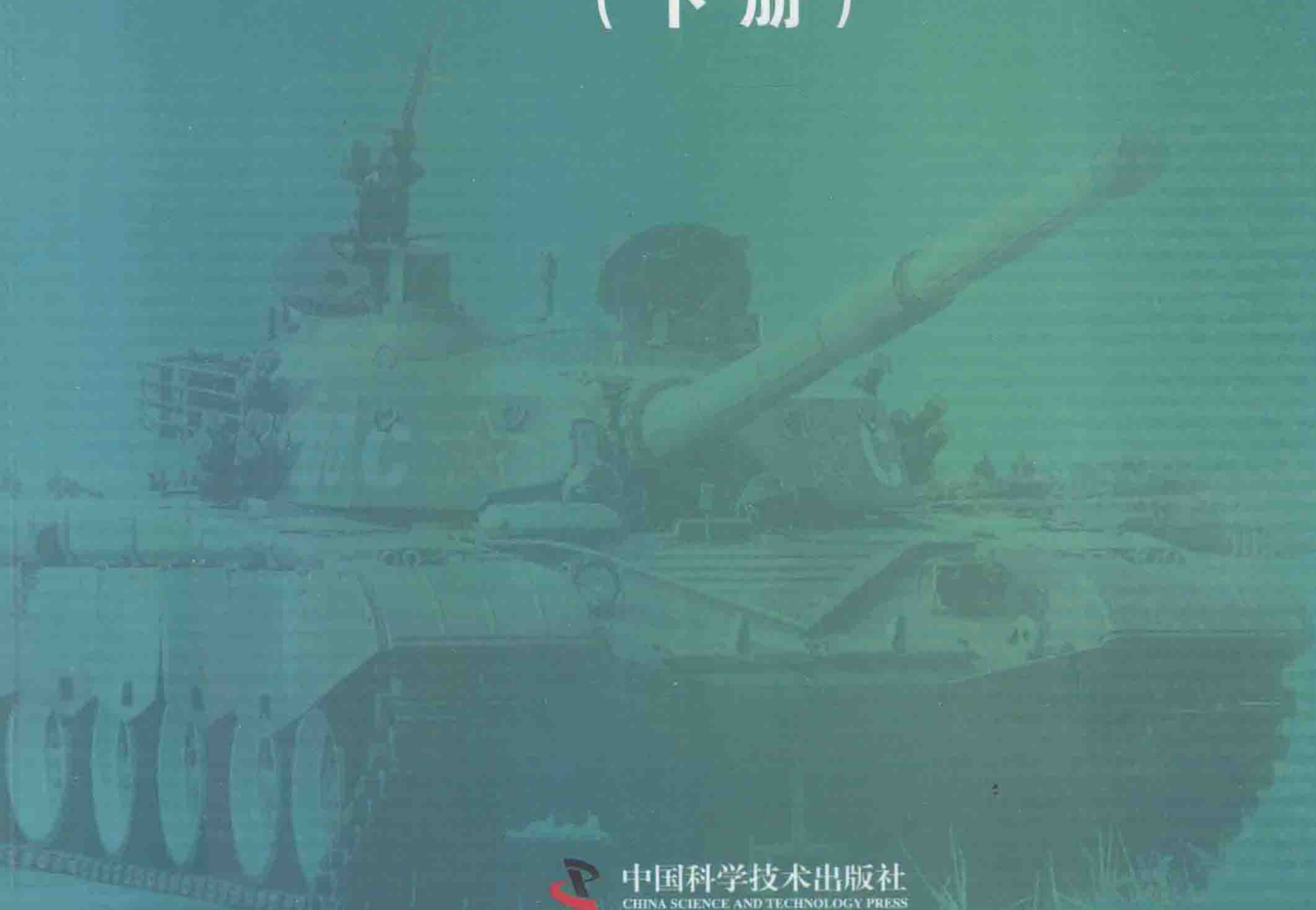




2011年中国兵工学会 学术年会论文集

(下 册)



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

2011年中国兵工学会 学术年会论文集

(下册)

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

目 录

综合类

全电战斗车辆发展综述	臧克茂 赵玉慧 庞宾宾 (3)
军用工程机械现状、发展趋势及其关键技术分析	龚烈航 王 强 史 亮 (11)
兵器学科构成体系与学科建设	许毅达 (20)
一体化联合作战伪装装备与技术的发展	谢 卫 蒋晓军 王引龙 等 (27)
高功率密度柴油机关键技术及其应用	孙丹红 张然治 田永海 (32)
渡河桥梁装备发展应把握的几个问题	孙文俊 胡永平 王裕斌 (39)
智能破拆救援装备的研究现状与发展设想	徐 刚 张欲保 汤久望 等 (44)
无人化工程装备发展现状与发展趋势	郭 牧 郭宏贵 (49)
自适应伪装技术的研究现状与进展	刘东青 程海峰 郑文伟 等 (55)
地雷探测技术研究现状和研究建议	刘兆和 常文革 (61)
陆战平台全电化技术发展分析	廖自力 臧克茂 马晓军 等 (65)
浅析武器装备体系能力生成过程	董志勇 邹晓喜 (70)
武器装备技术成熟度评估研究	杨秀月 耿青霞 肖亚飞 (75)
新一代高效毁伤战斗部发展分析	胡晓东 陈 文 (80)
侦察型巡飞弹研究现状、关键技术及发展思路	苏丽红 (88)
低成本弹道修正技术牵引中口径高炮发展	于永强 李宗贤 (92)
红外非线性光学晶体 ZnGeP_2 的研究进展	吴绍华 李 睿 赵逸群 等 (96)
反坦克弹药现状与展望	接东旭 张马莉 尹 龙 等 (102)
新概念武器的研究与应用	张书芹 刘建功 (107)
三域能流空间体系特征与信息需求探讨	胡占春 胡春健 (112)
陆军一体化综合信息演示验证试验场发展探讨	李 勇 耿 力 王建国 等 (126)
装甲机械化部队装备保障力量需求分析及发展对策	刘 军 张天晶 张笑瀛 (131)
贯彻军民融合战略思想推进军械装备保障核心能力建设	张敏芳 姚俊金 康建设 等 (135)
外军车载探雷器材发展启示	李常生 杨圣勤 吴 桑 (138)
外军工程装备八大能力建设刍议	卢新才 谢胜武 (143)
国外舰炮武器系统发展应用分析	崔东华 夏铭禹 裴桂艳 (149)
外军电子战装备技术发展趋势分析	刁俊良 陈世田 (155)

