



他山之石：揭開中試的神秘面紗

(香港創科發展及再工業化專題討論 2021 之一)

國家發改委副主任林念修在今年9月底的國務院新聞發佈會上表示，北京、上海、粵港澳大灣區是國家部署建設的三個國際科技創新中心，各自擁有不同的比較優勢和發展定位；其中，粵港澳大灣區科創中心著重發揮廣東改革開放前沿以及港澳國際化程度高的優勢，打造成全球最大的中試驗證和成果應用推廣基地。究竟何為中試，香港在大灣區打造中試基地的發展定位下將扮演怎樣的角色，中試對本港的創科發展和「再工業化」又會帶來怎樣的啟示？

「廠商會研究」將以系列文章嘗試揭開中試的神秘面紗，從簡介中試的概念入手，分析香港是否有需要、有條件打造中試平台，並探討發展「港版中試」的策略方向。作為該系列的第一篇，本文主要是進行文獻綜述(Literature Review)，側重於闡述中試概念的定義和內涵、其對推動科研商品化所起的重要作用、以及中試的組織形式在過往不同歷史階段的演變進程，最後亦介紹中國內地特別是與本港鄰近的大灣區城市近年在推動「中試」方面的政策動向。

「中試」的概念及內涵

所謂中試，又稱中間性試驗；一些學者們曾基於不同的研究視角對其內涵進行過界定。例如，從創新鏈(Innovation Chain)的角度看，科技成果轉化一般可分為四個階段，包括技術原理構想、實驗室研究、中試放大、以及產業化發展。中試被認為是科技成果轉化過程中最為關鍵性的一個環節，它是以實驗室小試的研究成果為基礎，以大規模產業化生產為最終目標，既通過對小試成果進行實驗性的放大生產，來驗證和完善小試成果，又為產業化發展做技術、生產和營銷等方面準備的一項風險性實驗活動¹。

有觀點認為，中試在具體操作上涉及原理樣機工業試驗、第一次修改設計、生產樣機試製、生產樣機工業試驗(包含第二次修改設計、第二次樣機試製、第三次樣機試驗等)、設計定型、小批量試產和用戶試驗使用等七個步驟²。有學者在對國內30多家大中型企業和中試基地的調研後進行總結，認為中試是一項由

¹ 劉波，楊芮，李娜 (2014)。「科技成果轉化中試環節：模式、問題及對策[A]」。中國軟科學二零一四增刊[C]。

² 朱文新 (1984)。「認真搞好中間試驗——也談科技成果的推廣應用[J]」。科研管理(03)，56-59。

技術試驗、生產試驗、市場行銷試驗共同構成的技術經濟活動(Technology-based Economic Activity)；在本質上是技術與經濟活動的整合體³。

也有學者認為，中試在功能上可分為試驗(Pilot)和示範(Demonstration)兩部分⁴，是對科研成果轉化過程中的技術指標和經濟指標進行雙重驗證的複雜過程。前者主要是通過對實驗室技術的測試及評估，檢驗和優化科研成果的技術和工藝成熟度，注重測試有關發明在現實環境中的「可加工性」，以減少潛在利益相關方將來可能遇到的技術風險。後者則是在比實驗室更大的平台上開展產品試製，並開始進行技術擴散和商業化，同步測試市場對新產品的接受程度；通過對生產技術、機械裝備、工藝流程、工程控制、產品品質、市場評價等經濟指標的完善與改良，為投入大批量生產進行小規模的預演。

概括各家之言，中試既是實驗室研究的後延，也是大規模生產的初探，乃連接前端科研與後端產業化的紐帶；它提供了一個能為大規模批量生產發揮示範作用的產業雛形，對科技成果推向市場和實現產業化具有至關重要的作用，甚至可被稱為是科研成果產業化的真正起點。

