



国家示范性骨干院校建设项目成果教材 · 数控技术应用专业

液压与气压传动

◎ 张虹 主 编
◎ 熊学慧 肖心萍 副主编
◎ 冯正奎 主 审



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



秦皇岛职业技术学院
Qinhuangdao Institute of Technology

国家示范性骨干院校建设项目成果教材·数控技术应用专业

液压与气压传动

张虹 主编

熊学慧 肖心萍 副主编

冯正奎 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书依据液压与气压传动系统的安装调试、使用维护和日常保养等工作对知识和能力的需求来选择和组织内容,重点介绍液压和气动回路的基本工作原理及应用,注重工作任务和岗位能力与知识的联系。全书紧密围绕解决机械设备液压与气动系统问题的工作方法,将液压与气压传动的使用分解为三个项目,每个项目设立关联的工作任务,充分体现了工作过程的完整性,重点帮助学习者在体验过程中掌握工作方法。每个项目主要由工作任务、学习目标、任务实施、知识平台、想一想练一练等部分组成。

本书可作为机械制造类专业基础课教材,适用于高职高专院校数控技术、机械制造与自动化、模具制造等专业。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动 / 张虹主编. —北京: 电子工业出版社, 2016.1

ISBN 978-7-121-27019-2

I. ①液… II. ①张… III. ①液压传动—高等学校—教材②气压传动—高等学校—教材 IV. ①TH137
②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 198039 号

策划编辑: 郭乃明

责任编辑: 郭乃明 特约编辑: 范 丽

印 刷: 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

装 订: 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 12.75 字数: 322.6 千字

版 次: 2016 年 1 月第 1 版

印 次: 2016 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。



秦皇岛职业技术学院
Qinhuangdao Institute of Technology

“国家示范性骨干院校建设项目成果” 丛书编委会

主任：刘志国 孙景余

副主任：刘艳红

委员：魏联华 赵俊修 安风琴 刘庆杰 徐耀龙 尹春明

范明海 赵春荣 马伯华 穆香玲 陈兆生 孟宝金

王秀荣 马三生 段文燕 张东明 马薇 张志宇

前 言

本书依据液压与气压传动系统的安装调试、使用维护和日常保养的工作对知识和能力的需求来选择和组织内容，重点介绍液压和气动回路的基本工作原理及应用，注重强调工作任务和岗位能力与知识的联系。全书紧密围绕解决机械设备液压与气动系统问题的工作方法，将液压与气压传动的使用分解为三个项目，每个项目设立关联的工作任务，充分体现了工作过程的完整性，重点帮助学习者在体验工作过程中掌握工作方法。每个项目主要由工作任务、学习目标、任务实施、知识平台、想一想练一练等部分组成。

本书由秦皇岛职业技术学院张虹任主编，熊学慧、肖心萍任副主编。其中项目一由张虹、胡春生、肖心萍、熊学慧、鲁妍编写，项目二由胡春生、张虹编写，项目三由肖心萍、熊学慧、李晓丹、刘颖编写，由冯正奎担任主审。

本书作为机械制造类专业基础课教材，适用于高职高专院校数控技术、机械制造与自动化、模具制造等专业。

本书编写过程中参考了近年来液压与气动技术方面的诸多专著和教材，本书编者对参考文献中的各位作者深表感谢。

由于作者水平有限，教材在编写过程中难免存在缺点和不足之处，诚请广大读者批评指正。

目 录

项目背景 机电设备的运行与液压传动	1
项目一 QY3110 型自卸汽车车斗举升机构液压系统的设计与装调	2
任务 1 项目立项	3
任务 2 液压系统的工况分析	7
任务 3 拟定液压系统原理图	32
任务 4 液压系统设计计算	43
任务 5 选择液压力元件	63
任务 6 选择液压辅件	90
任务 7 装调液压系统	100
任务 8 分析排除典型故障	112
项目二 QY1800 压缩机液压系统的装调	127
任务 1 项目立项	129
任务 2 绘制液压原理图	129
任务 3 液压系统设计计算与元件的选择	154
项目三 气动机械手气压传动系统的设计	161
任务 1 项目立项	162
任务 2 绘制气压系统原理图	165
任务 3 选择气压元件	173
附录 本书知识平台的编目	193
参考文献	196

