

# 航天测控站供电系统智能监测系统设计与验证

虞炳文<sup>1,2</sup>, 肖晓强<sup>1</sup>, 范利波<sup>2</sup>, 丁思炜<sup>1,2</sup>

(1. 国防科技大学 计算机学院, 长沙 410073; 2. 西昌卫星发射中心, 四川 西昌 615000)

**摘要:** 为准确把握航天测控站的供电系统运行情况, 设计一套航天测控站供电系统智能监测系统, 系统将实现对测控站中多类型供电终端的数据采集, 并通过统一的数据采集终端发送至采集上位机, 上位机将获取的数据存储并分析, 最后以网页形式展现数据采集及分析结果; 通过实现软硬件结合、B/S与C/S架构结合的供电系统智能监测系统, 提出一种航天测控站对其供电系统进行监测的新方法, 并通过实验论证其设计方案的可行性; 通过所设计方案, 可以及时有效发现供电系统的隐患, 提高供电系统运行的稳定性和可靠性, 为保障航天发射的顺利实施提供有力支撑。

**关键词:** 供电系统; 智能监测; 系统设计; 数据采集; 数据发布

## Design and Verification of Intelligent Monitoring System for Power Supply System of the Space Measurement and Control Station

YU Bingwen<sup>1,2</sup>, XIAO Xiaoqiang<sup>1</sup>, FAN Libo<sup>2</sup>, DING Siwei<sup>1,2</sup>

(1. College of Computer Science and Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;  
2. Xichang Satellite Launch Center, Xichang 615000, China)

**Abstract:** In order to accurately grasp the operation of the power supply system of the space measurement and control station, an intelligent monitoring system for the power supply system of the space measurement and control station is designed. The system achieves the data collection of multiple types of power supply terminals in the measurement and control station, which is sent to the collection upper computer through a unified data collection terminal, the upper computer will store and analyze the obtained data, and finally display the data collection and analysis results in webpage. The intelligent monitoring system for power supply systems is implemented by the combination of software, hardware, and B/S and C/S architectures, a new method for monitoring the power supply system of the space measurement and control station is proposed, and the experiments verify the feasibility of the designed scheme. Through the designed scheme, it can effectively find out the hidden dangers in the power supply, improving the stability and reliability of the power supply system operation, and providing a strong support for the smooth implementation of space launch.

**Keywords:** power supply system; intelligent monitoring; system design; data collection; data publishing

## 0 引言

供电系统通常是一个单位的命门所在, 电力的不稳定将直接影响单位业务的正常开展, 尤其在航天系统这样一个高标准、严要求的领域, 确保供电系统的稳定运行, 具有重大的意义。如果航天测控站的供电系统不稳定, 可能会导致测控设备跟踪测量飞行器的任务失败, 甚至可能会导致测控烧毁、损坏。目前, 在各航天测控站中, 通过各类型的电力设备对供电系统的监测并不少见, 但是对于监测数据的统一收集、分析及显示并没有很好的方案, 该文结合工作实践, 设计一种适用于航天测控站的供电系统智能监测系统, 其目的在于打通包括测量及供电设备在内的各电力设备之间的壁垒, 将各类型电力设备实现从数据采集到分析, 再到显示的集中智能监测, 以及及时把握供电系

统存在的隐患, 提高供电系统的稳定性和可靠性, 从而提高航天测控设备参加测量任务的可靠性。

当前部分航天测控站的电力监测系统尚未健全, 通常依靠人的干预, 来观测记录分析预测。对电力系统的监测, 主要通过日常的日、周、月维护, 以及在航天发射的关键时刻, 安排专人到实地进行监视来实现。监测的过程, 也是通过监测人员对关键指标的表格化记录为记录方式, 而且关键指标的采集并不完整, 部分有用指标不具备采集条件。对电力系统监视分析过程, 以及对可能发生的故障的预判, 也高度依赖监测人员的经验来进行判断。

因此, 目前航天测控站的电力系统监测主要存在以下几方面问题:

1) 数据并没有被充分挖掘, 部分有价值的数

收稿日期: 2023-07-01; 修回日期: 2023-07-26。

作者简介: 虞炳文(1993-), 男, 硕士研究生, 助理工程师。

引用格式: 虞炳文, 肖晓强, 范利波, 等. 航天测控站供电系统智能监测系统设计与验证[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(1): 1-7, 15.

