DOI:10.20033/j.1003-7241.(2025)02-0127-05.

基于边缘计算的全封闭圆形煤场储量自动测绘方法

黄东东，何芳芳，桂益龙

（国能神皖安庆发电有限责任公司，安徽 安庆 246008）

摘 要：全封闭圆形煤场因为封闭性，在储量测绘过程中，需要利用开发采矿地质勘探系统和制图信息系统，系统过程被设计成一个数据库，容易导致圆形煤场储量测绘结果误差偏高，以准确测绘煤场储量为目的，研究基于边缘计算的全封闭圆形煤场储量自动测绘方法。采用边缘计算技术，对所采集的煤场数据在边缘网管区域实施分析与处理，通过边缘云分流实现煤场参数存储；基于所采集参数提取煤场内煤堆，通过OLE自动化技术获取煤堆二维数据，对煤堆二维数据实施三维重构，确定煤堆体积，结合储量体积比确定煤场储量。实验结果表明，所研究该方法下煤场参数采集误差较低，煤堆体积与储量计算精度较高。

关键词：边缘计算；圆形煤场；参数采集；体积计算；储量测绘

中图分类号：TP391.41 文献标识码：A 文章编号：1003-7241(2025)02-0127-05

Automatic Surveying and Mapping Method for Reserves of Fully Enclosed Circular Coal Yard Based on Edge Calculation

HUANG Dong-dong, HE Fang-fang, GUI Yi-long

(Chn Energy Anqing Co., Ltd., Anqing 246008 China)

Abstract: Due to the closeness of the fully enclosed circular coal yard, the mining geological exploration system and cartographic information system need to be developed during the reserve mapping process. The system process is designed into a database, which easily leads to high error in the reserve mapping results of the circular coal yard. For the purpose of accurately mapping the reserves of the coal yard, the automatic mapping method for the reserves of the fully enclosed circular coal yard based on edge computing is studied. Edge computing technology is adopted to analyze and process the collected coal yard data in the edge network management area, and the coal yard parameter storage is realized through edge cloud shunting. The coal piles in the coal yard are extracted based on the collected parameters, and the two-dimensional data of the coal piles are obtained through OLE automation technology. The three-dimensional reconstruction of the two-dimensional data of the coal piles is carried out to determine the volume of the coal piles, and the reserves of the coal yard are determined in combination with the reserve volume ratio. The experimental results show that the acquisition error of coal yard parameters is low, and the calculation accuracy of coal pile volume and reserves is high.

Keywords: edge calculation; circular coal yard; parameter acquisition; volume calculation; reserve mapping

0 引言

全封闭圆形煤场以其存储缓冲等多功能结合、占地面积少、存储量大、环境友好等优势被广泛应用于燃煤电厂中[1]。全封闭圆形煤场的盘点一直是燃煤电厂工作的重点，煤场储量测绘是一项涉及多种信息的复杂系统工程[2-3]。

相关学者对此进行研究，基于无人机在火电厂露天储煤场储量测量应用，利用无人机倾斜照相技术进行煤炭开采，并将其用于煤矿采掘中，利用内业软件进行分析GPS准确的位置数据，得出了相应的立体模型的容积，进而得出露天煤矿的储量，完成煤场储量测绘[4]。多产尘点煤场涡流吹吸除尘的测绘方法，通过数值模拟研究了粉尘控制原理，实验比较了单吸法和涡流吹吸法的除尘效率[5]。结果表明，大部分尘粒是由漩涡收集的，以螺旋状从底部向顶部移动，涡流吹吸除尘性能更好。

虽然上述研究取得一定进展，但是存在着计算误差大以及计算过程较为复杂等问题。针对这些问题，研究基于边缘计算的全封闭圆形煤场储量自动测绘方法，进行仿真测试，展示了本文方法在测绘全封闭圆形煤场储量方面的优越性能。

1 全封闭圆形煤场储量自动测绘方法

1.1 基于边缘计算的煤场参数采集

根据上行数据同下行数据间的维度差异，全封闭圆形煤场相关参数可划分为两种不同类别：

*基金项目：安徽省教育厅2021年度专项科学研究计划(21JK0818)

