

114-1 資料庫管理 期末專案完整報告

資管三 B11705061 羅立宸 資管三 B12705011 黃元翔

資管三 B12705057 陳以倫

Dec. 2025

[GitHub 專案連結](#) [YouTube 影片連結](#)

1 系統分析

學期初買的教科書超貴，學期末卻堆在角落長灰塵？想買學長姐的二手書，卻不知道去哪裡找？如果你有這些困擾，趕緊上「BookSwap」尋找你需要的二手好物！

「BookSwap」是一個提供給某大學學生刊登及尋找二手教科書與物品的平台，主要目的是幫助該校學生解決二手物品（特別是教科書）資訊不流通、交易媒介困難的窘境。平台上的「刊登」是指一次性的物品出售貼文，每篇貼文都是獨立的，有自己的刊登編號。交易完成或下架後，該刊登即失效。使用者可以主動舉報可疑貼文或留言，建立社群自我管理的基礎。每次違規都會被記錄，達一定次數（例如 3 次）後，系統會自動停權或封鎖帳號，防止惡意刊登或詐騙帳號重複出現。

根據不同的功能及掌控權限，「BookSwap」系統的用戶可以分為兩種身分，分別是 User 及 Admin。User (一般使用者)：可依照自身需求，選擇「刊登」想賣的物品，或是「瀏覽/搜尋」平台上由其他人刊登的物品。若想刊登物品，可透過介面輸入物品的標題、描述、價格、分類，並上傳照片。如果物品是教科書，還可以關聯到特定「課程」。如果使用者想購買物品，則可瀏覽平台上現有的刊登，並選擇感興趣的物品進行聯繫。Admin (管理者)：則是「BookSwap」系統的業務經營者，主要負責管理「課程」及「物品分類」的資訊，並且可查詢所有使用者的刊登紀錄，收到 User 舉報後會審核、決定是否移除或警告不適當的刊登內容。

1.1 系統功能

1.1.1 關於刊登的相關設定

系統會提供「物品分類」讓使用者選擇，例如：教科書、3C 產品、生活用品等。如果使用者選擇的分類是「教科書」，系統會建議使用者從一個課程列表中選擇想關聯的「課程」，例如「資料庫管理」，以利他人搜尋。每則刊登都會有「狀態」，例如：刊登中、預訂中、已售出。

1.1.2 給 User 的功能

在本系統中，User 可以執行以下功能：

- 新增刊登：使用者能透過設定物品標題、描述、價格、分類等相關資訊來刊登一項物品。如果物品是教科書，還可以選擇想關聯的課程。一旦刊登，系統便會給定一個屬於該刊登的編號。
- 新增留言：使用者能透過在刊登的底下留言，例如”想要”、“有興趣”來表達自己的意願，也能使刊登者知道自己刊登的物品是否有人有意願。
- 收藏物品：使用者若看到感興趣的刊登，可將其「加入收藏」，作為一筆新的收藏資料新增至資料庫。
- 管理刊登：使用者如果不想要繼續販售，可刪除（或下架）自己刊登的物品。
- 查詢使用者曾經刊登過的物品：使用者可以查詢自身曾建立過的刊登和刊登的所有留言，包括「刊登中」與「已售出」的。
- 查詢使用者收藏的物品：使用者可以查詢自身收藏過的刊登。
- 查詢目前平台上的刊登：使用者可依分類、課程、關鍵字或價格，查詢尚未售出且刊登中的物品。
- 舉報不當刊登：若使用者發現疑似詐騙、違禁品或不當內容的貼文，可透過「舉報」功能提交檢舉。

1.1.3 給 Admin 的功能

在本系統中，Admin 可以執行以下功能：

- 管理課程：業務經營者可對課程資訊進行增刪改查的操作，以確保課程列表是最新狀態。
- 管理分類：業務經營者可對物品分類進行增刪改查的操作。
- 查詢使用者資訊：業務經營者可查詢所有使用者的活動紀錄，包括該使用者曾經刊登過哪些物品。
- 查詢刊登資訊：業務經營者可查詢所有刊登的詳細資訊，並移除違規（如詐騙或違禁品）的刊登。
- 審核舉報與處理違規：業務經營者會審核舉報內容，若經查屬實，將移除該刊登並記錄違規行為。當使用者違規達一定次數後，系統會自動封鎖該使用者帳號，以維護平台秩序與安全。

