

河北省科学院学报

HEBEISHENG KEXUEYUAN XUEBAO

2020年3月

第37卷 第1期

总第131期

目 次

- Spark 数据倾斜问题研究 张占峰,王文礼,耿珊珊,贾芝婷(1)
- 基于随机森林算法的城区土地覆盖分类研究 左晓庆,李潇雨,刘怀鹏(8)
- 止水带在线截面检测系统的设计与实现 张震(17)
- 基于 MATLAB 的 6R 机器人逆运动学求解分析 孟凡刚,曹东江,尚江华(22)
- 蜂群自组网双信道频率分集多址接入协议 张玉鹏,陈仕进,李北国(30)
- 船载卫星通信天线控制的关键技术 吴姣(36)
- 一种新型波导圆极化天线 李凡,牛传峰(41)
- 医用 PSA 制氧设备的远程检验和实时监控系统的技术研究 何桐,安生永(46)
- 基于分子筛制氧机富氧气体组分的检验研究 耿燕,安生永,王月英,吴少帅(51)
- 清热散结胶囊三维荧光指纹图谱研究 朱丹丹,乔沁汾,李鑫,杨莉丽(55)
- 微生物肥料发展及作用机理综述 郑立伟,闫洪波,张丽,黄媛媛,黄亚丽(61)
- 河北省县域贫困特征及致贫因素分析 刘欣,朱苏加,秦彦杰(68)
- 浅析京津冀区域生态环境协同治理对策 尹凡,朱佳明,刘明,仵凤清(74)

JOURNAL OF THE HEBEI ACADEMY OF SCIENCES

Vol. 37 No. 1

Mar. 2020

CONTENTS

- Research on data skew of Spark
..... ZHANG Zhan-feng, WANG Wen-li, GENG Shan-shan, JIA Zhi-ting (1)
- Research on urban land cover classification based on random forest algorithm
..... ZUO Xiao-qing, LI Xiao-yu, LIU Huai-peng (8)
- Design and implementation of online cross section detection system for self-adhesive
rubber water stop tape ZHANG Zhen (17)
- Inverse kinematics analysis of 6R robot based on MATLAB
..... MENG Fan-gang, CAO Dong-jiang, SHANG Jiang-hua (22)
- A dual-channel frequency diversity medium access control protocol for swarm ad hoc networks
..... ZHANG Yu-peng, CHEN Shi-jin, LI Bei-guo (30)
- Analysis of key considerations in the design of ship-borne antenna system ... WU Jiao (36)
- A novel fractal circular polarization antenna LI Fan, NIU Chuan-feng (41)
- Technical research on remote inspection and real-time monitoring system of medical PSA
oxygen making equipment HE Tong, AN Sheng-yong (46)
- Research on the inspection of oxygen enriched gas components based on molecular sieve oxygen
generator GENG Yan, AN Sheng-yong, WANG Yue-ying, WU Shao-shuai (51)
- Investigation of three-dimensional fluorescence fingerprint of Qingre Sanjie Capsule
..... ZHU Dan-dan, QIAO Song-fen, LI Xin, YANG Li-li (55)
- A review on development and mechanism of microbial fertilizer
... ZHENG Li-wei, YAN Hong-bo, ZHANG Li, HUANG Yuan-yuan, HUANG Ya-li (61)
- Analysis of poverty characteristics and poverty factors in counties of Hebei province
..... LIU Xin, ZHU Su-jia, QIN Yan-jie (68)
- Analysis on the countermeasures of coordinated management of ecological environment in
Beijing-Tianjin-Hebei region YIN Fan, ZHU Jia-ming, LIU Ming, WU Feng-qing (74)
-

文章编号:1001-9383(2020)01-0001-07

Spark 数据倾斜问题研究

张占峰,王文礼,耿珊珊,贾芝婷

(河北经贸大学信息技术学院,河北 石家庄 050061)

摘要:当今人类已经进入大数据时代,海量数据处理已成为大数据技术领域的研究热点。Spark 是一种典型的基于内存的分布式大数据处理框架,但在 Spark 的实际应用中出现的数据倾斜问题会对计算效率产生重要影响。本文针对于 Spark 在各类应用中出现的数据倾斜问题,梳理国内外相关研究进展,对在出现数据倾斜问题后常用的优化方法进行了分析对比,最后对未来的研究方向进行了展望。

关键词:大数据;Spark;数据倾斜;数据处理

中图分类号:TP311

文献标识码:A

Research on data skew of Spark

ZHANG Zhan-feng, WANG Wen-li, GENG Shan-shan, JIA Zhi-ting

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

Abstract: Nowadays, mankind has entered the era of big data, and mass data processing has become a research hotspot in the field of big data technology. Spark is a typical memory-based distributed big data processing framework, but the data skew problem in the actual application of Spark will have an important impact on the computing efficiency. Aiming at the data skew problem in various applications of Spark, this paper sorted out relevant research progress at home and abroad, analyzed and compared the commonly used optimization methods after the occurrence of data skew problem, and finally looked into the future research direction.

Keywords: Big data; Spark; Data skew; Data processing

0 引言

随着社会的快速发展,各种的数据源产生了大量的数据。而单台机器的处理能力已经不足以满足日益增长的数据处理的需要,因此,越来越多的应用向分布式系统发展。在此背景下,基于大型集群的快速和通用数据处理平台 Spark 应运而生。Spark 是基于内存进行计算

收稿日期:2020-01-10

基金项目:2019 年度河北省研究生创新资助项目(CXZZSS2019106)

作者简介:张占峰(1996-),男,河北唐山人,硕士研究生,研究方向:大数据分析。

的大数据处理平台,在计算时将中间计算结果存储在内存当中^[1],缩短了读取中间结果的时间,因此能够有效提升海量数据的处理效率,并且具有较强的扩展性。

Spark 的应用范围越来越广使得其逐渐成为了人们研究的热点,其中研究的主要问题就是 Spark 的性能问题,而数据倾斜问题则是对 Spark 性能具有较大影响的因素之一。在此背景下,本文对于 Spark 进行了介绍,并对 Spark 中影响处理性能的数据倾斜问题及相关的优化方法进行了研究及分析探讨。

1 相关背景

1.1 Spark 生态系统

Spark 的基本生态系统如图 1 所示。

在 Spark 的生态系统中,主要包括:

Spark SQL:是 Spark 中进行结构化数据的操作模块,用于数据查询分析处理^[2]。相比于传统的 Map Reduce 计算模型,Spark SQL 具有更快的运算效率。

Spark Streaming: Spark 中的流式计算框架,主要用于实现高吞吐量的实时流数据计算。

Spark MLlib: Spark 提供的机器学习库。包括许多机器学习的算法,主要包含 Spark. MLlib 及 Spark. ML 两类 API。

Spark GraphX:是 Spark 中主要用于进行图计算的计算引擎,应用场景包括推荐系统或排序等^[3]。

以上的几种组件与 Apache Spark Core 共同构成了 Spark 的生态系统。

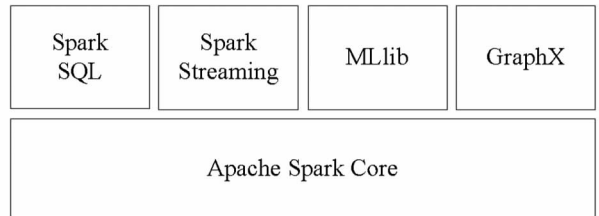


图 1 Spark 生态系统

1.2 Spark 运行架构

Spark 的整体架构如图 2 所示。其中,Driver 是用户提交的应用程序逻辑,Cluster Manager 负责集群的资源管理和调度,Worker 是集群中的工作节点,负责执行计算任务,每个 Worker 会为应用启动一个 Executor 进程,Task 则是每个 Executor 上的计算单元^[4]。

在实际应用中,在用户提交程序创建 Spark Context 之后,Spark Context 会与 Cluster Manager 进行交互,申请相关资源,最终在 Worker 中由 Executor 完成计算任务。

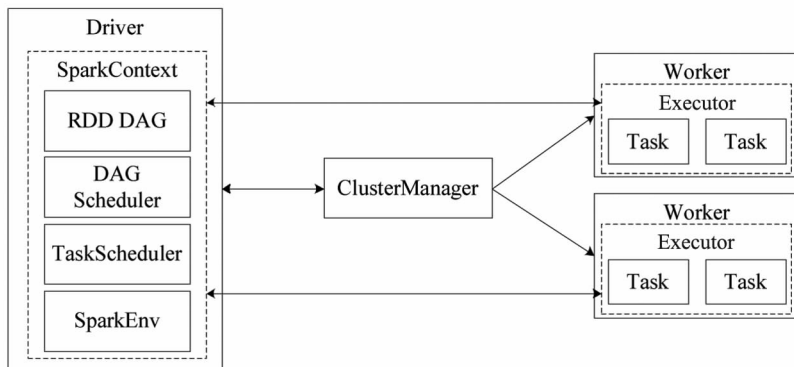


图 2 Spark 运行架构

1.3 弹性分布式数据集

弹性分布式数据集(RDD)是 Spark 中数据的重要组织形式,是一个不可变、可分区且可并行计算的集合,且能够自动容错。在 RDD 中,每个 RDD 包含的数据被存储在不同的节点上,在进行计算时,每一个分区对应着一个计算任务。

RDD 之间的联系称为依赖,分为宽依赖和窄依赖两种^[5],如图 3 所示。其中宽依赖指父 RDD 的每个分区可以被多个子 RDD 的分区所依赖,窄依赖则是父 RDD 的每个分区最多被其子 RDD 的一个分区所依赖^[6]。

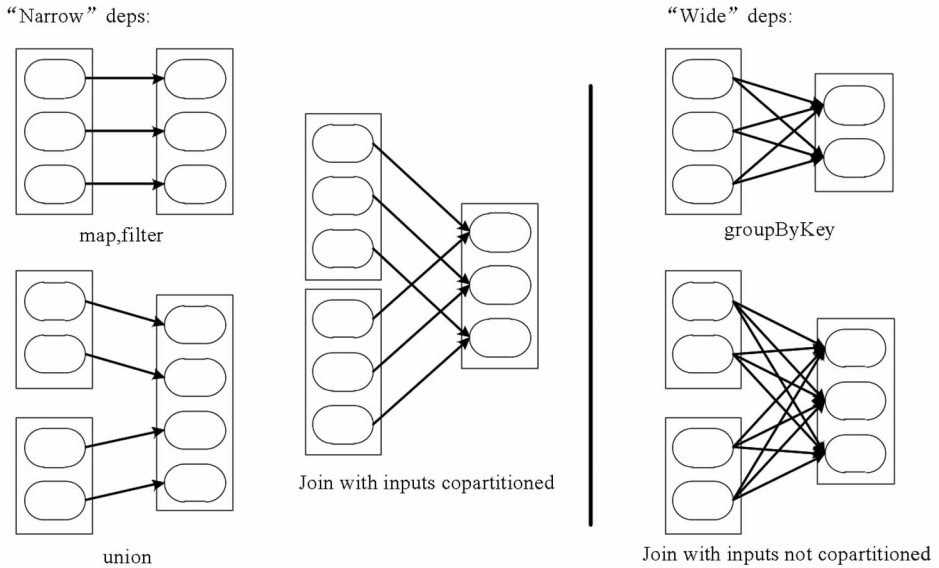


图 3 RDD 依赖

2 数据倾斜优化问题研究

2.1 Spark 数据倾斜问题分析

为了解决数据倾斜问题,需要对于 Spark 在任务处理过程中产生数据倾斜的原因进行分析,并进行相关优化研究。

在 Spark 中,数据都以<Key, Value>的键值对形式存在。在进行相关处理时,需要将各节点的相同 Key 的数据通过 Hash 函数拉取到某个节点上用一个 Reduce task 进行处理,此时由于不同 Key 对应的数据量不尽相同,因此有可能会造成数据倾斜的情况,如图 4 所示。

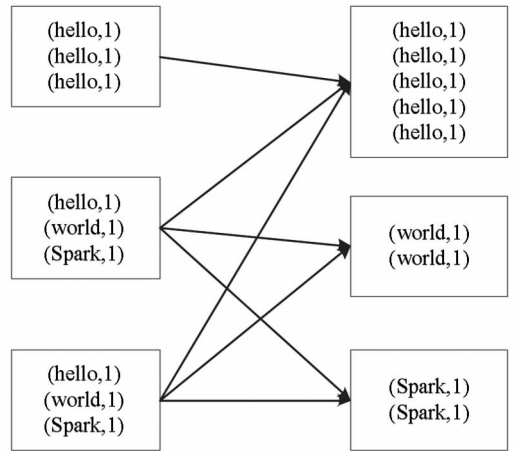


图 4 Spark 数据倾斜

2.2 相关研究概述

2.2.1 分区优化相关研究

在 Spark 中,进行数据分区时默认使用 Hash 算法,该算法可以保证具有相同 Hash 值的 Key 被分到同一分区之中,但是由于不同 Key 的值不

尽相同,因此很容易出现数据倾斜的情况。

Yan 等人提出了一种基于 Key-Value 倾斜模型的 Spark 动态数据分区算法,该模型综合了 Key 的倾斜和 Value 的倾斜情况,客观统一地量化 Spark 中间数据的倾斜程度,随后根据不同的倾斜程度采用不同的分区算法,以此高效合理地完成数据分区^[7]。Guo 等人提出了一种针对 Shuffle 过程数据倾斜的用户透明的 iShuffle 算法,该算法首先使用最大分区优先算法来选择分区,选择最小工作负载的节点作为目的地节点,最后按降序对分区进行排序,重复上述过程,直到分配所有分区^[8]。Tang 等人则提出了一种解决中间数据倾斜的分割与合并算法,该算法通过抽样获取 Key 的分布后能够有序地将数据填充至数据包中,避免 Reduce 任务数据倾斜^[9]。Yu 等人提出了一种自适应迁移算法。该算法利用事先获取的元数据对 Shuffle Read 端的数据倾斜进行动态优化。该算法可以在任务存在倾斜的情况下减少作业完成时间,并且可以处理由于异构集群或网络拥塞引起的不平衡^[10]。

2.2.2 连接操作优化相关研究

在 Spark 中,不仅数据分区可能会造成的数据倾斜,在数据连接过程中同样有可能出现数据倾斜的情况。

基于此,Shao 等人提出了一种 Skew join 算法,该算法在获得连接属性的具体分布情况后,通过广播的方式来避免发生数据倾斜的连接属性在同一 Task 中进行计算,从而有效提升了大表连接时的执行效率^[11]。Atta 等人则使用了值域分区算法作为连接操作的分区算法,该算法具有一定的数据倾斜处理能力,能够在一定程度上处理较低倾斜程度的数据连接^[12]。Li 则对 Spark SQL 中的等值连接过程进行了相关研究,提出了 SCBF-ESD Join 算法。该算法对等值连接过程进行了优化,增加了判断数据倾斜和减少数据倾斜阶段,在减少数据倾斜的阶段中将随机添加前缀法与一致性哈希算法相融合,实现减少数据倾斜的目的^[13]。

在 Spark 中关于数据倾斜的研究主要集中在上述数据分区优化以及连接操作优化两个角度,而由于 Spark 使用类 MapReduce 的分布式计算思想,因此基于 Map Reduce 的数据倾斜优化研究同样可以为 Spark 中的数据倾斜优化研究提供参考。

Wang 等人提出了使用一种多轮分配的分区策略的数据均衡方法,以此解决分区后各 Reducer 接收数据总量不均衡的问题^[14]。Zhang 等人则提出了一种迭代式数据均衡分区策略,以不断调整历次迭代产生的数据倾斜,逐步实现数据均衡分区^[15]。Gufler 等人基于非线性 Reduce 任务的代价模型,提出了 Dynamic Fragmentation 算法,通过将较大的数据分区动态拆分为较小的分区来解决复杂 Reduce 任务中的数据倾斜问题^[16]。Ibrahim 等人针对于 Reduce 端输入数据不均衡的问题,根据键值 Key 的本地性和公平性提出了一种新的 LEEN 分区算法。该算法基于 Key 的本地性以及公平性来确定中间结果如何分区^[17]。

2.3 相关研究梳理与分析

关于数据倾斜的研究中,大致可以分为以下几类:

(1)确定数据的相关分布,进行数据倾斜优化,该思想一般需要使用相应的抽样算法来获取数据的相关分布情况。

(2)进行相应的资源调度,实现数据倾斜的优化。

这些思想虽然能在一定程度上实现对于数据倾斜的优化,但是仍有一些不足之处,第一种思想,需要额外进行一些数据分布情况的获取,增加了额外的任务;而第二种思想则要进行相

应的资源调度,因此集群的资源情况对于优化效果具有一定的影响。

3 常用的数据倾斜缓解方法分析比较

在实际应用场景中,研究人员研究了许多缓解数据倾斜的方法,常用的解决方法有以下几种。

3.1 增加分区个数

增加分区个数可以在一定程度上避免过大分区的形成,缓解数据倾斜问题^[18]。但是,过多的分区会增加 Task 的数量,集群的调度难度也会随之增加;此外,增加分区的个数无法彻底消除数据倾斜的情况,因此该方法并不能在根本上解决数据倾斜问题。

3.2 数据采样并拆分进行 join

当数据中有两个较大的 RDD 需要进行 join 连接操作且其中一个 RDD 发生数据倾斜的情况时,可以对发生数据倾斜的 RDD 进行采样并进行数据拆分^[19],随后进行相关操作,如图 5 所示。

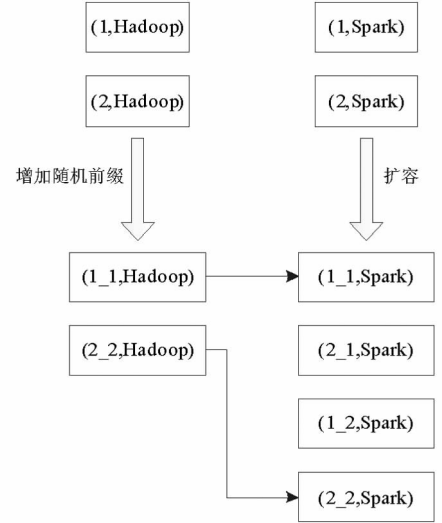


图 5 RDD 拆分及 join

具体实现方式为:

Step1:采样包含数据量过大的 Key 的 RDD,获得 Key 的数据分布情况,得到数据量较大的几个 Key。

Step2:将 Step1 中得到的 Key 对应的数据形成一个新 RDD,并给 Key 添加随机前缀。

Step3:将需要与 Step2 中得到的 RDD 进行 join 操作的数据形成一个单独的 RDD,并进行扩容。

Step4:将 Step2 与 Step3 得到的 RDD 进行 join 操作,此时即可将原 Key 分散到多个 Task 进行 join。

Step5:在其余不需要进行采样拆分操作的 RDD 完成 join 之后,将两次 join 的结果进行合并即可得到最终 join 结果。

3.3 使用虚拟分区

对于个别的较大的数据集,可以使用虚拟分区^[20]。虚拟分区即是给每个 Key 都添加随机前缀,计算完毕后将随即前缀去掉即可进行数据还原,如图 6 所示。

与方法 2 不同的是,该方法不需要对发生数据倾斜的 Key 进行过滤,而是对所有 Key 添加随机前缀,并相应的针对需要 join 的整个 RDD 进行扩容,因此对计算资源具有较高的需求。但是此方法仅对聚合类操作带来的数据倾斜效果较好。

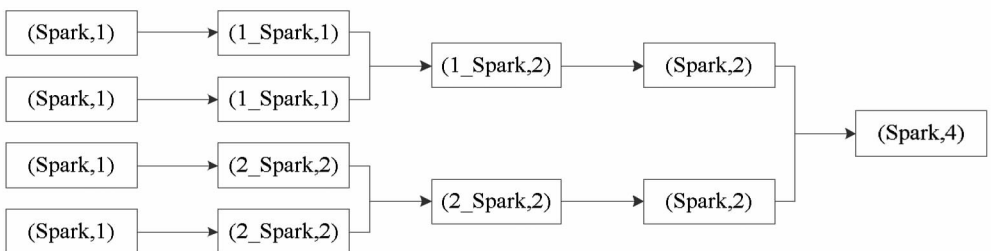


图 6 虚拟分区

3.4 自定义分区函数

在出现数据倾斜问题之后,用户可以根据数据的分布情况进行自定义分区函数设定。由于用户可以根据数据分布情况进行数据分区,因此可以较好地解决数据倾斜问题。但是,由于无法在进行计算之前获取输入数据的分布情况,因此该方案普适性较弱。

3.5 进行数据预处理

Spark 中可以使用 Hive 作为数据源,当 Hive 中出现数据倾斜的情况时,可以使用 Hive ETL 进行数据预处理^[21]。该方法能够有效规避 Spark 数据倾斜情况,但是只是将数据倾斜转移到了 Hive ETL 中,因此不能够彻底解决数据倾斜问题。

3.6 将 Reduce join 转为 Map join

在使用 Spark 进行数据分析时,当需要对较小的数据量进行 join 操作时,为了规避数据倾斜的情况,可以将 Reduce join 转换为 Map join,避免数据倾斜的发生。

但是由于要缓存 RDD,因此该方法对于 RDD 大小有一定要求,如果数据过大可能会造成内存溢出。

对于常见数据均衡优化方法的对比如表 1 所示。

表 1 常见的数据均衡优化方法对比

方法	优缺点
增加分区个数	优点:能够一定程度上缓解数据不均衡的问题 缺点:增加集群的资源 and 任务调度难度
数据采样并拆分进行 join	优点:只对少数 Key 扩容,内存消耗较小 缺点:出现大量倾斜 Key 时不适用
采用虚拟分区	优点:对于聚合类算子导致的数据倾斜效果较好 缺点:适用情况较少
自定义分区函数	优点:数据倾斜缓解效果较好 缺点:普适性较低
进行数据预处理	优点:较为方便 缺点:不能从根本上解决问题
将 Reduce join 转换为 Map join	优点:对于 join 操作导致的数据倾斜效果较好 缺点:适用场景较少

以上方法适用场景不同,也各有优缺点,因此在使用时应根据具体情况进行选择,以达到较好地数据倾斜解决效果。

4 总结与展望

本文首先介绍了 Spark 的生态系统及运行架构,分析了在 Spark 实际应用中出现的数据倾斜问题原因,然后对国内外关于数据倾斜问题的相关研究进行了分析,并对出现数据倾斜问题后常用及解决方法进行了比较;鉴于目前国内外关于 Spark 数据倾斜的相关研究一般是从

数据分区优化及连接过程中的优化入手进行研究,相关研究进展一般也是针对某种特定条件下进行优化,这对解决数据倾斜问题远远不够,因此,随着 Spark 其应用越来越广泛,数据倾斜优化的普适性解决方法是未来值得考虑的问题。

参考文献:

- [1] 李迅. 基于 Spark 的 sMRI 影像分类诊断与电影推荐[D]. 山东大学,2016.
- [2] 张广旭. 基于 Spark 的基因数据聚类分析及可视化[D]. 湖南大学,2017.
- [3] 崔印昌. 基于 Spark 的社会网络分析系统的设计与实现[D]. 北京邮电大学,2018.
- [4] 陈恩杰. 基于 Spark 的实时推荐系统的研究与设计[D]. 西安科技大学,2018.
- [5] 刘春雷. 基于代价模型的 Spark SQL 查询优化研究[D]. 电子科技大学,2016.
- [6] 王志平. 基于 Spark 的大数据处理关键技术研究[D]. 上海交通大学,2016.
- [7] 阎逸飞. 基于 Key-Value 倾斜模型的 Spark 动态数据分区算法[D]. 北京邮电大学,2019.
- [8] Yanfei Guo, Jia Rao, Dazhao Cheng, et al. iShuffle: Improving Hadoop Performance with Shuffle-on-Write[J]. IEEE Transactions on Parallel & Distributed Systems, 2017, 28(6):1649-1662.
- [9] Tang, Zhuo, Zhang, Xiangshen, Li, Kenli, et al. An intermediate data placement algorithm for load balancing in Spark computing environment[J]. Future Generation Computer Systems: S0167739X16302126.
- [10] Jiadong Yu, Haopeng Chen, Fei Hu. SASM: Improving spark performance with Adaptive Skew Mitigation[C]//2015 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC). IEEE, 2015.
- [11] 邵帅. 基于 Spark 的 SQL 连接优化研究与应用[D]. 北京交通大学,2017.
- [12] Atta F, Viglas S D, Niazi S. SAND Join—A skew handling join algorithm for Google's MapReduce framework[M]. IEEE, 2012.
- [13] 李思慧. Spark SQL 等值连接优化算法研究[D]. 北京交通大学,2019.
- [14] 王卓, 陈群, 李战怀, 潘巍, 尤立. 基于增量式分区策略的 MapReduce 数据均衡方法[J]. 计算机学报, 2016, 39(01): 19-35.
- [15] 张元鸣, 蒋建波, 陆佳炜, 徐俊, 肖刚. 面向 MapReduce 的迭代式数据均衡分区策略[J]. 计算机学报, 2019, 42(08): 1873-1885.
- [16] Gufler B, Augsten N, Reiser A, et al. Load Balancing in MapReduce Based on Scalable Cardinality Estimates. [C]// IEEE International Conference on Data Engineering. IEEE Computer Society, 2012: 522-533.
- [17] Shadi Ibrahim, Hai Jin, Lu Lu, et al. Handling partitioning skew in MapReduce using LEEN[J]. Peer-to-Peer Networking and Applications, 6(4): 409-424.
- [18] 夏玉冲. Spark 集群 Shuffle 机制研究[D]. 重庆邮电大学, 2017.
- [19] 梁俊杰, 何利民, LIANGJun-jie, 等. 基于 MapReduce 的数据倾斜连接算法[J]. 计算机科学, 2016, 43(9): 27-31.
- [20] 高宇飞, 陶永才, 石磊. MapReduce 计算模型下基于虚拟分区的数据倾斜处理方法[J]. 小型微型计算机系统, 2015, 36(8): 1706-1710.
- [21] 解书亮. 基于 Spark 的分布式 ETL 研究与应用[D]. 东华大学, 2017.

文章编号:1001-9383(2020)01-0008-09

基于随机森林算法的城区土地覆盖分类研究

左晓庆,李潇雨,刘怀鹏

(洛阳师范学院国土与旅游学院,河南 洛阳 471934)

摘要:随机森林算法是一种高度灵活且易于使用的机器学习算法,目前在遥感影像分类中应用广泛。为了验证其在城市土地覆盖分类中的效果,本文对河南省洛阳市局部城区进行了土地覆盖分类实验,将 Landsat 8(OLI)遥感影像的光谱波段、光谱指数和纹理特征相结合,构成多种特征组合进行随机森林算法分类比较,选择分类效果最佳方案,并与支持向量机方法进行比较。后利用随机森林算法对该组合特征变量高维数据进行降维处理,得到优化特征方案。实验结果表明:采用多源特征组合的随机森林算法的土地利用分类效果最佳,总体精度为 90.54%,Kappa 系数为 0.890,比支持向量机方法的分类精度提高了 3.1%;降维处理后的特征方案与随机森林结合在保证分类结果拥有高准确度的同时,减少了运算时间,实现了土地覆被类型信息的高效获取。表明随机森林算法在城区土地覆盖分类上有很好的适用性与稳定性。

关键词:随机森林算法;城市区域;土地覆盖分类;特征选择;降维处理

中图分类号:TP751

文献标识码:A

Research on urban land cover classification based on random forest algorithm

ZUO Xiao-qing, LI Xiao-yu, LIU Huai-peng

(School of Land and Tourism, Luoyang Normal University, Luoyang Henan 471934, China)

Abstract: Random forest algorithm is a highly flexible and easy-to-use machine learning algorithm. It is currently widely used in remote sensing image classification. In order to verify its effect in the classification of urban land cover, this study carried out a land cover classification experiment on local urban areas of Luoyang City, Henan Province, combining the spectral band, spectral index and texture features of Landsat 8(OLI) remote sensing images to form multiple a variety of feature combinations are used to perform random forest algorithm classification and comparison, and the best classification scheme is selected, and compared with the support vector machine method. Then the random forest algorithm is used to reduce the dimension of the combined feature variable high-dimensional data to obtain the optimal feature

收稿日期:2020-02-13

作者简介:左晓庆(1997-),女,山东青岛人,主要从事遥感图像解译研究。

通讯作者:刘怀鹏(1985-),男,陕西榆林人,博士,讲师,主要从事 3S 技术应用研究. 1476829808@qq.com

solution. The experimental results show that the multi-source feature combination random forest algorithm has the best land use classification effect, with an overall accuracy of 90.54% and a Kappa coefficient of 0.890, which is 3.1% higher than the classification accuracy of the support vector machine method; The feature scheme after dimension reduction and random forest are combined to ensure high accuracy of classification results, reduce operation time and achieve efficient acquisition of land cover type information. It shows that the random forest algorithm has good applicability and stability in urban land cover classification.

