



The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

採礦清除的不只是礦區——資源開採周邊隱藏的森林損失

一項 *Nature* 研究分析了撒哈拉以南非洲的 16,627 個礦區群集，發現 2001 至 2020 年間，茂密森林中的採礦直接造成約 187,000 公頃毀林，但更大的問題在礦區之外。與未開礦地區相比，礦山建成十年後，1 公里範圍內的毀林在 0 到 100 尺度上高出 8 個百分點，而且影響一直延伸到 20 公里。平均而言，礦山每直接清除一公頃森林，五年內還會伴隨 33.9 公頃額外礦區外森林損失。這不意味著能源轉型是壞事，而是意味著礦物供應鏈有自己的地理，而森林代價往往比礦坑更大。

Written by Laura Nesso · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso
· AI-assisted, human-reviewed

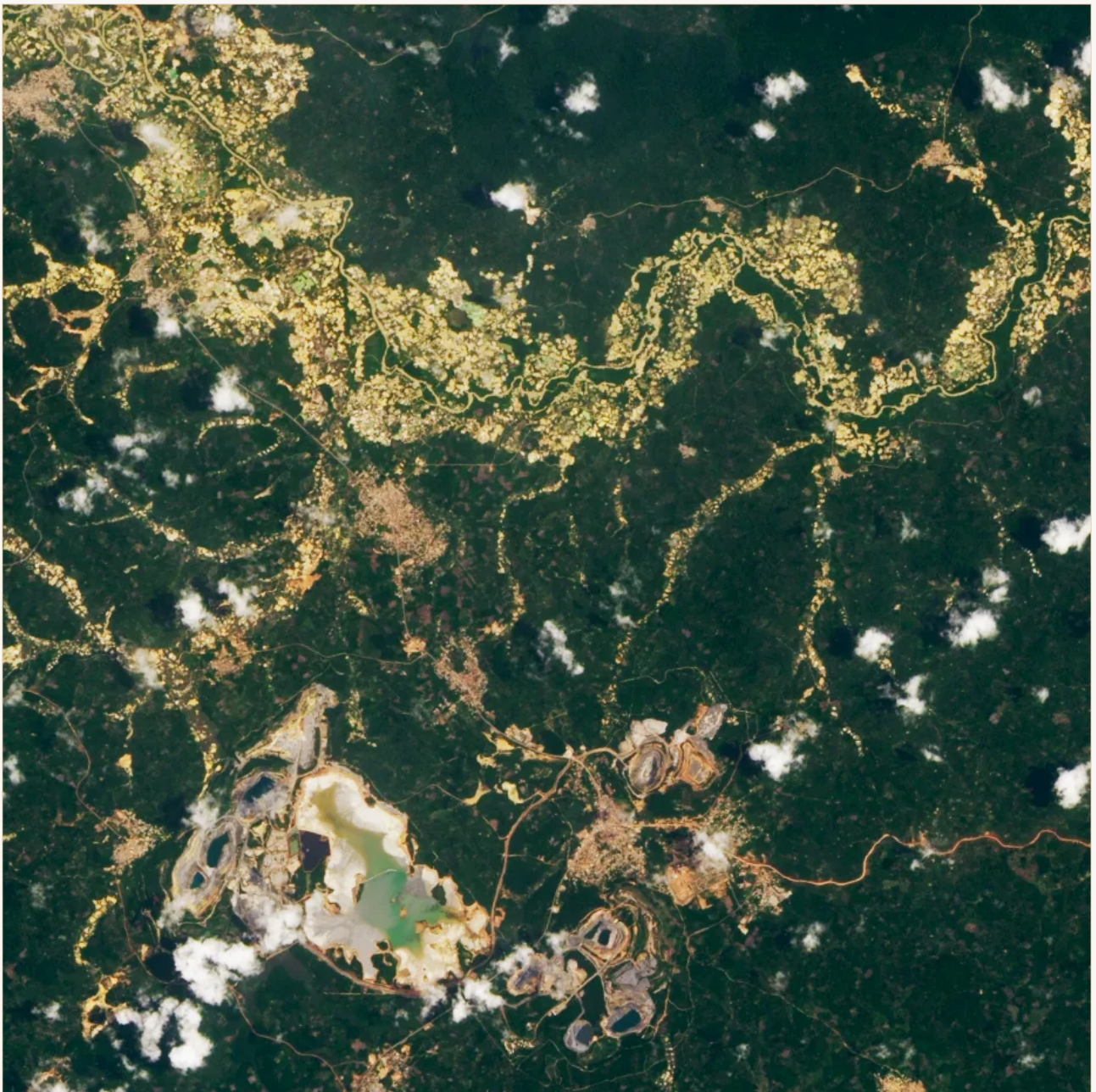
Paper: *Mining triggers extensive additional deforestation in sub-Saharan Africa*, Oscar Morton, Christopher G. Bousfield, Prince Dégny Valé, Ieuan Lamb, Victor Maus, Robert G. Bryant, and David P. Edwards, *Nature* (2026) · DOI: 10.1038/s41586-026-10551-2

