

基于物联网技术的煤矿井下用电状态实时监测方法*

陈鹤澎¹, 魏建业¹, 庞现泽², 刘俊², 董振军²

(1. 窑街煤电集团有限公司金河煤矿, 甘肃 兰州 730084;

2. 上海山源电子科技有限公司, 上海 201612)

摘要:在传统的煤矿井用电状态的监测中,由于缺少算法优化,导致用电状态的输出不够及时,不能做到实时监测,因此提出基于物联网技术的煤矿井下用电状态实时监测方法。首先,根据煤矿井下用电状态实时监测方法,对煤矿用电负荷的不同依据进行划分,将其分成不同种类,确定煤矿井下耗电设备;其次,对于煤矿井下用电设备进行分析,结合现代化煤矿产业的数字智能化发展,可根据设备的信息交互以及状态运行中的数据报文来分析评估井下设备用电权重,对用电状态的突变状态进行捕捉;最后,所捕捉到的数据信息需要经由匹配环节的对照,进而判断其是否需要进一步传输。通过试验对比得知,试验中试验组在20个突变数目下,对突变监测的用时为3.55 s,远远快于对照组在同等突变数目下的18.74 s,由此可知,通过监测方法能够加快状况监测的效率,对结果进行及时输出,为煤矿井突发状况的处理争取时间优势。

关键词:物联网技术;煤矿井;井下用电;实时监测

0 引言

社会进步与经济发展带动着国民经济水平的不断提升,同时对能源企业也提出了更高的要求。我国的煤矿行业作为支柱性产业之一,不仅要保障开采量,保证对能源的及时供应,更需要全面提升开采效率,降低开采过程中的消耗。煤矿在开采过程中伴随着较高的风险系数,与煤矿井下作业人员的生命安全密切相关,其中,对供电系统的合理设计在一定程度上保护了煤矿井下作业人员的人身安全,也保障了煤矿企业的基本生产安全。但随着开采深度的加深,井下环境的复杂程度加深,许多煤矿企业的井下供电系统含有一系列有待完善的问题,需要对其进行设计,提高安全性及合理性。

煤矿井下的供电环节是根据电机输送电能完成作业,大多数的煤矿配电可视作单电源供电。煤矿用电由于其用电环境的复杂性、用电负荷的多样性,有必要对其进行用电状态的监测。

状态监测是一种利用微电子和传感等技术手段获取设备在运行状态下的各种数据,并对这些数据

进行分析和处理,结合当前设备的运行状态对设备的后续运行情况进行预测的方法。因此,对煤矿井用电设备的用电状态进行在线状态监测,不仅有利于设备的维护和使用,也有利于煤矿井的安全保障^[1]。基于此,本文对煤矿井下的用电状态进行实时监测,在物联网技术的基础上完成了方法设计,通过对用电设备及其权重值的分析,在物联网模型的技术辅助下,对用电实时状态中的异常突变进行捕捉和匹配,最后输出匹配数据,呈现实时监测结果。对于供电系统优化方面,充分找寻出供电系统漏洞,对煤矿井下供电系统全局节能优化控制具有重要意义。

1 煤矿井下用电状态实时监测方法

1.1 确定煤矿井耗电设备

电力是现代社会不可或缺的能源之一,用电负荷的分类是用电系统中一项重要的内容。用电负荷是指在一定时间内使用电力设备消耗的电功率,是电力系统运行的基础。凡是因为突然停电可能造成人身伤亡或者重要设备损坏,或者给生产造成重大

* 收稿日期: 2023-08-29

作者简介: 陈鹤澎(1987—),男,河南漯河人,工程师,主要研究矿井智能供电应用、矿井自动化技术应用等, E-mail: juwoyunvik@163.com。

