

全球暨臺灣燃煤發電

不可不知的真相



GREENPEACE

Nov 2017



德國 Bergheim 燃煤電廠空拍。

緒論

全球氣候系統正在暖化是個無可否認的事實⁰¹，其中，經由人為活動所帶來的溫室氣體排放，是造成全球暖化的主要原因⁰²。根據研究，從 2000 年到 2010 年，全球有將近 80% 的溫室氣體排放增長是來自於燃燒化石燃料，特別是煤炭⁰³。在 2016 年，燃燒煤炭（以下簡稱燃煤）所排放的二氧化碳，明顯高於石油與天然氣等燃料⁰⁴。

燃煤除了排放大量的二氧化碳，持續加劇氣候變遷，更會排放大量的空氣污染物，對人體健康造成直接威脅。值得注意的是，根據企業生態系統與生物多樣性經濟學聯盟（The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Business Coalition, TEEB for Business Coalition）與環境研究公司 Trucost 2013 年共同發布的報告指出，燃煤發電是全球環境成本⁰⁵最高的產業⁰⁶。燃煤發電所帶來的環境污染與影響範圍廣泛，包含空氣污染、重金屬的排放、廢污水排放、消耗大量水資源等；不僅如此，開採煤礦也往往對於當地環境造成破壞，包含地下水酸化、破壞森林，影

響當地居民生活。

依據綠色和平 2016 年《煤炭產業如何加劇全球水資源危機》報告指出，全球現有的 8,359 座煤電機組，每年可消耗 190 億噸水，也就是至少 10 億人的基本水資源需求⁰⁷。綠色和平過去的調查也發現，燃煤發電的過程不僅需要大量冷卻水，開採煤礦更會對當地的水資源造成永久性傷害。此外，為了運送煤炭，頻繁的海上運輸也可能加劇珊瑚礁生存危機^{08、09}。

劃時代的《巴黎氣候協議》已於 2016 年底生效，加上全球空氣污染問題日益嚴重，各國政府開始積極採取相關措施，降低對煤炭的依賴。根據英國石油世界能源統計年鑑（BP Statistical Review of World Energy）¹⁰，全球煤炭產量正在下滑，2016 年的減幅最大，創下歷史紀錄，不僅如此，全球煤炭的消費量也呈現下降的趨勢。反觀臺灣，目前仍然高度依賴煤炭，燃煤發電占整體電力結構 45.4%，而近年對煤炭的需求量甚至與國際趨勢相反，不降反增¹¹。

