

傘齒輪齒胚與工程圖之 SolidWorks 自動建模方法之研究

指導老師：李羿慧老師

組員：謝詠傑、鍾艾伸、申振寰、鍾昀燐、周奕歡

摘要

本研究旨在開發一套基於SolidWorks應用程式介面(Application programming interface ,API)的傘齒輪齒胚與工程圖自動建模方法，以改善傳統手動建模耗時且易出錯的問題。傘齒輪由於其錐狀結構與特殊齒形，建模與工程圖製作過程較為繁瑣。為提升設計效率與圖面一致性，本研究運用C#程式語言，結合Visual Studio 2022開發平台與SolidWorks提供的API，建構出一套可輸入傘齒輪設計參數（如模數、齒數、錐角、齒寬等）後，即可自動完成草圖繪製、特徵建立與工程圖標註的自動化系統。

本系統採用WinForms圖形化介面，使用者可直觀輸入各項設計數值並一鍵產生三維模型與對應二維工程圖，包含剖視圖與完整尺寸註解。實作結果顯示，該系統能穩定準確地生成齒胚幾何與圖面，顯著縮短設計時間並減少人為誤差，具備實用性與推廣價值。

關鍵字：傘齒輪、自動建模、SolidWorks API、C#、工程圖

1. 簡介

傘齒輪廣泛應用於車輛、航太與工業機械等領域，其複雜的幾何特性使建模與出圖過程充滿挑戰。傳統上，設計人員需透過手動操作進行草圖繪製、特徵建構及工程圖製作，不僅耗費大量時間，也容易因人為疏失導致圖面不一致或錯誤，進而影響生產精度。隨著工業自動化與CAD技術的進步，開發一套可自動化建構傘齒輪齒胚與工程圖的系統，已成為設計流程中一項具價值的研究方向。

本研究涵蓋 SolidWorks API 二次開發、使用者介面設計、自動化建模及工程圖生成等，目的在為齒輪設計與製造提供高效且精確的解決方法。在過程中，參考賴勝男與黃昭霖提出的 C# 齒胚程式設計與使用者介面設計方法[1]，並引入董學朱與曾韜對齒輪計算方式的深入研究成果，將其運用於程式的運算邏輯設計中[2][3]。還透過 ANSI/AGMA ISO 23509 中的數值範例[4]，驗證程式計算過程準確性。

本研究的創新性在於透過Visual Studio 2022平台，以C#搭配SolidWorks 2020提供的API進行二次開發，建構一套可自動根據使用者輸入參數生成三維齒胚模型與二維工程圖的完整系統。功能性方面，本系統整合WinForms使用者介面、草圖標註演算法與工程

圖模組，能自動加入剖視圖與尺寸註解，大幅提升效率與準確度。

在研究方法上，先分析傘齒輪幾何與參數關係，並以物件導向程式設計撰寫建模模組；系統核心由多個C#類別組成，分別負責草圖繪製、尺寸標註與工程圖控制，進一步呼叫SolidWorks API執行相關指令。透過實體範例驗證，本系統能快速準確地完成建模與出圖作業，不僅適用於學術教學，更具備產業應用潛力。

