

武器装备地下空间试验场建设需求分析与资源调动方案优化研究

刘建元

国防科技大学 湖南 长沙 410073

【摘要】：现代战争向城市地下、深地空间延伸，武器装备在地下特殊环境下的作战效能、环境适应性已成为装备定型与实战运用的核心考核内容。当前我国尚未建成任何专业化、体系化的武器装备地下空间试验场，相关建设正处于论证阶段，预计最快2027年底可完成初步建设。本文首先系统剖析试验场建设的必要性与核心需求，明确建设的核心方向，然后重点研究试验场建成后的资源调动优化方案，最后通过资源调动优化结论，反向提出试验场建设的优化建议，为试验场的规划立项、建设实施及常态化高效运行提供理论支撑与实践参考。

【关键词】：武器装备；地下空间试验场；建设需求；资源调动优化

DOI:10.12417/3083-5526.25.10.013

当前科技迅猛发展，现代战争形态加速向全域作战、深地作战、城市地下立体攻防演进，地下空间已由传统工程防护范畴，拓展为武器装备实战运用、战术对抗、体系保障的核心作战域。城市地下空间目标与地面建筑物形成交错的立体战场布局，直接影响进攻方战术战略目标的快速达成，对战争局势产生重大影响。我国武器装备试验目前仍以露天野外试验场、室内常规环境试验室为主，尚未建成任何一座专业化、体系化的武器装备地下空间试验场，相关建设工作正处于紧张论证阶段，导致新型武器装备地下环境性能验证、作战试验与定型鉴定缺乏针对性平台。所以，开展武器装备地下空间试验场建设需求分析与资源调动方案优化研究，契合我国积极防御军事战略和国防装备试验体系现代化建设需要，具有重要的理论价值与工程应用意义。

1 武器装备地下空间试验场建设需求分析

1.1 试验场建设的必要性

1.1.1 弥补我国装备试验体系短板的迫切需要

我国现有武器装备试验场主要以露天野外、室内常规环境为主，无法模拟地下密闭、弱光、强电磁干扰、温湿度可控等特殊环境，导致新型武器装备地下环境性能验证缺乏针对性平台，如新型步兵武器、无人作战装备、电子对抗装备等在地下空间的作战效能、环境适应性，无法通过现有试验场进行精准测试，试验数据存在偏差，影响装备定型与实战运用^[1]。建设地下空间试验场，能够填补我国装备全环境试验体系的空白，实现武器装备地下环境试验的专业化、标准化，提升装备试验鉴定的科学性与准确性。

1.1.2 适应现代战争形态发展的必然要求

现代战争已进入全域作战时代，地下空间成为军事对抗的核心领域之一，武器装备在地下空间的实战能力直接决定战争胜负。当前各国均在加快地下军事设施建设与地下作战装备研发，我国若缺乏地下空间试验场，将无法有效开展新型地下作战装备的试验鉴定，难以适应现代战争的发展趋势，建设地下

空间试验场能够为新型武器装备地下实战能力测试提供平台，推动装备研发与地下作战需求精准对接，提升我国地下作战体系能力^[2]。

1.1.3 推动国防装备现代化建设的重要支撑

国防装备现代化建设要求武器装备具备全环境适应能力，地下空间其相关试验能力的缺失已成为制约我国装备现代化发展的瓶颈。建设地下空间试验场能够系统开展武器装备地下环境性能验证、作战试验与定型鉴定，为装备研发、改进提供精准的数据支撑，推动新型武器装备快速列装，提升我国国防装备的整体水平，同时试验场的建设还能带动地下工程、试验技术、资源管理等相关领域的发展，形成协同发展的产业格局。

1.2 试验场建设核心需求

1.2.1 功能需求

功能需求直接决定试验场的使用价值，结合我国武器装备试验任务类型，核心功能需求主要包括：多类型装备试验功能，能够开展步兵武器、装甲装备、无人装备、电子对抗装备等各类武器装备的地下环境试验，涵盖作战效能测试、环境适应性测试、可靠性测试、生存保障能力测试等多个维度；复杂环境模拟功能，能够模拟地下密闭狭小空间、弱光、强电磁干扰、极端温湿度、粉尘、震动等多种复杂环境，确保试验环境的真实性与针对性；试验数据采集与分析功能，配备专业的测试设备与数据采集系统，能够精准采集试验过程中的各类数据，运用统计算法进行数据处理与分析，为装备评估提供科学依据。

1.2.2 空间需求

地下空间的特殊性决定试验场空间规划的重要性，结合试验功能需求，空间需求主要包括试验区域空间，根据试验任务类型，划分不同的试验区域，如武器效能试验区、环境适应性试验区、可靠性试验区等，每个区域的空间大小需满足装备试验的操作要求，确保试验过程的安全性及顺畅性；资源存储空间，用于存放试验设备、弹药、耗材等资源，空间布局需科学合理，便于资源的存取与调度；辅助空间，包括数据处理中心、

