

博士论丛

# 寒冷地区公共建筑共享空间 低能耗设计策略研究

Research on Low Energy Design Strategy of Shared Space of  
Public Buildings in Cold Region

侯寰宇 著

雅外借

中国建筑工业出版社  
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

国家重点研发计划资助项目（项目编号：2016YFC0700200）

国家自然科学基金资助项目（项目编号：51338006）

博士论丛

# 寒冷地区公共建筑共享空间 低能耗设计策略研究

Research on Low Energy Design Strategy of Shared Space of  
Public Buildings in Cold Region

侯寰宇 著



中国建筑工业出版社

审图号：GS（2016）1587号

图书在版编目（CIP）数据

寒冷地区公共建筑共享空间低能耗设计策略研究 / 侯寰宇  
著. —北京：中国建筑工业出版社，2018.9

（博士论丛）

ISBN 978-7-112-22445-6

I. ①寒… II. ①侯… III. ①寒冷地区—公共建筑—建筑设计—节能设计—研究 IV. ①TU242

中国版本图书馆CIP数据核字（2018）第159438号

责任编辑：陈海娇 李 鸽

责任校对：张 颖

博士论丛

## 寒冷地区公共建筑共享空间低能耗设计策略研究

侯寰宇 著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京海淀三里河路9号）

各地新华书店、建筑书店经销

北京点击世代文化传媒有限公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

\*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：14½ 字数：267千字

2018年9月第一版 2018年9月第一次印刷

定价：48.00元

ISBN 978-7-112-22445-6

(32318)

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）

# 序

中国的城市化发展速度已超过西方社会的步伐，城市建设在取得巨大成就的同时，也面临着能源过度消费、气候环境恶化等现实问题的挑战。2016年，中共中央、国务院发布了《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》，从国家战略层面确立“适用、经济、绿色、美观”的建筑方针。建筑由传统高消耗发展模式转向高效绿色型发展模式，建筑环境可持续发展研究成为建筑学未来发展的战略需求和重点方向。我国绿色建筑发展至今已进入规模化推广阶段，但既往的绿色建筑设计普遍存在重后期技术叠加，轻前期空间优化、目标与效果相偏离等共性问题。造成这种后果的原因是建筑设计的源头制约，缺乏基础理论来揭示自然要素与建筑本体及绿色性能的交互影响和作用规律，尤其是对于复杂的建筑系统，多因素耦合作用将进一步加剧建筑性能预测的不确定性，建筑师对建筑空间“物质功能”和“精神感受”的追求还未与“绿色发展”“和谐发展”的当代需求有机结合。

侯寰宇博士攻读博士学位期间，参与了我负责的国家自然科学基金重点项目“寒冷气候区低能耗公共建筑空间设计理论和方法”的部分工作，对寒冷地区共享空间低能耗设计这一议题进行理论研究和探索，由此形成博士论文。侯寰宇博士有多年的设计实践经验，并一直关注建筑设计和绿色技术的结合，以及如何在实践中整合应用，这些都为后来研究思路的拓展和观点的形成奠定了基础。

本书以公共建筑共享空间这一核心空间为研究对象，从空间设计角度探索共享空间被动式低能耗设计策略与方法，其选题契合当前科技发展趋势，具有重要的理论意义和社会应用价值。论文从建筑师方案设计角度出发，在传统“功能——形式”的设计流程中融入能耗因素，追求形式、功能与能耗三者的良性互动，相互匹配，对实现建筑空间设计与节能设计有机整合这一目标具有重大意义。本书通过理论综述和实测调研对共享空间本体形态及室内物理环境进行了较为系统的阐释，探求了寒冷地区气候条件下共享空间形态要素与空间性能系统的作用机制，提出了共享空间低能耗整合设计策略，建立了以要素策略为基础、策略组合为依据、性能优化为目标的空间设计流程，该研究成果将对我国寒冷

地区公共建筑共享空间精细化、高效设计实践具有借鉴意义。

基于气候的低能耗空间设计研究是一项复杂的系统工程，共享空间的低能耗研究也只是建筑空间节能设计研究的一部分，本书初步构建的低能耗设计策略框架还待进一步发展完善，且需在实践中不断应用和检验。

