

DOI:10.16781/j.0258-879x.2016.11.1410

远海医疗后送系统动力学模型模拟分析

张凌¹, 陈国良^{2*}

1. 第二军医大学训练部教育技术中心, 上海 200433

2. 第二军医大学海军医学系海军卫勤与装备教研室, 上海 200433

[摘要] **目的** 通过对远海医疗后送系统进行模拟分析, 探讨影响远海救治效率的相关因素。**方法** 采用系统动力学建模的主回路分析、因果关系分析等方法, 构建远海医疗后送系统动力学模型。设定海外友好医院承载力为 100 人/d, 选择伤病员单峰型流入系统, 峰值分别为 500、200、100 人/d, 对系统进行模拟。**结果** 模拟结果显示, 伤病员数量超出海外友好医院承载力时, 有较多的伤病员被延期治疗或无法得到救治; 在承载力范围之内时, 伤病员基本可以得到较好的救治, 快速离开救治系统。**结论** 海外友好医院的承载能力是决定系统接纳伤病员数量的重要参数之一。

[关键词] 远海; 医疗后送; 系统动力学; 模拟

[中图分类号] R 821.89

[文献标志码] A

[文章编号] 0258-879X(2016)11-1410-05

Simulation analysis of dynamics modeling of long-distance medical evacuation system on the high seas

ZHANG Ling¹, CHEN Guo-liang^{2*}

1. Center of Educational Technology, Training Department, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

2. Department of Naval Health Service and Medical Equipment, Faculty of Naval Medicine, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

[Abstract] **Objective** To explore the factors influencing the rescuing efficiency of the Navy by dynamics modeling and simulation analysis of long-distance medical evacuation system on the high seas. **Methods** We established a long-distance medical evacuation system dynamics model on the high seas using system dynamics modeling, including the main circuit analysis and causal analysis. Carrying capacity of the Overseas Friendship Hospital was set at 100 persons per day; the single peak type inflow system of the wounded was selected, with the system peaks being 500, 200, and 100 persons per day, and then the system was simulated. **Results** The simulating results showed that when the number of the wounded was beyond the carrying capacity of the Overseas Friendship Hospital, more wounded were unable to get medical treatment or the treatment tended to be delayed; when the number was in the range of carrying capacity, the wounded could obtain a comfortable treatment and leave the system quickly. **Conclusion** The carrying capacity of Overseas Friendship Hospital is a key factor of determining the number of the wounded in this system.

[Key words] long-distance overseas; medical evacuation; system dynamics; simulation

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2016, 37(11): 1410-1414]

进入新世纪后, 中国海军规模不断扩大, 所执行的海外行动也越来越多, 如海外撤侨、亚丁湾护航、海外人道主义救援、南海常态化巡航等^[1]。伴随着海军远海航行次数的增多, 远海出现伤病员的概率也随之增大。由于目前我国还没有海外军事基地和可以起降运输机的航空母舰, 出现海外伤病员时, 只能选择就地医治或医疗后送。郑然等^[2]指出, 远海卫勤保障远离依托、支援受限、环节繁复、难保时效,

对医疗后送要求高。同时, 进行远海医疗后送与近海相比还有以下一些难点: (1) 距离后方医院远, 后送时间长, 不利于急重伤病员救治; (2) 运输过程需跨国境和空域, 面临出入境、语言、文化、飞行路线等限制; (3) 海上产生伤病员需要在多种运输工具之间转换, 保障伤病员难度大^[3]。因此有必要针对远海伤病员的后送方式进行深入研究。

影响远海医疗后送系统效率的因素较为繁杂,

[收稿日期] 2016-08-30 **[接受日期]** 2016-11-02

[作者简介] 张凌, 博士, 副教授。E-mail: 1298088774@qq.com

* 通信作者 (Corresponding author). Tel: 021-81871109, E-mail: cgl307@126.com

呈现出系统的复杂性,通过演习等方式进行模拟则成本高、周期长。应用系统动力学方法进行仿真模拟可以较快得出相应结果,并可快速调整相关影响因素进行再次分析,因此被广泛应用于军事模拟中^[4]。本研究通过对远海医疗后送系统进行模拟分析,探讨影响远海救治效率的相关因素,为提高远海救治效率和伤病员治愈率提供依据。

