

氣候變遷與基礎設施韌性： 臺灣半導體產業水資源與 電力使用分析報告

作者－

DSET | 呂采穎、張禎晏、
林孟慧、游博翔
環權會 | 許博任、林彥廷

Feb 2025



氣候變遷與基礎設施韌性： 臺灣半導體產業水資源與電力使用 分析報告

作者：

DSET — 呂采穎、張禎晏、林孟慧、游博翔
環境權保障基金會 — 許博任、林彥廷

關於科技民主與社會研究中心永續韌性研究小組

本團隊由能源、氣候及社會科學專家組成，致力於提供能源韌性與氣候韌性兩大主題面向的政策評估報告。在能源韌性方面，我們密切關注臺灣的能源安全與韌性問題、臺灣在新興潔淨能源科技的競爭力、以及臺灣在印太地區的綠能供應鏈中的定位；在氣候韌性方面，我們撰寫氣候趨勢觀察，也分析臺灣氣候外交取徑的特殊性，最後，我們更強調分析氣候風險的重要性，以確保基礎設施的韌性。

關於環境權保障基金會

由臺灣首例政府與人民就環境訴訟達成和解之中科三期案而成立的環境權保障基金會（簡稱環權會），創立以來環權會在臺灣各地奔走，從農村、漁村到原民部落，投入大量心力，提供受開發影響的利害關係人相關法律扶助、倡議行動，及政策建議等協助。同時，也致力推動能源轉型、氣候變遷調適、公正轉型、產業轉型、企業人權與環境責任等制度變革。

致謝

本報告能夠順利付梓，特別感謝在研究與撰寫過程中提供協助與支持的各方人士與團體。

首先，誠摯感謝李明旭教授、童慶斌教授、林法正副主委、水利署江俊生副組長、以及林聖崇先生的指導與受訪，提供了寶貴且專業的見解，讓本研究的觀點得以更加完整。

同時亦感謝臺灣乾淨水行動聯盟、台中市后里區農業與環境保護協會、中科汙染搜查線、看守臺灣協會以及地球公民基金會等團體在二奈米設廠案環境影響評估程序中的積極參與，提供了寶貴的資料與觀點，為本報告增添深度與廣度。

本報告的論點仰賴大量電力相關的數據分析，感謝蔡昀霆研究員提供數據分析上的專業技術支持。

報告內容與撰寫過程中，有大量資料蒐集、分析與校閱工作，感謝阮怡婷、楊喻評與周沛岑的大力協助。最後，要特別感謝盧廷凱設計師的圖表設計與排版，為本報告增色。

以上感謝的每一位人士與團體，皆是本報告得以順利完成的重要推動力量。謹在此表達最誠摯的謝意。

目錄

第 1 章、缺水又缺電？重新定位臺灣基礎設施韌性問題	1
前言：為什麼這份報告重要？	1
一、氣候韌性與能源及用水安全	2
二、臺灣曾發生的限水與限電事件分析	4
(一) 什麼情況下會發生減壓供水、減量供水、分區供水、與稻作停耕等等事件呢？	5
(二) 什麼狀況下會實施階段性與輪流分區分組限電？	5
三、區域用水／電供需體系與資源競爭	7
四、小結	8
第 2 章、解析半導體產業水資源與電力需求	10
前言	10
一、半導體產業的重要性與擴廠計畫	11
(一) 地域性風險	12
(二) 半導體業的實體氣候風險：水文乾旱及均溫上升	14
二、臺灣曾發生的限水與限電事件分析	14
(一) 水資源使用：量與質的挑戰	14
(二) 超純水：嚴苛水質標準	18
三、區域用水／電供需體系與資源競爭	19
(一) 先進製程的需電量成長	19
(二) 隱藏的廠務系統用電需求成長	23
(三) 尚未被考慮的氣候風險	25
(四) 穩定電力的跨區調度	26
四、小結	31

第 3 章、現有因應策略的侷限	32
前言	32
一、水資源系統調適：強化調度備援能力與供水韌性	33
(一) 國家水資源策略轉型：科技造水與調度韌性成為主軸	33
(二) 通水管打破河川水系限制：串連西部的珍珠串計畫	34
(三) 不受科技造水成為臺灣減少降雨依賴的重要手段	36
(四) 台積電節水成效領先、突破再生水技術極限，但仍緩不濟急	39
二、電力系統調適：能源轉型與提升電網韌性	44
(一) 能源轉型下需正視電網更新與區域電力調度	44
(二) 台積電於製程與廠務節能創新有成，但成效仍有限	47
(三) 儲能設備或可兩全：兼顧半導體業穩定供電與電網韌性提升	48
(四) 綠電不只是為了 RE100 勳章，更具備分散用電風險功能	50
三、小結	52
第 4 章、政策建議	54
前言：氣候風險將大幅度牽連經濟安全	54
政策建議一、透過政策工具提高水利與電力基礎設施韌性	55
政策建議二、垂直與水平對齊氣候風險認知與資料分析尺度	58
政策建議三、地方政府須負擔更多再生能源與再生水供應責任	59
政策建議四、使用再生資源仍有其開發限制，應持續推動傳統難減排產業的轉型	60
參考資料	61
一、中文參考文獻	61
二、西文參考文獻	68

1

缺水又缺電？重新定位臺灣 基礎設施韌性問題

重點節錄

1. 氣候變遷帶來氣溫、水溫、與降雨量的改變，不僅是硬體設備，也將對於臺灣水利與電力系統帶來系統性衝擊，應就對此兩個系統間的相互影響進行盤點。
2. 擺脫用水與用電缺口「總量」的迷思，應以縣市為尺度，例行滾動檢討跨區水源與電力的可供給能力與調度量。
3. 臺灣應持續投入提高基礎設施氣候韌性計畫以及需求端控管的投資。
4. 工業用水與用電受限於資源的時空分佈不均，產業集中的園區並非水電供給最為充沛的地區，因而暴露於更高的氣候風險，未來將需要跨區水利與電力系統之間更頻繁的開發與調度協作。

前言： 為什麼這份報告重要？

根據去（2024）年六月所發布的《國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適》的預估，最劣排放情境下（RCP 8.5）臺灣平均高溫日將持續增加，而冬季的時間則會縮短；在降雨方面，可預期未來一旦發生乾旱，將會持續長達數日，相反地，出現極端降雨事件的強度與次數，也同時都會增加，且不同縣市所暴露的氣候風險程度與種類也有所差異，例如臺北盆地、宜蘭沿海與中南部西部沿岸的淹水範圍與機率將雙雙提高，苗栗以北與東部山區的土石流風險增加，另外北部也將會是高溫增幅最明顯的區域。¹

1 許晃雄、王嘉琪、陳正達、李明旭、詹士樑（2024）。國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適 [許晃雄、李明旭 主編]。國家科學及技術委員會與環境部聯合出版。

一、氣候韌性與能源及用水安全

當「複合性災害」成為日常，這不僅是考驗中央與地方政府防災應變的能力，更是對國家如何在基礎設施（如電力系統、水利設施、交通、與工業設施等等）的設計、建置、與維護上，透過氣候調適行動來提升基礎設施的韌性—即遇到災害時仍能快速復原，維持系統一定基本運作的能力—包含吸收與因應衝擊、系統調整與適應、以及系統轉型的挑戰。²

就上位政策而言，國家發展委員會已於 2010 年 1 月 29 日成立「規劃推動氣候變遷調適政策綱領及行動計畫」專案小組，並依照災害、維生基礎設施、水資源、土地使用、海岸、能源供給及產業、農業生產及生物多樣性、以及健康等八大領域，透過會議與區域座談會蒐集意見後研擬出「國家氣候變遷調適政策綱領」。其中，在能源產業風險自主評估及調適輔導部分，可分為兩大主軸，一為以「防災」為核心，辨識硬體設備將受到衝擊的風險，另一個則是聚焦在運轉系統面的影響評估與規劃。

自 2011 年開始，經濟部能源局委託工研院開始進行廠家輔導，並在 2020 年完成風險評估資訊平台，就能源供給端與系統運作端的台電發、輸、配電系統、中油煉油廠、液化天然氣廠、供油、供氣中心、以及民營電廠，進行氣候風險評估並回報廠區／設施敏感度與脆弱度，以及相關調適策略規劃的推廣工作已有初步成果，並根據各能

源廠商盤點內容，經濟部也在 2023 年 10 月 31 日正式發布了委託工研院研擬的「能源產業因應氣候變遷風險評估指引」，提供能源廠商作為填報參考。

台電作為臺灣重要能源供應商，在 2013 年便自行辦理氣候變遷調適研究計畫，2015 年與 2018 年在發電、輸電及配電部門，分別選在台中發電廠、台北供電區營運處、以及高雄區營業處進行氣候變遷調適研究計畫，同時陸續完成興達、大潭、明潭、尖山、大林、通霄等等大型電廠的淹水模擬情境與應變規劃等等。但在運轉方面的調適作為，例如報告指出氣候變遷對用電安全帶來的影響，包含了氣溫與水溫的持續升高可能降低火力電廠復循環及氣渦輪機組的發電效率、火力與核能電廠冷卻效率下降、以及過往台電多將機組歲修排在冬季，若未來夏季日數增加，未來將使得某些機組必須排程到用電量較高的夏季，使得整體電力系統的備轉容量下降等等，因應這些未來可能對電力調度造成影響的系統調整，則尚無相關規劃。³

在用水安全方面，加強水資源韌性一直以來都對於豐（5 至 10 月）／枯（11 月至隔年 4 月）水期明顯且旱澇頻繁交替的臺灣十分重要，而氣候變遷加劇降雨的時間與空間差異，更是讓如何掌握各地區水情與調配的問題顯得越加嚴峻，例如水庫作為臺灣主要的調配供給設施，長期氣候變遷與短期變異將會在不同程度上使得豐枯水期流量差異更大，更加仰賴水庫調節、留置豐水期的河川逕流

2 Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. (2022, September 12). What is the difference between climate change adaptation and resilience? London School of Economics and Political Science

3 經濟部能源署 (2020)。經濟部能源科技研究發展計畫 108 年度執行報告：能源部門因應氣候變遷調適策略研訂及推動 (1/2) 第一年度。經濟部。

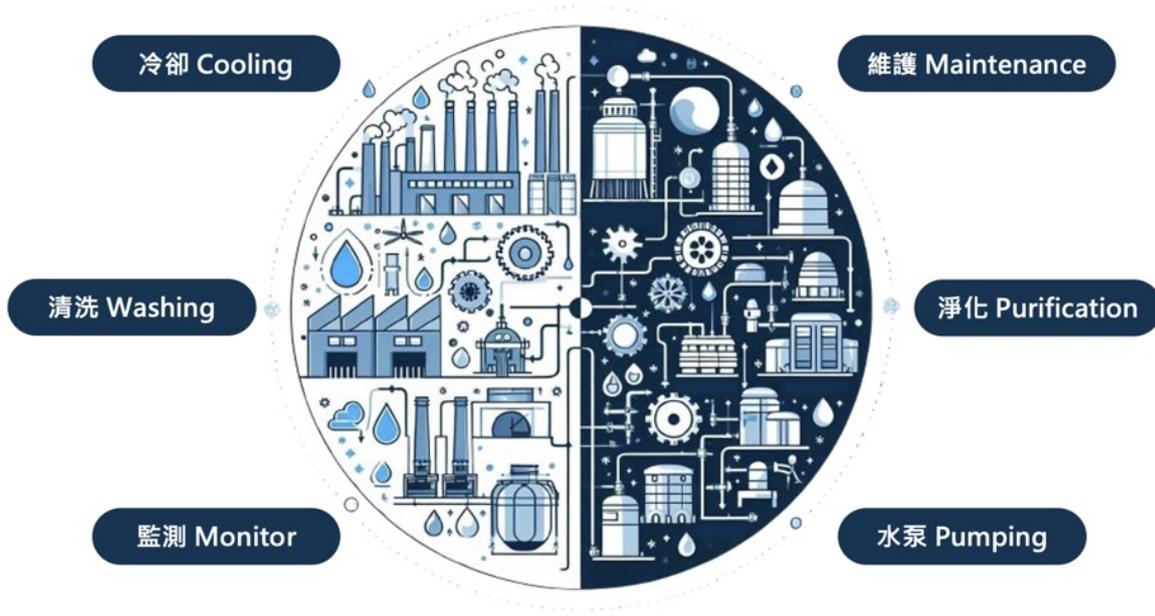


圖 1：電力基礎設施的用水需求（右）與水利基礎設施的用電需求（左）
（圖片來源：由 DSET 自行繪製）

以因應枯水期的用水需求。然而，當前臺灣既存水庫有效容量比率僅存 66.11% 以下，其中石門水庫未達 5 成、德基水庫僅 10%、曾文水庫也只剩下 15.2%，可見調蓄能力有限，倘若再遇極端降雨致水庫集水區土石崩塌或周遭土石沖刷，將明顯增加水庫的淤積程度、減少有效庫容量，進而減少水庫調配的功能，同時也會影響水力發電（包含慣常水力與抽蓄水力）的發電量以及調度效率；⁴ 同時，用水安全也需要電力系統的支援（見圖 1）。⁵

換句話說，面對氣溫、水溫改變與極端氣候事件對臺灣穩定用水與用電安全的連鎖效應與水—電之間互相支援體系的系統性影響，我們必須從關注總體降水與發電量的稀缺，轉向更精準地去分析，水資源與電力資源的系統性影響與連鎖效應，並且置放在各地區之中檢視。也就是說，盤點臺灣不同縣市與地區所暴露的氣候風險種類與衝擊程度、資源供給能力、以及可供調度量，來掌握各地本身資源分布不均的程度，以及相應管理與調配上的差異與限制，比起判斷總量是否足夠，更顯得重要；尤其當位於需

求端的業者到特定縣市設廠，針對其每日所需取水量與電力的增長，我們的基礎設施準備好了嗎？產業在設廠時須要考量哪些要件？目前有哪些因應與調適作為？工業、農業、民生各部門之間是否會有資源競爭的問題？

《氣候變遷與基礎設施韌性：臺灣半導體產業水資源與電力使用分析報告》將分以四章說明臺灣水利與電力基礎設施在氣候變遷以及半導體先進製程擴廠的需求成長衝擊下，在不同的行動者與地區層次，面臨什麼樣的氣候風險與用水／電壓力，相應的因應策略又有哪些侷限。報告成果一方面可作為業者計劃至其他地區設廠時提交用水與用電計畫的參考，另外也能作為國家能源與水利治理部門在基礎設施管理上的政策建議。本章作為報告的研究背景說明，將分作兩個部分釐清臺灣的水與電力資源治理脈絡，以及其所面對的壓力與挑戰。首先，透過爬梳臺灣過去的重大限水與限電事件，來說明當我們談臺灣到底有沒有缺水或缺電時，我們其實應該重視的是對於什麼樣的使用者、在哪些時間、哪些地區會出現相對缺乏的

4 蔡長泰 (2010)。氣候變遷對災害防治衝擊調適與因應策略整合研究—總計畫：氣候變遷對災害防治衝擊調適與因應策略整合研究 (III) 研究成果報告 (完整版)。行政院國家科學委員會專題研究計畫 (計畫編號：NSC 97-2625-M-006-011-)。國立成功大學水利及海洋工程學系。

5 詳細討論見水能交織 (Water-energy nexus)，臺灣案例可參考 Lee, M., Yu, C. Y., Chiang, P. C., & Hou, C. H. (2018). Water-energy nexus for multi-criteria decision making in water resource management: a case study of Choshui River Basin in Taiwan. *Water*, 10(12), 1740.

台灣近十年用水量概況

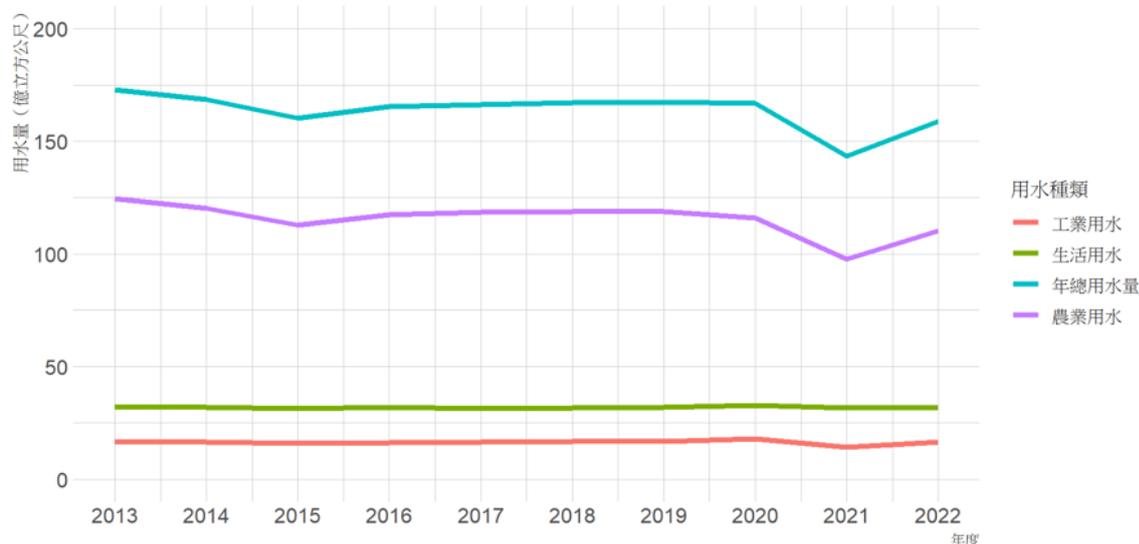


圖 2：臺灣近十年用水量概況

(資料來源：經濟部水利署，2023)⁹

情況；接著分析臺灣各區域的供需水／電情形與資源排擠的可能。

二、臺灣曾發生的限水與限電事件分析

首先說明臺灣水資源的供需結構與限制，截至 2023 年為止，臺灣共 40 座主要水庫，7 座分布於北區（基隆河與淡水河流域）、中區（大甲溪、中港溪及濁水溪）共 10 座、南區（八掌溪、急水溪及曾文溪）共 17 座、以及澎湖地區共 6 座（低窪地區築壩蓄水），支援各區農業、生活、及工業用水需求。⁶ 根據經濟部水利署的最新統計，2022 年臺灣總用水量為 158.74 億立方公尺，其中農業用水佔 69.42%、生活用水佔 20.14%、工業用水則是 10.44%，且近 10 年間比例上並無出現太多改變（見圖 2）。⁷ 仔細就供水來源來看，農業部門的用水大部份是來自河川水及地表水（約 70%），其他仰賴地下水（17%）與水庫（13%）；但民生與工業部門，則是極大部分來自於水庫及攔河堰等

集水設施提供的水源，即所謂自來水系統佔民生用水約 95.5%，工業用水則近半約 48.9%，其餘由河川引水及地下水補足。⁸

簡而言之，農業部門用水比例為各部門佔比最高，但大部分用水來自河川與地表水，而非水庫。不同於農業部門，臺灣的生活用水以及工業用水，更加高度仰賴水庫「蓄豐濟枯」的調節能力；這也顯示，當水庫的供水量受氣候變遷下強降雨、高溫、與乾旱等事件影響，將產生對民生與工業部門相對直接的衝擊。面對愈趨頻繁的極端氣候事件與半導體產業成長下可能產生不同區域的水資源利用缺口，水庫之間的調度、多元化的集水設施、與就近廠區興建科技造水設施等，搭配三階段限水策略，便成為目前臺灣主要的因應手段。

6 主計室。(2024 年 9 月 13 日)。臺灣地區近 10 年 (102 年 ~111 年) 各標的用水量趨勢概況。水利署。

7 經濟部水利署 (2023 年 8 月)。水利統計。水利署統計書刊。

8 中央研究院永續科學研究計畫 (2019)。臺灣乾旱研究：變遷、水資源衝擊、風險認知與溝通 (2016-2018 年)。中央研究院。

9 同註 7。

臺灣各地區實施減壓供水及更嚴措施之次數 (2012至2024年)

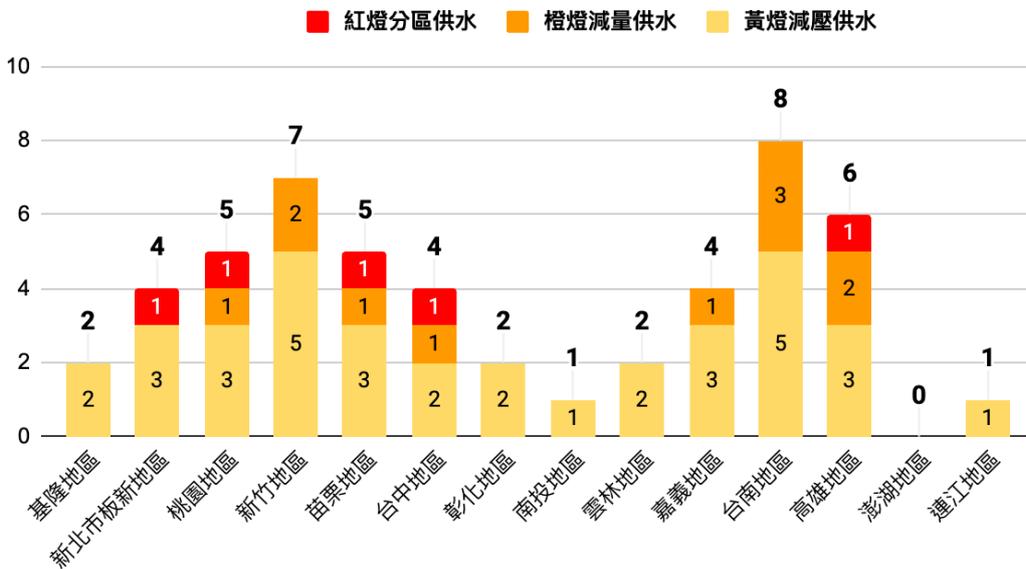


圖 3：臺灣各地區實施減壓供水及更嚴措施之次數 (2012 至 2024 年)

(資料來源：經濟部水利署，由 DSET 整理、繪製)¹⁰

(一) 什麼情況下會發生減壓供水、減量供水、分區供水、與稻作停耕等等事件呢？

臺灣依照水情設計了三階段因應措施：(1) 當水庫可供水量出現第一階段警示，便會啟用離峰時段降低管壓供水，並停止行政機關及國營事業之非必要用水；(2) 第二階段是減量供水，主要針對大用戶之非工業用水戶減供最多 (20%)，接著才是工業用戶 (5-20%)；(3) 第三階段的影響範圍最廣，啟用分區供水措施，包含分區輪流或全區「定時」停止供水或是「定點」供水，以居民維生、醫療、國防事業、工商事業等等為順序優先提供。我們可以從臺灣歷年限水的次數與程度分別是發生在哪些水庫與縣市，來辨識出臺灣目前工業與生活用水的相對脆弱區、造成限水的因素、以及主要是哪些使用者會受到影響。

根據經濟部水利署於 2012 年至 2024 年統計，這期間不計水情吃緊情形，曾實施黃燈減壓供水及更嚴措施 (橙燈減量供水、紅燈分區供水) 的受影響縣市次數如圖 3 所示，可以發現台南地區曾出現 8 次限水事件最為頻繁，新竹地

區次之，接續為高雄地區、桃園地區等，這些縣市的實施次數皆高於其他縣市一倍以上。更進一步從限水程度影響最廣的第三階段來看，2015 年 4 至 5 月的枯水期時，高雄地區、新北市板新地區與桃園地區曾實施紅燈分區供水 (第三階段)，2021 年百年大旱時，苗栗與台中地區亦進入最嚴限水措施階段，對非民生用水用戶的影響時間更長。可見在南部區域的台南及高雄，北部區域的板新、桃園、苗栗、與新竹，以及中部的台中地區，其水庫可供量受降水變異的影響較大。對於需要無間斷穩定供水的半導體業者，水源取用的問題並不在於「臺灣缺水」，而在於「區域供水的穩定性」，如何因應前述的降水變異，也才是挑戰。

(二) 什麼狀況下會實施階段性與輪流分區分組限電？

以經濟部能源署針對 2023 年能源消費概況的統計，臺灣電力消費最大部門為工業部門 (55.31%)、住宅部門次之 (18.76%)、以及服務業部門 (17.60%)。¹¹ 因此，當台

¹⁰ 本圖資料由經濟部水利署水源經營組提供。

¹¹ 永續環境與能源學會 (2023)。能源統計手冊。經濟部。

年份	限電次數	原因
1990	3	備用容量率偏低
1991	14	備用容量率偏低
1992	2	備用容量率偏低
1993	4	備用容量率偏低
1994	16	備用容量率偏低
1995	3	備用容量率偏低
1996	1	備用容量率偏低
1999	3	729 大停電：鐵塔因連日豪雨倒塌致電網分裂，龍崎以北供電能力嚴重不足。 921 大地震致輸供電設備嚴重受損，苗栗以北地區供電能力嚴重不足。
2002	1	中油天然氣船期協調問題，導致液化天然氣安全存量不足。
2017	1	815 大停電：中油天然氣供氣中斷，導致北部大潭電廠機組全數跳脫。
2021	2	513 停電事故：興達電廠 4 部機及通霄電廠 1 部機跳脫。 517 停電事故：興達電廠 1 部機跳脫。

表 1：臺灣自 1990 年以來的限電事故

(資料來源：台灣電力公司，無日期)¹³

電遇到突發事故或預測隔日備用容量率較低時，為保障電力系統安全所實施的緊急限電或計劃性限電，首當其衝的便是契約容量高於一千瓩的工業用戶，先以階段性（5%、10%、15%）降低供給量的方式維持供需平衡，若缺電量仍高，才會針對一千瓩以下工業用戶與一般用戶實行分區與分組輪流限電。

從表 1 可知，過去臺灣僅在 1996 年以前曾因評估將出現電源供給不足，而實施計畫性限電；近期則是因為天災，如 1999 年的 729 停電事故，係因輸電系統中斷，導致台南以北進行大規模停電，突顯台電系統仰賴區域間長距離電力運輸的脆弱性；另外，有鑑於台電 1990 年代開始使用進口天然氣為燃料，並大幅增加燃氣機組，對天然氣的依賴程度日益增長，2001 年燃氣機組已占台電系統總發購電量比例 12.4%，因此當 2002 年中油運送液化天然氣船出現延誤導致天然氣燃料存量不足，台電預測將影響 5 月 8 日供電量，因此實施計劃性分區輪流限電。至 2016 年，燃氣機組的發電量占比更已成長至 36%，大潭電廠在台電供電系統已然成為就近供應北部地區用電的

重要中載電廠。當隔年 8 月 15 日由於中油天然氣計量站缺氣，導致該廠六組機組跳脫，使得台電系統瞬間頻率下降，透過強制卸載部分用戶，與緊急調度能快速上線的抽蓄水力機組，才得以維持系統頻率穩定，同時實施分區限電，爭取啟動其他機組與併聯發電的時間；如此單一電廠事故形成大規模停電的也發生在 2021 年台電位於南部的興達電廠，當時因開關設備在測試時人員失誤造成損毀，導致南部電力往北輸送必經的樞紐—龍崎超高壓變電所一設備全數跳脫，進而引起南部地區其他基載電廠一併失去供電能力，影響約全台 1/3 的電力系統。¹²

這些歷史事件也顯示，1996 年後會出現大規模停電或需要分區限電的原因，並不在於臺灣的電力供給總量出現缺口，而在於系統過度仰賴需要高壓輸電線的大型基載電廠，一旦有單一電廠或輸電節點出現事故，為維護電網與其他電廠的安全，就必須卸載其他機組與負荷，以保持電壓穩定與平衡，可推論在未來可預期極端氣候事件發生次數將上升的情況，臺灣走向分散式的電力系統，才能提升用電大戶（如半導體業者）的用電安全。

¹² 行政院（2022 年 3 月 29 日）。0303 興達電廠事故致全台停電專案報告。<https://www.ey.gov.tw/File/737A9B43201B078>

¹³ 台灣電力公司（無日期）。限電知識與資訊 - 限電的原因。<https://www.taipower.com.tw/2289/2363/2388/2390/10755/normalPost>

年份	2002	2003	2004	2006	2010	2015	2018	2021	2023
停灌縣市	桃竹	桃竹	桃竹苗 嘉南	桃竹苗	苗嘉南	桃竹苗 中嘉南	苗	桃竹苗 中嘉南	嘉南
停灌面積 (公頃)	14,778	27,646	63,385	30,828	22,366	43,659	1,175	46,662	17,222

表 2：歷年缺水停灌區域及面積

(資料來源：水利署)¹⁵

三、區域用水／電供需體系與資源競爭

臺灣無論是水資源或能源治理的難處皆在於資源的分布不均。從地區的層次來看，由於臺灣豐枯水期的降雨量在南部的差異明顯（比例約是 9：1），若豐水期降雨量無法達到水庫蓄水的預期，就會實施休耕停灌措施。例如先前便曾因為 2022 年豐水期降雨量不如預期，曾文－烏山頭水庫蓄水至 2023 年後仍持續降低，使得嘉南地區稻作必須實行第一（1 至 6 月）及第二期（7 至 8 月）第 3 到 6 組休耕停灌措施。根據水利署統計，當年農田公告第一期停灌面積高達 74,370 公頃，實際停灌則為 46,662 公頃，佔全台灌溉面積 12.19%，為歷年最高。¹⁴ 換句話說，農業作為臺灣北中南各區用水最大部門，移用農業用水至民生與工業部門使用，是臺灣遇到水情嚴峻時常見的治理措施。

而可能較容易出現「工農搶水」的縣市，我們參考農業部及水利署公告的「水資源競用區」。農業部於 2020 年起實施「水資源競用區大區輪作措施」。以「……以維持糧食安全、糧價穩定與確保農民收益，並兼具強化枯水期農業節水效能及整體產業供水穩定……」為由，¹⁶ 針對全台六個水資源競用區（石門水庫、寶山水庫含上坪堰、明德水庫、鯉魚潭水庫的下游灌區、石岡壩的部分灌區及曾文－烏山頭水庫）等水庫灌區，由灌區內各灌溉系統每兩年輪值一次，開放農民自願性轉作旱作或休耕，以節省水資源競用區枯水期的農業用水使用。

在電力方面也有雷同之處，以 2023 年全台用電量最高的時間點 7 月 9-11 日的區域電力潮流為例（見圖 4），可見明顯有「南向中」以及「中向北」的電力輸送，總體峰值達接近 8000MW，即為北部地區用電量超過該區的即時發電量。¹⁷ 而需由中部與南部的發電廠支援，意味著北區用電安全極為仰賴超高壓輸電線與變電所的長距離傳輸電

¹⁴ 楊金城 (2024 年 7 月 8 日)。嘉南 2 期作第 3~6 組停灌 2.9 萬公頃休耕補償出爐。自由時報。

¹⁵ 經濟部水利署 (無日期)。水源調度概況－農田停灌面積。各年度統計書刊。<https://www.wra.gov.tw/News.aspx?n=2953&sms=9084&CSN=961>

¹⁶ 農業委員會 (2021 年 10 月 8 日)。111 年水資源競用區大區輪作措施內容重點。行政院。

¹⁷ 電網分區中，北部即新竹縣以北地區，且包含宜蘭縣。

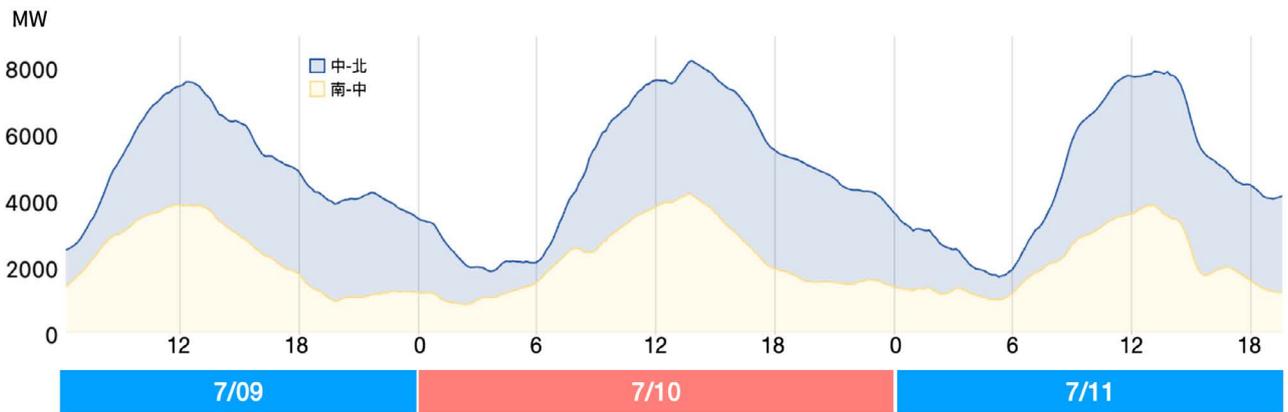


圖 4：2023 年 7 月 9-11 日台灣各區域間電力融通量變化
(資料來源：台灣電力公司，由 DSET 整理、製圖)²⁰

力。依照台電對於區域間可傳輸總量的評估—輸電線路即使發生主幹線 N-1 或 N-2 事件跳脫，¹⁸ 仍可在安全原則下運作的可傳輸總量為 3600MW，減去中部與北部之間去年出現過最高的電力潮流量 3547MW，便可得出該區的可傳輸能力—中北融通的可傳輸餘裕僅有 53MW；¹⁹ 也就是說，可能造成北部區域限電的風險，並不全是因為供給量的缺乏，而可能在於部分線路或是變電所內的主變壓器超載問題，因此如何打通供電瓶頸提高可傳輸能力與電網韌性，便是未來北區與南區能否維持穩定電力供給的關鍵。

