



E-PAPER

人工智能 與氣候變化

人工智能與氣候變化目標
結合的機遇、考慮及政策

Lynn H. Kaack, Priya L. Donti,
Emma Strubell, David Rolnick

 **HEINRICH BÖLL STIFTUNG**
HONG KONG
Asia | Global Dialogue

作者簡介

Lynn H. Kaack 蘇黎世聯邦理工學院 (ETH Zürich) 能源政治組的博士後研究員及講師、Climate Change AI 理事、奧地利機械人及人工智能委員會成員。她的研究採用統計及機器學習方法，為能源界就緩解氣候政策提供資訊。Kaack 博士擁有卡內基梅隆大學工程和公共政策博士學位，及機器學習碩士學位。

Priya L. Donti 卡內基梅隆大學 (Carnegie Mellon University) 計算機科學與公共政策博士研究生、Climate Change AI 理事、美國能源部計算科學研究學人。她的研究處於機器學習、電力系統，和減緩氣候變化的交叉領域，探索如何將領域知識（例如電力系統物理）納入機器學習模型。

Emma Strubell 卡內基梅隆大學語言技術研究所助理教授。她在「綠色人工智能」方面的研究，位於自然語言理解和機器學習的交叉領域，獲頂級機構的最佳論文獎，曾被《紐約時報》與《華爾街日報》等新聞媒體引述。

David Rolnick 麥吉爾大學 (McGill University) 計算機科學學院及米拉魁北克人工智能研究所 (Mila Quebec AI Institute) 助理教授、Climate Change AI 理事、Sustainability in the Digital Age 科學聯席總監。Rolnick 博士曾任 NSF 數學科學博士後研究員、NSF 研究生研究員、Fulbright 學人，獲麻省理工大學應用數學博士學位。

目錄

前言	4
摘要	5
1. 甚麼是人工智能？	5
2. 人工智能與氣候變化	6
緩解及適應氣候變化的AI應用	6
增加排放或帶來不確定影響的AI應用	10
AI的能源運用	11
3. 槓桿型政策工具	11
4. 政策相關的考慮	12
5. 結論	13
推薦書目	14
參考資料	15

前言

如何使用數碼科技，實現可持續經濟轉型，已成為歐洲與德國政策討論的焦點。

近年機器學習的技術突破，提升了大家的期望，寄望人工智能（AI）可幫助人類邁向實現聯合國可持續發展的目標。另一方面，視乎應用類型及配置環境，也有論者擔心AI或AI驅動的技術，可成為另一股消耗環球資源及碳排放的推動因素。

實際的後果，受到多重因素的塑造和影響。例如用於衛星圖像分析的遙距感應算法，可用於收集農業生產力資訊、預測建築物的能源消耗，但也可用於加速石油與天然氣勘探。自動駕駛汽車可以提高駕駛效率，但也可能進一步增加人類的駕駛活動。

本報告的幾位作者，是北美和歐洲在機器學習和政策範疇具領導地位研究機構的專家，致力辨識和促進有利氣候變化的機器學習技術應用，並對可能損害地球環境的技術提出警告。本報告概述了AI應用的具體好處，包括為氣候建立模型、電池開發、電力網絡，和食品安全等領域，並探討AI可能透過甚麼途徑，在應付氣候變化的工作上產生負面影響。

幾位作者避免將科技吹捧為解決困擾地球各項問題的靈丹妙藥，提醒當我們迎向可持續的未來，AI的角色，最終將取決於人類的抉擇。使用AI是否可以減少——而不是增加——資源的消耗與排放，將取決於明智的政策、監管框架，和鼓勵誘因。

我們感謝幾位作者——Priya Donti、Lynn Kaack、David Rolnick 和 Emma Strubell——讓我們了解他們各個領域的最新發展，就如何評估這些技術對環境和廣泛社會的影響，提供了寶貴見解。我們希望這份報告有助建立共同基準去評估現有政策，並作為起步點，促進各界就未來的政策選項，進行知情的討論。

