

建筑环境控制学

□ 宋德萱 / 编著

JIANZHU
HUANJING
KONGZHIXUE

高等学校建筑学专业系列教材 东南大学出版社

ARCHITECTURE



高等学校建筑学专业系列教材

建筑环境控制学

宋德萱 编著

东南大学出版社

内容提要

本书包括建筑环境控制学基本概念和历史、建筑环境、区域环境控制和评价、建筑环境控制与节能建筑控制技术等五大部分。作者通过近年来科学研究、教学实践的积累和成果,并收集整理了国内外大量的最新学术资料,着重对建筑学领域中利用建筑设计手段来改善城市和建筑环境质量与品质提出了一系列有效的设计方法和技术手段,是一部较为系统地介绍了建筑环境控制、建筑生态与节能的教材。

本书可供高等院校有关专业教师、研究生、本科生以及建筑师、工程师等人员学习与参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑环境控制学/宋德萱编著. —南京:东南大学出版社, 2003.1

(高等学校建筑学专业系列教材/王建国主编)

ISBN 7-81089-117-0

I. 建... II. 宋... III. 建筑学-环境控制-高等学校-教材 IV. TU-023

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 087869 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编:210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 兴化市印刷厂印刷

开本:700mm×1000mm 1/16 印张:12.75 字数:261 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

印数:1~3000 定价:25.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换,电话:025-3795802)

高等学校建筑学专业系列教材

编审委员会

主任委员	王建国	
副主任委员	韩冬青	杜春兰
	赵和生	曾 坚
责任编辑	徐步政	

前 言

建筑环境控制是现代建筑学十分关注的课题,是学习和研究生态建筑、建筑可持续性问题的基础,是关于建筑环境技术及其实际应用的综合性学科。

由于时代的变迁和气候状况的恶化,建筑师创造的空间越来越依赖设备技术来维持空间的舒适性,其造成的后果是耗能、污染、非健康,并由此造成不可逆的人的生理和心理变化,大大影响人的舒适和健康。如何在建筑设计中挖掘提供舒适条件的可能性,以与建筑设计紧密结合的构配件重组来完成过去只能依赖设备才能完成的舒适性,成为建筑环境控制学的研究基础和出发点。

建筑环境控制学有别于传统的建筑物理。前者是在充分掌握建筑声学、光学、热工及设备知识的前提下,更注重科学技术在建筑实践中的应用,尤其关注建筑物理现象与自然、气候紧密相关的问题。

建筑环境控制学主要包括以下几个方面:

1. 区域性环境控制技术:主要研究城市环境控制技术,并通过案例分析进行必要的环境评价工作。

2. 建筑环境控制应用技术:主要进行住宅声环境控制、热环境及舒适控制技术和采光控制。

3. 建筑风环境控制技术:主要对与建筑风环境和相关的风的形成要素、诱导自然通风的设计方法等新技术进行系统的研究。

4. 生态与节能控制技术:主要对热—节能—生态进行建筑设计原理和基本概念的分析,使人们掌握应用建筑设计方法达到建筑节能的目的,系统研究生态建筑、节能建筑的技术措施。

5. 生态观与环境控制历史的研究:主要通过大量的理论分析,使人们从中掌握应用建筑环境控制的原理和概念,通过理论学习,比较全面地掌握相关知识和技术方法。

本书是一本系统介绍、分析建筑环境控制问题的书籍,可供城市规划、建筑设计、建筑管理、环境工程等专业人员选读,是建筑环境控制学学科的必修教材。

由于编写此书时间较为仓促,本书仅包括部分主要建筑环境控制学的内容和知识,在以后的教学过程中将逐步充实本书的内容,使其比较全面、完整地反映建

筑环境控制学的基本知识。

本书在编写过程中得到了同济大学建筑城规学院同事们的关心和支持,在文稿整理、打印、插图等方面得到梅岭、李学、杨赞三位研究生的协助,对他们的辛苦工作和协助,在此谨表谢意。