研制论证方法

反应性爆炸成型装药对靶板的侵彻	李 钊 余道强 (161)
防护仓变形的分析与控制	韩彦朝 李 娟 冯彩霞 (167)
过滤吸收器装车后解剖分析	张西珠 游应刚 (171)
发展适应中印边境作战地爆装备的需求分析	郑守军 (174)
一种大口径火炮身管降烧蚀技术研究	郭德惠 吴永刚 (178)
先进可燃军械元器件技术研究	郭德惠 李忠山 (184)
地雷探测阵列式传感器技术研究	彭正辉 凌国平 姜和俊 等 (190)
离散杆对 LY-12 铝合金靶板侵彻效应的数值模拟分析	刘晓蕾 贺 飞 刘国华 等 (197)
基于多属性决策的装甲车辆电传动系统方案评估研究	张运银 臧克茂 庞宾宾 (204)
基于造价和维修费用的发射车维修性指标分配方法	赵亮清 陈淑红 李 智 (211)
高原高寒地区国防工程伪装实践与发展研究	沈 泓 沈朝虎 (217)
探究美军装备需求论证制度	何成铭 刘维维 (221)
火工序列内置 MEMS 安全隔离装置原理研究	任 炜 白颖伟 商弘藻 等 (226)
现代武器装备“三维度”设计理念	杨宏伟 刘世伦 郭小亮 (232)
履带车辆转向过程功率分析	杜明刚 郭刘洋 邹天刚 (238)
提高大口径榴弹射程的方法与分析	马跃鹏 张马莉 张 瑛 等 (243)
基于 QFD 与 ANP 的潜艇装备需求分析	张文玉 李长军 荣海洋 (249)
国外反坦克导弹装备发展综合需求分析技术研究	周喻虹 (254)
野战给水装备的体系建设与发展趋势	刘宇飞 郭培新 李 巍 (259)
导弹动力结构的小型化设计技术及应用	苏维厚 朱文革 陈 萍 (264)
平衡抛射弹丸尾翼的约束装置的设计与实现	张连煜 甘小红 徐乃成 等 (267)
基于 Rhapsody 的雷达仿真系统实现	薛平贞 曹 雷 赵 维 (271)
基于任务需求的航天装备体系结构设计与分析	欧士扬 秦大国 黄文清 (278)
航空发动机转子系统的动力响应分析	顾致平 李志军 张文荣 (283)
具有敌我识别能力的智能地雷场的发展设想	李 昊 刘永存 (291)
江河数字化侦察系统研究	付成群 田成祥 张小珂 (295)
手持式液压冻土钻的研究与应用	陈 炯 殷怀堂 (300)
转捩对高超声速弹头气动热的影响研究	张 敏 刘 亚 彭文杰 等 (306)
基于遗传算法的三冲量轨道拦截机动方案优化研究	肖 建 陈 勇 (312)
多学科设计优化技术在导弹总体设计中的应用	周 健 王竹萍 (316)
基于射表的坦克间瞄射击火控技术	郝玉生 (322)
浮桥张纲固定螺旋锚岸边锚碇技术研究	孙永岗 崔俊琦 林铸明 等 (329)
考虑双侧锚链耦合受力的浮桥锚定计算	王建平 马 建 郑 峰 (335)
大跨度装配式公路钢桥架设方案研究	陶 莉 苟明康 梁 川 等 (342)
导弹结构小型化设计技术应用研究	罗志清 白 真 李学锋 等 (348)

军民一体化装备维修保障体系建设研究	黄书峰 徐宗昌 何平等 (352)
-------------------------	-------------------