具备被采集的条件，但并没有得到重视，长期处于离线采集状态；

2) 没有供电数据自动记录、存储手段，大量有价值数据未被存储；

3) 缺乏对数据的分析手段，数据的处理受限制；

4) 缺乏数据的集中统一显示手段。

针对以上问题，本文提出以下几种处理方案：

1) 针对数据采集方式的缺失，设计了一套新的软硬件结合的数据采集模块，通过硬件上，设计数据采集末端局域网和数据采集主干网，将不同类型的涉电设备的电力参数，根据其各自的通信方式，如网口或者串口，选用不同的数据采集设备，从而实现将所有的涉电设备，都通过以太网就近接入。

2) 为解决数据记录、存储手段缺失问题。结合数据采集模块，并设计数据发布模块的数据存储功能，同时通过设计 C/S 架构，即在本地搭建以数据采集设备为核心的数据采集末端局域网采集数据，将数据经过数据采集主干网传输，上传至搭建了数据发布模块的上位机中心服务器，两者之间通过固定通信协议沟通。从而实现了数据存储功能。

3) 针对数据分析手段缺失的问题，设计了数据发布模块的数据分析功能。通过在上位机服务器布设供电系统智能监测服务器软件，实现 3 个功能，一则与数据采集终端沟通的功能，二则数据存储分析功能，三则数据推送功能。

4) 针对数据显示手段缺失的问题，将供电系统智能监测服务器软件设计为 B/S 架构，通过软件后台，将数据进行推送的功能，用户可通过网页前端查看数据和分析结果。

### 1 供电系统智能监测系统的设计

供电系统智能监测系统，运行框架如图 1 所示。

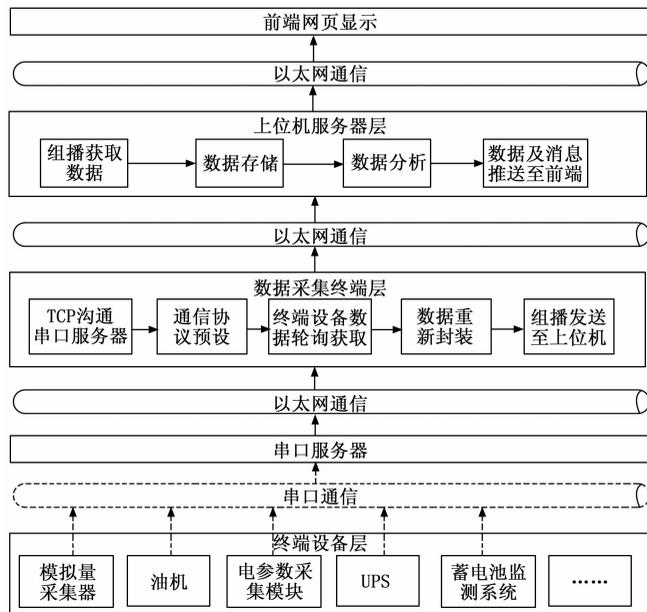


图 1 供电系统智能监测系统拓扑图

可据此分为两个大功能模块，分别为数据采集模块和数据发布模块。

#### 1.1 数据采集模块

数据采集模块主体架构为 C/S 架构，即服务器配合客户端的架构，服务器即上位机服务器，以及其上所运行的供电系统智能监测服务器软件，客户端即数据采集终端，以及终端上所运行的数据采集客户端软件。可通过此设计，解决数据采集方式缺失的问题，以及实现将采集数据统一上传至中心服务器的功能。

##### 1.1.1 硬件设计

硬件设计区分为数据采集末端局域网，以及数据采集主干网结构。数据采集末端局域网为数据采集主干网中的子节点。一个数据采集主干网可根据需求包含若干个数据采集末端局域网。

