

特约专论

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.01.017

粮情云图动态分析软件系统 研发与应用

张忠杰¹, 尹君¹, 吴晓明², 吴子丹^{1,3}, 吴文福³

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037; 2. 天津市明伦电子技术股份公司, 天津 300000; 3. 吉林大学 生物与农业工程学院, 吉林长春 130025)

摘要: 粮情云图动态分析软件是以储粮生态系统、多场耦合和“通风窗口”理论为基础, 汇集 WU 模型、粮温变化正弦模型和热质传递模型及相关经验模型编制而成, 通过绘制可视化的“粮情动态云图”, 结合仓型特征、储粮特性以及区域环境等物理印记, 预测预报储粮状态及变化, 判别储粮数量与质量安全状态, 软件系统经过了 2018 年和 2019 年在国家清仓查库大检查工作的应用和完善提升, 为实现储粮全过程的数量和质量安全管理提供了有效技术支持和工具服务。

关键词: 粮情云图; 动态分析; 数量管理; 预测预警; 软件系统

中图分类号: S24; S379.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)01-0094-06

网络出版时间: 2019-12-09 19:22:54

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20191209.1347.003.html>

Development and application of software system for dynamic analysis of grain condition cloud map

ZHANG Zhong-jie¹, YIN Jun¹, WU Xiao-ming², WU Zi-dan^{1,3}, WU Wen-fu³

(1. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037;

2. Tianjin Minglun Electronic Technology Company LTD, Tianjin 300000;

3. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130025)

Abstract: Based on the theory of grain storage ecosystem, multi-field coupling and ventilation window, the dynamic analysis software of grain condition cloud map is researched and developed by WU model, sinusoidal model of grain temperature change, heat and mass transfer model and related empirical model. By drawing visual dynamic cloud maps of grain condition, combining with the warehouse types, grain storage characteristics and regional environment, the state and change of grain storage can be analyzed and predicted, then the quantity and quality can be distinguished. In addition, the software system has been applied and improved in the national warehouse inventory in 2018 and 2019. It provides effective technical support and tool services for the realization of the whole process of grain storage quantity and quality safety management.

Key words: grain condition cloud map; dynamic analysis; quantity management; predicting and early warning; software system

收稿日期: 2019-09-04

基金项目: 2015 年国家粮食公益性科研专项 (201513001) — 多场耦合模型调控与区域标准化应用研究

作者简介: 张忠杰, 1966 年出生, 男, 博士, 研究员, 研究方向为农产品加工与贮藏工程.

通讯作者: 吴文福, 1965 年出生, 男, 教授, 研究方向为粮食智能干燥技术与装备.

粮食安全是治国安邦的首要之务，“保障粮食安全是一个永恒的主题，任何时候都不能放松”。储粮安全作为粮食安全的重中之重，主要从数量真实和质量良好两个方面抓起。由于我国粮食储备规模大，粮仓类型多，地域分布广，储存周期长，储粮全过程的数量监管和保质储藏安全管理难度加大，为确保库存粮食“数量真实，质量良好，储存安全”，应用“粮情云图动态分析软件系统”可大大提高国家粮食库存监管的效率和精准性，也为实现智慧粮食奠定了坚实基础。

“粮情云图动态分析软件”是基于粮堆多场耦合理论和粮情云图动态变化规律，通过温度场、湿度场和微气流场等多场耦合理论、模型分析和大数据挖掘技术，利用计算机软件系统将粮情分析、理论与模型以及经验等直观、形象地展示出来，有效实现了“空仓”、“半仓”、“新入粮”、“突变”、“发热”、“结露”和“霉变”等储粮模式的自动辨析，为发现库存粮食数量变化、局部结露或霉变等现象提供预警信息，结合不同生态区域储粮粮堆特性及围护结构分析，预测预警储粮状态分布及未来变化趋势，为实现储粮全过程的数量和质量安全管理提供技术支持和工具服务，提高粮食仓储管理的效率和效益。

