

## 摘 要

J. H. Wilkinson<sup>[2]</sup>建立了非奇异矩阵的逆是矩阵元素的连续函数的理论。G. W. Stewart<sup>[2]</sup>推出了矩阵的广义逆的连续性。为了得到Drazin逆的连续性, 本文先给出了 $M$ -矩阵、 $H$ -矩阵类的逆的连续性。Campbell和Meyer<sup>[2]</sup>也给出了Drazin逆的连续性性质, 但没有给出明显的边界。

Drazin逆对扰动是很不稳定的。然而, 在某种特定的扰动条件下, 矩阵 $(A + E)^D$ 与 $A^D$ 的接近程度能够得到量化且也能得到明显的相对误差边界。基于Drazin逆的不同形式, 很多科学家和学者从事这一方面的研究。U. G. Rothblum给出的Drazin逆的以下的表达式:

$$A^D = (A - H)^{-1}(I - H) = (I - H)(A - H)^{-1}$$

其中 $H = I - AA^D = I - A^DA$ . 基于这个表达式, 我们在本文中也给出了 $\|(A + E)^D - A^D\|_2 / \|A^D\|$ 和 $\|(A + E)^\# - A^D\|_2 / \|A^D\|_2$ 的范数估计, 并与前人的成果进行了比较。

**关键词:**  $M$ -矩阵,  $H$ -矩阵, Drazin逆, Pseudo-Drazin逆, 条件数



## ABSTRACT

The theory that the inverse of a nonsingular matrix is continuous function of the elements of the matrix was established by J. H. Wilkinson<sup>[2]</sup>. The continuity of the generalized inverse  $A^+$  of a matrix  $A$  was introduced by G. W. Stewart<sup>[2]</sup>. In this paper, at first, the continuity of the special matrices inverse, such that  $M$ –matrices and  $H$ –matrices, respectively, are provided. Campbell and Meyer<sup>[2]</sup> also established the continuity properties of Drazin inverse, but the explicit bound was not given.

The Drazin inverse is unstable with respect to perturbation. However, under some specific perturbation, the closeness of the matrices  $(A + E)^D$  and  $A^D$  can be proved and the explicit bound the relation error can also be obtained. Based on the different representations of Drazin inverse, many scientists and scholars have worked it research. U. G. Rothblum gave the following representation of Drazin inverse:

$$A^D = (A - H)^{-1}(I - H) = (I - H)(A - H)^{-1}$$

where  $H = I - AA^D = I - A^D A$ . Based on the representation, we also obtain the norm estimate of  $\|(A + E)^D - A^D\|_2 / \|A^D\|$  and  $\|(A + E)^\# - A^D\|_2 / \|A^D\|_2$  and compare with the precedent results.

**Keywords:**  $M$ –matrices,  $H$ –matrices, Drazin inverse, Pseudo-Drazin inverse, Condition number



## 目 录

第一章 绪论 .....	1
1.1 研究工作的背景与意义 .....	1
1.1.1 研究工作的背景 .....	1
1.1.2 研究工作的意义 .....	1
1.2 国内外研究历史与现状 .....	3
1.3 本文的主要贡献与创新 .....	3
1.4 本文的结构安排 .....	3
1.5 本章小结 .....	3
致 谢 .....	4
参考文献 .....	5
附录 A 附录章 .....	6
A.1 附录节 .....	6
附录 B 附录另一章 .....	7
B.1 附录另一章的一节 .....	7
攻博期间取得的研究成果 .....	8



## 第一章 绪论

### 1.1 研究工作的背景与意义

本论文依托于国家“973”项目“卫星故障演变规律与故障反演技术”。本项目基于两颗国防卫星，从2011年至2013年近两年半的数十种遥测信号，在时域、频域、时频联合域及其他变换域，对卫星在轨异变状态进行研究。项目主要研究内容包括，对卫星遥测信号异变状态的特征提取，分析不同特征参数的演变趋势，建立特征参数模型，最后对卫星状态异变进行短期预测。本项目旨在，通过对卫星遥测信号的分析，能够掌握卫星的健康状况，即卫星的异变状态，从而为卫星管理人员提供正确的决策参考。

#### 1.1.1 研究工作的背景

本论文的研究工作，是在国内卫星系统不断扩大，对卫星运行的稳定性和卫星寿命水平的要求不断提高的同时提出的。研究工作不仅仅要求对卫星故障进行诊断和预测，同时对卫星的异变状态的检测和预测也提出了要求。

