،تخطيط المدن في الارتفاعات المنخفضة: عناصر التنسيق بين الأرض والجو مسارات التنفيذ، والاستجابات التخطيطية

هوانغ جيانتشونغ، هي جياوين، تشانغ ويكونغ، شياو تشوبنغ، وو تشي تشيانغ

الملخص: لقد أفرز تطور اقتصاد الارتفاعات المنخفضة متطلبات جديدة إزاء الاستخدام المتكامل للأرض والفضاء الجوي. وفي تخطيط المدن في الارتفاعات المنخفضة، أصبح التنسيق بين الأرض والجو ضرورة حتمية لبناء شبكات خدمات فعّالة في هذا المجال. غير أن الأبحاث الحالية قد انصرفت في معظمها إلى المسائل التقنية، وأعوزها تحليل ،العناصر ومسارات التنفيذ من منظور التنظيم المكاني. وبالاستعانة بخدمات التوصيل بالطائرات المسيّرة نموذجاً تعتمد هذه الورقة منهجيتي المراجعة الأدبية ودراسة الحالة لتحليل عناصر التنسيق بين الأرض والجو وخصائصه ومسارات تنفيذه، ومناقشة التحديات العملية، واقتراح استراتيجيات تخطيطية ملائمة. وتخلص الدراسة إلى أن التنسيق بين الأرض والجو يتسم بتعدد الفاعلين في تنسيق السيناريوهات، وتعدد الأهداف في تنسيق الشبكات، وتعدد المقاييس في تنسيق العقد. وفيما يخص التنفيذ، فإنه يتبع مساراً يقوم على ترتيب الطلبات لتأطير طيف من سيناريوهات الخدمة، وإرساء العناصر الأرضية لتنظيم شبكات المسارات، ودمج المرافق العقدية في البيئة المبنية. وعليه، تقترح ،الدراسة أن يقوم تخطيط المدن في الارتفاعات المنخفضة بتحديد الاحتياجات الفعلية، وتعزيز التخطيط المتدرج .وتحسين إدارة المجال الجوي، وتنسيق تطوير المسارات، والابتكار في آليات الإدارة، ودمج المرافق في شبكة متكاملة .ومن شأن هذه التدابير أن توفّر الضمانات المكانية لدفع عجلة التطور المنسق للعمليات الأرضية والجوية

الكلمات المفتاحية: اقتصاد الارتفاعات المنخفضة؛ التوصيل بالطائرات المسيّرة؛ التنسيق بين الأرض والجو؛ البنية التحتية الجديدة؛ القوى الإنتاجية الجديدة عالية الجودة

منذ أن أُدرج اقتصاد الارتفاعات المنخفضة للمرة الأولى في »المخطط العام للشبكة الوطنية الشاملة للنقل ثلاثي سرّعت أنشطة الطيران في الارتفاعات المنخفضة من وتيرة تطور الصناعات المرتبطة، بما في ،[1]الأبعاد« عام 2021 وقد ظهرت تطبيقات في مجالات متعددة، من بينها التوصيل اللوجستي، وفحص البنى .[2]ذلك صناعة الطائرات التحتية، والإنقاذ في حالات الطوارئ، والعمليات الزراعية، والسياحة الثقافية. ومن بين هذه التطبيقات، حقق التوصيل (JD.com) وجيه دي (China Post) بالطائرات المسيّرة تطوراً سريعاً، لاسيما تحت تأثير شركات مثل بريد الصين فقد باتت خدمات التوصيل بالطائرات المسيّرة تُطبَّق بشكل .(SF Express) وإس إف إكسبرس (Meituan) وميتوان متزايد في المناطق التجارية الحضرية عالية الكثافة، والمناطق الريفية النائية، والمواقع السياحية، والمجمعات الصناعية، والجزر، وسيناريوهات الاستجابة للكوارث، لتوفير التوصيل السريع للوجبات والمنتجات الطازجة والإمدادات الطبية والمواد الطارئة. وبالمقارنة مع الأنظمة اللوجستية التقليدية، فإن التوصيل بالطائرات المسيّرة يعتمد .بدرجة أقل على البنى التحتية للنقل البري، ويستطيع تجاوز العوائق الجغرافية، مع تحسين كفاءة النقل تحسيناً ملموساً ،[2]وبوصفه مثالاً بارزاً على إسهام اقتصاد الارتفاعات المنخفضة في تطوير القوى الإنتاجية الجديدة عالية الجودة .أصبح التوصيل بالطائرات المسيّرة ظاهرة رئيسية تستوجب الاهتمام في تخطيط المدن في الارتفاعات المنخفضة يُظهر التوسع السريع لخدمات التوصيل بالطائرات المسيّرة أن موارد الارتفاعات المنخفضة قادرة على الربط ورغم أن الطائرات المسيّرة والطيران في الارتفاعات .[3-5]الفعّال بين أنظمة العرض والطلب الأرضية وإعادة تنظيمها ،المنخفضة يشكّلان الحاملين الأساسيين والوضعيتين التشغيليتين الرئيسيتين للوجستيات في الارتفاعات المنخفضة .فإن عملياتها لا تزال تعتمد اعتماداً كبيراً على المرافق الأرضية والعاملين البشريين ونظم المعلومات والأوضاع المكانية كما أن مسارات الطيران ومرافق الإقلاع والهبوط تخضع بدورها لقيود العوامل الأرضية. وعليه، فإن التوصيل بالطائرات المسيّرة ليس مجرد عملية ربط ونقل داخل المجال الجوي، بل يمثّل امتداداً للموارد الأرضية صعوداً نحو فضاء الارتفاعات المنخفضة، وتجسيداً مكانياً لدمج موارد الفضاء الجوي في البيئات الحضرية. وبعبارة أخرى، لا يمكن فصل تطور اقتصاد الارتفاعات المنخفضة عن النظم المكانية الأرضية، ويتعين أن تركز البحوث في مجال النقل في الارتفاعات .المنخفضة على العلاقة التنسيقية بين المنظومتين الأرضية والجوية

.يمكن إيجاز الدراسات السابقة حول التنسيق بين الأرض والجو في تنمية الارتفاعات المنخفضة في ثلاثة محاور وتقييم ،[6]أولاً، تتناول بعض الدراسات كيفية تأثير الموارد الأرضية ونظم الإدارة على طاقة المجال الجوي ثانياً، تركز أبحاث على التنسيق بين الطائرات .[10-11]والإدارة التشغيلية ،[8-9]وتخطيط المسارات ،[7]المخاطر

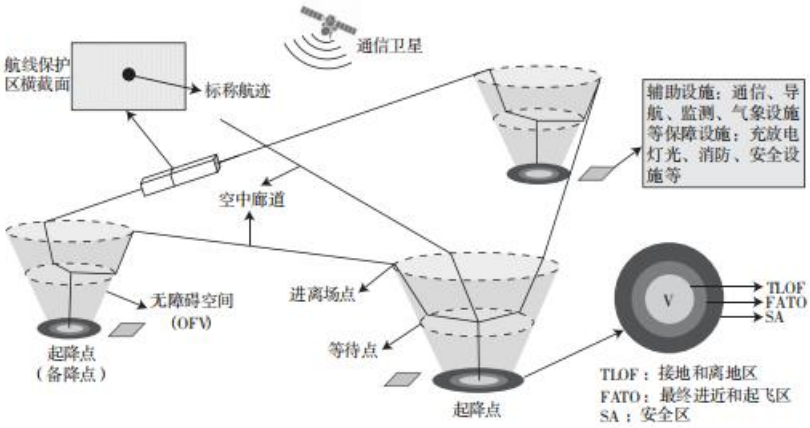
والمركبات ،[13]بما في ذلك التعاون بين الطائرات المسيّرة والشاحنات ،[12]المسيّرة ووسائط النقل البري ثالثاً، تحلّل بعض الدراسات استراتيجيات تحسين .[17]والروبوتات ،[16]والمركبات ذاتية القيادة ،[15-14]الكهربائية غير أن .[21-20]وتصميم المسارات، وتوزيع المهام من منظور التنسيق بين الأرض والجو ،[19-18]تخطيط العقد البحوث المتاحة قد تركزت في معظمها على مجالي الطيران والنقل، مع التشديد على تطوير الخوارزميات والتحسين التقني. وإضافة إلى ذلك، فإن عدداً قليلاً نسبياً من الدراسات قد وظّف حالات واقعية لبحث التنظيم المكاني للتنسيق بين الأرض والجو، بما في ذلك تركيبة العناصر الأرضية والجوية، وآليات التنسيق، وأثرها في التخطيط. وبناءً عليه، لا تزال العلاقة بين استخدام الأرض، والتنمية المكانية، وتهيئة البنى التحتية، وتخطيط الارتفاعات المنخفضة غير .مستكشفة بالقدر الكافي

وسعياً إلى ردم هذه الفجوة، تحلّل هذه الدراسة العناصر البنيوية والمتطلبات التقنية للتنسيق بين الأرض والجو في الطيران في الارتفاعات المنخفضة، وتحدد خصائص وآليات التنسيق الداخلي في التوصيل بالطائرات المسيّرة. ومن خلال دراسات حالة لشركات رائدة، تستكشف مسارات تنفيذ التنسيق بين الأرض والجو القائم على التوصيل بالطائرات المسيّرة، وتناقش التحديات العملية، وتقترح استجابات تخطيطية. وتهدف الدراسة إلى تقديم رؤى منهجية وسياساتية .لإدماج التنسيق بين الأرض والجو في تخطيط المدن في الارتفاعات المنخفضة

عناصر التنسيق بين الأرض والجو ومتطلباته .1

العناصر والمتطلبات التقنية للتنسيق بين الأرض والجو في الطيران في الارتفاعات المنخفضة 1.1

