

# Evaluation of Wartime RBDAR Repair Modeling Establishment

Junchao Yuan\*, Deguo Yue, Fu'an Peng, Zhengqi Zhang

PLA 95668 Troops, Kunming Yunnan  
Email: \*17791252698@163.com

Received: Aug. 6<sup>th</sup>, 2020; accepted: Aug. 20<sup>th</sup>, 2020; published: Aug. 27<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Combat resilience is a long-standing topic. Different kinds of combat resilience generate as long as the combat happens. World and partial wars also indicate that battlefield resilience is very important for making up combat consumption many times, which replenishes combat strength and keeping continuous combat capability. With the development of military reform, more and more high-tech weapon equipment is devoted to helping combat resilience getting further improvement. As typical modular design equipment, radar is suitable for combat resilience request. Most functional boards and key components are allowed to replace or remove. Based on a certain typical Radar's damaging model and effects research, this paper follows the steps to establish its BDAR model and then furnishes the basis for follow-up correctly evaluating kinds of radar equipment combat damage. All the work provides scientific repairing strategy and increases equipment reliability and maintainability.

## Keywords

Combat Damage, Radar, BDAR Evaluation Model, Launching System

---

# 战时雷达BDAR修复模型构建评价

袁俊超\*, 岳德国, 彭福安, 张正齐

中国人民解放军95668部队, 云南 昆明  
Email: \*17791252698@163.com

收稿日期: 2020年8月6日; 录用日期: 2020年8月20日; 发布日期: 2020年8月27日

---

## 摘要

战伤抢修是一个由来已久的话题, 只要有战争, 就会有各种形式的战伤抢修。历次世界大战和局部战争  
\*通讯作者。

也表明战场抢修对弥补战争损耗、补充战斗实力、使部队保持一定的持续战斗力有着非常重要的作用。随着我国军事改革的不断深入,更多高新武器装备的投入使用战伤抢修工作也需要得到进一步的发展。雷达作为典型模块化设计的装备,多项组合具有冗余,大部分功能插板和关键器件均允许替换移除,较为符合未来战场对抢修性的要求。本文对某型雷达的损伤模式及影响进行研究,按照步骤建立了该型雷达BDAR模型,为后续正确评估各型雷达装备战场损伤,给出科学的修复性维修策略,为提高装备的可靠性和维修性提供依据。

## 关键词

战伤, 雷达, BDAR评估模型, 发射系统

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 某型雷达装备损伤影响分析

### 1.1. 威胁机理

雷达装备所受的威胁有直接的,也有间接的。主要包括: 抛射物、碎片、爆炸波阵面超压、燃烧物、核辐射、激光束、电磁脉冲等的直接作用; 燃烧、烟熏、释放的腐蚀物、液压冲击等的间接作用。一般从敌方攻击因素、我方使用因素两方面来进行威胁机理分析:

- 1) 敌方攻击因素。主要需要考虑敌方进行攻击的武器、武器实施攻击的领域(海陆空)以及攻击的方向。
- 2) 我方使用因素。主要是雷达的超负荷使用以及误操作。

### 1.2. 某型雷达损伤概率模型

基本假定: 1) 敌方攻击因素与我方使用因素是彼此独立的; 2) 各种战伤事件的发生是相互独立的。据此雷达某单元  $i$  战场故障率即为:

$$\lambda_i = \lambda_{ai} + \lambda_{bi} \quad (1)$$

式中  $\lambda_{ai}$  为敌方攻击因素,  $\lambda_{bi}$  为我方使用因素。

**Table 1.** The event of damage related to its unit

**表 1.** 损伤事件与损伤单元相互关系

单元	损伤事件				
	1	2	3	...	k
1	$d_{11}$	$d_{12}$	$d_{13}$	...	$d_{1k}$
2	$d_{21}$	$d_{22}$	$d_{23}$	...	$d_{2k}$
3	$d_{31}$	$d_{32}$	$d_{33}$	...	$d_{3k}$
...	...	...	...	...	...
t	$d_{t1}$	$d_{t2}$	$d_{t3}$	...	$d_{tk}$

其中:

$$d_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{当损伤事件}j\text{中单元}i\text{发生损伤} \\ 0 & \text{当损伤事件}j\text{中单元}i\text{不发生损伤} \end{cases}$$

