

## 智慧城市的永續未來：科技與環境保護的整合

陳夢琨\*

### 摘要

隨著全球城市化進程的加速，城市面臨著能源消耗增加、環境污染加劇和資源短缺等嚴峻挑戰。智慧城市作為一種利用先進科技提升城市管理效率與生活品質的發展模式，被視為解決這些問題的關鍵途徑。本研究探討了智慧城市如何通過整合科技與環境保護策略，實現永續發展的目標。研究背景基於全球城市化趨勢及其對環境的影響，指出智慧城市在應對能源、污染和資源管理挑戰中的潛力。研究目的在於分析智慧科技（如物聯網、人工智慧和數據分析）在環境保護中的具體應用，並評估不同智慧城市模型的優劣與適用性。

本研究採用文獻回顧與案例分析相結合的方法，選取了哥本哈根、新加坡、巴塞隆納以及台灣的台北市和高雄市作為研究對象。通過對這些城市的智慧城市實踐進行深入分析，本研究揭示了智慧科技在資源優化、污染控制、氣候變化適應和社會參與中的重要作用。研究結果表明：智慧科技能夠顯著提高資源使用效率、減少環境污染並增強城市對氣候變化的適應能力。然而，智慧城市的建設也面臨高成本、數據隱私、社會不平等和技術應用的環境影響等挑戰。

基於研究結果，本文提出了一系列政策建議，包括制定全面的政策框架、促進公眾參與、加強數據隱私保護以及推動技術應用的環境評估。這些建議旨在為政策制定者和城市規劃者提供科學依據，以實現智慧城市的永續發展。總之，本研究強調了科技與環境保護的協同作用，並為未來智慧城市的發展提供了多樣化的路徑選擇。

**關鍵詞：**智慧城市、環境保護、物聯網、人工智慧、永續發展

---

\*國立空中大學公共行政學系兼任助理教授，E-mail:aa59571@gmail.com  
本論文經兩位雙向匿名審查通過。收件：2025/6/20。同意刊登：2025/ 7/ 7。

## 壹、前言

### 一、研究背景及目的

#### (一) 研究背景

隨著全球城市化進程的加速，城市已成為人類社會經濟活動的核心。根據聯合國的數據，截至 2020 年，全球約有 56% 的人口居住在城市地區，而這一比例預計到 2050 年將上升至 68% (United Nations, 2018)。這種快速的城市化趨勢雖然促進了經濟增長和社會發展，但也帶來了諸多挑戰，包括能源消耗增加、環境污染加劇、自然資源枯竭以及氣候變化的影響日益顯著。城市地區目前佔全球能源消耗的 70% 以上，並貢獻了超過 75% 的碳排放量 (IEA, 2020)。這些問題不僅威脅到城市的生態環境，也對居民的健康和生活品質產生了深遠的影響。

在這樣的背景下，智慧城市 (Smart Cities) 的概念應運而生。智慧城市通過整合資訊通訊技術 (ICT)、物聯網 (IoT)、人工智慧 (AI) 和大數據分析等先進科技，旨在提升城市管理的效率、優化資源配置並改善居民的生活品質。智慧城市的核心理念是通過數據驅動的決策和智能化基礎設施，實現城市的永續發展。例如，智慧交通系統可以減少交通擁堵和碳排放，智慧能源管理系統可以提高能源使用效率，而智慧水資源管理系統則可以減少水資源浪費。

然而，儘管智慧城市在技術層面展現出巨大的潛力，其實際應用仍面臨諸多挑戰。首先，許多智慧城市項目過於依賴技術解決方案，而忽略了社會公平和環境永續性的重要性。例如，某些智慧城市計劃可能加劇社會不平等，因為低收入群體可能無法享受到高科技帶來的便利 (Vanolo, 2014)。其次，智慧城市的建設和運營需要大量的資金投入，這對許多發展中國家和新興經濟體來說是一個巨大的負擔。此外，智慧科技的生產和使用也可能對環境造成負面影響，例如電子廢棄物的增加和能源消耗的上升。

因此，如何在智慧城市的發展中實現科技與環境保護的平衡，成為一個亟待解決的問題。近年來，學術界和實踐領域開始關注「永續智慧城市」

(Sustainable Smart Cities) 的概念，強調在利用科技提升城市效率的同時，必須將環境保護和社會公平納入核心目標。這一理念不僅要求城市管理者採用先進科技，還需要他們制定全面的政策框架，確保科技應用能夠真正促進城市的永續發展。

