



序 言

在现代社会和经济活动中,电梯已是城市物质文明的一种标志。在高层建筑中,电梯是不可缺少的垂直运输设备,每幢大型高楼都可以说是一座垂直的城市。因此,电梯的好坏,尤为重要。而电梯技术的发展与此紧密相关。

我国建筑业、智能建筑业、房地产业和汽车产业的飞速发展,带动了电梯业、升降机业和机械停车场业的发展,因此,迫切需要一整套与之适应的电梯技术系列书,以供学习和参考。

但是由于我国引入很多国外的电梯产品(包括中外合资的电梯产品),这些产品在国际上都是比较先进的,而我国目前的电梯技术与此相比相对落后,这是不正常的。目前,我国已出版的电梯书籍包括电梯电气、电梯机械设计、安装、维修方面的,还有中英文术语方面的,但缺电梯群控、智能控制和国外先进电梯技术的系统介绍,更缺电梯交通配置方面的,缺少电梯交通配置的量化表示。这与我国飞速发展的电梯业非常不相称,为了弥补这些不足,特编写《电梯实用技术系列书》。

一、系列书内容

现拟包括如下8部:《电梯选型、配置与量化》、《电梯使用、保养和维修技术》、《电梯施工技术》、《电梯电气设计》、《升降机运行与控制》、《电梯群控技术》、《智能控制电梯工程系统》、《电梯安全技术》。

二、系列书特点

(1) 先进性。充分体现电梯交通系统统计特性和动态特性的现代研究成果。所谓电梯交通系统的统计特性是指用统计学方法研究电梯交通系统的统计规律;所谓电梯交通系统的动态特性是指用智能控制理论研究电梯交通系统的非线性、模糊性和不确定性等特性,实现电梯交通最优配置。

(2) 系统性。贯穿电梯交通配置这个中心内容。所谓电梯交通配置技术是指电梯配置的工程可行性研究、电梯交通配置分析、配置设计、电梯电源设计、电梯生产、安装、使用、维修,即电梯生产的全过程所依赖的技术。

(3) 实用性。编著者从电梯生产实践中收集资料,上升到技术理论,再用来指导电梯生产和使用实践。

(4) 全面性。编写过程中,广泛收集国内外电梯文献资料进行参考,力求全面、系统。

(5) 规范性。以国家电梯标准和建筑设计标准为衡量的准绳。

(6) 文笔生动流畅,图文并茂。

虽然编著者尽了最大程度的努力,以保证本系列书的质量,但是由于水平有限,有些地方可能考虑不周,疏漏之处在所难免,在此恳请读者和同仁不吝指正。

朱德文

于 沈阳建筑大学

2006年5月



前言

随着我国科学技术的发展和电梯技术的不断进步,智能控制技术在电梯工程系统上的应用愈来愈深入和普及,也愈来愈引起专业人员的关注和重视。本书主要是介绍和讨论智能控制技术在电梯工程系统上的应用的一部专著,也是由著者主持的国家自然科学基金资助项目(69874026)的应用内容。

可能有的读者要问:本书和本套书中的《电梯群控技术》有没有重复?有没有联系?回答是:没有重复,但有联系。我们知道电梯交通动态特性是指用模糊逻辑、神经网络等人工智能技术研究电梯交通系统的非线性、模糊性及不确定性等特性,实现电梯交通最优配置。所以两者的内容都是属于电梯交通动态特性的研究范围的,都要用智能控制这个技术工具。但是它们介绍和论述的重点不同:《电梯群控技术》的内容是利用智能控制技术达到电梯群控的目的;而本书的内容是利用智能控制技术改进和提高电梯系统和系统部件的性能指标。

有一些选材内容和写作方法上的问题需要向读者作个说明:

(1) 无机房电梯技术是近十年来出现的新型电梯技术,在第8章中作了比较充分的介绍。通力电梯公司在1996年首先推出的无机房电梯产品,对无机房电梯技术的出现和发展起了重要作用。其产品和技术在本实用技术系列书《电梯选型、配置与量化》第12章中已作了介绍,故本书未过多涉及。

(2) 著者的意图,要把电梯智能控制技术在有限的篇幅中比较全面地写出来。而电梯智能控制技术大致应用在下述几个方面:在电梯交通动态特性中的应用,在电梯群控和管理上的应用,在智能大楼中的应用,在计算机控制中的应用,在双层轿厢电梯技术中的应用,在高层建筑的高速电梯中的应用,在无机房电梯技术中的应用。这就大体上构成了本书的中心内容。

(3) 著者的另一个意图,要把国外先进的电梯智能控制技术介绍进来,并由此把我国的电梯交通配置技术推向世界前沿。近些年来国内的电梯技术发展的比较快,这些先进的电梯智能控制技术在国内外合资的电梯厂家中差不多都能见到和找到。这是一件可喜的事情。

(4) 对智能控制电梯工程系统的发展趋势,不是抽象的列出几条,而是通过事例和事实来说明。

(5) 为了使本书实用而不空谈电梯技术理论,本书多次引用各个电梯厂家的产品说明,在此,对各厂家表示感谢;此外,在介绍和论述电梯智能控制技术中,注重实用性,以便于其能够更广泛的应用于电梯产品生产和制造之中。

本书第4章由教授级高工杨祯山博士撰写,第3章和第5章由张筠莉副教授撰写,第6章由张筠莉和朱德文教授合写,其余各章和最后统稿均由朱德文教授撰写和完成。撰写中得到相关专业人士的大力协助,在此深致谢意!

