

「2020 中華民國營建工程學會第十八屆營建產業永續發展研
討會」

我國亞熱帶地區被動式建築設計之策略初探

黎錦輝 (Jin-Hui Li)

文一智 (I-Jyh Wen)

國立雲林科技大學營建工程系 學生

國立雲林科技大學營建工程系 副教授

摘要

地球的生態環境日益惡化，自然資源日漸匱乏的警示下，節能和環保已成為世界會議上的重要議題。亞熱帶地區，住宅的空調耗能巨大，被動式節能設計成為了該地區設計的一個重要課題。本文採用文獻回顧法與跨學科研究方法，通過文獻回顧研究分析亞熱帶地區氣候要素對建築的影響，探討在亞熱帶地區建築與氣候相互關係，總結適合亞熱帶地區的被動式建築設計策略。

對於亞熱帶地區來說，被動式建築使用較多建築隔熱、遮陽設計、自然通風等被動式設計技術以達到最佳的節能效果，即最大程度的降低建築能耗。

本文主要研究亞熱帶地區被動式建築的節能優化，綜合建築物的節能效果與經濟性，對被動式建築節能技術進行優化選擇，總結被動式建築因應亞熱帶地區環境氣候特性的設計措施和手段，希望能夠提供被動式設計策略初步分析與探討。

關鍵字：亞熱帶地區 被動式設計 建築設計

A Preliminary Study of Passive Architecture Design Strategies in Subtropical Regions of my country

Abstract

The earth's ecological environment is deteriorating day by day and natural resources are becoming scarce. Energy saving and environmental protection have become important topics at the World Conference. In subtropical areas, residential air-conditioning consumes a lot of energy, and passive energy-saving design has

become an important issue for design in this area. This paper adopts literature review and interdisciplinary research methods, analyzes the impact of subtropical climate elements on buildings through literature review, discusses the relationship between buildings and climate in subtropical regions, and summarizes passive architectural design strategies suitable for subtropical regions.

For subtropical regions, passive buildings use more passive design technologies such as building heat insulation, shading design, and natural ventilation to achieve the best energy-saving effect, that is, to minimize building energy consumption.

This article mainly studies the energy-saving optimization of passive buildings in subtropical areas, integrates the energy-saving effects and economy of buildings, optimizes the selection of passive building energy-saving technologies, summarizes the design measures and methods of passive buildings in response to the environmental and climate characteristics of subtropical areas, and hopes to provide passive design Preliminary analysis and discussion of strategies.

Keywords : subtropical area, passive design, architectural design

一、前言

1.1研究緣起及目的

地球用數十萬年的時間創造了人類，而人類卻用工業文明的短短兩百年徹底改變了地球，人類生活和工業生產產生的大量溫室氣體—二氧化碳造成的全球氣候變暖，造成極端氣候和自然災害的頻繁出現，嚴重威脅了人類正常生活的安全。對於營建產業而言，建築在運行過程中消耗大量的礦石能源，產生大量的溫室氣體和污染物。在如此背景之下，對於如何能夠降低建築能耗，減少對環境的破壞就是非常重要的課題。積極推廣被動式綠建築，有利於改善人民的居住環境，降低建築物對環境的破壞，有利於建築與生態環境永續共存。透過文獻回顧，理論著作的閱讀和學習，總結出一個未來能提供給有意建造被動式建築的設計策略與參考依據。被動式建築採用被動式手段，最大程度降低建築供暖供冷需求，提高能源設備和系統效率，利用可再生資源，用最少的能源消耗提供舒適室內環境。

1.2研究方法

對於建築被動式設計策略的研究，涉及到生態學、綠色建築、氣候學、物理傳熱學等多方面的學科與建築學理論的跨學科研究。本文通過對大量理論著作的閱讀和學習，力求全面把握被動式設計的基本科學原理以及被動式建築的設計特點，對於大量文獻以及學術成果的總結，有助於本文在方法論和操作層面的有益參考和借鑒。

