

新编

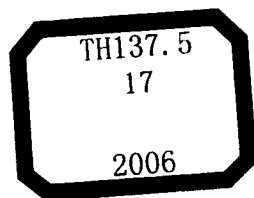
Electrohydraulic Proportional
Technique in Theory
and Application

实用电液比例技术

◆ 吴根茂 邱敏秀 王庆丰
魏建华 孔晓武 傅 新 等编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社



新编实用电液比例技术

吴根茂 邱敏秀 王庆丰 等编著
魏建华 孔晓武 傅 新

浙江大學出版社

内 容 简 介

本书对电液比例控制技术所涉及的比例电磁铁、电控制器和检测反馈系统、各类比例压力阀、比例流量阀、比例方向阀、比例多路阀和比例液压泵等元器件,以及电液比例控制系统等的相关基础理论、控制原理、性能特点、工程应用等作了比较全面的论述,并对其稳、动态特性进行了分析,对电液比例控制器件及系统的测试和计算机仿真作了相应的介绍。本书还在液压桥路、液阻网络、压力容腔特性、液动力、工程机械用阀等涉及一般液压技术的诸多方面,结合工程实际作了相关的阐述。

本书着重从工程应用角度,对电液比例控制技术进行系统的、深入浅出的论述,可作为机械工程类本科生、研究生液压与电液控制课程的教材或主要参考书,也可作专业技术人员和管理人员专业培训的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新编实用电液比例技术 / 吴根茂等编著. —杭州: 浙江大学出版社, 2006. 9
ISBN 7-308-04865-9

I. 新... II. 吴... III. 电液伺服系统—比例控制
IV. TH137.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 092320 号

新编实用电液比例技术

吴根茂 等编著

责任编辑 樊晓燕
封面设计 刘依群
出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310028)
(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
排 版 浙江大学出版社电脑排版中心
印 刷 浙江大学印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 29.75
字 数 724 千
版 次 2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷
印 数 0001—3000
书 号 ISBN 7-308-04865-9/TH·077
定 价 48.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522

前 言

电液比例控制技术是在以开环传动为主要特征的传统液压传动技术和以闭环控制为特征的电液伺服控制技术基础上,为适应一般工程系统对传动与控制特性提出的更高的要求,从上个世纪六七十年代开始逐步发展起来的流体传动与控制领域中一个具有旺盛生命力的新分支。现今,电液比例控制技术已成为工业机械、工程建设机械及国防尖端产品不可或缺的重要手段,得到了相关工业界、技术界的格外重视。但由于其所具有的一些特点,对这种技术的了解、掌握和运用,不论是理论上,还是实践上,都有很多问题需要研究、探讨、总结与提高,使其逐步像电液伺服控制技术那样,形成相应的科学体系,以更好地推动技术的发展和相关人才的培养。

《实用电液比例技术》1993年由浙江大学流体传动及控制国家重点实验室吴根茂、邱敏秀、王庆丰等编著,由浙江大学出版社出版发行。根据电液控制技术的发展 and 十余年教学(本科教学、研究生教学、工程技术培训)和科研经验的积累,最近在1993年的《实用电液比例技术》、2003年《新编实用电液比例技术A版2003》讲义、2005年《新编实用电液比例技术A版2005》讲义等基础上,进行了全面的改写与编辑,形成了《新编实用电液比例技术》这一新版的教材。新教材仍然侧重从工程应用的角度,从与普通开关控制及电液伺服控制既相互联系又相互区别的角度,介绍电液比例控制器件的基本类型、工作原理、性能和功能特点;研究组成实用电液比例控制系统的原理、特征、设计和使用要点。新教材引用了编著者和浙江大学机械电子控制工程研究所(前身为浙江大学流体传动及控制研究所)二十余年来的研究成果,以及国内外的相关技术资料。新教材仍然由教学科研第一线老、中、青教师动手集体编著,除了对原来有关液压与电液比例控制技术的主要章节作了更新充实外,还在工程应用方面增加了工程机械用多路阀、液压缸等章节;在基础方面增加了液压元件流态计算与仿真、油液与污染控制等章节。本书还在液压桥路、液阻网络、压力容腔特性、液动力、工程机械用阀等涉及一般液压技术的诸多方面,结合工程实际作了特别的介绍。