项目背景 机电设备的运行与 液压传动

机电设备是在一种或几种动力驱动下，能够完成生产、加工、运行等功能或效用的装置，它可以把能量转变为最有用的形式，或转变为有效的机械功，能够将能量、力从一个地方传递到另一个地方。典型的机电设备主要由原动机、传动装置、工作机和控制操作部分组成。工作机是机械系统中的执行部分，利用机械能对外做功；原动机是机械系统中的驱动部分，它的作用是把各种形式的能量转变为机械能，是机器的动力源，其中蒸汽机、柴油机、汽油机、水轮机和燃气轮机归为一类；另一类包括电动机、液动机（液压马达）和气动机（气动马达）。

许多工作都需要很大的动力来完成，因此机电设备需要能量。机器一般是通过电动机或马达提供能量的，由原动机提供的能量一般不能直接带动工作机，例如柴油汽车的驱动轴不能直接带动翻斗；电动机也不能直接冲压工件，能量必须经过相应的转换，而且根据工作所需要的能量形式输出。传动装置的作用是把原动机和工作机有机联系起来，是实现能量传递和运动形式转换不可缺少的部分，它一般设置在原动机和工作机之间，起传递动力和进行控制的作用。机器设备的传动方式主要有机械传动、液压传动、气压传动和电气传动等，其中应用最广的是机械传动，如齿轮传动、皮带传动、链传动等。在液压传动当中，人们利用液体的物理特性将流体作为力的传递介质控制动作。

液压系统的一个最重要的优点就是人们可以将很大的力自由地定量传输，例如大型冲压机。液压驱动价格低、效率高，因此常用在移动设备上。通过液压系统，人们还可以准确地进行定位，这在电气设备的应用中是非常重要的。另外液压系统完成的动作非常平稳，而且运动速度是可调的，例如在数控机床加工中，进给比空行程慢。液压设备还可以在带很大负载的情况下启动，例如各种升降台。我们在液压系统中还能很容易实现有效防止过载的措施。

液压可以应用在静止的设备和机器上，也可应用在建筑机械、汽车和飞机上。

项目一 QY3110 型自卸汽车车斗举升机构液压系统的设计与装调



项目描述

自卸汽车又称翻斗车，它是依靠发动机动力驱动液压举升机构，将车斗倾斜一定角度使其自动倾卸货物，并利用车斗自重复位的一种专用汽车，在建设大型工程的时候，一般都需要使用到自卸车。举升机构的动力传动装置一般从变速器总成的顶部或侧面安装的取力器输出动力。取力器直接带动油泵，从而产生液压驱动力。液压举升系统要求如下：

1. 液压系统要保证为车斗倾翻提供足够的举升力，并且力不能过大，不能对车斗底部造成破坏。
2. 液压系统的动力来源可以选用取力器。
3. 主要完成举升、中停、回落的动作，车斗应举升、下降平稳，不允许有窜动、冲撞和卡滞现象。
4. 卸货操纵机构应灵活、准确、可靠。
5. 在行驶过程中不允许出现车斗自动举升现象。
6. 车斗空载举升到最大举升角的时间不超过 20s，回程不超过 15s。



项目分析

自卸汽车是一种专用汽车，是专用汽车生产商选用合适的二类底盘（只缺少车斗系统总成的汽车），自行设计载货车斗和举升倾翻机构，为完成专门用途而生产的汽车，如图 1-0-1 所示。汽车所有工作的动力来源于汽车发动机，但发动机不能直接带动举升机构完成各种动作，需要由液压油来传递力和速度，使其完成特定的工作。

本项目主要进行 QY3110 型自卸汽车车斗举升液压系统的设计，按照工作任务的步骤选择液压元器件，安装调试整个液压系统，完成运行检验，并总结日常保养措施、常见故障分析判断依据和方法。QY3110 型自卸汽车的举升机构采用连杆组合式，液压缸通过一个放大机构——三角臂推动车斗后翻，完成卸货，见图 1-0-2。