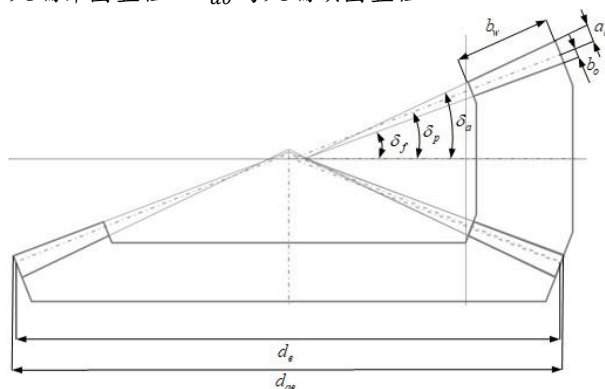
2. 研究方法

2.1 傘齒輪之應用與特性

傘齒輪具有圓錐狀的齒面，常見於垂直傳動系統中，例如汽車差速器、機械傳動箱等。依齒型可分為直齒傘齒輪與螺旋傘齒輪，其幾何計算涉及圓錐角、齒面寬度、模數等參數。

2.1.1 齒胚參數

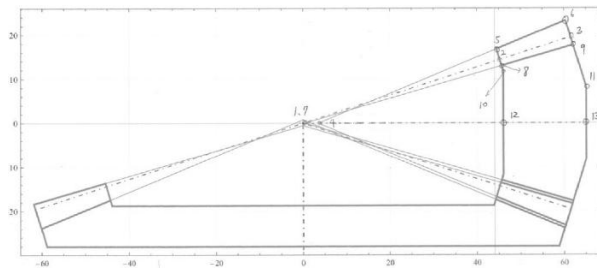
圖一所示為傘齒輪齒胚之幾何結構，其上標示之參數為齒胚設計與建模中不可或缺的重要幾何特徵。以下為各參數說明： a_0 為齒頂高、 b_0 為齒底高、 b_w 為面寬、 δ_f 為根錐角、 δ_p 為節錐角、 δ_a 為面錐角、 d_θ 為大端節圓直徑、 $d_{a\theta}$ 為大端頂圓直徑。



圖一 傘齒輪齒胚之幾何結構

2.1.2 點座標計算

圖二為齒胚幾何圖形點位置，本研究在此圖中為關鍵位置標註編號點，以便進行精確的建模與尺寸計算。透過幾何關係與三角函數的應用，根據已知的參數如節錐角、齒頂高、齒底高與面寬等，即可推導出各點的座標位置。這些點座標將作為程式中建立草圖的依據。



圖二 齒胚幾何圖形點位置

2.2 主程式

2.2.1 開發工具

本研究採用 Microsoft Visual Studio 2022 作為整體系統的開發平台。Visual Studio 為功能強大的整合式開發環境 (IDE)，支援多種程式語言，提供編譯器、除錯工具、視覺化設計介面、程式碼提示與錯誤提示等豐富功能，能大幅提升開發效率與程式碼維護性。

2.2.2 開發環境

Visual Studio 2022 搭配 .NET Framework 技術，使用 C# 作為主要開發語言，並整合 Windows Forms (WinForms) 開發工具以建立圖形化使用者介面 (GUI)，便於使用者輸入參數並執行各項自動建模功能。透過 Visual Studio 提供的強大擴充支援，能與 SolidWorks API 完整整合，使得開發人員能直接在 IDE 中控制 SolidWorks 應用程式介面，包括草圖建立、特徵繪製、尺寸標註與工程圖生成等操作。

2.2.3 使用者介面

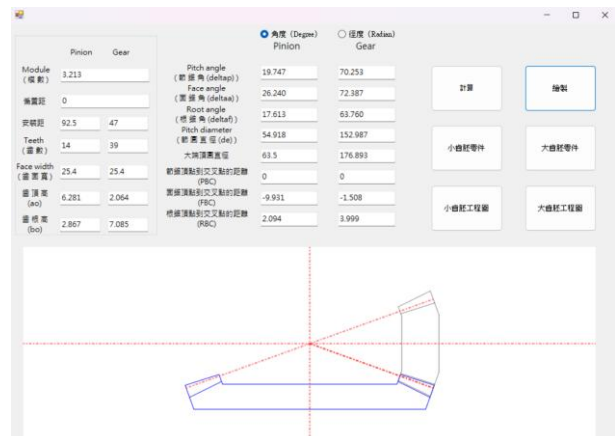
如圖三的參數輸入區包含大小齒輪所需之模數、齒數、齒面寬度、錐角等欄位，並以文字框 (TextBox) 及標籤 (Label) 方式呈現，還提供徑度和角度給使用者作選擇，使用者可依照實際設計需求填入數值。為確保使用便利性，各欄位名稱皆使用具備工程意義的中文或中英文對照詞彙，例如「模數 (Module)」、「齒數 (Teeth)」等，以利使用者快速識別與操作。