Keywords: Random forest algorithm; Urban area; Land cover classification; Feature selection; Dimensionality reduction

0 引言

土地覆盖分类是调整土地利用结构以及充分合理地开发利用土地资源、实施动态监测和有效控制的重要环节,其直接影响着土地利用的科研与实践^[1-2]。遥感分类技术是提取土地覆盖变化信息的主要技术手段,但最基本的遥感分类大多仅依靠像元的光谱特征,无法有效识别地物信息,分类效果并不理想。为有效提高土地覆盖分类精度,准确、快速进行大量遥感信息的处理,采用遥感数据和机器学习算法对土地利用信息提取成为研究热点,现国内外诸多学者改进各分类方法不足之处,不断提高分类精度和速度。

随机森林算法是基于决策树的一种新型高效的分类模型,其在遥感领域中被广泛地应用于土地覆盖/利用分类。李治等^[3]基于 MOD13Q1 数据比较了物候特征辅助下宏观尺度上土地覆被分类的两种方法,得出随机森林在分类中比单决策树精度更高、更稳定;田绍鸿和张显峰^[4]应用天绘一号卫星多光谱数据,基于随机森林算法构建最优组合,建立有效的 RFC 分类器,结果表明采用 RFC 分类精度高于最大似然法,并适用于干旱区土地覆盖分类。

目前,采用随机森林算法对城区土地分类的研究较少,分类所需的特征选择模型尚不明确,针对这一问题,本文基于 Landsat 8(OLI)遥感数据,采用随机森林算法,对河南省洛阳市城区的土地利用/覆盖类型进行分类研究。利用影像的光谱波段、光谱指数和纹理特征参数构造多种特征组合,选取分类效果最佳方案,并与支持向量机方法比较,后对该最佳方案的特征变量高维数据降维,得到优化特征方案,以达到提高分类精度和高效提取城区土地覆盖分类信息的目的。

1 研究区概况与数据预处理

1.1 研究区概况

研究区位于河南省洛阳市,地理坐标为 $34^{\circ}28'59''\sim 34^{\circ}45'41''\text{N}$, $112^{\circ}15'42''\sim 112^{\circ}41'51''\text{E}$ 。包括洛阳市老城区、西工区、瀍河回族区、涧西区、洛龙区,不含吉利区(因吉利区在空间上与其他区不邻接)。研究区地处暖温带,属于温带大陆性季风气候,全年四季分明,热量、降水量随时间变化具有显著的季节性特点;年平均气温为 14.7°C ,年降水量为 $528\text{--}800\text{mm}$,年日照为

2200—2300h,年均湿度为60%—70%;地势西高东低;主要地貌类型为冲积平原和盆地^[5-6]。主要的土地利用/覆盖类型,有商业用地、居民用地、林地、未利用土地、水浇地、旱地、草地和水体等,如图1所示。

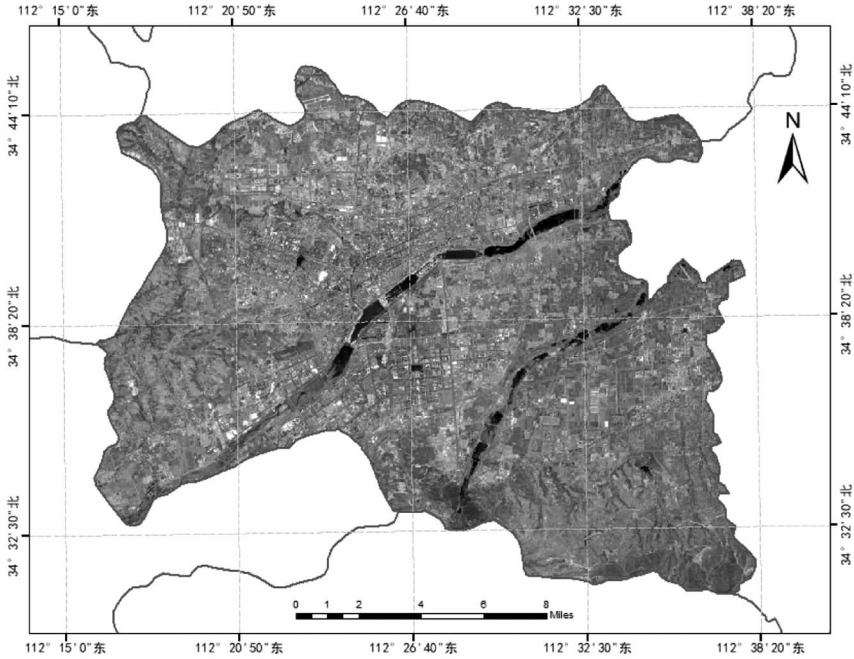


图1 研究区位图

1.2 数据源及预处理

本文以2017年8月9日成像的Landsat8(OLI)卫星影像(LC81250362017221LGN00)为数据源,该影像云量低,能够进行分类实验。影像共包含9个波段:1个全色波段(空间分辨率15m),8个多光谱波段(空间分辨率30m);投影坐标系为UTM/WGS84。

采用ENVI 5.3对Landsat8(OLI)影像进行预处理。首先采用Landsat定标工具对多光谱数据进行辐射定标;其次采用QUAC方法对影像进行快速大气校正;最后利用Image Sharpening工具中的Gram—schmidt Pan Sharpening(GS)波段融合方法,将8波段多光谱影像和全色影像进行融合,生成具有丰富色彩信息的高空间分辨率影像。

2 研究方法

2.1 分类体系的建立

参照我国2017年11月1日发布实施的《土地利用现状分类》(GB/T21010—2017)标准,并根据研究区实际存在的土地利用/覆盖类型情况,将研究区土地利用/覆盖类型划分为:不透水面、林地、裸地、耕地、草地和水体。因阴影在影像分类中干扰较大,特将阴影也列为待分的一个类别。各类别的判定标准如表1所示。

表 1 本文采用的土地覆盖类型分类体系

类别	解译标准
不透水面	多种不透水建筑覆盖的表面,如由瓦片、沥青、水泥、混凝土等材料构成的建筑物、路面等
林地	生长乔木、灌木、竹类等地类
裸地	表层为裸土,基本无植被覆盖的土地
耕地	指有农作物种植的土地
草地	指生长草本植物为主的土地
水体	河流、水域、水工建筑物等
阴影	高大建筑物背光面形成的黑色调区域

2.2 样本选取

在研究区影像上采用随机抽样的方法选取 3092 个像元,作为样本点,选择其中的 292 个像元作为训练样本,2800 个像元作为精度验证样本,各图像类型的训练样本和精度验证样本如表 2 所示。样本选择时,结合高分辨率谷歌在线影像,通过目视观察,使选取的样本尽量均匀分散在影像中,避免局部取样,导致分类结果不稳健。

表 2 分类采用的训练样本及精度验证样本数

样本	不透水面	林地	裸地	耕地	草地	水域	阴影	合计
训练样本	42	41	41	42	41	43	42	292
验证样本	400	400	400	400	400	400	400	2800
总计	442	441	441	442	441	443	442	3092

2.3 分类特征选择

为了有效提高土地利用/覆盖分类的精度,建立有效的特征组合模型,本研究以光谱波段、光谱指数、纹理特征为分类的输入变量。采用的光谱波段为海岸蓝色(Coastal),蓝光(B),绿色(G),红色(R),近红外(NIR),短波红外 1(SWIR1),短波红外 2(SWIR2),卷云(Cirrus);采用的光谱指数为归一化植被指数(NDVI)、归一化建筑指数(NDBI)和归一化水体指数(NDWI);对影像的 8 个波段采用基于概率统计的数据范围(Data Range)、平均值(Mean)、方差(Variance)、信息熵(Entropy)和偏斜(Skewness)的 5 个参数作为纹理特征。将三类输入变量结合,构建多源特征集合,以提高分类精度。选取的特征类型及变量如表 3 所示。

表 3 特征类型及参量

特征类型	特征参数
光谱波段(OLI)	Coastal, B, G, R, NIR, SWIR1, SWIR2, Cirrus
光谱指数(OIF)	NDVI, NDBI, NDWI
纹理特征(TXT)	Data Range, Mean, Variance, Entropy, Skewness

2.4 影像分类

2.4.1 随机森林分类方法

随机森林是 2001 年由 LeoBreiman 将 Bagging 集成学习理论与随机子空间方法相结合,提出的一种机器学习新算法。它通过自助法(bootstrap)重采样技术,从原始训练样本集 N 中有放回地重复随机抽取 k 个样本生成新的训练样本集合,然后根据自助样本集生成 k 个分类树组成随机森林,新数据的分类结果按分类树投票多少形成的分数而定。

随机森林的构造过程^[7]:(1)设原始训练集为 D ,通过 bootstrap 有放回的随机选择 d 个训练子集用来训练决策树,作为决策树根节点处的样本。(2)当每个样本有 M 个属性时,在决策树的每个节点需要分裂时,随机的从这 M 个属性中选取 m 个属性,满足条件 $m \ll M$ 。然后从这 m 个属性中采用某种策略来选择 1 个属性作为该节点的分裂属性。(3)决策树形成过程中每个节点都要按照步骤 2 来分裂,从全部 M 个特征中均匀随机抽取一个特征子集(通常取 $\log_2 M$),然后从这个子集中选择一个最优分裂特征来建树。注意整个决策树形成过程中没有进行剪枝(4)按照上述步骤建立大量的决策树,这样就构成了随机森林,如图 2 所示。

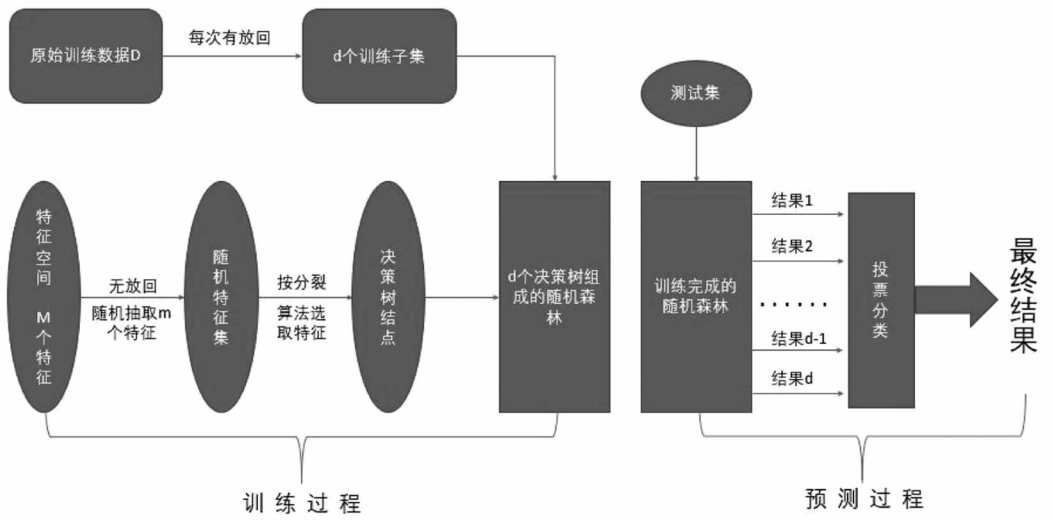


图 2 随机森林构造过程图

为了观察随机森林方法在高维数据中的表现,需要选择一个合适的分类器作为参照,本研究特选择在高维数据集分类中具有良好健壮性和统计稳定性的支持向量机方法作为对照^[8]。

2.4.2 最佳特征类型组合

以 OLI 特征集为基准,逐步结合 OIF 特征集及 TXT 特征集,形成 OLI+OIF 特征集和 OLI+OIF+TXT 特征集,观察分析分类结果的变化,判定分类所需的最佳特征类型组合。

2.4.3 优化特征模型选择

用随机森林进行特征重要性评估的思想比较简单,主要是看每个变量在随机森林中的每棵决策树上的贡献程度,然后取平均值,最后通过原始变量重要性指标评定不同特征变量的贡献大小。本文利用光谱波段、光谱指数和纹理特征 3 类特征作为分类的输入参量,但不是每种特征变量都会对分类精度的提高产生显著的作用,根据随机森林算法的特点,提取特征变量的重要性信息,并根据其重要程度,进行特征变量的选择,可构建影像分类所需的优化特征组合模型。

3 结果及分析

3.1 最佳特征类型结合模型

分别利用 OLI 特征集、OIF 特征集、TXT 特征集、OIFOLI+OIF 特征集和 OLI+OIF+TXT 特征集进行土地利用/覆盖分类,分类结果如表 4 所示。

表 4 不同特征集分类结果

土地利用类别	OLI		OIF		TXT		OLI+OIF		OLI+OIF+TXT	
	制图	用户	制图	用户	制图	用户	制图	用户	制图	用户
	精度%	精度%	精度%	精度%	精度%	精度%	精度%	精度%	精度%	精度%
不透水面	94.00	94.24	87.00	81.69	93.00	85.13	95.00	92.91	97.00	87.19
林地	81.00	92.57	60.25	65.49	83.50	94.35	79.75	93.00	83.75	95.17
裸地	93.50	95.90	87.25	92.82	84.25	97.12	84.00	96.40	86.50	98.02
耕地	84.00	74.83	78.50	74.23	87.50	81.59	84.00	76.02	86.50	78.46
草地	81.50	82.53	71.25	64.77	86.25	84.35	83.50	84.13	85.75	86.62
水域	95.00	98.45	91.00	92.15	92.50	95.12	94.25	98.18	94.75	96.93
阴影	98.50	91.40	66.25	71.24	96.00	88.28	98.25	90.14	99.50	94.31
总体精度%	89.67		77.36		89.00		89.79		90.54	
Kappa 系数	0.879		0.736		0.872		0.881		0.890	

从表 4 中可以看出,只利用波段数据 (OLI 集合) 分类,总体精度为 89.67%,Kappa 系数为 0.876;只利用光谱指数 (OIF 集合) 分类,总体精度为 77.36%,Kappa 系数为 0.736;只利用纹理特征 (TXT 集合) 分类,总体精度为 89.00%,Kappa 系数为 0.872;在此基础上,增加光谱指数后,OLI+OIF 集合分类的总体精度为 89.79%,Kappa 系数为 0.879;进一步结合纹理特征,OLI+OIF+TXT 集合分类的总体精度达到了 90.54%,Kappa 系数为 0.890。表明结合多类型特征较单纯光谱信息的利用,能有效提高分类精度,OLI+OIF+TXT 集合是本研究中分类所需的最佳特征类型结合模型,数据集最佳分类结果如图 3 所示。

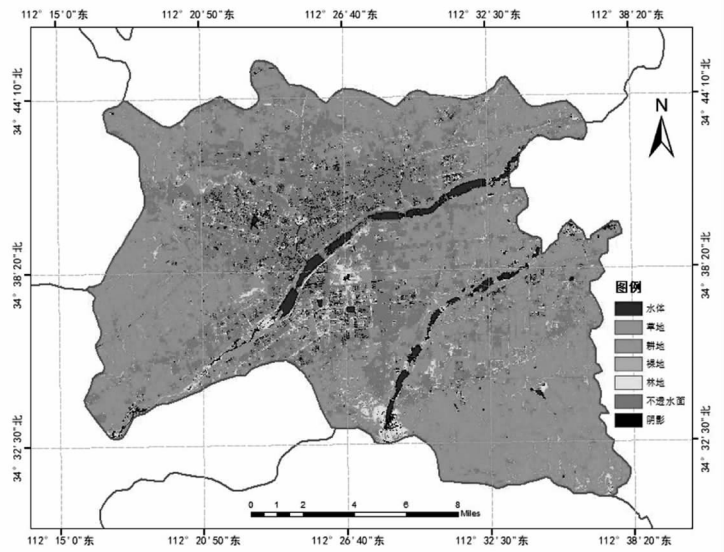


图 3 最佳分类效果图

3.2 随机森林与支持向量机对比

利用支持向量机分类对前文选择出的分类效果最佳的 OLI+OIF+TXT 数据集进行分

类,并将分类结果与随机森林进行比较,结果如表5所示。

表5 支持向量机与随机森林的分类结果对比

分类器	总体精度%	Kappa系数
随机森林	90.54	0.890
支持向量机	87.89	0.859
差异	2.65	0.031

由表5知,利用选择出的分类效果最佳的OLI+OIF+TXT特征集进行分类,随机森林分类的总体精度比支持向量机的总体分类精度提高了2.65%,Kappa系数提高了0.031,表明在高维特征集中随机森林的分类效果优于支持向量机的分类效果。

3.3 分类的最佳特征组合模型

采用分类效果最佳的OLI+OIF+TXT数据集进行降维优化处理,剔除分类贡献率较低的变量,选择前20个特征时,分类精度达到最大,作为分类的优化特征组合模型。前20特征的重要性排序结果如表6所示。

表6 原始变量重要性排序

重要性排序	原始变量重要性	特征参数名称
1	12.95	B6
2	8.89	B6_Mean
3	8.6	B5_Mean
4	8.27	B3
5	7.85	NDWI
6	7.15	B5
7	6.37	B4
8	5.86	B7
9	5.85	B7_Mean
10	5.71	NDVI
11	3.68	B3_Mean
12	3.1	B2_Mean
13	3.02	B2
14	2.41	B4_Mean
15	2.26	B1
16	2.23	B1_Mean
17	1.80	NDBI
18	1.21	B8_Mean
19	1.19	B3_Variance
20	1.15	B8

根据表 6 可知,在优化特征模型中,有 8 个光谱波段参与,有 3 个光谱指数参与,有 9 个纹理特征参与,表明有效结合影像的光谱与纹理信息可提高影像的分类精度。光谱波段 9 没有入选,主要原因是该波段分别主要用于云检测中,在城郊土地利用/覆盖分类中没有入选与实际情况较为符合。三个光谱指数 NDWI、NDVI 和 NDBI 入选的原因与研究区内有较大面积的水域、植被和建设用地有关。纹理特征中多个波段的均值入选较多,表明不同土地利用/覆盖类型在均值上差异较大。

在剔除变量重要性排列 20 之后的变量,总体分类精度的变化情况如表 7 所示。

表 7 基于随机森林方法降维前后分类精度对比

数据	总体精度 %	Kappa 系数
全部变量(降维前)	90.54	0.890
20 个变量(降维后)	90.68	0.891

根据表 7 可知,利用全部变量的分类结果的总体精度和 Kappa 系数分别为 90.54% 和 0.890,当分类变量限于重要性排序前 20 时,分类结果的总体精度和 Kappa 系数分别为 90.68% 和 0.891。由此可知,降维后的分类精度略高于全部变量的分类精度,这说明优化后的全变量 OLI+OIF+TXT 分类模型在保持总体精度的同时可以较好地完成对洛阳城区的土地利用分类,优化特征集分类的结果如图 4 所示。

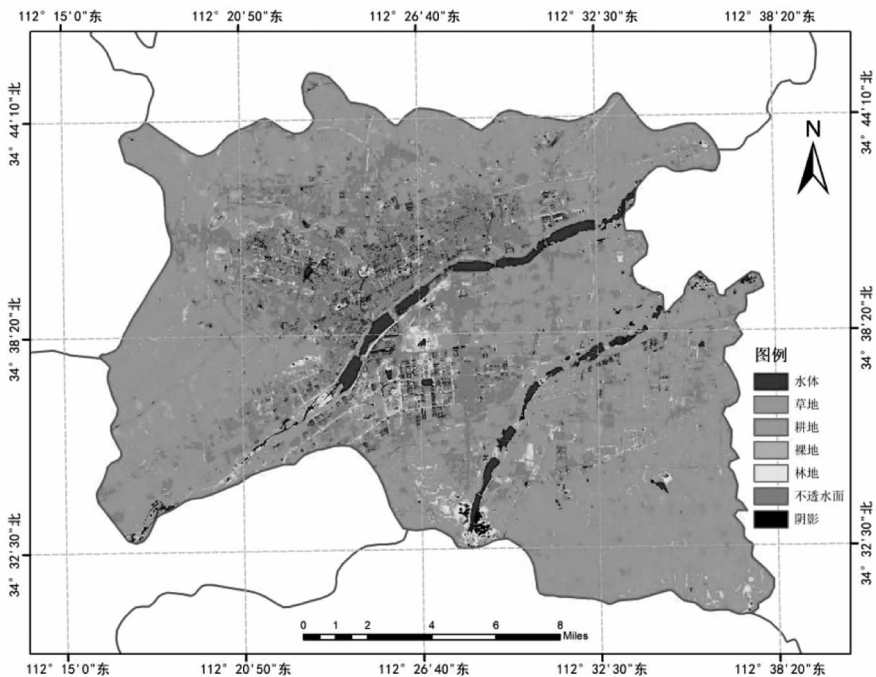


图 4 优化分类结果图

5 结论与讨论

本文以 Landsat 8(OLI)卫星影像为数据源,通过影像预处理,结合随机森林算法,融合光谱指数信息和纹理信息对河南省洛阳市局部城区进行了土地利用分类实验。根据研究区土地覆被类型的特点来构建特征方案优化城区土地覆盖分类,结果显示:(1)利用随机森林和支持向量机取得的分类精度均较好,但基于随机森林分类精度高于支持向量机;(2)依据原始变量重要性排序可知,纹理特征均值对于提高分类精度具有重要作用,适用于该研究区的土地覆盖分类研究;(3)采用综合波段信息、指数信息和纹理信息的 OLI+OIF+TXT 最佳分类模型进行随机森林算法的土地分类,分类精度可达到 90.54%,kappa 系数为 0.890,比支持向量机分类精度提高了近 3%;(4)对 OLI+OIF+TXT 分类方案中的变量进行重要性排序,剔除非重要变量,实现降维处理,得到优化特征方案,其可以在保证分类结果拥有高准确度的同时,高效地获取土地覆被类型信息。从而很好的证实了随机森林分类方法在城区土地利用类型分类上的适用性与稳定性。这为提高城区遥感影像的土地覆盖分类效率提供了新的思路和方案,对城区土地进行长期性或周期性的经营管理和治理改造提供决策支持,有助于促进城市土地资源配置的高效化和合理化。

本研究仍存有一定局限性,随机森林方法虽具有分类精度较高、适用性较强等特点,但面对研究区中某些具有相似光谱特征的地物时,易发生地物分类混淆,出现错分现象。对决策树的最小叶节点样本数以及森林中决策树的棵树进行优化,进一步提升随机森林算法性能,这是我们今后仍需探索的问题。

参考文献:

- [1] 岳健,张雪梅.关于我国土地利用分类问题的讨论[J].干旱区地理(汉文版),2003,26(1):78-88.
- [2] 秦明周.土地利用分类及其影响因素研究[J].地域研究与开发,1997,(1):14-17.
- [3] 李治,杨晓梅,孟樊,等.物候特征辅助下的随机森林宏观尺度土地覆盖分类方法研究[J].遥感信息,2013,(6):50-57.
- [4] 田绍鸿,张显峰.采用随机森林法的天绘数据干旱区城市土地覆盖分类[J].国土资源遥感,2016,28(1):43-49.
- [5] 任炳潭,马淑玲,盛建萍,等.洛阳旅游气候研究[J].气象,2001,(2):56-58.
- [6] 黄艳,马明娟,贾宝全.洛阳市森林城市建设总体布局研究[J].中国城市林业,2012,10(3):25-27.
- [7] 马玥,姜琦刚,孟治国,等.基于随机森林算法的农耕地土地利用分类研究[J].农业机械学报,2016,47(1):297-303.
- [8] 崔炳德,CUI Bingde.支持向量机分类器遥感图像分类研究[J].计算机工程与应用,2011,47(27):189-191.

文章编号:1001-9383(2020)01-0017-05

止水带在线截面检测系统的设计与实现

张震

(河北省机电一体化中试基地,河北 石家庄 050081)

摘要:针对现有自粘式橡胶止水带生产工艺,设计了一种自粘式橡胶止水带在线截面检测系统。该系统能够实时检测止水带的截面轮廓尺寸,为挤出机参数调节提供依据,同时为自粘胶涂布工序提供位置信息。该系统通过多个激光传感器采集止水带得部分截面参数和涂胶位置信息,由控制器将多个激光传感器的数据进行整合处理,形成完整的止水带截面参数和涂胶位置信息。同时,将数据传送给生产线主控制系统。在某生产企业协助下,将该系统集成于原有橡胶止水带生产线上,并进行了稳定性试验,总结了在线截面检测系统的设计参数及避免激光传感器发生故障的方法,为自粘式橡胶止水带的生产提高了效率、减少了浪费,并为该系统的优化设计提供依据。

关键词:自粘式;橡胶止水带;在线检测;截面检测

中图分类号:U453.6

文献标识码:A

Design and implementation of online cross section detection system for self-adhesive rubber water stop tape

ZHANG Zhen

(Hebei Mechatronics Intermediate Pilot Production Base, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: Aiming at the existing production process of self-adhesive rubber water-stop belt, an on-line cross-section detection system of self-adhesive rubber water-stop belt was designed. The system can real-time detect the profile size of the water stop, provide the basis for adjusting the parameters of the extruder, and provide the location information for the self-adhesive coating process. The system collects part of the cross-sectional parameters and glue location information of the water stop belt by several laser sensors, and integrates the data of several laser sensors by the controller to form complete cross-sectional parameters and glue location information of the water stop belt. At the same time, the data is transmitted to the main control system of the production line. With the help of a manufacturer, the system was integrated into the original rubber water stop production line, and the stability test was carried out. The design parameters of the on-line cross-section detection system and the method of avoiding the

收稿日期:2020-01-12

基金项目:河北省科学院科技成果转化项目(2018113068-1)

作者简介:张震(1986-),男,河北石家庄人,硕士,工程师,主要从事机电工程研究与开发. E-mail:2187258@163.com

failure of laser sensors were summarized, which improved the efficiency and reduced waste for the production of the self-adhesive rubber water stop, and also for the system. The optimum design of the system provides the basis.

Keywords: Self-adhesive; Rubber water stop tape; Online detection; Cross section detection

自粘式橡胶止水带由非沥青类高分子自粘胶、止水带基材和隔离膜组成,止水带基材上设置有止水区,非沥青类高分子自粘胶热敷于止水区上,隔离膜覆盖在热敷的非沥青类高分子自粘胶上。非沥青类高分子自粘止水带基材的制备方法通常采用挤出机连续挤出止水带,再通过硫化工艺硫化成型。挤出成型工艺具有生产速度快、节约成本、省人工、外观好的优点。但挤出成型工艺受环境温度、生产速度、不同工艺段温度设定等因素影响较大,当更换产品型号生产时,各个参数都必须严格把控调整^[1-3]。

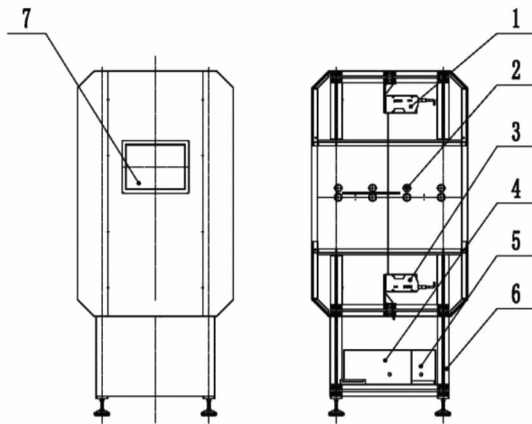
虽然连续挤出成型工艺,能够大幅提高生产效率,降低成本,但其更换产品生产时,前期准备工作、调试参数工作非常重要且烦琐,需要不断挤出少量止水带取样,测量尺寸。由于止水带硫化成型需要高温 220℃左右进行,硫化成型完成后,出口止水带温度也在 180℃左右,人工测量费时费力且存在烫伤危险性。因此,设计研发一种非接触式在线截面测量设备,能够减少调整参数所花费的时间,且能够实时监测生产过程中,止水带截面参数变化情况十分必要。

为此,笔者针对现有自粘式橡胶止水带生产工艺,设计了一种自粘式橡胶止水带在线截面检测系统。

1 结构组成及工作原理

1.1 结构组成

自粘式橡胶止水带在线截面检测系统总体结构如图 1 所示。该系统主要由激光传感器、压辊、托辊、工控机、激光控制器等部分组成^[4]。自粘式橡胶止水带在线截面检测系统安放于微波硫化工位后面,硫化成型后在线检测止水带的截面参数^[5]。



1—上部线激光器; 2—压辊和托辊; 3—下部线激光器; 4—工控机主机; 5—线激光控制器; 6—检测系统机架; 7—工控机显示器。

图 1 检测系统结构图

1.2 工作原理

根据自粘式橡胶止水带生产企业的需求,该在线截面检测系统集成于止水带生产线末端,

安放在微波硫化设备之后^[6]。橡胶止水带在线截面检测系统通过线机光器组检测产品的外形参数并采样,与数据库中合格参数进行比较,对于不合格产品进行报警提示,人工调整止水带生产线挤出工位和微波硫化工位的相应参数,从而实现止水带产品的外形尺寸调整,检测装置能够有效的对止水带产品进行质量把控,同时为下一涂胶工序提供位置信息^[7]。监测装置结构如图 2 所示。

激光发射器通过镜头将可见红色激光射向被测物体表面,经物体反射的激光通过接收器镜头,被内部的 CCD 线性相机接收,根据不同的距离,CCD 线性相机可以在不同的角度下“看见”这个光点^[8]。根据这个角度及已知的激光和相机之间的距离,数字信号处理器就能计算出传感器和被测物体之间的距离^[9]。三角法测量原理如图 3 所示。

根据三角法测量原理图可知,物体的位移 d 与探测器上的光斑 X 之间的理论计算关系式为:

$$d = \frac{XL_1 \sin\beta}{L_2 \sin\theta - X \sin(\theta + \beta)} \quad (1)$$

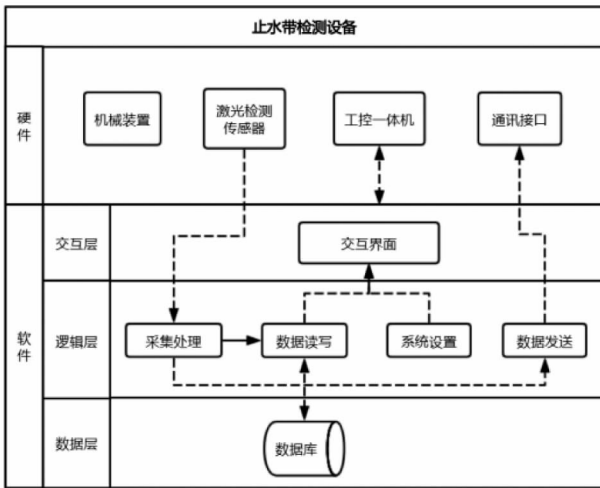
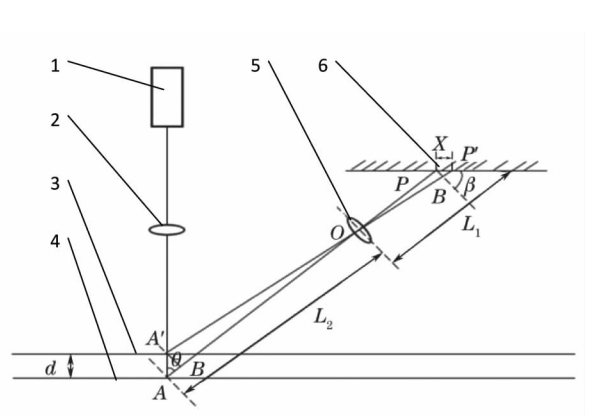


图 2 检测装置结构图



1—激光器; 2—汇聚透镜; 3—基准面; 4—被测物体面;
5—接收透镜; 6—光电探测器。

图 3 三角法测量原理图

当成像透镜组的焦距 f 已知时,在理想状态下,可根据高斯成像定理得出:

$$\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

将公式(2)带入公式(1)中可以得出:

$$d = \frac{X(L_1 - f) \sin\beta}{f \sin\theta \pm X(1 - \frac{f}{L_1}) \sin(\theta + \beta)} \quad (3)$$

探测物体表面的位移量 d ,可以通过光斑在探测器上的位移 X 来计算分析,由于参数 L_1 、 θ 、 β 均为测量系统内部的结构参数,因此可计算出被测物体表面的位移。

对公式(2)两边同时进行微分可得:

$$d(d) = \frac{L_1 L_2 \sin\theta \sin\beta}{(L_2 \sin\theta - X \sin(\theta + \beta))^2} d(X) \quad (4)$$

则其分辨率为:

$$\frac{d(d)}{d(X)} = \frac{L_1 L_2 \sin\theta \sin\beta}{(L_2 \sin\theta - X \sin(\theta + \beta))^2} \quad (5)$$

由公式(5)可知,在探测器上,当位移 $X=0$ 时, $\frac{d(d)}{d(X)} = \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{\sin\beta}{\sin\theta}$; 当位移 $X = \frac{L_2 \sin\theta}{\sin(\theta + \beta)}$ 时, $\frac{d(d)}{d(X)} = \infty$ 。由此可得,测量的分辨率随测量距离的不同而变化,其相应分辨率非恒定数值,且呈非线性变化。

通过以上计算分析,为止水带在线截面检测提供了检测策略的理论支撑^[10]。

光束在接收元件的位置通过模拟和数字电路处理,并通过微处理器分析,计算出相应的输出值,并在用户设定的模拟量窗口内,按比例输出标准数据信号。如果使用开关量输出,则在设定的窗口内导通,窗口之外截止。另外,模拟量与开关量输出可独立设置检测窗口^[11]。

2 在线截面检测系统的设计

国家标准(GB/T 18173.2-2014)对橡胶止水带产品的外形尺寸有着明确的要求。目前,自粘式橡胶止水带并未有相关国家标准,暂行办法是参照 GB/T 18173.2-2014 国家标准的尺寸要求。其尺寸公差要求:厚度精确到 0.05 mm,宽度精确到 1 mm。因此,自粘式橡胶止水带产品的检测,需要使用高精度检测设备来保证其检测精度。本系统中检测装置采用的是基恩士 LJ-V7300 线激光传感器和 LJ-V7001 控制器^[12]。

自粘式橡胶止水带产品包含 5 种规格产品,其中一种规格截面结构如图 4 所示,每种规格产品宽度范围是 200 mm 到 450 mm,且所有产品都从同一条生产线生产,这就要求检测装置的检测范围必须覆盖全部产品尺寸。

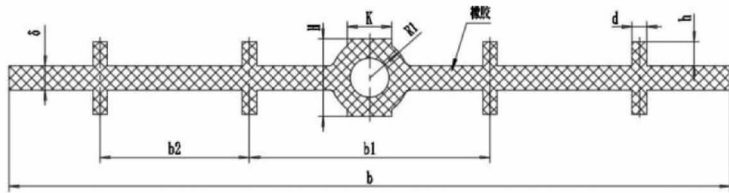


图 4 变形缝用中埋式自粘橡胶止水带结构图

LJ-V7300 测量范围为 300 ± 145 mm,检测精度 X 轴为 $60 \mu\text{m}$,Z 轴为 $5 \mu\text{m}$,如图 5 所示。横向并排两个激光传感器,增加其检测宽度,能够适应宽度 450 mm 以内的所有产品规格。

检测装置的核心技术在于将单个传感器检测的离散点信息整合成连续的轮廓信息,并且将多个传感器检测的部分轮廓信息无缝连接成整个产品的截面轮廓信息。

该检测装置的上下两组传感器,由控制器和上位机软件控制,通过二维三角测距方法检测目标位置、形状的变化,从而实现测量轮廓形状,实现了实时轮廓信息的采集。同时通过激光控制器的扩展接口,将需要涂胶的位置信息传递给 PLC,再由 PLC 统一匹配生产线速度参数、涂胶位置参数、胶枪距检测位置距离参数等,计算胶枪位移量,从而实现精准涂胶。

3 实际应用

为了验证设计的合理性与可靠性,将自粘式橡胶止水带自动涂胶检测系统安放于某生产

企业的生产线上,进行稳定性试验测试。

通过六个月连续生产试验,汇总实验数据,得出以下结论:

(1)通过多个传感器分布式检测,由控制器将分布检测的数据整合,可实现超过单检测器量程的截面检测。由于检测要求精度较高,且满足精度要求的单个传感器无法实现大量程检测,因此采用分布式检测再整合检测数据,通过稳定性试验测试,在线截面检测系统能够连续稳定运行,实时上传检测数据,不仅为挤出机参数调节提供数据支持,也为后续涂胶工序提供了位置信息。

(2)非接触测量方式,能够保证检测数据的长期稳定,不仅提高了工作效率,还大大降低工人劳动强度和烫伤风险。

(3)定期对激光传感器镜头进行清理,每三个月至少进行一次清理。橡胶止水带的生产,会伴随有大量烟气产生,其成分包含有众多颗粒物,经过微波硫化工序时,已将大部分烟气排除,但为保证生产效率,止水带并未完全冷却,进行截面检测时,仍会伴随有烟气产生。烟气中的颗粒物会附着于激光检测器镜头上,影响激光线射出,致使光线发生反射、散射等状态。因此,为了保证测量数值的准确性,定期对激光传感器镜头进行清理,能够避免检测系统报错等故障发生。

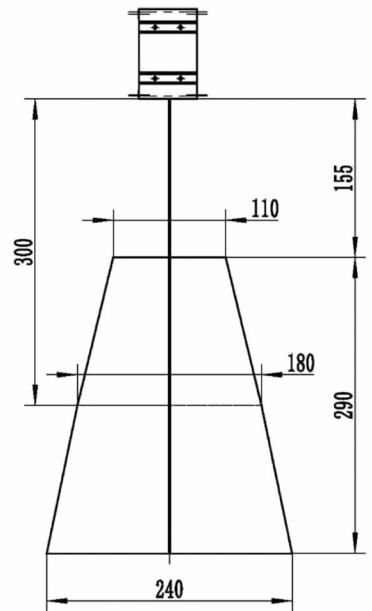


图5 激光传感器 LJ-V7300 测量范围图

4 结论

针对自粘式橡胶止水带的生产工艺,设计研发了一套自粘式橡胶止水带在线截面检测系统,通过应用,提高了自粘式橡胶止水带的合格率,降低企业售后维护、技术服务的成本,提高了市场竞争力。考虑到自粘式橡胶止水带产品的多样性以及不同生产企业的止水带生产工艺的不同,该系统还需要进行优化设计。

参考文献:

- [1] 杨晓鸣. 中埋式橡胶止水带安装技术探讨[J]. 中国水运(下半月), 2012, 12(11): 262-263.
- [2] 郭小雄, 马伟斌, 马超锋, 等. 自粘式止水带综合防排水效果模型试验研究[J]. 铁道建筑, 2016, (01): 25-28.
- [3] 马伟斌, 郭小雄, 马超锋, 等. 自粘式止水带结构设计及性能试验研究[J]. 中国铁路, 2015, (11): 30-33.
- [4] 张习加. 激光位移传感器在纸坯厚度在线检测中的应用[J]. 传感器与微系统, 2006, (11): 77-78.
- [5] 徐淑婷. 线激光在机测量关键技术研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2017.
- [6] 王春艳. 激光测量中光条关键技术研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2014.
- [7] 王研博. 面向焊缝跟踪的线激光检测技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [8] 董星辰. 热轧带钢平直度双线激光 CCD 测量方法与实现技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- [9] 许冬磊. 基于线激光的三维测量系统研究与应用[D]. 南京: 南京林业大学, 2016.
- [10] 冯翠芝. 基于线激光三角法的目标深度探测[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [11] 杨桂栓, 陈涛, 张志峰. 基于激光三角法对透明平板厚度测量光线补偿的研究及应用[J]. 中国激光, 2015, 42(07): 219-226.
- [12] 中国国家标准化管理委员会, 高分子防水材料 第2部分: 止水带: GB 18173.2-2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

文章编号:1001-9383(2020)01-0022-08

基于 MATLAB 的 6R 机器人逆运动学求解分析

孟凡刚¹, 曹东江², 尚江华³

(1. 泊头市海汇波纹管制造有限公司, 河北 泊头 062150;

2. 庆安集团有限公司, 西安 710077; 3. 石家庄诺通人力资源有限公司, 河北 石家庄 050000)

摘要: 本文通过 D-H 方法建立 6R 机器人坐标模型, 将机器人末端执行器位姿 0T_h 逆解问题转化为末端腕部点位姿 0T_6 的逆解问题, 排除 0T_h 中含常量 d_6 的多项式, 大大简化了求运动学逆解的复杂度。通过反变换法求得 6R 机器人逆解, 提出以“最短行程+关节运动同向”为原则确定机器人最优逆解的方法, 可以降低机器人运动能量消耗, 同时减少关节运动换向, 提高机器人运行稳定性和可靠性。利用 MATLAB 进行编程, 设置 6R 机器人“关节加权系数”及“关节运动同向加权系数”, 对上述运动学逆解求解及优化方法进行了验证, 说明该分析方法是有效性的。

关键词: 6R 机器人; 逆运动学; 反变换法; 最短行程; 关节运动同向

中图分类号: U416.2

文献标识码: A

Inverse kinematics analysis of 6R robot based on MATLAB

MENG Fan-gang¹, CAO Dong-jiang², SHANG Jiang-hua³

(1. Botou Haihui Bellows Manufacturing Co., Ltd., Botou Hebei 062150, China;

2. Qingan Group Co., Ltd., Xian Shaanxi 710077, China;

3. Shijiazhuang Notong Human Resources Co., Ltd., Shijiazhuang Hebei 050000, China)

Abstract: The coordinate model of 6R robot is established by the D-H method, the inverse solution problem of the robot end actuator pose 0T_h is transformed into the inverse solution problem of the end wrist point pose 0T_6 , and polynomials with constant d_6 is eliminated, which greatly simplifies the complexity of the inverse kinematics solution. The inverse solution of 6R robot is obtained by counter transformation method, and the method of determining the optimal inverse solution of the robot based on the principle of "shortest distance+joint motion in the same direction" is proposed, which can reduce the energy consumption of the robot motion, reduce the joint motion reversing, and improve the stability and reliability of the robot operation. By programming with MATLAB, the "joint weighted coefficient" and "joint motion direction weighted coefficient" of 6R robot are set, and the above inverse kinematics solution and optimization method are verified, which shows that the analysis method is effective.