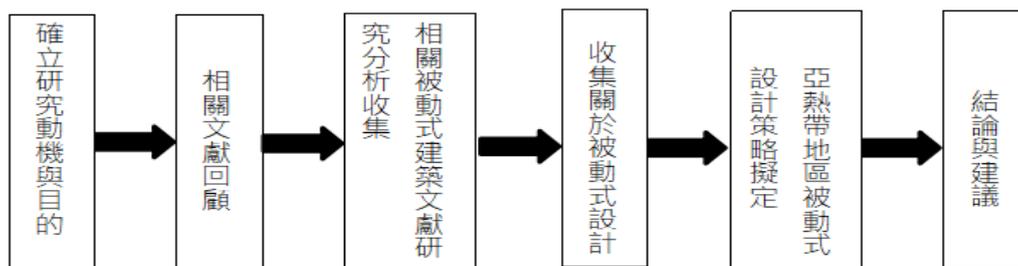


圖 1 研究流程

二、被動式設計

2.1 被動式設計的概述

“被動式設計”是由英語單詞“Passive Design”翻譯而來，英文的原意為誘導、被動、順從，有順其自然之意。被動式建築設計就是順應自然界的陽光、風力、氣溫、濕度的自然原理，儘量不依賴常規能源的消耗，以規劃、設計、環境配置的建築手法來改善和創造舒適的建築環境。

1993年，美國國家公園出版社的《可持續發展設計導則》給被動式設計下的定義：被動式設計（Passive Design）是結合功能需要，採用簡單的技術，針對建築所在地氣候儘可能利用可再生自然資源的設計策略，在被動式建築設計過程中，設計師首先應掌握項目所在地區的氣候條件，了解當地可利用的氣候資源特點及存在的可能造成不利影響的因素，其次通過能耗調研發掘現有建築的節能潛力抓住節能要點。在設計中主動合理的利用通風、采光、遮陽等措施讓建築融入當地氣候環境。被動式設計強調在規劃設計階段建築師通過合理的場地規劃、建築設計、環境配置等方法達到提升建築環境舒適度的目的，減少附加設備等手段的使用，減少可再生資源的消耗，實現可持續發展。

被動式設計並不完全意味著放棄主動系統，相反在一些極端氣候的情況下必須採用主動式設備調節來滿足舒適性的要求，被動式建築可以為主動式提供一個良好的綠色建築胚子，降低主動式能耗存在著巨大的幫助，在實現環保節能的綠色建築發展道路上，必定是主動式手段和被動式手段相互配合，共同為低耗能，高效、舒適的建築環境目標服務。

