

# 不同對流係數對於塑料冷卻之電腦模擬分析

詹德勝

黎明技術學院 電機工程系

Email: cds1219@mail.lit.edu.tw

## 摘要

對流係數差異對於塑料冷卻階段扮演極為重要的關鍵並影響產品的品質。優化冷卻可以縮短成型時間及提高品質。模具加熱過程以熱對流與熱傳導傳遞能量，同時在冷卻過程，塑料溫度呈現動態變化，瞭解對流係數差異對於動態溫度變化之電腦模擬更顯得重要。電腦模擬熱分析可預測不同對流係數差異所需的冷卻時間。研究顯示塑料內部最高溫度隨對流係數增加而下降，等溫線隨對流係數增加而縮小，電腦模擬分析利於塑料冷卻階段熱分析。

**關鍵詞：**塑料模具、熱傳、電腦模擬

## 1、前言

人工智慧與電腦模擬分析在工業生產的重要性日益提昇。工業 4.0 的競爭力與縮短生產週期與時程息息相關，電腦模擬分析可縮短產品開發週期與時程，使產品更快速進入量產階段。電腦模擬熱分析可提供開模前資訊，並提高整個製造效率及品質。從塑料製程中獲得高品質的產品具有挑戰性，主因是成型製程具有非常多的加工參數。溫度分布不均易造成翹曲等缺陷，此缺陷的物件會產生不良品，造成製造成本的上升。通過最適化方法取得模具的加工參數以減少翹曲缺陷更顯得，電腦模擬的重要性[1-2]。

加熱與冷卻系統設計對於塑料成型的塑料產品品質至關重要，適切加熱與冷卻系統設計不僅縮短成型週期，並且顯著影響最終產品的產率和品質。塑料成型製程可生產大批量生產汽車、醫療和電子產品塑料零件，以滿足個別產業的需求。-1 電腦模擬常用於塑料的加熱與冷卻的暫態分析，本研究的目的是確定內腔的溫度分佈以改進加熱與冷卻系統設計。研究加

熱與冷卻通道的溫度分佈，可減少加熱與冷卻時間，同時優化產品的品質[3, 7-9, 12-13]。

## 2、研究方法

塑料模具之電腦模擬分析溫度場包括建立幾何、離散非線性溫度、設定塑料材料性質[8-9]。塑料模具熱模擬分析分別敘述如下：

### 2.1 塑料模具幾何模型建立與計算網格

建立幾何結構模型、選定數值分析方法，完成數學模型。確定網格品質、程式除錯及繪圖後處理等工作項目。

### 2.2 塑料模具溫度模擬分析

本研究採用 Comsol 軟體及有限元素法離散溫度場方程式，藉由不同對流係數的改變，探討溫度場分佈及熱分析特性[10-12]，探討溫度場分佈。

## 3、數學模式

塑料冷卻能量控制方程式，如方程式(1)

$$\rho C_P \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (1)$$

邊界條件為中心冷卻溫度為 20°C 及對流邊界條件(h)，對流係數高低與外部操作條件有關，此模擬幾何，模擬偵測點 A 點、B 點與 C 點及邊界條件如圖 1。模擬網格共 1878 個三角網格，如圖 2。