四、小結

透過盤點過去的限水／電事件以及區域供需體系面對臺灣水資源與能源設施的不均分布的挑戰，本章節強調當開源有限，臺灣應持續投入提高基礎設施氣候韌性計畫以及需求端控管的投資，並考慮例行動態檢討各縣市資源使用的上限。例如在水資源使用的部分，目前根據《臺灣各區水資源經理基本計畫》，每年用水上限不得超過

200 億噸，電力系統則尚無相關參考值；在氣候變遷衝擊影響方面，依照「臺灣各區水資源經理基本計畫」所推估各區域 2036 年的用水需求相較於 2019 年供水能力的比較，已然將氣候變遷的衝擊風險納入評估，但我們仍欠缺一結合水資源與電力資源的系統性衝擊考量。

產業部門需求在特定地區的成長，使得地區用水／電安全的衝擊評估更加迫切。當台積電二奈米晶圓廠選擇在新竹寶山、台中中科（2 奈米以下）、與高雄楠梓興建，並預期於 2025 年後逐步量產，我們可預期這將為這三個區域能否供應先進製程廠的瞬間最大用電量帶來挑戰。而先進製程 2 奈米廠增加之用水量，也將對所在地區的用水供需造成重大衝擊。政府在未來五至十年預計提升基礎設施韌性的期間內，產業擴張可能對目前哪些縣市的用水與用電供需體系產生壓力，目前的調適作為與時程又是否能及時因應，這些問題我們將在後續第二與第三篇系列報告文章中有詳細討論。

18 為確保輸電系統具備可靠性，台電使用 N-1 與 N-2 準則作為判斷當失常事件發生，是否需要啟動保護措施，例如停用機組或降仔等方式來維護整體系統安全。N-1 準則為輸電線路或設備因工作所需或異常停止供電，減少 1 回輸電線路或 1 台設備供應電力數量時，輸電系統仍可正常運轉；N-2 準則指的是包括無相關設備停用時發生 2 輪變電設備事故，或 1 設備停用時發生另 1 輪變電設備事故。可參考《台灣電力股份有限公司輸電系統規劃準則》。

19 變電所供電能力資訊專區。超高壓及一次變電所供電能力資訊。台灣電力公司。

20 台灣電力公司 (2024)。台灣電力公司各區域間過去電力潮流量。政府資料開放平臺。<https://data.gov.tw/dataset/37326>

2

解析半導體產業水資源與電力需求

重點節錄

1. 從區域層級來看，先進製程用水量每日約 10 萬公噸，對於用水結構相較緊繃的新竹、台南與高雄等城市來說，未來將需要透過科技造水與跨區調度來因應。
2. 晶圓製造廠的用水結構約有 76% 是投入製程使用的超純水，另外則是使用於冷卻塔與空氣清潔設備等的次級用水。對於超純水的品質要求高，決定了廠商水源取用選擇與後續的處理成本，而科技造水將是能因應其使用需求的主要來源之一。
3. 根據本報告的推估，若先進製程用電量脫出經濟部能源署原先預估電力的需求成長，於先進製程量產後的電力需求成長，於 2027 年前夜尖峰將呈現略為緊繃的態勢；除此之外，中北區域間電力跨傳瓶頸持續面臨考驗，確保跨區電力調度穩定與超高壓幹線與變電所的可靠度，才是能保障半導體業者用電安全與供應鏈無虞的關鍵。
4. 先進製程顯著的用電成長並不僅在於引入 EUV 機台，也需考量其同步提升的廠務系統用電需求。
5. 乾旱與高溫事件等氣候危害對於臺灣水利及電力基礎設施的供給能力與半導體廠商的廠務系統用電（尤以冰水主機系統為主）的影響，都應列入未來政府制定氣候調適措施，以及廠商在評估其擴廠地點的討論之中。

前言：

不同於大眾多關注的「量」的議題，亦有別於行政院核定之國家氣候變遷調適計畫已辨識出的風險，本章深入頗析在半導體製程中所需的高品質水量，以及區域的穩定供電需求，如何為臺灣的水利與電力設施帶來衝擊，並著重於乾旱及高溫對半導體廠務系統，以及臺灣整體供水、供電量所產生的風險進行分析。

一、半導體產業的重要性與擴廠計畫

臺灣於 1974 年在政府政策的推動下，決定發展半導體產業以應對石油危機帶來的經濟衝擊；到了 1990 年代，臺灣半導體產業進入快速發展期，尤其是在台積電成功於 2018 年發展出能夠量產象徵「成熟製程」與「先進製程」分水嶺的 7 奈米鰭式電晶體技術 (FinFET)，並在隔年成為全球第一個應用極紫外光微影設備 (Extreme Ultraviolet Lithography, EUV) 於製程，開始大量生產高效能運算產品後，臺灣無論在 7 奈米以下或是 16、28 奈米等等成熟製程晶片的生產，從上游 (IC 設計與 IP 設計)、中游 (晶圓製造) 到下游 (封裝測試) 商，皆佔據了全球晶片供應鏈的重要位置。²¹ 根據 SEMI 國際半導體產業協會的盤點，目前全球半導體產業僅剩台積電、三星、以及英特爾仍在先進製程的技術研發上有突破，加上各產業對高階 AI 晶片的需求，使得半導體產業更受重視。²² 由於 AI 技術的快速進步仰賴高效能運算 (High Performance Computing, HPC) 的強大支撐，而 HPC 的核心組件正是高階高端半導體晶片，因此驅動了需求的成長。²³ 其他應用如 AI 模型的訓練與推理過程需要強大的運算能力，也進而驅動了對圖形處理器 (GPU)、神經網路處理器 (NPU) 和應用專用積體電路 (ASIC)

等高階晶片的需求快速增長，這樣的產業趨勢也使得臺灣在先進製程技術的掌握更為關鍵，也讓擴廠的議題受到重視。

半導體產業不僅具有顯著的經濟價值，更擁有關鍵的戰略意義。2020 年因 COVID 疫情及地緣政治影響爆發的全球晶片短缺危機，突顯出各國對半導體供應鏈自主性的高度重視；2021 年臺灣遭逢百年大旱，國際市場唯恐半導體業斷鏈，美國、歐盟及日本紛紛推出半導體振興計畫，試圖建立本地供應鏈，這樣的局勢也為臺灣政府須加強抗旱措施以減少產業經濟損失形成外部壓力；水利署亦在這次百年大旱中啟動眾多因應未來氣候變遷衝擊的水資源調適措施。²⁴ 臺灣對半導體產業發展以及氣候變遷可能對產業產生衝擊的重視，不僅是積極鞏固自身的半導體產業競爭優勢，更致力於將先進製程技術留在臺灣，以維持其在全球半導體供應鏈中的關鍵地位，同時卻也面臨了許多待解的複雜難題，尤其水電供應問題儼然成為國內外公眾關注的焦點。

標準普爾於 2024 年 10 月發布的最新報告中評估台積電積極擴廠及技術創新的趨勢下，未來高度耗電所帶來的電力缺口可能造成該公司的信貸風險。²⁵ 根據台積電永

21 財團法人中技社 (2021)。臺灣半導體產業面對國際政經環境變動的挑戰與因應。臺灣半導體產業協會；臺灣積體電路製造股份有限公司 (TSMC)。0.18 微米製程。

22 SEMI Taiwan (2022)。先進半導體製程技術；陳婉潔 (2024 年 6 月)。先進 AI 發展趨勢。DIGITIMES

23 臺灣半導體產業協會 (2024)。Overview on Taiwan Semiconductor Industry (2024 Edition)。

24 Aoyama, Y., Song, E., & Wang, S. (2024). Geopolitics and geospatial strategies: The rise of regulatory supply chain controls for semiconductor GPN in Japan, South Korea and Taiwan. ZFW – Advances in Economic Geography; Ramani, V., Ghosh, D., & Sodhi, M. S. (2022). Understanding systemic disruption from the Covid-19-induced semiconductor shortage for the auto industry. Omega, 113, 102720.; 駐洛杉磯台北經濟文化辦事處 (2021 年 5 月 11 日)。澄清有關「臺灣乾旱造成全球半導體短缺危機」之說明 (Clarification on 'Taiwan's Drought Threatens Production of Chips)。

25 Zafar, R. (October, 2024). TSMC's growing electricity demand could stress credit in 2030 warns S&P. Wccfttech.

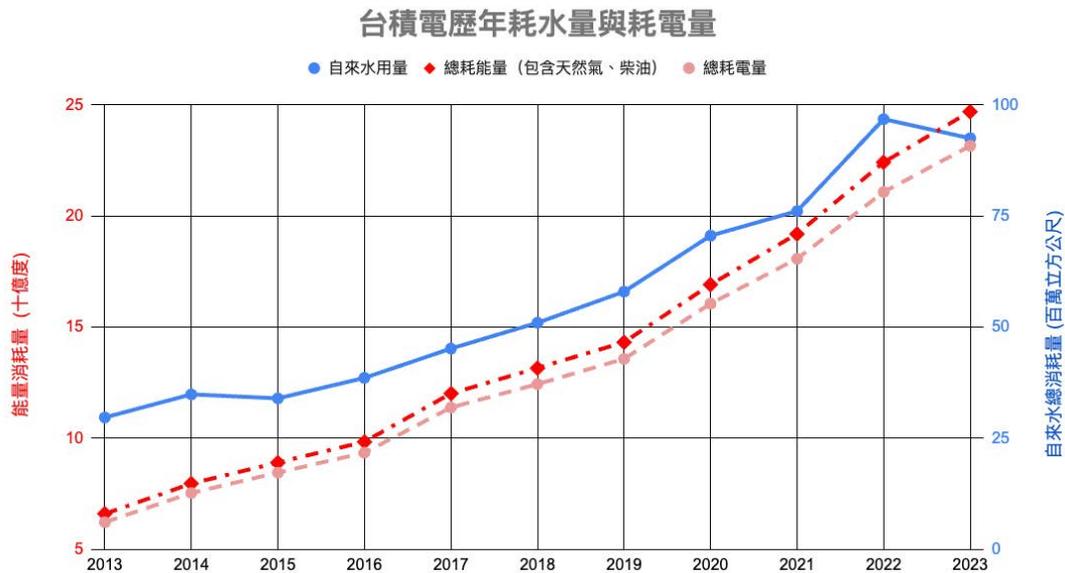


圖 5：台積電歷年耗水量與耗電量
(資料來源：TSMC, 2014-2023)²⁹

續報告書提供的電力總消耗量，台積電從 2016 年開始生產 10 奈米晶片的年用電為 93.58 億度，到了 2023 年量產 3 奈米晶片時，年用電則成長為 232.2 億度，整體的用電量增加了一倍多（如圖 5）。²⁶ 而台積電所需大量高品質的用水，也同樣受到臺灣供水缺口影響，導致公司營運風險提升。²⁷ 此議題除了直接衝擊台積電的營運，連帶影響全球供應鏈，其間接造成國內其他部門需求的排擠效應，也被質疑造成社會不公義的現象，使台積電在成為臺灣討論水電資源分配時的討論案例。²⁸

本章節將在半導體製程技術提升及氣候變遷的發展情境的脈絡下，梳理臺灣半導體業可能面臨以水電為主的能資源衝擊，並以現有公開資訊進行未來需求與缺口推估，以期提供對於半導體業在臺灣積極發展能資源使用想像，

並且於政策端提早因應潛在的風險，平衡民生與經濟的需求。

（一）地域性風險

由於臺灣地處地震帶，且常年受到颱風侵襲，若將產能集中在單一地區，極易因天災中斷生產，影響客戶出貨時程。因此，台積電在 2 奈米製程的擴廠計畫中（圖 6），除了在新竹寶山二期預計新建四座 2 奈米晶圓廠占地共 48.18 公頃之外，更將搭配台南科學園區新場址，於高雄楠梓興建 22.8 公頃園區，預計於 2025 年開始量產使用；另外，中科管理局亦表示，配合中科台中二期擴建，預計 2025 年第一季交地供台積電興建 2 奈米以下最先進製程廠房。³⁰ 隨著廠區擴張，台積電的用水與用電需求也隨之大幅增加。³¹ 近年新設廠房選址於中南部，除了北部園區趨於飽和之外，也助於分散供水風險，與政府部門強化水電

26 臺灣積體電路製造股份有限公司 (2023)。《台積公司民國 112 年度永續報告書》。

27 吳孟峰 (2024)。水資源如何威脅臺灣半導體業《外交家》雜誌精闢論述。臺灣國際水週。

28 陳雅玲、陳苡葳 (2024)。台積電嘉義設廠用水掀爭議 水利署計畫由雲林支援地方跳腳。聯合新聞網。

29 TSMC. (2014-2023). TSMC Sustainability Report. Taiwan Semiconductor Manufacturing Company.

30 宋健生 (2024 年 9 月 12 日)。台積中科擴廠明年 Q1 交地 先進製程產能將邁大步。經濟日報。

31 Zhang, K. (September 19, 2024). How Water Scarcity Threatens Taiwan's Semiconductor Industry. Diplomat.

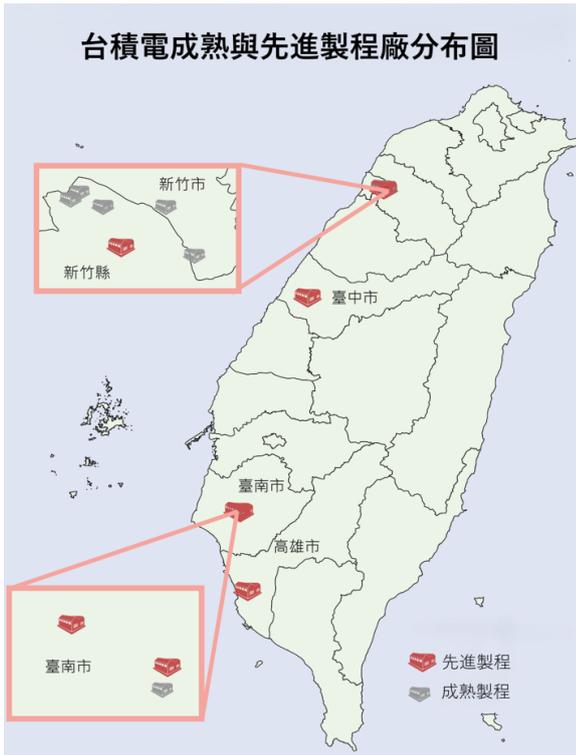


圖 6：台積電成熟與先進製程廠分布圖
(資料來源：本報告自行繪製)

跨縣市調節的策略趨於一致。³² 本研究認為選址分散於不同縣市也可以有效降低因地震、洪水等天災所帶來的供應鏈中斷風險，強化產業供應鏈的抗風險能力與韌性。³³

除了廠商自身的承諾以外，本報告認為現今的擴廠邏輯仍未考慮到氣候變遷下對臺灣水利與電力基礎設施所形成的營運風險，恐使其量能不足以達到預期的供給量，若將來設廠未考慮到區域資源的調度彈性與使用方式，亦有可能再次發生 2021 年大旱的極端氣候事件下形成供應鏈中斷的危機。因此，本章節將透過二手資料與數據分析，首先具體指出半導體產業實際的用水與用電需求，接著盤點其所在的科學園區目前有什麼樣的控管機制、相應規劃與其不足之處；最後加入氣候風險考量，對先進製程擴廠對當地的水與電力資源供給的衝擊進行分析。

台積電擴廠計畫：2 奈米製程的產能佈局

台積電作為全球最先進的晶圓代工領導者，目前最先進製程為 3 奈米，正積極推動 2 奈米製程的量產計畫，預計 2025 年開始量產，以維持技術領先地位。在產能佈局上，台積電主要在臺灣的北部（竹科寶山）、中部（中科台中園區）以及南部（高雄楠梓）進行 2 奈米製程的研發與生產（如圖 6）。

- 新竹寶山（北部）－先進製程研發中心與量產基地
新竹作為台積電的總部和技術研發基地，亦負責 3 奈米先進製程的研發與先期量產，2021 年，台積電申請寶山二期擴建，預計設置 4 座負責 2 奈米量產廠。
- 中科台中園區（中部）－未來 2 奈米以下製程的量產基地
- 南科台南園區（南部）－3 奈米製程量產基地
- 南科楠梓園區（南部）－未來專攻 2 奈米的主要量產基地
以前為中油高雄煉油廠區，高雄市政府與中央攜手推動籌設為南科（楠梓園區），轉型為循環技術及材料研發、半導體先進產業的 S 廊帶核心樞紐，現正在興建 P1 和 P2 兩座 2 奈米製程廠，預計 P1 廠預計 2025 年量產。

32 鍾榮峰 (2021 年 9 月 13 日)。傳台積電高雄設廠有助分散供水風險促區域發展。中央社。

33 中央社 (2024)。日經亞洲：台積電震後復原快 有賴長年防災經驗。

（二）半導體業的實體氣候風險：水文乾旱及均溫上升

IPCC AR6 將氣候風險定義為氣候變遷下潛在的不良後果，係以危害、暴露、脆弱度三個向度的資訊進行氣候風險描述。³⁴ 在半導體業製程高用水、高耗電的特性下，本報告辨識該產業的氣候實體風險為「高溫導致廠務用電增加」及「水文乾旱事件造成製程用水短缺」。

從供給端來看，根據行政院 2023 年核定之水資源領域及能源供給與產業領域的調適行動方案（112~115 年），已分別對水資源及能源進行氣候風險評估，然而水領域與能源領域間的風險評估內涵並不一致。³⁵ 水資源領域重於「供水」這個功能任務，而能源領域重於「系統元件」所受之氣候衝擊。然而本文欲強調對於水電資源的系統性風險尚且被低估，甚至仍具有不小的缺口；從需求端來看，若以台積電於 2022 年所發佈之氣候變遷實體風險分析，其已明確指出乾旱為臺灣廠區最直接面對，且最顯著的實體風險，尤其是位在中部及南部的廠區，更是位於乾旱的高風險區，且在最悲觀的情境（SSP5-8.5）下，台南和高雄廠區的乾旱風險很有可能在 2030 年後持續上升。³⁶ 然而，台積電前述氣候變遷實體風險分析中，並無特別析論均溫上升所致用電量增加的部分，故本文除論述用水短

缺外，另著重於半導體業積極擴廠之下氣候脆弱度也隨之提高的分析，並由廠區選址所在縣市的未來氣候趨勢，作為暴露於高溫及水文乾旱之危害事件的資訊，進行氣候實體風險的說明。

進行氣候風險評估時，用電、用水大戶（尤其是製造業）通常會被視為重點保全對象，意即對其採取積極調適手段避免其損失。然而相對地，這些資源使用大戶也將增加水資源系統及電力系統的脆弱度，因此對於使用者行為與水電基礎設施系統間的交互所產生的風險向度，皆需於氣候調適政策規劃時更加細緻地進行評估與理解。

二、半導體產業的用水需求

（一）水資源使用：量與質的挑戰

半導體產業是高度依賴水資源的產業，其對用水的需求不僅表現在用水量的龐大，更體現在用水質量的極高要求。在製程用水量方面，製造每一片 12 吋（300 mm）晶圓約需耗費 2000 至 4000 公升的水。³⁷ 而台積電的先進製程工廠每日的總用水量可達 10 至 15 萬公噸，這一數字相當於一個中型城市的每日用水量。³⁸ 這是因為隨著製程技術從 7 奈米、5 奈米不斷推進至 2 奈米，製造過程中所需

34 Reisinger, A., Howden, M., Vera, C., Garschagen, M., Hurlbert, M., Kreibich, S., ... & Ranasinghe, R. (2020). The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A summary of cross-working group discussions. Intergovernmental Panel on Climate Change, 15, 130.

35 環境部 (2023)。國家氣候變遷調適行動計畫 (112-115 年)。環境部。

36 台灣積體電路製造股份有限公司 (2022)。台積電公司 111 年度氣候相關財務揭露報告。

37 包含超純水與產線用水。

38 Hess, J. C. (2024). Chip Production's Ecological Footprint: Mapping Climate and Environmental Impact. Interface.

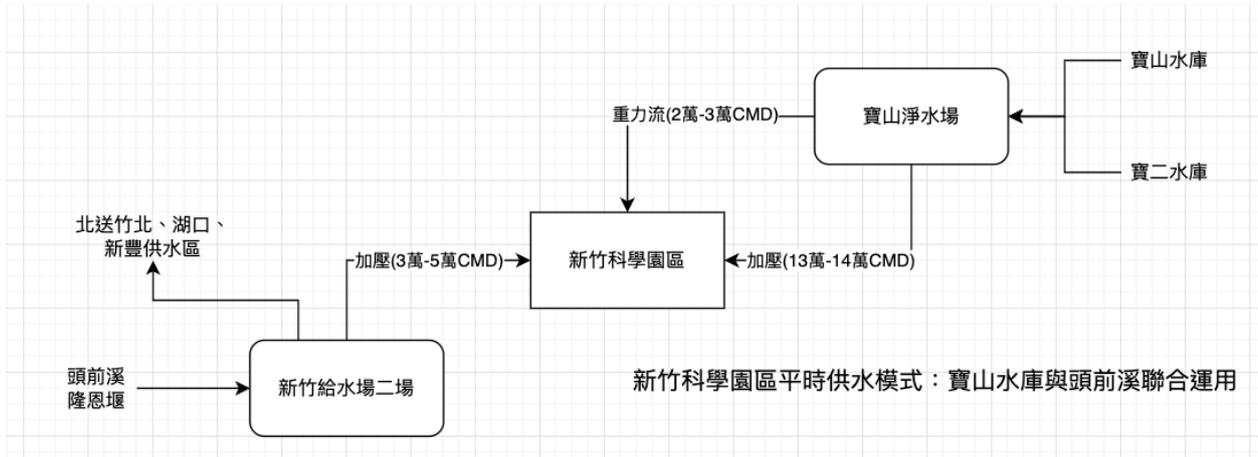


圖 7：新竹科學園區聯合運用供水模式

(資料來源：經濟部水利署⁴²，由 DSET 改繪)

的清洗次數增加，使得用水量大幅上升，進一步加劇水資源的壓力。

為確保半導體業者能夠獲取大量且穩定的水需求，科學園區的用水通常是由自來水系統供應。從水庫取水後，經過自來水淨水廠，供給至科學園區的配水池，再透過科學園區管理局進行後處理或配發至各廠商。以新竹縣市為例，新竹科學園區的供水來源包含寶山水庫、寶二水庫、永和山水庫及頭前溪隆恩堰第二淨水場聯合供應，多元供水系統互相調配支援（見圖 7）。

根據經濟部水利署《臺灣各區水資源經理基本計畫》（後簡稱為「水資源經理計畫」）所提供各區的現況水源供需調度以及 2036 年（民國 125 年）的規劃目標，本研究進一步在此針對科學園區所在的新竹地區、台中地區、台南地區以及高雄地區的水資源供需結構（如圖 8）進行分析。

首先，新竹地區座落之北部區域雖枯水期雨量較豐，但因產業用水快速成長，枯水期常面臨供水不穩定，現況下已倚賴更北部縣市（石門水庫大漢溪水源）常態支援新竹地區用水，考量後續產業用水需求仍持續增加，目標年需水量與現況供水能力間每日存在約 18.5 萬噸缺口；³⁹ 台中地區現況供水能力尚滿足該區域用水需求，甚至可支援鄰近縣市（苗栗地區、彰化地區）約每日 13.2 噸，但考量後續產業用水需求突增式增加，目標年需水量與現況供水能力間每日存在約 4 萬噸缺口；⁴⁰ 台南與高雄地區同屬豐枯水期降雨差異明顯的南部區域，於現況下即常需仰賴調度灌溉用水（見前一章關於「休耕停灌」討論）方式因應，近期更因高科技大型產業聚集而預期未來產業用水快速成長，在主管機關推估下，縱然窮盡當前調度手段（包含：農業灌溉用水調度、跨區調度、推動再生水等方案）增加用水因應，仍無法負擔未來用水需求，於目標年時，台南地區需水量與現況供水能力間的缺口為每日 22.5 萬噸，是南部區域最大缺口，高雄地區亦存在每日 9.2 噸的缺口。⁴¹

39 經濟部水利署 (2021)。臺灣各區水資源經理基本計畫。頁 66、74。

40 ibid. 頁 81、88。

41 ibid. 頁 95、102。

42 經濟部水利署 (2017)。臺灣水資源暨新竹地區供水現況與挑戰。頁 24。

從官方公布之《水資源經理計畫》對於科學園區所在地區的水供需結構進行研析，當前半導體園區座落之地區於未來都將面臨或大或小的用水缺口，足顯半導體產業的水資源需求已經超過各地方既有水源可負擔的量。⁴³更甚者，由於《水資源經理計畫》於 2021 年核定時，二奈米先進製程計畫尚未正式提出，因此該計畫對於至目標年 2036 年的水源供需預測，並未包含二奈米製程的用水需求。因此，若加計二奈米製程新增的需水量，考慮 2036 年作為目標年的水供需情境，竹科將新增每天 9.8 萬噸用水，使新竹水資源缺口增加至每日 28.3 萬噸；中科亦將增加約每天 9.8 萬噸用水，台中缺口將達每日 12.8 萬噸；南科楠梓園區增加每日 3.3 萬噸用水，致高雄缺口將擴張至每日 12.5 萬噸。

面對上述各地區或多或少的供水缺口，經濟部水利署於《水資源經理計畫》中提出若干手段進行因應，當中包含有科技造水技術（如伏流水、海水淡化廠、再生水等）、跨區調度管線（如高屏雙向調度備援管等）、乾旱備用水源

（如乾旱井），在水利署的規劃與模擬，若上述計畫順利於期程落實，各地區揚升的供水量將可以因應目標年的需求量。另外，台積電於環評大會中承諾，待再生水廠全期上線後，2 奈米先進製程將 100% 使用再生水。⁴⁴

值得注意的是，《水資源經理計畫》是首度考慮氣候變遷情境並將其量化，評估用水缺口的水資源計畫，主要欲回應的困境是來自半導體逐漸高企的用水需求，亟須由國家層級進行通盤規劃，而在半導體產業座落縣市的地方水源皆已無力擔負的局面，除了投入更多資本就近進行科技造水之外，跨地區水源調度就成為了顯而易見的解方。

事實上，《水資源經理計畫》並不是臺灣政府首度針對半導體用水需求出台的水資源計畫，跨地區水源調度的基礎工程也非近年創見。根據政治經濟學者的研究，為處理半導體產業高用水需求帶來的水資源分配問題，在 2000 年之後，所有國家主導的水資源分配政策皆大幅傾斜於科技園區與國家引導產業的發展需求，尤其是 1994 年與

43 台灣積體電路製造股份有限公司 (2022)。台積公司 111 年度氣候相關財務揭露報告。

44 排除廠務民生用水仍使用自來水。

45 *ibid.*

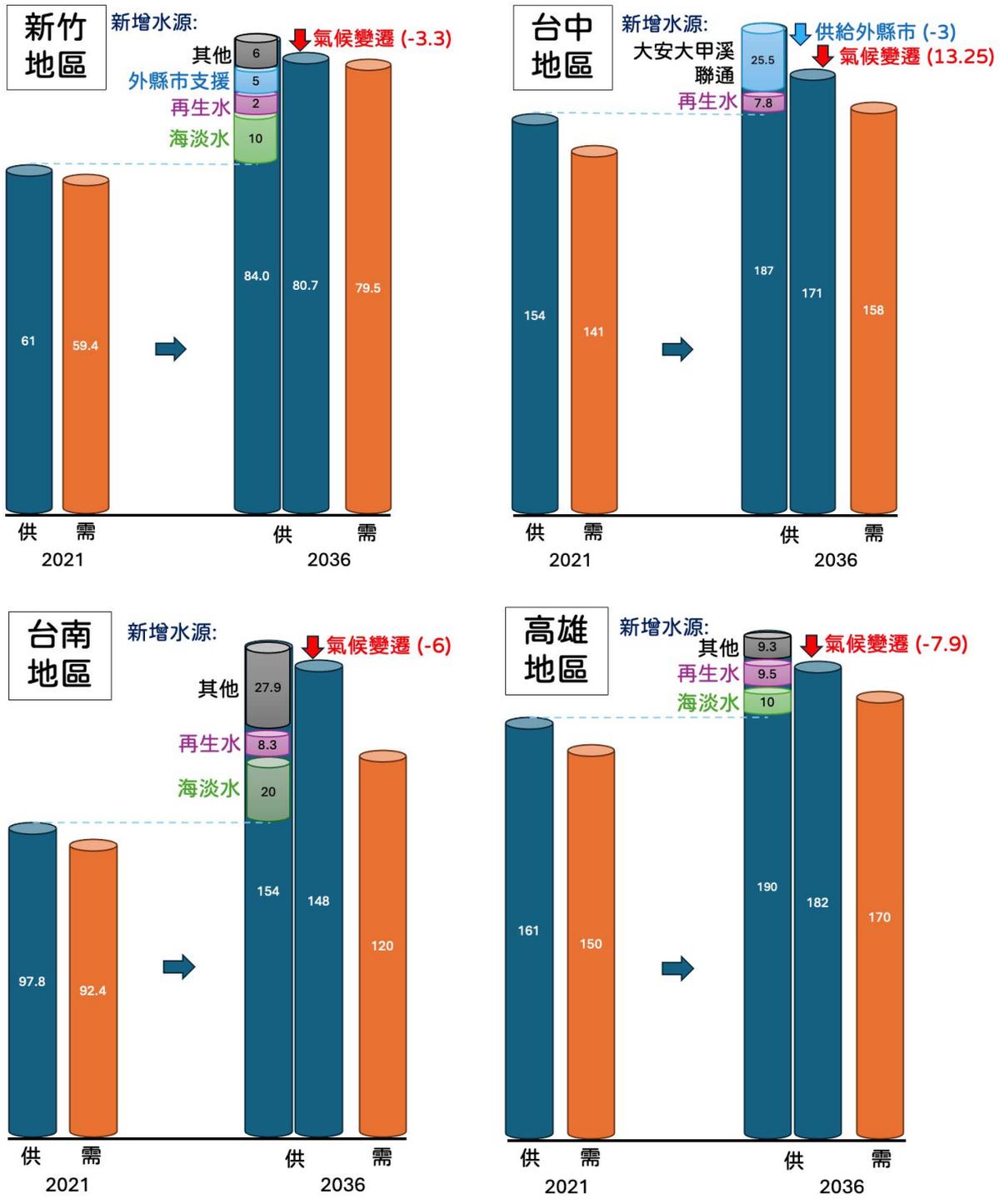


圖 8：科學園區所在地區水資源供需結構 - 現況（2021 年）與 2036 年（單位：每日萬公噸）
（資料來源：水資源經理計畫，⁴⁵ 由 DSET 整理、重製）

超純水要求

超純水質的潔淨要求亦會隨著製程技術進步而逐漸推升，在晶圓線寬縮小、元件集積度提升下，超純水質具體規範也益發嚴格，電阻率需達 $18.2 \text{ M } \Omega \cdot \text{cm}$ ，總有機碳（TOC）含量需低於 1 ppb，且懸浮顆粒需小於 0.1 微米，以免污染晶片表面。此外，洗淨需時也更長，更推升超純水的使用需求。

對超純水的高水質要求，造就了相對複雜的製造過程，通常由自來水經過多級過濾、逆滲透、紫外線殺菌、脫氣和樹脂床去離子等多重工序後製成。臺灣的自來水雖可作為水源，但由於水中含有鈣、鎂等金屬離子和有機物，亦必須經過多層水處理工藝。這些技術包括砂濾與活性碳過濾，去除大部分顆粒物和有機污染物；接著，使用反滲透（RO）技術去除溶解性離子、金屬和有機分子；脫氣膜技術進一步去除水中溶解的氣體（如二氧化碳和氧氣），以防止微生物生長；再使用紫外線（UV）消毒和去離子技術，清除水中的微生物和離子污染；最後，通過樹脂床處理，去除水中的二氧化矽（ SiO_2 ）和其他微量金屬雜質，生產出符合半導體製程需求的高電阻、低雜質的超純水。

2011 年兩個重要點，即臺灣第一座 8 吋與 12 吋晶圓廠開始量產之時，同時該時點也是科學園區水資源分配衝突大幅增加之時，一系列的水資源發展計畫與區域水資源管理計畫也相繼公布（例如政府自 2017 年推出的前瞻基礎設計畫），企望大幅透過跨縣市的管線整合地下水，打破以河川集水區的自然地理條件，也打破縣市政治區劃的限制。⁴⁶ 例如在 2021 年百年大旱發揮關鍵作用的桃園新竹幹管即為一例。

竹科距離北部較近，尚可透過聯通管線引水救援，但台南與高雄地區夏雨冬乾的氣候條件，又因大型產業進駐，用水需求快速增長，加上曾文、南化等水庫淤積嚴重，使南部本身的供水就已呈現相當緊繃的狀態。水利署雖已強化南部供水系統間的串聯管線調度，但以現況供水能力到目標年需求，每個半導體園區座落的縣市都存在缺口，再細究台南與高雄地區的自然水源種類及其可供水量，可以發現台南與高雄地區的自然水源已幾近完全開發，未來的水資源缺口將大量仰賴海淡廠及再生水廠等科技造水。

（二）超純水：嚴苛水質標準

半導體產業的用水需求不僅「量」大，且需「質」優。隨著製程技術不斷提升，製造工序更加複雜，用水量的大幅增

加，同時用水品質的要求也日趨嚴苛。在積體電路製造過程中，晶圓需要多次清洗與表面處理，才能確保製程中的蝕刻、擴散和沉積等程序中表面皆不受顆粒、離子和有機物等污染物的影響，否則會導致電路缺陷，意即水質的純淨程度會直接影響晶片的良率與品質。因此，除了高用水量的條件，半導體產業對水質的要求更為嚴苛，需要「比自來水乾淨兩千倍」⁴⁷ 的去離子水即超純水（Ultrapure Water, UPW），來沖洗和清潔晶圓表面，以確保生產的精密度與穩定性。⁴⁸

除了製程直接用於清潔晶圓的超純水之外，對於水質未達超純水要求的次級用水，則主要用於支援冷卻塔和無塵室的空氣清淨設備，以維持一定的濕度與溫度。也就是說，晶圓廠的水資源運用約有 76% 為製程所需，其餘則屬次級用水，作為廠務系統、冷卻、及廢棄洗滌所用（如圖 9）。

次級用水雖不需要達到超純水的高標準，但其穩定性和抗腐蝕性亦必須達標，否則會導致設備內部的管線結垢和腐蝕問題，增加維護成本。因此，廠區內會將超純水與設備及製程機台的排放水、雨水與空調冷凝回收水等管線分離，再依照其純淨程度分級，最乾淨者優先循環純化回製程使用；次之者經水回收設備處理後，做為非製程次級

46 Tsai, S. C., Lee, S. H., & Chu, T. J. (2024). On the tailor-made water governance mechanism for Taiwan's semiconductor industry. *Water Resources and Industry*, 31, 100252.