收稿日期：2023-10-24

(1) 第一种类别为全封闭圆形煤场的状态参数，包括全封闭圆形煤场地面倾斜角、地面直径、煤场回转堆料范围等；

(2) 第二种类别为全封闭圆形煤场内煤堆参数，包括煤场侧墙处堆高、煤堆密度及堆积体积、中心煤口上斗直径、自然堆积角等[6−7]。

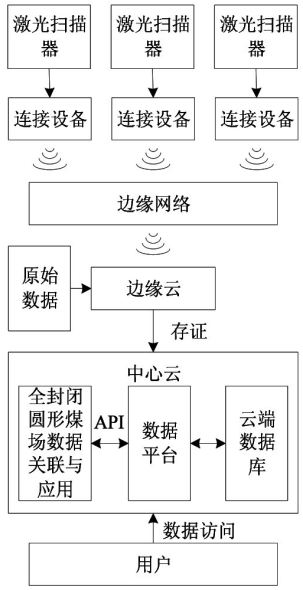


图1 基于边缘计算的全封闭圆形煤场参数采集

依照全封闭圆形煤场的实际状态，在一般条件下，处理相关数据时需对上行数据与下行数据分别处理。图1所示为基于边缘计算的全封闭圆形煤场参数采集结构。

全封闭圆形煤场的网络化优化：选取蜂窝网技术将全封闭圆形煤场参数传输至边缘网关。移动互联网技术的深度应用令全封闭圆形煤场应用对无线通信技术的要求显著提升，当前大部分全封闭圆形煤场均选择采用Wi−Fi技术实现煤场内的无线应用[8]。但Wi−Fi技术实际应用过程中也存在一定的缺陷，如抗干扰能力差、业务实施过程易被打断等问题。

基于边缘计算的煤场参数采集方案大体描述如下：

边缘网关：针对激光扫描器所采集的全封闭圆形煤场参数，于边缘网管区域实施分析与处理、数据封装。

边缘云：选取边缘云方法，通过其内所包含的分流功能将所采集的初始全封闭圆形煤场参数存储至本地数据库内，由此显著降低全封闭圆形煤场参数传输所需时间，同中心云存储模式相比，数据传输所需时间降低一半左右[9]。

中心云：依照时延敏感度对全封闭圆形煤场参数实施分流处理，将敏感度较低的参数分流至中心云存储[10]。

通过蜂窝网络同本地边缘云间的有机结合，能够完成全封闭圆形煤场参数的实时采集、分析与本地分流，实现全封闭圆形煤场测绘升级，提升全封闭圆形煤场储量信息采集与计算效率。全封闭圆形煤场参数于边缘侧完成分析与存储过程，整体过程中不包含传统核心网，所以基于边缘计算的全封闭圆形煤场参数采集过程主要优势体现在高度安全、带宽高、时延短等方面。

1.2 全封闭圆形煤场中煤堆提取算法

基于边缘计算的全封闭圆形煤场数据采集过程中，有较大概率采集到全封闭圆形煤场的墙体和少量屋顶数据，在提取全封闭圆形煤场内的煤堆过程中，需将所采集的煤场墙体等无用数据清除，提升全封闭圆形煤场煤堆数据重构效率与煤堆体积计算精度。

为了提取煤堆数据，需由全封闭圆形煤场数据内划分煤堆数据与墙体数据。通过分析全封闭圆形煤场内煤堆堆积特征能够得到[11−12]，在自然堆积条件下形成的煤堆通常同地面具有相应的坡度，基于此通过煤堆法采集全封闭圆形煤场数据内煤堆数据与墙体数据。考虑全封闭圆形煤场内同仓库的均为具有标准性的圆形形状，所以可将其投影至X—Y平面上，依照点同圆心间的距离确定任一点数据需被保留还是被删除。图2所示为全封闭圆形煤场内煤堆提取流程。

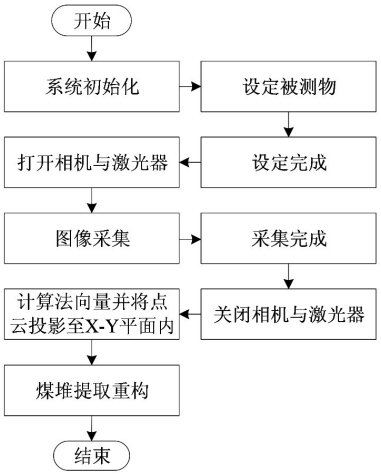


图2 全封闭圆形煤场煤堆提取流程

(1) 依照全封闭圆形煤场内煤堆、墙体同地面间法向量的不同将三者划分开：煤堆外表的法向量具有明显的倾斜特征、墙体法向量特征表现为水平方向或倾斜、地面法向量主要特征表现为垂直向上。如果墙体法向量显示为水平方向，那么依照法向量即可有效划分全封闭圆形煤场内的煤堆与墙体；如果墙体法向量表现为一定的倾斜特征，那么确定全封闭圆形煤场内煤堆与墙体的全部法向量，同全封闭圆形煤场中心最远距离的倾斜法向量就是墙体。

