

HVAC Design Guide
for Tall Commercial Buildings

HVAC

超高层
商用建筑
暖通空调设计
指导

[美] Donald E. Ross 著
王芳 王海燕 王砚玲 译

中国建筑工业出版社

超高层商用建筑暖通空调 设计指导

HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings

[美] Donald E. Ross 著

王 芳 王海燕 王砚玲 译

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2009-6034 号

图书在版编目 (CIP) 数据

超高层商用建筑暖通空调设计指导 / (美) Donald E. Ross 著 ;
王芳等译 . —北京 : 中国建筑工业出版社 , 2010
ISBN 978-7-112-11777-2

I. 超… II. ①D…②王… III. ①高层建筑-采暖设备-建筑设计
②高层建筑-通风设备-建筑设计③高层建筑-空气调节设备-建筑设计
IV. TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 022236 号

© 2004 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE). Translated by Fang Wang Ph. D., Haiyan Wang Ph. D and Yanling Wang Ph. D from Harbin Institute of Technology. Published in Chinese by China Architecture & Building Press with permission. All rights reserved. ASHRAE assumes no responsibility for the accuracy of the translation. To obtain the English language edition, contact ASHRAE, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 USA, Telephone: 404-636-8400, Fax: 404-321-5478, or www.ashrae.org.

本书著作权归美国采暖制冷空调工程师协会所有, 中文版授权中国建筑工业出版社出版、发行。本书由哈尔滨工业大学王芳博士、王海燕博士、王砚玲博士翻译。ASHRAE 对本书的翻译版本不负责任。若购买原版书, 与 ASHRAE 联系, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 USA, Telephone: 404-636-8400, Fax: 404-321-5478, or www.ashrae.org.

责任编辑: 张文胜 姚荣华

责任设计: 郑秋菊

责任校对: 陈晶晶

超高层商用建筑暖通空调设计指导

HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings

[美] Donald E. Ross 著

王 芳 王海燕 王砚玲 译

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京千辰公司制版

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 850 × 1168 毫米 1/16 印张: 7 1/4 字数: 224 千字

2010 年 4 月第一版 2010 年 4 月第一次印刷

定价: 25.00 元

ISBN 978-7-112-11777-2

(19024)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

超高层商用建筑暖通空调设计指导

HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings

作者简介

Donald E. Ross, ASHRAE 高级会员, Jaros, Baum & Bolles 机械电力咨询工程公司纽约总部退休顾问。有着极其丰富的遍布世界各地的超高层商用建筑暖通空调设计经验, 包括芝加哥希尔斯大厦 (Sears Tower, 美国最高建筑)、香港中国银行 (美国以外最高建筑, 建成时是亚洲最高建筑)、德国法兰克福展示会大楼 (Messe Turm, 建成时是欧洲最高建筑) 等。作者在五大洲曾参与超过 200 余幢办公建筑、宾馆、医院、实验室及其他工程项目的设计。

Donald E. Ross 取得过哥伦比亚大学文学学士学位、哥伦比亚大学工程学院机械工程理学学士、纽约大学工商管理硕士 (MBA) 学位。曾任美国 ASHRAE 手册编委会和技术委员会 TC9.1 主席, 同时兼任 ASHRAE 其他几个委员会的委员。还曾担任过纽约咨询工程师协会和哥伦比亚工程学院校友会主席、北美高层建筑和城市住宅委员会副主席、美国工程院院士。

译序

超高层建筑是人文科学与建筑科技发展的尖峰，是建筑业科技进步、发展水平的标志。随着我国综合实力的不断增强，超高层建筑在我国也得到了前所未有的发展，然而与欧美发达国家相比，国内设计单位从设计理念、设计水平、设计能力和总体规模上与国际先进水平还存在一定差距。特别是美国世贸中心“9·11”恐怖事件发生后，有关超高层建筑的消防安全问题、火灾防御系统和应急逃生系统设计等愈来愈引起业内人士的广泛关注。