Keywords: 6R robot; Inverse kinematics; Counter transformation method; Shortest distance;

收稿日期: 2019-12-10

作者简介: 孟凡刚(1975-), 男, 河北泊头人, 助理工程师, 研究方向: 波纹管焊接及机器人机构设计。

Joint motion in the same direction

0 引言

机器人运动学分为正运动学和逆运动学两类问题,其中逆运动学问题一直是机器人学研究的重点,机器人逆运动学求解是根据给定的机器人末端执行器空间位姿求解机器人的各个关节角变量值^[1],是机器人进行轨迹规划和运动控制的前提和基础。

一直以来,国内外许多学者在这方面做了大量的研究。机器人逆运动学求解主要方法有:解析法^[2]、几何法、数值迭代法^[3]及近年来出现的神经网络法^[4-5]、基于旋量理论的四元素法^[6-7]等。解析法和几何法运算速度快,实时性好,但是只有在机器人结构条件满足 Pieper 准则时才能得到其逆运动学封闭解。数值迭代法适用于 6R 机器人的大多数情况,但无法得到全部解,而且迭代有不收敛的危险^[8]。神经网络法及四元素法虽然在实际中有应用,但都存在模型复杂,计算量大,求解困难等特点。

在实际工业中的 6R 机器人,基本都满足 Pieper 准则条件,可以应用解析法快速求得运动学封闭逆解。由于机器人存在多组运动学逆解的情况,需要选取一组解作为机器人控制需要的解,文献^[9]中,求得机器人 8 组逆解,并采用“最短行程”原则选取一组解作为最优解,但是实际应用描述并不具体,针对这些问题本文应用反变换法(一种解析法)求得机器人 8 组逆解,并且采用“最短行程+关节运动同向”原则,设置“加权系数”合理优化确定最优逆解,降低机器人运动能量消耗,并减少关节运动换向,提高机器人运动的稳定性和可靠性,并通过实例验证了该方法的有效性。

1 6R 机器人运动学建模

6R 工业机器人机械本体结构主要有位置调整机构和姿态调整机构两部分组成,如图 1 所示。靠近底座的前三个旋转关节负责机器人位置定位,后三个关节负责末端姿态调整^[10],六个关节协同完成 6R 机器人末端点的控制。6R 机器人运动学建模采用传统的标准 D-H 参数方法,建立的各关节坐标系如图 2 所示,第 $i-1$ 个关节坐标系为 x_i-z_i , x_h-z_h 为机器人末端执行器坐标系,根据机器人几何参数列出机器人 D-H 参数表^[8],如表 1 所示。

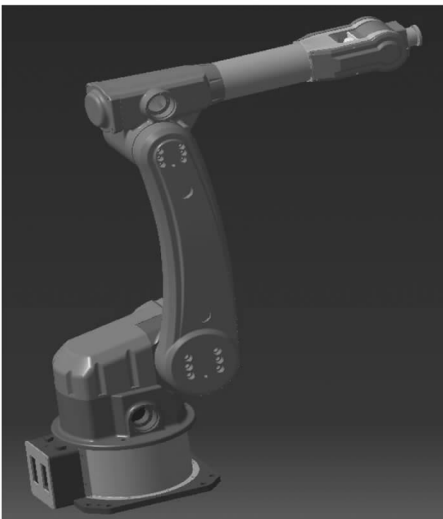


图 1 6R 机器人三维结构模型

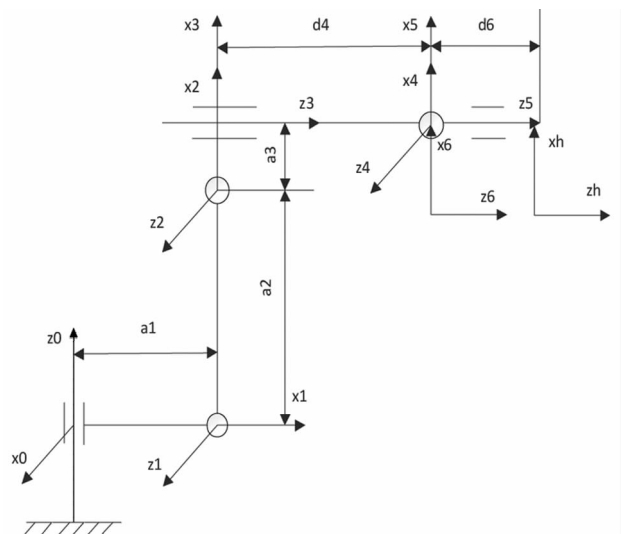


图 2 6R 机器人 D-H 参数方法坐标系

表 1 6R 机器人 D-H 模型参数表

坐标 i	$\theta_i(^{\circ})$	$d_i(\text{mm})$	$a_i(\text{mm})$	$\alpha_i(^{\circ})$	θ_i 变化范围
0~1	θ_1	0	$a_1(145)$	90	$-180^{\circ}\sim 180^{\circ}$
1~2	θ_2	0	$a_2(870)$	0	$-90^{\circ}\sim 170^{\circ}$
2~3	θ_3	0	$a_3(210)$	90	$-150^{\circ}\sim 80^{\circ}$
3~4	θ_4	$d_4(850)$	0	-90	$-210^{\circ}\sim 210^{\circ}$
4~5	θ_5	0	0	90	$-130^{\circ}\sim 130^{\circ}$
5~6	θ_6	0	0	0	$-360^{\circ}\sim 360^{\circ}$

根据 D-H 方法,可得坐标系 $x_{i-1}-z_{i-1}$ 到坐标系 x_i-z_i 的齐次变换 A_i 矩阵,表示为:

$${}_{i-1}^i T = A_i = \text{Rot}(z_i, \theta_i) \text{Tran}(z_i, d_i) \text{Tran}(x_i, a_i) \text{Rot}(x_i, \alpha_i) = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cdot \cos\alpha_i & \sin\theta_i \cdot \sin\alpha_i & a_i \cdot \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cdot \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \cdot \sin\alpha_i & a_i \cdot \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

将 D-H 参数表各关节坐标数据代入(1),可得 6R 机器人 6 个关节的变换矩阵为:

$$A_1 = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & s_1 & a_1 \cdot c_1 \\ s_1 & 0 & -c_1 & a_1 \cdot s_1 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & a_2 \cdot c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & a_2 \cdot s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_3 = \begin{bmatrix} c_3 & 0 & s_3 & a_3 \cdot c_3 \\ s_3 & 0 & c_3 & a_3 \cdot s_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} c_4 & 0 & -s_4 & 0 \\ s_4 & 0 & c_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_5 = \begin{bmatrix} c_5 & 0 & s_5 & 0 \\ s_5 & 0 & -c_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_6 = \begin{bmatrix} c_6 & -s_6 & 0 & 0 \\ s_6 & c_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $c_i = \cos\theta_i, s_i = \sin\theta_i, (i=1, 2, \dots, 6)$,令: $c_{23} = \cos(\theta_2 + \theta_3), s_{23} = \sin(\theta_2 + \theta_3)$,将 $A_1 \sim A_6$ 连乘起来,得到末端坐标系 $\{6\}$ 相对于基坐标系 $\{0\}$ 中的位置变换,即机器人末端腕部点位姿矩阵 ${}^0 T_6$:

$${}^0 T_6 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
n_x &= c_6(c_5(s_1 s_4 + c_1 c_4 c_{23}) - c_1 s_5 s_{23}) + s_6(c_4 s_1 - c_1 c_{23} s_4) \\
n_y &= -c_6(c_5(c_1 c_4 - s_1 c_4 c_{23}) + s_1 s_5 s_{23}) - s_6(c_4 c_1 + s_1 c_{23} s_4) \\
n_z &= c_6(s_5 c_{23} + c_4 c_5 s_{23}) - s_4 s_6 s_{23} \\
o_x &= -s_6(c_5(s_1 s_4 + c_1 c_4 c_{23}) - c_1 s_5 s_{23}) + c_6(c_4 s_1 - c_1 c_{23} s_4) \\
o_y &= s_6(c_5(c_1 s_4 - s_1 c_4 c_{23}) + s_1 s_5 s_{23}) - c_6(c_4 c_1 + s_1 c_{23} s_4) \\
o_z &= -s_6(s_5 c_{23} + c_4 c_5 s_{23}) - s_4 c_6 s_{23} \\
a_x &= s_5(s_1 s_4 + c_1 c_4 c_{23}) + c_1 c_5 s_{23} \\
a_y &= -s_5(c_1 s_4 - c_4 c_{23} s_1) + c_5 s_{23} s_1 \\
a_z &= s_5 c_4 s_{23} - c_5 c_{23} \\
p_x &= c_1(a_1 + a_2 c_2 + a_3 c_{23}) + c_1 d_4 s_{23} \\
p_y &= s_1(a_1 + a_2 c_2 + a_3 c_{23}) + s_1 d_4 s_{23} \\
p_z &= a_2 s_2 - c_{23} d_4 + a_3 s_{23}
\end{aligned} \tag{4}$$

其中, $\vec{p}(p_x, p_y, p_z)$ 与 $\vec{n}(n_x, n_y, n_z)$, $\vec{o}(o_x, o_y, o_z)$, $\vec{a}(a_x, a_y, a_z)$ 分别描述的是末端腕部点相对于参考坐标系的位置和姿态, ${}^0 T_6$ 即为末端腕部点的正解矩阵。由于在机器人工业实践中, 需要求解机器人末端执行器(夹手)位姿, 此时根据连杆参数, 可得 $x_6 - z_6$ 到 $x_h - z_h$ 坐标的变换矩阵 A_h , 进而求解机器人末端 $x_h - z_h$ 坐标系的运动学正解 ${}^0 T_h$ 。

$$A_h = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

$${}^0 T_h = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_h = {}^0 T_6 A_h = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x + a_x d_6 \\ n_y & o_y & a_y & p_y + a_y d_6 \\ n_z & o_z & a_z & p_z + a_z d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

$${}^0 T_h (A_h)^{-1} = {}^0 T_6 \tag{7}$$

2 6R 机器人运动学逆解

机器人逆运动学问题是已知机器人末端执行器的位姿, 求解对应的关节变量, 是机器人轨迹规划的基础, 更是对机器人进行运动控制的前提。6R 机器人末端执行器位姿逆解问题, 是指图 2 中 $x_h - z_h$ 坐标系 $\{h\}$ 的位姿 ${}^0 T_h$ 逆解问题, 由式(6)和(7), ${}^0 T_h$ 逆解问题又可转化为求末端腕部位姿 ${}^0 T_6$ 的逆解问题, 求 ${}^0 T_6$ 的逆解, 同样可以求得关节角 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_6$, 但是 ${}^0 T_6$ 中没有包含常量 d_6 的多项式, 大大简化了求运动学逆解的复杂度。

求解末端腕部坐标位姿 ${}^0 T_6$ 逆解的反变换法可以综合概括为如下:

公式(3)左边为已知矩阵 ${}^0 T_6$, 右边的矩阵为未知矩阵, 是关节变量 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_6$ 的函数, 将右边矩阵选择性地左乘 A_i 矩阵, 通过观察得到新等式, 分离关节变量, 从而求解关节变量, 而且 6R 机器人一般有多组关节逆解。

$$\text{令} \begin{cases} U_6 = A_6 = {}^5T_6 \\ U_5 = A_5 U_6 = A_5 A_6 = {}^4T_6 \\ U_4 = A_4 U_5 = A_4 A_5 A_6 = {}^3T_6 \\ U_3 = A_3 U_4 = A_3 A_4 A_5 A_6 = {}^2T_6 \\ U_2 = A_2 U_3 = A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 = {}^1T_6 \\ U_1 = A_1 U_2 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 = {}^0T_6 \\ {}^0_6 A = {}^0T_6 \end{cases} \quad \text{则} \begin{cases} A_5^{-1} V_4 = V_5 = U_6 \\ A_4^{-1} V_3 = V_4 = U_5 \\ A_{23}^{-1} V_1 = V_3 = U_4 \\ A_2^{-1} V_1 = V_2 = U_3 \\ A_1^{-1} V_0 = V_1 = U_2 \\ {}^0_6 A = V_0 = U_1 \end{cases} \quad (8)$$

其中 $A_{23} = A_2 \cdot A_3$.

(1) 求解 θ_1 :

由: $V_1 = U_2$, 令方程两侧对应元素相等: $V_1(3, 4) = U_2(3, 4)$

得: $s_1 p_x - c_1 p_y = 0$

解得: $\begin{cases} \theta_1 = \text{atan2}(p_y, p_x) \\ \theta_2 = \theta_1 + \pi \end{cases}$, 这样求得 θ_1 在 $[-180^\circ, 180^\circ]$ 区间内的两个解。

(2) 求解 θ_2 :

由: $V_2 = U_3$, 令方程两侧对应元素相等: $\begin{cases} V_2(1, 4) = U_3(1, 4) \\ V_2(2, 4) = U_3(2, 4) \end{cases}$

得解: $\theta_2 = \text{atan2}\left(\frac{k_{12}}{\rho_2}, \pm \text{sqrt}(1 - (\frac{k_{12}}{\rho_2})^2)\right) - \text{atan2}(V_{114}, p_z)$

$$\text{其中:} \begin{cases} V_{114} = c_1 p_x - a_1 + s_1 p_y \\ k_{12} = \frac{V_{114}^2 + p_z^2 + a_2^2 - a_3^2 - d_4^2}{2a_2} \\ \rho_2 = \sqrt{V_{114}^2 + p_z^2} \end{cases}$$

这样如果 $(\frac{k_{12}}{\rho_2})^2 \leq 1$, 可以求得 θ_2 的两个解, 否则该组关节逆解不存在。

(3) 求解 θ_3 :

由: $V_2 = U_3$, 令方程两侧对应元素相等: $\begin{cases} V_2(1, 4) = U_3(1, 4) \\ V_2(2, 4) = U_3(2, 4) \end{cases}$

得解: $\theta_3 = \text{atan2}\left(\frac{k_{13}}{\rho_3}, \pm \text{sqrt}(1 - (\frac{k_{13}}{\rho_3})^2)\right) - \text{atan2}(a_3, d_4)$

$$\text{其中:} \begin{cases} k_{13} = \frac{V_{114}^2 + p_z^2 - a_2^2 - a_3^2 - d_4^2}{2a_2} \\ \rho_3 = \sqrt{a_3^2 + d_4^2} \end{cases}$$

这样如果 $(\frac{k_{13}}{\rho_3})^2 \leq 1$, 可以求得 θ_3 的两个解, 否则该组关节逆解不存在。

(4) 求解 θ_4 :

由: $V_3 = U_4$, 令方程两侧对应元素相等: $\begin{cases} V_3(1, 3) = U_4(1, 3) \\ V_3(2, 3) = U_4(2, 3) \end{cases}$

$$\text{得解: } \begin{cases} \theta_4 = \text{atan2}(V_{42}, (V_{41}c_{23} + a_zs_{23})), (s_5 > 0) \\ \theta_4 = \text{atan2}(-V_{42}, -V_{41}c_{23} + a_zs_{23}), (s_5 < 0) \\ \theta_4 = \text{unfined}, (s_5 = 0) \end{cases}$$

$$\text{其中: } \begin{cases} V_{41} = a_xc_1 + a_ys_1 \\ V_{42} = a_xs_1 - a_yc_1 \end{cases}$$

这样如果 $s_5 \neq 0$, 可以求得 θ_4 的一个解, 否则该点为机器人奇异点, 该组关节逆解不存在。

(5) 求解 θ_5 :

$$\text{由: } V_4 = U_5, \text{ 令方程两侧对应元素相等: } \begin{cases} V_4(1, 3) = U_5(1, 3) \\ V_4(2, 3) = U_5(2, 3) \end{cases}$$

$$\text{得解: } \theta_5 = \text{atan2}(s_4 \cdot (-V_{42}) + c_4(a_zs_{23} + V_{41}c_{23}), -(a_zc_{23} + V_{41}s_{23}))$$

(6) 求解 θ_6 :

$$\text{由: } V_5 = U_6, \text{ 令方程两侧对应元素相等: } \begin{cases} V_4(1, 3) = U_5(1, 3) \\ V_4(2, 3) = U_5(2, 3) \end{cases}$$

$$\text{得解: } \theta_6 = \text{atan2}(k_{6y}, k_{6x})$$

$$\text{其中: } \begin{cases} k_{6y} = -s_5(c_{23}o_z - s_{23}V_{61}) + c_5(s_4V_{62} - c_4(o_zs_{23} + c_{23}V_{61})) \\ k_{6x} = -s_4(o_zs_{23} + V_{61}c_{23}) - c_4V_{62} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{61} = c_1o_x + s_1o_y \\ V_{62} = c_1o_y - s_1o_x \end{cases}$$

至此, 通过求解过程可知, 6R 机器人最多会有 8 组逆解, 其中, 关节变量 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 最多各有两个不同的解, 关节变量 $\theta_4, \theta_5, \theta_6$ 分别只有一个解。

3 确定 6R 机器人运动学最优逆解

在实际运行中, 需要从机器人多组运动学反解中选择一组合适的解来作为机器人最终解, 一般地, 具有多组反解的机器人运动学问题可以采用优化算法来解决, 选择满足一定优化原则的逆解为机器人最优逆解^[9]。传统方法是通过选择距离当前关节变量行程最小一组解作为最优逆解, 以降低机器人运动能量消耗、提高机器人运动效率, 称为“最短行程”原则。本文在此原则基础上, 考虑避免机器人运动关节频繁换向, 通过选择距离当前关节变量行程最小和与当前关节运动尽量同向的一组解作为最优逆解, 以降低机器人运动能量、同时提高机器人运行稳定性, 在这里称为“最短行程+关节运动同向”原则。

在“最短行程+关节运动同向”原则具体的应用中^[11], 如果轨迹规划点不是起始点, 需要保留机器人末端轨迹规划中上一位姿点所对应的实际关节角和关节角速度, 在判断最优解过程中, 还需要添加“加权系数”, 使优化求解更加合理。

首先将机器人所有运动学逆解全部求出, 判断各组解的关节角是否在 θ_i 变化范围内; 其次考虑尽量“少移动大载荷关节, 多移动小载荷关节”的原则, 设置机器人“关节加权系数”; 考虑尽量保持“末端轨迹点关节角速度与上一点关节角速度运动同向”原则(当然对应某一关节, 如果多解中没有合理的运动同向关节解变量, 该原则将失效), 设置“关节运动同向加权系数”; 最后将多组解和上一轨迹位姿点逆解做比较, 综合考虑加权距离最短的解为最优解。利用“最短行程+关节运动同向”原则对机器人进行运动学逆解的实时优化, 大大提高了机器人的工作

效率和运行稳定性,基于 MATLAB 的算法流程如图 3 所示。

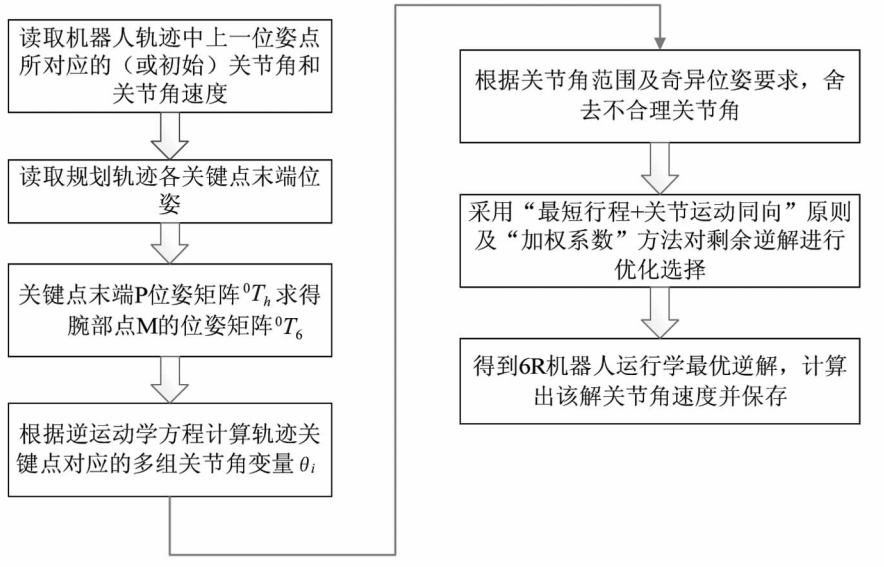


图 3 6R 机器人运动学逆解优化流程图

4 运动学逆解验证

依照图 3 所示的机器人逆解优化流程,进行 MATLAB 编程计算,可以验证运动学逆解的正确性。

已知机器人末端轨迹中某点 P2 对应的一组关节角是: $\text{jointP2} = [3.0843, 2.1863, -0.6155, 1.8466, 0.4616, 0.9233](\text{rad})$; 对应点 P2 的前一位姿点 P1 的关节角及角速度: $\text{jointP1} = [2.7273, 2.0462, -0.4754, 1.4263, 0.3566, 0.7131](\text{rad})$; $\text{omigP1} = [2.3368, 0.9331, -0.9331, 2.7992, 0.6998, 1.3996](\text{rad/s})$;

$$\text{输入正解得到机器人 P2 点位姿}^0T_n \text{ 为: } ^0T_n = \begin{bmatrix} 0.2856 & -0.4035 & -0.8693 & -643.9890 \\ 0.2866 & -0.8296 & 0.4782 & 112.0822 \\ -0.9145 & -0.3860 & -0.1213 & 899.1024 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{求得腕部 M 点位姿: } ^0T_6 = \begin{bmatrix} 0.2856 & -0.4035 & -0.8693 & -491.8623 \\ 0.2866 & -0.8296 & 0.4782 & 28.2257 \\ -0.9145 & -0.3860 & -0.1213 & 920.3281 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

求逆解得到期望位姿所对应的所有关节角如表 2 所示:

判断各组解的关节角是否在 θ_i 变化范围内,最后保留第 1、3、5 组解,其余舍弃。

考虑“少移动大载荷关节,多移动小载荷关节”的原则设置机器人关节加权系数 $\text{weight1} = [0.81, 1.0, 0.72, 0.50, 0.3, 0.2]$;考虑“关节运动同向”原则,设置每组关节解的关节运动同向加权系数 $\text{weight2i}(i=1,3,5)$, weight2i 为 1×6 向量,当判断一组逆解中关节角位移与前一关节角运动反向时设置权值为 1,否则设权值为 0.5;对应每组关节解总权重 $\text{weight0} = \text{weight1} \cdot \text{weight2i}$ 。(权值设置仅参考用于本例,不做一般指导用)

优化选择得到符合“最短行程+关节运动同向”原则的最优关节解为第 3 组解: $\text{youj} =$

[3.0843, 2.1863, -0.6155, 1.8466, 0.4616, 0.9233](rad)。

计算结果表明,所得的优解符合所赋已知初值。

表 2 期望位姿的全部逆解

	$\theta_1(^{\circ})$	$\theta_2(^{\circ})$	$\theta_3(^{\circ})$	$\theta_4(^{\circ})$	$\theta_5(^{\circ})$	$\theta_6(^{\circ})$
1	3.0843	0.2329	-0.6155	0.4551	1.7944	2.9083
2	3.0843	0.2329	-3.0105	2.6464	2.0176	-0.5706
3	3.0843	2.1863	-0.6155	1.8466	0.4616	0.9233
4	3.0843	2.1863	-3.0105	0.5512	2.1831	3.1399
5	-0.0573	1.2985	-0.4203	-2.5691	2.2288	-3.1075
6	-0.0573	1.2985	3.0775	-0.8075	0.6350	0.3582
7	-0.0573	3.0550	-0.4203	-0.5346	2.1421	-0.6512
8	-0.0573	3.0550	3.0775	-2.6825	1.3136	2.6751

5 结论

通过 D-H 参数方法建立 6R 机器人坐标模型,得到机器人基坐标系 $\{0\}$ 到末端坐标系 $\{6\}$ 之间的正解矩阵 0T_6 ,通过变换矩阵 A_h ,进而求解机器人末端 $x_h - z_h$ 坐标系的运动学正解 0T_h 。

将机器人末端执行器 0T_h 逆解问题转化为末端腕部点 0T_6 的逆解问题,大大简化了求运动学逆解的复杂度,通过反变换法求得 6R 机器人逆解,由求解过程可知,该 6R 机器人最多会有 8 组逆解。

以“最短行程+关节运动同向”原则确定机器人最优解,降低机器人运动能量消耗,同时提高机器人运行稳定性和可靠性;在实际应用中通过设置加权系数使优化选择更加合理。

利用反变换法求出 6R 机器人对应某一位姿点 P2 的 8 组解,采用“最短行程+关节运动同向”原则,设置“关节加权系数”及“关节运动同向加权系数”,确定 6R 机器人最优逆解,对文中提出的机器人优化逆解方法进行了具体实例验证,说明了该逆解求解及优化方法的有效性。

参考文献:

- [1] Emre Sariyildiz, Hakan Temeltas. Solution of Inverse Kinematic Problem for Serial Robot Using Quaternions[J]. In proceeding of the 2009 IEEE International Conference Mechatronics and Automation, pp. 26-31.
- [2] PAUL R P, SHIMANO B E, MAYER G. Kinematic control equations for simple manipulations [J]. IEEE Trans SMC, 1981, 11(6): 449-455.
- [3] Dinesh Manocha, John F. Canny. Efficient inverse kinematics for general 6R manipulators[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1994, 10(5): 648-657.
- [4] 臧庆凯, 李春贵, 钟宛余. 基于 RBF 和 BP 网络的机器人逆运动学求解[J]. 广西工学院学报, 2012, 1(23): 28-33.
- [5] 张毅, 刘芳君, 胡磊. 结合 MPGA-RBFNN 的一般机器人逆运动学求解[J]. 智能系统学报, 2019, 14(1): 166-171.
- [6] 李盛前, 谢小鹏. 基于旋量理论和 Sylvester 结式法的 6 自由度机器人逆运动学求解分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(20): 48-56.
- [7] 葛小川, 郑颀默, 郑国利, 等. PUMA 机器人运动学逆解新算法[J]. 计算机系统应用, 2016, 25(11): 183-186.
- [8] 黎柏春, 杨建宇, 耿磊, 等. 基于实时逆运动学算法的 6R 机器人三维仿真[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2014, (3): 45-48.
- [9] 王其军, 杜建军. MOTOMAN 机器人逆运动学新方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010, 42(3): 451-454.
- [10] 吴应东. 六自由度工业机器人结构与运动仿真[J]. 现代电子技术, 2014, 37(2): 74-76.
- [11] 祁行行. 工业机器人运动控制分析与研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学硕士学位论文, 2014, 5: 17-20.

文章编号:1001-9383(2020)01-0030-06

蜂群自组网双信道频率分集多址接入协议

张玉鹏¹,陈仕进¹,李北国²

(1. 中国电子科技集团公司第五十四研究所,河北 石家庄 050081; 2. 北京航天长征飞行器研究所,北京 100076)

摘要:提出了一种适于大规模蜂群自组网的双信道频率分集媒质接入控制(DCFD-MAC)协议。信道预约与数据分组传输分别在控制信道(CCH)与业务信道(DCH)进行,避免信道预约与数据传输碰撞,提高信道接入效率。同时,在信道预约过程中完成频道占用信息交互,网络节点自适应选择数据传输频道,实现数据频率分集并发传输,解决了网络隐藏终端与暴露终端问题,提升网络性能。最后,对该协议性能进行了仿真。仿真结果表明,该协议与传统 MAC 协议相比多址性能明显改善。

关键词:蜂群自组织网络;媒质接入控制;频率分集;隐藏终端与暴露终端

中图分类号:TP915

文献标识码:A

A dual-channel frequency diversity medium access control protocol for swarm ad hoc networks

ZHANG Yu-peng¹, CHEN Shi-jin¹, LI Bei-guo²

(1. The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang Hebei 050081, China;

2. Beijing Aerospace Long March Research Institute, Beijing 100076, China)

Abstract: A novel dual-channel frequency diversity medium access control (DCFDMAC) protocol is proposed for large-scale swarm ad hoc networks. Channel reservation and data packet transmissions can be simultaneously carried out on control channel (CCH) and data channel (DCH) without packet collisions, which improves channel access efficiency. At the same time, channel occupancy information is transferred in channel reservation process, and network nodes select data transmission channels adaptively, realizing frequency diversity and concurrent transmission. Hidden terminal and exposed terminal problems are also resolved to greatly improve network performance. Finally, the performance of the MAC protocol is simulated. The simulation result show that, compared to traditional MAC protocols, the DCFDMAC protocol obviously improve the network performance.