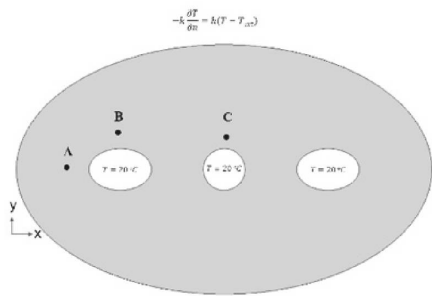


圖 1 邊界條件

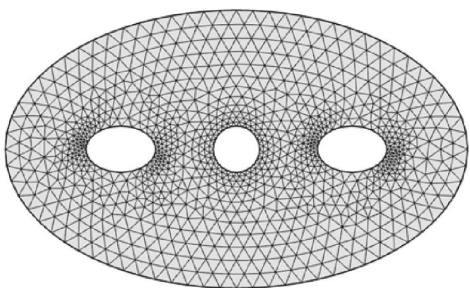


圖 2 網格建置

#### 4、結果與討論

本模擬計算塑料比熱為  $1369 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、密度為  $1900 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、熱傳導係數為  $0.5 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，塑料特性來源為 Comsol 軟體內建資料庫 FR4 材料。首先評估初始溫度  $300^\circ\text{C}$ 、中心冷卻溫度為  $20^\circ\text{C}$  及冷卻 1 小時基礎下，模擬在不同對流係數 ( $1、10、50、100 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ) 下塑料冷卻的溫度分布，評估及提升塑料冷卻階段熱分析並提高塑料冷卻效率，模擬結果如圖 3 至圖 6。冷卻 1 小時在不同對流係數 ( $1、10、50、100 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ )，塑料內部最高溫度分別為  $220^\circ\text{C}$ 、 $141.0^\circ\text{C}$ 、 $89.1^\circ\text{C}$  及  $79.1^\circ\text{C}$ 。塑料最高溫度隨對流係數增加而下降，換言之，塑料內部溫度在相同冷卻條件下 (中心冷卻溫度為  $20^\circ\text{C}$  及冷卻 1 小時) 隨對流係數不同而異，塑料熱傳導呈現顯著差異。舉例說明，高於  $70^\circ\text{C}$  等溫線隨對流係數增加而縮小，此可預測不同對流係數下塑料溫度分布。

不同對流係數 ( $1、10、50、100 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ) A 點、B 點及 C 點溫度隨時間變化之預測分析如圖 7 至圖 10，A 點、B 點及 C 點溫度隨時間增加而下降。圖 7 在對流係數 ( $100 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ) 冷卻 1 小時下，A 點、B 點及 C 點溫度分別為  $60.0^\circ\text{C}$ 、 $41.7^\circ\text{C}$  及  $29.9^\circ\text{C}$ 。圖 8 在對流係數 ( $50 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ) 冷卻 1 小時下，A 點、B 點及 C 點溫度分別為  $65.3^\circ\text{C}$ 、 $46.6^\circ\text{C}$  及  $34.5^\circ\text{C}$ 。圖 9 在對流係數 ( $10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ) 冷卻 1 小時下，A 點、B 點及 C 點溫度分別為  $83.3^\circ\text{C}$ 、 $81.5^\circ\text{C}$  及  $72.0^\circ\text{C}$ 。圖 10 在對流係數 ( $1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ) 冷卻 1 小時下，A 點、B 點及 C 點溫度分別為  $166.5^\circ\text{C}$ 、 $105.1^\circ\text{C}$  及  $100.3^\circ\text{C}$ 。塑料於中心冷卻溫度為  $20^\circ\text{C}$  及冷卻 1 小時後，最後塑料溫度隨對流係數減小而增加。換言之，塑料溫度隨對流係數不同而呈現顯著差異。

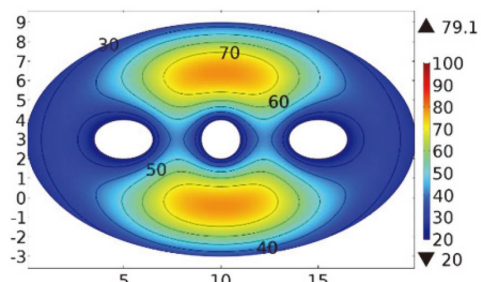


圖 3 溫度分布 (對流係數  $100 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ )

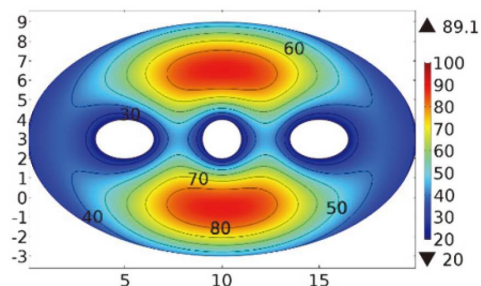


圖 4 溫度分布 (對流係數  $50 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ )



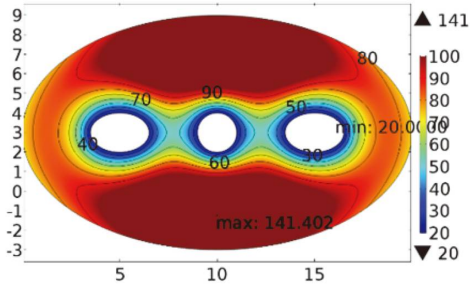


圖 5 溫度分布(對流係數 10 W/(m²\*K))

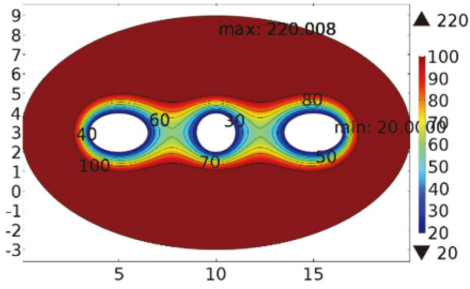


圖 6 溫度分布(對流係數 1 W/(m²\*K))

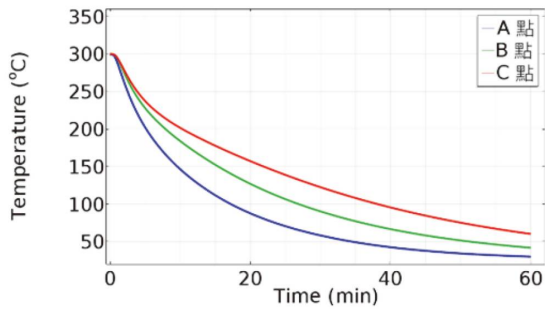


圖 7 對流係數(100 W/(m²\*K))下 A 點、B 點及 C 點之溫度暫態時間響應

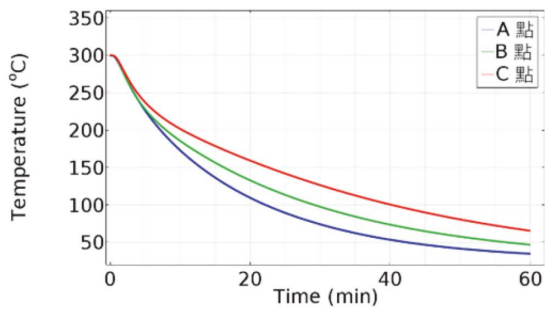


圖 8 對流係數(50 W/(m²\*K))下 A 點、B 點及 C 點之溫度暫態時間響應

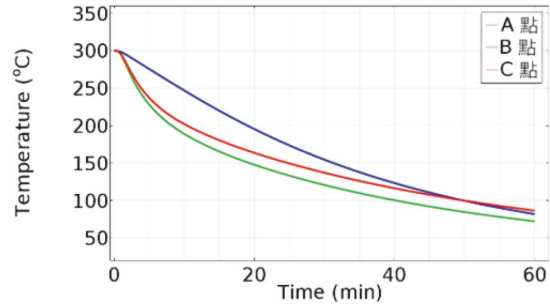


圖 9 對流係數(10 W/(m²\*K))下 A 點、B 點及 C 點之溫度暫態時間響應

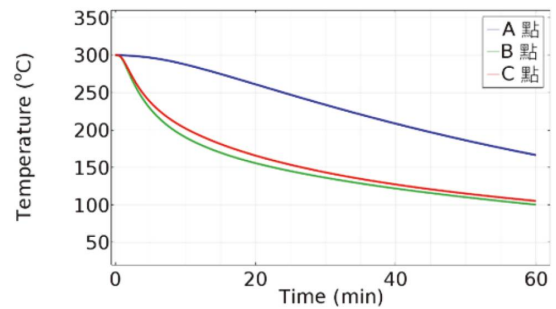


圖 10 對流係數(1 W/(m²\*K))下 A 點、B 點及 C 點之溫度暫態時間響應

## 5、結論

電腦模擬與熱分析可預測不同對流係數(1、10、50、100 W/(m²\*K)) 所需的冷卻時間。同時,在不同對流係數模可得知溫度分布與暫態時間響應。中心冷卻溫度為 20°C 及冷卻 1 小時下,不同對流係數塑料內部最高溫度分別為 220°C、141.0°C、89.1°C 及 79.1°C。塑料最高溫度隨對流係數增加而下降,等溫線隨對流係數增加而縮小。藉由此電腦模擬分析可定量冷卻時間。

## 6、參考文獻

1. S.H. Tang , Y.M. Kong , and S.M. Sapuan , Design and Thermal Analysis of Plastic Injection Mould , J. of Materials Processing Technology , vol. 171 , P. 259-267(2006).
2. Li Q. Tang , C. Chassapis , and S. Manoochehri , Optimum Cooling System Design for Multi-Cavity injection Molding , Finite Elements in Analysis and Design vol.26. P.229- 251(1997).
- 3.M.R. Barone and , D.A. Caulk , , Special boundary integral equations for approximate solution of Laplace's equation in two-dimensional regions with circular holes , Q. J. Mech. Appl. Math. 34(3) , P.265-286(1981).
4. J.C.Lin , Optimum Cooling System Design of a Free-Form Injection Mold Using an Abductive Network , J. of Materials Processing Technology. Vol.120 , P.226-236(2002).
5. H. Qiao , Transient Mold Cooling Analysis Using the BEM with the Time- Dependent Fundamental Solution , Int. Com. in Heat and Mass Transfer , vol. 32 , P. 315-322(2005).
7. C. S. Li , C.F.Hung , and Y;K; Shen , Finite Element Analysis for Phase Change problem in Polymer processing , Int. Com. in Heat and Mass Transfer , vol.22 , P. 167-177(1995).
8. Geankoplis CH. 2003. Transport processes and separation process principles (includes unit operations) 4th edition. Prentice Hall Press Upper Saddle River , NJ , USA.