生 产 制 造

使用可用度计算及增长要素分析	吴 伟 刘福胜 (359)
基于控制论的装备保障信息系统建设方案确定	王建平 李启龙 寇德齐等 (365)
轻型轮式车辆多型竞标择优中的多属性决策问题研究	王远立 唐 进 曹晓东等 (371)
某新型两栖装甲装备履带脱齿探讨	罗九林 魏兆磊 李爱民等 (376)
毫米波被动成像技术——工程侦察的新手段	张国进 刘兆和 侯根算 (380)
数码迷彩图案结构解析及设计方法研究	薛士强 周志勇 毕道鹏等 (385)
图像交叉熵算法在假目标红外示假效果评价中的应用研究	张 健 董绍军 (390)
仿造迷彩伪装在海防工程中的应用	刘 鹏 徐晓伟 王全胜 (393)
共轭控制在疏系玻璃磨边中的应用	赵逸群 吴 凯 许 红等 (396)
以鼓形齿改变齿轮接触精度及其制造研究	成 钢 谭永耀 (399)
预控制图技术研究及其应用实例	杨春华 黄忠全 王科思 (404)
复合装甲新工艺制备技术研究	王和平 王 鹏 赵 斌 (409)
铝合金微弧氧化陶瓷层表面化学复合镀 Ni - P - SiC 研究	李 立 易同斌 何庆兵等 (413)

微弧氧化时间对 $Al_2O_3/Ni - Cr - Cr_3C_2$ 复合涂层制备的影响研究

.....	陈海涛 易同斌 李忠盛等 (419)
消像旋棱镜装调工艺技术研究	惠刚阳 杨海成 张 燕等 (425)
武器装备传动装置小型化设计与应用	何俊峰 卫建锋 孟庆子等 (432)
35Cr3NiMoA 钢件热处理工艺研究与应用	朱晓英 庄明辉 王连义 (435)
基于 SVM 的武器装备批量生产成本费用模型	高 尚 (439)
一种推土铲刀的集成协同减重优化	徐 亮 熊为水 杨国峰 (445)
某型多轴轮式工程车紧急制动建模及仿真	高久好 冯继新 许文群等 (451)
工程机械仪表盘信息化改进技术研究	王尚龙 周 柱 (457)
碳纤维结构隐身材料制备与性能研究	王广银 范华林 (462)
起爆方式对多模毁伤元形成影响的分析	赵长啸 龙 源 张洋溢等 (467)
小型线型聚能切割器参数设计的数值模拟研究	夏长富 石一丁 (473)
基于仿真的装甲工程车作业能力评估	赵湛忠 李 巍 刘宇飞等 (481)
基于 ARM 技术的便携式液压系统检测仪研制	吴建军 孟 宏 (485)

测 试 实 验

基于 CPLD 的四通道弹载姿态存储测试技术研究	王永芳 王 燕 范锦彪 (491)
某单兵火箭弹空气动力特性的数值模拟与试验研究	张连煜 甘小红 徐乃成 (495)
含能破片战斗部试验研究	余道强 (499)
军用工程机械装甲防护能力试验评估方法浅析	刘振广 赵云峰 王宏伟 (503)

新装备部队试用项目的设计方法探索	孟庆均 何成铭 曹军海	(506)
工程装备系统级电磁兼容性安全裕度试验与评估技术探讨	张朋军 秦德淳	(511)
家属工程装备修理机构数字化修理车间及车场建设	冯 军 屠林辉 孙传波	(514)
便携式机动车制动性能测试仪的设计研究	罗发贵 张 杰 赵 军	(519)
杆条对多层弧形复合靶毁伤试验研究	张 亮	(524)
建立装甲车辆维修特性试验规程的必要性分析	鲍 亮 吕占峰 李晖军	(528)
冲击片速度计算及测试	同红海 褚恩义 徐华山 等	(533)
静止爆破被试品的摆放和破片速度测试	王文祥 赵丽俊 李天慧 等	(538)
军用自动测试系统发展综述	王大辉 潘 敏 杨道海	(544)
通用射表检查数据处理及结果评定	王文祥 赵丽俊 林凡红	(549)
某产品外罩帽强度对动破甲性能的影响	姚春臣 胡洪波 姜秋亮 等	(555)
某高炮陀螺瞄具检测系统恒流源设计	张海峰 王长升 杨 勇 等	(560)
一种基于验前数据物理来源修正的成败型可靠性评估方法	郭荣化 吴玉生	(564)
航炮后坐力对数衰减率测试	陈 蕊	(568)
某坦克关键零部件发射应力分析	徐 达 韩振飞	(573)
基于 EMD 和 SVM 的柴油机故障诊断研究	周荣兴 刘建敏 陈 中	(578)
基于方位不变特征的地雷检测方法	曲笑江 王玉明 施云飞 等	(583)
一种基于动态背景学习的探地雷达探雷方法	王 群 姜和俊 薛 卫	(588)
基于中子质询原理的地雷探测方法	袁志文 侯根算 刘咏华	(592)
雷达图像模拟在伪装技术中的应用研究	曾朝阳 贾云鹤 吕绪良	(596)
近红外高反射黑色颜料制备和性能表征实验研究	张拴勤 连长春 杨 辉 等	(601)
测试性技术在工程装备中的应用与发展	孙启亮 涂群章 孙 敏 等	(606)
基于云模式的武器装备实验资源共享研究	付书杰 刘非平 冯赞军 等	(611)
基地试验、部队试验与部队试用的关系辨析	孟庆均 刘福胜 陈守华	(616)
工程机械发动机检测仪设计与开发	孟 宏 吴建军	(620)
疏系玻璃光学均匀性的近红外检测法研究	张莹昭 戴仕勋 李林涛 等	(624)
坦克履带板新材料的成分设计与性能测试	张 平 赵军军 原津萍	(629)
高炮在自动状态下跟踪误差的检测方法研究	宋大明 赵士勇	(634)
某型火炮武器系统维修性试验方法研究	李建中 李治三 谢 辉	(637)
防空武器系统光电探测装置野战检测系统设计	赵国豪 黄明和 谭锡联 等	(641)
美军使用试验与评价对我军装备定型工作的启示	冯 靖 单志伟	(646)