Keywords: Swarm ad hoc networks; Medium access control; Frequency diversity; Hidden terminal and exposed terminal

收稿日期:2019-12-25

作者简介:张玉鹏(1986-),男,硕士,工程师,主要研究方向:无线移动通信、数字信号处理。

0 引言

近年来,蜂群自组织网络的研究备受关注^[1,2]。美军在 20 世纪 90 年代末率先提出蜂群作战的概念。将无人机、导弹等低成本、小型化平台进行集群编队,完成协同搜索、协同干扰、协同侦查、协同攻击、集群对抗等作战任务。蜂群作战具有数量优势、协同优势和智能优势,战场生存能力强,作战效费比高。美军先后开展了“拒止环境中协同作战”(CODE)、“蝗虫”(LOCUST)、“小精灵”(Gremlins)等项目研究;国内也开展了相关项目研究,2017 年 6 月,中国电子科技集团完成 119 架蜂群无人机集群飞行试验。

蜂群自组织网络为蜂群作战提供基础支撑,实现集群内部信息实时共享,其网络性能是决定任务成败的关键。蜂群自组织网络具有网络节点多、多业务并存、信道质量不稳定等特点^[3]。当网络节点增加或者网络负载增大时,网络节点预约信道或者数据传输的碰撞概率增大,网络吞吐量受限,传输时延增大。传统的媒质接入控制协议(MAC)存在隐藏终端与暴露终端的问题^[4-6],无法满足蜂群自组织网络实时性与大容量的需求。因此,需要设计一种适用于蜂群自组网的 MAC 协议,在设备体积与功耗受限的情况下,最大化提升网络性能。

多信道 MAC 协议相比单信道 MAC 协议能够获得更好的网络传输性能^[7-11]。但是多信道意味着设备体积与功耗的增加,而蜂群作战往往选用小型化的无人机或导弹平台,其通信设备体积与功耗受限,信道数量不能过多。同时,多信道 MAC 协议带来了多信道隐藏终端问题^[7-9],并仍然存在暴露终端问题^[10]。多信道隐藏终端会大大增加分组的碰撞概率,从而严重降低了网络多址性能,而为了避免暴露终端的影响,通常会禁止暴露终端使用很可能可以使用的信道,从而造成了信道资源的浪费。本文设计了一种双信道频率分集的 MAC 协议,信道预约与数据传输分别在控制信道与业务信道中进行,大大降低了预约信道时的碰撞概率。同时,网络节点在预约信道过程中交互频道占用情况,数据传输自适应建立在不同频道,进行频率分集并发数据传输,解决了网络隐藏终端与暴露终端问题,网络性能大幅提升。

1 网络模型

蜂群自组织网络是一个多跳无线网络,网络模型假设所有节点随机分布在一定的区域内,没有中心控制节点管理控制。蜂群网络内各节点已实现时间同步,时间同步精度精确到微秒级。网络节点配置为两部半双工收发信机,两部收发信机同时工作,分别完成控制信道(CCH)与业务信道(DCH)的传输。控制信道传输控制帧(即 RTS、CTS 和 ACK 等)低速信息,发射功率较小;业务信道传输数据帧(图像、语音、消息等)高速信息。每个信道上又划分成时隙。控制信道与业务信道在不同频率传输,其中预约信道频率固定,业务信道根据频道占用情况自适应选择。收发信机处于空闲状态时进行载波侦听,网络中所有节点的传输距离与载波侦听距离相等,控制帧和数据帧的传输距离相同。

2 DCFD-MAC 协议

2.1 信道划分

如图 1 所示,DCFD-MAC 协议将整个信道划分为 CCH 和 DCH,每个信道又划分成若干时隙。CCH 中的一个时隙称为预约时隙(RS),每个预约时隙包括 N_{CMS} 个长度为 T_{CMS} 的竞争

微时隙(CMS)、RTS、CTS和ACK分组的发送时间以及2个短帧间间隔(SIFS),其中SIFS为IEEE 802.11 MAC协议定义的短帧间间隔。DCH中的一个时隙称为传输时隙(TS),一个传输时隙的时间长度(T_{TS})等于 N_{ch} 个预约时隙的时间长度(T_{RS}),即

$$T_{TS} = N_{ch} T_{RS} \quad (1)$$

$$N_{ch} = \left(\frac{L_{RTS} + L_{CTS} + L_{ACK}}{R_{CCH}} + 3SIFS + N_{CMS} T_{CMS} \right) = \frac{L_{DATA}}{R_{DCH}} + SIFS \quad (2)$$

其中 L_{RTS} 、 L_{CTS} 、 L_{DATA} 和 L_{ACK} 分别代表RTS、CTS、DATA和ACK分组的长度。 R_{CCH} 和 R_{DCH} 分别代表CCH和DCH的数据传输速率。

可用传输带宽划分成 $N_{ch} + 1$ 个频道,CCH占用一个频道进行信道预约,DCH占用其余 N_{ch} 个频道进行频率分集数据传输。

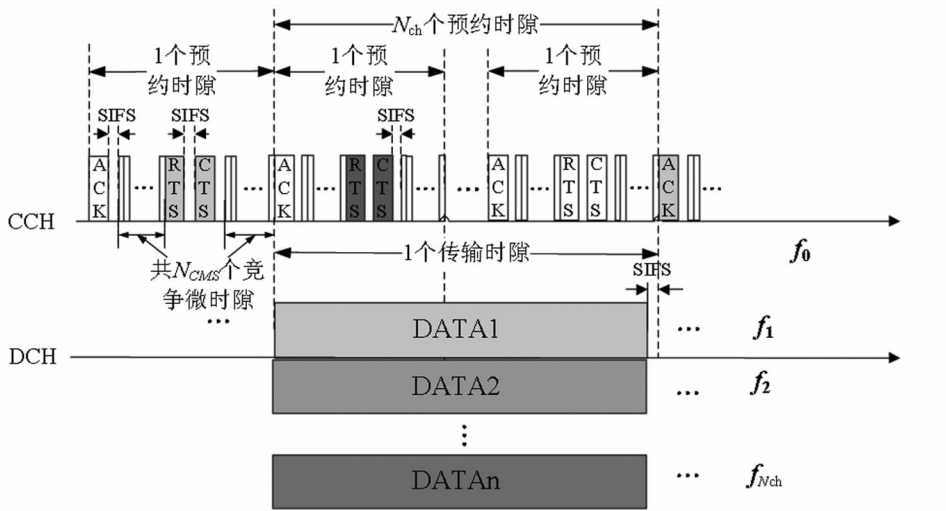


图1 DCFD-MAC协议的时序图

2.2 协议描述

与IEEE 802.11 DCF协议的握手方式相同,该协议采用RTS/CTS的握手机制来完成信道的预约。当网络中节点有数据分组发送时,节点根据侦听CCH的情况来判断是否发起预约信道。节点判断通信范围内是否有空闲信道可用,如果有则发起信道预约流程,否则继续侦听CCH信道。如果侦听CCH超时,则将数据丢弃。DCFDMAC协议流程见图2所示。具体流程如下:

(1)节点空闲时侦听CCH信道,并记录当前频道占用情况。由于数据传输在一个 T_{TS} 中完成,因此频道占用情况更新周期为一个 T_{TS} 。

(2)当有数据发送时,发送节点分析根据当前频道占用情况,如无频道可用,则设置自身受限状态为限制发送,并继续侦听信道;如有可用频道,则在CCH上随机的选择一个竞争微时隙(N_{CMS})发送RTS帧预约信道,RTS帧中包含预约频道信息。

(3)接收节点收到RTS帧后判断预约频道是否可用频道,并在CCH信道回复CTS帧。CTS帧中包含信道预约结果、预约频道等信息。如果接收节点正在DCH信道进行数据传输或当前无可用频道,则在CTS帧中告知信道预约失败,并设置自身受限状态为限制接收;否

则,接收节点在CTS帧中告知信道预约成功,并告知发送节点数据传输使用的频道。

(4)完成预约的网络节点进行数据传输,若数据传输成功,接收节点在 CCH 信道上回复 ACK 帧;若数据传输不成功,接收节点在 CCH 信道中回复 NACK 帧。

2.3 隐藏终端与暴露终端

无线网络中隐藏终端与暴露终端的问题是制约网络性能提高的主要因素。如图 3 所示,假设节点 A 与节点 B 正在传输数据分组。单信道协议中节点 C 与节点 D 需要进行退避扰而不能与其它节点进行通信,节点 C 在接收限制区内不能进行数据接收,节点 D 在发送限制区内不能进行数据发送。DCFD-MAC 协议在 CCH 进行信道预约与频道占用情况交互,在 DCH 进行频率分集并发传输,解决了隐藏终端与暴露终端的问题。

节点在 CCH 信道中进行信道预约,控制帧中包含可用频道信息。如图 4 所示,在 f_1 频道节点 A 向节点 B 发送数据。节点 C 与节点 E 在 CCH 进行信道预约,在 f_2 频道进行数据传输,节点 C 实现在接收限制区进行数据接收。同样,节点 D 与节点 F 在 f_3 频道进行数据传输,节点 D 实现在发送限制区进行数据发送。

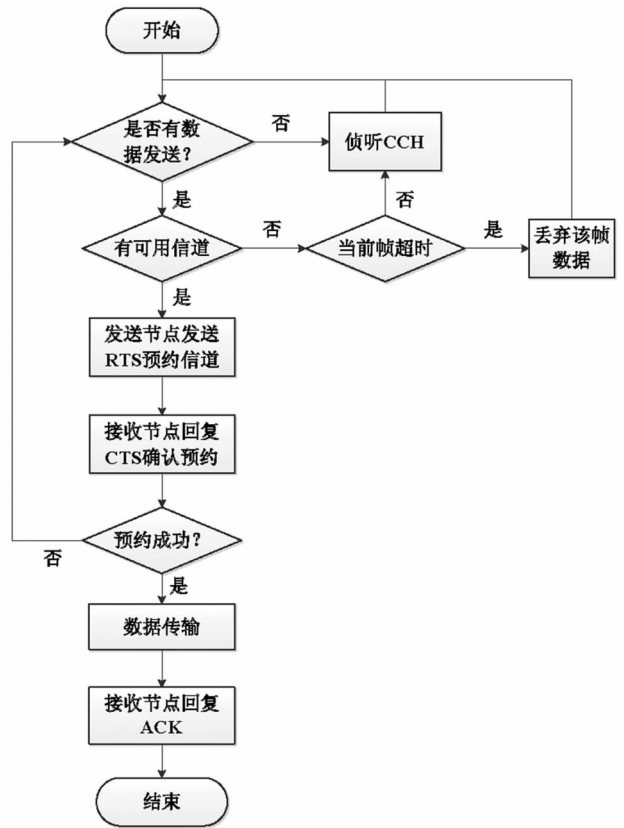


图 2 DCFD-MAC 协议流程

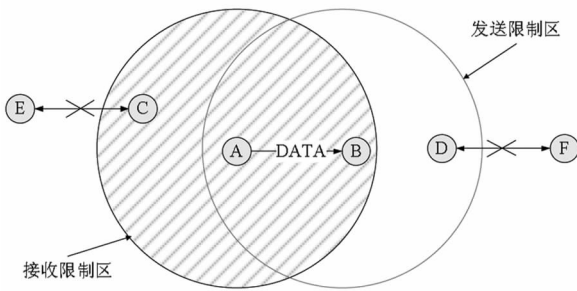


图 3 隐藏终端与暴露终端

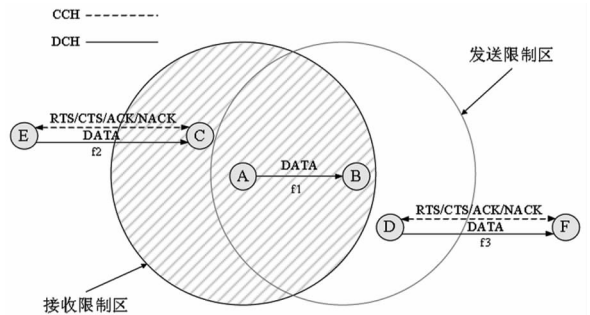


图 4 隐藏终端与暴露终端的解决

3 仿真结果

本文利用 C++ 对该协议进行建模仿真并与 802.11DCF 协议^[12]进行仿真对比。仿真的参数见表 1 所示。假设蜂群网络节点分布在 100km 范围内,节点最大通信距离 20km,业务信道频道数量 5 个。

表1 仿真参数

参数	数值	单位
网络作用范围 R	100	km
网络节点通信距离 r	20	km
业务信道频道数量 N_{ch}	5	个
竞争微时隙数量 N_{CMS}	32	个
控制信道传输速率 R_{CCH}	256	kbps
业务信道传输速率 R_{DCH}	2	Mbps
数据分组长度	20000	bit
传输时隙长度 T_{TS}	10	ms
保护间隔 SIFS 长度	20	us

网络业务数据达到率定义为单位时间内网络节点需要发送的数据分组数量,数据到达时间服从泊松分布。网络吞吐量定义为单位时间内在网络各信道成功传输数据信息量总和。平均分组时延定义为数据分组从到达时刻至传输成功所需时间,丢弃数据不计入统计。

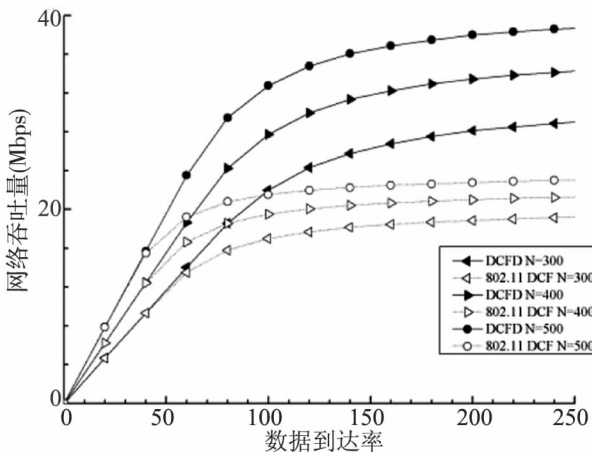
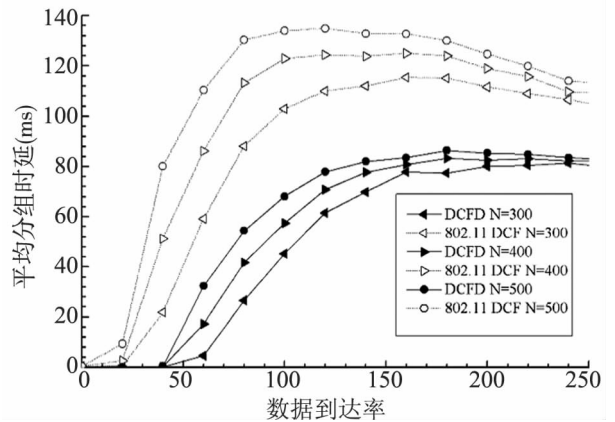
图5 不同的 N 对应的网络吞吐量图6 不同的 N 对应的网络分组时延

图5与图6给出了不同节点数目 N 下网络的吞吐量与平均分组时延情况。随着数据到达率的增加,网络负载不断增加,网络吞吐量趋近饱和。网络饱和时超时数据被丢弃,因此网络时延趋近饱和状态。在相同的节点数目 N 下,DCFD-MAC 协议与传统的 802.11 DCF 协议相比网络吞吐量提高约一倍,网络时延降低约 40%。

4 结论

提出了一种适用于大规模蜂群自组织网络的双信道 MAC 协议,网络节点通过在预约过

程中交互频道占用情况完成自适应频率分集并发传输,解决了无线网络中隐藏终端与暴露终端的问题,大幅提高网络吞吐量、降低网络延时。仿真结果表明 DCFD-MAC 协议在网络的吞吐量、与平均分组时延方面都明显优于传统 802.11 DCF 协议。

参考文献:

- [1] 袁政英. 美空军未来 20 年小型无人机发展线路图[J]. 防务试点, 2016, (10): 58—59.
- [2] 李浩, 孙合敏, 李宏权. 无人机集群蜂群作战综述及其预警探测应对策略[J]. 飞航导弹, 2018, (11): 46—51.
- [3] 刘炜伦, 张衡阳, 郑博. 蜂群无人机自组网多优先级自适应退避算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2019, 45(2): 325—332.
- [4] S. -L. Wu, C. -Y. Lin, Y. -C. Tseng, and J. -L. Sheu. A new multi-channel MAC protocol with on-demand channel assignment for multi-hop mobile ad hoc networks[C]. Proc. IEEE ISPAN 2000, Dallas, USA, pp. 232—237, Dec. 2000.
- [5] J. So and N. Vaidya. Multichannel MAC for ad hoc networks; handling multichannel hidden terminals using a single transceiver[C]. Proc. ACM Mobihoc 2004, Tokyo, Japan, pp. 222—233, May 2004.
- [6] D. Nguyen, J. J. Garcia-Luna-Aceves, K. Obraczka. Collision-free asynchronous multi-channel access in ad hoc networks [C]. Proc. IEEE GLOBECOM 2009, Honolulu, USA, pp. 1—6, Nov. 2009.
- [7] J. Lee, J. Mo, T. M. Trung, J. Walrand. Design and analysis of a cooperative multichannel MAC protocol for heterogeneous networks[J]. IEEE Trans. Veh. Technol. , vol. 59, no. 7, pp. 3536—3548, Sept. 2010.
- [8] K. -P. Shih, Y. -D. Chen, and S. -S. Liu. A collision avoidance multi-channel MAC protocol with physical carrier sensing for mobile ad hoc networks[C]. Proc. IEEE AINA 2010, Perth, Australia, pp. 656—661, Apr. 2010.
- [9] K. Liu and X. Xing. A new exposed-terminal-free MAC protocol for multi-hop wireless networks[J]. Chinese Journal of Aeronautics, vol. 22, no. 3, pp. 285—292, June 2009.
- [10] P. Bahl, R. Chandra, J. Dunagan. SSCH: Slotted seeded channel hopping for capacity improvement in IEEE 802.11 ad-hoc wireless networks[C]. Proc. ACM MobiCom 2004, Philadelphia, USA, pp. 216—230, Sept. 2004.
- [11] H. Zhai, J. Wang, and Y. Fang. DUCHA: A new dual-channel MAC protocol for multihop ad hoc networks[J]. IEEE Trans. Wireless Commun. , vol. 5, no. 11, pp. 3224—3233, Nov. 2006.
- [12] Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S]. IEEE 802.11 Standard, 1999.

文章编号:1001-9383(2020)01-0036-05

船载卫星通信天线控制的关键技术

吴 姣

(中华通信系统有限责任公司河北分公司,河北 石家庄 050081)

摘要:近年来随着卫星通信技术的飞速发展,船载卫星通信和广播电视接收等方面的需求越来越强烈,船载卫星通信是船舶远洋通信、应急救生、广播电视娱乐的重要手段,而船载天线是其中的核心,船载天线的性能直接决定了通信质量和效果。船载卫星天线为实现快速、稳定跟踪卫星,伺服控制起决定作用,因此,船载天线必一般具备三轴天线座作天线支撑,需要陀螺稳定技术隔离摇摆,并且有与陆地站不同的控制算法实现捕星和控制保护。

关键词:卫星通信;三轴天线座;陀螺稳定

中图分类号:TN820

文献标识码:A

Analysis of key considerations in the design of ship-borne antenna system

WU Jiao

(Hebei Branch of China Communication System Co., Ltd, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: With the rapid development of satellite communication technology, the demand of ship-borne satellite communication and broadcast reception are becoming more intense in recent years. Ship-borne satellite communication is an important means of marine ocean communication, emergency rescue, and broadcasting entertainment. As the core of ship-borne satellite communication, the performance of ship-borne antenna directly determines the quality and effectiveness of the communication. Since servo system plays a determinant role in achieving fast and stable tracking, a triaxial antenna pedestal is necessary in ship-borne satellite. In order to realize the protection of the servo system and satellite capture, the gyro stabilization technique is used in antenna pedestal to isolate the swing, and a control algorithm is also needed which is different from the ground station.

Keywords: Satellite communication; Triaxial antenna pedestal; Gyro stabilization

0 引言

船载天线的主要作用是克服船体航行、摇摆、颠簸等引起的位置和姿态的变化对于卫星指

收稿日期:2020-01-08

作者简介:吴 姣(1980-),湖北武汉人,助理工程师,研究方向:卫星通信及船载伺服系统研究.

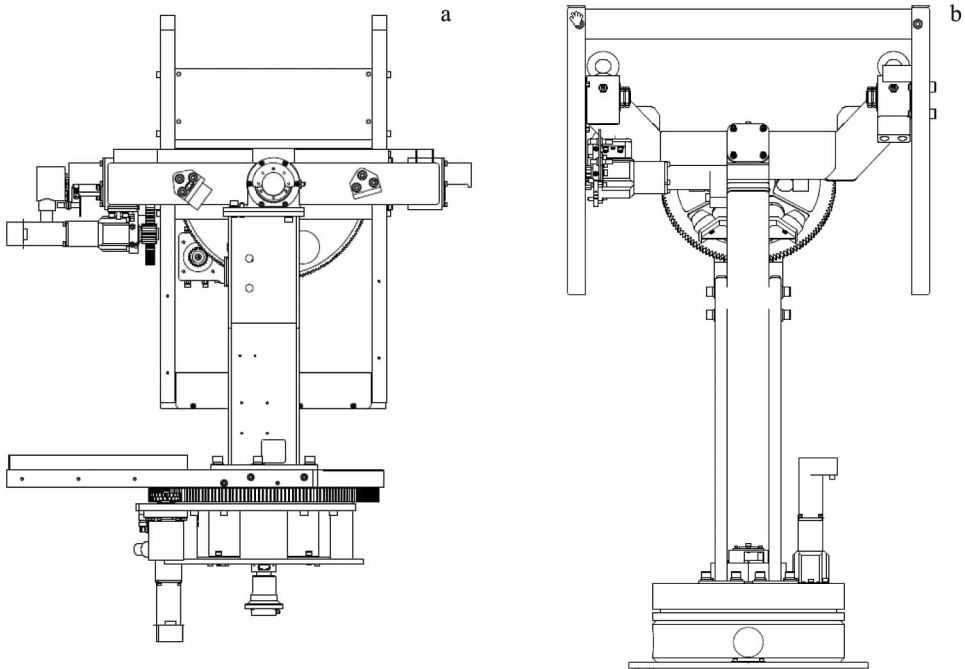
向的影响,使天线始终高精度的指向卫星,从而实现岸船、船船之间的通信,如:电话、传真、互联网和卫星电视接收等^[1]。天线的快速捕获和自动跟踪精度将是船载天线系统的一项非常重要的指标。我们在设计船载天线系统时,为使天线能够快速、稳定、高效且无海域限制的跟踪卫星,主要依靠三轴天线座架技术、陀螺稳定技术、综合控制稳定跟踪算法等技术实现。

1 三轴天线座技术

用于天线指向控制的天线座有很多种,根据船用天线用途选择了三轴天线座,因为两轴天线座不管方位俯仰(AE)天线座还是 XY 天线座都有跟踪盲区,而船用不间断通信系统必须无盲区跟踪,因此选用了方位俯仰交叉(AEC)或方位交叉俯仰(ACE)三轴天线座技术,实现全海域无盲区跟踪。

不管是 AEC 座架还是 ACE 座架,实际上都是在 X-Y 轴座架下面再加方位轴,形成 A、E、C 和 A、C、E 三轴体制,采用三轴控制、两轴稳定跟踪的方式进行自动跟踪。两种天线座架避免了 AE 天线座天顶盲区和 X-Y 天线座的 X 轴向盲区,三轴天线座架是实现船站卫星通信不间断工作的关键。

根据船载天线工作环境的特点,机械传动装置要耐冲击、抗振动、耐盐雾潮湿等防腐性,且由于克服舰船摇摆不断运转,耐磨性、抗疲劳性要好。国外部分天线厂商采用了齿形带传动,由于耐磨性和抗疲劳性缺陷,故障率很高,设备可靠性差而且由于设备结构原因,方位和俯仰轴齿形带更换时,必须拆除天线罩,而且将天线座架拆解才能更换,可维修性极差。因此国内民用市场越来越排斥这种结构的的天线设备,国内大部分船载天线采用齿轮传动的 AEC 型天线座架或 ACE 型天线座架,如图 1 所示。



a. AEC 座架示意图 b. ACE 座架示意图

图 1 AEC 和 ACE 座架示意图

2 陀螺稳定技术

船在海上受风浪影响而不停的摇摆,船载天线随载体的摇摆指向将不停地摆动,天线的波束宽度一般远比船摇幅度小,为保证伺服系统稳定的对准卫星,需选用稳定装置来隔离船的摇摆^[2],现代船载天线均采用陀螺稳定技术来实现隔离船摇的。

在伺服控制中传感器是制约控制特性的关键部件,尤其移动载体的定向通信设备中,用于反馈控制的陀螺非常重要。伺服系统中经常采用的几款陀螺的典型性能比较如表 1 所示。

表 1 常用陀螺性能及应用比较

陀螺类型	液浮陀螺	挠性陀螺	激光陀螺	微机械陀螺	光纤陀螺	MEMS 陀螺
技术状态及出现年代	技术稳定最早期	技术稳定早期	出现较晚	1980 年代出现	1990 年代铺开	2010 年达到成熟
零偏稳定性	好	相对差	好	较差	闭环陀螺比较好	比较差
体积	大	中等	体积大	小	中等	体积小
时漂	小	一般	小	大	比较好	比较大
使用环境	扰动小	一般	一般	适应性好	适应性好	适应性好
生产规模	小	小	小	大	大	巨大
价格	高	中等	高	低	中等	很低
发展趋势	弱	弱	弱	一般	一般	前景好
使用寿命	短	一般	一般	长	一般	长
保有量	小	一般	小	一般	大	巨大

在我们设计的三轴环路控制中,方位轴的控制一般是靠舰上电罗经提供输入的,只有交叉和俯仰轴有陀螺稳定,两轴的陀螺安装天线背面靠近交叉轴和俯仰轴空间交叉点最近的位置,陀螺的敏感轴分别平行于交叉轴和俯仰轴,两轴正交,如图 2 所示。三轴天线座的陀螺稳定控制系统能有效地隔离船摇,保证天线指向。

实际工作中,即便采用了高精度的光纤陀螺,受地球自转影响,以及陀螺零漂和电路零漂都会对陀螺环路带来漂移,从而引起天线指向变化,设计在陀螺环外的跟踪位置环就是克服这些诱因导致天线偏转的策略,高次模天线能使单脉冲跟踪接收机输出表征指向偏转的误差信号 $\Delta \in e$ 和 $\Delta \in c$,通过位置校正环路控制,可以修正天线偏转。配合位置环的陀螺稳定系统是船用卫星天线实现不间断通信的必备技术。

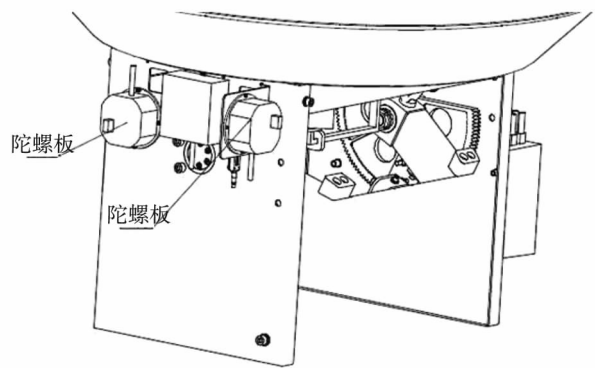


图 2 陀螺安装位置示意图

3 综合控制稳定跟踪算法

计算机技术应用使船载天线控制全部数字化,输入信息的量纲归一化后,伺服计算机可以灵活的进行指向和跟踪控制。在不间断卫星通信工作要求下,需要天线系统对轴角数字化、极化跟踪、位置自适应调整、遮挡记忆与闪避,这些功能是由伺服计算机的稳定控制与跟踪控制算法实现的。

3.1 轴角编码装置

轴角编码是进行数字控制天线指向的先决条件,其发展经历了电位器模数转化、旋转变压器解调、光电/电磁码盘的技术进步过程,跟随着现在微电子技术、光刻技术、解调技术的发展进步,采用的控制基本是以驱动电机反馈的增量码盘为输入基础的,增量码盘结合零位检测得到绝对位置,可以大大节省成本,精度也很高。

对于一个额定转速 3000rad/min 的电机,反馈采用 1000 线码盘,传动比为 600 : 1,天线转速输出的额定速度为: $V = 3000/60/600 \times 360 = 30$ 。

30°/s 的速度能够满足三轴船用天线的速度控制需求。

通过码盘反馈信号获得的轴角分辨率是: $1\text{bit} = 360/1000/600 = 0.0006$ 。

0.0006°的分辨率对于小口径卫星天线,是一个非常高的分辨率,能达到很高的控制精度。采用增量反馈码盘结合过零检测的轴角编码装置是目前小口径通信天线轴角编码采集最常用的方式,轴角量化后,计算机控制就很简单了。

3.2 极化实时调整与跟踪技术

船用卫星通信使用的是同步卫星跟踪通信,目前常用频段是 C/Ku/Ka 三个频段,其中 C/Ku 频段通信为垂直水平极化,工作中需要根据不同的海域需要调整极化,Ka 频段通信是圆极化,不需要调整极化,三频段控制的指向角都遵循地面站天线指向和极化控制方法。地面卫星天线指向和极化计算公式参见公式(1)–公式(3)。

$$AZ = 180^\circ - \arctg \frac{\text{tg}(\lambda_s - \lambda_e)}{\sin \phi_e} \quad (1)$$

$$EL = \arctg \left[\frac{\cos(\lambda_s - \lambda_e) \cos \phi_e - \frac{R_e}{R_e + H}}{\sqrt{1 - [\cos(\lambda_s - \lambda_e)] \cos \phi_e}^2} \right] \quad (2)$$

$$A_{pol} = \arctg \frac{\sin(\lambda_s - \lambda_e)}{\text{tg} \phi_e} \quad (3)$$

式中: λ_s 卫星经度; λ_e 地面站经度; ϕ_e 地面站纬度; R_e 地球半径(6378km);

H 同步卫星距地球表面的高度(35786km)。

工作在 C/Ku 频段的线极化天线,必须具备极化跟踪功能^[3],主要包括两个方面,一是极化角需随着船体处于不同的地理位置进行调整,如公式(3)所示;二是船姿态变化会造成极化倾斜,必须进行实时调整,否则会导致极化损失和交叉极化的干扰(通信信号的接收和发射是不同的极化,这样才能提高收发隔离度)。

3.3 遮挡记忆保护技术

受天线安装位置或其它外在因素的影响,有时天线指向卫星的方向会受舰桥、烟囱或其他障碍物的遮挡,导致天线无法再继续跟踪卫星。

天线跟踪及遮挡保护的工作流程如图3所示:

通过遮挡记忆保护策略,可以在天线避开遮挡后快速锁定卫星,并建立通信。

3.4 自适应跟踪技术

自适应跟踪技术是为配置天线三轴系统位置设计的控制算法,船用三轴系统的俯仰(E)、交叉(C)轴是限定范围工作的,一般俯仰需要通过方位轴的配合,保证交叉轴工作在能隔离船摇最合适的范围内。受船的航向变化,需要不停的调整AC轴的工作位置,确保天线能不限位跟踪。为了避免频繁切换导致的方位(A)和交叉(C)轴磨损,需要设置阈值避免频繁切换。

具体实现方法在方位轴随动调整交叉轴工作点位置时,根据交叉轴的工作范围和摇摆幅度来设定交叉轴偏离靠近限位的阈值,一般交叉轴的工作区间在 -50° 到 $+50^{\circ}$,交叉轴的摇摆幅度在 30° ,设定的调节阀值是靠近最大幅度 10° ,这样交叉轴的摇摆中心偏离也约为 10° 。反方向调整方位轴位置 10° ,使交叉轴工作中心在零位附近。

通过自适应跟踪技术可以保证天线工作在合适的工作范围,避免交叉轴限位,有效地保证连续通信。

结束语

随着智慧海洋及海上一带一路国家战略的快速推进,高质量海上宽带卫星通信的需求越来越迫切,在进行车载天线系统设计时,根据船体及海上环境特点,采用三轴天线座为基础的带陀螺稳定和智能稳定控制算法的天线控制系统,能快速捕星,稳定跟踪卫星并建立通信。

采用了三轴天线座、陀螺稳定控制、自适应跟踪等技术的“远望”号测量船卫星通信系统天线设备,经过了多年的航渡及多海域任务考验,证明三轴天线座陀螺稳定控制系统是船用不间断卫星通信必备的、工作可靠的控制技术。

参考文献:

- [1] 牛媛媛,刘以安,杨华明,等.舰载雷达平台在风浪中的运动姿态对雷达天线扫描位置的影响研究[J].华东船舶工业学院学报,2005,19(1):40-43.
- [2] 王世虹.车载天线伺服系统抗摇摆方案研究[J].无线电通信技术,2003,29(2):47-49.
- [3] 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.

