



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 液力传动

赵静一 王巍 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 液力传动

赵静一 王 巍 编著  
杨华勇 李久彤 主审



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书是作者在多年讲授本课程的基础上撰写完成的。本书注重贯彻学以致用、理论联系实际的原则，并力求反映出当代液力技术发展的新成果，重点介绍了液力传动的工作原理，主要液力元件，如液力偶合器、液力变矩器和液力机械传动装置的工作原理、工作特性、设计选用及常用种类。同时还注意实用性，介绍了液力传动系统的用油、使用维护、液力元件及系统实验的知识，并从开拓读者思路方面，介绍了与液力传动相关的复合传动方面的知识。希望本书所介绍的知识，能够易于读者掌握，并能够真正地指导实践，使读者可以进行液力传动装置的分析、选用和设计，并解决生产和使用中所遇到的实际问题。

本书可供高等学校机电类本科生使用，也可供高校教师、研究生及工矿企业技术人员阅读参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

液力传动/赵静一, 王巍编著. —北京: 机械工业出版社,  
2007. 5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 21505 - 9

I. 液… II. ①赵…②王… III. 液力传动 - 高等学校 -  
教材 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 070788 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 刘小慧 版式设计: 冉晓华 责任校对: 申春香

封面设计: 张 静 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 7 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13.25 印张 · 326 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 21505 - 9

定价: 20.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379715

封面防伪标均为盗版

# 前 言

液力传动是一种特点突出的流体传动系统，它与液压传动同属于液体传动，但在基本概念和工作原理上有着本质的不同。液力传动系统自身有着其他各类传动方式难以替代的工作特性和优势，因此越来越广泛地应用在石油化工、煤炭电力、铁路交通、冶金矿山、港口船舶、农业林业、机床汽车、水力轻工、起重运输、工程装备和军事装备等行业的许多工程技术领域中，取得了明显的经济效益和社会效益。随着科学技术的发展，液力传动与其他传动方式有机结合，不断出现新的元件或产品，也出现了复合传动的形式。

本书是根据“十一五”国家规划教材的教学大纲和教学改革的要求，在作者多年讲授本门课程的基础上撰写完成的。本书注重贯彻学以致用、理论联系实际的原则，并力求反映出当代液力技术发展的新成果，重点介绍了液力传动的工作原理，主要液力元件，如液力耦合器、液力变矩器和液力机械传动装置的工作原理、工作特性、设计选用及常用种类。同时还注意实用性，介绍了液力传动系统的用油、使用维护、液力元件及系统实验的知识，并从开拓读者思路方面，介绍了与液力传动相关的复合传动方面的知识。希望本书所介绍的知识，能够易于读者掌握，并能够真正地指导实践，使读者可以进行液力传动装置的分析、选用和设计，并解决生产和使用中所遇到的实际问题。

本书可供高等学校机电类本科生使用，也可供高校教师、研究生及工矿企业技术人员阅读参考。

本书由燕山大学赵静一教授和王巍老师编写。在本书的电子文档及相关电子图表录入和课件制作过程中，黄华贵博士、姚成玉博士、李侃博士、马玉良硕士、陈洪波硕士和我的部分研究生做了大量工作，在此表示感谢。

全书由浙江大学杨华勇教授和燕山大学李久彤教授主审，并提出了宝贵的修改意见。燕山大学的王益群教授对本书的初稿进行了审阅，对本书的撰写给予了大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。同时也向参考文献的作者们致谢。

书中存在的疏漏或不妥之处，敬请读者给予批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 常见传动技术的种类 .....	1
1.2 液力传动的发展与应用 .....	3
1.2.1 液力传动的发展历程与现状 .....	3
1.2.2 液力传动技术的主要应用领域 .....	6
1.3 液力传动的特点 .....	8
1.4 液力传动与液压传动的区别 .....	10
1.4.1 液压传动 .....	10
1.4.2 液力传动 .....	11
思考题 .....	11
<b>第 2 章 液力传动基础知识</b> .....	12
2.1 液力传动的基本概念、名词术语 .....	12
2.1.1 液力传动的定义和工作原理 .....	12
2.1.2 液力传动的名词术语 .....	14
2.2 液力传动的流体力学基础 .....	15
2.2.1 液体在叶轮中运动的几点假设 .....	15
2.2.2 液流速度三角形 .....	15
2.2.3 伯努利方程 .....	17
2.2.4 欧拉方程 .....	18
2.2.5 动量矩方程 .....	19
2.2.6 相似原理 .....	20
2.2.7 液力传动的各种损失 .....	23
思考题 .....	31
<b>第 3 章 液力偶合器</b> .....	33
3.1 液力偶合器的结构组成 .....	33
3.2 液力偶合器的工作原理 .....	34
3.2.1 液力偶合器的基本工作过程 .....	34
3.2.2 速度三角形 .....	34
3.2.3 力矩关系 .....	36

