DOI:10.3724/zrht.1674-5825.2025077

基于任务场景的运载火箭体系贡献率评估及应用

谷建光[1], 谭云涛[1], 苏剑彬[1], 徐 侃[1], 梁 杰[2], 朱雄峰[1], 崔 朋[1]
(1.北京跟踪与通信技术研究所,北京 100028;2.中国航天系统科学与工程研究院,北京 100048)

摘 要:针对航天发射任务为单一装备、单一任务运用场景特点,提出了基于任务场景的运载火箭体系贡献率评估方法,完成算法和软件实现,通过算例验证了方法的正确性和有效性。首先,从运载火箭和航天任务特点出发,进行航天任务和火箭能力分解,构建“任务—能力”映射矩阵;其次,在此基础上建立运载火箭体系贡献率评估链路;最后,设计基于任务场景的运载火箭体系贡献率评估算法,开发了运载火箭体系贡献率评估软件。应用实例表明:计算数据和评估结果与现实情况相一致,验证了方法的准确性和有效性,并取得了很好的应用效果。

关键词:运载火箭;航天任务场景;体系贡献率;能力效能
中图分类号:V475.1 **文献标识码**:A **文章编号**:1674-5825(2026)01-0104-08

Task-scenario-based Assessment and Application of the Contribution Rate of Launch Vehicle Systems

GU Jianguang[1], TAN Yuntao[1], SU Jianbin[1], XU Kan[1], LIANG Jie[2], ZHU Xiongfeng[1], CUI Peng[1]
(1.Institute of Tracking and Communication Technology, Beijing 100028, China;
2. China Aerospace Academy of System Science and Engineering, Beijing 100048, China)

Abstract: In response to the characteristics of single-equipment and single-mission in space launch tasks, a task-scenario-based assessment method for the contribution rate of launch vehicle systems is proposed. The algorithm and software are implemented, and the correctness and effectiveness of the method are verified through computational examples. Firstly, starting from the characteristics of launch vehicles and space missions, the space mission and rocket capabilities are decomposed to construct a ″mission-capability″ mapping matrix; Secondly, based on this, an assessment chain for the contribution rate of the launch vehicle system is established; Finally, a mission-scenario-based assessment algorithm for the contribution rate of the launch vehicle system is designed, and an assessment software for the contribution rate of the launch vehicle system is developed. Application examples show that the calculated data and assessment results are consistent with the actual situation, verifying the accuracy and effectiveness of the method, and achieving good application results.

Key words: launch vehicle; space launch tasks scenarios; system contribution rate; capability effectiveness

1 引言

体系贡献率用来衡量武器装备对作战体系完成作战任务所发挥的贡献程度,运载火箭体系贡献率评估,需要充分考虑使命任务、火箭装备特点和评估

收稿日期:2025-06-09; 修回日期:2025-11-24
基金项目:装备预研项目(305010509)
第一作者:谷建光, 男, 博士, 副研究员, 研究方向为飞行器设计、空间运输装备与发射场总体。E-mail:gyyandgjx@126.com
引用格式:谷建光,谭云涛,苏剑彬,等. 基于任务场景的运载火箭体系贡献率评估及应用[J]. 载人航天,2026,32(1):104-111. Gu J G,Tan Y T,Su J B,et al. Task-scenario-based assessment and application of the contribution rate of launch vehicle systems[J]. Manned Spaceflight,2026,32(1):104-111.

用途等因素，开展针对性研究[1,2]。

近年来，体系贡献率成为武器装备领域的热点问题，其对实现装备建设整体效益最大化至关重要。目前，体系贡献率概念尚未统一，方法和应用处于发展阶段[3]。评估方法研究主要集中在体系结构、体系能力和体系效能3个方向，基于体系结构的评估主要关注单个装备对体系的影响程度，包括作战环[4]、结构方程模型[5]等；基于体系能力的评估关注装备引入对体系能力的提升程度，包括灰靶理论[6]、证据推理[7]、理想点法[8]等；基于体系效能的评估关注于对体系整体特征属性的影响分析，包括影响图法[9]、探索性分析法[10,11]等。应用中，需要结合实际建立适合的评估框架[12,13]。

当前，无毒无污染新一代运载火箭等航天运输装备正处于重要发展时期，需要从型谱发展[14]角度考虑火箭研制对航天任务的覆盖性、任务的满足程度和任务能力的替代性等因素。即希望同型火箭能满足多种有效载荷质量和轨道要求，以用于多种航天发射任务；同时希望以尽可能少的火箭类型，满足航天任务的能力要求。紧贴航天运输系统使命任务和装备特征，梳理中国运载火箭装备体系，建立涵盖能力、效能和贡献率等量化指标的评判体系，对指导发展决策，确保正确发展路线具有重要意义。

