

影響既有建築綠色改造之關鍵建築設計因素

郭建昌¹

摘要

在當今營造可持續發展的人類家園背景下，發達國家的綠色建築發展方向已由新建建築轉向既有建築²的改造再利用。本文以廣州地區既有建築之綠色改造³中的建築設計要素為研究對象，以文獻回顧與參與式觀察為研究方法，探究影響綠色改造成效之建築設計要素中的關鍵因素。研究中運用了管理學中的多準則決策⁴分析方法，在專家訪談和問卷調查的基礎上，經DANP (DEMATEL based ANP) 方法統計後，獲得八項在既有建築綠色改造中影響建築設計之關鍵因素；再通過IPA分析，獲得各關鍵要素之績效值與重要度，據此分析建築設計評價要素中的急需改善、持續保持、重新思考和可能過分重視等要素。研究結果為：1.建構了八項影響綠色改造之建築設計的關鍵因素並繪製網絡關係圖；2.影響綠色改造的非關鍵因素中，發現有五個指標相對其他要素而言重要度較低，反映出該指標在綠色改造過程中的重視程度不夠；3.消防設計作為安全的重要組成內容，其績效值偏低，顯示出有進一步改善提升的必要。本論文的研究結果有助於建築師掌握綠色改造的建築設計專業的關鍵要素及相互關聯性，利於提高設計時效，可作為未來完善「既有建築綠色改造評價標準」的參考。

關鍵詞：既有建築、綠色改造、網絡分析法 (ANP)、決策試驗和評估實驗室 (DEMATEL)

¹中原大學設計學博士學位學程博士生

²既有建築：包括已建成的居住建築、公共建築及工業建築 (王清勤、王軍亮，2016)

³綠色改造：綠色改造是以節約能源資源、改善人居環境、提升使用功能等為目標，對既有建築進行維護、更新、加固等活動 (王清勤、王軍亮，2016)

⁴多準則決策分析：又稱為多準則決策輔助 (Multi-Criteria Aid, 簡稱 MACD)，包括計劃或方案、目標、屬性、評估準則、績效值、決策者偏好及資訊等內容分析，需建構決策者偏好，然後利用各種方法進行分析 (鄧振源，2012)

投稿日期：2018年10月18日；第一次修正：2019年04月26日；接受日期：2019年05月17日。

Key Architectural Design Factors Affecting Green Retrofitting of Existing Buildings

Jian-chang Guo

Doctoral candidate, Chung Yuan Christian University, Program in Design

Abstract

In the context of building a sustainable human homeland today, the development direction of green buildings in developed countries has shifted from new buildings to the transformation and reuse of existing buildings. Taking the architectural design elements in the green retrofitting of the existing buildings in Guangzhou as the research object, this paper takes the literature review and the participatory observation as the research method to explore the key factors in the architectural design elements that affect the effect of green retrofitting. In the study, the multi-criterion decision analysis method in management was used, and on the basis of expert interview and questionnaire survey, eight key factors of architectural design in the green retrofitting of existing buildings were obtained by DANP (DEMATEL based ANP) method, and then through IPA analysis, The performance value and importance of each key element are obtained, and the factors such as urgent improvement, continuous maintenance, rethinking and possible excessive attention in the evaluation elements of architectural design are analyzed. The results are as follows: 1. Constructing eight key factors affecting green retrofitting and drawing network Diagram; 2. Among the non-key factors affecting green retrofitting, five pointers were found to be less important than other elements, reflecting the insufficient importance of the pointer in the green retrofitting process; 3. Fire protection design as an important component of safety, although it could not be included the key elements of green retrofitting evaluation, but its low performance value, shows that there is a need for further improvement and promotion. The research results of this thesis are helpful for architects to master the key elements and correlations of green retrofitting architectural design specialty, which is beneficial to improve the design prescription, and can be used as a reference for perfecting the evaluation standard of "green retrofitting of existing buildings" in the future.

Keywords: Existing Building, Green Retrofitting, Analytic Network Process (ANP), Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)

壹、緒論

一、研究動機和意義

自十九世紀以來，工業革命給人類帶來了諸如能源短缺、空氣、水、聲、光、熱的污染和熱島效應等嚴重的環境問題。2001年，依據IPCC第三次全球評估報告，20世紀全球表面溫度上升了 $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ (Stocker et al., 2013)，氣候變暖，生態環境惡化使全球氣候變化異常，導致地質災害與災難性氣候事件頻增。當前，為營造可持續發展的人類家園環境，發達國家的綠色建築發展方向已由新建建築轉向數量巨大的既有建築改造。歐洲制定的路線圖和長期戰略顯示，既有建築的節能改造已經成為主要工作(王俊、李曉萍、李洪鳳，2017)。江森自控公司(Johnson Controls Ins)2012年在全世界範圍的調查結果顯示，44%的受訪者認為既有建築應該進行綠色改造，比2011年調查結果增長了9%(王俊、王清俊，2016)。

「中國能源綜合發展戰略與政策研究報告」顯示，中國大陸已成為世界第二大能源消費國，但能源使用效率遠低於世界平均水準(中國能源發展戰略與政策研究報告課題組，2004)。建築業能耗在能源消耗中的份額已經超過27%(江億、彭琛、燕達，2012)。與新建建築相比，既有建築由於歷史原因往往缺乏建築節能或綠色設計，導致目前95%以上的既有建築為高能耗建築，面積占5%的大型公共建築的用電量已趨近於全部住宅的用電量(江億，2011)。據統計，截至2013年，既有建築面積已達500億平方米(王俊，2013)，而既有建築物的綠色改造是減少碳足跡的直接方式(Yu et al., 2011)。隨著大陸經濟結構調整，既有建築的節能和改造成為都市建設的工作重點，也是未來的發展趨勢，如廣州的「三舊改造」與都市更新(王世福、沈爽婷，2015)。在綠色改造中也呈現新的情況，如改造後的立面常會整齊劃一，或因過度設計而導致與街區景觀面貌難以協調。此外，綠色改造過程中往往忽視了安全性能中的消防設計(陳筱軍，2014)，導致後續工程的反覆整改或是留下安全隱患。當前，綠色改造存在以下幾個現象：

1. 綠色改造概念不清。既有建築綠色改造過程中，認為節能即為綠色改造，而節能設計是綠色設計的重要環節之一，認識缺陷導致設計偏差，反映在近年來綠色建築流於表面，出現諸多技術堆砌(丁建華，2013)，偽綠色建築(林憲德，2007)，營運評價標識較低(黃麗豔，2017)的現象。
2. 現行綠色改造評價要素不足。隨著2016年中國大陸頒布「既有建築綠色改造評價標準」，對綠色改造起到指引和規範指引(王清勤、王軍亮，2016)，然而實際運行過程中，陸續發現綠色改造的評價要素不足或表述缺乏全面性，缺乏針對不同氣候的有效指標。
3. 綠色改造評價的關鍵因素模糊。既有建築綠色改造評價標準的內容較多，分別涉及都市計劃與建築、結構與材料、暖通空調、給水排水、電氣與照明、施工管理、運營管理與提高創新等方面，其中部分內容與建築方案設計內容關聯性不大，建築師在策劃方案階段難以合理有效的抓住重點(丁建華，2013)。
4. 綠色改造評價因素不夠全面。既有建築綠色改造的實踐過程中，項目營運的安全性為重要領域，既有建築改造的安全主要包括結構安全和消防安全，結構安全在建造過程中還有結構安全鑒定、超限審查以及專家論證，可通過結構補強方式去完善結構安全(邱小壇、周燕，1992)。而消

防安全涉及大陸建築消防規範的新舊更替和執行的標準、尺度問題，尤其是歷史建築的改造再利用。自二十世紀八十年代以來，大陸已經先後發佈五個版本的消防設計法規⁵。既有建築的改造較難完全滿足新的消防規範（陳筱軍，2014），前期改造方案重視不足，將導致綠色改造難以滿足現行消防要求。

綜上所述，既有建築不同於新建建築，具有以下特點：改造的安全隱患高、地方建築文化特色的傳承不足、改造建築數量的巨大以及日常使用能耗高等，故既有建築可供綠色改造的提升空間大。由於大陸地域廣闊，針對不同氣候地域特徵去研究適合地方氣候的綠色設計，具有一定的緊迫性和必要性（高原，2014）。事實上，既有建築改造後的空間形態影響著都市景觀，其社會價值體現在建築文化的多樣性以及地方特色上（王俊、王清俊，2016）。基於上述既有建築綠色改造的現狀，本研究選擇建築設計專業要素作為影響既有建築綠色改造效果的因素，探究影響綠色改造效果的關鍵因素。研究結果有助於建築設計師理解綠色改造中建築設計專業要素的關聯性，利於把握綠色改造過程中建築設計構思的關鍵因素，從而提高設計時效，同時可作為未來完善「既有建築綠色改造評價標準」的參考。

