

# 強大可拓展性的光化學 光的有效利用

微通道連續流技術已在農藥、精細化工、醫藥等化工行業取得了廣泛運用。這些行業開始逐漸將傳統間歇釜工藝轉變為連續流工藝，轉變的驅動力主要有放大、安全、環保、縮短產品開發週期和降低生產成本等方面。

此前，有人嘗試將一段塑膠管纏繞在光源上製成簡單的流動光反應器。然而，該管式反應器在內部管徑變大時傳質會發生相應變化，且光源會產生熱量，影響反應的進行，因此，這些管式反應器的可拓展性受到極大的限制。

康寧歐洲技術中心的科學家Guillaume Gauron博士、Clemens R. Horn博士等人利用康寧高通量微通道光化學反應器結合LED光源，組合成的具有高效質傳、熱傳且無放大效應的光化學反應器，並通過質傳、熱傳、LED光源設計、LED光源波長選擇等因素對已經發表的光化學反應進行了研究和對比實驗，結果充分證明了康寧光化學反應器的技術優勢。



康寧實驗室光化學反應器

## [案例一] 質傳效果對光化學的影響

該反應是有氣液兩相參與的香茅醇光氧化反應（圖1），該反應在管式光化學反應器中，反應時間2.1min，收率88%。

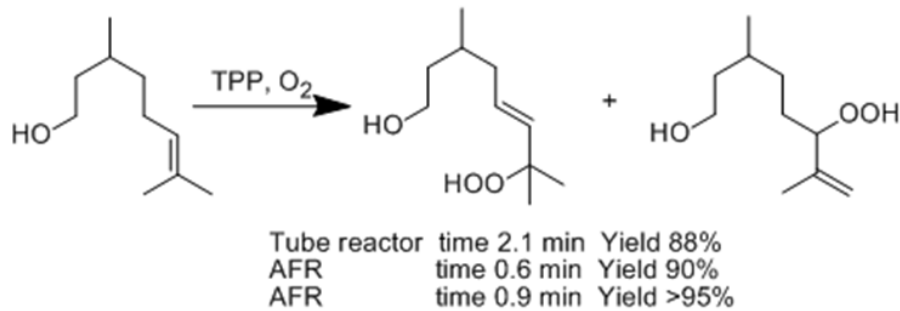


圖1. 光氧化香茅醇中管式反應器和AFR質傳效果的對比  
(反應條件：壓力8 bar，0.5N香茅醇，0.4mol% TPP，1.2eq氧氣，波長405nm)

康寧Gauron博士等人利用康寧Lab光化學反應器在同樣的實驗條件下對該反應進行了實驗，由於康寧AFR的“心型”混合單元具有卓越的質傳效果，使得反應時間從2.1min減少到0.9 min，且反應的收率由管道反應器的88%提升至95%以上，即使使用康寧的最小型的實驗室反應器系統（LRS）光化學反應器，該工藝的整體產能相對於管式反應器而言提升了1倍。

