

坑道工程动荷载抗精确打击毁伤分析系统

袁 辉, 王凤山*

(解放军理工大学 工程兵工程学院, 南京 210007)

(*通信作者电子邮箱 wfs919@tom.com)

摘 要:针对坑道工程结构毁伤特性仿真实验的需要,设计和建立了基于模块化和 workflow 机制的坑道工程抗精确打击毁伤分析系统。遵循战场毁伤的客观规律和仿真设计通用化规则,以模型界定坑道动荷载抗精确打击分析系统的功能和组件,应用 UML 用例描述系统的需求及其设计目标,优化分解毁伤分析系统的单元模块,提出了动荷载毁伤分析系统的模块化设计思想及逻辑框架,设计了坑道动荷载毁伤分析系统的功能模型和数据流工作机制,研制了基于窗体界面线程设计的坑道动荷载毁伤分析系统。案例表明,系统交互性良好,为有效分析动荷载易损性的本质问题提供了仿真实验工具。

关键词:毁伤分析;坑道工程;动荷载;易损性

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**A

Precise damage analysis on active load section of protective engineering

YUAN Hui, WANG Feng-shan*

(Engineering Institute of Engineers Corps, PLA University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210007, China)

Abstract: To meet the simulation need about the damage features of active load section of protective engineering, precise damage analysis was designed on module and workflow mechanism. Following the current rule of military damage phenomena and simulation design, the precise damage analysis function and module were described by models, the UML use case and its design goal of such system were clearly put forward. On the basis of cell modules, which were optimally decomposed from the precise damage analysis on active load section of protective engineering, the modular designing idea and logical frame were advanced, the function model and data flow mechanism were erected, and the precise simulation damage analysis was carried out based on window thread design. Finally, a case study shows its good alteration, which provides the effective simulation tool for the essential vulnerability about the active load section of protective engineering.

Key words: damage analysis; protective engineering; active load section; vulnerability

0 引言

坑道式结构是军事工程常用的结构形式^[1],其口部动荷载结构的载荷差异突出,需要抵抗常规武器,尤其是精确制导炸弹侵入、爆炸冲击波的作用,是坑道工程整体的瓶颈部位和薄弱环节。

利用模型的运行来仿真分析和研究战场毁伤的特性与规律^[2],是传统理论、实验研究的发展和补充,如美国 Prints Maurits 实验室开发的 TARVAC (Target Vulnerability Assessment Code) 系统^[3],杨玉林等^[4]以动能弹对装甲目标的毁伤评估为对象,构建了目标毁伤评估数字仿真平台系统;但系统的运行往往受制于目标毁伤判据的约束,难以多条件多角度仿真实验战场目标的易损性。

如何集成坑道式结构易损性及其评估模型,设计毁伤仿真分析系统,获取弹药作用于动荷载之后,对动荷载区域所造成的毁伤情况以及评估动荷载毁伤对坑道工程整体防护效能的影响程度,从而为动荷载的结构设计以及解决动荷载的抗毁能力提供重要依据,是相当一段时间内军事工程毁伤仿真科学研究的重要使命。

遵循军事工程毁伤问题域的概念抽象^[5]和仿真设计规则^[6],利用作战仿真手段分析坑道工程动荷载毁伤特性,主要目标是丰富动荷载毁伤分析实验样本,解决坑道动荷载毁伤特性分析所需的全面、系统的样本数据^[4],进而提高毁伤模型分析的精度和可信度,具有安全、经济、可控、可多次重复、无风险、不受自然环境限制等优越性^[6]。

1 坑道动荷载易损性评估的一般过程

坑道动荷载易损性及其毁伤评估的机理复杂,呈现典型的非线性、结构变异、物理关系模糊等特征,而且面对攻防对抗的毁伤仿真比较困难。

在一定的可信和可用程度下,基于攻防对抗的坑道动荷载毁伤仿真推理与易损性评估,须满足战场目标毁伤仿真的客观规律^[7],大致可采用如下过程:

