

SPOTLIGHT ON PROPERTY

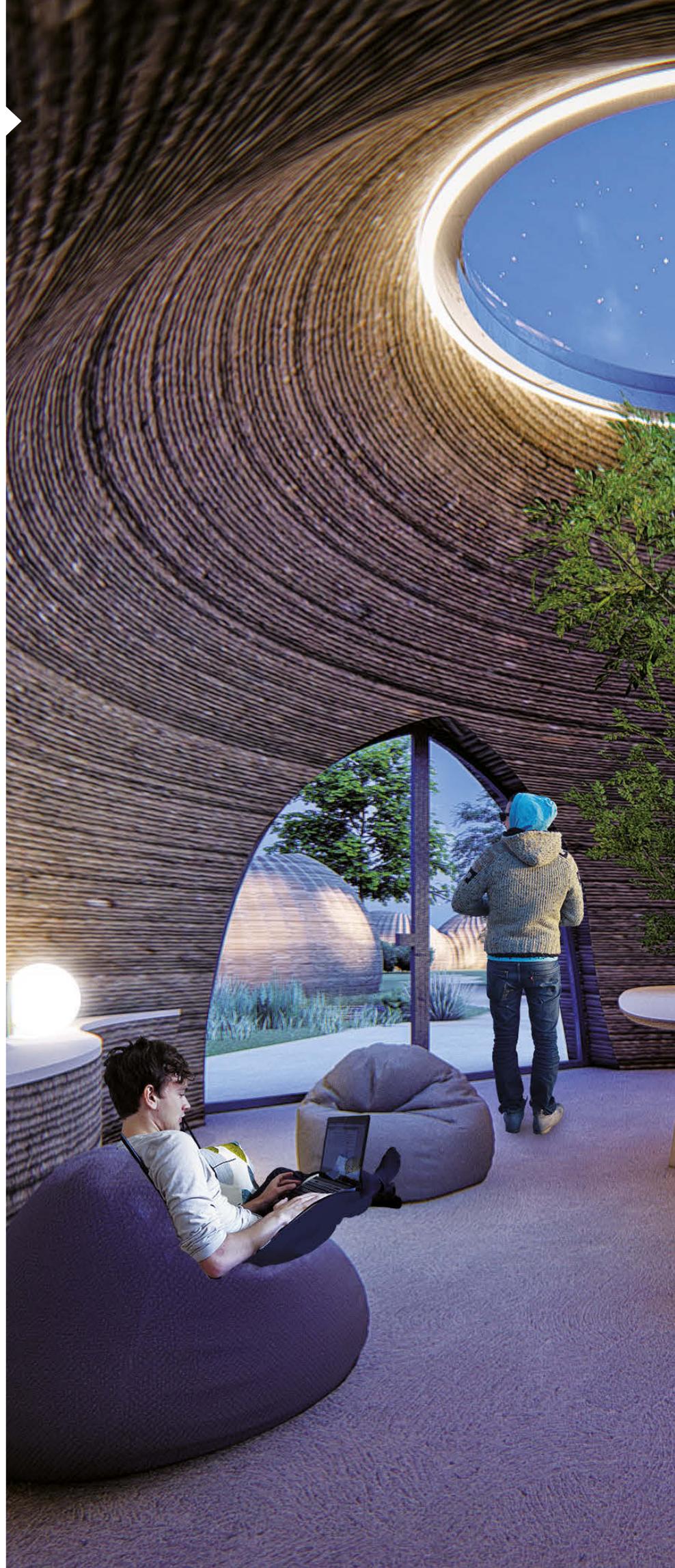
PRINTING THE HOUSE OF THE FUTURE

3D 列印建築

從地表到外星，3D 列印建築正以更永續、更高效、更便宜、更耐用的優勢，向未來提出令人期待的解決方案。

Text_Lilias Lee
Photo_Icon、Bjarke Ingels Group、
Mario Cucinella Architects & WASP、MEAN*、Airlab