设该型雷达作战过程中战伤事件发生概率为  $p_j$ ，则一次损伤事件中单元  $i$  损伤的概率为：

$$\lambda_{ai} = \sum_{j=1}^k d_{ij} p_j \quad (2)$$

我方使用因素参考文献[1] [2] [3]可以设置为正常使用故障率加上严酷使用故障率。严酷使用故障率根据文献[4]可以是正常使用故障率乘以一定比例系数得到：

$$\lambda_{bi} = (1+m)\lambda_{0i} \quad (3)$$

式中  $\lambda_{0i}$  为正常使用故障率， $m$  为使用系数。所以该雷达战伤发生率为：

$$\lambda_i = \lambda_{ai} + \lambda_{bi} = \sum_{j=1}^k d_{ij} p_j + (1+m)\lambda_{0i} \quad (4)$$

## 2. 雷达战伤评估修复基本概念与步骤分析

### 2.1. 基本概念

雷达战伤评估修复(Radar Battlefield Damage Assessment and Repair, RBDAR), 是指在战场上运用应急诊断与修复技术迅速地对装备进行评估并根据需要快速修复损伤部位, 使武器装备能够完成某项预定任务或实施自救的一系列活动。战场抢修特点在“战场”两字, 表明其工作是在战场这个恶劣的环境下展开与平时维修有很大的区别, 其作用意义较平时维修更加重要, 其工作的紧迫性与平时维修也不可同日而语。在作战中, 装备战伤的模式、时机、所处的条件、恢复的难易程度都不尽相同, 故在维修时应加以排序。雷达电子系统与一般的机械式装备最大不同之处在于: 机械式装备在某个组成部件损伤之后, 并不一定影响其它部件的功能和使用。能够区分出较多的基本功能项目与非基本功能项目, 因此其分析的意义相对更大; 由于雷达正常工作时发射、接收、滤波等系统是以“串联”的方式传递数据流的, 从这方面, 雷达所有约定层次内的部件(除了机械装置部分如雷达支座上的框架和千斤顶)都是基本功能项目。当雷达某个系统或者组合失灵可能就无法完成基本功能。

### 2.2. 步骤分析

#### (一) 确定基本项目

现假设所研究的项目为某型雷达的单元和系统只有正常或故障两种状态, 且各单元的故障是相互独立的。设  $\chi_i$  表示单元的状态变量,  $\delta$  表示雷达装备状态, 它们分别为:

$$\chi_i = \begin{cases} 1 & \text{单元}i\text{发生故障}(i=1,2,\dots,k) \\ 0 & \text{单元}i\text{正常}(i=1,2,\dots,k) \end{cases} \quad (5)$$

$$\delta = \begin{cases} 1 & \text{(系统故障)} \\ 0 & \text{(系统正常)} \end{cases} \quad (6)$$

其中  $\chi_i$  是底事件, 也称基本事件,  $\delta$  是顶事件, 是不希望发生的故障事件。其值完全由所构成的向量函数  $\chi$  所决定。即:

$$\delta = \delta(\chi_i) \quad (7)$$

#### (二) DMEA 及危害等级评定

战场损伤包括战场上装备发生的自然故障、战斗(敌方武器破坏造成的)损伤和人为故障等等。所以,对战场损伤进行分析(BDA),包括作战条件下的故障模式与影响分析(FMEA)和损坏模式与影响分析(DMEA),并对损伤危害程度(等级)加以估计。其危害等级可依据损伤的影响程度和损伤出现的频率定性地确定。损伤危害等级是确定是否需要采取 RBDAR 或更改设计措施的依据。

引入危害度等级  $C_{ij}$  :

$$C_{ij} = \lambda_i a_j \beta_j t \quad (8)$$

式中:  $C_{ij}$  为雷达装备第  $i$  个系统单元第  $j$  种故障模式危害度等级;  $\lambda_i$  为雷达装备第  $i$  个单元的故障率;