Vérane Meyer

數碼政策部門主管

Heinrich-Böll-Stiftung，柏林

Sabine Muscat

科技及數碼政策計劃主管

Heinrich-Böll-Stiftung，華盛頓

Zora Siebert

歐盟政策計劃主管

Heinrich-Böll-Stiftung，布魯塞爾

摘要

隨著人工智能 (AI) 技術在社會的配置日漸普及，了解AI可如何加快或阻延氣候變化、各方持份者能夠如何引導相關發展，已成為重要課題。一方面，AI能促進氣候變化的緩解及適應策略，遍及能源、製造、農業、林業，及災害管理等界別。但與此同時，AI應用可能惠及高排放行業、推動消費者需求，而AI應用本身也會消耗能源，進一步增加溫室氣體的排放。我們在此概述AI與氣候變化之間的多重關係，並推薦槓桿型政策工具，將AI結合到氣候變化的緩解及適應途徑上。

1. 甚麼是人工智能？

人工智能 (AI) 是指任何讓電腦去執行複雜任務的演算法。近年，機器學習 (ML) 作為人工智能的子領域，即從數據中提取特徵和規律的技術，取得可觀進展。顯著成功的AI領域，包括電腦視覺（解釋影像的內容）、自然語言處理（詞語和文字的語法剖析）、時間序列分析（例如預測未來情況），以及系統控制（操作複雜系統）。目前市面上已出現許多具備上述功能、開箱即用的AI工具。AI研究的前沿領域，不少屬於交叉課題，例如可解釋性 interpretability（解釋預測正確的原因）、量化不確定性 uncertainty quantification（校準預測事件的置信度 confidence），以及小樣本學習 few-shot learning（在可用數據很少時獲取分析結果）。

AI方法現已廣泛應用，例如協助醫生標記醫學影像、檢測自動駕駛汽車的障礙物，以及預測消費模式並投放廣告。一如其他工程及科學的基本工具，AI能夠促進種類繁多的應用。

2. 人工智能與氣候變化

鑑於應用廣泛，AI與機器學習的影響，取決於社會選擇的使用方法。應付氣候變化是重要議題，應評估AI在應付氣候變化上的潛在影響。

緩解及適應氣候變化的AI應用

就緩解與適應氣候變化，AI可在研究、工程與政策上，提供有用方法。我們在此概括介紹幾個AI提供協助的模式，每個模式配上深入範例，以具體說明。

- **收集信息：** 當決策者難以取得與政策相關的資訊時，AI可通過分析大量原始數據（例如地理空間圖像、文字檔案，或感測器數據）來為部分資訊作出估計。例如，AI可以應用於衛星圖像，幫助查明溫室氣體排放源、收集有關建築物能源效益特徵的資訊，並追蹤森林砍伐的情況。

範例：利用AI改善食品安全

氣候變化會造成更頻繁和嚴重的風暴、旱災、洪水，以及病蟲害的蔓延，對農業產生越來越大的影響。隨著高解像度衛星與航拍圖像的廣泛使用，人類可以大規模監測農作物狀況和農業產量，並設計預警系統，及早預防危機。AI正用於自動化上述工作流程，大大增加了可供分析的圖像數量，並從中擷取人類難以察覺的細微線索。例如，專家可以使用AI在幾張圖像中標記覆蓋作物，然後讓演算法學習在大範圍內進行自動推斷。這應用範疇的主要參與者，包括政府計劃（例如 NASA Harvest¹ 和 Copernicus Land Monitoring Service²）、非政府組織（例如 GEOGLAM³），和大量私營企業（例如 Indigo Atlas Insights⁴）。

1. NASA Harvest: <https://nasaharvest.org/>
2. Copernicus Land Monitoring Service: <https://www.copernicus.eu/en/services/land>
3. GEOGLAM: <http://earthobservations.org/geoglam.php>
4. Indigo Atlas Insights: <https://www.indigoag.com/atlas-insight>

- **預測：** AI可通過分析歷史數據，協助進行量向預測，例如風力發電、運輸需求，和極端事件等。預測化為預見能力，在優化供電系統、基建規劃、災難管理等領域上，需求極為殷切。

範例：太陽能光電(PV)即時預報

當電力系統運營商在供電網中大幅度使用太陽能和風能，發電管理越來越依靠短期預測，亦稱「即時預報」。使用歷史數據，AI有助了解電力生產與當地天氣等因素之間的相關性，分析結果可用於預測未來的電力生產。例如，非牟利組織 Open Climate Fix⁵ 正在開發開源的即時預報模型，可識別衛星圖像中的雲量，將之與其他天氣和位置數據結合，從而更準確地預測未來幾個小時的太陽能發電量。另一個例子是美國能源部與國家大氣研究中心，合作開發以概率及多時間尺度為基礎的模型，可提前高達 72 小時預測太陽能發電量 [Haupt et al. 2016]。