2 系統設計

2.1 ER Diagram

Figure 1 是 BookSwap 的 ER Diagram，這個 ERD 中有三個實體：User, Posting, Comment 以及三個關係：Post, Make_Comments, Have。

其中 User 代表的是使用「BookSwap」的使用者，我們讓使用者用 email 註冊，並請使用者設定一組 username 和 password，在註冊後我們會給使用者一個獨一無二的 ID，並且可以在使用者創建帳戶後，從後台將其變更為管理者，此時該使用者的 Admin 就會是 1，否則為 0。

每位使用者都可以將一些他喜歡的 post 放入自己的 favorites 清單。另外如果使用者的刊登被下架超過三次，這位使用者也會被封鎖。

Posting 代表的是使用者刊登的物品，每個物品都有一個獨一無二的 ID，會有標題、說明文字、價格、狀態（刊登中、已售出、已被檢舉、已下架）、關聯的課程（如果物品是教科書）、課程所屬的類別（Class）比如說法律類、資訊類、文學類。

Comment 代表是每個 Posting 實體下的留言，每則留言都會有獨特的 ID、內容、由哪位使用者發出。

Post 關係是指一位使用者可以刊登多筆刊登。Make_Comments 關係是指一位使用者可以留多筆言。Have 關係是指一筆刊登可以擁有多筆留言。

ERD 中可能有部分不符合 normalization 的設計，這些會在 2.2 節解決。

2.2 Relational Database Schema Diagram

Relational Database Schema Diagram 中總共有 7 個 table，分別是 user (使用者)、posting (貼文)、comment (留言)、class (貼文類別)、course (課程)、favorite_posts (收藏貼文) 和 report (舉報)。如下圖 Figure 2 所示。

2.3 Data Dictionary

資料表共有 Relational Database Schema Diagram 所示的七個，各個資料表的欄位相關資訊依序呈現在表 1 到表 7。

2.4 正規化分析

在 1NF 方面，如果每個關聯的屬性都是 simple 且 single-valued，換句話說，在關聯中沒有任何一個屬性是 composite 或 multi-valued，則滿足 1NF。

在 2NF 方面，如果關聯中的所有非鍵屬性（non-prime attribute）都完全功能相依（fully functional dependency）於任一候選鍵（candidate key），也就是沒有出現部分功能相依性（partial functional dependency），且此關聯滿足 1NF，則滿足 2NF。

在 3NF 方面，如果一個關聯中的非鍵屬性都沒有遞移相依（transitively dependency）於主鍵，則滿足 3NF。因此同樣檢視一下設計的關聯，的確有符合 3NF。在比 3NF 更嚴謹的 BCNF 方面，要求關聯中的每一個功能相依的箭頭左方都要是超級鍵（superkey），也就是要確保 $X \rightarrow Y$ 的 X 一定是超級鍵。我們的 schema 也符合 BCNF。

最後是 4NF，由於「BookSwap」的所有關聯都不存在多值相依（multi-valued dependency），因此滿足 4NF 的條件。

3 系統實作

3.1 資料庫建置方式及資料來源說明

本系統為確保功能測試之完整性與展示效果，採用自動化腳本批量生成模擬資料（Mock Data）。資料建置並非採用手動輸入，而是透過編寫 PostgreSQL 的 PL/pgSQL 程序化語言腳本（generate/_fake/_data.sql），依據預設邏輯自動填充資料庫。具體的資料建置策略與來源說明如下：

1. 資料生成策略 (Data Generation Strategy)

自動化生成：利用 SQL 迴圈（Loop）與隨機函數，動態產生使用者資訊、商品詳情與交易紀錄，模擬系統長期運作下的數據累積。

真實性模擬：基礎資料：預先匯入真實存在的 20 個科系（如資管、資工、法律等）與 20 門常見課程（如資料庫管理、經濟學原理），確保學術背景的真實感。內容差異化：針對不同分類（如教科書、3C 產品）設定差異化的價格區間與標題格式，並串接外部圖片服務（Placeholder API）模擬商品圖片。

2. 邏輯完整性與關聯控制 (Logic & Integrity Constraints)