#### (二) 研究目的

本研究的主要目的是探討智慧城市如何通過整合科技與環境保護策略，實現永續發展的目標。具體而言，本研究旨在回答以下問題：

1. 智慧科技（如物聯網、人工智慧和大數據分析）如何幫助城市應對環境挑戰，例如能源消耗、廢棄物管理和空氣污染？
2. 在智慧城市的建設和運營過程中，如何平衡科技應用與環境保護的需求？

3. 現有的智慧城市案例中，有哪些成功的經驗和失敗的教訓可以為未來的城市規劃提供借鑒？

4. 政策制定者和城市規劃者應如何設計和實施智慧城市計劃，以確保其對環境和社會的正面影響最大化？

為回答這些問題，本研究將結合文獻回顧和案例分析的方法，深入探討智慧科技在環境保護中的應用潛力及其局限性。通過對哥本哈根、新加坡、巴塞隆納、台北、高雄等城市的案例研究，本文將展示智慧科技如何在不同領域（如能源管理、廢棄物處理和水資源管理）中發揮作用，並提出具體的政策建議，以指導未來智慧城市的發展。

此外，本研究還希望填補現有文獻中的一些空白。儘管關於智慧城市和永續發展的研究已經相當豐富，但大多數文獻往往將這兩者分開討論，缺乏對其整合潛力的深入探討。本文試圖通過系統性的分析，揭示科技與環境保護之間的協同作用，並為學術界和實踐領域提供新的研究方向和實踐指南。

總之，本研究不僅具有重要的理論意義，也具有廣泛的實踐價值。在城市化進程不可逆轉的背景下，智慧城市的發展將對全球環境和社會產生深遠影響。通過探索科技與環境保護的整合路徑，本研究希望為實現城市的永續未來提供科學依據和政策建議。

## 貳、文獻探討

本研究的文獻探討，內容涵蓋智慧城市的概念、環境挑戰、科技的角色以及相關批評與限制，茲分述如下：

### 一、智慧城市的概念與發展

智慧城市的概念起源於 21 世紀初，隨著資訊通信技術（ICT）的快速發展而逐漸成形。早期對智慧城市的定義主要集中在利用 ICT 提升城市基礎設施和服務的效率。例如，Harrison 等人（2010）將智慧城市定義為“通過整合物理、數位和社會系統來優化城市運作和服務的城市”。這一階段的研究主要關注技術層面的創新，如智能交通系統、智能電網和電子政務等。

隨著時間的推移，智慧城市的概念逐漸擴展，開始涵蓋更廣泛的社會和環境目標。Batty 等人（2012）指出，智慧城市不僅是技術驅動的城市發展模式，更是一種通過數據驅動決策來提升城市永續性和居民福祉的綜合性策略。這一觀點強調了智慧城市在應對城市化挑戰中的潛力，例如資源短缺、環境污染和社會不平等。

近年來，學術界和實務界開始將永續性作為智慧城市的核心理念之一。例如，歐洲智慧城市和社區創新夥伴計劃（European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities）提出，智慧城市應通過整合科技、社會創新和環境保護來實現經濟、社會和環境的永續發展（European Commission, 2020）。這一趨勢反映了智慧城市從單純的技術應用向綜合性城市發展策略的轉變。

## 二、城市環境挑戰的現狀與影響

城市化進程的加速對全球環境產生了深遠的影響。根據國際能源署（IEA）的數據，城市地區佔全球能源消耗的 70% 以上，並貢獻了超過 75% 的碳排放量（IEA, 2020）。這種高強度的資源消耗和污染排放對城市的生態環境和居民健康構成了嚴重威脅。

具體而言，城市環境挑戰主要體現在以下幾個方面：

1. 能源消耗與碳排放：城市地區的能源需求持續增長，尤其是交通、建築和工業部門的能源消耗佔據了主要部分。這導致了大量的溫室氣體排放，加劇了全球氣候變化的影響。
2. 空氣與水污染：工業活動、交通運輸和家庭能源使用是城市空氣污染的主要來源。此外，城市水資源管理不善也導致了水污染和水資源短缺的問題。
3. 廢棄物管理：隨著城市人口的增加，廢棄物生成量也急劇上升。許多城市面臨廢棄物處理設施不足和廢棄物分類不完善的問題，導致環境污染和資源浪費。
4. 城市熱島效應：城市地區由於建築密集和綠地減少，往往比周邊地區溫度更高，這不僅影響居民的生活品質，還增加了能源消耗（例如空調使用）。