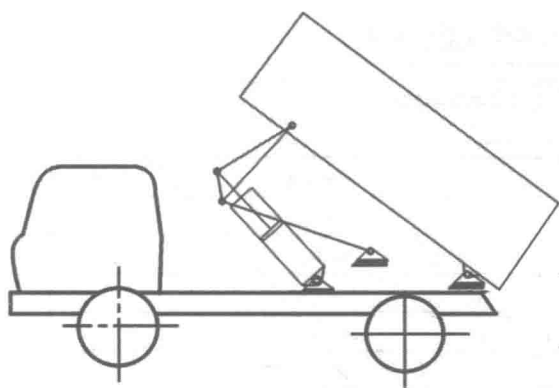


图 1-0-1 QY3110 型自卸汽车简图

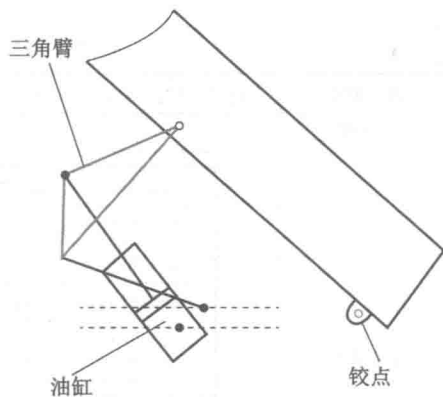


图 1-0-2 前推式举升机构



项目任务

- 任务 1 项目立项
- 任务 2 工况分析
- 任务 3 拟定液压原理图
- 任务 4 液压系统设计计算
- 任务 5 选择液压元器件
- 任务 6 设计辅助元器件
- 任务 7 液压系统装调与维护保养
- 任务 8 分析排除典型故障

任务 1 项目立项



学习目标

1. 正确填写研发立项书
2. 了解液压系统设计的步骤
3. 理解液压系统的基本组成



任务实施

接到设计研发任务以后, 首先应根据项目要求正确填写研发立项书, 明确设计要求, 见表 1-1-1。

表 1-1-1 液压系统研发立项书

项目名称	QY3110 型自卸汽车车斗举升机构液压系统	项目编号	
项目负责人		立项时间	
技术要求	总质量	11000kg	
	最大装载质量	5500kg	
	整备质量	5000kg	
	倾斜时间（举升/落下）	15s/13s	
	最大举升角	50°	
	举升机构形式	连杆组合式	
	液压系统动力来源	变速箱取力器	
	油缸行程	780mm	
	倾斜时发动机的转速	1000r/min	
	取力器的速比	0.78	
计划进度	（略）		



知识平台

一、液压传动的工作原理

一部机器通常由三部分组成，即原动机、传动机、工作机。原动机的作用是把各种形式的能量转变为机械能，是机器的动力源；工作机利用机械能对外做功；传动装置设在原动机和工作机之间，起传递动力和进行控制的作用。传动的类型有多种，按照传统所用的机件或工作介质的不同可以分为：机械传动、电力传动、气压传动和液压传动。

用液体作为工作介质，利用密封腔内液体的压力能来传递动力，进行能量传递和控制的传动方式，称为液压传动。液压系统在工作过程中进行了两次能量转换，即机械能—压力能—机械能。

二、液压系统设计的步骤

液压传动系统是液压机械的一个组成部分，液压传动系统的设计要同主机的总体设计同时进行。着手设计时，必须从实际情况出发，有机地结合各种传动形式，符合其主机在动作循环和静、动态性能等方面所提出的要求，充分发挥液压传动的优点，力求设计出结构简单、工作可靠、成本低、效率高、操作简单、维修方便的液压传动系统。液压传动系统的设计一般依据流程图（见图 1-1-1）的步骤进行设计。

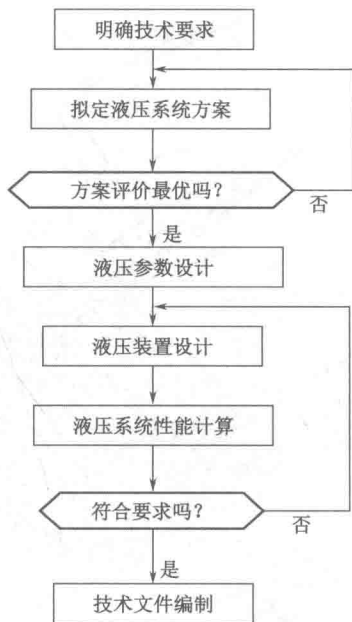


图 1-1-1 液压传动系统设计流程图

三、液压系统的基本组成

利用液压设备可以得到不同的能量。人使用千斤顶时，由人体提供能量；升降机举升重物由电动机提供能量；自卸车倾倒货物由发动机提供能量。我们看这个自卸车举升机构倾翻车斗的例子，取力器取力将发动机的能量通过齿轮泵转化为液压能量，能量通过液压油这种介质传递出去，最后由工作元件——液压缸的活塞杆推动车斗倾翻。为实现所有的功能，液压设备还需要能量控制部分，这就是各种不同功能的阀。通过这个简单的设备，我们可以清楚地了解液压系统的基本组成部分：能量产生部分、能量控制部分、执行部分。