1 粮情云图动态分析技术

1.1 粮情云图动态分析技术理论依据

粮情云图动态分析技术是依据储粮生态系统理论和粮堆多场耦合理论，运用储粮过程中的湿热信息、时空特征及变化规律进行粮食数量安全与质量安全的分析判断与预测。储粮微环境的湿热信息、时空特征被称为储粮“物理印记”，粮食本身的湿热信息、时空特征为储粮“信息印记”，由此形成储粮的点位印记统一、区位印记统一、环境印记统一。

1.1.1 储粮生态系统理论

储粮生态系统是将储粮作为研究对象的复杂系统，以粮堆围护结构为界面分为两大部分^[1]。围护结构外部主要是大气环境系统，称之为储粮环境生态子系统；围护结构内部主要是粮食籽粒和其生物环境构成的粮堆生态子系统。两个子系统既相对独立，又相互关联影响。储粮生态系统

是由物理因子、生物因子以及两因子之间的相互作用关系所组成。

1.1.2 粮堆多场耦合理论

粮堆多场耦合理论是指以WU模型^[1]为基础，对粮堆子系统中温度场、湿度场、水分场、微气流场和生物场的分布及其随时空变化对粮堆造成的叠加影响进行分析的理论^[2]。其中运用WU模型，可以计算出一定温度条件下一定含水率的粮食平衡绝对湿度，从而得到粮食露点温度和大气露点温度，为分析预测粮堆结露、霉变和有效指导储粮机械通风提供数据支撑。

云图指纹是粮堆多场耦合分析最直观的表现形式，是将粮堆中某截面的粮情数据通过已知粮堆热质传递规律和数值分析后分类渲染而成。根据粮情温度变化规律，可以发现在不同季节粮堆会呈现不同的现象，如在冬季和夏季会分别呈现出“冷皮热芯”和“热皮冷芯”的现象，即粮温会随着环境温度的变化规律和自身的热特性而形成带有季节性的粮堆内温度梯度；且在春季和秋季则是由一种现象向另外一种现象缓慢转变的过程。如图1中显现出一定“热皮冷芯”的迹象，且有一定的过渡性质，此谓“季节线”。该云图将粮堆温度场分布及变化趋势和多场耦合之间的叠加效应一并表现出来，其优点在于能够直观地反应出粮堆任意截面的物理场或生物场在空间上某一时刻的分布趋势或在一个时间域的演化过程^[3-5]。

1.2 粮情云图动态分析技术特征

1.2.1 容断性

“容断性”是指储粮的信息印记可以被中断记录，而物理印记不会被轻易消除，例如储备粮的粮温保持趋势的连贯性，如果发生大跳跃变化有可能是机械通风作业或进出仓作业等引起的。

