

多轿厢电梯系统

设计与实施

朱德文 申益洙 著

DUOJIAOXIANG DIANTI XITONG
SHEJI YU SHISHI



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

目录

多轿厢电梯系统

设计与实施

朱德文 申益洙 著

DUJIAOXIANG DIANTI XITONG
SHEJI YU SHISHI



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

我国是电梯生产量和在用量世界第一大国,不仅需要一般电梯技术,更需要多轿厢电梯系统控制技术。该书是论述多轿厢电梯系统的设计与实施,配置控制技术的一部专著。写作意图是:在电梯业领域内,向世界推出具有前瞻性和战略性的科技学术成果。材料来源:国内外相关多轿厢电梯的文献;著者的研究成果;实际资料。主要内容包括:双层轿厢电梯、双轿厢电梯、线性电动机电梯、环型电梯、分叉环型电梯的设计与实施,配置控制理论及其技术经济分析等。

本书资料丰富,创新性强,图文并茂,包括著者十余年来研究成果和创新学术观点。适用于电梯业和建筑业从业人员,购置、销售和维修电梯的业主和用户,物业管理部门和人员,研究控制理论专业人员,以及高等院校相关专业师生等。

图书在版编目(CIP)数据

多轿厢电梯系统设计与实施/朱德文,申益洙著. —北京:中国电力出版社,2017.5
ISBN 978-7-5123-9764-4

I. ①多… II. ①朱… ②申… III. ①电梯-设计-研究 IV. ①TU857

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第032644号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:马淑范(xiaoma1809@163.com)

责任校对:朱丽芳

装帧设计:王英磊 左 铭

责任印制:蔺义舟

印 刷:北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次:2017年5月第一版

印 次:2017年5月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:19

字 数:457千字

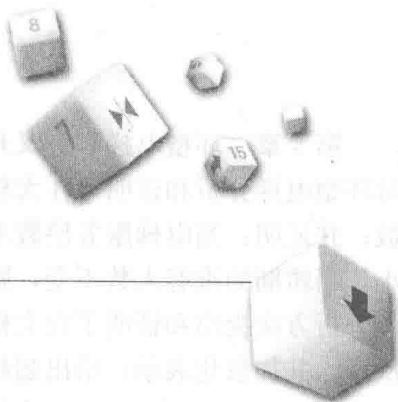
印 数:0001—1500册

定 价:68.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

前言



(1) 写作背景及任务。

1) 高层建筑和超高层建筑不断拔地而起: 1997 年在吉隆坡建起的石油大厦、1998 年在上海建起的金茂大厦、2004 年建起的台北“101 大楼”、2008 年建起的上海环球金融中心、2010 年建成的高 828m 的迪拜哈利法塔, 单层轿厢电梯即通常电梯已不敷需要, 需要设置多轿厢电梯, 多轿厢电梯系统控制理论应运而生, 应时而生。

2) 智能控制过去应用在单层轿厢电梯系统中, 现在需要应用在多轿厢电梯系统中。从高层建筑物的整体功能出发, 过去的智能控制的各种算法, 对多轿厢电梯系统已不适用, 就是说, 在多轿厢电梯系统中需要创立一套新的智能控制系统理论, 这正是该书的一项任务。

3) 电动机拖动技术发展到直线电动机技术理论, 应用在多轿厢电梯系统中, 实践证明是合适的, 但是直线电动机电梯(多轿厢电梯)技术理论在我国 21 世纪初才刚刚开始研究, 国外 1983 年开始研究。为了阐述多轿厢电梯系统拖动理论, 必须阐述、建立和发展直线电动机电梯拖动理论, 这也是该书的一项任务。

4) 提高高层建筑物和智能大楼的整体和综合功能, 要通过建立和发展多轿厢电梯系统的设计与实施来实现。因为兴建智能建筑已成为当今世界的开发热点, 也是各国综合国力的具体表征, 这要建立一套新的多轿厢电梯系统控制理论, 将通常电梯、穿梭电梯、双层轿厢电梯、双轿厢电梯、环型电梯, 及空中候梯厅设备等有机地结合起来, 才能充分发挥智能大楼的整体功能, 这又是该书的一项任务。

(2) 书的内容、特点和我们的研究工作。

内容分 6 章, 包括第 1 章 绪论。第 2 章 双层轿厢电梯系统设计和实施, 著者团队的工作主要有: 阐述了双层轿厢电梯准双层运行模式的准确概念, 给出其运行周期计算公式; 提出层间交通可能停站数公式; 单层运行的可能停站数各种公式及量化表示; 一致停站数的图像表示; 非一致停站数的公式表示; 各层不同时的可能停站数表示; 深入掌握双层轿厢电梯层间交通理论和准双层运行模式的量化是提高其输送能力的切实步骤; 将层间交通的可能停站数用其层数或建筑物层数表示是量化的可行之道; 在国内外首先提出麦雷特(Merit)数的有限级数表示和无穷级数表示形式; 得出结论: 在软件上研究双层轿厢电梯的输送参数, 同在硬件上研制和生产智能化的双层轿厢电梯控制单元, 是从整体上提高高层建筑物输送能力这一问题的两个方面, 二者不可分割。