宋德萱

2002年9月于上海同济大学

目 录

1 概述	(1)
1.1 建筑环境控制学基本概念	(1)
1.1.1 环境控制意识导向	(1)
1.1.2 环境控制的多元性	(4)
1.1.3 环境控制的价值观	(4)
1.2 建筑环境控制的历史	(4)
1.2.1 暖房的历史	(5)
1.2.2 太阳资源的应用	(6)
1.2.3 玻璃的温室效应	(7)
1.2.4 空调的演变	(7)
1.2.5 卫生环境的历史	(8)
1.2.6 生活用厨环境	(10)
1.2.7 国内外发展概况	(10)
2 建筑环境	(11)
2.1 自然环境	(11)
2.1.1 气温	(11)
2.1.2 湿度	(13)
2.1.3 风	(13)
2.1.4 日照	(15)
2.2 室内环境	(17)
2.2.1 温度	(18)
2.2.2 湿度	(19)
2.2.3 气流	(20)
2.2.4 辐射	(20)
3 区域环境控制	(21)
3.1 区域热环境控制	(21)
3.1.1 净辐射得热量—— Q_N	(22)
3.1.2 人为热释放量—— Q_F	(26)
3.1.3 潜热交换—— Q_H	(27)
3.1.4 大气显热交换—— Q_E	(28)

3.2 区域湿平衡	(28)
3.2.1 空气湿度	(28)
3.2.2 相对湿度	(30)
3.2.3 区域水分平衡	(30)
3.3 城市热岛效应	(33)
3.3.1 形成原因	(33)
3.3.2 特征	(34)
3.3.3 对城市环境的影响	(36)
3.3.4 控制城市热岛的措施	(37)
3.4 城市大气环境	(40)
3.4.1 城市大气污染	(40)
3.4.2 城市中的污染源	(42)
3.4.3 城市大气中的主要污染物	(44)
3.4.4 对环境的影响	(49)
3.4.5 大气环境标准	(51)
3.4.6 控制大气环境污染的规划设计原则	(55)
3.5 区域环境质量评价	(63)
3.5.1 环境质量评价的分类	(63)
3.5.2 区域环境质量评价的步骤	(64)
3.5.3 评价方法	(66)
3.5.4 建设项目环境影响评价	(67)
3.5.5 居住环境评价	(68)
3.5.6 国外相关绿色环境评价体系简介	(72)
4 建筑风环境控制	(76)
4.1 风	(76)
4.1.1 风、季风、台风、龙卷风的形成	(76)
4.1.2 地形风	(77)
4.1.3 自然通风要素	(78)
4.1.4 通风评估	(80)
4.2 人与风	(81)
4.2.1 热舒适方程	(81)
4.2.2 人对热的感觉	(81)
4.2.3 感觉温度	(82)
4.2.4 风速与人体舒适度	(83)
4.2.5 最佳舒适气候	(84)
4.3 室外风	(87)

4.3.1	单体建筑形态与风	(87)
4.3.2	群体建筑关系与风	(91)
4.3.3	植物与风	(93)
4.4	建筑室内通风	(95)
4.4.1	室内通风概论	(95)
4.4.2	开窗洞口高差的影响	(100)
4.4.3	挡板与通风	(102)
4.4.4	室内通风半定量分析	(104)
4.5	通风与防风的协调	(110)
4.5.1	季风的建筑配置(适用建筑类型:集合住宅、学校等)	(110)
4.5.2	植栽控制与防(通)风(适用建筑类型:一般建筑、低层建筑)	(111)
4.5.3	善用地形风	(112)
4.5.4	建筑风的防治(适用建筑类型:一般建筑、高层建筑)	(112)
4.5.5	开窗与通风	(113)
4.6	高层建筑风环境	(113)
4.6.1	高层建筑群体中,风洞效应造成的“恶性风流”因素	(113)
4.6.2	高层建筑与周边建筑之间的风环境	(116)
5	节能建筑控制技术	(119)
5.1	概述	(119)
5.1.1	背景和意义	(119)
5.1.2	研究对象	(120)
5.2	生态九导则	(121)
5.2.1	实施方向	(121)
5.2.2	实施细则	(122)
5.3	生态观与节能	(127)
5.3.1	生态观	(127)
5.3.2	节能政策	(139)
5.3.3	研究现状	(146)
5.4	节能建筑设计	(155)
5.4.1	建筑总平面节能设计	(155)
5.4.2	节能建筑单体设计	(161)
5.4.3	日照调节:建筑遮阳和气候控制	(171)
5.5	被动式太阳能建筑	(177)
5.5.1	直接受益式系统	(177)
5.5.2	对流环路式系统	(178)
5.5.3	蓄热墙式系统	(179)

