

中国航天工程视角下的大学物理课程思政建设探索与实践

李 均¹ 钱程屹² 袁承勋¹ 李 杨³ 吴晓宏³ 田 浩¹ 张 宇¹ 霍 雷¹

(哈尔滨工业大学¹物理学院;²航天学院;³化工与化学学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要 新时代加强和改进思想政治工作需要教育工作者以立德树人为根本任务,坚持守正创新。本文立足于中国航天工程视角,在哈尔滨工业大学勇担中国航天第一校尖兵重任的背景下,以新角度设计大学物理学的课程思政,进行探索与实践。提出了中国航天工程视角下,大学物理课程思政的“三线”设计。并围绕“X+工程线”的课堂教学模式,给出气体专题、电磁波与量子力学专题的两个课程思政实践案例,为大学物理课程思政的设计引出更宽阔的道路。

关键词 大学物理学;课程思政;哈工大;中国航天

EXPLORATION AND PRACTICE OF IDEOLOGICAL AND POLITICAL CONSTRUCTION OF COLLEGE PHYSICS IN HIT FROM THE PERSPECTIVE OF CHINA'S AEROSPACE

LI Jun¹ QIAN Chengyi² YUAN Chengxun¹ LI Yang³ WU Xiaohong³
TIAN Hao¹ ZHANG Yu¹ HUO Lei¹

(¹ School of Physics; ² School of Astronautics;

³ School of Chemistry and Chemical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001)

Abstract Strengthening and improving ideological and political work in the new era requires educators to take building morality and cultivating people as the fundamental task, sticking to innovation. Based on China's aerospace, this paper designs the ideological curriculum of college physics from a new perspective under the background of the No. 1 school of China's aerospace-HIT. From the perspective of China aerospace, the ideological and political design of college physics in HIT is mainly generated from the “three lines” proposed by this paper. Centering on the teaching mode of “X + engineering line”, this paper presents two practical cases of ideological and political practice in the courses of gas, electromagnetism and quantum mechanics, which leads to a broader path for the design of ideological and political courses of college physics.

Key words college physics; ideological and political integration courses; HIT; China aerospace

收稿日期: 2022-04-12

基金项目: 2021 年高等学校教学研究项目(DWJZW202105db), 黑龙江省高等教育教学改革重点委托项目(SJGZ20200050), 黑龙江省规划课题(GJC1319024), 哈尔滨工业大学研究生教育教学改革项目(21ZD006), 哈尔滨工业大学教学发展基金项目(课程思政类, XSZ2019094)资助。

通讯作者: 李均,男,教授,主要从事大学物理教学和钙钛矿材料电磁特性研究工作,lijuna@hit.edu.cn。

引文格式: 李均,钱程屹,袁承勋,等. 中国航天工程视角下的大学物理课程思政建设探索与实践[J]. 物理与工程,2023,33(3):28-33.

Cite this article: LI J, QIAN C Y, YUAN C X, et al. Exploration and practice of ideological and political construction of college physics in hit from the perspective of China's aerospace[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(3): 28-33. (in Chinese)

高校应当在教学培养过程中落实立德树人根本任务,培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人。大学物理课程的课程思政设计与实践,通过中国航天工程视角,面向世界,以人类探索外层空间为导向,为更广阔的航空工程科技人才培养作出贡献^[1]。在新工业革命的背景下,航天是一种国家战略。大学物理课程相关联的工程、复杂大系统,是各国制造业和科技发展水平的重要标志。

目前,中国航天事业迎来了一个新的发展期,取得了北斗系统、探月工程、“祝融号”、中国空间站等一个个辉煌成就。本文针对大学物理课程思政的探索与实践,结合了赓续传承哈工大“八百壮士”的光荣传统,展示了从中国航天工程视角下实践大学物理课程思政建设的积极作用。

1 中国航天工程视角下的大学物理课程思政“三线”设计

中国航天事业的发展,依托在物理学的扎实基础上。大学物理学与中国航天工程之间的联系密切,大学物理课程思政在中国航天工程的视角下变得丰富多样。

基于该视角的大学物理课程思政设计从文化线、人物线、工程线来把握。此三条主线指导了大学物理的课程思政建设。中国航天工程视角下的这三条线是具体的、学生感兴趣、教师便于展开的课程思政建设框架。其对学生的政治意识和思想价值引领有巨大帮助,并协助提升课程认可度。与此同时,学生在大学物理的学习过程中有收获感和成就感“响应”,此举可以加强实际教学的效果^[2-3]。本文提出的中国航天工程视角下的大学物理课程思政“三线”设计如图1所示。