第 3 章 直线电动机电梯系统设计和实施。实验表明: 使用线性电动机驱动的垂直输送系统将是今后城市高层建筑物中输送系统的发展方向。

第 4 章 双轿厢电梯系统的设计与实施。其中, 双轿厢电梯运行参数的确定、量化、运行周期公式, 及和其他型式的多轿厢电梯的异同是今后研究的重点。

第5章 环型电梯和分叉环型电梯系统的设计和实施。著者团队的研究成果主要有：对环型电梯分析和证明了在大楼各层相同条件下，后行轿厢超越先行轿厢的概率和超越次数；并证明：当电梯服务层数不变，轿厢的乘客人数越多时，则发生超越的次数最大值越小，当轿厢的乘客人数不变，则楼层数越多时，轿厢发生超越的次数最大值亦越大；用数学分析方法提出和证明了在大楼各层不同的条件下，后行轿厢超越先行轿厢的概率和超越次数，并加量化表示；给出超越次数最大值及其极值情形，并将结论用图表量化表示；给出了配置和设计环型电梯和多轿厢电梯系统的经验数据，这对配置和设计环型电梯和多轿厢电梯系统十分需要；给出了防止碰撞运行的环型电梯群控系统结构、设计技术条件；轿厢可以反向运行的设计步骤；以及轿厢纵向运行公式，为系统防止碰撞运行设计和提高输送效率打下了基础；对LTb电梯系统运行参数在大楼各层相同和各层不同条件下，用统计分析方法分别证明了其可能停站概率 P_b 、用单轿厢可能停站数 f_1 和服务楼层数 n 的表示公式，并进一步提出和证明了用轿厢乘客人数 r 和服务楼层数 n 表示的公式；阐述了上述公式的工程应用。

第6章 各种型式电梯的应用比较。从实现大数量输送，提高大楼内有效使用面积的观点出发，介绍大楼内的输送系统，并比较它们的特性；不仅提出实用化的循环型，还提出独立驱动的多种方式升降系统，测定其输送能力；为了实现原来电梯2倍以上的输送能力，提出所需的各种条件；各种电梯输送能力的比较；空中走廊和双层电梯用于高层建筑；以及超高层大楼的电梯配置等。

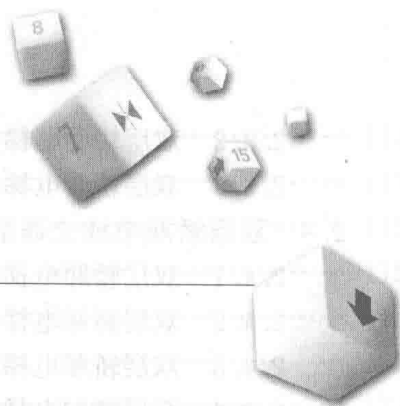
举出的多轿厢电梯的类型可以说包括了多轿厢电梯的所有类型。除了双层轿厢电梯和双轿厢电梯在超高层建筑物中已有应用外，其他类型的多轿厢电梯可以说还处于试制和研制阶段。对于双轿厢电梯（我们称为日本型双轿厢电梯）的研制，从1997年起在日本开始兴起；对于双轿厢电梯（我们称为TWIN型电梯，即一井双梯系统）的研制，从2002年起在德国兴起。在世界范围内，成套的多轿厢电梯系统控制理论还未建立起来，还处于试制和研制阶段的控制理论，还是零零碎碎的控制理论，因此这一研究方向大有可为。

该书由沈阳建筑大学的朱德文教授和沈阳三洋电梯有限公司申益洙总经理合著。是国家自然科学基金资助项目“电梯交通系统的智能控制及最优配置研究”（69874026），城乡建设部项目“现代智能建筑中多轿厢电梯控制方法研究”（2015-K2-015），辽宁省教育厅项目“现代建筑‘一井多梯’关键控制问题研究与应用”（L2015443）的应用成果。十年前从专题科研开始就准备撰写，收集的此专题中外资料和文献异常丰富。得到沈阳三洋电梯有限公司和上海三洋电梯有限公司的大力资助；得到中国电力出版社领导，特别是马淑范副编审的大力支持；又得到了《中国电梯》编辑部、《上海电梯》编辑部的大力支持；参考了浙江大学关于直线电动机电梯的相关研究；得到了电梯业界技术人士的多方协助；得到沈阳建筑大学刘剑教授无私的提供资料；得到渤海大学钱伟懿教授、辽宁工业大学徐美进教授、锦州市建筑设计研究院赵晓木教授级高级工程师，以及渤海大学杨祯山教授的鼓励和指导。著者谨对上述部门和诸位表示由衷的谢意！由于著者理论水准不高，难免有错，诚望有识之士指正。

