



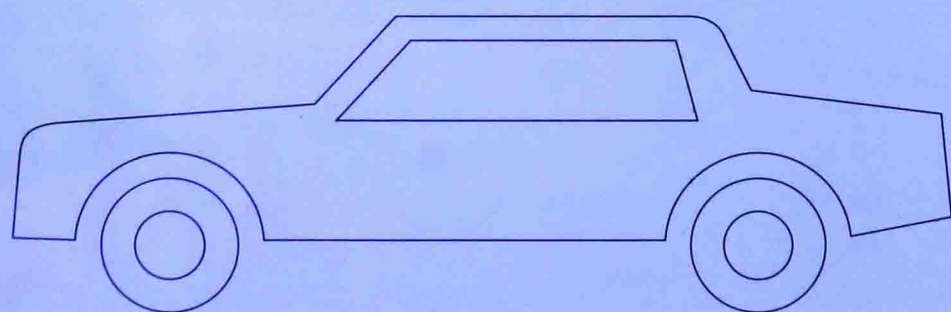
普通高等教育“十二五”规划教材

普通高等院校汽车工程类规划教材

液压与液力传动

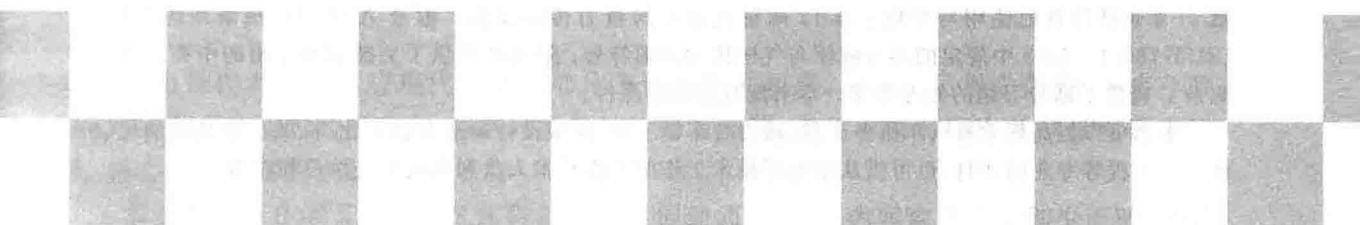
Hydraulic and Fluid Power Transmission

马恩 李素敏 等 编著



清华大学出版社

普通高等院校汽车工程类规划教材



液压与液力传动

Hydraulic and Fluid Power Transmission

马恩 李素敏 等 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

Brief introduction of contents

本书共 12 章和 3 个附录。第 1 章概述液压与气压传动和液力传动的工作原理、组成、图形符号、应用和特点,讲述液压传动工作介质的性质和选用等;第 2 章介绍液压与液力传动流体力学基础;第 3~6 章分别讲述动力元件、执行元件、控制元件和辅助元件;第 7 章讲述基本回路;第 8 章讲述典型液压与气压传动系统分析与设计;第 9、10 章分别讲述液力耦合器和液力变矩器的分类、结构特点、工作原理和应用;第 11 章讲述设备的使用与维修;第 12 章讲述液压与液力传动试验。附录 A 简要介绍最新国家标准 GB/T 786.1—2009 中规定的部分液压与气压传动图形符号;附录 B 提供了关键词和术语的中英文对照;附录 C 提供了部分习题的参考答案。本书配有多媒体课件。

本书可作为高等学校汽车服务工程、动力与车辆工程、机械设计制造及自动化、机械工程及自动化、机械电子工程等专业的教材,也可供从事液压技术工作的工程技术人员和研究人员学习和参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

液压与液力传动/马恩等编著. --北京:清华大学出版社,2015

普通高等院校汽车工程类规划教材

ISBN 978-7-302-38820-3

I. ①液… II. ①马… III. ①液压传动—高等学校—教材 ②液力传动—高等学校—教材 IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 293614 号

责任编辑:杨 倩 洪 英

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:22.75

字 数:554 千字

版 次:2015 年 4 月第 1 版

印 次:2015 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:45.00 元

产品编号:054861-01

前言

Foreword

本书是作者为了适应现代工业自动化飞速发展的要求,为了满足教学需要,在多年教学、科研和生产实践的基础上,总结同类教材的编写经验,引用本学科国内外的最新研究成果,精心组织编写而成的。