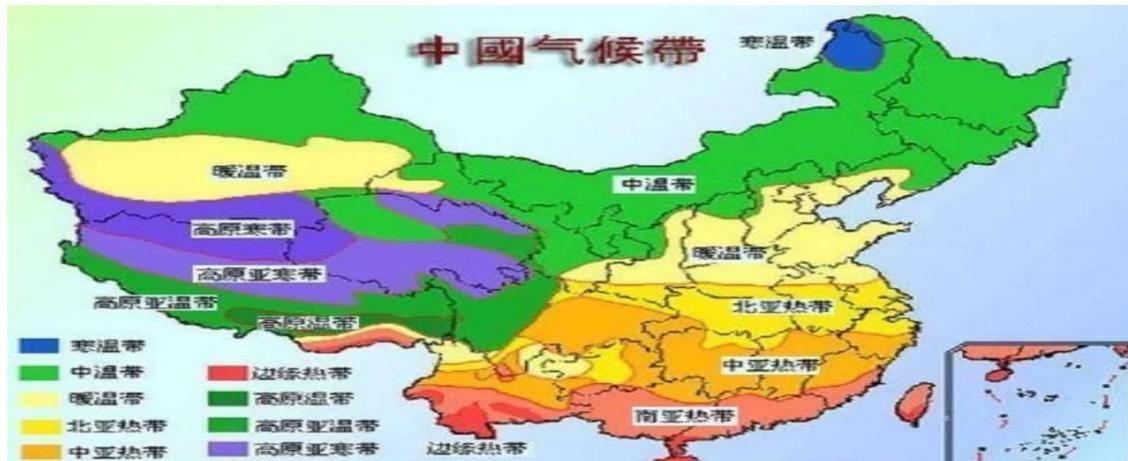
2.2 被動式設計相關文獻回顧

各國期刊、文獻、論文對於被動式設計提出許多應用、策略及設計方法，以下簡略提出幾篇作為本研究之參考依據。夏昌世教授是嶺南地區現代建築氣候適應性研究的先驅，他在《亞熱帶建築的降溫問題遮陽·隔熱·通風》中借鑒當地傳統建築的特點，提出了現代建築設計中採用遮陽，隔熱和通風三種被動式策略的結論。姜帆發表了《嶺南地區博覽建築被動式設計策略研究》通過嶺南地區的博覽建築為例，系統總結了適應嶺南地區氣候的建築設計策略或技術。李怡發表了《夏熱冬暖地區公共建築綠色節能技術分析》依據不同氣候分區進行被動式策略的研究，對於不同工作原理的策略進行取捨，強調特定氣候對被動式設計應用範圍的限定。

三、亞熱帶地區的氣候特點

3.1我國亞熱帶地區氣候特點

圖1：中國氣候帶



資料來源：

https://www.360kuai.com/pc/9e15476724afa3d06?cota=4&sign=360_7bc3b15

亞熱帶分為三個帶，分別有南亞熱帶、中亞熱帶、北亞熱帶。

南亞熱帶，是亞熱帶下面的一個分區，氣候帶上位於中亞熱帶和北亞熱帶（邊緣熱帶）之間。南亞熱帶氣候學上的特徵：無霜期：300 天以上。最冷月：均溫在 10 攝氏度以上。年均溫度 25，基本沒有氣候學上的冬天。

南亞熱帶區域在我國華南境內，北線是福州、韶關、柳州、南線是臺灣南部、雷州半島北部、北部灣沿岸。此外，我國存在大面積南亞熱帶區域的省份還有雲南和四川，主要分佈於金沙江、元江等河谷地帶。