1.1 文化线

中国航天文化是一种亚文化。文化线的核心在于中华优秀传统文化和四史教育,需要从航天工程中的各类名称里把握。文化是航天工程的内涵。实现中华民族伟大复兴的中国梦,离不开文化自信,需要在大学物理课程的教学分析和体现中国航天文化线的魅力。

中国航天工程的各类人文元素,构成了中华

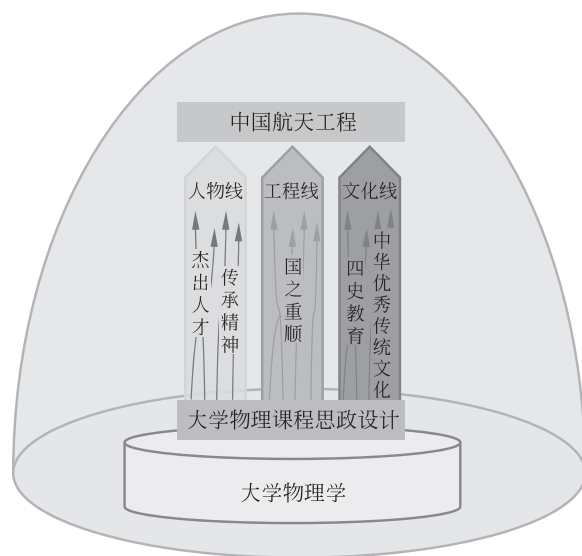


图1 中国航天工程视角下的大学物理课程思政建设“三线”设计

优秀传统文化所组成的文化线,是把握中国航天视角的重要线索。例如任务的选题和命名,生动直观地展现了各项任务的目的,巧妙地融入中华优秀传统文化,是大学物理课程思想政治建设的素材库。另一方面是结合“四史教育”对大学物理进行思政建设的文化线设计。例如:“长征”一词背后的中华民族脊梁、民族文化,指引着中国的火箭事业——如同红军长征一样,克服一切的困难险阻最终到达胜利的彼岸。

1.2 人物线

大学物理学结合中国航天领域的杰出人才,以人物线构成了物理课程思政的模范引领模块。大学物理的课程思政设计充分利用了人物线起到的示范作用,即人物线的核心是杰出人才的榜样作用。

人物线可供选择的素材丰富。与课程本身的衔接之外,传承哈工大精神的接力是大学物理课程思政建设的重点。其原因在于杰出人才富含教育意义的经历,为“中国培养自己的杰出人才”起到了示范。利用校园沉浸式课堂回顾这些经历,营造身临其境的氛围,从思想上构建了思政平台,并与教学共振。人物线通过和身边学习环境的虚实联系,用贯穿历史的层次为课程的学习和思想政治教育提供支撑。该线融合学校的优秀文化传统,从逻辑上解释清楚为什么要做中国航天第一

校“尖兵”，怎样成为中国航天第一校，如何积极投身航天事业和未来的职业选择等，并以此激励大学物理学课程的学习。

1.3 工程线

中国航天的工程线是一条和大学物理知识点结合紧密的线。工程线的核心在于通过政治引领、文化引领把握中国航天工程在大学物理课程知识中的落脚点，用中国航天工程视角将大学物理课程思政穿插在课堂上，形成贯穿“大工程”的系统思维、落实到点的“小基础”大学物理知识点，为工程线的模块化课程设计和课程思政设计提供崭新的思路和充分的资源，如图2所示，可以通过切片的形式表示工程线的核心内容，围绕中国航天工程建设中国航天视角下的大学物理课程思政专题素材。

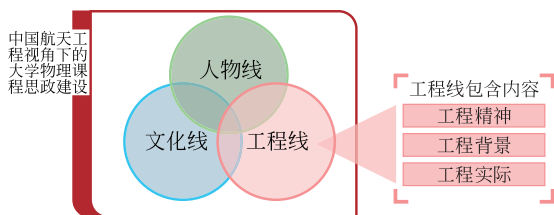


图2 中国航天工程视角下的大学物理课程思政建设模式切片(工程线)

