

โดเมนทางอากาศกับความท้าทาย ของการทำสงครามทางอากาศสมัยใหม่

โดย
แฮร์รี ฟอสเตอร์

องค์ความรู้มิติโดเมน
สำนักงานยุทธศาสตร์และหลักนิยม ทอ. (เพื่อพลาง)

น.อ.พงษ์ภูเมศ หนูนิล แพล

โดเมนทางอากาศกับความท้าทาย ของการทำสงครามทางอากาศสมัยใหม่

โดย
แฮร์รี ฟอสเตอร์

เนื้อหาเป็นส่วนหนึ่งของการรวบรวมและเผยแพร่องค์ความรู้ทั้งสามโดเมน เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการจัดทำข้อเสนอในการปรับปรุงยุทธศาสตร์และหลักนิยม ทอ. โดยแปลจากบทความเรื่อง “The Air Domain and the Challenges of Modern Air Warfare” โดย Harry Foster ซึ่งเผยแพร่ในเว็บไซต์ <https://www.heritage.org>

เป็นเรื่องยากที่จะจินตนาการถึงโลกสมัยใหม่ที่ไร้เรื่องการบินและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง **ความเร็ว**ในโดเมนทางอากาศทำให้เวลาถูกลดลง เช่น สายการบินสมัยใหม่เดินทางได้เร็วกว่าเรือสำราญที่เร็วที่สุดในมหาสมุทรแอตแลนติก ๒๕ เท่า และเร็วกว่าหัตถ์จักรที่เร็วที่สุดในยุค ค.ศ. ๑๙๕๐ ถึง ๗ เท่า เป็นต้น ปฏิบัติการทางทหารในโดเมนทางอากาศทำให้มีข้อได้เปรียบคือ ความสามารถในการมองเห็นที่ไม่เพียงแค่นิวเคลียร์เขาถัดไปเท่านั้น แต่ยังสามารถมองเห็นได้ถึงสุดขอบฟ้า ให้ความคล่องตัวโดยไม่มีสิ่งขวางกั้นไม่ว่าจะจากเทือกเขา ถนน ทางข้ามแม่น้ำ หรือสันดอนหินในทะเล แม้ว่านักสมุทรศาสตร์มักบอกว่าร้อยละ ๗๐ ของโลกถูกปกคลุมด้วยมหาสมุทร แต่ว่าทั้งหมดของโลกนั้นถูกปกคลุมด้วยอากาศ โดเมนทางอากาศจึงถือเป็นสิ่งเชื่อมโยงทางกายภาพกับโดเมนอื่น ๆ ทุกโดเมน ที่ให้ความอ่อนตัวในการปฏิบัติการ ขณะที่ขอบเขตของโดเมนนี้เป็นวิถีทางสำหรับการเข้าถึงโลกได้ทุกที่ทุกเวลา

ช่วงศตวรรษที่ผ่านมาการใช้ประโยชน์จากโดเมนทางอากาศทั้งในเรื่อง ความเร็ว ความสำเร็จ ความคล่องตัว ความยืดหยุ่น และระยะทาง ได้เปลี่ยนธรรมชาติของการรบ โดยเฉพาะในประเด็นเรื่อง

- การสร้างสมมาตรใหม่ที่ทำลายการวางกำลังคุ้มกันดั้งเดิมในการทำสงครามสนามเพลาะหลังสงครามโลกครั้งที่ ๑ ซึ่งทำให้เกิดการปฏิบัติการร่วมมาจนถึงปัจจุบัน
- ขยายระยะการเข้าถึงของกองเรือและการป้องกันชายฝั่งที่ไกลเกินกว่าการมองเห็นของหอสังเกตการณ์หรือไกลกว่าระยะการยิงของเรือผิวน้ำ ทำให้การควบคุมทางอากาศเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับปฏิบัติการในทะเล
- ทำให้การแทรกและเพิ่มเติมกำลังเป็นไปอย่างรวดเร็วในระยะไกลที่ห่างจากฐานสนับสนุนมาก ๆ
- ทำให้กำลังทางอากาศสามารถ “ข้ามผ่าน” แนวหน้าของกองทัพฝ่ายตรงข้าม ขัดขวางการส่งกำลังบำรุงจากส่วนหลัง ปฏิเสธการดำเนินกลยุทธ์ และนำสงครามไปสู่ใจกลางเมืองหลวง

จากมุมมองทางทหาร ทุกวันนี้สหรัฐฯสามารถใช้ประโยชน์จากโดเมนทางอากาศเพื่อค้นหาและทำให้เป้าหมายตกอยู่ในความเสี่ยง ไม่ว่าเป้าหมายนั้นจะเป็นอะไร และอยู่ที่ใดในโลก (เป้าหมายอยู่กับที่ เป้าหมายเคลื่อนที่ เป้าหมายที่แข็งแรง และเป้าหมายที่อยู่ลึกในแผ่นดิน) ซึ่งเป็นตัวสร้างความแตกต่างสำคัญที่ทำให้สหรัฐฯเป็นมหาอำนาจทางทหาร

การเข้าใจความซับซ้อนของกำลังทางอากาศสมัยใหม่ต้องเริ่มจากความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับตัวของโดเมนทางอากาศเอง ซึ่งหมายถึงการทำความเข้าใจคุณลักษณะเฉพาะของโดเมนทางอากาศในสามประเด็น คือ ๑) จะเข้าถึงและใช้โดเมนได้อย่างไรในขณะที่ต้องศึกษาขีดจำกัดของความสูงและความเร็วสำหรับแพลตฟอร์มที่ทำงานอยู่ในโดเมนนั้น ๒) คุณลักษณะเฉพาะของโดเมนอื่นได้แก่ ความเร็ว พิสัย ความคงอยู่ และน้ำหนักบรรทุก ที่ทำให้สหรัฐอเมริกาได้เปรียบในกรณีความขัดแย้งช่วง ๒๕ ปีที่ผ่านมา และ ๓) การเปลี่ยนแปลงสำคัญในโดเมนถูกขับเคลื่อนจากการปฏิวัติของเทคโนโลยีและขีดความสามารถระดับรัฐ รวมทั้งความต้องการทางทหารในอนาคต

คุณลักษณะของโดเมนทางอากาศ

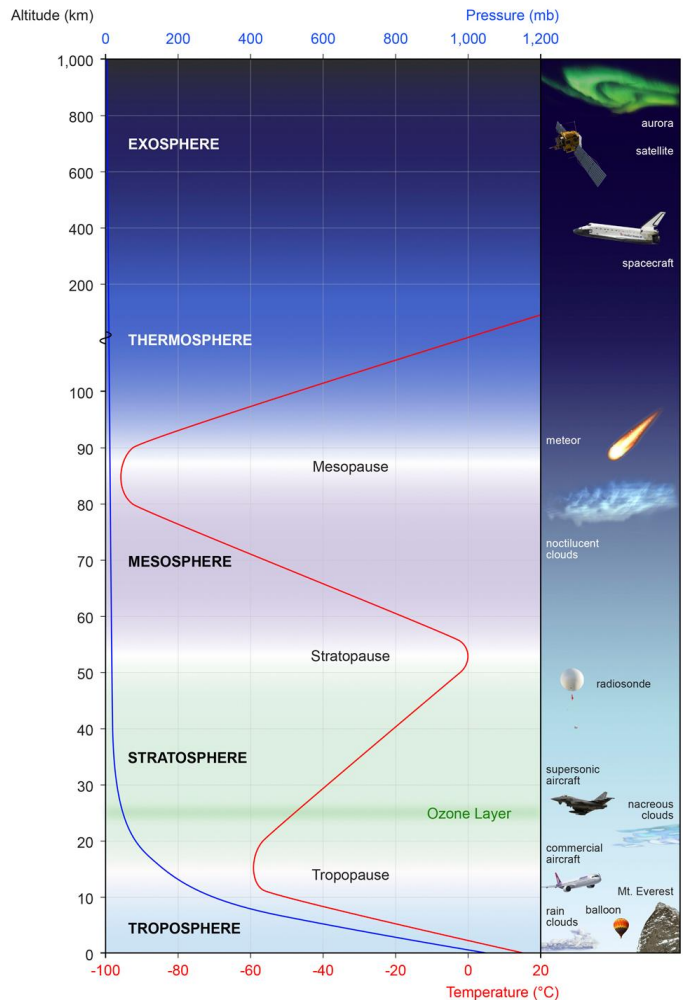
ชั้นบรรยากาศ “บ้านของโดเมนทางอากาศ” กระทรวงกลาโหมให้คำจำกัดความของโดเมนทางอากาศว่าคือระดับ “ชั้นบรรยากาศซึ่งนับจากพื้นผิวโลกต่อเนื่องไปถึงระดับความสูงที่เริ่มมีผลกระทบต่อการบินเล็กน้อย” ระดับพื้นฐานที่สุด บรรยากาศเป็นอากาศผสมที่ประกอบไปด้วย ออกซิเจนร้อยละ ๒๑ ไนโตรเจนร้อยละ ๗๘ และอีกร้อยละ ๑ เป็น อาร์กอน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่น ๆ องค์ประกอบของอากาศอาจเป็นลักษณะพิเศษและสำคัญที่สุดเนื่องจากเป็นตัวกำหนดลักษณะธรรมชาติของโดเมนและกำหนดสิ่งที่ทำได้และทำไม่ได้ในโดเมน รวมทั้งเป็นตัวกำหนดลักษณะของแพลตฟอร์มที่บินผ่านมัน เนื่องจากก๊าซเหล่านี้มีมวล การกระจายตัวของบรรยากาศจึงไม่มีรูปร่าง ตัวอย่างเช่น เนื่องจากผลกระทบของแรงโน้มถ่วง เกือบร้อยละ ๕๐ ของมวลบรรยากาศจึงอยู่ที่ความสูงต่ำกว่า ๑๘,๐๐๐ ฟุตที่เส้นศูนย์สูตร ร้อยละ ๙๐ อยู่ต่ำกว่า ๕๒,๐๐๐ ฟุต และร้อยละ ๙๙.๙๙ อยู่ต่ำกว่า ๓๓๐,๐๐๐ ฟุต หรือระดับความสูง ๑๐๐ กิโลเมตร ในขณะที่องค์กรระหว่างประเทศบางแห่งเช่น Fédération Aéronautique Internationale กำหนดว่าความสูง ๑๐๐ กิโลเมตรคือจุดเริ่มต้นของอวกาศ แต่สหรัฐอเมริกาไม่ยอมรับขอบเขตเป็นทางการไม่ว่าจะโดยสนธิสัญญาหรือโดยนโยบาย ชั้นบรรยากาศแบ่งออกเป็นหลายชั้นซึ่งมีนัยสำคัญแตกต่างกันไปแล้วแต่การปฏิบัติการทางทหาร