)الشكل 1(. ويستند هذا الإطار إلى نظم الاتصالات والمعلومات التي توفّرها التقنيات الفضائية، إلى جانب نظم البنى التحتية الأرضية ومعايير البيانات الموحّدة، بما يتيح تبادل المعلومات في الزمن الحقيقي والتوزيع المنسق لمهام الطيران في الزمان والمكان. ومن خلال تكامل الموارد المختلفة واستثمارها، يدعم الإطار أنشطة النقل التي تشمل الطائرات المأهولة، والطائرات المسيّرة، والمناطيد، مكوّناً بذلك منظومة تشغيلي من الناحية المفاهيمية، يمتد جذور التنسيق (Space-Air-Ground بين الأرض والجو إلى الإطار الأوسع لما يُعرف بـ»الشبكة المتكاملة الفضائية-الجوية-الأرضية« Integrated Network, SAGIN)[13, 17, 22]ة تعاونية فعّالة ومستقرة .[24]



الشكل 1. منظومة التنسيق بين الأرض والجو وعناصرها في الطيران في الارتفاعات المنخفضة

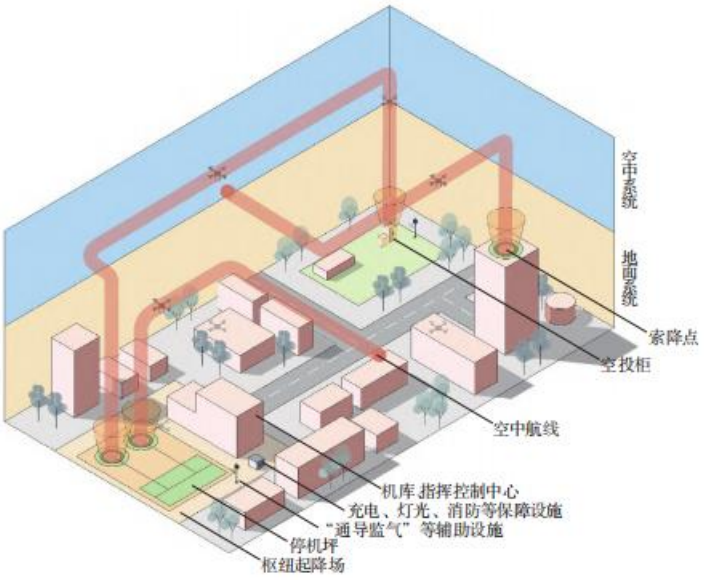
اللازمة (Obstacle-Free Volumes, OFV) تتألف المنظومة الجوية في المقام الأول من: الأحجام الخالية من العوائق لعمليات الإقلاع والهبوط العمودي للطائرات؛ والممرات الجوية التي تربط بين مختلف مواقع الإقلاع والهبوط؛ وتصنيفات المجال الجوي المنشأة لضمان سلامة العمليات الجوية. ويشير الحجم الخالي من العوائق إلى الحيز المكاني على شكل قمع فوق موقع الإقلاع والهبوط العمودي، والمصمم لتقليل تداخل البيئة المحيطة والضوضاء والعوائق مع .[25]عمليات الطائرات

وعادةً ما يُقسَّم المجال الجوي بحسب مستويات الإذن التشغيلي إلى: مناطق الطيران المأذون به، والمناطق الخاضعة للرقابة، والمناطق المحظورة. وعادةً ما توجد مسارات الطيران ضمن المناطق المأذون بها، حيث يمكن تنفيذ عمليات الطائرات المسيّرة دون الحاجة إلى إجراءات موافقة إضافية؛ في حين تستلزم المناطق الخاضعة للرقابة الحصول على إذن مسبق؛ أما المناطق المحظورة فتحظر أي نشاط للطائرات المسيّرة. أما المنظومة الأرضية فتشير أساساً إلى مرافق الإقلاع والهبوط، التي تدعم عمليات الطائرات المسيّرة المرتبطة بشحن البضائع وتفريغها ونقل الركاب. وتشمل هذه المرافق: مواقع الهبوط المحوَّرية، وخزائن التوصيل أو نقاط إنزال البضائع، ومناطق الهبوط الطارئ المحجوزة للحالات

غير المتوقعة كتغير الطقس أو التداخل الكهرومغناطيسي. ومن الناحية المكانية، تتكوّن مرافق الإقلاع والهبوط من وما ،(SA) ومناطق السلامة ،(FATO) ومناطق الاقتراب النهائي والإقلاع ،(TLOF) مناطق التلامس الأرضي والإقلاع ؛ وتدعم منطقة[26]المنصة المادية لهبوط الطائرة وإقلاعها TLOF وتوفّر منطقة .[22]يرتبط بها من بنى تحتية داعمة إجراءات التحليق الثابت والهبوط والإقلاع؛ وتعمل مناطق السلامة كحيزات حماية للحد من المخاطر الناجمة FATO وتشمل المرافق الداعمة: مواقف السيارات، ونظم الاتصالات والملاحة .[25]عن الانحرافات عن مناطق العمليات والرصد والأرصاد الجوية، ومراكز القيادة، ومنصات البيانات، ومناطق التخزين، ومرافق الشحن، ونظم الإنارة، ومعدات الإطفاء. وتشكّل هذه العناصر مجتمعة الإطار المكاني الأساسي للتنسيق بين الأرض والجو في الطيران في الارتفاعات .المنخفضة

خصائص التنسيق بين الأرض والجو ومتطلباته الداخلية في التوصيل بالطائرات المسيّرة .1.2

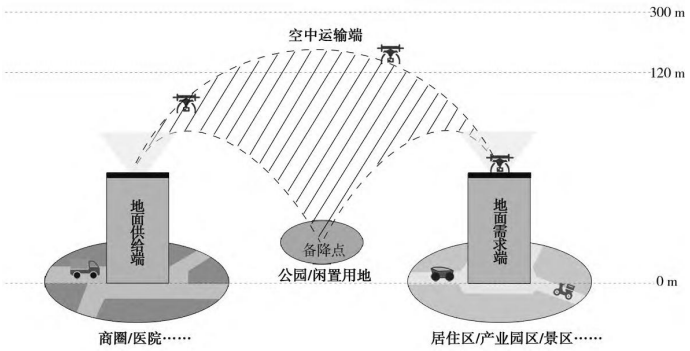
يُبيّن الإطار الوارد أعلاه العناصر الرئيسية لمنظومات التنسيق بين الأرض والجو في الطيران في الارتفاعات المنخفضة من منظور عمودي، ويوضّح المتطلبات التقنية لتحقيق التنسيق بين مختلف العناصر. وتؤسّس هذه العناصر معاً النموذج التشغيلي الأساسي للتنسيق بين الأرض والجو)الشكل 2(. بيد أن التنسيق بين الأرض والجو، من منظور .عمليات التوصيل الفعلية بالطائرات المسيّرة، يتضمّن أبعاداً ومتطلبات أكثر تعقيداً



الشكل 2. مخطط منظومات الطيران في الارتفاعات المنخفضة المنسق بين الأرض والجو

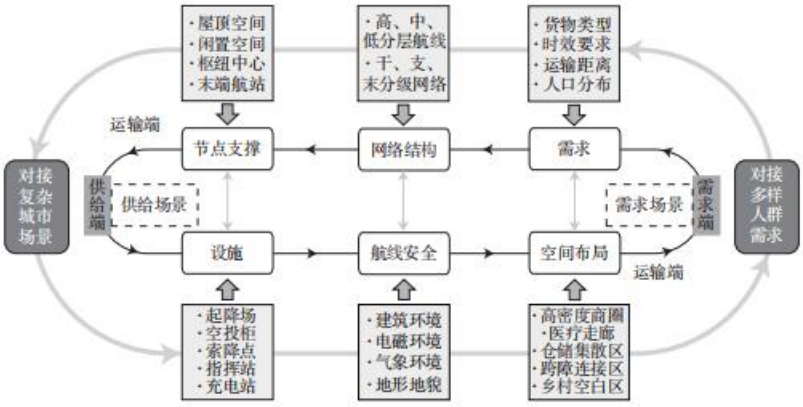
التنسيق متعدد الفاعلين في السيناريوهات .1.2.1

يعدّ التوصيل بالطائرات المسيّرة في جوهره خدمة لوجستية للطرف الثالث تربط بين مورّدي السلع ومستخدمي جانب الطلب)الشكل 3(. وعليه، فإن المعنى الأساسي للتنسيق بين الأرض والجو يكمن في تنسيق المنتجات، وفاعلي العرض .والطلب، والسيناريوهات المكانية ضمن عمليات التوصيل بالطائرات المسيّرة



الشكل 3. التنسيق بين الأرض والجو في التوصيل بالطائرات المسيّرة

فعلى سبيل المثال، تمثل عملية توصيل الأطعمة والمشروبات من المناطق التجارية إلى العملاء سيناريو التوصيل الفوري الحضري بالطائرات المسيّرة؛ ويُمثّل نقل العينات الطبية من نقاط الجمع في البلدات إلى مراكز الفحص الحضرية اللوجستيات الطبية في الارتفاعات المنخفضة؛ ويُمثّل توصيل الاحتياجات اليومية من القواعد الساحلية إلى المجتمعات الجزرية النقل عبر البحر في الارتفاعات المنخفضة؛ ويُمثّل نقل الإمدادات الطارئة من مرافق التخزين إلى مناطق الكوارث التوصيل الطارئ بالطائرات المسيّرة؛ ويُمثّل نقل معدات البناء من محطات الخدمة إلى مواقع الإنشاءات اللوجستيات الهندسية؛ ويُمثّل نقل المنتجات الزراعية من الحقول إلى محطات الجمع اللوجستيات الزراعية.



الشكل 4. منطق مسار تنفيذ التنسيق بين الأرض والجو في التوصيل بالطائرات المسيّرة

وتيرة التوصيل: والسياقات المكانية، والطلب، والعرض العوامل ذات الصلة بالتنسيق بين الأرض والجو تتحدد بشكل مشترك من خلال خصائص المنتجات، وفاعلي العرض والطلب، والسياقات المكانية: وتيرة التوصيل الوجهات، ومسافة الطيران، وزمن الاستجابة، والهيكل التشغيلي لشبكات »الرئيسي-الفرعي-الطرفي«-Origins وتوزيع الشكل 4(. وتشكّل هذه العوامل الأساس لتصميم شبكات المسارات وإنشاء منظومات التنسيق بين الأرض والجو).

