

儲能意義的轉變

2024 年 12 月 25 日 詹家彰 m10707102@gapps.ntust.edu.tw

結論:

原本儲能系統主要用於配合再生能源，但因為 AI 工業革命的到來，需要大量能源，減少碳排已經不是最重要，儲能的作用將轉變為輔助各種發電廠，最大化發電量

特斯拉在 2023 年的投資者日公布了他們的 Master Plan 3，其中提到為了讓世界邁向脫碳經濟，全球大約需要 240 TWh 的電池儲能，主要應用於交通、能源、供暖等多個領域。但是 2024 年第二季的特斯拉財報會議中，馬斯克說"新增電池組後，您現在可以在穩定狀態下運行發電廠。穩態意味著基本上世界上任何地方的任何給定電網在一年中都可以產生累積能量，至少是目前產生的兩倍，在某些情況下，可能是三倍"[1]，馬斯克對電池的理解已經不是減少排碳了，在此同時 Google，微軟也修改了自己的排碳標準，或者宣佈放棄碳中和[2]

減碳目標已不再是儲能發展的重點，最重要的是最大限度的生產能源來發展 AI，迎接新一輪的工業革命，輔助再生能源讓電網可以併入更多的再生能源，輔助傳統發電機，增加發電機滿載生產的時間。

原因

AGI

華為創始人任正非:我们即将进入第四次工业革命，基础就是大算力，第四次工业革命波澜壮阔，其规模之大不可想象[3]

AGI (Artificial General Intelligence) 的定義 AGI 並沒有明確的定義，但每個人的理解都不盡相同。對於 Sam Altman 來講，AGI 的定義是:"一個相當於普通人水準的人工智能，像一個可以被雇用的遠程同事。它可以完成你希望遠端工作者通過電腦完成的任何工作，包括學習如何成為一名醫生，學習如何成為一個非常出色的程序員"[4]，Google DeepMind CEO 德米斯·哈萨比斯 (Demis Hassabis) 對於 AGI 的定義則是「一個通用系統，能夠完成人類可以完成的任何認知任務」。

https://www.youtube.com/watch?v=vd9GxG5Qn-k&ab_channel=Greylock

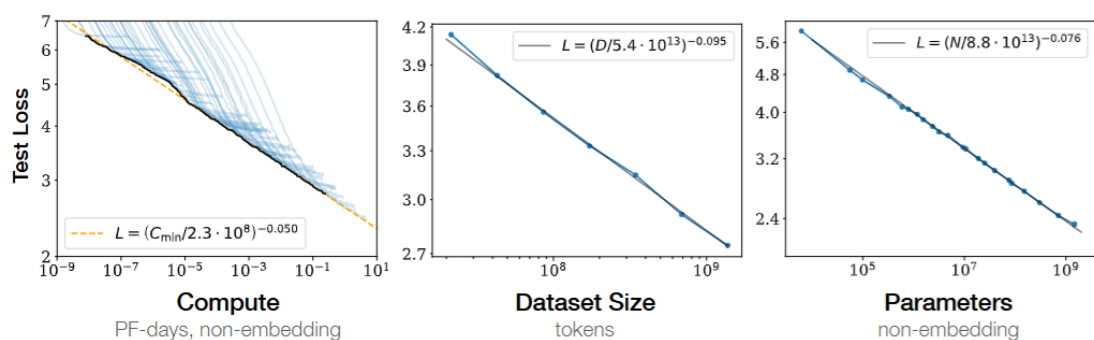
[5]

人類一旦做出 AGI，AGI 預計可以取代很大部分的白領工作，很多事情可以交給 AI 去做，社會的經濟產值將會快速飆升。諾貝爾獎得主傑弗里·辛頓 (Geoffrey Hinton) 說，幾乎所有 AI 專家都認為

是人類可以做出 AGI [6]，Demis Hassabis 也持相同看法 [7]。然而，目前很難預估什麼時候能夠實現。科技巨頭們的預測範圍大約從 2025 年至 2030 年不等 [8]。接下來將描述為何人類在建立 AGI 的時候會需要大算力與電力。

縮放定律

“”



[9]

OpenAI 前首席科學家 Ilya Sutskever:

