

景觀

生態建築：毛寺生態實驗小學

● 吳恩融、穆鈞

人生從母體，去從泥土。建築亦然，那些源於土地的建築，必然是最適合當地環境，也最容易回歸自然。

一 傳統建造技術的發掘和生態再認識

生土建築(以土直接作為主要材料的建築)可以說是人類歷史中運用最為廣泛和久遠的建築形式。至今，全世界仍有將近三十億人口生活或工作於不同形式的生土建築當中^①。生土建築形式之所以得到長久和廣泛運用，主要原因在於其所依賴的生土和自然材料，以及相關的建造技術所具有的一系列優勢。生土材料常規的形式有夯土、麥草泥、土坯磚、泥塊等。與常規建築相比，生土建築不僅冬暖夏涼，而且具有低造價、低能耗、加工簡單易行、可就地取材、生態環保等優勢。正由於這些優點，在印度、中東、非洲等經濟欠發達地區，生土建築已成為眾多研究機構和政府廣泛關注的經濟型環保建築形式。甚至在富裕的美國新墨西哥州，

以生土作為主要建造材料已成為許多豪宅別墅所熱衷的時尚。

在中國，據考證傳統生土建築的運用歷史已遠遠超過五千年，而且範圍也十分廣泛，覆蓋了中國大部分地區，尤以地處西北的黃土高原地區最具代表性。黃土高原是中國最為貧困的地區之一，尤其在農村地區，經濟水平相對落後，資源匱乏，水土流失嚴重，生態環境日益惡化。在這些艱苦的條件下，千百年來，當地居民學會了如何利用自然和順應自然，創造了以窯洞為代表、與自然相和諧的傳統生土建築模式。但近年來，隨着生活習慣和觀念的改變，傳統的生土建築已無法滿足人們的需要，並逐漸被廢棄。隨之而來的是大量主要以黏土磚、混凝土為材料的常規建築形式的出現，包括公共建築和民居。但受制於當地有限的資源、經濟和建造技術水平，這些自行建造的建築無法適應

當地嚴酷的氣候和環境條件。大面積的開窗、單薄的建築圍護體、不合理的布局，以及粗陋的施工水平，使得室內在冬夏非冷即熱。如果不耗費大量燃料，這些建築很難維持並提供一個舒適的室內環境。最終，建築運行過程中和建築材料本身所帶來的大量能耗和污染，不僅無法真正改善當地的居住條件，反而會加劇該地區生態環境的惡化。

如何克服當地現有的經濟與資源條件限制，重新發掘傳統生土建築技術和文化，進而促進貧困地區環保建築的可持續發展，已成為近些年持續受人關注的重要課題。2007年，落成於甘肅省慶陽市毛寺村的毛寺生態實驗小學，正是在這一背景下詮釋了一條扶助貧困、切實可行的希望之路。

毛寺村是甘肅省東部地區一個典型的貧困村落，人口約一千五百人，當地村民的生活、教育與文化水平平均十分落後。原本分散在該村的四所小學由於財力所限，早已破敗不堪，孩子們只能棲息在昏暗、漏雨並時刻有坍塌危險的校舍中上課學習。2003年，當地政府向外界發出求助，希望能合併已有學校，為毛寺村集資建設一所新學校，並期望能更好地利用當前的教育資源，為孩子們創造一個良好的教育環境。

我們得知此信息後，先後在當地進行了多次探訪和調研，並接受了當地政府的委託，主持該項目的設計和建設運作。新學校的設計和建設不僅僅是為孩子們創造一個舒適愉悅的學習環境，更關鍵的是以此為契機，詮釋一個符合於當地有限的經濟、資源和技術條件，切實可行、行之有效的生態建築模式。因此，新學校被命名為

「毛寺生態實驗小學」。經過為期三年的試驗和多方案對比研究，在香港嘉道理農場暨植物園和其他香港贊助人的資助下，新學校於2007年全部竣工。

二 「適宜性」生態建築的設計和建造原則

在全球能源危機和生態環境惡化的大背景下，歷經近半個世紀的研究實踐，生態建築的設計理念已取得了長足的完善和發展。根據國際上現有的理論共識，生態建築所應遵循的設計原則可以被概括為四個方面：節約能源、利用自然能源、尊重使用者的需求和盡可能地減少對環境的污染和破壞^②。對於生態建築技術策略而言，目前所存在的一種誤解是強調追求高科技技術和材料的所謂高技術（high-tech）傾向。這勢必會導致建築造價的大幅度提升，同時缺乏一定的地域適宜性和可持續性。

