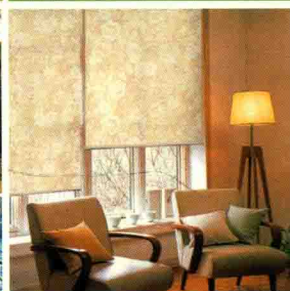




海南地区建筑节能 重点技术与工程应用



尹 波 许杰峰 编著

海南地区建筑节能 重点技术与工程应用

尹 波 许杰峰 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书针对独具热带海岛气候的海南省建筑节能重点技术进行剖析,研究了海南省气候的独特性和差异性,分析了在此气候条件下居民的行为特点以及建筑能耗情况,重点研究了建筑场地规划布局、自然通风技术、建筑遮阳技术、围护结构隔热、太阳能热水、太阳能光伏系统等关键节能技术,为推动海南省乃至夏热冬暖地区建筑节能技术发展提供了参考。

本书可供研究海南地区建筑节能工作的学者、工程设计人员、有关管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

海南地区建筑节能重点技术与工程应用/尹波,许杰峰

编著. --上海:同济大学出版社,2015.1

ISBN 978-7-5608-5706-0

I. ①海… II. ①尹… ②许… III. ①建筑—节能—
研究—海南省 IV. ①TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 286271 号

海南地区建筑节能重点技术与工程应用

尹 波 许杰峰 编著

责任编辑 姚烨铭 责任校对 张德胜 封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟市大宏印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 15.75

字 数 196 000

版 次 2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5706-0

定 价 48.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

编写人员

主 编:尹 波 许杰峰

副主编:周海珠 李晓萍 杨彩霞 吕石磊

参 编:胡家僖 李 军 吴 薇 张焦宏 于 瑞

孙金颖 王 海 李以通 陈 晨 贾 华

张 蕊 丁宏研 吴 雄 韩明勇 王 娜

孙器斌 吴承敏 周 辉 高 峰 吴亚春

曾海平 李艳静 秦培成

序

海南是我国最大的经济特区和唯一的热带岛屿省份,历经建省办特区 26 年来的发展,海南正迎来生态文明、绿色崛起,全面建设国际旅游岛的关键机遇期。建设领域的节能减排工作对于海南推动以生态保护和合理资源消耗为前提的生态发展模式,最终实现绿色崛起意义重大。2010 年 1 月,海南省政府出台《海南省太阳能热水系统建筑应用管理办法》(省政府 227 号令),在全省强制推广太阳能热水系统建筑应用并给予一定的建筑面积补偿或财政补助政策扶持。伴随国际旅游岛建设,海南省住房和城乡建设厅也通过建立目标考核、推进政策激励、完善标准体系和加强宣传培训不断推进建筑节能和可再生能源建筑应用等相关工作,目前全省设计阶段建筑节能标准执行率为 98% 以上,施工验收阶段为 95% 以上,可再生能源建筑应用也形成规模化应用。

《民用建筑热工设计规范》(GB 50176)把我国分为五个气候区,海南隶属夏热冬暖地区,但受热带季风气候影响,海南气候特点与夏热冬暖地区其他省份及城市又有所不同。海南地区年平均气温较高,降雨量丰沛,但在最为炎热的月份,室外平均风速仍在 1.6m/s 以上,气候舒适性处于舒适区域。太阳能资源方面,海南省太阳辐射强度大,日照时数长,是名符其实的“太阳岛”,有利于太阳能的资源化利用。据统计,海南建筑能耗占比较高,消耗了全省 31% 的电力,在开展建筑节能工作时更应立足海南资源禀赋、气候条件、建筑特点,注重实效。因此亟需一本教材类书籍系统来阐述海南地区建筑节能和可再生能源建筑应用技术形式和特点以及应用策略和方法。

基于此,中国建筑科学研究院组织相关专家编写了这本适用于海南地区的建筑节能技术和工程应用的专著。本书以建筑节能被动技术和可再生能源应用为重点,从海南气候特点出发,调研分析居住建筑、公共建筑的用能特点以及民众形式方式对建筑能耗的影响,提出海南地区建筑节能技术的选择策略及关键技术,最后从区域热环境改善、自然通风、建筑遮阳、建筑隔热、太阳能热水和太阳能空调以及光伏等七个方面来详细阐述,并以实际工程应用为例,解析各项技术在设计、施工、运营中应用方式。希望本书的出版能为海南省建筑节能和可再生能源技术的发展及应用起到积极的引导作用,为海南省建筑节能相关从业者提供参考,为扎实推进国际旅游岛建设,实现海南绿色崛起做出积极贡献。

武强
2015年3月15日

前 言

我国当前正处于新型城镇化建设的关键时期,城乡建设将摒弃原有的粗放、高碳发展模式,逐步向绿色、低碳模式转变。但城镇化建设的持续推进将不可避免地推动既有建筑总量的不断增加,使我国建筑能耗呈刚性增长趋势。另一方面,生活水平的提高也使民众对环境舒适度提出了更高的要求,导致高耗能设备的增加和用能系统运行时间的延长。建筑能耗的双重刚性增长因素为我国建筑节能工作的开展以及建筑模式的转变提出了严峻的考验。