学术研究工作异常辛苦，需要吃苦耐劳、耐住寂寞和锲而不舍的精神，侯寰宇博士表现出了孜孜以求的态度和热情，此书的出版，也是对他博士学习成果最好的回报和鼓励，期待他将来取得更大的成绩。

是为序。



# 前 言

共享空间由于高大通透，并多位于室内外交界处，使其成为建筑受外部气候波动影响最大的室内空间，在冬冷夏热两极气候特点明显的寒冷地区，往往成为公共建筑的能耗主体，节能潜力巨大。而建筑设计实践中，建筑师往往只关注空间形式，忽视地域气候条件和节能设计策略的系统性应用，空间设计与节能设计的脱节，最终导致室内舒适度的降低和建筑运行能耗的增加。所以，探索符合建筑师设计思维的共享空间低能耗设计策略，成为亟待解决的问题。

本书以公共建筑共享空间为研究对象，根据寒冷地区的气候控制目标，从空间设计角度探索共享空间被动式低能耗设计策略和方法。通过综述和实测调研对共享空间本体形态和室内物理环境进行系统研究，在此基础上建构基于形态学的共享空间低能耗设计策略框架。本书的重点是：从空间设计角度出发，以定性与定量相结合的研究方法，制订共享空间构成要素的低能耗设计策略，并深入探讨设计策略的组合与应用。研究意在突破传统的建筑设计思路，将“能耗”因素融入“形式—功能”的设计流程，重建空间设计与节能设计的一体化关系，努力使建筑师在方案设计阶段就可以通过直接有效的“设计路径”，达到塑造高性能建筑空间形式的目的。

本书主要从以下五个方面展开研究：

第一，立足于共享空间的历史演进与当代发展，探讨生态化共享空间的多元发展趋势，归纳基于能量控制的共享空间布局类型的特点，并总结共享空间的形态特征和生态特性。

第二，通过对我国寒冷地区气候区划的解读，总结寒冷地区（IIA区）的气候特殊性。通过对寒冷地区共享空间物理环境进行实测调研，总结共享空间的物理环境特点，并对我国寒冷地区共享空间的高能耗问题进行反思，明晰共享空间被动式低能耗设计研究的重点和方向。

第三，提出冬夏兼顾、光热风联动和空间要素协同的共享空间低能耗设计原则，建立基于形态学的共享空间低能耗设计策略框架，为共享空间构成要素的策略制订和策略组合奠定基础。

第四，第5章到第8章分别从空间布局、采光界面、空间形体和室内界面四个方面入手，对共享空间形态构成要素进行定性的能量分析和定量的能耗模拟分析，探索建筑能耗与空间构成要素的内在对应关系，总结寒冷地区共享空间的被动式低能耗设计策略。

最后，依据形态学分析法及多要素整合优化的基本原理，探索共享空间低能耗设计策略的组合原则和组合方式，建立以要素策略为基础、策略组合为依据、性能优化为目标的空间设计流程，并探讨策略应用在数字信息化技术影响下的拓展空间及发展方向。

# 目 录

序 / 张 颀

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景和问题提出	1
1.1.1 我国公共建筑能耗现状	1
1.1.2 气候与建筑：“变”与“不变”	2
1.1.3 空间设计与节能设计：“重形式”与“重技术”	4
1.2 概念界定	5
1.2.1 中国寒冷地区	5
1.2.2 被动式低能耗设计	6
1.2.3 公共建筑共享空间	7
1.3 国内外研究概况	9
1.3.1 基于气候的建筑节能设计策略与方法研究	9
1.3.2 共享空间节能设计研究	20
1.3.3 总结与评价	25
1.4 研究目的、意义和方法	26
1.4.1 研究目的	26
1.4.2 研究意义	26
1.4.3 研究方法	27
1.5 创新点及研究框架	28
1.5.1 创新点	28
1.5.2 研究框架	28
第 2 章 共享空间探源与发展研究	30
2.1 共享空间的历史演进	30
2.1.1 溯源·具有朴素生态理念的室外庭院空间	30