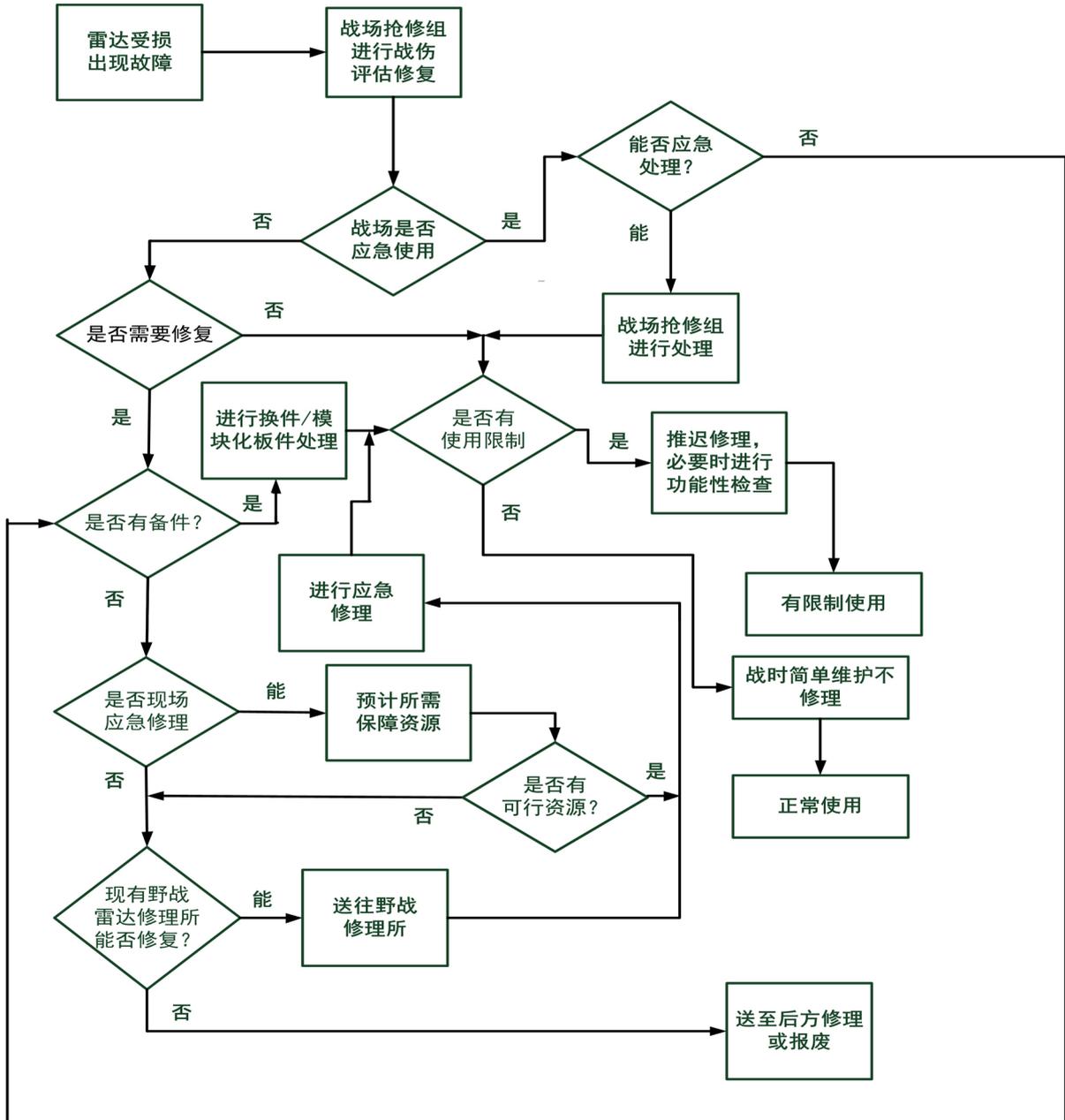


Figure 1. The process of BDA  
图 1. BDA 过程

$a_j$  为第  $j$  种故障模式的频数比;  $\beta_j$  为第  $j$  种故障模式的影响概率;  $t$  为雷达第  $i$  个系统单元工作时间。通过进行损伤模式影响及危害度分析, 技术人员查明致命性和严重的损伤部位及模式, 并对各系统单元对雷达整体功能的影响进行排序, 以便在战时进行最大最优化地调试与抢修, 对危害度大的损伤部位, 应尽快采取改进与防护措施, 从而减轻或消除后果的危害性。

### (三) 应用 RBDAR 逻辑示意图评估决策过程

RBDAR 分析可采用逻辑决断图如图 1 所示。

评估的原则性要求如下: 首先损伤的部位和程度是可以立即评估的。其次是该损伤是否修理也可立即评估。但何时何地如何修复则要求做出判断。最后在何处修理和如何修理受损的雷达通常由基层级维修组、支援级维修组提出建议需由指挥员做出决断。