3.2.4 耦合器的流量 .....	37
3.3 液力耦合器的特性 .....	38
3.3.1 耦合器的外特性 .....	38
3.3.2 耦合器的原始特性 .....	39
3.3.3 耦合器的全特性 .....	41
3.3.4 耦合器的通用特性 .....	41
3.3.5 耦合器的透穿性能 .....	42
3.3.6 特性换算——相似设计原则 .....	42
3.3.7 部分充液特性 .....	42
3.3.8 耦合器的特性评价 .....	44
3.4 液力耦合器的分类、结构和特点 .....	45
3.4.1 普通型液力耦合器 .....	45
3.4.2 牵引型液力耦合器 .....	45
3.4.3 安全型液力耦合器 .....	48
3.4.4 调速型液力耦合器 .....	51
3.4.5 液力制动器 .....	55
3.5 液力耦合器与动力机的共同工作 .....	56
3.5.1 常用的动力机特性 .....	56
3.5.2 负载的分类 .....	58
3.5.3 耦合器与内燃机的共同工作 .....	58
3.5.4 耦合器与异步电动机的共同工作 .....	62
3.6 液力耦合器的应用、选择与设计 .....	63
3.6.1 液力耦合器的主要优点 .....	63
3.6.2 液力耦合器的应用 .....	63
3.6.3 液力耦合器的选择 .....	63
3.6.4 液力耦合器的设计 .....	69
思考题 .....	70
<b>第4章 液力变矩器 .....</b>	<b>72</b>
4.1 液力变矩器的工作原理 .....	72
4.2 液力变矩器的特性与评价标准 .....	73
4.2.1 变矩器的外特性 .....	73
4.2.2 变矩器的原始特性 .....	74
4.2.3 变矩器的全特性 .....	76
4.2.4 变矩器的输入特性 .....	78
4.2.5 变矩器的动态特性 .....	78
4.2.6 变矩器的特性评价 .....	82
4.3 液力变矩器的分类、结构和特点 .....	87
4.3.1 正转型和反转型液力变矩器 .....	87

4.3.2	单级单相液力变矩器	89
4.3.3	多级液力变矩器	90
4.3.4	多相液力变矩器	91
4.3.5	具有不同型式涡轮的液力变矩器	93
4.3.6	闭锁式液力变矩器	96
4.3.7	可调型液力变矩器	97
4.4	液力变矩器与动力机的匹配	99
4.4.1	动力机的速度特性和实用外特性（净输出特性）	100
4.4.2	液力变矩器与动力机的共同工作	102
4.4.3	液力变矩器透穿性能对共同工作范围及输出特性的影响	103
4.4.4	液力变矩器与动力机的匹配	105
4.5	液力变矩器的尺寸选择	106
4.6	液力变矩器的常用设计方法	109
4.6.1	相似设计法	109
4.6.2	反求设计法	110
4.7	液力变矩器的补偿冷却系统	111
	思考题	115
<b>第5章</b>	<b>液力机械传动装置</b>	<b>116</b>
5.1	液力机械传动的类型与特点	116
5.1.1	液力机械传动的类型	116
5.1.2	液力机械传动的应用与特点	118
5.2	行星齿轮机构的传动常识	119
5.3	外分流液力机械传动	121
5.4	内分流液力机械传动	123
5.4.1	强制导轮旋转型的内分流液力机械变矩器	124
5.4.2	多涡轮的内分流液力机械变矩器	125
5.4.3	复合分流的液力机械变矩器	126
5.5	自动变速器	128
5.5.1	自动变速器的结构与工作原理	128
5.5.2	自动变速器使用的注意事项	132
5.5.3	自动变速器车辆的特点	133
	思考题	135
<b>第6章</b>	<b>液力传动工作油</b>	<b>136</b>
6.1	液力传动工作油的发展与现状	136
6.1.1	国外变矩器专用油的发展概况	136
6.1.2	国内变矩器专用油的发展概况	137
6.2	液力传动工作油的性能分析	138

6.3 液力传动工作油的产品介绍 .....	140
6.4 液力传动工作油在工作中的注意事项 .....	142
6.4.1 变矩器专用油的选择 .....	142
6.4.2 液力传动工作油使用中的注意事项 .....	142
思考题 .....	143
<b>第7章 液力传动元件的使用与维护 .....</b>	<b>144</b>
7.1 预防性检查与维护 .....	144
7.1.1 经常检查和保持工作油洁净 .....	144
7.1.2 液力元件清洁度的测定 .....	145
7.1.3 检查液位和充液量 .....	146
7.1.4 油温的控制 .....	147
7.1.5 保持通气孔的清洁 .....	147
7.1.6 检查导轮工作是否正常 .....	147
7.1.7 变矩器零速工况的检查 .....	147
7.1.8 检查变矩器与变速器传动系的运转情况 .....	148
7.1.9 检查发动机与变矩器的同轴度 .....	148
7.1.10 检查油封泄油管 .....	148
7.2 防护与存放 .....	148
7.3 常见故障及排除方法 .....	149
7.4 液力元件的维修与保养 .....	152
7.4.1 液力元件的拆装 .....	152
7.4.2 零件的清洗 .....	153
7.4.3 零件的检查 .....	153
7.4.4 零件磨损极限 .....	154
7.5 自动变速器的使用维护、检修与故障分析 .....	156
思考题 .....	158
<b>第8章 液力传动元件试验 .....</b>	<b>159</b>
8.1 液力元件试验的分类 .....	159
8.2 液力元件的性能试验 .....	161
8.2.1 液力变矩器的外特性试验 .....	161
8.2.2 液力变矩器的内特性试验 .....	165
8.2.3 液力耦合器的外特性试验 .....	169
8.3 液力元件的出厂试验 .....	172
8.3.1 液力耦合器的出厂试验 .....	172
8.3.2 液力变矩器的出厂试验 .....	175
8.3.3 车用液力减速器制动性能试验 .....	176
8.3.4 自动变速器试验台及其改进 .....	178