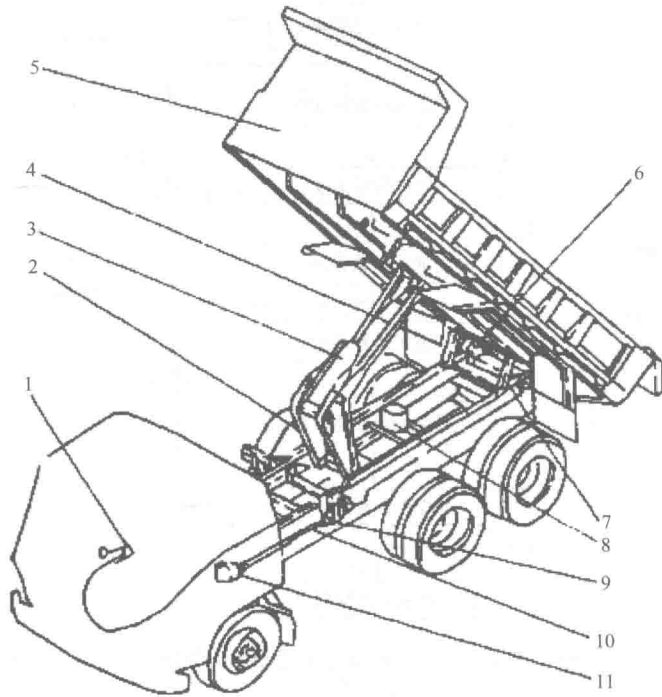
自卸车的工作原理如下：汽车发动机通过变速箱、取力器驱动液压泵，将液压油经控制阀、油管输入举升液压缸，通过操纵系统控制油缸活塞杆运动，实现车斗倾翻，具有举升、停止和下降三个动作，并可使车斗停止在任何需要的倾斜位置上，然后利用自身重力和液压控制使车斗复位，见图 1-1-2。工作过程中有两次能量转换，即取力器输出机械能传送给液压油泵，液压油泵将机械能转换成液压能，经过液压油管由控制装置分配到举升油缸，通过举升油缸将液压能转换成机械能，将车斗倾翻一定角度进行卸货。

无论液压设备规模大小、系统复杂与否，任何一个液压系统都是由以下几部分组成的，见图 1-1-3。

1) 能源装置：它是供给液压系统压力油，把机械能转换成液压能的装置，最常见的动力元件是液压泵。

2) 执行装置：它是把液压能转换成机械能的装置，其形式有进行直线运动的液压缸，有进行回转运动的液压马达，它们又被称为液压系统的执行元件。

3) 控制调节装置：它是对系统中的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置。如溢流阀、节流阀、换向阀、开停阀等控制元件。



1—液压倾卸操纵装置；2—倾卸机构；3—液压油缸；4—拉杆；5—车斗；
6—后铰链支座；7—安全撑杆；8—油箱；9—油泵；10—传动轴；11—取力器

图 1-1-2 普通自卸汽车结构组成

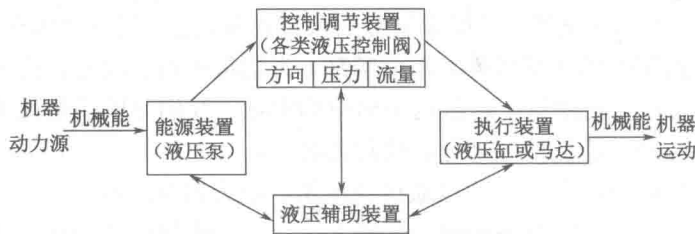


图 1-1-3 液压系统的组成

4) 辅助装置：上述三部分之外的其他装置，例如油箱、滤油器、油管等。它们是保证系统正常工作必不可少的辅助元件。

5) 工作介质：传递能量的流体，即液压油等。



想一想 练一练

一、根据液压原理 DIY 简易后翻式自卸车。

1) 准备制作材料：注射器、输液导管、薄木板（或较硬的 PVC 板、硬纸板）、大头针、钉子、强力胶水、水等。

2) 在计算机上用制图软件设计好自卸车的结构数据，然后用制作材料加工自卸车的各部分。

3) 制作自卸车举升机构的液压系统，可用一只注射器模拟油缸的缸筒和活塞杆，另一只注射器模拟油箱（为方便操作，作为油箱的注射器最好水平固定在底板或桌面上）。

二、根据液压原理 DIY 简易挖掘机。(参考图 1-1-4)