二、研究範圍和限制

(一)研究範圍

本研究的範圍為廣州可改型既有建築，廣州是以濕熱氣候為典型特徵的嶺南歷史文化名城，所謂可改型既有建築是要求既有建築在改造前須滿足結構安全評估，改造後則須滿足現行「既有建築綠色改造評價標準」規範中不小於“一星級”綠色認證的要求；由於很少有綠色評價系統會留在施工階段去解決綠色問題（Waidyasekara, De Silva, Rameezdeen, 2013），故本研究限於綠色改造的建築策劃方案階段，所涉及的技术為方案階段的建築設計專業內容，要求以滿足南方濕熱地區氣候特點，暫不考慮影響綠色改造的政策法規、市場、造價、機電設備及經濟性等要素的影響。

(二)研究目標

研究的具體研究目標為：

1. 建立影響既有建築綠色改造之關鍵建築設計因素的研究架構。
2. 識別影響綠色改造建築設計的關鍵因素，分析關鍵因素間的因果關係，繪製關鍵因素之網絡圖。
3. 通過 IPA 分析研究各建築設計因素的績效值及重要度，獲取相關資訊。

(三)概念界定與限制

1. 既有建築：在本研究中，主要是針對已建成的，結構體系尚能滿足國家安全要求，經評估具有一定再利用價值，為滿足社會發展需求而需要改造的建築物。
2. 綠色改造：綠色的概念源於 1960 年代末期的歐洲，是環保運動的激進變體。本研究將綠色改造定義為對既有建築的維護、更新、加固等活動，以達到節約能源資源、改善人居環境、提升使用功能的目的。

⁵五個版本的消防規範分別是：建築設計防火規範 GBJ16-87（2001 年修訂版）；高層民用建築設計防火規範 GB50045-95（2005 年版）；高層民用建築設計防火規範 GB50016（2006 年版）；建築設計防火規範 GB50016（2014 年版）；建築設計防火規範 GB50016（2018 年版）

3.被動式設計：在建築設計中充分利用基地環境所給予的優勢，在考慮地形、朝向、視野、自然景觀以及環境的基礎上，通過對建築選址、外立面處理、空間佈局的精心設計而達到生態環境保護、交通流暢、自然通風與採光，減少噪音和光污染，滿足降低能耗減少碳排放的目的（李嬋，2015）。

貳、文獻探討

關於既有建築綠色改造的評價標準，已經有一些有益的研究成果。在國外使用綠色改造評價標準較為廣泛，較為成熟的發達國家有美國、英國、德國、日本、澳大利亞和新加坡。

LEED(Leadership in Energy and Environmental Design, LEED)是由美國綠色建築委員會(U.S. Green Building Council, USGBC)開發，最新v4版本並沒有專門針對既有建築改造評價的內容，原因是美國的節能工作開展較早，故改造與新建項目執行統一的評價標準，針對改造項目的特點，評價標準著重於對交通、可持續敷地等室外部分的提升改善(王俊、王清勤、葉凌，2106)。

「英國建築研究院環境評價標準」(Building Research Establishment Environmental Assessment Method, BREEAM)是由英國建築研究院(Building Research Establishment, BRE)於1990年發佈的世界上首個綠色建築評價標準，其特點是包括建築全壽命週期的各個階段，其中就包括綠色改造的版本(Non-Domestic Refurbishment and Fit-out)。在最新的既有住宅改造的評價指標與權重中，新增防火(Hea06)條文，且其權重占1.4%。在既有非住宅建築版本的評價指標中，還設置了視覺舒適性與安全性評價準則，其中視覺舒適性占3-7分，安全性占1分(王俊、王清勤、葉凌，2106)。

德國對既有建築的改造標準較為全面，包括滿足歷史建築保護、結構安全、節能、健康舒適(採暖製冷、空氣品質、視覺舒適和聲學等)和建築物理(防水、防潮、防結露、防噪聲等)內容，初試認證階段包括了既有辦公建築的改造和商業建築的裝修等內容(王俊、王清勤、葉凌，2106)。此外，認證標準重點突出造型品質的保護，標準將既有建築的類型分為兩大類，分別是具有文物特徵和不具有文物特徵的建築，然後從文化意義、紀念區域、造型品質、環境品質、結構構件等鑒定其價值，從既有建築的現狀和再利用提出相應評價，尤其是對文物類做出特別的判定與保護措施。此外，把視覺舒適性、安全性、故障風險等均納入可持續建築的認證標準。

日本的「建築物綜合環境性能評價體系」(Comprehensive Assessment System for Building Environment Efficiency, CASBEE)是由日本政府、企業和科研三方面共同開發的成果。CASBEE是在全壽命期內包含計劃、新建、運營和改造4個評價工具，著重於從聲、光、熱、氣、能源、資源、材料和室內外環境進行評價準則的設定(王俊、王清勤、葉凌，2106)，標準中未對改造的造型與消防安全進行闡述，但提出抗震、減震等評價準則。

澳大利亞的「綠色星級評價標準」(Green Star)是由綠色建築委員會(GBCA)開發並實施，標準對建築項目的選址、設計、施工和維護所造成的環境影響進行評估，其評價方法類似於美國LEED和英國BREEAM標準(王俊、王清勤、葉凌，2106)，不同之處在各分項的權重值不同，在安全性方面特別對消防設計提出指標要求，且權重分占2分。

由新加坡建設局 (Building and Construction Authority, BCA) 負責編制、發佈和管理的「綠色建築標誌」 (Green Mark) 未區分新建與既有建築的評價標準，也未對視覺效果提出要求，在安全性方面未對消防安全提出措施，但評價體系中含有居民反饋和評價的要求 (王俊、王清勤、葉凌，2106)，且權重占4分。

在香港，針對既有建築的綠色改造採用不同於綠色建築的評價標準，其主要方法是採用綠色審計獎 (GAA)，該方法並不是一種綠色評級技術，但它是評估現有建築物的工具，其目的在於確定綠色潛力，以便建立改善能源的計畫 (Leung, 2018)，方法上更加注重關愛社區老人、環境和改造前期的評估。

綜上所述，發達先進國家的綠色評價體系包括了經濟、環境和社會等多個領域 (ALTIM, 2016)，英國、德國、澳大利亞的綠色評價體系中均針對消防安全性提出評價標準與權重，英國和德國、日本還特別重視視覺舒適性和對既有建築的文化價值屬性的評估與保護措施，此外，英國的環境評價標準 (BREEAM)、澳大利亞的綠色之星 (Green Star)、日本的建築物綜合環境性能評價體系 (CASBEE) 以及美國的能源與環境設計先鋒獎 (LEED) 都是以單體建築物及其周邊敷地環境為對象，以綠色評價準則的方式來進行評估，如能源消耗或者室內空氣品質，然而忽視了從更大的系統 (鄔尚霖，2016)，未從區域性的都市環境的角度去評估。

在中國大陸，建設部2016年公佈「既有建築綠色改造評價標準」，該標準將既有建築綠色改造的評價分為設計評價和運行評價，在明確節能改造是綠色改造的重要組成部分的同時，綠色改造還包括敷地交通、環境整治、結構安全、噪聲控制、光污染控制以及施工營運管理等。該標準未涉及不同氣候區域的評價細則，缺乏消防安全的闡述，關於外立面改造部分僅從造價成本控制的角度來進行規定，評價標準中缺乏視覺舒適性的闡述，也缺乏對既有建築文化價值的評價。