2.1.2	过渡·引入自然的室内中庭空间 .....	32
2.1.3	拓展·遮避风雨的拱廊街空间 .....	33
2.1.4	成熟·塑造多样化的共享空间 .....	34
2.2	生态化共享空间的多元发展 .....	36
2.2.1	气候响应性的缓冲空间 .....	36
2.2.2	能量引导性的贯通空间 .....	37
2.2.3	性能适变性的动态空间 .....	39
2.3	共享空间的形态特征与生态效应 .....	40
2.3.1	共享空间的空间类型划分 .....	40
2.3.2	共享空间的形态特征 .....	43
2.3.3	共享空间的生态效应 .....	44
2.4	本章小结 .....	46
<b>第3章</b>	<b>寒冷地区共享空间现状调研与思考 .....</b>	<b>47</b>
3.1	我国寒冷地区气候状况 .....	47
3.1.1	基于气候的建筑节能设计分区 .....	47
3.1.2	我国寒冷地区气候区划范围 .....	48
3.1.3	寒冷地区气候特殊性 .....	49
3.2	寒冷地区公共建筑共享空间的能耗现状 .....	51
3.2.1	不同类型公共建筑能耗现状及特征 .....	51
3.2.2	寒冷地区公共建筑共享空间的能耗特征 .....	55
3.3	寒冷地区共享空间物理环境调研分析 .....	56
3.3.1	调研概况 .....	56
3.3.2	共享空间热环境调研分析 .....	57
3.3.3	共享空间光环境调研分析 .....	61
3.3.4	共享空间物理环境综合评价及存在的问题 .....	63
3.3.5	公共建筑共享空间设计现状与反思 .....	66
3.4	本章小结 .....	69
<b>第4章</b>	<b>寒冷地区共享空间低能耗设计策略框架建构 .....</b>	<b>70</b>
4.1	共享空间被动式低能耗设计的影响因素 .....	70
4.1.1	外部气候条件 .....	71

4.1.2	自然能流控制 .....	72
4.1.3	空间形态要素 .....	73
4.2	寒冷地区共享空间低能耗设计原则 .....	74
4.2.1	冬夏平衡的动态性原则 .....	74
4.2.2	光、热、风关联的综合性原则 .....	75
4.2.3	空间要素配置的协同性原则 .....	75
4.3	基于形态学的共享空间低能耗设计策略框架 .....	77
4.3.1	从形态学角度建构空间低能耗设计策略的意义 .....	77
4.3.2	寒冷地区共享空间低能耗设计策略框架的内容 .....	78
4.3.3	共享空间低能耗设计策略生成方法论 .....	80
4.4	本章小结 .....	82
<b>第 5 章</b>	<b>空间布局低能耗设计策略 .....</b>	<b>83</b>
5.1	布局类型 .....	83
5.1.1	布局类型对物理环境的影响 .....	83
5.1.2	布局类型对能耗的影响分析 .....	85
5.1.3	设计策略: 具有节能潜力的布局选型 .....	88
5.2	空间朝向 .....	90
5.2.1	空间朝向对物理环境的影响 .....	90
5.2.2	空间朝向对能耗的影响分析 .....	91
5.2.3	设计策略: 优选南向采光的空间朝向 .....	93
5.3	空间组合 .....	94
5.3.1	组合方式及性能特点 .....	94
5.3.2	空间组合对物理环境的影响 .....	95
5.3.3	组合方式对能耗的影响分析 .....	96
5.3.4	设计策略: 突出性能优势的空间组合 .....	97
5.4	本章小结 .....	100
<b>第 6 章</b>	<b>采光界面低能耗设计策略 .....</b>	<b>102</b>
6.1	采光界面形式 .....	102
6.1.1	界面形式分类及性能特点 .....	102
6.1.2	界面形式对物理环境的影响 .....	105