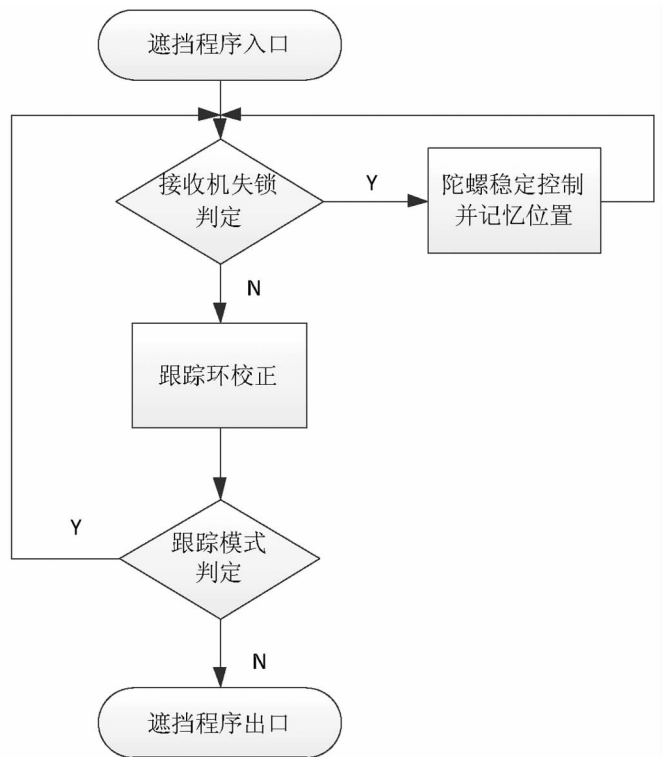


图3 天线跟踪及遮挡保护的工作流程图

文章编号:1001-9383(2020)01-0041-05

一种新型波导圆极化天线

李凡,牛传峰

(中国电子科技集团公司第五十四研究所,河北 石家庄 050081)

摘要:提出了一种新型圆极化天线。首先建立了天线单元模型,在单元基础上进行了 2×2 单元仿真,使用HFSS软件仿真了天线的增益、轴比等指标,实际加工了实物样机并给出了测试结果。仿真和测试结果表明,天线实测结果和仿真结果吻合较好,满足天线使用需求。

关键词:波导;圆极化天线

中图分类号:TN82

文献标识码:A

A novel fractal circular polarization antenna

LI Fan, NIU Chuan-feng

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

Abstract: A novel fractal circular polarization antenna is designed. First of all, an element of antenna is created. On the basic of the element, a 2×2 antenna array is proposed. The model is emulated with HFSS software, and the testing result is given such as gain, side-lobes, AR, VSWR. A prototype was fabricated and measured. The measured results and the simulated results matches well and satisfied the requirements for use.

Keywords: Waveguide; Circular polarization antenna

0 引言

随着通信系统的发展,圆极化天线的特性越来越受到重视。圆极化天线可以接收到任意线极化波。圆极化天线可以降低雨衰,具有一定的抗多径干扰特性。微带天线在毫米波波段效率较低,而波导天线损耗较小,辐射效率很高,因此,研究新型的波导圆极化天线单元成为了圆极化阵列天线的瓶颈之一。

常用的圆极化天线通过波导隔板移相器、微带切角或双线极化加圆极化电桥来形成圆极化。双线极化加圆极化电桥会引入额外的电桥损耗或功分器损耗;隔板移相器高度损耗小高度高;微带切角单元布阵时传输损耗大^[1-6]。

本文针对平板阵列天线的应用,利用微带切角扰动电磁场的思想,设计了一种新型波导圆

收稿日期:2019-12-19

作者简介:李凡(1988-),河北石家庄人,硕士,工程师,研究方向阵列天线。

极化天线单元。在矩形波导对角切角,对腔体内传输的电磁波形成微扰,通过控制切角的大小可以控制两个正交模的相差,最终形成天线单元的圆极化辐射特性。

1 天线的原理与设计

天线形成圆极化波的关键是产生两个极化正交,幅度相等,相位相差 90° 的线极化波。单一馈点的波导内部仅传输单一模式的电磁波。在方形波导内部引入切角,可对波导内部传输的电磁波形成微扰,产生两个不同的工作模式。当选择合适的切角尺寸时,在天线的中心频率附近,会有一个模式的等效相位超前 45° ,而另一个模式的等效相位角滞后 45° ,这样,在天线的中心频率附近就可实现天线单元的圆极化辐射特性。

天线单元分为三大部分:发射腔体,接收腔体和辐射喇叭。在发射腔体和接收腔体上切角对波导腔体内的电磁波微扰形成圆极化,最终通过辐射喇叭辐射出去。

天线工作在Ka卫星通信频段,要求发射频段左旋圆极化,接收频段右旋圆极化。有两种实现方案可以天线两频段极化方式不同。

方案一:同方向馈电,发射腔体和接收腔体内切角位置不同,见图1(b)所示。切角位置不同时,切角对电磁波相位微扰形成的相差不同,可产生不同旋向的圆极化辐射。但是在发射腔体和接收腔体交界处会出现一个突变平面,在这个平面附近相位紊乱,会导致天线轴比恶化。另外,同方向馈电时,上下层馈电波导网络的大部分走线位置相同,而上下层网络高度差很小,会加大加工难度。

方案二:馈电方向相差 90° ,利用馈电本身的 90° 物理移相来实现双圆极化,见图1(a)所示。接收腔体和发射腔体切角位置相同时,两层腔体的切角均对发射频段电磁波进行了相同的相位扰动,在两层腔体分界面处不会出现突变,降低了调试难度。上下层网络交叉分布,只在少部分交叉位置出现高度差小,加工难度大等问题,比较容易解决。

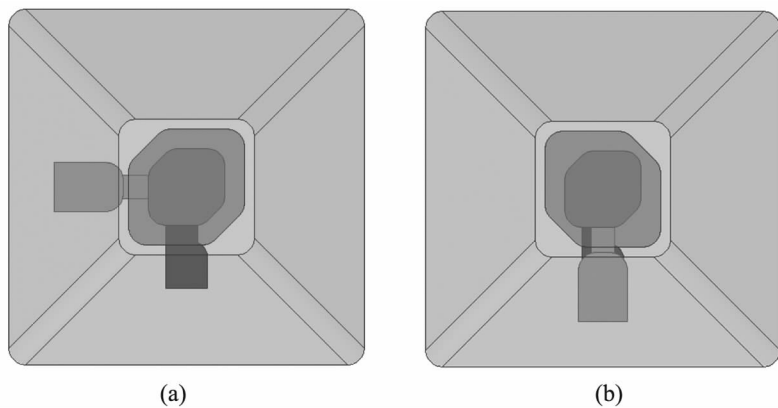


图1 天线单元仿真模型

综合考虑两种方案的优劣,最终决定采用方案二进行优化。

2 天线性能仿真

利用电磁仿真软件HFSS对天线单元及阵列进行仿真。考虑到实际加工,仿真时在腔体棱角处做了1mm的倒圆角设计。由于接收腔体在辐射腔体的上层,对辐射频段电磁波具有一定的移相作用,为减少调试工作量,先调试接收腔体,确定接收腔体后再调试发射腔体。当接

收腔体边长 10.1mm,切角 3mm;发射腔体边长 6.7mm,切角 1.9mm 时,天线单元的驻波和轴比结果较好,单元仿真结果见图 2—图 5。

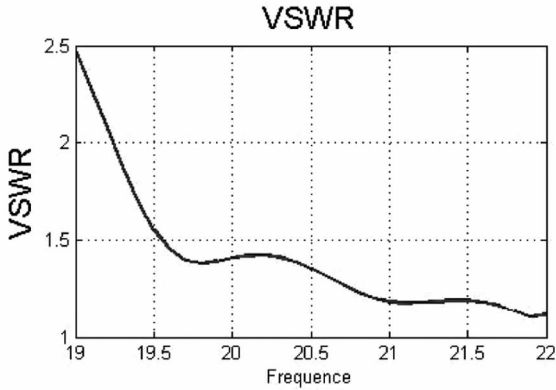


图 2 接收频段驻波

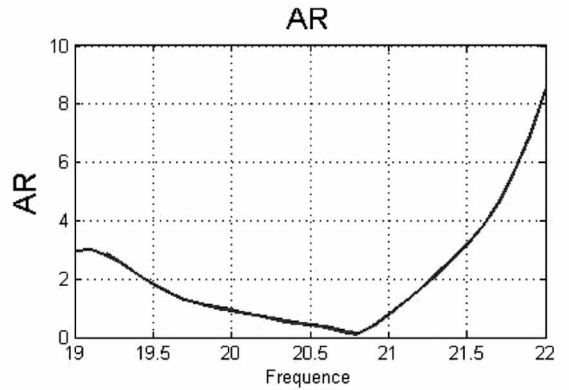


图 3 接收频段轴比

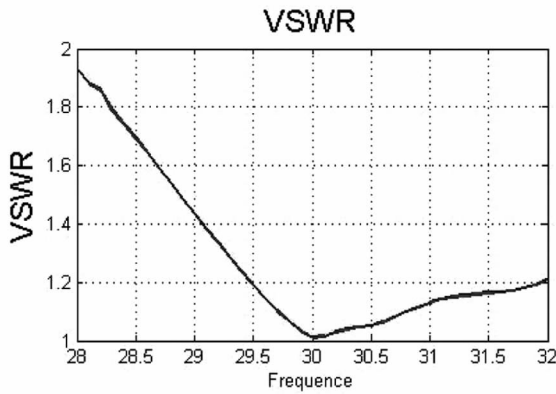


图 4 发射频段驻波

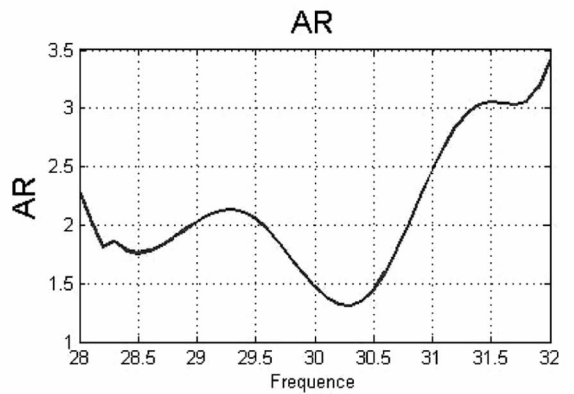


图 5 发射频段轴比

表 1 单元仿真结果

工作频段(GHz)	驻波	轴比(dB)
接收频段 19.6—21.2	1.35	2.2
发射频段 29.4—31	1.28	2.3

从表 1 可以看出,在天线接收频段,驻波小于 1.35,轴比小于 2.2dB;在天线发射频段,驻波小于 1.28,轴比小于 2.3dB。

对口径为 31mm×31mm 的单元拼阵进行仿真。天线单元为波导馈电,利用 E 面弯波导功分器对天线单元进行网络合成,对天线单元进行等幅同相馈电,适当调整天线单元切角尺寸,最终天线 2×2 阵列仿真模型见图 6,仿真结果见图 7—图 12,数据见表 2。

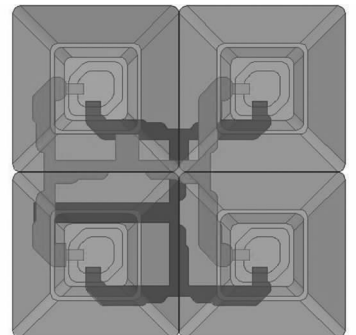


图 6 天线 2×2 阵列仿真模型

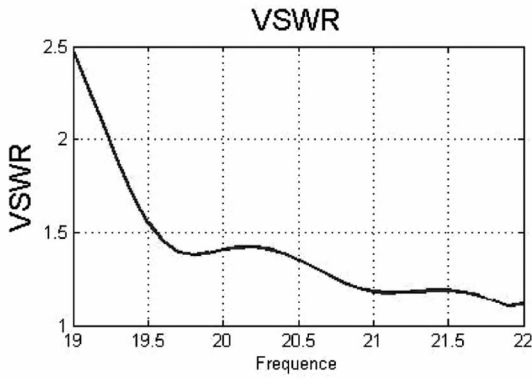


图7 接收频段驻波

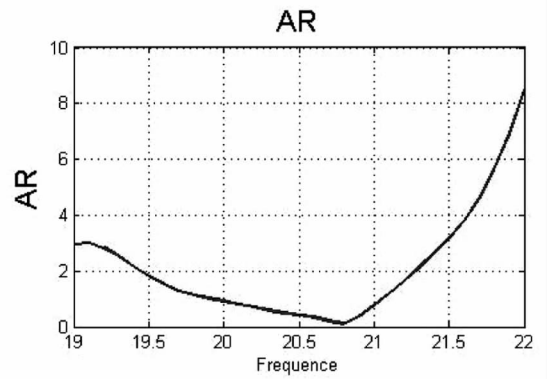


图8 接收频段轴比

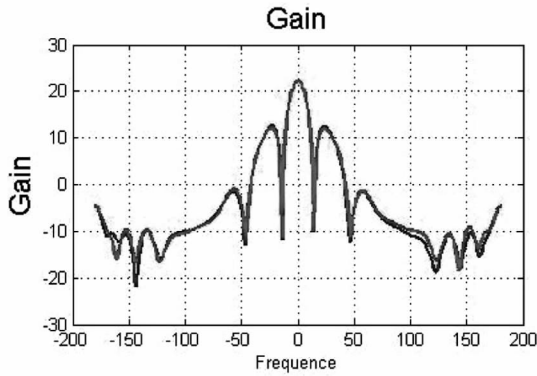


图9 20.4GHz方向图

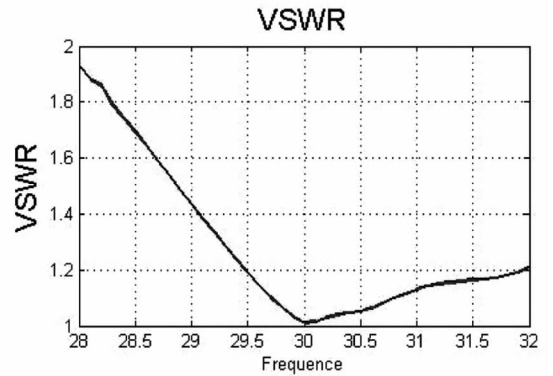


图10 发射频段驻波

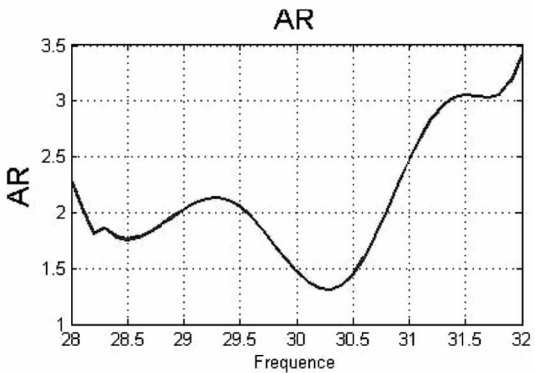


图11 发射频段轴比

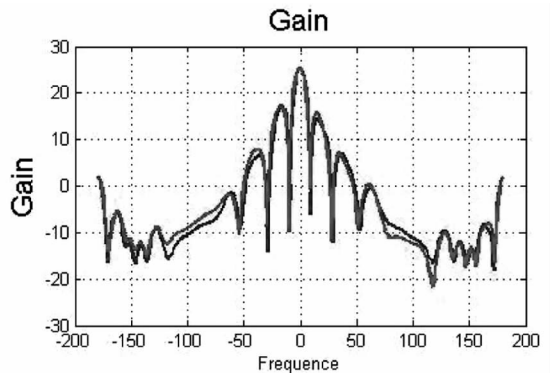


图12 30.2GHz方向图

表2 2×2阵列仿真结果

工作频段(GHz)	驻波	轴比(dB)	增益(dB)
接收频段 19.6—21.2	1.45	1.63	22.17
发射频段 29.4—31	1.24	2.47	25.29

3 加工试验结果

为验证仿真效果,实际加工 8×16 阵列进行测试验证。以 2×2 个单元为一个小子阵,通过 E 面波导功分器对每个子阵进行等幅同相馈电。实测结果见图 13—图 16,实测数据见表 3。

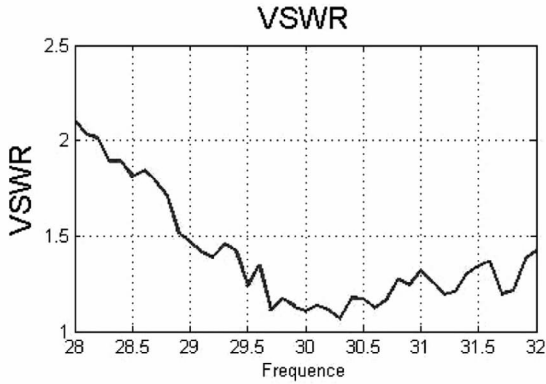


图 13 实测发射驻波

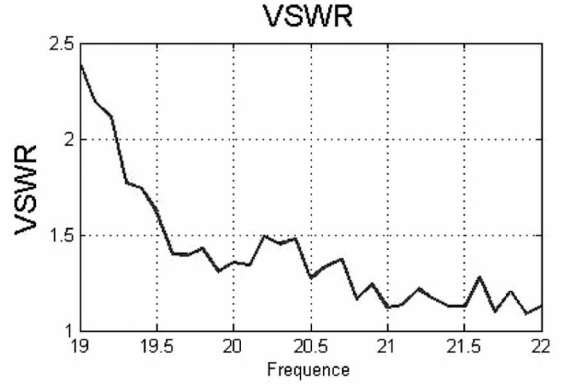


图 14 实测接收驻波

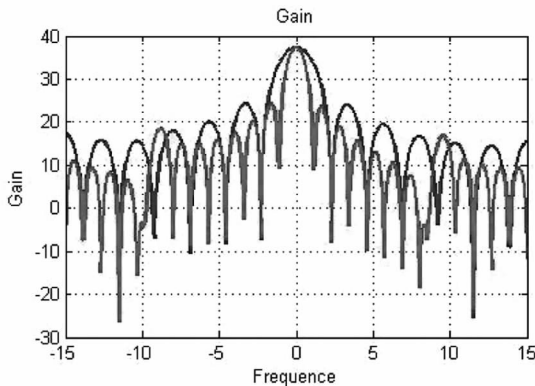


图 15 实测发射方向图(30.2G)

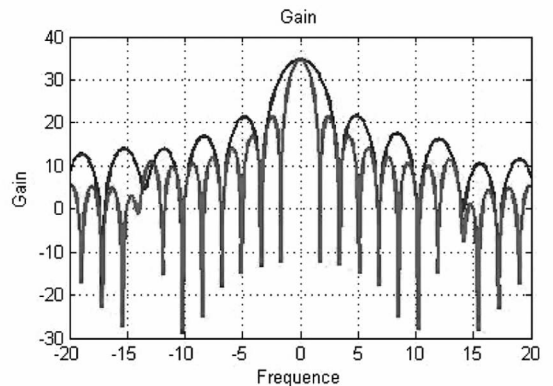


图 16 实测接收方向图(20.4G)

表 3 8×16 阵列仿真结果

工作频段(GHz)	驻波	轴比(dB)	增益(dB)
接收频段 19.6—21.2	1.46	2.84	33.6
发射频段 29.4—31	1.49	3.17	36.3

4 结束语

提出了一种新型波导圆极化天线,单元和小型阵列仿真结果显示,驻波和轴比都满足使用需求,实现了一种新型的波导圆极化方式。对加工的小型阵列进行了实测分析,实测结果表明,仿真结果与实测结果吻合度较好。但是,天线轴比仍然较差,需要进一步进行优化。由于波导馈电的限制,天线单元高度较高,需要寻找新的馈电方式降低天线高度。

参考文献:

- [1] 胡永金,丁卫平,周水威. 4 元 C 波段宽频带圆极化微带天线的设计[J]. 军事通信技术,2012,33(2):61—64.
- [2] 杨彦炯. Ka 波段圆极化平板阵列天线设计[J]. 现代导航,2018,1:34—40.
- [3] 王威,苗俊刚,梁彬. L 波段矩形切角圆极化微带天线的设计[J]. 电子测量技术,2010,33(12):1—3,28.
- [4] 林逸群,牛臻弋,顾长青. 一种用于毫米波相控阵的单馈点方形切角贴片天线[J]. 2009,5:47—49,61.
- [5] 余如茹. 单馈切角圆极化和容性馈电微带天线计算公式的研究[D]. 大连:大连海事大学,2018.
- [6] 刘强. 功分移相馈电网络和圆极化定向微带天线技术研究[D]. 北京:北京邮电大学,2011.

文章编号:1001-9383(2020)01-0046-05

医用 PSA 制氧设备的远程检验和 实时监控系统的技术研究

何桐^{1,2}, 安生永¹

(1. 河北省科学院应用数学研究所, 河北 石家庄 050081; 2. 河北师范大学计算机与网络空间安全学院, 河北 石家庄 050024)

摘要: 系统通过物联网技术构建一个医用 PSA 制氧设备的远程检验和实时监控信息化平台, 利用信息系统的强大分析处理能力, 来整合省、市、县各级医院, 社区医疗服务机构以及生产单位、医疗器械检验中心等资源, 实现对各医疗单位 PSA 制氧设备的实时监控和检验信息共享, 并缩短检验周期, 提高检验工作效率。通过时间序列预测技术, 对存在安全隐患的制氧设备实施预警, 提高设备抽检工作的精准性。系统采用 SpringBoot 和 Vue 框架实现前后端分离开发, 并应用 WebSocket 实时通讯、ARIMA 建模和 FreeMarker 报表生成等技术, 实现系统的研发。

关键词: PSA 制氧设备; WebSocket; ARIMA; FreeMarker

中图分类号: TP311

文献标识码: A

Technical research on remote inspection and real-time monitoring system of medical PSA oxygen making equipment

HE Tong^{1,2}, AN Sheng-yong¹

(1. Institute of Applied Mathematics, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang Hebei 050081, China;
2. College of Computer and Cyber Security, Hebei Normal University, Shijiazhuang Hebei 050024, China)

Abstract: The system uses the Internet of Things technology to build an information platform for remote inspection and real-time monitoring of medical PSA oxygen equipment, and uses the powerful analysis and processing capabilities of the information system to integrate provincial, city, and county hospitals, community medical service agencies, and production units. Medical equipment inspection center and other resources can realize real-time monitoring and inspection information sharing of PSA oxygen equipment of various medical units, shorten the inspection cycle and improve inspection work efficiency. Through time series forecasting technology, early warning is provided to oxygen generating equipment with potential safety hazards to improve the accuracy of equipment sampling inspection. The system uses SpringBoot and Vue frameworks to realize front-end and back-end separation development, and uses tech-

收稿日期: 2019-10-20

基金项目: 河北省科学院科技攻关项目(19604)

作者简介: 何桐(1995-), 男, 河北辛集人, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机网络与信息安全、数据挖掘。

nologies such as WebSocket real-time communication, ARIMA modeling, and FreeMarker report generation to achieve system development.

Keywords: PSA oxygen making equipment; WebSocket; ARIMA; FreeMarker

1 系统技术架构综述

医用 PSA 制氧设备的远程检验和实时监控系统基于 B/S 架构,遵从 MVC 设计思想,采用“SpringBoot+Vue”前后端分离开发框架,提高了系统的可扩展性。本系统主要包括 View (视图层)、Controller(控制层)、Service(业务逻辑层)和 Dao(数据持久层)。通过分层,使得各层专注于本层工作,遵从开闭原则,便于修改和扩展。搭配流行框架“SpringBoot+Vue”,可以加速系统的开发和扩展,同时应用 Element UI 组件和 Echarts 图表库技术使系统拥有良好的用户界面和良好的用户交互体验。本系统技术架构如图 1 所示。

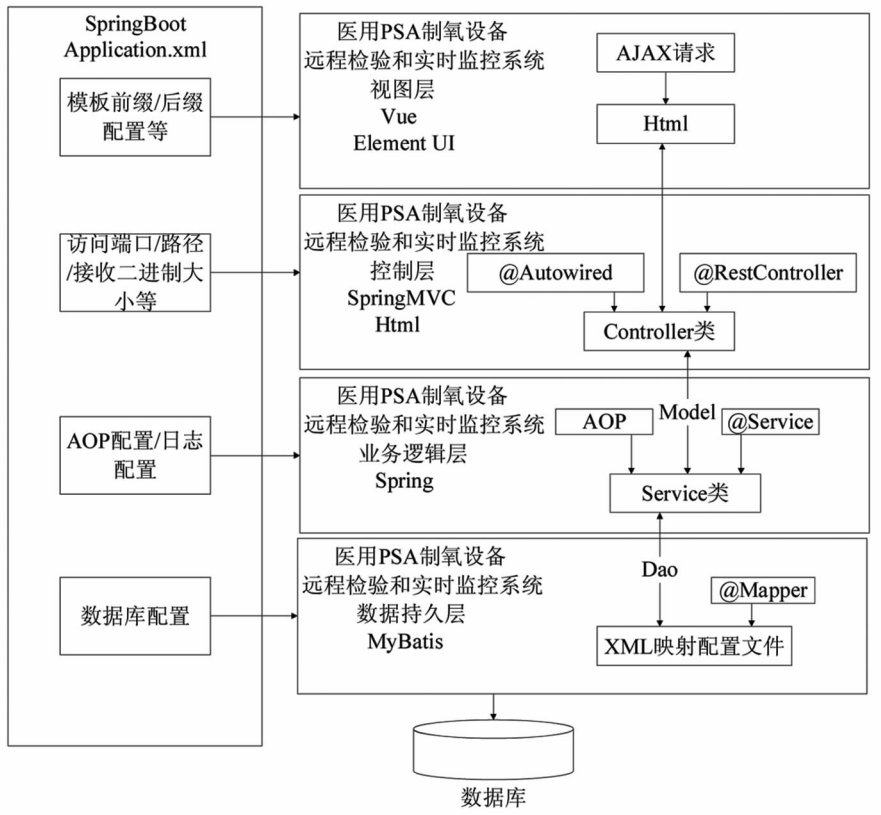


图 1 系统技术架构图

由图 1 可知在本系统中,视图层通过 AJAX 请求将数据传输至控制层,控制层接收到浏览器端传输的数据后,使用@RequestBody 注解对数据进行解析,并通过@Autowired 注解实现业务逻辑层的依赖注入,业务逻辑层调用数据持久层中通过@Mapper 注解标记的接口对数据库进行 CRUD 操作,最终将返回结果以 JSON 数据格式传递给视图层进行处理。

2 WebSocket 实时通讯技术

WebSocket 是一种基于 TCP 协议的全双工实时通讯技术^[1]。全双工,即服务端与客户端可以双向传递信息,WebSocket 特点是服务端可主动将消息广播给客户端,实现实时通讯,其通讯流程如图 2 所示。

PSA 制氧设备的实时监控正是基于 WebSocket。现场监控设备端读取表 1 中 ParaRead_Interval 字段获取参数读取时间间隔(秒),并根据该时间间隔对表进行轮询,根据 Collect_Interval 字段,获取数据采集时间间隔,根据采集间隔,利用传感器采集氧浓度、一氧化碳含量、气体流速数据,根据 Upload_Interval 字段,获取数据上传时间间隔,并根据该间隔将现场数据传输到远程监控系统中,通过 MaxRecord 字段,限制传输数据的最大记录数。当监控端遇到网络传输等问题时,可通过 AbnormalPhone 字段读取异常电话,通过发短信或拨电话形式反映问题。

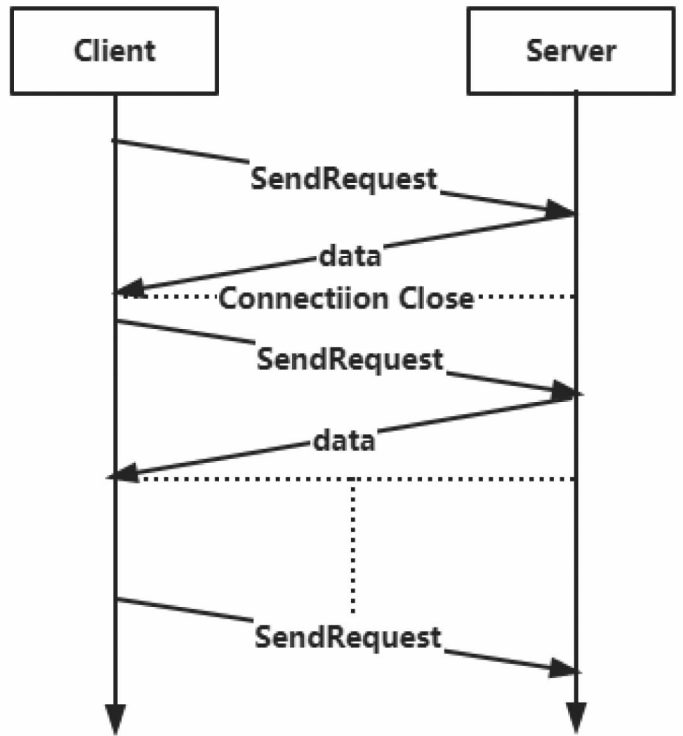


图 2 WebSocket 通讯流程图

表 1 采集设备编码表

字段名	数据类型	说明
CollectDeviceCode	Varchar (100)	采集设备编号
ParaRead_Interval	Integer	参数读取时间间隔(秒),默认 10
Collect_Interval	Integer	数据采集时间间隔(秒),默认为 5,0 为取消采集
Upload_Interval	Integer	数据上传时间间隔(秒),默认为 5,0 为取消上传
MaxRecord	Integer	单次传输数据包长度上限值,默认 10
AbnormalPhone	Varchar (50)	异常电话

现场监控端将传感器采集的氧浓度、一氧化碳含量、气体流速等数据传输到服务器端,通过 new WebSocket("ws://xxx:port/request")方法,与服务器端建立 WebSocket 连接,将现场数据通过表 2 格式封装成 JSON 包实时传输到前端界面上,实现现场动态监测。

表 2 采集设备上传的原始数据表

字段名	数据类型	说明
CollectDeviceCode	Varchar (100)	采集设备编号
CollectTime	Timestamp	采集时间
Oxyge_Value	Float	氧浓度(%)
CO_Value	Float	一氧化碳含量(ppm)
GasRate_Value	Float	气体流速(L/min)
UploadTime	Timestamp	上传时间

3 ARIMA 预测模型

ARIMA 模型是一种基于动态数据揭示系统动态结构和规律的统计方法。根据给定有限长度的样本观测数据,建立了能够准确反映时间序列所包含的动态相关性和发展规律的数学模型,并对系统未来行为进行预测^[2]。

一般而言,实际观测数据多为非平稳序列。对于非平稳时间序列,只需经一次或多次差分即可将其转化为平稳时间序列,这种时间序列模型称为自回归积分滑动平均模型,简称 ARIMA(p,d,q)模型^[3]。形式如下:

$$\begin{cases} \Phi(B)\nabla^d \varepsilon_t = \mu + \Theta(B)\varepsilon_t \\ E(\varepsilon_t) = 0, \text{Var}(\varepsilon_t) = \sigma_\varepsilon^2, E(\varepsilon_t \varepsilon_s) = 0, s \neq t \\ E x_s \varepsilon_t = 0, \forall s < t \end{cases}$$

其中, $\nabla^d = (1-B)^d$ 为高阶差分, $\Phi(B) = 1 - \varphi_1 B - \dots - \varphi_p B^p$,为平稳可逆 ARMA(p,q)模型的自回归系数多项式, $\Theta(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q$,为平稳可逆 ARMA(p,q)模型的滑动平均系数多项式。上述公式可简单记录为:

$$\nabla^d \varepsilon_t = \mu + \frac{\Theta(B)}{\Phi(B)} \varepsilon_t$$

其中, ε_t 是白噪声序列, μ 是时间序列的平均值,其建模过程如图 3 所示:

在本系统中,通过对检验端所传来的历史数据氧浓度、一氧化碳含量进行预测,根据正常值范围判定预测数据是否异常,若异常数据个数超过最大限度,则对该制氧设备进行预警,并根据制氧设备的经纬度在地图中用红色指示灯标记出来,通知工作人员对该制氧设备进行检修。

其中,在本系统预测算法中,当输入一定量的观测数据后,会输出等量的拟合数据和定义数量的预测增量数据,当观测数据和拟合数据越吻合,置信度越高,预测增量数据可能行为概率越大,ARIMA 预测算法一氧含量预测如图 4 所示。

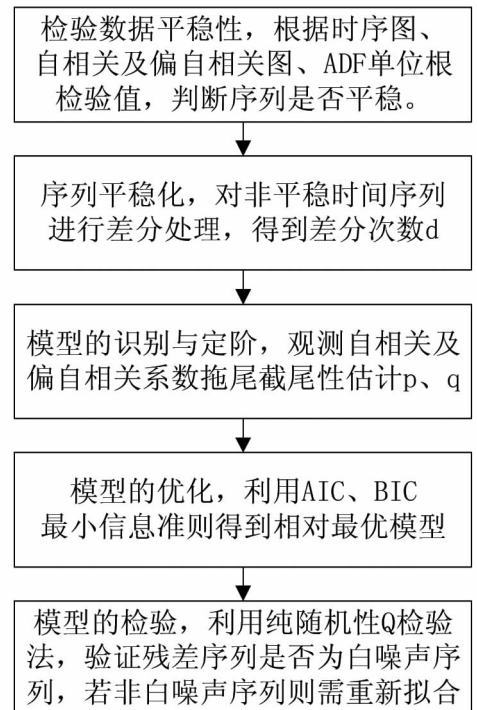


图 3 ARIMA 建模过程图

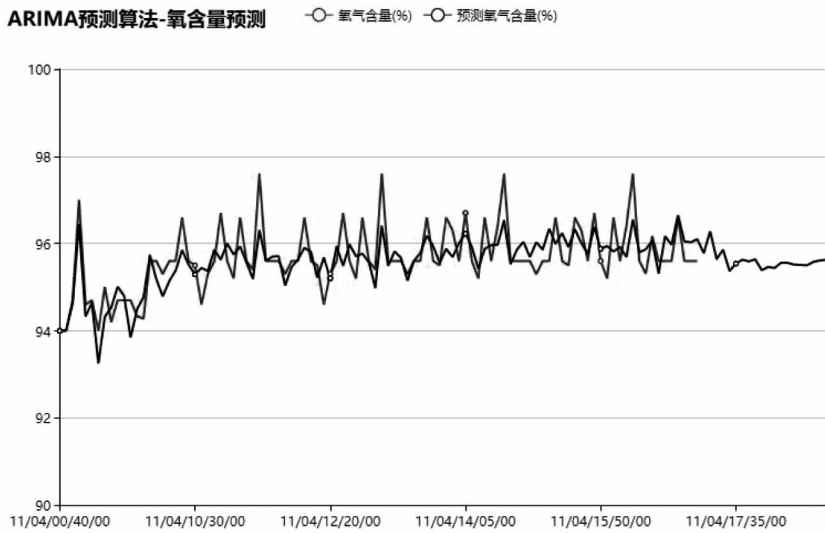


图4 ARIMA 预测算法—氧含量预测图

4 FreeMarker 引擎

FreeMarker 是一款模板引擎,基于给定的模板和预期输出的数据,生成指定输出文本的通用工具,范围广泛,可以生成 Word 文档、XML 文件、HTML 网页、源代码等,其实现流程首先是创建模板文件,例如模板 Word 文档,并将模板文件以 XML 形式打开,通过用 $\{xxx\}$ 符号进行赋值,然后将其转化为后缀为 .ftl 的文件,最后,用文件 IO 流将模板文件中的格式及数据以 Word 文档等形式输出到磁盘或浏览器进行下载。

在本系统中,需要生成远程结果检验报告单,正是应用 FreeMarker 技术,通过采集设备编号、采集时间,生成并获取以医院名称+日期为文件名的 Word 文档,随时随地了解现场监测情况,远程检验结果报告单如图 5 所示。

5 结语

本系统摒弃以往传统检验方式,即人工现场采集样本数据,带回实验室检验,然后提供检验报告,而是利用实时通讯技术、时间序列预测算法、检验报告自动生成等技术,实现在用设备的实时监管和预警分析,提高了设备抽检的靶向性,并提高了检验效率,节省人力物力,为其他医疗设备的远程监控和检验提供了新的思路 and 方向。

参考文献:

- [1] 薛陇彬,刘钊远.基于 WebSocket 的网络实时通信[J].计算机与数字工程,2014,42(03):478-481.
- [2] 张颖,陈卓.改进 ARIMA 模型在医药需求预测中的研究[J].计算机工程与设计,2018,39(01):183-188+295.
- [3] 徐娜,霍飞,刘长娜,等. ARIMA 模型在梅毒预测中的应用[J].疾病监测,2011,26(02):103-105+109.