损失的负荷为一类负荷,如主通风机、井下主排水泵等。对一类负荷供电必须有可靠的备用电源,一般由变电所引出的独立双回路供电。因为突然停电可能造成较大经济损失的负荷为二类负荷,生产设备大多属于二类负荷。对于大型矿井的二类负荷来说,一般采用具有备用电源的供电方式,对于中小型矿井来说,一般采用专用线供电即可。不属于一、二类负荷的所有负荷都属于三类负荷,如生产辅助设备、办公类、机修厂等,对三类负荷供电可采用一条线路向多个负荷供电,以减少设备投资。根据不同的划分依据,可以将煤矿用电负荷分成不同种类,通常根据用电负荷服务对象的不同可以分成六类,本文主要研究井下其他设备类,在这一类主要是与矿井除煤炭生产之外的其他设备产生的一些负荷,如抽放钻机零星负荷。

煤矿井下需要使用配电变压器,该设备是指配电系统中根据电磁感应定律变换交流电压和电流而传输交流电能的一种静止电器,也是用电设备的主要电力消耗。配电变压器主要由两部分组成,一部分是跟负载大小无关的、用来建立磁场的无功功率,另一部分是跟负载相关的无功功率损耗。如配电变压器在实际运行中突发短路故障,因电磁存在瞬间变化特性,会在此时的高低电压绕组中产生威力极大的短路冲击电流,受到短路冲击电流影响,将导致变压器产生较大短路漏磁场,受到两者的影响将导致更大的短路后果,且短路带来的电流作用将导致配电变压器内部温度急剧升高,加大功率损耗的同时对安全作业造成一定的威胁。为此提出变压器等值电路,变压器等值电路如图1所示。

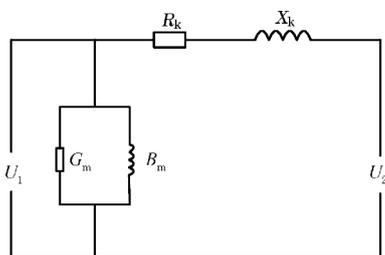


图1 煤矿井下变压器等值电路

图1中 R_k 表示短路电阻, X_k 表示短路电抗, G_m 表示激磁电导, B_m 表示激磁电纳。通过图1中的等值电路可以计算得到变压器的无功功率损耗,计算表达式如下:

$$\Delta Q = IS_N + US_N \quad (1)$$

式中, I 为空载电流; U 为短路电压; S_N 为该变压器的无功负载。

煤矿井下电力线路的无功功率的表达式如下:

$$\Delta Q = 3I^2 X_1 10^{-3} \quad (2)$$

式中, ΔQ 为线路对应的功率消耗; I 为线路通过的电流; X_1 为线路的阻抗, Ω 。

异步电动机等值电路与变压器等值电路类似,因此,本文不作过多赘述。异步电动机由于电机容量和负载程度的不同,其对无功功率的消耗程度也不同,当电机容量较大的异步电动机满载时,消耗的无功功率较小,相反,当容量较小的异步电机空载时,对无功功率的消耗较大^[2]。

1.2 煤矿井下供电系统运行要求

煤矿供电系统是煤矿生产的重要动力保障,一旦电力中断,生产将被迫停止,同时停电后将会发生瓦斯积聚爆炸、淹井等恶性事故,所以保证煤矿井下供电系统的正常运行十分重要。煤矿供电系统构成分为地面供电系统以及井下供电系统两个方面,并且各方面需要严格遵守供电运行的基本要求,以保障供电系统的正常运行。同时保障矿井工作人员的人身安全、矿井内部的环境安全和运行设备的安全。

1.2.1 供电系统构成

(1) 煤矿地面供电。矿井地面供电主要包含矿井电源和矿井地面供配电。矿井电源包括上级电源的电压等级及双回路来源,架空线路,矿井地面变电所,所内高压开关柜,变压器,防雷电装置,馈电线路以及相关的操控系统和辅助设施,主要负责全矿井的供电需求。

(2) 煤矿井下供电。煤矿井下供电中包含中央变电所、采区变电所、采掘作业面的配电点。井下中央变电所供电来源于地面变电所,其中所安装的变压器、辅助基础设施、以及综合保护装置负责为煤矿井下采掘作业周边的动力、以及配电点供电。煤矿井下中央变电所一般由采区变电所供电,采掘工作面配电点供电由采区变电所供电。

