

doi: 10.7690/bgzdh.2020.03.002

典型遥测帧结构分析与数据处理关键技术

张 东

(中国人民解放军 92941 部队 45 分队, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要: 为解决遥测帧结构中各类参数分路解算的难题, 对典型遥测帧结构与数据处理关键技术进行分析。以靶场实际武器实验为背景, 简述遥测帧结构定义, 通过分析 3 种典型武器系统的遥测帧结构, 根据遥测帧结构的共性和特点, 提出了遥测数据处理中的关键技术。应用结果表明: 该技术能达到优化数据处理环节、提高数据处理效率的目的, 可为新型武器系统遥测数据处理提供参考依据。

关键词: 遥测; 帧结构; 虚拟子帧; 分路; 多线程; 集群

中图分类号: TP701 **文献标志码:** A

Structure Analysis of Typical Telemetry Frame and Key Techniques of Data Processing

Zhang Dong

(No. 45 Team, No. 92941 Unit of PLA, Huludao 125000, China)

Abstract: In order to solve the problem of parameter path separation, the typical telemetry frame structure and the key technology of data processing are analyzed. Based on the actual weapon test in shooting range, the definition of telemetry frame structure is briefly introduced. By analyzing the telemetry frame structures of three typical weapon systems, the key technologies in telemetry data processing are proposed based on the commonness and characteristics of telemetry frame structure. The application results show that the technology can optimize data processing links and improve data processing efficiency. It can provide reference for telemetry data processing of new weapon systems.

Keywords: telemetry; frame structure; virtual sub frames; path separation; multi threading; cluster

0 引言

事后数据处理在靶场整个飞行实验中是一个非常关键的环节。遥测事后数据处理就是将遥测参数从原始测量数据中分路提取出来, 解算成实际物理量值, 为武器系统的性能分析和故障诊断提供重要参考依据。武器系统的各类遥测参数记录在遥测帧结构中, 不同型号武器系统对应不同遥测帧结构, 而且同一型号武器系统在不同实验阶段的遥测帧结构也不同; 因此, 需要基于遥测帧结构研制相应软件实现遥测参数处理。如何从各型纷繁复杂、不断变化的遥测帧结构中实现各类参数分路解算, 是遥测事后数据处理的一个重要难题。

从遥测数据处理技术研究现状看, 主要集中在遥测数据处理中的步骤和过程^[1], 以及海量数据处理、多站数据处理^[2]、帧同步方法处理^[3-5]等技术领域。文献[6]设计了一种基于在线编译的遥测事后数据处理通用平台, 从软件架构、参数配置、数据处

理及数据展示方面设计和实现软件。此方法缺乏对各型武器系统遥测帧结构的归纳总结与分析。笔者从靶场实际武器实验中选取最具代表的 3 种遥测帧结构进行总结分析, 并在此基础上阐述遥测数据处理的关键技术, 为遥测数据处理提供方法和思路。

1 遥测帧结构定义

遥测帧结构是遥测数据存储和传输的基本结构, 主要内容包括子帧、副帧、特殊副帧以及总线数据等。在靶场实际实验中, 武器系统因自身特性和生产工业部门不同, 导致遥测帧结构存在较大差异, 给遥测参数分路解算过程增添了环节和困难。

子帧是由多个波道组成的数据段, 以帧同步码结尾, 是保存和传输各种遥测参数的基本单元; 副帧是由一路固定数量并且连续的子帧波道共同组成; 特殊副帧占用一个或多个子帧波道, 依靠帧头区分, 用于保存精度较高的遥测参数^[7-8]。图 1 为典型遥测帧结构。