關於既有建築綠色改造的研究論文，成果主要集中在綠色評價標準中。來自大陸的學者丁建華在「公共建築綠色改造方案設計評價研究」的博士論文中，提出綠色改造設計方案評價思路，並構建了相對完整的改造方案設計的綠色評價體系 (丁建華，2013)，高原在「整合碳排放評價的中國綠色建築評價體系研究」的博士論文中，提出了構建整合碳排放評價的中國綠色建築評價體系框架 (高原，2014)；黃麗豔在「中國綠色建築評價指標體系應用研究」的博士論文中，從評價因素的影響權重進行比較分析，上述研究成果缺乏關於地域性、氣候性、安全性和文化性的評價要素，但採用了管理學的評價指標與權重等研究方法；劉莉在「既有校園建築綠色改造評價指標體系研究」中，也採用管理學領域中的層次分析法、模糊數學原理來確定評價指標的權重 (劉莉、張言韜、武一，2017)，但指標中缺乏安全性與文化性的要素；台灣學者謝仕煌在「綠建築補助運用於建築物整建維護之研究」論文中提出補助整建維護應用之評估指標體系，研究成果中提出評估指標的重要性依次為：環境安全、自然資源和創新 (謝仕煌，2012)。

綜上所述，海峽兩岸的論文研究成果多侷限於綠色建築評價體系中，從建築設計專業的角度出發，對既有建築綠色改造中關鍵建築設計因素的研究卻付之闕如，尤其是針對既有建築綠色改造的消防安全評價標準較少，也未涉及不同氣候區域的評價細則，缺乏外立面改造對既有建築文化價值品質的評價，也缺乏視覺舒適性的闡述。故多數研究成果還集中在經濟與環境領域，涉及社會領域的評價準則很少。因此，結合國外較為成熟的現行綠色建築或綠色改造標準，在現有的

「既有建築綠色改造評價標準」框架基礎上，建立起適合地方氣候的綠色改造建築設計要素及其關鍵因素，有助於建築師抓住項目綠色改造的建築設計方案構思的關鍵，找出體現項目特點的適宜性被動式節能技術，形成真正利於業主，利於社會的綠色改造方案。

三、研究設計

本研究結合綠建築領域的專家（主編國家行業標準）和曾經獲得美國LEED鉑金獎項等資深建築師的意見，將綠色改造所涉的大量建築設計資訊化繁為簡，對建築設計要素的內涵進行推敲，整理出影響綠色改造效果的架構與準則，據此討論影響既有建築綠色改造的關鍵建築設計因素。具體步驟如下：

- 1.基於綠色改造建築設計要素的文獻回顧、資深專家訪談與參與式觀察，整理出4項評估構面與16項準則。
- 2.以16項準則為內容形成問卷，發放、整理問卷並分析問卷數據，獲得設計準則間的直接影響矩陣問卷。
- 3.以DANP⁶法（DEMATEL based ANP）分析問卷，獲得影響綠色改造的建築設計關鍵因素，探究因素間的因果關係並獲得網絡圖。
- 4.通過IPA⁷完成各要素分析，獲取急需改善提高的因素，並從中獲取相關結論和建議。

一、正式研究架構的確立

研究者於2018年2月走訪了部分廣州大型甲級設計公司和高校研究機構，通過與資深設計人員的訪談，獲得綠色改造的建築設計要素的資訊並進行拆解。研究以圖1所示之雛形架構為基礎，透過與資深專家的討論形成評價準則的架構。資深專家由獲得美國LEED認證鉑金獎的加拿大籍資深建築師、中國大陸綠色建築研究領域的專家教授（參加國家綠色建築行業標準編制）、獲得中國大陸綠色三星級獎項項目的資深建築師和從事建築教育的資深教師組成，上述資深專家均來自廣州或在廣州地區生活二十年以上。研究於2018年5月進行了第一次準則增刪，依據資深專家所給予的建議，對架構之構面進行修正；2018年6月據此研究架構進行第二次資深專家訪談，將討論意見反映在16個準則中。其中，結合研究者參與式觀察，將綠色改造的工程經驗與文獻回顧中發達先進國家的改造標準結合，增加了安全性中的消防設計準則，並將既有建築文化價值通過建築立面改造的完善形式，體現在立面改造協調性的準則中。研究依據準則對應的資訊內容，確定了一個包含敷地設計、單體設計、維護結構、建築環境四個構面，共計十六項準則的正式研究架構，同時整理出最終的準則定義，如表1所示。

⁶DANP法是DEMATEL based ANP的簡稱，其中的ANP係以AHP的運作為基礎，包含四個主要步驟，分別是：1.描述問題，決定優先問題的所有因素，建構網絡圖；2.產生群組優先權矩陣，就相依性的因素進行成對比較，產生優先向量（priority vectors）；3.將所有優先向量（priority vectors）放置於超級矩陣的適當位置，將未加權超級矩陣轉換為超級矩陣，由加權超級矩陣直至獲得極限超級矩陣；4.就極限超級矩陣的各個區塊進行正規化，由正規化後的極限超級矩陣讀出各群組與要素的相對權重（Meade & Sarkis, 1999; Saaty, 2001）。而DEMATEL based ANP是以DEMATEL的總影響矩陣直接做為ANP的未加權超級矩陣，免除成對比較問卷的製作

⁷IPA是importance-performance analysis的簡稱，在管理學中又稱之為重要度-績效值分析，該方法的主要目的在於以準則的績效值與相對重要性，來檢視急須改善、持續保持、過分重視以及無序關注的指標（胡宜中、邱永亮、蔣鵬，2017）

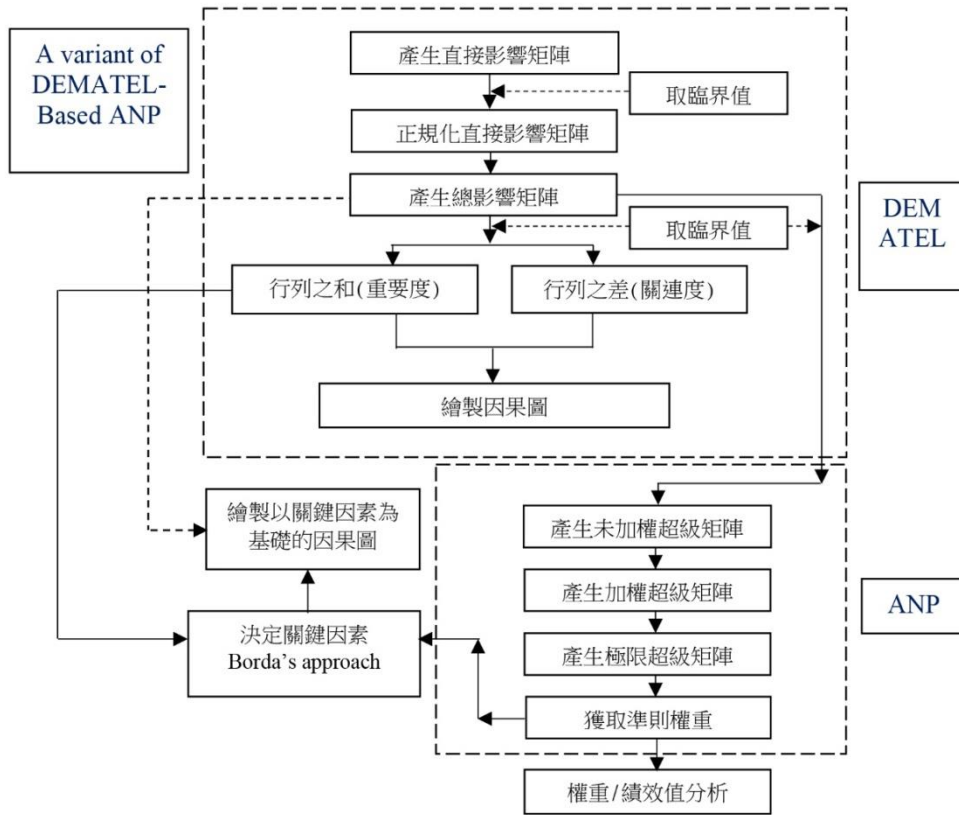


圖 1 本研究基本框架

資料來源：胡宜中、邱永亮、蔣鵬(2017)，結合決策實驗室法與網路程式分析法評估烘焙師傅於國際競賽獲獎之關鍵因素

問卷發放所面向的人員主要包括在一線有經驗的主創建築師、建築設計專業領域中曾經指導學生參加相關競賽之教師，從事房地產開發的建築設計管理人員，建設工程管理領域的資深公務員，參與問卷調查的專家背景如附錄所示。具體參與問卷調查的成員包括：廣州地區的資深綠色建築專家5名、設計院建築師5名、房地產或甲方管理人員3名、高校建築設計領域的學者6名，組成19人的課題研究小組，其中，國家一級註冊建築師共有7名，發放問卷19份，收回的有效問卷17份。