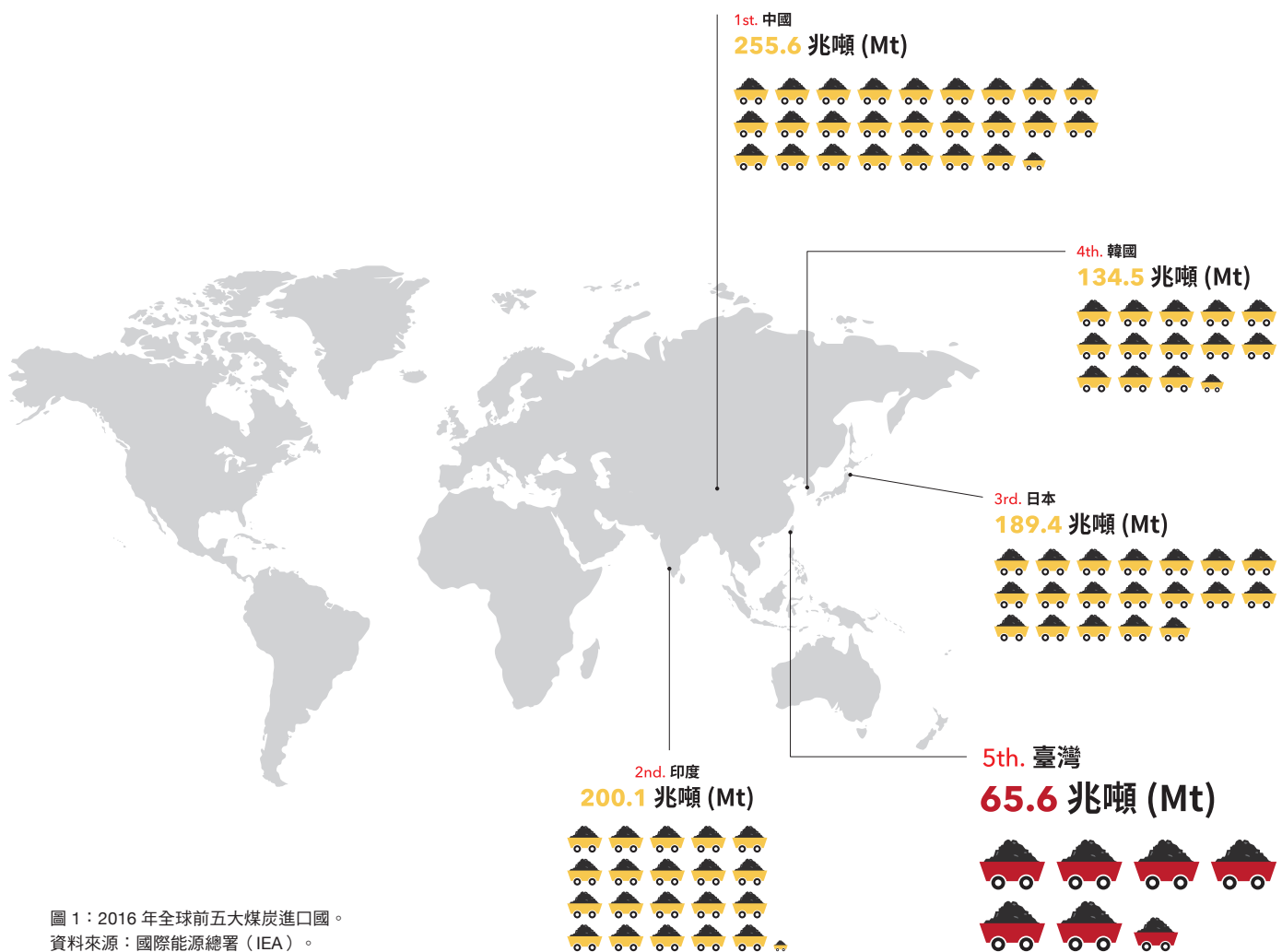


圖 1：2016 年全球前五大煤炭進口國。
資料來源：國際能源總署（IEA）。

臺灣煤炭進口與使用概況

全球第五大煤炭進口國

臺灣的能源供給高度仰賴進口，能源進口量長期維持在 97 到 98 %¹²，而煤炭即為臺灣第二大主要進口能源種類¹³。從 2001 年起，臺灣所使用的煤炭就已是全部從國外進口，而且煤炭消費量正持續成長¹⁴。根據國際能源總署報告¹⁵，過去三年（2014 - 2016 年）臺灣皆為全球第五大煤炭進口國（見圖 1），進口的煤炭主要來自澳洲與印尼（2016 年，澳洲占 52.03%，印尼占 31.15%）¹⁶，而臺灣進口大量煤炭的最主要用途則是用於發電¹⁷。

臺灣燃煤發電占比與電廠概況

臺灣長期仰賴火力發電作為主要發電方式，其中又以燃煤發電占比最高，2016 年燃煤發電就占總發電量的

45.4%¹⁸，為第一大發電來源（見圖 2）。目前臺灣燃煤電廠主要分為三大類：臺電自有電廠、民營電廠和民營汽電共生廠，其中臺電自有電廠為最大宗。目前臺電 3 座營運中的電廠內有 16 座機組，總裝置容量¹⁹為 9200MW。另外，還有 3 座新的燃煤機組正在興建中（林口 3 號、大林 1、2 號；共 2400MW），與另外 2 座尚在規劃中的新機組（深澳 1、2 號；共 1200MW）。民營電廠（亦稱 IPP）包括麥寮與和平電廠，共 5 座機組，總裝置容量 3100MW。假設納入興建與規劃中的燃煤機組，臺電和民營電廠加起來的總裝置容量將高達 15900MW²⁰。（見圖 3）

然而，除臺電和民營的燃煤電廠，其實民營汽電共生廠也有許多是以煤炭為燃料。但是由於政府官方統計資料將不同燃料的汽電共生廠歸納在同一個分類，難以看出臺灣絕大部分的汽電共生機組都是燃煤，因此少有汽電共生廠的裝置容量大小、煤炭使用情況和溫室氣體排放量的相關討論。