從價值鏈的角度來看，中試正正處於一個承上啟下的位置，是技術成果蛻變為經濟效益的重要「化學反應」過程，是商業價值加速顯現和開始成型的重要階段；科研、生產和市場等經營要素於此共冶一爐，產生交匯、磨合和聚變，促成科技成果轉化為符合市場需求、適合規模生產、並具備可量度之商業價值的真正產品。

「中試」對科研成果轉化的作用

國內外的經驗顯示，實驗室的科研成果要達致商品化、產業化往往會面對重重阻力；所謂「死亡之谷」(Valley of Death)和「達爾文之海」(Darwinian sea)⁵便是用來描述從基礎研究到技術應用以及從產品投入生產邁向大規模產業化過程中常見的兩大瓶頸問題。美國國家標準與技術研究院早期的一份研究報告指，高達九成的科研成果並未能被推向市場，而是埋沒在基礎研究到商品化的轉化過程中。

在某種意義上，中試的價值在於它能夠在促使科研成果實現轉化的同時，兼顧到生產工藝上的可行性、商業上的經濟效益以及資源上的配置，從而大幅提高科技成果轉化的成功率⁶。有數據表明，當科技成果經過中試驗證之後，轉化成功的概率可以從低於三成提升至五成至八成。

³ 夏保華，關士續(1995)。「技術創新的中間試驗研究[J]」。自然辯證法研究(07)，63-68。

⁴ 林筠，吳瑩瑩，喬建麒等(2019)。「以核心企業為主體的中試模式研究[J]」。科學學研究，037(005)，940-949。

⁵ 「死亡之谷」和「達爾文之海」描述的都是科技成果在產業化過程中遭遇的瓶頸問題；前者主要指基礎研究到技術應用之間存在的鴻溝，而後者主要指從產品投入生產到大規模產業化之間的障礙。

⁶ 同上1。

具體而言，中試首先有助於檢驗科技成果是否具備產業化的技術條件。早期實驗室研究階段形成的產品原型或樣品、樣機，通常都存在一定的技術局限性，並不能直接應用於常規化條件下的大規模生產。中試環節可以對大批量生產所要求的相關技術、工藝、生產流程、配套設備以及所需原材料、元件、以及產品質量規格等方面進行檢驗，並將有關新信息反饋到上游的研究環節，經過識別改良空間、反覆試驗和螺旋式的提升，完善後的試驗成果便可「萬事俱備」，付諸批量生產也就水到渠成。

其次，中試有助於檢驗科技成果轉化而成的商品能否被市場所接受。科技成果轉化的最終目標是要實現產業化，將商品投入市場以獲得經濟收益。但在早期實驗室研究階段，只能夠實現對科研投入成本的簡單估算，很難確切地掌握研發成果進入市場後的各項經濟指標，特別是瞭解新產品在市場上的消費者接受程度和盈利前景。對此，中試一方面可以通過放大性的生產試驗，模擬大規模生產的產業化狀態，藉此收集及掌握更多企業「實際運作」的效率指標，比如成本收益率、勞動生產率、資源消耗量、資金利用率、投資風險指數等；另一方面則可通過對目標消費市場及特定用戶群組開展小範圍的行銷試驗，提前瞭解新產品的市場需求、顧客評價及產品競爭力等商業效益方面的重要資訊。

在某種意義上，中試也擔當著科技成果「價值發現」的機制，為進行更精準的商業價值和經濟效益評估與預算提供基礎。在中試階段，產品與市場開展初步接觸和「磨合」，還可透過回饋機制將市場信息向上游的科研環節傳導，為產品的改良和二次開發提供依據，發揮需求導向的作用，從而進一步提升科技市場化的成功率。

此外，中試還有助於廠商提早準備大規模生產可能涉及的各项資源，並籌劃資源的優化配置。中試在驗證生產技術和經濟效益的可行性之餘，可以根據實驗結果為科研成果轉化所需資源及合理配置擬定一套「解決方案」，例如對企業人力資源的培訓與任用、特定設備與元件的籌備與生產、集約化生產流程的優化、生產資料的搭配組合乃至企業組織結構的配套等，進一步從資源配備上保證科技成果可以得到順利轉化。

