

模糊理論介入可適應性設計方法研究— 以傳統民居新增衛浴產品為例

梁桂嘉* 傅游磊**

* 國立台灣師範大學設計學系

kcliang@ntnu.edu.tw

** 國立台灣師範大學設計學系

** 泉州師範學院美術與設計學院

80868006t@ntnu.edu.tw

摘 要

隨著傳統民居建築保護策略與適應性再利用方法的發展，不僅要求延續當地居民的文化與生活方式，還須對建築影響最少，使產品功能應具備簡化、整合、易組合和價格低廉等特性，以適應傳統民居建築文化保護與居住生活延續的雙重需求。本研究提出一種結合機率模糊集理論的可適應度量方法，並應用於傳統民居衛浴產品集合的設計開發中。依據衛浴產品可適應度值的高低程度，以簡化整合為目的，進行設計開發。首先匯總閩南蔡氏民居中現有的衛浴產品種類，並定義為目標可適應集（ T_p ），再逐一進行功能結構分解，建立功能配置矩陣，以此為基礎進行匹配度（ p ）計算；然後以焦點小組討論方式使用成對比較判斷矩陣技術與模糊理論結合的方法，得到衛浴產品（PF）的使用機率值（ pr ）；最後使用可適應度公式得到衛浴產品的可適應因數（AF）。研究結果得出 22 件 PF 的可適應度值（A）高低程度，某 PF 的 A 值越高，顯示其越適合優先進行以簡化或整合為目的設計開發。因此，可依據由高到低的可視化圖表順序，在原有設計的基礎上再設計，形成諸多設計方案。

關鍵詞：衛浴產品、可適應性設計、模糊集理論、焦點小組

論文引用：梁桂嘉、傅游磊（2022）。模糊理論介入可適應性設計方法研究—以傳統民居新增衛浴產品為例。《設計學報》，27（1），23-46。

一、前言

具有歷史文化價值的建築遺產包括多種不可取代的價值，其中包含有形價值，如：有形建築和自然環境，以及無形價值，如：社會和文化差異等（Ferretti, Bottero, & Mondini, 2014; Kutut, Zavadskas, & Lazauskas, 2014）。自從《Nara Document on Authenticity》產生後，歷史建築遺產保護的「漸進式真實性」概念，以及接受不同文化差異的永續性發展越來越廣泛地被認同（Jerome, 2008; Starn, 2002）。保護具有

歷史文化價值的建築遺產之必要性越來越重要，同時動態地開發環境與維護永續性發展亦是非常重要的（Penića, Svetlana, & MurguL, 2015）。當初努力保護文化建築遺產，是為了促進建立在商業價值或博物館化基礎上的旅遊業之發展，然而對當地居民的活動和生活方式卻也產生負面影響（Teo & Huang, 1995）。「居住生活」是人們在民居建築中的基本行為，也體現了一部分集體生活記憶，與社會、文化與習俗一起構成民居建築另一維度的「真實性」，應該被保護和延續（Harun, 2011）。然而無論是家庭組成形式還是生活方式，傳統民居建築在建築構造、空間和功能條件都與新時代的生活方式有很大的差距（Seo, Park, Jang, & Wallace, 2002），居民會依據現代生活需求而調整傳統民居功能與配置。適應性再利用是在建築物原有用途不再可行時，改變建築物功能的一種方法（Douglas, 2002），將現代居住方式融入傳統民居，適應性再利用使居住功能得以延續（Plevoets & Van Cleempoel, 2013），已成為改善現有建築物永續性和振興社區生活的一項有效戰略（Kohler & Hassler, 2002）。可適應住宅的發展，隨著時間的推移不斷發生，在居民的需要或生活方式的改變等情況下，適應性住宅的結構就是有能力可根據不斷變化的需要（或生活方式）加以改變或擴展（Gu, Hashemian, & Nee, 2004）。

常青（2009）認為生活真實性不同於歷史的真實性，在歷史街區的保護中應該被重視。歷史街區是社會生活中自然而有機的組成部分，不僅是過去人們生活和居住的場所，而且現在仍然並將繼續發揮它的功能，因此「原有居民的保有率」與「原有生活方式的保存度」是生活真實性的兩個評判標準（阮儀三、孫萌，2001）。阮儀三與林林（2003）認為建築遺址等物質實體，如果離開了它所承載的文化意義，它們將失去意義構件。作為居住使用的傳統民居，其主體是人，它的文化意義則因為有動態的社會生活，永續利用維繫著過去、現在和將來。阮儀三與孫萌（2001）提出一種保護歷史建築的原有風貌和在完整性的基礎上，改善生活條件的措施，可以根據具體情況對建築的內部設施和空間佈局，進行必要的變動，如增加衛生設備、靈活劃分室內空間等。保持原有的建築功能，是為了延續傳統的社會生活方式和一些傳統文化內容，而歷史的發展不可逆轉，每一段歷史時期都有其相對應的生活方式（董衛，2000）。傳統民居的歷史真實性和生活現實性是複雜且矛盾的，實際上只要開始修復就會改變舊有的形式，歷史的真實性就很難復原，然而原住民生活形態（民俗活動與文化習慣等），至少有部分可以延續下來，一定程度上反映了生活真實性，則有必要對民居建築進行復舊重建，強調「最小干預原則」，並坦承歷史是不可能百分之百真實復原，把握一種「度」與「平衡」才是關鍵（常青，2009）。中國早期的廁所與居住空間是分開的，往往使用傳統木質馬桶和浴桶，並在居室中用簾子或屏風分隔衛浴區域（中山繁信、光藤俊夫，2008）。隨著歷史的發展，廁所與浴室組合成為居住空間中重要的一部分，不僅擁有以陶瓷、金屬和玻璃製品為主且形態與功能多樣的衛浴產品，產品功能也邁向電器化和智能化。衛浴空間在家中的面積和功能往往不是重點，但隨著人們在衛浴空間使用的時間越來越長，因而承擔更多的實用功能，梳洗、洗浴和化妝等成為一種生活必須與精神放鬆的手段（許楹，2003）。生活需求決定物質形成，這種意識直接促使衛浴產品種類與功能不斷變革和擴充，產生了盥洗盆、水龍頭、坐便器、花灑、熱水器以及置物架等。從功能單一與獨立的產品開始考慮功能的整體性與系統性，不僅多功能組合，更提出將空間的頂、地、牆與所有衛浴產品相整合的解決方案，如整體浴室和浴櫃等。現代衛浴產品種類繁多，代表品牌有 KOHLER、TOTO、Hansgrohe、PHILIPS、IKEA 等。人們常常依據自己的需求，將多種產品組合進行搭配，故容易出現功能重複和需求矛盾的狀況（Gu et al., 2004; Otto & Wood, 2001）。此外，產品的用水、電和排汗方式，通常依賴於社區或城市的配套設施系統。然而，在傳統文化與生活方式所形成的歷史民居中，則要求居民需要離開居室，前往公共區域解決個人衛生問題，使傳統建築常獨立於配套設施系統之外（徐娟燕，2008）。但如果將現代衛浴產品直接應用在歷史民居中是不合適的，因此需要開發針對歷史民居特徵的衛浴產品組合。

依據傳統民居建築保護的真實性與適應性再利用的要求，新增的衛浴產品應符合「最小干預原則」使其對建築傳統風貌影響最少，因此產品功能應具備簡化、整合、易組合和價格低廉等特性，以符合古民居的保護與居住的雙重需求。為此本研究以蔡氏古民居建築為例，提出在原有建築空間中，增設整體性的衛浴產品組合，將現有衛浴產品種類當作整體，進行可適應性度量與設計，通過重用相似的「設計」的方式，為開發新的衛浴產品提供設計依據與輔助思考，促進適應性再利用和永續性（Johnson, 1995; Tipnis, 1994），以資源節約為目的，對多種衛浴功能進行簡化整合之再設計。

二、文獻回顧

2-1 可適應性設計

可適應性設計是一種兼顧經濟效益和環境效益的設計模式，基本理念是使設計的產品具有適應新需求或者當環境變化時，重用產品和設計的能力，將可適應定義為產品效用（服務）的延伸，包括產品可適應性和設計可適應性。例如：當使用環境或情況發生變化，可用一種帶有一套附加件或附件的適應性產品替換多個產品，「適應」可以延長產品的使用時間，或者擴展產品的應用。「適應」在合理的情況下，可能更優於再循環，因為它使用的大多數組件都是現有的，通過調整現有產品基礎上，實現「節約」，可以在回收的同時，於產品供應鏈的早期階段將其重新應用，再以可量化的方式與其他設計標準一起在設計決策過程中比較分析（Gu et al., 2004）。隨著設計和製造技術的進步，可生產出更多品質好、成本低的產品，以滿足用戶的要求。然而，這些技術的進步卻也導致在這些產品的生命週期結束時，產生過多的廢物（Gu et al., 2004）。通過對現有產品調整而不是生產新產品，實現「節約」的適應性體現了功能簡化或整合的概念。

可適應性設計理論概念提出後的過去十多年間，於此基礎上進一步發展出許多可適應性設計方法與應用（Gu, Xue, & Nee, 2009）。Sand 和 Gu（2006）開發了可適應性設計的模組化和升級規劃方法，並在此基礎上建立了一個 AdaptEx 的系統。Shao、Wang、Zhang、Li 與 Gu（2006）在產品類別的設計中採用了適應性設計方法。陳永亮、褚巍巍與徐燕申（2007）為定量評估產品平臺設計的資源節約效果，基於相似度分析和聚類分析，提出了一種面向可適應性的參數化產品平臺構建方法，可適應度值在基於模塊化的產品平台設計中，可對經由模塊組合的各變形產品進行評價，當可適應度越高表示某一變形產品對需求變化適應的程度越高，其設計和製造中更能達到資源節約效果。Xu、Chen、Zhang 與 Gu（2008）提出了一種可適應性的再設計，並通過結構相似度的量化和自適應設計帶來的性能改進度量方法，從節約成本、增加效益的角度，對 CNC 機械模塊結構不同的設計候選者，進行優先排序。辛志傑、陳永亮、張大衛、滿佳與劉澤福（2008）提出以結構相似度是對結構尺寸及結構型式修改的量化反映，體現了結構修改後，相對原結構變化的程度，以產品類別和產品平臺結合，作為可適應動態設計的分析和研究對象，提出的可適應度的計算公式後，而性能提高度即反映了結構修改方案相對原方案各項性能指標提高的程度。曲藝（2009）分析比較多種可適應度量公式與方法後，提出以產品功能結構圖中的模組成本估算來計算可適應因數與可適應度，並以包裝機械為實際案例進行理論的應用，可適應度值越高表示某一機械模組在整體系統中，具有較高適應需求的變化能力。陳永亮、滿佳、曲藝與顧佩華（2010）基於功能模塊匹配度分析，透過產品結構模式的模塊通用程度來評估可適應性，並用可適應資訊熵函數表徵產品複雜性和不確定性，提出在機械產品設計早期階段中，應用可適應度的定量評價，為多種模塊組合的設計方案決策提供定量數值依據，以此提出改進的可適應度量方法；可適應度值越高，表示某一組合方

案更易於被修改以適合不斷變化的用戶需求，應優先進行開發。Gu、Xue 與 Chen (2011) 通過比較和探討可適應性設計方法的性質和特點，將方法應用於平台化或家族化的產品中，驗證所開發的適應性設計方法的有效性，透過對所創建的设计，進行可適應度值的評估，以驗證是否實現了適應性設計的目標，同時當從相同的設計要求創建多個候選設計時，將對這些候選設計進行評估，以確定最適合製造的方案。Zhang、Xue 與 Gu (2015) 以平臺、附加模組和開放介面的建模方法，由於產品的功能性能度量對由於不確定性而導致的操作參數的變化最不敏感，因此引入一種新的方法來識別開放體系結構適應性產品的最優設計。Martinez 與 Xue (2016) 基於 Xu 等人 (2008) 的研究，提出一種考慮整個產品生命週期的適應性設計，根據設計功能或製造工藝來評估組件的相似性，開發考慮各部件不同生命週期特性相似性，來識別模組化設計方法。Chen、Peng 與 Gu (2018) 從可適應任務對新功能成本的節約角度，定義可適應因數計算方法，提出一種優化方法，應用於開放式結構的產品可適應性設計，進而開發了一種 web 的設計工具，將其研究擴展到互聯網與智能製造技術。