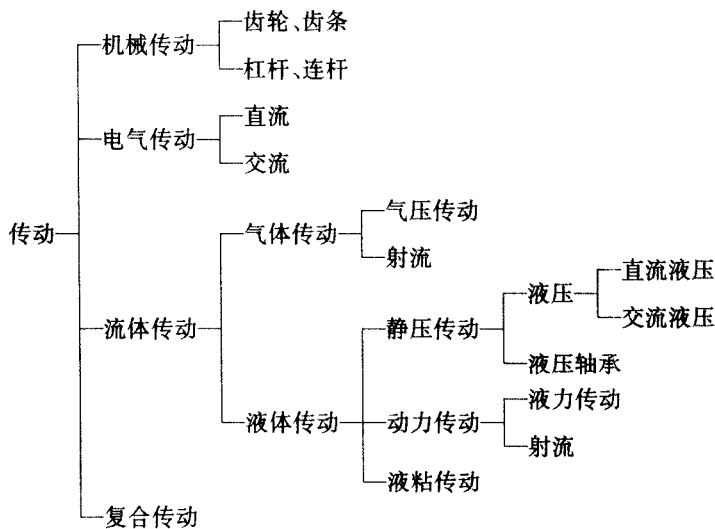
8.3.5 液力机械传动变速器总成检测试验 .....	180
8.4 现代设计及测试方法在液力传动实验中的应用 .....	182
8.4.1 现代设计及测试方法在液力传动实验中的应用 .....	183
8.4.2 结合虚拟仪器技术的全液压液力变矩器试验台 .....	183
思考题 .....	186
<b>第9章 与液力传动相关的复合传动形式 .....</b>	<b>187</b>
9.1 机械-液力复合传动 .....	187
9.2 机械-液力-液压复合传动 .....	188
9.3 液力-液体粘性复合传动 .....	190
9.4 液力-液压-电子复合传动 .....	192
9.5 液力传动与二次调节静液传动的复合传动 .....	193
思考题 .....	194
<b>附录 液力传动相关标准 .....</b>	<b>195</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>202</b>

# 第 1 章 绪 论

任何机器完成其指定动作时，除了执行机构和动力机构外，还必须有能量传递和转换装置——传动机构，以及一些辅助机构。完成同一个指定动作，可以有不同的传动机构和传动介质形式，但是完成动作的品质指标是不同的，构成机器的成本也是不同的。液力传动就是众多传动技术中具有突出特点的一种液体传动技术。

## 1.1 常见传动技术的种类

传动技术，是指能够使物体按照指定动作规律运动起来的技术。通常是通过传动装置（Power Transmission Engineering）来实现的。按照工作介质不同，传动技术种类可分为：



(1) 机械传动 作为最早出现的传动形式，它是一切传动的基础。其速比准确，使用可靠，传动效率高，而且通过组合机构，能获得各种复杂的运动轨迹，得到各种各样的速度特性。

在需要转速和力矩输出的场合，像齿轮传动等纯机械传动的发动机平均负荷系数低，因此一般只能进行有级变速，并且布局方式受到限制。但由于其具有在稳态传动效率高和制造成本低方面的优势，在调速范围比较小的通用客货汽车和对经济性要求苛刻、作业速度恒定的农用拖拉机领域迄今仍然占据着霸主地位。

驱动传动系统工作的动力除人力以外还有蒸汽机、工业汽轮机、汽油机、柴油机、燃气轮机、电动机等，在这些动力源中，一般广泛使用的是电力。

(2) 电气传动 现在有直流传动和交流传动两种传动形式，电能不仅用作动力，也宜

用作控制,适合控制要求复杂的场合。行走机械中的电力传动是由内燃机驱动发电机,产生电能使电动机驱动车辆行走部分运动,通过电子调节系统调节电动机轴的转速和转向,具有调速范围广,输入元件(发电机)、输出元件(电动机)及控制装置可分置安装等优点。电力传动最早用于柴油机电动船舶和内燃机车领域,后又推广到大吨位矿用载重汽车和某些大型工程机械上,近年来又出现了柴油机电力传动的叉车和牵引车等中小型起重运输车辆。但基于技术和经济性等方面的一些原因,适用于行走机械的大功率电气元件还远没有像固定设备应用得那样普及,电力传动对于大多数行走机械还仅是“未来的技术”。