1 方法和结果

1.1 远海医疗后送系统动力学模型相关假设

1.1.1 战时平时假设 远海医疗后送模型并非仅针对战时进行设置。因为在非战争状态下,如出现地震、海啸、洪水等自然灾害时,也会有大量非战争伤病员出现,这与系统拟模拟解决的初始设定环境基本相同,就是在较短的时间内出现大量伤病员。因此,模型既可用于战时,也可用于平时。

1.1.2 后送距离假设 模型中假设为海外友好医院(友好国家的医院)距离前线比后方医院近,由前线将伤病员送至海外友好医院属于近程后送,送至后方医院属于远程后送。海外友好医院后送第一阶梯,可以接纳并处治大部分常见伤病情,特殊情况下才后送至后方医院。

1.1.3 结构演化假设 系统动力学强调系统是不断变化发展的,模型只能是对现实世界的一种简化抽象。远海医疗后送模型的系统结构假设为:在开始模拟之前处于一种静态,在模拟过程中,组成系统的结构不变,但系统内部资源存在流动调配,最后达到一种新的稳态,通过观测演化数据,来判断系统内部结构的变化。在该模型中,变化的是伤病员的数量和医疗后送路径。

1.2 远海医疗后送概念模型构建 通过分析,初步建立如图 1 所示的远海医疗后送概念模型。在该模型中,海外伤病员为系统输入,伤病员治愈为系统输出,战场/卫勤指挥决策系统对系统输入情况进行反馈,调配海外医疗卫生资源满足伤病员医护需求。其中,前线/现场救治与分类子系统、海外友好医院子系统、后方医院子系统三者内部信息传递,听从指挥决策系统安排,共同围绕系统目标展开卫勤保障工作。

1.3 远海医疗后送系统动力学模型构建 系统动力学中注重根据系统内部组成要素互为因果的反馈特点,在模型的构建中对系统内部的反馈环进行分

析,从系统的内部结构来寻找问题发生的根源。

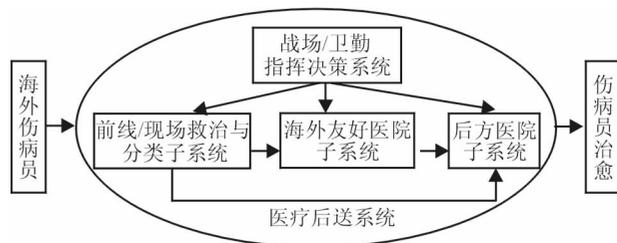


图 1 远海医疗后送概念模型

1.3.1 海外伤病员救治关联性分析 海外伤病员的救治是系统需求,它与伤病员的伤情特征、现场救治条件、检伤分类标准、后方医院可达性前置相关^[5]。换言之,如果不满足这些特定条件,伤病员可能就不会进入整个海外伤病员医疗后送系统内。比如,伤病员因伤情过重在进入系统之前身亡,则不发生医疗后送行为;自然地理环境过于恶劣,医护人员无法抵达,不满足现场救治条件,也不会发生伤病员救治或医疗后送行为。

在这些条件中,影响现场救治条件的有自然地理环境、医疗救治人员、医疗救治设施设备、现场的救治能力等方面^[6]。影响后送可达的有前线交通因素、后送交通工具、后送医护人员配备、后方医院能接纳伤病员数量等方面^[7-8]。在确定海外伤病员可以进入系统救治后,主要处治的方式有:后送至海外友好医院或后方医院,伤情不重的延期治疗。