收稿日期: 2019-12-08; 修回日期: 2019-12-30

作者简介: 张 东(1974—), 男, 辽宁人, 硕士, 从事遥测数据处理研究。E-mail: lidonglooming@126.com。

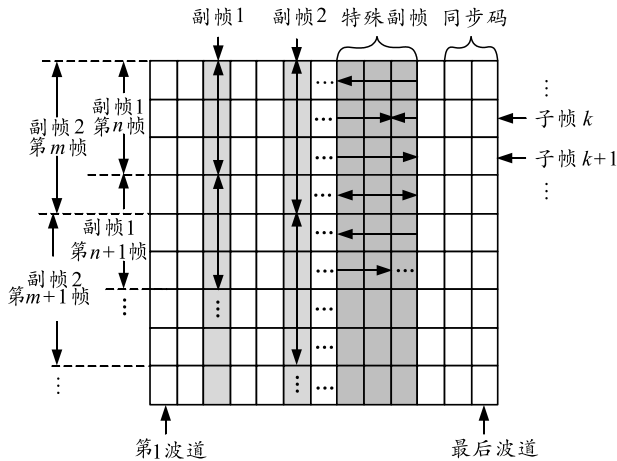


图 1 遥测帧结构

图 1 表示从遥测数据中抽取的数据块，行表示子帧，列表示波道。图中共包括 2 个副帧和 1 个特殊副帧，2 个副帧分别占用第 3 波道和第 6 波道，

表 1 类型 I 遥测帧结构

0	1	2	3	4	...	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	...	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	...	91	92	93	94	95
...
992	993	994	995	996	...	1 019	1 020 0x9A	1 021 0xBC	1 022 0xB5	1 023 0x2C

由表可知：遥测子帧长度为 1 024 字节，数字 0,1,⋯,1 023 代表子帧遥测波道号，帧同步码为 0x9ABC B52C，空白处代表各类遥测参数所占波道。遥测参数类型包括模拟量、开关量、数字量等，每个模拟量占用 1 个波道，每个开关量占用 1 个波道或 1 个波道中的某个字节位，数字量可占用多个波道。这种帧结构相对简单，一般保存和传输百余个遥测参数，数据处理时读取每帧数据，按照参数所在波道位置，实现分路提取和解算。

2.2 遥测帧结构类型 II

遥测帧结构类型 II 的特点：数据中包括子帧、副帧和特殊副帧，遥测参数根据自身特性和需要可以记录在子帧中，也可以记录在副帧和特殊副帧中。其帧结构如表 2。

表 2 类型 II 遥测帧结构

0	1	2	3	4	5	6	7
SZ1		SZ2			FZ1	SZ3	
8	9	10	11	12	13	14	15
SZ1			SZ4	FZ2			
16	17	18	19	20	21	22	23
SZ1		SZ2				FZ3	
24	25	26	27	28	29	30	31
SZ1		SZ5				0xEB/14	0x90/6F

特殊副帧共占用 3 个波道。另外，在实验任务中，遥测地面站在接收测量数据时，需要在每个子帧前插入一定长度的时间码。

2 典型遥测帧结构特性分析

近些年，靶场承担了多种型号武器系统实验任务。这些武器系统分别产自不同工业部门，虽然遥测帧结构不尽相同，各有特点，但仍存在一定的共性。在总结分析各类遥测帧结构基础上，笔者选取以下 3 种典型帧结构进行阐述。

2.1 遥测帧结构类型 I

遥测帧结构类型 I 的特点：遥测数据只含有子帧，无副帧和特殊副帧，子帧长度较长，所有类型遥测参数均编排在子帧波道中，其遥测帧结构如表 1 所示。

由表可知：遥测子帧长度 32 字节，帧同步码 0xEB90。FZ 代表副帧，共包括 3 个副帧：FZ1、FZ2、FZ3，每个副帧占用 1 个波道，副帧帧长 64 字节，当子帧同步码为 0x146F 时，表示上一个副帧结束，下一个副帧开始。SZ 代表特殊副帧，共包括 5 种数字量，每种数字量可占用多个波道进行传送，例如，数字量 SZ1 和 SZ2 分别占用了 4 个和 2 个波道，在参数分路提取时需要合并处理。不同种类数字量的帧头和帧长各不相同，在处理时需要相互区分。帧结构类型 II 与类型 I 相比，增加了副帧和特殊副帧，结构变得相对复杂，可传输多达几百个遥测参数，参数种类比较多。

2.3 遥测帧结构类型 III

类型 III 的遥测帧结构更加复杂，不仅包括子帧、副帧、特殊副帧，而且包括全帧、复用帧、1553B 总线等特殊形式的帧结构。另外，遥测帧结构在飞行实验的不同阶段也具有不同帧格式。