面對全球不斷增長的人口與住宅需求，大幅降低建築成本、縮短建築工時，比傳統建築更加低碳排、低汙染、低浪費，價格親民，讓居住者能夠輕鬆負擔，同時比傳統建築擁有更長使用效期的 3D 列印建築，已成為建築界探索未來解決方案的其中一項新趨勢。致力於 3D 列印技術研發的各國團隊，也接續在近幾年，推出了展現不同創新設計的 3D 列印住宅。從材質的研發、智能與環保設計的結合，到適應不同天候環境的強固性能，3D 列印的未來發展，如今已越來越指日可待。其中，美國 3D 列印技術研發公司 Icon，除了已在今年偕同地產公司，率先推出進入主流住宅市場的 East 17th Street Residences，致力於以技術研發改變世界，更與美國太空總署 NASA 簽訂了合作協議，一同攜手 BIG 建築事務所，提出了挑戰未來的月球 3D 列印基地計畫。從地表到外星，3D 列印技術的發展，不僅愈來愈受矚目，並且令人期待。





SPOTLIGHT ON PROPERTY



1. East 17th Street Residences 特別著重房屋的採光設計，以打造出最宜人的居住空間。

2. 以灰、黑和原木色調營造出極簡美感的 East 17th Street Residences，也配備有美國一般郊區住宅的舒適規格。

3. 除了草坪庭院，每間住宅也都設置有專屬的停車空間。

4. 樓梯和 2 樓則會以模組化原木和金屬建材，搭配建構出雅致的生活空間。

5. Icon 所研發出的 3D 住宅列印技術，可以建造出比傳統住宅更堅固耐用的列印建築。



全美首個列印住家銷售計畫

EAST 17TH STREET RESIDENCES

總部位於美國德州奧斯汀的 3D 列印技術研發公司 Icon，自 2018 年成為全美第一家取得 3D 列印住宅建造許可的公司後，Icon 除了已經在墨西哥 Tabasco 打造出全球第一座 3D 列印社區，並且也在奧斯汀為無家可歸的市民，建造了一系列非營利 3D 列印住宅。今年 3 月，美國地產公司 3strands 更宣布與 Icon、Logan 建築事務所合作，一同推出全美第一項 3D 列印住宅銷售計畫，而這也將是 3D 列印住宅首度進入美國主流住宅銷售市場的先發之作。

目前正在奧斯汀進行建造工程的 East 17th Street Residences 計畫，將打造出一系列擁有 2 到 4 房、面積 1,000 到 2,000 平方英尺的兩層樓別墅型住宅，並且每間住宅都規劃有庭院、停車場，完全符合美國郊區住宅的舒適規格。除了以 3D 列印混凝土打造出 1 樓的建築結構，設計團隊也在 2 樓加入模組化木材和金屬材質等，來構築出更雅致怡人的居家空間，以及展現極簡美感的建築外觀。其中 1 樓所使用的高效 3D 列印建材，除了比傳統建材更堅固耐用，還兼具有防風蝕、防水、防火的性能，並且建成後的住宅，也將比一般傳統建築擁有更長的使用壽命。

隨著奧斯汀的快速發展，住宅需求攀升，快速建造出堅固耐用、價格親民且兼顧永續的住宅，已是奧斯汀與美國許多城市的現況訴求，而只需數周便可建造完成的多房型 3D 列印住宅，也已被視為解決未來房市問題的可行方案之一。預計在今年夏季建成交屋的 East 17th Street Residences，也將成為變建築世界的新里程之作。