1.2.2 容缺性

“容缺性”是指储粮的信息印记由于硬件故障而导致缺失（如温度传感器损坏等），可以进行异常判定，并通过数值方法补全。

1.2.3 容错性

“容错性”是指储粮的信息印记由于硬件或通讯故障而导致错误（如温度传感器突然掉电等），能够通过数值方法进行修正。

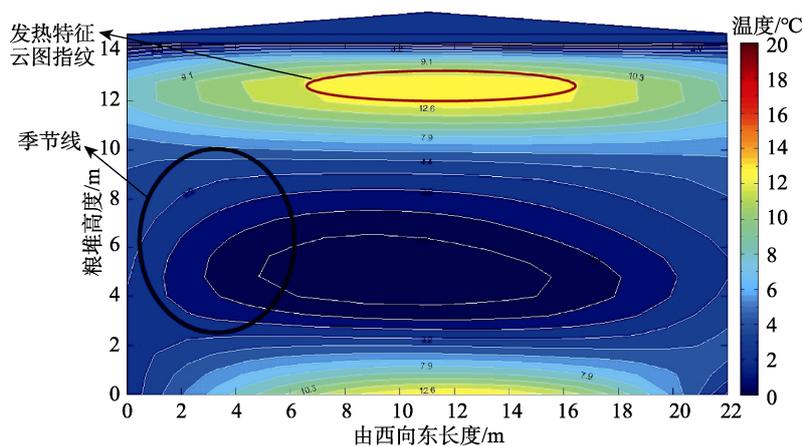


图 1 某粮仓粮情云图及指纹示意图

1.3 粮情云图动态分析信息归类及异常化处理方法

1.3.1 粮情数据信息归类

粮情数据信息包括储粮过程中的微环境数据，粮情检测数据和历史数据。储粮微环境数据是指储粮过程中，粮仓所处区域的气候数据和其变化趋势。粮情检测数据是指粮食储藏过程中，粮情检测系统实时采集及记录各因子的数据信息，以及定期抽取样品检测所得的数据信息。历史数据是指一定周期（最少三个月）内所采集和测得的粮食储藏过程中的粮情信息。

在我国，根据各地气候条件、耕作制度和储粮条件的不同，以当地的积温、积湿为依据，将全国区域划分成七大储粮生态区域。而同一储粮生态区域内又有海拔、地形等差异，不同地区的实际储粮生态环境也存在差异。储粮微环境信息主要是指储粮所在区域，微环境的生态数据可提高粮情动态分析的准确性。

粮情检测数据主要包括粮仓代码信息、储粮时间、传感器位置和数量、粮堆内部和粮仓内部环境的温湿度信息、不同部位的粮食含水量及孢子数、不同部位粮堆孔隙间气体浓度、粮堆内害虫种类、数量及种群密度、储粮作业措施信息记录（机械通风作业、熏蒸作业、充氮气调作业）等。

1.3.2 粮情检测数据信息异常化处理方法

在粮情检测数据信息中往往会存在较多的异常数据，如果把这些异常数据值和正常数据值放在一起进行统计分析，会影响结果的正确性，因此应对异常数据进行剔除清洗处理，并对特征数据进行归类。

目前，对异常值的判别与剔除主要采用物理判别法和统计判别法两种方法。物理判别法就是根据人们对客观事物已有的认识，判别由于外界干扰、人为误差等原因造成实测数据值偏离正常结果，在数据处理过程中添加剔除规则进行剔除。统计判别法是给定一个置信概率，并确定一个置信区间，凡超过此限的误差，就认为它不属于随机误差范围，将其视为异常值剔除。

1.4 粮情动态数据信息分析策略及判断

基于粮情云图动态分析技术的粮情数据信息分析方法主要利用粮情信息的统计学规律进行数据异常化处理，结合储粮生态系统理论和多场耦合理论，以及储粮规律和粮食特性等综合分析、预判储粮状态分布及变化趋势，以实现储粮安全。具体粮情分析策略包括 ABC 形态策略分析、AID 量值策略分析、正弦趋势策略分析和 CC 闭合策略分析等^[6-10]。通过建立储粮数据自动判定系统，对粮情检测数据分别运用 ABC、AID、正弦和 CC 闭合一种或多种策略进行分析判定，并结合粮仓所处的微环境区域进行比较和判断，得到储粮状态，通过云图形式标识粮堆的异常区域，并发出预警；同时结合储粮作业管理流程（如进出仓作业、机械通风作业等）综合判断，粮堆内的异常区域属于正常管理作业的范畴（如进出仓作业），或储粮隐患的范畴（如局部发热、结露或霉变等）。

2 粮情云图动态分析软件系统应用及典型案例

粮情云图动态分析软件系统经过 20 个省粮库实仓测试、规模化应用，已多次完善升级，开

发了单机版和网络版不同模式的软件系统。

2.1 2018 年“清仓查库”10 省试点软件应用

本软件系统于 2018 年 11 月在国务院组织的“清仓查库”10 省试点工作中进行了实仓测试应用。清查工作中共分析扫描 243 385 组数据，报警 1 789 项，核实 1 529 项，准确率达 85%，在储粮数量管理、质量安全预警方面取得了良好的效果。经过升级完善后的软件系统于 2019 年 1 月在河北省某直属库对新版本系统进行了现场测试，共分析扫描 1 548 组数据，耗时 3 min 32 s，数据扫描速度不低于 7 组数据/s，报警 3 项，核实 3 项，准确率达 100%。测试结果表明，新版软件系统在报警准确性、扫描速度等方面都有大幅提高。