綜上所述，Gu 等人 (2004) 提出的可適應設計方法理論，多應用在模塊化、平台化、開放式或離散結構產品的配置組合方案的優化中，本研究將衛浴空間定義為開放式平台，其中的各產品為功能模塊，並綜合 Xu 等人 (2008)、辛志傑等人 (2008)、曲藝 (2009) 以及陳永亮等人 (2010) 對理論的發展。將功能配置相似度的量化，以配置相互轉化的程度，定義可適應性因素。可適應性因素越高，表示功能配置相互轉化的程度越高，相似度與可被簡化的整合能力越好。公式 (1) 中，把可適應因數定義為產品 (PF_j) 經可適應改造成為產品 (PF_i) 的程度，即 PF 的匹配程度 (p) 與其使用機率 (pr) 的乘積。

$$AF(Tpi) = pr(PF_i|PF_j) \cdot \frac{Inf(PF_i \cap PF_j)}{Inf(PF_i)} \quad (1)$$

$$P(Tpi) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p(PF_i|PF_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Inf(PF_i \cap PF_j)}{Inf(PF_i)} \quad (2)$$

$$PR(Tpi) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n pr(PF_i|PF_j) \quad (3)$$

公式 (1) 中， $Tpi=PF_i|PF_j$ 表示目標可適應性集 (Tp)，PF 表示具有功能配置集的產品功能單元。 $pr(PF_i|PF_j)$ 表示 PF_i 的使用機率，即用戶在擁有了 PF_j 的情況下，需要使用 PF_i 的機率，即為功能配置匹配度的權重值。AF (Tpi) 表示為 Tpi 的可適應因數 (adaptability factor, AF)，即 PF_i 的匹配程度與 PF_j 使用機率的乘積，定義為 PF_j 經可適應改造成為 PF_i 的程度。

公式 (2) 中， $PF_i \cap PF_j$ 表示 PF_i 和 PF_j 共用功能配置的集合； $Inf(PF_i \cap PF_j)$ 表示 PF_i 和 PF_j 共用功能配置集合的廣義成本之和，也就是共用功能配置的集合所消耗的資源總和； $Inf(PF_i)$ 表示 PF_i 所有功能配置廣義成本之和，也就是設計產品時需要消耗的資源總和。P (Tpi) 表示 PF_i 的匹配度的列項求和之平均數，說明 PF_i 在產品集中的相對的總匹配度值。公式 (3) 中 PR (Tpi) 表示 PF_i 的使用機率的列項求和之平均數，說明 PF_i 在產品集中的相對的總機率值。

$AF(Tpi) = AF(PF_i|PF_j)$ 反映了 PF_i 成為 PF_j 的適應能力。PF_i 和 PF_j 之間功能或約束的相似，可以是一項也可以是多項。可適應因數的取值範圍為 [0, 1]，當 AF=0 時，表示 PF_i 與 PF_j 完全沒有公共部分，PF_i 無法通過改造在 PF_j 重新利用；當 $0 < AF < 1$ 時，表示 PF_i 與 PF_j 有公共部分，PF_i 有部分功能配置可以通改造在 PF_j 中重新利用；當 AF=1 時，表示 PF_i 與 PF_j 完全一樣。

目標可適應性集 (Tp) 內每個 PF_j 轉化為 PF_i 的可適應因素的求合後的平均值，就是每個 PF_i 的可適應度 (adaptability)，其公式如下：

$$A(PF_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_r(PF_i|PF_j) \frac{Inf(PF_i \cap PF_j)}{Inf(PF_i)} \quad (4)$$

公式 (4) 中， $A(PF_i)$ 表示為 PF_i 的可適應度，數值越大時表示該 PF_i 在產品集中的可適應性越好，即反映其向其它 PF 轉化的可適應能力之合的平均數。例如：目標可適應集中有 PF_a 與 PF_b 兩個產品，另 PF_a 有 5 個功能配置 $\{A_a^1, B_a^2, C_a^3, D_a^4, E_a^5\}$ ， PF_b 有 6 個功能配置 $\{A_b^1, C_b^2, D_b^3, F_b^4, G_b^5, H_b^6\}$ ，並假設兩者相互使用的機率值 $p_r(PF_a|PF_b) = p_r(PF_b|PF_a) = 1$ ，其中 PF_a 相對自身的匹配度 $p = 1$ ，兩者相似的配置有 3 個， PF_a 相對 PF_b 匹配度 $p = 3/5$ ，則可以計算 PF_a 的可適應度值計算公式為：

$$A(PF_a) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_r(PF_a|PF_b) \frac{Inf(PF_a \cap PF_b)}{Inf(PF_a)} = \frac{1 + 1 \times \frac{3}{5}}{2} = 1.1 \quad (5)$$

另外 PF_b 相對自身的匹配度 $p = 1$ ，兩者相似的配置有 3 個， PF_b 相對 PF_a 匹配度 $p = 3/6$ ，則可以計算 PF_b 的可適應度值計算公式為：

$$A(PF_b) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_r(PF_b|PF_a) \frac{Inf(PF_b \cap PF_a)}{Inf(PF_b)} = \frac{1 + 1 \times \frac{3}{6}}{2} = 0.75 \quad (6)$$

總上， PF_a 的可適應度值 ($A=1.1$)，大於 PF_b ($A=0.75$)，故 PF_a 更適合優先被簡化或與 PF_b 進行整合設計開發。

2-2 模糊集理論

公式 (1) 中的 $p_r(PF_i|PF_j)$ 為需要使用或應用 PF_i 的機率或頻率，該值的取值範圍為 $[0, 1]$ ，以前的研究是通過以往的銷售記錄和市場調研等具體資訊進行預測 (Chen et al., 2018; Gu et al., 2004; Gu et al., 2011; Xu et al., 2008; 曲藝, 2009; 陳永亮等人, 2010)，本研究將此機率表示為當使用 PF_j 時，需要 PF_i 的可能性。然而衛浴產品集由多品牌、多獨立產品組合而成，產品的使用受習慣與喜好的影響，具有模糊性，故難以透過之前的方法進行統計預測。本研究提出使用成對比較方式，推測產品之間相互使用的機率。許多決策方法，例如層級分析法 (AHP)、選擇法 (elimination et choice translating reality method) 與達波計數法 (Borda count method)，採用多因素之間兩兩比較後進行計算，以判斷重要性與次序性 (Nurmi, 2004; Saaty, 2008; 高陽、陳常青, 2006)。Roy (1971) 認為決策者可以採用事物之間的比較方法處理實際問題，需要基礎多重構面。決策者憑藉相關的知識與經驗進行判斷，只需要兩兩進行比較相互程度，而不是用數字衡量每一種事物 (Goddard, 1983)。事物相對於其他類似事物，可以通過直覺比較將它們聯繫起來進行理解，即可以使用判斷來獲得可理解的價值，以便在涉及難以理解的事物時，獲取可信賴的結果 (Saaty, 2008)。依據決策者的直覺判斷，去評估一些無法被物理測量的事物，可以反映的真實地實際情況，因此，本研究提出使用成對比較判斷矩陣技術與模糊理論結合的方法獲得產品使用的機率值。

2-2.1 機率語意變數

語意變數 (linguistic variable) 是以自然語言中的語詞為值，提供適當的主觀性判斷表達，用於處理複雜、不明確或模糊的資訊，能被用來表達「可能性」語意機率並且能被計算 (Zadeh, 1975)。由於主觀的表達具有相當程度的模糊性，故使用 Zadeh 提出的模糊的邏輯概念來描述事件發生的機率比較恰當。Van Laarhoven 與 Pedrycz (1983) 將模糊概念應用於成對比較矩陣中，以處理決策者判斷的主觀性、不確切性與模糊性等問題。Buckley (1985) 採用梯形模糊數轉化專家意見，形成模糊矩陣，並將一致性

概念轉化到矩陣中。Zimmerman (1991) 在 Zadeh 的模糊邏輯和模糊機率基礎上，提出由一組「機率」語言變數經典範例，如：{almost impossible, not very probable, very probable, almost certain}。Halliwell 與 Shen (2009) 提出 linguistic Bayesian network 方法測算語意機率與對應的模糊數，如：{impossible, very unlikely, nearly impossible, quite unlikely, even chance, very likely, quite likely, nearly certain, certain}。語意變量尺度的分類值並不精確，專家對其解釋也不盡相同，然而這些值可以用模糊集理論來表達 (Kacprzyk, 1986; Rutkowska, Pilinski, & Rutkowski, 1997)。

2-2.2 模糊機率

Lower、Magott 與 Skorupski (2016) 認為事件發生機率是不確定和不精確的，因此提出使用模糊事件的分析方法，將模糊機率的模糊集用具體幾個實值的離散隸屬度函數表示，並採用梯形隸屬函數，用模糊機率對事件進行分析。Lower 等人 (2016) 採用機率語言變數，並使用程度形容詞語言表述，如：{extremely improbable, very rare, average, probable, frequent}，讓評估者使用語意辭彙對評估機率發生的程度，再將機率語意變數轉化模糊集，如表 1。本研究中評估產品功能使用的機率，語意變數對應的模糊集使用正梯形隸屬函數表示 (Kaufmann & Gupta, 1991)，並有參數 (a, b, c, d)。設正梯形模糊數 $\tilde{N} = (a, b, c, d)$ 表示，如圖 1 所示，對於 very rare、average 和 probable 值，具有參數 (a, b, c, d) 的梯形隸屬函數如公式 (7)。

表 1. 語意變數與模糊數

	語意變數	模糊數
L1	extremely improbable (極不可能)	0, 0.1, 0.2, 0.3
L2	very rare (罕見)	0.2, 0.3, 0.4, 0.5
L3	average (一般)	0.4, 0.5, 0.6, 0.7
L4	probable (可能)	0.6, 0.7, 0.8, 0.9
L5	frequent (頻繁)	0.8, 0.9, 1.0, 1.0

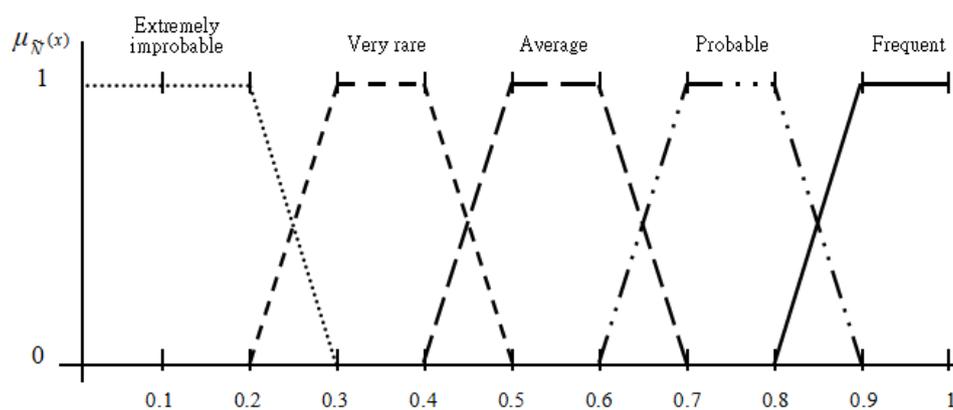


圖 1. 語意變數機率梯形模糊數

$$\mu_{\tilde{N}}(x) \begin{cases} 0, & (x \leq a) \\ \frac{x-a}{a-b}, & (a < x \leq b) \\ 1, & (b < x \leq c) \\ \frac{x-d}{c-d}, & (c < x \leq d) \\ 0, & (x > d) \end{cases} \quad (7)$$