四、亞熱帶地區被動式設計策略確定

4.1亞熱帶地區被動式自然通風設計策略

利用自然通風實現熱舒適要求體現在兩方面：

第一，氣流流經體表面裸露的皮膚通過提高皮膚表面汗液的蒸發速度，使人體感到舒適和涼爽。

第二，通過低於人體體溫的空氣氣流與人體表進行對流和傳導換熱，使人體達到熱舒適。利用自然通風需要考慮風速、氣流溫度、濕度以及空氣的清潔程度和室外雜訊影響等因素。

從自然通風實現的基本物理原理的角度出發，自然通風的基本方式分為風壓、熱壓、風壓熱壓結合以及主動式機械輔助通風。

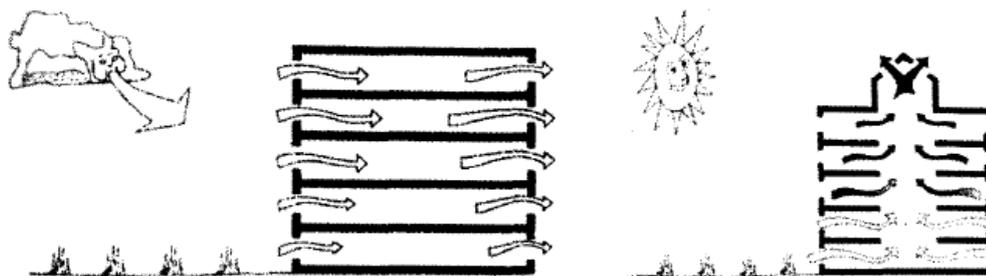


圖 2：風壓通風（左）和熱壓通風（右）

資料來源：李海英等編著，生態建築節能技術及案例分析，2007

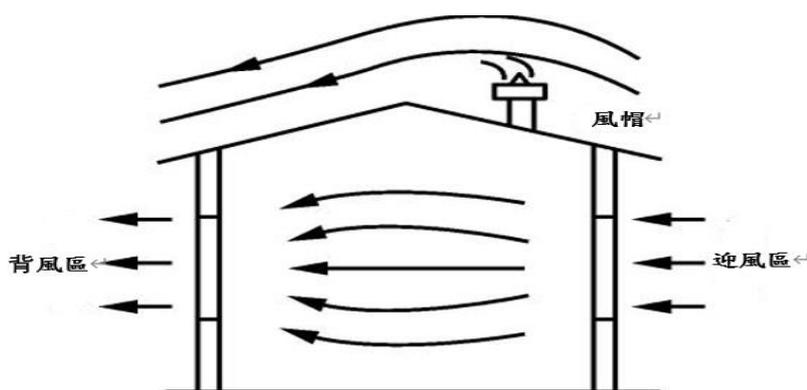


圖 3：風壓與熱壓結合的自然通風

資料來源：<https://kknews.cc/home/4qbmgyvq.html>

1) 風壓自然通風

自然風的氣流經過建築物時，在建築的迎風面和背風面形成正壓區和負壓區，利用正負壓區的壓力差通過建築前後開口和內部開後相通的貫通空間形成“穿堂風”的通風方式稱之為風壓通風。

2) 熱壓自然通風

空氣溫度升高，密度降低，因溫差而形成的空氣熱壓差使得高溫空氣上升，形成氣流，熱壓通風是利用建築內部空氣的熱壓差，使熱空氣從建築上部開口排出，新鮮的冷空氣從建築下部開口進入，從而形成自然通風。

3) 風壓與熱壓結合的自然通風

風壓與熱壓通風結合自然通風是指在同一建築的自然通風設計中，綜合利用室外風壓和室內熱壓的通風原理，綜合組織各種不同體量、進深建築空間自然通風，以實現最理想通風效果的自然通風方式。

亞熱帶地區自然通風設計策略

基於亞熱帶地區風力資源豐富，夏季高溫、高濕而冬季溫暖，因為此被動式通風設計的對策總結為以下幾點：

- 第一，春夏、夏秋交替季節充分利用自然通風降溫和換氣，注意防範颱風災害。
- 第二，夏季室外氣候高溫、高濕期，採用風壓與熱壓結合的通風方式，無法滿足自然通風條件的情況下，自然通風降溫效果很差的時候，應採用機械輔助通風，滿足室內換氣量；在夜間溫度符合通風條件的情況下，儘量利用夜間通風降溫。
- 第三，在冬季，自然通風滿足室內換氣量即可。
- 第四，對於不同的功能和空間組合的建築，靈活採用風壓、熱壓等通風方式，綜合考慮濕度的影響，採取適當的除濕措施。

4.2 亞熱帶地區被動式隔熱設計策略

建築隔熱性策略的目的是降低建築室內隨室外溫度波動的幅度，使室內溫度接近室外日常平均溫度，其前提條件是晝夜有一定的溫差，對於亞熱帶地區而言，晝夜溫差在秋冬季節才比較明顯，而建築的隔熱性設計重點更多的是體現在夏季隔熱的性能上，並且被動式隔熱設計的氣候適應性工作原理都是減少熱量通過導熱方式的損失，因此下文就被動式隔熱設計策略的範圍進行闡述。

一般來說，建築的組成分為外圍護結構和內部結構兩部分，在夏季，室外氣候環境通過空氣接觸導熱、太陽輻射周圍環境輻射傳熱與外圍護結構發生熱交換，外圍護結構通過與內部結構的連接處(熱橋)將熱量傳給內部結構，升溫的建築內外結構內表面向室內通過傳統和輻射進行熱交換使室內升溫。反之，在冬季熱量也將通過同樣的管道流出室外。因此建築隔熱策略可以通過以下三種方式來實現。