- ระดับต่ำสุดคือโทรโพสเฟียร์ มีความสูงแตกต่างกันไปตั้งแต่พื้นผิวถึง ๖๐,๐๐๐ ฟุตที่เส้นศูนย์สูตรไปจนถึง ๓๐,๐๐๐ ฟุต ณ ขั้วโลก สภาพอากาศทั้งหมดเกิดขึ้นในชั้นโทรโพสเฟียร์ ด้านบนสุดของโทรโพสเฟียร์เรียกว่าโทรโปพอสเป็น “Cap” ที่พายุฤดูร้อนแผ่ออกเป็นรูปทรงแปดเหลี่ยม ในโทรโพสเฟียร์ลมจะพัดจากทิศตะวันตกไปยังตะวันออกในซีกโลกเหนือ และจากทิศตะวันออกไปยังตะวันตกในซีกโลกใต้ อุณหภูมิจะลดลงประมาณ ๓.๕ องศาฟาเรนไฮต์ทุก ๆ ความสูง ๑,๐๐๐ ฟุตที่เพิ่มขึ้น ความเร็วลมเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญกับระดับความสูง โดยเฉลี่ย ๗๕ ไมล์ต่อชั่วโมงจากทิศตะวันตกที่ ๓๕,๐๐๐ ฟุตเหนือ

ตอนกลางของสหรัฐอเมริกาในฤดูหนาว ไปจนถึง ๒๐๐ ไมล์ต่อชั่วโมงในกระแสลมกรด (Jet Stream) ที่แรงที่สุด

- เหนือโทรโพสเฟียร์ขึ้นไปคือสตราโตสเฟียร์ซึ่งมีขอบเขตขึ้นไปถึง ๑๘๐,๐๐๐ ฟุต สตราโตสเฟียร์เป็นที่ตั้งของชั้นโอโซน ปราศจากเมฆและสภาพอากาศ ลมลดลงอย่างมากตามระดับความสูงในสตราโตสเฟียร์ ปฏิบัติการทางทหารในปัจจุบันส่วนใหญ่เกิดขึ้นในชั้นโทรโพสเฟียร์และสตราโตสเฟียร์

- เหนือสตราโตสเฟียร์ที่ระดับความสูงประมาณ ๓๔ ไมล์เป็นพื้นที่ของชั้นบรรยากาศที่พิสูจน์แล้วว่าง่ายต่อการผ่านแต่ยากที่จะอยู่อย่างต่อเนื่อง ในย่านนี้แม้มีอากาศเพียงพอที่จะทำให้เกิดแรงต้านและสร้างความร้อนบนพื้นผิว แต่ไม่เพียงพอสำหรับการบังคับตามหลักอากาศพลศาสตร์หรือการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ต้องใช้อากาศ



ชั้นบรรยากาศ

ที่มา <https://www.bas.ac.uk/about/antarctica/geography/weather/atmosphere/>

- ต่อจากชั้นสตราโตสเฟียร์ขยายขึ้นไปถึง ๒๖๐,๐๐๐ ฟุตคือเมโซสเฟียร์ ที่นี้อุณหภูมิต่ำจะเผาไหม้เนื่องจากความร้อนในชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ซึ่งทำให้คลื่นวิทยุความถี่สูงสะท้อนออกจากชั้นบรรยากาศทำให้การใช้งานวิทยุระยะไกลจึงเริ่มขึ้นในชั้นนี้

- เนื้อเมโซสเฟียร์เป็นชั้นสุดท้ายของชั้นบรรยากาศคือเทอร์โมสเฟียร์ซึ่งขยายขึ้นไปถึง ๖๐๐ ไมล์เหนือโลกขึ้นอยู่กับปรากฏการณ์ของแสงอาทิตย์ การหมุนของชั้นบรรยากาศที่เกิดจากก๊าซในส่วนล่างของชั้นนี้ จำกัดวงโคจรที่เสถียรต่ำสุดของดาวเทียมที่ไม่มีพลังงานขับเคลื่อนไว้ที่ประมาณ ๑๒๐ ไมล์

การเข้าถึงโดเมนทางอากาศเพื่อความได้เปรียบทางทหาร นับจากวันแรก ๆ ความสามารถในการเข้าถึงโดเมนทางอากาศได้ถูกเปิดกว้างขึ้นจากเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามการสู้รบในโดเมนทางอากาศถือเป็นความพยายามโดยพื้นฐานของมนุษย์ และเมื่อได้เรียนรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีห้วงอากาศแล้ว สิ่งสำคัญคือต้องคำนึงถึงเทคโนโลยีนั้นไว้อยู่เสมอ เทคโนโลยีช่วยให้สามารถเข้าถึงและใช้ประโยชน์จากโดเมนทางอากาศได้ แต่มนุษย์กลับเข้าควบคุมเทคโนโลยีนี้เพื่อให้ได้เปรียบเหนือผู้อื่นในฐานะเครื่องมือของอำนาจรัฐและสงคราม การแข่งขันในโดเมนทางอากาศจึงเป็นเสมือนศูนย์กลางการดำรงหรือปฏิเสธข้อได้เปรียบนี้ และไม่เพียงขึ้นอยู่กับความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับองค์กรที่มีศิลป์และสร้างสรรค์รวมทั้งการประยุกต์ใช้ยุทธศาสตร์และยุทธวิธีอีกด้วย

คุณลักษณะของอากาศและบรรยากาศทำให้การเข้าถึงโดเมนทางอากาศเป็นไปได้ห้ารูปแบบคือ ๑) การบินประเภทเบากว่าอากาศ (Lighter-than-air flight) ๒) การบินประเภทหนักกว่าอากาศ (Heavier-than-air flight) ๓) จรวดและซีปนาวุธ ๔) อาวุธวิถีโค้งที่ยิงจากพื้นดินหรือทะเล และ ๕) สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การบินประเภทเบากว่าอากาศ (Lighter-than-air flight) ทำได้โดยการกักก๊าซที่เบากว่าออกซิเจนและไนโตรเจน เช่น ไฮโดรเจนหรือฮีเลียม หรืออากาศร้อนไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท เนื่องจากก๊าซภายในภาชนะมีน้ำหนักเบากว่าอากาศโดยรอบจึงทำให้เกิดแรงยกขึ้น ปริมาตรของอากาศที่บรรจุอยู่ในภาชนะประกอบกับคุณลักษณะของก๊าซภายในจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการยกของมัน สิ่งนี้ช่วยให้ใช้ประโยชน์จากโดเมนทางอากาศได้โดยใช้บอลลูนอากาศร้อน บอลลูนที่เติมก๊าซ หรือเรือเหาะที่ขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเอง (โพนมยานนาวาและบอลลูนเล็ก ๆ) อากาศยานประเภทเบากว่าอากาศสามารถสร้างแรงยกได้มากและต่อเนื่อง แต่วิธีการเข้าถึงโดเมนด้วยวิธีนี้ทั้งช้าและ



บอลลูนแบบผูกเชือก

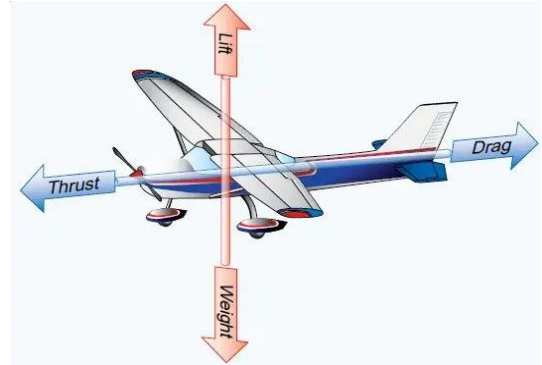
ที่มา <https://www.xyht.com/aerialuas/tethered-aerostats-provide-another-option-sky/>

ได้รับผลกระทบอย่างมากจากสภาพอากาศ การบินประเภทนี้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในสงครามโลกครั้งที่หนึ่งโดยเยอรมนี เป็นเรือเหาะที่สามารถควบคุมได้และมีพลังงานขับเคลื่อนตัวเองเพื่อไปทิ้งระเบิดกลางกรุงลอนดอน และในสงครามโลกครั้งที่สองโดยสหรัฐอเมริกา ที่ใช้บอลลูนในการลาดตระเวนต่อต้านเรือดำน้ำ แม้ว่าความเร็วของแพลตฟอร์มการบินประเภทหนักกว่าอากาศจะทำให้มันมีความโดดเด่นเหนือกว่าการบินประเภทเบากว่าอากาศ แต่บทบาทของบอลลูนและเรือเหาะก็คงอยู่มาจนถึงปัจจุบัน บอลลูนแบบผูกเชือก (aerostats) ที่มีความยาวถึง ๑๔,๐๐๐ ฟุตในแนวชายแดนสหรัฐกับเม็กซิโก และเคยถูกใช้ในอิรักเพื่อการเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง เรือเหาะที่มีชุดขับเคลื่อนถูกใช้ในอุตสาหกรรมตัดไม้เพื่อขนส่งไม้ที่ตัดจากพื้นที่ห่างไกล ถูกมองว่าเป็นทางเลือกของการส่งกำลังบำรุงหนักความเร็วต่ำในทางทหาร อีกทั้งบอลลูนที่ระยะสูงยังเป็นประโยชน์ทางทหารในแง่เป็นขีดความสามารถสำรองแทนดาวเทียมสื่อสาร

การบินประเภทหนักกว่าอากาศ (Heavier-than-air flight) ใช้แรงทางอากาศพลศาสตร์ในการสร้างและคงไว้ซึ่งแรงยก แรงยกทางอากาศพลศาสตร์เกิดจากการเคลื่อน airfoil (ปีก) ผ่านอากาศหรือของไหล การออกแบบให้มีความแตกต่างของพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของ airfoil ทำให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวด้านบนเร็วกว่าด้านล่าง ขณะเคลื่อนผ่านอากาศ สิ่งนี้จะสร้างบริเวณความกดอากาศต่ำที่ด้านบนของปีกจึงทำให้เกิดแรงยก (lift) ยังมีปัจจัยที่

