

文章编号:1001-893X(2012)11-1857-06

F-35“闪电 II”联合攻击战斗机的关键特性^{*}

罗巧云

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:F-35“联合攻击战斗机”项目是美国国防部于 20 世纪 90 年代中期发起的最大项目计划,不仅代表着新的研制、生产和编队维护方式,而且还采用创新方法实现飞机和整个编队在寿命周期内的协同升级。在概略介绍基本型 F-35 具备的 9 大关键特性的基础上,重点分析了座舱、先进的传感器数据融合、可管理的飞行员工作负荷、通用作战图像和软件的可升级性等方面,最后,总结了 F-35“闪电 II”战斗机的创新之处。

关键词:F-35“闪电 II”战斗机;数据融合;通用作战图像;座舱;可升级软件

中图分类号:TN99;V243 **文献标志码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2012.11.029

Features of Baseline F-35 Lightning II Joint Strike Fighter

LUO Qiao-yun

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract:The F-35 program represents a new approach to the development, production, system and sustainment of a fleet of combat aircraft. Based on brief introduction to the 9 key features built into the baseline aircraft, some main features are discussed in detail in this paper, including cockpit, advanced sensor fusion, manageable workload for the pilot, the common operational picture (COP) and software upgradability, and finally, the innovation ideas of F-35 are summarized.

Key words:F-35“lightning II”; data fusion; common operational picture; cockpit; upgradable software

1 引言

F-35“闪电 II”战斗机是在吸取了美军 40 多年的实战经验,并充分继承了 F-22“猛禽”战斗机先进技术的基础上研制的三军联合通用全天时、全天候多功能战斗机,将在联合和联盟行动中承担关键作用。五角大楼计划在 2020 年前用其取代美国空军、海军和海军陆战队的大多数现役战斗机。其中,空军的 F-35A 为常规起降型(CTOL),作为对地攻击机,将取代 F-16 和 A-10,与 F-22“猛禽”战斗机联手,形成类似 F-15 与 F-16 的高低搭配;海军陆战队的 F-35B 为短距起飞/垂直着陆型(STOVL),将取代海军陆战队现役的 F/A-18 B/C 和 AV-8 B;英国皇家海

军和空军的 F-35B/STOVL 与美国海军陆战队的 F-35B/STOVL 型非常相似,用来替代“海鹞”;海军的 F-35C 为舰载型(CV),将替代美航母舰载机 F/A-18 B/C 和 A-6,补充 F/A-18E/F。

虽然 F-35 目前面临众多问题,如头盔显示系统、综合动力系统、软件问题、经费超支、工程进度拖延等,但它是美国当今最先进技术的集中体现,其隐身性能、高度综合的航空电子系统等关键特性是其作战能力发挥的重要保证。本文将对其中一些重要特性进行分析,以期对我们有所启发和借鉴。

2 F-35“闪电 II”战斗机的关键特性

F-35“闪电 II”作为三军联合通用型战斗机,虽

^{*} 收稿日期:2012-08-24;修回日期:2012-09-17

然分成 3 种型号,但通用性达 80%。基本型 F-35 具备 9 大关键要素:新型座舱和头盔显示系统,可以让飞行员承担战术决策者的职能;先进的融合机制,可以将 F-35 的核心作战系统综合在一起;该融合机制可实现作战系统间的信息共享,即作战时,每架飞机都可进行协同;F-35 作为武器系统,其芯片和软件可升级;软件的构建使飞行员的工作负荷可管理;隐身性能是核心赋能器;先进的捷变性是作战行动的关键赋能器;动力供应可以实施融合机制的长期升级策略,具有巨大的升级潜力;可以搭载很多传统武器,同时还为搭载下一代武器打下了基础。本文重点分析其中一些特性。