5.5.4 附加日光间系统	(180)
5.6 现代高层建筑的节能设计	(180)
5.6.1 住区和外部环境规划	(181)
5.6.2 住宅体形	(181)
5.6.3 内部空间	(181)
5.6.4 技术	(182)
5.7 中国的生态节能建筑实践	(183)
5.7.1 蕴含绿色思想的中国窑洞	(183)
5.7.2 融入自然的建筑体系:香港明爱明晖青少年营地改建工程	(187)
5.7.3 公共建筑节能设计案例:中国台湾台北震旦国际大楼	(191)
.	
参考书目	(193)

1 概 述

建筑在构筑室内外空间的同时,也在创造一个供人居住、生活的环境,无论哪一种生活形态,都必须以舒适、有效、安全为前提,人居环境的形成和维持也必须以可持续的技术方向来完成。

现代建筑为了满足社会发展的要求,需要在空间中筑起一个人工环境,并努力做到室内环境的舒适和稳定,因此需要花费昂贵的代价。建筑环境设计应该正视室外环境对人工环境的影响,通过相应的技术手段和控制方法达到对气候的尊重。利用气候条件的有利因素,调整环境对建筑的影响程度,以营造符合现代社会要求的更舒适、更幸福的空间环境,而成为真正人性化的好的建筑。

1.1 建筑环境控制学基本概念

建筑环境控制学是在掌握传统建筑物理知识的基础上,对建筑环境进行全面、系统的研究,提出以生态及可持续为目的的方法和技巧,充分关注与建筑设计领域的结合,做到对环境、气候、心理等有序组织和协调,建立相应的基本原理和方法。

建筑环境控制学有别于建筑环境工程学,前者更重视一般原理的设计实践,关注通过建筑设计来解决相应的环境问题,关注利用被动控制的方法来调整建筑空间的环境指标,关注节能、循环、再生等可持续问题。

建筑环境控制学有别于传统的建筑物理,如果说后者作为系统论述建筑声学、光热、热学的一般原理和方法,研究 3 门分支学科的基本定量及计算,那么建筑环境控制学更强调后者的基本原理在建筑实践中的应用,尤其关注建筑物理现象中与自然、气候紧密相关,并在建筑学中特别关心对人居舒适更紧密的问题。

建筑环境控制学是一门崭新的学科,系统研究及学习建筑环境控制学的一般原理和设计方法,将使现代建筑学更理性、更科学,更符合自然、人的本源等特点。

掌握建筑环境控制学等于给建筑师提供了一条新的解决人居环境问题的通途,但是作为学科本身也在不断更新、发展与提高,建筑环境控制学也将在不断的进取中全面渗透到建筑设计之中。

1.1.1 环境控制的意识导向

建筑设计的思维模式往往在环境、人的要求、技术可行性之间跳跃,建筑师在

此思维过程中,捕捉关于建筑立意的火花,环境控制将成为现代科学发展日益成熟的条件,建筑师新的立意点和设计来源,将成为富有理性主义的、充分尊重建筑可持续及生态主义的现代建筑设计理论。

1) 建立概念

建筑环境控制在最基本的层面上,给学习者提出相应的解决环境要素指标的基本方法,能够在建筑实践过程中比较全面、理性地对待环境设计及相应的技术手段,在各项环境要素控制的过程中,掌握人在环境营造活动中的主观能力,牢固强化建筑师对环境控制和设计方法之间的协作性和协同性。

(1) 环境控制与建筑设计的协作性。环境控制技术不再是游离于设计手法之外的“纯技术手段”,而成为与建筑设计一般原理和方法同步并进的学科,在与设计的协作中挖掘本身的基本原理和方法。协作性表现了环境控制学科的特点与特殊性。

(2) 环境控制与建筑设计的协同性。作为更深层面的观点,环境控制技术最完美的表现是技术所表现出的内容完全融合在建筑设计所包容的元素之中,两者取得完整的统一。协同性表现了环境控制学科与建筑设计的共性和统一。

2) 建立知识库

现代建筑学的外延在不断地扩大,内涵也在不断扩大的外延基础上深化和发展,建筑学不再停留于建筑三要素的建筑营造活动,而更关注社会、人文、现代科技对建筑学的冲击和影响,知识更新、知识膨胀、知识应用都成为现代建筑学必须适应的问题,尤其作为以环境创造为目的的现代建筑学,掌握现代科技的最新成果及其在建筑学中的应用,已成为当今建筑师成功的必经之路。

