

doi: 10.7690/bgzd.2016.04.009

雷达对抗装备作战试验项目规划方法研究

柯宏发, 祝冀鲁, 张军奇
(装备学院装备试验系, 北京 102206)

摘要: 为确定合适的试验项目, 提出基于树状分析技术的雷达对抗装备作战试验项目规划方法。根据雷达及雷达对抗装备的作战使命提出关键作战问题, 采用树状分析技术, 将关键作战问题分解为试验目标及其相关的效能指标和适用性指标, 根据试验目标、效能指标和适用性指标即可确定具体的作战试验项目。结果表明: 研究确定的作战试验项目可以增减使用, 能保证作战效能和作战适用性评估所需原始数据录取工作的顺利进行。

关键词: 作战试验; 试验项目规划; 树状分析技术; 雷达对抗装备

中图分类号: TJ03 **文献标志码:** A

Planning Research of Operational Test Project for Radar Countermeasure Equipment

Ke Hongfa, Zhu Jilu, Zhang Junqi
(Department of Equipment Test, Equipment Academy, Beijing 102206, China)

Abstract: In order to confirm appropriate test project, tree analysis technique based test project planning method for operational test of radar countermeasure equipment is proposed. Firstly, the key operational issues are raised according to the combat mission of radar or radar countermeasure equipment. Then, with the tree analysis technique, every key operational issue is divided into test target and relevant effectiveness indexes and applicability indexes. Finally, the specific operational test project can be confirmed according to test target and relevant effectiveness indexes and applicability indexes. Research results show that the confirmed test projects can be used increasing or reduce and ensure the data acceptance for operational effectiveness and operational applicability evaluation.

Keywords: operational test; test project planning; tree analysis technique; radar countermeasure equipment

0 引言

随着新军事变革和信息化建设的不断推进, 世界各国越来越重视武器装备实战环境中的作战试验鉴定, 要求面向真实作战威胁、逼真作战环境充分、全面考核武器装备作战效能、作战适用性以及生存能力等。有关武器装备作战试验鉴定及其关键技术已成为目前国内外武器装备战斗力快速形成的研究热点之一^[1-4]。

作战试验规划作为作战试验鉴定过程最重要的部分之一, 在项目研制之初就开始启动, 并在作战试验实施前都处于逐步细化、迭代和完善的过程, 为此, 美军提出了作战试验规划中关键作战问题的树状分析技术^[3]。我军近年来十分重视武器装备的作战试验鉴定工作, 也取得了较为丰富的理论研究成果和实践经验。通常将装备的作战试验鉴定分为规划作战试验需求、制定作战试验计划、实施作战试验项目和进行作战试验总结等主要阶段。仔细分析美军及我军对装备作战试验鉴定阶段的划分, 作战试验规划基本上包括确定试验目标、确定试验项目、建立试验方法和估计试验资源需求等工作。国

外有关作战试验规划的资料文献较少, 只是一些段落性的定性介绍, 国内的研究大部分集中在作战试验现状分析和装备作战效能评估等方面。笔者借鉴美军的树状分析技术, 根据雷达及雷达对抗装备的作战使命, 提出作战试验鉴定的关键作战问题。基于树状分析技术确定相应的试验目标、效能指标和作战适用性指标, 从而确定其作战试验项目。

1 基于树状分析的作战试验项目规划

电子装备作战试验项目是电子装备作战试验方案的重要组成部分, 决定着作战试验实施的资源需求、环境条件布设、试验技术方法和数据采集要求等, 是作战试验中最重要的规划工作之一。作战试验项目规划的依据是被试装备试验任务总要求、国家军队制定的装备试验法规标准、现有战斗条令、被试装备研制总要求或研制任务书, 着眼于被试装备的作战性能和作战任务需求。作战试验项目既要保证涵盖被试装备各系统各层次的评估要求, 又不至于出现相互交叉重复的地方, 同时必须保证对试验信息的高度可采集性, 其最终目标是要为被试装备作战效能和作战适用性评估收集相关定性和定量

收稿日期: 2015-12-04; 修回日期: 2015-12-28

基金项目: 部委级资助项目

作者简介: 柯宏发(1969—), 男, 江苏人, 博士, 教授, 从事电子装备试验理论与技术研究。

的试验数据。

确定作战试验项目通常可以分为 2 个步骤：

1) 确定被试装备作战试验需要解决的关键作战问题。这是指那些针对作战效能和作战适用性考核目标，与系统使用、技术、保障或其他能力相关的疑问，通常用问句来表述。关键作战问题的确定依据是被试电子装备的作战使命任务、作战对象特征和战场环境，可以从《试验任务总要求》或《研制总要求》等文件中的关键性能参数导出。

