

工業元宇宙：智能製造的新賽道

2021 年堪稱是「元宇宙」(Metaverse)的元年；有關概念甫一出世¹，便在全球各地掀起追捧熱潮，亦為自身發展打開了無限的想像空間。儘管元宇宙被認為是代表未來互聯網發展的大勢所趨，但礙於各項關鍵性技術未臻成熟，在應用場景等方面至今仍處於早期探索階段。如同不少互聯網經濟的「新寵」一樣，這個新生事物在經歷過份炒作以至出現投資泡沫的風險之後，熱度亦迅速消退²；但反而促使各界更加理性地看待其發展前景，更務實地思考如何將元宇宙的先進技術與產業應用相結合，藉此發揮出其真正的價值，亦為實體經濟的創新發展開啟新動力。在此背景下，「工業元宇宙」的討論迅速升溫，被認定是元宇宙應用的一個極具潛力的「黑馬」領域，引起許多經濟體的政府、投資者及產業界的共同關注。

工業元宇宙的內涵及前景

顧名思義，「工業元宇宙」就是工業與元宇宙的結合，是元宇宙技術及其應用模式與工業發展深度融合的一種新形態。中國內地及國際上一些研究機構近期紛紛對工業宇宙作出各自的定義，從中可管窺出這個新概念的大致內涵。例如，國家工信部旗下的工業文化發展中心在 2022 年 11 月牽頭發佈的《工業元宇宙創新發展三年行動計劃》中指出，工業元宇宙是「在新一代資訊技術引領下，借助新時代各類新技術群跨界融合，實現工業領域中『人、虛擬空間與現實空間』虛實映射、交互、融合、以虛促實、以虛強實的工業全要素鏈、全產業鏈、全價值鏈(三鏈)智慧、協同、開放、服務、互聯的複雜數字工業經濟系統，是元宇宙在工業領域的落地與拓展，是數字經濟與實體經濟融合發展的新型載體」。

在此之前，內地專注於互聯網領域研究的頭豹研究院於 2022 年 10 月發佈了一份題為《2022 年元宇宙系列白皮書：中國工業元宇宙發展洞見》的報告，當中指「工業元宇宙是在虛擬世界中對現實工業環境進行全面模擬，通過虛實世界之間的深度融合，實現對現實世界的工業生產環節的改進與優化，達到降本增效的效果，

¹ 「元宇宙」自問世以來並未有一個明確、統一的定義，各方對其理解多基於他們所採取的不同視角。例如，Facebook CEO 朱伯格在把「元宇宙」概念向全球推介之初，曾嘗試對其作出理想化的描述，指「元宇宙」是一個容許用戶長期連結的虛擬世界，用戶可在虛擬世界中利用數字身份與其他用戶進行互動，包括日常互動或進行交易；Roblox 公司 CEO 提出元宇宙具備 8 個元素，包括身份、社交、沉浸感、低延遲、多元化、隨地、經濟系統和文明；美國國會研究服務局曾發表一份題為《元宇宙：概念和國會應考慮的問題》的報告，指「元宇宙」具備三個最主要基本特徵，分別是沉浸式三維(3D)使用者體驗、即時持續網路訪問、可與網路平台交互操作。

² 2021 年以來，全球科技巨頭紛紛宣布大力投資元宇宙。但隨著相關的虛擬社交或遊戲平台的用戶數量未達預期，加上平台上可能出現的道德風險問題受到各界高度關注，Meta 和 Roblox 等科網企業在發展元宇宙社交平台的路上遭遇挫折，紛紛縮減這類以消費端應用為主的開發投入。

最大化地提高生產效率」。國際管理諮詢公司德勤 (Deloitte Consulting) 於 2022 年 10 月發佈《工業元宇宙在能源及汽車製造行業應用示範》專題報告，認為工業元宇宙是「以工業產品為核心，基於工業互聯網支撐體系所形成，通過打造與現實工業經濟映射和交互的虛擬世界，構築起工業產品全生命週期的虛擬共生、企業和消費者智能高效閉環下的 3D 展示、全息智能製造、智能經濟體系，從而推動工業互聯網走向更有效落地、更虛實融合的階段」。

雖然各機構對工業元宇宙所提出的定義側重點有所不同，本質上卻大同小異，均指出工業元宇宙是工業數碼化的一個新境界，達致了虛擬映像與現實運作的孿生共生、實時互動和全面交融，為工業生產帶來降本增效的裨益。

