

推動針織行業

實現碳中和

——
案例研究與
研發碳足跡評估工具

研究報告



香港羊毛化纖針織業廠商會
HONG KONG WOOLLEN & SYNTHETIC KNITTING
MANUFACTURERS' ASSOCIATION

主辦機構



香港毛織出口廠商會有限公司
HONGKONG KNITWEAR EXPORTERS &
MANUFACTURERS ASSOCIATION LTD.

合作機構



執行機構



工商機構支援基金
Trade and Industrial Organisation Support Fund

工業貿易署
「工商機構支援基金」
撥款資助

目錄

2	第一章節 氣候變化挑戰與機遇
2	1.1. 針織行業實現碳中和的驅動因素
6	1.2. 對針織行業的影響
7	1.3. 針織行業實現碳中和的路徑

9	第二章節 案例研究視角下的針織行業概覽
10	2.1. 針織品製造廠的選擇標準
10	2.2. 實地考察總結
16	2.3. 現場調查的發現總結

18	第三章節 紡織業碳管理的新工具和新標準
19	3.1. 歐盟碳邊境調整機制及其對紡織行業的影響
19	3.2. ISO14067：紡織行業碳足跡分析的標準化
20	3.3. 數字產品護照與供應鏈分類：提升可追溯性與碳核算
21	3.4. 結論與工具亮點

22	第四章節 碳足跡計算方法與結論
23	4.1. 碳足跡計算場景的定義
24	4.2. 案例研究的產品碳足跡評估
26	4.3. 基於CBAM的案例研究計算方法

在此刊物上／活動內(或項目小組成員)表達的任何意見、研究成果、結論或建議，並不代表香港特別行政區政府或工商機構支援基金評審委員會的觀點。

2025年7月出版

第一章節 氣候變化挑戰與機遇



人類活動主要通過溫室氣體排放導致了全球變暖。據估算，2011-2020 年間，全球地表溫度已較 1850-1900 年的水平上升 1.1°C。若要將升溫限制在 1.5°C 以內，需在近期大幅減少溫室氣體 (GHG) 排放。根據氣候變化領域最具權威性的科學機構—政府間氣候變化專門委員會 (IPCC) 的報告，全球排放須在 2025 年前達到峰值，並於 2030 年前較 2019 年水平下降 43%，到 2035 年前下降 60%¹。在全球範圍內，各經濟體與各行業正致力於減少溫室氣體排放。例如，中國承諾在 2030 年前實現碳達峰，並於 2060 年前達成碳中和。香港則計劃於 2035 年前將總碳排放量較 2005 年水平減半，並致力於 2050 年前實現碳中和。



紡織行業，包括針織行業，是全球第二大溫室氣體排放來源，其生產過程涵蓋紡紗、針織、染色、整理、裁剪、縫製、運輸及廢物處理等多個環節，均屬能源密集的過程²。紡織行業每年排放約12億噸溫室氣體，佔全球排放量的6.7%³。具體而言，以二氧化碳當量計算，一件T恤的製造過程所產生的碳排放可能超過其產品重量的12倍⁴。若該行業維持現有業務模式且未採取額外減排措施，到2030年紡織行業的溫室氣體排放量預計將增加30%⁵。儘管紡織行業的溫室氣體排放量如此之高，由於供應鏈複雜性、產品多樣性，以及對所用材料、能源消耗、廢物產生和運輸涉及的碳足跡測量不足，許多企業可能尚未充分意識到該行業的顯著碳排放。根據最新統計數據，全球時尚行業前200大品牌中，僅55%公佈了其年度碳足跡，而僅19.5%選擇披露供應鏈的碳排放⁶。

作為香港製造業的重要組成部分及主要出口來源，針織行業必須積極探索創新方案，以應對氣候變化，並著重減少其碳足跡及相關環境影響。

1.1. 針織行業實現碳中和的驅動因素

針織行業朝向碳中和的顯著轉型，受到內部動機與外部壓力的共同推動。隨著全球資源價格飆升，以及各地對低碳生產的關注日益增加，業界正逐漸轉向更可持續的生產模式，以提升市場競爭力。此外，外部環境法規的收緊，加上客戶對環保產品的偏好日益增強，也進一步突顯了針織行業需要核算並控制其碳足跡的迫切性。

1.1.1. 節約資源以增強市場競爭力

傳統意義上，紡織行業高度依賴不可再生資源，例如合成纖維所需的石油、棉花種植所需的化肥，以及生產和染色過程中的化學品。據統計，整個行業每年將消耗約9,800萬噸的此類不可再生資源⁷，以及使用約930億立方米的水⁸。2000年至2015年間，全球服裝使用率下降了36%，超過50%的快時尚產品在一年內被丟棄⁹，而其中僅13%的行業原材料被回收利用。這也間接導致了顯著的資源浪費和二次環境污染，以及每年超過1,000億美元的損失¹⁰。有鑑於此，全球正在重新評估當前行業內原材料採購、生產流程、消費模式和廢棄物處置做法，並逐步採用循環經濟原則和可持續發展理念，通過設定具體的減碳目標來實現轉型。相關示例見表1.1。與此同時，越來越多的品牌開始獲取GOTS、RAF和GRS等認證，以驗證其在可持續實踐上的資質。

1 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Climate Change 2023 Synthesis Report 2023: Summary for Policymakers https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf

2 Joyce, C. (2013). Low Carbon Intelligent Operations for Textile Industry in APC Economies. <https://www.apec.org/docs/default-source/Publications/2013/8/Low-Carbon-Intelligent-Operations-for-Textile-Industry-in-APEC-Economies---Project/TOC/Main-Report.pdf>

3 Trent, S. (2020). Changing the fabric of our clothes to cut climate emissions. The Revelator. <https://therevelator.org/textiles-climate-emissions/>

4 Wang, C., Wang, L., Liu, X., Du, C., Ding, D., Jia, J., ... & Wu, G. (2015). Carbon footprint of textile throughout its life cycle: a case study of Chinese cotton shirts. *Journal of Cleaner Production*, 108, 464-475. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615007064>

5 MIT Climate Grand Challenges. Emissions reduction through innovation in the textile industry. <https://climategrandchallenges.mit.edu/research/emissions-reduction-through-innovation-in-the-textile-industry/>

6 ECV Textile & Apparel (2022). Global Textile and Apparel Carbon Neutral Summit 2022. <http://www.ecvinternational.com/TextileandApparelCarbonNeutral/>

7 Abigail, B. (2024). Today's Textiles are Tomorrow's Future. <https://sustainable.unc.edu/2024/12/todays-textiles-are-tomorrows-future/>

8 UN launches drive to highlight environmental cost of staying fashionable. <https://news.un.org/en/story/2019/03/1035161>

9 Li, Z., Zhou, Y., Zhao, M., Guan, D., & Yang, Z. (2024). The carbon footprint of fast fashion consumption and mitigation strategies—a case study of jeans. *Science of The Total Environment*, 924, 171508.

10 Data point: the case for circular and regenerative fashion. <https://impact.economist.com/sustainability/circular-economies/data-point-3-the-case-for-circular-and-regenerative-fashion>

表1.1.具有具體減碳目標的企業示例¹¹

企業	範疇1和2減排目標	範疇3減排目標
美國鷹牌服飾(美國)	2030年前減少80%(以2018年為基準年)	2030年前從採購商品和服務及資本貨物減少40%，2040年前減少60%(以2018年為基準年)
博柏利有限公司(美國)	2023年前減少95%(以2017為基準年)	2030年前減少46.2%，2040年前減少90%(以2019為基準年)
H&M集團(歐盟)	2030年前減少56%，2040年前減少90%(2019為基準年)	2030年前減少56%，2040年前減少90%(以2019為基準年)
蘭精公司(歐盟)	2030年前減少42%，2050年前減少90%(以2021年為基準年)	2030年前從採購商品和服務、燃料和能源相關活動及上游運輸和分銷減少25%，2050年前減少90%(以2021年為基準年)
普利馬克有限公司(歐盟)	2030年前減少50%(以2019年為基準年)	2030年前從採購商品和服務減少50%(以2019年為基準年)
聯業製衣有限公司(香港)	2030年前減少50.4%，2050年前減少90%(以2018年為基準年)	2030年前從採購商品和服務減少30%，2050年前從採購商品和服務、員工通勤及下游運輸減少90%(以2018年為基準年)

此外，企業發現採用可持續實踐往往能顯著節約資源，從而降低整體成本。通過實施節能技術和流程，例如使用可再生能源驅動的先進針織機械以及熱回收系統，針織品製造商能夠大幅減少能源消耗，進而降低運營成本並減少碳排放。例如，根據行業案例研究，轉向太陽能發電生產單元或優化工廠供暖系統可以使企業的能源支出最多減少約30%¹²。此外，回收材料和能源有助於保護自然資源並減少浪費，推動創新及低碳纖維的發展。例如，一家領先的歐洲針織企業正在探索閉環系統，該系統可回收染色過程中使用的水和化學品。通過這一系統，每年可減少1,200萬升的淡水消耗，並大幅控制有毒廢水的排放¹³。這些資源節約舉措不僅助力實現碳中和目標，還提升了針織品生產的整體效率與韌性。因此，資源節約已不再是可選項，而是一項戰略必需。通過降低成本、緩解供應鏈風險並滿足不斷演變的市場標準，優先考慮資源效率的針織品製造商不僅吸引了具有環保意識的消費者，還在快速變化的市場格局中獲得了決定性的競爭優勢。在紡織行業的整個市場中，可持續性正成為關鍵的差異化因素。

11 From Dashboard of Science-based Target Website, <https://sciencebasedtargets.org/companies-taking-action>

12 Zhu, D., Bao, Y., Ding, X., & Wu, X. (2024). Unveil the carbon footprint of textiles dyed with different reactive dyestuff recipes from an industrial manufacturing perspective. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1-23.

