

河北省科学院学报

HEBEISHENG KEXUEYUAN XUEBAO

2021年8月

第38卷 第3期

总第137期

目 次

- 多变量时间序列聚类综述..... 杨秋颖,翁小清(1)
- 一种求解图论中最大独立集问题的启发式算法 冯 云(9)
- 智能灌溉系统设计与实现..... 董 佳,梅 欢,刘利军,盖素丽(14)
- 虚拟装配技术在成套电气领域的应用研究..... 刘欣慧,张 鑫(20)
- 齿轮型座架俯仰传动链设计 谷立永(26)
- 一种机载卫通天线预测控制方法研究..... 王 龙,严雅婧(29)
- S波段天气雷达天线信号遮挡影响分析 王聚瑞(37)
- 三种清热解毒类中成药的荧光指纹图谱研究 朱丹丹,毛 越,杨莉丽(43)
- 制革固体废弃物的热-酶结合法制备明胶的研究..... 郑 翔,高沛汝,秦 梦,王力源(48)
- 基于电感耦合等离子体串联质谱对不同种类肉质营养元素的研究
..... 张雷雷,王 岩,高 颢,张春林,曹 梦(56)
- 京津冀全域旅游示范区景点网络关注度时空特征及影响因素
——基于百度指数的研究..... 常变蓉,陈 茜,张瑞英,闫 俏(63)
- 医院医用耗材管理信息系统综合研究 田建军,王柯子璐,贾铁拴(71)
- 基于产业链视角的京津冀医药产业协同发展研究
..... 梁兆南,李 玲,黄 琳,郭鲁钢,刘胜飞,任 蓉(77)

JOURNAL OF THE HEBEI ACADEMY OF SCIENCES

Vol. 38 No. 3

Aug. 2021

CONTENTS

- A review of multivariate time series clustering YANG Qiu-ying, WENG Xiao-qing (1)
- A heuristic algorithm for maximum independent set problem in graph theory
..... FENG Yun (9)
- Design and implement of intelligent irrigation system
..... DONG Jia, MEI Huan, LIU Li-jun, GE Su-li (14)
- Application of virtual assembly technology in complete electrical field
..... LIU Xin-hui, ZHANG Xin (20)
- Design of gear turntable's pitching Gu Li-yong (26)
- Research on predictive control methods for airborne satellite communication antenna
..... WANG Long, YAN Ya-jing (29)
- Analysis on the influence of S-band weather radar antenna signal shielding
..... Wang Ju-Rui (37)
- Study on the fluorescence fingerprints of three kinds of Chinese patent medicines for
Qingre Jiedu ZHU Dan-dan, MAO Yue, YANG Li-li (43)
- Preparation of gelatin from tannery solid waste by thermo-enzymatic method
..... ZHENG Xiang, GAO Pei-ru, QIN Meng, WANG Li-yuan (48)
- Research on nutrient elements of different kinds of meat based on inductively coupled
plasma tandem mass spectrometry ZHANG Lei-lei,
WANG Yan, GAO Zhuo, ZHANG Chun-lin, et al (56)
- Spatial-temporal characteristics and influential factors of network attention to scenic spot in
Jing-Jin-Ji regiona tourism demonstration area; based on baidu index
..... CHANG Bian-rong, CHEN Qian, ZHANG Rui-ying, YAN Qiao (63)
- Accurate and efficient comprehensive research of hospital medical consumables management
information system TIAN Jian-jun, WANG Ke-zilu, JIA Tie-shuan (71)
- Study on the coordinated development of Beijing-Tianjin-Hebei pharmaceutical industry
from the perspective of industrial chain
..... LIANG Zhao-nan, LI Ling, HUANG Lin, et al (77)
-

文章编号:1001-9383(2021)03-0001-08

多变量时间序列聚类综述

杨秋颖, 翁小清

(河北经贸大学 信息技术学院, 河北 石家庄 050061)

摘要:多变量时间序列(Multivariate Time Series, MTS)具有多变量性和高冗余性,使用聚类分析从海量、高维的 MTS 数据中挖掘有趣模式具有重要意义。本文从基于实例、基于特征和基于模型的角度,对近年来 MTS 聚类方法的研究进行归类,为研究者了解最新的 MTS 聚类方法研究动态和发展趋势提供参考。

关键词:多变量时间序列;聚类分析;相似性度量;维数约简

中图分类号:TP181

文献标识码:A

A review of multivariate time series clustering

YANG Qiu-ying, WENG Xiao-qing

(College of Information Technology, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang Hebei 050061, China)

Abstract: Multivariate time series is multivariable and highly redundant. Cluster analysis is of great significance in mining interesting patterns from massive and high-dimensional MTS data. In this paper, the research on MTS clustering methods in recent years is classified from the perspectives of case-based, feature-based and model-based, so as to provide reference for researchers to understand the latest research trends and development trends of MTS clustering methods.

Keywords: Multivariate time series; Cluster analysis; Similarity measure; Dimension reduction

0 引言

时间序列(TS)通常是一个过程的观察结果,其值是从均匀的时间间隔和给定的采样率下测量收集的,用 $\{X_i\}_{i=1}^N, X_i \in R^{m \times n}$ 表示,其中, N 为样本个数, m, n 分别为观测值个数以及变量个数。当 $n=1$ 时,称为单变量时间序列,当 $n \geq 2$ 时,称为多变量时间序列(Multivariate Time Series, 以下简称 MTS)。

MTS 在心理学、经济学、商业、金融等社会人文科学以及工程、质量控制、监测和安全等领域是一种非常普遍的数据类型。MTS 的主要特征为:第一,MTS 含有时间和变量两个维度,

收稿日期:2021-04-16

作者简介:杨秋颖(1995-),女,河北滦南人,硕士研究生,研究方向为数据挖掘、信息检索。

且属性变量间可能存在相关和冗余^[1];第二,不同的 MTS 样本的长度或取样频率可能不一定相同^[2]。MTS 的高维性和高冗余性使得传统的聚类方法有时无法直接用于此类数据类型。

聚类是一个把数据对象划分成子集的过程,每一个子集是一个簇,使得簇中对象彼此相似,但与其他簇中的对象不相似^[3]。MTS 聚类面临以下两个挑战^[4]:

(1)高维度。MTS 在时间维度的基础上增加了变量维度,使得特征的数量越来越高,确定对 MTS 聚类有重大贡献的显著特征,以及减少表现为虚假特征的滋扰的影响是 MTS 聚类的一项重大挑战。

(2)隐含特征。MTS 可能存在一些隐藏的特征,这些特征可能不明显,因此在直接的数据分析中被忽略。这些隐含特征是给定数据集中的外生因素或内生因素。传统的机器学习技术在捕捉这些存在但隐藏的特征方面效果较差。因此,在为集群解决方案建模时,需要更先进和严格的方法来考虑这些可能的特性。

本文从基于实例、基于特征和基于模型的角度,对近年来 MTS 聚类方法的研究进行归类,并简要介绍其在实际中的应用。

1 基于实例的方法(Instance-based)

基于实例的时间序列聚类是指,对未经过任何处理的时间序列直接应用聚类算法实现聚类^[5]。大多是把对传统数据的聚类算法应用到了时间序列数据上。

Spiegel 等^[6]提出了一种基于 SVD 的自底向上算法来识别内部均匀的时间序列段。为了识别重复模式,将获得的时间序列子段采用层次聚类方法进行分组,提出的自底向上分割算法在自动确定模型秩和合并阈值等特征上扩展了传感器融合算法。评估表明,所提出的自下而上(BU)方法优于直接的临界点(CP)分割。Spiegel 等^[7-8]提出了一种基于递归图的距离(Recurrence plot-based, RRR),该距离可以度量两个多变量时间序列之间的相似性,与使用 DTW 进行聚类识别出的原型序列相比,能够覆盖更多的重复出现的模式。

Li^[9]使用 DTW 构建多元时间序列数据相似性矩阵和分量属性序列相似性矩阵,利用邻近传播(Affinity Propagation, AP)聚类算法对这些相似性矩阵进行聚类分析进而获得各种维度视角下的多元时间序列数据关系矩阵,使用 Cosim 函数对合并的关系矩阵进行相似性度量获得一个相似性矩阵,再次使用 PA 算法对相似性矩阵进行聚类分析,获得最终的数据类标签。数值实验结果表明,与传统聚类方法相比,所提出方法不仅能够有效地反映总体数据特征之间的关系,而且通过重要分量属性序列之间的关联关系分析能够提高原始时间序列数据的聚类效果。但该方法使用了多次 AP 聚类过程,其时间性能取决于 AP 聚类的收敛性,通常需要较高的计算时间代价。Attila 等^[10]以实际应用背景为基础,引入一种新的交叉相关(Cross-correlation)的相似性度量方法和基于图的聚类技术。首先定义两个样本间的相似性以及属性间的相似性,在样本间相似性的基础上,提出基于图的聚类方法和降维方法,实验表明该方法在噪声容忍中表现更好。Li^[11]受传统 K-means 算法的启发,在聚类中心的选取上使用 CPCA 代替传统的均值法,在距离度量上使用数据在子空间上的重构误差代替欧氏距离,在拥有 K-means 算法的线性时间复杂度的基础上,考虑了原始数据值的分布以及变量间关系。

Singhal 等^[12-13]将主成分分析中的主成分空间间的角度度量、数据集间的马氏距离,以及数据中的附加特性的欧式距离进行加权平均组合,作为传统 K-means 算法中的距离度量,提

出一种新的多变量时间序列数据聚类方法。此外考虑 K-means 算法中聚类个数 K 是个超参数,提出一种新的确定最佳簇数的方法。

核 K-均值聚类方法需要输入聚类个数,不能处理异常值或噪声,Chandrakala 等^[14]提出了一种在核特征空间基于密度的聚类方法,可以聚类变长度的 MTS 样本,不需要输入聚类个数,且性能优于光谱聚类以及核 K-means 聚类。Edmond 等^[15]为了将不同的时间序列按照底层数据结构进行分组,提出了一种基于独立分量分析的时间序列数据聚类算法。

基于实例的方法使用 MTS 样本的全部信息,避免了特征的丢失;但 MTS 具有高维性和高冗余性,过多的信息可能导致内存压力大、距离度量的计算量大且不稳定以及过多的信息使特征表达不准确等问题。基于实例的 MTS 聚类方法特性的比较如表 1 所示。

表 1 基于实例的 MTS 聚类方法特性的比较

文献	是否等长	距离度量方法	聚类算法	优缺点
Spiegel 等 ^[6]	是	基于 SVD 的子空间距离度量	凝聚层次聚类	适用于任何有效的距离或相似性度量,应用领域广泛
Li ^[9]	否	DTW	近邻传播	反映总体以及分量属性间关系,但时间复杂度较高
Attila 等 ^[10]	是	基于交叉相关的相似性度量	基于图的聚类	噪声容忍度高
Li ^[11]	否	子空间重构误差	K-means	线性的时间复杂度
Singhal 等 ^[12,13]	是	欧式距离、主成分空间角度度量以及马氏距离的加权组合	K-means	通过聚类目标函数估计最优聚类数

2 基于特征的方法 (Feature-based)

基于特征的时间序列聚类是指将时间序列数据经过变换或映射提取特征,实现维数约简,最后再结合其它聚类算法实现聚类。在基于特征的时间序列聚类中,按照时间序列特征的分类,可以将基于特征的时间序列聚类分成三类,即基于形状、结构和模型的时间序列聚类。基于形状的方法根据原始时间序列的波动形状提取特征,其性能可能会受到噪声、振幅缩放、偏移平移、纵向缩放、线性漂移和不连续^[1]等问题的影响;基于结构特征的聚类主要是从数据的结构特征出发,揭示时间序列潜在的规律。基于模型特征的聚类是指按照不同的要求或目的,找到相对应的模型,然后根据模型特征将样本分到不同的组中。

小波技术具有保持时间和频率信息的能力,在非平稳信号处理中表现良好,是一种适用于时间序列数据处理和监测以及统计过程控制的潜在工具^[16]。DUrso 等^[17]首先在若干个尺度上将 MTS 样本每个变量分解为小波序列,然后在每个尺度上计算小波的方差、MTS 任何两个变量之间小波系数的相关度,然后在每个尺度上将小波的方差以及小波系数之间的相关度连接成一个向量,用这个向量代表 MTS 样本进行硬和模糊聚类(Crisp and fuzzy clustering)。Barragan 等^[16]使用基于连续小波变换(CWT)的多尺度 PCA 相似性因子计算 MTS 样本之间的距离,对 MTS 样本进行模糊聚类,并将该方法用于 Tennessee Eastman Process (TEP)数据集。

此外,考虑 MTS 具有基于变量和基于时间的维度, Li^[18] 使用中心序列表示 MTS, 用分段聚合近似和符号化进一步表示由中心序列导出的扩展序列; Wang 等^[19] 将时间序列的每个变量看成单变量时间序列提取其统计特征组成新的向量; Li^[20] 计算任意两个变量之间的协方差用于表示 MTS; Fontes 等^[21] 将改进的 PCA 相似度因子和基于均值的欧氏距离(AED)结合在模糊聚类方法中, 使用主成分方向和均值的加权和来比较不同的 MTS, 并将其用于燃气涡轮机的故障分析。Li 等^[1] 提出了一种基于动态时间扭曲(DTW)和形状距离(SDB)两种距离测量方法的特征加权聚类方法。该聚类算法分为四个阶段。首先, 使用快速搜索和寻找密度峰值(DPC)的聚类方法选择聚类中心。然后, 考虑多元时间序列的整体匹配, 对所有变量进行 DTW 生成模糊隶属度矩阵。然后利用 SDB 测量各维间的距离并构造多个模糊隶属度矩阵, 重新考虑各独立维的贡献。最后, 利用传统的模糊聚类算法模糊 C-means 对模糊隶属度矩阵进行聚类并生成聚类结果。

考虑之前算法均是多变量数据矩阵变成向量进行处理, He 等^[22] 提出一种保持数据矩阵结构的基于空间加权距离的模糊聚类(SWMDFC)算法。算法使用变元的 PCA 算法, 对同一变量的所有样本构造特征向量组成单变量时间序列使用 PCA 实现变量降维。对降维后的变量还原为多变量时间序列, 使用空间加权距离计算矩阵相似性, 最终使用模糊聚类划分样本类别。郑诚^[23] 将 MTS 每个时刻的值放入矩形网格中用二维离散余弦变换 DCT 来对矩形网格提取特征得到特征矩阵, 又将每个时刻间的矩阵变换看作向量, 从而用高维空间的线段序列来表示多变量时间序列, 提出了 LS 相似度来计算线段序列之间的相似程度, 最后采用层次聚类来发现其中的模式并找出其中的离群点。Zhou 等^[24,25] 将 MTS 数据集转化为一个多关系网络, 提出了一种基于多重非负矩阵因子分解(MNMF)的多关系社区检测算法, 用于 MTS 聚类; 多关系网络描述了 MTS 样本之间的局部以及全局关系, MNMF 充分考虑 MTS 样本内部变量之间的复杂关系。Liang 等^[26] 专注于处理高维多元时间序列, 将传感器网络在一个时间步长的输出数据表示为一个图像, 并用图像的 BSF 特征(Bipolar Sigmoid Feature)来表征图像内容即传感器网络的状态, 从而将时间序列转化为高维特征空间中的轨迹, 引入链相似性来度量时间序列的相似性并采用层次聚类方法来探索 MTS 的模式。

copulas 是内含随机变量之间依赖结构的分布, Marti 等^[27] 提出的 MTS 聚类方法, 使用 Earth Mover's Distance 度量 MTS 样本内部依赖之间的相似程度, 使用 Dependence Coefficient 度量 MTS 样本相互依赖关系的相似程度对 MTS 样本进行聚类, 比较这三种距离的优缺点。处理 MTS 中的不可见类的描述和识别方法是具有挑战性的问题, Hosseini 等^[28] 提出一个无监督学习的框架, 实现对 MTS 数据集中不可见类的可解释分析。它基于一种新的多核字典结构(MKD), 使用带标签的 MTS 维的核表示来学习语义属性。基于这些属性, 无监督 MKD-SC 框架根据特征空间中未见类的维数与已见类别维数的关系(部分/全部)重新构造特征空间中未见类, 从而为新数据提供可解释的描述。在得到稀疏编码的基础上, 提出了一种增量聚类方法来逐步将新的 MTS 分类为不同的聚类。

基于特征的方法, 可以在清楚的表达特征的同时实现维数约简; 但上述大多数方法没有清晰考虑 MTS 的时间和变量属性, 本质上 MTS 样本是二维数据。图 1 是基于特征的 MTS 聚类方法的梳理。

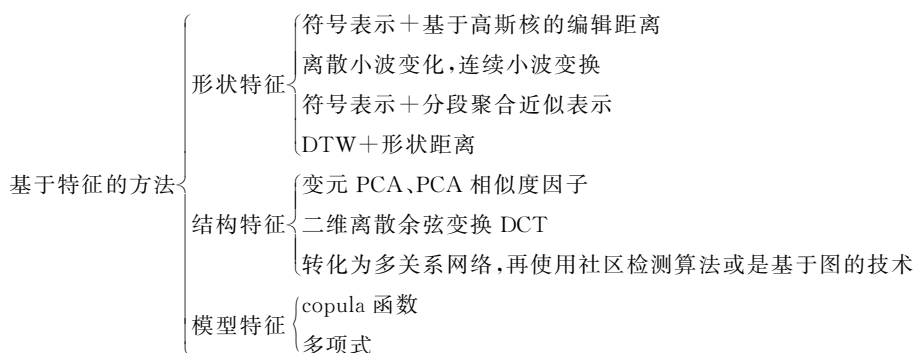


图 1 基于特征的 MTS 聚类方法的梳理

3 基于模型的方法 (Model-based)

基于模型的时间序列聚类是指,先对时间序列建立模型,然后利用模型的参数、系数、误差等模型信息对时间序列数据进行聚类,得到聚类结果;或者将原始时间序列进行离散化,然后建立模型,提取模型参数,再进行聚类。时间序列数据挖掘可使用的模型有很多,如人工神经网络、隐马尔科夫、高斯混合等经典模型。

Vaquez 等^[29]对 MTS 的变量进行聚类,首先使用递归神经网络 (Recurrent Neural Networks) 和迁移学习 (transfer learning) 计算每个 MTS 样本变量之间的相似度,得到每个 MTS 样本的邻接矩阵,将这些邻接矩阵聚合为一个总的邻接矩阵,然后对变量进行分组。Vazquez 等^[30]对先前的工作^[29]进行了改进,先使用样条曲线对 MTS 进行光滑处理,然后再对 MTS 建立递归神经网络模型。Dino 等^[31]为了处理来自不同领域的变长多变量时间序列,提出一种新的方法 DeTSEC。DeTSEC 分为两个阶段,首先学习基于门控循环单元网络 (Gated Recurrent Unit, GRU) 的加入注意力机制的自动编码器,旨在初步完成数据的嵌入表示;随后在聚类改进阶段向对应的类延伸嵌入流行。

基于监督学习的深度学习算法可以学习数据的隐藏特征从而为聚类问题建立更准确的模型。但现实中的时间序列大部分是无标签的,因此基于监督学习的深度学习算法无法直接用于时间序列聚类。为此,Tavakol 等^[32]首先提取多变量时间序列的特征用于传统的 K-means 聚类以获得数据的标签,从而将问题从无监督学习转化为有监督学习;其次,建立基于自动编码器的深度学习模型,学习时间序列数据的已知特征和隐藏特征及其创建的标签,预测未知的的时间序列数据的标签。

Sidart Deb^[33]提出了基于向量自回归 (vector auto-regressive, VAR) 模型估计的参数向量来识别多变量时间序列样本对或样本组的相似性的检验程序。该程序同时适用聚类个数已知和未知的情况,因此可以广泛用于现实中的各种问题。Zhou 等^[34]提出的可以处理不等长、离散值的基于模型的 MTS 聚类算法包括以下三步:首先将时间序列离散化;然后发现时态模式,用置信值表示不同变量之间的关系,最后,使用模式的置信值对 MTS 样本聚类。

用 MTS 子序列聚类,可以从时态数据中发现重复模式。Hallac 等^[35]提出了一种基于 Toeplitz 逆协方差的 MTS 子序列的聚类方法 (TICC),同时对数据进行分段和聚类,根据子序列的相关结构对其进行聚类,并通过多层马尔可夫随机场 (Markov random field, MRF) 对每个子序列进行重构,为了发现这些簇,TICC 通过动态规划和 ADMM 来更新簇的 MRFs。针对既有名词性变量又有数值型变量的 MTS,Ghassempour 等^[36]提出了一种基于 HMMs 的聚类

方法,首先将每个时间序列映射为一个 HMM,然后,定义一个合适的度量,计算 HMMs 之间的距离;最后,基于距离矩阵对 HMMs 进行聚类。

Li 等^[37]提出一种基于模型的自适应状态连续稀疏逆协方差(ASCSICC)聚类算法。引入状态连续性,使传统的高斯混合模型(GMM)适用于时间序列聚类。为了防止过拟合,采用乘子交替方向法优化 GMM 逆协方差的参数。此外,该方法同时对时间序列进行分段和聚类。在技术上,首先根据相邻时间序列数据的距离相似度估计自适应状态连续性。然后,以自适应状态连续性的动态规划算法为 e 步,以求解稀疏逆协方差的 ADMM 为 m 步。将 E-step 和 M-step 组合成期望最大化(EM)算法进行聚类处理。Mikalsen 等^[38]针对缺失数据的多元时间序列,提出时间序列聚类核方法(TCK),利用改进的信息先验分布对角协方差 GMM 模型处理 MTS 缺失值,利用集成学习方法结合多个 GMM 的聚类结果形成最终的核,以确保对参数的鲁棒性。TCK 可以作为许多不同的学习算法的输入,特别是在核方法中。实验结果表明,TCK 对超参数设置具有较强的鲁棒性,对无缺失数据的预测任务具有较强的鲁棒性,对有缺失数据的预测任务具有较好的鲁棒性。

基于模型的方法中,建模过程需要消耗一定时间且使用模型参数进行聚类,模型的不确定性对聚类效果有一定影响。图 2 是基于模型的 MTS 聚类方法的梳理。

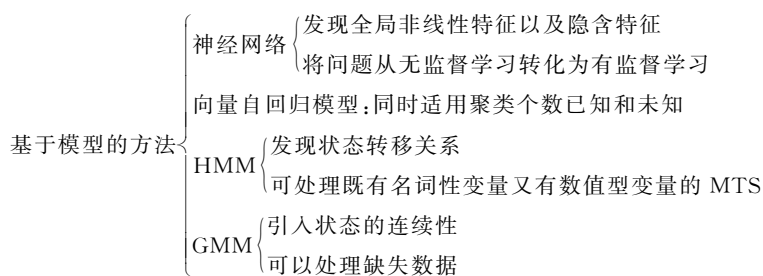


图 2 基于模型的 MTS 聚类方法的梳理

4 多变量时间序列聚类的应用

多变量时间序列聚类广泛应用于金融商业等社会人文科学以及医疗、工程、监测、人体模式识别和地球物理分析等领域。

Dai C 等^[39]针对未标记 EEG 时间序列聚类问题,提出了一种新的 EEG 聚类算法将脑电聚类映射到改进的 Frechet 相似性加权脑电图的最大权值团搜索。考虑脑电图中顶点和边的权重,并根据顶点和边的相似权值对脑电图进行聚类。

Zhang 等^[40]首先利用离散小波变换获取每对变量之间的小波方差和相关系数,实现多元时间序列的初始聚类,将相关性相似但形状相反的时间序列分配到同一聚类中;然后通过符号聚合近似(SAX)方法,基于形状对多元时间序列进行聚类;最后将这既考虑相关性又考虑形状的两阶段多元时间序列聚类算法用于北京 IC 卡客流量数据分析。

为了有效地对金融 MTS 数据进行聚类,Zhou 等^[41]首先利用局部线性嵌入算法将原始时间序列数据进行降维处理,然后对提取的特征向量采用改进的 kmeans 算法进行聚类。

聚类分析能作为独立的工具来获得数据分布的情况,还可以作为其他算法的预处理步骤,简化计算量,提高分析效率。Kamal 等^[42]将模糊聚类与遗传算法相结合,模糊聚类算法根据历史数据对每个聚类的隶属度对其进行模糊化,然后利用这些隶属度对结果进行去模糊化。

此外,遗传算法负责选择适当的模型,将其应用于交通事故伤亡人数和著名大学招生数据集的预测。Abonyi等^[43]提出了一种用于同时识别局部概率主成分分析(PPCA)模型的聚类算法并将其用于视频监控。其中,PPCA模型用于度量分段的内质性,模糊集用于表示分段的时间,聚类相容性准则的模糊决策算法来确定所需分段数,而所需主成分数则由模糊协方差矩阵特征值的横截面图来确定。该算法在时间上倾向于连续聚类,并能检测出多元时间序列隐藏结构的变化。Chen等^[44]提出一种新的自动聚类算法来生成不同长度的语篇区间,并将其用于加权指数(TAIEX)的预测。

此外,Malik等^[45]使用不同的MTS聚类方法对比分析人体平衡控制的四种模式,试图寻找其关联关系。Salvo等^[46]提出了一种基于动态时间序列分割和自组织映射技术的地球物理多元时间序列聚类方法。

5 总 结

本文从基于实例、基于特征和基于模型三个方面,对MTS聚类方法进行了综述,并简要介绍其在现实中的应用。MTS聚类研究目前已经有了很大的进展,但仍存在很多问题需要解决。例如,MTS的聚类研究主要集中在相似性度量、维数约简以及聚类原型的研究,其中度量的稳定性,如何从两个维度进行维数约减进一步提高聚类效果值得进一步研究;此外,深度学习方法的出现极大的提高了MTS的聚类效果,但许多深度学习无法直接处理无标签数据,将深度学习应用于MTS聚类也值得今后进一步研究。

参考文献:

- [1] Li Hailin, Miao Wei. Fuzzy clustering based on feature weights for multivariate time series[J]. Knowledge-Based Systems, 2020, 197(8):105907.
- [2] 单中南, 翁小清, 马超红. 基于2DSVD的多变量时间序列半监督分类[J]. 计算机系统应用, 2019, 28(11):153-160.
- [3] Han Jiawei, Kamber M. Data mining: concepts and techniques[M]. 2000.
- [4] Tavakoli N, Siami-Namini Sima, et al. Clustering time series data through autoencoder-based deep learning models[J]. arXiv:2004.07296v1 [cs.LG] 11 Apr 2020.
- [5] He H, Tan Y. Unsupervised classification of multivariate time series using pcca and fuzzy clustering with spatial weighted matrix distance[J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2018:1-10.
- [6] Spiegel S, Gaebler J, Lommatzsch A, et al. Pattern recognition and classification for multivariate time series[J]. International Workshop on Knowledge Discovery from Sensor Data. ACM, 2011.
- [7] Spiegel S. Discovery of driving behavior patterns[M]. Smart Information Services-Computational Intelligence For Real-Life Applications, Springer, 2015.
- [8] Spiegel S, Johannes-Brijnesh J, Albayrak S. A recurrence plot-based distance measure[J]. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, 2014, 103:1-15.
- [9] 李海林, 王成, 邓晓懿. 基于分量属性近邻传播的多元时间序列数据聚类方法[J]. 控制与决策, 2018, 33(4):649-656.
- [10] Attila Egri, Illes Horvathy, Ferenc Kovacs, et al. Cross-correlation based clustering and dimension reduction of multivariate time series[C]. Proc of 21st International Conference on Intelligent Engineering Systems, 2017:241-246.
- [11] Li Hailin. Multivariate time series clustering based on common principal component analysis[J]. Neurocomputing, 2019, 349:239-247.
- [12] Singhal A, Seborg D E. Clustering multivariate time-series data[J]. Journal of Chemometrics, 2005, 19:427-438.
- [13] Singhal A, Seborg D E. Clustering of Multivariate Time-Series Data[C]. Proc of the American Control Conference,

- 2002;3931—3936.
- [14] Chandrakala S, Sekhar C C. A density based method for multivariate time series clustering in kernel feature space[J]. IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IEEE World Congress on Computational Intelligence), 2008: 1885—1890.
- [15] Edmond H. C. Wu, Philip L. H. Yu. Independent component analysis for clustering multivariate time series data[C]. ADMA, 2005.
- [16] Barragen J F, Fontes C H, Embirucu M. A wavelet-based clustering of multivariate time series using a Multiscale SPCA approach[J]. Computers & Industrial Engineering, 2016, 95: 144—155.
- [17] D'Urso P, Maharaj E A. Wavelets-based clustering of multivariate time series[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2012, 193: 33—61.
- [18] Li Hailin. Piecewise aggregate representations and lower-bound distance functions for multivariate time series[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2015, 427: 10—25.
- [19] Wang Xiaozhe, Wirth A, Wang Liang. Structure-based statistical features and multivariate time series clustering[C]. Proc of 7th IEEE International Conference on Data Mining, 2007: 351—360.
- [20] Li Hailin, Lin Chunpei, Wan Xiaoji, et al. Feature representation and similarity measure based on covariance sequence for multivariate time series[J]. IEEE Access, 2019, 7: 67018—67026.
- [21] Fontes C H, Budman H. A hybrid clustering approach for multivariate time series-A case study applied to failure analysis in a gas turbine[J]. ISA Transactions, 2017, 71: 513—529.
- [22] He H, Tan Y. Unsupervised classification of multivariate time series using vpc and fuzzy clustering with spatial weighted matrix distance[J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2018: 1—10.
- [23] 郑诚, 王鹏, 汪卫. LS-Cluster: 大规模多变量时间序列聚类方法[J]. 计算机应用与软件, 2017, 34(5): 205—210.
- [24] Zhou Lihua, Du Guowang, Tao Dapeng, et al. Clustering multivariate time series data via multi-nonnegative matrix factorization in multi-relational networks[J]. IEEE Access, 2018, (199): 1—1.
- [25] Du Guowang, Zhou Lihua, Wang Lizhen, et al. Multivariate time series clustering via multi-relational community detection in networks[J]. APWeb-WAIM, 2018, 10987: 138—145.
- [26] Liang Jianning, Zhou Yan. Clustering multivariate time series from large sensor networks[C]. Proc of International Conference On Computer Systems Electronics And Control (ICCSEC), 2017: 563—567.
- [27] Marti G, Nielsen F, Donnat P. Optimal copula transport for clustering multivariate time series[C]. Proc of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2016: 2379—2383.
- [28] Hosseini B, Hammer B. Multiple-kernel dictionary learning for reconstruction and clustering of unseen multivariate time-series[J]. arXiv:1903.01867v1[cs.LG] 5 Mar 2019.
- [29] Vaquez I, Jose R. Villar, Sedano J, Simic S. A preliminary study on multivariate time series clustering[J]. SOCO, 2019, 950: 473—480.
- [30] Vazquez I, R. Villar J, Sedano J, et al. A proof of concept in multivariate time series clustering using recurrent neural networks and SP-Lines[M]. HAIS, 2019: 346—357.
- [31] Ienco D, Interdonato R. Deep multivariate time series embedding clustering via attentive-gated autoencoder[M]. 2020.
- [32] Tavakoli N, Siami-Namini S, Khanghah M A, et al. Clustering time series data through autoencoder-based deep learning models[J]. arXiv:2004.07296v1[cs.LG] 11 Apr 2020.
- [33] Deb S. VAR model based clustering method for multivariate time series data[J]. Journal of Mathematical Sciences, 2019, 237(6): 754—765.
- [34] Zhou Peiyuan, Keith C. C. Chan. A Model-Based Multivariate Time Series Clustering Algorithm[C]. Springer International Publishing Switzerland, 2014: 805—817.
- [35] Hallac D, Vare S, Boyd S, et al. Toeplitz inverse covariance-based clustering of multivariate time series data[C]. Proc of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining August, 2017: 215—223.
- [36] Ghassempour S, Girosi F, Maeder A. Clustering multivariate time series using hidden markov models[J]. Int. J. Environ. Res. Public Health, 2014, 11: 2741—2763.

文章编号:1001-9383(2021)03-0009-05

一种求解图论中最大独立集问题的启发式算法

冯 云

(河北省药品医疗器械检验研究院,河北 石家庄 050081)

摘 要:最大独立集问题是著名的 NP-hard 问题,在许多领域都有广泛的实际应用。在给定无向图 $G=(V,E)$ 中,最大独立集是顶点 V 的一个子集 I , I 中顶点的数量最大且任意 2 个顶点都不相邻。本文提出了一种启发式的最大独立集问题算法 RI-DS-TS,本算法由 3 部分组成:随机初始化,基于度与支撑的顶点挑选,基于禁忌搜索的独立集优化。本文给出了 RI-DS-TS 算法的具体步骤,并使用 DIMACS 基准中的实例对 RI-DS-TS 算法进行了验证,通过和目前已知的最优结果对比,本算法在满足经济性的同时取得了令人满意的效果。

关键词:图论;最大独立集;启发式算法

中图分类号:O224

文献标识码:A

A heuristic algorithm for maximum independent set problem in graph theory

FENG Yun

(Hebei Institute for Drug and Medical Device Control, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: The Maximum Independent Set (MIS) Problem is a classic NP-hard problem with many real world applications. Given a graph $G=(V,E)$, the independent set is the maximum-cardinality subset I of V such that no two vertices in I are adjacent. This paper proposed a heuristic algorithm, RI-DS-TS, to find the maximum independent set of a graph. RI-DS-TS algorithm consists of three parts: random Initialization, vertex selection based on vertex degree and support, independent set optimization based on tabu search. This algorithm is addressed in detail and tested on DIMACS benchmark graphs. Compared with the known best solutions of the instances in DIMACS benchmark, RI-DS-TS algorithm achieves satisfied results with consideration of economy.

Keywords: Graph theory; Maximum independent set; Heuristic algorithm

0 引言

最大独立集问题(Maximum Independent Set Problem)是图论中经典的组合优化问题,在

收稿日期:2021-04-22

作者简介:冯 云(1985-),女,河北石家庄人,硕士,工程师,研究方向为软件系统与大数据应用.