本书系统地介绍了液压与气压传动和液力传动的知识,在内容取舍上贯彻少而精、理论联系实际的原则,注重理论教学和实训教学密切结合。全书共 12 章和 3 个附录。第 1 章概述液压与气压传动和液力传动的工作原理、组成、图形符号、应用和特点,讲述液压传动工作介质的性质和选用等;第 2 章介绍液压与液力传动流体力学基础;第 3~6 章分别讲述动力元件、执行元件、控制元件和辅助元件;第 7 章讲述基本回路;第 8 章讲述典型液压与气压传动系统分析与设计;第 9、10 章分别讲述液力偶合器和液力变矩器的分类、结构特点、工作原理和应用;第 11 章讲述设备的使用与维修;第 12 章讲述液压与液力传动试验。每章都有本章指南、重点和难点课堂讨论、典型案例分析和小结、思考题和习题。附录 A 简要介绍最新国家标准 GB/T 786.1—2009 中规定的部分液压与气压传动图形符号;附录 B 提供了关键词和术语的中英文对照;附录 C 提供了部分习题的参考答案。书中主要内容有英文对照,以利于提高学生的国际交流能力。

本书可作为普通工科院校汽车服务工程、动力与车辆工程、机械设计制造及自动化、机械工程及自动化、机械电子工程等专业的教材,可供各类成人高校和参加自学考试的机械类学生参考,也可供从事液压技术工作的工程技术人员和研究人员学习和参考。

参加本书编写的有:南阳理工学院马恩教授(第 1、3、5、8、9、10 章),洛阳拖拉机研究所李素敏高级工程师(第 2 章、附录 B、附录 C),河南科技大学曹艳玲副教授(第 4 章),南阳理工学院李东如讲师(第 6 章、附录 A),南京工程学院高佩川教授(第 7 章),长春工程学院于雷副教授和宿迁学院唐友亮副教授(第 11 章),徐州工程学院张元越副教授和李清伟副教授(第 12 章)。全书由马恩教授完成英文翻译、统稿和修改定稿。

本书由河南科技大学博士生导师周志立教授主审。周志立教授对本书原稿进行了细致、详尽的审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限以及液压技术发展迅速,加之时间仓促,书中难免存在错误、疏漏和不足之处,恳请广大读者批评指正。

本书配有多媒体课件,如有需要请和作者联系,邮箱地址:maenmaen@163.com。

马 恩

2015 年 3 月

目 录

1 绪论	1
1.1 液压与气压传动和液力传动的工作原理及组成	2
1.1.1 液压传动的工作原理及组成	2
1.1.2 气压传动的工作原理及组成	5
1.1.3 液力传动的工作原理及结构形式	6
1.2 液压与气压传动的基本特征	8
1.3 液压与气压传动的图形符号表示	10
1.4 液压传动工作介质	10
1.4.1 液压传动工作介质的分类	10
1.4.2 液压传动工作介质的物理性质	11
1.4.3 液压传动系统对工作介质的主要性能要求	16
1.4.4 液压传动工作介质的选择	17
1.4.5 液压传动工作介质的使用	18
1.4.6 液压传动工作介质的污染与控制	19
1.5 液压与气压传动和液力技术在汽车上的应用及特点	25
1.6 液压传动与液力传动的区别	26
重点和难点课堂讨论	26
典型案例分析	26
小结	27
思考题和习题	27
2 液压与液力传动流体力学基础知识	29
2.1 液体静力学基础知识	29
2.1.1 液体静压力及特征	30
2.1.2 液体静力学基本方程	31
2.1.3 压力的表示方法及单位	32
2.1.4 帕斯卡原理	33
2.2 液体动力学基础知识	33
2.2.1 基本概念	33
2.2.2 连续性方程	36

