

以田口法規劃照明環境對色彩認知程度之研究

蕭添進

中國科技大學室設所副教授

張紹軒 郭羿君

中國科技大學室設系應屆畢業生

蔡得時

中國科技大學建築研究所副教授

歐麗君 倪同珊

中國科技大學室設系研究生

摘要

本研究主要以緻密配比法拌製再生粒料混凝土超音波性質製程，應用田口實驗計劃法，配置因子A水膠比(0.37、0.40及0.43)、並以因子B因子再生粒料混凝土細粒料取代天然細粒料，其取代率三種水準分別為(45 %、15 %及30 %)、C因子再生粒料混凝土粗粒料取代天然粗粒料，取代率三種水準分別為(0 %、50 %及100 %)及D因子爐石取代水泥，取代率三種水準分別為(0 %、20 %及40 %)作為製程輸入因子，研究上述四種控制因子對超音波之影響，以評估再生粒料混凝土超音波性質的最佳製程；實驗結果影響再生粒料混凝土超音波方面與因子A水膠比為0.37、因子B再生細粒料取代率為45 %、因子C再生粗粒料取代率為0 %、因子D爐石取代水泥比率為0 %有關，其中以因子C及因子D為較重要的控制因子；超音波的最佳製程為4433 m/sec。

關鍵詞：田口法、照明環境、演色性、照度、顏色認知

Study on Color Discriminated Evaluation by Changing Luminous Environment Using The Taguchi Method

Abstract

Taguchi method is applied to four factors, water-to-cementitious-material ratio (W/C), recycled fine aggregate, recycled coarse aggregate and slag. Experimental variables include different W/C (water-cementitious material) ratios (0.37, 0.40 and 0.43), replacements of recycled coarse aggregate (RCA) (0%, 50% and 100%), replacements of recycled fine aggregate (45%, 15% and 30%) and three replacement ratios of slag (0%, 20% and 40%) for the evaluation of pulse-velocity of Recycled aggregates concrete. The results show that, the optimal mixture pulse-velocity is found to be 0.37 of W/C, 45% of recycled fine aggregate, 0% of recycled coarse aggregate and 0% of slag that has the pulse-velocity of 4433 m/sec.

Keywords : Taguchi method, Recycled aggregate concrete, pulse-velocity

一、前言

人類利用眼睛將外界的光，經視神經轉換成訊號傳送到大腦。1967年心理學家Treicher透過實驗證實，在日常生活中人類獲取資訊的83%來自視覺，因此照明便成為人類日常生活中不可或缺的重要一環[1]。無論是觀看書報雜誌等等都是屬於閱讀行為，照明及週邊環境是很重要的，由於閱讀是人們在一般室內空間裡的主要視覺作業行為，不同的照度及色溫對閱讀者所感也不同，照明週邊環境的改變對閱讀行為必有重要影響。在不足的照明環境之下長時間閱讀，不僅容易造成眼睛疲勞導致近視，同時也會降低閱讀及辨識效率。

二、文獻回顧

根據[2][3]Berman指出不同的色溫會影響人的視力，增加藍綠色波長的室內照明，相較於粉紅色，可以顯著提升人的視力，如果增加短波長的光量，視力會因此提升。

又依[4]研究指出光源對物體顏色呈現的程度稱為演色性CRI(也稱為RA)，也就是顏色逼真的程度，演色性較高的光源對顏色的表現較好，所看到的顏色也較接近自然原色，演色性低的光源對顏色的表現較差，所看到的顏色偏差也較大。演色性高低原因在於光線之分光特性，可見光之波長在380nm至760nm之範圍內，也就是光譜中的紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫的範圍，如果光源所放射的光所含的各色光的比例和自然光接近，則肉眼所見的顏色也就較為逼真。人在空間中的情緒、精神與行為會因光源色彩產生影響，藉由燈光照明實驗了解最佳舒適範圍的組合模式，並提出人對色光環境的舒適區域範圍，指出光源的顏色會影響室內環境所形成的空間氣氛，低色溫的暖色光源會讓人產生暖活、輕鬆、穩定、溫馨的感覺；高色溫的冷色光源則讓人產生緊張、活躍、清涼、精神振奮的感受。

