



# 系统动力学在海上医疗后送领域的应用研究

◆ 齐亮<sup>1</sup> 刘晓荣<sup>2\*</sup> 范晨芳<sup>3</sup> 陈国良<sup>2</sup> 贺祥<sup>2</sup>

**【摘要】** 回顾了系统动力学的建立发展过程,介绍了系统动力学的一般原理,阐述了该学科在海上医疗后送领域应用的理论基础,并以牛鞭效应模型和预测模型为例,初步探讨了其应用前景。

**【关键词】** 系统动力学;海上医疗后送

The Application of System Dynamics in Maritime Medical Evacuation/QI Liang, LIU Xiaorong, FAN Chenfang, et al. // Chinese Health Quality Management, 2010, 17(4): 90-93

**Abstract** The paper reviewed the establishment and development process of system dynamics, described the general principles and the theoretical basis of it in application of maritime medical evacuation, and took bullwhip effect model and forecasting model as examples to discuss its application foreground.

**Key words** System Dynamics; Maritime Medical Evacuation

**First-author's address** Department of Graduate Management, Second Military Medical University, Shanghai, 200433, China

系统动力学是一门基于系统 机模拟技术进行研究的交叉学科。 论、吸取反馈论和信息论,借助计算 其能够定性或定量地研究系统,并

以微观结构为起点建立模型,最终构造系统的整体结构,进而模拟与分析系统的动态行为。系统动力学的2大基本原理是分解原理和综合原理。其基本思想是:由于系统的结构决定其行为模式,行为模式又决定具体的事件,因此解决问题的出发点是系统的结构分析。

\*基金项目:全军“十一五”科技攻关项目(08G078);2008 海军医药卫生项目(08HW15)

齐亮<sup>1</sup> 刘晓荣<sup>2\*</sup> 范晨芳<sup>3</sup> 陈国良<sup>2</sup> 贺祥<sup>2</sup>

通讯作者:刘晓荣

1 第二军医大学研究生管理大队 上海 200433

2 第二军医大学卫生勤务学系 上海 200433

3 人民军医出版社 北京 100841

装置可能存在多达90分钟的延时;二是406MHz装置要求每个人都进行注册,一旦注册则该装置只能用于本人,无法交换,灵活性差;三是406MHz装置无法实现完全自动化,即人员要发出求救信号必须进行手动操作。另外,信号频率远离121.5MHz的信号发送装置难以被其它国际救援机构所识别;而发送频率为121.5MHz的信号,那么落水人员即使没有得到我方的及时救援,得到其他救援力量帮助的可能性也更大。

## 参考文献

[1] 涂巧玲,张杰.基于C/S的传感器网络在生命信息监测系统中的应用[J].传感

器与微系统,2008,27(6):107-109.

[2] 闫庆广,吴宝明,卓豫,等.穿戴式单兵生命监测系统研究的进展[J].中国医疗器械杂志,2006,30(5):21-23.

[3] Lind Ej, Jayaraman S. A Sensate Liner for personnel monitoring applications[J]. Acta Astronaut, 1998, 42(1):3-9.

[4] 龚国川.智能型T恤衫[J].军事医学动态,2006(11):246-247.

[5] 华计.单兵计算机系统[J].军民两用技术与产品,2004(8):25-26.

[6] 刑佩旭.世界主要几种卫星导航定位系统的现状与发展[J].港工技术,2003(155):52-55.

[7] 周露,刘宝忠.北斗卫星定位系统的技术与特征分析与应用[J].全球定位系统,2004(4):12-16.

[8] 闻新,刘宝忠.GLONASS卫星导航系

统的现状与未来[J].中国航天,2004(9):19-23.

[9] 崔志.伽利略导航卫星系统的军用价值[J].中国测绘,2004(3):32-34.

[10] 韩波.北斗卫星导航定位系统[J].中国计量,2004(3):22-23.

[11] 秦加法.北斗星光照 神州放眼量——我国自主卫星导航定位系统:北斗卫星导航定位系统综述[J].全球定位系统,2003(3):50-51.

[12] 李白萍,姚军.微波与卫星通信[M].西安:西安电子科技大学出版社,2006.