1.2.2 煤矿井下供电系统运行要求

煤矿井下供电系统包含整个矿区生产的各个环节,其对基础性的保障系统有一定的运行要求,分为安全性及可靠性两方面。

(1) 安全性。环境条件恶劣、供电设备易损坏,可能造成漏电、电火花引起火灾和瓦斯煤尘爆炸等事故,所以保证煤矿井下供电系统的安全性十分重要。煤矿井下供电系统安全性是在设备或系统的可控时间段运行时允许出现故障,但不能造成安全事故。

(2) 可靠性。如果煤矿井下供电系统出现中断的情况,不仅会影响产量,而且可能发生人身事故或者设备损坏,严重时会对矿井造成一定程度的破坏。煤矿井下的供电系统可靠性,是在井下供电设备和供电系统在运行时间段内可以保持好正常的运作状态,为其系统及设施提供电能。

1.3 评估井下设备用电权重

通过上述对于煤矿井下用电设备的分析,结合现代化煤矿产业的数字智能化发展,可根据设备的信息交互以及状态运行中的数据报文,来分析各个设备的运行状态。通过分析设备间的用电权重,更有利于用电状态实时监测结果的精确反馈。而用电状态的指标权重就需要对其进行合理赋权。

本文采用模糊综合判断对煤矿井下用电状态进行指标评估。与该方法相对应的有专家调查法和层次分析法,两种方法的特性见表1。

表1 主观赋权法的两种赋权方法

方法	特性	原理及要求
专家调查法	多位专家意见,适用于早期预测指标。	多位专家多轮评估,取得均值,减小误差率。
层次分析法	目标分层化定量定性分析。	事件分层按一级、二级指标自下而上评估,实用性强。

由表1可以看出,专家调查法的特性是综合多位专家的意见,其适用于早期预测指标,层次分析法的特性是目标分层化定量定性分析。为了监测的自动化与智能化,本文选择了层次分析法。首先通过对煤矿井下用电设备经由传感器采集到的参数建立对应的评价指标,在层次分析法的指标排布中,将三层评估指标进行级别架构,用电状态的指标评价如图2所示。

矿井相关用电设备首要任务是保持不间断运行,在运行过程中的监测也需要做到同步输出,因此,对设备的信息采集就要确保可靠性、安全性和实用性^[3]。

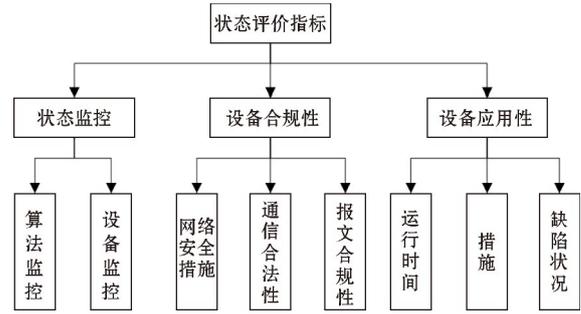


图2 用电设备状态评价层次划分

层级划分方法流程首先是建立综合评价体系,评价聚类因子的基础是构建状态指标体系,然后构建各层次的判断矩阵 A ,矩阵的构建有助于权重的匹配分析。根据聚类因子的指标体系,在三层的指标构建中,将指标层与其子层中的要素进行两两比较,通过比较结果区分各要素的自身权重,分析要素的重要性并且根据依据给出判断,通过评估指标分析出判断矩阵,并进行构造。然后经由矩阵判断最大特征值中的计算权重,根据矩阵计算特征值,并且将对应的特征向量输入到矩阵中,得到矩阵权重值的表达式:

$$A\omega = \lambda_{\max}\omega \quad (3)$$

式中, A 表示根据指标权重构建的矩阵; ω 表示 λ_{\max} 对应的 A 的向量,对 ω 经归一化可以得到权向量; λ_{\max} 表示 A 的最大特征值。然后在矩阵及其对应权重值的基础上,对其进行一致性检验。引用判断矩阵中的一致性指标,与矩阵原有的随机一致性进行判断,并且根据判断结果对矩阵进行调整,经过上述流程,完成对用电状态指标评价的架设。

