

液压回路 分析与设计

唐颖达 刘尧 编著

YEYAHUILU
FENXI YU SHEJI



化学工业出版社

液压回路 分析与设计

唐颖达 刘尧 编著

YEYAHUILU
FENXI YU SHEJI



化学工业出版社

· 北京 ·

这是一本有多年液压元件、液压系统设计、制造经验的液压工作者编著的书。

本书给出了液压系统及回路图定义, 根据此定义并按照标准、正确、实用、创新的原则选取、分析、修改、设计了 300 余例典型液压回路图。所有图样全部由笔者按照 GB/T 786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第 1 部分: 用于常规用途和数据处理的图形符号》标准绘制。

本书可帮助读者全面、正确地把握液压原理, 深入、细致地从正反两个方面认识、理解液压系统及回路图, 快速、准确地选取典型液压回路, 用于设计、制造、安装和维护液压装置、液压机械、液压设备等, 同时也为液压系统及回路的创新提供了一个坚实的基础。

本书可供涉及液压系统及回路图的液压工作者使用, 主要为液压装置、液压机械、液压设备设计、审查(核)、加工、装配、试验、验收、安装、使用和现场维护、事故分析人员以及高等院校相关专业教师、学生等参考和使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压回路分析与设计/唐颖达, 刘尧编著. —北京:
化学工业出版社, 2017.5
ISBN 978-7-122-29412-8

I. ①液… II. ①唐… ②刘… III. ①液压回路
IV. ①TH137.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 066655 号

责任编辑: 张兴辉
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 陈 喆
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: 三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 471 千字 2017 年 7 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: 89.00 元

版权所有 违者必究

前 言

FOREWORD

究竟什么是液压系统或液压传动系统、液压控制系统，在 GB/T 17446—2012《流体传动系统及元件 词汇》中没有直接定义。同样，究竟什么是在 GB/T 786.2《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第2部分：回路图》中规定的回路图或液压回路图（以下回路或回路图皆指为液压回路图），在 GB/T 17446—2012 中也没有直接定义。况且 GB/T 786.2 至今也没有发布、实施。

在液压传动系统中，功率是通过在密闭回路内的受压液体来传递和控制的。液压传动是利用受压液体作为工作介质来传递、控制、分配信号和能量的方式、方法，其中一般还应包括液压能量的产生和转换。所以，把液压传动系统定义为：通过配管和/或油路块等相互连接的元件及附件组成的产生、传递、控制、分配、转换液压能量和/或信号的装置或配置。其中附件在一般液压传动系统中是必不可少的。

根据液压传动系统定义，液压回路图即应定义为：使用规定的图形符号表示的液压传动系统或其局部功能的图样。其中液压传动系统局部亦可称为液压传动子系统或子系统。

据此，液压回路不是惯常所讲的“构成液压系统结构和功能的基本单元”。

根据液压传动系统定义，液压传动系统或称为液压传动与控制系统更为适当，但上述定义中已包括了液压控制功能。因此，在本书液压回路（图）中没有严格地区别液压传动系统和液压控制系统。况且，笔者认为将液压系统这样分类本身就值得商榷。所以，本书多处使用省略了“传动”和/或“控制”的“液压系统”这样简称或统称。

有压力的液体具有能量，有压力、有流量的液体具有液压能量；液压能量通常以液压功率表示；压力由不同方向作用于执行元件中的可动件，如活塞或活塞杆，可将液压能量转换成机械功（能）。

除液压系统规定的各项技术要求外，液压回路图还应具有以下一些特征：

- ① 液压传动系统或其局部的图样是按规定图形符号绘制或表示的。
- ② 液压回路图中元件、附件及配管内液体能够受压，且受压液体的压力作用于可动件的方向明确。可动件包括执行元件，如液压缸中（上）的活塞及活塞杆的动作可重复。
- ③ 液压回路图中至少包括了液压能量和/或信号的产生、传递、控制、分配或转换的其中一项功能。
- ④ 液压回路图中各元件未受激励的状态（非工作状态）和受激励的状态（工作状态）时的工作介质流动方向明确。
- ⑤ 液压回路图中元件和附件或主要元件，其所有连接油口的表示油口功能的符号标识明确。

基于液压回路图的以上特征，本书对选编的典型液压回路进行了设计原理、功能状态的描述以及特点及应用的介绍，并对在各参考文献中的一些典型液压回路进行了正反两方面的分析。

笔者按照 GB/T 786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第1部分：用于常规用途和数据处理的图形符号》绘制了书中所有液压回路图，包括重新绘制了书中用于分

析的各种参考文献中的一些典型液压回路图。对其中与任何版本标准都不相符的图形符号做了特殊说明；对一些原理、状态、功能不全或不正确的各种参考文献中的一些典型液压回路进行了重点分析，包括利用笔者现有文献、资料对这些问题典型液压回路的追根溯源，并对可以继续作为本书选编的典型液压回路进行了修改设计及说明。

尽管 GB/T 786.2 至今还没有发布、实施，但笔者在编著本书过程中参考了大量的文献、资料，并结合笔者长期液压元件、液压系统设计与制造的实践经验及总结，对各种参考文献中已有的典型液压回路进行了认真筛选、初步分类，本着标准、正确、实用、创新的原则修改、设计了一些新的典型液压回路。

