

114-1 資料庫管理 期末專案完整報告

第十組

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、交易媒合困難的窘境。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 代表的是每個 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 1 所示。

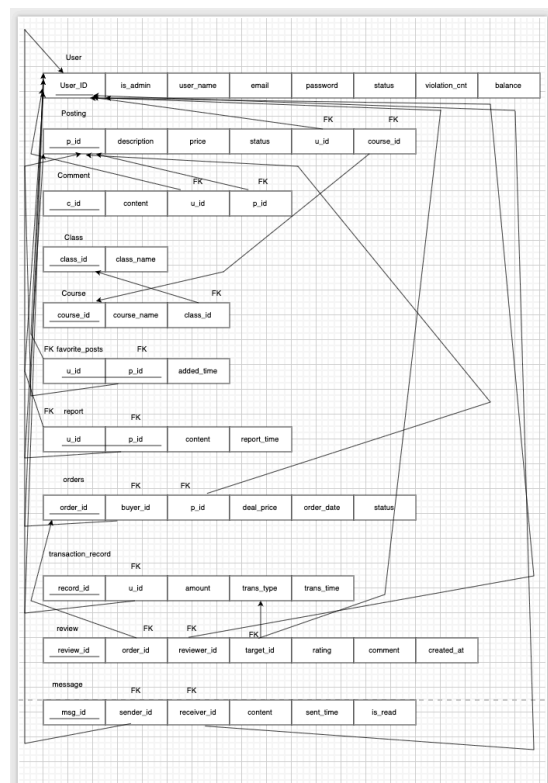


Figure 1: Relational Database Schema Design

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 11。

Column Name	Meaning	Data Type	Key	Constraint	Domain
u_id	使用者編號	INT UNSIGNED	PK	Not Null, Auto_Increment	正整數流水號
is_admin	是否為管理者	TINYINT(1)		Not Null, Default 0	{0: 一般使用者, 1: 管理者}
user_name	使用者名稱	VARCHAR(50)		Not Null, Unique	
email	電子郵件	VARCHAR(100)		Not Null, Unique	符合 Email 格式
password	密碼	VARCHAR(8)		Not Null	登入用密碼
status	使用者帳號狀態	ENUM(...)		Not Null, Default 'normal'	{'normal','banned'}
violation_cnt	違規次數	INT UNSIGNED		Not Null, Default 0	達一定次數自動停權
balance	錢包餘額	INT		Not Null, Default 0	單位：元，新台幣

Table 1: 資料表 USER 的欄位資訊

Column Name	Meaning	Data Type	Key	Constraint	Domain
p_id	刊登編號	INT UNSIGNED	PK	Not Null, Auto_Increment	每筆刊登的流水號
description	描述	TEXT		Not Null	刊登內容說明文字
price	價格	DECIMAL(10,2)		Not Null, CHECK (price ≥ 0)	新台幣金額
status	刊登狀態	ENUM('listed', 'reserved', 'sold', 'removed', 'reported')		Not Null, Default 'listed'	listed: 刊登中; reserved: 預訂中; sold: 已售出; removed: 下架; reported: 被舉報
u_id	刊登者使用者編號	INT UNSIGNED	FK	Not Null, REFERENCES user(u_id) ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE	對應發文者之 user.u_id
course_id	關聯課程編號	INT UNSIGNED	FK	Nullable, REFERENCES course(course_id) ON DELETE SET NULL ON UPDATE CASCADE	若為教科書則指向對應課程，非教科書可為 NULL

Table 2: 資料表 POSTING 的欄位資訊

Column Name	Meaning	Data Type	Key	Constraint	Domain
c_id	留言編號	INT UNSIGNED	PK	Not Null, Auto_Increment	每則留言的流水號
content	留言內容	TEXT		Not Null	留言文字內容
u_id	留言者使用者編號	INT UNSIGNED	FK	Not Null, FK → "user"(u_id), ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE	對應留言者之 user.u_id
p_id	所屬刊登編號	INT UNSIGNED	FK	Not Null, FK → posting(p_id), ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE	對應貼文之 posting.p_id

