章 螺旋压力机	74
一、螺旋压力机的结构及其工作原理	74
1. 摩擦压力机	74
2. 液压螺旋压力机	76
3. 电动螺旋压力机	78
二、螺旋压力机的工作特性及力能关系	80
1. 螺旋压力机的工作特性	80
2. 螺旋压力机的力能关系	80
三、摩擦压力机的计算	84
1. 滑块向下行程	84
2. 滑块向上行程	88
3. 滑块每分钟行程次数 n	90
4. 摩擦压力机的计算示例	92
第六章 锻锤的基础及减振	95
一、不隔振锤基的结构	95
1. 锤基的结构型式	95
2. 锤基的合理设计	95
二、锻锤的振动及其隔振	97
1. 锻锤振动的传播及其对环境的影响	97
2. 锻锤的隔振途径	98
3. 锻锤隔振基础及其弹性隔振元件的分类	98
附录 关于本书使用的数值方程的说明	102
参考文献	103

第一章 概 论

一、锻锤的发展概况

1. 锻锤在锻压生产中的作用

锻锤是各种锻压机器的先驱,自从19世纪第一台蒸汽锤在英国问世以来^[1],已有一百多年的历史。本世纪以来相继出现的对击式锤、液气驱动式锤,是锤类设备驱动型式方面的重要发展。尽管各种锻造新工艺和新设备不断涌现,但锤类设备至今仍然起着重要作用。

以模锻锤为例,虽然模锻锤具有基础大、振动大、噪音大、能耗大以及不易实现自动化等缺点,但是锤的结构简单、制造容易、操纵方便,设备投资少(仅为热模锻压力机投资的 $1/3 \sim 1/5$),而且能进行多膛模锻,不必配备预锻设备,万能性强。

锻锤与液压机和机械压力机的工作原理不同,压力机类锻压机器是靠静压力或准静压力使锻件变形,因此压力机的压力大于锻件变形力时,加压一次即可成形,反之,如压力机的压力小于锻件的变形力时,即便加压多次也不能成形。而锻锤则是靠落下部分动能的瞬时释放而使锻件变形的,完成锻件变形的能力虽受最大有效能量的限制,如锤的有效能量小于锻件变形所需要的能量,但仍可采用多次打击以完成锻件变形的任务,而且变形速度快,因而对于不同类别的锻件适应性强^[2]。特别适合于中、小批量的生产厂使用。所以直到60年代、70年代,各工业国家仍然没有改变以锤为主要设备的模锻生产现状。例如,1976年美国共有1050个锻造厂,拥有锻锤5115台,而压力机的拥有量为3640台;在1960~1970年间,西德有170家主要模锻工厂,锤的绝对增长量为450台,相对增长为27%;1973年在法国使用的模锻设备中,锻锤为500台,压力机为150台,平锻机为100台。据1981年美国的调查资料看,模锻锤在模锻设备中占50%;英国1980年的资料表明,GKN公司系统的模锻锤所占比例为66.2%以上;而日本“全日本锻造工业协会”所属约560家企业1980年的锻件年产量达100~110万t,他们的锻锤占75%以上。由此可见,锻锤尤其是模锻锤在锻造行业中是占有重要地位的^[3]。

2. 锻锤的发展趋势

针对现有锻锤存在的缺点,人们不断地从各个方面改进它,大量改进工作是针对以下几方面进行的。

(1) 结构本身的改进 传统的双柱式蒸汽两用模锻锤由于锤杆细而寿命低,立柱为组合结构,所以刚性差、精度低、行程大、打击次数低。针对这些问题目前国外正在发展粗锤杆、短行程、整体结构的新式锻锤。例如西德BANNING公司生产的GOAK、GOA型整体结构粗锤杆蒸汽两用模锻锤,采用了液压控制系统,可实现程序控制,与机器人配合使用,能实现自动化生产。由于这种锻锤采用了整体框架机身,没有连接零件,所以刚性好;由于采用了整体粗杆锤头,使用寿命高。另一个特点是行程短,每分钟打击次数高。

(2) 减少噪音 噪音的计量常用声强级dB来表示。根据国际标准规定:为使人身听觉不受强噪音损伤,在连续噪音场地每天暴露8h,允许噪音级不得超过115dB^[4]。然而,