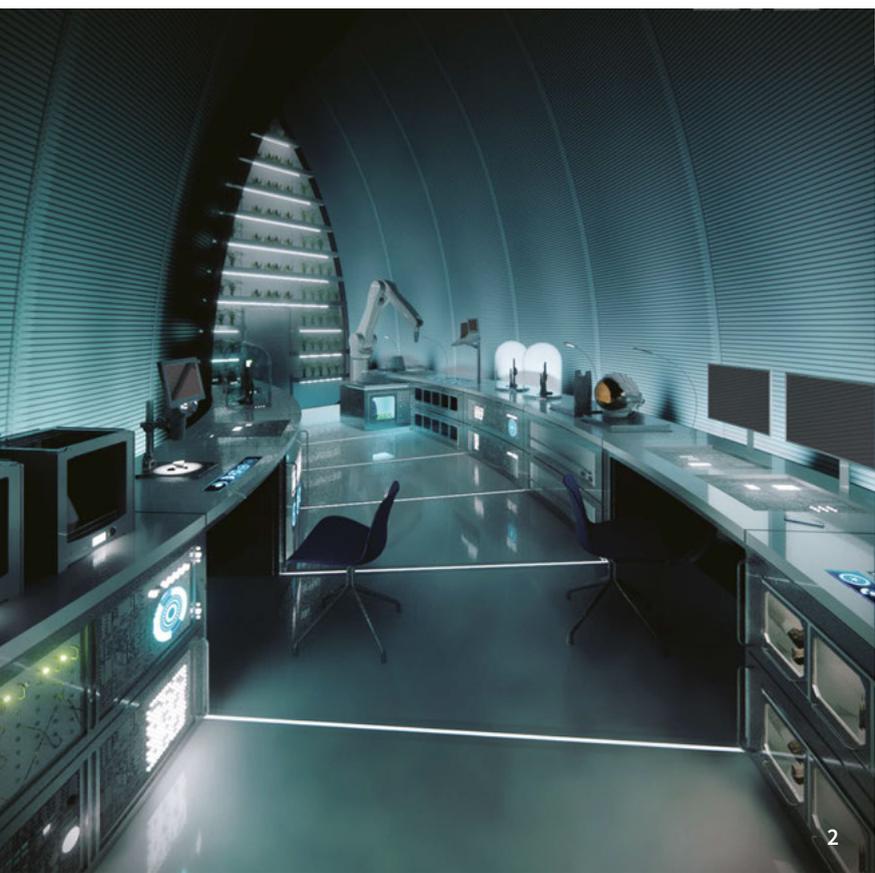




月球 3D 列印基地計畫

PROJECT OLYMPUS

Photo and render by Mario Cucinella Architects & WASP



從太空之旅、太空旅館、移居火星到月球基地，愈來愈多放眼外太空的計畫，陸續被提出並進入研發執行階段，其中透過 3D 列印技術挑戰外星建築，也在近年來被各國列為相關研發項目之一。去年 10 月，美國太空總署 NASA 便發布了與 3D 列印技術公司 Icon 的合作協議，由 NASA 撥出研發資金，讓 Icon 負責打造未來的月球永續基地。這項名為 Olympus 的月球 3D 列印基地計畫，也將由丹麥建築事務所 Bjarke Ingels Group、以及太空探索設計公司 SEArch+ 一同參與設計。

Icon 的聯合創辦人兼執行長 Jason Ballard 表示，涵蓋降落平台、基地與道路的 Olympus 計畫，是一項將人類科學、工程、技術與建築能力，推向全新高度的超級計畫。為了因應月球嚴苛的外星環境，同時讓基地建築永久存在，讓未來太空人能長期定居，因此 Olympus 3D 列印基地，必須要擁有比金屬艙和充氣艙更強大的結構與保溫性能，並且要能承受宇宙輻射和小型隕石的襲擊。而在 Bjarke Ingels Group 發布的設計示意圖中，設計團隊除了以環型設計來創造更加穩固的建築結構，各建築體間也以運輸軌道相互連結。整個基地除了全面採用智能系統，也將由機器人負責挖掘和建造工程。並且從材料研發、結構設計到建造，全都將經過最精密的計算測試，以期以最低碳、最永續、最不浪費的方式，建造出第一座永久性月球基地。而 Icon 的研發團隊目前也正在阿拉巴馬州的馬歇爾太空飛行中心，進行月球土壤模擬物與列印技術的測試研發。隸屬於 NASA Artemis 計畫的 Project Olympus，正朝著在 2024 年讓太空人重返月球的目標前進，若計畫達成，將為全人類邁出登陸月球的另外一大步。