(3) 流体传动 可以分为气体传动和液体传动,有各自的工作特点和应用领域。由于流体传动的种类比较多,这里不介绍射流、静压轴承等技术,只简单将气压传动、液压传动、液粘传动和液力传动的不同作一下介绍。

气压传动适用于恶劣的工况,在高温、易燃、潮湿、多尘、强磁、强振、辐射、腐蚀、易爆炸等工作环境下,油压、电气、电子机构完全不能应用或不太适合时,气动机构就成了唯一的可行机构,而且不污染空气、成本低。

液压传动输出力大,且功率密度大,结构紧凑,重量轻,能无级变速,调速范围大,速度稳定性好。液压系统的起动、停车、制动、反向性能好。

液粘传动是基于牛顿内摩擦定律,以液体的粘性或油膜剪切来传递动力,是流体传动中的一门新兴学科。可以实现输出转速的无级调节,自动控制,防止过载,稳定精度高。

液力传动以液体为工作介质,液体与装在输入轴、输出轴、壳体上的各叶轮相互作用,产生动量矩的变化,从而达到传递能量的目的。叶轮将动力机(内燃机、电动机、涡轮机等)输入的转速、力矩加以转换,经输出轴带动机器的工作部分。

液力传动与靠液体压力能来传递能量的液压传动在原理、结构和性能上都有很大差别。液力传动的输入轴与输出轴之间只靠液体为工作介质联系,构件间不直接接触,是一种非刚性传动。液力传动的优点是:能吸收冲击和振动,过载保护性好,甚至在输出轴卡住时动力机仍能运转而不受损伤,带载荷起动容易,能实现自动变速和无级调速等。因此它能提高整个传动装置的动力性能。

(4) 复合传动 在对各类传动深入研究的基础上,从总体上对比分析研究各类传动的本质特征,并使其扬长避短、优势互补、有机匹配地用于机器的多种传动结合的新的传动形式。它是从横向上研究各种传动技术合理匹配和应用的科学。

实际上在流体传动与控制领域内已经常常采用气-液传动、机-液传动、电-液传动或机、电、液、气等传动相结合的复合传动形式。近年来,流体传动技术借助和移植了电子技术、计算机技术、自动控制技术以及新材料和新工艺等后取得了显著成果。尤其是电子、IT技术和流体传动技术的相互融合,产生了多种复合传动形式,更使其提高了与电气传动的竞争能力,取得新的活力。

目前由于科学技术的迅猛发展,已能实现机、电、液、气、磁、声、光等各种科学技术的相互交叉、渗透、优势互补、有机组合、合理匹配,使设计对象达到整体综合优化,从而创造出全新的技术综合体——复合传动的元件、新机构、新机器。

本书根据液力传动的发展及其应用情况,介绍液力传动的工作原理和性能特点、液力元件的构造形式和设计计算、液力元件与原动机的匹配、液力元件的使用维护及故障排除、液力传动油的使用要求、液力元件的实验和与液力传动相关的复合传动等方面的基础知识。

## 1.2 液力传动的发展与应用

### 1.2.1 液力传动的发展历程与现状

液力传动已有上百年的发展历史。1902年,德国工程师盖尔曼·费丁格尔在研究船舶内燃机与螺旋桨间的传动时发现,水力机械中的涡轮机有和电动机相类似的驱动特性,只要用柴油机带动一个离心泵,向涡轮机提供具有一定压力的液流,而且能够把在涡轮中工作完毕后的液流引回到泵的进口处,使液流循环工作,这套系统就可用作船舶或内燃机车的动力驱动系统。根据这一原理,把涡轮和泵轮组合在一起,二者之间没有机械连接而只是通过液流循环来相互作用,先后发明了液力变矩器和液力偶合器,并把采用这种“软”连接方式而设计的传动系统称作液力传动。

液力传动有两种主要类型:液力偶合器传动和液力变矩器传动,通常用于机械设备的主传动系统,与发动机配合工作,达到改善和保护机器性能的目的。液力偶合器是一种非刚性联轴器,液力变矩器实质上是一种力矩变换器。它们所传递的功率大小与输入轴转速的三次方、叶轮尺寸的五次方成正比。传动效率在额定工况附近较高:偶合器为96%~98.5%,变矩器为85%~92%。偏离额定工况时效率有较大的下降。根据使用场合的要求,液力传动可以是单独使用的液力变矩器或液力偶合器,也可以与齿轮变速器联合使用,或与具有功率分流的行星齿轮差速器联合使用。与行星齿轮差速器联合组成的常称为液力机械传动。

按投入使用的液力元件的数目多少,液力传动装置可以分为三种型式:纯液力元件传动装置、单液力元件传动装置和多液力元件传动装置。在动力机和工作机之间只有一个液力元件的称为纯液力元件传动装置,常用于风机和水泵的调速。在动力机和工作机之间除一个液力元件外,还辅以齿轮传动的称为单液力元件传动装置,常用于运输车辆和工程机械。在动力机和工作机之间采用两个以上液力元件交替工作,并辅以齿轮传动的称为多液力元件传动装置,常用于内燃机车。

