

文章编号:1674-8190(2022)06-144-06

推桨式察打无人机起落架总体布置参数设计研究

郑勇峰¹, 沈君彦²

(1. 中航(成都)无人机系统股份有限公司 研发中心, 成都 611730)

(2. 航空工业成都飞机设计研究所 总体部, 成都 610073)

摘要: 现有飞机起落架总体布置参数设计的规范和要求主要适用于传统战斗机, 如果按此规范和要求设计推桨式察打一体无人机起落架将带来诸多问题。从推桨式察打一体无人机的布局和飞行特点入手, 通过对起落架总体布置参数的定义和内涵进行分析, 提出一种适合推桨式察打无人机起落架总体参数和总体布置的设计方案, 对察打一体无人机起降特点进行分析; 对比“捕食者B”无人机起落架总体布置参数, 验证本文设计方案的有效性。结果表明: 擦地角可减小, 建议不小于 6° (静态, 含间隙); 防倒立角可减小, 建议 $11^\circ\sim 12^\circ$ (静态); 停机角范围可适当减小, 建议 $-2^\circ\sim -1^\circ$; 起落架总体布置方案可选择机身式、较长的外八字形起落架布置型式。

关键词: 推桨式; 察打无人机; 布局特点; 起落架总体参数; 起落架总体布置

中图分类号: V226.1; V279

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2022.06.15

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design and Research on Landing Gear Overall Parameters of Pusher Propeller Reconnaissance/Strike UAV

ZHENG Yongfeng¹, SHEN Junyan²

(1. R&D Center, AVIC (Chengdu) UAS Co., Ltd., Chengdu 611730, China)

(2. General Department, AVIC Chengdu Aircraft Design and Research Institute, Chengdu 610073, China)

Abstract: The existing specifications and requirements for the overall layout parameter design of aircraft landing gear are mainly applicable to traditional fighters. If the landing gear of pusher propeller reconnaissance/strike unmanned aerial vehicle (UAV) is designed according to these specifications and requirements, it will cause many problems. Proceeding from the layout and flight characteristics of the pusher propeller reconnaissance/strike UAV, a design scheme suitable for the landing gear overall parameters and overall layout of the pusher propeller reconnaissance/strike UAV is proposed by analyzing the definition and connotation of the landing gear overall layout parameters. The takeoff and landing characteristics of the integrated reconnaissance/strike UAV are analyzed. The overall layout parameter of Predator B UAV is compared to verify the effectiveness of the proposed design scheme. The results show that the tail down angle can be reduced, which can be set not less than 6° (static, containing clearance). The turn over angle can be reduced, which can be set within $11^\circ\sim 12^\circ$ (static). The parking angle can be reduced, which can be set within $-2^\circ\sim -1^\circ$. The main landing gear arrangements can choose this type, which is installed onto fuselage of UAV, at extended position, the main landing gear is at the lower side of fuselage, with shape "/ \".

Key words: pusher propeller; reconnaissance/strike UAV; layout characteristics; landing gear overall parameters; landing gear overall arrangement

收稿日期: 2021-06-05; 修回日期: 2022-04-14

通信作者: 郑勇峰, zyff987@163.com

引用格式: 郑勇峰, 沈君彦. 推桨式察打无人机起落架总体布置参数设计研究[J]. 航空工程进展, 2022, 13(6): 144-149.

ZHENG Yongfeng, SHEN Junyan. Design and research on landing gear overall parameters of pusher propeller reconnaissance/strike UAV[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2022, 13(6): 144-149. (in Chinese)

0 引言

察打一体无人机兼具侦察和精确打击能力,实现了无人机长航时侦察和攻击能力由双平台配合使用向单平台综合使用的巨大跨越,体现了完整的“从传感器到射手”的即时打击能力^[1]。察打一体无人机的任务优势在于:具有持续的区域存在能力,可以在特定战场/区域上空长时留空,提供不间断的情报,具有监视和控制能力;通过卫星通信设备实现对远程、时敏目标的“遥控作战”。将信息收集和攻击能力连同在一起,有记录证明其成为力量倍增器^[2],可实施快速发现、跟踪、打击静/动目标,必将成为未来陆、海、空、天、电磁一体化作战的“杀手锏”武器^[3]。