「中試」組織形式的演變

在歷史上，中試的概念是伴隨著西方工業革命的出現而誕生，其組織形式跟隨產業發展型態的轉變而不斷演進。有學者嘗試將中試的發展劃分為三個不同歷史階段，並總結出各個階段代表性的組織形式特徵⁷。

⁷ 賈玉平，任慧 (2015)。「中國戰略性新興產業中試模式選擇研究」。科技進步與對策，000(004)，30-35。

第一個階段是第一次工業革命時期(約於 1760 年代興起,持續到 1830 至 1840 年代),主要表現為個人主導的經驗型中試。當時適逢人類社會工業化伊始,鋼鐵、煤炭、紡織和機械工程等行業蓬勃興起。中試的主體大多是「實幹型」的工業技師或者發明家,他們主要基於個人的實踐經驗和技藝進行零星、探索性的中試;期間通常亦得到了商界的贊助、支持甚至參與。例如,木匠出身的約翰·懷亞特 (John Waytt) 結合發明家路易斯·保羅 (Lewis Paul) 意念在一家製棉廠設計出第一台「滾筒紡紗機」;近代第一位民用工程師約翰·斯密頓(John Smeaton)使用小型的模型試驗方法,研發出風車和水車的動力裝置模型,隨後進行了改良組成部件的試驗,成功設計和建造了磨房和其他精密機械;詹姆斯·瓦特(James Watt) 與羅巴克、博爾頓等鋼鐵鑄造廠東主的支持下,發明高效率的新型蒸汽機並實現大批量生產。

第二個階段是第二次工業革命時期(約從 1870 年至 1914 年),主要表現為大型企業內部主導的科學型中試。在這一時期,由於科技進步及先進生產技術的出現,部分行業開始採用基於科學知識的中試。中試的主體亦從個人轉變為企業,出現了更加規範的組織形式;並逐步從大型企業的內部生產車間分離出去,成為專業化的工業實驗室。19 世紀末期,歐美國家的大型工業企業紛紛設立「私家」產業實驗室,以滿足自身對技術創新的需求;當時較為著名的中試組織包括德國化工產品生產商巴斯夫(BASF)、拜耳(Bayer)等建立的工業實驗室,通用電氣(GE)亦在當時成立了美國首個大型工業實驗室。

第三個階段是第二次世界大戰後(從 1945 年至今),主要表現為政府、商協會等非盈利組織主導的平台型中試。經過兩次工業革命以後,中試在技術創新中的地位與作用進一步得到科技界與產業界的認同;中試作為技術創新的一個重要環節,被越來越多的行業所採用。二戰之後,歐美國家以及亞洲新興經濟體均強調政府在推動科技創新中所擔當的角色,加上為滿足國內傳統行業特別是中小企對科技的需求,各地推動中試發展的組織形式發生了顯著變化;由政府或商協會等非盈利組織牽頭的平台型中試研發機構應運而生,更成為至今在國際上最受推崇的模式(國際上多家著名中試應用研發平台及其主要特點的歸納可見附表 1)。

例如,成立於 1949 年的德國弗朗霍夫協會是由政府資助的非牟利機構,亦是歐洲著名的大型應用研發及中試機構,為政府和企業客戶特別是中小企業提供技術上成熟、商業上可行的產品和服務,其業務範圍涵蓋廣泛的技術經濟範疇;除了面向樣機製造的產品研發與改良、技術和生產工藝的開發與優化之外,亦涉足新技術的推廣(產品性能測試、企業人員培訓等)、科技市場評估(產品市場調查、產業趨勢分析、經濟環境評價等),以及資金籌集、企業認證等。台灣於 1973 年成立的工業技術研究院是東亞地區享譽盛名的共性技術研發及中試組織,主要定位於推動以產業需求為導向的共性技術研發,協助當地中小企