## [案例二] 換熱對光化學反應的影響

管式反應器由於熱傳效果較差，無法對反應體系進行精確控溫，尤其在那些需要精確控溫的反應反應來說，缺點十分明顯。

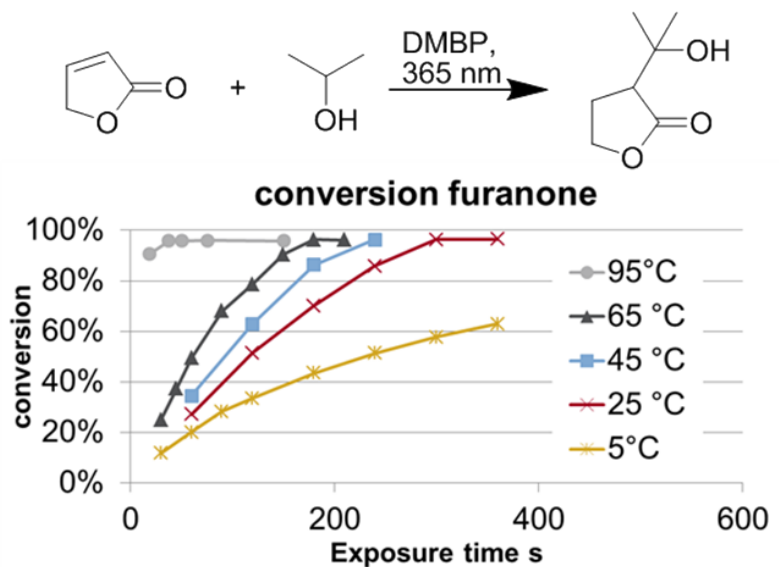


圖2. 從異丙醇和呋喃酮反應中看溫度控制的重要性

康寧科學家用異丙醇和呋喃酮在光敏劑DMBP參與下的光化學反應作為範本進行了考察（圖2）。傳統管道反應器由於溫度很難做到精準控制，所以只能在室溫下反應。使用康寧光化學反應器，可以快速地對不同的反應溫度和停留時間進行考察。由圖3的結果可以看出，升高溫度至95°C，反應時間由5分鐘左右縮短到了1分鐘以內，且最終收率在基本保持不變。顯然，該反應在高溫條件下效率更高。

### [案例三] 冷卻方法對光化學反應的影響

嚴謹的康寧科學家從來不會放過那些關鍵的細節。所以，Gauron博士等人接下來對光源的冷卻方式進行了研究（圖3）。

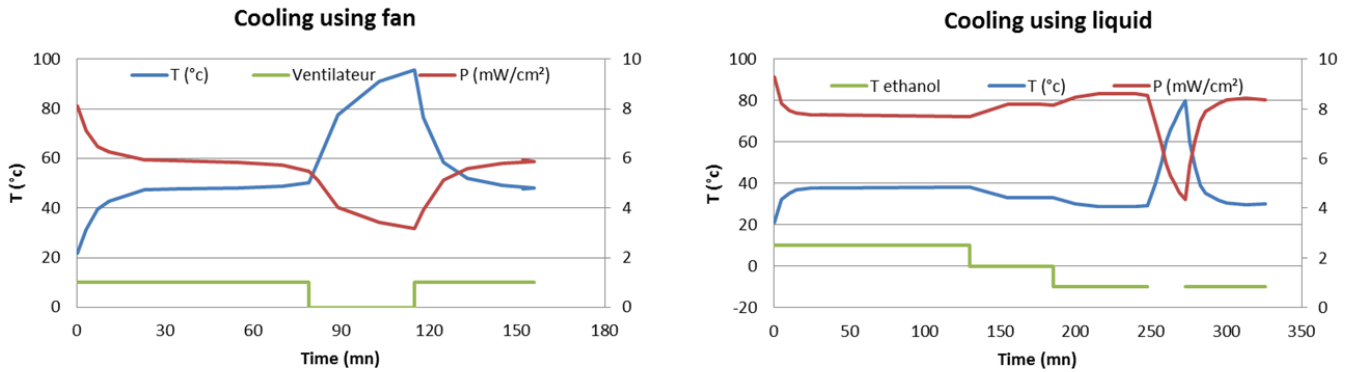


圖3. 風冷LED光源與液冷LED光源穩定性比較

由圖中的曲線可以看出，使用風冷的LED光源相對於使用液冷的LED光源而言，輸出功率更低。當冷卻系統停止工作後，使用風冷的光源與使用液冷的光源相比恢復時間要慢很多。

對於大多數光化學反應而言，光源輸出功率變化會對反應產生影響。當然，有時在研發階段表現可能不是很明顯，但到生產設計階段，這會是一個很重要的設計參數，否則工藝的放大會存在很大的問題。

### [案例四] 波長對光化學反應的影響

傳統的光化學反應器一般使用汞燈，且在進行光化學反應時需要使用濾光器來淨化波長，因為不同的波長會引起相應的副反應生成。

LED光源的優點在於其界限分明的發射光譜，且波長範圍窄，因此，科學家們能更輕易地篩選出反應所需要的最佳波長。如圖4所示，康寧科學家分別在365 nm和405 nm波長下對同一反應進行了實驗。