1.3.2 远海医疗后送模型因果回路分析 参考彼得·圣吉提出的“成长上限基模”^[9],得出远海医疗后送模型的因果回路,如图 2 所示。“成长上限基模”又被称为“S 型增长基模”,主要用于描述环境对生物数量成长的约束。在远海医疗后送模型因果回路图中,海外的战争或非战争(自然灾害、恐怖主义袭击等)带来伤病员增加,产生了海外伤病员的治疗需求,这种需求消耗了现有医疗卫生资源,形成了系统的第 1 个因果负回路。伴随伤病员数量的继续增加,医疗资源的消耗减少,就需借助外部医疗卫生资源来满足。根据军队卫勤医疗阶梯救治原则,医疗资源采用逐阶投入的方式。首先投入的是前线医疗资源,其次是海外友好医院,如仍不能满足,则采用医疗后送的方式进入后方医院。在此由于医疗资源供应的不断增加,形成了系统的第 2 个因果正回路。

虽然系统默认为医疗机构的医疗资源供应能力

逐阶加大,但仍存在系统供应上限,当伤病员规模过大,系统达到承载力上限时,伤病员将不能再被系统接收,达到系统均衡状态。

在医疗资源增加供应的第2个正因果回路图中,默认前线医疗资源调配速度最快,在响应伤病员治疗需求时没有延迟。在从前线(非战争模式下事发现场)和海外友好医院医疗后送,以及后方医院资源调配前接或支援时,系统会出现延迟(图2中箭头上的双斜线为系统延迟标记)。这种延迟会对系统带来“超调”效应,即在达到系统最大承载力之前,围绕承载力上限出现过度调整和振荡。

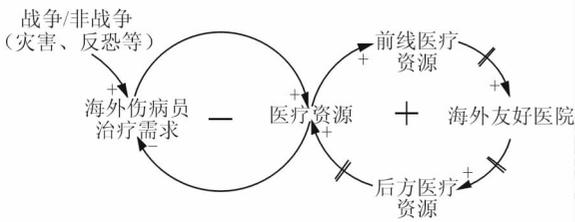


图2 远海医疗后送模型因果回路
双斜线为系统延迟标记

1.3.3 远海医疗后送模型因果关系分析 影响海外伤病员救治的因素有很多,既有外部因素,也有伤病员伤情因素;既有救治系统配备因素,也有影响救治系统的医疗资源供应因素;既有后送系统因素,也有影响后送的一些运输设备的因素。远海医疗后送对海外伤病员救治的作用可以通过图3说明。

系统因果关系主线是:伤病员救治需求→前线救治→医疗后送→治愈。伤病员救治分为现场救治和后送救治两种。其中,医疗后送阶梯主要为:前线救治→海外友好医院救治→后方医院救治。影响救治能力的主要因素有:救护人员数量、床位数量、药品供应量。影响近程后送的因素主要是后送工具,如直升机、舰艇、救护车等;影响远程后送的主要因素是有没有可供起降的机场和医疗运输飞机,以及天气因素。