在 2023 年 1 月達沃斯舉行的《世界經濟論壇》(WEF) 上，與會者在熱烈討論全球工業發展出路的議題時，工業元宇宙不期然成為了一個熱門話題；WEF 會後發佈的文告指，元宇宙最大的即時影響不在消費領域，而是在工業領域³。有分析認為，工業元宇宙的發展之所以可「看高一線」，在一定程度上乃是因為當前工業領域擁有較深厚的數據互聯基礎；即使消費性 5G 網絡普及率不高的西方發達國家，在這點上亦不例外。

以美國為例，截至 2020 年底只有約 3% 的美國移動通訊個人用戶使用 5G 的技術，配備了連接元宇宙所需的基本網絡速度；但在工業領域，汽車、運輸物流、採礦、能源和電力等行業，許多企業都採用了私域 5G 和 LTE 網路。另一方面，不少國家的政府為推廣工業互聯網還推行 5G 專網 (Private Network) 政策，讓廠商直接取得 5G 頻譜使用權，數據流通 (Data Flow) 無需經過網絡供應商。比起必須使用公共頻譜的消費端用戶，工業領域發展元宇宙所面對的數據安全風險亦因此相對為低。

對各國製造業企業而言，日後發展元宇宙或不再是一個可有可無的選項。現時多家大型企業開始轉換發展的軌道，「加碼」投資工業元宇宙，以開闢元宇宙發展的新主場。例如，美國半導體公司輝達 (NVIDIA) 與德國寶馬集團 (BMW) 開展虛擬工廠合作，利用前者研發的技術平台 (Omniverse) 來搭建一座「元工廠」 (Meta-factory)，模擬生產線的運作和引入人工智能工具，以冀尋找最優化的生產配置組合，並借助平台協調 BMW 旗下 31 間工廠的生產。

市場研究機構 ABI Research 指出，當下元宇宙在消費者、商業和工業三大領域的應用中，以工業元宇宙的發展最為迅猛；該公司推測，到 2025 年全球因數位孿生 (Digital Twins) 和擴展現實技術 (XR) 而實現的工業元宇宙收入可達到 227.3 億美元，至 2030 年可望進一步突破 1,000 億美元的規模，分別是同期消費和商業應用端市場規模的 2.5 倍和 5 倍 (見附件 1)。

元宇宙助工業降本增效

工業元宇宙所牽涉的先進技術眾多，數位孿生 (Digital Twins)、擴展現實技術

³ 世界經濟論壇 (2023)，「元宇宙將對行業產生最大的影響，原因為何？」；網站來源：[The metaverse will make its biggest impact on industry. Here's why | World Economic Forum \(weforum.org\)](https://www.weforum.org/articles/the-metaverse-will-make-its-biggest-impact-on-industry-here-s-why/)

(XR)和區塊鏈(Blockchain)是最關鍵的核心技術，而具低時延特性的先進無線通訊技術(5G/6G)、人工智能、大數據等則構成不可或缺的底層基建（見附件 2）。隨著元宇宙依賴的技術取得節節突破、工業數字化水平不斷提升，勢必為製造業企業實現「由實向虛」和「由虛向實」的場景融合與轉換創造越來越成熟的條件。元宇宙技術將賦能(Empower)工業生產的整個供應鏈流程，為工業智能化升級帶來顛覆性的改變，回應製造業領域內提質、降本、增效的需求，從而助力企業建立更優的運行機制和創造更高的商業利益。

具體而言，工業元宇宙可以將現時工廠從研發設計、生產製造、運營管理，到產品銷售乃至人員培訓等不同環節所需的場景完全複製到雲端，達至線下現實工廠與線上虛擬工廠之間「無差別」的協同聯動，大幅度促進供應鏈的流程改造和效率優化。在產品研發設計方面，元宇宙工廠能夠打破地域與空間限制，支持多方協同進行新產品開發；例如，讓不同的設計師、工藝人員甚至產品用家均可以在工業元宇宙搭建的平台上共同參與，就研發方案、創意設計、產品款式等進行討論，實現虛擬設計與實際生產的無縫連接，並透過「XR」技術讓消費者體驗其參與設計出來的產品，從而提高產品開發的成功率和市場的認受度。

