

BẢN TIN CHIẾN LƯỢC PHÁT TRIỂN



KHOA HỌC



CÔNG NGHỆ



KINH TẾ

Số 8

2023

(BẢN TIN CHỌN LỌC PHỤC VỤ LÃNH ĐẠO)

CUỘC CHẠY ĐUA TRONG CÁC LĨNH VỰC
CÔNG NGHỆ TỐI QUAN TRỌNG GIỮA CÁC CƯỜNG QUỐC



BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA

CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA

Địa chỉ: 24, Lý Thường Kiệt, Hoàn Kiếm, Hà Nội.

Tel: (024)38262718, Fax: (024)39349127

BAN BIÊN TẬP

TS. Trần Đắc Hiến (*Trưởng ban*); ThS. Trần Thị Thu Hà (*Phó Trưởng ban*);
ThS. Nguyễn Lê Hằng; ThS. Phùng Anh Tiến.

MỤC LỤC

CUỘC CHẠY ĐUA TRONG CÁC LĨNH VỰC CÔNG NGHỆ TỐI QUAN TRỌNG GIỮA CÁC CƯỜNG QUỐC

Giới thiệu.....	1
1. Khái quát cuộc chạy đua trong các lĩnh vực công nghệ tối quan trọng giữa các cường quốc hiện nay	2
2. Hiện trạng năng lực nghiên cứu và phát triển của các cường quốc trong một số lĩnh vực công nghệ tối quan trọng.....	8
3. Một số khuyến nghị chính sách tăng cường nghiên cứu và phát triển các công nghệ tối quan trọng	19

CUỘC CHẠY ĐUA TRONG CÁC LĨNH VỰC CÔNG NGHỆ TỐI QUAN TRỌNG GIỮA CÁC CƯỜNG QUỐC

Giới thiệu

Các công nghệ tối quan trọng đã làm nền tảng cho nền kinh tế toàn cầu và xã hội của chúng ta. Từ bộ vi xử lý tiết kiệm năng lượng trong điện thoại thông minh đến bảo mật cho phép mua sắm và ngân hàng trực tuyến, những công nghệ này đều phổ biến và thiết yếu. Chúng đang “mở khóa” sản xuất năng lượng xanh và hỗ trợ các đột phá y tế. Chúng cũng là cơ sở cho năng lực quân sự trên chiến trường, đang củng cố các kỹ thuật chiến tranh hỗn hợp mới và có thể mang lại cho các cơ quan tình báo lợi thế lớn trước các đối thủ.

Chỉ vài năm trước, một quốc gia có thể tập trung năng lực nghiên cứu, khai thác tài nguyên và sản xuất theo thể mạnh của mình với sự bảo đảm rằng chuỗi cung ứng quốc tế sẽ cung cấp sự cân bằng của hàng hóa cần thiết. Điều này giờ đây đã không còn diễn ra như vậy, do bị cuốn theo Covid-19, địa chính trị và những thay đổi trong chuỗi cung ứng toàn cầu. Các quốc gia cũng đã thể hiện sự sẵn sàng giữ lại nguồn cung cấp các vật liệu tối quan trọng như một “vũ khí ép buộc” kinh tế, và một cuộc khủng hoảng năng lượng đang bao trùm phần lớn thế giới do cuộc chiến giữa Nga và Ukraina.

Bản tin này sẽ cung cấp thông tin về những quốc gia, trường đại học và doanh nghiệp nào đang dẫn đầu nỗ lực thúc đẩy nghiên cứu và phát triển (R&D), đổi mới sáng tạo trong các công nghệ tối quan trọng hiện nay. Thông tin được tổng hợp và phân tích từ báo cáo nghiên cứu của Viện Chính sách chiến lược Úc (ASPI)¹ về 44 công nghệ tối quan trọng và cạnh tranh toàn cầu về nhân tài nghiên cứu trên 44 công nghệ này. Theo Báo cáo của ASPI, dựa vào các kết luận rút ra từ hơn 2,2 triệu công trình nghiên cứu học thuật liên quan đến các công nghệ tối quan trọng từ năm 2018 đến 2022, các nhà khoa học Trung Quốc đang đứng đầu thế giới về số lượng công trình nghiên cứu được trích dẫn nhiều nhất ở 37 trong số 44 công nghệ được xem xét như công nghệ quốc phòng, không gian, robot, năng lượng, môi trường, công nghệ sinh học, trí tuệ nhân tạo (AI), vật liệu tiên tiến... Những công nghệ này được xem là có thể thúc đẩy đổi mới, tăng trưởng và sức mạnh quân sự trong các thập niên tới. Hoa Kỳ dẫn đầu thế giới ở 7 công nghệ còn lại như bán dẫn, điện toán hiệu suất cao, điện toán lượng tử, vệ tinh nhỏ, vaccine..

¹ ASPI's Critical Technology Tracker, The global race for future power, Policy Brief Report No. 69/2023

1. Khái quát cuộc chạy đua trong các lĩnh vực công nghệ tối quan trọng giữa các cường quốc hiện nay

Theo báo cáo mới của ASPI, các nền dân chủ phương Tây đang thua trong cuộc cạnh tranh công nghệ với Trung Quốc, bao gồm cuộc đua giành đột phá khoa học và công nghệ (KH&CN), cũng như khả năng giữ chân nhân tài toàn cầu—những yếu tố quan trọng hàng đầu làm nền tảng cho sự phát triển và kiểm soát các công nghệ quan trọng nhất của thế giới, kể cả những công nghệ chưa xuất hiện.

Nghiên cứu của ASPI cho thấy rằng Trung Quốc đã xây dựng nền tảng để định vị mình là siêu cường KH&CN hàng đầu thế giới, bằng cách thiết lập vị trí dẫn đầu trong nghiên cứu có tác động cao trên phần lớn các lĩnh vực công nghệ quan trọng và mới nổi. Vị trí dẫn đầu toàn cầu của Trung Quốc mở rộng tới 37 trong số 44 công nghệ mà ASPI hiện đang theo dõi, bao gồm một loạt lĩnh vực công nghệ quan trọng trong các lĩnh vực: quốc phòng, không gian, robot, năng lượng, môi trường, công nghệ sinh học, AI, vật liệu tiên tiến và các lĩnh vực công nghệ lượng tử quan trọng. Công cụ theo dõi công nghệ quan trọng của ASPI cho thấy rằng, đối với một số công nghệ, tất cả 10 tổ chức nghiên cứu hàng đầu thế giới đều có trụ sở tại Trung Quốc và cùng nhau tạo ra các bài báo nghiên cứu có tác động cao gấp 9 lần so với quốc gia xếp thứ hai (thường là Hoa Kỳ). Đáng chú ý, Viện Hàn lâm Khoa học Trung Quốc xếp hạng cao (và thường là hạng nhất hoặc hạng nhì) đối với nhiều công nghệ trong số 44 công nghệ có trong Công cụ theo dõi công nghệ tối quan trọng của ASPI.

Những nỗ lực của Trung Quốc đang được hỗ trợ thông qua việc thu hút tri thức và nhân tài: 1/5 các bài báo có tác động lớn của Trung Quốc là của các nhà nghiên cứu được đào tạo sau đại học ở 5 quốc gia (Hoa Kỳ, Canada, Anh, Úc và New Zealand). Ngoài ra, nhiều nhà khoa học gốc Trung Quốc, được đào tạo tại Hoa Kỳ đang trở về quê hương. Hơn 1.400 nhà khoa học Trung Quốc đã từ bỏ mối hoạt động nghiên cứu học thuật hoặc công ty tại Hoa Kỳ để chuyển về làm việc cho các tổ chức Trung Quốc vào năm 2021. Điều này một phần nhờ sức mạnh ngày càng tăng của Trung Quốc trong lĩnh vực nghiên cứu tiên tiến. Bắc Kinh đã cam kết tài trợ nhiều hơn để phát triển các công nghệ tiên tiến và cải thiện điều kiện làm việc cho các nhà nghiên cứu. Trung Quốc lần đầu tiên vượt Hoa Kỳ về số lượng hồ sơ xin cấp bằng sáng chế hàng năm vào năm 2011 và đến năm 2021, số lượng hồ sơ này của Trung Quốc đã cao gấp đôi so với Hoa Kỳ.

Trung Quốc đã thiết lập “một vị trí dẫn đầu đáng kinh ngạc” trong các nghiên cứu có tác động cao theo các chương trình của chính phủ. Trong một số lĩnh vực công nghệ, Trung Quốc chiếm đến 65% công trình nghiên cứu được trích dẫn nhiều nhất. ASPI nhận định về dài hạn, vị trí nghiên cứu hàng đầu của Trung Quốc sẽ giúp nước này thiết lập được vị thế sẵn sàng vượt trội không chỉ về sự phát triển công nghệ hiện tại trong hầu hết các lĩnh vực, mà cả về các công nghệ tương lai chưa xuất hiện. Sự dẫn đầu của Trung Quốc là kết quả của hoạch định chính sách dài hạn, như Chủ tịch Tập Cận Bình và những người tiền nhiệm của ông đã nhiều lần vạch ra.

Trung Quốc đang tiến xa trong nhiều lĩnh vực

Một lĩnh vực quan trọng mà Trung Quốc vượt trội là các công nghệ liên quan đến quốc phòng và không gian. Những bước tiến của Trung Quốc trong lĩnh vực tên lửa siêu thanh có khả năng mang đầu đạn hạt nhân được cho là đã khiến tình báo Hoa Kỳ bất ngờ vào tháng 8 năm 2021. Nếu có một công cụ như Công cụ theo dõi công nghệ quan trọng của ASPI đã thu thập và phân tích dữ liệu này 2 năm trước, thì mối quan tâm mạnh mẽ và hiệu suất nghiên cứu hàng đầu của Trung Quốc trong lĩnh vực này sẽ dễ dàng được xác định, và những tiến bộ công nghệ như vậy sẽ ít gây ngạc nhiên hơn. Đó là bởi vì, theo phân tích dữ liệu của ASPI, trong 5 năm qua, Trung Quốc đã tạo ra 48,49% tài liệu nghiên cứu có tác động lớn trên thế giới về động cơ máy bay tiên tiến, bao gồm cả động cơ siêu thanh, và nước này có 7 trong số 10 tổ chức nghiên cứu hàng đầu thế giới trong lĩnh vực này.

Hoa Kỳ đứng thứ hai trong số 44 công nghệ được theo dõi trong Công cụ theo dõi công nghệ tối quan trọng của ASPI. Nước này hiện dẫn đầu trong các lĩnh vực như điện toán hiệu năng cao, điện toán lượng tử và vắc xin. Bộ dữ liệu của ASPI tiết lộ rằng có một khoảng cách lớn giữa Trung Quốc và Hoa Kỳ (với tư cách là hai quốc gia dẫn đầu) với những quốc gia khác. Báo cáo nghiên cứu của ASPI cũng chỉ ra một nhóm nhỏ các quốc gia “hạng hai” do Ấn Độ và Vương quốc Anh dẫn đầu: các quốc gia khác thường xuất hiện trong nhóm này (trong nhiều lĩnh vực công nghệ) bao gồm Hàn Quốc, Nhật Bản, Đức, Úc, Italia.