(1) 建筑环境控制相关知识的选择性。建筑环境控制学的立足点在于将当今社会所发生的科学成就应用于建筑学并利用自然气候的有利条件来适应目前人们对于舒适的需要,其相关知识必须注重应用及可操作的特点,以在建筑中实际应用的先进性、经济性等为最大目标,并充分关注中国特色,以适应广大建筑使用者的一般需要。

(2) 建筑环境控制相关知识的综合性。正如建筑物理中为满足一项舒适指标存在多种途径可以解决一样,建筑环境控制的原理和方法是多个学科、多项技术的综合应用,在研究某一方向的环境控制问题时同样需要兼顾由此而产生的其他矛盾,或是否存在其他途径来解决相同的问题。因此,其相关知识必须注重知识的量、知识的新及其综合性。

(3) 建筑环境控制相关知识的“低技化”趋向。作为解决人居最一般舒适条件为目的的知识群,其相关知识更关注手法和技术,在掌握一定的定量控制基础上,更注重设计方法及由此带来的效益评估,强调人工控制、被动控制,以找到具有可操作、常规的控制方法来解决建筑环境所面临的问题。

3) 建立方法论

作为强调理论在实践中应用的建筑环境控制学科,在学习中更重视在掌握相关理论知识的同时,学会解决问题的方法,在不断综合过程中,利用不同专业知识并注重其相互的知识渗透和应用交融,来解决建筑学中环境控制命题。这一过程的研究必须建立科学的、现代的方法体系,即方法论。

建筑环境控制学最基本的研究从3个方面展开,并且这3个方面互相关联,共同构成环境控制学的研究体系。至今尚未建立一个比较完整的整体来加以研究,3个方面各自研究,其成果虽具有先进性,但最终的应用“落实”或“逆向”理论支撑存在许多脱节和隔离,阻碍了建筑环境控制学的建立、发展与更新。

(1) 第一部分——建筑环境控制学的研究中心就是对人本体的舒适及其相应理论、方法和应用的研究。对此项研究比较系统的科学家有丹麦学者范格耳(P. O. Fanger),其在对舒适环境及人体的相互关系方面,有比较全面的理论研究和实验,并得出一定的具有里程碑意义的研究结果。关于建筑中的舒适环境研究,在发达国家也已展开,如日本的山田雅士在《建筑绝热》一书中对人体的冷热感、亚洲人群的舒适感觉有较系统的研究。中国在此方面的工作,过去一直停留在作为热工学即空调工程中的研究领域,最终才进入作为建筑学本身的人与环境舒适的建立、评价及分析过程,真正进入系统研究的崭新阶段。

(2) 第二部分——建筑环境控制学的研究基础是以环境质量评价为方法并以此为人居环境的改善作出定性及定量的分析,由此客观地反映建筑环境及环境控制的效果,以得出科学的、实用的技术方法。作为建筑环境的研究,长期以来一直停留于“大致的”、“基本上”等初级阶段,无法适应现代科技发展的需要。建筑环境控制学的研究就是为建筑环境提出精确的、“好坏分明”的解决方法,并在环境控制过程中进行社会学层面的、建筑学本身的评价研究。

(3) 第三部分——建筑环境控制学的研究目的是提供关于环境控制及改善的设计和技术方向,建立一整套全面、完整的应用体系,通过对建筑设计全过程的全面总结,融入现代科学技术的成就,创建与建筑设计紧密结合,试图通过设计本身来解决通常需要设备耗能才能解决的环境问题和舒适问题,这是建筑环境控制学的实质所在,也是研究建筑环境控制学的最终目标。

在研究与学习建筑环境控制学的过程中,一定要注重本学科3个部分的最基本的原理和概念,尤其要对3个部分作出综合及协调,以3个部分的交融形成建筑环境控制学最一般的方法论。

1.1.2 环境控制的多元性

创造合适“环境”是建筑学研究的根本点和出发点。我们所面临的时代是一个环境的时代,环境成为现代人类及其活动的场所和载体。

在研究人类环境的过程中,往往以不同的研究对象进行区分,以使研究更科学合理。一般而言主要进行下述3个方面的研究:

