

綠建築九大指標中 綠屋頂之運用及發展

海軍少校 徐豪祥

提 要：

- 一、在城市裡，建築物、柏油路和人行道的深色表面會吸收陽光，並放出熱，導致市區內溫度升高，週圍郊區卻有豐富的植物土壤，可供水氣蒸發散熱；相較之下，城市成為一個如同被涼爽郊區包圍的「熱島」樣態。當市區規模不斷擴張，人們也日益尋找永續的方式，以調適不論是地區性或是全球性的暖化。
- 二、綠建築，是指從建材、建築物規劃、設計、施工、使用、管理和拆除，一系列過程皆選擇消耗最少地球資源、使用最少能源以及製造最少廢棄物，並具有生態、節能、健康特性的建築物。綠建築強調人與自然環境的共存，以生活的健康、舒適為基點，對於居住環境進行全面性、系統性的環保設計，是一種強調與地球環境共生共榮的環境設計觀，也是一種追求永續發展的建築設計理念。
- 三、石油、煤礦等經由幾億年前所累積下來的化石能源，並無短時間就消耗殆盡的危機，但是因人類過度使用化石能源，而排放的二氧化碳造成溫室效應，成為地球度持續升高的元兇，全球暖化的產生，尋找替代能源已成為21世紀當務之急。

關鍵詞：節能減碳、全球暖化、熱島效應、綠建築

壹、前言

都市不斷擴張，建築物、柏油路和人行道的深色表面會吸收陽光，並放出熱，導致市區內溫度升高，週圍郊區卻有豐富的植物土壤，可供水氣蒸發散熱；相較之下，城市成為一個如同被涼爽郊區包圍的「熱島」樣態。當市區規模不斷擴張，人們也日益尋找

永續的方式，以調適不論是地區性或是全球性的暖化。熱島效應持續促成升溫城市和大都會區透過兩種方式影響當地的區域性氣候：第一，市區內密集的居住人口與交通，產生大量溫室氣體；第二即是熱島效應。然而利用綠屋頂，可以抵銷都市的熱島效應。

綠屋頂可改善空氣、提供棲地、減緩氣候變遷不同地理環境造成的影響也很大，在

某些地區，如佛羅里達，冷屋頂會減少濕熱空氣上升形成雲霧，進而減少降雨量，而在中大西洋地區如紐約和賓州，綠屋頂則增加水氣蒸發，造成降雨的機率上升。

研究也發現，不同的屋頂還可能影響城市的降雨和能源需求，並且隨著設置地點的不同，效益也會有所不同，沒有一種屋頂能適用所有情況，必須考慮地理因素、能源消耗等多種面向才能選擇出每一個城市適合的方案。並且綠化屋頂能提供棲地給都市區的野生動物、涵養雨水資源、改善空氣品質；再者，植物和土壤捕捉儲存空氣中二氧化碳的能力，亦能緩和氣候變遷¹。

貳、何謂綠建築

所謂「建築物」，是以人工方式建造起來，不屬於自然界原本的產物。知名自然建築大師萊特(Frank Lloyd Wright)對「綠建築」所下的定義是：「把建築物當成一個有機體來看，讓建築物跟自然環境完全融合協調的境界。」²簡單說，就是讓建築物變得具有生命力，能夠跟著大自然一起呼吸。當建築與環境形成一個和諧狀態，居住與活動在其中的人們，自然會變得更加健康³。

「綠建築」在各國有不同的名稱，定義及內涵也略有差異。以鄰近的日本為例，其

綠建築最早之發展稱環境共生住宅(Environmental Symbiotic Housing)，其內涵包括「地球環境的保全」、「周邊環境的親和」、及「健康快適的居住環境」等三個層次⁴，而綠建築在歐洲國家稱為「生態建築」(Ecological Building)或「永續建築」(Sustainable Building)，主要強調生態平衡、保育、物種多樣化、資源回收再利用、再生能源及節能等永續發展課題。而在美國、加拿大等國，即稱綠建築(Green Building)，主要講求能源效率的提升與節能、資源與材料妥善利用、室內環境品質及符合環境容受力等。

由此可知，雖然「綠建築」的內涵，具有隨著各國能源、資源及環境條件不同而調整的特性，但整體而言，各國對建築開發行為的訴求，也都具有減少環境負荷，達到與環境共生共榮共利的共識。綠建築設計概念，即在強調由地球環保的角度出發，以全面化、系統化的環保設計作為訴求的永續建築設計理念。

現今全世界約有26套的綠建築評估系統，臺灣為僅次於英國、美國及加拿大之後，第四個實施具科學量化的綠建築評估系統，同時也是目前唯一獨立發展且適於熱帶及亞熱帶的評估系統⁵，如圖一。