Báo cáo cũng chỉ ra rằng, với một số phát hiện đáng ngạc nhiên càng làm nổi bật những khoảng trống trong hiểu biết về hệ sinh thái công nghệ quan trọng, bao gồm cả quỹ đạo hiện tại của nó. Điều quan trọng là chúng ta phải tìm cách lấp đầy khoảng trống này để không phải đối mặt với một tương lai trong đó một hoặc hai quốc gia thống trị các ngành công nghiệp mới và mới nổi (điều gần đây đã xảy ra trong công nghệ 5G) và để các quốc gia có quyền tiếp cận liên tục với các công nghệ tối quan trọng và đáng tin cậy.

Vị trí dẫn đầu về nghiên cứu nói chung của Trung Quốc và sự vượt trội về một số lĩnh vực nghiên cứu chuyên ngành của nước này trong một loạt các lĩnh vực chiến lược có ý nghĩa cảnh báo ngắn hạn và dài hạn đối với các quốc gia dân chủ. Về lâu dài, vị trí nghiên cứu hàng đầu của Trung Quốc có nghĩa là nước này đã vượt trội không chỉ về sự phát triển công nghệ hiện tại trong hầu hết các lĩnh vực, mà cả về các công nghệ tương lai. Điều này có thể khiến Trung Quốc không chỉ kiểm soát công nghệ tương lai mà cả sức mạnh và ảnh hưởng toàn cầu. Đây là điều mà các nước dân chủ phương Tây lo ngại, bởi Trung Quốc đang đẩy mạnh phát triển, thử nghiệm và ứng dụng các công nghệ quân sự và mới nổi không công khai, minh bạch và không thể được xem xét kỹ lưỡng bởi các cơ quan độc lập, xã hội dân sự và truyền thông.

Trong thời gian ngắn hơn, vị trí dẫn đầu đó — cùng với các chiến lược thành công để biến các đột phá nghiên cứu thành các hệ thống và sản phẩm thương mại được đưa vào cơ sở sản xuất hiệu quả — có thể cho phép Trung Quốc giành được quyền kiểm soát nguồn cung cấp toàn cầu đối với một số công nghệ quan trọng. Các nước phương Tây lo ngại rằng những rủi ro như vậy trở nên rõ ràng hơn do Đảng Cộng sản Trung Quốc sẵn sàng sử dụng các kỹ thuật “cưỡng chế” bên ngoài trật tự dựa trên quy tắc toàn cầu để trừng phạt các chính phủ và doanh nghiệp, bao gồm cả việc không cung cấp các công nghệ quan trọng.

Theo ASPI, Trung Quốc đang tiến xa hơn trong nhiều lĩnh vực hơn là những gì người ta đã biết. Đây là quốc gia dẫn đầu về 37 trong số 44 công nghệ được đánh giá, thường tạo ra nhiều nghiên cứu có tác động cao gấp 5 lần so với đối thủ cạnh tranh gần nhất. Điều này có nghĩa là chỉ có 7 trong số 44 công nghệ được phân tích hiện đang được dẫn dắt bởi một quốc gia dân chủ và quốc gia đó trong mọi trường hợp là Hoa Kỳ.

Hoa Kỳ duy trì thế mạnh của mình trong thiết kế và phát triển các thiết bị bán dẫn tiên tiến, đồng thời dẫn đầu trong các lĩnh vực nghiên cứu về điện toán hiệu năng cao và thiết kế, chế tạo mạch tích hợp tiên tiến. Nước này cũng dẫn đầu trong các lĩnh vực quan trọng của điện toán lượng tử và vắc-xin (và các biện pháp đối phó y tế). Điều này phù hợp với phân tích cho thấy Hoa Kỳ nắm giữ nhiều bằng sáng chế vắc xin Covid-19 nhất và là trung tâm của mạng lưới hợp tác toàn cầu này. Các biện pháp đối phó y tế cung cấp sự bảo vệ (và quản lý sau phơi nhiễm) cho quân nhân và dân sự chống lại vật liệu hóa học, sinh học, phóng xạ và hạt nhân bằng cách cung cấp chẩn đoán và điều trị nhanh chóng tại hiện trường (chẳng hạn như thuốc kháng vi-rút) ngoài vắc-xin.

Cuộc đua trở thành cường quốc công nghệ tối quan trọng tiếp theo là cuộc đua sát nút giữa Vương quốc Anh và Ấn Độ, cả hai đều khẳng định vị trí trong 5 quốc gia hàng đầu ở 29 trong số 44 công nghệ. Hàn Quốc và Đức theo sát phía sau, lần lượt xuất hiện trong 5 quốc gia hàng đầu với lần lượt 20 và 17 công nghệ. Úc nằm trong top 5 về 9 công nghệ, theo sát là Italia (7 công nghệ), Iran (6), Nhật Bản (4) và Canada (4). Nga, Singapore, Ả Rập Saudi, Pháp, Malaysia và Hà Lan nằm trong top 5 về một hoặc hai công nghệ. Một số quốc gia khác, bao gồm Tây Ban Nha và Thổ Nhĩ Kỳ, thường xuyên nằm trong top 10 quốc gia nhưng không nằm trong top 5.

Bảng 1. Quốc gia dẫn đầu và rủi ro độc quyền công nghệ

Công nghệ	Nước dẫn đầu	Mức độ rủi ro độc quyền công nghệ
Vật liệu tiên tiến và sản xuất		
1. Vật liệu nano và sản xuất	Trung Quốc	Cao
2. Lốp phủ	Trung Quốc	Cao
3. Vật liệu thông minh	Trung Quốc	Trung Bình
4. Vật liệu tổng hợp cao cấp	Trung Quốc	Trung Bình
5. Siêu vật liệu mới lạ	Trung Quốc	Trung Bình
6. Quy trình gia công đặc điểm kỹ thuật cao	Trung Quốc	Trung Bình
7. Chất nổ tiên tiến và vật liệu năng lượng	Trung Quốc	Trung Bình
8. Khai thác và chế biến khoáng sản quan trọng	Trung Quốc	Thấp
9. Nam châm và chất siêu dẫn tiên tiến	Trung Quốc	Thấp
10. Vật liệu bảo vệ tiên tiến	Trung Quốc	Thấp

11. Tổng hợp hóa học dòng chảy liên tục	Trung Quốc	Thấp
12. Sản xuất bồi đắp (bao gồm in 3D)	Trung Quốc	Thấp
Trí tuệ nhân tạo, điện toán và truyền thông		
13. Truyền thông tần số vô tuyến tiên tiến (bao gồm 5G và 6G)	Trung Quốc	Cao
14. Truyền thông quang tiên tiến	Trung Quốc	Trung Bình
15. Thuật toán trí tuệ nhân tạo (AI) và bộ tăng tốc phần cứng	Trung Quốc	Trung Bình
16. Sở cái phân tán	Trung Quốc	Trung Bình
17. Phân tích dữ liệu nâng cao	Trung Quốc	Trung Bình
18. Học máy (bao gồm mạng lưới thần kinh và học sâu)	Trung Quốc	Thấp
19. Công nghệ bảo vệ an ninh mạng	Trung Quốc	Thấp
20. Tính toán hiệu năng cao	Hoa Kỳ	Thấp
21. Thiết kế và chế tạo mạch tích hợp tiên tiến	Hoa Kỳ	Thấp
22. Xử lý ngôn ngữ tự nhiên (bao gồm nhận dạng và phân tích giọng nói và văn bản)	Hoa Kỳ	Thấp
Năng lượng và môi trường		
23. Hydro và amoniac cho năng lượng	Trung Quốc	Cao
24. Siêu tụ điện	Trung Quốc	Cao
25. Pin điện	Trung Quốc	Cao
26. Quang điện	Trung Quốc	Trung Bình
27. Quản lý và tái chế chất thải hạt nhân	Trung Quốc	Trung Bình
28. Công nghệ năng lượng trực tiếp	Trung Quốc	Trung Bình
29. Nhiên liệu sinh học	Trung Quốc	Thấp
30. Năng lượng hạt nhân	Trung Quốc	Thấp
Lượng tử		
31. Điện toán lượng tử	Hoa Kỳ	Trung Bình
32. Mật mã hậu lượng tử	Trung Quốc	Thấp
33. Truyền thông lượng tử (bao gồm phân phối khóa lượng tử)	Trung Quốc	Thấp
34. Cảm biến lượng tử	Trung Quốc	Thấp
Công nghệ sinh học, công nghệ gen và vắc xin		
35. Sinh học tổng hợp	Trung Quốc	Cao
36. Sản xuất sinh học	Trung Quốc	Trung Bình
37. Vắc xin và các biện pháp đối phó y tế	Hoa Kỳ	Trung Bình
Cảm biến và điều hướng		
38. Cảm biến quang tử	Trung Quốc	Cao
Quốc phòng, không gian, robot và giao thông vận tải.		
39. Động cơ máy bay tiên tiến (bao gồm động cơ siêu thanh)	Trung Quốc	Trung Bình
40. Máy bay không người lái, rô-bốt bầy đàn và hợp tác	Trung Quốc	Trung Bình
41. Vệ tinh nhỏ	Hoa Kỳ	Thấp
42. Công nghệ vận hành hệ thống tự lái	Trung Quốc	Thấp
43. Rô-bốt tiên tiến	Trung Quốc	Thấp
44. Hệ thống phóng không gian	Hoa Kỳ	Thấp

Nguồn: ASPI's Critical Technology Tracker, The global race for future power, 2023

Dù Trung Quốc đang dẫn đầu về hoạt động nghiên cứu các công nghệ quan trọng, nhưng ASPI lưu ý rất khó để áp dụng thành công những đột phá trong nghiên cứu vào hoạt động sản xuất. Ví dụ, Trung Quốc đã đầu tư rất lớn cho hoạt động nghiên cứu các công nghệ như động cơ phản lực, nhưng các kỹ sư của nước này đã vật lộn trong nhiều thập niên để sản xuất chúng. Vì vậy, cho đến nay, sự phát triển của lĩnh vực hàng không thương mại và quân sự của Trung Quốc phụ thuộc vào các nhà cung cấp nước ngoài. Điều tương tự cũng xảy ra đối với Trung Quốc trong lĩnh vực bán dẫn. Nhưng trong một loạt công nghệ, Trung Quốc dẫn đầu đủ lớn về số lượng công trình nghiên cứu có

tác động cao để có thể giúp nước này độc quyền trong 10 lĩnh vực như sinh học tổng hợp, công nghệ 5G và sản xuất vật liệu nano.