在生產製造環節，元宇宙工廠可借助虛擬智能平台，為現實中的工廠建構完全統一的數位孿生體系，將建築設施的結構、生產線佈置、製造流程的佈局、生產設備的配備等各項細節一一再現，形成一個亦步亦趨的「平行世界」，再通過模擬生產實現對產能規劃、設備結構、人員配置等方面合理性作提前驗證；更可藉著模擬生產所得到的數據，制定最佳的資源投入組合，規劃生產運行狀態，包括具針對性的環保減排方案，以降低企業生產投入成本和配合綠色製造的升級需求。

此外，元宇宙工廠在改善職業安全及提升員工技能水平方面亦能發揮特別的作用；除了能讓新員工在虛擬場景下進行培訓，還能夠模擬出不同危急情境讓員工掌握應對方法，從而減少人員培訓時生產物料的耗損和成本，以及降低工業意外發生的概率。不僅如此，虛擬實景的培訓方式還能同步紀錄及監測員工的學習進度及投入程度，並透過量化投入的成本和測算成果效益，為優化培訓工作提供更具針對性的指導。

內地加緊佈局工業元宇宙

環顧世界主要經濟體，中國內地在推動工業元宇宙方面的態度最為積極，自去年來從中央到地方出台了許多帶有相關或相似概念的政策文件，亦帶動起一股發展工業元宇宙的熱潮；箇中的原因，可以從引力、推力和壓力等三個維度進行管窺。

其中，引力是指工業元宇宙的廣闊前景及其能激發的豐厚商機和巨大潛在經濟效益所產生的牽引作用；而推力則是指內地具備鞏固、深化自身在互聯網經濟方面固有優勢的內在動機。例如，相比歐美國家，中國內地在互聯網基建上呈現了遙遙領先之勢，目前已建成全球規模最大、技術水平較高的 5G 網絡。國家工信部的數據顯示，截至 2022 年底，內地累計建設開通 231 萬個 5G 基站，相關數目佔全球約 6 成，5G 網絡覆蓋至全國所有的地級市及縣城城區。同時，內地的移動物聯網

(IoT)連接數目高達 18.45 億戶，佔全球總連接數的 70%以上，成為全球主要經濟體中率先實現「物超人」的國家。對內地的政府和業界而言，藉助網絡基建完備以及消費互聯網經濟先拔頭籌的有利條件，力爭在工業元宇宙這一產業互聯網的「風口」前沿「再下一城」，既是水到渠成的自然抉擇，亦是深化優勢、鞏固領先地位的必行之舉。

至於壓力，則是指「中國製造」正處於亟需加快升級和重構競爭優勢的產業轉型期。當前世界主要的工業大國都爭相推進製造業的轉型升級，以提高本國工業的國際競爭力，搶佔高端製造環節和新一輪經濟增長的制高點。相比之下，儘管中國貴為「世界工廠」，擁有全球行業門類最完整、產業鏈條最長的龐大製造業體系；但無論從整體水平、質量還是結構等方面來看，中國製造業與發達國家仍有較大的差距，特別在關鍵核心技術和設備上屢屢遭遇被「卡脖子」的難題。近年，中國政府將促進製造業的數字化和智能化轉型作為推動製造業新一輪快速發展並力爭「後來居上」的切入點，冀望以此為「抓手」來提升製造業的競爭力，推動「中國製造」衝破「大而不強」的瓶頸。顯而易見，內地政府「吹響號角」，勦力推動工業部門為元宇宙技術的落地創造多元化的應用場景，正是要為智能製造打開一條藉以出奇制勝的「新賽道」。

在中央政府層面，「工業互聯網」一詞自 2018 年以來已連續五年被寫入中央政府工作報告，一系列具體的扶持政策魚貫而出；在此基礎上，去年以來出台的政策文件更間接甚至直接提及支持工業元宇宙的發展。例如，2021 年國家「十四五」規劃綱要提到，要培育形成具有國際影響力的工業互聯網平台，推進「工業互聯網+智能製造」的產業生態。隨後公佈的《「十四五」數字經濟發展規劃》進一步指出，要在工業互聯之上應用虛擬真實融合技術，建構一個可自我迭代的工業生產體系；以及探索發展跨越物理邊界的「虛擬」產業園區和產業集群，加快產業源虛擬化集聚、平台化運營和網絡化協同，構建虛實結合的產業數字化新生態。