เกี่ยวข้องอื่น ๆ อีก แต่ประเด็นสำคัญคือ หากสร้างแรงยกทางอากาศพลศาสตร์ได้มากพอที่สามารถเอาชนะแรงโน้มถ่วงของโลกได้ อุปกรณ์ที่หนักกว่าอากาศก็สามารถบินได้

มีแรงอีกสองประเภทที่สำคัญต่อการสร้างแรงยกทางอากาศพลศาสตร์นั่นคือ ๑) แรงขับ จำเป็นต่อการขับเคลื่อนปีกให้ผ่านอากาศเพื่อสร้างแรงยก และ ๒) แรงต้าน ปีกสร้างขึ้นในกระบวนการสร้างแรงยก ดังนั้นการปรับสมดุลระหว่าง แรงยก (lift) แรงโน้มถ่วง (weight) แรงขับ (thrust) และแรงต้าน (drag) ทำให้การบินโดยใช้ยานพาหนะที่มีชุดขับเคลื่อน (เครื่องบิน อาวุธปล่อยชนิดความเร็วคงที่ เฮลิคอปเตอร์ อากาศยานแบบปรับมุมใบพัด และ quad copters) และไม่มีชุดขับเคลื่อน (เครื่องบินร่อนลากจูง, อากาศยานไร้ปีก (lifting bodies) และอาวุธนำวิถีจากอากาศ) สามารถบินไปในอากาศได้ อากาศยานเป็นรูปแบบการเข้าถึงโดเมนทางอากาศที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ให้ความยืดหยุ่นอันน่าทึ่งในเรื่อง ความเร็ว พิสัย น้ำหนักบรรทุก และ เวลาบินสำหรับปฏิบัติการทางทหาร



แรงทางอากาศพลศาสตร์

ที่มา <https://www.flightliteracy.com/lift-and-basic-aerodynamics/>

ขีปนาวุธ (Missiles) ใช้พลังงานรุนแรงจากก๊าซที่ขยายตัวและเผาไหม้ของเครื่องยนต์จรวดทั้งเชื้อเพลิงเหลวหรือเชื้อเพลิงแข็งเพื่อเอาชนะแรงโน้มถ่วงและเข้าถึงโดเมนทางอากาศ ขณะเร่งความเร็วมันจะใช้คุณลักษณะตามหลักอากาศพลศาสตร์และสามารถควบคุมได้โดยใช้พื้นบังคับที่เหมือนเครื่องบินจนกว่าจะถึงช่วงกลางชั้นสตราโตสเฟียร์เหนือระดับความสูงนี้เครื่องขับเคลื่อนขนาดเล็กหรือเครื่องยนต์สามแกน (gimballed engines) ที่ควบคุมโดยระบบนำทางจะช่วยให้มีความแม่นยำสูงสุดในการเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการ

ขีปนาวุธ ให้ประสิทธิภาพด้านความเร็วสูงต่อทั้งโดเมนทางอากาศและอวกาศโดยปราศจากความเสี่ยงของการมีนักบิน แต่การมีข้อดีย่อมต้องมีข้อเสีย เนื่องจากแรงยกถูกสร้างขึ้นจากการเผาไหม้อันรุนแรง ทำให้การเข้าถึงโดเมนรูปแบบนี้มีประสิทธิภาพน้อยกว่าเครื่องบินแบบมีปีกอย่างเห็นได้ชัด ยิ่งไปกว่านั้นขีปนาวุธที่ใช้ในการโจมตีหรือป้องกันจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ อีกเครื่องบินสามารถบินกลับฐานและติดตั้งอาวุธใหม่ แต่ขีปนาวุธเป็นการใช้งานครั้งเดียว

อาวุธวิถีโค้ง (Projectiles) เช่น กระสุน ปืนครก จรวด และระเบิด ใช้ประจวบเหมาะที่ควบคุมได้ จรวดขับเคลื่อนหรือโมเมนตัมที่ได้รับจากตัวยิงเพื่อเอาชนะผลกระทบทางอากาศพลศาสตร์ในเรื่องน้ำหนักและแรงต้านเป็นการชั่วคราวเพื่อส่งอาวุธเหล่านั้นเข้าสู่โดเมนทางอากาศ อาวุธที่มีทิศทางจากอากาศมุ่งลงไปที่เป้าหมายด้านล่างทำให้มีแนวการยิงที่เพิ่มขึ้นและมีศักยภาพอย่างเหลือเชื่อต่อเป้าหมายทั้งบนบกและในทะเล สำหรับอาวุธที่ยิงขึ้นด้านบน เช่น อาวุธที่ยิงจากพื้นดินทำให้มีความประหยัดและเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการปฏิเสธการใช้โดเมนทางอากาศของศัตรูในพื้นที่หนึ่ง ตัวอย่างเช่น การสูญเสียเครื่องบินส่วนใหญ่ในสงครามเวียดนามเกิดจากปืนใหญ่ต่อสู้สู่อากาศยานมากกว่าถูกยิงด้วยขีปนาวุธพื้นสู่อากาศ



ปืนแม่เหล็กไฟฟ้าแบบราง (electromagnetic rail gun)

ที่มา <https://www.ga.com/railgun-weapon-systems>

เทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่ปรากฏในปัจจุบัน เช่น ปืนแม่เหล็กไฟฟ้าแบบราง (electromagnetic rail gun) สามารถยิงอาวุธวิถีโค้งได้ทั้งจากแพลตฟอร์มบนบกหรือในทะเลด้วยความเร็วระดับไฮเปอร์โซนิก เพื่อโจมตีเป้าหมายพื้นผิวอื่น ๆ หรือเพื่อป้องกันอาวุธปล่อยระดับต่ำความเร็วซูเปอร์โซนิกและขีปนาวุธติดหัวรบความเร็วสูง ยิ่งไปกว่านั้นคือการใช้ปืนใหญ่ยิงจรวดนำวิถีระยะไกลที่มีความแม่นยำร่วมกับหน่วยด้านข่าวกรอง ISR ไร้คนขับ เช่นดาวเทียมหรือ “โดรน” กำลังเปลี่ยนมุมมองของกองทัพในเรื่องอำนาจการยิง

รูปแบบสุดท้าย **สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum)** เป็นวิธีการเข้าถึงโดเมนทางอากาศที่ไม่ค่อยเด่นชัดนัก แต่มีประสิทธิภาพเท่าเทียมกับรูปแบบก่อนหน้านี้เพื่อใช้งาน ขัดขวาง หรือปฏิเสธ ปฏิบัติการทางอากาศ ซึ่งรวมถึง ๑) การสื่อสารด้วยเสียงและข้อมูลเพื่ออำนวยความสะดวก ๒) ใช้เซ็นเซอร์แบบออปติคัล อินฟราเรด เลเซอร์ และเรดาร์ เพื่อตรวจจับวัตถุในอากาศและน่านอวกาศ ๓) เลเซอร์กำลังสูงที่ใช้เพื่อปฏิเสธเซ็นเซอร์ออปติคัล หรือใช้เพื่อโจมตีเครื่องบิน ขีปนาวุธ หรือระเบิด ที่เข้ามา ๔) ไมโครเวฟกำลังสูงเพื่อขัดขวางการทำงานของยานและอาวุธในอากาศ ๕) การลวงด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อสร้างความสับสนให้กับระบบของฝ่ายตรงข้าม และ ๖) การใช้เทคนิคการรบกวนสมัยใหม่เพื่อปฏิเสธ ขัดขวาง หรือลวง เรดาร์ การสื่อสาร และระบบนำทางที่ใช้ประโยชน์จากอวกาศ เช่น Global Positioning System (GPS)

สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถดำเนินการได้ด้วยการผสมผสานของเทคโนโลยีที่สามารถตรวจจับได้ยาก (stealth) กับมาตรการตอบโต้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (active electromagnetic countermeasures) เพื่อเพิ่มความสามารถในการอยู่รอดทั้งของเครื่องบินและอาวุธยุทธโธปกรณ์จากระบบป้องกันทางอากาศที่ซับซ้อนมากขึ้น วิธีการเข้าถึงโดเมนทางอากาศด้วยแม่เหล็กไฟฟ้านี้จึงทำให้โลกไซเบอร์เป็นตัวกำหนดรูปแบบปฏิบัติการทางอากาศทั้งเชิงรุกและเชิงรับ

การใช้ประโยชน์จากวิธีการเข้าถึงทั้งห้ารูปแบบนี้ ต้องพัฒนาขีดความสามารถทั้งเชิงรุกและเชิงรับเพื่อได้มาหรือยับยั้งซึ่งความได้เปรียบในขอบเขตของทุกโดเมนการต่อสู้ แต่โดเมนทางอากาศมีความซับซ้อนมากกว่าเพียงแค่การเอาชนะระบบไปสู่กับระบบ ความได้เปรียบอาจอยู่ในปฏิบัติการที่ระดับสูงหรือต่ำ ปฏิบัติการด้วยความเร็ว ปฏิบัติการจากระยะไกล เทียบกับปฏิบัติการส่วนหน้า ซ่อนตัวอยู่ในการรบกวนของสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือเพิ่มความแม่นยำของอาวุธเพื่อลดการเผยแพร่ต่อภัยคุกคามในกรณีที่ต้องยิงซ้ำอีกครั้ง

สหรัฐฯใช้ยุทธศาสตร์การลงทุนที่แตกต่างกันหลายอย่างภายในโดเมนทางอากาศนับตั้งแต่ปี ๑๙๕๐ จากยุคที่เครื่องบินไอพ่นเปิดตัวจนถึงปี ๑๙๗๐ ซึ่งก้าวไปสู่ยุทธศาสตร์ “สูงขึ้น ไกลขึ้น เร็วขึ้น” ในขณะที่สหภาพโซเวียตเชี่ยวชาญระบบป้องกันภัยทางอากาศแบบบูรณาการ (integrated air defense system: IADS) ความพยายามของสหรัฐฯ เปลี่ยนไปสู่ยุทธศาสตร์ความสูงระดับต่ำ (low-altitude strategy) ที่ยังคงดำเนินต่อมานับจากวันแรกของยุทธการพายุทะเลทรายเมื่อความแม่นยำและความสามารถในการหลบหลีกการตรวจจับกลายเป็นสิ่งโดดเด่น การพิจารณาเกี่ยวกับขีดจำกัดของระดับความสูงและความเร็วในโดเมนทางอากาศจึงเป็นสิ่งที่ช่วยให้เราเข้าใจข้อจำกัดของสภาวะแวดล้อมด้านยุทธการ