由于著者学识有限,本书难免有这样那样的错误和不足,恳请同仁及读者不吝批评和指正。

朱德文

于 沈阳建筑大学

2006年10月



目 录

序言

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 智能控制中的电梯系统	1
1.1.1 智能建筑 and 智能控制	1
1.1.2 楼宇自动化中的电梯交通系统	2
1.2 智能控制和电梯交通配置	4
1.2.1 电梯交通配置和电梯交通统计特性	4
1.2.2 电梯交通动态特性	5
1.3 智能控制和电梯工程系统技术	6
第 2 章 电梯交通动态特性技术及应用	8
2.1 电梯交通动态特性技术理论和分析描述	8
2.1.1 电梯交通动态过程描述	8
2.1.2 电梯复杂性的模糊逻辑描述	10
2.1.3 电梯综合技术应用	14
2.1.4 调动电梯方差分析	16
2.2 电梯交通动态特性技术及控制	20
2.2.1 电梯群控 M10 调度技术	20
2.2.2 电梯群控 M10 终点呼叫瞬时分配系统	22
2.2.3 电梯交通上升峰值控制	25
2.2.4 日本住宅电梯要求及控制	28
2.3 电梯交通分区和算法	30
2.3.1 电梯交通动态分区原理和效果	31
2.3.2 动态分区目标和所用参数	31
2.3.3 上、下峰值交通和分区数学模型	32
2.3.4 分区的实施和仿真	33
2.4 电梯交通系统的故障和可靠性分析	35

2.4.1 电梯故障的模糊性描述	35
2.4.2 电梯用变频器的可靠性分析	36
2.5 微机变频自动扶梯节能模式	38

第3章 电梯群控管理技术 41

3.1 电梯群控管理系统组成	41
3.2 群控管理方法和控制	42
3.2.1 电梯群控管理方法流程	42
3.2.2 群控管理控制	45
3.3 多目标最优化控制	46
3.3.1 由专家系统和模拟系统组成的多目标控制	46
3.3.2 包含建筑物在内的交通模型	47
3.3.3 电梯交通模型的公式化	48
3.3.4 使总运行时间最小化的数学规划问题	49
3.4 双层电梯改造工程	51
3.4.1 施工对象和施工条件	51
3.4.2 双层电梯运行方式	52
3.4.3 施工过程	53
3.4.4 脱离群控和设备搬运	54
3.5 改进电梯安全的冗余技术	54
3.5.1 电梯故障事件种类	54
3.5.2 可靠度的换算	55
3.5.3 对偶然失效期等的描述	56
3.5.4 电梯安全电路的可靠度	57
3.5.5 制动器的可靠度	58
3.5.6 电梯金属绳的可靠度	59
3.6 智能大楼中的电梯交通系统	60
3.6.1 智能大楼中的电梯系统构成	60
3.6.2 运行时间测量实验	61
3.6.3 前世界贸易中心大楼交通流量移动时间计算	65
3.6.4 Kiuibe 旅馆客梯交通位置设计	68
3.6.5 Kiuibe 旅馆客梯交通位置计算	70
3.6.6 电梯配置台数和不同时间下的负载	71

第4章 智能建筑电梯交通流仿真 77

4.1 电梯群控系统客流仿真概述	77
4.1.1 电梯群控系统交通流仿真的发展	77
4.1.2 电梯群控系统客流仿真的目的	77
4.1.3 电梯系统建模性能指标	78
4.2 电梯控制系统的客流模型	78
4.2.1 乘客的到达时间和起始层分布	79

4.2.2	乘客目的楼层的分布和确定	80
4.2.3	仿真软件和应用实例	81
4.3	高级电梯交通仿真器 (ALTS) 的开发	83
4.3.1	电梯仿真功能描述和模型描述	83
4.3.2	电梯控制	84
4.3.3	测试案例	85
4.4	探讨电梯用于火灾疏散问题的仿真处理	88
4.4.1	电梯用于疏散问题的提出	88
4.4.2	应急疏散问题	88
4.4.3	实际案例的调查分析	89
4.5	疏散时间的计算方法	92
4.5.1	电梯疏散时间、启动时间和环行时间	92
4.5.2	停车时间	93
4.6	疏散安全措施和安全建议	96

第5章 计算机控制中的电梯群控技术 98

5.1	虚拟电梯模型和梯群的计算机控制	98
5.1.1	虚拟电梯模型	98
5.1.2	梯群的计算机控制	100
5.2	电梯群控的计算机辅助设计	101
5.2.1	电梯土建布置系统的计算机辅助设计	101
5.2.2	电梯交通配置中的计算机辅助设计	104
5.3	单台电梯仿真模型	107
5.3.1	单台电梯仿真模型设计思路	107
5.3.2	程序设计的主要流程图	108
5.3.3	仿真模型	108
5.3.4	电梯控制测试结果	110
5.4	梯群仿真	110
5.4.1	梯群仿真输入参数	111
5.4.2	静态与动态参数的确定问题	112
5.5	动态仿真和交通模式设计	113
5.5.1	动态仿真设计	113
5.5.2	交通模式设计	116
5.6	特殊运行和监控模式设计	119
5.6.1	特殊运行模式设计	119
5.6.2	系统监控模式设计	121

第6章 双层轿厢电梯智能控制技术 122

6.1	双层轿厢电梯交通计算和分析	122
6.1.1	双层轿厢电梯的优缺点和计算研究	122
6.1.2	双层轿厢电梯交通分析	123

6.2	双层轿厢电梯交通乘客候梯率和计算公式	123
6.2.1	双层轿厢电梯交通乘客候梯率	123
6.2.2	双层轿厢电梯交通计算公式	124
6.3	双层轿厢电梯交通实施流程和交通分析例	126
6.3.1	双层轿厢电梯交通实施流程	126
6.3.2	双层轿厢电梯交通分析例	126
6.4	一井双梯系统	127
6.4.1	一井双梯设计基本思路	127
6.4.2	一井双梯系统的使用和结构	128
6.4.3	一井双梯系统的安全设施	128
6.4.4	一井双梯系统布置方式	129