為確保資料符合資料庫正規化原則與業務邏輯，生成過程嚴格遵守以下限制：

參照完整性 (Referential Integrity)：嚴格依照「基礎資料 → 使用者 → 商品刊登 → 互動/交易」的順序生成，確保所有外鍵關聯 (Foreign Key) 正確無誤。

業務邏輯檢查：買賣邏輯：系統強制限制買家與賣家不得為同一使用者。狀態連動：僅有狀態為「已售出 (Sold)」的商品才會生成對應訂單；僅有「已完成 (Completed)」的訂單才會產生評價。價格一致性：訂單成交價格嚴格對應商品刊登時的原始價格。

3. 資料規模 (Data Scale)

目前測試環境共生成約 60,000 筆資料，涵蓋系統核心的 13 張資料表，規模足以進行壓力測試與查詢效能分析：使用者：1,000 位（包含雜湊處理過的密碼與隨機餘額）。商品刊登：12,000 筆（涵蓋上架、保留、售出等不同狀態）。交易與互動：包含 3,000 筆訂單、5,000 筆交易紀錄及數千筆留言與收藏紀錄。

3.2 重要功能及對應的 SQL 指令

3.3 SQL 指令效能優化與索引建立分析

3.3.1 User 表索引

我們觀察到系統中最頻繁的操作之一是與使用者相關的查詢，例如登入驗證、判斷帳號是否為管理員、篩選遭封鎖的用戶等。由於 email 與 username 是辨識使用者身分的重要欄位，且在註冊、登入與權限驗證流程中會被大量使用，因此若每次查詢都需要在資料表逐筆比對，勢必造成功能負擔。

此外，is_admin 與 is_blocked 這兩個欄位經常被用於篩選條件，例如後台管理需要快速定位管理員帳號，或系統需要查詢遭封禁的使用者狀態。若無索引輔助，資料庫必須進行全表掃描 (Full Table Scan)，在使用者數量成長後，將會造成明顯延遲。

因此，為提升查詢效率，我們在 user 表中針對 email、username、is_admin 與 is_blocked 建立索引，以加快系統在使用者查詢行為中的回應速度。其語法如下。

```
1 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_user_email
2 ON "user"(email);
3
4 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_user_username
5 ON "user"(username);
6
7 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_user_is_admin
8 ON "user"(is_admin);
9
10 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_user_is_blocked
11 ON "user"(is_blocked);
```

上述索引的建立，使常見查詢如「搜尋 E-mail 是否已註冊」、「驗證使用者名稱是否合法」、「取得所有管理員帳號」與「查詢封鎖用戶」能夠避免全表掃描，提升資料檢索效率，並強化系統的使用體驗與可擴展性。

3.3.2 Posting 表索引

在系統的運作流程中，posting 資料表扮演核心角色，包含貼文內容、分類、價格、課程代碼與貼文建立時間等資訊。由於平台上的貼文瀏覽、篩選與搜尋操作頻繁，若每次查詢皆需逐筆比對，將造成系統效能下降。因此，我們決定針對常用查詢欄位建立索引，以提高查詢速度。

其中，u_id 會用於取得使用者的所有貼文；status 會頻繁用於顯示有效貼文或過期貼文的篩選；class_id 與 course_id 則有助於快速查詢特定課程或分類下的貼文內容。price 與 created_at 亦為排序及篩選熱門或最新貼文時不可或缺的條件，因此透過索引，我們可以有效降低查詢時間。

除了以上欄位索引外，我們亦為 title 與 description 建立全文搜尋 (Full Text Search) 索引，使用 PostgreSQL GIN + Tsvector 技術，以提升關鍵字搜尋效率與回傳精準度，使使用者能夠快速找到符合需求的貼文內容。

其語法如下。

```
1 -- Posting 表索引
2 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_posting_u_id ON posting(u_id);
3 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_posting_status ON posting(status);
4 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_posting_class_id ON posting(class_id);
5 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_posting_course_id ON posting(course_id);
6 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_posting_price ON posting(price);
7 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_posting_created_at ON posting(created_at)
8 );
9
10 -- 全文搜尋索引 (PostgreSQL)
11 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_posting_title_search
12 ON posting USING gin(to_tsvector('english', title));
13
14 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_posting_description_search
15 ON posting USING gin(to_tsvector('english', description));
```