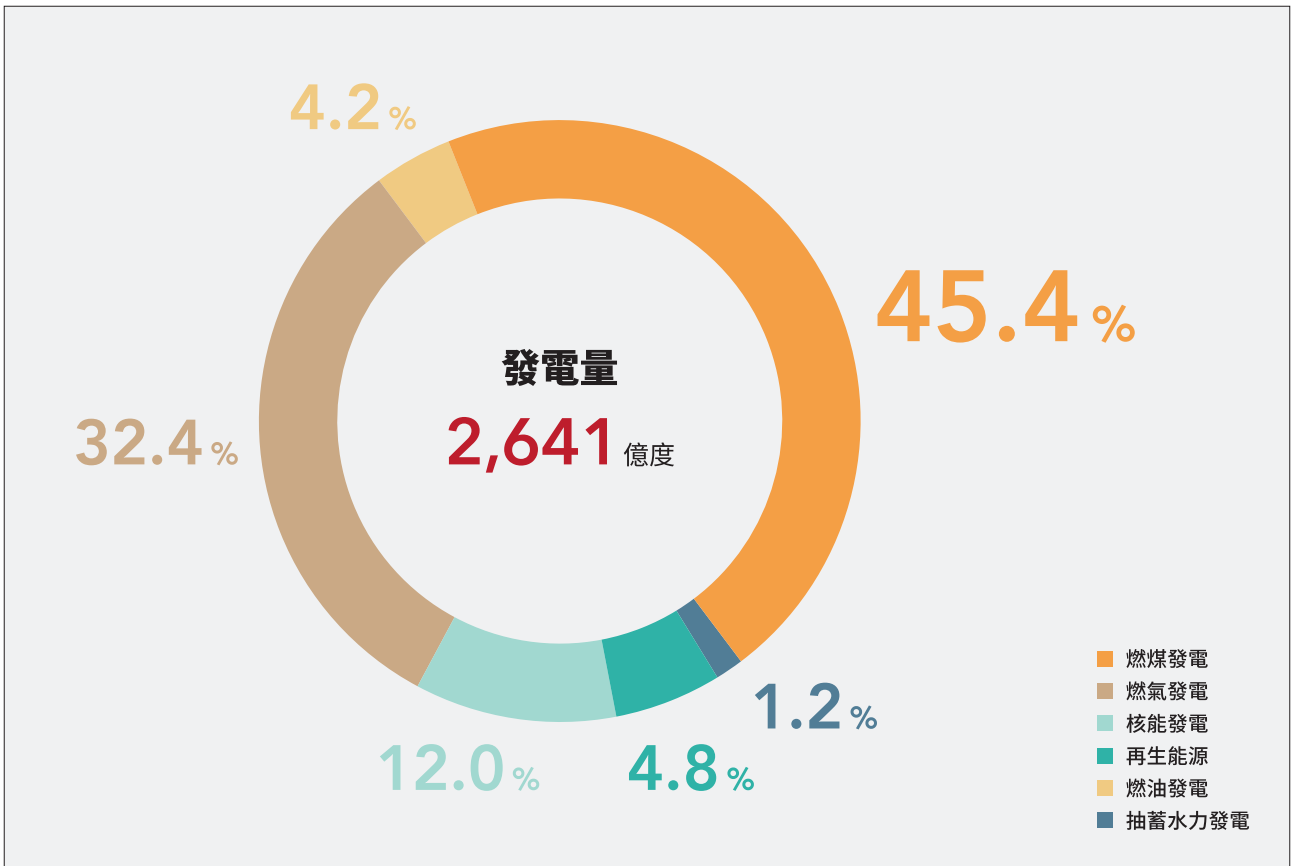


圖 2：2016 年臺灣發電占比
資料來源：能源轉型白皮書網站 <http://energywhitepaper.tw/reference/>

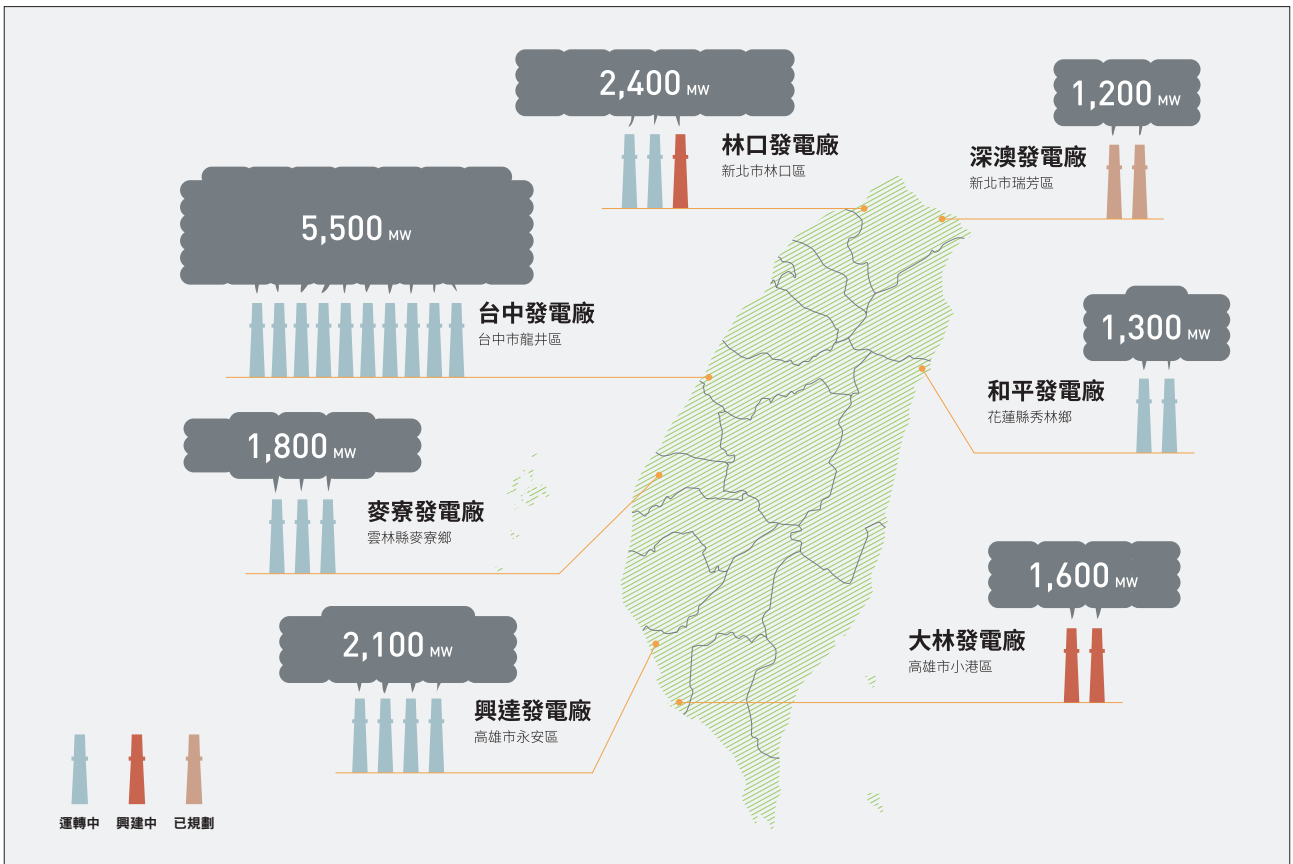


圖 3：臺灣燃煤發電機組分布（不包含燃煤汽電共生）
資料來源：台電網站 http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-b13.aspx?LinkID=6



Photo : Greenpeace

綠色和平行動者爬上德國 Jaenschwalde 燃煤電廠的冷卻塔掛布條，呼籲淘汰使用燃煤。

鑑於燃煤發電對於環境永續與民眾健康將帶來相當沉重的代價。本報告試圖從二氧化碳排放、空氣污染、水資源消耗、採煤礦地環境等四個面向揭露燃煤發電的負面影響。

真相 1： 高二氧化碳排造成氣候變遷

自 1970 年以來，全球超過三分之二的溫室氣體增加量都是來自燃燒化石燃料與工業所排放的二氧化碳²¹，而聯合國政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）第五

份氣候變遷報告即指出，燃燒化石燃料的人為活動所產生的溫室氣體排放，正是造成氣候變遷的主要原因²²。在所有化石燃料中，又以煤炭的碳密度最高²³，因此燃燒煤炭的二氧化碳排量也遠高於其他像是石油或是天然氣的燃料。

全球電力業有 73% 的碳排即是來自煤炭²⁴，而目前全球仍然有高達將近 40% 的電力來自於燃煤²⁵。在臺灣，也仍然有將近 50% 的發電來自燃煤，此外，臺電的公開資訊也顯示燃煤發電為其火力發電的溫室氣體排放最大來源，占比高達 62.8%²⁶。根據環保署統計，臺灣所排放的溫室氣體有 94.72% 是二氧化碳，其中 40.73% 來自發電²⁷。