又依[5]研究指出在室內環境中，照度與光源色溫度是塑造室內照明環境主要的影響因素，與人體生理反應有直接關係。實驗結果顯示在一般照度（500Lux）照明狀態下，一般色溫度（4000K）照明對人體經絡幾乎不產生影響，而高色溫度（6500K）照明較易影響心包經及心經；而在高照度（2000Lux）照明狀態下，無論何種色溫度照明，以心包經、膀胱經與脾經較易受到影響；而在長時間測定後發現，高照度（2000Lux）與高色溫度（6500K）兩單項照明因子對人體經絡具有刺激性，開燈90分鐘內高色溫度照明對人體經絡的影響較大，而開燈90分鐘後則以高照度照明的影響較大。但是，若處於高照度高色溫度（2000 Lux -6500K）照明狀態下，則大部分人體經絡於開燈瞬時及開燈後30~45分鐘起即受到影響，顯示照度及色溫度為影響人體生理反應的重要影響因子。

又依[6]研究指出三原色光模式（RGB color model）將紅（Red）、綠（Green）、藍（Blue）三原色的色光以不同的比例相加，以產生多種多樣的色光。RGB顏色模型的主要目的是在電子系統中檢測，表示和顯示影像，比如電視和電腦，但是

在傳統攝影中也有應用。在電子時代之前，基於人類對顏色的感知，RGB顏色模型已經有了堅實的理論支撐。

三原色的原理不是出於物理原因，而是由於生理原因造成的。人的眼睛內有幾種辨別顏色的錐形感光細胞，分別對黃綠色、綠色和藍紫色（或稱紫羅蘭色）的光最敏感（波長分別為564、534和420奈米），如果辨別黃綠色的細胞受到的刺激略大於辨別綠色的細胞，人的感覺是黃色；如果辨別黃綠色的細胞受到的刺激大大高於辨別綠色的細胞，人的感覺是紅色。雖然三種細胞並不是分別對紅色、綠色和藍色最敏感，但這三種光可以分別對三種錐形細胞產生刺激。將三原色光以不同的比例複合後，對人的眼睛可以形成與各種頻率的可見光等效的色覺。例如，紅光與綠光按某種比例複合，對三種錐狀細胞刺激後產生的色覺可與眼睛對單純的黃光的色覺等效，但決不能認為紅光與綠光按某種比例複合後生成黃光，或黃光是由紅光和綠光複合而成的。

又依[7]研究指出某一色彩會讓人產生什麼樣的心理感覺，叫色彩意象。在選用色彩時，如果能知道人們對色彩會感覺到的意象，便可以更成功地運用色彩。本研究以日本方面牆壁的色彩實例作為實測的依據；以心理問卷、實際記錄生產，調查何種色系較適合工廠牆壁。研究結果為一、依生產資料所示，顯示寒色系優於暖色系。二、色彩對人的心理和生理的反應有顯著影響。本研究中色彩對員工心理和生理的感覺順序為：綠色、藍色、白色、黃色。寒色系優於暖色系。三、無論就個人基本屬性（性別、學歷、部門、年資）作分析比較受試者心理和生理的反應均有顯著影響。感覺的順序為：綠色、藍色、白色、黃色。寒色系優於暖色系。本研究之題目為：工廠牆壁寒暖色運用對生產力之影響—以印刷廠為例之實證研究。經過記錄實際生產量、問卷調查、資料分析，證實色彩的運用對生產力確實有影響，在本研究中顯示綠色較其他顏色為佳，表示寒色系優於暖色系。

又依[8]研究指出照明的目的主要是提供空間適當的照度、色溫與照明方式，以滿足使用者在生理與心理上的需求。在相關研究中顯示，進行閱讀等行為時，光源照度在300-750 lux 之間，搭配色溫在3300-5000°k 之間的組合，並配置吸頂式燈具或建築式照明的照明方式最佳。實驗結果顯示最為全體受測者接受的光環境為4800°k／750Lux。綜合上述，受測者偏好色溫環境為4000°k~5200°k；照度環境為500Lux~750Lux。其中又以4800°k/750Lux較佳在此色光環境下，在此照明環境下，對空間狀態所產生的心理聯想感受程度，以「非常光明的」、「稍微輕盈的」為最高；對空間所產生的心理情緒形容之感受程度，以「稍微興奮的」、「稍微自在的」為最高；對空間所產生的心理情緒反應之感受程度，以「普通多變的」為最高。

