

## 綠色化學 12 原則

在「綠色化學的歷史」這篇文章中，我們得知了約翰·華納（John C. Warner）博士與保羅·阿納斯塔斯（Paul Anastas）博士於 1998 年共同出版了綠色化學發展領域最重要且最具開創性的教科書-綠色化學：理論與實踐（Green Chemistry: Theory and Practice）。該書中定義並闡述了「綠色化學」在於以「原子經濟性」為原則，研究如何在產生目的產物的過程中充分利用原料及能源，減少有害物質的釋放；在反應的效率達到最高的同時，損耗亦會降到最少，使得對環境的傷害降到最低，並從源頭到最終產物的過程中減少廢物的產生，最終降低對環境的污染或衝擊。



在訂出了綠色化學實踐的最終願景後，那麼我們又該如何達成這些目標呢？為了實踐上述之各項目標，約翰·華納博士與保羅·阿納斯塔斯博士於書中共同提出了 12 項實施綠色化學的指引原則，這些原則由學術界統稱為綠色化學 12 原則（12 Principles of Green Chemistry）。這些原則雖然眾多，然而背後的本質均為致力減少化學和化學合成對環境的影響，以及降低對健康的潛在負面影響。以下將簡述各項原則之摘要：



### 原則 1：防止廢棄物產生

#### **Prevention**

防止廢棄物的產生，優於廢棄物形成後的處理或清除。

### 原則 2：使反應遵循原子經濟

#### **Atom Economy**

應設計合適的合成方法，以便最大程度地將反應過程中使用的所有原料轉化入最後產品中。

### 原則 3：設計低危害化學合成方法

#### **Less Hazardous Chemical Syntheses**

在可行的情況下，合成方法應朝向使用和產生對人類健康和環境低毒性或無毒性物質之目標進行設計。

### 原則 4：設計更安全的化學產品

#### **Designing Safer Chemicals**

化學產品的設計應在降低毒性的同時保留其功能及效率。

### 原則 5：使用更安全的溶劑及輔助物質

## **Safer Solvents and Auxiliaries**

應盡可能於化學反應中避免使用輔助物質（例如溶劑，分離劑等），並且在必須使用時確保無毒。

## **原則 6：設計更有效率的能源使用方式**

### **Design for Energy Efficient**

應認識到能源需求對環境和經濟的影響，並應將其降至最低；合成方法應儘量保持於與環境相同之溫度和壓力下進行。

## **原則 7：可再生原料的使用**

### **Use of Renewable Feedstocks**

化學製品之原料應可循環再生使用，而不應在技術和經濟上可行的情況下輕易耗盡。

## **原則 8：減少化學衍生物**

### **Reduce Derivatives**

如果可能的話，應盡量減少或避免不必要的化學衍生作用（例如使用保護基團、進行保護/脫保護、對物理/化學過程進行臨時修飾等），因為此類步驟需要額外的試劑，並且可能產生廢棄物。

## **原則 9：催化劑的優先使用**

### **Catalysis**

使用催化試劑（盡可能具有選擇性）優於使用化學計量試劑。

## **原則 10：設計可降解的化學產品**

### **Design for Degradation**

化學產品的設計應使其在功能結束時分解為無害的降解產品，並且不會在環境中持久存在。

## **原則 11：即時分析以防止污染**

### **Real-time analysis for Pollution Prevention**

需要進一步的開發分析方法，以便在有害物質形成之前能夠即時監控。

## **原則 12：選擇化學物質來減少意外事故的發生**

### **Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention**

應選擇化學過程中使用的物質和物質形式，以最大程度地減少發生化學事故（包括洩漏，爆炸和火災）的可能性。



簡單地說，綠色化學是科學家和工程師們在設計化學和化學工程反應方法的另一種思考方式，並提供開發和實施時可以使用的不同原理。而透過綠色化學 12 原則，則可以使科學家和工程師們得以依據這些明確的方向，尋找減少浪費，節約能源和尋找有害物質替代品的創新方法，從而保護經濟、人類和地球，並使之受益。



重要的是，這些綠色化學和工程原理的範圍超出了我們傳統環保觀念中僅僅對化學毒性危害的關注，進而擴大納入了節能、減少廢棄物和化學物質生命週期等考慮因素，例如使用更具永續性或可再生的原料以及設計最終用途等概念。這種創新的概念使綠色化學和工程實踐相較於傳統環保概念，不僅同樣可以使地球更為清潔以及永續發展，更進一步的更可以在經濟上帶給我們更多積極的社會影響，從藥品到家庭用品，綠色化學在不同產業領域的廣泛應用，為地球上的人類通往更美好的世界提供了途徑。

本文轉譯自美國化學學會(American Chemical Society, ACS)網站

1. Green Chemistry, 12 Principles of Green Chemistry

<https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>

2. Green Chemistry Examples

<https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/what-is-green-chemistry/examples.html>

參考文獻

Anastas, P. T.; Warner, J. C. Green Chemistry: Theory and Practice; Oxford, 2000.