##### 1.1.1.1 数据采集末端局域网

数据采集末端局域网为整个智能监测系统的基本单元，是数据采集中的最前端环节，与供电系统直接相连接，通过各类传感器及各类通信接口，直接或者间接的获取各电力设备的各参数数据，如图 2 所示。

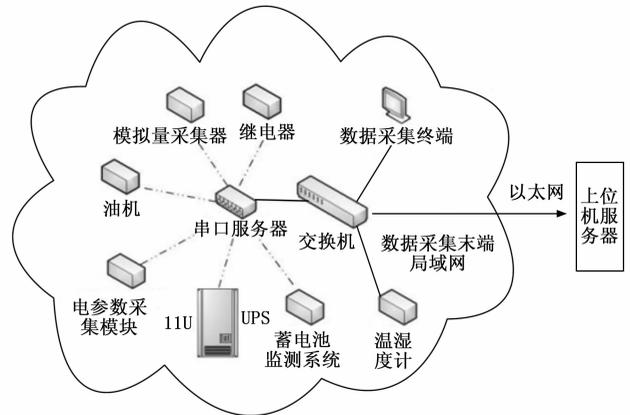


图 2 数据采集末端局域网拓扑图

##### 1) 数据采集终端：

数据采集终端为整个数据采集末端局域网的核心，通过以太网口，经交换机，与各个终端设备，根据其通信接口、通信协议进行沟通，终端设备若采用串口通信，则通过串口服务器与相应终端设备沟通，若采用以太网口，则直接沟通。串口服务器与数据采集终端之间为保证数据的可靠性，采用 TCP 模式进行沟通。数据采集终端采用嵌入式设计，基于国产龙芯 2K1000 芯片设计的开发板，带 4.2 英寸触摸屏，以及 AC 音频口等，开发板运行 linux 内核，可运行基于 Qt 开发的 C++ 程序，即数据采集客户端软件，该软件通过通信协议与各电力设备通信，获取其电参数，并整理成为统一的通信格式，外发至上位机服务器。

##### 2) 继电器设备：

继电器在供电系统中起到的测量的作用，可测量三相电的电压值，通常继电器设备包含有显示屏幕，可实时监

测三相电数值, 继电器一般使用 RS485 串口与外部通信。选用继电器是在本地需要监测的三相电路数较少, 并且需要本地也可实时显示查阅的情况下使用。缺点是继电器通常只能测量一路三相电, 优点是本地可实时显示查看。

3) 模拟量采集器:

模拟量采集器即采集模拟信号并获取其数值的设备, 可通过 A/D 采样, 采集电压值和电流值, 其中电压值可直接从电路中串接分线, 电流值需要互感器的配合。常见的模拟量采集器量程有, 电压 0 至 24 V, 电流 0 至 20 毫安。可根据需求选择采集路数。模拟量采集器的通信接口通常为 RS485 串口。该设备适合用于用电设备端, 比如采集机房机架用电情况。所选用的模拟量采集器的技术参数可见表 1。

表 1 常见模拟量采集器的技术参数

技术参数	描述
输入量程	0~+5 V, 1~+5 V, 0~20 mA, 4~20 mA
输入方式	8 通道单端输入
采样频率	AD 采样高达 1 MHz, 8 通道同步采样; MODBUS 通讯更新速率 10 Hz
分辨率	12 位
精度等级	±2‰
输入阻抗	20 MΩ
通信接口	光电隔离, RS485 通讯接口
通信协议	标准 Modbus-RTU, 支持 8 位数据位, 1 位停止位, 无/奇/偶校验 3 种格式可选
通讯波特率	1 200 bps, 2 400 bps, 4 800 bps, 9 600 bps, 19 200 bps, 38 400 bps, 57 600 bps, 115 200 bps
通信距离	RS485 通讯距离 < 1 000 M
工作电压	15~30 VDC
保护等级	电源接口有极性保护, 通讯口隔离电压 2 500 V <sub>rms</sub> 500 DC 连续, +/-15 KV ESD 保护, 防雷击, 放浪涌
产品稳定性	采用进口芯片, 内置看门狗, 可靠性高
功率消耗	< 2 000 mW
重量	不含包装约 0.3 kg
使用环境	温度(-40 ℃~+85 ℃), 湿度(0~85%(不结露))
安装方式	标准 35 mmU 形导轨安装