第7章 电梯智能控制系统 132

7.1	速度最快的电梯交通系统	132
7.1.1	电梯驱动和控制系统	132
7.1.2	抑振和大气压力控制	133
7.1.3	新型机械技术	134
7.2	直线电机垂直运输系统	136
7.2.1	由线性电动机驱动的垂直输送系统的实验研究	136
7.2.2	垂直模型系统实验模型	136
7.2.3	比例模型系统	138
7.3	TALO 新型驱动系统	140
7.3.1	TALO 驱动原理	140
7.3.2	TALO 驱动系统组成	141
7.3.3	TALO 驱动效果	142
7.4	Miconic10 电梯智能化控制系统	143
7.4.1	Miconic10 群控系统功能特点	143
7.4.2	Miconic10 的功能、布置和运行特点	144
7.4.3	厅外呼梯键盘与召唤盒的布置	146
7.4.4	Schindler Lobby Vision 大楼管理系统	147
7.4.5	迅达 500P 智能电梯	148
7.5	日立电梯群控操作系统	151
7.5.1	日立全自动 CIP 梯群监控系统	151
7.5.2	日立电梯群控操作方式	151
7.5.3	电梯群控学习功能及智能系统	153
7.5.4	极大极小控制	153
7.5.5	优先分配控制和到达预报系统	154
7.5.6	特定楼层运行和集中控制	155
7.5.7	日立群控操作系统的各项基本功能	157
7.6	电梯故障远程监控系统	159
7.6.1	电梯监控系统	159

7.6.2	电梯远程监控系统	161
7.6.3	利用 GPRS 技术的电梯远程监控系统	163
7.7	三种型号的电梯群控系统的比较	166
7.7.1	比较概要	166
7.7.2	子系统图形比较	166
第 8 章 电梯群控产品技术		172
8.1	Smart Com11 群控系统	172
8.1.1	Smart Com11 群控系统特点	172
8.1.2	Smart Com11 控制系统的管理、控制和驱动	174
8.1.3	Smart Com11 控制系统的构成和性能	176
8.1.4	SM-ICM-C 控制系统结构功能	177
8.1.5	SM-ICM-C 控制系统群控操作	180
8.2	VVVF 电梯驱动系统	181
8.2.1	驱动系统构成	181
8.2.2	VVVF 控制效果	182
8.2.3	在高速电梯中的应用	185
8.3	小机房电梯	187
8.3.1	小机房无齿轮标准乘客电梯	188
8.3.2	ELCOSMO 小机房电梯	189
8.3.3	ELBRIGHT 小机房电梯	195
8.4	无机房电梯	198
8.4.1	无机房电梯的标准和要求	198
8.4.2	Evolution 无机房电梯	203
8.4.3	行星顶式无机房电梯和行星电梯曳引机	206
8.4.4	无机房标准乘客电梯	209
8.4.5	GeN2 无机房电梯	211
8.4.6	ELENESSA 新型无机房电梯	214
8.4.7	变频调速无机房电梯	216
8.5	无机房电梯的布置方式和设计事项	217
8.5.1	无机房电梯曳引机的几种布置方式比较	217
8.5.2	无机房电梯设计事项	218
第 9 章 智能控制电梯工程系统的发展趋势		221
9.1	超高层建筑的电梯技术和电梯振动抑制技术	221
9.1.1	超高层建筑电梯交通配置的实现	221
9.1.2	超高层建筑的电梯控制技术	224
9.1.3	超高层建筑电梯技术的发展趋势	225
9.1.4	高速电梯的气动力特性研究	226
9.2	电梯拖动技术的发展	228
9.2.1	电梯曳引技术的发展	228

9.2.2	永磁同步无齿轮曳引机电梯的特点	229
9.2.3	永磁同步无齿轮电梯产品和技术	230
9.2.4	永磁同步无齿轮电梯的应用事项	231
9.2.5	电梯曳引系统配置使用钢丝绳问题	233
9.3	先进电梯和部件技术	235
9.3.1	曳引机结构	235
9.3.2	CANopen 的应用	235
9.3.3	轿厢位置检测	237
9.3.4	上行超速保护等器件和要求	239
9.3.5	新标准的推出对产品发展的影响	241
9.4	数字电梯和节能技术	243
9.4.1	数字电梯技术	243
9.4.2	电梯节能和环保技术	245
参考文献		247

第 1 章

绪 论

本书的目的是要了解、掌握、设计和应用电梯工程系统，特别要掌握智能控制的电梯工程系统。为此，首先要了解智能控制和电梯系统，智能控制和电梯交通配置的关系，以及智能控制电梯工程系统技术的现状、内容和特点。

1.1 智能控制中的电梯系统

1.1.1 智能建筑 and 智能控制

建筑设计中由于钢架结构技术的不断进步与完善，使得建筑物向着高层方向发展成为可能。主要标志是 1885 年建筑学家 W. L 杰尼在建筑中采用钢架结构技术。现代超高层建筑的设备越来越复杂，各种环境下的楼宇系统同时存在。在早期技术条件下，要操作和运行这些设备系统，只能采用大型仪表盘和操作盘，集中对各个重要设备的状态进行监视，并进行集中式操作。为使高层建筑中纷繁复杂的系统进行有序运作，为人们提供最优的便捷和舒适性，又使大楼设备具有合理的低成本运营模式，智能建筑（Intelligent Building）便应运而生。从 20 世纪 80 年代起，由于计算机技术的发展和运用，建筑技术和信息技术相互渗透和结合，人们可以使所有设备的状态都显示在中央控制室内，并很容易地进行操作和管理，既节省了人力，也提高了效率。到了 20 世纪 90 年代，昂贵的现场控制器已被低成本并有较高处理能力的现场控制器所取代，监控功能也逐渐由常规控制改为提供各种数据报表和专项功能的统计文件，即由集中监视下的集中控制扩大为集中监视、集中管理和分散式控制。