依[9、10]李輝煌及徐世輝研究指出一般俗稱的田口品質工程方法，主要是指穩健設計(Robust Design)，採用田口玄一博士在1949年提出運用直交表作實驗設計，此法可以最少的實驗，在有限的資源下進行製程最佳化。田口法的統計實驗設計係以系統方法，同時改變許多因子，以確認有關因子的主效果與交互效果，他將平均數視為信號，變異數視為雜音，而其比值信號雜音比（Signal to

Noise Ratio，簡稱 S/N 比）做為分析改善的對象，用來衡量產品品質特性的一種統計量度，它可以表示製程或產品的水準及其雜音因素的影響程度，作為整合最佳化品質特性與最小化變異為單一指標。S/N 比根據品質特性之望小、望大與望目特性三種，本研究 S/N 比採用望大品質特性，亦即 S/N 比大的設計就是最佳參數設計，當品質特性為越大越好時，如產品的壽命、強度、汽油每公升公里數等；S/N 比望大品質特運算式如下[9]

$$S/N \text{ 比} = -10 \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

其中y為每一種實驗組合的n個實驗數據

三、實驗結果與分析

本研究以田口實驗計劃法規劃，配合緻密配比法拌製再生粗粒料混凝土製程，所採用的試驗材料有天然粗粒料、天然細粒料、再生粗粒料、天然細粒料、及飛灰、爐石、水泥、強塑劑等如表1至表3所示；其中並以水膠比及再生細粒料取代天然細粒料比率、再生粗粒料取代天然粗粒料比率、爐石粉取代水泥比率作為的輸入因子，如表4所示；而以超音波結果作為輸出因子，運用田口法的直交表作實驗設計，如表5所示，並以雜音因子S/N比最大的實驗組合設計就是最佳設計。

3.1 輸入因子的選擇

製程輸入因子有(1). 因子A水膠比具有三種水準分別為0.37、0.40及0.43；(2). 並以因子B因子再生粒料混凝土細粒料取代天然細粒料，其取代率三種水準分別為45 %、15 %及30 %；(3). 而C因子再生粒料混凝土粗粒料取代天然粗粒料，取代率三種水準分別為0 %、50 %及100 % (4). D因子爐石取代水泥，取代率三種水準分別為(0 %、20 %及40 %)作為製程輸入因子，研究上述四種控制因子，對超音波之影響、以評估再生粒料混凝土超音波質的最佳製程。

3.2 輸出因子的選擇

本研究為評估再生粒料混凝土的超音波，以量測再生粒料混凝土超音波為主要依據作為評估製程的輸出因子，以探討輸入因子對輸出因子的影響，並尋求超音波最佳化的製程組合。

3.3 以超音波為輸出因子的望大特性分析

以再生粒料混凝土超音波為實驗的輸出因子，應用田口法的望大特性，計算各製程條件的信號 / 雜音比(S/N 比)結果，如表 6 最右欄所示。緊接著計算各輸入因子(製程因子)的各水準的 S/N 平均值，數值愈大，表示該製程因子對超音波的影響越大，其中以 A1、B2、C1 及 D1 水準組合的 S/N 比值影響較大，A、B、C 及 D 各輸入因子 S/N 比差異範圍值，如表 7 所示，依次分別為 0.14 dB、0.23 dB、0.49 dB 及 0.28 dB，而表 7 中最後一列標示各輸入因子之 S/N 比影響程度，各輸

入因子影響程度由大到小依序排名分別為 C、D、B 及 A。

依田口方法建議，選取較重要之一半控制因子（即其中兩個因子），亦即挑選可使 S/N 比值影響較大的前兩名水準 C、D，以進行交互影響分析，由表 7 觀察得知兩個 C、D 因子中，使得 S/N 比較高的水準分別為 C1 (72.78 dB) 及 D1 (72.72 dB)，為識別 C、D 兩個別因子之間的交互作用影響程度，如表 8 中因子 C1 及 D1 交互影響 S/N 比最大為 72.93 dB，比因子 C1 及 D1 分別增加 0.15 dB 及 0.21 dB，故因子 C1 及 D1 彼此有輕微交互影響，可確認 C、D 兩因子間存在著交互作用；綜合上述