2　航天任务分解及任务—能力映射

航天发射任务作战场景为某型号运载火箭单一装备承担的单一性任务，没有多种装备联合作战体系的概念。依据基于体系能力的评估思想，运载火箭体系贡献率可理解为被评装备对整个任务体系和任务能力提升的量化贡献程度，任务场景按不同需求可设定为一次、一类或全部独立的航天发射任务。面向任务场景的运载火箭体系贡献率评估思路为：从航天任务实现角度出发，将任务分解映射到火箭各项子能力，将子能力逐级向下映射延伸直到产品固有的功能属性指标，再将功能属性指标值向上逐级聚合为火箭的任务能力值，作为开展能力效能评估和体系贡献率评估的输入和依据。

2.1　航天任务场景分解

航天发射任务场景在明确发射轨道类型和有效载荷质量要求基础上，涵盖火箭从进场到完成有效载荷入轨的整个任务过程。期间除了技术区测试、运输转场、发射区测试和发射等主要工作环节外，还涉及任务准备和发射任务前的产品储存等工作。运载火箭的航天发射任务场景分解及层次关系如图1所示。

2.2　火箭能力分解

对应航天任务场景两个方面，为满足航天任务

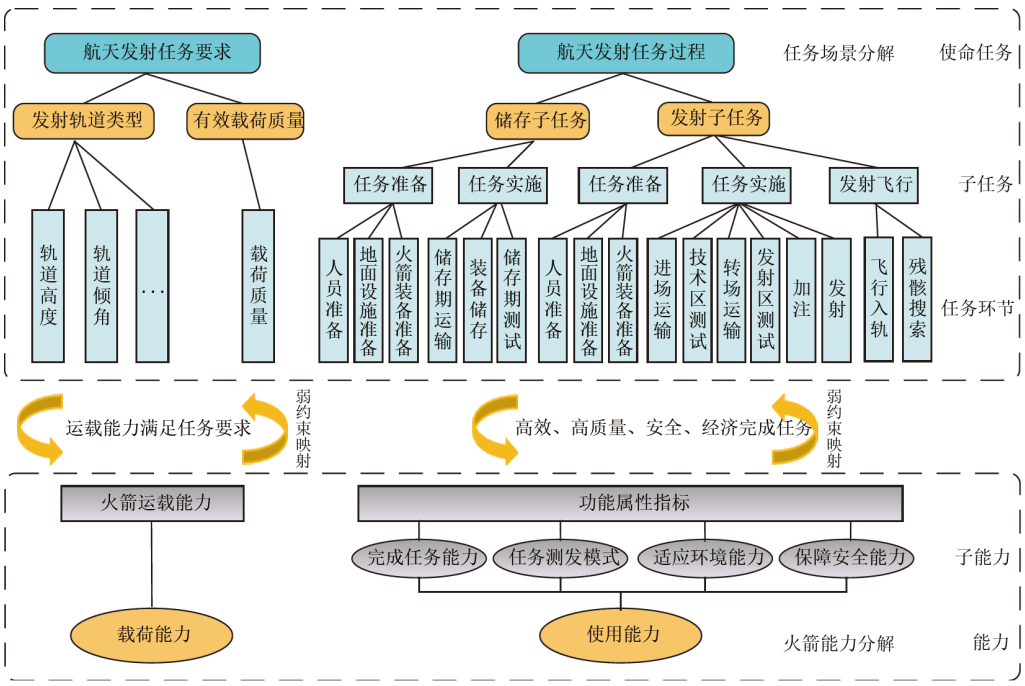


图 1　航天发射任务场景-运载火箭能力映射关系

Fig. 1　Mapping relationship between space launch mission scenarios and launch vehicle capabilities

要求，火箭任务能力对应划分为载荷能力和使用能力两部分。以运载火箭可以将有效载荷送入预定轨道为根本目标，火箭载荷能力体现为轨道高度、倾角等轨道根数约束条件下的火箭运载能力，其值必须满足有效载荷质量要求。载荷能力与任务要求间为强约束映射关系，为任务成功所必须具备的能力。

运载火箭使用能力为火箭使用过程中表现出的满足使用要求的能力。使用能力与航天任务过程间为弱约束映射关系，能力越强对完成好任务贡献越大。以高效、高质量、安全、经济完成航天任务为目标，运载火箭使用能力体现在4个方面：

1)完成任务能力。从火箭自身量能和完成任务所需时间，宏观衡量火箭任务能力，包括火箭年产量、一次航天任务周期等。

2)任务测发模式。从任务过程中火箭工作工序复杂程度，衡量完成每一任务环节的能力，诸如转运和测试状态、发射方式等。

3)适应环境能力。从任务过程中火箭适应发射场等外界环境条件，衡量其任务能力，诸如发射环境适应性、储存环境适应性、人力物力保障适应性等。

4)保障安全能力。从任务过程中火箭对发射场等外界环境造成影响程度大小，衡量其任务能力，诸如测试发射安全性、飞行过程安全性等。

2.3 火箭“任务–能力”映射矩阵构建

火箭使用能力是高效高质开展航天任务的根本。将各子能力逐级向下映射延伸至火箭产品固有的功能属性指标，这些功能属性指标数量众多，体现在航天任务中的方方面面，火箭在每个任务环节的工作质量取决于与该环节相关的那部分功能属性的高低优劣。

