

制冷空调系统通用仿真平台

GREATLAB

使用手册与实例分析

张春路 杨亮 邵亮亮 著

Refrigeration and Air-Conditioning System
Modeling and Analysis using

GREATLAB



化学工业出版社

制冷空调系统通用仿真平台

GREATLAB

使用手册与实例分析

张春路 杨亮 邵亮亮 著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是首次系统地介绍了作者团队所研发的制冷空调系统通用仿真软件 GREATLAB 仿真平台 (2014a 版) 的原理、特点及应用。在详细介绍 GREATLAB 仿真软件的基本原理与使用方法的基础上, 结合大量的制冷空调系统仿真实例, 包括各类家用及商业制冷、空调、热泵产品, 阐述了基于仿真的制冷空调产品及系统的建模与仿真设计方法, 对于提高制冷空调行业的产品设计水平起到积极的推动作用。

本书可供制冷、空调相关研发人员参考使用, 也可作为制冷、暖通专业本科生和研究生学习使用 GREATLAB 仿真软件的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

制冷空调系统通用仿真平台 GREATLAB 使用手册与实例
分析/张春路, 杨亮, 邵亮亮著. —北京: 化学工业
出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-122-22215-2

I. ①制… II. ①张… ②杨… ③邵… III. ①制冷装
置-空气调节器-系统仿真 IV. ①TB657.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 252371 号

责任编辑: 辛 田 陈景薇
责任校对: 边 涛

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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 12½ 彩插 2 字数 318 千字 2015 年 1 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

制冷空调系统仿真技术正在获得越来越多的应用。由于节能与舒适性的要求越来越高,以及市场的需求越来越多样化,制冷空调产品/系统日趋复杂与定制化。而产品/系统设计周期却要求越来越短,成本控制也越来越严苛,因此从概念设计、产品/系统优化设计,到产品/系统的销售等产品生命周期的各个环节,都越来越多地开始依赖于仿真技术。制冷系统仿真技术正逐渐成为制冷空调产品/系统研发与设计的核心技术之一。

本书的三位作者都曾在国际知名企业工作多年,具有丰富的仿真技术研发与应用经验。经过作者团队近4年坚持不懈的研发,成功开发出GREATLAB (General Refrigeration, hEat pump, Air-conditioning Technology LABoratory 的缩写) 仿真平台,可以应用于各种蒸气压缩式制冷、热泵及空调系统的快速建模与仿真。在GREATLAB的研发过程中,已经在国内外十余家企业获得了不同程度的应用及大量的实例验证,广受好评。

本书首次系统介绍GREATLAB仿真平台(2014a版)的原理、使用方法及应用。在第1章,作者对制冷空调系统仿真技术,特别是各类制冷空调部件/系统仿真工具进行了简要述评;第2章详细介绍了GREATLAB的基本使用方法;在第3章,作者详细介绍了各类主要制冷部件(压缩机、节流元件、换热器等)的建模与仿真工具,这些部件建模仿真工具可以与GREATLAB同时使用或者单独使用;第4章介绍了各种常见的制冷、热泵、空调系统的GREATLAB建模与仿真方法;最后,作者在第5章里分享了GREATLAB在技术和服务两方面的未来发展及推广计划。

本书的出版,不仅仅是希望推动GREATLAB的应用及进一步发展,更希望可以对制冷空调行业的产品/系统设计水平、创新能力的提高起到积极的推动作用。

本书的出版得到中央高校基本科研业务费专项资金(20113143)的资助,在此深表感谢。

由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,希望广大读者批评指正。作者邮箱:chunlu.zhang@gmail.com。

张春路

2014年6月于同济大学

第1章 制冷空调系统仿真技术概述	1
1.1 制冷空调系统仿真工具	1
1.2 GREATLAB	2
1.2.1 基本构成与功能	3
1.2.2 部件模型库介绍	3
1.2.3 通用求解器	7
1.2.4 仿真精度	7
1.3 本书的内容安排	7
第2章 GREATLAB 基本使用指南	9
2.1 GREATLAB 的基本使用	9
2.1.1 用户图形界面	9
2.1.2 部件模型的基本特征	10
2.2 建立一个简单制冷系统模型	14
2.3 GREATLAB 部件模型的应用	20
2.3.1 压缩机部件模型库	20
2.3.2 换热器部件模型库	22
2.3.3 节流控制元件模型库	35
2.3.4 制冷剂侧辅件模型库	37
2.3.5 空气部件模型库	39
2.4 制冷剂物性计算器	41
2.5 GREATTable	41
第3章 部件仿真软件介绍	46
3.1 CompLab 压缩机数据建模工具	46
3.1.1 基本介绍	46
3.1.2 定速压缩机	47
3.1.3 变容量压缩机	51
3.1.4 中间补气型压缩机	52
3.1.5 离心压缩机	54
3.2 CoilLab 翅片管换热器建模与仿真工具	58
3.2.1 基本介绍	58
3.2.2 冷凝器	58
3.2.3 蒸发器	67
3.2.4 水盘管	70
3.2.5 CoilLab 的批量计算	70
3.3 MCHXLab 微通道换热器建模与仿真工具	71
3.4 DXHXLab 干式壳管换热器建模与仿真工具	75