海南省是我国最大的经济特区,正迎来全面建设国际旅游岛的关键机遇期。全省年建设量也由2003年的121万 m^2 上升至2012年的812万 m^2 ,增加了约7倍。目前全省既有建筑总量约3亿 m^2 ,年消耗全省31%的电力。海南省2013年城镇化率达到52.8%,在城镇化发展和国际旅游岛建设的共同影响下,海南省建筑总量还将进一步增加,建筑领域的节能减排工作将成为实现绿色崛起的重要保证。然而,海南省地处热带北缘,虽与广东、广西、福建和云南等地区同属于夏热冬暖气候区,但受海洋性热带季风气候影响,气候特点与其他地区存在明显差异。建筑节能技术的发展与应用只有在充分适应与契合地区资源环境和人文特点的情况下才能最大程度的发挥作用。为有效促进海南省建筑领域节能减排目标的落实,亟需研究出一套基于当地气候条件以及民众生活习性的建筑节能重点技术体系。

本书编著之初,编著组充分调研了海南省居住建筑和公共建筑的建筑形式、使用特点、能耗现状以及各项节能技术应用现状,以确保本书内容符合海南省建筑发展的实际需求。基于海南地区高温高湿的气候属性和建筑用能特性,海南地区建筑节能应遵循四个基本策略:一是优化建筑布局,改善区域热环境;二是加强围护隔热与建筑遮阳,降低建筑能耗;三是促进自然通风,提高室内舒适性;四是加强太阳能资源化利用,减少一次能源消耗。在总体内容上,则从区域热环境改善、自然通风、遮阳、隔热、太阳能热水和太阳能空调以及光伏等七个技术应用来进行详细阐述,并以工程应用为例证,解析各项技术在实际项目中的应用方式。

本书的编写以及出版受国家“十二五”科技支撑计划课题——热带海岛气候建筑节能重点技术与太阳能建筑应用研究及示范(2011BAJ01B05)资助,在编写过程中也得到了海南省住房与城乡建设厅、海口市住房与城乡建设局和三亚市住房与城乡建设局的大力支持,同时课题相关承担单位也积极参与了编写工作。希望本书的出版能为海南省建筑节能技术的发展及其应用起到引导作用。

本书编者尽可能全面涵盖适宜于海南地区的被动式节能技术和太阳能利用技术,但限于编者水平 and 认识上的局限,疏漏与不足之处在所难免,望广大读者朋友不吝赐教,以便今后继续充实修正。

中国建筑科学研究院

2015年1月

目 录

序 前言

第一章 概述	1
第一节 气候特性	1
第二节 海南省建筑节能现状	7
第二章 海南地区建筑用能特点分析	12
第一节 居住建筑能耗现状	12
第二节 公共建筑能耗现状	16
第三节 建筑能耗影响因素分析	22
第四节 建筑节能重点技术	27
第三章 区域热环境改善技术应用	31
第一节 区域热环境改善技术应用策略	31
第二节 建筑规划布局	31
第三节 景观规划设置	40
第四节 室外环境遮阳	57
第五节 技术应用	61
第四章 自然通风技术应用	67
第一节 自然通风技术应用策略	67
第二节 建筑设计	67
第三节 开口设计	75
第四节 辅助自然通风措施	81
第五节 技术应用	85
第五章 建筑遮阳技术应用	93
第一节 建筑遮阳技术应用策略	93
第二节 建筑遮阳类型和技术要点	93
第三节 建筑一体化外遮阳	102
第四节 产品类遮阳	108
第五节 技术应用	119
第六章 建筑隔热技术应用	127
第一节 建筑隔热技术应用策略	127
第二节 建筑隔热设计关键参数	128
第三节 外墙隔热技术	132

第四节	屋面隔热技术·····	140
第五节	技术应用·····	140
第七章	太阳能热水系统建筑一体化技术应用·····	157
第一节	太阳能热水系统建筑一体化技术应用策略·····	157
第二节	太阳能热水系统及建筑一体化应用形式·····	157
第三节	太阳能热水系统设计·····	163
第四节	运营管理与维护·····	171
第五节	技术应用·····	172
第八章	太阳能光伏建筑一体化技术应用·····	178
第一节	太阳能光伏建筑一体化技术应用策略·····	178
第二节	海南省常见的太阳能光伏系统及建筑一体化应用形式·····	179
第三节	光伏建筑一体化系统设计·····	190
第四节	运营管理与维护·····	201
第五节	技术应用·····	202
第九章	太阳能空调技术应用·····	219
第一节	太阳能空调建筑技术应用策略·····	219
第二节	太阳能空调系统应用形式·····	219
第三节	太阳能空调系统设计·····	225
第四节	运营管理与维护·····	237
第五节	技术应用·····	238

第一章 概 述

第一节 气候特性

海南省下辖海南本岛以及多个岛屿(图 1-1),其中还包括 2012 年 6 月 21 日国务院批准设立的地级三沙市,下辖西沙、南沙、中沙诸群岛及其周边海域。海南省全省陆地总面积 3.5 万 km²,海域面积约 200 万 km²,其中海南本岛面积 3.39 万 km²。