如图 2 所示，飞行实验分为 4 种不同阶段：“起飞前”到“舱体分离”前为帧结构 A，“舱体分离”后到“头舱分离”前为帧结构 B，……。实际实验

任务中，各阶段的帧结构数据记录在同一个原始测量数据流中，处理时需根据子帧波道标志 FS 加以区分，例如：FS=0xAA 为帧结构 A，FS=0xBB 为帧结构 B……。在不同帧结构中，副帧、特殊副帧、振动参数等数据包所占用的波道不同，在参数全程

处理时，需要分别提取不同飞行段的数据包一并处理。下面以帧结构 A 为例，其全帧如表 3。

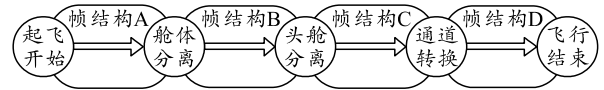


图 2 遥测 4 种帧结构

表 3 类型 A 的遥测帧结构

行列序号	0	1	2	3	...	68	69	70	71
0	SZ1	FZ1	SZ2	SZ1	...		SZ3	0xEB	0x90
1		FZ1	SZ2		...	1553B	1553B	0xEB	0x90
2	SZ1	FZ1	SZ2	SZ1	...		SZ3	0xEB	0x90
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮	⋮	⋮
29	SZ4	FZ1	SZ2	SZ4	...	SZ4	SZ4	0xEB	0x90
30	SZ1	FZ1	SZ2	SZ1	...		SZ3	0xEB	0x90
31		FZ1	SZ2		...	FS		0x14	0x6F

表中子帧长度为 72 字节，副帧长度为 32 字节，全帧由 32 个子帧组成，共计 72×32 字节。子帧同步码为 0xEB90，0x146F 既是全帧同步码，又是副帧同步码。特殊副帧记录波道不再局限于单个子帧，而是在全帧中进行波道编排。

表中 SZ2 代表其中一个特殊副帧。该特殊副帧是复用帧。复用帧是指特殊副帧在不同飞行时间段记录内容不同，例如，可分为对准空修状态、导航状态 2 种状态。每种状态对应不同的遥测参数，每种状态由数据包中帧头后面的数据长度加以区分，

例如，在数据包前 3 个字节 0x55AA80 中，0x55AA 表示帧头，0x80 表示数据长度，而 0x55AA72 表示数据长度为 0x72。

表中 1553B 代表 1553B 总线数字量。与副帧和特殊副帧不同，它由消息帧构成，每个消息帧中包含多个消息数据^[9]。消息数据包括消息头和消息参数，并依靠消息头区分，消息参数中包括多个遥测参数，其帧结构如表 4。该类型是靶场目前最复杂的遥测帧结构，传输遥测参数可达几千余个，数据处理软件的研制和改造工作量很大。

表 4 消息帧结构

帧头	消息头 k	消息参数 k	消息头 k+1	消息参数 k+1	...
帧头	消息头 m	消息参数 m	消息头 m+1	消息参数 m+1	...
帧头	消息头 n	消息参数 n	消息头 n+1	消息参数 n+1	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

武器系统遥测帧结构中存在许多需要特殊处理的数据帧，不再详述。以上分析了 3 种典型的武器系统遥测帧结构，虽然不同类型武器系统遥测帧结构总体上相同，一般都包括子帧、副帧、特殊副帧等内容；但在具体细节方面，各有特点，导致遥测事后数据处理软件通用化设计和研制的难度较大。另外，由于武器系统技术革新和升级、外场测量设备数量的增加，数据处理的工作量也成倍增长，为此需研究相关技术提高遥测数据处理能力。

3 遥测数据处理关键技术

基于上述典型遥测帧结构的总结与分析，笔者研究遥测数据处理过程中的关键技术。具体技术内容包括虚拟子帧、参数分路、多线程参数处理、高性能计算，以此实现数据处理环节和效率的优化。

3.1 虚拟子帧技术

不同型号武器系统的遥测帧结构不尽相同，构

成了遥测帧结构的多样性，影响了数据处理软件研制和修改的难度^[10]。为此，笔者提出采用虚拟子帧技术规范各类数据帧结构，目的是将帧结构中的各类副帧和特殊副帧进行规范，变成与子帧相类似的标准化格式，再对参数进行统一分路提取。其过程如图 3 所示，将原始数据中所有的副帧和特殊副帧通过转化程序规范为统一的虚拟子帧格式：时间码+数据。

