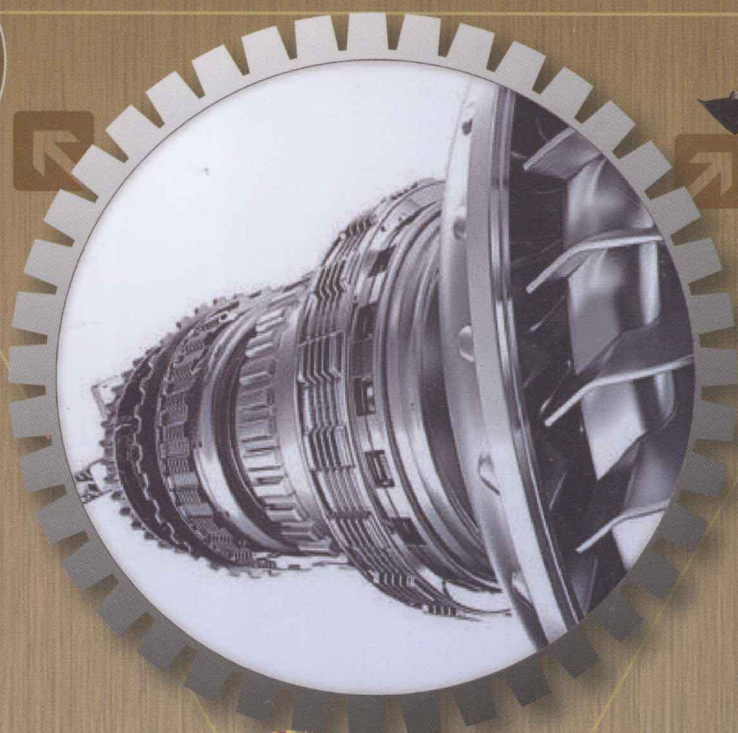


G

ONGCHENG JIXIE YEYA HE YELI XITONG

工程机械液压 和液力系统

王晓伟 张青 何芹 等编著



化学工业出版社

G ONGCHENG JIXIE YEYA HE YELI XITONG

工程机械液压 和液力系统

王晓伟 张青 何芹 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书重点介绍了工程机械中液压和液力技术的相关知识与应用。在介绍了液压和液力传动知识的基础上,重点介绍了工程机械常用液压、液力元件,工程机械液压回路和典型机型的液压和液力系统,工程机械液压和液力系统的使用和维护、故障诊断与排除等内容。列举了大量的工程机械液压液力故障维修案例,实用性强。

本书可供工程机械技术人员、设备管理人员、维护修理人员、驾驶操作人员参考使用,也可作为大中专院校工程机械及相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程机械液压和液力系统/王晓伟等编著. —北京:
化学工业出版社, 2013. 2
ISBN 978-7-122-16233-5

I. ①工… II. ①王… III. ①工程机械-液压系统
IV. ①TU6

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第001767号

责任编辑:张兴辉
责任校对:陈静

文字编辑:张绪瑞
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:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张18 字数446千字 2013年5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: 68.00 元

版权所有 违者必究

前言

Foreword



随着我国国民经济的持续快速发展，作为主要施工设备的工程机械在国家经济建设中发挥着越来越重要的作用。由于液压和液力传动具有一系列突出优点，因而在工程机械中得到了广泛的应用。工程机械液压和液力系统的性能直接影响到工程施工的质量和效率，因此熟悉液压和液力系统的工作原理和典型应用，了解和掌握其使用和维护知识、故障诊断与排除技术是现代工程技术人员的重要内容。

本书重点介绍了工程机械中液压和液力技术的相关知识与应用。首先介绍了液压和液力传动的基础知识和工程机械常用液压、液力元器件，其次详细介绍了工程机械液压回路和典型机型的液压和液力系统，最后系统描述了工程机械液压和液力系统的使用和维护、故障诊断及排除的有关内容。列举了大量的工程机械液压液力故障维修案例，方便读者查阅和参考。

本书可供工程机械技术人员、设备管理人员、维护修理人员、驾驶操作人员参考使用，也可作为大中专院校工程机械及相关专业师生的参考用书。

本书第1章由王晓伟撰写，第2、3章由何芹撰写，第4章由陈继文撰写，第5章由姜华撰写，第6章由李丽撰写，第7章由张青撰写，全书由王晓伟、张青、何芹统定稿。在此特别感谢张瑞军教授在百忙之中对本书进行了细致的审校，提出了许多宝贵的意见和建议。为本书的完成做出大量工作的还有王胜春、宋世军、史宝军、王积永、沈孝芹、于艳杰等同志。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请批评指正。