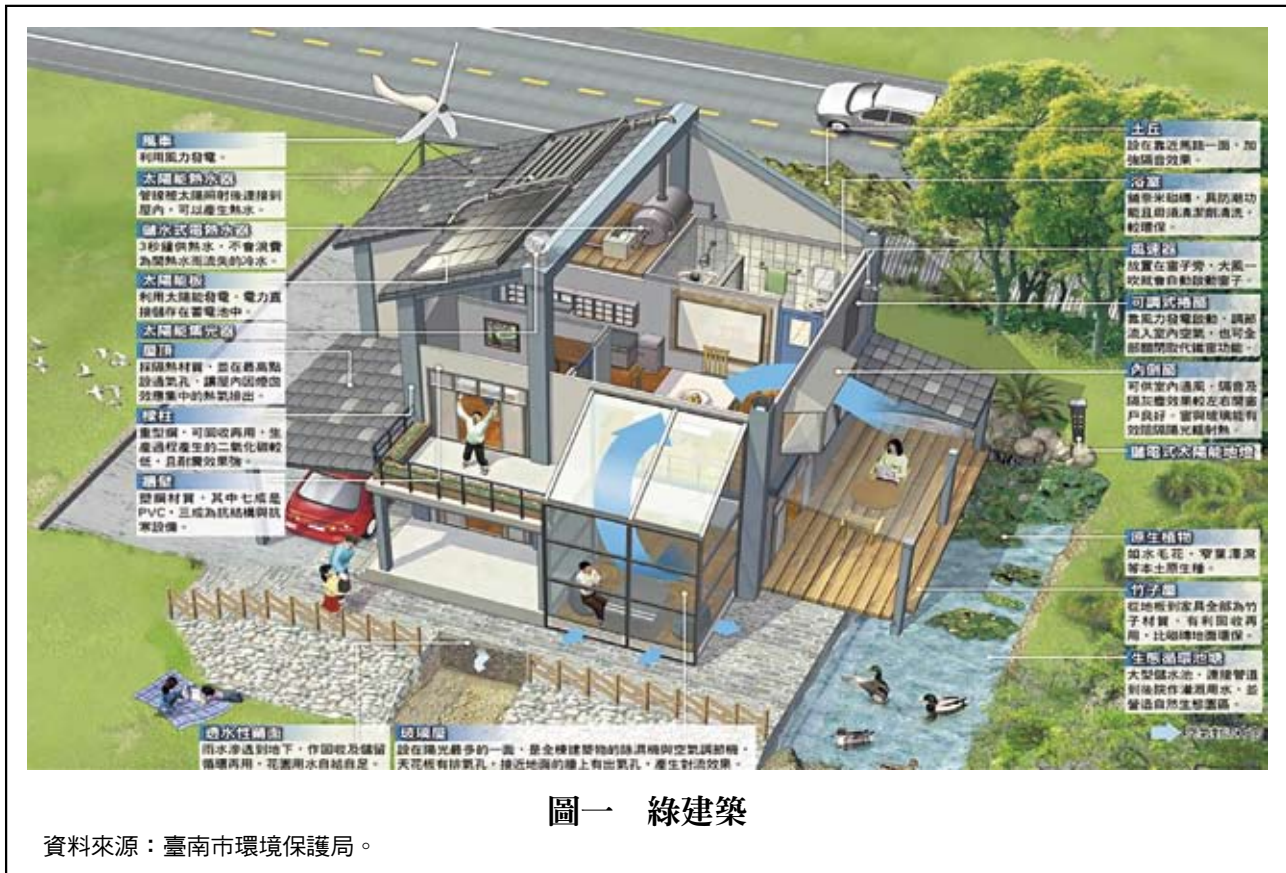
註1：郭佑佐編譯；蔡麗伶審校，〈臺灣環境資訊協會06/10/14--14:03〉，〈綠屋頂+冷屋頂 美研究：百分百抵銷熱島效應〉，2014年6月11日綜合外電報導，【參考資料】Science for Environment Policy(2014年5月28日)，Green and cool roofs could eliminate the urban heat island effect，http://phoetopia56.rssing.com/chan-25171180/all_p36.html，檢索日期：2016年5月1日。

註2：維基百科有機建築，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9C%89%E6%A9%9F%E5%BB%BA%E7%AF%89> Frank Lloyd Wright (1954). The Natural House(New York: Bramhall House), p.3.

註3：陳怡萱(臺灣環境資訊協會)，〈綠屋頂、自然素材 打造會呼吸的綠建築〉，<http://e-info.org.tw/node/21383>，檢索日期：2016年5月1日。

註4：維基百科環境共生住宅<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%92%B0%E5%A2%83%E5%85%B1%E7%94%9F%E4%BD%8F%E5%AE%85>

註5：台達電子文教基金會綠領建築師培育工坊，http://greenworkshop.delta-foundation.org.tw/green_page.asp?id=454，檢索日期：2016年5月1日。



圖一 綠建築

資料來源：臺南市環境保護局。

綠建築的概念與應用逐漸在臺灣推廣之際，早在多年前，臺北縣(新北市)三芝白沙灣附近的臨海社區，就開始把自己的家園改建為綠建築社區，居民們從淨灘、建造溫室、製作堆肥實驗場，一步步投入改造社區的工作。「行動就從自己家開始。」

居住於此的戴炎輝文教基金會執行長周美惠，對於推廣再生能源不遺餘力，她只用90萬元的經費，把老舊房舍回收再利用，蓋

出一個全新的生態節能示範屋；屋頂上有太陽能板，和兩座小型風力發電機，每小時產生的電力剛好供應屋內小家電使用；屋頂收集雨水的設計，讓雨水變成生活用水⁶。

曾經擔任神通電腦副總經理的劉力學，也是居住在白沙灣社區的居民。他是法裔加拿大人，在這裡跟太太用一磚一瓦打造出一片桃花源。為了孩子的教育及追求更好的生活方式，他開始建造這個稱為「臨海別墅」

註6：2000年6月在臺北縣石門鄉白沙灣濱海生態社區以90萬臺幣20個工作天，建蓋臺灣第一棟採用再生建材及太陽光電板及2支小風力發電機產電，供室內照明及家電等基本用電與石門水庫積泥燒成琉璃隔熱屋瓦，及絕緣隔熱吸音除濕空心磚與透水鋪面，以及安裝雨水回收過濾生活用水，自給自足。室內鋪面以石門水庫積泥燒成之紅色吸音地磚及回收再製木板，完全符合21世紀建築主流—永續家園之生態綠建築「健康住宅」，證明臺灣絕對可以由50年來高耗能高碳(二氧化碳CO₂排放量)水泥建築及鋪面之致病建築(Sick House)翻身改建成健康低耗能雨水儲存循環再利用及屋頂牆面太陽能光能發電，自給自足之健康住宅。德國德綠建築發展臺灣環境保護聯盟，www.tepu.org.tw/wp-content/uploads/2008/09/zhou.doc.

的海灣石屋。兩層高的石屋裡有原木裝潢，屋外則看得見高矮錯落的椰子樹與鐵樹、露天苗圃、栽種有機蔬菜的溫室、還有劉力學自己組裝的太陽能路燈，不遠處即是迷人的藍天與白沙灘。

但是，這一切並非渾然天成。劉力學表示，這裡原本的居住品質非常不好，冬天冷得像冰箱、夏天熱得可比是烤爐，直到他自己動腦動手開挖池塘，用地下水來灌溉海邊的乾硬紅土，然後種竹林來防風避寒，加上邀請社區居民一起來把廚餘變成有機肥料，原本貧瘠的海邊土質，才能像現在一樣孕育出會開花的植物⁷。

臺北市立圖書館北投分館，是臺灣首座綠建築圖書館屋頂為輕質生態屋頂，設有太陽能光電板發電，可發電16千瓦電力，並採大量陽台深遮陽及垂直木格柵，降低熱輻射進入室內，降低耗能達到節能效果。綠化屋頂及斜坡草坡設計可涵養水分自然排水至雨水回收槽，再利用回收水澆灌植栽及沖水馬桶，達到綠化與減少水資源浪費。建物使用木材及鋼材，該建材皆可回收再利用，減少