透過此索引設計，系統能夠在貼文數量增加時仍維持快速回應，特別是篩選搜尋、課程查詢、價格排序與全文關鍵字查詢皆大幅提升效能，有助於貼文瀏覽與交易流程更加順暢。

3.3.3 Comment 表索引

在互動功能中，留言系統是使用者參與貼文內容的重要環節，comment 資料表則用於儲存各篇貼文的留言紀錄。為了確保系統能夠即時顯示留言、查詢特定貼文相關的討論內容，我們針對常用的查詢條件進行索引設計。

其中，p_id (貼文編號) 是最常用來查詢留言的條件，系統在顯示貼文下方留言時會頻繁依據此欄位提取資料，因此建立索引能有效降低 Full Table Scan 的成本。同時，u_id 可加速查詢某位使用者留下的所有留言，例如顯示個人留言記錄或追蹤違規帳號留言行為。至於 created_at 則常作為排序依據（最新留言在前），亦有助於以時間維度讀取留言串的效能。

其語法如下。

```
1 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_comment_p_id ON comment(p_id);
2 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_comment_u_id ON comment(u_id);
3 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_comment_created_at ON comment(created_at)
4 );
```

透過此索引設置，系統在讀取留言串、顯示討論內容、回溯使用者留言紀錄時皆能更快速回應，並確保在留言數增加的情況下仍具備高擴充性與良好使用體驗。

3.3.4 Report 表索引

在檢舉與審核流程中，report 資料表負責儲存使用者針對貼文所提報的違規紀錄，因此查詢效率直接影響到審核速度與管理端的使用體驗。由於平台在運作過程中，管理者會大量針對檢舉紀錄進行查詢、篩選與排序，我們在設計上對常用查詢欄位建立索引，以強化系統在多筆檢舉情況下的效能。

其中，reporter_id 主要用於追蹤同一位使用者提出的所有檢舉行為，可協助判斷是否存在濫用申訴或重複檢舉。p_id 則對應貼文本身，可加速取得某則貼文涉及的所有檢舉事件，特別是熱門貼文被大量舉報時更能有效減少查詢負擔。status 為審查狀態，建立索引後可快速篩選未處理、通過或駁回的案件，大幅提升後台審核流程效率。而 created_at 則讓系統能依時間排序與取得最新檢舉紀錄，對時序分析與審核排序十分關鍵。

```
1 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_report_reporter_id ON report(reporter_id
   );
2 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_report_p_id ON report(p_id);
3 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_report_status ON report(status);
4 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_report_created_at ON report(created_at);
```

透過上述索引設計，後台管理者能更快速定位檢舉來源、查詢涉及問題的貼文、掌握處理進度並依時間排序案件，使審核流程具備更高反應速度與可處理上限，在資料量增加時亦保持良好延展性。

3.3.5 Orders 表索引

在交易流程設計中，orders 資料表負責紀錄使用者之間的交易訂單資訊，包含購買者、對應貼文、訂單狀態與下單時間等欄位。由於訂單查詢是整體系統運作的重要核心，例如買家查看訂單紀錄、賣家確認商品是否售出、後台篩選訂單狀態等場景都會大量依賴此資料表，因此若無索引輔助，在訂單數量增加後將出現顯著查詢延遲。

其中，buyer_id 用於取得某位使用者的購買紀錄，使平台能快速顯示歷史訂單、評價來源或交易分析結果。p_id 則對應 posting，可快速確認某篇貼文所產生的所有訂單，有助於追蹤熱門貼文的交易量。status 常用於後台審核與訂單處理，如顯示已完成、待付款或已取消的訂單狀態，索引能使篩選條件查詢更流暢。最後，order_date 使系統能快速依時間排序訂單，在報表生成、營運分析與近期交易查詢中具有重要作用。

索引建立語法如下。

```
1 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_orders_buyer_id ON orders(buyer_id);
2 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_orders_p_id ON orders(p_id);
3 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_orders_status ON orders(status);
4 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_orders_order_date ON orders(order_date);
```

透過以上索引配置，系統能在訂單量成長後仍保持查詢效率，包含查詢購買紀錄、對應貼文之訂單、依狀態分類訂單處理、以及依時間排序交易資料，都能顯著降低查詢延遲，確保交易流程與後台統計分析運作順暢。