卫星“状态异变”的含义较“故障信号”更为广泛。在卫星系统中，故障信号指的是卫星的机械装置或者电路系统已经不能完成预设的功能时产生的信号，即已经出现了功能性缺失<sup>[1]</sup>；而状态异变包括故障信号，它还包括，在发生功能性缺失的前后，设备产生的不同于正常状态下的信号。在此要说明的是，异变信号的出现可能伴随着故障的生成，也有可能不会引起故障，即设备出现扰动，但是并未造成功能性缺失。所以，相较于故障信号，状态异变更具有隐蔽性，随机性。这样对信号特征的提取，建模，乃至预测的难度都大大提高。在本论文及项目中，研究对象状态异变信号使用的都是实际的卫星遥测信号，由于遥测信号的接收、干扰等因素，信号的野值较多，质量较差。并且卫星遥测信号，大多具有非平稳的特性。这些因素对状态异变信号的分析 and 预测工作提出了更大的挑战。

#### 1.1.2 研究工作的意义

首先，卫星造价昂贵，工艺复杂，制造周期长，且具有唯一性，一旦卫星因异变而损坏废弃，造成的损失将非常严重。所以研究卫星状态的异变并预测，对卫星行业具有极其重要的意义。

对于投资巨大和庞大复杂的卫星系统，可靠性和安全性是迫切需要的。否则，一次故障可能导致灾难性的后果和巨大的经济损失。如1986年1月美国“挑战

者”号航天飞机失事导致7名宇航员全部遇难；1999年4月9日到5月4日的不到一个月的时间里，美国大力神4B、雅典娜2、德尔它2运载火箭等发射连续失败，损失达十亿美元；1999年11月日本H2运载火箭发射失败，损失2.99亿美元；2000年11月，印度INSA-2B卫星丧失对地指向功能，造成重大损失；2003年2月1日美国哥伦比亚号航天飞机在返回途中解体，机组人员全部遇难。可见，对卫星系统的故障乃至状态异变进行诊断和预测，对航天事业的健康发展有着重要意义。

其次，目前我国的卫星在数量、型号、功能等各方面不断增加，加上国外势力对我国卫星的干扰等其他因素，传统的异变分析及预测方法将不再完全适用于目前的卫星状况。所以研究更可靠的预测算法必然是目前的趋势。

随着在轨卫星数量、设计寿命和型号种类的不断增加，维持其安全稳定运行变得越来越重要，在轨管理的难度也逐年加大。在轨卫星长期运行在空间环境中，受到多种不确定性因素的作用，其性能与功能可能会出现变化，反映在遥测参数上也会有些变化，如果在轨卫星发生异常，相应的遥测参数的变化趋势也会发生改变。因此，分析在轨卫星的遥测数据变化规律，选择相适应的数据预测方法，对遥测数据进行预测，并在此基础上实现预警，可以在早期及时发现遥测数据的异常变化，有效避免可能发生的重大故障，降低卫星在轨运行的风险，同时为异常的处理赢得宝贵时间，这对于提高卫星在轨运行的安全性和可靠性具有重要的意义<sup>[2]</sup>。

最后，当前卫星异变状态分析和预测工作通常是一项耗时、重复和劳动强度很大的工作<sup>[3]</sup>。所以研究自动化的卫星状态异变的预测算法将为卫星管理工作带来极大的便利。

在大部分情况下，卫星管理人员采用手工检查卫星遥测数据的方式来确定卫星是处于健康状态还是异变状态，以及卫星是否存在危险的趋势，以预测卫星是否在不久的将来处于故障状态。应用的具体方法或者是一些统计学估计方法，或者是通过比较卫星遥测参数的实测值与期望值之间的差异方法。这些方法存在严重的缺陷，主要是过分依赖人工经验以及难以实现故障诊断与预测的自动推理<sup>[3]</sup>。当卫星状态异变出现了新的模式，传统方法的预测结果就会出现较大偏差。研究自动化的卫星状态异变的预测方法，既为卫星管理人员提供了便利，更重要的是，在预测精度上有显著提升，减小预测的虚警和漏警。



## **1.2 国内外研究历史与现状**

## **1.3 本文的主要贡献与创新**

## **1.4 本文的结构安排**

## **1.5 本章小结**

## 致 谢

历时将近两个月的时间终于将这篇论文写完，在论文的写作过程中遇到了无数的困难和障碍，都在同学和老师的帮助下度过了。尤其要强烈感谢我的论文指导老师—XX老师，她对我进行了无私的指导和帮助，不厌其烦的帮助进行论文的修改和改进。另外，在校图书馆查找资料的时候，图书馆的老师也给我提供了很多方面的支持与帮助。在此向帮助和指导过我的各位老师表示最中心的感谢！