9. Jay Shormaker , Moldflow Design Guide , Hanser Publisher , 2006.
10. W. F. Ames , Numerical methods for partial differential equations , Academic Press , New York , 1977.
11. S. C. Chen , N. T. Cheng and S. Y. Hu , “Simulations of primary and secondary gas penetration for a gas-assisted injection-molded thin part with gas channel” , Journal of Applied Polymer Science , 67(9) , 1553–1564 , 1998.
12. J. H. Ferziger and M. Peric , Computational Methods for Fluid Dynamics , Springer , New York , 1996.
12. Y. Ding , C. Vyas, O. Bakker , S. Hinduja and P. Bartolo, Modelling and Simulation of MuCell®: The Effect of Key Processing Parameters on Cell Size and Weight Reduction. , Polymers 2022, 14, 4215.
13. G. Llewelyn, A. Rees, C. Griffiths, M. Jacobi, A Design of Experiment Approach for Surface Roughness Comparisons of Foam Injection-Moulding Methods. Materials 2020, 13, 2358.



# Numerical simulation with different convective heat transfer coefficients for plastic cooling system

1\* Der-Sheng Chan

1 Department of Electrical Engineering  
Lee-Ming Institute of Technology ,

\*Email:lit00441@mail.lit.edu.tw

## Abstract

The heating and cooling stages play an important role and affect product quality. Optimal heating and cooling approach can shorten molding time and improve product quality. However, improper heating and cooling process will lead to plastic shrinkage. In the heating stage, heating process transfers heat to plastic by heat convection and heat conduction. During the heating and cooling process, the temperature response is dynamic process. Computer simulation and mold design are more important in the heating and cooling stages. The analysis of computer simulation can be used to improve the efficiency of heating and cooling stages. The combination of computer simulation and the thermal analysis is good for product quality and for the entire molding process in different heating and cooling stages.

**Keywords:** cooling、plastic mold、computer simulation