3.3.6 Transaction Record 表索引

在平台金流與點數制度中，transaction_record 表用於儲存使用者的錢包交易紀錄，包含轉入、扣款、退款、購買等不同類型的金流行為。由於此資料與訂單、貼文交易、錢包餘額顯示等功能密切相關，交易紀錄的快速查詢對整體使用體驗與後台審計都具有關鍵影響。因此，我們針對常用查詢條件建立索引，以確保金流紀錄在長期使用下仍能維持高效運作。

其中，`u_id` 是最常用的查詢欄位，用於取得某位使用者的所有錢包紀錄，例如顯示充值紀錄、消費歷史或違規退款事件；建立索引後，可顯著加速此類查詢需求。`trans_type` 則用於類型識別，方便後台統計特定交易類型的發生次數，如統計每日扣款量、每日充值量等，索引可提升分類查詢的效率。`trans_time` 則非常適合用於時間排序與報表分析，當需取得近期交易或回朔歷史紀錄時，有索引的情況下可避免進行全表掃描，使查詢更具延展性。

建立索引之 SQL 如下所示：

```
1 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_transaction_u_id ON transaction_record(
2   u_id);
3 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_transaction_trans_type ON
4   transaction_record(trans_type);
5 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_transaction_trans_time ON
6   transaction_record(trans_time);
```

透過以上索引設計，交易紀錄在查詢使用者歷史、類型分類統計、依時間排序時皆具備更佳查詢效率，並能在資料量累積下保持後台分析、錢包查詢與系統審計的即時性與穩定度。

3.3.7 Review 表索引

評價系統是平台信任機制的重要組成，`review` 資料表負責儲存訂單完成後的評分與評論內容，用於反映交易品質、使用者行為、以及是否具備良好風評。由於評價資料經常用於排序、查詢、身份追溯、後台稽核等功能，因此若缺乏索引，當評論量逐漸成長後查詢將明顯變慢。因此，我們針對高頻查詢欄位建立索引以提升系統效能。

其中，`order_id` 可快速定位某筆交易是否已有評價，以及查看買賣雙方對單一訂單的回饋；`reviewer_id` 則用於查看某位使用者發表的所有評價，有助於分析買家或賣家在平台上的使用紀錄；`target_id` 則代表評論的對象，即買方 / 賣方 / 貼文持有者，用於評估其整體評價紀錄與可信度；`rating` 則在排序、篩選高低分數評論時提供性能優勢，使平台得以快速呈現優質交易或找出風險帳號。

SQL 建置語法如下：

```
1 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_review_order_id ON review(order_id);
2 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_review_reviewer_id ON review(reviewer_id
3   );
4 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_review_target_id ON review(target_id);
5 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_review_rating ON review(rating);
```

透過以上索引設計，系統能快速取得訂單的評價記錄、查詢使用者過往評價行為、查看某一帳號的信用評分並依照分數排序評論，不論是買家瀏覽評價或後台稽查帳號，都能擁有更佳查詢體驗與處理效率，並使平台信任機制得以有效運作。

3.3.8 Message 表索引

私訊系統是平台中使用者互動的主要方式之一，`message` 資料表負責存放雙方溝通內容，包括訊息傳送者、接收者、傳送時間與已讀狀態等欄位。由於訊息查詢行為可能頻繁且即時性需求高，例如顯示聊天室歷史訊息、讀取未讀訊息提醒或依時間排序對話內容，因此建立索引能有效提升整體訊息讀取與傳遞效率。

其中，`sender_id` 與 `receiver_id` 用於快速查詢特定使用者之間的訊息往來，當聊天室或對話視窗開啟時，系統可透過索引直接定位相關訊息而避免全表掃

描。在通知系統中，is_read 作為未讀訊息篩選條件，索引可使平台快速判斷某位使用者是否有未查看訊息。sent_time 則常用於排序訊息流，如呈現最新對話、顯示時間紀錄、撈取歷史訊息等情境，索引能確保即使訊息量增加仍具備即時讀取能力。

建立索引的 SQL 語法如下：

```
1 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_message_sender_id ON message(sender_id);
2 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_message_receiver_id ON message(
    receiver_id);
3 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_message_is_read ON message(is_read);
4 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_message_sent_time ON message(sent_time);
```