从任务准备出发，对每个任务环节逐一梳理出相关功能属性，建立“任务–能力”映射矩阵，清晰反映任务场景所需的火箭能力支撑。其中，火箭发射子任务中的任务实施和发射飞行2个子任务，与任务测发模式子能力的映射矩阵如表1所示，得到相关的火箭功能属性指标共7项。通过“任务–能力”映射矩阵构建，得到整个航天任务相关功能属性指标共4类18种39项，如表2所示。

将功能属性指标取值按照能力满足度函数处理为0~1间无量纲数。其中，对于飞行可靠度[15]和元器件国产化率直接取真实值；体现工序复杂程度、非量化的功能属性，采用专家打分方式赋值；对于取值非0~1间的量化功能属性指标y，按照其特性，能力满足度函数分为趋大型和趋小型两类，对应如式(1)和(2)所示。

$$a=\begin{cases}0 & 0\leqslant y\leqslant y_{\min}\\ (y-y_{\min})/(y_{\max}-y_{\min}) & y_{\min}<y\leqslant y_{\max}\\ 1 & y>y_{\max}\end{cases} \tag{1}$$

$$a=\begin{cases}1 & 0\leqslant y\leqslant y_{\min}\\ (y_{\max}-y)/(y_{\max}-y_{\min}) & y_{\min}<y\leqslant y_{\max}\\ 0 & y>y_{\max}\end{cases} \tag{2}$$

其中，a为能力满足度值；$y_{\max}$和$y_{\min}$分别为属性y取值的最大值和最小值。

3 运载火箭贡献率评估链路设计

依据“任务场景–火箭能力”映射结果，建立基于任务场景的运载火箭体系贡献率评估链路，如图2所示。

从火箭运载能力和产品功能属性指标出发，向上逐级聚合，并建立能力效能计算模型和体系贡献率计算模型，得出火箭装备能力结果和体系贡献率评估结果。其中，与任务场景呈弱约束关系的使用能力中39个功能属性按求和聚合方法计算能力满足度；呈强约束关系的运载能力为火箭完成任务所必须具备的能力，按求积聚合方法计算能力满足度值。

表 1 “发射任务实施和飞行–任务测发模式”映射关系矩阵

Table 1 Mapping matrix of "launch task implementation and flight-rocket test and launch mode"

功能属性指标名称	发射子任务中任务实施和发射飞行							
	进场运输转载	技术区测试	转场运输	发射区测试	加注	发射	飞行入轨	残骸搜索
转运、对接、测试工序	√	√	√	√	—	—	—	—
箭地连接方式(包括基础级、二级以上)	—	√	—	√	—	√	—	—
瞄准方式	—	—	—	√	—	√	—	—
推进剂加注方式	—	—	—	—	√	—	—	—
垂直度调整方式	—	—	—	√	—	—	—	—
发射方式	—	—	—	—	—	√	—	—
喷水降噪工序	—	—	—	—	—	√	—	—

表 2　运载火箭的航天任务相关功能属性指标体系

Table 2　System of functional attribute indicators related to space missions for launch vehicles

序号	子能力	功能属性	指标名称	功能属性指标类型
1	完成任务能力	火箭量能	火箭年产量	趋大型
2		任务周期	测发周期	趋小型
3			火箭总装时间	趋小型
4			火箭技术准备时间	趋小型
5			火箭发射准备时间	趋小型
6	任务测发模式	转运、对接、测试工序	转运、对接、测试工序复杂程度	专家打分
7		箭地连接方式	基础级箭地连接点数量	趋小型
8			二级以上箭地连接点数量	趋小型
9			连接器连接工序复杂程度	专家打分
10		瞄准方式	瞄准方式复杂程度	专家打分
11		推进剂加注方式	加注时间	趋小型
12			加注后允许推迟时间	趋大型
13		垂直度调整方式	垂直度调整复杂程度	专家打分
14		发射方式	发射方式复杂程度	专家打分
15		喷水降噪工序	喷水降噪工序复杂程度	专家打分
16	适应环境能力	发射环境适应性	允许的高空风	趋大型
17			允许的地面瞬时最大风速	趋大型
18			允许的降雨	趋小型
19			允许的降雪	趋小型
20		测试存储环境适应性	存储年限	趋大型
21			存储期间维护保养复杂程度	专家打分
22		运输适应性	运输方式复杂程度	专家打分
23		任务人力物力保障适应性	任务期间需要的人天数	趋小型
24			厂房设施占用规模	趋小型
25			地面设备占用规模	趋小型
26			消耗品规模	趋小型
27			人力资源费用	趋小型
28		储存人力物力保障适应性	储存期间测试需要的人天数	趋小型
29			储存测试厂房设施占用规模	趋小型
30			储存测试地面设备占用规模	趋小型
31			储存测试消耗品规模	趋小型
32			储存测试人力资源费用	趋小型
33			储存区系统费用	趋小型
34	保障安全能力	测试发射安全性	危险等级	专家打分
35			发射危险区半径	趋小型
36		飞行过程安全性	飞行可靠度	0~1小数
37			子级落区控制范围	趋小型
38		自主可控性	元器件国产化率	0~1小数
39		环保性	环境污染系数	专家打分

