

基于STK的美GEO轨道预警卫星作战能力分析

王玉晓¹, 胡阳光^{1,2}, 张天天¹, 孙嘉悦¹

¹中国人民解放军63768部队, 陕西 西安

²西北工业大学航天学院, 陕西 西安

收稿日期: 2023年6月15日; 录用日期: 2023年8月24日; 发布日期: 2023年9月1日

摘要

天基红外预警卫星是实现战略预警的核心装备, 能够实现全球弹道类目标发射的早期预警。当前美国已经建成了规模庞大、体系完备的GEO轨道预警卫星体系, 其主要包括六颗SBIRS-GEO预警卫星和一颗宽视场红外预警卫星WFOV, 对我国战略安全空间构成了严峻威胁。为分析美预警卫星对我威胁情况, 系统分析了美GEO轨道预警卫星最新发展现状, 并利用卫星仿真工具包(STK)对其作战能力进行了仿真分析。仿真结果表明, 美GEO轨道预警卫星对我国境内目标实现了全域二重覆盖, 能够全天候对我弹道导弹类目标发射进行预警监测, 研究成果能够为研究美天基预警系统作战能力提供支撑, 具有一定的参考价值。

关键词

美SBIRS-GEO预警卫星, WFOV卫星, STK仿真, 作战能力

Analysis of the Operational Capabilities of America's GEO Early Warning Satellites Based on STK

Yuxiao Wang¹, Yangguang Hu^{1,2}, Tiantian Zhang¹, Jiayue Sun¹

¹Unit 63768, PLA, Xi'an Shaanxi

²School of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi

Received: Jun. 15th, 2023; accepted: Aug. 24th, 2023; published: Sep. 1st, 2023

Abstract

Space-based infrared early warning satellites are the core capabilities for the strategic early warning, capable of detecting launch activities of ballistic targets all over the world. The United

States has built a large-scale and sophisticated GEO early warning satellite architecture, including 6 GEO satellites of Space-Based Infrared System (SBIRS), and a Wide Field of View satellite, seriously threatening China's strategic security. This study analyzes the latest development of America's GEO early warning satellites, and its operational capability based on Satellite Tool Kit, or STK, to figure out the threats against China. On the basis of the simulation results, the satellites can cover the whole China, tracking and monitoring our ballistic missile targets in all weather conditions. The analysis presented in this study will convey valuable information for better understanding the operational capability of the space-based early warning architecture.

Keywords

American SBIRS-GEO Early Warning Satellite, WFOV Satellite, STK Simulation, Operational Capability

Copyright © 2023 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. 引言

弹道导弹具有射程远、速度快、威力大、精度高等特点[1] [2], 已经成为现代和未来战争中重要的战略打击和战略威慑力量。因此, 各军事强国竞相开展战略预警体系能力建设, 其中天基预警系统克服了地球曲率的限制, 正在成为早期预警的核心装备[3]。目前美在役的高轨预警卫星系统主要是“天基红外系统”(SBIRS) [4] [5] [6], 该系统主要用于探测和跟踪处于主动段和再入段飞行的弹道导弹。近年来, 美为应对高超声速导弹等新型武器日益严峻的挑战, 提出了“下一代过顶持续红外”(Next-Gen OPIR)预警卫星计划[7], 目前在轨测试的验证星是 WFOV 卫星。美国预警卫星可覆盖全球, 对全球导弹发射提供预警监测, 对我国部分地区可达三重覆盖, 可在我导弹发射后数十秒内发出告警。美 SBIRS 预警卫星主要是针对弹道导弹的发射监测, 而新一代 OPIR 计划更侧重对高超声速武器早期预警。文中特对美天基红外预警卫星最新发展情况进行了梳理和分析, 并利用 STK 重点对 SBIRS-GEO 和 WFOV 卫星的作战能力进行了分析。