不同發電方式的碳強度

各類型燃煤機組的單位二氧化碳排放量仍高於其他發電方式

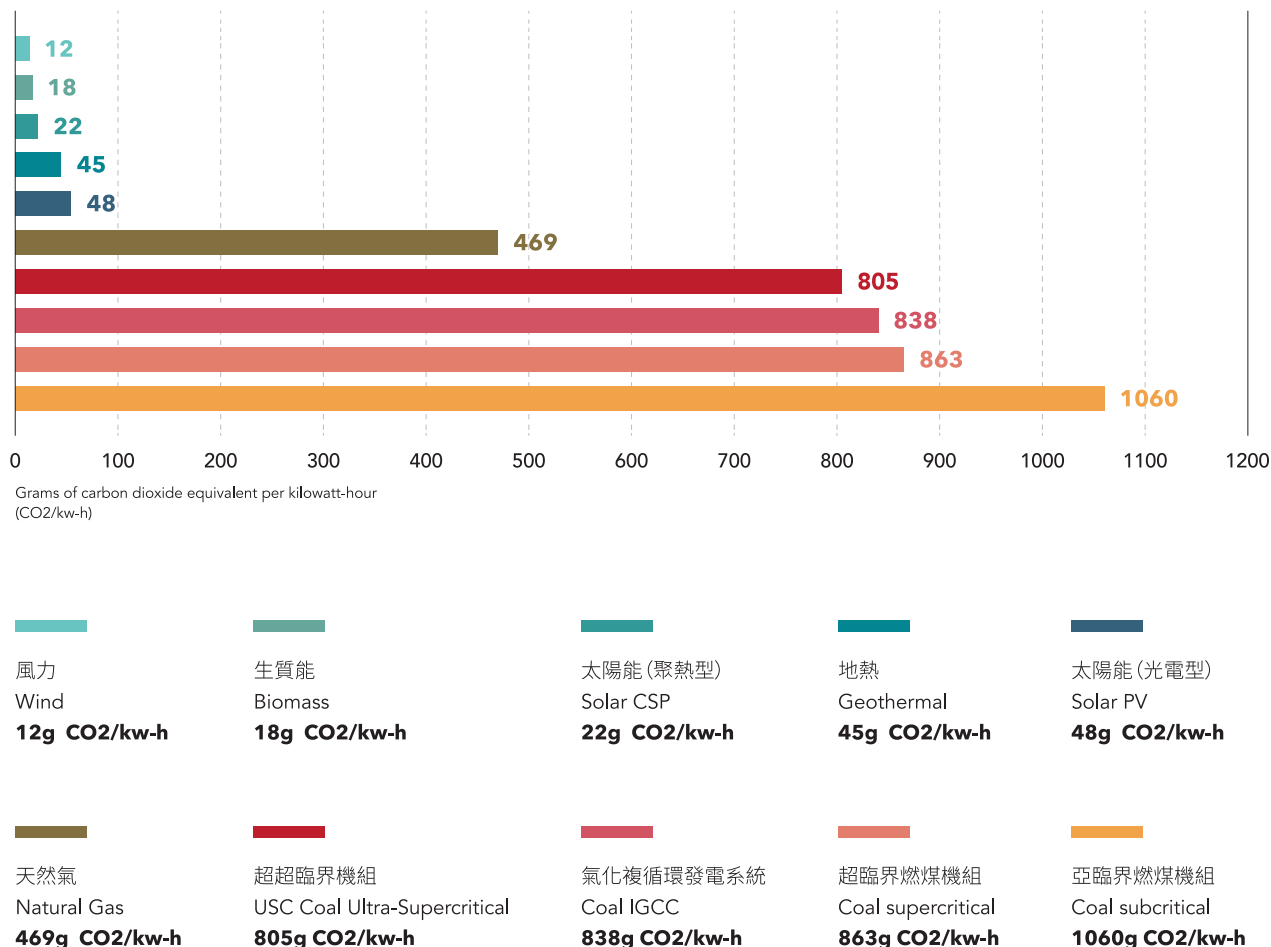


圖 4：燃煤發電與再生能源發電二氧化碳單位排放量。

資料來源：1) IPCC. 2012. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN). p.973 Annex II: Methodology.

2) Whitaker, M. et al. 2012. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Coal-Fired Electricity Generation. Journal of Industrial Ecology, 16: S53-S72.

雖然有些政府或煤炭業者指稱高效率的燃煤發電機組可以有效降低二氧化碳的排放，然而根據 Coal Swarm 與綠色和平的共同研究指出，即便是最高效率的燃煤發電機組，其二氧化碳單位排放量也比燃氣高 1.7 倍，更比再生能源高 17-69 倍^{28、29}。（見圖 4）。不只如此，也已有研究指出高效低排（high-efficient low-emission, HELE）燃煤發電並無法達成將全球升溫控制在攝氏 2 度 C 內的目標^{30、31}；根據聯合國政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）推估，若要把全球升溫控制在 2 度 C 以下，所有未安裝捕捉與封存技術的（Carbon Capture and Storage, CCS）煤電廠

都必須要在 2050 年前全面淘汰³²。綜合以上，燃煤發電是溫室氣體排放量最高的一種發電方式，為避免氣候變遷繼續惡化，減少燃煤使用應為當務之急。

註：圖內所標示不同發電來源的二氧化碳單位排放量為不同發電方式在整個生命週期中所排放的二氧化碳，包括電廠的建造和發電。超超臨界機組的二氧化碳單位排放量的計算是用超臨界機組的單位排放量 *42/45（863*42/45=805）。此計算方式是依據超臨界和超超臨界的熱效率值差異，超臨界熱效率值 42%、超超臨界熱效率值 45%，熱效率值較高的機組每度電所需燃燒的炭較少，因此碳排放量較低。然而此兩種機組在電廠建造時所排放的二氧化碳並無太大差異。



Photo : Greenpeace

綠色和平行動者在印尼中爪哇燃煤電廠附近掛布條，凸顯燃煤電廠所排放之空氣污染對於人體健康之傷害，與當地公民團體一同呼籲印尼政府終止燃煤電廠的興建。

真相 2： 煤電帶來空污危害人體健康

燃煤發電會排放大量的空氣污染物質，包含懸浮微粒（PM10）、細懸浮微粒（PM2.5）、氮氧化物（NOx）、硫氧化物（SOx）、臭氧（O3）、重金屬等，而這些污染物質會經由呼吸系統進入人體肺部，再隨著血液循環全身，造成死亡與許多健康問題。其中，燃煤電廠所排放的PM2.5更對人體健康帶來嚴重的威脅。