1) 建立坑道动荷载目标威胁想定,描述其攻防对抗环境,通过界定毁伤评估的范围,确定动荷载毁伤分析的对抗环境;

2) 建立动荷载毁伤分析的参量,确定系统各层次之间的指标、参数间的约束关系、因果关系以及定量关系等;

收稿日期:2012-03-05;修回日期:2012-05-22。

基金项目:中国博士后科学基金资助项目(20110491844);解放军理工大学预研基金资助项目(20110308)。

作者简介:袁辉(1972-),男,湖南衡南人,副教授,博士研究生,主要研究方向:武器效应毁伤仿真与推理计算;王凤山(1978-),男,江苏大丰人,讲师,博士,主要研究方向:防护工程系统毁伤建模与仿真分析。

3)设计动荷段毁伤评估和分析模型,根据动荷段毁伤指标体系建立计算模型;

4)依据动荷段毁伤分析需求设计仿真方案,建立模块化、规范化、组件化、通用化的动荷段毁伤仿真推理系统;

5)通过仿真实验,获取动荷段毁伤仿真推理的相关数据,利用指标体系的关系模型计算动荷段毁伤评估指标量值,进行动荷段易损性的系统评价。

2 系统模型界定及设计目标

2.1 动荷段毁伤分析系统模型描述

为支持动荷载毁伤仿真不同应用间的互操作和仿真部件的可重用^[8],坑道动荷载毁伤分析系统运行于通用化、标准化的作战仿真平台,既是独立的模拟分析系统,又作为联邦成员,支持军事工程的毁伤与防护仿真系统。

模型是仿真的基础^[9]。利用情景设计的方法,从毁伤实体、计算、规则、服务等角度提取模型,描述坑道动荷载毁伤分析系统,如图1所示。

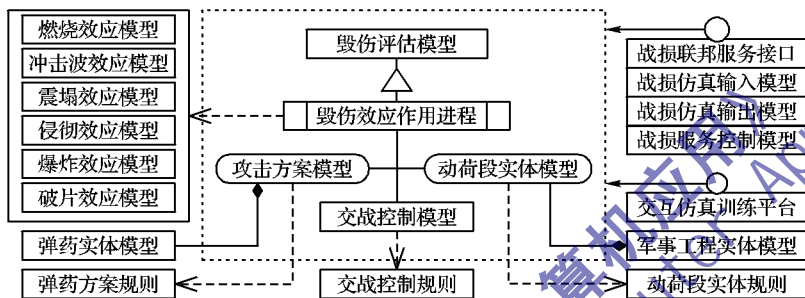


图1 坑道动荷段毁伤分析系统模型描述

图1中,以模型界定坑道动荷载抗精确打击毁伤分析系统的功能和模块支撑,包含战损联邦服务接口、交互仿真训练平台设计,为坑道工程动荷载毁伤的模拟提供计算服务。其中,“毁伤效应作用进程”是模型执行系统流程的核心,驱动系统分析与设计各阶段的开发工作,接收交战控制模型的触发,依赖武器效应模型的支持,激发毁伤评估模型的执行并提供仿真进程数据。

规则是支持和保障“毁伤效应作用进程”科学执行的重

要依托,包含弹药方案规则、交战控制规则、动荷段实体规则、交战控制规则等,进而构建攻击方案模型、动荷段实体模型,为毁伤仿真训练与评估提供针对性实体对象;攻击方案模型和动荷段实体模型之间的交战交互,通过燃烧效应模型、冲击波效应模型、震塌效应模型、侵彻效应模型、爆炸效应模型、破片效应模型等对动荷段实体结构的破坏、变异与演化,为“毁伤评估模型”提供数据基础。

2.2 坑道动荷段毁伤分析系统设计目标

坑道动荷载抗精确打击毁伤分析系统设计以符合软件规范、有效提高工作效率、界面友好、便于实际应用和操作为目标和指导思想^[10],支持弹药、动荷载的各类数据结构,支持弹药毁伤模型及其评估模型的扩充与更新,支持毁伤仿真规则库的扩充和丰富。