察打一体无人机的能力需求决定了其技术设计特点^[4]。为了适应对速度为0~200 km/h地面目标的搜索和跟踪,并且根据执行察打任务需求,察打一体无人机不仅需要“飞得慢”还要“飞得久”,即无人机的近地速度一般在150~250 km/h左右,航时要超过20 h以上。察打一体无人机总体布局一般采用大展弦比平直机翼的常规气动布局,配备活塞或涡桨发动机等低油耗动力系统,根据察打一体使命任务的要求,其用于侦察的传感器需布置在前机体下方且没有被遮挡。另外,为了不影响光电侦察设备的侦察视野以及不妨碍武器的发射^[5],常见的察打一体无人机,如美国捕食者A/B系列无人机,中国的翼龙-1/翼龙-2系列无人机等,均采用机身后置的推浆动力布局。

推浆式察打一体无人机的上述总体布局特点使得其总体设计有别于常见飞机,对起落架的设计影响尤为明显。“在飞机总体布局时,起落架的布置往往是最麻烦的”^[6],起落架总体设计约束条件较多,按传统战斗机经验设计推浆式察打一体无人机起落架将导致“腿长机高”。

由于目前国内外针对推浆式察打一体无人机起落架总体布置参数设计鲜有研究,因此,本文从主要的起落架总体布置参数定义入手,提出一种适合推浆式察打无人机起落架总体参数和总体布置的设计方案,对总体布置参数进行设计,通过“捕食者B”无人机起落架总体布置参数对设计方案的有效性进行验证。

1 按战斗机要求设计的起落架总体参数存在的主要问题

起落架总体设计主要包括两个方面,一是总体设计参数设计,二是总体布局设计。其中总体设计参数是起落架设计考虑的首要因素。

现代飞机基本都采用前三点式起落架布局方式,主要参数示意图如图1所示,其中, θ_{TD} 为擦地角, θ_{TO} 为防倒立角, θ_{TB} 为后翻角, θ_{NR} 为前起前伸角, θ_{MR} 为主起前伸角, φ_{TO} 为防侧翻角。起落架最主要的总体参数有擦地角、防倒立角、停机角,起落架的长度和在机身上的位置也主要由这3个参数决定。

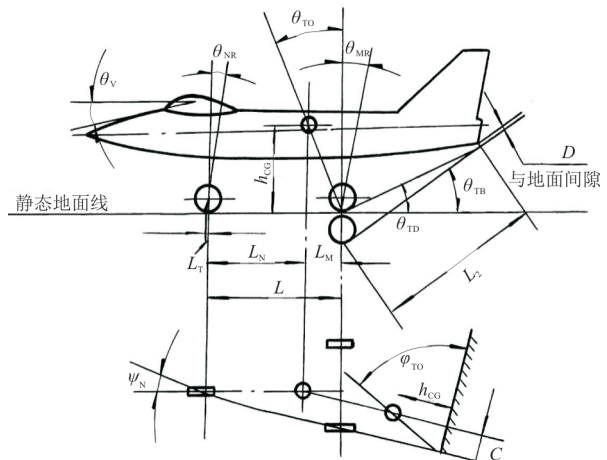


图1 起落架主要参数示意图^[7]

Fig. 1 Landing gear geometry^[7]

“捕食者B”无人机是典型的察打一体无人机,若采用对常规战斗机起落架总体参数设计的要求,并参考F-16A起落架参数^[8],擦地角取 $13^{\circ}19'$ 、防倒立角取 $15^{\circ}15'$ 、停机角取 1° ,如图2所示。

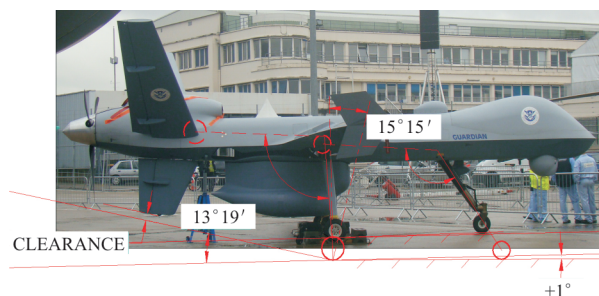


图2 按战斗机要求设计的起落架参数^[8]

