

doi: 10.7690/bgzdh.2018.05.020

## 某型靶弹系统火工品安全控制设计

丁军辉

(中国人民解放军 91851 部队, 辽宁 葫芦岛 125001)

**摘要:** 针对某型靶弹系统火工品安全全流程管控问题, 进行火工品危险严重性分析, 划分弹载组件、靶弹、发射状态 3 个层次开展安全设计。采用钝感点火, 功率驱动和恒过载解保、延时解保串联方案, 保障火工品静电、运输、跌落、异常撞击等环境下的安全; 靶弹层面, 设计电气隔离、工作 2 种状态, 能力覆盖靶弹运输、存储、测试、模拟发控等全部非发射工况; 发射状态下, 采取逐段管控、串联保险、单一接口操控策略, 保障技术准备、发控对接、试验发射等应用环节安全。实际应用结果表明: 该设计可靠、有效地实现了火工品安全全流程控制。

**关键词:** 靶弹系统; 火工品; 安全性设计

**中图分类号:** TJ450.2 **文献标志码:** A

## Safety Control Design of Explosive Initiator in Certain Type Target-missile System

Ding Junhui

(No. 91851 Unit of PLA, Huludao 125001, China)

**Abstract:** Aiming at the explosive initiator life cycle safety control problem of certain type target-missile system, according to explosive initiator danger severity, carry out safety design in 3 levels, which including missile-equipment, target-missile and launching sate. Insensitive firing, power driver, constant overload armed and delay series connection armed were used to keep explosive initiator safety in the condition of electrostatic field, transportation, drop impact and abnormal impact. Isolation and working states are designed to ensure target-missile safety in un-launching process, such as transiting, storage, testing, simulation launch control docking test. The methods of stage-wise control, insurance series, single man-machine interface was used to ensure safety of target-missile system in the process of technical preparation, launch control docking and launching. Application results demonstrates that the safety methods are valid and reliable to the life cycle safety control of target-missile system.

**Keywords:** target-missile; explosive initiator; safety design

### 0 引言

靶弹用于模拟特定导弹的弹道特性、目标特性、速度特性、主动电磁辐射特性等, 是试训场武器系统试验和部队训练中不可或缺的装备。与导弹武器系统相同, 靶弹系统同样存在火工品安全管控问题, 实际使用中, 因各种原因出现过多次火工品安全性事故, 如 1984 年亚洲某炮兵阵地上因雷电导致的火箭弹误发射事件, 1993 年瑞典航天公司在发射场因错用测试仪表误点火 1 枚探空火箭, 造成重大人员伤亡事件, 以及近年某型号在连接点火电缆时因静电导致的导弹误射、现场操作人员严重烧伤事件等。

目前世界主要国家高度重视弹上火工品系统安全问题, 颁布了相关军用标准或实施相关计划以保证点火系统的安全性, 如国内的安全性通用大纲、安全性试验规程、软件可靠性与安全性设计准则等标准以及美国 HE-RO 计划等。

笔者基于全寿命安全管理理念<sup>[1]</sup>, 针对频繁转

场展开、撤收使用的靶弹系统, 在设备组件、靶弹、发射使用 3 个层次上进行安全设计, 以确保靶弹运输、存储、停放、测试、模拟发射、发控等不同工况下的人员及设备安全。

### 1 火工品危险严重性分析

某型靶弹弹上火工品包括 2 块独立的一次性激活使用热电池、一套靶弹弹体切割自毁装置、一套主发动机。依照事故发生的危险严重性等级划分<sup>[2]</sup>, 热电池异常激活事故为 IV 级, 人员安全, 热电池报废; 切割自毁装置异常起爆事故严重等级列为 II 级, 人员可能严重受伤, 导弹严重损坏甚至报废; 主发动机为固体火箭发动机, 总冲大于 60 000 daN·s, 异常点火后会出现灾难性后果, 事故严重等级为最高的 I 级。从上述危险严重性分析看, 最低的热电池异常激活事故也需要靶弹返回总装厂拆解更换热电池后才可能重新投入使用, 切割自毁装置和主发动机事故更会导致人员伤亡、装备损毁。就安全性风险管控而言, 控制风险方法的优选顺序是消除、替