2.2.3	伯努利方程	37
2.2.4	动量方程	41
2.2.5	欧拉方程	43
2.2.6	动量矩方程	45
2.3	液压与液力传动的各种损失	45
2.3.1	沿程压力损失	46
2.3.2	局部压力损失	49
2.3.3	管路系统总压力损失	50
2.3.4	液力传动的各种损失	50
2.4	液体流经小孔的流量	52
2.5	液体流经缝隙的流量	55
2.6	液压冲击	62
2.7	空穴现象	63
	重点和难点课堂讨论	64
	典型案例分析	64
	小结	67
	思考题和习题	67
3	动力元件	68
3.1	液压泵概述	68
3.1.1	液压泵的工作原理及特点	68
3.1.2	液压泵的主要性能参数	69
3.1.3	液压泵的分类	72
3.2	齿轮泵	72
3.2.1	齿轮泵的结构和工作原理	72
3.2.2	齿轮泵的排量 and 流量计算	74
3.2.3	齿轮泵存在的问题	75
3.2.4	高压齿轮泵的特点	76
3.2.5	内啮合齿轮泵	78
3.3	叶片泵	79
3.3.1	双作用叶片泵	79
3.3.2	单作用叶片泵	81
3.3.3	限压式变量叶片泵	83
3.4	柱塞泵	85
3.4.1	轴向柱塞泵	85
3.4.2	径向柱塞泵	90
3.5	各类液压泵的主要性能及应用	91
3.6	气源装置	91
	重点和难点课堂讨论	94

典型案例分析	94
小结	95
思考题和习题	95
4 执行元件	97
4.1 液压马达概述	97
4.1.1 液压马达的分类	97
4.1.2 液压马达的工作特点	98
4.1.3 液压马达的基本性能参数	98
4.2 高速液压马达	100
4.2.1 齿轮液压马达	100
4.2.2 叶片液压马达	100
4.2.3 轴向柱塞液压马达	101
4.3 低速液压马达	102
4.3.1 单作用曲轴连杆径向柱塞液压马达	102
4.3.2 多作用内曲线径向柱塞液压马达	104
4.4 液压缸	105
4.4.1 液压缸的分类及工作原理	105
4.4.2 液压缸的组成	110
4.4.3 模拟控制液压缸	113
4.4.4 数字控制液压缸	114
4.5 气动执行元件	115
重点和难点课堂讨论	116
典型案例分析	116
小结	117
思考题和习题	117
5 控制元件	119
5.1 液压控制阀的分类	119
5.2 液压控制阀的基本性能参数	120
5.3 方向控制阀	121
5.3.1 单向阀	121
5.3.2 换向阀	122
5.4 压力控制阀	130
5.4.1 溢流阀	130
5.4.2 顺序阀	134
5.4.3 减压阀	136
5.4.4 压力继电器	139
5.5 流量控制阀	140

5.5.1 节流阀	140
5.5.2 调速阀	142
5.6 其他类型的液压控制阀	143
5.7 气动控制元件	156
5.8 气动逻辑元件	162
重点和难点课堂讨论	165
典型案例分析	166
小结	167
思考题和习题	167
6 辅助元件	170
6.1 密封件	170
6.1.1 密封件的分类	170
6.1.2 常用密封件的结构与性能	171
6.2 过滤器	175
6.2.1 过滤器的分类	175
6.2.2 过滤器的性能指标	178
6.2.3 过滤器的选用和安装	180
6.3 液压油箱及其附件	181
6.3.1 液压油箱的功能与类型	181
6.3.2 液压油箱设计时的注意事项	182
6.4 蓄能器	184
6.4.1 蓄能器的类型、结构和工作原理	184
6.4.2 蓄能器的用途	186
6.4.3 蓄能器的安装和使用	186
6.5 热交换器	187
6.5.1 冷却器	187
6.5.2 加热器	188
6.6 管件	189
6.6.1 管道	189
6.6.2 管接头	191
6.7 气动辅助元件	193
重点和难点课堂讨论	196
典型案例分析	196
小结	196
思考题和习题	197
7 基本回路	198
7.1 方向控制回路	198

