

装备技术体系设计与评估

常雷雷 李孟军 汪刘应 姜 江 周志杰 著

非外借



科学出版社

装备技术体系设计与评估

常雷雷 李孟军 汪刘应 姜 江 周志杰 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

装备技术体系是武器装备体系的重要补充和完善,装备技术体系研究是体系研究的重要组成部分。本书全面系统地介绍了装备技术体系设计与评估的相关问题,主要内容涉及装备技术体系的生成、描述、技术贡献度评估、面向不完备信息的装备技术体系成熟度评估和面向主观信息与客观信息的装备技术体系满足度评估问题。

本书主要面向管理科学与工程、军事装备等领域的学者和研究生,也可供相关领域的研究人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

装备技术体系设计与评估/常雷雷等著. —北京:科学出版社,2018.5
ISBN 978-7-03-056685-0

I. ①装… II. ①常… III. ①武器装备管理 IV. ①E145.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 042800 号

责任编辑:魏英杰 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 伟 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 5 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018 年 5 月第一次印刷 印张:12 1/2

字数:251 000

定价:90.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

军事装备技术是武器装备体系建设的重要基础,是推动新军事变革的重要动力。现代战争中交战双方的对抗不再局限于单个武器装备,而逐渐表现为武器装备体系之间的对抗,对军事装备技术的需求更加迫切。同时,随着科学技术的飞速发展,新军事变革加速推进,从单个军兵种作战到一体化联合作战,信息技术、控制技术、管理科学等现代科学技术已经渗透到现代化战争的各个方面。为了更好地适应新军事变革和一体化联合作战的需求,提高信息化条件下的体系作战能力,依据我军武器装备体系建设与发展的实际需求,大力开展装备技术体系相关研究,构建适应当前任务和要求、适应科技发展的特点规律、结构合理的装备技术体系,对于推动国防科技和武器装备发展、适应现代军事变革和未来作战发展需求具有重要意义。

装备技术体系指的是为满足多样化的、多层次的能力需求和装备需求,由各项技术组成的,具有层次结构和体系特征的技术集合。

(1) 装备技术体系中的各项技术来源是当前及未来武器装备体系的能力需求和装备需求。装备技术体系是由各项技术以及技术之间的关系组成的。各项技术由武器装备体系中多样化的、多层次的能力需求和装备需求牵引获得,技术之间的关系部分来源于技术与能力需求和装备需求的关系,部分来源于技术本身的属性,如技术的层次、类别等。

(2) 装备技术体系建设的目的是满足当前及未来武器装备体系的各项能力需求和装备需求。评估装备技术体系建设的完备情况和合理性的标准是装备技术体系能否满足各项能力需求和装备需求,这里同时包括当前和未来的能力需求和装备需求。

(3) 装备技术体系具有层次结构,这是由能力需求和装备需求的层次结构决定的。装备技术体系中技术的层次性由能力需求和装备需求

的层次性决定,技术之间关系的层次性部分来源于技术与能力需求和装备需求的关系,部分来源于技术本身的属性。

(4) 装备技术体系同时也具有涌现性和演化性等体系特征。技术的特征涌现为技术体系的特征,但技术体系层面的特征仅能从体系层面来认识、研究。技术体系的演化行为表现在两个方面,一是技术属性的变化,如技术的成熟度、技术风险的不断变化等;二是旧技术的淘汰和新技术的引入。

装备技术体系的相关研究包括装备技术体系的生成、描述、建模、评估与优化。对支持武器装备体系完成作战使命和任务的各项技术进行综合、全面的评估,通过评估技术贡献度和技术组合的成熟度水平,衡量各项技术对于武器装备体系中的能力需求和装备需求的满足程度,是规划未来装备技术发展方向、优化装备技术体系结构设置、确保装备建设持续发展的基础。因此,装备技术体系的评估是装备技术体系相关研究的核心内容。

装备技术体系评估的目的是衡量各项技术/技术组合对于能力需求和装备需求的满足程度,其中需要重点考虑各项技术对于体系的贡献度,以及各项技术组合的成熟度水平,因此,装备技术体系的评估主要包括贡献度评估、成熟度评估和满足度评估三个部分。