1. 表 7 分析得知影響再生粒料混凝土超音波的主要因子分別為因子 C1、D1，其 S/N 比最大分別為 72.78 dB 及 72.72 dB。
2. 經表 8 因子 C 再生細粒料取代量與因子 D 爐石取代量交互影響分析得知，因子 C1 及 D1 交互影響 S/N 比最大為 72.93 dB，較表 7 分別增加了 0.15 dB 及 0.21 dB，因子 C1、因子 D1 彼此有交互影響。
3. 經表 7、表 8 因子交叉分析，因子 C1、D1 各出現 2 次，表示因子重要性一致。
4. 至於剩餘因子水準之選擇，以製程方便性為原則，分別選擇因子 A 水膠比之水準為 A1；因子 B 再生細粒料取代天然細粒料比率之水準為 B1。

綜合上述得知影響再生粒料混凝土超音波配比的因子有(A1)水膠比為0.37、(B1)再生細粒料取代天然細粒料比率為45%、(C1)再生粗粒料取代天然粗粒料比率為0%、(D1)爐石粉取代水泥比率為0%，此配比因子組合與表6的實驗編號1一樣，不必進行確認驗證實驗，超音波為4433 m/sec。

四、結論

以國旗青天色彩部分的認知程度採用望大特性分析，顯示與因子(A3)演色性為 Ra99、因子(B2)照度為 500lux、因子(C1)桌面顏色為紅色、因子(D3)環境牆面色為淺藍色有關，其中以因子(B2)照度為 500lux 及因子(C1)桌面顏色為紅色為較重要的控制因子，模擬環境最佳化的因子實驗組合之 S/N 比比值為 39.01 dB 及其對應問卷調查結果分數為 90 分。

表 1 輸入因子與水準的設定

因子 水準	A 演色性	B 照度	C 桌面顏色	D 環境牆面色
水準 1	Ra69	300lux	紅色	粉紅色
水準 2	Ra85	500lux	綠色	鵝黃色
水準 3	Ra99	700lux	藍色	淺藍色

表 2 田口法輸入因子的水準的配置直交表

實驗 編號	實驗 順序	演色性	照度	桌面顏色	環境牆面色	配比內容
----------	----------	-----	----	------	-------	------

1	9	Ra69	300lux	紅色	粉紅色	A1B1C1D1
2	5	Ra69	500lux	綠色	鵝黃色	A1B2C2D2
3	1	Ra69	700lux	藍色	淺藍色	A1B3C3D3
4	6	Ra85	300lux	綠色	淺藍色	A2B1C2D3
5	4	Ra85	500lux	藍色	粉紅色	A2B2C3D1
6	8	Ra85	700lux	紅色	鵝黃色	A2B3C1D2
7	3	Ra99	300lux	藍色	鵝黃色	A3B1C3D2
8	2	Ra99	500lux	紅色	淺藍色	A3B2C1D3
9	7	Ra99	700lux	綠色	粉紅色	A3B3C2D1

表 3 國旗的青天色彩部分認知程度值的平均值與 S/N 比

(續 1)

實驗 編號	實驗 順序	配比編號	國旗的青天色彩部分認知程度(分數)								
			試驗(1)	試驗(2)	試驗(3)	試驗(4)	試驗(5)	試驗(6)	試驗(7)	試驗(8)	試驗(9)
1	5	A1B1C1D1	75.00	85.00	65.00	85.00	85.00	95.00	55.00	65.00	85.00
2	9	A1B2C2D2	85.00	75.00	95.00	85.00	85.00	95.00	95.00	85.00	95.00
3	1	A1B3C3D3	65.00	85.00	75.00	95.00	65.00	85.00	65.00	65.00	95.00
4	6	A2B1C2D3	85.00	85.00	75.00	65.00	85.00	95.00	95.00	85.00	95.00
5	3	A2B2C3D1	75.00	65.00	85.00	85.00	85.00	85.00	95.00	95.00	95.00
6	8	A2B3C1D2	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	95.00	95.00	85.00	85.00
7	4	A3B1C3D2	85.00	65.00	65.00	85.00	85.00	55.00	55.00	65.00	95.00
8	2	A3B2C1D3	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	95.00	95.00	55.00	95.00
9	7	A3B3C2D1	85.00	75.00	85.00	85.00	95.00	95.00	95.00	85.00	85.00

表 3 國旗的青天色彩部分認知程度值的平均值與 S/N 比

(續 2)

