

# 液压可靠性 设计基础与设计准则

YEYA KEKAOXING  
SHEJI JICHU YU SHEJI ZHUNZE

湛从昌 陈新元 等编著

非外借



冶金工业出版社  
www.cnmp.com.cn

# 液压可靠性 设计基础与设计准则

湛从昌 陈新元 郭媛 钱新博 编著



冶金工业出版社

2018

## 内 容 提 要

本书共 13 章, 第 1 章介绍液压可靠性的重要性和可靠性的基本定义, 液压传动系统的工作原理和组成; 第 2~6 章介绍液压元件工作原理, 液压基本回路和系统, 液压元件和液压系统故障及排除, 液压系统设计方法; 第 7~11 章介绍液压系统可靠性设计及评审, 模糊可靠性设计, 储存可靠性; 第 12、第 13 章介绍可靠性设计准则 500 余条和液压元件可靠性评估方法。

本书可供机械和液压工程领域从事可靠性设计和液压故障诊断工作的科研、设计、运行和维修的工程技术人员使用, 也可作为高等学校相关专业教师、研究生和高年级本科生的教学用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

液压可靠性设计基础与设计准则/湛从昌等编著. —北京:  
冶金工业出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-5024-7831-5

I. ①液… II. ①湛… III. ①液压装置—可靠性设计  
IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 182120 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmip.com.cn 电子信箱 yjcbcs@cnmip.com.cn

责任编辑 宋 良 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7831-5

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷  
2018 年 8 月第 1 版, 2018 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 23.75 印张; 578 千字; 368 页

89.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

# 前 言

“产品的可靠性是设计出来的”，而“设计决定了产品的固有可靠性”。这是我国著名科学家钱学森在20世纪70年代末国防科工委系统的一次可靠性会议上提出的，明确了设计在产品可靠性中的重要性。

随着科学技术的发展，对液压设备的性能、可靠性、安全性和使用寿命的要求越来越高。所以，在设计液压元件和液压系统时，除了满足产品性能要求外，还应考虑提高产品可靠性、安全性和延长使用寿命，这有利于加速推进我国制造业由大变强的转型升级和跨越式发展，在此思想指导下，我们编写了本书。

常规的液压系统设计主要内容有：调查该液压系统服务对象和环境、工艺及特殊要求，执行元件的配置和要求，分析液压系统工况，确定主要参数，负载分析，拟定液压系统图，选择液压元件，液压系统性能验算，绘制装配图和零部件图，编制技术文件等。液压可靠性设计是在常规液压系统设计基础上，除了满足性能要求外，还要进行可靠性设计，即明确液压元件和液压系统对可靠性的要求，对液压系统进行可靠性预测和分配；对一些重要部位和危险部位，应采取措施提高可靠性，同时还要进行维修性预计，使用寿命与可靠性评估等。此外，还要考虑产品的重量、体积和经济性等。达到性能和可靠性要求的产品方可称为高品质产品。

产品实现预定可靠性要求或提高可靠性，其工作内容较多，但关键在设计。在设计中，与设计人员的技术水平有关，与选材及加工有关，与元件可靠性及其组合配置有关等，这些都决定了液压产品的可靠性。

作者在书中提供了可靠性设计准则500余条，供设计人员和相关人员参考，有助于提高液压产品可靠性，提升我国液压产品质量和国际竞



争力。

本书内容和特点：第1部分介绍了液压传动的基本内容，其中包括液压传动基本概念，液压元件工作原理，液压基本回路，液压故障及失效，该内容与可靠性设计有密切关系。在介绍液压元件工作原理时，采用液压元件图形符号来阐述，这对于读者来说比较容易接受，这是本书特点之一。第2部分重点介绍液压可靠性设计，这有别于液压系统常规设计，它是以可靠性为中心的设计，如建立可靠性模型、可靠度算法、模糊可靠性和储存可靠性等，其主要目的是提高液压元件和液压系统可靠性、有效度，延长使用寿命，这是本书特点之二。第3部分介绍液压可靠性准则，共有500余条供设计者参考，这是本书特点之三。