- **提高運營效率：** 透過系統優化，AI 有助提高現存系統的效率。應用實例包括管理工業供暖及冷卻系統、貨運整合，及減低食品行業的浪費。

範例：暖氣、通風及空調 (HVAC)系統控制

暖風空調 (HVAC) 系統佔建築物能源消耗量的一半以上，現實中目前的系統在樓宇的熱力學、使用模式和設備限制上，仍有很大的改進空間。以AI為基礎的控制策略，有助改善暖風空調系統的運作，以提高其效率。例如強化學習⁶ [Wang and Hong 2020]、與AI結合的模型預測控制⁷ [Drgoňa et al. 2020, Drgoňa et al. 2018] 等技術已用於商業及住宅樓宇，以制訂最佳暖風空調控制策略。AI驅動的 control 策略也可用於工業環境，例如英國AI公司 DeepMind，為谷歌數據中心的 HVAC 開發了上述方法，效率取得了可觀提升 [Gamble and Gao 2018]。

5. Open Climate Fix: <https://openclimatefix.org/>
6. 強化學習是機器學習的一個領域，演算法嘗試學習策略，通過與環境互動，儘量將出現理想結果的機會率，提升到最高。
7. 模型預測控制是一種控制工序的方法，把工序的未來狀態納入考慮範圍內，已廣泛應用於各行各業。

- **預測性維護：** 通過及早檢測故障，AI有助提高基礎設施安全、降低成本，並提高系統的能源效益。 例如，AI已用於檢測天然氣管道的洩漏、識別太陽能電池板的輸出異常，以及預測基礎設施或工業設備的故障。

範例：鐵路系統維護

在客運與貨運交通減低碳排放的問題上，鐵路系統能發揮關鍵作用。要提高鐵路系統面對高碳運輸方式的競爭力，需要多管齊下。 預測性維護技術是其中一種方法，能提高效率、減少昂貴的維修需求。 AI通過大規模分析感測器數據，能為預測性維護系統提供資訊，以檢測目前或未來的異常情況。 例如，Deutsche Bahn⁸ 正在開發AI技術，分析來自聲音感測器和視頻設備的數據，以預測機械故障、監控鐵路設備的狀態。 其他應用研究包括大規模分析振動數據和視頻圖像，與現存有關軌道特徵的知識結合，為鐵路維護決策提供指引 [Jamshidi et al. 2018]。

- **加快科學實驗速度：** AI有助加快科學發明的進程，例如從過往的實驗中學習，提出成功機會較高的未來實驗。 在這基礎上，AI有助加快無污染技術的發展，例如電池或新一代太陽能電池。

8. Deutsche Bahn: https://www.deutschebahn.com/en/Digitalization/technology/New-Technology/artificial_intelligence-3520346

範例：電力儲存技術的研究及開發

在交通和電力行業中，電池及電力的儲存，普遍被視作減碳策略的關鍵環節，而相關科技在性能和成本上，仍有顯著的改進需求 [Beuse et al. 2020]。AI已開始在電池行業的研發 (R&D) 工作上取得成功，例如研究人員已證明，使用AI進行數據分析，可用於評估電池的容量退化，這一點目前業界仍知之甚少 [Severson et al. 2019]。AI亦可用於加速發現新的電池材料 [Jain, et al. 2013]，例如通過分析大型材料數據庫，從而推薦下階段可試用的物料。這種AI衍生的研發方法，正開始應用於電池行業中。⁹

- **對耗時密集的模擬，進行近似計算：** 對於氣候物理或工程系統中，運算密集的模擬模型，AI可以幫助加速運算。例如，AI可挑選氣候模型和電力系統優化模型內的特定部分，協助進行近似值模擬；並已用於城市規劃工具的加速，幫助實時決策。

範例：本地的氣候模型

氣候科學家對氣候變化所涉及的因素（例如大氣和海洋物理學）有準確的了解，但運行以物理為基礎的氣候模型時，需要耗費大量時間，並需要密集的運算，部分模擬更需要使用大型超級電腦。雖然AI無法取代建基於物理的模型，但在某些情況下，AI可以為這些模型中特別耗時的部分，提供快速的近似模擬。例如，通過觀察更精確模型的預測，AI可以學習到雲物理（氣候模擬的一個重要組成部分）的粗略模型，協助整個氣候模型運行得更有效率。若要對地球上某個確切位置的氣候變化進行精細預測，完整的物理模擬會非常耗時。採用AI近似模擬，卻能讓地方層面的決策更加明智，例如規劃可抵禦極端情況的基礎設施，還可節省運行超級計算機獲取精確氣候模型所需的能源。愈來愈多氣候科學家，已將AI納入他們的運算管道（參見 [Reichstein et al. 2019]、AI2ES initiative¹⁰）。