3.5	STHXLab 满液式壳管换热器建模与仿真工具	84
3.5.1	满液式壳管蒸发器	84
3.5.2	卧式壳管冷凝器	92
3.6	FFHXLab 降膜式蒸发器建模与仿真工具	93
3.7	FanLab 风机曲线建模工具	96

第4章 制冷/热泵系统的建模与仿真

98

4.1	风冷冷风单联机系统	98
4.1.1	家用分体空调	98
4.1.2	窗机	107
4.1.3	其他系统循环	109
4.2	多联机系统	117
4.3	风冷螺杆热泵机组	124
4.3.1	系统模型介绍	124
4.3.2	模型标定与精度	131
4.3.3	系统模型应用	136
4.4	水冷螺杆冷水机组	140
4.4.1	系统模型介绍	140
4.4.2	模型标定与精度	145
4.4.3	系统模型应用	147
4.5	水冷离心机组	149
4.6	轨道交通空调	154
4.7	热泵热水器	161
4.8	超市系统	165
4.9	一次、二次回风系统	170
4.10	温湿度独立控制系统	175

第5章 GREATLAB 未来的发展

184

5.1	技术	184
5.2	服务	184

参考文献

185

图 片 目 录

图 1	GREATLAB 的基本框架	3
图 2	GREATLAB 的压缩机部件模型库	4
图 3	GREATLAB 的换热器部件模型库	4
图 4	GREATLAB 的节流控制元件模型库	5
图 5	GREATLAB 的制冷剂流路辅件模型库	5
图 6	GREATLAB 的空气部件模型库	6
图 7	GREATLAB 的载冷剂部件模型库	6
图 8	GREATLAB 的功率辅件模型库	6
图 9	GREATLAB 求解器的基本原理	7
图 10	GREATLAB 用户图形界面	10
图 11	GREATLAB 的部件模型	11
图 12	GREATLAB 的制冷剂节点(有彩图)	12
图 13	GREATLAB 的空气节点	13
图 14	简单制冷系统的 GREATLAB 建模步骤一	14
图 15	简单制冷系统的 GREATLAB 建模步骤二	15
图 16	简单制冷系统的 GREATLAB 建模步骤三	15
图 17	简单制冷系统的 GREATLAB 建模步骤四(1)	16
图 18	简单制冷系统的 GREATLAB 建模步骤四(2)	17
图 19	简单制冷系统的 GREATLAB 建模步骤四(3)(有彩图)	17
图 20	简单制冷系统的 GREATLAB 建模步骤五(1):系统结果	18
图 21	简单制冷系统的 GREATLAB 建模步骤五(2):输出报告	19
图 22	简单制冷系统的 GREATLAB 建模步骤五(3):压焓图	19
图 23	简单制冷系统的 GREATLAB 建模步骤六	20
图 24	单级容积式压缩机应用	20
图 25	两级容积式压缩机应用	21
图 26	翅片管冷凝器模型	22
图 27	翅片管蒸发器模型	23
图 28	微通道冷凝器、蒸发器模型	24
图 29	干式壳管冷凝器模型	25
图 30	干式壳管蒸发器模型	26
图 31	卧式壳管冷凝器模型	27
图 32	满液式蒸发器模型	28
图 33	降膜式蒸发器模型	29
图 34	一维翅片管换热器模型	30
图 35	一维翅片管换热器模型:流程信息输入说明	30
图 36	单回路板式换热器一维分布参数模型	31