朱德文

于沈阳建筑大学

目 录



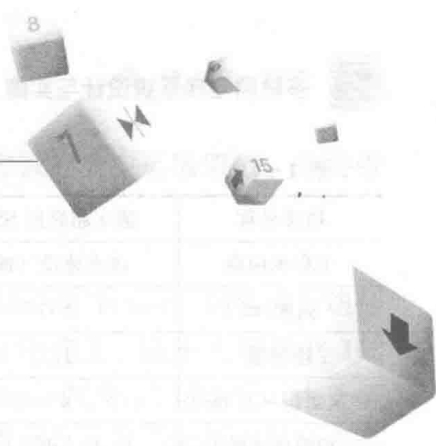
前言

第 1 章 绪论	1
1.1 高层建筑物和多轿厢电梯	1
1.1.1 高层建筑物设想	1
1.1.2 超高层建筑物的实现	3
1.1.3 高层建筑物课题	8
1.2 单轿厢和多轿厢电梯系统的发展	10
1.2.1 单轿厢和多轿厢电梯系统发展概述	10
1.2.2 在配置和算法上单轿厢电梯向双层轿厢电梯的发展	10
1.2.3 双层轿厢电梯向双轿厢电梯的发展	11
1.3 驱动和线性电动机	11
1.3.1 线性电动机在电梯上的应用及特点	11
1.3.2 线性电动机在我国的发展和在电梯上的应用	13
1.4 控制和多轿厢电梯	13
1.4.1 智能化大楼和多轿厢电梯	13
1.4.2 数字电梯技术和多轿厢电梯	14
1.4.3 控制算法和多轿厢电梯技术	15
第 2 章 双层轿厢电梯系统设计和实施	18
2.1 双层轿厢电梯研究评述	18
2.1.1 双层轿厢电梯发展评述	18
2.1.2 双层轿厢电梯的功能比较	19
2.1.3 双层轿厢电梯结构	21
2.2 双层轿厢电梯交通分析	23
2.2.1 双层轿厢电梯结构和功能分析	23
2.2.2 双层轿厢电梯控制分析	23
2.2.3 传统参数期望值	24
2.2.4 乘客到达效果分析	25
2.2.5 运行模式分析	26
2.3 双层轿厢电梯交通计算	30
2.3.1 双层轿厢电梯交通参数计算	30

2.3.2	双层轿厢电梯交通候梯率	33
2.3.3	双层轿厢电梯交通配置公式	40
2.4	双层轿厢电梯交通配置和实施	42
2.4.1	双层轿厢电梯运行方式和运行类型	42
2.4.2	双层轿厢电梯的配置	43
2.4.3	双层轿厢电梯配置实施流程	45
2.4.4	双层轿厢电梯配置在高层建筑中的应用	47
2.5	双层轿厢电梯控制和群控	53
2.5.1	轿外召唤预选功能和驱动控制	53
2.5.2	双层轿厢监控	54
2.5.3	使用遗传网络规划的双层电梯系统	58
2.5.4	使用遗传网络规划的乘客到达分布效果	64
2.6	双层轿厢电梯节能技术	68
2.6.1	单层电梯的有关节能技术	69
2.6.2	双层电梯基于 TMS9900 GA TM 控制系统的节能技术	71
第3章	直线电动机电梯系统设计和实施	74
3.1	直线电动机种类、特点及技术发展	74
3.1.1	直线电动机种类	74
3.1.2	直线电动机结构和特点	75
3.1.3	直线电动机技术的发展	79
3.2	直线电动机电梯运行原理和结构	82
3.2.1	直线感应电动机种类和结构	82
3.2.2	直线感应电动机工作原理和运行分析	83
3.2.3	圆筒形直线感应电动机结构	86
3.2.4	单侧线性感应电动机电梯结构	86
3.2.5	线性同步电动机结构及工作原理	87
3.2.6	直线电动机电梯的特点	89
3.3	直线电动机电梯控制技术	90
3.3.1	圆筒形直线感应电动机电梯硬件设计	90
3.3.2	硬件抗干扰设计	93
3.3.3	直线转矩控制	95
3.3.4	永磁同步直线电动机数学模型及电梯位置控制	97
3.3.5	永磁直线同步电动机矢量控制	101
3.3.6	线性感应电动机电梯的控制	103
3.3.7	多轿厢电梯线性同步电动机拖动设计参数及实施	105
3.4	线性电动机电梯的实施和安全制动	109
3.4.1	由线性电动机驱动的电梯比例模型系统	109
3.4.2	线性电动机电梯的安全制动系统	110
第4章	双轿厢电梯系统的设计和实施	114

4.1	原始双电梯系统结构及运行分析	114
4.1.1	Sprague 双电梯系统结构及运行分析	115
4.1.2	Anderson 双电梯系统结构及运行分析	116
4.2	双轿厢电梯结构和运行分析	118
4.2.1	双轿厢电梯系统和运行分析	118
4.2.2	TWIN 电梯系统结构及运行描述	120
4.2.3	多轿厢电梯运行结构	122
4.2.4	多轿厢线性电机电梯的运行分析	123
4.3	双轿厢电梯运行参数的确定	124
4.3.1	与单轿厢电梯的不同处	124
4.3.2	双轿厢电梯运行计算步骤和流程图	126
4.3.3	双轿厢电梯运行周期计算和基站、分区设计	127
4.3.4	双轿厢电梯的控制描述	130
4.4	多轿厢电梯系统控制和优化	133
4.4.1	多轿厢系统控制器	133
4.4.2	多轿厢电梯交通敏感控制器设计和多目标优化	141
4.4.3	控制器的进化优化	145
4.5	多轿厢电梯系统和遗传算法	152
4.5.1	多轿厢使用遗传网络规划的系统	152
4.5.2	多轿厢电梯系统基于遗传算法的控制设计	159
4.5.3	基于遗传算法的 MCE 运行控制实施	171
4.6	多轿厢电梯避免碰撞问题	178
4.6.1	多轿厢电梯基于优化的避免碰撞	178
4.6.2	多轿厢电梯群控避免碰撞问题及其解决方法	185
4.7	TWIN 系统的悬挂和布置方式	191
4.8	双轿厢电梯的技术经济分析	192
4.8.1	TWIN 系统与常规梯组的比较	192
4.8.2	双轿厢电梯系统的应用特点	193
4.8.3	双轿厢电梯输送能力分析	195
4.8.4	蒂森克鲁伯双轿厢电梯技术经济分析	199
第 5 章	环型电梯和分叉环型电梯系统的设计和实现	201
5.1	我国环型电梯配置设计情况	201
5.2	LT 电梯结构和运行控制	203
5.2.1	系统结构和运行控制特点	203
5.2.2	多轿厢电梯曳引方式设计	205
5.2.3	环型电梯运行转向设计	216
5.2.4	使用自动学习算法的多轿厢电梯控制	220
5.3	LT 电梯配置及工程实现	226
5.3.1	环型电梯 (LT) 的运行参数比较	226