1. Olympus3D 列印基地將以環形建築體和流線型運輸軌道組成。
2. 基地內將設置有永久性的太空研究室。
3. 正在進行材質研發的 Project Olympus，必須要創造出能承受嚴苛環境的太空列印建材。
4. 希冀在 2024 年跟著太空人前進月球的 Project Olympus，可望成為人類探勘月球的第一座永久性基地。



1

1. 由兩台大型機械手臂同時進行小屋列印建造工程的 Tecla。
2. 如同洞穴般的 Tecla 小屋，以穹頂天窗為室內引入自然光照。
3. 理想中的未來 Tecla 社區，也將設置有濕地和農園，以創造生態平衡的永續生活。



2



3

以當地土壤列印穹頂小屋 **TECLA PROJECT**

Photo and render by Mario Cucinella Architects & WASP

根據聯合國統計，全球人口總數在 2030 年時將突破 85 億，面對不斷成長的人口數，為未來世界提供可負擔的住宅解決方案，已成為許多建築師積極參與的項目之一，其中 3D 列印住宅更是備受青睞的趨勢選項。一直以來專注於環保永續設計的義大利建築事務所 Mario Cucinella Architects，自 2019 年起便攜手 3D 列印公司 WASP，一同投入 Tecla 列印住宅的研發，並且在 2021 年春季時，在義大利波隆那鄉間完成了 Tecla 原型小屋的列印建造。

Tecla 計畫的最大特點，在於直接使用產自義大利的黏土作為列印材料，因此 Tecla 小屋的建材不僅能回收再利用，並且最後所有建材都能回歸土地、被生物分解。Tecla 的雙穹頂小屋設計，是以一種以泥土築巢的泥壺蜂為靈感。其雙穹頂結構，則

是由兩台大型機械手臂同時進行列印輸出，透過運動軌跡的計算，讓機械手臂避免碰撞，完成流暢而快速的雙頭列印。以日前完成的 Tecla 原型小屋為例，整個現場列印工程約 200 小時，僅耗費 6 千瓦的電量，十分高效又節能。

在 Tecla 小屋裡則規劃有起居室、臥房、衛浴等設施，搭配上圓形天窗設計，讓看似封閉的小屋空間，也能享有充足的自然採光。Tecla 列印技術也能針對不同的氣候條件和環境，進行相對應的數位運算設計，以滿足不同地區的建造需求。並且在設計團隊的構想中，未來若以 Tecla 所研發出的列印技術建造社區，社區裡也將設置有太陽能發電系統、生態濕地、農園等，以期創造真正生態平衡的永續社區。