PM2.5是對人體最有害的空氣污染物質³³，早在2013年，國際癌症總署（International Agency for Research on Cancer, IARC）就將PM2.5列為一級致癌物，世界衛生組織（World Health Organization, WHO）全球疾病負擔研究也指出，光在2010年，PM2.5就導致全球超過300萬件早死案例（premature death）³⁴。在臺灣，也有研究指出，在2013年PM2.5的平均濃度下，罹患肺癌與兒童氣喘的風險會提高15%；此外，中風、心臟疾病與慢性呼吸道

疾病的風險則會增加25%³⁵。2014年臺灣就有超過6,000名死亡人口是暴露於PM2.5所造成的³⁶。2014年哈佛大學研究團隊也針對亞洲與東南亞地區燃煤電廠所帶來空氣污染問題進行研究，結果發現，以全臺運轉的燃煤電廠為基準，其所造成的PM2.5，每年就會造成900件早死案例，且若持續興建新的燃煤電廠，每年的早死案例將持續增加³⁷。

燃煤電廠除了直接排放細懸浮微粒（PM2.5），其所排放的硫氧化物（SOx）、氮氧化物（NOx）與其他污染物質也會在大氣中經過化學作用形成PM2.5。臺灣將近一半的硫氧化物、四分之一的氮氧化物就是來自燃煤電廠³⁸，而這兩種物質不僅是形成PM2.5的主要來源，同時還會造成對環境與人體有害的酸雨以及同樣也是空氣污染物的地表臭氧（ground level ozone）。此外，硫氧化物也會影響呼吸系統與心肺功能，加劇氣喘與慢性支氣管炎的情況，而氮氧化物則會引發氣喘與缺血性腦中風等疾病^{39、40}。另外，燃煤電廠還會排放對人體與環境有害的重金屬，包含汞、鉛等。



Photo : Greenpeace

南非 Waterberg 是一個已經缺乏水資源的地區，但是卻有更多新的煤礦區與煤電廠計畫正在虎視眈眈。

真相 3： 燃煤電廠消耗全球大量水資源

燃煤發電是最耗水的發電方式之一⁴¹，從開採煤礦、洗煤、發電、到煤灰處理都需要用到水，而這些過程往往會增加當地水資源匱乏的壓力，且污染當地水資源⁴²。

以一座配有貫流式冷卻（once-through cooling）系統 500MW 燃煤電廠為例，每三分鐘就可以抽乾一個標準游泳池的水⁴³。截至 2013 年底，全球 8,359 座燃煤機組（裝置容量 1811GW），每年消耗 190 億立方公尺的淡水，這樣的耗水量足以供應超過 10 億人的基本用水；若加上整個採礦過程中的用水，每年更會消耗 227 億立方公尺的淡水，足以供應 12 億

人的基本用水^{44、45}。

目前全球有將近一半（44%）的燃煤電廠都位於水資源匱乏的高水壓力地區，即便如此，仍然有將近一半規劃興建的燃煤電廠選址也在高水壓力地區，預料將加劇水資源缺乏的情況⁴⁶。在臺灣，目前約有 76% 的燃煤機組位於高水壓力的地區；而預計將於未來商轉的 5 個燃煤機組中，3 個位於高水壓力地區，2 個位於非常高水壓力地區⁴⁷。

若燃煤電廠使用的是貫流式冷卻系統，將直接排放溫排水到周遭環境水體，造成熱污染（thermal pollution），傷害溫度敏感的生態系統和水中生物⁴⁸。不僅如此，燃煤發電過程所產生的煤灰，因其中含有有毒與持久性污染物質，往往帶來永久水污染的風險⁴⁹。



Photo : Greenpeace

澳洲昆士蘭外海上的運煤船。

真相 4： 煤炭開採地的環境破壞

煤炭的污染與危害，不僅存在於發電過程而已，更是從開採、儲存、運送就已經對於煤炭出口國的環境與居民造成不可抹滅的傷害。臺灣所使用的煤炭全數由國外進口，第一大進口國為澳洲，第二大進口國為印尼⁵⁰。以下將針對澳洲與印尼的案例進行分析。

案例 1. 澳洲

澳洲是全球第一大煤炭出口國，如目前規劃中的新煤礦區與港口擴建通過，可能將導致數百萬噸的大堡礁海床被挖出；除此之外，煤炭出口所需的港口設施與頻繁的海上運輸都持續對大堡礁的生態系統造成永久

性的傷害。

每年經過澳洲大堡礁的運煤船數量正持續增加，估計到了 2020 年，每年可能有 10,150 艘運煤船會經過大堡礁，也就是說平均每一個小時都會有一艘運煤船離港，駛往大堡礁⁵¹。運煤船對大堡礁的傷害包含了船隻碰撞、擱淺、海洋害蟲、化學物質與油料污染等⁵²。從 1985 年開始，澳洲大堡礁每年平均都會發生兩起船隻碰撞或擱淺事件⁵³。2010 年在 大堡礁發生的一起運煤船擱淺意外，便損害了周遭 290,000 平方公尺的珊瑚礁區⁵⁴，根據大堡礁海洋公園管理局（Great Barrier Reef Marine Park Authority, GBRMPA）的調查，擱淺的意外幾乎完全摧毀了該範圍下的珊瑚礁生態，同時也在受損的礁體上發現通常用於船體上的防污漆。這種防污漆不只對珊瑚有毒，也會抑制浮游生物等海洋有機物生長，讓受損的珊瑚礁更難恢復⁵⁵。



Photo : Greenpeace

印尼南卡里曼丹煤礦區受污染的池塘。

案例 2. 印尼

印尼為全球第二大煤炭出口國，印尼煤炭開採主要集中在卡里曼丹（Kalimantan）地區⁵⁶，該區煤炭蘊藏量占全國 40%⁵⁷。2009 年，印尼所出口的煤炭有三分之二來自東卡里曼丹（East Kalimantan）地區，其餘剩下的則大部分來自南卡里曼丹（South Kalimantan）⁵⁸。南卡里曼丹地區當地將近一半的流域（範圍大概 3,000 公里）都位在煤礦區的下游，並暴露在受煤炭開採廢水污染的風險中⁵⁹。