以软件工程的需求描述为起点,利用标准化建模的 UML (Unified Modeling Language)用例模型^[11],描述坑道动荷段抗精确打击毁伤分析系统的语境、边界和作用,明确动荷段抗精确打击毁伤分析系统中的各种用户角色、用例、关联等。如

图2所示。图2中,UML用例模型功能化描述坑道动荷载抗精确打击毁伤分析系统的顶层设计和研制目标,体现了各种参与者与系统提供用例的全部连接^[12]:系统作为一个通用平台,必须具有良好的通用机制,必须能够适合各类各级的动荷载结构;系统作为一个模拟软件,必须具有较高的仿真度,模拟过程必须尽可能地接近实战;系统作为一个分析评估系统,必须具有较好的可信度,所建模

3 坑道动荷段毁伤分析系统设计

3.1 坑道动荷段毁伤分析系统模块化设计机制

面对构建标准化、规范化、通用化、系列化的坑道动荷段毁伤分析系统要求,将坑道动荷段毁伤分析系统这一复杂工

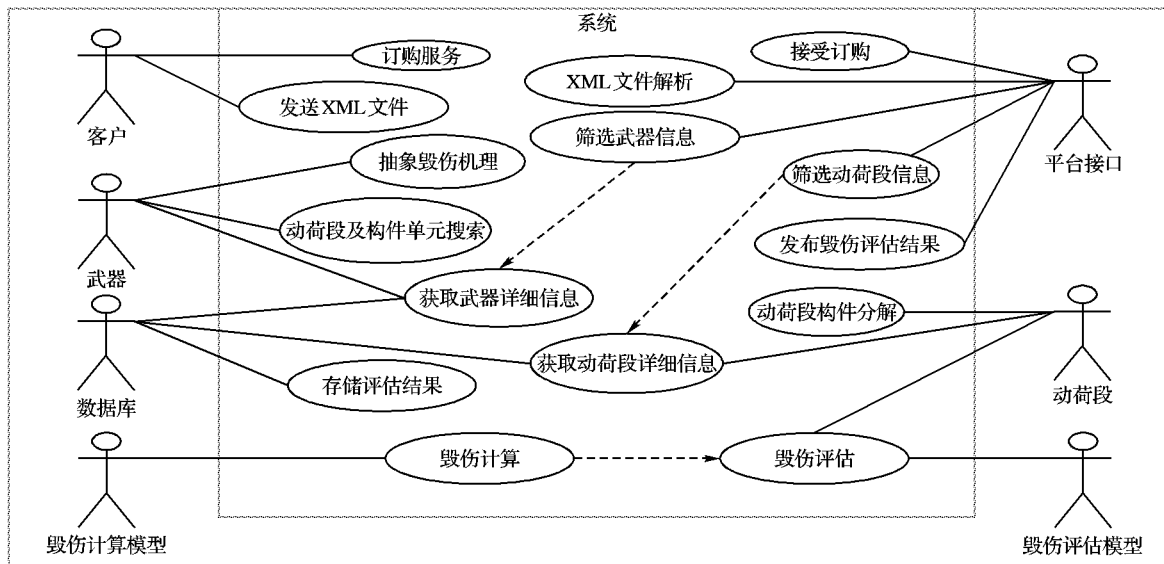


图2 坑道动荷段毁伤分析用例描述

程优化分解合理层次的单元模块,并将单元模块组合成更多更新的具有通用功能和结构的模块^[13]。

根据系统工程的原理,建立多层次结构的坑道动荷载毁伤分析模块体系,如图3所示。图3中,遵循模块化设计思想,按照需求分析、功能分析与分解、模块划分、模块设计与开发等工作流程,建立坑道动荷载毁伤评估体系逻辑设计机制。其中,“模块划分”是坑道动荷载毁伤分析系统模块化设计的核心,主要包括静态模型、动态模型、功能模型,其任务包括:建立坑道动荷载抗精确打击毁伤分析的类和实体模型,建立坑道动荷载抗精确打击毁伤分析的对象模型,建立动荷载毁伤仿真序列机制,建立动荷载毁伤仿真活动模型,构建坑道动荷载毁伤仿真与分析的数据流等。