编者

目 录

Contents



第 1 章 概 述	1
1.1 液压传动工作原理与特点	1
1.1.1 液压传动工作原理	1
1.1.2 液压传动系统组成	2
1.1.3 液压传动的特点	3
1.2 液力传动工作原理与特点	3
1.2.1 液力传动的工作原理	3
1.2.2 液力传动的分类	4
1.2.3 液力传动的特点	5
1.3 液压和液力技术在工程机械上的应用及发展	5
1.3.1 液压技术在工程机械上的应用	5
1.3.2 液力技术在工程机械上的应用	6
1.3.3 工程机械液压系统存在的主要问题	6
1.3.4 工程机械液压和液力技术展望	8
第 2 章 液压和液力传动技术基础	11
2.1 液压流体力学基本知识	11
2.1.1 静止液体的力学基础	11
2.1.2 流动液体的力学基础	15
2.1.3 液体流动时的压力损失	19
2.1.4 液体流经小孔和缝隙的流量	22
2.1.5 液压冲击与空穴现象	26
2.2 液力传动技术基础	30
2.2.1 相似原理在液力传动中的应用	30
2.2.2 液力传动元件中的损失	30
2.2.3 液力传动术语及图形符号	31
2.3 液压油	35
2.3.1 分类与特性	35
2.3.2 工程机械液压油的选用	38
2.3.3 液压油的污染与控制	38
第 3 章 工程机械常用液压和液力元件	40
3.1 工程机械对液压和液力元件的基本要求	40

3.2	液压泵	40
3.2.1	液压泵的工作原理和性能参数	40
3.2.2	齿轮泵	42
3.2.3	叶片泵	46
3.2.4	轴向柱塞泵	53
3.2.5	径向柱塞泵	56
3.2.6	液压泵的特点	57
3.2.7	工程机械液压泵的选用	58
3.2.8	液压泵的噪声	58
3.3	液压马达	59
3.3.1	液压马达的基本知识	59
3.3.2	液压马达的分类	59
3.3.3	液压马达的主要性能参数	60
3.4	液压缸	60
3.4.1	液压缸的类型与特点	60
3.4.2	常用液压缸	61
3.4.3	液压缸的典型结构	61
3.4.4	液压缸的组成	62
3.4.5	工程机械液压缸的选用	65
3.5	液压阀	65
3.5.1	压力控制阀	66
3.5.2	流量控制阀	69
3.5.3	方向控制阀	71
3.5.4	电液比例阀	78
3.6	液压辅助元件	81
3.6.1	蓄能器	81
3.6.2	滤油器	82
3.6.3	管路及接头	84
3.6.4	油箱	87
3.6.5	热交换器	88
3.6.6	密封装置	88
3.6.7	其他辅件	89
3.7	液力偶合器	90
3.7.1	液力偶合器的结构	90
3.7.2	液力偶合器的工作原理	91
3.7.3	液力偶合器的性能	92
3.7.4	液力偶合器的类型	93
3.8	液力变矩器	93
3.8.1	液力变矩器的构造	93
3.8.2	液力变矩器的工作原理	94
3.8.3	液力变矩器油路系统	96
3.8.4	液力变矩器的特性参数	96

3.8.5 液力变矩器的类型	97
3.9 新型液力传动元件	100

第4章 工程机械液压回路 102

4.1 基本液压回路	102
4.1.1 压力控制回路	102
4.1.2 速度控制回路	110
4.1.3 方向控制回路	120
4.1.4 多缸控制回路	124
4.2 液压传动系统的形式及其评价	126
4.3 工程机械液压系统性能指标与要求	131
4.3.1 液压系统的效率(经济性指标)	131
4.3.2 功率利用(节能性指标)	132
4.3.3 调速范围(调速指标)	132
4.3.4 液压系统刚度(机械特性指标)	132
4.3.5 负载能力(工作性能指标)	132
4.4 工程机械典型液压回路	133
4.4.1 重力负载液压回路	133
4.4.2 回转机构液压回路	134
4.4.3 支腿机构液压回路	135
4.4.4 转向机构液压回路	136
4.4.5 行走机构液压回路	137

第5章 工程机械典型机型液压和液力系统 139

5.1 挖掘机液压传动系统	139
5.2 装载机液压传动系统	144
5.2.1 ZL50型装载机液压系统	144
5.2.2 ZL100型装载机液压系统	147
5.2.3 CAT966D型装载机的液压系统	149
5.3 推土机液压传动系统	150
5.3.1 TY180型推土机液压系统	150
5.3.2 TY220型推土机液压系统	153
5.3.3 TY320型推土机液压系统	155
5.3.4 卡特彼勒D7型推土机液压系统	158
5.4 铲运机液压传动系统	163
5.4.1 工作装置液压系统	163
5.4.2 转向液压系统	165
5.4.3 牵引车变速箱变速液压系统	166
5.5 平地机液压传动系统	167
5.5.1 PY160A型平地机液压系统	168
5.5.2 PY180型平地机的液压系统	169
5.5.3 Cat16G型平地机液压系统	171

5.5.4	F155 型平地机液压系统	173
5.6	压路机液压传动系统	174
5.6.1	YZ14 型振动压路机	174
5.6.2	CA25 型振动压路机	175
5.6.3	BW 系列振动压路机	177
5.6.4	G 系列和 GD 系列振动压路机	180
5.7	混凝土泵车液压传动系统	182
5.7.1	混凝土泵车液压传动系统的组成结构	182
5.7.2	活塞式混凝土泵的液压系统	184
5.7.3	中联重科 ZLJ5291THB125-37 型混凝土泵车液压系统	190
5.8	摊铺机液压传动系统	195
5.8.1	摊铺机液压传动基本回路	195
5.8.2	国产 LTY4500A 型沥青混合料摊铺机液压系统	199
5.9	工程机械典型液力系统	201
5.9.1	966D 装载机液力变矩器 (三元件单级单相液力变矩器)	201
5.9.2	ZL50 装载机用双涡轮变矩器	202
5.9.3	CL7 自行式铲运机液力变矩器 (单级三相四元件变矩器)	205
5.9.4	CAT988B 装载机双泵轮液力变矩器	207