9. 參與者如 Aionics、Accure 與 Twice。

10. NSF AI Institute for Research on Trustworthy AI in Weather, Climate, and Coastal Oceanography (AI2ES): <https://www.ai2es.org/>

增加排放或帶來不確定影響的AI應用

鑑於AI的廣泛應用，可能助長另一批應用，對緩解氣候變化與適應策略帶來負面影響。例如，AI廣泛用於促進石油與天然氣的勘探和開採；高度依賴AI的自動駕駛汽車，視乎具體配置條件，可能導致交通運輸界的排放量增加；而AI推動的營銷或製造創新，則有可能增加商品和服務的消費，從而提高排放量。這些AI應用對氣候的影響尚未經過充分研究，但潛在影響可能很大。

範例：石油與天然氣的勘探和開採

AI已廣泛應用於化石燃料行業。例如近期一份報告詳細介紹了，大型科技公司如何用AI幫助石油和天然氣公司辨識和模擬開採地點、優化輸送管道以擴大化石燃料的運輸和儲存能力、改進煉油工序，並促進化石燃料衍生產品的市場營銷 [綠色和平 2020]。一些報告估計到 2025 年，AI和其他數碼科技可為石油和天然氣行業創造高達 4,250 億美元的價值 [Spelman et al. 2017]。這不僅對增加排放帶來直接影響，還可能提高化石燃料技術的競爭力，從而減緩朝向低碳技術的過渡 [Victor 2019]。

範例：自動駕駛汽車

AI是自動駕駛汽車 (AV) 技術的發展關鍵，有AI才可能出現自動駕駛汽車、貨車、送貨機械人、無人機等的發展。自動駕駛汽車可能對客運和貨運帶來根本的變化，影響到車輛設計、交通流量，和運輸需求。雖然自動駕駛汽車的部分特性可以減少駕駛時的能源消耗（例如隊列行駛 platooning、¹¹ 生態駕駛，以及將自動駕駛汽車與低碳交通結合），但自動駕駛汽車有可能導致更多能源消耗，例如降低個人化交通工具的使用門檻、增加行駛里數，並吸引乘客和貨物從鐵路等低碳交通工具流向高碳模式 [Wadud et al. 2016]。

11. 隊列行駛(platooning)是指讓貨車在行駛時彼此靠近，由AI技術推動，通過減少空氣阻力，提供較佳燃料效益。

AI的能源使用

運行AI演算法會直接耗用能源，而不同演算法之間，耗用能源量的差異相當大。大多數廣泛使用的AI系統耗電量很少，能在標準筆記簿電腦或智能手機上運行。能源消耗量較高的AI系統往往用於研究，當中估計碳影響值最高的型號，大概與一輛汽車的生命週期排放量相若 [Strubell et al. 2019]。社會上目前缺乏AI總耗電量的統計數據，但國際能源署 (International Energy Agency) 報告稱，目前數據中心消耗的電力約佔全球電力的 1% [IEA 2019]，其中AI只佔有限的部分。除用電量外，也要考慮到所使用硬件相關的嵌入式排放 (embedded emissions)。測量單一AI模型的耗能量相對容易，由AI驅動應用的整體氣候影響則較難估算，但我們預期後者將對溫室氣體排放 (包括正面和負面) 產生更大的影響。我們應繼續監察這範疇的未來趨勢。

3. 槓桿型政策工具

要在緩解和適應氣候變化途徑上妥善地結合AI應用，我們相信制定政策者需要在三個主要領域採取行動：(a)在開宗明義旨在應付氣候變化的應用中，促進AI的研究、開發和配置；(b) 監管由AI驅動的科技，在新興或已投入應用的各個經濟範疇，所帶來的影響；及 (c) 對AI和氣候變化的交叉領域，提高公營部門的監管和創新能力。我們建議在以下範疇，考慮實施槓桿型政策工具。整體而言，我們強調氣候變化和AI方面的政策制定，對妥善塑造鼓勵誘因和實現發展，至關重要。