世界上第一幢智能建筑，是在一幢旧的金融大厦的基础上，由美国联合技术公司（UTC，United Technology Corp）的一家子公司——联合技术建筑系统公司（UTBSC）于 1984 年 1 月在美国 Connecticut 州的 Hartford 市改建，世界上第一次出现了智能建筑的概念。联合技术建筑系统公司承建了这幢共 38 层 11 万 m² 建筑的空调、电梯及防灾设备工程。其主要措施是将计算机与通信设施连接，使业主可以廉价地向大厦用户提供计算机和通信服务，在大厦出租率、投资回收率 and 经济效益方面均取得成功。智能大厦的管理系统采用的是一个智能化的综合管理系统。这种具有高生产力、低劳动运营成本和高安全性的大厦管理系统称为智能建筑管理系统（IBMS）。

目前国际智能建筑研究机构对智能大厦给出的定义是：以目前国际上先进的分布式信息与控制理论而设计的集散式系统（Distributed Control System），运用计算机技术（Computer）、控制技术（Control）、通信技术（Communication）和图形图像显示技术（CRT），通过对建筑物的四个基本要素，即结构、系统、服务和管理及它们之间的内在联系，以最优化的设计，建立一个由计算机系统管理的一体化集成系统，提供一个投资合理而又拥有高效率的优雅舒适、便利快捷、高度安全的环境空间。日本智能建筑专家黑泽清先生对智能建筑的定义为：可自由高效地利用最新发展的各种信息通信设备，具有更自动化的高度综合性管理的大楼。

综上所述，智能大楼的综合功能体现在：先进的楼宇自动化系统（BA）、通信自动化（CA）系统、办公自动化（OA）系统、楼宇管理系统（IBMS），为人们提供一个高效舒适的工作和学习空间环境。这也是智能建筑能够迅猛发展的主要原因。智能建筑的发展是科学技术和经济水平

的综合体现。从工业社会现代建筑的概念转向面对信息社会的需求，智能建筑正在世界范围内蓬勃发展，在美国和日本等国家和地区的大量建筑实践中已取得了不少成就。如前纽约世界贸易中心大楼（417m）、帝国大厦（381m）、日本的里程碑大厦（296m）、马来西亚的双子石油大厦（452m）等。

我国的城市建筑正在经历着一个前所未有的蓬勃发展阶段，近年来在我国也陆续兴建了一些不同智能标准的智能建筑。如上海浦东新区的金茂大厦，竣工于1998年，建筑面积共2.6万m²，共88层，421m，它是中国内地迄今为止最高的建筑，也是世界第5高楼。台北101大楼，竣工于2004年，共101层，508m，为世界第1高楼。还有诸如广州市贸中心、上海证券大厦等。智能建筑技术已经成为21世纪建筑发展的主流，而高品质电梯及其群控系统配置技术的应用无疑将给智能建筑提供更大的便捷与舒适性。

1.1.2 楼宇自动化中的电梯交通系统

根据智能建筑的基本内涵可知智能大厦由三大子系统构成：通信自动化系统（CAS）、办公自动化系统（OAS）和楼宇自动化系统（BAS）。

先进的通信系统是以大楼数字专用交换机为中心，在楼内联接程控电话系统、电视会议系统、无线寻呼系统和多媒体声像服务系统，对外与广域网或城域网及卫星通信系统相联，实现大楼内外便捷的声像数字通信，这是智能大厦的中枢神经。

办公自动化系统的主要功能是以计算机网络为支撑，由局域网连接的计算机网络系统，用户每人只用一台工作站或终端个人电脑，便可完成所有业务工作，通过电脑网络和电子数据交换技术，实现业务处理和文件传递的无纸化、自动化，传统办公室里层叠的文件资料柜代之以光盘存储器，以及未来的高密度纳米存储器。通过数据库、专家系统、综合设计系统、电子出版系统、可视图文信息系统等实现信息资源的共享，提高业务处理效率。

楼宇自动化系统，是智能大厦正常运作的必要条件和重要组成部分，主要包括：

（1）环境能源管理系统。

（2）电力照明系统。包括电力需求控制、功率因数改善控制、变压器台数控制、发动机负荷控制、停电复电控制、昼光利用照明控制、点灭调光照明控制。

（3）空调卫生系统。包括新风取入、新风供冷控制、冷热源机器台数控制、二氧化碳浓度控制、冷热负荷预测控制、蓄热、热回收、隔热控制、预冷预热运行最优化控制、太阳能集热控制、蓄热槽管理、排水控制、节水控制管理等。

（4）输送系统。电梯群控及远程监控管理、自动扶梯管理、停车场自动管理、自动搬运机器管理、自动计量仪器管理。

（5）保安管理系统。

（6）防灾系统。包括火灾联运控制、排烟控制、引导灯控制、非常时间对应控制、停电时间对应控制、防漏电、防煤气泄漏控制。

（7）防盗系统。包括入退楼管理、入退室管理、远隔监视、各种传感器警报管理、时间表控制、闭路电视管理、自动防盗设备管理。

（8）数据系统。包括存取控制、IC卡管理、指纹管理、声纹管理、暗号指令管理、空间传送。

（9）物业管理系统。

（10）计量系统。包括能源计量、租金管理、运行操作数据编集和分析评价、系统异常诊断、节能诊断、报警信息记录编集。

(11) 维护保养系统。包括机器维持时间表管理、机器劣化诊断、故障预知诊断、数据生成、自动清扫机管理、设备更新管理。

通过对楼宇自动化系统的管理与协调,将整幢建筑的空调机组、给排水机设备(水泵)、制冷机、冷却塔、换热器、水箱、照明回路、变配电设备、电梯等机电设备进行信号采集和控制,实现大厦设备管理系统自动化,起到改善系统运行品质、提高管理水平、降低运行管理劳动强度、节省运行能耗的作用。