近年来, 众多专家学者对美导弹预警卫星从不同角度进行了深入的分析研究。胡磊等人[8]研究了美国面临的弹道导弹威胁, 梳理了美国导弹预警卫星的发展历程、技术机理和建设现状; 罗菁等人[9]研究了美国红外预警卫星部署情况, 并对卫星的探测能力进行了仿真研究, 分析研究了探测能力方面存在的问题和不足; 宋伟等人[10]建立了美空间跟踪与监视系统卫星对弹道导弹的探测预警模型, 为美空间跟踪与监视系统卫星研究奠定基础。然而, 针对美导弹预警卫星对我国过境内目标的覆盖情况分析研究较少, 难以支撑对美导弹预警卫星作战能力分析。因此, 开展美导弹预警卫星作战能力分析具有重要的现实意义, 能够为分析美导弹预警卫星威胁提供参考。

2. 美 GEO 轨道预警卫星作战能力分析

2.1. 卫星仿真工具包

卫星仿真工具包(STK) [11]是由美国 AGI 公司开发的一款航天领域分析软件, 是分析和执行陆、海、空、天、电磁任务的专业可视化仿真平台, 支持所有任务的全周期仿真分析, 包括概念、设计、制造、测试、发射、运行和应用等任务。

2.2. 主要计算模型设置

仿真中使用的轨道模型为 Two Body，即二体模型，又叫开普勒运动模型，它只考虑地球对卫星的引力，此时地球等效为一个质点。进而通过查询美国导弹预警卫星根数信息，实现卫星轨道仿真计算。

传感器模型为卫星轨道模型的子节点，主要仿真对象为美国导弹预警卫星的红外探测载荷。根据美传感器视场角度，可以仿真获取卫星覆盖范围。

2.3. 仿真参数

2022年11月10日，美国 Space-Track 网站(Space-Track.Org)公布的最新卫星轨道参数，SBIRS-GEO 和 WFOV 卫星轨道参数如表 1 所示，传感器参数如表 2 所示[12][13]。通过 STK 仿真星座部署示意图如图 1 所示。

Table 1. Satellite orbit parameters of SBIRS-GEO and WFOV

表 1. SBIRS-GEO 和 WFOV 卫星轨道参数表

卫星名称	所在轨道	周期(分钟)	轨道倾角(度)
SBIRS-GEO-1	GEO	1436.09	2.04
SBIRS-GEO-2	GEO	1436.11	2.08
SBIRS-GEO-3	GEO	1436.09	2.09
SBIRS-GEO-4	GEO	1436.11	3.30
SBIRS-GEO-5	GEO	1436.09	7.13
SBIRS-GEO-6	GEO	1436.16	6.43
WFOV	GEO	1436.2	0.3

Table 2. Sensor parameters

表 2. 传感器参数表

传感器名称	探测波段	视场角
SBIRS 扫描相机	短/中波红外	$10^{\circ} \times 20^{\circ}$
SBIRS 凝视相机	中/长波红外	$0.88^{\circ} \times 0.88^{\circ}$
WFOV 凝视相机	中/长波红外	$6^{\circ} \times 6^{\circ}$

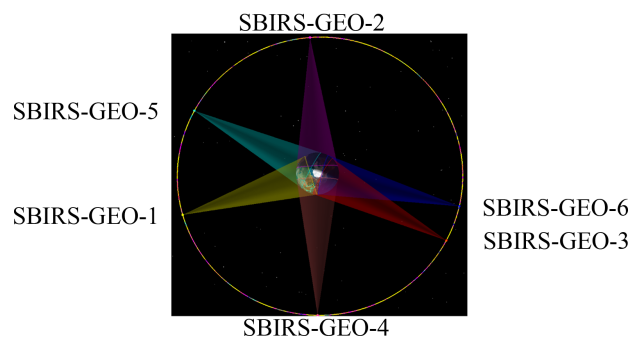


Figure 1. Constellation deployment diagram of SBIRS-GEO and WFOV

图 1. SBIRS-GEO 和 WFOV 星座部署示意图

2.4. SBIRS-GEO 卫星覆盖性能仿真结果

导弹预警卫星在覆盖范围内，能够根据航天发射或战略武器发射产生的红外辐射，对发射活动进行早期预警，从而掌握敌对国家的军事活动。通过对美导弹预警卫星覆盖范围分析，能够了解美导弹预警卫星的预警范围，尤其是对我国境内目标的覆盖情况，对掌握我国重要发射活动的暴露程度具有重要的参考价值。