1

1. Fluid Space 除了以玻璃天窗引入自然光，同時設計有下沉式座椅區來滿足聚會需求。

2. Fluid Space 以流線型列印結構，搭配阿拉伯地區常見的拱型入口，並以全玻璃入口設計讓室內更加明亮。

3. 透過列印設計打造出牆面編織紋理的 Folded Walls 小屋。

4. Folded Walls 還設計有頂樓露臺，讓人們能走上頂樓欣賞周遭景色。

5. 以環形列印混凝土模組組成的 Capsule Pod 小屋。



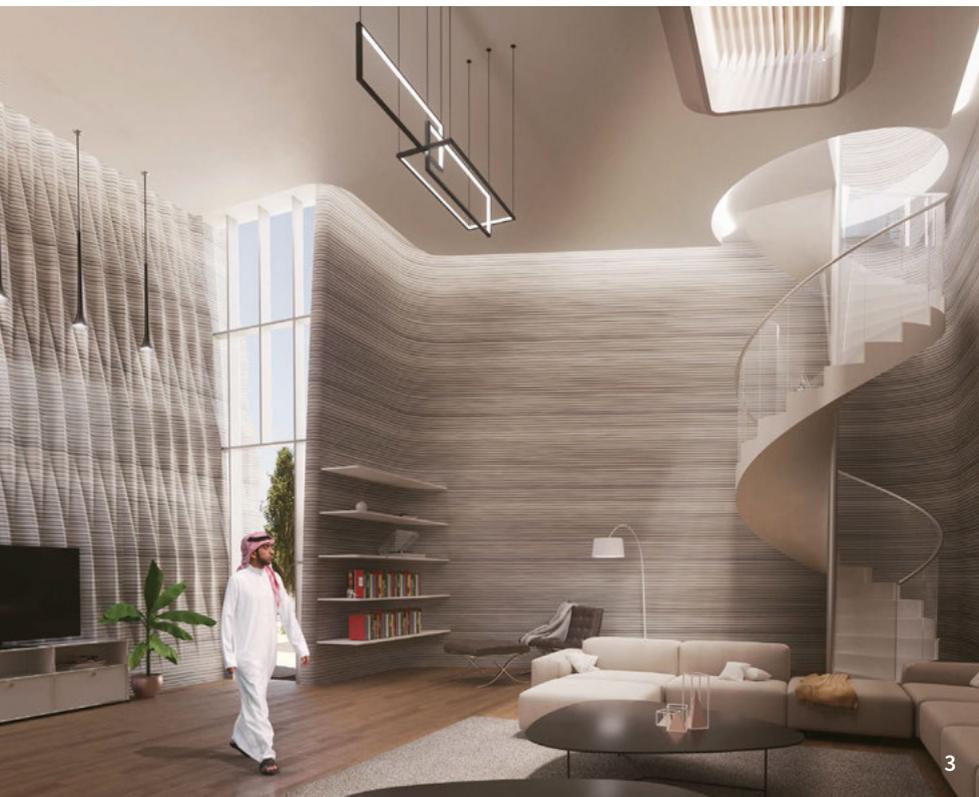
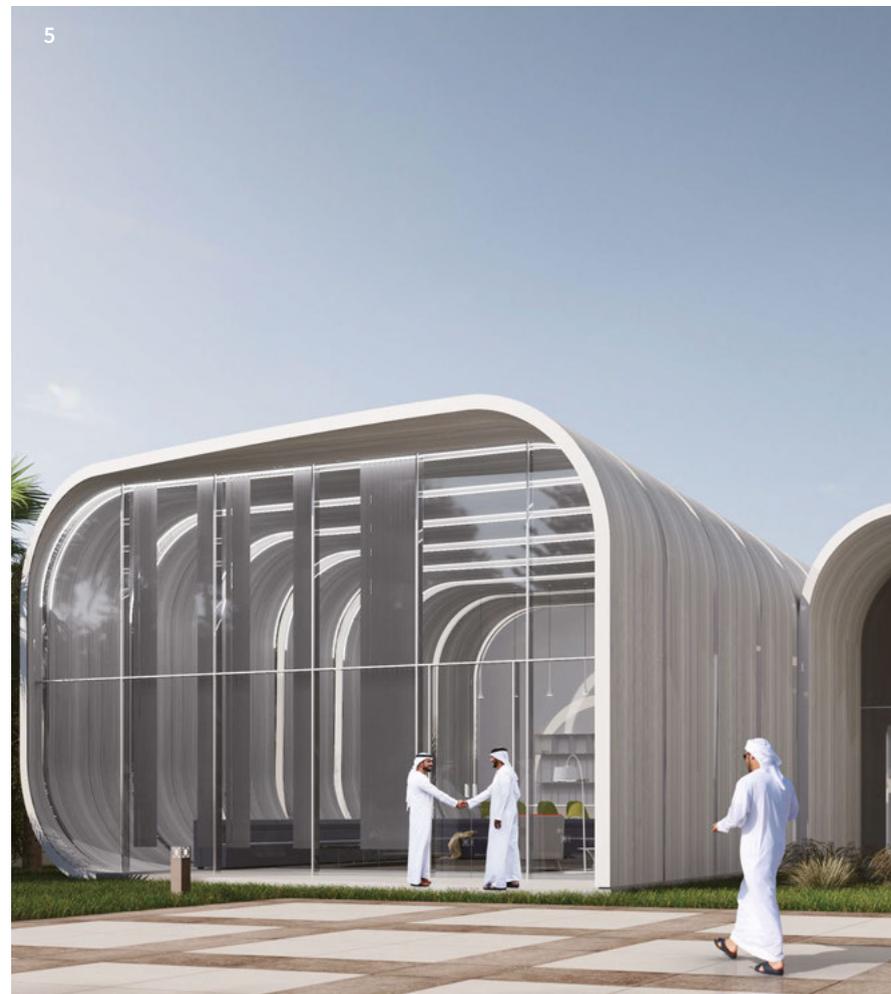
2