“如果你有一個非常大的神經網絡，並使用大量的數據集和計算資源來訓練它，那麼你可以可靠且可預測地實現驚人的效果。而這個簡單的想法是自深度學習革命開始以來，幾乎所有人工智慧進步的核心基礎。” 大神經網絡，大數據大量的算力是過去十年幾乎所有人工智慧進步的基礎，基本上就是所謂的縮放定律，什麼是縮放定律呢？

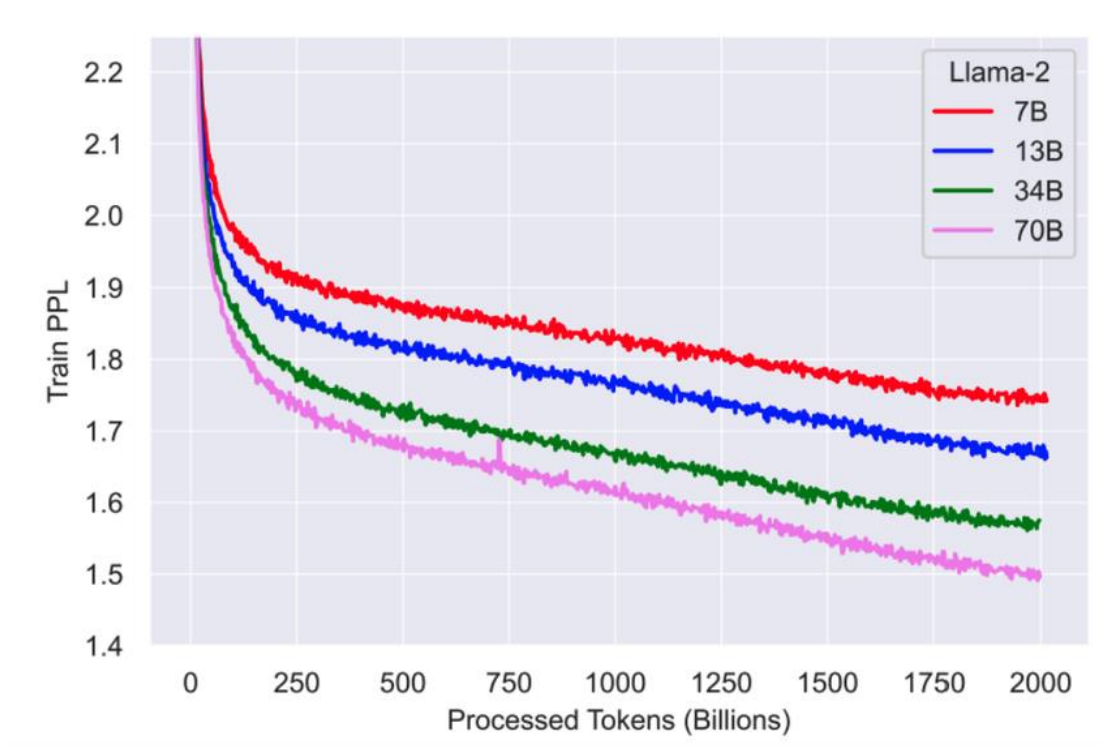
[10]

上圖主要是關於 AI 模型縮放定律的核心結果，y 軸都是模型的損失，越小代表模型預測的越精準，越聰明。最右边的图讲的是参数数量的扩展规律，x 軸是算力的對數。研究人员使用了一个非常大的数据集，因此不用擔心會用完資料，並且給所有模型很长时间訓練，确保它们基本上达到了學習性能上限(收斂状态)，可以觀察到每一個參數數量會有一個極限值，然後隨著參數量的增加，極限值會越來越低，也就是說，隨著參數量的提高，模型的聰明上限也會提高

在中间的图中进行了类似的操作，但把数据量和参数数量互换，即训练一个非常大的模型，所以模型的规模不是性能的限制因素，而是用不同大小的数据集来进行训练，并提前停止，测量在测试损失最小的点时的测试损失，再一次得到了测试损失随数据集大小变化的非常明确的幂律关系，意味著每一個資料量會有這個資料量能夠得到的最好的模型的極限，然後隨著資料量越多，可以得到更好的模型。

繪製了不同大小模型的學習曲線，給每個模型非常大量的資料並且为所有不同的模型规模训练了很长时间，因此每一個模型都可以學習到極限，在圖片上，淺藍色的細線末端呈現水平，就是隨著計算量的提升，這個模型已經到了極限，沒有辦法再繼續變好了，可以從黃色虛線直線觀察到，不論給定多少參數量大小的模型或者多少資料量，算力會有一個沒有辦法突破的極限，然後隨著算力的