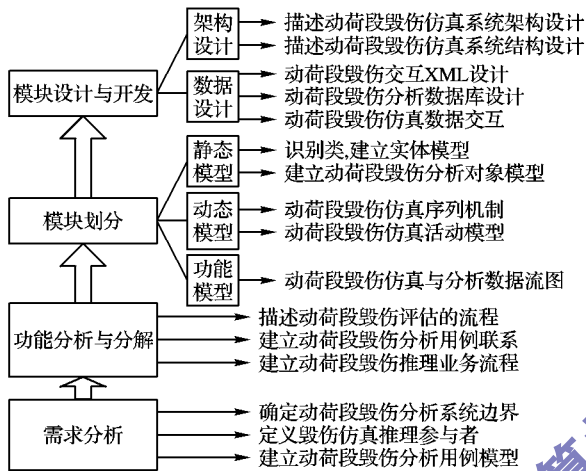


图3 坑道动荷载毁伤评估体系逻辑设计

坑道动荷载毁伤评估体系的模块化逻辑设计,使得坑道动荷载毁伤分析体系结构内要素按照其内在的规律性相互作用,表现出毁伤评估特定的内部功能和外部特征,拥有模块化设计的形态、结构、边界、特性、行为、功能,是具备系统特性的现象和设计、开发问题。

3.2 坑道动荷载抗精确打击毁伤分析系统功能设计

根据基于高层体系结构的军事工程毁伤与防护分析的通用化要求^[2],面向服务动荷载毁伤计算与服务的功能需求,考虑系统的模块化和功能分布,坑道动荷载抗精确打击分析系统主要由武器管理模块、防护介质参数模块、动荷载工程结构模块、防护结构毁伤模型、动荷载毁伤计算模块、动荷载毁伤评估模块、毁伤分析控制平台等构成,如图4所示。

图4中,捕捉坑道动荷载毁伤分析功能性需求和计算服务目标,包含确定坑道动荷载毁伤分析问题域中的各种实体及求解组件。其中,毁伤分析控制平台是核心部件,支持毁伤仿真支撑架构执行,支持联邦成员按照接口规范进行数据交换和交互,完成坑道动荷载毁伤仿真实验中各成员的服务支持。

3.3 坑道动荷载毁伤仿真构件化及数据流设计

构件化是坑道动荷载毁伤仿真设计和推理的前提,按照系统观点的分解、转换、综合步骤,将动荷载毁伤评估问题转变为三阶段问题^[14]:第一阶段,根据单元构件步长设计,划分坑道动荷载的子目标体系和空间、功能属性;第二阶段,根据弹体毁伤效应作用参数输入,搜索与计算动荷载构件单元毁伤物理量;第三阶段,构造结构函数,确定构件单元体系对坑道动荷载整体功能毁伤的度量阶段。

数据是反映坑道动荷载易损性空间中各阶段变量之间“能量”、“信息交换”的基本形式,以输入转化为输出的变化过程来描述表达和理解坑道动荷载毁伤分析问题特征^[15],如“动荷载结构分解”的数据输入方面,以动荷载拓扑信息为支撑,依赖于动荷载实体的物理信息和动荷载毁伤标识的位置信息;其数据输出方面,不仅为动荷载构件信息的丰富和毁伤量计算提供支持,而且为构件单元的物理量权值提供判决依据。

设计坑道动荷载毁伤仿真数据流图,如图5所示,即结构化的动荷载毁伤分析数据流设计,包含实体详细信息解析与参数设置、毁伤机理分解与作用结构序列、构建单元搜索与毁伤位置确定、动荷载毁伤等效靶板设置、动荷载毁伤评估等结构化数据流向及层次。

图5中,以XML数据模板为输入输出接口,面向动荷载抗精确打击毁伤仿真推理结构化设计,以自顶而下、逐层分解的方式对动荷载毁伤数据进行分析 and 不断细化,描述系统内部数据值的转换,包含数据的产生、消耗、存储、检索等操作或变化的描述,实现仿真线程中联邦成员的功能实现和交互。

