

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 化學科

佳作

080203

科學「化」面：古典顯影的秘密

學校名稱：新北市平溪區平溪國民小學

作者： 小六 胡曼琦 小六 何宗祐 小六 黃宥凌 小五 林柏君	指導老師： 陸 安
---	--------------

關鍵詞：古典顯影、氧化還原

## 摘要

本研究針對六種古典顯影法（藍曬、凡戴克棕、鐵鹽印相、鹽印、吉利丁鹽印、蛋白印相法），依不同變因（紙張、感光劑濃度、水洗溫度、調色法），探討各顯影法的色階顯影範圍、明暗對比度與細節。結果發現不同顯影法擅長的顯影範圍、清晰度、與明暗對比不同；其中藍曬法擅長暗部顯影，凡戴克棕法則在亮部表現出色，鐵鹽印相法、蛋白印相法則是所有顯影法中，最能夠均勻表現所有色彩的顯影法。紙張與感光劑濃度對顯影結果的亮度與對比有明顯影響，而水洗溫度與調色法則是對顯影結果的清晰度與色調帶來改變。本研究最終彙整出一「古典顯影指南」，作為化學與藝術對話的參考指引，讓現代照片透過手工方式展現昔日的懷舊風格與藝術價值。

## 壹、 研究動機

在教師節活動時，老師們提供了自己小時候的照片。這些照片有些是用電腦列印，有些是相片行沖洗而來，然而更特別的，是那些黑白老照片：雖然色調單一，卻有現代照片中沒有的味道，令人嚮往。經過自然課本、社會課本與網路資料蒐集，我們發現「拍照」的歷史從針孔到數位，非常悠久；其中那種特別的相片，可以回歸到十九世紀的古典顯影技術。古典顯影技術並不需要特別的硬體設備，只要有適合的藥劑、太陽、紙張，然後經過一連串神奇的化學（氧化還原）反應就可以完成。因此在老師指導下，我們查詢各種古典顯影的配方，想了解各種不同的古典顯影法如何運作，也透過實驗，試圖找到影響照片影像效果的原因，後續期許自己能利用探索得到的知識，手工印製出有復古風格的現代照片，也將這種珍貴的古典技術延續。

## 貳、 研究目的

古典顯影法在十八世紀末由科學家發明，現在多為藝術家創作使用，因此少有人以科學角度比較各種顯影法的顯影能力，或是不同材料組合、濃度、與反應環境對顯影結果造成的影響。我們決定以實驗探討各古典顯影法的顯影能力以及影響顯影的因素，期望能製造出一套「古典顯影操作指南」，作為化學與藝術對話的參考指引。

- 一、 比較不同種古典顯影法的顯影能力
- 二、 探討紙張對各顯影法的影響
- 三、 探討如何調整相片之影像效果
- 四、 製造一套「古典顯影指南」



## 參、 文獻探討與研究架構

### 一、文獻探討

#### (一)、古典顯影法 (Alternative processes) 與相片中的化學反應

「古典顯影 (Alternative processes)」相對於現在的數位攝影，屬於十八世紀末至十九世紀主要的攝影技法。不同於使用膠卷底片與放大機的黑白照片沖洗技術，本研究使用的古典顯影法皆為使用數位負片 (digital negative)、並且透過接觸印相 (contact print method) 過程的影像保存技法，其實就是透過化學反應以及紫外線作用，將影像從底片轉移到紙張的過程。

##### 1. 藍曬法 (Cyanotypes process)

又稱做「氰版顯影」的藍曬法，可以說是所有古典顯影法中最古老的技術。最早由英國天文學家約翰·赫歇爾 (John Herschel) 發明。藍曬法屬於「鐵鹽家族」的一員，以檸檬酸鐵銨 ( $(\text{NH}_4)_3\text{Fe}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) 作為感光劑，經過紫外線照射後，使其中的鐵離子 ( $\text{Fe}^{3+}$ ) 被還原成亞鐵離子 ( $\text{Fe}^{2+}$ )；亞鐵離子進一步和赤血鹽 ( $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ) 反應，形成難溶於水的普魯士藍 ( $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ ) 顆粒。也就是留在紙上的藍色影像。

##### 2. 凡戴克棕法 (Vandyke brown process)

凡戴克棕法所使用的成分有檸檬酸鐵銨、酒石酸以及硝酸銀。屬於鐵鹽家族。以檸檬酸根以及酒石酸作為還原劑，讓鐵離子還原成亞鐵離子，同時也讓銀離子還原成銀。被還原的亞鐵離子進一步和酒石酸反應，形成酒石酸亞鐵，可溶於水被帶走；而定影時使用的海波 ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 則將沒有反應到的銀離子結合成溶於水的硫代硫酸銀，能在水洗的階段清洗乾淨。最終留下的就是在紙上的棕色銀粒子。

##### 3. 鐵鹽印相法 (Kallitypes process)

鐵鹽印相法使用的成分有草酸鐵、硝酸銀。以草酸鐵作為感光劑，增強了暗部的細節程度。而鐵鹽印象法的耐保存程度，也是鐵鹽家族之最。草酸鐵 ( $\text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_3)_3$ ) 透過紫外線照射後，其中的鐵離子 ( $\text{Fe}^{3+}$ ) 還原成亞鐵離子 ( $\text{Fe}^{2+}$ )，同時讓銀離子 ( $\text{Ag}^+$ ) 還原成銀粒子 ( $\text{Ag}$ )，得到最後的高對比且細節豐富的深棕色影像。

##### 4. 鹽印法 (Salt print)

鹽印法由威廉·塔伯特先生 (William Henry Fox Talbot, 1800-1877) 發明，為 1830 年代至 1860 年代初主流的顯影技法，其所使用的成分為氯化鈉與硝酸銀。屬於銀鹽家族。硝酸銀與氯化鈉反應成為氯化銀 ( $\text{AgCl}$ ) 與硝酸鈉 ( $\text{NaNO}_3$ )；其中氯化銀照到紫外光，將銀離子還原成銀，留下紅棕色的影像。而為了不要再讓氯化銀繼續和紫外光反應，利用海波定影，將還沒有反應的氯化銀溶解後洗去。

##### 5. 吉利丁鹽印法 (Gelatin silver process)

吉利丁鹽印法乃是鹽印法的改良版本。為了解決鹽印法最終成像色澤帶有灰、霧的狀態，因此在相紙的紙基上先塗上一層混合氯化銨的吉利丁，等它乾燥後再塗上硝酸銀使其成為感光相紙。化學原理與鹽印法大致相同，屬於銀鹽家族，最終成像為偏紫的咖啡色。

## 6. 蛋白印相法 (Albumen print )

蛋白印相法由法國發明家路易斯 (Louis Désiré Blanquart-Evrard, 1802-1872) 可以說是十九世紀中後期最盛行的顯影法。同樣為了解決鹽印法因為紙張粗糙，無法清晰成像的問題，因此在紙基上塗上蛋白後再塗上硝酸銀，等它乾燥後就是一張光滑的相紙了。使用材料為蛋白、氯化鈉、以及硝酸銀。也屬於銀鹽家族，因此成像原理也和鹽印法相同。其最終成像為帶黃的深棕色。蛋白相紙上無與倫比的光澤是最大的特色。

## 二、名詞解釋：

### (一) 古典顯影材料與流程：

1. 數位負片 (Digital Negative)：透過繪圖軟體將影像後製成負片，再列印在投影膠片的產品。
2. 印相 (放相)：將具有感光功能的相紙 (sensitive paper) 與數位負片緊密疊合後，放在紫外線下曝光的過程 (國家教育研究院：教育大辭書，2000)。其中印樣出來的結果又可以分成 POP (print-out process) 成像以及 DOP (developing-out process) 成像。POP 成像為印樣後，直接可以看到完整的影像，而 DOP 成相則需要透過顯影的步驟，才可以看到完整的影像結構。本研究中的顯影法中，除了鐵鹽印相法為 DOP 成像，其他皆為 POP 成像。
3. 接觸印相 (Contact print method)：不同於使用光學原理將底片放大在相紙上的方法，接觸印相指底片與相紙直接接觸，然後曝光印相的方式。其最大的特色是，成相在相紙上的影像跟原本的底片一樣大。

### (二) 化學名詞

1. 氧化劑：在反應中作為氧化劑的物質，本身會得到電子而被還原。在古典顯影流程中，主要作為氧化劑的原料為鐵離子與銀離子。
2. 還原劑：在反應中作為還原劑的物質，本身失去電子而被氧化。在古典顯影流程中，檸檬酸根離子、草酸根離子、硝酸根離子都屬於還原劑，讓感光劑中的金屬離子可以被還原。
3. 光化學反應：物質在可見光或紫外線的照射下吸收光能而發生的化學反應。亦即分子藉由吸收輻射能而增加其活性，以致發生分解或變化 (國家教育研究院：教育大辭書，2000) 的過程。

## 三、研究流程

本研究從不同面向去探究各種古典顯影法的顯影能力，以及影響顯影結果的各種變因；期許從科學角度分析、找到的各種可控變因，可以統整為一「古典顯影指南」，讓科學與藝術可以跨領域對話 (圖 1-1)。研究的基本流程如圖 1-2 所示：實驗前置作業→相片印樣與水洗→結果分析。我們首先透過實驗一討論各古典顯影法在標準配方下的顯影能力，包含可以顯影的最大色階廣度、

亮暗對比程度、以及相片細節程度。接下來，透過實驗二進一步討論紙張各種顯影法的影響。然後從「氧化還原」角度探討濃度、溫度、曝光、與調色液對顯影效果的影響；最後將產出一套「顯影指南」：利用前面研究得到的數據與結果，讓影像產生可預期的藝術變化。