47 許增如 (2019)。臺灣邁向半導體產業王國之路—以發展型國家理論詮釋臺灣積體電路產業發展歷程 (1974-2018 年)。頁 125。

48 Villard, A., Lelah, A., & Brissaud, D. (2015). Drawing a chip environmental profile: environmental indicators for the semiconductor industry. *Journal of Cleaner Production*, 86, 98-109.

晶圓廠區用水結構圖

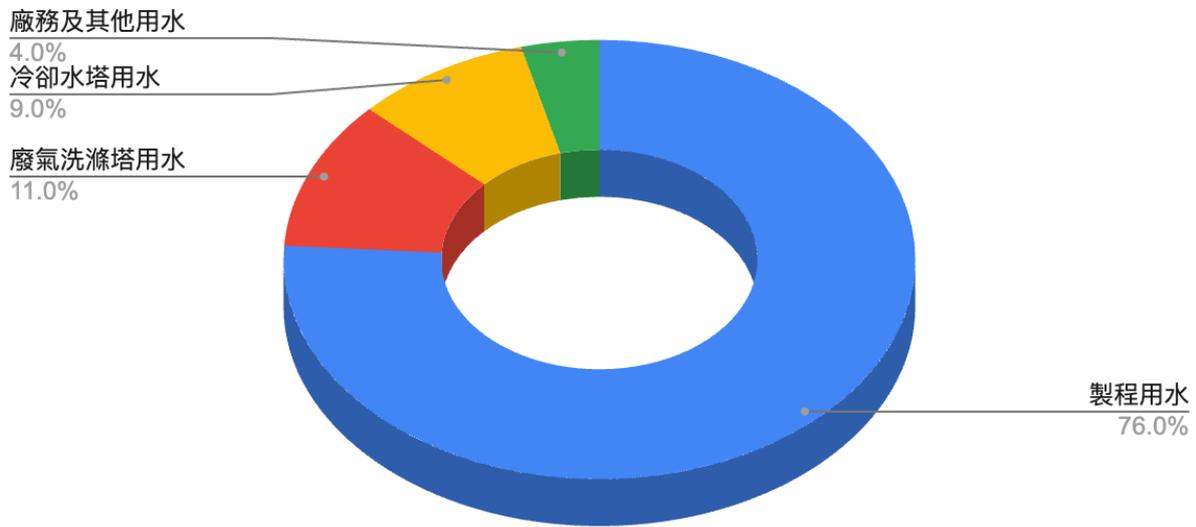


圖 9：晶圓廠區用水供應結構

(資料來源：Shannon Davis, 2022)⁵⁰

用水，最後，無法回收使用的廢水則排至廠區內設置的廢水處理廠，進行終端廢水處理。⁴⁹

過往社會各界多談論半導體業的用水「量」，擔心供水不足的狀況，而本節特別指出：**水質也是台積電在面對晶圓製造用水的大挑戰，更是間接促成台積電積極發展高品質用水技術的趨力。**由於超純水的高標準要求，傳統技術下的海水淡的水質無法使用於製程之外，再生水亦無法使用，使得製程用水僅能仰賴外來的自來水源或是少量的空調冷凝回收水製作，而再生水與海淡水源僅能作為廠區冷卻水等次級水，或園區內其他產業或用途使用。然而，企業各種承諾不僅是需要自身的投資，更必須仰賴其他行動者（例如地方政府提升污水下水道接管率）的協作，將會在第三章深入分析。

三、半導體產業的用電需求挑戰

半導體製造業除了是耗水產業外，更是高度依賴電力的產業。2023年，台積電的總電力消耗量達到232.2億度，約占全台總用電量的8.4%，來自於晶片生產過程用電需求龐大且多樣化，從製程設備的運行到基礎設施的維護，電力消耗涵蓋了製造過程的每一個環節。

(一) 先進製程的需電量成長

隨著半導體晶片處理技術的提升，相同製程的每單位產量的能耗率雖正在下降，但由於製程產量與品質的增加，整體耗電量正節節攀升。比利時校際微電子中心 (Interuniversity Microelectronics Centre, IMEC) 研究指出，從28奈米進步至2奈米製程，隨著製作流程變得繁複，電力消耗量增加2.46倍，超純水使用量則增加1.3倍。⁵¹以台積電高雄廠為例，台積電原先申請興建成熟製程28奈米廠，因變更為先進製程2奈米廠，

49 Sim, J., Lee, J., Rho, H., Park, K. D., Choi, Y., Kim, D., ... & Woo, Y. C. (2023). A review of semiconductor wastewater treatment processes: Current status, challenges, and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 429, 139570.

50 Shannon Davis (2022). Water Supply Challenges for the Semiconductor Industry. *Semiconductor Digest*. 2022/10/24.

51 Marie Garcia Bardon and Bertrand Parvais, The environmental footprint of logic CMOS technologies (2020). IMEC.

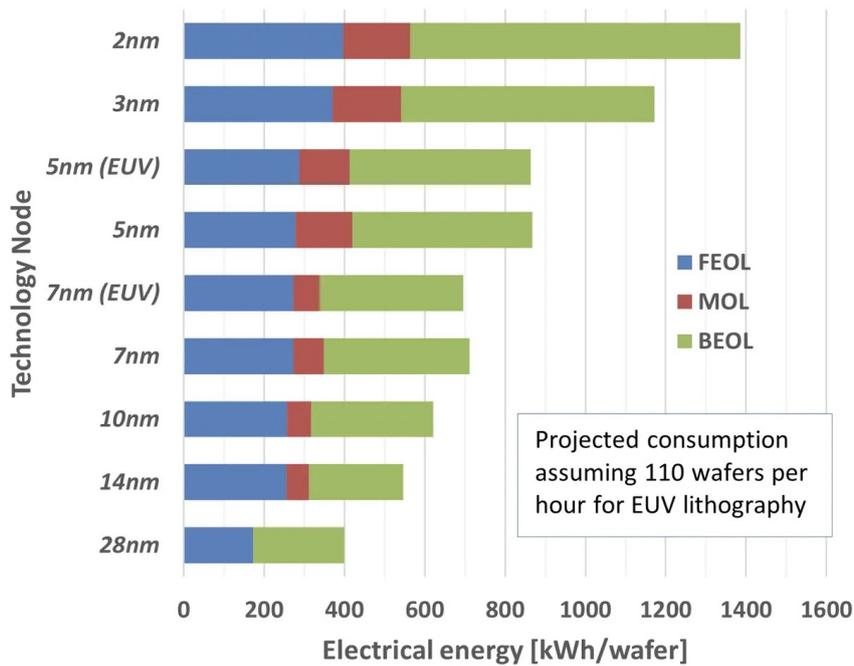


圖 10：不同製程技術下，每片晶圓的總電力需求

(圖片來源：Liu et al., 2024)⁵⁵

又由於先進製程複雜度增加、精密度需求也加高，不只是晶片生產步驟與清洗次數增加，最關鍵的是先進製程將採用極紫外光微影機 EUV 取代深紫外光微影機 DUV，透過大幅縮短的極紫外光波長（EUV 波長 13.5 奈米相較於深紫外光波長 193 奈米），大幅降低光干涉現象所造成的解析度極限，以在單位晶圓上畫出更細緻的電路圖、封裝更多電晶體，以增加晶片性能。

然而，使用 EUV 代價不菲，除了高達百餘億新台幣的高額造價之外，⁵² 又因 EUV 機台「嬌貴」，對作業環境的條件益發嚴格，導致先進製程的電力資源使用更顯驚人。根據 IMEC 2024 年的研究與 ASML 2023 的報告，EUV 光刻系統的大部分耗能都來自於產生電漿輻射的 CO₂ 雷射，導致 EUV 光刻系統的耗能是傳統 DUV 的 10 倍以上。⁵³ EUV 機台的耗電量來到每單位晶圓 7.7-19.5 度電，也是使得台積電用電需求增加的重要因素之一。

以一般晶圓製造廠為例，一研究整理在各製程階段會用到的能源消耗種類，以及不同奈米與製程階段的能耗量比較（以晶圓／度為單位），發現同樣是投入 7 奈米的先進製程，使用 EUV 取代 DUV 時，在微影製程的步驟雖然會增加原先使用 DUV 超過 10 倍的電力消耗，同時也因為可以減少其他製程步驟能耗，使得整體生產單位晶圓面積的資源需求反而比使用 DUV 還低（如圖 10），換言之，EUV 系統取代了過去製程階段的多個處理步驟，因此對整體製程流程而言，對環境的淨影響力是降低的。

但是，該研究也提到，在半導體製程技術提升下，雖然單位能源效率提升，但因生產量大幅成長，因此總耗能仍增加。從實績數字觀察也可發現，並不是採用 EUV 導致製程耗電量提升，而是製程技術提升、精密要求提升的情況下，製程進步本身即伴隨著耗電顯著上升。⁵⁴

52 尹慧中 (2024)。新極紫外光設備價格不菲 ASML：百億 EUV 客戶都下單了。經濟日報。

53 Liu, L.-Y., Winckel, L. V., Boakes, L., Bardon, M. G., Rolin, C., & Ragnarsson, L.-Å. (2024). Modeling the Energy Consumption of Integrated Circuit Fab Infrastructure. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 37(4), 422-427.

54 Ibid.

55 Ibid.

主要科學園區歷年最大電力負載

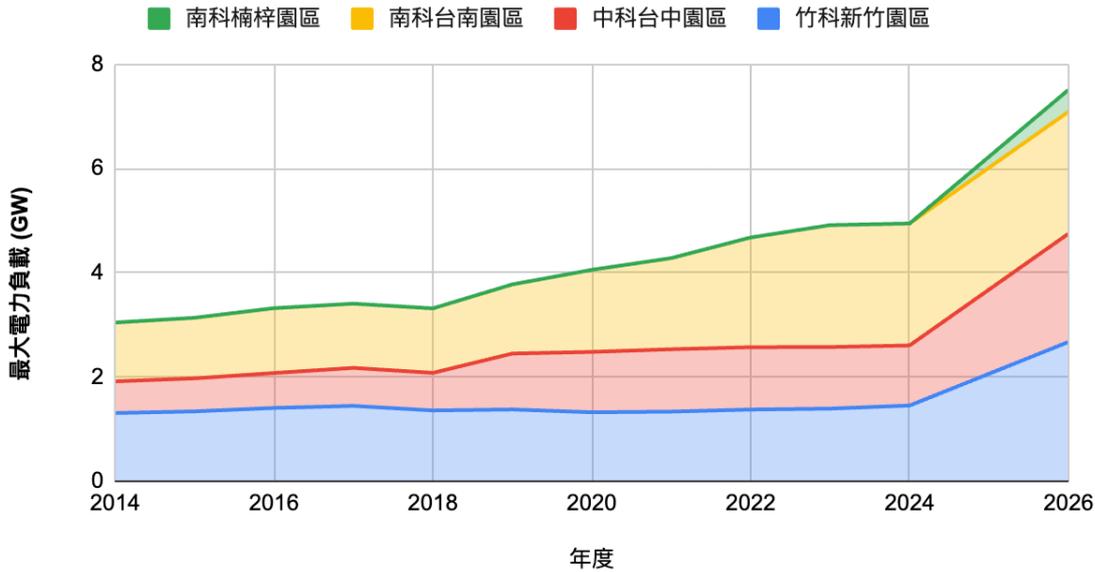


圖 11：主要科學園區最大電力負載實績及預測。

(資料來源：國家科學及技術委員會統計資料庫、環評環差報告書，由 DSET 整理製圖)

作為半導體製造產業龍頭，雖然台積電不乏於節能與綠能的投資，近年因為產能不斷擴張，台積電用電量約呈現每五年翻倍的趨勢。根據環評報告書的估計，若將 2 奈米先進製程量產廠所申請的用電量考慮，預估台積電用電量將占全國 12.5%，2028 年時將達到 13%。⁵⁶ 若進入特定縣市層級，比例將更為驚人。以高雄為例，台積電用電量目前已占高雄市總用電量 18%，如今高雄 P3 二奈米廠的環評亦於 2024 年 6 月通過，已於南科楠梓園區（原楠梓產業園區）破土興建，預計於 2025 年便開始量產，再依照高雄楠梓園區的申請瞬間最大用電量，從原先 38.7867 萬瓩，增加至 42.1273 萬瓩，⁵⁷ 增加 8.6%。⁵⁸ 若參考 2024 年夏季的供電資訊，南部在夏季期間的尖峰負載是 1,050.6 萬瓩，光是 2 奈米製程於南部生產，將直接增加 4% 尖峰負載，亦即台積電高雄廠園區的加工勢必會增加尖峰供電壓力。

不只是先進製程落腳的縣市區域供電壓力急遽提高，從整體觀之，縱然電力可跨縣市調度，但全台整體電力的餘裕並不充裕。儘管 COVID-19 疫情導致電力需求萎縮，然疫後復甦後，半導體產業和 AI 產業成為臺灣用電增長的主要推動力，根據經濟部能源署推估，由於未來經濟將持續成長，電力尖峰負載於 2024 至 2029 年預計每年增幅 2.7%，2030 至 2033 年則預計每年增加 3.1%，⁵⁹ 用電增幅當中，AI 與半導體兩大產業的用電增長即占用電需求總成長的 84.4%，且尤以半導體業為主。⁶⁰

若再考量台積電 2 奈米廠房預計分別於 2025、2026 年逐步開始量產，根據目前已通過的環評或環差報告書，結合主要科學園區的用電負載數據，⁶¹ 在新增 2 奈米先進製程所新增的用電量之後，主要科學園區的最大用電負載

56 新竹科學園區（寶山用地）第 2 期擴建計畫環境影響說明書、第一次環境影響差異分析報告、中部科學園區台中園區擴建二期開發計畫環境影響說明書、楠梓產業園區設置計畫環境影響差異分析報告（用電量修正為約 421,273 kW）

57 根據高雄市政府環保局於 2024 年 3 月召開的「楠梓產業園區設置計畫環境影響差異分析報告」專案小組第 2 次初審會議資料

58 高雄市政府經濟發展局（2024）。楠梓產業園區設置計畫環境影響差異分析報告。環保署 1130013X

59 經濟部（2024）。112 年度全國電力資源供需報告。經濟部。

60 取自台電公司於國家氣候變遷對策委員會第一次會議報告投影片，參見 <https://www.president.gov.tw/Page/714>。

61 包含新竹寶山二期 1.22GW、中科二期 0.925GW、南科楠梓 0.421GW

臺灣夜尖峰負載實績(2017~2023)與預測(2024~2033)

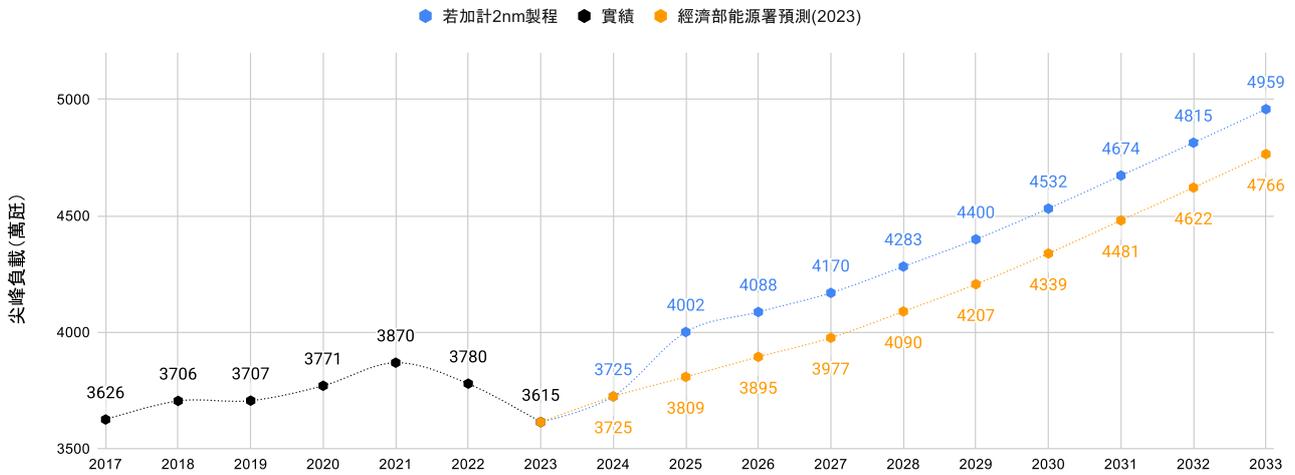


圖 12：臺灣夜尖峰負載實績(2017至2023)與預測(2024至2033)

(資料來源：經濟部，由 DSET 自行繪製)⁶⁵

將一舉攀升至 7.51GW (如圖 11)，佔全台於 2024 年最大用電負載 41.19GW 之 18.23%。⁶²

再將討論的視野放大至全台用電量，討論 2 奈米先進製程是否將對未來整體用電供需造成衝擊。由於太陽光電挹注，白天日尖峰供電無虞，故本報告以過去一年(2023 年 11 月 1 日至 2024 年 10 月 31 日)，尋找各日的夜尖峰時段(17 時至 20 時之間)用電利用率最高的時間點，選取當時刻的「最大供電能力」與「實際用電量」資料作為基線，再考量加入台積電 2 奈米先進製程預估增加的最高用電負載，以及經濟部能源署評估之電力需求年均成長率、未來十年新增能源與舊機組除役、再生能源容量因數等變因，⁶³ 量化推估未來至 2035 年的逐日夜尖峰負載、最大供電能力以及備轉容量率，繪製成圖 13。⁶⁴

從圖 13 中可見，在考量半導體先進製程晶片量產後，台電系統於未來十年仍能保有一定的運轉彈性及餘裕，只要經濟部新增電源得按規劃上線，⁶⁶ 即便是在最為緊湊的夜尖峰時段，在總量意義上並無超越系統最大可供電能力的問題。然而，在 2025 至 2027 年，夜尖峰備轉容量率偶爾出現略低於 6% 的情況，顯示 2 奈米先進製程擴廠的用電需求成長，對台電系統供電能力的衝擊，可能反映在相對近期的時間點上。

(二) 隱藏的廠務系統用電需求成長

前述本文討論了先進製程使得半導體用電需求更為顯著，乃因在晶圓製造過程中涉及多達 300 道的操作工序，從離子注入機、光刻步進器、沉積系統、氧化爐到蝕刻機，每一項設備的運行都需要穩定且大量的電力支撐。

62 劉千綾 (2024)。極端高溫推升用電量 瞬時尖峰負載 4119 萬瓩創新高。中央通訊社。

63 根據經濟部能源署 112 年度全國電力資源供需報告。

64 圖 13 各推估數值，經 30 天移動平均處理。

65 經濟部能源署 (2023)。112 年度全國電力資源供需報告。經濟部。

66 ibid.

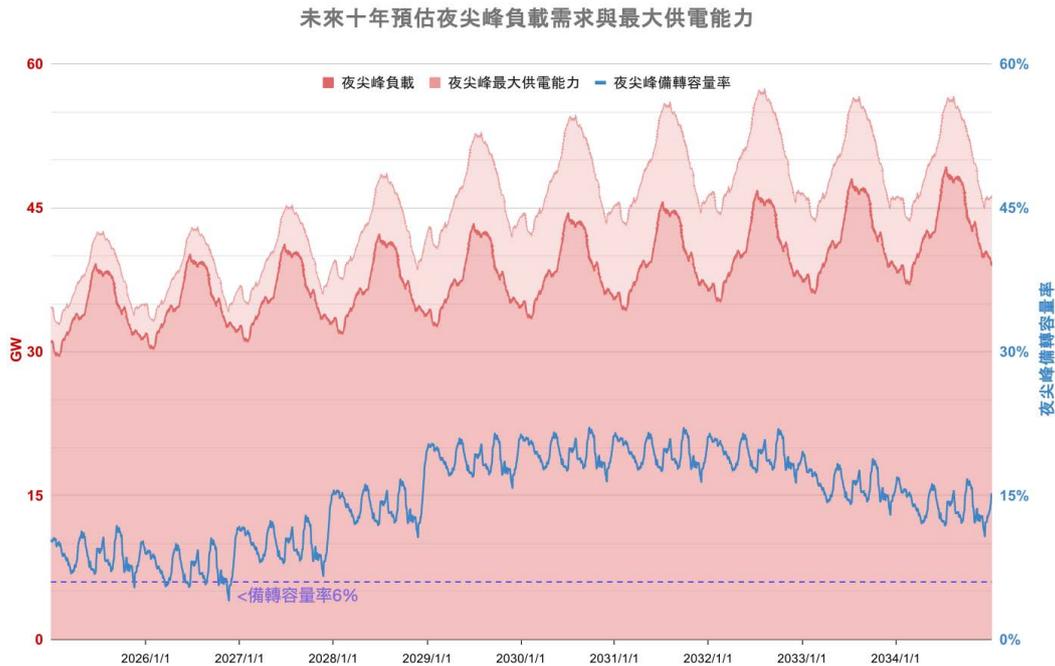


圖 13：未來十年預估夜尖峰負載需求與最大供電能力

(資料來源：經濟部，圖表由 DSET 自行繪製)

製程設備持續擴張的能源消耗已然拉響警鈴，但是，製程系統事實上僅占據了半導體廠全廠耗電約莫五成（46.1%），其餘部分為過去由於生產總成本低而較被忽視的「廠務系統」貢獻，主要由無塵室、外氣空調、冷卻系統、超純水供應系統、潔淨空氣壓縮系統、製程排氣系統、氣體及化學品供應系統、物料處理系統及照明等設備共同構成，佔據了半導體製造全廠 53.9% 的電力消耗（如圖 14 所示）。其中，由於高科技廠房（fabrication plant）的空調系統強調穩定性，且有別於一般商用空調設計，需要大量外氣引入，因此空調、無塵室運作及排氣系統的能耗又佔去廠務系統 70% 以上用電。^{67,68}

空調系統是支撐半導體製造的關鍵基礎設施，也是潛藏的耗電巨獸，卻因為能源成本佔比過小而屢遭忽略。由於晶圓製程對於空氣中的微粒相當敏感，為防止塵埃微粒污染工件、降低良率，廠房無塵室內部需 24 小時保持正壓，透過空調系統維繫穩定的潔淨循環氣流，主動將污染物

以氣流迫擠的方式排除。⁶⁹除了維持無塵室正壓通風循環之外，以 EUV 機台進行批量生產時，亦會放出高熱，因此空調系統的耗能約占整個半導體廠總能耗的 40%，是最大的單一用電項目，其中又以擔負散熱大任的冰水主機的耗電量最為顯著。

根據台積電於 2022 年發表之「台積電公司 111 年度氣候相關財務揭露報告」報告，分析氣候變遷下所面臨的實體風險，當中提到的高溫風險部分，該報告僅針對氣候變遷下超過 40 度的極端高溫之短期致災風險，可能影響部分製造與供應鏈，卻沒有考量氣溫上升推升用電的面向，且其提出位於高溫高風險區較顯著受影響的比例僅有 9% 製程設備據點與 7.8% 廠務設施，相較於其他危害較不顯著的結論，且強調目前模擬情境下臺灣影響並不顯著的結論，足見台積電目前大大低估高溫潛在之衝擊。⁷⁰

針對半導體廠房的高溫衝擊，鄭伊芸提供的具體案例研究針對新竹、台中、台南等不同地區於 2013 年的外氣條

67 張振光 (2019)。高科技廠房無塵室、廠務及製程系統，過去、現在及未來之節能策略。國立臺北科技大學能源及冷凍空調工程系博士學位論文。

68 ibid. 頁 97

69 ibid.

70 台積電 (2022)。台積電公司 111 年度氣候相關財務揭露報告。臺灣積體電路公司。

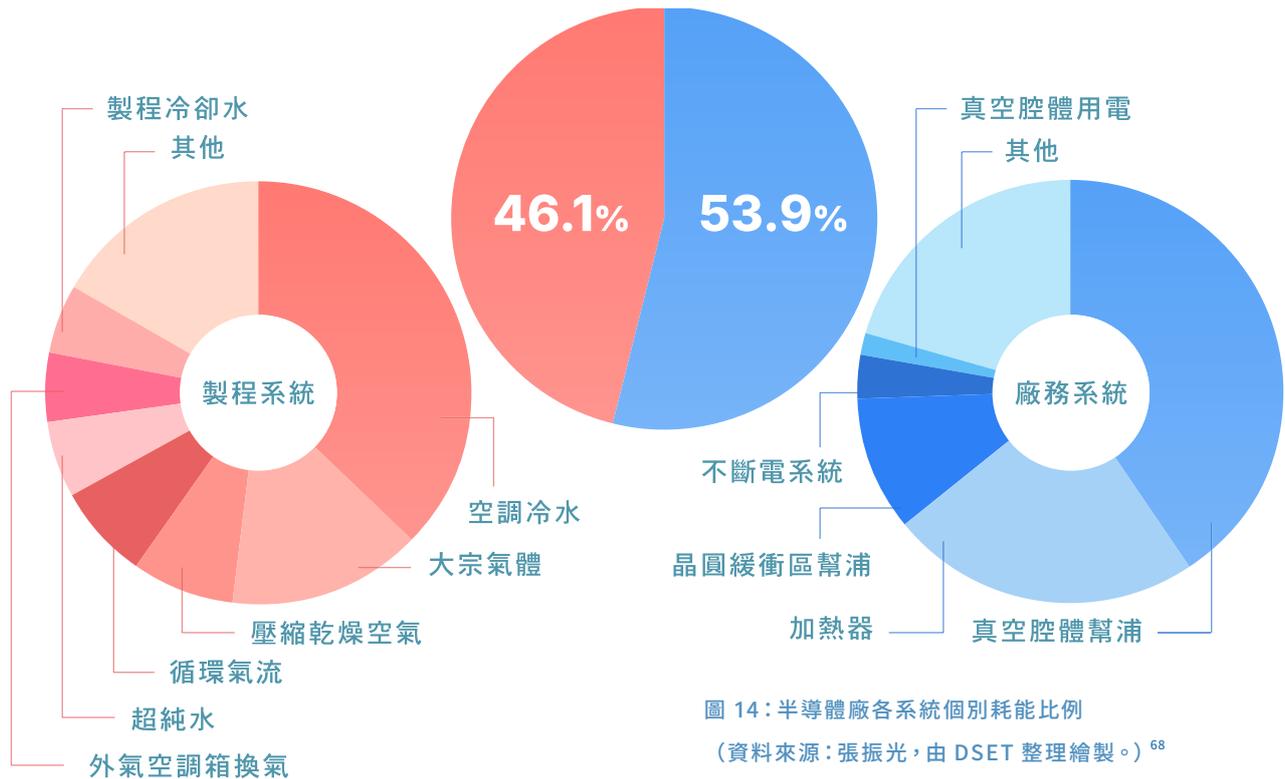


圖 14：半導體廠各系統個別耗能比例

(資料來源：張振光，由 DSET 整理繪製。)⁶⁸

件對整廠耗電影響進行量化評估。⁷¹ 並開發高科技廠房耗能模擬軟體 (Fab Energy Simulation, FES) 以分析全廠區耗電。在僅考慮外氣條件不同的情況，若於平均氣溫較高的台南 (全年平均溫度攝氏 24.7 度) 設廠，⁷² 相較於在新竹 (全年平均溫度攝氏 22.8 度)，低溫冰機的耗電量增長了 6.8%，整廠全年耗電量也增加了 0.92%。換言之，當廠區平均溫度上升時 (於本例，新竹與台南均溫相差 1.9 度)，半導體廠房整廠的耗電量將會有 0.92% 的差異。

本團隊利用 TCCIP 的 AR6 氣候推估資料來試算新竹、台中、台南與高雄於 2030 年於 SSP2-4.5、SSP3-7.0、SSP5-8.5 三個情境下較 1991 至 2020 年間的升溫幅度介在 0.6 至 0.8 度、-0.2 至 0 度、0.5 至 0.6 度及 0.2 至 0.4 度 (如表 3)，若將前述升溫及低溫冰機視為線性回歸，則低溫冰機耗電量最多將增加 2.86%；2050 年較 1991 至 2020 年間的升溫幅度則是介於 1.2 至 1.7 度、0.5 至 1 度、1.1 至 1.6 度及 0.9 至 1.3 度，最多將增加 6.08% 的低溫冰機耗電量。可見除了隨著製程進步帶領製程設

備耗能需要受重視外，對於氣候變遷情境下，各地氣溫逐漸推升，而導致對於外氣條件敏感的廠務系統 (又以冰水主機系統為主) 耗能增加，也應納入未來氣候調適措施的討論。

從前述文節的討論，考慮到氣候變遷帶來高溫增加能耗與減少能供的效應，此類「溫水煮青蛙」式的緩升系統性風險，不僅僅影響到台積電乃至於上下游整體供應鏈，甚至牽連到臺灣整體的能源系統穩定與安全性的課題。