2.4.1. 对全球覆盖分析

通过 STK 仿真分析，SBIRS-GEO 卫星对全球覆盖如图 2 和图 3 所示，扫描相机对全球的覆盖率为 89.38%，部分地区可达二重、三重覆盖；凝视相机对全球覆盖率为 98.59%。

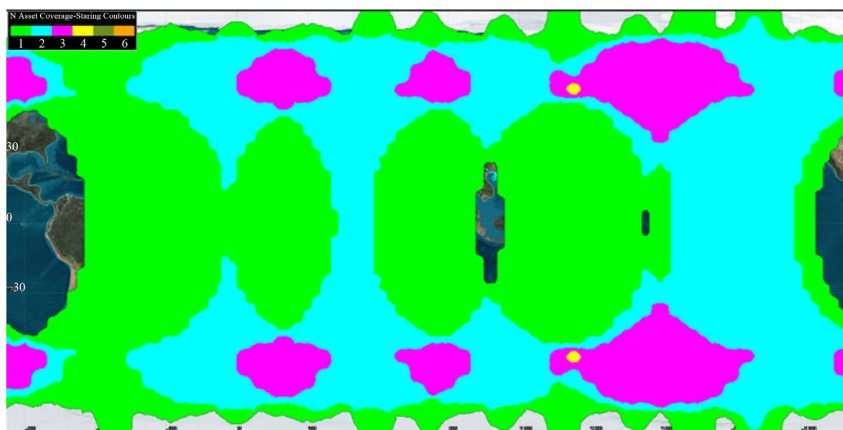


Figure 2. Global coverage map of SBIRS-GEO scanning sensor

图 2. SBIRS-GEO 星座扫描相机对全球覆盖图

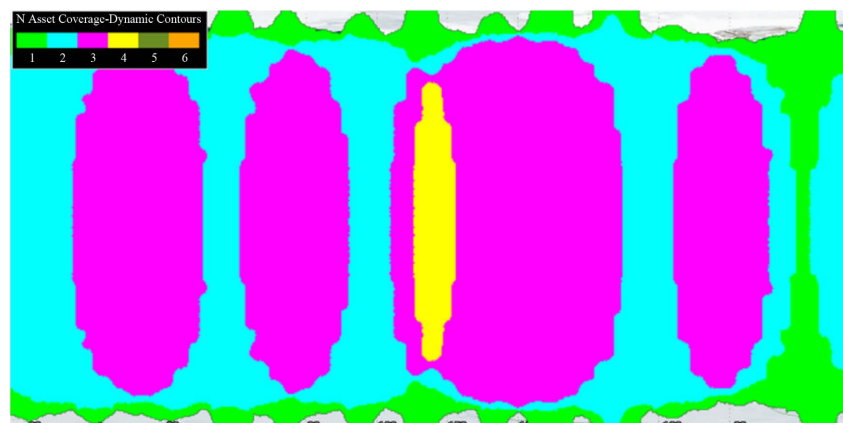
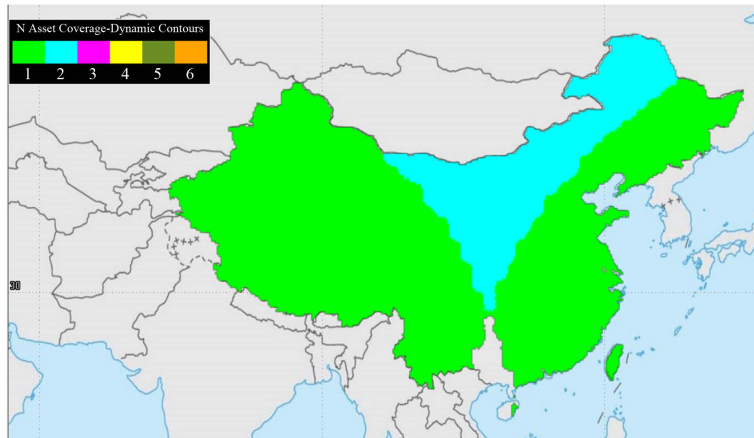