6.1.3	界面形式对能耗的影响分析 .....	106
6.1.4	设计策略: 性能综合的天窗形式和开窗比例 .....	108
6.2	透光材料 .....	111
6.2.1	透光材料的性能参数与类型特点 .....	112
6.2.2	透光材料对能耗的影响分析 .....	114
6.2.3	设计策略: 性能兼顾的透光材料 .....	115
6.3	遮阳系统 .....	117
6.3.1	遮阳形态类型及性能特点 .....	117
6.3.2	遮阳对物理环境的影响 .....	121
6.3.3	遮阳系统对能耗的影响分析 .....	122
6.3.4	设计策略: 适应可调的遮阳系统 .....	123
6.4	本章小结 .....	125
<b>第 7 章</b>	<b>空间形体低能耗设计策略 .....</b>	<b>126</b>
7.1	空间体量 .....	126
7.1.1	空间的水平和竖向尺寸 .....	126
7.1.2	空间体量对能耗的影响分析 .....	127
7.1.3	设计策略: 空间体量与性能控制的有效配合 .....	129
7.2	空间尺度与比例 .....	129
7.2.1	空间比例对物理环境的影响 .....	130
7.2.2	空间比例对能耗的影响分析 .....	132
7.2.3	设计策略: 高宽比的控制与性能优化 .....	134
7.3	平剖面形式 .....	135
7.3.1	平剖面形式及性能特点 .....	135
7.3.2	平剖面形式对能耗的影响分析 .....	137
7.3.3	设计策略: 剖面选型的性能优化 .....	139
7.4	本章小结 .....	140
<b>第 8 章</b>	<b>室内界面低能耗设计策略 .....</b>	<b>142</b>
8.1	室内界面类型 .....	142
8.1.1	室内界面类型及性能特点 .....	142

8.1.2	室内界面类型对物理环境的影响 .....	143
8.1.3	室内界面类型对能耗的影响分析 .....	144
8.1.4	设计策略: 室内界面类型选型及性能优化 .....	145
8.2	室内界面材料 .....	146
8.2.1	室内界面材料的性能参数 .....	146
8.2.2	室内界面材料对能耗的影响分析 .....	147
8.2.3	设计策略: 利于光热传递的室内界面材料 .....	148
8.3	室内界面的窗口布局 .....	149
8.3.1	窗口布局对物理环境的影响 .....	149
8.3.2	窗口布局对能耗的影响分析 .....	151
8.3.3	设计策略: 利于光热分布的室内界面开窗方式 .....	153
8.4	本章小结 .....	154
<b>第 9 章 基于形态学分析法的共享空间低能耗设计策略组合及应用 .....</b>		<b>156</b>
9.1	形态学分析法的优化应用 .....	156
9.1.1	形态学分析法的提出与启示 .....	156
9.1.2	多要素的整合优化方法 .....	158
9.1.3	形态学分析法在空间设计中的优化应用 .....	160
9.2	共享空间低能耗设计策略的组合原则与方式 .....	161
9.2.1	共享空间低能耗设计策略的组合原则 .....	161
9.2.2	共享空间低能耗设计策略的组合方式 .....	167
9.3	共享空间低能耗设计流程与应用探讨 .....	168
9.3.1	以性能优化为目标的空间设计流程 .....	168
9.3.2	寒冷地区共享空间低能耗设计实践 .....	173
9.3.3	数字化技术发展下策略知识库的拓展应用 .....	175
9.3.4	超越——走向空间新秩序 .....	177
9.4	本章小结 .....	180
<b>第 10 章 总结与展望 .....</b>		<b>182</b>
10.1	研究总结 .....	182
10.2	对今后研究工作的展望 .....	184

附录 A.....	185
附录 B.....	193
附录 C .....	197
参考文献 .....	213
后记 .....	220

# 第 1 章 绪论

## 1.1 研究背景和问题提出

### 1.1.1 我国公共建筑能耗现状

中国的城市化发展速度已超过西方社会的步伐，城市建设在取得巨大成就的同时，也面临着能源过度消费、气候环境恶化等现实问题的挑战。建筑在人类生产生活中消耗的能源是巨大的，带来的能源浪费也是惊人的，《中国建筑节能年度发展研究报告》指出，我国 2014 年的建筑总商品能耗（不含生物质能）为 8.19 亿 tce<sup>①</sup>，约占全国能源消费总量的 20%<sup>②</sup>。随着城市化水平的提高，建筑能耗的比例将进一步增加，至 2020 年将达到 35% 左右<sup>③</sup>。建筑中用于制冷及采暖而燃烧所排放的气体占据了温室气体排放总量的 50%，并且持续快速增长，建筑业成为了全球变暖的主要元凶之一<sup>④</sup>，而其中绝大部分能耗发生在城市之中。