液压系统设计应符合相关标准规定的技术要求（条件），液压回路图中的各元件、附件及配管等，其性能参数（指标）大多也是有相关标准规定的。这些作为液压系统及回路图（笔者注：或可将此处和第 1 章中的多处“图”字删掉，但局限于本书所涉及的内容，权衡再三后予以了保留）分析与设计的技术基础，笔者根据相关标准及实践经验的总结，在本书的第一章中编写了该部分内容，包括叠加阀、插装阀液压系统及回路图设计准则。同时，笔者将其作为分析各种参考文献中的一些典型液压回路的依据。同样，读者也可将其作为分析、判断、筛选、设计、评价液压系统及回路图的依据。

笔者根据相关标准及实践经验的积累和总结，编写了液压系统和液压泵站设计禁忌，液压元件、配管和油路块设计与选用禁忌，其中包括压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀以及液压缸等设计与选用禁忌。

笔者编著本书所做的上述工作，有利于液压工作者全面、正确地把握液压原理，深入、细致地认识、理解液压系统及回路图，快速、准确地选取典型液压回路，用于设计、制造、安装和维护液压装置、液压机械、液压设备等。同时也为液压系统及回路的创新提供了一个坚实的基础。

液压系统及回路千变万化，各种各样。随着电控制、电操纵或电调制以及数字化元件的大量应用，一定会出现更多的具有典型意义的液压系统及回路。应用新元件、新附件及新的连接方式、方法创造出新的液压系统及回路图，是每位液压工作者的责任。

这是一部严格地按照 GB/T 786.1—2009 国标，并参考了 BS ISO 1219-1: 2012+ A1: 2016 国际标准绘制液压回路图的关于液压系统工程方面的专著。因笔者学识、水平有限，敬请专家、读者批评指正。

最后，感谢汪强硕士、唐博修等在本书编著过程中所做的资料收集等方面的工作，感谢老师、同学、朋友及家人的陪伴、关怀、鼓励、支持和帮助！

编著者

图样说明

① 本书所有图样全部由笔者按现行国家标准绘制，包括注明原图的图样，其中在注明原图的图样中图形符号的基本要素及其相对位置可能已经修改。

② 原图中有必要特别指出其错误的液压元件图形符号及连接，笔者在重新绘制原图中或予以了保留，但一般随后都有特别说明，且在修改图、局部修改图或设计图中进行了修正或删除。

③ 在本书引用的所有参考文献中的各个图例，其中阀上弹簧（控制元件）几乎都与现行标准不符，但一般已经在重新绘制原图中进行了修改，且并没有一一列入在修改说明中，其他类似情况还有如液压缸图形符号等。

④ 在液压系统局部图中可能使用了封闭管路或接口图形符号，但其一般不是回路图中固有的组成部分，只是为了说明液压传动系统中工作介质可以受压，且一些（局部）液压回路应是密闭的。

⑤ 以 X10500 标识的溢流阀图形符号，其表示的溢流阀可能是直动式溢流阀，也可能是先导式溢流阀；其他压力控制阀如以 X10510 标识的顺序阀、以 X10550 标识的减压阀等，也为相同情况；进一步还可能包括比例压力阀。

⑥ 变量液压泵一般没有给出或指定具体的控制机构和调节元件，包括控制器。

⑦ 图题下序号不同但名称相同的各种元件、附件，并不表明其规格、型号一定相同。

⑧ 在本书叙述及图题下元件、附件名称中，经常使用电液换向阀和液控换向阀，而一般没有使用液压电液动换向阀和液动换向阀。

⑨ 应将普通单向阀与液控单向阀加以区别，本书单向阀只是普通单向阀的简称。

⑩ 没有将各主阀口、油口的牌（符）号（字母或数字）全部标识，也没有完全按相关规定在其上方或左边标识。

⑪ 二位三通换向阀的主阀口一般选定为 P、A 和 T，而没有选定 P、A 和 B。

⑫ 即使图样中蓄能器的图形符号为隔膜式蓄能器，也不排除可采用其他型式的蓄能器，如囊式蓄能器或活塞式蓄能器。

⑬ 图样中的回油过滤器或压力管路过滤器一般没有将其所带旁路节流阀或单向阀及压力指示等一同绘制出，只是这些功能单元在实际产品中一般集成在一个总成上了。

⑭ 本书中有按液压阀制造商产品样本绘制的叠加阀液压系统或回路图，其中有的图形符号不符合 GB/T 786.1—2009 的规定，但表示的功能或操作方式、方法一般没有错误。

⑮ 液压二通插装阀的图形符号参考了 JB/T 5922—2005《液压二通插装阀 图形符号》。

⑯ 叠加式液压阀和二通插装阀控制盖板等的序号还是按通常习惯标注在包围线内。

⑰ 为了对回路功能进行说明，没有将所有集成于一个总成和/或功能相互联系的两个或者多个元件图形符号全部用实线或点画线包围标出。

⑱ 本书所有液压系统及回路将其工作介质限定为矿物油型液压油或性能相当的其他液体。

⑲ 特殊场合、特殊（或专门）用途的如高寒（结冰与冰冻）、高温、高海拔、高盐雾

(潮湿)、高粉尘(污染)、强振动、强射线(紫外线)照射,需防火、防爆、防辐射、防雨淋、防泥浆喷溅等液压系统及回路,其设计、制造、安装和维护及使用应遵守相关标准规定的(安全)技术要求(条件)。