針對現代建築技術不斷高技化所產生的種種問題，自二十世紀70年代西方發達國家出現了一股「選擇性」（alternative）或「適宜性」（appropriate）技術運動的建築思潮。其強調將現有的技術系統轉化為一種更加注重環境保護，同時可以根據實際條件更加靈活地被選用的技術形式^③。由此而產生了「選擇性建築」（Selective Architecture）^④的生態建築設計理論，其提倡選取基於當地社會、經濟、資源等條件和本土傳統建築技術的適宜性技術路線，以最低的成本取得最大限度的生態可持續效能。這一技術策略恰好符合黃土高原目前有限的經濟、資源和技術水平狀況。

毛寺生態實驗小學的設計與建設，旨在於當地有限的經濟與資源條件下，遵循「高科學、低技術」的理念，探索一條切實可行、行之有效、具有廣泛適宜性的生態建築模式，並對當地村民日常的建設活動起到積極的示範和指導作用。而其所應遵循的設計原則可以被概括為以下四點：

(一) 減少能源消耗。盡可能地避免高能耗、高污染材料的使用(黏土磚、水泥等)；並減少建造過程中所產生的能耗和污染。對於學校教室而言，應在達到令人滿意的室內舒適度的前提下，最大限度地減少建築在四季中的運行能耗，包括採暖和製冷。這就需要選擇適當的建築材料和技術，增強建築外圍護結構的絕熱和保溫性能。

(二) 自然能源的利用。為進一步減少石化能源(煤、石油、天然氣等)的消耗，學校建築應盡可能地利用自然能源(如太陽能 and 風能)來提高室內環境的舒適度。

(三) 就地取材，減少對周邊環境的破壞。一方面，建築應順應地形，避免過多的開挖和對原有場地的破壞；另一方面，在保證耐用性的前提下，要盡可能地運用當地可再生和可降解的自然材料。

(四) 低造價、易操作。為使項目建設對於當地居民具有廣泛的借鑒和推廣意義，應通過發掘、利用和改進當地傳統建造技術與運用本土材料，最大限度地降低工程造價，達到當地居民可接受的建設水平。並且，所運用的建造技術應盡可能地簡單易行，以便當地村民操作和自行建造。

三 基於傳統建築技術的生態建築設計與研究

新學校基地選址在毛寺村中心的一片南台地之上，三面黃土丘陵環抱，南面向蒲河敞開，具有良好的微氣候和景觀條件；可以說是傳統風水學中的理想營造之地。

學校的設計與建造是以一個科學化且具推廣性的設計與研究方法為基礎的，主要包含三個基本階段：

(一) 實地調研與現狀分析階段。自項目伊始，我們便帶領學生對當地建築發展現狀和現有的研究成果展開大量的調研與分析。通過對當地多類型建築的研究實測發現，經過千百年的演化和發展，在當地以黃土和植物材料為基礎的生土建築形態中，蘊含着大量具有借鑒意義的生態元素。而與之相配套的建造技術，操作簡單易行，在自建農宅的過程中已成為許多村民所熟練掌握的基本技能。儘管這些材料和技術還存在一些防水方面的缺陷，但在生態可持續發展的指導思想下，完全可以被繼承、改進和發揚。

(二) 模擬實驗研究階段。為進一步優化教室的生態設計策略和驗證適宜性建造技術的運行效果，我們利用高科學手段進行了深入的計算機熱學模擬研究。該模擬研究以當地的自然材料和傳統技術為基礎，以提高生態可持續性和可行性為目標，將當地常用的建築設計手法和相應的技術相結合，通過篩選和優化，引入到教室的設計中；從中歸納出一系列可以有效提升教室熱特性、行之有效的生態建築技術，從而使得在建築運行過程中，不需要消耗任何燃料，教室內便

可獲得較為舒適的熱環境。通過多方案對比模擬發現，引入基於生土和自然材料的絕熱和蓄熱體（如土坯牆、屋頂保溫層等），結合生態建築的設計手法，是在該地區改善建築熱性能最為有效和經濟的方法，可以在保證熱舒適度的同時，極大地減少建築所消耗的能源和對環境的破壞。