### 科學「化」面：古典顯影的秘密

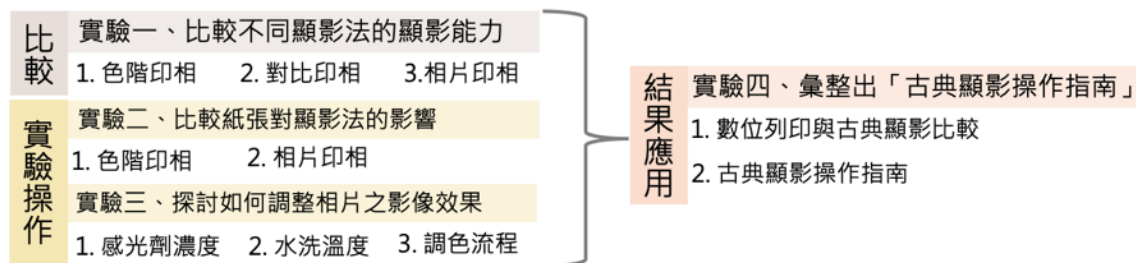


圖 1-1 研究架構圖

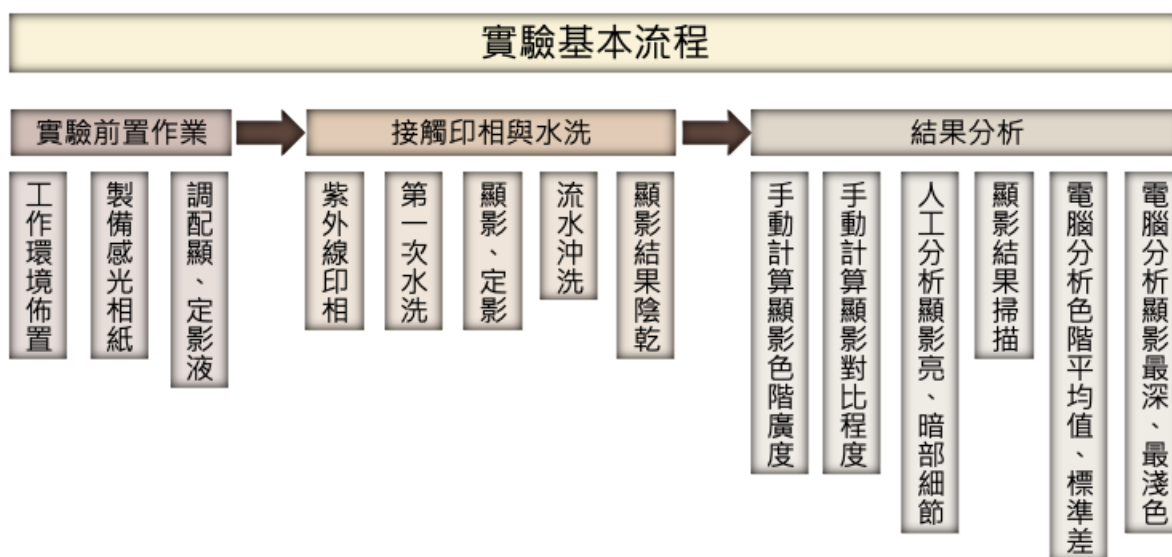


圖 1-2 實驗基本流程圖

#### (一) 實驗前置作業

1. 工作環境佈置：此階段包含工作環境佈置與實驗器材準備。古典顯影乃在化學基礎上的美學應用，不同化學藥劑在不同配方中的功能不盡相同，因此我們透過表一分析各種化學原料在顯影過程中的角色與功能。同時以表二呈現各實驗器材與功能。

表一、化學原料與用途

化學原料	化學式	用途
檸檬酸鐵銨	$(\text{NH}_4)_3\text{Fe}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2$	為藍曬法與凡戴克棕法的感光劑（檸檬酸根離子為還原劑、鐵離子為氧化劑）
鐵氰化鉀	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	為藍曬法的感光劑助劑，和亞鐵離子反應形成難溶於水的普魯士藍（ $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ ）。
酒石酸	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$	為凡戴克棕法的感光劑助劑（還原劑）
草酸鐵	$\text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_3)_3$	為鐵鹽印相法的感光劑（草酸根離子為還原劑、鐵離子為氧化劑）
硝酸銀	$\text{AgNO}_3$	為銀鹽家族顯影法的感光劑，和鹽類反應出來的化合物經

		過光化學反應，將其中的銀離子還原成金屬銀，成為相紙上的影像
氯化鈉	NaCl	鹽印法、蛋白印相法的感光劑助劑（氯離子為還原劑）
氯化銨	NH <sub>4</sub> Cl	吉利丁鹽印法的感光劑助劑（氯離子為還原劑）
檸檬酸鈉	Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	吉利丁鹽印時為感光劑助劑，鐵鹽印相法時為顯影劑
吉利丁	-	相紙塗層
蛋白	-	相紙塗層
硫代硫酸鈉	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	定影劑，主要是和殘留在相紙上的銀離子反應（還原劑），形成可溶於水的硫代硫酸銀，阻止相片繼續曝光
過氧化氫	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	調色劑（氧化劑）
醋酸	CH <sub>3</sub> COOH	調色劑（還原劑）

表二、實驗器材及其功能

器材名稱	功能	備註
遮光布	製作簡易暗房用	化學藥劑塗布的過程中為了防止相紙提前感光，因此在暗房進行。
紙張	作為相紙。本研究使用法國的 Canson 水彩紙為主要用紙，但為了追求相片的藝術性，我們同時搭配各種不同的紙張使用	使用 Canson 水彩紙、Arches 水彩紙、山度士水彩紙、本水彩紙、素描紙、書面紙、丹迪紙。
燒杯	調製化學藥劑用	各溶液使用固定燒杯以避免污染。
電子秤	調製化學藥劑用	靈敏度為± 0.1 g。
筆刷	化學藥劑塗布用	各溶液使用固定筆刷以避免污染。
塑膠手套	防止化學藥劑接觸皮膚	為避免污染，使用一次性手套。
數位負片	作為印樣用底片	會隨使用次數磨損，要隨時替換。
紫外線燈	印樣時的主要光源	使用波長 350 nm 的紫外線燈管。
印相板	固定相片與數位底片的玻璃與木板	玻璃厚度為 0.5cm。
清洗盆	印樣完成後清洗照片用	不同步驟使用固定的清洗盆。
晾畫架	將清洗後的相片放在晾畫架上晾乾	需在晾畫架上鋪上紙張，防止相紙進一步和金屬材質的層架反應。

2. 製作感光相紙：製作感光相紙是各種古典顯影法的第一步驟。此步驟需要將含有感光成分的藥劑均勻塗布在紙上，等待乾燥後便完成感光相紙。以下為各種顯影法的感光藥劑古典配方與感光相紙製作方法。

#### -藍曬法

- (1) 所需化材：檸檬酸鐵銨 25 g、赤血鹽 15 g、蒸餾水。
- (2) 製作方法：
  - a. 將檸檬酸鐵銨溶於 100 mL 蒸餾水，製成 A 液。
  - b. 將赤血鹽溶於 100 mL 蒸餾水，製成 B 液。
  - c. 混合 A、B 兩液體，製成感光塗料。
  - d. 在暗室將感光塗料均勻塗在紙張上面並且陰乾，完全乾燥的紙張會呈現灰綠色。

#### -凡戴克棕法

- (1) 所需化材：硝酸銀 4 g、檸檬酸鐵銨 10 g、酒石酸 1.5 g、蒸餾水
- (2) 製作方法：

- a. 將三種化材分別溶解於 30 mL 蒸餾水，製成 A、B、C 液
- b. 將 A、B、C 液均勻混合，製成感光塗料
- c. 在暗室將感光塗料均勻塗在紙上並且陰乾，完全乾燥的紙張會呈淡黃色。

#### 鐵鹽印相法

- (1) 所需化材：草酸鐵 27 g、硝酸銀 12 g、蒸餾水
- (2) 製作方法：
  - a. 將草酸鐵與硝酸銀分別加入 100 mL 蒸餾水，製成 A、B 兩液。
  - b. 將 A、B 液均勻混合，製成感光塗料。
  - c. 在暗室將感光塗料均勻塗在紙上並且陰乾，完全乾燥的紙張會呈淡黃色。

#### 鹽印法

- (1) 所需化材：硝酸銀 12 g、氯化鈉 3 g、蒸餾水
- (2) 製作方法：
  - a. 將氯化鈉溶解於 100 mL 蒸餾水，製成鹽水。
  - b. 將鹽水均勻塗在紙張並且陰乾。
  - c. 將 12 g 硝酸銀溶解於 100 mL 蒸餾水，製成感光液
  - d. 等待紙張完全乾燥後，在暗室將感光塗料均勻塗在紙上別且陰乾。

#### 吉利丁鹽印法

- (1) 所需化材：硝酸銀 12 g、吉利丁 2 g、氯化銨 6 g、檸檬酸鈉 6 g、蒸餾水
- (2) 製作方法：
  - a. 以溫水 280 mL 將吉利丁溶解，再拌入氯化銨與檸檬酸鈉
  - b. 將吉利丁均勻塗在紙張上並且陰乾
  - c. 將 12g 硝酸銀溶解於 100 mL 蒸餾水，製成感光液
  - d. 等待紙張完全乾燥後，在暗室將感光塗料均勻塗在紙上別且陰乾。

#### 蛋白印相法

- (1) 所需化材：常溫雞蛋一打、氯化鈉 15 g、硝酸銀 12 g、蒸餾水
- (2) 製作方法：
  - a. 將氯化鈉與 10 mL 蒸餾水倒入蛋白液中，並且充分打到發泡
  - b. 去除靜置完成蛋白的白色泡沫，將底部的蛋白過濾，冰在冰箱
  - c. 將冰鎮至少三日的蛋白放回常溫，均勻塗在紙張上，陰乾
  - d. 將 12g 硝酸銀溶解於 100 mL 蒸餾水中，製成感光液
  - e. 等待紙張完全乾燥後，在暗室將感光塗料均勻塗在紙上別且陰乾。

3. 製備顯影與定影劑：除了藍曬法的相紙之外，所有的相紙都需要經過定影劑定影（藍曬僅需水洗）。而鐵鹽印相還需顯影劑，這些溶液都要在在印相前先準備好。

- (1) 顯影劑：將 100 g 檸檬酸鈉溶於 500 mL 蒸餾水中，製成鐵鹽印相的顯影劑。
- (2) 定影劑：依照不同顯影法，需調配不同濃度的定影劑。
  - a. 凡戴克棕法、鐵鹽印相法定影液：將 25 g 海波溶解於 500 mL 蒸餾水（淡海波）。
  - b. 鹽印、吉利丁、蛋白印相法定影液：將 50 g 海波溶解於 500 mL 蒸餾水。

## 肆、 研究方法與過程

### 一、 實驗一：比較不同古典顯影法的顯影能力：

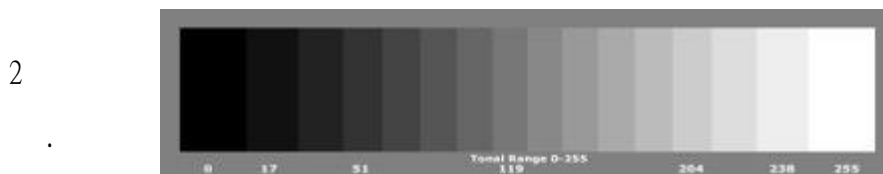
實驗一可再分為三種不同的印相實驗，從色階表現程度、對比表現程度以及相片細節程度來比較不同顯影法的顯影能力。

#### (一) 實驗目的：

1. 了解不同古典顯影方法是否可以完整地表現出 16 色階
2. 找到不同古典顯影法達到最佳色階廣度所需的平均印相時間
3. 了解各種古典顯影法能表現出的對比程度
4. 了解各種古典顯影法在相片中能表現的細節程度

#### (二) 實驗方法：

1. 底片選擇：顯影的顏色廣度、對比度以及細節度是影響照片的三大重要因素，針對這三種因素，我們使用了四種不同的底片來印樣。第一種底片為 16 階灰階（圖 2-2），可以測試各種古典顯影法可表現的顏色範圍，第二、三種為疊合色階與線條的組合（圖 2-3、圖 2-4），能夠測試各種古典顯影法顯影的影像對比程度。而照片結合顏色、清晰度、對比度為一體，因此最後我們用靜物照片（圖 2-5），測試不同顯影法在亮部與暗部細節的顯影能力。