นิยามขีดจำกัดระยะสูงที่สุดของโดเมนทางอากาศ คือ “ที่ซึ่งการปฏิบัติเริ่มได้รับผลกระทบ” เป็นการอธิบายที่ชี้ชัดลงไปได้อย่าง ดังที่กล่าวไว้แล้วว่าปฏิบัติการทางทหารส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโทรโพสเฟียร์และสตราโตสเฟียร์ตอนล่าง เครื่องบินพาณิชย์ทำงานได้สูงถึงประมาณ ๔๐,๐๐๐ ฟุต ในขณะที่เครื่องบินทหารปกติจะปฏิบัติงานอยู่ที่ความสูงไปจนถึง ๖๐,๐๐๐ ฟุต “น่านฟ้าควบคุม (Controlled airspace)” เหนือสหรัฐอเมริกาสิ้นสุดที่ความสูง ๖๕,๐๐๐ ฟุต ปฏิบัติการที่สูงกว่าระดับความสูงนี้บางครั้งเรียกว่า “ขอบอวกาศ (near space)”

ปีกที่เหมือนเครื่องร่อนของเครื่องบิน U-2 ช่วยให้สามารถทำงานที่ปลายขอบของการบินที่ควบคุมได้ในขณะบินด้วยความเร็วซับโซนิกที่ความสูง ๗๐,๐๐๐ ฟุต อย่างไรก็ตาม เนื่องจากบรรยากาศที่เบาบาง การทำการบินที่สูงกว่าระดับนี้จำเป็นต้องทำอย่างหนึ่งอย่างใดดังนี้คือ เพิ่มความสูงและเพิ่มความเร็วซูเปอร์โซนิกเพื่อให้เกิดแรงยกที่เพียงพอ หรือในทางตรงกันข้าม “ไม่มีความเร็วเลย” ตัวอย่างเช่น บ. SR-71 บินที่ความเร็ว มัค ๓.๐ ปฏิบัติภารกิจที่ความสูงเกือบ



Lockheed Martin U-2 Dragon Lady

ที่มา <https://retireenews.org/2015/08/19/u-2-dragon-lady/>

๘๕,๐๐๐ ฟุต ในขณะที่ บ.Mig-25 ใช้ความเร็ว มัค ๓.๐ ได้รับการบันทึกไว้ว่าเป็นอากาศยานที่ควบคุมโดยนักบินวิ่งขึ้น และสามารถไต่ไปได้ถึงระดับความสูง ๑๒๓,๕๒๓ ฟุต ในทางกลับกันบอลูนที่มีคนสามารถลอยขึ้นไปได้สูงที่สุดถึง ๑๓๕,๘๙๐ ฟุต และบอลูนไร้คนขับสามารถขึ้นไปถึงจุดสูงสุดของสตราโตสเฟียร์ที่ความสูงกว่า ๑๓๖,๐๐๐ ฟุต



SR-71 Blackbird

ที่มา <https://newatlas.com/how-to-fly-sr-71-blackbird/46366/>



Mig-25

ที่มา <https://www.super-hobby.com/products/Mig-25-RBT.html>

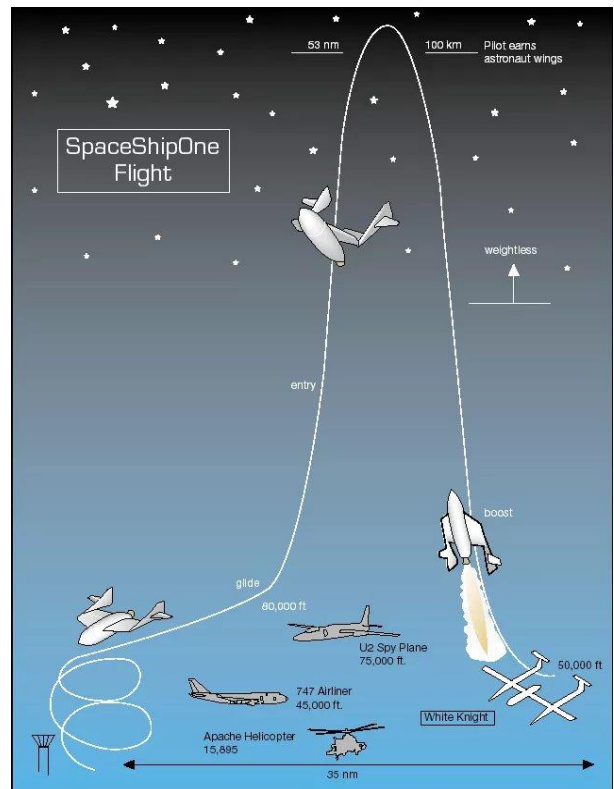


X-15 ปลอยจาก B-52

ที่มา <https://www.forbes.com/sites/brucedorminey/2019/08/25/5-things-you-likely-never-knew-about-nasas-x-15-rocket-plane/?sh=581215d23fe9>

การไปให้สูงขึ้นยังคงต้องใช้แรงขับและวัสดุในรูปแบบต่าง ๆ เครื่องบินจรวด (Rocket planes) จำเป็นต้องมียานแม่นำส่ง (เช่น X-15 ในยุค ๑๙๖๐ ที่ส่งขึ้นไปโดย บ.B-52 หรือการบินของ Spaceship One ของ Virgin Galactic เพื่อปฏิบัติการในชั้นเมโซสเฟียร์หรือสูงกว่าในแบบที่เรียกว่า “suborbital” โดยที่ยาน Spaceship One ได้รับการบันทึกว่าเป็นผู้ทำสถิติระดับความสูงที่สุดของเครื่องบินจรวด โดยสามารถขึ้นไปได้ถึงความสูง ๓๖๗,๔๘๗ ฟุต หรือ ๗๐ ไมล์ แต่ก็ยังไม่สามารถบินอยู่ในระดับความสูงนี้ได้นานมากนัก

วิธีที่จะทำให้การบินเหนือชั้นสตราโตสเฟียร์เป็นไปได้อย่างต่อเนื่องนั้นค่อนข้างยากในทางเทคนิค แต่สามารถผ่านได้โดย “กระโดดข้าม” ชั้นบรรยากาศ ที่ซึ่งตัวแพลตฟอร์มจะใช้ความเร็วในการ “กระโดด” ออกจากชั้นบรรยากาศที่หนาแน่นกว่าด้วยความเร็วไฮเปอร์โซนิกเฉกเช่นการขว้างหินข้ามผิวน้ำ ความสามารถดังกล่าวก่อให้เกิดประโยชน์ทางทหารอย่างหลากหลายระหว่างโดเมนทางอากาศและอวกาศ (ประมาณ ๓๔ ไมล์ถึง ๑๒๐ ไมล์เหนือพื้นโลก) ทำให้การควบคุมและรักษาระดับความสูงเป็นไปได้โดยไม่มีข้อจำกัดเชิงกลไกของการโคจรที่ถูกกำหนดโดยการปฏิบัติการในอวกาศ



การบินของ Spaceship One ที่เรียกว่า “suborbital”

ที่มา <https://www.space.com/384-tense-moments-trailblazing-private-space-flight.html>

ยานบินไฮเปอร์โซนิก (Hypersonic glide vehicle: HGV) เป็นขีดความสามารถที่ สหรัฐฯ รัสเซีย และจีน ต่างกำลังขะมักเขม้นวิจัยอยู่ สามารถปล่อยได้จากขีปนาวุธพิสัยกลางเพื่อให้สามารถกระโดดข้ามชั้นบรรยากาศดังกล่าวได้ แนวทางอื่นอาจพบได้ในเทคนิคการขับเคลื่อนแบบใหม่ เช่น เครื่องยนต์ที่ใช้อากาศ เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงพลาสมา ซึ่งอยู่ในระยะเริ่มต้นของการวิจัยและพัฒนา



Hypersonic glide vehicle: HGV

ที่มา <https://quwa.org/2016/08/22/hypersonic-glide-vehicles-new-form-strategic-deterrence/>

นิยามขีดจำกัดความเร็วในโดเมนทางอากาศ คำสำคัญคือสิ่งสำคัญในการทำความเข้าใจต่อความยากในการไปให้สูงขึ้นและเร็วขึ้นในชั้นบรรยากาศ คำจำกัดความที่แสดงเทียบกับความเร็วเสียง ตัวอย่างเช่น มัค ๐.๘๒ ซึ่งเป็นความเร็วของเครื่องบินพาณิชย์ทั่วไป ก็คือ ๘๒ เปอร์เซ็นต์ของความเร็วเสียง มัค ๑.๐ เกิดขึ้นที่ความเร็ว ๖๖๗ นอต (ไมล์ทะเลต่อชั่วโมง) ที่ระดับน้ำทะเล ความเร็วมากกว่า มัค ๑.๐ ในชั้นบรรยากาศ จะเกิดคลื่นกระแทกที่หัวและหางของเครื่องบิน หากคลื่นกระแทกเหล่านี้เคลื่อนถึงพื้นดินจะได้ยินเสียง “บูม” และรู้สึกได้ตามเส้นทางการบินที่คลื่นกระแทกเคลื่อนผ่านตามไป

สูตรพื้นฐานของอากาศพลศาสตร์ที่ปรับสมดุลของ แรงยก แรงต้าน แรงโน้มถ่วง และแรงขับ เป็นไปด้วยดีจนถึงความเร็วประมาณ มัค ๐.๘๐ หรือจุดเริ่มต้นของความเร็ว “ทรานโซนิก” จุดนี้เองที่การบีบอัดของอากาศกลายเป็นอีกปัจจัยหนึ่ง แตกต่างจากน้ำตรงที่อากาศบีบอัดเมื่อความเร็วเหนือพื้นผิวเพิ่มขึ้น เมื่อมีความเร็วเพิ่มขึ้นมันจะเปลี่ยนรูปแบบแรงต้านของ airfoils แบบดั้งเดิม จึงจำเป็นต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการรักษาความเร็วหรือไปให้ได้เร็วขึ้น นอกจากนี้คลื่นกระแทกที่เริ่มก่อตัวขึ้นจะไปขัดขวางการไหลเวียนของอากาศปกติที่อยู่เหนือ airfoil