2.1 先进的隐身性能和捷变性

隐身性能是判定 F-35 成为第五代战斗机的决定性特性,主要体现在外形设计、吸波结构设计和吸波材料的使用上。F-35 的雷达截面积(RCS)相当于一个高尔夫球大小,约为 0.005 m^2 。实际上,正是因为隐身,才能采用一种全新的方法实现传感器协同综合,飞行员才有充足的时间在敌人发现之前接近敌人,或者更容易地撤离,这正是美军所具备的不对称能力之一。总之,隐身不仅仅只是关键特性,而且还是其他能力的赋能器。

捷变性也是 F-35 战斗机的一个关键性能,可以保证无论是白天还是夜间,F-35 能在各种作战条件下行动。最经典的一个实例就是 YF-23,虽然其隐身性能非常杰出,但捷变性较差,不能转向,致使其在最终军方的合同中惨遭淘汰^[1]。

2.2 先进的传感器融合机制

融合机制是 F-35 的心脏,而且是核心赋能器,它不仅使飞行员具备优良的态势感知能力,而且还可使其工作负荷可管理。这种融合“机制”可将历史上几个“烟囱”式系统综合在一起,完成 3 件事。首先,根据所有传感器信息组合成一幅综合图像;第二,给传感器分派任务,使其可以填充遗漏的数据;第三,与网络上的其他成员共享该图像。这是融合协同的真正实现——战场空间中所有 F-35 飞行员看到的都是同一幅图像。

第四代战斗机上必须有雷达告警显示器和雷达显示器以及其他联合式传感器显示器,而 F-35 只要 1 台显示器就可显示整幅图像。仔细研究 F-35 的传感器系统,就会发现每个传感器都是相连的,并由先进的融合软件机制控制,得到的不仅只是各部分之和。

F-35 于 2011 年 6 月 13 日至 24 日第二次参加了“北方利刃”演习,进一步测试了其传感器能力。诺斯罗普·格鲁曼公司的测试主管皮特·马托斯称,“F-35 JSF 传感器系统对空-地-海作战具有深远的影响”。

(1) 雷达

与所有雷达一样,F-35 的有源电扫描阵列(AESA)雷达(AN/APG-81)也发射和接收能量,但该雷达由多个发射和接收子模块组成,可认为这些模块是单个小型雷达,在计算机的控制下一起工作。有源电扫描阵列(AESA)雷达与第四代战斗机的雷达不同,后者采用的是机械扫描天线,必须左、右、上、下移动,而有源电扫描阵列(AESA)采用电子扫描,克服了天线运动产生的惯性,可根据需要在空间构建波束,从而在感兴趣的视场内控制这些波束完成各种雷达功能。

F-35 的 AESA 雷达可以完成各种功能,如边扫描边跟踪、单目标跟踪和空战模式。这些模式并不是新的,但可以做得更好。空战模式可以使飞行员沿头盔显示器的视线启动波束,当飞行员沿头盔视线使用雷达时,可以立即锁定目标,同时为导弹和航炮使用生成火控方案。该雷达也可以完成众多空-地功能,如地面动目标指示和地面动目标跟踪,还可以对地面进行高分辨率成像。合成孔径雷达的优势是飞行员可以得到目标瞄准图像,从而使他们能穿透云层和雨雾看清地面的情况。

在大多数时间内,融合指示雷达探测和跟踪目标,飞行员不必过多参与。融合将雷达作为其输入信息之一,并将结果显示给飞行员,并与网络中的其他 F-35 共享融合航迹。据称,该雷达的作用距离达 160 km。

(2) 分布式孔径系统

分布式孔径系统(DAS)是一种新颖而独特的传感器,它由 6 个凝视焦平面点阵构成,直接安装在飞机表面,可以探测飞机周围的整个球面环境。整个球面约 41 000 方角度,而雷达只能看到约 10 000 方角度。分布式孔径系统与雷达有交叉,当它们观察同一空间角度时,融合将把它们协同起来。一旦其中一个传感器发现目标,融合机制就安排其他传感器沿该视线观察,尝试发现有关该航迹的信息,而这一切都不需要飞行员参与。