這些環境挑戰不僅威脅到城市的生態系統，也對居民的健康和經濟發展產生了負面影響。例如，空氣污染已被證實與呼吸系統疾病和心血管疾病的發病率上升有關（World Health Organization, 2018）。因此，如何有效應對這些挑戰成為城市管理者和研究者的重要課題。

## 三、科技在環境保護中的角色與應用

近年來，科技被廣泛認為是解決城市環境挑戰的關鍵工具。特別是物聯網（IoT）、人工智慧（AI）和大數據分析等技術，為城市環境管理提供了新的可能性。

### （一）物聯網（IoT）的應用

物聯網技術通過連接各種感測器和設備，實現了對城市環境的實時監測和數據收集。例如，空氣品質感測器可以實時監測城市中的污染物濃度，並將數據傳輸到中央管理系統進行分析。這種實時數據不僅有助於及時發現環境問題，還可以為政策制定提供科學依據。此外，物聯網技術還被應用於智能電網、智能交通和智能水資源管理等領域，顯著提高了資源使用效率（Kumar et al., 2021）。

### （二）人工智慧（AI）的應用

人工智慧技術通過機器學習和數據分析，能夠從大量數據中提取有價值的資訊，並用於預測和優化城市環境管理。例如，AI 算法可以預測城市中的能源需求，從而優化能源分配並減少浪費。此外，AI 還被用於預測空氣污染趨勢、優化廢棄物收集路線和檢測水資源洩漏等（Bibri, 2018）。這些應用不僅提高了城

市管理的效率，還降低了環境影響。

### (三) 大數據分析的應用

大數據分析技術通過處理和分析大量城市數據，為環境管理提供了新的洞察。例如，通過分析交通流量數據，城市管理者可以優化交通信號系統，減少交通擁堵和排放。此外，大數據分析還被用於預測氣候變化對城市的影響，並制定相應的適應策略（Batty, 2013）。

## 四、智慧城市計劃的批評與限制

儘管智慧城市在技術層面展現出巨大的潛力，但其實際應用仍面臨諸多挑戰和批評。

### (一) 高成本與資金限制

智慧城市的建設和運營需要大量的資金投入，包括基礎設施建設、技術研發和人才培養等。這對許多發展中國家和新興經濟體來說是一個巨大的負擔（Angelidou, 2015）。此外，智慧城市項目的長期維護成本也往往被低估，這可能導致項目在實施過程中面臨資金短缺的問題。

### (二) 數據隱私與安全問題

智慧城市依賴於大量的數據收集和分析，這引發了對數據隱私和安全的擔憂。例如，市民的行為數據可能被用於商業目的或政府監控，這侵犯了個人隱私（Kitchin, 2014）。此外，智慧城市系統也可能成為網絡攻擊的目標，導致數據洩露或系統癱瘓。

### (三) 社會不平等與數字鴻溝

智慧城市計劃可能加劇社會不平等，因為低收入群體可能無法享受到高科技帶來的便利。例如，智能交通系統可能主要服務於高收入地區，而低收入地區的交通設施則得不到改善（Vanolo, 2014）。此外，數字鴻溝問題也可能導致部分市民無法參與智慧城市的建設和運營。

### (四) 環境影響的忽視

儘管智慧城市旨在促進環境保護，但其技術應用本身也可能對環境造成負面影響。例如，生產和處理電子設備會產生大量的電子廢棄物，而數據中心的運營則消耗大量的能源（Hollands, 2015）。因此，在智慧城市的建設過程中，必須考慮技術應用的全生命周期環境影響。

## 五、小結

智慧城市的概念從最初的技術驅動模式逐漸發展為一種綜合性的城市發展策略，強調科技、社會和環境的協同發展。然而，其實際應用仍面臨高成本、數據隱私、社會不平等和環境影響等挑戰。未來的研究和實踐需要進一步探索如何平衡科技應用與環境保護的需求，以實現真正的永續智慧城市。