13 Ribul, M., Lanot, A., Pisapia, C. T., Purnell, P., McQueen-Mason, S. J., & Baurley, S. (2021). Mechanical, chemical, biological: Moving towards closed-loop bio-based recycling in a circular economy of sustainable textiles. *Journal of Cleaner Production*, 326, 129325.

1.1.2. 環境法規的收緊

當前，包括中國、美國和歐盟在內的主要經濟體正在實施或考慮更嚴格的环境法規，以應對氣候變化並減少碳排放。

自中國確立「雙碳」目標以來，中國政府充分利用其能源與資源優勢，透過明確的目標設定、合理的分工、強有力的實施措施和有效的協調，推動相關工作。隨後推出了一系列相互關聯的法規，旨在引導針織等行業邁向可持續發展與碳中和，包括推廣新的標準化碳核算體系，以及為行業制定的碳中和實施路徑與計劃。這些法規旨在統一碳排放測量方法，訂立更嚴格的減排目標，並使中國的國家標準與國際基準接軌。針對紡織行業，中國國家紡織服裝理事會發布了多項標準，規範針織行業各方面的技術要求。這些標準為打造碳中和工廠、評估紡織產品全生命週期的碳足跡，以及規範產品標籤上的碳排放披露提供了詳細指引。透過結合國家政策與行業指南，建立了一個統一的框架，不僅要求合規，還鼓勵行業內的最佳實踐與創新。

除了中國的法規外，歐盟亦推出了重要政策，旨在減少碳排放並促進可持續發展。碳邊境調節機制(CBAM)是最具關鍵性和重要性的法規之一，其對碳中和的目標既嚴格又具雄心。伴隨標準化披露和避免漂綠的相關法規，企業需通過全面的生命週期評估充分披露產品碳足跡，這需要投入大量時間與資源。雖然紡織品和針織品目前未列入CBAM六大碳密集型行業，但該機制為碳核算的規範性與簡潔性、邊界劃定，以及高碳強度生產過程的減碳方案提供了啟示。自2022年起，歐盟還制定了一份建議性戰略文件《歐盟可持續和循環紡織品戰略》，規範紡織行業的碳排放控制，目標是推動針織企業重新設計產品與供應鏈，以提升企業社會責任形象。

在美國，最新的立法舉措亦日益關注紡織行業的環境與社會影響。美國參議院提出了類似CBAM的《清潔競爭法案》(CCA)，旨在透過碳邊境調節激勵清潔能源使用並懲罰高排放行業。若該法案通過，自2024年起生效的碳關稅將影響美國製造的產品及進口商，初期針對能源密集型行業。具體針對紡織行業，雖然紡織品並非首波受CCA影響的產業，但隨著產業供應鏈的延伸，紡織產業亦將受到影響。政府與商業機構正積極參與立法努力，推動行業更高的問責制與道德標準，並要求更全面披露範圍1、2和3的碳排放。

香港亦設定了具雄心的減碳目標：香港股票交易所(HKEX)引入了新的氣候相關披露要求，將範圍3排放披露納入了新的標準。這個全新的披露標準目前在具體實施上保留了一些靈活性。

香港股票交易所新增的氣候披露要求中，將範圍3排放的「採購商品和服務」類別納入，預料會對針織行業界造成重大影響。企業可能需要計算並披露產品碳足跡，這無疑要求供應鏈提高透明度，並加強數據收集的力度。此舉或會推動低碳材料與流程的創新，為企業帶來競爭優勢。對於供應鏈較為複雜的企業來說，收集相關數據可能會帶來挑戰，同時或會增加額外成本。

1.2. 對針織行業的影響

隨著中國、歐盟和美國等主要市場加大力度減少碳排放，針織品生產商和出口商正面臨多方面的影響。

1.2.1. 成本負擔增加

最直接的成本負擔增加來自潛在的碳稅和定價法規(如CBAM)的引入，這將顯著提高出口至環境法規嚴格的發達地區的針織產品成本。例如，假設碳稅稅率為每噸25美元，紡織品及紡織產品的總成本可能增加約1.8%²⁷。更嚴格的環境法規將帶來更高的披露和審計要求，這可能因對專業人員的需求以及更高合規透明度而進一步加重財務負擔。此外，成本增加還源於對節能技術和合規措施的大量資本投入。特別是在能源部門脫碳方面，據估計其可貢獻總排放減量的41%²⁸，其中30%可通過太陽能生產單元等創新實現²⁹。然而，這類清潔能源相關投資規模龐大，尤其對發展中國家的小型企業可能構成限制³⁰。

1.2.2. 迫使供應鏈重組

環境法規和碳稅可能迫使針織品出口商重新調整供應鏈，從碳足跡較低的地區採購材料和部件。這一重組過程涉及尋找優先可持續發展的新供應商，建立新的採購關係，談判合同並確保品質標準。例如，法國一些紡織公司正採用整合碳排放的供應鏈規劃和管理模式，通過縮短供應鏈和減少運輸排放來優化結構。在IPCC的某些情景下，這一新模式可能將排放量削減高達36%³¹。然而，這種重組可能擾亂既有的供應網絡，增加物流複雜性，並要求新的供應商審查流程，對全球營運的公司構成挑戰。

27 How key industries would fare under a carbon tax, Ernst & Young LLP, https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_us/topics/tax/ey-how-key-industries-would-fare-under-a-carbon-tax.pdf

28 Low-carbon roadmap for the Finnish textile and fashion industry, <https://www.climate2035.fi/roadmaps/textile-industry/>

29 Emissions reduction through innovation in the textile industry, <https://climategrandchallenges.mit.edu/research/emissions-reduction-through-innovation-in-the-textile-industry/>

30 Ali Hasanbeigi (2010). Energy-Efficiency Improvement Opportunities for the Textile Industry, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, https://www.energystar.gov/sites/default/files/buildings/tools/EE_Guidebook_for_Textile_industry.pdf

31 Mezzatio, E. P., Aghelinejad, M., Amodeo, L., & Ferreira, I. (2022). Design a sustainable supply chain for the textile and clothing industry with consideration of carbon emissions. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1687-1692.