通讯作者:

刘晓荣:第二军医大学卫生勤务学系

E-mail:lxr1966@yahoo.com.cn

收稿日期:2010-02-20

责任编辑:姚涛

# 1 系统动力学简介

## 1.1 系统动力学的建立与发展

20世纪50年代,美国麻省理工学院主要研究工程原理反馈和社会系统控制的 Jay W. Forrester 教授完成了著名的《Industrial Dynamics》(《工业动力学》),并建立了系统动力学;后来,John D. Sterman 发表了《Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World》(《商业动力学:复杂世界的系统性思考与建模》),极大地丰富了该学科的内容。1971年, Jay W. Forrester 又出版了著作《World Dynamics》(《世界动力学》),与另一本由 Donella H. Meadows 等著作的《The limits to Growth》(《增长的极限》)一起提出了世界模型,讨论了至今仍充满争议的有限世界增长问题。

## 1.2 系统动力学的一般运行过程

用系统动力学解决一般问题的思路如图1所示,其中最重要的过程是第三步的建模,具体流程如图2所示。在第三步中,要将一系列的系统动力学假设表示成清晰的数学关系集合,就实现了由“白箱”到“黑箱”的转变,之后的系统不再充斥任何决定性的数学方程,而是一个边界清晰的动态环境。在计算机支持下,实现“实验室”的功能,通过变化参数和结构来理解结构与系统行为模式的关系。

## 1.3 系统动力学的数学描述

根据分解原理,将系统 S 划分成 P 个相互关联的子系统(或称子结构)  $S_i$ 。即:  $S = \{S_i \in S | S_{1-p}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, p$ 。式中: S 代表整个系统;  $S_i$  代表子系统。具体数学描述为:  $L = PR$ 。  $\begin{bmatrix} \dot{R} \\ \dot{A} \end{bmatrix} = W \begin{bmatrix} I \\ A \end{bmatrix}$ 。式中: L 代表状态变量向量; R 代表速率变

量向量; A 代表辅助变量向量; I 代表纯速率变量向量; P 代表转移矩阵; W 代表关系矩阵。

# 2 系统动力学应用在海上医疗后送领域的理论基础

## 2.1 系统动力学应用的理论基础

传统意义上,系统动力学被认为是一门交叉性学科,即建立在2种不同路径基础上的研究模式。Herbert Simon 把纯科学(Science)与设计性的科学(Design)区分开来,并给予了二者明确的定义,即今天被广泛认可的自然科学与社会科学<sup>[1]</sup>。系统动力学的交叉性就体现

于此,一方面,在强调其纯科学因素的研究学派努力下,系统动力学取得了学术界的认可<sup>[2-3]</sup>;另一方面,实用学派大力促进其在应用领域的发展,使之对管理学、组织学等社会科学产生了巨大的影响,逐渐向工程学科领域倾斜<sup>[4]</sup>。因此, Henk Akkermans 提出使用设计科学(Design Science)这一新定义来保证系统动力学发展方向的一致性<sup>[5]</sup>。而这种新的定义,更加明确的显示出其现实应用的良好前景。