当融合意识到 DAS 的航迹与雷达在同一角度空间时,就指示雷达沿这一视线观察,得到 DAS 所发现航迹的距离。或者,如果雷达得到了航迹,但方

向不确定,也就是说,该航迹超出了雷达的视场,融合就告诉 DAS 保持更新,为飞行员锁定该航迹,直到其再次回到雷达的视场,或者回到飞机上其他传感器的视场。

这正是机载传感器的协同,而且融合机制为飞行员完成这些工作,从而减轻座舱人员的工作负担。若让飞行员人工完成这些工作非常费时费力,而计算机用算法控制就容易多了,正因为此,才决定了 F-35 飞行员回归战术决策人员的角色。

DAS 可以完成 3 项基本功能。一是可以进行近程态势感知红外搜索与跟踪(IRST),晴天时,它可根据其他飞机的热信号特征来探测和跟踪;二是可以探测导弹的发射,这是其主要功能之一;三是为头盔显示器提供图像数据,飞行员可以查看 DAS 相机,即使在黑夜,飞行员可以直接通过飞机观察,或者查看球面的任何地方。

(3) 光电目标瞄准系统(EOTS)

在座舱显示器中,将光电目标瞄准系统称为目标瞄准前视红外(TFLIR),该术语与其他飞机上使用的类似。F-35 的 TFLIR 与“狙击手”(SNIPER)目标瞄准吊舱非常类似,可以完成“狙击手”吊舱完成的大多数功能。TFLIR 不仅可以探测空中目标,还可以探测地面目标。在对地面目标的前视红外成像可将目标放大 4 倍,得到分辨率较高的红外图像。另外,还具有激光定位和瞄准功能,引导激光制导武器打击地面目标。

TFLIR 吊舱最重要的特性是安装在飞机内部。不管是 F-16、F-15,甚至是 B-1 都采用外挂,不仅导致雷达截面积增大,而且增大了空气阻力。

(4) 电子战系统

F-35 的电子战系统具有多种功能,且通过融合以综合化方式完成。其中一些功能包括雷达告警接收机(RWR)、电子支援措施(ESM)和电子对抗措施(ECM)。在第四代战斗机上,这些功能是联合式的,而 F-35 的电子战系统具有所有这些功能,且能综合利用机载天线,包括多功能阵列,而且所有这些都是在融合控制下完成的,飞行员几乎不必参与。

当飞机飞过战场空间时,融合给电子战系统(EWS)分配的任务是构建电子战序列图像,识别发射机,确定其位置并进行分类,然后向飞行员报告探测到的战斗空间中的目标。

(5) 通信导航识别

通信、导航和识别(CNI)系统是软件定义电台。

从传统意义上讲,F-35 并没有电台。该飞机上只有一部真正的与电池相连的电台,紧急情况下才启用,除此之外,其他都是软件定义电台。

一旦计算机启动并运行其程序,CNI 系统才在软件中实际构建电台。射频(RF)波形,如 16 号数据链、多功能数据链、仪表着陆系统以及语音都由软件定义,并以软件构建,而不是固定在硬件中。这种方案具有极大的增长潜力,且可以进行更改。在软件中创建新数据链和新波形,在很多情况下,意味着不必采购和安装新硬件^[2-8]。

先进融合就是一个关键赋能器,是第五代战斗机的核心,今后的发展将是选择软件定义飞机。虽然 F-35 还不完善,但它比任一其他飞机离实现这一愿景都更近。

2.3 新颖的座舱

F-35 座舱的设计策略是“让飞行员回归战术人员的角色”,这是由于虽然 F-16、F-15、“阵风”及“台风”都是性能优良的飞机,但管理它们的传感器超出了飞行员的工作负荷。

F-35 座舱由几个关键单元构成。第一个就是 50.8 cm × 20.32 cm 的大型全景座舱显示器,可为飞行员提供战斗空间的大视图。虽然它还不如 Microsoft Windows 桌面那么灵活,但比较类似。飞行员可以改变窗口的大小、位置和内容,通过触摸屏、光标锁定或语音控制来操作该显示器。