## 參、案例研究：科技與環境保護的整合

### 一、丹麥案例：哥本哈根碳中和城市的典範

哥本哈根被譽為全球最永續的城市之一，其目標是在 2025 年成為世界上第一個碳中和首都。這一目標的實現依賴於多項智慧科技與環境保護策略的整合。

#### (一) 智慧能源管理

哥本哈根通過建立智慧電網，整合了風能、太陽能和其他可再生能源，大幅減少了對化石燃料的依賴。城市中的建築物配備了智能能源管理系統，能夠實時監測和調整能源使用，從而降低能源消耗。例如，哥本哈根大學的宿舍通過智能供暖系統，每年節省了約 20% 的能源（European Commission, 2020）。

#### (二) 智能交通系統

哥本哈根的智能交通系統通過物聯網感測器和數據分析，優化了公共交通路線和信號控制，減少了交通擁堵和碳排放。此外，城市大力推廣自行車出行，建立了完善的自行車道網絡和智能停車系統，使自行車成為市民主要的交通工具之一。目前，哥本哈根超過 60% 的市民每天騎自行車上班或上學（City of Copenhagen, 2021）。

#### (三) 成效與啟示

哥本哈根的成功在於其將科技應用與永續目標緊密結合，並通過政策支持和市民參與實現了廣泛的社會共識。這一案例表明，智慧城市的建設不僅需要技術創新，還需要全面的政策框架和公眾支持。

### 二、新加坡案例：新加坡智慧廢棄物管理的先驅

新加坡作為一個資源有限的城市國家，長期以來一直致力於通過科技解決環境問題。其智慧廢棄物管理系統是智慧城市建設中的一個亮點。

#### (一) 智能廢棄物收集系統

新加坡在全國範圍內部署了物聯網感測器，用於監測垃圾桶和廢棄物處理設施的填充水平。這些數據被實時傳輸到中央管理系統，系統通過算法優化廢棄物收集路線，從而減少車輛的燃料消耗和碳排放。此外，新加坡還利用人工智慧預測廢棄物生成模式，進一步提高了資源分配的效率（World Economic Forum, 2021）。

#### (二) 廢棄物轉化能源技術

新加坡積極推動廢棄物轉化能源（Waste-to-Energy）技術，將不可回收的廢棄物轉化為電能和熱能。目前，新加坡的廢棄物轉化能源設施能夠處理全國約 40% 的廢棄物，並提供約 3% 的電力需求（National Environment Agency, 2020）。這不僅減少了廢棄物填埋的需求，還降低了對化石燃料的依賴。

#### (三) 成效與啟示

新加坡的智慧廢棄物管理系統展示了科技在資源優化和環境保護中的巨大潛力。其成功經驗在於政府的主導作用、技術的創新應用以及公眾的積極參與。

### 三、西班牙案例：巴塞隆納智慧水資源管理的典範

巴塞隆納通過智慧科技解決了長期以來的水資源管理問題，成為全球智慧水資源管理的典範。

#### (一) 智能水資源監測系統

巴塞隆納在全市範圍內部署了物聯網感測器，用於監測水資源的使用情況和檢測供水管網中的洩漏。這些感測器能夠實時傳輸數據，使城市管理者能夠迅速發現並修復洩漏問題。自系統實施以來，巴塞隆納的水資源浪費減少了25%（Bakici et al., 2013）。

#### (三) 水資源需求預測

巴塞隆納還利用人工智慧技術預測水資源需求，特別是在乾旱季節。通過分析歷史數據和天氣預報，系統能夠提前調整水資源分配，確保供水穩定。這一技術不僅提高了水資源的使用效率，還增強了城市對氣候變化的適應能力。

#### (四) 成效與啟示

巴塞隆納的案例表明，智慧科技在水資源管理中的應用可以顯著提高資源使用效率並減少環境影響。其成功經驗在於技術的創新應用和政府的長期規劃。

### 四、台灣案例：台北市與高雄市的智慧城市實踐

台灣在智慧城市建設方面也取得了顯著進展，其中台北市和高雄市的實踐尤為突出。

#### (一) 台北市：智慧建築與能源管理

台北市通過智慧建築技術，大幅降低了能源消耗和碳排放。例如，台北 101 大樓配備了智能能源管理系統，能夠實時監測和調整照明、空調和電梯的能源使用。此外，台北市還推動了太陽能發電和綠色建築認證計劃，鼓勵建築物採用永續設計（Taipei City Government, 2021）。