Figure 3. Global coverage map of SBIRS-GEO staring sensor

图 3. SBIRS-GEO 星座凝视相机对全球覆盖图

2.4.2. 对我国覆盖分析

SBIRS-GEO 星座扫描相机对我国覆盖如图 4 所示，扫描相机对我国的平均覆盖率为 97.92%。图 5 和图 6 仿真结果表明，SBIRS-GEO 星座扫描相机在东经 106°~110°、北纬 18°~28°的部分区域有时存在盲区。表 3 统计了 SBIRS-GEO 系统各颗卫星对我国覆盖率情况，GEO-1 和 GEO-4 卫星对我国的平均覆盖率分别为 69.85%和 48.46%，部分区域可达二重覆盖，GEO-2/3/5/6 不能覆盖我国。



注：该图基于自然资源部标准地图服务网下载的审图号为GS(2006)1655号的标准地图制作，底图无修改

Figure 4. China coverage map of SBIRS-GEO scanning sensor

图 4. SBIRS-GEO 扫描相机对我国覆盖图

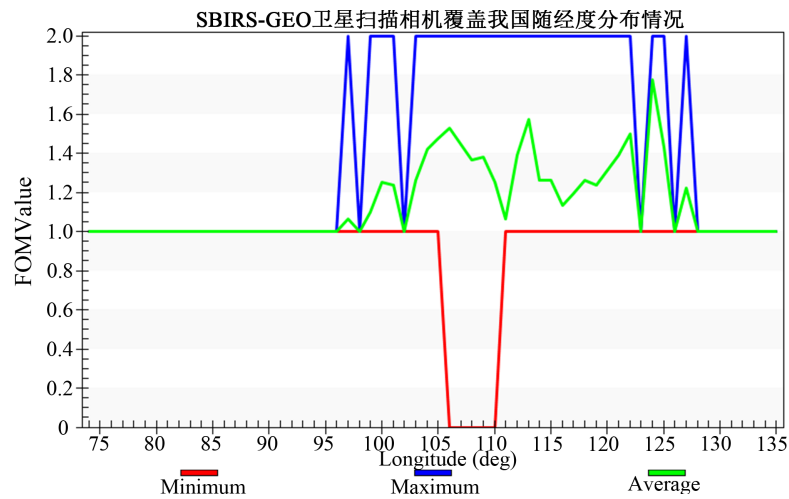


Figure 5. Longitude distribution map of China coverage

图 5. 对我国覆盖随经度分布

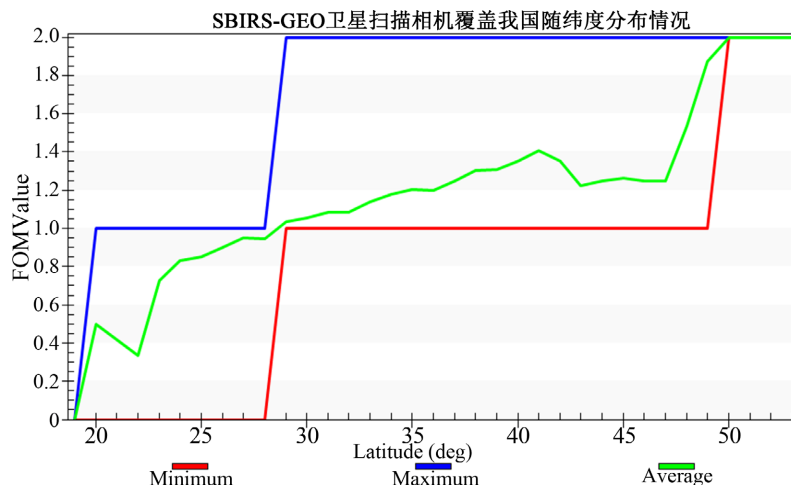


Figure 6. Latitude distribution map of China coverage

图 6. 对我国覆盖随纬度分布

Table 3. SBIRS constellation scanning sensor coverage in China
表 3. SBIRS 星座扫描相机对我国覆盖率