使用与保障

基于模糊动态聚类法的装备状态质量评估研究	赵战彪 王生凤 童 珣	(653)
基于粗糙集与 QFD 的装备维修过程质量关键参数确定	汤 珏 陈春良 石文华	(659)
装甲装备服役初期考核性使用摩托小时标准研究	梅国建 姜东升 李洪广 等	(663)
BP 神经网络装甲装备维修质量管理绩效评价	方世源 李爱民	(668)

情景感知交互式维修诱导系统研究	吴云锋 刘 波 胥玉震 (674)
防范合同商利己风险 稳妥推进军民一体化保障进程	
——基于对合同商进行有效监督的视角	张福元 李玉秋 (679)
多信号流模型在自行高炮综合保障中的应用	吕启元 魏 玮 (683)
装备保障仿真系统概念模型体系结构研究	刘 彬 米 东 杜晓明等 (686)
基于仿真的装甲装备备件最优库存研究	曹军海 杜海东 (691)
弹道炸事故中弹丸爆炸点的确定方法	安立强 于 鹏 王英喆等 (696)
装甲装备传动系统摩擦元件失效分析	刘文宝 孟祥辉 李林宏等 (701)
基于 RFID 的装备进出场识别系统设计	沈 洪 杜 超 帅 勇等 (707)
装甲机械化部队保障力量组织结构改革研究	寇德齐 王俊伟 王建平 (712)
序列化标识技术在装备器材物联网中的应用研究	纪红任 李 新 刘克胜 (717)
基于保障能力利用率的中继级装备修理机构专业融合改革绩效评估研究	
.....	王远立 高 波 裴 宏等 (721)
对某型飞机机务保障模式改革的思考	杨宜林 王德功 常 硕 (726)
地面防空武器系统备件保障方案优化研究	彭英武 阮旻智 陈维义等 (730)
装甲车载导弹武器系统预测维修研究	杜恩祥 常 雷 田暉平 (739)
数字化部队通用装备中继级维修力量模块化研究	张仕新 刘新光 (744)
基于知识熔接的维修方舱方案智能设计技术研究	韩守红 万里波 吕振华等 (749)
大型复杂装备健康管理用户要求分析与诊断预测指标体系	尉询楷 蔡向晖 冯 悦等 (755)
新型军械装备军民一体化区域保障机构绿色维修体系的构建	董卫华 (764)
美国海军舰船保障软件通用化集成策略分析	周 菲 (769)
基于灰色聚类与模糊网络分析的保障方案择优研究	李 飞 诸雪征 李 艳等 (773)
基于 RBF 神经网络的作战飞机成本估算	王宜新 张晨琥 刘 虎等 (779)
坦克发动机磨损对润滑油流动的影响研究	赵以贤 毕小平 董 博 (784)
油缸连接螺钉断裂问题的研究	孙大伟 王 斌 王东荣等 (789)
自行高炮空域禁射控制方法研究	王 峰 赵军朝 崔星毅等 (792)
基于 Agent 的装备状态维修检测间隔期仿真方法研究	寇德齐 赵 聪 王建平等 (797)
热像系统维修保障方案研究	李 强 许 红 程高峰 (801)
基于 AHP 的某新型坦克射击模拟训练系统成绩评定研究	卢 皓 刘全胜 王帅帅等 (805)
构建装甲装备维修保障信息化系统模型	闫明亮 张 宏 史俊斌 (810)
物联网技术在工程保障中的应用探讨	郭 伟 龙 涛 李 波 (815)
基于状态评估的复杂系统任务可靠性评估研究	沈 军 张耀辉 王少华 (819)
装备保障系统能力增长模型研究	左文涛 赵 勇 (824)
基于云计算理论的军事装备物流保障模式浅析	徐 丹 王铁宁 胡南松等 (832)
高炮小场地模拟实弹射击训练系统的设计与实现	高乐南 张海峰 马海军等 (838)
维修保障方案分析及选择型要素的确定	李 飞 诸雪征 梁 婷 聂坤林等 (843)
陆航战时油料精确保障研究	赵 盼 李五洲 张雪胭 (849)

装甲装备器材包装效能评估研究	卢庆龄 张昕阳 宗 斌 等 (853)
装备质量管理风险评估指标体系及评估模型研究	谢剑锋 宋华文 李元左 (859)
风光互补独立供电系统在高原边防部队的应用	李朝红 曹国侯 沈朝虎 (865)
武器系统现代模拟训练理论与技术	佟 鹏 许 兵 王 辉 等 (870)
基于虚拟样机的炮门故障仿真研究	郑 坚 狄长春 杨艳峰 等 (874)
系统可靠性评估中数据折合方法比较分析	孔小林 董满才 (879)
基于威布尔比例风险模型的装备寿命预测研究	李小波 王宏伟 周俊杰 等 (884)
新型军械装备军民一体化维修保障力量组合探索	刘福军 李士彦 (888)
信息化武器装备使用初期维修策略研究	李士彦 刘福军 (893)
工程装备军民一体化保障刍议	董志斌 王生凤 (897)
装备物流可视化系统及体系结构研究	张惠民 王生凤 (902)
装甲装备器材供应链流程优化研究	王铁宁 张文超 刘宏祥 (906)
嵌入式操作系统 VxWorks 在雷达系统控制中的应用	任媛媛 张 炫 (912)
武器装备承研承制单位售后服务体系建设与需求分析	樊海博 高 卫 (916)