5.3.2	环型电梯输送参数和最大输送能力	230
5.3.3	环型电梯输送能力分析	231
5.3.4	环型电梯配置控制	232
5.3.5	环型电梯对应的运行控制方式	233
5.3.6	仿真条件和配置实施	235
5.3.7	在上班时和午餐前半时段的仿真结果与研究	237
5.3.8	多轿厢电梯群控存在的问题及运行超越研究	238
5.4	多轿厢电梯系统的技术经济分析	242
5.4.1	多轿厢线性电动机电梯系统输送能力比较	242
5.4.2	在高层建筑物中的应用比较	244
5.5	LTb 电梯运行参数分析及工程应用	246
5.5.1	LTb 电梯系统工程结构和预备知识	246
5.5.2	LTb 电梯的输送能力和设计方法	247
5.5.3	LTb 电梯的运行参数分析	250
第 6 章	各种型式电梯的应用比较	252
6.1	各种电梯输送能力的比较	252
6.1.1	大楼内输送系统的比较	252
6.1.2	输送能力比较	253
6.1.3	多轿厢电梯的专用面积比较	255
6.1.4	安全间隔比较	256
6.2	穿梭电梯和多轿厢电梯用于高层建筑	257
6.2.1	世界著名建筑的客梯布置	257
6.2.2	穿梭电梯和多轿厢电梯	259
6.2.3	空中大厅布置方案	261
6.2.4	消防电梯和救援电梯的配合	263
6.3	超高层大楼的电梯配置	264
6.3.1	提高输送效率的方法	264
6.3.2	电梯运行方式	265
6.3.3	建筑设计的实施	267
6.3.4	超高层大楼电梯设计规划	270
6.3.5	环球金融中心电梯配置例	274
6.3.6	高层和低层建筑电梯配置例	281
6.3.7	哈利法塔结构及电梯配置	287
参考文献		289



第1章

绪 论

多轿厢电梯系统 (multiple car elevator system) 技术是随着高层建筑物数量和层数的增多而出现和发展着。所谓高层建筑,具体而言是高层办公建筑,是指建筑高度超过 24m 而未超过 100m 的建筑。建筑高度超过 100m 的,为超高层办公建筑。随着高层建筑物的增高,单层轿厢已不敷需要,需要双层轿厢电梯、双轿厢电梯、多轿厢电梯,需要环型电梯、分叉环型电梯;需要穿梭电梯和直行电梯(也包括区间电梯);也需要空中候梯厅 (sky lobby)。由此而来的是需要多轿厢电梯系统的拖动技术和控制技术;与此相适应,需要多轿厢电梯系统的配置和控制算法。也需要各种电梯类型的综合配合,以便从整体上提高高层建筑物的综合功能。这些技术就构成了多轿厢电梯系统技术的主要内容。

在进入本书的主要内容之前,先要概括了解:高层建筑物和多轿厢电梯的关系,单轿厢和多轿厢电梯的发展,驱动和线性电动机技术,以及控制和多轿厢电梯技术。

1.1 高层建筑物和多轿厢电梯

1.1.1 高层建筑物设想

人们在更多地建造高层建筑物的同时,也幻想要建造超高层建筑。由于经济和电梯技术的不断发展和进步,建造超过 800m 的超高层建筑,甚至太空电梯,也不是没有可能。

日本一些电梯专家预言:21 世纪前半期的电梯技术将是能体现最新技术成果的超高层建筑电梯技术和安全、实用、廉价的无机房电梯技术。

(1) 关于日本建造超高层建筑及其电梯技术的研究。日本经济要向外扩张,要拉动日本国内经济需求,在日本国内存在投资巨额资金建造超高层建筑(100 层、500m 以上的塔楼)的需求。一般建筑物内电梯交通系统的费用占建筑物总费用的 10%~15%。日本东芝公司等正在加快研制开发超高层大规模建筑的电梯技术。日本株式会社大林组规划的“千年塔楼”高 600m,150 层,工期 10 年,设计的建筑寿命达到 500 年。对于与大楼相配套的电梯交通系统,需要开发超高速、大容量的电梯成套技术,直线电动机垂直输送系统,直达电梯,从空中候梯厅出发的区间电梯,双层轿厢电梯,无机房电梯,以及自动扶梯等。

日本电梯行业杂志《电梯界》在 2000 年用了 4 期重点介绍了日本著名建筑公司规划的超高层建筑及其电梯配置技术。表 1-1 为 4 种规划中的超高层建筑及其电梯配置概况。但是,这只是一种设想,至今还未实现。

表 1-1 4 种超高层建筑及其电梯配置规划

塔楼名称	清水超高层 SSH	霍尼克塔楼	千年塔楼	T-Gowth 塔楼
工程承包商	清水建设（株）	（株）竹中工务店	（株）大林组	（株）大成建设
高度/m	550	600	600	760
楼层数	121	120	150	170
建筑面积/(万 m ²)	75	115	地上 76，地下 20	—
可容纳人数	5 万	居住 5000，就业 3 万	居住 2000，就业 17000	—
建筑寿命/年	—	500	500	—
建筑结构	三角形钢架结构，上、下分为 3 个区段，每区段朝向顺次错开 45°	钢框架结构，塔楼四角为巨型钢结构柱，由疏密的立体构成	地上钢结构，地下钢筋混凝土结构，直接基础，外围螺旋网状结构，核心双圆筒结构	多重超级构架（中心骨架及外围骨架为管式桁架刚性结构）
一个建筑单元	121 层分 3 个区段	1 个单元 20 m 高	10 个单元，30 层高	10 个单元 8 层高 36 m
配置电梯	直达电梯，空中大厅，区间电梯	双层直达电梯，区间电梯，自动扶梯，空中候梯厅	双层直线直达电梯，一般双层电梯，空中中心	双层直达电梯，空中走廊，区间电梯，自动扶梯
塔楼内设施	85 层以下为办公楼，87 层以上为旅馆	住宅、旅馆、社区、商业、行政、文化	娱乐、体育、商业、民居、海水淡化、垃圾焚烧	娱乐、教育、管理行政及文化设施