廢棄物對環境的破壞。在室內健康與環境指標方面，對於木材建材除做白蟻防治外，並使用生態塗料及免除不必要的裝修工程，減少污染及有毒物質的釋放，避免影響人體健康⁸。

在節能方面，除了透過屋頂太陽能光電板發電，設置大片木框落地窗，讓室外光線直接進到屋內，減少大白天開燈的機會；建物本身也使用木材及鋼材，建材可回收再利用，減少廢棄物對環境的破壞；另外，綠化的屋頂及斜坡草坡，皆設計可涵養水分、自然排水至雨水回收槽，回收的雨水則用來澆灌植栽及沖水馬桶，減少水資源的浪費。市圖北投分館善用南向公園、北面臨溪的地理環境，採集大量的自然光，讓四周圍的陽光、空氣、雨水獲得最佳利用，形成一個建築物與大自然間的良性循環。

郭英釗是當初負責建造北投圖書館的建築師，他曾經說過，民眾在館內閱讀就好像進到一間大型樹屋，而坐在戶外閱覽區的人們，也能邊看書邊舒服地享受好山好水。成大建築系主任及祐生環控中心系主任江哲銘

註7：來自加拿大魁北克的臺灣女婿劉力學(Pierre Loisel)，50歲以前曾經在電腦界叱吒風雲，曾是惠普電腦首位臺灣地區負責人，做過神通電腦副總裁，中文電腦的催生者，為了尋回呼吸乾淨空氣的權利，1970年代中期，開始在這裡建造他的海灣石屋。可是當時的住家天候相當惡劣：冬天是冰箱、夏天是烤箱，於是他開始努力改變海邊像沙漠般的環境，挖個池塘留住流向大海的潛流水，用水來灌溉乾硬紅土，種竹遮風。「這裡有山有海，就是沒有一棵樹，我每個禮拜天種十棵樹，想想看，26年來的七分之一，大約是三年多的日子可以種多少樹？做多少事？」劉力學把投入科技領域的科學頭腦，放入了愛臺灣的熱情，變成一個為臺灣種樹的男人。撰文鄭一青〈想像一個屬於海洋臺灣的生態家園——三芝鄉白沙灣別墅社區的生態夢想家〉，http://trp.cpami.gov.tw/ch/ArtHtml_Show.aspx?ID=a9ba542f-2652-4708-8da0-a24ccccc708&path=213，檢索日期：2016年5月1日。

註8：北投分館並在民國94年2月份榮獲內政部綠建築九大指標候選證書，包括「生物多樣性」、「綠化量」、「基地保水」、「水資源」、「日常節能」、「二氧化碳減量」、「室內健康與環境」、「廢棄物減量」、「汗水與垃圾改善」九項指標，民國96年7月獲得綠建築鑽石級標章證書；2007國家卓越建設獎—卓越獎、第6屆臺北市政府品質創新獎第一名、「第6屆遠東傑出建築設計獎」入圍作品、2007「臺灣建築獎」首獎、第6屆臺北市「都市景觀大獎」首獎、第8屆行政院公共工程品質優良獎優等獎、內政部96年度「優良綠建築設計獎」、2008全球建築金獎—全球卓越建設獎入圍獎、2012年獲得美國網站Flavorwire.com評選為「全球最美25座公立圖書館」之一。臺北市立圖書館，〈北投分館簡介〉，<http://www.tpml.edu.tw/ct.asp?mp=104021&xItem=1140676&CtNode=58132>，檢索日期：2016年5月1日。



也說過：「21世紀的建築，應該加個人字邊，變成『健』築——即健康的生活空間。」

在養生、樂活觀念日漸風行的今日，綠建築提供了既對人的健康有益，又讓環境生態不再受迫於鋼筋水泥建造的人工建築。從這些美麗又兼具環保的建築上，驗證了人可以在工程當中為自然生態多一點關懷，更能從中獲益⁹，如圖二。

參、建築法規

自1973年第一次世界能源危機，國內學界即著手建築節能之研究，自1995年建築技術規則設計施工編增訂「建築節能設計管制」條文，內政部建築研究所於1996年推動「綠建築」概念，1996年7月行政院成立「永續發展委員會」推動「地球永續發展」-「城鄉永續發展」-「綠色營建政策」-「建築

節能政策」，為「挑戰2008年國家重點發展計畫」之一環。於1997年推動「綠建築與居住環境科技計劃」，1998年建築技術規則第二次修訂「建築節能設計管制」，於1999年頒定「綠建築標章推動使用作業要點」，並編定「綠建築解說與評估手冊」，我國本土之綠建築評估體系。2002年建築技術規則第三次修訂「建築節能設計管制」（自民國92年1月1日開始施行），內政部營建署已於2005年完成研議於「建築技術規則」建築設計施工編中增加第17章「綠建築」專章，第四節「建築節約能源」第308條至第315條，自民國94年1月1日起施行。使國內建築正式受「綠建築」規範之限制¹⁰。

內政部建築研究所推行綠建築政策以來，不但在學術及產業界蔚為風潮，更在政府部門激起熱烈迴響；而提出之「綠建築推動方案」亦獲得行政院大力支持，且明令由公有建築物率先執行綠建築設計，並鼓勵民間業界參與跟進，自然形成綠建築產業之市場機制與環境，以使我國建築政策邁入嶄新的紀元¹¹，如圖三。

肆、綠建築九大指標

我國的綠建築係以臺灣亞熱帶高溫高濕氣候特性，掌握國內建築物對生態(Ecology)、節能(Energy Saving)、減廢(Waste

註9：陳怡萱(臺灣環境資訊協會)〈綠屋頂、自然素材 打造會呼吸的綠建築〉，<http://eem.pcc.gov.tw/en/node/4494>，檢索日期：2016年5月1日。

註10：臺中市推動建築節能成效與二氧化碳減量效益評估，<http://www.taichung.gov.tw/public/Attachment/115030/210200452981.pdf>，檢索日期：2016年5月1日。

註11：內政部建築研究所所長何明錦、內政部建築研究所副研究員徐虎嘯，〈臺灣綠建築政策與水資源應用實例〉，<http://gis.tcgs.tc.edu.tw/resources/academic/file/%E8%87%BA%E7%81%A3%E7%B6%A0%E5%BB%BA%E7%AF%89%E6%94%BF%E7%AD%96%E8%88%87%E6%B0%B4%E8%B3%87%E6%BA%90%E6%87%89%E7%94%A8%E5%AF%A6%E4%BE%8B.pdf>，檢索日期：2016年5月1日。