RBDAR 结束后要根据生成的评估报告对受损的装备进行处理。若报废则报废; 若仅能撤离战场, 则立即撤离; 若确定需要修复可采用以下四种方式进行抢修修复使装备尽快地重新投入战斗:

1) 在情况紧急时, 若能保证必要的安全可采用应急处理方法不必修理而继续使用装备; 2) 采用应急修理方法使雷达及时投入战斗搜索空情; 3) 采用雷达抢修手册中分系统的应急修理方法恢复雷达的基本功能; 4) 根据现场可利用的物资、器材临时创造更有效的应急方法修复雷达装备。

需要注意的是在战场环境下通过各种战场抢修方法对雷达装备所作的修复处理只针对装备的基本功能及主要重要部件进行。忽略了装备持续正常使用所需要遵守的各种使用条件规范从而会缩短装备的服役期限。因此 RBDAR 系统必须记录下所进行的战损评估的处理方法的局限性甚至危害性, 当条件允许时应尽快使用补救措施进行正常修理, 尽量恢复装备的全部功能。

## 3. 某型雷达步骤流程应用

### (一) 确定基本功能及基本功能项目

分析基本功能及基本功能项目要从两个方面考虑: 一是装备本身的基本作战功能以及装备的机动性。该型号雷达由雷达(雷达天线座)、拖车和牵引车组成, 按功能分成 11 个系统。其基本功能即为完成目标探测与识别工作。辅助功能有: ① 战场地域和空域预警监视; ② 引导己方飞机训练飞行; ③ 民航管制; ④ 快速测估高。所以底事件状态变量有 5 个, 故  $i$  取 5。

### (二) DMEA 分析

以该型雷达发射系统为例首先分析系统功能, 然后给出其 DMEA 表, 如表 2 所示。该雷达发射系统由五大部分组成[5]: ① 高压变换器与故障检测板(10e1); ② 高压和灯丝激励板(10e2); ③ 闸流管激励板(10e2); ④ 调制器(闸流管等); ⑤ 磁控管振荡器。其整体为雷达提供一个载波受到调制的大功率射频信号, 经馈线和收发开关由天线向空间定向辐射。雷达发射系统是雷达的核心系统, 一旦其出故障而不能发射电磁波, 则整个雷达将处于瘫痪状态。根据电子装备容易遭受的打击和受损情况, 我们选择分离(脱落)、电击穿、断路(电、气、液路)、短路(对地)、局部高温五种损伤模式对其进行 DMEA 分析[6], 其结果(部分)如表 1 所示。通过导入数据针对该五大部分有 7 种抢修方案组成。下面将导入飞机突防打击进行战场模拟。

从日常值班实践中方案需要考虑以下几点因素:

1) 损伤部位、程度及对装备完成当前任务的影响; 2) 损伤是否需要现场或后送修复; 3) 损伤修复的先后顺序; 4) 在何处进行修复(修理场所); 5) 如何进行修复(修理方法、步骤); 6) 所需保障资源(人力、时间、备件或其他器材); 7) 修复后装备的作战能力和使用限制。

### (三) 应用 RBDAR 逻辑示意图评估决策过程

按照图 1 战斗中当雷达装备遭受损伤后, 首先应由装备使用分队对战损的雷达装备进行损伤评估以确定是否修复损伤装备。参考文献[7][8]总结出战时损伤评估基本步骤如下:

- 第一步：进行外观检查(若有必要进行修复)。
  - 第二步：通电进行功能检查(若有必要进行修复)。
  - 第三步：对预选方案进行评估性能，本次模拟打击中方案3最佳。
  - 第四步：将评估分析及最优方案向指挥员报告。
- 详细过程见图 2~5 [7] [8] [9]。