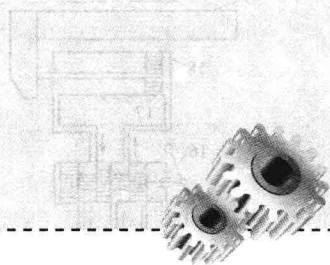
第 6 章 工程机械液压和液力系统的使用和维护 209

6.1	液压系统的日常使用注意事项	209
6.1.1	施工作业准备	209
6.1.2	操作使用事项	209
6.1.3	特殊作业环境下的注意事项	213
6.2	液压系统的维护保养	214
6.2.1	一般知识	214
6.2.2	定期保养的内容	214
6.2.3	油品的使用管理	216
6.2.4	液压油更换	217
6.2.5	维护保养注意事项	219
6.3	液压系统拆卸、清洗和安装	220
6.3.1	液压系统的拆卸	220
6.3.2	清洗	224
6.3.3	液压系统的安装	225
6.4	液压系统调试与试压运转	228
6.4.1	液压油缸的调试	228
6.4.2	液压系统的试运转	229
6.5	液力耦合器的使用与维护	229
6.5.1	限矩型液力耦合器的使用与维护	229
6.5.2	调速型液力耦合器的使用与维护	236
6.6	液力变矩器的使用与维护	246
6.6.1	日常维护保养	246

6.6.2	试车检查	247
第7章	工程机械液压和液力系统的故障诊断与排除	248
7.1	工程机械液压系统故障诊断技术	248
7.1.1	液压系统故障概述	248
7.1.2	液压系统故障诊断条件和步骤	249
7.1.3	工程机械液压系统故障诊断技术的发展	252
7.2	工程机械液压系统故障诊断方法	254
7.2.1	观察诊断法	254
7.2.2	逻辑分析法	254
7.2.3	仪器检测法	255
7.2.4	油液分析法	256
7.2.5	其他方法	257
7.3	工程机械常用液压元件的故障诊断	257
7.3.1	液压泵的检测和维修	257
7.3.2	控制阀的检测和维修	258
7.3.3	液压缸的检测和维修	259
7.3.4	液压油的检测和维护	259
7.4	工程机械常用液力元件的故障诊断	260
7.4.1	油温过高	260
7.4.2	供油压力过低	261
7.4.3	机械行驶速度过低或行驶无力	261
7.4.4	漏油	262
7.4.5	异常响声	262
7.5	工程机械液压系统常见故障诊断与排除	263
7.5.1	液压系统常见故障特征	263
7.5.2	压力不正常	263
7.5.3	流量不正常	265
7.5.4	爬行	267
7.5.5	漏油	267
7.6	液力耦合器的故障诊断与排除	268
7.6.1	限矩型液力耦合器的常见故障及排除方法	268
7.6.2	调速型液力耦合器的常见故障及排除方法	270
7.7	液力变矩器的故障诊断与排除	274
7.7.1	小松 D155 型推土机变矩器故障及排除	274
7.7.2	K-702 型装载机变矩器故障的诊断与排除	274
7.7.3	PY160B 平地机变矩器故障的诊断与排除	275
7.7.4	PY160 平地机液力变矩器漏油故障的诊断与排除	277
	参考文献	280

第1章

概述



液压传动技术是实现现代传动与控制的关键技术之一，在工程机械、机床工业、汽车制造、冶金矿山、航空航天等工业领域，得到了广泛的应用与普及。

1.1 液压传动工作原理与特点

1.1.1 液压传动工作原理

常用的传动方式有机械传动、电力传动和流体传动。流体传动是以流体为工作介质进行能量转换、传递和控制的传动，包括液体传动和气体传动。液体传动又分为液压传动和液力传动。

液压传动是指在密闭的回路中，利用液体的压力能来进行能量的转换、传递和分配的液体传动。液压传动是以液体为工作介质，利用静压传递原理来工作的。其传动模型如图 1-1 所示。密封容器中盛满液体，当小活塞在作用力 F 足够大时即下压，小缸体内的液体流入大缸体内，依靠液体压力推动大活塞，将重物 W 举升。这种力和运动的传递是通过容器内的液体来实现的。