Fig. 2 According to the request of fighter jet to design the landing gear parameters^[8]

根据上述参数设计的起落架不协调,存在的主要问题包括:

(1) 起落架过长,在收上时,主起将伸入发动机舱,前起将机翼前梁打断,同时过长的起落架支柱导致重量增加较多;

(2) 为保持防侧翻角不变,主轮距加大,支柱进一步变长,总体布置更为困难;

(3) 起落架过长,收放时带来全机重心变化大。

2 设计方案

2.1 总体布置参数设计

2.1.1 擦地角分析与设计

擦地角 θ_{TD} 为对应机轮与缓冲器静态压缩量的静态地面线和起飞或着陆时的地面线之间的夹角,即为了保证起飞着陆时,飞机的尾部(包括机体后部及尾翼)不致擦地,军用飞机的擦地角一般在静态时为 $12^\circ \sim 15^\circ$ 。

战斗机起降迎角一般较大,因此擦地角一般也较大,而推浆式察打一体无人机特点:全自主起降,姿态控制精确;低速、高升阻比布局,起飞和着陆迎角小;采用后置式推进螺旋桨,留有一定的起降离地安全间隙。应针对推浆式察打一体无人机的布局和飞行特点,进行该参数的合理设计。

从擦地角 θ_{TD} 的定义,可得到公式:

$$\theta_{TD} = \theta_{AC} + A \quad (1)$$

$$\theta_{AC} = \alpha - \theta_p - \alpha_{is} \quad (2)$$

式中: θ_{AC} 为按起飞和着陆的最大设计迎角(必要时可留有一定余量)确定对应的飞机姿态角; A 为考虑着陆角偏差而留有的余量; α 为对应的起飞离地或着陆接地迎角; θ_p 为飞机停机角; α_{is} 为机翼安装角。

推浆式察打一体无人机由于气动布局的特点,最大设计迎角确定对应的飞机姿态角 θ_{AC} 较小,而无人机采用自主起降,即使在较大侧风情况下也能精确跟踪预定下滑着陆轨迹,姿态良好^[9]。

根据统计数据,起飞和着陆迎角 α 一般为 $3^\circ \sim 5^\circ$,停机角 θ_p 一般可取 $-1^\circ \sim -2^\circ$ (详见 2.1.3 节),机翼安装角 α_{is} 一般可取 $1^\circ \sim 2^\circ$ 。按相关规范,标准着陆角偏差 A 一般取 $2.25^\circ \sim 3^\circ$ 。

推浆式察打一体无人机由于螺旋桨后置,应留有一定的运动部件安全间隙,参考相关规范(俄

标 200~250 mm、美标 9 in)的要求^[6],其中 1 in=2.54 cm。

综上,将各分析得到的参数,代入式(1)、式(2),可以得到,考虑着陆角偏差和运动部件安全间隙时,擦地角 $\theta_{TD} \geq 6^\circ$ (静态,含间隙)。

2.1.2 防倒立角分析与设计

防倒立角一般有以下 3 种含义:

(1) 根据过去的经验,飞机在地面使用刹车引起减速率为 2.5 m/s^2 时,为保证飞机不致向后翻仰,一般取 $\theta_{TO} \geq 15^\circ$,该值对大多数的飞机来说,在刹车时,不致使飞机的重心翻转移到主起落架之后^[10]。此时起落架的轮胎及缓冲器都是静态压缩状态,现有战斗机一般均按此要求设计。

(2) 飞机着陆时,是以全伸长状态的主轮首先接地的,此时轮胎不压缩^[11],为了防止在接地撞击时飞机产生向后翻倒的力矩作用,飞机重心翻转移到主起落架之后,要求防倒立角不小于擦地角,即间隙 $D=0$ 时, $\theta_{TO} \geq \theta_{TB}$ 。