Table 3: 資料表 COMMENT 的欄位資訊

Column Name	Meaning	Data Type	Key	Constraint	Domain
class_id	類別編號	INT UNSIGNED	PK	Not Null, Auto_Increment	貼文類別流水號
class_name	類別名稱	VARCHAR(100)		Not Null, Unique	如「資訊類」、「法律類」、「文學類」等

Table 4: 資料表 CLASS 的欄位資訊

Column Name	Meaning	Data Type	Key	Constraint	Domain
course_id	課程編號	INT UNSIGNED	PK	Not Null, Auto_Increment	每門課程的流水號
course_name	課程名稱	VARCHAR(120)		Not Null	如「資料庫管理」、「線性代數」等課程名稱
class_id	所屬類別編號	INT UNSIGNED	FK	Not Null, FK → class(class_id), ON DELETE RESTRICT ON UPDATE CASCADE	對應之貼文類別編號 class.class_id

Table 5: 資料表 COURSE 的欄位資訊

Column Name	Meaning	Data Type	Key	Constraint	Domain
u_id	使用者編號	INT	PK, FK	Not Null, FK → "user"(u_id), ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE	收藏者之 user.u_id
p_id	刊登編號	INT	PK, FK	Not Null, FK → posting(p_id), ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE	被收藏貼文之 posting.p_id
added_time	加入收藏時間	TIMESTAMP		Default CURRENT_TIMESTAMP	系統記錄加入收藏的時間點

Table 6: 資料表 FAVORITE_POSTS 的欄位資訊

Column Name	Meaning	Data Type	Key	Constraint	Domain
u_id	檢舉者使用者編號	INT UNSIGNED	PK, FK	Not Null, FK → "user"(u_id), ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE	發出檢舉的使用者編號
p_id	被檢舉刊登編號	INT UNSIGNED	PK, FK	Not Null, FK → posting(p_id), ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE	被檢舉貼文之編號
content	檢舉內容	TEXT		Not Null	檢舉原因、說明文字
report_time	檢舉時間	TIMESTAMP	PK	Not Null, Default CURRENT_TIMESTAMP	系統記錄檢舉送出時間

Table 7: 資料表 REPORT 的欄位資訊

Column Name	Meaning	Data Type	Key	Constraint	Domain
order_id	訂單編號	SERIAL	PK	Not Null, Auto_Increment	每筆訂單的唯一流水號
buyer_id	買家使用者編號	INT	FK	Not Null, FK → "user"(u_id)	下單者之 user.u_id
p_id	刊登編號	INT	FK	Not Null, FK → posting(p_id)	對應的商品刊登編號
deal_price	成交價格	INT		Not Null	成交當下之新台幣金額
order_date	下單時間	TIMESTAMP		Default CURRENT_TIMESTAMP	系統自動記錄建立時間
status	訂單狀態	VARCHAR(20)		Default 'completed'	{'completed','cancelled'} 等狀態值

Table 8: 資料表 ORDERS 的欄位資訊

Column Name	Meaning	Data Type	Key	Constraint	Domain
record_id	交易紀錄編號	SERIAL	PK	Not Null, Auto_Increment	每筆金流紀錄的唯一流水號
u_id	帳戶使用者編號	INT	FK	Not Null, FK → "user"(u_id)	這筆交易所屬之 user.u_id
amount	金額	INT		Not Null	正數：收入/儲值；負數：支出 例 如'top_up','payment','income' 等
trans_type	交易類型	VARCHAR(20)			
trans_time	交易時間	TIMESTAMP		Default CURRENT_TIMESTAMP	系統自動記錄之時間戳記

Table 9: 資料表 TRANSACTION_RECORD 的欄位資訊

Column Name	Meaning	Data Type	Key	Constraint	Domain
review_id	評價編號	SERIAL	PK	Not Null, Auto_Increment	每筆評價的流水號
order_id	對應訂單編號	INT	FK	Not Null, FK → orders(order_id)	被評價之訂單
reviewer_id	評價者使用者編號	INT	FK	Not Null, FK → "user"(u_id)	發出評價者
target_id	被評價者使用者編號	INT	FK	Not Null, FK → "user"(u_id)	評價的對象
rating	評分	INT		Not Null, CHECK (rating BETWEEN 1 AND 5)	1~5 分整數
comment	評價內容	TEXT			文字評論，可為空
created_at	建立時間	TIMESTAMP		Default CURRENT_TIMESTAMP	評價建立之時間