2.2 2019 年粮食库存抽查软件应用

完善后的软件系统于 2019 年 6 月在国务院组织的部门联合粮食库存抽查工作中，对被抽查库点的储粮数据库存真实性、储粮安全性、作业合规性进行动态分析。共计检查货位 3 554 个，扫描分析粮情数据 899 331 组，发出预警 6 110 项，

经检查人员核实属实 5 319 项，平均准确率 87%。其中，发现比较典型有库存检测数据与账卡记录、轮换记录不符等影响库存真实性问题 3 例；结露、发热、霉变、生虫等严重影响储粮安全问题 11 例；违规倒仓、粮温数据作假、作业不符合规范等作业合规性问题 5 例；同时协助检查发现部分粮情检测系统管理不科学、使用不当等问题 28 例。

2.3 V1.2 版软件应用过程中发现的曲型案例

2.3.1 案例 1. 隔壁廩间显示曾经有粮

在本软系统三维不同方向的粮堆温度场云图中，粮温等温曲线会形成多组类似同心圆形或半圆形规则的闭合曲线，因此可以利用相关规律对粮食数量信息进行分析，如闭合曲线或半闭合曲线突然出现缺口或异常凸起，则判定粮食数量有变动，结合储粮作业管理流程进而判断其是否存在异动现象。从图 2 粮情温度云图中可以发现，两个廩间同一方向同一时刻的温度场云图中，其粮温等温曲线发生由“C”状半闭合到横“8”闭合状，由此可推得两个廩间此刻均有粮食。