(2) 将所采集的全封闭圆形煤场煤堆数据投射至X—Y平面上，在该平面上煤场的投影呈现为圆形，由此能够定义其圆心就是全封闭圆形煤场的中心。与(1)过程相结合即可利用法向量特征确定墙体，确定其至全封闭圆形煤场中心的距离，以R表示。

(3) 基于平面上各点间距离判断某点是否为墙体，距离计算公式如下：

$$d=\sqrt{\left(x-x_0\right)^2+\left(y-y_0\right)^2} \tag{1}$$

式中，(x,y)和(x_0,y_0)分别表示空间任一点投影至X—Y平面的投影坐标和X—Y投影平面的圆心坐标(全封闭圆形煤场中心)。在且仅在$d=R$的条件下，该点定义为是全封闭圆形煤场内墙体上的点，需清除该点；相反可将其定义为煤堆上的点，需保留。

(4) 通过上述过程清除全封闭圆形煤场内墙体的数据后，再清除地面数据。采用直通滤波法与统计滤波法相结合的滤波方法对剩余的数据实施滤波处理，由此可以较快的速度清除同目标点距离过大的离群点，同时有效清除同目标点距离较小的稀释点群。

1.3 全封闭圆形煤场中煤堆体积计算

1.3.1 OLE自动化获取二维数据

基于边缘计算的全封闭圆形煤场数据采集方法所采集的全封闭圆形煤场数据通常采用Excel格式进行存储，需通过接口文件获取二维数据，因此采用OLE自动化技术，通过用户程序控制并访问服务器程序。标准的OLE自动化服务技术可令用户程序控制其他应用程序内的对象属性与方法。

将全封闭圆形煤场煤堆三维重构程序作为用户程序端通过OLE自动化访问技术访问服务器程序的方法与属性，由此得到有所差异的y位置的各截面离散x、z坐标。由于所采集的全封闭圆形煤场煤堆二维数据均通过空格区分各组数据，在设计程序过程中将空格作为不同数据段的分隔标志。

针对所采集的全封闭圆形煤场煤堆二维数据，利用Maech Cubes方法，通过曲面绘制技术进行全封闭圆形煤场内煤堆三维数据体绘制。

1.3.2 三维曲面体不同体积

针对所绘制的全封闭圆形煤场内煤堆三维数据体，基于全封闭圆形煤场煤堆三维数据场的显示同体积的同时计算，采用单位立方体累计的方法—方格网法计算全封闭圆形煤场不同煤堆体积，并在此基础上确定煤储量[13]。

选取Maech Cubes方法重构全封闭圆形煤场内煤堆三维数据过程中，重构出的煤堆曲面体三维方向的不同单位序号取值分别以i、j和k描述，通过三维方向与等值面的相交实施对比，若不存在交点，那么所获取的单位立方体均具有完整性，以k表示标准立方体数量，在此条件下需令$k+1$，值得关注的是在$i=0$、$j=0$或$k=0$的条件下，也就是移动的立方体处于外表层的条件下，其为等值面上的一个标准立方体，在此条件下，依旧需令$k+1$。针对立方体内等值面实施三角片化过程中有一定概率产生非完整立方体，在此条件下需根据非标准立方体的计算方法确定全封闭圆形煤场内煤堆体积。

根据立方体单元的不同对称特征，将非标准立方体三角片分布的类别降至15类。以较为普遍的三类非标准立方体被截面为例，依照Maech Cubes等值面的计算确定交点的坐标，以$C(a_1,b_1,c_1)$、$B(a_2,b_2,c_2)$和$D(a_3,b_3,c_3)$表示。非标准立方体的体积可通过标准立方体体积与上部被截部分的差值确定，由此可通过体积计算的表达式推导出非标准立方体的体积，公式描述如下：

$$v=1-\frac{\left(a_3-a\right)\times\left(b_1-b\right)\times\left(c_2-c\right)}{6} \tag{2}$$