从各类建筑能耗总量每年的变化上看，公共建筑能耗强度增长明显，近些年来，随着新建公建体量的大型化发展，以及集中空调等系统设备的普遍应用，公建能耗强度明显高出其他类型建筑，而这一发展趋势已成为建筑总能耗逐年增大的最主要因素。2001 ~ 2014 年间，我国公共建筑总面积从 32 亿 m<sup>2</sup> 增长到 107 亿 m<sup>2</sup>，公共建筑除集中采暖外能耗从 5000 万 tce 增长到 2.35 亿 tce<sup>⑤</sup>（图 1-1），其中，单体规模大于 2 万 m<sup>2</sup> 的大型公共建筑不论是按照热值还是一次能耗计算，都远大于住宅和一般公共建筑。随着公共建筑规模化和复合化的发展趋势，建筑也体现出室内空间巨型化、机械设备密集化和功能集成化的发展趋势，其中，尤以高档办公建筑、大

① tce(ton of standard coal equivalent)是 1t 标准煤当量，是按标准煤的热值计算各种能源量的换算指标(标准煤是为了便于相互对比和在总量上进行研究而定为每公斤含热 7000 大卡的能源标准)。

② 清华大学建筑节能研究中心著. 中国建筑节能 2016 年度发展研究报告 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.

③ W.G. Cai, Y. Wu, Y. Zhong, H. Ren. China Building Energy Consumption: Situation, Challenges and Corresponding Measures[J]. Energy Policy, 2009 (37): 2054-2059.

④ 菲利普·拉姆. 气象建筑学与热力学城市主义 [J]. 余中奇译. 时代建筑, 2015 (2): 32-37.

⑤ 清华大学建筑节能研究中心著. 中国建筑节能 2016 年度发展研究报告 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.

注: 文中未标注出处的图片及表格均源于天津大学建筑学院 AA 创研工作室。

中型商场和高档旅馆饭店等几类建筑，在建筑的标准、功能及设置全年空调采暖系统等方面有许多共性，其能耗特别高，节能潜力也最大<sup>①</sup>。从2001年到2013年公建用能总量增长了1.5倍以上，公共建筑单位面积能耗从16.8kgce/m<sup>2</sup>增长到21.9kgce/m<sup>2</sup>，能耗强度增长了33%。结合当前大型公共建筑近年来的增长趋势，必须引起重视，应成为建筑节能设计的重中之重。2015年10月颁布的新版《公共建筑节能设计规范》GB 50189-2015也表明了国家对于提高公共建筑节能水平的迫切要求。

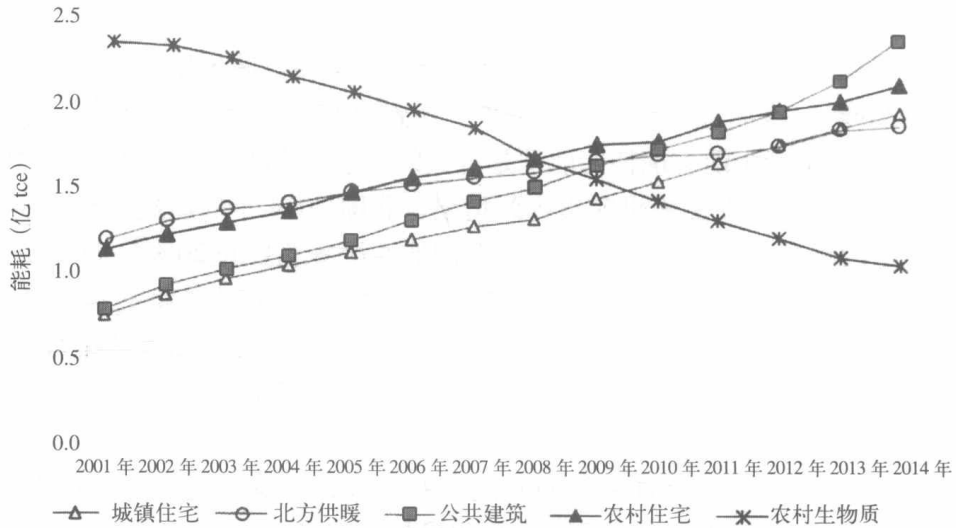


图 1-1 2001 ~ 2014 年各用能分类的能耗总量逐年变化

(资料来源:《中国建筑节能 2016 年度发展研究报告》)