承襲阿拉伯文化的待客會所

3D PRINTED MAJLIS

被列為人類非物質文化遺產的 Majlis，是阿拉伯地區傳統作為社交聚會、招待友人的附屬空間，一個與主人住家分離的獨立建築空間。並且傳統上 Majlis 的空間大多相當寬敞，可用於舉行社區會議、婚禮宴會等活動。而由致力於創新技術研發的 MEAN*（Middle East Architecture Network）設計團隊，所提出的 3D Printed Majlis，除了以創新技術承襲阿拉伯傳統文化，並且期望在未來，透過價格較低的混凝土列印建築，來為阿布達比地區的屋主，創建更優質的現代化社交會所。

為了滿足不同屋主的使用需求，3D Printed Majlis 共設計有三款列印建築樣式，每款建築除了特別著重自然採光和流線型設計，並且分別配備有 18 到 25 個座位的會議空間。首先名為膠囊艙（Capsule Pod）的設計，是在建築基地預先列印出環形混凝土模組，然後進行組裝。設計團隊也特別在混凝土模塊間留下玻璃採光間隙，讓寬敞無柱的膠囊艙空間得以享有充足的三面採光。第二項名為流體空間（Fluid Space）的設計，則是以 3D 列印易於塑型的特性，來打造出充滿流動美感的建築樣式，並以下沉式座椅區來重新詮釋傳統 Majlis 圍坐火爐聚會的情境，搭配上流線型天窗和華美燈飾，讓整個空間不僅採光充足，同時展現出當代奢華美感。第三項皺褶牆（Folded Walls）設計，則是以平順的壁面對應呈現編織型態的起伏牆面，另外搭配上旋轉階梯和頂樓觀景台設計，讓整個列印建築展現出多層次的设计樣貌。此外，3D Printed Majlis 的每款列印建築，都可轉換為開放式居住空間，並且都設置有廚房、洗手間等設施，可直接作為接待賓客過夜的居所。





1

1. Desert Pavilion 在每個光井裡都將種植沙漠植栽，以營造綠洲意象，同時調節涼亭裡的微型氣候。

2. 擁有良好通風和遮陽功能的 Desert Pavilion，將成為遊客最佳的沙漠休憩驛站。

3. 夜裡的 Desert Pavilion 還將以流線型照明，營造波浪狀的燈光藝術景象。

4. Desert Pavilion 將以最優化的流線網格結構，化身為如同沙漠白花的建築地景。



2

3D 列印沙漠驛站

DESERT PAVILION

Render by Brick Visual

在 2011 年被列入世界文化遺產的約旦瓦地倫沙漠（Wadi Rum），不僅是約旦最大的乾谷地景，景色類似月亮、火星的瓦地倫沙漠，更曾吸引《絕地救援》《星際大戰外傳》《星際禁區》等電影來此拍攝取景。以紅色沙漠、石岩山脈組合出絕地景色的瓦地倫沙漠保護區，也直接以火星營地為噱頭，邀請旅人來此體驗外星旅宿。而同樣由 MEAN* 所提出的 Desert Pavilion，則是計畫以創新的聚合物 3D 列印技術，來打造出供遊客休憩的沙漠驛站。