對於 extremely improbable 和 frequent 值，梯形隸屬度函數如公式 (8) 和 (9)：

$$\mu_{\tilde{N}}(x)_{\text{Extremely improbable}} \begin{cases} 0, & (x \leq a) \\ 1, & (b < x \leq c) \\ \frac{x-d}{c-d}, & (c < x \leq d) \\ 0, & (x > d) \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{\tilde{N}}(x)_{\text{Frequent}} \begin{cases} 0, & (x \leq a) \\ \frac{x-a}{a-b}, & (a < x \leq b) \\ 1, & (b < x \leq c) \\ 0, & (x > d) \end{cases} \quad (9)$$

根據梯形模糊數 (trapezoidal functions) 的性質以及擴張原理 (Klir & Yuan, 1995; Zimmerman, 1991)，假設有兩個正梯形模糊數 $\tilde{N}_1 = (a_1, b_1, c_1, d_1)$ 與 $\tilde{N}_2 = (a_2, b_2, c_2, d_2)$ 的數學運算式為公式 (10) 和 (11)：

$$\tilde{N}_1 \oplus \tilde{N}_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2) \quad (10)$$

$$\tilde{N}_1 \otimes \tilde{N}_2 = (a_1 \times a_2, b_1 \times b_2, c_1 \times c_2, d_1 \times d_2) \quad (11)$$

為獲得明確的機率值，故在語意變數和數值運算式之間需要進行轉換函數，如每個語言變數相對應的模糊數。「解模糊化」(defuzzification)，即將推論所得到的模糊數值轉換為明確的數值的過程，一般有中心值法、最大隸屬度法和重心法等三種方法。從一個正梯形模糊數整體的觀點來看，中心部分是最能表達重要程度的區域，因此本研究利用中心值法進行轉換 (公式 12)，將焦點小組成員的模糊評估值定義為 $\tilde{N}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$ ，例如：當評估為「很不可能」，則對應的模糊評估值為 (0, 0.1, 0.2, 0.3)，如果有多位成員，則需要將每組模糊評估值進行整合，然後進行解模糊化 (以 $R_{\tilde{N}_{ij}}$ 表示) 如下所示 (Delgado, Herrera, Herrera-Viedma, & Martinez, 1998)：

$$R_{\tilde{N}_{ij}} = \frac{(b_{ij} + c_{ij})}{2} + \frac{[(d_{ij} - c_{ij}) - (b_{ij} - a_{ij})]}{6} = \frac{a_{ij} + 2b_{ij} + 2c_{ij} + d_{ij}}{6} \quad (12)$$

2-3 蔡氏古民居的衛浴功能需求與現存的產品類別

蔡氏古民居建築為「中國國家級重點文物保護單位」，建築空置和損壞的情況嚴重，此類建築被稱為「官式大厝」，屬於閩南傳統民居建築的一種代表類型，位於中國福建省泉州市。戴志堅 (2003) 認為蔡氏古民居建築的空間構成類型屬於「四合中庭」型，以中庭為中心，數個單體建築與外部空間所組

成的合院式建築，王嵐與羅奇（2003）認為蔡氏古民居建築群的基本形制，仍屬於中國四合式居住形式中的天井式四合式居住體系，它是用數目不等的大小天井組織住宅空間，民間稱為「四水歸堂」。費迎慶、秦樂與郭銳（2011）對蔡氏古民居建築群中的六棟民居的研究發現，其中有部分建築增加了衛浴空間與設施，表明當地居民已經自發地增補現代衛浴設施，但普及率不高。此外，本研究於 2016-2018 年間多次對蔡氏古民居建築進行田野調查，採用觀察方法記錄建築實際使用情況，並對居民的生活狀況開展調查，結合測量繪製出蔡氏古民居「德典厝」中與「蔡淺別院」外的衛浴間佈置圖。透過對現有使用中的衛浴產品與空間環境狀況的觀察，結合訪談法推測居住者真實的衛浴產品使用需求與種類。過程使用半結構的深度訪談方式，根據訪談過程中情況變化，彈性地進行調整，採用錄音方式蒐集語音訊息後整理成逐字稿，以便後續的逐字逐句分析。受訪者包括兩位專家和三位居民，兩位專家其中一位有 18 年以上從事閩南古民居建築修復工作的高級工程師（56 歲），另一位有 12 年以上蔡氏古民居建築居住方式研究的大學教授（55 歲），從他們的積累的實踐與研究經驗中獲取居民生活的一般規律；另外訪談蔡先生（55 歲）、蔡女士（38 歲）與徐女士（30 歲）這三位居民，他們在當地生活 10 年以上，從他們真實的生活經驗中，獲取衛浴功能需求與反饋。

從專家和居民的訪談中得知，當地居民普遍認為在古厝中增加現代衛浴產品與設施可以提高生活的便捷性與舒適性。在採訪過程中蔡先生、徐女士以及蔡女士均對衛浴產品的價格比較關心，同時認為這應該由政府來出資建設，而不應該由居住者承擔，此外，比較接受價格低廉的產品。兩位專家也認為對古厝的保護不僅是對建築真實風貌，也要延續居住功能。徐女士認為長期在古厝中生活的中老年人，可能會習慣建築中沒有配套衛浴設施，但對較年輕世代卻較難以接受，從長期發展的角度來看，中年人會變老，老年人會離世，古厝未來的使用應符合現代生活的使用習慣。

2015 年當地政府開始對蔡氏古民居建築群進行保護修繕工程，提出了文物修繕、展示利用和環境整治內容、範圍與工程性質，制定「最小干預原則」，同時修繕設計需要考慮居住使用的便利性和新增生活設施的可逆性，符合文物保護的相關要求，以改善文物保存狀況為前提，並與文物風貌相協調（中國國家文物局，2015）。蔡先生介紹從 2018 年開始進行蔡氏古民居中的「德棣厝」修繕工作，原居民需先搬離古厝，等修繕完後回遷。徐女士表示當地政府實際只修繕建築結構、材質與裝飾等內外樣式，恢復傳統的建築風貌，更多的是考量文物保護和旅遊，並計劃將有些空置的古厝準備設計成「家訓家規」展館，將居住功能轉變為展示功能。修繕工作並沒有切實考慮其中住戶生活的需求，如衛浴的功能需要居住者自己再後續增設，但會定期檢查居住者自行安裝或增添的設施設備，以確保其不會破壞古厝的傳統風貌。因此，德棣厝經修繕後，並沒有計劃增設衛浴功能，對於蔡先生而言，也是苦惱的問題；徐女士所住的「德典厝」目前也在修復中，所以她們家人搬到東邊上的護厝，等修繕完成再搬回，同樣也有缺乏衛浴設備問題的困擾，只有等修繕完成後再想其他辦法。因此從居住功能的延續上思考，應該配套居民所熟悉且常用的衛浴設備，但設計思路需要與建築特徵、歷史文化、遺跡保護、功能使用等相適應。

當蔡氏古民居建築未被歸入文物保護單位之前，其中之一的「德典厝」屋主在倒塌的護厝南邊的位置，搭設一間兩室的衛浴空間，採用地下預埋化糞池，再將污水通過地下管道排到村外的污水處理站。其中主要產品種類有盥洗盆、水龍頭、小便池、蹲便器、熱水器、椅子、花灑、吊風扇、坐便器、廁紙架、毛巾架、浴巾架和燈具這十三種，如下頁圖 2 所示，由此得知，其洗浴功能與如廁功能融合一起。盥洗盆、小便池、蹲便器和坐便器均採用陶瓷製品，屬於市場上容易購買且價格低廉的產品；排汗泵預埋在蹲便器下方，兩室的排汗管相聯通；兩個空間均裝有懸吊風扇，用於降溫、通風和換氣；其中一把木椅用於放置在盥洗盆前，另一把塑膠椅放置花灑下。此衛浴間以經濟實惠與功能使用為主，接受現代的衛浴功能，物品繁雜且空間利用率較低。

此外，在「蔡淺厝」外設有兩間衛浴室，其建造方式和材料均與德典厝的衛浴間類似，如圖 3 所示，A 室的面積約 3.2m²，主要有花灑、熱水器、盥洗盆、坐便器、排氣扇、暖風機、廁紙架、毛巾架、浴巾架和燈具等，並搭配有水龍頭、掛鉤、鏡子、廁紙架、置物架。B 室的面積約 4m²，因其增添了洗衣的功能，故衛浴產品比 A 室多了洗衣機、儲物櫃和排汗泵。空間沒有明顯的區域劃分，其中 A 室將盥洗盆與坐便器歸類放置在一側，花灑放置在另一側；B 室將盥洗盆、儲物櫃和洗衣機歸類放置在一側，花灑和坐便器放置在另一側。

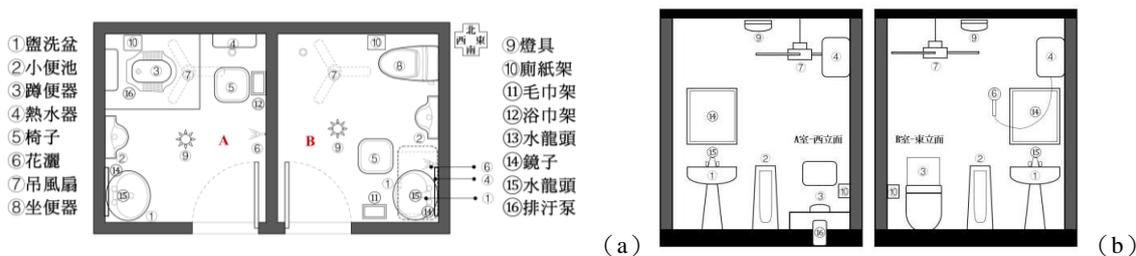


圖 2. 德典厝內現存衛浴間佈局圖：(a) 平面佈局圖；(b) 立面圖

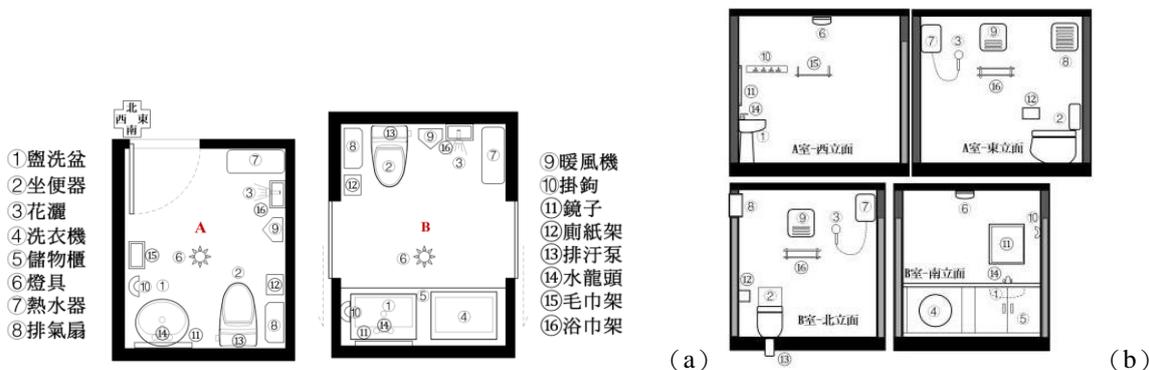


圖 3. 蔡淺厝外現存衛浴間佈局圖：(a) 平面佈局圖；(b) 立面圖

通過觀察記錄德典厝內與蔡淺厝外的兩間衛浴室的產品種類與使用狀況，結合居民與專家的訪談進行比較分析，整理出盥洗、如廁、沐浴和洗衣等四個主要衛浴功能，以及與之相對應的 22 類衛浴產品，如表 2，反映出居住者的實際衛浴需求。

表 2. 衛浴產品說明

序號	產品	說明	序號	產品	說明
1	盥洗盆	為盛水器具，有蓄水和排水功能，以陶瓷材質為主，適合站姿使用。	12	燈具	由照明光源、燈罩和固定件組成，安裝在頂部或牆面。
2	水龍頭	為控制水流，用冷熱水調節功能，以金屬為主，用手操控。	13	毛巾架	掛毛巾之用，單根金屬管構成，固定在牆面。
3	儲物櫃	儲藏放置物品的箱體，一般為木質，有可開關的門，可懸掛也可放置地面。	14	鏡子	一種表面光滑並且具有反射光線能力的物品。
4	坐便器	坐姿如廁的器具，一般為陶瓷材質，有儲水箱和排汗管道。	15	浴巾架	掛浴巾之用，多根金屬管構成，固定在牆面。
5	蹲便器	蹲姿如廁的器具，一般為陶瓷材質，有儲水箱和排汗管道。	16	廁紙架	放置或懸掛捲紙的架子，固定在牆面。