Table 10: 資料表 REVIEW 的欄位資訊

Column Name	Meaning	Data Type	Key	Constraint	Domain
msg_id	訊息編號	SERIAL	PK	Not Null, Auto_Increment	每則私訊的流水號
sender_id	寄件者使用者編號	INT	FK	Not Null, FK → "user"(u_id)	發送訊息者
receiver_id	收件者使用者編號	INT	FK	Not Null, FK → "user"(u_id)	接收訊息者
content	訊息內容	TEXT		Not Null	私訊文字內容
sent_time	傳送時間	TIMESTAMP		Default CURRENT_TIMESTAMP	訊息送出時間
is_read	是否已讀	BOOLEAN		Not Null, Default FALSE	TRUE：已讀；FALSE：未讀

Table 11: 資料表 MESSAGE 的欄位資訊

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)，確保學術背景的真实感。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

在第 1.1 節中，我們介紹了 BookSwap 平台提供給一般使用者 (User) 與管理員 (Admin) 的主要功能，以及系統在背景中自動執行的一些維護操作。本小節將以具體情境為例，說明這些功能在實作上對應到的 SQL 指令或資料庫函數呼叫。第 3.2.1 小節聚焦於給一般使用者使用的功能，第 3.2.2 小節則說明管理員相關的查詢與維護操作，最後第 3.2.3 小節則整理由系統本身運行的「系統級指令」。

3.2.1 給 User 的功能

1. 刊登二手書：新增一筆商品刊登

若要實現「刊登二手書」功能，假設情境為：「使用者代號 u_id 為 10 的學生，想刊登一本標題為『資料庫管理 (第 3 版)』的教科書，售價 price 為 450 元，並指定分類 class_id 為 2、對應課程 course_id 為 15。」

對應的 SQL 指令如下。系統會在 posting 資料表新增一筆刊登紀錄，初始狀態 status 設為 'listed' 代表可供購買。

```
1 INSERT INTO posting (u_id, title, description, price, status,
2                      class_id, course_id)
3 VALUES (10,
```



```

4         '資料庫管理 (第3版)',
5         '九成新，書內有少量筆記，可面交',
6         450,
7         'listed',
8         2,
9         15)
10 RETURNING p_id;

```

透過 PostgreSQL 的 RETURNING 子句，系統可以立即取得新建立的 p_id，後續若需要再為該刊登新增多張圖片，便能將此編號插入 posting_images 資料表中。

```

1 INSERT INTO posting_images (p_id, image_url, display_order)
2 VALUES (/* 上一步取得的 p_id */,
3         'https://example.com/images/book1.jpg',
4         1);

```

2. 搜尋可購買的書籍：依課程名稱與價格篩選刊登

使用者在前端可以輸入關鍵字、選擇課程或分類，來查詢目前可購買的刊登。假設情境為：「使用者想查詢課程名稱內含『資料庫』，並且價格介於 0 到 500 元之間，且商品狀態為可購買 (listed) 的刊登。」

對應的 SQL 指令如下。系統會回傳符合條件的刊登資訊，包含課程名稱、分類名稱與賣家帳號：

```

1 SELECT p.p_id,
2        p.title,
3        p.price,
4        p.status,
5        u.username AS seller_username,
6        co.course_name,
7        cl.class_name
8 FROM posting AS p
9 JOIN "user" AS u ON p.u_id = u.u_id
10 LEFT JOIN course AS co ON p.course_id = co.course_id
11 LEFT JOIN class AS cl ON p.class_id = cl.class_id
12 WHERE p.status = 'listed'
13        AND co.course_name ILIKE '%資料庫%'
14        AND p.price BETWEEN 0 AND 500
15 ORDER BY p.created_at DESC;

```

此查詢會利用我們在 posting(status)、posting(price)、course(course_id) 等欄位上建立的索引，降低掃描資料表的成本。

若使用者改以關鍵字搜尋書名／描述，我們則會使用 PostgreSQL 全文搜尋，對應到資料庫中以 GIN 索引加速的 to_tsvector 欄位：

```

1 SELECT p.p_id, p.title, p.price, p.status
2 FROM posting AS p
3 WHERE p.status = 'listed'
4        AND to_tsvector('english', p.title || ' ' || COALESCE(p.
5        description, ''))
6        @@ plainto_tsquery('english', 'database');