結合貝都因文化與太空時代技術的 Desert Pavilion，除了將貝都因游牧生活與附近火星營地的圓形帳篷，融入驛站涼亭的造型設計中，以多個穹頂結構交會組合成的 Desert Pavilion，更參酌了 20 世紀由德國數學家所提出的 Runge-Kutta 演算法，來計算



3

出最優化的流線網格結構，以獨特的懸鏈線設計，來建構出如同山丘般起伏的涼亭樣式。Desert Pavilion 除了以 3D 列印混凝土打造涼亭基座，並且在彎曲的 CNC 鋼管架構上，透過衍生列印技術創造出輕量化的聚合物外殼。Desert Pavilion 也會在涼亭周圍種植椰棗樹，並在作為光井的漏斗結構裡，植入漠地植栽，以創造並調節涼亭腹地裡的微型氣候，同時營造綠洲氣息。搭配上綠色植栽的 Desert Pavilion，也將成為一朵在漠地裡盛開的白色花朵，用以展現慶祝、好客之意。而網格狀的涼亭結構，除了能遮陽、透光，並且擁有良好的通風性能，能在酷熱的日間，為遊客提供最涼爽的休憩時光。兼具休憩、聚會、舉行活動等功能的 Desert Pavilion，實際上也是 MEAN* 團隊為未來外星建築進行個案研究的項目之一。



4



1

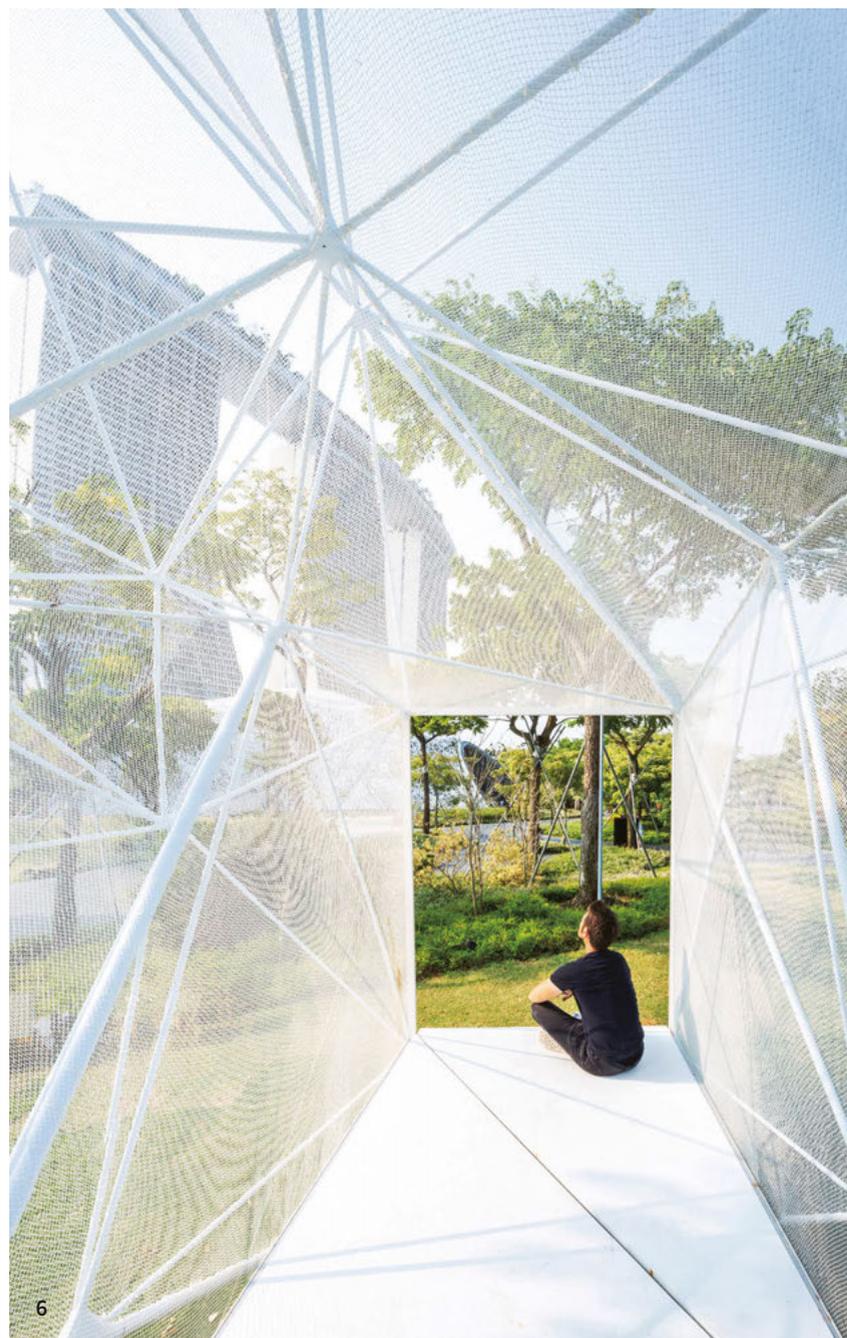
1. 架設在濱海灣花園的 AirMesh Pavilion，既是休憩涼亭，也是一座大型 3D 列印藝術裝置。
2. AirMesh Pavilion 以全球獨創的不鏽鋼元件列印技術，為未來建築提供更有彈性的結構設計空間。
3. AirMesh 以鋼骨結構搭配網狀表層，營造出飄逸夢幻的裝置樣貌。
4. 以燈籠為設計靈感的 AirMesh，在夜裡也將變換上不同的燈光色彩，成為公園裡的大型燈光藝品。
5. AirMesh 特別設計有 4 個面向不同方位的矩形觀景窗，以創造多樣的探索賞景視野。
6. 民眾可以在涼亭裡賞景、發呆，享受悠閒的時光。