作为楼宇自动化系统的重要子系统之一的电梯群控系统是智能大厦垂直交通运输的重要支持系统,现代建筑智能化向传统的电梯控制与配置方法提出了挑战。只有依靠有效的垂直运输系统,才能够给现代高层智能建筑提供超值的服务质量和数量。服务的质量即减少乘客的候梯时间,将乘客的候梯烦躁感降到最小,增加舒适度,减少电梯的行程时间,提高系统的运行效率;服务的数量即通过优化的群控配置技术优化电梯的乘载率。对高层及超高层智能建筑电梯交通系统的设计研究表明,高效大型的超高层建筑的电梯交通系统设计的关键是:

各个区域的乘客进出—电梯分区服务—各区域楼层顶部的彼此衔接服务(On Top of One Another):这些局部区域由高速的空中大厅梭(Sky-Lobby Shuttle)型电梯,快速地运行于地面基站楼层和空中大厅之间。这里设置的空中大厅是超高层智能大厦在处理分区交通时的有效措施。因此,需要开发新的适合于未来电梯的高速驱动器(High-Speed Drives),这是电梯交通系统智能控制的必要前提。

高品质电梯驱动器的应用:由于超高层建筑对高速、舒适与低能耗电梯的需求,VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)电梯驱动器提供了较高的能源效率和非常好的较为平滑的运行舒适性。因此,世界上最高速的电梯系统绝大部分使用的是具有很多安全品质的VVVF控制算法。其中矢量控制的VVVF驱动器改善了梯形控制的电梯系统的静态特性,成功地解决了电梯运行舒适感问题。线性电动机驱动器(Linear Motor Drive)的开发使得电梯系统以更有效的方式利用井道。

人工智能技术(Applications of Artificial Intelligence)的应用:高速的电梯驱动器系统的性能依赖于良好的梯群监管控制(Supervisory Control)。电梯系统的监管控制负责调整一组(群)电梯中的轿厢,目的是有效的利用梯群。一个好的监管控制系统必须以最少的装置使交通人流(Traffic Flow)达到最大化。控制算法应适应于任何时间的电梯交通模式的人流变化。换句话说,电梯群控是基于系统工程意义下的交通系统的整体最优,电梯系统拥有最短的候梯时间和运行时间及最高的乘客输送能力,以及将聚群现象控制在最小的范围内。

所谓梯群的智能控制就是利用模糊控制、专家系统、神经网络、智能算法等高科技手段,寻求电梯系统的优化控制策略,优化调度多部电梯以提高电梯的运行效率和服务质量,在群控管理和人机接口上不断改进和提高,使电梯交通和其他设施融为一体,减少乘客的候梯时间和电梯的行程时间,提高系统的运行效率,使智能大厦垂直交通系统处于整体最优状态,最大程度地满足人们对便捷和舒适性的要求。

我国的电梯配置与电梯交通系统特性的研究与国外相比还处在落后状态,20世纪80年代以前,基本上处于消化国外电梯配置理论和特性研究的阶段。1986年我国才开始对电梯配置理论和电梯的系统特性进行研究,主要是针对电梯系统的统计特性进行研究。1990年开始对电梯系统的动态特性进行研究。随着智能建筑技术的发展与普及,电梯业作为建筑业的重要产业,显得越来越重要,对于电梯技术的深入研究有着非常重要的意义。

1.2 智能控制和电梯交通配置

电梯交通配置总的态势是电梯交通配置理论同电梯工程系统和应用一直是互相促进、共同发展的。从 20 世纪 20 年代到 70 年代中期 (1974 年), 电梯交通配置理论主要体现在对电梯交通统计特性的研究上; 从 20 世纪 70 年代中期 (1975 年) 以后, 主要体现在对电梯交通动态特性的研究上。

1.2.1 电梯交通配置和电梯交通统计特性

一、电梯交通配置

电梯交通配置是指电梯交通系统分析、电梯交通配置设计、电源设计、安装和维修工程等。电梯生产全过程包括电梯设计 (电气设计和机械设计)、制造、电梯交通系统分析和计算、安装及维护诸环节。电梯交通系统和高层建筑物, 特别是和智能建筑有着密不可分的关系, 因为电梯交通系统是组成智能建筑三大系统之一的楼宇自动化系统的重要的子系统。对电梯交通动态特性的研究是楼宇自动化系统的重要内容。电梯交通系统的功能是智能化大楼整体功能的一部分, 建筑物本身连同各项设施在功能上形成一个整体, 为人们提供完善的服务。

电梯交通配置和计算的过程就是使电梯交通系统整体的输出量趋向于其期望值的过程。其实质是不妨把建筑物类型、建筑物规模、电梯曳动类别、电梯服务方式和轿厢门别当作已知的输入量, 按照流程顺序计算出 5min 载客率、平均间隙时间、平均行程时间和电梯台数的实际值, 并和其对应的期望值相比较, 如相差太大, 需重新配置, 直至满意为止。由此制定出电梯交通配置的技术路线, 即用控制理论完善电梯交通系统整体分析数学模型, 用系统工程中有向图概念研究其流程顺序, 用计算机辅助设计完成计算和实施, 用多目标最优化方法完成电梯最优配置, 用模糊规则和专家系统研究电梯群控系统。到了现代电梯阶段, 电梯技术以计算机、群控和集成块为其特征, 电梯结构对于超高层建筑来说, 向双层轿厢和空中大厅 (Sky Lobby) 形式发展。自 1984 年出现智能建筑以后, 电梯交通系统成为楼宇自动化的一个重要子系统了。电梯交通配置的发展趋势是: 从统计特性过渡到动态特性; 以专家系统和神经网络等人工智能技术为武装; 广泛采用使用计算机的电梯群控系统和电梯交通配置 CAD; 同时也继续拓宽研究统计公式及确定统计参数。

