



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 and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

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

足跡不只是森林裡的那個坑

礦場有著一眼就能看出的形狀：露天礦坑、尾礦池、棄土堆，以及切入森林的道路。這些都是衛星看得見、監管機構也能圈出的痕跡。

但採掘也會改變周圍的土地。人們會到來。道路讓森林更容易進入。聚落逐漸擴張。農業向外拓展。礦場不只是在地圖上留下一道傷疤，也可能成為新的重心。

一篇《Nature》論文量化了撒哈拉以南非洲各地的這種差異。作者估算了 2001 至 2020 年間茂密森林中由採礦直接造成的森林砍伐，接著探討：與條件相似但尚未開採的地點相比，礦場周邊多出了多少森林損失。他們的結論簡單而令人不安：礦場的直接足跡只是看得見的部分。



一張自然色 Landsat 影像顯示迦納阿散蒂金礦帶的大型與小規模金礦採掘傷痕。本文討論的研究探討，採礦相

關的森林損失究竟延伸到礦場本身足跡以外多遠。

NASA Earth Observatory / Lauren Dauphin Public domain

這項結果對氣候與生物多樣性政策很有價值，因為它把兩個想法放在同一個框架裡。現代基礎設施與能源轉型都需要礦物。但礦物不會憑空出現。真正該問的，不是用一句口號判斷採礦是好是壞，而是是否如實衡量了完整的森林代價。

作者做了什麼

這項研究把洲級森林與土地利用資料和因果推論設計結合起來。作者繪製了 2001 至 2020 年間撒哈拉以南非洲森林地區的 **16,627 個礦場群**，並區分兩種森林損失。

第一種是**採礦直接造成的森林砍伐**：清除礦場足跡內的森林，包括露天礦坑、尾礦池、棄土堆、礦井，以及其他與採礦作業直接相關的設施。

第二種是**場外森林砍伐**：礦場周圍並非礦坑本身的森林損失，但可能由礦場設立後的附帶活動所觸發，包括農業、聚落、道路及其他通行途徑。

為了估算第二部分，作者採用了差異中的差異框架。簡單來說，他們將礦場開始開採前後的周邊森林損失，與條件相似但尚未開採地點的周邊森林損失相比。接著，他們檢視距礦場中心不同距離的同心帶：1 km 以內、1-5 km、5-10 km，以及 10-20 km。

這項設計很重要，因為這篇論文不只是計算礦場附近的森林損失，而是試圖估算礦場設立所造成的額外損失，並與未開採地區的反事實趨勢相比。

他們發現了什麼

採礦直接造成的損失很大。在撒哈拉以南非洲的茂密森林中，作者估算 2001 至 2020 年間，採礦直接導致的森林砍伐達 **187,070 公頃**。剛果民主共和國、迦納與象牙海岸合計占這項直接損失的 **45%**。

周邊損失大於礦場足跡。礦場設立十年後，1 km 以內的累積森林砍伐在 0 至 100 的刻度上，比未開採地區高出 **8 點**。這是森林砍伐率的絕對差距，不是相對增加 8%。影響會隨距離增加而減弱，但並未消失：研究估算十年後，1-5 km、5-10 km 與 10-20 km 範圍內的額外差距分別為 3.6 點、1.9 點與 1.1 點。

這些數字都有特定的時間範圍。它們反映的是十年效果，不是立即發生的損失。

場外／直接損失比率相當驚人。在另一項計算中，作者估算礦場足跡每直接清除 1 公頃森林，五年內礦場外還會額外損失 **33.9 公頃**的茂密森林。這些額外的場外損失，大多與礦場設立所觸發的農業擴張有關；聚落擴張也很重要，而道路在他們的分類中所占比重較小。

這個數字同樣有特定的時間範圍：它是五年的場外／直接損失比率，不應與十年的 0 至 100 刻度效果混為一談。

影響並非各地相同。研究指出，剛果民主共和國的情況尤其令人擔憂，因為該國同時有很大的採礦直接足跡與大量額外場外損失。其他國家的場外相對影響很高，但直接足跡較小。在礦產品層面，開採鈷與銅的礦場——這些礦物對電池、電力基礎設施與能源轉型都至關重要——在研究估算中造成的額外森林砍伐總量最高。

為什麼場外部分很重要

環境評估往往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，公司也能說明計畫興建哪些基礎設施。

但森林不只會對法律邊界作出反應，也會對通行條件與誘因作出反應。礦場可能帶來道路、工人、資金、聚落，以及對食物的需求。這會使清除附近森林變得更容易、更有利可圖，或更有必要。

因此，這篇論文最有力的觀點不是某一個數字，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場足跡，可能會低估採掘造成的土地利用變化。如果環境影響評估只做到租賃邊界，可能會漏掉因專案而更有可能發生的森林損失。而如果某項產品因為支援再生能源就被宣傳為乾淨，也不代表它的材料供應鏈自然就是乾淨的。