锻造车间的噪声一般在 120dB 左右。而这其中锻锤的工作噪声是主要的。因此,为了保障工人健康,消除公害,减少锻锤的工作噪声已经引起了人们的普遍重视。

(3) 采用弹性防振基础 锻锤工作时的强烈振动对周围环境和锻锤本身都会产生不良影响。近几年来,许多国家对锻锤的振动和防振问题已经开始重视。采用了许多防振措施。例如,有的国家在新建的锻工车间中有 75~100% 的锻锤采用了防振基础。

(4) 采用对击式工作原理 发展对击式锻锤是从工作原理方面进行锻锤减振和轻化设备的重要途径。对击式锤的体积小、质量轻,基础体积仅是相同能力有砧座锤基础体积的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{8}$,吨位越大,相差越大^[5]。

(5) 降低能耗,提高效率 液气锤的出现在降低能耗、提高热效率和不需大型供汽(或气)动力配套设备等方面产生了显著的经济效果。另外采用液压动力头、液气动力头和控制旧式汽阀漏损等措施对旧式模锻锤进行改造,对减少能量损失方面的研究也是有意义的^{[6][7]}。

二、锻锤的分类

在极短的时间内(千分之几秒),把工作部分(落下部分)在行程中所积蓄的动能施加到锻件上去,使锻件获得塑性变形功,以完成各种锻压工艺过程的机器称为锻锤。这一类锻压机器很多,其分类一般是这样:如按工艺用途分,有自由锻锤和模锻锤;如按锻锤打击特性分,有对击式锤和有砧座锤。为研究方便,常按驱动形式将锻锤分为如下五类:

1. 蒸汽-空气锤

如图 1-1 所示,这种锻锤利用 0.7~0.9MPa 压强的蒸汽(来自蒸汽锅炉)或 0.5~0.7MPa 压强的压缩空气(来自空压站)为工作介质经管路送至锻锤本体的进气管,再经汽阀进入汽缸的上腔或下腔,驱动落下部分(活塞、锤杆、锤头及上模)下降进行打击或向上回程。可以根据工厂的具体条件使用蒸汽或压缩空气做为工作介质,故称为蒸汽-空气两用锤,一般简称蒸汽-空气锤。

2. 空气锤

如图 1-2 所示,空气锤有两个气缸,左方是工作缸,右方为压缩缸,两缸之间由旋阀连通。空气锤的工作介质是压缩空气,但它不像蒸汽-空气锤那样来自空压站,而是由电动机通过减速机构带动曲拐轴旋转,驱动压缩活塞做上下往复运动,使被压缩的空气经旋阀进入工作缸的上腔或下腔,驱使落下部分上下运动进行打击或回程。

3. 机械锤

用电动机驱动,电动机与锤头之间用机械方式传递动力的锻锤,通称之为机械锤。根据连接机件的不同有螺旋压力机、夹板锤(或夹杆锤)、弹簧锤和钢丝绳锤(或链条锤)之分。

(1) 摩擦压力机 如图 1-3a)所示,利用螺杆上端的飞轮转动,使螺杆在不动的螺母中转动和下降并推动滑块下降,靠滑块的动能使锻件变形。

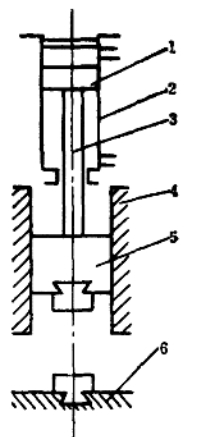


图 1-1 蒸汽-空气锤简图

1—活塞 2—汽缸 3—锤杆
4—导轨 5—锤头 6—砧座

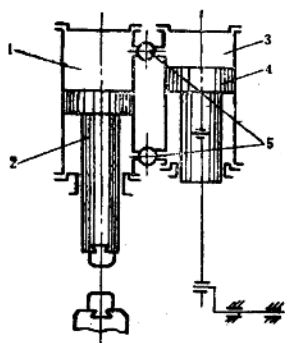


图1-2 空气锤简图

1—工作缸 2—工作活塞（落下部分）
3—压缩缸 4—压缩活塞 5—旋阀

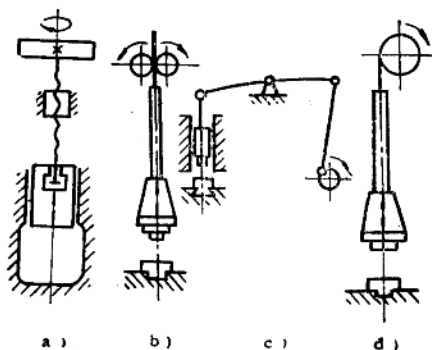


图1-3 机械锤简图

(2) 夹板锤（或夹杆锤）如图1-3 b)所示，由电动机驱动两个相对转动的滚子压紧木板或钢杆，靠摩擦力的作用使落下部分提升，松开滚子则木板与锤头靠自重下落进行打击。