再依照式(3)确定全封闭圆形煤场中煤堆的整体体积：

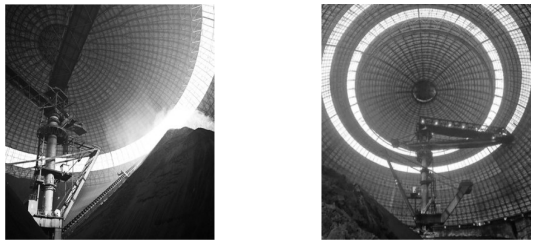
$$V_{12}=\sum x_i v_i \tag{3}$$

式中，x_i和v_i分别表示此种被截类立方体数量与各类立方体体积。

基于上述过程即可实现全封闭圆形煤场内储量自动测绘的目的，基于煤体的耗煤量计算结果即可科学有效地实现全封闭圆形煤场调度，确保煤储量的科学性与经济性，达到科学管理与调用煤的目的。

2 实验结果

本文研究基于边缘计算的全封闭圆形煤场储量自动测绘方法，为验证该方法在实际全封闭圆形煤场储量测绘中的应用效果，选取某市内的两个全封闭圆形煤场为研究对象，分别命名为一号研究对象和二号研究对象，如图3所示。



(a) 一号研究对象 (b) 二号研究对象

图3 两个全封闭圆形煤场

一号研究对象直径为80 m，二号研究对象直径为150 m。采用本文方法对这两个研究对象的煤炭储量进行自动测绘，所得结果如下。

2.1 数据采集精度

本文方法通过边缘计算获取研究对象内部相关参数。以一号研究对象平均堆积密度、自然堆积角、煤场直径、煤场侧墙高度四个参数为例，验证本文方法边缘计算数据采集精度，所得结果如图3所示。

分析图3得到，采用本文方法采集一号研究对象内部相关参数过程中，各项参数的相对误差均控制在0.9%以

内，其中相对误差最高的参数出现在平均堆积密度参数上，而煤场侧墙高度的相对误差均值最高，达到0.42%左右。以上数据充分说明本文方法能够准确采集研究对象的内部参数，有利于获取准确的储量测绘结果。

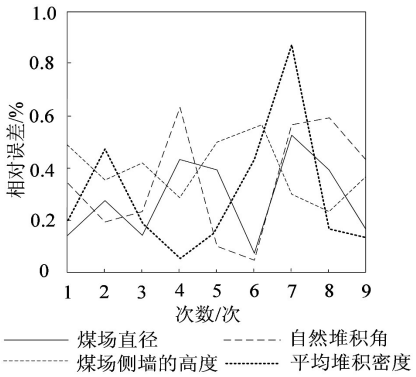


图3 数据采集精度分析

2.2 体积计算

采用本文方法生成两个研究对象内部煤堆的点云数据，提取一号研究对象和二号研究对象内部煤堆体积，分析本文方法煤堆体积测量相对误差，结果如图4所示。

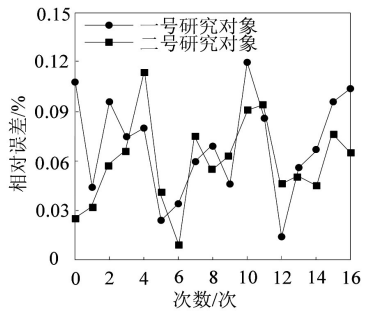


图4 煤堆体积测量相对误差

分析图4能够得到，采用本文方法能够有效提取研究对象内部煤堆点云数据，基于所提取的点云数据进行煤堆体积测量，所得测量结果的相对误差基本控制在0.12%内，这说明本文方法在实际测量研究对象煤堆体积过程中具有较高的测量精度。

2.3 煤场储量测绘结果

表1 一号研究对象储量计算结果

侧墙堆高/m	堆顶高度/m	煤堆内径/m	堆顶直径/m	煤堆体积/m^3	储量计算/t
4	22.58	7.5	54.11	80 498	68 590
5	23.08	7.5	55.39	85 280	72 655
6	23.58	7.5	56.67	89 976	76 646
7	24.08	7.5	58.95	84 601	80 578
8	24.58	7.5	60.23	99 132	84 429
9	25.08	7.5	61.51	103 571	88 202
10	25.58	7.5	62.77	107 914	91 894
11	26.08	7.5	63.97	112 158	95 501
12	26.58	7.5	65.02	116 955	99 257
13	27.08	7.5	66.34	121 307	103 587