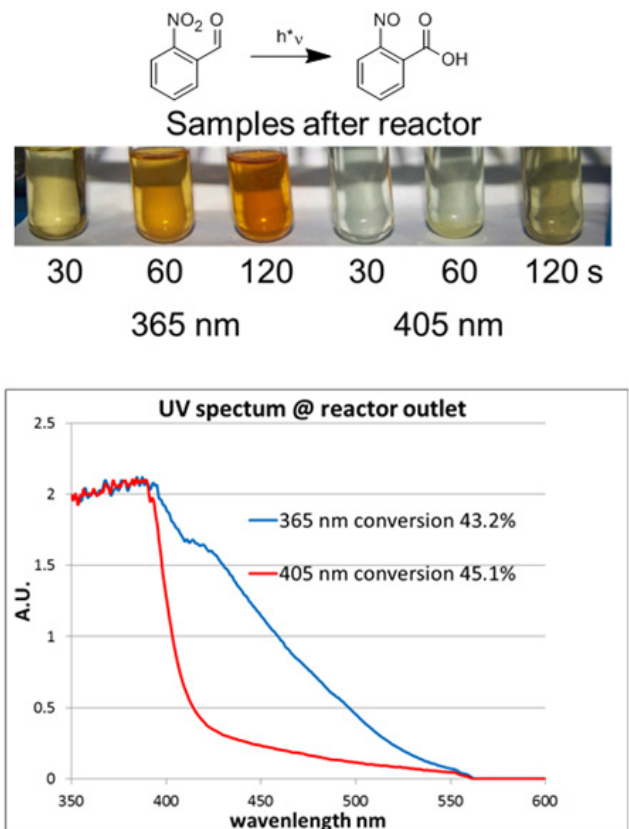


圖4. 產品溶液在不同紫外光下雜質的變化

結果顯示，該反應在兩種波長下轉化率接近，但是在365nm波長下有副反應生成，導致產品溶液顏色加深，而在405nm波長下生成的產物顏色較淺。通過紫外光譜掃描也發現，所得反應混合液在365nm和405nm下的吸光度也有差異，使用365nm所得物料在365nm波長有較大吸收，而420nm下，吸光度比較低。

通過該反應，也可以看出，瞭解反應物吸收光譜非常重要，因為這樣能夠選擇更合適的波長，從而有效抑制副反應的生成。同時，LED光源在提升工藝安全性和降低能耗方面也有著顯著的優勢。

從安全角度而言，與傳統汞燈相比，採用液冷方式的LED光源功率較低，LED光源表面溫度更低，不易引起溶劑起火和燙傷工人；

從能耗角度而言，汞燈的放熱量非常大，LED光源放熱量要低得多，工藝的能耗會低很多。以圖2中香茅醇的氧化為例，每生產1kg產物，流動化學裝置相比釜式而言，少消耗11.4 kWh能耗（表1）。

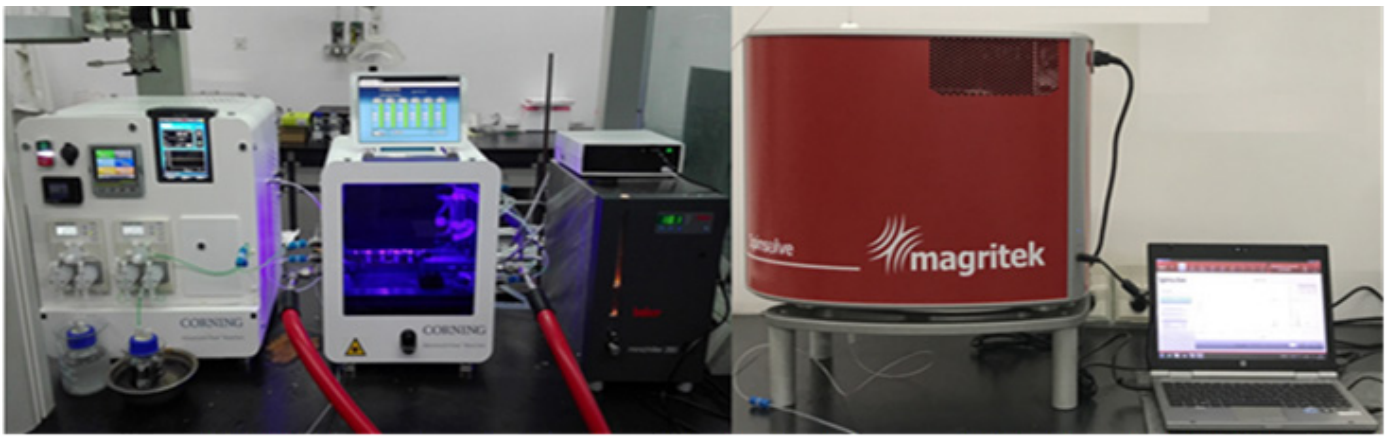
1 kg peroxide	Batch setup	Flow setup
Light energy	10 kWh	3.0 kWh
Cooling energy	9.3 kWh	4.9 kWh