其 他

复合固体推进剂动态力学热分析	刘晋湘 杨 雅 王 宇 (923)
TiO ₂ 光催化剂在环保方面的应用	余 琼 马 兰 郑 颖 等 (932)
高强钛合金激光焊接头组织与性能分析	易同斌 陈大军 张隆平等 (935)
新型燃烧剂及复合装药燃烧弹技术研究	巨秀芝 鲁思青 李艳娟 (939)
HMX 在 DMSO/H ₂ O 二元体系中的溶解度研究	陈 娅 刘 颖 徐瑞娟 (946)
信息化后勤装备寿命周期费用比例的确定	
——基于 BP 神经网络的方法	熊 亮 徐 欣 (950)
基于 HLA/RTI 的情报源数字仿真系统的设计与实现	何新华 王 琼 毕学军 (956)
复杂电磁环境下指挥信息系统生存能力指标初探	赵颖坤 何新华 (963)
信息化战场中乘员工作负荷测量技术探讨	万 红 考希宾 夏宝清 等 (968)
基于 SOA 的新型军用 ATS 软件体系结构研究	孙香冰 焦现炜 陈 烁 等 (973)
火控系统软件可靠性测试任务剖面生成方法探讨	张 鲁 常 岗 李晓阳 (979)
基于单光子短波红外探测与激光器技术的即时全球打击武器对抗体系	
.....	陈 洁 王忆锋 余连杰 等 (987)
大型复杂装备健康管理用户要求分析与诊断预测指标体系	尉询楷 蔡向晖 冯 悦 等 (993)
磁场力作为引信转子解除保险的环境力	葛 霞 王 钊 (1003)
基于 SNMP 的网络入侵防御系统研究	石小华 (1007)
基于模板匹配的目标自动跟踪算法研究	丁岩松 张新喜 王晓卫 (1012)
掺杂 Nd ₂ O ₃ 对 Ba _{0.7} Sr _{0.3} TiO ₃ 陶瓷介电性能的影响	李明利 余 琼 钱坤明 等 (1016)
TMS320F28335 的 CAN 总线通信的设计与实现	王 林 石 晨 丁 毅 等 (1019)
复杂系统动态可靠性模型的建模与仿真方法研究	曹军海 杜海东 申 莹 (1024)

装甲装备使用阶段安全风险评估指标体系研究	王生凤 童 珣 杨宏伟 等 (1029)
物联网技术在装备物流领域的应用研究	王树礼 罗春萌 倪明仿 等 (1034)
装备损伤——功能映射模型研究	董原生 潘洪平 徐隆洋 等 (1040)
Nano - TiO ₂ /玻璃微珠复合耐磨涂层的制备及性能	杜仕国 汪明球 闫 军 等 (1046)
水平拉杆疲劳试验的振动分析与加载频率的选定方法研究	冯占辉 梁 川 陶 莉 等 (1051)
聚氨酯材料特性及其在工程装备中的应用	程 营 陈 浩 马兰英 (1056)
自聚焦激光火工品光路仿真及性能测试	陈建华 贺爱锋 徐奉一 等 (1061)
光伏控制器的 fly - back 电源低功耗实现	柴竹新 沈建华 乐 群 (1067)
一种新型穿甲弹芯材料——钨丝增强非晶复合材料	史洪刚 张海峰 祝理君 等 (1072)
锂离子电池在装甲车辆电源系统中的应用	易 振 陈建华 (1079)
复合材料贴补技术在渡河桥梁构件损伤修复中的应用研究	孙建群 况 祺 孙永岗 等 (1085)
基于土体邓肯—张模型的军用铝合金路面板的力学行为分析	白斌胜 程 营 (1091)
外军军民融合式发展及其启示	王生凤 杨宏伟 刘世伦 等 (1096)

使用与保障

基于模糊动态聚类法的装备状态质量评估研究

赵战彪¹ 王生凤² 童 珣²

(1. 装甲兵工程学院科研部, 北京 100072; 2. 装甲兵工程学院技术保障工程系, 北京 100072)

摘 要 装备状态质量的好坏已成为决定部队战斗力的重要因素, 及时准确和动态掌握装备的状态质量, 已成为装备管理的一个重要目标。论文采用动态聚类分析法首先对原始数据进行规范化处理, 形成矩阵, 而后得到其模糊等价矩阵, 最后由动态聚类图, 得到各台装备状态质量的优劣分类排序。通过算例的计算分析, 证明将该方法应用于装备状态质量的综合评估是完全可行的, 也是装备状态质量综合评估的一个新的思路。