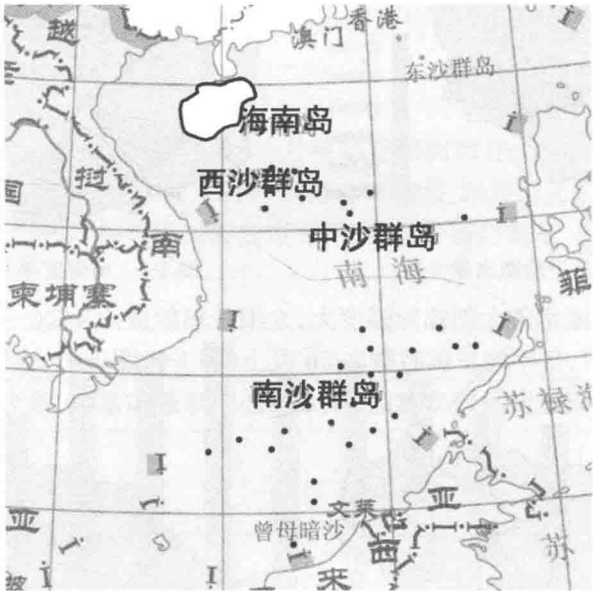


图 1-1 海南省区域分布

一、海南本岛气候特点

海南岛地处热带北缘,年均气温高,年平均气温在 22.8℃~25.8℃之间,中部山区气温较其他地区略低,南部、西部略高于 26℃(图 1-2),等温线向南弯曲呈弧线,由中部山区向沿海递增,沿海高于内陆,南部高于北部。最冷月在 1 月份,中部山区月平均气温 16.5℃左右。全岛最热时段大部分地区出现在 7 月份,东部地区月平均气温 29.2℃,为全岛最高^[1]。

年降雨量在 961~2439mm 之间,全

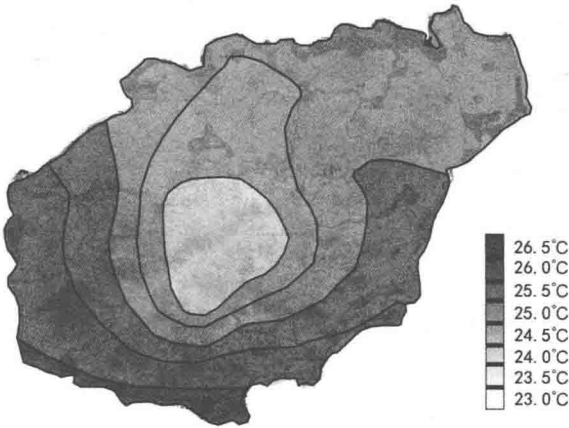


图 1-2 海南本岛年平均气温分析

省降雨量分布也呈现由东部向西部递减的趋势(图1-3)。海南岛降水多集中在8—10月,而蒸发过程主要集中于5—7月,在1—4月各地区都是蒸发量大于降雨量,而8—10月则基本上都是降雨量大于蒸发量。受年降雨量区域差异化以及季风气候的影响,各地区相对湿度也由东部向西部逐渐递减(图1-4),年平均相对湿度76%~86%之间,季节间的变化较小。

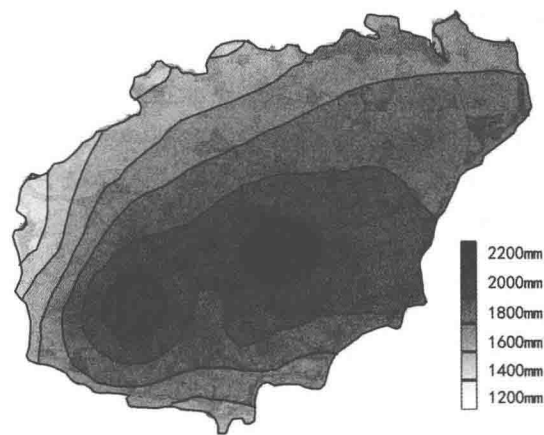


图 1-3 海南省年平均降水量分析

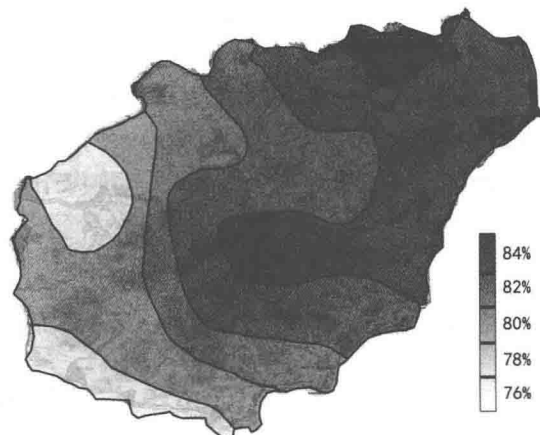


图 1-4 海南省年平均相对湿度分析

太阳能资源方面,海南省太阳辐射强度大,太阳总辐射量为 $4600\sim5800\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{a}$,日照时数为 $1780\sim2600\text{h}/\text{a}$ ^[2],日平均日照时数在5h以上(图1-5,图1-6),太阳能资源总体上属于中等区,但西部地区属太阳能资源较丰富区,属太阳能资源最丰富区,是名符其实的“太阳岛”。