留在森林裡的足跡，不只是那個礦坑

礦山有一個顯而易見的形狀：露天礦坑、尾礦池、廢石堆，以及切入森林的道路。這些痕跡衛星看得見，監管機構也能圈出邊界。

但資源開採還會改變周圍的土地。人群湧入，道路讓人們更容易進入森林，聚落擴張，農業拓展。礦山不只是地圖上的一道傷疤；它還可能成為新的引力中心。

一篇發表於 *Nature* 的論文量化了撒哈拉以南非洲各地的這種差異。作者估算 2001 至 2020 年間茂密森林中由採礦直接造成的毀林，然後追問：與尚未開礦的相似地點相比，礦山周圍還出現了多少額外的森林損失？結論簡單而令人不安：礦山的直接佔地只是看得見的部分。



一幅自然色 Landsat 影像顯示了加納阿散蒂黃金帶的大規模和手工採金痕跡。本文討論的研究追問：與採礦有

關的森林損失，究竟會超出礦區本身多遠。

NASA Earth Observatory / Lauren Dauphin Public domain

這個結果對氣候和生物多樣性政策很有用，因為它把兩件事放在同一個畫面裡。現代基礎設施和能源轉型需要礦物，但礦物不會憑空出現。清晰的問題不是用一句口號判斷採礦是好是壞，而是：我們是否誠實地計算了全部森林代價？

作者做了什麼

這項研究把洲際尺度的森林和土地利用資料，與因果推斷設計結合起來。作者繪製了 2001 至 2020 年撒哈拉以南非洲森林地區的 **16,627 個礦區群集**，並區分兩種森林損失。

第一種是**採礦直接驅動的毀林**：礦區本身內部的清理，包括礦坑、尾礦池、廢石堆、礦井，以及其他與採礦作業直接相關的設施。

第二種是**礦區外毀林**：礦山周邊並非礦坑本身的森林損失，但礦山建設可能透過附帶活動觸發它——農業、聚落、道路和其他交通通道。

為估計第二部分，作者採用了雙重差分框架。通俗地說，他們把開礦前後礦山周圍的森林損失，與相似但尚未開礦地點周圍的森林損失進行比較。隨後，他們考察了以礦山中心為圓心的同心距離帶：1 公里以內、1-5 公里、5-10 公里和 10-20 公里。

這一設計很重要，因為論文並不只是在統計礦山附近損失了多少森林。它試圖估算與未開礦地區的反事實趨勢相比，可以歸因於礦山建設的額外損失。

他們發現了什麼

直接採礦損失規模很大。作者估計，2001 至 2020 年間，撒哈拉以南非洲的茂密森林共有 **187,070 公頃**因採礦直接遭到清除。剛果民主共和國、加納和科特迪瓦合計佔直接損失的 **45%**。