1.2.2. التنسيق متعدد الأهداف في الشبكات

تركز الأبحاث التقنية الحالية حول التنسيق بين الأرض والجو في المقام الأول على ضمان سلامة الطيران وموثوقية المسارات من منظور منظومات النقل الجوي. وبالمقارنة مع النقل الجوي التقليدي، يعمل التوصيل بالطائرات المسيّرة على ارتفاعات أدنى، مما يعني أن سلامة الطيران يجب أن تراعي طيفاً أوسع من العوامل المرتبطة بالأرض، بما في ذلك التضاريس، واستخدامات الأرض، والبيئات المبنية، والأنشطة السطحية، والتوزيع السكاني)الشكل 4(. وبالإضافة إلى اعتبارات السلامة، تؤثر هذه العوامل أيضاً في أهداف متعددة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يؤدي تحديد المسارات بناءً على الأنشطة الأرضية إلى تحسين الكفاءة الاقتصادية؛ ويمكن أن يعزز مراعاة الفوارق المكانية في العرض والطلب الحضريين إمكانية الوصول إلى خدمات التوصيل بالطائرات المسيّرة في المناطق ذات الطلب المرتفع والمناطق المهمّشة؛ ويمكن أن يؤدي دمج الطائرات المسيّرة مع الشاحنات والحافلات والنقل بالسكك الحديدية إلى تحسين الكفاءة التشغيلية والقدرة على تحمل التكاليف من خلال الاستفادة من مزايا وسائط النقل المختلفة؛ ويمكن لهذا الدمج أن يعزز مرونة الشبكة. وعليه، فإن مسارات التوصيل بالطائرات المسيّرة ليست منظومات فضائية مستقلة، بل هي متشابكة بعمق مع الشبكات الاجتماعية-الاقتصادية والمكانية الأرضية.

1.2.3. التنسيق متعدد المقاييس في العقد

يُنظِّم التوصيل بالطائرات المسيّرة الشبكات التشغيلية من خلال دمج السيناريوهات المكانية الأرضية، مُولِّداً بذلك أنواعاً مختلفة من العقد. وتشمل هذه العقد مواقع نشر الخدمات على النطاق الكلي، إلى جانب المرافق على النطاق الجزئي المدمجة في المباني أو الفضاءات الحضرية، كمرافق الإقلاع والهبوط)الشكل 4(. وتعمل هذه العقد المدمجة بوصفها مراسيَ مكانية لأنشطة التوصيل بالطائرات المسيّرة. فهي تخدم بوصفها حوامل مادية تدعم التنظيم التشغيلي، وتعمل بوصفها محاور نقل تربط التوصيل بالطائرات المسيّرة بوسائط النقل الأخرى. وبالتالي، فإنها تؤثر تأثيراً مباشراً في الكفاءة التشغيلية وقدرة استجابة الخدمة داخل شبكات التنسيق بين الأرض والجو.

2. دراسات الحالة ومناهج البحث

2.1. دراسات الحالة

تعتمد هذه الدراسة منهج دراسة الحالة. ومع الأخذ في الاعتبار الوضع الراهن لتطوير التوصيل بالطائرات المسيّرة في الصين، تم اختيار شركات ممثلة تعمل في سيناريوهات التوصيل الفوري، والنقل اللوجستي، والنقل الطبي بوصفها .(الجدول 1) Yو Sو M حالات للبحث، ويُشار إليها بالشركات

الجدول 1. المعلومات الأساسية لحالات الشركات

案例企业	主导业务	起降点/个	航线数量/条	平均航线距离/km	飞行高度/m
M	商圈的即时配送	61	49	2.0	120
S	网点间快递物流	222	549	6.3	120—300
Y	医院间物资转运	100	2550	7.2	120

注：M数据截至2025年8月，起降点包括起降场和空投柜；S数据截至2025年5月底；Y数据截至2025年4月，起降点包括起降场和索降点。

إحدى أكبر منصات تجارة التجزئة الفورية في الصين، وقد شرعت في استكشاف خدمات التوصيل M تُعدّ الشركة بالطائرات المسيّرة الخفيفة قصيرة المسافة)أقل من 3 كم(عام 2017. وفي أوائل عام 2021، نجحت في إتمام أول طلب توصيل بالطائرات المسيّرة اشتمل على مستخدمين فعليين. وفي فبراير 2023، حصلت الشركة على رسالة الموافقة على التشغيل التجريبي للطائرات المسيّرة من الفئة المحددة، ورخصة تشغيل مؤسسة الطيران العام، وبدأت قد أنشأت 53 مساراً M عملياتها التجريبية للتوصيل بالطائرات المسيّرة في شنتشن. وبنهاية عام 2024، كانت الشركة للتوصيل بالطائرات المسيّرة في الصين. وتركزت غالبية المسارات في شنتشن، مع نشر مسارات إضافية في بكين وشانغهاي وقوانغتشو ومدن أخرى. وغطت سيناريوهات خدماتها المكاتب والمجمعات السكنية والمواقع السياحية .والحدائق البلدية والحرم الجامعي والمكتبات وغيرها من الفضاءات الحضرية

،إحدى أكبر مزوّدي خدمات اللوجستيات الشاملة في الصين، وتقدّم خدمات تشمل التوصيل السريع S تُعدّ الشركة ونقل البضائع، واللوجستيات المبرّدة، واللوجستيات الطبية، والتوصيل داخل المدينة. وشرعت الشركة في تطوير .طائرات الشحن المسيّرة عام 2015، لتصبح أول مؤسسة تجريبية تعتمدها هيئة الطيران المدني الصينية عام 2017 وفي مارس 2018، حصلت على أول رخصة)تجريبية(تشغيل جوي للطائرات المسيّرة في الصين صادرة عن هيئة الطيران نحو 549 مساراً للطائرات المسيّرة على المستوى الوطني، وأكملت أكثر من S المدني. وبنهاية عام 2024، أنشأت الشركة .مليون رحلة، ونقلت ما يزيد على 6.2 مليون طرد، محققة مسافة طيران تراكمية تجاوزت 5.7 مليون كيلومتر 1.1 عام 2015. وفي أكتوبر 2019، حصلت على أول رسالة موافقة عالمية على التشغيل التجريبي Y تأسست الشركة للطائرات المسيّرة من الفئة المحددة، وعلى رخصة تشغيل التوصيل اللوجستي بالطائرات المسيّرة، الصادرة عن هيئة ،الطيران المدني الصينية. وتقدّم الشركة أساساً حلول التوصيل بالطائرات المسيّرة في مجالات الاستجابة الطبية الطارئة .واللوجستيات داخل المدينة، وتوصيل الأغذية الطازجة، وخدمات البريد السريع، ولوجستيات المجمعات الصناعية ،وحتى 14 أغسطس 2025، كانت قد أكملت أكثر من 310,000 رحلة، بإجمالي مدة طيران قاربت 59,000 ساعة ومسافة طيران تراكمية تجاوزت مليوني كيلومتر. وتمثّل التطبيقات الطبية نحو 85% من عملياتها الحضرية للتوصيل .بالطائرات المسيّرة، إذ تغطي أكثر من 50 مدينة وتخدم أكثر من مئة تحالف طبي ومستشفى فوق مستوى البلديات

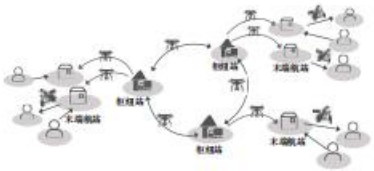
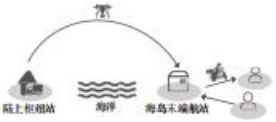
مناهج البحث .2.2

أجرت هذه الدراسة بحثاً تتبعياً مستمراً للشركات الثلاث المذكورة أعلاه والشركات ذات الصلة في الفترة من مارس 2024 إلى يونيو 2025. أولاً، جُمعت المعلومات المتعلقة بتطور الشركات، وحجم العمليات، والنشر المكاني، وتكاليف التشغيل من خلال المواقع الإلكترونية للشركات، والمنصات الإخبارية، والتقارير السنوية، والتقارير المالية. ثانياً، أُجريت تحقيقات ميدانية من خلال الزيارات الموقعية والمقابلات مع مديري الشركات والموظفين المعنيين. وركّزت هذه التحقيقات على مسارات تطور الشركات، ومجالات الأعمال الرئيسية، والمعدات التشغيلية، ومسارات الطيران، ونماذج الخدمة، والأوضاع التشغيلية، ومتطلبات السلامة، وغيرها من المعلومات ذات الصلة. وجُمعت بيانات تشمل وثائق ،تخطيط المسارات، وأدلة التشغيل، وخطط التطوير المستقبلية. كما أُجريت مسوحات ميدانية لمواقع الهبوط .ومنصات القيادة، ومراكز البيانات، ومرافق التخزين، ومرافق الصيانة، لفهم متطلبات الأرض والاحتياجات المكانية ثالثاً، استناداً إلى المواقع الإلكترونية للشركات، ومنصات التصور، وتطبيقات الهاتف المحمول، جُمعت معلومات إضافية عن المسارات، ومرافق الهبوط، ومقدمي الخدمات من خلال أساليب الاختبار التشغيلي. وطُبّقت بعد ذلك .لإجراء محاكاة تصور ثلاثي الأبعاد ArcGIS أدوات تحليل مكاني مثل

مسارات تنفيذ التنسيق بين الأرض والجو في التوصيل بالطائرات المسيّرة .3

التمييز بين خصائص الطلب وبناء طيف من سيناريوهات التنسيق بين الأرض والجو .3.1
تتمثل المهمة الأولى لتحقيق التنسيق بين الأرض والجو في التوصيل بالطائرات المسيّرة في تحديد خصائص الطلب في السياقات المكانية المحددة، وإنشاء نماذج الخدمة المقابلة. ووفقاً لحالات الشركات الثلاث، فإن نماذج التنسيق بين الأرض والجو الحالية تتوجه أساساً نحو الاحتياجات التشغيلية الخاصة بكل شركة، حيث تُستخدم الطائرات المسيّرة لتعزيز منظومات الخدمة القائمة)الجدول 2(.