第一，反射防熱:提高外圍護結構對於室外熱輻射的反射作用，降低太陽輻射和環境輻射對建築外圍護結構的升溫作用。

第二，熱阻隔熱:提高外圍護結構對熱量傳導的阻隔作用，降低熱量在圍護結構中的傳遞速度。

第三，熱質蓄熱:提高圍護結構和內部結構使用材料的蓄熱性能，材料蓄熱性(熱能惰性，材料比熱)的提高，吸收相同熱量所升高的材料表面溫度數值越小。

基於亞熱帶地區全年日照時數 2000 小時左右，日照百分率 40%-50%，年平均氣溫 21-24℃，最熱月平均氣溫 28-29℃，極端最高氣溫 38-42℃。夏季漫長且高溫，太陽高度角大，太陽輻射強烈是亞熱帶地區光熱環境的主要特點。

基於上述氣候條件的分析，在建築外表面積和朝向優化的前提下，亞熱帶地區被動式隔熱對策總結為以下三點:

第一，利用淺色、高反射表面材料降低輻射對建築的升溫作用，但需要注意反射對環境炫光和室外熱舒適性的影響。

第二，推遲熱量在外圍護結構中的傳遞速度並且增大圍護結構以及內部結構材料的蓄熱性，對於單層外圍護結構而言，可以通過增加外圍護結構的層數和改變其內部構造，利用多層複合結構層中隔熱性能和蓄熱性能強的材質推遲熱量的傳導，例如:利用保溫隔熱材料、空氣、水體、泥土以及植物等隔熱、蓄熱性能好的材料設計的中空外牆、蓄水屋面、種植屋面等複合型圍護結構。

第三，室內採用主動式控溫設備，在被動式隔熱、蓄熱策略不能達到理想熱舒適性的情況下，作為實現熱舒適的必要補充。

4.3 亞熱帶地區被動式遮陽設計策略

表2 亞熱帶地區辦公建築外遮陽對空調耗能的效益分析 (耗能單位: Mcal/a)

地區	亞熱帶熱濕氣候 (臺北)				熱帶熱濕氣候 (台南)			
	南	西	北	東	南	西	北	東
無外遮陽冷暖房總熱負荷	1653	1985	1467	1713	2511	2914	1827	2233
水平式遮陽冷暖房總熱負荷	1442	1773	1365	1541	2101	2519	1652	1945
(節能比例)	13%	11%	7%	10%	16%	14%	10%	13%
垂直式遮陽冷暖房總熱負荷	1483	1852	1341	1609	2189	2641	1607	2054
(節能比例)	10%	7%	9%	6%	13%	9%	12%	8%

綜合式遮陽冷暖房總熱負荷 (節能比例)	1347 18%	1673 16%	1281 13%	1462 15%	1907 24%	2325 20%	1512 17%	1816 19%
計算條件：室面積5m×5m，高度3.6m，窗面積3m×2m，遮陽深度比：4.0								

資料來源：文一智，綠建築外殼節能計劃

建築遮陽是為了避免陽光直射室內，防止建築物的外圍護結構被陽光充分加熱，減少通過建築圍護結構進入室內的熱量，而採取的必要措施，它的合適設計是改善夏季室內熱舒適狀況和降低建築物能耗的重要因素。到底在亞熱帶地區設置外遮陽可節約多少空調用電呢？表2是臺灣氣候下各種外遮陽板對辦公建築空調節能比例之分析表。此表顯示：在南亞熱帶熱濕氣候附近設計1：4的水平、垂直、綜合式遮陽（以落地窗而言，遮陽深約為60cm）就有7~16、6~13、13~24%的驚人節約空調用電效果。亦即，在此氣候的辦公建築上，只要設置60cm的水平遮陽版，就可節省12%的空調用電（在臺北約為10%，在台南約為15%）；同理，只要設有一米深的陽臺（相當於水平遮陽），就可節省18%（在臺北約為15%，在台南約為22%）的空調用電。

