



中等职业教育改革创新示范教材

设备控制基础

海南省工业学校 组编

钟时辉 主编



配电子教学资源



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中等职业教育改革创新示范教材

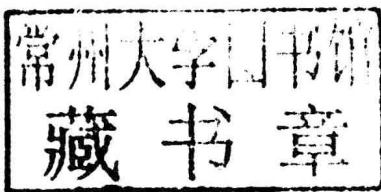
设备控制基础

海南省工业学校 组编

主编 钟时辉

参编 钟景亮 陈道昌

主审 王业端 何子望



机械工业出版社

本书结合国家示范校发展的需要,遵循“以服务为宗旨、以就业为导向、以能力为本位”的职教理念,顺应职业教育教学改革创新趋势而编写。

全书分为液压传动、气压传动和电气控制3个模块,包括液压传动系统的认识、液压元件的认识和拆装、液压基本回路的认识和组建、典型液压传动系统综合实训、气压传动系统的认识、气动元件的认识和拆装、气动基本回路的认识和组建、数控加工中心气动换刀系统的分析和故障诊断、常用低压电器的认识和拆装、继电器-接触器控制环节、以及典型电气控制,共11个项目。

本书可作为中等职业学校数控技术应用和机电技术应用专业的教学用书,也可供机械、机电等相关专业的从业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

设备控制基础/钟时辉主编;海南省工业学校组编. —北京:机械工业出版社,2015.2

中等职业教育改革创新示范教材

ISBN 978-7-111-49563-5

I. ①设… II. ①钟…②海… III. ①机械设备-控制系统-中等专业学校-教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第046390号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张云鹏 责任编辑:张云鹏 李超 王荣

版式设计:霍永明 责任校对:张爱贵

封面设计:路恩中 责任印制:刘岚

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2015年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·10.25印张·228千字

0001—3500册

标准书号:ISBN 978-7-111-49563-5

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

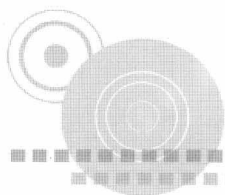
服务咨询热线:010-88379833 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649 机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com



前言

本书是根据《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》的指导思想，并结合国家示范校发展的需要，遵循“以服务为宗旨、以就业为导向、以能力为本位”的职教理念，顺应职业教育教学改革创新趋势而编写的，并力求在教材上有新的突破。

本书的编写原则是尽量符合中等职业教育数控技术应用专业的培养目标和方向，从实际应用出发，打破学科体系，力求用通俗易懂的语言，达到知识精练的目的，使学生能够较快地提高实际操作能力，达到职业技能鉴定的要求，并具有较强的企业适应能力。

本书是在分析了实际工作岗位和职业能力的基础上，依托中等职业学校的实际教学情况，以知识的实践运用为主线，以实际工作任务为载体，通过项目对知识的优化和整合，让学生在完成一个个任务的过程中，掌握设备控制的理论知识和实践技能，从而培养学生的知识学习能力和实际操作能力，并树立正确的职业道德观念。

本书有以下编写特色：

1. 突出职业教育发展的特点。根据企业对技能型人才的需要，本书优化了本课程需要了解的知识、掌握的技术和具备的能力，减少了理论推导和验证计算，重点介绍液压、气动和电气元件的结构与应用，为组装、分析、应用系统回路奠定基础。

2. 采用理实一体的项目式教学模式。本书在编写上采用新的模式，行文简介、图文并茂、直观明了，有利于基础较为薄弱学生的直观学习。

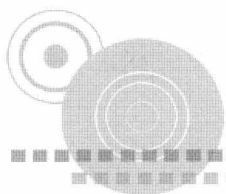
3. 体现以能力为本位的职教理念。以学生的“行动能力”为出发点组织本书的内容，通过对课程任务的理论和实操学习，循序渐进地提升学生的实践能力和职业素养。