促進有利氣候的AI研究、開發和配置

- 促進計算機科學，與氣候相關學科 (例如工程、經濟學、城市規劃) 在交叉領域的跨學科應用研究。
- 在緩解和適應氣候變化範疇上，開拓各類研究、開發與示範 (RD&D) 計劃，推進AI應用技術更趨成熟。
- 對於緩解及適應氣候變化的相關部門和行業 (例如電力部門)，配置AI技術方面，減少監管障礙。

監管由AI驅動的技术對排放的影響

- 在AI驅動新興技術（例如自動駕駛汽車或共享經濟應用）的相關法規內，納入對氣候影響的考慮，令AI技術與緩解及適應氣候變化的途徑，有較佳結合。
- 制定經濟鼓勵誘因和監管要求（例如通過碳稅、排放權限額與交易計劃），減少溫室氣體排放，並避免將AI用於提高工業效率時，出現碳排放的反彈效應。
- 在適用情況下，強制要求AI界別保持透明度，提供溫室氣體排放或能源消耗影響的報告，包括生命週期影響，以及外部成本（externalities）效應。

促進公營機構的AI和數據共享

- 公營機構內部，在有益情況下，發展或增強AI配置能力。
- 收集持份者（例如民間社會、業界）的反饋意見。在AI項目的範圍界定、設計、配置過程中制定流程，納入技術參與者及受影響人士的意見。

4. 政策相關的考慮

AI系統可能存有風險，以及意想不到的後果。歐盟委員會AI高級專家組定義了可信任AI的七項要求 [AI HLEG 2019]；這些考慮同樣適用於與氣候變化相關的應用，及其他範疇。以下議題，尤其適用於氣候策略：

- **影響的評估標準：** 關於AI對氣候影響的可用數據，存在訊息不對稱的基礎。尤其是，AI模型的能源消耗量相對容易估計，但應用個案的氣候影響數據卻很少。儘管如此，考慮到AI行業的快速發展，相關政策宜雙管齊下，既回應能源使用，也積極應對特定應用對氣候的影響。
- **公平：** 各級管治部門在制定緩解和適應氣候變化策略時，應抱持公平作為核心考慮因素。AI驅動的系統，有可能加劇社會上的不平等，例如擴大數碼鴻溝、出現演算法偏差等問題。
- **權力轉移：** AI的使用，有可能改變公共和私營機構之間的權力結構，視乎誰控制相關數據、數據分析能力和智力資本的（不均勻）分佈，以及取用和維護分析結果的權限條件。許多氣候策略都是由公營機構制定和實施的，有意採用AI技術的公營機構，在制定決策發展內部能力時，宜考慮上述因素。

- **關鍵基礎設施：** 能源行業是緩解氣候變化的核心界別，也被視為關鍵基礎設施。這方面的AI應用，必須包含安全考慮，具備保安功能。

5. 結論

在未來的年月，我們選擇應用AI的方式，對社會實現氣候變化目標的進程，將產生重大影響。AI作為應用廣泛、力量強大的工程工具，是具有加速潛力的兩刃劍——它既能幫助緩解和適應氣候變化，亦可能窒礙各界應對氣候變化的努力。政策將會擔任重要角色，確保人類應用AI的方式能結合氣候變化策略，符合當前和未來社會的福祉。

推薦書目

緩解及適應氣候變化的AI應用

- Rolnick, D., Donti, P.L., Kaack, L.H., Kochanski, K. et al., 2019. Tackling climate change with machine learning. arXiv preprint arXiv:1906.05433
- IEA (2017), Digitalisation and Energy, IEA, Paris
- Deutsche Energie-Agentur, 2020. Artificial Intelligence – from Hype to Reality for the Energy Industry

增加排放的AI應用

- Costas Samaras, various articles on the climate and energy impacts of autonomous vehicles
- Donaghy, T., Henderson, C., and Jardim, E., 2020, Oil in the Cloud: How Tech Companies are Helping Big Oil Profit from Climate Destruction, Greenpeace Reports

能源用途上的AI

- IEA (2019), Data centres and energy – from global headlines to local headaches?, IEA, Paris
- Strubell, E., Ganesh, A. and McCallum, A., 2019. Energy and policy considerations for deep learning in NLP. arXiv preprint arXiv:1906.02243
- Schwartz, R., Dodge, J., Smith, N.A. and Etzioni, O., 2019. Green AI. arXiv preprint arXiv:1907.10597

政策考慮

- High-Level Expert Group on Artificial Intelligence (AI HLEG), EU Guidelines for Trustworthy AI (2019)

參考資料

Beuse, M., Steffen, B. and Schmidt, T.S., 2020. Projecting the Competition between Energy–Storage Technologies in the Electricity Sector. *Joule*, 4(10), pp.2162–2184.