本书由武汉科技大学机械自动化学院湛从昌教授等教师编著，其中湛从昌教授编写第1、2、7、9、10、11章，第3、8、12、13章部分内容；陈新元教授编写第4章和第3、5、12、13章部分内容；郭媛教授编写第6章和第3、5、8、12章部分内容；钱新博老师编写第8、12、13章部分内容。全书主要由湛从昌教授统稿，郭媛教授参与完成统稿工作。编写过程中，陈奎生教授、曾良才教授、傅连东教授提供了许多资料充实本书内容，此外，全国液压气动标准化技术委员会罗经秘书长和韶关液压件有限公司黄科夫高工、黄智武高工对本书提供了许多宝贵意见和建议。刘永秀硕士参与整理书稿和绘图工作，吴凇博士和顾德亮、张磊硕士等对整理书稿和绘图工作给予一定帮助。书中还参考引用了一些文献，在此对这些文献作者和参与本书编写工作的人员一并致谢！

本书得到武汉科技大学研究生院的大力支持，并获得研究生教材专项基金资助。

书中不妥之处，敬请读者批评指正。

湛从昌

2018年5月

# 目 录

<b>1 液压可靠性设计概述</b> .....	<b>1</b>
1.1 可靠性设计与设计可靠性 .....	1
1.2 可靠性工作的基本内容 .....	2
1.3 可靠性的基本定义 .....	3
1.3.1 可靠性 .....	3
1.3.2 可靠度 .....	4
1.3.3 失效率 .....	4
1.3.4 失效密度函数与失效率和可靠度的关系 .....	5
1.3.5 失效曲线与失效类型 .....	6
1.3.6 可靠性寿命尺度 .....	7
1.3.7 维修度与有效度 .....	10
1.4 液压产品寿命周期的五个阶段 .....	12
1.5 液压传动系统工作原理、组成和特点 .....	12
1.5.1 液压传动系统的工作原理 .....	12
1.5.2 液压传动系统的组成 .....	13
1.5.3 液压传动系统的特点 .....	14
1.6 本书的主要内容 .....	15
<b>2 液压元件工作原理</b> .....	<b>17</b>
2.1 液压泵 .....	17
2.2 液压马达 .....	17
2.3 液压缸 .....	18
2.4 液压控制阀 .....	18
2.4.1 方向控制阀 .....	19
2.4.2 压力控制阀 .....	22
2.4.3 流量控制阀 .....	23
2.4.4 电液比例阀 .....	24
2.4.5 先导式伺服阀 .....	25
<b>3 液压基本回路与典型液压系统</b> .....	<b>26</b>
3.1 压力控制基本回路 .....	26
3.1.1 调压回路 .....	26

3.1.2	保压回路	27
3.1.3	减压回路	29
3.1.4	增压回路	29
3.1.5	卸荷回路	30
3.1.6	平衡回路	31
3.1.7	泄压回路	32
3.1.8	缓冲回路	33
3.2	液压油源控制基本回路	33
3.2.1	开式油源回路	33
3.2.2	闭式油源回路	34
3.2.3	补油泵回路	34
3.2.4	节能液压源回路	34
3.3	方向控制基本回路	38
3.3.1	常用换向回路	38
3.3.2	锁紧回路	40
3.4	速度控制基本回路	41
3.4.1	节流阀调速回路	41
3.4.2	调速阀节流调速回路	45
3.5	多缸动作回路	46
3.5.1	顺序动作回路	46
3.5.2	同步动作回路	48
3.6	液压马达基本回路	50
3.6.1	调速回路	50
3.6.2	限速控制回路	54
3.6.3	制动控制回路	56
3.6.4	补油控制回路	61
3.6.5	多马达回路	63
3.6.6	单马达工作回路	66
3.7	伺服比例控制基本回路	69
3.7.1	电液比例压力控制回路	69
3.7.2	电液比例速度控制回路	71
3.8	典型液压系统	84
3.8.1	YT4543 液压滑台液压系统	84
3.8.2	XS-ZY-250A 型注塑机比例液压系统	86
<b>4</b>	<b>液压元件常见故障原因分析</b>	<b>91</b>
4.1	液压泵故障原因分析	91
4.2	液压缸故障原因分析	96