1.2.3. 創新與新技術採用

更嚴格的环境標準和買家期望推動針織行業創新，促使企業採用低碳技術和可持續實踐。創新對於實現碳中和至關重要，行業需要在材料科學、能源效率和廢物管理方面取得突破。例如，時尚行業中的多家公司已承諾開發低碳纖維，如再生聚酯和有機農業棉花³²。此外，一些歐洲企業正採用閉環系統，通過水回收和廢水管理減少有毒廢水排放³³。這些向創新的戰略轉變也為基於環境管理的合作和市場差異化創造了新機遇。然而，創新的步伐緩慢，有預測顯示，若不採取積極行動，到2050年時尚行業可能佔全球碳預算的25%³⁴。因此，加大研發投入和協作對於推動這些變革、滿足法規和市場需求至關重要。

1.3. 針織行業實現碳中和的路徑

針織行業日益受到法規要求、消費者對可持續產品的需求以及在全球市場中保持競爭力的戰略需要推動，朝著碳中和方向發展。然而，這一轉型並非一蹴而就，而是需要逐步推進的過程，最終才能實現零碳排放。對於香港針織行業而言，探索這一路徑不僅有助於市場定位和法規遵從，還能提升長期的可持續發展能力。

1.3.1. 產品碳足跡的精準測量

產品碳足跡的精準測量是有效碳管理和碳中和策略的基礎。這種認識能夠幫助紡織企業識別排放熱點，制定並實施減排措施，並追蹤其脫碳進展。現有的評估工具往往缺乏針對針織行業所需的具體性，例如化學品消耗和生產流程細分的分析。它們通常將針織、染色和整理等整體過程混合計算，缺乏針對特定產品或公司的深入分析。2020年的一項評估顯示，全球前200大時尚品牌中，只有55%報告了年度碳足跡，而僅19.5%披露了供應鏈排放³⁵。這一差距凸顯了為香港紡織行業開發行業特定評估工具的迫切需求，該工具需便於碳足跡測量和碳稅估算。此類工具將提升碳排放熱點的識別能力，並有助於評估減碳機會，以符合新興法規的要求。

32 Identifying Low Carbon Sources of Cotton and Polyester Fibers, FASHION INDUSTRY CHARTER FOR CLIMATE ACTION, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UCC_Cotton_Pet_report.pdf

33 Saving water through a closed-loop system for garment finishing, https://environment.ec.europa.eu/news/saving-water-through-closed-loop-system-garment-finishing-2024-08-29_en#:~:text=The%20EU-funded%20LIFE%20ANHIDRA%20project%20aims%20to%20reduce,98%25%2C%20thus%20saving%20resources%20and%20protecting%20the%20environment.

34 Leal Filho, W., Perry, P., Heim, H., Dinis, M. A. P., Moda, H., Ebhuoma, E., & Paço, A. (2022). An overview of the contribution of the textiles sector to climate change. *Frontiers in environmental science*, 10, 973102.

35 Zhang, J., Qian, X., & Feng, J. (2020). Review of carbon footprint assessment in textile industry. *Ecofeminism and Climate Change*, 1(1), 51-56.

1.3.2. 減少碳排放的適當策略

根據Quantis在2018年的研究³⁶，紡織行業排放的最大來源為染色與整理過程(36%)和紗線準備(28%)，其次是纖維生產(15%)、織物準備(12%)以及組裝(7%)。分銷和生命週期末的處置在整個生命週期中的佔比則微乎其微。有了精準測量的碳足跡數據，針織企業可針對不同生產過程選擇適當策略，以減少碳排放。針織企業可採用節能技術優化染色與整理過程，並選用低碳紗線作為原材料，顯著降低溫室氣體排放。

- 提升能源效率：採用LED照明、熱回收系統和高效率機械等技術，可顯著減少針織品生產的碳足跡。
- 轉向可再生能源：將工廠和車間的能源轉換為太陽能、風能或水電等可再生能源，可大幅降低排放。
- 使用可持續材料：探索使用有機棉、再循環纖維或生物基替代品等可持續且低碳材料，能減少針織產品的整體碳足跡。
- 優化生產流程：實施精益製造和廢物最小化原則，特別是在染色與整理過程中，可減少碳排放和資源使用。
- 購買碳補償：雖然不是長期解決方案，但通過投資植樹造林項目或購買可再生能源信用證等方式進行碳補償，有助於中和剩餘排放。
- 協作與知識共享：推動行業內合作，例如參與「聯合國環境署紡織倡議」³⁷，可促進最佳實踐的分享，加速低碳技術與流程的採用。
- 尋求政策支持：與政策制定者互動，爭取財政誘因和技術援助，能支持企業向碳中和轉型，特別是對小型出口商而言。

實現碳中和有助於香港針織企業鞏固其作為全球時尚品牌供應商的地位，因為買家日益重視可持續性。通過精準測量碳足跡並積極遵守CBAM和ISO 14067等全球法規或標準，香港針織品供應商能夠滿足未來客戶需求，並為行業脫碳作出貢獻。這些策略性方法還能增強企業抵禦未來碳稅的能力，確保在可持續性方面的長期競爭優勢。

36 Taking climate action Measuring carbon emissions in the garment sector in Asia <https://webapps.ilo.org/static/english/intserv/working-papers/wp053/index.html#ID0EFHAC>

37 The UNEP Textile Initiative, <https://www.unep.org/topics/circularity-sectors/unep-textile-initiative>

第二章節 案例研究視角下的針織行業概覽



是次實地考察的目的是觀察和記錄選定針織廠的生產流程、能源消耗和碳排放活動。這次考察是開發行業專用碳足跡評估工具的大型研究項目的一部分。



案例研究的關鍵組成部分是活動數據收集。這涉及監測能源使用情況（如電力和燃料）、追蹤材料投入和產出，以及應用特定於每種材料或能源的排放因子。作為數據收集的試點，我們設計了一份調查問卷（請參閱附錄 A，可從以下網站下載：<https://www.hkwoollen.org.hk/tc/carbon-footprint-assessment>）並發送至實地考察的工廠。這份數據收集調查問卷是基於 ISO 14067 和碳邊境調整機制的披露要求而制定，包括生產過程和廢物處理過程中的所有能源消耗和材料使用情況。

2.1. 針織品製造廠的選擇標準

針織廠的選擇基於多項準則，包括確保具代表性、致力於更站清潔和低碳生產，以及生產流程、地點和營運規模的多樣性。這些工廠從小型、中型和大型營運規模中選出，以提供針織行業的全面概覽。此外，選定的工廠代表了從纖維生產、紗線生產、面料生產、染色和整理，到成衣組裝等各個製造階段。通過涵蓋從原材料到成品的整個生產範圍，我們的方法能夠掌握該行業的複雜性和創新。

地理位置是選擇過程中的關鍵因素。為確保研究能反映行業最活躍地區的實踐和趨勢，研究優先選擇位於珠江三角洲及長江三角洲的工廠。這兩個地區是中國針織行業的主要樞紐，聚集了大量紡織及服裝製造商。此外，所有被選定的工廠必須為香港公司旗下的子公司，而這兩個地區亦擁有高密度的香港針織企業。

這些工廠必須展示減少能源消耗和升級生產技術的策略，以盡量減少碳足跡。這些策略將透過指南和研討會與其他企業分享，以促進整個行業的可持續發展。最重要的是，被選中的工廠必須願意在案例研究期間合作，並披露所有必要的資料。這種合作和數據透明度能夠促進對最佳實踐和挑戰的詳細分析，有助於為業界制定可行的建議。

2.2. 實地考察總結

在2024年10月至11月期間，我們對中國內地的六間針織廠進行了實地考察。這些工廠的選擇具有策略性，能代表不同的營運規模、製造工序和地理位置，從而全面反映針織品生產各階段的環境影響。這些工廠的背景和特徵詳列於表2.1。

我們考察的工廠反映了針織業的複雜性和多樣性，當中涉及多個相互關聯的工序，將原材料轉化為成衣。這些工序包括不同原材料的紡紗、染色、針織和成衣組裝。每個階段對行業的環境足跡都有獨特的貢獻，而且因能源來源、原材料投入和技術採用的不同而存在顯著差異。此外，我們還記錄了這些選定針織製造企業為應對環境問題而採取的環保方案，概述於表2.2。

表2.1. 選定針織廠的背景和特徵

編號	工廠類型	地點	營運規模		產品	製造工序
			總面積 (m ²)	年產量		
1.	紗廠	江蘇，江陰	283,200	2,400噸	1. 精紡產品 2. 半精紡產品	1. 鬆散羊毛染色 2. 半精紡 3. 粗紡
2.	紗廠	浙江，寧波	55,400	13,000噸	1. 高端紗線和面料； 2. 純羊絨和羊毛紗線及面料	1. 染色 2. 毛紡、精紡和半精紡 3. 面料生產
3.	紗廠	浙江，桐鄉	60,000	9,900噸		1. 帶染色的花式紗線生產
	染廠	浙江，湖州	200,000	14,900噸		
4.	紗廠	廣東，肇慶	404,600	7,200噸	1. 尼龍紗	1. 聚酯和尼龍紗生產
5.	織廠	廣東，東莞	20,000	8,000,000 to 10,000,000件	1. 服裝	1. 編織 2. 洗滌 3. 後整理
6.	製衣廠	廣東，惠州	26,395	11,330,000件	1. 服裝	1. 裁剪及縫製