這並不能證明什麼

- 它**沒有**顯示能源轉型不好。它顯示，現代基礎設施使用的礦物，包括能源轉型所需的礦物，可能帶來巨大的土地利用代價。
- 它**不代表**每座礦場每直接清除 1 公頃森林，就一定會造成正好 33.9 公頃的場外損失。這是對大量礦場群的平均估計，不是對某一個特定專案的預測。
- 它**沒有證明**礦場附近每一棵消失的樹，都是因為該礦場而被砍倒。這項研究利用準實驗設計，在群體尺度上估算額外損失。
- 它**沒有**把責任歸給個別公司、許可證或買方。這需要超出本文範圍的專案層級追蹤。
- 它**沒有**涵蓋採礦的所有影響。水污染、勞動條件、生物多樣性破碎化、權利衝突與社會流離失所，都不在此處主要的森林損失測量範圍內。
- 它**沒有**涵蓋全世界。這項分析聚焦於撒哈拉以南非洲的茂密森林。

證據有多強？

就直接森林砍伐的估算而言，在洲級尺度上證據很強。研究利用已發表的土地利用與森林覆蓋資料，辨識出與採礦設施直接相關的森林損失。

至於額外的場外損失，證據也很充分，但它是**以模型為基礎**。差異中的差異法旨在從觀察資料估算因果效應，尤其適用於無法進行隨機實驗的情況。作者採用近期可穩健處理異質性的方法，並以替代估計量檢驗結果的穩健性。這是良好的做法。

不過，結果應在正確的尺度上解讀。這篇論文提供了有力證據，顯示在整個研究系統中，礦場設立與礦場足跡以外的額外森林砍伐有關。它不是每一棵樹透過衛星作出的供詞。

因此，對公眾最有用的解讀既不是恐慌，也不是否定，而是嚴守測量紀律：如果採礦讓一片地景對外開放，影響評估就應該把視線延伸到圍籬之外。

為什麼重要

「潔淨能源」這個詞可能掩蓋背後的物質世界。太陽能板、電池、輸電線、電動車與資料中心，都需要開採而來的材料。其中一些材料來自擁有全球重要森林與生物多樣性的地區。

這不表示脫碳是錯誤的。另一個選擇——繼續依賴化石燃料——也會帶來巨大的土地、空氣、水與氣候代價。但這確實表示，一場轉型可以比化石燃料體系更乾淨，卻不會自動就是乾淨的。

這篇論文的價值，在於它讓那幅隱而不見的地理圖景更難被忽視。它要說的是：不要只計算礦坑，也要計算礦坑周圍的森林變化。計算採掘之後接踵而來的道路、農地與聚落。把場外森林砍伐納入環境影響評估、零淨損失聲明，以及零森林砍伐供應鏈。

這比「綠色礦物是好的」或「綠色礦物是壞的」更成熟。真正的說法是：轉型的物質基礎會帶來後果，而在供應鏈自稱乾淨之前，這些後果必須先被看見。

重點摘要

一項《Nature》研究分析了 2001 至 2020 年間撒哈拉以南非洲茂密森林中的 16,627 個礦場群。研究估算，由露天礦坑、尾礦池與棄土堆等礦場設施直接造成的森林砍伐達 **187,070 公頃**。作者運用差異中的差異框架，另外估算礦場周圍相較於未開採地區的額外森林砍伐：十年後，1 km 內的累積森林砍伐在 **0 至 100 刻度上高出 8 點**，而且一直到 20 km 外仍維持較高水準。在另一項五年計算中，每 1 公頃採礦直接造成的森林砍伐，平均與 **33.9 公頃** 額外的場外茂密森林損失相關，主要源自農業與聚落擴張。研究估算顯示，開採鈷與銅的礦場造成的額外森林砍伐總量最高。這項結果不表示能源轉型不好，而是顯示礦物供應鏈具有延伸到礦場足跡以外的土地利用代價。

務實檢視

論文顯示的內容：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；與未開採地區相比，礦場設立後周圍出現了額外森林砍伐；場外損失可能大幅超過礦場的直接足跡；在這份資料集中，某些能源轉型所需礦物與較高的額外森林砍伐總量有關。

合理但尚未證明的內容：許多個別礦場的場外影響，可能大於其許可證所涵蓋的足跡；更嚴格的環境影響評估與供應鏈規範，或許能減少其中一部分損失；類似的隱藏場外影響，可能也存在於其他熱帶採礦地區。

它沒有顯示的內容：所有採礦的破壞程度都相同；附近每一宗森林損失事件都由某一座特定礦場造成；能源轉型不好；在沒有專案層級追蹤的情況下，個別公司或買方要為特定損失負責；森林損失是唯一重要的環境或社會代價。

主要限制：研究採用觀察性因果推論，而非隨機證據；提供的是洲級估算，而非專案層級歸因；聚焦於撒哈拉以南非洲的茂密森林；直接與場外影響取決於資料品質、礦場偵測，以及模型假設。

一般讀者應有多大信心？對於研究區域內採礦直接造成的森林砍伐相當可觀這一點，信心高。對於在群體尺度上，礦場設立與額外場外森林砍伐有關這一點，有相當信心。至於把平均 33.9:1 比率套用到任何一座礦場，信心較低。適當的立場是：礦物供應鏈可能不可或缺，但仍需要在礦坑之外如實核算。

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>