（三）設計與施工建造階段。該學校的設計策略可概括為：基於生土和自然材料以及當地傳統的建造技術，運用現代生態建築的設計手法，以最小化的造價、能耗和環境污染，創造出舒適愉悅的建築環境。在總體規劃中，所需的十間教室以兩間為一組，被劃分成五個單元，沿着東西方向向南布置在兩個不同的台地之上。這不僅有助於每間教室可以最大限度地引入自然採光和用於冬季採暖的太陽能，而且利用地形可以加大夏季南風對於教室自然通風的積極作用，並減少冬季北風所造成的衝擊。室外場地被教室自然圍合成兩個不同標高的開放空間。其中，被教室環繞的場地作為內向休憩花園，配以大量的樹木和花草，以及有組織的花架和石凳椅，可供孩子們課間休息和玩耍。另一標高的場地北靠教室組群，面南開放，作為孩子們室外活動和鍛煉的操場。整個學校的主要通路和休憩空間，由毛石網狀鋪地與花壇貫穿於綠樹陣列之中，使得即便在夏季，整個校園都能擁有一個涼爽的室外微氣候。

結合計算機模擬的結果，在初步構思過程中，通過綜合對比與分析不同的結構與建築形式，我們最後發現，當地傳統的樑柱木框架結構的單坡屋頂民居具有最大的結構、空間和建造靈活性，可引用到教室的設計之中。

在每個單元中，兩間教室並肩而置。每間教室的面積為54平方米（6×9），可向五十名學生提供寬敞的使用空間。為順應地形，教室單元嵌入所在台地，北側為半地下牆體，前牆面南開敞，這不僅可以減少對原有地形的破壞，而且能極大地提升總體結構的保溫絕熱性能。牆體、屋面、門窗等圍護結構主要以生土製品和木材、麥草、蘆葦等自然材料為主，具有良好的熱學特點，可以有效地阻隔和緩解室外氣候的變化對室內環境的衝擊，達到冬暖夏涼的效果。牆體由厚達1米的土坯磚砌體構成，具有優越的蓄熱作用和結構穩定性。牆體內外表面由常用的麥草泥粉飾；為彌補生土材料防水性能較差的缺點，自然的毛石材料被用來砌築牆體基礎，可以有效地除濕阻潮；並且在牆面的麥草泥中加入了少量的生石灰，可以極大地減少雨水的侵蝕。作為對當地傳統單坡屋頂的改進，屋面在原有蘆葦、麥草泥和小青瓦的基礎上加入了聚苯乙烯保溫層，使其更為有效地阻隔夏季的太陽輻射熱和減少冬季的屋面熱損失。對於在常規建築中最大的熱損失構件——門窗，採用木製骨架、雙層玻璃，在保證自然採光的前提下使門窗的熱損失減到最少。

與此同時，為進一步提升教室的總體環境效果和順應孩子們的活動特點，設計中還加入了許多細部處理。例如，根據位置的不同，部分窗洞採用切角處理，可以使自然光的入射量最大化，保證室內具有充足的自然採光，以減少電力照明的使用時間。在厚達1米的土坯牆體上加入了局部凹陷處理，並附以書架、座椅等功能，不僅滿足了功能需要，而且為室內空

間添加了許多趣味性。另外，南側走廊預留出未來加設太陽間的充足進深，使得在夏季發揮遮陽作用的同時，在冬季可以充分地引入太陽能，減少取暖燃料的消耗。

四 回歸傳統的營造模式

千百年來，在黃土高原的農村地區，村民建房始終保持着自給自足的建造傳統。主人通過收集積攢的形式，預備好建房所需的木材、麥草、蘆葦等自然材料，然後邀請本村親友幫忙合力建造自己的農宅。同樣，在毛寺村，幾乎每個村民都熟知和掌握傳統生土民居的建造方法和技術。因此，生態實驗小學的施工人員全都是本村和周邊地區的能工巧匠。在施工過程中，對於每一個建造細節的推敲都來自於設計人員和這些匠人的共同探討和反覆實驗。這不僅可以最大限度地發掘和挽救值得繼承的傳統建造技術，而且有助於利用現代的生態建築理念和技術將其加以改進和發揚。

為確保施工能夠嚴格地依照設計進行，項目成員親自駐守在毛寺村，與工匠針對每一個細節展開了進一步的探討和試驗，同時根據實際條件對原有設計不斷進行修正。

由於該方案所使用的適宜性技術本身的簡單易行性，施工過程中無需引入常規建築必需的大型機械。除平整土方所必需的挖掘機以外，所有工具均為農村常用的手工工具，如鐵鏟、泥摸、手鋸、木椽支架等。因此，整個施工所產生的能耗和污染遠遠低於常規的建造形式。與此同時，除少量的鋼構架、玻璃、聚苯乙烯保