2) 采用树状分析技术对关键作战问题进行分解，确定具体的作战试验项目。树状分析技术将关键问题分解到能够确定作战效能和作战适用性评估实际数据需求和作战试验测量程度的一种有效途径。用这些技术，将关键作战问题以图 1 所示的树状结构逐步分解为作战试验目标、效能量度、性能量度和数据需求。在这种方法中，目标用于清楚地表示与关键作战问题相关的试验与鉴定的各个方面

以及试验总目的。一般而言，每一个关键问题的解决都通过对一些效能准则的作战试验鉴定来实现。一个效能量度作为某一目标的一个直接贡献因素都是可以追溯的，通过目标，效能量度可以被确定为解答一个或多个关键作战问题的直接贡献因素。每个试验目标及与其相关的效能量度也与一个或多个性能量度(在规定条件下系统性能的定量或定性量度)相联系，试验项目规划就是要获得效能量度和适用性量度(装备在预期作战环境中受保障能力的一种量度，与战备或作战可用性有关，因而与可靠性有关)，在实际操作过程中，可以在一个试验项目中实现多个效能量度或适用性量度，即多个试验目标或效能量度可以通过一个试验项目达到，一个试验目标也可能必须通过多个试验项目实现，通过试验项目录取与性能量度相联系的具体数据元，数据元是在规定条件下的观察值和/或测量值(提供了作战效能和作战适用性评估原始数据的类型、来源等)。

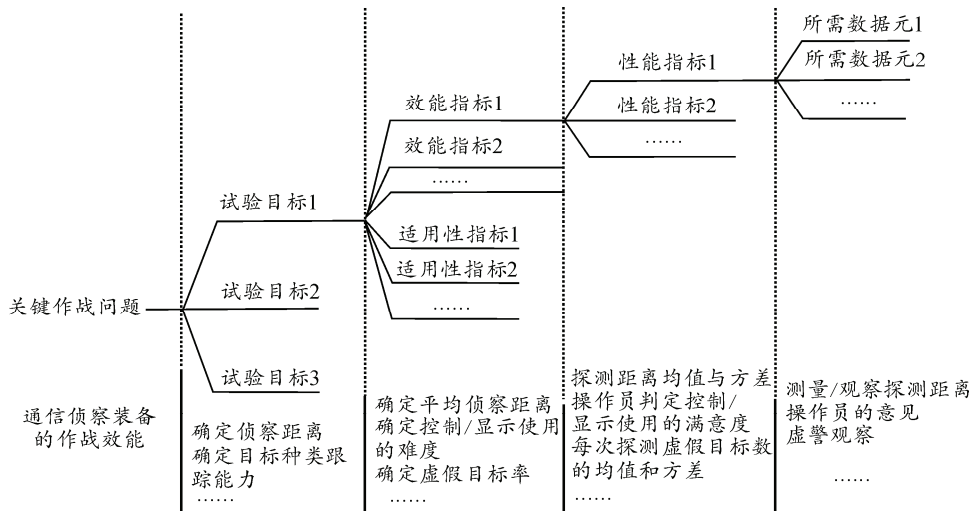


图 1 树状分析展示关键作战问题分解示例

2 雷达装备的作战试验项目规划

按照战术用途，雷达可分为战略预警雷达、警戒引导雷达、炮瞄雷达、制导雷达和战场监视雷达。笔者以某型三坐标目标指示雷达为例分析作战试验项目规划问题。假设该雷达主要用于防空侦察预警，其主要作战对象是覆盖空域内的各种固定翼作战飞机、直升机和无人机等空中目标。其作战使命是获取目标距离、方位和高度三坐标数据，并能实时向情报指挥控制系统上报雷达空情、工作状态和位置等信息，同时可接收情报指挥控制系统下达的命令及其他雷达站送来的目标信息，完成空情综合处理。

根据该雷达的作战使命，针对其作战效能评估，

基于“定向、决策、行动、观察”的思路，可提出关键作战问题：在近实战环境中能够在规定的距离上探测到目标吗？询问机能在规定的距离上收到应答信号吗？能探测到基于方位、仰角、高度角度的规定空间内的目标吗？距离、方位和高度上的探测精度能达到目标指示的要求吗？在距离、方位、仰角上的分辨力能达到目标指示的要求？能与情报指挥控制系统实现互连互通吗？能对其他雷达数据进行综合处理吗？雷达探测目标、信息传输等的及时性要求能得到满足吗？等。针对其作战适用性，基于“环境、使用、保障”的思路，可以提出下述关键作战问题：该雷达能在复杂电磁环境中进行目标探测吗？能在规定的高低温、一定风速和海拔的环