2014 年，綠色和平在南卡里曼丹地區 5 個特許開採煤炭的地方，總共抽取 29 個廢水樣本，其中高達 22 個樣本的檢測出驚人的酸度，其 pH 值範圍介於 2.32-4.66 之間⁶⁰，這些 pH 值完全不合乎印尼政府的規定⁶¹。除此之外，開採煤礦也持續造成當地森林的破壞，綠色和平估計在 2009 到 2011 年間，整個卡里曼丹地區有四分之一的森林破壞就是來自煤礦開採，面積約 13 萬公頃，約等於 5,000 座大安森林公園⁶²。

臺灣－模糊的減煤路徑，何時才能擺脫煤炭的陰影？

煤炭並非永續的能源選項，在氣候變遷與空氣污染威脅人類生存之際，各國政府正積極減煤。根據綠色和平與國際研究全球燃煤電廠發展情況機構 Coal Swarm 發布的最新研究報告《全球燃煤發電退場趨勢報告》（Global Shift）指出⁶³，光是 2016 年 1 月到 2017 年 1 月，全球規劃中的燃煤發電建置計畫就減少了將近一半。許多歐洲國家，包含英國、法國等，皆已訂定全面淘汰燃煤的期限；即使在亞洲，減煤也是共同的趨勢，以同樣面臨減碳挑戰與空污問題的中國與韓國為例，中國已經宣布關閉超過 1,000 座煤礦場⁶⁴，停止發出開採煤礦許可⁶⁵，更首度取消 30 座興建中的燃煤電廠計畫⁶⁶，從源頭掃除煤炭污染。韓國政府更宣布將關閉 7 座老舊燃煤機組，不再規劃建置新燃煤電廠⁶⁷。

反觀臺灣，政府雖規劃在 2025 年將燃煤發電占比降到 30%，再生能源發電占比提高到 20% 目標，但現階段卻持續增建新的燃煤機組，遲遲不見明確的燃煤退場機制，讓人不禁擔憂臺灣能源與環境的未來！

提出減煤路徑是全面淘汰煤炭的第一步，更是臺灣轉型為潔淨能源國家的重要途徑，在電力安全及民生需求的各項考量下，固然無法一蹴可幾，但政府也必須正視煤炭的危害，展現淘汰骯髒能源的決心。綠色和平建議，要確保達到 2025 年燃煤發電占比降至 30%，長期減煤減碳之目標，臺灣政府應該盡快採取下列三項行動：

1) 盡快提出減煤路徑圖

根據政府目前所提出的能源轉型規劃，臺灣燃煤發電占比將先提高後下降，此舉與臺灣正欲積極改善空氣污染與減碳之雙重挑戰有所矛盾。因此，政府應該盡快提出具體之減煤路徑圖，廣納各方意見，確保該途徑為具體且可行。

2) 資訊公開－全面盤點並公開燃煤發電廠相關資訊（包含臺電、民營電廠與汽電共生廠）

根據 Coal Swarm 全球擁有燃煤電廠企業的調查⁶⁸，

臺灣擁有燃煤電廠的企業，除了臺電、臺塑集團與臺泥集團之外，還有「臺灣汽電共生公司」、「永豐餘集團」、「長春集團」和「正隆集團」（見表一），而這幾家公司所擁有的卻是燃煤汽電共生廠。雖然汽電共生廠非以發電為最主要目的，卻提供全臺將近 15% 的電力，僅低於民營電廠 16.85%⁶⁹。綠色和平認為，政府應全面盤點各類型的燃煤電廠，包括臺電、民營電廠與汽電共生廠，提升燃煤電廠資訊透明度，並據此訂定有效的減煤路徑圖。

3) 明確訂定燃煤發電裝置容量上限

雖然政府規劃減煤，但仍持續興建新的燃煤機組，老舊機組除役的速度遠不及新機組的擴建，彷彿減煤只是一個口號。能源局曾於 2014 年 12 月發布《全國長期負載預測與電源開發規劃》，分析與訂定未來各發電來源之裝置容量規劃。然而，隨著政府最新的能源轉型目標（2025 年，全國發電占比將有 20% 來自再生能源，30% 來自燃煤，50% 來自天然氣），政府應該重新規劃，並提出更新版的評估報告，明確訂定燃煤發電的裝置容量上限，進一步確保未來能逐步淘汰燃煤發電。

擁有燃煤發電廠公司	規劃中 (MW)	興建中 (MW)	暫停 (MW)	運作中 (MW)	已退役 (MW)
臺塑集團 (Formosa Plastics Group)	450	300	0	11067	205
臺電公司 (Taipower)	2400	2400	12800	8400	1200
臺泥集團 (TCC Group)	0	0	0	746	0
臺灣汽電共生公司 (Taiwan Cogeneration Corporation)	200	0	0	0	0
永豐餘集團 (Yfy Group)	0	0	0	172	0
長春集團 (台灣) (Chang Chun Group - TW CCPG)	0	0	0	50	0
正隆集團 (Cheng Loong)	0	0	0	48	0

註：上表中臺灣公司所擁有的燃煤機組所在地並不限於臺灣。

表一：臺灣擁有燃煤發電的公司與燃煤機組建置情況。

資料來源：Coal Swarm. July 2017. Global Ownership of Coal-Fired Power Plants (MW).