表 2. 衛浴產品說明 (續)

序號	產品	說明	序號	產品	說明
6	小便池	站姿如廁的器具，一般為陶瓷材質，有儲水箱和排汗管道。	17	洗衣機	利用電能，產生機械作用來洗滌衣物的清潔電器，包括塑膠圓柱形內筒和具有至少一個排水口的金屬製成的滾筒外筒。
7	花灑	洗澡淋浴之用的噴頭，可調節水流形態，一般為金屬材質，可懸掛和手持。	18	置物架	放置衛浴等用品，由金屬管和片構成，有多層平台，固定在牆面。
8	熱水器	在一定時間內使冷水溫度升高變成熱水的一種裝置，使用電能加熱，有儲水箱體，懸掛固定在牆體上部。	19	椅子	便於休息的坐具，無靠背和扶手，由座面和支架構成。
9	吊風扇	用電驅動產生氣流的裝置，內配置的扇頁通電後，來進行轉動，形成自然風來達到乘涼的效果，懸掛固定在頂部。	20	化糞池	由三個箱體構成的三級化糞池，將糞便逐級過濾沉澱的處理方式，這樣經過三次淨化後基本轉變為水，再通過排汗管引至汗水處理站。
10	排氣扇	由電動機帶動風葉旋轉驅動氣流，使室內外空氣交換的一類空氣調節電器，懸掛固定在牆體上部或頂部。	21	排汗泵	一種泵與電機連體，並同時潛入液下工作的泵類產品，具有可輸送含有堅硬固體、纖維物的液體，以及特別髒、黏和滑的液體的特點。
11	暖風機	由通風機、電動機及空氣加熱器組合而成的聯合機組，可作為迴圈空氣供暖用，懸掛固定在牆體上部或頂部。	22	掛鉤	形狀彎曲，用於懸掛器物的用品，固定在牆面。

三、研究方法

3-1 研究流程

本研究以中國福建蔡氏古民居建築為例。首先通過田野調查瞭解現有衛浴空間的佈局以及相關產品使用情況，匯總現有衛浴產品種類並當成一個整體集合，再逐一對每類產品進行功能配置分解；然後使用焦點小組方法結合模糊理論，進行成對產品相互使用機率評估，最後以各衛浴產品的可適應度值的高低程度為依據，進行以簡化整合為目的的設計開發。

3-2 衛浴產品之功能域建構

本研究通過觀察記錄與訪談法推測居民日常的衛浴功能與需求，以及古民居中現存的衛浴產品類別，並以此為基礎，建立產品與功能的映射關係。建立基於函數的設計過程模型，該模型來源於或類似於 Suh 提出的公理化設計過程模型 (Gu et al., 2009)。該模型劃分為四個不同的設計部分，即四個域，分別是用戶域、功能域、物理域和工藝域。本研究應用「用戶域」與「功能域」兩部分，將居民對衛浴功能需求對應「用戶域」，將「功能域」定義為由許多功能與約束構成的「功能配置」，兩個域所包含的元素具有相互映射關係，因此首先定義「用戶域」再分析與其相對應的「功能域」內容。「功能域」的表達方式定義為由物質、能量和資訊組成的功能結構。產品的物質、能量與資訊的傳遞是其物理功能的固有屬性，用於識別產品的運行活動與效用，功能是通過其物理結構來實現的 (Otto & Wood, 2001)。圖 4 (a) 表示基本產品功能域基本建構模式，包括物質、能量與資訊三個基本的輸入與輸出類型，可以加強對產品技術與功能上的分析理解，其中物質通常是具有形狀、質量、顏色狀態等屬性；能量是使某

種事情發生的能力，如電能、動能、磁能、光能等；資訊是將一個裝置內在決定能力傳遞給另一個裝置，是物理形式的傳遞訊息的功能，包括狀態以及控制目的等（Otto & Wood, 2001）。圖 4（b）以燈具為例進行產品功能域建構。

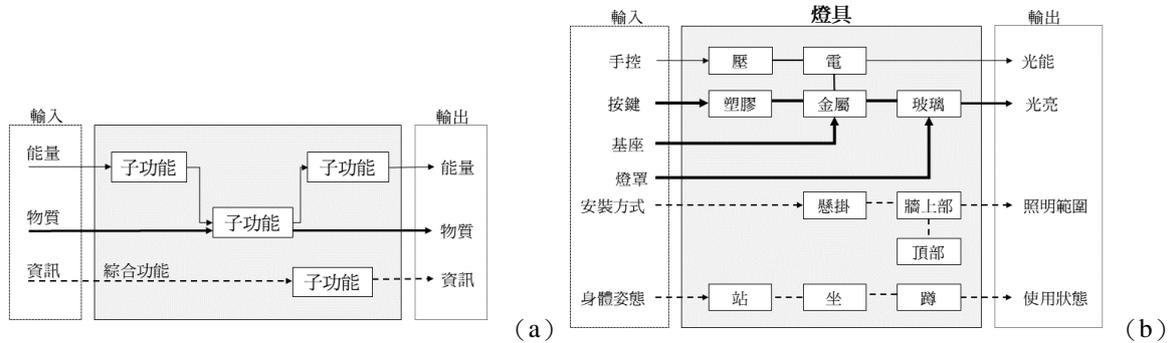


圖 4. 產品功能域建構圖：(a) 功能域基本建構模式圖；(b) 燈具功能域建構圖

3-3 可適應性設計度量方法

3-3.1 可適應性設計度量步驟

依據田野調查匯總的衛浴產品為組合進行可適應性度量，具體步驟如下：

1. 可適應設計目標與產品的定義：根據用戶需求確定衛浴產品集。
2. 產品的功能配置方案規劃：將用戶需求和相對應的功能匹配，以確定目標產品的主要功能和約束，通過案例分析，建立功能配置。
3. 檢測功能配置共性：比較分析衛浴產品之間的共性，包括功能與使用狀態等相似性。這些共性確定可以為新產品設計開發共用的或整合的內容。
4. 產品使用機率評估：依據專家評估方法，判斷對成對衛浴產品之間相互被使用的可能性機率，以獲得每個產品在整體集合中的使用頻率，作為功能配置共性的加權。
5. 可適應性度量與設計：最後計算衛浴產品可適應度值，以此為依據判斷是否可以將不同產品以資源節約與適應需求為目的進行再設計。

3-3.2 衛浴產品使用機率的評估方法

在實踐中，住宅空間的使用是由居住者的偏好來定義的（Leupen, 2006），不僅僅是一個結構，而是為一套複雜的目的而創造的（Rapoport, 1969）。勒·柯布西耶將住宅定義為居住的機器，是一種提供生活需求的有效工具（Morse, 2015）。Rapoport（1982）引用 Hall 的概念將環境分為固定、半固定和非固定三個元素（畢恒達，1990），衛浴產品大多類似於半固定元素，並與人產生動態的交互作用。本研究依據對現有衛浴空間的觀察記錄，並結合原住民和專家的訪談進行衛浴行為推測，將當地居民的衛浴行為與功能相對應，則可將衛浴功能分為盥洗、洗浴、如廁和洗衣等。綜上而言，各類衛浴產品之間類似機器的「零部件」而存在使用上的聯繫，當居民執行某一衛浴行為時，因功能需求與行為習慣則會引發多種產品關聯使用的情況，例如盥洗時可能會使用到盥洗盆、水龍頭、毛巾架等，也可能會需要燈具、置物架或鏡子等產品進行輔助，以此產生產品之間關聯性的相互使用機率，如圖 5 所示。

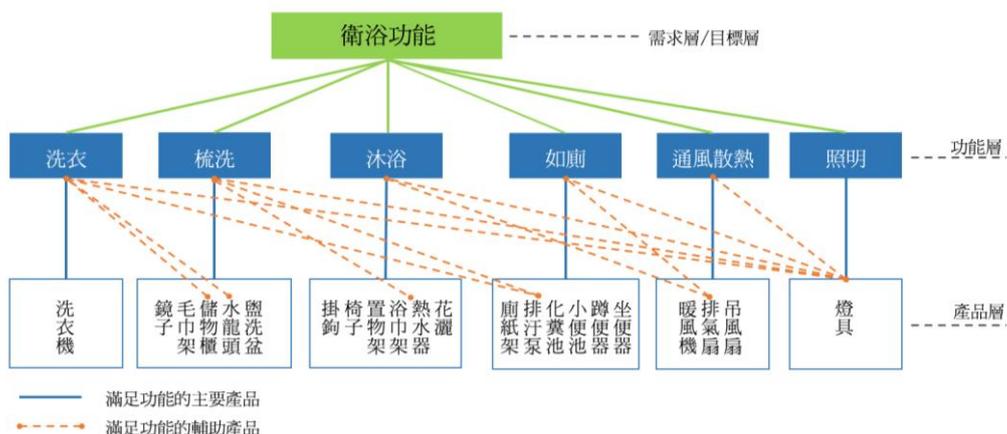


圖 5. 衛浴功能與產品關聯圖

本研究為探究產品之間使用的可能性，採用建立焦點小組方式，討論並判斷成對產品的使用機率。小組成員將他們的經驗和思考聯繫在一起，成員之間可能產生一些共同參考框架 (Kidd & Parshall, 2000)。Rabiee (2004) 基於 Krueger 和 Casey (2000) 的研究提出了焦點小組工作的 8 個標準，將作為本研究的焦點小組方法實施的主要依據。焦點小組的成員共有 8 位，主職為設計研究的有 5 位，主職為設計務實的有 3 位，包括有產品設計研究者與設計師、家居空間研究者與設計師、設計類研究者以及設計專業教育者等專業背景，如表 3 所示。其中的成員 A、G 和 H 具有多年從事閩南古民居空間改造設計與實施，對當地居民的生活需求與產品使用具有較多的經驗；成員 B、C 和 F 具有多年衛浴產品項目設計實務與使用功能應用的經驗；成員 D 和 E 從事多年傳統文化與空間行為方面的研究。專家的評估建立在對實際使用者的深入了解與研究基礎上，可以做出關鍵性的判斷，此外，實際使用者有時並不一定能確切表達自己所需，故本研究的專家評估具有較高效率。可從民居生活習俗、使用習慣、操作效率以及行為流程等方面，進行產品使用機率評估。

表 3. 焦點成員基本資料

成員	性別	年齡	教育程度	專業背景	從業年限
A	男	56	碩士	家居空間設計研究者	31
B	男	35	碩士	產品設計研究者與教育者	10
C	男	31	博士	產品設計研究者與教育者	6
D	女	30	碩士	設計類研究者	6
E	女	28	碩士	設計類研究者	5
F	男	36	碩士	產品設計師與設計教育者	11
G	男	38	碩士	家居空間設計師	13
H	女	32	碩士	家居空間設計師	8

本研究採用成對比較矩陣問卷進行評估，焦點小組成員採用口語方式表達的「語意變數」，如表 1，藉以定量表示使用 PF_j 時，需要 PF_i 的可能性程度。以成對產品之間具有機率相同為原則，表示當使用「盥洗盆」會使用到「水龍頭」的可能性與當使用「水龍頭」會使用到「盥洗盆」的可能性相同，以此構造對稱的機率判斷矩陣。假設 PF 有 n 個數量，則判斷矩陣為 $n \times n$ 的對稱矩陣，因此 $pr(PF_i|PF_j) = 1$ ，即產品需要自身的機率為 1，另外 $pr(PF_i|PF_j) = pr(PF_j|PF_i)$ ， $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$ 。故專家需要作出 $n(n-1)/2$ 次可能性判斷。