提升，這個極限會變低，意味著如果擁有更強大的算力，可以得到更聰明的模型



我們並不知道為何 AI 模型會有縮放定律，它是一個經驗法則也許會繼續，也許會停下，所以我們要看看目前的情況，2024 年 6 月最先進的開源模型 meta 的 llama 2 的訓練資料顯示，就算是最小參數量 7B 的模型在整個訓練過程中損失仍然是直線下降，還沒有放緩的跡象 [11]，Mark Zuckerberg 在 2024 年 4 月的時候說 [12]，他們最新的模型(llama 3)，即使是最小參數的，仍然還在學習，還沒有飽和，也就是說，到目前為止如果給模型更多的資料或更多的訓練量模型仍然在持續的變聰明，因此各大科技公司仍然在持續擴大訓練規模新建更大的算力中心

2GW+算力中心

因为人工智慧的缩放定律，我们只要投入更多的算力，也就是能源，就可以得到更聪明的模型。所以，几乎每一个大型科技公司都开始建造几栋大容量 AI 算力中心。甲骨文公司創始人 Larry Ellison 在 2024 年 9 月財報會議 [12] 向投資者說，他们已经在建设一个 800MW 的算力中心，并且正在设计 1GW 的算力中心。Ellison 說目前有几家大型科技公司，甚至可能只有一个国家，将在未来几年争夺 AI 模型的“技术霸权”。为了在尖端 AI 模型竞赛中保持竞争力，成本不会便宜，他补充道。

“入场价格大约是 1000 亿美元。让我重复一遍，大约是 1000 亿美元。这是在未来五年内，任何想参与其中的人必须支付的价格，” 他说 [13]

2024 年 9 月，Elon Musk 的人工智能公司 xAI 已在孟菲斯的算力中心部署了约 10 万张英伟达 H100 GPU，大約 150MW，並且僅用了 122 天 [14]，Mark Zuckerberg 在 10 月的財報會議說他們現在在用超過 10 萬張 H100 訓練模型，並且计划在年底前部署 35 万块英伟达 H100 GPU [15]，按照比例推估年底臉書的這個算力中心會是 525MW，微軟與 open AI 是目前買最多 GPU 的公司，他們的算力中心

不會比其他公司還要小，他們預計重啟曾經發生核事故的賓州的三哩島核電廠，九月 Alphabet CEO Sundar Pichai 表示，Google 正在擴大其計算基礎設施並致力於 1GW+ 的算力中心[17]，我個人認為兩年內就會有幾座 1GW 算力中心蓋好。

也就是說，縮放定律仍在持續發展，還未達到極限，因此各大公司仍在擴大各自的算力中心。目前幾乎每家公司都宣布在設計興建 1GW 規模的算力中心，合理推估 2025 年就會有第一個 1GW 算力中心。根據 Zuckerberg 的態度，短期內我們還不會達到縮放的極限，**個人認為很可能接下來會見到 10GW 規模的算力中心**。2024 年 12 月 Zuckerberg 宣佈要蓋一個 2GW 算力中心，並且要新蓋一個 1.5GW 天然氣發電廠為算力中心供電[17]

這還只是訓練模型所需的電力，實際情況下還有推理所需的電力需求。訓練過程是讓模型學習和獲取智慧，而推理過程則是模型提供服務，像我們日常使用 ChatGPT 時的電力消耗。目前還缺乏足夠的公開資訊，難以具體估算這些需求，但 Amazon 的 Claude ai 創辦人 Dario Amodei 說大部分成本在於推理，而不仅仅是模型的訓練成本[18，有可能推理的電力消耗會比訓練的更多。

缺乏電力

由於模型訓練和推理都會產生大量電力需求，因此 Zuckerberg 在 2024 年 4 月的一次採訪中提到[19 他認為人工智慧發展的最大瓶頸不是晶片，而是能源。馬斯克也表示，他認為未來會電力短缺[20。

