

应用型本科 机械类专业“十三五”规划教材

液压与气压传动 课程设计指导书

杨大春 戴子华 编著

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

应用型本科 机械类专业“十三五”规划教材

液压与气压传动

课程设计指导书

杨大春 戴子华 编著



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书的学习目的在于使学生综合运用液压与气压传动课程及其他先修课程的理论知识和生产实际知识,进行液压传动的设计实践,从而使所学知识得到进一步的巩固、加深和拓展。本书共六章,内容包括明确设计任务及进行工况分析、拟定液压系统原理图、液压系统参数设计与液压元件的计算选择、液压系统的性能验算、绘制工作图和编写技术文件、液压系统设计计算举例。

本书可作为普通本科院校机械和机电一体化类专业以及相近专业的教材,也可作为高职、高专和高级技校等院校机械与机电一体化类专业的教材,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动课程设计指导书/杨大春,戴子华编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2017.5

应用型本科 机械类专业“十三五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4470 - 7

I. ① 液… II. ① 杨… ② 戴… III. ① 液压传动—高等学校—教学参考资料 ② 气压传动—高等学校—教学参考资料 IV. ① TH137 ② TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 086505 号

策划编辑 高樱

责任编辑 杨璠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2017年5月第1版 2017年5月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 3.875

字 数 82千字

印 数 1~3000册

定 价 12.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4470 - 7/TH

XDUP 4762001 - 1

*** 如有印装问题可调换 ***

前言

QIANYAN

本书以液压与气压传动工程技术为背景,取材实用,力求反映我国液压与气压传动实践教育的教学特点。

液压与气压传动课程设计是机械设计制造及其自动化专业的主要专业基础课和必修课,是在完成液压与气压传动课程理论教学后设置的重要实践教学环节。本书的学习目的在于使学生综合运用液压与气压传动课程及其他先修课程的理论知识和生产实际知识,进行液压传动的设计实践,使理论知识和生产实际紧密结合,从而使所学知识得到进一步的巩固、加深和拓展。通过课程设计环节的实际训练,也为后续专业课程的学习、毕业设计及解决工程问题打下良好基础。

液压与气压传动课程设计是机械设计制造及其自动化专业学生在学习液压与气压传动理论课后的一次设计训练,是一个重要的教学环节,其基本目的如下:

(1) 培养理论联系实际的正确设计思想,训练综合运用已经学过的理论知识和生产实际知识去分析及解决工程实际问题的能力。

(2) 通过本环节的训练,学习液压与气压传动设计的一般方法,使学生能与工程实际问题进行有机结合,真正做到理论联系实际,解决工程实际问题。

(3) 进行基本技术技能训练,如计算,绘图,运用设计资料、手册、标准、规范以及使用经验数据,进行经验估算和数据处理等。

(4) 培养学生的创新能力。

本书共六章,第一章为明确设计任务及进行工况分析,第二章为拟定液压系统原理图,第三章为液压系统参数设计与液压元件的计算选择,第四章为液压系统的性能验算,第五章为绘制工作图和编写技术文件,第六章为液压系统设计计算举例。

本课程设计是一项全面的设计训练,不仅可巩固所学的理论知识,还可为以后的其他设计工作打好基础。在设计过程中必须严肃认真、刻苦钻研、一丝不苟。

本课程设计应在教师指导下独立完成。教师的指导作用是指明设计思路,启发学生独立思考,解答疑难问题,按设计进度进行阶段审查。学生必须发挥主观能动性,积极思考问题,不应被动地依赖教师来查资料、给数据、定方案。