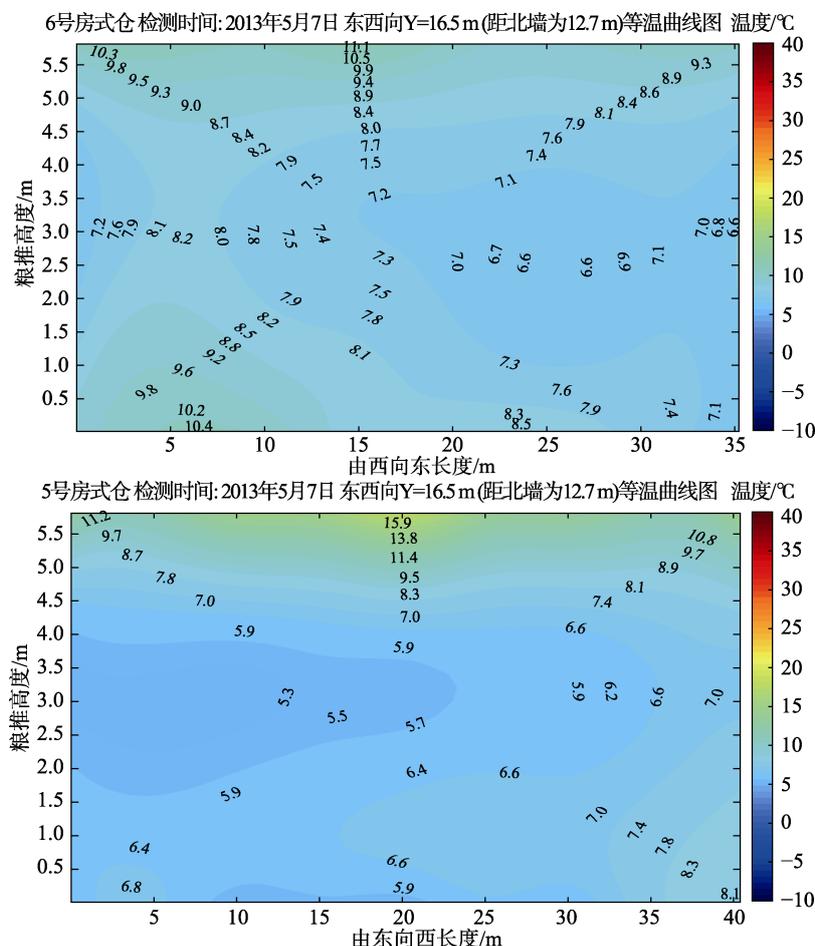


图 2 河北省某库两个廩间同一时刻同一截面的粮情云图

2.3.2 案例 2. 超架空期

某库按照储备粮管理工作计划,应在 2018 年 2 月~4 月执行储备粮轮换工作。如图 3 所示的 PFC21-2 和 PFC24-2 货位粮情分析和温度场云图可知,该库在 2 月~4 月期间并未开展储备粮轮换工作,而是在 9 月~12 月底才实际进行了储备粮轮换工作,即出现了超架空期。该扫描结果经过储粮管理实操也进一步证明了其正确性。

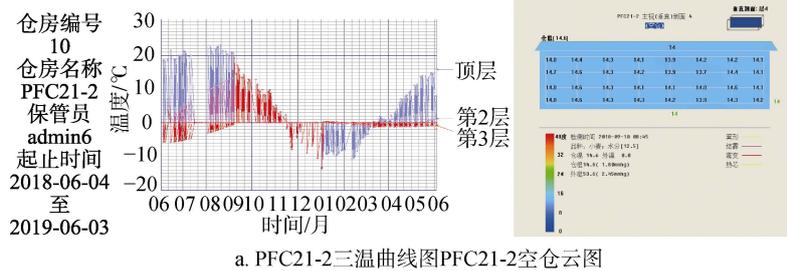
2.3.3 案例 3. 局部发热报警

图 4 河南省某库小麦仓,软件扫描结果为发

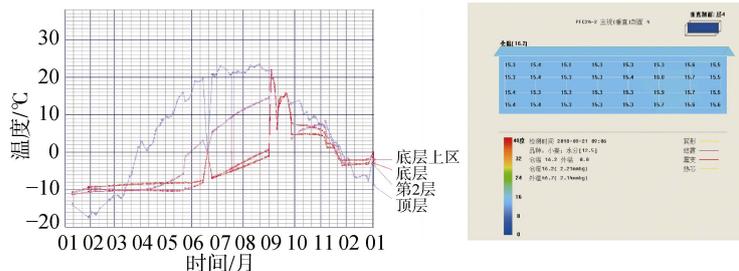
热预警。时间为 2018 年 9 月 17 日至 2019 年 1 月 3 日,粮堆的西侧上层出现高温区域,且持续 4 个多月,由此推得该区域发生霉变或虫害。质量检查组人员通过定点抽取样品,感官判断,此高温区域是由害虫引起的,即严重虫害。

2.3.4 案例 4. 局部霉变报警

图 5 河南省某库小麦仓,扫描结果为霉变预警。时间为 2018 年 12 月,粮堆出现霉变报警线。质量检查组人员经现场扦样后,确认该仓已发生霉变。



a. PFC21-2三温曲线图PFC21-2空仓云图



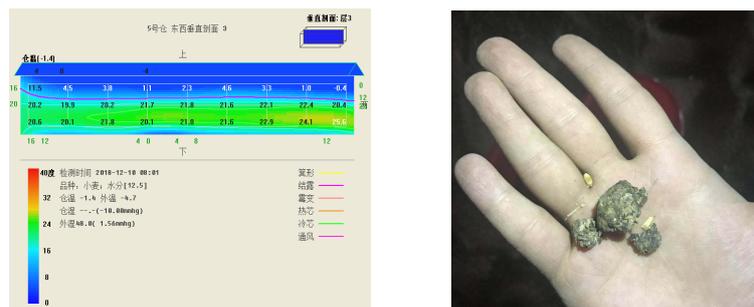
b. PFC24-2三温曲线图PFC24-2空仓云图

图 3 某库超架空期储粮的粮情云图



温度场云图扦出的样品

图 4 河南省某库小麦仓局部发热的粮情云图及实物图



2018 年 12 月温度场云图扦样的样品

图 5 河南省某库小麦仓局部霉变的粮情云图及实物图

3 结论

在储粮库存管理层面,利用粮情云图动态分析软件,通过对粮情信息数据进行快速导入扫描,实现粮情动态分析和云图生成,并通过粮情云图变化情况和物理印记,对库存粮食数量变动情况进行较为准确的预报,本软件系统可应用于管理部门进行定期检查、不定期抽查和远程动态监管,可大幅度减少监管的行政成本。