<https://endcoal.org/wp-content/uploads/2017/10/July-2017-Coal-Companies.pdf>

- 01 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Nov 2014. IPCC Fifth Assessment Synthesis Report. p.2. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- 02 Ibid. p.5.
- 03 IPCC. 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
- 04 IEA. 2016. CO2 emissions from fuel combustion – Highlights. p.11 https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustion_Highlights_2016.pdf
- 05 該報告評估的環境成本包含六大類：1) 水資源使用；2) 溫室氣體；3) 廢棄物；4) 空氣汙染；5) 土地使用；6) 水汙染與土壤汙染。
- 06 Trucost Plc and TEEB for Business Coalition. April 2013. Natural Capital at Risk: The Top 100 Externalities of Business.
- 07 Greenpeace. March 2016. The Greater Water Grab – How the Coal Industry is Deepening the Global Water Crisis. p.19. <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2016/The-Great-Water-Grab.pdf>
- 08 Greenpeace. August 2015. Human Cost of Coal Power - How coal-fired power plants threaten the health of Indonesians. <http://www.greenpeace.org/seasia/id/PageFiles/695938/full-report-human-cost-of-coal-power.pdf>
- 09 Greenpeace. March 2016. The Greater Water Grab – How the Coal Industry is Deepening the Global Water Crisis. <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2016/The-Great-Water-Grab.pdf>
- 10 BP. June 2017. BP Statistical Review of World Energy June 2017. p.38. <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>
- 11 Ibid.
- 12 能源局，能源局統計年報 - 能源供給與國內能源消費及能源供給，http://web3.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentLink.aspx?menu_id=378
- 13 能源局，2016年，能源統計手冊，p.3. https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/SubMenu.aspx?menu_id=5427
- 14 Ibid. p.2.
- 15 IEA. 2017. Coal Information : Overview. p. 6. Table 5: Major coal importers <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CoalInformation2017Overview.pdf>
- 16 能源局，能源局統計年報 - 臺灣地區進口煤炭量質表，http://web3.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentLink.aspx?menu_id=378
- 17 能源局，能源局統計年報 - 煤及煤產品供需平衡表，http://web3.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentLink.aspx?menu_id=378
- 18 能源局，能源局統計年報 - 電力供給（按能源別）及國內電力消費（按部門別），http://web3.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentLink.aspx?menu_id=378
- 19 發電機組的裝置容量就是發電機組可容許的最大電力輸出功率，通常以百萬瓦（MW）作為單位。
- 20 臺電，2017年6月，106年長期電源開發方案，p.17表2-6 106年臺電公司長期電源開發方案表，http://www.taipower.com.tw/content/new_info/images/c40/106%E5%B9%B4%E9%95%B7%E6%9C%9F%E9%9B%BB%E6%BA%90%E9%96%8B%E7%99%BC%E6%96%B9%E6%A1%8810605%E6%A1%88.pdf
- 21 IPCC. Nov 2014. IPCC Fifth Assessment Synthesis Report. p.5. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- 22 Ibid. pp.2-5. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- 23 The New Climate Economy. 2014. Better Growth, Better Climate – Chapter 4 Energy. p.9. http://newclimateeconomy.report/2014/wp-content/uploads/sites/2/2014/08/NCE_Chapter4_Energy.pdf
- 24 Ibid. p.3.
- 25 IEA. 2017. Electricity information : Overview. p.3. Figure 2 World gross electricity production. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ElectricityInformation2017Overview.pdf>
- 26 臺電，2017，溫室氣體，http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-e14.aspx?LinkID=15
- 27 2014年公用與自用發電廠二氧化碳排放量為109,360千公噸二氧化碳當量（來源：環保署，2016年，2016年中華民國國家溫室起體排放清冊報告 - 第三章 能源部門，p. 3-21表3.2.11 台灣1990至2014年能源產業二氧化碳排放量，http://unfccc.saveoursky.org.tw/2016nir/uploads/03_content.pdf P.3-21）除以2014年二氧化碳排放量为268,515千公噸二氧化碳當量（來源：環保署，2016年，2016年中華民國國家溫室起體排放清冊報告 - p.3表ES2.1 臺灣1990至2014年各類溫室氣體排放量和移除量，http://unfccc.saveoursky.org.tw/2016nir/uploads/00_abstract.pdf）
- 28 IPCC. 2012. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN). p.973 Annex II: Methodology.
- 29 Whitaker, M. et al. 2012. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Coal-Fired Electricity Generation. *Journal of Industrial Ecology*, 16: S53–S72.
- 30 ECOFYS. April 2016. The incompatibility of high efficient coal technology with 2 °C scenarios. <https://www.ecofys.com/files/files/ecofys-2016-incompatibility-of-hele-coal-w-2c-scenarios.pdf>
- 31 Davidson, O et al. 2013. New unabated coal is not compatible with keeping global warming below 2 °C . <https://europeanclimate.org/documents/nocoal2c.pdf>
- 32 ECOFYS. April 2016. The incompatibility of high efficient coal technology with 2 °C scenarios. p.6. <https://www.ecofys.com/files/files/ecofys-2016-incompatibility-of-hele-coal-w-2c-scenarios.pdf>
- 33 Forouzanfar, M. H.; et al. 2016. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioral, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990 - 2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet* 2016, 388 (10053), 1659 - 1724.
- 34 Lim, S et al. 2012. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attribute to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet* 2012, 380 (9859), 2224-2260.
- 35 Kan, H.D et al.2005. Establishment of Exposure-response Functions of Air Particulate Matter and Adverse Health Outcomes in China and Worldwide. *Biomed Environ Sci* 2005 Jun 18 (3): 159-63
- 36 羅偉成等人，2016年，台灣可歸因於PM_{2.5}暴露之死亡負擔，*台灣醫學*；20卷4期(2016/07/25)，第396-405頁