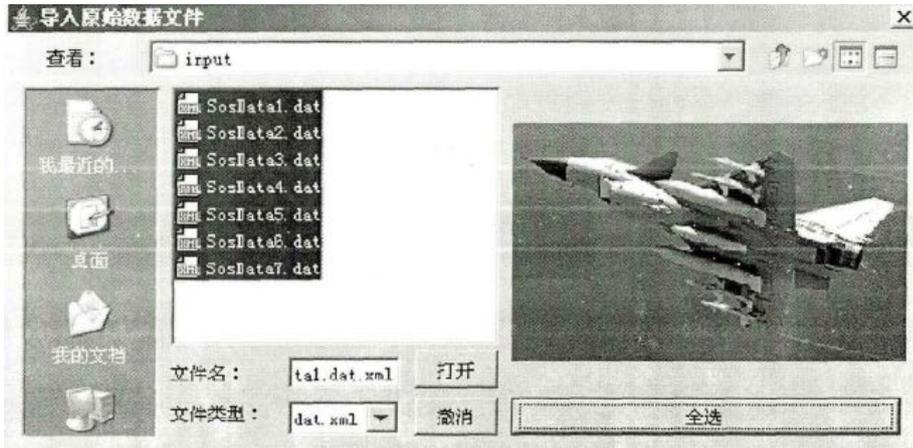


Figure 2. Importing data of aircraft simulative battlefield  
图 2. 飞机模拟打击战场数据导入

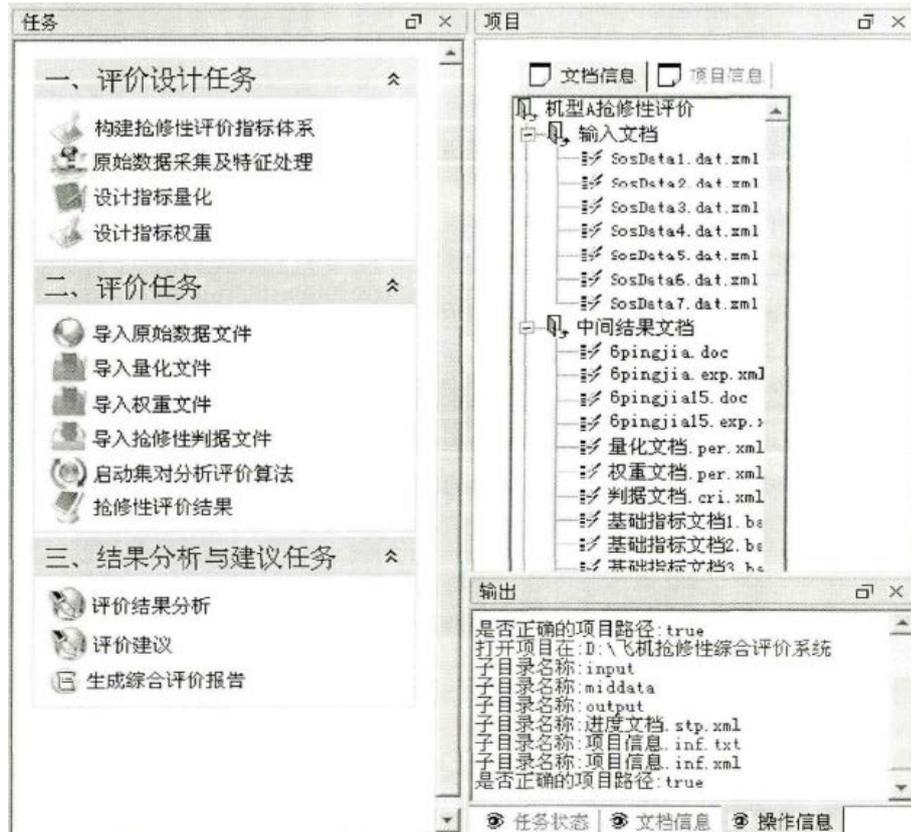


Figure 3. The platform of RBDAR  
图 3. 雷达抢修方案总控平台

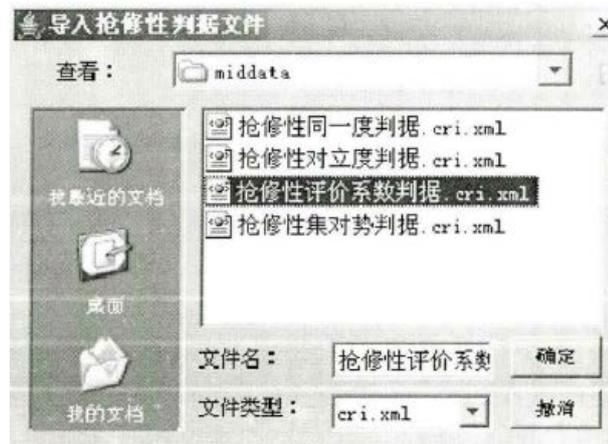


Figure 4. Importing data of repair capability evaluation  
图 4. 抢修性评价指标导入

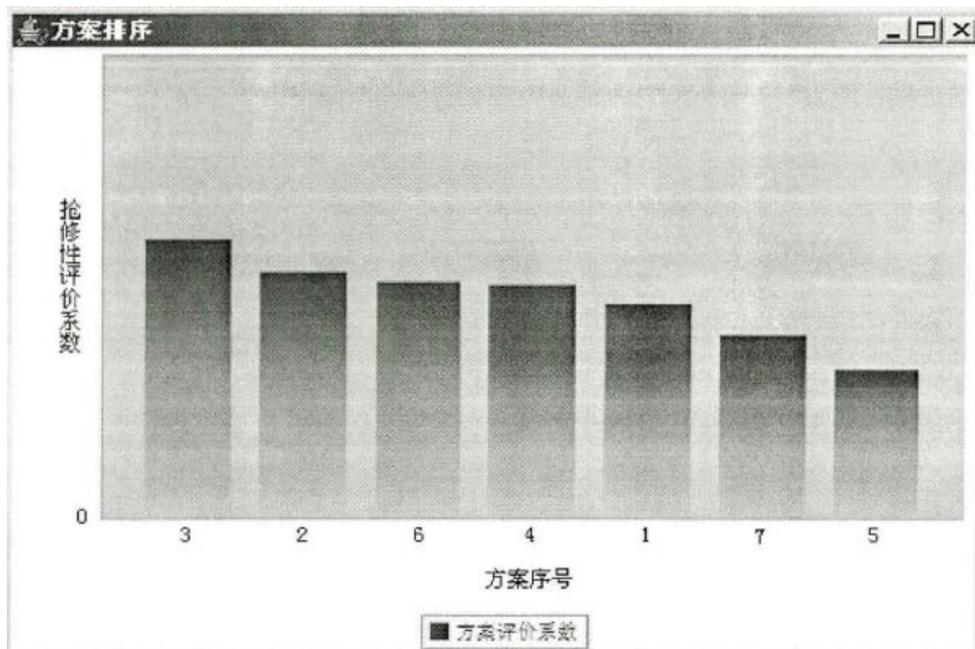


Figure 5. Importing data of repair capability evaluation  
图 5. 雷达各抢修性方案 BDAR 研判结果

#### 4. 军队 RBDAR 模型优势

本文是以某部队的“雷达战伤抢修性系统研究”横向课题为背景，以张小宽教授提出的“基于雷达系统工程的产品综合设计理论与方法”框架内的产品设计与评价应用研究为目的，进行了雷达战伤抢修性设计及其评价的理论与方法的研究。论文的主要创新点如下：

1) 针对我军雷达战伤抢修性理论发展相对滞后，目前尚未有文献针对雷达装备战伤抢修性设计进行系统研究的情况，本文创新性地建立了战时雷达抢修性设计过程的操作实施模型，提出了比较系统完善的具有我军特色的雷达战伤抢修性设计理论与实施方法，包括抢修性设计的理论表达式和抢修性流程的设计方法。填补了战时雷达抢修技术的理论空白，打破了目前军方难以向工业部门提出明确的雷达系统抢修性设计要求的局面，也为雷达装备定型设计者提供抢修性设计的实用方法。

**Table 2.** Damage mode and influent analysis results of radar transmitting system (Part)  
**表 2.** 某雷达装备发射系统损伤模式与影响分析结果(部分) [9]