```

3. 將刊登加入收藏清單：新增收藏紀錄

若要實現「加入收藏」功能，假設情境為：「使用者代號 u_id 為 10，想把刊登編號 p_id 為 123 的書籍加入收藏。」

對應的 SQL 指令如下。系統會在 favorite_posts 資料表中新增一筆紀錄，若日後再次查詢收藏清單，即可快速找到這筆刊登。

```

1 INSERT INTO favorite_posts (u_id, p_id)
2 VALUES (10, 123);

```

4. 購買書籍：呼叫交易函數 purchase_book

當使用者決定購買某本書時，前端會將買家代號與刊登編號送往後端，由後端透過 PostgreSQL 的 PL/pgSQL 函數 purchase_book 執行完整的交易流程。假設情境為：「使用者 u_id = 10 想購買刊登 p_id = 123 的書籍」

對應的 SQL 呼叫如下：

```

1 SELECT purchase_book(10, 123);

```

此函數內部會依序檢查刊登是否存在、狀態是否為 'listed'、買家餘額是否足夠、是否為自己購買自己的商品，並在同一個交易中同步完成扣款、入帳、更新刊登狀態與建立訂單，確保購買流程具有 ACID 特性。

5. 在刊登底下留言：新增公開留言

為了讓買家可以在刊登底下詢問細節（例如是否可面交、是否有畫線），我們提供「公開留言」功能。假設情境為：「使用者 u_id = 10 想在刊登 p_id = 123 底下留言『請問可以在總圖面交嗎？』」

對應的 SQL 指令如下：

```

1 INSERT INTO comment (p_id, u_id, content)
2 VALUES (123, 10, '請問可以在總圖面交嗎?');

```

系統會自動記錄留言時間 created_at，後續在刊登頁面讀取留言時，會依照時間排序顯示。

6. 傳送私訊：建立一則一對一訊息

若買家與賣家希望進一步溝通（例如交換 Line、約定面交時間），系統會透過 message 資料表記錄雙方的一對一訊息。假設情境為：「使用者 u_id = 10 想私訊刊登的賣家 u_id = 25」

對應的 SQL 指令如下：

```

1 INSERT INTO message (sender_id, receiver_id, content)
2 VALUES (10, 25, '您好，請問這本書還在嗎？可以約下週一面交嗎?');

```

當訊息送出後，前端會根據 is_read 欄位顯示未讀提示，並透過索引 idx_message_receiver_id 與 idx_message_is_read 加速收件匣查詢。

3.2.2 給 Admin 的功能

1. 管理課程與分類（增刪改查）

管理員可以維護系上課程、系所與分類資訊，讓刊登可以正確對應到實際課程。假設情境為：「管理員想新增一門課程『資料庫管理』，屬於『資訊管理學系』且歸類在『必修』這個分類中。」

對應的 SQL 指令如下。首先新增系所與分類（若尚未存在），再新增課程：

```

1 INSERT INTO department (dept_name)
2 VALUES ('資訊管理學系');
3
4 INSERT INTO class (class_name, description)

```

```

5 VALUES ('必修', '系上必修課程');
6
7 INSERT INTO course (course_code, course_name, dept_id, class_id)
8 VALUES ('IM3001', '資料庫管理', 1, 1);

```

若日後需要修改課程代碼或名稱，管理員可以使用 UPDATE 指令：

```

1 UPDATE course
2 SET course_name = '資料庫管理 (含實作)',
3 WHERE course_id = 1;

```

2. 處理舉報：審核留言／刊登／逃單舉報

當使用者發現不當內容或交易糾紛時，可以透過 report 資料表送出舉報。管理員在後台審核時，會將狀態從 'pending' 更新為 'approved' 或 'rejected'。假設情境為：「管理員 u_id = 1 審核編號為 50 的舉報，決定通過此舉報。」

對應的 SQL 指令如下：

```

1 UPDATE report
2 SET status = 'approved',
3     reviewed_by = 1,
4     reviewed_at = CURRENT_TIMESTAMP
5 WHERE report_id = 50;