الجدول 2. ملامح الطلب على اللوجستيات في الارتفاعات المنخفضة ونموذج التنسيق بين الأرض والجو

场景需求	地空协同模式	示意图
商圈即时配送	商圈无人机配送+末端空投柜 骑手接驳配送/用户自取	
商圈集合配送	商圈骑手配送+枢纽站间无人机 运输+末端骑手配送	
景区即时配送	商场无人机配送+景区索降点/ 自动枢纽站用户自取	
快递物流配送	枢纽站间无人机转运/配送+末端 航站骑手接驳配送/用户自取	
医疗物资转运	区域中心血站无人机配送+ 各级医疗机构专员自取	
海洋海岛运输	枢纽站无人机运输+末端航站 骑手配送/用户自取	

بصفة رئيسية على خدمات توصيل الأطعمة. وعليه، فإن منظومة التنسيق بين M فعلى سبيل المثال، تركز الشركة الأرض والجو لديها تُنظَّم أساساً حول المناطق التجارية. فتنشأ مرافق الهبوط في المراكز التجارية ذات الكثافة العالية من المتاجر، في حين تُنشر خزائن التوصيل بالطائرات المسيّرة في المناطق ذات الطلب المرتفع كالمجمعات السكنية ومناطق المكاتب والمواقع السياحية ضمن نصف قطر يتراوح بين 0.5 و2 كم تقريباً. ويشكّل هذا النموذج شبكة حيث تتولى الطائرات المسيّرة إجراء توصيلات أحادية الاتجاه ،(hub-and-spoke) خدمات من نمط المحور والأشعة ،من المراكز التجارية إلى خزائن التوصيل الطرفية. ويمكن للسكان اختيار استخدام هذه الخدمة بحسب احتياجاتهم سواء باستلام البضائع من الخزائن، أو بترتيب التوصيل اللاحق عبر سعاة التوصيل. وعلى النقيض من ذلك، تركز الشركة أساساً على خدمات توصيل الطرود ذات القيمة العالية واللوجستيات العاجلة. ويعتمد نموذجها في التنسيق بين S الأرض والجو على المحطات اللوجستية القائمة لإنشاء مرافق الإقلاع والهبوط وبناء شبكات محطات مترابطة. ويُطوَّر النقل السريع في الارتفاعات المنخفضة بين المحطات)في حدود 7 كم تقريباً(بوصفه منتجاً خدمياً يمكن للمستخدمين اختياره بحسب الطلب. وتشمل أهدافها الرئيسية السلع ذات القيمة العالية كالذهب والمجوهرات، والمنتجات على سيناريوهات النقل الطبي، لا سيما Y الحساسة زمنياً كالمأكولات البحرية والفواكه الطازجة. وتركز الشركة

احتياجات نقل العينات البيولوجية واللقاحات والإمدادات الطبية داخل الشبكات الطبية. وعليه، فإنها تُنشئ مرافق الهبوط في المؤسسات الطبية، وتكوّن شبكة خدمات متعددة المستويات وثنائية الاتجاه للتنسيق بين الأرض والجو. يبيّن التحليل المقارن لهذه الحالات الثلاث أن الغرض الأساسي من التنسيق بين الأرض والجو القائم على الطائرات المسيّرة هو الاستعاضة عن التوصيل البري اليدوي التقليدي من خلال النقل في الارتفاعات المنخفضة. ويقود هذا الإحلال أساساً خصائص المنتجات ومتطلبات الخدمة. فمن منظور المنتجات، يصلح التوصيل بالطائرات المسيّرة بشكل رئيسي للسلع ذات المتطلبات العالية من حيث التوقيت الزمني أو ذات القيمة الاقتصادية المرتفعة. ومن منظور الطلب على الخدمة، يُستقدَم التوصيل بالطائرات المسيّرة عندما يعجز النقل البري التقليدي عن تلبية المتطلبات التشغيلية بفعالية. وتشمل هذه الحالات: (1) شبكات الطرق الحضرية المعقدة وعالية الكثافة التي تُقلل من كفاءة المباني الشاهقة التي تؤثر (3) العوائق الجغرافية كالجبال والأنهار والبحار التي تُبطئ سرعة التوصيل؛ (2) النقل البري؛ مناطق محددة كالأماكن السياحية (4) فيها أوجه القصور في النقل العمودي، كانتظار المصاعد، على كفاءة التوصيل؛ (5) والمواقع الثقافية والرياضية والحرم الجامعي حيث لا يستطيع العرض المحلي مواءمة الطلب بالقدر الكافي؛ مشكلات إمكانية الوصول المكاني في مناطق كالأماكن السياحية والجامعات والحدائق حيث تخلق صعوبة »إيجاد الحالات التي تتعطل فيها حركة النقل البري بسبب (6) المداخل« أو »دخول الفضاءات« تحديات أمام التوصيل؛ الطقس المتطرف أو الكوارث. وفي مواجهة هذه السيناريوهات، تتبنى الشركات استراتيجيات مختلفة، تشمل إنشاء أو تطوير تعاوني لمنظومات خدمة التوصيل بالطائرات المسيّرة وفقاً لخصائصها التشغيلية ومزاياها في الموارد.

إرساء العناصر الأرضية وتنظيم شبكات المسارات المنسقة بين الأرض والجو .3.2

فإن ،Y،و M،و S تشكّل شبكات المسارات المكوّن الأساسي للتنسيق بين الأرض والجو. واستناداً إلى ممارسات الشركات تخطيط مسارات الطائرات المسيّرة ينطوي على مسارات الطيران في مختلف الحالات التشغيلية، بما في ذلك الإقلاع والهبوط والتحليق المستمر والتحليق الثابت. ويتعين على هذه المسارات أن تراعي عوامل أرضية متعددة، تشمل المشاهد الطبيعية، واستخدامات الأرض، والبيئات المبنية، والأنشطة البشرية)الجدول 3(.

الجدول 3. العوامل المؤثرة والآثار الإيجابية والسلبية في إنشاء مسارات اللوجستيات في الارتفاعات المنخفضة من منظور التنسيق بين الأرض والجو

要素		安全性	可靠性	公共接受度
自然地貌	山体/绿地	★★★★	☆☆☆	★★★★★
	水体	★★★★	★★★★	★★★★★
土地利用	道路	★★★★	★★★	★★★★
	铁路、高速铁路	☆☆☆☆☆	☆☆	
	机场	☆☆☆☆☆	☆☆☆	
	核电站、油库	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆	
	高等级居住区	☆☆☆☆	★★★	☆☆☆☆
	学校、政府机关	☆☆☆☆		☆☆☆☆
	工业、物流仓储区	★★★	☆☆☆	★★★★★
	空地荒地、未利用地	★★★	★★★★★	★★★★★
建成环境	高层建筑	☆☆		☆☆☆☆
	建筑物风口	☆☆☆	☆☆☆	
	铁塔、高压线、电力线	☆☆☆	☆☆☆	
	通信基站	☆☆☆	☆☆☆☆	
地面活动	建筑工地(塔吊)	☆	☆☆☆	
	市民活动(风筝、人群活动)	☆☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆☆☆

注：★为正向效应，☆为负向效应

قد تؤثر هذه العوامل تأثيراً إيجابياً أو سلبياً في سلامة المسارات، وموثوقيتها، والقبول العام لها. وتحديداً: تشير السلامة إلى حماية الأشخاص والمرافق على الأرض، بما في ذلك الأضرار المحتملة الناجمة عن حوادث الطائرات، ومخاطر الكوارث الثانوية، وصعوبة تحديد مواقع الطائرات المسيّرة أو البضائع المنقولة. وتشير الموثوقية إلى القدرة على الحفاظ على عمليات مستقرة في ظل تغير الظروف الجوية، والبيئات الكهرومغناطيسية، وأوضاع العوائق. ويشير

القبول العام إلى تأثيرات عمليات الطائرات المسيّرة على السكان، لا سيما من حيث الإزعاج الناجم عن الضوضاء ومخاوف الخصوصية.

عوامل المشهد الطبيعي (1)

يمكن للمشاهد الطبيعية، بما في ذلك الجبال والمساحات الخضراء والمسطحات المائية، أن تحدّ من الضرر المحتمل الذي يلحق بالمستعملين على الأرض في حال تعطّل الطائرة، ومن ثمّ تُعدّ عوامل إيجابية لتخطيط المسارات. غير أن المناطق الجبلية قد تشهد أيضاً أوضاعاً جوية غير مستقرة، مما يؤثر في الموثوقية التشغيلية. كما تؤثر المناطق الجبلية والمساحات الخضراء والمسطحات المائية في صعوبة البحث عن الطائرات المتعطلة، وتستلزم تقييماً دقيقاً للمخاطر الثانوية المحتملة.

عوامل استخدام الأرض (2)

يمكن للفضاءات الشارعية الواقعة تحت مسارات الطائرات المسيّرة أن توفّر بيئات مفتوحة نسبياً، مما يعزز سلامة تتّسق Yو Sو M المسارات وموثوقيتها والقبول العام لها. وعليه، فإن مسارات الطائرات المسيّرة التي تشغّلها الشركات عموماً مع الممرات الرئيسية للنقل)الشكل 5(.

الشكل 5. مخطط مسارات التوصيل بالطائرات المسيّرة في الارتفاعات المنخفضة في بيئة ثلاثية الأبعاد بمنطقة نانشان في شنتشن

غير أن ما تسببه عمليات الإقلاع والهبوط من اضطرابات بصرية قد يؤثر في السلامة المرورية والقبول العام. ومن Sو M منظور خصائص البضائع، فإن التطبيقات التجارية المستدامة الحالية للتوصيل بالطائرات المسيّرة لدى الشركات تنطوي أساساً على بضائع تتسم بما يلي: **الاستعجال، صعوبة النقل، المخاطر العالية، القيمة العالية**. وتشمل Yو هذه البضائع التوصيل العاجل داخل المدينة، والسلع التي يصعب إيصالها عبر النقل البري، والمنتجات التي تتطلب ضمانات زمنية إضافية، والسلع ذات القيمة العالية. واستناداً إلى هذه الخصائص للبضائع والسيناريوهات الزمنية- المكانية المقابلة التي نُوقشت أعلاه، يخلق التوصيل بالطائرات المسيّرة فارقاً في القيمة بين النقل في الارتفاعات المنخفضة والنقل البري، مولّداً بذلك طلباً حقيقياً.