中国航天工程视角下大学物理课程思政建设的工程线主要考虑了三个问题：(1)政治和价值引领。课程中巧妙运用联想的手段，以点明知识背景框架下的中国航天精神对课程学习的启示。(2)以文化人和以文育人。让学生了解中国航天工程中的文化美学和人类命运共同体理念。让中国航天工程的主线立意更进一步，内涵更深刻，并且从历史的立体角度，触碰到航天工程的实际意义和现实作用。(3)思政设计与教学共振，构建教学大纲和思政大纲，扩大工程线魅力。工程线突出的特点是把每一个庞大、复杂的工程进行细化拆分。这种化整为零的思政设计方式，体现在精神价值、工程文化层面，突显在和课程本身的有机结合上。

大学物理在通过分析自然界存在的现象得出物理规律，这种教学内容的丰富性与思政教育融入生活一致^[4]。结合“三线”的难点和关键点，引入教学内容，用大学物理学的知识解释和分析中国航天，在大学物理课堂中渗透中国航天情怀，

既加深了学生对于知识点的印象，也实现了中国航天视角下的课程思政建设。

2 中国航天工程视角下的大学物理课程思政“X+工程线”课堂模式实践

立足于中国航天的视角建设的大学物理课程思政内容，往往以系统、专题的形式出现在实践中。中国航天视角下的课程思政内容，和学校成体系的教学模式相结合，以发挥课程思政和课堂教学的最大合力。在实际的课堂教学、课程思政设计的过程中，需要平衡课程知识点的分布以及思政元素的最佳关注实效，使用“X+工程线”模式的实践探索是课堂效果、课程思政教育更佳的途径。本文对“人物+工程线”模式和“文化+工程线”模式，给出两例实践案例。其中工程线与知识点有机结合，是课程思政的重要结合点。

2.1 “人物+工程线”模式——火箭发动机原理(气体专题)

火箭发动机是一种理想的星际航行发动机，不仅可以在大气层中工作，在不存在空气的外太空同样也可以工作。本身携带的燃料和氧化剂在火箭燃烧室中产生高温、高压的气体，利用反作用原理，让气体高速喷出从而推动火箭。火箭发动机具有一个特点，其推力的大小和周围的介质有关。

1) 人物线引入

随着冷战的结束，世界航天发展进入新的阶段，中国逐渐加入世界航天舞台。与此同时，各航天大国追求提高进入空间的能力与效率、降低航天发射成本、提升国际话语权和市场竞争力^[5]。航空动力是表征国家科技创新实力的重要方面、也是创新驱动发展的关键环节，因而加快航空动力领域技术发展史提升国家整体工业基础及能力的重要途径^[6]。

中国第一台液体火箭发动机总设计师，是祖籍湖北襄阳的航天技术与液体火箭发动机技术专家，中国导弹与航天技术的重要开拓者之一的——任新民院士。任新民领导和参加了第一个自行设计的液体中近程弹道式地地导弹液体火箭发动机的研制，领导组织了中程、中远程、远程液体弹道式地地导弹液体火箭发动机的研制、试验。1948年，33岁的任新民就成为了美国布法罗大学

成立 102 年以来的第一位中国讲师。他从事的科研工作和生活待遇非常优越,前途一片光明。但是,当听闻祖国急需大量科学人才时,毅然选择放弃了这一切,重重阻碍收拾行李准备回国。面对同事的质疑,他曾说:“个人前途在祖国面前,不值一提,你们永远都不会理解我的追求!”回到祖国后,他开始了轰轰烈烈的建设工作,成为“两弹一星”元勋,并荣获“中国航天事业五十年最高荣誉奖”。

近年来,经过科研人员的不懈努力,我国独立自主地研制了几十种不同型号的“长征”系列运载火箭,具备发射近地轨道、太阳同步轨道、地球同步转移轨道等多种轨道有效载荷的运载能力。在深空探测领域,嫦娥三号实现月面软着陆和月面巡视探测,嫦娥四号实现首次着陆与月球背面并勘察,嫦娥五号飞行试验器突破月地高速再入返回技术,让我国的载人航天工程迈入了空间站时代^[9]。