Yếu tố con người

Yếu tố con người đối với sự phát triển công nghệ tối quan trọng cũng cần được đưa vào các đánh giá về năng lực công nghệ. Đổi mới cuối cùng là kết quả của các nhà nghiên cứu, nhà khoa học và nhà thiết kế với cả cuộc đời đào tạo và kinh nghiệm dẫn đến những bước đột phá của họ. Điều quan trọng không kém là hiểu được nơi các nhà nghiên cứu đó bắt đầu hành trình nghề nghiệp của họ, nơi họ được đào tạo để trở thành những nhà lãnh đạo trong lĩnh vực của họ và cuối cùng họ đang ở đâu khi thực hiện những khám phá của mình, vẽ ra một bức tranh về mức độ cạnh tranh của các quốc gia trong khả năng thu hút và giữ chân các nhà nghiên cứu lành nghề từ nguồn tài năng toàn cầu.

Nghiên cứu của ASPI cũng đã trả lời được 2 câu hỏi: Ai là những cá nhân xuất bản nghiên cứu có tác động cao đã đưa Trung Quốc lên vị trí dẫn đầu ấn tượng? Họ đã học tập và đào tạo ở đâu? Về động cơ máy bay tiên tiến (bao gồm cả động cơ siêu thanh), trong đó Trung Quốc đang công bố nghiên cứu có tác động cao gấp bốn lần so với Hoa Kỳ (đứng thứ 2). Đầu tiên, phần lớn (68,6%) các tác giả có tác động lớn được đào tạo tại các trường đại học Trung Quốc và hiện đang làm việc tại các tổ chức nghiên cứu của Trung Quốc. Thứ hai, Trung Quốc cũng đang thu hút nhân tài đến từ các quốc gia dân chủ: 21,5% tác giả có ảnh hưởng lớn đã hoàn thành khóa đào tạo sau đại học tại 3 quốc gia chính (Hoa Kỳ = 9,8%, Vương quốc Anh = 7,8%, Canada = 3,9%), 2% được đào tạo tại EU và 2% được đào tạo tại Nhật Bản. Mặc dù không được định lượng trong nghiên cứu này, nhưng rất có thể đây là sự kết hợp giữa những công dân Trung Quốc đã ra nước ngoài để đào tạo và mang chuyên môn mới học được của họ trở lại Trung Quốc, và những công dân nước ngoài chuyển đến Trung Quốc để làm việc tại một tổ chức hoặc công ty nghiên cứu.

Các viện nghiên cứu hàng đầu thế giới cũng thường cung cấp chương trình đào tạo cho thế hệ các nhà đổi mới tiếp theo thông qua các sinh viên đại học, thạc sĩ và tiến sĩ chất lượng cao, và các cơ hội việc làm trong đó các nhà nghiên cứu mới được các chuyên gia cố vấn. Trung Quốc tuyên bố có 7 trong số 10 tổ chức nghiên cứu hàng đầu thế giới về động cơ máy bay tiên tiến (bao gồm cả động cơ siêu thanh), hệ thống đào tạo của họ có đủ chuyên môn quan trọng trong nước để đào tạo thế hệ các nhà khoa học hàng đầu. Tuy nhiên, một nguồn cung cấp ổn định các ý tưởng và kỹ thuật mới cũng được cung cấp bởi các cá nhân được đào tạo ở nước ngoài, những người được thu hút làm việc trong các tổ chức của Trung Quốc.

Lấy ví dụ về năng lực thiết kế và sản xuất động cơ, một câu hỏi quan trọng được đặt ra là liệu chuyên môn trong nghiên cứu tác động cao có chuyển thành được việc sản xuất động cơ phản lực hàng đầu thế giới hay không. Các báo cáo về độ tin cậy của động cơ phản lực do Trung Quốc sản xuất là gì? Bộ kỹ năng cần thiết để nghiên cứu động cơ hàng đầu khác với chuyên môn, kiến thức ngầm và nguồn nhân lực cần thiết để sản xuất động cơ phản lực đối với các yêu cầu về độ tin cậy cực cao. Đương nhiên, năng lực sản

xuất đi sau những đột phá về nghiên cứu. Tuy nhiên, trong ví dụ về sản xuất động cơ phản lực, Trung Quốc dường như đang đạt được những bước tiến và đã nhận ra “điểm yếu” của việc hoàn toàn phụ thuộc vào các công ty Hoa Kỳ và Thụy Điển về thép không gỉ cấp độ chính xác cần thiết cho các ổ trục trong động cơ máy bay hiệu suất cao. Thành tích nghiên cứu xuất sắc của Trung Quốc trong lĩnh vực này rất có thể phản ánh sự ưu tiên và đầu tư của Trung Quốc để vượt qua các rào cản về độ tin cậy và điểm nghẽn của những năm trước. Nhưng cho dù trọng tâm là động cơ phản lực hay người máy tiên tiến, việc hiện thực hóa hiệu suất nghiên cứu, dù ấn tượng đến đâu, thành những lợi ích công nghệ lớn có thể là một bước khó khăn và phức tạp, đòi hỏi các đầu vào khác (ngoài nghiên cứu chất lượng cao).

Tầm nhìn khoa học và công nghệ của Trung Quốc

Việc Trung Quốc dẫn đầu về nghiên cứu có tác động cao trong hầu hết mọi công nghệ quan trọng mà ASPI theo dõi có thể gây ngạc nhiên cho nhiều người. Tuy nhiên, trong nhiều thập kỷ nay, Trung Quốc đã phát tín hiệu về tầm quan trọng của nước này đối với tiến bộ công nghệ, tài năng, nghiên cứu và các ngành công nghiệp chiến lược mới nổi, và những ưu tiên đó được vạch ra thường xuyên và công khai trong các tầm nhìn và kế hoạch của họ.

Mong muốn trở thành một siêu cường công nghệ của Trung Quốc bắt nguồn từ việc các cường quốc nước ngoài sở hữu công nghệ quân sự vượt trội, khai thác những điểm yếu của Trung Quốc trong suốt nhiều thập kỷ. Điều này đã được thể hiện rõ trong những ngày đầu lập kế hoạch của Trung Quốc dưới thời Mao Trạch Đông, tham vọng này đã được lưu giữ trong ý thức hệ của Đảng Cộng sản Trung Quốc trong khái niệm “tự lực cánh sinh” (自力更生), tạo cơ sở cho cái mà ngày nay được gọi là “chủ nghĩa dân tộc kỹ thuật” của Trung Quốc. Gần đây hơn, trong trong hai thập kỷ qua, Chủ tịch Tập Cận Bình đã nhấn mạnh thêm vào các khái niệm này, đồng thời đầu tư và cung cấp nguồn lực cho khoa học và công nghệ, cũng như R&D, một trụ cột cốt lõi trong các chiến lược đổi mới và phát triển của Trung Quốc.

Trong bài phát biểu tại Đại hội toàn quốc lần thứ 18 của Đảng Cộng sản Trung Quốc năm 2012, ông Hồ Cẩm Đào đã vạch ra rằng “sự đóng góp của tiến bộ khoa học và công nghệ vào tăng trưởng kinh tế sẽ tăng lên đáng kể và Trung Quốc sẽ trở thành một quốc gia đổi mới”, bởi vì “khoa học và công nghệ cung cấp hỗ trợ chiến lược để nâng cao lực lượng sản xuất và tăng cường sức mạnh tổng thể của quốc gia”. Sau này, năm 2017, báo cáo của Đại hội 19 nhắc lại: tăng cường nghiên cứu cơ bản và tạo ra những bước đột phá lớn trong nghiên cứu cơ bản tiên phong, những đổi mới đột phá và nguyên bản; tăng cường nghiên cứu cơ bản định hướng ứng dụng, triển khai các dự án khoa học và công nghệ lớn của quốc gia, ưu tiên đổi mới sáng tạo trong các công nghệ chung then chốt, công nghệ tiên phong, công nghệ kỹ thuật hiện đại và công nghệ đột phá. Những nỗ lực này sẽ hỗ trợ đắc lực cho việc xây dựng sức mạnh của Trung Quốc về khoa học và công nghệ, chất lượng sản phẩm, hàng không vũ trụ, không gian mạng và giao thông vận tải; và để xây dựng một Trung Quốc kỹ thuật số và một xã hội thông minh.

Trong những năm sau Đại hội 19, đổi mới khoa học và công nghệ đã trở thành lực đẩy trung tâm cho sự phát triển kinh tế và xã hội của giới lãnh đạo Trung Quốc, nhưng cũng là “chiến trường chính của trò chơi chiến lược quốc tế”, như chính Chủ tịch Tập Cận Bình đã nói trong một bài phát biểu vào tháng 5 năm 2021. Để giành chiến thắng trong trò chơi chiến lược, Trung Quốc đã đưa ra các sáng kiến thiết thực nhằm thúc đẩy sự đổi mới sáng tạo bản địa/nội sinh và khả năng tự lực về công nghệ của Trung Quốc, chẳng hạn như “Made in China 2025” (中国制造 2025) và chiến lược kinh tế “Hai vòng xoay”. Chiến lược đầu tiên được triển khai vào năm 2015 và nhằm mục đích xây dựng Trung Quốc thành một siêu cường sản xuất với công nghệ và hệ thống công nghiệp hàng đầu thế giới. Cả hai đều có mục tiêu rõ ràng là thúc đẩy nhu cầu nội địa của Trung Quốc đồng thời giảm sự phụ thuộc của các ngành công nghiệp vào các công ty nước ngoài.

Việc nâng khoa học và công nghệ lên hàng đầu trong danh sách ưu tiên quốc gia của giới lãnh đạo Trung Quốc được phản ánh qua số lượng quan chức có chuyên môn kỹ thuật được bầu vào hàng ngũ cao nhất của Đảng Cộng sản Trung Quốc trong kỳ Đại hội đại biểu nhân dân toàn quốc lần thứ 20 và gần đây nhất là vào năm 2022. Ban Chấp hành Trung ương Đảng Cộng sản Trung Quốc đã tăng từ dưới 20 nhà kỹ trị vào năm 2017 lên gần 40 vào năm 2022, trong khi Bộ Chính trị tăng từ 2 lên tổng số 8 (trong số 24 thành viên). Tại đại hội năm 2022, Chủ tịch Tập Cận Bình một lần nữa lưu ý không chỉ tầm quan trọng của nghiên cứu cơ bản, mà còn cả nhân tài, và tiếp tục liệt kê các lĩnh vực mà Trung Quốc đã đạt được những bước tiến vượt bậc: chuyến bay vũ trụ có người lái, thám hiểm mặt trăng và sao Hỏa, tàu thăm dò dưới lòng đất và biển sâu, siêu máy tính, định vị vệ tinh, thông tin lượng tử, công nghệ năng lượng hạt nhân, sản xuất máy bay và y sinh học. Trung Quốc đã gia nhập hàng ngũ những nhà lãnh đạo đổi mới sáng tạo của thế giới.