4) 三相 4 回路电参数采集模块:

三相 4 回路电参数采集模块, 可测量相电压和相电流, 以及功率、功率因数、有功电能等, 常见的相电压量程在 20~500 V 之间, 常见的电流量程为 1~20 A 之间, 电流测量需要配合外置互感器。与模拟量采集器类似, 通过对模拟量的 A/D 转换实现数据的采样, 区别在于通常普通的模拟量采集器的量程较小, 而三相 4 回路电参数采集模块的量程较大。通常采用 RS485 的通信接口。该设备适合用于配电机房这样的主干电路机房中。常见的三相 4 回路电参数采集模块的示意图如下。

5) 油机设备:

航天测控站中, 通常都会安装有油机设备, 用于对市

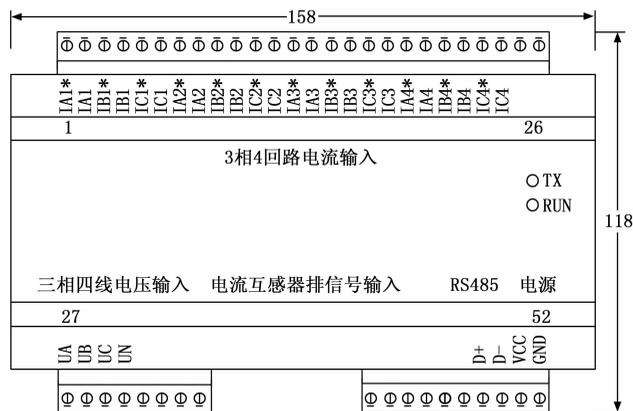


图 3 常见三相 4 回路电参数采集模块示意图

电的冗余备份, 当市电中断供应时, 所采用的应急手段, 油机可以采集的电参数通常有, 油机额定功率、额定电压、额定频率、额定电流、额定转速等等, 可见表 2。

表 2 油机常见参数

参数名	单位	定义及取值范围
额定功率	kW, kVa	发电机输出的有功功率
额定电压	V	通常标注有三相额定电压和单向额定电压, 如 400 V/230 V
额定频率	Hz	区分为工频机组和中频机组, 如 50 Hz/400 Hz
额定电流	A	指发电机定子绕组允许长时间通过的电流大小
额定转速	r/min	对应额定功率下发电机转子的转速

6) UPS 设备:

航天测控站因为其特殊性质, 对其电力使用的稳定性及可靠性, 都有着较高的要求, 因此必定会配备有 UPS 设备, UPS 设备即不间断电源设备, 通常起到两个作用, 一个是稳压, 无论是市电还是油机发电的输入, 其电力都是不可靠的, 会有着较大的波动, 这对于测控设备来说是不可接受的, 因此 UPS 设备的稳压功能有着非常重要的作用, 另一个作用是当接入的电力中断或者电力在几路来源中切换时, 保持经过 UPS 设备的后侧用电设备不断电, 能无缝衔接。UPS 设备可以采集的电参数有输入电压、最近一次的异常电压、输出电压、输出电流、输出频率、电池总电压、UPS 温度、UPS 状态、预计电池备用时间、电池容量百分比、输出有功功率、输出视在功率、总功率、负载百分比、故障代码、警告代码等。UPS 设备通常可通过网口和串口两种方式与外部通信。

7) 蓄电池监测系统:

蓄电池组是 UPS 的配套设备, 通常一套 UPS 设备起码配备有一组蓄电池, 一组蓄电池通常包含有 32 块蓄电池, 一块蓄电池通常额定电压为 12 V, 容量常见的有 100 安时或 120 安时。蓄电池监测系统是用于对蓄电池组的状态监