新教材由吴根茂执笔第1,2,3,6,7,10,11章,并参与了第8,9,15章的编写;邱敏秀执笔第8,9,12,14,16章,并参与了第17章的编写;王庆丰执笔第4,5,17章;魏建华参与了第4,15章的编写;孔晓武参与了第2,4章的编写;傅新、

阮晓东执笔第 18 章；邵大文参与了第 15 章的编写；第 13 章保留了由金力民执笔的内容；全书由吴根茂统稿。由于时间和条件的限制，书稿虽经修改，仍难免有疏漏或错误之处，请读者指正。

感谢浙江大学机械电子控制工程研究所同仁对本书的大力支持，同时感谢中南大学吴万荣先生、邹利民先生，浙江大学吴晓雷先生为本书绘制了大量的插图原稿。

编著者

2006 年 8 月于浙江大学求是园

目 录

第 1 章 电液比例技术概述.....	1
1.1 比例技术含义	1
1.2 比例技术发展概况	3
1.3 电液比例控制的技术特征	5
1.3.1 性能特点	5
1.3.2 原理特点	6
1.3.3 结构特点	6
1.4 比例控制系统的构成、分类及特点.....	7
1.4.1 比例控制系统的构成与分类	7
1.4.2 比例控制系统的基本特点	8
第 2 章 压力与流量	13
2.1 压力.....	13
2.1.1 压力容腔中的压力公式.....	13
2.1.2 溢流阀阶跃响应特性实验的启示.....	17
2.1.3 冷连轧机工作辊弯曲凸度控制系统油源流量的主动计算.....	18
2.1.4 某锻造操作机油路失败实例.....	19
2.1.5 材料试验机的压力精确控制系统.....	20
2.1.6 汽车无级变速传动液压系统原理.....	20
2.2 流量.....	22
2.2.1 液压力与电量的类比.....	22
2.2.2 流量基本公式.....	22
2.3 压力与流量的基本控制方式.....	26
2.3.1 阀控与泵控的对应.....	26
2.3.2 控制量与干扰量.....	26
附录 2-1 管道动特性影响的判据	26
附录 2-2 主要电液控制器件的输出控制量与主要干扰量对应参考表	27
附录 2-3 压力控制阀试验方法 GB 8105—87(摘录)	28

第3章 滑阀上的作用力	29
3.1 稳态液动力	29
3.1.1 稳态液动力的概念	29
3.1.2 稳态液动力的计算公式	30
3.1.3 稳态液动力的补偿	32
3.1.4 稳态液动力的利用	32
3.2 瞬态液动力	34
3.3 摩擦力与液压卡紧力	35
3.3.1 液压卡紧力成因与计算公式	35
3.3.2 消除液压卡紧力的措施	35
第4章 比例控制放大器与检测反馈系统	37
4.1 比例控制放大器概述	37
4.1.1 典型构成	37
4.1.2 分类	37
4.2 比例控制放大器主要电路的构成、原理及功能	39
4.2.1 电源电路	40
4.2.2 输入接口单元	42
4.2.3 信号处理电路	44
4.2.4 调节器	47
4.2.5 颤振信号发生器	50
4.2.6 测量放大电路	51
4.2.7 功率放大级	52
4.3 国内外几种典型比例控制放大器简介	56
4.3.1 国内外比例控制放大器的发展概况	56
4.3.2 几种常用比例控制放大器简介	57
4.3.3 专用比例控制放大器	65
4.4 比例控制放大器的使用	67
4.4.1 电源	67
4.4.2 规格及连接插座	67
4.4.3 输入信号	67
4.4.4 接线与安装	68
4.4.5 调整	69
4.4.6 检查正确运行情况	70
4.5 检测反馈系统	70
4.5.1 基本结构	70
4.5.2 常用传感器件简介	70
4.5.3 检测反馈电路	79