2. Hiện trạng năng lực nghiên cứu và phát triển của các cường quốc trong một số lĩnh vực công nghệ tối quan trọng

Năng lực nghiên cứu đột phá của Trung Quốc về các công nghệ quốc phòng, an ninh và tình báo

Sự thống trị của Trung Quốc trong nghiên cứu tác động cao trong các công nghệ liên quan đến quốc phòng, không gian và an ninh là rõ ràng từ bộ dữ liệu Theo dõi công nghệ quan trọng của ASPI. Dưới đây là 5 quốc gia hàng đầu được xếp hạng theo tỷ lệ (%) kết quả nghiên cứu có tác động cao trong 6 công nghệ trong các lĩnh vực đó.

Trung Quốc dẫn đầu về nghiên cứu động cơ máy bay tiên tiến (bao gồm cả động cơ siêu thanh); khả năng tình báo trong tương lai; AI; và máy bay không người lái. Cần lưu ý rằng, nhiều công nghệ khác trong số 44 công nghệ có các ứng dụng an ninh và quân sự rõ ràng, từ các vật liệu tiên tiến (chẳng hạn như lớp phủ) đến phân tích dữ liệu nâng cao.

Đột phá quốc phòng: động cơ máy bay tiên tiến (bao gồm cả động cơ siêu thanh)

Tháng 10 năm 2021, Trung Quốc đã thử nghiệm một phương tiện bay siêu thanh

có khả năng mang đầu đạn hạt nhân. Tuy nhiên, đó không phải là một bất ngờ lớn, vì Trung Quốc chiếm 48% thị phần nghiên cứu có tác động lớn nhất trên thế giới về động cơ máy bay tiên tiến (bao gồm cả động cơ siêu thanh). Những thách thức chính của việc đạt được tốc độ trên Mach 5 có thể được giải quyết bằng những tiến bộ công nghệ về bề mặt có ma sát thấp để giảm và tản nhiệt do ma sát không khí tạo ra và phát triển các vật liệu mới có thể xử lý nhiệt độ cao và lực lớn trên các bề mặt. Trung Quốc là quốc gia dẫn đầu toàn cầu trong các lĩnh vực công nghệ khác liên quan đến việc cải tiến tên lửa siêu thanh, bao gồm cả siêu vật liệu mới (46% trong tổng số 10% sản lượng nghiên cứu tác động cao hàng đầu thế giới, gấp 2,7 lần so với quốc gia xếp thứ hai, Hoa Kỳ), sơn phủ (58%, gấp 7,96 lần Hoa Kỳ) và quy trình gia công kỹ thuật cao (36%, gấp 2,62 lần Ấn Độ). Xây dựng vị trí dẫn đầu thế giới trong các lĩnh vực nghiên cứu khác biệt nhưng có liên quan với nhau này là kết quả của một chiến lược được chuẩn bị kỹ lưỡng, kéo dài hàng thập kỷ, giúp hỗ trợ sự phát triển của thử nghiệm phương tiện siêu thanh của Trung Quốc.

Viện Hàn lâm Khoa học Trung Quốc là đơn vị có thành tích nổi bật trong bộ dữ liệu Theo dõi Công nghệ Quan trọng của ASPI. Nó dẫn đầu 6 trong số 8 công nghệ năng lượng và môi trường (số 1 toàn cầu về pin điện, hydro và amoniac cho năng lượng, năng lượng hạt nhân, quản lý và tái chế chất thải hạt nhân, quang điện, siêu tụ điện; số 3 về nhiên liệu sinh học) và một số công nghệ quốc phòng và không gian quan trọng (số 1 về cảm biến quang tử và cảm biến lượng tử, và số 2 về người máy tiên tiến và vệ tinh nhỏ). Học viện Khoa học Trung Quốc cũng đứng số 1 về kết quả nghiên cứu về phân tích dữ liệu nâng cao và số 2 về học máy trong hạng mục trí tuệ nhân tạo, máy tính và truyền thông.

Khả năng tình báo trong tương lai: cảm biến quang tử + giao tiếp lượng tử + giao tiếp quang học tiên tiến + mật mã hậu lượng tử

Thế mạnh nghiên cứu của Trung Quốc ở các cảm biến quang tử, truyền thông lượng tử và truyền thông quang học tiên tiến, mật mã hậu lượng tử,... có thể vượt qua các cộng đồng tình báo của các nhóm cường quốc khác, đặc biệt là các cơ quan tình báo phương Tây. Điều này làm giảm khả năng lập kế hoạch cho các tình huống bất ngờ trong trường hợp xảy ra chiến sự và căng thẳng. Trung Quốc dẫn đầu toàn cầu về cảm biến quang tử (43% trong số 10% nghiên cứu có tác động cao hàng đầu thế giới, gấp 3,41 lần Hoa Kỳ), truyền thông lượng tử (31%, gấp 1,89 lần Hoa Kỳ), truyền thông quang học tiên tiến (38%, gấp 2,95 lần Hoa Kỳ) và mật mã hậu lượng tử (31%, gấp 2,3 lần Mỹ).

Trung Quốc đã xây dựng cơ sở hạ tầng vật lý để sở hữu mạng truyền thông lượng tử lớn nhất thế giới, và thậm chí đã thiết lập truyền thông lượng tử với máy bay không người lái và vệ tinh đang di chuyển. Rủi ro tăng lên với phương Tây khi Trung Quốc dẫn đầu về cả khả năng chống mã hóa, giải mã bằng máy tính lượng tử và khả năng chia sẻ khóa mã hóa thông qua giao tiếp lượng tử. Tuy nhiên, Hoa Kỳ hiện đang dẫn đầu về

điện toán lượng tử (34% trong tổng số 10% sản lượng nghiên cứu có tác động cao hàng đầu thế giới, gấp 2,26 lần Trung Quốc).

Sức mạnh của trí tuệ nhân tạo: Thuật toán AI và bộ tăng tốc phần cứng + pin điện

Các hệ thống vũ khí và tình báo do AI điều khiển sẽ ngày càng quyết định kết quả của các cuộc xung đột và làm mất cân bằng trong cuộc đua giành ưu thế quân sự. Hệ thống nhắm mục tiêu tên lửa Javelin và máy bay chiến đấu F-35 dựa trên các thuật toán tiên tiến chạy trên phần cứng nhanh, mạnh và tiết kiệm năng lượng. Tương tự như vậy, AI được sử dụng cho bước đầu tiên sàng lọc qua hàng núi tín hiệu thông minh để tìm ra những hiểu biết có giá trị tiềm năng và đề hợp nhất các bộ dữ liệu, sau đó được các nhà phân tích xem xét kỹ lưỡng.

Trung Quốc đang dẫn đầu các thuật toán AI và máy gia tốc phần cứng (chiếm 37% sản lượng nghiên cứu trong nhóm 10% có tác động cao hàng đầu thế giới, gấp 2,76 lần Hoa Kỳ). Phần cứng tiêu thụ điện năng thấp hơn có nghĩa là khả năng đào tạo các mô hình AI tinh vi hơn để sử dụng trong phần cứng quân sự di động và giảm chi phí điện năng theo một mức độ lớn. Kết hợp với pin điện tốt hơn—một lần nữa Trung Quốc là nước dẫn đầu toàn cầu (dẫn đầu ấn tượng là 65%, gấp 5,51 lần Hoa Kỳ)—điều này cho phép triển khai các khí tài quân sự tinh vi hơn cho binh lính trên chiến trường. Những đổi mới nghiên cứu và đột phá khoa học sẽ tiếp tục tạo ra các thiết bị được tăng cường AI ngày càng tinh vi trong tay các chỉ huy quân sự trên khắp thế giới (ít nhất là ở những quốc gia đầu tư hoặc mua những công nghệ như vậy). Theo xu hướng này, ASPI nhận định, khi khoảng cách năng lực thu hẹp lại trong những năm và thập kỷ tới, những tính toán về chi phí của Trung Quốc trong việc chiếm Đài Loan bằng vũ lực sẽ thấp hơn và nguy cơ xung đột giữa các cường quốc có thể tăng lên.

Sử dụng máy bay không người lái trong quân sự: máy bay không người lái, robot cộng tác và bầy đàn + hệ thống tự trị + pin điện + công nghệ năng lượng được định hướng

Việc sử dụng máy bay không người lái trong quân sự, cũng như lợi thế quân sự và tình báo khác biệt và bất đối xứng có thể mang lại chiến thắng trong chiến tranh. Nhưng công cụ thay đổi cuộc chơi thực sự cho các mục đích quân sự xuất hiện ở dạng máy bay không người lái hợp tác và tập hợp. Đại học Chiết Giang ở Trung Quốc gần đây đã trình diễn bầy máy bay không người lái tự điều hướng qua các môi trường phức tạp và sử dụng thuật toán thị giác máy tính để xác định con người. Trường đại học này xếp hạng cao trong nhiều công nghệ và cũng được xếp hạng rủi ro cao bởi ASPI. Bước đột phá nằm ở khả năng chia sẻ thông tin được thu thập từ các cảm biến trong mỗi máy bay không người lái với toàn bộ đàn, dẫn đến nhận thức tình huống vượt trội hơn rất nhiều. Công nghệ pin tiên tiến hơn cho phép những máy bay không người lái này hoạt động ở khoảng cách xa hơn, trong thời gian dài hơn và đề trang bị các hệ thống phức tạp hơn.

Trung Quốc có tỷ lệ xuất bản ấn phẩm có tác động cao gấp 3,5 lần về máy bay

không người lái, rô-bốt hợp tác và bầy đàn cũng như có 5 trong số 10 tổ chức hàng đầu thế giới trong các lĩnh vực này. Tương tự như vậy, đối với pin điện, Trung Quốc dẫn đầu, cao hơn 5,5 lần so với Hoa Kỳ về tỷ lệ nghiên cứu có tác động cao và 8 trong số 10 tổ chức hàng đầu trong lĩnh vực này có trụ sở tại Trung Quốc. Công nghệ liên quan đến các hệ thống tự trị, Trung Quốc cũng dẫn đầu về xuất bản ấn phẩm có tác động cao.