远程检验结果报告单

报告编号	HBMIT-JC01 -20190002	监测时间	2019-11-04 09:50:00.000
样品名称	医用分子筛中心制氧系统		
医院名称	河北医科大学第三医院		
生产厂家	珠海和佳医疗设备股份有限公司		
规格型号	HG-O 100		
仪器编号	56933-6	生产日期	2005-11-01
—远程检验结果—			
监测指标	标准值	监测值	判定结果
氧浓度 (%)	>90	94.28	合格
一氧化碳含量 (ppm)	≤5	0.78	合格
气体流速 (L/min)	/	1.06	/
备注:	2019-11-04 09:50:00.000 节点各项指标均合格		

监测系统编号: MITPS-001

图5 远程检验结果报告单

文章编号:1001-9383(2020)01-0051-04

基于分子筛制氧机富氧气体组分的检验研究

耿燕¹, 安生永², 王月英¹, 吴少帅¹

(1. 河北省医疗器械与药品包装材料检验研究院, 河北 石家庄 050000;

2. 河北省科学院应用数学研究所, 河北 石家庄 050000)

摘要:目的:通过对分子筛制氧机生产的富氧气体组分分析,为分子筛制氧机的注册与监督检查工作做出针对性建议。方法:采集不同工作时长分子筛制氧机生产的富氧气体,通过气相色谱分析仪测试富氧气体中甲烷、二氧化碳和一氧化碳的含量,利用氧气分析仪测得氧气含量。结果:甲烷、二氧化碳、一氧化碳的含量很小,随分子筛制氧机工作时间变化,波动较小。氧气含量由工作 1 小时的 93.3% 变化为工作 8 小时的 93.0%。结论:注册检验过程中,建议在不同时间点多次采集气体样本测试富氧气体的组分,确保分子筛长时间工作生产的富氧气体仍能够满足标准要求;充分考虑一氧化碳的有毒性、危害性,应将“一氧化碳浓度”列入监督检查项目中。

关键词:分子筛制氧机;变压吸附法;气相色谱分析仪;注册、监督检查

中图分类号:R318.6

文献标识码:A

Research on the inspection of oxygen enriched gas components based on molecular sieve oxygen generator

GENG Yan¹, AN Sheng-yong², WANG Yue-ying¹, WU Shao-shuai¹

(1. Hebei Institute of Medical Equipment and Drugs Packaging Material Inspection, Shijiazhuang Hebei 050000 China;

2. Institute of Applied Mathematics, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang Hebei 050000 China)

Abstract: Objective: Making suggestions for registration and supervision test of molecular sieve oxygen generator through performing component analysis on the oxygen-rich gas. Methods: Collect the oxygen-rich gas at different times while the molecular sieve oxygen generator working. A gas chromatographic analyzer is used to analyze the contents of the methane, carbon dioxide and carbon monoxide. An oxygen analyzer is used to analyze the content of oxygen. Results: The content of methane, carbon dioxide and carbon monoxide is very small, and changes little over time. The content of oxygen changes from 93.3% at the first hour to 93.0% at the eighth hour. Conclusion: Suggest to take more test of the oxygen-rich gas in the registration test, to ensure the oxygen-rich gas is qualified after long time working. Considering the toxicity and harmfulness of carbon monoxide, the “Carbon monoxide concentration”

收稿日期:2019-11-25

基金项目:河北省科学院科技攻关项目(19604)

作者简介:耿燕(1973-),女,河北石家庄人,高级工程师,主要从事有源医疗器械检测与研究。

should be tested in supervision test.

Keywords: Molecular sieve oxygen generator; Pressure swing adsorption; Gas chromatographic analyzer; Registration and supervision test

0 引言

伴随着医疗技术不断进步,医用氧气一直都是医疗系统中十分重要的组成部分,其在生命支持、重症抢救及康复理疗等方面起着重要作用。医用氧气也经历了从单钢瓶供氧、液氧集中供氧、分子筛制氧等发展过程,从大型医用到小型家用,分子筛制氧机以其稳定性、经济性等方面的优势,正在得到更广泛的普及应用^[1-2]。正因为医用氧气在医疗过程中的重要性,其氧气品质决定了医疗效果的好坏。因此,确保分子筛制氧机产生的氧气质量达到国家标准要求是十分重要的。

分子筛制氧机是利用变压吸附法(Pressure Swing Adsorption, PSA),从空气中分离得到高浓度氧气的设备。变压吸附法的主要原理是利用分子筛对空气中氧气和氮气的选择性吸附,从空气中分离得到氧气。具体过程是:当空气经过压缩后,通过吸附塔的吸附层时,氮分子优先被分子筛的吸附剂吸附,而氧分子则通过进入下一过程。当氮气吸附达到平衡后,降低压强,使得分子筛表面所吸附的氮分子逸散,重新恢复分子筛的吸附能力,该过程称为吸附剂解析的过程。重复此过程,即可将空气中的氧气与氮气分离,最终得到高氧浓度的富氧空气^[3-7]。变压吸附法方法制氧具有以下优点:(1)工艺流程简单,在常温、低压下操作;(2)纯物理制氧方式,安全性好,对环境友好,无污染,随制随用;(3)系统运行所需制氧原料仅为空气,长期效果来看,经济性较好^[8]。

本文通过气相色谱分析仪分析分子筛制氧机工作不同时长,生产的富氧气体的成分含量,通过分析比对结果,对分子筛制氧机的注册及监督检验提出建议。

1 富氧气体分析试验

本试验是利用氧气袋收集分子筛制氧机在不同工作时长时生产的富氧气体,通过气相色谱分析仪和氧气分析仪分析得出气体组分含量,对比 YY 0298—1998《医用分子筛制氧设备通用技术规范》标准中对各气体含量的要求^[9]。试验用分子筛制氧机为一款家用小型分子筛制氧机。气相色谱分析仪为安捷伦 7890B GC 型。

1.1 富氧气体制取

分别在分子筛制氧机连续工作 1h 和 8h 后,利用氧气收集袋在气体出口处收集富氧气体样本,分别编号样本 1 和样本 2。气体收集过程中,通过多次集气、排气保证氧气袋中的气体全部为分子筛制氧机所产生的富氧气体。

1.2 气体组分分析

用标准气体对气相色谱分析仪进行标定。分别用 53ppm 的甲烷标准气体、100ppm 的二氧化碳标准气体和 5ppm 的一氧化碳标准气体对气相色谱分析仪进行标定,标定后色谱峰曲线结果分别如图 1—图 3 所示,图中气体峰值所对应时间点即为各气体的保留时间点。其中

甲烷峰面积为 327.206;二氧化碳峰面积为 627.307;一氧化碳峰面积为 33.027。

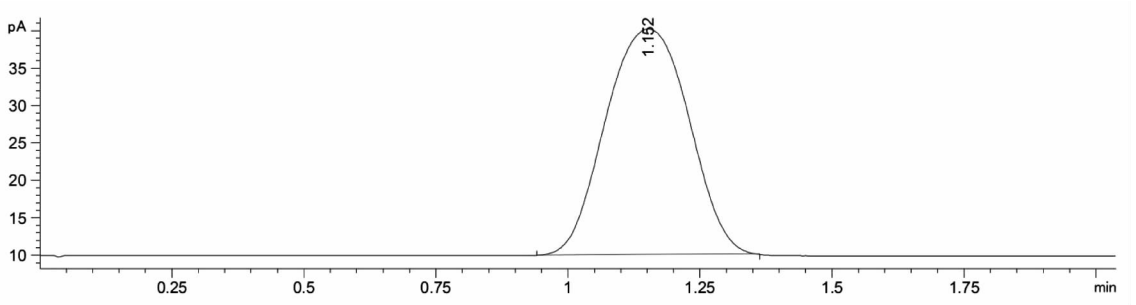


图 1 甲烷标准气体色谱峰曲线

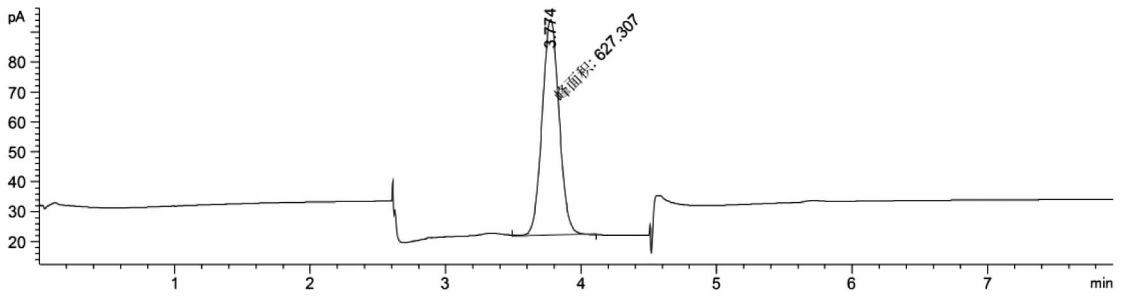


图 2 二氧化碳标准气体色谱峰曲线

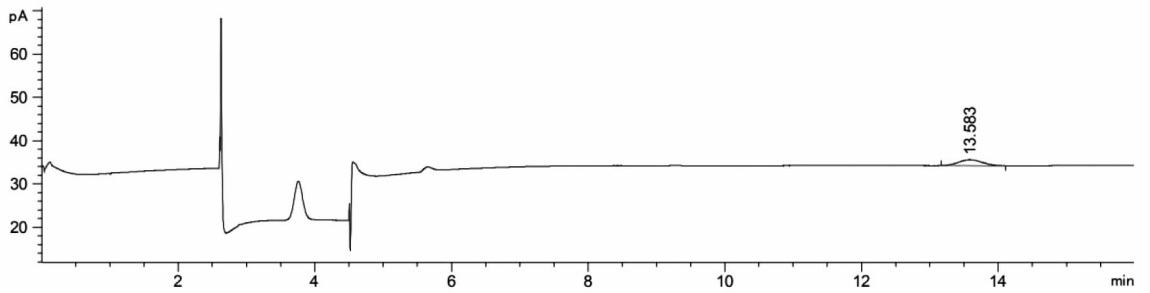


图 3 一氧化碳标准气体色谱峰曲线

气体标定后,分别对两次收集到的富氧气体样本进行分析,分析结果如图 4 所示,其中 a) 和 b)分别为样本 1 和样本 2 所对应的分析结果。通过气体的保留时间可以确定各结果所对应的气体种类。经计算,样本 1 中甲烷含量为 3.434ppm,二氧化碳含量为 38.141ppm,一氧化碳含量为 3.824ppm;样本 2 中甲烷含量为 3.372ppm,二氧化碳含量为 38.736ppm,一氧化碳含量为 3.811ppm。

利用氧气分析仪测试两个样本的氧气含量,结果为样本 1:93.3%;样本 2:93.0%,达到了变压吸附法理论上氧气含量水平,同时也满足 YY 0298—1998《医用分子筛制氧设备通用技术规范》的标准要求。

峰 #	保留时间 [min]	类型	峰宽 [min]	峰面积 [pA*s]	峰高 [pA]	峰面积 %	峰 #	保留时间 [min]	类型	峰宽 [min]	峰面积 [pA*s]	峰高 [pA]	峰面积 %
1	1.185	MM R	0.1420	21.20345	2.48895	1.000e2	1	1.185	MM R	0.1441	21.59711	2.49610	1.000e2
总量 :				21.20345	2.48895		总量 :				21.59711	2.49610	
峰 #	保留时间 [min]	类型	峰宽 [min]	峰面积 [pA*s]	峰高 [pA]	峰面积 %	峰 #	保留时间 [min]	类型	峰宽 [min]	峰面积 [pA*s]	峰高 [pA]	峰面积 %
1	3.679	MM R	0.1436	239.26103	27.75977	90.45171	1	3.714	MM R	0.1439	242.99173	28.13048	90.61371
2	13.245	MM R	0.5369	25.25695	7.83515e-1	9.54829	2	13.367	BB	0.3337	25.17047	8.88033e-1	9.38629
总量 :				264.51798	28.54329		总量 :				268.16220	29.01851	

a)1h 收集样本分析结果

b)8h 收集样本分析结果

图 4 富氧气体样本分析结果

2 结论

通过两次试验结果对比,得出:1)富氧气体中甲烷、二氧化碳、一氧化碳含量极低,富氧气体中主要杂质气体是氮气和氩气^[7];2)工作环境稳定的情况下,随着分子筛制氧机工作时间增长,甲烷、二氧化碳、一氧化碳的含量基本稳定,存在较小波动。3)氧气含量达到标准要求,但随着工作工作时间增长,氧气含量有一定下降趋势。可能原因是分子筛长时间工作,杂质的积累降低了分子筛对氮气的滤除效率,导致氧气含量有所降低。

通过试验分析,笔者认为在分子筛注册检验过程中,对各气体成分含量检测,不应局限于一次测试,建议在制氧机连续工作情况下(如果产品有最长连续工作时间限制,连续工作时间不应超过此限制),在不同时间多次采样测试,能更准确测试出样品的工作特性,更能确保产品符合标准要求。在监督检验过程中,一般检验均为抽取部分项目,无论根据实际用途还是产品特性,“氧气浓度”应为重点检测项目;虽然通常情况下,分子筛制氧机不会明显将一氧化碳等微量杂气富集,但鉴于一氧化碳的有毒性,以及制氧机工作环境可能存在的不确定性,建议也应该将“一氧化碳浓度”定为抽检项目。

参考文献:

- [1] 宋智超,医用分子筛制氧机的研究和应用[J]. 信息与电脑,2013,(01):43-44.
- [2] 裘超,许丹,侯月娇,刘济浔. 医院主流供氧模式的风险评估与合规性探析[J]. 医用气体工程,2018,3(04):26-28+31.
- [3] 金鑫,章玲,张亮. 分子筛制氧机在医院氧气供应中的应用[J]. 中国医学装备,2016,13(06):141-144.
- [4] 周国辉,洪波,王斌,等. 高原便携式 PSA 制氧机设计与关键技术研究[J]. 现代计算机,2017,(24):66-70.
- [5] 张喆,崔泽. 浅谈医用 PSA 制氧机制氧原理[J]. 内蒙古科技与经济,2014,(23):111-112.
- [6] 李文玉,斯迪克·阿卜力孜. 医用制供氧设备使用及监管[J]. 医用气体工程,2016,1(01):36-39.
- [7] 朱路,朱孟府,邓橙,等. 分子筛制氧机富氧气体组分分析[J]. 医疗卫生装备,2014,35(03):29-31.
- [8] 刘娟,基于膜法空分技术的新型单兵氧气机的应用效果评估[D]. 第四军医大学,2015.
- [9] YY 0298-1998《医用分子筛制氧设备通用技术规范》[S]. 中国标准出版社,1998.

文章编号:1001-9383(2020)01-0055-06

清热散结胶囊三维荧光指纹图谱研究

朱丹丹,乔淞汾,李鑫,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:本文采用荧光光谱法对清热散结胶囊的荧光性质进行了研究,对三维荧光图谱测定的实验条件进行了优化,在最佳实验条件下测定了 2 个厂家 14 个批号的清热散结胶囊的三维荧光图谱,利用聚类分析法对清热散结胶囊的三维荧光图谱的一致性进行分析,结果表明 2 个厂家 14 个批号的 56 个清热散结胶囊样本的三维荧光图谱一致性良好。采用平均值法建立了清热散结胶囊的三维荧光指纹图谱。

关键词:清热散结胶囊;三维荧光指纹图谱;聚类分析

中图分类号:R286

文献标识码:A

Investigation of three-dimensional fluorescence fingerprint of Qingre Sanjie Capsule

ZHU Dan-dan, QIAO Song-fen, LI Xin, YANG Li-li

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

Abstract: The fluorescence properties of Qingre Sanjie Capsule were investigated by fluorescence spectrometry in this paper. The experimental conditions for the determination of three-dimensional fluorescence spectrum were optimized, and the three-dimensional fluorescence spectrum of Qingre Sanjie Capsules with different batches from different manufacturers were determined under the optimum experimental conditions. The consistency of the three-dimensional fluorescence spectra of Qingre Sanjie Capsules was analyzed by cluster analysis. The results showed that the good consistency of the three-dimensional fluorescence spectra of 56 Qingre Sanjie Capsules with 14 batches from 2 manufacturers was observed. The three-dimensional fluorescence fingerprint of Qingre Sanjie Capsule was established by means of average method.

Keywords: Qingre Sanjie Capsule; Three-dimensional fluorescence fingerprint; Cluster analysis

清热散结胶囊是由千里光这一味药材制成的中成药,具有消炎解毒、散结止痛的功效,在

收稿日期:2019-12-11

作者简介:朱丹丹(1995-),女,硕士研究生,主要研究方向:药物分析。

通讯作者:杨莉丽(1968-),女,博士,教授,主要从事药物分析研究。

临床上能用于治疗急性结膜炎、急性咽喉炎、急性菌痢、上呼吸道感染、急性支气管炎、急性扁桃腺炎、淋巴结炎、皮炎湿疹、中耳炎等病症^[1]。

在2015年版《中国药典》中,千里光主要以金丝桃苷作为指标性成分来控制质量^[2]。文献^[3-5]以绿原酸、金丝桃苷和阿多尼弗林碱为指标性成分采用HPLC法和UPLC-MS/MS法进行清热散结胶囊的质量控制。这种分析方法只能对药物中一种或几种成分进行分析研究。

荧光分析方法的种类有很多,有常规荧光分析法、同步荧光分析法、三维荧光光谱分析法、荧光偏振测定和固体表面荧光分析法等。荧光分析方法既可以用于定量分析,也可用于定性分析。近年来,利用三维荧光光谱法进行定性分析的研究越来越多。魏永巨等^[6]和张珺等^[7]通过对白花前胡和紫花前胡的三维荧光光谱图的分析,对比两者的荧光峰的峰位置、峰形状及峰强度,结果显示两者的峰强度差异很大,可以用于鉴别两者。该方法适用于多组分体系的分析,三维荧光光谱图可以较全面的反映中成药的信息,峰位置和峰形状反映了荧光组分的结构差异,峰强度反映了荧光组分的浓度。

本文测定了不同厂家及不同批号的56个清热散结胶囊样本的三维荧光光谱,并对其结果进行聚类分析,从而考察清热散结胶囊荧光光谱的相似性和差异性。利用平均值法来建立清热散结胶囊的三维荧光指纹图谱。

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);SB25-12DTD 超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司);AUY220 电子分析天平(奥豪斯仪器有限公司)

甲醇(色谱纯,安徽天地高纯溶剂有限公司);去离子水(实验室自制);0.45 μm 滤膜(天津市科亿隆实验设备有限公司);清热散结胶囊(江西普正制药有限公司,批号:180901、181005、181203、181205、190103、190106、19030;湖南天济草堂制药股份有限公司,批号:181106、181213、181214、190204、190214、190304、190413)

1.2 方法

精确称取清热散结胶囊内容物适量于10mL容量瓶中,加入溶剂稀释至刻度线,在恒定温度下超声一段时间,过滤得样品溶液,最后测定样品溶液的三维荧光光谱。为了得到最佳的实验结果,本实验采用了控制变量法对实验条件进行优化,样品前处理条件分别从溶液浓度、溶剂、超声时间及温度进行优化,仪器条件分别从扫描速度、狭缝宽度、响应时间、负高压进行优化。利用优化后的实验条件分别考察仪器精密度、方法的重现性、溶液的日间及日内稳定性和氙灯照射稳定性,从而证明该方法的可行性。对实验结果进行聚类分析,考察荧光光谱的相似度,利用平均值法建立清热散结胶囊的三维荧光指纹图谱。

2 结果与讨论

2.1 样品溶液浓度

配制浓度为1.00、1.50、2.00、2.50、3.00 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的清热散结胶囊甲醇溶液,经超声提取后过滤得样品溶液。在 λ_{ex} 为300~500nm、 λ_{em} 为350~650nm范围内扫描其三维荧光图谱。

结果表明,随着溶液浓度的增加,荧光峰的峰形状和峰位置基本不变($\lambda_{ex}/\lambda_{em} = 405/510\text{nm}$);由图 1 可以看出,在浓度为 $1.50\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时荧光峰强度最大,当浓度大于 $2.50\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 后,考虑因内滤光效应荧光峰的强度随浓度增大而明显减小。因此本实验选择浓度为 $1.50\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的清热散结胶囊甲醇溶液进行后续实验。

2.2 超声时间

配制浓度为 $1.50\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的清热散结胶囊甲醇溶液,分别进行超声提取 5、10、15、20、25、30、35min,过滤得样品溶液。在 λ_{ex} 为 $300 \sim 500\text{nm}$ 、 λ_{em} 为 $350 \sim 650\text{nm}$ 范围内扫描其三维荧光图谱。

图 2 结果表明,在实验的温度范围内,荧光峰的峰形状和峰位置基本不变($\lambda_{ex}/\lambda_{em} = 405/510\text{nm}$);峰强度随超声时间的改变而改变,根据图 2 变化趋势可以看出超声时间为 15min 时荧光峰强度达到最大值,之后随超声时间的延长峰强度基本不变,因此本实验选择超声时间为 15min。

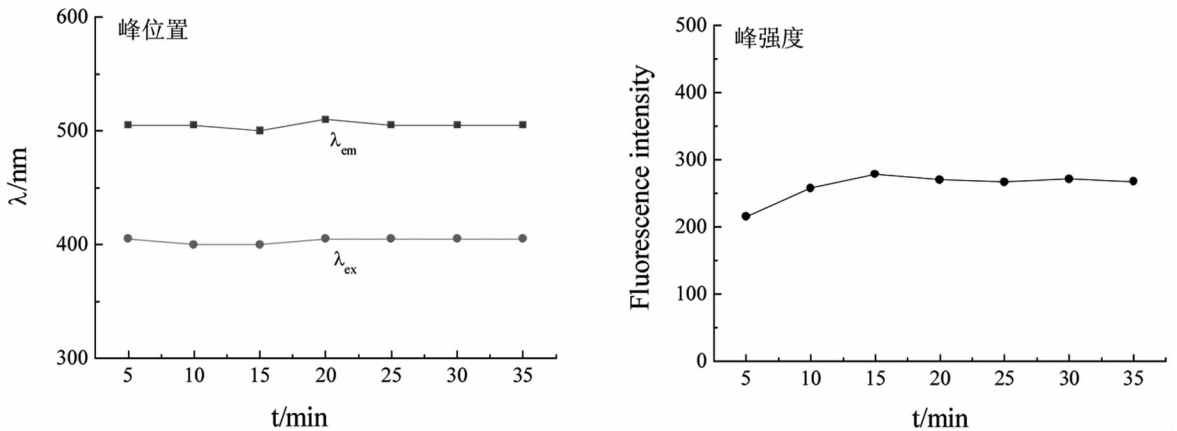


图 2 超声时间对峰位置和峰强度的影响

2.3 超声温度

配制浓度为 $1.50\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的清热散结胶囊甲醇溶液,在 15、20、25、30、35 和 40°C 下进行超声提取 15min,过滤得样品溶液。在 λ_{ex} 为 $300 \sim 500\text{nm}$ 、 λ_{em} 为 $350 \sim 650\text{nm}$ 范围内扫描其三维荧光图谱。

图 3 结果表明,超声温度对荧光峰位置和峰强度均有一定影响,超声温度为 30°C 、 35°C 、 40°C 时,峰强度明显降低。根据峰位置和峰强度随温度的变化趋势,本实验选择超声温度为 25°C 。

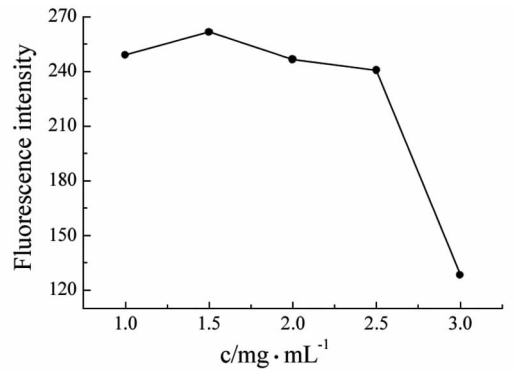


图 1 样品溶液浓度对荧光强度的影响

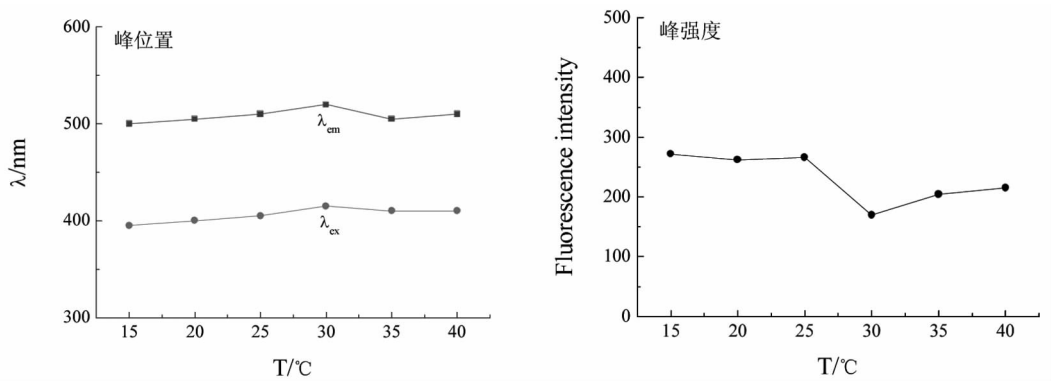


图3 超声温度对峰位置和峰强度的影响

2.4 甲醇含量

配制浓度为 $1.50 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的清热散结胶囊甲醇溶液,分别控制甲醇含量为 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%和 100%,超声提取后过滤得样品溶液。在 λ_{ex} 为 300~500nm、 λ_{em} 为 350~650nm 范围内扫描其三维荧光图谱。

由图 4 可以看出,随着甲醇含量的增加,峰位置基本保持不变,峰强度随甲醇含量的增加变化明显,甲醇含量为 100%时峰强度最大,因此本实验选择 100%甲醇作为溶剂。

2.5 精密度试验

配制 1 份样品溶液,连续测定 5 次,用优化后的实验条件扫描其三维荧光图谱,5 次测定的荧光峰强度 ($\lambda_{\text{ex}}/\lambda_{\text{em}} = 405/510\text{nm}$) 分别为 279.6、280.2、276.0、274.0、275.9, $\text{RSD} = 0.96\%$,表明仪器精密度良好。

2.6 重现性试验

平行配制 5 份样品溶液,在最佳条件下进行检测,考察荧光峰的一致性。5 份样品溶液测定的荧光峰强度 ($\lambda_{\text{ex}}/\lambda_{\text{em}} = 405/510\text{nm}$) 分别为 274.8、277.3、277.8、220.3、276.0, $\text{RSD} = 9.48\%$,表明该方法具有良好的重现性。

2.7 稳定性试验

分别考察了样品溶液日内和日间的荧光稳定性以及氙灯照射下的荧光稳定性。选择 $\lambda_{\text{ex}}/\lambda_{\text{em}} = 405/510\text{nm}$,扫描样品溶液在 30min 内氙灯照射下的二维荧光图谱,结果表明样品溶液的峰位置和峰强度无变化。

同一供试溶液,分别在放置 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12h、1d、2d、3d、4d、5d 后检测,考察荧光峰的一致性。结果表明荧光图谱的峰位置不变,日内测量的峰强度 RSD 为 1.09%,日间测量的峰强度 RSD 为 1.91%,表明供试溶液的荧光稳定性良好。

2.8 仪器条件的选择

2.8.1 扫描速度

在扫描速度分别为 240、1200、2400、12000、30000 $\text{nm} \cdot \text{min}^{-1}$ 时测定同一样品溶液的三维

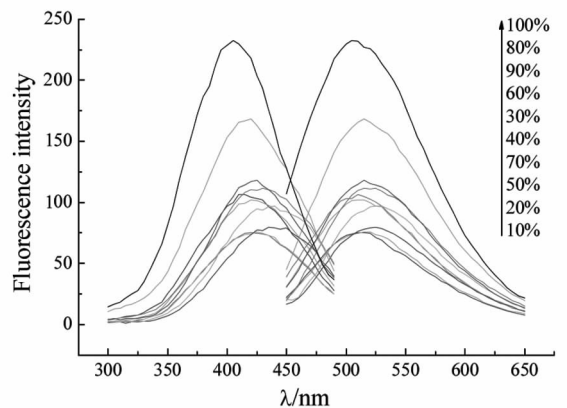


图4 甲醇含量对荧光峰的影响

荧光光谱,结果表明当扫描速度为 240、1200、2400 $\text{nm} \cdot \text{min}^{-1}$ 时峰位置和峰强度基本无变化,但扫描速度为 240、1200 $\text{nm} \cdot \text{min}^{-1}$ 用时较长;扫描速度为 12000、30000 $\text{nm} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,峰位置明显改变,峰强度逐渐降低,荧光峰精细度变差。因此,本实验选择扫描速度为 2400 $\text{nm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2.8.2 狭缝宽度

同一供试液在激发和发射狭缝宽度分别为 1.0/1.0、2.5/2.5、5.0/5.0、10.0/10.0nm 时进行测定,当激发和发射狭缝宽度为 1.0/1.0、2.5/2.5nm 时,因为狭缝宽度太窄,无法得到光谱。当激发和发射狭缝宽度为 10.0/10.0nm 时,因为宽度太宽,散射线变宽,强度明显增强,超出仪器测量量程。本实验选择狭缝宽度为 5.0/5.0nm。

2.8.3 负高压

同一供试溶液在负高压分别为 600V、650V、700V、750V、800V 时进行测定,峰位置基本不变,峰强度随负高压增大而增大,为了得到较好的荧光峰和延长仪器的使用寿命,本实验选择负高压为 700V。

2.9 聚类分析

本实验测定了 2 个厂家 14 个批号的 56 个清热散结胶囊样品,为考察清热散结胶囊样品三维荧光图谱的相似性和差异性,对所有样品的三维荧光图谱进行聚类分析,结果如图 5 所示。