紙 圖 2-1、16 階灰階

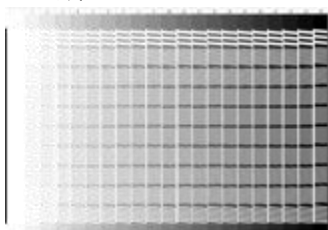


圖 2-2、亮部低對比測試

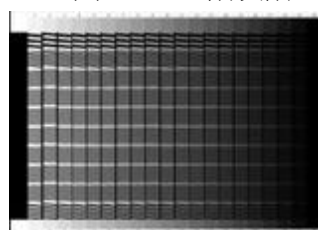


圖 2-3、暗部低對比測試



圖 2-4、靜物照片

2. 實驗用紙張：以法國 Canson 水彩紙作為主要實驗用紙，Canson 水彩紙的特色為比一般水彩紙光滑的表面，而且有良好的吸水性；為經濟實惠的紙張選擇。
3. 印樣時間：不同顯影法所需要的印相時間不同。就算相同顯影法，在不同環境條件、紙張選擇、藥劑厚薄下，所需的印相時間也不一樣。本實驗印樣時間從紫外線燈開啟時計算，每 15 秒熄燈檢查相片狀態；若未達標準（圖 2-6），就繼續以十秒為單位增加照光時間。直到印相相片的邊緣（圖片紅圈處），也就是沒有覆蓋底片的地方，它



的密度、色深達到最大、最深時（圖 2-7），即停止計時，並記錄當次印相所需的時間。



圖 2-6、印樣時間不足，照光處密度不足



圖 2-7、顯影時間充足、照光處密度充足

#### 4. 結果分析的方法：

- (1) 色階顯影結果：以人工計算各種顯影法可以顯影的色階範圍，色階範圍越廣，代表可以顯影的顏色越豐富。
- (2) 對比度顯影結果：以人工計算各種顯影法可以顯影的對比方格數，並將可以顯影的方格數與總方格數相除，得到可以顯影的對比百分比。
- (3) 照片細節顯影結果：以人工判讀顯影結果中，是否可以精準顯影出照片的亮部細節與暗部細節。

## 二、實驗二：探討紙張對各顯影法的影響

實驗二可再分為兩個實驗：色階與照片印相實驗。色階印相實驗以三種曝光時間印相，希望能找到各種顯影法在不同紙張上的最大色階表現能力以及平均印相時間。照片印相時間以人物照片為底片，將顯影結果掃描至電腦後分析不同紙張在同一張底片下會有什麼不同印相效果

### (一) 實驗目的：

1. 了解不同紙張對顯影色階廣度的影響
2. 了解不同紙張在不同印相時間能表現的色階廣度
3. 比較不同紙張在相片上的顯影差異

### (二) 實驗方法：

1. 本實驗選用七種不同的紙張做實驗。紙張排列順序依照磅數、吸水能力由高至低為：Arches 水彩紙、山度士水彩紙、Canson 水彩紙、日本水彩紙、素描紙、丹迪紙、粉彩紙。
2. 本實驗在同一張紙上，利用書本遮住相片防止繼續曝光的方式(圖 3-1)，呈現印樣 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘三種結果（由於鐵鹽印相法所需印相時間較短，所以鐵鹽印相法的印相時間為 10 秒鐘、20 秒鐘、30 秒鐘）。
3. 選定用來印相的相片：人物(圖 3-2)製作成數位負片後用不同的紙張印相。分析相同的照片用不同種紙張呈現會有什麼效果。

#### 4. 結果分析的方法

- (1) 紙張對色階顯影範圍的影響：以人工方式判斷、計算三種印樣時間中，哪個時間的色階顯影範圍最廣。
- (2) 紙張對照片顯影效果的影響：將顯影結果掃描至電腦，以繪圖軟體（Photoimpact）中的「分佈圖面板」功能，取得顯影結果的「色階平均值」、「中位數」、與「標準差」。色階平均值為圖像中色階分布的平均值，數值介在 1~256 間，數字越大，表示顏色越亮；我們從色階分布平均值知道顯影結果的亮暗程度，色階中位數代表此顯影結果中灰階 1~256 色中哪個顏色最多，而色階標準差告訴我們這些不同的顏色差異性有多大，可以表示顯影結果的對比程度（圖 3-3）。



圖 3-1、用書本防止曝光



圖 3-2、人物照片



圖 3-3、色階分佈圖面板

### 三、實驗三：探討如何調整照片之影像效果

實驗三根據實驗一、二所得之各種顯影法、紙張的表現效果與限制做調整。透過改變感光劑濃度、水洗溫度、以及增加調色流程，討論顯影結果會如何改變。

#### (一) 實驗目的：

1. 透過改變感光劑（檸檬酸鐵銨、草酸鐵、硝酸銀）的濃度，了解濃度對顯影結果的影響。
2. 透過改變水洗水溫，了解水洗溫度對顯影結果的影響。
3. 透過調色實驗，了解不同調色劑對顯影結果的影響。

(二) 實驗方法：影響氧化還原的因素有濃度、溫度、以及反應環境等，我們改變感光劑濃度、水洗溫度，和增加調色過程，測試不同狀態下顯影結果的變化。在這階段的實驗，我們使用 Canson 水彩紙作為印相紙張。

1. 感光劑濃度實驗：在此實驗中，我們調整各種顯影法的塗料中「感光劑」的濃度。

(1) 定義各藥水中的感光劑：鐵鹽家族的感光劑為含鐵的「檸檬酸鐵銨」以及「草酸鐵」，而銀鹽家族的感光劑則為「硝酸銀」。

(2) 我們前面實驗中所使用的感光劑濃度乘以 0.25 倍、0.5 倍、0.75 倍、1.25 倍、1.5 倍、1.75 倍、2 倍進行實驗。

(3) 作為印相的底片為色階與對比度測試圖片（圖 4-1）。



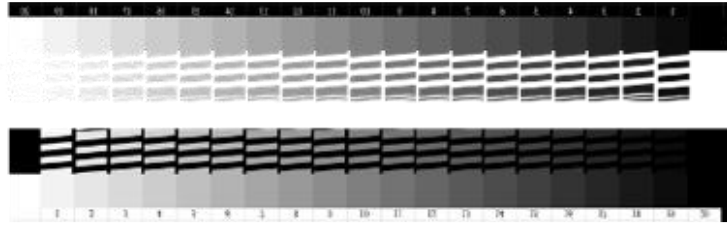


圖 4-1、色階與對比度測試圖片

## 2. 水洗水溫實驗：

- (1) 定義水洗階段：不管是什麼顯影法，在印相過後的第一次水洗至定影階段的所有溶液溫度皆為我們的溫度調整範圍。
- (2) 由於最終的流水沖洗階段，我們使用經過濾器過濾的自來水，難以控制其水溫，因此流水沖洗的溫度並不在我們的考慮範圍內。
- (3) 我們將測試冰水（10°C）、常溫水（25°C）、溫水（40°C）、熱水（70°C）四種水洗狀態是否影響顯影效果。
- (4) 實驗使用電子溫控計來維持溫度。（圖 4-2）
- (5) 實驗用靜物照片（圖 4-3）印相。

## 3. 相片調色實驗：相片顯影的原理建立在氧化還原上，我們利用生活中常見的氧化劑與還原劑做調色實驗，測試影像結果在定影前是否可以透過化學原理調整。

- (1) 以 Canson 水彩紙作為實驗紙張，以植物照片作為底片。
- (2) 我們使用四種調色液：雙氧水、醋酸水、紅茶、以及稀釋的藍曬液。



圖 4-2、使用電子溫控劑控制水溫



圖 4-3、靜物照

## 4. 結果分析的方法：

- (1) 感光劑濃度實驗：以人工計算可以顯影的格數，同時判斷顯影結果的顏色。
- (2) 水洗溫度實驗：將結果掃描至電腦，取得顯影結果的「色階平均值」與「標準差」作為判斷亮度與對比的基準。
- (3) 相片調色實驗：人工觀察調色結果，將結果分類為「顏色變淡」、「顏色變深」、「顏色改變」與「無明顯改變」四種

## 四、製作一套「古典顯影指南」

本實驗首先比較微軟 word 軟體中的「圖片編輯功能（亮度、對比、色彩、美術功能）」與古典技法的效果，再來分析比較現代的數位列印照片與古典顯影照片的異同與特色，最後，依照前述所有實驗，彙整出一套「古典顯影指南」。

(一) 實驗目的：

1. 比較現代影像編輯功能與古典顯影技法
2. 彙整出一「古典顯影指南」

(二) 實驗方法

1. 利用實驗一、二、三所得之結果，調整不同顯影法、不同感光劑濃度、不同紙張、不同水洗溫度以及增加調色流程，製造出不同亮度、對比與色調的古典顯影照片。
2. 利用疊加底片、遮光板、以及改變疊壓的玻璃表面紋路等方法，做出不同藝術效果。
3. 利用前述所得之研究結果，彙整出一套「古典顯影指南」。

## 伍、 實驗結果與討論







### 一、實驗一：比較不同古典顯影法的顯影能力：

(一) 實驗結果：

1. 色階顯影：

- (1) 實驗採用 16 種不同明暗度所構成的色階表投影片進行印相，分析時依據呈現中可顯示的色階範圍了解各種古典成像法的優勢顯影區域。色階數值越大，表示顏色越淺，能夠顯影的色階範圍越大，表示顏色顯影能力越強（表三）。
- (2) 由於古典顯影法為純手工技術，因此每張結果會有些許不同。因此，我們每種顯影法印相十次，取其中較成功的五次，找到顯影結果的平均值、也紀錄所需印相時間的平均值。
- (3) 實驗結果發現，凡戴克棕法、鹽印法、吉利丁鹽印法的強勢顯影範圍在亮部，藍曬法的強勢顯影範圍則偏向暗部。鐵鹽印相法、蛋白印相法則是 16 階色階都可以清楚顯影（圖 5-1）。
- (4) 從所需印樣時間我們可以發現，鐵鹽家族（藍曬法、凡戴克棕法、鐵鹽印相法）所需的印樣時間相對於銀鹽家族（鹽印法、吉利丁鹽印法、蛋白印相法）來得長，但是鐵鹽印相法例外，所需時間為所有顯影法中最短。

表三、不同古典顯影法的色階顯影結果

顯影方法	顯影結果	時間
藍曬法	 顯影範圍：1~13 階	2' 45" (最長)
凡戴克棕顯影	 顯影範圍：4~15 階	2' 00"
鐵鹽印相	 顯影範圍：1~16 階	30" (最短)
鹽印法	 顯影範圍：6~16 階	45"
吉利丁鹽印法	 顯影範圍：5~15 階	45"
蛋白相紙	 顯影範圍：1~16 階	1' 00"