融合处理将机上传感器的数据与机外数据链传来的所有信息进行相关和融合后,组合成非常易于理解的图像,显示在战术态势显示器(TSD)上,供飞行员查看。得到的图像尺寸为 25.4 cm × 17.78 cm。飞行员可以有多达 3 台不同的战术态势显示器,2 台同时显示。F-35 飞行员将在显示器上看到同一幅融合图像。当某架飞机构建了该图像,即可通过宽带数据链(多功能先进数据链,即 MADL 数据链)传给其他 F-35。

头盔则是全景座舱显示器的延伸,飞行员还可以从分布式孔径系统(DAS)中选择图像,也就是说,飞行员可以用头盔透过飞机观察战场空间。

目前,头盔的工作情况良好,但新技术研发面临挑战。研究团队已经制定了消除头盔中所出现问题的方法且正在实施。事实上,头盔已经得到应用,且飞行员持肯定的观点。一名飞行员曾说,“可以用头盔包完成整个任务,只查看传感器,就可以安全地驾驶飞机”。

不管 F-35 飞行员看哪个地方,头盔都是平视显示器(HUD)。飞行员可以察看上、下、左、右,甚至穿过飞机结构,并充分利用各 HUD 的好处,这是技术的重大发展,提供了非常重要的战斗能力。仅这一能力将改变飞行员如何与地面联合战术空中控制员实施近空支援的作战方式。

2.4 可管理的飞行员工作负荷

虽然 F-16、F-15、“阵风”和“台风”都是性能优良的飞机,但管理传感器超出了飞行员的工作负荷,飞行员将很多时间花在控制和调整雷达上,不能完成战术事项。因此,必须改变这一状况,让飞行员回到战术决策人员的角色,而让先进的处理器和融合做这些事情,况且 F-35 确实做得很好。发挥了计算机和飞行员各自的专长,计算机可以快速准确地完成计算功能,而飞行员可以很好地进行启发性“思考”,所以必须把时间还给飞行员。有了这一思路,希望 F-35 可为飞行员提供态势感知和可管理的工作负荷。在设计时牢记工作负荷可管理,因此,座舱、头盔、融合机制采用了协同设计。

在 15 年前开始 F-35 项目时,确定的设计目标是“低工作负荷”。但不可能在所有任务阶段都实现低工作负荷,且在充满现代空中和地面威胁的密集目标区域中,实现低工作负荷也是不现实的。因此,在后来的设计中改成“可管理的”工作负荷,这是可以实现的目标。设计时围绕增强飞行员的作战效能,克服了第四代战斗机发现的很多问题,如只依靠简单地加装新传感器和显示器,新硬件和更佳能力固然非常好,但若增大了工作负荷且造成信息过载,最终将得不偿失。例如数据链,虽然它是一种非常重要的工具,大家都想用,但如果没有完全与先进的融合体系结构综合在一起,就可能造成信息过载,会使飞行员的任务处于饱和状态,影响其生存性。

第五代战斗机实现了硬件和软件的综合,其核心目的是让飞行员成为更好的战术操作员,并重新确定飞机在联合或联盟编队中如何以新方式为空、地和海作战发挥作用,这关系到将来实现一种不同的作战概念。

F-35 通过融合机制利用协同实现能力的倍增,不会产生信息过载,实现了信息优势,为整个编队提供交互能力,从而进一步增强飞机的作战能力和生存性。

2.5 共享的信息

先进的融合机制使作战空间中相联的 F-35 通

过通用作战图像(COP)实现信息共享,亦即每架飞机都能实现协同。虽然 20 年前就通过电台实现了作战飞机间的协同,但非常少,如第四代战斗机 F-15 和 F-16,飞行员可通过电台交谈。因此,从电台转向查看通用作战图像是从传统飞机转向第五代战斗机的一个关键因素。

