

汽車後擋玻璃除霧線電熱耦合分析

The Thermal-Electrical Coupling Analysis of Car Windshield

徐穎成

- 1.某大玻璃廠
- 2.瑞其科技有限公司

摘要

汽車的後擋風玻璃在設計時，需考量到玻璃的除霧功能，因為在天氣不佳時或是在天候寒冷的地區行駛，很可能會在擋風玻璃上產生霧氣，遮蔽駕駛視線，影響行車安全，擋風玻璃的除霧能力是藉由印刷於其上的銀線產生的，銀線通電後而產生升溫的效果，進而達到除霧的功能，而銀線寬度的設計便是影響升溫效果的關鍵，本文透過 Abaqus 的電熱分析能力計算出除霧線所提供的電功率，並確認其電功率是否滿足設計需求，再配合最佳化軟體找尋能滿足設計需求的銀線寬度。

關鍵字：Abaqus、汽車擋風玻璃、電熱耦合、最佳化

ABSTRACT

The car windshield needs to have the defogging function. Because the windshield would be covered by fog when we driving in the bad winter. If the fog cover our sight, driving will be very dangerous. The silver lines on the car windshield which offer the defogging function. When the silver lines are set up an electric circuit, the car windshield will be warming, so the fog will disappear. Widths of silver lines decide the effect of heating up. We can calculate how many electric power silver lines offered by Abaqus. Then, we can check whether the electric power satisfy design requirement or not. If the electric power doesn't satisfy design requirement, we will use the optimization software to find the feasible silver lines design.

Keywords: Abaqus、car windshield、thermal-electrical coupling、optimization

一、緒論

汽車後擋風玻璃在設計時會在其上印刷銀線，此銀線即為除霧線，其原理為運用通電後所生的焦耳熱，讓玻璃升溫而除去霧氣，而銀線的寬度決定了每一條銀線的電阻大小，其電阻的與銀線寬度的關係如下：

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

ρ = 電阻係數

ℓ = 導體的長度

A = 導體的截面積

由上式可知銀線的寬度越小截面積也越小，所以電阻越高，且電阻與電功率的關係如下：

$$W = I^2 R$$

電功率又與熱能成正比，故可以推估銀線寬度的分布為，需要溫度高的區域線寬較窄，其餘區域線寬較寬，而後擋玻璃的電功率分布的設計需求如圖 1，由圖 1 可知銀線厚度分度的可行設計為兩旁較寬中間較窄，可以此理論的推估驗證，後續以 Abaqus/Standard 配合最佳化軟體，所計算出的銀線寬度分布是否正確合理。

二、原始模型分析

2.1 原始模型之建立

後擋風玻璃的部分是以 Diffusion Shell element (DS4)建模，銀線的部分為了之後的最佳化分析，能以各區段的截面積當作設計變數，將其分為多個區域如圖 1，因為銀線需要導電，故以電熱耦合的 Diffusion Truss element (DC1D2E) 建模，完整的有限元素分析模形如圖 2。

2.2 邊界條件設定

後擋玻璃模型兩端有較大面積的銀膏覆蓋區域一般稱為 Busbar，在 Busbar 上會黏著電線接口且通以 12 V 的固定電壓，使電流流過各條銀線，產生升溫的效果，待其進入穩太後再測量其電功率，電功率的分布須滿足設計需求如圖 3，紅色區域定義為 A 區藍色區域定義為 B 區，A 區的目標電力密度為 400 W/m^2 ，允許誤差正負 10%，B 區的目標電力密度為 300 W/m^2 ，允許誤差同樣為正負 10%。

2.3 原始模型之分析結果

原始模型的分析結果如圖 4~ 6 所示，A 區的電力密度為，B 區的電力密度為，很顯然的，原始的模型的電力密度過低，無法滿足設計需求。

三、銀線設計最佳化分析

3.1 最佳化分析之目標以及限制

本文的設計需求目標為 A 區的電力密度等於設計需求的 400 W/m^2 ，故 A 區的電功率須為 400×0.232 約為 93 W，在最佳化分析中目標設定為 93 W。而 B 區的電力密度設計需求為 300 W/m^2 ，故 B 區的電功率須為 300×0.135 約為 40.5 W，在最佳化分析中拘束條件上限值設定為 40.5 W，下限值設定為 36.5(容許 10%的誤差)。