《超高层商用建筑暖通空调设计指导》的翻译出版为国内业界同行提供了一个了解国外相关设计实践的平台。该书作者 Donald E. Ross 院士具有极其丰富、遍布世界各地的超高层商用建筑暖通空调设计经验和体会。该书在美国出版后，受到建筑业主、建筑师、结构工程师、机械工程师、电气工程师和其他专业设计人员的广泛欢迎，书中不仅着重笔墨于暖通空调设计要点，更为重要的是强调超高层建筑从立项、规划、设计、施工到运行使用的全寿命周期过程，需要设计团队和多个学科专业的相互协调和整体作业。

本书的翻译出版可望成为超高层商用建筑暖通空调设计人员和其他相关专业人员借鉴参考的良书。该书必将有助于深入了解国外先进的设计思想、设计方法和设计理念，对于我国超高层商用建筑设计水平的整体提高势必起到一定的推动作用。

本书译者均为我校多年从事暖通空调教学和科研工作的优秀教师，她们有宝贵的国外工作或学习经历，以饱满的热情、对专业的热爱和一丝不苟的钻研精神，历时半年完成了全书的翻译工作。希望她们的译作能够得到业界人士的首肯。

哈尔滨工业大学

译者的话

美国工程院院士，ASHRAE 高级会员 Donald E. Ross 编写的《超高层商用建筑暖通空调设计指导》(HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings)一书于 2004 年由 ASHRAE 授权出版发行。该书的编写受到 ASHRAE 研究项目基金 RP-1261 的资助，同时得到 ASHRAE 技术委员会 TC 9.12 的大力协助 (TC 9.12 主要关注建筑高度超过 300 英尺 (91 米) 的超高层建筑的功能、运行、能量系统和生命安全问题)。译者在美国工作期间，ASHRAE 专门负责出版和教育的主席 W. Stephen Comstock 先生向译者推荐了此书，并建议本书在中国翻译出版。

近年来随着我国经济的迅猛发展和城市化步伐的加快，越来越多的超高层建筑拔地而起，为人类拓展城市生活空间发挥了巨大作用。然而，超高层建筑的特点及其带来的一系列诸如安全、环境和内部交通等问题也日益突出。本书的编者 Donald E. Ross 先生经历过大量遍布世界各地的超高层建筑设计实践，凭借其丰富的经验和咨询顾问经历，站在暖通空调总设计师的角度上，详述了超高层建筑特别是商用办公建筑的主要设计考虑因素、系统方案和主要设备选择、垂直运输系统和生命安全系统设计等，特别强调了暖通空调设计师与建筑、结构、给排水、电气、防火、电梯设计工程师之间的工作协调与交叉，指出超高层建筑从立项、规划、设计、施工到运行使用的全过程，是由多个工种、多个责任方参与的整体设计，需要设计团队的相互协调和整体作业。

本书的翻译工作由哈尔滨工业大学市政环境工程学院建筑环境与设备工程专业教师王芳、王海燕和王砚玲共同完成。具体分工如下：书中单位说明及换算、书中缩写说明、第 1 章、第 2 章、第 3 章由王海燕完成；作者简介、作者致谢、第 4 章、第 5 章、第 6 章、中英文对照由王砚玲完成；译者的话、目录、第 7 章、第 8 章、第 9 章、第 10 章由王芳完成。

本书对于国内从事超高层建筑暖通空调设计的工程技术人员，不失为一本好的设计参考指南，有助于了解国外超高层建筑暖通空调设计实践和应用，拓展暖通空调设计工程师的专业视野，跳出以往专业局限，站在更高的角度更好地完成设计。同时本书对于房地产商、建筑业主以及超高层建筑的施工和运行管理人员也是一本好的读物，有助于他们更好地了解暖通空调设计、系统并与暖通空调设计人员进行沟通。

本书的翻译工作凝聚了译者集体的智慧和心血，译者以认真负责的态度和钻研精神完成了全书的译文，并且集体进行全书的审改定稿。然而由于译者专业学识水平、知识领域范围和英文理解能力有限，书中的译文难免有不妥之处，恳请并欢迎广大读者予以批评指正。