Drgoňa, J., Arroyo, J., Figueroa, I.C., Blum, D., Arendt, K., Kim, D., Ollé, E.P., Oravec, J., Wetter, M., Vrabie, D.L. and Helsen, L., 2020. All you need to know about model predictive control for buildings. *Annual Reviews in Control*.

Drgoňa, J., Picard, D., Kvasnica, M. and Helsen, L., 2018. Approximate model predictive building control via machine learning. *Applied Energy*, 218, pp.199–216.

Gamble, C. and Gao, J., 2018. Safety–first AI for autonomous data centre cooling and industrial control. Available at: <https://deepmind.com/blog/article/safety–first–ai–autonomous–data–centre–cooling–and–industrial–control>

Greenpeace, 2020. Oil in the Cloud: How Tech Companies are Helping Big Oil Profit from Climate Destruction. Available at: <https://www.greenpeace.org/usa/reports/oil–in–the–cloud>

Haupt, S.E., Kosovic, B., Jensen, T., Lee, J., Jimenez, P., Lazo, J., Cowie, J., McCandless, T., Pearson, J., Weiner, G. and Alessandrini, S., 2016. The SunCast solar–power forecasting system: the results of the public–private–academic partnership to advance solar power forecasting. National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder (CO): Research Applications Laboratory, Weather Systems and Assessment Program (US).

High–Level Expert Group on Artificial Intelligence (AI HLEG), EU Guidelines for Trustworthy AI (2019). Available at: <https://ec.europa.eu/futurium/en/ai–alliance–consultation/guidelines>

IEA (2019), Data centres and energy – from global headlines to local headaches?, IEA, Paris. Available at: <https://www.iea.org/commentaries/data–centres–and–energy–from–global–headlines–to–local–headaches>

Jamshidi, A., Hajizadeh, S., Su, Z., Naeimi, M., Núñez, A., Dollevoet, R., De Schutter, B. and Li, Z., 2018. A decision support approach for condition–based maintenance of rails based on big data analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, pp.185–206.

A. Jain, S.P. Ong, G. Hautier, W. Chen, W.D. Richards, S. Dacek, S. Cholia, D. Gunter, D. Skinner, G. Ceder, K.A. Persson. The Materials Project: A materials genome approach to accelerating materials innovation. *APL Materials*, 2013, 1(1), 011002.

Reichstein, M., Camps-Valls, G., Stevens, B., Jung, M., Denzler, J. and Carvalhais, N., 2019. Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. *Nature*, 566(7743), pp.195–204.

Severson, K.A., Attia, P.M., Jin, N. et al. Data-driven prediction of battery cycle life before capacity degradation. *Nat Energy* 4, 383–391 (2019).

Spelman, M., Ashraf, M. and Weinelt, B., 2017. Digital Transformation Initiative—Oil and Gas Industry. In *World Economic Forum: Geneva*.

Strubell, E., Ganesh, A. and McCallum, A., 2019. Energy and policy considerations for deep learning in NLP. arXiv preprint arXiv:1906.02243.

Victor, D.G., 2019. How artificial intelligence will affect the future of energy and climate. Available at: <https://www.brookings.edu/research/how-artificial-intelligence-will-affect-the-future-of-energy-and-climate>

Wadud, Z., MacKenzie, D. and Leiby, P., 2016. Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 86, pp.1–18.

Wang, Z. and Hong, T., 2020. Reinforcement learning for building controls: The opportunities and challenges. *Applied Energy*, 269, p.115036.

人工智能與氣候變化

人工智能與氣候變化目標結合的機遇、考慮及政策

繁體中文版

出版：Heinrich–Boell–Stiftung Asia Ltd.

中國香港黃竹坑道 49 號得力工業大廈 22 字樓 E 室

info@hk.boell.org

編輯：蕭亮思

中文翻譯：Crimson Interactive Inc (Ulatus) – www.ulatus.com

排版：蔡喬匡

發行：<https://hk.boell.org/>

發行日期：2021年12月

授權：知識共享許可協議 Creative Commons (CC BY–NC–SA 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

本報告觀點來自幾位作者，不一定反映 Heinrich–Böll–Stiftung 或 Climate Change AI 的立場。