3.2 最佳化分析之變數

最佳化分析的變數即是各區段銀線的截面積，並且銀線的截面積也設定上下限，上限為 0.02 mm^2 ，下限為 0.008

mm^2 。在原始模型中，依照前述將初始銀線的截面積設定為中間小兩旁大如圖 7，希望以較合理的初始設定減少最佳化分析的疊代次數，增加此最佳化分析設計流程的效率。

3.3 最佳化之結果

A 區的電功率目標疊代計算的過程如圖 8，可以看到 A 區的電力密度已經滿足設計需求且達到收斂標準，B 區的電功率拘束疊代計算的過程如圖 9，可以看到 B 區的電力密度也已經滿足設計需求且達到收斂標準了，最佳的計算結果為第 10 次疊代運算的結果，各區域截面積的結果如圖 10，由截面積除以銀線厚度可計算出銀線寬度，最終的銀線寬度分布如圖 11，最終的分析結果如圖 12~ 14 所示，經最佳化疊代運算後，最終的結果已能滿足設計需求。

四、結論與未來展望

以往銀線寬度的設計方法有兩種：第一種為試誤法，藉由來回修改銀線寬度與反覆測試而得到可行的銀線設計，此方法會耗費許多的時間、測試成本與人力等，十分的沒有效率；第二種方法為委託國外設計銀線寬度，此方法無法建立研發部門的技術，本文藉由 Abaqus 與最佳化軟體的串聯，建立銀線設計的能量，希望藉由此流程以電腦分析輔助往後的銀線設計，建立精確且有效率的設計能量，縮短未來的產品開發的週期。

五、圖片

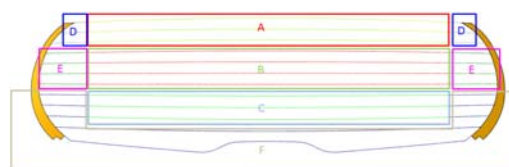


圖 1 銀線設計參數劃分區域

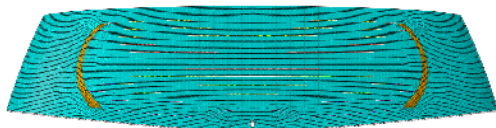


圖 2 後擋玻璃有限元素分析模型

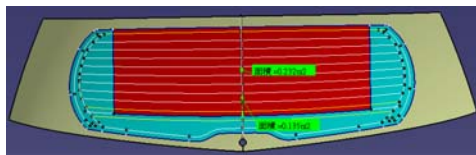


圖 3 電力密度設計需求

| 線條 | A | B |
|-------------------------|---------|---------|
| | 線條電功率 | 線條電功率 |
| 1 | 8.771 | 0.413 |
| 2 | 8.009 | 0.810 |
| 3 | 7.621 | 1.011 |
| 4 | 7.703 | 1.159 |
| 5 | 7.607 | 1.246 |
| 6 | 7.565 | 1.306 |
| 7 | 7.416 | 1.309 |
| 8 | 7.625 | 1.369 |
| 9 | 7.669 | 1.298 |
| 10 | 7.859 | 1.176 |
| 11 | | 13.298 |
| 12 | | 12.921 |
| 電功率合計(W) | 77.845 | 37.315 |
| 電力密度(W/m ²) | 335.539 | 274.377 |