1.4 基于物联网技术构建监测模型

本文结合上述用电设备的确定以及各用电状态的权重值评估,对煤矿井下用电状态的实时监测模型进行建设。选用基于物联网技术下的监测模型,该模型主要是根据微波信号穿过矿井后,由井下用电设备散射地面信息,再次经由矿井后被传感器所接受的信息原理,构建模型的用电参数和煤矿井下用电设备参数的特征信息,从而有效反映用电状态。模型公式如下:

$$\sigma_c^0 = \sigma_s^0 + [\exp(-2BV_2/\cos\theta)]^2 \sigma_s^0 \quad (4)$$

式中, σ_c^0 表示所接收的总散射系数; σ_s^0 表示用电设备所发射的信息; θ 表示信息入射角; V_2 表示用电状态的相关参数; B 表示监测模型的经验系数。

在预测集样本精度统计中,模型的精度评价指标有所下降。将用电状态的实测值作为因变量,用电指数和传感参数运算值作为自变量,分别建立不同参数不同煤矿井下作业时期的反演模型,为使所建模型更有意义,本文均选择一次函数进行模型拟合。通过拟合可以对煤矿井下不同时期用电状态进行较好的监测。

1.5 捕捉匹配用电实时状态中的突变

在我国额定用电频率的规定下,对于正常运行的用电设备,一般有着频率偏差的限制。但在实际的煤矿作业中,电流波形的频率不断变化,且频率因波形变化产生漂移。本文对于用电状态中突变的捕捉匹配采用弹性滑窗算法,因此,在电力采样频率不变的情况下,滑动时间窗的大小固定,暂且设定该值为 N ,根据固定值 N ,同样能够确定采样点数也为固定。而在频率产生一定的位移后,实际的滑动弹窗与原有设定中滑动弹窗的数值产生了差别,若是仍然按照采样固定值以及时间窗的大小 N 值进行计算,则会出现误差,为了解决这个问题,本文将对传统弹性滑窗算法进行优化运用^[4-6]。

对于该算法的优化,首先在频率产生漂移之后,基于对其所产生误差修正的思想,将采样窗口中根据频率误差产生单行变化进行计算,并且在频率的变化下,时间窗也会产生对应的变换,因此,滑动 FFT 的时间窗大小为:

$$N = nf_s / f \quad (5)$$

式中, f_s 为弹性窗口的采样频率; f 为信号频率; n 为窗口内的周波数。随着采样点数和时间的变化,窗口内的周波数会随着信号频率发生变化,而信号频率的取值范围为: $f \pm \Delta f$ 。由于频率漂移量的变化, $\Delta f \ll f$,所以滑动时间窗口也会发生变化,而滑动窗所选中的样本序列也会生成新的序列,并且通过窗口内的周波数被分成了两个部分,当 $N^2 \gg a$ 时,窗口中的迁移相变成了 1, a 为原有时间窗口在位移变化后与现在时间窗口产生的距离。