卫星	最小覆盖率/%	最大覆盖率/%	平均覆盖率/%	累计覆盖率/%
GEO-1	69.83	69.87	69.85	69.87
GEO-2	0	0	0	0
GEO-3	0	0	0	0
GEO-4	48.46	48.46	48.46	48.46
GEO-5	0	0	0	0
GEO-6	0	0	0	0

SBIRS-GEO 星座凝视相机对我国覆盖如图 7 所示，凝视相机可对我国实现 100%二重覆盖，其中中西部和东部部分区域可达到三重覆盖。表 4 统计了 SBIRS-GEO 系统各颗卫星对我国覆盖率情况，GEO-1 和 GEO-4 两颗卫星均可 100%覆盖我国，GEO-3 和 GEO-5 对我国平均覆盖率分别为 2.24%和 53.45%。



注：该图基于自然资源部标准地图服务网下载的审图号为GS(2006)1655号的标准地图制作，底图无修改

Figure 7. China coverage map of SBIRS-GEO staring sensor

图 7. SBIRS-GEO 凝视相机对我国覆盖图

Table 4. SBIRS constellation staring sensor coverage in China
表 4. SBIRS 星座凝视相机对我国覆盖率

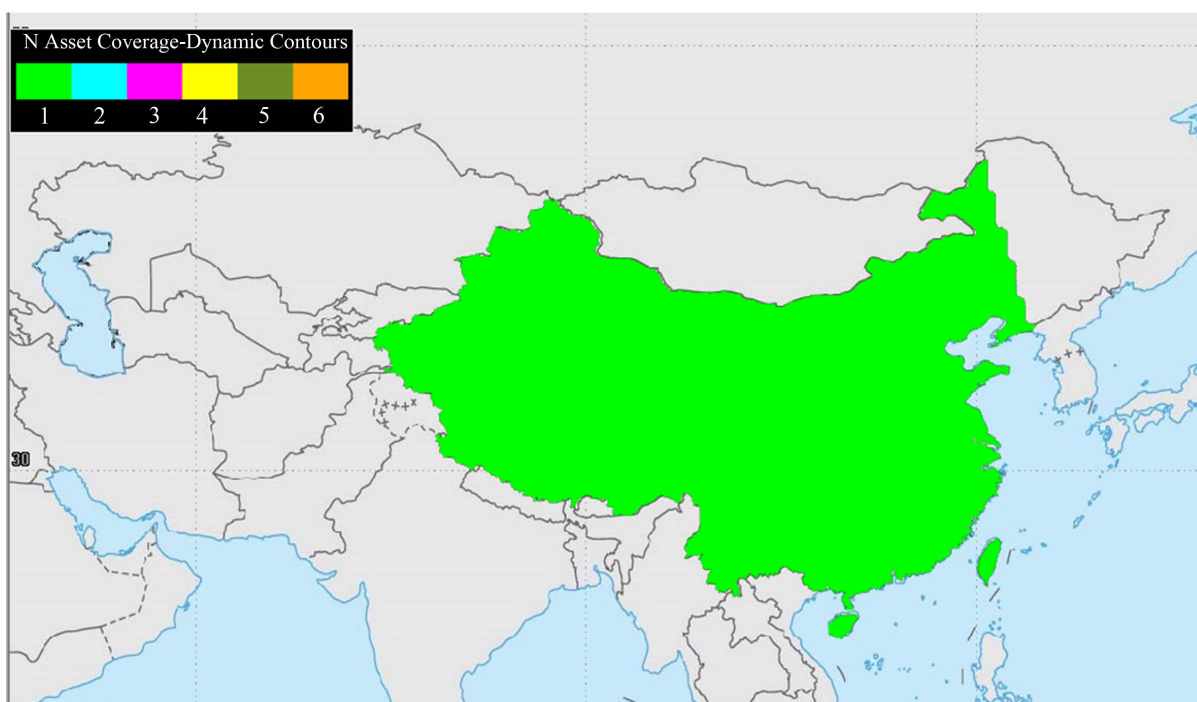
卫星	最小覆盖率/%	最大覆盖率/%	平均覆盖率/%	累计覆盖率/%
GEO-1	100	100	100	100
GEO-2	0	0	0	0