坑道动荷载毁伤仿真数据进程的交互与变化,主要包含3个核心的易损向量和参数交互进程,如图5中的A、B、C标识,即坑道动荷载拓扑信息交互、坑道动荷载受毁构件单元信息交互、动荷载整体毁伤评估信息交互,满足坑道动荷载毁伤

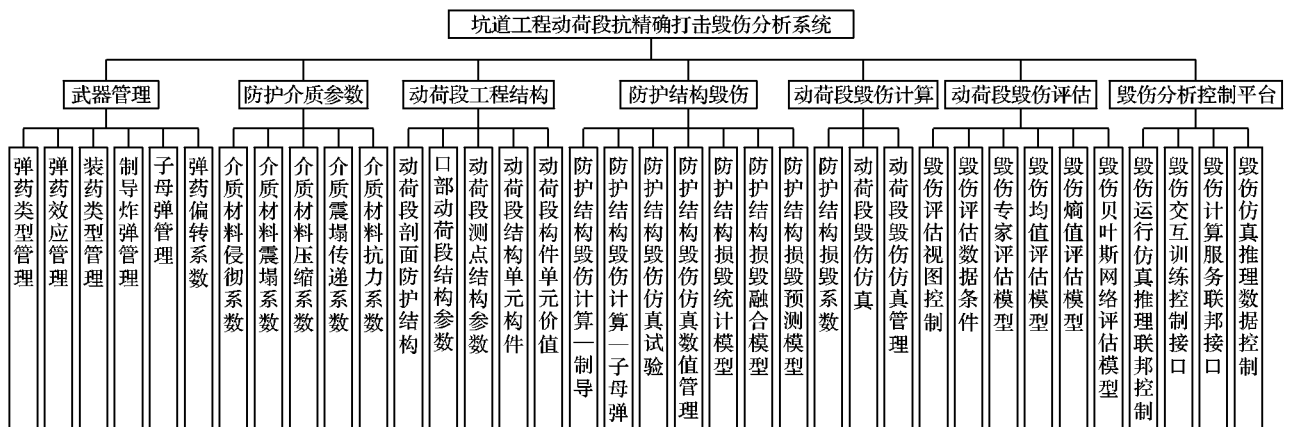


图4 坑道动荷载毁伤分析系统的功能设计

分析的构件化机制和集成模式。

4 仿真系统设计

4.1 坑道动荷载毁伤仿真设计约束

根据坑道工程动荷载毁伤分析系统的模型描述和界定,建立攻击方案模型、动荷载实体模型等,在设计动荷载毁伤分析仿真系统方案时,应考虑如下几点:

- 1) 依据军事工程毁伤仿真的建模原则和实现方法;
- 2) 依据建立的坑道动荷载毁伤评估指标体系和参数特征;

3) 依据攻防对抗的军事实践原则、方法和经验^[16]。

通过对坑道动荷载毁伤仿真设计方案的进一步优化,利用仿真工具或高级编程语言,实现动荷载毁伤分析的仿真。

4.2 坑道动荷载毁伤分析仿真系统架构设计

以通用仿真引擎为运行环境,在 Visual C# 和 .NET 语言环境下,设计坑道动荷载抗精确打击毁伤分析仿真系统,如图 6 所示。图 6 中,坑道动荷载抗精确打击毁伤分析系统架构,以 Windows 方式设计窗口界面线程,便于操作面板控制坑道动荷载的毁伤分析与仿真推理,其推理任务和进程由总控模型根据时间和步长系统控制。