根据图3的因果关系图,结合相关分析和伤病员后送理论,构建远海医疗后送模型流图,如图4所示。

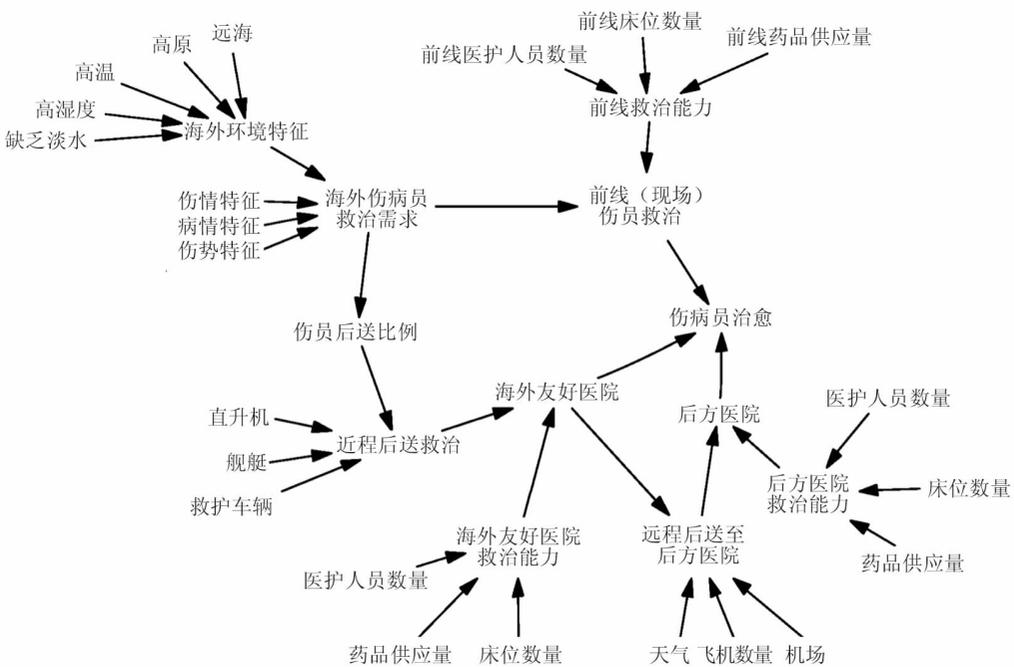


图3 远海医疗后送模型因果关系分析

1.4 主要函数关系 在系统动力学建模过程中,所有变量间关系都是通过函数关系相互关联起来,整个模型的内在结构也是通过这些函数体现出最后的模拟结果。函数的设置和调整决定了整个模型能否合理、准确分析和预测拟解决的复杂问题。本研究使用的是系统动力学建模软件 Vensim,除了常见的加减乘除这些常用运算外,该软件还集成了一些复

杂和高级的函数关系,如延迟、平滑、逻辑等系统动力学常用的函数。

1.4.1 延迟函数 延迟函数是系统动力学中的关键函数之一,广泛应用于供应链管理中物质或信息在模型中不同模块间的流动,这种流动会产生一定的滞后。延迟函数正是为模拟这种系统中的延迟效果而设计。