系统名称	功能	任务阶段工作方式	损伤模式	损伤影响(危害度)			备注
				局部影响	高一层次影响	无法工作	
发射系统 (10e)	产生具有一定重复频率和脉冲宽度的大功率高频发射脉冲。其中：1. 四种重复频率由 8 种组合控制；2. 由本系统产生的发射脉冲。	按照作战需求，产生雷达测距的高频电磁波	分离(脱落)	①全开路：1. 电路板中逻辑控制部分的插头：一是正常工作作为逻辑“1”的插头，对发射无影响；二是正常工作作为逻辑“0”的插头，造成发射系统保护，不能发射。2. 电路板中模拟控制部分的插头、部件插脚(插线)全开路时，接收机的性能可能下降(特别是接收机高频电路工作，不能发射。②接触不良：1. 电路板中逻辑控制部分的插头，一是对正常工作作为逻辑“1”的插头，对发射无影响；二是对正常工作作为逻辑“0”的插头，造成发射系统时而保护，时而不保护，发射系统处于混乱工作状态。2. 电路板中模拟控制部分的插头。部件插脚(接线)系统时而产生高频电磁波，时而不产生高频电磁波。	1. 能发射时，一是整机性能可能下降(特别是接收机的性能)，二是接收机高频部分电路，使雷达不能发射的部件。2. 不能发射，雷达不能完成作战任务。	1. 损坏接收机部分电路，使雷达不能完成作战任务。	
			电击穿	有可能造成短路和断路	短路/断路	短路/断路	
			断路(电、气、液路)	电路板插头接触不良：1. 如果是监控部分为逻辑“1”的接头接触不良(pin16、34、36、39 等)，对发射无影响，反之将不能发射。2. 如果是控制部分的通道(pin24/28/29)接触不良，10e2 不能工作。	1. 能发射时，一是整机性能可能下降(特别是接收机的性能)，二是接收机高频部分电路，使雷达不能完成作战任务。	1. 损坏接收机部分电路，使雷达不能完成作战任务。	
			短路(对地)	1. 输入信号线路短，如 16/34/38/36/39 等，相当于给出了低电平，将抑制发射；若 22 短路，将引起 28 伏电源保护，整机停电。2. 若输出信号线短路，18/10 将引起错误判断：即雷达故障指示灯亮：40/激励 1/激励 2 短路(电平为 0)将抑制发射			
			局部高温	引起集成电路出现误触发，造成控制时序混乱，致使不能正常发射			

2) 建立了一套完整的雷达战伤抢修性设计的模型构建理论，主要包括：抢修性模型构建原理、内容和方法及其关联方程式；雷达系统指标体系的构建原则；抢修性故障损坏评价的模式；抢修性评价的定性定量理论模型，为雷达抢修性设计的评价提供理论依据。

3) 围绕基于雷达抢修性评价数据导入综合评价各方案情况建立了配套理论。主要包括雷达抢修性评价的基本判据和逐级向指挥员报告理论，使综合评价结果能够正确、客观、合理、有效地反映雷达抢修性水平，以保证军队高层对整个战局的正确把握，为决策者在决策时提供依据。

4) 开发和设计出一套基于数据库的雷达战伤综合评价应用软件系统。利用软件工程的建模语言对抢修性评价系统的内容进行描述，实现在软件工程层次上的雷达战伤分析综合评价设计。

### 5. 结论与展望

本文在某雷达型号介绍了装备的损伤模式与影响分析等方法，进行评估的决策过程以及在应急修复工作的基础上建立了战场条件下雷达战伤评估修复模型，针对装备战伤修复的基本流程，得出了某型雷达装备发射系统(部分)的损伤影响机理，并引入了 RBDAR 操作评估流程，较好地解决了宏观评估向量化评估转化的问题，为雷达装备修复情况提供了一条思路。鉴于战时装备受损及修理涉及因素复杂多变，要建立科学精确的战损修复率评估模型还有待于更为深入的研究和探讨。下一步重点是针对外场实施条件、数据收集方式和具体评估方法进行详细的设计规划。完成的实施方法可为开展战时雷达装备使用保障维修性及其他指标评估提供借鉴参考。

---

## 参考文献

- [1] 李建平, 石全, 甘茂治. 装备战场抢修理论与应用[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2000: 110.
- [2] 王升一. xxx 机械化桥战场抢修研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 国防科技大学, 2016.
- [3] 吴龙涛, 王铁宁, 可荣博, 等. 基于(T,S)策略的装备可修复备件两级库存配置建模[J]. 兵工学报, 2018, 39(8): 1632-1638.
- [4] Bachant, J. and McDermott, J. (1984) R1 Revisited: Four Years in the Trenches. *AI Magazine*, **16**, 216-218.
- [5] Nelson, D.E. (1988) A Combat Damage Assessor ExPert System, AD A1488981984.
- [6] 王权伟, 蒋里强, 王维兴. 战场可修复性武器装备可靠性评价[J]. 质量管理与认证, 2005(2): 67.
- [7] 总装通保部. XX 雷达战场抢修手册[Z]. 北京: 总装通保部, 2004.
- [8] 董骁雄, 陈云翔, 项华春, 等. 基于装备完好率的两级可修复备件库存优化模型[J]. 火力与指挥控制, 2018, 6(43): 41-46.
- [9] 黄惠南. 雷达装备战场损伤评估与修复专家系统研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 国防科技大学, 2005.