3.3. الاندماج في البيئة المبنية وتوسيع عقد التنسيق بين الأرض والجو

بالمقارنة مع مسارات الطيران التي تستخدم أساساً الفضاء العام في الارتفاعات المنخفضة، تشغل مرافق الإقلاع والهبوط أنواعاً مكانية أكثر تنوعاً)الجدول 4(.

الجدول 4. أنواع مواقع الهبوط وتوزيعها المكاني

تشمل حالياً مرافق التوصيل بالطائرات المسيّرة بصفة رئيسية: مواقع الهبوط، وخزائن التوصيل، ونقاط الإنزال.

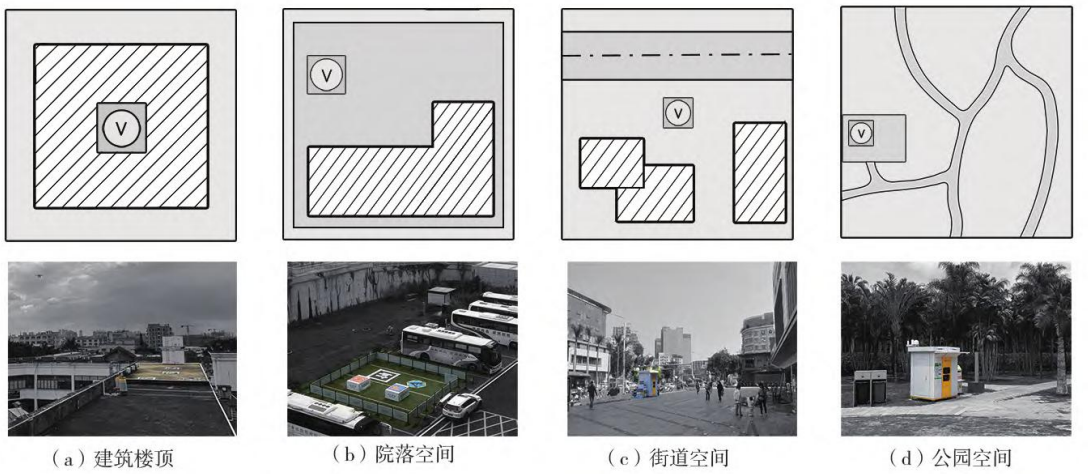
空间类型	M		S	Y
	起降场 / 个	空投柜 / 个	起降场 / 个	起降场 / 个
建筑楼顶	10	0	91	0
院落空间	0	4	2	16
街道空间	0	21	0	2
公园空间	0	20	0	6
总计	10	45	93	24

注：报告的数据是M公司、S公司在深圳，Y公司在合肥的统计数据

وتختلف وظائف هذه الأنواع المختلفة من المرافق وما يتصل بها من بنية تحتية داعمة. وتقدّم **مواقع الهبوط** وظائف

متعددة تشمل إقلاع الطائرات المسيّرة وهبوطها، والتخزين، والتحكم، والشحن والتفريغ. وعليه، فإنها تُجهَّز عادةً بنظم الاتصالات، ومرافق الملاحة، ونظم الرصد، والمعدات الأرصاد الجوية، ومرافق الشحن، ونظم الإطفاء، ومنصات وتعمل **خزائن التوصيل** .²التحكم، ومناطق التخزين، ومواقع هبوط متعددة. وتتجاوز المساحة المطلوبة عادةً 300 م وتُجهَّز ،²**بالطائرات المسيّرة** أساساً بوصفها مرافق ذكية لاستلام المنتجات وتحصيلها. وعادةً ما تشغل نحو 10 م .بنظم الإمداد بالطاقة وأجهزة الإدارة، فتكون بمثابة مرافق نقل ونقاط تحصيل ذاتي. أما **نقاط الإنزال** فهي مرافق أبسط وتُحدَّد عادةً من خلال علامات تحديد موضعية مرئية على الأرض أو على أسطح المباني. وتستخدم الطائرات المسيّرة ،تقنيات تحديد الموقع الجغرافي والتعرف على الصور لتحديد المواقع المحددة، وإنزال الحمولة عبر أنظمة التعليق دون الحاجة إلى مرافق دعم إضافية. ويناسب هذا النوع من المرافق النشر على نطاق واسع لتوسيع نطاق تغطية .الخدمة

،من حيث التنفيذ، تعتمد شركات الطائرات المسيّرة أساساً على البيئات المبنية القائمة، بما في ذلك أسطح المباني .والأفنية، والفضاءات الشارعية، والحدائق العامة، لإنشاء مرافق الهبوط والعقد المرتبطة بها)الشكل 7(



الشكل 7. أنواع البيئات المبنية التي تستضيف عقد التوصيل بالطائرات المسيّرة المنسق بين الأرض والجو

بصفة رئيسية نهجين: ① استئجار الفضاءات المفتوحة فوق المجمعات M فعلى سبيل المثال، تعتمد الشركة التجارية، كالمباني المنصّية وأسطح المكاتب، لإنشاء مواقع هبوط أو نقاط إنزال؛ ② إنشاء خزائن توصيل أو نقاط إنزال في الفضاءات الشارعية والحدائق، بعد الحصول على الموافقات من السلطات الإدارية المعنية. وبفضل الشبكة تُبنى مواقع الهبوط لديها أساساً فوق أسطح ،S الواسعة من المرافق اللوجستية المملوكة أو المستأجرة لدى الشركة نموذجاً بديلاً: إذ يستثمر Y المحطات اللوجستية القائمة أو في فضاءات أفنيتها. وإضافة إلى هذه النهج، تعتمد الشركة طالبو خدمة التوصيل بالطائرات المسيّرة)كالمستشفيات وبنوك الدم(بشكل مستقل في مواردهم المكانية الخاصة، في مسؤولية تشييد مرافق الهبوط. وتكشف استراتيجيات النشر المكاني المختلفة هذه أنه في مرحلة Y حين تتولى الشركة .التوسع المبكرة للصناعة، تركز شركات التوصيل بالطائرات المسيّرة على توسيع شبكات مرافق الهبوط وضبط التكاليف .واستناداً إلى الفوارق في اقتناء الموارد المكانية، تشكّلت مسارات تنفيذ متنوعة

التحديات والاستجابات التخطيطية .4

تقييم الطلب الحقيقي وتعزيز التخطيط المتدرج للتنسيق بين الأرض والجو .4.1

يُعدّ التوصيل بالطائرات المسيّرة في جوهره نشاط نقل للبضائع، يحقق التحويل المكاني للسلع عبر الطيران في الارتفاعات المنخفضة. ويستلزم ظهور هذا الطلب على النقل إجراء مقارنة بين التوصيل بالطائرات المسيّرة ووسائط النقل البديلة لتحديد سيناريوهات التطبيق المناسبة. وتنطوي هذه السيناريوهات الملائمة على أبعاد متعددة، تشمل خصائص البضائع المنقولة، وزمن الاستجابة المطلوب، والأوضاع المكانية. ولا يتوقف الملاءمة على الجدوى التقنية والسلامة فحسب، بل تمتد إلى الكفاءة الاقتصادية. وبعبارة أخرى، يجب أن يوفّر التوصيل بالطائرات المسيّرة فوائد ،اقتصادية تفوق ما توفّره وسائط النقل التقليدية لتحقيق الاستدامة على المدى الطويل. ومن منظور خصائص البضائع تنطوي أساساً على Y وS وM فإن التطبيقات التجارية المستدامة الحالية للتوصيل بالطائرات المسيّرة لدى الشركات بضائع تتسم بما يلي: **الاستعجال، صعوبة النقل، المخاطر العالية، القيمة العالية**. وتشمل هذه البضائع التوصيل ،العاجل داخل المدينة، والسلع التي يصعب إيصالها عبر النقل البري، والمنتجات التي تتطلب ضمانات زمنية إضافية

والسلع ذات القيمة العالية. واستناداً إلى هذه الخصائص للبضائع والسيناريوهات الزمنية-المكانية المقابلة التي نُوقشت أعلاه، يخلق التوصيل بالطائرات المسيّرة فارقاً في القيمة بين النقل في الارتفاعات المنخفضة والنقل البري، مولّداً بذلك طلباً حقيقياً.

وعليه، فإن تخطيط المدن في الارتفاعات المنخفضة ينبغي أن يقيِّم منطق »التقنية-الاقتصاد« الكامن وراء التنسيق بين الأرض والجو، بدلاً من افتراض وجود طلب شامل أو الترويج الأعمى لنشر البنى التحتية. وتحديداً، ينبغي أن يضع التخطيط مؤشرات تقييم وأطر تقييم لسيناريوهات الطلب المختلفة، وأن يحدد أولويات التنمية وفقاً للفوارق بين السيناريوهات، وأن يصوغ استراتيجيات تخطيطية قصيرة ومتوسطة وطويلة الأجل. وينبغي إيلاء الأولوية لدعم تطبيقات التوصيل بالطائرات المسيّرة في مجالات كالاستجابة الطبية الطارئة واللوجستيات المبرّدة ذات القيمة العالية، من خلال توفير الدعم المكاني والبنى التحتية. وعلى مستوى التنفيذ، ينبغي أن يحدد التخطيط سيناريوهات التطبيق المحتملة خلال عمليات التجديد الحضري، ويحجز الأوضاع المكانية الملائمة، بما يمكّن التوصيل بالطائرات المسيّرة من التطور تدريجياً من مشاريع تجريبية معزولة إلى تطبيقات واسعة النطاق.