现在,通过网络共享通用作战图像,并给一些传感器分配任务,这就意味着与过去相比,共享信息极大地提升了作战价值。现在的协同并不依赖飞行员将多个传感器信息进行融合并相关成一幅图像,再通过口头沟通,而是由计算机构建,飞行员可自动共享图像,也就是说,所有飞行员看到的是同一幅图像,可以根据都能看到和共享的通用作战图像进行讨论。现在的核心观点是,通过管理工作负荷并提供态势感知信息获取信息优势,让飞行员回到战术决策人员的角色。完成此项工作的一个重要方面是把时间还给飞行员,这正是对战场空间进行评估并成为战术家所需要的。

除了实时应用外,通用作战图像还有其他好处。通常情况下,飞行员在进入作战空间之前,喜欢听取刚刚去过那里的人员获取的信息。过去,主要通过口述获取信息。对于 F-35 来说,刚完成任务返回的 F-35 飞行员有战斗空间的最新景象,虽然下一批 F-35 飞行员乐意与他们谈论其所遇到的情况,但更喜欢查看来自目标区的通用作战图像。在起飞前,就可将这些信息下载到飞机中,这就是说,在进行任务计划时,不必从零行为记录开始,而是从前一批飞行员的记录开始。

第四代战斗机上采用了数据链,如 16 号数据链和其他数据链,从某种程度上讲,机载预警和控制系统(AWACS)可以为 F-16 提供图像,但是,由于数据链波形是可观测的,而且没有很好地综合到传感器系统中,因而这种方法存在两方面的问题:一方面敌人有可能检测到该数据链并跟踪,最后实施打击;另一方面虽然对态势感知有贡献,但会极大地增大飞行员的工作负担。因此,第四代战斗机采用的数据链并没让其获得信息优势。这就需要保密数据链,且完全与先进的融合体系结构综合在一起。F-35 的多功能先进数据链(MADL)是先进的融合且保密数据链,是关键赋能器。

2.6 可升级的软件

F-35 项目开始时,考虑到技术将不断地发展变化,因此针对新技术应用对飞机实行升级进行了规

划。在以前的飞机设计中,有时没有为此进行规划,在既成事实后才决定需要升级新硬件和软件。由于没有针对可升级性进行规划,不仅费用高,而且时间长。

另一方面,F-35 的所有型号(即美国三军和全球 F-35 伙伴)的芯片和软件体系结构都是通用的,软件、传感器和人机界面都相同。因此,不仅可以收获通用性的效益,还实现了规模经济,而且美国三军和伙伴可同时升级,共享效益。

实际上,F-35 的软件升级永无止境。随着新代码的编写和技术更新的进行,软件将不断演变,因此,一直在按批次不断升级,每一批次都以前一批次为基础,向前兼容,而每一个批次则代表着该批次发布之时飞机最成熟的能力。

从第 2 批次以来,F-35 就具备全功能了,引入了所有数据链,包括 16 号数据链、多功能先进数据链、可变消息格式等,还包括准备使用的一些核心武器,这表示该批次飞机首次为参战做好了准备。在系统研制和演示验证(SDD)结束后,第 3 批次将包括综合在飞机中的所有附加武器,飞机具备了合同规定的所有功能,该阶段之后,紧接的将是第 4 批次。

随着技术的更新,第 2 批次和第 3 批次 F-35 与计算机相关的硬件和系统得到了更改,其代码运行得又快又好。在升级到第 3 批次时,替换了板卡和芯片,但并没有真正改动,因而不必购买新吊舱或新传感器。

所有传感器,包括雷达、光电目标瞄准系统、分布式孔径系统、CNI 等都在第 1 批次就已安装,后续批次当然已具备,只需放入一块新的图形卡、1 个新中央处理器就可使硬件和传感器都工作得更好。这就好像家用软件,一旦发现该软件受所需硬件限制运行很慢,则可通过安装新的芯片、主板、图形卡提升软件的运行速度。