表2.2. 針織行業內的環保方案

範疇	環保方案	圖片
環保政策	<ol style="list-style-type: none"> 1. ISO 14000 2. 燈塔工廠計劃 3. 國家綠色工廠計劃 4. 低碳製造宣傳冊或標語 	圖2.1
節能或低碳設備	<ol style="list-style-type: none"> 1. 配備中央控制系統和變頻驅動的設備 2. 電鍋爐 3. 蒸汽回收 4. 充足的自然通風以減少對空調系統的依賴 	圖2.2、2.3及2.4
綠色能源	<ol style="list-style-type: none"> 1. 光伏系統 2. 熱能回收系統 	圖2.5及2.6
先進技術	<ol style="list-style-type: none"> 1. 人工智能驅動的設計系統 2. 電腦化針織機 3. 能源使用監測系統 	圖2.7、2.8及2.9
回收和升級再造計劃	<ol style="list-style-type: none"> 1. 明確的廢物回收程序 2. 內部廢水處理 	圖2.10及2.11



圖2.2. 配備中央控制器和變速驅動的中央壓縮空氣網絡，以提高運作效率及節省能源

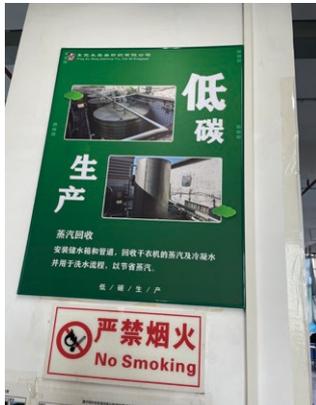


圖2.1 低碳製造宣傳冊或標語

圖2.3. 配備中央控制系統的電力蒸汽鍋爐



圖2.4. 回收的蒸汽用於熨燙工序



圖2.5. 某針織廠屋頂上的光伏系統



圖2.6. 用於收集染色過程剩餘熱能的熱能回收系統

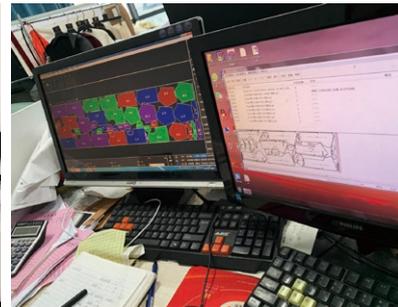


圖2.7. 用於減少廢料的人工智能驅動設計系統



圖2.8. 電腦化針織機

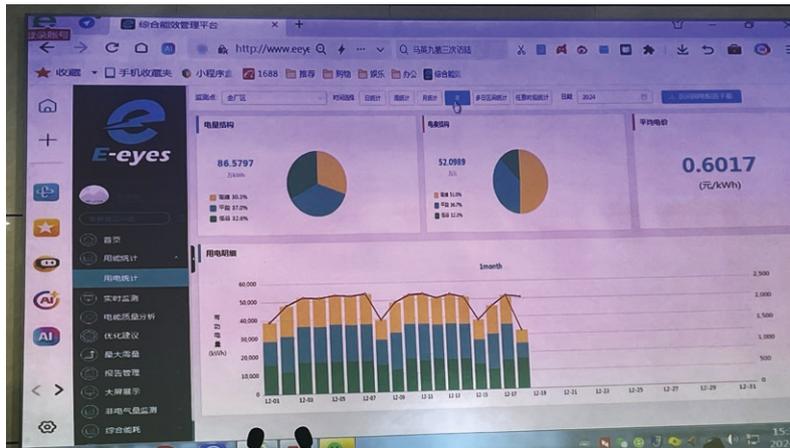


圖2.9. 實時能源使用監測系統



圖2.10. 收集次品及廢料進行回收



圖2.11. 工廠內進行廢水預處理及處理，然後才排放至工業廢水處理廠

2.2.1. 紡紗工藝

棉紡

棉紡過程包含多個階段，旨在生產細緻均勻的紗線。過程始於開棉和混棉，原棉纖維在此階段被鬆開、清潔和混合，以穩定紗線品質。接著是梳棉，將纖維梳理成連續的條狀物，同時去除雜質。隨後的工序如並條和粗紡，通過改善纖維排列和加入捻度以增強強度，進一步精煉纖維。最後一步是細紡，生產環錠紡紗，並將其捲繞在筒管上以供進一步加工。



圖2.12. 棉紡工藝流程示意圖

毛紡、精紡及半精紡紡紗

羊毛根據所需的紗線特性，會經過三種不同的紡紗工序：毛紡紗用於製造蓬鬆保暖的紗線；精紡紗用於製造光滑、高強度的紗線；以及半精紡紗，這是結合毛紡和精紡系統元素的混合技術。

毛紡是一種紡織製造工藝，能生產蓬鬆、保暖的紗線，非常適合製作保暖針織服裝。這個過程始於梳理，即將纖維解開並形成一個纖維排列較少的網狀物。然後，這個纖維網會被壓縮成窄條狀的粗紗條。在最後的紡紗階段，粗紗條經過最小程度的牽伸，並通過環錠紡紗機或自動紡紗機扭轉成紗線。與精紡相比，毛紡使用較短的纖維，排列更為隨機，紡紗過程中的牽伸更少，且生產出的紗線更為蓬鬆柔軟，能夠鎖住更多空氣。雖然毛紡紗線的耐用性通常不及精紡紗線，但它們提供更佳的保暖效果，使其特別適合製作傳統的禦寒紡織品，如粗花呢和保暖針織衣物。

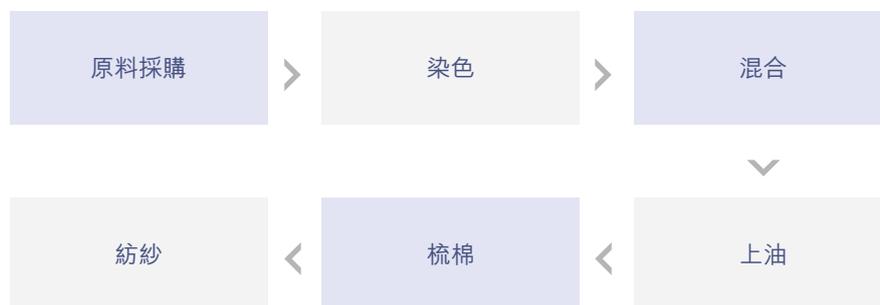


圖2.13. 毛紡工藝流程示意圖

精紡紗專為長纖維而設計，能夠生產光滑、耐用的紗線。這個過程包括洗滌、梳理和精梳，以確保纖維排列整齊並去除短纖維。在進行打硫(減少纖維纏結)後，紗條被拉長並扭轉成細紗。最後的步驟包括併線(將單股紗線組合)和扭轉以增加強度。

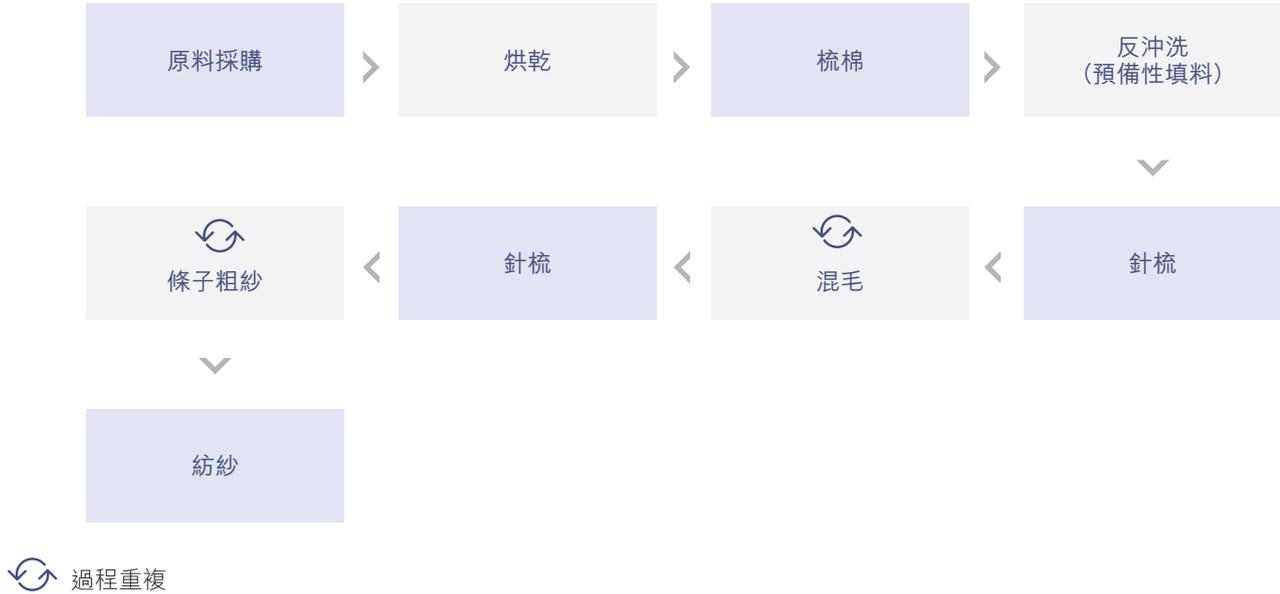


圖2.14. 精紡紡紗工藝流程示意圖

半精紡紗結合了毛紡和精紡的技術元素，具有較短的生產周期和較低的成本，但紗線品質略有下降。這個工序省略了精紡中的部分精梳步驟，因此所生產的紗線保留更多質感，但相對不如精紡紗線光滑。