按鈕區則提供「計算」、「繪製」、「產生小齒胚」、「產生大齒胚」、「產生小齒胚工程圖」、「產生大齒胚工程圖」等按鈕，使用者只需依序點擊即可完成整個建模與出圖流程。按鈕與程式功能之間透過事件處理器 (Event Handler) 綁定，確保每個操作都能即時驅動對應的 SolidWorks API 指令。



圖三 使用者介面

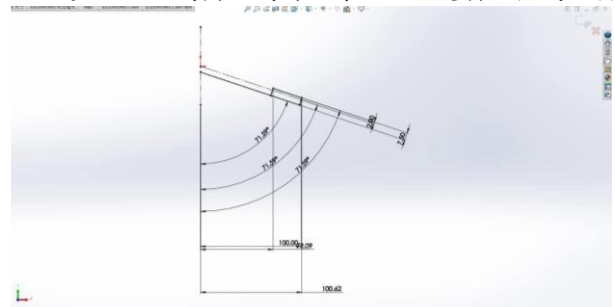
當使用者輸入傘齒輪的設計參數 (如模數、齒數、錐角、齒寬等) 後，按下「繪製」按鈕後，下方示意圖區域會依據目前的參數自動重新繪製齒胚的輪廓。此功能能協助使用者在按下建模前，即可確認幾何外觀是否符合預期，避免參數輸入錯誤造成後續建模失敗或尺寸錯誤，如圖四。



圖四 齒胚示意圖

2.2.4 傘齒輪齒胚零件圖

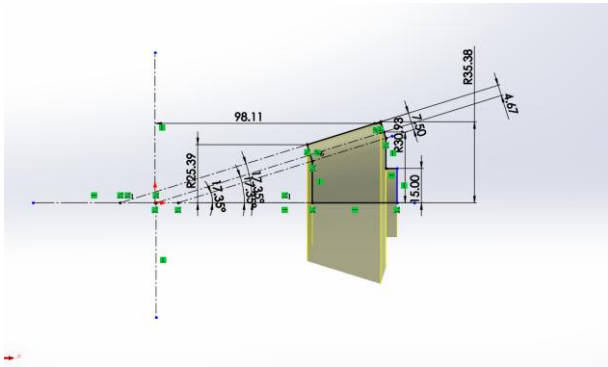
首先，本研究利用 SolidWorks 熟悉的介面，手動繪製出如圖五的傘齒輪齒胚幾何草圖，包括節錐角、齒面寬度、高度等特徵。在這個階段，本研究會盡可能以參數化方式輸入幾何尺寸，方便後續以程式控制。



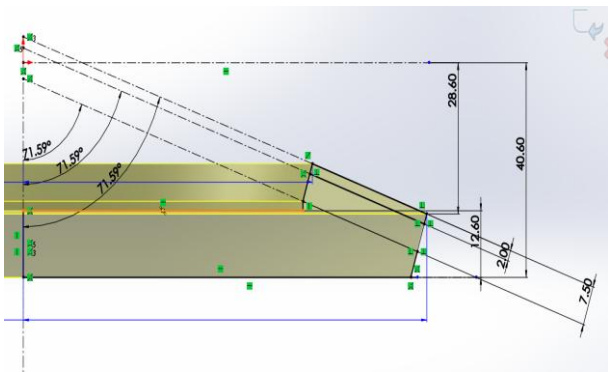
圖五 手繪傘齒輪齒胚幾何草圖

接著，本研究透過 SolidWorks 的『錄製巨集』功能，把所有的繪圖動作記錄下來，像是建立草圖拉伸旋轉、加入尺寸與特徵等。這些錄製下來的動作會轉換成 VBA 或 API 程式碼，再進一步轉譯成 C#，作為本研究自動建模系統的主程式架構。

圖六、圖七就是本研究錄製草圖後自動產生的旋轉特徵，可以看到模型根據輸入參數進行變化，從底部直徑、高度到齒面傾斜角，全部都可以自動生成。



圖六 小齒胚自動建模



圖七 大齒胚自動建模

2.2.5 傘齒輪齒胚工程圖

本研究利用 SolidWorks 的錄製功能結合 C# 程式設計，自動化產生標準工程圖的流程，以提升機械設計過程中的效率與一致性。使用者透過 Visual Studio 開發環境，撰寫 C# 程式以控制 SolidWorks 進行一系列自動操作，包含開啟工程圖模板、插入對應的零件視圖、產生剖面圖、標註尺寸、調整比例、註記繪圖資訊等，使整個工程圖建立過程能夠在單一操作下快速完成。