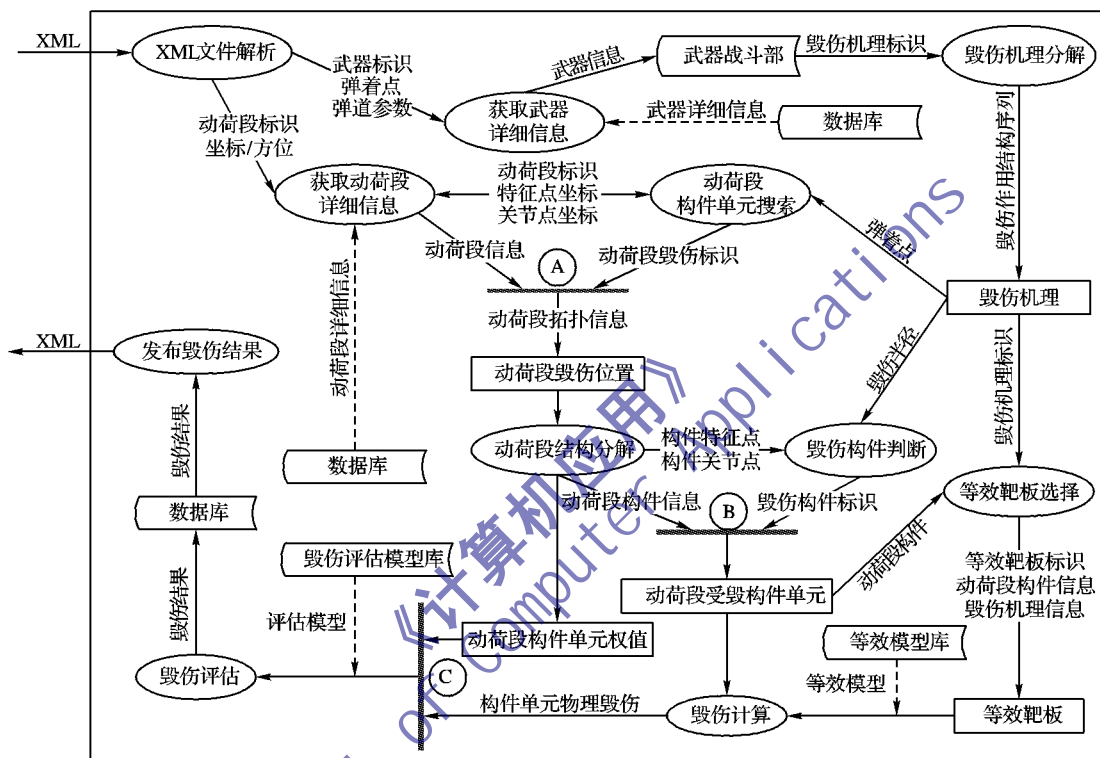


图5 坑道动荷载毁伤评估数据流

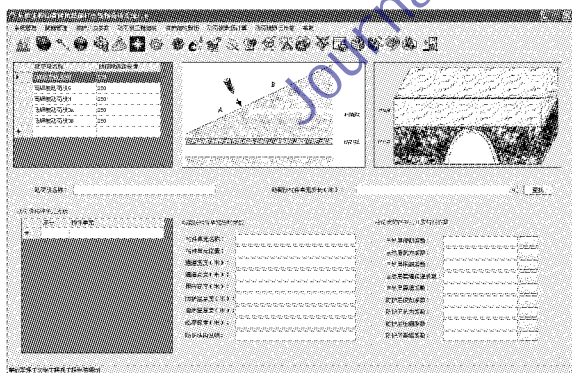


图6 坑道工程动荷载抗精确打击毁伤分析系统框架

4.3 坑道动荷载毁伤分析仿真案例

利用坑道动荷载抗精确打击毁伤分析系统,以 2 枚“GBU-27/B”组成的攻击方案,对标识为“DHD 动荷载案例”的坑道动荷载实体展开仿真推理计算,通过均值评估模型的综合评定,该典型动荷载的毁伤极大值为 0.769,极小值为 0.289,最可能毁伤值为 0.529,如图 7 所示。