测的设备,能监测得到的电参数有单块电池的电压、电流、电阻和温度值,每一组蓄电池组的电压值和电流值、以及系统根据所获取参数及预设指标所给出的告警信息等。蓄电池监测系统通常采用串口通信,通信模式如图 4。

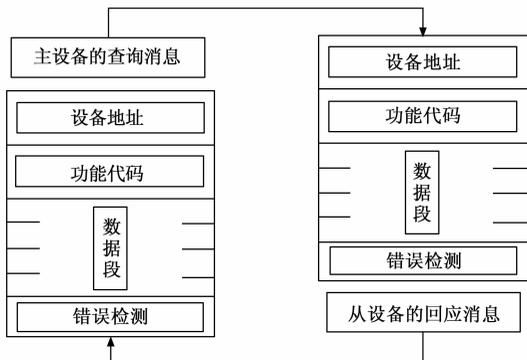


图 4 蓄电池监测系统通信模式

8) 温湿度计:

通常供电设备最容易受到温湿度变化而出现问题,同样,温湿度变化也是最直接能反映供电设备状态的参数指标,因此温湿度虽然并不是直接的电参数,因为其重要性,纳入到电力设备范畴,对其进行参数采集。温湿度计通常采用网口接入以太网。常见以太网型温湿度计参数如表 3。

表 3 常见以太网型温湿度计参数

供电	DC 10~30 V	
功耗	0.7 W	
通信接口	RJ45 网口, TCP 数据上传, 支持静态 IP 地址、DHCP IP 地址自动获取功能、支持跨网关、DNS 域名解析	
A 准精度	湿度	±2%RH(5%RH~95%RH, 25℃)
	温度	±0.4℃(25℃)
B 准精度(默认)	湿度	±3%RH(5%RH~95%RH, 25℃)
	温度	±0.5℃(25℃)
变送器电路工作温度	-20℃~+60℃, 0%RH~80%RH	
探头工作温度	默认-40℃~+80℃, 其他量程可定制	
探头工作湿度	0%RH~100%RH	
温度显示分辨率	0.1℃	
湿度显示分辨率	0.1%RH	
温湿度刷新时间	1 s	
长期稳定性	湿度	≤1%RH/y
	温度	≤0.1℃/y
响应时间	湿度	≤8 s(1 m/s 风速)
	温度	≤25 s(1 m/s 风速)
数据上传时间	默认 2 S/次, 1 S~10 000 S 可设	

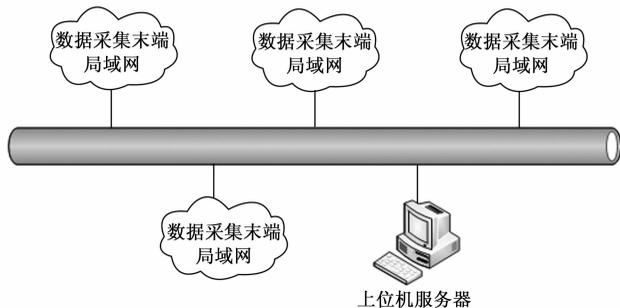


图 5 数据采集主干网

中的数据采集客户端软件的开发,该软件的开发应该聚焦两个方面的内容,一则通信协议设置模块,包含与电力设备沟通采集数据以及与上位机沟通两部分,二则网络通信模块。

1.1.2.1 通信协议设置模块

该模块解决的是在与各个方向的通信过程中,会涉及到的通信协议的问题。

1) 与各电力终端设备的通信协议:

与各电力终端设备的通信协议,主要采用串口与串口服务器的方式。在常见的电力设备中整体可区分为两种串口通信协议,一种为规则的通信协议,按照标准的起始码、地址码、命令字、数据、校验码的格式生成的通信协议。另一种为不规则的通信协议,比如 UPS 设备,通常其通信协议并不规则,使用其厂家自行定义的一套规则。