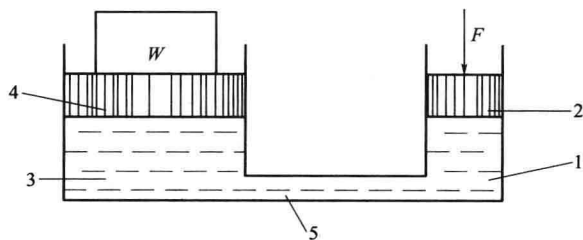


图 1-1 液压传动模型

1,3—缸体；2,4—活塞；5—连通管；
 W —重物重力； F —作用力

图 1-2 为驱动工作台液压传动系统工作原理图。液压泵 4 在电动机（图中未画出）的带动下旋转，油液由油箱 1 经过滤器 2 被吸入液压泵，由液压泵输入的压力油通过手动换向阀 9，节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 的左腔，推动活塞 17 和工作台 19 向右移动，液压缸 18 右腔的油液经换向阀 15 排回油箱。如果将换向阀 15 转换成如图 1-2(b) 所示的状态，则压力油进入液压缸 18 的右腔，推动活塞 17 和工作台 19 向左移动，液压缸 18 左腔的油液经换向阀 15 排回油箱。工作台 19 的移动速度由节流阀 13 来调节。当节流阀开大时，进入液压缸 18 的油液增多，工作台的移动速度增大；当节流阀关小时，工作台的

移动速度减小。液压泵 4 输出的压力油除了进入节流阀 13 以外，其余的打开溢流阀 7 流回油箱。如果将手动换向阀 9 转换成如图 1-2(c) 所示的状态，液压泵输出的油液经手动换向阀 9 流回油箱，这时工作台停止运动，液压系统处于卸荷状态。

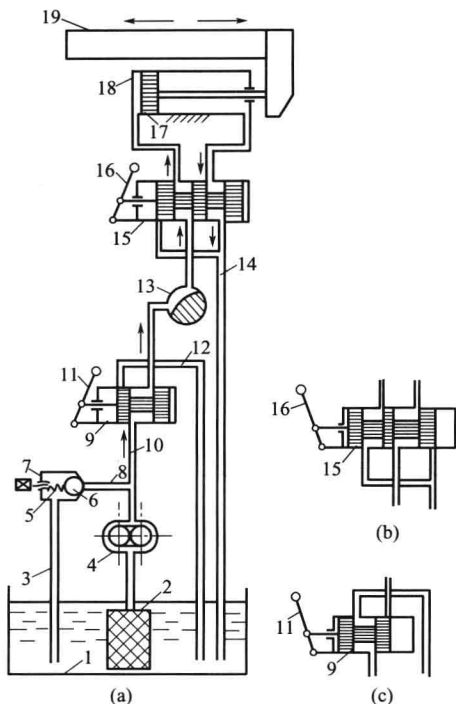


图 1-2 驱动工作台液压传动系统工作原理图
1—油箱；2—过滤器；3,12,14—回油管；4—液压泵；
5—弹簧；6—钢球；7—溢流阀；8,10—压力油管；
9—手动换向阀；11,16—换向手柄；13—节流阀；
15—换向阀；17—活塞；18—液压缸；19—工作台

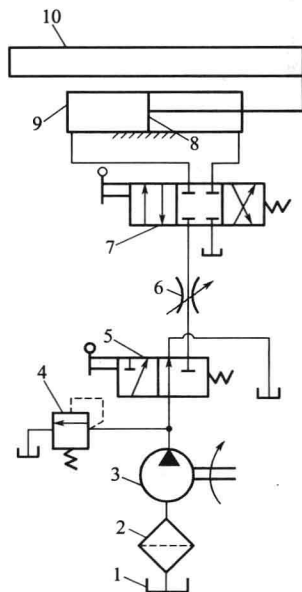


图 1-3 用图形符号表示的工作台液压系统图
1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—溢流阀；
5—手动换向阀；6—节流阀；7—换向阀；
8—活塞；9—液压缸；
10—工作台

图 1-2(a) 所示的液压传动图是一种半结构式的工作原理图。它直观性强，容易理解，但图形较复杂，难于绘制。在实际工作中，常用特定的简单符号绘出这些元件间相互关系的图，称为液压系统图，如图 1-3 所示。除少数特殊情况外，一般都采用国标 GB/T 786.1—2009 所规定的液压与气动图形符号来绘制。图形符号只反映系统中各元件的基本关系和功能，包括各元件在油路连接上的相互关系、静止位置或初始位置的工作状态等，而不表示元件的具体结构和参数，不反映其空间安装位置和元件工作中的过渡过程。使用图形符号可使系统图简化，原理简单明了，便于阅读、分析、设计和绘制。

1.1.2 液压传动系统组成

从上面工作原理中可以看出，一个完整的液压传动系统由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件和液压油五部分组成，见表 1-1。

液压系统设计的合理与否，对挖掘机的性能起着决定性的作用。同样的元件，若系统设计不同，则机器的性能差异很大。因此，分析和研究各种液压系统，弄清其设计原理是非常必要的。

表 1-1 液压传动系统组成

组成部分	功 用	举 例
动力元件	将原动机的机械能转换为液体的压力能,它向整个液压系统提供动力	液压泵
执行元件	将液体的压力能转化为机械能,驱动负载运动	液压缸、液压马达
控制元件	控制和调节液体的压力、流量和方向,保证执行元件完成预期的动作要求	方向阀、压力阀、流量阀等
辅助元件	起连接、贮油、过滤、测量等作用	油管、油箱、滤油器、管接头、密封圈、压力表等
液压油	传递能量的工作介质	矿物油、乳化液、合成液压油