（2）欧美国家对超高层建筑及其电梯技术的研究。欧美国家提出 100 层以上电梯的分区配置、直线电动机及空中候梯厅等概念早于日本。例如美国建筑家 Frank Wright 在 1956 年曾建议在美国芝加哥建造 1 座 1mile（1600m）的高楼，这座高楼有 528 层，可容纳 130 000 居民。他还建议安装 76 部 5 个轿厢的电梯，尽管现今评估该建议——按目前电梯性能标准来配置，安装的数量已超过 2 倍。这座高楼高于马来西亚的石油大厦 4 倍多，但它从未建成。

近年来有美国国家航空和宇宙航行局提出建造太空电梯的概念，涉及的技术有：

- 1) 可自驱动且轻型可叠放的轿厢开发；
- 2) 平稳性组件（其中包括空气动力学控制门、轿厢、轿厢的密封，电磁场的导向器，智能门系统，在零压力状态下的开关外形设计等）；
- 3) 避免碰撞的控制系统；
- 4) 远程监视系统；
- 5) 在线诊断及远程维修；
- 6) 采用石墨或钻石材质的光纤缆等。

由高 15m 的塔楼锚回的缆索将电磁运载工具送上地球同步卫星。建造塔楼本身就需要配置电梯交通系统，开发电梯新技术。未来的太空电梯将从海平面的巨大平台沿着超高强度材料制成的特殊钢缆——碳纳米管攀升到距地球赤道 35 400m 外太空的地球同步轨道卫星上。Otis 公司在其产品发展报告中详细阐述了与此有关的技术应用，坚信凭借在地面市场中研发的各项科技成果（包括 Odyssey 以及用于 8km 高塔的电梯先进技术），能实现耗资 100 亿美元的太空电梯计划。未来的太空电梯将会用来向近地轨道的空间站运送物资，

实现将宇航员和旅游者送上太空。太空电梯能够提供安全、省钱的太空运输服务，并将带动地面电梯技术的发展。

1.1.2 超高层建筑物的实现

超高层建筑物的实现典型的例子是“哈利法”塔（Burj Khalifa Tower）的建成。迪拜塔（Burj Dubai）——“哈利法”塔 2004 年开始兴建，2010 年完工，适于人居层共 162 层，建筑面积 52.67 万 m²，居住面积 17.18 万 m²，塔高 828m，耗资 15 亿美元，由美国芝加哥公司的建筑师阿德里安·史密斯设计，德国建筑公司负责打地基，韩国三星物产公司承建。在这里介绍哈利法塔的实现，即建造过程。

（1）哈利法塔的建造过程。哈利法塔为建筑科技掀开了新的一页。为巩固建筑物结构，大厦动用了超过 31 万 m³ 的强化混凝土及 6.2 万 t 的强化钢筋，史无前例地把混凝土垂直泵上逾 460m 的地方，打破台北 101 大厦建造时的 448m 的纪录。大厦本身的建造就耗资至少 10 亿美元，还不包括其内部大型购物中心、湖泊和稍矮的塔楼群的建造费用。为了建哈利法塔，共调用了大约 4000 名工人和 100 台起重机。

哈利法塔在建造过程中，在 2009 年 1 月 17 日，高度就达到了最终的 828m（2 717ft），是人类历史上首个高度超过 800m 的建筑物。

当地时间 2010 年 1 月 4 日晚，揭开了“迪拜塔”纪念碑上的帷幕，宣告这座著名建筑物正式落成，并将其更名为“哈利法”塔。哈利法塔建筑数据概要如表 1-2 和表 1-3 所示。

表 1-2 哈利法塔建筑数据概要

项目	数据或说明	项目	数据或说明	项目	数据或说明
动土	2004 年 9 月 21 日	高度	天线/尖顶 828m	建筑师	阿德里安·史密斯
完工	2009 年	楼层数	162 层适居	承包商	三星工程/Arabtec/江苏南通六建建设集团
竣工	2010 年 1 月 4 日	楼板面积	344 000m ²	开发者	伊玛尔地产

表 1-3 哈利法塔建筑历程

时间	说 明
2004 年 9 月 21 日	伊玛尔开始兴建
2007 年 2 月	超越了西尔斯大楼并成为最多楼层数的大楼
2007 年 5 月 13 日	哈利法塔和其他世界高层建筑对比，以 452m（1483ft）超越了台北 101 的 449.2m（1474ft）的最高混凝土建筑
2007 年 7 月 21 日	超越了 509.2m（1671ft）的台北 101 成为地表上最高的大楼
2007 年 8 月 12 日	超越了西尔斯大楼 527.3m（1730ft）的天线高度
2007 年 9 月 3 日	成为世界第二高的自立建筑结构，超越了在俄罗斯莫斯科高 540m（1772ft）的莫斯科电视塔
2007 年 9 月 12 日	以 555.3m（1822ft）的高度超越加拿大多伦多的加拿大国家电视塔成为世界最高的自立建筑
2007 年 12 月 10 日	开始使用钢骨结构，之后的建设将不再用到混凝土
2008 年 4 月 8 日	阿联酋迪拜艾马尔房地产公司宣布，塔的高度已达 629m，超过高度为 628.8m 的美国 KVLVY 电视塔，成为世界最高建筑