二、準則間因果關係及關鍵因素的確定

(一)方法介紹

準則間因果關係及關鍵因素的確定方法有許多種，其中的決策實驗室分析法（Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL）是通過因果關係圖確定系統內各元素的相互關聯性（Tzeng, Chiang, & Li, 2007），再從眾多影響因素中識別出根本性的影響因素（Wu, 2008），該方法是產生網絡圖的有效工具。本研究運用DEMATEL與ANP共同彙整兩種訊息（Hu, Chiu, Hsu, & Chang, 2015），以決定綠色改造中建築設計要素間的關鍵因素，再由此繪製出關鍵因素間之因果圖，該方法的優點在於可大幅簡化因果關係圖，有利於聚焦關鍵因素間之因果分析。當一個關鍵因素有箭頭指向其他關鍵因素時，代表前者是影響後者的最大關鍵因素。此外，基於DANP的因果圖，本研究再進一步使用重要度-績效值分析（importance-performance analysis, IPA）以決定出發點（starting points）。

表 1 既有建築綠色改造建築設計相關資訊知識列表

構面	準則	準則描述
敷地設計 (A)	A1 敷地交通流暢	敷地車行、人行路線設置合理，滿足交通需求，敷地內無障礙設施完善，且與敷地外人行通道無障礙連通；
	A2 保護周邊生態	保護既有建築周邊生態環境；合理利用既有構築物、構件和設施
	A3 機動車停放合理	自行車停車設施位置合理、方便出入，有遮陽防雨措施；機動車停車設施採用地下停車庫、立體停車庫等方式節約集約用地；合理設計地面停車位，未擠佔步行空間及活動場所
	A4 敷地綠化合理	居住建築敷地綠地率達到 25%，公共建築綠地面積、屋頂綠化面積之和與敷地面積的比例達到標準；敷地綠化採用喬、灌、草結合的複層綠化，且種植覆土深度和排水能力滿足植物生長需求。
	A5 滿足敷地透水	敷地內硬質鋪裝地面中透水鋪裝面積的比例達到 30%
單體設計 (B)	B1 功能分區最佳化	建築功能空間分區合理，交通動線順暢；建築室內無障礙設施與室外無障礙設施連通，滿足《無障礙設計規範》GB 50763 的要求
	B2 立面協調統一	改擴建後的建築風格協調統一，展現地方傳統建築文化特色；建築新增裝飾性構件的造價不大於改擴建工程總造價的 1%
	B3 空間分隔靈活	公共建築室內空間能夠實現靈活分隔與轉換，面積不小於 30%
圍護結構 (C)	C1 被動式節能措施	合理採取外遮陽措施；對於居住建築，通風開口面積與房間地板面積的比例，達到 10%；合理採用引導氣流的措施；
	C2 熱工性能良好	建築圍護結構熱工性能比原有圍護結構提升幅度達到 35%，由圍護結構形成的供暖空調全年計算負荷比原有圍護結構的降低幅度達到 35%；圍護結構中屋頂、外牆、外窗（含透光幕牆）部位的熱工性能參數優於國家現行有關建築節能設計標準規定值 5%；由圍護結構形成的供暖空調全年計算負荷不高於按國家現行有關建築節能設計標準規定的計算值。
	C3 房間隔聲標準	外牆、隔牆、樓板和門窗的隔聲性能優於現行國家標準《民用建築隔聲設計規範》GB 50118 中的低限要求

表 1 既有建築綠色改造建築設計相關資訊知識列表 (續)

建築環境 (D)	D1 敷地噪聲標準	敷地內環境雜訊符合現行國家標準《聲環境品質標準》GB 3096 規定的限值
	D2 改善風環境	典型風速和風向條件下，建築物周圍人行區風速低於 5m/s，且室外風速放大係數小於 2；過渡季、夏季典型風速和風向條件下，敷地內人活動區不出現渦旋或無風區
	D3 無光污染	玻璃牆可見光反射比不大於 0.3，或不採用玻璃幕牆；室外夜景照明光污染的限制符合現行行業標準《都市夜景照明設計規範》JGJ/T 163 的有關規定
	D4 改善採光環境	居住建築中，起居室、臥室的窗地面積比達到 1/6；公共建築中，主要功能房間 70% 以上面積的採光係數滿足現行國家標準《建築採光設計標準》GB 50033 的要求
	D5 滿足消防規範	滿足《建築設計防火規範要求》GB 50016-2014 的要求

資料來源：本研究整理

(二) 準則因果關係確定

文章運用 DEMATEL 方法來釐清影響綠色改造的建築設計評價準則間的因果關係。先形成 i 為基礎的直接影響關係矩陣⁸ (Direct influence matrix) 如表 2，分別將每份問卷的準則所對應的數據，例如將所有問卷的準則 A1 數值相加，再除以 17 獲得其平均值，此數據即為直接關係矩陣中對應準則 A1 的數據，其餘各項準則數據均以此類推獲得所有準則的平均值，形成直接關係矩陣中的對應數據。再通過對直接影響矩陣進行正規化，得到正規化直接關係矩陣 (S) 如表 3，並帶入公式 $T=X(I-X)^{-1}$ ，可得如表 4 總影響關係矩陣 T (Total Influence Matrix)。

令 $t_{ij}(i,j=1,2,\dots,n)$ 為總影響關係矩陣 T 中的元素，每一列 (row) 的各元素之和為 D，每一行 (column) 各元素之和為 R，將 D+R 定義為重要度 (Prominence)，D+R 值越大，說明該準則重要程度越高。將 D-R 定義為關連度 (relation)，若準則關連度為正值，說明該準則屬於主動影響者，當 D-R 值越大時，表示此因素直接影響其他因素之程度越大，對此類準則可考慮優先改善；但若準則關連度為負值，說明該準則屬於受影響者，值越小時，表示此因素被其他因素所影響之影響程度越大 (Wu, 2008)。如表 5 所示，A2 的 D+R 重要度為 6.09，小於 A4 的 D+R 重要度 6.106，因此 A2 的重要度排名落後於 A4 的重要度排名。原因度為正值未必是較佳的開始改善點；原因度具負值的因素也未必毫無改善空間。根據表 4 總影響關係矩陣，計算出重要度與關聯度，如表 5。

表 2 綠色改造建築設計要素之間卷整合直接關係影響矩陣 (Z)

準則	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	D4	D5
A1	0.0	0.9	1.8	1.4	1.0	1.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.5	1.2	0.8	0.2	0.1	1.2
A2	1.0	0.0	1.5	2.0	1.9	0.5	0.2	0.1	1.1	0.8	0.8	1.4	1.5	0.8	0.4	0.3
A3	1.9	1.4	0.0	1.5	1.2	1.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.6	1.5	0.6	0.1	0.3	1.4
A4	1.6	1.8	1.3	0.0	1.8	1.1	0.1	0.1	0.8	0.7	0.3	1.4	1.4	0.5	0.4	0.3
A5	1.1	1.8	1.2	1.7	0.0	0.4	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0
B1	1.1	0.6	1.2	1.1	0.3	0.0	0.6	1.1	0.6	0.4	0.6	0.8	0.5	0.3	0.7	1.4
B2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.6	0.0	0.4	0.5	0.9	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5	0.2

⁸直接關係影響矩陣 (Direct influence matrix) 是將準則依其影響關係與程度兩兩比較，以此產生直接關係影響矩陣 (胡宜中，邱永亮，蔣鵬，2017)，本研究中是求得所有問卷矩陣的平均數，以得到建築設計各準則間的直接影響關係矩陣。

表 2 綠色改造建築設計要素之間卷整合直接關係影響矩陣 (Z) (續)

B3	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.8	0.2	0.0	1.1	0.9	0.7	0.5	0.5	0.3	0.7	1.2
C1	0.2	1.0	0.3	0.9	0.1	0.6	0.5	1.1	0.0	1.9	1.0	0.4	1.3	0.4	0.5	0.1
C2	0.1	0.9	0.1	0.7	0.2	0.5	0.7	1.2	1.7	0.0	0.9	0.5	1.0	0.2	0.2	0.2
C3	0.3	0.6	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.8	0.7	0.9	0.0	1.4	0.2	0.2	0.2	0.2
D1	1.2	1.1	1.2	1.2	0.0	0.5	0.2	0.6	0.5	0.5	1.4	0.0	0.5	0.1	0.2	0.1
D2	0.7	1.3	0.4	1.4	0.3	0.4	0.4	0.5	1.4	1.1	0.4	0.3	0.0	0.3	0.2	0.1
D3	0.2	0.8	0.1	0.5	0.0	0.2	0.5	0.2	0.5	0.5	0.2	0.1	0.2	0.0	1.1	0.2
D4	0.2	0.4	0.3	0.4	0.0	0.5	0.2	0.7	0.6	0.5	0.2	0.2	0.2	0.9	0.0	0.2
D5	1.2	0.2	1.2	0.3	0.0	1.4	0.2	0.9	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.0