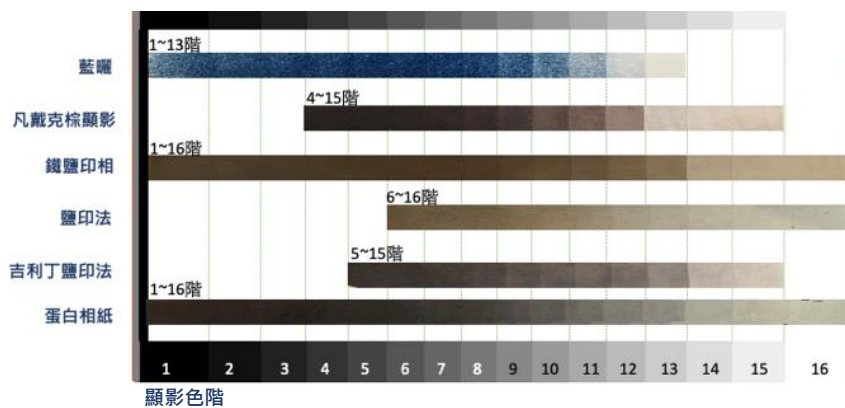
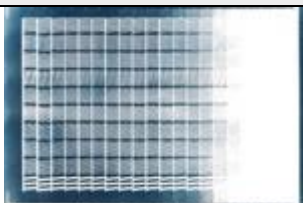
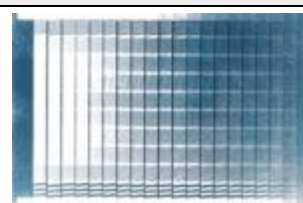
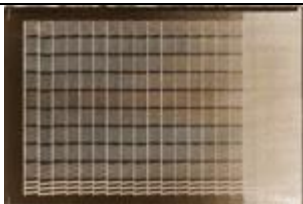




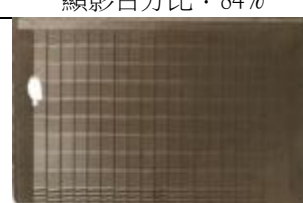


圖 5-1、各種顯影法色階顯影範圍比較


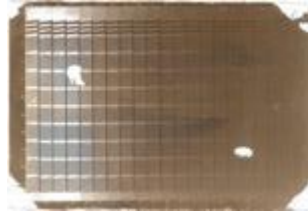
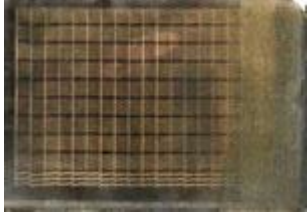

## 2. 亮部、暗部對比程度

- (1) 影像的明暗對比為其顏色差異的程度，如果對比越大，代表顯影亮的地方越亮同時暗的地方越暗。大部分的古典顯影法擅長顯影高對比的圖片，因此為了測試各種古典顯影法在低對比情況下的顯影能力，進行此實驗。本實驗之底片將對比度分為 20 個等級，也將線條粗細分為 10 種粗細，線條與色階的組合總共 200 種。透過判斷可以清晰顯影的格數百分比，可以了解到顯影法顯影低對比畫面的能力。（表五）。
- (2) 除了藍曬法之外，其他所有的顯影法都是在亮部低對比的表現比暗部低對比好。而暗部低對比則是鐵銀印相法表現最好。
- (3) 對比度顯影結果呼應第一階段的色階顯影結果：藍曬法擅長暗部的顯影，因此就算在暗部低對比處，也相對顯影清楚；而凡戴克棕法擅長亮部顯影，在亮部低對比部分，可以完整顯影。鐵鹽則是綜合前兩者的優點，在亮部、暗部的對比都能充分顯影。銀鹽家族可以顯影的對比程度均衡，在亮部與暗部低對比的的部分都有超過 70%的顯影。

表五、亮部、暗部對比顯影結果

	亮部低對比	暗部低對比	時間
藍曬法	 顯影百分比：70%。	 顯影百分比：73%	2' 40"
凡戴克棕法	 顯影百分比：85%	 顯影百分比：50%	2' 00"
鐵鹽印相法	 顯影百分比：85%	 顯影百分比：84%	30"
鹽印法	 顯影百分比：85%	 顯影百分比：82%	1' 30"

表五、亮部、暗部對比顯影結果（續）

	亮部低對比	暗部低對比	時間
吉利丁鹽印法	 顯影百分比：85%	 顯影百分比：76%	1' 00"
蛋白印相法	 顯影百分比：80%	 顯影百分比：75%	1' 00"

\*由於影像掃描與原圖有差距，因此以上數值以實際圖片作為計算基準。圖片中的白色污漬為硝酸銀塗布時的失誤，因為不影響整體結果判斷，因此仍採為實驗記錄紙張。

### 3. 相片顯影：

(1) 實驗首先分析相片中的亮部細節與暗部細節（圖 5-2）。

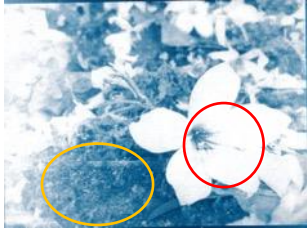

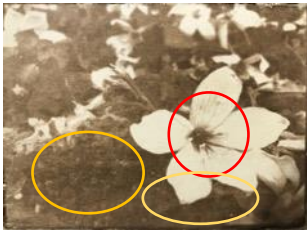

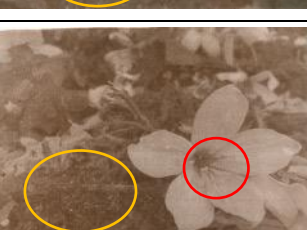
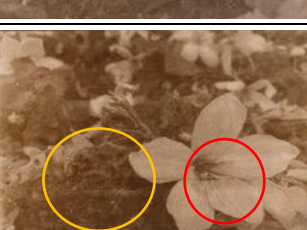


圖 5-2、照片亮暗部細節分析

- (2) 以相片為底片影響的變數又比單純線條密度多，所以色階廣度與亮、暗對比印樣所得的結果並不能直接用在以照片為底片的結果上。
- (3) 所有顯影法中，以鐵鹽印相法與藍曬法的對比度相較其他顯影法高。
- (4) 吉利丁鹽印法以及蛋白印相法在亮部細節與暗部細節的顯影表現非常好，而蛋白相紙又比吉利丁鹽印法清楚。
- (5) 相片細節顯影排序從最佳到最差為：蛋白印相法>吉利丁鹽印>鐵鹽印相法>鹽印法>凡戴克棕法>藍曬法。（表六）。



表六、相片顯影分析

Canson 水彩紙印樣結果		分項分析：				備註	
藍曬法		亮部	花瓣	花絲	花藥	花粉	藍曬法無法觀察到顯影結果的花瓣紋路、僅能看見些許的線條狀花絲；但在暗部的顯影卻十分清楚。
		細節	X	✓	X	X	
暗部	苔蘚	落葉	枯枝				
細節	✓	✓	✓				
凡戴克棕法		亮部	花瓣	花絲	花藥	花粉	凡戴克棕法的顯影結果中，可以清楚看見所有花的構造，但是在暗部就除了中央枯枝之外，沒有其他細節。
		細節	✓	✓	✓	✓	
暗部	苔蘚	落葉	枯枝				
細節							
鐵鹽印相		亮部	花瓣	花絲	花藥	花粉	鐵鹽印相法在亮部的顯影除了花粉無法觀察到，其餘部位都清楚，而在暗部的顯影十分清楚，可以觀察到所有項目。
		細節	✓	✓	✓	X	
暗部	苔蘚	落葉	枯枝				
細節	✓	✓	✓				
鹽印法		亮部	花瓣	花絲	花藥	花粉	鹽印法顯影結果只可以觀察到部分花瓣紋路，但是在暗部的細節中可以看見落葉與枯枝，較細微的苔蘚無法清楚顯影。
		細節	✓	✓	X	X	
暗部	苔蘚	落葉	枯枝				
細節	X	✓	✓				
吉利丁鹽印		亮部	花瓣	花絲	花藥	花粉	吉利丁鹽印法可以觀察到更多的亮部細節，但是在暗部的表現卻沒有其他的好，只能看見中央的枯枝。
		細節	✓	✓	X	X	
暗部	苔蘚	落葉	枯枝				
細節	X	✓	✓				
蛋白印相法		亮部	花瓣	花絲	花藥	花粉	蛋白印相法的顯影細節清晰，在亮部可以完整觀察到花的構造，在暗部的項目也可以顯影清楚。
		細節	✓	✓	✓	✓	
暗部	苔蘚	落葉	枯枝				
細節	✓	✓	✓				

(二) 小結：

實驗一透過色階、線條、對比度印相，測試各種顯影法的顯影能力。在**這個實驗中**，我們得知**各種顯影法適合的顯影範圍**，以及**對於細節的表現程度**：藍曬法擅長顯影暗部的區域，在亮部卻無法明顯顯影；凡戴克棕法則相反，擅長亮部的顯影，可以做出高對比度；鐵鹽印相法能表現的色階範圍廣，不論是亮部或是暗部的顏色、對比都能如實顯影。鹽印法適合中間部位的色

階，帶有紅棕色的色調是其特徵；吉利丁鹽印法與蛋白印相法均可以表現大範圍的色階，但兩者都是在亮部對比表現較暗部對比好。

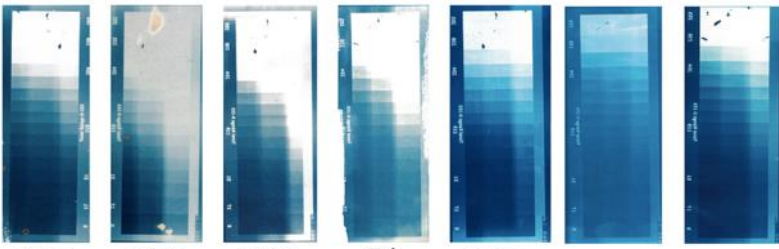
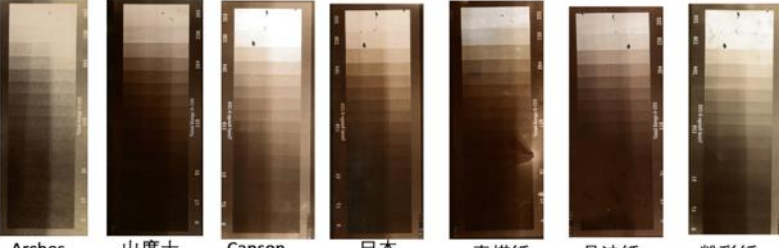
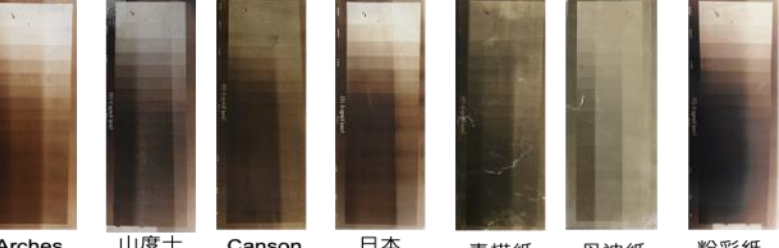
## 二、實驗二：探討紙張對各顯影法的影響

### (一) 實驗結果

#### 1. 色階顯影：

- (1) 從印樣結果我們可以發現，就算是相同顯影法，在不同紙張上的顯影除了色階顯影廣度、達最大色階廣度時所需印相時間有很大差異，連顯影的色調都非常不一樣。我們推論這除了和紙張的吸水能力有關外，紙張本身的材料、是否漂白等因素也會影響顯影結果（表七）。
- (2) 並非印相時間越久，顯影色階就越多，從實驗結果觀察，當印相時間太短，淺色部分的色階出不來，但印相時間太長，深色部分的色階就看不出變化。由於每張照片是由不同顏色組成，有些色調偏亮、有些偏暗，因此無法用統一的時間規定照片要印樣多久。
- (3) 所有紙張種類中，以 Arches 水彩紙的顯影色階最多，而素描紙與粉彩紙在各種顯影法的色階顯影能力差異最大。
- (4) 我們發現，大部分的顯影法在水彩紙上的色階顯影範圍較廣，但是藍曬法則相反，在非水彩紙類的紙張顯影能力較好，而紙張對鐵鹽印相的影響是所有顯影法中最大的（圖 5-3）。