续表

时间	说 明
2008 年 6 月 17 日	阿联酋迪拜艾马尔房地产公司宣布塔的高度已超越 636m
2008 年 9 月 1 日	艾马尔房地产公司宣布再创新纪录，兴建高度达到 688m，并计划在 2009 年 9 月完工，不过最终高度仍未公布
2008 年 9 月 26 日	艾马尔房地产公司宣布塔达到 707m (2320ft)
2009 年 1 月 17 日	艾马尔房地产公司宣布塔达到 828m (2717ft) 的最终高度
2010 年 1 月 4 日	哈利法塔正式竣工

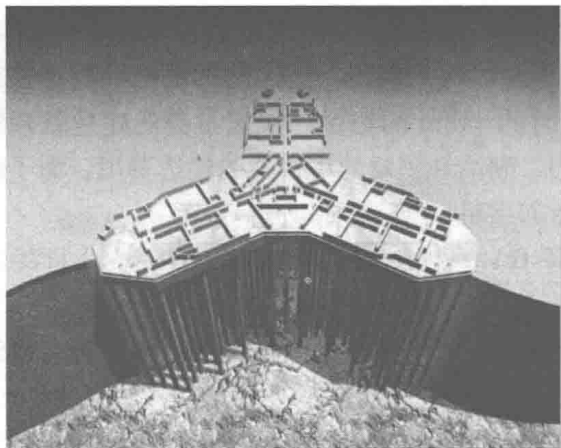


图 1-1 哈利法塔庞大的基础

(2) 哈利法塔的建造技术。高度为 828m 的哈利法塔需要一个坚实的基础，以支持质量可能超过 500 000t 的地面上的建筑。哈利法塔将建造在一个 3.7m 厚的三角形结构的基座上，这个三角形基座由 192 根直径为 1.5m 的钢管桩或支柱缸体支持，这些钢管桩或支柱缸体深入地下 50m (164ft) (图 1-1)。

为了保持这幢超高层建筑物的稳定性，采用了高强度的混凝土。哈利法塔的设计标准是能够经受里氏 6 级地震 (当地属于地球上少地震的地区) (图 1-2)。它还能

在每秒 55m 的大风中保持稳定，即在高楼中办公的人完全感觉不到大风的影响。

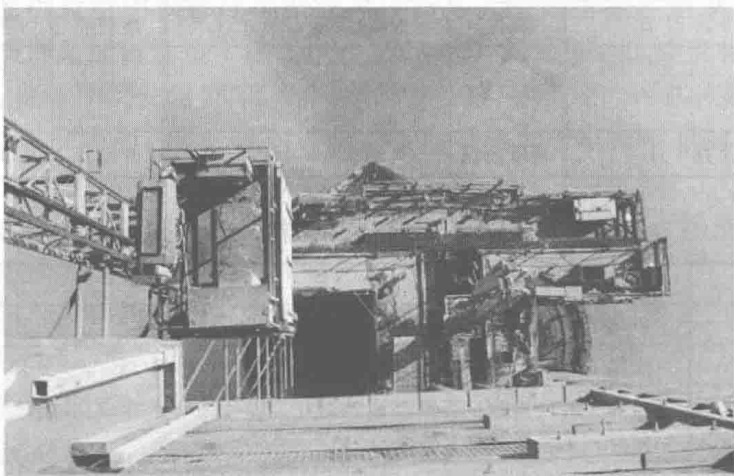


图 1-2 哈利法塔的抗震设计

在建设过程中为了保证哈利法塔稳定，其垂直方向和水平方向的动态，都由一个全球卫星定位系统进行跟踪。建设期间建筑物的重力变化情况，由设置在建筑物中的 700 多个传感器进行实时监测 (图 1-3)。

哈利法塔 47 个月的建设时间表，基本上以 3 天为一个生产周期，包括安装钢结构件、浇灌混凝土等工作。钢结构件预先在地面制作，按照建设进度，用起重机吊到高空进行安装 (图 1-4)。