4.5.4 比例阀内部常见的检测反馈形式·····	80
4.5.5 检测反馈系统的选择·····	81
第5章 比例电磁铁 ·····	82
5.1 比例电磁铁的结构、工作原理及分类·····	82
5.1.1 典型结构和工作原理·····	82
5.1.2 比例电磁铁的分类·····	84
5.1.3 国内外比例电磁铁的发展概况·····	85
5.2 比例电磁铁的控制特性·····	88
5.2.1 稳态控制特性·····	88
5.2.2 动态控制特性·····	92
5.2.3 动态控制特性的改善·····	93
5.2.4 比例电磁铁的性能测试·····	94
5.3 耐高压双向极化式比例电磁铁·····	94
5.3.1 比例电磁铁的运行·····	94
5.3.2 比例电磁铁的调整·····	96
5.4 旋转电磁铁·····	97
第6章 先导控制液压桥路 ·····	98
6.1 概 述·····	98
6.1.1 液桥与电桥的类比·····	98
6.1.2 液桥的基本功能·····	99
6.1.3 液压半桥·····	99
6.2 基本液压半桥·····	100
6.2.1 半桥的基本类型·····	100
6.2.2 半桥构成的基本原则·····	101
6.2.3 液桥构成分析实例·····	102
6.2.4 对先导控制液桥的要求·····	102
6.3 典型的无因次特性·····	103
6.3.1 三种基本半桥的特性曲线·····	103
6.3.2 压力增益和流量增益·····	104
6.4 滑阀式先导级·····	105
6.4.1 阀口特性曲线·····	105
6.4.2 滑阀式先导液桥特性曲线的修正·····	107
6.5 锥阀式先导级·····	109
6.6 先导液桥中的液阻·····	109
6.6.1 固定液阻的工作点·····	110
6.6.2 动态阻尼·····	110
6.6.3 动压反馈·····	110

6.7 液压半桥实例	111
6.7.1 A型半桥	111
6.7.2 B型半桥	111

第7章 压力阀与比例压力阀..... 114

7.1 压力阀的类型	114
7.2 溢流阀的功能特性与典型结构	117
7.2.1 溢流阀的基本功能	117
7.2.2 直接作用式比例溢流阀	117
7.2.3 传统(间接检测)型先导式比例溢流阀	123
7.2.4 直接检测式比例溢流阀	128
7.2.5 先导阀带补偿活塞的溢流阀	130
7.3 先导式比例减压阀的功能与典型结构	131
7.3.1 先导式二通减压阀特点	131
7.3.2 传统间接检测式(控制油引自阀的出口)	131
7.3.3 带先导流量稳定器的比例减压阀	132
7.3.4 带先导流量稳定器和消除反向压力峰值机构的比例减压阀	133
7.3.5 主阀口常闭的减压阀	136
7.3.6 直接检测先导式比例减压阀	137
7.4 直动式减压阀	137
7.4.1 直动式二通减压阀	138
7.4.2 直动式三通减压阀	139
7.5 先导式三通减压阀	142
7.6 反比例压力阀	144
7.7 数字阀	145
7.7.1 数字阀的分类	145
7.7.2 数字阀的特点	146
7.7.3 增量控制型数字阀	146
7.7.4 脉宽调制型数字网	147
7.7.5 性能指标	148
7.7.6 应用	150
附录 7-1 几种溢流阀弹簧功能的对比	151
附录 7-2 溢流阀功率域上、下、右三条极限曲线的含义及主要影响因素 (参见图 7-13)	151
附录 7-3 比例溢流阀的若干共性问题	152
附录 7-4 三通减压阀用于精细控制示例——双级三通减压阀的输出压力作为 溢流阀调压弹簧的控制压力	153
附录 7-5 插装式比例阀过流窗口计算模型	154