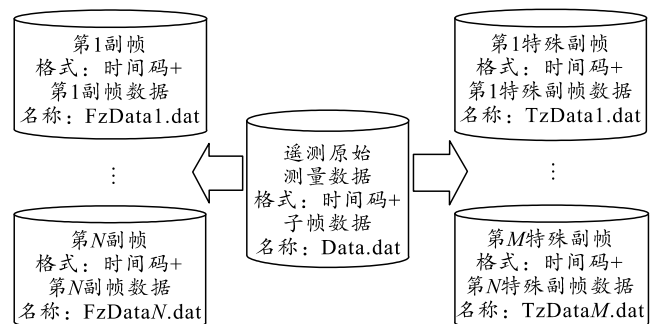


图 3 虚拟子帧转化

原始数据通过帧转换过程，生成多个副帧和特殊副帧的数据文件，每个副帧和特殊副帧的时间码与其帧头在子帧中的时间码相对应。基于统一的虚拟子帧结构，使遥测参数在分路解算过程中克服了帧结构多样性的影响，具体转换过程包括帧结构转换和时间码结构转换^[11]。

3.2 参数分路技术

参数分路是指将各种遥测参数从复杂的遥测帧结构中提取并解算的过程。遥测参数类型复杂，可以按照所属系统、变化频率、记录形式等多个方面分类区别。为便于计算机编程处理数据，笔者将遥测参数分类为：比特量、单字节、双字节、三字节、四字节、八字节的无符号整型、整型或浮点型等类型，在配置遥测参数时，采用自定义表 5 中的方法，实现对每种参数类型的编码。

表 5 参数类型编码

参数类型	编码
比特量	0
单字节无符号整型	10
单字节整型	11
双字节无符号整型	20
双字节整型	21
四字节无符号整型	40
四字节整型	41
四字节浮点型	42
⋮	⋮

遥测参数记录在不同的子帧波道、副帧、特殊副帧等数据包中。每个参数的信息具体包括：名称、单位、校准系数、计算公式、参数类型、所在波道位置等，可利用数据库完成各类遥测参数的信息配置。在遥测参数分路解算过程中，读取数据库中的参数信息，实现参数处理过程。笔者采用 Excel 表存储参数的配置信息，挑选部分参数如图 4 所示。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1	参数代号	参数名称	单位	系数A	系数B	帧文件	帧长度	帧周期	计算公式	参数类型	采样数	波道位置1	波道位置2	
2	P02	发动机舱X向振动	g	-267.305644	2.129925	Data	35	0.00025	1	10	1	5		
3	P04	发动机舱Y向振动	g	-273.247033	2.157497	Data	35	0.00025	1	10	1	7		
4	1F01	舵偏控制信号	V	-10.004	0.08	FzData1	64	0.00025	1	10	1	1		
5	1F02	舵反馈信号	V		-10	0.08	FzData1	64	0.00025	1	10	1	2	
6	1F03	I 舵+15V	V	-29.95209581	0.239520958	FzData1	64	0.00025	1	10	1	3		
7	2F17	泵进气总压	Mpa	-0.053788775	0.005258536	FzData2	64	0.00025	1	10	1	17		
8	2F18	减压器出口压力	Mpa	-0.031699434	0.003475396	FzData2	64	0.00025	1	10	1	18		
9	2F20	增压气瓶出口压力	Mpa	-1.703979239	0.173010381	FzData2	64	0.00025	1	10	1	20		
10	3F04	安控1	V		0	1	FzData3	64	0.00025	1	10	1	4	
11	3F05	安控2	V		0	1	FzData3	64	0.00025	1	10	1	5	
12	3F06	功率监测	V		-15	0.12	FzData3	64	0.00025	1	10	1	6	
13	3F07	导引头供电电压	V	-32.07692308	0.256410256	FzData3	64	0.00025	1	10	1	7		
14	F03	反馈低空巡航马赫数	Ma		0	0.0001	TzData1	129	0.0002	1	20	1	18	19
15	F04	弹体静压数据	kPa		0	0.004	TzData1	129	0.0002	1	20	1	24	25
16	F05	飞行马赫数	Ma		0	0.0001	TzData1	129	0.0002	1	20	1	30	31
17	GD28	惯导状态信号	1		0	1	TzData2	126	0.0002	1	20	1	5	6
18	GD29	导弹滚动角	°		0	0.006	TzData2	126	0.0002	1	21	1	63	64
19	GD30	导弹航向角	°		0	0.006	TzData2	126	0.0002	1	21	1	65	66
20	Z14	俯仰角程序	1		0	0.001	TzData3	125	0.0002	1	21	1	21	22
21	Z15	航迹角程序	1		0	0.003	TzData3	125	0.0002	1	21	1	23	24
22	Z16	航向角程序	1		0	0.003	TzData3	125	0.0002	1	21	1	25	26