สำหรับ airfoils ปีกตรงแบบดั้งเดิม แรงดันเหล่านี้จะเปลี่ยนไปอย่างกะทันหันเมื่อเข้าใกล้ความเร็วของเสียง ส่งผลให้เกิดการสั่นและสูญเสียการควบคุม ปรากฏการณ์นี้จึงเป็นตัวกำหนดขีดจำกัดความเร็วของเครื่องบินใบพัด (รวมถึงการดำน้ำสูง) เนื่องจากแรงต้านเพิ่มขึ้นและเกิดคลื่นกระแทกที่สลับใบพัด ดังนั้น “กำแพงเสียง” จึงถือเป็นอุปสรรคสำคัญในการบินทางทหารจนกระทั่งถูกทำลายลงในเดือนตุลาคม พ.ศ.๒๕๔๐ ต้องขอบคุณการออกแบบระบบขับเคลื่อนที่ปราศจากใบพัด การออกแบบปีกบาง และพื้นบังคับแบบใหม่

เครื่องบินในปัจจุบันถูกออกแบบมาให้สามารถบินได้เร็วกว่า มัค ๐.๘๐ มีปีกถู่ (swept wings) และคุณสมบัติการออกแบบอื่น ๆ ที่ช่วยลดผลกระทบจากแรงต้านทรานโซนิก เนื่องจากสายการบินพาณิชย์บินด้วยความเร็ว มัค ๐.๘ ถึง .๘๗ การวิจัยเพื่อลดแรงต้านในย่านทรานโซนิก การปรับปรุง airfoil สำหรับความเร็วทรานโซนิก และประสิทธิภาพเครื่องยนต์ในย่านทรานโซนิก จึงยังคงมีความสำคัญสำหรับบริษัทผลิตเครื่องบินและเครื่องยนต์

ความเร็วสองย่านที่เกี่ยวข้องกันทางทหารในโดเมนทางอากาศคือความเร็วที่มากกว่า มัค ๑.๐ อันได้แก่ ความเร็วซูเปอร์โซนิก (มัค ๑.๒ – ๕.๐) และไฮเปอร์โซนิก (มัค ๕.๐ – ๑๐.๐) แต่ละย่านก่อให้เกิดปัญหาสำหรับนักออกแบบแตกต่างกัน

ความเร็วซูเปอร์โซนิกช่วยเพิ่มระยะของขีปนาวุธอากาศสู่อากาศ ปรับปรุงการตอบโต้ต่อการสกัดกั้น ขยายกรอบการบินสำหรับปฏิบัติการ และช่วยให้สามารถบินในระดับสูงได้อย่างต่อเนื่อง

ในย่านซูเปอร์โซนิก นักออกแบบต้องแก้ปัญหาในการสร้างกระแสน้ำอากาศซับโซนิกเพื่อป้องกันเข้าสู่ห้องเผาไหม้จากอากาศความเร็วซูเปอร์โซนิกที่เข้าเครื่องยนต์ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้ เครื่องบินขับไล่ทางทหารส่วนใหญ่ใช้เครื่องยนต์เทอร์โบแฟนแบบสันดาปท้าย ซึ่งออกแบบผสมผสานระหว่างช่องอากาศกับคอมเพรสเซอร์แบบหมุนเพื่อบีบและชะลอการไหลของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ให้เป็นความเร็วซับโซนิกก่อนจะฉีดเชื้อเพลิงและเผาไหม้

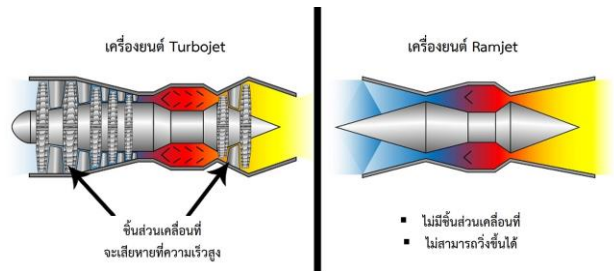


เครื่องยนต์ GE90 high-bypass turbofan

ที่มา https://www.reddit.com/r/MachinePorn/comments/39lkos/general_electric_ge90_highbypass_turbofan/

แม้จะมีการวิจัยเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการบินยานขับโซนิค แต่เครื่องยนต์ turbofans แบบสันดาปท้ายก็ยังมีประสิทธิภาพน้อยกว่า turbofans แบบ “high bypass” ที่ใช้โดยสายการบินพาณิชย์

อย่างไรก็ตามเมื่อเร็วมากกว่ามาค์ ๓.๐ เครื่องยนต์ turbofan จะถึงขีดจำกัดของวัสดุจากความร้อนสูงและแรงอัดสูง หากต้องการบินให้เร็วขึ้นด้วยเครื่องยนต์ที่ต้องใช้อากาศ จำเป็นต้องใช้ ramjet ที่ใช้ช่องอากาศเข้าคองที่แบบเปลี่ยนทิศทางได้เพื่อให้เกิดการบีบอัดโดยไม่มีชิ้นส่วนที่หมุน แต่การเผาไหม้ก็ยังต้องใช้การไหลของอากาศที่ยานขับโซนิคอยู่ดี ramjets สามารถทำงานได้ถึงความเร็ว มาค์ ๖.๐ แต่จะสามารถทำงานได้ดีที่สุดช่วง มาค์ ๒.๐ – ๔.๐ ตัวอย่างเช่น เครื่องยนต์เทอร์โบเจท/แรมเจทแบบรอบผสม (combined-cycle turbojet/ramjet engine) ที่ทำให้เครื่องบิน SR-71 สามารถทำความเร็วได้สูงกว่า มาค์ ๓.๐ ซึ่งความเร็ว มาค์ ๓.๐ จะให้ความสามารถในการอยู่รอดจากการป้องกันภัยทางอากาศสมัยทศวรรษที่ ๑๙๘๐ ความเร็วในยานนี้จึงกลายเป็นข้อดีให้กับระบบป้องกันภัยทางอากาศ เช่น SA-20 ของ รัสเซีย Patriot และ Aegis ของ สหรัฐฯ เมื่อช่วงปี ๑๙๙๐



เครื่องยนต์ Turbojet และ Ramjet

<https://pantip.com/topic/36658759>

เพื่อปรับปรุงความสามารถในการอยู่รอดและลดเวลาการตอบสนองต่อการแข่งขันอันเข้มข้นในนานาฟาปัจจุบัน จำเป็นต้องใช้ความเร็วไฮเปอร์โซนิค ซึ่งค่าใช้จ่ายในการทำงานที่ความเร็วมากกว่า มาค์ ๕.๐ ในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นอย่างก้าวกระโดดพร้อมกับความเร็วที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความต้องการวัสดุโครงสร้างสำหรับใช้ป้องกันความร้อนสูงและข้อกำหนดพิเศษสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้อากาศเพื่อรองรับกับความเร็วสูงนั้น ทั้งจีนและสหรัฐอเมริกาต่างจะมักขม่นดำเนินการวิจัยเพื่อลดต้นทุนในประเด็นเหล่านี้

เพื่อลดต้นทุนของความเร็วไฮเปอร์โซนิค เครื่องยนต์ที่ใช้อากาศเป็นสิ่งที่ต้องการมากกว่าเครื่องยนต์จรวดเนื่องจากผลิตแรงขับได้มากกว่าสำหรับน้ำหนักที่ระบุ ยิ่งไปกว่านั้นการผสมผสานระหว่างความเร็วและประสิทธิภาพในการใช้เชื้อเพลิงที่ดีขึ้นจะทำให้ยานไฮเปอร์โซนิคสามารถเดินทางได้ระยะทางไกลขึ้นโดยใช้เชื้อเพลิงจำนวนน้อย ซึ่งช่วยให้ยานมีขนาดกะทัดรัดมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ยานไฮเปอร์โซนิคเดินทางระยะ ๕๖๐ ไมล์โดยใช้เชื้อเพลิงเพียง ๘ นาที่ ที่ความเร็ว มาค์ ๗.๐

เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้ จำเป็นต้องใช้เครื่องยนต์ scramjet ที่สามารถเผาไหม้ได้คงที่ในกระแสดูดอากาศซูเปอร์โซนิค แต่เนื่องจากเครื่องยนต์เหล่านี้ไม่ทำงานที่ความเร็วต่ำกว่า มาค์ ๔.๕ ยานไฮเปอร์โซนิคที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์

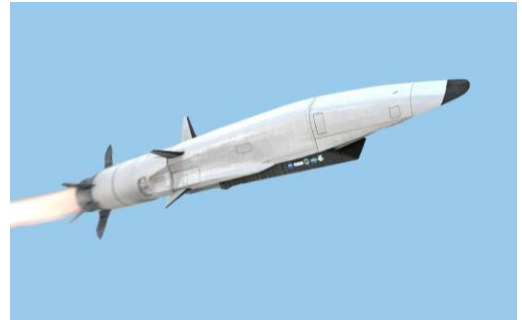


X-43A

ที่มา <https://www.wpafb.af.mil/News/Art/igphoto/2002133900/>

scramjet จึงต้องใช้มอเตอร์จรวดทำ “kick start” เพื่อเร่งให้ถึงความเร็วสำหรับการสตาร์ทเครื่องยนต์ การวิจัยเกี่ยวกับเครื่องยนต์เหล่านี้อยู่ในขั้นกำลังดำเนินการ ในปี ค.ศ.๒๐๐๔ ยาน X-43 ของนาซ่าประสบความสำเร็จในการบินโดยใช้พลังงาน ๑๐ วินาที ที่ความเร็ว มาค์ ๙.๖ และได้ถูกบันทึกว่าเป็นเที่ยวบินที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ไอพ่นที่เร็วที่สุดในปี ค.ศ.๒๐๑๓ ยาน X-51A ของกองทัพอากาศทำการทดสอบการบินด้วยความเร็วไฮเปอร์โซนิคได้นานถึง ๒๔๐ วินาทีด้วยเครื่องยนต์ scramjet ที่มาค์ ๕.๑ ซึ่งได้รับ

การบันทึกไว้ว่าเป็นการบินที่ใช้เครื่องยนต์ scramjet เป็นตัวขับเคลื่อนได้นานที่สุด ทำให้เกิดการปรับปรุงขีดความสามารถในการป้องกันทางอากาศที่ทันสมัยรวมทั้งเพิ่มสำคัญต่อการโจมตีเป้าหมายเคลื่อนที่อย่างมีประสิทธิภาพ ยานและอาวุธความเร็วไฮเปอร์โซนิกจึงมีแนวโน้มว่าจะกลายเป็นประเด็นการแข่งขันที่เข้มข้นขึ้น