生物信息学^[1], 无线网络通信^[2], 信息传输调度^[3]以及社交网络分析^[4]等领域有着非常广泛的实际应用, 数十年来吸引了国内外大量学者进行研究。Carraghan^[5], Babel^[6], Östergård^[7], Li^[8]等人研究了求解的精确算法(Exact Algorithms), 其核心都是基于分支界定策略(Branch and Bound Strategy)。分支界定的基本思想是对解的上界进行估计, 当上界小于当前已知解时就放弃该分支的继续搜索, 称作“剪枝”。后来有学者对分支界定策略进行了优化, 利用动态规划、染色等方法加速剪枝的过程, 提高精确算法的速度。尽管如此, 在给定图中求解最大独立集仍是 NP-hard 问题^[9], 当图的规模增大, 求解该问题的时间复杂度越来越高, 精确求解是不可能的, 即使是超级计算机也无能为力。因此许多学者研究了启发式算法, 启发式算法虽不能保证一定能够得到最优解, 但在对于规模较大的最大独立集问题上具有极高的性价比。目前应用比较广泛的启发式算法有贪婪算法(Greedy Algorithm)^[10-11], 局部搜索(Local Search)^[12-13]和禁忌搜索(Tabu Search)^[14]。贪婪算法通过一定的规则按顺序逐次扩充解的集合, 直至顺序搜索结束, 获得一个可行解。局部搜索对可行解的局部邻域进行搜索, 来提高已知解的质量。禁忌搜索是一种改进的局部搜索算法, 通过设立“禁忌列表”来避免在搜索过程中出现死循环, 并且有助于跳出循环并开发新的搜索区域。本文综合了贪婪算法与禁忌搜索各自的特点, 提出了一种启发式的最大独立集问题解法, 并使用 DIMACS 基准中的实例进行了验证, 取得了令人满意的效果。

1 最大独立集问题

考虑一个无向图 $G=(V, E)$, $V=\{1, \dots, N\}$ 是图中的 N 个顶点(Vertex), $E \subseteq V \times V$ 是图中棱的集合, 每条棱都连接着 V 中的 2 个顶点。每条棱所连接的 2 个顶点被称作是相邻的, 或者互为“邻居”。如果 V 的一个子集 I 中任意 2 个顶点都是不相邻的, 那么 I 被称作一个独立集, $|I|$ 是子集 I 中顶点的数量。如果 I 不被任何其他独立集 I 包含, 那么 I 被称作一个极大独立集(Maximal Independent Set), 如果 $|I|$ 是图 G 的所有极大独立集中最大的, 那么 I 被称作最大独立集(Maximum Independent Set)。最大独立集问题就是在一个给定图 G 中寻找 G 的最大独立集。

用 N 维向量 $X=(x_1, x_2, x_3 \dots x_N)$ 表示 G 的任意子集 S , $x_i \in \{0, 1\}$, 其中 $x_i=0$ 表示顶点 v_i 不在 S 中, $x_i=1$ 表示顶点 v_i 在 S 中。所以求解最大独立集问题也可以转化成一个整数规划问题:

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^N x_i \\ \text{s. t.} \quad & x_i + x_j \leq 1, \quad \text{for all } (i, j) \in E \\ & x_i \in \{0, 1\}, \quad i \in V \end{aligned}$$

2 算法介绍

2.1 三个概念

(1) 点的邻居: 在无向图 $G=(V, E)$ 中, V 是顶点的集合, E 是棱的集合, 对于任意一个点 v_i , v_i 的邻居是 $N(v_i)=\{v_j \in V, (i, j) \in E\}$, 每一条棱连接的 2 个点互为邻居。

(2) 点的度 $d(v_i)$: 表示 v_i 的邻居的个数, 即 $d(v_i)=|N(v_i)|$

(3)点的支撑 $s(v_i)$:表示 v_i 所有邻居的度之和,即 $s(v_i) = \sum_{v_j \in N(v_i)} d(v_j)$

如图1所示,所有顶点和棱组成了一个无向图, $N(C) = \{A, B, D, E\}$, $d(C) = 3$, $s(C) = d(A) + d(B) + d(D) + d(E) = 12$, $\{A, H\}$ 是一个独立集, $\{A, E, H\}$ 是极大独立集, $\{B, D, E, H\}$ 是最大独立集。

2.2 算法描述

有研究表明,使用启发式算法求解最大独立集问题时,把多种算法结合使用所呈现的性能要好于单纯使用一种算法时的性能^[15]。如引言中所述,当贪婪算法运行结束,找到一个极大独立集后,搜索停止,所找到的极大独立集满足最大独立集条件的概率非常低。而局部搜索仅能够找到局部最优值,为了提高求解的质量,本文结合贪婪算法与禁忌搜索,提出一种新的方法。以下给出求解图 G 中最大独立集的算法。 N 维方阵 $A = (a_{ij})$, $i, j \in (1, 2, \dots, N)$, 用来描述无向图 G , A 称作邻接矩阵,为一个对称矩阵, $a_{ij} = a_{ji}$, 对角线元素 $a_{ii} = 0$, $a_{ij} = 1$ 表示 v_i 与 v_j 通过棱相连, $a_{ij} = 0$ 表示 v_i 与 v_j 没有棱直接相连。本算法的输入变量为邻接矩阵 A 。本算法的输出是 V 的一个子集 I , 用 N 维向量 X 表示, X 的第 i 个元素为 1 表示点 v_i 在 I 中, 称作点 v_i 被选择到最大独立集的解之中; 第 i 个元素为 0 则反之。

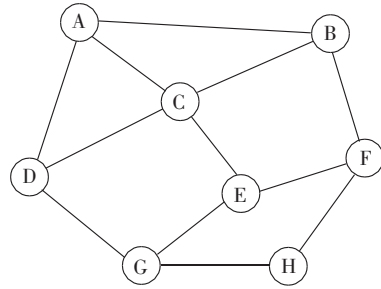


图1 一个无向图

本算法 (RI-DS-TS) 分为 3 部分: 随机初始化 (Random Initialization), 基于点的度 (Degree) 与支撑 (Support) 的顶点挑选, 基于禁忌搜索 (Tabu Search) 的独立集优化。

(1) 本算法是启发式的, 每次运算得到的一个可行解, 并不能保证是最优解, 而且该可行解与最优解的偏离程度是无法估计的。所以本算法需要多次重复, 以期获得可接受时间范围内的最优解。由于图的产生本身具有随机性, 重复求解的过程需要尽可能多的搜寻潜在的可行解。一旦确定了 1 个起始点后, 所有可能的可行解数量十分有限 (会在下一步具体描述), 为了尽可能多的增加求解过程的随机性, 在选择点的时候, 前 m 个点为等概率随机选择的。根据算法调试过程中的经验, m 取值为图 G 中点数量的 $1/500$ (向上取整)。

(2) 本部分思想来源于贪婪算法, 研究的核心内容是如何制定合理可行的顶点挑选规则和顺序。本部分的顶点选择是不断迭代进行的, 每次只选择一个点。在迭代的过程中, 如果点 v_i 被选择, 那么 v_i 的所有邻居 $N(v_i)$ 都要被放弃, v_i 和 $N(v_i)$ 在邻接矩阵 A 中所对应的行和列都要被删除。所以, 本部分的中心思想就是在选择 1 个点的同时, 尽可能少的放弃其他点, 也就是每次都选择度 d 最小的点。如果有多于 1 个点的 d 相同, 则选择其中支撑 s 最大的点。因为点 v_i 的邻居 $N(v_i)$ 被放弃后, 支撑 $s(v_i)$ 表示之后有可能被选中的点的数量。如果有多于 1 个点同时满足 d 最小和 s 最大, 那么在这些点中随机选择 1 个。点的选择迭代进行, 直到邻接矩阵 A 为空时结束, 所有被选中的点组成一个极大独立集。当起始点被确定后, 只有遇到多于 1 个点同时满足 d 最小和 s 最大时, 才有可能产生多个不同的可行解。所以在第 1 步中, 为了增加获得的可行解的数量, 前 m 个起始点的选择是完全随机的。

(3) 前 2 步后获得的是一个极大独立集 I , 并不能保证是“最大”, 因此第 3 步再进行局部的禁忌搜索。禁忌搜索有 2 种操作, 交换 SWAP 与增加 ADD。增加操作是指, 当在 I 的补集

中存在 1 个点 v_i 与 I 中的任意一个点都没有棱相连时,将点 v_i 增加到 I 中,增加操作的候选集是所有有可能进行增加操作的点的集合。交换操作是指,当 I 的补集中存在 1 个点 v_i 与 I 中除了 1 个点 v_j 之外的所有点 $v_k \in I, (k \neq j)$ 都没有棱相连时,将点 v_i 与 v_j 交换,交换操作的候选集是所有有可能进行交换操作的点的集合。每次交换操作后都要更新“禁忌集”,禁忌集内的元素在步操作之内不允许再次被增加或者交换至 I 中,这样保证了算法不会陷入局部解中无法跳出,本算法中 t 取 7。增加操作可以使独立集中点的个数增加,交换操作不改变独立集中点的个数,但是有可能带来新的可行解。每次操作时,如果增加操作的候选集不为空,则进行增加操作,否则进行交换操作。第 3 步中首先要限定操作次数 T ,如果超过次操作后仍然没有更好的结果,则停止搜索,返回第 1 步。如果在 T 次之内独立集中点的数量增加,则将 T 清零,继续搜索。本算法中 T 取 5000。在操作的过程中,如果增加操作和交换操作的候选集同时为空,也停止搜索。

3 仿真结果

为了验证本算法的有效性,采用了解决最大独立集和最大团问题中常用的基准 DIMACS 库。DIMACS 基准图由离散数学及理论计算机科学中心(Center for Discrete Mathematics & Theoretical Computer Science)1993 年提出,包含了许多具有代表性的实例,作为一个统一的标准来对已有的算法进行性能测试和比较,现在 DIMACS 基准图已经成为该领域学者们用来验证算法的重要标准之一。其中一些实例已经通过精确算法给出了精确解,另外仍有很多实例并没有精确解,但是学者们都在不断地试图提高已知的最优解。DIMACS 库中的实例是以“最大团问题”的形式给出的。最大团问题是最大独立集问题的等价问题,最大团即在一个集合中的每一个点都跟其他所有点通过棱相连。所以求解图 $G=(V,E)$ 的最大独立集与求解其补图 $\bar{G}=(V,\bar{E})$ 的最大团是等价的^[16]。

文献[17]提出了一种并行求解算法,也使用了 DIMACS 基准图来测试算法效果。本文使用提出的算法 RI-DS-TS 分别求解了 DIMACS 库中的实例,将求解结果与文献[17]提出的 MPICE-LS 算法以及 DIMACS 实例的精确解或者目前的已知最优解做了对比。本文对每个实例,限定的算法运行时间为 15min,运行环境为 Inter[®] Core[™]i5-2430M,2.30GHz,8GB RAM,结果表明,除 keller6 外,本文所提出的算法 RI-DS-TS 均达到了文献[18]中算法求出的最大独立集大小。另外,对于文献[17]未验证的其他大多数实例,本文所提出的算法 RI-DS-TS 几乎全部能够达到已知的最优解,包括其中顶点数和棱密度很大的情况,而且对大部分实例 RI-DS-TS 算法运行时间均在数秒之内。但是当运行时间达到 15min 后,仍然有若干实例无法获得最优解。文献[18]从精确算法的角度,对比了不同算法对 DIMACS 中顶点数量为 200 的实例的处理效果,算法的执行时间随着棱的数量呈指数趋势上升,还指出当棱密度一定时,算法的执行时间随着顶点的数量也呈上升趋势。本文中未能获得最优解的这些实例均为顶点数超过 4000 或棱密度大于 0.8 的情况。图的顶点数和棱密度越大,邻接矩阵的维度会越大,非零元素会越多,导致了算法运行变慢。但是仍能看到,对于这些情况,本算法得到的结果已经非常接近,甚至一些棱密度超过 0.8 的实例已经达到了目前的最优解。

4 结论

研究提出了一种启发式求解图论中的最大独立集问题的算法 RI-DS-TS,本算法综合了贪

婪算法与禁忌搜索的思想,提出一种用于贪婪算法的挑选顺序,以图中顶点的度和支撑作为贪婪算法的选择策略,并通过禁忌搜索保证算法能够从局部最优解中跳出,作为次优解的优化方法。另外,为克服贪婪算法得到解数量有限的问题,保证重复求解过程中尽可能多的搜索潜在的可行解,RI-DS-TS 算法还提出从随机起点开始运行贪婪算法。RI-DS-TS 算法使用 DIMACS 基准图中的实例进行了验证,在 76 个实例的求解中,共 70 个实例都得到了理论最优解或目前已知的最优解。对于顶点数和密度都较大的实例,求出的解也非常接近最优解。所以本文提出的算法在考虑时间和计算成本的条件下,对于求解最大独立集问题效果十分理想。

参考文献:

- [1] Malod-Dognin N, Andonov R, Yanev N. Maximum cliques in protein structure comparison[J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2010,6049:106–117
- [2] Balasundaram B, Butenko S. Graph domination, coloring and cliques in telecommunications[J]. In *Handbook of optimization in telecommunications*. USA: Springer,2006:865–890.
- [3] Chen F, Zhai H, Fang Y. Available bandwidth in multirate and multihop wireless ad hoc networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2010,28(3): 299–307
- [4] Pattillo J, Youssef N, Butenko S. Clique relaxation models in social network analysis[J]. In M. T. Thai, & P. M. Pardalos (Eds.), *Handbook of optimization in complex networks: Theory and applications*. Springer optimization and its applications,2012,58:143–162.
- [5] Carraghan R, Pardalos P M. An exact algorithm for the maximum clique problem[J]. *Operations Research Letters*, 1990,9(6):375–382
- [6] Babel L, Tinhofer G. A branch and bound algorithm for the maximum clique problem[J]. *Methods and Models of Operations Research*,2002,34(3):207–217.
- [7] Östergård P R J. A fast algorithm for the maximum clique problem[J]. *Discrete Applied Mathematics*, 2002,120(1): 197–207.
- [8] Li C, Quan Z. An efficient branch-and-bound algorithm based on MaxSAT for the maximum clique problem[J]. *Proceedings of the 24th AAAI conference on artificial intelligence*,2010,128–133.
- [9] Karp R M. Reducibility among combinatorial problems[J]. In R. E. Miller, J. W. Thatcher (Eds.), *Complexity of computer computations*. New York: Plenum Press,1972:85–103.
- [10] Jagota A, Sanchis L A. Adaptive, restart, randomized greedy heuristics for maximum clique[J]. *Journal of Heuristics*, 2001,7(6):565–585.
- [11] Grosso A, Locatelli M, Croce F D. Combining swaps and node weights in an adaptive greedy approach for the maximum clique problem[J]. *Journal of Heuristics*, 2004,10(2):135–152.
- [12] Pullan W. Phased local search for the maximum clique problem[J]. *Journal of Combinatorial Optimization*,2006,12(3):303–323.
- [13] Pullan W, Mascia F, Brunato M. Cooperating local search for the maximum clique problem[J]. *Journal of Heuristics*, 2011,17(2):181–199.
- [14] Wu Q, Hao J K, Glover F. Multi-neighborhood tabu search for the maximum weight clique problem[J]. *Annals of Operations Research*, 2012,196(1):611–634.
- [15] 周旭东,王丽爱,陈峻. 启发式算法求解最大团问题研究[J]. *计算机工程与设计*, 2007, 28(18):4329–4332.
- [16] Wu Q, Hao J K. A review on algorithms for maximum clique problems[J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 242(3):693–709.
- [17] 吕强,柏战华,夏晓燕. 一种求解最大团问题的并行交叉熵算法[J]. *软件学报*, 2008, 19(11):2899–2907.
- [18] 胡新,王丽珍,何瓦特,等. 度数法求解最大团问题[J]. *计算机科学与探索*, 2013, 7(3):262–271.

文章编号:1001-9383(2021)03-0014-06

智能灌溉系统设计与实现

董佳,梅欢,刘利军,盖素丽

(河北省科学院 应用数学研究所,石家庄 050081)

摘要:设计了一套智能灌溉系统,该系统由气象信息和土壤墒情采集与控制模块、通讯服务模块、数据云模块组成。该系统可以对灌区气象信息、土壤墒情、设备运行状态进行采集,根据专家经验实现最优灌溉,并实现了农田信息的可视化,提升了农田灌溉的自动化、信息化水平,为农业发展提供信息化支撑,对智慧农业的发展具有重要意义。

关键词:智能灌溉;可视化;物联网;人机交互界面

中图分类号:TP391

文献标识码:A

Design and implement of intelligent irrigation system

DONG Jia, MEI Huan, LIU Li-jun, GE Su-li

(Institute of Applied Mathematics, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: An intelligent irrigation system composed of meteorological information and soil moisture acquisition and control module, communication service module, and data cloud module is designed. The meteorological information, soil moisture and operating status of equipments are collected by this system, and according to expert experience, optimal irrigation is achieved, meanwhile, visualization of farmland information is implemented. The automation and information degree of farmland irrigation are improved by the system, which provides information support for the development of agriculture, and it has great significance to the development of intelligent agriculture.

Keywords: Intelligent irrigation; Visualization; Internet of things; HMI

0 引言

我国传统灌溉方式较为粗放,水资源利用率较低,灌溉的自动化、信息化程度与农业发达国家有较大差距,推广实施节水节能的智能灌溉,改变当前普遍存在的粗放管理方式,提高灌溉水利用率,已成为我国缓解水资源危机和实现农业现代化的必然选择^[1-2]。国外已有发展

收稿日期:2021-05-10

基金项目:河北省科学院科技攻关资助项目(20608)

作者简介:董佳(1985-),男,河北石家庄人,硕士,工程师,研究方向为先进控制、智能控制与优化。

农业的成功案例,例如:荷兰的文络温室,日本的植物工厂,以色列的滴灌技术,为我国农业的发展提供经验和启发。随着农业与自动控制技术、物联网技术、区块链技术、人工智能技术的深度融合^[3-7],必将形成我国农业发展的新格局。

本研究的智能灌溉系统利用自动控制技术、物联网技术、可视化技术,实现了大面积农田种植的精准灌溉,提升农业种植的自动化和信息化水平,降低劳动强度,提高水资源利用率,为智慧农业的发展奠定坚实基础。

1 系统总体设计

智能灌溉系统根据分布在田间的气象传感器及土壤墒情传感器,采集气象数据及土壤墒情数据,将其转换为数字信号,采用无线通讯方式,将数据存储到云端,并依据这些数据及农作物在不同生长周期的需水量和施肥量,进行专家决策,进而对水泵、计量泵和电磁阀等田间设备进行远程控制,实现农作物的智能灌溉,从而提高农作物的产量及品质,同时提高土壤水分利用率。该系统还可以通过农田现场的人机交互界面,实现系统初始化、灌溉设备的就地控制、灌溉规则的设定等功能。智能灌溉系统的框图如图 1 所示。

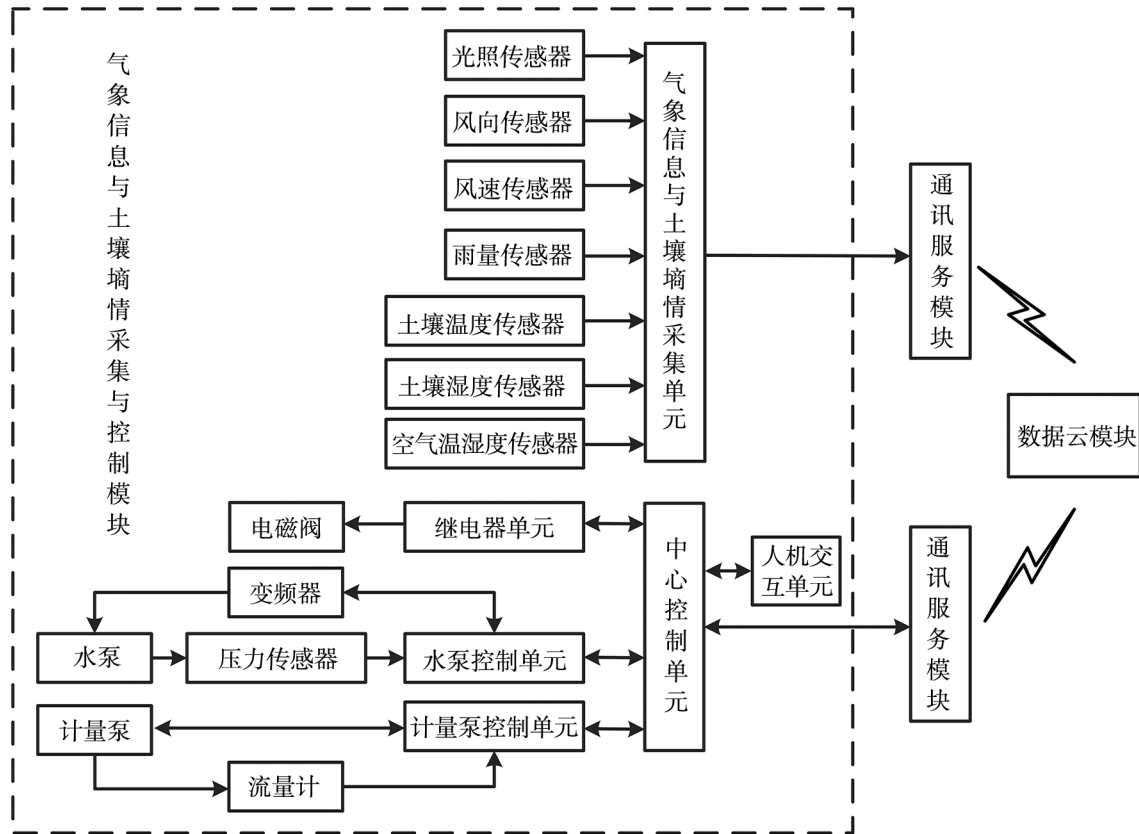


图 1 智能灌溉系统框图

2 系统硬件设计

智能灌溉系统硬件采用模块化设计,主要包括气象信息和土壤墒情采集与控制模块,通讯服务模块。其中,气象信息和土壤墒情采集与控制模块由气象信息和土壤墒情采集单元、中心控制单元、继电器单元、水泵控制单元、计量泵控制单元、人机交互单元组成。由于气象信息和土壤墒

情采集单元、人机交互单元、通讯服务单元已有成熟产品,故不再对其进行设计,直接采用成熟产品。中心控制单元、水泵控制单元、计量泵控制单元及继电器单元的硬件结构图如图 2 所示。

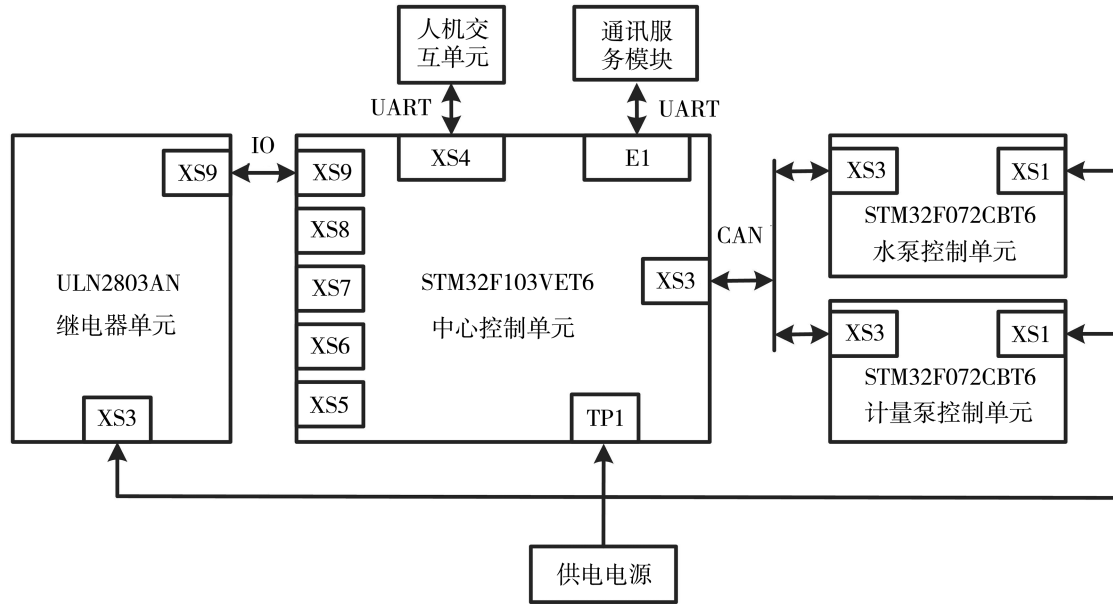


图 2 硬件结构图

2.1 中心控制单元硬件设计

中心控制单元的控制器选用 STM32F103VET6,通过控制器的 IO 管脚驱动继电器单元,采用 UART 方式与人机交互单元和通讯服务模块建立通信,通过 CAN 总线与水泵控制单元和计量泵控制单元建立通信。该硬件系统的供电电压为 DC24V,中心控制单元需要 DC5V 和 DC3.3V 两种电压,选用 LM2596S-5 输出 5V 电压,选用 LM1117DTX-3.3 输出 3.3V 电压,并在输出端增加滤波电路,电压变换电路如图 3 所示。

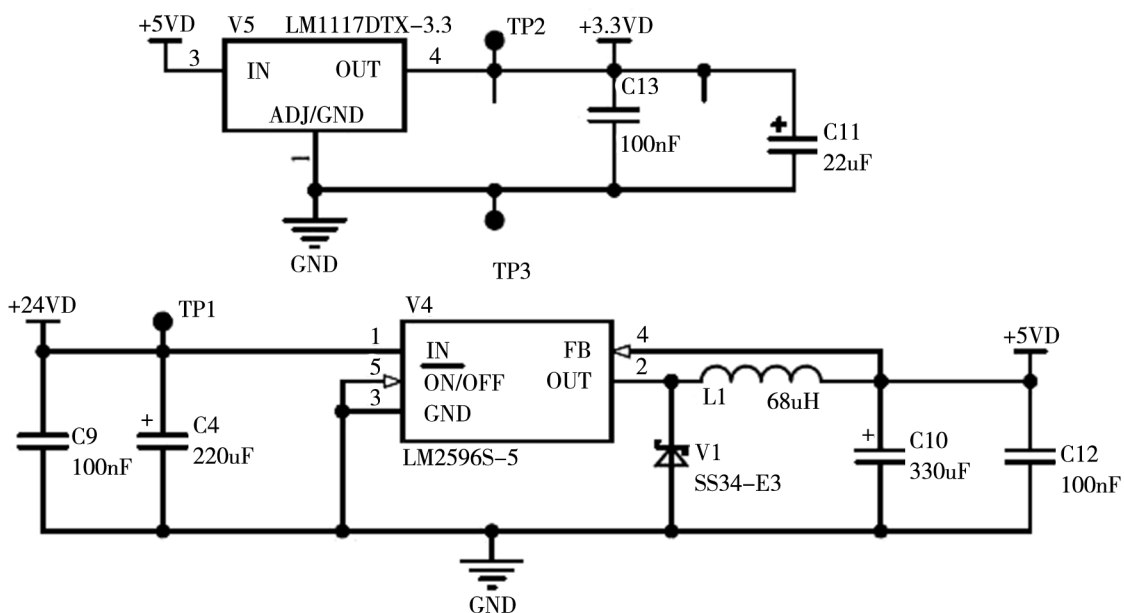


图 3 电压变换电路

该系统的通讯服务模块选用山东有人公司的 WH-LTE-7S4 V2 模块,该模块采用 DC5V 电压供电,采用 UART 通信方式与控制器实现串行通信,能够实现 UART 转 4G 双向透传功能,支持 TCP、UDP 协议和注册包/心跳包机制^[8-10]。通讯服务模块的接口电路如图 4 所示。

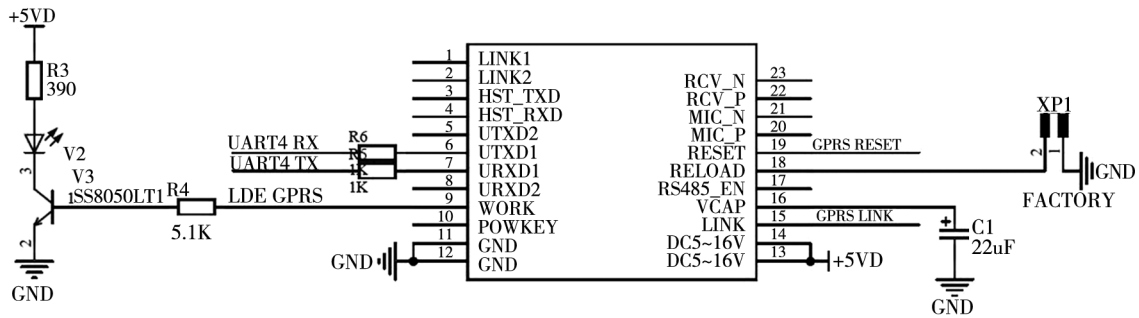


图 4 通讯服务模块接口电路

2.2 水泵控制单元硬件设计

水泵控制单元与计量泵控制单元的硬件设计完全相同,只在程序中加以区分。该控制单元选用 STM32F072CBT6 作为控制器,设计模拟量输入输出电路和数字量输入输出电路,用于设定和采集管道压力,启动变频器及检测变频器的运行状态。变频器的启动信号采用无源输入,通过控制器驱动 NUD3124LT1G 芯片,进而驱动继电器动作,利用继电器的干接点实现信号输入;变频器的运行状态反馈信号是 AC220V 电压信号,采用 PS2501L-1 实现电压隔离变换,将 AC220V 高电压转换为控制器可接收的 DC3.3V 电压,数字量输入输出电路如图 5 所示。

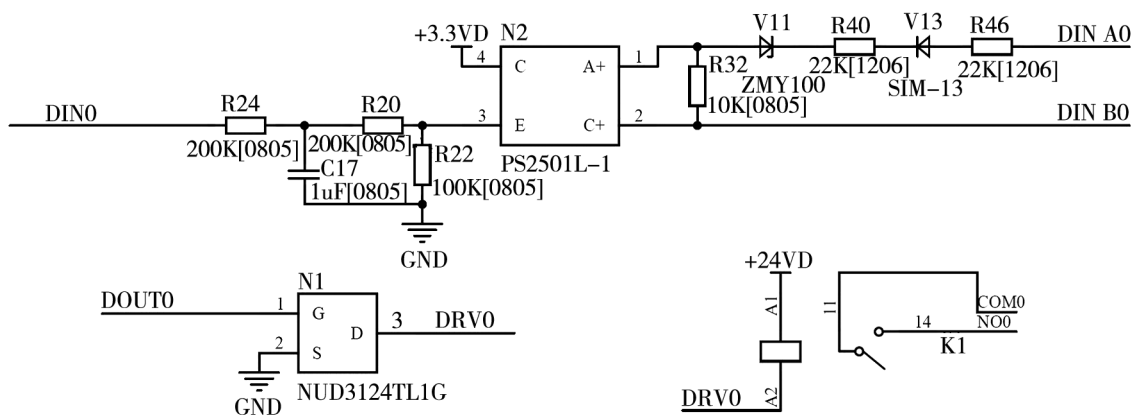


图 5 数字量输入输出电路

2.3 继电器单元硬件设计

继电器单元选用 ULN2803AN 驱动芯片,其输入端用于接收中心控制单元控制器的驱动

信号,输出端用于驱动继电器的线圈和状态指示灯。继电器单元电路如图 6 所示。

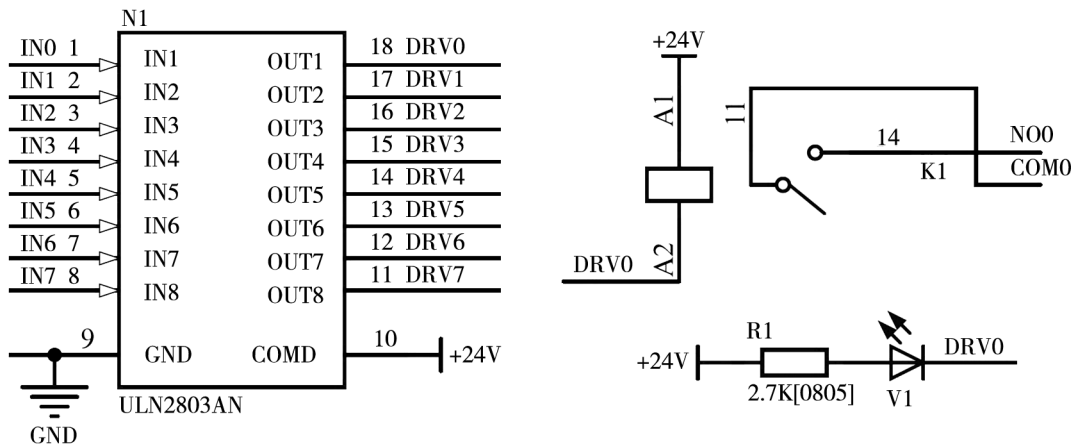


图 6 继电器单元电路

3 系统软件设计

通过对智能灌溉控制系统整体功能的需求分析,将数据云模块需要实现的功能进行模块划分如图 7 所示。

3.1 硬件资源分配

包括农场管理、气象信息分配管理、田间控制柜分配管理等。这是系统的初始操作,将现场硬件控制装置,与农场,用户做初始设置。

3.2 灌溉管理

针对不同农作物的需水量不同,可以对该农场的电磁阀进行分组配置,设定不同的轮灌时间,通过通信协议,远程控制电磁阀、水泵、计量泵等现场设备,实现智能灌溉。

3.3 可视化展示

为了进一步提升用户的交互体验,该功能将气象信息、土壤墒情、田间灌溉设备运行状态进行可视化展示,包括日照强度、风向、风速、降雨量、空气温度、空气湿度、土壤温湿度、水泵和计量泵,以及电磁阀的运行状态。气象信息和土壤墒情可视化界面如图 8 所示。

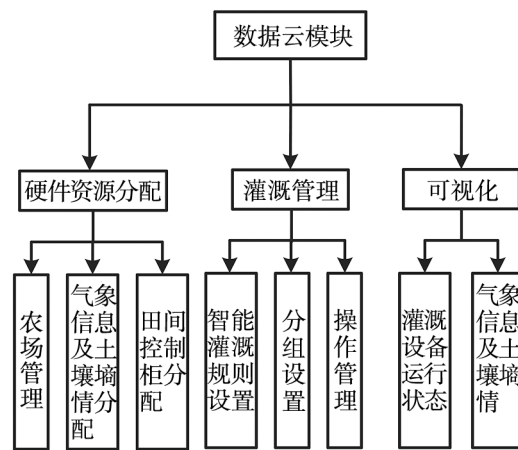


图 7 数据云模块功能图

4 结论

本文针对农田灌溉需求,设计了气象信息和土壤墒情采集与控制模块,能够实时采集气象数据、土壤墒情数据、现场设备运行状态;搭建数据云模块,存储气象数据、土壤墒情数据、专家控制规则、轮灌计划;通过 Web 服务功能,农田管理人员能够实现农场数据的远程监测、现场设备的远程控制,实现智能灌溉决策;基于可视化技术实现农田气象信息、土壤墒情、灌溉设备



图 8 可视化界面

运行状态的展示,提升用户交互体验。该系统的应用能够有效提升农田灌溉中水资源的利用率,提升农田灌溉的自动化及信息化水平,为区块链在农业中的应用及智慧农业的发展奠定坚实基础。

参考文献:

- [1] 陈艳丽,谢芳. 基于 ZigBee 的农田智能节水灌溉系统的设计[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(2): 81-83.
- [2] 国家农业节水纲要(2012-2020年)[N]. 中国水利报, 2012-121-20(002).
- [3] 刘炳铄,兰鹏,魏珉,等. 轻简水肥一体化系统设计与实现[J]. 节水灌溉, 2021, (2): 75-79.
- [4] 郑熙. 区块链技术在农业领域中的应用前景与挑战分析[J]. 南方农业, 2017, 11(26): 39-42.
- [5] 彭炫,常翠平,周建平,等. 太阳能智能灌溉阀门控制器设计与应用[J]. 节水灌溉, 2020, (9): 39-42.
- [6] 刘艳昌,赵海生,张平川,等. 基于机器人的盆栽作物生长环境智能监控系统设计[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(11): 181-188.
- [7] 梁彦. 基于 PLC 的马铃薯播种机施肥控制系统研究[J]. 农机化研究, 2020, (10): 231-234.
- [8] 济南有人物联网技术有限公司. WH-LTE-7S4 V2 硬件设计手册[EB/OL]. https://www.usr.cn/Down/WH-LTE-7S4-V2_hardware_V1.0.3.pdf, 2020.
- [9] 韩洪杰,钱彬. 基于 GPRS 和 ZigBee 通讯协议的棉田施肥控制系统[J]. 农机化研究, 2020, (11): 188-192.
- [10] 师志刚,刘群昌,白美健,等. 基于物联网的水肥一体化智能灌溉系统设计及效益分析[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(3): 221-227.