本课程设计中,要正确处理参考已有资料与创新的关系。利用已有资料可以避免许多重复工作,加快设计进程,同时也是提高设计质量的保证,但任何新的设计任务总

有其特定的设计要求和具体的工作条件，要求不能盲目地抄袭资料，必须具体分析，创造性地设计。本课程设计中，学生应按设计进程要求完成规定的设计任务。

本书可作为普通本科院校机械和机电一体化类专业以及相近专业的教材，也可作为高职、高专和高级技校等院校机械和机电一体化类专业的教材，还可供有关工程技术人员参考。

本书由淮阴工学院杨大春、戴子华共同编写。

限于作者水平，书中难免有不妥之处，敬请广大读者指正！

编 者

2016 年 12 月

目录

MULU

概 述	1
一、液压与气压传动课程设计的目的	1
二、液压与气压传动课程设计的基本要求	1
三、液压与气压传动课程设计的内容	1
四、课程设计安排及其他	2
第一章 明确设计任务及进行工况分析	4
一、明确设计任务	4
二、工况分析	4
第二章 拟定液压系统原理图	10
一、油路循环方式的分析与选择	10
二、开式系统油路组合方式的分析与选择	10
三、调速方案的分析与选择	13
四、液压基本回路的分析与选择	15
五、液压系统原理图的拟定	16
第三章 液压系统参数设计与液压元件的计算选择	17
一、液压系统参数设计	17
二、液压执行元件的设计计算与选用	17
三、液压能源装置设计	23
四、液压控制元件的选用与设计	29
五、液压系统密封装置的选用与设计	30
第四章 液压系统的性能验算	32
一、液压系统压力损失的验算	32
二、液压系统发热温升的验算	32

第五章 绘制工作图和编写技术文件 34

一、绘制工作图 34

二、编写技术文件 36

第六章 液压系统设计计算举例 38

一、设计要求 38

二、负载与运动分析 38

三、确定液压系统主要参数 39

四、拟定液压系统原理图 46

五、计算和选择液压件 48

六、验算液压系统性能 51

概 述

一、液压与气压传动课程设计的目的

本课程是机械设计制造及其自动化专业的主要专业基础课和必修课,是在完成液压与气压传动课程理论教学后设置的重要实践教学环节。本课程的学习目的在于使学生综合运用液压与气压传动课程及其他先修课程的理论知识和生产实际知识,进行液压传动的设计实践,使理论知识和生产实际紧密结合,从而使所学知识得到进一步的巩固、加深和拓展。通过课程设计环节的实际训练,为后续专业课程的学习、毕业设计及解决工程问题打下良好基础。

二、液压与气压传动课程设计的基本要求

(1) 本课程设计是一项全面的设计训练,不仅可巩固所学的理论知识,还可为以后的其他设计工作打好基础。在设计过程中必须严肃认真、刻苦钻研、一丝不苟。

(2) 本课程设计应在教师指导下独立完成。教师的指导作用是指明设计思路,启发学生独立思考,解答疑难问题,按设计进度进行阶段审查。学生必须发挥主观能动性,积极思考问题,不应被动地依赖教师来查资料、给数据、定方案。

(3) 本课程设计中,要正确处理参考已有资料与创新的关系。利用已有资料可以避免许多重复工作,加快设计进程,同时也是提高设计质量的保证,但任何新的设计任务总有其特定的设计要求和具体工作条件,要求不能盲目地抄袭资料,必须具体分析,创造性地设计。

(4) 本课程设计中,学生应按设计进程要求完成规定的设计任务。

三、液压与气压传动课程设计的内容

1. 明确设计任务,对液压系统工况进行分析

液压系统设计是整个机械装备设计的一部分。应根据机械装备的用途、特点和要求,明确液压系统设计的任务要求,对机械装备的工作情况进行详细的分析,一般应考虑以下几个方面的内容:

- (1) 确定该机械装备的哪些运动需要液压传动来完成。
- (2) 确定各运动的工作顺序和各执行元件的工作循环。
- (3) 确定液压系统的主要工作性能,包括执行元件的运动方式、速度范围、负载条件及其变化条件、运动的平稳性和精度、工作可靠性要求等。

2. 拟定液压系统原理图

在拟定液压系统原理图时,一般应考虑以下几个问题:

- (1) 确定执行机构的运动形式。
- (2) 确定调速方案和速度换接方法。
- (3) 确定如何完成执行机构的自动循环和顺序动作。
- (4) 明确系统的调压、卸荷、执行机构换向、安全互锁等要求。

注意：在液压系统原理图中，应该附有运动部件的动作循环图和电磁铁的动作顺序表。

3. 液压系统的计算和液压件的选择

液压系统的计算是确定液压系统主要参数的依据，计算结果用于选择液压件和设计非标元件。计算步骤如下：

- (1) 计算液压缸的主要尺寸及其所需的压力和流量。
- (2) 计算液压泵的工作压力、流量和驱动功率。
- (3) 选择液压泵和驱动电机的型号与规格。
- (4) 选择阀类元件和辅助元件的型号与规格。