4　运载火箭体系贡献率算法设计

4.1　运载火箭载荷能力满足度计算

航天任务是指将一定质量的有效载荷送入预定轨道，常见轨道有近地球轨道(Low Earth Orbit，LEO)、太阳同步轨道(Sun Synchronous Orbit，SSO)和地球同步转移轨道(Geostationary Transfer Orbit，GTO)等。航天任务按照轨道类型和有效载荷质量进行分类划分，有效载荷质量m按照载荷现实分布情况聚类划分为质量相对集中的区域$[m_{i-1},m_i]$等，每个区域代表一种航天任务场景，对应任务场景取值可为该任务场景数量、该任务场景下的火箭运载能力2种，任务场景值取火箭运载能力时表征形式如表3所示。

文中涉及数值均做无量纲处理，例如对于数值m，给定参考值m^0，m取值按$\tilde{m}=\frac{m}{m^0}$进行处理。

表3中c为某运载火箭在对应任务场景下的载荷能力满足度无量纲数，定义其模型表达式如式(3)。

$$c=\text{运载能力覆盖程度}\times\frac{\text{运载能力}}{\text{火箭成本}} \tag{3}$$

轨道类型x下各任务场景的载荷能力具体计算模型如式(4)。

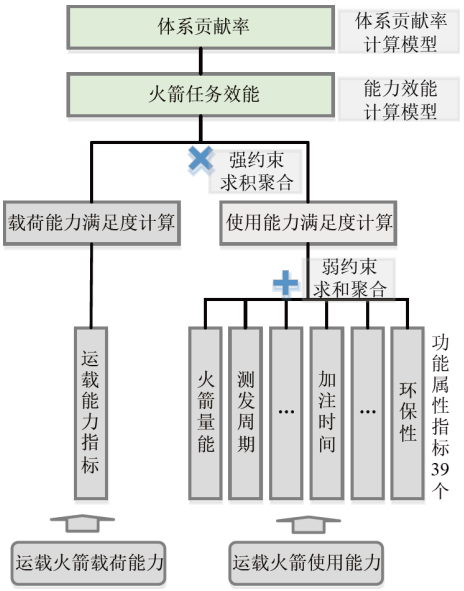


图 2 运载火箭体系贡献率评估链路

Fig. 2 Assessment chain for contribution rate of launch

$$\begin{cases} c_{x,i}=0 & m<m_{x,i-1} \\ c_{x,i}=\dfrac{m-m_{x,i-1}}{m_{x,i}-m_{x,i-1}}\cdot\dfrac{m}{p} & m_{x,i-1}\leqslant m\leqslant m_{x,i} \\ c_{x,i}=1\cdot\dfrac{m_{x,i}}{p} & m_{x,i}<m \end{cases} \tag{4}$$

其中，m为火箭在x发射轨道运载能力，p为火箭研制采购费用，m、p做无量纲处理。

运载能力覆盖程度体现火箭运载能力满足航天任务有效载荷质量要求的程度，按趋大型满足度函数处理。m/p表示火箭单位成本所能达到的运载能力，代表火箭发展能力水平。式(4)中当$m_{x,i}<m$表示火箭相对该航天任务具有运载能力余量，此时满足度模型体现出火箭体量越大价格越高，则运载能力浪费越大，满足度结果呈反比下降。

4.2 运载火箭使用能力满足度计算

研制火箭使用能力满足度采用传统的加权求和聚合模型，如式(5)所示。

$$S_u^R=S_1^R\cdot w_1+S_2^R\cdot w_2+\cdots+S_i^R\cdot w_i\quad(i=1,\ldots,39) \tag{5}$$

其中，功能属性i对应表2所示其指标类型，其能力满足度S_i^R按照趋大型\趋小型能力满足度函数(式(1)，(2))计算，或专家打分得出；属性重要性权值w_i在0~1之间取值，依据运载火箭领域专家经验获取。