4.3 液压阀故障原因分析 .....	99
4.3.1 压力控制阀故障原因分析 .....	99
4.3.2 方向控制阀故障原因分析 .....	104
4.3.3 流量控制阀故障原因分析 .....	107
4.3.4 压力继电器故障原因分析 .....	108
<b>5 液压系统常见故障及排除方法 .....</b>	<b>110</b>
5.1 噪声和振动 .....	110
5.1.1 概述 .....	110
5.1.2 液压泵的噪声与控制 .....	113
5.1.3 排油管路和机械系统的振动 .....	116
5.1.4 液压系统噪声的衰减、阻尼和隔离 .....	117
5.2 液压冲击 .....	121
5.2.1 液流换向时产生的冲击 .....	121
5.2.2 节流缓冲装置失灵引起的液压冲击 .....	121
5.2.3 液压冲击的原因分析及其影响 .....	124
5.2.4 减小液压冲击的基本原则 .....	125
5.3 气穴与气蚀 .....	125
5.3.1 产生原因 .....	125
5.3.2 判断和排除方法 .....	126
5.4 爬行 .....	127
5.4.1 驱动刚性差引起的“爬行” .....	127
5.4.2 液压元件内零件磨损、间隙大引起的“爬行” .....	129
5.4.3 摩擦阻力变化引起的“爬行” .....	129
5.5 液压卡紧 .....	131
5.6 温度过高 .....	133
5.6.1 液压系统温升过高的危害 .....	134
5.6.2 液压系统油温过高的原因分析及排除 .....	134
5.7 能源装置故障的诊断与排除 .....	138
5.7.1 无压力油输出 .....	138
5.7.2 初始启动不吸油 .....	138
5.7.3 能源液压回路设计不周导致温度过高 .....	139
5.7.4 双泵合流激发流体噪声 .....	140
5.7.5 油箱振动 .....	141
5.8 压力控制回路故障的诊断与排除 .....	142
5.8.1 概述 .....	142
5.8.2 系统调压与溢流不正常 .....	143
5.8.3 减压阀阀后压力不稳定 .....	147



5.8.4	顺序动作回路工作不正常	149
5.9	方向控制回路故障的诊断与排除	154
5.9.1	滑阀没完全回位	154
5.9.2	控制油路无压力	155
5.9.3	换向阀选用不当引起的故障	156
5.9.4	换向阀换向滞后引起的故障	157
5.10	速度控制回路故障的诊断与排除	158
5.10.1	节流阀前后压差小致使速度不稳定	159
5.10.2	调速阀前后压差过小	160
<b>6</b>	<b>液压系统的设计方法</b>	<b>162</b>
6.1	液压系统的设计步骤	162
6.2	明确液压系统的设计要求	162
6.3	分析液压系统工况编制负载图	162
6.3.1	工作负载 $F_w$	163
6.3.2	导轨摩擦负载 $F_f$	163
6.3.3	惯性负载 $F_i$	164
6.3.4	重力负载 $F_g$	164
6.3.5	密封负载 $F_s$	164
6.3.6	背压负载 $F_b$	164
6.4	确定液压系统的主要参数	165
6.5	拟定液压系统原理图	166
6.5.1	确定执行元件的形式	166
6.5.2	确定回路类型	166
6.5.3	选择合适回路	167
6.6	选取液压元件	169
6.6.1	液压能源装置设计	169
6.6.2	选取液压元件	170
6.7	系统性能的验算	174
6.7.1	系统压力损失验算	174
6.7.2	系统总效率估算	175
6.7.3	系统发热温升估算	175
6.7.4	液压冲击验算	177
<b>7</b>	<b>液压系统可靠性</b>	<b>178</b>
7.1	系统可靠性概述	178
7.1.1	系统与单元	178
7.1.2	系统可靠性的数量指标	179