- 37 Koplitz, S.N et al. 2017. Burden of Disease from Rising Coal-Fired Power Plant Emissions in Southeast Asia. *Environmental Science&Technology* 2017, 51(3), pp. 1467-1476.
- 38 Kurokawa, J et al. 2013. Emissions of air pollutants and greenhouse gases over Asian regions during 2000-2008: Regional Emission inventory in ASIA (REAS) version 2. *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 11019-11058.
- 39 廖孟儀等人，2016年，臺灣火力發電健康衝擊外部成本分析，臺灣能源期刊第三卷第三期；第277-292頁
- 40 莊秉潔與郭佩萱，2011年，石化產業的空汙與健康風險，生態臺灣第30期，第20-32頁
- 41 Majumder M. 2015. Impact of Urbanization on Water Shortage in Face of Climatic Aberrations. Springer. 978-981-4560-73-3
- 42 Greenpeace. March 2016. The Greater Water Grab – How the Coal Industry is Deepening the Global Water Crisis. pp. 10-11. <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2016/The-Great-Water-Grab.pdf>
- 43 “A 500MW coal-fired power plant, using once through cooling, can withdraw enough water to suck dry an olympic-sized swimming pool roughly every three minutes.” This is calculated using water factors from Meldrum, J., Nettles-Anderson, S., Heath, G. & Macknick, J. 2013. Life Cycle water use for electricity generation: a review and harmonization of literature estimates. *Environmental Research Letters* 8 (2013), doi: 10.1088/1748-9326/8/1/015031, assumed for once through cooling at 85% capacity factor and thermal efficiency (LHV) of 35.4% for sub-critical and 39.9% for supercritical plants. Currently an estimated 20% of power plants use once-through cooling system. Actual water demand also varies between countries. The detailed analysis of water demand by 500 MW power plant available at www.greenpeace.org/thegreatwatergrab
- 44 The World Health Organization (WHO) says that between 50 to 100 litres of water is needed per person per day for the most basic needs. Taking 50 litres per day as the bare minimum, that's 18250 litres or 18.3 m3 per person per year. Coal plants including coal mining activities globally consume 22.7 billion m3 of water per year, dividing this by 18.3 m3 per person per year amounts to the water needs of 1.2 billion people. (Greenpeace The Great Water Grab endnotes 3)
- 45 Greenpeace. March 2016. The Greater Water Grab – How the Coal Industry is Deepening the Global Water Crisis. p.6. <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2016/The-Great-Water-Grab.pdf>
- 46 Ibid. p. 21.
- 47 本研究整理自世界資源研究所 (World Resource Institute, WRI) 與台電網站個燃煤機組位置
- 48 Greenpeace. March 2016. The Greater Water Grab – How the Coal Industry is Deepening the Global Water Crisis. p.9. <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2016/The-Great-Water-Grab.pdf>
- 49 Ibid.
- 50 能源局，能源局統計年報 - 臺灣地區進口煤炭量質表，http://web3.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentLink.aspx?menu_id=378
- 51 Greenpeace. 2012. Boom Goes the Reef : Australia's coal export boom and the industrialisation of the Great Barrier Reef. p.4. http://www.greenpeace.org/australia/Global/australia/reports/Boom_goes_the_Reef_Report_4MB.pdf
- 52 Great Barrier Reef Marine Park Authority(GBRMPA). 2009. Great Barrier Reef outlook report 2009. Great Barrier Reef Marine Park Authority. ISBN 978 1 876945 89 3 (pbk.)
- 53 Ibid.
- 54 GBRMPA. 2010. Marine Shipping Incident Great Barrier Reef Marine Park – Douglas Shoal. Information Sheet 4
- 55 Miller, G. 2010. Shen Neng 1 Incident Response: Independent review of the response to the Shen Neng 1 grounding and associated pollution response. Sling Shot Consulting.
- 56 Lucarelli B., July 2010. The History and Future of Indonesia's Coal Industry: Impact of Politics and Regulatory Framework on Industry Structure and Performance', Program on Energy and Sustainable Development. Stanford Working Paper #93. p.25. http://iis-db.stanford.edu/pubs/22953/WP_93_Lucarelli_revised_Oct_2010.pdf
- 57 KP3EI Komite Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (The Indonesian Committee for acceleration and expansion of Economical Development), “Kalimantan Perkembangan dan Kemajuan KE Kalimantan,” http://kp3ei.go.id/in/main_ind/content2/114/117
- 58 “Indonesian coal” Donald L. Ewart, Jr., and Robert Vaughn, Marstonne & Marstonne Inc. US, review the Indonesian thermal coal industry. Reprinted from May 2009 World Coal Asia Special. www.WorldCoal.com
- 59 Greenpeace. December 2014. Coal Mines Polluting South Kalimantan's Water. p.5. http://m.greenpeace.org/seasia/id/PageFiles/645408/FULL%20REPORT%20Coal%20Mining%20Polluting%20South%20Kalimantan%20Water_Lowres.pdf
- 60 當水中 pH 值落到 3-4 之間，許多魚類就可能因此而死亡，pH 值越低，對於當地環境的破壞只會更嚴重。
- 61 Greenpeace. December 2014. Coal Mines Polluting South Kalimantan's Water. p.32. http://m.greenpeace.org/seasia/id/PageFiles/645408/FULL%20REPORT%20Coal%20Mining%20Polluting%20South%20Kalimantan%20Water_Lowres.pdf
- 62 Ibid. p.20.
- 63 Greenpeace and CoalSwarm. October 2017. Global Shift: Countries and Subnational Entities Phasing Out Existing Coal Power Plants and Shrinking the Proposed Coal Power Pipeline. <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2017/Global-Shift.pdf>
- 64 中國煤炭新聞網，2017年4月20日，2017年這1000家煤礦將關閉，<http://www.cwestc.com/newshtml/2017-4-20/456258.shtml>
- 65 中華人民共和國中央人民政府，2016年，國務院關於煤炭行業應化解過剩產能實現脫困發展的意見。http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-02/05/content_5039686.htm
- 66 中國火力發電網信息，2017年2月14日，能源局下發13省市新建火電機組停建清單，http://www.sohu.com/a/126221368_436794
- 67 Bak Se-hwan. 2017. South Korea aims to reduce fine dusty by over 30%. *The Korea Herald*. 26th, September, 2017. <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20170926000817>
- 68 Coal Swarm. July 2017. Global Ownership of Coal-Fired Power Plants (MW). <https://endcoal.org/wp-content/uploads/2017/10/July-2017-Coal-Companies.pdf>
- 69 能源局，2016年，能源統計手冊，p.3. https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/SubMenu.aspx?menu_id=5427



Photo : Greenpeace

綠色和平是一個全球性的環保組織，在全球超過 55 個國家、26 間全國或區域辦公室進行環境保護工作。為維持公正性和獨立性，綠色和平不接受任何政府、企業或政治團體的資助，只接受市民和獨立基金會的直接捐款。

綠色和平臺北辦公室

地址：10045 臺北市中正區重慶南路一段 109 號
電話：+886 (2) 2361-2351
信箱：inquiry.tw@greenpeace.org

GREENPEACE 綠色和平