(3) 弹簧锤 如图1-3 c)所示，一般将多层板簧放在水平位置，其中一端由电动机驱动的曲轴带动板簧上下往复运动，另一端则与锤头相连进行连续打击。

(4) 钢丝绳锤（或链条锤）如图1-3 d)所示，由电动机驱动卷筒向一个方向转动，卷起钢丝绳或链条，提起锤头；当卷筒停止转动并松开制动机构时，则落下部分靠自重下落进行打击。

4. 蒸汽-空气对击锤（无砧座模锻锤）

如图1-4所示，蒸汽-空气对击锤的主要特点是没有固定的砧座，上下锤头通过联动构件（钢带、钢丝绳或液压等方式）相互联动。

上锤头在汽缸上腔气体压力的作用下向下加速运动的同时，由于联动构件的带动，下锤头向上做加速运动，使两个锤头相互对击。回程时，气体进入汽缸下腔，推动上锤头上升，而下锤头则靠自重下落。

5. 液气锤

如图1-5所示，工作缸上腔充入一定压强的空气或氮气，下腔进油可使锤头回程并压缩气体蓄能，锤头处于悬空状态。

打击时，可通过操纵系统使工作缸下腔的油快速排出，上腔的气体膨

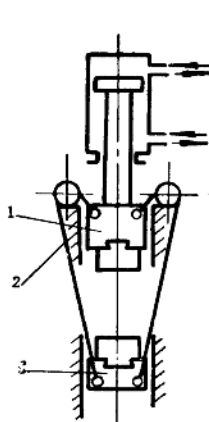


图1-4 蒸汽-空气对击锤
1—上锤头 2—钢带 3—下锤头

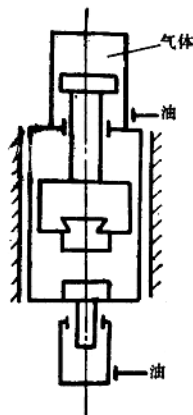


图1-5 液气锤简图

胀做功,使锤头系统下降,同时使锤身系统上跳,实现对击。或是使工作缸下腔的油通过闭式油压回路进入框架下端的联动油缸,帮助锤身上跳,实现对击。对击时的相对速度与一般模锻锤相同者称为液压模锻锤,相对打击速度达到 $15 \sim 20 \text{ m/s}$ 者称为高速锤。

所有上述锻锤都是靠打击能量使锻件变形的,因此,应以其打击能量标志其锻造能力的大小,所不同的是对击式锤直接用打击能量表示其锻造能力,而有砧座锤按习惯则用落下部分质量表示其锻造能力。但在技术参数中都必须同时给出打击能量。

三、锻锤的打击过程和打击效率

锻锤是靠落下部分下落时所积蓄的动能进行打击的,这一动能称为打击能量。锻锤中承受打击的部件是砧座(如各种有砧座锤)或与落下部分进行对击的下锤头或锤身系统(如蒸汽-空气对击锤、液压锤及高速锤等)。在打击过程中,锻件在锤头与砧座(或上、下锤头)之间获得塑性变形。锻锤的打击过程如同两个物体的碰撞过程,因此可以根据理论力学关于两个物体碰撞的理论来分析和研究锻锤的打击过程[8][9]。

锻锤的打击过程可以分为两个阶段。第一阶段是加载阶段,在这一阶段里,锤头与砧座彼此相接近,使锻件产生弹性和塑性变形、当这一阶段结束时,锻件获得最大变形。此时,锤头和砧座(或上、下锤头)全系统的重心速度达到一致。第二阶段是卸载阶段。当第一阶段结束后,由于锻件的弹性变形还原,使锤头和砧座(或上、下锤头)得到不同的最后速度。

根据碰撞理论,设砧座为自由体,打击为中心打击,则

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 = (m_1 + m_2) v \quad (1-1)$$

式中 m_1 、 v_1 、 v'_1 和 m_2 、 v_2 、 v'_2 分别表示落下部分和砧座(下锤头)的质量、初始速度和最后速度。 v 表示全系统重心的速度。