資料來源：本研究整理

(三) 關鍵因素確定

研究採用應用分析網路程式法 (Analytic Network Process, ANP) 確定綠色改造建築設計要素的關鍵因素。傳統ANP方法在結束成對比較問卷，需對每一個成對比較矩陣的一致性進行檢驗(姜超、周永燦, 2017)，以確保資料的有效性，其缺點是一致性難以達成(Gwo-Hshung Tzeng, 2011)，運用此方法，可免除成對比較矩陣的一致性檢驗(Zeshui & Cuiping, 1999)，簡化了分析過程，減輕了受訪者的答題強度。

研究採用 (Hu et al., 2015) 所提出的如圖1所示之DANP操作架構，將DEMATEL的總影響關係矩陣做為ANP運算中的未加權超級矩陣，對該矩陣進行正規化，並將正規化後的結果自我相乘，至收斂為止，得到如表6所示之極限超級矩陣。由極限超級矩陣即可決定各準則之相對權重，例如A1與A2的權重分別為0.077和0.099。

由於DEMATEL與ANP會產生準則重要程度的訊息，因此在決定關鍵因素時，不應只以DEMATEL重要度或DANP的權重為唯一考量，因此採取將兩種訊息彙整的方式 (Hu et al., 2015)，以決定準則權重排序。現將對應準則之重要度及原因度與DANP所產生之準則權重排序相加，重新排序後如表7所示。DANP中的DEMATEL所產生的重要度與ANP所計算出的準則重要性，均作為關鍵因素確定的依據，通過採用Borda法則(Truchon, 2008)，即首先將DEMATEL和ANP計算出的兩組影響因素按重要性的大小依次分別排序，而後，將每一影響因素的2個排序值進行加和，總和越低代表重要程度越高，反之則越低。如表7中的A2經Borda法則後數值為3，而A3經Borda法則後數值為6，因此A2整體排序上比A3靠前。以此法則類推，最終排序決定了綠色改造建築設計的關鍵因素詳見表7，依序為：敷地綠化設計合理 (A4)、保護周邊生態 (A2)、機動車停放合理 (A3)、敷地交通流暢 (A1)、功能分區最佳化合理 (B1)、敷地噪聲符合標準 (D1)、改善建築風環境 (D2)、採用被動式節能措施 (C1) 共計八項。

表 3 綠色改造建築設計要素之建立正規化直接關係矩陣 (S)

準則	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	D4	D5
A1	0.000	0.065	0.124	0.097	0.070	0.081	0.011	0.011	0.005	0.005	0.032	0.086	0.054	0.016	0.005	0.081
A2	0.070	0.000	0.108	0.140	0.134	0.038	0.016	0.005	0.075	0.059	0.054	0.097	0.102	0.054	0.027	0.022
A3	0.134	0.097	0.000	0.108	0.086	0.086	0.005	0.011	0.005	0.016	0.043	0.102	0.043	0.005	0.022	0.097
A4	0.113	0.124	0.091	0.000	0.124	0.075	0.005	0.005	0.059	0.048	0.022	0.097	0.097	0.032	0.027	0.022
A5	0.075	0.129	0.081	0.118	0.000	0.027	0.000	0.000	0.005	0.005	0.005	0.011	0.027	0.000	0.000	0.000
B1	0.075	0.043	0.081	0.075	0.022	0.000	0.043	0.075	0.043	0.027	0.043	0.054	0.038	0.022	0.048	0.097
B2	0.005	0.016	0.005	0.005	0.000	0.043	0.000	0.027	0.038	0.065	0.027	0.022	0.027	0.032	0.032	0.011

表 3 綠色改造建築設計要素之建立正規化直接關係矩陣 (S) (續)

B3	0.000	0.005	0.005	0.005	0.000	0.059	0.016	0.000	0.075	0.065	0.048	0.032	0.038	0.022	0.048	0.086
C1	0.011	0.070	0.022	0.065	0.005	0.043	0.032	0.075	0.000	0.134	0.070	0.027	0.091	0.027	0.038	0.005
C2	0.005	0.065	0.005	0.048	0.011	0.032	0.048	0.081	0.118	0.000	0.065	0.032	0.070	0.016	0.016	0.016
C3	0.022	0.043	0.038	0.022	0.005	0.043	0.022	0.059	0.048	0.065	0.000	0.097	0.016	0.011	0.011	0.016
D1	0.086	0.075	0.086	0.081	0.000	0.038	0.016	0.043	0.032	0.032	0.097	0.000	0.032	0.005	0.016	0.005
D2	0.048	0.091	0.027	0.097	0.022	0.027	0.027	0.038	0.097	0.075	0.027	0.022	0.000	0.022	0.016	0.005
D3	0.016	0.059	0.005	0.038	0.000	0.016	0.032	0.016	0.038	0.038	0.011	0.005	0.016	0.000	0.075	0.011
D4	0.016	0.027	0.022	0.027	0.000	0.038	0.016	0.048	0.043	0.032	0.011	0.016	0.016	0.065	0.000	0.011
D5	0.081	0.016	0.086	0.022	0.000	0.097	0.011	0.065	0.005	0.016	0.016	0.005	0.016	0.011	0.011	0.000

資料來源：本研究整理

表 4 綠色改造建築設計要素之建立總影響關係矩陣 (T)

準則	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	D4	D5
A1	0.158	0.226	0.270	0.266	0.178	0.203	0.053	0.089	0.106	0.102	0.126	0.216	0.170	0.065	0.061	0.165
A2	0.253	0.220	0.287	0.354	0.264	0.191	0.073	0.107	0.209	0.190	0.173	0.258	0.254	0.116	0.098	0.123
A3	0.298	0.276	0.183	0.300	0.208	0.225	0.054	0.100	0.121	0.124	0.149	0.249	0.179	0.064	0.082	0.191
A4	0.286	0.322	0.273	0.225	0.252	0.219	0.061	0.103	0.188	0.172	0.141	0.254	0.244	0.095	0.094	0.124
A5	0.191	0.251	0.199	0.252	0.102	0.121	0.031	0.051	0.085	0.080	0.076	0.122	0.127	0.042	0.041	0.067
B1	0.205	0.188	0.213	0.225	0.116	0.123	0.085	0.153	0.143	0.126	0.133	0.175	0.150	0.072	0.103	0.177
B2	0.053	0.076	0.055	0.068	0.033	0.088	0.023	0.068	0.089	0.111	0.068	0.069	0.076	0.055	0.059	0.043
B3	0.070	0.087	0.077	0.090	0.042	0.126	0.047	0.061	0.139	0.129	0.104	0.096	0.102	0.053	0.083	0.128
C1	0.118	0.200	0.131	0.199	0.087	0.142	0.077	0.153	0.114	0.229	0.155	0.136	0.196	0.075	0.090	0.074
C2	0.098	0.177	0.103	0.166	0.080	0.121	0.086	0.148	0.206	0.098	0.140	0.126	0.163	0.059	0.065	0.075
C3	0.107	0.140	0.124	0.126	0.065	0.119	0.054	0.117	0.122	0.134	0.070	0.174	0.096	0.045	0.050	0.071
D1	0.204	0.209	0.208	0.222	0.097	0.145	0.055	0.112	0.126	0.123	0.177	0.123	0.139	0.051	0.065	0.084
D2	0.158	0.222	0.144	0.233	0.112	0.127	0.067	0.108	0.192	0.170	0.111	0.133	0.113	0.069	0.067	0.073
D3	0.072	0.125	0.066	0.109	0.046	0.070	0.054	0.057	0.092	0.090	0.055	0.062	0.074	0.030	0.102	0.045
D4	0.073	0.095	0.079	0.098	0.042	0.091	0.040	0.088	0.096	0.085	0.056	0.072	0.072	0.089	0.032	0.050
D5	0.163	0.106	0.170	0.121	0.062	0.170	0.039	0.113	0.067	0.074	0.073	0.087	0.086	0.041	0.047	0.066