71 鄭伊芸 (2014)。高科技廠房耗能分析軟體開發 (碩士論文：國立臺北科技大學)。華藝線上圖書館。

72 全年平均溫度資料，來自中央氣象署之氣候月平均資料。統計期間為 1991-20420 年。

地區	1991-2020 年均溫	2030 年/2050 年平均溫度推估值（系集平均）及升溫量		
		SSP2-4.5 中度排放情境	SSP3-7.0 高度排放情境	SSP5-8.5 極高排放情境
新竹	22.7 度	23.5/23.9 度 (升溫 0.8/1.2 度)	23.3/24 度 (升溫 0.6/1.3 度)	23.4/24.4 度 (升溫 0.7/1.7 度)
台中	23.7 度	23.7/24.2 度 (升溫 0/0.5 度)	23.5/24.2 度 (升溫 -0.2/0.5 度)	23.6/24.7 度 (升溫 -0.1/1 度)
台南	24.7 度	25.3/25.8 度 (升溫 0.6/1.1 度)	25.2/25.9 度 (升溫 0.5/1.2 度)	25.3/26.3 度 (升溫 0.6/1.6 度)
高雄	25.4 度	25.8/26.2 度 (升溫 0.4/1.2 度)	25.6/26.3 度 (升溫 0.2/0.9 度)	25.7/26.7 度 (升溫 0.3/1.3 度)

表 3：新竹、台中與高雄平均氣溫 - 氣候平均值與 2030 & 2050 年推估值

(資料來源：臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台)⁷³

(三) 尚未被考慮的氣候風險

電力系統的長期規劃都是基於負載預測「以需定供」，然而，若要了解當前官方對於臺灣未來的能源需求推估，可參考經濟部能源署每年公布之《全國電力資源供需報告》。以 2023 年釋出的官方報告而言，當中雖有詳列未來 10 年的電力需求推估結論，卻未能了解其預測是否已考量氣候變遷。但是，若將時間拉回到十餘年前，在 2013 年前，時經濟部能源局（今能源署）例行發布之《長期負載預測與電源開發規劃摘要報告》，詳細載明當時官方進行未來 20 年的電力負載預測的方式，除依據經濟成長率、產業結構、人口成長之外，更有詳列溫度一項，載明氣溫升高造成冷氣機使用上升，是提升電力需求上升的關鍵因素之一，並詳細列出未來 20 年預估的各年冷氣度。後續，經濟部能源署每年改為公布《全國電力資源供需報告》取代《長期負載預測與電源開發規劃摘要報告》，一方面縮

短展期預測時間，從原先展望未來 20 年縮短為未來 10 年，且電力需求推估考慮變數僅描述產業與經濟成長率的影響，氣溫升高在電力供給推估的重要性似乎在官方文件中淡化處理。

事實上，許多文獻皆指出氣候變遷將對能源消費造成直接影響，尤其是氣溫對電力消費的影響更是研究重點。與本文早前對於半導體廠房冰水主機的討論類似，因氣溫升高與極端高溫事件的頻率增加，將會逐年增加冷房度（Cooling Degree），⁷⁴冷房需求增加，進而推升尖峰負載的電力需求。根據張育璋（2013）的研究，在台北、台中與宜蘭三處，冷房度與電力負載間的線性回歸方程有顯著的解釋力，冷房度每增加 1 攝氏度日，台北電力負載將增加 0.39%、台南增加 0.26%、宜蘭增加 0.65%。研究發現氣溫與家戶電力消費為非線性關係，在不同溫度區間

73 資料來源為 TCCIP 計畫提供的模式推估資料，採取「單點多模式」方式取得平均溫度系集平均數，網站為 https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_02_01_ar6.aspx。該計畫參考 IPCC AR6 使用的全球氣候模式資料，來自第六期耦合模式比對計畫（Coupled Model Intercomparison Project Phase 6，簡稱 CMIP6），包含 31 個模式、4 種排放情境的氣候模擬資料。為了得到適用於臺灣的歷史氣候模擬與未來推估結果，該計畫經過統計降尺度方法處理，產製與觀測資料相同解析度（0.05°）的 AR6 統計降尺度資料。更多關於「AR6 統計降尺度資料」的說明，請參考 TCCIP 網站的「資料服務」功能，包含「資料介紹」有更深入的介紹。

74 冷房度為衡量一地區冷房需求的關鍵變數，即外部環境溫度高於基準溫度的溫度累積。依照經濟部能源署《100-109 年長期負載預測與電源開發規劃摘要報告》定義，冷房度 = $\sum(T_i - 26^\circ\text{C})$, if $T_i > 28^\circ\text{C}$, T_i = 逐時均溫。本項資料為逐時溫度差加總，數值愈大表示冷氣開機的需求越多。

的影響不一，但平均溫度上升 1 度，將造成家戶電力消費增加約 0.22% 至 0.33% 之間。⁷⁵

在電力系統的運轉風險方面，由於主流的發電方式多為利用燃燒能源產生溫度差以推動渦輪，再轉換為電力能量，因此環境高溫將會降低溫度差，降低電力生產效率。另也已有研究明確指出，氣候變遷降雨減少、水溫升高等趨勢，減少了火力發電所需的冷卻淡水，可能導致全球 80% 以上的火力電廠發電容量降低；⁷⁶ 工研院 (2018) 公布之能源設施氣候變遷風險評估指引不僅認為應考慮發電容量降低，還會加劇火力發電機組跳機或降載風險。

另外，如何提升輸配電設備的氣候韌性，也將是確保氣候變遷下能持續穩定供電的關鍵。經濟部能源署也曾提出，氣溫升高將降低電網傳輸效率與輸電量，或是導致線路弛度增加與老化影響，造成輸配電網絡輸送（電流承載）能力降低，導致需要重新強化／設計輸電網絡。⁷⁷ 這樣的問題不僅出現在臺灣，根據能源網絡協會 (Energy Network Association, ENA) 針對英國輸配電系統所提供的氣候變遷風險評估報告，該報告亦辨識氣候變遷對輸配電系統將帶來的風險，除卻淹水、強風災害之外，

輸配電流乘載力降低已是第三高風險的項目。⁷⁸ 當先進製程廠散落在各區，也將高度仰賴跨區電力調度的情況下，如何妥善評估氣候變遷下電力系統運轉的不同風險，將是維持穩定電力供給的關鍵。

(四) 穩定電力的跨區調度

半導體製造廠需要的穩定供電，不僅能夠滿足廠區尖峰用電的最大用電量，半導體精密的製造流程更時刻要求電壓與頻率需維持在嚴格的恆定範圍內。換言之，一旦電力供應出現異常，可能導致半成品報廢，進而中斷製程，所有機台需重新調整之後才能上線，導致生產延誤，並造成重大經濟損失。

以 2024 年 11 月 11 日，世界先進公司位於桃園的晶圓三廠發生 24 分鐘停電為例。儘管當時迅速恢復供電，世界先進仍預估此次停電事件將影響部分晶圓出貨及成本，目前正在積極減低對營運的影響。^{79,80} 在 2023 年 4 月 15 日台南科學園區的一次事故，此情況更為嚴重 - 當時因建廠工程施工不慎，挖斷特高壓電纜，導致鄰近的台積電 14B-P7 廠停電而致停工約半天，此次事故造成 40 / 45

75 張靜貞 (2017)。氣候變遷對家計能源消費的衝擊影響。建立永續發展政策評估及朝向 IAM 架構之整合型可計算一般均衡 (GEMTEE) 模型及資料庫。中央研究院永續科學研究計畫。由於自應變項關係非線性，該研究具體結論將關係式切成若干區間進行描述：當氣溫分別落於 ≤ 23.64 度、介於 23.64 至 25.62 度、介於 25.62 至 27.04 度，以及高於 27.04 度時，家戶電力消費將增加 0.22%、0.23%、0.28%、0.33%。

76 Yalaw et al., 2020. Impacts of climate change on energy systems in global and regional scenarios. Nature Energy, 5(10), 794-802.

77 經濟部能源署 (2023b)。能源產業因應氣候變遷風險評估指引。頁 24。

78 ibid. 頁 65-66。

79 世界先進積體電路股份有限公司 (2023)。世界先進公司進一步說明晶圓三廠停電事件影響。世界先進 2023 年 12 月營收報告。

80 黃卓霖 (2024)。臺灣晶圓大廠突發停電 24 分鐘！緊急疏散無塵室員工...內行憂「損失驚人」：晶片全報廢 - 風傳媒。風傳媒。

中部至北部每日平均電力潮流

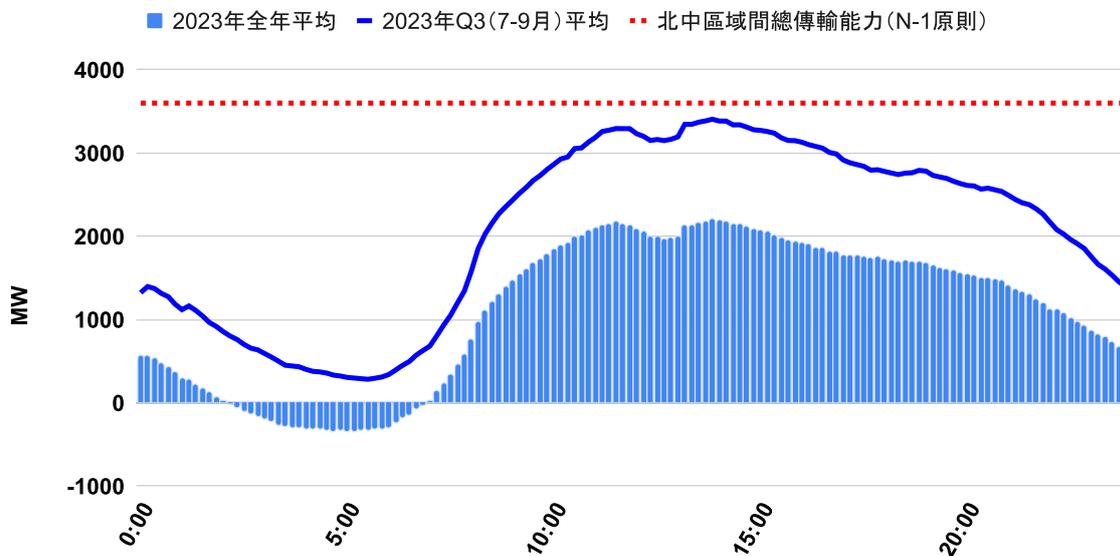


圖 15：中部至北部每日平均電力潮流 - 全年平均（柱狀圖）、2023 年 Q3（線段）

（資料來源：台灣電力公司電力調度處，由 DSET 整理繪圖）

奈米等成熟製程生產受影響，約 3 萬片晶圓報廢，損失高達新台幣 10 億元。⁸¹

廠區用電孔急，惟當前臺灣各區區域電力供需不均，亦為隱憂，尤其又以大台北地區的電源與負載失衡最為嚴重，於總量上仰賴中南部提供電力，而半導體產業的用電荷重增加，將使跨區域電力輸送面臨挑戰。2023 年為例，北部用電量為 930 億度，發電量只有 750 億度，北部區域的供需差距（即電力缺口）將近有 2 百億度，佔北部用電量的 21%，突顯出北部於總量上高度仰賴中南部機組支援發電量的現況，全年平均的北部與中部間電力融通情形（如圖 15）可觀察到，單日內絕大多數的時間，皆為中部將電力北送至北部區域（如圖 15 的柱狀圖部分，X 軸以上區域為向北輸送的電力）；若再考慮因不同發電機組在季節差異、歲修等因子，例如七到九月的夏季 Q3（如圖 15 的線段部分）則使電力在中部與北部區域的融通情形更加乖張。從實績來看，足見北部區域電力自主不足，必

須仰賴與其他區域之間的電力調度，才能因應每日的電力需求。

北部區域供需失衡並非一日之寒，主要近年因為北部地區能源負載因人口成長與經濟發展漸大，而預計新設的電廠計畫無法按期完成，造成北區與其他區域之間的供需差距持續上升，遠因則是大型發電廠的選址位置遠離產業用電中心所致。國家為經濟發展而推展產業群聚，以政策力量創建產業園區或科學園區，造成用電中心集中在新竹、台中、台南與高雄等地，形成用電熱點。然而，用電集中區域和適合建置發電廠的地方往往無法契合，所以更加仰賴高壓輸電系統，作為區域間的電力融通的廊道，將電力從發電廠運送至用電熱點。近因則是北部近年傳統電廠除役機組多，亟須新增電源平衡電網，另一方面，受限於大台北地區並非再生能源具潛力場址的區域，若要興建傳統電廠亦非常困難，導致北東電網（即北北基、宜蘭）供電不足，⁸² 需仰賴外地支援。

81 關鍵評論網 (2021)。台積電南科廠停電損失逾 10 億，經濟部次長：不要把跳電都說成缺電。

82 北部地區電網受陽明山、淡水河等天然地理阻隔，發展呈現「北東」及「北西」兩大電網，其中北東電網區域範圍約包含雙北、宜蘭地區，北西電網的主力發電機組包含林口發電廠及大潭發電廠。

縣市	台電售電量 (億度)	縣市自有發電量 (億度)	電力自給率
台北市+新北市	378.4	193.1	51.0%
桃園市	288.3	397.1	137.7%
台中市	340.2	293.5	86.3%
台南市+高雄市	644.8	544.9	84.5%

表 4：北部地區各縣市電力自給率與自有發電量
(資料來源：台灣電力公司⁸⁴，由 DSET 整理製表)

若再進一步深入分析各地區的供需電平衡狀況，計算各縣市的電力自給率如上表 4 所示，⁸³ 可見北部區域（更精確的說，台北市與新北市）呈現較低的電力自給率，溢出的需求則需依賴超高壓電網，也就是肩負遠距離輸電任務的超高壓主幹線與變電所等輸配電設備，將遠方外縣市多餘的電力跨傳支援。

然而，用電與需電的區域兩端若長期失衡，除需考慮長途電力運送所產生的線路損失，更需考慮高壓電路輸送所需仰賴變電設備的可靠度。一旦輸變電設備不穩定，將可能提高供電事故造成的大停電風險，既無法保持較好的供電品質，又會增加調度風險。除了增加引發輸供電連鎖事故之外，變電設施若最大負載佔額定容量比例大、利用率過高，則會降低變電設備的可靠度。

若實際攤開全臺灣輸配電關鍵節點的超高壓變電所設備於 2023 年的最大利用率（見圖 16），依照北中南部三處電網分區進行分類，**不難發現北部區域的超高壓變電所普遍較其他區域有著更高的利用率，甚至在汐止、頂湖和**

深美皆幾乎超過 70%，遠較其他區域的超高壓變電所承受更高的壓力，卻同樣困限於北部地區都會面積擴大、居民因鄰避設施而屢遭抗議，新設或擴建超高壓變電所計畫牛步，無法按期完成。

利用率達七成，看似不多，但對於台電來說，全台輸配電設備與線路的維運已長年落實「輸配需保持餘裕」的原則。根據本報告訪問台電林法正董事所得到的資訊，台電設置的變電所跟輸電線的容量原則上嚴守 50% 的上限，「台電本身在不管是輸變電的容量，或是區域融通電力，基本上採取非常保守的估算，以不超過一半為原則」。⁸⁵

在超高壓變電所主變壓器額定容量預留一半的融通能力，主要是為了因應 N-1 事故。所謂 N-1 事故原則，即確保當供電網絡中有任何一處發生故障時，其餘可靠且運行中的輸電設備（變壓器、迴線）可以擔負持續正常運行的壓力，為後續電網排錯與修復作業爭取時間。

83 台電並無公布「電力自給率」概念，此概念首見於臺灣區電機電子工業同業公會（電電工會，TEEMA）引用台電統計之電業年報所載各縣市發購電量及各縣市售電量後自行計算，後台電回應該資料僅統計台電系統數據（非全國發電統計數據），未包含小型再生能源機組、再生能源轉直供電量、再生能源轉直供餘電量及自發自用電量等資料。

84 台灣電力公司（2023）。112 年電業年報。

85 DSET 訪問台電董事兼國家科學及技術委員會副主委林法正，2024 年 11 月 4 日於國家科學及技術委員會。

86 台灣電力公司（2024）。台灣電力公司超高壓及一次變電所主變壓器裝置容量及負載。政府資料開放平臺資料集。

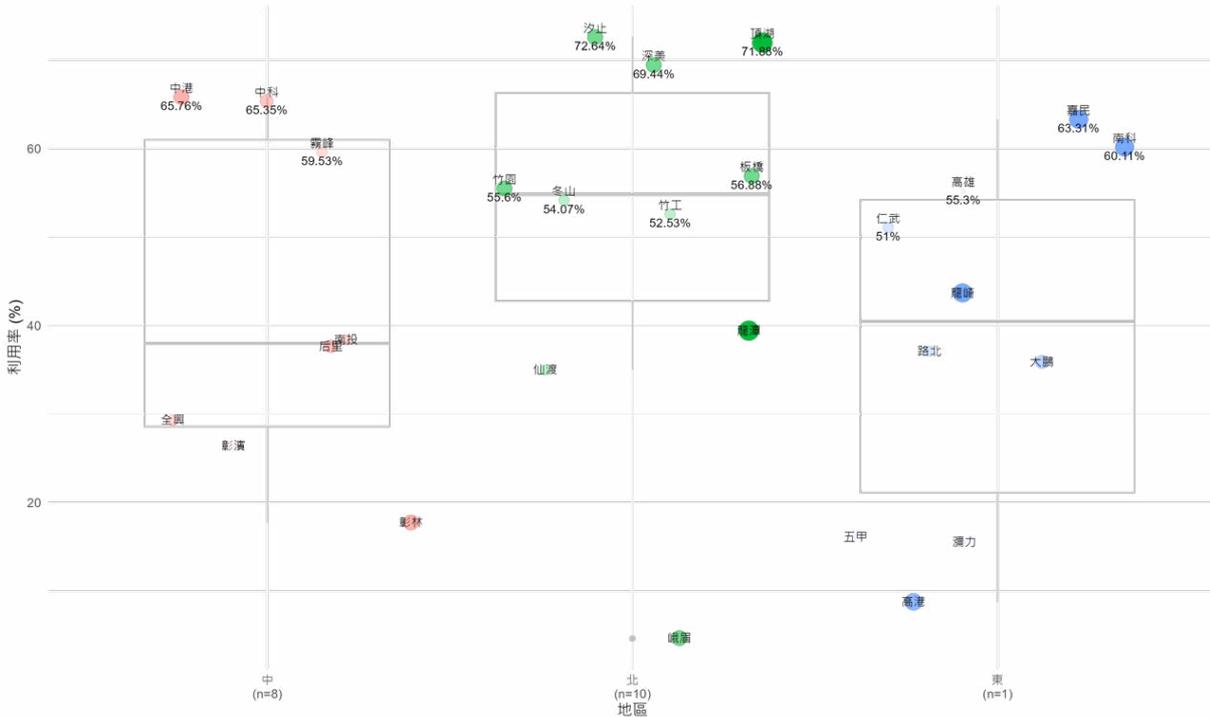


圖 16：臺灣各區域超高壓變電所利用率盒狀圖（圓點面積表示主變壓器額定容量大小）

（資料來源：台灣電力公司⁸⁶，由 DSET 整理製表）

在現行台電的作業準則下，在 N-1 事故下的標準是，其餘線路與變壓器所乘載的電力潮流量，不可超過其額定容量 10% 以上，⁸⁷ 若研判 N-1 事故下變電器利用率將過載超過 10% 以上，就被稱為「輸電頸路」，台電需要調整輸電網絡規劃，可能採取新增輸電迴線、擴充既有變電所的變電器設備，甚至新增變電所。若無法符合規劃準則，則需要採取「運轉手段」（發電降載、負載轉供、安裝保護電驛或遙控負載卸載裝置）等措施，^{88,89} 以因應偶發事故。若有此類接近過載的狀態，台電為避免供電受影響，該地區的工業開發案的新設廠計畫，甚至是新建案在初期投資評估乃至正式用電申請時，將受到影響。以新竹科學園區為例，在竹園超高壓變電所加入前，因峨眉-龍梅-龍山出口線路已 N-1 過載，故台電迅速於新竹園區內設置竹園超高壓變電所，另在輸電計畫中載明，若竹園超高壓變電所遲未加入，台電將會無力提供竹科園區內新增設用電申請。

下圖 17 特別針對超高壓變電所的主變壓器進行分析，並將台電餘裕準則使用率 50% 處繪製橫虛線，可以發現北

部區域（汐止、頂湖、深美、板橋），以及支援科學園區（中科、南科、竹園），以及其他肩負區域間跨傳關鍵節點或連結大型電廠（嘉民、中港、高雄）的超高壓變電所，皆超過台電在輸配電上的餘裕原則。尤其是北部區域的超高壓變電所利用率，遠超過上述原則甚多，顯示台電已經長年透過緊縮原有設置的餘裕準則，勉持支援北部失衡的供給。

另外，除了北部電網的超高壓變電所之外，支援主要科學園區的超高壓變電所（例如：中科、竹園與南科）也都有較高的使用率，顯見上述超高壓變電所所服務區域的用電需求增長之快速；相較之下，台電新增變電設施或擴大既有設施容量的速度則已落後，2 奈米先進製程於近二年即將開始量產，無疑是雪上加霜。

本報告再將上述已遠超安全餘裕的北區超高壓變電所繪製於地圖上（如圖 18），可見大台北地區供電系統目前由四所超高壓變電所（汐止、板橋、深美以及頂湖）負擔，其供電負載率皆已達七成以上，供電可靠度及供電品質急須

87 台灣電力股份有限公司輸電系統規劃準則第十二條第二款。

88 台灣電力公司。第七輪變電計畫修正計畫。頁 120。

89 朱曼寧 (2024)。松湖變電所延宕 北市四區新建案 ... 供電拉警報。聯合新聞網，2024/05/12。

90 ibid.

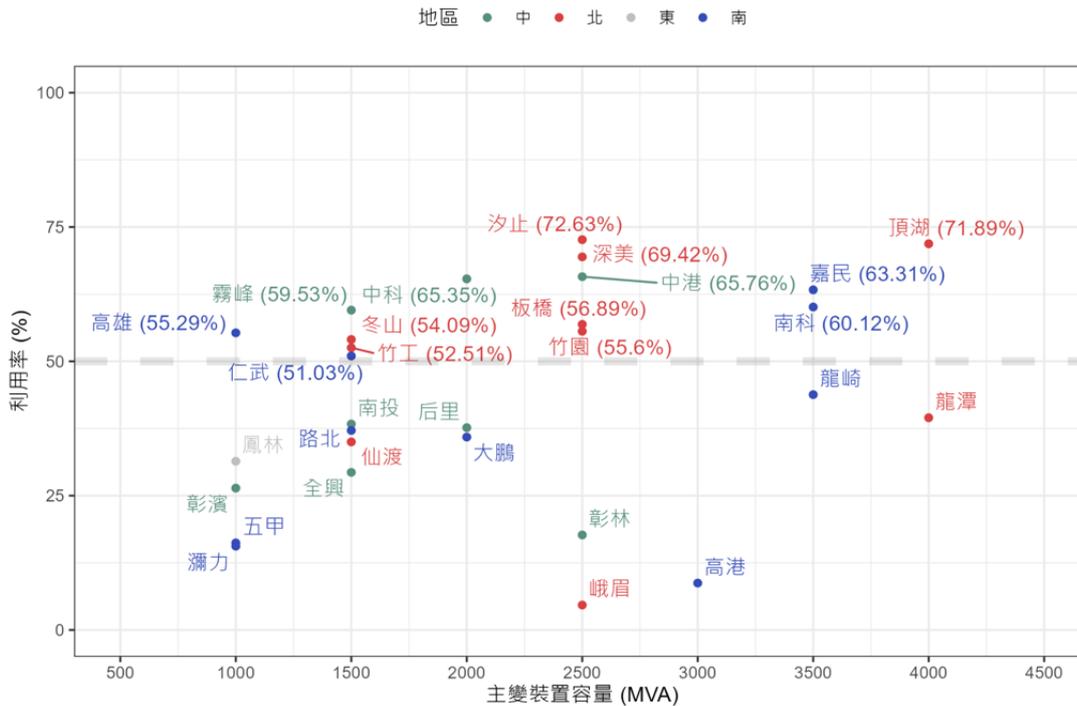


圖 17：臺灣超高壓變電所主變壓器額定容量（橫軸）與利用率（縱軸）散佈圖

（資料來源：台灣電力公司⁹⁰，由 DSET 整理製表）

改善。其中，台北市區松山、內湖及南港地區大部分用電皆由利用率已達飽和的汐止超高壓變電所獨立引供，一旦汐止—民權—松山特高壓線路發生 N-1 事故，現行輸電設備將無法克服過載問題，無可避免將造成松山、內湖、中山等區域停電；頂湖站亦達到供電能力飽和，造成需由頂湖站經特高壓輸電線路長距離輸送的蘆洲、三重區域，也出現嚴重的供電瓶頸。

因應上述北部書院瓶頸的新建計畫工程，原先台電已於 2010 年的第七輪變電計畫中，以「最優先工程項目」的層級進行推動，⁹¹ 當中包含松湖超高壓變電所（原預計 2019 年完成）、大安超高壓變電所（2020 年）、新北超高壓變電所（2021 年）及福和一次配電變電所（2022 年），皆受到民間抗爭而受阻，幾經遲延；截至截稿前，大安超高壓變電所已有報導稱預計於 2025 年完成建設，⁹² 但其他關鍵建設仍遙遙無期。當中又以原是台電第六輪變電計畫規劃的松湖變電所最為坎坷，自 2000 年起歷經三位台北市長都沒進展，直到影響北市重大建設如東區門戶

計畫、大巨蛋、捷運汐東線用電需求出現，才在 2023 年 5 月發出建照，前後一共延宕 20 餘年。⁹³

可見北東電網自主不足，外援受限的現況下，常態性仰賴區域間電力調度，不但容易泛政治化成為地方之間對立衝突之社會議題，對於主責臺灣電網的台電公司來說，如何在供電與需電空間與時間分佈迥異，各區用電需求日益提升，導致日漸狹小的可用電力調度空間（備轉容量 - 最大負載尖峰）的艱困情境下，靈活調度北、中、南部電力潮流，更是電力調度中心與超高壓供電路網的日常挑戰。且不只是北部與中南部區域的尺度存在張力，若再下降至科學園區與鄰近區位尺度，亦有面臨類似困境。

由於特高壓用戶過於集中在科學園區內，導致科學園區雖積極新建變電所，仍可能不及擴建既有變電所容量或新設輸電網絡，因變電所多位於園區內，不容易受到鄰近居民抗議，然而聯外輸電線路道長且阻，一旦高壓用電需求快速增加，一方面壓縮既有變電所主變電器的乘載彈

91 需符合法令規章或解決緊迫性供電瓶頸的最優先工程項目類型，因此類工程主要需解決供電系統尚存瓶頸問題，故此類工程不需就必要性、效益評估等進行優先順序評估。

92 今周刊財訊新聞中心 (2022)。直擊忠孝復興站附近地下 50 米！歷時 10 年、造價 36 億開挖深度超過台北 101 地基，大安變電所潛盾洞道將開通。2022 年 9 月 8 日。

93 吳韻馨 (2024)。又卡了！松湖臨時變電所尚未核發施工許可 台電盼北市府共同解決。太報。

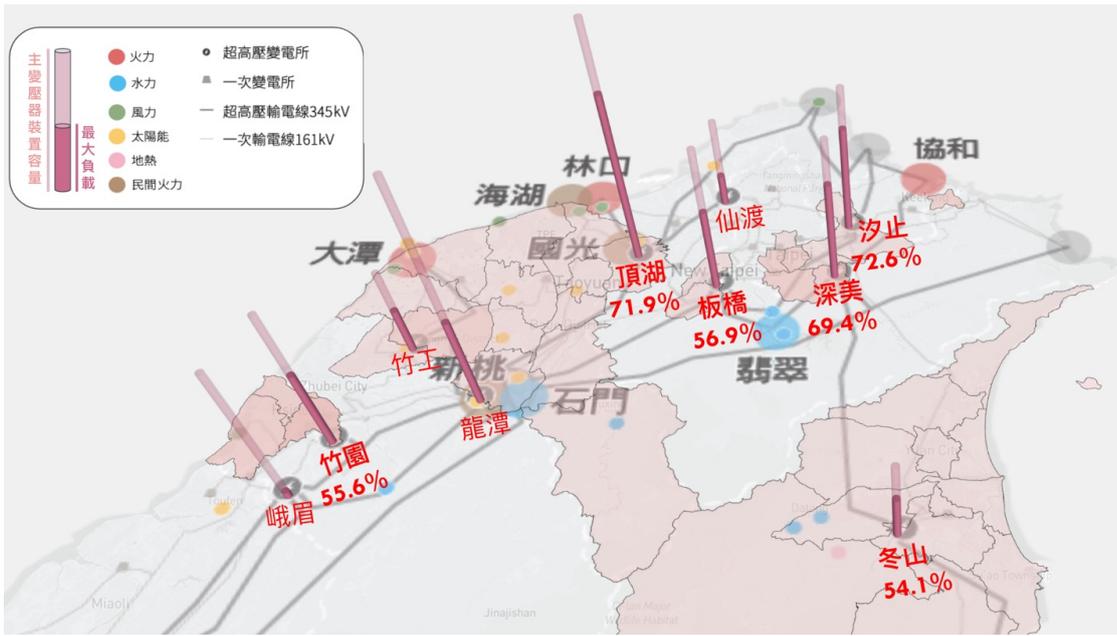


圖 18：北部電網及各主要超高壓變電所利用率 (2023 年)

(底圖、利用率資料來源：台灣電力公司，紅色底圖區域為利用率超過 50% 的超高壓變電所直接服務範圍，由 DSET 整理、繪圖)⁹⁴

性，另一方面也會降低供電品質，甚至必須限制新開發案核供。綜上所述，變電所、輸電饋線的新建或擴增進程能否及時跟進，應是半導體業者在科技園區內考慮擴廠規劃的重要前提。

四、小結

本章綜合分析了半導體產業對水資源與電力的高度依賴，並聚焦於先進製程擴張所引發的資源挑戰及氣候風險。透過數據推估與風險評估，本報告展現產業持續發展對臺灣基礎設施與資源調度的深遠影響，後續第四章將進一步為政策擬定與調適行動提供具體建議。

本章強調隨著 7 奈米以下先進製程技術的量產，晶圓製造廠每日 10 至 15 萬公噸的用水需求與超純水的高標準，使區域水資源壓力持續加劇。南部科學園區等地因供水能力接近飽和，乾旱期間的資源調度風險尤為顯著。此外，海淡與再生水技術雖提供了補充性解決方案，但由於成本及能耗限制，其對社會造成高負擔成本的資源分配公平性產生疑慮，需再鼓勵廠商加強投資相關技術。

其次，電力需求的高速增長已成為系統性挑戰。本章指出，2031 年後全國電力系統尖峰負載將面臨緊繃態勢，尤其是高能耗的 EUV 設備與冰水主機系統，使半導體製造廠的耗電量顯著超越預期。高溫推升冷卻系統能耗、尖峰負載攀升與能源供應調度能力不足之間的矛盾，將是未來需要優先解決的關鍵課題。

在氣候風險方面，乾旱和高溫已被確認為對半導體製程及其基礎設施的主要威脅。本報告認為當前半導體廠雖已有針對氣候變遷的實體風險評估，但對於區域氣候變遷趨勢與廠房能資源需求的交互作用尚有不足，對氣候變遷下系統性風險的分析更需全面考量。現有調適框架如可整合跨部門數據資源，透過模擬未來極端氣候情境，提升資源分配的效率與公平性。

綜前所述，本報告建議政府需以前瞻性規劃因應氣候變遷挑戰，並強化與產業界的協作，推動區域水電基礎設施的全面升級。同時，產業需將資源韌性納入長期規劃，最佳化廠房選址策略，平衡資源配置與區域負擔。

94 台灣電力公司 (無日期)。臺灣系統電廠及電網分布圖。

3

現有因應策略的侷限

重點節錄

1. 2015 年台灣水資源治理出現「需求端控管」的政策轉向，並在 2021 年首度將氣候變遷情境與調適作為納入政策規劃，從上游水庫清淤、水庫間備援水管的建置、至中游多元備援水源的開發，也衍伸出「珍珠串計畫」，以增加區域間的供水韌性；但若水文乾旱時間拉長，其供水能力仍有其侷限。