王 芳 王海燕 王砚玲
2009 年 12 月 28 日

作者致谢

本书的内容来自于一位业内人士的诸多设计经验总结，在准备此书的过程中吸收了来自各方面的建议。此书相关内容是 ASHRAE 资助项目的一部分。

ASHRAE 项目监控分委员会主席 Thomas Kroeschell 及其委员会成员 Harvey Brickman、Mary Fly、W. Ted Ritter、Peter Simmonds 和 Dennis Wessel 对本书的结构和内容提供诸多有益的建议。Jaros, Baum & Bolles 公司的合作者对本书草稿中很多资料提供了很好的建议，对本书的完成起了重要作用。在“生命安全系统”章节中，性能化技术咨询有限公司的 William A. Webb 提供了很多无私的帮助。感谢 Severud 联合公司的合作者 John J. Cryan 提供的结构与暖通空调系统设计的交叉细节。本书中的声学部分内容是与 Cerami 联合有限公司的 Patricia Scanlon 讨论得到的成果。

Jaros, Baum & Bolles 公司的 Gregory Babb 作了文字编辑工作，Clive Webster 绘制了本书中的图，在此深表谢意。

ASHRAE 工作人员 Erin S. Howard 对这本设计指导书的最后出版做了编辑和准备工作。

Donald E. Ross

目 录

译序	v
译者的话	vi
作者致谢	viii
第1章 概述	1
1.1 总论	1
1.2 超高层建筑的定义	3
1.3 房地产商的考虑因素	4
1.4 建筑师的考虑因素	6
1.4.1 核心区设计	6
1.4.1.1 核心区位置	6
1.4.1.2 核心区组成	7
1.4.1.3 核心区设计举例	9
1.4.2 楼层高度	10
1.4.2.1 业主的介入	10
1.4.2.2 建筑师的介入	11
1.4.2.3 与建筑结构协调	11
1.4.2.4 其他风道设计	15
1.4.2.5 照明系统的影响	16
1.4.2.6 楼层高度小结	16
第2章 烟囱效应	19
2.1 烟囱效应理论分析	19
2.2 烟囱效应实例分析	21
2.3 减弱烟囱效应的方法	22
第3章 设计过程	25
3.1 项目阶段	25
3.1.1 其他过程	26

3.1.2	方案设计阶段	26
3.1.3	深度设计阶段	27
3.1.4	施工文件编制阶段	28
3.1.5	招投标或谈判阶段	28
3.1.6	施工阶段	28
附录		29
第4章	系统	35
4.1	系统选择需要考虑的因素	35
4.2	空调系统选择	36
4.2.1	全空气变风量系统	36
4.2.1.1	低温送风变风量系统	38
4.2.2	空气—水系统	38
4.2.3	地板送风系统	39
4.3	空调送风系统小结	40
第5章	集中设备间与层间机房	41
5.1	系统选择	41
5.1.1	方案一——中央机房	41
5.1.2	方案二——带冷冻水空气处理单元的层间机房	42
5.1.3	方案三——带直接膨胀空气处理单元的层间机房	44
5.1.4	置于外墙的层间空气处理单元	45
5.2	可选方案对比分析	45
5.2.1	初投资	45
5.2.2	施工进度影响	47
5.2.3	对业主的影响	48
5.2.4	对设备的影响	50
5.2.5	对建筑设计的影响	50
5.3	噪声	52
5.3.1	中央机房系统噪声问题	53
5.3.2	层间机房噪声问题	54
第6章	集中供热和供冷设备	59
6.1	设备经济性分析	59
6.2	集中设备的位置	60
6.3	与集中设备位置相关的噪声考虑	61
6.3.1	集中制冷设备间的噪声考虑	61
6.3.2	制冷设备的防振要求	62
6.4	集中设备位置对施工进度的影响	63