图 37	双回路板式换热器一维分布参数模型	32
图 38	经济器模型	33
图 39	套管换热器结构图	33
图 40	套管冷凝器模型	34
图 41	理想换热器模型:简单循环	34
图 42	理想换热器模型:带经济器循环	35
图 43	绝热毛细管/短管模型	35
图 44	非绝热毛细管模型	36
图 45	非绝热毛细管参数定义	37
图 46	非绝热毛细管和吸气管连接方式	37
图 47	膨胀阀模型	37
图 48	制冷剂连接管模型	38
图 49	气液分离器模型	38
图 50	气液分离器模型:结构参数说明	39
图 51	制冷剂压降器件模型	39
图 52	风机曲线模型应用	40
图 53	风机效率模型应用	40
图 54	制冷剂物性计算器	41
图 55	GREATTable 使用步骤二(1)	42
图 56	GREATTable 使用步骤二(2)	43
图 57	GREATTable 使用步骤二(3)	43
图 58	GREATTable 使用步骤二(4)	44
图 59	GREATTable 使用步骤二(5)	44
图 60	GREATTable 使用步骤三	45
图 61	CompLab 新建压缩机类型	47
图 62	CompLab 定容量压缩机的输入界面	48
图 63	CompLab 定容量压缩机回归曲线	49
图 64	CompLab 定容量压缩机回归精度	49
图 65	CompLab 定容量压缩机校核	50
图 66	CompLab AHRI 10 系数模型建模的输入界面	50
图 67	CompLab 变容量压缩机的输入界面	51
图 68	CompLab 多组 AHRI 10 系数的变容量压缩机建模的输入界面	52
图 69	CompLab 带经济器压缩机输入界面	53
图 70	CompLab 带经济器压缩机的校核界面	54
图 71	GREATLAB 中离心压缩机的构成	54
图 72	CompLab 单级离心压缩机建模的输入界面	55
图 73	CompLab 单级离心压缩机的边界线输入	56
图 74	CompLab 单级离心压缩机的回归结果	56
图 75	CompLab 单级离心压缩机的校核计算	57
图 76	CompLab 电机模型的输入界面	57
图 77	CompLab 传动损失的输入界面	57
图 78	CoilLab 盘管结构输入界面	59
图 79	CoilLab 盘管结构输入参数管间距、排间距	59

图 80	CoilLab 盘管结构输入管排设置	60
图 81	CoilLab 盘管结构输入自定义管排	60
图 82	CoilLab 流路编辑界面	61
图 83	CoilLab 流路连接方法(有彩图)	62
图 84	CoilLab 分流、合流连接方式(有彩图)	62
图 85	CoilLab 双回路算例流路编辑	63
图 86	CoilLab 换热器运行工况参数输入	64
图 87	CoilLab 新建空气侧分布矩阵的方法	65
图 88	CoilLab 空气分布编辑器	65
图 89	CoilLab 计算结果显示	66
图 90	CoilLab 计算结果云图显示	66
图 91	CoilLab 供液毛细管设计之前蒸发器计算结果(有彩图)	68
图 92	CoilLab 蒸发器模型设计供液管界面	68
图 93	CoilLab 供液毛细管设计之后蒸发器计算结果(有彩图)	69
图 94	CoilLab 水盘管模型工况输入	70
图 95	CoilLab 批量计算功能	70
图 96	CoilLab 批量计算表格生成	71
图 97	CoilLab 批量计算结果	71
图 98	MCHXLab 换热器结构输入界面	72
图 99	MCHXLab 换热器布置示意图	73
图 100	MCHXLab 换热器对折示意图	73
图 101	MCHXLab 结构示意图	73
图 102	MCHXLab 微通道换热器流程定义	73
图 103	MCHXLab 空气不均匀分布输入	74
图 104	MCHXLab 流路连接示意图	74
图 105	MCHXLab 计算结果	75
图 106	干式壳管换热器结构示意图	75
图 107	DXHXLab 结构参数输入界面	76
图 108	DXHXLab 结构参数:壳体	77
图 109	DXHXLab 结构参数:壳体倾斜角度	77
图 110	DXHXLab 结构参数:制冷剂端部集液腔长度	77
图 111	DXHXLab 结构参数:折流板	77
图 112	DXHXLab 结构参数:折流板类型定义	78
图 113	DXHXLab 结构参数:折流板类型实例	78
图 114	DXHXLab 结构参数:折流板缺口类型	78
图 115	DXHXLab 结构参数:折流板缺口相对载冷剂进口位置	78
图 116	DXHXLab 结构参数:折流板缺口高度与壳体内径的比值	79
图 117	DXHXLab 结构参数:折流板间距定义	79
图 118	DXHXLab 结构参数:管束布置	79
图 119	DXHXLab 结构参数:与折流板缺口垂直的通道	79
图 120	DXHXLab 结构参数:管束布置角度与管间距	80
图 121	DXHXLab 结构参数:制冷剂流程	80
图 122	DXHXLab 干式壳管换热器制冷剂流程示例	81