```

當舉報被標記為 'approved' 時，觸發器 update_violation_count 會根據舉報類型（刊登、留言或逃單）自動找到對應的目標使用者，並將其 violation_count 加一；當違規次數累積到三次，另一個觸發器 auto_block_user 會自動將該帳號的 is_blocked 欄位設為 TRUE，達到半自動的風紀管理效果。

3. 查詢使用者整體表現與風險狀態

為了讓管理員能快速掌握每位使用者在平台上的活動概況，我們在資料庫中建立視圖 v_user_statistics，整理了刊登數量、售出數量、購買金額、總收入、平均評分與收藏數等指標。若管理員想查詢 u_id = 10 的統計資訊，對應的 SQL 指令如下：

```

1 SELECT *
2 FROM v_user_statistics
3 WHERE u_id = 10;

```

此視圖將 "user"、posting、orders、review 與 favorite_posts 等多個資料表的資訊整合在一起，管理員只需一個查詢即可檢視使用者是否為高風險對象（例如違規次數偏高、評價過低或逃單紀錄較多）。

4. 查詢熱門書籍與課程統計

為了協助平台調整推薦策略與營運方向，我們另外建立了 v_popular_books、v_course_statistics、v_class_statistics 等視圖。若管理員想查詢目前收藏數較多的熱門書籍，對應的 SQL 指令如下：

```

1 SELECT *
2 FROM v_popular_books
3 WHERE favorite_count >= 5
4 ORDER BY favorite_count DESC, comment_count DESC;

```

若要觀察特定課程（例如 IM3001 資料庫管理）的整體交易狀況，則可使用下列查詢：

```

1 SELECT *
2 FROM v_course_statistics
3 WHERE course_code = 'IM3001';

```

藉由這些彙總視圖，管理員可以了解哪些課程或分類上的二手書需求特別高，作為未來功能優化與行銷活動的依據。

3.2.3 系統級指令

除了由使用者或管理員直接觸發的操作外，BookSwap 也在資料庫端設計了多個「系統級」的 SQL 函數與觸發器，用來在背景中維護金流紀錄與帳號風紀，避免出現資料不一致的情況。

1. 計算使用者平均評分：calculate_user_rating

為了在使用者頁面顯示賣家的整體評價，我們在資料庫中實作了 calculate_user_rating(p_user_id INT) 函數，用來計算指定使用者作為被評價者 (target_id) 時，其所有評分的平均值。假設系統需要取得 u_id = 10 的平均評分，對應的 SQL 呼叫如下：

```

1 SELECT calculate_user_rating(10);

```

此函數會忽略尚未有評分的情況（回傳 0），並將結果四捨五入至小數點後兩位，方便直接顯示在前端介面上。

2. 取得使用者銷售統計：get_user_sales_stats

另一個系統級函數 get_user_sales_stats(p_user_id INT) 則會回傳一個 JSON，其中包含使用者售出的書籍數量、總收入、目前上架中的刊登數量，以及平均評分等資訊。假設系統想取得 u_id = 10 的銷售統計，對應的 SQL 呼叫如下：

```

1 SELECT get_user_sales_stats(10);

```

這個函數主要用於後台儀表板與使用者個人頁面，讓前端可以一次取得多個統計欄位，減少與資料庫往返的次數。

3. 訂單完成時自動更新刊登狀態與金流紀錄

在第 3.4 節中我們已詳細說明購買流程的交易管理。這裡補充說明與之對應的系統級指令：當 orders 資料表中新增或更新一筆訂單，且其狀態為 'completed' 時，觸發器 update_posting_status_on_order 與 record_transaction_on_order 會自動執行下列 SQL 片段：

```

1 -- 1. 將對應的刊登狀態改為 sold
2 UPDATE posting
3 SET status = 'sold',
4     updated_at = CURRENT_TIMESTAMP
5 WHERE p_id = NEW.p_id AND status = 'listed';
6
7 -- 2. 在 transaction_record 中新增兩筆金流紀錄
8 INSERT INTO transaction_record (u_id, amount, trans_type)
9 VALUES (NEW.buyer_id, -NEW.deal_price, 'payment'); -- 買家付款
10
11 INSERT INTO transaction_record (u_id, amount, trans_type)
12 VALUES (seller_id, NEW.deal_price, 'income'); -- 賣家收入