7.1.3	可靠性逻辑框图 .....	181
7.2	不可修复系统分析 .....	182
7.2.1	串联系统 .....	182
7.2.2	并联系统 .....	184
7.2.3	混联系统 .....	186
7.2.4	$n$ 中取 $k$ 的表决系统 .....	187
7.2.5	贮备系统 .....	190
7.2.6	单元的失效率依赖于系统工作单元数 .....	195
7.2.7	桥式系统 .....	196
7.3	可修复系统 .....	200
7.3.1	马尔可夫过程的基本概念 .....	201
7.3.2	一个单元的可修复系统 .....	203
7.3.3	可修复的串联系统 .....	206
7.3.4	可修复的并联系统 .....	210
7.3.5	$k/n [G]$ 系统, 一个修理工的情况 .....	216
<b>8</b>	<b>系统可靠性设计 .....</b>	<b>218</b>
8.1	可靠性模型 .....	218
8.1.1	概述 .....	218
8.1.2	串联系统模型 .....	218
8.1.3	并联系统模型 .....	222
8.1.4	$n$ 中取 $k$ 系统模型 .....	223
8.1.5	$m \times n$ 并串联和 $n \times m$ 串并联系统 .....	224
8.1.6	待命冗余系统模型 .....	226
8.1.7	待命冗余系统概述 .....	227
8.1.8	双部件待命冗余系统 .....	230
8.1.9	简单模型一览表 .....	236
8.1.10	系统可靠度的一般算法 .....	238
8.2	可靠性分配与预测 .....	249
8.2.1	可靠性指标分配原则 .....	249
8.2.2	可靠性预测的目的与作用 .....	249
8.2.3	可靠性分配 .....	250
8.2.4	可靠性预测 .....	261
8.3	液压系统可靠度特征值的近似计算 .....	266
8.3.1	概述 .....	266
8.3.2	串联和并联系统的组合系统 .....	267
8.3.3	$k/n : G$ 系统, 串联系统和并联系统 .....	268
8.3.4	指数函数的近似 .....	271

8.4	液压产品可靠性设计流程 .....	272
<b>9</b>	<b>可靠性设计评审 .....</b>	<b>274</b>
9.1	概述 .....	274
9.2	可靠性数据的收集 .....	275
9.2.1	可靠性数据的重要性 .....	275
9.2.2	可靠性数据的收集 .....	275
9.2.3	收集有关数据的注意事项 .....	276
9.2.4	同型号或相近型号 .....	277
9.2.5	数据分析及处理 .....	278
9.3	设计评审的具体要求 .....	278
9.4	设计评审组织及程序 .....	279
<b>10</b>	<b>模糊可靠性设计 .....</b>	<b>282</b>
10.1	模糊可靠性的基本概念 .....	282
10.2	模糊可靠性的主要指标 .....	284
10.2.1	模糊可靠度 .....	284
10.2.2	模糊故障率 .....	285
10.2.3	模糊平均寿命 .....	286
10.3	液压机械零件模糊可靠度计算 .....	287
10.3.1	模糊干涉概率的确定方法 .....	287
10.3.2	零件强度均为正态分布的模糊可靠性设计 .....	289
10.4	液压机械静强度的可靠性设计 .....	290
10.4.1	随机变量函数的均值和标准差的近似计算 .....	290
10.4.2	随机变量函数的变差因素 .....	291
10.4.3	设计参数数据的统计处理与计算 .....	292
10.4.4	液压机械静强度可靠性设计 .....	294
10.5	液压机械疲劳强度可靠性设计 .....	297
10.5.1	疲劳的基本概念 .....	297
10.5.2	疲劳极限图 .....	298
10.6	液压机械零件磨损可靠性设计 .....	301
10.6.1	磨损的基本概念 .....	301
10.6.2	给定工作寿命时液压零件耐磨性可靠度计算 .....	303
10.6.3	给定可靠度时液压零件耐磨寿命的计算 .....	304
10.7	液压机械腐蚀零件可靠性设计 .....	305
10.7.1	腐蚀的基本概念 .....	305
10.7.2	均匀腐蚀的计算 .....	306
10.8	液压机械结构稳健可靠性设计 .....	306