開展技術研發及引進，設置小型實驗工廠以推動試驗及試製服務，以及為新技術、新產品進行市場分析及經濟評估等服務。

內地發展「中試」的政策動向

自上世紀 80 年代末以來，中國政府日益重視中試對科技創新的作用。國家科技部早於 1989 年出台的《關於科研單位中試產品免徵所得稅問題的若干規定》是官方層面第一份與中試相關的政策文件。在之後約三十年時間裏，中央雖然並未出台中試發展的專項規劃文件，但各部委發佈的相關法律、部門規章和規範性文件中內容涉及中試的合共多達 59 份⁸，具體的措施包括支持中試基地或平台的建設、對中試相關的活動給予稅收優惠和財政經費補貼、支持提供中試孵化和熟化等的配套專業服務等。

同時，中國依託高校和科研院所建立了不同規模的國家級或省市級的中試基地⁹。國家科技部公佈的數據顯示，截止至 2019 年，全國批准建成的中試基地共計 1,650 個，運行中的中試生產線共 1,646 條，主要分佈於新材料、先進製造、信息通信與空間遙感、交通、能源、生物技術與人口健康等 15 個高科技領域。

值得注意的是，全國人大 2015 年修訂的《中華人民共和國促進科技成果轉化法》文件中，明確提到「國家支持根據產業和區域發展需要建設公共研究開發平台，為科技成果轉化提供技術集成、共性技術研究開發、中間試驗和工業性試驗、科技成果系統化和工程化開發、技術推廣與示範等服務」。2016 年國務院於印發的《國家創新驅動發展戰略綱要》和《「十三五」國家科技創新規劃》中均提出，「要發展和培育面向市場的新型研發機構，構建更加高效的科研組織體系」；首次在國家級的層面明確表示要發展面向市場的「新型研發機構」，藉此探索共性技術研發和技術轉移的中試新組織形式。

從各地方的發展情況看，廣東省稱得上是全國最重視中試的省市之一，不僅對打造中試基地加以大力扶持，在新型研發機構的實踐探索上更走在全國的最前端。廣東省政府近年出台了一系列文件，從不同政策範疇鼓勵建設中試基地，包括對中試活動申請用地給予特別支持等。至於作為全國經濟特區及高新技術產業匯集的創新城市，深圳市政府對中試的政策支持力度更是領先全國；例如，對專業性和綜合性中試基地實施資金補助等傾斜性財政優惠措施。2018 年深圳市政府更率先提出設立 100 億元人民幣的「中試創新基金」，致力於推動中試基地及中試生產線的建設，為創新型企業提供投產前的試驗及試產服務，以助力科研成果的轉化應用和產業化。

⁸ 申軼男 (2018)。「我國中試基地發展現狀及政策建議」。科技與創新(8)，11-14。

⁹ 葉淺草，金學慧 (2020)。「我國科技成果轉化中試環節政策現狀，問題及思考」。科技智囊(7)，43-46。

廣東省還是全國最早設立新型研發機構並出台相關政策的省份。深圳市政府和清華大學於1996年共建的深圳清華大學研究院被譽為是以市場化營運新型研發機構的雛形，開啟了探索新型科研機構的先河。2014年9月，東莞市出台《加快新型研發機構發展的扶持辦法》，首次使用「新型研發機構」的名詞，明確定義其本質為「以企業化運作為模式，有效運用國內外科研院所、高等院校的人才和技術，主要從事技術開發、技術轉讓、技術諮詢與服務、檢驗檢測、工業設計、成果轉化、產業孵化及高科技創業投資等經營活動的新型法人組織」。2015年5月，廣東省科技廳等部門頒佈《關於支持新型研發機構發展的試行辦法》，這一標誌性文件正式開啟了全省建設新型研發機構的熱潮，亦為國家後來就新型研發機構創新發展的「頂層設計」積累了寶貴經驗。

從近日國家發改委官員的發言中可見，「中試」已釐定成為粵港澳大灣區共同打造國際科技創新中心的主攻方向。其是，大灣區的內地城市已「春江水暖鴨先知」，在各自編制的「十四五」規劃已紛紛部署了進一步打造及增強中試的服務功能(見附列表2)。