資料來源：本研究整理

表 5 綠色改造建築設計要素之重要度與關聯度

準則	列的和(D)	列的和排序	行的和(R)	行的和排序	重要(D+R)	重要度排序	原因度(D-R)	原因度排序
A1	2.452	4	2.508	4	4.960	4	-0.056	10
A2	3.171	1	2.919	2	6.090	2	0.252	1
A3	2.805	3	2.580	3	5.385	3	0.225	2
A4	3.053	2	3.053	1	6.106	1	0.000	9

表 5 綠色改造建築設計要素之重要度與關聯度 (續)

A5	1.839	10	1.786	11	3.625	10	0.053	7
B1	2.387	5	2.281	6	4.668	5	0.106	5
B2	1.033	16	0.901	16	1.934	16	0.132	3
B3	1.434	13	1.628	12	3.062	12	-0.195	14
C1	2.176	6	2.097	8	4.273	8	0.079	6
C2	1.910	9	2.036	9	3.946	9	-0.125	12
C3	1.614	11	1.809	10	3.423	11	-0.195	15
D1	2.139	7	2.353	5	4.492	6	-0.214	16
D2	2.100	8	2.241	7	4.340	7	-0.141	13
D3	1.148	15	1.021	15	2.170	15	0.127	4
D4	1.161	14	1.139	14	2.300	14	0.022	8
D5	1.486	12	1.556	13	3.042	13	-0.070	11

資料來源：本研究整理

表 6 綠色改造建築設計要素之求極限化超級矩陣

準則	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	D4	D5
A1	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077
A2	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099
A3	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088
A4	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096
A5	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058
B1	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
B2	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
B3	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045
C1	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068
C2	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
C3	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
D1	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
D2	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
D3	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036
D4	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037
D5	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047

資料來源：本研究整理

表 7 綠色改造建築設計要素之準則重要性排序

準則	DEMATEL 重要度排序	D-ANP 權重排序	排序和 Borda score	整體排序
A1 敷地交通流暢	4	4	8	4
A2 保護周邊生態	2	1	3	1
A3 機動車停放合理	3	3	6	3
A4 敷地綠化合理	1	2	3	1
A5 滿足敷地透水	10	10	20	10
B1 功能分區最佳化	5	5	10	5
B2 立面協調統一	16	16	32	16
B3 空間分隔靈活	12	13	25	12
C1 被動式節能措施	8	6	14	7
C2 熱工性能良好	9	9	18	9
C3 房間隔聲標準	11	11	22	11
D1 敷地噪聲標準	6	7	13	6
D2 改善風環境	7	8	15	8
D3 無光污染	15	15	30	15
D4 改善採光環境	14	14	28	14
D5 滿足消防規範	13	12	25	12

資料來源：本研究整理

表 8 綠色改造建築設計要素之關鍵因素的因果關聯

準則	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	D4	D5
A1	0.158	0.226	0.270	0.266	0.178	0.203	0.053	0.089	0.106	0.102	0.126	0.216	0.170	0.065	0.061	0.165
A2	0.253	0.220	0.287	0.354	0.264	0.191	0.073	0.107	0.209	0.190	0.173	0.258	0.254	0.116	0.098	0.123
A3	0.298	0.276	0.183	0.300	0.208	0.225	0.054	0.100	0.121	0.124	0.149	0.249	0.179	0.064	0.082	0.191
A4	0.286	0.322	0.273	0.225	0.252	0.219	0.061	0.103	0.188	0.172	0.141	0.254	0.244	0.095	0.094	0.124
A5	0.191	0.251	0.199	0.252	0.102	0.121	0.031	0.051	0.085	0.080	0.076	0.122	0.127	0.042	0.041	0.067
B1	0.205	0.188	0.213	0.225	0.116	0.123	0.085	0.153	0.143	0.126	0.133	0.175	0.150	0.072	0.103	0.177
B2	0.053	0.076	0.055	0.068	0.033	0.088	0.023	0.068	0.089	0.111	0.068	0.069	0.076	0.055	0.059	0.043
B3	0.070	0.087	0.077	0.090	0.042	0.126	0.047	0.061	0.139	0.129	0.104	0.096	0.102	0.053	0.083	0.128
C1	0.118	0.200	0.131	0.199	0.087	0.142	0.077	0.153	0.114	0.229	0.155	0.136	0.196	0.075	0.090	0.074
C2	0.098	0.177	0.103	0.166	0.080	0.121	0.086	0.148	0.206	0.098	0.140	0.126	0.163	0.059	0.065	0.075
C3	0.107	0.140	0.124	0.126	0.065	0.119	0.054	0.117	0.122	0.134	0.070	0.174	0.096	0.045	0.050	0.071
D1	0.204	0.209	0.208	0.222	0.097	0.145	0.055	0.112	0.126	0.123	0.177	0.123	0.139	0.051	0.065	0.084
D2	0.158	0.222	0.144	0.233	0.112	0.127	0.067	0.108	0.192	0.170	0.111	0.133	0.113	0.069	0.067	0.073
D3	0.072	0.125	0.066	0.109	0.046	0.070	0.054	0.057	0.092	0.090	0.055	0.062	0.074	0.030	0.102	0.045
D4	0.073	0.095	0.079	0.098	0.042	0.091	0.040	0.088	0.096	0.085	0.056	0.072	0.072	0.089	0.032	0.050
D5	0.163	0.106	0.170	0.121	0.062	0.170	0.039	0.113	0.067	0.074	0.073	0.087	0.086	0.041	0.047	0.066

資料來源：本研究整理

表 9 綠色改造建築設計要素之績效值評價尺度

尺度	0	25	50	75	100
表現程度	非常不好	不好	普通	好	非常好

資料來源：本研究整理

三、繪製關係網路圖

從表4總影響關係矩陣中，將8項關鍵因素相互間影響關係的數據匯出，並做正規化處理，得到表8關鍵因素間的因果關聯關係矩陣。根據表8關鍵準則相互間影響強度的數據可見，對敷地交通流暢（A1）影響較大的是機動車停放合理（A3），對周邊生態保護（A2）影響較大的是敷地綠化設計合理（A4），對機動車停放合理（A3）影響較大的是保護周邊生態（A2），對敷地綠化設計合理（A4）影響較大的是保護周邊生態（A2），對功能分區最佳化合理（B1）影響較大的是機動車停放合理（A3），對採用被動式節能措施（C1）影響較大的是保護周邊生態（A2），對敷地噪聲符合標準（D1）影響較大的是保護周邊生態（A2），對改善建築風環境（D2）影響較大的是保護周邊生態（A2）。因此，通過上述描述可知，保護周邊生態（A2）和敷地綠化設計（A4）這二個準則相互影響，此外，保護周邊生態（A2）又同時影響機動車停放合理（A3）、被動式節能措施（C1）、改善建築風環境（D2）這三個準則，機動車停放合理（A3）又同時影響功能分區最佳化合理（B1）與敷地交通流暢（A1），據此計劃準則間的關係網路圖，如圖2所示。