透過此索引配置，平台能更迅速完成私訊紀錄讀取、未讀訊息提醒、依時間排序訊息流等任務，並確保聊天系統在大量訊息累積時依然能保持順暢，不會因資料量成長而使訊息開啟延遲或查詢速度下降。

3.3.9 Favorite Posts 表索引

收藏機制讓使用者能快速儲存、追蹤與再次瀏覽感興趣的貼文，而 favorite_posts 資料表即為此功能的核心儲存來源。平台在顯示會員的收藏清單、檢查某篇貼文是否已加入最愛、或分析熱門收藏貼文時，都會頻繁存取此表。因此我們針對常見查詢條件建立索引，以提升系統存取性能。

其中，u_id 用於查詢某位使用者的收藏紀錄。在前端點擊「查看我的收藏」或刷新收藏頁面時，索引能避免逐筆搜索，顯著減少查詢時間。p_id 則可協助後台追蹤某篇貼文的收藏熱度，常用於統計、熱門排序或推薦系統。另一欄位 added_time 則能使系統依收藏時間排序，如顯示最新收藏、歷史追蹤或時間分群分析，索引可避免大量排序運算，進一步降低反應延遲。

建立索引的 SQL 如下：

```
1 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_favorite_u_id ON favorite_posts(u_id);
2 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_favorite_p_id ON favorite_posts(p_id);
3 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_favorite_added_time ON favorite_posts(
    added_time);
```

透過上述索引設計，系統在顯示收藏列表、查詢貼文是否已加入收藏、以及依時間排序收藏紀錄時皆能更快速、低延遲地回應。此外，索引能在資料量累積後維持效能，使收藏功能具備良好擴展性並保持使用體驗流暢。

3.3.10 Posting Images 表索引

貼文圖片為使用者認知商品資訊的重要來源，posting_images 資料表負責儲存貼文對應圖片的檔案位置與顯示順序。由於前端在呈現貼文內容時，會頻繁依照貼文編號載入多張圖片，並依照排序進行顯示，因此建立索引可有效提升貼文圖片讀取速度並降低查詢延遲。

其中，p_id 是最核心的查詢欄位，用於顯示某篇貼文所有圖片。例如使用者點開貼文或切換頁面時，系統會大量依據此欄位查詢，因此建立索引能避免大量 Full Table Scan。另一欄位 display_order 則負責控制顯示排列順序，如縮圖排序、主圖優先顯示等，索引能加速依序排列查找圖片順序的流程，確保商品圖片載入過程更流暢。

SQL 建立索引語法如下：

```
1 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_posting_images_p_id ON posting_images(
    p_id);
2 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_posting_images_display_order ON
    posting_images(display_order);
```

透過以上索引設定，系統能更快速載入貼文圖片、依照順序呈現圖檔內容，並在貼文圖片量增加後仍維持查詢與排序效率，提升整體瀏覽體驗與資料表的可擴展性。

3.3.11 Course 表索引

課程資料是整個平台分類貼文、搜尋條件與使用者瀏覽邏輯中的關鍵基礎，course 資料表負責儲存科系代碼、分類層級、課程代碼等資訊，並與 posting、favorite_posts、order 等功能相互關聯。因此，我們針對常用的查詢欄位建立索引，使課程搜尋與過濾過程能在大量資料狀況下依然維持快速回應。

其中，dept_id 可用於篩選特定系所課程，在搜尋某系課程或分類貼文時能明顯降低查詢延遲。class_id 則對應課程分類層級，使平台能依班別（Class Category）快速定位課程，常用於分類頁與課程列表展開時。course_code 為課程的唯一識別欄位，使用者在精確查詢或比對課程資料時，索引能避免進行全表掃描，並加速後台比對、資訊串接與貼文標註流程。

SQL 建立索引語法如下：

```
1 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_course_dept_id ON course(dept_id);
2 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_course_class_id ON course(class_id);
3 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_course_code ON course(course_code);
```

透過以上索引機制，課程分類、代碼查詢與系所篩選流程皆能顯著降低讀取成本，並確保課程資料在被頻繁引用至貼文、收藏、訂單與搜尋模組時仍可快速存取，使整體系統的課程導向查詢更加流暢、可擴展且具備長期效能優勢。