周邊損失大於礦區佔地。礦山建成十年後，與未開礦地區相比，1 公里範圍內的累計毀林在 0 到 100 的尺度上**高出 8 個百分點**。這是毀林率的絕對差值，不是相對增加 8%。影響隨距離減弱，卻沒有消失：十年後，研究估計 1-5 公里處額外高出 3.6 個百分點，5-10 公里處高出 1.9 個百分點，10-20 公里處高出 1.1 個百分點。

這些數字與時間點相關。它們是十年效應，不是即時損失。

礦區外損失與直接損失之比十分驚人。在另一項計算中，作者估計，礦區佔地每直接清除一公頃森林，五年內還會有額外 **33.9 公頃**茂密森林在礦區外消失。大部分額外損失與礦山建設觸發的農業擴張有關，聚落擴張同樣重要，道路在其分解結果中所佔比例較小。

這個數字也與時間點相關：它是五年期的礦區外/直接損失比，不能和十年期、0 到 100 尺度上的效應混在一起。

各地影響並不相同。研究認為剛果民主共和國的情況尤其令人嚴重擔憂，因為那裡既有大規模的直接採礦佔地，也有大量額外礦區外損失。其他國家的相對礦區外影響很高，但直接佔地較小。按礦種看，開採鈷和銅的礦山——這些礦物對電池、電力基礎設施和能源轉型至關重要——在研究估算中造成的額外毀林總量最高。

為什麼礦區外部分重要

環境評估通常從專案的直接邊界開始，這可以理解。礦坑看得見，許可證有明確周界，企業也能描述計劃建設的基礎設施。

但森林不會只對法律邊界作出反應。它們會對交通條件和經濟誘因作出反應。礦山可能帶來道路、工人、資金、聚落和糧食需求，從而讓附近森林變得更容易清除、更有利可圖，或更有必要被清除。

因此，論文最有力的思想不是某一個數字，而是**直接損失與觸發損失**之間的區別。

如果供應鏈只計算礦區佔地，可能會低估資源開採造成的土地利用變化。如果環境影響評估止步於礦權邊界，可能會漏掉專案促使其更可能發生的森林損失。如果某種產品因支持可再生能源而被宣傳為清潔產品，也不意味著它的原材料鏈自動變得清潔。

這項研究沒有證明什麼

- 它**沒有**表明能源轉型是壞事。它表明，現代基礎設施所用礦物，包括能源轉型礦物，可能帶來巨大的土地利用代價。
- 它**不意味著**每座礦山每直接損失一公頃森林，就一定造成 33.9 公頃礦區外損失。這是對大量礦區群集的平均估計，不是對某個具體專案的預測。
- 它**沒有**證明礦山附近每一棵消失的樹都是因為那座礦山而被砍伐。研究採用準實驗設計，在群體尺度上估計額外損失。
- 它**沒有**把責任歸於個別公司、許可證持有人或買方。那需要超出本文範圍的專案級追蹤。
- 它**沒有**涵蓋採礦的全部影響。水污染、勞動條件、生物多樣性破碎化、權利衝突和社會遷移，都不在這裡主要衡量的森林損失之內。
- 它**沒有**覆蓋全世界。分析聚焦撒哈拉以南非洲的茂密森林。

證據有多強？

對於直接毀林估計，洲際尺度上的證據很強。研究使用已發表的土地利用和森林覆蓋資料集，識別與採礦設施直接相關的森林損失。

對於額外的礦區外損失，證據同樣相當充分，但依賴模型。雙重差分旨在從觀察資料中估計因果效應，特別適用於無法進行隨機實驗的情形。作者使用了近期能夠穩健處理異質性的方法，並以其他估計量檢驗結果穩健性。這是良好做法。