1.1.3 液压传动的特点

(1) 液压传动的优点

液压传动技术几乎渗透到所有的现代工业领域,特别是近二三十年来得到了广泛而迅速的应用和发展。和机械传动、电力传动相比,液压传动具有独特的优点。概括起来,有以下几个方面。

① 在相等的体积下,液压传动装置比电气装置产生的动力更大;在同等功率的情况下,液压传动装置体积小,重量轻,结构紧凑,空间布置具有较大的柔性。例如同功率液压马达的重量约只有电动机的 1/6 左右。

② 液压装置工作比较平稳。由于重量轻,惯性小,反应快,易于实现快速启动、制动和频繁的换向。

③ 可以完成各种复杂的动作,操纵控制方便,液压传动装置能在很大的范围内实现无级调速(调速范围达 2000:1),并且可以在运行的过程中进行调速,工作准确平稳。

④ 液压传动装置易于实现自动化,容易实现过载保护。当采用电液联合控制或者计算机控制后,可实现大负载、高精度、远程自动控制。

⑤ 液压传动一般采用矿物油为工作介质,相对运动面可自行润滑,因而磨损少,使用寿命长。

⑥ 液压元件已实现了标准化、系列化、通用化,液压系统的设计、制造和使用都非常方便。

(2) 液压传动的不足

① 由于流体流动存在阻力损失和泄漏损失,液压传动不能保证严格的传动比,效率较低,系统能量损失较大。泄漏不仅污染场地,还可能引起火灾和爆炸事故。

② 对油液的清洁度要求较高,并要求定期更换。

③ 液压传动系统对温度的变化比较敏感,它的工作性能易受温度的影响。

④ 液压系统与元件制造维护要求较高,价格较贵,且进行故障诊断较困难。

总而言之,液压传动系统由于其优势明显,因而在现代工业领域得到广泛应用,它的一些不足也将随着科学技术的进步而逐步得到克服。

1.2 液力传动工作原理与特点

1.2.1 液力传动的工作原理

在传动系统中,若有一个或一个以上的环节以液体为工作介质传递动力,则此传动系统定义为液体传动系统,在液体传动系统中,以液体传递动力的环节称为液体传动元件。

运动液体的能量以三种形式存在，即压力能、动能和位能。在液体元件传递能量的过程中，机械能首先转变为液体能，再由液体能转变为机械能。以液体为工作介质，在两个或两个以上叶轮组成的工作腔内，主要依靠工作液体动量矩的变化传递或实现能量的变换，则称为液力传动，其相应的元件称为液力传动元件。在传动系统中若有一个或一个以上的环节采用液力元件传递动力时则称为液力传动系统。

液力传动元件的基本形式为液力变矩器和液力偶合器，其简图如图 1-4 表示。

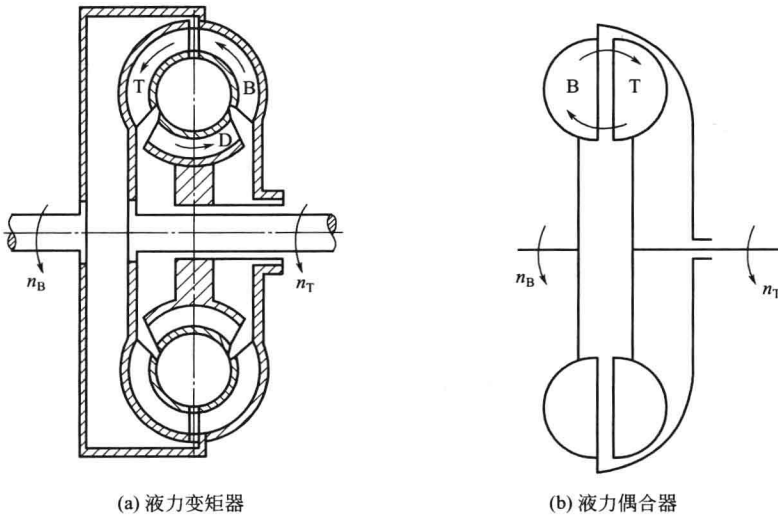


图 1-4 液力变矩器和液力偶合器

B—泵轮；T—涡轮；D—导轮

基本的液力变矩器由泵轮、涡轮和导轮三个叶轮组成，形成一个封闭的工作液体循环流动空间，各叶轮上分布若干空间弯曲叶片。液力偶合器为仅由泵轮和涡轮两个叶轮组成的元件，且一般为径向排列的平面直叶片。

1.2.2 液力传动的分类

液力传动元件分为液力变矩器、液力偶合器和液力机械变矩器。通常，液力变矩器、液力偶合器和液力机械变矩器与机械变速器组合在一起而成为液力传动装置。

(1) 液力变矩器

液力变矩器的基本结构形式由泵轮、涡轮和导轮三个叶轮组成。泵轮的输入端和涡轮输出端不存在刚性连接。由于导轮的作用使得在输出轴转速较低时，涡轮输出转矩大于泵轮输入转矩。实际上它是以液体为工作介质的转矩变换器，故称液力变矩器。