小組成員依據 Rabiee (2004) 建議的 8 個工作標準過程實施，每位成員採用圖 6 (a) 的產品使用機率成對比較矩陣問卷進行評估。為方便成員的填答，將數字[1、2、3、4、5]代替語意變數，例如當使用「盥洗盆」時，一般都是用來洗漱盛水和排水，故使用「水龍頭」是直接且可能性非常高 (frequent)，使用數字「5」表示；然而洗漱時會將“儲物櫃”用來存放洗漱用品，故對其使用是間接的且可能性低 (very rare)，使用數字「2」表示。將成員評估問卷回收後，按照表 1 所示，將直覺判斷獲得每個機率語意變數的對應數字轉成梯形模糊數，接著依據圖 6 (b) 的方式，結合幾何平均算法合成多位成員的模糊機率矩陣 (公式 13)，最後使用中心值法 (公式 12) 得到解模糊化的機率判斷值 (Shih, Shyur, & Lee, 2007)。本研究將 $R_{\tilde{N}_i}$ 定義為 $pr(PF_i|PF_j)$ 得到解模糊化的產品的使用機率矩陣 PR_{TP} ，如表 5。

$$\tilde{N}_{PR} = \sqrt[k]{\tilde{N}_{PR}^1 \otimes \tilde{N}_{PR}^2 \otimes \tilde{N}_{PR}^3 \otimes \dots \otimes \tilde{N}_{PR}^k} \quad (13)$$

其中： \tilde{N}_{PR} 為整合 k 位專家的模糊機率矩陣； \tilde{N}_{PR}^k 為第 k 位專家評估的模糊機率矩陣；k 為專家數量。

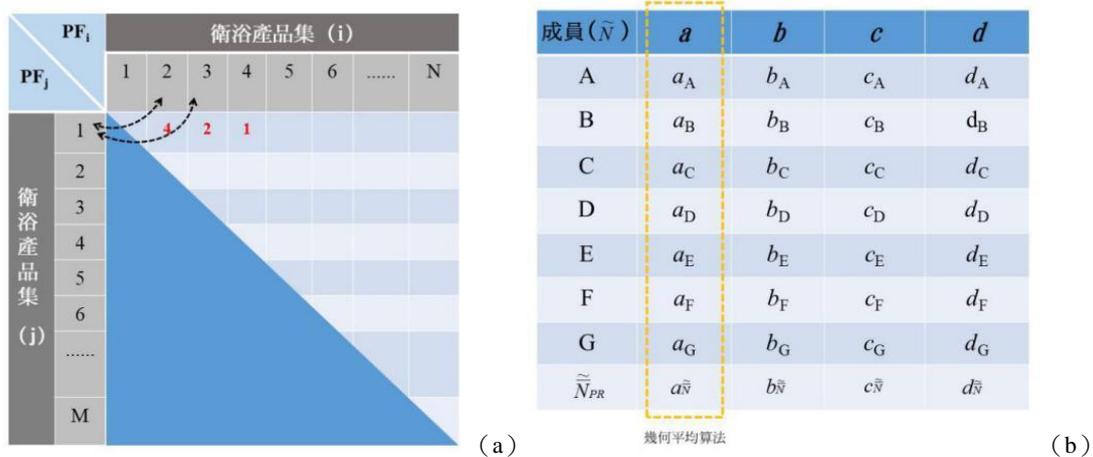


圖 6. 焦點小組產品使用機率評估與模糊化整合方式：

(a) 產品使用機率成對比較矩陣問卷；(b) 成員評估之模糊化整合方式。

四、衛浴產品集可適應性度量結果

4-1 衛浴產品的功能配置矩陣

本研究將蔡氏古民居中匯總的 22 個衛浴產品種類，定義為衛浴產品集合，逐一進行功能結構分解，抽象且直接地把居住者需求轉化為設計過程中的功能配置，對基於需求的设计配置進行量化。功能結構定義為輸入一輸出的模型，該模型將物質、能量和資訊轉化成用戶希望的状态，不考慮設施產品的體積、尺度、材質與機能等因素，依據日常經驗、產品使用行為與需求的描述，按照能量、物質和資訊三類細分產品的功能配置。將各產品功能配置採用通用的辭彙呈現，並繪製成衛浴產品功能結構配置矩陣 (M_{TP})，詳見附錄，橫欄為 22 件衛浴產品，縱欄表示功能配置。將功能配置量表示為數字 0 與 1，其中，0 表示該 PF 不具備此配置，1 則表示該 PF 具備此配置。

4-2 衛浴產品的功能匹配度矩陣

依據附錄表中數據並應用公式 (2) 計算成對衛浴產品的匹配度，計算後得匹配度矩陣 P_{TP} 。由附錄表可知， PF_1 為盥洗盆， $PF_1 = \{進水_1、盛水_1、排水_1、扶_1、撐_1、陶瓷_1、站_1、0.1m \leq H \leq 1m_1、平放_1、豎立_1\}$ ； PF_2 為水龍頭， $PF_2 = \{進水_2、排水_2、暖_2、冷_2、握_2、旋_2、壓_2、金屬_2、站_2、坐_2、蹲_2、$

$0.1m \leq H \leq 1m_2$ 、豎立₂、懸掛₂}。以此得出 PF₁ 與 PF₂ 的 p 值 (公式 14)。

$$p(Tp_1) = \frac{Inf(PF_1 \cap PF_2)}{Inf(PF_1)} = \frac{5}{10} = 0.5 \tag{14}$$

表 4 為 22 個衛浴產品的功能配置匹配度矩陣，表示 PF_j 經可適應改造成為 PF_i 時，二者的匹配程度，數值越大說明功能配置的匹配度越高。依據公式 (2) 得到 p 值，表示 PF_i 在衛浴產品集中的總匹配度。

表 4. 產品功能匹配度矩陣 (p)

No.	衛浴產品集 (PF _i)																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	1.00	0.33	0.33	0.69	0.64	0.82	0.21	0.31	0.07	0.07	0.07	0.15	0.09	0.25	0.10	0.29	0.47	0.17	0.36	0.50	0.43	0.13
2	0.50	1.00	0.47	0.46	0.64	0.55	0.64	0.69	0.57	0.53	0.53	0.46	0.55	0.50	0.60	0.57	0.47	0.50	0.27	0.25	0.43	0.50
3	0.50	0.40	1.00	0.54	0.55	0.55	0.43	0.31	0.43	0.40	0.40	0.38	0.64	0.75	0.70	0.79	0.53	0.83	0.73	0.38	0.43	0.75
4	0.90	0.33	0.47	1.00	0.82	0.91	0.29	0.46	0.21	0.20	0.20	0.31	0.18	0.25	0.20	0.36	0.67	0.33	0.64	0.63	0.57	0.25
5	0.70	0.47	0.40	0.69	1.00	0.82	0.29	0.46	0.29	0.27	0.27	0.38	0.18	0.50	0.10	0.36	0.53	0.25	0.27	0.63	0.57	0.25
6	0.90	0.40	0.40	0.77	0.82	1.00	0.21	0.46	0.14	0.13	0.13	0.23	0.09	0.25	0.10	0.29	0.60	0.17	0.36	0.63	0.57	0.13
7	0.30	0.60	0.40	0.31	0.36	0.27	1.00	0.69	0.43	0.40	0.40	0.38	0.73	0.75	0.80	0.50	0.33	0.67	0.36	0.38	0.43	0.88
8	0.40	0.60	0.27	0.46	0.55	0.45	0.64	1.00	0.64	0.60	0.60	0.62	0.55	0.50	0.50	0.36	0.53	0.42	0.27	0.50	0.57	0.63
9	0.10	0.53	0.40	0.23	0.36	0.18	0.43	0.69	1.00	0.87	0.87	0.77	0.55	0.50	0.50	0.43	0.47	0.50	0.27	0.25	0.43	0.63
10	0.10	0.53	0.40	0.23	0.36	0.18	0.43	0.69	1.00	1.00	0.93	0.77	0.55	0.50	0.50	0.43	0.47	0.50	0.27	0.38	0.43	0.63
11	0.10	0.53	0.40	0.23	0.36	0.18	0.43	0.69	0.93	0.93	1.00	0.77	0.55	0.50	0.50	0.43	0.47	0.50	0.27	0.38	0.43	0.63
12	0.20	0.40	0.33	0.31	0.45	0.27	0.36	0.62	0.71	0.67	0.67	1.00	0.55	0.75	0.50	0.43	0.33	0.50	0.27	0.13	0.29	0.63
13	0.10	0.40	0.47	0.15	0.18	0.09	0.57	0.46	0.43	0.40	0.40	0.46	1.00	0.75	1.00	0.64	0.20	0.75	0.45	0.13	0.14	1.00
14	0.10	0.13	0.20	0.08	0.18	0.09	0.21	0.15	0.14	0.13	0.13	0.23	0.27	1.00	0.30	0.21	0.07	0.25	0.09	0.00	0.00	0.38
15	0.10	0.40	0.47	0.15	0.18	0.09	0.57	0.38	0.36	0.33	0.33	0.38	0.91	0.75	1.00	0.64	0.20	0.75	0.45	0.13	0.14	1.00
16	0.40	0.53	0.67	0.38	0.45	0.36	0.50	0.38	0.43	0.40	0.40	0.46	0.82	0.75	0.90	1.00	0.40	0.83	0.64	0.25	0.29	1.00
17	0.70	0.47	0.47	0.77	0.73	0.82	0.36	0.62	0.50	0.47	0.47	0.38	0.27	0.25	0.30	0.43	1.00	0.42	0.55	0.75	1.00	0.38
18	0.20	0.40	0.60	0.31	0.27	0.18	0.57	0.38	0.43	0.40	0.40	0.46	0.82	0.75	0.90	0.71	0.33	1.00	0.55	0.13	0.14	1.00
19	0.40	0.20	0.47	0.54	0.27	0.36	0.29	0.23	0.21	0.20	0.20	0.23	0.45	0.25	0.50	0.50	0.40	0.50	1.00	0.38	0.29	0.50
20	0.40	0.13	0.20	0.38	0.45	0.45	0.21	0.31	0.14	0.20	0.20	0.08	0.09	0.00	0.10	0.14	0.40	0.08	0.27	1.00	0.57	0.13
21	0.30	0.20	0.20	0.31	0.36	0.36	0.21	0.31	0.21	0.20	0.20	0.15	0.09	0.00	0.10	0.14	0.47	0.08	0.18	0.50	1.00	0.13
22	0.10	0.27	0.40	0.15	0.18	0.09	0.50	0.38	0.36	0.33	0.33	0.38	0.73	0.75	0.80	0.57	0.20	0.67	0.36	0.13	0.14	1.00
p	0.39	0.42	0.43	0.42	0.46	0.41	0.43	0.48	0.44	0.41	0.42	0.43	0.48	0.51	0.50	0.46	0.43	0.48	0.40	0.38	0.42	0.57

4-3 衛浴產品的使用機率評估

人們常常使用衛浴產品時沒有固定的行為流程，且性別、年齡、職業以及文化背景等差異都會產生使用習慣的區別。當人們因為某種需求時，可能會有一系列連貫的行為，並會運用到多種產品，各類產品之間都存在某種使用上的關聯性。本研究焦點小組成員採用衛浴產品成對比較矩陣，使用機率語意變數，如表 1 所示，判斷當使用 PF_j 時，會需要 PF_i 的可能性 (機率)。

表 5. 產品功能使用機率矩陣 (pr)