技术贡献度指的是各项技术对于体系完成作战使命任务的贡献程度。由于技术贡献度的评估是直接面向作战使命任务的,遵循自顶向下的分析思路,与装备需求的技术指标和能力需求的战术指标紧密相关,因此对于技术贡献度的研究并不局限于装备技术体系,而是应当放大到武器装备体系背景之中。相比较而言,成熟度和满足度评估是自下而上的,是完全于装备技术体系的背景之中进行的。技术贡献度的评估结果是满足度评估的重要输入。

装备技术体系成熟度评估以现有技术成熟度、集成成熟度、系统成熟度相关研究为基础,综合评估装备技术组合的成熟度水平。技术成熟度是技术的重要属性,是最为广泛接受的衡量技术状态、技术发展水平的指标。在进行装备技术体系评估的过程中,装备技术体系的成熟度评估是不能回避的问题。装备技术体系的成熟度评估以单项技术的

成熟度为基础展开,但是评估结果并不以一个数值来衡量装备技术体系的技术状态,而是着重分析技术组合的成熟度水平(技术组合大致对应于装备组件),从更加宏观的视角对技术组合的成熟度水平给出综合性度量。装备技术体系的成熟度评估结果也是满足度评估的重要输入。

装备技术体系的满足度评估需要综合考虑装备技术体系发展中的各要素信息,包括技术的基本属性、技术/技术组合成熟度、技术状态、技术风险、集成风险等,还需要吸收专家的经验知识,回答装备技术体系建设是否能满足能力需求和装备需求这一根本问题。同时,装备技术体系成熟度和满足度评估的结果为装备技术体系的优化提供目标,并最终为武器装备体系的建设提供重要参考和支撑。

综合以上分析,技术贡献度评估与成熟度和满足度的评估在分析视角、研究背景和技术手段等方面均有较大不同。

技术贡献度与装备和能力需求紧密相关,二者之间主要通过战技指标进行关联,因此面对技术贡献度的分析,应当从武器装备体系需求和结构分析的角度出发,建立“使命-任务-能力-装备-技术”之间的映射关系,各层次之间的关系以定量关系为主,所需要采取的技术手段也应当以定量分析手段为主。

装备技术体系的成熟度和满足度评估具有两个特点,一是需要处理的能力需求和装备需求指标种类多样,需求变化难以预测、充满不确定性;二是评估过程中需要专家的大量参与,定性定量信息相结合,不完备信息较多。针对装备技术体系成熟度和满足度评估的特点,拟采用证据推理方法求解装备技术体系成熟度和满足度评估问题。证据推理方法在融合专家知识经验、处理多种类型定性定量信息、解决不确定性多属性决策问题中具有独特的优势。证据推理方法由置信规则库和证据推理算法两部分组成,其中置信规则库是专家系统,以规则的形式来融合、转换不确定条件下多种类型的信息,包括定性定量信息、语义数字信息、完备或不完备信息等;证据推理算法可以集成具有同样信度结构的规则,并以同样的信度结构展示评估的结果,其结果具有可追溯性。

基于以上分析,本书主要讨论以下方面内容:

(1) 本书第2章将讨论装备技术体系的生成方法和基于多视图的装备技术体系描述方法。在分析武器装备体系能力需求和装备需求特点的基础上,对装备技术体系的相关概念进行研究,提出装备技术体系生成方法。基于体系结构框架多视图理论,深入分析装备技术体系中各相关元素的关系,提出六个视图的划分方法,形成综合的装备技术体系描述框架。

(2) 本书第3章将讨论技术贡献度评估方法。分别给出系统军事价值、技术支持度和技术贡献度的概念以及分析思路,在此基础上建立技术贡献度评估框架;分别提出基于灰靶分析的技术支持度计算方法和技术对体系贡献度分析方法,最后以装甲装备体系中技术贡献度评估问题为例验证提出方法的有效性。

(3) 本书第4章将讨论装备技术体系成熟度评估方法。以技术成熟度、集成成熟度和系统成熟度等相关概念为基础,提出基于证据推理算法的成熟度评估方法,可以处理传统系统成熟度评估方法中不能处理的不完备信息。成熟度评估方法采用以集成为中心的视角,可以极大地降低计算复杂度。最终分析装备技术体系成熟度评估中不完备信息的影响因素,讨论不完备信息的灵敏度以及规则一致性的含义。