3.3.12 索引效果

3.4 交易管理

在本系統中，購買流程被視為一個必須同時滿足原子性（Atomicity）、一致性（Consistency）、隔離性（Isolation）與持久性（Durability）的複合操作。因此，我們選擇將交易邏輯下放到資料庫端，以 PostgreSQL 的 PL/pgSQL 函數實作完整的交易流程，而非單純在應用程式層中依序執行多個獨立的 SQL 指令。在 005_add_functions.sql 中，我們定義了一個 purchase_book(p_buyer_id INT, p_posting_id INT) 函數，負責處理從檢查商品狀態、驗證餘額、扣款與入帳，到更新刊登狀態與建立訂單的全部步驟。當使用者在前端按下購買按鈕時，系統會呼叫此函數，由資料庫在單一交易（transaction）中完成所有相關更新。

在交易過程中，purchase_book 首先透過 SELECT ... FOR UPDATE 讀取並鎖定對應的 posting 紀錄與買家的 "user" 紀錄，確保同一時間只有一個交易流程可以修改同一筆商品與餘額資料，達成併行控制（Isolation）。接著，函數依序檢查：刊登是否存在、商品狀態是否為可購買的 'listed'、買家是否存在、餘額是否足夠，以及買家與賣家是否為同一人；只要其中任一條件不成立，函數便會立即回傳一個包含 success = false 與錯誤訊息的 JSON，不會對資料庫做任何修改。若所有檢查均通過，函數才會扣除買家餘額、增加賣家餘額、將對應的 posting 狀態更新為 'sold'，並在 orders 表中建立一筆狀態為 'completed' 的訂單，最後回傳包含訂單編號與成交金額的成功結果。

為了讓金流紀錄與商品狀態自動同步，我們在 004_add_triggers.sql 中額外設計了多個與訂單相關的觸發器。例如，update_posting_status_on_order 會在 orders 表新增或更新且狀態為 'completed' 時，自動將對應的 posting 設為已售出；record_transaction_on_order 則會在訂單完成時，同步於 transaction_record 表中新增兩筆紀錄：一筆為買家的付款（負數金額，trans_type = 'payment'），

一筆為賣家的收入（正數金額，`trans_type = 'income'`），形成類似雙向記帳的金流追蹤機制。上述函數與觸發器皆在同一資料庫交易中執行，當 `purchase_book` 函數內部發生未預期錯誤時，PL/pgSQL 會進入 EXCEPTION 區塊並回傳失敗訊息，該次交易所做的更新將一併回滾（rollback），保證不會出現「扣了錢但沒有訂單」或「商品被標記為已售出但金流未入帳」等不一致情況。透過這樣的設計，我們將購買流程的關鍵不變性約束收斂在資料庫交易中，達成具備 ACID 特性的交易管理。

3.5 並行控制

在本系統中，使用者可能同時對同一筆刊登商品進行購買操作，因此若未妥善處理併行情況，即可能發生「A 與 B 同時購買同一本書，結果兩人都扣款成功」或「帳款已異動但訂單未建立」等資料不一致問題。為避免此類競態條件（Race Condition），我們將併行控制設計在資料庫層，並以 PostgreSQL 所提供之行級鎖（Row-Level Lock）與交易（Transaction）機制進行保護。

所有購買流程皆由 `purchase_book(p_buyer_id, p_posting_id)` 函數負責，其程式碼可見於 `005_add_functions.sql`。當使用者提出購買請求時，系統會先對目標刊登資料執行：

```
SELECT ... FROM posting WHERE p_id = p_posting_id FOR UPDATE;
```

此語句會在資料庫層鎖定該筆刊登紀錄，使得若另一位使用者試圖同時購買同一筆商品，後者操作將被阻塞，直到前一筆交易結束才可繼續。接著系統亦以相同方式鎖定買家餘額之 "user" 資料列，避免同一使用者在多個併行請求下產生「餘額重複扣除」的錯誤。

鎖定完成後，購買函數會在同一交易中依序執行餘額扣款、賣家入帳、更新貼文狀態並建立訂單。若所有動作皆成功，交易即自動提交（Commit）；若任一環節出現錯誤，PL/pgSQL 會進入 EXCEPTION 區塊並中止交易，所有變更將回滾（Rollback），確保不會產生部分更新成功、部分失敗的狀態。透過此併行控制機制，系統可在高併發情境下維持資料一致性與交易正確性。

4 分工資訊

5 專案心得