3 F-35 项目给我们的启示

联合攻击战斗机(JSF)项目堪称美国国防部于 20 世纪 90 年代中期发起的最大项目计划,不管是管理上还是技术上,都有重大突破。

3.1 综合考虑隐身性能

隐身性能作为 F-35 的重要特性之一,为全面发挥其作战能力起着举足轻重的作用,因此,开始设计时就根据实际面临的威胁和经费条件进行成本和性

能的综合优化。F-35 的基本构型类似 F/A-22,具有不等边梯形主翼、水平尾翼以及外倾的双垂直尾翼。水平尾翼超出机尾向后延伸以遮蔽喷嘴,可降低雷达目标有效截面积,并采用先进的制造技术,保证隐身性能。

3.2 从一开始就为将来升级做好准备

对 F-35 项目来说,不管是硬件还是软件,开始研制时就从长远考虑,在研制过程中通过技术更新加入新的计算能力,而不是等到 5 年或 10 年以后再升级;同时,采用可升级的软件系统,通过新版本的发布体现战斗机当时所具备的成熟功能,而且还可根据作战使用不断升级完善。

3.3 进一步发挥数据融合的重要性

虽然 F-22“猛禽”战斗机已经采用了数据融合,但在 F-35 上得到了进一步完善,成为不可或缺的重要特性之一,尤其是 F-35 的航空电子系统是有史以来最先进的。数据融合将这些先进机载传感器收集的信息和通过数据链传来的机外信息进行融合,形成通用作战图像(COP),不仅可以减轻飞行员的工作负荷,而且编队内各成员通过 COP 共享信息,进一步增强了战术态势感知能力。

4 总 结

从开始只有英国参与发展到多个国家参与并采购的项目,F-35 既表现出了一些全新的技战性能特点,又是国际合作模式的尝试。

据洛克希德·马丁公司官方宣布,已向英国交付了首架 F-35“闪电Ⅱ”联合攻击战斗机,这是英国正式接收的短距起飞/垂直着陆型测试机(编号 BK-1);日本防卫省共计划采购 42 架,且于 2012 年 6 月 29 日宣布,已和美国政府签订了 2012 年度的 4 架采购合同,计划于 2017 年 3 月交付;挪威也于 2012 年 6 月 15 日宣布订购了第一架 F-35A“闪电Ⅱ”,这是挪威历史上最大的公开采购项目^[9]。

由此看来,F-35 作为美国和北约的下一代主力战斗机,同时越来越多的国家有意采购,可以想见,在未来几十年里,其踪迹将遍布世界的大部分地区,必将对我国的防空提出严峻的挑战。

参考文献:

[1] Laird R F, Timperlake E T. The F-35 and Future of Power Projection[J]. JFQ, 2012(66): 85 - 93.

- [2] Rosa R. F-35 Joint Strike Fighter Lightning II Avionics[C]//Proceedings of 2008 IQPC Military Avionics Conference. London: IQPC, 2008.
- [3] Majumda D. F-35 as ISR collector: Air Combat Command isn't so sure[J]. C4ISR, 2010, 9(10): 30-33.
- [4] Mark C. Pendergrass F-35 JSF Electronic Warfare Suite: Going Beyond Self-Protection EW Capabilities For Fifth Generation Fighters[C]//Proceedings of IQPC 9th Annual Airborne Electronic Warfare. London: IQPC, 2010.
- [5] Rosa R. F-35 Joint Strike Fighter (JSF) Mission Systems Avionics[C]//Proceedings of 2008 IQPC Military Avionics Conference. London: IQPC, 2008.
- [6] Giaquinto G, Sterk R. ICNIA-The Integrated Communications/Navigation/Identification Avionics[J]. Electronic Systems Forecast, 2011(8): 4-9.
- [7] 罗巧云, 高勇强. 美军第四代战斗机 F-35 联合攻击战斗机-最卓越的航空电子[J]. 电子科学技术评论, 2005(4): 3-8.
- [8] LUO Qiao-yun, GAO Yong-qiang. The fourth-generation fighter F-35 joint strike fighter-the most excellent avionics[J]. Review of Electronics Science and Technology, 2005(4): 3-8. (in Chinese)
- [9] APG-81: Putting It All Together[J]. Sea Power, 2011, 54(2): 46.
- [10] Berg J. Norway orders its first four F-35s[J]. Jane's Defence Weekly, 2011, 48(15): 13.