4.3 面向任务场景的体系贡献率计算

火箭R对航天发射任务k的效能S_k^R为对任务k的载荷能力和自身使用能力的综合，采用求积聚合模型，如式(6)所示。

$$S_k^R=c_{m,n}\cdot Su^R \tag{6}$$

发射任务k为表3中某个任务场景，$c_{m,n}$(下标m=x，y，…，z；n=1，…，i+1；)为对应的任务场景取值，也即火箭R对发射任务k的运载能力值。

假设现在有n(k=1，…，n)个航天任务场景，完成任务的火箭装备体系为$\boldsymbol{Q}[R_1,\ldots,R_m]$包含$m$个火箭，按照增量方法[16,17]，现评估加入火箭R后，对火箭体系$\boldsymbol{Q}$完成n个任务的贡献率。

计算火箭R对每个任务场景的效能值，得到火箭R的航天发射任务效能集$\boldsymbol{S}^R$，如式(7)所示。

$$\boldsymbol{S}^R=(S_1^R,\ldots,S_n^R) \tag{7}$$

同理，计算$\boldsymbol{Q}$中每个火箭的航天发射任务效能集，如式(8)所示：

$$\begin{cases} \boldsymbol{S}^{R_1}=(S_1^{R_1},\ldots,S_n^{R_1}) \\ \cdots \\ \boldsymbol{S}^{R_m}=(S_1^{R_m},\ldots,S_n^{R_m}) \end{cases} \tag{8}$$

针对$\boldsymbol{Q}$中火箭，取针对每个任务效能值的最大值并求和，得到$\boldsymbol{Q}$对n个航天发射任务的总效能E_Q，如式(9)~(10)所示。

$$\boldsymbol{S}_{k,\max}^{Q}=\mathrm{Max}\left(S_k^{R_1},\ldots,S_k^{R_m}\right) \tag{9}$$

$$E_Q=\sum_{k=1}^{n}\boldsymbol{S}_{k,\max}^{Q} \tag{10}$$

将火箭R加入集合$\boldsymbol{Q}$，组成包含被评估火箭R的装备体系$\boldsymbol{Q}^+$。同上，针对$\boldsymbol{Q}^+$中火箭，取针对每个任务效能值的最大值并求和，得到$\boldsymbol{Q}^+$对n个航天发射任务的总效能E_{Q+}，如式(11)~(12)所示。

表 3 航天任务场景分类(场景值：运载能力)

Table 3 Space mission scenario classification (scenario value: carrying capacity)

轨道类型x		轨道类型y		…	轨道类型z	
有效载荷质量分布区间	任务场景值	有效载荷质量分布区间	任务场景值	…	有效载荷质量分布区间	任务场景值
$[0,\ m_{x,1}]$	$c_{x,1}$	$[0,\ m_{y,1}]$	$c_{y,1}$		$[0,\ m_{z,1}]$	$c_{z,1}$
…	…	…	…		…	…
$[m_{x,i\text{-}1},\ m_{x,i}]$	$c_{x,i}$	$[m_{y,i\text{-}1},\ m_{y,i}]$	$c_{y,i}$		$[m_{z,i\text{-}1},\ m_{z,i}]$	$c_{z,i}$
$>m_{x,i}$	$c_{x,i+1}$	$>m_{y,i}$	$c_{y,i+1}$		$>m_{z,i}$	$c_{z,i+1}$

$$\boldsymbol{S}_{k,\max}^{Q+}=\mathrm{Max}\left(S_k^{R_1},\ldots,S_k^{R_m},S_k^{R}\right) \tag{11}$$

$$E_{Q+}=\sum_{k=1}^{n}\boldsymbol{S}_{k,\max}^{Q+} \tag{12}$$

E_{Q+}与E_Q的差为加入火箭R后总效能的增加量，体现了火箭R对火箭体系$\boldsymbol{Q}$完成n个任务的贡献。计算火箭R对火箭体系$\boldsymbol{Q}$完成n个任务的贡献率Con_{R}，如式(13)所示。

$$Con_{\mathrm{R}}=\frac{E_{Q+}-E_Q}{E_Q}\times 100\% \tag{13}$$

开发运载火箭体系贡献率评估系统V1.0，软件包括功能层、应用层和资源层3部分(图3)，实现了运载火箭体系贡献率评估过程及结果的可视化。

5　基于任务场景的运载火箭体系贡献率评估

选取常用的LEO(轨道倾角$i°$/轨道高度$h_1\times h_2$)、SSO(轨道高度h_3)和GTO共3种轨道类型任务，有效载荷质量划分为低载荷、中等载荷、较高载荷和高载荷共4个等级，任务场景值取航天任务量，任务场景分类如表4。

分析表4当前航天任务量统计结果，任务场景主要集中在[0,0.4]的LEO、[0,0.3]的SSO和[0.4,0.7]的GTO 3类，[0.4,1.4]的LEO、[0.3,0.8]的SSO、[0,0.4]的GTO 3类任务占比次之。