毫無疑問，作為大灣區的重要一員，香港理應配合國家創新科技發展策略的方向和要求，結合自身的條件，加緊探索具香港特色的「港版中試」發展之路，努力在科研成果的商品化和產業化環節上「補短板、創優勢」。這既是香港加快融入國家的創新科技體系的必行之舉，亦是香港引領大灣區的創科發展、在科創領域「以己之長服務國家之所需」的應有之義。

(註：有關香港發展「中試」的必要性、條件及其推進方向將在隨後兩期的專題分析中討論。)

2021年10月

附表1：國際上著名中試研發平台的主要特點

	德國弗朗霍夫協會	台灣工業技術研究院	美國標準與技術研究院	日本產業技術綜合研究所
機構性質	非盈利的獨立社團	非盈利的財團法人	隸屬於美國商務部	主管部門為經濟產業省
服務定位	向產業界提供技術完善和商業成熟的產品和服務	協助中小企研發，針對關鍵性新技術及新產品進行市場及經濟評估，設置小型實驗工廠，推動試驗及試制服務	幫助產業界發展技術和方法，推進技術創新，提升產品品質，實現工藝過程現代化，促進新技術新產品加速產業化。	彌合創新技術實驗室階段和商品量產階段之間的鴻溝，特別注重共性技術的開發及其成果轉化
資金來源	分為「非競爭性資金」和「競爭性資金」兩大類型。前者包括中央和地方政府及歐盟投入的面向工業和社會未來發展的科技事業基金等；後者來自公共部門的招標課題以及與產業界簽訂的研發合同收入等	創辦初期依靠政府提供經費補貼。後期工研院利用向產業界推廣科研成果和提供相關服務、承接公共部門(含政府相關機構)項目的經費與面向產業服務的企業委託專案經費，實現收支平衡且略有節餘	由商務部直接管理，經費的90%左右直接由聯邦政府撥款	政府下撥的行政經費和科研人員參與競爭性科研專案獲得的項目經費。2017年，獲得的政府撥款和補貼比例為58%，其餘收入來自民營企業的委託研究資金(22%)、設備維修金(8%)、合作研究(6%)
評核機制	以應用為導向的評估機制，發表論文僅是一個參考指標；主要考察研究成果在產業界的應用情況，包括研發經費中「競爭性資金」的比重、企業委託研發合同的比例、申請和取得專利的數量、客戶的分佈結構和服務滿意度、以及技術成果轉讓的數量和收益等指標	以產業需求為導向來確定擬研究的技術發展方向符合產業需求。為適應產業情況的不斷變化，工研院以技術為出發點成立研究單位，然後以產業需求決定技術項目，「一個研發單位」對應「一個產業類別」。	採取學術和經濟雙重評估，一方面保持科研在學術和技術創新上的領先性，另一方面更注重市場應用價值。從一開始就對未來的市場前景及經濟價值做出判斷和定位，在培育和產生科技成果的同時，亦創造了新市場和新需求。	委託第三方評價，並設定適當評價指標，包括路線圖評估(社會經濟影響、具體推進計劃、核心技術、國內外標桿)、主要產出評估(階段性進展)和內部管理評估(能否保障路線圖順利實施)等。
技術擴散	通過「合同科研」的合作方式，企業就具體的技術改進、產品開發或者生產管理的需求委託研究所開展有針對性的研究開發工作，並支付費用，獲得「量身訂造」科研應用方案和問題解決方案。	技術轉移(針對個別企業的技術合作與服務，針對多家企業的共性技術研發，以及前瞻性技術創新)；衍生公司(透過分拆公司將新技術快速帶入產業)；孵化創新企業(成立孵化中心和投資公司，培育可以商業化的技術和創業企業)。	研究成果及各項標準成果與社會各界共用，有效實現科研成果的產業化。	制定「專利實用化共同研究制度」，將專利轉化為企業能夠直接使用的技術。另一方面，建立「風險企業開發研究中心」，創建高新科技企業，培養風險企業創建平台，幫助創業者創業成功。