作者简介:

罗巧云(1965—), 女, 陕西户县人, 1989 年获学士学位, 现为研究员, 主要从事军事电子系统工程情报研究。

LUO Qiao-yun was born in Huxian, Shaanxi Province, in 1965. She received the B.S. degree in 1989. She is now a senior engineer of professor. She is engaged in defense scientific intelligence research.

Email: lqy_6666@126.com

《电讯技术》征稿启事

《电讯技术》(月刊)创刊于 1958 年, 由中国西南电子技术研究所主办, 系国内外公开发行的、理论与应用相结合的综合性电子专业科技刊物, 为中文核心期刊。目前, 已被英国 IEE《科学文摘(SA)》INSPEC、美国《剑桥科学文摘(CSA)》、波兰《哥白尼索引(IC)》等国外知名数据和国内多个中文数据库收录。

本刊主要刊登涉及下列应用方向和技术领域的述评、论文、新概念新技术新产品介绍:

- 电子系统工程 • 通信 • 导航 • 识别
- 飞行器测控 • 卫星应用 • 雷达 • 信息战
- 共性技术(包括天线、射频电路、信号处理、信息处理、监视与控制、时间与频率、先进制造、电磁兼容等)。

本刊栏目有: 系统总体、信号与信息处理技术、计算机、网络及其应用技术、信道技术、先进制造技术、基础技术与工程应用、仿真、测试与试验、述评与展望。

欢迎业内学者、专家及科技人员踊跃投稿。

来稿要求及注意事项:

(1) 文稿务必主题明确, 论述合理, 逻辑严谨, 数据可靠, 叙述清楚, 文字精炼。内容应保守国家机密, 并提供所在单位的保密审查证明, 引用他人作品应给出来源。

(2) 文稿一般不应超过 6 000 字, 综述稿不超过 8 000 字。稿件应附英文题名、作者名、单位名、摘要和关键词, 基金项目应注明项目编号。中文题名一般不超过 20 个汉字, 必要时可加副标题。

(3) 摘要应包括目的、方法、结果和结论四要素, 即用简洁的语言说明文章要解决的问题, 主要工作过程及所采用的技术手段和方法, 研究所获得的实验数据、结果及其意义。篇幅以 200~300 字为宜。

(4) 关键词以 3~8 个为宜。为便于文献检索, 应尽可能根据《中国图书馆分类法(第四版)》提供中图分类号。

(5) 文中涉及的物理量和计量单位应符合国家有关标准。计量单位请用 GB3100-3102-93《量和单位》规定的法定计量单位。注意区分各物理量符号的文种、大、小写、正斜体(矢量和矩阵用黑斜体)、上、下角标等。

(6) 插图和表格只给出必要的, 且应有图题和表题。插图最好采用计算机制作。照片以黑白为佳, 也可采用扫描的电子文档(精度高于 400 dpi, tif, jpg, psd 等格式均可)。

(7) 文稿中引用他人的成果, 务请写明原作者姓名、题名、来源, 一并在参考文献中给出, 并在正文中相应位置进行标示, 否则责任由来稿人自负。参考文献只择主要的, 未公开发表的文献请勿列入参考文献。书写格式请参见 GB/T 7714-2005 文后参考文献著录规则。

(8) 投稿邮箱: dxjs@china.com, 并尽量同时提供 Word 和 pdf 文档, 无需另寄打印稿。来稿请注明作者详细通信地址、联系电话和有效电子邮箱, 并注明拟投栏目。

(9) 本刊编辑部将在 3 个月之内对来稿作出取舍, 如逾期未收到处理意见或刊用通知, 作者有权对稿件另行处理。稿件一经刊用, 本刊将酌情从优支付稿酬并赠送当期样刊, 本刊支付的稿酬中已包含作者著作权使用费。请勿一稿多投, 否则后果自负。