在系統介面上，使用者可以透過圖形化的使用者介面 (GUI) 選擇所需功能，例如「產生小齒胚工程圖」或「產生大齒胚工程圖」兩個選項按鈕。點選這些按鈕後，程式會根據預設的工程圖模板，自動開啟 SolidWorks 並載入相對應的零件圖檔。此動作會觸發一連串錄製過的操作腳本，這些腳本記錄了如何插入前視圖、上視圖、右視圖及等角視圖，並進一步產生

剖面視圖或局部放大圖，以完整呈現零件的幾何特徵與設計細節。

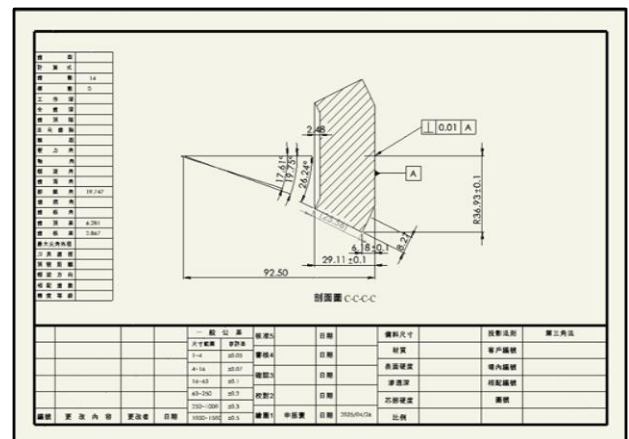
此外，系統亦會自動載入與零件相關的參數資訊。使用者可在左側的欄位中看到在使用者介面填入零件的基本幾何參數，包括模數、齒數、齒面寬度、錐角等。這些數值會呈現在欄位中，同時也會被自動帶入到工程圖的標註或註解中。例如，在標註區域會顯示「模數：2.5」、「齒數：30」、「齒頂高：20」、「節錐角：15」等，方便使用者查閱。

下方則設有資訊欄位，顯示工程圖的基本說明與識別資訊，包括所採用的一般公差標準 (如 ISO 或 DIN 公差)、繪圖者姓名、繪圖日期 (自動顯示當日日期) 及所使用的投影法則 (如第一角法或第三角法)，如圖八。確保工程圖在出圖時已具備所有必要的製造與識別資訊。

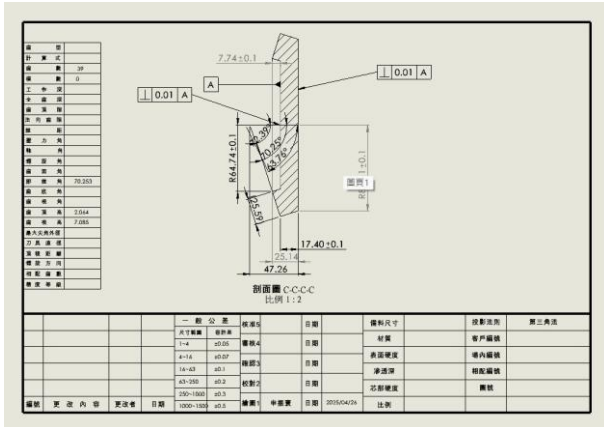
一般公差		核准5	日期
尺寸範圍	容許差	審核4	日期
1-4	±0.05	確認3	日期
4-16	±0.07	校對2	日期
16-63	±0.1	繪圖1	日期
63-250	±0.2	申振豪	日期
250-1000	±0.3		2025/05/15
1000-1500	±0.5		