圖 6 初始設計的電功率與電力密度

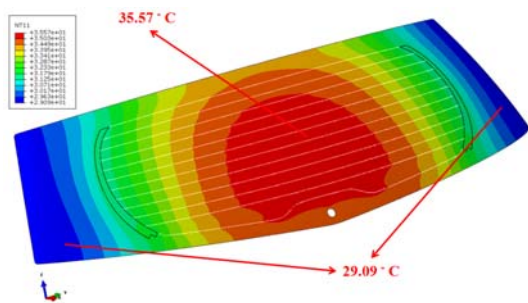


圖 4 後擋玻璃初始分析之溫度分布

| Label | Varsame | Lower Bound | Initial | Upper Bound |
|-------|---------|---------------|---------------|-------------|
| th1 | m_l_th1 | 0.0080000 ... | 0.0120000 ... | 0.0200000 |
| th2 | m_l_th2 | 0.0080000 ... | 0.0124000 ... | 0.0200000 |
| th3 | m_l_th3 | 0.0080000 ... | 0.0130000 ... | 0.0200000 |
| th4 | m_l_th4 | 0.0080000 ... | 0.0184000 ... | 0.0200000 |
| th5 | m_l_th5 | 0.0080000 ... | 0.0194000 ... | 0.0200000 |
| th6 | m_l_th6 | 0.0080000 ... | 0.0197400 ... | 0.0200000 |

圖 7 各區段的設計變數

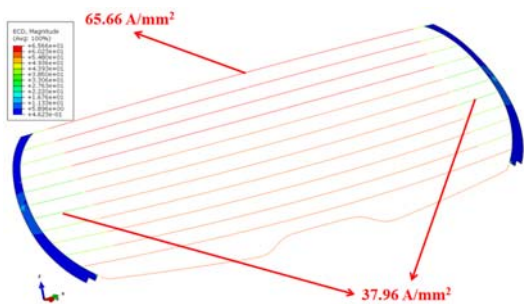


圖 5 各區域銀線初始分析之單位面積電流分布

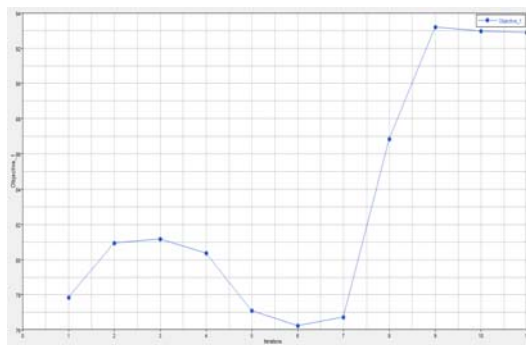


圖 8 目標函數的疊代過程

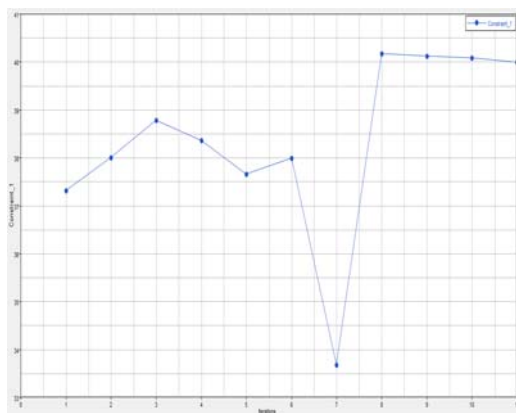
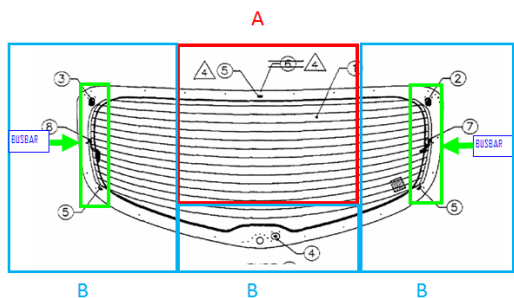