设备维护区域、人员休息区域等，为试验任务的开展提供保障，提升试验场的运行便利性，同时地下空间须具备良好的通风、排水、照明、供电等基础设施，确保试验场的正常运行^[3]。

1.2.3 资源需求

试验场的正常运行与试验任务的开展，需要各类资源的支撑，一是设备资源，包括试验测试设备、环境模拟设备、数据采集设备、安全防护设备等，设备的性能需满足试验需求，具备高精度、高可靠性的特点；二是人力资源，包括试验技术人员、设备维护人员、数据处理人员等，人员须具备专业的技能与素养，能够熟练操作试验设备、处理试验数据；三是物资资源，包括弹药、耗材、防护用品等，需建立完善的物资储备与供应体系，确保试验任务的顺利开展；四是技术资源，包括试验技术、数据处理技术、环境模拟技术等，需依托先进的技术手段，提升试验场的试验能力与运行效率。

1.2.4 安全需求

地下空间试验场的安全风险较高，涉及武器装备、易燃易爆物资、复杂环境等多个风险点，安全需求是试验场建设的底线要求，包括人身安全保障，配备完善的安全防护设施，制定严格的安全操作规程，防范试验过程中人员伤亡事故的发生；设备安全保障，建立设备维护与检修体系，定期对试验设备、基础设施进行维护，确保设备正常运行，避免设备故障引发安全事故；环境安全保障，加强地下空间的通风、排水、消防等设施建设，防范粉尘、有害气体、火灾等安全隐患。

2 武器装备地下空间试验场资源调动方案优化

2.1 资源调动优化的核心原则与目标

2.1.1 核心原则

结合工程管理中的资源优化原则，试验场资源调动优化需遵循以下核心原则：系统性原则，将各类资源、试验任务、地下环境作为一个有机整体，统筹考虑资源配置与调度，确保资源调动与试验场运行、试验任务需求高度适配；高效性原则，以提升试验任务开展效率、提高资源利用率为核心，优化资源调度流程，减少资源闲置与浪费；可行性原则，结合试验场的建设规模、资源总量、地下环境特点，制定切实可行的调度方案，避免方案过于理想化，确保能够落地实施^[4]。

2.2.2 优化目标

资源调动优化的核心目标是实现“资源利用最大化、试验效率最优化、任务延误最小化”，具体包括三个层面：定量目标，将资源利用率提升至85%以上，试验任务平均延误时间缩短30%以上，稀缺资源闲置时间减少40%以上；定性目标，实现资源调度的精准化、动态化，有效解决多任务资源冲突问题，提升试验场的运行效率与稳定性；关联目标，通过资源调动优化，反向明确试验场建设中资源配置的优化方向，确保试验场建设与资源调度需求高度匹配，避免建设与使用脱节。

2.3 资源调动优化模型构建

2.3.1 资源与任务梳理

首先通过德尔菲法，梳理试验场常见的试验任务类型，主要包括步兵武器地下效能试验、装甲装备地下适应性试验、无人装备地下可靠性试验、电子对抗装备地下性能试验等4类核心任务，明确各类任务的流程、优先级、所需资源及时间约束。然后梳理试验场各类资源，包括设备资源（试验测试设备、环境模拟设备等）、人力资源（试验技术人员、设备维护人员等）、物资资源（弹药、耗材等），明确各类资源的数量、性能、可用时间、资源约束等参数^[5]。最后建立任务与资源的关联关系，明确各类任务对不同资源的需求数量、需求时间，为模型构建提供基础数据。

2.3.2 Petri 网建模

Petri网为一种用于描述并发、异步、分布式系统的数学模型和图形化工具，能够直观刻画资源状态、任务流程与调度逻辑，适合用于试验场资源调动建模。结合试验场资源调动的特点，构建引入时间与资源约束的Petri网模型：

库所定义，将库所分为三类，即资源库所、任务库所、状态库所，资源库所用于表示各类资源的状态，托肯数量表示资源的可用数量，如“试验设备M1”库所，托肯数量为3表示有3台该类设备可用；任务库所用于表示试验任务的状态，如“任务1开始”“任务1实施”“任务1完成”等；状态库所用于表示资源与任务的关联状态，如“设备M1被任务1占用”。

变迁定义，变迁用于表示资源的占用、释放与任务的推进，如“任务1占用设备M1”变迁，当任务1开始且设备M1可用时，该变迁被激活，资源库所“设备M1”的托肯数量减少1，状态库所“设备M1被任务1占用”的托肯数量增加1；“任务1完成释放设备M1”变迁，当任务1完成时，该变迁被激活，状态库所“设备M1被任务1占用”的托肯数量减少1，资源库所“设备M1”的托肯数量增加1。