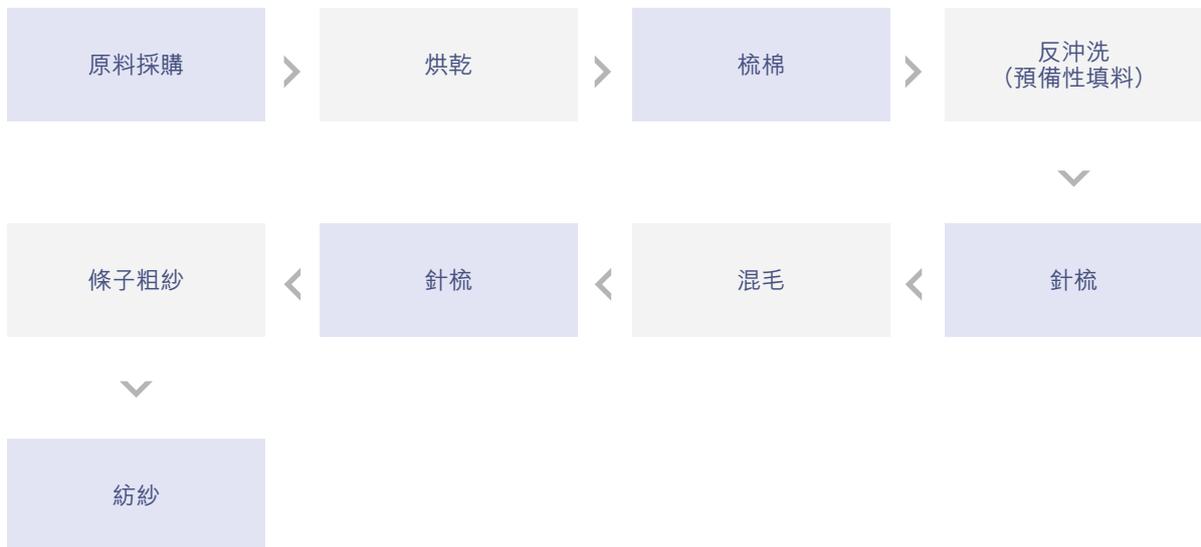


圖2.15. 半精紡紡紗工藝流程示意圖

熔融紡絲

合成材料，如尼龍和聚酯，是通過熔融紡絲法處理的。它們被擠壓通過紡絲頭形成長絲，然後通過快速冷卻而固化。隨後的拉伸過程增強了纖維的抗拉性能。這種連續工藝能夠高速生產均勻的合成紗線，用於工業用紡織品。

2.2.2. 染色過程

染色是一個關鍵階段，它不僅為紗線或布料賦予顏色，還能提升其品質。這個過程始於準備工序，材料會先經過清洗或漂白以去除雜質。在染色階段，材料會在受控的溫度和酸鹼度條件下浸泡在染料溶液中。根據材料類型的不同，會採用批量或連續染色方法。染色後的處理，如添加柔軟劑或防起毛整理，可以改善布料的質感和耐用性。由於染色過程耗水量大且能源消耗高，它是針織品生產中最耗費資源的工序之一。

2.2.3. 編織工藝

針織涉及交織紗線以創造服裝的織物結構。觀察到兩種主要方法：

- 機器針織：圓機或平板針織機用於織物的高效批量生產。
- 手工編織：用於奢侈品中的複雜圖案。

針織後工藝(如洗滌)可去除生產中的殘留物，為裁剪或成型階段準備織物。

2.2.4. 服裝組裝

服裝組裝通過幾個步驟將針織面料轉化為成品：

- 切割：根據設計圖案將織物切割成精確的形狀。
- 縫紉：使用工業縫紉機將元件縫合在一起。
- 整理：包括洗滌、熨燙、添加裝飾(例如鈕扣)、品質檢查和包裝。

這個階段是勞動密集型的，但與染色或紡紗等早期工藝相比，能耗較低。

2.3. 現場調查的發現總結

理解針織產品的碳足跡對於使行業與全球可持續發展目標保持一致，以及為可能出現的監管框架(如碳邊境調整機制)做準備至關重要。為達此目的，全面收集六間製造廠的數據是不可或缺的。這種方法能確保準確反映不同生產流程、供應鏈層級和材料使用所產生的排放。

針織業涵蓋了廣泛的生產工序，包括紗線紡織、染色、針織和後整理(如表2.3所示)。每間製造廠可能採用不同的技術、能源來源和原材料，導致排放情況有顯著差異。通過收集多間工廠的數據，我們能夠掌握整個價值鏈的全面排放情況。這樣不僅能進行標準化比較，還有助於識別需要重點干預的高排放領域。

此外，針織品供應鏈複雜且全球化，涉及來自不同地區的原材料，如棉花、羊毛、合成纖維和染料。來自多間工廠的數據能確保整個供應鏈層級的排放報告透明度和問責性。這也為製造商做好準備，以應對未來可能要求詳細生命週期評估嵌入式排放的法規。

表2.3. 針織業涵蓋的常見生產工序³⁸

生產工序類別	定義	涵蓋的過程示例
紡紗	通過牽伸和併條將纖維轉化為紗線或線	開清棉、梳棉、精梳、粗紗、環錠紡、轉杯／開端紡、渦流紡、絡筒、捲繞、併紗、牽伸、退繞、纜絲、捻絲、濕紡、熔紡、乾紡、凝膠紡、變形加工等
針織	使用針將紗線環套交織製成布料	圓編或平編(經編)生產單面布、羅紋布、雙面布、法式毛圈布、抓絨布、珠地布、提花針織、襪子針織、服裝針織等
織造	通過經紗和緯紗垂直交織製成布料	生產所有梭織布料，包括平紋、斜紋、緞紋、緞面布、蜂巢布、毛巾布、牛仔布、提花織造等
無紡	通過非織造或非針織方法將纖維或紗線粘合製成紡織材料	機械、熱、化學和溶劑過程(如水刺、熱粘合、紙漿氣流成網、濕法、紡粘、熔噴、針刺、縫編、水力纏結)
服裝製造	通過設計和輔助過程組合不同部件製成成品紡織產品	裁剪—製作—修整(CMT工藝)、服裝製作、最終產品製作、組裝、設計、布料標記、縫製、熨燙、分類、成球、填充等
染色	使用染料為纖維、紗線或布料等紡織材料著色	錐形染色、成衣染色、絞紗染色、針織布染色、原液染色、毛條染色、經紗染色、梭織布染色、濕加工、纖維染色、紗線染色等
印花	使用多種技術將顏色按特定圖案或設計應用於布料	燒花印花、直接印花、拔染印花、防染印花、圓網印花、絲網印花、噴墨印花、數碼印花等
裝飾	為紡織材料或產品添加裝飾元素或特徵	配件製造，如拉鍊、鈕扣、珠子、亮片或刺繡等
洗滌	使用水和洗滌劑清潔紡織材料，去除污垢、污漬、多餘染料或雜質	服裝、布料、牛仔布、紗線、纖維或其他材料的洗滌
包裝	將成品紡織產品放入適當容器或包裝中，以準備運輸或儲存	包裝、貼標籤等

³⁸ Textile Exchange (2021). Materials, Processes, & Products Classification. <https://textileexchange.org/app/uploads/2020/10/ASR-213-V1.1-Materials-Processes-and-Products-Classification.pdf>

第三章節 紡織業碳管理的新工具和新標準



由於紡織行業溫室氣體排放量較大，以及面臨著可持續發展目標的監管壓力，該行業正在逐漸採取更加強有力的碳管理策略。近年來，三個關鍵的管理標準與工具正在定義該行業碳足跡分析和碳減排的全新方法，包括「碳邊境調整機制」(CBAM)、「ISO14067」(溫室氣體－產品碳足跡量化要求及指南)以及供應鏈分類與紡織業數字產品護照(DPP)。本章節將探討這三個全新的管理標準與工具，簡要介紹它們的定義、當前應用以及對紡織行業的潛在未來影響。