### 1.1.2 气候与建筑：“变”与“不变”

在影响建筑节能的诸多因素中，气候环境条件是一个最基本的影响因素。自古至今，建筑及其空间就是在通过不断应对不利环境的过程中发展演进的，建筑也因此呈现出了地域性和文化性的差异。但随着城市化建设的高速发展和科学技术的不断进步，建筑设计过度依赖空调等机械设备来改变室内环境，而忽略了外部环境气候的影响，一定程度上造成了当今城市和建筑形象的同质化趋势，也造成了资源和能源的巨大消耗。

我国的大陆性气候特征明显，按照美国建筑气候学专家吉·格兰尼(Gideon S. Golany)的观点，我国有相当大的地区当属气候恶劣地区。我国五个建筑热工分区，除面积较小的温和地区，其他气候区的建筑一般都

① 清华大学建筑节能研究中心著. 中国建筑节能 2016 年度发展研究报告 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.

有采暖或空调的要求。另有相当部分地区如夏热冬冷地区北部和寒冷地区的东部既有夏季制冷降温要求，又有冬季保温的双重要求<sup>①</sup>。冬夏双极的不利气候条件对建筑空间的物理环境和能耗影响很大，它常常使相应的节能手段有明显的矛盾冲突。变化的气候条件往往需要相应可变性的设计策略，可变性成为设计策略制订和有效应用的难点。现阶段我国公共建筑的能耗呈现出明显的二元结构的分布特征，而处于高值的多为追求建筑空间密闭，与外界尽可能隔绝的大型公建<sup>②</sup>。这种过分依赖机械系统的建筑设计，并不反映当地气候状况，从南到北，城市中建筑形态千篇一律（图 1-2），无视气候全年的温度波动、相对湿度水平、日照辐射强度等方面的巨大差异。这种不分建筑类型和气候条件的全天候封闭空间势必使人的主体性受到限制和异化，往往导致高能耗和空调病的产生，与生态建筑的原则相背离。菊竹清训曾经在“生态技术”（Eco-Equip Tology）一文中将生态和设备的概念相联系，他认为急速发展的人造设备带来了人造环境的显著膨胀，我们正进入一个要求我们详述设备和环境之间是何种关系的时代，这表明一个诚实的生态关系必须在人造环境和人之间建立。从他的观点可以看出，设备技术的发展也应考虑建筑与自然直接的关系。挑战在于将生态学引入其中，通过建筑我们对环境产生的感知将会挑战由技术带来的一些不人道的影响<sup>③</sup>。