圖 9 拘束條件的疊代過程

| | h1 | h2 | h3 | h4 | h5 | h6 | Response_1 | Response_2 |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| 1 | 0.0120000 | 0.0124000 | 0.0130000 | 0.0184000 | 0.0194000 | 0.0197400 | 77.844957 | 37.315225 |
| 2 | 0.0139800 | 0.0124000 | 0.0130000 | 0.0184000 | 0.0194000 | 0.0197400 | 80.933400 | 37.997994 |
| 3 | 0.0120000 | 0.0144460 | 0.0130000 | 0.0184000 | 0.0194000 | 0.0197400 | 81.172748 | 38.779204 |
| 4 | 0.0120000 | 0.0124000 | 0.0151450 | 0.0184000 | 0.0194000 | 0.0197400 | 80.359105 | 38.360649 |
| 5 | 0.0120000 | 0.0124000 | 0.0130000 | 0.0153640 | 0.0194000 | 0.0197400 | 77.083388 | 37.663243 |
| 6 | 0.0120000 | 0.0124000 | 0.0130000 | 0.0184000 | 0.0161990 | 0.0197400 | 76.230166 | 37.986907 |
| 7 | 0.0120000 | 0.0124000 | 0.0130000 | 0.0184000 | 0.0194000 | 0.0164829 | 76.707167 | 33.674805 |
| 8 | 0.0138000 | 0.0142600 | 0.0149500 | 0.0200000 | 0.0200000 | 0.0200000 | 86.811483 | 40.166052 |
| 9 | 0.0158038 | 0.0159044 | 0.0171925 | 0.0200000 | 0.0200000 | 0.0170000 | 93.198574 | 40.117997 |
| 10 | 0.0158442 | 0.0157382 | 0.0171743 | 0.0199485 | 0.0199449 | 0.0170513 | 92.972733 | 40.075616 |
| 11 | 0.0158126 | 0.0156492 | 0.0173605 | 0.0199500 | 0.0199404 | 0.0169436 | 92.894079 | 39.995222 |

圖 10 最佳化分析結果歷程資料



| 銀線編號 | A區 | B區 | 銀線編號 | A區 | B區 |
|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.79 | 1.00 | 7 | 0.79 | 1.00 |
| 2 | 0.79 | 1.00 | 8 | 0.86 | 0.85 |
| 3 | 0.79 | 1.00 | 9 | 0.86 | 0.85 |
| 4 | 0.79 | 1.00 | 10 | 0.86 | 0.85 |
| 5 | 0.79 | 1.00 | 11 | | 0.85 |
| 6 | 0.79 | 1.00 | 12 | | 0.85 |

圖 11 最終設計的銀線寬度

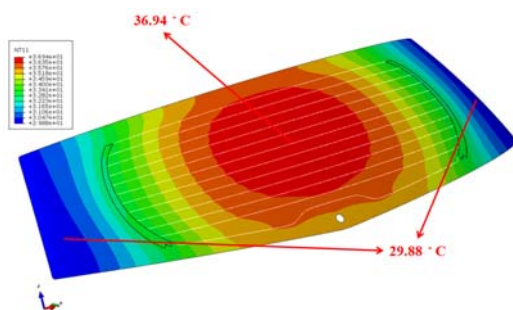


圖 12 後擋玻璃最終之溫度分布

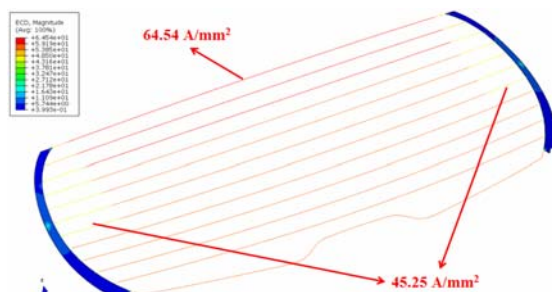


圖 13 各區域銀線最終之單位面積電流分布

| 線條 | A | B |
|------------|---------|---------|
| | 線條電功率 | 線條電功率 |
| 1 | 11.187 | 0.641 |
| 2 | 10.043 | 1.236 |
| 3 | 9.475 | 1.529 |
| 4 | 9.137 | 1.698 |
| 5 | 9.010 | 1.823 |
| 6 | 8.958 | 1.911 |
| 7 | 8.766 | 1.912 |
| 8 | 8.608 | 2.362 |
| 9 | 8.720 | 2.257 |
| 10 | 9.068 | 2.075 |
| 11 | | 11.474 |
| 12 | | 11.157 |
| 電功率合計(W) | 92.973 | 40.076 |
| 電力密度(W/m²) | 400.744 | 294.673 |

圖 14 最終設計的電功率與電力密度