收稿日期: 2018-02-05; 修回日期: 2018-02-27

作者简介: 丁军辉(1979—), 男, 河南人, 硕士, 从事靶弹测试、发控、弹上飞控及安控系统研究。

代、降低、限制和个人防护<sup>[3]</sup>，对于危险性极高的弹载火工品，必须进行周到细致的安全性设计，消除和降低可能的安全风险，确保靶弹系统存储、运输、试训使用过程中人员装备安全。

## 2 单枚靶弹安全设计

弹上安全设计的目的是确保靶弹在运输、存储、停放状态下火工品系统的安全可靠。本阶段主要围绕火工品单机设备、靶弹电气系统 2 部分开展安全设计。

### 2.1 分离设备安全设计

固体火箭发动机采用点火药、动力药级联装填，引爆时首先靠地面电点燃点火药，由点火药再引燃动力药形成发动机主推力，据此，发动机的安全措施主要围绕初级点火药的安全稳定性和点火电路的安全性开展工作，初级点火设计采取钝感点火装置，功率驱动，1A1W5 min 不发火，8 A 以上、50 ms 可靠执行。

一次性激活电池误激活不会对人员造成伤害，但会使主电池设备报废、弹上设备长时间工作，降低弹上舵机等机电设备的使用寿命，为此主电池设计采用半钝感点火器，0.5 A 5 min 不激活设计方案，5 A 以上、持续 50 ms 可靠执行，钝感电路、功率驱动方案有效隔离了静电影响，确保点火线路引脚在等电位或悬空状态下安全不发火。

弹上切割索装置采用恒过载和固定延时两级电气保险设计，只有靶弹轴向过载连续大于 30 且持续 3 s 以上，才实施一级解保，弹体其他方向过载无触发作用，过载解保后设计 10 s 延时解保环节，确保靶弹已经发射且远离发射区域才能响应安控系统发出的解体指令，此设计有效隔绝了切割索跌落、靶弹运输、吊装等环节的冲击振动影响及测试、发控过程中的电气干扰。

### 2.2 弹上电气安全设计

本型靶弹采用尾部发控对接方式，所有发控信号整合入同一电缆束，统一从发动机尾部伸出。整弹存储、运输、停放状态下，通过尾部短接火工品点火(激活)信号措施可有效避免外部环境的影响，但模拟发控状态下，由于发控电缆与尾部电缆相接，仅采用尾部短接方式，穿舱的火工品控制信号线可能受到同一电缆束内供电、通信信号串扰影响，存在较大安全风险，为此，在靶弹电气系统上采取就近短接组件点火(激活)控制端的技术措施，在弹体结构上，近火工品组件端设计预留安全隔离接口。

所有点火(激活)控制信号由尾部首先送至安全隔离插座，再由隔离接口转出，近距离送至热电池、发动机点火器、爆炸切割装置。隔离插座设计工作状态、隔离状态 2 种对接接口，运输、存储、停放、测试、模拟发射等工况下，利用工作插头使靶弹处于安全隔离状态，只有靶弹发射状态时，才将隔离插座转换为工作状态。此设计在不影响靶弹正常工作的前提下，尽可能确保火工品点火(激活)控制端在近设备处保持等电位，避免了长导线束的电磁干扰、线间串扰等风险，有效保证了不同工况下靶弹火工品组件的安全。

## 3 发射状态安全设计

本层级安全设计从安全保障应用、契合操作使用流程 2 方面出发，将发射状态下的火工品驱动信号链切割分段分配至不同的系统组件，只有接入全部组件且满足火工品发射逻辑条件才能有效触发，适当降低可靠度来换取系统安全性提升。具体实现上，将靶弹配套地面发射设备分割为发控信号转接箱、发控电缆、发控适配器、发控计算机、发射遥控器 5 部分，通过合理的电气和软件设计，使其对应完成发控信号接续、传输、保险及点火输出、点火控制输出、控制激励输出任务，全部信号串接形成完整的火工品控制、驱动信号。