(2) 液力偶合器

液力偶合器只有泵轮和涡轮两个叶轮，若忽略轴承、密封等机械损失，理论上其涡轮输出转矩等于泵轮输入转矩。泵轮和涡轮不存在刚性连接，涡轮输出转速小于泵轮输入转速，存在转差。随着负载的变化，转差也变化。若将液力偶合器的涡轮固定，充入工作液体后固定的涡轮对旋转的泵轮起到制动减速作用，即为液力减速器。实际上液力减速器是工作在涡轮输出转速为零速工况的液力偶合器，其作用不是传动而是耗能制动减速。

(3) 液力机械变矩器

液力机械变矩器一般由液力变矩器与齿轮机构组合而成，同样具有无级变矩和变速能

力,其性能相当于一个新的液力变矩器。其特点是存在功率分流。按功率分流方式分为功率内分流液力机械变矩器和功率外分流液力机械变矩器。功率内分流液力机械变矩器的功率分流产生在液力变矩器内部,如双涡轮液力变矩器、导轮可翻转液力机械变矩器等;而液力变矩器与行星机构的各种组合传动属于功率外分流液力机械变矩器,动力机的功率被液力变矩器和行星排的构件分流,部分功率经由液力变矩器传动,其他功率则经由机械元件传递。

1.2.3 液力传动的特点

① 自动适应性能 当外载荷增大时,液力变矩器涡轮输出转矩随之增加,转速自动降低;而外载荷减小时,涡轮输出转矩随之减少,转速自动升高,这种特点称之为自动适应性。利用这一性能可简化传动系统操纵,易于实现自动控制。

② 透穿性能 透穿性是指泵轮转速(或转矩)不变时,泵轮转矩(或转速)随涡轮转矩和转速变化(载荷变化)而变化的性能。液力变矩器类型和结构不同,其透穿性也不同。分为不可透穿、正透穿、负透穿、混合透穿等几种透穿性能。各类液力偶合器均具有可透穿性。

③ 防振隔振性能 液力传动为柔性传动,输入端和输出端无刚性连接,可以减弱动力机的扭振和来自负载的振动,减缓冲击,提高动力机和传动装置的寿命,并提高车辆乘坐舒适性。

④ 无级调速性能 在动力机外特性和载荷特性不变的情况下,可调式液力变矩器和调速型液力偶合器都可无级地调节工作机的转速,因而可节能。

⑤ 反转制动性能 轴流式或者离心涡轮式液力变矩器具有良好的反转制动性能。

⑥ 带载启动性能 装有液力传动的设备可以带载启动,实现动力机空载起步、软启动、使动力机的稳定工况区扩大。如果动力机是内燃机则不易熄火。

⑦ 多级并车性能 当工作机采用多台动力机驱动时,液力传动易于并车并能自动协调载荷分配。

⑧ 过载保护性能 在一定的泵轮转速下,泵轮、涡轮和导轮的转矩只能在一定范围内随工况变化。如果载荷转矩达到涡轮的最大转矩,则涡轮转速减小直至为零。在此过程中,各叶轮的转矩不会超出其固有的变化范围,因而对动力机和工作机均可起到过载保护作用。

⑨ 效率 液力传动的效率随工况变化,液力变矩器的最高效率约为85%~90%,液力偶合器的效率约为96%~98%。

⑩ 辅助系统 除普通型和限矩型液力偶合器外,通常液力元件需要外加补偿、润滑和冷却等辅助系统。

1.3 液压和液力技术在工程机械上的应用及发展

由于液压传动装置具有功率密度高、易于实现直线运动、速度刚度大、便于冷却散热、动作实现容易等突出优点,因而在工程机械中得到了广泛的应用。目前95%以上的工程机械都采用了液压技术,工程机械液压产品在整个液压工业销售总额中占40%以上,现在采用液压技术的程度是衡量一个国家工业水平的重要指标。

1.3.1 液压技术在工程机械上的应用

(1) 液压技术在工程机械工作装置中的应用

由于液压传动的突出优点,目前几乎所有工程机械的工作装置都采用了液压传动控制。即使以前很少采用液压技术的塔式起重机,现也开始用低速大扭矩马达驱动起重机的提升、

变幅、回转等机构，出现了全液压塔式起重机，大大提高了起重机操作性能和调速性能。

(2) 液压技术在工程机械转向系的应用

许多工程机械（如装载机等）采用了转向液压缸来实现整机转向控制，全液压工程机械（如全液压挖掘机等）则通过对内外侧车轮的驱动马达转速的控制实现滑移转向，甚至原地转向，大大提高了整机的机动性和灵活性。

(3) 液压技术在工程机械行走系的应用

由于静液传动具有满载工况下启动平稳、功率损耗小、易于实现前进倒退的转换、可实现无级调速、且单位传递功率大等优点，而广泛应用在工程机械行走系中（如全液压装载机、全液压挖掘机的行走系等）。

(4) 液压技术在工程机械传动系及制动系的应用

目前大部分工程机械变速箱都采用了液压操作的动力换挡变速箱，大大减小了司机劳动强度，提高了传动系换挡性能。由于液压制动器动作响应快、制动平稳、可靠，因而在工程机械制动系得到了普及应用。