4. 具有全面客观的评价体系。本书在每个任务后面都有相应的任务评价表，有利于任课教师对学生的综合评定，促进学生不断提高学习兴趣和能力。

本书内容分为液压传动、气压传动和电气控制3个模块，共11个项目。其中，液压传动模块由钟时辉编写，气压传动模块由钟景亮和钟时辉合编，电气控制模块由陈道昌和钟时辉合编。全书由钟时辉统稿并担任主编。本书由王业端、何子望担任主审。同时，本书的编写也得到了本专业同事们的指导和帮助，在此表示衷心的感谢！

由于编者理论水平和实际经验有限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请批评指正。

编者

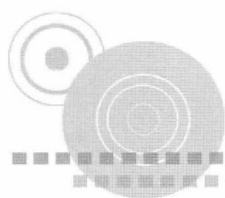


目 录

前言

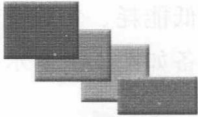
模块一 液压传动	1
项目一 液压传动系统的认识	3
任务一 液压传动概述	3
任务二 液压传动的力学知识	5
任务三 液压千斤顶的工作原理分析和使用	8
习题	11
项目二 液压元件的认识和拆装	12
任务一 液压动力元件的认识和拆装	12
任务二 液压执行元件的认识和拆装	18
任务三 液压控制元件的认识和拆装	22
任务四 液压辅助元件的认识和拆装	32
习题	37
项目三 液压基本回路的认识和组建	38
任务一 方向控制回路的认识和组建	38
任务二 压力控制回路的认识和组建	41
任务三 速度控制回路的认识和组建	46
习题	50
项目四 典型液压传动系统综合实训	51
任务一 组合机床动力滑台液压系统的分析和故障诊断	51
任务二 数控车床液压系统的分析和故障诊断	56
习题	60
模块二 气压传动	64
项目五 气压传动系统的认识	65
任务一 气压传动概述	65
任务二 气源装置及辅助元件的认识	68
习题	76
项目六 气动元件的认识和拆装	78
任务一 气动执行元件的认识和拆装	78
任务二 气动控制元件的认识和拆装	83

习题	93
项目七 气动基本回路的认识和组建	95
任务一 方向控制回路的认识和组建	95
任务二 压力控制回路的认识和组建	97
任务三 速度控制回路的认识和组建	100
习题	103
项目八 数控加工中心气动换刀系统的分析和故障诊断	104
习题	107
模块三 电气控制	109
项目九 常用低压电器的认识和拆装	111
习题	119
项目十 继电器-接触器控制环节	121
任务一 电动机单向运转控制电路的分析和连接	121
任务二 电动机正、反转控制电路的分析和连接	124
任务三 电动机行程控制电路的分析和连接	128
任务四 时间继电器切换的Y- Δ 起动控制电路的分析和连接	132
任务五 全波整流能耗制动控制电路的分析和连接	136
习题	140
项目十一 典型电气控制	142
任务一 CA6140 型卧式车床电气控制电路分析和故障诊断	142
习题	146
附录	148
附录 A 液压与气动常用图形符号	148
附录 B 电气图常用文字、图形符号	152
参考文献	155



模块一 液压传动





项目一 液压传动系统的认识

任务一 液压传动概述

【学习目标】

- 1) 了解液压传动系统的工作原理、运行特点和使用范围。
- 2) 了解液压传动系统的组成元件和工作介质的主要物理性质。

【任务描述】

了解液压传动系统的基本知识。

【知识准备】

设备控制技术是对生产现场中所使用的各种设备进行控制,从而使设备按照规定的加工与制造工艺要求完成相应动作的技术。它包括机械传动、液压传动、气压传动和电气控制及其控制等实用技术。

一、液压传动的应用、特点和发展

液压传动是以液压油为工作介质,把原动机的机械能先转化为工作介质的压力能,再由受压油液来进行运动和动力传递的一种传动方式。

1. 应用

液压传动在交通运输机械、起重机械、矿山机械、建筑机械、钢铁冶金与钻探机械、农业机械、各种加工机械、轻工业机械、机械手和机器人、飞行器、舰艇等装备和行业中有广泛的应用。