7.1.1 换向回路	198
7.1.2 顺序运动回路	199
7.1.3 锁紧回路	200
7.1.4 浮动回路	201
7.1.5 多路换向阀控制回路	201
7.2 压力控制回路	202
7.2.1 调压回路	202
7.2.2 减压回路	204
7.2.3 增压回路	205
7.2.4 卸荷回路	206
7.2.5 保压回路	207
7.2.6 平衡回路	208
7.2.7 释压回路	209
7.3 速度控制回路	210
7.3.1 节流调速回路	211
7.3.2 容积调速回路	216
7.3.3 容积节流调速回路	221
7.3.4 快速运动回路	224
7.3.5 速度换接回路	224
7.3.6 同步运动回路	226
7.3.7 互不干扰回路	229
7.4 气动基本回路	231
7.4.1 气-液缸同步动作控制回路	231
7.4.2 连续往复运动回路	231
重点和难点课堂讨论	232
典型案例分析	232
小结	234
思考题和习题	234
8 典型液压与气压传动系统分析与设计	237
8.1 Q2-8 型汽车起重机液压传动系统分析	238
8.2 1m ³ 单斗全液压挖掘机液压传动系统分析	241
8.3 汽车动力转向液压系统分析	245
8.4 履带车辆的转向液压系统	247
8.5 汽车防滑液压控制系统分析	248
8.6 汽车电控液压悬架控制系统分析	249
8.7 汽车气压防抱死制动系统分析	250
8.8 液压传动系统的设计	251
8.8.1 液压传动系统设计要求及工况分析	251

8.8.2	确定液压传动系统主要性能参数	255
8.8.3	液压传动系统方案设计	257
8.8.4	液压元件的计算与选择	259
8.8.5	液压传动系统的性能验算	261
8.8.6	绘制工作图和编写技术文件	263
	重点和难点课堂讨论	264
	典型案例分析	264
	小结	276
	思考题和习题	276
9	液力耦合器	278
9.1	液力耦合器的分类	278
9.2	液力耦合器的结构特点和工作原理	279
9.2.1	液力耦合器的基本结构	279
9.2.2	液力耦合器的工作原理	280
9.3	液力耦合器的特性	280
9.4	液力耦合器与内燃机的共同工作	282
9.5	液力减速器	286
	重点和难点课堂讨论	288
	典型案例分析	288
	小结	289
	思考题和习题	289
10	液力变矩器	290
10.1	液力变矩器的分类	290
10.2	液力变矩器的基本结构和工作原理	291
10.2.1	液力变矩器的基本结构	291
10.2.2	液力变矩器的工作原理	292
10.3	液力变矩器泵轮、涡轮和导轮的工作特性	294
10.3.1	泵轮的工作特性	294
10.3.2	涡轮的工作特性	296
10.3.3	导轮的工作特性	299
10.3.4	液流在工作轮无叶片区段的流动特性	300
10.4	液力变矩器与发动机的共同工作	301
	重点和难点课堂讨论	303
	典型案例分析	303
	小结	304
	思考题和习题	304

11 设备的使用与维修	305
11.1 预防性检查与维护	305
11.2 常见故障与排除方法	308
11.3 维修与保养	317
重点和难点课堂讨论	318
典型案例分析	318
小结	319
思考题和习题	319
12 液压与液力传动试验	320
12.1 试验设备与仪器	320
12.2 液力变矩器和液力偶合器性能试验及方法	322
12.3 液力变矩器和液力偶合器性能试验数据分析	323
重点和难点课堂讨论	324
典型案例分析	324
小结	324
思考题和习题	325
附录 A 部分液压与气压传动图形符号	326
附录 B 液压与气压传动主要符号、关键词和术语中英文对照	331
B.1 主要符号中英文对照	331
B.2 关键词和术语中英文对照	332
附录 C 部分习题参考答案	341
参考文献	344

Contents

1 Introduction	1
1.1 Operating principles and components of hydraulic and pneumatic and fluid power transmission	2
1.1.1 Operating principles and components of hydraulic transmission	2
1.1.2 Operating principles and components of pneumatic transmission	5
1.1.3 Operating principles and structures of fluid power transmission	6
1.2 Features of hydraulic and pneumatic transmission	8
1.3 Diagram symbols of hydraulic and pneumatic transmission system	10
1.4 Hydraulic transmission operating medium	10
1.4.1 Classification of hydraulic transmission operating medium	10
1.4.2 Physical characteristics of hydraulic transmission operating medium	11
1.4.3 Main performance requirements of hydraulic transmission operating medium	16
1.4.4 Selection of hydraulic transmission operating medium	17
1.4.5 Application of hydraulic transmission operating medium	18
1.4.6 Pollution and control of hydraulic transmission operating medium	19
1.5 Application and characteristics of automobile hydraulic and pneumatic and fluid power transmission	25
1.6 Difference of hydraulic and fluid power transmission	26
Discussion for key knowledge points	26
Typical case analysis	26
Summary	27
Review questions	27
2 Hydraulic and fluid power transmission hydromechanics basic knowledge	29
2.1 Hydro-static mechanics basic knowledge	29