وعلاوة على ذلك، ترى بعض الشركات أنه ينبغي النظر إلى التوصيل بالطائرات المسيّرة من منظور أوسع وأطول أمد فيما يخص علاقته بوسائط النقل الأخرى. فعلى سبيل المثال، مع شيخوخة السكان في المستقبل، وانخفاض معدلات المواليد، وتحسّن أنظمة الضمان الاجتماعي، قد يستمر ارتفاع التكلفة الإجمالية لعمالة التوصيل البري، في حين يُتوقع أن تنخفض تكاليف تصنيع الطائرات المسيّرة. ويمكن أن يفضي توسيع طاقات الحمولة، ونماذج التوصيل الجماعي، والتطبيقات واسعة النطاق إلى خفض التكاليف الحدية للتوصيل. ومن خلال الربط بالشاحنات والنقل بالسكك الحديدية وغيرها من منظومات النقل، يمكن للتوصيل بالطائرات المسيّرة أن يستثمر مزاياه على نحو أفضل من خلال النقل متعدد الوسائط. وعلاوة على ذلك، بعد التبنّي واسع النطاق لمنظومات نقل الركاب في الارتفاعات المنخفضة، لا سيما مركبات الإقلاع والهبوط العمودي الكهربائية (eVTOL)، قد تظهر منظومات متكاملة لنقل الركاب والبضائع [28].

وعليه، ينبغي أن يحافظ تخطيط المدن في الارتفاعات المنخفضة على موقف حذر منفتح إزاء التطور المستقبلي للتوصيل بالطائرات المسيّرة، مع مراعاة التحولات التنظيمية المحتملة الناجمة عن التطبيقات واسعة النطاق. ويتعين على التخطيط أن يحدد استباقياً السيناريوهات المحتملة، ويحجز الأوضاع المكانية، ويضع شروط الوصول للتطور المستقبلي. وعلى مستوى التنفيذ، ينبغي إدراج نتائج تقييم سيناريوهات تطبيقات الارتفاعات المنخفضة في التخطيط المكاني الإقليمي والتخطيط الشامل للنقل؛ وتنسيق الموارد الأرضية ومنخفضة الارتفاع؛ وتصنيف الفضاء الجوي منخفض الارتفاع والمسارات وإجازتها؛ وإنشاء آليات فعّالة للتنسيق بين الأرض والجو.

4.2. تحسين إدارة المجال الجوي وتنسيق تطوير المسارات

في المراحل المبكرة من تطور اقتصاد الارتفاعات المنخفضة، تُسحَر، وتُخطَّط، وتُقدَّم طلبات، وتُشَغَّل مسارات الطائرات المسيّرة بشكل مستقل من قبل الشركات عادةً. وتتجلّى هذه الظاهرة بشكل خاص في التوصيل بالطائرات المسيّرة. فقد استثمرت الشركات التي تدرسها هذه الدراسة موارد كبيرة في تطوير المسارات، وتعدّ هذه الشبكات أصولاً جوهرية لها. ومن منظور أعرض، تخدم منصات خدمات الارتفاعات المنخفضة التي طوّرتها المقاطعات والمدن المختلفة الشركات المحلية أساساً، وتظل منفصلة عن بعضها البعض، مما يصعّب تحقيق عمليات متكاملة عبر الشركات والمناطق. ومع التطور اللاحق لاقتصاد الارتفاعات المنخفضة، قد ينشأ تنافس على موارد المسارات، مما يخفض من كفاءة استثمار موارد الارتفاعات المنخفضة. وللتصدي لهذه المسألة، اقترحت البحوث الأكاديمية والصناعية استراتيجيات متنوعة، تشمل تحسين تصنيف المجال الجوي، وإنشاء مسارات عامة، وتعزيز المشاركة في المجال الجوي، والإفراج الديناميكي عن موارد المجال الجوي. فعلى سبيل المثال، تقترح بعض الدراسات تصنيف المجال الجوي وفقاً لمتطلبات تشغيلية وارتفاعات طيران مختلفة، مثل: الطائرات المسيّرة الاستهلاكية دون 120 م؛ طائرات التوصيل الفوري على ارتفاع 120-200 م؛ طائرات النقل اللوجستي على ارتفاع 200-300 م.

واستناداً إلى تحليل تخطيط المسارات لدى الشركات، ترى هذه الدراسة أن كلا من تقسيم المجال الجوي وتخطيط المسارات لا ينبغي أن يُنظر إليهما بوصفهما مجرّد مسائل في النقل الجوي. ولا ينبغي فهم علاقتهما بالمنظومات الأرضية بوصفها إسقاطاً »من أعلى إلى أسفل« للمجال الجوي على الأرض. بل ينبغي أن يتبنى التخطيط نهجاً »من أسفل إلى أعلى«، يمدد بموجبه المنظومات المكانية الأرضية صعوداً إلى فضاء الارتفاعات المنخفضة. ويتطلب تحقيق هذا التمديد ابتكاراً نظرياً وتكيفاً تقنياً.

من المنظور التقني، يمثّل التوصيل بالطائرات المسيّرة تحوّلاً في حركة العناصر الحضرية من الفضاء ثنائي الأبعاد إلى الفضاء ثلاثي الأبعاد. وعليه، ينبغي أن يحلّل التخطيط العوائق وتغيّراتها الديناميكية ضمن البيئات ثلاثية الأبعاد[28]- ويقيّم إمكانية الوصول واستراتيجيات التسيير مع مراعاة عوامل السلامة والاقتصاد، ويحدد الممرات الملائمة ،[30]

منخفضة الأثر وعالية السلامة فوق فضاءات كالأهار والمسطحات المائية. وفي الوقت نفسه، ينبغي أن يصنّف التخطيط المناطق الحساسة للضوضاء والحساسة للخصوصية وفقاً لظروف استخدام الأرض، وأن يضع معايير ،الارتداد عن المسارات للحد من الآثار السلبية الناجمة عن عمليات الطائرات المسيّرة. وعلى مستوى التخطيط المحلي يمكن للمدن أن تضع خططاً متخصصة لتصنيف المجال الجوي منخفض الارتفاع وإدارة المسارات استناداً إلى البيئات الحضرية ثلاثية الأبعاد وظروف استخدام الأرض. ويتعيّن على هذه الخطط أن توضح: أساليب تصنيف المجال الجوي؛ .ومخططات المسارات؛ ومناطق عزل السلامة؛ وأن توفّر أساساً لعمليات تشييد البنى التحتية وإجازة المسارات اللاحقة وعلى نحو أكثر جوهرية، ثمة حاجة إلى بحوث نظرية بشأن حقوق التطوير وآليات الحوكمة المكانية لفضاء الارتفاعات المنخفضة. فمن منظور الملكية، تنتمي موارد الارتفاعات المنخفضة، شأنها شأن موارد المجال الجوي، إلى الدولة وتكون مملوكة ملكية جماعية للعموم. ومن منظور الاستثمار، تُمارَس حقوق التطوير حالياً من قبل الحكومات نيابةً غير أن إعمال هذه »الحقوق العامة« قد صادف تحديات عملية، لا سيما فيما يتعلق بالنقاشات .[31]عن الجمهور ففي الولايات المتحدة الأمريكية، تُربط حقوق المجال الجوي دون 500 قدم)نحو 150 م(.[32]حول الحقوق الجوية عادةً بحقوق ملكية الأرض، في حين يُعدّ المجال الجوي الأعلى مجالاً جوياً صالحاً للملاحة. ويحوز مالكو الأراضي حقوقاً على »المدارج المباشرة« للفضاء الجوي فوق ممتلكاتهم، بما في ذلك حق استخدام امتداد مكاني يماثل مساحة وفي الصين، تظل اللوائح ذات الصلة غير واضحة نسبياً. فقد أدخل .[33]الأرض التي يشغلونها أو يسيطرون عليها في إطار حقوق الانتفاع (easement rights) مفهوم حقوق الارتفاق (2007) قانون الملكية لجمهورية الصين الشعبية في المادة 345، على ما يلي: »يمكن ،(2021) المتعلقة بأراض البناء. وينصّ القانون المدني لجمهورية الصين الشعبية إنشاء حقوق استخدام أراض البناء بشكل منفصل على السطح، أو في الفضاء فوق الأرض، أو في الفضاء تحت الأرض ،للأرض«. وفي الوقت نفسه، توضّح اللوائح المتعلقة بعلاقات الجوار التطبيقات العملية للحقوق المرتبطة بالإضاءة وعليه، يمكن القول إن الفضاء الجوي للمباني والمناطق .[34 ,32]والوصول، وغير ذلك من الاستخدامات المكانية المحيطة قد يدخل ضمن نطاق حقوق الارتفاق، رغم أن القوانين القائمة لم تحدد بعد أشكالها القانونية وعلاقات .الملكية فيها بشكل واضح

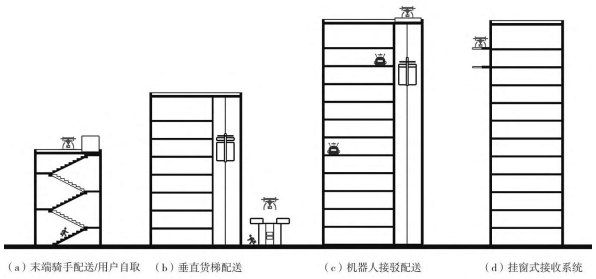
وبناءً على ذلك، يحتاج تخطيط المدن في الارتفاعات المنخفضة في المستقبل، بما في ذلك تخطيط التوصيل بالطائرات المسيّرة، إلى توضيح العلاقة بين الحقوق العامة والخاصة في ما يخص موارد الفضاء منخفض الارتفاع. ويتعيّن عليه إرساء الأسس القانونية لـ: المنظومات السجلية ثلاثية الأبعاد؛ وقواعد البيانات المكانية الحضرية ثلاثية الأبعاد؛ وتحديد .المسارات العامة؛ وتنظيم استخدام موارد الارتفاعات المنخفضة؛ وآليات الاستخدام المدفوع