(3) 另外,参考相关文献[12-14],在静态, $D=0$ 时,防倒立角满足: $\theta_{TO} = \theta_{TD} + (1^\circ \sim 2^\circ)$,即着陆时,若擦地角为 0° 时,飞机重心也不会移到主轮支点以后,造成飞机向后倾覆。根据文献[15-16]给出 θ_{TB} (静态,间隙 $D=0$) 的范围为 $10^\circ \sim 18^\circ$ 。

察打一体无人机的特点是着陆速度低,刹车减速率小,要求跑道状况较好,因此,为满足减速率为 2.5 m/s^2 时不后翻而设计的 $\theta_{TO} \geq 15^\circ$ 并不完全适用于此类飞机。

察打一体无人机擦地角和后翻角较小,相比战斗机,防倒立角可相应减小,同时有利于缩短主起长度,并利于起飞抬前轮。另外,根据相关文献统计和分析,为了紧凑设计,在满足略大于擦地角的情况下,防倒立角的趋势在减小。相关文献给出 $\theta_{TB} > 10^\circ$ ^[11]。

根据上述分析,推浆式察打一体无人机的防倒立角可减少,可设计为:

(1) 间隙 $D=0$ 时,取 $\theta_{TB} \geq 11^\circ$, $\theta_{TO} \geq \theta_{TB}$, $\theta_{TO} \geq 11^\circ$ (静态);

(2) $\theta_{TO} = \theta_{TD} + (1^\circ \sim 2^\circ)$, θ_{TO} 建议取 $11^\circ \sim 12^\circ$ (静态)。

因此,综上分析与设计,防倒立角可减小,范围可选 $11^\circ \sim 12^\circ$ (静态)

2.1.3 停机角分析与设计

战斗机停机角一般为正,而推浆式察打一体

无人机特点是低速、高升阻比布局,起飞和着陆迎角小,在有扰动情况着陆时,前轮易先着陆出现“跳跃”现象,如果飞行控制律还是空中模式,从而容易引发震荡发散,造成连续“跳跃”,且越跳越高,最终可造成前起落架断裂。因此,推浆式察打一体无人机停机角适合取负值。

同时,停机角取负值,还可以降低高升阻比气动布局飞机三轮着陆滑跑时的升力,减少滑跑距离;另外,停机角为负还有利于减少前起落架长度。

因此,对采用平直翼的察打一体无人机停机角范围可适当减小,建议取 $-2^{\circ}\sim-1^{\circ}$ 。

2.1.4 其他总体参数的选取

(1) 前主轮距:根据飞机设计手册的常规要求,前主轮距由防倒立角、主轮站位和前主轮载荷分配要求等因素确定。一般地,前主轮距可取机身长度的30%~40%,前轮载荷一般为起飞总重的6%~12%,同时要与防倒立角相协调。

(2) 起落架高度:起落架高度主要由防倒立角、擦地角和停机角等因素确定,并考虑机腹或翼下设备离地间隙及拆装通道,起落架舱门收放检查以及后置式螺旋桨的安全运动间隙等,总之,所有状态下飞机最低点与地面之间的距离不小于200~250 mm。

(3) 主轮距:主轮距主要由起落架高度、前主轮距、前轮伸出量、主轮伸出量、侧向摩擦系数等因素确定,同时最小的主轮距应满足飞机不侧翻的要求。一般地,主轮距约为翼展的15%~30%。

$$B \geq \frac{2 \cdot h \cdot b \cdot \mu}{\sqrt{a^2 - h^2 \cdot \mu^2}} \quad (3)$$

式中: B 为主轮距; h 为起落架高度; b 为前主轮距; μ 为侧向摩擦系数,一般取0.85; a 为前轮伸出量,即 $a=b-e$; e 为主轮伸出量。

2.2 起落架总体布置设计

根据推浆式察打一体无人机的布局特点,采用中上单翼、机翼挂弹、机翼油箱、机翼较薄,上述布局造成起落架完全收入机翼的方案很难实现;机身较窄、主轮距大、起落架长,上述布局特点造成直立式起落架方案很难实现。