2.1.1	Pressure and characteristics in stationary liquids	30
2.1.2	Basic equation of hydro-static mechanics	31
2.1.3	Notation and unit of pressure	32
2.1.4	The principle of Pascal	33
2.2	Hydro-dynamics basic knowledge	33
2.2.1	Basic concepts	33
2.2.2	Flow continuity equation	36
2.2.3	Bernoulli's equation	37
2.2.4	Momentum equation	41
2.2.5	Euler equation	43
2.2.6	Momentum torque equation	45
2.3	Energy losses of hydraulic and fluid power transmission	45
2.3.1	Pressure losses at the pipes' surfaces and within the liquids	46
2.3.2	Pressure losses at a particular location	49
2.3.3	Total pressure losses in pipe-system	50
2.3.4	Losses of fluid power transmission	50
2.4	Flow of liquid moving through orifice	52
2.5	Flow of liquid moving through narrow clearance	55
2.6	Pressure shock	62
2.7	Cavitation	63
	Discussion for key knowledge points	64
	Typical case analysis	64
	Summary	67
	Review questions	67
3	Power components	68
3.1	Hydraulic pumps introduction	68
3.1.1	Operating principles and characteristics of hydraulic pumps	68
3.1.2	Main performance and parameters of hydraulic pumps	69
3.1.3	Classification of hydraulic pumps	72
3.2	Gear pumps	72
3.2.1	Structure and operating principles of external gear pumps	72
3.2.2	Displacement and flow equation of gear pumps	74
3.2.3	Problems existing in gear pumps	75
3.2.4	Characteristics of high pressure gear pumps	76
3.2.5	Internal gear pumps	78
3.3	Vane pumps	79
3.3.1	Double-acting vane pumps	79
3.3.2	Single-acting vane pumps	81

3.3.3	Pressure limited variable displacement vane pumps	83
3.4	Piston pumps	85
3.4.1	Axial piston pumps	85
3.4.2	Radial piston pumps	90
3.5	Main property and applications of hydraulic pumps	91
3.6	Pneumatic power source units	91
	Discussion for key knowledge points	94
	Typical case analysis	94
	Summary	95
	Review questions	95
4	Actuators	97
4.1	Hydraulic motors introduction	97
4.1.1	Classification of hydraulic motors	97
4.1.2	Operating characteristics of hydraulic motors	98
4.1.3	Basic performance parameters of hydraulic motors	98
4.2	High speed hydraulic motors	100
4.2.1	Gear hydraulic motors	100
4.2.2	Vane hydraulic motors	100
4.2.3	Axial piston hydraulic motors	101
4.3	Low speed hydraulic motors	102
4.3.1	Single-acting crankshaft connecting rod radial piston motors	102
4.3.2	Multi-acting internal curves radial piston motors	104
4.4	Hydraulic cylinders	105
4.4.1	Classification and operating principle of hydraulic cylinders	105
4.4.2	Components of hydraulic cylinders	110
4.4.3	Simulative control hydraulic cylinders	113
4.4.4	Digital control hydraulic cylinders	114
4.5	Pneumatic actuators	115
	Discussion for key knowledge points	116
	Typical case analysis	116
	Summary	117
	Review questions	117
5	Control components	119
5.1	Classification of hydraulic control valves	119
5.2	Basic performance and parameters of hydraulic control valves	120
5.3	Directional control valves	121
5.3.1	Check valves	121