总之，液压技术几乎遍及工程机械的每个运动部件，达到了“无液不成机”的程度。

1.3.2 液力技术在工程机械上的应用

① 作为车辆的传动系统 装载机、推土机、平地机、叉车等工程车辆、内燃机车、重型卡车、军用车辆和商用车应用液力变矩器，均可获得优良性能。

② 用于工作机的调速 电厂的锅炉给水泵、锅炉送风机与引风机、钢厂转炉除尘风机、石油管道输油泵等设备采用调速型液力耦合器，可按工艺流程需要调节工作机转速，因而具有明显的节能效果；挖泥船及钻机的起重设备应用可调式液力变矩器，可满足提升和下放作业频繁交替、变速和操作简单的要求。

③ 用于大惯量设备的启动 带式输送机、刮板输送机、球磨机、破碎机、塔式起重机等大惯量设备启动困难，需要选用较大容量电机，且对电网有冲击。应用限矩型液力耦合器可使电机空载起步，实现软启动，即缓慢启动负载，从而降低电机容量，提高运行效率和电机功率因数，使设备顺利启动与运行，并具有节能效果。

④ 对设备的过载保护 刮板输送机、带式输送机等设备应用限矩型液力耦合器，在过载时可以保护设备不受损坏。工程机械的载荷变化很大，常常过载，液力传动可防止过载，使传动系统零部件寿命大大提高。

⑤ 多动力的并车传动 在船舶、钻机及其他机械中采用几个动力机驱动同一工作装置，应用液力传动使多机并车，实现动力机工作协调和功率平衡，并可顺序延时启动，降低启动冲击载荷和电流。

⑥ 用于反转方向 要使工作机正、反转换向，可用液力传动来实现，如采用液力自动换挡变速器。

⑦ 用于车辆和设备的减速制动 液力减速器是一种特殊的液力耦合器，在重型卡车、内燃机车、下运带式运输机有广泛的应用。液力变矩器的涡轮反制动性可控制重物的下放速度，在特种起重设备上有应用。

1.3.3 工程机械液压系统存在的主要问题

(1) 液压传动效率低

统计资料表明，液压传动工程机械的实际有效使用能仅有5%~7%。影响液压系统效率的因素很多，主要有液压元件工作中产生的能量损失（如泵和马达的能量损失，油流经阀

的流动损失等)；液压泵与负载运动特性不适而产生的匹配损失(如泵的压力与负载大小的不适合匹配, 泵的流量与负载运动的不适合匹配等)；液压系统设计不合理而产生的能量损失(取决于元件的数量和布局)。

长期以来, 人们一直围绕提高液压元件效率(如泵、马达、液压缸等)、减小管路和液压元件的压力损失及控制阀的节流损失、优化系统设计和匹配进行了大量的研究, 并利用了许多新技术和行之有效的措施来提高液压系统的效率。如在工程机械行走系采用静液传动系统, 由于该系统省掉了主回路中引起压力损失的节流阀、方向控制阀和平衡阀, 因而它是一种理想的节能系统, 但仅限于执行器为液压马达的闭式回路系统; 在开式回路(如工程机械工作装置等液压回路)中, 采用了恒功率控制变量泵; 负载传感技术和比例控制泵; 液压源的分合流技术; 压力控制技术; 能量回收技术(如合理使用蓄能器); 二次调节技术; 电子匹配节能技术等。

尽管以上技术和措施使工程机械液压系统效率有了明显提高, 但提高工程机械液压系统整体效率仍是今后人们研究的重要课题之一。

(2) 泄漏严重

液压系统泄漏不仅造成油液资源损失、环境污染、停机损失, 而且还使系统效率下降。据资料统计, 在工程机械所有故障中, 漏油(仅限于外漏)故障约占20%~30%, 其中液压缸漏油故障约占33%, 配管占23%, 液压装置占20%。

产生泄漏的主要部位除高压软管破损产生突发性漏油外, 主要发生在液压缸往复滑动面、泵外伸转动处、管接头部位等。产生泄漏的主要原因是工程机械作业过程中, 配管各部分经常承受发动机及泵旋转而引起的周期性振动以及外界负载对机器的冲击和振动, 由此引起管接头松动或疲劳破裂, 产生漏油; 此外, 工程机械恶劣的工作环境, 使得活塞杆经常暴露于粉尘、泥土、风雨、盐雾等, 造成液压缸密封表面过早磨损产生漏油。

目前, 工程机械液压系统防漏治漏方面, 除保证液压元件加工及安装质量、加强密封措施外, 根据机器各部位漏油的概率进行定期检查, 也是防漏治漏切实有效的手段。由于今后工程机械还会向大型、高压化发展, 高压化又会增加防漏治漏的难度, 因此防漏治漏仍是今后工程机械液压系统需要解决的主要问题之一。

(3) 噪声大

噪声作为一种污染已日益受到人们的重视。液压系统噪声分为流体噪声和机械噪声, 其中流体噪声占相当大的比例。流体噪声是由于油液的流速、压力的突然变化以及气穴等原因引起的。如液压泵的工作腔与吸压腔的转换等致使容腔内压力急剧变化引起的噪声; 溶解在液压油中的空气在系统压力低于空气分离压力时, 迅速大量分离形成气泡, 这些气泡遇到高压便被压破产生极强的液压冲击引起的噪声; 此外阀口喷射出的高压流体可产生高频噪声。