الابتكار في سياسات التخطيط والحوكمة لتعزيز إدماج المرافق في الشبكات .4.3

تشكّل مرافق الإقلاع والهبوط، بوصفها نقاط الوصل في التنسيق بين الأرض والجو، بنية تحتية حاسمة للتوصيل بالطائرات المسيّرة. وتعتمد هذه المرافق حالياً بصفة رئيسية على الأسطح والفضاءات العامة. فمن منظور حقوق الملكية، تتسم المباني العامة عادةً بهياكل ملكية محددة بوضوح، في حين تنتمي أسطح المباني السكنية إلى نظام الملكية غير أن علاقات الملكية في الفضاءات العامة الأرضية .[35]المشتركة، أما الفضاءات العامة الشارعية فمملوكة للدولة وأسطح الفضاءات الجوية للأسطح تظل في الغالب غير واضحة، مما يصعّب التحويل الوظيفي، ويشكّل عنق زجاجة رئيسياً يقيّد تطور التوصيل بالطائرات المسيّرة. وعليه، ينبغي للتخطيط المكاني ألا ينظّم تقنياً المسارات ومرافق الهبوط مسبقاً فحسب، بل أن يضع أيضاً آليات مؤسسية تدعم تنفيذ المرافق. وبشكل خاص، ينبغي أن يستفيد التخطيط من :المرافق الخدمية المجتمعية المدمجة القائمة، وأن ينسق مع المالكين الأصليين والسلطات البلدية بشأن توزيع الحقوق، والمسؤوليات، والفوائد الاقتصادية. وبالنسبة لمشاريع البناء الجديد أو إعادة التطوير، يمكن إدراج مرافق واستناداً إلى تقييم الطلب الذي نُوقش .[36]الطائرات المسيّرة في آليات الحوافز القائمة على نسبة المساحة الطابقية في القسم 4.1، ينبغي حجز فضاءات مخصصة للتوصيل بالطائرات المسيّرة في المناطق ذات الطلب المرتفع، وإدراج منصات الهبوط في إدارة التخطيط التفصيلي التنظيمي. ومن منظور منظومات التخطيط، ينبغي إدماج مرافق الهبوط والفضاءات الأرضية المطلوبة لها في: منظومات تصنيف استخدامات الأرض؛ ولوائح التوافق البنائي؛ وأطر تخطيط .البنى التحتية

.ومن خلال هذه التدابير، يمكن استحداث أنواع جديدة من البنى التحتية وإدماجها تدريجياً في الشبكات الحضرية وبالإضافة إلى الإدماج المكاني، ينبغي أيضاً حجز الشروط الذكية والآلية لربط مرافق الهبوط بمنظومات النقل الأخرى والفضاءات الوظيفية. ولا تربط مرافق الهبوط بين الفضاء الجوي والفضاء الأرضي فحسب، بل تربط أيضاً بين الموردين الأوّليين والمستهلكين النهائيين، مكوّنة بذلك أول وآخر 100-300 م من العملية اللوجستية. ولا تزال هاتان المرحلتان الأولى والأخيرة من النقل تعتمدان إلى حد بعيد على التوصيل اليدوي من قبل السعاة، أو على الاستلام الذاتي من قبل

المستخدمين]الشكل 8)أ([. ورغم أن هذه المسافات لا تتجاوز 100-300 م، فإن زمنها قد يتجاوز زمن قطعة الطيران بالطائرة المسيّرة، كما قد تفوق تكاليفها تكاليف النقل الجوي. وعليه، فقد باتت هاتان المرحلتان تشكلان عنق زجاجة حاسماً يقيّد كفاءة التوصيل بالطائرات المسيّرة وجدواه الاقتصادية. ولدعم التطبيقات المستقبلية واسعة النطاق للتوصيل بالطائرات المسيّرة في الارتفاعات المنخفضة، ينبغي أن يتكيف التجديد الحضري وإدارة المباني على نحو أفضل مع خصائص اللوجستيات القائمة على الطائرات المسيّرة. وتشمل التدابير الممكنة: تركيب مصاعد الشحن]الشكل 8)ب([؛ ونشر الروبوتات اللوجستية]الشكل 8)ج([؛ وإدخال أنظمة استلام مثبّتة على النوافذ]الشكل 8)د([؛ وغير ذلك من الأنظمة الذكية لتحسين الكفاءة في مرحلتي الإرسال الأوّلي والاستلام النهائي.



الشكل 8. التخطيط العمودي لعقد التوصيل بالطائرات المسيّرة المنسق بين الأرض والجو

الخلاصات والتطلعات .5

إن اقتصاد الارتفاعات المنخفضة، ممثّلاً في التوصيل بالطائرات المسيّرة، يتطور بوتيرة غير مسبوقة. فقد عزز إنشاء منظومات التنسيق بين الأرض والجو عبر بيئات جغرافية متنوعة ومعقدة، وربط العرض والطلب من خلال سيناريوهات تطبيق مختلفة، ومكّن من تكرار خدمات الارتفاعات المنخفضة وتوسيعها على نطاق واسع.

وتعيد هذه الخدمات الناشئة في الارتفاعات المنخفضة تشكيل أنماط الإنتاج والحياة اليومية في المدن، كما تطرح في الوقت ذاته تحديات جديدة أمام التخطيط المكاني الحضري. فالنُهُج التخطيطية التقليدية تحسّن عادةً الموارد الأرضية من منظور ثنائي الأبعاد، وتفتقر إلى القدرة على الاستجابة بفعالية لمتطلبات التوزيع المكاني والزماني الناجمة عن التوصيل بالطائرات المسيّرة وسائر تطبيقات الارتفاعات المنخفضة. وعليه، ينبغي إدراج فضاء الارتفاعات المنخفضة في نطاق التخطيط المكاني. وينبغي أن تستكشف البحوث المستقبلية آليات بناء فضاءات الارتفاعات المنخفضة وقواعد استثمارها ونُهُج تخطيطها، وأن تحقق في التفاعلات التنسيقية بين المنظومتين الأرضية والجوية، وأن تطوّر نماذج مكانية جديدة مكيفة مع اقتصاد الارتفاعات المنخفضة. ومن شأن هذه الجهود أن تُثري الإطار المفاهيمي والمنهجيات التقنية لتخطيط المدن في الارتفاعات المنخفضة، وأن تستجيب لمتطلبات البنى التحتية والفضاء الناشئة المرتبطة بالتطور السريع في الارتفاعات المنخفضة [39-37]. واستناداً إلى المراجعة الأدبية، والتحقيق الميداني، وتحليل المحاكاة، تُلخّص هذه الدراسة عناصر وخصائص التنسيق بين الأرض والجو في التوصيل بالطائرات المسيّرة، وتجري دراسات حالة معمّقة لثلاث شركات رائدة في التوصيل بالطائرات المسيّرة، وتحدد مسارات التنفيذ والتحديات، وتقترح استجابات تخطيطية. وتتمثل الخلاصات الرئيسية فيما يلي:

(1) لا يستلزم التنسيق بين الأرض والجو الإدماج التقني للبيانات ومنظومات العمليات بين العناصر الجوية والأرضية فحسب، بل يستلزم أيضاً التنسيق المكاني بين السيناريوهات، ومنظومات الشبكات، والعقد. ولا ينبغي النظر إلى التنسيق بين الأرض والجو بوصفه هدفاً تقنياً محضاً؛ بل إنه يمثّل نموذجاً أولياً لتطوير بنية تحتية جديدة تراعي في الوقت ذاته الأهداف الاقتصادية والتقنية والمكانية.

(2) يُظهر التنسيق بين الأرض والجو، في التطبيقات العملية، مسارات تنفيذ تتسم بما يلي: بناء منظومات سيناريوهات الخدمة وفقاً لخصائص الطلب؛ وتنظيم شبكات المسارات استناداً إلى الأوضاع المكانية الأرضية؛ ودمج المرافق العقدية وتوسيعها داخل البيئات المبنية. وتعكس هذه المسارات العملية الجوهرية لاقتصاد الارتفاعات المنخفضة بوصفه إدماجاً لـ»الامتداد صعوداً والربط نزولاً«، وهو ما ينبغي أن يصبح محور تركيز رئيسياً لتخطيط المدن في الارتفاعات المنخفضة.

(3) استجابة للتحديات المرتبطة بتحديد الطلب، وتطوير المسارات، وتشييد مرافق الهبوط، يحتاج التخطيط الحضري إلى ابتكار آليات الحوكمة المكانية والمناهج التقنية. وينبغي أن يعمل التخطيط على: تحسين حوكمة موارد الارتفاعات المنخفضة؛ وتعزيز التنسيق بين مسارات الارتفاعات المنخفضة ومنظومات النقل البري؛ وتنفيذ نشر متدرج ومصنّف للبنية التحتية المكانية؛ وترقية الفضاءات الحضرية القائمة من خلال التحويل الذكي.