## 2.2 海上医疗后送领域多属于复杂系统问题

海上医疗后送领域待解决的问题多属于非线性复杂系统的问题,



图1 系统动力学解决问题的一般思路

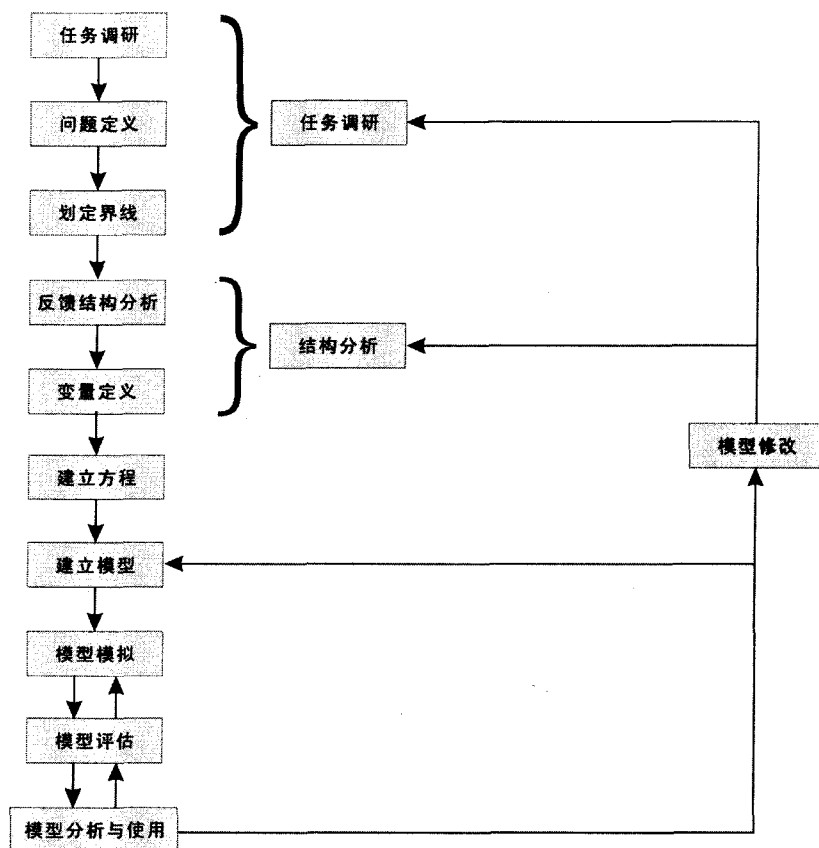


图2 系统动力学的建模流程

其政策从制定到执行受到大量参数变化的影响。就目前来看,还无法将所有影响因素穷尽,美国海军研究人员已经列举了上千个影响因素,但实际远不止这些。另外,每个影响因素都难以精确而使其参与到线性方程中。例如,海上医疗后送组织体系,是由前方到后方设置的各级救治机构,通过海上卫生运输工具联结起来的医疗后送链<sup>[6]</sup>,它既包括了救治机构的设置、各级机构救治范围的设定,也包括了后送工作的组织实施,并且每个部分都有关联性和拓展性。如果依赖自然科学理论,则无法在获得良好数据支撑的条件下进行研究,往往造成理论脱离实际,而太过强调定性分析,则难以建立有力的实证体系,造成经验主义的泛滥和过高的理论积累成本。

### 2.3 系统动力学对复杂系统问题的针对性

一般来说,政策可以影响系统的参数与结构,所以在进行政策分析时不仅要考虑系统中某些参数的变化,而且要考虑结构变化所导致的结果要远大于参数变化的影响<sup>[7]</sup>。系统动力学模型可视为实际系统的“实验室”,特别适合于解决非线性复杂系统的问题<sup>[8]</sup>。要强调的是,这里所说的政策,并不是一般意义上的法规或规章,而是一个系统运行的规则。另外,通过前文可知,系统动力学的建模必须是在一定框架内进行,而框架范围的确定就取决于影响因素的取舍。模型只是对实体的近似描述,不可能也没有必要把实体的所有因素都反映在模型中。只要抓住主要矛盾去建立模型并满足所研究问题的精度要求,那么模型就是可信赖的<sup>[9]</sup>。

## 3 系统动力学在海上医疗卫生资源组织中的应用

### 3.1 海上医疗卫生资源供应链中的牛鞭效应

牛鞭效应(Bullwhip Effect)指供应链的信息流从末端向始端传递时,需求信息的波动会越来越大,这种扭曲的数据信息在图形上像一条被人甩起来的牛鞭,因此被形象地称为牛鞭效应。这种现象是由宝洁公司(Proctor & Gamble)的研究人员首先发现的。这种现象在海上医疗卫生资源供应链中同样存在。图3是一个简化了的海上医疗卫生资源供应模型,只列出了三级救治机构,并简化了影响因素。因为战时每级机构都是根据战场前一时段的情况来估计下一时段的资源消耗量

的,而且为了保证供应,往往存在需求量高于实际用量的情况。这种效应就是下一级的政策总会影响到上一级,而最终导致的结果就是资源需求量波动被放大,造成成本上升和资源浪费。而用系统动力学的方法可以在充实数据后进行新环境下的实验,提出改进和优化方案。