2. 特点

- 1) 液压传动的工作压力比较高,因此容易获得较大的力或力矩。
- 2) 容易实现直线往复运动、旋转运动和摆动,运动比较平稳,冲击小。
- 3) 在输出功率相同的条件下,液压装置体积小、质量小、结构紧凑、惯性小。
- 4) 可方便地实现无极调速,调速范围较大,一般可达 2000:1。
- 5) 液压系统易于实现安全保护,相比机械传动等操作更加简单、省力,可提高机械加工的生产率和产品质量。
- 6) 液压传动依靠液压油来工作,其本身具有润滑效果,可以延长元件的使用寿命。
- 7) 液压传动不如电气控制方便,液压元件的制造工艺和维修工艺要求比较高。

3. 发展

随着工业的发展, 液压传动不断朝着高速化、节能化、高效率、低能耗、集成化、高精密化, 以及与电子技术相结合的综合控制的方向发展。常见的液压设备如图 1-1 所示。

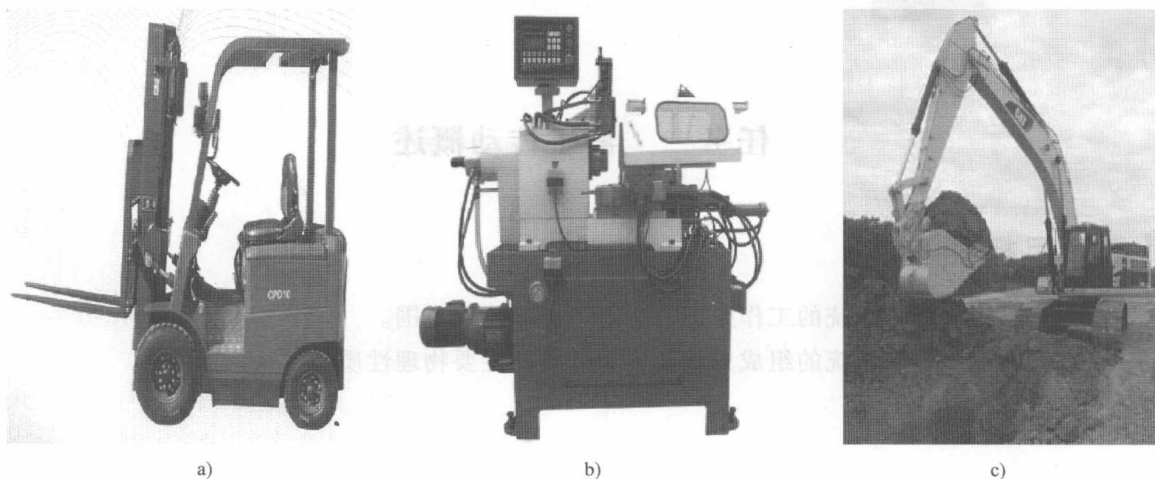


图 1-1 常见的液压设备

a) 叉车 b) 液压车床 c) 挖掘机

二、液压传动系统的组成

液压传动系统主要由以下几部分组成。

1. 动力元件

组成: 液压泵。

作用: 把机械能转换成压力能, 用以推动执行元件运动。

2. 执行元件

组成: 直线运动的液压缸、回转运动的液压马达。

作用: 把液体的压力能转换成机械能。

3. 控制元件

组成: 方向阀、压力阀、流量阀等。

作用: 对液压系统中流体的压力、流量和流动方向进行控制和调节。

4. 辅助元件

组成: 油箱、过滤器、蓄能器、油管、接头、压力表、密封件等。

作用: 对工作介质进行储存、过滤、输送、密封等。

5. 工作介质

组成: 液压油。

作用: 对液压系统进行能量传递、防腐、防锈和冷却等。

三、液压传动的工作介质

液压传动的工作介质是液压油。

1. 密度 ρ

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中 m ——液体的质量 (kg);