```

如此一來，即使應用程式端只需插入或更新一筆訂單紀錄，資料庫也能自動確保刊登狀態與金流紀錄保持一致，避免出現「訂單完成但金流未記錄」或「金流有紀錄但刊登仍顯示可購買」等不一致情況。

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在資料表逐筆比對，勢必造成效能負擔。

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  -- 全文搜尋索引 (PostgreSQL)
10 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_posting_title_search
11 ON posting USING gin(to_tsvector('english', title));
12
13 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_posting_description_search
14 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);

```

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溯歷史紀錄時，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(
  u_id);
2 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_transaction_trans_type ON
  transaction_record(trans_type);
3 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_transaction_trans_time ON
  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、篩選高得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 CREATE INDEX IF NOT EXISTS idx_review_target_id ON review(target_id);
4 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

針對本系統貼文資料量最大的 `posting` 表，我們以「查詢最新可購買刊登 (`status='listed'` 並依 `created_at` DESC 排序，取前 20 筆)」作為代表性場景，實測現有索引 (`idx_posting_status`、`idx_posting_created_at`) 相對於無索引時的效能差異。建立索引前 (移除相關索引) 連續運行五次的結果分別為 3.724 秒、3.711 秒、3.830 秒、3.774 秒、3.777 秒，平均約 3.7632 秒，標準差約 0.0425 秒；保留索引後連續運行五次的結果分別為 0.255 秒、0.207 秒、0.193 秒、0.207 秒、0.222 秒，平均約 0.2168 秒，標準差約 0.0212 秒。實測顯示在大量貼文 (約一萬筆) 下，索引將平均查詢時間從約 3.76 秒降至 0.22 秒，並降低時間波動，證明索引對此高頻查詢的效能提升顯著。

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

- 資管三 B11705061 羅立宸：Proposal, 系統實作
- 資管三 B12705011 黃元翔：Proposal, Report
- 資管三 B12705057 陳以倫：Proposal, 錄製影片及上字幕

5 專案心得

5.1 資管三 B11705061 羅立宸

這一次的資料庫期末專案我覺得對於我們是一個不小的考驗，在學期中的時候我們所學的都是純資料庫的知識，我也是第一次嘗試將資料庫透過後端 api 的方式與前端連接起來，這一次的專案對於我而言真的困難重重，最後還是透過 AI 的幫助完成了這個任務，但也讓我學習到了很多東西，也让我對於資料庫的用法了解更加深入，總體而言我還是很開心能夠完成這一次的專案。

5.2 資管三 B12705011 黃元翔

這次的資料庫專案的規模應該是進大學以來我遇過最大的，牽涉到的觀念也是最多的，從 ERD、正規化，到交易管理、並行控制，甚至最後的 Join Algorithm 和 NoSQL，這些單獨拿出來都是相當有挑戰性的主題，但在這個專案中我們要把它們融合並實作出來，是一件不簡單的事。一開始的主題發想還算順利，想到主題後就是設計 ERD，想 data dictionary，交上去之後助教給的回饋讓我發現原來還有很多我沒有想到的部分，補上後整個系統的確更完善了。實作應該是最難的點，多虧組員們的能力十分優秀，讓我在系統實作上並沒有花費太多功夫，可以專心撰寫最後的報告。撰寫報告讓我更理解整個專案的架構、課上教的知識如何在實務上串連起來，每個 slide 上的規定都有其必要

性，這種把所學應用的感覺真好。很感謝授課的教授、給我們建議的助教，以及我的兩位組員，讓我能夠有這樣一個愉快地做專案的經驗。

5.3 資管三 B12705057 陳以倫

這次的資料庫專案規模真的非常龐大，從 ER 模型設計、資料庫 Schema 建構、系統 API 撰寫、功能測試到與前端的整合，每一部分都需要投入相當大量的時間與心力。坦白說，如果沒有 AI 的協助，我真的不可能在期限內完成所有工作。AI 在查詢語法、資料表建構、關聯設定、API 設計、效能優化等方面都幫了非常大的忙。我也深刻體會到，把工具用好、懂得請教正確的問題，能讓整個開發流程事半功倍。此外，我想特別感謝同組的前端同學。他真的非常強，整個前端界面簡潔美觀功能完善。後來才知道他有修網服這門課，看了他的成果，我下學期很想跟著去修網服精進實力。