文章编号:1001-9383(2021)03-0020-06

虚拟装配技术在成套电气领域的应用研究

刘欣慧,张 鑫

(河北电力装备有限公司,河北省中压配电开关技术创新中心,河北 邯郸 056004)

摘 要:虚拟装配技术利用计算机图形学、人工智能技术和仿真技术等,在产品装配过程中进行交互分析,构造虚拟环境和产品虚拟模型,仿真产品装配过程和装配结果。在成套电气设计领域,虚拟装配技术的使用,能够有效提高产品设计的准确度,提升物理样机的一次审验合格率,加快设计向产品转化的进程,缩短技术交底的时间。成套电气设计的虚拟装配,可通过 SolidWorks、SuperWORKS、SuperHarness 等建模软件,搭建并完成成套电气一次装配、电缆等柔性零件的布线装配和管路布置等多环节多工序的三维立体模型,实现设计全过程的虚拟装配。

关键词:虚拟装配技术;成套电气设计;软件系统

中图分类号:TH12

文献标识码:A

Application of virtual assembly technology in complete electrical field

LIU Xin-hui,ZHANG Xin

(Hebei Electric Power Equipment Co.,Ltd,Hebei medium voltage distribution switch technology innovation center, Handan Hebei 056004,China)

Abstract: Virtual assembly technology uses computer graphics, artificial intelligence technology and simulation technology to analyze the interaction in the process of product assembly, construct virtual environment and product virtual model, simulate the assembly process and assembly results of products. In the field of complete electrical design, the use of virtual assembly technology can effectively improve the accuracy of product design, improve the one-time inspection qualification rate of physical prototype, speed up the process of transformation from design to product and shorten the time of technical disclosure. For the virtual assembly of complete electrical design, a three-dimensional model with multiple links and processes such as complete electrical primary assembly, wiring assembly of flexible parts such as cables and pipeline layout can be built and completed through SolidWorks、SuperWORKS、SuperHarness and other modeling software to realize the virtual assembly of the whole design process.

Keywords: Virtual assembly technology; Complete electrical design; Software system

收稿日期:2021-06-15

基金项目:中国电力建设股份科技项目(DJ-ZDXM-2016-36)

作者简介:刘欣慧(1984-),女,河北保定人,工程师,主要研究方向:成套电气设计。

0 引言

传统成套电气产品设计模式,主要依靠二维 CAD 绘图,在平面模型空间中以三视图为基本形式,进行柜体钣金、一次导体、二次线缆、连锁机构等各个环节的设计,对设计人员的几何直观能力、空间想象能力要求较高。遇到特别复杂的设计,需要多种图纸联合校对。由此设计出的物理样机,容易出现纰漏,需反复制作、实验和修改,投产周期因此不断延长。鉴于此,传统的设计模式已不能适应快速多变的市场需求。越来越多的成套电气装备企业,开始关注并使用虚拟装配技术。

虚拟装配技术指利用计算机图形学、人工智能技术和仿真技术,构建产品虚拟模型,构造生产虚拟环境,在产品装配过程中展开交互分析,仿真产品的装配过程和装配结果。虚拟装配技术可以在计算机上生成一个结构、功能、性能等与物理样机高度契合的虚拟样机,多维度展示其设计面貌和特征,因而,在各制造领域中蓬勃发展。

1 虚拟装配技术的发展现状

1.1 国外发展现状

伴随着计算机软件技术的发展,虚拟装配技术应运而生,并成为数字化运用的重要标志之一。许多国家和地区的政府科研机构、民间学术团体密切关注并展开了深入研究。如:德国 Bielefeld 大学的人工智能与虚拟现实实验室,创立了一个虚拟装配系统 CODY^[1];美国国家标准技术研究所 NIST 与华盛顿州立大学的 VRCIM 实验室,联合研发了命名为“虚拟装配设计环境”(VADE)的虚拟装配设计系统^[2]。

著名的装备制造厂商在虚拟装配技术的应用与实践方面,也取得了良好的效果。如:波音 777 的设计制造,因采用了虚拟装配技术,返工率和设计更改次数减少了 50% 以上,将原定 8 年的研发周期缩短至了 5 年^[3]。

1.2 国内发展现状

在我国,虚拟装配技术的研发起步较晚但发展迅速,相关应用也逐渐由航天等非民用领域向民用领域扩展^[4]。西北工业大学 CAD/CAM 国家重点实验室,在飞机产品的设计开发过程中,对顺序建模、装配、操作仿真等展开了深入研究,其产品工艺信息的集成以装配操作模型为载体,将产品装配环境和装配过程结合在一起,并基于 SolidWorks 软件平台开发了装配仿真系统^[5]。清华大学国家 CIMS 中心,基于 CAD 软件平台开发了虚拟装备支持系统(VASS),该系统通过三维实体模型的试拆卸的仿真,可以直观地验证、分析并改善产品的装配工艺。

2 成套电气设计中虚拟装配技术的作用

2.1 提高设计准确度,提高物理样机一次审验合格率

虚拟装配技术的使用,可以提高电气产品设计的准确度。通过虚拟装配和输入的变量分析,能够发现设计中的装配偏差和性能不佳的装配结构,进行修正、试验和进一步完善,产品设计在技术层面上的合理性和可行性进一步增强。由于在虚拟样机审查中,相当数量的设计不足与缺陷得到纠正,物理样机的准确度大幅度提升,一次审验合格率不断提高。

2.2 降低验证环节对物理样机的依赖比重,加快设计向产品转化的进程

通过建立数字化产品装配模型,虚拟装配技术在计算机上创建了近乎实际的虚拟产品,代

替了传统设计中的物理样机。在虚拟产品中,通过参数设定,尽可能接近现实情况,快捷地对设计标的的装配过程进行模拟与分析,评估产品的综合性能,预先发现潜在的装配冲突与缺陷。这样,在设计生产的前期,就可以展开具有针对性的修正与完善工作。因此,虚拟装配技术的合理运用,既有利于降低验证环节对物理样机的依赖比重,还可以大幅缩短产品开发周期,降低生产成本,提高产品在市场中的竞争力。

2.3 直观显现装配工艺要点和设计表达思想,缩短技术交底时间,避免信息传递脱节

传统成套电气产品设计中,基于二维视图的装配图纸,其生成、校审、意图表达相对困难,难以直观地、交互地对装配过程予以评估和仿真;产品的细节与要求不易掌握,装配人员会因为对设计意图的曲解而产生漏装、错装等现象,需要设计人员到场全程指导,防止错漏;物理样机也往往要到最后装配阶段,才能发现问题,从而导致样机报废,批量生产进程进一步推迟。虚拟装配技术的使用,不但可以在物理样机制造之前就排除掉大量设计缺陷,还可以实现良好的人机交互,装配人员可以最大限度地掌握设计意图,明确制造要点,进而缩短设计周期。

3 成套电气设计中虚拟装配技术的运用分析

在成套电气设计中,虚拟装配技术的使用具体表现为各种建模软件的交互使用。具有代表性的建模软件有 SolidWorks、SuperWORKS、SuperHarness 三种,它们在设计过程中相互配合,依次实现主体虚拟装配、辅助线路设计、线束敷设虚拟装配等,最终实现电气一次、二次融合的完整虚拟装配体。

3.1 3D 实体建模软件 SolidWorks

SolidWorks 软件是基于 Windows 开发的三维 CAD 系统,操作简单方便,易学易用。它配置很多功能强大的模块,可以满足不同领域的建模需要,如:成套电气中常用的钣金、管线、实体、电气等。该软件除了建模,还可以进行仿真,应力分析,也可以生成产品动作展示。

以某公司 12kV 高压金属铠装可移开式开关柜的成套设计为例。通过对用户需求的分析,确定设计的一系列参数,得出设计输入要点清单。其中关键点包括:一次电流额定值、分断电流或短时、峰值耐受电流、一次主母线规格、主回路断路器定型信息、其余高压元器件定型信息、成套柜体公称外尺寸、五防连锁实现方式、IP 防护等级、IAC 等级等主要参数以及二次回路布置要点、辅助电气回路布置穿线方案等配合参数。

(1)根据设计输入要点中的主要参数,在积累形成的标准 SolidWorks 虚拟模型数据库中选择相关度最高的模型,调用修改。其中 IP 防护等级、IAC 等级相关构造经型式试验验证定型,只选用不修改。

(2)依据设计输入信息依次建立部件的虚拟实体和虚拟部件装配体。建立的方法可分为直接建模和参数化预置建模两种,依建模标的物通用性、复杂程度、非标准化程度等信息,由设计师灵活掌握。

①直接建模。定义零件材料信息;指定物理加工方式信息,如钣金需要定义胎具折弯半径;选择三维坐标系下草图基本平面,由于后续导入自动化生产线有对接需要应提前确定;绘制投影轮廓;拉伸转化为具备三维基本特征的设计雏形;使用凸起、除料、凹坑、轮廓曲线等 SolidWorks 自带命令修改成型。SolidWorks 软件三维零件直接建模示例,如图 1 所示。

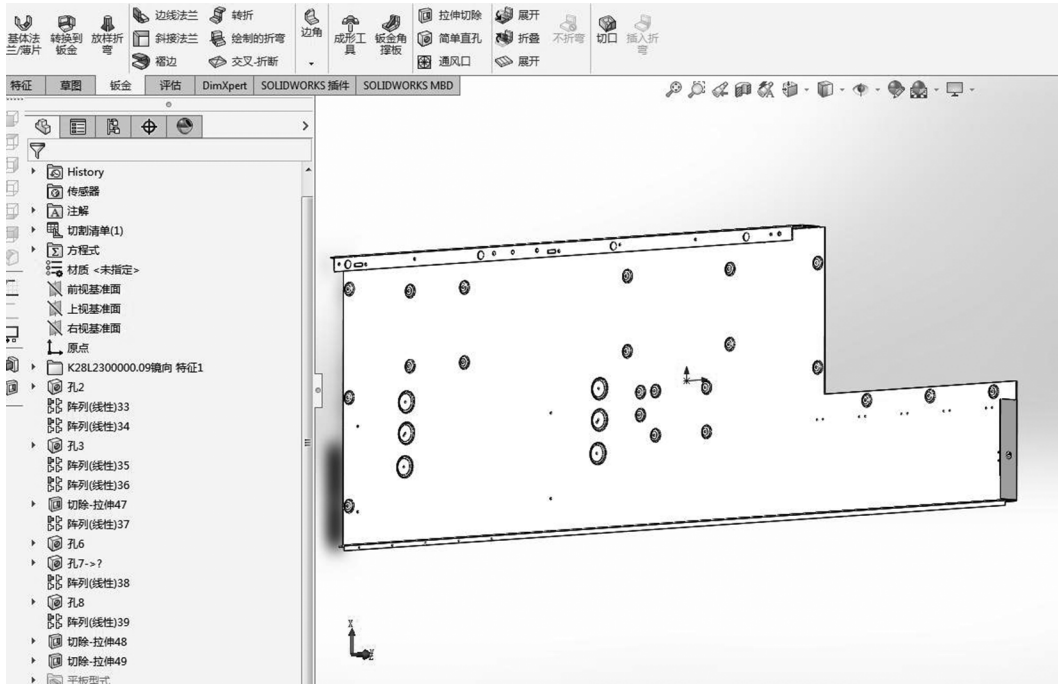


图 1 SolidWorks 软件三维零件直接建模示例

②参数化前置建模。可以应用于经常需要调整的常用单一零件建模,亦可应用于定型装配组件的修改。应用于单一零件建模时以可完全定义其全特征数值为关键特征变量及其关联变量。修改时只需修改关键特征变量,而关联变量会自动依据设定好的方程关系随之改变。应用于定型装配组件时,其要点引申为装配组件的核心特征数值、关联于核心特征数值的装配变量以及进一步计算出变化的零件变量,三者依然以预置的逻辑方程为关联。SolidWorks 软件预置参数化关联程序后通过修改变量生成新组件,如图 2 所示。

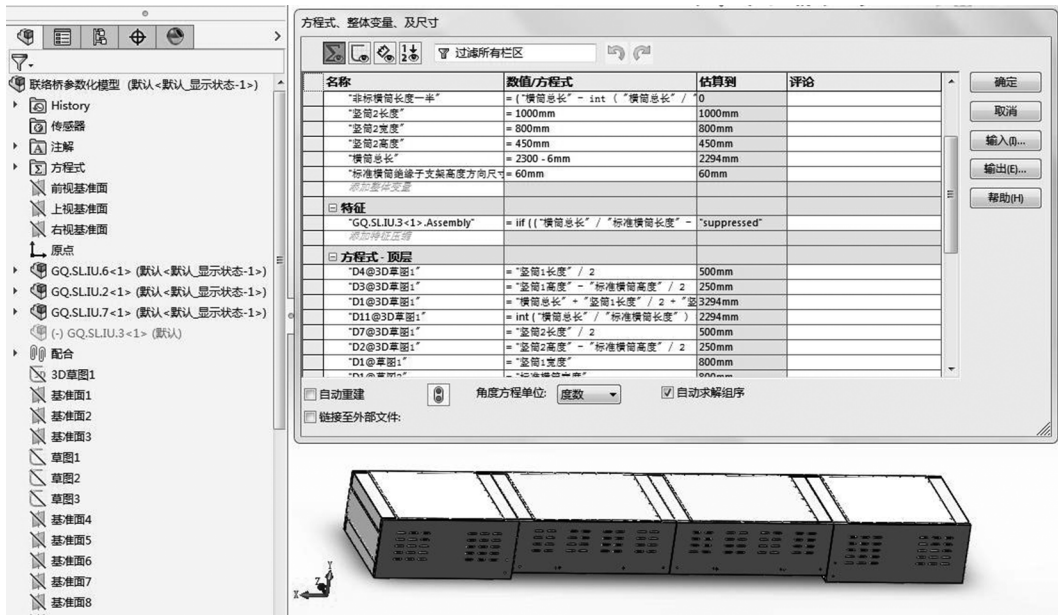


图 2 SolidWorks 软件预置参数化关联程序后通过修改变量生成新组件

(3)新装或替换安装虚拟实体或虚拟部件装配体,主要包括层次划分、区域划分、模型设计,以及建立三维装配造型,形成具备物理属性的初版虚拟模型。

(4)为初版虚拟模型增加物理变量约束,为可移动部件增加移动副和转动副,设定运动约束条件。

(5)根据设定条件模拟运动仿真,检验是否存在物理干涉。

(6)根据模拟情况修改完善设计,重复步骤(3)~(5),直至完全通过。SolidWorks 软件实施成套电气一次部分的虚拟装配流程,如图3所示。

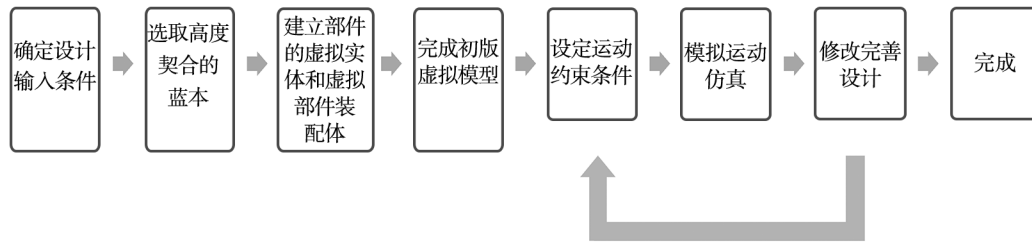


图3 SolidWorks 软件实施成套电气一次部分的虚拟装配流程

对于一般的电气成套产品的设计,应以过往标准设计为蓝本,以关合过载电流、内部故障电弧试验等破坏性形式试验定型设计为红线。如遇到未经试验验证的参数设计,可在步骤(5)中增加热设计仿真、力学应力仿真等,但这些仿真需要大量参数、条件设置,而且形成的虚拟样机不能完全替代物理样机。物理样机仍需委托国家型式试验认证单位进行试验。

3.2 基于数字化接线图生成软件 SuperWORKS

SuperWORKS 是上海利驰公司开发的专业电气 CAD 软件。SuperWORKS 基础版本可辅助成套电气设计师进行电气原理图绘制与修改,能够自动生成端子表、开关量表、电缆表、接线表及接线图。主流版本为兼容互联网云端数据库的 D-Hub 版,该版本利用互联网云技术,为成套电气设计师提供大量的标准设计单元,为下一流程线束模拟生成、装配提供必要条件。

SuperWORKS 软件开始应用时,可以选择从无到有新设计电气图纸;也可以智能识别已有的电气图纸,并方便地对原图纸进行修改、填充、增加、删除、规整、电缆连线、电缆调整,进行端子识别与标注以及生成补充信息,形成电气图纸。为后续实施线束模拟生成、装配,还需要对设计中重要信息,如:电气元件的安装位置、标号、规格型号,电缆的安装单位、编号、起点、终点、规格型号、线芯结构,连线的线号等,进行全局修改。然后,软件自动完成相关联信息的联动修改,使各个图例中的信息匹配一致,形成电气图纸。

3.3 二次线 3D 自动仿真软件 SuperHarness

SuperHarness 是一款用于电气制造行业的二次导线 CAD/CAM/CAPP 软件系统,它以柜体 SuperWORKS 三维结构模型为基体,以 SuperWORKS 软件生成的接线文件为数据基础,完成电气成套设备内部导线的三维布线模拟,进而生成加工导线用数控代码,完成导线的自动制造。并能生成线束制造用钉板图,在电气成套设备尚未完成制造前就完成线束的预制,帮助电气成套制造企业进行线束的并行生产和数字化制造。

(1)导入已经完成的 SolidWorks 虚拟模型,作为虚拟线束装配的载体。

(2)对虚拟模型中与二次线相关的模型面特征进行提取,导入 SuperWORKS 电气图纸信

息。软件能够自动识别读取到的面,设计人员需要对每个面进行命名。

(3)模型面特征提取完毕后,设计人员可依托 D-Hub 版的云端数据库功能调用需要的元器件进行布局。能够识别的 SolidWorks 模型面特征上的孔位,都具有自动捕捉功能,操作人员只需要把器件放到附近区域便能够识别。

(4)元器件布局完成后,设计人员可以按照布线工艺对元器件走线指定路径,最终形成二次线束的虚拟装配。

4 结语

虚拟装配技术作为一种将全部装配信息数字化的集成手段,通过多个软件的配合使用,展现出可视化交互式的仿真环境,对成套电气产品的设计、落地与发展,都产生了巨大的推动力。随着虚拟装配技术的不断进步与完善,成套电气产品生产周期必将进一步缩短,生产成本进一步降低,开发与生产效益将进一步提高。

参考文献:

- [1] 张文建,焦梓实,杜维亚,等.虚拟装配技术的研究现状及发展趋势分析[J].新技术新工艺,2007,(1):19-21.
- [2] 刘宏增,黄靖远,虚拟设计[M].北京:机械工业出版社,1999,50-198.
- [3] 苏新兵,张登成,王金平,虚拟制造技术在飞行器设计中的应用[J].现代制造工程,2007,(2):127-129.
- [4] 艾萌,一种基于语音交互的虚拟设计系统[D].西安电子科技大学,2005.
- [5] 李原,张涛,曹哲,等.支持操作的装配仿真技术研究[J].工程设计,2000,(1):23-26.

(上接第8页)

- [37] Li Lei, Li Wei, Liao Jianxing, et al. Adaptive state continuity-based sparse inverse covariance clustering for multivariate time series [C]. Proc of International Conference on Security, Pattern Analysis, and Cybernetics (SPAC), 2019: 68-74.
- [38] Mikalsen K, Bianchi F M, Soguero-Ruiz C, et al. Time series cluster kernel for learning similarities between multivariate time series with missing data[J]. Pattern Recognition, 2018,76:569-581.
- [39] Dai C, Wu J, Pi D, et al. Braineeg time-series clustering using maximum-weight clique[J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2020,99:1-15.
- [40] Zhang Liying, Pei Tao, Meng Bin, et al. Two-Phase multivariate time series clustering to classify urban rail transit stations[J]. IEEE Access, 2020,167.
- [41] Zhou Dazhuo, Li JinXia, Ma Wenxiu. Clustering based on LLE for financial multivariate time series[C]. Proc of IEEE 2009 International Conference on Management and Service Science(MASS), 2009:1-4
- [42] Kamal S S, Gihan A E. A new method for short multivariate fuzzy time series based on genetic algorithm and fuzzy clustering[J]. Advances in Fuzzy Systems, 2013,494239: 1-10.
- [43] Abonyi J, Feil B, Nemeth S, et al. Modified Gath-Geva clustering for fuzzy segmentation of multivariate time-series [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2005,149:39-56.
- [44] Shyi-Ming C, Tanuwijaya K. Multivariate fuzzy forecasting based on fuzzy time series and automatic clustering techniques[J]. Expert Systems with Applications, 2011,38:10594-10605.
- [45] Malik O A, Lai D T C. Multivariate time series clustering analysis for human balanced data[C]. Springer International Publishing AG, 2017,10607:112-125.
- [46] Di S R, Montalto P, Nunnari G, et al. Multivariate time series clustering on geophysical data recorded at Mt. Etna from 1996 to 2003[J]. Journal of Volcanology & Geothermal Research, 2013,251:65-74.

文章编号:1001-9383(2021)03-0026-03

齿轮型座架俯仰传动链设计

谷立永

(中国电子科技集团公司第五十四研究所,河北 石家庄 050000)

摘要:天线座架是一种瞄准机构,在控制系统的引导下,使天线指向目标。由于天线要求的指向精度高,并且要求快速指向目标。设计传动链时,需要综合考虑转动速度、载荷、回差、冲击振动和指向精度。传统座架俯仰机构采用螺旋传动,速度指标受到很大限制,制约了设备性能的提升,针对这种情况,设计了齿轮型座架。

关键词:天线座架;瞄准机构;转动速度;载荷;回差;冲击振动;指向精度

中图分类号: TN820

文献标识码: A

Design of gear turntable's pitching

Gu Li-yong

(The 54th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang, Hebei, 050000)

Abstract: Antenna turntable is an aiming mechanism that makes the antenna to point to the target under the guidance of the control system. Because of the high pointing accuracy of antenna and turning quickly, it is necessary to consider the rotation speed, load, deviation, impact vibration and pointing accuracy when designing the transmission chain. The traditional seat frame pitching mechanism adopts spiral drive. The speed index is greatly limited, which restricts the improvement of equipment performance. In view of this situation, a gear turntable is designed.

Keywords: Antenna turntable; Aiming mechanism; Motion speed; Deviation; Load; Impact vibration; Pointing accuracy

1 背景介绍

车载天线^[1]的设计需要考虑运输性,为了使天线满足铁路、公路运输性以及海运和空运的要求,目前的座架^[2]俯仰驱动多采用螺旋传动^[3]。螺旋传动是靠螺旋与螺旋牙面旋合实现回转运动与直线运动的转化。由于需要考虑自锁性,俯仰驱动采用小螺旋升角的滑动螺旋传动。该传动的缺点是传动效率低、发热明显,并且磨损较快。因而滑动螺旋传动不适用于传动速度快的工况。滑动螺旋传动的缺点,使得天线设备的转速指标成为天线综合性能提升的技术瓶

收稿日期:2020-12-25

作者简介:谷立永(1989-),男,河北石家庄人,工程师,主要从事天线座架的结构设计。

颈。针对此种情况,将俯仰驱动由螺旋传动改为齿轮传动,大幅度提高天线俯仰的转速指标。

2 设计

2.1 设计简介

天线座架是用于支撑天线并完成方位、俯仰运动的系统。天线座架选用方位—俯仰转台式座架。俯仰驱动系统置于方位转盘上,并采用叉臂型转台形式,运动范围为 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$,通过把俯仰轴布置在相对于方位轴异面垂直的位置,并把与天线骨架的连接位置布置在天线骨架下方的外侧,实现结构空间排布。天线座架俯仰传动链见图1。以下对齿轮型俯仰传动的速度、载荷、回差、冲击振动和指向精度进行设计计算。

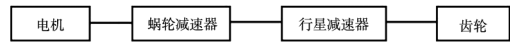


图1 俯仰传动链

2.2 俯仰机构

俯仰驱动由交流伺服电机^[5]、蜗杆蜗轮减速器、行星减速器和末级平行齿等部分组成,这种布置方式将俯仰驱动布置在后部的俯仰支臂内,整体尺寸更紧凑,外形更美观,由于采用行星减速器和大模数平行齿传动,齿面啮合的刚性较普通螺旋传动成倍数增长,传动链的谐振频率^[6]大幅提升,有利于天线满足快速对星的要求。

俯仰同步由码盘、接近开关和碰块组成,码盘可以读取天线的转动角度,接近开关和碰块可以起到电限位的作用,通过采集码盘反馈的信息进而控制天线的转动,形成闭环控制系统^[7],避免天线转动超出行程要求。

2.3 俯仰传动链速度设计

电机选用2.7kW交流伺服电机,额定扭矩 M_1 为 $17.8\text{N}\cdot\text{m}$,额定转速 n_1 为1500rpm。减速器选用蜗轮蜗杆和行星减速器组合,总减速比为 i 为2652,其中蜗轮蜗杆减速比 i_1 为26,效率 η_1 为33%;行星减速比 i_2 为20.4,效率 η_2 为90%,末级平行齿传动速比 i_3 为5,效率 η_3 为95%。

天线俯仰转动速度 ω_1 的计算公式为:

$$\omega_1 = \frac{n_1 \times 360}{60 \times i_1 \times i_2 \times i_3} = 3.39^{\circ}/\text{s}$$

2.4 俯仰传动链载荷计算

俯仰传动的载荷分为风载荷、重力载荷、摩擦载荷和惯性载荷,本研究天线,风载荷和重力载荷为主要载荷,对天线进行俯仰载荷计算,计算结果见图2。当天线处于方位 0° 俯仰 60° 时,俯仰载荷最大,此时 M_E 为 $12209\text{N}\cdot\text{m}$ 。

当电机输出额定扭矩时,末级的驱动扭矩 M_2 :

$$M_2 = M_1 \times i_1 \times i_2 \times i_3 \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 = 13319\text{N}\cdot\text{m}$$

$M_2 > M_E$,设计满足要求。

2.5 俯仰传动回差计算

传动链的回差 Δ_1 影响天线的指向精度,需要综合考虑机械加工能力和速比选择。本产品俯仰减速器回差为 δ_1 ,末级平行齿传动齿隙为 δ_2 ,末级大齿轮的分度圆直径为 D_1 ,承载时大齿轮的变形 δ_3 ,如图3所示为0.108。

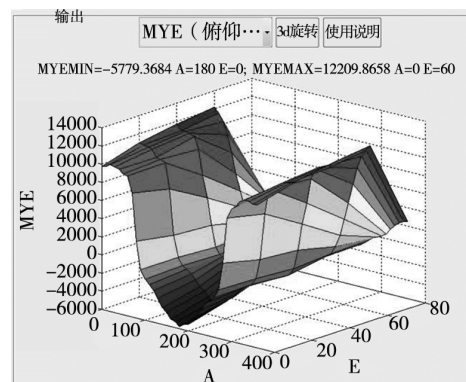


图2 俯仰载荷

传动链回差 δ 的计算公式为:

$$\Delta_1 = \delta_1 + \frac{\delta_2 \times 180 \times 2}{D_1 \times 3.14} + \frac{\delta_3 \times 180 \times 2}{D_1 \times 3.14} = 0.039^\circ$$

2.6 俯仰传动振动仿真

俯仰转动过程中,惯性载荷会引起传动链的冲击振动,进而影响天线的指向精度。使用 ADAMS 软件进行建模,仿真计算座架俯仰运动的振动情况。将天线简化为质量块,通过连杆与俯仰轴连接,在俯仰轴处添加扭簧,设置扭簧的刚性和阻尼参数,建模模型见图 4,仿真结果见图 5。由仿真结果可知,振动对指向的影响 Δ_2 为 0.012° 。

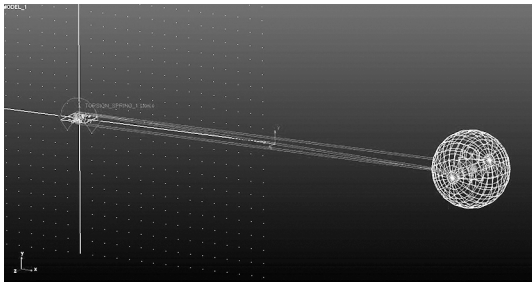


图 4 俯仰振动分析模型

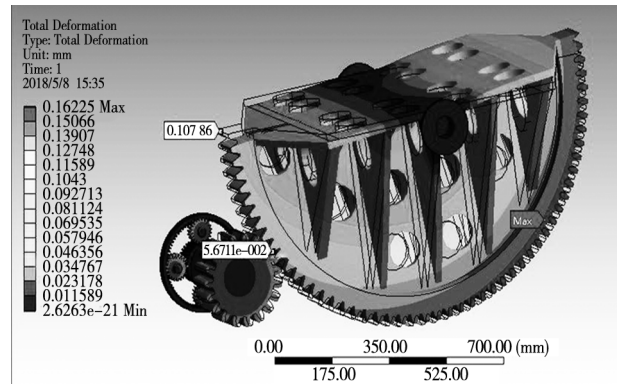


图 3 齿轮力学分析

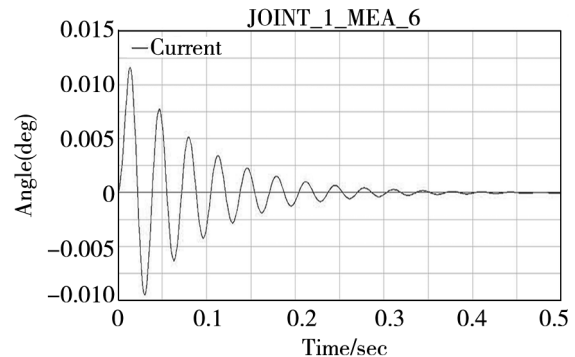


图 5 俯仰振动分析结果

2.7 俯仰传动指向计算

Ka 频段 4.5m 天线的波束宽度为 Δ_{ka} 为 0.22° , 天线座架的指向精度需要考虑回差和冲击振动,指向精度 Δ 的计算公式:

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = 0.051^\circ$$

$\Delta < \Delta_{ka}$, 设计满足要求。

3 总结

俯仰机构采用滑动螺旋传动的座架,俯仰转速指标普遍在 $0.3^\circ/\text{s}$ 左右,严重限制了天线的性能指标。本文描述的座架俯仰机构采用齿轮传动,大幅度提高转速指标,进而使得转速指标不再是天线性能提升的瓶颈。并且通过合理的设计和计算,使天线座架同时满足指向精度的要求。

参考文献:

- [1] 吴凤高,天线座结构教材[M].北京:国防工业出版社,1973.
- [2] 耿大孝,张振庄,刘昕. 舰载三轴天线极化稳定技术研究[J]. 无线电通信技术,2018,44(4):411-415.
- [3] 曹惟庆,机构设计[M].北京:北京机械工业出版社,2008.
- [4] 梅立荣,陈霜,李阳,等. X 频段对流层散射通信车载碳纤维天线[J]. 无线电通信技术,2018,44(6):614-617.
- [5] 寇宝泉,交流伺服电机及其控制[M].北京:机械工业出版社,2016.
- [6] 张策,机械动力学[M].北京:高等教育出版社,2012.
- [7] 董景新,控制工程基础[M].北京:清华大学出版社,2013.

文章编号:1001-9383(2021)03-0029-08

一种机载卫通天线预测控制方法研究

王 龙¹, 严雅婧²

(1. 中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北石家庄 050000; 2. 天津交通职业学院, 天津 300000)

摘要:机载卫星通信天线要求具有跟踪精度高, 响应快的特点, 天线跟踪需要借助飞机的位置、姿态数据。针对工程实践中飞机姿态数据刷新延时影响天线跟踪精度的问题, 提出了一种基于最小二乘法拟合姿态数据并进行预测控制的方法, 该方法在一定程度上能够降低姿态延时, 提高天线跟踪精度。

关键词:最小二乘法; 跟踪精度; 数据预测

中图分类号: TP202

文献标识码: A

Research on predictive control methods for airborne satellite communication antenna

WANG Long¹, YAN Ya-jing²

(1. The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang HeBei 050081, China;
2. Tianjin Transportation Technical College, Tianjin 300000, China)

Abstract: The airborne satellite communication antenna is required to have the characteristics of high tracking accuracy and fast response. Antenna tracking needed a plane position, posture. Aiming at the latency problem which influence the antenna tracking precision on aircraft attitude angle, a method is put forward based on the least squares. It can predict the posture data, and reduce the influence of time delay, improve the antenna tracking precision.