(1) 对生理环境的研究。其研究对象是以人为本体,以人的生理特征、本能及初始要求为对象,对自己的周围环境进行分析与研究。

(2) 对生活环境的研究。其研究对象是以周围环境为本体。其特点是:范围较小,因素比较单一,但控制较有效。

(3) 对生态环境的研究。其研究对象是以整体环境为本体,是对人类生存环境综合的、全面的研究过程,所涉及的因素较多,是目前主要研究领域。

1.1.3 环境控制的价值观

建筑环境控制的研究起源于人们对环境质量、可持续性及科学技术水平的提高,其价值观同样体现在以下几个方面:

(1) 聚居本源的双重性。人类的社会活动已越来越正视此双重性问题,即聚居环境本身的现在要求和未来需要的协同进行。现在要求体现舒适和健康,挖掘一切手段来满足人类的聚居需要;未来需要则更加关注人类后代为生存而对环境和物质的要求,表现为可持续性。

(2) 环境质量的可控性。由于气候状况的改变,环境质量在不同的季节或者昼夜会发生变化,为提供一个稳定的聚居环境,建筑师正在尝试借助于科技的方法对环境质量进行控制,并创建可按需调整的可控系统。

(3) 人体群落的个性性。充分反映了环境“以人为本”的特点,在建筑空间创造的过程中,尊重人的个体的要求,适应不同种族、不同性别、不同年龄人群对舒适、健康环境的要求。

1.2 建筑环境控制的历史

建筑环境控制问题的研究历史同步于建筑学的发展史,自人类学会巢居和穴居两种方式为自己提供室内环境开始,建筑环境已渗透进其居住方式中。建筑环境控制的历史总貌可以归纳为以下方面:

1) 特征

主要有以下3个表现方式:

- (1) 从朦胧到觉醒;
- (2) 从被动型到主动型;
- (3) 从无意识到有意识。

2) 支撑

演变历史的支撑主要有三方向:

- (1) 科技文明;
- (2) 社会文明;
- (3) 人性文明。

3) 焦点

历史演变的焦点,在于解决以下问题:

- (1) 历史发展的有序性;
- (2) 现实环境的污染性;
- (3) 人居环境的个体性。

建筑环境控制的发展历史是人类利用自然资源的进步史,为了使祖先们的居住条件更符合人的生理要求并克服自然气候造成的影响。建筑环境控制从火资源利用和太阳能资源利用两条线路展开,开始了最早的建筑环境控制实践。

1.2.1 暖房的历史

1) 由火到火炉的变迁

人类居住在气象万千的地球上,为了获得更加舒适的居住条件,使用了种种方法来控制室内热环境——例如以衣着、建筑物及种种热源设施来调节环境温度。

人类最早采用的热源设备,当然是“火”。

(1) 据考古专家论证,人类在新石器时代便开始用火——但起初只知道在住所放置火堆,而没有专用的火炉。

(2) 公元前 2500 年的希腊 Corinth 城住宅中发现有固定的火炉,公元前 2000 年的 Troy 城和公元前 1400—公元前 1100 年的 Thebes 城也有发现。

(3) 希腊人、罗马人除了使用普通的固定火炉外,亦使用移动式火炉(brazier)和祭坛用火炉。

(4) 罗马人曾使用漂亮的青铜制火炉(开放式,直接将燃料置于盆子上燃烧),被西班牙人继承并发展——在燃烧盆上附加盖子或是排烟的管子,渐渐演变成暖炉(stove)。

(5) 16 世纪欧洲更在暖炉表面加上一层空气层,以降低过高的表面温度,并以种种材料增加暖炉热容量,使其表面温度分布均匀——例如采用厚实材料砌筑的瑞典型砖制暖炉。

虽然“火”热源设备的技术含量不断提高,性能也不断增长,但是,这一方式始终存在着以下致命的缺点:

- (1) 燃料费用惊人;
- (2) 产生焦炭;
- (3) 空气污浊。

因为这些缺点,派生出了其他的取暖方法:

- (1) 动物体热取暖。法国诺曼底地区妇女夜间利用牛群体温取暖织布。
- (2) 《圣经》中耶稣诞生于马厩中可以作为例证。
- (3) 现在,瑞典地方的农夫,还利用牛舍热气来作暖房设施。