X-51A

ที่มา https://www.pan.bg/view_article-1-531946-en-X-51A-naj-byrzata-krilata-raketa-v-sveta-snimki.html

ลักษณะร่วมสำหรับการใช้ประโยชน์จากโดเมนทางอากาศ

เมื่อก้าวถึงคุณลักษณะด้านความเร็วและความสูงของโดเมนทางอากาศแล้ว ต้องพิจารณาลักษณะร่วมที่จำเป็นต่อการใช้ประโยชน์จากมัน ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ ๑) ความสามารถในการแผ่อำนาจจากระยะไกล ความคงอยู่ และน้ำหนักบรรทุก ๒) ความสามารถในการมองเห็นและปฏิบัติโดยใช้สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า

พิสัย ความคงอยู่ และน้ำหนักบรรทุก ความสามารถของอากาศยานในโดเมนทางอากาศเพื่อปฏิบัติการและอยู่รอดในที่ห่างไกลและต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาด้วยเซ็นเซอร์ข่าวกรอง การตรวจจับ และการลาดตระเวน พร้อมด้วยอาวุธที่อ่อนตัว นับเป็นกุญแจสำคัญในการใช้ประโยชน์จากโดเมน ความสามารถนี้เชื่อมต่อโดเมนทางอากาศกับโดเมนอื่นผ่านภารกิจต่าง ๆ เช่น การตอบโต้ทางอากาศ การโจมตีทางอากาศ การสนับสนุนทางอากาศโดยใกล้ชิด ISR การทำสงครามต่อต้านเรือดำน้ำทางอากาศ การบินโจมตี หรือปฏิบัติการไซเบอร์ในอากาศ ยี่สิบห้าปีหลังจาก Desert Storm ความสำเร็จจากปฏิบัติการของสหรัฐฯ ในสภาวะแวดล้อมทางอากาศได้เสริมสร้างการรับรู้ที่กำลังทางอากาศของอเมริกาสามารถไปได้ทุกหนแห่งในช่วงกระพริบตา จูโจมด้วยความรวดเร็วและแม่นยำ

แตกต่างจากโดเมนทางบกและทางทะเล ที่ความคงอยู่ประกอบด้วยการยึดครองพื้นที่หรือการลาดตระเวนในพื้นที่ที่มีความจำกัดทางภูมิศาสตร์ แต่ความคงอยู่ในอากาศเป็นเรื่องของรัศมีการปฏิบัติที่ใช้ประโยชน์จากความเร็วและความได้เปรียบที่โดเมนทางอากาศมอบให้ ตัวอย่างเช่น เครื่องบินอยู่ที่ความสูง ๒๐,๐๐๐ ฟุต ห่างออกไป ๘๐ ไมล์จากหน่วยลาดตระเวนภาคพื้นของสหรัฐฯ ในซีเรียยังสามารถติดต่อกันได้อย่างสะดวก สามารถบรรทุกเซ็นเซอร์มาอยู่เหนือศีรษะที่ความเร็ว มัค ๑.๐ ได้ภายใน ๘ นาที หากความตึงเครียดเพิ่มขึ้น กำลังทางอากาศอื่น ๆ สามารถรวมตัวกันได้อย่างรวดเร็ว หากน้ำมันเชื้อเพลิงเหลือน้อย เครื่องบินเติมเชื้อเพลิงในอากาศจะมาเติมให้ ทำให้ปฏิบัติการสามารถขยายขนาดและเวลาได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่เอื้อ (พื้นที่ที่มีภัยคุกคามต่อการปฏิบัติการทางอากาศของสหรัฐฯ เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย) พิสัยและความคงอยู่ทำให้สิ่งนี้เป็นไปได้

พิสัยและความคงอยู่เป็นแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิง เช่น นักบินสามารถเดินทางจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งด้วยความเร็ว (เปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นระยะทาง) หรือโคจรรอบจุด ๆ หนึ่งด้วยความเร็ว (เปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นความคงอยู่) ดังนั้นเชื้อเพลิงที่บรรทุก (สิ่งที่แสดงถึงรัศมีการบรรทุกหรือรัศมีการปฏิบัติการโดยไม่เติมเชื้อเพลิง) จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการใช้ประโยชน์จากโดเมนทางอากาศรวมถึงการแสดงให้เห็นและการกำหนดตำแหน่งการจัดตั้งฐานบิน ตัวอย่างเช่น สหรัฐอเมริกาได้พัฒนาการเติมเชื้อเพลิงทางอากาศในทศวรรษที่ ๑๙๕๐ เพื่อทำให้เครื่องบินทิ้งระเบิดสามารถปฏิบัติการได้ในเชิงลึกจากทุกด้านของสหภาพโซเวียต หากไม่มีการเติมเชื้อเพลิงทางอากาศเครื่องบินอาจอยู่ในระยะห่างจากฐานบินระยะหนึ่งเท่านั้นซึ่งเสียเปรียบในเชิงยุทธศาสตร์ เนื่องจากความสามารถในการเติมเชื้อเพลิงทางอากาศถูกรวมเข้ากับเครื่องบินรบ แนวคิดเรื่องการเติมเชื้อเพลิงทางอากาศจึงสร้างความมั่นใจต่อนักออกแบบในการเปลี่ยนความจุเชื้อเพลิง (ซึ่งหมายถึงน้ำหนัก) เป็นโครงสร้างเครื่องบินที่มีความคล่องตัว (ซึ่งก็หมายถึงน้ำหนักด้วย) ที่จำเป็นสำหรับการต่อสู้ทางอากาศ ดังนั้นรัศมีการรบของเครื่องบินรบสหรัฐฯ ส่วนใหญ่ในปัจจุบันอยู่ที่ ๕๕๐-๖๕๐ ไมล์ทะเล จึงส่งผลให้ปฏิบัติการที่อยู่นอกเหนือระยะนี้จำเป็นต้องมีการเติมเชื้อเพลิงประมาณทุก ๆ ๒ ชั่วโมง

ตารางแสดงผลกระทบของระยะทางต่อเที่ยวบิน

ระยะจากฐาน (ไมล์ทะเล)	รวมเวลาเที่ยวบิน (ชั่วโมง)*	เที่ยวบินต่ออากาศยาน/ วัน**	จำนวนนักบิน (ต่ออากาศยาน)***
๖๕๐	๔.๗	~๒.๙๐	๑.๕
๑,๓๐๐	๗.๔	~๒.๐	๒.๐
๑,๙๐๐	๑๐.๑	~๑.๕๕	๒.๕
๒,๖๐๐	๑๒.๘	~๑.๒๕	๓.๕

* ข้อสมมุติ ใช้เวลาอยู่ที่สถานี ๒.๐ ชั่วโมง

** ข้อสมมุติ ใช้เวลาขึ้นฟู ๑.๕ ชั่วโมง และซ่อมบำรุง ๖.๐ ชั่วโมงต่ออากาศยานต่อวัน เวลาอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ แบบอากาศยาน จำนวนช่างซ่อมบำรุง และวงรอบดาตฟ้าเรือ

*** นักบินปฏิบัติหน้าที่ต่อเนื่อง ๑๒.๐ ชั่วโมงต่อวัน มากที่สุดไม่เกิน ๑๒๕ ชั่วโมงต่อ ๓๐ วัน

แหล่งข้อมูล: คำนวณโดยผู้เขียน

เวลาพื้นฐาน รัศมีการรบ และเศรษฐศาสตร์ระยะทาง สิ่งเหล่านี้เป็นแรงจูงใจตลอด ๖๐ ปีให้สหรัฐพึ่งพาต่อฐานบินส่วนหน้าและเรือบรรทุกเครื่องบินเพื่อแผ่ขยายอำนาจในโดเมนทางอากาศ (ภาพที่ ๑) แนวทางนี้มีเหตุผลที่ดี ปฏิบัติการจากระยะไกลเป็นการประเมินความอดทนของมนุษย์ เช่น ในปี ค.ศ.๒๐๐๑ เครื่องบินรบปฏิบัติการจากคาบสมุทรอาหรับไปยังอัฟกานิสถานต้องเดินทาง ๑,๒๐๐ ไมล์เพื่อบินอ้อมอิหร่าน ดังนั้นเวลาปฏิบัติการก็หกชั่วโมง ในอัฟกานิสถานจึงต้องใช้เที่ยวบิน ๑๑ ชั่วโมงซึ่งประกอบด้วยการเติมเชื้อเพลิงทางอากาศสี่ถึงห้าครั้งจากเครื่องบินเติมเชื้อเพลิงทางอากาศที่แตกต่างกันสี่ถึงห้าลำ เครื่องบินเติมเชื้อเพลิงทางอากาศเหล่านี้เดินทางโดยใช้ระยะทางใกล้เคียงกับเที่ยวบินที่เติมให้ ดังนั้นการปฏิบัติการอย่างต่อเนื่องในระยะไกลจึงต้องใช้นักบินมากขึ้น เครื่องบินจำนวนมากขึ้น และเชื้อเพลิงมากขึ้น