表七、不同紙張對色階顯影的影響

色階顯影結果	
藍曬法	 <p>Arches 水彩紙    山度士 水彩紙    Canson 水彩紙    日本 水彩紙    素描紙    丹迪紙    粉彩紙</p>
凡戴克棕法	 <p>Arches 水彩紙    山度士 水彩紙    Canson 水彩紙    日本 水彩紙    素描紙    丹迪紙    粉彩紙</p>
鐵鹽印相法	 <p>Arches 水彩紙    山度士 水彩紙    Canson 水彩紙    日本 水彩紙    素描紙    丹迪紙    粉彩紙</p>

表七、不同紙張對色階顯影的影響（續）

色階顯影結果	
鹽印法	
吉利丁鹽印法	
蛋白印相法	

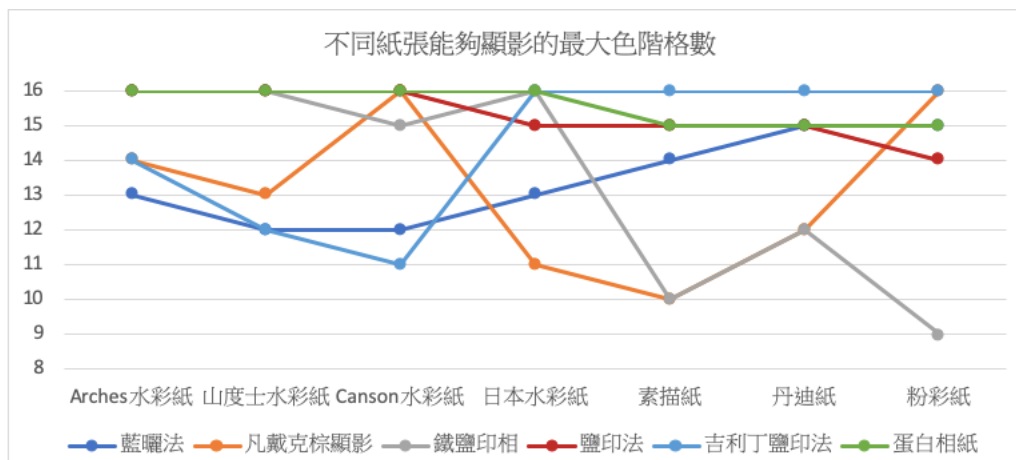


圖 5-3、不同紙張能夠顯影的最大色階格數

2. 相片顯影：

- 依照前面的不同紙張能表顯的色階廣度實驗，我們推論不同紙張也會影響照片的顯影色調、對比、與細節（表八）。
- 從色階分析數字中，平均值對應的是顯影結果的亮暗程度、而標準差對應的是顯影結果的對比程度。我們可以發現，水彩紙類在大部分的顯影法中，平均值數字比非水彩紙低，而標準差數字卻比非水彩紙高；也就代表在水彩紙類的顯影結果相對於其他紙張來得暗，但是對比卻比其他紙張來得高。































(3) 藍曬法在 Arches 水彩紙的顏色為藍曬法最典型的普魯士藍色，但是在丹迪紙上的細節最豐富。藍曬法在水彩紙上的顯影能力不如在其他紙張上好，雖然在水彩紙上可以顯影出有層次的深色與高對比，但是亮部細節幾乎無法顯影。因此相對於水彩紙，藍曬法更適合素描紙、丹迪紙、粉彩紙等輕薄的紙張。

(4) 不同紙張選擇對蛋白印相法這種顯影法的影響相對較小：在顯影結果的色階分佈數值中，雖然平均值不同，但是標準差卻相近。這代表不同紙張在蛋白印相這種顯影法中，雖然會影響亮暗程度，但對於顯影結果的對比度影響較小。

(5) 所有紙張選擇中，以 Arches 水彩紙以及 Canson 水彩紙顯影的細節度最高。

表八、紙張種類對照片對顯影的影響

顯影法	顯影結果						
藍曬法							
	Arches 水彩紙 平均值129.8 中位數110 標準差83.9	山度士水彩紙 平均值105.2 中位數107 標準差39.1	Canson 水彩紙 平均值158.9 中位數164 標準差77.3	日本水彩紙 平均值197.5 中位數216 標準差58.6	粉彩紙 平均值94.5 中位數68 標準差58.6	丹迪紙 平均值96.9 中位數76 標準差60.6	素描紙 平均值160.7 中位數159 標準差75.6
凡戴克棕顯影							
	Arches 水彩紙 平均135.9 中位數118 標準差52.4	山度士水彩紙 平均108.5 中位數89 標準差47.3	Canson 水彩紙 平均94.5 中位數82 標準差32.8	日本水彩紙 平均99.3 中位數82 標準差42	素描紙 平均153 中位數148 標準差23.5	丹迪紙 平均101.7 中位數70 標準差50.6	粉彩紙 平均82.9 中位數70 標準差36.8
鐵鹽印相							
	Arches 水彩紙 平均120 中位數109 標準差52.4	山度士水彩紙 平均108.5 中位數89 標準差47.3	Canson 水彩紙 平均135 中位數131 標準差27.4	日本水彩紙 平均143 中位數138 標準差31.43	素描紙 平均151 中位數148 標準差52.7	丹迪紙 平均142 中位數129 標準差37.8	粉彩紙 平均179 中位數176 標準差26.5
鹽印法							
	Arches 水彩紙 平均109 中位數103 標準差26.4	山度士水彩紙 平均180 中位數177 標準差26.3	Canson 水彩紙 平均105 中位數90 標準差51	日本水彩紙 平均139 中位數131 標準差31.5	素描紙 平均114 中位數100 標準差46	丹迪紙 平均144 中位數139 標準差28.4	粉彩紙 平均155 中位數151 標準差29.8

吉利丁鹽印							
	Arches 水彩紙 平均131 中位數121 標準差45.1	山度士 水彩紙 平均102 中位數93 標準差36.9	Canson 水彩紙 平均148 中位數140 標準差36.5	日本 水彩紙 平均146 中位數139 標準差37.3	素描紙 平均174 中位數161 標準差39.3	丹迪紙 平均181 中位數170 標準差37.1	粉彩紙 平均194 中位數184 標準差37.9
蛋白相紙							
	Arches 水彩紙 平均75 中位數65 標準差33.5	山度士 水彩紙 平均80 中位數73 標準差33.1	Canson 水彩紙 平均121.5 中位數112 標準差38.6	日本 水彩紙 平均130 中位數121 標準差35.3	素描紙 平均172 中位數168 標準差34.2	丹迪紙 平均123 中位數116 標準差33.5	粉彩紙 平均113 中位數106 標準差33.8

## (二) 小結：

1. 紙張對於顯影效果的影響很大，不同紙張的色階顯影範圍、照片亮暗部細節程度都不同。我們發現 Arches 水彩紙在所有顯影效果中最好，能夠達到的細節程度也最高。而素描紙較不適合用在顯影，因為他吸水性低，在感光藥劑塗布階段就容易造成撕裂、掉屑的狀態。然而，吸水性較好的水彩紙也容易因為塗布技術不夠好，造成感光藥水太快就吸收在紙的纖維，而在最終的成品中出現塗布的格狀痕跡，因此不適合初學者。
2. 藍曬法不同於其他顯影法，在非水彩紙的紙張上顯影的效果反而更好；我們推測是因為藍曬法的化學藥劑並沒有深入紙張纖維，因此不需要特別選擇吸水性的紙張，只要夠平整、輕薄就可以順利顯影。
3. 紙張若選擇正確，可以凸顯顯影法的優點。紙張若選擇不當，就算是步驟相對繁瑣的顯影法，也無法表現出應有的效果。
4. 從以上實驗我們可以總結，紙張決定顯影結果的色調、表現的顏色廣度以及最終成品的質感。不同顯影法、不同底片、不同藝術表現均適合不同的紙張。

## 三、實驗三：探討如何調整照片之影像效果

### (一) 實驗結果：

#### 1. 感光劑濃度實驗

- (1) 我們改變標準配方中感光劑（檸檬酸鐵銨、草酸鐵、硝酸銀）的濃度，測試感光劑在標準配方的 0.25、0.5、0.75、1.25、1.5、1.75、2 倍濃度下，對顯影結果有什麼影響。
- (2) 實驗結果顯示：感光度濃度越濃，所需要的印樣時間便減短，同時讓顯影結果顏色更深邃；但不一定能增加顯影結果的對比度（表九），但是我們觀察到，各種顯影方法仍有其最大的對比顯影能力，就算增加感光劑濃度，也無法讓對比顯影程度增加（圖 5-4）。



- (3) 感光劑濃度同時影響相紙製作成功率與水洗時間。感光劑濃度高，水洗過程中要花的時間比平常更久，而感光劑濃度低，則容易塗布不均勻。
- (4) 當檸檬酸鐵銨濃度增加，藍曬法與凡戴克棕法所需印樣時間明顯變短，顯影結果的顏色也較深邃。但是藍曬法在原本配方之下顯影的對比度還是最好，相對的，凡戴克棕法在 2 倍濃度時顯影的對比明顯增加。
- (5) 鐵鹽印相法以標準配方為基準，隨著草酸鐵濃度增加，亮部的對比又顯影地更清晰，而當草酸鐵濃度減低，對比與顯影色階範圍減少。
- (6) 硝酸銀濃度增加時，顯影的顏色明顯變深，所需印樣時間也變短；而當硝酸銀濃度降低，顏色、對比都明顯降低。而且顯影不均勻。但是在蛋白印相法的顯影結果中，當硝酸銀濃度低，顯影顏色雖然比較淡，但卻對比度沒有影響，仍然保持清晰。

表九、感光劑濃度實驗分析

	顯影結果							
藍曬法								
	0.25倍 12/20	0.50倍 14/20	0.75倍 16/20	1.00倍 15/20	1.25倍 16/20	1.50倍 16/20	1.75倍 15/20	2.00倍 17/20
凡戴克棕法								
	0.25倍 17/20	0.50倍 17/20	0.75倍 18/20	1.00倍 18/20	1.25倍 17/20	1.50倍 17/20	1.75倍 18/20	2.00倍 16/20
鐵鹽印相法								
	0.25倍 14/20	0.50倍 16/20	0.75倍 17/20	1.00倍 20/20	1.25倍 18/20	1.50倍 18/20	1.75倍 17/20	2.00倍 17/20

鹽印法								
	0.25倍 14/20	0.50倍 16/20	0.75倍 17/20	1.00倍 17/20	1.25倍 17/20	1.50倍 17/20	1.75倍 18/20	2.00倍 18/20
吉利丁鹽印								
	0.25倍 16/20	0.50倍 16/20	0.75倍 18/20	1.00倍 20/20	1.25倍 20/20	1.50倍 20/20	1.75倍 19/20	2.00倍 18/20
蛋白印相法*								
	0.25倍 14/20	0.50倍 14/20	0.75倍 16/20	1.00倍 16/20	1.25倍 17/20	1.50倍 20/20	1.75倍 20/20	2.00倍 20/20