資料來源：《基於共性技術研發的弗朗霍夫模式研究》、《台灣工研院模式及其對建設共性技術研發機構的啟示》、《美國共性技術研發機構的發展經驗與啟示》、互聯網公開資訊、廠商會研究部整理。

附表2：大灣區內地城市在「十四五」規劃中有關中試的部分內容

省市	章節	內容
廣東省	第三章第一節：強化戰略科技力量支撐	建設世界一流重大科技基礎設施集群、高水準實驗室、高等院校、科研機構、前沿科學交叉研究平台、 <u>中試驗證平台</u> 和科技支撐服務平台。
	第三章第二節：激發企業技術創新活力	實施科技成果轉化 <u>中試基地</u> 建設行動計畫，系統推進建設一批科技成果轉化 <u>中試基地</u> 。
	第八章第一節：深化市場化體制機制改革	系統推進科技成果轉化 <u>中試基地</u> 建設，加快培育 <u>新型研發機構</u> ，培育發展技術經理人，推動構建全過程創新生態鏈。
	第十一章第一節：提高農業品質效益和競爭力	推動省農產品加工技術研發 <u>中試公共服務平台</u> 建設，強化產品研發、 <u>中試放大</u> 和成果轉化等服務能力。
深圳市	第七章第一節：共建大灣區綜合性國家科學中心	面向產業需求統籌佈局重大創新平臺、集聚高端創新人才、安排重大創新項目，打造粵港澳大灣區重大原始創新策源地和科研成果 <u>中試轉化基地</u> 。
廣州市	第三章第一節：發展壯大戰略性新興產業	生物醫藥與健康產業著力推動醫學、醫藥、醫療「三醫融合」，提升「研發—臨床— <u>中試</u> —製造」全產業鏈集群協同創新水準和綜合競爭力。
東莞市	第三章第三節：打造大灣區科技成果轉化主陣地	建設 <u>中試驗證</u> 和成果轉化基地。圍繞技術創新與產業需求，加快佈局一批高品質 <u>中試驗證平台</u> 和 <u>中試基地</u> ，引導企業、高校、科研院所共建 <u>中試驗證服務平台</u> ，加速科技成果產業化進程。 搭建孵化載體合作交流平台，推動創新鏈與產業鏈、資金鏈融合貫通，探索共建綜合性孵化研究開發、小試 <u>中試</u> 、檢驗檢測等專業技術服務平臺，增強載體運營能力和孵化水準。
	第三章第四節：培育具有國際競爭力的創新型企業	支持企業自建各類技術中心、實驗室、 <u>中試車間</u> 、檢驗檢測中心等各類研發機構，推動規上工業企業研發機構全覆蓋。
	第十二章第一節：前瞻佈局新型基礎設施網路	高水準打造一批前沿交叉研究平臺、 <u>中試驗證</u> 和成果轉化應用平臺。依託東莞材料基因高等理工研究院、東莞人工智慧產業技術研究院、松山湖國際機器人研究院等，建設一批高水準產業技術創新平臺，謀劃更多科教基礎設施、產業技術創新基礎設施。
	佛山市	第十一章第四節：深化教育領域綜合改革
中山市	第三章第三節：完善綜合創新生態體系	謀劃建設市級科技成果轉化 <u>中試熟化服務平台</u> ，出台促進技術交易和科技服務業發展的政策措施，推動一批科技項目落地產業化。
珠海市	第七章第二節：加強科技創新平台建設	推廣「眾創空間-孵化器-加速器-科技園」的全鏈條創新創業模式，設立研發設計、 <u>中試孵化</u> 、檢驗檢測等科技服務機構，建設科技文獻服務、技術轉移服務等公共服務平台。

資料來源：廣東省及各市出台的「十四五」規劃綱要文件、廠商會研究部整理。