ρ ——密度, 即单位体积的液体质量 (kg/m^3);

V ——液体的体积 (m^3)。

2. 可压缩性

液体受压力作用而发生体积变化的性质。

3. 黏性和黏度

(1) 液体的黏性 液体在流动时产生内摩擦力的特性。

(2) 液体的黏度 液体黏性的大小可用黏度来衡量。

1) 动力黏度: 表示液体黏性的内摩擦因数 (也称绝对黏度), 用 μ 表示。

2) 运动黏度: 动力黏度 μ 与其密度 ρ 的比值, 用 ν 表示。

3) 相对黏度: 是按一定的测量条件而定的 (也称条件黏度)。

工程上常用运动黏度来表示液体的黏度。例如, L-H33 号液压油是指这种油液在 40°C 时的运动黏度的平均值为 $32\text{mm}^2/\text{s}$ 。液压油黏度对温度的变化十分敏感, 温度升高, 黏度下降。

任务二 液压传动的力学知识

【学习目标】

- 1) 了解液压传动静力学和动力学的基本知识。
- 2) 了解液压传动常用力学应用实例。

【任务描述】

了解液压传动的力学知识。

【知识准备】

一、液压传动的静力学基础

流体: 液体和气体。

特点: 液体看作是不可压缩的, 气体则是可压缩的, 气体的压缩性大约是液体的 10000 倍。

1. 液体静压力 p

$$p = \frac{F}{A}$$

式中 p ——流体静压力 (Pa);

A ——作用的面积 (m^2);

F ——作用的面积上所受的力 (N)。

绝对压力: 以零压力为基准的压力。

相对压力: 以大气压力为基准的压力, 也称表压力。

绝对压力与相对压力的关系为

$$\text{相对压力} = \text{绝对压力} - \text{大气压力}$$

2. 压力的度量标准

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 1.02 \text{ kgf/cm}^2 = 0.1 \text{ MPa}$$

3. 帕斯卡原理

定义: 在密闭容器内, 施加于静止液体上的压力将以等值同时传到液体各点, 又称静压传递原理。

液压千斤顶是帕斯卡原理应用的典型实例。图 1-2 所示为液压千斤顶的简化模型。

$$\text{公式 } p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{W}{A_2}, \frac{W}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$$

结论: 工作压力取决于负载, 而与流入的流体多少无关。

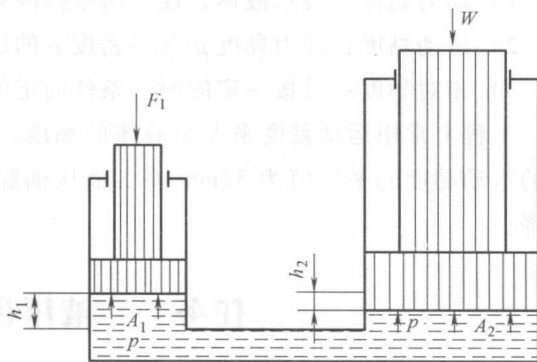


图 1-2 液压千斤顶的简化模型

二、液压传动的动力学

1. 基本概念

(1) 理想液体 既不可压缩又无黏性的液体。

(2) 理想气体 可压缩但没有黏性的气体。

(3) 流量和平均流速

1) 流量 q : 单位时间内流过某过流截面的流体的体积, 即

$$q = \frac{V}{t}$$

式中 V ——过流截面的体积 (m^3);

t ——所用的时间 (s);

q ——流量 (m^3/s)。

2) 平均流速 v : 流体质点在单位时间内流过的距离, 即

$$v = \frac{q}{A}$$

式中 v ——流体的平均流速 (m/s);

q ——管道中流体的流量 (m^3/s);

A ——管道过流截面积 (m^2)。

结论: 活塞的运动速度 v 取决于进入液压缸的流量 q , 而与流体压力 p 的大小无关。

2. 连续性方程

根据质量守恒定律, 单位时间内流过任意管道的截面的流体质量为常数 c , 即

$$\rho A v = c$$

式中 ρ ——流体的密度;