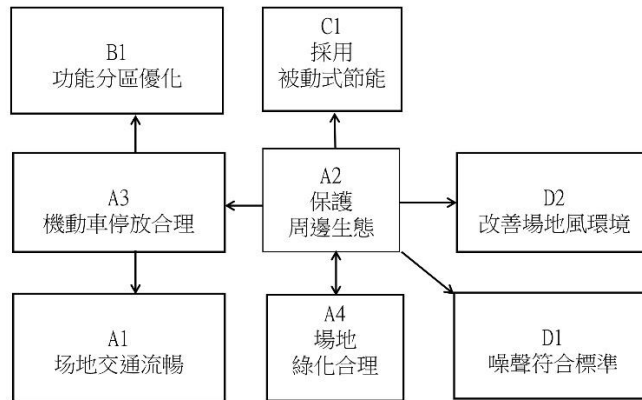


圖 2 綠色改造建築設計要素之關鍵因素間的關係網路圖

資料來源：本研究繪製

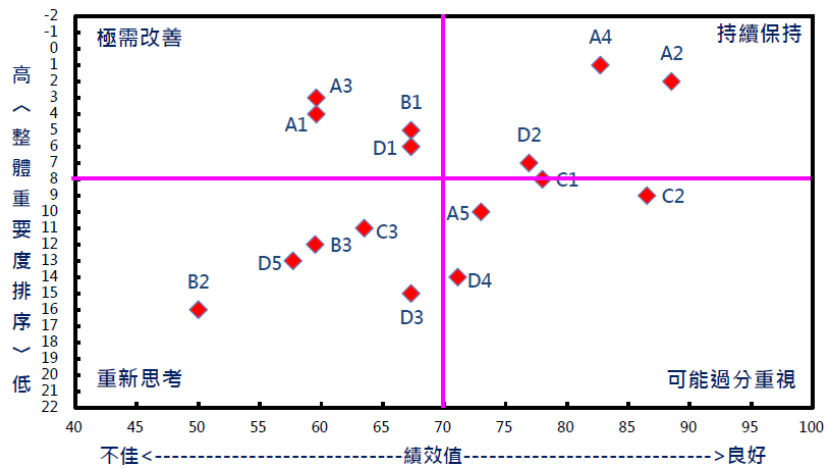


圖 3 綠色改造建築設計要素之關鍵準則的績效值分佈圖

資料來源：本研究繪製

肆、分析討論

一、IPA

Martilla與James於1977年提出IPA (Importance-Performance Analysis, IPA) 重要性——表現程度分析法(王仁宏、胡宜中、王如鈺, 2016), 該方法主要透過要素的重要性與表現程度, 進而繪製二維矩陣圖, 共分為四象限。IPA可用以輔助決定極需改善的準則(胡宜中、邱永亮、蔣鵬, 2017)。準則權重部分為表7所示之「排序加總」得分替代, 得分越低, 代表重要性越高, 得分最低的8個準則即為關鍵因素。為了呈現出八項關鍵準則的績效表現, 本研究仍以17位專家為問卷調查對象, 針對綠色改造之關鍵建築設計的八項準則的表現程度, 依表9的尺度從 0-100 進行評分, 對17名專家的評分結果計算平均值, 得到八項關鍵準則的表現程度。經討論, 所有專家均同意以70分做為評判關鍵準則績效好壞的臨界值, 茲將關鍵準則的重要性整體排序與績效值之關係繪於圖3。根據DEMATEL與DANP 所得到之權重訊息, 選取敷地綠化設計合理(A4)、保護周邊生態(A2)、機動車停放合理(A3)、敷地交通流暢(A1)、功能分區最佳化合理(B1)、敷地噪聲符合標準(D1)、改善建築風環境(D2)、採用被動式節能措施(C1)共八項為既有建築綠色改造之關鍵建築設計類準則。這些關鍵準則的排序加總值均小於18, 見表10。這些因素對於綠色改造建築設計類評價要素的重要性分析如下:

表 10 綠色改造建築設計要素之 IPA 分析

IPA 分析		
準則	績效值	重要度
A1 敷地交通流暢	59.6	4
A2 保護周邊生態	88.5	2
A3 機動車停放合理	59.6	3
A4 敷地綠化合理	82.7	1
A5 滿足敷地透水	73.0	10
B1 功能分區最佳化	67.3	5
B2 立面風格協調	50.0	16
B3 空間分隔靈活	59.5	12
C1 被動式節能措施	78.0	8
C2 熱工性能良好	86.5	9
C3 房間隔聲標準	63.5	11
D1 敷地噪聲標準	67.3	6
D2 改善風環境	76.9	7
D3 無光污染	67.3	15
D4 改善採光環境	71.1	14
D5 滿足消防規範	57.7	13

資料來源：本研究整理

圖2為既有建築綠色改造建築設計要素的關鍵準則間的關係網路圖，其中，「敷地綠化設計」探討的是建築師對敷地實際周邊建築環境的情況調查，和綠化改造提升的具體措施，該準則有助於控制既有建築周邊場所環境的改善；「周邊生態環境保護」是對既有建築周邊生態環境的保護意識，會影響到影響機動車停放合理性、被動式節能措施、改善建築風環境；以上二項作為綠色改造關鍵建築設計因素中的核心準則，交互影響，對其他要素影響面最大，建議在設計時優先考慮，或作為首要關注內容。「機動車停車敷地設計的合理性」和「敷地交通的流暢性」是都市既有建築綠色改造中提升環境功能的重要環節，既有建築因時代背景原因，對交通汽車停車位置及數量考慮不足，導致機動車亂停亂放，阻塞交通，停車敷地及交通動線的最佳化設計最終也會影響敷地環境的無障礙設施，是設計改良的思考依據；「被動式節能措施」是探討改造過程中如何通過建築設計的手法從組織自然通風、改善採光等手法節省能源消耗，而不是通過採購大量設備方式（主動式節能）去達到節能目的；「無噪聲污染」是既有建築在敷地環境細節的把控；「風環境改善」能夠改善不利旋風，提升自然通風的效果，「風環境改善」和「噪聲污染」及「被動式節能措施」這三個準則同屬於綠色改造建築設計專業價值的體現。總體上看，參與調查的建築師對綠色改造的建築評價標準要素的認知與以往建築設計中要求的內容一致。

此外，既有建築的周邊生態環境保護完整，將激發民眾自發採取步行和自行車為交通工具，從而從根本上減少對機動車的依賴，減少機動車的停車設施。而機動車停車設施的合理設計，將會優化既有建築的出入口設置，地下室停車設施的合理開發與再利用，將使既有建築的地面以上的功能佈局更具有靈活性。而既有建築周邊生態環境的保護，將使建築物周邊的樹林、山丘、水體等自然生態環境保持良好狀態，密集的樹林能夠有效吸收噪音，將降低既有建築周邊的噪聲分貝，利於符合既有建築的噪聲控制標準。

二、管理意涵

IPA的主要目的在於以準則的績效值與相對重要性，來檢視極須改善、持續保持、可能過份重視以及重新思考的指標。由圖3可知：

（一）應持續保持的準則

依據研究的結果可知，既有建築綠色改造在建築設計專業領域必須特別關注且應當持續保持以下準則：敷地綠化設計合理（A4）、保護周邊生態（A2）、採用被動式節能措施（C1）、改善建築風環境（D2）。

（二）極需改善的準則

依據研究的結果可知，敷地交通流暢（A1）、機動車停放合理（A3）、功能分區最佳化合理（B1）、敷地噪聲符合標準（D1）等四個指標均為關鍵準則，但績效不彰，因此極需改善，否則很難達到綠色目標。

（三）可能過份重視的準則

依據研究的結果可知，熱工性能良好（C2）、滿足敷地透水要求（A5）、改善內部採光環境（D4）等三個指標為關鍵準則，績效較好，相對其他關鍵準則而言，整體重要度較低，反映在綠色改造過程中存在重視過度的可能性，結合實際工程經驗，當前在項目施工圖報建的過程中需要完成節能設計的強制性審查，否則無法取得施工許可證，且該部分內容必須按照節能方面的隔熱係數、採光係數等規範去完成設計，因此過度重視是存在可能的，是與實際設計狀況相符合的。

（四）重新思考的準則

依據實證研究的結果可知，立面改造風格統一（B2）、滿足現行消防規範（D5）、空間分隔靈活（B3）、房間隔聲符合標準（C3）和無光污染（D3）等五個指標，績效較差，尤其是立面改造協調統一（B2）與滿足現行消防規範（D5），相對其他準則而言，整體的重要度較低，反映在綠色改造過程中重視程度不夠，或者表現較差。結合綠色改造的實踐，該標準反映了綠色改造的建築立面在與周邊建築風格的協調，以及地方傳統建築文化特色的傳承方面還做的不夠，還有較大提升空間；研究結果發現，消防設計作為安全的重要內容雖然未列入綠色改造評價的關鍵因素，但其績效值偏低，顯示出有進一步改善和提升的必要性。空間分割靈活（B3）與房間隔聲符合標準（C3）均涉及到室內改造對分戶牆材料的選擇，反映出材料的隔聲性能以及可循環再生材料的選用還不夠，光污染方面主要體現在室內光環境的炫光控制不好，且外立面幕牆材料的選擇對室外環境的影響較大。這三個方面在綠色改造中均表現不佳，需要給予重視和強化提升。

伍、結論與建議

本研究透過文獻回顧探討，整理了發達國家綠色改造評價標準中的相關準則及海峽兩岸部分學者近年來的相關研究成果，透過訪談廣州地區資深建築師和專家，形成以實踐經驗為基礎的綠色改造建築設計的評價準則架構，再運用管理領域的研究方法，探討影響綠色改造關鍵建築設計專業的要害，形成要素因果關係網絡圖，最終獲得影響既有建築綠色改造的關鍵建築設計因素。經IPA分析，獲得影響綠色改造的建築設計要素的績效值，再以管理者的角度探討建築設計方案構思階段須優先關注的內容，從而，在建築方案設計所面對的大量繁瑣複雜的資訊中，獲得清晰的構思框架，有助於提升建築設計方案構思的效率和品質。研究獲得以下結論：