Keywords: Least square method; Tracking precision; Data prediction

0 引言

机载卫星通信天线是机载卫星通信数据链的主要组成设备之一, 天线根据飞机的位置、航向、姿态(横滚、俯仰)调整转动角度保证空间指向不变, 以确保对准卫星。天线保持对准卫星不仅需要可靠的天线伺服控制系统, 还要求有高精度、低延时的飞机航向、姿态数据。但工程实际中飞机航向、姿态数据往往存在更新周期较长, 延迟大的现象, 天线所需航向、姿态数据变化不及时, 导致天线跟踪精度差, 信号信噪比低, 影响卫星通信质量。

收稿日期: 2021-04-08

作者简介: 王 龙(1986-), 男, 工程师, 主要研究方向: 伺服控制理论、控制算法设计。

本文首先对天线伺服系统和控制角度计算进行介绍,然后针对天线伺服控制中所需飞机航向、姿态数据时效性差的问题,在现有伺服控制系统上引入了一种基于最小二乘法的三次多项式姿态变化曲线拟合并实施预测控制,该方法具有可靠性高,计算量小,易于在嵌入式系统实现等优点。最后通过对某型天线进行动态测试,证明了该方法能够显著提高天线跟踪精度。

1 天线控制系统介绍

1.1 系统组成介绍

天线伺服控制系统由天线控制单元、驱动电机、角度编码器等组成。以方位—俯仰型座架结构为例,方位电机带动天线水平转动,俯仰电机带动天线竖直转动,角度编码器分别反馈方位、俯仰的角度。天线控制单元主要由控制芯片 DSP、电机驱动器、信标接收机组成。DSP 采集飞机姿态、信标接收机数据、天线角度、监控指令,进行对星角度计算、伺服环路计算,完成天线指向闭环控制等,其中核心部分为角度计算和环路控制。天线伺服系统主要设备组成框图见图 1。

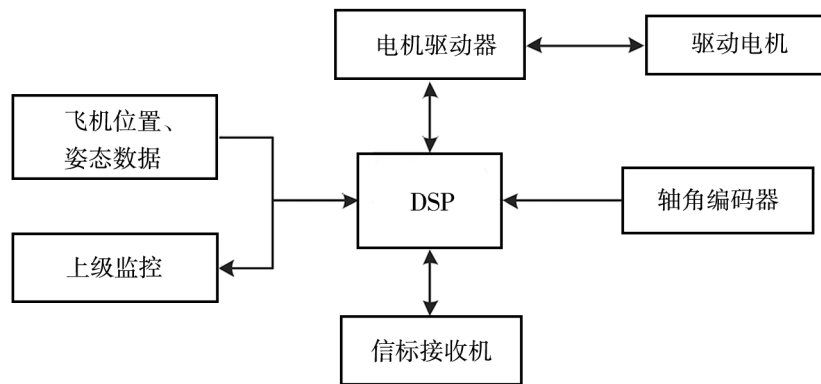


图 1 天线伺服控制系统组成图

1.2 天线角度计算

天线角度计算分为天线对星地理指向角计算和天线座架控制角计算。天线对星地理指向角计算通过坐标系旋转的方式实现,将卫星所在地心坐标系(原点 o 为地球中心, Z 轴自 o 指向北极, X 轴自 o 指向子午线与赤道交点, Y 轴按右手定则顺序组成)旋转至天线所在地理坐标系(原点 o 为基准中心, Y 轴指向正北, X 轴指向正东, Z 轴按右手定则垂直指向天空),旋转的顺序依次是卫星经度、天线经度、天线纬度。

天线对星方位地理角 A ,俯仰地理角 E ,计算公式^[1]如下:

$$A = 180 - \arctan \left[\frac{\tan(\lambda - \lambda e)}{\sin\theta} \right] \quad (1)$$

$$E = \arctan \left[\frac{\cos(\lambda - \lambda e) \times \cos\theta - \frac{R}{R+h}}{\sqrt{1 - [\cos(\lambda - \lambda e) \times \cos\theta]^2}} \right] \quad (2)$$

式中, λ 为卫星经度; λe 为飞机经度; θ 为飞机纬度; R 为地球等效半径,6378km; h 为同步卫星高度,35786km。

天线座架控制角计算是将对星天线对星方位地理角、俯仰地理角折算到天线座架的控制

角,目的是隔离飞机在飞行过程中的姿态影响。此计算同样是通过坐标旋转的方式求得,旋转的顺序依次载机航向、横滚、俯仰。

天线方位、俯仰座架控制角度 A_j, E_j 计算公式^[1]如下。

$$A_j = \arctan \left\{ \frac{\cos E [\cos R \sin(A - H) + \sin R \sin P \cos(A - H)] - \sin R \cos P \sin E}{\cos E \cos(A - H) \cos P + \sin E \sin P} \right\} \quad (3)$$

$$E_j = \arcsin [\sin E \cos P \cos R + \cos E \sin(A - H) \sin R - \cos E \cos(A - H) \sin P \cos R] \quad (4)$$

式中, H 为飞机航向值; R 为飞机横滚值; P 为飞机俯仰值。

1.3 天线控制介绍

完成天线角度计算后,需要依据计算得出的座架控制角对天线进行方位、俯仰转动控制。方位、俯仰的控制流程见图 2。天线控制一般采用位置环、速度环、电流环三环路负反馈闭环控制^[2]。最外层为位置环,次内层环路为速度环,内层环路为电流环。

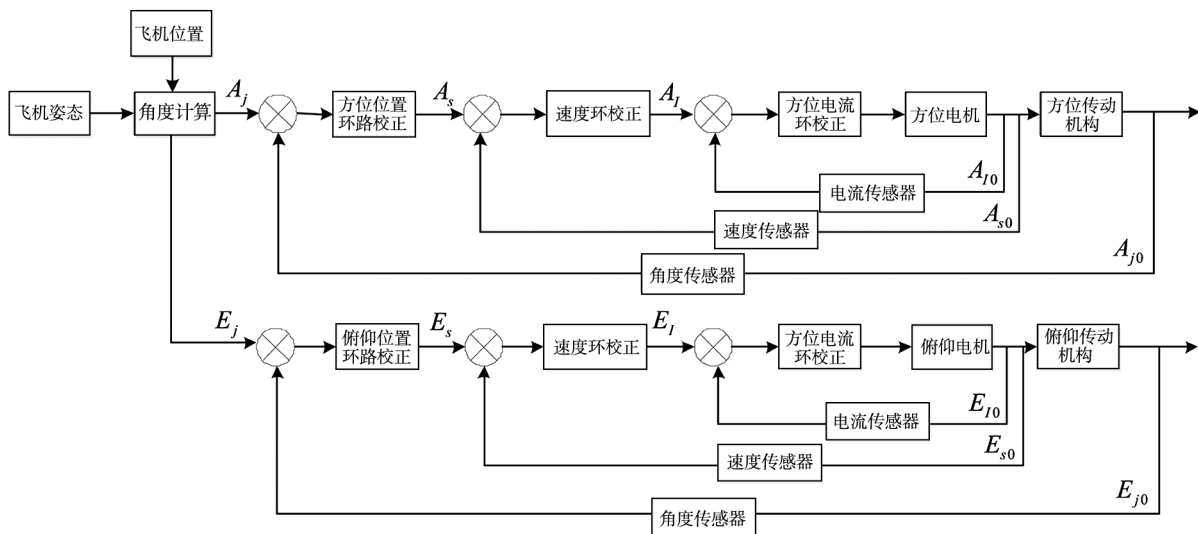


图 2 伺服控制流程框图

A_j, E_j 为天线方位、俯仰控制角度; A_{j0}, E_{j0} 为天线方位、俯仰实际角度; A_s, E_s 为天线方位、俯仰控制速度; A_{s0}, E_{s0} 为天线方位、俯仰实际速度; A_I, E_I 为天线方位、俯仰控制电流; A_{I0}, E_{I0} 为天线方位、俯仰电机实际电流。

天线伺服控制中的速度环和电流环是内环,是提高性能的关键环路,由电机驱动器完成。电流环的功能是根据给定的电流值产生电机控制电流,电流环设计成为 I 型系统,提高响应速度,防止控制时产生超调。速度环设计等效为一阶惯性环节,提高带宽。天线位置环设计为 II 型系统,提高对速度量变化的响应速度。天线伺服闭环控制常采用增量式 PID 方法,详细见文献[3],此方法特别适用于计算机软件编程,被目前数字控制系统广泛采用。DSP 根据式(3)、(4)计算的 A_j, E_j 值进行闭环控制,增量式 PID 计算公式如下:

$$\Delta u(k) = Ae(k) - Be(k - 1) + Ce(k - 2) \quad (5)$$

其中:

$$A = K_p \left(1 + \frac{T}{T_I} + \frac{T_D}{T}\right) \quad (6)$$

$$B = K_p \left(1 + 2 \frac{T_D}{T}\right) \quad (7)$$

$$C = K_p \frac{T_D}{T} \quad (8)$$

每次输出只需计算:

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (9)$$

K_p 、 T_I 、 T_D 分别为 PID 控制器的调整参数, T 为采样周期, $e(k)$ 为控制器的输入值, $u(k)$ 为输出值。

2 姿态数据预测

2.1 姿态数据预测意义

由前文介绍, 天线需要根据航向、姿态的变化来调整座架的角度, 实现对准卫星。为了适应飞机航向、姿态快速变化, 机载卫星通信天线的设计转速一般大于 $50^\circ/\text{s}$, 天线在高转速下对准卫星, 不仅需要更加精准的控制, 还要高时效性的飞机航向和姿态数据。飞机航向、姿态数据通常由飞机上的惯导设备提供, 常用的传输方式为串行传输, 这必然存在一定的数据延迟。假设飞机横滚变化率为 $30^\circ/\text{s}$, 在仅考虑 10ms 的数据延迟情况下, 角度变化滞后误差可达 0.3° , 如果加上航向、俯仰数据的滞后, 综合误差至少大于 0.5° , 这还未考虑天线转动过程中的惯性滞后、伺服控制延迟。例如: 等效口径 0.8m 的 Ka 频段抛物面天线半功率波束宽度(功率下降 3dB 波束宽度)约为 1.1° , 在 0.5° 角度误差下信号掉落会大于 1dB, 可见数据延迟对天线跟踪精度的影响是很大的, 如果能够根据已知的飞机航向、姿态来预测下一时刻的数值, 天线根据预测的数值调整指向, 在一定程度上会提高天线的指向精度。

2.2 基于最小二乘法的姿态数据预测

本文对航向、姿态数据的预测均采用基于最小二乘法的三次多项式拟合曲线外推方法, 通过曲线拟合求出多项式曲线的系数, 然后将所需预测的点代入所拟合的函数, 求出预测值。文中选用 5 个已知数据拟合三次多项式, 求解下一时刻(第 6 个)数值, 天线使用预测的第 6 个数据进行闭环控制, 实现“超前”指向控制。设待拟合的三次多项式函数为 $f(x)$:

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \quad (10)$$

令 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 为天线接收到航向数据序列, 并按先后顺序排列, 分别为 1、2、3、4、5, $y_1,$

y_2, y_3, y_4, y_5 分别为对应的航向, 使 $\sum_{i=1}^5 [y_i - f(x_i)]^2$ 值最小, 求解 a_0, a_1, a_2, a_3 , 然后将

$x_6(6)$ 代入所拟合的函数, 求出 $f(x_6)$, 姿态(横滚、俯仰)拟合方式与航向一致。为了求解 a_i , 将 x_i, y_i 构将线性方程组, 采用高斯列主元消去法解线性方程组, 该方法在 DSP 芯片中易于实现, 经过有限步的四则运算可以得出到线性方程组的准确解, 基于 C 语言程序的 DSP 芯片求解过程如下:

(1) 构建线性方程组。

```
Buf_In[0]=5; //输入 5 个数据元素
```

```
for(i=0; i<5; i++){
```

```

Buff_In[1] += i + 1;
Buff_In[2] += (i + 1) * (i + 1);
Buff_In[3] += (i + 1) * (i + 1) * (i + 1);
Buff_In[4] += (i + 1) * (i + 1) * (i + 1) * (i + 1);
Buff_In[5] += (i + 1) * (i + 1) * (i + 1) * (i + 1) * (i + 1);
Buff_In[6] += (i + 1) * (i + 1) * (i + 1) * (i + 1) * (i + 1) * (i + 1);
Buff_Out[0] += * (Data_In + i);
Buff_Out[1] += (i + 1) * (* (Data_In + i));
Buff_Out[2] += (i + 1) * (i + 1) * (* (Data_In + i));
Buff_Out[3] += (i + 1) * (i + 1) * (i + 1) * (* (Data_In + i));}
for (i = 0; i < (3 + 1); i ++){
k = i; for (j = 0; j < (3 + 1); j ++){
Buff_AB[i][j] = Buff_In[k ++];}}

```

(2) 高斯列主元消去法解线性方程组。

```

for (k = 0; k < 3 + 1 - 1; k ++){
Column = k;
Mainelement = Buff_AB[k][k];
for (i = k; i < 3 + 1; i ++){
if (fabs(Buff_AB[i][k]) > Mainelement){
Mainelement = fabs(Buff_AB[i][k]);
lu8_column = i;}}
for (j = k; lu8_j < 3 + 1; j ++){
Tema = Buff_AB[k][lu8_j];
Buff_AB[k][j] = Buff_AB[Column][j];
Buff_AB[Column][j] = Tema;}
Temb = Buff_Out[k];
Buff_Out[k] = Buff_Out[lu8_column];
Buff_Out[Column] = Temb;
for (i = k + 1; i < 3 + 1; i ++){/* 消元过程 */
TemMik = Buff_AB[i][k] / Buff_AB[k][k];
for (j = k; lu8_j < 3 + 1; j ++){
Buff_AB[i][lu8_j] -= TemMik * Buff_AB[k][lu8_j];}
Buff_Out[i] -= TemMik * Buff_Out[k];}}
Buff_Out[3] = Buff_Out[3] / Buff_AB[3][3]; /* 回代 */

```

(3) 求节多项式系数。

```

for (i = 3; i > 0; i --){
Sum = 0;
for (j = i; lu8_j < 3 + 1; j ++){

```


$Sum += Buff_AB[i-1][lu8_j] * Buff_Out[lu8_j]; \}$

$Buff_Out[i-1] = (Buff_Out[i-1] - lf32_Sum) / Buff_AB[i-1][i-1]; \}$

第四步求第 6 个值

$Y(6) = Buff_Out[0] + Buff_Out[1] * 6 + Buff_Out[2] * 6 * 6 + Buff_Out[3] * 6 * 6 * 6;$

3 预测控制流程介绍

航向、姿态预测计算的步骤如下：

- (1) 分别将待预测航向、姿态数据按照组队列的格式(先进先出原则)构成五个元素的数据包；
- (2) 对数据包进行基于最小二乘法的三次多项式拟合计算, 求解多项式系数；
- (3) 将求解的系数构造成三次多项式函数；
- (4) 代入预测点的值(该值可以为小数), 求解预测点的航向、姿态值；
- (5) 将预测值代入伺服控制环路计算, 得出伺服速度控制量, 进行电机控制；
- (6) 重复以上(1)–(6)步骤。

程序实现流程见图 3。

4 实际应用

为了验证对天线进行预测控制的跟踪效果, 选用天线口径为 0.8m 的 Ka 频段天线, 在摇摆转台上进行航向、姿态变化模拟测试, 航向起始角度 271.0°, 变化范围 ±10°, 周期 5s, 见图 4。俯仰起始角度 0°, 变化范围 ±7.5°, 周期 5s, 见图 5。横滚起始角度 0°, 变化范围 ±12°, 周期 5s, 见图 6, 均按照正余弦曲线变化。

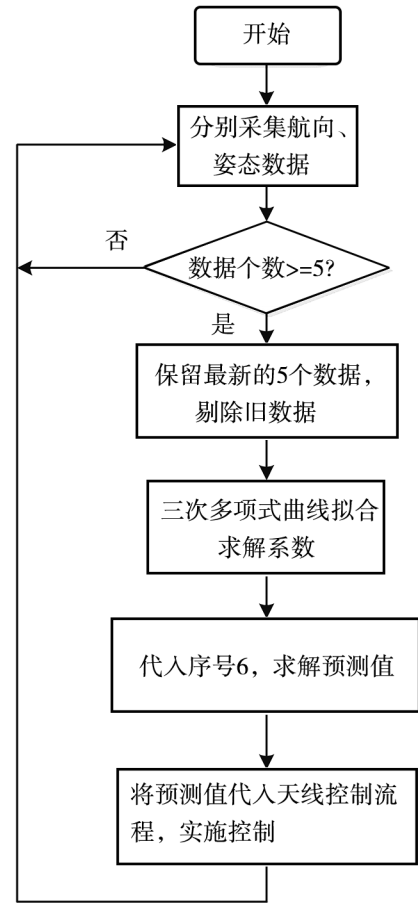


图 3 数据预测流程图

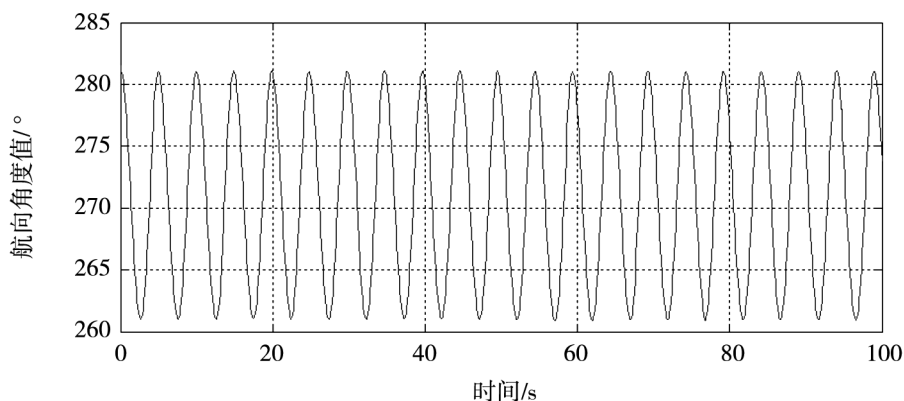


图 4 摇摆转台航向变化曲线图

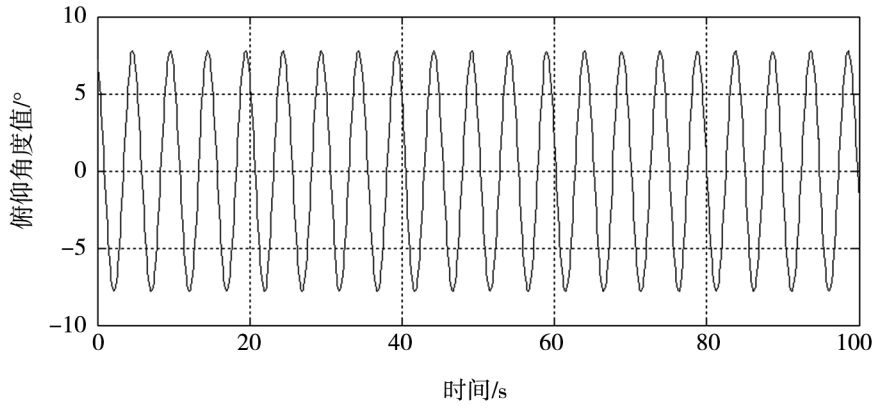


图 5 摇摆转台俯仰变化曲线图

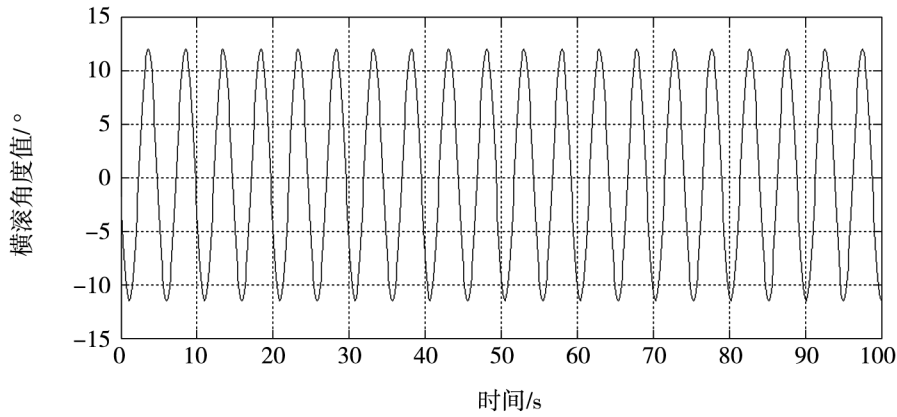


图 6 摇摆转台横滚变化曲线

选用 RS422 串行接口形式的惯导来测量摇摆转台的运动角度,并将数据传送给天线控制单元,串口波特率 115200bps,数据发送周期 20ms。天线静态对准卫星时接收的信标强度最大值约为 -66.5dBm 。

摇摆转台动态摇摆过程中使用天线控制单元中的信标接收机解算卫星信标信号强度并存储。在未引入预测控制算法时,采集到的卫星信标电平波动情况如图 7,从图中可以看出卫星

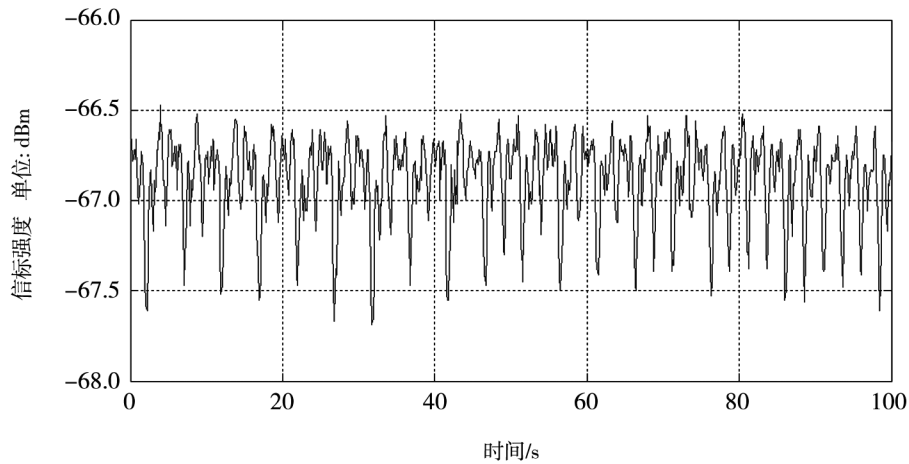


图 7 未引入预测控制算法的信标强度电平波动图

信标电平波动最大值约为 1.2dB,根据 GJB 7082—2010 中跟踪精度的计算方法(跟踪精度值越小,跟踪效果越好),跟踪精度(RMS)为 0.25°。

在引入预测控制算法后,采集到的卫星信标电平波动情况如图 8,电平波动最大值约为 0.7dB,此跟踪精度(RMS)为 0.20。电平波动的峰值明显变小,跟踪精度有一定程度的提高。

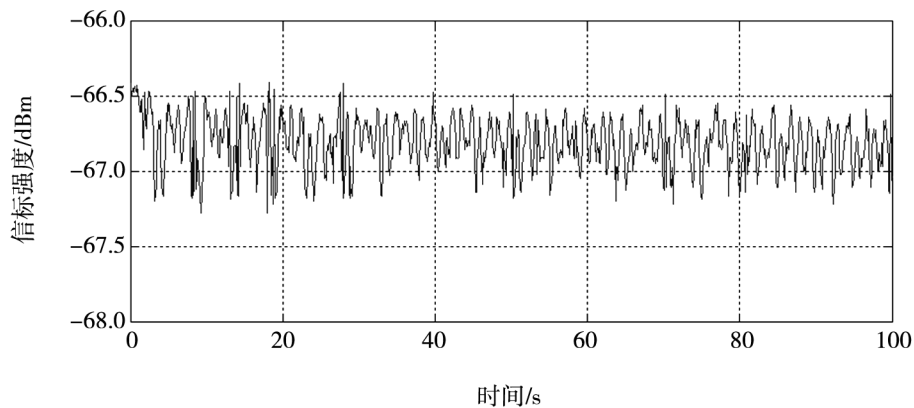


图 8 引入预测控制算法的信标电平波动图

5 结束语

机载卫星通信天线的跟踪精度值直接反映天线跟踪效果的好坏,针对天线接收载机惯导数据的延迟问题,本文引入了基于最小二乘法的多项式曲线拟合并对姿态进行预测从而实施预测控制的思想,通过采用对比测试的方法,确定了该方法在降低数据延迟,提高天线跟踪精度方面有显著的作用,且该方法在实际工程项目中应用,稳定可靠。

参考文献:

- [1] 温桂森. 动载体卫星通信天线控制数学模型[J]. 无线电通信技术,1997,23(4):36—40.
- [2] 魏英杰. 动中通地面站卫星天线伺服控制系统[J]. 无线电通信技术,2007,33(3):30—32.
- [3] 黄元庆. 基于捷联稳定的低成本动中通天线设计[J]. 河北省科学院学报,2016,33(4):36—40.

文章编号:1001-9383(2021)03-0037-06

S波段天气雷达天线信号遮挡影响分析

王聚瑞

(中国电子科技集团公司第54研究所,河北 石家庄 050081)

摘要:天线是天气雷达系统的重要组成部分。介绍了S波段天气雷达系统的基本特性,重点提出了避雷针对天气雷达天线信号的影响分析,论述了其遮挡天线性能分析及计算方法。描述了天线测试原理和方法程序,给出了影响天线的实测数据结果。

关键词:避雷针;S波段天气雷达系统;天线

中图分类号:P414

文献标识码:A

Analysis on the influence of S-band weather radar antenna signal shielding

Wang Ju-Rui

(The 54th Institute of CETC, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: Antenna is an important part of weather radar system. The basic characteristics of S-band weather radar system are introduced. The influence of lightning rod on weather radar antenna signal is analyzed. The performance analysis and calculation method of shielding antenna are discussed. In this paper, the principle, method and program of antenna test are described, and the measured data which affect the antenna are given.

Keywords: Lightning rod; S-band weather radar system; Antenna

0 引言

天气雷达系统用于天气过程的测量和预报,对台风、暴雨、冰雹、暴风雪等自然灾害能提供较准确的预报。天气雷达一般安装于山顶和塔楼顶,周边不存在有较高建筑和其他遮挡物,但避雷针是保护天气雷达系统防雷工作的重要组成部分,其作用是将雷电经过此设备接收,然后将强雷电信号用导线传输给大地,由大地将雷电吸收并进行分化^[1]。避雷针是金属导体,在避雷的同时也会影响天气雷达系统微波信号发射和接收。

随着科技的发展,天气雷达系统的技术在快速提升,指标要求也在不断提高,如要求天气

收稿日期:2021-05-20

作者简介:王聚瑞(1984-),男,河北邯郸人,工程师,主要研究方向:天气雷达天线工程设计与测量。

雷达系统天线低副瓣、高功率、窄波束传输等^[2]。因此,避雷针是影响天气雷达系统天线非常重要的因素。鉴于避雷针一般都是采用金属导体的特点,以下主要提出了避雷针对天气雷达系统天线的分析。

1 避雷针对天气雷达系统天线影响与分析

1.1 避雷针的特性和天线主要技术指标

天气雷达系统分布在全国的各个地区,避雷针主要目的是保证天气雷达系统在大功率状态下正常的工作,雷电对其不造成损坏。避雷针具有覆盖面积大,泄放雷电能力强,减弱引下线出现的大电流而形成的感应过电电压特点。避雷针信号传输部分是由金属导体,导线,避雷接线盒等部分组成,无论是加工还是安装,都有较高的要求。所以天气雷达系统中每个器件都需特殊处理,尤其是天线部分,它是天气雷达系统关键的微波发射和接收设备。天气雷达在工作状态时需要连续转动和不间断的发射和接收信号,天线每旋转一周有四次遇到避雷针,所以避雷针的影响是非常重要的。图1所示,为避雷针所在S波段天气雷达天线前方位置。表1给出天气雷达天线的主要部分技术指标。



图1 避雷针所在S波段天气雷达系统天线前方位置

表1 S波段天气气象雷达天线部分指标

技术参数	指标要求	技术参数	指标要求
工作频率	2.70~3.00GHz	第一旁瓣	$\leq -27\text{dB}$
波束宽度	$\leq 0.99^\circ$	极化增益差值	$\leq 0.3\text{dB}$
增益	$\geq 44.5\text{dBi}$	3dB波束宽度差值	$\leq 0.03^\circ$

1.2 避雷针的选择和影响

避雷针对S波段天气雷达天线影响的主要技术指标是增益和旁瓣。一般情况下,避雷针在天气雷达系统的四周,分别为 90° 一个,均匀放置4根。避雷针的选择应遵循以下原则:

(1)避雷针形式选择。一般选择为圆柱型钢结构材料外侧加入保护层(比如玻璃钢或塑料)。由于天气雷达系统为大功率传输设备,依据雷达设备波长的要求,选定直径越小的避雷针对天气雷达系统影响越小。

(2)避雷针高度选择。从天气雷达系统实际情况分析,一定要高于整个雷达系统,使其发挥最大的避雷效果,因天气雷达系统天线方位在 $0\sim 360^\circ$ 旋转,俯仰在 $0\sim 90^\circ$ 旋转,避雷针全部都是垂直放置的,允许垂直偏差在千分之三,所以避雷针的垂直度对天线方位方向图的指标影响较大。

(3)避雷针的强度设计。在高度合适的情况下在工作中要有一定的强度和韧性,防止天气雷达系统因避雷针强度不够被风吹折弯增大对天线信号遮挡面积,起不到避雷作用时,导致雷

电会直接破坏到天气雷达系统从而造成雷达系统损坏停机及火灾等情况出现。

1.3 避雷针对天线信号影响仿真计算

依据以上特点原则,分析了雷达站两种常用尺寸避雷针对 S 波段天气雷达系统天线的影响,做出了仿真模型。天线正前方有避雷针如图 2 所示。由图 2 可知,天气雷达系统避雷针和天线是有相对关系存在的。图 3 为天气雷达系统天线前方避雷针为直径 130mm 时天线方向图仿真结果;图 4 为天气雷达系统天线前方避雷针为直径 140mm 时天线方向图仿真结果^[3]。

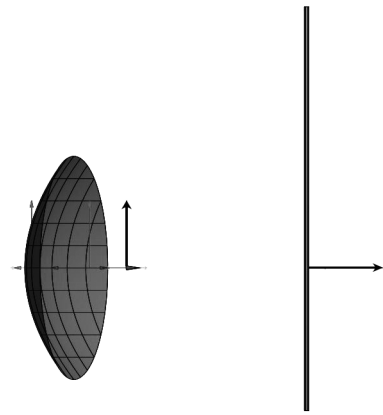


图 2 天气雷达设备天线正前方避雷针示意图

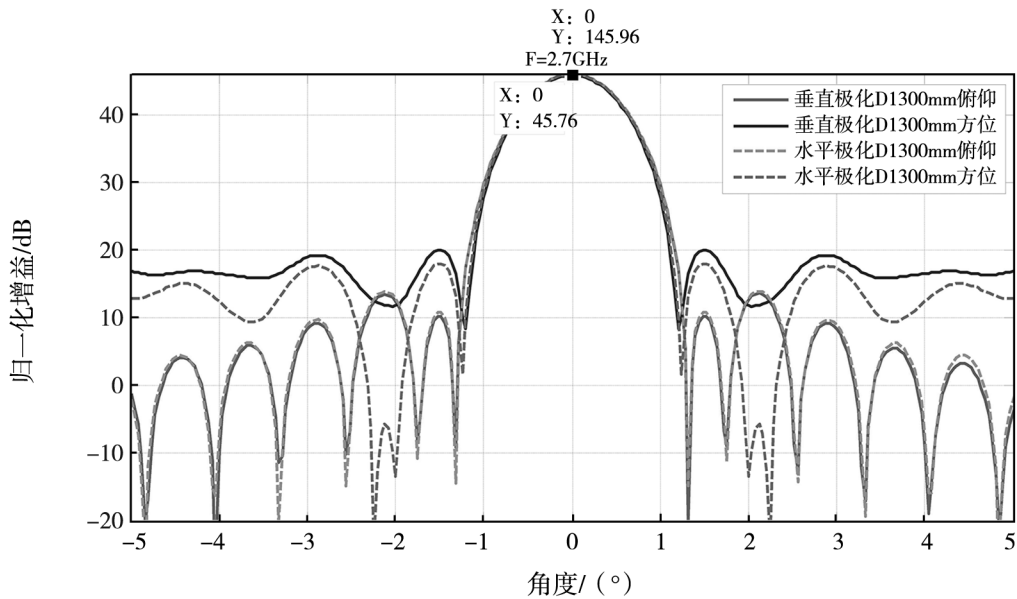


图 3 避雷针直径 $d = 130\text{mm}$ 天线方向图仿真结果

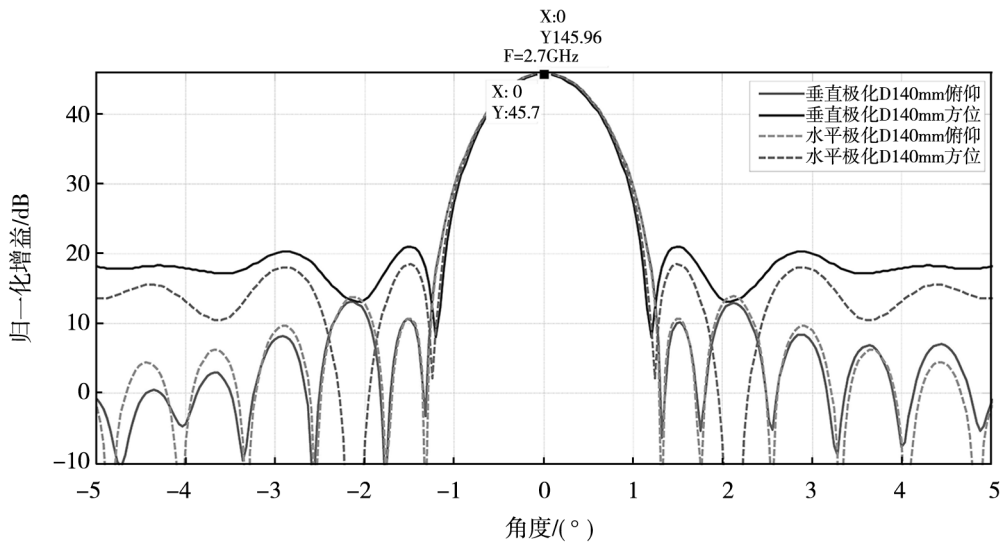


图 4 避雷针直径 $d = 140\text{mm}$ 天线方向图仿真结果

1.4 天线性能仿真计算

由图2图3避雷针直径 $d=130\text{mm}$ 、 $d=140\text{mm}$ 天线方向图仿真结果可看出:避雷针对天线雷达系统S波段天线的增益和旁瓣影响很大。有无避雷针或避雷针直径大小影响天线增益和旁瓣的详细分析数据如表2、表3、表4所示,在避雷针直径 $d=130\text{mm}$ 、 $d=140\text{mm}$ 时对天气雷达系统天线的指标影响数据^[4]。

表2 无避雷针时天气雷达系统天线方向图结果

技术参数	水平极化仿真结果			垂直极化仿真结果			技术参数	计算结果
工作频率 (GHz)	2.70	2.85	3.00	2.70	2.85	3.00	极化增益 最大差值 (dB)	0.09
波束宽度 (°)	0.90	0.91	0.90	0.91	0.90	0.91	3dB波束宽度 最大差值 (°)	0.01
增益 (dBi)	46.35	46.26	46.35	46.26	46.35	46.26	第一旁瓣方位旁 瓣最大差值 (dB)	2.75
第一旁瓣(dB) 俯仰旁瓣	-33.10	-33.08	-33.12	-33.01	-30.33	-32.77	第一旁瓣 俯仰旁瓣 最大差值 (dB)	4.36
第一旁瓣(dB) 方位旁瓣	-33.02	-29.82	-29.38	-28.66	-32.20	-28.35		

表3 避雷针直径130mm时对天气雷达系统天线影响方向图仿真结果

技术参数	水平极化仿真结果			垂直极化仿真结果			技术参数	计算结果
工作频率 (GHz)	2.70	2.85	3.00	2.70	2.85	3.00	极化增益 最大差值(dB)	0.2
波束宽度 (°)	0.94	0.89	0.85	0.96	0.89	0.87	3dB波束宽度 最大差值 (°)	0.02
增益 (dBi)	45.96	46.43	46.87	45.76	46.43	46.67	第一旁瓣方位 旁瓣差值(dB)	3.34
第一旁瓣(dB) 俯仰旁瓣	-32.04	-32.08	-32.07	-32.11	-28.43	-31.97	第一旁瓣 俯仰旁瓣 最大差值 (dB)	3.65
第一旁瓣(dB) 方位旁瓣	-27.92	-27.92	-27.82	-25.76	-31.26	-25.73		

表4 避雷针直径140mm时对天气雷达系统天线影响方向图仿真结果

技术参数	水平极化仿真结果			垂直极化仿真结果			技术参数	计算结果
	2.70	2.85	3.00	2.70	2.85	3.00		
工作频率 (GHz)	2.70	2.85	3.00	2.70	2.85	3.00	极化增益 最大差值(dB)	0.24
波束宽度 (°)	0.94	0.89	0.85	0.97	0.91	0.87	3dB波束宽度 最大差值(°)	0.03
增益 (dBi)	45.94	46.41	46.85	45.70	46.20	46.65	第一旁瓣方位 旁瓣最大差值 (dB)	2.78
第一旁瓣(dB) 俯仰旁瓣	-32.04	-32.09	-32.07	-32.75	-32.02	-32.24	第一旁瓣 俯仰旁瓣 最大差值 (dB)	0.71
第一旁瓣(dB) 方位旁瓣	-27.48	-27.49	-27.37	-24.70	-25.30	-25.35		