2. 建置再生水與海水淡化廠成為增加水源供給的重要手段，尤其是對於需要水質與水量皆可控的半導體業者來說，2020 年再生水首度可於晶片製程中使用，讓半導體廠商得以不與其他部門爭水。但本報告也指出，雖然再生水廠較不受降雨條件影響，但地方政府的接管率高低會決定進水量，且需就近供應的再生水專管龐大的建置成本，也讓其他高耗水大戶卻步，另外其財政負擔比例亦仍待決，這些都限制了再生水在臺灣的擴大使用。

3. 本報告指出，目前供應業者所需的電力難題並不在於總量的缺乏，而是來自於臺灣電網的現有瓶頸。首先是區域融通量（電力潮流）過高的問題，第二則是變壓站負載或配線逼近可靠容量的問題；前者需要透過降低區域的

電力供需差，後者則有賴於擴增變電所與變壓器容量，或是既有線路的輸電能力，但這兩個手段目前都面臨龐大的社會壓力，而有其限制。

4. 相較於製程耗能的減低，廠務隱形用電的節能程度目前仍相當有限。

5. 本報告強調，除了綠電量不夠的問題以外，半導體擴廠對於電力資源的衝擊，即突增的用電量、以及過度集中的用電導致電網壓力提升，最後是面對氣候變遷下潛在推高的用電需求，這些絕非單靠投資綠電就可以解決，這方面的因應作為，需要更多討論。

前言：

本報告在前一章詳述了半導體產業製程進步與量產擴張的當前時點，臺灣在面對狹促的水與電力資源與氣候變遷帶來的挑戰，半導體產業的用水用電韌性建設已超越單純的技術與產業議題，成為一項涉及多層級治理與跨部門協作的綜合性議題。延續前文對於水資源與電力資源的困境，中央、地方、科學園區與企業也發展出協同合作的多尺度治理，企圖透過更全面的資源整合，為半導體

產業提供了適宜發展的環境，進一步鞏固臺灣在全球地緣政治中的產業地位。

首先，中央部會承擔著國家層級能源與水資源政策的規劃與執行責任，例如，能源政策由經濟部能源署負責規劃，並交由台灣電力公司執行；水資源則由經濟部水利署管理。在本章中，我們將描繪中央政府如何透過遍及全島的基礎設施建設計畫，企圖透過整編全島的資源，促進跨區域的協調與資源整合，抹消半導體產業於地方尺度遭遇先天自然條件的限制。例如「強化電網韌性建設計畫」與「珍珠串計畫」，中央打破以往由自然地理條件劃分的區域界限，重新分配電力與水資源，強化政策調度能力，進一步也影響了地方的發展方向。

地方政府的角色並非國家政策的執行者，但在中央政策主導的全面規劃下，進一步被整合進入半導體產業協助者的角色，中介於中央政策與地方民意與中央政策之間。具體而言，半導體產業的高附加價值使得地方政府之間必須相互角逐，競相關設科學園區、吸引相關企業進駐，以增加地方稅收並滿足當地發展需求，然而，在半導體產業索求高度集中的資源需求與高標準的基礎設施建設條件下，地方政府面臨能力範圍的挑戰，不得不轉變為中央政策的從屬角色，協助推動產業計畫，處理地方內部矛盾。

接下來是本報告主角的舞台—半導體業者進駐的科學園區。如同前章闡述，園區作為國家重點產業的核心聚集地，佔地僅全臺灣 0.15% 用地，但耗用了全台 10% 以上的水、電資源，未來仍預期將不斷擴張。科學園區管理局作為中央部會國家科學及技術委員會（國科會）的附屬單位，負責落實國家主導的重點產業發展計畫，協助園區企業

達成相關政令要求，包括遵循用水用電計畫、建立和運營超高壓變電所、廢水處理廠及再生水設施等。

在本報告中，業者在面對臺灣有限的水與電力資源，以及國際對於永續發展轉型的壓力下，目前的具體因應策略反映在「量」的節約，例如節電、回收水再利用等等，以及「質」的控制，例如投資表後儲能與 UPS 不斷電系統、發展再生水處理技術等等，朝向提高韌性的方向轉型，但同時卻也有其因應的侷限。

一、水資源系統調適：強化調度備援能力與供水韌性

（一）國家水資源策略轉型：科技造水與調度韌性成為主軸

回顧臺灣水資源開發運用與管理政策，從 1986 年的水利基本政策，1996 年現階段水資源政策綱領，2006 年新世紀水資源政策綱領，雖然陸續納入尋找新型水源、推動海水淡化、涵養水源、檢討水利法規等想法，但仍持續一面以水庫來解決用水需求，另一面仍推動高耗水、高耗能的石化產業，並以國家補助作為支持。

2015 年則出現朝「需求端」控管的政策轉向。當年行政院推動節水三法修正與立法，即水利法（包含推動用水計畫與耗水費徵收）、自來水法（強制使用省水器材）、以及再生水資源發展條例。其推動理由揭示：「因為水資源的開發不易，水資源管理策略由『增供應需』轉為『以供定需』」，成為水資源經理政策轉型之濫觴。2016、2017 年間陸續核定的舊版北、中、南、東水資源經理基本計畫，

雖然仍可見雙溪水庫、天花湖水庫等河川上游水庫開發計畫，但已可見區域水源聯合運用、海水淡化廠躍升成為各區主要的新興水源開發計畫。

而在 2021 年新版臺灣各區水資源經理基本計畫核定前夕，臺灣經歷百年大旱，中北部多處水庫見底，政府不得不採取農田停灌、工業限水和民生分區限水等緊急措施。在此次大旱中，2016 年水利署陸續推動的多元水資源利用策略，如板二計畫、桃竹備援聯通管、新竹、台中臨時海淡廠，以及埤塘活化、備援水井等措施及時上線，成為驚險渡過 2021 年百年大旱危機的關鍵因素。

在歷經 2021 年百年大旱後，同年經濟部盤點全臺灣個別區域水資源待改善的問題，並擬定因應對策，並配合各縣市國土計畫，於 2021 年 8 月交由行政院核定「臺灣各區水資源經理基本計畫」，並且採用國家災害防救科技中心（NCDR）在未來氣候變遷風險情境設定上建議之全球暖化程度下固定暖化情境，評估各縣市的用水與供水演變。⁹⁵ 此舉修正了 2016 至 2017 年陸續核定以 2031 年為規劃目標的北、中、南、東、離島各區域水資源經理計畫，再將目標年延長至 2036 年，作為臺灣推動整體水資源建設的基本藍圖，就供需情勢與近、中、遠程重大方案等進行通盤規劃，設定每 5 年滾動檢討的機制。

新版臺灣各區水資源經理基本計畫正式核定，當中已不再出現任何如天花湖水庫、雙溪水庫等河川上游水庫開

發計畫，而 2021 年迄今，水利署的年度公務預算及特別預算也都未再出現河川上游水庫開發計畫之預算。而這份以供水安全為核心的計畫在第二主軸「強化區域水源調度」部分，則是借鑑板二計畫、桃園支援新竹幹管於大旱期間的順利救場經驗，試圖批量複製至西部其他縣市，主打區域間水源聯合運用，透過興建廊道供水管打通西部各水庫，打造西部互通供水管網，是為「珍珠串計畫」。最後「科技造水，減少降雨依賴」則不同於以往主要開發天然雨水利用為目標，旨在應用新興技術、減少降雨依賴，規劃於中游供水端開發多元水源，當中又以海水淡化廠、再生水廠為要。本文將會依序介紹第二主軸的主角「珍珠串計畫」，以及第三主軸的「海淡水」、「再生水」，如何回應半導體產業用水的衝擊，以及各自的限制。

（二）通水管打破河川水系限制：串連西部的珍珠串計畫

政府早於 2017 年推動「前瞻基礎建設計畫」，其中水資源領域為重點項目，分配到的金額達 2,067 億元，除了建設前述科技造水廠區作為示範用途之外，另規劃了前述板新地區供水改善計畫二期工程，以及桃園－新竹備援管線及臺南高雄水源聯合運用等工程。其中，桃園－新竹備援管線旨在串連北部石門水庫至新竹地區用水的聯通管串接建設，於 2018 年展開前期項目，並即時趕及於 2021 年全台大旱前完工，在乾旱末期一也是水情最為險峻的時期一由石門水庫向新竹地區供應每日最高 22.5 噸

⁹⁵ 臺灣各區水資源經理基本計畫書中表明，水利署採用聯合國政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）發布最新第五次評估報告（AR5），模擬 125 至 154 年臺灣地區 RCP4.5 及 RCP8.5 降雨情境分析顯示，未來臺灣豐水期雨量增加 3% 至 9%，枯水期減少 6% 至 12%；並且強調因應氣候變遷加劇極端氣候事件風險增加，強化科技造水、區域調度及備援供水能力有其必要性，以提升供水韌性。」，為首次納入氣候變遷情境，也是第一次提出「提升供水韌性」的上位目標。

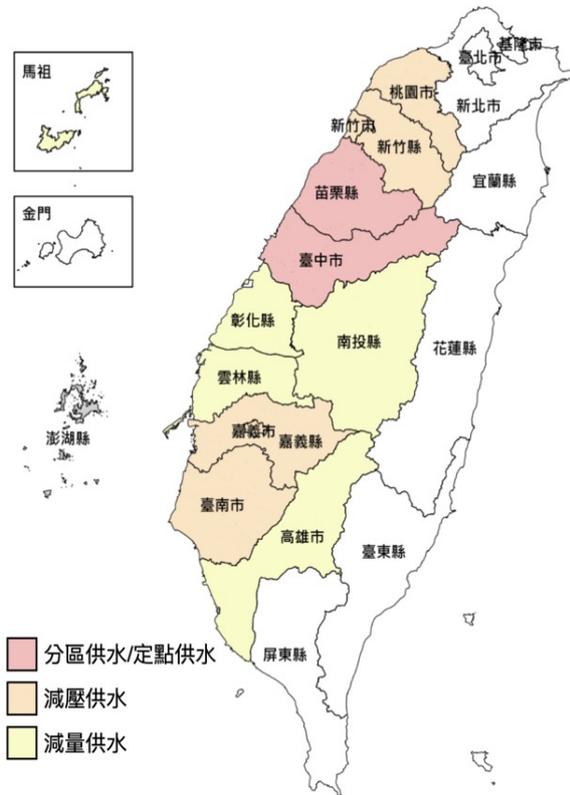


圖 19：2021 年 5 月 29 日全臺水情燈號
(資料來源：經濟部水利署，由 DSET 整理重繪)⁹⁷

水量。因此即便是在向來缺水的新竹地區，在 2021 年 5 月正值大「旱」當頭，苗栗、台中、北彰化早已進入分區停水／定點供水的紅燈，竹科仍可維持「減量供水」的橙燈（如圖 19），高科技廠商仍得以「總量節水 17%、減供不停供」繼續正常生產晶片。⁹⁶

在經歷 2021 年大旱事件後，水利署意識到跨域調水工程能有效緩解水資源供需分布不均的問題，免除縣市間於水資源的先天不利條件，再考量未來將持續面臨科技產業快速發展，枯水期常面臨供水不穩定情形，若後續產業用水需求持續增加，將非常需要跨區調度的措施，遂積極計畫展開整合西部各水系的「珍珠串計畫」，串連起各地區的水利設施，強化調度餘裕，其中除了加寬原有的桃竹備管規模從每日 20 萬噸調升到 30 萬噸之外，亦複製桃竹備管成功模式至其他區域，透過管道工程連結各地水利設施，打破既有地理環境的集水區隔閡，以利及時自較有餘裕的地區調度用水至水情緊迫的區域，尤以半導體產業密集但水情較為不穩定的新竹、台南與高雄都會區，提升水資源的調度能力，穩定高科技產業的用水需求。

以管線工程貫穿南北的珍珠串計畫，帶動臺灣的水資源建設經費達到新高，反映政府部門不惜改變既有自然環境限制，也需要配合半導體產業的用水需求進行調變。但本報告也強調，水資源跨域調度的手段固然有效，但背後反映的是半導體產業相較於其他部門失衡的水資源需求，一方面成本多轉嫁由國家財政進行負擔，另一方面更凸顯半導體產業極為仰賴中央部門主動介入，中央政府也自「制定標準、審核」轉變成「協調、促成」的積極角色。

因此，珍珠串計畫雖能提高水資源區域調度彈性，但也有其限制。若大規模乾旱造成水源長時間不足，縱然水資源合縱調度能力拉滿，由於聯通管線管徑限制，區域跨傳輸水量亦有其極限，半導體產業仍有無水可用的風險。以 2021 年乾旱為例，桃竹備援幹線雖於 2 月搶通後快速救援，得以使新竹延緩分區限水的窘境，使新竹科學園區得以持續生產，但當年梅雨延遲，若無 5 月底的即時雨，6 月開始新竹仍得實施分區供水。

96 經濟部 (2023)。百年大旱時桃竹幹管提前 4 個月完工 挽救產值 2600 億元 打破缺水疑慮。

97 經濟部水利署 (2021)。2021 年 5 月 29 日全臺水情燈號。

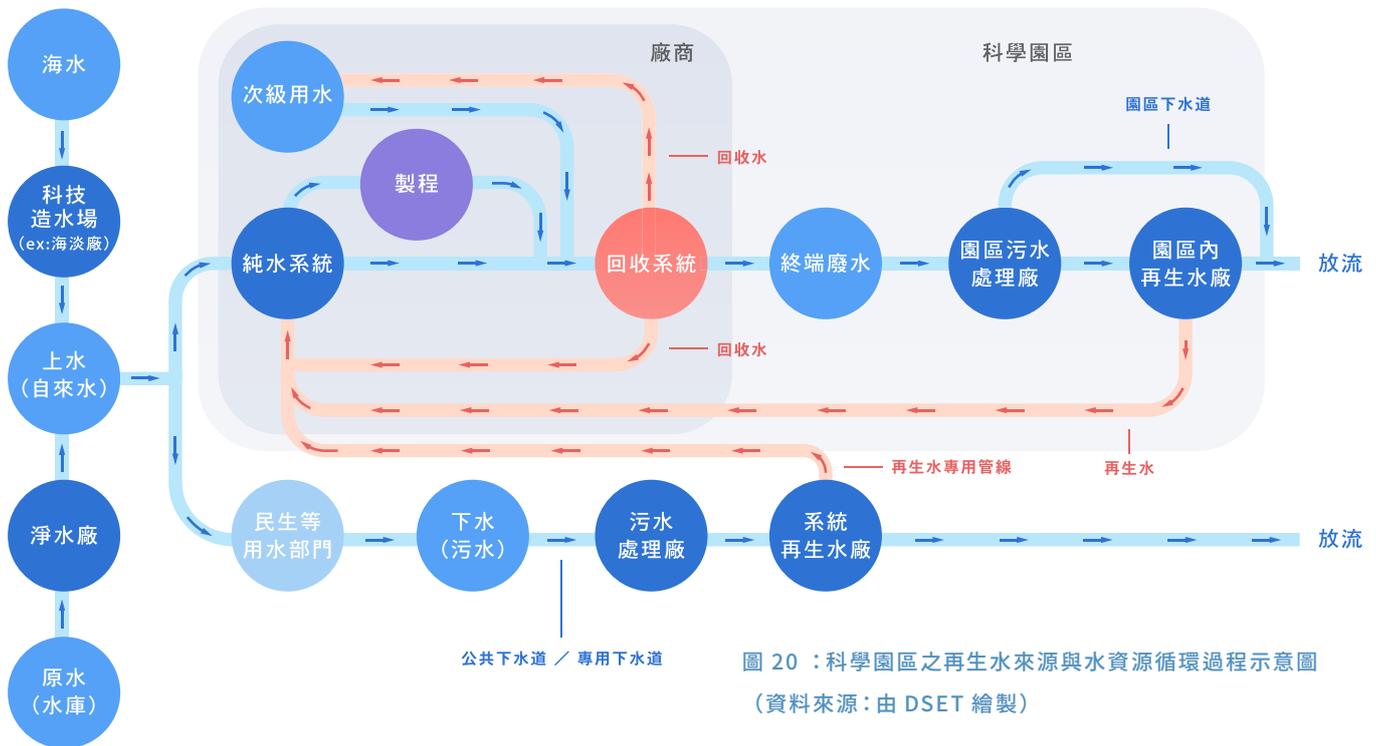


圖 20：科學園區之再生水來源與水資源循環過程示意圖
(資料來源：由 DSET 繪製)

(三) 不受科技造水成為臺灣減少降雨依賴的重要手段

臺灣分區水資源經理基本計畫當中另一個值得強調的，是首次出現的主軸「科技造水、減少降雨依賴」。由於氣候變遷領域之研究普遍認為，未來枯水期降雨將偏少、缺水風險增加，故需尋求不受降雨影響之水源，以科技打造全新水源，強化枯水期的供水韌性。而目前技術及成本較具可行性的再生水及海水淡化廠，則成為當前與未來的科技造水主力，行政院亦已核定多處再生水及海水淡化廠興建案。本報告將簡要說明臺灣再生水與海水淡化廠的發展，也將指出，這兩種科技造水計畫的成本，以及在因應高階晶片產能擴張與氣候風險下仍有其侷限。

1. 再生水因水質可控而成為半導體產業用水的新選項，但中央地方經費拆分與下水道接管率將成為其擴大使用的限制。

所謂再生水，指廢(污)水或污水處理廠的放流水，經混凝、過濾、消毒等程序處理後，進一步純化為可再使用的回收

水；其中，依照處理水源的不同，又可分為系統再生水及非系統再生水(如圖 20)。整體而言，由於系統再生水是收集民生污水或工業廢水再處理，水源相對穩定且可預期，具有保險用水特性，遂成為經濟產業之關鍵抗旱水源；但由於過去產業端對於再生水的水質存有疑慮，再生水多被導入於次級用途(澆灌等)，即便使用再生水，多為應環評要求才使用。

對於使用者來說，使用系統再生水的意願相對較低。這是因為臺灣的水價明顯低於國際水準，目前每度的自來水費用僅為新台幣 7-10 元，遠低於全球平均水價。水價需反映用水的稀缺性和使用成本，而臺灣的水價過低卻導致市場信號失靈，使得大眾缺乏節水動力、新興水源技術的推廣受阻。例如相比於價錢低廉的自來水，再生水的成本高達每度 20 元，⁹⁸使得企業在節水技術投資上缺乏誘因，許多工業部門寧願依賴自來水，也不願使用成本更高的再生水或海水淡化水，這也反映在政府推動工業用水循環再生的政策受阻的狀況，甚至影響產業的永續轉型。

98 根據用水端的水質要求不同，成本將有所差異。

隨著水處理技術日益提升，再生水的品質與成本逐漸具備市場潛力。為鼓勵產業投資與使用再生水，臺灣於 2015 年已制定《再生水資源發展條例》，作為推動再生水政策的法源基礎，並推動鳳山溪、福田、永康等 6 處示範廠的建設，總投入超過 150 億新台幣，以驗證再生水技術的可行性，並為日後大規模推廣提供參考。2022 年 5 月臺灣再度修正《再生水資源發展條例》及相關子法，擴大產業使用再生水的範圍，不再侷限於有水源供應短缺之處的地區，並強制規定只要是興辦開發行為，無論是廠商進駐科學園區或產業園區，或是既有廠商擴建需變更用水計畫，未來水利署審查新建開發單位之用水計畫時，要求用水量達一定規模的工業用水必須使用至少一半的系統再生水，否則無法新建。⁹⁹

2021 年百年大旱發生，使人們具體意識到氣候變遷下乾旱風險不容忽視，是再生水再躍舞台的關鍵契機。除了意識到明晰的乾旱風險及水資源短缺，可能造成巨大的營運損失風險之外，如前章所提，半導體業對水質有嚴格要求，在水資源成本並不為第一位考量，才有了與政府合作投資再生水廠的契機。根據水利署 2015 年的新聞稿，¹⁰⁰ 再生水在成本售價上未必明顯劣勢：對於工業用水大戶而言，每度用水成本包含自來水費平均約 12 元，再加上降低硬度的軟水處理程序約 5 元，需高品質用水如自行設置更高階濾水流程者，又須疊加處理費約 13 元，因此對於用水品質要求較高的工業用戶而言，用水成本實際為

30 元，而再生水的產水成本雖然較原水高，若搭配專管導引供應降低輸配成本，再生水的建設及營運成本亦約 20 至 30 元。故對於需要嚴格品質、大量且穩定用水的工業大戶（尤其是半導體產業）而言，再生水在價格競爭上並無明顯劣勢。

對於水質要求嚴格的半導體業者而言，首要議題是如何確保再生水可以在製程中被使用。2015 年，為因應半導體產業 16 奈米製程的需求，台南園區需將原先環評通過的終期需水量每天 25 萬噸，變更為每天 32.5 萬噸，因此台積電與南科管理局於環評變更時承諾，每天將使用 8.3 萬噸的再生水。這 8.3 萬噸來自兩束水源，一是由園區內台積電接管南科園區廢水處理廠放流水，每天生產 2 萬噸再生水供台積電自行使用；二是來自園區外，由台南市政府水利局出資建置永康、安平及仁德再生水廠，共計生產每天 6.3 萬噸再生水，供水至南科配水池，再由南科管理局負責尿素去除後，供應給台積電使用。¹⁰¹ 可見臺南市地方政府與科學園區管理局皆投入大筆預算，地方政府協助接管市政污水、興建三間再生水廠，科學園區管理局則協助建置尿素處理機制，台積電自身也在 2015 年起投入資金於再生水技術的研發，歷經反覆測試後，再生水成品達到半導體製程需求，台積電南科再生水廠也得以在 2022 年啟用。¹⁰²

99 經濟部水利署 (2024)。用水大戶強制使用再生水 113 年 3 月起實施。節水紀實，40，6-7。

100 經濟部水利署 (2014)。臺灣正式進入再生水利用新紀元 立法院三讀通過再生水資源發展條例。https://www.wra.gov.tw/NewsAll_Content.aspx?n=6272&s=59849

101 許增如 (2019)。臺灣邁向半導體產業王國之路—以發展型國家理論詮釋臺灣積體電路產業發展歷程 (1974-2018 年)。頁 134-136。

102 戴嘉芬 (2022)。台積電「南科再生水廠」廢水處理大解密！比自來水乾淨但不能飲用。太報。2022 年 12 月 30 日。

而後，中央與各縣市地方政府擴大投入經費，投資市政污水或園區工業廢水的再生水廠興辦，使得國內再生水廠興辦計畫林立。截至 2024 年 8 月，行政院已核定 11 座系統再生水廠，其中，高雄鳳山廠、臨海廠及臺南永康廠一期、安平廠一期等 4 座已完工啟用，每日共可供應 9.6 萬噸，待其餘 7 座全部完成後，預計可提供每日 28.9 萬噸作為產業用水水源，相當於 115 萬人口日用水量。若再算上業者自行興建的系統再生水廠，再生水產量已躍然成為未來臺灣的關鍵水源。然而，對於產業端而言，使用再生水的最大門檻，在於再生水專用管線的鉅額前期投資。

由於再生水概念相對近期，且水處理技術突破晚，而公共污水廠多以目標集污地區下游處，而非優先選址於臨近工業區，故若業者企望接管公共污水廠放流水，使用市政再生水，通常將會面臨高額建置專用管線的成本。¹⁰³ 除卻鋪設長距離管線至工業區所費不貲的成本，更需面對沿線揚水站用地徵收與施工等，¹⁰⁴ 此項費用究竟應如何分配由中央政府、地方政府、科學園區管理局或廠商負擔，成為了主要的隘口。例如台積電在寶山二期環評中承諾 100% 使用再生水，共有每天 9.7 萬噸的再生水資源需求，其中 3 萬噸由竹科廠區回收後再利用，其餘 6.7 萬噸則由竹北、竹東以及新竹市客雅水資源中心聯合供水，但因

專管經費龐大，自三座水資源中心專管至竹科的管線經費約 150 億，新竹縣、市政府皆表達希望中央全額出資，中央則回應應依照直轄市及縣市政府補助辦法，以中央 92% 與地方 8% 分攤，兩者目前陷入僵局。¹⁰⁵

由於再生水廠前期成本高，且園區距離公共污水廠距離遠，專管投資成本高，雖然再生水建設由中央政府（內政部營建署）主導，地方政府僅需負擔 8% 經費，但對於地方政府而言財政負擔仍重，分擔比例亦仍待決。此外，市政再生水供給量能否持續增加，仍視公共污水處理廠的市政污水集水量，關鍵在於臺灣主要都會區的下水道接管率能否有效提升，亦有賴地方政府的積極作為。

自 1988 年行政院核定「污水下水道發展方案」後，台灣開始全面推動污水下水道建設，至今已進入第六期建設計畫（第六期期程為 2021 至 2026 年），污水下水道普及率由 5% 提升至 42.63% 以上，¹⁰⁶ 目前公共污水處理率達 66.29% 以上。¹⁰⁷ 然而公共污水下水道普及率及整體污水處理率，因各地人口密度、推動方式及地方政府組織量能不一，導致有明顯城鄉差距情形，如何推動非都會區用戶接管工作，更是提升污水下水道普及率、增加市政污水處理量的最關鍵環節。提升接管率有賴中央政府的經費持續挹注，另外地方政府除了在財政上需自行負擔約

103 因現行再生水法規限制再生水僅得供工業用途使用，故無法連結既有自來水管線，需專管輸送。另依「耗水費徵收辦法」及相關子要點規範，再生水需以專用管線供應，故如以水車運送，不納入耗水費徵收對象。

104 實際例子可參鳳山再生水廠增量再生水，原本規劃供應大寮區和發產業園區廠商使用，因考量布設再生水專管長度長，所需成本佔 8.4 億元過高而改以換水「代履行」處理。

105 黃羿馨、張裕珍、巫鴻璋 (2024)。竹科拉再生水專管 縣市盼中央全出資。聯合新聞網。

106 游念育 (2024 年 7 月 3 日)。國土署加強污水下水道建設 接管普及率推升至 42.63%。中時新聞網。

107 國家發展委員會 (2021)。110 年度行政院管制「污水下水道第六期建設計畫」查證報告。

一滴水使用3.5次

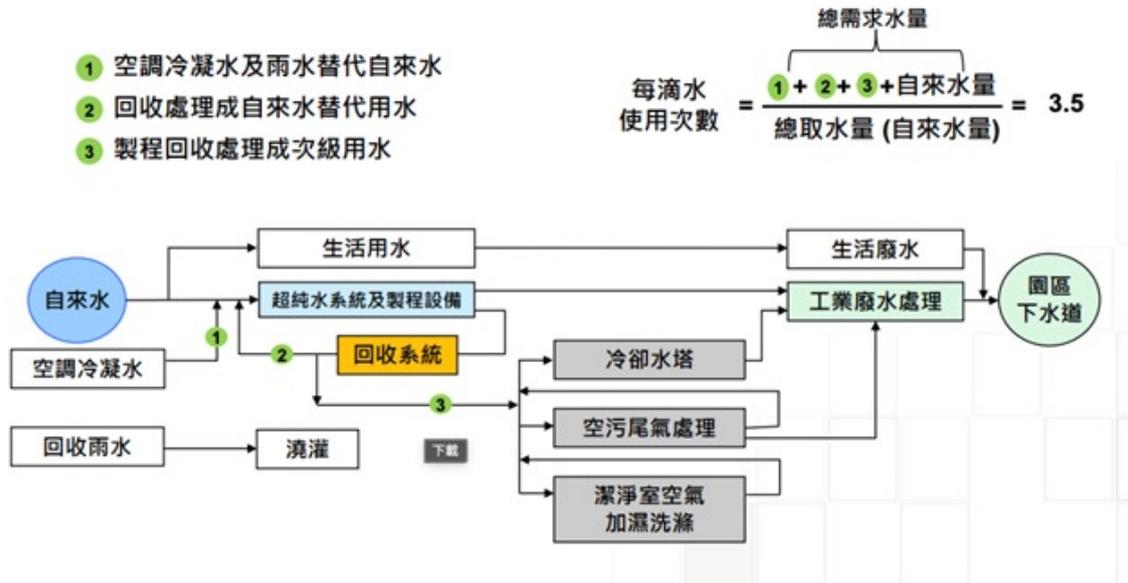


圖 21：台積電之水資源循環利用流程

(圖片來源：台積電，無日期)¹¹⁰

11.2%預算的責任外，施工實務上的阻礙也有賴地方政府加速推廣與排除，¹⁰⁸ 使用戶接管工程順利推展，以避免限制再生水在臺灣的擴大使用。

2. 海水淡化廠亦因供水風險而漸被重視。

海水淡化廠直接取用海水，具有水源不受氣候影響而供水穩定、興建時程較傳統水資源設施短等特質，但產水過程極為耗電、成本高，以往海淡廠產水一噸需用 10 度電左右，縱使以離峰非夏月的市電價格每度 2.15 元計算，一噸海淡用水僅用電成本即 21.5 元，使得過往只能當作枯水期出現供給缺口需及時造水的應急措施，作為科學園區面對極端乾旱時的救命水源，或是作為供水不易的離島地區的小規模供水選擇。

經過長期技術發展後，已大幅降低海水淡化產水所需用電，目前生產一噸海淡水用電約 4 度，可以作為多元水源開發的選擇。¹⁰⁹ 又因新竹緊急海淡廠曾在 2021 年百年

大旱發揮關鍵成效，經濟部水利署開始廣興海水淡化機組建置計畫，除了目前封存、可隨時整裝上線運轉的有新竹海淡機組之外，並已有多座散落水情較吃緊的縣市，分別已經在興建中或已在進行環評，總供水量預估可達每日 85 萬噸。海淡水製造成本隨技術發展而下降後，對於需要水質與水量皆可控的半導體業者來說，海水淡化廠便成為了增加水源供給的重要備援手段。

(四) 台積電節水成效領先、突破再生水技術極限，但仍緩不濟急

除了政府端正進行水資源政策轉向調適策略的典範轉移外，為因應氣候變遷下的供水風險，產業端也開始針對用水管理有更積極的行動，半導體業目前則是以台積電的水資源管理為標竿，以下簡要說明其行動與面臨先進製程量產仍有其因應不足的侷限。

108 依據國家發展委員會的「污水下水道第六期建設計畫」，用戶接管下水道施工現場的困境主要以後巷違建阻礙施工為最，由於部分地區住戶緊鄰排列，且部分後巷寬度過小或已被違章佔據建築，導致缺少施工與維護空間寬度。

109 產水用電包含海水取排水、前處理、RO 逆滲透淡化和辦公廳舍用電等，於環評計畫書多以每產水一公噸 4.26 度分析。

110 台積電（無日期）。案例分享：一滴水在台積電公司運用 3.5 次的旅程。臺灣積體電路公司。

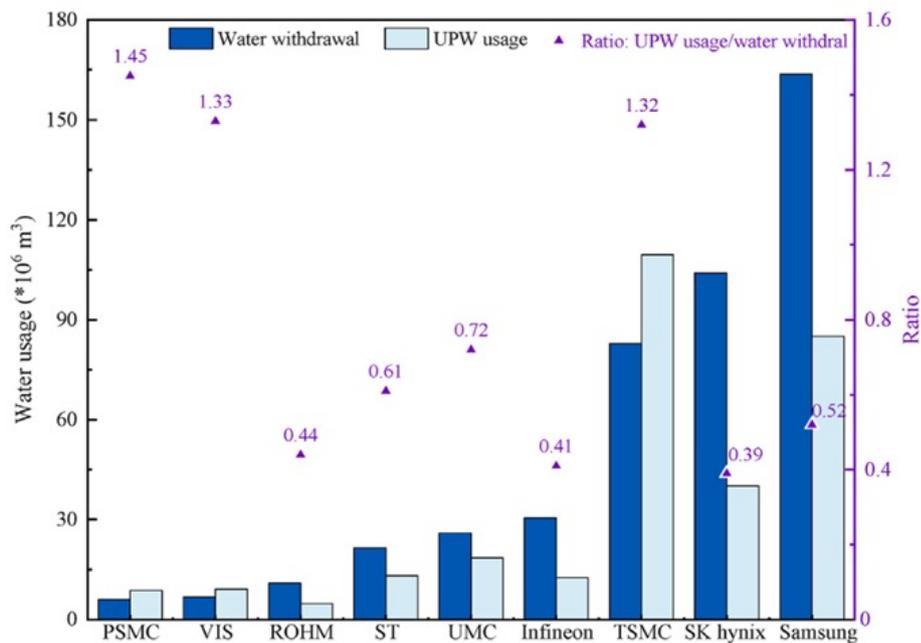


圖 22：2021 年半導體公司的超純水 (UPW) 使用量及用水效率比例

(圖片來源：Wang et al., 2023)¹¹⁴

基於極端氣候加劇與自身用水需求，以及國際供應鏈標準及國內環評要求提高，台積電開始視水資源管理為企業氣候變遷風險管理與天然災害調適的重要一環。台積電目前最知名的水資源管理行動是「一滴水使用 3.5 次」，即將純水設備及製程機台的排放水依照其純淨程度分級，最乾淨者優先循環純化回製程使用；次之者經水回收設備處理後，做為非製程次級用水；最後，無法回收使用的廢水則排至廠區內設置的廢水處理廠進行終端廢水處理。透過製程分流的排水管路及建置各種用水回收系統（如圖 21），一滴水進台積電公司廠區平均可使用 3.5 次，創造一滴水 350% 的使用率。

台積電迄今已針對製程產生的廢水，增至 36 種廢水處理流程，並開發出二十種廢水回收處理系統，透過分流以提高回收效率，除了最常見的直接於廠區內進行處理之外，甚至直接改造無塵室機台管線配置，以求進一步增進水

資源再處理的效率。若跟世界其他半導體廠比較，台積電純水使用量佔總取水量的 1.32 倍，與其他半導體公司相比已屬前段班，顯示台積電製程水回收系統設計良好，製程水經處理後可重複使用數次，用水效率達到 132%（如圖 22），¹¹¹ 已是世界半導體製造商的前段班，並於 2018 年時達成其單位用水密度減量目標。

但台積電、科學園區管理局與環保團體之間，持續針對新建廠區的用水問題出現爭議，包含 2014 年台積電台中大肚山彈藥分庫地區 18 吋晶圓廠興建案、2016 年台積電 5 奈米晶圓南科擴建案、以及 2018 年台積電南科 3 奈廠興建案。¹¹² 其中，於 2015 年，台南科學園區為因應半導體產業 16 奈米製程的需求，需由原先環評通過的終期需水量提高，因此台積電於環評變更時承諾將生產每天 2 萬噸再生水供台積電自行使用。¹¹³ 至此，台積電自身開始投入資金，進行再生水技術的研發。

111 用水效率 (water-use efficiency) 定義為一半導體公司的超純水使用量佔總取水量的比值，比值越高，代表該公司循環用水的措施越佳。

112 賴品瑀 (2014 年 8 月 27 日)。健康風險評估太草率？中科台積電擴建仍過初審。環境資訊中心；賴品瑀 (2016 年 11 月 24 日)。65% 用水改採再生水 台積電南科擴廠環差初審過關。環境資訊中心。賴品瑀 (2018 年 8 月 15 日)。諾用 20% 綠電、7.3 萬噸再生水 南科台積電 3 奈米廠環差一次過關。環境資訊中心；陳文姿 (2018 年 11 月 14 日)。供水、供電講不清 南科台積電 3 奈米廠環評：補件再審。環境資訊中心；賴品瑀 (2018 年 12 月 18 日)。台積電 3 奈米廠有望環評過關 環團盼全再生水、逐步全綠能。環境資訊中心。

113 許增如 (2019)。臺灣邁向半導體產業王國之路—以發展型國家理論詮釋臺灣積體電路產業發展歷程 (1974-2018 年)。頁 134-136。

114 Wang, Q., Huang, N., Chen, Z., Chen, X., Cai, H., & Wu, Y. (2023). Environmental data and facts in the semiconductor manufacturing industry: An unexpected high water and energy consumption situation. *Water Cycle*, 4, 47-54.