采用本文方法获取研究对象内部相关参数，依照煤炭储量进行计算，根据0.86 t/m^3储量体积比，确定各研究对象的煤炭储量，所得结果如表1和表2所示。

表2 二号研究对象储量计算结果

侧墙堆高/m	堆顶高度/m	煤堆内径/m	堆顶直径/m	煤堆体积/m^3	储量计算/t
4	26.265	7.5	62.46	134 169	124 227
5	26.765	7.5	62.89	141 130	130 127
6	27.265	7.5	64.17	147 978	135 948
7	27.765	7.5	65.45	153 733	141 690
8	28.265	7.5	66.73	161 389	147 379
9	28.765	7.5	68.01	167 941	152 917
10	29.265	7.5	69.29	174 385	158 394
11	29.765	7.5	70.57	190 716	163 775
12	30.265	7.5	71.85	199 287	167 958
13	30.765	7.5	72.69	208 452	172 586

分析表1和表2能够得到，采用本文方法能够有效测绘两个研究对象在不同参数条件下的煤炭储量。

2.4 储量测绘性能分析

为分析本文方法在两个研究对象储量测绘方法的性能，从变形变量方面出发分析本文方法的储量测绘相对误差，所得结果如表3所示。

表3 储量测绘性能分析结果

项目	代号	一号研究对象	二号研究对象
初始煤量	1	68 590	124 227
增减煤量	2	536	1255
计算煤量	3	69 126	125 482
盘点值	4	68 958	125 436
相对误差/%	5	0.24	0.04

分析表3能够得到，采用本文方法所得的各研究对象储量测绘结果相对误差均低于0.3%，由此说明本文方法具有较高的储量测绘精度。

3 结束语

本文研究基于边缘计算的全封闭圆形煤场储量自动测绘方法，通过边缘计算获取煤场参数，通过体积提取等过程获取储量测绘结果。实验结果显示本文方法能够准确采集煤场参数，具有较高的测绘精度。在后续研究过程中将主要针对本文方法的应用性能进行深度优化，希望通过本文研究为全封闭圆形煤场今后的运行提供更丰富的数据支撑。

参考文献：

[1] 卢才武，白宝军，阮顺领.基于视频图像的储煤场煤堆自燃检测方法[J].矿业研究与开发，2021，41(7)：166-171.

[2] 张雷，郝帅，张伟，等.中低煤阶煤层气储量复算及认识——以鄂尔多斯盆地东缘保德煤层气田为例[J].石油实验地质，2020，

42(1):147-155.

[3] 韩晶.火力发电厂储煤场全封闭建筑结构设计关注的几点问题[J].武汉大学学报:工学版,2020,53(1):481-484.

[4] 黄锦财.基于无人机在火电厂露天储煤场储量测量应用[J].江西建材,2020(11):58-59.

[5] Jing D,Jia X,Ge S,et al.Numerical simulation and experimental study of vortex blowing suction dust control in a coal yard with multiple dust production points[J].Powder Technology,2021,388(6):554-565.

[6] 崔峥,王增才,张杰,等.基于三维点云分割的煤堆体积计算方法研究[J].中国矿业,2022,31(4):96-101.

[7] 徐琴,刘枚,李静毅.基于区块链的边缘计算安全架构鲁棒性检测[J].计算机仿真,2021,38(12):320-323,489.

[8] 钟浩,楼佩煌,翟晶晶.应用于手机玻璃丝网装配的高精度视觉在线测量方法研究[J].机械制造与自动化,2021,50(6):195-198.

[9] 冯文彬,厉舒南,田昊,等.基于融合边缘优化的煤矿图像语义分割方法[J].煤矿安全,2022,53(2):136-141.

[10] 赵亮,韩宝虎,李国强,等.神宝能源穹顶仓储煤场盘煤系统研究及应用[J].煤炭技术,2021,40(11):57-60.

[11] 卢安广,赵越,吕瑾硕.预应力圆形储煤场工程技术研究[J].建筑结构,2021,51(2):405-407.