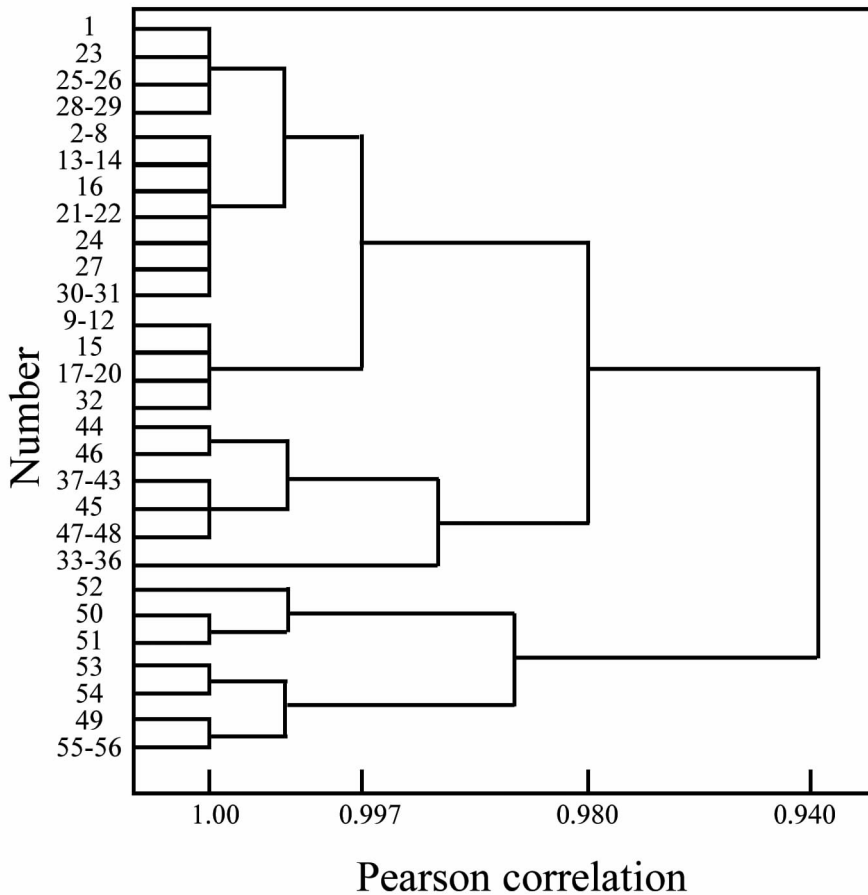


图 5 56 个清热散结胶囊样品的三维荧光图谱聚类分析结果

结果表明,2个厂家14个批号的56个清热散结胶囊样品在相关系数为0.938时可以聚为一类,说明2个厂家生产的清热散结胶囊的三维荧光图谱一致性良好。利用平均值法建立了清热散结胶囊的三维荧光指纹图谱,如图6所示。

3 讨论

本文采用控制变量法对实验条件进行了优化,在最佳实验条件下,测定了清热散结胶囊样品的三维荧光图谱。对比后发现两个厂家的清热散结胶囊的三维荧光图谱荧光峰的峰位置和峰形状差别不大,江西普正厂家生产的不同批号之间峰强度有一定差别。采用聚类分析法对56个清热散结胶囊样品的三维荧光图谱的相似性和差异性进行考察,聚类结果显示,在相关系数为0.938时2个厂家的56个清热散结胶囊样本的三维荧光图谱可以聚为一类。采用平均值法建立了清热散结胶囊的三维荧光指纹图谱,为清热散结胶囊的质量鉴定提供了良好的实验基础。

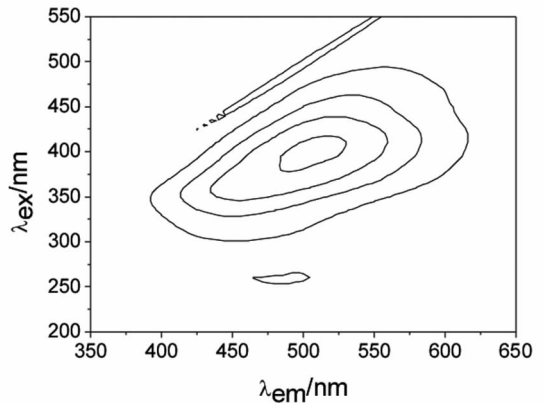


图6 清热散结胶囊的三维荧光指纹图谱

参考文献:

- [1] 刘厚权,张俊英,毛艳艳,等. 清热散结胶囊指纹图谱技术研究[J]. 实用中西医结合临床,2018,18(11):171-173.
- [2] 国家药典委员会. 中国药典,一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2015:33-34.
- [3] 刘人树,彭艳梅,吴泽如. 清热散结胶囊中绿原酸的含量测定[J]. 中南药学,2008,6(4):508.
- [4] 吴龙. 反相高效液相色谱法测定清热散结胶囊中金丝桃苷的含量[J]. 中南药学,2012,10(8):633-635.
- [5] 胡娟妮,聂平,方磊,等. UPLC-MS/MS法检测清热散结胶囊中阿多尼弗林碱[J]. 药物分析杂志,2014,34(1):151-154.
- [6] 魏永巨,张英华,史训立,等. 白花前胡与紫花前胡水提液的三维荧光光谱[J]. 光谱学与光谱分析,2006,26(7):263-264.
- [7] 张珺,刘翠格,魏永巨. 白花前胡甲素的荧光光谱研究[J]. 分析化学,2009,37(21):99-100.

文章编号:1001-9383(2020)01-0061-07

微生物肥料发展及作用机理综述

郑立伟^{1,3}, 闫洪波¹, 张丽¹, 黄媛媛³, 黄亚丽²

(1. 河北经贸大学, 河北 石家庄 050051; 2. 河北科技大学, 河北 石家庄 050018;
3. 河北省科学院生物研究所, 河北 石家庄 050081)

摘要:微生物肥料是一种具有特定功能的微生物活体制品,应用于农业生产,通过其中含微生物的生命活动,增加植物养分的供应量、促进植物生长、提高产量、改善农产品品质及农业生态环境。微生物肥料对改善化肥过量施用造成的土壤质地恶化、微生态环境失衡和农产品品质问题具有重要作用。本文就微生物肥料的发展历程及作用机理进行综述,总结了微生物肥料中功能微生物通过在土壤、植物根部定殖,对改变土壤微生物多样性、改善土壤中养分供应状况、释放植物促生长激素、提高土壤酶活性、增强植物系统抗性等方面的作用。分析了目前微生物肥料产业存在的问题,并对其发展方向进行展望,以期为我国微生物肥料的合理应用及产业发展提供依据和参考。

关键词:微生物肥料;发展历程;土壤微生物多样性;作用机理

中图分类号:S144

文献标识码:A

A review on development and mechanism of microbial fertilizer

ZHENG Li-wei^{1,3}, YAN Hong-bo¹, ZHANG Li¹, HUANG Yuan-yuan³, HUANG Ya-li²

(1. Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang Hebei 050051, China;
2. Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China;
3. Institute of Biology, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: Microbial fertilizer is a kind of living microbial product with specific function. Microbial fertilizer plays an important role in improving soil texture, balance the micro-ecological environment of soil and increase quality of agricultural products. This paper reviews the development and the mechanism of microbial fertilizer. The effect of colonization functional microorganisms to soil microbial diversity, soil nutrient supply, plant growth promoting hormone level, soil enzyme activity and plant systemic resistance were summarized. The existing problems of microbial fertilizer industry were analyzed, and its development direction was prospected. This paper can provide technology tutor for the rational application of microbial fertilizer and reference to industrial development of in China.

收稿日期:2019-12-26

基金项目:河北省重点研发计划项目(No.19227306D);河北省现代农业产业技术体系创新团队项目(HBCT2018030205)

作者简介:郑立伟(1989-),女,硕士研究生,研究方向:农业微生物学.

通讯作者:黄亚丽(1975-),女,研究员,主要从事农业微生物学研究. E-mail:huangyali2291@163.com

Keywords: Microbial fertilizer; Development course; Soil microbial diversity; Mechanism

化学肥料施用是保证农作物高产稳产的重要措施,统计数据表明,化肥对我国粮食产量的贡献率为40~60%^[1]。然而,近年来我国化肥用量高、养分不均衡等问题日益突出,不仅造成肥料利用率低,农产品品质下降,还引起了土壤生态系统破坏以及环境污染等问题。近年来我国先后制定了《全国农业可持续发展规划(2015—2030年)》、《到2020年化肥使用量零增长行动方案》等方针政策,以引导我国化肥减量,改善农业生态环境。微生物肥料是指含有微生物活体的制品,通过肥料中微生物的生命活动,增加植物养分的供应量、促进植物生长、提高产量、改善农产品品质及农业生态环境^[2]。随着微生物肥料产业的发展,微生物肥料从功能微生物、作用功能等均呈现多样化的趋势,在化学肥料替代、土壤修复、增产促生方面表现出良好的效果,将成为我国农业可持续发展重要保障。

本文就国内外微生物肥料的发展历程及作用机理进行综述,分析目前我国微生物肥料产业发展存在的问题,指出微生物肥料产品研发重点及产业的发展方向,以期为我国微生物肥料的合理应用及产业发展提供依据和参考。

1 微生物肥料的发展历程

1.1 发展起步阶段

在微生物肥料发展的起步阶段,微生物肥料的研制与开发主要集中在固氮、解磷、解钾等功能微生物的筛选与应用方面。1890年法国微生物学家C. H. Viala首次分离到硝化细菌并确定该菌能够吸收外界的氨或亚硝酸并使之氧化,1896年根瘤菌菌剂获得了销售专利,这些研究开创了微生物肥料发展的先河^[3]。1911年丹麦学者Basslik从蚯蚓肠道中分离到一株解钾芽孢杆菌,能够提高土壤中有效钾含量,苏联学者蒙基娜从黑钙土中分离出具有溶磷作用的巨大芽孢杆菌,使土壤中有效磷含量提高15%以上,1930年前苏联学者亚历山大罗夫从土壤中分离到了一种硅酸盐细菌,能分解钾长石、磷灰石等矿物质,释放出钾素和磷素^[4]。我国微生物肥料研究起步较晚,始于20世纪40到50年代,研究和应用最为广泛的是根瘤菌剂,主要应用作物为大豆、花生和紫云英,使大豆增产225~300 kg/hm²、花生增产10%~50%、紫云英产草量成倍增长^[5]。20世纪50至60年代,对固氮菌、溶磷细菌、解钾细菌等开始进行深入研究,研究学者从土壤和作物根际分离得到多株硅酸盐细菌,确定硅酸盐细菌主要为胶质芽孢杆菌和环状芽孢杆菌,并开发出以胶质芽孢杆菌为活菌的生物钾肥。研究者还开展以圆褐固氮菌和巨大芽孢杆菌为主要菌种的应用试验,发现这些细菌能分泌抗生素和促生长物质,可促进种子发芽和根系生长^[4]。总之,在微生物肥料发展的起步阶段,微生物肥料主要为具有固氮、溶磷、解钾作用的细菌肥料,产品生产和质量均较为粗放。

1.2 发展初期阶段

20世纪70年代,J. W. Kloepper首次提出植物根际促生菌概念(plant growth promoting rhizobacteria, PGPR)^[6]。PGPR是指在植物根圈中生存的有益细菌统称,可促进植物生长并对病原菌有拮抗作用^[7]。巴西学者Döbereiner分离获得雀稗固氮菌(*Azotobacter paspali*)并提出根际联合固氮概念^[4],加拿大研究人员筛选出青霉菌(*Penicillium* spp.),用此菌株生产

出具有高效溶解无机磷的微生物肥料,十年应用试验结果表明作物平均增产 6%~9%^[8]。之后,先后从大麦、玉米、花生、水稻等植物根际土壤中分离出越来越多的具有促生、生防等作用的微生物菌种,包括假单胞菌(*Pseudomonas* spp.)、芽孢杆菌(*Bacillus* spp.)、链霉菌(*Streptomyces* spp.)和木霉菌(*Trichoderma* spp.)等^[9]。以根际促生菌为功能微生物开发出具有多功能的微生物肥料,肥料种类迅速增加,出现了放线菌制剂、固氮蓝绿藻肥、丛枝菌根(AM 菌根真菌)菌剂、EM 菌剂等丰富多样的微生物菌剂产品^[4,10]。菌肥功效也从单一的固氮、解磷或解钾作用转变为兼具促长、防病、土壤修复等诸多作用。

1.3 快速发展阶段

目前,国际上已有 70 多个国家生产、应用和推广使用微生物肥料,欧美发达国家农业生产中,微生物肥料的使用占 20%以上,在美国大豆根瘤菌接种率达到 95%以上^[11]。自 1994 年我国出台第一个微生物肥料标准—《NY/T 227—1994 微生物肥料》以来,农业部于 1996 年将微生物肥料正式纳入肥料登记范畴,我国的微生物肥料行业的发展非常迅速,微生物肥料种类增多,产量增大。在 1999 年和 2000 年我国分别将“高效有机肥(微生物肥料)商品化生产工艺与成套设备”列为优先发展的产业并提出了生物有机肥的概念,促进了我国微生物肥料的发展^[12]。许多高校和研究机构进行多功能菌株的筛选和制剂开发,开发出以经济作物为主要应用对象且具有防治重茬病、钝化重金属、防治线蚜虫等多种功效的微生物肥料,在改善土壤问题、提高经济效益等方面起到了显著作用。微生物肥料的功能和市场产品呈现复合型、多样化的发展趋势。微生物肥料作为一种环保肥料受到越来越多的关注,目前我国微生物肥料分为微生物菌剂、复合微生物肥料和生物有机肥三大类,包括固氮菌菌剂、根瘤菌菌剂、溶磷菌菌剂、硅酸盐菌剂、复合菌剂、光合细菌菌剂、菌根菌剂、有机物料腐熟菌剂、生物修复菌剂、复合微生物肥料和生物有机肥 11 类产品^[11]。截至 2019 年 4 月份,我国共登记微生物肥料产品 6173 个,年产量达 2000 多万吨^[13],在我国肥料产业中起着重要的作用。

2 微生物肥料的作用机理

2.1 改变土壤微生物多样性,恢复土壤微生态平衡

微生物是土壤微生态环境的重要组成部分,直接关系到土壤的肥力和健康,施用微生物肥料后功能微生物在土壤中繁殖,能够改变土壤微生物群落结构,为植物生长提供健康的环境。余贤美等^[14]研究施用枯草芽孢杆菌 Bs-15 菌剂对枣树土壤影响,通过平板计数法和 Biolog 方法测定发现,菌株 Bs-15 不仅具有良好的定殖能力,还对土壤微生物种群、多样性产生影响。随着分子生物技术的更新换代,微生物肥料对土壤微生物多样性的影响也越来越明确,Ling 等^[15]利用 PCR-DGGE 技术分析了连续施用微生物肥料对土壤细菌多样性的影响,结果表明微生物肥料将土壤微生物群落调节到适当的水平,从而保持植物的健康。高通量测序技术的发展使研究者获得了更多土壤微生物种群信息,更加明确微生物肥料可以使土壤微生物多样性和丰富度增加。Wang^[16]、Huang 等^[17]人研究向土壤中施用含枯草芽孢杆菌 SQR9 和解淀粉芽孢杆菌 SQR9 的微生物肥料,能够改变土壤微生物群落组成,使土壤中鞘氨醇单胞菌目(*Spingobacteriales*)、芽孢杆菌目(*Bacillales*)等微生物群落丰度增加,这些微生物含量与土壤有机质、速效钾和有效磷含量等指标呈正相关。

微生物肥料中功能微生物不仅可以通过重寄生、胞外酶降解、产生抗菌蛋白和抗生素等高

分子化合物来直接抑制土壤中病原菌的数量,减少植物病害,还能通过改变土壤微生物群落结构来诱导抑制土壤病害,恢复土壤微生态平衡,Wu等^[18]研究发现施用微生物肥料后细菌丰度和群落结构的变化是抑制枯萎病菌的关键因素,增加了微生物溶杆菌属(*Lysobacter* spp.)的丰度,发挥抗真菌活性,从而抑制病原菌数量。微生物肥料可以被认为是恢复土壤微生态平衡和抑制土传病害有效改良剂。

2.2 改善土壤中养分供应状况

微生物肥料可使土壤中养分供应状况得到改善,肥料利用率提高10%~30%^[3]。因其含有特定功能微生物,可诱导土壤有益微生物通过固氮、解磷、解钾和对其它元素的增溶作用来改善土壤养分,其中,根瘤菌、固氮杆菌可将大气中氮转化为氨,假单胞菌(*Pseudomonas* spp.)、芽孢杆菌(*Bacillus* spp.)等微生物通过向胞外释放有机酸可将不溶态磷转化为根际植物更易利用的形式,许多细菌如氧化硫硫杆菌(*Thiobacillus thiooxidans*)、多粘类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*)和胶质芽孢杆菌(*Bacillus mucilaginosus*)等功能微生物可溶解硅酸盐矿物质并通过产生有机酸,如酒石酸、乙酸、草酸,与金属离子发生络合、螯合和交换作用,破坏晶体结构,从而释放 K^+ ,含有溶锌细菌的微生物肥料有助于提高植物的锌营养^[19,20]。另外,施用微生物肥料还可以将土壤有机质分解形成以胡敏酸为主的腐殖酸,将土壤单粒相互胶结形成土壤团聚体,截获土壤中营养元素离子和水分等,增加土壤持水能力、植物养分储存和有效性来改善土壤肥力促进作物生长^[16]。Liu等^[21]发现施用生物有机肥土壤硝态氮、速效钾和有机碳含量显著提高。刘璐等^[22]发现施用含胶冻样芽孢杆菌的微生物肥料,可以改善葡萄种植土壤的理化性质,使土壤容重降低、孔隙度增加,速效钾、碱解氮、有机质含量均有不同程度提高。

2.3 释放植物激素,促进植物生长

微生物肥料中功能微生物能释放对植物生长有利的植物激素,如植物生长素、赤霉素(GAs)、脱落酸(ABA)、细胞分裂素、铁载体和吲哚-3-乙酸(IAA)等化合物,促进植物生长^[23,24]。IAA诱导双子叶植物的侧根和单子叶植物的外来根的发生,改善细胞壁的次生增厚和木质部细胞的增加,从而更有利于矿物质和水分的吸收;GAs对植物的种子萌发、茎伸长、开花和坐果都很重要;ABA调节植物的生理过程,提高对环境压力的耐受性和有助于种子萌发、气孔闭合;铁载体能螯合铁并产生可溶性的络合物,可被多种植物吸收^[19]。张根伟等^[25]研究由巨大芽孢杆菌 Bm-7、枯草芽孢杆菌 BSD-2、根瘤菌 Br-5 和木霉 T42 组成的复合微生物制剂,功能微生物在生长和繁殖过程中,分泌生长素等其它营养物质,能显著促进连作花生生长,使荚果产量增加15.6%~19.1%。Zhao^[24]等人接种含有枯草芽孢杆菌的微生物肥料,由于枯草芽孢杆菌产生了IAA、铁载体等物质,对甜瓜生长有明显的促生作用,显著增加了植物总根长、根体积和根表面积。

2.4 提高土壤酶活性

土壤酶是土壤中一些特殊蛋白质类化合物的总称,具有生物催化能力,是数量微小而作用极大的土壤组成部分^[26]。土壤酶直接影响着土壤的能量转移、代谢性能、养分循环,与土壤质量密切相关,微生物肥料施用提供给土壤微生物可利用营养物质,可以有效提高土壤酶活性。胡诚等^[27]人的研究显示,施用微生物肥料改善了土壤酶活性,对小麦根际土壤中过氧化氢酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶及脲酶等酶的活性有显著地影响。尹淑丽等^[28]研究的由枯草芽孢杆菌、

木霉菌和放线菌组成的复合微生物菌剂不仅对黄瓜病害防治产生协同增效作用,土壤中碱性磷酸酶、过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性也增加,对土壤中可供作物利用的有效氮、有效磷和其它营养物质转化具有重要作用,还消除过氧化氢对作物造成的毒害。微生物肥料促进土壤酶活性的增加,提高植物利用土壤中养分的能力,对植物生长提供良好的生存环境、增加作物产量具有重要作用。

2.5 增强植物系统抗性

微生物肥料不仅可以通过营养物质和生态位的竞争改变土壤微生物多样性、发挥生防作用、改良土壤养分功能状况,还可以通过诱导植株系统抗性(ISR),激活植物防御反应^[29]。Tan等^[30]研究施用含解淀粉芽孢杆菌CM-2和T-5菌株的微生物肥料对番茄枯萎病的防治效果,植物的多酚氧化酶、过氧化氢酶、苯丙氨酸解氨酶活性提高,防御基因表达也增加,表明微生物肥料施用诱导了番茄枯萎病的系统抗性。王淑霞等^[31]研究用含有哈茨木霉Tr-92的微生物肥料处理黄瓜根部,叶片中的 β -1,3-葡聚糖酶、多酚氧化酶、几丁质酶、苯丙氨酸解氨酶等酶活性均高于其它处理,诱导了黄瓜植株对灰霉病系统抗性。同样,Verma等^[32]研究也表明,利用微生物肥料处理番茄植株,与系统抗性相关的番茄红素、抗氧化活性和防御酶活性分别显著增加了35.52%、24%~63%和11%~54%。防御基因是可诱导的基因,在调控植物诱导抗性的信号转导中水杨酸(SA)、乙烯(ET)、茉莉酸(JA)具有重要的作用,含蜡样芽孢杆菌AR156微生物肥料的施用提高了SA和JA通路中的基因表达水平,能够激活植物的SA和JA信号通路而提高植株对假单胞菌抵抗力^[33]。微生物肥料激活植物系统抗性不仅表现在对病害的防治作用,还能够提高植物的抗旱能力,Marulanda^[34]等人用含有不同功能微生物的微生物肥料均证明微生物肥料施用具有促进植物生长,提高植物抗旱性的能力。研究者还发现,施用微生物肥料还可以提高植株抗寒性^[35]。

3 存在的问题及展望

微生物肥料产业经过上百年的发展,无论是菌种类、微生物肥料种类还是生产方式和规模都有了长足的发展。然而,目前我国微生物肥料产业还存在着诸多问题:(1)微生物肥料菌种单一,菌株功能退化严重,导致微生物肥料功能不稳、杂菌率高^[36]。(2)微生物菌株土壤根际的存活、生存竞争、生态行为等未知,施用效果不稳定,同一类产品质量差距很大,产品配比不合理,整体水平参差不齐,并且在不同地域气候、不同的作物种类的施用效果不稳定^[2]。(3)以腐熟畜禽粪便为载体的微生物肥料会出现重金属超标、抗生素残留和抗性基因传播等问题^[37]。(4)微生物肥料的监督管理体制不够完善,随着我国微生物产业的发展,越来越多的微生物肥料获得了登记许可证,并进行了生产销售,但是由于对市场流通的肥料产品没有足够的人力、物力进行抽样和检测,造成市面上流通着许多不符合微生物肥料标准的产品,存在安全风险,会给农业生产造成损失^[2,37]。

随着社会对微生物肥料作用机理及化肥替代作用的深入认识,微生物肥料将会在未来农业中担任越来越重要的角色,因此如何解决微生物肥料的生产技术瓶颈、提升微生物肥料产业的技术水平是我国微生物肥料产业发展的重中之重。未来十年来,我国微生物肥料产业应主要在以下几方面进行重点发展:(1)加强优良功能性微生物菌株的筛选,挖掘出具有作物亲和性、地域性、针对性、精准性、效果稳定和生产品能优良的菌种资源。另外,利用现代分子学技

术进行微生物菌株性能的改造,进一步提高微生物肥料效果。(2)进行多功能性微生物肥料产品的研制,使微生物肥料产品从单一的增产增效发展到增加品质、防治病害、土壤修复等兼具多功能的微生物肥料产品。(3)结合现代土壤微生物多样性检测技术,利用土壤微生物大数据平台,有目的性的进行含特定种类微生物的产品开发,开发出以土壤质地特异改善为靶标的功能性微生物肥料产品。(4)加强微生物与种养加有机废弃物的资源化利用相结合,通过增加土壤中碳源多样性以提高土壤的微生物多样性,从而有效的提升土壤微生态环境。在提倡生物有机肥投入的同时,要加强微生物肥料效果的监测,保证微生物肥料的安全施用,以降低抗生素及重金属富集对环境的危害。(5)加强微生物肥料推广机制的探索,微生物肥料作为一种环保型的缓效肥料产品,政府的方向性引导和良好推广机制的建立是产业发展和产品应用的关键,应建立以科研单位+农民+生产厂家相结合的研、用、产推广链条。

总之,微生物肥料在恢复土壤微生态平衡、提升有机废弃物资源的利用效率、降低化肥用量、消减化肥污染等方面起着重要作用,因此应进一步针对微生物肥料产业发展的不足,通过菌种选育、规范应用技术和市场监管等方式有效的提升微生物肥料产业发展,以有效的保障我国农业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 张谋贵. 三种主粮生产中化肥、农药的经济用量探析[J]. 江淮论坛, 2019, (03): 10-15.
- [2] 李俊, 姜昕, 马鸣超, 等. 我国微生物肥料产业需求与技术创新[J]. 中国土壤与肥料, 2019, (02): 1-5.
- [3] 马原松, 黄志璞. 微生物肥料的研究进展[J]. 山东工业技术, 2017, (11): 259-260.
- [4] 张丽娟, 李博文, 刘文菊. 微生物肥料研发与应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [5] 吴建峰, 林先贵. 我国微生物肥料研究现状及发展趋势[J]. 土壤, 2002, (02): 68-72.
- [6] Ruzzi M R M, Aroca R A R. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 196: 124-134.
- [7] Nazir N, Kamili A N, Shah D. Mechanism of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in enhancing plant growth-A Review[J]. *International Journal of Management, Technology and Engineering*, 2018, (7): 13.
- [8] Asea P E A, Kucey R M N, Stewart JWB. Inorganic phosphate solubilization by two *Penicillium* species in solution culture and soil[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1988, 20(4): 459-464.
- [9] Bonanomi G, Lorito M, Vinale F, et al. Organic amendments, beneficial microbes, and soil microbiota: toward a unified framework for disease suppression[J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2018, 56: 1-20.
- [10] 许景钢, 孙涛, 李嵩. 我国微生物肥料的研究及其在农业生产中的应用[J]. 作物杂志, 2016, (01): 1-6.
- [11] 张瑞福, 颜春荣, 张楠, 等. 微生物肥料研究及其在耕地质量提升中的应用前景[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(05): 8-16.
- [12] 刘戈, 易玉林. 微生物肥料的发展现状与前景展望[J]. 安徽农业科学, 2007, (11): 3318-3332.
- [13] 农业部微生物肥料和食用菌菌种质量监督检验测试中心. 登记产品[DB/OL]. [2019-04-30]. <http://www.biofertilizer95.cn/index>
- [14] 余贤美, 侯长明, 王海荣, 等. 枯草芽孢杆菌 Bs-15 在枣树体内和土壤中的定殖及其对土壤微生物多样性的影响[J]. 中国生物防治学报, 2014, 30(04): 497-502.
- [15] Ling N, Deng K, Song Y, et al. Variation of rhizosphere bacterial community in watermelon continuous mono-cropping soil by long-term application of a novel bioorganic fertilizer[J]. *Microbiological Research*, 2014, 169(7-8): 570-578.
- [16] Wang L, Li J, Yang F, et al. Application of bioorganic fertilizer significantly increased apple yields and shaped bacterial community structure in orchard soil[J]. *Microbial Ecology*, 2017, 73(2): 404-416.
- [17] Huang N, Wang W W, Yao Y L, et al. The influence of different concentrations of bio-organic fertilizer on cucumber Fusarium wilt and soil microflora alterations[J]. *PLOS ONE*, 2017, 12(2): e0171490.

- [18] Wu X, Sai G, Jousset A, et al. Bio-fertilizer application induces soil suppressiveness against *Fusarium* wilt disease by reshaping the soil microbiome[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2017, 114: 238–247.
- [19] Stamenkovi? S, Be? koski V, Karabegovi? I, et al. Microbial fertilizers: A comprehensive review of current findings and future perspectives[J]. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2018, 16(1): e09R01.
- [20] Naik K, Mishra S, Srichandan H, et al. Plant growth promoting microbes: potential link to sustainable agriculture and environment[J]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2019, 21: 101326.
- [21] Liu L J, Sun C L, Liu S R, et al. Bioorganic fertilizer enhances soil suppressive capacity against bacterial wilt of tomato [J]. *PLOS ONE*, 2015, 10(4): e0121304.
- [22] 刘璐, 代红军, 王振平. 微生物肥料对“赤霞珠”葡萄生长及土壤质量的影响[J]. *北方园艺*, 2016, (17): 175–179.
- [23] Wu K, Fang Z Y, Wang L L, et al. Biological potential of bioorganic fertilizer fortified with bacterial antagonist for the control of tomato bacterial wilt and the promotion of crop yields[J]. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2016, 26(10): 1755–1764.
- [24] Zhao Q Y, Shen Q R, Ran W, et al. Inoculation of soil by *Bacillus subtilis* Y-IVI improves plant growth and colonization of the rhizosphere and interior tissues of muskmelon (*Cucumis melo* L.) [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2011, 47(5): 507–514.
- [25] 张根伟, 张丽萍, 李书生, 等. 复合土壤微生态制剂在连作花生上的应用效果[J]. *河南农业科学*, 2012, 41(09): 47–49.
- [26] 何宗桃, 龚道新, 刘少平, 等. 春雷霉素对植烟土壤酶活性的影响[J]. *湖南农业科学*, 2010, (07): 70–72.
- [27] 胡诚, 刘东海, 乔艳, 等. 施用生物有机肥对土壤酶活性及作物产量的影响[J]. *华北农学报*, 2017, 32(1): 308–312.
- [28] 尹淑丽, 麻耀华, 张丽萍, 等. 不同生防菌对黄瓜根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. *北方园艺*, 2012, (01): 10–14.
- [29] Vanloon L C, Bakker P A, Pieterse C M. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria[J]. *Annual Review of Phytopathology*, 1998, 36: 453–483.
- [30] Tan S Y, Dong Y, Liao H P, et al. Antagonistic bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* induces resistance and controls the bacterial wilt of tomato[J]. *Pest Management Science*, 2013, 69(11): 1245–1252.
- [31] 王淑霞, 张丽萍, 黄亚丽, 等. 哈茨木霉 Tr-92 诱导黄瓜对灰霉病系统抗性的研究[J]. *中国生物防治学报*, 2013, 29(02): 242–247.
- [32] Verma S, Sharma A, Kumar R, et al. Improvement of antioxidant and defense properties of tomato (var. Pusa Rohini) by application of bioaugmented compost[J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2015, 22(3): 256–264.
- [33] Niu D D, Liu H X, Jiang C H, et al. The plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus cereus* AR156 induces systemic resistance in *Arabidopsis thaliana* by simultaneously activating salicylate- and jasmonate/ethylene-dependent signaling pathways[J]. *Molecular plant-microbe interactions*, 2011, 24(5): 533–542.
- [34] Marulanda A, Barea J M, Azcón R. Stimulation of plant growth and drought tolerance by native microorganisms (AM fungi and bacteria) from dry environments: mechanisms related to bacterial effectiveness[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2009, 28(2): 115–124.
- [35] 韩亚楠, 刘润进, 李敏. AM 真菌和 PGPR 菌剂组合对低温胁迫下黄瓜生长及防御酶活性的影响[J]. *中国蔬菜*, 2014, (07): 35–39.
- [36] 李涛, 张朝辉, 郭雅雯, 等. 国内外微生物肥料研究进展及展望[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(10): 37–41.
- [37] 马鸣超, 姜昕, 曹凤明, 等. 我国生物有机肥质量安全风险分析及其对策建议[J]. *农产品质量与安全*, 2017, (05): 44–48.

文章编号:1001-9383(2020)01-0068-06

河北省县域贫困特征及致贫因素分析

刘欣^{1,2}, 朱苏加^{1,2}, 秦彦杰^{1,2}

(1. 河北省科学院地理科学研究所, 河北 石家庄 050011;

2. 河北省地理信息开发应用工程技术研究中心, 河北 石家庄 050011)

摘要:以河北省县域为研究对象,选取指标采用指数和法计算相对贫困度,分析研究区贫困分布特征。并基于 DEM 和统计数据,从自然条件、土地利用、社会经济、人类发展能力等四个子系统选取选择 21 项因子构建指标体系,采用相关分析法分析致贫原因。结果表明:(1)河北省相对贫困程度高和较高的县域主要分布在坝上高原、太行山的北段、燕山山区和黑龙港部分县域,相对贫困程度较低和低的县域以山前平原为主;(2)自然因素对贫困的影响具有基础性,是致贫因素,亦是河北省坝上和山区贫困发生的主要原因;土地利用、社会经济、人类发展能力对贫困的影响具有直接性,为减贫因素,是脱贫后可持续发展应考虑的主要方面。

关键词:贫困;致贫因素;河北省县域

中图分类号:F323

文献标识码:A

Analysis of poverty characteristics and poverty factors in counties of Hebei province

LIU Xin^{1,2}, ZHU Su-jia^{1,2}, QIN Yan-jie^{1,2}

(1. Institute of Geographical Sciences, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang Hebei 050011, China;

2. Hebei Engineering Research Center for Geographic Information Application, Shijiazhuang Hebei 050011, China)

Abstract: This paper takes Hebei counties as the research object. It had used index sum method to calculate relative poverty degree and its distribution characteristics. Based on DEM and statistical data, 21 factors were selected from four subsystems to construct the index system, including natural conditions, land use, social economy and human development ability. And correlation analysis method was adopted to analyze the causes of poverty. The results showed that: (1) The counties with high and higher relative poverty were mainly distributed in Bashang plateau, northern section of Taihang mountain, Yanshan mountain and several counties of Heilonggang area. while the counties with low and lower relative poverty were mainly in piedmont plain. (2) The impact of natural factor on poverty is fundamental. And which were the main factors of poverty in Bashang and mountainous areas of Hebei province; The impact

收稿日期:2019-12-02

基金项目:河北省社会发展研究课题(2019031203004)

作者简介:刘欣(1981-),女,副研究员,主要从事国土、三农问题研究。

通讯作者:朱苏加(1963-),男,研究员,主要从事区域经济、农村问题研究。

of the other three subsystems were direct, which were beneficial to poverty reduction. And this factors are the main aspects to be considered for sustainable development after poverty alleviation.