(4) 本书第5章将讨论面向主观信息的装备技术体系满足度评估方法。针对装备技术体系满足度评估中需要处理大量主观信息的特点,将装备技术体系满足度评估问题建模为多属性决策问题,并使用证据推理方法求解。为解决采用证据推理方法时前提属性过多而导致的置信规则库组合爆炸问题,提出置信规则库结构学习方法,对比验证四种维度约简技术手段(主成分分析、多尺度分析、Isomap和灰靶分析)在约简置信规则库规模时的有效性,并对基于主成分分析的置信规则库结构学习方法进行鲁棒性分析。

(5) 本书第6章将讨论面向客观信息的装备技术体系满足度评估方法。针对面向实际系统的装备技术体系满足度评估问题,提出置信规则库参数学习方法。面向客观信息的装备技术体系评估问题侧重于评估能力需求或装备需求中的技术,满足度评估的对象是已经“实例

化”的技术,即战技指标。提出置信规则库的参数学习方法,将该问题建模为优化问题,将前提属性备选值、规则的初始权重、结论部分各等级的置信度值等均作为该优化模型的决策变量,使用差分进化算法作为求解该优化模型的搜索引擎,可以减少优化参数、约简置信规则库规模,并可以进一步降低建模误差。

在本书的撰写过程中,作者得到了许多学者及专家的无私帮助,其中,特别感谢国防科大谭跃进教授、陈英武教授、武小悦教授、杨克巍教授、赵青松副教授、葛冰峰老师,火箭军工程大学陈桂明教授、刘小方教授、任向红教授、董振旗副教授、曹继平副教授、王伟副教授、周永涛老师、高成强老师、刘顾老师、张毅老师等,英国曼彻斯特大学的杨剑波教授、徐冬玲教授、陈玉旺博士等对作者的帮助和支持。感谢徐建国、游翰霖、孙建彬、游雅倩、郭小川、熊奇、王涛、孟岩磊、韩润繁等对本书内容的校对。本书参考了大量国内外相关文献,书中所附主要参考文献仅为其中一部分,在此向所有列入和未列入参考文献的作者们表示衷心感谢。

本书出版得到了国家自然科学基金项目(71601180、71671186、71401167、71501182、71571185、61370031、61374138),国家社会科学基金军事学项目(14GJ003-192、14GJ003-195、15GJ003-278),中国博士后基金面上项目(2015M570847),陕西省自然科学基金项目(2015JM6354)的资助。

限于作者的水平,书中难免有不妥之处,敬请读者不吝赐教。

作者

2017年12月于西安

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 武器装备体系与装备技术体系	1
1.1.1 武器装备体系基本概念	1
1.1.2 装备技术体系基本概念	2
1.1.3 装备技术体系与武器装备体系的关系	4
1.2 美国国防部体系结构框架	5
1.2.1 发展历程与主要内容	5
1.2.2 体系结构框架理论中的技术视图	7
1.3 装备技术体系设计与评估中的关键问题	9
1.3.1 装备技术体系生成	9
1.3.2 装备技术体系描述	10
1.3.3 装备技术体系贡献度评估	11
1.3.4 装备技术体系成熟度评估	12
1.3.5 装备技术体系满足度评估	16
1.4 装备技术体系设计与评估的意义	18
参考文献	19
第 2 章 装备技术体系的生成与描述	24
2.1 装备技术体系生成方法	24
2.1.1 传统装备技术体系生成方法	24
2.1.2 装备技术体系中技术的特点	25
2.1.3 装备技术体系生成	27
2.2 装备技术体系描述方法	29
2.2.1 多视图描述方法与现有技术视图	29
2.2.2 装备技术体系相关元素	29