[12] 焦建康,张镇,颜立新,等.中小型煤矿巷道围岩稳定性定量化评价及分级支护技术[J].采矿与安全工程学报,2022,39(3):598-606.

[13] 毛善君,鲁守明,李存禄,等.基于精确大地坐标的煤矿透明化智能综采工作面自适应割煤关键技术研究及系统应用[J].煤炭学报,2022,47(1):515-526.

[14] 张振斌.基于YOLOv3的选煤厂闸板开度自动检测系统[J].自动化技术与应用,2024,43(1):52-55.

作者简介:黄东东(1982-),男,本科,助理工程师,研究方向:自动化。

(上接第118页)

最后,在相同的实验环境下分别利用声发射技术、改进谱残差、逆向工程和有限元分析方法,对40个不同磨损程度的星型齿轮实施检测,并将检测结果按磨损程度分为正常、轻度磨损、重度磨损以及重度磨损,得到的分类结果对比如表1所示。

由表1可以看出,利用改进谱残差、逆向工程和有限元分析方法对处于相同环境下的40个星型齿轮磨损程度实施检测并分类,其得到的分类结果与实际磨损情况均存在一定的差异,而利用声发射技术获取的分类结果与实际磨损情况相同,因此声发射技术能够更为精确地对星型齿轮的磨损程度展开识别并分类。

5 结束语

在机械广泛应用的现代社会,因齿轮磨损导致的各类事故层出不穷,这也使得齿轮磨损程度的检测成为当下研究的热点话题。针对齿轮磨损程度检测效果差、受环境噪声影响较大且无法对齿轮的磨损程度实现准确分类的问题,提出基于声发射技术的发动机星型齿轮磨损程度检测方法。该方法首先学习星型齿轮的传动模型以及声发射技术,之后在此基础上对声发射信号实施去噪处理,最后对去噪后的信号实施分析,达到星型齿轮磨损程度检测的目的。基于声发射技术的发动机星型齿轮磨损程度检测方法优化了齿轮磨损程度检测效果,为各类齿轮的广泛应用提供了参考。

参考文献:

[1] 蔡聪艺.基于改进谱残差的直齿圆柱齿轮啮合磨损状态检测方法[J].沈阳工程学院学报(自然科学版),2022,18(1):86-90.

[2] 张军,李芳芳,王延忠.基于逆向工程的面齿轮齿面磨损检测技术研究[J].机械传动,2022,46(11):141-145.

[3] 刘晓.基于模态柔度的直齿圆柱齿轮微动磨损有限元分析[J].自动化技术与应用,2021,40(8):118-120,130.

[4] Grzeszkowski M,Nowoisky S,Scholzen P,et al.Classification of gear pitting damage using vibration measurements[J].tm-Technisches Messen,2021,88(5):282-293.

[5] 韩健明,杨翼,马清雅,等.多级齿轮传动转子系统的模态缩减与振动特性分析[J].振动与冲击,2021,40(4):43-50.

[6] 孙攀旭,杨红.基于等效黏性阻尼模型的非比例阻尼体系反应谱CCQC法[J].工程力学,2021,38(10):160-172,180.

[7] 杨小朋,臧立彬,陈勇,等.含齿侧间隙的直齿轮热弹耦合刚度数值计算与试验[J].机械设计,2021,38(11):67-77.

[8] 于耀庭,何芝仙,时培成.能量法计算齿根具有裂纹的齿轮啮合刚度[J].机械科学与技术,2021,40(5):716-720.

[9] 李孟川,何赟泽,孟志强,等.基于声发射检测技术的电力电子器件/模块机械应力波综述[J].电工技术学报,2021,36(22):4773-4783.

[10] 王二化,刘忠杰,刘颉.基于VMD和BPNN-GA的齿轮裂纹故障诊断[J].机械设计与制造,2022,380(10):208-211,217.

[11] 许辰航,陈继明,刘伟楠,等.基于深度残差网络的GIS局部放电PRPD谱图模式识别[J].高电压技术,2022,48(3):1113-1123.

[12] 洪丹阳,王巍,周成阳,等.基于非均匀快速傅里叶变换的正交频分复用水声通信多普勒估计与补偿方法[J].仪器仪表学报,2021,42(4):67-74.

作者简介:庞博(1988-),男,本科,工程师,研究方向:电气工程及其自动化专业,设备维护管理,煤矿智能化设备。