太陽直射光照射到建築外圍護結構表面對建築外表面造成輻射升溫，並且輻射通過圍護結構開口區域直接進入室內，對建築熱舒適性的影響更為明顯，針對太陽輻射角度，採取適當的被動式遮陽設計對減少太陽輻射得熱量十分明顯，同時遮陽設計還可以避免室內眩光和房間局部過熱，改善室內光、熱環境綜合品質，降低空調能耗。

遮陽的種類繁多，按照不同的分類標準可將遮陽的基本形式概括為以下幾個系列：

- 1)按照遮陽主體類型分為：建築自遮陽（如圖4所示）、建築互遮陽、構件遮陽、植物遮陽和綜合前四種遮陽方式的複合式遮陽。
- 2)按照遮陽物件類型分為：整體遮陽、屋頂遮陽、牆體遮陽以及門窗洞口遮陽。
- 3)構件遮陽按照構件基本形式分為：水平遮陽、垂直遮陽、水平加垂直綜合遮陽以及擋板遮陽。（如圖3所示）
- 4)按照遮陽構件相對窗洞的位置可分為：建築外遮陽、建築中間層遮陽、建築內遮陽。
- 5)按照遮陽構件的可控性分為：固定遮陽和活動遮陽。

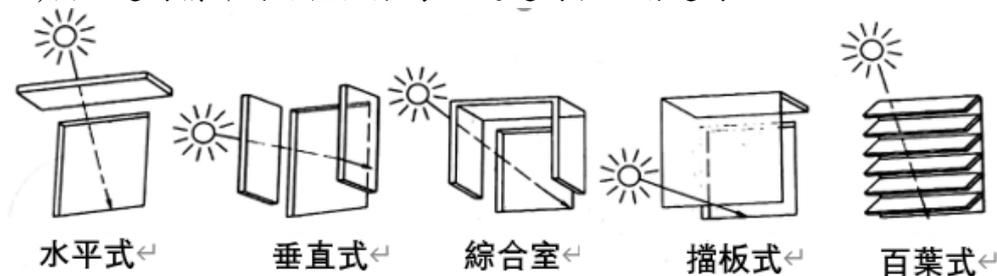


圖3：構件遮陽按照構件基本形式

資料來源：龍惟定、武湧，「建築節能技術」，2009

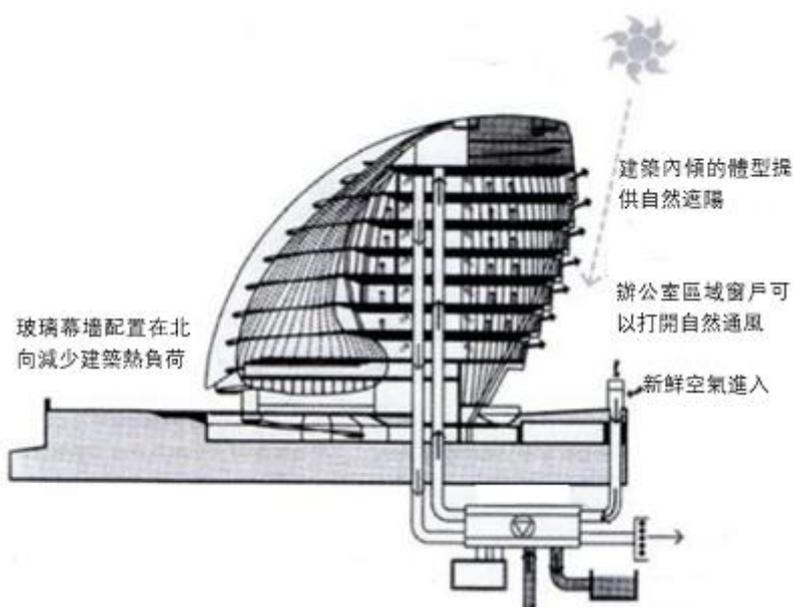


圖 4：倫敦市政廳建築自遮陽形體
資料來源：「綠色建築節能技術與實例」

亞熱帶地區太陽輻射特徵與被動式遮陽設計對策

亞熱帶地區太陽直射輻射以 7 月最多，2 月最少，綜合考慮雨季和雲量的因素 4 月亞熱帶地區地區太陽直射輻射量為全年最低值。大多數時間多雲，而 10 月至 1 月份雲量較少，空氣中水蒸氣的高含量造成漫射輻射效應突出。除沿海地區年漫射輻射總量稍微少於直射輻射外，其他地區漫射輻射量與直射輻射量相當，持續時間長。

基於上述對亞熱帶地區太陽輻射特點的整理和總結，被動式遮陽設計對策如下：

第一，夏至前後北回歸線以南地區城市（台南、高雄）依據建築功能考慮北向遮陽，夏季 7、8 月重點考慮西向遮陽。

第二，優先考慮環境綠化遮陽、建築互遮陽以及建築自遮陽，如採用構件遮陽，構件與門窗洞口應留有空隙，方便採光與通風。

第三，優先考慮建築外遮陽和活動遮陽。