ومن خلال هذه التدابير، يمكن توسيع نطاق وعمق وسرعة تنفيذ خدمات الارتفاعات المنخفضة. ويمثّل التنسيق بين الأرض والجو في الطيران في الارتفاعات المنخفضة تعاوناً مكانياً متعدد الأبعاد يقوم على منظومات مكانية، وآلية تنسيق متعددة الطبقات متجذرة في البيئات الحضرية. وفي خضم عملية إعادة الهيكلة المكانية التي يُحدثها التوصيل بالطائرات المسيّرة، يمكن للتخطيط الحضري أن يؤدي دوراً محورياً في بناء الإطار التشغيلي للفضاءات الحضرية المستقبلية. ومن خلال إدماج المعرفة التخطيطية وأدوات الحوكمة، بما في ذلك: التنظيم المكاني المتدرج والاستشرافي؛ والتوزيع المنسق للموارد المكانية؛ والآليات العميقة للموارد المكانية، يستطيع التخطيط الحضري أن يؤسّس حقلاً متخصصاً لتخطيط .المدن في الارتفاعات المنخفضة، وأن يقدّم الدعم التقني للتحقيق المكاني لاقتصاد الارتفاعات المنخفضة وتطوره وينبغي أن تعزز الدراسات المستقبلية التحليل التجريبي من خلال دراسات حالة إضافية، وأن تطور الأدوات التقنية، وأن .تحاكي فعالية الحوكمة

الهوامش

ترتبط المخاطر المرتبطة بعمليات الطائرات المسيّرة، بما في ذلك التهديدات لسلامة الأرواح والممتلكات، فضلاً ① عن المخاوف المتعلقة بالخصوصية الناجمة عن الكاميرات المثبّتة على متنها، ارتباطاً وثيقاً بالقبول العام. وفي ،الممارسات الدولية، اعتمدت بعض الشركات تقنيات معالجة الصور، كتطبيق التدرج الرمادي على الصور الملتقطة .للحد من المخاوف المتعلقة بالخصوصية، ومعالجة الشكاوى والالتماسات المتزايدة من الجمهور

تُعدّ الضوضاء أحد العوامل الرئيسية المؤثرة في القبول العام. وعلى وجه الخصوص، فإن الضوضاء المتولدة أثناء ② إقلاع وهبوط الطائرات المسيّرة تؤثر تأثيراً بالغاً في المناطق الحساسة للضوضاء كدور رعاية المسنين والمدارس والمجمعات السكنية والمنشآت الحكومية. ووفقاً للقياسات المتاحة، تولّد عمليات الطائرات المسيّرة في الارتفاعات المنخفضة نحو 60-85 ديسيبل)أ(من الضوضاء، متجاوزة الحدود المنصوص عليها في معيار جودة البيئة من حيث وينصّ المعيار على حدود الضوضاء النهارية .[40]الضوضاء الصادر عن وزارة حماية البيئة بجمهورية الصين الشعبية والليلية البالغ قدرها: 50 ديسيبل)أ(و40 ديسيبل)أ(لمناطق الوظائف البيئية الصوتية من الفئة 0، كمناطق إعادة التأهيل والرعاية الصحية؛ و55 ديسيبل)أ(و45 ديسيبل)أ(لمناطق الفئة 1 التي تشمل المناطق السكنية والتعليمية .والحكومية

المراجع

[1] Central Committee of the Communist Party of China, State Council. Outline of the National Comprehensive Three-dimensional Transportation Network Planning[EB/OL]. (2021-02-24) [2025-07-05]. https://www.gov.cn/zhengce/202203/content_3635479.htm.

[2] Wu Z Q, Yan J, Xu H W, et al. Ten Key Issues in the Annual Development of Urban and Rural Planning Discipline (2024–2025)[J]. Urban Planning Forum, 2024(6): 8-11.

[3] Liao X H, Qu W Q, Xu C C, et al. Review of Urban Air Mobility and New Infrastructure Low-altitude Public Air Routes[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2023, 44(24): 1-29.

[4] Liao X H, Zhang J, Huang Y H. Preliminary Discussion on the Characteristics of Low-altitude Geography and Its Expansion of Geographic Research[J]. Acta Geographica Sinica, 2024, 79(3): 551-564.

[5] Liao X H, Huang Y H, Xu C C. Research on Low-altitude Airspace Resources for UAV Applications[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(11): 2607-2620.

[6] Zhang H H, Yi J, Li S, et al. A Review of Low-altitude Airspace Capacity Evaluation Research[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2023, 23(6): 78-93.

[7] Li A, Hansen M, Zou B. Traffic Management and Resource Allocation for UAV-based Parcel Delivery in Low-altitude Urban Space[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2022, 143: 103808.

[8] Zhang Q R, Wei R X, He R K, et al. UAV Route Planning in Dense Urban Irregular Obstacle Environments[J]. Control Theory & Applications, 2015, 32(10): 133-139.

[9] Liu Q, Chen Y Y, Hong X W, et al. International Experiences of Urban Low-altitude Airspace Planning for UAV Applications[J]. Urban Planning Forum, 2024(5): 64-70.

[10] Safadi Y, Geroliminis N, Haddad J. Integrated Departure and Boundary Control for Low-altitude Air City Transport Systems[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2024, 189: 103020.
[11] Chen D, Tang C, Xie Y, et al. Two-level Real-time Trajectory Planning of UAVs for Urban Low-altitude Logistics Delivery[J/OL]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2025: 1-20 [2025-07-05]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1929.V.20250417.1126.002.html.
[12] Ding Y, Xin B, Chen J. A Review of Recent Advances in Coordination Between Unmanned Aerial and Ground Vehicles[J]. Unmanned Systems, 2021, 9(2): 97-117.
[13] Huang S H, Huang Y H, Blazquez C A, et al. Solving the Vehicle Routing Problem with Drone for Delivery Services Using an Ant Colony Optimization Algorithm[J]. Advanced Engineering Informatics, 2022, 51: 101536.
[14] Dukkanci O, Campbell J F, Kara B Y. Facility Location Decisions for Drone Delivery with Riding: A Literature Review[J]. Computers & Operations Research, 2024, 167: 106672.
[15] Li Y, Liu M, Hu H, et al. A Cost Analysis of the Collaborative Delivery Mode of Drones and Riders in Food Delivery Scenarios[J]. International Journal of Logistics Research and Applications, 2025, 28(2): 1-30.
[16] Wang X Y, Wang H M, Sun Q Q. Multi-task Cooperative Control of UAV–UGV Unmanned Cluster Systems[J]. Unmanned Systems Technology, 2023, 6(6): 70-79.
[17] Liu C, Zhao J, Sun N. A Review of Collaborative Air-ground Robots Research[J]. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2022, 106(3): 60.
[18] Qin R, Yang Z B. Research on Location Optimization of UAV Delivery Landing Sites in Urban Areas[J]. Scientific and Technological Innovation, 2024(15): 50-54.
[19] Xiao Z P, Zhang W C, Li Y Y, et al. Organizational Characteristics and Challenges of Ground-air Coordination for Low-altitude UAV Delivery: A Case Study of Shenzhen[J]. Resources Science, 2025, 47(8): 1663-1674.
[20] Shavarani S M, Golabi M, Izbirak G. A Capacitated Biobjective Location Problem with Uniformly Distributed Demands in the DAV-supported Delivery Operation[J]. International Transactions in Operational Research, 2019, 26(4): 1-24.
[21] Chang Y S, Lee H J. Optimal Delivery Routing with Wider Drone-delivery Areas Along a Shorter Truck-route[J]. Expert Systems with Applications, 2018, 104: 307-317.
[22] FAA. Engineering Brief No.105A, Vertiport Design, Supplemental Guidance to Advisory Circular 150/5390-2D, Heliport Design[R/OL]. (2024-12-27) [2025-07-07]. https://www.faa.gov/airports/engineering/engineering*briefs/eb*105a_vertiports.
[23] Civil Aviation Administration of China. Specification for Route Planning of Light and Small Unmanned Aircraft Logistics Operations in Urban Scenarios[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2022.
[24] Sheng J, Cai X, Li Q, et al. Space-air-ground Integrated Network Development and Applications in High-speed Railways: A Survey[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2021, 23(8): 10066-10085.
[25] CASA. Guide to Vertiport Design[R/OL]. (2024-05-29). https://www.casa.gov.au/sites/default/files/2024-05/guide-to-vertiport-design.pdf.
[26] China Civil Airports Association. Technical Requirements for Electric Vertical Take-off and Landing Aircraft (eVTOL) Landing Facilities[S]. Beijing: China Civil Airports Association, 2024.

[27] China Mobile, Xunyi. Logistics Capillaries of Future Cities: 5G Robot Transportation Network White Paper[R/OL]. (2019-01) [2025-06-25]. https://xyi-web.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/files/5G 机器人运力网络白皮书 20210901.pdf.
[28] Liu J M, Su X J, Shen Z J. Exploration of Coordinated Development Models of Urban Low-altitude Airspace and Above-ground/Underground Space from the Perspective of UAV Traffic Governance[J]. International Urban Planning, 2024, 39(3): 1-16.
[29] Chen J, Gao Y, Guo C Y, et al. Basic Ideas and Key Tasks of Real-world 3D Scene Empowering Low-altitude Economy[J]. Journal of Spatial Information, 2025, 32(1): 1-10.
[30] Li X, Gan W, Shen C, et al. Impact Assessment and Facility Renewal of Urban Air Mobility from the Perspective of Low-altitude Economy[J]. Planners, 2025, 41(3): 33-41.
[31] Chen B H, Xie Y. Types and Legislative Models of Spatial Rights in Property Law[J]. Journal of Finance and Law, 2018(3): 15-30.
[32] Chen X J. Low-altitude Use Rights under the Background of Low-altitude Airspace Opening[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics (Social Sciences Edition), 2016, 29(1): 47-57.
[33] United States Congress. The Air Commerce Act of 1926[S]. (1926-05-20) [2025-07-15]. https://archive.org/download/UnitedStatesAirCommerceAct1926/United%20States%20Air%20Commerce%20Act%20-%201926_text.pdf.
[34] Zhao X M. Forms and Analysis of Land Spatial Rights Utilization[J]. Tribune of Political Science and Law, 2011, 29(2): 90-99.
[35] Zhang J, Zhao Z L, Wang Y N, et al. Difficulties and Operational Mechanisms of Community-embedded Service Facilities Construction from the Perspective of Urban Renewal[J]. Urban Planning Forum, 2025(1): 71-77.
[36] Zhou G K, Zhuo J. Theoretical Logic and Institutional Construction of Development Rights Transfer and Incentives under Urban Renewal[J]. Urban Planning Forum, 2023(3): 66-74.
[37] Liu T T, Dai S Z, Song H Y. Exploration of New Types of Smart Society Infrastructure and Data Infrastructure Planning[J]. Urban Planning Forum, 2019(4): 95-101.
[38] Wang K, Zhao Y J, Zhang J X, et al. Academic Discussion on "New Quality Productive Forces and Urban-rural Planning"[J]. Urban Planning Forum, 2024(4): 1-10.
[39] Wang G T, Liu X, Li F, et al. Reflections on Urban Studies in the New Era: Urban Problems–Urban Science–Urbanology[J]. Urban Planning Forum, 2025(3): 9-15.
[40] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Environmental Quality Standard for Noise[S]. (2008-08-19) [2025-07-15]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/wlhj/shjzlbz/200809/W020111121351590491445.pdf.
Ai 辅助翻译