2



3



全球第一件不鏽鋼 3D 列印結構 **AIRMESH PAVILION**

Photo by Carlos Banon、Fabian Ong

由新加坡科技設計大學的建築智能研究實驗室（Airlab）所打造、預計在新加坡濱海灣花園展出至 2022 年底的 AirMesh Pavilion，則是全球第一件不鏽鋼 3D 列印結構。以 54 個不鏽鋼節點和 216 條長短不一的鋼管所組成的 AirMesh Pavilion，結構總重量為 700 公斤，但這個輕量結構，卻能承受超過 11 公噸的負重，並且整個裝置只以六角板手和兩天的時間，便輕鬆組裝完成。而 Airlab 以數位精算，搭配 3D 列印技術，所製作出的不鏽鋼節點元件，除了可以用於創建不同的建築結構，還能減少大型列印所需的較高額費用。

以燈籠為設計靈感的 AirMesh Pavilion，除了以雙層網狀材質，創造出柔和的光影與通風性能，同時讓整個裝置呈現出白紗環繞的飄逸夢幻美

感。到了夜裡，裝設有動態 Led 照明設施的 AirMesh，也會變化出不同的色彩，讓整個裝置成為草地上引人注目的大型燈光藝品。整個涼亭裝置也特別設計有 4 個矩形觀景窗，分別面向蜻蜓橋、銀花園、濱海灣花園入口路徑，以及濱海灣金沙酒店。民眾可以走入 AirMesh Pavilion 體驗不同的賞景視野，也可以坐著發呆，享受微風吹拂花草綠意的愜意時光。Airlab 歷時 5 年所研發的 3D 列印不鏽鋼模組系統，不僅能產出既強固又低價的建築結構，並且能夠藉由數位精算，設計出因應不同地形環境的模組元件。致力於為未來建築提供解決方案的 Airlab 也表示，他們相信隨著 3D 列印技術的不斷發展，人類未來將以全新的方式設計與建造建築，不僅更精確、更低浪費，並且更自由、更具創意。■