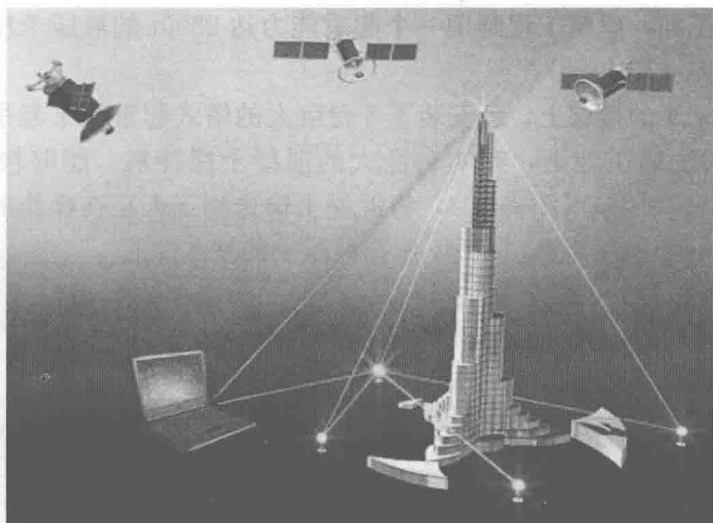


图 1-3 哈利法塔建筑过程实时监测

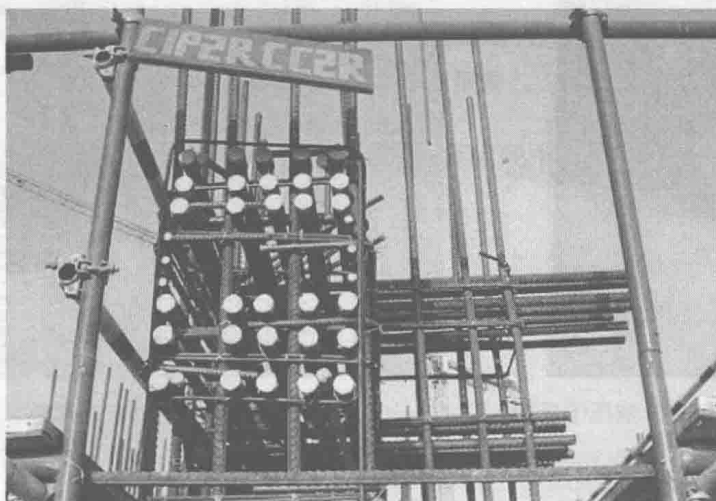


图 1-4 哈利法塔安装钢结构件

在三天建设周期的第二天，在一个特定楼面的内部结构外壳安装到位，同时通道打开，并安装钢支持梁。下一天，混凝土灌入外壳（图 1-5），然后又进行下一个楼层的建设。

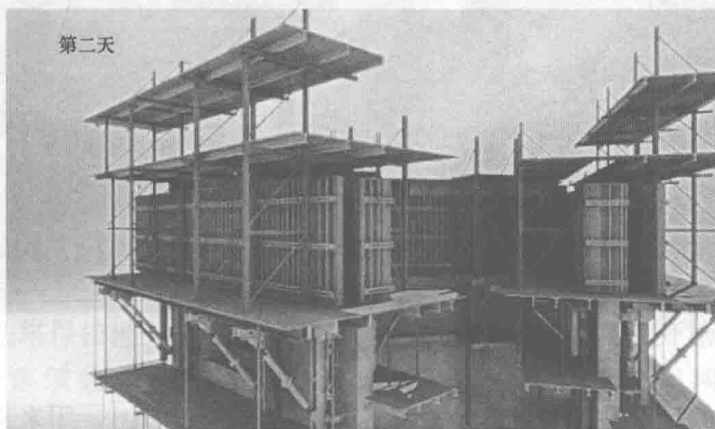


图 1-5 哈利法塔浇灌混凝土程序

在某层楼层完工前, 建筑工程师用一个起重能力达 2300t 的液压千斤顶提升浇注混凝土的外壳和建筑材料 (图 1-6)。

在哈利法塔已完工的楼层上, 新安装了 3 台巨大的塔式起重机来起吊大量的建筑材料 (图 1-7)。在哈利法塔工地上, 有 4 台巨大的混凝土搅拌机, 能够快速的制作混凝土 (图 1-8)。又有 3 台高压泵 (图 1-9), 将混凝土输送到工人正在操作的高处, 将高强度的混凝土输到 570m 以上的高度, 并且不影响混凝土的基本性能。