\*蛋白印相法因為表面有光澤，難以掃描出清晰畫面，因此以實際顯影紙張與畫面呈現有些許些許不同。

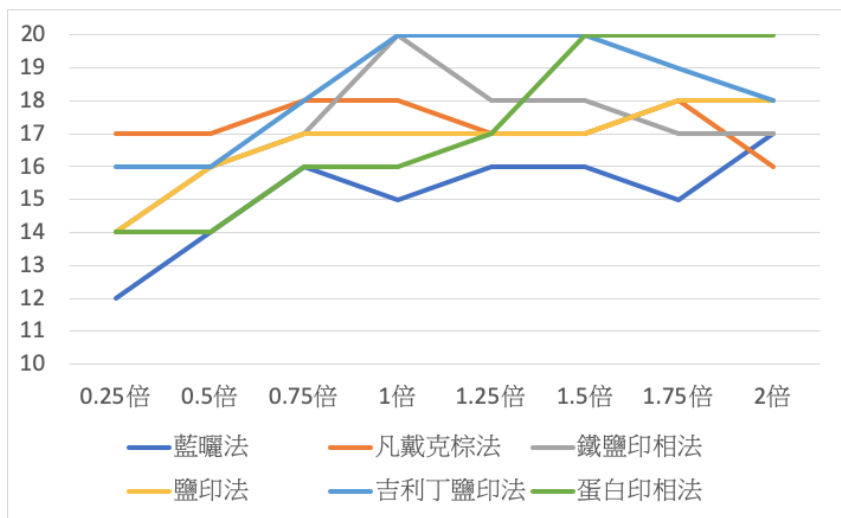


圖 5-4、不同感光劑濃度可以顯影的對比格數





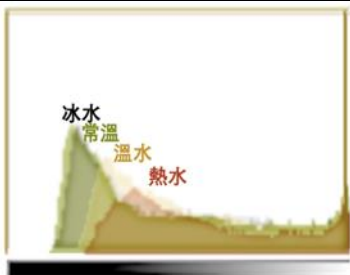




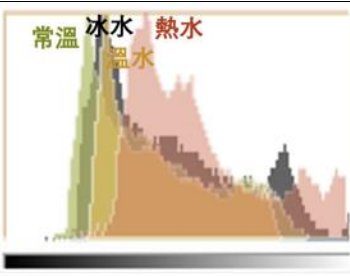




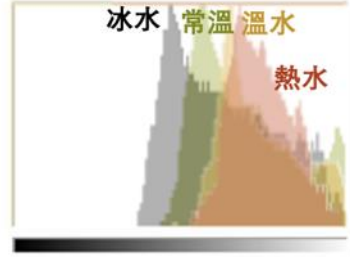




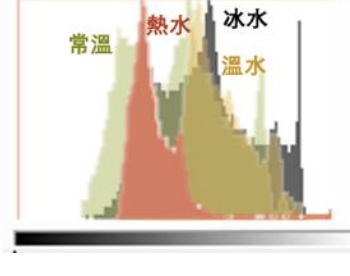
## 2. 水洗溫度實驗

- (1) 實驗中利用四種水溫水洗照片，測試不同水洗溫度是否影響顯影結果。
- (2) 水洗溫度對顯影結果的色調與清晰度有明顯影響，使用熱水水洗可以快速的將未反應的化學藥劑溶出洗掉，但是同時讓顯影顏色變淡、清晰度下降。使用冰水水洗需要花比平





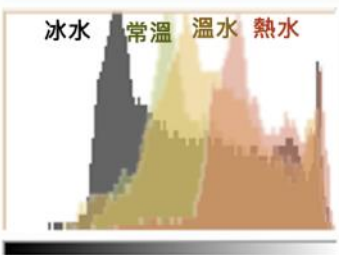




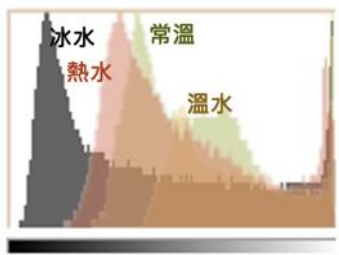
常更久的時間，但是可以讓顯影的對比與線條更清晰（表十）。因此我們認為使用低溫水洗，能夠讓顯影結果更細膩。

(3) 從電腦分析出的色階分布圖我們可以看到，當水洗水溫越高，大部分顯影結果的色調越亮（色階分佈圖右偏），同時對比度減低（色階分佈圖向內擠壓）。其中蛋白相紙最不適宜以高溫水洗，因為熱水的高溫會造成蛋白塗層起泡、甚至變形。

表十、水洗溫度對顯影結果的影響

	顯影結果				色階分佈疊圖分析
藍曬法	 10°C冰水 平均值106.5 標準差68.2	 25°C常溫水 平均值103.0 標準差69.9	 40°C溫水 平均值130.2 標準差64.1	 70°C熱水 平均值150.4 標準差67.1	
凡戴克棕顯影	 10°C冰水 平均107 標準差 48.1	 25°C常溫水 平均92.8 標準差 39.6	 40°C溫水 平均99.8 標準差 33.3	 70°C熱水 平均127 標準差 37	
鐵鹽印相	 10°C冰水 平均152 標準差38	 25°C常溫水 平均167 標準差34	 40°C溫水 平均180 標準差24.7	 70°C熱水 平均169 標準差24.7	
鹽印法	 10°C冰水 平均值140.4 標準差31.5	 25°C常溫水 平均值126.7 標準差34.0	 40°C溫水 平均值159.5 標準差20.2	 70°C熱水 平均值148.0 標準差30.4	





















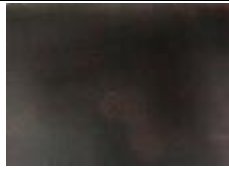











吉利丁鹽印法					
	10°C冰水 平均值128.7 標準差53.1	25 °C常溫水 平均值145.7 標準差39.0	40 °C溫水 平均值154.5 標準差39.3	70 °C熱水 平均值190.2 標準差34.5	
蛋白相紙					
	10°C冰水 平均值69.4 標準差52.0	25 °C常溫水 平均值133.5 標準差40.9	40 °C溫水 平均值165.4 標準差42.1	70 °C熱水 平均值81.5 標準差44.4	

### 3. 相片調色實驗

- (1) 在定影前的顯影結果可以透過調色流程改變顯影結果的色調、對比、甚至細節程度，不同調色液在用在不同顯影法上的效果也各異（表十一）。
- (2) 以醋酸水、雙氧水水洗藍曬法顯影結果可以讓成像結果顏色加深，同時讓亮部細節顯示出來。而以紅茶浸泡可以改變成像結果的顏色，從藍色改為茶色。以稀釋藍曬液（檸檬酸鐵銨加上赤血鹽）浸泡會讓結果變得更藍，甚至是偏綠色。
- (3) 稀釋的藍曬液可以改變鐵鹽家族的顯影顏色，讓凡戴克棕顯影的結果由棕色變成藍色，也讓鐵鹽印相的顯影結果由棕黑色變成淡黃色。但是對銀鹽家族的影響效果有限。
- (4) 醋酸水作為常見的還原劑，能讓大部分的顯影結果色調改變，但是對鐵鹽印相法則沒有明顯的改變。
- (5) 雙氧水作為常見的氧化劑，能讓大部分的顯影結果顏色變淺，但是對藍曬法的影響卻相反，讓藍曬法的顯影結果顏色變深，對比加強（圖）。

表十一、照片調色實驗

藍曬法						
	原圖	醋酸水	雙氧水	紅茶	稀釋藍曬液	
	凡戴克棕法					
		原圖	醋酸水	雙氧水	紅茶	稀釋藍曬液

鐵鹽印相法	 原圖	 醋酸水	 雙氧水	 紅茶	 稀釋藍曬液
鹽印法	 原圖	 醋酸水	 雙氧水	 紅茶	 稀釋藍曬液
吉利丁鹽印法	 原圖	 醋酸水	 雙氧水	 紅茶	 稀釋藍曬液
蛋白印相法	 原圖	 醋酸水	 雙氧水	 紅茶	 稀釋藍曬液

表十二、調色結果分析

	醋酸水	雙氧水	紅茶	稀釋藍曬液
藍曬法	顏色變深	顏色變深	顏色改變	顏色變深
凡戴克棕法	顏色變淡	顏色變淡	顏色變深	顏色改變
鐵鹽印相法	無明顯改變	顏色變淡	顏色變深	鹽賽改變
鹽印法	顏色改變	顏色變淡	顏色變深	無明顯改變
吉利丁鹽印法	顏色改變	顏色變淡	顏色變深	無明顯改變
蛋白印相法	顏色改變	顏色變淡	顏色變深	無明顯改變

(二) 小結：我們從影響氧化還原的因素著手，討論感光劑濃度、水洗溫度、以及調色液如何影響顯影結果。實驗中，感光劑濃度影響顯影的色調。

1. 我們發現**感光劑濃度越高**，可以讓顯影顏色越深，但並不一定可以提高顯影結果的對比度。但是感光劑濃度高大幅降低了感光藥水塗布不均勻的現象。
2. **水洗溫度影響顯影結果的色調與清晰程度**：我們發現使用越冷的水清洗，可以洗出越清晰的照片。
3. **性質不同的調色液改變顯影結果的色調**，我們發現含有單寧酸成分的紅茶可以讓所有的顯影結果改變顏色，同時將對比降低，而雙氧水能讓大部分的顯影結果顏色變淺，但是卻使藍曬法的顏色加深、對比增加。









#### 四、實驗四：製造一套「古典顯影指南」

##### (一) 現代影像編輯軟體的功能與古典顯影技法比較 (表十三)

1. 亮度：將照片「整體的」光線增加，調亮的過程中對比度不應減少。在古典顯影技法中，亮度的控制可以透過印樣時間的調整，或是調色液達成。同樣可以做到增減亮度但不影響對比。
2. 對比：將照片中亮部增亮，暗部加深的效果。加強對比會犧牲顏色的細節。在古典顯影技法中，可以選擇有高對比的顯影法，或是調整印相時間、紙張選擇來達到增加對比的效果。
3. 濾鏡（色調調整）：指用來改變鏡頭效果的功能。可以改變色調、增加光學效果等功能。在古典顯影法中，可以透過調色或是在印相過程中干擾紫外線照射來達到濾鏡的功能。

表十三、現代影像編輯軟體的功能與古典顯影技法的比較 (以鐵鹽印相法為例)

電腦後製與古典顯影結果	
亮度調整	 <p>電腦後製改變亮度：第一張的背景因為亮度調整而消失</p>  <p>利用印樣時間長短改變亮度：亮度調整，但是背景卻沒有因此犧牲</p>
對比調整	 <p>電腦後製改變對比：部分細節被犧牲 (側柏葉子部分)</p>  <p>利用水洗溫度改變對比：最主要的改變在亮部的大面積 (天空)</p>
色調調整	 <p>利用電腦後製改變色調：僅改變色調，不改變其他面向</p>  <p>利用紙張選擇改變色調改變色調：改變色調的同時也改變了清晰度、對比等</p>