No.	衛浴產品集 (PF_i)																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	1.00	0.93	0.37	0.14	0.13	0.13	0.14	0.65	0.14	0.21	0.19	0.78	0.83	0.93	0.46	0.20	0.19	0.53	0.13	0.12	0.30	0.65
2	0.93	1.00	0.17	0.62	0.62	0.30	0.61	0.84	0.14	0.26	0.24	0.74	0.71	0.61	0.57	0.21	0.26	0.26	0.14	0.18	0.28	0.69
3	0.37	0.17	1.00	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.15	0.17	0.17	0.70	0.51	0.61	0.25	0.20	0.25	0.60	0.17	0.13	0.12	0.58
4	0.14	0.62	0.15	1.00	0.14	0.15	0.15	0.20	0.66	0.84	0.60	0.76	0.19	0.17	0.17	0.88	0.12	0.44	0.15	0.86	0.86	0.17
5	0.13	0.62	0.14	0.14	1.00	0.20	0.14	0.17	0.66	0.80	0.65	0.76	0.15	0.16	0.16	0.88	0.13	0.25	0.12	0.86	0.86	0.19
6	0.13	0.30	0.14	0.15	0.20	1.00	0.15	0.15	0.53	0.60	0.25	0.73	0.21	0.17	0.17	0.55	0.13	0.57	0.12	0.84	0.77	0.19
7	0.14	0.61	0.14	0.15	0.14	0.15	1.00	0.91	0.59	0.74	0.84	0.81	0.76	0.44	0.75	0.16	0.13	0.59	0.17	0.14	0.70	0.66
8	0.65	0.84	0.13	0.20	0.17	0.15	0.91	1.00	0.46	0.70	0.80	0.72	0.65	0.19	0.68	0.15	0.14	0.24	0.15	0.14	0.48	0.19
9	0.14	0.14	0.15	0.66	0.66	0.53	0.59	0.46	1.00	0.50	0.46	0.56	0.47	0.16	0.18	0.15	0.13	0.15	0.13	0.16	0.16	0.14
10	0.21	0.26	0.17	0.84	0.80	0.60	0.74	0.70	0.50	1.00	0.53	0.59	0.43	0.15	0.18	0.15	0.15	0.16	0.13	0.21	0.23	0.14
11	0.19	0.24	0.17	0.60	0.65	0.25	0.84	0.80	0.46	0.53	1.00	0.69	0.43	0.16	0.57	0.16	0.15	0.52	0.12	0.14	0.45	0.18
12	0.78	0.74	0.70	0.76	0.76	0.73	0.81	0.72	0.56	0.59	0.69	1.00	0.48	0.73	0.47	0.43	0.45	0.53	0.17	0.14	0.15	0.39
13	0.83	0.71	0.51	0.19	0.15	0.21	0.76	0.65	0.47	0.43	0.43	0.48	1.00	0.63	0.68	0.17	0.14	0.51	0.15	0.12	0.13	0.55
14	0.93	0.61	0.61	0.17	0.16	0.17	0.44	0.19	0.16	0.15	0.16	0.73	0.63	1.00	0.41	0.13	0.13	0.55	0.47	0.13	0.13	0.19
15	0.46	0.57	0.25	0.17	0.16	0.17	0.75	0.68	0.18	0.18	0.57	0.47	0.68	0.41	1.00	0.14	0.15	0.61	0.13	0.14	0.16	0.49
16	0.20	0.21	0.20	0.88	0.88	0.55	0.16	0.15	0.15	0.15	0.16	0.43	0.17	0.13	0.14	1.00	0.13	0.55	0.13	0.44	0.16	0.18
17	0.19	0.26	0.25	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13	0.15	0.15	0.45	0.14	0.13	0.15	0.13	1.00	0.68	0.16	0.14	0.72	0.45
18	0.53	0.26	0.60	0.44	0.25	0.57	0.59	0.24	0.15	0.16	0.52	0.53	0.51	0.55	0.61	0.55	0.68	1.00	0.15	0.14	0.13	0.64
19	0.13	0.14	0.17	0.15	0.12	0.12	0.17	0.15	0.13	0.13	0.12	0.17	0.15	0.47	0.13	0.13	0.16	0.15	1.00	0.14	0.13	0.17
20	0.12	0.18	0.13	0.86	0.86	0.84	0.14	0.14	0.16	0.21	0.14	0.14	0.12	0.13	0.14	0.44	0.14	0.14	0.14	1.00	0.70	0.12
21	0.30	0.28	0.12	0.86	0.86	0.77	0.70	0.48	0.16	0.23	0.45	0.15	0.13	0.13	0.16	0.16	0.72	0.13	0.13	0.70	1.00	0.14
22	0.65	0.69	0.58	0.17	0.19	0.19	0.66	0.19	0.14	0.14	0.18	0.39	0.55	0.19	0.49	0.18	0.45	0.64	0.17	0.12	0.14	1.00
pr	0.42	0.47	0.31	0.43	0.42	0.37	0.49	0.44	0.35	0.40	0.42	0.58	0.45	0.37	0.39	0.33	0.27	0.45	0.20	0.32	0.40	0.37

焦點小組加強對每類衛浴產品功能、使用方式、狀態以及場景等方面的探討，透過多輪判斷以及修正的方式加強信度，使每位成員對衛浴產品使用的機率評估達成基本共識，完成機率語意變數矩陣表，再通過模糊數的轉化與整合，最後進行解模糊化得到使用機率矩陣，如表 5。依據公式 3 得到 PR 值，表示 PF_i 在衛浴產品集中的可能被使用機率。

4-4 衛浴產品的可適應度

依據公式 1，可適應因數 $AF(PF_i|PF_j)$ 為產品使用機率 $pr(PF_i|PF_j)$ 與產品匹配度 $p(PF_i|PF_j)$ 的乘積，本研究將解模糊化的機率判斷值 $R_{\tilde{m}_j}$ 代替 $pr(PF_i|PF_j)$ ，故 $AF(PF_i)$ 計算方法如公式 (15)。以此為基礎得出 AF_{TP} 矩陣，如表 6，從中得知衛浴產品之間的可適應因數，數值越高表示 PF_j 轉化或整合為 PF_i 時的可行性越高。依據公式 (4) 可知衛浴產品可適應度 $A(PF_i)$ 為 0.10-0.27，數值越高表示該產品在衛浴集合中的可適應性高。

表 6. 產品可適應因數矩陣 (AF_{TP})

No.	衛浴產品集 (PF _i)																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	1.00	0.31	0.12	0.09	0.08	0.11	0.03	0.20	0.01	0.01	0.01	0.12	0.07	0.23	0.05	0.06	0.09	0.09	0.05	0.06	0.13	0.08
2	0.47	1.00	0.08	0.29	0.40	0.17	0.39	0.58	0.08	0.14	0.13	0.34	0.39	0.30	0.34	0.12	0.12	0.13	0.04	0.04	0.12	0.35
3	0.18	0.07	1.00	0.08	0.08	0.08	0.06	0.04	0.06	0.07	0.07	0.27	0.33	0.46	0.17	0.16	0.13	0.50	0.12	0.05	0.05	0.44
4	0.12	0.21	0.07	1.00	0.12	0.13	0.04	0.09	0.14	0.17	0.12	0.24	0.03	0.04	0.03	0.32	0.08	0.15	0.10	0.54	0.49	0.04
5	0.09	0.29	0.06	0.10	1.00	0.17	0.04	0.08	0.19	0.22	0.18	0.29	0.03	0.08	0.02	0.32	0.07	0.06	0.03	0.54	0.49	0.05
6	0.12	0.12	0.06	0.11	0.17	1.00	0.03	0.07	0.07	0.08	0.03	0.17	0.02	0.04	0.02	0.16	0.08	0.09	0.04	0.52	0.44	0.02
7	0.04	0.37	0.05	0.05	0.05	0.04	1.00	0.63	0.25	0.30	0.33	0.31	0.56	0.33	0.60	0.08	0.04	0.39	0.06	0.05	0.30	0.58
8	0.26	0.50	0.03	0.09	0.09	0.07	0.58	1.00	0.29	0.42	0.48	0.45	0.36	0.09	0.34	0.05	0.08	0.10	0.04	0.07	0.27	0.12
9	0.01	0.07	0.06	0.15	0.24	0.10	0.25	0.32	1.00	0.44	0.40	0.43	0.26	0.08	0.09	0.06	0.06	0.07	0.03	0.04	0.07	0.08
10	0.02	0.14	0.07	0.19	0.29	0.11	0.32	0.49	0.50	1.00	0.50	0.46	0.24	0.07	0.09	0.07	0.07	0.08	0.04	0.08	0.10	0.09
11	0.02	0.13	0.07	0.14	0.23	0.04	0.36	0.55	0.43	0.50	1.00	0.53	0.24	0.08	0.29	0.07	0.07	0.26	0.03	0.05	0.19	0.11
PF _j 12	0.16	0.30	0.23	0.24	0.34	0.20	0.29	0.45	0.40	0.40	0.46	1.00	0.26	0.55	0.24	0.18	0.15	0.26	0.05	0.02	0.04	0.24
13	0.08	0.28	0.24	0.03	0.03	0.02	0.43	0.30	0.20	0.17	0.17	0.22	1.00	0.48	0.68	0.11	0.03	0.39	0.07	0.01	0.02	0.55
14	0.09	0.08	0.12	0.01	0.03	0.01	0.09	0.03	0.02	0.02	0.02	0.17	0.17	1.00	0.12	0.03	0.01	0.14	0.04	0.00	0.00	0.07
15	0.05	0.23	0.12	0.03	0.03	0.02	0.43	0.26	0.06	0.06	0.19	0.18	0.62	0.30	1.00	0.09	0.03	0.46	0.06	0.02	0.02	0.49
16	0.08	0.11	0.13	0.34	0.40	0.20	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	0.20	0.14	0.09	0.12	1.00	0.05	0.46	0.08	0.11	0.04	0.18
17	0.13	0.12	0.12	0.09	0.09	0.10	0.05	0.09	0.06	0.07	0.07	0.17	0.04	0.03	0.05	0.05	1.00	0.28	0.09	0.10	0.72	0.17
18	0.11	0.11	0.36	0.14	0.07	0.10	0.34	0.09	0.06	0.06	0.21	0.24	0.42	0.41	0.55	0.40	0.23	1.00	0.08	0.02	0.02	0.64
19	0.05	0.03	0.08	0.08	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.07	0.12	0.06	0.06	0.06	0.08	1.00	0.05	0.04	0.08
20	0.05	0.02	0.03	0.33	0.39	0.38	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.06	0.05	0.01	0.04	1.00	0.40	0.01
21	0.09	0.06	0.02	0.27	0.31	0.28	0.15	0.15	0.03	0.05	0.09	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02	0.34	0.01	0.02	0.35	1.00	0.02
22	0.06	0.18	0.23	0.02	0.03	0.02	0.33	0.07	0.05	0.05	0.06	0.15	0.40	0.14	0.39	0.10	0.09	0.43	0.06	0.01	0.02	1.00
A	0.15	0.21	0.15	0.18	0.20	0.15	0.24	0.25	0.18	0.20	0.21	0.27	0.26	0.22	0.24	0.16	0.13	0.25	0.10	0.17	0.23	0.25

$$AF(PF_1) = R_{\tilde{n}_{12}} \cdot \frac{Inf(PF_1 \cap PF_2)}{Inf(PF_1)} = 0.93 \times 0.5 = 0.47 \quad (15)$$

五、研究結論

5-1 衛浴產品的可適應度研究結論

本研究以能量、物質和資訊在衛浴產品中的輸入與輸出情況為基礎，對其進行功能分解，以功能配置的細分為基礎，進行匹配度 p 值計算，並得到匹配度矩陣 (P_{TP})。如表 5 所示， p 值介於 0.07-1 之間，數值越大表示成對產品之間功能配置匹配度越高，反之則越低。從中可以看出不同用途的產品的功能配置相互轉化的匹配度不一致，如 PF_4 (坐便器) 轉化為 PF_1 (盥洗盆) 的 p 值為 0.9，但 PF_1 轉化與 PF_4 的 p 值為 0.692，顯示坐便器的功能配置轉化較盥洗盆更有優勢。

衛浴空間中的產品使用機率是比較模糊的概念，各類產品使用時存在獨立性和聯繫性。現有的研究中使用銷售記錄和市場調研等途徑獲取具體資訊預測，然而蔡氏古民居的衛浴產品是通過從市場上購買組合而成，難以通過銷售記錄和市場調研進行預測。為了較為準確地探討產品之間使用相互關聯，本研究採用焦點小組的方法，對成對產品相互使用機率進行評估，再結合模糊理論進行計算機率值。焦點小組成員由 8 位具有產品設計、空間設計、設計教學以及科研等相關經驗的專家組成，使用語意變數判斷衛浴產品之間相互被使用的可能性，再將語意變數對應的梯形機率模糊數進行解模糊化，而得到較為準確產品的使用機率值與矩陣。