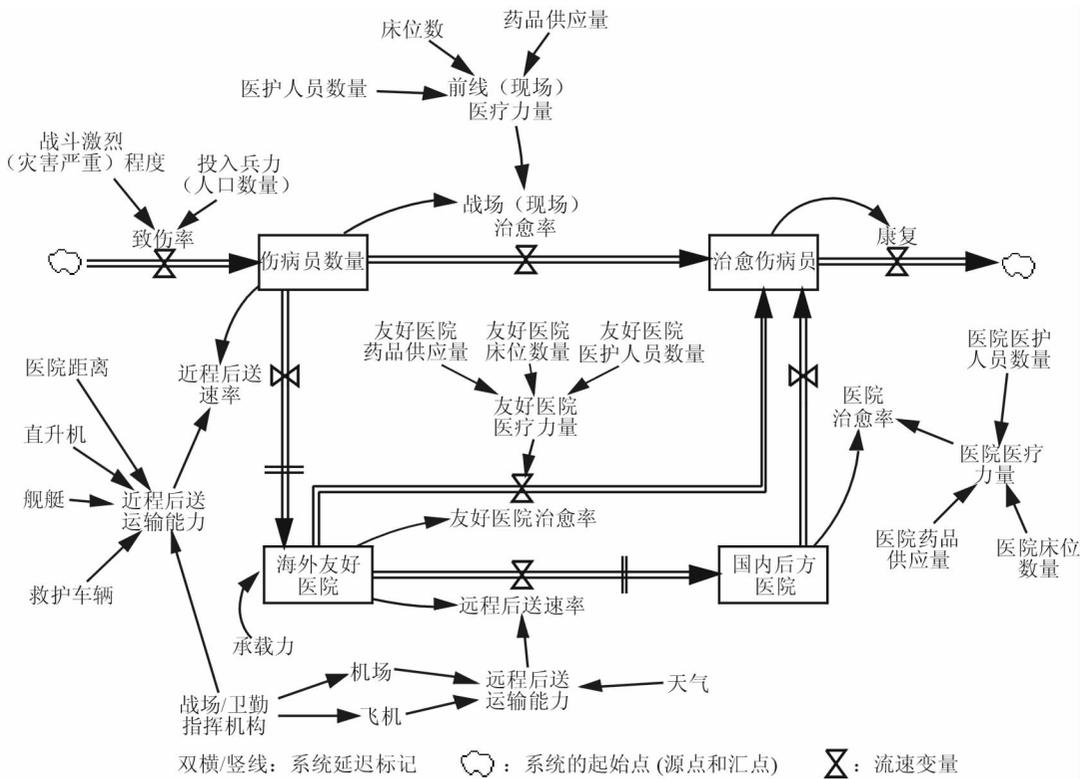


图 4 远海医疗后送模型流图

在远海医疗后送系统动力学模型中,物质延迟主要发生在近程和远程后送过程中,用于模拟伤病员在后送至后方医院所需时间,采用一阶物流延迟函数 DELAY1 进行表达,近程后送延迟设置为 1 步长,远程后送延迟设置为 3 步长:

近程后送速率 = DELAY1(近程后送运输能力, TIME STEP * 1)

远程后送速率 = DELAY1(远程后送运输能力, TIME STEP * 3)

1.4.2 逻辑函数 在建模过程中,有时候需要对变量发展进行逻辑判断,比如当变量数值达到某一阈值开启或关闭下一环节时,就需要用到 IF THEN ELSE 判断语句。在远海医疗后送系统动力学模型中,主要在海外友好医院伤病员数量上使用了该函数,即当超出海外友好医院承载力时,伤病员需进行排队等待:

IF THEN ELSE(海外友好医院 > 承载力, 0, (近程后送速率 - 友好医院治愈率 - 远程后送速率) * 海外友好医院)

1.4.3 表函数 函数用于输入一些非线性函数,在海外保障基地卫勤机构系统动力学模型中,主要用于在产生初始伤病员输入中,根据文献[10]中对战斗激烈(灾害严重)程度产生的不同伤病员流分布,

本模型选取了单峰型进行模拟,如图 5 所示。

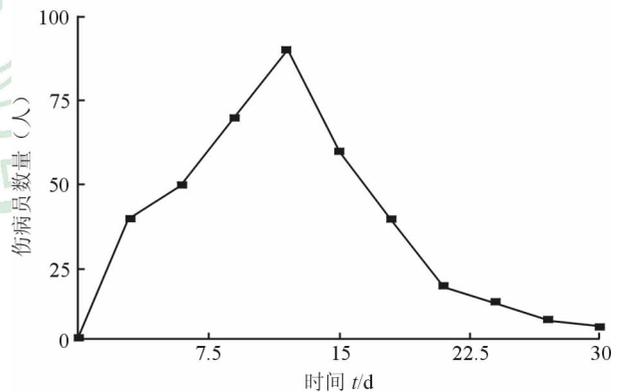


图 5 伤病员单峰型流分布

1.4.4 初始值 模型中在模拟运行之前所赋初始值,主要来源于我军卫生勤务资料和相关文献查询^[11],并结合军队卫勤专家和执行过海外卫勤任务人员意见所得。

1.5 模拟结果分析 拟定 3 次海外伤病员不同规模情况下,通过远海医疗后送模型进行模拟。假设如图 5 伤病员单峰型流入系统,峰值分别为 500、200、100 人/d 3 种。海外友好医院设计承载力假设为 100 人/d,模拟结果如图 6 所示。从图中可以看出,无论是伤病员输入数量如何变化,系统在初始时

3条曲线重叠,因前线救治、近程后送延迟等原因,在第4天至第6天时达到接纳峰值,随后启动后方医院后送,伤病员数量逐步降低。在第12天左右时,不同伤病员数量给系统带来的冲击有所不同:曲线1代表的伤病员规模最大,至系统模拟结束时系统中仍留治大量伤病员;曲线2、曲线3稳步下降,曲线3最终达到0,表明所有伤病员通过30d救治后已完全离开救治系统。