溫板和來自於附近的可持續林場用於門窗屋架的松木以外，所有生土製品和自然材料均為就地取材。比如，麥草、蘆葦等均產自周邊農田和土丘；並且，由於這些材料所具有的可再生性，所有的邊角廢料可通過簡易處理，立即投入再利用。例如，牆體所需的土坯磚是由挖掘基礎所產生的黃土手工壓製而成。而在砌築過程中所產生的邊角料塊，可被碾碎摻拌在麥草泥中，再用於黏結劑和牆體粉飾。屋面所需的小青瓦雖屬燒鑄材料，但它們是從周邊被廢棄和拆除的傳統建築中回收而得；由於其本身的耐用性（壽命可超過二百年），這些再利用的小青瓦，仍能發揮長期的作用。

除去雨天無法施工以外，整個第一期工程（八間教室）的施工持續兩個多月。在此過程中，可以見得，在保證施工質量的前提下，這種源於當地的傳統建造形式和適宜性技術，使施工過程所產生的能耗和對周邊環境的污染得以最小化，充分地貫徹了生態建築的基本原則和策略。

五 生態建築的希望之路

新教室的直接造價（包括材料、人工與設備）只是每平方米422元（港元），遠低於當地由黏土磚和混凝土建造的常規學校建築。而根據對教室在過去一年使用過程中的觀測發現，與當地常規的學校建築相比，新建教室的室內氣溫始終保持着相對穩定的狀態，可謂冬暖夏涼。即便在2008年初罕有的嚴冬，無需任何燃料採暖，教室仍可維持舒適且空氣清新的室內環境。

從該項目建成的效果來看，總體而言，有三點值得強調。首先，新學校為孩子們創造了一個舒適、宜人的學習環境。在熱工性能、能源消耗與環境保護方面，其生態可持續效能遠優於當地常規的建築；其次，由於施工建造大量地僱用了當地的村民，作為慈善項目，除了學校本身絕大部分的社會捐助得以惠及這個村落外，更重要的是，從這個學校項目中，村民得以重新認識當地的傳統。新學校的建造向他們詮釋了一條適合於黃土高原地區發展現狀的生態建築之路。在有限的經濟基礎下，村民完全可以利用所熟知的傳統技術和隨地可得的自然材料，在改善自身生活條件的同時，最大限度地減少對環境的污染和破壞，並實現人與建築、自然的和諧共生。該項目的總結報告已初步完成，以供未來的出版和推廣。我們的工作還將繼續下去，不僅僅是為了一所學校，而是為整個地區生態建築的發展進行更加有意義的研究與示範。

迄今為止，該項目有幸獲得了2009年英國皇家建築師協會「國際建築獎」(RIBA International Award)、2009年聯合國教科文組織亞太地區文化遺產保護獎 (UNESCO Asia-Pacific Heritage Awards for Culture Heritage Conservation programme)、2008年世界建築節嘉許作品 (World Architecture Festival Awards)、2008年亞洲設計最高榮譽獎、2008年中國建築傳媒最佳建築獎等一系列獎項。由此可以反映出，毛寺生態實驗小學的設計和建造，為多彩紛呈的世界生土建築以及生態建築的研究和發展，提供了一個富有啟發意義的生動案例。這也鼓舞我們沿着這條扶助貧困的希望之路，

不斷探索前進，通過親身示範讓當地村民逐漸理解甚麼才是一所「好」的鄉村建築，如何才能在改善自身生活的同時減少對環境的污染和破壞，並實現人與建築、自然的和諧共生。

最後，引用毛寺生態實驗小學校長的一句話作結：「從現在開始，學校不再需要燒煤來取暖了，省下來的錢可以為孩子們多買一些書了。」

註釋

① 參見www.eartharchitecture.org。

② Brenda and Robert Vale, *Green Architecture: Design for A Sustainable Future* (London: Thames and Hudson, 1991); Tom Woolley et al., *Green Building Handbook: A Guide to Building Products and Their Impact on the Environment* (London: E & FN Spon, 1997-2000); Andrea Keenan and Danielle Georges, eds., *Green Building: Project Planning and Cost Estimating: A Practical Guide for Constructing Sustainable Buildings: Cost Data for Green Materials, Components & Systems, Special Project Requirements, Financial Analysis & Incentives* (Kingston, MA: R. S. Means, 2002).

③ Adrian Smith, "Alternative Technology Niches and Sustainable Development", ESRC Sustainable Technologies Programme, working paper, no. 2003/2, *Innovation: Management, Policy & Practice* 6, no. 2 (2004): 220-35.

④ Dean Hawkes, Jane McDonald, and Koen Steemers, *The Selective Environment: Approach to Environmentally Responsive Architecture* (London; New York: Spon Press, 2002), 7.

吳恩融 香港中文大學建築學系教授

穆鈞 香港中文大學建築學系博士生