2) 工程线展开

将火箭燃烧室中的气流看作是定常的一维流动,燃烧室或喷管的任一截面各点的流速相等,都沿着喷管轴向流动。发动机的推力,就是作用在燃烧室和喷管内壁的轴向合力。取发动机(各部分内部)的内壁面,无物质流出这个内壁面,作用在这个内壁面上的压力为 p ,内壁选取面积微元 dA_i ,作用在面积微元上的力为 $p dA_i$ 。由于发动机轴对称,推力的方向必然沿着轴向(不考虑安装误差等因素),计算轴向上的力。垂直于面积微元的法向(从内壁向外)和轴向夹角为 α ,则轴向分力大小为 $p dA_i \cos \alpha$,整个内壁的轴向力就可以表示成

$$F_{\text{轴向}} = \int_A p \cos \alpha dA_i \quad (1)$$

所以内壁作用在推进剂和燃气上的力由牛顿第三定律得到为

$$F'_{\text{轴向反}} = - \int_A p \cos \alpha dA_i \quad (2)$$

目前内壁面开放,为了计算喷气动量,选择喷管出口截面将发动机内壁组合成一个封闭体。设喷管出口面上的压力为 p_e ,喷管出口截面面积为 A_e ,作用在包围气体上的轴向力就是 $p_e A_e$,对于整个发动机封闭面,作用在推进剂和燃气上的轴向合力大小为

$$F = - \int_A p \cos \alpha dA_i + p_e A_e \quad (3)$$

由大学物理中的动量定理(牛顿第二定律 $\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt}$)可以得到,作用在气体上的力等于每秒钟气体得到的动量,即

$$- \int_A p \cos \alpha dA_i + p_e A_e = \dot{m}(-u) \quad (4)$$

其中, $\dot{m}$ 表示每秒的气体流质量,喷口喷出的燃气速度大小为 u ,方向与选择的轴向方向相反。移项得到

$$p_e A_e + \dot{m}u = \int_A p \cos \alpha dA_i \quad (5)$$

在发动机停车的时候作用在发动机内壁上的压力为大气静压 p_a ,这时自然推力为零。推力 T 实质就是 $p - p_a$ 作用在内壁上的轴向合力大小。所以有

$$T = \int_A p \cos \alpha dA_i - p_a A_e = \dot{m}u + (p_e - p_a) A_e \quad (6)$$

其中,第一项为动推力,第二项为静推力。但是这个推力公式并没有解决发动机设计过程中的计算问题,没有考虑喷管的几何尺寸、燃烧室压力、燃气的气体性质等,不能和推力直接关联,因为没有考虑燃烧室和喷管中的气体运动。

通过热力学第一定律 $dQ = dE + p dV$,对相距 Δx 的截面之间的流动进行分析,可以得到

$$\dot{m} du = -A dp \quad (7)$$

由 $\dot{m} = \rho A u$,单位容积的质量为 $\frac{1}{V}$,有

$$u du = - \frac{1}{\rho} dp = -V dp \quad (8)$$

称 $H = E + pV$ 为焓,假设气体流速很快,与喷管内壁没有热交换,是绝热流动过程,有 $dQ = 0$,则

$$dH + d\left(\frac{1}{2}u^2\right) = 0 \quad (9)$$

其物理意义是:每一个气体截面有气体动能与焓之和不变。

在此基础上,通过对理想气体计算,利用理想气体物态方程,设燃烧室燃烧结束后的燃气速度为 u_c ,焓为 H_c ,温度为 T_c ,喷管出口的燃气速度为 u_e ,焓为 H_e ,将不计摩擦效果的理想绝热过程看成等熵过程,可以推导出理想喷管喷出速度的计算表达式为

$$u_e = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \cdot R \cdot T_c} \sqrt{1 - \left(\frac{p_e}{p_c}\right)^{\frac{k-1}{k}}} \quad (10)$$

其中, R 为气体普适常数, 绝热指数为 $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ 。

3) 课程复现与工程线总结

近年, 我国通过研制创新突破关键技术, 成功研制出首台大推力、高性能、地面起动、能够实现直接入轨的拥有完全自主知识产权的新一代火箭氢氧发动机 YF-77。其综合性能达到国际先进水平, 为长征五号和长征五号 B 运载火箭提供了强大的动力, 支撑月球探测工程、火星探测工程、载人航天工程等航天工程的顺利实施。系列化、型谱化的氢氧发动机和液氧/甲烷发动机将成为我国航天强国建设的中坚力量。

2.2 “文化+工程线”模式——电磁波与量子力学专题(祝融号火星车)