因此,优化后的弹性滑窗 FFT 算法,在上述公式的联合计算下,获得参数 a ,根据 a 的具体数值作相应调整并且迁移窗口的相位,即可完成对于算法效率的提升。

在上述的算法流程中,完成了基于本文所需用

电状态监测的算法优化,因此,在算法的运用下,要利用 FFT 实现对用电状态突变的捕捉。弹性滑窗算法的突变捕捉流程如图 3 所示。

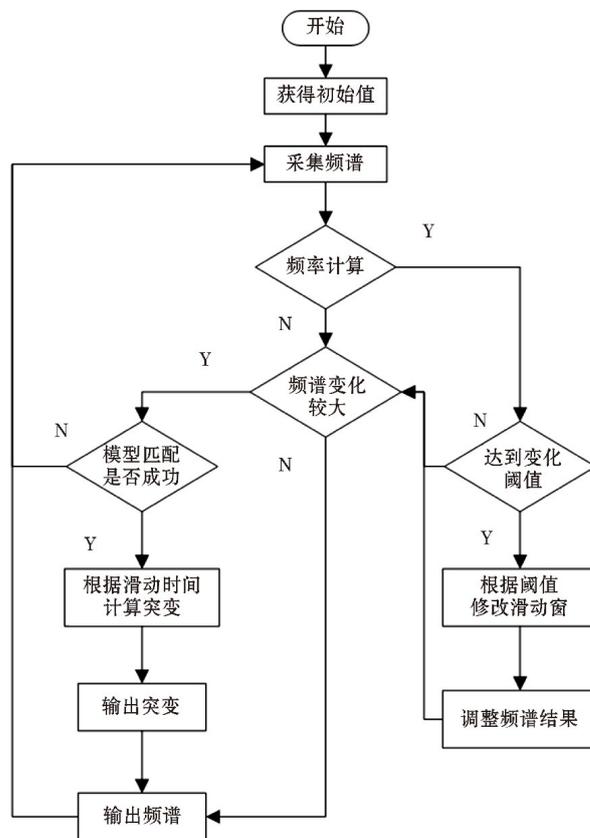


图 3 弹性滑窗算法下的突变状态捕捉流程

首先在用电设备进行用电监测时,需要对其初始值进行计算,通过对某一位移点的测定,对其进行实时频率的计算,并判断阈值,根据阈值结果对滑动窗口进行调整。结合设备用电状态与突变模型的实际参数,对状态变化前的匹配进行忽略,以便减少算法消耗,去除冗余数据;而当用电状态发生变化时,则需要将数据与模型进行成功性匹配,当一个状态在周波上演进时,则完成对于突变的捕捉,该位置与时间点需要被记录并且显示突变的参数信息,处理结束后则行进到下一个环节^[7-8]。

1.6 匹配用电状态的监测结果

在上述流程中对用电状态的突变状态进行了捕捉,所捕捉到的数据信息需要经由匹配环节的对照,进而判断其是否需要进一步传输。本文为了实现用电状态的实时监测,选择 K-means 聚类算法来实现环节匹配^[9-10]。

本文所选择的聚类算法为划分法的一种,具有

比较高的算法效率,算法流程如下。

首先输入簇的个数,以及数据样本的个数,然后输出簇。从数据样本中选取任意同簇数相同的样本,作为初始的簇的合集,然后将各样本到簇中心的距离分别进行计算,并在分散排列中以就近原则分配样本。在分配后的各簇中,重新计算簇的中心,然后通过准则函数与计算结果相比较,收敛成功则继续流程,失败则重新计算中心。将给定的簇排列成集,将不同的样本数量进行序号排列,计算出簇子集的均值^[11-12]。

为了计算样本与簇中心的距离,选用欧式距离来计算,计算结果中的距离越小,代表样本差异越小,意味着所采集数据状态与设定状况相匹配^[13-14]。完成状态的突变匹配后,将匹配结果重新输入,得到实时状态结果,最后将其输出,呈现为实时数据报文。通过上述流程,完成了对于用电状态中突变的匹配,并且能够对用电状态进行实时监测^[15]。

2 试验论证

将本文所设计的基于物联网技术的煤矿井下用电状态实时监测方法与基于 AP 聚类算法下的用电状态实施监测方法进行参数对比,为展示两种方法的测试效果,对比分析不同状况下的用时所消耗时间的长短,选定了 4 组试验样本,将不同技术进行对比,得出各方法的效果。

2.1 试验说明

为了验证本文所设计的对于煤矿井下用电状态实施监测方法的有效性,将所设计的方法与基于 AP 聚类算法下的用电状态实施监测方法进行参数对比,为了使试验结果具有简明性,设置本文方法为试验组,基于 AP 聚类算法下的方法为对照组。实验以两种方法中对于异常数据的匹配捕捉所消耗时间为对照,分析不同状况下的用时,所消耗的时间越短,代表该方法的效果越好。