为了提升[0.4,1.4]的LEO任务等中等载荷任务能力，提出新研火箭需求，现给出2个初步论证方案(表5)。两运载火箭方案的运载能力大致相当，现从完成中等载荷航天任务的体系贡献率角度，对新研必要性及方案优劣开展量化分析。

首先建立运载火箭装备体系，涵盖用于LEO和SSO轨道任务的现役火箭共5型(表5)；航天任务集选取[0,0.4]、[0.4,1.4]的LEO($i°/h_1\times h_2$)任务和[0,0.3]、[0.3,0.8]的SSO(h_3)任务共4个；分别计算2个新研方案在该装备体系下对4类航天任务的体系贡献率。

表 4　航天任务场景分类(场景值:任务量)

Table 4　Space mission scenario classification (scenario value: task volume)

LEO($i°$、$h_1\times h_2$)		SSO(h_3)		GTO	
有效载荷质量分布区间	任务占比/%	有效载荷质量分布区间	任务占比/%	有效载荷质量分布区间	任务占比/%
[0,0.4]	27.20	[0,0.3]	31.40	[0,0.4]	9.74
[0.4,1.4]	5.09	[0.3,0.8]	0.93	[0.4,0.7]	22.67
[1.4,2.5]	0.63	[0.8,1.4]	0.93	[0.7,1.4]	0.70
>2.5	0.42	>1.4	0.08	>1.4	0.23

表 5　七型运载火箭对任务的运载能力值

Table 5　The carrying capacity value of the Type 7 carrier rocket for the mission

火箭装备	运载能力		综合成本
	LEO($i°$、$h_1\times h_2$)	SSO(h_3)	
R_1	0.412	0.120	0.82
R_2	0.412	0.125	0.82
R_3	0.510	0.250	1.53
R_4	0.550	0.300	1.65
R_5	2.50	1.30	5.85
方案一	1.40	0.550	4.00
方案二	1.20	0.650	3.00

其中R_1火箭在各任务场景下载荷能力如表6所示。装备体系加2个新研方案共七型火箭，对4类航天任务的载荷能力(式(4))和使用能力(式(5))计算结果如表7所示。

在能力计算基础上，应用式(6)~(13)计算火箭任务效能，分别得出2个方案在火箭装备体系下，对每一类航天发射任务场景的体系贡献率、每个轨道类型的贡献率和对4类任务场景总的贡献率，结果如表8所示。

从研制必要性方面分析，由表7可知，2个新研方案火箭与R_5同为新一代运载火箭，其使用能力值较为较近，且整体高于成熟运载火箭。从表8可知，2个方案针对4类航天任务运用场景，总的体系贡献率分

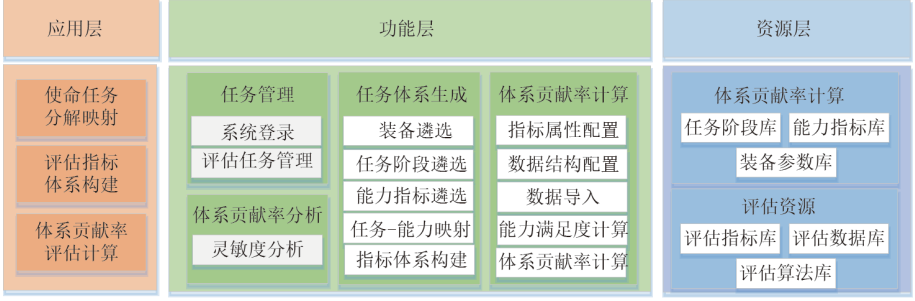


图 3　运载火箭体系贡献率评估系统组成架构

Fig. 3　System architecture for the contribution rate evaluation of launch vehicle systems

表 6 航天任务场景分类(场景值:R1运载能力)
Table 6 Space mission scenario classification (scenario value: R1 carrying capacity)

LEO($i°$、$h_1\times h_2$)		SSO(h_3)		GTO	
有效载荷质量分布区间	R_1载荷能力	有效载荷质量分布区间	R_1载荷能力	有效载荷质量分布区间	R_1载荷能力
[0,0.4]	4.878	[0,0.3]	0.585	[0,0.4]	0.305
[0.4,1.4]	0.060	[0.3,0.8]	0	[0.4,0.7]	0
[1.4,2.5]	0	[0.8,1.4]	0	[0.7,1.4]	0
>2.5	0	>1.4	0	>1.4	0

表 7 七型火箭使用能力及任务载荷能力
Table 7 The operational capability and mission payload capability of the Type 7 rocket

火箭装备	对不同任务载荷能力				装备使用能力
	LEO [0,0.4]	LEO [0.4,1.4]	SSO [0,0.3]	SSO [0.3,0.8]	
R_1	4.878	0.060	0.585	0	0.4110
R_2	4.878	0.060	0.635	0	0.3910
R_3	2.614	0.367	1.360	0	0.3769
R_4	2.424	0.500	1.818	0	0.3769
R_5	0.684	2.393	0.513	1.368	0.4566
方案一	1	3.5	0.750	0.688	0.4531
方案二	1.333	3.200	1.000	1.517	0.4479