10.8.1	稳健可靠性设计的基本概念 .....	306
10.8.2	基于敏感度分析的稳健可靠性设计 .....	307
<b>11</b>	<b>液压系统储存可靠性 .....</b>	<b>310</b>
11.1	概述 .....	310
11.1.1	储存可靠性概念 .....	310
11.1.2	储存可靠性研究的目的及意义 .....	311
11.2	储存环境因素 .....	311
11.2.1	液压产品储存寿命的退化模型 .....	311
11.2.2	储存环境因子对储存寿命的加速方程 .....	312
11.2.3	储存环境温度 and 湿度的模糊性确定方法 .....	313
11.3	系统储存可靠性评定方法 .....	314
11.3.1	系统失效判据的模糊处理方法 .....	315
11.3.2	寿命分布中参数的估计 .....	317
11.3.3	混合分布系统寿命分布类型的推断 .....	323
11.3.4	基于模糊方法确定系统的储存可靠性 .....	325
<b>12</b>	<b>液压可靠性设计准则 .....</b>	<b>329</b>
12.1	概述 .....	329
12.1.1	可靠性设计准则的定义 .....	329
12.1.2	可靠性设计准则的作用 .....	329
12.2	总则 .....	331
12.3	液压元件 .....	333
12.4	液压系统 .....	336
12.5	电器组件与电路 .....	341
12.6	安装与调试 .....	349
12.7	使用与维修 .....	352
12.8	可靠性设计优化 .....	353
<b>13</b>	<b>液压元件可靠性评估方法简述 .....</b>	<b>354</b>
13.1	引言 .....	354
13.2	术语和定义 .....	354
13.3	失效判据 .....	355
13.4	可靠性特征量 .....	355
13.5	试验装置 .....	356
13.6	试验条件 .....	357
13.6.1	通用试验条件 .....	357
13.6.2	试验流量 .....	357

---

13.6.3	换向要求	357
13.6.4	原始性能记录	358
13.7	可靠性试验	358
13.7.1	概述	358
13.7.2	可靠性寿命目标	358
13.7.3	可靠性测试流程	358
13.7.4	可靠性验证流程	359
13.8	性能检测	360
13.9	试验报告	361
13.9.1	可靠性测定试验报告	361
13.9.2	可靠性验证试验报告	361
13.10	附录	362
13.10.1	附录 A 试验回路	362
13.10.2	附录 B 可靠性试验记录试验样表	362
13.10.3	附录 C 可靠性度量指标	363
13.10.4	附录 D 安全性能指标	364
13.10.5	附录 E 可靠性试验验证案例	365
<b>参考文献</b>		<b>367</b>





# 1 液压可靠性设计概述

## 1.1 可靠性设计与设计可靠性

设计工作是制造一台机器的十分重要的前期工作，是确定机器可靠性高低的关键。20世纪70年代末，钱学森指出：“产品的可靠性是设计出来的、生产出来的、管理出来的”，同时提出：“设计决定了产品的固有可靠性”。有些学者和专业人员提出，一定要把可靠性设计到产品中去，这是最重要的工作。