2022 年 11 月，國家工信部聯同教育部等四個中央部委聯合發佈《虛擬實境與行業應用融合發展行動計劃（2022-2026）》，把推動工業生產中應用虛擬實景置於行動計劃的首位，對元宇宙技術如何在工業領域應用作出更具體的延伸性指導。工信部工業文化發展中心更牽頭成立專責的組織，致力於「工業元宇宙」進行戰略研究以及加強內地各省市在發展工業元宇宙的協同效應，並發佈了《工業元宇宙創新發展三年行動計劃》。當中制定「3 個 100」的目標，包括形成 100 個可複製的典型案列，為應用推廣提供標準範本；打造 100 個工業元宇宙標桿應用，提供元宇宙在工業領域的高水準落地示範；建設 100 個賦能創新中心，推動建設一批「工業元宇宙+垂直行業」的工業元宇宙開放平台，促進技術擴散與幅射。

在過去一年，內地不少地方省市包括上海、浙江、廣州、山東和武漢等，紛紛因應各自的經濟條件出台了鼓勵元宇宙發展的扶持政策，主要圍繞技術攻關、產業推動、人才補貼和融資支持等多個方面。雖然各省市規劃文件的政策重點不一，但其中一個共通之處是政府均承諾對工業元宇宙作出「真金白銀」的投入，包括選定重點應用產業，推進產業與技術融合，並開發可複製的應用方案以減低技術應用成

本等(見附件 3)。例如，武漢在實施方案中把發展工業元宇宙的重點放在汽車、服裝、生物醫藥、航空航太、精密製造等行業，探索利用元宇宙 3D 虛擬模擬技術，賦能研發設計、生產製造、運維管理、銷售服務等業務場景。上海則致力於打造工業「元宇宙」標桿工程，並聚焦航空、汽車、核電、生物醫藥等領域，培育一批市級的「元宇宙+工業互聯網」試點示範場景。

元宇宙應用難一蹴而就

平情而論，工業元宇宙固然前途不可限量，但在發展進程上目前處於「小荷才露尖尖角」的起步階段，底層基建、核心技術、應用軟件等技術層面均未臻完善，尤其是在實時性、沉浸感和真實感等方面的實施效果有待提高；內地在這一點上亦不例外。有分析指，內地在工業元宇宙的底層基建方面相對領先，技術基本自主可控，但在一些關鍵核心技術、應用場景的配套軟硬件等方面仍然較嚴重地依賴進口，或者是有賴內地企業與外企的協同合作。例如，當前中國企業在數字孿生引擎(如虛擬引擎，可視化工具集)的領域主要靠從海外引進，而 Unity 的實時 3D 互動內容創作和運營平台便是內地廣泛採用的主流引擎之一。同時，工業元宇宙亦進一步激發大數據的價值，但國內暫時缺乏具市場佔有率的國產基礎軟件，亦不利於保障數據的安全。

此外，內地不同製造行業之間存在巨大的「數字鴻溝」(Digital Divide)，傳統製造業和中小企業在數字化轉型方面相對墮後；這是阻遏工業元宇宙發展的另一障礙。根據國家工業信息安全發展中心發佈的《工業互聯網平台應用數據地圖(2021)》，內地在工業互聯網平台普及率由 2020 年的 14.67% 上升至 2021 年 17.5%，但距離《「十四五」數字經濟發展規劃》訂下的目標(2025 年達至 45%) 仍是漫漫長路。目前，內地製造業中探討應用元宇宙科技的「領頭羊」主要是智能汽車、智能家電等行業的龍頭公司，原因之一是大型企業具備較高程度的數據互聯基礎，並擁有較雄厚的資金。如何引導傳統企業和中小企業加快數字化轉型步伐，以及開發一套低成本、易維護、適合廣泛推廣的元宇宙應用解決方案，是內地工業元宇宙發展道路上必須逾越的一大難關。

香港發揮優勢積極參與

作為國家重點發展的國際創科中心和曾經叱咤風雲的亞洲新型工業化地區，香港在中國的工業元宇宙發展進程中自然不可「缺席」。事實上，香港高校的基礎科研實力世界聞名，在人工智能、大數據、區塊鏈、5G 通訊等方面積累了深厚的基礎，其中部分領域更是處於全球領先水平；這些恰恰正是發展工業元宇宙不可或缺的前沿科技。