2.2 试验准备

本文的试验建立的环境见表 2。

为了展示本文所设计方法下的监测效果,试验环境中设定了电气设备的异常状况,对其监测方法进行检测。试验选定了 4 组试验样本,样本中突变数目分别为 5,10,15 和 20 个。将不同技术进行对比,测试最终煤矿井下用电状态的实时监测结果。

表 2 实验参数

序号	参数	具体设置
1	DSP	TMS320C6748
2	AD 采集芯片	ADS8556
3	传感器	AMD Ryzen 5 3500X
4	操作系统	Windows 7 64 位
5	开发语言	Qt

2.3 试验结果

两种方法对突变捕捉及匹配的用时消耗对比结果见表 3。

表 3 监测突变用时对比

突变数目/个	监测突变用时/s	
	试验组	对照组
5	0.26	4.68
10	1.43	6.79
15	2.94	10.12
20	3.55	18.74

由表 3 中的数据可知,试验组在用电状态产生 5 个突变,对突变进行捕捉匹配并将结果进行输出的用时为 0.26 s,而对照组需要花费 4.68 s 才能完成对于用电状态的监测。当突变数据增加到 20 个时,试验组对突变监测的用时为 3.55 s,远远快于对照组在同等突变数目下的 18.74 s,所以由表 3 数据得出,本文所设计的基于物联网技术下的监测方法能够做到对于用电状态的实时监测,和对突变状况的及时输出。

3 结论

本文针对煤矿井下用电状态的实时监测,在物联网技术的基础上完成了方法设计,通过对用电设备及其权重值的分析,在物联网模型的技术辅助下,对用电实时状态中的异常突变进行捕捉和匹配,最后输出匹配数据,呈现实时监测效果。通过监测方法能够加快状况监测的效率,对结果进行及时输出,为煤矿井突发状况的处理争取时间。同时对煤矿井下供电系统全局节能优化控制具有重要意义。

参考文献:

- [1] 夏超峰. 煤矿井下变电站在线监测系统设计与应用研究[J]. 矿业装备, 2023(3):137-139.
- [2] 王二强. 煤矿井下 6kV 动力电缆绝缘线监测系统的设计与应

- 用[J]. 矿业装备,2022(6):132-133.
- [3] 窦瑞军. 基于物联网的煤矿井下机电设备状态监测[J]. 能源与节能,2022(5):109-111.
- [4] 张宁. 煤矿井下机电设备状态监测技术分析[J]. 矿业装备,2021(5):24-25.
- [5] 张都. 煤矿井下机电设备状态监测技术分析[J]. 能源与节能,2021(2):166-167+170.
- [6] 朱晶. 基于物联网技术的煤矿安全监控平台的设计与关键技术[J]. 机械管理开发,2020,35(7):239-241.
- [7] 唐骏,王吉华. 基于物联网技术的煤矿弧光保护系统[J]. 能源科技,2020,18(6):39-40.
- [8] 田振伍,聂倩,原小科. 基于 WAMS 和物联网技术煤矿全电网高压漏电监控系统方案设计[J]. 内蒙古煤炭经济,2023(5):54-56.
- [9] 任桂芹,田必勇. 基于物联网技术的煤矿井下粉尘浓度监测方法[J]. 能源与环保,2022,44(11):278-283.
- [10] 王洪波. 物联网技术在煤矿机电设备状态监测系统中的应用[J]. 煤矿机械,2022,43(8):213-216.
- [11] 王佳琦. 解析物联网技术与煤矿安全监测信息平台的融合[J]. 内蒙古煤炭经济,2022(7):91-93.
- [12] 张文飞. 煤矿自动化系统中物联网技术的应用[J]. 能源与节能,2021(6):214-215.
- [13] 张都. 煤矿井下机电设备状态监测技术分析[J]. 能源与节能,2021(2):166-167+170.
- [14] 张新. 矿山井下定位技术应用现状[J]. 化工矿物与加工,2020,49(5):51-55.
- [15] 王博. 井下物联网技术研究[J]. 能源与环保,2020,42(6):126-129.
- [16] 吴季洪,袁欣鹏,王浩盛,等. 矿山物联网技术发展现状与趋势[J]. 陕西煤炭,2022,41(6):211-215.