國旗的青天色彩部分認知程度(分數)											
試驗(10)	試驗(11)	試驗(12)	試驗(13)	試驗(14)	試驗(15)	試驗(16)	試驗(17)	試驗(18)	試驗(19)	試驗(20)	試驗(21)
65.00	85.00	65.00	65.00	85.00	95.00	95.00	85.00	95.00	85.00	75.00	85.00
65.00	85.00	95.00	95.00	95.00	95.00	65.00	95.00	85.00	95.00	95.00	95.00
85.00	95.00	85.00	85.00	95.00	55.00	95.00	65.00	85.00	95.00	75.00	85.00
85.00	75.00	95.00	95.00	85.00	95.00	95.00	75.00	85.00	85.00	85.00	85.00
85.00	95.00	75.00	85.00	95.00	55.00	95.00	85.00	95.00	95.00	75.00	95.00
95.00	85.00	95.00	95.00	95.00	85.00	55.00	75.00	85.00	95.00	95.00	95.00
65.00	95.00	65.00	95.00	95.00	55.00	95.00	85.00	95.00	95.00	85.00	75.00
85.00	95.00	95.00	85.00	85.00	95.00	95.00	85.00	85.00	95.00	95.00	85.00

65.00	95.00	85.00	95.00	85.00	95.00	95.00	85.00	95.00	95.00	85.00	95.00
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

表 3 國旗的青天色彩部分認知程度值的平均值與 S/N 比

(續 3)

國旗的青天色彩部分認知程度(分數)									S/N 比 (dB)
試驗(22)	試驗(23)	試驗(24)	試驗(25)	試驗(26)	試驗(27)	試驗(28)	試驗(29)	試驗(30)	
85.00	95.00	95.00	85.00	75.00	75.00	85.00	85.00	95.00	81.67
85.00	95.00	85.00	95.00	95.00	95.00	95.00	85.00	95.00	89.33
75.00	85.00	95.00	95.00	95.00	75.00	85.00	75.00	85.00	82.00
85.00	85.00	85.00	95.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	86.00
85.00	85.00	85.00	85.00	95.00	75.00	95.00	85.00	85.00	85.67
85.00	85.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	85.00	85.00	88.33
95.00	85.00	75.00	75.00	95.00	85.00	75.00	95.00	85.00	80.67
95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	85.00	95.00	95.00	89.67
85.00	95.00	95.00	75.00	95.00	85.00	95.00	85.00	95.00	88.67
平 均									85.78
									38.60

表 4 四個輸入因子水準的國旗青天色彩部分認知程度與 S/N 比

單位：dB

因子 水準	A 演色性	B 照度	C 桌面顏色	D 環境牆面色
水準 1	38.44	38.27	38.68	38.56
水準 2	38.71	38.86	38.85	38.62
水準 3	38.64	38.66	38.26	38.61
差異值	0.27	0.59	0.59	0.06
排序	3	1	2	4

表 5 國旗青天色彩部分的認知程度之因子 B 及 C 間的交互影響關係

單位：dB

因子類別	B1 照度	B2 照度	B3 照度
C1 桌面顏色	38.15	39.01	38.88
C2 桌面顏色	38.66	38.98	38.92
C3 桌面顏色	38.00	38.59	38.18

五、參考文獻

1. 石曉蔚，(1996)，室內照明設計，淑馨出版社。
2. Berman, S.M., Fein, Jewett.D.L., Ashford, F.(1993) Luminance-controlled pupil size affects landolt C task performance, Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol.22, No.2: 150-165.
3. Berman, S.M., Fein, Jewett.D.L., Ashford, F. (1994) Landolt-C recognition

in elderly subjects is affected by scotopic intensity of surround illuminants, Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol.23, No.2:123-130.

4. 詹慶旋，(1996)，建築光環境，淑馨出版社，P10、P15、P32。
5. 王為，(2006)，應用良導絡量測評估照度與色溫度對人體生理反應之影響，國立成功大學建築學系博士論文。
6. <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%89%E5%8E%9F%E8%89%B2%E5%85%89%E6%A8%A1%E5%BC%8F>。
7. 謝光浩，(1983)，工廠牆壁寒暖色運用對生產力之影響—以印刷廠為例之實證研究，文化大學造紙印刷研究所碩士論文。
8. 顏兆詩，(2009)，LED 照明環境光源色溫度對辦公空間閱讀心理影響之研究，國立清華大學國立清華大學碩士論文。