在无际的太空中, 充满着各种频率和强度的电磁波, 这些无规则的电磁波形成噪声, 干扰地球和火星探测器之间的通讯工作。通信距离越远、内容越复杂, 对应通信设备的要求越高, 设备也就越笨重, 对飞船尺寸提出高要求。而且除无线电通讯的天线和电子设备, 电源更是一个重要的问题。目前常用的电源是化学能电源和太阳能电源, 也有希望能够使用核裂变能。这之中涉及通信系统有效功率的问题。

1) 文化线引入

世界正在发生一场百年未有之大变局, 航空航天领域近期能够作为战略布局的项目一定有火星探测。2020 年, 阿联酋“希望号”火星探测器、中国“天问一号”火星探测器、美国“毅力号”火星车先后成功发射, 标志着现代人类火星探测的密集高峰。天问一号探测器实施近火捕获制动, 顺利进入近火点高度约 400 千米, 环绕火星获得成功^[7]。

美国索杰纳号、机遇号和勇气号、好奇号、毅力号、火星探测轨道器和火星奥德赛轨道器两颗火星中继轨道卫星, 展现了美国在火星探测领域称霸的雄心。相较于国外火星探测任务, 我国火星探测任务对火星车重量限制更加严酷^[8]。

2) 工程线展开

在任务过程之中, 地火之间的远距离会导致

测控链路超大时延以及较低的直接通信带宽, 非全时域非实时中继通信具有中继存储转发和有限中继通信弧段的特点。

设接收机从天线接收到的功率是 P_R , 接收信号转化效率为 η_R , 发送信号效率为 P_T , 发射电磁波信号转换效率为 η_T 。可以得到信号发送有效功率为 $P_T \eta_T$, 天线接收有效功率 $\frac{P_R}{\eta_R}$ 。发射设备到接收设备距离 L , 电磁波的波长为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (11)$$

其中, c 为光速, f 为电磁波频率。发送天线的面积为 A_T , 接收天线的面积为 A_R , 按照电磁波理论, 接收天线功率与发射天线功率之比为

$$\frac{P_R}{\eta_R \eta_T P_T} = \frac{A_R A_T}{\lambda^2 L^2} \quad (12)$$

即接收功率与发射功率之比为

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{\eta_R \eta_T A_R A_T}{\lambda^2 L^2} \quad (13)$$

有方向性的天线效果会比不定向天线的效果好, 而且发射波束的宽度 θ (Rad) 越窄, 功率越集中, 收到的信号会更强。如果天线的直径为 D , 应用天线理论可以得到

$$\theta \propto \frac{1}{\sqrt{\eta_R}} \frac{\lambda}{D} \quad (14)$$

当 $\frac{\lambda}{D}$ 很小的时候, 能量越集中。由此还可以得到

天线的增益效果与 $\frac{D^2}{\lambda^2}$ 成正比, 天线的面积与质量

W_T 呈反比, 所以天线的增益会与 $\frac{W_T}{\lambda^2}$ 成正比。

不过在传播过程中, 广播、热辐射、无线电波作为不同频率和强度的电磁波不具有单一的频率, 存在白噪声。如果接收天线朝向温度为 T 的黑体, 在 B 赫兹带宽中的噪声能量是 $N = kTB$, k 是玻尔兹曼常量。黑体温度指如果天线的波束角 θ 正对一个物体, 包括的范围正好是物体的大小, 物体温度为 T_b , 这时的噪声温度 $T = T_b$ 。一般情况下, 这个有效温度会随电磁波的频率变化。当天线看到目标直径为 d , 天线到目标的距离为 L , 目标有效温度为 T_b , 从目标外边缘到波束角 θ 所看到的范围的环形面积内没有噪声, 则天线看到范围内的有效黑体温度为

$$T = T_b \left(\frac{d}{\theta L} \right)^2 \quad (15)$$

实际情况的噪声情况远比这复杂,因为天线不管对准任何方向都具有背景噪声,而且宇宙噪声源分布不均匀。

3) 课程复现与工程线总结

由此可见,火星探测任务具有自己的任务特点、技术难点和设计约束。首次火星探测任务的工程圆满成功和“祝融”号火星车(图3)长期在轨测控离不开大学物理理论的技术基础。目前我们对研究太阳系的起源与演化、地外生命信息探寻、小天体和太阳活动对地球的影响等空间科学重大问题上,除了建设火星科研站,对其他行星探测等也在攻坚克难。中国航天起步较晚,却依然能展现出不可小觑的力量,从月球到火星的每一步都是实现中华民族伟大复兴的中国梦的巨大跨越。