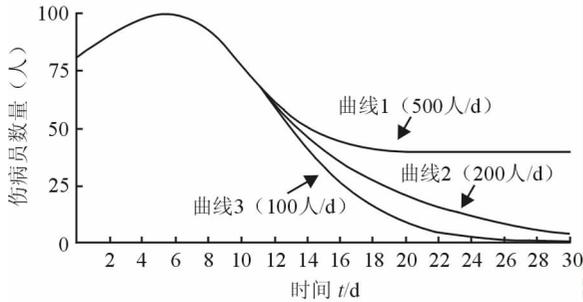


图6 海外友好医院承载力分析

2 讨论

通过对远海医疗后送系统进行分析,本研究初步建立了以海外友好医院和后方医院为后送目的地的系统动力学模型。与杜海舰等^[12]的陆军医疗后送模拟研究相比,本研究较多考虑了远海的情况;与齐亮等^[7]建立的海上医疗后送模型相比,本模型主要将海外友好医院作为远海医疗后送第一站。

由于时间和条件的限制,本研究未能做出大数据的模拟。根据现有的模拟结果可以看出,海外友好医院的承载能力是决定系统接纳伤病员数量的重要参数之一。我军未来建立远海医疗后送体系时,应制定与海外友好医院联合应对大规模伤病员的后备方案。应与海外友好医院提前建立相应的互动机制,使其与我军医疗后送体系相适应,尤其在语言和伤病员出入境管理方面应做好相应的预案及演习。海外友好医院的实际选址及规模配置等可以根据我军实际远海战略需求进行相应调整及配置,这是未来值得继续的研究方向。

[参考文献]

[1] 韩善桥,刘瑾红,宫峰,方小琼.某部亚丁湾护航官兵疾病调查与分析[J].人民军医,2015,58:355-356.

[2] 郑然,胡家庆.远海卫勤保障的特点及对策预想[J].海军医学杂志,2011,32:290-291.

[3] 张凌,陈国良.远海跨境伤员医疗后送难点[J].解放军医院管理杂志,2015,22:1119-1120.

[4] 黄勇,孟庆鑫.浅谈仿真技术在军事领域内的应用[J].计算机与网络,2015(6):63-67.

[5] 王晓波,栾振涛,韩敏,曲凤祥,汪恩海.海上医疗救护体系的分析与思考[J].医疗卫生装备,2011,32:79-81.

[6] 陈国良,刘晓荣,贺祥,王旭.现代海战中伤病员医疗后送特点与要求[J].实用医药杂志,2007,24:1360-1361.

[7] 齐亮,刘晓荣,范晨芳,陈国良,贺祥.系统动力学在海上医疗后送领域的应用研究[J].中国卫生质量管理,2010,17:90-93.

[8] 刘晓荣,陈国良,贺祥,齐亮,顾仁萍,王旭,等.海军陆战队医疗后送及救治能力优化模型的设计[J].解放军护理杂志,2008,25:70-71.

[9] 彼得·圣吉.第五项修炼——学习型组织的艺术与实务[M].郭进隆,译.上海:上海三联书店,2003:429.

[10] 齐亮,刘晓荣,徐晓莉,陈国良,蒋兴波,唐和蔚.战斗激烈程度与医疗后送方针的选择[J].东南国防医药,2008,10:464-467.

[11] 张鹭鹭,刘源,张义.卫勤力量优化部署机制与应用研究[J].第二军医大学学报,2008,29:864-867. ZHANG L L, LIU Y, ZHANG Y. Research on mechanism and application of optimal disposition of military health service forces[J]. Acad J Sec Mil Med Univ, 2008, 29: 864-867.

[12] 杜海舰,伍瑞昌,王运斗,郭立军,张晓峰,王永兴.陆军战时医疗后送模拟系统介绍[J].人民军医,2007,50:572-573.

[本文编辑] 孙岩