当产品的设计确定后，其可靠性也是基本确定了。生产部门、使用部门无论在加工工艺、操作维修上作多大的努力，也只能是尽量实现设计所赋予产品的固有可靠性。例如，如果设计中选用了低可靠性的元件和劣质材料，选定的安全系数不够高，则无论生产方如何严格进行生产，使用方如何精心维修，产品的可靠性仍然是不高的。

我国多年来广泛推广全面质量管理，可惜的是全面质量管理的重点还只在生产部门，对于设计部门来说，设计的质量管理还抓得不够。这样，产品的设计质量和设计可靠性不高，真正要提高产品质量还是困难的。

从产品可靠性的定义来说，产品可靠性是产品质量的主要内容，当然，产品可靠性还不是产品质量的全部内容。如一些民用产品，很多要求美观大方，这个是质量指标而不是可靠性指标。但像美观大方这一类非可靠性指标，一般说是比较容易达到的。因此，产品的设计质量主要是产品的设计可靠性。

为了达到产品的可靠性指标而进行的设计，称为可靠性设计。可靠性设计的目的是在达到产品可靠性指标的前提下，配合产品的价值工程设计，尽可能降低产品在寿命周期内的总费用。

可靠性设计的主要内容有<sup>[1]</sup>：

(1) 一般情况下，产品由很多部分组成，从理论上说，每个部分的可靠性都可以提高。可靠性设计的首要任务就是将有限的可用于可靠性的资源（人力、物力、资金）安排在效益/成本比最有利的工作项目或内容上。这就要研究和建立产品的故障判据，建立产品的可靠性模型，对产品各组成部分的可靠性进行分配。由于实际工作过程中取得的结果不一定与原先分配的完全一致，在设计各个阶段，都要根据不断取得的可靠性信息对产品可靠性进行预测。必要时，对原来分配方案进行适当调整。

(2) 提高产品的可靠性，主要是提高产品薄弱环节的可靠性。这样就需要对产品的故障进行分析，哪些部位容易发生故障，受何种因素影响而产生故障，建立故障模型，分析产品薄弱环节，从而可以在设计上预先采取补救措施。如某元件容易出故障，在设计时采用并联结构，可有效地提高产品整体可靠性。

(3) 可靠性设计包括一系列旨在提高产品可靠性的设计技术。例如：基本思想是用几个组合的冗余技术；对液压元件或电子元器件进行筛选，尽可能消除早期故障；尽可能防

止脆性断裂及疲劳断裂；降额使用元件；对机械件保留适当的安全系数；对产品的组成进行边缘参数设计；对产品进行热设计，防止液压系统油液温度过高，造成液压系统工作寿命降低。

(4) 可靠性设计管理，是可靠性设计的根本保证。用通俗的话来说，要使产品可靠性管理得“一滴不漏”。这就需要把管理工作做好。如制定国家、行业、地方、企业的可靠性标准；制订一个可靠性管理规划，并严格予以执行；要建立企业、设计院所、行政管理部門的可靠性设计法规，规定设计工作必须遵循哪些国际标准、国家标准、行业标准、地方标准、企业标准、手册和法规；要建立可靠性信息系统，有目的地从方案设计开始汇集分析产品的可靠性信息，反馈给有关部门；要对产品的设计分阶段组织设计评审，只有评审通过后才能进入下一阶段。

(5) 维修性设计属于可靠性设计的一部分，为了突出其重要性，专门进行论述，引以重视。

维修性设计的目的是在达到产品技术指标的前提下，配合产品的可靠性设计和价值工程设计，尽可能降低产品的寿命周期总费用。在产品技术指标中，可用性是一项重要的指标。要提高产品的可用性，就要：