图 4 遥测参数信息配置

表中数据帧文件表示参数归属于子帧或某个副帧、特殊副帧，数据帧长度表示虚拟子帧的长度，校准系数 A 和 B 与计算公式之间的关系定义如下：计算公式的值为 1 时， $Y=A+BX$ ；计算公式的值为 2 时， $Y=A+BU_{xy}X/255, \dots$ ，其中，Y 代表参数分路解算后的物理量值，X 代表参数分路解算前的原始测量值， U_{xy} 代表遥测校准电压。基于以上参数配置表，可以详细描述所要处理的遥测参数信息，实现全部遥测参数的分路解算。以表中舵偏控制信号为例，单位：伏特，计算公式： $Y=-10.004+0.08X$ ，位于第 1 副帧第 1 波道，解算结果曲线如图 5 所示。

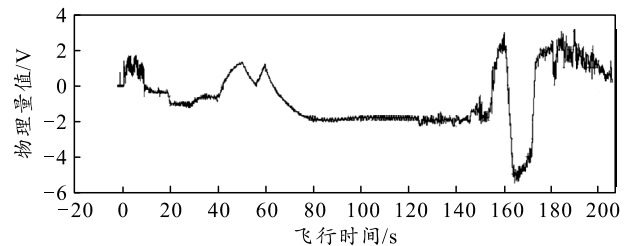


图 5 参数解算结果

3.3 多线程参数处理技术

通过虚拟子帧和参数分路技术可实现遥测参数的解算，但在实际遥测事后数据处理任务中，遥测参数数量非常多，少则百余个，多达几千个。每个

参数都要完成解算和时间历程曲线绘制工作,特别是在飞行时间长、测量数据量大情况下,数据处理工作量十分大,影响了数据处理效率。

多线程技术是应用程序在同一时间内运行多个线程(任务),多任务同时运行、相互独立、互不干扰,提高了程序的运行效率。它能够在主线程之外并发地提供任务处理支持,从而使得程序处理效率得到提升^[12-13]。多线程技术的使用使得软件交互界面更加友好,任务响应时间更加迅速,并凭借其特有的优势为多任务高效处理提供有效的解决方案。利用多线程技术,设计适用于遥测数据处理过程的多线程应用模型,结合面向对象的编程思想,提高系统并行处理能力、增强配置灵活性以及避免多线程编程的复杂性。遥测参数多线程处理如图6所示。在数据处理过程中开设多个 Thread 类对象,分别负责各类遥测参数的处理工作,可以实现多类参数的并行处理,在有效利用处理器的多线程技术的同时,提高数据处理能力和程序运行速度。

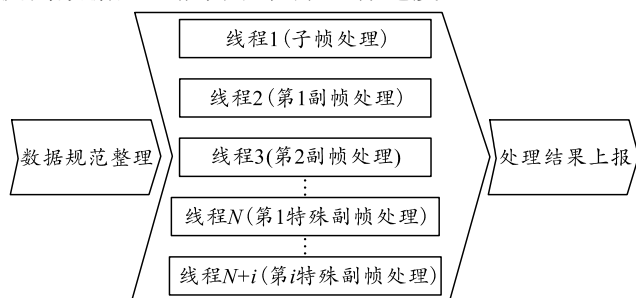


图6 遥测参数多线程处理

3.4 高性能计算技术

高性能计算技术指通过体系结构、并行算法及软件开发等方面来进行研发高性能计算机的技术,在许多科研领域得到了广泛应用。随着并行计算集群、多核处理器等先进计算设施逐渐成为主流,基于新型硬件构架的高性能复杂计算和数据处理将成为未来发展的核心技术^[14-15]。目前在靶场,传统的遥测数据处理系统主要为了实现各类遥测参数分路解算而设计,缺乏在海量数据处理、数据融合、数据仿真分析等方面的计算能力;因此,需要提升数据处理系统的高性能计算能力。