液力传动装置的整体性能跟它与动力机的匹配情况有关,若匹配不当便不能获得良好的传动性能。因此,应对总体动力性能和经济性能进行分析计算,在此基础上设计整个液力传动装置。为了构成一个完整的液力传动装置,还需要配备相应的供油、冷却和操作控制系统。

#### 1. 液力传动在国际上的发展情况

从液力传动技术出现时,液力变矩器就早于液力偶合器被用于轮船、内燃机车、坦克和装甲运输车等的传动系统中。1926年在别克小轿车上开始使用液力机械传动的变速器。1938年美国克莱斯勒汽车公司采用了液力偶合器,并在1939年首先成功地研制了由液力偶合器和行星齿轮变速器组成的四档液力变速器,并装于该公司生产的轿车 Oldsmobile 上。该变速器被认为是自动变速器的原始形式,其结构特点是液力传动部件采用液力偶合器,机械变速部分采用行星齿轮。这种形式,虽然结构简单、成本低,但液力传动部分只能起到联轴节的作用,不能改变力矩,而传动力矩的改变则完全由行星齿轮机构来完成。第二次世界大战期间,美国将液力变矩器应用在坦克及工程车辆上,以提高其军事装备的技术性能,同时在石油机械、矿山机械中应用液力技术,实现节能,提高了产品的可靠性,并且形成了液力

元件的产品系列。1950年美国福特汽车公司成功研制了装有液力变矩器的三档液力自动变速器，从此轿车用的液力自动变速器进入了成熟期。

1977年后，日本丰田汽车公司成功研制了具有超速档的液力自动变速器。该变速器采用三元件液力变矩器与多档行星齿轮相组合的结构，不但提高了变速器的变矩比，而且使换挡圆滑，传动效率也更高。

液力自动变速器行星齿轮机构的档数和速比范围，随着汽车的高速比、低油耗和低噪声等要求的不断提高而有增加的倾向，1977年丰田公司开发的四档液力自动变速器和1989年日产汽车公司开发的五档液力自动变速器都已装车使用。这两种变速器都是在原三档和四档液力自动变速器的基础上，加装一组行星变速齿轮机构而形成的。日本小松公司等将液力变矩器应用在大功率推土机和装载机等工程机械上，形成液力元件的标准生产系列。1983年，日产汽车公司成功研制了四档液力自动变速器用的行星齿轮机构，其最大特点是结构紧凑，从而为液力自动变速器的多档化提供了条件。

液力变矩器可增大起步力矩，降低变速时传动系冲击，对发动机曲轴的扭振具有隔止作用。但由于其泵轮与涡轮之间存在转速差，使其传动效率随之下降，因此常采用锁止机构，使泵轮和涡轮在一定工况下连接起来。这样，发动机的动力便可直接传给变速器的行星机构，从而提高了传动效率。机械式锁止方式最早在1939年美国通用汽车公司生产的Hydra-matic上使用过，后来在第二次世界大战期间在舰船、坦克等液力传动装置上不断完善其功能。1977年，美国克莱斯勒汽车公司在变矩器上装用由液力控制的带减振器的离合器，使锁止装置进入了成熟期。

对于多档的液力自动变速器，通常仅在最高档位时使锁止离合器结合，后来，为了减少滑转损失，1982年起在其他档位上也开始使用。由于在变速过程中进行锁止会产生较大的冲击，故需要在变速时暂将其解除，而在变速后再进行锁止，即换挡前使离合器自动分离，换挡后使离合器自动结合。

1969年，法国雷诺汽车公司采用了电控液力自动变速器，其控制方式是由计算机依据检测到的车辆速度和节气门开度的电信号，来判断变速的时机，并确定变速程序。进入20世纪80年代，随着电子技术的发展和计算机的进一步微型化，变速器的控制功能和可靠性得到提高，而且成本也大为降低。

据1973年统计，在世界各国生产的载重量为30~80t范围内的重型汽车上，采用液力传动的车型占95%以上。1975年西欧及美国的商用汽车，使用液力自动变速器的在全部商用车中所占比例如表1-1所示。

近几年在美国的轿车中，把液力自动变速器用作标准装备，其比例是比较高的。美国通用公司在1979年投入市场的紧凑型轿车X-CAR，在其中四个分公司所生产的40种牌号的轿车中，有21种采用液力自动变速器作为标准装备；1982年、1983年两年美国三大汽车公司液力自动变速器的装车率见表1-2。