表1.傳統間歇釜式光化學反應器和康寧流動光化學反應器能耗對比

**[小結]** 康寧科學家，通過實驗證明，康寧微通道反應器的卓越質傳與熱傳效率，能對光化學反應起到很好的促進作用；同時，相對於傳統的光源，使用LED光源，可以大大節省能耗、不需要濾光器、方便研技術人員篩選特定波長，且能夠進行放大生產。

康寧高通量微通道光化學反應器（Advanced-Flow® Photo Reactor），擁有透光率高、耐高溫、耐高壓、光強度大、光源純淨，控溫精準、無放大效應等特點，在光化學反應中有獨特的技術優勢和廣泛的應用前景。



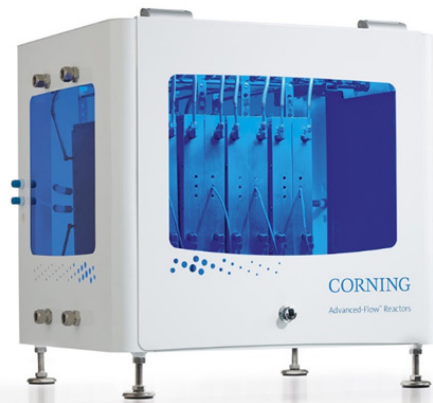


此外，康寧光化學反應器可以與線上NMR結合，對反應工藝參數進行快速篩選，有效地提升新分子的探索和工藝優化的過程。

康寧擁有從實驗室研發到千噸級工業化生產的系列光化學反應器，六種波長可供選擇，穩定的光源確保生產的穩定性，高效的液體冷卻延長LED光源的使用壽命。

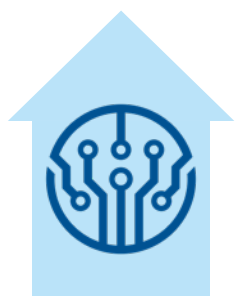
參考文獻：

Chimica Oggi - Chemistry Today  
- vol. 36(3) May/June 2018



## Advanced-Flow® Reactors : Disrupting the Industry, Changing Lives

康寧反應器在具有天然的安全優勢，質傳與熱傳效率相較傳統反應器有百倍到千倍的提升，在許多製程上也有很好的應用案例，歡迎感興趣的客戶電話或郵件諮詢。



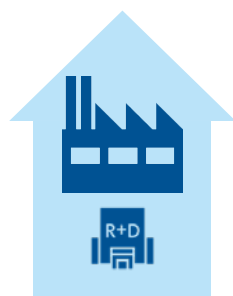
製程強化

- ✓ 質傳效率 ↑ 100X
- ✓ 熱傳效率 ↑ 1000X
- ✓ 達到反應極限而非設備限制



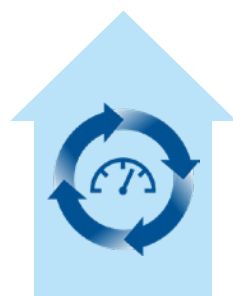
減少佔地

- ✓ 減少反應器佔地 1/1000
- ✓ 實現未來工廠的可能



無縫放大

- ✓ 減少50%時間於工業化放大製程的開發



連續生產

- ✓ 在中國與其他區域已經有整合完成年產萬噸之工廠連續生產中(>500天)



本質安全

- ✓ 各國制定的安全規範引領產業朝向使用更安全有效率的生產技術



進階生物科技股份有限公司  
Level Biotechnology Inc. [www.level.com.tw](http://www.level.com.tw)

台北總公司 (02) 2695-9935  
免付費專線 0800-251-302