同时,在存在牛鞭效应的供应链中,通常还伴有振荡现象,即一种围绕均值长期重复的波动。从数学角度分析,存在振荡现象的系统多是因其只适应特定的参数,而缺乏稳定的平衡值<sup>[10]</sup>。我们初步认为,海上医疗卫生资源供应链中对此关联性最高的就是每一级救治机构预测延时的长度。而通过建立系统动力学模型,就可以对此进行灵敏性分析,对各种参数进行筛选。这样

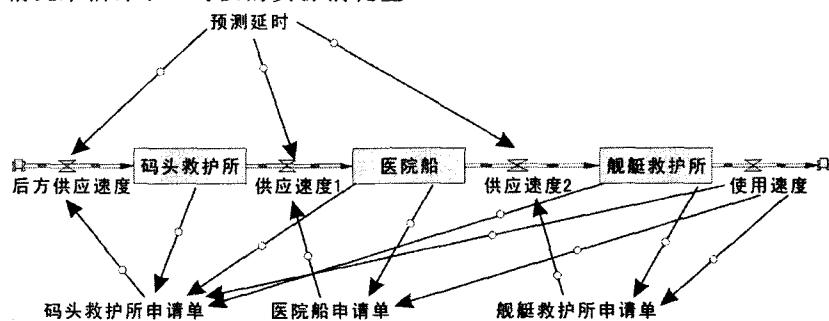


图3 简化了的牛鞭效应模型 (Vensim 软件建模)

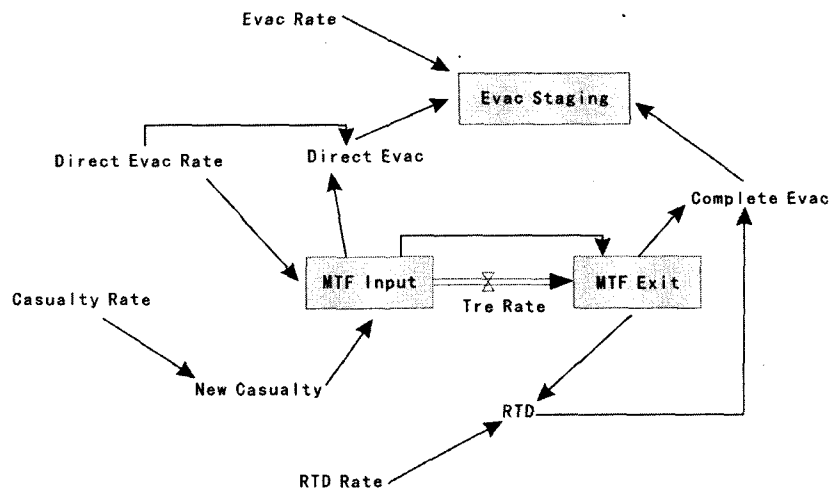


图4 单级救治机构医疗后送预测模型 (Vensim 软件建模)

不仅帮助我们呈现了各种现象的形成过程,也对如何应对实际情况中的变化做出了指导。

### 3.2 海上救治机构的多重预测与优化

战场情况复杂多变,需要卫勤指挥人员根据形势变化迅速做出决断,不断改变保障策略或方法,及时应对各种情况的发生。目前,即使没有核化生类型武器伤害,伤员的数量总是随战争的发生频率而不断变化,伤员的比例并不稳定<sup>[11]</sup>。1991年海湾战争中的科威特战场,第一个星期美军海军陆战队员就有高达65%的伤员发生率<sup>[12]</sup>,而在战争后期由于战斗频率下降,伤员发生率也有所降低。

通过系统动力学可建立动态的优化模型,提高救治机构的应变能力。图4为一个简单的单级救治机构医疗后送预测模型,可以时刻根据战场态势更改可得参数,从而预测下一阶段该机构所应达到的要求,提出优化方案。