3.1. 歐盟碳邊境調整機制及其對紡織行業的影響

「碳邊境調節機制」(CBAM)是歐盟針對碳洩漏風險推出的一項政策工具。碳洩漏指的是企業將生產轉移至排放法規較寬鬆的地區。該機制對某些進口商品徵收與歐盟「排放交易體系」(EU-ETS)相當的碳稅，旨在鼓勵全球合作夥伴採取碳中和策略。

CBAM於2023年10月開始實施，直並至2025年12月均為CBAM的過渡期。在此期間，進口商需每季報告目標產品的嵌入式溫室氣體排放。具體而言，嵌入式排放指的是生產過程中釋放的溫室氣體排放，包括直接排放，以及上游原材料和電力生產等的間接排放(見表3.1)³⁹。在實施的初期，CBAM僅涵蓋六個碳密集型行業，包括水泥、鋼鐵、鋁、化肥、電力和氫氣，這些行業合計約佔EU-ETS排放量的50%⁴⁰(PwC, 2023)。CBAM碳排放報告的範圍目前正在持續擴大。例如近期CBAM對間接排放的披露提出了更嚴格的要求，並且限制複雜商品使用默認排放因子進行簡化核算。自2026年起，「CBAM」將進入正式階段，屆時涉及相關產品出口歐盟的企業將需要全面履行CBAM所規定的財務義務。在此階段，所有進口商必須購買「CBAM證書」，以完全覆蓋其進口「CBAM商品」的溫室氣體排放量。

表3.1. CBAM定義的直接與間接排放

項目	定義	細節
直接排放	生產過程中排放的溫室氣體	來自熱量流、物料流、廢氣以及最終產品生產所用前體物的排放
間接排放	使用能源但在生產設施外產生的溫室氣體	生產過程中消耗的購入的電或蒸汽，以及供暖和製冷的排放

由於目前CBAM尚未涵蓋紡織行業，因此CBAM僅能通過影響部分原材料和設備的生產從而間接影響紡織行業。儘管如此，紡織行業的碳足跡仍然不容忽視。據研究估計，該行業佔全球溫室氣體總排放的約10%⁴¹。此外，針織行業高度依賴包括電力、鋼鐵、鋁與能源等目前被CBAM涵蓋的高排放行業，這也表明紡織行業未來有較大可能要求進行CBAM強制性報告。最近，一些分析人士認為，CBAM可能在2030年之前擴展至更多EU-ETS涵蓋的領域，紡織行業也或將被包括在內⁴²。近年來，部分CBAM法規之外的其他行業也逐漸將產品碳足跡披露列為強制要求。例如，2023年8月通過的「歐盟電池法規」要求在歐盟內銷售或使用的部分電池產品主動申報碳足跡⁴³。倘若未來紡織行業被納入CBAM的管理範疇，歐盟進口商將需要根據核算的產品嵌入式排放量以及EU-ETS實時的碳價(2024年約每噸二氧化碳當量60-80歐元)購買CBAM證書⁴⁴。對中國棉紡織品廠商而言，這可能將導致生產成本增加0.9%至13%⁴⁵。

3.2. ISO14067：紡織行業碳足跡分析的標準化

ISO14067(溫室氣體—產品碳足跡量化要求及指南)是由國際標準化組織(ISO)於2018年制定的國際標準，旨在通過生命週期評估(LCA)為產品碳足跡的量化提供框架。該標準涵蓋產品生命週期的所有階段，包括原材料提取、製造、運輸、使用和處置，並以二氧化碳當量(CO₂e)表示排放量。以早期的環境管理標準為基礎，ISO14067旨在建立一致的方法論，用於評估產品「從搖籃到墳墓」的全生命週期溫室氣體排放。

39 European Commission (2023). *Carbon Border Adjustment Mechanism Regulation (EU) 2023/956*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/956/oj>

40 PwC (2024). *Navigating the EU CBAM in Global Trade supply chains*. <https://www.pwc.be/en/services/tax-and-legal/CBAM.html>

41 UNEP (2022). *Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain: A Global Roadmap*. <https://www.oneplanetnetwork.org/knowledge-centre/resources/sustainability-and-circularity-textile-value-chain-global-roadmap>

42 Tunley Environmental (2025). *What CBAM Means for Global Trade*. <https://www.tunley-environmental.com/en/insights/what-cbam-means-for-global-trade#:~:text=CBAM%20will%20affect%20more%20than%2050%25%20of%20emissions,allowances%20under%20EU%20ETS%20from%202026%20to%202034.>

43 Adriana Merino (2023). *EU Battery Regulation and Carbon Footprint Requirements*. <https://www.minviro.com/resources/blogs/eu-battery-regulation-carbon-footprint-requirements>

44 Statista (2025). *Daily European Union Emission Trading System (EU-ETS) carbon pricing from 2023 to 2025*. <https://www.statista.com/statistics/1322214/carbon-prices-european-union-emission-trading-scheme/>

45 GreenStitch (2024). *CBAM Transition: Opportunities and Challenges for the Textiles Sector*. <https://greenstitch.io/blogs/CBAM-Transition-Opportunities-and-Challenges-for-the-Textiles-Sector>

在LCA框架下，ISO14067考慮了從原材料提取、製造到產品分銷、使用和處置的所有階段的溫室氣體排放⁴⁶。因此，相較於CBAM框架下的碳審計，其系統邊界更廣。除了LCA分析外，ISO14067還強調氣候變化影響評估，並提供驗證指南，以提升可信度和透明度。該標準在產品層面的碳足跡分析中應用最廣，幫助組織從LCA視角識別減排機會，提升可持續性，以應對全球日益嚴格的法規。

ISO14067在紡織行業中也已經被廣泛應用。例如，Quantis利用該標準揭示紡織行業不同過程的碳足跡強度，指出紗線準備以及染色與整理過程對服裝全生命週期的排放貢獻最大⁴⁷。麥肯錫的一項針對紡織行業的研究指出，避免過量生產並增加使用次數能從生命週期角度有效控制該行業的產品碳足跡。若在2030年之前可以減少10%的過量生產，紡織行業的碳排放總量可減少約1.58億噸⁴⁸。除了諮詢公司和非政府組織外，ISO14067已經被行業內許多企業廣泛接受，如H&M、Patagonia和Adidas等品牌已將符合ISO14067框架的LCA納入其可持續性報告。

3.3. 數字產品護照與供應鏈分類：提升可追溯性與碳核算

數字產品護照(DPP)的建立旨在提升紡織行業的可追溯性和透明度。它是一種與產品供應鏈直接關聯的數字記錄工具，實現從原材料來源到最終產品上市(「從搖籃到大門」)中間各生產環節的詳細記錄。DPP的目標是增強產品透明度和可追溯性，特別是在可持續轉型和碳管理領域。目前歐盟已將DPP定義為提供產品成分、維修和維護歷史信息的工具，並可能在未來進一步擴展至環境影響數據⁴⁹。2024年12月，紡織交易所與服裝聯盟為紡織行業建立了一套供應鏈分類體系，優化DPP數據記錄的標準範式⁵⁰。在這個分類體系中，紡織行業的供應鏈被分為五個級別，以便與產品供應鏈進行系統性對照。表3.2記錄了該分類體系的細節。這一分類體系對於識別各階段的碳排放來源至關重要，有助於進行全面的生命週期評估。

表3.2 紡織行業供應鏈分類的級別劃分

級別	角色	供應鏈包含的生產流程
第零級別	品牌或零售商	最終產品(服裝)營銷
第一級別	服裝製造商	將布料組裝成成衣
第二級別	布料生產商	通過紗線編織或針織供應布料，以及染色等製造過程
第三級別	紗線紡織商	通過洗滌、染色等過程從原材料提供紗線
第四級別	原材料供應商	棉花種植、羊毛採收或合成纖維生產

46 ISO (2018). ISO 14067:2018 – Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification.

47 Quantis (2018). Measuring Fashion: Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries. https://quantis.com/wp-content/uploads/2018/03/measuringfashion_globalimpactstudy_full-report_quantis_cwf_2018a.pdf

48 McKinsey & Company and Global Fashion Agenda (2021). Scaling Circularity. <https://globalfashionagenda.org/resource/scaling-circularity-report/>

49 European Commission (2022). Green Deal: New proposals to make sustainable products the norm and boost Europe's resource independence. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_2013

50 Textile Exchange, and Apparel Alliance (2024). Supply Chain Taxonomy For the textile, apparel, and fashion industry. <https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/supply-chain-taxonomy-for-the-textile-apparel-and-fashion-industry/>