過往半導體用水來源多以原水(自來水)為主力用於製程，對於使用再生水總是面有難色，來自於當時面臨的艱難技術挑戰：如何有效率去除尿素。再生水中的尿素會在水解後釋放氨(NH₃)，這種化合物會產生微量的離子污染，導致晶片表面缺陷、影響產品的良率。過往半導體產業中的工業再生水大多僅用於冷卻塔的次級用水，而不敢用於超純水的製備，原因就是尿素的去除技術尚未成熟，這個問題一直是過去台積電無法承諾大規模使用再生水的最大技術障礙。

為回應南科 16 奈米廠的環評要求，台積電於 2015 年起開始投入再生水技術研發，由內部建置模廠、實廠廢水進行測試，集結工業技術研究院、中鼎集團、國立臺灣大學、國立陽明交通大學等產官學界力量，¹¹⁵ 嘗試解決水資源使用的困境。

在調適方案技術尚待突破時，半導體產業擴廠的腳步未曾駐足，但先前已於第二章提過，隨著製程進步，將大幅擴大製程所需用水量，以二奈米製程為例，全台所有設廠案總需水量為每日 26.05 萬噸，已與 2022 年台積電臺灣廠區總用水量每日 26.5 萬噸相當，意即 2 奈米廠新建案將使台積電用水翻倍。橫空出世的需水量，足見未來二奈米以下先進製程已跳脫過往成長路徑的耗水量，若新增製程用水只能取自原水，對氣候變遷情境下的區域供水供需平衡，包含農業、民生用水，顯將造成明顯衝擊。

2020 年，台積電提出首座二奈米製程擴廠案「竹科寶山二期」擴建案，環評初期出台的需水量為每天 12 萬噸，達當時竹科整體用水每天 14 萬噸的 85.7%，後續雖調降為 9.8 萬噸，但其突增的需水量，仍成為環評攻防的重點。面對新增的需水量每日 9.8 萬噸，環保團體持續要求台積電承諾使用 100% 再生能源與再生水，並提出具體路徑，¹¹⁶ 最終，於 2021 年時，由於當時台積電南科再生水廠已試車、初步供水，確定了再生水技術已證實取得突破，得以回用製程使用後，遂於環評中承諾分階段達成 2030 年 100% 使用再生水(含換水)，其中來自竹科自產每天 3 萬至 3.2 萬噸再生水，搭配竹北、竹東、客雅三座水資源中心供應之市政再生水，成為了臺灣歷件環評審查案件中，第一個自願承諾 100% 使用再生水的案件，為環評史上的里程碑。¹¹⁷ 同時，打消了很多同樣對於水質有嚴格要求廠商的顧慮，使得再生水成為值得投資，轉移乾旱風險的可行選項，連帶使得再生水廠的詢問度大增。後續於高雄楠梓產業園區、中科二擴等二奈米先進製程設廠案，台積電皆承諾 2030 年將達成全面 100% 使用再生水。¹¹⁸

但依目前已核定之二奈米設廠計畫，2030 年二奈米製程總計有每日 20.05 萬噸再生水需依賴市政再生水，佔目前國家 2026 年整體市政再生水目標量 28.5 萬噸之 71%，勢必排擠其他再生水用水單位的需求，與其他產業的再生水資源用水產生競合。例如台積電二奈米中科二期將台中福田再生水廠納為長期水源，惟福田再生水原先預計

115 盧清榮、侯祖光、李玟、許哲彰(2022)。台積電南科再生水廠通水，全球首創工業再生水回用半導體製程。台灣積體電路製造股份有限公司。

116 環境權保障基金會(2020年12月28日)。新竹缺水大危機 開發案要分輕重緩急。聯合新聞網。

117 環境權保障基金會(2021年7月28日)。【聲明】寶山二期環評通過 籲檢討其他不當開發；李蘇竣(2021年7月29日)。竹科寶山2期環評過關 台積電2奈米廠承諾使用100%再生水、再生能源。環境資訊中心。

118 經濟部水利署(2023年9月28日)。台積電進駐高雄楠梓園區將全量使用再生水 不會排擠農業民生用水；張雄風(2023年2月8日)攸關台積電進駐 中科台中園區二期擴建環評通過。中央社。

提供台中港區的中龍鋼鐵及台中火力發電廠使用，而中科二期環評相關文件，並未說明福田再生水改為供應台積電先進製程後，原再生水需求單位如何因應。

除了與其他開發單位的需求競合之外，面對 2 奈米先進製程即將量產的龐大用水規模，擴建再生水廠仍然緩不濟急。依據台積電的永續報告書，目前台積電廠區的再生水替代率已達 12%，雖遠高於階段性目標 5%，但若需滿足預計於 2030 年達到再生水替代率 60% 以上，仍具相當挑戰性。況且，2025 年開始，2 奈米先進製程就要開始量產，然而在等待再生水預期供水量啟用的期間，將導致原先用水已相當拮据之地區面臨極高的用水需求。

由於大部分再生水廠尚在規劃中，供水期程無法一蹴可幾，而當中的期程落差則無可避免使用自來水量，而對區域用水造成排擠。二奈米製程用於竹科寶山二期、中科台中園區、與南科楠梓園區的水需求，分別為每天 9.8 萬噸、9.56 萬噸及 4.3 萬噸。而依照目前已公開的再生水廠開發期程，¹¹⁹ 本報告整理了竹科寶山二期（如圖 23）、中科台中園區（如圖 24）與南科楠梓園區（如圖 25）的用水需求（以紅色虛線表示），以及負責供應 2 奈米的各再生水廠的預計供水情形，不難看出在再生水廠全面上線之前，當中需仰賴自來水填補極大的供需缺口，當中又以新竹與台中最為嚴峻。

此外，2 奈米先進製程全面使用再生水，其基礎是以早前提及水資源基本經理計畫內各項多元水資源開發、跨區

調度、各類備援用水，以及包含台積電承諾之園區內自設再生水廠，與中央與地方政府預計籌設的市政再生水廠皆順利營運為前提，並且，2 奈米先進製程新增需水量已然耗盡當前科技造水與跨區用水支援的極限，將使新竹、台中兩區用水供需，在極端氣候之供水情境下，僅有約 2% 之餘裕量。從一滴水用 3.5 次，到二奈米製程承諾 100% 使用再生水，台積電展現出在公私部門通力合作下，個別企業的水資源調適策略可以走多遠。但二奈米製程所增加的絕對需水量，現行調適方案仍面臨期限，仍然使台積電本身以及二奈米製程所在之區域，面臨嚴峻的用水風險。

119 取自經濟部水利署再生水媒合資訊平台。

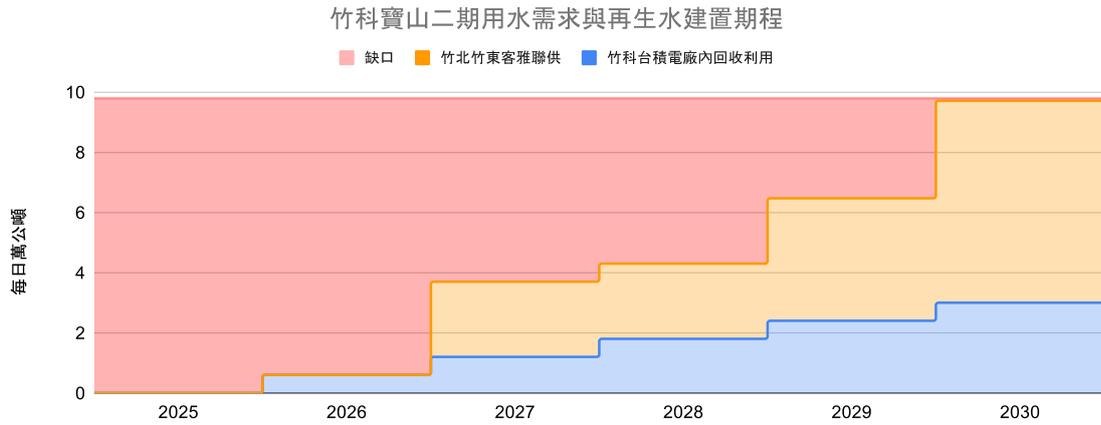


圖 23：竹科寶山二期用水需求與再生水建置期程
(資料來源：經濟部水利署再生水媒合資訊平台、竹科寶山二期環差報告書，由 DSET 整理繪圖)



圖 24：中科二期用水需求與再生水建置期程
(資料來源：經濟部水利署再生水媒合資訊平台、中科二期環說報告書，由 DSET 整理繪圖)

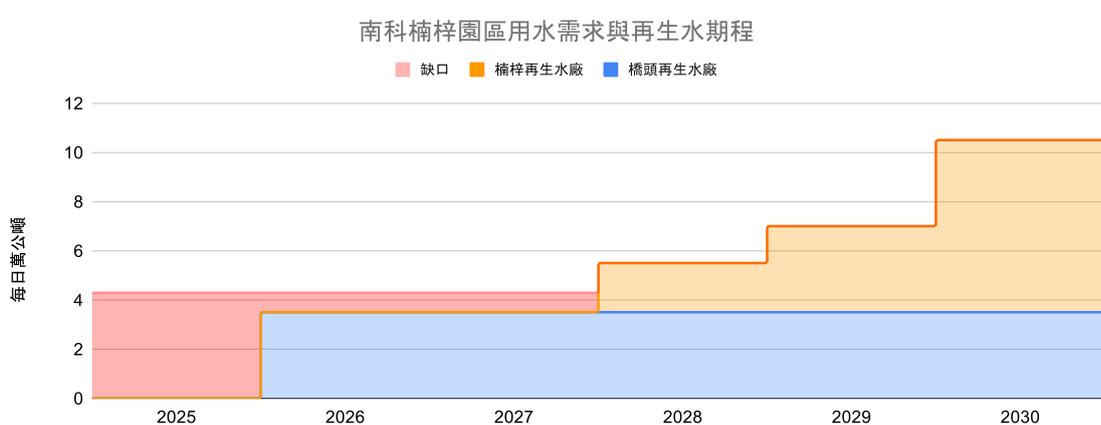


圖 25：南科楠梓園區用水需求與再生水建置期程
(資料來源：經濟部水利署再生水媒合資訊平台、南科楠梓園區環差報告書，由 DSET 整理繪圖)

二、電力系統調適：能源轉型與提升電網韌性

（一）能源轉型下需正視電網更新與區域電力調度

在 2011 年福島核災後，2016 年開始執政的民進黨承諾將逐步退役老舊核能機組，至今（2025）年核三二號機—現行最後一部運轉中的核能機組—期滿除役後，臺灣將不再使用核能作為發電方式。為補足核電淘汰後所產生的電力缺口，同時逐步汰換導致較多空氣污染的燃煤機組，政府規劃以再生能源作為長期能源解方，並且透過天然氣機組作為能源轉型的橋接選項。

考慮到未來負載量將會持續成長，且隨著技術進步與再生能源、儲能系統成本降低，臺灣計劃在 2050 年將再生能源的比例提升至 60% 至 70%，其中太陽光電裝置容量目標為 40 至 80 GW，離岸風電則為 40 至 55 GW。¹²⁰ 若推算為年發電量，離岸風電年發電量將達到 187,189 百萬度，佔全體發電量 40.6%，而太陽光電年發電量達 76,143 百萬度，佔全體發電量 16.5%，顯見此兩種再生能源的總發電量將超過全年總發電量之一半，擔負全島經濟發展與民生需求的電力需求。¹²¹

然而，國內現行電網老舊、更新投資頻率過低，電廠、超高壓變電所、輸電網絡等電力設備興建固於城市建成空

間擴大、鄰避設施造成民意反彈等因素難以落實，現行電網的容錯餘裕過低，容易使得單一主變壓器或輸電線路故障，即會導致電網過載而須卸載負載，導致近年跳電事故頻繁。此外，離岸風電預計將在 2025 年後大量併網，具有間歇性特性的再生能源將推高電網的不穩定性，需搭配彈性調度與智慧管理方能發揮其最大效用，將進一步考驗臺灣電網韌性的適應能力。因此台電在 2022 年提出十年 5000 億的「強化電網韌性建設計畫」電網投資計劃，推動電網從集中走向分散，並且加速汰換老舊的零件設備，來降低停電事故風險，對整體電力系統韌性提升之重要性不言而喻。

電網韌性的首要瓶頸，如同第二章已提及到的北部電力供需失衡，可作為首要應該拆成兩部分理解：第一部分為區域融通量（電力潮流）過高問題，第二部分是變壓站負載或配線逼近可靠容量問題。前者需要透過降低電力供需差導致電力需長距離跨傳的現況，後者則是依照用電熱點設置新變電所或擴增既有變電所的變壓器容量，或是擴增電力纜線的輸電能力。

北部與中部的電力融通瓶頸問題，目前受制於超高壓幹線的有限容量，故增加超高壓幹線容量成為工程手段上最直覺的手段。原先仰賴於 1974 年完工、原僅有 1196MVA * 雙迴路的輸電能力的超一路提供，為了支應日漸龐大的調度壓力，台電於 2016 年開始擴建板橋超高壓變電所至龍潭（北）超高壓變電所的線路，使其輸電能力達 2187MVA * 雙迴路，並已於 2020 年完工。然而，這些措

120 國家發展委員會。臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明。

121 吳榮華、黃韻勳（2024）。國家科學及技術委員會補助專題研究計畫報告「淨零排放目標下之電力系統彈性需求評估」之推估。

電廠直供園區 幹線留給民生

五大電廠配對七大園區
1/3車流 走省道不走國道

- 161kV大潭-林口線(2022年)及161kV大潭-梅湖線(2025年)
1 大潭電廠 直供 新北產業園區及桃園工業區 (3GW)
- 345kV通霄(新)-北苗-寶山線(2032年)
2 通霄電廠及離岸風電 直供 竹科 (3GW)
- 345kV港風-中科線(2030年)及新建中科(新)超高壓(2032年)
3 台中電廠及離岸風電 直供 中科 (3GW)
- 345kV興達-南科線(2032年)及161kV興達-保定線(2024年)
4 興達電廠 直供 南科及橋科 (3.5GW)
- 345kV大林-高港線(2027年)及新建高煉超高壓(2032年)
5 大林電廠 直供 楠梓產業園區 (2GW)



圖 26：電力直供廠區示意圖

(圖片來源：台灣電力公司¹²³)

施僅能短暫緩解跨區電力融通的壓力，應對未來持續增長的負載需求，台電持續推動超高壓主幹線容量擴充為現容量之三倍。¹²²然而，在空間限制和民意壓力等結構性限制下，仍持續面臨諸多挑戰。

除了擴大南北向的超高壓輸電幹線之外，為了避免園區逐漸龐大的用電需求全部流向南北主要幹線，既有已緊繃的變電所跟輸電線的安全性被迫妥協而犧牲，一方面擠壓到其餘部門用途的電力調度餘裕，另一方面降低供電穩定性，台電在電網韌性建設計畫中另提出「電廠直供園區」的工程計畫（如圖 26），計畫直接在廠區興建超高壓變電所，搭建超高壓線路，直接連接科學園區與發電站，一方面降低電力流經既有輸電廊道的比例，減低輸電網絡的緊繃程度，另一方面也增加供電可靠性。在電網強韌計畫中，台電預計透過增加電廠開關場，並增加聯絡電廠間的特高壓線路，讓電廠電力直供科學或工業園區，將供電幹道留給民生需求。例如，通霄電廠及苗栗沿岸的離岸風電直供竹科、台中電廠及台中沿岸的離岸風電直供中科、

興達電廠直供南科、大林電廠直供楠梓產業園區、雲嘉南光電熱區電源直供南科。

電廠直供除了分散既有南北向超高壓幹線的壓力外，亦滿足工業將有較多穩定綠電供給的需求。強化電網韌性建設計畫預計結合再生能源區位多元特性，採取「匯集區域綠能」的方式，直接連結綠電富集的區位針對鄰近區域的用戶進行分散供電，例如：將集中於中北部沿海地帶的離岸風電（預期裝置容量約 11GW）直輸北部與中部科學園區，集中於南部 6.5GW 的太陽光電直輸南部園區使用。

除了輸電線路之外，為滿足園區產業用電的穩定度並降低電力傳輸損耗，科學園區持續需設置超高壓變壓站。竹科於興設之時並無設置超高壓變電所，全台第二座科學園區 - 南科於 1995 年興建之初，即洞燭先機在園區內規劃專屬的南科超高壓變電所，直接將南北向超高壓輸電迴線送電至園區內，沿途線路更是臺灣第一個長程採用地下輸電電纜線路的超高壓線路，全長 2.7 公里，總費用高達新台幣 140 億，在當時國際間實屬領先基礎建設工程。

122 包含：擴充超一路之龍潭 ~ 中寮段及 345kV 龍崎 (南) ~ 仁武線容量 (由原 1,000 MW 提升至 3,000 MW)；擴充超二路之龍潭 ~ 峨眉線、義和 ~ 中寮線及超三路之竹圍 ~ 中寮段容量 (由原 2,000 MW 提升至 3,000 MW)

123 台灣電力公司 (無日期)。強化電網韌性建設計畫是什麼？

2019 年台電因應台積電將於隔年啟動 5 奈米製程量產，用電量大增，遂再投入 69.8 億進行南科超高壓變電所擴建。¹²⁴

中科台中園區於 2006 年開發時，即參考當時竹科及南科的用電情形，考量當時半導體產業將採取更先進之製程及擴大量產規模，在台中園區基地內設置超高壓配電變電所（中科超高壓變電所）。相較之下，新竹園區原先僅透過周圍五站高壓變電所供電，於 2005 年開始設計、發包、於 2009 年才開始興建竹園超高壓變電所，遲至 2018 年終啟用竹科的第一座超高壓變電所（竹園超高壓變電所）。拖沓 13 年的主因，係因南科與中科的超高壓變電所設置於園區內，無論新建或擴建等輸變電工程相對沒有一般外部抗爭，竹園超高壓變電所則是沿途受到寶山民眾抗議，只能「邊談邊架線」、「牛步排除萬難」¹²⁵。至於台積電 2 奈米先進製程落腳的高雄楠梓園區，為確保新建 2 奈米先進製程的供電穩定性，高雄地方政府代表已於環差會議上承諾，¹²⁶ 將協助台電落實仁武超高壓變電所新增雙迴路的基礎工程。

由此可見，超高壓變電所與相應配合的輸電網絡與半導體先進製程擴廠息息相關，而科學園區架設超高壓變電所、拉高壓纜線直供園區的規劃雖然合理，可一舉疏運園區逐年飆升的用電需求，但從前段中亦可發現，電網強韌

計畫將會遇到的最大窒礙，正是來自逐漸推高的環境保護意識與地方居民的意願。二十年前，竹園超高壓變電所通過的地區即便位處竹科邊陲地帶，因工程地點非屬園區內，引發民間抗議不斷，如今電網強韌計畫牽涉到全島的龐大公共工程，耗時尤為可觀。

在全球尺度的地緣政治張力之下，為協助半導體業者在不影響國際競爭力情況下永續轉型，臺灣不單需滿足半導體產業節節攀升的用電需求，亦須回應國際市場對於能源轉型的轉型風險，除了大幅度興建風機與鋪設太陽能板之外，更需建設高壓變電所、雙迴路供電電網，平衡間歇性再生能源併入電網後帶來的不穩定，以期向半導體業者供應足額且穩定的綠電。

在政策獎勵下，日照充足的中南部農田鋪起了太陽能板，而風勢強勁的臺灣海峽近海與西部沿海地帶，也插上了一支支風機，國家挹注的大量政策性補貼，成就了科學園區與半導體產業的榮景。對應龐大而遍及全國的能源基礎建設更新與盤整，投資額巨大且耗時的電網更新與能源轉型工程，一方面倚靠財務結構脆弱的台電獨撐，需靠著中央政府預算年年填補虧損以勉持，另一方面，則是快速且急迫的電力缺口亟需填上，無論是再生能源電廠亦或是傳統能源基礎設施（如燃氣電廠、天然氣接收站等）都有著急迫的需求壓力，在快速轉型的過程中卻無力即時進

124 林菁樺 (2020)。台積電用電兇 南科、竹園超高壓留 150 萬瓦擴充。自由時報。

125 林鈴晏 (2018)。竹園超高壓變電所電源線架線施工 - 線路牛一步一腳印。台電月刊，669 期，2018 年 09 月。

126 高雄市政府經濟發展局。(2023 年 8 月 14 日)。《「楠梓產業園區設置計畫」環境影響差異分析之健康風險評估規劃及範疇說明會會議紀錄》。

行社會溝通，進一步緊繃了區域間、縣市間甚至是園區與鄰近居民間的對立與矛盾。¹²⁷

上述提及的對立與矛盾，則使往後的調適手段更加受限。以電網韌性計畫的「電廠直供用電中心」為例，此政策將一舉新增全台超高壓線路至少超過 5 迴路，而當前全台只有 3 條、6 迴路的南北向超高壓線路（分別為超一路、超二路及超三路），意指若電網更新計畫完成，全台的超高壓線路將倍增。然而，近年來多起能源設施設置爭議（例如：基隆四接、台南寶樁燃氣電廠等），以及既有的超高壓輸電系統的建成過程，已是歷盡風霜。例如於 2002 年完工的超三路超高壓線路，在佈線過程即歷經多場地方與民眾抗爭，還是因為 1999 年的 921 地震破壞導致停電後，使地方政府與民眾體認到輸電電網的重要性之後方加速建設，終歷經了 17 年才完成。¹²⁸

從超三路以及近期能源設施開發的例子可見，為因應半導體產業而須連帶調整的調適手段涉及全島，縱使台電與中央政府願意挹注成本投資硬體基礎建設，但相關基礎設施建設能否如期落實，需端看各縣市地方政府與民眾是否支持，才是重中之重。

（二）台積電於製程與廠務節能創新有成，但成效仍有限

從上述的討論中不難發現，臺灣當前面臨長期能源轉型與能源設施興建進度的壓力，電力資源的供給提升亦有時程與節奏限制，在盡力滿足半導體業者對於需電量與用電品質的要求下，業者亦更致力於降低製程與廠務的能耗。

在製程用電節約的部分，台積電在過去十年已在多個製程階段中獲得斬獲，除了最常見的汰換製程低能效設備等節能措施之外，又以「曝光機 EUV 參數調整」的節能效果最為突出。如同前章所述，製程技術進步過程中，因改用耗電量可觀的 EUV 機台，台積電協調供應商 ASML 微調 EUV 設定，持續研究降低 EUV 機台每片晶圓耗電量的方法，台積電於 EUV 機台參數調整節省了 22% 的耗電量，相當於年省六千萬度電。¹²⁹

EUV 製程設備的耗電量招引大量注意力，如何克服製程設備用電持續提高是普遍焦點，然而，如同前章所揭示，製程設備用電事實上僅佔晶圓廠能耗約 4 成，而相對不起眼的廠務系統的耗能則超過五成，可謂是「房間裡的大象」。由於製程技術的有感提升，雖台積電已致力於製程設備上節電，卻忽略了產量、產能的積極擴張下，廠務用電就整體能源消耗而言仍然是見長，節電效果相對有限。

127 更多關於半導體產業如何動員全國資源投入生產，將全球地緣政治張力下滲區域尺度的學術討論，可參見林以恆（2024）晶圓共和國與地緣工程學：東亞半導體產業的統治權力基礎，國立臺灣大學地理環境資源學系碩士學位論文。

128 台灣電力公司（2019）。921 抗震啟示錄 強化南北電力融通 淬鍊系統韌性。台電月刊，681 期。

129 根據台積電 2022 年的永續報告書。

商品項目	調頻備轉容量		電能移轉複合 動態調節備轉容量 E-dReg	即時備轉容量	補充備轉容量
	dReg	sReg			
服務目的	透過自動頻率控制 (AFC) 或自動發電控制 (AGC)，輸出或輸入電能以修正系統頻率偏差	透過自動頻率控制 (AFC)，抑低負載以修正系統頻率偏差	因應再生能源滲透率漸增及系統尖峰移轉需求，利用儲能設備可快速充放電及大量儲存電能的特性，以增進電力調度彈性	因應機組跳機或負載突增等偶發事件，其功能以安全性容量待命為主，於調度指令下達後配合抑低負載	因應系統負載突增或供需預測誤差，並依電能成本排序進行經濟調度。其功能以安全性容量待命為主，於調度指令下達後配合抑低負載
反應時間	≤ 1秒	≤ 10秒	≤ 1秒	≤ 10分鐘	≤ 30分鐘
持續時間	連續		連續	1小時	2小時
適合資源	發電機組 功率型儲能	需量反應	能量型儲能	發電機組 自用發電設備 需量反應	發電機組 自用發電設備 需量反應
2025年 市場需求量	500MW		500MW	500MW	1,000MW

圖 27：日前輔助服務市場之交易商品簡介說明

(資料來源：台電電力交易平台¹³²)

仔細來看，廠務用電結構中，空調系統約佔了全部耗能的四成，是所有耗電項目中最大宗，其中又以冰機系統的耗能佔全廠用電高達 20%，最為可觀，顯示外氣除濕與潔淨室循環氣流的冷卻是最耗能的部份。

針對這樣的問題，台積電已針對冰機系統，於 2015 年開發出「最佳化節能控制程式」，相較於僅著重單一設備能源效率改善的傳統方式，此模式進一步考量了整體冰機系統、動態調整冰水與冷卻水溫度，並依據不同的外氣狀況及現場負載自動調整，是當年領先業界的節能重大突破，更於 2022 年引入人工智慧與機器學習模型技術，使冰水主機與冰水系統最佳化，並於 2023 年陸續導入臺灣所有十二吋晶圓廠區，估計可達年節電一億度。¹³⁰

即便是如此，窮盡所有節電措施所累積的節電效果，以 2022 年台積電所公布的年節電量約 7 億度，¹³¹ 只佔台積電當年總用電量約莫 2.8%，對比在製程技術進步，擴廠提高產能而推升動輒翻倍的用電量，有如杯水車薪。因此，

如何善用半導體產業的優勢，即晶圓製造的高附加價值，以及業者對於趨避風險的高願付價格，是臺灣政府面對電力資源議題時可以借力使力的環節，而組成本環節的最核心關鍵，即是儲能設備。

(三) 儲能設備或可兩全：兼顧半導體業穩定供電與電網韌性提升

儲能系統（例如以位能方式的抽蓄水力，或是以化學能儲存的鋰電池）可以儲存電網中多餘的電力，並在電網需求大於供給時放電，達成弭平需求與供給不一致的情形。儲能系統可與具有間歇性的再生能源相互搭配，舒緩變動過大的電力供給曲線，可依照反應速度、最大出力功率與胃納容量等眾多特性，在電網系統中扮演多元角色，主要可分為「功率型儲能」與「能量型儲能」（圖 27）。前者主要功能性在於可提供快速調節電能，並進行能量轉移或儲存再生能源輸出之電能，以維持用電系統的穩定，甚至可以即時調度用戶端負載與再生能源發電設施間之實、虛功率調節，並降低電網於尖峰用電時期之供電量，用以

130 簡子偉、陳健璋、張富鈞、張智能（2022）。台積公司人工智慧冰水系統三大創新功能，節能再升級。台灣積體電路製造公司。2022 年 11 月 9 日。

131 同註 132。

132 台灣電力公司（無日期）。輔助服務商品介紹。電力交易平台。

降低高電價時段的用電量，以減少尖峰用電電費及超約費用。另一方面，儲能系統也能在因極端天氣或天然災害導致電力系統失靈時，扮演關鍵時刻的風險分攤角色，當出現瞬時供電不穩狀況時，能即時補償電網發電量缺口，為後續接力的傳統機組或能源型儲能升載並聯前支撐，增加電力韌性。

因應未來大幅提高變動性再生能源發電佔比所衍伸的供電穩性及電網韌性議題，我國正積極規劃儲能系統建置以因應電力系統短期電力供需的變動。按照現行政府的規劃，2025 年儲能系統裝置量目標為 1,500MW，2030 年時，儲能系統裝置容量將達到 3,000MW，涵蓋於 2021 年底正式營運的台電電力交易平台，提供日前輔助服務市場 (Day-ahead Ancillary Services Market)，輔助服務項目又包含調頻備轉、即時備轉及補充備轉共三種，其中，調頻備轉容量主要角色為即時輔助，透過自動化指令，在電網頻率不穩的數秒內即時反應，減緩電網系統頻率偏差，但持續時間不長；即時備轉容量則為中程救援，接收人工發布的調度指令，反應時間稍長，但可以維持較久時間，主要因應機組跳機、系統供需嚴重失衡等事件；補充備轉容量可視為牛棚熱身的救援投手，如因應電網系統供需預測誤差，可儘速併網提供電力系統所需之額外電能需求。