天线旁瓣的估算^[5]:天线旁瓣的设计目标为 $D/\lambda \geq 50$,其旁瓣峰值包络至少90%满足以下的包络线:利用下式计算:

$$G(\theta) = 29 - 25\log(\theta) \quad (1)$$

式中: θ 为天线旁瓣角度; λ 为工作波长; D 为天线口径。(1° ≤ θ ≤ 20°)

利用式(1)可计算频率为2.7~3.0GHz时,天线雷达系统S波段8.5m天线的旁瓣电平,计算可得天线旁瓣在2°时为大于21.47dB。满足天线设计技术指标要求^[6]。

2 天线实际测量原理和方法

这里介绍天气雷达系统天线增益和旁瓣测量原理和方法^[7]。图5为天气雷达系统天线增益和旁瓣测量的原理图。

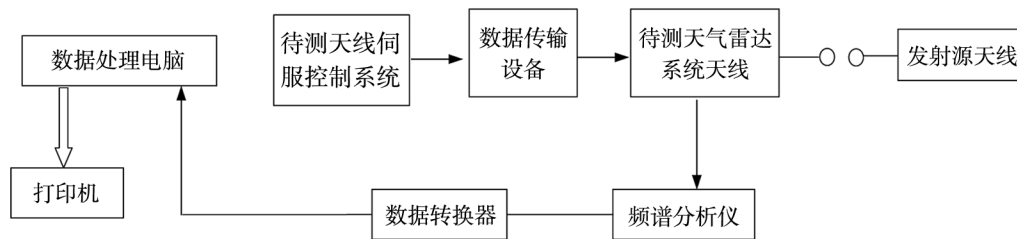


图5 天气雷达系统天线增益和旁瓣测量的原理图

利用频谱分析仪测量天气雷达系统天线增益和旁瓣测量原理方法是:首先按照图5所示,建立天气雷达系统天线测试系统,系统加电预热使系统仪器设备工作正常,连接天线与频谱仪的数据传输电缆合理设置频谱分析仪的状态参数,再将待测天线与发射源天线极化匹配;然后,开始转到待测天线伺服控制系统,利用频谱分析仪可直接测量出旁瓣电平如图6所示,利用方向图测试数据,根据公式

$$G = 10 \times \log\left(\frac{35000}{\theta_{3AZ} \times \theta_{3EL}}\right) \quad (2)$$

推算出天线增益,打印输出测量结果。

式中: G 为天线增益; θ_{3AZ} 为天线方位波束宽度; θ_{3EL} 为天线俯仰波束宽度。

利用式(2)可计算频率为 2.7~3.0GHz 时,方位和俯仰波束宽度分别为 0.99° 时天线雷达系统 S 波段 8.5m 天线的增益,计算可得 45.53dB。满足天线设计技术指标要求^[8]。

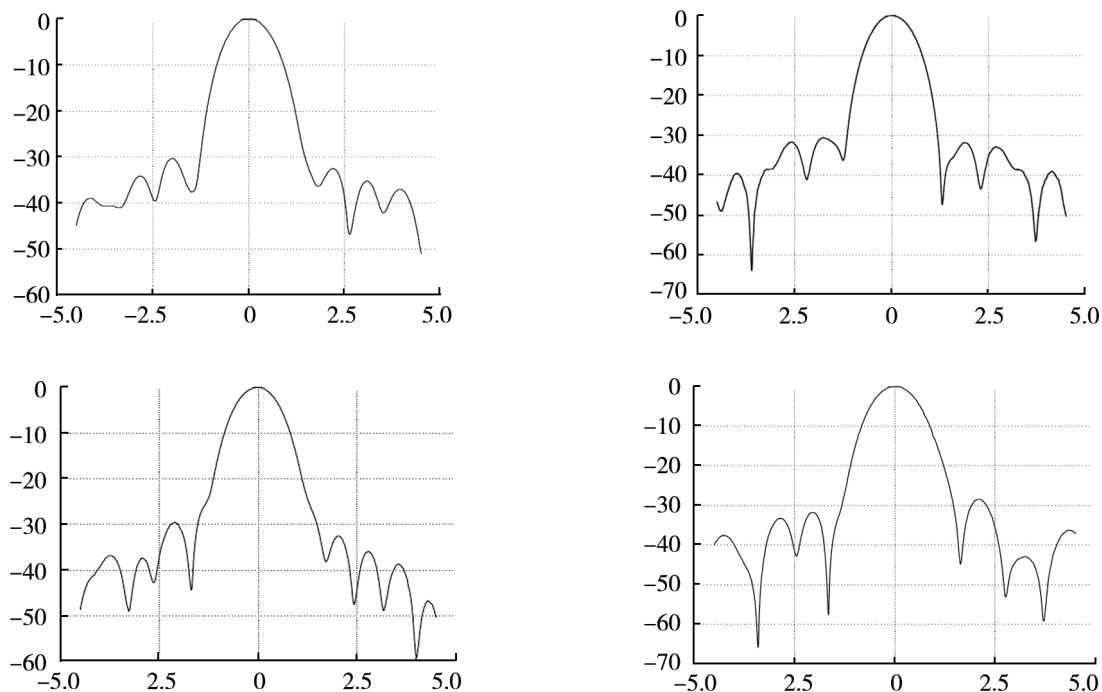


图 6 S 波段天气雷达系统天线实测结果

3 结束语

本文以 S 波段天气雷达天线为例,仿真测试出两种常用避雷针对天气雷达天线增益和旁瓣的影响数据,对比分析出结果满足天线技术指标要求。对天气雷达系统以后的设计与测量提供重要参考依据。

参考文献:

- [1] 林昌禄,聂在平. 天线工程手册[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [2] 李明洋,刘敏. HFSS 天线设计[M]. 北京:电子工业出版社,2014.
- [3] 谢拥军,王鹏,李磊,等. 雷振亚 Ansoft HFSS 基础及应用[M]. 西安电子科技大学出版社,2007.
- [4] 张德斌,周志鹏,朱兆麒. 雷达馈线技术[M]. 北京:电子工业出版社,2010.
- [5] 廖承恩,陈达章. 微波技术基础[M]. 北京:国防工业出版社,1979.
- [6] 梁昌洪,谢拥军,官伯然. 简明微波[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [7] 秦顺友,许德森编著. 卫星通信地面站天线工程测量技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2006.
- [8] 秦顺友. 频谱仪的原理、操作与应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2014.

文章编号:1001-9383(2021)03-0043-05

三种清热解毒类中成药的荧光指纹图谱研究

朱丹丹,毛越,杨莉丽

(河北师范大学 化学与材料科学学院,河北 石家庄 050024)

摘要:对4个厂家生产的金莲花胶囊、清火片和复方穿心莲片的三维荧光图谱进行了测定,采用聚类分析法分别对三种中成药的三维荧光图谱的一致性进行考察。在相关系数分别为0.988, 0.999和0.981时,4个厂家生产的21个批号63个金莲花胶囊、28个批号84个清火片和47个批号141个复方穿心莲片样本的三维荧光图谱各自聚为一类,结果表明不同厂家生产的金莲花胶囊、清火片和复方穿心莲片的三维荧光图谱分别具有良好的 consistency,采用平均值法分别建立了金莲花胶囊、清火片和复方穿心莲片的三维荧光指纹图谱。

关键词:金莲花胶囊;清火片;复方穿心莲片;中成药;聚类分析;指纹图谱

中图分类号:R284

文献标识码:A

Study on the fluorescence fingerprints of three kinds of Chinese patent medicines for Qingre Jiedu

ZHU Dan-dan, MAO Yue, YANG Li-li

(College of Chemistry and Materials Science, Hebei Normal University, Shijiazhuang Hebei 050024, China)

Abstract: Three-dimensional(3D) fluorescence spectra of Jinlianhua Jiaonang, Qinghuo Pian and Fufang Chuanxinlian Pian were determined in this paper. The consistency of fluorescence spectra of 3 kinds of Chinese patent medicines was investigated by cluster analysis method, respectively. The 63 Jinlianhua Jiaonang samples of 21 batches, 84 Qinghuo Pian samples of 28 batches and 141 Fufang Chuanxinlian Pian samples of 47 batches from four manufacturers were grouped together with the correlation coefficient of 0.988, 0.999 and 0.981, respectively. The results showed that 3D fluorescence spectra of Jinlianhua Jiaonang, Qinghuo Pian and Fufang Chuanxinlian Pian produced by different manufacturers had good consistency, respectively. The 3D fluorescence fingerprints of Jinlianhua Jiaonang, Qinghuo Pian and Fufang Chuanxinlian Pian were established by means of the average method.

Keywords: Jinlianhua Jiaonang; Qinghuo Pian; Fufang Chuanxinlian Pian; Chinese patent medicines; Cluster analysis; Fluorescence fingerprint

收稿日期:2021-05-10

作者简介:朱丹丹(1995-),女,硕士研究生,研究方向为药物分析.

通信作者:杨莉丽(1968-),女,博士,教授,主要从事药物分析研究.

0 引言

金莲花胶囊是采用毛茛科植物金莲花的干燥花制成的单方制剂,具有清热解毒,抗菌消炎的功效,用于上呼吸道感染、咽炎、扁桃体炎的治疗^[1]。李勇军等^[1]采用高效液相色谱法建立了不同厂家不同批次金莲花胶囊的指纹图谱。李桂兰等^[2]采用高效液相色谱法对金莲花胶囊中对羟基苯甲苹果酸、荜草素-2''-O- β -L-半乳糖苷、荜草素和牡荆素的含量进行测定,为金莲花胶囊的质量评价提供依据。

清火片由大青叶、大黄、石膏、薄荷脑 4 味中药组成,具有清热泻火、通便之功效,用于咽喉肿痛、牙痛、头目眩晕、口鼻生疮、风火目赤、大便不通的治疗^[3]。许苗苗等^[4]建立了高效液相色谱-荧光检测测定清火片中芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚 5 种游离蒽醌和结合蒽醌含量的方法。

复方穿心莲片是由穿心莲和路边青提取制成的片剂,具有清热解毒、利湿之功效,可用于风热感冒、咽喉疼痛、湿热泄泻等疾病的治疗^[5]。周少林等^[6]采用薄层色谱法鉴别复方穿心莲片中的穿心莲和路边青;采用高效液相色谱法测定复方穿心莲片中的脱水穿心莲内酯的含量。张慧晔等^[7]优化了复方穿心莲片的薄层鉴别方法,并对该制剂中的穿心莲内酯、脱水穿心莲内酯、新穿心莲内酯和路边青进行定性鉴别。敖华蓉等^[8]建立了不同厂家不同批次复方穿心莲片的高效液相色谱指纹图谱,并对穿心莲内酯和脱水穿心莲内酯等 6 种有效成分的含量进行测定。

本文对 3 种清热解毒类中成药金莲花胶囊、清火片和复方穿心莲片的三维荧光图谱进行测定,应用 Matlab 软件提取三维荧光图谱数据的特征参数^[9],利用聚类分析法对 3 种清热解毒类中成药三维荧光图谱的一致性进行考察,对于荧光图谱一致性良好的中成药;采用平均值法分别建立其三维荧光指纹图谱。

1 材料与方法

1.1 仪器、材料与试剂

F-4600 荧光分光光度计(Hitachi 公司),SB25-12DTD 超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司),0.45 μm 滤膜(天津市科亿隆实验设备有限公司),甲醇(色谱纯,安徽天地高纯溶剂有限公司),去离子水(自制)。

金莲花胶囊:牙克石市森健药业有限公司(简称牙克石市森健,批号 02190102、02190108、02190111、02190301、02190502、02191008),吉林天药本草堂制药有限公司(简称吉林天药,批号 20180101、190601、190602),贵州益康制药有限公司(简称贵州益康,批号 20190501、20190702、20190902、20191101、20191204、20200201、20200102、20200204),江西银涛药业有限公司(简称江西银涛,批号 1904002、1905003、1906004、1907006)。

清火片:广西正堂药业有限责任公司(简称广西正堂,批号 20190301、20190701、20190702、20190703、20191001、20200101),江西省芙蓉堂药业股份有限公司(简称江西芙蓉堂,批号 190602、1900702、190807、190808、190809、190901、190910、191109、191111、200203、200307、200308),伊春金北药制药有限责任公司(简称伊春金北,批号 19040260、19060560、19100160、19110760、20021260、20040960),广西维威制药有限公司(简称广西维威,批号

190102、190303、190403、190701)。

复方穿心莲片:广州白云山和记黄埔中药有限公司(简称广州白云山,批号 D18S004、G18S006、H18S007、I18S001、B19S001、B19S002、B19S004、G19S001、G19S002、G19S004、G19S006、G19S012、H19S002、I19S007),广东罗浮山国药股份有限公司(简称广东罗浮山,批号 L19C032、L19C221、L19C232、L19I131、L19I142、L19I271、L19I273、L19J191、L19J192、L19J201、L19J202、L19K191、L19K171),广西禅方药业股份有限公司(简称广西禅方,批号 181202、190301、190401、190601、190702、190703、190705、190804、190805、190905、191001、191005),广东新峰药业股份有限公司(简称广东新峰,批号 180907、190403、190406、190501、191104、191108、191201、200203)。

1.2 方法

从每个批号的中成药中随机选取3个样本进行实验,片剂需先除去糖衣,研磨成粉末状备用,胶囊直接取出胶囊内容物即可。

准确称取适量药物,以甲醇为溶剂定容,在超声时间 10 min(金莲花胶囊超声时间为 15min)和超声温度 25℃的条件下,对样品进行超声提取,过滤后得中成药的甲醇提取液,以每毫升溶剂中所含中成药质量表示浓度,分别得到浓度为 $0.750\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $1.00\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $0.500\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的金莲花胶囊、清火片和复方穿心莲片样本的甲醇提取液。

在响应时间 0.5 s、负高压 700V、扫描速度 $2400\text{nm} \cdot \text{min}^{-1}$ 、狭缝宽度 5.0/5.0nm、采样间隔 1.0nm 的仪器条件下,激发波长扫描范围为 200~700nm,发射波长扫描范围为 200~800nm,分别测定不同厂家、同一厂家不同批号金莲花胶囊、清火片和复方穿心莲片样本甲醇提取液的三维荧光图谱。应用 Matlab 软件提取三维荧光图谱数据的特征参数,结合聚类分析法,对3种清热解毒类中成药三维荧光图谱的一致性进行考察,采用平均值法分别建立其三维荧光指纹图谱。

2 结果与讨论

2.1 3种清热解毒类中成药的三维荧光图谱一致性考察

2.1.1 金莲花胶囊的三维荧光图谱一致性考察

测定了牙克石市森健、吉林天药、贵州益康和江西银涛4个厂家生产的21个批号63个金莲花胶囊样本的三维荧光图谱,采用聚类分析法考察不同厂家、同一厂家不同批号金莲花胶囊三维荧光图谱的相似性和差异性。聚类分析结果如图1所示。

由图1的聚类结果可知,在相关系数为 0.988 时,牙克石市森健(No. 1—18)、吉林天药(No. 19—27)、贵州益康(No. 28—51)和江西银涛(No. 52—63)生产的金莲花胶囊样本聚为一类,因此4个厂家生产的21个批号63个金莲花胶囊样本的三维荧光图谱具有良好

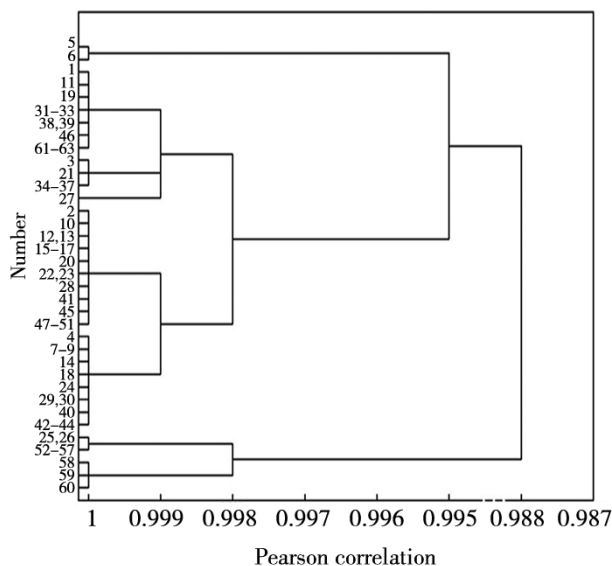


图1 63个金莲花胶囊样本的聚类分析结果

的一致性。

2.1.2 清火片的三维荧光图谱一致性考察

测定了广西正堂、江西芙蓉堂、伊春金北和广西维威 4 个厂家生产的 28 个批号 84 个清火片样本的三维荧光图谱,采用聚类分析法考察不同厂家、同一厂家不同批号清火片三维荧光图谱的相似性和差异性。聚类分析结果如图 2 所示。

由图 2 的聚类结果可知,在相关系数为 0.999 时,广西正堂(No. 1—18)、江西芙蓉堂(No. 19—54)、伊春金北(No. 55—72)和广西维威(No. 73—84)生产的清火片样本聚为一类,因此 4 个厂家生产的 28 个批号 84 个清火片的三维荧光图谱具有良好的一致性。

2.1.3 复方穿心莲片的三维荧光图谱一致性考察

测定了广东罗浮山、广州白云山、广西禅方和广东新峰 4 个厂家生产的 47 个批号 141 个复方穿心莲片样本的三维荧光图谱,采用聚类分析法考察不同厂家、同一厂家不同批号复方穿心莲片三维荧光图谱的相似性和差异性。聚类分析结果如图 3 所示。

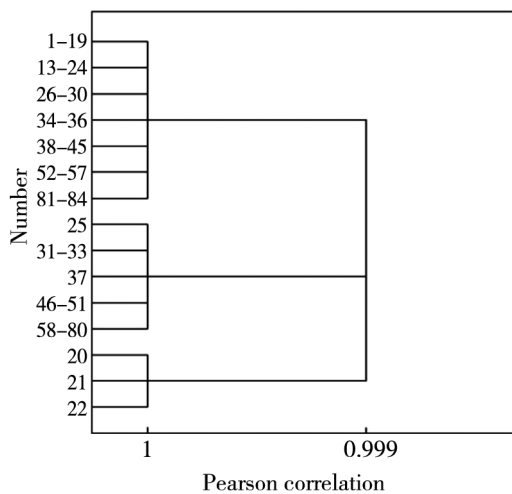


图 2 84 个清火片样本的聚类分析结果

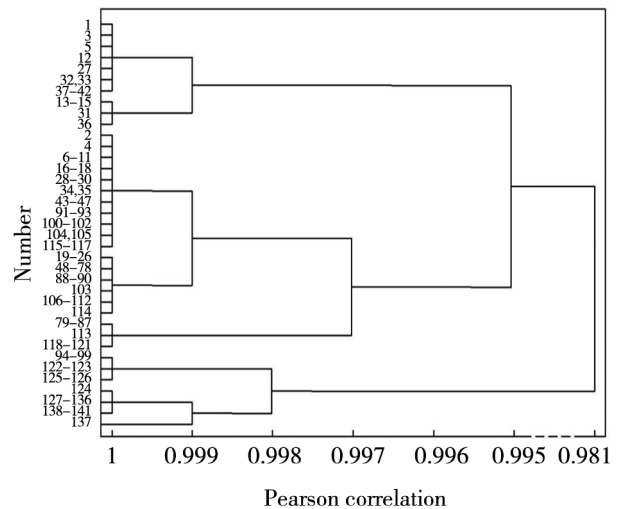


图 3 141 个复方穿心莲片样本的聚类分析结果

由图 3 的聚类结果可知,在相关系数为 0.981 时,广州白云山(No. 1—42)、广东罗浮山(No. 43—81)、广西禅方(No. 82—117)和广东新峰(No. 118—141)生产的复方穿心莲片样本聚为一类,因此 4 个厂家生产的 47 个批号 141 个复方穿心莲片的三维荧光图谱具有良好的一致性。

2.2 清热解毒类中成药的三维荧光指纹图谱的建立

根据聚类分析结果,每种中成药的三维荧光图谱具有良好的一致性,采用平均值法建立其三维荧光指纹图谱,结果如图 4 所示。

金莲花胶囊的荧光峰位置为 $\lambda_{ex}/\lambda_{em} = 397/466\text{nm}$ 、 $\lambda_{ex}/\lambda_{em} = 305/412\text{nm}$ 、 $\lambda_{ex}/\lambda_{em} = 232/313\text{nm}$ 、 $\lambda_{ex}/\lambda_{em} = 247/443\text{nm}$ 和 $\lambda_{ex}/\lambda_{em} = 283/318\text{nm}$;清火片的荧光峰位置为 $\lambda_{ex}/\lambda_{em} = 229/318\text{nm}$ 、 $\lambda_{ex}/\lambda_{em} = 281/318\text{nm}$ 和 $\lambda_{ex}/\lambda_{em} = 316/411\text{nm}$;复方穿心莲片的荧光峰位置为 $\lambda_{ex}/\lambda_{em} = 308/426\text{nm}$ 和 $\lambda_{ex}/\lambda_{em} = 405/675\text{nm}$ 。

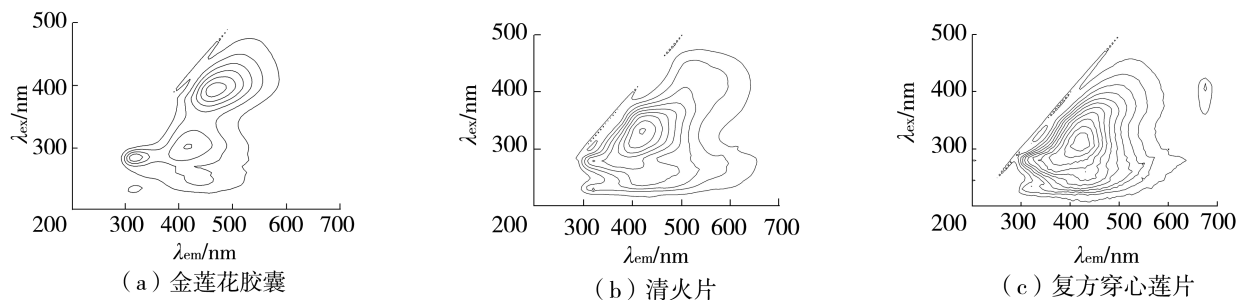


图 4 清热解毒类中成药的三维荧光指纹图谱(步长 50)

3 结论

采用荧光光谱法测定了不同厂家不同批次的 3 种中成药的三维荧光图谱,聚类分析结果表明,3 种清热解毒类中成药的三维荧光图谱均具有良好的一致性,分别建立了 3 种清热解毒类中成药的三维荧光指纹图谱,不同中成药的三维荧光指纹图谱存在明显差异,可用于中成药的鉴别。

参考文献:

- [1] 李勇军,蒋礼,何燕玲,等.金莲花胶囊高效液相色谱指纹图谱研究[J].中国药业,2018,27(2):23-25.
- [2] 李桂兰,张桂青,刘丽娜,等.高效液相色谱法同时测定金莲花胶囊中 4 种成分的含量[J].中国医院药学杂志,2013,33(24):2040-2042.
- [3] 高咏莉.HPLC 法测定清火片中大黄素的含量[J].天津药学,2004,16(3):11-12.
- [4] 许苗苗,王舒懿,张鑫,等.HPLC-FLD 法测定清火片中芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚[J].现代药物与临床,2018,33(12):3107-3111.
- [5] 詹十音.HPLC 法同时测定复方穿心莲片中 4 种成分的含量[J].中国药房,2016,27(24):3425-3428.
- [6] 周少林,方涛,易春.复方穿心莲片质量标准的研究[J].中国医院药学杂志,2014,34(11):938-941.
- [7] 张慧晔,潘雪峰,徐小飞,等.复方穿心莲片的薄层鉴别研究[J].中成药,2015,37(2):460-462.
- [8] 敖华蓉,龚春燕,张勋丽.基于指纹图谱分析和多成分同时定量的复方穿心莲片质量评价研究[J].中国药师,2019,22(4):665-669.
- [9] 王颖,史锦珊,尚丽平.基于 MATLAB 语言的三维谱特征参数提取的研究[J].自动化与仪表,2002,(4):47-49.

文章编号:1001-9383(2021)03-0048-08

制革固体废弃物的热-酶结合法 制备明胶的研究

郑翔,高沛汝,秦梦,王力源

(河北省微生物研究所,河北保定 071000)

摘要:为建立利用制革固体废弃物清洁制备明胶的方法,本研究对比了酸法、碱法、酶法和热-酶结合法制备明胶的差异,并对最优的热-酶结合法进行了酶解工艺参数的优化,最终建立了热-酶法处置制革固废制备明胶的方法。具体工艺路线为前处理、热处理、固废酶解、酶灭活处理、提胶及后处理制备明胶。热-酶法制备明胶工艺的建立,有利于提高制革固废污染的清洁、资源化处置水平。

关键词:制革;固体废弃物;热-酶法;明胶

中图分类号:TQ317

文献标识码:A

Preparation of gelatin from tannery solid waste by thermo-enzymatic method

ZHENG Xiang, GAO Pei-ru, QIN Meng, WANG Li-yuan

(Hebei Research Institute of Microbiology, Baoding Hebei 071000, China)

Abstract: In order to establish a clean method to prepare gelatin from tannery solid waste, the differences of acid, alkali, enzymatic and thermos-enzymatic methods were compared, and optimized the process parameters of the optimal thermos-enzymatic combination method. Finally, the thermos-enzymatic combined treatment of tannery solid waste to prepare gelatin was established. The specific process route was pretreatment, heat treatment, enzymatic hydrolysis of solid waste, enzyme inactivation and post-treatment to the solid gelatin preparation. The establishment of gelatin preparation process by thermos-enzymatic method is conducive to promoting the clean and resource disposal level of tannery solid waste pollution.

Keywords: Tanning; Solid waste; Thermo-enzymatic; Gelatin

收稿日期:2021-02-22

基金项目:河北省科学院科技计划项目(20201);河北省科学院青年创新项目(18202)

作者简介:郑翔(1987-),男,河北保定人,硕士,助理研究员,研究方向:工业酶制剂的研发与应用。

明胶(Gelatin)呈白色或淡黄色,通常是由猪、牛等动物的骨、皮、肌腱或膜等结缔组织的胶原蛋白经降解而成。明胶具有原料广泛,环保可降解等诸多优点,被誉为“工业味精”,在食品加工、医药、化妆品、化工等许多领域都有广泛的应用^[1-2]。

传统的明胶制备工艺主要包括酸法和碱法,通常使用硫酸、磷酸、石灰、氢氧化钠或纯碱等对明胶生产原料进行预处理,然后在明胶提取和纯化过程中需用大量的水进行清洗及溶出,然后再将水排除^[3]。据统计每吨皮明胶传统生产工艺耗水可达300t,因此传统的明胶生产工艺产生了大量的废水污染^[4]。与酸碱法相比,酶法具有周期短、用水少、污染小等优点,酶法即用酶处理使胶原溶解并经过加热变性而成为明胶的方法^[5]。国内外均开展了酶法提取制备明胶的研究,如利用芽孢杆菌蛋白酶水解骨胶原制取明胶^[6],利用谷氨酰胺转氨酶制备牛皮明胶^[7]等。虽然对酶法制备明胶的研究进行已久,由于酶具有特异性,在制取明胶的过程中酶的种类筛选至关重要;且由于酶法产率较低、水解反应程度较难控制等原因,酶法一直没有得到大规模推广^[8]。

本研究采用热处理与酶水解相结合的方式处置制革皮废料制备明胶^[9-10],不仅能够对制革固体废弃物进行清洁化处置,还可对其资源化利用制备明胶^[11]。酶法利用废弃物制备明胶工艺的建立,为制革工业的绿色发展提供了技术支撑。

1 试验材料与设备

1.1 试验材料

牛皮废料(制革鞣制工艺前裁剪的皮边角废料)来自无极景森皮革制品有限公司;胃蛋白酶(3000U/g)购自北京博奥拓达科技有限公司;中性蛋白酶(5万U/g)、碱性蛋白酶(20万U/g)、酸性脂肪酶(4000U/g)、脂肪酶(4000U/g)、碱性脂肪酶(4000U/g)购自沧州夏盛酶生物技术有限公司;蛋白Marker(40~300kDa)购自北京聚合美生物科技有限公司;盐酸、氢氧化钠等购自北京化工厂。

1.2 试验设备

蛋白电泳仪(君意公司);凝胶成像仪(天能公司);旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂);数字粘度计(上海佑科仪器仪表有限公司);高速万能粉碎机(北京市永光明医疗仪器厂);电热恒温鼓风干燥箱(上海齐欣科学仪器有限公司)。

2 试验方法

2.1 不同制备明胶工艺的比较

采用凯氏定氮法和索氏抽提法分别对牛皮废料的主要成分进行测定。

皮废料的预处理:取皮料100g,切成 $1\times 3\text{cm}^2$ 的小条,水洗数次备用。

皮废料的水解处理:酸法、碱法、酶法和热-酶法水解废料(表1)。其中复合酶解处理工艺温度 35°C ,酶解8h,酶的添加量 1020U/g (酶/皮重=1%)。

皮废料的后处理:在溶液初始pH 5、 60°C 的条件下提胶7h^[12],之后过滤、浓缩、烘干制成明胶。其中酶处理的废料在水解工艺后 80°C 水浴5min酶灭活处理。

表 1 不同制备明胶工艺的比较

方法	工艺
酸法	在 10℃—20℃ 条件下,用 2% 300mL 的磷酸浸泡废料 12h,放去废酸水,再水洗至废料 pH 为 4—5。
碱法	在 10℃—20℃ 条件下,用 3% 400mL 的石灰水浸泡废料 15d,再水洗废料至 pH 为 7。
酶法	在 1:4 的固液比的条件下添加 1000U/g(酶/皮重=0.5%)碱性蛋白酶,调节溶液 pH 为 9,之后在 35℃ 条件下反应 7h。排出酶解液,清洗皮块,然后灭酶处理。
热—酶法	在 1:4 的固液比的条件下 70℃ 水浴 1h,取出冷却至室温后,添加 1000U/g 碱性蛋白酶,调节酶液 pH 为 9。之后在 35℃ 条件下反应 6h。排出酶解液,清洗皮块,然后灭酶处理。

2.2 热—酶结合法制备明胶的酶解工艺优化

将预处理后的皮废料放置于烧杯中,加入 2 倍的蒸馏水,70℃ 水浴 1h。冷却至室温备用。

2.2.1 酶制剂种类的筛选

本研究采用的是蛋白酶与脂肪酶混合制成的复合酶制剂,其中蛋白酶与脂肪酶的酶活比例为 50:1。三种酶制剂组成分别为复合酶 1:胃蛋白酶与酸性脂肪酶,最适 pH 为 3;复合酶 2:中性蛋白酶与脂肪酶,最适 pH 为 7;复合酶 3:碱性蛋白酶与碱性脂肪酶,最适 pH 为 9。分别采用三种复合酶处置皮废料,复合酶的添加量为 1%,以产率及明胶粘度为评价指标,筛选出最佳复合酶。

2.2.2 酶解工艺的单因素试验

在筛选到最适的酶制剂种类后,对酶解反应过程中应控制温度、时间、加酶量等参数进行优化,以便发挥酶的最佳催化活性,同时保证胶原适度降解。

在酶解温度 35℃,酶解时间 8h 的条件下,探究不同加酶量 0.5%、0.75%、1.00%、1.25%、1.5% 对制备明胶的影响。

在酶解时间 8h,加酶量 1.00% 的条件下,探究不同酶解温度 30℃、35℃、40℃、45℃、50℃ 对制备明胶的影响。

在酶解温度 35℃,加酶量 1.00% 的条件下,探究不同酶解时间 4h、6h、8h、10h、12h 对制备明胶的影响。

2.2.3 酶解工艺的正交优化

在单因素试验的基础上,以产率和粘度为评价指标,以酶解温度、酶解时间、加酶量为影响因素,每个因素取三水平,选用 $L_9(3^4)$ 正交试验对酶解工艺进行优化,正交试验因素与水平见表 2。

表 2 酶解工艺正交试验因素水平表

水平	因素		
	酶解时间/(h)	酶解温度/(℃)	加酶量/%
	A	B	C
1	6	35	1.00
2	8	40	1.25
3	10	45	1.50

2.3 热—酶法制备明胶的后处理

将酶解工艺的皮废料进行酶灭活处理后,在 pH 5、60℃ 的条件下提胶 7h,将酶解所引起的化学变化显示出来,溶出胶原蛋白分子的三角螺旋结构而成为明胶溶液。然后采用真空旋转蒸发在真空度—0.1MPa,加热温度 70℃,转速 80r/min 的条件下浓缩明胶溶液。胶液浓缩

后通过干燥、粉碎即可获得明胶。

2.4 明胶性状的感官评价及成分测定

产率的测定:明胶产率=(明胶干重/生皮质量)×100%

粘度测定:明胶的粘度是明胶应用的重要指标,将配置成6.67%的溶液,在60℃条件下采用数字粘度计对明胶粘度进行测定。

分子量测定:配制成2%的明胶溶液用SDS-PAGE方法测量明胶分子量。

依据GB 6783—2013《国家食品安全标准 食品添加剂 明胶》对明胶的性状进行评定,同时依据该标准对明胶的水分和重金属含量进行测定。

3 结果与分析

对制革鞣制前的牛皮边角废料的成分进行分析测定,发现其含有的主要成分为水、粗蛋白和粗脂肪,如表3所示。其中粗蛋白含量为20%—25%,是其最有价值的组分,后续对其蛋白组分进行再利用。

表3 牛皮原料中主要成分的含量

水分/%	粗蛋白/%	粗脂肪/%
70~75	20~25	1~3

3.1 不同制备方法对明胶的影响

本试验分别采用酸法、碱法、酶法、热-酶法制备明胶,比较所得明胶的产率及粘度结果如表4所示。使用酸法制备明胶,产率最高;使用碱法制备明胶,所得明胶粘度最大;而酶法制备明胶的产率最低,明胶粘度介于酸法和碱法之间。酶法制备明胶的产率较低是限制酶法推广的重要原因。热-酶法与酶法相比,明胶产率及粘度均有提高。因此,选用热-酶法对制备明胶的工艺进行优化,以进一步提高明胶的产率和粘度。

表4 不同制备明胶方法的比较

制备明胶方法	明胶产率/%	明胶粘度 η /(mPa·s)
酸法	18.10	2.09
碱法	16.35	3.84
酶法	10.23	2.17
热-酶法	14.18	2.98

3.2 热-酶法结合制备食用明胶工艺优化结果

3.2.1 酶种类的筛选结果

分别用三种复合酶按照酶解及后处理工艺制备明胶,所得明胶的产率和粘度如表5所示。复合酶3与复合酶1、2相比,在明胶产率和粘度上均最高。因此,选用复合酶3,即碱性蛋白酶与碱性脂肪酶应用在明胶制备工艺中。

表5 不同复合酶对制备明胶的影响

酶种类	pH	产率/%	粘度 η /(mPa·s)
复合酶 1	3	13.23	2.71
复合酶 2	7	12.38	2.56
复合酶 3	9	17.81	3.03

3.2.2 加酶量对制备明胶的影响

不同酶添加量对明胶的产率和粘度的影响结果见图1,当底物浓度即牛皮废料的量在一定范围内,酶解反应速率和酶浓度成正比,在加酶量为1.25%时,明胶的产率和粘度均达到最大值。

3.2.3 酶解温度对制备明胶的影响

由图2可知当酶解温度为45℃时,明胶产率和粘度均最大。表明在此温度下,复合酶对牛皮的降解效果最好。而温度较高时,酶容易将胶原降解为短链,酶解结束后被水洗掉,造成明胶产率和粘度的降低。