將使用機率矩陣與匹配度矩陣相乘後得到可適應因數矩陣 (AF_{Tp})，以及可適應度 A 值，如表 7。使用機率既為匹配度的權重值，如果匹配度值高，但使用機率值低，則可適應因數也會降低，同時影響到可適應度值。在該衛浴產品組合中，可適應度最高值為 PF_{12} ($A=6$)，機率最低為 PF_{19} ($A=2.17$)。b 若組合中所有產品間的功能配置完全一樣 ($p=1$)，而相互使用機率為最高值 ($pr=1$) 的情況下，則 $AF=1$ ，該集合理想的最高 A 值應該為 22。然而，實際衛浴產品組合中最高的 A 值為 6，與理想的最高 A 值差距較大，說明集中產品之間功能配置的相似度與相互使用的關聯性不強。但本研究主要探討在組合中各產品間相對的可適應度值，可提供未來的產品開發的思考方法與設計依據，因此，產品 A 值越高表示其在集中被簡化、整合以及適應重組改變的能力越強，可依據 A 值高低順序進行可適應設計思考。

5-2 衛浴產品可適應性度值之應用

當進行衛浴產品組合可適應性設計時，需要以可適應度值為依據，進行對比，判斷哪些產品適合優先以簡化或整合的方式進行設計思考。可適應度值為 0.10-0.27 的數值，根據數值大小進行排序可以比較清晰地判斷每件 PF 的 A 值的高低排序與程度。

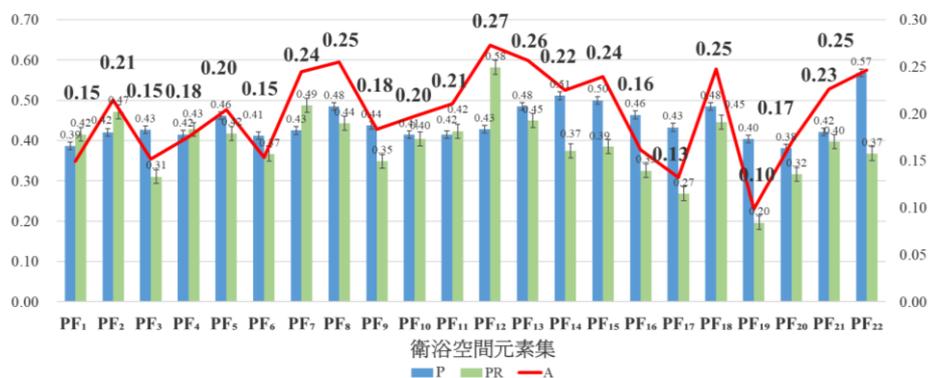


圖 7. 衛浴產品集之 p 、 pr 與 A 值

以可適應度值的高低排序為依據，選擇在衛浴產品集合可優先進行可適應性設計的產品。如圖 7 所示，前六位的順序依次為 PF_{12} (燈具)、 PF_{13} (毛巾架)、 PF_8 (熱水器)、 PF_{18} (置物架)、 PF_{22} (掛鉤)、 PF_7 (花灑)，說明它們在該集中，被簡化或與其它產品的整合程度較高，故可依據優先順序進行整合設計開發，在原有設計的基礎上再設計，形成諸多設計方案。

將 PF_{12} 與 PF_{13} 為例進行可適應性設計，用以說明設計應用方法。首先將蔡氏古民居中使用的燈具與毛巾架進行三維建模，並且建立功能配置間的相似關聯性，得知二者之間有 6 項相似功能配置，如圖 8 (a)；其次得知 PF_{12} 的可適應度大於 PF_{13} ，顯示 PF_{12} 的可適應度更高；最後以上述為依據，將 PF_{12} 的基座的固定件，和電器與 PF_{13} 的固定件合併， PF_{12} 的燈罩和光源縮小附加在兩個連接件上，產生新的設計方案，如圖 8 (b)。然而二者相似的功能配置並非完全一樣，其形態、結構、尺度和數量等均有差別，因此，在具體設計時還需要進行調整。

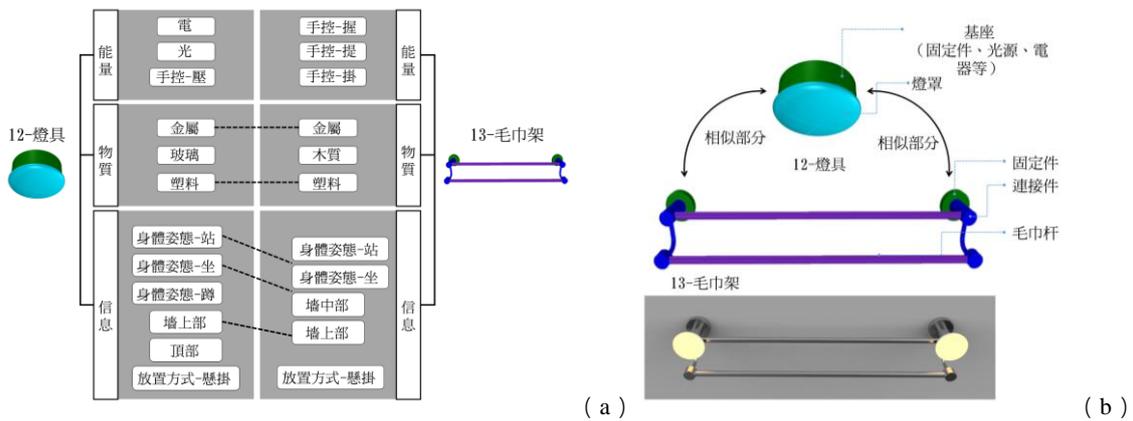


圖 8. 可適應性設計方案：(a) PF₁₂ 與 PF₁₃ 的相似功能配置；(b) 可適應性設計方案

5-3 衛浴產品的可適應性設計方法討論

本研究結合多種度量方法，提出一種以功能簡化整合為目的之可適應性設計方法與應用。用於解決衛浴產品添加在居住空間中，由於需求多樣導致在設計組合搭配中出現的品類繁多、功能重複、成本浪費且空間佔用大等現象。研究中改進了可適應性度量公式中產品使用機率的統計方法，採用一種基於模糊理論的產品相互使用可能性比較矩陣的方法，通過評估數據的轉化以獲取產品使用機率值。以可適應度值高低為依據，進行衛浴產品集合設計開發，可適應度值高的產品可優先進行以簡化整合為目的的可適應性設計。該方法是一種依靠數學算法的參數化評估的設計決策模式，可以將設計分析過程轉變為可視圖表進行討論，以利於設計師進行創意思維，使設計開發更輕鬆。此外，產品使用機率評估也可以讓用戶和製造商參與，能夠使產品開發有利於其他利益方。未來可以將該方法與軟體技術結合，加強交互設計，使算法與操作方式更為簡便，設計師可通過輸入產品的功能配置參數，再結合互聯網的評估機制，就可以實現可適應性設計度量。

以古民居為例，將民居中現有的衛浴產品類別為基礎，並匯總成衛浴產品集合，在滿足居民生活衛浴功能要求的前提下，進行可適應度量與設計。因此，衛浴產品類別的選擇以及功能的使用具有地域性文化特徵，受到建築特徵、居民生活條件、使用習慣與喜好的影響，例如會考慮到原有建築排水的特殊方式與位置，因此會將洗衣機放置在衛浴間中，與盥洗和洗浴產品的排水方式結合。本研究由於受到特殊環境空間條件的要求，故焦點小組成員的專業包括有閩南民居建築、空間設計和衛浴產品設計這三類，並有多年務實與研究經驗的專家組成，使研究結果更準確。研究數據雖然主要面向中國福建南部地區的傳統民居，但所提出的設計流程與方法具有廣泛的適用性，不僅可以擴展到其他地區以及多種產品集合的開發中，在未來的研究中亦可繼續深化整體衛浴空間的規劃。

本研究的可適應性設計方法是基於現有的產品與需求，重用現有功能配置以發展新的設計，因此對於產品功能未來發展的推測具有局限性，例如：新功能與新使用方式的改進。此外，在可適應度計算公式中由於衛浴產品功能配置分解的詳細程度會影響到匹配度與可適應因數值，進而會直接影響可適應度。本研究只從基本的功能需求層面細分配置，並未考慮與功能配置對應的數量、尺寸和形態等物理屬性，文化影響因素也不討論，在未來的研究中，可再進一步深化細分，將會產生不同的計算結果，進而影響產品設計開發決策。

參考文獻

1. Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233-247.
2. Chen, Y., Peng, Q., & Gu, P. (2018). Methods and tools for the optimal adaptable design of open-architecture products. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1-4), 991-1008.
3. Delgado, M., Herrera, F., Herrera-Viedma, E., & Martinez, L. (1998). Combining numerical and linguistic information in-group decision-making. *Journal of Information Science*, 107, 177-194.
4. Douglas, J. (2002). *Building adaptation*. Oxford, England: Butterworth Heinemann.
5. Ferretti, V., Bottero, M., & Mondini, G. (2014). Decision making and cultural heritage: An application of the multi-attribute value theory for the reuse of historical buildings. *Journal of Cultural Heritage*, 15(6), 644-655.
6. Goddard, S. T. (1983). Ranking in tournaments and group decisionmaking. *Management Science*, 29(12), 1384-1392.
7. Gu, P., Hashemian, M., & Nee, A. Y. C. (2004). Adaptable design. *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 53(2), 539-557. doi:10.1016/S0007-8506(07)60028-6
8. Gu, P., Xue, D., & Nee, A. Y. C. (2009). Adaptable design: Concepts, methods and applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering*, 223(11), 1367-1387.
9. Gu, P., Xue, D., & Chen, Y. (2011). *Global product development* (pp. 27-40). Berlin: Springer.
10. Halliwell, J., & Shen, Q. (2009). Linguistic probabilities: Theory and application. *Soft Computing*, 13, 169-183.
11. Harun, S. N. (2011). Heritage building conservation in Malaysia: Experience and challenges. *Procedia Engineering*, 20, 41-53.
12. Nurmi, H. (2004). A comparison of some distance-based choice rules in ranking environments. *Theory and Decision*, 57(1), 5-24.
13. Jerome, P. (2008). An introduction to authenticity in preservation. *APT Bulletin*, 39(2-3), 3-7.
14. Johnson, H. D. (1995). *Green plans: Greenprint for sustainability*. Lincoln, NE: University of Nebraska Press.
15. Kacprzyk, J. (1986). *Fuzzy sets in system analysis (in Polish) PWN*. Warszawa: Panstwowe Wydawnictwo Naukowe.
16. Kaufmann, A., & Gupta, M. M. (1991). *Introduction to fuzzy arithmetic: Theory and applications*. New York, NY: Van Nostrand Reinhold.
17. Kidd, P. S., & Parshall, M. B. (2000). Getting the focus and the group: Enhancing analytical rigor in focus group research. *Qualitative Health Research*, 10(3), 293-308.
18. Klir, G. J., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic theory and applications*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall International Inc.
19. Kohler, N., & Hassler, U. (2002). The building stock as a research object. *Building Research and Information*, 30(4), 226-236.
20. Krueger, R. A., & Casey, M. A. (2000). *Focus groups: A practical guide for applied research*. Thousand