#### (二) 高雄市：智能交通與空氣品質監測\*\*

高雄市通過智能交通系統減少了交通擁堵和空氣污染。城市中的交通信號燈配備了物聯網感測器，能夠根據實時交通流量調整信號時間，從而減少車輛的怠速時間和排放。此外，高雄市還建立了空氣品質監測網絡，通過大數據分析預測空氣污染趨勢，並採取相應的應對措施（Kaohsiung City Government, 2020）。

#### (三) 成效與啟示

台北市和高雄市的案例展示了台灣在智慧城市建設中的創新能力和實踐成果。其成功經驗在於政府的政策支持、技術的本地化應用以及公眾的積極參與。

## 五、小結與啟示

通過對哥本哈根、新加坡、巴塞隆納以及台灣的台北市和高雄市的案例分析，可以得出以下結論：

1. 科技與環境保護的整合是智慧城市成功的關鍵：這些城市通過物聯網、人工智慧和大數據分析等技術，顯著提高了資源使用效率並減少了環境影響。
2. 政策支持與公眾參與至關重要：智慧城市的建設需要政府的長期規劃和公眾的積極參與，以確保技術應用的廣泛性和永續性。
3. 本地化應用與創新是成功的基礎：每個城市都根據自身的環境和社會條件，開發了適合本地需求的智慧解決方案。

這些案例為全球其他城市的智慧城市建設提供了寶貴的經驗和啟示。未來的研究和實踐應進一步探索如何在不同環境和社會背景下，實現科技與環境保護的有效整合。

## 肆、討論與分析

智慧城市的發展在全球範圍內展現出巨大的潛力，通過整合科技與環境保護策略，許多城市已經在資源優化、污染減少和生活品質提升方面取得了顯著成效。然而，智慧城市的建設也面臨諸多挑戰，包括高成本、數據隱私、社會不平等和技術應用的環境影響等。本章將結合案例研究，深入探討科技與環境保護的協同作用，分析不同智慧城市模型的優劣，並提出政策建議。

### 一、科技與永續性的協同作用

智慧科技在環境保護中的應用已經在多個領域展現出顯著的成效。通過物聯網（IoT）、人工智慧（AI）和大數據分析等技術，城市能夠實現資源的高效管理和環境問題的主動應對。

#### （一）資源優化與效率提升

物聯網技術通過實時數據收集和監測，使城市管理者能夠精確掌握資源使用情況。例如，哥本哈根的智慧電網和巴塞隆納的智能水資源管理系統都通過實時數據分析，顯著提高了能源和水資源的使用效率。這種資源優化不僅減少了浪費，還降低了對環境的負面影響。

#### （二）污染控制與環境監測

人工智慧和大數據分析技術在污染控制和環境監測中發揮了重要作用。例如，高雄市的空氣品質監測網絡通過大數據分析預測污染趨勢，並採取相應的應對措施。這種主動式環境管理有助於減少污染對居民健康和生態系統的影響。

#### （三）氣候變化適應與韌性提升

智慧科技還能夠增強城市對氣候變化的適應能力。例如，巴塞隆納通過人工智慧預測水資源需求，確保在乾旱季節的供水穩定。這種技術應用不僅提高了城市的資源管理能力，還增強了其對極端氣候事件的韌性。

#### (四) 社會參與與行為改變

智慧城市的建設還促進了公眾參與和行為改變。例如，哥本哈根的智能交通系統和自行車道網絡鼓勵市民選擇綠色出行方式，從而減少了碳排放。這種社會參與不僅增強了市民的環境意識，還為智慧城市的永續發展提供了社會基礎。

### 二、不同智慧城市模型的比較分析

全球範圍內的智慧城市實踐可以分為幾種主要模型，每種模型都有其獨特的優勢和局限性。以下是對幾種常見智慧城市模型的比較分析：

#### (一) 技術驅動模型

技術驅動模型強調通過先進科技解決城市問題，例如新加坡的智慧廢棄物管理系統和台北市的智慧建築技術。這種模型的優勢在於其高效性和創新性，能夠迅速實現資源優化和環境保護目標。然而，技術驅動模型也可能面臨高成本和社會不平等等問題，因為其往往依賴於大量的資金投入和技術專長。