A ——管道的过流截面积;

v ——流体的平均流速。

(1) 气体流动的连续性方程 气体的密度 ρ 受温度和压力的变化较大, 又因气体是可压缩的, 故在不同的截面上气体密度不同。连续性方程为

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

(2) 液体流动的连续性方程 因液体密度 ρ 受温度和压力的变化较小, 可认为液体是不可压缩的。则有

$$A v = q = \text{常数}$$

或

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = q$$

图 1-3 所示为液压千斤顶的压油过程。从连续性方程可得出, 它的流速与过流截面积成反比, 流过过流截面 A_1 的液体流量等于流过过流截面 A_2 的流量。

结论: 管径大的地方流速慢, 管径小的地方流速快。

【任务实施】

一、工具准备

笔、稿纸、计算器等。

二、实施步骤

【例 1-1】 图 1-3 所示液压千斤顶
中, 已知活塞的有效作用面积 $A_1 = 1.13 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $A_2 = 9.62 \times 10^{-4} \text{ m}^2$,
施加在小活塞上的力 $F_1 = 5.78 \times 10^3 \text{ N}$ 。
问千斤顶能顶起多重的物体?

解: 小活塞所在的液压缸内的压力 p_1 为

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{5.78 \times 10^3 \text{ N}}{1.13 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 5.12 \times 10^7 \text{ Pa}$$

根据帕斯卡原理, 作用在大、小活塞上的压力相等, 即 $p_1 = p_2$, 则 W 为

$$W = p_2 A_2 = p_1 A_2$$

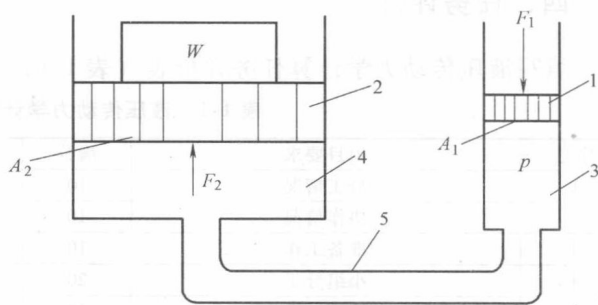


图 1-3 液压千斤顶的压油过程

1、2—活塞 3、4—油腔 5—油管

$$= 5.12 \times 10^7 \text{ Pa} \times 9.62 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$= 4.92 \times 10^4 \text{ N}$$

因此液压千斤顶能顶起 $4.92 \times 10^4 \text{ N}$ 的重物。作用力放大了 $\frac{W}{F_1} \approx 8.5$ 倍。

【例 1-2】 图 1-3 所示液压千斤顶中，已知活塞 1 的有效作用面积 $A_1 = 1.13 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ，活塞 2 的有效作用面积 $A_2 = 9.62 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ，油管 5 的截面积 $A_5 = 1.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ 。假定活塞 1 的下压速度 $v_1 = 0.2 \text{ m/s}$ 。试求活塞 2 的上升速度 v_2 和油管 5 内液体的平均速度 v_5 。

解：1) 活塞 1 所排的流量 q_1 为

$$q_1 = A_1 v_1 = 1.13 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 0.2 \text{ m/s} = 2.26 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

2) 根据连续性方程，活塞 2 所排的流量 $q_2 = q_1$ ，得

$$v_2 = \frac{q_2}{A_2} = \frac{2.26 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{9.62 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 2.3 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

3) 同理，油管 5 中的流量 $q_5 = q_2 = q_1$ ，得

$$v_5 = \frac{q_5}{A_5} = \frac{2.26 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{1.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 1.74 \text{ m/s}$$