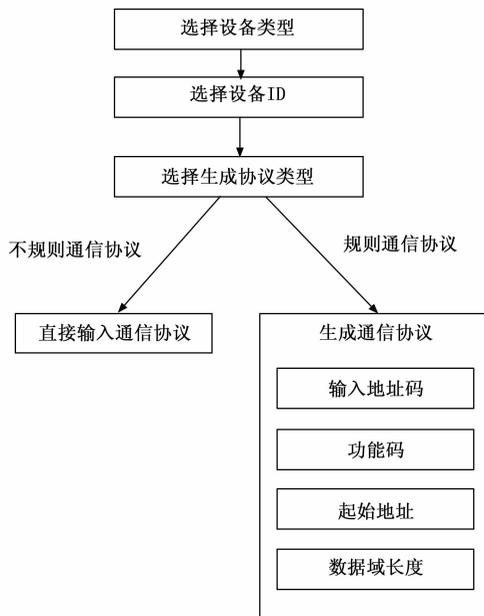


图 6 与电力终端设备的通信协议生成流程图

1.1.1.2 数据采集主干网

数据采集主干网采用星型接入结构,即一个数据采集主干网可以接入若干个数据采集末端局域网,如图 5 所示。

1.1.2 软件设计

数据采集模块中的软件部分,主要便是数据采集终端

2) 与上位机服务器沟通的通信协议:

与上位机服务器沟通,采用网络报文的格式,因此其通信协议格式按照智能监测系统内部约定好的格式即可,通常可按照如下格式约定。

报文类型 (2字节)	目的地址 (2字节)	源地址 (2字节)	数据域 长度 (2字节)	数据域 (N字节)	校验位 (2字节)
---------------	---------------	--------------	--------------------	--------------	--------------

图 7 与电力终端设备的通信协议生成流程图

报文包含有报文类型、目的地址、源地址、数据域长度、数据域、校验位等内容。报文类型即可区分是控制命令还是测量数据, 以及该条报文所含数据, 采集自何种电力设备等, 目的地址可区分接收方, 通常是上位机服务器, 源地址可区分来源, 如哪台数据采集终端, 数据域长度即告知接受者数据域的长度为多长, 该长度即为后续数据域的字节数, 最后使用校验码保证数据报文的准确性。

### 1.1.2.2 网络通信模块

网络通信模块用于实现数据的收发。包含与串口服务器的数据收发, 以及与上位机服务器的数据收发。

#### 1) 与串口服务器的数据收发:

与串口服务器的通信, 采用 TCP 模式, 在串口服务器的每个端口中分别启用 TCP 的客户端模式, 以端口号区分设备, 在数据采集终端启用 TCP 的服务器模式, 当有电力设备上电时, 串口服务器相应端口激活, 与数据采集终端沟通成功, 数据采集终端开始根据轮询电力设备, 获取相应数据。流程如图 8。

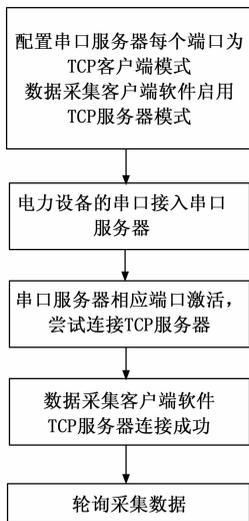


图 8 与电力终端设备的通信协议生成流程图

#### 2) 与上位机服务器的数据收发:

与上位机服务器采用 UDP 组播的通信方式, 组播的优势是不挤占网络资源, 数据的可靠性通过通信协议中的校验码来保证。

## 1.2 数据发布模块

数据发布模块的主要聚焦于 3 个功能, 一则数据存储, 二则数据分析, 三则数据显示。以解决数据存储、分析和显示手段缺失的问题。数据发布模块部署在上位机服务器中, 即供电系统智能监测服务器软件, 该软件采用 Java 语

言编写。

### 1.2.1 数据存储功能

通过与数据采集终端形成 C/S 架构, 数据采集终端将采集到的数据通过以太网组播形式发送, 上位机服务器中的供电系统智能监测服务器软件通过加入组播组接收数据。接收到数据后, 拆解包头, 可获悉属于何种电力设备数据, 通过预设的该类型电力设备的数据格式拆解数据域内容, 并存入相应数据表。流程如图 9。