关键词 动态聚类分析法; 装备技术状态; 状态质量; 质量评估

随着装备的现代化, 装备技术状态的好坏已成为决定部队战斗力的重要因素, 及时准确和动态掌握装备的状态质量, 已成为装备管理的一个重要目标。装备状态质量是指装备寿命周期某一时刻一组固有特性满足要求的程度^[1], 是由多个指标从不同的角度共同体现的。若仅由单项指标的评估来决定装备状态质量的好坏相对来说比较片面。目前, 常用的综合评价方法有层次分析法、模糊综合评判法、神经网络法等, 本文采用了模糊聚类分析法对装备各个状态质量特性指标进行综合评价, 也是装备状态质量综合评估的一个新的思路。

1 装备状态质量评估指标体系和评估方法

1.1 装备状态质量评估指标体系

建立一套科学完整、行之有效的评估指标体系, 是进行装备技术状态评估的基础和先决条件。装备种类不同, 体现其技术状态的质量特性也不同。阮晓芬等人从可用性、可靠性和任务完成能力 3 个方面提出了 16 个舰船电子装备技术状态评估指标, 并采用 ADC 法进行了综合评价^[2]。对于装甲装备而言, 同样要考虑可用性、可靠性和任务完成能力。反映装甲装备使用状态质量好坏指标主要有平均无故障工作时间、百公里油耗、最大行驶速度等 8 个质量特性指标。

1.2 评估方法

聚类分析是根据事物间的不同特征、亲疏程度和相似性关系进行分类的一种数学方法。由于事物间的关系界定往往是不分明的, 即为模糊关系, 所以利用模糊聚类分析法会更符合客观实际。

模糊聚类分析方法大致可以分为三大类^[3]: 其中模糊等价矩阵动态聚类分析法是最为普遍的一种方法, 该方法分类数不定, 可根据不同要求对事物进行动态聚类, 是基于模糊等价矩阵聚类的。其算法过程如下:

步骤 1 数据的预处理。主要是为消除不同指标间的量纲差异而进行的规范化处理。常用的方法有标准差标准化、极差标准化和极差正规化^[4]。

①标准差标准化计算公式。对第 j 个指标的 n 个数据的标准差标准化为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (1)$$

其中, $\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}$ 为第 j 个指标的平均值, $s_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}$ 为标准差。

②极差正规化计算公式。对第 j 个指标的 n 个数据的做极差正规化为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq n} (x_{ij})}{R_j} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

其中, $R_j = \max_{1 \leq i \leq n} (x_{ij}) - \min_{1 \leq i \leq n} (x_{ij})$ $j = 1, 2, \dots, k$ 为第 j 个指标的极差。

步骤2 建立相似矩阵 R 。通过计算衡量被分类对象间相似程度的相关系数 r_{ij} , 建立模糊相似关系矩阵 R 。根据实际情况, 计算 r_{ij} 可采用多种方法, 常用的方法有: 最大最小法、算术平均最小法、绝对值倒数法、夹角余弦、相关系数法等多种。本文采用算术平均最小法计算。其数学计算公式为:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ik} \wedge x_{jk})}{\frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (x_{ik} + x_{jk})} \quad (3)$$

步骤3 构造模糊等价关系矩阵。模糊聚类是依据具有传递性的模糊等价矩阵进行分类的。模糊相似矩阵不一定具有传递性, 未必是模糊等价矩阵, 因此, 必须依据模糊相似矩阵 R 构造一个新的模糊等价矩阵。模糊相似矩阵 R 的传递闭包 $t(R)$ 就是一个模糊等价矩阵。 $t(R)$ 由平方自合成方法求得, 即:

$$R \rightarrow R^2 \rightarrow R^4 \rightarrow \dots \rightarrow R^{2^k} \rightarrow \dots \quad (4)$$

当 $R^{2^{k_0-1}} = R^{2^{k_0}}$, 即得到模糊等价关系矩阵。

步骤4 绘制动态聚类图。适当选取置信水平值 $\lambda \in [0, 1]$, 求出 $t(R)$ 的 λ 截矩阵 $t(R)_\lambda$, 按 $t(R)_\lambda$ 进行分类。在 $\lambda \in [0, 1]$ 中取不同的值时, 相应的分类随之改变, 得到的模糊分类具有动态性, 根据不同的要求, 使 λ 取遍 $\lambda_i \in [0, 1]$ ($i = 1, 2, \dots, m$), 得到按 $t(R)_{\lambda_i}$ 的一系列分类, 得到动态聚类图。

2 装甲装备使用状态质量评估案例分析

以某坦克连为例, 收集了 10 辆坦克的首发命中率、平均无故障工作时间等 8 项信息, 详见表 1。

表 1 10 辆坦克的质量信息原始数据表

指标 坦克	首发 命中率 (%)	平均无故障 工作时间 (h)	百公里 油耗 (L)	平均无故障 时间行驶 里程 (km)	最大行驶 速度 (km/h)	油压	通信距离 (km)	累积行 驶里程 (km)
A1	98	85	240	356	57	10	25	582
A2	95	74	256	305	55	9	24	766
A3	93	62	260	248	52	7	21	942
A4	97	80	244	362	57	11	25	578
A5	96	76	258	300	54	10	23	769
A6	92	64	258	240	51	8	20	950
A7	97	82	249	349	53	10	24	592
A8	94	70	251	294	56	9	22	760
A9	94	60	257	236	50	7	20	946
A10	99	78	251	346	54	10	25	570