境中正常工作吗？操作人员在工作中感到舒适、安全吗？针对特殊侦察任务的机动能力具备吗？等。

按照上述关键作战问题，可以确定相应的试验目标。例如，根据“在近实战环境中能够在规定的距离上探测到目标吗？”就可以确定下述试验目标，即确定雷达探测距离，从而确定所属效能指标和适用性指标，平均最大探测距离、平均最小作用距离、

平均小目标探测距离等效能指标反映雷达的目标探测能力，人机使用性与安全性、环境适应性(工作温度、储存温度、相对湿度和天线抗风能力等适应性的聚合)、机动能力保障性、可靠性及维修性等适用性指标反映雷达在实战环境中的可用性。类似地，根据雷达的关键作战问题确定相应的试验目标、效能指标、作战适用性指标如表1所示。

表1 目标指示雷达的关键作战问题与指标

序号	关键作战问题	试验目标	效能指标	适用性指标
1	在近实战环境中能够在规定的距离上探测到目标吗？	确定雷达探测距离	平均最大探测距离 平均最小作用距离 平均小目标探测距离	
2	能探测到基于方位、仰角、高度角度的规定空间内的目标吗？	确定雷达探测覆盖范围	平均方位覆盖 平均仰角覆盖 平均最大高度覆盖	
3	距离、方位和高度上的探测精度能达到目标指示的要求吗？	确定雷达探测精度	距离探测精度 方位探测精度 高度探测精度 (均为均方根值)	作战使用适应性 作战环境适应性 作战保障适应性 复杂电磁环境适应性
4	询问机能够在规定的距离上收到应答信号吗？	确定询问机识别距离	平均最大识别距离	
5	在距离、方位、仰角上的分辨力能达到目标指示的要求吗？	确定雷达探测分辨力	距离分辨力 方位分辨力 仰角分辨力 (分辨概率80%)	
6	能与情报指挥控制系统实现互联互通吗？	确定雷达情报传输能力	信息输出接口 上报雷达空情、工作状态、位置 等信息能力 对情报系统下达命令的接收和显示能力	作战使用适应性 作战环境适应性 复杂电磁环境适应性
7	能对其他雷达数据进行综合处理吗？	确定雷达综合处理能力	目标信息接收能力 目标批号、格式转换和坐标转换 等处理能力 目标信息显示能力 模拟空情生成能力	
8	雷达探测目标、信息传输等的及时性要求能得到满足吗？	确定雷达的及时性	雷达开机时间 系统反应时间 架设/撤收时间 连续工作时间	
9	该雷达能在复杂电磁环境中进行目标探测吗？	确定雷达的复杂电磁环境适应性	探测距离、探测精度、情报处理、及时性等效能指标	复杂电磁环境适应性
10	能在规定的高低温、一定风速和海拔的环境中正常工作吗？	确定雷达的作战环境适应性	探测距离、探测精度、情报处理、及时性等效能指标	作战环境适应性
11	操作人员在工作中能感到舒适、安全吗？	确定雷达的作战使用适应性		作战使用适应性
12	针对特殊侦察任务的机动能力具备吗？	确定雷达的任务适应性	探测距离、探测精度等效能指标	作战保障适应性

根据表1的试验目标、效能指标和适用性指标，某型三坐标目标指示雷达的作战试验项目可以确定如下：试验目标“确定雷达探测距离”“确定雷达探测覆盖范围”“确定雷达探测精度”可以合并确定为试验项目“雷达探测距离试验”；试验目标“确定询问机识别距离”通过试验项目“询问机识别距离试验”实现；试验目标“确定雷达探测分辨力”通过试验项目“雷达探测分辨力试验”实现；试验目标“确定雷达情报传输能力”“确定雷达综

合处理能力”通过试验项目“空情综合处理试验”实现；试验目标“确定雷达的及时性”则需要通过试验项目“架设/撤收时间试验”“连续工作时间试验”一并实现，其中的效能指标“雷达开机时间”和“系统反应时间”可以在试验项目“雷达探测距离试验”中进行测量。在极限的严酷环境中可以结合试验项目“雷达探测距离试验”或“询问机识别距离试验”进行适用性指标“人机使用性与安全性”“环境适应性”的数据录取，适用性指标