同時，近年香港政府大力推動創科產業發展，培育了一大批成功的科技初創企業，包括頂尖的人工智能科技公司。其中的佼佼者就是目前已經晉身「獨角獸」的商湯科技(SenseTime)；該公司去年與香港理工大學簽署合作備忘錄，共同開發及拓展與元宇宙概念相關的技術。可以預見，本港具備條件透過參與元宇宙相關的技術

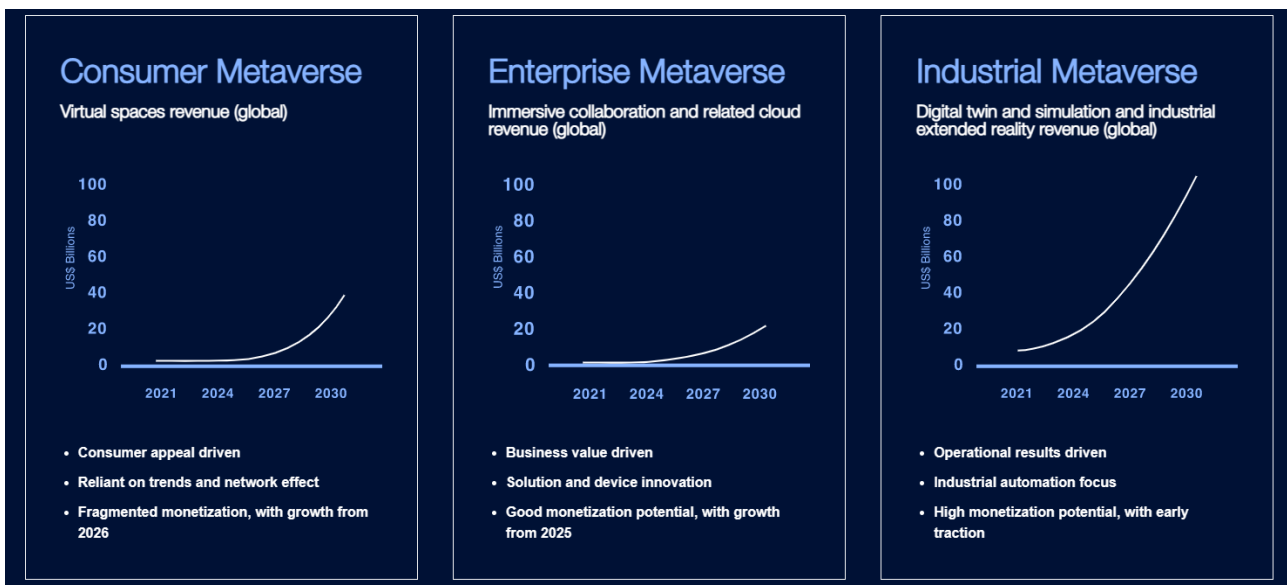
研發和應用產品開發，並培育更多相關領域的科技初創企業，從而在工業元宇宙這個潛力無限的市場中「分一杯羹」。

另一方面，香港製造業早年大規模外移後，本港轉型成為亞太區重要的貿易樞紐和供應鏈管理中心；而總部設立在香港、延外發展的港資製造業企業在長時間管理多地域工序和跨境營運的過程中積累了豐富的經驗，並建立起對區內複雜供應鏈的協調和整合能力。惟值得注意的是，互聯網時代的來臨對製造商在內部資源管理、業務流程、生產方式、服務模式等方面均帶來新的挑戰；加上配合國家「一帶一路」倡議之下，港商近年對外投資的地理範圍更趨向多元化，亦對跨地域供應鏈的管理提出新的需求。

最近，香港生產力促進局宣佈成立本港首個以工業元宇宙為主題的科技研發展館「工業元宇宙科技館 Celesphere」，展出最新的工業元宇宙應用技術方案，希望藉此向業界推廣和實現工業元宇宙應用，助力業界實踐智能製造，提升生產力和競爭力。假以時日，工業元宇宙的深度發展和全面普及或會改寫未來的國際供應鏈管理的格局，屆時企業內部各個環節以及供應鏈上的合作各方均可達至實時協同和虛實契合，提高溝通和營運效率之餘，還有可能會為工廠在滿足客戶盡職調查(Due Diligence) 要求和進行高標準的 ESG 信息披露等方面開闢更加靈活和更具效益的處理模式。對香港而言，工業元宇宙不但是本地廠商應對國際供應鏈重整、加快產業升級轉型的一個可行方向，更有望成為香港製造業推進「新型工業化」和實現彎道超車的一條終南捷徑。