感谢这篇论文所涉及到的各位学者。本文引用了数位学者的研究文献，如果没有各位学者的研究成果的帮助和启发，我将很难完成本篇论文的写作。

感谢我的同学和朋友，在我写论文的过程中给予我了很多你问素材，还在论文的撰写和排版灯过程中提供热情的帮助。由于我的学术水平有限，所写论文难免有不足之处，恳请各位老师和学友批评和指正！

## 参考文献

- [1] A. Belov, E. Eroshenko, V. Yanke, et al. Space weather research: the connection between satellite malfunction data and cosmic ray activity indices[J]. International Journal of Modern Physics A, 2005, 20(29):6675–6677
- [2] 秦巍, 郭永富. 一种基于历史遥测数据的在轨卫星故障预警系统[J]. 航天器工程, 2010(6):40–45
- [3] 杨天社, 杨开忠, 李怀祖. 基于知识的卫星故障诊断与预测方法[J]. 中国工程科学, 2004, 5(6):63–67
- [4] 王浩刚, 聂在平. 三维矢量散射积分方程中奇异性分析[J]. 电子学报, 1999, 27(12):68–71
- [5] X. F. Liu, B. Z. Wang, W. Shao. A marching-on-in-order scheme for exact attenuation constant extraction of lossy transmission lines[C]. China-Japan Joint Microwave Conference Proceedings, Chengdu, 2006, 527–529
- [6] 竺可桢. 物理学[M]. 北京: 科学出版社, 1973, 56–60
- [7] 陈念永. 毫米波细胞生物效应及抗肿瘤研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2001, 50–60
- [8] 顾春. 牢牢把握稳中求进的总基调[N]. 人民日报, 2012年3月31日
- [9] 冯西桥. 核反应堆压力容器的LBB分析[R]. 北京: 清华大学核能技术设计研究院, 1997年6月25日
- [10] 肖珍新. 一种新型排渣阀调节降温装置[P]. 中国, 实用新型专利, ZL201120085830.0, 2012年4月25日
- [11] 中华人民共和国国家技术监督局. GB3100-3102. 中华人民共和国国家标准—量与单位[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994年11月1日
- [12] M. Clerc. Discrete particle swarm optimization: a fuzzy combinatorial box[EB/OL]. [http://clere.maurice.free.fr/pso/Fuzzy\\_Discrere\\_PS0/Fuzzy\\_DPS0.htm](http://clere.maurice.free.fr/pso/Fuzzy_Discrere_PS0/Fuzzy_DPS0.htm), July 16, 2010

## 附录 A 附录章

如果将appendix.tex中所有内容删除，最后的论文将不会出现附录。

### A.1 附录节

## 附录 B 附录另一章

### B.1 附录另一章的一节

## 攻博期间取得的科研成果

- [1] J.-Y. Li, Y.-W. Zhao, Z.-P. Nie. New Memory Method of Impedance Elements for Marching-on-in-Time Solution of Time-Domain Integral Equation[J]. Electromagnetics, 2010, 30(5):448–462
- [2] 张三, 李四. 时间步进算法中阻抗矩阵的高效存储新方法[J]. 电波科学学报, 2010, 25(4):624–631
- [3] 张三, 李四. 时域磁场积分方程时间步进算法稳定性研究[J]. 物理学报, 2013, 62(9):090206–1–090206–6
- [4] 张三, 李四. 时域磁场积分方程时间步进算法后时稳定性研究. 电子科技大学学报[J] (已录用, 待刊)
- [5] S. Zhang. Parameters Discussion in Two-Level Plane Wave Time-Domain Algorithm[C]. 2012 IEEE International Workshop on Electromagnetics, Chengdu, 2012, 38–39
- [6] 张三, 李四. 时域积分方程时间步进算法研究[C]. 电子科技大学电子科学技术研究院第四届学术交流会, 成都, 2008, 164–168
- [7] 张三 (4). 人工介质雷达罩技术研究. 国防科技进步二等奖, 2008 年
- [8] XXX, XXX, XXX, XXX, 王升. XXX的陶瓷研究. 四川省科技进步三等奖, 2003年12月