时间约束引入，在任务库所中添加时间参数，用于表示任务实施的时间，如“任务1实施”库所的时间参数为12小时，表示该任务需要12小时完成；在资源库所中添加时间参数，用于表示资源的使用时间，如“设备M1使用”库所的时间参数为8小时，表示该设备每次使用需要8小时。通过时间约束，确保资源调度与任务推进的时间匹配。

2.3.3 遗传算法求解

遗传算法是一种通过模拟生物自然选择与遗传学机制来解决复杂优化问题的自适应全局搜索算法，具有鲁棒性强、不依赖梯度信息、能够并行探索解空间的优势，适合用于多资源调度问题的求解。

第一，染色体编码，将Petri网模型中的资源调度方案转化为染色体编码，采用数值串编码方式，每个染色体对应一种

资源调度方案。染色体的长度等于试验任务的总数，每个基因位对应一个试验任务，基因值表示该任务所分配的资源编号，如基因值“1”表示该任务分配给资源1，基因值“2”表示该任务分配给资源2，以此类推。

第二，适应度函数设计，结合资源调动优化目标，构建适应度函数，以试验任务总工期最短、资源利用率最高为核心目标，兼顾任务延误最小化。适应度函数公式为：

$$F = \alpha \times (1/T) + \beta \times (R/\text{Max}R),$$

其中，

T——试验任务总工期，

R——资源总利用率，

MaxR——资源最大可能利用率，

α 、 β ——权重系数， $\alpha=0.6$ ， $\beta=0.4$ ，确保总工期与资源利用率的均衡优化。适应度值越高，对应的调度方案越优。

2.4 模型验证与方案优化

2.4.1 模型验证

为验证资源调动优化模型的可行性与有效性，结合试验场预设的试验任务与资源参数，进行实例验证。假设试验场有4类试验任务（任务1至任务4），3类核心设备资源（设备1至设备3），各类任务的优先级、所需资源、时间约束如下：任务1（优先级1），需设备1，实施时间12小时；任务2（优先级2），需设备2，实施时间8小时；任务3（优先级1），需设备1，实施时间10小时；任务4（优先级3），需设备3，实施时间6小时。资源参数：设备1数量2台，设备2数量1

台，设备3数量1台。

将上述参数输入 Petri 网模型与遗传算法，通过 MATLAB 软件迭代求解，得到最优资源调度方案：任务1分配设备1-1，任务3分配设备1-2，任务2分配设备2-1，任务4分配设备3-1，总工期为12小时，资源利用率为91.7%，任务无延误。

2.4.2 方案优化调整

基于模型验证结果并结合地下空间试验场的特点对资源调度方案进行进一步优化调整，重点解决三个问题：一是瓶颈资源优化，针对设备2、设备3等稀缺资源，通过任务优先级排序、资源共享等方式，减少资源冲突，提升资源利用率；二是动态调度优化，建立资源扰动响应机制，当出现资源故障、任务调整等突发情况时，通过遗传算法快速重新求解，生成新的调度方案，确保试验任务顺利开展；三是流程优化，结合 Petri 网模型中的任务流程，优化资源存取、运输流程，减少地下空间环境对资源调度的影响，提升调度效率。

3 结语

综上所述，本文立足我国武器装备地下空间试验场论证建设阶段的现状，系统分析了试验场建设的必要性与核心需求，构建了建设需求评价指标体系，重点构建融入 Petri 网、遗传算法的资源调度优化模型，通过实例验证其可行性，形成“建设需求—资源调度—建设优化”的闭环研究，为试验场建设与运行提供支撑。未来，将结合试验场建设实际进展，完善需求评价体系与优化模型，融入更多智能技术，结合试运行数据优化调度方案，拓展研究范围，助力国防装备试验体系现代化建设。

参考文献：

- [1] 廖睿,王斌翊,唐杰,等.大型语言模型在武器装备中的应用探索[J].自动化技术与应用,2026,45(05):1-7.
- [2] 周委璇,王柔溪,费泽涛,等.战时武器装备军地联合保障模式研究[J].电子产品可靠性与环境试验,2026,44(02):63-66.
- [3] 李心洁,苏涛,冯安安,等.面向全生命周期的武器装备体系智能化保障技术研究[J].空天防御,2026,9(02):80-86.
- [4] 秦怀宇.无线可充电传感器网络 Petri 网建模与优化部署[D].江苏大学,2022.
- [5] 王苏城.基于颜色 Petri 网的离散事件系统性能评价[D].安徽理工大学,2016.