系统集成均值、熵值、粗糙、贝叶斯网络评估、组合智能评估等多种模型,进行弹体对坑道动荷载的毁伤评估,如图 8 所

示,表示 1 枚、2 枚、3 枚“GBU-27/B”弹药作用下,标识为“DHD 动荷载案例”的毁伤判断结论。

从图 8 可看出:不同评估模型对于相同“坑道动荷载与弹药毁伤方案”的评估值差异很多,因此模型的可信性是影响模型适用性的重要因素。通过模型可信度测试和仿真模型精度的可信性检验,表明:建立坑道动荷载毁伤效果评估的非线性智能组合评估模型,发掘了不同算法的差异优势,仿真实验验证了组合设计的可行性和有效性。

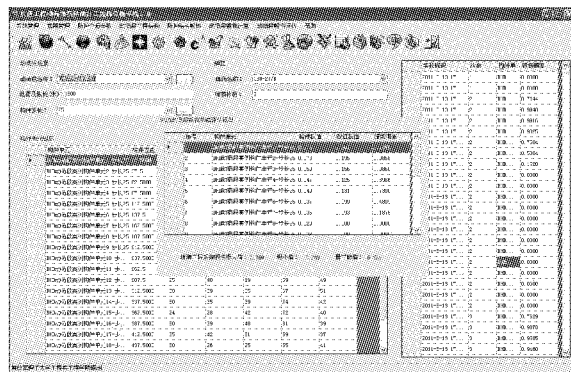


图7 坑道工程动荷载抗精确打击毁伤分析案例

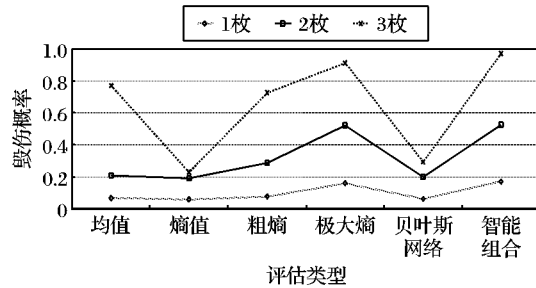


图8 典型坑道毁伤仿真案例的系统评定

5 结语

利用作战仿真手段检验动荷载易损性空间及易损性向量的概念,解决了坑道工程动荷载易损性精确推理的难点,不受自然条件约束并且可以进行反复实验,为得到较为理想的动荷载易损性变化规律提供了工具和手段。

为推进坑道动荷载抗精确打击毁伤分析仿真系统建设,需要进一步探索毁伤仿真的模型、规则、原理、工作流、机制、方法,确立动荷载易损性仿真实验的理论基础;需要注重顶层设计,着眼仿真实验需求,突出横向协同,注重环境建设;需要强化需求牵引,探索集成化仿真实验,促进仿真实验成果转化。

参考文献:

- [1] 刘悦耕,朱忠吉,陈志龙. 防护工程建筑学[M]. 北京:军事科学出版社,1993.
- [2] 王凤山,赵丽娜,张宏军. 基于高层体系结构的军事工程毁伤与防护仿真系统[J]. 计算机应用,2009,29(11):3128-3131.
- [3] VEROLME J L, van MEERTEN E. Implement of a fragment shattering model in TNO's vulnerability assessment code TARVAC[C]// Proceedings of the 18th International Symposium on Ballistics. San

Antonio: National Defense Industrial Association, 1999: 1371-1377.