若砧座固定(有砧座锤),则 $v_2 = 0$ 。

如用恢复系数 K 来表示初始速度 v_1 、 v_2 和最后速度 v'_1 、 v'_2 之间的关系,则得:

$$v'_1 - v'_2 = K(v_2 - v_1) \quad (1-2)$$

由于锤的打击为非完全弹性碰撞,故 K 值在 $1 \sim 0$ 之间。由公式(1-1)和(1-2)可确定打击过程结束后锤头和砧座(或上、下锤头)的最后速度,即:

$$v'_1 = v_1 - \frac{m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) (1 + K) \quad (1-3)$$

$$v'_2 = v_2 + \frac{m_1}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) (1 + K) \quad (1-4)$$

于是系统在打击后所具有的动能为:

$$E_d = \frac{1}{2} m_1 (v'_1)^2 + \frac{1}{2} m_2 (v'_2)^2 \quad (1-5)$$

将(1-3)和(1-4)式之值代入(1-5),则得:

$$E_d = \frac{(m_1 v_1 + m_2 v_2)^2 + K^2 m_1 m_2 (v_1 - v_2)^2}{2(m_1 + m_2)} \quad (1-6)$$

对于有砧座锤,即 $v_2 = 0$, 可得:

$$E_d' = \frac{m_1^2 v_1^2 + K^2 m_1 m_2 v_1^2}{2(m_1 + m_2)} \quad (1-7)$$

锻锤的落下部分在打击前所积蓄的动能，即打击能量为：

$$E_d = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad (1-8)$$

对于有砧座锤 $v_2 = 0$ ，则：

$$E_d = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \quad (1-9)$$

可见锻件在塑性变形中所吸收的能量为：

$$E_s = E_d - E_d' \quad (1-10)$$

对于有砧座锤，由 (1-10)、(1-9) 和 (1-7) 可得

$$E_s = \frac{m_2}{m_1 + m_2} (1 - K^2) E_d \quad (1-11)$$

对于对击锤，由 (1-10)、(1-8) 和 (1-6) 可得：

$$E_s = \frac{m_1 m_2 (v_1 - v_2)^2 (1 - K^2)}{2(m_1 + m_2)} \quad (1-12)$$

锻锤的打击效率 η 为：

$$\eta = \frac{E_s}{E_d} \quad (1-13)$$

对于有砧座锤，由 (1-13)、(1-11) 和 (1-9) 可得：

$$\eta = \frac{m_2}{m_1 + m_2} (1 - K^2) \quad (1-14)$$

对于对击锤，由 (1-13)、(1-12) 和 (1-8) 可得：

$$\eta = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \frac{(v_1 - v_2)^2}{m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2} (1 - K^2) \quad (1-15)$$

在进行锻造时，希望打击能量在保证锻件变形质量的情况下最大限度地用于锻件的塑性变形。由式 (1-14) 可知，锻锤的打击效率 η 与恢复系数 K 、砧座质量 m_2 以及落下部分质量 m_1 有关。而恢复系数 K 又因锻坯的温度而异。温度越高， K 值越小，打击效率也越高。当锻件在锻造温度下变形时，恢复系数可取为 0.3，而在终锻模膛模锻时，已接近终锻温度，塑性较低，一般取 $K = 0.5$ 。

以有砧座锤为例，取 $K = 0.3$ ， $v_1 = 9 \text{ m/s}$ ， $v_2 = 0 \text{ m/s}$ ，根据 (1-14) 式，

当给出一定的 m_2/m_1 比值时，可得出如图 1-6 所示的 η 变化曲线。可见当 m_2/m_1 的比值逐渐增大时，打击效率 η 随之逐渐增高。但当比值超过 10 以后， η 值的提高就不甚显著。见表 1-1 所列数值。

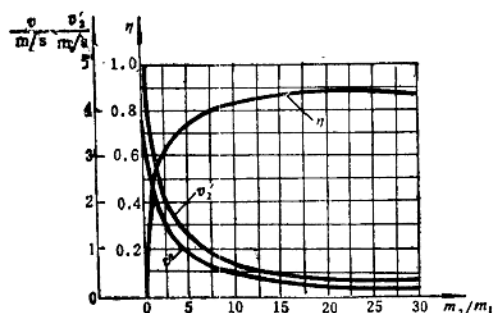


图1-6 砧座质量对打击效率和打击刚性的影响

表 1-1

m_2/m_1	5	10	15	20	30
$m_2/m_1 + m_2$	0.833	0.909	0.9375	0.9520	0.9677

另外, 从打击过程对锻件变形质量的影响因素来看, 要求打击刚性越大越好, 也就是砧座受力时的退让量越小越好。

打击刚性可用 v 和 v_2 来衡量。当这些速度越低时, 也就是打击刚性越大, 因而砧座的退让也就越小。于是锻件的轮廓也就更加清楚, 精度也就得到提高。由式 (1-4) 或 (1-1) 可获得上述速度随 m_2/m_1 的比值变化的曲线 (图1-6)。可见随砧座质量的增加, 这些速度将逐渐降低, 即打击刚性逐渐提高。