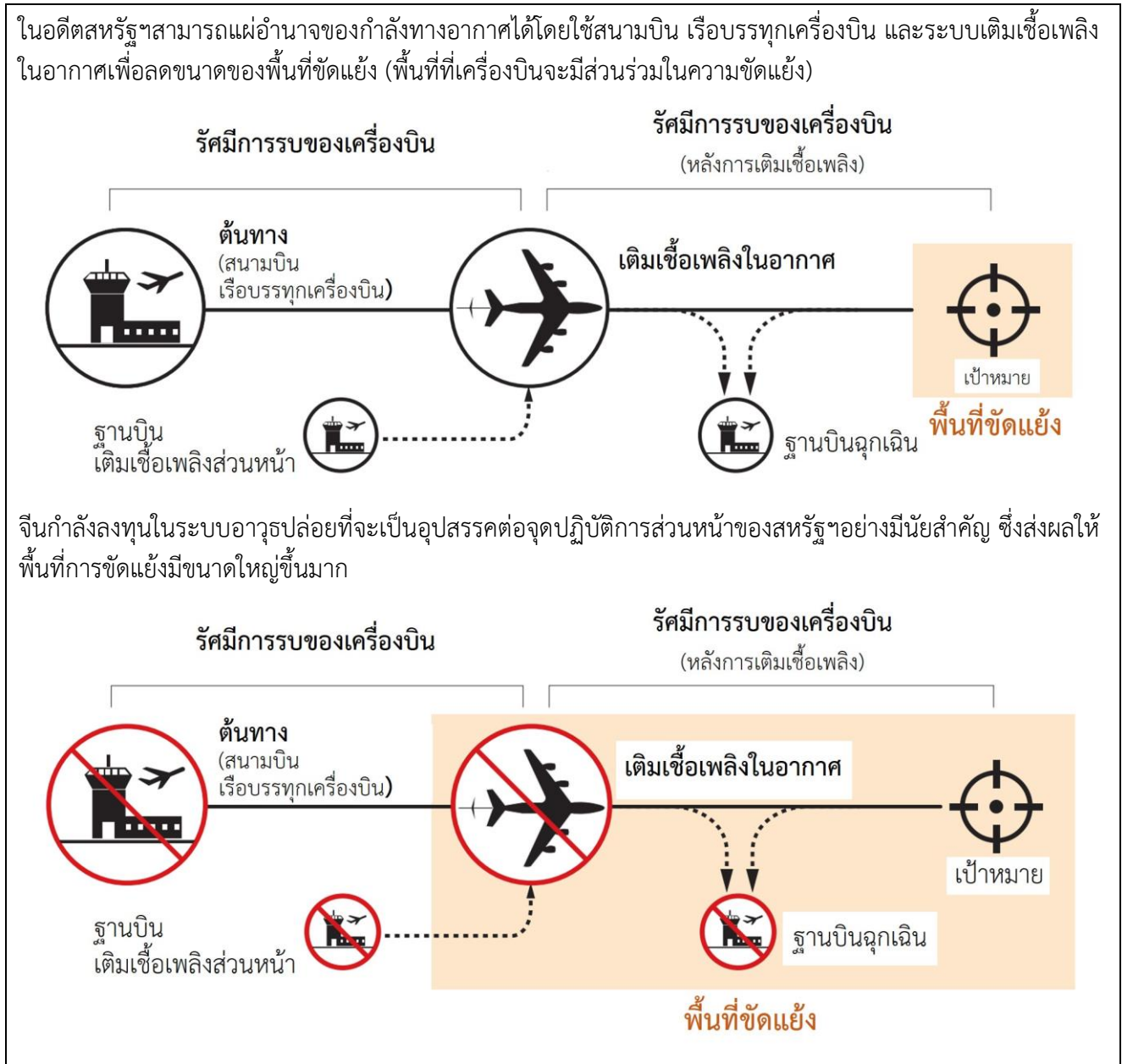
ในทางกลับกัน ฐานบินส่วนหน้าช่วยให้ผู้บัญชาการใช้เครื่องบินและนักบินได้หลายครั้งต่อวัน สิ่งนี้ช่วยให้สามารถปฏิบัติการได้อย่างรวดเร็วและช่วยให้เกิดความคงอยู่ด้วยการปฏิบัติซ้ำที่เดิมหลายครั้งหรือหมุนเวียนใช้เครื่องบินได้ครอบคลุมพื้นที่การรบ เครื่องบินเติมเชื้อเพลิงในอากาศจากฐานบินส่วนหน้าเพิ่มขีดความสามารถให้เครื่องบินขับไล่/โจมตี ทำให้เครื่องบินยังคงปฏิบัติการได้ดีที่ระยะเกินกว่ารัศมีการรบของตัวเอง โดยมั่นใจว่าจะมีสถานีเติมเชื้อเพลิงบนฟ้าพร้อมอยู่เสมอ (ภาพที่ ๑)

ความสามารถในการตั้งฐานบินส่วนหน้ายังช่วยให้สหรัฐสามารถลดเครื่องบินที่มีน้ำหนักมาก เช่น A-6 ของกองทัพอากาศและเครื่องบินทิ้งระเบิดของกองทัพอากาศได้ เนื่องจากจำนวนเที่ยวบินของเครื่องบินรบที่มากขึ้นที่ฐานบินส่วนหน้าสามารถสร้างความแตกต่างในเรื่องน้ำหนักบรรทุก ด้วยตระหนักถึงความจริงนี้ จีนได้ลงทุนวิจัยพัฒนาซีปนาอูและอาวุธปล่อยความเร็วสูงที่ยุคใหม่เพื่อทำให้อากาศยานส่วนหน้าและเรือบรรทุกเครื่องบินตกอยู่ในความเสี่ยงจากการโจมตีด้วยปริมาณจำนวนมาก ซึ่งออกแบบมาเพื่อโจมตีระบบป้องกันโดยเฉพาะ นอกจากนี้จีนกำลังใช้มาตรการอื่น ๆ ที่ทำให้ความต้องการต่าง ๆ ของกองกำลังสหรัฐต้องเพิ่มมากขึ้นด้วยการขยายขอบเขตน่านฟ้าที่มีความขัดแย้ง (ภาพที่ ๑)

ในขณะที่ฐานบินส่วนหน้าตกอยู่ภายใต้การคุกคามที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้ระยะห่างฐานบินเพิ่มขึ้น แรงกดดันต่อหน่วยเติมเชื้อเพลิงทางอากาศก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย เว้นแต่ว่ารัศมีการต่อสู้ของตัวเครื่องบินรบจะเพิ่มขึ้น การป้องกันเครื่องบินเติมเชื้อเพลิงในอากาศที่มีขนาดใหญ่เป็นเรื่องยาก การสร้างที่กำบังเครื่องบินเติมเชื้อเพลิงในอากาศที่ฐานบินส่วนหน้าได้พิสูจน์ถึงความไม่คุ้มค่าในแง่ระยะไกลและมันไม่เคยเกิดขึ้นเลยในช่วงสงครามเย็น การปล่อยให้เครื่องบินเหล่านี้ไร้การกำบังยังมีโอกาสเสี่ยงต่อการถูกโจมตีด้วยอาวุธหลากหลายประเภท ตั้งแต่ซีปนาอูและอาวุธปล่อยขีปนาวุธความเร็วสูงที่ไปจนถึงจรวด และปืนครกไปจนถึงปืนไรเฟิลขุมยิง นอกจากนี้รัศมีการรบที่สั้นของกองกำลัง

ในปัจจุบันยังเพิ่มช่องโหว่ของเครื่องบินเติมเชื้อเพลิงในอากาศระหว่างทำการบิน เนื่องจากต้องปฏิบัติตามภารกิจใกล้ชิดกับเขตภัยคุกคามของระบบสมัยใหม่เพื่อจัดเตรียมเชื้อเพลิงให้เพียงพอสำหรับปฏิบัติการ ดังที่แสดงในภาพที่ ๑

ภาพที่ ๑ สหรัฐแผ่นดินอำนาจได้อย่างไร



จีนกำลังลงทุนในระบบอาวุธปล่อยที่จะเป็นอุปสรรคต่อจุดปฏิบัติการส่วนหน้าของสหรัฐอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งส่งผลให้พื้นที่การขัดแย้งมีขนาดใหญ่ขึ้นมาก

การปรับปรุงรัศมีการรบอาจมีความสำคัญมากขึ้นในการใช้ประโยชน์จากโดเมนทางอากาศเพื่อการแผ่อำนาจ โชคดีที่ขีดความสามารถของอาวุธปล่อยสมัยใหม่ส่งผลให้ความสามารถในการเปลี่ยนท่าทางของเครื่องบินขับไล่มีความสำคัญน้อยลง ทำให้สามารถเปลี่ยนน้ำหนักโครงสร้างเป็นเชื้อเพลิงได้ อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องเพิ่มความสำคัญกับน้ำหนักบรรทุกที่มากขึ้นเพื่อชดเชยการสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นจากจำนวนเที่ยวบินจากฐานบินส่วนหน้าที่ลดลง และจากปฏิบัติการที่ไร้คนขับ เพื่อปรับปรุงความสามารถของมนุษย์ในการดำรงไว้ซึ่งปฏิบัติการที่ยาวนานจากระยะไกล

สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า นอกเหนือจากการแผ่อำนาจในด้านพิสัย ความคงอยู่ และน้ำหนักบรรทุกแล้ว การใช้ประโยชน์จากโดเมนทางอากาศยังต้องการความสามารถในการมองเห็น ตัดสินใจ และปฏิบัติ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่จะแยกการทำงานในโดเมนทางอากาศออกจากสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าหรือสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าจากสภาพอากาศ ส่วนที่เกี่ยวข้องของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าภายในบริบทของโดเมนทางอากาศอันรวมถึงแสงที่มองเห็นได้และแสง

อินฟราเรดซึ่งใช้สำหรับตรวจจับอุณหภูมิ รวมทั้งความถี่วิทยุซึ่งช่วยให้การสื่อสารและเรดาร์รูปแบบต่าง ๆ ตั้งแต่การใช้สายตาไปจนถึงเรดาร์ หากถูกตรวจพบในโดเมนทางอากาศ นั่นคือการตรวจจับโดยสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า

ในทางกลับกัน สภาพอากาศที่แฝงไปด้วยอันตราย เช่น พายุฝนฟ้าคะนองและการจับตัวเป็นน้ำแข็งที่รุนแรง เช่นเดียวกับลมและอุณหภูมิ ที่ส่งผลต่อปฏิบัติการ อย่างไรก็ตาม สิ่งที่สำคัญที่สุดคือมันเป็นตัวกำหนดระดับความสามารถในการใช้ประโยชน์จากสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ระยะสายตาดึงขอบฟ้าจากเครื่องบินที่ความสูง ๓๕,๐๐๐ ฟุต อยู่ที่ ๒๒๙ ไมล์ แต่ระยะทางที่ใช้งานได้เป็นเท่าไร? เมื่อมองขึ้นไปในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ อาจเป็นไปได้ว่า สภาพอากาศโดยทั่วไปแจ่มใส หนาวเย็นและปราศจากความยุ่งเหยิง เป็นสถานะสมบูรณ์แบบสำหรับเซนเซอร์ทั้งการใช้สายตา อินฟราเรด และเรดาร์



synthetic aperture radar image

<https://www.asc-csa.gc.ca/eng/blog/2016/11/29/improving-synthetic-aperture-radar-technologies.asp>