綜合以上信息，可以預測未來美國所有頂尖的科技公司，其發展的瓶頸之一將是能源生產。因此可以推測，未來世界上最雄厚的資本和最頂尖的工程師，將會有大量投入電力生產。

目前可以觀察到的趨勢是，許多公司已經開始購買並親自建設核能發電。此外，全球頂尖的燃氣發電機生產商——日本的三菱電機，也報告由於人工智慧的發展，2024 年的訂單量較前一年增加了 50%。[21，同樣生產燃氣發電機，還有輸電變壓器的西門子能源股票上漲的幅度比 Nvidia 還要多 [22

訓練模型引發的電力系統挑戰:

馬斯克說，對於一個容量為 50MW 的算力中心，電力需求波動可以在 100 毫秒內從 50MW 降低到 20MW，然後再回到 50MW[23 就我所知，除了儲能系統，沒有其他方法可以補償如此迅速的電力波動。根據報導[24，特斯拉的儲能系統也準備投入到算力中心的供電設備之中，已經在建設中。

“”

“”

因為臺灣會需要大量電力，然後可以使用電池幫忙

隨著人工智慧（AI）技術的發展，未來的大規模應用將顯著提升全球的電力需求。這一需求的成長呈現出一種電力循環迴圈：AI 運算的增多會驅動電力需求上升，訓練好的模型會去提供服務賺錢，

賺到的錢來蓋更多的算力中心，隨著這種循環持續擴大，理論上各種形式的發電資源需求亦隨之增加，包括燃氣發電、核能、再生能源，最終甚至是燃煤發電。

在這樣的背景下，電池儲能成為應對尖峰電力需求的重要方案。發電機通常並非持續運轉，而是根據負載需求啟動或停機，受到容量因素的限制。因此，利用電池來支援電力尖峰時段的需求成為有效解決方案。相關文獻指出，電池可以在非尖峰時段儲能，並於尖峰負載高峰時進行放電，達到負載調節的效果，有效降低發電機的負荷並提高電網穩定性。

臺灣的電網一直以來都會利用抽蓄儲能來降低夜晚尖峰，臺灣抽蓄儲能電量大約 10GWh，而根據電力交易平臺 [25] 截至 2024 年 12 月至少已經採購電池的 E-dReg 有 3GW，而 E-dReg 的電量至少是功率的 2.5 倍，可以合理推測兩年內，臺灣會新增超過 7.5GWh 的電池儲能，這件事會越來越重要。

////

美國如何評估尖峰供電能力

ELCC 是什麼？如何評估？

美国在评估电力系统能否在峰值负载期间保持稳定运行时，通常采用一种名为有效负载承载能力（Effective Load Carrying Capability, ELCC） [26] 的标准方法。这一方法以电力系统的可靠性为核心，通过逐步增加发电设备的方式，分析新加入的资源在多大程度上能够满足新增的电力需求。

具体而言，ELCC 的计算从一个基础电力系统模型开始。首先，逐步增加系统中的发电容量，同时同步增加负载需求，直到新加入的发电资源使得系统的整体可靠性指标（例如“负载预期损失”，即 Loss of Load Expectation, LOLE）恢复到与原系统相同的水平。这一过程旨在量化新增发电资源在保障系统可靠性中的实际贡献。

在执行 ELCC 分析时，明确电力系统的组成结构是至关重要的。该方法需要详细评估每台发电机的容量大小及其故障概率，同时还要将电力设备的新增或退役情况纳入考量。比如，新设备的引入可能会提升系统的整体容量，而旧设备的退役则可能对系统可靠性造成负面影响，此外，ELCC 方法的核心优势在于它能够为电力系统规划提供支持。通过计算每种发电资源的实际贡献值，决策者可以更科学地规划资源的分配与使用，确保系统在满足当前负载需求的同时具备未来发展的弹性。相比传统单纯以容量为依据的方法，ELCC 更加精确地反映了资源在负载需求高峰期的真实价值。因此，它被广泛应用于美国电力行业的资源评估中

評估儲能加入電力系統供電能力

由於光伏系統與風力發電的發展比儲能系統還要更早，已經有不少的文獻在討論可再生能源引入 ELCC 的方法[27][28][29]，對於儲能加入 ELCC 我想引用 Elon Musk 在 2024 特斯拉第二季財報說[30]

.....

I think people don't understand just how much demand there will be for storage.....I think, are underestimating this demand by product order of magnitude.

grid is, if the power plants can operate at steady state is at least two to three times the amount of energy it currently produces. Because there are huge gaps -- because there's a huge difference in the -- from peak to trough in terms of energy or power generation. So in order for a grid to not have blackouts, it must be able to support the load at the worst minute of the worst day of the year. The coldest or hottest day, which means that for the rest of the time -- the rest of the year, it's got massive excess power generation capability, but it has no way to store that energy.