4. 验算液压系统性能

经过液压系统的计算和液压件的选择后，需对液压系统的压力损失和系统发热温升进行必要的验算，当验算出现较大的偏差时，应重新计算和选择液压件。

5. 绘制正式工作图，编写技术文件

绘制液压系统原理图，设计液压缸结构，绘制液压缸装配图和指定的非标件零件图，编写设计说明书。

四、课程设计安排及其他

1. 课程设计安排

课程设计安排见表 0-1。

表 0-1 课程设计安排

阶 段	主 要 内 容	时间安排
设计准备	(1) 阅读、研究设计任务书，明确设计内容和要求，了解原始数据和工作条件； (2) 收集有关资料并进一步熟悉课题	10%
液压系统设计计算	(1) 明确设计要求，进行工况分析； (2) 确定液压系统主要参数； (3) 拟定液压系统原理图； (4) 计算和选择液压件； (5) 验算液压系统性能	20%
绘制工作图	(1) 绘制液压缸装配图及零件图； (2) 绘制正式的液压系统原理图	40%
编写技术文件	编写设计计算说明书	20%
答辩	整理资料，答辩	10%

2. 学生应完成的工作

- (1) 液压系统原理图(板式连接或叠加阀连接)1 幅(A3)。
- (2) 液压缸装配图 1 幅(A2)。
- (3) 液压缸缸体、活塞零件图各 1 幅(A3)。
- (4) 设计计算说明书一份。

3. 液压传动课程设计时长

液压传动课程设计时长为一周。

第一章 明确设计任务及进行工况分析

液压系统设计是液压传动课程设计的重要内容之一。经验法是液压系统设计的主要方法，其具体步骤包括：明确任务及进行工况分析→拟定系统原理图→计算、选择液压元件→验算→绘制工作图，编写技术文件。

一、明确设计任务

在液压系统设计中主要需明确以下问题：

- (1) 液压系统的动作和性能要求，如执行元件的运动方式、行程、速度范围、负载条件、运动的平稳性和精度、工作循环和动作周期、同步或联锁要求、工作可靠性要求等。
- (2) 液压系统的工作环境，如环境温度、湿度，尘埃、通风情况，是否易燃，外界冲击震动情况及安装空间的大小等。

二、工况分析

分析液压执行元件工况的主要目的是，了解其工作时的速度、负载变化等规律，并将此规律用曲线表示出来，作为拟定液压系统方案、确定系统主要参数(压力和流量)的依据。若液压执行元件的动作简单，则可不作图，只需找出最大负载和最大速度即可。

1. 运动速度分析

按机械装备的工艺要求，把所研究的执行元件在完成一个工作循环时的运动规律用图表示出来，这个图称为速度图。现以如图 1-1 所示的液压缸驱动的组合机床滑台为例来说明。图 1-1(a)是机床的动作循环图，由图可见，工作循环为快进→工进→快退；图 1-1(b)是完成一个工作循环的速度-位移曲线，即速度图。