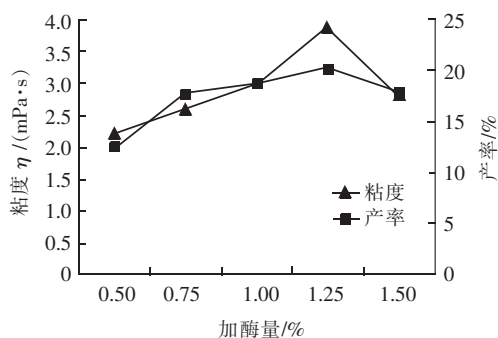


图1 加酶量对制备明胶质量的影响

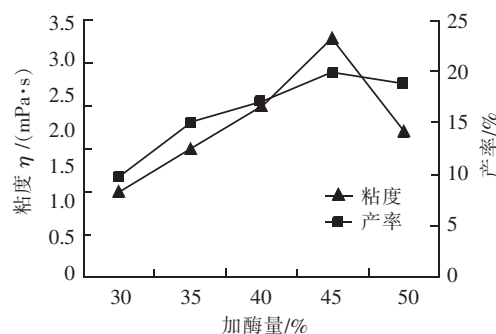


图2 酶解温度对制备明胶的影响

3.2.4 酶解时间对制备明胶的影响

由图3可知,当酶解时间小于8h时,明胶的产率随着酶解时间的延长而增加,随后明胶的产率逐渐降低。这主要是因为酶解反应过长,胶原主链被降解,而断裂的肽键在水洗时会流失,明胶粘度主要和分子链的长短有关,分子链越短,其溶液的粘度也就越低。

3.2.5 酶解工艺的优化结果

在单因素试验的基础上,以产率和粘度为评价指标,以酶解温度、酶解时间、加酶量为影响因素,进行正交试验对酶解工艺进行优化。正交试验结果如表6所示。

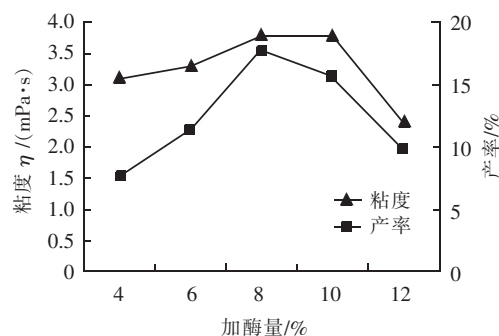


图3 酶解时间对制备明胶的影响

表 6 酶解工艺的正交试验结果

序号	A	B	C	产率/%	粘度 η /(mPa · s)
1	1(6)	1(40)	1(1.00)	13.61	3.31
2	1	2(45)	2(1.25)	16.38	2.83
3	1	3(50)	3(1.50)	20.48	2.45
4	2(8)	1	2	22.95	2.06
5	2	2	3	21.58	1.91
6	2	3	1	22.41	1.87
7	3(10)	1	3	18.53	3.23
8	3	2	1	18.54	3.02
9	3	3	2	18.71	2.86
K1	1.65	1.53	1.67		
K2	1.22	1.57	1.63		
K3	2.10	1.54	1.67		
k1	0.55	0.51	0.56		
k2	0.41	0.52	0.54		
k3	0.70	0.51	0.56		
R	0.29	0.01	0.02		
主次顺序	$A > C > B$				
优组合	$A_3 B_2 C_1$				

酶解时间、酶解温度、加酶量均为影响明胶的重要因素。由极差分析结果可知,在酶解反应过程中,3 个因素对制备明胶影响的主次顺序为:酶解时间 $>$ 加酶量 $>$ 酶解温度。最佳酶解反应条件为 $A_3 B_2 C_1$,即酶解时间 10 h、酶解温度 45℃、加酶量 1.00%。

3.2.6 后处理加工

采用真空旋转蒸发器除去水分,浓缩胶液后再通过干燥、粉碎等步骤即可获得明胶制品。

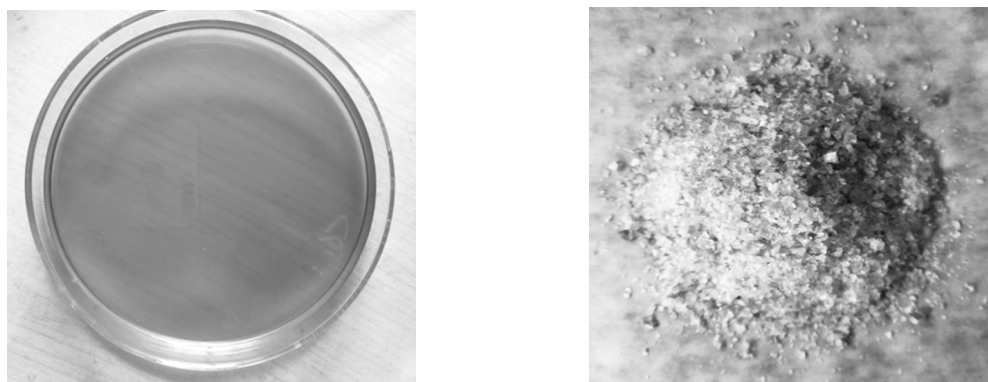


图 4 明胶固体制品

3.3 明胶的各项指标测定

3.3.1 明胶产率、粘度计分子量测定

经测定固体明胶与生皮质量得出明胶产率为 21.87%，明胶的粘度为 3.65mPa·s。天然胶原由三条左手螺旋结构的单肽链相互缠绕形成右手超螺旋结构，其中单链(α链)的分子量大约为 1.0×10^5 g/mol。随着动物年龄的老化，胶原链间会发生交联，最终以 β 链(两条交联肽链)或 γ 链(三条交联肽链)，甚至分子量更高的组分形式存在。采用 SDS-PAGE 方法测量明胶分子量结果如图 5 所示。在 100kDa 处有两条明显的条带，说明所制得明胶的 α 链含量较高；在 180kDa 和 300kDa 处，也有条带存在但不明显，说明所制得明胶的 β 链、γ 链含量较低。

3.3.2 明胶感官指标评定和理化性质测定

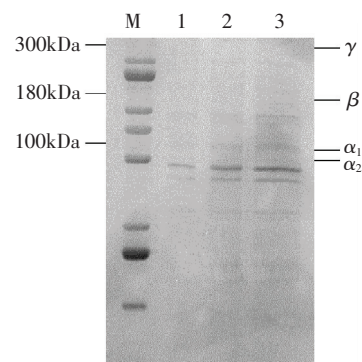
依据《国家食品安全标准 食品添加剂 明胶》(GB 6783—2013)对明胶进行感官评定同时对各项理化指标进行测定。试验结果如表 7、表 8 所示。

表 7 明胶的感官指标

项目	要求	感官评定结果	判定结果
色泽	淡黄色至黄色	黄色	合格
状态	固体状(如颗粒、片状、粉末等)	颗粒状	合格
气味	无不适气味	无不适气味	合格

表 8 明胶的各项理化指标

项目	指标要求	检测结果	判定结果
水分, w/%	≤ 14.0	12.2	合格
凝冻强度(6.67%)/(Bloom g)	≥ 50	86	合格
灰分, w/%	≤ 2.0	0.72	合格
透射比/%	450 nm ≥ 30	42	合格
	620 nm ≥ 50	65	
水不溶物, w/%	≤ 0.2	0.16	合格
二氧化硫/(mg/kg)	≤ 30	未检出	合格
过氧化物/(mg/kg)	≤ 10	未检出	合格
总砷(As)/(mg/kg)	≤ 1.0	未检出	合格
铬(Cr)/(mg/kg)	≤ 2.0	1.8	合格
铅(Pb)/(mg/kg)	≤ 1.5	0.093	合格



M: marker; 1, 2, 3: 不同上样量。

图 5 明胶分子量分布情况

4 结论

通过对不同制备明胶方法的比较,选择热-酶法处置制革生皮边角废料制备明胶。此法属于清洁化方法,而且与未经热处理的酶法相比,在明胶产率和粘度上均有提高。本试验得出制备明胶的最佳工艺为:牛皮边角料 70℃ 热处理 1h;添加 1.00% 的含有碱性蛋白酶与碱性脂肪酶的复合酶,在 45℃ 的条件下酶解 10h;之后在 80℃ 的条件下酶灭活处理 5min;提胶条件为在溶液初始 pH 5、60℃ 的条件下提胶 7h;最终经分离、浓缩、干燥、粉碎等处理后制得明胶。经测定明胶的粘度为 3.65mPa·s,灰分含量为 0.72%,含水量为 12.20%,凝胶强度为 86Bloom g,水不溶物含量为 0.16%。热-酶法处置制革固废制备明胶工艺的建立,不仅能提升固废的清洁化处理水平还能实现其资源化利用,有利于制革工艺的绿色发展。

参考文献:

- [1] 安广杰. 以水解明胶和蛋氨酸月桂酯为基质的类蛋白反应的研究[D]. 无锡:江南大学,2005.
- [2] 位绍红,许永安. 明胶提取工艺及其应用的研究进展[J]. 福建水产,2007,(2):67-71.
- [3] 潘佳昕,杨恒,时海波,等. 畜禽副产物明胶的研究进展[J]. 江苏农业科学,2020,48(20):37-43.
- [4] 缪进康. 明胶生产废水及其治理[J]. 明胶科学与技术,2004,(3):113-120.
- [5] 冯成利,权清转,党蕊叶,等. 两种酶水解明胶的条件筛选及评价[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版),2007,(S1):16-19.
- [6] 刘丽莉,杨协力,任广跃,等. *Bacillus cereus* 胞外胶原蛋白酶水解牛骨胶原蛋白的动力学[J]. 食品科学,2012,33(21):192-195.
- [7] 汪倩. 牛皮明胶的酶法制备及复配研究[D]. 上海:华东理工大学,2018.
- [8] 刘静,李诚,胡迺萧,等. 酶解法制备牦牛骨胶原多肽及其加工性能评价[J]. 食品与生物技术学报,2018,37(5):547-554.
- [9] 张小瑛,王鸿儒. 从皮革废弃物中提取明胶及其在皮革中的应用[J]. 环境工程,2009,27(S1):346-348+333.
- [10] 岳秋彩. 热预处理辅助酶催化水解提取污泥蛋白质研究[D]. 郑州:郑州大学,2018.
- [11] 郑翔,秦梦,高沛汝,等. 制革鞣固体废弃物的酶法资源化利用[J]. 生物技术通报,2019,35(5):176-180.
- [12] 于玮,王雪蒙,马良,等. 兔皮明胶提取工艺优化[J]. 食品科学,2016,37(10):1-5.

文章编号:1001-9383(2021)03-0056-07

基于电感耦合等离子体串联质谱对 不同种类肉质营养元素的研究

张雷雷,王 岩,高 颉,张春林,曹 梦

(河北省食品安全重点实验室 河北省食品检验研究院,河北 石家庄 050000)

摘 要:通过电感耦合等离子体串联质谱技术(ICP-MS/MS)测定不同品种肉类的12种营养元素的含量,探究元素含量与肉类品种之间的关系。采用ICP-MS/MS在SQ标准模式和MS/MS串杆模式同时测定Li、Na、Mg、P、S、K、Ca、Cu、Fe、Zn、Se、Sr多种元素浓度,分别通H₂、O₂、He和NH₃/He四种反应气,以原位质谱和质量转移的方式消除干扰。该方法的检出限在0.001779~0.9799 μg/L范围内,线性相关系数 $R^2 \geq 0.9997$,检出限低,线性回归良好。加标回收率在95.80%~109.30%之间,相对标准偏差 $R \leq 3.84\%$,准确性好。实验结果证明了不同品种肉类的营养元素含量有显著差异。其中猪肉、羊肉营养元素含量更高,具有较好的营养价值;而在其他肉类中,鱼类的部分营养元素含量相对较高,而鸡肉和鸭肉中的营养元素含量普遍偏低。本试验通过对各元素含量的数据化分析,更加客观地呈现了不同肉类的营养元素差异,帮助消费者全面了解肉类产品的营养构成。

关键词:电感耦合等离子体串联质谱;肉类;营养元素

中图分类号:O657.3

文献标识码:A

Research on nutrient elements of different kinds of meat based on inductively coupled plasma tandem mass spectrometry

ZHANG Lei-lei, WANG Yan, GAO Zhuo, ZHANG Chun-lin, CAO Meng

(Hebei Food Safety Key Laboratory, Hebei Food Inspection and Research Institute, Shijiazhuang Hebei, 050000, China)

Abstract: The content of 12 nutrient elements in different types of meat was determined by inductively coupled plasma tandem mass spectrometry (ICP-MS/MS), and the relationship between element content and meat varieties was explored. ICP-MS/MS was used to simultaneously measure the concentration of multiple elements (Li, Na, Mg, P, S, K, Ca, Cu, Fe, Zn, Se, Sr) in SQ standard mode and MS/MS tandem rod mode. Then, H₂, O₂, He, and NH₃/He four reaction gases were injected respectively to eliminate interference by in-situ mass spectrometry and mass transfer. The detection limit of this method is in the range of

收稿日期:2021-05-20

基金项目:国家市场监督管理总局技术保障专项(2019YJ009)

作者简介:张雷雷(1977-),男,高级工程师,研究方向为食品安全。

通信作者:曹 梦(1994-),女,研究方向为食品安全。

0.001779~0.9799 $\mu\text{g/L}$, the linear correlation coefficient $R^2 \geq 0.9997$, the detection limit is low, and the linear regression is good. The recovery rate of standard addition is between 95.80% and 109.30%, and the relative standard deviation $R \leq 3.84\%$, which means good accuracy. The experimental results prove that the nutrient element content of different varieties of meat is significantly different. Among them, pork and mutton have higher nutritional elements and better nutritional value. In other meats, some of the nutrients in fish are relatively high, while the content of nutrients in chicken and duck is generally low. Through the data analysis of the content of each element, this experiment more objectively presents the nutritional element differences of different meats, and helps consumers to fully understand the nutritional composition of meat products.

Keywords: Inductively coupled plasma tandem mass spectrometry; Meat; Nutritional elements

肉类是人类身体获得能量的重要来源之一^[1],随着人民生活水平的不断提高,肉类的摄入量也随之增加^[2]。家禽、牲畜和海鲜是我国主要肉类食品,根据世界卫生组织的定义,哺乳动物的肉通常被称为“红肉”,常见的包括猪肉、羊肉、牛肉等,而鸡、鸭等禽肉,以及鱼、虾等水产则统一被称为“白肉”。又因为生长环境和食物种类的不同,同种肉类间也存在差异^[3]。

本研究选择鸡肉、鸭肉、猪肉、羊肉、鱼肉5种常见的肉类为研究对象,测量不同肉类中的12种营养元素含量^[4-7],分别是Li、Na、Mg、P、S、K、Ca、Cu、Fe、Zn、Se、Sr。这些微量元素虽然在人体内含量极小,但是却具有很大的营养价值^[8]。不仅会影响人体蛋白的形成,与免疫功能密切相关,而且参与人体各种必须成分的合成工作等^[9]。所以了解不同食物中微量元素的差异有利于合理膳食。本试验通过对各元素进行数据化分析和计算,更加客观地呈现了不同肉类的营养元素差异,帮助消费者全面了解了肉类产品的营养构成^[10-11]。

目前元素类的检验检测主要依靠于光谱技术,其中主要包括:原子荧光光谱法(Atomic fluorescence spectrometer, AFS)^[12]、原子吸收分光光度法(Atomic absorption spectroscopy, AAS)^[13]、电感耦合等离子体原子发射光谱法(inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, ICP-OES)、电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)等^[8],其中适用于同时快速检测多种元素的只有ICP-OES法和ICP-MS法,而其中ICP-MS灵敏度更高,检出限更低,抗干扰能力更强等^[14-15]。本次试验选用电感耦合等离子体串联质谱仪(ICP-MS/MS),相比于ICP-MS,ICP-MS/MS多串联一个四级杆,相当于多了一个目标物的筛选过滤器,能够更有效的排除在分析物产物离子的质量数处出现的非目标天然离子,所以MS/MS能够消除潜在的干扰^[16-17]。利用No Gas、H₂、O₂、He、NH₃/He五种模式,确定不同元素测量的最佳条件,以确保反应池(CRC)反应过程更纯粹,数据更加精准可靠^[18-20]。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

样品随机采购于超市,种类包括鸡肉、鸭肉、猪肉、鱼肉、羊肉、共五种样品,每种类各取三

个批次,共 15 个样品。肉类产品将可食用部分匀浆均匀,密封低温避光储存,待用。

1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的 Li、Na、Mg、P、S、K、Ca、Cu、Fe、Zn、Se、Sr、Sc、Bi、Rh、Y 有色金属标准贮备溶液,北京标准物质研发中心;65% 的 BV-III 级硝酸,北京化学试剂研究所有限责任公司;1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (含元素 Li、Y、Co、Tl、Ge、Mg)调谐液,美国赛默飞世尔公司;超纯水,电阻率为 18.2 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 。

1.2 仪器与设备

Agilent 8900 型电感耦合等离子体串联质谱仪,美国安捷伦公司;Milli-Q 超纯水机,美国 Millipore 公司;MARS6 微波消解仪,美国 CEM 公司;BHW-09C 恒温加热器,上海博通公司;电子天平,赛多利斯科学仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品预处理

称取待测肉类样品 0.3~0.5g(精确到 0.001g)于微波消解内罐(聚四氟乙烯消解罐)中,加入 5mL 硝酸,加内盖浸泡 3~4h 或过夜,拧紧罐帽,通过微波消解仪进行消解(消解程序条件见表 1),冷却后取出并开盖排气。然后放置在控温电热板上,于 100 $^{\circ}\text{C}$ 加热 20~30min 脱气。待冷却后转移至 50mL 容量瓶,加水定容,摇匀备用。同时采取相同步骤进行空白实验。

表 1 微波消解条件

步骤	爬升时间/min	保持时间/min	温度/ $^{\circ}\text{C}$	功率/W
1	6	3	120	1500
2	8	6	155	1500
3	8	15	180	1500

1.3.2 标准溶液配制

吸取适量单元素标准溶液,用硝酸溶液(5+95)逐级稀释,配成混合标准工作溶液,相应标准系列浓度如下:待测元素 Ca、P、S、Zn、Cu、Fe、K、Mg、Na 浓度梯度为 0、1、10、50、100、500、1000 $\mu\text{g}/\text{L}$;待测元素 Li、Se、Sr 浓度梯度为 0、0.1、1、10、20、50、100 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。然后分别以元素 Sc、Y、Rh、Bi 为在线内标物质,配置混合内标液。

1.3.3 营养元素含量测定

本试验采用 ICP-MS/MS 串联四极杆的方式,同时测定试样溶液中待测元素的含量。通过 ICP-MS/MS 调谐程序,调整仪器各项指标。采用 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的 Li、Y、Co、Tl、Ce、Mg 元素混合溶液作为调谐液,以蠕动泵 0.10 rps 转速持续进液,分别对仪器在 No Gas、 H_2 、 O_2 、He、 NH_3/He 五种模式下进行条件优化,观测特定质量数下的离子计数、灵敏度、氧化物、双电荷、分辨率等参数,以确定仪器最佳工作条件,使仪器信号更稳定,灵敏度高,各项参数满足试验要求。

根据不同分析方法,在 No Gas 模式下,观测质量数为 7、89、205 的离子;He 模式下,观测质量数为 59、89、205 的离子; H_2 模式下,观测质量数为 $Q_1=Q_2=59$ 、89、205 的离子; O_2 模式下,观测质量数为 $Q_1=Q_2=59$ 、 $Q_1/Q_2=89/105$ 、 $Q_1=Q_2=205$ 的离子, NH_3/He 模式下,观测的质量数为 $Q_1=Q_2=59$ 、 $Q_1/Q_2=89/191$ 、 $Q_1=Q_2=205$ 的离子。

在 No Gas、H₂、He 模式下氧化物(CeO/Ce)均小于 1%，双电荷比(¹³⁸Ba⁺⁺/¹³⁷Ba⁺)小于 1.5%，所有模式下 RSD 均小于 5%时，视为调谐成功。本实验采用的 ICP-MS/MS 最佳工作条件为:RF 功率为 1550W,辅助气流量为 0.9L/min,等离子体气体流量为 15.0L/min,采样深度为 8.0mm。其余具体仪器参数见表 2。

表 2 ICP-MS/MS 仪器参数

仪器参数	No Gas 模式	H ₂ 模式	He 模式	O ₂ 模式	NH ₃ /He 模式
提取透镜电压/V	-11.6	-11.6	-11.6	-11.6	-11.6
Q ₁ 偏转电压/V	-5.0	1.0	-5.0	1.0	1.0
Q ₂ 偏转电压/V	-3.0	-18.0	-15.0	-10.0	-12.0
碰撞池气体	/	H ₂	He	O ₂	NH ₃ /He
碰撞池气体流量/ L·min ⁻¹	/	7.0	5.0	4.5	4.5/1.0
八级杆偏转电压/V	-8.0	-18.0	-18.0	-3.0	-5.0

调谐结束后,进行方法编辑。将内标液同试剂空白、标准系列、试样溶液分别引入 ICP-MS/MS 中,对待测元素及内标元素的信号响应值进行采集和计算。

1.4 数据处理方法

调用 Agilent MassHunter 数据工作站,在软件内进行分析,拟合线性回归曲线,计算回归方程,给出测定结果。

试样中待测元素的含量按下列公式计算:

$$X = \frac{(\rho - \rho_0) \times V \times f}{m \times 1000} \quad (\text{计算结果保留三位有效数字})$$

式中: X 为试样中待测元素含量/mg/kg 或 mg/L; ρ 为试样溶液中待测元素的质量浓度/ $\mu\text{g/L}$; ρ_0 为试样空白液中待测元素质量浓度/ $\mu\text{g/L}$; V 为试样溶液定容体积/mL; f 为试样稀释倍数; m 为试样称取质量或移取体积/g 或 mL;1000 为换算系数。

2 结果与分析

2.1 质谱干扰及消除方法

本实验采用 SQ 标准模式和 MS/MS 串杆模式同时测定多种元素浓度,利用不同模式和反应气下,发生原位质谱或质量转移的方式对干扰进行消除。在 SQ 标准模式下,He 气不参与离子的碰撞和反应,相当于 ICP-MS,但灵敏度略高。而在 MS/MS 模式下,待测元素离子与反应气原子发生碰撞消除干扰的方式,叫做原位质谱,在此种方式中前后八级杆偏转电压 $Q_1 = Q_2$ 。此外,在气体和待测元素碰撞时也会发生反应,形成新的团簇离子,即发生质量转移,此时需要对 Q_1 和 Q_2 分别进行设置,改变八级杆偏转电压,以求精准捕捉新质量数离子,从而消除干扰离子。本实验待测元素的同位素质谱分析见表 3。

表3 同位素质谱分析

同位素	模式	反应气	质量对	消除干扰方法
⁷ Li	MS/MS	NH ₃ /He	Q ₁ = Q ₂ = 7	原位质谱
²³ Na	MS/MS	H ₂	Q ₁ = Q ₂ = 23	原位质谱
²⁴ Mg	MS/MS	NH ₃ /He	Q ₁ = Q ₂ = 24	原位质谱
³¹ P	MS/MS	O ₂	Q ₁ = 31, Q ₂ = 47	质量转移
³² S	MS/MS	O ₂	Q ₁ = 32, Q ₂ = 48	质量转移
³⁹ K	MS/MS	O ₂	Q ₁ = Q ₂ = 39	原位质谱
⁴⁴ Ca	MS/MS	NH ₃ /He	Q ₁ = Q ₂ = 44	原位质谱
⁶³ Cu	SQ	He	Q ₂ = 63	无需消除
⁵⁶ Fe	MS/MS	NH ₃ /He	Q ₁ = 56, Q ₂ = 90	质量转移
⁶⁶ Zn	MS/MS	H ₂	Q ₁ = Q ₂ = 66	原位质谱
⁷⁸ Se	MS/MS	H ₂	Q ₁ = Q ₂ = 78	原位质谱
⁸⁸ Sr	MS/MS	H ₂	Q ₁ = Q ₂ = 88	原位质谱

2.2 标准曲线及检出限

依照梯度浓度要求,配制混合标准工作溶液,根据所建立的方法进行分析测试,以内标元素为参考点自动拟合校准曲线。最终得到以 X 轴为浓度点,以 Y 轴为响应值的线性拟合标准曲线,线性系数见表 4。通过对空白溶液进行连续测定,以元素标准偏差计算得到待测元素检出限和背景等效浓度。结果如表 4 所示,12 种待测元素的线性相关系数均符合标准($R^2 \geq 0.9997$),即线性范围内线性较好;检出限和背景等效浓度较低,均低于现行国家食品安全检验标准方法。

表4 同位素线性范围和检出限

同位素	内标元素	线性系数/ R^2	线性范围/ $\mu\text{g/L}$	检出限/ $\mu\text{g/L}$	背景等效浓度/ $\mu\text{g/L}$
⁷ Li	Sc	0.9998	0~100	0.008078	0.01795
²³ Na	Sc	0.9997	0~1000	0.7519	60.3
²⁴ Mg	Sc	0.9999	0~1000	0.06553	1.205
³¹ P	Sc	1	0~1000	0.2612	1.038
³² S	ScO	1	0~1000	0.4098	13.09
³⁹ K	Sc	0.9998	0~1000	0.2471	17.09
⁴⁴ Ca	Sc	1	0~1000	0.9799	7.452
⁶³ Cu	Sc	0.9999	0~1000	0.07566	1.611
⁵⁶ Fe	Sc(NH ₃) ₂	1	0~1000	0.1919	1.647
⁶⁶ Zn	Sc	1	0~1000	0.1646	1.109
⁷⁸ Se	Y	1	0~100	0.01316	0.002533
⁸⁸ Sr	Y	1	0~100	0.001779	0.04954

2.3 加标回收率和准确度

为了进一步验证分析待测样品时方法的准确性,在优化的试验条件下,对五种样品进行加标回收试验,肉类样品平行测定 3 次,得出全部待测元素的加标回收率在 95.80%~109.30%之间, $RSD \leq 3.84\%$,表明本次实验方法重复性优异,准确性好。所有元素的加标结果如表 5 所示。

表 5 加标样品的加标回收率与重复性

元素	加标值/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	测定值/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	RSD/%	回收率/%
Li	20	19.16±1.65	2.54	95.80
Na	100	97.34±4.84	3.22	97.34
Mg	100	95.60±1.28	2.29	95.60
P	100	103.09±0.75	3.84	106.09
S	100	98.71±1.14	2.21	98.71
K	100	102.44±2.30	3.69	102.44
Ca	100	104.30±4.65	2.13	109.30
Cu	100	99.40±2.68	3.17	99.40
Fe	100	102.06±1.32	1.76	102.06
Zn	100	96.60±1.16	1.65	96.60
Se	20	20.64±3.18	3.11	103.20
Sr	20	19.85±0.22	2.66	99.25

2.4 样品测定

本试验分别收集测定了鸡肉(A)、鸭肉(B)、猪肉(C)、鱼肉(D)、羊肉(E)五种肉类样品,每种样品三个批次,对收集的共 15 个样品进行多元素测定,每个样品重复测定 3 次,试验结果见表 6。

表 6 样品分析结果

	Li	Na	Mg	P	S	Ca	K	Cu	Fe	Zn	Se	Sr
A-1	2.93	244	8.26	45.1	64.2	0.163	54.7	0.089	2.06	7.46	0.846	14.6
A-2	1.62	206	8.75	47.3	61.8	0.131	52.1	0.103	2.18	7.45	0.833	12.6
A-3	1.13	226	8.34	46.7	65.5	0.183	55.3	0.111	2.23	7.34	0.997	17.3
B-1	11.3	16.5	3.69	45.6	34.7	0.454	64.1	0.0211	0.611	0.314	1.53	2.34
B-2	11.9	12.8	3.89	42.2	38.3	0.443	66.2	0.0564	0.578	0.268	1.67	2.67
B-3	10.7	13.7	3.54	43.5	34.6	0.379	67.3	0.0334	0.569	0.246	1.34	2.94
C-1	0.964	179	169	2341	1641	26.1	3467	0.377	5.34	16.8	213	34.6
C-2	0.902	184	190	2125	1550	25.4	3306	0.429	5.22	17.9	208	39.9
C-3	1.12	194	183	2348	1634	22.2	3736	0.416	5.46	18.3	201	41.8
D-1	28.2	24.5	2.94	8.45	12.4	0.378	843	3.63	2.67	0.0344	397	7.54
D-2	21.9	21.6	2.82	8.21	18.25	0.369	838	3.85	2.135	0.0335	389	7.81
D-3	27.1	26.2	2.61	8.37	16.7	0.416	844	3.94	1.84	0.0461	403	8.01
E-1	4.47	3521	86.4	2613	1379	12.6	1244	2.87	7.34	11.4	49.3	167
E-2	4.95	3451	83.2	2473	1249	11.4	1339	3.05	7.51	10.1	45.4	181
E-3	4.09	3268	84.7	2946	1346	13.2	1287	2.96	8.03	13.2	44.6	184

注:数据单位为 mg/kg,其中 Li、Se、Sr 元素数据单位为 $\text{mg}/\text{kg} \times 10^{-3}$ 。

从结果中可以看出鸡肉、鸭肉、猪肉、鱼肉和羊肉中,不同肉类的 Li、Na、Mg、P、S、K、Ca、Cu、Fe、Zn、Se、Sr 等元素的含量差异十分明显。其中,Mg、S、K、Zn 元素在猪肉中的含量远高于其它肉类;Li、Cu、Se 元素在鱼肉中含量相对较多;而羊肉则含有大量的 Na、P、S、Cu、Fe、Sr 元素。

3 结论

本实验通过电感耦合等离子体串联质谱技术(ICP-MS/MS)测定不同品种肉类的 12 种营养元素的含量,探究元素含量与肉类品种之间的关系。采用 SQ 标准模式和 MS/MS 串杆模式同时测定多种元素浓度,利用不同反应气下原位质谱或发生质量转移的方式,消除干扰,利用在线内标元素校正了基体效应,稳定各元素的质谱信号。通过对实际样品进行分析发现,猪肉的 Mg、S、K、Zn 元素含量高;Li、Cu、Se 元素在鱼肉中含量相对较多;而羊肉则含有大量的 Na、P、S、Cu、Fe、Sr 元素。实验结果可以证明,红肉(猪、羊)含有丰富的营养元素;而在白肉(鸡、鸭、鱼)中,鱼类的营养价值相对较高,而鸡肉和鸭肉中的营养元素含量普遍偏低。通过对不同肉类中营养元素含量的准确测量,为肉类营养价值的衡量提供了数据支撑,帮助消费者全面了解了肉类产品的营养元素构成,为不同购买需求的消费者提供了选择指导。

参考文献:

- [1] 李春保,印遇龙,周光宏. 肉类营养与人体健康研究的战略思考[J]. 中国科学院院刊,2019,34(02):190-196. DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.2019.02.008.
- [2] 卢艳平,肖海峰. 我国居民肉类消费特征及趋势判断——基于双对数线性支出模型和 LA/AIDS 模型[J]. 中国农业大学学报,2020,25(01):180-190. DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2020.01.20.
- [3] 王雪蓉,罗瑞明,李亚蕾,等. 综合肉样及环境矿物质元素信息的滩羊肉产地鉴别[J]. 食品科学,2020,41(18):303-310. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20190722-289.
- [4] 邓宏玉,刘芳芳,张秦蕾,等. 5 种禽肉中矿物质含量测定及营养评价[J]. 食品研究与开发,2017,38(06):21-24+103. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2017.06.005.
- [5] 刘宏伟,聂西度,谢华林. 不同肉类食品肌肉组织中微量元素的分布研究[J]. 食品工业科技,2013,34(20):365-367+371. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.20.084.
- [6] 白婷,蔡浩洋,邓银华,等. 基于微量元素指纹图谱对黑水凤尾鸡进行产地溯源的研究[J]. 中国测试,2018,44(09):57-62+74. DOI:10.11857/j.issn.1674-5124.2018.09.011.
- [7] 倪明龙,邱志超,李银花,等. 基于微波消解-电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定深海鱼肌肉中 12 种元素[J]. 食品工业科技,2020,41(09):244-249. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2020.09.039.
- [8] 杨雯懿,郝婧,田佳于,等. 不同产地菜籽油中微量元素的 ICP-MS/MS 法测定及统计比较[J]. 中国油脂,2020,45(06):120-125. DOI:10.12166/j.zgyz.1003-7969/2020.06.025.
- [9] 郭金喜,马燕,范田丽,等. 微波消解-ICP-MS/MS 法测定新疆黑枸杞红酒中微量元素的主成分分析[J/OL]. 食品与发酵工业:1-9. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025337.
- [10] 何燕,周国华,王学求. 从微量元素与人体健康关系得到的启示[J]. 物探与化探,2008,(1):70-74. DOI:10.1016/S1876-3804(08)60015-4.
- [11] 陈贝贝. 基于 ICP-MS 的联用技术及其在生命体系中元素与形态分析的应用[D]. 武汉:武汉大学,2010.
- [12] Xu D, Risheng L, Shupe D. Determination of the Total Content of Arsenic, Antimony, Selenium and Mercury in Chinese Herbal Food by Chemical Vapor Generation-Four-Channel Non-dispersive Atomic Fluorescence Spectrometry[J]. Journal of Fluorescence,2020,30:949-954.
- [13] Rovasi A F, Cicero do N P, Brudi L, et al. Simultaneous determination of Ba, Co, Fe, and Ni in nuts by high-resolution continuum source atomic absorption spectrometry after extraction induced by solid-oil-water emulsion breaking[J]. Food Chemistry,2021,345. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128766.

文章编号:1001-9383(2021)03-0063-08

京津冀全域旅游示范区景点网络关注度 时空特征及影响因素

——基于百度指数的研究

常变蓉¹, 陈 茜¹, 张瑞英¹, 闫 俏²

(1. 天津农学院, 天津 300384; 2. 北京师范大学, 北京 100875)

摘要:基于百度指数,运用季节集中度指数和标准差椭圆方法对2016—2019年京津冀全域旅游示范区网络关注度最高且具有代表性的旅游景点网络关注度时空特征进行研究,并对其影响因素进行了剖析,发现:(1)在时间分布上,2016—2019年景点网络关注度总体呈下降趋势,季节差异性减小;分月看,4月、7—8月和10月为关注度高峰期,其中7—8月关注度最高;周内周二和周末是关注度低谷,周五达到关注度高峰;黄金周关注度具有明显的“井喷现象”,五一关注度高峰出现早于十一。(2)在空间演变上,2016—2019年景点网络关注度主要集中于北戴河和八达岭长城,2017年全域旅游建设以来,景点网络关注度呈现出明显的下降趋势,景点网络关注度范围不断增大且趋于区域均匀化;(3)景点网络关注度时空分布主要受政策支持、闲暇时间、季节变化、特殊事件和旅游目的地知名度5个因素影响。

关键词:全域旅游示范区;百度指数;网络关注度;时空分布;京津冀

中图分类号:F592

文献标识码:A

Spatial-temporal characteristics and influential factors of network attention to scenic spot in Jing-Jin-Ji regional tourism demonstration area: based on baidu index

CHANG Bian-rong¹, CHEN Qian¹, ZHANG Rui-ying¹, YAN Qiao²

(1. Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2. Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Based on the baidu index, this paper used the seasonal concentration index and standard deviation ellipse to study the spatial-temporal characteristics of the network attention of the most representative scenic spots with the highest network attention in the Jing-Jin-Ji regional tourism demonstration areas from 2016 to 2019 and to analyze the influencing factors.