Bảo vệ chống lại máy bay không người lái tràn ngập là một thách thức lớn. Trong những năm gần đây, người ta ngày càng tập trung vào việc sử dụng các xung điện từ có hướng để phá hủy các thiết bị điện tử của máy bay không người lái, được cung cấp từ cả thiết bị có hệ số dạng nhỏ và lớn. Trung Quốc dẫn đầu về công nghệ năng lượng trực tiếp với 2,05 lần so với Hoa Kỳ về các ấn phẩm có tác động cao và có 7 trong số 10 tổ chức hàng đầu thế giới. Một cách tiếp cận khác là đánh lừa các thuật toán điều khiển bầy máy bay không người lái sao cho máy bay không người lái va chạm hoặc tấn công một mục tiêu giả. 107 Điều này được gọi là 'trí tuệ nhân tạo đối nghịch' và các kỹ thuật phòng thủ chống lại các cuộc tấn công như vậy nằm trong các công nghệ an ninh mạng bảo vệ mà Trung Quốc dẫn đầu với tỷ lệ 1,33 lần Hoa Kỳ trong nghiên cứu có tác động cao và có bốn trong số 10 tổ chức hàng đầu thế giới.

Trí tuệ nhân tạo, công nghệ lượng tử, vật liệu tiên tiến và sản xuất

AI, máy tính và truyền thông

10 công nghệ nằm trong danh mục AI, máy tính và truyền thông trong Công cụ theo dõi công nghệ quan trọng của ASPI. AI, hơn bất kỳ công nghệ nào khác, tiếp tục đứng hàng đầu sự quan tâm của mọi quốc gia. Trong vòng hai tháng kể từ khi được OpenAI phát hành, chatbot trực tuyến ChatGPT đã có hơn 100 triệu người dùng thường xuyên. Để đo lường tác động của nó: TikTok đã mất hơn 9 tháng và Instagram hơn 2,5 năm để đạt được cùng một lượng người dùng. ChatGPT được xây dựng trên mô hình ngôn ngữ được đào tạo trên dữ liệu lớn, kết hợp giữa học có giám sát và học tăng cường từ phản hồi của con người. Do đó, các chatbot như ChatGPT, Apprentice Bard của Google và những thứ tương tự được hưởng lợi từ sự phát triển trong một số danh mục con AI, như thuật toán và phần cứng AI, công nghệ máy học và xử lý ngôn ngữ tự nhiên.

Bảng 2: Bảng xếp hạng 5 quốc gia hàng đầu về AI, điện toán và truyền thông

Công nghệ	Top 5 quốc gia					Mức độ rủi ro độc quyền công nghệ
Truyền thông tần số vô tuyến tiên tiến (bao gồm 5G và 6G)	Trung Quốc 29.65%	Hoa Kỳ 9.50%	Anh 5.18%	Hàn Quốc 4.89%	Ấn Độ 4.83%	Cao
Truyền thông quang tiên tiến	Trung Quốc 37.69%	Hoa Kỳ 12.76%	Anh 5.64%	Ấn Độ 3.88%	Ả Rập Xê Út 3.48%	Trung bình
Thuật toán AI và bộ tăng tốc phần cứng	Trung Quốc 36.62%	Hoa Kỳ 13.26%	Anh 4.20%	Hàn Quốc 4.15%	Ấn Độ 3.48%	Trung bình

Số cái phân tán	Trung Quốc 28.38%	Hoa Kỳ 11.32%	Ấn Độ 8.94%	Anh 5.54%	Úc 4.81%	Trung bình
Phân tích dữ liệu nâng cao	Trung Quốc 31.23%	Hoa Kỳ 15.45%	Ấn Độ 6.02%	Anh 4.19%	Italia 3.92%	Trung bình
Học máy (bao gồm mạng lưới thần kinh và học sâu)	Trung Quốc 33.20%	Hoa Kỳ 17.93%	Ấn Độ 4.87%	Anh 3.87%	Hàn Quốc 3.32%	Thấp
Công nghệ an ninh mạng	Trung Quốc 23.33%	Hoa Kỳ 16.80%	Ấn Độ 7.67%	Úc 5.71%	Anh 5.20%	Thấp
Tính toán hiệu suất cao	Hoa Kỳ 29.31%	Trung Quốc 25.57%	Hàn Quốc 6.34%	Đức 4.68%	Anh 3.98%	Thấp
Thiết kế và chế tạo mạch tích hợp tiên tiến	Hoa Kỳ 24.18%	Trung Quốc 21.19%	Ấn Độ 7.16%	Đức 4.46%	Italia 3.57%	Thấp
Xử lý ngôn ngữ tự nhiên (bao gồm nhận dạng và phân tích giọng nói và văn bản)	Hoa Kỳ 25.73%	Trung Quốc 23.57%	Ấn Độ 5.74%	Anh 4.55%	Hàn Quốc 3.37%	Thấp

Nguồn: *ASPI's Critical Technology Tracker, The global race for future power, 2023*

Nhu cầu về khả năng AI nhanh hơn đã đặt các chip AI vào trung tâm của cuộc đua về nền kinh tế dựa trên công nghệ và thúc đẩy nghiên cứu. Các công ty công nghệ ở Thung lũng Silicon nằm trong số những công ty hoạt động hiệu quả nhất, điều này cho thấy rằng nghiên cứu có tác động lớn lan rộng từ các trường đại học và khu vực tư nhân. Điều này nhấn mạnh tầm quan trọng của một hệ sinh thái dựa trên công nghệ; nghĩa là, một quốc gia phải có cả khu vực đại học và khu vực công nghiệp tư nhân phát triển mạnh để đạt được và duy trì vị trí dẫn đầu về nghiên cứu.

Hoa Kỳ vượt trội trong việc thiết kế và phát triển các chip bán dẫn tiên tiến nhất và dẫn đầu về nghiên cứu trong các lĩnh vực công nghệ điện toán hiệu suất cao cũng như thiết kế và chế tạo mạch tích hợp tiên tiến. Điều đáng nói là, trong khi Đài Loan (Trung Quốc) đang cung cấp hơn 90% chất bán dẫn tiên tiến của thế giới, thì hầu hết các nghiên cứu và thiết kế chip thực sự được tiến hành ở Hoa Kỳ. Trong dữ liệu của ASPI, Đài Loan đứng thứ 9 về số lượng bài báo nằm trong top 10% các bài báo được trích dẫn nhiều về thiết kế và chế tạo mạch tích hợp tiên tiến, trong khi tổ chức hàng đầu của Đài Loan, Đại học Quốc gia Chiao Tung, đứng ở vị trí thứ 6.

Trong danh mục AI, điện toán và truyền thông, thiết kế và chế tạo mạch tích hợp tiên tiến có số lượng quốc gia đại diện cao nhất và được xếp hạng thấp trong thước đo rủi ro độc quyền công nghệ của ASPI. 4 quốc gia châu Âu (Bỉ, Pháp, Đức và Italia), Canada, Ấn Độ, Singapore, Hàn Quốc, Thụy Sĩ và Đài Loan cùng với Trung Quốc và Hoa Kỳ xuất hiện ở những vị trí hàng đầu. Đại học California, Viện Công nghệ Georgia và Đại học Florida là một trong những tổ chức hàng đầu, cùng với Viện Công nghệ Ấn Độ (IIT) ở Ấn Độ.

Các công ty công nghệ như Tập đoàn Sản xuất Chất bán dẫn Đài Loan (TSMC) và Samsung Electronics là những nhà cung cấp chính trên thế giới các mạch tích hợp cao cấp và tiêu dùng, đồng thời được hỗ trợ bởi các tổ chức địa phương như Đại học Giao thông Quốc gia và Viện Khoa học và Công nghệ Tiên tiến Hàn Quốc.

Năm 1984, Trung tâm vi điện tử liên trường đại học của Bỉ (IMEC) được thành lập bởi một nhóm các nhà nghiên cứu bán dẫn lấy cảm hứng từ mô hình Thung lũng Silicon như một trung tâm R&D và tập trung vào phát triển, chế tạo và xử lý silicon cho các thế hệ công nghệ bán dẫn oxit kim loại bổ sung khác nhau. IMEC ngày nay có hơn 5.000 nhà nghiên cứu và là một công ty quốc tế mạnh về chế tạo mạch bán dẫn và mạch tích hợp. IMEC sở hữu tài sản trí tuệ quan trọng và nguồn tài trợ từ sự hợp tác lớn với các công ty quốc tế hiện vượt quá nguồn tài trợ của chính quyền vùng Flemish. IMEC nằm trong số 20 tổ chức hàng đầu về công nghệ chế tạo và thiết kế mạch tích hợp tiên tiến (thứ 14 theo chỉ số H).

Theo Hiệp hội Công nghiệp Chất bán dẫn (SIA), Hoa Kỳ dự kiến sẽ thiếu kỹ sư thiết kế vào năm 2030 do một số yếu tố, bao gồm việc mất 2% kỹ sư thiết kế có kinh nghiệm hàng năm và sự phụ thuộc nhiều vào sinh viên quốc tế (đăng ký thấp hơn). Chi phí thiết kế chip tiên tiến gần như tăng gấp đôi với mỗi thế hệ thiết kế chip tiên tiến và trong khi tỷ lệ đầu tư công vào các công ty thiết kế chip bán dẫn ở Hoa Kỳ ước tính vào khoảng 13%, các chính phủ ở Châu Âu, Trung Quốc, Đài Loan, Nhật Bản và Hàn Quốc đã tăng cường tài trợ cho năng lực thiết kế chất bán dẫn trong nước (trung bình hơn 30% đầu tư công). Ngoài ra, Hàn Quốc, Trung Quốc và Ấn Độ đưa ra các ưu đãi thuế hấp dẫn cho các công ty R&D bán dẫn. Dữ liệu về luồng nhân tài của ASPI đối với công nghệ chế tạo và thiết kế mạch tích hợp tiên tiến cho thấy Hoa Kỳ có một lượng nhân tài đáng kể đến từ Trung Quốc, Ấn Độ, Hàn Quốc và các quốc gia khác để đào tạo sau đại học, trong đó một phần nhỏ chọn ở lại làm việc, theo thỏa thuận SIA. Trong nỗ lực chống lại Trung Quốc và thúc đẩy ngành công nghiệp bán dẫn địa phương, Chính phủ Hoa Kỳ đã công bố Đạo luật CHIPS với gói 280 tỷ USD và khoảng 11 tỷ USD cho thiết kế, đóng gói và R&D và sản xuất chất bán dẫn. Khu vực tư nhân Hoa Kỳ đã chi 40 tỷ USD cho R&D, thiết kế các chip bán dẫn tiên tiến chỉ riêng trong năm 2021.

Có một cuộc đua sát nút giữa Hoa Kỳ và Trung Quốc để giành ưu thế trong lĩnh vực công nghệ máy học (Trung Quốc đang dẫn đầu) và xử lý ngôn ngữ tự nhiên (Hoa Kỳ đang dẫn đầu). Những công nghệ này được đầu tư rất nhiều bởi hệ sinh thái Thung lũng Silicon và các công ty công nghệ khác. Tuy nhiên, Trung Quốc dẫn đầu về nghiên cứu trong các lĩnh vực công nghệ còn lại: phân tích dữ liệu nâng cao, truyền thông quang học tiên tiến, truyền thông tần số vô tuyến tiên tiến, thuật toán AI và máy gia tốc phần cứng, sở cái phân tán, máy học và công nghệ bảo vệ an ninh mạng.