图 123	DXHXLab 结构参数:双回路制冷剂流程	81
图 124	DXHXLab 干式壳管换热器制冷剂流程输入方法	81
图 125	DXHXLab 结构参数:换热管	82
图 126	DXHXLab 结构参数:载冷剂接管、制冷剂接管	82
图 127	DXHXLab 结构参数:载冷剂进、出口距管束端部或挡水板距离	82
图 128	DXHXLab 蒸发器工况输入	83
图 129	DXHXLab 调整因子输入	83
图 130	DXHXLab 仿真计算结果	84
图 131	STHXLab 满液式蒸发器结构参数输入界面	85
图 132	STHXLab 管束与壳体空隙定义	86
图 133	STHXLab 管束排列方式定义	86
图 134	STHXLab 流程布置示意图	86
图 135	STHXLab 流程分布设置	87
图 136	STHXLab 管排分布设置	87
图 137	STHXLab 调整因子输入	88
图 138	STHXLab 计算结果显示	89
图 139	STHXLab 按流程计算的结果显示	89
图 140	STHXLab 按管排计算的结果显示	90
图 141	STHXLab 自定义换热管:蒸发器	90
图 142	STHXLab 换热管结构参数	91
图 143	STHXLab 自定义换热管:冷凝器	91
图 144	STHXLab 换热系数输入框	91
图 145	STHXLab 冷凝器结构参数输入界面	92
图 146	STHXLab 冷凝器过冷器设置:顺、逆流	92
图 147	STHXLab 冷凝器过冷器设置:混合	93
图 148	STHXLab 冷凝器过冷器设置:混合布置示意图	93
图 149	FFHXLab 降膜式蒸发器输入界面	94
图 150	FFHXLab 降膜式蒸发器定义管排	94
图 151	FFHXLab 降膜式蒸发器计算结果(1)	95
图 152	FFHXLab 降膜式蒸发器计算结果(2)	95
图 153	FanLab 风机曲线输入界面	96
图 154	FanLab 绘制风机曲线	97
图 155	CompLab 分体机压缩机	98
图 156	CoilLab 分体机室外侧换热器	99
图 157	CoilLab 分体机室内侧换热器	100
图 158	GREATLAB 分体机系统模型	100
图 159	GREATLAB 分体机(求解进程)	101
图 160	GREATLAB 模型标定参数的设定过程	104
图 161	GREATLAB 模型标定参数设定完成	104
图 162	GREATLAB 制冷剂充注量的修正	105
图 163	GREATLAB 分体机毛细管设计	106
图 164	CompLab 窗机压缩机	107
图 165	CoilLab 窗机冷凝器	108