- Oaks, CA: Sage Publications.
21. Kutut, V., Zavadskas, E. K., & Lazauskas, M. (2014). Assessment of priority alternatives for preservation of historic buildings using model based on ARAS and AHP methods. *Archives of Civil and Mechanical Engineering, 14*, 287-294.
 22. Lower, M., Magott, J., & Skorupski, J. (2016). Analysis of air traffic incidents using event trees with fuzzy probabilities. *Fuzzy Sets and Systems, 293*, 50-79.
 23. Leupen, B. (2006). Polyvalence, a concept for the sustainable dwelling. *Nordic Journal of Architectural Research, 19*(3), 23-31.
 24. Martinez, M., & Xue, D. (2016). Development of adaptable products based on modular design and optimization methods. *Procedia CIRP, 50*(1), 70-75.
 25. Morse, G. (2015, October 28). *What is a machine for living in?* Retrieved from <https://placeexploration.com/2015/10/28/a-house-is-a-machine-for-living-in/>
 26. Otto, K., & Wood, K. (2001). *Product design: Techniques in reverse engineering and new product development*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall International Inc.
 27. Penića, M., Svetlana, G., & MurguL, V. (2015). Revitalization of historic buildings as an approach to preserve cultural and historical heritage. *Procedia Engineering, 117*, 883-890.
 28. Plevoets, B., & Van Cleempoel, K. (2013). *Reinventing architecture and interiors: A socio-political view on building adaptation*. London: Libri Publishers.
 29. Rabiee, F. (2004). Focus-group interview and data analysis. *Proceedings of the Nutrition Society, 63*(4), 655-660.
 30. Rapoport, A. (1969). *House form and culture*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
 31. Rapoport, A. (1982). *The meaning of the built environment: A nonverbal communication approach*. Beverly Hills, CA: Sage.
 32. Roy, B. (1971). Problems and methods with multiple objective functions. *Mathematical Programming, 1*(1), 239-266.
 33. Rutkowska, D., Pilinski, M., & Rutkowski, L. (1997). *Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems, PWN*. Warszawa: Polish Scientific Publishers.
 34. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Molecular Sciences, 1*(1), 83-98.
 35. Sand, J. C., & Gu, P. (2006). *Advances in design*. London: Springer.
 36. Seo, K. K., Park, J. H., Jang, D. S., & Wallace, D. (2002). Approximate estimation of the product life cycle cost using artificial neural networks in conceptual design. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 19*(6), 461-471.
 37. Shih, H. S., Shyur, H. J., & Lee, E. S. (2007). An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling, 45*(7-8), 801-813.
 38. Shao, X., Wang, Z., Zhang, G., Li, P., & Gu, P. (2006). Adaptability measure for product family-based adaptable design. *Proceeding of the 16th CIRP international design seminar* (pp. 402-409). Kananaskis: Elsevier.
 39. Starn, R. (2002). Authenticity and historic preservation: Towards an authentic history. *History of the Human Sciences, 15*(1), 1-16.

40. Teo, P., & Huang, S. (1995). Tourism and heritage conservation in Singapore. *Annals of Tourism Research*, 22(3), 589-615.
41. Tipnis, V. A. (1994). Challenges in product strategy, product planning and technology development for product life cycle design. *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 43(1), 157-162.
42. Van Laarhoven, P. J. M., & Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11(3), 229-241.
43. Xu, Y., Chen, Y., Zhang, G., & Gu, P. (2008). Adaptable design of machine tools structures. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 21(3), 7-15.
44. Zadeh, L. A. (1975). Fuzzy logic and approximate reasoning. *Synthese*, 30(3-4), 407-428.
45. Zimmerman, H. J. (1991). *Fuzzy set theory and its application*. Boston, MA: Kluwer Academic.
46. Zhang, J., Xue, D., & Gu, P. (2015). Adaptable design of open architecture products with robust performance. *Journal of Engineering Design*, 26, 1-23.
47. 王嵐、羅奇 (2003)。蔡氏古民居建築群。北京交通大學學報, 27 (1) , 87-93。
Wang, L., & Luo, Q. (2003). Cai-Clan traditional residential buildings. *Journal of Beijing Jiaotong University*, 27(1), 87-93. [in Chinese, semantic translation]
48. 中山繁信、光藤俊夫 (2008)。住居の水與火。新北市：楓書坊文化出版社。
Nakayama, S., & Mitsufuji, T. (2008). *Inhabited water and fire*. New Taipei: Maple House Cultural Publishing. [in Chinese, semantic translation]
49. 中國國家文物局 (2015 年 4 月 17 日)。關於國保省保集中成片傳統村落漳州寮村蔡氏古民居建築群保護工程立項的批復。取自 http://www.sach.gov.cn/art/2015/4/17/art_1324_119261.html
National Cultural Heritage Administration. (2015, April 17). *The approval of the project for the protection of Cai-Clan traditional residential buildings in Zhangzhou Liao Village, a cluster of traditional villages in National conservation Province*. Retrieved from http://www.sach.gov.cn/art/2015/4/17/art_1324_119261.html [in Chinese, semantic translation]
50. 曲藝 (2009)。面向包裝機械的可適應設計方法研究 (未出版之碩士論文)。汕頭大學, 汕頭市。
Qu, Y. (2009). *Research on packaging machinery oriented adaptable design* (Unpublished master's thesis). Shantou University, Shantou, China. [in Chinese, semantic translation]
51. 阮儀三、孫萌 (2001)。我國歷史街區保護與規劃的若干問題研究。城市規劃, 25 (10) , 25-32。
Ruan, Y., & Sun, M. (2001). The study on some issues related to the conservation and planning for the historic streets and areas in China. *City Planning Review*, 25(10), 25-32. [in Chinese, semantic translation]
52. 阮儀三、林林 (2003)。文化遺產保護的真實性原則。同濟大學學報(社會科學版), 14 (2) , 1-5。
Ruan, Y., & Lin, L. (2003). The principle of authenticity of cultural heritage protection. *Journal of Tongji University (Social Science Section)*, 14(2), 1-5. [in Chinese, semantic translation]
53. 辛志傑、陳永亮、張大衛、滿佳、劉澤福 (2008)。面向數控弧齒銑齒機產品族的可適應動態設計方法。天津大學學報, 41 (10) , 1202-1208。
Xin, Z., Chen, Y., Zhang, D., & Liu, Z. (2008). Adaptable dynamic design method for CNC spiral bevel and hypoid gear generator product family. *Journal of Tianjin University*, 41(10), 1202-1208. [in Chinese, semantic translation]
54. 高陽、陳常青 (2006)。一種基於 ELECTRE 排序的簡化方法。統計與決策, 10 , 37-39。
Gao, Y., & Chen, C. (2006). A simplified method for sequencing based on ELECTRE. *Statistics and*

- Decision*, 10, 37-39. [in Chinese, semantic translation]
55. 徐娟燕 (2008)。衛浴產品設計發展趨勢研究。《包裝工程》, 29 (7), 141-144。
- Xu, J. Y. (2008). Research on the development trend of bathroom products design. *Packaging Engineering*, 29(7), 141-144. [in Chinese, semantic translation]
56. 畢恒達 (1990)。東西的意義與環境轉變。《國立台灣大學建築與城鄉研究學報》, 5 (1), 41-56。
- Bih, H. D. (1990). The meaning of objects in environmental transition. *Journal of Building and Planning National Taiwan University*, 5(1), 41-56.
57. 許楹 (2003)。功能化的衛浴產品—衛浴功能化。《家飾》, 4, 150-153。
- Xu, Y. (2003). Functional bathroom products - bathroom function. *Home Decoration*, 4, 150-153.
58. 陳永亮、褚巍麗、徐燕申 (2007)。面向可適應性的參數化產品平臺設計。《電腦集成製造系統》, 13 (5), 877-884。
- Chen, Y., Chu W., & Xu, Y. (2007). Adaptability-oriented parametric product platform design. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 13(5), 877-884. [in Chinese, semantic translation]
59. 陳永亮、滿佳、曲藝、顧佩華 (2010)。機械產品可適應性度量方法與應用。《工程設計學報》, 17 (1), 1-11。doi:10.3785/j.issn.1006-754X.2010.01.001
- Chen, Y., Man, J., Qu, Y., & Gu, P. (2010). Measurement method and application of adaptability for mechanical products. *Chinese Journal of Engineering Design*, 17(1), 1-11. doi:10.3785/j.issn.1006-754X.2010.01.001 [in Chinese, semantic translation]
60. 常青 (2009)。歷史建築修復的“真實性”批判。《時代建築》, 3, 118-121。
- Chang, Q. (2009). Authenticity in historic preservation and restoration. *Time Architecture*, 3, 118-121. [in Chinese, semantic translation]
61. 董衛 (2000)。城市更新中的歷史遺產保護—對城市歷史地段/街區保護的思考。《建築師》, 6 (3), 31-37。
- Dong, W. (2000). Preservation of historic heritage in urban renewal-- Reflections on the preservation of historic urban areas/blocks. *The Architect*, 6(3), 31-37.
62. 費迎慶、秦樂、郭銳 (2011)。蔡氏古民居的居住方式及其再利用研究。《南方建築》, 1 (1), 44-49。
- Fei, Y., Qin, L., & Guo, R. (2011). A study of dwelling style and reutilization or Cai-Clan traditional residential buildings. *South Architecture*, 1(1), 44-49. [in Chinese, semantic translation]
63. 戴志堅 (2003)。《閩臺民居建築的淵源與形態》。福州：福建人民出版社出版。
- Dai, Z. (2003). *The origin and form of traditional residential building in Fujian and Taiwan*. Fuzhou: Fujian People's Publishing House. [in Chinese, semantic translation]

附錄

產品功能配置矩陣 (M_{TP})

功能配置		衛浴產品集																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
		盥洗盆	水龍頭	儲物櫃	坐便器	蹲便器	小便池	花灑	熱水器	吊扇	排氣扇	暖風機	燈具	毛巾架	鏡子	浴巾架	廁紙架	洗衣機	置物架	椅子	化粪池	排汗泵	掛鉤
電		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
光		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
水流	進水	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
	盛水	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
	排水	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
氣流	進氣	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	排氣	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	製暖	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	製冷	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
能量	握	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	旋	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	提	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0
	拉	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
	舉	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	壓	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	扶	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	掛	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1
機械	撐	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	旋轉	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
	移動	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
物質	金屬	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1
	陶瓷	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	木質	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
	玻璃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	塑膠	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
身體姿態	站	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
	坐	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
	蹲	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
資訊 安裝高度	地面	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0
	0.1m≤H≤1m	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
	1m≤H≤2m	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1
	2m≤H≤3m	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
放置方式	頂部	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	平放	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0
	豎立	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	懸掛	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1

1 表示具備該功能配置，0 表示不具備

A Study on integration of Fuzzy Theory into Adaptive Design Method -- A Case Study of New Bathroom Products in Traditional Housing

Kuei-Chia Liang* You-Lei Fu**

* Department of Design, National Taiwan Normal University
kcliang@ntnu.edu.tw

** Department of Design, National Taiwan Normal University
Fine Art and Design College, Quanzhou Normal University
80868006t@ntnu.edu.tw

Abstract

With the development of conservation strategies and adaptive reuse methods for traditional dwellings, there is a need not only to continue the culture and lifestyle of the inhabitants but also to minimize the impact on the architecture. The design of new sanitary products should be simplified, integrated, easy to assemble, and inexpensive, to meet the dual needs of the preservation of traditional residential architecture and the continuation of residential life. This study proposed an adaptability measurement method that incorporates probabilistic fuzzy set theory for the design and development of a collection of traditional residential sanitary products. The design and development are simplified and integrated according to the degree of adaptability of the sanitary products. Firstly, the types of sanitary products available in Cai-Clan residence are compiled and defined as the target adaptable set (T_p), then the functional structure is decomposed one by one and a functional configuration matrix is established, based on which the matching degree (p) is calculated. Then, a pairwise comparative judgment matrix technique combined with fuzzy theory is used in a focus group discussion to obtain usage probability range (pr) values for bathroom products function (PF). Ultimately, the adaptability formula is used to obtain the adaptable factor (AF) of the sanitary products. Based on the results of the study, 22 pieces of PFs are derived for high and low adaptability values (A). The higher the A value of a certain PF is, the more suitable it will be for design development for simplification or integration as a priority. Therefore, many design solutions can be formulated based on the visualization chart order from high to low, which can be redesigned on top of the original design.

Keywords: Bathroom Products, Adaptable Design, Fuzzy Set Theory, Focus Group.