表 1-1 1975 年的数据

车型	自动变速器所占比例	
	西欧	美国
重型牵引车	80%	80%
越野车	80%	80%
市内客车	95%	100%
大型公共汽车	90%	100%

表 1-2 美国三大汽车公司液力自动变速器的装车率

公司	1982年	1983年
通用	91.7%	93.9%
福特	71.5%	74.4%
克莱斯勒	83.6%	86.4%

据统计,在美国20世纪90年代的新车型上,作为标准件的自动变速器装车率已经超过90%,日本为73%,欧洲为25%。1991年,美国通用汽车公司在前轮驱动的轿车上装用4T60E型电控液力自动变速器。同年,福特汽车公司也在两种前轮驱动的轿车上装用了AX-ODE型四档电控液力自动变速器,其电子控制装置并入福特EC-IT型发动机的中央控制系统,此方式以各种传感器采集车速、节气门开度、进气管压力等多种电信号并送入微处理器,经比较计算后,选择最佳换档时刻和应换入的档位。近几年才不但在高档轿车上应用,还广泛应用于工程机械、内燃机车和装甲车辆上,显示出强大的优越性与竞争力。

当前,液力耦合器的最高输出速度为6500r/min,最小功率0.3kW,最大功率7100kW。液力耦合器的发展趋势是高转速、大功率。国际上液力耦合器以德国福依特公司最为著名,有资料称已有转速20000r/min、功率达55000kW的产品。液力变矩器的主要生产厂家有美国通用公司、日本小松公司、白俄罗斯的别拉斯公司、德国ZF公司等。其中,通用公司下属的Allison公司是世界变矩器行业的巨头,其产品在市场占有率极高,广泛应用于石油、化工、机械、建筑、汽车等行业的传动装置中,与之相适应的变矩器油也与传动的PTF传动油不同,拥有更加苛刻的要求,主要产品也以美孚、加德士等国外品牌为主。目前专门为石油天然气工业所设计钻井机械用液力变矩器能提供一个很高的增值力矩,从柴油发动机或电动机传递动力最高达2610kW(3500hp)。

## 2. 液力传动在国内的发展情况

在我国,应用液力传动装置始于20世纪50年代,当时成功地研制了“红旗”高级轿车液力自动变速器。同时,在“东风号”内燃机车上应用液力传动系统。在20世纪70年代,已将液力传动应用于一系列的重型矿用汽车上,如SH380型32t矿用自卸车、CA390型60t矿用自卸车等,又逐步应用到装载机、推土机、挖掘机等建筑机械上。20世纪70年代末期,天津工程机械研究所自行设计和制造了适用于建筑、工程机械的YJ系列变矩器,并通过了技术鉴定。

液力行业1978年开始引进国外的先进技术并得到较快的发展。蚌埠液力机械厂在20世纪80年代从日本引进了冲焊变矩器生产技术,因找不到汽车用户,只能为工程机械配套;大连液力机械总厂曾与吉林工业大学合作,研制了城市公共汽车用GYB-100型液力机械变速器并进行了台架试验和装车工业性运行,测试了整车性能,最高车速76km/h,最小稳定车速4.6km/h,最大爬坡度20%,车速为50km/h时的滑行距离613.6m,原地起步加速至60km/h所需时间为29.6s,最低油耗26L/100km。在以上的整车性能参数中,最小稳定车速、爬坡度和加速时间均优于原机械传动车辆,而燃油经济性和其他性能则与原车接近。

浙江临海机械厂与马鞍山矿山设计院曾于1991年联合研制了YJ470液力变矩器,用于矿用自卸汽车的传动上,各项性能均达到并超过了国外别拉斯-540(A)样机和SH380-L11型变矩器的标准。总之,我国汽车液力自动变速器的开发仍处于原始起步阶段。

由西安7103厂民品所成立的西安航天高科技股份公司早在20世纪90年代初就投资兴建了一条冲焊变矩器生产线,是国内拥有独立知识产权的钣金冲焊型轿车液力变矩器的制造商,为工程机械配套的钣金冲焊型液力变矩器在国内市场占有率为45%左右。1998年,上海离合器厂引进别克轿车技术,引进一条为液力自动变速器配套的冲压焊接型液力变矩器生产线,年生产能力为12万台。因受别克轿车产量限制,目前远没有达到设计生产能力。

现在从事液力元件生产的主要厂家有70多个,主要产品均是按已通过的ISO9001质量

认证体系的管理模式生产,如限矩型液力偶合器(YOX系列)、调速型液力偶合器(YOT系列、GST、GWT系列等)、液力偶合器传动装置、液力变矩器(YJ系列)、冲焊型液力变矩器(YJH系列)、液力变矩器传动装置(YJB系列)以及液粘离合器,其中液力变矩器年产约3万余台,主要为工程机械配套,如山推股份有限公司液力变矩器厂为各种工程机械(推土机、装载机)、石油及港口机械配套的液力变矩器已形成3大系列、20多个品种、10个规格(包括YJ280系列、YJSW315、YJ315X系列、YJ320、YJ355、YJ365、YJ375、YJ380、YJ409等)。目前,液力偶合器年产约7万台,主要为煤矿、冶金、电力、石油、化工、矿山等行业配套;生产车用液力元件的专业厂很少且产量较低。