Continued

GEO-3	2.24	2.24	2.24	2.24
GEO-4	100	100	100	100
GEO-5	53.45	53.45	53.45	53.45
GEO-6	0	0	0	0

2.5. WFOV 卫星覆盖性能仿真结果

WFOV 卫星对我国覆盖如图 8 所示, 其凝视相机可覆盖我国大部分面积, 6° 视场对我国覆盖率可达 90.91%, 仅在东北部分地区存在探测盲区。



注: 该图基于自然资源部标准地图服务网下载的审图号为GS(2006)1655号的标准地图制作, 底图无修改

Figure 8. WFOV satellite $6^\circ \times 6^\circ$ field view coverage of China

图 8. WFOV 卫星 $6^\circ \times 6^\circ$ 视场对我国覆盖范围

目前美国 SBIRS-GEO 导弹预警卫星采用扫描与凝视结合手段, 除南北极以外可实现全球覆盖, 因此 WFOV 卫星的补盲作用较为有限。WFOV 卫星此次定点于亚太上空运行, 主要目的在于监测我国、俄罗斯、朝鲜及印度等高超声速武器试射情况, 掌握目标的特性信息, 并与其他预警卫协星同获取一定的弹道特征, 进一步增强美在亚太区域预警监测能力。

2.6. SBIRS-GEO + WFOV 卫星凝视相机覆盖性能仿真结果

2.6.1. 对全球覆盖分析

SBIRS-GEO + WFOV 卫星凝视相机对全球覆盖如图 9 所示, 对全球平均覆盖率为 98.68%, 对南北纬 75.1° 度之间的覆盖率为 100%, 对高纬度地区(南北纬 84° 至 90°)不能覆盖。

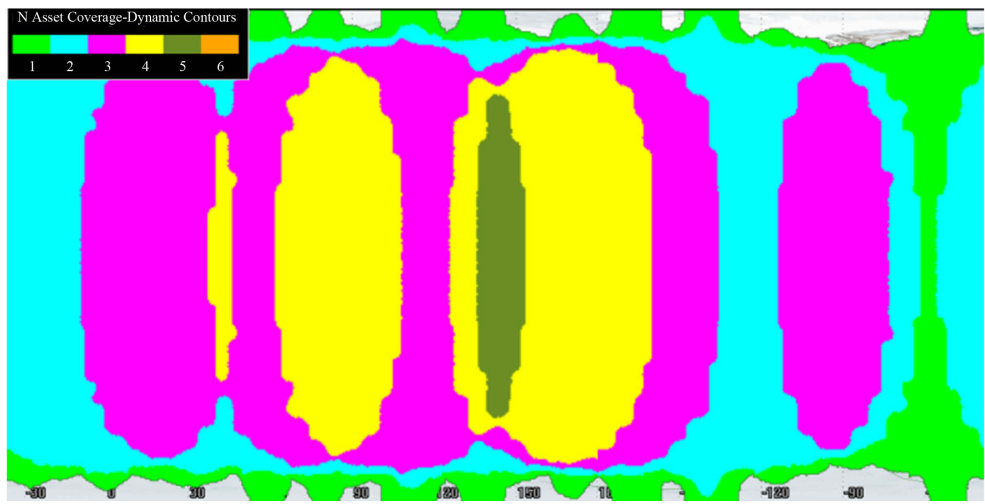


Figure 9. Global coverage map of staring sensor
图 9. 凝视相机对全球覆盖图

2.6.2. 对我国覆盖分析

SBIRS-GEO + WFOV 星座凝视相机对我国覆盖如图 10 所示, SBIRS-GEO 和 WFOV 星座凝视相机可 100% 对我国进行三重覆盖, 部分区域可达四重覆盖。表 5 统计了各颗卫星对我国覆盖率情况, SBIRS-GEO-1、SBIRS-GEO-4 和 WFOV 卫星可全时全域覆盖我国, 覆盖率均为 100%; SBIRS-GEO-3 和 SBIRS-GEO-5 对我国的平均覆盖率分别为 2.24% 和 53.45%; 四重覆盖率为 55.69%。这表明只要在我国国土范围内发射弹道导弹, 美国将会在第一时间发现并对其进行监测。