綠建築住宅裡面有什麼？

1 風力發電系統

裝置於屋頂的風力發電裝置，可將風力轉換成電能，也可作為電力來源之一。

2 太陽能板

透過裝置於屋頂的太陽能板，將太陽能轉換為可用電能，經由光纖傳送至室內，供所有電器使用，甚至也可供電動車使用，節省額外電費支出。

3 透氣天花板

以沖孔鋁板材質設計的天花板，故意留下細縫，讓室內熱空氣可以由此排散。

4 空調設備

在正確的位置安裝空調設備，搭配上通氣沖孔與透氣天花板的設計，即可大幅度減少空調的使用量。

5 太陽能光纖燈

屋頂的太陽能光纖採光系統吸取陽光後，過濾光線中的紫外線，直接將光線以光纖方式傳送至屋內。

6 複層玻璃

雙層玻璃的設計，阻絕室外熱氣與輻射，讓室內溫度不易受室外溫度影響。

7 環保家具

泛指環保材質、原木或竹子打造而成的傢俱，此類型傢俱，在表面漆上的並非化學漆而是天然桐油，同時保有環保、耐高溫與昆蟲蛀食三種成效。

8 通氣沖孔

運用冷空氣下降熱空氣上升的原理，將室外的冷空氣藉由通氣沖孔引入室內。

9 推開窗

保留了一般窗戶的開關方式〈左右〉，也可採外推45度以上的開啟方式，讓室內與室外空氣流通，也可達到降溫、除濕的效果。



圖三

資料來源：力霸鋁門窗，〈綠建築住宅裡面有什麼〉，http://www.rebar.com.tw/general/index.php?action=message&mt_id=1&m_id=2，檢索日期：2016年5月1日。



圖四 綠建築EEWH系統乃是由「生態、節能、減廢、健康」四大指標群的每個英文字首之意，綠建築EEWH評估九大指標

資料來源：綠色奇蹟提供繪製。

Reduction)、健康(Health)之需求，訂定我國的綠建築(EEWH)評估系統及標章制度，並自1999年9月開始實施，為僅次於美國LEED標章制度，全世界第二個實施的系統。原本的評估系統有「綠化量」、「基地保水」、「水資源」、「日常節能」、「二氧化碳減量」、「廢棄物減量」、及「污水垃圾改善」等七項指標，而在2003年又修訂增加「生物多樣性」及「室內環境」兩項指標，便組成現今我們所謂的「綠建築九大評估指標系統(EEWH)」¹²。另為提升國內綠建築水準，與國際綠建築接軌，激發民間企業競相提升綠建築設計水準，2007年又增訂完成「綠建築分級評估制度」，其綠建築等級由合格至最優等依序為合格級、銅級、銀級、黃金級、鑽石級等五級，而該分級評估制度除與國際趨勢同步，也是提升綠建築水準的有效策略，同時我國的「綠建築」可重新定義為「生態、節能、減廢、健康的建築物」¹²，如圖四。

一、生物多樣性指標

生物系多樣性、物種多樣性、基因多樣性。主要在評估大型基地(1公頃以上)開發之『綠地生態品質』，期望能在建築土木開發行為中留下『生物多樣化』之可能性。設計手法包括：生態綠網、小生物棲地、植物多樣性等項，如圖五。

二、綠化指標

包括生態綠化、牆面綠化、牆面綠化澆灌、人工地盤綠化技術、綠化防排水技術和綠化防風技術，如圖六。

三、基地保水指標

利用土地涵養水分，生態水循環，如圖七。

四、日常節能指標

1. 外殼節能：以Envload評估，高於建築技術規則之20%。

2. 空調節能：以空調系統節能效率(EAC)評估防止主機。

3. 超量設計、鼓勵高效率主機與空調節能技術。

4. 照明節能：以照明系統節能效率(EL)評估，以提高燈具效率，如圖八。

五、二氧化碳減量指標

包括簡樸的建築造型與室內裝修、合理的結構系統、結構輕量化與木構造，如圖九。

六、廢棄物減量指標

再生建材利用、土方平衡、營建自動化、乾式隔間、整體衛浴、營建空氣污染防制，如圖十。

註12：臺北市立圖書館北投分館，〈綠建築九大指標〉，<http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2013/27715859/lutacha/luse-guannian.html>，檢索日期：2016年5月1日。