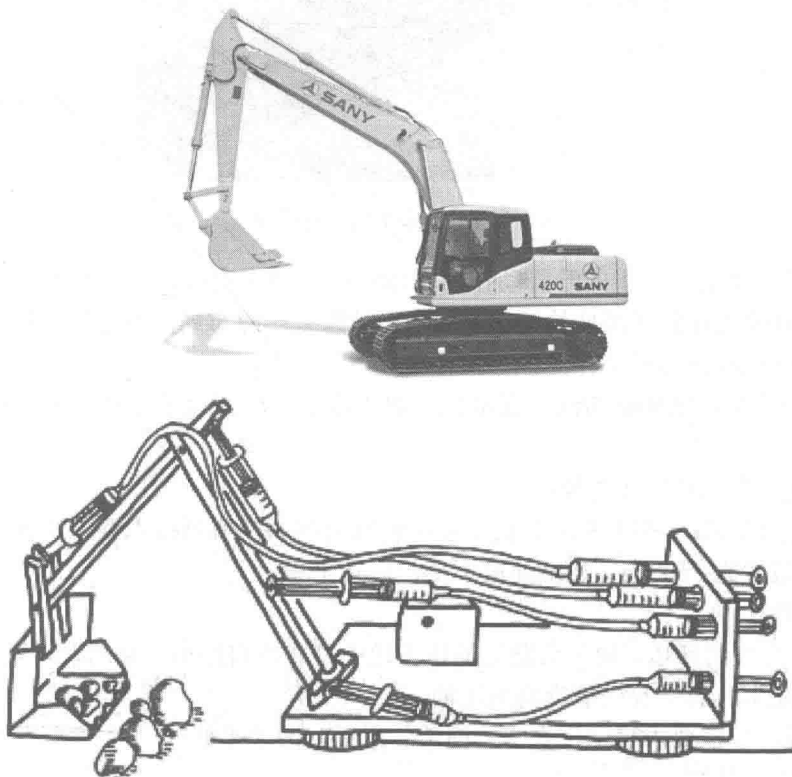


图 1-1-4 挖掘机示意图

任务 2 液压系统的工况分析

学习目标

1. 明确设计要求, 进行工况分析
2. 正确计算液压缸的特征参数
3. 掌握液压缸的结构和工作原理
4. 了解液压马达的工作原理
5. 认识液压元件的职能符号

任务实施

1. 明确设计要求

(1) 机器的特性

1) 主机的结构。图 1-2-1 所示为 QY3110 型自卸汽车举升机构的基本形式, 采用液体压力作为举升动力, 油缸推动放大机构——三角臂, 使连杆组合式举升机构举升车斗, 可实现车斗后翻动作平顺稳定, 油缸活塞杆伸出的行程短、举升速度快、效率高。车斗复位依靠自重。

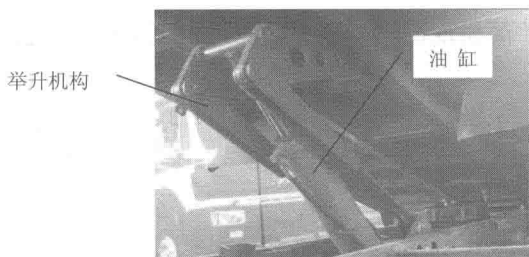


图 1-2-1 自卸车的举升机构

2) 主机的动作要求。主机的升降动作要求用液压传动来实现, 具有举升、停止和下降三个动作, 并可使车斗停止在任何需要的倾斜位置上, 液压系统的布局需要尽量减少占地空间。根据主机的动作要求应选择液压油缸作为执行元件。