Once you add battery packs, you can now run the power plants at steady state. Steady state means that basically any given grid anywhere in the world can produce in terms of cumulative energy in the course of the year, at least twice what it is currently producing, in some cases, maybe three times.

.....

儲能意義的轉變

我認為這個是個很重要的時刻，象徵著儲能系統存在意義的轉變 原本的電力系統用電成長很小，儲能的意義在於 能夠緩衝再生能源產生的不穩定能量 來匹配真實用電進而降低碳排，然而隨著 ChatGPT 的問世 一切都改變了，電力需求量瘋狂增加，儲能變成用來最大化發電量 以提供足夠的能量給 AI

另一方面，特斯拉在思考評估這件事情，就代表這件事情是需要的有價值的 這件事情短期而言，也許是增加峰值供電能力，增加儲備容量，長期而言，電網儲能是為了最大化發電量給 AI 供應能量，因此，当前，纽约独立系统运营商（NYISO）、PJM 互联（PJM Interconnection）德州公共事业委员会（PUCT）等多个地区都在积极研究储能系统的容量和持续放电时间的要求[31]，讨论了美国联邦能源监管委员会（FERC）发布的第 841 号命令对储能系统在批发市场中参与的影响。该命令要求区域传输组织（RTO）和独立系统运营商（ISO）制定规则，允许储能资源以非歧视性的方式参与批发能源、容量和辅助服务市。

[32 指出，美国 PJM 电力市场采用 ELCC 模型科学评估新型储能的容量价值，[33 提出了一种考虑 ELCC 和平准化度电成本（LCOE）的组合式风电储能系统多目标容量配置优化模型，旨在提升风电与储能系统的综合效益，[34 提出了一種簡化的確定性方法，用於量化儲能在提高高比例可再生能源滲透情況下容量價值的貢獻。該研究強調，準確衡量儲能系統對電網可靠性的貢獻，對於在可再生能源滲透率不斷提高的情況下，保持電網穩定至關重要。

參考資料

[1] https://www.tesla.com/ns_videos/Tesla-Master-Plan-Part-3.pdf ,

Once you add battery packs, you can now run the power plants at steady state. Steady state means that basically any given grid anywhere in the world can produce in terms of cumulative energy in the course of the year, at least twice what it is currently producing, in some cases, maybe three times. , 2024 特斯拉第二季度財報轉寫稿 , <https://www.fool.com/earnings/call-transcripts/2024/07/24/tesla-tsla-q2-2024-earnings-call-transcript>

[2] AI 高耗能 , Google 、微軟碳排不減反升...Google 宣布放棄碳中和、微軟買碳捕捉碳權自保 , <https://esg.businessstoday.com.tw/article/category/180687/post/202407110035>

[3] [任正非：我们即将进入第四次工业革命 , <https://www.ithome.com/0/720/163.htm>]

[4] [How Sam Altman Defines AGI ,

https://www.youtube.com/watch?v=vd9GxG5Qn-k&ab_channel=Greylock

[5] [Hern, Alex. "AI Has the Potential to Cure All Diseases, Says DeepMind Chief." *The Times,* December 20, 2024. Accessed December 20, 2024. https://www.thetimes.com/business-money/technology/article/ai-has-the-potential-to-cure-all-diseases-says-deepmind-chief-9hbdp5kpm?utm_source=chatgpt.com®ion=global.]

[6] [Geoffrey Hinton:Almost everybody I know who's an expert on AI believes that they will exceed human intelligence , <https://x.com/BBCNewsnight/status/1791587541721780400>]

[7] [Demis Hassabis - Scaling, Superhuman AIs, AlphaZero atop LLMs, AlphaFold , <https://youtu.be/qTogNUV3CAI?t=306>]

[8] [各路大佬纷纷给 AGI 立下“最后期限” , 27 岁创始人已经给 AI 准备好「人类最终测试」 ! <https://mp.weixin.qq.com/s/V9oNGADteTE4WzUju-zQ2Q>]。

[9] Kaplan, J., McCandlish, S., Henighan, T., Brown, T. B., Chess, B., Child, R., Gray, S., Radford, A., Wu, J., & Amodei, D. (2020). *Scaling Laws for Neural Language Models*. arXiv preprint arXiv:2001.08361