图 166	CoilLab 窗机蒸发器	108
图 167	GREATLAB 窗机系统模型	109
图 168	GREATLAB 风冷冷风并联短管(或毛细管)系统模型	110
图 169	GREATLAB 风冷冷风带过冷器系统模型	111
图 170	GREATLAB 风冷冷风带过冷器系统参数分析	111
图 171	GREATLAB 风冷冷风带经济器系统模型	112
图 172	GREATLAB 风冷冷风带吸气回热系统模型	113
图 173	GREATLAB 风冷冷风双压缩机并联系统模型	113
图 174	GREATLAB 风冷冷风蒸汽再热系统模型	114
图 175	GREATLAB 风冷冷风双制冷剂回路系统模型	115
图 176	CoilLab 双回路冷凝器	115
图 177	GREATLAB 风冷冷风双制冷剂回路系统模型(单回路开)	116
图 178	GREATLAB 带过冷器一拖四多联机系统模型(制冷工况)	117
图 179	GREATLAB 不带过冷器的一拖四多联机系统模型(制冷工况)	119
图 180	GREATLAB 一拖四多联机系统模型(制热工况)	120
图 181	GREATLAB 多类型压缩机并联一拖四多联机系统模型	121
图 182	GREATLAB 二拖三多联机系统模型	122
图 183	GREATLAB 多联机系统热气旁通模型	123
图 184	GREATLAB 单级风冷冷水螺杆机组模型	125
图 185	GREATLAB 板式换热器作为经济器的双级风冷冷水螺杆系统(1)	126
图 186	GREATLAB 板式换热器作为经济器的双级风冷冷水螺杆系统(2)	127
图 187	GREATLAB 闪蒸桶作为经济器的双级风冷冷水螺杆系统模型	128
图 188	GREATLAB 水冷冷风螺杆系统模型	129
图 189	GREATLAB 双回路双级风冷冷水螺杆系统模型	130
图 190	GREATLAB 双回路双级水冷冷风螺杆系统模型	131
图 191	GREATLAB 考虑漏风的换热器与风机模型	135
图 192	GREATLAB 风冷螺杆热泵热气旁通系统模型	137
图 193	GREATLAB 风冷螺杆热泵液喷系统模型	138
图 194	GREATLAB 双级风冷螺杆热泵液喷系统模型	139
图 195	GREATLAB 风冷螺杆热泵板式换热器热回收系统模型	139
图 196	GREATLAB 风冷螺杆热泵壳管换热器热回收系统模型	140
图 197	GREATLAB 单级水冷螺杆冷水机组模型	141
图 198	GREATLAB 板式换热器作为经济器的双级水冷螺杆冷水机组模型	141
图 199	GREATLAB 闪蒸桶作为经济器的双级水冷螺杆冷水系统模型	142
图 200	GREATLAB 双回路双级水冷螺杆冷水系统模型	143
图 201	GREATLAB 双回路单级水冷螺杆冷水系统模型	144
图 202	GREATLAB 双回路水冷螺杆冷水系统模型(单回路开启)	145
图 203	系统性能随经济器口流量变化的敏感性分析	147
图 204	水冷螺杆冷水机组的功耗性能曲线	148
图 205	水冷螺杆冷水机组的能效比 COP 性能曲线	148
图 206	GREATLAB 单级水冷离心机组系统模型	149
图 207	GREATLAB 离心压缩机运行状态判断	150
图 208	GREATLAB 单级水冷离心双回路系统模型	152

图 209	GREATLAB 双级水冷离心系统模型	152
图 210	双级水冷离心机组的频率特性曲线的仿真结果与实验结果的对比	153
图 211	轨道交通空调制冷系统示意图	154
图 212	轨交空调制冷系统循环流程	155
图 213	GREATLAB 轨道交通空调系统模型	156
图 214	CoilLab 轨道交通空调冷凝器	157
图 215	GREATLAB 轨道交通空调蒸发器	158
图 216	GREATLAB 轨道交通空调冷凝器优化	159
图 217	GREATLAB 轨道交通空调蒸发器优化	160
图 218	热泵热水器系统示意图	162
图 219	GREATLAB 热泵热水器系统模型	163
图 220	外绕微通道冷凝器	163
图 221	外绕式冷凝器模型输入、输出参数	164
图 222	热泵热水器仿真结果与实验数据的比较	164
图 223	热泵热水器有无隔热层时的系统性能对比	164
图 224	热泵热水器冷凝器尺寸变化对系统性能的影响	165
图 225	超市冷藏冷冻系统	166
图 226	GREATLAB 超市冷藏冷冻系统模型	167
图 227	过冷器过冷度对冷藏冷冻系统的影响	167
图 228	过冷器效率与过冷器面积的对应关系	167
图 229	冷凝器大小和 COP 对过冷度的变化	168
图 230	节能效果随室外温度和中温、低温负荷比例的变化	168
图 231	超市跨临界 CO ₂ 冷藏冷冻复叠系统	168
图 232	GREATLAB 超市 CO ₂ 复叠制冷系统模型	169
图 233	一次回风系统原理图	170
图 234	GREATLAB 一次回风系统	170
图 235	二次回风原理图	171
图 236	GREATLAB 二次回风系统	172
图 237	GREATLAB 一次回风系统计算结果	172
图 238	GREATLAB 一次回风系统含湿图	173
图 239	GREATLAB 二次回风系统计算结果	173
图 240	GREATLAB 二次回风系统含湿图	174
图 241	GREATLAB 单温冷水机组+常规空调箱系统模型	176
图 242	常规空调箱原理图	176
图 243	SMAC 空调末端原理图	178
图 244	GREATLAB 大温差两级冷水机组+SMAC 空调末端系统模型(有彩图)	178
图 245	带新风预冷 SMAC 空调末端原理图	180
图 246	GREATLAB 大温差两级冷水机组+SMAC 空调末端带新风预冷系统 模型(有彩图)	181