圖五



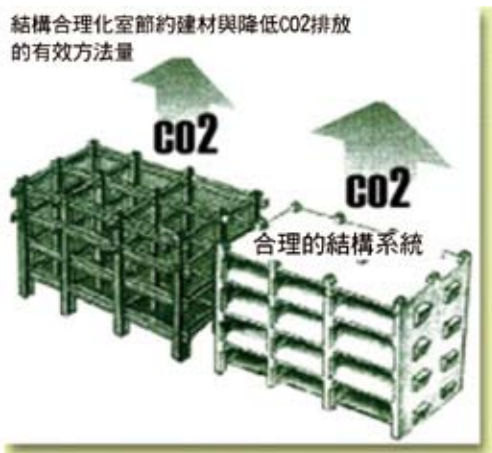
圖六



圖七



圖八



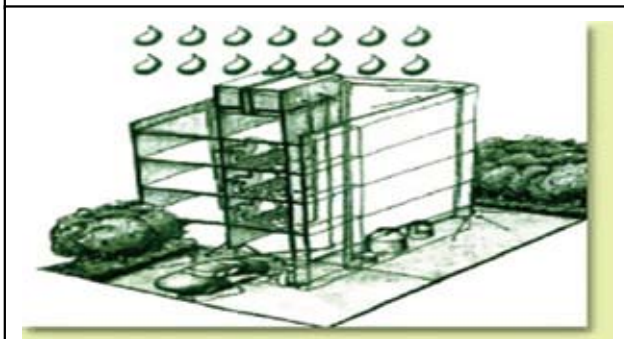
圖九



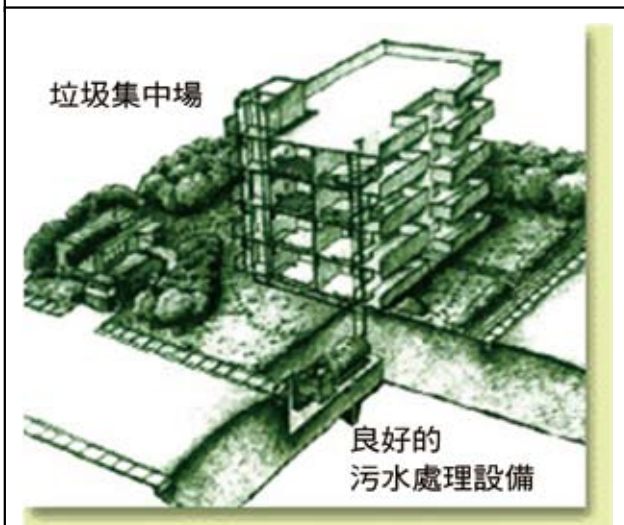
圖十



圖十一



圖十二



圖十三 九大指標

資料來源：內政部建築研究所、臺灣綠建築發展協會，
臺北市立圖書館北投分館，〈綠建築九大指
標〉，<http://library.taiwanschoolnet.org/cyber-fair2013/27715859/lutacha/luseguannian.html>，檢
索日期：2016年5月1日。

七、室內環境指標

評估通風換氣、隔音、採光、室內裝修、室內空氣品質，如圖十一。

八、水資源指標

減少及回收建築物用水。用水器材及大量耗水項目評估大便器、小便器及供公眾使用之水栓必須全面採用節水器具，以規範用水量。自來水替代率之評估，鼓勵雨水利用，如圖十二。

九、污水垃圾改善指標

管制建築物污水垃圾量。本指標並非牽涉污水及垃圾的環工生化技術之改善，係為輔佐現有污水及垃圾處理系統的功能，著重於建築景觀衛生與使用管理上的配套設計考量。如圖十三。

伍、綠屋頂

「屋頂綠化」是綠建築「生物多樣性指標」的評估要項之一。「屋頂綠化」一詞許多人都耳熟能詳，其實並不新鮮。只是近年來臺灣都市化嚴重、過度人工開發，使得原本的自然綠地變成了水泥叢林，許多都市問題，諸如熱島效應、都市洪水、空氣汙染等隨之而生，再加上全球氣候變遷、地球暖化等議題發酵，使得人們開始思考各種綠色設計的可能，「屋頂綠化」就是眾多綠色設計技術之一。

屋頂綠化不僅在視覺上帶來綠美化的環境，植栽能夠淨化二氧化碳、粉塵與空氣中的重金屬，也有減緩都市熱島效應、調節微氣候、增加保水性能、增進建築節能等功能，因此近年來備受歐、美、日等先進國家重

視。其中德國與日本更訂定屋頂綠化的推廣與獎勵政策。以德國為例，推廣生態屋頂的政策起自1989年，規定建商必須以屋頂綠化的方式規劃一定的綠化面積。漢諾威市更頒布「屋頂綠化建築規劃指導方針」，明確規定屋頂綠化的規劃設計、施工、維護管理等內容。

日本東京都政府更以明文規定，面積超過1千平方公尺的新建建築，五分之一的屋頂必須以綠色植物覆蓋。在美國則是以銀行低利貸款及減少稅徵的方式鼓勵建造生態屋頂，最知名的例子是芝加哥市政廳在其屋頂建造了超過3千平方公尺的綠化屋頂，種植約1萬5千種植物，對都市環境降溫、雨水貯留、創造生物棲地等都有正面的影響。因此可以大幅減低室內日間的空調耗電量，有助於空調節能¹³。

屋頂綠化的優點可分幾方面來談：

提供都市生態跳島與多樣生物棲地都市環境的人工化、均質化造成生物的食物來源、棲息地、交配區等減少，無法維持適當的棲息環境，造成都市裡生物種類減少。都市裡預留均質分布的綠地是維繫都市叢林中生態的要件，在密集的都市環境中，倘若建築物的屋頂能夠綠化，成為都市平面綠地的延伸，不但使得都市綠地面積增加，其分布也較都市公園廣泛，可成為都市裡的生態跳島，小動物得以自由遷徙於都市水泥叢林內，而有助於都市裡物種的交流與小棲地的形成。降低都市熱島效應 都市過度人工化、水

泥化會導致都市高溫化，這就是所謂的都市熱島效應。根據成功大學建築研究所的實測結果，臺灣大都會區中心和郊區的夜間空氣溫度差竟可高達攝氏3至4度，導致夏季時都市空調耗能的增加。

都市熱島現象的起因，包括大量人工構造物的吸熱放熱、不透水鋪面的增加阻礙了水循環、都市綠地減少與大量的人工排熱等。屋頂綠化的植栽層可以減少人工鋪面曝曬於烈日下，減低水泥屋面的吸熱，植栽葉面的蒸散作用又可調節周遭空氣的溫溼度。

都市不透水面與人工構造物的增加使得都市裡裸露地減少，當暴雨來時不利於雨水的自然入滲，因而造成都市排水系統的額外負荷，如排水不及則易導致都市洪水現象。綠化屋頂由於有土壤層，可以吸收降雨並延遲暴雨進入都市排水系統的時間，能減輕都市下水道的負擔，其作用有如位於自家屋頂上的小型滯洪池。

屋頂綠化由於有厚厚的土壤層覆蓋在屋頂表面上，可以成為建築屋頂隔熱的一部分，留滯在土壤內的水分更可提高土壤的平均熱容量，延緩熱量進入室內的時間。此外，植物葉面提供的日射反射與遮蔽效果，也使得土壤層的表面溫度遠低於裸露的一般屋頂，這效果在葉面密度高、種植間距密的情形下更為顯著。因此可以大幅減低室內日間的空調耗電量，有助於空調節能¹⁴。

另外可利用於綠屋頂的是太陽能板，利用太陽能所產生的能量在綠建築的九大標章

註13：黃國倉，〈綠建築：綠建築的屋頂綠化〉，《科學發展》，460期，2011年4月，頁48-53。

註14：陳怡萱，〈臺灣環境資訊協會〉〈綠屋頂、自然素材打造會呼吸的綠建築〉，<http://e-info.org.tw/node/21383>，檢索日期：2016年5月1日。

中，日常節能、二氧化碳減量指標符合上述條件，所產生的能量可為炎熱的夏日省下許多的電費，也防止對大自然的能量的消耗，最重要的是為地球做一份環保的力量。

太陽能板是經濟實惠又環保太陽能光電板壽命長久，壽命可達二十年以上，使用方便、無廢棄物、無污染、無噪音。以德國為例，由於政府願意再用四倍的價錢買回再生能源的電，因此投入這方面的民眾越來越多。甚至有些農夫直接將整塊地裝設太陽能板來發電賣電¹⁵。