## (二) 彙整一套「古典顯影指南」

1. 根據實驗一、二、三的結果，我們得知：

(1) 影響顯影結果色調的因素有：顯影法、感光劑濃度、紙張、印樣時間、與調色流程。

- a. 藍曬法的顯影結果為藍色調，其他顯影法為棕色調。
- b. 感光劑濃度增加，使顯影結果顏色變深。
- c. 使用吸水性較好的水彩紙，使顯影結果顏色較深邃，使用其他紙張可以讓顯影結果顏色分布均勻。
- d. 印樣時間越長，顯影結果色調越深。
- e. 調色流程可以明顯改變顯影結果的顏色。

(2) 影響顯影結果亮度與對比的因素：顯影法、感光劑濃度、印樣時間、紙張、水洗溫度。

- a. 印相時間越長，顯影結果的亮度越低。
- b. 不同顯影法顯影出來的影像對比也不同。標準配方與印洗程序之下，顯影結果的對比程度由高至低為：藍曬法>鐵鹽印相=蛋白顯影>凡戴克棕法>鹽印法=吉利丁鹽印法。
- b. 感光劑濃度增加，能增強亮部對比，但卻犧牲了暗部對比。
- c. 使用水彩紙類的紙張可以明顯使顯影結果對比增加。
- d. 水洗溫度低，可以讓對比程度更高、線條同時更清晰；水洗溫度高，讓對比降低。

(3) 其他影響顯影結果的因素：底片調整、熱風吹乾、遮色片、玻璃紋路

- a. 疊加兩層底片可以製造出景深效果
- b. 利用熱風吹乾可以增加局部暗度
- c. 利用遮色片可以增加局部亮度
- d. 利用玻璃表面紋路可以增加光學濾鏡效果

(4) 顯影效果示範指南：我們依照上面的結果，分析出影響顯影結果的各種變因，製成一張古典顯影指南(圖 5-5)；同時根據這張指南，實際沖洗出不同藝術效果的顯影(表十四)。

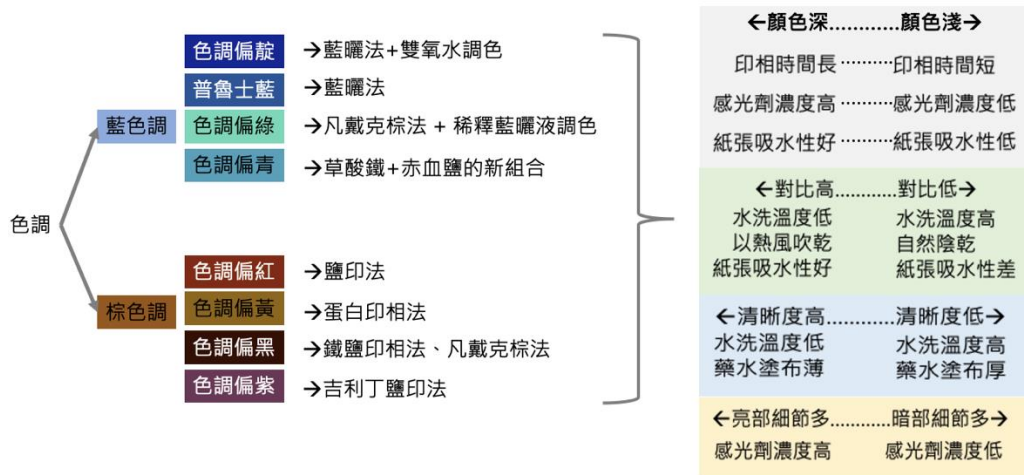


圖 5-5、古典顯影指南

表十四、顯影效果操作示範

原圖與目標影像	操作方法
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用「鐵鹽印相」顯影（偏黑色調）</li> <li>2. 1.5 倍草酸鐵濃度（加強深色）</li> <li>3. 使用 Arches 水彩紙（增加對比、水彩渲染質感）</li> <li>3. 印樣時間 25 秒（較長印樣時間，加強暗部）</li> <li>4. 使用溫水調製顯影液（增加天空模糊效果）</li> <li>5. 以熱風吹乾（加強陰影對比）</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用凡戴克棕顯影+調色（藍色調）</li> <li>2. 使用 Canson 水彩紙（平滑表面、高顯影細節）</li> <li>3. 印樣時間 120 秒（較長印樣時間，方便調色用）</li> <li>4. 使用冰水水洗（加強清晰度）</li> <li>5. 使用稀釋藍曬液調色（棕色調改藍色調，不失亮部細節）</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用蛋白相紙（帶有光澤、偏黃色調）</li> <li>2. 使用山度士水彩紙（對比高，有水彩紙紋路）</li> <li>3. 印樣時間 45 秒（較短印樣時間，降低亮度）</li> <li>4. 使用遮光片干擾曝光（邊緣柔焦）</li> <li>5. 使用冰水水洗（增加清晰度）</li> <li>6. 自然陰乾（使畫面色調均衡，降低對比）</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用藍曬法+雙氧水調色（靛色調）</li> <li>2. 使用素描紙（在藍曬法中能有高細節）</li> <li>3. 印樣時間 3 分鐘（較長印樣時間，方便調色）</li> <li>4. 冰水清洗（增加清晰度）</li> <li>5. 使用雙氧水調色（加強對比、顏色變深）</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用鹽印法（偏紅色色調，較低對比）</li> <li>2. 使用日本水彩紙（帶有菱格狀紋路）</li> <li>3. 使用 2 倍硝酸銀濃度（增強深色）</li> <li>4. 印樣時間 60 秒（正常印樣時間）</li> <li>5. 使用遮光片干擾（背景柔焦）</li> <li>6. 以熱風吹乾（加強暗部）</li> </ol>

## 陸、 結論

一、從實驗得知，會影響古典顯影法顯影結果的因素包含：顯影法的選擇、感光藥劑的濃度、紙張的選擇、印相時間、是否使用遮光版、水洗溫度、調色流程與晾乾方式等。

二、顯影法影響顯影結果的色調，與顯色範圍：藍曬法相對於其他的顯影法，善長暗部的顯影，而凡戴克棕顯影則相反，亮部的顯影出色。紙張影響顯影結果的對比與色深：吸水性較好的水彩紙可以讓顯影結果顏色更深邃，同時增加對比。印樣時間影響顯影結果的亮度，時間越長，亮度越暗；而水洗溫度影響顯影清晰程度，水溫越冰，顯影結果越清楚。調色流程因各種顯影法不同而有差異，可以透過調色流程改變顯影結果的顏色、對比，但本次實驗的調色液都會降低顯影結果的清晰程度。

三、「古典顯影操作指南」從顯影法、感光劑濃度、紙張選擇、水洗溫度探討古典顯影影像的色調、對比與清晰度、可以做為藝術美學需求與科學實驗探究的集合，讓藝術的創作除了機運之外，也有科學根據。

四、古典顯影法結合化學與美學，可作為跨領域科學應用與藝術創作。不同於數位列印的照片，古典顯影法每張都是手工沖洗而來，每張照片不一定完美，但都是獨一無二：這就是古典顯影法的最重要的藝術性價值。古典顯影法製成的照片保存能力極佳，在十九世紀製作的相片至今仍然有清楚的影像，而紙本列印的照片卻常有褪色問題；這凸顯了古典顯影法存在的實用價值。本研究透過以化學原理為基礎的變因控制、除了精進古典顯影法的配方搭配，也同時保存這種難能可貴的手工技藝。

## 柒、 參考文獻

一、古典鐵鹽工藝之藍曬法。(民 102)。民 108 年 5 月 30 日，取自：

<http://blueghost.net/blog/archives/3310>

二、朱蕊。(民 107)。古典攝影工藝價值研究。南京藝術學院。

三、國家教育研究院。雙語詞彙、學術名詞暨辭書資訊網。民 109 年 4 月 21 日，取自

<http://terms.naer.edu.tw/detail/1316914/>

四、廖旭茂(民 106)。黑白記憶：銀鹽相紙的製作與沖印。民 108 年 3 月 20 日，取自：

<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=22162>

五、韓筠青(無日期)。鹽印法 | Salted Paper。民 108 年 5 月 30 日，取自：

<http://www.onfotostudio.com/salt-print.html>

六、鐘建明(民 108)。鐵鹽、鐵銀與銀鹽顯影工藝。北京：中國攝影出版社。

七、Fabbri, G. (2006). *Blueprint to Cyanotypes: Exploring a Historical Alternative Photographic Process*. Lulu. com.

八、Jeffrey, I. (1999). *Revisions: an alternative history of photography*. National Museum of Photography, Film & Television, National Museum of Science & Industry.

## 【評語】 080203

本件科展作品針對六種古典顯影法，依不同變因，探討各顯影法的色階顯影範圍、明暗對比度與細節，實驗變因(紙類、水洗溫度、添加劑、濃度、時間)操作得宜，做成《古典顯影指南》具實用價值。研究主題參雜化學與藝術，是件非常有趣的作品。然而顯影技術之化學原理為已知，本作品所探討之顯影範圍與明暗對比屬於攝影藝術層面之細節，並非科學之新發現，除了陳述觀察的結果現象，若能加入文獻對照比較，並更深入探討背後的化學內容，如：實驗三<調色實驗>氧化劑、還原劑對顯影的改變，可探討氧化劑、還原劑的量、濃度、反應時間……對顯影的影響等，則做為科展研究主題會更具說服力，也相信會是一件科學與美學結合的優秀作品。



# 摘要

本研究針對六種古典顯影法（藍曬、凡戴克棕、鐵鹽印相、鹽印、吉利丁鹽印、蛋白印相法），依不同變因（紙張、感光劑濃度、水洗溫度、調色法），探討各顯影法的色階顯影範圍、明暗對比度與細節。結果發現不同顯影法擅長的顯影範圍、清晰度、與明暗對比不同；其中藍曬法擅長暗部顯影，凡戴克棕法則在亮部表現出色，鐵鹽印相法、蛋白印相法則是所有顯影法中，最能夠均勻表現所有色彩的顯影法。紙張與感光劑濃度對顯影結果的亮度與對比有明顯影響，而水洗溫度與調色法則是對顯影結果的清晰度與色調帶來改變。本研究最終彙整出一「古典顯影指南」，作為化學與藝術對話的參考指引，讓現代照片透過手工方式展現昔日的懷舊風格與藝術價值。

# 動機



不同照片的手感與味道 從針孔到數位的攝影 結合科學與美学的研究

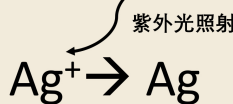
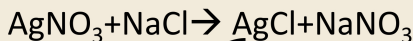
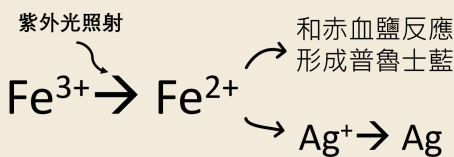
# 研究目的與實驗設計

比較	一、比較不同顯影法的顯影能力 實驗一、色階印相 實驗二、對比印相 實驗三、相片印相
實驗操作	二、比較紙張對顯影法的影響 實驗一、色階印相 實驗二、相片印相 三、探討如何調整相片之影像效果 實驗一、濃度調整 實驗二、水洗溫度 實驗三、調色流程
結果應用	四、彙整出「古典顯影操作指南」 實驗一、數位列印與古典顯影比較 實驗二、古典顯影操作指南