1) 降低产品的故障率。这是可靠性设计的任务。

2) 缩短产品出故障后的修复时间，这是维修性设计的任务。为了缩短产品出故障后的修复时间，就要：

① 易于进行故障检测及定位，即所谓的测试性，当故障程度和故障点确定后，采取隔离式措施迅速进行修复。

② 保证维修人员可以迅速到达需要维修的部位，以便迅速开展维修工作。

③ 保证维修人员在维修过程中的安全，如断开电源，降低液压系统压力和切断油源等。

④ 降低维修的平均工作时间，如配件准备充分，工具齐全，人员配置合理，实现高效率维修。

⑤ 降低维修费用，提高企业经济效益。如高水平与低水平维修工人比例适当，尽可能减少维修所需的备份材料、零部件的品种与数量，降低管理费用等。

⑥ 遵循人-机工程学的要求进行维修设计，如易操作性，易识别性等。

## 1.2 可靠性工作的基本内容

可靠性工作基本内容较多，如设计方案的确定、开展可靠性设计、加工可靠性、装配可靠性、性能测试可靠性、包装和运输可靠性、使用可靠性以及管理工作的可靠性等。开展此项工作主要目的是提高液压系统可靠性和使用寿命。随着科学技术的发展，对液压设备的性能和可靠性要求越来越高，加紧开展可靠性工作十分必要。可靠性工作基本内容如表 1-1 和图 1-1 所示。

表 1-1 可靠性工作的基本内容

可靠性工作	基础工作	技术理论基础	可靠性教学；可靠性物理；环境技术；预测技术；数据处理技术；基础实验
		基本设备条件	环境实验设备；可靠性试验设备；特殊检测设备；分析设备；测量设备；辅助设备；实验保证技术

续表 1-1

可靠性工作	技术工作	元件可靠性	用户要求的调查；原材料质量要求；失效分析；新技术应用；可靠性设计；可靠性评价；质量与可靠性控制；可靠性认证；现场数据收集与反馈
		整机可靠性	用户要求调查；可靠性分配；可靠性与维护性设计；元件合理选择与应用；可靠性预测；可靠性评价；使用可靠性规定；现场数据收集和反馈
		使用可靠性	使用条件设置与保证；人的因素维护技术及合理备份；现场数据收集分析与反馈
		可靠性评价	环境界限度试验；失效模拟监视试验；寿命与失效率试验；可靠性选择（包括非破坏检测技术）；可靠性认证；现场数据分析与评价；试验设备评价
	管理工作	可靠性标准	基础标准；试验方法标准；认证标准；管理标准；设计标准；产品标准；使用标准；评估方法标准；技术条件标准
		国家级可靠性管理	制定规划、政策；任务下达与协调；基础研究可靠性；认证制度；可靠性数据交换；可靠性标准；宣传教育；国际协作；技术协会、会议
		企业级可靠性管理	设置可靠性管理体系；制定企业可靠性管理纲要；制定产品可靠性管理规范；制定质量反馈制度；监督与审查；成果鉴定、教育；故障处理；生产和使用单位信息交流并制定企业可靠性标准
技术教育工作和技术交流工作		开设可靠性课程；编写教材；办学习班；内外培训；内外考察；情报交流；出版刊物；参加学术研讨会和报告会	