圖八 工程圖資訊欄位

為了使工程圖看起來更加專業與統一，程式也設計了調整圖面比例。當插入零件視圖後，以避免視圖過小或超出圖框範圍。此外，標註尺寸的功能也由錄製操作完成，系統能夠自動選擇特定邊界或幾何特徵，進行尺寸標註與註解，並確保標註之間不重疊、間距適中，提升圖面的清晰度與可讀性，如圖九與圖十。



圖九 小齒胚工程圖



圖十 大齒胚工程圖

3. 結果與討論

本研究以 C# 搭配 SolidWorks API 建構出一套傘齒輪齒胚自動建模與工程圖生成系統，能夠依據使用者所輸入的模數、齒數、錐角、齒寬等參數自動建立草圖、產生旋轉特徵、建立零件模型並完成工程圖的標註與出圖流程。系統介面以 WinForms 實作，能即時顯示使用者輸入的參數並呼叫對應的繪製功能。整體系統已達到穩定運作的目標，並成功完成大小傘齒輪齒胚建模與對應工程圖的自動化產出。

在建模方面，系統能依照輸入參數計算出草圖中各幾何點的座標，進而準確繪製傘齒輪的截面形狀。透過 SolidWorks API 所提供的函式，系統能正確繪製尺寸標註並自動旋轉產生三維模型。比對程式自動建模的結果與傳統手動建模所產出的模型，兩者尺寸與幾何形狀皆一致，證明本系統之幾何計算邏輯的正確性。

在工程圖方面，系統能夠自動開啟既有的工程圖模板，插入對應的視圖（包含前視圖、上視圖、右視圖與等角視圖），並可依照預設設定自動標註尺寸與建立剖視圖與公差註記。這不僅減少了人力操作時間，也提升了工程圖的一致性與標準化程度。經過多次測試與驗證，小齒胚與大齒胚皆能順利完成自動化出圖。

整體而言，本系統已達成設計初期所設定之目標，具備可用性、穩定性與實用性。未來可進一步整合強度分析模組或 CNC 加工路徑輸出模組，以強化傘齒輪自動化設計至製造的完整流程。

4. 結論

本研究成功開發出一套以 C# 搭配 SolidWorks API 的傘齒輪齒胚與工程圖自動建模系統。透過設計參數輸入、自動計算幾何座標、自動建構齒胚草圖與旋轉特徵，以及生成符合製圖規範的工程圖，本系統可有效簡化傳統繁瑣且需大量人工的建模與製圖流程，提升齒輪設計效率與品質一致性。

本系統具備高度客製化能力，使用者可依實際需求調整模數、齒數、錐角、齒面寬等設計參數，快速

產出對應的三維模型與完整工程圖，減少設計錯誤與手動標註不一致的問題。

未來可考慮將本系統整合齒形分析模組、自動誤差檢查、甚至結合 CNC 加工後處理模組，使其成為從設計到製造一體化的傘齒輪智慧製造工具，進一步擴大應用效益並強化實務價值。

5. 誌謝

本研究得以順利完成，首先要感謝指導教授李羿慧老師的教導與提攜，在整個專題進行過程中，老師不僅在學術上提供寶貴的專業知識與技術指導，亦在研究方向、架構規劃與程式撰寫等方面給予本研究極大的協助與指正，使本研究能夠在正確的方向上穩定前進，並順利完成本研究結果，謹致上最誠摯的感謝與敬意。

同時也衷心感謝國立聯合大學機械工程學系顏緯恩學長在研究過程中所提供的協助，特別是在齒胚設計與齒胚建模上的經驗分享，對於本研究具有重要的幫助，在此謹向顏學長表達由衷的感謝。

6. 參考文獻

- [1] 賴勝男、黃昭霖，傘齒輪齒胚自動三維建模方法之研究，國立聯合大學機械工程學系
- [2] 董學朱，擺線齒錐齒輪及準雙曲面齒輪設計和製造，機械工業出版社，北京，第9-14頁，2003。
- [3] 曾韜，螺旋錐齒輪設計與加工，哈爾濱工業大學出版社，哈爾濱，第68-74頁，1989。
- [4] American Gear Manufacturers, American National Standard Bevel and Hypoid Gear Geometry, ANSI/AGMA ISO 23509--A08, page79-90, May 20, 2008, USA.