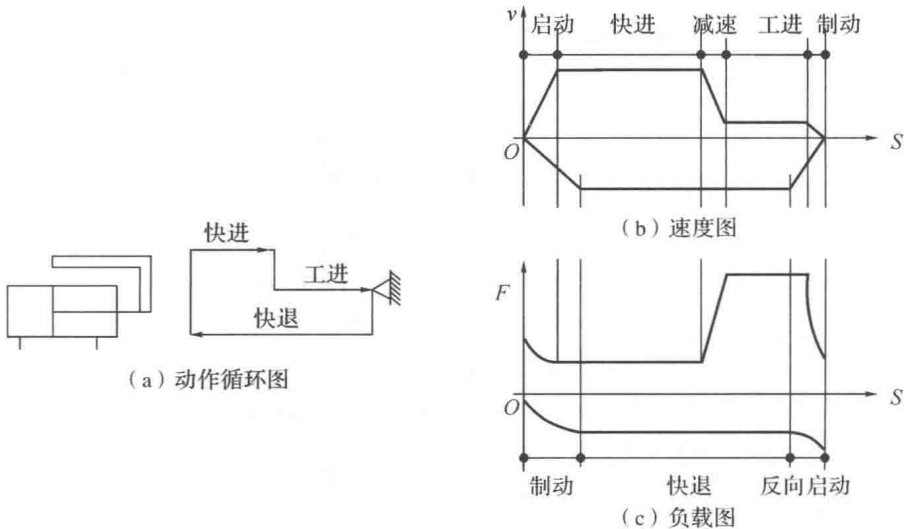


图 1-1 组合机床滑台工况图

2. 负载分析

图 1-1(c) 是该组合机床的负载图, 这个图是按设备的工艺要求, 把执行元件在各阶段的负载用曲线表示出来, 由此图可直观地看出在运动过程中何时受力最大、何时最小等各种情况, 以此作为以后的设计依据。

具体分析液压缸所承受的负载, 当液压缸驱动执行机构进行直线往复运动时, 所受到的外负载为

$$F = F_L + F_f + F_a \pm F_g \quad (1-1)$$

式中:

F_L ——工作负载;

F_f ——摩擦阻力负载;

F_a ——惯性负载;

F_g ——执行元件重力负载(有时要考虑)。

(1) 工作负载 F_L 。工作负载与设备的工作情况有关。运动方向上的分力是有效负载; 垂直方向上的分力与摩擦有关。

(2) 摩擦阻力负载 F_f 。摩擦阻力是指运动部件与支承面间的摩擦力, 它与支承面的形状、放置情况、润滑条件以及运动状态有关。摩擦阻力负载可表示为

$$F_f = f F_N \quad (1-2)$$

式中:

F_N ——运动部件及外负载对支承面的正压力;

f ——摩擦系数, 分静摩擦系数($f_s \leq 0.2 \sim 0.3$)和动摩擦系数($f_d \leq 0.05 \sim 0.1$)。

(3) 惯性负载 F_a 。惯性负载是当运动部件的速度变化时, 由其惯性而产生的负载, 可用牛顿第二定律计算, 即

$$F_a = ma = \frac{G}{g} \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1-3)$$

式中:

m ——运动部件的质量(kg);

a ——运动部件的加速度(m/s^2);

G ——运动部件的重力(N);

g ——重力加速度(m/s^2);

Δv ——速度的变化量(m/s);

Δt ——速度变化所需的时间(s)。

(4) 执行元件重力负载 F_g 。当执行元件的重力不与运动方向垂直时, 要考虑其重力作用。

除此之外, 液压缸的受力还有密封阻力(一般用效率 $\eta = 0.85 \sim 0.9$ 来表示)和背压力(指液压缸回油腔压力所造成的阻力, 在系统方案和缸结构确定前无法计算, 可在最后计算时确定)。

若执行机构为液压马达, 则其负载力矩计算方法与液压缸相类似, 液压缸各阶段中的负载计算公式见表 1-1。

表 1-1 液压缸各阶段中的负载计算公式

工 况	计算公式 F/N	液压缸推力 F/N
启 动	$F = F_{fs} + F_L \pm F_g$	$F = \frac{F_{fs} + F_L \pm F_g}{\eta_m}$
加 速	$F = F_{fd} + F_L + F_a \pm F_g$	$F = \frac{F_{fd} + F_L + F_a \pm F_g}{\eta_m}$
快速(快进)	$F = F_{fd} + F_L \pm F_g$	$F = \frac{F_{fd} + F_L \pm F_g}{\eta_m}$
减 速	$F = F_{fd} + F_L - F_a \pm F_g$	$F = \frac{F_{fd} + F_L - F_a \pm F_g}{\eta_m}$
慢速(工进)	$F = F_{fd} + F_L \pm F_g$	$F = \frac{F_{fd} + F_L \pm F_g}{\eta_m}$
制 动	$F = F_{fd} + F_L - F_a \pm F_g$	$F = \frac{F_{fd} + F_L - F_a \pm F_g}{\eta_m}$
反向启动	$F = F_{fs} + F_a \pm F_g$	$F = \frac{F_{fs} + F_a \pm F_g}{\eta_m}$
快 退	$F = F_{fd} \pm F_g$	$F = \frac{F_{fd} \pm F_g}{\eta_m}$
制动(使停止)	$F = F_{fd} - F_a \pm F_g$	$F = \frac{F_{fd} - F_a + F_L \pm F_g}{\eta_m}$