⑳ 液控单向阀(或单向阀)设置于液压缸油口最近处,具有防止管路(配管)爆破功能。尽管管路防爆对一些行业来说不是特殊要求,但本书中所列液压回路一般不具有这一功能。

㉑ 本书所列出的液压系统及回路的应用,仅供读者参考。

目 录

CONTENTS

图样说明

第 1 章 液压系统及回路图分析与设计技术基础

- 1.1 液压系统及回路图的分类与设计概述 / 1
 - 1.1.1 液压系统及回路图的初步分类 / 1
 - 1.1.2 液压元件图形符号常见错误及深度解读 / 4
 - 1.1.3 液压系统及回路图设计的内容和步骤 / 6
- 1.2 液压系统及回路图设计技术要求 / 13
 - 1.2.1 液压系统及回路图设计一般技术要求 / 13
 - 1.2.2 叠加阀液压系统及回路图设计准则 / 16
 - 1.2.3 插装阀液压系统及回路图设计准则 / 18
- 1.3 液压系统及回路图常用元件技术要求 / 19
 - 1.3.1 液压泵技术要求 / 19
 - 1.3.2 液压阀通用技术要求 / 22
 - 1.3.3 压力控制阀技术要求 / 23
 - 1.3.4 流量控制阀技术要求 / 27
 - 1.3.5 方向控制阀技术要求 / 29
 - 1.3.6 液压缸技术要求 / 33
 - 1.3.7 液压马达技术要求 / 35
- 1.4 液压系统及回路图常用附件技术要求 / 37
 - 1.4.1 液压过滤器技术要求 / 37
 - 1.4.2 液压隔离式蓄能器技术要求 / 38
 - 1.4.3 液压用热交换器技术要求 / 39
- 1.5 液压系统及回路图常用油箱及配管技术要求 / 40
 - 1.5.1 油箱技术要求 / 40
 - 1.5.2 配管技术要求 / 42
- 1.6 液压工作介质技术要求 / 48
 - 1.6.1 液压系统及元件清洁度技术要求 / 48
 - 1.6.2 液压油技术要求 / 49
- 1.7 液压系统和液压泵站设计禁忌 / 51
 - 1.7.1 液压系统设计禁忌 / 51
 - 1.7.2 液压泵站设计禁忌 / 55
- 1.8 液压元件、配管和油路块设计与选用禁忌 / 56
 - 1.8.1 液压元件设计与选用禁忌 / 56
 - 1.8.2 配管选用与油路块设计禁忌 / 63

第 2 章 液压源典型液压回路分析与设计

- 2.1 动力液压源回路分析与设计 / 67
 - 2.1.1 液压系统中的基本液压源回路 / 67
 - 2.1.2 定量泵-溢流阀液压源回路 / 69
 - 2.1.3 变量泵-安全阀液压源回路 / 70
 - 2.1.4 高低压双泵液压源回路 / 70
 - 2.1.5 多泵并联供油液压源回路 / 73
 - 2.1.6 液压泵并联交替供油液压源回路 / 75
 - 2.1.7 液压泵串联供油液压源回路 / 76
 - 2.1.8 阀控液压源回路 / 77
 - 2.1.9 闭式液压系统液压源回路 / 82
 - 2.1.10 压力油箱液压源回路 / 83
- 2.2 控制液压源回路分析与设计 / 84
 - 2.2.1 独立的(先导)控制液压源 / 84
 - 2.2.2 主系统分支出的(先导)控制液压源 / 85
 - 2.2.3 内外部结合式(先导)控制液压源 / 87
- 2.3 应急液压源回路分析与设计 / 87
 - 2.3.1 备用泵应急液压源回路 / 88
 - 2.3.2 手动泵应急液压源回路 / 89
 - 2.3.3 蓄能器应急液压源回路 / 91

第 3 章 压力控制典型液压回路分析与设计

- 3.1 调压回路分析与设计 / 95
 - 3.1.1 单级压力调定回路 / 95

- 3.1.2 多级压力调定回路 / 97
- 3.1.3 无级压力调定回路 / 101
- 3.1.4 变量泵调压回路 / 103
- 3.1.5 插装阀组调压回路 / 104
- 3.1.6 叠加阀组调压回路 / 106
- 3.2 减压回路分析与设计 / 107
 - 3.2.1 一级减压回路 / 107
 - 3.2.2 二级减压回路 / 108
 - 3.2.3 多级减压回路 / 110
 - 3.2.4 无级减压回路 / 111
- 3.3 增压回路分析与设计 / 113
 - 3.3.1 单作用增压器增压回路 / 113
 - 3.3.2 双作用增压器增压回路 / 118
 - 3.3.3 液压泵增压回路 / 121
 - 3.3.4 液压马达增压回路 / 122
 - 3.3.5 串联缸增力回路 / 123
- 3.4 保压回路分析与设计 / 124
 - 3.4.1 液压泵保压回路 / 125
 - 3.4.2 蓄能器保压回路 / 128
 - 3.4.3 液压缸保压回路 / 131
 - 3.4.4 液控阀保压回路 / 133
- 3.5 泄压回路分析与设计 / 135
 - 3.5.1 用节流阀泄压的回路 / 135
 - 3.5.2 用换向阀泄压的回路 / 136
 - 3.5.3 用液控单向阀泄压的回路 / 137
 - 3.5.4 用溢流阀泄压的回路 / 139
 - 3.5.5 用手动截止阀泄压的回路 / 139
 - 3.5.6 用双向变量液压泵泄压的回路 / 140
- 3.6 卸荷回路分析与设计 / 141
 - 3.6.1 无保压液压系统的卸荷回路 / 141
 - 3.6.2 保压液压系统的卸荷回路 / 143
- 3.7 平衡(支承)回路分析与设计 / 144
 - 3.7.1 单向顺序阀的平衡回路 / 145
 - 3.7.2 单向节流阀和液控单向阀的平衡回路 / 146
 - 3.7.3 单向节流阀的平衡回路 / 147
 - 3.7.4 插装阀的平衡回路 / 148