[10] Ilya Sutskever 縮放定律 <https://youtu.be/BjyZcSiVg5A?t=206>

[11] mark zuckerberg 說 , 模型還在學習 , <https://youtu.be/9TU0XjJqpOg?t=17>

[12] 甲骨文將建三座小型核電廠 , 推 Blackwell 超級叢集 | TechNews 科技新報

[13] Larry Ellison , 1000 億美元。这是在未来五年内 , 任何想参与其中的人必须支付的

价格 https://x.com/The_AI_Investor/status/1834773985990451509

[14] [从 4 年缩短至 4 个月！马斯克超算建设速度吓坏对手 腾讯新闻](#)

[15] meta 官方財報會議逐字稿

https://s21.q4cdn.com/399680738/files/doc_financials/2024/q3/META-Q3-2024-Earnings-Call-Transcript.pdf

[16] Google 也在蓋 1GW+ 算力中心，<https://x.com/tsarnick/status/1837362656908562566>

[17] [Meta 宣佈 400 萬平方英尺、2GW 路易士安那州數據中心園區 - DCD](#)

<https://www.datacenterdynamics.com/en/news/meta-announces-4-million-sq-ft-louisiana-data-center-campus/>

[18] cluade ai 創辦人 Dario Amodei <https://youtu.be/7xiJ6SoCCII?t=725>

[19] 馬克·扎克伯格在 2024 年 4 月人工智慧發展的最大瓶頸不是晶片，而是能源。

<https://youtu.be/i-o5YbNfmh0?t=36>

[20] 馬斯克也表示，他認為未來會電力短缺，<https://www.gvm.com.tw/article/112164>

[21] 燃氣發電機的需求已經大增 [https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-10-](https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-10-23/mitsubishi-power-sees-data-centers-boosting-gas-turbine-orders)

[23/mitsubishi-power-sees-data-centers-boosting-gas-turbine-orders](https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-10-23/mitsubishi-power-sees-data-centers-boosting-gas-turbine-orders)

[22] [西門子能源今年擊敗了英偉達。還有更多](#)

<https://www.ft.com/content/46996cf4-472b-4729-bcb5-b66e2bbdded1>

[23] 馬斯克說，算力中心的超大電力變動，<https://www.bilibili.com/video/BV1jz421i7Kj?t=1321.9>

[24] tesla megapack 準備投入算力中心引起的轉動慣量需求

<https://youtu.be/Jf8EPSBZU7Y?t=813>

[25] [電力交易平台](#)，https://etp.taipower.com.tw/web/qse_info/qse_list

[26] Public Utility Commission of Texas. (2024, September 26). 1219NPRR-17 PUCT Report. Retrieved from <https://www.ercot.com/files/docs/2024/10/01/1219NPRR->

17%20PUCT%20Report%20092624.docx

[27] IEEE. (2020). A Tutorial on PV Power Plant Capacity Credit Assessment. IEEE Transactions on Power Systems. DOI: 10.1109/TPWRS.2020.3008552

[28] IEEE. (2022). Evaluation of Resource Adequacy under High Renewable Energy Growth in the U.S. Midwest. IEEE Transactions on Sustainable Energy. DOI: 10.1109/TSTE.2022.3004921

[29] IEEE. (2022). Cumulative Capacity Credit Estimation for Renewable Energy Projects in Oman. IEEE Access. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3150845

[30] 特斯拉 2024 二季度财报会议 | 双语字幕完整版
， <https://www.bilibili.com/video/BV1fw4m1r7ZC?t=3234.7>

[31] P. Maloney, As Grid Operators File FERC Order 841 Plans, Storage Floodgates Open Slowly, Utility Dive, 2018.

[32] 夏清. (2024). 美国 PJM 电力市场采用 ELCC 模型评估储能容量价值的实践. 第九届储能西部论坛, 2024 年 9 月. 检索自 <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1811311028329729738>

[33] Song, Q., Wang, B., Wang, Z., & Wen, L. (2024). Multi-objective capacity configuration optimization of the combined wind-storage system considering ELCC and LCOE. Energy. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131558>

[34] Jirutitijaroen, P., & Wangdee, W. (2022). Energy Storage Valuation toward 100% Renewable Electricity from Reliability Perspective. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10594815>