第7章 水系统	65
7.1 静压考虑	65
7.2 冷冻水管道布置	66
7.3 制冷设备位置的影响	68
7.4 减小冷冻水压力	69
7.5 管道、阀门和附件	71
7.6 管道设计要点	71
7.6.1 膨胀和收缩	72
7.7 水温差对经济性的影响	72
第8章 与建筑给水排水系统和电气系统的交叉	75
8.1 建筑给水排水系统	75
8.2 电气系统	76
8.2.1 暖通空调与应急/备用发电机的交叉	77
第9章 垂直运输系统	79
9.1 电梯系统基本配置	79
9.2 其他电梯配置	80
9.2.1 极高建筑电梯配置	81
9.2.1.1 空中走廊的概念	82
9.2.1.2 双层轿厢电梯	83
9.3 服务电梯	84
9.4 暖通空调介入垂直运输系统	85
9.4.1 电梯设备机房冷却	85
9.4.2 电梯升降竖井和设备机房通风	85
第10章 生命安全系统	87
10.1 超高层商用建筑独特的火灾安全问题	87
10.2 规范与标准	87
10.3 消防管理系统组成	88
10.3.1 探测系统	89
10.3.2 消防立管和喷淋系统	90
10.3.3 烟气管理系统	91
10.3.3.1 中央空调系统烟气管理	93
10.3.3.2 层间空调系统烟气管理	93
10.3.3.3 中庭烟气管理	95
10.3.3.4 楼梯间加压	95
10.3.4 应急/备用发电系统和生命安全系统	96
10.3.5 电梯召回系统	98
10.3.6 通信系统	98

10.3.7 中央消防控制中心	99
10.4 火灾安全反应计划	99
参考文献	101
中英文对照	105
书中单位说明及换算	109
书中缩写说明	111

第 1 章 概 述

超高层商用建筑最早出现于 19 世纪末的美国，至今已有百余年的历史，今日其设计理念遍布全球各个角落。1853 年，Elisha Graves Otis 发明电梯安全制动系统，使得超高层商用建筑变为现实。超高层建筑的 earliest 应用范例出现于纽约和芝加哥。经济活动的集中、日益发达的配套设施和城市商业中心区内有限的建筑用地，这些因素促进了超高层商用建筑的出现。随着许多城市经济扩张和人口的增长，如今超高层商用建筑分布于世界各大城市。

任何一座超高层建筑的设计都是业主、建筑师、结构工程师、机械工程师、电气工程师、其他专业工程师和顾问共同协商的结果。本书主要集中介绍供热、通风和空调（Heating, Ventilation, and Air Conditioning, HVAC）系统设计师的工作，同时强调设计团队合作的重要性，这是设计要求得以满足的绝对要素。

每栋建筑都是其地理位置、设计与建造时间以及建筑业主等诸多商业产品的集合体。在其建筑施工完成阶段，由于产品的应用组合方式不同，各建筑可能存在差异。因此，各建筑之间除明显的相似性外，还会与其他建筑在诸多方面存在差异。

本书着重描述超高层商业建筑暖通空调设计问题，尽管所讨论的问题涉及方案及相关评价在不断发展和变化，也可以应用于其他同类建筑项目中。这一点体现在本章“总论”中。设计指导中包括这些内容实在是很必要的，事实上，随后探讨的基本工程内容，许多问题仅限应用于超高层商用建筑设计中。

1.1 总 论

显而易见，大型商业办公建筑中的机械与电气系统设计是不断发展艺术形式的产物。它受到当地市场经济、政策导向、空间利用、建筑物使用者的需求和建筑物构建的地理位置等因素的影响。

高层商用建筑的技术和设计方案选择，需要建筑师和工程设计人员结合高层商用办公建筑的大小，在市区的位置以及典型精明能干的业主和使用人群给予特殊的高度重视。暖通空调工程设计师，作为一个设计团队的重要

组成部分，在完成设计时，除了资源利用外，必须首先考虑工程的成本、建筑的运行费用、建筑物使用者的现有和将来的所有需求以及节能（conservation of energy）与环境问题（environmental issues）。建筑师同样也承担这些责任与压力。与此同时，他们还要考虑建筑物能否吸引公众以及房地产界的注意，更重要的是，要得到建筑业主的认同。