2.2.3 装备技术体系多视图描述	33
2.3 装备技术体系生成与描述示例	35
2.3.1 装备技术体系的生成	35
2.3.2 装备技术体系的描述	37
2.4 小结	40
参考文献	40
第3章 技术贡献度评估	41
3.1 技术贡献度相关概念及分析思路	41
3.1.1 系统军事价值、技术支持度和技术贡献度概念	41
3.1.2 系统军事价值与技术支持度分析思路比较	43
3.2 技术贡献度评估框架	44
3.3 技术对系统支持度分析	46
3.3.1 技术对系统支持度求解框架及步骤	46
3.3.2 灰靶分析原理及计算步骤	51
3.3.3 灰靶分析中标准模式改进	57
3.3.4 灰靶分析的数理分析	58
3.4 技术对体系贡献度分析	61
3.4.1 系统军事价值分析	61
3.4.2 系统到技术的映射矩阵	68
3.4.3 技术贡献度的计算	71
3.4.4 技术贡献度可比性分析	72
3.5 示例分析	73
3.5.1 各项技术对主战坦克的支持度计算	73
3.5.2 主战坦克军事价值分析	81
3.5.3 系统到技术的映射矩阵	85
3.5.4 技术对体系贡献度计算结果及讨论	87
3.6 小结	88
参考文献	88
第4章 装备技术体系成熟度评估	90
4.1 系统成熟度评估问题	90

4.1.1	Sauser 的系统成熟度评估方法	91
4.1.2	Tan 的系统成熟度评估方法	92
4.1.3	现有系统成熟度评估中存在的问题	93
4.2	基于证据推理算法的成熟度评估方法	94
4.2.1	模型假设与评估步骤	94
4.2.2	ISRL 的计算	96
4.2.3	证据推理算法	98
4.3	装备技术体系成熟度评估示例	99
4.3.1	无人机技术组合成熟度评估	99
4.3.2	某简化技术组合成熟度评估	102
4.3.3	哈勃望远镜修复技术组合成熟度评估	106
4.3.4	与传统系统成熟度的比较分析	110
4.4	装备技术体系评估中不完备信息影响因素分析	110
4.4.1	两条规则融合时模型	110
4.4.2	不完备信息的取值范围	111
4.4.3	不完备信息的灵敏度分析	114
4.4.4	规则一致性的含义	115
4.4.5	讨论	117
4.5	小结	118
	参考文献	118
第 5 章	面向主观信息的装备技术体系满足度评估	120
5.1	面向主观信息的装备技术体系满足度评估问题分析	120
5.2	基于证据推理的装备技术体系满足度评估方法	122
5.2.1	D-S 证据理论简介	122
5.2.2	证据推理方法与置信规则库学习	126
5.2.3	置信规则库的构造	128
5.2.4	激活规则的权重及信度分布的调整	128
5.2.5	存在的主要问题	129
5.3	置信规则库的结构学习方法	130
5.3.1	主成分分析	130

5.3.2 多尺度分析	131
5.3.3 Isomap	132
5.3.4 灰靶分析	133
5.3.5 结构学习方法	133
5.4 无人机技术满足度评估	134
5.4.1 问题建模	135
5.4.2 使用证据推理方法进行满足度评估	135
5.4.3 主成分分析/多尺度分析/Isomap/灰靶分析的输入	137
5.4.4 不同方法选择的关键技术	137
5.4.5 不同方法的结果对比分析	142
5.4.6 PCA-RIMER 的鲁棒性分析	147
5.4.7 讨论	149
5.5 小结	150
参考文献	150
第 6 章 面向客观信息的装备技术体系满足度评估	155
6.1 面向客观信息的装备技术体系满足度评估问题分析	155
6.2 基于置信规则库参数学习的装备技术体系满足度评估方法	157
6.2.1 研究现状及存在的主要问题	157
6.2.2 置信规则库的参数学习方法	158
6.2.3 待估计的参数	159
6.2.4 优化模型	160
6.3 基于差分进化的求解算法	161
6.4 无人机燃油输送能力需求满足度评估	164
6.4.1 背景介绍	164
6.4.2 场景 I: 基于完全数据集	166
6.4.3 场景 II: 基于特定数据集	167
6.4.4 讨论	170
6.5 小结	172
参考文献	172

附录 A 装备技术体系生成示例	175
附录 B 成熟度评估中不完备信息 β_D 的推导	176
附录 C 成熟度评估中不完备信息 β_D 取值范围的证明	177
附录 D 成熟度评估中不完备信息影响因素对评估结果的灵敏度分析证明 ...	181
附录 E 面向主观信息满足度评估示例中的置信规则库	183