Trong phân tích dữ liệu nâng cao, Trung Quốc là quốc gia dẫn đầu và chiếm 13 trong số 20 tổ chức hàng đầu. Công nghệ này rất quan trọng vì nó củng cố khả năng rút ra những hiểu biết mới và có giá trị từ các bộ dữ liệu lớn và cung cấp những thông tin

đó trong thời gian gần như thực, ví dụ cung cấp thông tin cho những người lính trên chiến trường hoặc phi công trên bầu trời. Từ góc độ thương mại, việc duy trì vị trí dẫn đầu trong lĩnh vực này sẽ củng cố mô hình kinh doanh của các công ty tìm kiếm như Google, ByteDance và Baidu.

Các tổ chức hàng đầu về phân tích dữ liệu nâng cao bao gồm Học viện Khoa học Trung Quốc, hệ thống Đại học California (bao gồm 10 cơ sở nằm rải rác khắp California) và Đại học Khoa học và Công nghệ Huazhong. Tùy thuộc vào thước đo chất lượng được sử dụng, 2 hoặc 4 trường đại học Hoa Kỳ nằm trong 20 trường hàng đầu. Hệ thống Đại học California và Đại học Stanford nằm trong 20 tổ chức hàng đầu, trong khi Đại học Washington và Viện Công nghệ Massachusetts (MIT) trong danh sách hàng đầu dựa trên chỉ số H-index. Ấn Độ có 3 tổ chức trong top 20: Viện Kỹ thuật và Công nghệ Thapar, NIT Ấn Độ và Viện Công nghệ Ấn Độ. Thụy Sĩ, Ả Rập Saudi, Úc và Iran mỗi nước có một trường trong top 20.

Hệ thống Đại học California là tổ chức duy nhất được xếp hạng trong số 20 tổ chức hàng đầu trong tất cả các hạng mục AI. Đây là đại học được xếp hạng thứ nhất hoặc thứ hai của Hoa Kỳ về tất cả các công nghệ trong danh mục AI, điện toán và truyền thông, sắp trở thành tổ chức hàng đầu về học máy, điện toán hiệu suất cao và thiết kế và chế tạo mạch tích hợp tiên tiến. Với Thung lũng Silicon, bang California là một trung tâm công nghệ, thuận lợi cho việc thương mại hóa nghiên cứu. Với 10 cơ sở, hệ thống Đại học California (UC) kết hợp các học viện danh tiếng như UC Berkeley, UC Los Angeles, UC San Francisco và UC Davis. Ngoài ra, Đại học California quản lý và điều hành một phòng thí nghiệm quốc gia cho Bộ Năng lượng—Phòng thí nghiệm Quốc gia Lawrence Berkeley (còn được gọi là phòng thí nghiệm Berkeley)—và cũng là nơi tổ chức Phòng thí nghiệm Quốc gia Lawrence Livermore. Sự kết hợp giữa ngành công nghiệp và các tổ chức nghiên cứu này tạo ra một hệ sinh thái công nghệ sôi động, trong đó các công nghệ quan trọng có thể được phát triển.

Hai trường đại học Trung Quốc theo sát hệ thống UC là Viện Hàn lâm Khoa học Trung Quốc và Đại học Thanh Hoa đều được xếp hạng trong số 20 tổ chức hàng đầu về 9 trong số 10 công nghệ AI nhờ các ấn phẩm của họ trong 10% bài báo được trích dẫn nhiều nhất. Đại học Khoa học và Công nghệ Huazhong và Đại học Chiết Giang đều được xếp hạng trong 20 tổ chức hàng đầu ở 8 trong số 10 công nghệ AI nhờ các ấn phẩm của họ trong 10% bài báo được trích dẫn nhiều nhất. Viện Công nghệ Ấn Độ được xếp hạng trong số 20 tổ chức hàng đầu ở 7 trong số 10 công nghệ AI nhờ các ấn phẩm của mình trong 10% bài báo được trích dẫn nhiều. Một phát hiện thú vị là sự hiện diện của Singapore trong tất cả các công nghệ thuộc danh mục AI ngoại trừ phân tích dữ liệu nâng cao, đặc biệt là trong các chỉ số chất lượng: Đại học Công nghệ Nanyang (NTU) và Đại học Quốc gia Singapore được đại diện ở 6 và 5 trong số 10 danh mục AI tương ứng. Singapore có GDP bình quân đầu người cao thứ ba và là một trong những con hổ châu Á tập trung vào các công nghệ quan trọng.

Các công ty công nghệ Hoa Kỳ cũng có đại diện tốt trong lĩnh vực AI: Google (hạng nhất về xử lý ngôn ngữ tự nhiên), Microsoft (hạng 6 về xử lý ngôn ngữ tự nhiên theo chỉ số H), Facebook (hạng 13 về xử lý ngôn ngữ tự nhiên), Hewlett Packard Enterprise (hạng 14 về điện toán hiệu năng cao). Một phát hiện đáng chú ý khác là sự đại diện nổi bật của các phòng thí nghiệm quốc gia thuộc Bộ Năng lượng Hoa Kỳ (DoE) về điện toán hiệu năng cao: Phòng thí nghiệm Quốc gia Sandia, Phòng thí nghiệm Quốc gia Oak Ridge, Phòng thí nghiệm Quốc gia Lawrence Berkeley và Phòng thí nghiệm Quốc gia Argonne nằm trong top 20 các tổ chức khi được đo lường bằng cách sử dụng các chỉ số H-index.

Công nghệ lượng tử

Cơ học lượng tử ra đời từ một loạt các đột phá khoa học vào đầu những năm 1900 và cuối cùng phát triển thành cơ học lượng tử hiện đại. Các khái niệm của nó đã mang lại rất nhiều điều cho cuộc sống hàng ngày của chúng ta, từ việc tìm hiểu các thiết bị bán dẫn cho đến các máy tính lượng tử trong tương lai. Công nghệ lượng tử hiện có mặt trong danh sách và liên minh quốc gia của các chính phủ trong đó nêu rõ những công nghệ mới nổi nào được coi là “tối quan trọng” đối với tương lai của họ. Khi một công nghệ được gọi là “tối quan trọng”, vấn đề an ninh quốc gia trở nên quan trọng và hạn chế triển vọng hợp tác quốc tế.

Trung Quốc được ước tính có mức tài trợ công cao nhất được phân bổ cho các công nghệ lượng tử (hơn 14 tỷ USD), tiếp theo là EU (7,2 tỷ USD) và các quốc gia như Đức, Pháp, Hà Lan và Thụy Điển nằm trong số các quốc gia châu Âu được tài trợ nhiều nhất. Israel là nhà đầu tư cao nhất trên cơ sở bình quân đầu người. Úc cũng là một phần của nỗ lực quốc tế này sau thông báo tài trợ trị giá 111 triệu đô la Úc vào năm 2021, bao gồm cả Chiến lược lượng tử quốc gia và Ủy ban cố vấn lượng tử quốc gia mới.

Với tư cách là một khối, EU là một đối thủ cạnh tranh mạnh mẽ với Trung Quốc trong tất cả các công nghệ lượng tử, bao gồm cả mật mã hậu lượng tử. Hoa Kỳ đang bỏ xa Trung Quốc với biên độ lớn hơn về một số lĩnh vực công nghệ lượng tử. Các công ty công nghệ lớn như IBM, Google, Microsoft, Alibaba và Amazon là những nhà đầu tư tư nhân lớn nhất, đặc biệt là ở Hoa Kỳ, nơi hơn 80% kinh phí cho nghiên cứu lượng tử là từ khu vực tư nhân. Các khoản đầu tư tư nhân vào khoảng 1,4 tỷ USD trên toàn cầu vào năm 2021 và ước tính đạt hơn 2 tỷ USD năm 2022, với phần lớn khoản tài trợ này được dành cho các công ty mới thành lập tập trung vào phần cứng lượng tử, đặc biệt là trong điện toán lượng tử.

Bảng 3: Xếp hạng 5 quốc gia hàng đầu: Công nghệ lượng tử

Công nghệ	Top 5 quốc gia					Mức độ rủi ro độc quyền công nghệ
	Hoa Kỳ	Trung Quốc	Anh	Đức	Canada	
Tính toán lượng tử	33.90%	15.03%	6.11%	5.52%	4.13%	Trung bình

Mật mã hậu lượng tử	Trung Quốc 30.98%	Hoa Kỳ 13.30%	Anh 6.41%	Đức 4.73%	Ấn Độ 3.69%	Thấp
Truyền thông lượng tử (bao gồm phân phối khóa lượng tử)	Trung Quốc 31.47%	Hoa Kỳ 16.68%	Anh 7.58%	Đức 6.45%	Hà Lan 3.81%	Thấp
Cảm biến lượng tử	Trung Quốc 23.70%	Hoa Kỳ 23.27%	Đức 7.76%	Nhật Bản 4.29%	Anh 4.20%	Thấp

Nguồn: ASPI's Critical Technology Tracker, The global race for future power, 2023

Vật liệu tiên tiến

Vật liệu tiên tiến thể hiện các đặc tính vượt trội và mới lạ. Tiến bộ trong lĩnh vực vật liệu tiên tiến có khả năng định hình tương lai của các công nghệ tiên tiến với các đặc tính hiệu suất cao, ví dụ, có thể tiết kiệm chi phí hơn, tiết kiệm năng lượng, bền hơn, nhẹ hơn, nhỏ hơn, chịu nhiệt hơn. Có những lợi ích rõ ràng đạt được từ những tiến bộ trong lĩnh vực này và một số chính phủ, cho dù từ góc độ sản xuất, thương mại hay quốc phòng và an ninh quốc gia, đang đưa ra các chiến lược và kế hoạch để tận dụng nhiều hơn những tiến bộ và đổi mới diễn ra trong lĩnh vực này.

Bảng 4: Xếp hạng 5 quốc gia hàng đầu: Vật liệu tiên tiến và sản xuất.