DPP目前聚焦於供應鏈本身，利用區塊鏈技術追蹤產品中原材料的來源。目前，其在紡織行業中應用尚處於早期階段。近期，TextileGenesis和TrusTrace等平台開發了可追蹤紡織產品環境影響和供應鏈碳排放的解決方案，對在行業內推廣DPP起到了關鍵作用。歐盟的「可持續與循環紡織品策略」進一步提出，到2030年將實施紡織行業內對DPP的強制要求⁵¹。然而，由於目前仍然缺少對範疇3排放的強制性要求，而上游供應鏈的溫室氣體排放又是範疇3排放的重要一環，因此僅有少數紡織企業自願追蹤並披露這部分的碳排放⁵²。由此看來，DPP將在未來的碳管理中扮演重要角色。例如，DPP可與CBAM整合，通過提供產品特定的、可追溯且經過驗證的排放數據，以及標準化的生產過程分類，簡化合規披露的流程。

3.4. 結論與工具亮點

CBAM、ISO14067以及數字產品護照與供應鏈分類，共同為紡織行業提供了一個框架，以推進碳管理和應對未來更嚴格的碳排放法規。CBAM具有行業範圍和披露範圍擴展的潛力，這表明香港針織品製造商需做好合規準備，儘管目前紡織行業尚未納入其範疇。ISO14067提供了全球認可的碳足跡分析方法，為未來從多級別供應商獲取可靠數據並投入資源進行生命週期評估(LCA)的合規工作奠定了基礎。數字產品護照雖在紡織行業尚處起步階段，但有望通過提升可追溯性和排放追蹤，革新現有碳管理工具和標準的應用。為遵守這些法規或標準，企業需熟練掌握產品碳足跡的全面披露流程。這涉及生命週期評估，需投入大量時間和資源。此外，這也促使香港針織企業即刻開始準備，熟悉碳審計與披露程序。

為應對未來預期的更嚴格法規需求，我們開發了一款專為紡織行業量身定制的創新碳足跡評估工具。該工具旨在依據ISO14067標準簡化複雜的LCA流程，使企業能夠全面量化和披露產品碳足跡。在ISO14067框架下，我們還將突出CBAM要求報告的強制項目。框架的一個核心目標是實現對嵌入式排放的測量，其涵蓋三個主要組成部分：直接排放、間接排放以及材料中的嵌入式排放。直接排放來自現場活動，例如燃料燃燒用於供暖或機械運作；間接排放則與電力消耗相關，用於針織、染色及後整理等工序。嵌入式排放則計算原材料(如棉花、羊毛或合成纖維)以及生產過程中使用的染料和化學品的碳足跡。這種全面的方法能捕捉製造過程中各階段的排放情況。

另外，通過整合數字產品護照中對供應鏈分類的模式，該工具為製造商提供了一個便於使用的平台，涵蓋從原材料採購(第四級別)到終端產品生產(第一級別)的所有供應鏈級別，實現對溫室氣體排放收集、分析和報告。該碳核算框架還確立了清晰的系統邊界，以界定分析中包含哪些過程。它還能根據原材料流的分析，實現更清晰、更具體的碳足跡記錄。總體而言，這款整合工具不僅幫助企業掌握全面披露流程，還幫助企業提前熟悉CBAM的報告流程，為未來該法規的擴展做好準備，更好助力企業熟悉並遵守更嚴格的碳審計和報告要求。

我們在工具中實現了詳細的碳足跡計算功能以及碳排放分配方法。這不僅能讓製造商識別碳排放最大的產品或生產環節並識別碳減排的機會，還能使其滿足上游產業和具有環保意識的消費者日益增長的環境期望。此外，該工具還作為一個有價值且可驗證的數據庫，記錄排放數據，為碳減排和運營效率提升策略提供依據。通過實時監測和詳細的排放分解，企業可識別其流程和供應鏈中的關鍵排放熱點，從而進行針對性干預。我們對此工具的最終目標是推動香港針織企業建立全面的數據集。有了這款工具和數據集，供應鏈各級別的製造商能夠便捷地共享和利用數據，進行產品碳足跡分析，並在日益注重碳意識的全球市場中保持競爭優勢。

51 European Commission (2022). EU strategy for sustainable and circular textiles. https://environment.ec.europa.eu/strategy/textiles-strategy_en

52 McKinsey (2024). The State of Fashion 2025: Challenges at every turn. <https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/state-of-fashion>

第四章節

碳足跡計算方法與結論



在本報告中，我們根據ISO 14067和CBAM計算了實地考察中不同案例的碳足跡。這些案例進一步根據供應鏈分類中定義的不同級別或整個供應鏈中承擔的角色，被分配到不同場景。這種設計有助於標準化不同案例的生產過程和碳足跡計算，同時提升了整個供應鏈的數據可追溯性以及行業內的可比性。



4.1. 碳足跡計算場景的定義

為依據國際法規標準化紡織製造的碳足跡計算，我們根據企業在供應鏈級別(第一至第四級別)的參與情況，將其分為七個情境。每個情境定義了企業直接營運的級別，如表4.1所示。此類分類明確了生產過程的邊界，包括製造的原材料和最終產品，以及如何獲取不同級別的排放數據。

表4.1. 碳足跡計算六個情境的定義與數據收集要求

情境	參與級別	原材料投入	最終產品產出	數據收集要求*			
				第四級別	第三級別	第二級別	第一級別
1	第四級別	—	纖維**	●	—	—	—
2	第三級別	纖維**	紗線	○	●	—	—
3	第二至三級別	纖維**	布料及紗線	○	●	●	—
4	第二級別	紗線	布料	○	○	●	—
5	第一至二級別	紗線	成衣	○	○	●	●
6	第一級別	布料	成衣	○	○	○	●
7	第一至三級別	纖維**	成衣，布料及紗線	○	●	●	●

備註：

* ●指的是所選企業參與的級別，應直接提供第一手的生產特定數據；○指的是上游級別，需基於上游產業信息和排放因子數據集進行估算。

** 纖維指的是紡織行業的原材料，如農業或畜牧業收穫的棉花、羊毛和亞麻等，或通過化學工程過程合成的尼龍、聚酯和人造絲等。

例如，情境5指的是僅參與第一級別(服裝組裝)的企業。在該情境中，第一級別的排放數據直接從工廠自身獲取，使用與其營運相關的排放因子。對於上游的第二至第四級別，排放數據則由上游供應商提供，或使用排放因子進行估算。具體而言，當最終服裝產品包含多種原材料纖維時，最終產品的質量將按各纖維類型的比例分解，以估算上游級別的碳足跡。

通過這種分類方法，我們實地考察中的七個不同案例可被分配至表4.2中列出的相應情境。

表4.2. 碳足跡計算案例研究的情境歸類

案例編號	最終產品	情境分配
1	紗線	2
2	紗線	2
3.1 (紡紗廠)	紗線	2
3.2 (染廠)	紗線	2
4	紗線	2
5	服裝	5
6	服裝	7

4.2. 案例研究的產品碳足跡評估

4.2.1. 產品碳足跡的計算方法

為計算特定產品的碳足跡，首先需量化生產所選產品第一階段涉及的所有活動和過程的碳排放(方程4.1)。隨後，產品碳足跡(以kgCO₂e/kg或kgCO₂e/件表示)可通過將所有獨立過程的碳排放數據相加，再除以所選產品的總數量或總質量得出(方程4.2)。

$$E_{\rho, i, j} = A_{\rho, i, j} \times EF_{\rho, i, j} \quad (4.1)$$

$$E_{\rho} = \sum_i \sum_j E_{\rho, i, j} \div N_{\rho} \quad (4.2)$$

其中，

- ρ 、 i 和 j 分別表示目標最終產品的序號、過程和活動的序號；
- $A_{\rho, i, j}$ 表示目標最終產品 ρ 在過程 i 中活動 j 的活動強度(例如電力輸入、水耗、化學品或原材料使用量)；
- $EF_{\rho, i, j}$ 表示從數據集獲取或工廠提供的相應活動的排放因子(以每單位活動的kgCO₂e表示)；
- $E_{\rho, i, j}$ 表示相應活動的碳排放(以kgCO₂e表示)；
- N_{ρ} 表示所選情境中生產的目標最終產品的總數量或總質量(以件或kg表示)；
- E_{ρ} 表示目標最終產品的產品碳足跡(以kgCO₂e/件或kgCO₂e/kg表示)。