2) 烟囱的由来

(1) 由于最初的燃料——木材的燃烧会生成废气与烟雾,渐渐的人类开始在住宅上方开孔以排烟。

(2) 为了解决上方开孔给顶层阁楼带来的不便,改为在墙面上设一烟道(flues)。

(3) 13 世纪的 Norman 人城堡中 Abingdon 修道院出现如烟囱之物。

(4) 16 世纪英国开始使用煤炭作燃料,至此,真正的“烟囱”诞生了。

3) 暖房的沿革

壁炉、火炉、暖炉等直接燃烧的取暖方式,不但污染空气,而且具有相当的危险性。但是,事物总是不断向前发展的。

(1) 1784 年,蒸汽机发明者 Watt 利用废弃的蒸汽作为热源,此乃现代暖房系统之雏形。

(2) 1792 年 Derby 医院中设置了重力式风暖房系统,利用管道由室外引进新鲜空气,加热后送入各房间内。

(3) 1830 年, Bramah 首次在 Westminster 医院利用温水发热器建立暖房系统。

(4) 由此,开始了 20 世纪初各种放热器的产生。

1.2.2 太阳资源的应用

除“火”之外,太阳的“阳光”是最经济、最实惠、最安全的调节环境的方法。

(1) 公元前 212 年,据说阿基米德(Achimedes)在 Syracuse 地方,利用放射太阳光击溃了罗马军队。

(2) 中国“风水”观念,善用自然条件的经验总结。

(3) 古罗马,维特鲁威《建筑十书》对注重气候和太阳光线有详细的描述:“……澡堂应设在温暖的位置,且避开北向,……它应该面向冬天日落的位置,因为日落会向我们发出光辉、散发热量,在午后提供温暖。”这一建议表现在多数罗马帝

国的公共浴室面向西南。

(4) 罗马澡堂使用的地板暖房(hypocaust)在中国东北及韩国同样常见(如炕)。

1.2.3 玻璃的温室效应

1) 早期的“玻璃”雏形

没有玻璃窗之前,北方寒带国家开口设置极其保守,甚至不设开口。但是人有从室内眺望室外的欲望,纯粹的开口,虽然解决了瞭望问题,却无法防风防雨。然而,许多古老民族的住宅采用了种种两全其美的方法:

- (1) 爱斯基摩的冰孔——在圆顶雪屋上端留数个透明的冰块。
- (2) 中国古人的纸糊——在花格子窗扇上贴油质纸张。
- (3) 滨海渔民的鱼鳔——使用透明的鱼鳔。
- (4) 游牧民族的兽皮——半透明的兽皮、牛胃。

2) 玻璃的产生

只有玻璃的使用,才能将“防风雨”和“采光、眺望”双重功能发挥尽致,并且因为其特殊的“温室效应”,使建筑物保温性能大增。

- (1) 公元 65 年,出现使用玻璃扇面的记录。
- (2) 公元 79 年,庞贝古迹中发现成熟的玻璃窗。
- (3) 17 世纪中叶法国人发明平板玻璃制造法。
- (4) 20 世纪中叶发明浮法玻璃,玻璃深加工技术出现并发展。

3) 玻璃在建筑中的应用

玻璃的最初用途是为了应用于寒带地区,冬天取暖。其不适用于炎热地区。

- (1) 古罗马时期玻璃窗的导入,使开口不再受天冷限制,挖洞欲望升级。
- (2) 由于玻璃窗取代厚石墙,促进了拱券结构的诞生。
- (3) 以最少的框架“挖”出最大采光面——尖拱、飞扶壁之哥特式建筑。
- (4) 传说罗马帝国皇帝 Tiberius 使用“玻璃温室”栽培胡瓜。
- (5) 16 世纪,从北欧荷兰地区开始,温室开始流行。
- (6) 18 世纪欧美上流社会温室盛行,称为“温室时代”——Age of Greenhouse。
- (7) 钢铁结构的发展给玻璃应用带来无限生机——1851 法国水晶宫。

1.2.4 空调的演变

1) 低技术“空调”期

现代冷气空调的出现虽然不是很久的事情,可是人类以通风、蒸发等原始方法来降低室温的历史却非常久远。

- (1) 在许多古老的乡土建筑中,依然可发现许多善用通风来冷却室内温度的