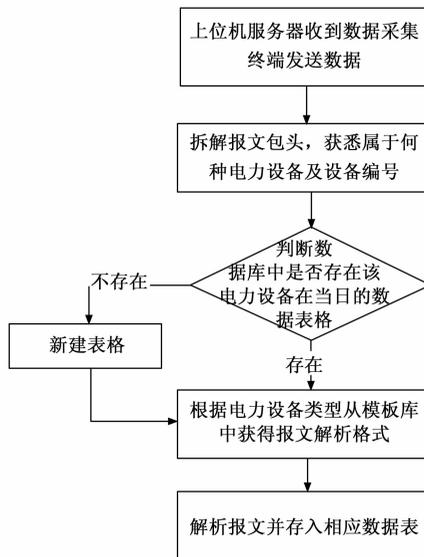


图 9 上位机拆解报文并存储流程图

### 1.2.2 数据分析功能

在供电系统智能监测服务器软件中, 数据分析智能性的最重要的体现, 通过这一功能, 将已获取的所有数据进行尽可能的数据分析, 以挖掘数据的价值。

#### 1.2.2.1 可统计分析的参数

常见数据分析需求如下。

- 1) 统计近期某测控设备的耗电量趋势, 判断是否存在何种异常;
- 2) 统计蓄电池近期内阻上升趋势, 判断蓄电池健康状况, 判断蓄电池是否已老化严重, 是否需要更换;
- 3) 根据预设的范围值, 对超出正常范围的参数进行告警;
- 4) 统计油机的通过对油机供电的一段时期内的参数值趋势进行分析, 判断油机是否存在异常;
- 5) 通过对市电采集的一段时期内的参数值数据趋势进行分析, 判断市电是否存在异常。
- 6) 通过对内部电网的一段时期内的参数值进行分析, 看是否存在异常值, 看是否有接线松弛等风险项存在的可能。

看是否存在异常值, 看是否有接线松弛等风险项存在的可能。

#### 1.2.2.2 回归分析方法

在数据分析预测中, 比较常见的分析方法为回归分析法。

回归分析法根据自变量的数目, 区分为一元回归分析法和多元回归分析法。可按照自变量和因变量之间的变化关系, 分为线性回归分析和非线性回归分析。

以蓄电池老化为例, 蓄电池老化的一个典型特征是内阻开始增大, 可以以内阻作为自变量参数, 来反映蓄电池老化的一个趋势。

设内阻的值为  $x$ , 设蓄电池已使用时间为  $y$ 。当内阻的值越大, 蓄电池的已经使用时间越长, 即  $x$  越大,  $y$  则越大, 这是一个正相关的过程, 但  $x$  一开始不为零, 因此, 这是一个一元的线性回归分析问题。可以列出一个简答的线性相关函数如下。

$$\begin{cases} y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i \\ E(\epsilon) = 0, D(\epsilon) = \sigma^2 \end{cases} \quad (1)$$

其中:  $i$  代表为第  $i$  次记录内阻值,  $\beta_0$  为一个常数项,  $\beta_1$  为  $x_i$  的系数,  $\epsilon$  为不可观测的随机误差,  $E(\epsilon)$  代表着  $\epsilon$  的期望应当为 0, 即不可观测的随机误差应当趋于 0,  $D(\epsilon) = \sigma^2$  所指的  $\sigma^2$  是未知参数, 即  $\sigma^2$  的方差应当趋于某个固定的值。该式即为一元线性回归模型,  $\beta_k$  为回归系数, 在此  $k$  取 0 和 1。

在  $i$  次观察记录后, 可以得到  $i$  组数据, 此时  $i$  个  $y$  值可以组成  $Y$  矩阵,  $i$  个  $x$  值可以组成  $X$  矩阵,  $i$  个  $\epsilon$  值写作  $\epsilon$  矩阵, 组成如下函数。

$$\begin{cases} Y = X\beta + \epsilon \\ E(\epsilon) = 0, D(\epsilon) = \sigma^2 \end{cases} \quad (2)$$