### 3.1 操作使用安全性设计

根据靶场使用特点，将远距离传输的供电、通信、火工品控制需求分别设计使用不同的电缆通道，送至发射架后对应于图 1 中转接箱的 1、2、3 接口，在信号传输通道上，使火工品线路与其他线路物理隔离，从根本上消除电缆绝缘性能下降发生电气串扰风险隐患。

系统展开执行发射任务过程中，火工品电缆的接入状态以发射准备流程为依据，设计为依次衔接的 3 个阶段，如图 1 所示。图 1(a)为 T0-Tzb 时刻之前状态，该时段只需对靶弹进行射前检查，确认弹地系统工作正常，无发控需求，此时信号转接箱的 3 口利用专用短接头将所有火工品线分组短接，使弹上火工品点火线路正负端处于等电位状态，彻底消除火工品异常触发风险，确保发射架岗位人员及设备安全；图 1(b)为 T0-Tzb 时刻状态，发射架岗位工作完毕，信号转接箱端接入点火电缆后，人员撤至发控岗位；利用计量合格的专用仪表，检测回路点火电阻后将电缆接入发控适配器后至图(c)下状态，此时点火线路检测完成，全系统硬件连接完成，发射架岗位人员全部撤离，可安全实施全系

统加电操作。发射系统火工品安全管控任务由发控电气逻辑接续，本操作使用设计经发射试验验证，可有效确保发射准备过程中的人员装备安全。

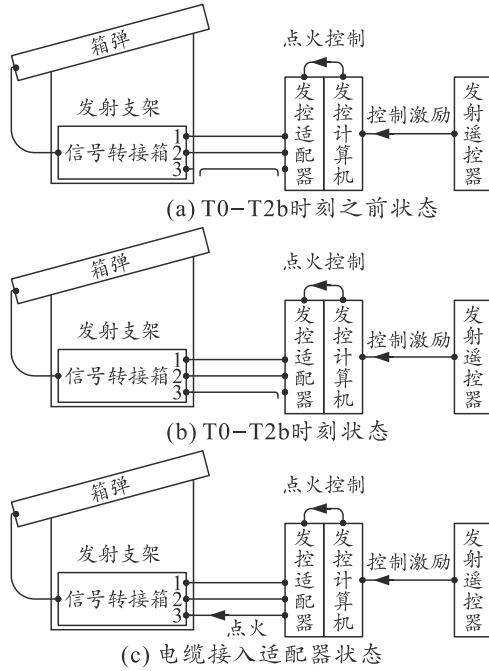


图 1 发射状态控制流程

### 3.2 电气逻辑安全性设计

本系统安全设计主要围绕发控适配器硬件、发控计算机软硬件、发射遥控器软硬件展开，由发射遥控器实施触发控制，在距离发射架 150 m 以远处人工听令给出解保指令 (JBZL) 和发射指令 (FSZL)，距离发射架 50 m 以远的发控计算机和发控适配器响应后，依照预定逻辑完成保险解除和火工品触发信号输出。

在电气逻辑上，火工品点火 (激活) 线路设计由解保继电器和点火 (激活) 继电器两级串接而成 (图 2 中 K4 与 K1、K4 与 K2、K4 与 K3)。火工品起爆如图 3。未解保时，保险继电器 K4 经常闭点短接，未发射时，点火 (激活) 线路经 K1、K2、K3 常闭点短接，K1 控制端一端直接接地，另一端经保险控制继电器 K5 常闭点接地，使 K5 2 个控制端始终处于等电位状态。另一方面，K1、K2、K3 继电器控制端也采用同样设计，一端直接接地、另一端分别通过发控计算机内的 K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub> 继电器常闭点接地，同样使点火 (激活) 继电器的 2 个控制端电位相同，达到控制信号状态清晰、逻辑器件受控目的。同时 K1~K4 继电器的输出端均送入发控计算机的开关量输入输出模块 (图 4)，用于主控机软件模块实时监控使用。本设计模式下，即使 K4 或 K1、K2、