二、电梯交通统计特性

电梯交通的统计特性是指用统计学方法研究电梯交通的统计规律。例如, 作为系统输出分量的 5min 载客率、电梯台数、平均间隙时间、平均行程时间及加速距离等, 都是描述电梯交通统计特性的参数。从 20 世纪 20 年代起直到 70 年代, 形成了一整套电梯交通配置理论的统计学公式。最早的著名论文是 1923 年 Jones Basset 提出的 “The probable number of stops made by an elevator”, 以后, 有 1955 年瑞士人 Joris Schröder 的论文 “Probable reversal floor calculation”, 到现在为止, 电梯交通配置的统计特性理论已基本定型, 尽管个别部分还在继续研究和拓宽。值得指出的是, 人们还没有重视对电梯交通系统整体的研究, 因此, 理论与应用有些脱节。著者于 1988 年建立了 “电梯交通系统整体分析数学模型与变量关系图” 理论, 有助于从整体上掌握电梯交通的统计特性。

就电梯交通统计特性研究而言, 今后的主要发展方向是: ①发展双层轿厢电梯; ②进行电梯交通配置图线研究; ③应用计算机视觉技术; ④应用红外线技术。

对电梯交通统计特性研究的评述: 电梯交通统计特性理论是电梯交通配置的基本理论, 以

“电梯交通系统整体分析数学模型与变量关系图”为基本框架，使用电梯交通分析方法，具有电梯交通变量的统计性质，以计算电梯运行周期 RTT 对于建筑物层数 n 的关系式为中心，可以完全实现电梯交通配置设计，虽然电梯交通动态特性研究指标最终仍以统计特性指标形式提供给人们，但是上述建立的统计模型不是唯一的。随着现代高新技术的出现，向计算电梯运行周期的分析和统计方法提出了挑战。不过，电梯交通统计特性理论仍不失为电梯交通配置的基本理论，对一些统计公式现在仍有人进行拓宽研究。有学者提出：从某种程度上讲，电梯交通分析以上升峰值交通为基础，有些时候，不对其他交通流（例如午餐交通流）峰值进行研究，将是危险的。

1.2.2 电梯交通动态特性

电梯交通动态特性是指用模糊逻辑、专家系统和神经网络等人工智能技术描述其模糊性、非线性及不确定性等特性，并完成电梯交通最优配置。虽然在 20 世纪三四十年代就出现和使用了电梯群控系统，但那时的电梯群控系统基本上未使用计算机，属于继电器顺序控制群控系统和集成电路群控系统。在 20 世纪 70 年代中期（1975 年）以后，计算机的应用使人们可以利用各种人工智能技术研究电梯交通系统的动态特性，提高高层建筑的垂直运输效率，充分发挥智能化大楼的综合功能。在这一阶段中，首先是日本的 Hitoshi Aoki 等人把人工智能技术（主要是模糊逻辑专家系统）引入电梯群控系统，建立了专家系统知识库和模糊规则。1990 年，棚桥徹等人研制出带有模糊控制的人工智能电梯群控系统 ELEX 系列，平均候梯时间比常规系统减少 15%~20%。1992 年，神经网络技术开始应用在电梯群控专利中。1994 年，Kita H Markon 等人将神经网络技术引入电梯群控系统中。接着日本 Toshiba 公司开发出使用神经网络的电梯群控装置 EJ-1000FN，以适应各种建筑物的交通条件变化，表明带有神经网络的电梯群控系统已进入实用化阶段。

动态特性研究表现在：

（1）模糊控制技术在电梯群控系统中的应用。早在 1987 年 Looney 等人就指出：以模糊规则为基础的控制是模糊控制的有前途的领域。从 1988 年起，进入应用人工智能技术的电梯群控系统阶段，模糊控制技术开始应用在电梯群控系统中。1989 年，日本三菱电梯公司把模糊逻辑用在电梯群控系统中，用来确定乘客密度和电梯交通模式。1990 年，Hitoshi Aoki 等人提出模糊推理图像运算模式。1993 年，Bruse A · Powell 和 David J · Sirag 建立电梯交通模糊逻辑模式。1995 年，S · Kubo 等人建立电梯交通模糊专家系统。1998 年，K · Thangavelu 研制成功开环模糊逻辑控制器，其技术以专利形式公诸于世。现在，模糊控制技术已经广泛地应用在电梯群控系统的配置设计中。比较著名的电梯群控系统有：日本三菱电梯公司的 AI-2100 和 AI-2200 系列，Schindler 电梯公司的 MiconicVX™/AITP 装置等。

（2）专家系统的应用。模糊规则和专家系统的不足是它们只能按照模糊规则进行电梯交通配置，当交通流发生变化时就不能随之变动了。因为专家认定的模糊规则不总是带来最好的结果。而调整模糊规则和隶属函数又很困难，因此不能依靠学习改进控制算法。

（3）神经网络技术的应用。虽然电梯交通研究中的神经网络技术较受重视，但电梯群控系统由于其复杂性的增加，研究空间的维数将飞速增加而使问题变得相当复杂，故通常把神经网络技术和模糊控制技术，和专家系统联合使用。现在，模糊控制技术仍然是电梯群控中最基本的核心技术。

（4）计算机网络技术的应用。其中有代表性和有发展前途的是采用多主结构的 CANBUS 总线网络和电梯群控中的数据型网络控制系统。

（5）电子新技术的应用。

(6) 先进控制算法的开发。动态特性研究发展趋势：①继续进行模糊逻辑运算的研究以构成模糊规则；②电梯群控系统由区间控制、候梯时间预测控制进入带有自学习功能的预测控制；③进行电梯交通模糊性、非线性、不确定性扰动等动态特性的深入研究；④继续建立带有人工智能的电梯群控系统，使之更加实用；⑤电梯群控系统功能作为智能大楼整体功能的一部分；⑥电梯群控作为计算机网络的一部分。