收稿日期:2021-02-22

基金项目:天津市教委科研计划项目(2017SK087);“十三五”期间天津市高等学校创新团队培养计划项目(TD13-5093);国家社会科学基金(18BRK022)

作者简介:常变蓉(1987-),女,山西平遥人,博士,讲师,主要从事GIS空间分析、资源环境遥感方面的研究。

通信作者:张瑞英(1980-),女,山西阳泉人,博士,副教授,主要从事旅游地理研究。

The results show that: 1) In temporal distribution, the network attention of scenic spots generally show a decreasing trend and the seasonal difference is getting smaller and smaller from 2016 to 2019. In terms of monthly distribution, April, July-August and October are the peak months and July-August is the most popular month. During the week, Tuesday and weekend are the lowest points of attention and Friday is the peak. Golden week attention has an obvious “blowout phenomenon”. The May Day attention peak earlier than the National Day. 2) In spatial evolution, from 2016 to 2019, the network attention of scenic spots focuses on Beidaihe and Badaling Great Wall tourist area and generally presents the spatial distribution pattern of “northeast to southwest”. The attention center has been moving to the southwest in the past four years. 3) The spatial-temporal distribution of network attention is mainly affected by five factors: policy support, leisure time, seasonal variation, special events and popularity of tourist destinations.

Keywords: Regional tourism demonstration zone; Baidu index; network attention; Spatial-temporal distribution; Jing-Jin-Ji

0 引言

全域旅游是中国迈入新阶段提出的一种新旅游模式。2016年原国家旅游局分两次公布了500个国家全域旅游示范区创建名单。2017年3月全域旅游首次写入政府工作报告,是对旅游业发展方向的重要引导。2018年3月国务院办公厅发布《关于促进全域旅游发展的指导意见》,之后各级地方政府相继出台支持发展全域旅游的政策措施,全国各地陆续涌现出一批全域旅游发展先行区,引起了游客的广泛关注。

游客对景区的网络关注度是游客出游的前兆^[1]。而互联网是游客获取出游信息的重要渠道,利用大数据分析景区的网络关注度已成为景区营销与管理的技术手段。自2006年百度指数和谷歌趋势推出后,国内外学者对旅游景区网络关注度的研究不断增多。在数据获取上,国外学者大多运用谷歌趋势获取数据,国内学者多依托于百度指数,部分学者开始运用微指数(微博、微信指数)进行分析。在研究内容上,国外学者的研究集中于网络检索行为^[2]、基于网络关注度的客流预测模型及论证^[3-4]等方面;国内学者的研究集中于知名旅游目的地网络关注度的时空分布规律及其影响因素^[1,5-10]、网络关注度与实际旅游客流量之间的关系^[11-13]以及客流量的预测^[14-15]、特色旅游类别关注度^[16-18]三个方面。这些研究主要关注全国、区域、省域知名景区的网络关注度,部分学者直接以某一景区的网络关注度为研究案例,鲜有研究关注全域旅游示范区创建后景区网络关注度的变化。

京津冀区域旅游资源丰富,景区数量众多,是我国经济发展最具潜力的区域之一。全域旅游的提出符合京津冀协同发展的需求,两大国家战略的强强合作,势必能解决京津冀旅游协同发展的现实问题。目前,京津冀全域旅游示范区景点网络关注度时空分布鲜有研究。因此,本研究试通过探索游客对京津冀全域旅游示范区景点关注度的时空特征及其影响因素,来反映出游客近几年的出游规律、空间分布与趋势,为旅游政府部门和京津冀全域旅游示范区景点单

位的管理和决策提供科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

2019年9月文化和旅游部公布了首批71个国家级全域旅游示范区名单,其中京津冀地区共有7个区县在列,分别为北京市的延庆区、怀柔区和平谷区,天津市的蓟州区及河北省的秦皇岛市北戴河区、邯郸市涉县和保定市易县。因此,本文从中选取网络关注度最高且具有代表性的旅游景点为研究对象,在百度指数平台使用景区名称为关键词(八达岭长城、慕田峪长城、金海湖、盘山、北戴河、娲皇宫和狼牙山)进行搜索,整理获取区域研究景点2016—2019年的百度搜索数据。基础地理数据源于1:400万中国基础地理信息数据库。借助ArcGIS10.2平台构建区域旅游景点网络关注度数据库。

1.2 研究方法

(1)季节性强度指数(R):常用于分析一组数据的季节性差异^[19]。其计算公式为:

$$R = \sqrt{\sum_{i=1}^{12} (X_i - 8.33)^2 / 12} \quad (1)$$

式中, X_i 为各月网络关注度占全年总关注度的百分比,8.33为在全年绝对平均的前提下计算出来的景区各月网络关注度与全年总量的比值乘以100。 R 值越大,说明关注度季节性差异越大,淡旺季差异越大;反之,说明关注度季节性差异越小。

(2)标准差椭圆(SDE)分析:该方法同时对点数据的方向和分布进行分析,能够从多重角度反应要素空间分布的整体性特征。其常用参数有椭圆中心、面积、长轴、短轴、扁率和旋转角,在本研究中分别表示景点网络关注度分布的相对位置、变化范围、主体方向、分布范围、方向性及主趋势变化方向。长短半轴越长,表示关注度空间分布越离散,二者数值相差越大,即椭圆扁率越大,关注度空间分布方向性越明显。

2 京津冀全域旅游示范区景点网络关注度的时空分布特征分析

2.1 时间特征

2.1.1 年际特征

由表1可知,2016—2019年该区域景点年总网络关注度呈下降趋势。其中,2016—2017年景点年总关注度上升,但2017到2019年则明显下降,这与以往学者的研究结论截然不同。究其原因,本文认为是京津冀区域全域旅游发展成果逐渐显现,游客对单个景点的关注逐渐转向对区域旅游的关注。进一步计算景点关注度的季节集中度指数,可以看出该指数呈现降低趋势,表明景点网络关注度在全年每个月份的分布趋于均匀,季节差异性越来越小。

表1 2016—2019年研究区域景点年总网络关注度和季节集中度指数

年份	2016年	2017年	2018年	2019年
总关注度	135098	143054	117392	102659
季节集中度指数	3.5861	3.5482	3.0495	3.0966

2.1.2 分月特征

将研究景点 2016—2019 年每个月份网络关注度的平均值求和得到该期间每个月份的景点关注度(图 1)。从图 1 可以看出,区域景点网络关注度一年中的高峰期主要出现于 4 月、7—8 月和 10 月,这三个时间段正值劳动节、暑假和国庆节假期期间,游客有足够的闲暇时间。其中,7—8 月达到一年中关注度的最高峰,11 月到次年 3 月初北方气候寒冷,是景点网络关注度的低谷期。这与李山等学者研究中 4 月、7 月和 9 月是关注度高峰的结论不相同^[1]。可能与研究的区域范围不同、近几年来智能手机的普及和人们出游习惯的变化有关。

2.1.3 周内特征

将区域内 2019 年研究景点每周的日网络关注度按星期相加求平均值,得到景点的日均关注度(图 2)。由图 2 可知,景点网络关注度在一周中出现了周二和周末低谷,周三和周四关注度逐渐上升,周五达到高峰的现象,但周六景点网络关注度略高于周二。说明人们普遍习惯于出游前三天内制定出游计划,部分习惯于周一或临时制定出游计划。这与张丽峰等学者研究北京 5A 级景区网络关注度周分布的结论一致^[9]。形成原因是人们大多在周一至周五期间工作,周末休息时间出游,出游前搜索旅游目的地的天气、交通和旅游攻略等信息会导致景点网络关注度的升高。随着京津冀全域旅游示范区智慧化景区的建设和交通系统的完善,人们做出游计划的时间越来越临近出游时间,并且京津冀地区常住人口和外来人口较多,周末出游前临时搜索出游信息的人数也比较多,因此周六的景点网络关注度比周二高。

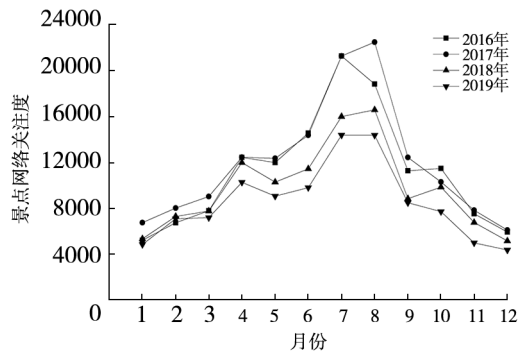


图 1 2016—2019 年研究区域景点网络关注度月分布

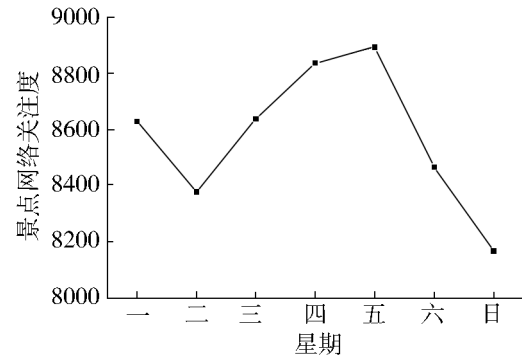


图 2 2019 年研究区域景点网络关注度的周内分布

2.1.4 黄金周特征

以 2019 年五一和十一假期网络关注度为例,将景点假期前后约 1 个月的网络关注度求和(图 3)。由图 3 可知,景点节前关注度呈上升趋势,节后呈下降趋势。赵安周等学者将不同于日常客流特征的特殊时间段旅游流现象定义为旅游流的“井喷现象”^[20]。可见,京津冀全域旅游示范区景点网络关注度在五一和十一假期期间具有明

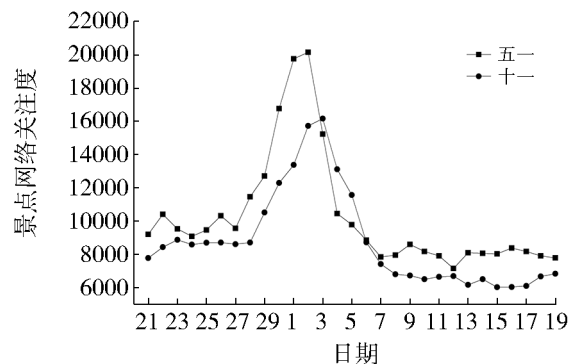


图 3 2019 年研究区域五一和十一前后景点网络关注度分布

显的“井喷现象”。

横向对比来看,五一期间关注度的高峰出现时间要早于十一假期,但都出现在假期内。五一和十一的关注度高峰出现分别在5月1日和2日以及10月2日和3日,由于五一假期相比十一假期时间短,因此关注度高峰出现时间更靠前。近年来,京津冀全域旅游示范区智慧化景区建设成果显著,加之智能手机使用的普遍化,使得游客可以随时随地搜索旅游目的地的信息,因此景点网络关注度高峰由假期前逐渐转为假期内。纵向对比来看,五一期间景点网络关注度整体上大于十一期间,这与之前一些学者得出的黄金周网络关注度十一假期明显高于五一假期的结论不同^[7,21]。这是由于京津冀区域大力发展全域旅游,引导景点分流。

2.2 空间特征

2.2.1 空间演变特征

2016—2019年京津冀全域旅游示范区景点年平均网络关注度空间分布,如图4所示。可以看出,北戴河和八达岭长城为区域的两个高关注度中心,究其原因是这两景点知名度要远远高于区域内其他景点。但2017年后,区域景点网络关注度都呈现出明显的下降趋势,这是由于2016年国家旅游局分别启动了两批全域旅游示范区创建工作,该区域入围全域旅游示范区创建名单。三年来,该区域全域旅游建设成果逐步显现,不同景点网络关注度差异逐渐降低,部分景点客流量超过景区客流承载力的现象基本得到控制。值得注意的是,狼牙山景区2017年网络关注度明显增加,之后呈下降趋势,主要原因是玻璃栈道和玻璃观景台的关注度具有时效性,2017年初建成开放时关注度较高,但是游客的重游率不高,2018年到2019年关注度逐步降低。

2.2.2 空间分异特征

2016—2019年京津冀全域旅游示范区景点网络关注度空间分布SDE参数,如表2所示。

表2 2016—2019年研究区域景点年均网络关注度空间分布SDE参数

年份	中心经纬度	面积/km ²	长半轴/km	短半轴/km	旋转角/(°)	扁率
2016	E117.32°,N39.89°	19610.07	112.00	55.73	76.98	0.50
2017	E117.30°,N39.89°	18082.49	111.28	51.72	79.11	0.54
2018	E117.29°,N39.89°	18228.24	110.52	52.50	78.15	0.53
2019	E117.31°,N39.88°	18713.38	111.29	53.52	76.90	0.52

从表2可以看出,2016—2019年景点网络关注度椭圆中心经纬度基本上没有发生变化,这是由于北戴河和八达岭长城一直为京津冀全域旅游示范区的高关注度景区。2016—2017

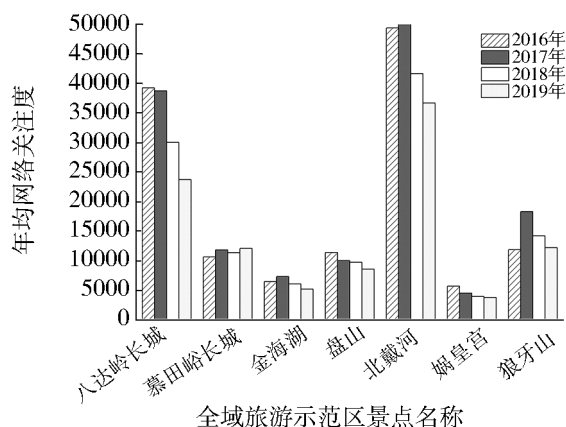


图4 2016—2019年研究区域景点年平均网络关注度

年椭圆面积、长半轴和短半轴明显减小,椭圆扁率增大,说明景点网络关注度范围明显减小,方向性更加明显;椭圆旋转角增加了 2.1231° ,说明景点网络关注度空间分布明显呈现偏东→偏南格局,这是因为此期间狼牙山景区网络关注度大幅增加。2017年全域旅游建设以来,椭圆面积和短半轴长度不断增大,扁率减小,说明区域发展全域旅游以来景点网络关注度范围亦不断增大,且趋于区域均匀化;旋转角持续减小,说明景点网络关注度方向性减弱,进一步凸显了京津冀全域旅游建设的成效。

3 京津冀全域旅游示范区景点网络关注度的影响因素分析

3.1 政策支持

通过分析2016—2019年京津冀全域旅游示范区景点网络关注度年际特征和空间演变特征可知,自2016年国家旅游局先后发布两批创建国家全域旅游示范区的名单以来,2017到2019年研究景点网络关注度总体呈现下降趋势,这与以往区域性旅游景区网络关注度年际变化逐渐升高的研究结果明显不同。主要是由于创建全域旅游示范区的各地区立足于区域经济的可持续发展和环境的保护,不再以单个景点的盈利为目的开展旅游网络营销,实施景区限流等措施。如八达岭长城四年间网络关注度下降了476883,慕田峪长城网络关注度升高了42261,景点网络关注度分散成效显著,说明景区分流效果较为明显。

3.2 闲暇时间

闲暇时间可分为日常闲暇时间、休息日和法定节假日,教师和学生拥有寒暑假。游客旅游大多集中于双休日、法定节假日和寒暑假。通过上述分析得知区域景点网络关注度,分月7、8月份是关注度高峰,这与教师和学生暑期闲暇时间较多有关;周内呈现工作日较高周末较低的趋势,这与人们工作日闲暇时间较少而周末闲暇时间充足有关;黄金周呈现前期关注度高峰现象。将2019年法定节假日休息时间与图1中该年每月的景点网络关注度变化对比可知,除暑期关注度高峰外,其余三个小高峰出现在2月、4月和10月,分别对应着春节、清明节和国庆节三个节假日所在月份。春节和国庆节假期均为7天,会产生大量的旅游需求,进而引起很高的旅游网络关注度;清明节假期为3天且四月份气候舒适,故会引起很高的旅游关注度。这表明人们闲暇时间的分布是景点网络关注度发生变化的影响因素。

3.3 季节变化

通过上述景点网络关注度的分月特征得知,京津冀全域旅游示范区景点网络关注度主要集中分布于暑期期间,这是由于该区域大多为多山区,是夏季避暑乘凉的好地方,而且暑期全国大中小学生均有充足的时间出去旅游。此外,3—5月和9、10月正值北方春秋季节时,气候舒适,适合出游,景点网络关注度也比较高。11月至次年3月初正值北方冬天,气候寒冷,草木枯竭,出游人数较少,景点网络关注度也较低。

3.4 特殊事件

2017年狼牙山景区玻璃栈道和玻璃观景台建成对外开放,可容纳200余人,吸引了大量游客前来参观体验。该年狼牙山景区网络关注度明显升高。而2018—2019年,狼牙山景区网络关注度不断降低,与2016年景区网络关注度相比,只有略微增长,说明特殊事件引起的旅游网络关注度升高具有时效性。

3.5 旅游目的地知名度

2016—2019年京津冀全域旅游示范区景点网络关注度主要集中于八达岭长城旅游区和

北戴河旅游区,主要原因是这两景点具有较高的国内外知名度。北戴河夏无酷暑,冬无严寒,风光秀丽,海滩沙质较好,是闻名海外的旅游度假胜地,也是中国四大避暑区之一,1982年成为首批国家级重点风景名胜区。八达岭长城是万里长城的杰出代表、国家5A级风景区,也是世界文化遗产,1961年被确定为第一批国家级文物保护单位,是接待世界各国元首、政府首脑最多的长城景区。

4 结论与建议

对2016—2019年京津冀全域旅游示范区代表性景点网络关注度时空分布进行研究,得出如下结论:(1)2016—2019年区域景点网络关注度总体呈现下降趋势,季节差异性减小;4月、7—8月和10月为网络关注度高峰期,11月到次年3月初为网络关注度的低谷期;周二和周末为关注度低谷,周五为关注度高峰;黄金周关注度具有明显的“井喷现象”,五一关注度峰值高于十一;(2)2016到2019年区域景点网络关注度总体呈现“东北→西南”空间分布格局,关注度中心有向西南方向偏移的趋势;(3)区域景点网络关注度时空变化主要受政策支持、闲暇时间、季节变化、特殊事件和旅游目的地知名度因素的影响。

研究表明该区域全域旅游示范区的创建成效显著,但也凸显出一些问题。目前京津冀全域旅游示范区关注度依然受其区域内旅游目的地知名度的影响,因此需要继续推进5A景区申报创建工作。其次,特殊事件引起的旅游网络关注度升高具有时效性的影响,应该注重全域旅游示范区景点旅游项目的总体布局规划,尤其是核心项目和支撑性项目的建设,促进景区可持续性发展。同时,全域旅游示范区景点关注度变化的时间特征在一定程度上反映了游客的出游偏好,可据此丰富景区的旅游活动,扩大全域旅游示范区的影响。

另外,本研究由于数据获取的有限,仅选取了京津冀全域旅游示范区7个具有代表性的景点,没有从客源地角度分析研究景点网络关注度的空间分布格局,对研究区域旅游搜索信息的把握不够全面。近几年京津冀全域旅游示范区景点网络关注度的下降除了与该地区大力发展全域旅游有关外,还可能与人们开始大量使用微信和微博搜索有关,在今后研究中可以将百度指数与微指数进行对比分析。

参考文献:

- [1] 李山,邱荣旭,陈玲. 基于百度指数的旅游景区络空间关注度:时间分布及其前兆效应[J]. 地理与地理信息科学, 2008(06): 102—107.
- [2] Girardin F, Fiore F D, Ratti C, et al. Leveraging explicitly disclosed location information to understand tourist dynamics: a case study[J]. Journal of Location Based Services, 2008, 2(1): 41—56.
- [3] Choi H, Varian H. Predicting the present with Google Trends[J]. Economic Record, 2012, 88: 2—9.
- [4] Yang X, Pan B, Evans J A, et al. Forecasting Chinese tourist volume with search engine data[J]. Tourism Management, 2015, 46: 386—397.
- [5] 林志慧,马耀峰,刘宪锋,等. 旅游景区网络关注度时空分布特征分析[J]. 资源科学, 2012, 34(12): 2427—2433.
- [6] 李会琴,李丹,董晓晴,等. 中国5A级景区分布及网络关注度空间格局研究[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(10): 178—184.
- [7] 徐凡,尤玮,周年兴,等. 基于百度指数的网络空间关注时空分布研究——以长三角5A级景区为例[J]. 资源开发与市场, 2016, 32(04):489—493.

- [8] 普拉提·莫合塔尔,伊力亚斯·加拉力丁. 新疆旅游景区的网络关注度时空特征——基于百度指数的分析[J]. 黑龙江民族丛刊,2016,(02):81-85.
- [9] 张丽峰,丁于思. 北京5A级旅游景区网络关注度分布特征研究[J]. 资源开发与市场,2014,30(11):1382-1384.
- [10] 张晓梅,程绍文,刘晓蕾等. 古城旅游地网络关注度时空特征及其影响因素——以平遥古城为例[J]. 经济地理,2016,36(07):196-202.
- [11] 龙茂兴,孙根年,马丽君,等. 区域旅游网络关注度与客流量时空动态比较分析——以四川为例[J]. 地域研究与开发,2011,30(03):93-97.
- [12] 汪秋菊,黄明,刘宇,等. 城市旅游客流量—网络关注度空间分布特征与耦合分析[J]. 地理与地理信息科学,2015,05:102-106+127.
- [13] 马莉,刘培学,张建新,等. 景区旅游流与网络关注度的区域时空分异研究[J]. 地理与地理信息科学,2018,02:87-93.
- [14] 汪秋菊,刘宇. 基于网络关注度的旅游景区客流量预警:研究框架与实证分析——以国家游泳中心水立方为例[J]. 旅游论坛,2014,7(05):9-15.
- [15] 孙烨,张宏磊,刘培学,等. 基于旅游者网络关注度的旅游景区日游客量预测研究——以不同客户端百度指数为例[J]. 人文地理,2017,32(03):152-160.
- [16] 李霞,曲洪建. 邮轮旅游网络关注度的时空特征和影响因素——基于百度指数的研究[J]. 统计与信息论坛,2016,31(04):101-106.
- [17] 何小芊,刘宇,吴发明. 基于百度指数的温泉旅游网络关注度时空特征研究[J]. 地域研究与开发,2017,36(01):103-108.
- [18] 高楠,张新成,王琳艳. 中国红色旅游网络关注度时空特征及影响因素[J]. 自然资源学报,2020,35(5):1068-1089.
- [19] 保继刚,楚义芳. 旅游地理学[M]. 北京:高等教育出版社,1999.
- [20] 赵安周,白凯,卫海燕. 西安旅游流“井喷”的时空分布特征研究[J]. 北京第二外国语学院学报,2011,33(09):39-47.
- [21] 吴睿怡,史春云,蒯步青,等. 淮海经济区5A级景区网络关注度的时空特征[J]. 江苏师范大学学报(自然科学版),2018,36(04):19-24.

(上接第62页)

- [14] Duley G, Dujourdy L, Klein S, et al. Regionality in Australian Pinot noir wines: A study on the use of NMR and ICP-MS on commercial wines[J]. Food Chemistry,2021,340. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2020.127906.
- [15] Qing X, Yanmei L, Wenlin W, et al. Chemometric intraregional discrimination of Chinese liquors based on multi-element determination by ICP-MS and ICP-OES[J]. Applied Spectroscopy Reviews,2021,56(2). DOI: 10.1080/05704928.2020.1742729.
- [16] Ed M, Glenn W, Naoki S. Method Development with ICP-MS/MS: Tools and Techniques to Ensure Accurate Results in Reaction Mode[J]. Spectroscopy,2019,34(s9).
- [17] Liang F, Shuyun S. A novel strategy to determine the compositions of inorganic elements in fruit wines using ICP-MS/MS[J]. Food Chemistry,2019,299. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.125172.
- [18] 杨雯懿,郝婧,田佳于,等. 利用 ICP-MS/MS 测定白酒中无机元素的主成分分析及聚类分析[J]. 食品与发酵工业,2020,46(03):257-263. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.022562.
- [19] 兴丽,王梅,赵凤敏,等. ICP-MS 两种模式下测定亚麻籽中微量元素及其不确定度评定[J]. 光谱学与光谱分析,2014,34(01):226-230. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2014)01-0226-05.
- [20] 付硕,刘淑梅,秦淑国,等. 超级微波消解-ICP-MS/MS 串联质谱法测定农产品中6种重金属[J]. 现代食品,2020,(24):177-179+190. DOI:10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2020.24.051.

文章编号:1001-9383(2021)03-0071-06

医院医用耗材管理信息系统综合研究

田建军¹,王柯子璐²,贾铁拴³

(1. 河北省科学院 河北 石家庄 050081; 2. 贵州师范大学 贵州 贵阳 550001;
3. 河北博健科技有限公司 河北 石家庄 050081)

摘要:本文论述了医院医用耗材管理信息系统精准高效综合研究,系统采用大数据共享技术、全流程质量智能化控制、多事务一键式智能化处理、高值耗材UDI扫码解读等技术。系统达到了高效、精准的目标。

关键词:医疗器械 UDI, 医用耗材, 高值耗材。

中图分类号: TP311; R197.324

文献标识码: A

Accurate and efficient comprehensive research of hospital medical consumables management information system

TIAN Jian-jun¹, WANG Ke-zilu², JIA Tie-shuan³

(1. Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang Hebei 050081, China;
2. Guizhou Normal University, Guiyang Guizhou 550001, China;
3. Hebei Bojian Technology Co., Ltd. Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: This paper discusses the hospital medical consumables management information system accurate and efficient comprehensive research, the system uses big data sharing technology, the whole process of intelligent quality control, multi transaction one click intelligent processing, high value consumables UDI scan code interpretation technology. The system achieves the goal of high efficiency and accuracy.

Keywords: Medical device UDI; Medical consumables; High value consumables

0 引言

国内三甲医院一般医用耗材年资金流几亿元到几十亿元,远超一个大型超市的资金流量。可以说医院医用耗材管理是物资产品最难管理的产品之一,原因是除物流、金融属性外,其产品质量监管和追溯功能要求非常严格,特别是高值耗材关系患者使用安全,流通和使用环节

收稿日期:2020-11-21

作者简介:田建军(1963-),河北张家口人,硕士,副研究员,主要研究方向为医疗行业和医药行业信息化管理。

通信作者:王柯子璐(1998-),河北石家庄人,主要研究方向为计算机软件应用. E-mail: wk5532zl@163.com

多、精准程度要求高、难度大,其产品要求全球追溯。

随着计算机网络技术的发展,医院医用耗材管理信息系统发展迅速,产品很多,但多数医用耗材管理系统孤立、缺乏精准、高效、智能化。为此,笔者根据医用高耗材管理特点,采用大数据共享技术、全流程质量智能化控制、多事务一键式智能化处理、高值耗材 UDI 扫码解读技术等研究设计了一套医院医用耗材管理信息系统。

1 总体设计

系统总体设计要求包含实现医用耗材全方位、全物流框架,根除孤岛现象,全流程质量控制智能化,多事务处理一键式智能化管理,提升系统效率和准确性,产品全球追溯方便可靠。

1.1 系统总体构架

系统由内网和外网平台组成,系统信息流总体构架见图 1。

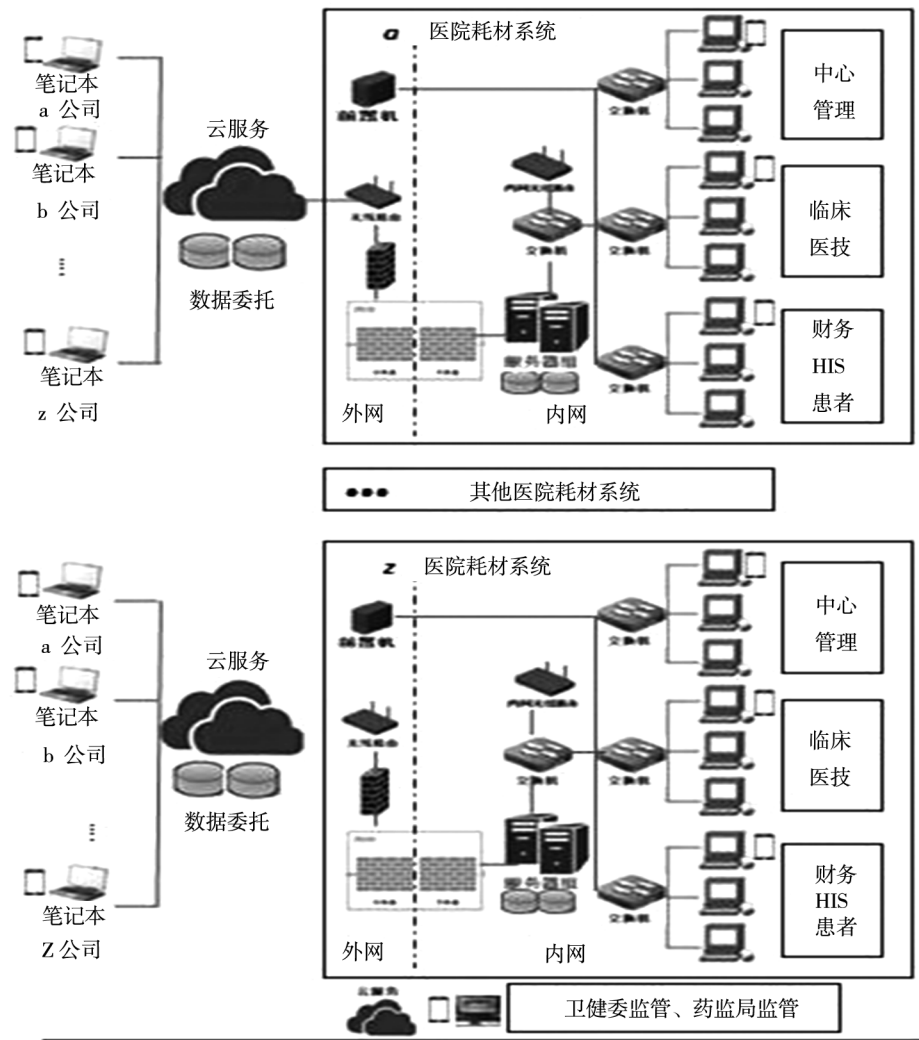


图 1 医用耗材信息流架构

内网联通医院诸多管理部门和业务科室;外网联通全球供应商、卫健委、药监局。

内网业务包括中心管理、临床医技、财务管理、HIS 对接、患者使用、与外网数据交换。外

网业务包括供应商业务及其与医院的数据交换,卫健委、药监局监管。为保护医院内网机密和黑客侵扰,医院在内外网之间设立防火墙和网闸物理设备,确保医院内网安全运行。内外网数据共享,消除业务信息链孤岛现象。

1.2 功能模块架构

医院耗材管理功能模块架构为两组模块三级管理,如图 2 所示。

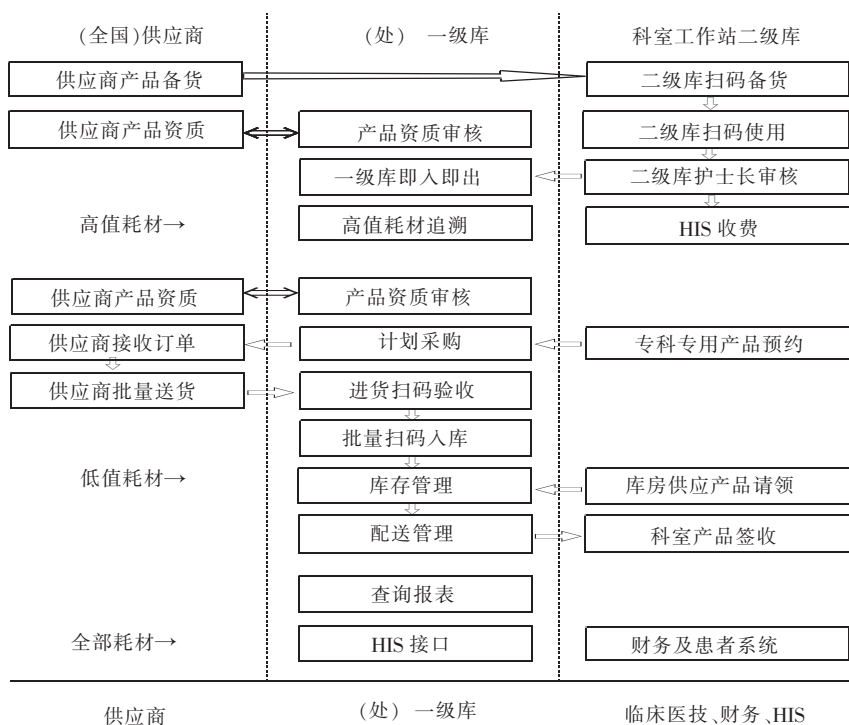


图 2 医院耗材管理功能模块架

两组模块包括高值耗材模块和低值耗材模块。三级管理含供应商供应端、业务中心(处)一级库管理、医技临床二级库管理。

1.2.1 高值耗材模块

(1) 供应商的功能: 资质建立、接收医院计划、按计划提供产品供货。

(2) 业务(处)中心一级库管理: 资质审核、一级库即入即出、高值耗材追溯、报表、HIS 接口。

(3) 临床医技科室: 二级库扫码备货、二级库扫码入出库、二级库扫码使用、二级库护士长审核、HIS 收费。

(4) 财务和 HIS 系统: 财务收费、患者信息、耗材目录转换。

1.2.2 低值耗材模块

(1) 供应商端: 资质提供、接收医院计划、批量供货。

(2) (处) 业务中心一级库管理: 资质审核、计划采购、扫码验收、批量扫码入库、库存管理、配送管理、报表、HIS 接口。

(3) 临床医技科室工作站: 专科专用产品预约、库房供应产品请领、科室产品签收。

(4) 财务和 HIS 系统: 报表、财务监督。

2 关键技术

2.1 大数据共享技术

系统采用大数据共享技术,医院诸多管理部门和业务部门建立统一平台,消除了部门割裂的孤岛现象。与院外供应商、卫健委、药监局、内外网互通,数据共享,建立了医用耗材的全物流链系统。如图 3 所示。

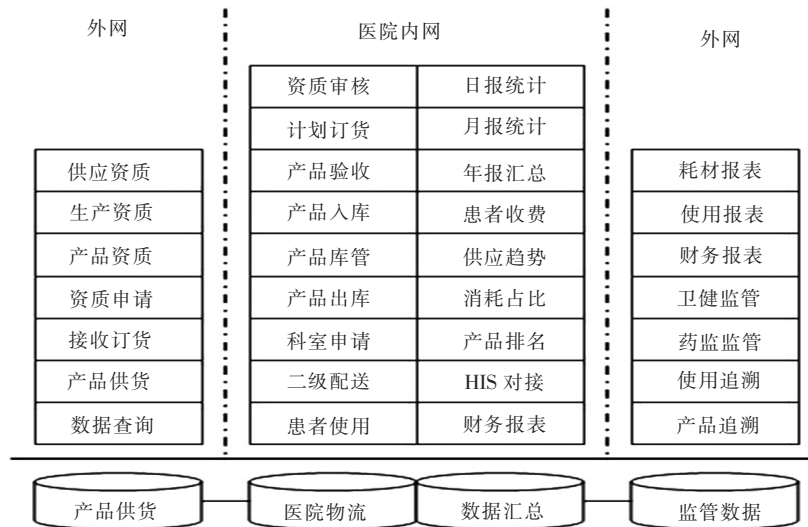


图 3 医院耗材管理大数据共享

“产品供货”:外网运行,功能有:供应商资质、生产资质、产品资质的管理、资质申请、接收订货、产品供货、数据查询。

“医院物流”:内网运行,服务于管理部门和业务部门,功能有:资质审核、计划订货、产品验收、产品入库、产品库管、产品出库、科室申请、二级库配送、患者使用。

“汇总数据”:内网运行,综合分析,功能有:各类报表、统计分析、患者收费、财务管理等。

“监管数据”:外网运行,为卫健委、药监局提供的监管数据,功能有:各种报表和监管数据,并且对患者使用高值耗材进行全方位、全物流追溯。

2.2 全流程质量智能化控制

医用耗材质量关系患者人身安全,全流程质量控制是安全的关键。产品的质量控制在图 4 所示。智能化控制主要包括:

(1) 招标后供货前产品资质建立。主要有:供应商注册或备案、生产厂家注册和备案、产品注册和备案。不合格资质的产品不能建立资质。

(2) 计划订货。由(处)业务中心一级库把关,资质或备案不合格的产品、有效期过期和近效期产品不能产生订货。

(3) 进货验收。资质或备案的产品不合格、有效期过期和近效期产品不能通过验收。把问题拒之入库前。

(4) 入库。资质或备案不合格、有效期过期和近效期产品不允许入库。

(5) 出库。资质或备案过期、有效期过期报警提示。

(6) 高值耗材使用。资质或备案过期、有效期过期报警提示。

对产品监控,任何一个环节出现质量问题,报警和预警,确保产品流通和使用全流程的质量安全。

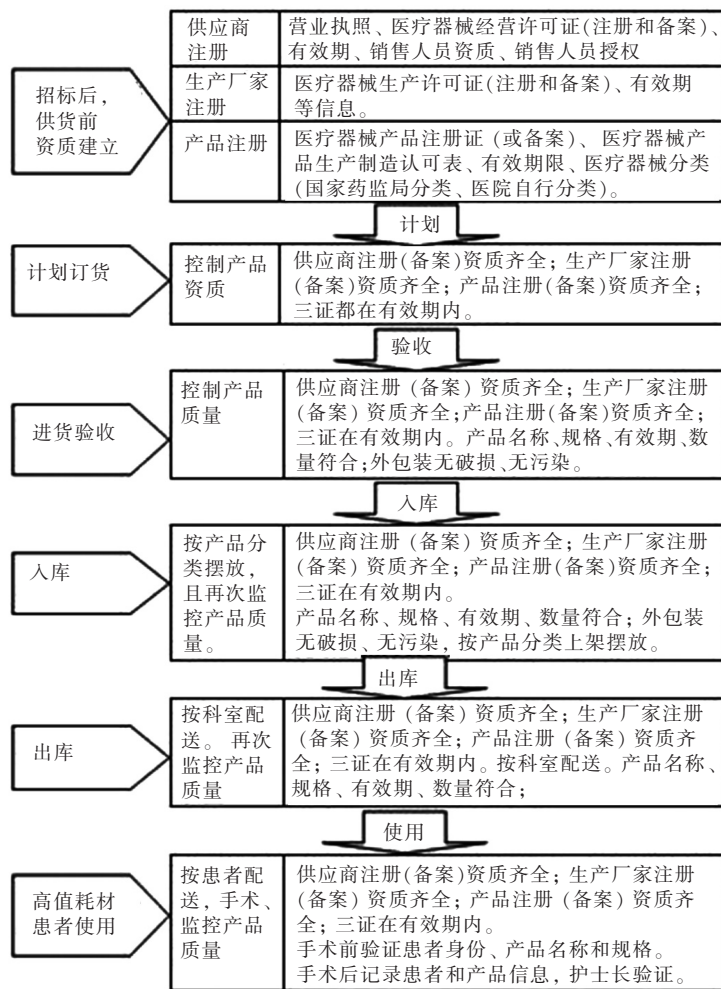


图 4 医用耗材质控流程图

2.3 多事务一键式智能化处理

一般医院传统操作方法,需要对几十或上百千产品,几十或上百千事务逐一审核,由于审核的产品多、环节多,必须一项一项处理,人工核对,操作需要花费许多时间,容易出错。为此智能化是提高批量事务处理的有效方法。

而多事务一键式智能化处理,是指对诸多事务作业,只需要按动一个按键,瞬间即可完成批量作业。通过对诸多产品、诸多事务进行一键式操作,智能化核对,核对出现疑问,自动报警提示。几十或上百千产品和事务,几秒或数十秒即可完成,大大提高了多事务处理能力,准确率达 100%。

2.4 高值耗材 UDI 一键式扫码解读

高值耗材使用国际 UDI 条码,具有固定信息和变化信息,用于内部管理、生产流程、物流控制系统方面。由于来源于不同的国际编码组织,有 GS1-AEN/UCC-128、HIBC、code-128,规范多,条码信息复杂,快速识别有一定难度。但是,可以实现对每件产品全球追溯。

本系统利用国际医疗器械 UDI 编码规则,对高值耗材 UDI 诸多规范解读,提供准确的扫

码算法。

本系统的解读算法有：

(1)静态区段和动态区段区分管理。

(2)UDI 区段定位:起始位、标示位、校验位、结束位。

(3)获取标示位,不同规范不同的获取方法,例如,GSI-AEN/UCC-128,采用两位数字作为不同字段的标示,如,11、17、21、30 等。而 HIBC、code-128 获取标示位用其他方法,有的比较复杂,不在赘述。

(4)个别区段长度不确定,使用模糊智能分析法,并且参与业务管理经验,确定区元段的结果。

上述研究结果,逐条解析放入数据库和程序中,实现高值耗材一键式智能化扫码。

本系统采用高值耗材一键式智能化扫码,见图 5。

实现高值耗材一键式智能扫码操作极其简单:对高值耗材产品包装上 UDI

条形码一键式扫码,即可确定产品名称、规格、型号,供应商资质、生产厂家资质、产品资质,产品批号、序列号、有效期。相较过去手工操作几分或几十分钟才能获得的数据,几秒就能快速获取,准确率达到 100%。由于数据完整、准确,提供了快速、准确的全球追溯手段。

3 结论

针对医用耗材管理过程,采用大数据技术及高值耗材 UDI 扫码解读技术,研究设计了医院医用耗材管理信息系统。系统消除了医用耗材管理链孤岛现象,实现了全物流智能化质量控制,提高了产品使用的安全性。采用多事务一键式智能化处理,达到高效、无差错。系统高值耗材 UDI 一键扫码解读,达到管理高效,无差错,提供全球快速追溯的手段。此系统已在多个三甲医院得到应用。

参考文献:

- [1] 张秋军,王庆山,胡红梅,等.应用扫码技术实现高值医用耗材的信息化管理[J].中国医学装备,2015,(12):146-148.
- [2] 王裔辉,王惠,赵海宏,等.医用耗材的信息化管理[J].中国实用医药,2017,1(10):195-198.
- [3] 张秋军,胡红梅,王庆山,等.医用耗材采购电子订单网络化[J].中国医学装备,2015,(7):120.
- [4] 胡红梅.植入介入高值医用耗材扫码管理系统的应用[Z].中华医学会医学工程学分会第十五次全国学术年会论文集汇编.2015.

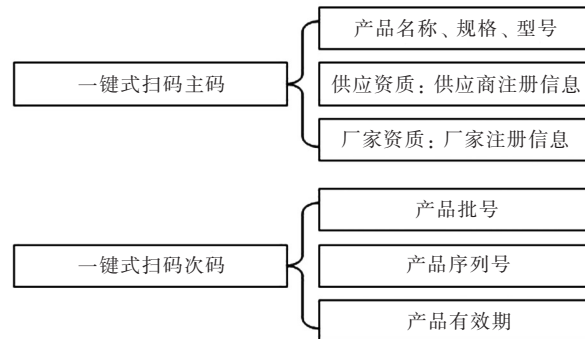


图 5 高值耗材一键式智能化扫码

文章编号:1001-9383(2021)03-0077-09

基于产业链视角的京津冀医药 产业协同发展研究

梁兆南¹, 李玲¹, 黄琳^{1,2}, 郭鲁钢¹, 刘胜飞¹, 任蓉¹

(1. 北京市科学技术研究院, 北京 100089; 2. 北京科学学研究中心, 北京 100089)

摘要: 医药产业是京津冀协同发展的重点产业之一, 本文通过对京津冀三地医药产业发展的概况进行梳理, 重点基于产业数据与专利数据分析、案例分析, 从医药产业细分产业链的角度探讨京津冀医药产业协同发展的特点与存在的问题, 提出京津冀医药产业协同具有区域配套及制度保障不足、创新能力差距过大影响协同效果、区域产业链环节存在缺失的问题, 并就此提出具有参考意义的对策建议。

关键词: 京津冀; 产业链; 医药产业; 协同发展

中图分类号: F061.5; F062.9

文献标识码: A

Study on the coordinated development of Beijing-Tianjin-Hebei pharmaceutical industry from the perspective of industrial chain

LIANG Zhao-nan¹, LI Ling¹, HUANG Lin^{1,2}, GUO Lu-gang¹, LIU Sheng-fei¹, REN Rong¹

(1. Beijing Academy of Science and Technology, Beijing 100089, China;

2. Beijing Research Center for Science of Science, Beijing 100089, China)

Abstract: Pharmaceutical industry is one of the key industries of Beijing-Tianjin-Hebei coordinated development. The paper analyzed the development situation of pharmaceutical industry in Beijing-Tianjin-Hebei, and then explored characteristics and existing problems of Beijing-Tianjin-Hebei industrial coordinated development based on sub-industrial chains of pharmaceutical industry. The paper identified three coordinated problems including insufficient regional supporting system and institutional guarantee, excessive gap in innovation ability, and fragmentary industrial chain. At last, some suggestions have been proposed.

收稿日期: 2021-06-15

基金项目: 河北省软科学研究专项(20557603D)

作者简介: 梁兆南(1992-), 女, 北京人, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为科技管理、公共政策。

通信作者: 李玲(1984-), 女, 河北石家庄人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为科技管理、科技政策;

黄琳(1981-), 女, 山西长治人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为科技管理、文化产业;

郭鲁钢(1979-), 男, 山东菏泽人, 博士, 研究员, 主要研究方向为科技管理、技术转移。

Keywords: Beijing-Tianjin-Hebei region; Industrial chain; Pharmaceutical industry; Coordinated development

中央在 2015 年发布《京津冀协同发展规划纲要》，京津冀协同发展成为国家的一项重大战略。在京津冀的产业协同中，医药产业一直是重点产业之一。自 2015 年起，河北积极对接北京、天津资源，成立了北京·沧州渤海新区生物医药产业园、乐亭县北京生物医药科技产业园等以承接北京和天津资源为主的医药产业园区；天津市依托天津滨海—中关村科技园也在推进生物与生命科技产业的协同发展。

经过近年的发展，京津冀三地在医药产业协同上取得了一些成绩，但仍然存在不足。当前一些研究中对此也有探讨，例如，郭冬梅等(2020)^[1]采用 GEM 模型评价相对竞争优势认为，北京具有独一无二的竞争优势、天津具备竞争优势、河北无竞争优势。京津地三地产业发展水平差距过大，一直是影响协同的重要问题；张琳等(2018)^[2]从生物医药高新技术企业的情况分析出发，提出京津冀医药产业存在产业规模不够大、细分行业不够深、国际创新不够开放、研发服务核心地位减弱等差距和不足。以至于，北京与天津、河北的外部协同程度低于北京市医药制造业的内部协同度^[3]。

当前研究多侧重于对产业的宏观评价，未对医药产业的产业链环节进行深入研究。而京津冀医药产业资源禀赋存在较大差异，在产业链上实现深度协同才是形成京津冀集群优势的关键路径。本文根据国家统计局《健康产业统计分类(2019)》，主要从医药产业中的化药产业、中药产业、生物药产业三个细分行业及医药产业整体进行研究，其中化药产业又细分为化学原料药领域和化药制剂领域，中药产业又细分为中药饮片领域和中成药领域。重点基于产业数据与专利数据分析、案例分析，从医药产业细分产业链的角度探讨京津冀医药产业协同发展的特点与存在的问题，并就此提出具有参考意义的对策建议。

1 京津冀医药产业发展概况

从区域上看，我国医药工业营收的重点区域分布于京津冀及山东省组成的环渤海地区，长三角、珠三角地区以及四川省等中部地区，其中环渤海地区依托北京的人才和研发优势、河北省的产业基础、天津市在中药产业以及技术研发上优势，是我国医药产业集群中综合实力最强的产业集群之一。

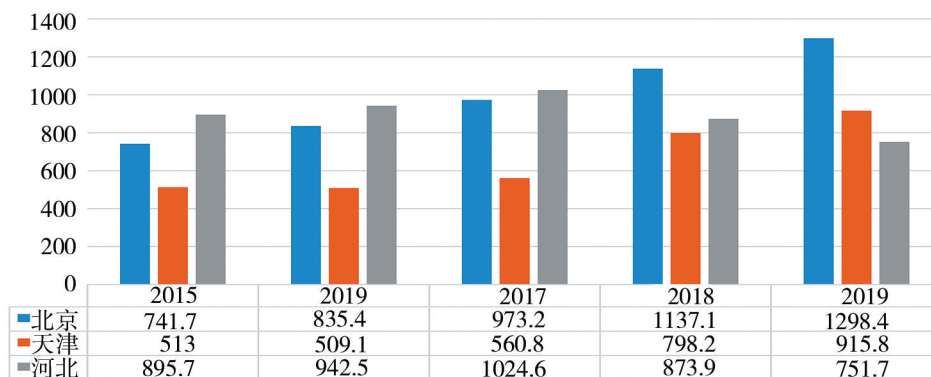
与长三角相比，京津冀 2019 年营业收入占全国的比重为 12.4%，利润总额占全国的比重为 12.6%，远低于长三角 24.1%和 26.4%的比重。京津冀的三个地区对比来看，北京相对优势更强，尤其在营业收入低于天津和河北之和的情况下，利润总额超过了天津和河北之和，说明北京的医药产业利润率较高。长三角的三个地区，江苏省显现出绝对的相对优势，无论是营业收入还是利润总额都遥遥领先，除上海之外，浙江的营业收入和利润总额也高于北京、天津、河北。(见表 1)

表1 京津冀与长三角医药制造产业规模以上企业的营业收入与利润对比(2019年)

地区	营业收入		利润总额	
	总额(亿元)	比重(%)	总额(亿元)	比重(%)
全国	23884.2	100	3184.2	100
京津冀	2965.9	12.4	400.92	12.6
北京	1298.4	5.4	214.2	6.7
天津	915.8	3.8	70.52	2.2
河北	751.7	3.1	116.2	3.6
长三角	5775.7	24.1	840.73	26.4
上海	970.55	4.1	148.71	4.7
江苏	3237.66	13.6	460.7	14.5
浙江	1547.57	6.5	231.32	7.3

(数据来源:北京市统计年鉴、天津市统计年鉴、河北省统计年鉴、上海市统计年鉴、江苏省统计年鉴、浙江省统计年鉴)

北京市医药产业一直保持增长态势,规模以上医药制造业营业收入近年来持续上升,2019年达到1298.4亿元人民币。根据《2020年天津统计年鉴》,2018年天津市共有规模以上医药制造业企业91个,医药产业占全市规模以上工业比重达到5%,营业收入利润率达到13%,仅次于石油化工产业。天津市汇集了中科院天津工业生物技术研究所、天津国际生物医药联合研究院、天津药物研究院等高水平研发平台以及南开大学、天津大学、天津科技大学、天津中医药大学等高等院校。在协同创新上,与沧州市政府共建“南开大学—沧州渤海新区绿色化工研究院”,致力于打造京津冀协同新典范。



(数据来源:北京市统计年鉴、天津市统计年鉴、河北省统计年鉴)

图1 京津冀三地2015—2019年规模以上医药制造业营业收入(亿元)

河北省在医药产业发展上,聚焦生产环节,包括化学原料药的生产、原材料的供应、中药与特色药的生产等。2019年度中国医药工业百强榜单中,河北省有五家企业入选,分别是河北省石药控股集团有限公司、华北制药集团有限责任公司、石家庄以岭药业股份有限公司、石家

庄四药有限公司以及神威药业集团有限公司。

2 京津冀医药产业的协同特点与存在的问题

2.1 政策导向扶持作用明显,区域配套及制度保障不足

自2015年习近平总书记指出疏解北京非首都功能、推进京津冀协同发展开始,中央及北京市政府出台了一系列疏解政策,其中有多项涉及生物医药领域。2015年9月,北京市科委印发《北京市科学技术委员会关于建设京津冀协同创新共同体工作方案(2015—2017年)》(京科发〔2015〕435号),提出在生物医药等领域培育区域性高端产业发展。2017年12月,北京市政府会同京津冀两省市共同研究制定《关于加强京津冀产业转移承接重点平台建设意见》,提出在京津、京保石、京唐秦方向建立医药产业承接平台。2017年,北京市人民政府办公厅关于印发《北京市工业污染行业生产工艺调整退出及设备淘汰目录(2017年版)》的通知(京政办发〔2017〕33号),对八项涉及医药行业领域的生产工艺进行了淘汰。2020年,北京市第十五届人民代表大会常务委员会第二十六次会议通过《北京市中医药条例》(〔十五届〕第40号),提出大力促进京津冀中医药协同发展,在中医药医疗服务、科学研究、人才培养、产业促进、学术交流、文化传播等方面开展合作,推动中医药服务资源共建共享、信息互联互通。河北省人民政府于2019年印发《关于支持生物医药产业高质量发展的若干政策》的通知,在加强新药研发和技术创新以及支持企业发展上出台了具体的战略与支持政策。天津市滨海新区、和平区、河东区、东丽区、西青区、津南区、北辰区、武清区、宝坻区以及宁河区的“十三五”区域规划中,在生物医药产业上的发展均有提及。在政策引导下,相关部门、企业加速了协同的步伐。

(1)依靠政府力量建立跨地区医药园区,但地区配套仍不完善。北京市以中关村生命科学园、经济技术开发区和大兴生物医药基地等为主,发挥中关村科学城科研优势以及经济技术开发区、大兴区在土地空间规划上的优势,为技术研发提供良好土壤。天津市以滨海新区为核心,主要的产业园区有天津开发区西区生物医药产业园、天津健康产业园、北辰现代中药产业园、西青现代医药产业园等,并与多家生物医药企业孵化器进行联动,促进产学研一体化发展。河北省以石家庄、沧州、安国三个产业基地为中心,积极承接京津及其他国内外知名企业医药产业转移。园区之间建立紧密联系。以北京·沧州渤海新区生物医药产业园为例,该产业园是2015年河北省政府与北京市经信委联合签署协议共同建立的产业园区,园区累计签约项目160个,其中签约京津项目共120个,占总签约项目的75%,具有较为广阔的发展前景。但是,据实地调研所知,迁至此园区的企业在技术人才面临供应不足的问题。又如,固安肽谷生物医药产业园,主要承接北京生物医药企业,当前迁至此园区的北京医药企业多数业务核心为生物医药制品开发、医学研究、基因工程产品等,对于高素质人才、创新环境具有较高的要求,在固安肽谷生物医药产业园中,近两年已有一些公司注销。

(2)异地监管模式树立区域协同发展标杆,但仍需更大的政策突破。2016年,北京市人民政府办公厅关于印发《北京市食品药品安全三年行动计划(2016—2018年)》的通知(京政办发〔2016〕7号),提出在食品药品方面推进京津冀一体化监管,共同搭建综合平台,实时归集和共享食品药品日常监管、行政许可、审评认证、监督执法、检验检测等信息,提高区域协同监管能力,推动资质互认。在北京和河北政府部门的努力下,以北京·沧州渤海新区生物医药产业园为代表,实现了异地监管,北京在沧州建立直属京外分局,避免了北京外迁药企繁琐的药品转

移审批、注册手续^[4]。异地监管为北京市医药企业外迁部分生产环节提供了制度保障,在这样的制度下,至2021年上半年,北京·沧州渤海新区生物医药产业园签约京津项目已达120个,其中竣工投产27个。不过,在此模式下,要求在沧州园区的企业具有北京法人资格,所以入驻园区的企业主要以分公司的形式设立,在当地不具有法人地位,所以在当地无法享受面向法人企业的相关优惠政策,例如疫情期间的减税政策、当地高新技术企业的扶持政策等。另外,对于中药企业,尤其是中药饮片类产品而言,受制于中药饮片炮制标准的属地限制,即使生产环节搬至河北地区,其饮片产品也无法直接进入河北市场,由此企业向河北迁移并不能扩大其市场,难以提升企业与河北协同的积极性。

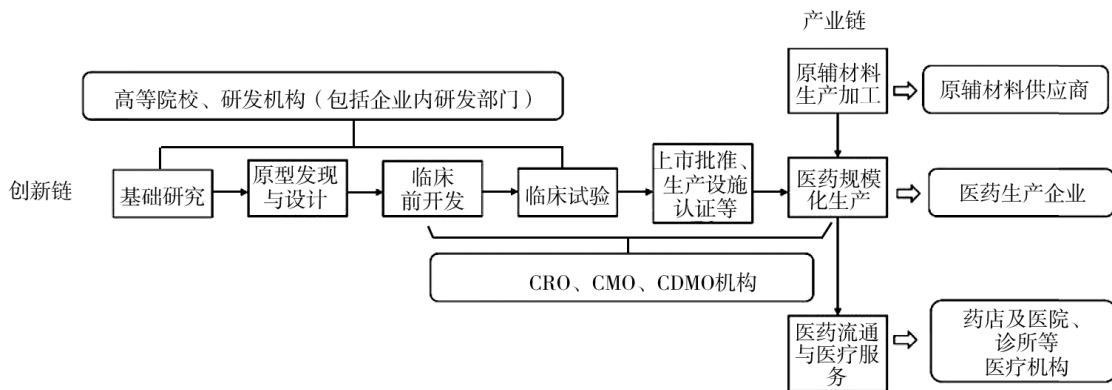
表2 北京·沧州渤海新区生物医药产业园部分“京药企业”

企业名称	分公司名称	河北分公司业务范围
北京泰德制药	河北鼎泰制药有限公司	原料药及中间体的研发、生产及销售,承接相关原料药及中间体的代生产和销售,对原料药及中间体进行研发
北京协和制药	北京协和制药二厂沧州分厂	化学药品原药,化学药品制剂,医用化妆品制造,中药材及中成药加工
北京华素制药股份有限公司	北京华素制药股份有限公司沧州分公司	外用制剂、片剂、注射剂、原料药、胶囊制剂、口服溶液剂、麻醉药品制造;外用制剂、片剂、注射剂、原料药、胶囊制剂、口服溶液剂、麻醉药品的技术开发
北京朋来制药有限公司	北京朋来制药有限公司沧州分公司	对年产60吨磷酸肌酸钠项目的投资、开发、建设、管理
北京万生药业有限责任公司 (北京福元医药股份有限公司)	北京万生药业有限责任公司沧州分公司	制造、销售原料药
华润双鹤药业股份有限公司	华润双鹤药业股份有限公司沧州分公司	加工、制造大容量注射剂(含多层共挤膜输液袋)、小容量注射剂(含抗肿瘤类)、冻干粉针剂(含青霉素类)、片剂(含头孢菌素类)、硬胶囊剂(含头孢菌素类)、软胶囊剂(胶丸)、颗粒剂(含头孢菌素类)、冲洗剂、气雾剂、原料药、精神药品、制药机械设备
北京太洋药业股份有限公司	北京太洋药业股份有限公司沧州分公司	生产原料药、各型制剂、医药化工产品(危险化学品除外)
北京北陆药业股份有限公司	北京北陆药业股份有限公司沧州分公司	中药提取及原料药生产基地

2.2 资源禀赋差异利于协同,创新能力差距过大影响协同效果

医药产业对于京津冀三地都是重点发展的高技术产业,基于本地的资源禀赋差异,三地在

医药产业发展重点有明显的区别。这种区别使三地存在更多协同的可能性。在创新链上京津冀可形成北京位于上游、天津处于中游、河北位于下游的协同形势(见图2)。



(注:图中直角矩形代表创新链、产业链环节;圆角矩形代表创新主体)

图2 医药产业创新链、产业链及各环节创新主体

北京具有丰富的研发资源,在创新链前端具有绝对的依靠优势。一方面,北京聚集了全国数量最多的高等院校、科研机构,以及由此带来的丰富的人才资源;另一方面,北京积极支持新型研发机构、共性技术平台建设,如昌平区生命科学园聚集了北京生命科学研究所、北京市药品检验所、北大国际医院为临床试验平台、生物芯片北京国家工程研究中心、蛋白质药物国家工程研究中心等,以及美国健赞、瑞士先正达、丹麦诺和诺德等国际著名生物技术企业的研发中心。由此,北京市以国际大型医药集团、技术与知识密集型企业为主,在化药、中药、生物药细分行业都拥有龙头企业。国际大型医药集团如诺和诺德、赛诺菲等;国内龙头企业,化药领域如创新化药企业悦康药业,中药领域如同仁堂、康美药业,生物药领域如北京生物制品研究所有限公司(天坛生物)、北京科兴生物制品有限公司等。

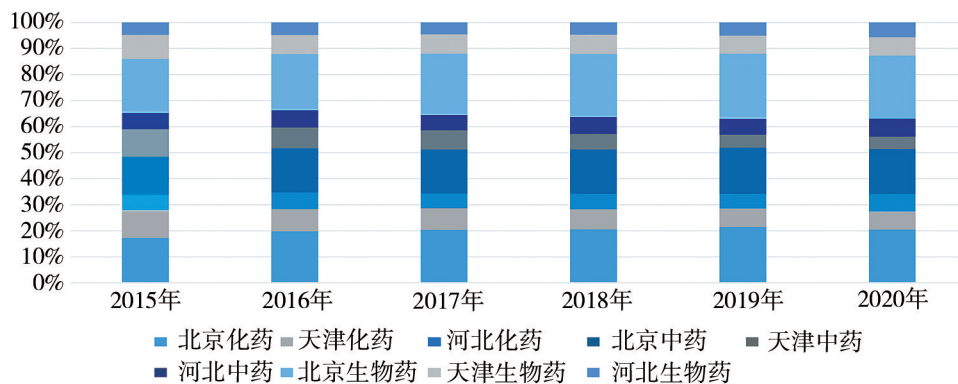
天津市相对也具有较高的研发实力,尤其在应用研究领域具有相匹配的科研机构及人才资源,这促使天津在新兴的医药研发服务领域快速崛起。在CDMO(医药合同定制研发生产)、CRO(合同定制研发)、CMO(合同定制生产)领域拥有多家龙头企业,如位于天津滨海新区的凯莱英医药集团,是一家全球行业领先的CDMO企业,主要致力于全球制药工艺的技术创新和商业化应用,为国内外大中型制药企业、生物技术企业提供药物研发、生产一站式CMC(化学成分生产和控制)服务;药明康德(总部设于上海,在天津设立了多家子公司),是国际领先的开放式能力与技术平台,为全球生物医药行业提供全方位、一体化的新药研发和生产服务。此外,天津还在港口与贸易方面具有相对优势。天津港是京津冀及“三北”地区的海上门户,物流产业集群能为京津冀三地医药产业走向国门提供更为适宜的环境,良好的贸易环境还能够为科技成果的转化提供便利。

河北省具有传统的医药制造生产优势,并且具有历史积累的化工产业优势。一方面,河北具有传统的化药、中药行业的多家龙头企业。2019年度中国医药工业百强榜中,河北省就有石药集团、华北制药集团、石家庄以岭药业、石家庄四药、神威药业集团五家企业入选。另一方面,结合化工业优势和人力与运输成本相对较低的特点,河北积极承接北京非首都功能疏解,

尤其是北京医药企业的生产制造环节,化药产业链中的原料药生产环节、中药产业链中的中药饮片炮制加工环节等。

虽然京津冀可在创新链上形成一定的协同,但三地的创新能力存在巨大的差异,对三地实现高效的产业协同造成了阻碍。

(1)北京市专利申请量远远领先于天津、河北,技术差距过大影响合作。在化学药、中药、生物药三个领域,北京市的专利申请数量远远领先于天津市、河北省。根据 Incopat 专利库的检索结果,在化药领域的原料药制造子领域和化学药品制剂子领域,2011年至2020年北京市专利申请数量均占京津冀三地申请数量的一半以上。中药领域中的中药饮片加工子领域,2011年至2020年北京专利申请数量共计7030件,占京津冀三地总数的一半左右;中成药加工子领域专利申请数量约占京津冀的60%。生物药品领域,北京相对优势更加明显,2011年至2020年间专利申请数量接近京津冀总量的三分之二,即为天津和河北之和的两倍。在这样的情况下,北京与天津、河北的创新能力差距过大,一定程度上已形成脱节,三地难以实现有效的资源对接。



(注:数据检索自 Incopat,检索时间 2021年6月15日)

图3 2015—2020年京津冀三地在化药、中药、生物药领域申请专利的占比

(2)创新主体间需求错位,北京丰富的科技成果难以在津冀落地,河北药企亟需转型。根据对化学药、中药、生物药三个细分领域的专利申请情况的分析,京津冀三地在专利申请人上呈现出明显的区域禀赋特征。北京市汇集了国内顶尖的高等院校和科研机构,专利申请主体以它们为主,但几乎没有北京的企业进入申请者前十,在高等院校和科研院所成果转化整体比例较低的现状下,代表北京基础研究的成果实现商业转化的比率非常低;另外,北京在化药的原料药、生物药领域具有明显的优势,都是科技含量较高的细分领域,天津、河北与北京差距明显,致使大量成果落地到苏州、深圳。天津申请主体以科研院所与企业为主,相对成果转化主体间较容易实现对接,但其明显的相对优势在于中药产业。河北省仅在化药领域的制剂生产细分领域在专利申请上具有一定竞争力,相较京、津没有明显的优势,专利申请主体以企业为主,如石药集团、以岭药业等。河北省的医药产业集中于化工技术领域,而且产品多为仿制药,在国家集采政策实施之后,河北省的药企面临着较大的压力,亟需向创新药转变。细分领域专

利申请主体排名见表3。

表3 京津冀三地各细分领域专利申请量前十的申请人

排名	化药		中药		生物药
	原料药	制剂	饮片	中成药	
1	首都医科大学	石药集团中奇制药技术(石家庄)有限公司	天津太平洋制药有限公司	首都医科大学	中国农业大学
2	天津科技大学	华北理工大学	北京绿源求证科技发展有限公司	北京大学	天津大学
3	北京大学	河北科技大学	天津生机集团股份有限公司	中国医学科学院药物研究所	北京大学
4	天津大学	河北大学	天津瑞贝特科技发展有限公司	南开大学	天津科技大学
5	中国农业大学	神威药业集团有限公司	格特生物制药(天津)有限公司	天津大学	清华大学
6	中国医学科学院药物研究所	石药集团中诺药业(石家庄)有限公司	鼎正动物药业(天津)有限公司	中国农业大学	中国农业科学院作物科学研究所
7	南开大学	石药集团欧意药业有限公司	北京中医药大学	北京泱深生物信息技术有限公司	南开大学
8	中国科学院微生物研究所	河北以岭医药研究院有限公司	中悦民安(北京)科技发展有限公司	天津科技大学	中国科学院微生物研究所
9	清华大学	固安博健生物技术有限公司	天津中医药大学	中国人民解放军军事科学院军事医学研究院	首都医科大学
10	中国人民解放军军事科学院军事医学研究院	石家庄以岭药业股份有限公司	天津中教生物科技有限公司	清华大学	北京市农林科学院

(注:数据检索自 Incopat,检索时间 2021年6月15日)

2.3 产业链协同多在企业内部,区域产业链环节存在缺失

在京津冀协同发展战略的指导下,三地医药产业加大了合作,从产业链角度看,三地医药产业链协同正在加深。例如,通过北京医药企业搬迁部分生产环节,形成区域间的产业链条协同。在化药领域,部分北京企业把原料生产环节搬迁至河北沧州,在沧州工厂(一般为北京企业的分公司)产出的原料药,主要供应位于北京的总公司,由此构建了基于企业内部的跨沧州与北京地区产业链协同。又如,企业通过在三地设立不同的子公司,充分利用三地不同的资源,有的企业在天津设立研发服务平台企业,依赖的是天津较为丰富的科技人才及相对较低的

人力成本;在北京建立临床研究企业,重点利用北京丰富的医疗资源开展临床试验。同样,这样的协同在同一企业内部实现。

超出单家企业的范围,中观与宏观层面的产业链协同并不活跃,甚至在一定程度上还存在环节缺失。以创新药为例,京津冀可以实现前端基础研究找到靶点,完成小分子设计,但接下来的体外模拟蛋白、动物实验、工艺研究几大环节却没有相应的创新主体,再之后的临床试验可以回到北京。相较之下,从基础研究找到靶点到最终的临床试验在长三角地区全部可以实现。

3 京津冀医药产业链协同的对策建议

通过上述分析可知,京津冀三地在医药产业有着明显的差异化发展特征,差异化的发展能够最大程度的利用区域的优势资源,将区域禀赋最大化,形成产业链上的协同,正视当前在制度建设、创新能力、链条环节完整性等方面存在的不足,才能创造更广阔的京津冀协同发展空间。

一是加强三地制度协同。在药品审批监管方面,在京冀异地监管的突破之外,促成京津冀三地在药品审批上的互认,促成北京迁出企业以实体法人的形式落地,这样落地企业可以与当地供应企业直接合作,提供协同效率。在产业标准方面,推进中药行业的国家标准制定,打破省市间的标准差异限制。总体上,在产业标准化上实现互认互通,增强制度间的适配性。

二是加强产业政策、商业政策之间的协同。结合北京市“两区”建设、天津市综保区建设等制订对于新型诊疗技术应用、非国内上市新药使用等方面的突破性政策,鼓励京津冀地区新药研发。同时,加速在物流、监管、金融以及相关认证等方面的一体化建设,营造良好的产业发展环境。

三是引导企业填补产业链欠缺环节。对于中试、小规模生产试验等,引导社会力量投入,政府对于被忽视的环节进行定向的扶持,例如对于中试可给予一定的资金补贴。京津冀形成了完整的产业链条,才能使更多的医药创新企业留在此地、主动来到此地。

四是提升河北地区的配套能力。在河北地区良好的化工产业基础上,一方面加强人才资源供应,可与优质医药企业定向培养专业人才;另一方面,加大共性技术平台、协同创新平台建设,以此提高河北对京津科技成果的承接能力。

参考文献:

- [1] 郭冬梅,谈维,林洁.基于经济一体化背景的京津冀国家级高新技术开发区医药产业集群竞争优势分析[J].中国药事,2020,34(05):556-563.
- [2] 张琳,李亨,刘欣.京津冀生物医药产业的协同发展——以高新技术企业为视角[J].统计与管理,2018,(12):34-38.
- [3] 王坤,李春成,马虎兆.基于专利视角的京津冀医药制造业协同创新评价[J].科技管理研究,2017,37(19):78-84.
- [4] 北京市经济和信息化委员会.北京·沧州渤海新区生物医药产业园的协同建设模式和经验[J].前线,2017,(08):64-66.