K3 出现故障，仍可保证点火 (激活) 回路安全，同时主控机软件可及时发现任一路差分输出电压异常变化情况，确保人员装备安全。

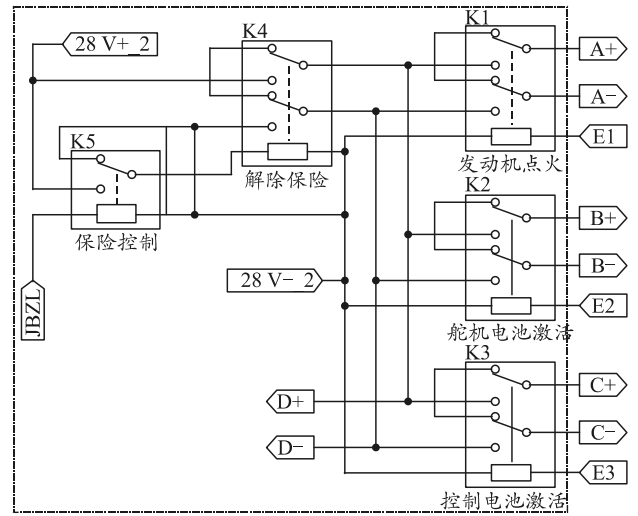


图 2 适配器电气安全性设计

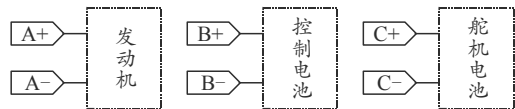


图 3 火工品起爆

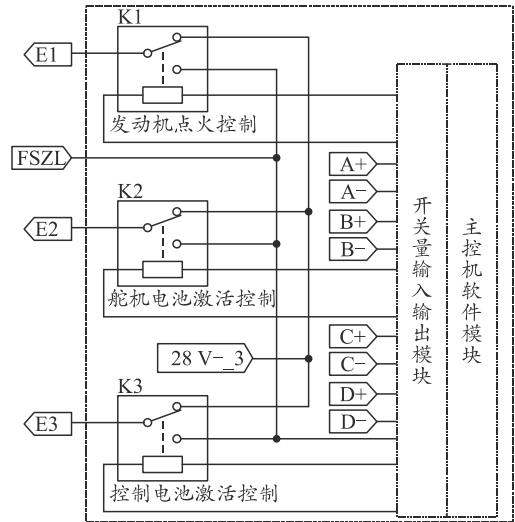


图 4 发控计算机电气设计

发射遥控器设计供电、解除保险、发射共 3 处人工干预接口 (图 5)，由解保开关输出解保指令，用以驱动适配器内的保险控制继电器 K5，使之解除 K4 的短路输出状态，将点火驱动电压分别送至 K1、K2、K3 的常开点，为下一步的点火 (激活) 提供驱动电源。触发发射开关后，遥控器输出发射指令，该指令一路送至发控软件供发射状态识别，用于控制射检发控软件进入发射控制流程，另一路送至发控计算机内 K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub> 的常开点 (图 4)，作为后续解锁适配器内 K1、K2、K3 的驱动信号使用。

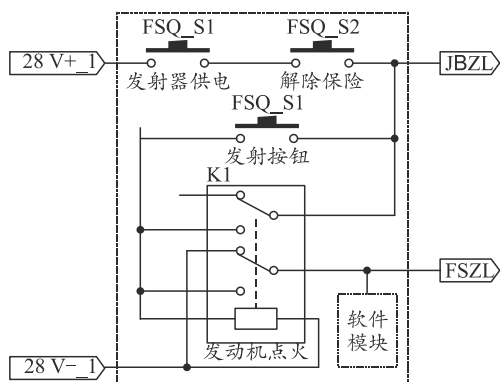


图5 发射遥控器电原理

此设计将发射指令作为点火(激活)继电器唯一的解锁控制信号使用,使系统只有出现发射指令且发控软件处于发射待命状态时才能在软件流程控制下起爆火工品,将发射遥控器作为火工品触发的必要条件,应用过程中可通过断开发射遥控器连接确保系统安全,而不影响系统正常的测试、射检等工作,该设计最大限度地降低了点火(激活)信号异常输出的可能性,使之只能在解除保险、发射2个动作到位且发控软件处于进入发控流程之后,亦即系统已经进入发射状态才可能触发火工品,而其他工作模式下点火(激活)回路一直维持短接状态且实时可测。