1.3 智能控制和电梯工程系统技术

一、智能控制电梯工程系统技术总的情况

我国城市的发展促进了兴建更多更高的摩天大楼，也刺激了电梯产量和在用电梯数量的猛增，促进了电梯智能控制技术的发展和先进的电梯工程系统的出现。截至 2004 年底，我国在用电梯数量达到 527329 台，并以每年约 20% 的速率在增长着。2004 年电梯生产量达 11 万台，约为世界电梯年产量的 1/3，我国电梯年产量递增率约为 30%，我国是世界上名副其实的最大电梯市场。

随着电梯技术的不断进步和中外合资企业的发展，各大企业普遍重视了电梯新技术的应用和自主开发能力的提高。在完成了世界一流水平的现代化工厂建设之后，纷纷着手建设高水准的研发中心。随着计算机技术和电力电子技术的广泛应用，变频变压调速和串行通信技术已全面普及，永磁同步拖动技术的应用在日益扩大，使我国电梯的技术水平和产品质量从整体上进入了世界先进行列。同时，电梯企业的销售维保网络已基本形成，售后服务条件大为改善，为电梯的安全运行和企业的持续发展奠定了基础。与此同时，配套件企业的生产规模继续扩大，一批优秀的电梯配套件制造企业日趋壮大，专业化生产质量可靠，价格低廉，既支持了中、小型电梯企业的发展，又为大型企业的优化投资结构和降低成本创造了条件。

二、我国智能控制电梯工程系统技术现状

我国近几年来推出的智能控制电梯工程系统的新技术、新品种和新设备如下：

(1) Miconic10 智能型终点厅站登记系统。只要乘客按下呼梯按钮，乘客就知道该乘坐哪台电梯能最快到达目的楼层。

(2) “奥德赛”电梯系统。它把高层建筑中水平和垂直方向的运输结合起来，实现高层建筑内高效快捷的运输。

(3) 在电梯的驱动系统方面，VVVF 控制技术已占据了主导地位。几乎每个电梯厂都生产出各自的 VVVF 电梯产品，有的还采用了先进的智能网络控制技术。

(4) 无机房电梯在 20 世纪 90 年代中期开始步入市场。随着国内住宅建筑和公共设施的快速发展，无机房电梯例如通力公司推出了 Escalator Disc 无机房电梯曳引机，迅达公司推出了 Schindler Mobile 无机房电梯，三菱公司的 ELENESA 无机房电梯，OTIS 的 GEN2 无机房电梯等均受到重视，并在市场上占有较大的份额。而且，在市场上出现了各种形式的无机房电梯。有直线电机驱动的；有行星齿轮驱动的；有 OTIS GEN2 无机房电梯，打破了传统的钢丝绳曳引，改用钢带驱动，称为第 2 代电梯产品。无机房电梯有曳引驱动、液压驱动、螺母螺杆驱动、齿轮齿条驱动、皮带驱动及直线电机驱动等方式。

(5) 曳引机虽然还是以传统的蜗轮蜗杆式传动为主，但是斜齿轮和行星齿轮传动的曳引机由于效率高、体积小、承载能力大，而备受用户的青睐。特别是永磁同步无齿轮曳引机，可以说是一项技术革命，驱动系统从此以后去掉了减速增力的减速器。

(6) 远程监控系统成为售后服务的重要手段。标志着 21 世纪中国的电梯企业将由生产主导

型向服务主导型转变。

(7) 超高速电梯的速度仍在提高。通力公司推出的 ALTA 电梯的速度为 17m/s；三菱电梯公司推出的超高速电梯的速度为 18m/s；东芝电梯公司推出的超高速电梯的速度为 16.83m/s。并开发出了所应用的专利部件，采用了当今最先进的计算机和电子技术，电梯产品也成为当今的高科技产品。

(8) 电梯产品有三菱电梯公司领先的 AI-2200 电梯群控系统，它采用了先进的“预测调谐型”AI 方式和去向预报系统先进技术。可智能化交通分析，目标楼层预测，18m/s 的超高速电梯是高科技技术产品的代表。

(9) 现代电梯产品采用了最先进的计算机设计方法，最新的材料，最新的制造工艺，和最先进的控制技术。

(10) 自动扶梯和自动人行道也采用了 VVVF 控制和智能化的节能控制系统。超高度的自动扶梯和室外的全天候自动扶梯、无齿轮驱动的无机房电梯、小机房电梯、超高速电梯及间距可调的双层轿厢电梯，更是涉及多学科新技术和新材料的高新技术产品，而这些已成为许多电梯厂商的主要发展方向。

(11) 轿厢上行超速保护装置是 2003 年才开始推行的电梯安全概念，如今已生产出多种产品。如双向限速器-安全钳系统、钢丝绳夹绳器、曳引轮夹轮器、曳引轮轴制动器、制动系统 EBRA20 等。

(12) 电梯热点产品和部件有无机房电梯、小机房电梯、别墅电梯、新型自动扶梯、无齿轮曳引机、电梯上行超速保护装置、目的层站系统、新颖操纵盘及按钮、多彩液晶显示器、家居智能化系统、变频门机、光幕、远程监控系统、微机控制柜，以及杂物电梯、编码器、称量装置、IC 卡电梯系统等。

第 2 章

电梯交通动态特性技术及应用

本章内容包括电梯交通动态特性技术理论和分析描述、动态特性技术及控制应用、分区和算法、故障和可靠性等。

2.1 电梯交通动态特性技术理论和分析描述

2.1.1 电梯交通动态过程描述

电梯交通动态过程的某些取样分布用随机仿真描述，整个动态过程用系统仿真描述，专家知识和法则用专家系统描述，推理和学习用人工智能描述。

一、模型和仿真

模型是简化的表示式或现实性的抽象化。模型的表示式可以在抽象化的多样化级别上进行。按照它们的抽象化程度可把模型分为下列三种：

(1) 形象模型。是最低限度的抽象，系统的物理复制品。通常是以不同的标志为基础，可以在三维空间，如建筑物模型中显露。照相和美术都是形象标志模型的另外类型，只不过是二维空间中罢了。