综观房屋的建造使用历史，基本上来讲，商业办公建筑机械与电气系统的目的始终没有改变。很明显，这些系统的最初目的是，当然现在也是，为使用者在建筑物内提供有益、舒适、安全的环境空间以经营他们的事业。然而，满足这样基本需求的系统已经发生了根本改变。正是由于空调系统的出现—这个本质上的变化，发生在 20 世纪 50 年代初的美国以及二十多年后的欧洲。第二次世界大战之前，在美国的大部分地区几乎没有真正的空调商业办公建筑。第二次世界大战之后，几乎所有的建筑物都有空调设计。在超高层商业办公建筑中，空调的引入和广泛应用从根本上改变和拓宽了暖通空调工程师的设计角色。本书最主要的目的就是要概述现有技术中的发展变化细节。

空调的出现对于建筑设计和大型商用建筑空间使用具有很重要的影响，每个工作空间不再依赖于临近窗户或者采用自然通风方式。上述改变使得楼层有更大的平面设计面积，离外墙 40、50ft 或更远的位置处可以设置办公区来放置桌椅和满足工作者更多的占地需求，甚至允许包括内区的个人办公间。上述建筑设计影响不再赘述，总之影响深远且意义重大。

除空调出现而产生的影响外，在过去的几十年中，一系列更小的但同样重要的变化也影响着超高层商用建筑空调系统设计的基础。

这些影响包括：

（1）节能建筑设计的发展，它比包括 20 世纪 80 年代初以前的建筑消耗更少的能源。

（2）建筑规划和规范的扩展和改变已经影响到了建筑物的设计风格，建筑物所使用的内部能源系统和生命安全保障系统。

（3）房地产市场（real estate market）的改变，特别是开发商建筑（developer buildings）的领域，他们不同于业主自用建筑，因为未来的租户会要求考虑能满足他们的需求而提出的不同解决方案。

（4）以个人电脑和其他通信系统形式存在的、分布式智能建筑的发展和广泛应用，极大改变了建筑物应用。

（5）新的或者修改过的空调设计方法和商业化的设备允许了这方面的改变以适应建筑物的需求。

（6）最后，也是最重要的因素，设计行业认为建筑物必须满足环境和绿色建筑的要求，不要局限于将节能作为最终的目的，室内空气品质、可持续设计思想以及新的技术都将更好地关注现在以及将来的地球环境。

以上列出设计领域必须面对的关于设计需求与理念的变更。暖通空调设计工程师要为任何大型商用建筑所提供的设计安装基础文件负责。针对需求与理念的变更所做出的反映，必须集中体现暖通空调工程师智慧的结晶，与建筑物位置无关。

1.2 超高层建筑的定义 (Tall Building Defined)

关于超高层建筑已经提出了很多不同的定义,在某种意义上,当你面对20或更多楼层的建筑物时,你会接受它是超高层建筑。但在建筑或工程领域这种感觉定义没有意义,如果建筑物超过约定的高度,建筑规范(building codes)本身将改变设计要求。相应地,对超高层建筑则需要更精确的定义。

美国供热、制冷和空调工程师协会(American Society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers, ASHRAE)技术委员会 TC9.12 对超高层建筑定义为高度超过300 ft (91m)的建筑物。这个通用定义可用于对超高层建筑的讨论中,这样关于超高层建筑物的设计变得明朗起来。

超高层建筑与城市居住环境委员会(The Council on Tall Building and Urban Habitat, CTBUH)对超高层建筑的定义为,建筑高度已经严重影响到规划设计和使用的。这种定义,尽管模糊却抓住了本书中所关注问题的本质。

1971年4月12日,在弗吉尼亚州Warrenton市,总务管理局(The General Services Administration, GSA)举办了“高层建筑防火安全国际会议”,这次会议给出了更复杂和灵活的高层建筑定义,使得这种定义更合理。它是这样描述的:高层建筑内,由于高度原因仅有紧急疏散是不够的,还必须在建筑物内部采取灭火措施。

全美国的建筑规范变化广泛,可分为两大类:(1)通用规范,由通用规范协会制定并且应用在美国大部分地区;(2)当地规范,适用于特定地域(如芝加哥建筑法规、洛杉矶建筑法规、纽约市建筑法规)。各建筑主管部门制定采用某一通用规范,或者在通用规范的基础上进行一定的改进形成当地规范。