Keywords: Poverty; Poverty factors; Counties of Hebei province

党的十九大报告提出“到 2020 年,要实现现行扶贫标准下贫困人口全部脱贫、贫困县全部摘帽的目标,解决区域性整体贫困”。需要指出的是,2020 年消除的是绝对贫困,绝对贫困标准在一段时期内是不变的,相对贫困标准则会长期存在并不断变动,如果一个国家整体收入高,相对贫困线就高。2020 年后,中国的农村贫困将进入一个以区域与城乡收入差异、社会公共服务获取不平等、多维贫困等为主要特征的相对贫困阶段^[1]。为缩小相对贫困,面向农业农村现代化发展的需要,找出区域贫困空间差异及主导致贫因素,有助于有针对性的实施乡村振兴战略,对新时期“三农”工作的开展具有重要意义。

1 研究区概况

河北省位于华北地区东部,环抱北京和天津,东邻渤海,东南部和南部与山东、河南两省接壤,西倚太行山与山西省为邻,西北部、北部与内蒙古自治区交界,东北部与辽宁省相接。地跨北纬 $36^{\circ}03' \sim 42^{\circ}40'$,东经 $113^{\circ}27' \sim 119^{\circ}50'$ 之间。河北省地貌类型多样,土地总面积 18.85 万平方公里,2017 年,全省总人口 7519.52 万人,农村人口 5736.31 万人,GDP 3.5964 万亿元。本文以河北省县域为研究对象,基于 DEM 和河北省农村统计年鉴(2018 年)数据进行研究,鉴于数据可得性,不包括 11 个地市的市区数据。

2 河北省县域相对贫困空间格局

2.1 县域相对贫困度测算

在贫困度测度上,政府贫困标准和国际贫困标准多采用收入/消费水平数据所确定的贫困阈值或贫困线^[2];也有学者通过构建指标体系^[3-4]进行多维贫困度量。对贫困的识别通常是基于家庭或个体层面的识别或地理识别。本文区域贫困研究以地理识别为主,选择农村居民人均纯收入、县域人均 GDP、人均公共财政预算收入 3 项经济指标,通过加权和法衡量河北省县域相对贫困程度及空间差异。

$$E(x) = \sum_{i=1}^m a_i \bar{x}_i, \bar{x}_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

式中, $E(x)$ 表示相对贫困度,数值越小,表明相对贫困程度越高; a_i 表示各指标权重,通过特尔菲法获取; \bar{x}_i 表示极差标准化修正后的各指标数据; x_i 表示各指标的原始数据; x_{\max} 、 x_{\min} 表示各指标原始数据的最大值、最小值; $i = 1, 2, \dots, m$ 表示各县域单元。

2.2 河北省县域相对贫困空间特征

利用公式(1)测算河北省县域相对贫困程度,数值分布在 0.2952—2.7380 之间。借助 ARCGIS 软件,采用自然间断点法进行相对贫困空间特征分析。“自然间断点”类别基于数据中固有的自然分组对分类间隔加以识别,可对相似值进行最恰当地分组,并使各个类之间的差异最大化。由此将河北省县域贫困程度数据划分为 4 个等级:相对贫困程度高(0.0468—

0.2952)、相对贫困程度较高(0.2952—0.5593)、相对贫困程度较低(0.5593—0.9023)、相对贫困程度低(0.9023—2.7380)。

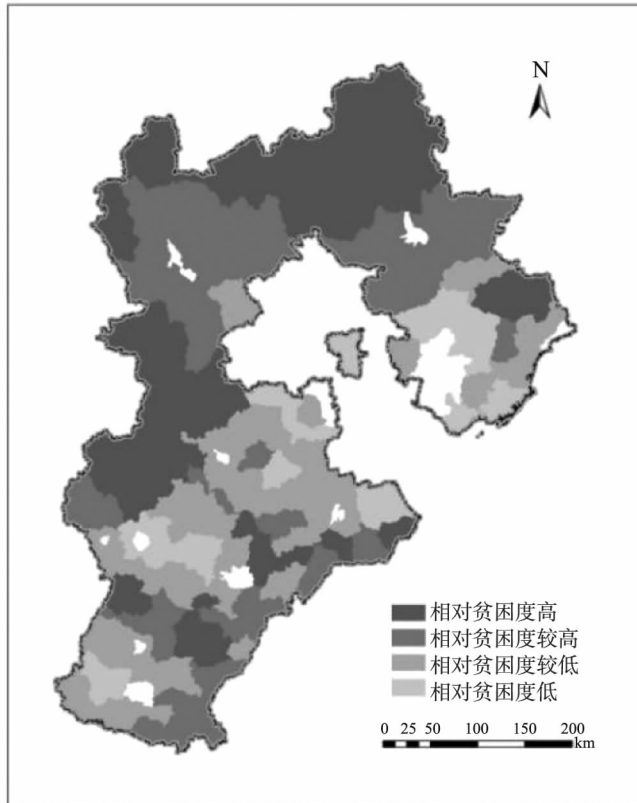


图1 河北省县域贫困分布图

如图1所示,河北省相对贫困程度高和较高的县域主要分布在坝上高原、太行山北段、燕山和黑龙港部分县域。坝上高原、太行山北段和燕山区域自然资源禀赋差、地貌以高原、山地为主,耕地资源贫乏,地形因子是制约该区域的主要因素;黑龙港区域地下水资源是农业发展的限制因子,不适宜大规模高耗水农业开发和工业项目。而燕山山前平原、太行山山前平原等区域的贫困程度低或较低,区域以平原地貌为主,耕地资源丰富,水土条件较好,人类耕种文明历史悠久,区域发展相对较好。

2.3 县域相对贫困评价结果验证

将本次相对贫困评价结果与政府确定的绝对贫困标准下的贫困县进行对比发现:相对贫困程度高的31个县域全部被列入国家贫困县,相对贫困程度较高的县域中有14个被列入国家贫困县,16个被列入省级贫困县,仍有8个县未列入贫困县,分别为安新县、柏乡县、临漳县、隆尧县、卢龙县、南宫市、邱县。通过与省级贫困县相比,此8县贫困度也较低,与省定的贫困县类似,排除安新县在雄安新区范围内,其他县域并非与贫困“绝缘”,在某种程度上属于潜在贫困县,存在着转化为贫困县的潜在可能性。

3 致贫因素分析

3.1 指标体系构建

贫困影响因素错综复杂,其中地理要素对贫困的影响主要可归于人文因素和自然因素两

大方面。研究普遍认为人口、产业、政策^[5-7]等人文因素对县域经济的发展具有一定程度的影响;自然因素的空间分异对三次产业具有锁定作用,尤其是第一自然本性(自然禀赋)对农业具有决定作用^[8-10]。本文认为人口分布和流动具有既定性,产业发展具有区域适用的选择性和资本逐利的必然性,故人文影响更多的体现在政策方面;自然因素如地形地貌的特殊性、土地的适宜性是区域经济发展本底,尤其是地形特征在很大程度上决定着土地利用类型,从而限制产业的布局,影响着区域的经济的发展。因此,本文依据科学性、合理性和可获得性的原则,从自然条件、土地利用、社会经济、人类发展能力等四个子系统选取选择 21 项因子构建指标体系(表 1),其中自然条件子系统反映区域内基础自然禀赋,表征区域人类生产生活和发展能力的自然基础状况;土地利用子系统表明区域土地资源利用状态;社会经济发展子系统表征社会经济发展状况;人类发展能力子系统主要反映人类的生存和自身发展状况。

表 1 县域贫困影响因子指标体系

指标类型	变量	指标描述
自然条件	A1:平均海拔(m)	县域 DEM 影像不同栅格高程的平均值
	A2:起伏度(m)	县域内各邻域窗口内海拔最高与最低差值的平均值
	A3:坡度(°)	根据 DEM 高程计算县域坡度平均值
	A4:平均温度(°C)	多年年均气温
	A5:降雨量(mm)	县域多年平均降雨量数据
土地利用	B6:人均耕地面积(亩)	县域内人均耕地面积
	B7:人均果园面积(亩)	县域内人均果园面积
	B8:人均林地面积(亩)	县域内人均有林地面积
	B9:人均草地面积(亩)	县域内人均草地面积
	B10:旱地比例(%)	县域内旱地占耕地面积比例
	B11:坡度大于 15 度耕地比(%)	县域内大于 15 度坡度的耕地占耕地总面积比例
社会经济	C12:人口密度(人/km ²)	县域内每平方公里内的人口数量
	C13:人均 GDP(元/人)	县域内人均 GDP
	C14:第一产业比重(%)	县域内第一产业占 GDP 总量的比例
	C15:路网密度(km/km ²)	县域公路总长度/县域面积
	C16:城镇化率(%)	县域城镇化率
	C17:卫生机构床位数(张/万人)	县域内卫生机构床位数/万人
	C18:教师占在校学生比重(%)	县域内教师总数/在校学生总数
人类发展能力	C19:农业技术人员比重(人/万人)	县域内农业技术人员/总人口
	D20:平均受教育年限(年)	6 岁及以上人口平均受教育年限
	D21:劳动适龄人口占比重(%)	15—64 岁人口占总人口的占比

3.2 致贫因子相关分析

运用 SPSS19.0 软件,以贫困度为因变量,影响因子为自变量,通过皮尔逊(Pearson)相关系数开展指标之间的相关性分析,根据相关系数确定各指标对相对贫困度的影响程度(表 2),

识别出致贫因子和减贫因子。

表2 各指标的 Pearson 相关系数

指标	相关系数	Sig.	指标	相关系数	Sig.
A1	0.330**	0.000	C12	-0.293**	0.001
A2	0.258**	0.002	C13	-0.878**	0.000
A3	0.259**	0.002	C14	0.532**	0.000
A4	-0.218*	0.010	C15	-0.312**	0.000
A5	-0.382**	0.000	C16	-0.620**	0.000
B6	0.268**	0.002	C17	-0.237**	0.005
B7	0.063	0.465	C18	-0.070	0.414
B8	0.246**	0.004	C19	0.062	0.471
B9	0.184*	0.032	D20	-0.571**	0.000
B10	0.204*	0.017	D21	-0.527**	0.000
B11	0.256**	0.003			

注：**表示相关系数在0.01水平(双侧)上显著性相关；*表示相关系数在0.05水平(双侧)上显著性相关。

Pearson 相关系数分析结果表明:(1)选取的指标中,与贫困度发生正相关的 A1、A2、A3、B6、B7、B8、B9、B10、B11、C14、C19 等 11 项指标为致贫因子;与贫困度发生负相关的 A4、A5、C12、C13、C15、C16、C17、C18、D20、D21 等 10 项指标为减贫因子。(2)从显著性水平来看, A1、A2、A3、A5、B6、B8、B11、C12、C13、C14、C15、C16、C17、D20、D21 共 15 项指标的在 0.01 水平上显著性相关, A4、B9、B10 等 3 项指标在 0.05 水平上显著性相关,表明以上各指标与贫困发生密切相关。(3)B7、C18、C19 等 3 项指标与贫困发生不相关。人均果园面积与贫困度不相关,说明果园在不同地区都有发展,山区、平原果园各有特色,但是若果园发展没有形成产业化、特色化,很难形成经济效益。教师占在校学生比重与农业技术人员比重数值过小导致相关性不明显,说明农村教育和技术力量薄弱。

3.3 致贫因素探讨

从自然条件子系统来看,选取的指标中平均海拔、起伏度、坡度与贫困度呈现正相关,表明与地形相关的海拔、起伏度和坡度三项因子越大,县域越贫困。是坝上高原和山区县域的致贫因子,由于其特殊的地形特征,造成了自然条件恶劣,交通不便,从而引起其他一些因素的改变,导致了贫困的发生。温度和降雨量两个因素与贫困度呈现负相关关系,即平均温度与降雨量越低,耕地的光温生产潜力越低,水土条件越差,农作物产量越低,贫困度越高。

从土地利用子系统来看,人均耕地面积、人均林地面积、大于 15 度坡耕地比例、人均草地面积和旱地比例等与贫困度呈现正相关关系。河北省由于特殊的地形地貌,土地资源利用空间差异较大,平原地区集中了多数的耕地资源,灌溉保证率高,人均耕地面积较大,而山区集中了大部分的林地资源,耕地资源较少,旱地比例较高,且大于 15 度的坡耕地较多,耕地呈现破碎化状态,耕作不便,不适宜机械化操作,因此,人均耕地越少,附属的耕地利用属性(旱地比、大于 15 度坡耕地比)越多,县域越贫困;林地越多,相对贫困度越高,主要由于林地产生的经济效益较少,林木生产周期长,且多以生态保护为目的,虽然有着林地补偿,但是很难为山区农户

带来经济收益。

从社会经济子系统来看,人口密度、人均 GDP、第一产业比重、城镇化率、卫生机构床位数与相对贫困呈现负相关关系,即指标的值越小越贫困。由于地形因素限制,县域内城镇村的布局不均衡,坝上高原、山区等地人口密度很低,就地城镇化程度低,人口向外流出,从而导致贫困发生率较高。县域第一产业比重越高,贫困发生率越高,是由于第一产业比重表征了产业结构的比例,第一产业比值越大,二三产业越落后,收入以种植业为主,就业机会就少,产业产值低,从而导致人均 GDP 低,农村发展整体落后,导致县域相对贫困度高。

从人类发展能力子系统来看,平均受教育年限、劳动适龄人口占比与贫困呈现负相关关系。即平均受教育年限、劳动适龄人口分别表示人口的质量和数量,受教育年限低和劳动适龄人口少导致了县域相对贫困。

综上,贫困问题是多种因素的综合作用的结果,自然因素对贫困的影响具有基础性和第一性,是致贫因素;土地利用、社会经济、人类发展能力对贫困的影响具有直接性和第二性,为减贫因素。

4 结论

河北省相对贫困程度高和较高的县域主要分布在坝上高原、太行山的北段、燕山和黑龙港部分县域低或较低;相对贫困程度较低和低的县域以山前平原为主。自然条件子系统致贫主要是由于自然资源禀赋较差,表现为平均海拔高、地形起伏度和坡度大、平均温度低和降雨量少;土地利用子系统致贫取决于耕地面积和耕地条件,主要表现为耕地缺乏,耕地资源中旱地比例高和大于 15 度的坡耕地面积较大的县域相对贫困度越高;社会经济子系统致贫原因可归纳为人口密度较低,第一产业比重大,人均 GDP 低,城镇化率低,且路网、医疗等基础设施落后,人类发展能力致贫是由于平均受教育年限少,适龄劳动力少,造成该区域文化水平低,劳动力人口减少,自身发展能力较差,限制区域的可持续发展。

参考文献:

- [1] 张天潘. 贫困的“终结”与“后贫困”时代的应对. http://www.sohu.com/a/239896045_161795, 2018-07-08.
- [2] 王小林. 贫困标准及全球贫困状况[J]. 经济研究参考, 2012, (55): 41-50.
- [3] 许月卿, 李双成, 蔡运龙. 基于 GIS 和人工神经网络的区域贫困化空间模拟分析——以贵州省猫跳河流域为例[J]. 地理科学进展, 2006, 25(3): 79-86.
- [4] 王艳慧, 钱乐毅, 段福洲. 县级多维贫困度量及其空间分布格局研究——以连片特困区扶贫重点县为例[J]. 地理科学, 2013, 33(12): 1489-1497.
- [5] 王露, 封志明, 杨艳昭等. 2000-2010 年中国不同地区人口密度变化及其影响因素[J]. 地理学报, 2014, 69(12): 1790-1798.
- [6] 左冰, 保继刚. 1992-2005 年中国旅游业全要素生产率及省际差异[J]. 地理学报, 2008, 63(4): 417-427.
- [7] 何深静, 刘玉亭, 吴缚龙等. 中国大城市低收入邻里及其居民的贫困集聚度和贫困决定因素[J]. 地理学报, 2010, 65(12): 1464-1475.
- [8] 夏海斌, 王铮等. 中国大陆空间结构分异的进化[J]. 地理研究, 2012, 31(12): 2124-2138.
- [9] 丁文广, 雷青, 于娟. 甘肃省耕地资源禀赋与贫困关系的量化研究[J]. 经济地理, 2006, 26(4): 636-638.
- [10] 刘青春, 王铮. 中国区域经济差异形成的三次地理要素[J]. 地理研究, 2009, 28(2): 431-440.

文章编号:1001-9383(2020)01-0074-05

浅析京津冀区域生态环境协同治理对策

尹凡¹,朱佳明¹,刘明¹,仵凤清²

(1. 河北环境工程学院,河北 秦皇岛 066004; 2. 燕山大学经济管理学院,河北 秦皇岛 066102)

摘要:随着京津冀区域经济高速发展,京津冀区域生态环境问题愈加严重。近年来虽有所好转,但仍是影响京津冀区域发展的主要问题。本文在简述京津冀复合生态系统的基础上,分析了区域生态环境存在的问题和制约因素,提出了京津冀区域生态环境协同治理对策。

关键词:京津冀区域;生态环境;协同治理

中图分类号:X321

文献标识码:A

Analysis on the countermeasures of coordinated management of ecological environment in Beijing-Tianjin-Hebei region

YIN Fan¹, ZHU Jia-ming¹, LIU Ming¹, WU Feng-qing²

(1. Hebei University of Environmental Engineering, Qinhuangdao Hebei 066004, China;

2. School of Economics and Management, Yanshan University, Qinhuangdao Hebei 066102, China)

Abstract: With the rapid development of regional economy in Beijing, Tianjin and Hebei, the problem of eco-environmental pollution is becoming more and more serious. Although it has improved in recent years, it is still the main problem affecting the regional development of Beijing, Tianjin and Hebei. Based on the brief introduction of the Beijing Tianjin Hebei complex ecosystem, this paper analyzes the problems and constraints of the regional ecological environment, and puts forward the coordinated management countermeasures.

Keywords: Beijing Tianjin Hebei region; Ecological environment; Coordinated management

京津冀协同发展作为重大国家战略,使京津冀三地在交通一体化、生态环境保护、产业转型升级等重点领域取得阶段性突破。但京津冀区域生态环境问题仍然是制约三地经济高速发展的主要因素之一,虽然京津冀区域年经济总量占全国经济总量的十分之一,但出现雾霾重度污染城市数量之多也是排全国首位的。国家提出京津冀区域复合生态系统协同治理等一系列措施方案,环境污染治理问题迫在眉睫。

收稿日期:2019-12-05

基金项目:河北省社科基金项目阶段性成果(项目编号:HB19JL002)

作者简介:尹凡(1983-),女,河北省石家庄人,博士,副教授,研究方向:区域经济、复杂系统评价等。

通讯作者:仵凤清(1964-),男,黑龙江秦来人,教授,研究方向:科技创新管理。

1 京津冀复合生态系统的内涵

京津冀既是全国复合生态系统的重要组成部分,也是一个相对独立的区域复合环境生态系统,并具有整体性、相关性、复杂性与动态性等特征^[1]。京津冀复合生态系统是以人为主导、区域自然环境为依托、资源流动为命脉、社会文化为经络的社会—经济—自然复合生态系统。复合生态系统中,社会、经济、自然三个子系统之间相互联系、相互制约,且总是处在不断的动态发展之中如图1。该系统中北京、天津和河北省各个城市之间联结互补,河流穿插纵横,使得这块区域形成整体共同发展,最终的目的就是使京津冀三个区域经济社会可持续发展。

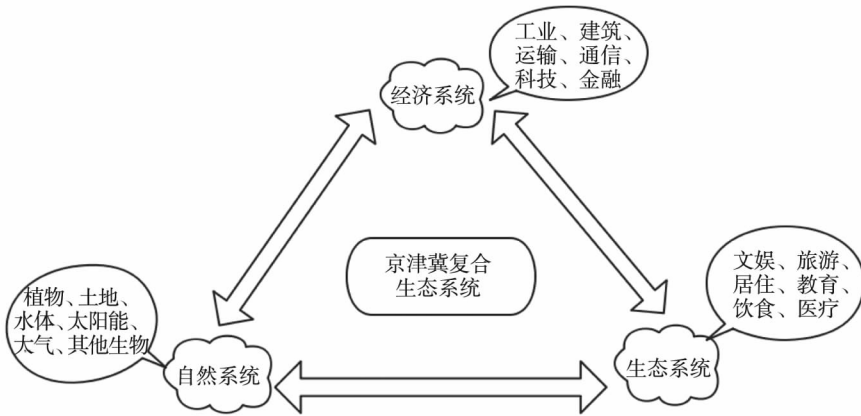


图1 京津冀区域复合生态系统构成

2 京津冀区域生态环境现状及制约因素

2.1 京津冀区域生态环境现状

京津冀区域资源环境约束力较大。该区域由于经济发展的模式主要依靠大量的能源,并且污染物排放强度较大,废水、废气、废渣、二氧化碳等污染物质的排放比重很高。也就造成了长期不消散的雾霾,遭受严重污染难以治理修复的河流,这些环境问题都不是一朝一夕产生的,环境治理不容小觑^[2-3]。

(1) 京津冀地区水资源问题

京津冀地区属于北温带大陆季风气候,冬季寒冷干燥,春季干旱少雨,使得本就水资源短缺的区域旱情严重,只有夏季季风带来的雨水对干旱有所缓解,多条河流如永定河、潮白河等主要河渠存在全年断流现象。白洋淀、七里海等湿地面积减少,长时间通过生态补水来维持^[2]。京津冀地区水资源量和全国的对比(图2),可以清晰的看到京津冀水资源短缺的现状。此外,地下水开采过度,据报道,华北平原已形成全球最大的地下漏斗区。

京津冀区域的城镇企业给当地带来了可观的经济效益,但是也带来了严重的环境问题,城镇工业的废水污染严重,造成沿线几公里的水体污染,并危害水生生物。有些工业废水还包含重金属,像汞、铅或铍等金属会沉积在河流底部或者滩涂中而且难以清除。除了工业废水污染情况,还存在农业水污染,农民在农业生产中为降低成本,使用价格低廉、高毒、高残留农药,还有化肥的超量使用导致地表及地下水污染加剧。三地在水资源问题上有着不可分割的关系,

这就使得这三地水资源协同治理刻不容缓。

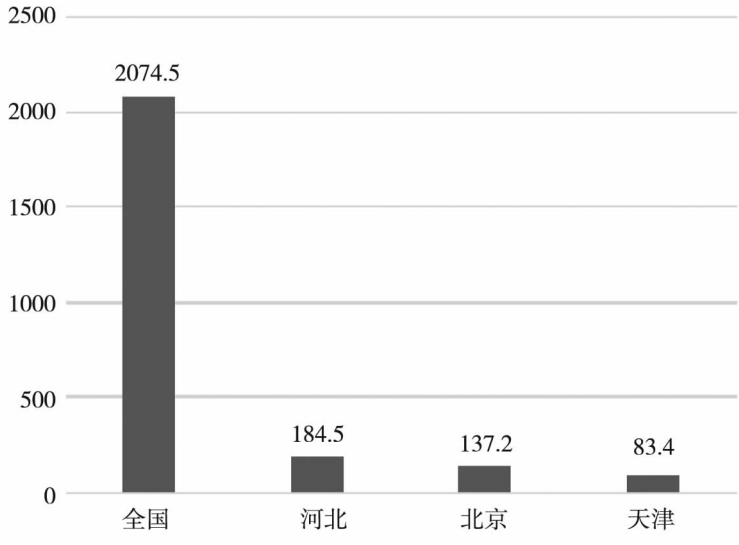


图2 全国及京津冀区域2017年平均水资源量(单位: m^3)

(2) 京津冀区域空气质量问题

京津冀地区城区人口密集,人口与交通压力大,城区大气环境并未显著改善。京津冀地区城市人口严重饱和,城市热岛效应明显,空气质量较差^[3]。PM_{2.5}、SO₂等是大气主要污染物,污染来源其一是交通工具,在城区,汽车保有量巨大,城市交通拥堵严重,尤其在北京,早晚高峰期间汽车拥堵严重,产生了大量的空气污染物。其二是工业排放,钢铁产业一直是河北省支柱产业,再加上现在北京天津的高耗能产业往河北聚集,导致了河北省的高污染高排放。其三是供暖进行的燃料燃烧,京津冀属于北方集中供暖的地区,每到冬季京津冀地区的空气质量会下降,因为煤在燃烧过程中排出许多有害物质,主要有烟尘、SO₂、NO_x、CO等。2019年京津冀地区PM_{2.5}质量浓度年平均值在 $50\mu g/m^3$ 。虽然与2018年相比下降9.1%,但世界卫生组织(WHO)认为,PM_{2.5}标准值为小于 $10\mu g/m^3$ 。当年均浓度达到 $35\mu g/m^3$ 时,就会使人体患病的几率大大增加,所以我国治霾的道路依然任重而道远。

2.2 京津冀区域环境生态系统改善的制约因素

(1) 企业环保意识不足

河北省自然资源丰富,其经济发展依赖于自然资源的占比很大,而且是全国人口规模与面积较大的省份之一。其在经济发展中,主要靠资源型企业,像煤炭型企业、铁矿型企业以及依靠石油资源的一些高耗能行业,而丰富的贮藏量以及开采技术的革新都为经济发展带来了便利,与此同时,天然气、水资源也十分的丰富^[4]。但企业环保意识不足制约了地区生态环境治理,企业一直只关注产品,没有关注产品的产生是否破坏了环境,只关注如何降低成本,而没有关注如何降低污染。企业内缺少监管环保的部门,没有把环保放在发展首位。

(2) 人口和地形制约

京津冀是一个三面环山的地区,大气环境问题和京津冀复杂的地形密不可分。复杂地形上大气扩散规律制约本身就是空气污染气象学研究中的重要课题,具体见图3。

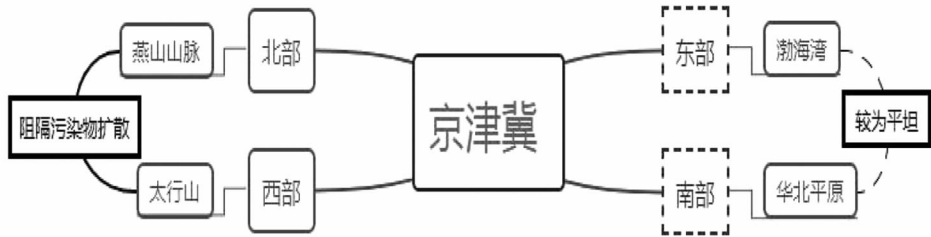


图 3 京津冀区域地形解剖图

京津冀地区的地形限制了该地区产生的污染物质的扩散,又加之人口稠密,城市化进程加快,城市人口增加更是加重了环境治理的负担。在城市中有着密集又高大的建筑物,气流在这种高层的建筑物和构筑物所在的小范围内都能产生涡流,导致污染物质难以快速扩散,而滞留在某一区域内,加重了该区域污染。一般规律是污染物因建筑物背风区风速迅速下降浓度增高。

3 京津冀区域复合生态系统协同治理对策

3.1 产业优化升级转移

京津冀地区进行产业优化升级,不仅能够从根本上减轻环境压力,而且可以通过减少资源型产业,使不可再生的资源得到一定保护。整个京津冀地区都通过企业升级转型,共同努力来改善环境现状。北京天津主要发展第三产业和知识密集型产业。河北可以向服务业和污染小的产业转型升级,加快发展像旅游业等服务行业,坚决关停污染严重和排放标准不合格的资源型企业,推动大企业更新使用环保型的设备,可以减少产能过剩,积极鼓励技术创新,扩展产业链条,积极发展新材料、新能源、新型装备三大主导产业^[6]。以煤炭的深加工为主要发展方向,为实现资源的再利用,加强资源整合和资源优化配置与优化再生,新能源的发展可以使得煤和石油变成清洁的能源,开发新能源产业,推动清洁能源产业链的发展。生态产业的建设可以使环境得到保护经济更好发展,文化旅游也是当今的热门产业,属于环保型产业,可以使得环境可持续发展。在京津冀协同发展中,河北省要更加注重向绿色环保的发展方向,积极发展生态环保及文化旅游产业。

综合施策,增强周边中小城市吸引力。改善交通条件,建立连接周边城市与北京、天津等城市中心的快速公交或城际高铁,为产业发展和人口集聚提供便利。加强周边中小城市的市政基础设施和教育、医疗等公共资源配置,布局优质教育和医疗机构,如从北京引入大型医院或优质学校。大力推动服务业发展,优化城市发展环境,丰富城市文化生活。推动周边中小城市主动对接北京等大城市的相关服务业发展,进一步承接大城市非核心功能。

3.2 加大政策扶持和财政支持力度

京津冀地区是一个不可分割的整体,尤其在生态建设上,河北的生态环境建设的好坏不仅关系着河北省生态建设的成败,也关系着京津两市生态建设和环境治理进程的快慢。必须抓住京津冀协同发展的历史机遇,打破地方界限和体制藩篱,真正实现协同治理,联合推动京津冀区域生态环境建设,共创美好的区域生态环境。

据统计,天津市用水的 93%、北京市用水的 80% 来源于河北省。京津两市应该为河北省的环境治理提供经济与技术支持,促使河北省多发展像旅游业这样的产业,努力从高耗能,高

污染,高排放中走出来。河北省应充分利用京津冀一体化的发展机遇,积极争取各级财政的支持帮助,大力推动企业转型升级。

3.3 制定合理的法律法规

针对京津冀区域一体化发展,将大气污染、固体废物、噪声污染、水污染、水体保护、森林保护、动植物保护等方面的专门法律详细化,涉及到的每个方面做到有具体的分工规定。建立政府之间横向合作,跨流域生态补偿机制。既行分工,特别是措施采取与义务履行,对京津冀如何有效防治环境问题进行系统的规定。

针对目前的财政体制问题,党的十九大报告提出加快建立“权责清晰,财力协调,区域均衡”的中央与地方财政关系和“深化税收制度改革,健全地方税体系”。这一改革举措为疏解京津冀协同发展的财政约束提供了恰逢其时的历史机遇^[7]。

3.4 拓宽公众参与途径,提高环保观念

地方政府应广泛开辟公众参与渠道,通过采取政务公开、网上公示、开通“12369”环境投诉热线,认真处理信访,聘请义务监督员等多种形式,畅通环境保护公众参与渠道,为切实保护公众参与权和监督权发挥了重要作用。积极实现环境信息公开化,维护公众的环境知情权和批评权,通过公布相关信息,借用公众舆论和公众监督,对环境污染和生态破坏的制造者施加压力。充分发挥民间环保组织的积极作用,鼓励通过建立沟通交流机制为政府建言献策,通过咨询与监督引导企业走低碳环保之路,通过联合媒体、开展环保公益项目提升公众环保参与的意识 and 积极性。

习近平总书记指出:“绿水青山就是金山银山”,全社会、公众方应该积极响应号召,树立起保护环境就是保护生产力的观念,着力解决突出环境问题,强化京津冀协调联动,持续加大大气、水、土壤污染综合治理联防联控,积极探索建立京津冀流域生态补偿机制,努力改善生态环境质量。

参考文献:

- [1] 冯建生. 京津冀重污染区域环境协同治理的法律保障研究[J]. 天津行政学院学报, 2017, 19(6): 79-86.
- [2] 刘明, 张佳欢, 尹凡. 京津冀区域环境协调发展的问题与对策[J]. 河北省科学院学报, 2019, (013): 77-81.
- [3] 刘明, 陈亚杰, 刘继为. 京津冀区域存在的生态环境问题及协同治理研究[J]. 河北省科学院学报, 2019, 03(012): 76-82.
- [4] 刘明, 尹凡. 京津冀区域城镇化推进政策着力点分析——基于基础设施承载力和公共服务承载力的对比[J]. 城市发展研究, 2017, (07): 10-13.
- [5] 李惠茹, 刘永亮, 杨丽慧. 构建京津冀生态环境一体化协同保护长效机制[J]. 宏观经济管理, 2017, (1): 86-87.
- [6] 钱晓英, 王莹. 京津冀地区产业集聚与生态环境间的耦合关系[J]. 统计与决策, 2016, (3): 103-106.
- [7] 张晋武, 马广巨. 京津冀旅游业协同发展的财税支持政策简析[J]. 经济研究参考, 2018, (04).