为了打破国外跨国公司在此领域内的技术封锁与垄断,同时也为了满足自身发展的需求,2002年10月,吉利自动变速器项目上马,前后耗时3年,经过无数次试验,共掌握了29219个标志性数据。在研发过程中,吉利投入上亿元,自主建起了具有3万台生产能力的装配生产线,并形成了零部件100%国内配套的产业链。吉利自主研发的自动变速器科研成果于2006年3月通过了我国有关方面专家组的鉴定,包括我国著名变速器权威、吉林大学博士生导师葛安林在内的专家给予了高度评价,称吉利变速器实现了我国在自主开发并批量生产自动变速器方面的重大突破,走出了我国汽车工业自主创新的成功之路。吉利自动变速器的研发成功,打破了国外的技术封锁和市场垄断,填补了国内空白,达到国际同类产品的先进水平,打破了长期以来国内自动档轿车市场几乎完全被合资产品把持的局面,随着民族品牌吉利多款自动档车型的上市,国内自动档轿车的价格体系将出现较大的变化。

### 1.2.2 液力传动技术的主要应用领域

液力传动主要工作构件与工作轮之间没有摩擦副,比较容易实现传动机械的高使用寿命和高的可靠性工作,而且液力传动系统结构简单、维修方便。目前,液力传动在许多工业部门得到广泛应用,其应用的领域主要在以下几方面:

(1) 内燃机车 当今世界范围内,各种应用场合中的各种用途的内燃机车上采用液力传动装置是内燃机车驱动的一个主要趋势。与电力传动相比,液力传动不过是后起之秀。但它在与电气传动的竞争中,异军突起,很快赢得了重要位置。液力传动装置的优点是不用电动机,可以节省大量昂贵的铜,同时它的重量也轻些。这使得机车降低了造价也减轻了重量,即在同样的机车重量下,它的机车功率一般都比电气传动机车大。它满足了铁路运输相应的要求:最合理的购置费用,较高的运用完好率,低的运营费用。

我国青藏铁路处于高海拔和多雷电地区,恶劣的气象条件对电器、电子、电机产品的工作可靠性有不容忽视的影响;而液力传动的部件是密闭式的,无论风沙雨雪对它的工作都不产生什么坏的影响,所以采用液力传动技术则可基本避开这些问题的影响。另外,液力传动装置的可靠性高,维护工作简单,修理费也少,虽然液力传动要比电气传动的效率低一些,但可适应青藏铁路特殊区段牵引的需要,满足其可靠性要求。当机车起动和低速运行时,变矩器中的涡轮转速很低,工作油对涡轮叶片的压力就很大,从而满足机车起动时牵引力大的需求;当涡轮的转速随着机车运行速度的提高而加快时,工作油对涡轮叶片的压力也逐渐减小,正好满足机车高速运行时对牵引力要小的需求。由此可见,柴油机发出的大小不变的力矩,经过变矩器就能变成满足列车牵引要求的机车牵引力。当机车需要惰力运行或进行制动时,只要将变矩器中的工作油排出到油箱,使泵轮和涡轮之间失去联系,柴油机的功率就不

会传给机车的动轮了,从而保护柴油机不受到反传负载的影响。

液力变矩器与内燃机车匹配应用,其转速范围为 2000 ~ 3000r/min,功率达 2205kW (3000hp)。

(2) 各类大中型施工机械 由于液力传动具有其他传动所不能比拟的特性,随着传动元件的发展和逐步完善,液力传动正广泛应用于建筑机械、工程机械、矿山机械、石油机械、起重运输机械及其他有关施工机械上。工程机械上应用液力传动比较晚,但发展很快。目前在装载机、铲运机、平地机、推土机等公路施工机械上都已广泛应用了液力传动和液力机械传动。

(3) 各类汽车 液力传动已在所有的高级轿车、公共汽车和载重汽车上获得应用。采用液力自动变速器可取消离合器踏板和变速杆,大大简化了驾驶员的操作,降低了劳动强度。由于它设置了一个自动换档区范围的选档手柄,所以在一般情况下,即使在城市交通拥挤的路上行驶,都不需要任何换档操作动作,而且甚至当遇到红灯需要暂停时,自动控制系统换档也可以不移动手柄。驾驶员控制车速只需要控制好节气门踏板即可,必要时也可用制动踏板予以配合,如因路况变化需要移动选档手柄时,操作也十分简单省力,因而大大降低了对驾驶人员操作水平的要求,对女性和老人尤为适宜。同时由于驾驶操作简单化,驾驶员可集中精力观察路况,掌握好运行方向和速度,因而能较大地提高运行安全性和乘坐舒适性。

液力传动主要用于发动机后底盘传动前边段传动,其组成形式见图 1-1,相当于把机械传动中的机械式离合器用液力偶合器或液力变矩器代替,即在发动机与工作机构之间装上液力传动元件(液力偶合器或液力变矩器),其他基本不变。

目前我国开发制造的飞机牵引车的传动系统也采用液力传动方式。

(4) 各类转动设备 液力传动可以大量节约能量,特别是调速型液力偶合器,已经成功应用在数百种机械设备上,可以节约电能 25% ~ 33%,已被国家列为第三批节能产品,广泛应用于钻采机械、起重运输机械、冶金设备、带式输送机、刮板输送机、球磨机、车床、风机、压缩机、水泵和油泵等转动设备的传动中,提高传动品质并节约能源。