第 4 章 速度控制典型液压回路分析与设计

- 4.1 调(减)速回路分析与设计 / 150
 - 4.1.1 节流式调速回路 / 150
 - 4.1.2 容积式调速回路 / 162
 - 4.1.3 减速回路 / 169
- 4.2 增速回路分析与设计 / 173
 - 4.2.1 液压泵增速回路 / 173
 - 4.2.2 液压缸增速回路 / 174
 - 4.2.3 蓄能器增速回路 / 177
 - 4.2.4 充液阀增速回路 / 178
 - 4.2.5 差动回路 / 179
- 4.3 缓冲制动回路分析与设计 / 181
 - 4.3.1 液压缸缓冲回路 / 181
 - 4.3.2 蓄能器缓冲回路 / 183
 - 4.3.3 液控阀缓冲制动回路 / 184
- 4.4 速度同步回路分析与设计 / 189
 - 4.4.1 液压泵同步回路 / 190
 - 4.4.2 液压马达同步回路 / 190
 - 4.4.3 串联缸速度(位置)同步回路 / 192
 - 4.4.4 液压缸串联速度(位置)同步回路 / 192
 - 4.4.5 流量控制阀速度同步回路 / 196
 - 4.4.6 分流集流阀速度同步回路 / 197
 - 4.4.7 伺服、比例、数字变量泵速度(位置)同步回路 / 201
 - 4.4.8 比例阀速度(位置)同步回路 / 203

第 5 章 方向和位置控制典型液压回路分析与设计

- 5.1 换向回路分析与设计 / 205
 - 5.1.1 手动(多路)换向阀换向回路 / 205
 - 5.1.2 比例换向阀换向回路 / 208
 - 5.1.3 插装阀换向回路 / 209
 - 5.1.4 双向泵换向回路 / 210
 - 5.1.5 其他操纵(控制)换向回路 / 212
- 5.2 连续动作回路分析与设计 / 213
 - 5.2.1 压力继电器控制的连续动作回路 / 213
 - 5.2.2 顺序阀控制的连续动作回路 / 214
 - 5.2.3 行程操纵(控制)连续动作回路 / 215
- 5.3 顺序动作回路分析与设计 / 217
 - 5.3.1 压力控制顺序动作回路 / 217
 - 5.3.2 行程操纵(控制)顺序动作回路 / 221
 - 5.3.3 时间控制顺序动作回路 / 224
- 5.4 位置同步回路分析与设计 / 225
 - 5.4.1 可调行程缸位置同步回路 / 226
 - 5.4.2 电液比例阀控制位置同步回路 / 226
 - 5.4.3 电液伺服比例阀控制位置同步回路 / 227
- 5.5 限程与多位定位回路分析与设计 / 228
 - 5.5.1 液压缸限程回路 / 228
 - 5.5.2 缸-阀控制多位定位回路 / 230
 - 5.5.3 多位缸定位回路 / 231
- 5.6 锁紧回路分析与设计 / 232
 - 5.6.1 液控阀锁紧回路 / 232

第 6 章 其他典型液压回路分析与设计

- 6.1 辅助液压回路分析与设计 / 237
 - 6.1.1 滤油回路 / 237
 - 6.1.2 油温控制回路 / 239
 - 6.1.3 润滑回路 / 241
 - 6.1.4 安全保护回路 / 242
 - 6.1.5 维护管理回路 / 246
- 6.2 互不干涉回路分析与设计 / 250
 - 6.2.1 液压阀互不干涉回路 / 250
 - 6.2.2 双泵供油互不干涉回路 / 255
 - 6.2.3 蓄能器互不干涉回路 / 258
- 6.3 液压马达回路分析与设计 / 259
 - 6.3.1 液压马达限速回路 / 259
 - 6.3.2 液压马达制动锁紧回路 / 260
 - 6.3.3 液压马达浮动回路 / 264
 - 6.3.4 液压马达串并联及转换回路 / 265
 - 6.3.5 液压马达的其他回路 / 267
- 6.4 伺服液压缸、数字液压缸性能试验液压系统 / 268
 - 6.4.1 伺服液压缸性能试验液压系统 / 268
 - 6.4.2 数字液压缸性能试验液压系统 / 272