(1) 数据预处理

根据式 (1) 和式 (2), 对表 1 中 10 辆坦克的原始数据进行标准差标准化和极差正规化处理, 得到规范化数据, 如表 2 所示。

表 2 规范化数据表

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
A1	0.14	0	1	0.05	0	0.25	0	0.97
A2	0.57	0.44	0.2	0.45	0.29	0.50	0.2	0.48
A3	0.86	0.92	0	0.90	0.71	1	0.8	0.01
A4	0.29	0.20	0.8	0	0	0	0	0.98
A5	0.43	0.36	0.1	0.49	0.43	0.25	0.4	0.47
A6	1	0.84	0.1	0.97	0.86	0.75	1	0
A7	0.29	0.12	0.55	0.10	0.57	0.25	0.2	0.94
A8	0.71	0.60	0.45	0.54	0.14	0.50	0.6	0.49
A9	0.71	1	0.15	1	1	1	1	0
A10	0	0.28	0.45	0.13	0.43	0.25	0	1

(2) 建立模糊相似矩阵 R

本文采用算术平均最小法计算相似程度系数, 并求得相似矩阵 R 。由式 (3) 得到求得相似程度系数 r_{ij} , 如表 3 所示。

表 3 相似程度系数 r_{ij}

r_{ij}	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	$j=6$	$j=7$	$j=8$
$i=1$	1	0.4	0.12	0.82	0.54	0.2	0.71	0.43
$i=2$	0.4	1	0.59	0.43	0.84	0.59	0.63	0.83
$i=3$	0.12	0.59	1	0.13	0.58	0.91	0.37	0.67
$i=4$	0.82	0.43	0.13	1	0.41	0.15	0.72	0.45
$i=5$	0.54	0.84	0.58	0.41	1	0.58	0.66	0.76
$i=6$	0.2	0.59	0.91	0.15	0.58	1	0.38	0.67
$i=7$	0.71	0.63	0.37	0.72	0.66	0.38	1	0.58
$i=8$	0.43	0.83	0.67	0.45	0.76	0.67	0.58	1

相似矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.4 & 0.12 & 0.82 & 0.54 & 0.2 & 0.71 & 0.43 \\ 0.4 & 1 & 0.59 & 0.43 & 0.84 & 0.59 & 0.63 & 0.83 \\ 0.12 & 0.59 & 1 & 0.13 & 0.58 & 0.91 & 0.37 & 0.67 \\ 0.82 & 0.43 & 0.13 & 1 & 0.41 & 0.15 & 0.72 & 0.45 \\ 0.54 & 0.84 & 0.58 & 0.41 & 1 & 0.58 & 0.66 & 0.76 \\ 0.2 & 0.59 & 0.91 & 0.15 & 0.58 & 1 & 0.38 & 0.67 \\ 0.71 & 0.63 & 0.37 & 0.72 & 0.66 & 0.38 & 1 & 0.58 \\ 0.43 & 0.83 & 0.67 & 0.45 & 0.76 & 0.67 & 0.58 & 1 \end{bmatrix}$$



(3) 构造模糊等价关系矩阵

采用平方自合成法, 由式 (4) 求模糊相似矩阵 R 的模糊等价矩阵, 计算得。

$$R^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0.63 & 0.54 & 0.82 & 0.66 & 0.54 & 0.72 & 0.58 \\ 0.63 & 1 & 0.67 & 0.84 & 0.84 & 0.67 & 0.66 & 0.83 \\ 0.54 & 0.67 & 1 & 0.45 & 0.67 & 0.91 & 0.59 & 0.67 \\ 0.82 & 0.84 & 0.45 & 1 & 0.66 & 0.45 & 0.72 & 0.58 \\ 0.66 & 0.84 & 0.67 & 0.66 & 1 & 0.67 & 0.66 & 0.83 \\ 0.54 & 0.67 & 0.91 & 0.45 & 0.67 & 1 & 0.59 & 0.67 \\ 0.72 & 0.66 & 0.59 & 0.72 & 0.66 & 0.59 & 1 & 0.66 \\ 0.58 & 0.83 & 0.67 & 0.58 & 0.83 & 0.67 & 0.66 & 1 \end{bmatrix}$$

$R^2 \neq R$, 根据式 (4), 继续自相乘, 直到 $R^8 = R^{16}$ 。

$$R^8 = \begin{bmatrix} 1 & 0.82 & 0.67 & 0.82 & 0.82 & 0.67 & 0.72 & 0.82 \\ 0.67 & 0.67 & 1 & 0.67 & 0.67 & 0.91 & 0.67 & 0.67 \\ 0.82 & 0.84 & 0.67 & 1 & 0.84 & 0.67 & 0.72 & 0.83 \\ 0.82 & 0.84 & 0.67 & 0.84 & 1 & 0.67 & 0.72 & 0.83 \\ 0.67 & 0.67 & 0.91 & 0.67 & 0.67 & 1 & 0.67 & 0.67 \\ 0.72 & 0.72 & 0.67 & 0.72 & 0.72 & 0.67 & 1 & 0.72 \\ 0.82 & 0.83 & 0.67 & 0.83 & 0.83 & 0.67 & 0.72 & 1 \end{bmatrix} = R^{16}$$

(4) 绘制动态聚类图

当 $\lambda = 1$ 时,

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

相应的聚类为: $\{A1\}$, $\{A2\}$, $\{A3\}$, $\{A4\}$, $\{A5\}$, $\{A6\}$, $\{A7\}$, $\{A8\}$, $\{A9\}$, $\{A10\}$, 10 辆车分为 10 类, 显然, 分类过细。