#### (二) 政策驅動模型

政策驅動模型強調政府的主導作用和政策支持，例如哥本哈根的碳中和計劃和高雄市的智能交通系統。這種模型的優勢在於其能夠通過政策框架實現廣泛的社會共識和長期規劃。然而，政策驅動模型也可能面臨執行力不足和公眾參與度低的問題，因為其往往依賴於政府的行政能力和公眾的支持。

#### (三) 社會驅動模型

社會驅動模型強調公眾參與和社會創新，例如巴塞隆納的智慧水資源管理系統和哥本哈根的自行車出行計劃。這種模型的優勢在於其能夠通過社會參與實現行為改變和環境意識提升。然而，社會驅動模型也可能面臨技術應用不足和資源分配不均的問題，因為其往往依賴於公眾的主動性和社會資本。

#### (四) 綜合驅動模型

綜合驅動模型結合了技術、政策和社會的多元驅動力，例如台灣的城市實踐。這種模型的優勢在於其能夠通過多元驅動力實現全面的城市發展目標。然而，綜合驅動模型也可能面臨協調難度高和資源需求大的問題，因為其需要平衡不同驅動力之間的關係並整合多方面的資源。

#### (五) 比較分析的啟示

不同智慧城市模型的比較分析表明，沒有一種模型能夠適用於所有城市。每個城市都應根據自身的環境、社會和經濟條件，選擇適合的智慧城市模型。例如，技術先進的城市可以選擇技術驅動模型，而社會資本豐富的城市可以選擇社會驅動模型。此外，綜合驅動模型為城市提供了一種多元化的發展路徑，但其成功實施需要強大的協調能力和資源整合能力。

### 三、挑戰與障礙

儘管智慧城市在環境保護中展現出巨大的潛力，但其建設和運營仍面臨諸

多挑戰。

#### (一) 高成本與資金限制

智慧城市的建設需要大量的資金投入，包括基礎設施建設、技術研發和人才培養等。這對許多發展中國家和新興經濟體來說是一個巨大的負擔。此外，智慧城市項目的長期維護成本也往往被低估，這可能導致項目在實施過程中面臨資金短缺的問題。

#### (二) 數據隱私與安全問題

智慧城市依賴於大量的數據收集和分析，這引發了對數據隱私和安全的擔憂。例如，市民的行為數據可能被用於商業目的或政府監控，這侵犯了個人隱私。此外，智慧城市系統也可能成為網絡攻擊的目標，導致數據洩露或系統癱瘓。

#### (三) 社會不平等與數字鴻溝

智慧城市計劃可能加劇社會不平等，因為低收入群體可能無法享受到高科技帶來的便利。例如，智能交通系統可能主要服務於高收入地區，而低收入地區的交通設施則得不到改善。此外，數字鴻溝問題也可能導致部分市民無法參與智慧城市的建設和運營。

#### (四) 環境影響的忽視

儘管智慧城市旨在促進環境保護，但其技術應用本身也可能對環境造成負面影響。例如，生產和處理電子設備會產生大量的電子廢棄物，而數據中心的運營則消耗大量的能源。因此，在智慧城市的建設過程中，必須考慮技術應用的全生命周期環境影響。

### 四、政策建議

為實現智慧城市的永續發展，政策制定者和城市規劃者應採取以下措施：

#### (一) 制定全面的政策框架

政府應制定全面的政策框架，將科技應用與環境保護目標相結合。例如，可以通過立法要求新建築物配備智能能源管理系統，或通過稅收優惠鼓勵企業採用綠色技術。

#### (二) 促進公眾參與與社會創新

智慧城市的建設需要公眾的積極參與和社會創新。例如，可以通過社區活動和教育計劃提升市民的環境意識，或通過社會企業推動綠色技術的應用。

#### (三) 加強數據隱私與安全保護

政府應建立嚴格的數據隱私和安全保護機制，確保市民的個人數據不被濫用。例如，可以通過立法要求企業和政府機構在數據收集和使用過程中遵循透明和問責的原則。

#### (四) 推動技術應用的環境評估

在智慧城市的建設過程中，應對技術應用進行全生命周期的環境評估，以減少其對環境的負面影響。例如，可以通過綠色採購政策鼓勵企業生產和銷售

環保型電子設備。

#### (四)小結

智慧城市的發展為解決城市環境挑戰提供了新的可能性，但其成功實施需要平衡科技應用與環境保護的需求。通過比較分析不同智慧城市模型，本文揭示了每種模型的優勢和局限性，並為政策制定者提供了具體的建議。未來的研究和實踐應進一步探索如何在不同環境和社會背景下，實現科技與環境保護的有效整合，以推動智慧城市的永續發展。