(2) 相似模型。相似模型不能看作真实系统，但行为却跟它一样。这些模型通常都是二维图形和物理模型，只不过它们的形状由于系统种类而不同罢了。编制计算图或晒电梯或建筑物的蓝图，油尺和时标是所有相似模型与形象模型的例子。相似模型与形象模型相比，是最抽象的。

(3) 数学模型。在某些系统中，相互关系的复杂性不能在物理上反映出来，或者说，其物理表示可能很麻烦，而且要采用时间结构或操作。在这些情形中，一种最抽象的模型被用在工具符号中。电梯交通分析依靠和利用数学符号的辅助数学模型进行。电梯控制系统使用“实时”数学模型来计算估计的到达时间、动态启动点和许多其他那种加强系统操作的变量。

仿真是在描述和计算系统性状中围绕反复试验性的实验的那种数学模型，是确定实际外表和特征的方法。从广义上讲，任何模型都是仿真。对我们来讲，仿真有非常特殊的意义。

首先，仿真属于不精确的模型类型。一般来说，模型是真实描述；而仿真只是模仿它。在实际术语中它意味着：在仿真模型中与其他模型相比，这是少有的实物简单化。

其次，仿真是一门指导实验的技术。因此，仿真在模仿真实性的那种方式中，总是围绕模型操作。

仿真是一种描述，但它不是标准工具。这是因为，它不是对最优解的探索。代替的是，仿真过程往往是由许多实验时间重复组成的、得到真实作用的综合效果估计。在某些情形下，它可以人工完成，但常常需要计算机。

在完全状态系列下，仿真模型曾经用来确定系统特征，并在多值解中可以挑选最好选择。电梯控制系统可以使用人工智能、专家系统、随机仿真及系统仿真这四种仿真类型。

二、人工智能和专家系统

(1) 人工智能。在电梯控制系统和计算机中，为了正确提出问题和为了所要求的计算，使用微机提供了快速而准确的工具。正确地提出问题是指它能够作为大量的准确事实的模型。基本的

因果关系是相当明白的，或者可以用说明大多数观测表现的数学表示式表示。不确定问题不可能用同样的确定程度来说明，而包含很大“可能性”的成分。虽然，计算机也可以用来帮助求解最困难的“不确定”问题。根本问题是计算机能否编制程序以显示智能？特别是，它能否搞出观察结果，考虑到前提条件，认识相似性和学习它自己的经验？

早在 20 世纪 40 年代初，计算机就已经会“思考”了。但是人工智能仍处于它发展的初级阶段。列入仿真是因为试验需要模仿人类的普通记忆。人工智能使推理和学习等在普通问题求解中都起着基础作用。在这种发展阶段上，当用在问题求解的实际过程中时，这些基础作用与其说像基本成分一样被采用，不如说像综合人工智能一样被采用。在应用规划中，人工智能的使用作为一种手段，通过学习改善确定法则。

(2) 专家系统。应用分步式的程序，以确定的步数得到满意解。这种仿真程序被称为专家系统，是因为在法则集合方面，它综合了所谓“专家”的知识，并直接输出或导致对这些法则的确认。法则通常发展为反复试验的经验结果，它不拥有任何分析基础。而应用是发展了的法则。对于许多组成现代电梯装置的子系统来说，电梯系统的最优期望速度是以建筑物设计为基础的，虽然不可能是最好的期望速度，可是它将满足对于这些装置的设计要求。应用规划对于复杂问题来说，是使用它达到可能解或近似解。

三、随机仿真和系统仿真

(1) 随机仿真。具有概率成分的状态系统用辅助的所谓 Monte Carlo 技术可以仿真。这种技术围绕取样的可能分布，描述了现时生活中的概率过程。电梯运输系统的关键元素给予它们自己以 Monte Carlo 仿真。到达乘客的总人数可以调查并由联合概率分布进行描述。这种分布的形式由这样的整体运输效率，由存在的多楼层租界人和租界人的组织培训来管理。

轿厢呼叫记录、累积停站和高反向楼层将以到达乘客分布和随机概率因子为基础。运行周期和系统操作都直接受这些变量的影响。这些分布已知，可能形成的随机数序列使之符合每种分布。事实上，汇总位于轿厢中的乘客，使他们的轿厢呼叫存在于层站上，并由模型进行选择。此时要仿真电梯行驶过程。这种交通分析程序在 1~2s 内，将完成需要许多时间才能完成的试验，并提供仿真以进行统计。在先前服务值的基础数据中，对贮存值进行比较时，分配计算机将完成同样计算，以满足用户提前使用的需要。此时要变更配置操作以满足所期望的最优服务需要。

(2) 系统仿真。系统仿真典型地涉及到模拟超大型动态系统，即电梯自动或周期行驶的产生过程。仿真电梯拖动技术中的运行特征方程式、门操作和乘客进出、适当时间的滞后和系统反馈，都编制程序进入到计算机中。这些方法在其操作环境下描述了现实生活系统的有关特征。此时，不同的设备形式是关于仿真模型察看其作用的检验过程。关于这些试验基础，得到对系统的某些认识，并且所有试验形式的努力都是一致的。

描述变量对最好试验形式下的敏感性可能有变化。现代计算机仿真包含这些成分的大多数类型。电梯仿真采用随机概率模型以确定乘客人数、局部停站和高呼叫反向停靠数。系统仿真复制了电梯设备和计算机操作系统动态、门周期时间和电梯周期行驶的作业特征。应用规划赋予它适当的工程标准。标准要求和实际设备容量都用在这个问题上了。人工智能改变了仿真对于焦点问题的应用，也改变了在有关可能解的系列中的探索。

对于分析方法，它已具有一些基础，用在设计中并控制现代高速电梯系统。随机模型化为电梯系统复制品，发挥了偶然性和概率性的作用。在模型化过程中还要讨论统计学和总体参数的作用。