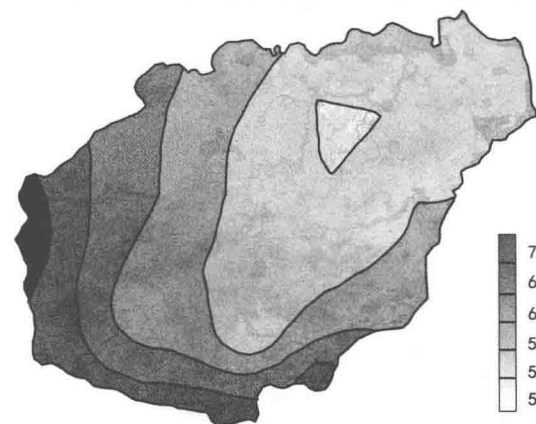


图 1-5 海南省日平均日照时数分析

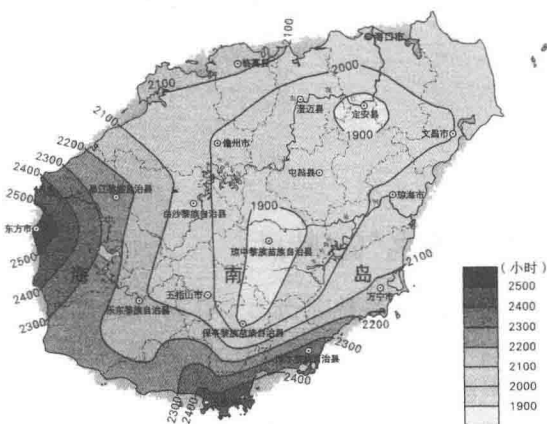


图 1-6 海南省年平均日照时数

二、海南省离岛气候特点

三沙市位于中国南海的西沙群岛地区,是海南省的第三个地级市,也是目前最年轻的地级市,下辖西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛的岛礁及其海域。三沙市管辖的岛屿面积约 13km^2 ,海域面积达 260 多万 km^2 。按照陆地面积计算是我国最小的城市,但若考虑海域面积三沙市则是管辖区域最大的城市^[3]。

西沙群岛位于南海中部、海南岛东南方,共有岛屿 32 座,其中,永兴岛是西沙群岛最大的岛屿,也是三沙市的政治、军事、经济和文化中心,距三亚榆林港约 337km,距文昌清澜港约 344km。中沙群岛位于南海中部海域,西沙群岛东面偏南,距永兴岛 200km。南沙群岛位于南海南部海域,是南海最南的一组群岛。

三沙市属热带海洋性季风气候,全年为夏季天气,气温高,各群岛年平均气温都在 25°C 以上,但由于海洋的调节,少有酷暑。年平均雨量在 $1500\sim 1900\text{mm}$ 之间,但在时间上分配不均,每年 12 月至次年 5 月为少雨期,6 月至 11 月为多雨期,故一年只有两季,前者为干季,后者为湿季。

三沙市太阳能资源丰富^[4],西沙群岛地处低纬度,太阳投射角大,辐射量相当丰富,年太阳辐射总量在 $6000\text{MJ}/\text{m}^2$ 以上,其中除 12 月份辐射总量小于 $400\text{MJ}/\text{m}^2$ 外,其余各月均在 $400\text{MJ}/\text{m}^2$ 以上,而 5 月份辐射量最大,达 $630\sim 650\text{MJ}/\text{m}^2$ 。该地区光照充足,如图 1-7 所示,年日照时数 2900h 左右,全年有 10 个月的月日照时数在 200h 以上,最多的月份为 5 月,接近 300h 左右。11 月和 12 月的月日照时数最少,月平均日照时数在 $180\sim 195\text{h}$ 之间。大气透明度较好,年日照百分率在 65% 左右,各月的日照百分率均在 50% 以上,最高的月份达 75% 左右。中沙、南沙海域接近赤道,每年受太阳直射 2 次,因此日照时间长,辐射总量大。

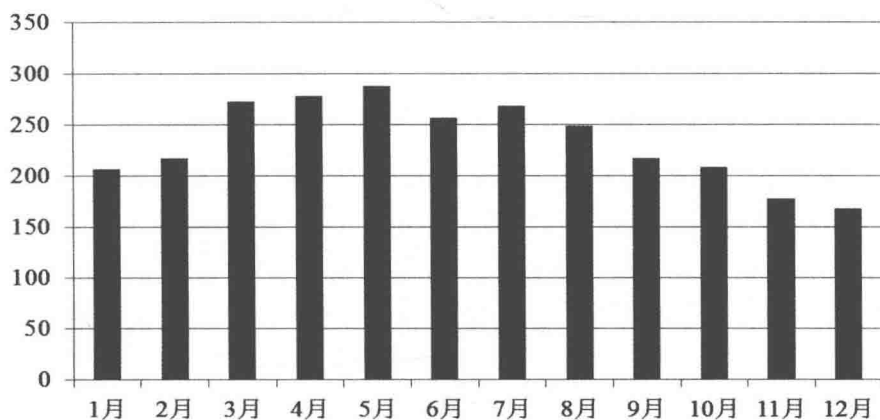


图 1-7 三沙群岛平均日照时数(单位:h)

三、海南省气候独特性

按照《民用建筑热工设计规范》(GB50176-1993),海南省与广东大部、广西大部、福建南部、云南小部分,以及香港、澳门与台湾同属于夏热冬暖地区^[5],但海南省受热带季风气候影响,其气候特点与夏热冬暖地区其他省份及城市又有所不同。

1. 气温

由图 1-8 夏热冬暖地区不同城市月平均气温比较图和夏热冬暖地区高温月份统计表可以看出,夏热冬暖地区全年高温天气较长,月平均最低气温均高于 7°C ;高于 26°C 的月份最少有 4 个月,有的城市长达 6 个月,和我国北方城市存在很大的差异。海南省各城市平均气温较其