除了由政府及台電開辦電力交易平台，促進儲能系統建置與辦之外，臺灣實施的「用電大戶條款」亦有要求大型用電企業安裝一定量的儲能系統，引導企業資本投資儲能產業。事實上，縱然法規未強制要求業者建置儲能，半導體廠為避免類似前章所提及的世界先進停電事故，迴避造成巨額損失的風險，普遍皆已配置亦為儲能系統的不

斷電系統 UPS 作為保險，並且搭配可快速升載的備用發電機組，以因應突發停電或壓降等緊急情況，避免巨大的營運損失，甚至是對造價昂貴的設備造成損耗。

雖不斷電系統 UPS 與電網級儲能在規格上有所差異，但儲能技術的提升可以提升業者面對電力供給不確定性的調適能力，臺灣半導體業正大規模投入儲能系統建設，與臺灣現有鼓勵興辦儲能系統的政策方向一致。2023 年，臺灣儲能系統的早期投資達 14 件，總金額約 1.54 億美元，較前一年成長 187.5%，主要投資者包括泓德能源、和潤電能、中租迪和等，並有大型項目如亨豐能源計劃在高雄建設 170MW 儲能廠，總投資預計達新台幣 70 億元。儲能技術創新也成為關注的焦點，儲盈科技從半導體 UPS 系統跨足大型儲能系統，提供完整解決方案；樺旭能源則推出家用和工商用儲能電池系統，並搭配雲端能源管理系統，進一步最佳化能源使用效率。這些投資和技術創新不僅能透過電力交易平台，提供台電服務穩定電網電力供應，更有助於降低業者運營風險、提升能源效率。

縱使半導體業者所設置的儲能設備未能滿足電網級儲能設施的規格要求，或因產業需求而不參與電力交易平台，同樣可以為臺灣整體電網彈性有所幫助。當間歇式再生能源滲透率增加，致時間電價落差漸增時，儲能設備即可發揮其另一大功能，於尖峰用電、高電價的時期，用以釋放先前已儲存能量，降低高電價時段的用電量，於企業端可以減少尖峰用電電費及超約費用，於電網端則可以增加電力市場的需求彈性，當電力市場需求彈性較高時，電力系統可以進行更多調節，尤其是在因高溫而較多用電需求、負載波動較大的夏季，使台電可以透過差異電價進行需量反應，在負載尖峰時調節部分需求，減輕尖峰壓力，

介紹綠電交易 PPA

綠電交易 PPA 是一種再生能源電力採購協議，企業可透過長期合約，直接與再生能源發電業者購買綠色電力。PPA 依發電設備設址分成兩種形式，第一種為直供型 PPA (On-Site PPA)，發電設備建在用戶端，直接供電給用戶，例如屋頂型太陽能自發自用；第二種為轉供型 PPA (Off-Site PPA)，發電案場位於異地，通過電網將電力輸送給用戶，臺灣多數 PPA 屬於轉供型。

近年臺灣的 PPA 市場展現出積極的發展趨勢，因為在法規層面上《再生能源發展條例》修正案要求用電大戶必須使用一定比例的再生能源。同時，政府計劃推出新的綠電憑證交易平台，簡化 PPA 的交易流程。愈趨成熟的 PPA 市場使國際企業如 Google 等科技巨頭已開始在臺灣尋求簽署 PPA，以實現其永續發展目標。

國際 PPA 市場的新興趨勢也值得關注，區塊鏈技術在 PPA 市場的應用逐漸增加，2024 年，已有超過 15% 的企業 PPA 將使用區塊鏈技術。¹³⁷ 同時，隨著電池儲能成本的下降，越來越多的 PPA 項目開始整合儲能系統。此外，大型科技公司如 Apple 和 Amazon 承諾 100% 使用再生能源，進一步推動 PPA 市場增長。各國政府也紛紛推出支持性政策，例如美國的《降低通膨法案》，進一步刺激 PPA 市場的發展。¹³⁸

可有效緩解夏季等相對極端情境的電力供給不足的問題。¹³³

(四) 綠電不只是為了 RE100 勳章，更具備分散用電風險功能

除了台電公司與政府在供電系統方投入公共預算進行調整外，政府亦透過政策工具，將能源轉型的成本轉嫁予主要用電的業者。經濟部於 2021 年開始實施「用電大戶條款」，規定契約容量達 5000 瓩以上的電力用戶，須在 5 年內設置契約容量 10% 以上的綠能，用電大戶如果不能設置再生能源發電設備，條款另寬限可以購買綠電憑證、設置儲能設備、繳納代金代替。台積電作為半導體產業龍頭，為相關政策下的首波受影響角色。

最早在 2015 年，台積電即受到訂單方的壓力。當時一位大客戶要求台積電生產其訂單的產品必須全數使用綠電，一開始台積電態度非常抗拒，後來台積電找到解方，向經濟部認購 1 億度綠電。¹³⁴ 接下來台積電在南科設廠，環保團體要求 3 奈米先進製程必須使用 20% 的綠電，¹³⁵ 進一步催生台積電於 2020 年 7 月加入 RE100，成為全球首家加入 RE100 的半導體企業，更於 2021 年的寶山二期環評期間，具體提出其 100% 再生能源使用路徑：2025 年達 25%、2035 年 30%、2040 年 45%、2045 年 75% 和 2050 年完成 100% 使用再生能源的目標，再於 2023 年，宣示加速原先 2050 年「全球營運 100% 使用再生能源」的目標提前至 2040 年。上述兩大承諾促使台積電展開多元的綠電使用，積極透過綠電交易 (Power Purchase Agreement, PPA) 購買台、日、全球各地的綠電，太陽光電自發自用、轉供，陸域風電，以實現其 RE100 和淨零碳排放目標 (如圖 28)。¹³⁶

133 ibid.

134 熊毅晰 (2021 年 9 月 21 日)。台積史上最大膽承諾：減掉一座台北市年碳排放量 劉德音要怎麼做？，天下雜誌 732 期。

135 環境權保障基金會、地球公民基金會、臺灣再生能源推動聯盟 (2018 年 12 月 18 日)。台積電應跟上國際大廠南科擴廠承諾 100% 再生能源。聯合新聞網。

136 Maynard, N., & Reynolds, M. (n.d.). World's largest semiconductor foundry joins RE100 and calls on peers to step up on renewable energy. RE100.

137 Pacifico Power. (2024). Power purchase agreement trends to watch in 2024.

138 Schneider Electric. (n.d.). How will the Inflation Reduction Act affect renewable energy opportunities?

台積電用電量及再生能源使用比例

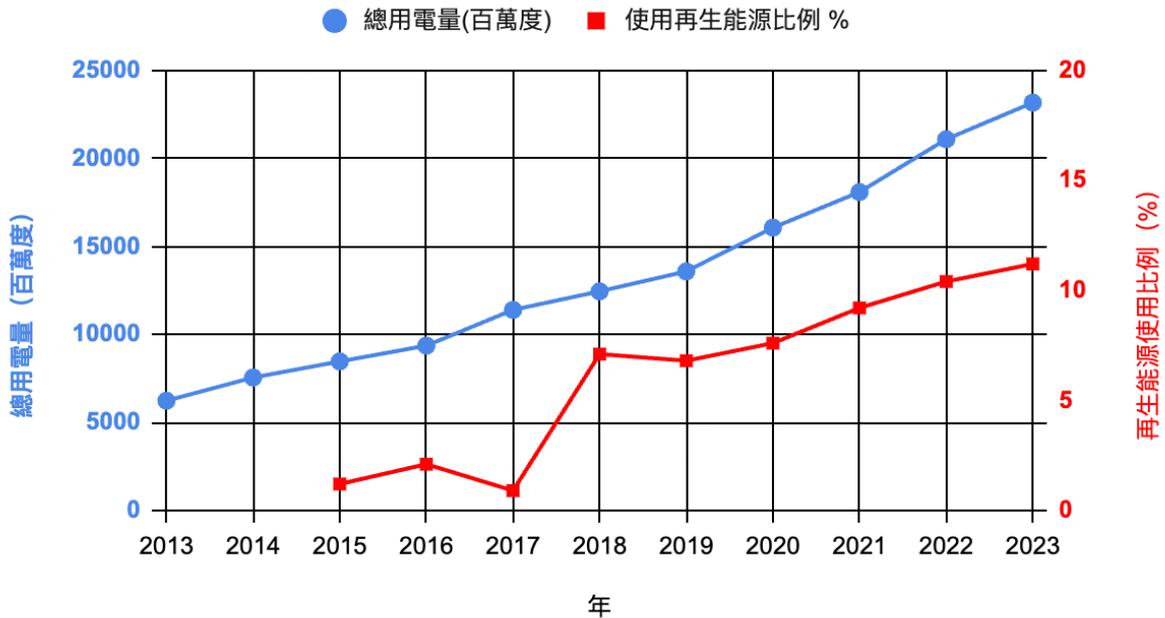


圖 28：台積電 2013~2023 年的總用電量與再生能源使用比例
(資料來源：歷年台積電永續報告書，由 DSET 整理繪圖)

為回應國際上產業轉型風險，台積電目前使用「再生能源聯合採購模式」，透過 PPA 認購大量再生能源電力，更積極與國內外的離岸風電和太陽能廠簽署長期購電合約。台積電等大型企業的目標宣示往往具有「示範效應」，在台積電的帶動下，許多中小企業紛紛響應，設立了自己的 RE100 目標和進程；然而，與大型企業相比，中小企業在資源、技術和資金方面的劣勢，讓這些目標的達成難度更高，許多中小企業面臨「目標易訂，行動難行」的挑戰。

在大勢所趨下，半導體業界不再要求政府凍漲電價，反而願意以較高的價格來購買綠電，使得綠電市場的「獨占效應」引發了另一層次的矛盾。綠色公民基金會質疑，臺灣現行的綠電政策偏袒台積電，國內公開交易的再生能源憑證於 2022 年交易量雖突破百萬張，但當中 98% 全被台積電一間企業橫掃，透過大規模的再生能源聯合採購模式，購買了大部分的離岸風電和太陽能電力資源，例如從台積電向沃旭能源公司簽署全球最大的綠電購電合約，承購 920MW 的離岸風電，並持續 20 年，造成中小企業無法購買綠電，更排擠到台電以第二階段較便宜的價格躉購風電。¹³⁹

這導致中小企業無法與之競爭，難以獲取足夠的綠電以達成其節能減碳目標。由於綠電供應有限且價格高企，2023 年 RE100 成員的綠電交易均價達每度 5.5 元，甚至有些交易中的綠電憑證價格高達每度 4.6 元，足見綠電的資源競爭與排擠效應的問題。這樣的價格對中小企業而言負擔不小，許多中小企業被迫尋求替代方案，如自建太陽能設施，成為「產消合一」(prosumer, 生產者 + 消費者) 角色，既是電力生產者，同時也是使用者，這一趨勢可能重塑未來的綠電市場生態。

此外，綠電資源的集中使用不僅影響了中小企業，對於需要滿足「契約容量 10% 再生能源」政策的其他工業大戶也構成挑戰。隨著台積電等企業優先取得大部分的綠電配額，其他企業將不得不面臨綠電供應緊張與成本高企的壓力。這種分配不均的局面，可能進一步阻礙產業轉型和碳中和目標的實現。儘管政府在政策和法規上提供了一定的支持，例如再生能源憑證的發行和長期購電協議推動，但實務操作中，中小企業依然面臨困難。尤其是台積電先進製程的需求持續推升，尤其是短時間快速增長的

139 唐筱恬、林上祚、李佳穎 (2022)。榮光的代價 -1 搶水、搶電、搶土地，政府獨寵半導體產業。新新聞。

擴廠需求，導致台積電將逐步提升臺灣電力使用導致排擠其他部門的效果。

為了應對上述問題，臺灣政府和企業正在探索更多的解決方案。其中一種可能性是建立「公民電廠」和「公民儲能廠」的制度，讓更多小型企業和個人能參與綠電生產和交易。公民電廠的概念是透過分散式的太陽能發電設施，讓一般民眾和小企業能共享再生能源的生產收益。與此同時，公民儲能廠的構想則是透過社區型儲能設施，增加電力系統的彈性和儲備電力，以應對間歇性再生能源的波動。此外，建立「綠電分配沙盒」的機制，也能讓企業在不違反法規的前提下，靈活調配綠電資源。例如，在單一法人企業下，允許各個廠區之間進行綠電轉供，讓電量在不同廠區之間彈性分配，這將提高再生能源的使用效率，也能在一定程度上緩解綠電分配的排擠效應。

總體而言，臺灣半導體產業的用電問題不僅涉及巨大的用電需求，也牽動了再生能源的分配公平性。台積電的「耗電大戶」地位使其在用電與綠電分配中居於主導地位，但也進一步擴大了大企業與中小企業之間的資源差距。未來，如何透過政策改革和技術創新，建立一個更加公平、彈性與永續的綠電分配機制，將成為臺灣能源轉型的關鍵挑戰。這不僅需要政府政策的支持，也需要產業的協同合作，尤其是透過「綠電分配沙盒」¹⁴⁰、「公民電廠」等新機制，為各產業用電需求提供更多解方。

然而，目前產業用電端因應氣候變遷，主要都是以減緩手段為主——也就是透過綠電投資，用以回應氣候變遷下的「轉型風險」。但除了綠電量不夠的問題以外，半導體擴廠對於電力資源的衝擊，即突增的用電量、以及過度集中的用電導致電網壓力提升，最後是面對氣候變遷下潛在推高的用電需求，這些絕非單靠投資綠電就可以解決，相應的因應作為也需要更多討論。

三、小結

近期半導體產業全球供應鏈重組下，臺灣在晶片製造的策略性位置成為國際關注的焦點。但半導體產業作為台灣耗能與耗水大戶之一，在面對更大尺度的全球氣候變遷的挑戰下，供水與供電安全已與晶片生產息息相關。本章詳述了包含業者、各級政府等多元行動者，為回應水與電力資源的議題，已針對各科學園區的現況，規劃了調適方案（如下圖 29 整理）。

為解決上述困境，涉及跨尺度、跨層級行動者、龐大的社會工程與自然環境改造正悄然進行：為滿足不斷增加的電力需求而推出能源轉型、電網更新，為提供足量且品質穩定的水源，科技造水、串連西部水庫的聯通管，項項提示著島嶼的基礎建設正配合半導體產業需求，進行更新與盤整，而此一投資巨大的耗時工程，使得全島區域皆被串連、整編，成為了「全島撐半導體」的局面，不只是中央政府與國家經費的挹注，地方政府、科學園區管理局及半導體業者，也需一同貢獻。

140 王玉樹 (2023) 為台積電量身打造 明年首創綠電彈性分配。中國時報。<https://www.ctee.com.tw/news/20231015700384-430104>

		新竹科學園區	臺中科學園區	南部科學園區
水資源	現況	總用水19萬噸/日 來源為寶山&寶二水庫 但蓄水量逐漸下降	總用水14.5萬噸/日 來源為鯉魚潭水庫 及石岡水壩	總用水43.5萬噸/日 來源為曾文&烏山頭水庫(臺南) 及南化&阿公店水庫(高雄)
	應變措施	鼓勵廠商節水 備遠水井 從桃園、苗栗調水	園區內設置3座配水池 與2座高架水塔 承諾提高再生水比例 水清再生水廠開始供水	園區設有公有蓄水設備 (臺南21.6萬噸;高雄6.8萬噸)
	未來規劃	石門-新竹聯通管(2028) 新竹海水淡化廠(2028)	工業全面採再生水(2035)	推動再生水及海水淡化 臺南大湖計畫蓄存降水 提高南化水庫庫容
用電	現況	112年耗電2025萬瓩 擴建完成後預計新增1561萬瓩	112年耗電1833萬瓩 擴建完成後預計新增925萬瓩	112年耗電2989萬瓩 擴建完成後預計新增1300萬瓩
	應變措施	啟用寶山超高壓變電所 園區不斷電系統(UPS) 與備用發電機	園區不斷電系統(UPS) 與備用發電機	建設161 KV七股-南科線
	未來規劃	100%再生能源(2050) 新進駐高用電廠商 需設至少20%再生能源	新增園區超高壓變電所 40%再生能源(2030) 100%再生能源(2050)	100%再生能源(2050) 新進駐高用電廠商 需設至少20%再生能源

圖 29：主要科學園區的水電資源現況、應變措施與未來規劃
(由 DSET 整理繪製)

最後，本報告欲凸顯的是，不論水資源或是電力，在半導體產業積極擴張及氣候變遷之下所存在的風險，透過跨尺度及多層級行動者的治理，雖能迴避部分風險，然而這些調適因應作為皆有所極限。例如：在當前的規劃下，高雄的供水系統為供應產業用水，現已幾將天然水源完全開發，未來需求增加皆得依靠科技造水，而臺灣的再生能源設置進程，其投資資金驅力與需求，形同悉數來自於半導體產業，卻難以滿足其持續成長的需求。

4

政策建議

重點節錄

1. 為提高水利基礎設施的韌性，改善目前再生水的源流開發與投資程序是首要任務。例如在制度上搭配環評要求及引進動態水費機制，隨水資源之季度供需變化動態調整工業用水費率，以提高廠商投資再生水的經濟誘因，同時應對氣候變遷帶來的不確定性。
2. 透過補助企業前瞻研發費用抵減營所稅，引導企業資本投資於儲能設備，即可整合半導體產業對於供電風險趨避的資本投入，於臺灣發展既有電網韌性所必需的儲能技術。另一方面，要求或鼓勵廠商自建一定額定容量以上的表後儲能設備，既可穩定廠內用電，大電網亦可受益於儲能所帶來的尖峰負載移轉，提高電力系統韌性。
3. 為降低氣候衝擊有損半導體業供應鏈安全，政府應重新建立跨部會的資訊共享機制及明訂標準化的氣候風險評估流程，例如在當前 TCCIP 設定的氣候情境下，水利署及能源署應要求業者，分別針對其不同區域的廠區所受氣候變遷之衝擊，揭露其氣候風險。
4. 地方政府在提高臺灣基礎設施的氣候韌性路徑上，應在相應配套基礎設施建置責任與財務分擔上，擁有更重要的角色。
5. 再生資源供應勢必有其極限的限制下，應持續引導與協助難減排產業推動高值化產業轉型，例如石化業發展低碳排的化學品供應鏈以提供半導體業者使用，一方面可在減緩與調適作為上協助半導體供應鏈減少碳足跡，另一方面也可以避免再生資源競爭的狀況。
6. 臺灣政府及廠商在因應高階晶片產能擴張的策略與經驗，能作為全球半導體供應鏈重組下，業者擴廠選址與各國政府設計調適作為的參考。

前言：氣候風險將大幅度牽連經濟安全

隨著臺灣半導體供應鏈的全球分工受美中貿易戰的影響，在國內外不同製程的產線战略布局的重組，也使得如何評估與控管不同國家與區域的資源使用與氣候風險更為重要，且不僅是臺灣，位於美國、日本、與南韓設廠的半

導體業者，也同樣面臨這樣的挑戰。¹⁴¹但是目前在臺灣脈絡的討論焦點，卻多聚集在先進製程的高耗能與耗水需求，且以「總量」的討論為主，而尚未有針對先進製程的用水／水特性及其系統衝擊的一份完整性評估。透過本研究報告的整理，我們相信臺灣政府及廠商在因應高階晶片產能擴張的策略與經驗，也能作為全球半導體供應鏈重組下，業者擴廠選址與各國政府設計調適作為的參考。

本報告《氣候變遷與基礎設施韌性：臺灣半導體產業水資源與電力使用分析報告》便首先在第一章指出，整體而言臺灣的資源使用問題並非在於總量供應出現缺口，而在於電力與水利資源的地理區位與部門使用上分布不均，使得特定區域在不考量先進製程擴廠需求下，已然是工業用水與電力供給能力較為脆弱的區域，需要仰賴跨區調度的資源運用彈性；若考慮氣候變遷下高溫及乾旱可能造成的供水／電變異，加上先進製程需求的衝擊，其營運風險預期會更高。在第二章，本報告釐清生產 2 奈米晶片廠在新竹、台中、與高雄的量產規劃下，廠商所期待的不僅是 24 小時用水／水無虞，更是如何能取得電壓穩定且具備恢復韌性的電力，以及高品質的製程及系統再生水的供應量。

一般而言，台電與水利署會依照廠商提出的需求做安排，但半導體廠的需求成長幅度與速度，對於需要長時間計畫的基礎建設排程來說，形成顯著的壓力；而這不僅是中

央政府單位的責任，建置再生水、海水淡化廠及電力機組所增加的成本分攤、配套措施的完成進度（例如接管率或是各縣市再生能源建置目標），都極度仰賴中央政府、地方政府、以及廠商之間的協作。更重要的是，整體而言將對供水與供電能力造成影響的氣候風險評估，目前仍停留在極端氣候事件可能對硬體設備造成的影響，而非對其系統運轉的衝擊與因應做準備，例如對氣溫升高較為敏感的廠務系統，未來在不同升溫情境下的用電與用水需求，仍未有深入的討論。接續第三章，本報告更進一步討論臺灣政府與廠商目前的因應策略與其不足。在臺灣水利與電力系統皆透過以供定需、以價制需、與增加區域調度彈性為因應原則，以試圖回應前述挑戰的情況下，本報告更強調相應資源分配與財務責任分擔的重要性，以提高臺灣基礎設施的強韌性。據此，本章更綜合專家訪談意見，進一步提供以下四點政策建議。

政策建議一、透過政策工具提高水利與電力基礎設施韌性

半導體先進製程產能逐漸擴大之際，勢必也將加劇氣候變遷下對臺灣環境資源使用的挑戰。本報告第二、三章已指出：在用水上，半導體製程所需的超純水不僅對水質處理的技術要求極高，且若要採用再生水，仍需面對再生水廠建置時程及地方政府專管接管率如何提升的難題；在電力的部分，半導體廠商多集中坐落在科學園區，並高度仰賴台電系統的區域調度能力，以維持穩定的供電品質，

141 Li, L. (2023, March 24). Taiwan braces for drought in key chip hubs again: Water challenge comes as island pushes to maintain 'silicon shield' against China. Nikkei Asia. ; Sloan, D. (2024, April 9). Water-guzzling chipmaker TSMC and drought-plagued Arizona are an unlikely pair, but officials say Phoenix's water supply can handle booming production. Fortune. ; Satoh, R. (2024, August 20). Water pressure: TSMC, others tackle groundwater worries in Kumamoto. Nikkei Asia. ; Fan, A., & Wu, V. (2024, June 12). South Korea's US\$454 billion semiconductor cluster faces power shortage threat. DIGITIMES Asia.

但輸電節點的拓展不易，對於工業與民生用電安全將是一大挑戰；且在能源轉型規劃下，火力發電機組將逐漸由季節及日夜發電量變異較大的再生能源機組取代，也將增加高負載時段的供電能力不確定性。**這些挑戰需要透過水利及電力基礎設施的系統性規劃來提高其韌性，並同時考量資源分配的區域及部門間公平性。**

在水利基礎設施上，我們認為**改善目前再生水的源流開發與投資程序是首要任務**。事實上，再生水的水源開發對於半導體產業一直是挑戰，正如本報告第三章指出，僅靠工業廠區或科學園區內回收的再生水，無法完全滿足不斷增長的先進製程用水需求，仍須仰賴民生或公共再生水，並對其他有再生水需求的產業產生排擠效應。水利署水源經理組江俊生副組長受訪時也提到，不同於人口密集的北部都市地區，可接管家庭污水作為再生水水源，位於中、南部的產業園區則因遠離市政污水處理廠，缺乏可直接取得的污水水源，或需面臨高昂的專管建置成本，因此未來將需要考慮從受污染的河川下游取水。¹⁴² 這將需要對再生水資源發展條例進行進一步修法，以利再生水水源的多元化開發。

同時，我們認為目前**再生水投資條例的資訊不夠透明，阻礙了企業投入再生水開發的意願**，且僅配合少數廠商「客製化」的開發模式，無法使再生水開發達到真正的規模化。因此，應針對工業再生水廠的設置及專管配置進行規格化及制度化，針對不同水質標準的再生水進行分級訂價，

以便廠商根據自身水質需求來考量採用再生水，提供其考慮再生水投資時的評估依據，並降低廠商投資再生水廠的參與門檻，改善目前客製化開發的低效率及不透明性，並讓水費徵收能夠更明確地反映其成本；同時，除了既有再生水使用比例政策以外，即第三章提及《再生水資源發展條例》及相關子法，為擴大產業使用再生水的範圍，不再侷限於有水源供應短缺之處的地區，已強制規定只要是興辦開發行為，無論是廠商進駐科學園區或產業園區，或是既有廠商擴建需變更用水計畫，未來水利署審查新建開發單位之用水計畫時，要求開發單位必須使用至少一半的再生水，否則無法新建；在制度上也應搭配環評要求及動態水費機制，例如隨水資源之季度供需變化動態調整工業用水費率，以提高廠商投資再生水的經濟誘因，同時應對氣候變遷帶來的不確定性。

在水價機制上，需要同時建立明確的定價原則與更高的財務透明度，來實現更彈性的定價機制，例如法國的水法 (Le droit de l'eau) 便是根據歐盟頒布水框架指令 (Water Framework Directive) 來擬定其定價原則，對民生、農業與工業用戶訂定了不同的定價模式，並以遞進式水費鼓勵節約用水。對工業用戶的定價模型需同時考量該地區的供水成本及水資源壓力，並且以財務獨立、不以稅收補助為原則。舉例而言，民生用水的費用根據基本生活需求量設定相對於其他產業更低之價格，以確保人人享有經濟可負擔的用水權利。¹⁴³ 然而，超出基本需求的部分則採取遞進式計費，以此鼓勵節約用水。此外，該法

142 DSET 與環權會聯合訪問經濟部水利署水源經營組江俊生副組長，2024 年 11 月 8 日於經濟部水利署台北辦公室。

143 Office français de la biodiversité. (n.d.). Le prix de l'eau. Eaufrance.

也要求地方政府及水資源事業單位據此訂定其會計準則，讓事業單位將水利基礎設施的工程成本、維運成本、供需指標都清楚明列在收費單上，減少因資訊不透明帶來的質疑，也讓以季度為單位進行水費的動態調整，一方面能反映豐／枯水期的水資源壓力與不同區域的供水成本，另一方面，也讓用水戶能夠更明確理解水資源的成本結構。¹⁴⁴最後，再生水與自來水同屬計價供水之水源，若可由單一主管機關統一調度管理，亦有助於建議彈性供水機制的運作，並且善用豐枯季節差異水價、耗水費徵收等政策工具，擴大再生水使用。

在電力基礎設施上，除了原先電網韌性建設計畫列出的區域電網及園區直供用電外，我們認為亦需加速建設園區內的儲能系統。台電董事暨國科會副主委林法正受訪指出，園區內微電網的建置困難在於儲能系統成本過高，且在缺乏市場規模的情況下難以降低成本。考慮到儲能系統同樣是與先進製程有關的資本投資，本報告建議將儲能等投資列產業創新補助行列，鼓勵企業投資。為因應全球供應鏈重組帶來新的競爭壓力，行政院會通過有「台版晶片法案」之稱的「產業創新條例」第10條之2草案；將企業前瞻研發費用抵減營所稅，抵減率提高至25%，先進製程設備投抵，當年度設備支出抵減營所稅5%，顯示政府有意引導企業資本投資於前瞻研發中，而儲能技術同為因應半導體產業電力系統韌性所為的投資，若政

府可將儲能投資列入，即可整合半導體產業對於供電風險趨避的資本投入，於臺灣發展既有電網韌性所必需的儲能技術。

除制度層面上用財政手段促進儲能技術研發的投資，藉此也可使更多業者加入電力輔助服務市場，以支援台電系統在因應偶發事故時，可支援「即時」與「補充」備轉容量服務。在產業園區層次，我們更提倡在產業園區內導入私分責協力的混合儲能系統 (Hybrid Energy Storage Systems, HESSs)，¹⁴⁵並將儲能設施依照儲能技術與特性之不同，進一步分為「應急用」與「調配用」兩種不同用途，前者多採用高功率密度、反應速度快的儲能設備，如電池儲能、飛輪儲能、超導磁儲能等，廠商多已根據自身需求與風險評估設計相應的應急能源，如半導體廠通常會配置的UPS不斷電系統，可因應突發停電或壓降等緊急情況，避免其造成的設備損耗或意外，後者在臺灣尚未普及，主要可以轉移用電大戶用電曲線，於尖峰負載時段的用電需求改為自廠儲能放電，提升整體電網的供電穩定性，避免夜間用電高峰時面臨能源供應不足的窘境。由於調配用儲能需要可透過科學園區投資審查規範、租稅優惠、時間差異電價及政策激勵等配套，¹⁴⁶要求或鼓勵廠商自建一定額定容量以上的表後儲能設備，既可穩定廠內用電，大電網亦可受益於儲能所帶來的尖峰負載移

144 OECD. (2010). Le Prix De L'eau Et Des Services D'eau Potable Et D'assainissement / the Price of Water and Drinking Water Services and Sanitation. Organization for Economic Co-operation and Development.

145 Hajiaghasi, S., Salemnia, A., & Hamzeh, M. (2019). Hybrid energy storage system for microgrids applications: A review. *Journal of Energy Storage*, 21, 543-570.

146 台電已預計在2025年推動三段式時間電價，以鼓勵24小時用電大戶廠商自建表後儲能設施，但單點式的廠內儲能恐怕仍難以推動規模效益。參見曾智怡 (2025年1月4日)。鼓勵半導體等大戶設儲能 時間電價新方案春節後上路。中央社。 <https://udn.com/news/story/7238/8468900>

轉。¹⁴⁷ 兩種儲能系統相互搭配下，一方面可以加強園區整體的區域電網韌性，另一方面也避免由全民買單高成本的儲能設備建置。

進一步而言，在臺灣的淨零排放規劃下，未來交通載具大量電動化，而電動車輛於夜間尖峰多處於閒置、連接樁充電的模式，可作為發展車用電池 V2G (Vehicle to Grid) 車輛對電網之應用，作為儲能系統與傳統電網進行搭配，進一步增加儲能系統的容量。當未來鋰電池成本快速下降時，電動汽機車與電動大客車逐漸普及，便可進一步提升電網級儲能系統的發展，作為整體電網韌性的補充措施。¹⁴⁸

以儲能協助再生能源間歇性電能移轉，使電力曲線平滑的效果觀點，國科會已有研究以區域對 2030 年的電網模擬，發現中部電網級鋰電池儲能系統的放電需求較高，在離峰充電未滿（低於 71%）的情況下即須放電，顯示在現行儲能發展方向下，中部電能移轉的效果將不若南部儲能系統效果優秀。¹⁴⁹ 本研究建議主管機關在研擬相關政策推動儲能設備時，應考量個別區域的電力供應變動特性，調整不同儲能技術與比例以增加電能移轉的效率，並最大化儲能系統投資對於電網韌性的助益。

除此之外，針對綠電的供應及分配機制，應透過建立更多元的交易機制來平衡綠電的可取得性，避免當前綠電憑

證競爭失衡的現象。例如，可推動建立區域性綠電交易平台及電網，對接中小企業與社區型發電及儲能設備，方便中小企業就近取得再生能源；此外，亦可透過國際綠電採購合作計劃，讓中小企業能以集體談判的模式購買外國綠電，增加其購得綠電的管道。

政策建議二、垂直與水平對齊氣候風險 認知與資料分析尺度

現今臺灣對氣候變遷的風險評估往往是大範圍地評估整體災害風險，但在執行層面上，卻缺乏基礎資料來系統性評估氣候風險對廠商運營的影響，導致政府及廠商的調適作為及決策皆難有依據。長年研究氣候風險評估與因應的臺大生工所童慶斌教授於接受訪談時亦指出，必須（1）確定設定的氣候情境，接著（2）模擬該情境下資源供需之空間變化，才能夠（3）針對不同廠區的營運需求評估其氣候風險。因此，本報告建議，政府應重新建立跨部會的資訊共享機制及明訂標準化的氣候風險評估流程，讓資料不僅停留在最上層的氣候變遷影響推估，而是能夠在給定的推估情境下，結合各部會業務範圍內的相關資料，進一步提高氣候風險資料在不同層級、尺度及應用情境下的適用性。以水資源為例，水利署進行氣候變遷下的供水風險評估，在規劃階段應與同樣承受供水風險的利害關係部會，如國科會科學園區、農田水利署、各地方水利局等平行與垂直的單位共同了解氣候變遷下潛在的

147 Elalfy, D. A., Gouda, E., Kotb, M. F., Bureš, V., & Sedhom, B. E. (2024). Comprehensive review of energy storage systems technologies, objectives, challenges, and future trends. *Energy Strategy Reviews*, 54, 101482.