注: η_m 为执行机构的机械效率; F_{fs} 为静摩擦力; F_{fd} 为动摩擦力。

3. 执行元件的参数确定

1) 初算工作压力

当负载确定后, 工作压力就决定了系统的经济性和合理性, 即有

$$F = pA = p \frac{\pi D^2}{4}$$

式中:

F ——负载;

A ——活塞有效工作面积;

p ——工作压力;

D ——活塞直径。

若 $p \uparrow$, 则执行元件的尺寸 $D \downarrow$, 密封要求就高, 元件的制造精度也就更高, 容积效率会降低。若 $p \downarrow$, 则执行元件的尺寸 $D \uparrow$, 重量大, 完成给定速度所需的流量也大。所以应根据实际情况选取适当的工作压力。执行元件工作压力可以根据总负载值或主机设备类型选取, 见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 按负载选择执行元件的工作压力

负载 F/kN	<5	5~10	10~20	20~30	30~50	>50
工作压力 p/MPa	<0.8~1.0	1.5~2.0	2.5~3.0	3.0~4.0	4.0~5.0	>5.0~7.0

表 1-3 各类液压设备常用的工作压力

设备类型	粗加工机床	半精加工机床	粗加工或 重型机床	农业机械、 小型工程机械	重大型机械
工作压力 p/MPa	0.8~2.0	3.0~5.0	5.0~10.0	10.0~16.0	20.0~32.0

2) 确定执行元件的几何参数

对于液压缸来说，它的几何参数就是有效工作面积 A ，对液压马达来说，就是排量 V 。液压缸的有效工作面积 A 可表示为

$$A = \frac{F}{\eta_{cm} p} \tag{1-4}$$

式中：

- F ——液压缸上的外负载(N)；
- η_{cm} ——液压缸的机械效率；
- p ——液压缸的工作压力(Pa)。

式(1-4)计算出来的有效工作面积 A 还必须按液压缸的最低稳定速度 v_{min} 来验算，即

$$A \geq \frac{q_{min}}{v_{min}} \tag{1-5}$$

式中： q_{min} 为流量阀最小稳定流量。

若执行元件为液压马达，则其排量为

$$V = \frac{2\pi T}{p \eta_{Mm}} \tag{1-6}$$

式中：

- T ——液压马达的总负载转矩(N·m)；
- η_{Mm} ——液压马达的机械效率；
- p ——液压马达的工作压力(Pa)；
- V ——所求液压马达的排量(m^3/r)。

同样，式(1-6)所求的排量也必须满足液压马达最低稳定转速 n_{min} 的要求，即

$$V \geq \frac{q_{min}}{n_{min}} \tag{1-7}$$

式中， q_{min} 为输入液压马达的最低稳定流量。

排量确定后，可从产品样本中选择液压马达的型号。

3) 确定执行元件的最大流量

对于液压缸，它所需的最大流量 q_{max} 就等于液压缸有效工作面积 A 与液压缸最大移动速度 v_{max} 的乘积，即

$$q_{max} = A v_{max} \tag{1-8}$$

对于液压马达，它所需的最大流量 q_{max} 应为液压马达的排量 V 与其最大转数 n_{max} 的乘积，即

$$q_{max} = V n_{max} \tag{1-9}$$

4. 绘制液压执行元件的工况图

液压执行元件的工况图包括压力图、流量图和功率图。

1) 工况图的绘制

在工况图中, 压力 p 、流量 q 、功率 P 均为时间 t 的函数, 如图 1-2 所示。需要强调的是, 复算执行元件的工作压力 p , 应考虑是否有背压 p_2 。 A_1 、 A_2 分别为无杆腔、有杆腔的有效工作面积。