他地区要高,均在 22℃ 以上;海南省三亚市月平均气温比其他地区月平均气温要高,特别是在 1—4 月和 11—12 月份,明显高于夏热冬暖其他地区;海南省三亚地区全年气温变化较为平缓,较其他夏热冬暖地区全年的气温波动性不大。

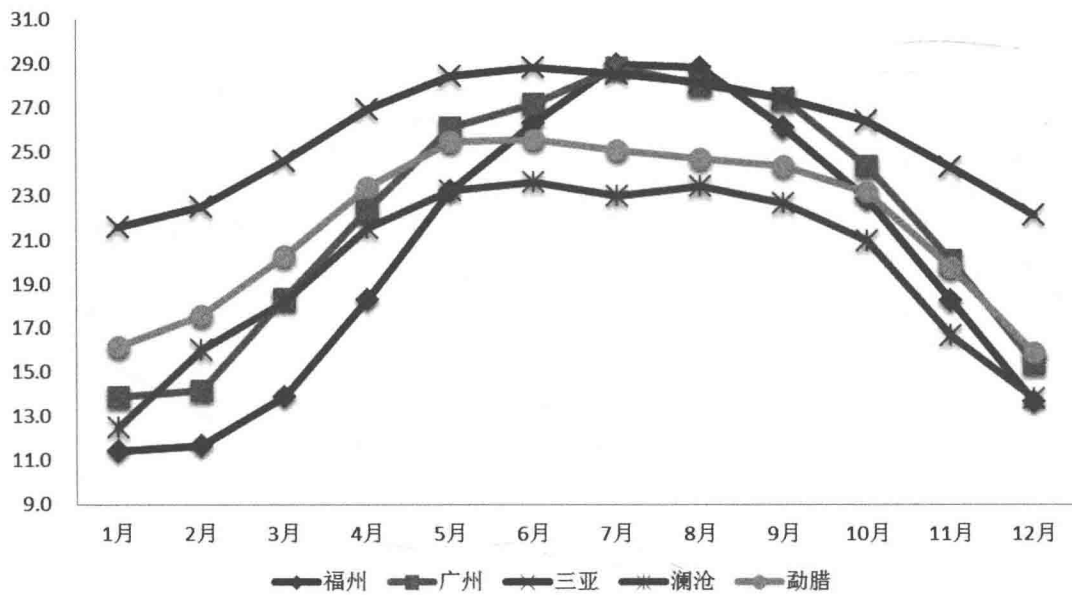


图 1-8 夏热冬暖各区代表城市月平均气温比较曲线(单位:℃)

夏热冬暖地区不同城市最热月份月平均气温变化并不明显(图 1-9,图 1-10)。相对来说,海南省最热月份的月平均气温最高,云南澜沧最低;而不同城市最冷月份月平均气温相差较大,海南省冬季气温明显高于其他夏热冬暖地区。通过全年高温天数比较可以看出,海南省地区全年高温时间最长,最高可达到 202 天,而云南地区全年高温时间则较短,只有 33 天。

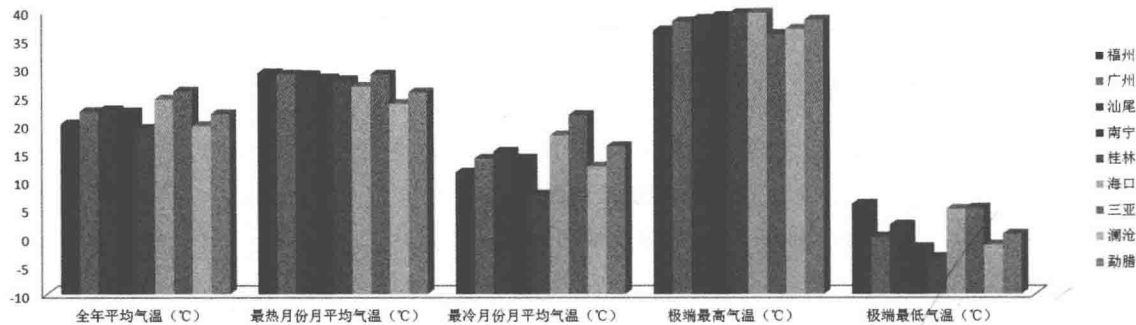


图 1-9 夏热冬暖地区各城市气候要素比较

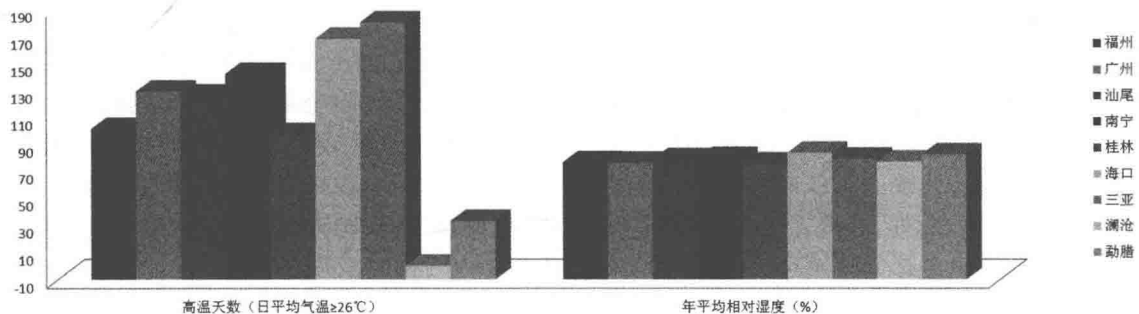


图 1-10 夏热冬暖地区各城市高温天数和年平均相对湿度比较

2. 相对湿度

夏热冬暖地区各代表城市年平均相对湿度均在 60% 以上(图 1-11,表 1-1),相对湿度最低的是元江,约在 68% 左右。海南省五指山地区,相对湿度最高,约在 90% 左右。海口地区全年月平均相对湿度均高于 78%,每年的 12 月份到第二年的 10 月份这 11 个月的月平均相对湿度均高于 80%。同时,海南省属于海岛型省份,沿海地区空气中含盐量较高,对建筑设备有一定的腐蚀性,在建筑节能设计过程中,应注意节能设备的防腐性^[6]。