148 黃郁青、陳治均、葛復光 (2018)。電動車的發展對我國電網級儲能系統之影響，*臺灣能源期刊*，5(3)，233-249。

149 吳榮華、黃韻動 (2024)。「淨零排放目標下之電力系統彈性需求評估」之推估。國家科技委員會一般研究報告。

供水缺口，並且共同盤點可行的調適措施，積極規劃調適路徑，而非以單一都會規劃其業務之內的氣候風險評估與調適方案，易造成資源排擠及未能整合、各司其職的結果。

在半導體產業的例子中，當前科學園區主管機關所搜集且公布的資料，為各園區逐月總用電負載量、總用水量，時間解析度僅每月一筆，且無從得知各家廠商的細部用水用電資訊。我們認為，應在當前 TCCIP 設定的氣候情境下，水利署及能源署應要求業者，分別針對其不同區域的廠區所受氣候變遷之衝擊，揭露其氣候風險。尤其是在水電資源的潛在衝擊評估上，業者於開發計畫或變更時繳驗的用水計畫書件與用電計畫書，預估各廠之環境資源影響與園區內不同廠商、製程階段的能資源消耗資料，估算出各個廠房的暴露及敏感度。有了這些氣候風險的組成單元後，業者一旦具體了解自身的風險，可與園區管理局進行垂直整合，園區一方面可依此更有效率地規劃其基礎設施韌性，避免在過多不確定下帶來的資源冗餘，另一方面也能提供廠商進行調適作為的依據。若園區能建立起更系統性的氣候風險評估模式，未來便能進一步將氣候風險評估納入廠區選址或擴廠的標準，可要求廠商依據其風險提出相應的調適措施，建立自身的風險調適系統及應急機制。

政策建議三、地方政府須負擔更多再生能源與再生水供應責任

半導體產業大幅成長，不僅成為所謂的護國神山，產業擴張計畫也成為地方發展動力的新話題。各地方政府重現 21 世紀第一個十年競逐科學園區設置的風潮，競相爭取

台積電至當地設廠。產業端依本研究所述，基於分散風險的考量，新的擴廠計畫確實出現新一輪往非原本的新竹、台中、台南半導體產業群聚的區位，如嘉義、高雄擴散的趨勢。

而為因應氣候變遷情境，以及國家與產業的調適及轉型要求，已經可預見各地未來要爭取半導體產業進駐，除了傳統土地、交通及周邊生活機能等基礎設施條件外，地方政府在提供再生水資源、再生能源等因應氣候變遷的調適及轉型治理能力，將會是可否成為半導體先進製程廠進駐區位的最關鍵條件。

在再生水資源面向，基於產業的再生水使用承諾，以及再生水資源發展條例修法後，每日用水達兩萬噸以上的開發案法定需有 50% 以上再生水使用等限制，區域再生水供應條件是否充足，將是半導體產業區位選擇的優先考量。在我國市政再生水建置的權責在地方政府，而市政再生水的建置量，則取決於都市家戶污水納入公共下水道系統的接管率。從而以往屬於城市環境治理能力指標的污水管接管率，往後也將是城市可否吸引產業投資的重要指標。

此外，在電力供應部分，基於產業的再生能源使用承諾，以及電力供應為因應氣候及供需風險朝向分散式電網建置等需求，各地區再生能源供應狀況，也將成為半導體產業區位選擇的優先條件。由於可否合宜利用國土空間是再生能源順利發展的要件，而各地國土空間治理係屬地方政府權責，所以地方政府能否有效且合宜地引導轄區內再生能源發展，建置足夠的再生能源供應量，未來也將是攸關地方發展潛力的重要治理面向。

綜上，基於產業及國家水資源與能源部門的調適與轉型趨勢，水與電的供應將不再單純屬中央事務，地方政府在再生水及再生能源供應的調適及轉型能力，將是區域競爭力最重要的一環。尤以財政劃分法通過後，地方統籌分配款將增加，地方政府應可更積極肩負起再生資源供應的責任。

如屬市政再生水供給能力最重要前提的污水下水道系統建置，目前事權在地方政府，惟財源是由中央政府法定義務支出內的一般性補助支應。未來污水下水道系統建置費用可思考從中央政府法定義務支出移出，改主要由地方政府統籌分配款支應，事權財源統一，賦予地方政府在再生水資源開發上更大的自主性，以因應將來氣候變遷與區域競爭趨勢。

政策建議四、使用再生資源仍有其開發限制，應持續推動傳統難減排產業的轉型

如前所述，再生水、再生能源使用已是半導體產業面對氣候變遷挑戰最重要的減緩與調適手段，台積電提出了雄心勃勃的承諾。他們目標在 2040 年 100% 使用再生能源，並確保 2030 年所有二奈米製程皆使用再生水。然而，增加再生資源的使用並不能解決所有問題。即使是再生能源與再生水，其供應也是有限的。台積電巨大的需求勢必對臺灣的再生能源與再生水系統造成壓力。

例如，到 2040 年，僅台積電二奈米廠的再生能源需求就將佔臺灣總再生能源目標的 13%。同時，他們對水資源

的需求將高度依賴城市再生水，消耗臺灣 2030 年再生水目標的 70%。這僅是羅列近年確定新增的二奈米製程，尚未計入基於台積電全企業的氣候風險及供應鏈要求，所承諾的全產線 2040 年 100% 再生能源、60% 再生水資源使用的需求。即便這些目標能達成，如此龐大的需求仍可能排擠其他使用者對再生資源的近用權利。在再生資源供應勢必有其極限的限制下，透過資源的總量管控，調整附加價值低、高碳排的產業規模，如鋼鐵與石化業，轉移至高附加價值的產業，為半導體產品供應鏈的永續發展創造空間，可能是整體國家經濟發展必須考量的策略。

如石化業，面臨中國塑膠原料產能過剩衝擊，連國內石化業龍頭台塑集團都已啟動切入半導體化學品供應鏈，放棄過往堅持全產全銷，搶占紅海市場佔率的策略；¹⁵⁰在石化產業已啟動轉型的情境下，引導石化業廠商合理調整規模，資源調配支持半導體等戰略產業，是政府可思考的產業轉型策略。此外，我國優勢產業資通電零組件則位於資訊與通信技術 (ICT) 價值鏈的中間位置，其成長驅動了上游設備與材料產業的需求，並在下游創造了如 AI 應用等創新機會。即使是半導體產業的非核心技術，也可能促進創新。例如，台積電促成工業水回收技術方面的進步，也能導入其他產業。

無論是高耗能產業規模調整，或以資通電供應鏈為核心，積極引導上下游產業鍊創新發展等挑戰，皆需要跨政府部會、政府層級、以及產業之間的協商與公眾共識來實現，且有賴國家必須進行從目前以滿足產業用地、水、電需求為主的補貼角色，轉向以共識型塑與資源策略性引導，以增強臺灣的基礎設施韌性。

150 張慧雯 (2025 年 1 月 5 日)。突圍中國過剩產能 台塑四寶拚轉型。自由財經。

參考資料

一、中文參考文獻

SEMI Taiwan (2022)。先進半導體製程技術。

<https://www.semi.org/zh/technology-trends/advanced-semiconductor-process-technologies>

中央社 (2024)。日經亞洲：台積電震後復原快 有賴長年防災經驗。

<https://tw.stock.yahoo.com/news/%E6%97%A5%E7%B6%93%E4%BA%9E%E6%B4%B2-%E5%8F%B0%E7%A9%8D%E9%9B%BB%E9%9C%87%E5%BE%8C%E5%BE%A9%E5%8E%9F%E5%BF%AB-%E6%9C%89%E8%B3%B4%E9%95%B7%E5%B9%B4%E9%98%B2%E7%81%BD%E7%B6%93%E9%A9%97-084253738.html>

中央研究院永續科學研究計畫 (2019)。臺灣乾旱研究：變遷、水資源衝擊、風險認知與溝通 (2016-2018 年)。中央研究院。

<https://dra.ncdr.nat.gov.tw/public/upload/Publication/201207041145957991NP3F1.pdf>

今周刊財訊新聞中心 (2022)。直擊忠孝復興站附近地下 50 米！歷時 10 年、造價 36 億開挖深度超過台北 101 地基，大安變電所潛盾洞道將開通。2022 年 9 月 8 日。

<https://www.wealth.com.tw/articles/c1ae4ec6-e2c9-4b51-a1ac-7261a57f1a67>

尹慧中 (2024)。新極紫外光設備價格不斐 ASML：百億 EUV 客戶都下單了。經濟日報

<https://money.udn.com/money/story/11162/8212173>

世界先進積體電路股份有限公司 (2023)。世界先進公司進一步說明晶圓三廠停電事件影響。世界先進 2023 年 12 月營收報告。

https://www.vis.com.tw/tc/press_detail?itemid=20206

台灣電力公司 (2019)。921 抗震啟示錄 強化南北電力融通 淬鍊系統韌性。台電月刊，681 期。取自

<https://service.taipower.com.tw/tpcjjournal/article/3499>

台灣電力公司 (2024)。台灣電力公司超高壓及一次變電所主變壓器裝置容量及負載。政府資料開放平臺資料集。

<https://data.gov.tw/dataset/16874>

台灣電力公司 (2024)。超高壓及一次變電所供電能力資訊。變電所供電能力資訊專區。

<https://www.taipower.com.tw/2289/2406/2420/2431/12056/normalPost>

台灣電力公司 (無日期)。強化電網韌性建設計畫是什麼？。取自

<https://www.taipower.com.tw/2289/2512/2515/49900/2520/57787/normalPost>

台灣電力公司 (無日期)。輔助服務商品介紹。電力交易平台。取自

https://etp.taipower.com.tw/web/as_product_introduction

台灣電力公司 (2014)。第七輪變電計畫修正計畫。

台灣電力公司。臺灣系統電廠及電網分布圖。

<https://www.taipower.com.tw/2289/2339/2344/10136/normalPost>

台灣電力公司系統規劃處 (1998 年 8 月 10 日)。輸電系統規劃準則。台灣電力公司。

https://www.taipower.com.tw/_upload/351/%E5%8F%B0%E7%81%A3%E9%9B%BB%E5%8A%9B%E8%82%A1%E4%B%BD%E6%9C%89%E9%99%90%E5%85%AC%E5%8F%B8%E8%BC%B8%E9%9B%BB%E7%B3%BB%E7%B5%B1%E8%A6%8F%E5%8A%83%E6%BA%96%E5%89%87.pdf

永續環境與能源學會 (2023)。能源統計手冊。經濟部。

<https://www.esist.org.tw/publication/handbook?tab=%E4%BE%9B%E9%9C%80%E6%8F%90%E8%A6%81&subtab=>

交通部氣象署。全年平均溫度資料 (統計期間為 1991-2020 年)。

<https://www.cwa.gov.tw/V8/C/C/Statistics/monthlymean.html>

朱曼寧 (2024)。松湖變電所延宕 北市四區新建案 ... 供電拉警報。聯合新聞網。

<https://udn.com/news/story/7238/795811>

行政院 (2022 年 3 月 29 日)。0303 興達電廠事故致全台停電專案報告。

<https://www.ey.gov.tw/File/737A9B43201B078>

吳孟峰 (2024)。水資源如何威脅臺灣半導體業《外交家》雜誌精闢論述。臺灣國際水週。

<https://www.taiwanintlwaterweek.com/zh-tw/news/49D2AC67F9637552/info.html?lt=data&cr=49>

吳榮華、黃韻勳 (2024)。「淨零排放目標下之電力系統彈性需求評估」之推估。國家科技委員會。取自

[https://nckur.lib.ncku.edu.tw/retrieve/437992/1102410H006089\(%E7%AC%AC1%E5%B9%B4\).pdf](https://nckur.lib.ncku.edu.tw/retrieve/437992/1102410H006089(%E7%AC%AC1%E5%B9%B4).pdf)

吳馥馨 (2024)。又卡了！松湖臨時變電所尚未核發施工許可 台電盼北市府共同解決。太報。

<https://www.taisounds.com/news/content/76/125577>

宋健生 (2024 年 9 月 12 日)。台積中科擴廠明年 Q1 交地 先進製程產能將邁大步。經濟日報。

<https://money.udn.com/money/story/5612/8222514>

李蘇竣 (2021 年 7 月 29 日) 竹科寶山 2 期環評過關 台積電 2 奈米廠承諾使用 100% 再生水、再生能源。環境資訊中心。

<https://e-info.org.tw/node/231835>

林以恆 (2024)。晶圓共和國與地緣工程學：東亞半導體產業的統治權力基礎，國立臺灣大學地理環境資源學系碩士學位論文。

林菁樺 (2020)。台積電用電兇 南科、竹園超高壓留 150 萬瓩擴充。自由時報。

<https://ec.ltn.com.tw/article/breakingnews/3271342>

林鈴晏 (2018)。竹園超高壓變電所電源線架線施工 - 線路牛一步一腳印。台電月刊，669 期，2018 年 09 月。

<https://service.taipower.com.tw/tpcjournal/article/2700>

唐筱恬、林上祚、李佳穎 (2022)。榮光的代價 -1》搶水、搶電、搶土地，政府獨寵半導體產業。新新聞。

<https://new7.storm.mg/article/4318653>

財團法人中技社 (2021)。臺灣半導體產業面對國際政經環境變動的挑戰與因應。臺灣半導體產業協會。

<https://www.tsia.org.tw/api/DownloadOverview?ID=34>

高雄市政府經濟發展局 (2023 年 8 月 14 日)。《「楠梓產業園區設置計畫」環境影響差異分析之健康風險評估規劃及範疇說明會會議紀錄》。

<https://orgws.kcg.gov.tw/001/KcgOrgUploadFiles/334/relfile/69108/64607/8d5af18a-48cf-499f-84f4-098e33db7f67.pdf>

高雄市政府經濟發展局 (2024)。楠梓產業園區設置計畫環境影響差異分析報告。環保署 1130013X。

<https://eiadoc.moenv.gov.tw/eiaweb/10.aspx?hcode=1130013X&srctype=0>

國家發展委員會 (2021)。110 年度行政院管制「污水下水道第六期建設計畫」查證報告。取自

<https://ws.ndc.gov.tw/Download.ashx?u=LzAwMS9hZG1pbmlzdHJhdG9yLzEwL3JlbGZpbGUvNTY4Nj8zNTY1NC84NzQ1OTVIYy1mMDI0LTRhNzAtYTdkNC0wMDEyOTljMjY4OWYucGRm&n=5rGh5rC05LiL5rC06YGT6KiI55Wr5a%2Bm5Zyw5p%2BI6K2J5aCx5ZGKLnBkZg%3D%3D&icon=..pdf>

國家發展委員會 (2022)。臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明。取自

https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=FD76ECBAE77D9811&upn=5CE3D7B70507FB38

張振光 (2019)。高科技廠房無塵室、廠務及製程系統，過去、現在及未來之節能策略。國立臺北科技大學能源及冷凍空調工程系博士學位論文。

張雄風 (2023 年 2 月 8 日) 攸關台積電進駐 中科台中園區二期擴建環評通過。中央社。

<https://www.cna.com.tw/news/ahel/202302080218.aspx>

張慧雯 (2025 年 1 月 5 日)。突圍中國過剩產能 台塑四寶拚轉型。自由財經。

<https://ec.ltn.com.tw/article/paper/1685745>

張靜貞 (2017)。氣候變遷對家計能源消費的衝擊影響。建立永續發展政策評估及朝向 IAM 架構之整合型可計算一般均衡 (GEMTEE) 模型及資料庫。中央研究院永續科學研究計畫。

許見雄、王嘉琪、陳正達、李明旭、詹士樑 (2024)。國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適 [許見雄、李明旭 主編]。國家科學及技術委員會與環境部聯合出版。

許增如 (2019)。臺灣邁向半導體產業王國之路—以發展型國家理論詮釋臺灣積體電路產業發展歷程 (1974-2018 年)。

陳文姿 (2018 年 11 月 14 日)。供水、供電講不清 南科台積電 3 奈米廠環評：補件再審。環境資訊中心。

陳婉潔 (2024 年 6 月)。先進 AI 發展趨勢。DIGITIMES。

https://www.digitimes.com.tw/tech/dt/n/shwnws.asp?id=0000692259_V7710CMK6D4YZ38BGCS5H

陳雅玲、陳玟葳 (2024)。台積電嘉義設廠用水掀爭議 水利署計畫由雲林支援地方跳腳。聯合新聞網。取自

<https://udn.com/news/story/7240/7843801>

曾智怡 (2025 年 1 月 4 日)。鼓勵半導體等大戶設儲能 時間電價新方案春節後上路。中央社。

<https://udn.com/news/story/7238/8468900>

游念育 (2024 年 7 月 3 日)。國土署加強污水下水道建設 接管普及率推升至 42.63%。中時新聞網。

<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20240703004203-260407?chdtv>

黃卓霖 (2024)。臺灣晶圓大廠突發停電 24 分鐘！緊急疏散無塵室員工…內行憂「損失驚人」：晶片全報廢。風傳媒。

<https://www.storm.mg/lifestyle/5272114>

黃羿馨、張裕珍、巫鴻瑋 (2024)。竹科拉再生水專管 縣市盼中央全出資。聯合新聞網。取自

<https://udn.com/news/story/7324/7873441>

黃郁青、陳治均、葛復光 (2018)。電動車的發展對我國電網級儲能系統之影響，臺灣能源期刊，5(3)，233-249。

楊金城 (2024 年 7 月 8 日)。嘉南 2 期作第 3~6 組停灌 2.9 萬公頃休耕補償出爐。自由時報。

<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/4358148>

經濟部 (2024)。112 年度全國電力資源供需報告。經濟部。取自

https://www.moeaea.gov.tw/ECW/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=41&news_id=33815

經濟部水利署 (2014)。臺灣正式進入再生水利用新紀元 立法院三讀通過再生水資源發展條例。

https://www.wra.gov.tw/NewsAll_Content.aspx?n=6272&s=59849

經濟部水利署 (2017)。枯旱預警資料集。政府資料開放平台

<https://data.nat.gov.tw/dataset/36695>

經濟部水利署 (2019)。再生水法規發展現況與對產業的影響。簡報投影片。

<https://www.edf.org.tw/Documents/01%E5%86%8D%E7%94%9F%E6%B0%B4%E6%B3%95%E8%A6%8F%E7%99%BC%E5%B1%95%E7%8F%BE%E6%B3%81%E8%88%87%E5%B0%8D%E7%94%A2%E6%A5%AD%E7%9A%84%E5%BD%B1%E9%9F%BF.pdf>

經濟部水利署 (2021)。2021 年 5 月 29 日全臺水情燈號。取自

<https://www-ws.wra.gov.tw/001/Upload/401/reipic/0/newsearlywarningimg20210529.png>

經濟部水利署 (2021)。臺灣各區水資源經理基本計畫。頁 66、74。

經濟部水利署 (2023 年 8 月)。水利統計。水利署統計書刊。

https://www.wra.gov.tw/News.aspx?n=2953&sms=9084&_CSN=961

經濟部水利署 (2023 年 9 月 28 日)。台積電進駐高雄楠梓園區將全量使用再生水 不會排擠農業民生用水。取自

https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=112405

經濟部水利署 (2024)。112 年度全國電力資源供需報告。取自

https://www.moea.gov.tw/Mns/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=113435

經濟部水利署 (2024)。用水大戶強制使用再生水 113 年 3 月起實施。節水紀實，40，6-7。

經濟部水利署 (無日期)。再生水媒合資訊平台。取自

<https://rwrisp.wra.gov.tw/wralInfo.aspx>

經濟部水利署主計室 (2024 年 9 月 13 日)。臺灣地區近 10 年 (102 年 ~111 年) 各標的用水量趨勢概況。

https://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=9316&n=30173&sms=9942

經濟部能源局 (2013)。102 年長期負載預測與電源開發規劃。

經濟部能源局 (2017)。106 年長期負載預測與電源開發規劃摘要報告。

經濟部能源署 (2020)。經濟部能源科技研究發展計畫 108 年度執行報告：能源部門因應氣候變遷調適策略研訂及推動 (1/2) 第一年度。經濟部。

經濟部能源署 (2023a)。112 年度全國電力資源供需報告。

經濟部能源署 (2023b)。能源產業因應氣候變遷風險評估指引。

經濟部能源署 (2023c)。112 年能源供給概況。

農業委員會 (2021 年 10 月 8 日)。111 年水資源競用區大區輪作措施內容重點。行政院。

<https://w3fs.tainan.gov.tw/Download.ashx?u=LzAwMS9VcGxvYWQvNDUvcMVsZmlsZS8xMDc1Ny83ODY0MzA4L2VhOWY4YTcyLWFlYmMtNGYzZS1iZGlxLTc5OGY0MmZhYWQ1ZC5wZGY%3D&n=5aSn5Y2A6Lyq5L2c5o6q5pa95YWn5a656YeN6bueLnBkZg%3D%3D&icon=...pdf>

熊毅晰 (2021 年 9 月 21 日)。台積史上最大膽承諾：減掉一座台北市年碳排放量 劉德音要怎麼做？。天下雜誌 732 期。

<https://www.cw.com.tw/article/5118167>

臺灣半導體產業協會 (2024)。Overview on Taiwan Semiconductor Industry。

臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台 (2023)。第六期耦合模式比對計畫。取自

https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_02_01_ar6.aspx

臺灣積體電路製造股份有限公司 (2017)。106 年度企業社會責任報告書。

臺灣積體電路製造股份有限公司 (2018)。107 年度企業社會責任報告書。

臺灣積體電路製造股份有限公司 (2019)。108 年度企業社會責任報告書。

臺灣積體電路製造股份有限公司 (2020)。109 年度企業社會責任報告書。

臺灣積體電路製造股份有限公司 (2021)。台積公司民國 110 年度永續報告書。

臺灣積體電路製造股份有限公司 (2022)。台積公司民國 111 年度永續報告書。

臺灣積體電路製造股份有限公司 (2022)。台積公司 111 年度氣候相關財務揭露報告。

臺灣積體電路製造股份有限公司 (2023)。台積公司民國 112 年度永續報告書。

臺灣積體電路製造股份有限公司 (無日期)。0.18 微米製程。

https://www.tsmc.com/chinese/dedicatedFoundry/technology/logic/l_018micron

臺灣積體電路製造股份有限公司 (無日期)。案例分享：一滴水在台積公司運用 3.5 次的旅程。臺灣積體電路公司。

<https://esg.tsmc.com/ch/update/greenManufacturing/caseStudy/3/index.html>

劉千綾 (2024)。極端高溫推升用電量 瞬時尖峰負載 4119 萬瓦創新高。中央通訊社。

<https://www.cna.com.tw/news/ahel/202407220312.aspx>

蔡長泰 (2010)。氣候變遷對災害防治衝擊調適與因應策略整合研究—總計畫：氣候變遷對災害防治衝擊調適與因應策略整合研究 (III) 研究成果報告 (完整版)。行政院國家科學委員會專題研究計畫 (計畫編號：NSC 97-2625-M-006-011)。國立成功大學水利及海洋工程學系。

鄭伊芸 (2014)。高科技廠房耗能分析軟體開發。國立臺北科技大學碩士論文。華藝線上圖書館。

<https://www.airitilibrary.com/Article/Detail?DocID=U0006-2406201416584000>

駐洛杉磯台北經濟文化辦事處 (2021 年 5 月 11 日)。澄清有關「臺灣乾旱造成全球半導體短缺危機」之說明 (Clarification on 'Taiwan's Drought Threatens Production of Chips')。取自

<https://www.roc-taiwan.org/uslax/post/27302.html>

盧清榮、侯祖光、李玟、許哲彰 (2022)。台積電南科再生水廠通水，全球首創工業再生水回用半導體製程。台灣積體電路製造股份有限公司。

<https://esg.tsmc.com/ch/update/greenManufacturing/caseStudy/63/index.html>

賴品瑀 (2014 年 8 月 27 日) 健康風險評估太草率？中科台積電擴建仍過初審。環境資訊中心。

<https://e-info.org.tw/node/101745>

賴品瑀 (2016 年 11 月 24 日)。65% 用水改採再生水 台積電南科擴廠環差初審過關。環境資訊中心。

賴品瑀 (2018 年 12 月 18 日)。台積電 3 奈米廠有望環評過關 環團盼全再生水、逐步全綠能。環境資訊中心。

<https://e-info.org.tw/node/215572>

賴品瑀 (2018 年 8 月 15 日)。諾用 20% 綠電、7.3 萬噸再生水 南科台積電 3 奈米廠環差一次過關。環境資訊中心。

<https://e-info.org.tw/node/213473>

戴嘉芬 (2022)。台積電「南科再生水廠」廢水處理大解密！比自來水乾淨但不能飲用。太報。2022 年 12 月 30 日。
<https://www.taisounds.com/news/content/78/7334>

環境權保障基金會 (2020 年 12 月 28 日)。新竹缺水大危機 開發案要分輕重緩急。聯合新聞網。取自
<https://erf.org.tw/20201228/>

環境權保障基金會 (2021 年 7 月 28 日)。【聲明】寶山二期環評通過 籲檢討其他不當開發。取自
<https://erf.org.tw/20200728s/>

環境權保障基金會、地球公民基金會、臺灣再生能源推動聯盟 (2018 年 12 月 18 日)。台積電應跟上國際大廠南科擴廠承諾 100% 再生能源。聯合新聞網。
https://erf.org.tw/news_tsmc_stsp/

鍾榮峰 (2021 年 9 月 13 日)。傳台積電高雄設廠 有助分散供水風險促區域發展。中央社。
<https://www.cna.com.tw/news/afe/202109130067.aspx>

簡子偉、陳健璋、張富鈞、張智能 (2022)。台積公司人工智慧冰水系統三大創新功能，節能再升級。台灣積體電路製造公司。2022 年 11 月 9 日。
<https://esg.tsmc.com/ch/update/greenManufacturing/caseStudy/64/index.html>

關鍵評論網 (2021)。台積電南科廠停電損失逾 10 億，經濟部次長：不要把跳電都說成缺電。取自
<https://www.thenewslens.com/article/149710>

二、西文參考文獻

Aoyama, Y., Song, E., & Wang, S. (2024). Geopolitics and geospatial strategies: The rise of regulatory supply chain controls for semiconductor GPN in Japan, South Korea and Taiwan. *ZFW – Advances in Economic Geography*.

<https://doi.org/10.1515/zfw-2024-0046>

Elalfy, D. A., Gouda, E., Kotb, M. F., Bureš, V., & Sedhom, B. E. (2024). Comprehensive review of energy storage systems technologies, objectives, challenges, and future trends. *Energy Strategy Reviews*, 54, 101482.

<https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101482>

Fan, A., & Wu, V. (2024, June 12). South Korea's US\$454 billion semiconductor cluster faces power shortage threat. *DIGITIMES Asia*.

<https://www.digitimes.com/news/a20240612PD211/south-korea-semiconductor-industry-electricity-power-supply-policy.html>

Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. (2022, September 12). What is the difference between climate change adaptation and resilience? London School of Economics and Political Science

<https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/explainers/what-is-the-difference-between-climate-change-adaptation-and-resilience/>

Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. (2022, September 12). What is the difference between climate change adaptation and resilience? London School of Economics and Political Science

<https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/explainers/what-is-the-difference-between-climate-change-adaptation-and-resilience/>

Hajiaghahi, S., Salemnia, A., & Hamzeh, M. (2019). Hybrid energy storage system for microgrids applications: A review. *Journal of Energy Storage*, 21, 543–570.

<https://doi.org/10.1016/j.est.2018.12.017>

Hess, J. C. (2024). Chip Production's Ecological Footprint: Mapping Climate and Environmental Impact. *Interface*.

<https://www.interface-eu.org/publications/chip-productions-ecological-footprint>

Li, L. (2023, March 24). Taiwan braces for drought in key chip hubs again: Water challenge comes as island pushes to maintain 'silicon shield' against China. *Nikkei Asia*.

<https://asia.nikkei.com/Business/Business-Spotlight/Taiwan-braces-for-drought-in-key-chip-hubs-again>

Liu, L.-Y., Winckel, L. V., Boakes, L., Bardon, M. G., Rolin, C., & Ragnarsson, L.-Å. (2024). Modeling the Energy Consumption of Integrated Circuit Fab Infrastructure. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 37(4), 422–427. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*.

<https://doi.org/10.1109/TSM.2024.3408926>

Marie Garcia Bardon and Bertrand Parvais, The environmental footprint of logic CMOS technologies (2020). IMEC. Retrieved from

<https://www.imec-int.com/en/articles/environmental-footprint-logic-cmos-technologies>.

Maynard, N., & Reynolds, M. (n.d.). World's largest semiconductor foundry joins RE100 and calls on peers to step up on renewable energy. RE100. Retrieved December 18, 2024, from

<https://www.there100.org/our-work/press/worlds-largest-semiconductor-foundry-joins-re100-and-calls-peers-step-renewable>

OECD. (2010). Le Prix De L'eau Et Des Services D'eau Potable Et D'assainissement / the Price of Water and Drinking Water Services and Sanitation. Organization for Economic Co-operation and Development.

https://www.oecd.org/content/dam/oecd/fr/publications/reports/2010/03/pricing-water-resources-and-water-and-sanitation-services_g1ghc680/9789264083622-fr.pdf

Office français de la biodiversité. (n.d.). Le prix de l'eau. Eaufrance.

<https://www.eaufrance.fr/le-prix-de-leau>

Pacifico Power. (2024). Power purchase agreement trends to watch in 2024. <https://www.pacificopower.com/news-post/power-purchase-agreement-trends-to-watch-in-2024>

Ramani, V., Ghosh, D., & Sodhi, M. S. (2022). Understanding systemic disruption from the Covid-19-induced semiconductor shortage for the auto industry. *Omega*, 113, 102720.

<https://doi.org/10.1016/j.omega.2022.102720>

Reisinger, A., Howden, M., Vera, C., Garschagen, M., Hurlbert, M., Kreibiehl, S., ... & Ranasinghe, R. (2020). The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A summary of cross-working group discussions. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, 15, 130.

Satoh, R. (2024, August 20). Water pressure: TSMC, others tackle groundwater worries in Kumamoto. *Nikkei Asia*.

<https://asia.nikkei.com/Business/Technology/Water-pressure-TSMC-others-tackle-groundwater-worries-in-Kumamoto>

Schneider Electric. (n.d.). How will the Inflation Reduction Act affect renewable energy opportunities?

<https://perspectives.se.com/us-climate-policy-resources/how-will-the-inflation-reduction-act-affect-renewable-energy-opportunities>

Shannon Davis (2022). Water Supply Challenges for the Semiconductor Industry. *Semiconductor Digest*. 2022/10/24.

<https://www.semiconductor-digest.com/water-supply-challenges-for-the-semiconductor-industry/>

Sloan, D. (2024, April 9). Water-guzzling chipmaker TSMC and drought-plagued Arizona are an unlikely pair, but officials say Phoenix's water supply can handle booming production. *Fortune*.

<https://fortune.com/2024/04/08/tsmc-water-usage-phoenix-chips-act-commerce-department-semiconductor-manufacturing/>

Tsai, S. C., Lee, S. H., & Chu, T. J. (2024). On the tailor-made water governance mechanism for Taiwan's semiconductor industry. *Water Resources and Industry*, 31, 100252.

Wang, Q., Huang, N., Chen, Z., Chen, X., Cai, H., & Wu, Y. (2023). Environmental data and facts in the semiconductor manufacturing industry: An unexpected high water and energy consumption situation. *Water Cycle*, 4, 47-54.

Zafar, R. (October, 2024). TSMC's growing electricity demand could stress credit in 2030 warns S&P. *Wccfttech*. Retrieved from

<https://wccfttech.com/tsmcs-growing-electricity-demand-could-stress-credit-in-2030-warns-sp/>

Zhang, K. (September 19, 2024). How Water Scarcity Threatens Taiwan's Semiconductor Industry. *Diplomat*.

<https://thediplomat.com/2024/09/how-water-scarcity-threatens-taiwans-semiconductor-industry/>

氣候變遷與基礎設施韌性： 臺灣半導體產業水資源與電力使用 分析報告

作者：

DSET — 呂采穎、張禎晏、林孟慧、游博翔
環權會 — 許博任、林彥廷



Research Institute for **Democracy,**
Society, and **Emerging Technology**