三、任务组织

- 1) 根据授课班级人数完成学生实验教学分组。
- 2) 小组成员通过分工协作算出结果，完成实施任务。
- 3) 每个小组派出代表展示和讲解结果。

四、任务评价

填写液压传动力学计算任务评价表（表 1-1）。

表 1-1 液压传动力学计算任务评价表

序号	项目要求	满分	记录	得分
1	分工情况	10		
2	协作情况	10		
3	准备工作	10		
4	小组分工	20		
5	演算过程	20		
6	运算结果	10		
7	展示和讲解	20		
8	总体评价	100		

任务三 液压千斤顶的工作原理分析和使用

【学习目标】

- 1) 了解液压千斤顶的结构和工作原理。

2) 学会常用液压千斤顶的使用方法。

【任务描述】

分析液压千斤顶的结构和工作原理，并正确使用液压千斤顶。

【知识准备】

液压千斤顶一般由人力或电力驱动液压泵，通过液压系统传动，用缸体或活塞作为顶举件。液压千斤顶可分为整体式和分离式。整体式液压千斤顶，其液压泵与液压缸连成一体；分离式液压千斤顶，其液压泵与液压缸分离，中间用高压软管相连。

一、液压千斤顶的组成和工作原理

1. 系统组成

液压千斤顶（图 1-4）是一个简单的液压传动装置，它主要由液压泵和液压缸两部分构成。

基本组成元件有杠杆手柄、小缸体、小活塞、单向阀、吸油管、管道、大活塞、大缸体、截止阀和油箱等。

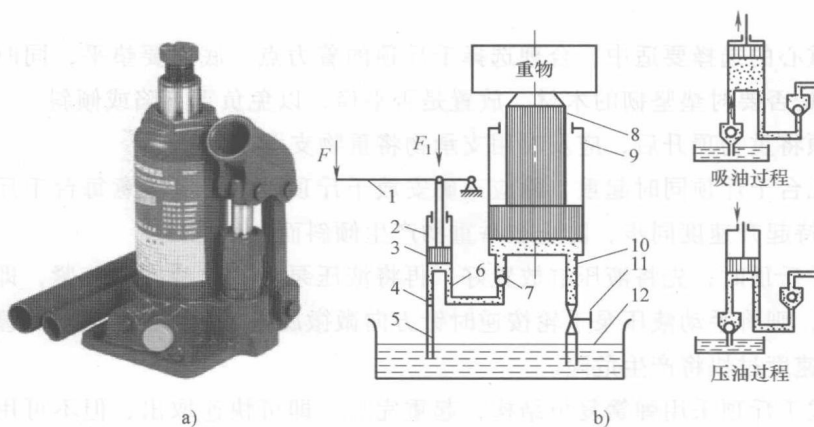


图 1-4 液压千斤顶

a) 实物图 b) 工作原理图

1—杠杆手柄 2—小缸体 3—小活塞 4、7—单向阀 5—吸油管
6、10—管道 8—大活塞 9—大缸体 11—截止阀 12—油箱

2. 工作原理

大缸体 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小缸体 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。如提起手柄使小活塞向上移动，小活塞下端油腔容积增大，形成局部真空，这时单向阀 4 打开，通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油；用力压下手柄，小活塞下移，小活塞下腔压力升高，单向阀 4 关闭，单向阀 7 打开，下腔的油液经管道 6 输入大缸体 9 的下腔，迫使大活塞 8 向上移动，顶起重物。再次提起手柄吸油时，单向阀 7 自动关闭，使油液

不能倒流,从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄,就能不断地把油液压入举升缸下腔,使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11,举升缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱,重物就向下移动。