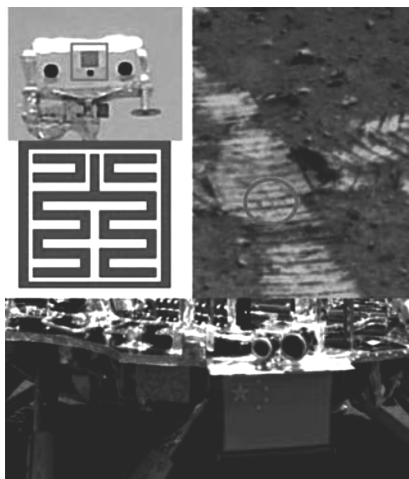


图3 祝融号火星车“火”、车辙“中”和着陆平台冬奥会吉祥物图片

3 结语

本文提出了中国航天工程视角下的大学物理课程思政“三线”设计的课程思政探索思路和实践方法。思政实践案例从气体专题、电磁波与量子力学专题两个专题出发,在课程教学的实际过程中,采用“X+工程线”课堂模式,将三线的资源与课程教学内容优化分配,进行合理整合,让每一堂课的模式有区分度,每一堂课程思政都具有独立特点。利用文化线、人物线、工程线三条主线的起伏,在大学物理课程丰富的科学知识内容上,交织成课程思想政治建设的框架。

相较于传统的思政课程建设,大学物理课程思政建设有其本身的自然科学特点。在充分把握大学物理学课程的特点的基础上,更换学习视角,引入了争做中国航天第一校的学校氛围,从中国航天的视角出发,拓展了大学物理课程思政的设计面,在意识形态领域获得更多抓手,严格遵循新时代加强和改进思想政治工作的方针原则,把守正创新放在重要位置。综上所述,中国航天视角下哈工大学物理课程思政建设探索与实践,为大学物理课程思政的设计引出更宽阔的道路。

参 考 文 献

- [1] 朱毅麟. 航天软实力、国际化与航天强国的概念[J]. 航天器工程, 2013, 2(2): 7-8.
ZHU Y L. Space soft strength, internationalization and leading power[J]. Spacecraft Engineering, 2013, 2(2): 7-8. (in Chinese)
- [2] 李海宝, 任常愚, 金永君, 等. 课堂教学中物理工程素材的开发与融入[J]. 物理与工程, 2011, 21(4): 61-64.
LI H B, REN C Y, JING Y J, et al. Development and integration of physics engineering materials in classroom teaching[J]. Physics and Engineering, 2011, 21(4): 61-64. (in Chinese)
- [3] 朱焯炜, 解希顺. 结合工程应用讲授大学物理模式的探讨[J]. 物理与工程, 2006, 16(4): 47-48.
ZHU Z W, XIE X S. Discussion on teaching college physics model combined with engineering application[J]. Physics and Engineering, 2006, 16(4): 47-48. (in Chinese)
- [4] 刘作业, 丁晶洁, 王集锦, 等. 中国科技前沿元素在大学普通物理教学中的渗透[J]. 物理与工程, 2021, 31(3): 73-77.
LIU Z Y, DING J J, WANG J J, et al. Application of latest scientific and technological frontier elements of China in the teaching of college general physics[J]. Physics and Engineering, 2021, 31(3): 73-77. (in Chinese)
- [5] “中国工程科技 2035 发展战略研究”项目组. 中国工程科技 2035 发展战略: 机械与运载领域报告[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [6] 颜瑾钊, 李明. 2020 年军用航空动力发展综述[J]. 航空动力, 2021(2): 16-19.
YAN J Z, LI M. Development review of military aero engine in 2020[J]. Aerospace Power, 2020(2): 16-19. (in Chinese)
- [7] 孙泽洲, 陈百超, 贾阳, 等. 天问一号火星探测技术[J]. 中国科学: 技术科学, 2022, 52(2): 214-225.
SUN Z Z, CHEN B C, JIA Y, et al. The Tianwen-1 roving exploration technology for the Martian surface[J]. Sci Sin Tech, 2022, 52(2): 214-225. (in Chinese)
- [8] 张荣桥. 中国首次火星探测工程[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2021. 143-145.