综上所述, 为了提高打击效率和打击刚性, 必须增加砧座的质量。但质量过大将会使砧座体积过于庞大, 给加工和运输带来困难。故一般设计时, m_2/m_1 取10~25为宜。对于自由锻锤取 $m_2/m_1 = 15 \sim 20$; 对于模锻锤 $m_2/m_1 = 20 \sim 25$, 如果要求模锻精度较高者可取 $m_2/m_1 = 30$ 。这样, 从理论上可以使打击效率保持在0.85~0.88左右。但实际上砧座是安装在枕木和基础上并与土壤相接。因此真正承受打击的质量必然大于 m_2 , 所以实际的打击效率将高于理论值。

对于对击锤, 如果其上、下锤头质量相等时, 即 $m_1 = m_2$ 时, 取 $K = 0.3$, $v_1 = v_2 = 3 \text{ m/s}$, 则按式 (1-15) 可得 $\eta = 0.91$ 。可见在条件相同的情况下, 对击锤的打击效率高于有砧座锤。

四、锻锤的打击力

金属的变形抗力是指金属变形时作用于锤头之力, 而锤头作用于金属之力, 则称为打击力。打击力与金属变形抗力互为作用力与反作用力、在计算时假定打击过程中锻件的抗力不变, 可引入平均打击力的概念, 以简化计算^[10]。

在打击过程之加载阶段, 锤头动量的变化等于这一时间内力的冲量。对于对击式锤, 假定变形抗力 (即打击力) 不变, 上锤头的质量为 m_1 , 速度由 v_1 变为 0, 则打击力 P 为:

$$P = \frac{m_1(v_1 - 0)}{\Delta t} = \frac{m_1 v_1}{\Delta t} \quad (1-16)$$

如用下锤头 (或锤身系统) 来分析, 同样可得:

$$P = \frac{m_2 v_2}{\Delta t} \quad (1-17)$$

对击时, 上、下运动体之动量如果相等, 则上两式数值是一样的。

因假定 P 为常值不变, 则在加载阶段里锤头所得到的加速度是负值, 且为常数, 即锤头 (或上、下运动体) 之速度按直线变化。如此, 则变形时间 Δt 可以用平均相对运动速度去除金属变形高度 Δs 而求得。

$$\Delta t = \frac{2\Delta s}{[v_1 - (-v_2)] + 0} = \frac{2\Delta s}{v_1 + v_2} \quad (1-18)$$

将式 (1-18) 之值代入式 (1-16) 或 (1-17) 中, 并给定 Δs 之值, 则可求出打击力 P 。如 Δs 按终锻时的最小变形量 1 mm 左右给定, 则可得出最大打击力。

对于有砧座锤, $v_2 = 0$, Δs 中应加进砧座的退让量, 一般为 1 mm 左右, 于是可以从上述式子中得出有砧锤的平均打击力。若取最小锻件变形量, 则可得最大打击力。

由上所述可知每台锻锤的打击力不是常数, 而是与变形量 Δs 成反比关系, 因此一般锻锤不允许空打, 以免过大的打击力损坏机器零、部件。

例如打击能量为 63 kJ 的液气锤, 打击时上、下运动体动量相等, 已知 $v_1 = 5.75 \text{ m/s}$ (方向向下), $v_2 = 0.85 \text{ m/s}$ (方向向上), 锤头系统质量 $m_1 = 3270 \text{ kg}$, 锻件变形量 Δs 允许为 1.5 mm 时, 打击力 P 为:

$$P = \frac{m_1 v_1}{\Delta t} = \frac{m_1 v_1 (v_1 + v_2)}{2 \cdot \Delta s}$$

$$= \frac{3270 \text{ kg} \times 5.75 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times (5.75 + 0.85) \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \times 0.0015 \text{ m}}$$

$$= 41365500 \text{ N}$$

如有砧锤的落下部分质量为 $M \text{ kg}$, 打击速度为 6 m/s , $v_2 = 0 \text{ m/s}$, 锻件变形量为 0.001 m , 砧座退让量为 0.001 m , 则打击力 P 为:

$$P = \frac{m_1 v_1}{\Delta t} = \frac{m_1 v_1 (v_1 + v_2)}{2 \cdot \Delta s}$$

$$= \frac{M \text{ kg} \times 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times (6 + 0) \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \times (0.001 + 0.001) \text{ m}} = 9000 M (\text{N})$$