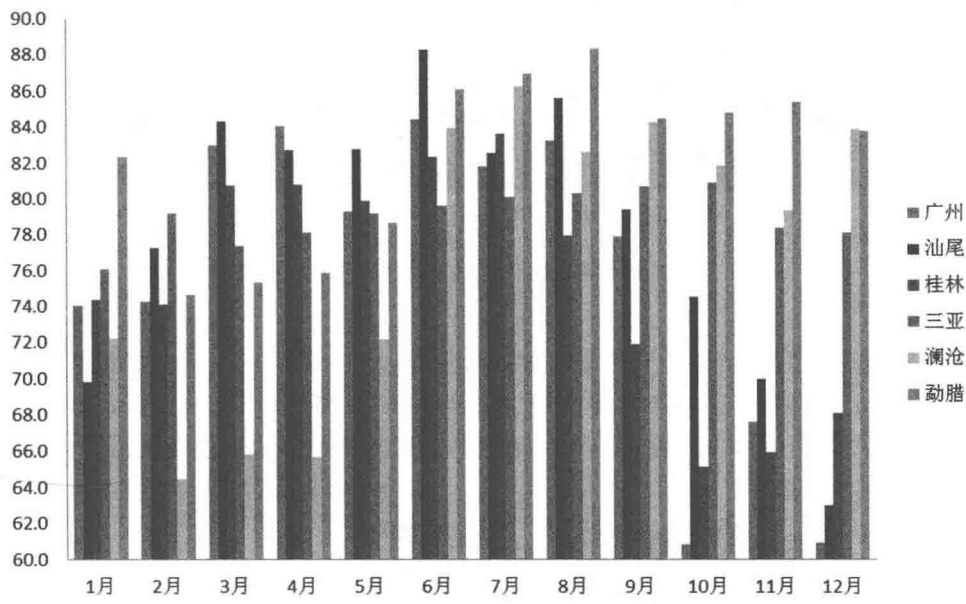


图 1-11 夏热冬暖各区代表城市月相对湿度比较曲线

表 1-1 夏热冬暖地区各城市月平均相对湿度高于 80% 月份

城市	福州	广州	汕尾	南宁	桂林	海口	三亚	澜沧	勐腊
月份	3、6	3—8	3—9	3—8	3—7	12—10	5—10	6—12	6—12、1

3. 风速

夏热冬暖不同城市月平均风速存在很大的差异性,福州和汕尾全年月平均风速都比其他地区要高,最低月平均风速达到 2.4m/s,最高可达到 3.4m/s;勐腊全年月平均风速较其他城市都低,最高不超过 0.8m/s。海南省南端的三亚全年风速波动性较大,全年月平均风速最高是在 11 月份,而北侧的海口地区全年风速变化较为平缓,月平均最高风速多出现在每年的 11 月份(图 1-12)。此外,海南省素有“台风走廊”之称,根据《海南年鉴》1980—2007 版统计数据,影响海南的台风多年年平均约 7 个,最多的年份达到 14 个,台风影响高峰月最多时达到 5 个,在进行建筑节能设计时,应注意节能设备的牢固性。

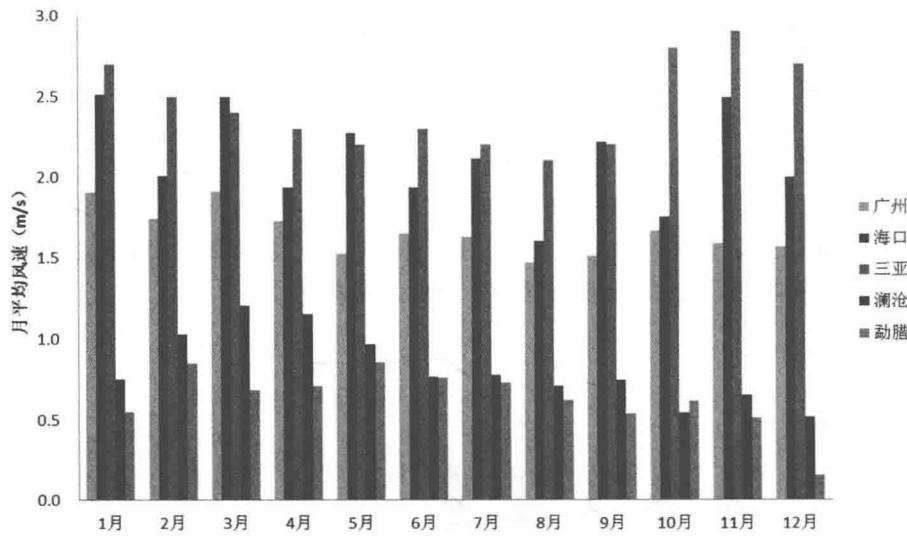


图 1-12 夏热冬暖各区代表城市月平均风速比较曲线

4. 日照

夏热冬暖地区不同城市全年日照量差异较为明显(图 1-13)。三亚市全年日照量最高约为 6 068.9MJ/m²·a,而桂林地区全年日照量较少约为 4 126.7 MJ/m²·a。依据《太阳能资源评估方法》(QX/89~2008)(表 1-2),对夏热冬暖地区的太阳能资源的丰富程度进行评估,海南省太阳能资源属于较丰富地区。