Công nghệ	Top 5 quốc gia					Mức độ rủi ro độc quyền công nghệ
1. Vật liệu nano và sản xuất	Trung Quốc 58.35%	Hoa Kỳ 6.73%	Ấn Độ 4.90%	Hàn Quốc 4.06%	Iran 3.84%	Cao
2. Lớp phủ	Trung Quốc 58.47%	Hoa Kỳ 7.34%	Ấn Độ 5.97%	Hàn Quốc 3.22%	Iran 2.84%	Cao
3. Vật liệu thông minh	Trung Quốc 42.57%	Ấn Độ 8.13%	Hoa Kỳ 6.96%	Iran 6.69%	Anh 3.27%	Trung Bình
4. Vật liệu tổng hợp cao cấp	Trung Quốc 40.82%	Ấn Độ 14.03%	Hoa Kỳ 7.30%	Hàn Quốc 4.04%	Iran 3.93%	Trung Bình
5. Siêu vật liệu mới lạ	Trung Quốc 45.56%	Hoa Kỳ 16.90%	Hàn Quốc 4.01%	Singapo 3.89%	Úc 3.01%	Trung Bình
6. Quy trình gia công đặc điểm kỹ thuật cao	Trung Quốc 36.21%	Ấn Độ 13.84%	Hoa Kỳ 11.75%	Anh 3.59%	Đức 2.85%	Trung Bình
7. Chất nổ tiên tiến và vật liệu năng lượng	Trung Quốc 47.10%	Hoa Kỳ 21.31%	Ấn Độ 4.88%	Đức 3.96%	Nga 3.23%	Trung Bình
8. Khai thác và chế biến khoáng sản quan trọng	Trung Quốc 36.68%	Hoa Kỳ 13.39%	Ấn Độ 4.47%	Úc 2.79%	Canada 2.68%	Thấp
9. Nam châm và chất siêu dẫn tiên tiến	Trung Quốc 33.36%	Hoa Kỳ 16.37%	Anh 7.54%	Đức 7.09%	Nhật Bản 5.01%	Thấp

10. Vật liệu bảo vệ tiên tiến	Trung Quốc 35.05%	Hoa Kỳ 18.72%	Anh 5.26%	Hàn Quốc 4.74%	Úc 3.04%	Thấp
11. Tổng hợp hóa học dòng chảy liên tục	Trung Quốc 24.64%	Hoa Kỳ 13.90%	Anh 5.73%	Đức 5.10%	Nhật Bản 3.85%	Thấp
12. Sản xuất bồi đắp (bao gồm in 3D)	Trung Quốc 20.41%	Hoa Kỳ 20.25%	Anh 6.38%	Đức 5.27%	Úc 4.34%	Thấp

Nguồn: *ASPI's Critical Technology Tracker, The global race for future power, 2023*

Bộ dữ liệu xuất bản nghiên cứu lớn nhất trong danh mục vật liệu tiên tiến là về vật liệu nano, với hơn nửa triệu công bố. Các vật liệu kích thước nano có nhiều ứng dụng khác nhau khai thác các đặc tính cơ học, điện và quang tử. Sự đa dạng trong các đặc tính của vật liệu nano có nghĩa là rất khó để đưa ra những đánh giá chuyên sâu về khả năng phát triển của công nghệ quan trọng này. 11 trong số 12 danh mục con trong danh mục vật liệu tiên tiến có liên quan trực tiếp đến các ứng dụng của chúng. Khai thác và chế biến khoáng sản quan trọng có các ứng dụng gián tiếp rộng lớn hơn trong pin điện, chất siêu dẫn và nam châm.

Đáng chú ý, trữ lượng lithium, các nguyên tố đất hiếm và các kim loại khác (như mangan, niken và coban) được coi là những khoáng sản quan trọng vì các vấn đề về chuỗi cung ứng trở nên quan trọng đối với việc sản xuất pin xe điện, vốn đòi hỏi phải có nguồn cung cấp đáng tin cậy. Nguy cơ thiếu hụt lithium là một lưu ý về tính dễ bị tổn thương của chuỗi cung ứng.

Bộ dữ liệu vật liệu tiên tiến của ASPI cho thấy việc khai thác và chế biến khoáng sản quan trọng liên quan đến một số lượng đáng kể các tổ chức có trụ sở tại Trung Quốc, trong đó Viện Hàn lâm Khoa học Trung Quốc đứng đầu, nhưng cũng cho thấy một số quốc gia đa dạng nằm trong top 20 tổ chức.

ASPI: Giải pháp đối với các quốc gia phương Tây trong cuộc đua với Trung Quốc

Những gì Trình theo dõi công nghệ quan trọng mới của ASPI mang lại - ngoài các bộ dữ liệu thể hiện hiệu suất nghiên cứu - là những hiểu biết độc đáo về chiến lược, ý định và khả năng tiềm ẩn trong tương lai. Nó cũng cung cấp những hiểu biết có giá trị về sự lan rộng và mức độ tập trung của kiến thức chuyên môn toàn cầu trong một loạt các lĩnh vực quan trọng. Có nhiều cách để các quốc gia (chính phủ, doanh nghiệp và xã hội dân sự) có thể sử dụng bộ dữ liệu mới có sẵn trong Công cụ theo dõi công nghệ quan trọng. Nó có thể được sử dụng để hỗ trợ lập kế hoạch chiến lược, cho phép đầu tư có mục tiêu hơn hoặc tạo điều kiện thuận lợi cho việc thiết lập các quan hệ đối tác toàn cầu mới. Ví dụ, Úc có một trong những trữ lượng lithium lớn nhất thế giới và có tất cả các khoáng chất quan trọng để sản xuất pin lithium. Là quốc gia hàng đầu về công nghệ quang điện, Úc có tiềm năng đảm bảo an ninh năng lượng bằng cách tập trung vào pin điện, khai thác và xử lý khoáng chất quan trọng cũng như công nghệ quang điện trong

khi tận dụng các nguồn tài nguyên khoáng sản quan trọng trên bờ của mình. Là nhà sản xuất nhôm lớn thứ hai thế giới, Úc có thể giảm lượng khí thải nhà kính bằng cách sử dụng cả hydro và điện được tạo ra từ các nguồn tái tạo trong quá trình sản xuất nhôm của mình. Tài trợ chiến lược cho các công nghệ quan trọng được kết nối với nhau này có thể làm giảm rủi ro độc quyền công nghệ hiện tại do Công cụ theo dõi công nghệ quan trọng tiết lộ và hỗ trợ các ngành công nghệ mới tạo việc làm.

Theo ASPI, nghiên cứu của họ sẽ là một hồi chuông cảnh tỉnh cho các quốc gia dân chủ. Hơn bao giờ hết, điều cấp thiết hiện nay là các nhà lãnh đạo chính trị, nhà hoạch định chính sách, doanh nghiệp và xã hội dân sự sử dụng dữ liệu nguồn mở thực nghiệm để cung cấp thông tin cho quá trình ra quyết định trên các lĩnh vực công nghệ khác nhau để trong những năm và thập kỷ tới, họ có thể gạt hái thành công. Nhiều quốc gia cần có những thay đổi chính sách khẩn cấp, tăng cường đầu tư và hợp tác toàn cầu để thu hẹp khoảng cách ngày càng lớn. Chi phí để bắt kịp sẽ rất đáng kể, nhưng chi phí do không hành động có thể lớn hơn nhiều.

Theo ASPI, thực tế trên của Trung Quốc sẽ là một hồi chuông cảnh tỉnh cho các quốc gia dân chủ, những quốc gia phải nhanh chóng theo đuổi phát triển công nghệ tối quan trọng mang tính chiến lược. ASPI khuyến nghị các chính phủ trên khắp thế giới, đặc biệt là các nước phương Tây, nên hợp tác và có thể làm việc riêng lẻ để bắt kịp Trung Quốc, và họ phải chú ý nhiều hơn đến vị trí trung tâm đổi mới công nghệ và cạnh tranh chiến lược của thế giới: Ấn Độ Dương-Thái Bình Dương. Mặc dù Trung Quốc đang ở phía trước, nhưng điều quan trọng đối với các nền dân chủ là nắm bắt sức mạnh của những vị trí tiềm năng dẫn đầu của họ và sức mạnh tập thể của các khu vực và nhóm (ví dụ như EU, Quad và AUKUS). Nhưng sức mạnh của những vị trí tiềm năng dẫn đầu như vậy sẽ chỉ được thực hiện đầy đủ thông qua sự hợp tác sâu sắc hơn giữa các đối tác và đồng minh, đầu tư nhiều hơn vào các lĩnh vực bao gồm R&D, tài năng và thương mại hóa cũng như các chiến lược tình báo tập trung hơn. Và cuối cùng, các chính phủ phải dành nhiều không gian hơn cho các ý tưởng chính sách mới, lớn hơn và sáng tạo hơn.

Các đối tác và đồng minh cần đẩy mạnh và xem xét nghiêm túc những vấn đề như quỹ tài sản quốc gia ở mức 0,5%–0,7% tổng thu nhập quốc dân cung cấp vốn đầu tư mạo hiểm, nghiên cứu và tài trợ mở rộng quy mô, với một phần khá lớn dành cho rủi ro cao, lợi ích cao. Các chính phủ nên lập kế hoạch cho: Visa công nghệ, tài trợ và R&D giữa các đồng minh; Phục hồi khu vực đại học thông qua học bổng chuyên ngành dành cho sinh viên và các nhà công nghệ đi đầu trong nghiên cứu công nghệ tối quan trọng; Tái cơ cấu hệ thống thuế để chuyển vốn tư nhân sang đầu tư mạo hiểm và nỗ lực mở rộng quy mô cho các công nghệ mới đầy hứa hẹn; Quan hệ đối tác công-tư mới và các trung tâm xuất sắc để giúp thúc đẩy các cơ hội thương mại hóa lớn hơn.

Các cộng đồng tình báo có vai trò then chốt trong cả việc cung cấp thông tin cho những người ra quyết định và xây dựng năng lực. Một khuyến nghị mà ASPI đưa ra là

các quốc gia nhóm "Five Eyes" (Hoa Kỳ, Canada, Anh, Úc và New Zealand) cùng với Nhật Bản xây dựng một trung tâm phân tích tình báo tập trung vào Trung Quốc và công nghệ (bắt đầu với tình báo nguồn mở).

ASPI đã phác thảo 23 khuyến nghị chính sách để các đối tác và đồng minh hành động một cách hợp tác và riêng lẻ. Chúng trải rộng trên bốn chủ đề về đầu tư và tài năng; quan hệ đối tác toàn cầu; tình báo; và các dự án tham vọng. Trong khi Trung Quốc đang ở phía trước, điều quan trọng đối với các nền dân chủ là nắm bắt sức mạnh tổng hợp và bổ sung của họ. Khi cộng lại, họ sẽ có vị trí dẫn đầu trong nhiều lĩnh vực công nghệ.

3. Một số khuyến nghị chính sách tăng cường nghiên cứu và phát triển các công nghệ tối quan trọng

ASPI đã chọn một trong nhiều cách tiếp cận phương pháp tiềm năng (trích dẫn các ấn phẩm khoa học) vì các ấn phẩm nghiên cứu đóng góp chính cho sức mạnh công nghệ, khoa học và thương mại. Hiệu quả rõ rệt nhất đối với các bài báo chất lượng cao (tức là bài báo được trích dẫn nhiều nhất). Ví dụ: 80% tài liệu nghiên cứu trong top 0,01% nghiên cứu chất lượng cao (được đo bằng số lần trích dẫn trong 3 năm) được tham chiếu trong các bằng sáng chế. Mỗi liên hệ được biết đến này giữa nghiên cứu được trích dẫn nhiều nhất và các đột phá kỹ thuật được cấp bằng sáng chế đã được sử dụng như một chỉ số để đo lường vị thế tương đối của thể chế và quốc gia.