(5) 坦克及装甲车辆 对于坦克和装甲车辆来说,液力传动装置不仅仅安置在发动机与履带推进装置之间,使坦克前进、倒驶和停车,在发动机力矩、转速不变时,增大主动轮的力矩和转速的变化范围,以改变坦克运动时的牵引力,同时还要改善坦克的转向操作,保证减速和制动。德国“豹”2 主战坦克采用了液力液压复合式转向机构(图 1-2),在转向时,液力助力偶合器和液压机构联合传递转向功率,因此用较小功率的静液元件可以实现重型车辆的无级静液转向。其最小规定转向半径:一档为 7m,二档为 13m,三档为 18m,四档为 27m。在空档时,可实现中心转向,转一周需时 10s。随着坦克重量的增加和速度的提高,制动越来越困难。坦克仅依靠机械制动器已不能满足使用要求,为此采用新型的液力制动器适应坦克的使用要求:速度越高,制动力矩越大;车速越低,制动力矩越小。目前,“豹”2 坦克已采用了液力和机械的综合制动

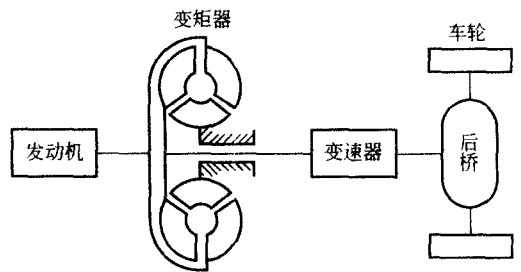


图 1-1 液力传动应用示意图



器，具有制动力矩大、反应灵敏和无磨损的持续制动等特点。其制动器由脚制动器和手制动器组成，脚制动器为工作制动器，有一个液力制动器和两个机械制动器。液力制动器消耗大部分功率，在车辆高速行驶的过程中起主要作用，可持续制动。机械制动器是油冷片式摩擦制动器。在坦克低速行驶过程中，当液力制动器的制动力矩随着转速的降低而减小时，机械制动器便自动地辅助增大力矩。驾驶员通过脚踏板和液压系统来控制这两种制动器。手制动器由驾驶员用手操纵杆操纵，既可用作停车制动器，也可用作辅助制动器。

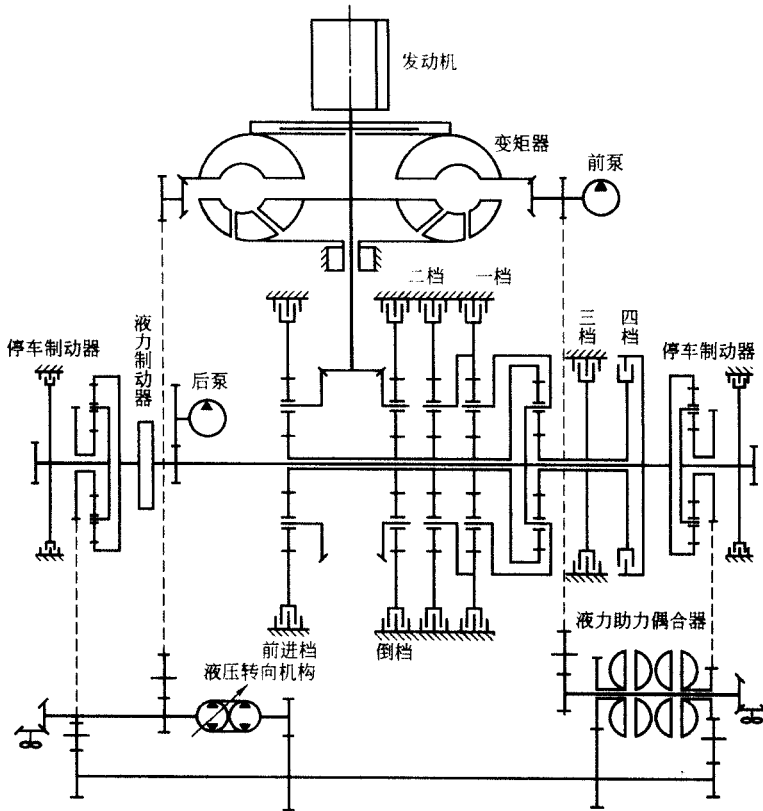


图 1-2 坦克液力传动系统图

(6) 船舶驱动及相关设备 作为最早应用液力传动的领域，不仅在各类船舶的动力驱动、锚定机械、舵机操作中液力技术获得了越来越多的应用，而且在船舶的起重设备、皮带传输设备和通风设备中也大量采用了液力传动装置。

### 1.3 液力传动的特点

液力传动之所以能得到这样广泛的应用，发展这样迅速，原因就是它具有以下主要特点：

(1) 自动适应性 液力变矩器的输出力矩能随外载荷的增加而自动增加。当外载荷突然增大，譬如遇到坡道或路障时，能自动增大牵引力，以克服增大的外载荷。同时，还能使