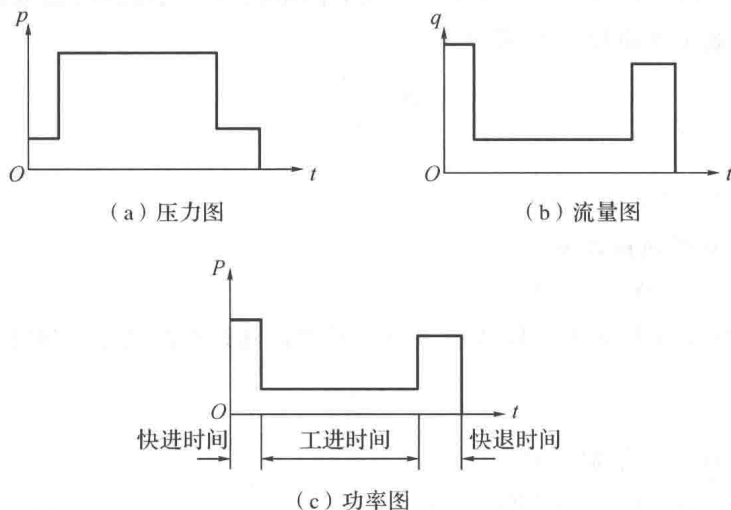


图 1-2 组合机床执行元件工况图

(1) 液压缸快进:

当采用差动系统时, 有

$$p = \frac{F}{A_1 - A_2}$$

$$q = v_{\text{快}} (A_1 - A_2)$$

$$P = pq$$

当采用非差动系统时, 有

$$p = \frac{F}{A_1} + \frac{A_2}{A_1} p_2$$

$$q = v_{\text{快}} A_1$$

$$P = pq$$

(2) 液压缸工进:

$$p = \frac{A_2}{A_1} p_2 + \frac{F}{A_1} = p_{\text{工}}$$

$$q = v_{\text{工}} A_1$$

$$P = p_{\text{工}} q_{\text{工}}$$

(3) 液压缸快退:

$$p = \frac{A_2}{A_1} p_2 + \frac{F}{A_1}$$

$$q = v A_2$$

$$P = pq$$

2) 工况图的作用

从工况图上可以直观、方便地找出 $p_{\max}$ 、 $q_{\max}$ 、 $P_{\max}$ ，根据这些参数可选择泵、电动机的 P 和 n ，亦对选择液压元件具有指导意义。通过分析工况图，有助于设计者选择合理的基本回路。例如，在工况图上可得到最大流量维持时间，若该时间较短，则不宜选择大流量的定量泵供油，而应选择变量泵或泵-蓄能器联合供油。还可利用工况图得到各阶段的功率变化，合理分配各阶段的功率，提高功率的合理分配性。

第二章 拟定液压系统原理图

液压系统设计方案是根据主机的工作情况、主机对液压系统的技术要求、液压系统的工作条件和环境条件以及经济性、供货情况等因素进行全面、综合的设计，从而拟定出一个各方面比较合理的、可实现的液压系统方案。其内容包括：油路循环方式的分析与选择，油源形式的分析与选择，液压回路的分析、选择与合成，液压系统原理图的拟定、设计与分析。

一、油路循环方式的分析与选择

液压系统油路循环方式主要分为开式和闭式两种，它们各自的特点及其相互比较见表 2-1。

表 2-1 开式系统与闭式系统的比较

油液循环方式	开 式	闭 式
散热条件	较方便，但油箱较大	较复杂，要用辅泵换油冷却
抗污染性	较差，但可采用压力油箱或油箱呼吸器来改善	较好，但油液过滤要求较高
系统效率	管路压力损失较大，用节流调速时效率低	管路压力损失较小，容积调速时，效率较高
其 他	对主泵的自吸性能要求高	对主泵的自吸性能要求低

油路循环方式的选择主要取决于液压系统的调速方式和散热条件。

通常空间较大可以存放油箱不需另设散热装置的系统、结构简单的系统、节流调速或容积节流调速的系统，均适宜开式系统。例如，液压泵向多缸(马达)供油且功率较小的机器(如组合机床、磨床等)、内燃机驱动的机器以及固定式机械。

凡使用辅助泵进行补油并通过换油来达到冷却目的的系统，对工作稳定性和效率有较高要求的系统以及容积调速系统，宜采用闭式系统。例如，外负载惯性大且换向频繁的机构(如一些起重机的旋转、运行机构及龙门刨床、拉床的工作台等)、重力下降机构(如不平衡类型的起升、动臂摆动机构等)、要求结构特别紧凑的运动式机械(如液压汽车平板车、拖拉机、矿车及飞机等)。大型货轮的舵机、工程船舶调距桨等系统一般用闭式系统。

二、开式系统油路组合方式的分析与选择

当系统有多个液压执行元件时，开式系统按油路的不同连接方式，又可分为串联、并联、独联及其组合等。