5.3.2	Directional valves	122
5.4	Pressure control valves	130
5.4.1	Pressure relief valves	130
5.4.2	Pressure sequence valves	134
5.4.3	Pressure reducing valves	136
5.4.4	Hydro-electric pressure switch	139
5.5	Flow control valves	140
5.5.1	Throttle valves	140
5.5.2	Two-way flow control valves with pressure compensators	142
5.6	Other types hydraulic control valves	143
5.7	Pneumatic control components	156
5.8	Pneumatic logic control components	162
	Discussion for key knowledge points	165
	Typical case analysis	166
	Summary	167
	Review questions	167
6	Accessories	170
6.1	Hydraulic seals	170
6.1.1	Classification of seals	170
6.1.2	Structure and characteristics of common seals	171
6.2	Filters	175
6.2.1	Classification of filters	175
6.2.2	Basic property and parameters of filters	178
6.2.3	Selection and application and installation of filters	180
6.3	Oil tanks and accessories	181
6.3.1	Function and type of oil tanks	181
6.3.2	Design characteristics of oil tanks	182
6.4	Accumulators	184
6.4.1	Classification and structure and operating principle of accumulators	184
6.4.2	Application of accumulators	186
6.4.3	Installation and use of accumulators	186
6.5	Heat exchanger	187
6.5.1	Coolers	187
6.5.2	Heaters	188
6.6	Pipes and pipe fittings	189
6.6.1	Pipes	189
6.6.2	Pipe fittings	191

6.7	Pneumatic accessories	193
	Discussion for key knowledge points	196
	Typical case analysis	196
	Summary	196
	Review questions	197
7	Basic circuits	198
7.1	Directional control circuits	198
7.1.1	Directional circuits	198
7.1.2	Sequence motion control circuits	199
7.1.3	Locking circuits	200
7.1.4	Circuits for lock releasing	201
7.1.5	Hydraulic multi-pathway valves control circuits	201
7.2	Pressure control circuits	202
7.2.1	Pressure adjusting control circuits	202
7.2.2	Pressure reducing control circuits	204
7.2.3	Pressure increasing control circuits	205
7.2.4	Unloading pressure control circuits	206
7.2.5	Circuits for pressure protecting	207
7.2.6	Pressure balancing control circuits	208
7.2.7	Pressure releasing control circuits	209
7.3	Speed control circuits	210
7.3.1	Throttle adjusting speed control circuits	211
7.3.2	Volume adjusting speed control circuits	216
7.3.3	Volume and throttle adjusting speed control circuits	221
7.3.4	High speed control circuits	224
7.3.5	Speed conversion control circuits	224
7.3.6	Synchronizing motion control circuits	226
7.3.7	High-low speed motion noninterference control circuits of hydraulic cylinders	229
7.4	Basic circuits of pneumatic transmission	231
7.4.1	Synchronizing motion control circuits of pneumatic and hydraulic cylinders	231
7.4.2	Reciprocating circuits	231
	Discussion for key knowledge points	232
	Typical case analysis	232
	Summary	234
	Review questions	234

8 Analysis and design of typical hydraulic and pneumatic

transmission system	237
8.1 Hydraulic transmission system analysis of model Q2-8 automobile crane	238
8.2 Hydraulic transmission system analysis of 1m ³ excavator	241
8.3 Hydraulic transmission system analysis of automobile power steering	245
8.4 Hydraulic power steering system of caterpillar	247
8.5 Anti-skid hydraulic transmission system analysis of automobile	248
8.6 Electronic control hydraulic transmission system analysis of automobile suspension system	249
8.7 Anti-lock brake system analysis of automobile pneumatic transmission	250
8.8 Design of hydraulic transmission system	251
8.8.1 Understanding design requirements and analyzing operating load condition of hydraulic transmission system	251
8.8.2 Determining main performance and parameters of hydraulic transmission system	255
8.8.3 Drawing design of hydraulic transmission system	257
8.8.4 Calculation and selection of hydraulic components	259
8.8.5 Performance calculation of hydraulic transmission system	261
8.8.6 Drawing product blueprint and compiling technical files	263
Discussion for key knowledge points	264
Typical case analysis	264
Summary	276
Review questions	276
9 Hydrodynamic coupler	278
9.1 Classification of hydrodynamic coupler	278
9.2 Structure characteristics and operating principles of hydrodynamic coupler	279
9.2.1 Basic structure of hydrodynamic coupler	279
9.2.2 Operating principles of hydrodynamic coupler	280
9.3 Characteristics of hydrodynamic coupler	280
9.4 Operating of hydrodynamic coupler and internal-combustion engine	282
9.5 Hydrodynamic reducer	286
Discussion for key knowledge points	288
Typical case analysis	288
Summary	289
Review questions	289