Tốc độ tăng số lượng trích dẫn từ bằng sáng chế có liên quan đến số lượng trích dẫn từ các bài báo khoa học và xếp hạng chất lượng tạp chí. Bằng sáng chế có tham khảo công bố khoa học chất lượng cao lại được tham chiếu bởi các bằng sáng chế tiếp theo thường xuyên hơn. Theo nghiên cứu của ASPI, các bằng sáng chế tham khảo trực tiếp các tài liệu nghiên cứu mang lại giá trị thương mại cao hơn 26% so với các bằng sáng chế tương đương không liên quan đến nghiên cứu. Các bằng sáng chế chuyên sâu về khoa học là những dự án rủi ro cao, nhưng có lợi nhuận cao. Do đó, dữ liệu xuất bản nghiên cứu được trích dẫn là thước đo đáng tin cậy về tiến bộ khoa học và khả năng tạo ra công nghệ tiềm năng.

Các đề xuất chính sách được nhóm thành các chủ đề: (i) Thúc đẩy đầu tư, thúc đẩy thương mại hóa và xây dựng nguồn nhân tài; (ii) Thành lập quỹ quốc gia và (iii) Quan hệ đối tác toàn cầu. Những đề xuất này nhằm nâng cao hiệu suất trong các lĩnh vực mà sự tập trung chuyên môn hiện tại có khả năng dẫn đến khả năng đột phá và rủi ro độc quyền công nghệ. Tham vọng cải thiện hiệu suất trong các lĩnh vực nổi bật phải được cân bằng với việc duy trì lợi thế trong các lĩnh vực hàng đầu (chẳng hạn như điện toán lượng tử, thiết kế và chế tạo mạch tích hợp tiên tiến, vắc-xin).

Điều quan trọng cần nhấn mạnh là sự xuất sắc trong nghiên cứu không phải như “một vòi nước” có thể bật hoặc tắt tùy ý. Cần có thời gian đáng kể để thiết lập và phát triển nghiên cứu xuất sắc đến mức nghiên cứu đạt trình độ tốt nhất thế giới, xét về tính sáng tạo cao và thực sự tạo ra bước đột phá mới. Tương tự như vậy, hàng chục năm đầu tư có thể bị phá hủy bằng cách cắt tài trợ để đối phó với áp lực ngắn hạn. Hơn nữa, cần phải tránh cái bẫy của khối lượng nghiên cứu. Nhiều quốc gia, đặc biệt là Nga chẳng

hạn, thường hoạt động tốt trong nhiều công nghệ theo khối lượng nghiên cứu nhưng tụt xuống dưới 20 quốc gia hàng đầu khi được đánh giá theo chỉ số H hoặc tỷ lệ của họ trong 10% công bố khoa học hàng đầu. Khối lượng lớn nghiên cứu chất lượng thấp không phải là con đường dẫn đến thành công trong đổi mới công nghệ.

(i) Đẩy mạnh đầu tư, thương mại hóa và xây dựng nguồn nhân tài

Việc đảm bảo nguồn tài trợ dài hạn ổn định là rất quan trọng để thu hút nhân tài hàng đầu và các chính phủ phải đưa ra các cơ chế có mục tiêu hơn để khuyến khích các trường đại học, viện nghiên cứu và ngành công nghiệp tư nhân. Có sự thiếu hụt tài năng quốc tế trong tất cả các công nghệ được đề cập ở đây. Các công nghệ quan trọng thường yêu cầu trình độ chuyên môn cao (trình độ sau đại học) và/hoặc đào tạo chuyên ngành. Học bổng tiến sĩ và các cơ hội việc làm tiếp theo hiện không đủ để giữ chân tài năng. Ngoài ra, việc thiếu hệ sinh thái công nghệ ở một số quốc gia thường là động lực thúc đẩy các nhà nghiên cứu và nhà công nghệ lành nghề chuyển ra nước ngoài để cải thiện triển vọng thương mại hóa và huy động vốn mạo hiểm. Ví dụ, trường hợp ở Úc, với công ty khởi nghiệp PsiQuantum năm 2015 tại Thung lũng Silicon. Để cải thiện vị trí của mình, chính phủ cần tập trung vào việc xây dựng các con đường sự nghiệp hấp dẫn hơn trong các lĩnh vực như khoa học, công nghệ, kỹ thuật và toán học (STEM).

Các biện pháp cần được áp dụng để thúc đẩy đầu tư, thương mại hóa và xây dựng nguồn nhân tài gồm:

- Thuế thuận lợi cho đầu tư vốn mạo hiểm: chính phủ nên điều chỉnh khung thuế để khuyến khích dòng vốn đầu tư tư nhân hướng tới các công ty đầu tư mạo hiểm đang hỗ trợ đổi mới công nghệ, R&D và thương mại hóa.

- Xây dựng chiến lược quốc gia: Đối với các công nghệ riêng lẻ, chính phủ nên phát triển các chiến lược quốc gia rõ ràng và đầy tham vọng. Thương mại hóa đòi hỏi các quyết định và chính sách chiến lược để thành công. Một ví dụ điển hình là câu chuyện đằng sau tập đoàn TSMC, trong đó Chính quyền Đài Loan đã vận động các công ty bán dẫn của Hoa Kỳ tuyển dụng các nhà nghiên cứu của họ vào những năm 1990 để đào tạo về xử lý chất bán dẫn và tuyển dụng Morris Chang từ Intel để quay lại Đài Loan và thành lập TSMC.

- Hợp tác công tư để xây dựng các trung tâm thương mại hóa: Chính phủ và cộng đồng doanh nghiệp nên hợp tác để hỗ trợ và xây dựng các trung tâm thương mại hóa, một số trung tâm có thể được đặt trong các tổ chức nghiên cứu (trường đại học hoặc phòng thí nghiệm), trong khi những trung tâm khác nên được xây dựng ở các khu vực như công viên khoa học và công nghệ.

- Tập trung cho đào tạo công nghệ: chính phủ nên tạo ra hoặc sửa đổi các quy tắc hoặc luật pháp cần thiết để cung cấp các bằng cấp nghiên cứu tập trung vào việc nâng cao kiến thức về các công nghệ quan trọng nhằm khuyến khích các trường đại học nghiên cứu và đào tạo về các công nghệ này.

- Học bổng công nghệ quan trọng cho cả sinh viên và nhà công nghệ; tăng học bổng tiến sĩ; đào tạo và nâng cao tay nghề cho lực lượng lao động; tăng cường hỗ trợ cho các nhóm chuyên gia tư vấn chính sách. Chính phủ nên tăng tài trợ cho học bổng tiến sĩ chuyên ngành và cung cấp các ưu đãi tài chính hấp dẫn cho các công ty công nghệ để

tiến hành các chương trình thực tập sinh lớn. Có thể điều chỉnh các biện pháp khuyến khích như vậy cho phù hợp với các công nghệ muốn chuyên sâu trong những thập kỷ tới và phân phối chúng thông qua các cơ quan liên quan, bao gồm các bộ giáo dục, đào tạo và/hoặc khoa học và công nghệ.

(ii) Thành lập quỹ quốc gia

- Thành lập quỹ quốc gia lớn: để tài trợ dài hạn, cần thành lập quỹ để tài trợ nghiên cứu, phát triển và đổi mới công nghệ tối quan trọng. Quỹ nên được cấp đặt theo tỷ lệ phần trăm của tổng thu nhập quốc gia, với dòng đầu tư từ ngành công nghiệp. Lợi tức đầu tư sẽ mang lại hai nguồn tài trợ: tài trợ vốn mạo hiểm và tài trợ mở rộng quy mô. Các quỹ đầu tư quốc gia nên hỗ trợ các chương trình R&D hứa hẹn nhất trên nhiều lĩnh vực công nghệ quan trọng (từ khí hậu và năng lượng đến AI và lượng tử), đồng thời nên mở cửa cho cả khu vực công và khu vực tư nhân.

- Phân bổ nguồn lực quỹ này cho các sáng kiến rủi ro lớn - lợi nhuận/lợi ích lớn: Một tỷ lệ % tài trợ tối thiểu từ quỹ đầu tư quốc gia nên được phân bổ cho các sáng kiến rủi ro lớn - lợi nhuận/lợi ích lớn trong các lĩnh vực được lựa chọn mà quốc gia đã có lợi thế cạnh tranh hoặc đang tìm cách phát triển một lợi thế đó. Nên quản lý các khoản tài trợ có rủi ro cao thông qua một cơ quan chính phủ (hoặc một ủy ban bao gồm đại diện của nhiều cơ quan có liên quan) có tầm nhìn về nghiên cứu và đổi mới. Điều quan trọng là các ưu tiên về an ninh kinh tế, quốc phòng và các lĩnh vực như khí hậu, năng lượng và môi trường có thể được xem xét và sắp xếp các ưu tiên thích hợp.

(iii) Xây dựng quan hệ đối tác R&D toàn cầu

- Xây dựng cơ hội hợp tác R&D: xây dựng khả năng phục hồi chuỗi cung ứng bằng cách triển khai các thỏa thuận hợp tác nghiên cứu và phát triển cùng có lợi. Những thỏa thuận như vậy sẽ cho phép các quốc gia phát huy thế mạnh của mình trong khi đảm bảo nguồn cung. Các thỏa thuận có thể dựa trên các thế mạnh hiện có, xuất phát từ các ưu tiên và chiến lược nghiên cứu quốc gia của các nước thành viên.

- Tập hợp các đối tác đáng tin cậy (về mặt tổ chức hoặc thông qua một số bên nhất định), có thể xem xét tham gia vào một thỏa thuận chính thức với một số quốc gia dẫn đầu cho một tập hợp các công nghệ liên quan. Các quốc gia đó có thể chịu trách nhiệm thiết lập hoặc mở rộng các trung tâm nghiên cứu và thương mại hóa cũng như tuyển dụng các nhà nghiên cứu từ các quốc gia thành viên. Việc tham gia hợp tác có thể liên quan đến thị trường tài năng công nghệ đối ứng giữa các thành viên và cung cấp học bổng hỗ trợ các chương trình trao đổi tiến sĩ. Cũng nên tạo ra một loại tài trợ nghiên cứu đặc biệt để hỗ trợ hợp tác nghiên cứu công nghệ quan trọng giữa các quốc gia ký kết.

P.A.T. (Tổng hợp từ các nguồn: *ASPI's Critical Technology Tracker, The global race for future power, Policy Brief Report No. 69/2023; CHIPS and Science Act of 2022; OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023*).