### 3.3 软件安全性设计

本发控软件的核心作用是在指定的时机可靠地发出电池激活指令和发动机点火指令,强调指定时间、可靠发出,其他时间发出、或指定时间不能可靠发出都会使人员装备置于不确定的危险环境下。在分析实际物理工作流程基础上,本着简化设计原则,针对性地采取了安全关键功能单元设计、引入硬件安全子系统2方面的安全性技术措施。

发控主流程及数据流、硬件安全子系统如图6、图7所示。将发控主流程分解为发射状态检测、电池1激活与状态确认、电池2激活与状态确认、发动机点火与状态确认4个顺序执行的安全关键功能单元。单元功能独立,单元间无数据约束。发射状态检测采用硬件电气指令和软件通信命令同时有效方案,适当牺牲系统可靠度来换取安全性提升,防止状态误判;电池激活及发动机点火单元采用在主流程中实施指令与反馈闭环校验方法,只有本单元满足流程控制逻辑,才能进行下一步工作,指令和反馈同步送入硬件安全子系统中相应的Watchdog逻辑通道进行计时监控,超出最大允许反馈时间则对应通道即刻发出恢复保险指令,使整个发控电气逻辑恢复保险状态。当满足逻辑条件,本单元执行完毕后发出屏蔽指令,使对应通道的

Watchdog关闭,防止安全子系统干扰正常的发控流程。上述措施有效规避了由于弹上状态未返回或返回异常、地面发控软硬件故障等因素导致的发控流程异常停止问题,可靠地保障人员设备安全。

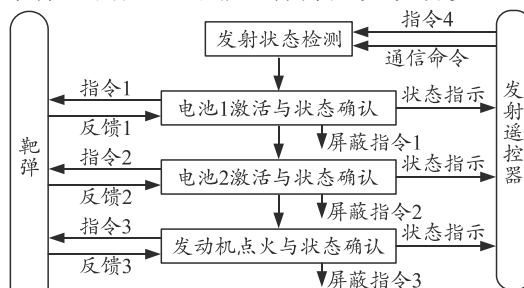


图6 发控主流程及数据流

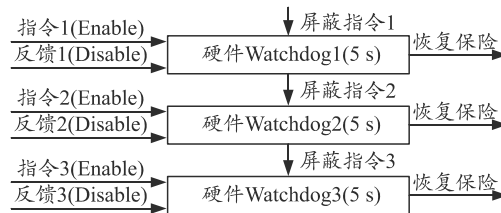


图7 硬件安全子系统

## 4 结束语

火工品安全控制电路及软件的设计有多种实现形式<sup>[4-7]</sup>。笔者从某型靶弹的总体设计出发,分别在靶弹组件、靶弹、发射状态3个层面上给出火工品安全控制措施,覆盖靶弹存储、运输、停放、测试、模拟发射、发控等全部工况。

热电池、发动机点火器、切割装置引爆器在低温、高温、潮湿环境下的地面点爆试验结果表明:弹上组件满足钝感点火要求,对静电、长时弱电流等无响应。在国内西南潮湿地区的总装、测试、发控和西北地区的发射应用及长途运输结果表明:本设计可有效满足靶弹总装厂、技术准备厂房、发射场等多种工作需要,灵活、有效地保障了人员装备安全。

## 参考文献:

- [1] 赵明,王雷.地(舰)空导弹发控系统安全性设计[J].现代防御技术,2016,44(3):179-185.
- [2] 常新龙,胡宽,田干,等.GJB6864—2009 导弹用火工品检测设备通用规范[S].北京:总装备部军标出版发行部,2009.
- [3] 邓康.导弹点火系统安全性设计方法研究[J].现代防御技术,2017,45(3):22-27,33.
- [4] 邵苗苗,顾晓辉,方道红.脉冲点火电路设计及其安全性分析[J].兵工自动化,2014,33(5):65-68.
- [5] 赵曦,王栋,刘华文,等.某导弹火工品模拟训练系统方案[J].兵工自动化,2012,31(3):94-96.
- [6] 丁平,马晓明.安全可靠的火工品点火电路设计[J].兵工自动化,2015,34(4):28-29.
- [7] 徐建国,陈玲,金昌根,等.电火工品发火可靠性数字化测试技术研究[J].兵工自动化,2012,31(3):69-72.