注: 该图基于自然资源部标准地图服务网下载的审图号为GS(2006)1655号的标准地图制作, 底图无修改

Figure 10. China coverage map of staring sensor
图 10. 凝视相机对我国覆盖图

Table 5. SBIRS + WFOV staring sensor coverage in China
表 5. SBIRS + WFOV 凝视相机对我国覆盖率

卫星	最小覆盖率/%	最大覆盖率/%	平均覆盖率/%	累计覆盖率/%
GEO-1	100	100	100	100
GEO-2	0	0	0	0
GEO-3	2.24	2.24	2.24	2.24
GEO-4	100	100	100	100
GEO-5	53.45	53.45	53.45	53.45
GEO-6	0	0	0	0
WFOV	100	100	100	100

3. 结束语

美 SBIRS-GEO 预警卫星是美国早期预警卫星的核心, 对我国武器发射活动能够实现早期预警。通过 STK 软件, 结合美 SBIRS-GEO 星座最新部署位置, 对美导弹预警卫星的作战能力进行了系统的分析, 仿真结果表明其可对我国实现 100% 二重覆盖, 对全球 90% 以上区域实现覆盖。因此, 美能够第一时间掌握我国战略武器发射情况, 使我国军事意图提前暴露。借鉴美国相关经验, 我国应稳步推进天基红外装备的部署计划, 加大红外传感器技术的攻关力度, 最终形成覆盖全球的一体化天基预警网络。

参考文献

- [1] 潘越, 郭继光. 预警卫星与地基雷达协同引导计算及效能分析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2018, 13(4): 421-426.
- [2] 王莎, 刘进忙, 李超, 张卉. 中段高精度弹道预测方法研究[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(23): 6883-6887.
- [3] 葛之江, 刘杰荣, 张润宁, 等. 美俄导弹预警卫星的发展与现状[J]. 航天器工程, 2001, 10(4): 38-44.
- [4] 余二永, 徐学文. STSS 星座空间覆盖性能分析方法研究[J]. 计算机仿真, 2010, 27(6): 467-470.
- [5] 孙文, 王刚, 姚小强, 等. 美国天基红外预警系统概况与启示[J]. 传感器与微系统, 2016, 35(4): 1-7.
- [6] 张万层, 陈津, 高原. 美国红外预警卫星系统发展概述[J]. 兵工自动化, 2018, 37(6): 1-5.
- [7] 王久龙, 王潇逸, 胡海飞, 等. 美国“下一代过顶持续红外”(OPIR)预警卫星研究进展[J]. 现代防御技术报, 2022, 50(2): 18-25.
- [8] 胡磊, 张岐龙, 郭宇, 等. 美国导弹预警卫星发展情况与未来展望[J]. 飞航导弹, 2021(8): 49-55.
- [9] 罗菁, 程红斌. 基于 STK 的预警卫星部署与性能分析[J]. 舰船电子对抗, 2012, 35(5): 1-4.
- [10] 宋伟, 何俊, 伍晓华. 基于 STK 的 STSS 探测预警功能仿真研究[C]//中国自动化学会控制理论专业委员会, 中国系统工程学会. 第三十二届中国控制会议论文集(F 卷), 2013: 302-306.
- [11] 杨颖, 王琦. STK 在计算机仿真中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [12] 刘云汉, 钱方. 基于 STK 的 SBIRS 预警星座覆盖性分析[J]. 电子技术与软件工程, 2022(8): 27-32.
- [13] 毛艺帆, 张多林, 王路. 美国 SBIRS-HEO 卫星预警能力分析[J]. 红外技术, 2014, 36(6): 467-470.