结论:液压传动是依靠密封容积的变化来传递运动,依靠油液内部的压力来传递动力的。如果把液压千斤顶里面的油液换成压缩空气,同样的结论一样适用于气压传动。

【任务实施】

一、工具准备

液压千斤顶。

二、使用方法

- 1) 使用前必须检查各部分是否正常,主要检查活塞、接头、高压软管等处是否漏油。
- 2) 使用时应严格遵守主要参数中的规定,切忌超高超载,否则当起重高度或起重吨位超过规定时,液压缸顶部会发生严重的漏油。
- 3) 如手动液压泵中的油量不足时,需先向泵中加入已经充分过滤后的液压油才能工作。
- 4) 重物重心的选择要适中,合理选择千斤顶的着力点,底面要垫平,同时考虑到地面软硬条件,是否要衬垫坚韧的木材,放置是否平稳,以免负重下陷或倾斜。
- 5) 千斤顶将重物顶升后,应及时用支承物将重物支承牢固。
- 6) 如需几台千斤顶同时起重,除应正确安放千斤顶外,还应注意每台千斤顶的负荷应均衡,注意保持起升速度同步,防止被举重物产生倾斜而发生危险。
- 7) 使用千斤顶时,先将液压缸放置好,再将液压泵上的放油螺钉旋紧,即可工作。欲使活塞杆下降,则将手动液压泵手轮按逆时针方向微微旋松,液压缸卸荷,活塞杆即逐渐下降。否则下降速度过快将产生危险。
- 8) 分离式千斤顶采用弹簧复位结构,起重完后,即可快速取出,但不可用连接的软管来拉动千斤顶。
- 9) 因千斤顶起重行程较小,使用时不得超过额定行程,以免损坏千斤顶。
- 10) 使用过程中应避免千斤顶剧烈振动(如在千斤顶负载时,用锤子敲击工件)。

三、注意事项

- 1) 使用时如出现空打现象,可先旋松泵体上的放油螺钉,将泵体垂直头向下空打几下,然后旋紧放油螺钉,即可继续使用。
- 2) 使用时,不得加偏载或超载,以免千斤顶破坏发生危险。在有载荷时,切忌将快速接头卸下,以免发生事故及损坏机件。
- 3) 液压千斤顶使用油作为介质,故必须做好油液及设备的保养工作,以免堵塞或漏油,影响使用效果。
- 4) 新的或久置的液压千斤顶,因液压缸内存有较多空气,故在开始使用时,活塞杆可

能出现微小的突跳现象,可将液压千斤顶空载往复运动 2~3 次,以排除腔内的空气。长期闲置的液压千斤顶,由于密封件长期不工作而硬化,从而影响液压千斤顶的使用寿命,所以液压千斤顶在不使用时,每月要使其空载往复运动 2~3 次。

四、任务评价

填写液压千斤顶使用任务评价表(表 1-2)。

表 1-2 液压千斤顶使用任务评价表

序号	项目要求	满分	记录	得分
1	分工情况	5		
2	协作情况	5		
3	准备工作	5		
4	设备摆放	20		
5	工具使用	10		
6	是否按要求进行	5		
7	具体使用情况	20		
8	操作步骤顺序	20		
9	是否有疏漏	10		
10	总体评价	100		

习 题

一、简答题

1. 什么是设备控制技术?它主要包括哪几个方面?
2. 什么是液压传动?它相对于其他传动具有哪些优点?
3. 液压传动系统分为哪几个部分?每部分包括哪些液压元件?它们的作用分别是什么?
4. 什么是帕斯卡原理?它的前提条件是什么?
5. 根据液体流动的连续性方程,在液压千斤顶的工作原理图中,当活塞有效作用面积一定时,要改变活塞运动速度应采取什么方法?

二、计算题

1. 某种液压油的体积为 $2.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3$, 质量为 25kg, 求此液压油的密度。
2. 图 1-4b 所示为液压千斤顶的工作原理图, 作用在小活塞上的力 $F_1 = 900 \text{ N}$, 大、小活塞的有效作用面积分别为 $A_2 = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 、 $A_1 = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, 忽略损失, 试计算:
 - (1) 液压系统中的压力 p 为多少?
 - (2) 大活塞能顶起的重物的重力 W 为多少?
 - (3) 大、小活塞运动速度哪个快?快的是慢的几倍?
 - (4) 当 $W = 18000 \text{ N}$ 时, 系统中的压力为多少?如果要顶起此时的重物, 作用在小活塞上的力 F_1 又为多大?