### 伍、結論

智慧城市的發展為全球城市化進程中的環境挑戰提供了創新的解決方案。通過整合物聯網（IoT）、人工智慧（AI）、大數據分析等先進科技，城市能夠實現資源的高效管理、污染的有效控制以及居民生活品質的顯著提升。本文通過對哥本哈根、新加坡、巴塞隆納以及台灣的台北市和高雄市的案例分析，揭示了智慧科技在環境保護中的巨大潛力，並探討了不同智慧城市模型的優劣與適用性。

首先，智慧科技在資源優化與效率提升方面展現了顯著的成效。例如，哥本哈根的智慧電網和巴塞隆納的智能水資源管理系統通過實時數據監測與分析，大幅降低了能源和水資源的浪費。這些技術應用不僅提高了城市的資源使用效率，還為環境保護提供了科學依據。此外，人工智慧和大數據分析技術在污染控制與環境監測中的應用，進一步增強了城市對環境問題的主動應對能力。例如，高雄市的空氣品質監測網絡通過預測污染趨勢，幫助城市管理者制定及時的應對措施，從而減少了污染對居民健康和生態系統的影響。

其次，本文通過比較分析不同智慧城市模型，揭示了每種模型的獨特優勢與局限性。技術驅動模型（如新加坡）強調科技創新與高效性，但可能面臨高成本與社會不平等問題；政策驅動模型（如哥本哈根）依賴政府的長期規劃與政策支持，但需要強大的執行力與公眾參與；社會驅動模型（如巴塞隆納）注重公眾參與與行為改變，但可能缺乏技術應用的深度與廣度；而綜合驅動模型（如台灣）則通過多元驅動力實現全面的城市發展目標，但其成功實施需要強大的協調能力與資源整合能力。這些比較分析為不同城市提供了多樣化的發展路徑，並強調了因地制宜的重要性。

然而，智慧城市的建設與運營仍面臨諸多挑戰。高成本與資金限制是許多城市，特別是發展中國家和新興經濟體，難以大規模推廣智慧城市計劃的主要障礙。數據隱私與安全問題也引發了廣泛關注，如何在數據收集與使用過程中保護市民的隱私權成為一個亟待解決的問題。此外，智慧城市計劃可能加劇社會不平等與數字鴻溝，低收入群體往往無法享受到高科技帶來的便利。最後，技術應用本身的環境影響，如電子廢棄物的增加與能源消耗的上升，也需要被納入智慧城市建設的全生命周期評估中。

為應對這些挑戰，本文提出了一系列政策建議。首先，政府應制定全面的

政策框架，將科技應用與環境保護目標相結合，並通過立法與稅收優惠推動綠色技術的普及。其次，促進公眾參與與社會創新是實現智慧城市永續發展的關鍵，政府應通過教育計劃與社區活動提升市民的環境意識。此外，加強數據隱私與安全保護機制，確保市民的個人數據不被濫用，是贏得公眾信任的基礎。最後，推動技術應用的環境評估，減少其對環境的負面影響，是實現智慧城市真正永續發展的必要條件。

總之，智慧城市的發展為解決城市化進程中的環境挑戰提供了新的可能性，但其成功實施需要平衡科技應用與環境保護的需求。通過科技創新、政策支持與社會參與的協同作用，城市能夠實現資源的高效管理、污染的有效控制以及居民生活品質的顯著提升。未來的研究與實踐應進一步探索如何在不同環境與社會背景下，實現科技與環境保護的有效整合，以推動智慧城市的永續發展，為全球城市化進程中的環境挑戰提供創新的解決方案。