如锻件变形量更小, 则打击力会更大, 一般可取 $P \approx 10000 M (\text{N})$ 。

五、锻锤的工作介质及其热力参数

蒸汽-空气锤的工作介质是水蒸汽或压缩空气, 空气锤的工作介质是压缩空气, 液气锤的气体介质则是氮气或空气。这些工质虽然都是气态。但是由于在使用状况下其物理性质有所不同, 因此在工程热力学中把气体和蒸汽分别加以研究。气体指离液态较远, 在使用条件下不易液化, 可近似地按理想气体对待。计算时可用理想气体的基本定律来处理。而蒸汽, 一般是指其离液态较近, 是刚从液态变为汽态的。在使用条件下, 一旦受压缩或受冷却时, 容易变回到液态去。它不能用理想气体定律来处理, 一般都是用近似公式或查用专门图表来解决。

由工程热力学^[11]可知, 一般气体工质的热力过程可视为准静态过程, 可以利用 $p-v$ 图进行分析。如图 1-7 所示, 在 $p-v$ 图上可以用曲线 1~2 表示准静态过程。在过程 1~2 中, 气体之膨胀功 W 可以用微元功积分

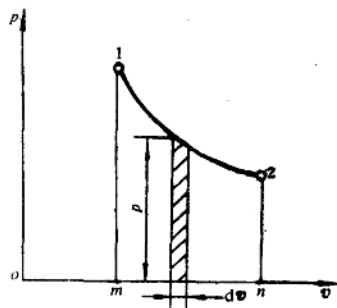


图1-7 $p-v$ 图

而得, 即

$$W = \int_1^2 p dv \quad (1-19)$$

此积分正是 $p-v$ 图上 1, 2, n , m 各点所包围的面积, 所以 $p-v$ 图也叫示功图。

如果上述准静态过程按反方向进行, 即过程为 2~1, 同样可以积分出功 W 为:

$$W = \int_2^1 p dv \quad (1-20)$$

此时 dv 为负值, 所得之功 W 也为负值, 表示压缩功。它不是气体对外界做功, 而是压缩气体时所消耗的外功。在这个过程中是气体获得能量。

锻锤工作时, 热能与机械能的相互转化是通过工质在汽(气)缸中的热力过程实现的。锻锤的汽缸中的这一过程进行得很快, 来不及和外界进行热交换, 所以可以把工质在汽缸中的膨胀或压缩过程视为绝热过程。由热力学知, 气体在 $p-v$ 坐标上的绝热过程方程式为:

$$pv^k = \text{常数} \quad (1-21)$$

这是一个双曲线函数, 其中 p 表示气体压强, v 表示比容, k 是绝热指数。在比热为定值的情况下, 对于单原子气体, $k = 1.66$, 双原子气体(包括空气和氮气) $k = 1.4$, 三原子及多原子气体 $k = 1.29$ 。

应用气体状态方程式 $pv = RT$, 上式也可以写成 T 与 v 或 p 与 T 的方程式, 即

$$v v^k = \frac{RT}{v} v^k = \text{常数}$$

或写成:

$$T v^{k-1} = \text{常数} \quad (1-22)$$

把式(1-21)中的 v 代以 p 和 T , 得:

$$p = \frac{R^k T^k}{v^k} = \text{常数}$$

或

$$T^k p^{1-k} = \text{常数} \quad (1-23)$$

根据工程热力学, 绝热过程气体功 W 的计算式为:

$$W = \frac{1}{K-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) \quad (1-24)$$

上式中有四个参数 p_1 、 v_1 、 p_2 、 v_2 。为了减少式中的参数数目, 可以把该式改为:

$$W = \frac{p_1 v_1}{K-1} \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \right] \quad (1-25)$$

或写成

$$W = \frac{p_1 v_1}{K-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (1-26)$$