经过对上述推浆式察打一体无人机起落架总体布置特点的分析,并参考起落架常见的布置型

式,如图3~图10所示,选取合适的起落架总体布置设计。

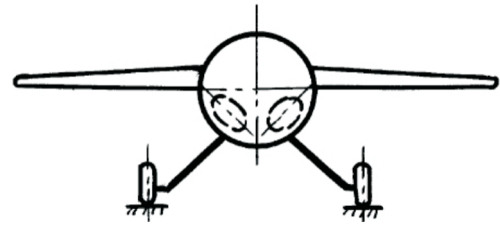


图3 起落架典型布置型式(a)^[7]
Fig. 3 Landing gear arrangement (a)^[7]

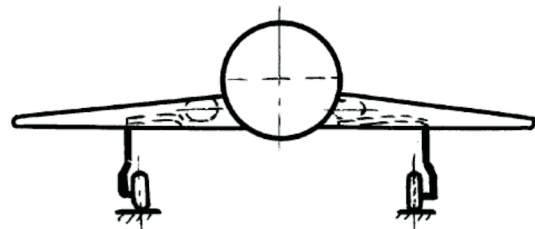


图4 起落架典型布置型式(b)^[7]
Fig. 4 Landing gear arrangement (b)^[7]

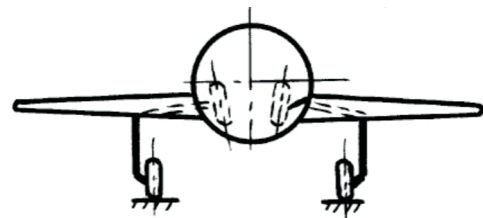


图5 起落架典型布置型式(c)^[7]
Fig. 5 Landing gear arrangement (c)^[7]

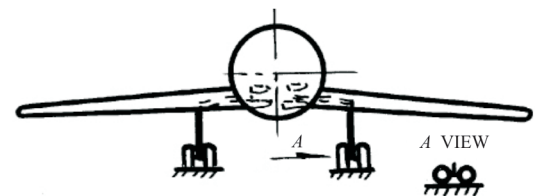


图6 起落架典型布置型式(d)^[7]
Fig. 6 Landing gear arrangement (d)^[7]

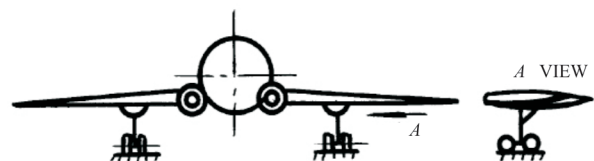


图7 起落架典型布置型式(e)^[7]
Fig. 7 Landing gear arrangement (e)^[7]

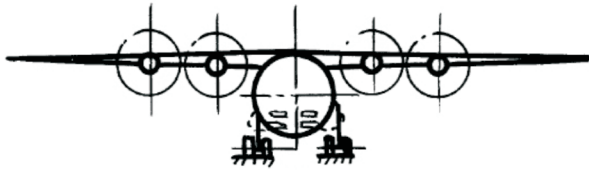


图8 起落架典型布置型式(f)^[7]
Fig. 8 Landing gear arrangement (f)^[7]

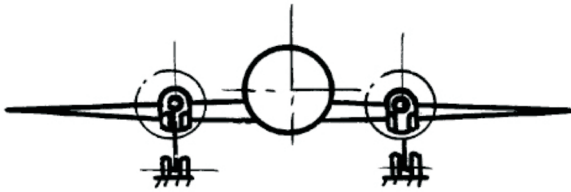


图9 起落架典型布置型式(g)^[7]
Fig. 9 Landing gear arrangement (g)^[7]

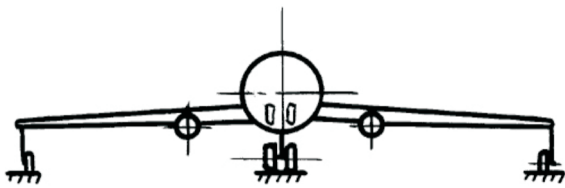


图10 起落架典型布置型式(h)^[7]
Fig. 10 Landing gear arrangement (h)^[7]