## 參考文獻

- 世界經濟論壇 (2021)。新加坡如何利用人工智慧應對廢棄物管理。世界經濟論壇。
- 歐盟委員會 (2020)。哥本哈根：智慧城市案例研究。歐盟委員會。
- 聯合國 (2018)。世界城市化展望。聯合國。
- Angelidou, M. (2015). Smart cities: A conjuncture of four forces. *Cities*, 47, 95-106.
- Bakici, T., Almirall, E., & Wareham, J. (2013). A smart city initiative: The case of Barcelona. *Journal of the Knowledge Economy*, 4(2), 135-148.
- Batty, M., et al. (2012). Smart cities of the future. *European Physical Journal Special Topics*, 214(1), 481-518.
- Batty, M. (2013). Big data, smart cities and city planning. *Dialogues in Human Geography*, 3(3), 274-279.
- Bibri, S. E. (2018). The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability. *Sustainable Cities and Society*, (38), 230-253.
- City of Copenhagen (2021). Copenhagen Climate Plan. City of Copenhagen.
- European Commission (2020). Copenhagen: A smart city case study. European Commission
- European Commission (2020). European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities. European Commission.
- Harrison, C., et al. (2010). Foundations for smarter cities. *IBM Journal of Research and Development*, 54(4), 1-16.
- Hollands, R. G. (2015). Critical interventions into the corporate smart city.

- Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8(1), 61-77.
- International Energy Agency (IEA) (2020). Energy Efficiency 2020. IEA.
- Kaohsiung City Government (2020). Kaohsiung Smart City White Paper. Kaohsiung City Government
- Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1), 1-14.
- Kumar, S., et al. (2021). IoT-based smart cities: A review of recent advancements and challenges. *Sustainable Cities and Society*, (72), 103036.
- National Environment Agency (2020). Waste-to-Energy in Singapore. National Environment Agency.
- Taipei City Government (2021). Taipei Smart City Project. Taipei City Government.
- Vanolo, A. (2014). Smartmentality: The smart city as disciplinary strategy. *Urban Studies*, 51(5), 883-898.
- United Nations (2018). World Urbanization Prospects. United Nations.
- World Health Organization (2018). Ambient air pollution: Health impacts. World Health Organization
- World Economic Forum (2021). How Singapore is using AI to tackle waste management. World Economic Forum.

## **A Sustainable Future for Smart Cities: Integrating Technology and Environmental Protection**

Meng-Kwen Chen\*

### **Abstract**

With the acceleration of global urbanization, cities are facing severe challenges such as increased energy consumption, intensified environmental pollution, and resource shortages. Smart cities, as a development model that utilizes advanced technologies to enhance urban management efficiency and quality of life, are regarded as a key solution to these problems. This study explores how smart cities can achieve sustainable development goals by integrating technology and environmental protection

---

\*Adjunct Assistant Professor, Department of Public Administration, National Open University. Email: [aa59571@gmail.com](mailto:aa59571@gmail.com)

The paper was published under two double-blind reviews.

Received: June 20, 2025. Accepted: July 7, 2025.

strategies. The research background is based on global urbanization trends and their environmental impacts, highlighting the potential of smart cities in addressing challenges related to energy, pollution, and resource management. The research aims to analyze the specific applications of smart technologies (such as the Internet of Things, artificial intelligence, and big data analytics) in environmental protection and evaluate the strengths and weaknesses of different smart city models.

This study adopts a combined approach of literature review and case analysis, selecting Copenhagen, Singapore, Barcelona, as well as Taipei and Kaohsiung in Taiwan as research subjects. Through an in-depth analysis of smart city practices in these cities, the study reveals the significant role of smart technologies in resource optimization, pollution control, climate change adaptation, and social engagement. The findings indicate that smart technologies can significantly improve resource efficiency, reduce environmental pollution, and enhance cities' resilience to climate change. However, the construction of smart cities also faces challenges such as high costs, data privacy concerns, social inequality, and the environmental impact of technology applications.

Based on the research results, this paper proposes a series of policy recommendations, including the development of comprehensive policy frameworks, promotion of public participation, strengthening of data privacy protection, and environmental assessment of technology applications. These recommendations aim to provide scientific evidence for policymakers and urban planners to achieve the sustainable development of smart cities. In conclusion, this study emphasizes the synergy between technology and environmental protection and offers diverse pathways for the future development of smart cities.

**Keywords:** Smart Cities, Environmental Protection, Internet of Things, Artificial Intelligence, Sustainable Development