第 8 章 电液比例流量控制阀	155
8.1 节流控制的基本原理及分类	155
8.1.1 基本原理	155
8.1.2 分类	155
8.2 电液比例节流阀	156
8.2.1 单级比例节流阀	156
8.2.2 先导式比例节流阀	159
8.2.3 比例节流阀的基本特性分析	163
8.2.4 比例节流阀的选用原则	165
8.3 电液二通比例流量阀	167
8.3.1 传统减压节流型二通比例流量阀	167
8.3.2 流量—力反馈型二通比例流量阀	171
8.3.3 流量—电反馈型二通比例流量阀	175
8.4 电液三通比例流量阀	177
8.4.1 定差溢流型三通比例流量阀	179
8.4.2 定差溢流型三通流量阀的若干变型	180
8.5 电液比例压力流量复合控制阀	185
8.6 电液比例控制流量阀的工程应用	186
第 9 章 电液比例方向阀	188
9.1 电液比例方向阀的特点与分类	188
9.1.1 电液比例方向阀的特点	188
9.1.2 电液比例方向阀的分类	189
9.2 直接控制式比例方向节流阀	189
9.2.1 普通型直控式比例方向节流阀	189
9.2.2 位移—电反馈直控式比例方向节流阀	190
9.3 先导式比例方向节流阀	191
9.3.1 先导压力控制型比例方向节流阀	191
9.3.2 级间位置反馈型比例方向节流阀	193
9.3.3 位移—力反馈型比例方向节流阀	194
9.3.4 位移—电反馈型比例方向节流阀	196
9.4 比例方向节流阀的设计与工程应用	199
9.4.1 控制阀口设计	199
9.4.2 滑阀机能与中间过渡形式	199
9.4.3 非对称型节流阀口	200
9.4.4 无泄漏的比例方向节流阀系统	202
9.4.5 比例方向节流阀的 $I-q_v$ 特性	202
9.4.6 用控制特性曲线选用比例方向节流阀的示例	205

9.5 比例方向流量阀	206
9.5.1 定差减压型电液比例方向流量阀	206
9.5.2 定差溢流型电液比例方向流量阀	212
9.5.3 适应超越负载的出口压力补偿控制	213
9.5.4 带位移—流量—压力反馈节流口的负载补偿型比例方向流量阀	215
9.5.5 流量反馈型比例方向流量阀	217
9.5.6 基于压差传感的电液进、出口节流独立调节原理的比例方向流量阀	218
9.6 插装式比例阀	221
9.6.1 二通插装式比例阀	221
9.6.2 三通插装式比例方向阀	225
9.7 伺服比例阀	226
9.7.1 从比例阀到伺服比例阀	226
9.7.2 伺服比例阀	228
9.7.3 伺服比例阀产品示例	231
9.7.4 工作状态与零位死区的说明	234
第10章 多路换向阀	237
10.1 多路阀的分类	237
10.1.1 按阀体结构形式分类	237
10.1.2 按各联换向阀之间的油路连接方式分类	237
10.1.3 按液压泵的卸荷方式分类——六通型多路阀与四通型多路阀	239
10.1.4 按换向阀阀体内的油道加工方式分类	240
10.1.5 按换向阀的操纵方式分类	240
10.1.6 按换向阀的通道及位数分类	241
10.2 六通型多路阀的特性	242
10.2.1 六通型多路阀中位卸荷与起压过程特点	242
10.2.2 六通型多路阀的流量微调与压力微调特性	242
10.2.3 六通多路阀附加的负流量控制系统	243
10.3 四通型多路阀的特性	244
10.3.1 四通多路阀的开中心负载敏感系统	244
10.3.2 四通多路阀的闭中心负载敏感系统	246
10.3.3 抗流量饱和的同步操作系统	247
10.4 电液比例多路阀	248
10.4.1 电液比例多路阀的先导级	248
10.4.2 比例多路阀典型结构的油路原理图	248
附录 10-1 关于 LSC 系统抗饱和特性的简要分析	250
附录 10-2 具有抗饱和特性多路阀的典型结构(RC64127/09.97,与负载压力无关的流量分配多路阀(LUDV)	251

第 11 章 液压泵的变量控制与电液比例泵	254
11.1 容积式泵基本工作原理	254
11.1.1 变量调节原理与基本分类	254
11.1.2 容积调节变量泵的基本类型	256
11.1.3 电液比例变量泵	257
11.2 电液比例控制排量调节泵	258
11.2.1 位置直接反馈式排量调节	258
11.2.2 位移—力反馈式排量调节	261
11.3 比例控制压力调节泵	261
11.3.1 基本功能与主要应用	261
11.3.2 基本工作原理与特性	262
11.3.3 工程应用	264
11.4 比例控制流量调节泵(恒流泵,负载敏感泵)	266
11.4.1 传统压差控制型	266
11.4.2 内含流量传感器检测反馈型流量调节泵	267
11.4.3 电反馈型	268
11.5 功率调节泵(恒功率泵)	268
11.5.1 带压力和位置反馈的恒功率调节泵	269
11.5.2 现场可调的恒功率调节泵	269
11.5.3 双泵总功率控制	269
11.5.4 速度敏感控制	271
11.6 复合控制变量泵	272
11.6.1 传统方式的压力流量复合控制变量泵	273
11.6.2 内含流量传感器的压力流量复合控制变量泵	273
11.6.3 传统型压力流量复合控制变量泵控制油路的优化方案	274
11.6.4 电反馈多功能复合比例控制变量泵	277
11.6.5 压力流量功率复合控制变量泵	278
11.6.6 压力流量功率复合控制变量泵的压力切断和正负流量控制	280
11.7 容积调节变量泵的若干要点	281
11.8 时间调节变量泵简介	282
第 12 章 液压缸	283
12.1 概 述	283
12.2 分类与安装方式	283
12.2.1 分类	283
12.2.2 安装方式	284
12.3 稳态特性与参数	284
12.3.1 基本参数	284