推桨式察打一体无人机起落架总体布置可选择类似图3中的机身式、较长的外八字形起落架布置型式,可有效适应推桨式察打一体无人机一般中上单翼、机翼挂弹、机翼油箱、机翼较薄的布局特点。该特点可直接排除图4~图6、图8中的起落架布置型式,图7、图9中的起落架布置型式对机翼挂弹、机翼油箱有一定影响,图10中的起落架布置型式不适合现代飞机的起落架布置。

3 实例分析

通过对相关资料的分析可知,美国“捕食者B”察打一体无人机的起落架设计,并没有按传统的战斗机起落架参数的要求执行,它的主要总体布置参数如防倒立角约为 11° 、擦地角约为 7° 、停机角约为 -1° ^[17],与通过本文提出的方案进行设计得到的总体参数基本一致,并且基本取的是下限值,目的就是为尽可能减短起落架长度,并有利于起飞抬前轮。典型战斗机与“捕食者B”无人机起落架部分参数统计,如表1所示。

表1 典型战斗机与“捕食者B”无人机起落架部分参数
Table 1 The landing gear geometry of typical fighter jet and “Predator B” UAV

典型机型		防倒立角	静态擦地角
第一代	Mg-19	$18^\circ 38'$	—
第二代	Mg-21	$21^\circ 21'$	—
	J-8	$22^\circ 9'$	—
第三代	Su-27	$16^\circ 38'$	—
	F-16A	$15^\circ 15'$	$13^\circ 19'$
“捕食者B”无人机		11°	7°

从表1可以看出:虽然典型战斗机符合军用飞机总体设计的相关规范,但和推桨式察打一体无人机(如“捕食者B”无人机)相比,由于起降迎角、着陆下沉速度、刹车减速率、总体布局特点等差别较大,因此,起落架相关总体参数也差别较大。

另外,“捕食者B”无人机的起落架布置型式采用了外八字弹性撑杆型,不仅结构简单,而且坚固、轻巧,便于制造和维护^[17]。

我国翼龙-1/翼龙-2无人机起落架的几个总体布置参数也按此方案开展设计优化,翼龙-2无人机的起落架如图11所示,其起落架布置型式也采用了外八字弹性撑杆型。此方案解决了按战斗机起落架参数设计带来的“腿长机高”的问题,同时也减小了起落架收放引起的全机重心变化范围,提高了飞行品质,具体效果如表2所示,其中前、主起落架缩短约28%、16%。



图11 翼龙-2无人机起落架
Fig. 11 The landing gear of Wing Loong-2 UAV

表2 翼龙无人机起落架优化效果
Table 2 The landing gear optimization of Wing Loong UAV

使用状态		起落架收放引起的重心变化范围/%
基本使用空机状态	优化前	6
	优化后	5
最大起飞重量状态	优化前	3
	优化后	2

4 结 论

(1) 本文提出了一种推桨式察打一体无人机起落架总体布置参数和总体布置型式的设计方案,该方案适应了推桨式察打一体无人机的飞行特点,解决了按传统战斗机起落架总体布置参数设计,带来的“腿长机高”的问题,优化了总体参数,提高了飞行品质。

(2) 无论对于哪种类型的飞机起落架总体布置参数和总体布置型式的设计,应根据设计参数的定义内涵与适用范围,并结合该类飞机的布局和飞行特点进行具体分析与设计,而不能照搬已有的设计经验。