参考文献

第 1 章

液压系统及回路图分析与设计技术基础

1.1 液压系统及回路图的分类与设计概述

1.1.1 液压系统及回路图的初步分类

(1) 按用途分类

一些液压系统或液压泵站是有指定或专门用途的且有相关标准，具体请见表 1-1。

表 1-1 按用途分类的液压系统及其标准

序号	液压系统名称	标准
1	机械或机器上的液压系统	GB/T 3766—2015《液压传动 系统及其元件的通用规则和安全要求》
2	金属切削机床液压系统	GB/T 23572—2009《金属切削机床 液压系统通用技术条件》
3	煤矿用液压支架液压控制系统	GB 25974.3—2010《煤矿用液压支架 第3部分:液压控制系统及阀》
4	船用液压系统	CB/T 1102—2008《船用液压系统通用技术条件》
5	登陆舰艇部液压泵站	CB 1375—2005《登陆舰艇部液压泵站规范》
6	登陆舰液压舰锚机控制系统和液压舰门控制系统	CB 1377—2005《登陆舰艇部液压控制系统规范》
7	舰船用液压泵站	CB 1389—2008《舰船用液压泵站规范》
8	民用飞机液压系统	HB 7117—2014《民用飞机液压系统通用要求》
9	锻压机械液压系统	JB/T 1829—2014《锻压机械 通用技术条件》
10	液压机液压系统	JB/T 3818—2014《液压机 技术条件》
11	数控机床液压泵站	JB/T 6105—2007《数控机床液压泵站 技术条件》
12	农业拖拉机半分置式、分置式液压悬挂系统	JB/T 6714.1—2007《农用拖拉机液压悬挂系统 技术条件》
13	冶金、轧制及重型锻压等机械设备液压系统	JB/T 6996—2007《重型机械液压系统 通用技术条件》
14	风力发电机组液压系统	JB/T 10427—2004《风力发电机组一般液压系统》
15	矿井提升机和矿用提升绞车控制用液压站	JB/T 3277—2017《矿井提升机和矿用提升绞车 液压站》
16	单机控制或多机集中控制的液压系统	LS/T 3501.8—1993《粮食加工机械通用技术条件 液压系统技术要求》
17	煤矿机械液压系统	MT/T 827—2005《煤矿机械液压系统通用技术条件》
18	自卸汽车液压系统	QC/T 825—2010《自卸汽车液压系统技术条件》

还有一些液压装置、液压机械和液压设备有液压系统或液压泵站设计、安装、调试、试验、维护、修理及冲（清）洗等标准，具体设计时可用于参照执行。

在一些参考文献中，还有按主要用途“液压传动系统”和“液压控制系统”划分液压系统类型的，且在特点中指出，液压传动系统的特点是以传递动力为主；液压控制系统的特点是注意信息传递，以达到液压执行元件运动参数（如行程速度、位移量或位置、转速或转角）的准确控制为主。

这种分类缺乏依据，且存在诸多问题：

- ① 将液压系统分为液压传动系统和液压控制系统本身即存在问题；
- ② 液压传动系统和液压控制系统不是液压系统的用途；
- ③ 液压控制系统传递信息这样的表述有问题等。

在液压执行元件如 GB/T 24946—2010《船用数字液压缸》中规定的数字液压缸和 DB44/T 1169.1—2013《伺服液压缸 第1部分：技术条件》中规定的伺服液压缸都没产生、传递、控制、分配、转换“信息”这样的表述，可以进一步认证笔者指出的上述问题。

因此，笔者认为将液压系统这样分类本身就值得商榷。

（2）按液流循环方式分类

如图 1-1 所示，在液压系统及回路中，回油在重复循环前被引入（向）油箱的回路称为开式回路；如图 1-2 所示，返回的油液被引入（向）液压泵进（入）口的回路称为闭式回路。

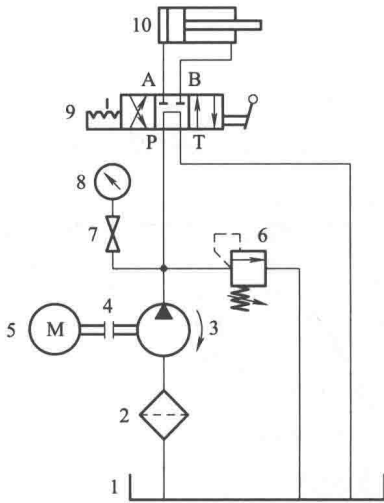


图 1-1 开式回路

- 1—油箱；2—粗过滤器；3—液压泵；
4—联轴器；5—电动机；6—溢流阀；
7—压力表开关；8—压力表；9—三位四通
手动换向阀；10—液压缸

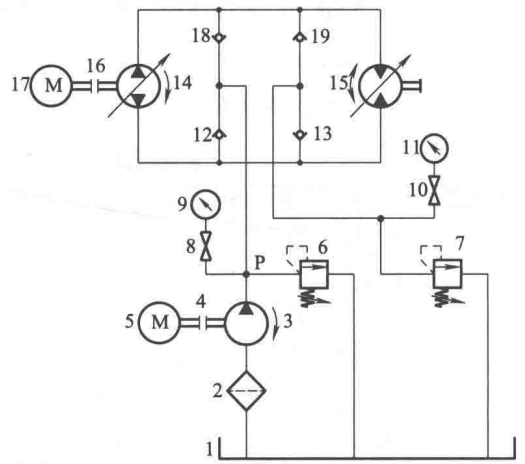


图 1-2 闭式回路

- 1—油箱；2—粗过滤器；3—液压泵；4,16—联轴器；
5,17—电动机；6,7—溢流阀；8,10—压力表开关；
9,11—压力表；12,13,18,19—单向阀；
14—变量液压泵；15—变量液压马达

如图 1-1 所示，液压泵 3 通过吸油管路粗过滤器 2、配管等从油箱 1 中吸油，液压泵 3 将电动机 5 通过联轴器 4 输出给液压泵 3 的机械能量转换成液压能量，液压泵 3 或将液压能量通过换向阀 9、配管等输出（排）给液压缸 10，液压缸 10 可将输入油液的液压能量转换成机械功（能量），液压缸 10 回油通过换向阀 9、配管等回油箱。在液压泵 3 卸荷时，液压泵 3 输出的液压油液没有进行（有用的）能量转换而回油箱。

如图 1-2 所示，变量液压泵 14 的吸、排油口直接与液压执行元件——变量液压马达 15 的出、进油口相连，油液在相互连接元件间形成一个闭式循环（回路）。

但在实际液压系统及回路中，因液压泵和/或执行元件需要补油，如由 1、2、3、4、5、6、8、9、12、18 等组成的补油回路；液压泵和执行元件需要限压，如由 7、10、11、13、19 等组成的限压回路等。一般没有完全的闭式回路。