“机动能力保障性”则可以设置试验项目“机动能力保障试验”，“可靠性及维修性”则可以设置试验项目“可靠性及维修性试验”，“电磁兼容性”则可以设置试验项目“电磁兼容性测试”。这里需要注意区别电磁兼容性测试与复杂电磁环境适应性试验^[5]，复杂电磁环境适应性试验是环境适应性试验的一部分，是指雷达在预期电磁环境作用下，实现其预定功能、性能和(或)不能正常工作的能力，以及不对所在环境产生不可接受的电磁发射的能力；而电磁兼容性指雷达的一种能力，这种能力保证其在既定的工作条件下，不会因电磁发射或响应而造成不能接受的或未预知的性能降级。

3 雷达对抗装备的作战试验项目规划

笔者以×波段雷达干扰站为例分析雷达对抗装备的作战试验项目规划问题。假设该干扰站担负的主要作战任务是对工作于该波段的敌机载雷达进行电子干扰，降低其对己方重要区域、重要目标的侦察和监视能力，掩护己方重要军事部署和军事行动。该干扰站由侦察控制车、干扰发射车和电源车 3 部分组成，具有截获、识别、跟踪和干扰×波段雷达的功能。

根据该雷达干扰站的作战使命，针对其作战效能评估，可提出关键作战问题：在近实战环境中能够在规定的距离上和空域内探测到目标并实施干扰

吗？对雷达功能削弱和破坏的程度能否达到作战使命及任务规定的要求吗？侦察系统探测雷达信号、发射干扰信号等的及时性要求能得到满足吗？等。针对其作战适用性，可提出下述关键作战问题：该雷达干扰站能在复杂电磁环境中进行雷达信号的探测与识别吗？能在规定的高低温、一定风速和海拔的环境中正常工作吗？该雷达干扰站能适应雷达体制、脉冲宽度范围、脉冲重复频率范围等信号环境吗？操作人员在工作中能感到舒适、安全吗？等等。

按照上述关键作战问题，可以确定相应的试验目标。例如，根据“能够在规定的距离上和空域内探测到目标并实施干扰吗？”就可以确定下述试验目标，即确定干扰系统的侦察干扰距离以及确定干扰系统的侦察干扰范围，从而确定试验目标相应的效能指标和适用性指标。如试验目标“确定干扰系统的侦察干扰距离”主要分解为平均最大侦察距离、平均最小侦察距离和平均最大干扰距离等效能指标；试验目标“确定干扰系统的侦察干扰范围”主要分解为平均方位覆盖、平均仰角覆盖等效能指标；该雷达干扰站的作战适用性可分解为人机使用性与安全性、复杂电磁环境适应性、环境适应性、信号环境适应性等指标。类似地，根据该雷达干扰站的关键作战问题确定相应的试验目标、效能指标、作战适用性指标如表 2 所示。

表 2 雷达干扰站的关键作战问题与指标

序号	关键作战问题	试验目标	效能指标	适用性指标
1	能够在规定的距离上和空域内探测到目标并实施干扰吗？	确定干扰系统的侦察干扰距离	平均最大侦察距离 平均最小侦察距离 平均最大干扰距离	作战使用适应性 复杂电磁环境适应性 作战环境适应性 信号环境适应性
		确定干扰系统的侦察干扰范围	平均方位覆盖 平均仰角覆盖	
2	对雷达功能削弱和破坏的程度能否达到作战使命及任务规定的要求吗？	确定干扰系统基于概率的干扰效果	平均雷达发现概率 平均雷达侦察时间 平均正确识别概率	
		确定干扰系统基于精度的干扰效果	平均目标跟踪精度	
3	侦察系统探测雷达信号、发射干扰信号等的及时性要求能得到满足吗？	确定干扰系统的及时性	干扰反应时间 架设/撤收时间 连续工作时间	
4	能在复杂电磁环境中进行雷达信号的探测与识别吗？	确定干扰系统的电磁环境适应性	干扰系统的侦察距离和范围效能指标	复杂电磁环境适应性
5	能在规定的高低温、一定风速和海拔的环境中正常工作吗？	确定干扰系统的作战环境适应性	干扰系统的侦察干扰距离和范围、干扰效能及效果等效能指标	作战环境适应性
6	该雷达干扰站能适应雷达体制、脉冲宽度范围、脉冲重复频率范围等信号环境吗？	确定干扰系统的信号环境适应性	干扰系统的侦察干扰距离和范围、干扰效能及效果等效能指标	信号环境适应性
7	操作人员在工作中能感到舒适、安全吗？	确定干扰系统的作战使用适应性		作战使用适应性