12.3.2 稳态特性参数	285
12.3.3 与液压缸质量相关的特性	286
12.3.4 液压缸试验回路	289
12.3.5 液压缸试验方法	291
12.4 主要构件设计计算	292
12.4.1 缸筒壁厚 δ 的计算	293
12.4.2 活塞杆直径计算	293
12.5 动态性能分析	295
12.5.1 基本方程	296
12.5.2 四边滑阀控制双出杆液压缸的传递函数	297
12.5.3 双边滑阀控制单出杆液压缸的传递函数	298
12.6 典型结构	299
12.6.1 普通液压缸	299
12.6.2 增压液压缸	300
12.6.3 多级单作用伸缩液压缸	300
12.6.4 多级同步液压缸	301
12.6.5 数字液压缸	302
12.6.6 低摩擦液压缸	303
12.6.7 带位移传感器的液压缸	303
12.6.8 液压缸结构的新发展	304
第 13 章 二次调节系统	305
13.1 引言	305
13.1.1 闭式容积传动系统	305
13.1.2 功率适应系统(负荷传感系统)	306
13.1.3 定压网络液压马达系统	306
13.2 定压网络液压马达调节系统的原理、特点及应用	307
13.3 系统分类与分析	307
13.4 二次调节系统的应用	310
第 14 章 电液比例元件测试技术	312
14.1 电液比例元件测试系统组成	312
14.2 测量系统	314
14.2.1 测量误差与等级	314
14.2.2 测量仪器的选择及校准	315
14.2.3 检测点的设置	316
14.3 电液比例元件的主要性能与技术指标	316
14.3.1 稳态控制特性	317
14.3.2 稳态负载特性	320

14.3.3	阶跃响应特性	321
14.3.4	频域响应特性	323
14.4	通用试验条件与装置	324
14.4.1	工作油液	324
14.4.2	油源装置	325
14.4.3	加载装置方案与应用	326
14.4.4	阀口恒压差控制方案	328
14.4.5	动态特性检测对试验系统的要求	329
14.5	电液比例元件试验回路及试验方法	333
14.5.1	电液比例压力阀试验回路及试验方法	334
14.5.2	电液比例流量阀试验回路及试验方法	335
14.5.3	比例方向阀试验回路及试验方法	337
14.5.4	电液比例液压泵试验回路及试验方法	345
14.6	环境与寿命试验	352
14.6.1	环境试验	352
14.6.2	寿命试验	352
14.7	液压计算机辅助测试技术	362
14.7.1	计算机辅助测试技术的特点	363
14.7.2	液压测试方案的选择	363
14.7.3	液压CAT测控系统的整体架构	364
14.7.4	液压CAT技术的硬件组成	365
14.7.5	液压CAT系统软件设计要点	366
14.7.6	数据采集技术	368
14.7.7	液压CAT技术的发展趋势	370
第15章	电液比例控制系统及其设计计算	371
15.1	电液比例控制系统的基本类型及应用实例	371
15.1.1	电液比例压力控制系统	371
15.1.2	电液比例速度控制系统	373
15.1.3	电液比例方向流量控制系统	375
15.1.4	电液比例位置控制系统	378
15.2	电液比例控制系统的设计计算	381
15.2.1	电液比例控制系统的设计原则与示例	382
15.2.2	比例阀的选用	384
15.2.3	考虑液压缸面积比和阀口面积比时,比例方向阀阀口压差的计算	387
15.2.4	系统固有频率的校核	387
15.3	电液比例控制系统(速度控制系统——电梯)	390
15.3.1	液压电梯电液比例速度控制系统的组成及原理	390
15.3.2	液压电梯电液比例速度控制系统的设计	392