2023 年 4 月

附件 1：工業元宇宙的市場潛力預測



資料來源：市場研究機構 ABI Research 的《對企業元宇宙投資機會評估》，廠商會研究部整理。

附件 2：工業元宇宙相關技術的簡介

核心技術	解說
數位孿生 (Digital Twins)	數碼分身是一種虛擬模型，指在虛擬世界將現實中存在的物體或流程做 1 對 1 的映射，等同於創建了其「雙胞胎」(Twins)。創建數碼分身的的作用在於透過實時數據更新、機器學習和推理，可以模擬出現實世界中的物體或流程可能的發生的反應、狀況，以及對其效能進行研究。
擴展現實技術 (XR)	XR 是 Extended Reality(擴展現實)的簡稱，利用硬件設備結合多種技術，將虛擬的內容和真實場景融合，營造出人機交互、無縫轉換的「沉浸感」。XR 的技術包括：在電腦生成的虛擬環境中運作的 VR(虛擬現實)、在物理物體上投射數字覆蓋層的 AR(增強現實)，以及讓用戶與現實世界環境中顯示的虛擬物體互動的 MR(混合現實)。
區塊鏈 (Blockchain)	區塊鏈是一種記錄和儲存資料的去中心化系統，採用一種由大家共同持有、無法偽造的「分散式帳本」技術 (Distributed Ledger)。區塊鏈資料庫會將資料存放在連結於同一鏈的區塊中，每個區塊之間透過加密技術串連起來；在無網路共識的情況下，便不能進行刪除或修改此鏈。區塊鏈可提供既合乎成本效益又安全、可靠和便於互相協作的應用場景，例如加密貨幣和 NFT 等。
底層技術：5G/6G	第五代 (5G) 和下一代 (如 6G) 無線技術，可提供元宇宙所需的高頻寬和低延遲的互聯網基礎設施。

資料來源：互聯網公開資訊，廠商會研究部整理。

附件 3：內地各省市公佈的工業元宇宙相關政策文件

地區	政策	發佈時間	相關內容
武漢	《關於印發武漢市促進元宇宙產業創新發展實施方案(2022-2025年)的通知》	2022.11	工業元宇宙，重點在汽車、服裝、生物醫藥、航空航太、精密製造等行業領域，探索利用元宇宙 3D 虛擬模擬技術賦能研發設計、生產製造、運維管理、銷售服務等業務場景，推動全要素、多元場景協同、數位孿生和流程再造等，打造若干孿生工廠和未來工廠。
蘇州	《昆山市元宇宙產業創新發展行動計劃(2022-2025年)》	2022.11	在工業製造等領域建成 15 項以上典型應用場景專案；虛擬交互工業製造。
山東	《山東省製造業數位化轉型行動方案(2022-2025年)》	2022.10	工業元宇宙培育行動。推動新一代資訊技術在工業元宇宙領域融合應用，打造一批「數字孿生+個性化定制」、「產業大腦+晨星工廠」等標桿企業。
上海	《寶山區工業元宇宙產業發展三年行動計劃》	2022.9	到 2025 年，寶山區工業元宇宙相關產業規模突破 100 億元。
河南	《河南省元宇宙產業發展行動計劃(2022-2025年)》	2022.9	依託工業數位化基礎，運用採集感知、執行控制、5G/6G 通信、雲計算、數字線程技術、模型構建、模型融合、模型驗證等手段，發展工業數字孿生，打造工業元宇宙。
上海	《上海市培育「元宇宙」新賽道行動方案(2022-2025年)》	2022.7	工業元宇宙標桿示範工程。聚焦航空、汽車、核電、生物醫藥等領域，培育一批市級「元宇宙+工業互聯網」試點示範場景。
南京	《江寧高新區關於加快發展元宇宙產業的若干政策》	2022.5	支援入園企業優先參與搭建工業數字孿生。
廣州	《廣州市黃埔區、廣州開發區促進元宇宙創新發展辦法》	2022.4	鼓勵企業探索工業元宇宙。
黑龍江	《黑龍江省「十四五」數字經濟發展規劃》	2022.3	鼓勵推進元宇宙在智慧工廠等領域的場景應用。

資料來源：互聯網公開資訊，廠商會研究部整理。