表格目录

表 1	制冷空调系统仿真技术及工具分类	2
表 2	GREATLAB 2014a 仿真平台的构成	3
表 3	供液毛细管设计之前蒸发器各流路的计算结果	67
表 4	供液毛细管设计之后蒸发器各流路的计算结果	69
表 5	风冷冷风系统模型标定:参数和调整因子对照表	103
表 6	分体空调器的实测结果	103
表 7	分体空调器的标定结果	105
表 8	窗式空调器的实测结果	109
表 9	风冷螺杆热泵机组仿真结果与实验结果的对比	136
表 10	水冷螺杆冷水机组仿真结果与实验结果的对比	146
表 11	单级水冷离心冷水机组仿真结果与实验结果的对比	151
表 12	双级水冷离心冷水机组仿真结果与实验结果的对比	153
表 13	名义工况下仿真结果与实验结果的比较	156
表 14	轨道交通空调冷凝器设计优化	158
表 15	轨道交通空调器:蒸发器设计优化	160
表 16	轨道交通空调器:压缩机重新选型	161
表 17	一次回风系统和二次回风系统的结果比较	173
表 18	民用建筑空调系统案例	175
表 19	单温冷水机组+常规空调箱计算结果	177
表 20	大温差两级冷水机组+SMAC 空调末端计算结果	179
表 21	大温差两级冷水机组+SMAC 空调末端带新风预冷计算结果	182

第1章

制冷空调系统仿真技术概述



制冷空调系统仿真技术正在获得越来越多的应用。由于节能与舒适性的要求越来越高，以及市场的需求越来越多样化，制冷空调产品/系统日趋复杂与定制化。而产品/系统设计周期却要求越来越短，成本控制也越来越严苛，因此从概念设计、产品/系统优化设计，到产品/系统的销售等产品生命周期的各个环节，都越来越多地开始依赖于仿真技术。

制冷空调系统仿真技术的工作分工也日趋明细，大致分为三个层次：有专门负责仿真软件研发的公司或者团队，目前也涌现出了越来越多的商业化/半商业化的通用的或者专用于制冷空调领域的仿真软件；有专门负责高级应用的高级用户或专家，这些人通常具备很强仿真技术背景及制冷空调专业背景，可以熟练使用一个或者多个不同层次的仿真软件解决复杂的实际应用问题，并对普通用户进行技术培训及指导；有大量负责基本使用，特别是对比较单一的产品/系统进行重复仿真以完成产品/系统设计的基本用户，这些人通常需要一定的制冷空调专业背景及仿真设计的基础知识，需要接受不定期的培训及指导。有些操作比较复杂的高端仿真软件可能必须由高级用户操作，由于技术及成本原因（商业化的仿真软件通常都比较昂贵）目前尚无法发展基本用户。就目前的制冷空调企业而言，只有少数国际性大公司拥有较完整的上述三个层次的技术人才，部分公司拥有少量的不同仿真软件的高级用户及一定数量的基本用户，而绝大多数公司面临仿真技术人才匮乏的局面。

本章主要对制冷空调系统仿真技术做一个简要的概述。因为制冷空调产品/系统涉及各个层次的仿真技术之间存在紧密的联系，所以本章概述涉及的内容也将不局限于系统层面的仿真技术。

1.1 制冷空调系统仿真工具

制冷空调系统仿真技术从下而上大致可以分为四个层次的内容，如表1所示。

① 局部的流动传热问题 实验研究这类问题的成本较高，通常通过计算流体动力学（CFD）或数值传热学（NHT）软件进行仿真研究。目前，相关的仿真软件已经高度商业化，例如 ANSYS/FLUENT、STAR-CD 以及开源软件 OpenFOAM 等，通常都可供研究者进行不同程度的二次开发。

② 部件建模与仿真 主要包括两种不同的类型：一种是部件设计及性能预测；另一种是部件性能的数据回归模型，是用于反映部件性能的经验模型，虽不能用于部件设计，但可用于系统仿真设计。如果将部件仿真上升到可独立运行的软件层面来讲，那么主要是指前

者。以常见的翅片管换热器仿真为例，美国国家标准与技术研究院（National Institute of Standards and Technology, NIST）开发的免费软件 EVAP-COND，美国马里兰大学环境能源工程中心（The Center for Environmental Energy Engineering, CEEE）开发的 CoilDesigner，以及作者团队（GREATLAB）开发的 CoilLab 都在业界有着相当广泛的应用。