陸、綠屋頂運用及發展

一、綠屋頂的運用

(一)臺灣第一座零碳建築，2011年1月12日，「綠色魔法學校」正式落成於成功大學的力行校區(如圖十四)，總樓地板面積4800m²，由成功大學出資6千萬元，台達電子文教基金會董事長鄭崇華捐贈1億元，以及30多所國內企業捐贈相關科技產品約2千萬元，共1億8千萬元所共同打造的綠色奇蹟。它是由成功大學林憲德教授領軍，協同三位頂尖教授，帶領12位博碩士生進行實驗研究，所共同打造的一棟充滿夢幻的美麗綠建築。根據成大建築研究所的精密解析，預估該棟建築年用電強度EUI為43kWh/(m².yr)，節能達65%(與相同規模辦公建築用電強度125kWh/(m².yr)相比)，為世界第一節能的超級綠建築。這全球最節能的「綠色魔法學校」，每坪造價只有8.7萬元(現有辦公建築



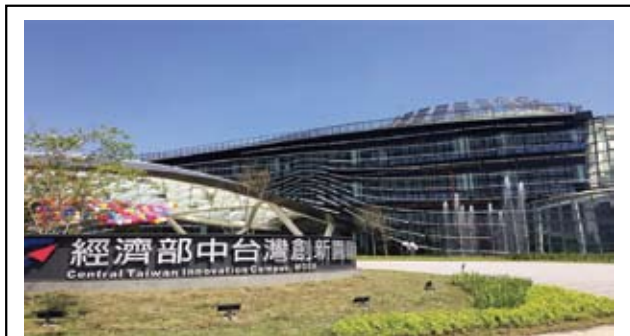
圖十四 綠色魔法學校正面透視圖

資料來源：綠色魔法學校，〈臺灣第一座零碳綠建築〉，http://www.msgt.org.tw/about.php?Type=1&menu=about_class&pic_dir_list=1，檢索日期：2016年5月1日。

一般造價)，是一般人都負擔得起的「平價綠建築」。它採用了13種綠建築設計手法，達到難以置信的節能65%目標，包括五種建築本體與自然通風的軟性節能手法、兩種設備減量的方法，五種設備節能技術以及再生能源技術。其中最精彩的是採用自然浮力通風的技術，讓一座300人國際會議廳在冬季四個月可以不開空調，達到空調節能28%；採用空調與吊扇並用設計，讓辦公區空調節能76%；採用陶瓷複金屬燈二次反射照明設計，讓國際會議廳達到節能四成的水準。在此雖然有三分之一是稍貴但回收年限在三年以內的高效率節能設備，但另外有一半以上的綠建築創意都是不花錢又可立即回收的「平價技術」，是最值得推廣落實的「平民綠建築技術」。

為了揭示碳足跡，研究團隊計算「綠色魔法學校」的二氧化碳排放量，發現它比一般辦公建築物減少51.7%的碳排放。它每年的總用電量為11.32萬度，相當於每年排放

註15：游鈞如、賴昱儒、邱庭熙，〈如何建造光明的未來—太陽能板在建築上的運用〉，<http://www.shs.edu.tw/works/es-say/2011/11/2011111412154585.pdf>，檢索日期：2016年5月1日。



圖十五 經濟部中臺灣創新園區

資料來源：九典聯合建築師事務所。

71.3公噸二氧化碳。成功大學為了進一步把它打造成「零碳」的理想，特別撥出校區內4.7公頃的綠地以創造一大片亞熱帶雨林，藉此可以吸附所有71.3公噸的二氧化碳排放量，使「綠色魔法學校」成為名符其實的「零碳綠建築」。這不但是臺灣第一座，也是世界第一座以造林的「碳中和措施」達成零碳建築的先例。

最難能可貴的是，「綠色魔法學校」所使用的綠建材都是平價的國產品，正符合「適當技術」、「本土科技」之口號，這不但可減少碳足跡，進而可以救地球。「綠色魔法學校」是臺灣第一座「零碳建築」、世界第一節能、全球第一座「亞熱帶綠建築教育中心」。本案於2009榮獲Discovery頻道全程報導，並獲臺灣EEWH鑽石級綠建築標章認證，2011年獲美國LEED白金級綠建築標章認證，2011年獲「世界立體綠化零碳建築傑出設計獎」¹⁶。