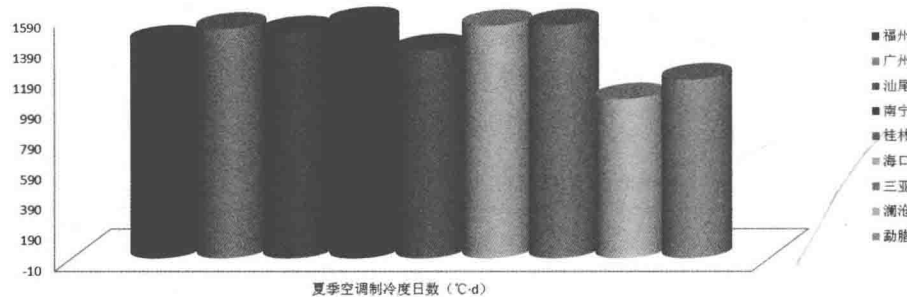


图 1-13 夏热冬暖地区各城市全年日照量比较

表 1-2 太阳能资源丰富程度等级

指标	资源丰富程度
大于等于 1750kW · h(m ² · a)	一类地区:资源极其丰富
6300MJ(m ² · a)	
1400~1750kW · h(m ² · a)	二类地区:资源十分丰富
5040~6300MJ(m ² · a)	
1050~1400kW · h(m ² · a)	三类地区:资源丰富
3780~5040MJ(m ² · a)	
小于 1050kW · h(m ² · a)	四类地区:资源一般
小于 3780MJ(m ² · a)	

第二节 海南省建筑节能现状

一、建筑用能现状

(一) 人口概况

海南省 2012 年底总人口约为 886 万人^[7,8],各地区人口分布如图 1-14 所示,海口市人口比例达 24%,是海南省最主要的居住区,其次为儋州、三亚、文昌、琼海和万宁等城市,而在海南省本岛之外的西南中沙群岛人口数量仅有 400 人左右。

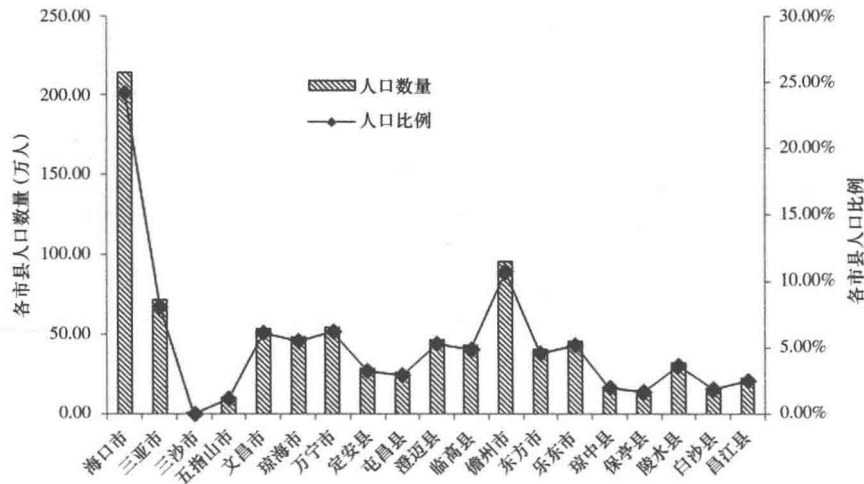


图 1-14 海南省各市县人口现状

(二) 建设概况

伴随国际旅游岛的建设步伐,海南省年建设量快速增加^[9],2003 年竣工建筑面积约为 121 万 m²,至 2012 年上升至 812 万 m²左右,十年间增加了约 7 倍。既有建筑总量也由 2003 年的

2.2 亿 m^2 增长至 2.6 亿 m^2 (图 1-15)。根据统计数据,海南省既有建筑中公共建筑和居住建筑各占一半,其中公共建筑类型以酒店建筑居多,酒店类建筑面积为海南省公共建筑总面积的 46%,办公建筑和商场类建筑分别为 15% 和 14%。