别为11.191%和8.973%;单从运载能力而言,R_5火箭可满足目前4类航天任务运载能力要求,但运载能力余量较大,方案一在[0.4,1.4]LEO任务的效能,以及方案二在[0.4,1.4]LEO和[0.3,0.8]SSO任务的效能均高于R_5,2个新研火箭方案的运用可避免运载能力资源浪费。因此,现有运载火箭装备体系下,有必要开展运载火箭新研方案,对提升[0.4,1.4]的LEO等较高载荷任务能力具有一定意义。

从方案优劣方面分析,方案一对装备体系的能力提升体现在[0.4,1.4]的LEO任务;方案二火箭对装备体系的能力提升主要体现在[0.4,1.4]的LEO任务,且对[0.3,0.8]的SSO任务具有一定能力的提升,具有更好的任务覆盖性和任务适应能力;从提升较高载荷任务能力角度,方案二更优于方案一。现实情况中,方案一是为完成某[0.4,1.4]的LEO任务提出的专项任务方案,设计构型上未考虑用于[0.3,0.8]的SSO等其他类型任务,分析计算结果与实际情况相符合。

后续建议,为了充分发挥新研火箭性能,最大程度满足任务需求,方案二后续深化设计和未来改进研制中,在保持现有设计构型和性能将使用能力控制在0.4479基础上,LEO轨道发射运用方面,以满足[0.4,1.4]的LEO任务载荷能力值不小于R_5的2.393为约束条件,SSO轨道发射运用方面,以满足[0.3,0.8]的SSO任务载荷能力值不小于R_5的1.368为约束条件,可进一步开展设计优化,最大程度提升其运载能力指标。

6 结论

本文围绕运载火箭装备和航天任务场景特点,建立了运载火箭体系贡献率评估链路,设计了评估算法和评估系统。

1)建立的火箭对航天任务效能计算模型,可有效量化表征运载火箭的完成航天任务能力。

2)设计的体系贡献率评估算法,解决了评估场景和评估对象的灵活选取问题,评估算例计算结果符合实际情况,验证了方法的有效性。

表 8 两方案火箭装备效能和体系贡献率计算结果
Table 8 Calculation results of rocket equipment effectiveness and system contribution rate for two schemes

火箭装备	效能=任务载荷能力*装备使用能力			
	LEO[0,0.4]	LEO[0.4,1.4]	SSO[0,0.3]	SSO[0.3,0.8]
R_1	2.004804	0.024659	0.240429	0
R_2	1.9072	0.023459	0.248272	0
R_3	0.985298	0.138334	0.512626	0
R_4	0.913504	0.188429	0.685128	0
R_5	0.312314	1.092644	0.234236	0.624629
方案一	0.4531	1.58585	0.339825	0.311733
方案二	0.597051	1.43328	0.4479	0.679464
完成不同任务的贡献率(方案一/方案二)	0/0	45.139%/31.175%	0/0	0/8.779%
完成不同轨道任务的贡献率(方案一/方案二)	15.923%/10.997%		0/4.187%	
完成4类任务场景总的贡献率(方案一/方案二)	11.191%/8.973%			

3)开发了评估系统软件,解决了评估计算和评估结果可视化问题;系统集成了火箭和任务评估信息,可在使用中不断提升评估结果准确性。

参考文献(References)

[1] 李际超, 徐雪明, 姜江, 等. 装备体系贡献率评估方法研究[J]. 军事运筹与评估, 2024, 39(2): 70-74.
Li J C, Xu X M, Jiang J, et al. Research on the evaluation method of equipment system contribution rate[J]. Military Operations Research and Evaluation, 2024, 39(2): 70-74 (in Chinese).

[2] 孙逸钧, 李修和, 张逸, 等. 装备体系贡献率评估方法综述[C]//第十二届中国指挥控制大会论文集.合肥,2024:520-526.
Sun Y J, Li X H, Zhang Y, et al. Review of methods for assessing equipment system contribution rate [C]// Proceedings of the 12th China Command and Control Conference. Hefei: Electronic Warfare Institute, National University of Defense Technology, 2024: 520-526 (in Chinese).

[3] 陈立新. 一种通用的装备体系贡献率评估框架[J]. 军事运筹与系统工程, 2020, 34(2): 33-38.
Chen L X. A General framework for assessing the contribution rate of equipment system[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 220, 34(2): 33-38 (in Chinese).

[4] 孙建彬. 基于作战环的反导装备体系形式化建模与能力评估方法[D]. 长沙: 国防科技大学, 2015.
Sun J B. Formal modeling and Capability Assessment Method of Anti-Missile Equipment System Based on Combat Loop[D]. Changsha: University of Defense Technology, 2015 (in Chinese).