(二)佔地約2.47公頃的「經濟部中臺灣

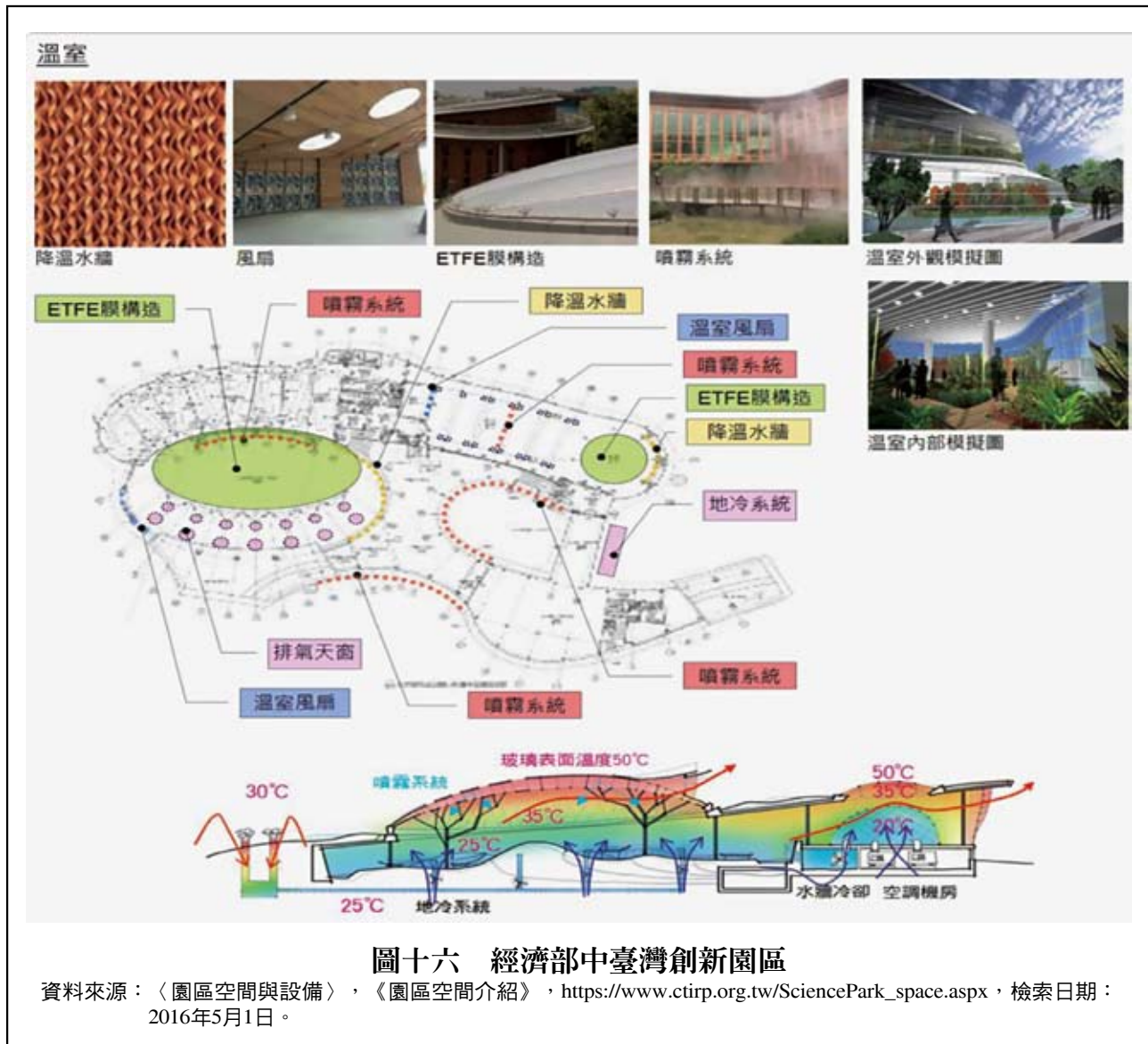
創新園區」(如圖十五)，位於中科高等研究園區範圍內、近臺灣文獻館，目前園區大樓建築面積4.35萬平方公尺，是全臺第一棟取得鑽石級的「綠建築」及「智慧建築」雙證書的建築物。由九典聯合建築師事務所設計的經濟部中臺灣創新園區大樓，其建築造型特殊，外牆立面由 Noiz Architects 設計，有3,358片外遮陽板，透過電腦模擬太陽軌跡角度移動方向，加上屋頂上的408片太陽能板等智慧建築設置，其他園區空間則做成綠帶供附近居民休憩，為南投最具代表性的綠建築(如圖十六)¹⁷。

二、綠屋頂的發展

臺南不只是古都，更是臺灣日照度一的區域，年平均日照時數達到2,024小時，遠高於全國的1,601個小時，而這樣的優越環境特別適合發展綠能科技，尤其是太陽能發電的生產，而目前新政府也打算要在臺南沙崙地區，成立綠能經濟園區，希望能夠以研發帶起綠能經濟，讓文化古都發展陽光經濟。聚恆科技董事長周恆豪：「你很少看到屋頂是單斜的，其實這樣的建築經費是比較高的。」談到自家公司的屋頂語氣相當自豪，因為上頭全是太陽能板，向光鋪設利用自然能源節省不少電量。記者詹舒涵：「來到屋頂可以看到像這樣，1乘1.6的太陽能板大約有2千多片，而一天就能產生2千度的電，大約是3個家庭電一個月的用電量。」臺南的年平均日照時數是2,024小時，遠遠高於全

註16：綠色魔法學校，〈台灣第一座零碳綠建築〉，http://www.msgt.org.tw/about.php?Type=1&menu=about_class&pic_dir_list=1，檢索日期：2016年5月1日。

註17：記者劉朱松／台中報導，〈築準建人手札網站〉，《中臺灣創新園區 2014年9月15日落成啟用》，<http://www.forgemind.net/phpbb/viewtopic.php?t=26861#p123948>發布日期2014年9月15日，檢索日期：2016年5月1日。



圖十六 經濟部中臺灣創新園區

資料來源：〈園區空間與設備〉，《園區空間介紹》，https://www.ctirp.org.tw/SciencePark_space.aspx，檢索日期：2016年5月1日。

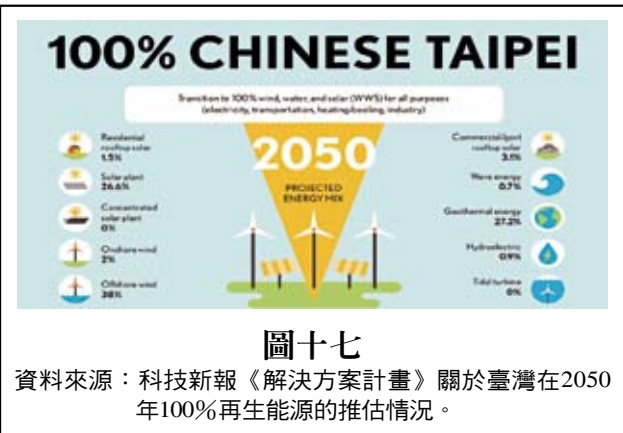
國的1,601個小時，臺北大約是1,200多個小時，基隆更是只有1,100多個小時，優越的日照環境成了最適合綠能產業發展的不二寶地。臺南市長賴清德：「所以我們一直希望能夠將臺南市打造成為文化首都以外，也是一個太陽光電城，公部門的屋頂家家戶戶的屋頂，然後農場的屋頂魚塢的屋頂，都可以放上太陽能電池。」果真如市長期許，現在

臺南就有養菇業者運用太陽能板的吸熱特性，保持恆溫繁殖菇類。記者詹舒涵：「太陽能板除了能夠產生電能之外，還能夠達到降溫的效果，讓室內環境維持在22度左右，特別適合菌類來生長，而這個太空包裡頭長出來的就是最新鮮的木耳。」除了木耳之外，農場也種植高價值的巴西蘑菇、牛樟芝等商品，年產值就有幾百萬，而像這樣的農場應

用，在市府推動下數量相當可觀，光是104年底臺南市取得經濟部能源局，太陽光電發電設備同意備案的件數就已經達到1,597件，發電量達到1億1,030萬度，相當於曾文水力發電廠，40%的年發電量更能夠減碳5萬7,577噸成效相當顯著；而新政府也打算在臺南歸仁區的沙崙里成立綠能經濟園區。成大都設所教授陳彥仲：「這是我們臺南市進出，南來北往的一個很重要的門戶，這個門戶它可以讓我們把整個目前所研發的科技的成品或成果，或者概念中一些科技研究的成果，跟企業間做一個對接¹⁸。」