集群技术具有性价比高、可靠性高、可扩展性好、可管理性强、应用支持性好等优势,可利用现有条件构建具有一定规模的计算机集群系统来满足靶场实验任务的计算需求。另外,可以通过优化体系结构和算法,例如:利用并行计算技术、使用合理数据类型、尽量避免分支结构和读写全局存储、

充分利用共享存储等方法,以达到高性能计算目的。

高性能计算技术的应用可以使靶场遥测数据处理在模式和效率上得到改善,参考集成构架见图7。在实验任务中,高性能计算可以承担大量数据处理工作,具体包括参数解算与绘图、多站数据处理、参数谱分析、故障诊断分析、弹道建模、飞行仿真,以及数据精度分析、数据融合、外遥联合处理等方面的工作。高性能计算将成为遥测数据处理的必要手段之一。

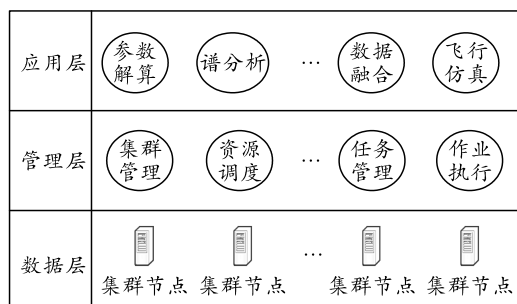


图7 数据处理高性能计算参考集成构架

4 结论

笔者总结分析靶场武器系统典型遥测帧结构及其特点,阐述遥测数据处理中的关键技术,有利于遥测数据处理通用化软件的设计和开发,以及提高数据处理能力,为未来新型武器系统遥测数据处理提供参考依据。当然,随着武器系统的升级、测控设备的更新换代,遥测帧结构也会不断推陈出新,处理过程也日趋复杂,需要继续紧跟技术发展,及时适应各类新变化新问题。

参考文献:

- [1] 赵圣占, 杨若红. 靶场遥测数据处理方法的分析研究[J]. 信息技术, 2016, 10(1): 129-131, 135.
- [2] 吕治国. 智能化多站遥测数据处理系统[J]. 遥测遥控, 2017, 38(4): 9-19.
- [3] 刘秀萍, 李艳芬. 非协作目标的遥测数据处理技术[J]. 现代电子技术, 2009, 294(7): 111-113.
- [4] 张晓威, 苏淑靖. 可变帧结构的 PCM 遥测帧同步器设计[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(10): 3476-3481.
- [5] 夏利利, 刘冰, 周江, 等. PCM 遥测帧同步技术性能分析[J]. 电讯技术, 2014, 54(6): 803-807.
- [6] 史伟娜, 马卫东, 刘志, 等. 一种基于在线编译的遥测事后数据处理通用平台[J]. 兵工自动化, 2017, 36(2): 61-65.
- [7] 陈以恩. 遥测数据处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 328-330.

2796-2800, 2806.

- [3] 康俊民, 赵祥模, 徐志刚. 无人车行驶环境特征分类方法[J]. 交通运输工程学报, 2016, 16(6): 140-148.
- [4] 陈元枝, 邓艳, 史绍亮, 等. 基于 Zxing 的彩色 QR 码生成与识别方法[J]. 桂林电子科技大学学报, 2016, 36(4): 333-337.
- [5] 畅毅, 王亮, 黄劲松, 等. 基于 BD930 板卡的 RTK 测量系统研制[J]. 测绘通报, 2017(1): 97-101, 105.