③ 制冷机组（系统）建模与仿真 制冷机组的建模与仿真分两个主要方向：一个方向是研究组成系统的部件之间的匹配优化问题，重点是设计工况下的系统优化设计和非设计工况下的系统性能预测。这个方向以稳态仿真为主，代表性的仿真软件有美国 Oak Ridge 国家实验室开发的用于风冷热泵系统设计的 MARK 软件，该软件提供了基于网页的体验版供用户免费试用。而作者团队（GREATLAB）开发的 GREATLAB 则是一款更为通用的蒸气压缩式制冷及空调系统仿真软件，可用于各类实际系统的仿真设计及新型系统的概念设计。此外，也有研究者尝试采用不同的通用商业软件来针对制冷系统进行仿真设计，但迄今尚未见到真正成功且可推广应用的案例。制冷机组的建模与仿真的另一个方向是研究系统动态特性与控制设计。随着现代系统空调系统复杂性的提高，控制设计将越来越依赖于模型与仿真。由于制冷系统动态仿真的复杂性较高，成熟度较低，目前还是主要依赖商业软件，特别是近年来以通用建模语言 Modelica 为基础开发的软件正在获得越来越多的关注，例如 Dymola、SimulationX 和国内独立开发的 MWorks。当然，这些软件的应用还依赖于专用的流动传热部件模型库的开发，目前这方面的工作还有待深入。

④ 建筑空调制冷系统建模与仿真 这里涉及负荷计算，制冷剂系统、水系统、风系统等综合的建模与仿真计算，属于本专业研究领域最上层的系统，也是最复杂的研究对象。该类系统优化设计和最优运行策略所能带来的节能潜力巨大，因此引起了国内外大量研究者的关注。由于难以在设计阶段建立样机系统进行测试，因此仿真技术就变得不可或缺。建筑空调制冷系统仿真软件中，最著名的当属美国威斯康星大学研发的 TRNSYS 和美国劳伦斯国家实验室为主研发的 EnergyPlus。但是，这两个软件对制冷剂系统的模拟能力都非常弱。作者团队（GREATLAB）希望将 GREATLAB 软件强大的制冷系统仿真能力与 EnergyPlus 强大的建筑负荷计算能力相结合，实现更为强大的建筑空调制冷系统仿真平台。相关研发工作目前正在进行中。

表 1 制冷空调系统仿真技术及工具分类

仿真对象	主要研究内容	典型软件
局部流动传热	通过研究局部的流动传热以优化设计参数	FLUENT, CFX, STAR-CD, OpenFOAM
部件	部件设计与性能预测	EVAP-COND, CoilDesigner, CoilLab
制冷机组	制冷系统部件匹配与性能预测	GREATLAB, MARK
	制冷系统动态特性与控制设计	Dymola, SimulationX, MWorks
建筑空调制冷系统	建筑空调系统设计及运行的仿真与优化	TRNSYS, EnergyPlus, GREATLAB

1.2 GREATLAB

GREATLAB 是作者团队研发的以蒸气压缩式制冷、空调、热泵系统为主要研究对象的专业仿真平台。目前 GREATLAB 基本版已经在十余家国际、国内知名企业获得推广应用，

取得了良好的成效。而本书要重点介绍的是新近开发完成并正推向市场的 GREATLAB 专业版（版本 2014a）。

1.2.1 基本构成与功能

GREATLAB 是有多个软件组成仿真平台，其基本框架如图 1 所示。

在部件仿真层面，有多种常见换热器仿真软件，参加表 2 的介绍。这些部件仿真软件既可以独立运行，也可以作为部件在系统仿真软件中联合运行。这些部件仿真软件将在后续章节中作详细介绍。

在系统仿真层面，提供专业版与标准版两个版本。两者的内核是相同的，不同之处在于专业版 GREATLAB 具有更大的灵活性，用户可以对任意合理的系统/子系统/流路/部件进行建模，同时也要求用户具备很强的专业背景与系统分析能力，甚至要求用户有很好的创造力。而标准版 GREATLAB 提供给用户搭建好的系统/子系统/流路/部件模板，用户可以修改输入、输出参数的属性（包括具体的值），对特定的系统/子系统/流路/部件进行仿真计算与分析。因此，标准版 GREATLAB 对用户的专业背景与系统分析能力的要求相对较低，经过良好的培训之后，大多数具备制冷空调专业知识的学生或工程师都可以掌握其使用方法。