柒、結語

巴黎氣候高峰會(COP21)可以看到各國設計的政策工具，訴求於大幅度減少產業對於傳統能源的倚賴，而實際上連工業大國德國及第三世界國家都大幅度達成預定目標，並且幫助能源結構轉型，創造更多工作機會。這些再生能源的好處是過去在「京都議定書」時期還無法實際感受到的，也直接促進各國參與的意願。但少有人注意到COP21期間史丹佛大學發表的《解決方案計畫》(The Solution Project)，這個計畫的目標是協助各國制訂2050年達到100%的可行策略，總共分析了139個「國家」，是的，名為Chinese Taipei的(中華民國)臺灣也在其中。100%再生能源的臺灣，每年可省下外購燃料的1.5兆臺幣，表示至少創造1.5兆以上的再生能源市場，而且中小企業可以雨露



圖十七

資料來源：科技新報《解決方案計畫》關於臺灣在2050年100%再生能源的推估情況。

均霑，而非國營事業或轉投資子公司獨佔，(如圖十七)。

在《解決方案計畫》中，臺灣達到100%再生能源的情境目標，其中38%的離岸風電、27.2%的地熱發電(裝置容量約30.3Gwe，均化成本為每度電0.106美元)、26.6%太陽能電廠，其他種類的再生能源比率各約在3%以下。換言之，這3項再生能源是「國家發展基金」、「石油基金」及科技部「國家能源計畫」需要積極投入產學合作的新能源產業，目前這3項再生能源在臺灣的現況是：專業人才培育不足、需要大量倚靠國外先進技術，如同1980年代政府主導工研院(ITRI)培植半導體產業，引進超大型積體電路(VLSI)技術及建立科學園區配套法規，而造就臺灣的IC產業根基。唯一的差別在於，再生能源是扭轉溫室氣體排放的「生機」¹⁹。

以目前的情勢，電價逐年的成長，而在永續節能的方向底下，如再生能源法通過臺電勢必以更高的價格買回再生能源的發電。因此，像德國那樣的情形在臺灣不是沒有發

註18：<http://mnnews.tvbs.com.tw/life/detail.html?s=news-654773> TVBS新聞，檢索日期：2016年6月1日。

註19：王守誠，〈新政府上台後，未來5年臺灣地熱能源的蓬勃發展契機〉，《科技新報》，<http://technews.tw/2016/02/24/geothermal-energy-taiwan-new-government/>，發布日期：2016年2月24日，檢索日期：2016年5月1日。

生的可能。

臺灣都市的景觀充滿了各種廣告看板，比比皆是的水泥建築搭上五顏六色的鐵皮屋頂，構成了一幅醜陋、難登大雅的都市景觀。倘若屋頂綠化能夠推廣，匡正國人對屋頂的利用僅止於加蓋鐵皮屋的觀念，將有助於都市景觀的改善與永續都市的實踐²⁰。

綜上所述，目前所預劃之相關建築若能採用綠屋頂及太陽能發電雖然無法於短期內立即看到成效，但對於未來節能減碳及水電

費用節約有相當大之幫助，綠屋頂可降低室內溫度減少冷氣用電，如屋頂裝設太陽能發電還可節約購電成本，降低對臺電的依賴，且可避免臨時停電使用緊急發電機之狀況。

作者簡介：

徐豪祥少校，海軍官校專科92年班，國防大學海軍指揮參謀學院104年班，現服務於海軍東引基地指揮部。

註20：黃國倉，〈綠建築：綠建築的屋頂綠化〉，《科學發展》，460期，2011年4月，頁48-53。

老軍艦的故事

萬安軍艦 AP-523

萬安軍艦為交通船。民國66年基於外島人員物資運補需求，由後勤司令部負責該艦建造事宜，民國66年6月30日由海軍後勤司令部司令劉玉光中將代表與中國造船公司簽約，民國67年5月5日安放龍骨，同年7月22日由總司令鄒堅上將主持下水典禮，民國68年1月17日舉行海上測試，1月26日由副總司令林蟄生中將主持命名成軍典禮，命名為萬安軍艦。編號為AP-523號。成軍後隸屬勤務艦隊，負責外島人員物資運補任務。

該艦因海損嚴重，於民國87年1月16日除役。(取材自老軍艦的故事)



天台軍艦 AKL-316

天台軍艦在中華民國海軍前後共有2艘，第一艘是編號AK-316的老式運輸艦，該艦早在1954年9月就列入保管艦除役。而這一艘天台軍艦則是在民國61年2月23日接收自美軍的小艇修理艦，但是這一艘天台軍艦成軍後根本沒有服過勤就除役了，所以幾乎沒有人知道這艘船的存在。

天台軍艦原本是一艘以EC2型自由輪改裝的內河小艇母艦(亦為引擎修理艦)，由美國伯利恆鋼鐵公司在巴爾的摩的Fairfield 船塢建造，1943年9月12日下水，1944年4月8日成軍，本艦在自由輪的時代名為Arthur P. German，美海軍改裝為修理艦的時代命名為Tutuila，編號ARG-4。

本艦移交前駐泊在越南專門替美國陸軍和越南海軍的內河巡邏艇擔任維修工作，當1972年美軍開始撤離越南時，希望我海軍能承購這艘船以解決善後問題，但是我海軍以自由輪型式已十分老舊，以及我海軍並無內河艇隊為由，所以沒有興趣購買。

後來經當時的駐美海軍武官汪希苓向海軍總司令宋長志上將力爭，最後海軍終於同意承購這艘船，原本預定當廢船處理，後因民國61年2月當時美國總統尼克森正抵達北京進行首次的中國大陸訪問，2月23日該艦自越南開抵左營港後，我軍方決定擴大舉行成軍典禮，由參謀總長賴銘湯上將親自主持，各媒體均大篇幅報導以強調我與美國軍售關係仍十分正常的印象。

成軍典禮後本艦即進廠拆卸修理機具交各造船廠使用，艦身出售拆解。這艘從未真正服勤過的天台軍艦於民國63年宣佈除役後，全艦官兵轉於民國64年初接收另一艘修理艦玉山軍艦服役。(取材自老軍艦的故事)