各协会已经开发了很多传统通用规范,其应用地域如下:

(1) 建筑官员与规范管理人协会(Building Office and Code Administration, BOCA)适合于美国的东北地区;

(2) 南美建筑规范协会(Southern Building Codes Congress, SBCC)适合于美国的东南地区;

(3) 国际建筑管理人员协会(International Conference of Building Official, ICBO)适合于美国的西部。

最近,这三个规范联合协会已经汇集他们的共同成果并且发行了统一的全国性的规范。联合协会被称为国际规范协会(International Code Council, ICC),他们制定的规范被称为国际建筑规范(International Building Code, IBC)。另外一种统一的全国性法规由美国防火协会(National Fire Protection Association, NFPA)提出,被称为NFPA5000。采用任意一部通用规范,都是在现阶段不同管辖机构和州的工作拓展。

这些规范与本书的相关性在于针对超高层建筑,这些规范都有特殊的设计要求。这包括所有的规范,不仅仅是通用规范。任何一栋建筑的设计都必

须满足相应的规范要求，也必须得到具有管辖权限的权威部门（authority having jurisdiction）的许可。各类规范都将影响任一建筑物的设计，包括对于环境条件所做出的设计反馈，如太阳得热、建筑围护结构热不透明性、空气传输效率标准、管道绝热性能等等。这些规范还对建筑物内所有设备有抗震要求，特别是对生命安全设备如喷淋管线、应急发电机和消防水泵等都有保护约束的要求。此外，这些规范还详细描述了高层商用建筑的烟气控制要求和电梯井通风，这方面许多问题将在本书的后面章节中做更详细的探讨。

1.3 房地产商的考虑因素

如果要保证某项工程是一项成功的投资，任何一栋建筑的设计和施工必须充分考虑房地产商的需求。房地产商的考虑因素包括所有权以及建筑物用途问题。与其他建筑相比，超高层商用建筑的规模和必须满足租户使用需求显得尤为重要。工程竣工投入使用后，从根本上改变一栋大型建筑如超高层商用建筑是很困难的。因此，建筑物的用途以及为满足该用途而使用的性能标准应在建筑物设计阶段予以确定。第3章“设计过程”给出了一个包含工程详细设计标准的示例。

房地产商最初考虑因素中，必须得到认可和处理的就建筑物所有权的归属问题。一个建筑物的所有权一般有若干不同分类。这些分类有可能重叠。不只一个所有权类别，其他类别也会对项目的设计方案产生影响。

很多超高层商用建筑都是企业总部（corporate headquarters），它是由建筑师、业主（owner）和业主寻找的房地产咨询公司共同规划的。发展规划将由设计团队提出具体要求。例如，此建筑内是否含有数据中心？如果有，将多大？是否有扩展的可能性？含有什么样的餐厅设备？有没有从普通职工餐厅分离出来的行政部门餐厅区域？有没有远程通信需求和所需的设备间？除了数据中心以外，还有哪些区域需要延时工作或者不间断工作？对于上述或者类似规划问题的回答将对暖通空调的方案设计有直接的影响。当然，其他重要的问题也将对最终的设计方案产生重要影响。

例如，某企业一般情况下期望通过下面两种方式之一来满足未来发展需求。第一种方式就是建造一栋超过现有需求的建筑物，将多余的空间定期租赁给与业主无关的其他商业公司，当企业有扩展需求时，随着与外面商业公司租约的到期，即可搬进这些多构建的空间。

满足企业未来发展的第二种方式是在设计建筑物时就考虑允许其将来扩展。这对于超高层商用建筑来说通常是不切合实际的选择。超高层建筑总是建立在大城市某些狭小的区域范围内，那里的空间在施工时已被充分地利用。而且在当地规划部门审批的地理位置上来建造建筑时，建筑物的高度和大小一般按照最大允许规划要求设计。超高层商用建筑在城市市区内的扩建必须再次得到规划主管部门的许可。

某些独特的案例中，项目第一阶段的建设满足公司现阶段的需求，但其