第四，綜合遮陽和百葉遮陽的遮陽效果好，但應根據室內使用功能考慮其對自然通風的影響。

4.4 亞熱帶地區被動式方位設計策略

建築物的方位對建築物的被動式設計策略的效果具有很大的影響，確定建築的朝向要考慮很多因素，它需要滿足地形、道路、風向、採光、景觀的要求，由於太陽軌跡和風向是相對穩定的因素，因此通過太陽輻射和自然通風的條件來確定建築最佳的方位也是具有普遍意義。

如果只考慮太陽輻射的影響，建築的最佳朝向方位應該是炎熱期接受太陽輻射量最少的方向和寒冷期接受太陽輻射量最大的方向。但是亞熱帶地區氣候濕熱，通風散熱是最重要的策略。根據亞熱帶地區太陽輻射的特點，通風散熱是最重要的策略，穿透南北向是最好的選擇，可以為建築引入夏季風，改善室內環境的舒適度，因此建築的長軸宜南北向佈置。

如果只考慮自然通風的影響，自然通風都會大大有利於使用者的舒適和健

康。由於自然通風可增加建築的散熱，夏天的穿堂風可使辦公室涼爽舒適。亞熱帶地區的主導風向為西南和南向，主導風直接影響夏季室內自然通風，在建築物朝向選擇時，為了組織好自然通風，建築的朝向應當儘量靠近夏季風的主導風向，儘量是風正面吹向建築物，獲得最有利風壓。對於亞熱帶地區而異，增強自然通風的建築朝向可以根據不同的客觀情況，在南向和西南向範圍內選擇。

對於建築室內平面的構成，我總結出表 3 台灣教學樓各功能區的適宜朝向

	北	東北	東	東南	南	西南	西	西北
教室	*	*	*	*	*	*		
辦公室	*	*	*	*	*	*		
研究室	*	*	*	*	*	*		
衛生間	*	*	*				*	*
樓梯間	*	*	*				*	*
設備房	*	*	*					*
檔案室							*	*

表 3 台灣教學樓各功能區的適宜朝向

資料來源：文一智，綠建築外殼節能計劃

五、總結

亞熱帶地區被動式策略適用性的分析方法有兩個方面：第一，通過對當地既有建築實踐和理論以及同種氣候類型地區既有建築實踐和理論的總結歸納，得到建築實踐方面的適用策略集合；第二通過在設計階段分析氣候要素和建築的影響，在設計階段應該對建築能耗問題有充分的考慮，獲得被動式策略有效性的定性排序和初步定量結論。