第 1 章 绪 论

1.1 武器装备体系与装备技术体系

1.1.1 武器装备体系基本概念

武器装备体系是建立在体系相关概念的基础上,用大系统的观点和方法研究武器装备建设问题的重要概念。武器装备一经产生,武器装备体系就客观存在,但武器装备体系概念的提出却经历了一个逐步的演变过程。体系是由系统组成的系统,英文对应的是 System-of-Systems、Family of Systems、Super-Systems、Meta-Systems、Joint Systems 等,体系在民用和军用领域有着广泛应用,出现了众多体系的概念,这些概念从不同角度反映体系的特征。2006 年,在以“体系开发规律与科学途径”为主题的香山会议上,与会专家讨论认为体系是为达到一定目的而以一定方式集合若干系统共同工作所形成的更大规模或更高层次的系统。武器装备体系的建设决定作战使命和任务能否完成、能力需求和装备需求能否得到满足;相应的,武器装备体系的能力需求和装备需求也牵引和指导装备技术体系的构建。

Maier 总结体系具有五大特征^[1],即组分系统独立运行、组分系统独立管理、地理分布范围广泛、涌现性和演化性。不同研究人员也从自身研究角度出发提出了新的武器装备体系特征,鲁延京^[2]总结武器装备体系具有地理分布性、涌现性、装备的独立性、演化性,以及有机性等特点。程贲^[3]认为武器装备体系具有分布性、涌现性、独立性、演化性和整体性。

学者对于武器装备体系的定义仍然存在分歧,目前有两种比较有代表性的观点。一种观点^[4,5]认为,武器装备体系并不面向具体作战使命和作战任务,强调一个国家所拥有的武器装备构成武器装备体系。此类武器装备体系的定义为:“武器装备体系是指为保障军队作战、训

练和其他任务实施而确定的武器装备总体结构、数量规模、技术水平,以及为实现这种构成所进行的一系列管理活动的有机整体”。另一种观点^[6,7]认为,武器装备体系是面向作战的,即武器装备体系是在特定的使命任务牵引下构建和发挥作用的。此类武器装备体系的定义为:“武器装备体系是在一定的战略指导、作战指挥和保障条件下为完成一定作战任务,由功能上互相联系,相互作用的各种武器装备系统组成的更高层次的大系统”。

武器装备体系已经吸引了众多科研人员和利益相关者的研究兴趣,相关的研究成果很多^[2-7]。全军和各军兵种科研院所都拥有从事总体设计的相关单位。国防科学技术大学是国内在这一领域内从事科学研究的主要单位之一,自“十五”以来,陆续承担了军内科研、条件建设、自然科学基金等有关装备体系的多个项目,培养了超过 100 名装备体系相关专业的博士、硕士研究生,在国内外学术期刊发表了超过 300 篇高水平学术论文^[2,3,7-13]。火箭军工程大学是火箭军军种中承担装备体系需求分析与结构设计、装备维修与综合保障、能力评估与优化等课题的对口单位,具有深厚的科研实力,且与火箭军机关和基层联系紧密,具有应用背景与实践优势。

1.1.2 装备技术体系基本概念

装备技术体系指的是,为满足多样化、多层次能力需求和装备需求,由各项技术组成的,具有层次结构和体系特征的技术集合。

装备技术体系的核心是技术及技术之间的关系。各项技术均由武器装备体系当前或未来的能力需求和装备需求牵引获得,技术之间的关系部分来源于技术与能力需求和装备需求的关系,部分来源于技术本身的属性,如层次、类别等。这阐明了装备技术体系的来源:特定或非特定作战使命驱动下的能力需求和装备需求。同时,这也说明,装备技术体系构建的根本目的是为满足武器装备体系当前或未来的能力需求及装备需求。

装备技术体系具有如下特点^[14-16]。

(1) 装备技术体系中各项技术本质上是同质的

技术都具有共同的基本属性,如技术成熟度、层次、类别等。这与武器装备体系中的武器装备有本质区别,各种武器装备都有自身的战技指标,不同类型装备,如战斗机和装甲车的战技指标有可能完全不同。此外,武器装备体系中还有作战任务、作战活动、能力、功能等元素,种类多样。但是,装备技术体系的元素本质上是同质的。