在储粮保粮管理层面,企业运用粮情动态分析软件系统,对库存粮食的发热、结露、霉变等预测预警,可提前防范储粮安全事故、强化储备粮质量管理,大大提高工作效率,减少储粮损耗,促进节能减排。最终为实现“数量真实、质量良好和储存安全”的储粮目标提供技术支持和工具服务。

参考文献:

- [1] 吴子丹. 绿色生态低碳储粮新技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2011.
- [2] 吴子丹, 张忠杰, 赵会义, 等. 一种基于温度湿度场耦合的粮

堆结露预警防控系统及方法[P]. 中国专利, ZL201410222195.4, 2014-05-23.

- [3] 尹君, 吴子丹, 吴晓明, 等. 基于温湿度场耦合的粮堆离散测点温度场重现分析[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(12): 95-101.
- [4] 尹君, 吴子丹, 张忠杰, 等. 基于多场耦合理论浅析浅圆仓局部结露机理[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(5): 90.
- [5] 尹君, 吴子丹, 张忠杰, 等. 不同仓型的粮堆温度场重现及对比分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 281-287.
- [6] 王小萌, 吴文福, 尹君, 等. 基于温湿度场云图的小麦粮堆霉变与温湿度耦合分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(10): 268-274.
- [7] 崔宏伟, 吴文福, 吴子丹, 等. 基于粮温时空相关性的储粮数量监管方法研究[J]. 农业机械学报, 2019, 50(1): 328-337.
- [8] 尹君. 小麦粮堆多场耦合模型及结露预测研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [9] 秦骁. 储备粮数字管理策略与方法的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [10] 陈龙. 图形化储粮粮情智能分析方法与系统的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网(<http://lyspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。

作者及团队成果简介



张忠杰: 博士/研究员, 国家粮食和物资储备局科学研究院粮食储运研究所所长, 粮食储运国家工程实验室副主任, 干燥工艺技术与装备研究方向的学科带头人, 吉林大学兼职教授。主要从事粮油等农产品干燥、储藏、通风、农

产品深加工以及副产物资源化综合利用等方面的理论研究、工艺技术开发与装备推广应用等。主持或参与完成国家和省部级科研项目三十余项, 共发表论文 40 余篇, 参编著作 4 部、获省部级奖励 6 项。

张忠杰所长带领的粮食储运研究创新团队, 共有 33 名科研人员, 其中研究生学历 20 人, 高级职称 12 人。主要从事粮食清理干燥、储藏工艺、害虫防治、霉菌防治、储运信息化及安全生产 6 个方面的技术研究与示范应用。团队构建了宏观

粮堆温度场、湿度场、微气流等多物理场耦合模型, 提出粮堆生物场概念并推演其计算公式; 建立储粮害虫基因库、储粮基础参数数据库和危险源数据库及粮堆霉菌生长预测模型; 研发集成了智能横向通风技术及装备、清洁能源干燥新技术及装备; 研发了粮堆霉菌快检仪器; 取得了粮情动态分析软件系统、钢筋气膜混凝土球形储粮仓、空气源热泵粮食干燥装备、平房仓横向通风储粮新技术及装备等一系列成果。

本文“粮情云图动态分析软件系统”得到了 2015 年国家粮食公益性科研专项(201513001)——“粮堆多场耦合模型调控与区域标准化应用研究”项目支持, 由国家粮食和物资储备局科学研究院、吉林大学和天津市明伦电子技术股份有限公司、山东金钟科技集团股份有限公司和航天信息股份有限公司五家单位联合研发完成, 该系统在 2018 年和 2019 年国家粮食清仓查库大检查工作得以应用和完善提升, 为实现我国储粮全过程数量和质量安全管理提供了有效技术支持和工具服务。