- [4] 杨玉林,赵国志,李向东,等. 目标毁伤评估数字仿真平台系统研究[J]. 系统仿真学报,2004,16(12):2743-2746.
- [5] 王凤山,张宏军. 军事工程毁伤与防护仿真概念模型研究[J]. 山东大学学报:工学版,2011,41(S1):113-117.
- [6] 张伟,张琦,张丰,等. 基于HLA的工程机械分队虚拟训练系统[J]. 计算机工程,2008,34(20):21-23.
- [7] WANG FENGSHAN, ZHANG HONGJUN, ZHU WANHONG. Study of requirement design about damage and protection simulation system to warfield target[C]// CCIE 2010: Proceedings of 2010 International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2010: 337-340.
- [8] 贾连新. 仿真技术与软件[M]. 北京:国防工业出版社,2006.
- [9] 吕跃广,方胜良. 作战实验[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- [10] 董光波,张锡恩. 联邦式操作训练仿真系统对象模型设计方法[J]. 计算机仿真,2004,21(10):201-205.
- [11] COCKBURN A. Structuring use case with goals[J]. Journal of Object-Oriented Programming, 1997,9(10):35-40.
- [12] 尚磊云,唐硕,王卫华,等. 空面导弹系统的建模与仿真[J]. 系统仿真学报,2006,18(3):771-773.
- [13] 段采宇,余滨,杨晓明,等. 作战活动分析方法与建模[J]. 火力指挥与控制,2006,31(11):34-38.
- [14] 王凤山,张宏军. 基于贝叶斯网络的军事工程毁伤评估模型研究[J]. 计算机工程与应用,2011,47(12):242-245.
- [15] 卢厚清,王锋,宋以胜,等. 基于作战仿真的毁伤评估系统[J]. 解放军理工大学学报:自然科学版,2009,10(2):139-143.
- [16] 谈斌,赵军,曲庆军,等. 基于HLA的武器装备作战效能评估通用仿真框架研究[J]. 系统仿真学报,2008,20(18):5021-5024.

(上接第2666页)

根据 $EPU < 3\text{ m}$ 和表4滑行的距离误差可计算滑行时ADS-B的位置精度分别是:8.642 83 m、8.390 96 m和8.296 69 m。根据与场面监视雷达的比较知,利用计算ADS-B延迟时间的方法,飞机滑行时ADS-B的位置精度小于场面监视雷达的距离精度10 m,证明通过该方法计算ADS-B的延迟时间后,ADS-B可用于场面监视。

4 结语

ADS-B作为当前新的民航监视系统,具有很高的监视定位精度,可以作为ICAO航路区域5 n mile(1 n mile=1852 m)和终端区域3 n mile最小管制间隔标准的监视系统^[13],但要作为场面监视系统,还需要提高其精度。本文提出了一种计算ADS-B延迟时间的方法,通过该方法,可以精确计算延迟时间,从而提高ADS-B的监视精度,使ADS-B在机载导航系统定位精度减弱和没有增强系统的情况下也能提供高精度,并能满足空管的各种监视,在使用本地增强的情况下,也可用于机场的场面监视。

参考文献:

- [1] 王鲁杰. 中国民航应优先发展ADS-B应用技术[J]. 中国民用航空,2006(1):27-30.
- [2] 张军. 现代空中交通管理[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005:210-223.
- [3] LEVITT I. Total latency and uncompensated latency in ADS-B[R]. Washington, DC: RTCA Special Committee 186, Working Group 3,

2009.

- [4] MITRE S J. Latency in ADS-B UAT MOPS[R]. Washington, DC: RTCA Special Committee 186, Working Group 5, 2001.
- [5] JONES S R. ADS-B surveillance separation error sensitivity analysis[R]. Bedford, Massachusetts: The MITRE Corporation, 2009.
- [6] THEDFORD W A. ADS-B IN/OUT technical issues[R]. Tennessee: Jacobs Technology, 2011.
- [7] RTCA. DO-242A, minimum aviation system performance standards for Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) [S]. Washington, DC: RTCA, 2002.
- [8] 范凯,刘钝. 全球导航卫星系统在民用航空中的应用[J]. 全球定位系统,2011(1):67-71.
- [9] JEAN-PIERRE D. Introduction to GPS[R]. Toulouse: French Civil Aviation University, 2009.
- [10] RTCA. Latency and report time error, DO-242A Appendix K[S]. Washington, DC: RTCA, 2002.
- [11] ICAO. Doc 9689-AN/953. Manual on airspace planning methodology for the determination of separation minima[S]. Montreal: ICAO, 1998.
- [12] JEAN-PIERRE D. Present techniques of surveillance primary surveillance radar [R]. Toulouse: French Civil Aviation University, 2011.
- [13] JONES S R. Determination of requirements for Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) to ADS-B three nautical miles (nm) separation standard[R]. Bedford, Massachusetts: The MITRE Corporation, 2004.