具體而言，若活動強度 $A_{\rho, i, j}$ 同時影響多個最終產品，則相應活動的碳排放 $E_{\rho, i, j}$ 應根據目標最終產品所佔比例進行分攤。在此情況下，方程4.1將由方程4.3修正如下。為簡化計算，若未特別說明，分攤僅考慮目標最終產品的數量或質量的比例(方程4.4)。

$$E_{\rho, i, j} = S_{\rho} \times A_{\rho, i, j} \times EF_{\rho, i, j} \quad (4.3)$$

$$S_{\rho} \stackrel{def}{=} N_{\rho} \div \sum N \quad (4.4)$$

其中，

- S_{ρ} 表示目標最終產品 ρ 在同一過程 i 的同一活動 j 中所佔的比例；
- $\sum N$ 表示目標最終產品 ρ 在同一過程 i 的同一活動 j 中涉及的所有產品的總數量或總質量。

4.2.2. ISO14067與紡織行業供應鏈分類下案例研究的計算方法

根據表4.2，研究的案例被分類為情境2、情境5和情境7。表4.3總結了這三個情境下活動強度數據的來源和要求，相應的排放因子數據將通過數據集或文獻(請參閱附錄B，可從以下網站下載：<https://www.hkwoollen.org.hk/tc/carbon-footprint-assessment>)收集。基於此模式收集的數據，可使用方程4.1至4.4估算碳排放和產品碳足跡。

表4.3.情境2、5和6的生產活動強度數據來源

生產活動強度數據來源*	生產過程中的能源或資源消耗				
	能源	水	主要原材料	輔助材料	輔助與主要原材料的運輸
情境2	第四級別			○	
	第三級別	●	●		●
	第二級別				
	第一級別				
	其他				
情境5	第四級別			○	
	第三級別			○	
	第二級別			○	
	第一級別	●	●		●
	其他				
情境6	第四級別			○	
	第三級別	●	●		●
	第二級別	●	●		●
	第一級別	●	●		●
	其他				

備註：
* ●指的是所選企業參與的級別，應直接提供第一手的活動強度數據；○指的是上游級別，需從上游產業信息和排放因子數據集獲取活動強度數據。

對於情境5，第二至第四級別的活動強度數據可由上游產業單獨提供，或基於通用排放因子或綜合排放披露進行估算。對於後兩種情況，多級別排放將根據Apparel Impact Institute (2024年)估算的不同級別碳足跡全球平均分配比例進行按比例分解。同樣，對於情境6，若第一至第三級別的活動強度數據無法根據所選企業披露的活動和/或排放數據分離，多級別排放將採用Apparel Impact Institute (2024年)估算的相同分配模式按比例分解。

表4.4. Apparel Impact Institute (2024) 估算的紡織行業供應鏈不同級別碳足跡的佔比

紡織行業供應鏈級別	第四級別	第三級別	第二級別	第一級別
分配的碳足跡百分比 (%)	21	15	55	9

以下是如何根據紡織行業碳足跡的全球平均分配比例對多級別排放進行分配的示例。我們假設情境5中收集的數據顯示，第二至第四級別的總排放為100單位。根據表4.4，第二至第四級別的總碳足跡百分比為(21+15+55)%，即91%。因此，總排放可分為三個獨立級別：

$$\text{第四級別排放量} = 100 \times \frac{21\%}{91\%} = 23.1 \text{單位}$$

$$\text{第四級別排放量} = 100 \times \frac{15\%}{91\%} = 16.5 \text{單位}$$

$$\text{第四級別排放量} = 100 \times \frac{55\%}{91\%} = 60.4 \text{單位}$$

4.2.3. 基於CBAM的案例研究計算方法

在本報告中，我們開發並應用了一種試行的CBAM下紡織品碳足跡計算方法，適用於所有案例，以幫助使用者為即將推出的歐盟紡織品碳法規做好準備。根據CBAM，前驅物是指生產中涉及的材料，包括ISO14067碳足跡計算方法下的所有主要和輔助材料。然而，僅有相關前驅物需根據CBAM的要求納入碳排放計算並受其規範。目前，由於紡織行業未納入CBAM範圍，大多數常用前驅物暫未受其規範，因此均被視為「非相關」。在我們的計算方法中，所有前驅物均假設為「相關」，以適應CBAM未來的範圍擴展，確保使用者為潛在的政策調整做好準備。

CBAM要求將產品排放分為直接排放(來自工廠營運)和間接排放(來自上游生產)兩部分。特別地，由於電網供應的電力來自外部發電站，因此所有因操作耗電設備而產生的電力消耗碳排放均應歸類為間接排放。此外，當前CBAM範圍不包括所有運輸貢獻的碳排放。由於缺乏具體供應商數據來區分前驅物排放中直接和間接部分的具體比例，我們在此採用了一種臨時方法。假設前驅物總排放的50%來自直接來源，另50%來自間接來源。此方法近似符合CBAM的要求，有助於識別碳排放的熱點。

4.3. 基於CBAM的案例研究計算方法

表4.4和表4.5分別展示了基於ISO14067和CBAM的碳足跡分析及分配結果。然而，由於獲取的數據不完整(例如，大多數公司無法提供生產中使用的化學品完整清單等)，這些結果應視為參考值而非精確數值。

使用ISO14067和CBAM計算的碳排放結果之間存在差異，原因在於兩者的範圍不同。ISO14067評估產品的全生命週期，包括包裝、運輸、廢水處理以及天然來源的原材料，而這些內容未納入CBAM的範圍。以下三個示例詳細闡述了ISO14067與CBAM方法計算的碳排放之間的差距：

- **案例1**：廢水處理部分在工廠內進行，在ISO14067下佔總碳排放的76%。由於這部分排放未納入CBAM範圍，ISO14067與CBAM計算的排放結果之間將存在顯著差距。
- **案例3.1和3.2**：案例3.1和3.2使用合成纖維作為原材料。因其非自然採收，相關排放應納入CBAM範圍。因此，儘管第四級別排放較高(約80%)，ISO14067與CBAM計算結果的差距大幅縮小。
- **案例6**：原材料為100%羊絨，第四級別排放未納入CBAM。此外，廢水處理由外部進行，且包裝數據不可得。因此，CBAM的結果與ISO14067方法中第一至第三級別排放總和完全一致。

表4.4. ISO14067方法下的碳足跡估算與供應鏈級別分配

案例編號	情境	總碳排放 (tCO ₂ e)	產品碳足跡 (kgCO ₂ e/kg)	第四級別	基於供應鏈分類的碳排放分配 (%)			運輸
					第三級別	第二級別	第一級別	
1	2	502.9	0.63	0.1	99.9	-	-	0.001
2	2	2,442.1	0.81	3.7	96.3	-	-	0.02
3.1	2	10,129.5	9.56	81.8	17.8	-	-	0.36
3.2	2	11,484.3	6.17	79.4	19.6	-	-	1.0
4	2	1,320.4	15.08	57.3	42.0	-	-	0.7
5	5	54.4	10.74	16.1	11.5	42.2	27.0	3.2
6	6	24,511.9	7.15	59.4	1.2	4.5	0.8	34.1

表4.5. CBAM方法下的碳足跡估算與分配

案例編號	情境	總碳排放 (tCO ₂ e)	產品碳足跡 (kgCO ₂ e/kg)	碳稅 (歐元)*	基於CBAM的碳排放分配 (%)	
					直接排放	間接排放
1	2	120.8	0.15	8,282	0.2	99.8
2	2	2,155.1	0.72	147,708	2.1	97.9
3.1	2	10,088.8	9.52	691,486	41.6	58.4
3.2	2	10,248.0	5.50	702,401	48.3	51.7
4	2	1,219.5	13.93	83,583	33.1	66.9
5	5	51.3	10.14	3,519	45.6	54.4
6	6	1,595.6	0.47	109,363	63.3	36.7

備註：

* 碳稅基於2025年3月27日的歐盟碳許可價格估算，為68.54歐元/噸。碳稅針對選定的一批最終產品的整體進行估算。

版權所有：

香港羊毛化纖針織業廠商會© 2025版權所有。

任何人士未經出版人同意，不得擅自採用任何電子或機械技術以及其他方法翻印或使用本文件內的資料，包括影印、錄音，和將資料置入任何形式的資訊儲存或讀取系統內。

免責聲明：

在此刊物上／活動內(或項目小組成員)表達的任何意見、研究成果、結論或建議，並不代表香港特別行政區政府或工商機構支援基金評審委員會的觀點。

本文件內的資料只作參考資料之用。內容雖然已力求精準，但出版者及項目所涉及的機構均不會對所提供資料的疏忽或因此引起的任何損失負責。

香港羊毛化纖針織業廠商會

地址：荔枝角長沙灣道 888 號 2 樓

電話：(852) 2368 2091

傳真：(852) 2369 1720

電郵：info@hkwoollen.org.hk

網址：<http://www.hkwoollen.org.hk>