因此，我们将相关人群分为三个组别：核心开发组、高级用户组和普通用户组。相关的工作关系也如图 1 所示。

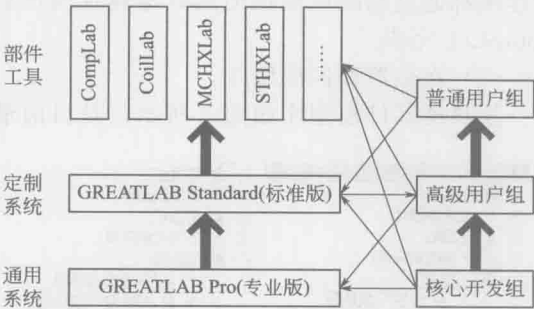


图 1 GREATLAB 的基本框架

表 2 GREATLAB 2014a 仿真平台的构成

软件名称	功能说明
GREATLAB	制冷空调系统稳态/准稳态通用仿真平台，可用于各类闭式/开式系统及部件设计和优化，并集成了以下可单独运行的仿真软件
CoilLab	翅片管换热器通用仿真软件
MCHXLab	微通道（平行流）换热器通用仿真软件
DXHXLab	干式壳管换热器通用仿真软件
STHXLab	满液式壳管换热器通用仿真软件
FFHXLab	降膜式换热器通用仿真软件
CompLab	制冷压缩机通用数据建模与性能分析软件
FanLab	风机通用数据建模与性能分析软件
GREATTable	基于电子表格控件 SpreadsheetGear 的 GREATLAB 批量仿真计算及参数分析工具
RefPropCalc	制冷剂热物性计算器

1.2.2 部件模型库介绍

GREATLAB 的通用性也是建立在大量的常用部件模型的基础之上的。目前，

GREATLAB 分为以下几个部件模型库：压缩机部件模型库、换热器部件模型库、节流控制元件模型库、制冷剂回路辅件模型库、空气部件模型库、载冷剂部件模型库和功率辅件模型库。具体分类说明如下：

(1) 压缩机部件模型库

压缩机部件模型库如图 2 所示，包括常见压缩机的性能模型。例如，各类容积式压缩机的（半）经验模型，包括效率模型、AHRI 10 系数模型、变容量（变频、数码涡旋等）压缩机模型；各类容积式两级压缩机、两级压缩中间补气（带经济器）压缩机的（半）经验模型；单级和双级离心压缩机的（半）经验模型，考虑了离心压缩机运行边界线（喘振线、阻塞线）。各类压缩机的数据建模都通过制冷压缩机通用数据建模与性能分析软件 CompLab 完成。



图 2 GREATLAB 的压缩机部件模型库

(2) 换热器部件模型库

换热器部件模型库如图 3 所示，是目前最大的一个部件模型库，包括各类常见的制冷剂-制冷剂换热器、制冷剂-空气换热器、制冷剂-载冷剂换热器、载冷剂-载冷剂换热器、载冷剂-空气换热器、理想换热器等的设计模型或者性能模型。



图 3 GREATLAB 的换热器部件模型库

其中，空气-空气换热器模型包含转轮除湿装置模型，转轮常用于显热或者全热回收，是基于显热效率和潜热效率的集中参数模型；载冷剂-空气换热器模型包含空调水盘管（热水盘管或冷水盘管）和冷却塔模型；制冷剂-空气换热器模型包含翅片管换热器、微通道换热器模型；制冷剂-载冷剂换热器模型包含板式换热器、干式壳管蒸发器、满液式壳管蒸发器、降膜式壳管蒸发器、卧式壳管冷凝器、干式壳管冷凝器模型、套管冷凝器、绕管式热水器等模型；制冷剂-制冷剂换热器模型包含经济器、过冷器等模型（板式换热器或套管换热器）。具体的详细

说明参见第 2、第 3 章。

(3) 节流控制元件模型库

节流控制元件模型库如图 4 所示，包括膨胀阀、毛细管（含短管）、喷射器、非绝热毛细管、膨胀机和参数控制模型。其中，毛细管（含短管）模型适用于绝热毛细管、节流短管和节流孔板；非绝热毛细管适用于毛细管和吸气管热交换器；膨胀阀模型为过热度控制模型、开度-流量模型；膨胀机为简单的效率模型；喷射器为用于节流并提升压缩机吸气压力的两相喷射器模型；参数控制模型是 GREATLAB 中通用的制冷剂节点参数的单参数控制模型，实现 GREATLAB 模型中任意两个制冷剂节点参数之间的调控关系，例如，在跨临界二氧化碳系统中，根据气体冷却器的出口制冷剂温度控制压缩机排气压力。