还有将开式回路按带与不带升压泵进行的分类，如图 1-3 所示为不带升压泵的开式回路简图，液压泵 2 直接从油箱 1 中取得全部用油；如图 1-4 所示为带升压泵的开式回路简图，液压泵 4 借助升压泵 2 取得其全部供油。

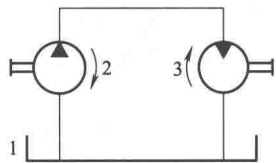


图 1-3 不带升压泵的开式回路简图

1—油箱；2—液压泵；3—液压马达

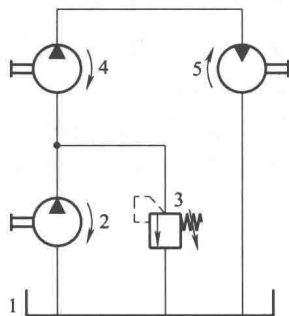


图 1-4 带升压泵的开式回路简图

1—油箱；2—升压泵；3—溢流阀；4—液压泵；5—液压马达

还有将闭式回路按带与不带升压泵进行的分类，如图 1-5 所示为不带升压泵的闭式回路简图，液压泵 4 从液压马达 5 取得其大部分供油，而其余部分直接得自油箱 1 的回路；如图 1-6 所示为带升压泵的闭式回路简图，液压泵 6 从液压马达 7 取得其大部分供油，而其余部分得自一个辅助升压泵 2 的回路。

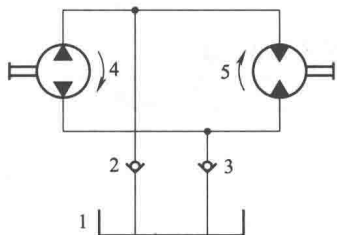


图 1-5 不带升压泵的闭式回路简图

1—油箱；2,3—单向阀；4—液压泵；5—液压马达

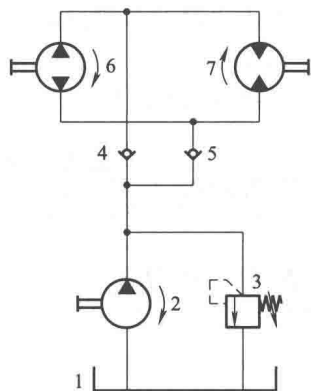


图 1-6 带升压泵的闭式回路简图

1—油箱；2—升压泵；3—溢流阀；4,5—单向阀；6—液压泵；7—液压马达

笔者注：执行元件如液压缸或双旋向液压马达的两油口不能表述为进、出或出、进油口，上述表述只是为说明闭式回路液压原理的通俗说法。液压泵的连接油口在各标准中表述也不一致，如吸油口、吸入口、进油口、进口，排油口、出油口、出口等。

(3) 按其他方式分类

实践中液压系统及回路还有以液压泵、阀安装形式、液压泵与油箱安装（布置）形式、液压系统工作压力（或公称压力、额定压力）高低、液压系统复杂程度、电控制（含电操纵和电调制）方式等进行分类的，如定量泵液压系统、变量泵液压系统；叠加阀液压系统、插装阀（或螺纹插装阀）液压系统；上置式液压泵站（系统）、分置式液压泵站（系统）、超高压（ $\geq 32\text{MPa}$ ）液压系统、高压（ $16.0\sim 31.5\text{MPa}$ ）液压系统、中压（ $2.5\sim 8.0\text{MPa}$ ）液压

系统、低压 (0~2.5MPa) 液压系统；大型液压系统，中、小型液压系统；手动控制液压系统、常规电磁阀控制液压系统、比例阀（电调制）控制液压系统、伺服阀控制液压系统（或含伺服缸液压控制系统、数字缸液压控制系统）等。

总之，液压系统及回路（图）分类没有标准，不管是本书或是其他参考文献，其所述液压系统分类只能说是初步分类。

1.1.2 液压元件图形符号常见错误及深度解读

液压元件的图形符号表示其功能或操作方法，尽管其一般不代表元件的实际结构，但却表示的是元件未受激励的状态（非工作状态）。

在液压系统及回路图中绘制液压元件图形符号应遵守一些规则，主要包括：

① 各种液压元件图形符号的基本要素应按规则绘制，包括字母、数字和符号等也应按相关标准书写；

② 各种液压元件图形符号应按固定的尺寸绘制（设计），一般按模数尺寸 $M=2.5\text{mm}$ 来绘制；

③ 为了缩小或增大图形符号尺寸，可以采用其他模数尺寸，但一般字符大小都应为高 2.5mm，线宽 0.25mm，且在一幅图样中各种元件的图形符号的模数尺寸应一致；

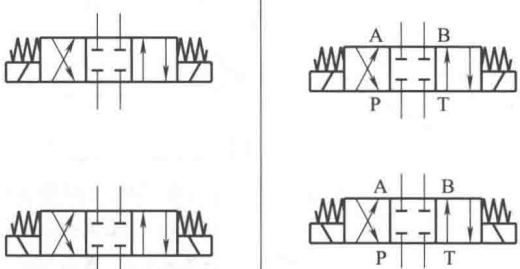
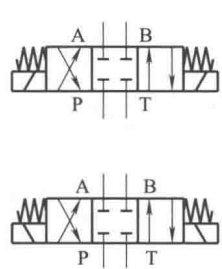
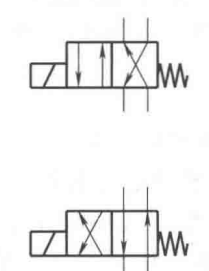
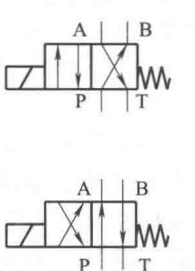
④ 液压元件的图形符号应给出所有接口（油口），并按需要对其进行标识；