根据表 2 的试验目标、效能指标和适用性指标，×波段雷达干扰站的作战试验项目可以确定如下：

试验目标“确定干扰系统的侦察干扰距离”“确定干扰系统的侦察干扰范围”可以合并确定为试验项目

“雷达干扰站侦察干扰距离试验”；试验目标“确定干扰系统基于概率的干扰效果”“确定干扰系统基于精度的干扰效果”通过试验项目“雷达干扰站干扰效能试验”实现；试验目标“确定干扰系统的及时性”则需要通过试验项目“架设/撤收时间试验”“连续工作时间试验”“干扰反应时间试验”一并实现；试验目标“确定干扰系统的电磁环境适应性”“确定干扰系统的信号环境适应性”“确定干扰系统的使用适用性与安全性”可以结合试验项目“确定干扰系统的侦察干扰距离”实现；试验目标“确定干扰系统的作战环境适应性”可以通过试验项目“适应雷达体制能力试验”实现。

当然，对于雷达干扰站的频率覆盖范围、接收系统工作灵敏度、接收系统动态范围和干扰发射机功率等主要技术参数，可以设置试验项目“静态技术参数测试”进行考核。

4 结束语

美军于20世纪60年代率先提出武器装备作战试验的思想，其基本理念是在现实中构建逼真的战场环境，通过模拟真实的作战运用和对抗过程，对武器装备的作战效能和作战适用性进行检验。其中确定试验项目是作战试验工作中极为重要的环节，只有合适的试验项目才能保证作战效能和作战适用

(上接第34页)

利用Xilinx公司仿真软件ISIM进行仿真，结果如图4所示。图5为计算机网络调试助手，可以看到，每隔100ms，不断地有网络数据包发送上来，这些都是旋编信息。



图6 瞄准线控制仿真结果

在主控计算机中利用VC++针对网络模块接收到的脉冲数和公式(3)进行编程，得到最后图形仿真结果如图6所示。

4 结束语

在制导跟踪模拟仿真训练控制设计中，采用旋

性评估所需原始数据录取工作的顺利进行。笔者基于美军提出的树状分析技术，分别研究确定了雷达、雷达对抗装备的作战试验项目。电子装备作战试验鉴定工作是与全寿命阶段管理工作紧密配合的，应该根据不同管理阶段及其工作重点确定作战试验鉴定的目标、项目及内容。对于作战试验评估、定型作战试验、生产作战试验和在役作战试验等基本模式或阶段^[6]，根据其实际作战试验需求，文中所研究确定的作战试验项目可以增减使用。

参考文献：

- [1] 王凯, 赵定海, 闫耀东, 等. 武器装备作战试验[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 138-147.
- [2] 闫耀东, 王凯, 杜晓坤, 等. 陆军装甲装备作战试验问题研究[J]. 装甲兵工程学院学报, 2012, 26(1): 14-20.
- [3] Defense Acquisition University. Test and Evaluation Management Guide(Sixth Edition)[M]. Virginia: The Defense Acquisition University Press, 2012: 82-84, 122-131.
- [4] United States Marine Corps. Operational Test & Evaluation Manual (Third Edition)[R]. Virginia: Marine Corps Operational Test and Evaluation Activity, 2013: 33-36.
- [5] 苏东林, 谢树果, 戴飞, 等. 系统级电磁兼容性量化设计理论与方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2015: 45-51.
- [6] 柯宏发, 杜红梅, 祝冀鲁. 电子装备作战试验模式问题研究[J]. 国防科技, 2015, 36(4): 34-41.

转编码器角度测量，克服了实装复杂的测角电路设计及机械设计，方便快捷地实行了角度输出^[7]。实际应用结果证明：旋转编码器角度输出系统在模拟跟踪仿真训练中效果好，而且具有结构简单，操作方便，质量轻和较为实用的特点。

参考文献：

- [1] 吴永刚. 导弹系统的仿真技术[J]. 航空兵器, 1988(6): 97-101.
- [2] 李会杰, 李雅峰, 何循来. 基于虚拟现实技术的某型导弹仿真训练系统研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(9): 2323-2325.
- [3] 刘斌, 陆永华, 杨超. 基于PSD的激光跟踪测量控制系统研究[J]. 机电工程, 2015, 32(8): 1033-1037.
- [4] 夏冬梅, 孙林. 基于CPLD的增量式旋转编码器接口电路模块设计[J]. 电气技术与自动化, 2009(5): 156-158.
- [5] 杜颖财, 王希军, 王树浩, 等. 增量式编码器自动检测系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(11): 993-995.
- [6] 介党阳, 胡昭琳, 刘敬明, 等. 基于FPGA的抗流片伺服控制系统电流环设计[J]. 兵工自动化, 2015, 34(6): 71.
- [7] 李志坚, 刘晓利, 刘名彛, 等. 空地微型导弹制导精度仿真分析[J]. 四川兵工学报, 2015, 36(2): 32.