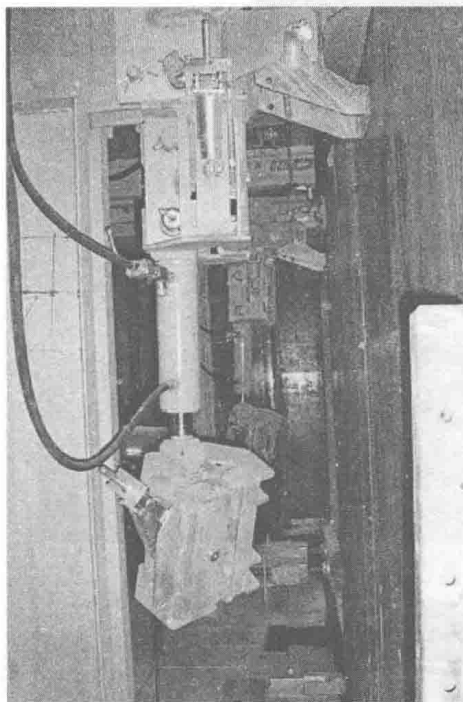


图 1-6 哈利法塔所用提升液压千斤顶



图 1-7 哈利法塔用超级起重机



图 1-8 哈利法塔用混凝土制作设备

哈利法塔工地的另一种起重设备是附着式升降机 (图 1-10), 用来运送建筑材料和工人。这个工地有 14 台附着式升降机在运行。

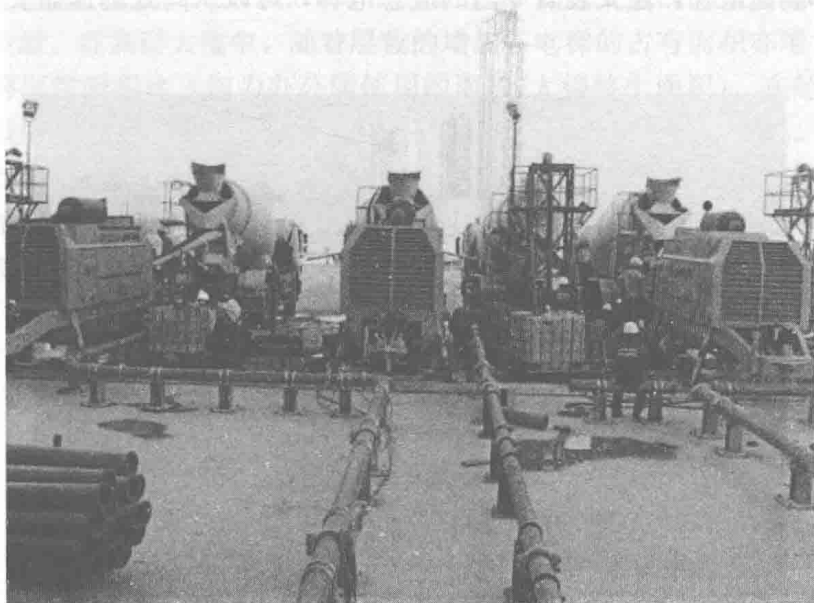


图 1-9 混凝土高压泵

由于哈利法塔建成之后的质量达到 500 000t, 会出现下沉的趋势。所以在建设过程中, 每一层的实际高度比设计高度高出 4mm (图 1-11)。



图 1-10 附着式升降机

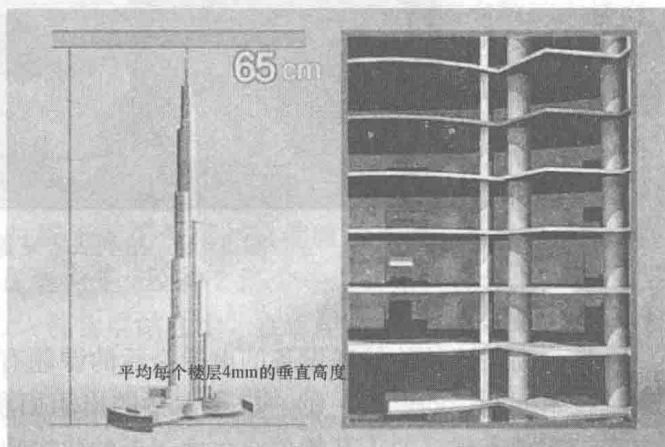


图 1-11 预防建筑物下沉

为了使哈利法塔保持世界最高建筑物的称号, 从 700m 的高度开始, 设计了一种螺旋管钢结构体, 从建筑物内部一直延伸到顶端, 这个螺旋管可以用液压千斤顶提升 (图 1-12), 作为增加建筑物高度的支柱。

哈利法塔设计了 4 个隐蔽所, 每 30 层一个, 用于应对火灾和恐怖袭击等紧急情况。另

外，除了 54 部高速电梯，还安装有专门的应急电梯，可以从高处迅速而安全地疏散人员（图 1-13）。

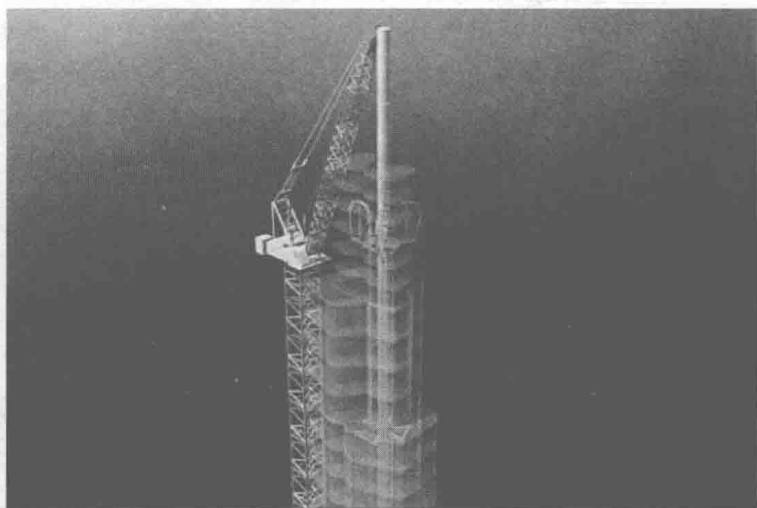


图 1-12 螺旋管钢结构体用液压千斤顶提升

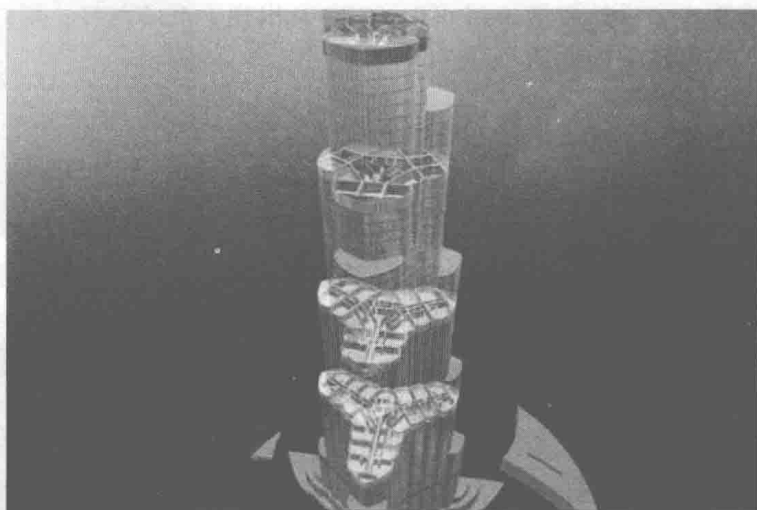


图 1-13 哈利法塔完备的安全设施

1.1.3 高层建筑物课题

作为高层建筑物输送设备的电梯今后的课题有很多项，而专业人员着重探讨的是解决系统技术问题。即取得：①“提高大楼的出租面积系数比”；②避难用的电梯。对避难用电梯，有越来越多的人开始关心。由于老龄化的出现，高层大楼内活动障碍者和老年人的人数增加了。由于“火灾时不能乘电梯下来”，需要帮助的人因得不到帮助而提出意见。为此必须深入考虑大楼与电梯的配合问题。这方面日本在非常用电梯、避难用电梯、及用电梯避难等方面，已做了不少工作，在此我们不再往下探讨。我们要探讨的是取得“提高大楼的出租面积系数比”的问题。

提高大楼出租面积系数比，即高层大楼节省空间，是高层建筑物设置电梯要考虑的中心问题。