3) 原动机的种类。原动机为汽车发动机, 取力器与汽车变速箱连接取力, 通过传动装置传给液压泵。

4) 操作方式。电气控制更方便。

5) 主机的性能要求。参见任务 1 液压系统研发立项书中所列技术要求, 液压缸的负载种类为变化的负载, 最大为 5500kg; 运动速度不变, 运行平稳。

(2) 使用条件

1) 设置场所与使用环境。用于公路运输用普通中型载重自卸车的卸料, 装载质量为 5500kg, 主要承担砂石、泥土、煤炭等松散货物的运输。

2) 维护程度。性能要求稳定、安全、简单、耐用, 故障率低。

(3) 适用标准、法则

根据用户要求采用相关国家标准、法则。

(4) 安全性、可靠性

按照操作手册使用, 保用期两年。

(5) 经济性

自卸车价格约为 100000 元, 成本应控制在 80000 元, 液压系统的成本占产品总成本的 20% 左右, 同时维护保养及运行费用保证低廉。

2. 进行液压系统的工况分析

(1) 设备情况

1) 该举升机构由执行元件液压缸带动举升机构进行往复运动, 液压缸摆动一定角度。车斗应举升、下降平稳, 不允许有窜动、冲撞和卡滞现象, 所以液压系统需要有安全设置, 同时保证举升机构在汽车行驶当中不能起升。

2) 通过车斗后翻角度可计算出油缸活塞杆伸出最大长度为 780mm, 车斗可停在任意倾斜位置, 并保证有持续的支撑力, 利用自身重量和液压控制复位, 主机启动时负载最大。应选用单作用活塞缸。

3) 为了提高工作效率, 举升时间为 15s, 下降时间为 13s。

(2) 负载和速度分析

确定执行机构(液压油缸)在工作过程中载荷和速度变化的情况。

1) 根据举升重物的重量不同, 最大负载为 53.9kN, 工作过程中, 负载逐渐减小。

2) 机构举升的平均速度为 $V_{\uparrow} = 780/15 = 52(\text{mm/s})$, 下降的平均速度为 $V_{\downarrow} = 780/13 = 60(\text{mm/s})$;

3) 油缸最大行程为 780mm。

3. 液压油缸参数计算

油缸选型主要依据自卸车举升机构所需的最大举升力 F_{\max} 。举升机构启动时负载最大，所需举升力最大。

$$F_{\max} \cdot \sin \theta = 5.5 \times 9.8 = 53.9 \text{ kN}$$

$$\therefore F_{\max} = 157.6 \text{ kN}$$

F_{\max} 为举升油缸所需的最大推力， $\theta=20^\circ$ 为举升油缸安装时与水平方向的夹角（机械结构设计确定）。

按负载情况、运动要求、最大行程计算液压油缸工作尺寸；根据使用要求确定安装结构形式。

(1) 缸筒内径 D （液压缸直径）

本设计选择单作用液压缸，工作时无杆腔进油，有杆腔没有液压油，则

$$D \gg \sqrt{\frac{4F_{\max}}{\pi P_1}} \quad \text{式 1-2-1}$$

P_1 ——液压缸工作压强（MPa）；

F_{\max} ——最大作用负载力（N）。

国家标准 GB/T 2346—2003 规定了液压缸的额定压力系列，分别是 1.0、1.6、2.5、4.0、6.3、10.0、16.0、25.0、31.5、40.0MPa。本系统液压缸承载时的工作腔是无杆腔（使用油缸杆的推力），可参考表 1-2-1 选择工作压力， $P_1=12\text{MPa}$ ，经计算 $D=129.31\text{mm}$ 。

液压缸直径 D 和活塞杆直径 d 的计算值要按国标规定的有关标准进行计算。常用液压缸直径见表 1-2-2，所以 D 选择 140mm。油缸的实际工作压力 $P = \frac{F_{\max}}{\pi D^2} = 10.24\text{MPa}$ 。

特别说明：在液压与气动传动技术的应用中，常把压强称为压力，把压强差简称为压差，本书符合行业习惯，沿用此表示方法。

表 1-2-1 各种机械常用的系统工作压力（MPa）

机械类型	机床				农业机械 小型工程机械 建筑机械 液压凿岩机	液压机 大中型挖掘机 重型机械 起重运输机械
	磨床	组合机床	龙门刨床	拉床		
工作压力（MPa）	<0.8~2	3~5	2~8	8~10	10~18	20~30

表 1-2-2 常用液压缸内径 D （mm）

40	50	63	80	90	100	110
125	140	160	180	200	220	250

(2) 活塞杆直径 d

常用活塞杆直径见表 1-2-3，根据已知条件油缸速比较小，为 1.15（请考虑是怎么得出的），所以 d 选择 70mm。

表 1-2-3 活塞缸直径 d (mm)