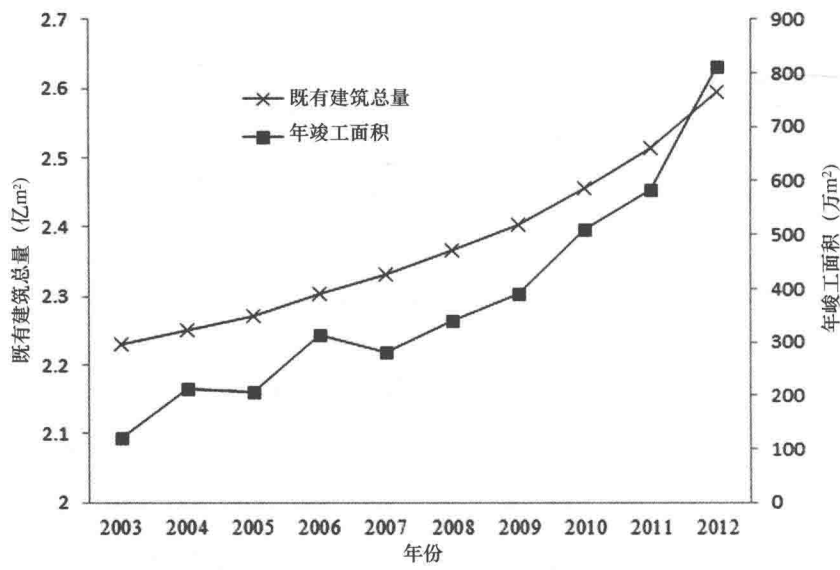


图 1-15 海南省近年来既有建筑总量及年竣工建筑面积

(三) 总体建筑能耗

在建筑领域,海南省 2008 年民用建筑能源消耗总量约为 169.7 万 tce, 电力消耗 119.2 万 tce, 为民用建筑能源消耗总量的 70%, 其他各项能源消耗如表 1-3 所示。单就电力消耗而言, 2008 年民用建筑电力消耗量达到全省电力消耗总量的 31%。

表 1-3 2008 年海南省民用建筑能源消耗

能源类型	各项能源消耗量	标准量统计(万 tce)
电力(亿 kW·h)	37.96	119.2
天然气(亿 m^3)	1.35	16.2
液化石油气(万 t)	14.21	24.4
原煤(万 t)	13.89	9.9
标准量合计(万 tce)		169.7

近年来海南省电力消耗呈快速增长趋势。1995 年海南省全省电力消耗仅为 32 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$, 2012 年上升至 208 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$, 增长了 6.5 倍^[7,8]。2000 年后电力消耗进入快速增长通道, 且增速不断加快, 自 2010 年以后的三年间, 基本呈现线性增长趋势(图 1-16)。由全年电力消耗总量可见, 海南省的能源需求增速显著, 建筑运行消耗了全省 31% 的电力, 建筑领域的节能减排工作对于海南省国际旅游都市的建设意义重大。

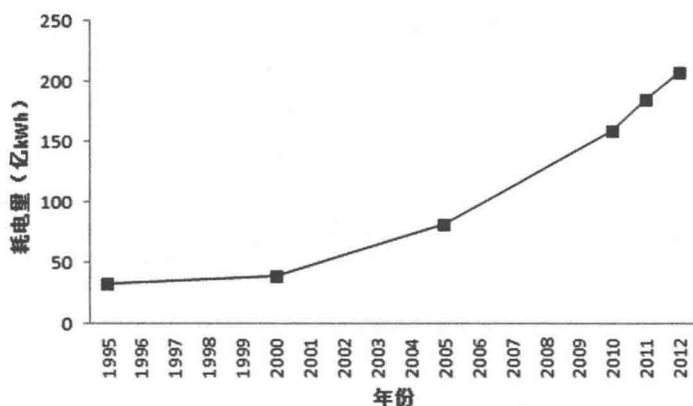


图 1-16 海南省近年来全省耗电量

二、建筑节能工作开展情况

(一) 管理体制建设

2007 年,海南省政府印发了《关于加强建筑节能工作的通知》,明确要求建设主管部门牵头建立建筑节能工作机制,发改、工业经济、科技、财政、国土资源、质量技术监督、税务和环保等部门按照职能分工,积极配合建设主管部门做好建筑节能工作,并成立了以省长为组长的海南省应对气候变化及节能减排工作领导小组和公共机构节能领导小组。2009 年,海南省政府办公厅印发了《海南省住房和城乡建设厅主要职责内设机构和人员编制规定的通知》,明确了由省住建厅具体负责“推进建筑节能”的工作职责,并设置了“建筑节能与科技处”,负责海南省建筑节能的日常管理工作,从人员机构、经费上保证了建筑节能工作的顺利开展。此外,海南省政府将建筑节能与绿色建筑工作纳入政府工作考核指标。自 2008 年起,省政府每年对各市县进行节能目标责任评价考核,建筑节能均作为一项重要指标纳入各市县节能减排目标考核责任评价体系,2013 年节能考核中建筑节能占总分值比例达到 13% 左右。

(二) 规章制度建设

建立新建建筑市场准入制度。海南住建厅印发《海南省民用建筑项目节能评估和审查管理暂行办法》和《关于海南省民用建筑项目节能评估文件编制要求的通知》,从民用建筑项目立项备案和规划报建源头严把节能关,2013 年,组织开展了 103 次项目规划报建阶段的建筑节能评估工作。同时要求在项目初步设计阶段编制建筑节能专篇,施工图审查阶段建立建筑节能专项审查制度,到最后的建筑节能专项验收及备案,将建筑节能贯穿在了项目建设的全过程,实行闭合监管。2013 年,海南省新建建筑设计阶段节能标准执行率达 98% 以上,施工阶段达 95% 以上。

建立民用建筑能效信息公示和能效测评标识制度。海南省住建厅按照《民用建筑节能条例》和《民用建筑节能信息公示办法》的要求,规定海南省房屋施工、销售现场以及商品房买卖合同、住宅质量保证书和住宅使用说明书中明确载明节能信息等。制定《海南省民用建筑能效