在蒸汽锤的计算中, 遇到水蒸汽的绝热过程变化和功能计算问题时, 一般可近似地将水蒸汽的绝热过程方程式写成:

$$pv^k = \text{常数}$$

上述式中的指数 K 纯是一经验数值, 并无物理意义。 K 是一变值, 随过程的初始和终了的水蒸汽状态不同而异。因此在计算时, 必须先确定蒸汽的状态和 K 值。压强不超过 2.5MPa 的过热蒸汽的 K 值可取 1.3; 干饱和蒸汽的 K 值可取为 1.135; 湿饱和蒸汽(初态的干度 x 不

小于0.7) 的 K 值可按如下的关系式来计算, 即 $K = 1.035 + 0.1x$ 。这些数据虽然粗糙些, 但在工程计算上是可行的。从锅炉送到锻锤的蒸汽, 途经较长的管道, 损失了一部分热量, 实际是用湿蒸汽工作。所以指数中的干度 x 是小于 1 的小数, 和 0.1 相乘再与 1.035 相加, 其结果接近于 1, 因此可写成:

$$pv = \text{常数} \quad (1-27)$$

因为 $p_1 v_1 = p_2 v_2 = pv = \text{常数}$, 所以 $p = \frac{p_1 v_1}{v}$ 。

绝热膨胀过程所做的功为:

$$W = \int_{v_1}^{v_2} p dv = \int_{v_1}^{v_2} \frac{p_1 v_1}{v} dv = p_1 v_1 \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} = p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (1-28)$$

如为绝热压缩, dv 是负值, 用上式计算出之结果亦为负值, 负膨胀功即压缩功。

第二章 蒸汽-空气锤

一、蒸汽-空气自由锻锤

1. 蒸汽-空气自由锻锤的分类、使用范围和主要结构

自由锻造用的蒸汽-空气锤,称为蒸汽-空气自由锻锤。锻锤的大小用吨位来标志,吨位是指锻锤落下部分的质量。在标准系列中有1、2、3、5 t等,其详细技术规格可参看表2-1。自由锻锤是锻造车间的主要设备,除用来完成自由锻造外,还较广泛地用来进行胎模锻造。

自由锻锤根据工艺上的需要,按照锤身的结构型式可以分为单柱式、双柱拱式和双柱桥式三种。

表2-1 蒸汽-空气自由锻锤技术规格

落下部分质量/t	0.63	1	2	2	3	3	5	5
结构型式	单柱式	双柱式	单柱式	双柱式	单柱式	双柱式	双柱式	桥式
最大打击能量/kJ	—	353	—	70	120	152	—	180
每分钟打击次数	110	100	90	85	90	85	90	90
锤头最大行程/mm	—	1000	1100	1260	1200	1450	1500	1728
汽缸直径/mm	—	330	480	430	550	550	660	685
锤杆直径/mm	—	110	280	140	300	180	205	203
下砧面至立柱开口距离/mm	—	500	1934	630	2310	720	780	—
下砧面至地面距离/mm	—	750	650	750	650	740	745	737
两立柱间距离/mm	—	1800	—	2300	—	2700	3130	4850
上砧面尺寸/mm	—	230×410	360×490	520×290	380×686	590×330	400×710	380×686
下砧面尺寸/mm	—	230×410	360×490	520×290	380×686	590×330	400×710	380×686
导轨间距离/mm	—	430	—	550	—	630	850	737
蒸汽消耗量/kg h ⁻¹	—	—	2500	—	3500	—	—	—
砧座质量/t	—	12.7	19.2	28.39	30	45.8	68.7	75
机器质量/t	140	27.6	44.8	57.94	61.1	77.38	120	138.52
外形尺寸/mm (长×宽×地面上高)	2250×1300 ×3955	3780×1500 ×4880	3750×2100 ×4361	4600×1700 ×5640	4900×2000 ×5810	5100×2630 ×5380	6030×3940 ×7400	6260×2600 ×7510

单柱式蒸汽-空气自由锻锤(如图2-1)可以从锤身的正面和左右等三面进行操作,因此操作和测量都很方便。但其锤身刚性较差,不适宜于大吨位,一般在1 t以下,主要用于锻造质量为70 kg以下的成型锻件和250 kg以下的光轴类锻件。

双柱拱式蒸汽-空气自由锻锤(如图2-2)的吨位一般有1、2、3 t等规格。锤身由两个立柱组成拱门形状,上端靠螺栓固定在汽缸两侧,下端固定在基础板上,形成框架,所以刚性较好,可适于锻造质量为70 kg以下的成型锻件和1500 kg以下的光轴类锻件。工人可从前后两个方向进行操作和测量锻件。是应用最为广泛的一种锻锤。