速比	缸径 (mm)						
	40	50	63	80	90	100	110
1.33	20	25	32	40	45	50	55
1.46	22	28	35	45	50	55	63
2			45	55	63	70	80
速比	缸径 (mm)						
	125	140	160	180	200	220	250
1.33	63	70	80	90	100		
1.46	70	80	90	100	110	125	140
2	90	100	110	125	140	160	180

速比：有杆腔进油时活塞运动速度与无杆腔进油时活塞运动速度之比。

(3) 油缸的推力

选取举升油缸为单作用活塞缸，缸径 140mm，行程 780mm，额定压力 16MPa。查手册或油缸厂商样本，在额定压力 16MPa 下，油缸推力为 246kN。

(4) 选择油缸的结构形式

因油缸与举升机构之间为铰接，所以应选用耳环形的安装方式，活塞杆头可用外螺纹耳环连接。

(5) 确定油缸的安装距

一般油缸安装距等于 L +行程， L 是指油缸内部密封等条件要求的必要长度，每个生产商所能提供的尺寸不尽相同。本例中活塞杆头为单耳环，查液压设计手册可知， $L \geq 275\text{mm}$ 。在进行举升结构的运动设计时，须保证安装距 $\geq 275+780\text{mm}$ 。

其实液压油缸的安装距和行程，以及安装机构形式并不是液压工程师设计的内容，而是机械产品设计工程师的设计任务。在产品设计的阶段就要确定传动方式、执行元件安装的位置和运动轨迹、油缸行程、安装方式等机械结构必要尺寸，然后再交由液压工程师进行液压传动系统的设计。



知识平台

一、确定液压系统的设计要求

设计新的液压系统，首先要明确机器对液压系统有哪些动作和性能要求，掌握这些技术要求，作为设计的出发点和依据。需要掌握的技术要求可能有下述几项。

1. 机器的特性

1) 全面了解主机的结构和总体布局，了解机构与被驱动部分的连接条件及安装上的限制条件及其用途和工作目的等。

2) 主机的动作要求,也就是运动方式(直线运动、回转运动、摆动)的要求。主机的动作要求是指主机的哪些动作要求用液压传动来实现,这些动作间有无联系以及要不要完成一定自动循环等。主机可能对液压系统提出许多要求,设计者应在了解主机用途、工作过程和总体布局的基础上对这些要求进行分析。

3) 原动机的种类(电动机、内燃机等)、容量(功率、转速、转矩)及稳定性。

4) 操作方式(手动、自动)、信号处理方式(继电器控制、逻辑电路、可编程控制器、微机程序控制)。

5) 主机的性能要求,包括系统中各执行元件的动作顺序、动作时间的相互关系。性能要求是指主机内采用液压传动的各执行机构在力和运动方面的要求。各执行机构在各工作阶段所需的力和速度的大小、调速的范围、速度的平均性以及完成一个循环的时间等方面都必须有明确的数据。现代化机械要求高精度、高生产力以及高度自动化,这不仅要求其液压系统具有良好的静态指标,还常对其动态指标提出要求。

2. 使用条件

1) 设置场所。

2) 环境温度、湿度(高温、寒带、热带),粉尘种类和浓度(防护、净化等),腐蚀性气体(所有元件的结构、材质、表面处理、涂覆等),易爆气体(防爆措施),机械振动(机械强度、耐振结构),噪声限制(降低噪声措施)。

3) 维护程度与周期;维护人员的技术水平;维护空间、作业性、互换性。

3. 适用标准、法则

根据用户要求采用相关标准、法则。

4. 安全性、可靠性

1) 用户在安全性方面有无特殊要求。

2) 明确保用期、保用条件。

5. 经济性

不能只考虑投资费用,还要考虑能源消耗、维护保养等运行费用。一般工程机械中液压系统所占成本比例约为20%~30%左右。

6. 工况分析

工况分析就是分析主机在工作过程中速度和负载的变化规律,即进行运动分析和负载分析。对于动作复杂的机械须绘制速度循环图和负载循环图,简单的系统可以不绘图,但需要找出其最大负载和最大速度点。实际上,工况分析就是进一步明确主机在性能方面的要求。对液压系统进行工况分析,是查明其每个执行元件在各自工作过程中的速度和负载的变化规律,它是由主机提出的相应动作要求和承载能力确定的。

二、液压执行元件的结构与工作原理

液压执行元件是将动力元件提供的液压能转变为机械能的能量转换装置,是输出功率的系统部件,实际工作的装置。它包括液压缸和液压马达,液压马达习惯上是指执行旋转运动的液压执