15.3.3	液压电梯电液比例速度控制系统调试及分析	397
15.4	典型电液控制系统示例	397
15.4.1	塑料注射机系统	397
15.4.2	全液压深孔钻机系统	409
15.4.3	撒盐车系统	410
15.4.4	扶梯起动与制动缓冲系统	411
第 16 章	油液与污染控制	413
16.1	概 述	413
16.2	理化性质和技术性能	413
16.2.1	油液密度	413
16.2.2	黏度和有关特性	413
16.2.3	可压缩性	416
16.2.4	比热	416
16.2.5	抗燃性	416
16.2.6	凝点或倾点	417
16.2.7	酸值	417
16.2.8	抗腐蚀性	417
16.2.9	润滑性与抗磨性	417
16.2.10	氧化安定性和热稳定性	418
16.2.11	抗泡性和空气释放性	418
16.2.12	材料的相容性	418
16.3	油液的分类	418
16.3.1	矿物油型和合成烃型液压油	419
16.3.2	难燃液压液	421
16.3.3	专用液压油(液)	422
16.4	黏度分类	423
16.5	液压油代号	424
16.6	油液的污染及控制	425
16.6.1	清洁度与污染危害性	425
16.6.2	油液的污染途径	425
16.6.3	油液污染的控制	425
16.6.4	污染度的表达	426
16.6.5	油液清洁度等级的选择	426
16.7	液压油(液)的选用	427
16.7.1	选用准则	427
16.7.2	选择步骤	428
16.8	电液比例(伺服)系统对油液的要求	428

第 17 章 液压元件及系统的数字仿真	430
17.1 概述	430
17.1.1 仿真的基本概念	430
17.1.2 仿真技术在开发比例控制技术中的应用	430
17.2 数值计算方法	431
17.3 常用液压数字仿真软件简介	433
17.3.1 现代液压仿真软件的特点	433
17.3.2 常用液压数字仿真软件简介	434
第 18 章 液压元件流场仿真和液动力	443
18.1 概 述	443
18.1.1 计算流体力学的发展	443
18.1.2 流场仿真的基本步骤	443
18.1.3 FLUENT 软件简介	444
18.2 液压元件流场仿真	445
18.2.1 液压元件流场仿真的意义	445
18.2.2 液压元件流场仿真的分类	445
18.2.3 流场仿真在液压元件中的应用	446
18.3 滑阀和锥阀液动力	446
18.4 非全周开口滑阀稳态液动力	450
参考文献	455

电液比例技术概述

1.1 比例技术含义

20 世纪 70 年代以来,随着人们对各类工艺过程的深入研究,已有可能写出某些工艺过程的最佳数学模型,从而对工程控制提出了更高的要求。现代微电子技术的发展,特别是计算机技术的发展和普及,又为实现各类工艺过程的最佳控制提供了技术基础。因此,工程控制理论的应用已逐步从航空、航天和军事工程领域,普及到普通的民用工业部门。电液比例技术作为连接现代微电子技术和大功率工程控制设备之间的桥梁,已经成为现代控制工程的基本技术构成之一。

从广义上观察,在应用液压传动与控制 and 气压传动与控制的工程系统中,凡是系统的输出量,如压力、流量、位移、转速、速度、加速度、力、力矩等,能随输入控制信号连续成比例地得到控制的,都可称为比例控制系统。但在工程实用上,往往根据输入信号的不同和系统构成的特点等,将广义的比例控制系统作出如表 1-1 所示的区分:根据输入控制信号方式,区分为手动(比例)控制和电液控制;根据控制系统构成特点和技术特性,进一步将广义概念上的电液控制区分为一般概念上的电液伺服控制和电液比例控制。

表 1-1 比例技术的多层次分类

开关控制	手动控制		
	电磁控制		
比例控制(广义)	手动控制		
	电液控制	电液伺服控制	模拟
			数字
		电液伺服比例控制	模拟
			数字
		电液比例控制	模拟
			数字
控制性质	输入方式	控制特性	信号模式