双柱桥式蒸汽-空气自由锻锤(图2-3)由两个立柱和横梁(钢板焊接或铆合构件)连接成桥形锤架。两个立柱之间的跨度较大,可以从四面进行操作,适于锻造轮廓尺寸较大的大型锻件。但因锤身结构庞大,刚性较差,吨位不宜过大,一般有3、5 t两种规格。

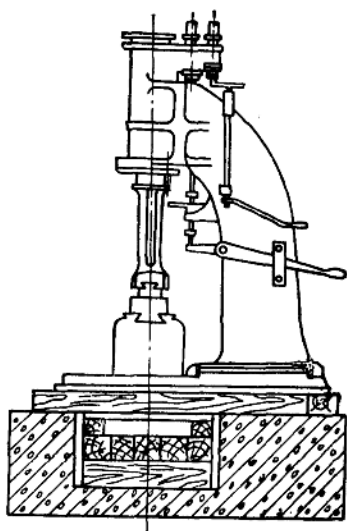


图2-1 单柱式蒸汽-空气自由锻锤

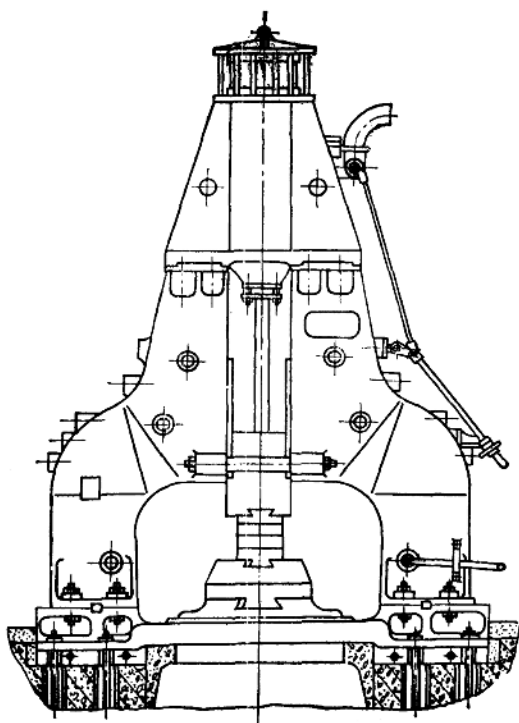


图2-2 双柱拱式蒸汽-空气自由锻锤

从上述这些自由锻锤中可见，汽缸部分是其主要部件之一，如图 2-4 所示。其上部为缓冲缸，其中缓冲活塞、缓冲缸与新蒸汽管路连通。当锤头上升至最高位置后，如还有剩余动能，则撞击缓冲活塞并使活塞上移，堵住进汽管口，使缓冲缸封闭。于是缓冲缸中的工作介质压强迅速升高，从而使锤头向上运动逐步停止。设计时应按锤杆折断、汽缸下腔进汽的最严重情况进行计算。

汽缸底部（如图 2-4）可做成活底，用螺钉与缸底连接，这样便于汽缸内孔的机械加工。汽缸外圈铸有纵向的加强筋，以提高刚度和强度。汽缸下支承面的四角上分布 8 个螺钉孔，以便用螺钉与立柱连成锤体框架。一般汽缸由含碳 0.25~0.35% 的铸钢制成。为了汽缸内壁磨损后便于修理，汽缸内孔热装一铸铁套，材料可选用 HT 28-48。

为防止锤杆滑动部位漏汽，可用断面尺寸为 $10 \times 10 \text{ mm}$ 的浸油石棉绳做填料，再用两个带有法兰的半圆形套环从下部向上压紧，两个半圆形套环水平方向用螺钉拉紧，而在垂直方向则用螺钉固紧在汽缸上。近年来，由于塑料工业的进步，已多采用聚四氟乙烯制成密封环，该环具有自润滑性，不必加注润滑油，防漏效果好。

汽缸的强度计算可按材料力学中的厚壁筒的计算方法进行。但为保证足够的刚度，应使汽缸壁厚不小于汽缸内径的 0.05~0.1。

滑阀和滑阀套从图 2-4 中可见，滑阀是一个中空圆柱形阀，上下端各有一个凸棱，通过杠杆拉动它上下滑动。滑阀套是一个薄壁套筒，有上、中、下三排孔，中间孔通进汽管，