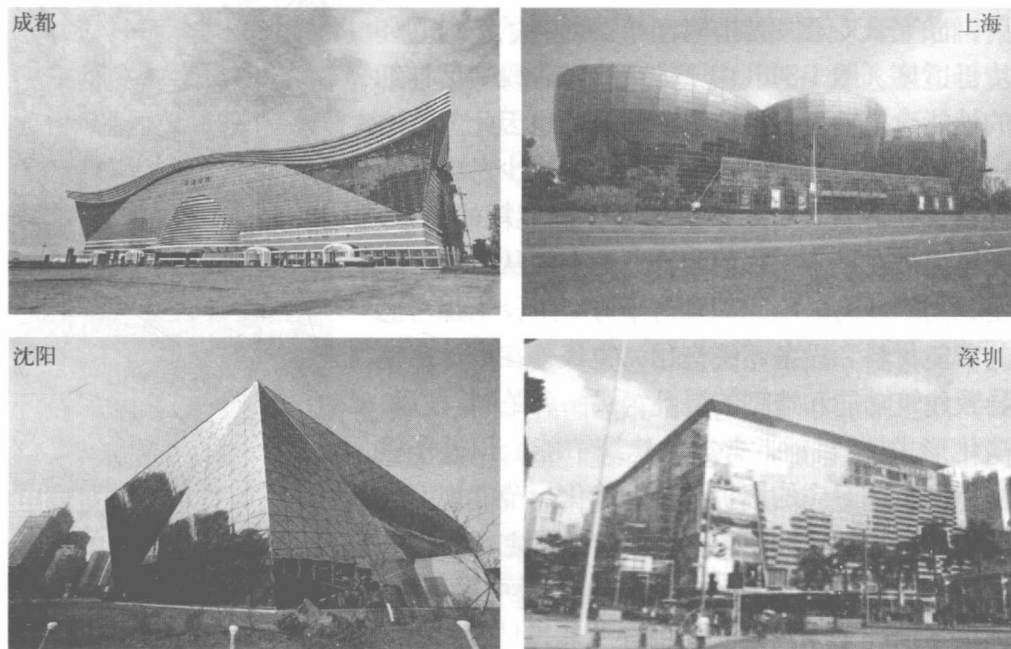


图 1-2 不同气候区建筑形象雷同

- ① 吕爱民·应变建筑——大陆性气候的生态策略[M].上海:同济大学出版社,2003.
- ② 薛志峰编著·公共建筑节能[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- ③ Mohsen Mostafavi.使网格的完美更柔软——Toyo Ito的新自然与建筑妙计[J].ELcroquis:147.



因此，以建筑空间形式和技术应用的“不变”应对气候环境的“变”，只依赖主动式技术而忽视被动式节能的建筑，意味着节能策略完整性的缺损，也意味着更多人力和财力的投入和更高的维护成本。科学、全面的策略应是主被动技术的有效结合。而以形态操作为主要手段的建筑设计工作，建筑师应把握好空间形态和能耗控制的关系，遵从以被动设计优先、主动技术为辅的设计原则，使建筑及空间设计在能耗控制方面发挥关键作用。

### 1.1.3 空间设计与节能设计：“重形式”与“重技术”

方案设计阶段是制订节能措施的关键阶段，影响能量使用的大多数决定因素都发生在设计的早期阶段，而且达到同样目标设计初期的努力要小于之后的努力。有资料表明，建筑能耗的30%左右取决于概念设计或方案设计阶段的建筑师的倾向<sup>①</sup>。当前在建筑节能设计上主要有“重形式”和“重技术”两种偏激的倾向，主要体现在建筑的设计方法和流程上。

“重形式，节能滞后”。大部分建筑师受传统建筑学理论的影响，往往以“功能—形式”为公共建筑创作的出发点，且常受“以大为美”的权力空间美学影响，片面追求空间上的视觉效果，大面积高透射率的玻璃幕墙在毫无遮阳构件保护的条件下，直接面对强烈的太阳辐射；而冬季又无保温措施，严重影响了室内的环境舒适度（图1-3）。由于方案设计阶段缺乏详细的性能建模输入条件，很多建筑师也因此忽略这一有效过程的思考，前期方案阶段很少考虑能耗因素，在方案设计阶段就留下了高能耗的隐患，无论之后在技术上如何弥补，都无法从本质上改变其高能耗的缺陷。而且对于方案阶段未加考虑的节能材料和设备系统应用，也极易在设计后期导致建筑功能和造型的混乱。另一种是“重技术，淡化形式”。目前，普遍的建筑节能工作过于重视空调负荷对应的围护结构的优化，节能规范也局限在围护结构和系统设备的参数限定，以及“条目罗列式”的评价标准，虽然提升了可操作性，但很多情况下无法正确地引导节能设计<sup>②</sup>。在一

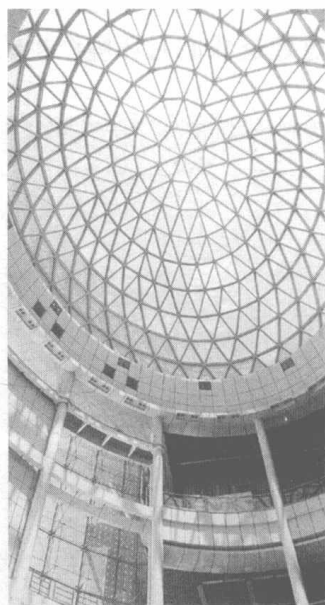


图1-3 阳光穿过武汉某写字楼半透明的玻璃穹顶

（资料来源：透明穹顶想说爱你不容易 [N/OL] 人民网，2015）

① 林波荣，周潇儒，朱颖心. 基于整体能量需求的建筑节能模拟辅助设计优化策略研究 [C]. 国际智能、绿色建筑与建筑节能大会，2008：848-854.

② 周潇儒，林波荣，朱颖心，余琼. 面向方案阶段的建筑节能模拟辅助设计优化程序开发研究 [J]. 生态城市与绿色建筑，2010（3）：50-54.