# 文獻探討與研究架構

## 一、古典顯影法與化學反應

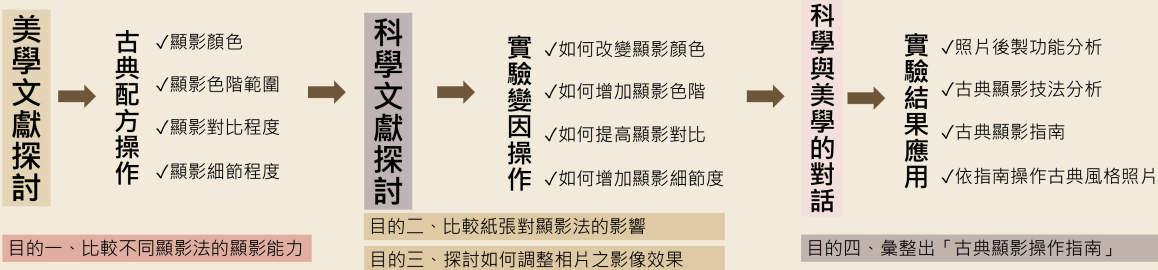
藍曬法 凡戴克棕法 鐵鹽印相法



鹽印法 吉利丁鹽印法 蛋白印相法

比「是否感光」更重要的，是「如何停止感光」

## 二、研究架構圖



## 三、實驗化材與用具

### 感光劑



### 感光助劑

### 顯、定影劑



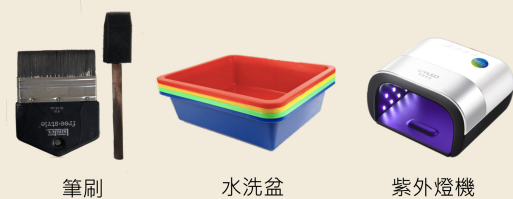
### 調色劑



### 其他



### 實驗工具



## 四、實驗基本流程



# 研究方法

## 一、使用不同的底片測試不同的顯影能力



色階底片  
↓  
顏色表現能力



對比度底片  
↓  
細節表現能力

相片底片  
↓  
綜合顯影能力

## 二、透過變因影響顯影結果

紙張	Arches 水彩紙	山度士 水彩紙	Canson 水彩紙	日本 水彩紙	素描紙	丹迪紙	粉彩紙	
濃度	X 0.25	X 0.50	X 0.75	X 1.00	X 1.25	X 1.50	X 1.75	X 2.00
溫度	10°C 冰水	25°C 常溫	40°C 溫水	70°C 熱水				
調色液	雙氧水	醋酸水	紅茶	稀釋藍曬液				

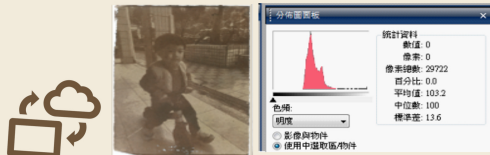
## 三、結果分析方法

### 1. 人工計算



以人工計算顯影色階、對比格數。  
也以人工判讀顯影的亮、暗部細節是否呈現

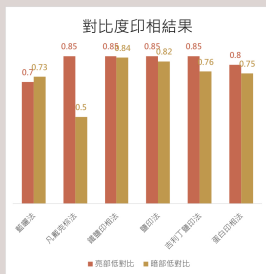
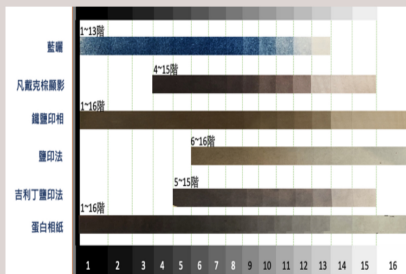
### 2. 電腦分析



色階分佈圖→整體照片色調與曝光程度  
平均值→亮度，數字越高，代表越亮  
標準差→對比度，數字越高，代表對比越大

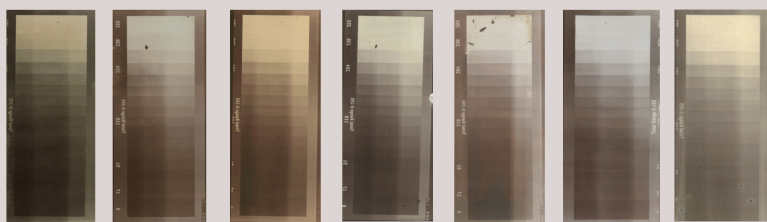
# 研究結果

## 一、比較不同古典顯影法的顯影能力



透過色階、對比度與相片印相，測試各種顯影法的顯影能力。實驗中，我們得知各種顯影法適合的顯影範圍，以及對於細節的表現程度。

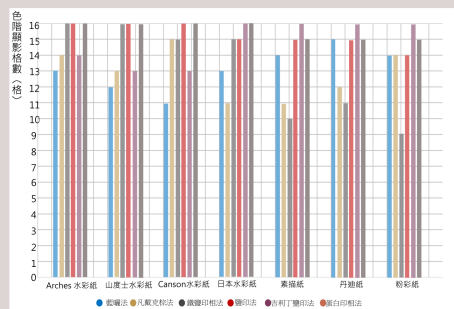
## 二、紙張對各種顯影法的影響



Arches 水彩紙   山度士 水彩紙   Canson 水彩紙   日本 水彩紙   素描紙   丹迪紙   粉彩紙



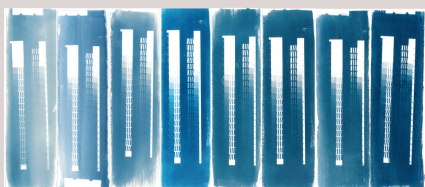
Arches 水彩紙 平均數120 標準差52.4  
山度士水彩紙 平均數108.5 標準差47.3  
Canson 水彩紙 平均數115 標準差35.4  
日本水彩紙 平均數133 標準差34.4  
素描紙 平均數151 標準差21.7  
丹迪紙 平均數142 標準差31.8  
粉彩紙 平均數179 標準差23.5



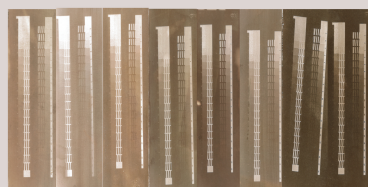
紙張決定顯影結果的色調、表現的顏色廣度以及最終成品的質感。不同顯影法、不同底片、不同藝術表現均適合不同的紙張。

## 三、如何調整照片之影像效果

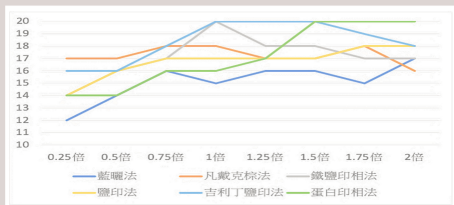
### 1. 感光劑濃度實驗



0.25倍 0.50倍 0.75倍 1.00倍 1.25倍 1.50倍 1.75倍 2.00倍  
12/20 14/20 16/20 15/20 16/20 16/20 15/20 17/20



0.25倍 0.50倍 0.75倍 1.00倍 1.25倍 1.50倍 1.75倍 2.00倍  
17/20 17/20 18/20 18/20 17/20 17/20 18/20 16/20



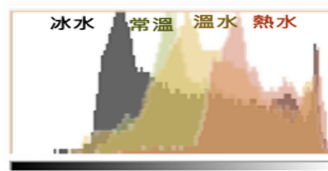
感光劑濃度與印樣、水洗所需時間有關，同時影響顯影的對比與色調。並不是感光劑濃度越高顯影效果越好。



## 2. 水洗溫度實驗



10°C冰水 平均值128.7 標準差53.1  
 25°C常溫水 平均值145.7 標準差39.0  
 40°C溫水 平均值154.5 標準差39.3  
 70°C熱水 平均值190.2 標準差34.5



水洗溫度對顯影結果的色調與清晰度有明顯影響，我們認為水洗溫度低，能夠讓顯影結果更細膩。

## 3. 調色實驗

	醋酸水	雙氧水	紅茶	稀釋藍曬液
藍曬法	顏色變深	顏色變深	顏色改變	顏色變深
凡戴克棕法	顏色變淡	顏色變淡	顏色變深	顏色改變
鐵鹽印相法	無明顯改變	顏色變淡	顏色變深	顏色改變
鹽印法	顏色改變	顏色變淡	顏色變深	無明顯改變
吉利丁鹽印法	顏色改變	顏色變淡	顏色變深	無明顯改變
蛋白印相法	顏色改變	顏色變淡	顏色變深	無明顯改變

性質不同的調色液改變顯影結果的色調，我們發現含有單寧酸成分的紅茶可以讓所有的顯影結果顏色變深，同時將對比降低，而雙氧水能讓大部分的顯影結果顏色變淺，但是卻使藍曬法的顏色加深、對比增加。



## 四、製造一套「古典顯影指南」

1. 現代影像編輯軟體的功能與古典顯影技法比較→古典顯影可以透過技法調整色調、亮度、對比、以及其他特效
2. 古典顯影指南

### 亮度調整



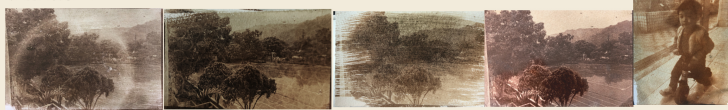
時間短.....時間長

### 對比調整



水洗溫度高.....水洗溫度低

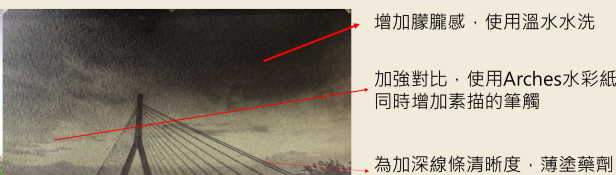
### 其他調整



光暈 泡泡濾鏡 筆觸調整 局部加深 景深調整



加強「昏黃」效果，使用色調偏黑的鐵鹽印相法



## 結論

- 一、從實驗得知，會影響古典顯影法顯影結果的因素包含：顯影法的選擇、感光藥劑的濃度、紙張的選擇、印相時間、是否使用遮光版、水洗溫度、調色流程與晾乾方式等。
- 二、顯影法影響顯影結果的色調，與顯色範圍，印樣時間影響顯影結果的亮度，時間越長，亮度越暗；而水洗溫度影響顯影清晰程度。調色流程因各種顯影法不同而有差異，可以透過調色流程改變顯影結果的顏色、對比，但本次實驗的調色液都會降低顯影結果的清晰程度。
- 三、「古典顯影操作指南」從顯影法、感光劑濃度、紙張選擇、水洗溫度探討古典顯影影像的色調、對比與清晰度、可以作為藝術美學需求與科學實驗探究的集合，讓藝術的創作除了機運之外，也有科學根據。
- 四、古典顯影法結合化學與美學，可作為跨領域科學應用與藝術創作。古典顯影法具有藝術性價值與高度保存價值。我們也發現，影印機無法列印在水彩紙上，但是古典顯影法卻沒有這樣的問題。本研究透過以化學原理為基礎的變因控制，除了精進古典顯影法的配方搭配，也保存這種難能可貴的手工技藝。

## 參考資料