当 $\lambda = 0.59$ 时,

$$R_{0.59} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

相应的聚类为: $\{A1\}$, $\{A2, A3\}$, $\{A4\}$, $\{A5\}$, $\{A6\}$, $\{A7\}$, $\{A8\}$, $\{A9\}$, $\{A10\}$, 10 辆车分为 9 类, 只有 A2 和 A3 同属一类, 其他车辆分别为一类。

当 $\lambda = 0.4$ 时,

$$R_{0.4} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

相应的聚类为: $\{A1, A2\}$, $\{A2, A3\}$, $\{A4, A5\}$, $\{A5, A6\}$, $\{A7, A8\}$, $\{A9\}$, $\{A10\}$ 。10 辆车分为 7 类, A1 和 A2 为一类, A2 和 A3 为一类, A4 和 A5 为一类, A5 和 A6 为一类, A7 和 A8 为一类, A9 和 A10 分别各属一类。

当 $\lambda = 0.15$ 时,

$$R_{0.15} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

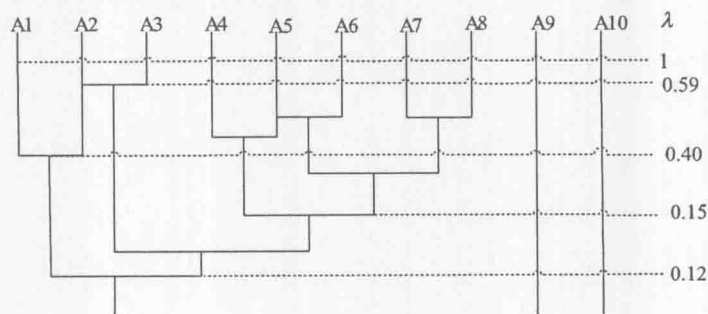
相应的聚类为: $\{A1, A2\}$, $\{A2, A3\}$, $\{A4, A5, A6, A7, A8\}$, $\{A9\}$, $\{A10\}$ 。10 辆车分为 5 类, A1 和 A2, A2 和 A3, A4、A5、A6、A7 和 A8 为一类, A9 和 A10 分别各属一类。

当 $\lambda = 0.12$ 时,

$$R_{0.12} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

相应的聚类为: $\{A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8\}$, $\{A9\}$, $\{A10\}$ 。10 辆车分为 3 类, A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7 和 A8 为一类, A9 和 A10 分别属一类。

各 λ 水平下, 10 辆车的动态聚类结果如图所示。



10 辆坦克的动态聚类结果图



由以上聚类过程可以看出, λ 的取值不同, 分类结果就不同; λ 值越大, 越接近 1, 分类越细, 得到的类越多; λ 越小, 分类越粗, 得到的类数越少。根据装备管理实际, 一般分为 4 类或 3 类即可。本文确定为 3 类, 即 A9, A10 和 A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7、A8。在不同的 λ 值下, 坦克 A9 和 A10 都是单独为一类。结合表 2 中 10 辆坦克的质量信息数据, 可以看出, 10 辆坦克中, A10 的状况最好, 其首发命中率、平均无故障工作时间、平均无故障时间行驶里程和通信距离都是最高的, 且百公里油耗量最低。A9 的状况最差, 8 项技术指标较其他车辆明显偏低。A1 ~ A8 车辆状况中等。对以上 10 辆坦克车辆质量状况进行分类, 分为好 {A10}, 中 {A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7、A8}, 差 {A9} 三个级别。据此装备管理人员可以有针对性的进行管理, 对于状态质量较差的装备, 要重点维护保养, 也是送修的对象; 对于状态质量中等的装备, 要加强维护保养, 重点检测, 关注其技术状态的可能变化; 状态质量较好的装备, 按照一般程序进行保养即可。

3 结束语

定量全面地评估装备状态质量, 是全面考核装备技术状态的依据和装备管理决策的参考。论文应用模糊聚类理论对装备状态质量综合评估, 有如下优点: ①该方法考虑了装备质量特性指标的综合影响, 得到直观的评估结果; ②该方法可以在考虑多个装备状态质量指标的同时, 对多台装备进行评估, 得到优劣排序, 通过设置评估基准, 得到整个装备状态质量综合水平; ③随着置信水平 λ 的改变, 可以得到不同置信水平下的装备状态质量所处的水平等级, 对多台装备状态质量综合评估更明了更灵活。

参考文献

- [1] 刘松林, 尚宏, 李勇, 等. 航天发射场装备状态质量预测模型研究 [J]. 计算机测量与控制. 2005, 13、12: 1387 - 1389.
- [2] 阮晓芬, 朱强华, 金国庆, 等. 舰船电子装备技术状态评估方法研究 [J]. 舰船电子工程, 2008, 28 (12): 5 - 7, 64.
- [3] 段翔颖. 基于模糊聚类及过程能力指数的电能质量综合评估 [D]. 河北: 华北电力大学, 2006, 12.
- [4] 徐艺萍. 动态聚类方法 [D], 成都: 西南大学, 2006, 5.

作者简介

赵战彪, 装甲兵工程学院, 副教授。从事装备管理和装备保障领域教学与科研工作。