綜合兩個方法得到的結論，運用合併、彙整方法確定我國亞熱帶被動式建築設計策略的範圍集合排序為：自然通風，隔熱、遮陽策略，建築朝向策略。

(1) 在自然通風方面，春夏，夏秋交替時段採用自然通風降溫和換氣，在夏季高溫高濕期間，採用機械輔助通風，滿足室內換氣量，在夜間溫度符合通風條件情況下，盡量利用夜間自然通風（風壓和熱壓），冬季時，自然通風滿足室內換氣需求即可。

(2) 在隔熱方面，利用淺色、高反射表面材料降低輻射對建築的升溫作用，增加外圍護結構的層數和改變其內部構造，利用多層複合結構層中隔熱性能和蓄熱性能強的材質推遲熱量的傳導。室內採用主動式控溫設備，在被動式隔熱、蓄熱策略不能達到理想熱舒適性的情況下，作為實現熱舒適的必要補充。

(3) 在遮陽方面，夏季 7、8 月重點考慮西向遮陽。優先考慮環境綠化遮陽、建築外遮陽和活動遮陽。綜合遮陽和百葉遮陽的遮陽效果也非常好，但應根據室內使用功能考慮其對自然通風的影響。

(4) 在建築方位方面，以太陽輻射角度考慮建築穿透南北向是最好的選擇，建築的長軸宜南北向佈置。以自然通風的角度考慮，亞熱帶地區的主導風向為西南和南向，建築的朝向應當儘量靠近夏季風南向和西南向，儘量使風正面吹向建築物，獲得最有利風壓，增強自然通風。

通過本次研究，總結一個地區被動式建築的設計策略，我們應當收集整理的各種氣候指標資料和自然環境資來源資料(如：太陽輻射量、降水量、季風規律以及地質、水文、植被等)和確定的被動式設計策略集合在進行適用性的論證，判斷

各種策略對於地區環境氣候資源利用的可能和程度。

以上乃由亞熱帶地區氣候特性來談論的建築外殼節能設計。由上可知，亞熱帶地區建築物在通風、隔熱、遮陽、方位四大相關的因子約佔耗能影響因子的八、九成比重，亦即我們只要掌握好適當的通風、隔熱、遮陽設計與方位配置，就可掌握建築絕大部分的耗能特性。

六、參考文獻

1. 夏偉，「基於被動式設計策略的氣候分區研究」，博士論文，清華大學建築學院研究所，2008.
2. 龍惟定、武湧，「建築節能技術」，中國建築工業出版社，2009。
3. 李怡，「夏熱冬暖地區公共建築綠色節能技術分析」，碩士論文，華南理工大學建築技術科學研究所，2012。
4. 彭毅，「我國南亞熱帶氣候區保障性住房被動式建築設計策略研究」，碩士論文，西安建築科技大學建築科技科學研究所，2014.
5. 宋琪，「被動式建築設計基礎理論與方法研究」，博士論文，西安建築科技大學建築技術科學研究所，2015.
6. 姜帆，「嶺南地區博覽建築被動式設計策略研究」，博士論文，華南理工大學建築設計及其理論研究所，2015.
7. 卓皇江，「夏熱冬暖地區綠色建築節能優化—以公共建築為例」，碩士論文，華南理工大學建築與土木工程研究所，2015.
8. 中國城市科學研究會，「中國綠色建築 2016」，2016.
9. 卓見，「“阻隔”與“與遮蔽”—嶺南地區建築氣候適應性設計策略研究」，碩士論文，華南理工大學建築與土木工程研究所，2018
10. 氣候帶劃分
https://www.360kuai.com/pc/9e15476724afa3d06?cota=4&sign=360_7bc3b15
11. 杜雨晨，文一智，「綠建築主被動節能設施之考察與分析」2019年第十三屆物業管理研究成果發表會論文集，2019