(上接第 9 页)

- [8] 李邦复. 遥测系统(上)[M]. 北京: 宇航出版社, 1999: 397-401.
- [9] 尚丽娜, 刘嫚婷. 1553B 接口信息文件自动导入软件的设计与实现[J]. 测控技术, 2014, 33(6): 120-122.
- [10] 刘洋, 李宗德, 丁雪静, 等. 基于 XTCE 的卫星遥测数据处理方法[J]. 遥测遥控, 2017, 38(2): 27-31.
- [11] 舒传华, 王竞克, 唐海波, 等. 基于遥测全帧的延时数据弥补方法研究与应用[J]. 遥测遥控, 2016, 37(4): 14-19.
- [12] 赵源, 姜小峰. 基于多线程技术的自动测试系统优化设计[J]. 计算机应用, 2014, 34(7): 2124-2128.

(上接第 21 页)

4 结束语

该新型主动防护拦截系统在距离防护目标十几米时对来袭弹体实现诱爆。为了明晰诱爆引发的空中爆炸给防护目标造成的防护风险, 笔者从爆炸震塌厚度、冲击波、破片 3 个角度进行分析。从结果可以看出: 目标的防护能力能够承受破坏作用造成的安全风险, 对于小于 60 ms 短延时装定的来袭弹体, 该系统可以保证在 10 m 以上实现空中诱爆, 满足防护指标要求, 能够有效控制空中爆炸带来的防护风险, 防护效果较好。

参考文献:

- [1] 周平, 赵辰霄, 梅林, 等. 现代坦克主动防护系统发展现状与趋势分析[J]. 指挥控制与仿真, 2016, 38(2): 132-136.
- [2] 李开文. 追杀低空目标的“毒刺”——美军三种近程防空武器系统[J]. 现代军事, 2003, 45(12): 26-28.

- [6] 简毅, 卢峥, 蒲永材, 等. 基于遗传优化 GRNN 神经网络的人脸识别算法[J]. 兵器装备工程学报, 2018(2): 131-135.
- [7] ZHAO L. 3D Obstacle Avoidance for Unmanned Autonomous System (UAS)[D]. University of Nevada, Las Vegas, 2015.
- [8] 许心德, 关胜晓. 未知环境下基于 VFH* 的机器人避障[J]. 计算机仿真, 2010, 27(3): 156-160.

- [13] 睦俊华, 刘慧娜, 王建鑫. 多核多线程技术综述[J]. 计算机应用, 2013, 33(S1): 239-242, 261.
- [14] EKANAYAKE J, FOX G. High performance parallel computing with clouds and technologies[C]//Cloud Computing, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering 34. Berlin: Springer-Verlag, 2010: 20-38.
- [15] CARTER N P, AGRAWAL A, BORKAR S, et al. Runnemed: An architecture for ubiquitous high-performance computing[C]//Proceedings of the 19th IEEE International Symposium on High Performance Computer Architecture. Shenzhen, China, 2013: 198-209.

- [3] 袁杨. “倚天”防空导弹武器系统[J]. 兵器知识, 2010, 41(4): 44-46.
- [4] 张卫东. 国外装甲车辆主动防护系统发展[J]. 国外坦克, 2008, 41(2): 7-14.
- [5] 任晓刚. 国外坦克装甲车辆主动防护系统[J]. 火力与指挥控制, 2010, 44(S1): 4-6.
- [6] 赵晓凡. 坦克装甲车辆主动防御系统研究[J]. 车辆与动力技术, 2002, 41(3): 53-57.
- [7] 罗佳, 杨世平. 一种信息系统安全风险的灰色模糊综合评估方法[J]. 微型机与应用, 2010, 38(13): 44-46.
- [8] 王世学, 李兆耿. 基于改进 ADC 模型的坦克作战效能评估[J]. 兵工自动化, 2009, 28(7): 14-16.
- [9] 付钰, 吴晓平, 严承华. 基于贝叶斯网络的信息安全风险评估方法[J]. 武汉大学学报(理学版), 2006, 52(5): 631-634.
- [10] 郑全平, 钱七虎, 周早生, 等. 钢筋混凝土震塌厚度计算公式对比研究[J]. 工程力学, 2003, 20(3): 47-53.
- [11] 钱七虎. 防护工程计算原理[M]. 南京: 解放军理工大学, 2009: 70-73.