机械噪声主要是由于零件之间产生接触、撞击和振动引起的。如当液压泵、液压马达不平衡旋转时就会产生周期性的不平衡力, 引起转轴的弯曲振动, 产生噪声。这种振动传到油箱和管路还会发出很大的声响。

减小液压系统噪声的措施, 除在液压泵和液压阀, 油箱的安装面上设置防振胶垫外, 还可尽量用液压集成块代替管道以减小振动; 对于10Hz以下的低频噪声, 常用蓄能器来吸收; 高频噪声可通过增大管径和使用软管来吸收。此外, 用带有吸声材料的隔声罩将液压泵等噪声源罩起来也是一种有效的降噪方法。

目前, 人们正在研究采用液体过滤器对液压泵进行降噪的方法。然而, 伴随提高工程机械液压系统工作压力而引起的振动和噪声问题仍未能从根本上得以解决, 使得液压系统的功率密度很难进一步提高。

(4) 液压系统污染严重

据统计, 液压机械故障的 70%~80% 是液压系统造成的, 而液压系统的故障中有 70%~85% 是由于液压油不洁产生的。因此自 20 世纪 70 年代中期以来, 人们一直把降低工程机械液压系统污染, 提高系统可靠性作为一个主要研究课题。

工程机械液压系统的污染物分为装配污染物、入侵污染物和生成污染物 3 种。其中装配污染物可在厂家制造、装配与调试过程中得以控制; 而入侵污染物和生成污染物则主要产生于设备使用过程中, 它取决于工程机械的作业环境、维护和保养水平, 如液压元件运动副及变速箱摩擦片磨损、密封件老化损坏都会产生形状各异的污染物造成液压系统的污染; 此外, 由于工程机械长期工作在野外恶劣的环境中, 并且许多维修也在这种环境中进行, 使得环境中的泥砂、水、灰尘等侵入液压系统造成污染。因此生成污染物和侵入污染物是造成工程机械液压系统污染的主要原因。这种有形污染物对液压系统的损害是很严重的, 它不仅使泵、马达的滑动部分及阀运动副表面划伤、磨损 (产生新的污染物)、配合间隙增大, 加剧泄漏, 还会使阀体内的阻尼孔堵塞、过滤器失效, 引发故障。此外, 它还会加剧液压缸等执行器密封件的磨损, 使此泄漏加大、动作迟缓、功耗提高。

目前对污染物的控制主要从加强工程机械液压系统维护管理入手, 如定期更换过滤器和液压油, 彻底清洗系统的油管、油箱、过滤器等。虽然加强液压系统维护管理可在一定程度上有效地控制工程机械液压系统的污染, 然而发展新型耐磨材料和密封件、优化液压系统、减少生成物和侵入污染物, 仍有很多工作要做。

(5) 油中气泡

液压油中的气泡或泡沫又称为油的无形污染物, 它对液压系统的危害也是相当大的, 如它可使油液本身刚度下降、容积效率减小、系统可靠性降低; 油中气泡瞬间压缩还会使气泡温度急剧升高, 引起油温升高、加速油液氧化 (油温在 60℃ 以上时, 每升高 10℃, 其氧化速率成倍递增)、降低油的润滑性、加速密封件老化; 当系统因某种原因低于油中气泡析出压力时, 大量的微小细泡就会浮到油与液压元件内壁上, 并聚集成更大的气泡, 这些气泡遇到高压时, 气泡溃灭, 引起固体壁面剥蚀, 导致汽蚀, 并产生振动和噪声。

由于工程机械作业负载变化频繁、幅度很大, 并且经常受到外界冲击力的作用, 使液压系统压力频繁变化, 因此工程机械液压系统中气泡危害是不容忽视的。油液中的气体主要是通过油箱和泵的入口混入的, 如当油箱油面太低、泵吸入管口半露于油面或插入很浅时, 或泵出油管漏油、回油管口高于油箱油面时, 都会吸入大量空气形成气泡危害液压系统。

传统的方法是利用油箱进行气泡的去除。如使油箱水平截面大于油液深度; 设置隔板、进油口尽量设置远些、体积大些等。但这些措施效果较差, 而且还使装置整体结构变大 (使得油箱体积一般为泵 1min 输液量的 3~5 倍), 很不经济。近几年出现了几种强制式气泡去除器, 比传统去除效果有明显提高, 但仍不能令人满意。

1.3.4 工程机械液压和液力技术展望

(1) 液压驱动技术在工程机械中的地位仍是相当稳固的

① 液压传动所具有的其他传动形式无法相比的高的功率密度和便于实现直线运动是液压传动在工程机械中得以广泛应用的主要原因。据资料介绍, 液压执行器的功率重量比比电磁执行器要高出一个数量级; 液压马达开环速度刚度约为电动机的 5 倍; 一般工程机械工作压力均在 16MPa 以上, 而电机定子和转子材料磁饱和产生的表面承载能力仅为 116MPa; 此外由于工程机械工作装置等都是多缸来驱动的, 目前还没有可能用滚珠丝杠之类的电动执行器完全取代它们。