[5] 刘铁林, 张天鹏, 高萍. 基于结构方程模型的战时装备体系贡献率评估方法[J]. 军事运筹与系统工程, 2020, 34(2): 39-45.
Liu T L, Zhang T P, Gao P. An evaluation method for the contribution rate of wartime equipment system on structural equation model[J]. Military Operations Research and System Engineering, 2020, 34(2): 39-45 (in Chinese).

[6] 王文禹, 刘敬喜, 赵耀. 基于灰靶理论的船舶结构构件贡献度分析[J]. 中国舰船研究, 2017, 12(5); 84-89.
Wang W Y, Liu J X, Zhao Y. Analysis of the contribution of ship structure components based on grey target theory[J]. China Shipbuilding Research, 2017, 12(5); 84-89 (in Chinese).

[7] 李际超, 杨克巍, 张小可, 等. 基于武器装备体系作战网络模型的装备贡献度评估[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2016, 13(3): 1-7.
Li J C, Yang K W, Zhang X K, et al. Evaluation of Equipment contribution based on the operational network model ofapon system[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2016, 13(3): 1-7 (in Chinese).

[8] 王晓军, 管宇锋. 基于topsis法和仿真法的反集群无人机装备体系贡献率研究[J]. 空天防御, 2021, 4(1): 33-40.
Wang X J, Guan Y F. Research on the contribution rate of anti-cluster UAV equipment system based on TOPSIS method and method [J]. Air and Space Defense, 2021, 4(1): 33-40 (in Chinese).

[9] Shan J C,Liu Q B. Analysis of the impact of battlefield environment on military operation effectiveness using fuzzy influence diagram[J]. International Journal of Fuzzy Systems, 2019,21(6): 1882-1893.

[10] Davis P K. Introduction to Multi-resolution,Multi-perspective Modeling (MRMPM) and Exploratory Analysis[R]. WR-224, 2005.

[11] 罗小明, 杨娟, 何榕. 基于任务-能力-结构-演化的武器装备体系贡献度评估与示例分析[J]. 装备学院学报, 2016, 27(3): 7-13.
Luo X M, Yang J, He R. Assessment of the contribution degree of weaponry and equipment system based on task-cap-structure-evolution and example analysis[J]. Journal of the Academy of Equipment, 2016, 27(3): 7-13 (in Chinese).

[12] 李小波, 林木, 束哲, 等. 体系贡献率能效综合评估方法[J]. 系统仿真学报, 2018, 30(12): 4520-4528.
Li X B, Lin M, Shu Z, et al. A comprehensive evaluation method for system contribution rate and energy efficiency[J]. Journal of Systems Simulation, 2018, 30(12): 4520-4528 (in Chinese).

[13] 刘惠文, 张炜, 吕耀平, 等. 基于多视角的武器装备体系贡献率评估指标体系构建[J]. 装备学院学报, 2017, 28(3):62-66.
Liu H W, Zhang W, Lyu Y P, et al. Construction of a multi-perspective weapon system contribution evaluation system [J]. Journal of the Academy of Equipment, 2017, 28(3): 62-66 (in Chinese).

[14] 朱雄峰, 刘阳, 刘鹰, 等. 中国运载火箭型谱发展[J]. 科技导报, 2023, 41(19): 16-28.
Zhu X F, Liu Y, Liu Y, et al. Development of China's launch vehicle family[J]. Science & Technology Review, 2023, 41(19): 16-28 (in Chinese).

[15] 崔朋, 刘鹰, 刘阳, 等. 多机并联运载火箭任务成功可靠性分析[J]. 载人航天, 2025, 31(1): 81-87.
Cui P, Liu Y, Liu Y, et al. Reliability analysis of mission success in multi-engine-parallel launch vehicles[J]. Manned Spaceflight, 2025, 31(1): 81-87 (in Chinese).

[16] 张璇子, 潘韬丞, 刘天坤, 等. 基于能力解析的体系贡献率评估方法[J]. 指挥控制与仿真, 2024, 46(6): 152-160.
Zhang X Z, Pan T Z, Liu T K, et al. An evaluation method for system contribution rate based capability analysis [J]. Command Control and Simulation, 2024, 46(6): 152-160 (in Chinese).

[17] 龚茂华, 付馨, 薛凤桐, 等. 基于作战任务分析的双维度装备体系贡献率评估方法研究[C]//第三届体系工程学术会议论文集.长沙, 2021: 288-296.
Gong M H, Fu X, Xue F T, et al. Research on the method of assessing the two-dimensional equipment system contribution rate based on operational task analysis [C]//Proceedings of the Third Academic Conference on System Engineering. Changsha, 2021: 288-296 (in Chinese).

(责任编辑:孙京霞)