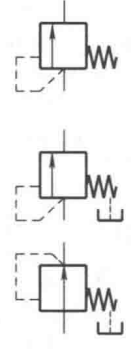
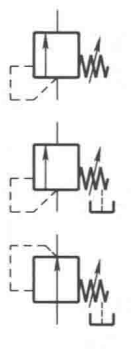
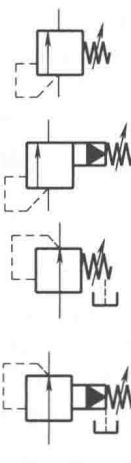

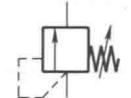

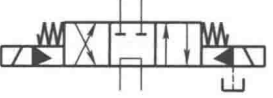



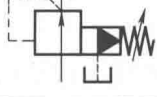
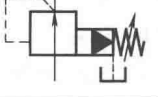
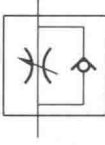
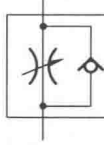
⑤ 以基本形态或初始状态表示的液压元件图形符号，在不改变其含义的前提下可将其水平翻转或（90°）旋转；

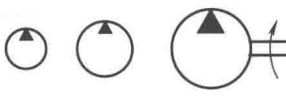
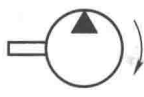
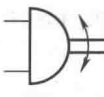
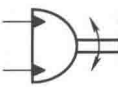
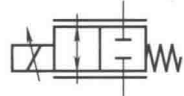
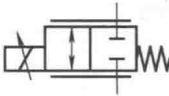
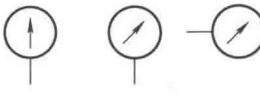
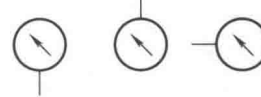
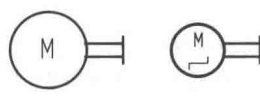
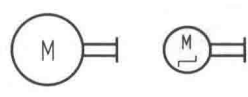

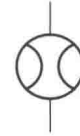
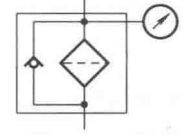
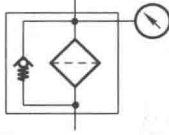
⑥ 如果一个符号用于表示具有两个或更多主要功能的流体传动元件，并且这些功能之间相互联系，则这个符号应由实线外框包围标出；当两个或者更多元件集成为一个元件时，它们的符号应由点画线包围标出。

根据在 GB/T 786.1—2009 中规定的液压元件图形符号及以上所列绘制（书写）规则，现在表 1-2 中列举如下液压元件图形符号的常见错误，并对其进行深度解读和说明。

表 1-2 液压元件图形符号常见错误及深度解读

序号	常见错误	正确表示	深度解读和说明
1			电磁铁动作一致指向阀芯或背离阀芯，且不可同时通（得）电
2			流体流过阀的路径和/或方向错误

序号	常见错误	正确表示	深度解读和说明
3			<p>溢流阀、顺序阀和减压阀等弹簧缺少可调整图形符号,使该阀丧失(手动)调节功能</p>
4			<p>压力控制阀的内部控制管路(先导控制)的相对位置错误,致使阀芯(心)无法平衡,其与压力控制阀工作原理相悖</p>
5			<p>顺序阀缺少(外)泄油管接口,丧失了与溢流阀仅有的区别要素单元</p>
6			<p>三位四通液动换向阀的中位机能 P 与 T 阀内部(的流动)路径连接位置不对;先导式泄油(先导回油)管路接口位置不对</p>
7			<p>三位四通液动换向阀油口标志(或使用)不对;缺少中位机能 A、B 和 T 阀内部(的流动)路径连接点;油口末端应在 2M 的倍数网格上</p>
8			<p>外泄型先导式(二通)减压阀的外泄油管接口不对</p>
9			<p>单向节流阀中节流孔的可调整图形符号方向错误;节流阀与单向阀缺少在一个符号内连接(节)点,或错误绘制成两条管路连接点</p>

序号	常见错误	正确表示	深度解读和说明
10			错误地以框线大小来区分液压泵排量大小；错误地选取了小尺寸(1M边长)液压力作用方向图形符号；错误地标注了液压泵旋转方向指示箭头且与其他符号重叠(特殊情况下可重叠) 液压泵或液压马达的旋转方向指示箭头应在与其同心 9M 直径的圆上,大小为 60°圆弧长
11			限制摆动角度,双向流动的摆动执行器或旋转驱动缺少液压力作用方向图形符号
12			油(接)口错误地标识在两个功能单元上;比例流量控制阀或涉及正遮盖、零遮盖或负遮盖应标识出功能单元上的工作油口,并标识出功能单元未受激励的状态(非工作状态)
13			压力表指针方向不对 不管压力表接口位于何方,压力表指针方向始终不变
14			错误地将电动机或步进电机的表示符号书写成拉丁字母 M(在 GB/T 18597—2001 中规定的 CB 型)
15			流道错误地穿过了流量指示图形符号 笔者注:在 GB/T 786.1—2009 中流量指示图形符号与测量仪表框线不匹配
16			没有明确过滤器所带单向阀(旁通阀)必须是带有复位弹簧的单向阀;且所带压力表指针方向不对