(2) 装备技术体系中技术之间的关系相对简单

相比而言,武器装备体系中的元素众多(包括使命、任务、活动、能力、装备等),各元素之间的关系也相对复杂。根据能力需求和装备需求与技术之间的关系,可以大致判定技术之间耦合的紧密程度:相同或类似能力需求或装备需求牵引而得的技术组合内的技术关系是非常紧密的,而不同技术组合内的技术之间的关系是非常松散的。

(3) 装备技术体系的结构具有层次性

这是由处于源头的能力需求和装备需求的特征决定的。能力需求和装备需求本身是有层次结构的,能力需求和装备需求越明确,技术越清晰,技术的层次越多;相反,能力需求越模糊,技术也越抽象,也难以再继续分解。

(4) 装备技术体系具有涌现性、演化性等体系层次的属性

技术的特征涌现为技术体系的特征,但技术体系层面的特征仅能从体系层面来认识、研究。技术是不断变化的,这表现为技术体系的演化行为,技术的变化表现在两个方面。

① 技术属性的变化,如技术的成熟度、技术风险的不断变化等。

② 旧技术的淘汰和新技术的引入带来了装备技术体系结构上的变化。

(5) 装备技术体系的评估需要大量的专家参与和考虑大量的主观信息

由于装备技术体系中的各项技术都是抽象的概念,技术本身的属性多是静态的,因此装备技术体系的评估不能选用武器装备体系评估中常用的仿真等方法,而是应当采用基于专家知识、定性定量相结合的方法。此外,由于专家的大量参与,还需要综合考虑其中的不确定性。

(6) 装备技术体系的地位非常重要,需求非常急迫,但其相关研究处于很不成熟的阶段。

装备技术体系结构是装备技术体系评估与优化的基础,是武器装备体系规划决策的重要依据,是武器装备体系建设风险的重要影响因素,更是确保体系建设进度、费用和性能的有力保证。然而,国内外开展相关研究的机构较少,可借鉴的成果不多,还处在探索和实证研究阶段。相比而言,武器装备体系已经成为国内外相关研究机构和学者的研究重点之一,已经取得了重要的研究成果。因此,武器装备体系的相关研究成果可以服务于装备技术体系的相关研究。

1.1.3 装备技术体系与武器装备体系的关系

从武器装备体系和装备技术体系的概念出发,可以初步获得装备技术体系与武器装备体系的关系,如图 1.1 所示。

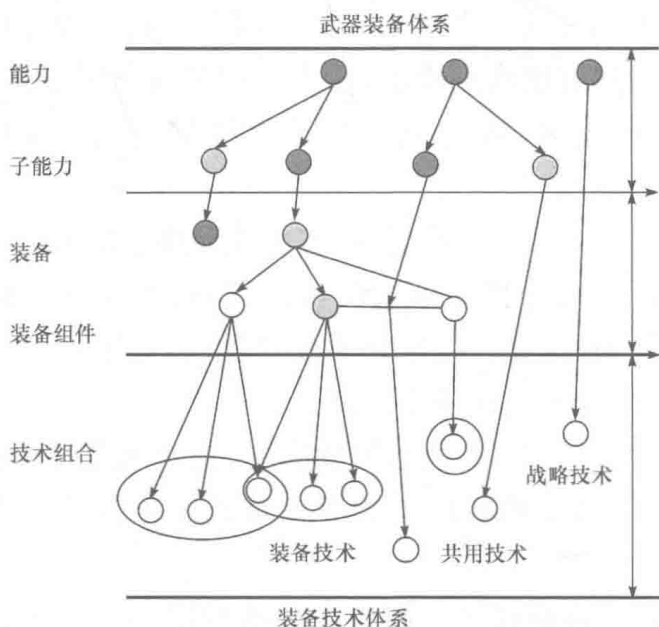


图 1.1 武器装备体系与装备技术体系关系

装备技术体系与武器装备体系之间的关系总结如下^[14-16]。

① 装备技术体系源于武器装备体系。装备技术体系的两大核心要素,即技术和技术之间的关系,都来自于武器装备体系中的能力需求和装备需求。