เมื่อมองจากชั้นบรรยากาศลงไปยังพื้นดิน การมองเห็นแตกต่างออกไป ในสเปกตรัมของการมองเห็น ฝนและเมฆอาจบดบังสายตา ตัวอย่างเช่น เมฆปกคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของเกาหลีเหนือมากกว่าร้อยละ ๕๐ ของเวลาตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ในสเปกตรัมอินฟราเรดที่ไอน้ำอาจลดทอนสัญญาณบ่งชี้ระดับอุณหภูมิ และเมฆอาจปิดกันโดยสิ้นเชิง ในสเปกตรัมของเรดาร์ ระบบเรดาร์สร้างภาพสังเคราะห์ (Synthetic Aperture Radar: SAR) เป็นเครื่องมือที่ทำให้มองเห็นทะลุผ่านก้อนเมฆ แต่พลังจะกระจายไปอย่างรวดเร็วตามระยะทาง อีกทั้งฝนจะเป็นตัวลดทอนสัญญาณที่ความถี่สูง นอกจากนี้เรดาร์ในอากาศจะต้องต่อสู้กับ “ความยุ่งเหยิงบนพื้น” ที่เคลื่อนไหวอยู่ด้านล่างซึ่งทำให้งานซับซ้อนขึ้น

ยิ่งไปกว่านั้น เครื่องบินยังมีข้อจำกัดด้านปริมาณพลังงานที่สามารถผลิตได้และขนาดของเสาอากาศเรดาร์ที่สามารถติดตั้ง ดังนั้นขนาดของเสาอากาศจึงมีแนวโน้มที่จะทำให้เรดาร์ของเครื่องบินให้อยู่ในช่วงความถี่แคบ ๆ และใช้พลังงานลดลง ซึ่งหมายความว่าความสามารถด้าน ISR ในทุกสภาพอากาศทั้งกลางวัน/กลางคืน ที่แท้จริงต้องใช้เซ็นเซอร์ผสมผสานร่วมกันจึงจะมีประสิทธิภาพ และเครื่องบินอาจจำเป็นต้องบินใกล้กับพื้นที่เป้าหมายเพื่อให้เซ็นเซอร์ “มองเห็น” โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเป้าหมายนั้นเคลื่อนที่ได้

ในขณะเดียวกัน ผู้เข้าถึงสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าบนพื้นดินหรือในทะเลไม่ได้ถูกจำกัดด้วยพลังงานหรือขนาดของเรดาร์เช่นเครื่องบิน พวกเขาสามารถพัฒนาเรดาร์ที่มีประสิทธิภาพเพื่อตรวจจับและระบุอากาศยานเป้าหมายรวมทั้งใช้การรบกวนเรดาร์ตรวจจับที่อยู่ในอากาศและการนำทางที่แม่นยำเช่นระบบกำหนดพิกัดบนโลก (GPS) นอกจากนี้เรดาร์บนพื้นดินยังมีข้อได้เปรียบในการมองขึ้นไปพ้นจากสิ่งกีดขวาง พลวัตของการแข่งขันทางด้านอากาศและภาคพื้นในโดเมนทางอากาศผ่านสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าสุดท้ายแล้วจะเป็นตัวบังคับให้เกิดการพัฒนาด้านการหลบหลีกการตรวจจับจากเรดาร์ (stealth) ในที่สุด

ในขณะที่ความขัดแย้งระหว่างรัฐ-ชาติทวีความรุนแรงขึ้น การแข่งขันเพื่อติดตั้งเซ็นเซอร์ไว้ให้ใกล้มากพอที่จะ “ค้นหา” เป้าหมายโดยเฉพาะเป้าหมายเคลื่อนที่ เทียบกับความพยายามในการป้องกันการกระทำเหล่านั้นจะดำเนินต่อไป การหลบหลีกการตรวจจับซึ่งได้รับการปรับปรุงจากมาตรการตอบโต้ทางอิเล็กทรอนิกส์ ยังคงมีความเกี่ยวข้องและจำเป็นสำหรับความสามารถในการอยู่รอดในสภาวะแวดล้อมนี้เพื่อทำให้เป้าหมายเคลื่อนที่และเป้าหมายลึกลงอยู่ในความเสี่ยง แนวทางอื่น ๆ เช่น ความเร็วไฮเปอร์โซนิก หรือการใช้ยานจำนวนมากเพื่อการป้องกันยังช่วยเพิ่มความสามารถในการอยู่รอดและอาจกลายเป็นสิ่งสำคัญหลักในการแข่งขันครั้งนี้ คำถามก็จะกลายเป็น “ลักษณะของโดเมนจะเปลี่ยนไปอย่างไรเมื่อเทคโนโลยีก้าวหน้าขึ้น?”

การเปลี่ยนแปลงสำคัญที่มีแนวโน้มส่งผลกระทบต่อโดเมนทางอากาศ

เนื่องจากการใช้ประโยชน์จากโดเมนทางอากาศขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่กำลังก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง การแข่งขันในโดเมนจึงไม่หยุดนิ่ง เมื่อเทคโนโลยีก้าวหน้าอย่างรวดเร็วทำให้หลายรัฐชาติกลับเข้าสู่การแข่งขันและผลักดันให้เกิดรูปแบบใหม่ ๆ ในการตอบโต้ต่อขีดความสามารถของสหรัฐฯ การเปลี่ยนแปลงหลักอย่างน้อยสี่ประเด็นกำลังดำเนินอยู่ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนลักษณะของโดเมนทางอากาศ

ประเด็นแรก การใช้ประโยชน์จากโดเมนทางอากาศไม่ได้มีเพียงแค่เครื่องบินอีกต่อไป การแพร่หลายของอุปกรณ์ป้องกันทางอากาศขั้นสูงแบบเคลื่อนที่, อาวุธขีปนาวุธวิถีเคลื่อนที่ (mobile ballistic missiles), ระบบเครื่องร่อนแบบบูสต์ความเร็วไฮเปอร์โซนิกทั้งการปล่อยจากพื้นดินและจากทะเล (land-launched and sea-launched hypersonic boost glide systems) และยานไฮเปอร์โซนิกปล่อยจากอากาศ ล้วนแต่เป็นเครื่องมือในการต่อต้านการเติมเชื้อเพลิงทางอากาศ โจมตีฐานบินส่วนหน้า ต่อต้านสถานีลอยน้ำส่วนหน้า ผ่านโดเมนทางอากาศทั้งสิ้น สิ่งเหล่านี้เป็นตัวแปรในการตั้งสมมติฐานของการพัฒนาขีดความสามารถในปัจจุบัน การพัฒนานี้ทำให้รัศมีการรบของเครื่องบินเพิ่มขึ้น บรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้น และการใช้งานระบบไร้คนขับระยะไกลที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มความสามารถของสหรัฐฯ ในการปฏิบัติการจากระยะไกล

ประเด็นที่สอง สิ่งสำคัญที่สุดคือเป้าหมายเคลื่อนที่ ความสำคัญที่เพิ่มขึ้นของการตอบโต้เป้าหมายเคลื่อนที่ดังได้อธิบายไว้ข้างต้นจะเพิ่มความสามารถของ ISR และความสามารถในการอำนวยความสะดวกในสภาวะแวดล้อมความขัดแย้ง การใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีขั้นนำอย่างเต็มที่ในสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยเพิ่มขีดความสามารถของสหรัฐฯ ในการทำให้เป้าหมายเหล่านี้ตกอยู่ในความเสี่ยง ซึ่งรวมถึงเทคโนโลยีสำหรับเซ็นเซอร์ขั้นสูง การแทรกซึมแบบลดการตรวจจับ (penetrating stealth) ความสามารถในการ “ขัดขวาง” และทางเลือกในการนำทางด้วย GPS

ประเด็นที่สาม ยุทธโศปกรณ์บินได้ตกอยู่ภายใต้ความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น การเติบโตของพลังงานโดยตรง (directed energy) และการปรับปรุงความสามารถระบบป้องกันเฉพาะจุด (point defenses) ภาคพื้น อาจทำให้อาวุธแบบดั้งเดิมตกอยู่ภายใต้การคุกคามมากขึ้น การเพิ่มความเร็วของอาวุธหรือการใช้ยุทธวิธีแยกรุมโจมตีด้วยจำนวนอาวุธระดับ “ฝูง” ขนาดใหญ่ช่วยเพิ่มความน่าจะเป็นของอาวุธที่ประสบผล ทั้งสองวิธีต้องมีความสามารถในการอยู่รอดเพื่อ “ขัดขวาง” หรือทะลุทะลวง เพิ่มน้ำหนักบรรทุก และอาวุธที่มีความลึกมากขึ้น

ประเด็นที่สี่ ภัยคุกคามจากการใช้โดเมนทางอากาศ “ระดับล่าง” กำลังเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของเครื่องจักรเรียนรู้ การจดจำวัตถุ และการปรับปรุงเทคโนโลยีแบตเตอรี่ อาจทำให้โดรนขนาดเล็กหรือ quadcopters สามารถต่อกรกับโดเมนทางอากาศในความสูงระดับยอดไม้ได้ ความสามารถนี้อาจใช้เพื่อขัดขวางสนามบินและแผ่อำนาจในท้องถิ่นแม้ในสภาพแวดล้อมที่เอื้อ การวิจัยเกี่ยวกับการตอบโต้เครื่องจักรเรียนรู้และความสามารถใหม่ ๆ เพื่อรับมือกับอุปกรณ์ขนาดเล็ก ที่รวดเร็ว และหุ่นยนต์ ที่เกิดขึ้นใหม่ช่วยเพิ่มความสามารถของสหรัฐฯ ในการปรับตัวให้เข้ากับภัยคุกคามนี้

สรุป

ขีดความสามารถของกำลังทหารในการใช้ประโยชน์จากโดเมนทางอากาศได้ปฏิบัติการทำสงครามในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา การใช้ประโยชน์จากโดเมนเพื่อค้นหาและทำให้เป้าหมายตกอยู่ในความเสี่ยงได้ทั่วโลกยังคงเป็นสิ่งที่ทำให้อำนาจของสหรัฐฯ แตกต่างออกไป อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปถูกมองว่าจะเป็นตัวกีดกันข้อได้เปรียบนี้ และนำความท้าทายมาสู่วิธีการแผ่อำนาจของสหรัฐฯ การที่จะรักษาความได้เปรียบนั้นไว้ได้ต้องใช้แพลตฟอร์มที่สามารถลดการตรวจจับพร้อมด้วยความสามารถ C4ISR (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance) มากขึ้น รวมถึงความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คาดคิดในโดเมนทางอากาศและการสนับสนุนให้กับแพลตฟอร์มเหล่านั้น