笔者注:1. 此节中液压元件含义为“由除配管以外的一个或多个零件组成的独立单元,作为流体传动系统的一个功能件。”

2. 在 GB/T 786.1—2009 中图形符号为图形和符号,而在 GB/T 5922—2005 中却没有加以区分,本书一般也没有严格地区分。

3. 参考了 BS ISO 1219-1:2012+A1;2016 《Fluid power system and components—Graphic symbols and circuit diagrams—Part1: Graphic symbols for conventional use and data-processing applications》。

1.1.3 液压系统及回路图设计的内容和步骤

液压系统的设计、制造应符合供需双方协议,应符合有关单位审查、批准、生效的设计图样、技术文件以及相应的标准、工艺规范的规定。

以执行元件为液压缸的液压系统为例,说明液压系统及回路图常规设计的内容和步骤。如图 1-7 所示,其为笔者基于设计经验的积累和总结的液压系统及回路图常规设计方法的一般流程。

(1) 额定(设计)工况的确定

额定工况是通过试验确定的,以基本特性的最高值和最低值(必要时)表示的工况,元件或配管按此工况设计以保证足够的使用寿命;设计工况是人为设定的基本设计条件,通常

以规定工况表示，是在液压系统运行和试验期间需要满足的工况。

额定工况在设计初始阶段很难准确确定，需要通过试验逐步修正。况且，如果没有试验装置，而且未经寿命试验，想要准确确定这组特性值，几乎是不可能的。

根据设计者的实践经验积累，综合需方要求及相关标准规定，在现有元件、附件和配管可以达到的技术指标范围内，确定设计工况是比较现实可行的。

确定设计工况应注意以下几点：

① 设计工况应包括极限工况。尽管极限工况是假设元件、配管或系统在规定应用的极端情况下满意地运行一个给定时间，其所允许的运行工况的最大和/或最小值，且在一些情况下不可重复或无法试验，但根据设计者的实践经验的积累对其预判是必要的。

② 不可忽视疲劳寿命。尽管设计工况的确定不是以（提高）疲劳寿命为设计目标的，但如果设计工况确定不合理，其疲劳寿命一定低，最后也会导致设计失败。

③ 注意设计工况的完整性。特定的一台液压系统可能有很多项技术要求和性能指标，除其主要的特性值不能在确定设计工况时缺失外，其他次要的特性值也应尽量给出。

④ 设计工况应与技术要求相互参照。不管是文字表述的还是以参数（量）表示的设计工况，其都应与技术要求（条件）相互参照。有产品标准的液压系统设计工况不应超出其标准规定；没有产品标准的应参考相关标准、文献资料，并根据设计者实践经验的积累和总结确定设计工况。如果任意确定设计工况，其后果是非常可怕的。

（2）液压系统技术要求的确定

液压系统技术要求（条件）可由需方提出，也可经供需双方协商共同遵守某项或某几项相关标准。写入合同的技术要求包括规则的具体条款，具有法律效力。

一般用途的液压系统及回路图的技术要求（条件）见本章第 1.2 节。

一般用途的液压系统及回路图是指用于工业制造过程的机械设备上的液压系统及回路图。切不可任意扩大“一般用途”所指范围，如扩大至（所有的）机械或机器，则可能造成意想不到的严重后果或留下重大的安全隐患。

如果供需双方协商共同遵守某项或某几项相关标准，这有助于：

① 对液压系统及元件的要求的确认和规定；

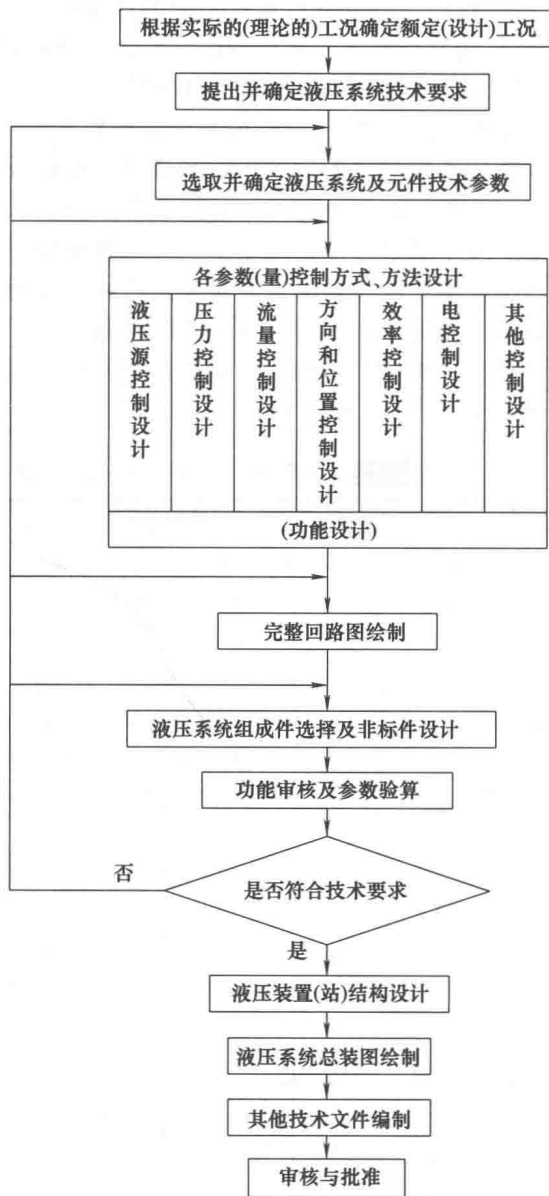


图 1-7 液压系统及回路常规设计方法的一般流程