一、建築師對既有建築綠色改造設計思考的框架

影響既有建築綠色改造之關鍵建築設計要素的八大因素中，保護周邊生態（A2）和敷地綠化設計（A4）是核心，兩者相互影響，且對機動車停放合理（A3）、被動式節能措施（C1）、改善建築風環境（D2）有直接影響，連帶影響功能分區最佳化（B1）與敷地交通流暢（A1），因此在建築概念方案設計過程中，須著重從敷地生態保護和綠化設計出發，兼顧其他評價要素的內容。

二、認識影響既有建築綠色改造之關鍵建築設計要素

在影響綠色改造關鍵建築設計要素中，敷地設計占3項，單體設計占1項，圍護結構占2項，環境占2項，反映出目前廣州地區的綠色改造已由節能設計轉向敷地綠化和景觀設計，對相關細節的要求更加具體和明確，包括交通順暢、無障礙環境、噪聲控制、光污染控制等。

三、既有建築綠色改造建築設計的技術要求

建議在「既有建築綠色改造評價標準（2016）」規範修訂中增加滿足消防設計和強化既有建築的文化價值傳承的內容，由此可在綠色改造中體現出社會的因素。此外，建築師的價值不僅在繪圖與工程協調，更應在熟悉綠色改造的關鍵因素基礎上，提出積極有意義的技術性措施。

參考文獻

- 中國能源發展戰略與政策研究報告課題組，2004，中國能源發展戰略與政策研究報告，「經濟研究參考」，83：2-51。
- 陳筱軍，2014，老舊社區綜合整治中的消防問題，「都市住宅」，12：56-57。
- 丁建華，2013，公共建築綠色改造方案設計評價研究，哈爾濱工業大學博士論文。
- 邸小壇、周燕，1992，「舊建築物的檢測加固與維護」，北京：地震出版社。
- 鄧振源，2012，「多準則決策分析方法與應用」，臺北市：鼎茂圖書。
- 高原，2014，整合碳排放評價的中國綠色建築評價體系研究，天津大學博士論文。
- 胡宜中、邱永亮、蔣鵬，2017，結合決策實驗室法與網路程式分析法評估烘焙師傅於國際競賽獲獎之關鍵因素，「觀光休閒學報」，1：101-127。
- 黃麗豔，2017，中國綠色建築評價指標體系應用研究，「河北北方學院學報」，7：32-37。
- 姜超、周永燦，2017，產品設計教學中視覺化設計概要關鍵因素之研究，「設計學研究」，20（1）：23-43。
- 林憲德，2007，「綠色建築」，北京：中國建築工業出版社。
- 劉莉、張言韜，2017，既有校園建築綠色改造評價指標體系研究，「建築與預算」，06：5-9。
- 李嬋，2015，「被動式節能建築」，瀋陽：遼寧科學技術出版社。
- 江億，2011，我國建築節能戰略研究，「中國工程科學」，13（06）：30-38。
- 江億、彭琛、燕達，2012，中國建築節能的技術路線圖，「建設科技」，17：12-19。
- 王俊、李曉萍、李洪鳳，2017，既有公共建築綜合改造的政策機制、標準規範、典型案例和發展趨勢，「建設科技」，11：12-15。
- 王清勤、王軍亮，2016，我國既有建築綠色改造技術研究與應用現狀，「建設科技」，8：12-16。

- 王俊，2013，我國既有建築綠色化改造發展現狀與研究展望，「建設科技」，13：22-26。
- 王俊、王清勤、葉凌，2016，「國外既有建築綠色改造標準和案例」，北京：中國建築工業出版社出版。
- 王世福、沈爽婷，2015，從“三舊改造”到都市更新——廣州市成立都市更新局之思考，「城市規劃學刊」，3：22-27。
- 王仁宏、胡宜中、王如鈺，2016，臺灣民宿經營關鍵指標與績效之實證研究，「觀光與休閒管理期刊」，2：113-137。
- 謝仕煌，2012，綠建築補助運用於建築物整建維護之研究，臺灣大學碩士論文。
- 鄔尚霖，2016，低碳導向下的廣州地區都市設計策略研究，華南理工大學博士論文。
- ALTIN, M. , 2016, Green Building Rating Systems in Sustainable Architecture.
- Gwo-Hshiong Tzeng, J.-J. H., 2011, Multiple criteria decision making.
- Hu, Y.-C., Chiu, Y.-J., Hsu, C.-S., & Chang, Y.-Y., 2015, Identifying Key Factors for Introducing GPS-Based Fleet Management Systems to the Logistics Industry, *Mathematical Problems in Engineering*.
- Leung, B. C.-M. J. E. R., 2018, *Greening existing buildings [GEB] strategies*, 4, 159-206.
- Meade, L., & Sarkis, J. J. I. J. o. P. R., 1999, *Analyzing organizational project alternatives for agile manufacturing processes: an analytical network approach*. 37(Tzeng, Chiang, & Li), 241-261.
- Saaty, T. L., 2001, Fundamentals of the analytic hierarchy process. *In The analytic hierarchy process in natural resource and environmental decision making* (pp. 15-35) : Springer.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., . . . Midgley, P. M., 2013, *Climate change 2013: The physical science basis*, In: Cambridge University Press Cambridge.
- Truchon, M., 2008, “Borda and the maximum likelihood approach to vote aggregation” , *Mathematical Social Sciences* (NO.1) , 96-102.
- Tzeng, G.-H., 2, Chiang, C.-H., & Li, C.-W. s. m. g. n. e. t., 2007, “Evaluating intertwined effects in e-learning programs: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL” , *Expert Systems with Applications* (NO.4) , 1028-1044.
- Wu, W.-W., 2008, “Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach” , *Expert Systems with Applications* (NO.3) , 828-835.
- Waidyasekara, K., De Silva, M., & Rameezdeen, R. , 2013, “Comparative study of green building rating systems: In terms of water efficiency and conservation”, Paper presented at the Proceedings of the Second World Construction Symposium, Colombo, Sri Lanka.
- Yu, S.-M., Tu, Y. and Luo, C., 2011, “ Green retrofitting costs and benefits: A new research agenda”, *Institute Real Estate Studies Working Paper Series*, Singapore: Department of Real Estate, National University of Singapore.
- Zeshui, X. and Cuiping, W., 1999, “A consistency improving method in the analytic hierarchy process1” ,

European Journal of Operational Research, 116(2), pp. 443-449.

附錄一 受訪問卷人員背景

專家代號	服務單位	職稱	年資
A1*	上海綠之都建築科技有限公司	綠建諮詢部技術總監	24 年
	上海濟光職業技術學院	加拿大註冊建築師	
		LEED 鉑金獎獲得者	
A2*	廣州市規劃局	一級註冊建築師	28 年
		高級建築師	
A3*	華南理工大學	教授	35 年
		主編多部國家行業標準	
A4*	廣州市設計院	一級註冊建築師	28 年
	廣東利海	總建築師	
A5*	廣州市設計院	一級註冊建築師	28 年
		副總建築師	
		綠色三星項目獲得者	
A6	廣州市設計院	一級註冊建築師	32 年
		部門主管	
A7	廣東利海集團	設計管理中心高級經理	15 年
A8	中海地產	副總經理	25 年
A9	廣東高教規劃設計研究院	設計總監	12 年
A10	廣州市設計院	電氣專業副總工程師	23 年
A11	廣東輕工業設計院	總建築師	27 年
A12	景森設計股份有限公司	高級建築師	12 年
A13	華南師範大學基建處	一級註冊建築師	23 年
		高級建築師	
A14	暨南大學	一級註冊建築師	18 年
A15	福建工程學院	建築師	18 年
A16	中原大學	博士生	4 年
A17	廣東工業大學	副教授	23 年
		建築師	
A18	廣東建設職業技術學院	副教授	25 年
A19	廣州市規劃勘察設計研究院	一級註冊建築師	18 年
		高級工程師	

註：*號者為資深專家，其餘為參加受訪問卷的專業設計人員、管理者以及學者。

郭建昌：影響既有建築綠色改造之關鍵建築設計因素