(3) 本文设计方案应用到了翼龙无人机起落架总体布置参数设计,并取得了良好的效果。

参 考 文 献

- [1] 李屹东,王月星,郑勇峰,等.大中型察打一体无人机系统综合设计技术[M].北京:航空工业出版社,2020.
LI Yidong, WANG Yuexing, ZHENG Yongfeng, et al. Integrated design technology of large and middle-sized reconnaissance-strike unmanned aircraft systems [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2020. (in Chinese)
- [2] CAMBONE S A, KRIEG K, PACE P, et al. Unmanned systems integrated roadmap FY2013—2038 [R]. Washington, D. C., USA: Office of the Secretary of Defense, 2013.
- [3] 魏瑞轩,李学仁.无人机系统及作战使用[M].北京:国防工业出版社,2009.
WEI Ruixuan, LI Xueren. Unmanned aircraft systems (UAS) and combat mission[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2009. (in Chinese)
- [4] 李屹东,李悦霖.察打一体无人机的特点与发展[J].国际航空,2014(9):24-27.
LI Yidong, LI Yuelin. Evolution of hunter-killer drone[J]. International Aviation, 2014(9): 24-27. (in Chinese)
- [5] 郑勇峰.察打一体化无人机总体方案设计[D].成都:电子科技大学,2012.
ZHENG Yongfeng. The integrated reconnaissance/strike UAV conceptual/preliminary design[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2012. (in Chinese)
- [6] RAYMER D P. Aircraft design: a conceptual approach [M]. 4th ed. Blacksburg, Virginia: AIAA Inc., 2006.
- [7] 飞机设计手册总编委会.飞机设计手册:军用飞机总体设计[M].北京:航空工业出版社,2002.
General Editorial Board of *Aircraft Design Manual*. Aircraft design manual: battleplan design[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2002. (in Chinese)
- [8] 王钱生.飞机起落架几个总体参数的确定[C]//飞机发展与总体设计专业第二届学术交流会.北京:中国航空学会,1998:1-6.
WANG Qiansheng. A few assurances of general parameters of landing gear[C]//The 2th Symposium of Evolution of Airplane and General Design. Beijing: Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, 1998: 1-6. (in Chinese)
- [9] 宋辉,陈欣,李春涛.大展弦比无人机抗侧风着陆控制研究[J].飞行力学,2011,29(6):26-30.
SONG Hui, CHEN Xin, LI Chuntao. Research on automatic landing control for high span-chord ratio UAV in crosswind [J]. Flight Dynamics, 2011, 29(6): 26-30. (in Chinese)
- [10] 飞机设计手册总编委会.飞机设计手册:起飞着陆系统设计[M].北京:航空工业出版社,2002.
General Editorial Board of *Aircraft Design Manual*. Aircraft design manual: takeoff and landing system design[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2002. (in Chinese)
- [11] 顾涌芬,解思适.飞机总体设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,2001.
GU Songfen, XIE Sishi. Aircraft design[M]. Beijing: Beihang University Press, 2001. (in Chinese)
- [12] ОборонгизФомин.飞机设计[M].史超礼,译.北京:国防工业出版社,1963.
ОборонгизФомин. Aircraft design[M]. SHI Chaoli, Translation. Beijing: National Defense Industry Press, 1963. (in Chinese)
- [13] 余雄庆,徐惠民,昂海松.飞机总体设计[M].北京:航空工业出版社,2000.
YU Xiongqing, XU Huimin, ANG Haisong. Aircraft conceptual design[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2000. (in Chinese)
- [14] 杨景佐,曹名.飞机总体设计[M].北京:航空工业出版社,1991.
YANG Jingzuo, CAO Ming. Aircraft overall design [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1991. (in Chinese)
- [15] 谢·米·叶格尔.飞机设计[M].杨景左,胡传泰,译.北京:航空工业出版社,1986.
ЕГЕР С М. Aircraft design [M]. YANG Jingzuo, HU Chuan tai, Translation. Beijing: Aviation Industry Press, 1986. (in Chinese)
- [16] 李为吉.飞机总体设计[M].西安:西北工业大学出版社,2005.
LI Weiji. Aircraft conceptual/preliminary design [M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2005. (in Chinese)
- [17] 丁兴志,潘志雄.“捕食者”系列察打一体化无人机动气动布局特点及设计技术分析[C]//中国航空学会飞机总体分会第十一次学术交流会.北京:中国航空学会,2012:76-82.
DING Xingzhi, PAN Zhixiong. Aerodynamic configuration characteristic of "Predator" series of reconnaissance/strike UAVs and its design technologies analysis [C]//The 11th Symposium of Aircraft Design Institute of Chinese Society of Aeronautics and Astronautics. Beijing: Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, 2012: 76-82. (in Chinese)

作者简介:

郑勇峰(1978—)男,硕士,高级工程师。主要研究方向:无人机系统总体设计。

沈君彦(1980—)男,硕士,高级工程师。主要研究方向:无人机系统总体设计。

(编辑:丛艳娟)