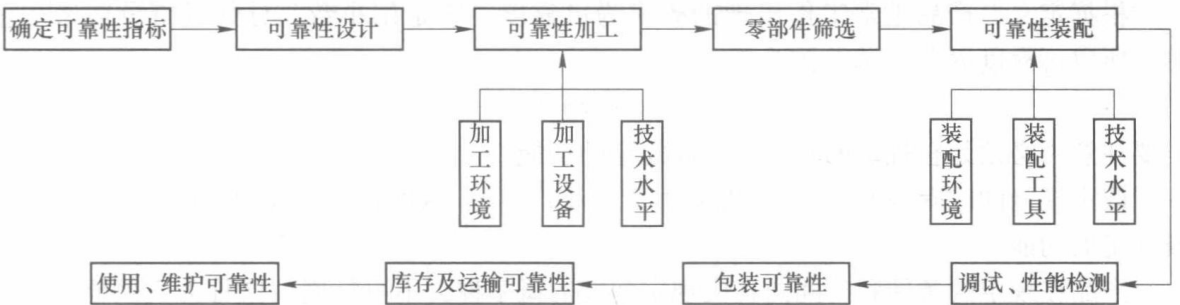


图 1-1 液压设备可靠性主要工作内容

### 1.3 可靠性的基本定义

#### 1.3.1 可靠性

产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力，称为产品的可靠性<sup>[2]</sup>。或者说，产品在出厂后在规定的条件下和规定的时间内，完成规定的任务，称为可靠性。所谓规定的条件，就是指产品所处的环境条件、负荷条件及其工作方式等。如液压装置中的温度、压力和环境。

可靠性是时间的函数，随着时间的推移，产品的可靠性会愈来愈低。通常在设计产品时，就须考虑产品的使用期、保险期或有效期。如轴向柱塞泵设计为 3000h 的寿命，电磁换向阀 100 万次换向的寿命。

可靠性与规定的功能有着极为密切的联系。所谓规定的功能，就是指产品的性能指标，如液压泵的压力、流量、转速、容积效率、总效率等。可靠性只是一个定性的名词，没有数量概念，不能作定量计算；如要定量计算，则用可靠度。

### 1.3.2 可靠度

产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的概率，称为产品的可靠度，即产品可靠性的概率度量。可靠度包含五个要素：

(1) 对象——产品，包括系统、设备、机器、部件、元件等。它可以是一个简单的零件，也可以是一个复杂的大系统，亦包括物和人等。

(2) 规定的条件——对象预期运行的环境及维修、使用条件。如载荷、温度、介质、润滑等；

(3) 规定的时间——对产品的质量和性能有一定的时间要求，即产品的工作期限，可以用时间表示，也可以用距离、次数、循环次数等来表示。如方向阀用换向次数，液压泵用时间等；

(4) 规定的功能——产品处于正常工作状态，应规定哪些功能，并用功能的指标来衡量属于正常工作或失效（故障）。如液压泵的容积效率达到百分之多少，才符合要求等。

(5) 概率——在可靠性中只说明完成功能的能力的大小（即可能性的大小）。这有两种可能性：①可能完成规定的功能；②可能不能完成规定的功能。这是属于随机事件，就是在一定条件下可能发生，也可能不发生的事件。

根据定义，产品正常工作出现的概率为可靠度。它是用小数、分数或百分数来表示的，所以可靠度  $R$  的取值范围为

$$0 \leq R \leq 1$$

但要注意，必须是在规定的时间内完成规定的功能。

假定规定的时间为  $t$ ，产品的寿命为  $T$ ，而  $T > t$ ，这就是产品在规定时间  $t$  内能够完成规定的功能。

产品在规定的条件和时间内丧失规定功能的概率称为不可靠度，或称为失效概率，记为  $F$ 。由于失效与不失效（正常工作）是相互对立的事件，根据概率互补定理，两对立事件的概率之和恒等于 1。因此  $R$  与  $F$  之间的关系为

$$R = 1 - F$$

或

$$R + F = 1$$

### 1.3.3 失效率

失效率是指产品工作到  $t$  时刻后， $\Delta t$  的单位时间内发生失效的概率。当  $\Delta t \rightarrow 0$  时，其数学表达式为

$$\lambda(t) = \lim_{\substack{N \rightarrow \infty \\ \Delta t \rightarrow 0}} \frac{n(t+\Delta t) - n(t)}{[N - n(t)] \Delta t} \quad (1-1)$$

式中  $N$ ——产品总数；

$n(t)$ —— $N$  个产品工作到  $t$  时刻的失效数；

$n(t+\Delta t)$ —— $N$  个产品工作到  $n(t+\Delta t)$  时刻的失效数。