在实际情况中,许多环节都需

要改进,而在何处改进、改进的效果如何,则可以借助系统动力学模型来完成。因为它不是依据数学推演而获得答案,而是通过仿真试验来得到对系统未来行为的描述,所以得到的不是“最优解”,而是从系统整体出发寻求改善系统行为的机会和途径。同样,通过模型优化,是无法寻找到最完美系统结构的,但是它可以帮助解决许多难以通过建立方程而得到严格数学解释的问题。

#### 参考文献

- [1] Simon, H. A. The Science of the Artificial, third Edition [M]. Cambridge: MIT Press, 1996.
- [2] Berends P. A. J., Romme A. G. L. Cyclicity of capital - intensive industries: A system dynamics simulation study of the paper industry [J]. Omega, 2001 (29): 543 - 552.
- [3] Crossland P., Smith F. L. Value creation in fine arts: A system dynamics model of inverse demand and information cascades [J]. Strategic Management Journal, 2002 (23): 417 - 434.
- [4] Baldwin C. Y., Clark K. B. Design Rules, Volume 1: The Power of Modularity [M]. Cambridge, MA: MIT Press, 2000.
- [5] Henk Akkermans, Georages Romme. System Dynamics at the Design - Science Interface: Past, Present and Future [M]. New York: International System Dynamics Conference, 2003.
- [6] 鱼敏. 军队卫生勤务学 [M]. 北京: 人民军医出版社, 2007. 305 - 306.
- [7] 王其藩. 高级系统动力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1995. 6 - 7.
- [8] 王其藩, 李旭. 从系统动力学观点看社会经济系统的政策作用机制与优化 [J]. 科技导报, 2004 (5): 34 - 36.
- [9] 于景元, 刘毅, 马昌超. 关于复杂性研究 [J]. 系统仿真学报, 2002, 14 (11): 1417 - 1424.
- [10] Henk Akkermans. On the road; of bullwhip - effects in supply chains and how to avoid them [J]. The connector; keeping systems thinkers in the loop, 2004, 2 (1): 22 - 23.
- [11] Matthew F. Bouma. Medical evacuation and teatment capabilities optimization model [D]. California: Naval Postgraduate School, 2005.
- [12] Leedham C. S., Blood C. G. A descriptive analysis of wounds among U. S. marines treated at second echelon facilities in the Kuwaiti theater of operations [R]. NHRC Report, 1992. 92 - 96.

#### 通讯作者:

刘晓荣: 第二军医大学卫生勤务学系

E-mail: lxr1966@yahoo.com.cn

收稿日期: 2010-02-20

责任编辑: 于勇

(上接 81 页)

- [3] 中华人民共和国卫生部. 临床输血技术规范 [S]. 2000.
- [4] 中华人民共和国卫生部. 血站管理办法 [S]. 2005.
- [5] 中华人民共和国卫生部. 医疗机构临床用血管理办法 [S]. 1999.
- [6] 张孟尚, 辛贺孔, 周建英, 等. 医院输血科建设与临床输血安全的探讨 [J]. 临床血液学杂志, 2008, 21 (4): 207 - 208.
- [7] 张循善. 临床输血若干热点问题解决策略 [J]. 中国输血杂志, 2009, 22 (8): 617 - 620.
- [8] 金振良. 不同类型医院临床用血

管理调查分析 [J]. 中国医院, 2005, 9 (10): 39 - 40.

[9] 高巨广, 万小春, 严凤好. 临床输血管理现状分析及对策 [J]. 中国卫生质量管理, 2006, 13 (4): 66 - 67.

[10] Corwin HL. Blood conservation in the critically ill patient [J]. Anesthesiol Clin North America, 2005, 23 (2): 363 - 372.

[11] 申卫东, 钟春平, 李彬. 某市临床输血合理性调查与分析 [J]. 中国卫生质量管理, 2010, 17 (1): 82 - 84.

[12] 伍伟健, 田兆嵩. 临床输血应遵循的基本程序 [J]. 中国输血杂志, 2008, 21

(3): 226 - 231.

[13] Jonathan H. Overview of blood conservation [J]. Transfusion, 2003, 50 (6): 65 - 75.

#### 通讯作者:

李彬: 广西南宁中心血站

E-mail: leo\_li2323@hotmail.com

收稿日期: 2010-01-27

修回日期: 2010-03-10

责任编辑: 吴小红