不過，結果應在正確尺度上解讀。論文提供了有力證據，表明在整個研究系統內，礦山建設與超出礦區佔地的額外毀林有關。它不是每一棵樹透過衛星交出的「供詞」。

因此，對公眾最有用的解讀既不是恐慌，也不是否定，而是測量紀律：如果採礦打開了一個地區，影響評估就應越過圍欄看得更遠。

為什麼重要

「清潔能源」這個詞組可能遮住一個物質世界。太陽能板、電池、輸電線路、電動車和資料中心都需要開採出來的材料。其中一些材料來自擁有全球重要森林和生物多樣性的地區。

這並不使脫碳成為錯誤。另一種選擇——繼續依賴化石燃料——同樣會帶來巨大的土地、空氣、水和氣候代價。但這確實意味著，一場轉型可以比化石能源體系更清潔，卻仍不會自動成為清潔的體系。

這篇論文的價值，在於讓隱藏的地理更難被忽略。它說：不要只計算礦坑。要計算礦坑周圍森林發生的變化，計算資源開採之後出現的道路、農田和聚落。把礦區外毀林納入環境影響評估、無淨損失承諾和零毀林供應鏈。

這比「綠色礦物是好的」或「綠色礦物是壞的」更成熟。真實的說法是：轉型的物質基礎會帶來後果，而供應鏈在自稱清潔之前，必須先讓這些後果變得可見。

清晰摘要

一項發表於 *Nature* 的研究分析了 2001 至 2020 年撒哈拉以南非洲茂密森林中的 16,627 個礦區群集。研究估計，礦坑、尾礦池和廢石堆等採礦設施直接造成了 **187,070 公頃** 毀林。作者還利用雙重差分框架，估算礦山周圍相對於未開礦地區的額外毀林：十年後，1 公里內的累計毀林在 **0 到 100 的尺度上高出 8 個百分點**，而且影響一直延伸到 20 公里。在另一項五年期計算中，每一公頃採礦直接毀林，平均伴隨額外 **33.9 公頃** 礦區外茂密森林損失，主要透過農業和聚落擴張發生。開採鈷和銅的礦山在研究中造成的額外毀林總量最高。結果並不表明能源轉型是壞事，而是表明礦物供應鏈存在土地利用代價，而且這種代價會超出礦區本身。

不繞彎核查

論文證明了什麼：2001 至 2020 年間，撒哈拉以南非洲茂密森林中的採礦造成了大量直接森林損失；與未開礦地區相比，礦山建設之後周邊出現了額外毀林；礦區外損失可能大幅超過礦區直接佔地；而在這套資料中，一些能源轉型礦物與很高的額外毀林總量相關。

什麼合理但尚未證明：許多個別礦山的礦區外影響超過其許可證邊界所顯示的範圍；更嚴格的環境影響評估和供應鏈規則能夠減少其中部分損失；其他熱帶採礦地區也可能存在類似的隱性礦區外效應。

它沒有證明什麼：所有採礦的破壞程度都相同；附近每一次森林損失都由某座具體礦山造成；能源轉

型是壞事；在沒有專案級追蹤的情況下，個別企業或買方應為特定損失負責；森林損失是唯一重要的環境或社會代價。

主要限制：採用觀察性因果推斷，而不是隨機證據；提供洲際尺度估計，而不是專案級歸因；聚焦撒哈拉以南非洲的茂密森林；直接和礦區外效應取決於資料品質、礦山識別和模型假設。

普通讀者應該有多大信心？可以高度確信研究地區由採礦直接造成的毀林規模可觀。可以較有信心地認為，群體尺度上礦山建設與額外礦區外毀林有關。把平均 33.9:1 的比率套用到任何一座具體礦山上，信心應低得多。恰當態度是：礦物供應鏈可能是必要的，但仍需對礦坑之外的代價如實核算。

來源

Nature (2026)

<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10551-2>

White Rose Research Online —published version

<https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/241799/>

Processed outputs and analysis code —GitHub

https://github.com/OMorton/AFR_MiningForestLoss

Post-deforestation land-use dataset —Zenodo

<https://doi.org/10.5281/zenodo.11065705>