使用最小二乘估计, 估计  $X$  中的  $\beta_0$  和  $\beta_1$  值。

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (3)$$

可计算得到参数值, 并通过以下公式判断结果的好坏。

$$e = Y - X\hat{\beta} \quad (4)$$

$$Q_e = e^T e \quad (5)$$

$$\delta_e^2 = \frac{Q_e}{n - k - 1} \quad (6)$$

其中:  $e$  为残差向量,  $Q_e$  为残差平方和,  $\delta_e^2$  为剩余方差。

求出的一元线性回归模型即可作为蓄电池生命周期的函数, 进而判断其剩余寿命。

### 1.2.3 数据显示功能

在供电系统智能监测服务器软件中, 采用 B/S 架构显示数值, 显示的参数包括原始数据和分析结果数值。供电系统智能监测服务器软件作为服务器端, 采用 Java 语言编写, 通过 websocket 与前端网页页面进行沟通, 实现双向握手实时收发数据, 实时更新页面数据, 保证页面数据的实时性, 以及数据的可靠性。websocket 的沟通机制如图 10 所示。

## 2 实验验证

为测试方案的可行性, 现根据现实环境, 设计如下实验, 对系统性能进行测试。

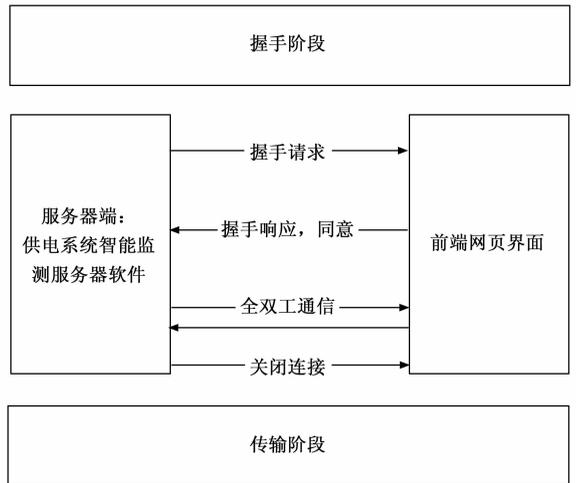


图 10 websocket 原理机制图

### 2.1 串口终端接入容量测试

串口终端接入容量测试, 目的在于测试数据处理终端通过串口服务器轮询各涉电设备数据的能力, 其是否满足航天测控站的需求, 并找到单个数据采集末端局域网的最佳采集方案。

表 4 单个设备极限轮询测试

测试内容	单个设备极限轮询测试	
测试方案	8 口串口服务器满载状态下, 分别接入 3 个继电器、1 个模拟量采集器、1 个电参数采集模块、1 台 UPS、1 套蓄电池检测系统、1 台油机。 单个设备极限轮询测试。依次从端口 1 到端口 8, 依次轮询设备。测试时设置 5 档频率, 1 至 5 档, 依次为 60 秒 1 次, 30 秒 1 次, 10 秒 1 次, 5 秒 1 次, 1 秒 1 次的五档频率, 每次设置完毕采集 10 分钟。	
记录内容	每档采集频率下采集是否正常, 获取各设备极限采集档位。	
测试结果	继电器	5 档
	模拟量采集器	5 档
	油机	4 档
	电参数采集模块	4 档
	UPS	4 档
	蓄电池监测系统	3 档

通过本实验结果分析, 可知测试数据处理终端通过串口服务器轮询各涉电设备数据的能力, 满足航天测控站的需求, 并且可知满足航天测控站需求的最佳档位组合为继电器采用 1 秒 1 次采集频率, 模拟量采集器采用 10 秒 1 次采集频率, 油机采用 10 秒 1 次采集频率, 电参数采集模块采用 10 秒 1 次采集频率, UPS 采用 10 秒 1 次采集频率, 蓄电池监测系统采用 30 秒 1 次采集频率。

### 2.2 网络收发包测试

网络收发包压力测试的目的, 在于测试上位机服务器是否满足航天测控站对数据采集末端局域网数量的需求,

通常, 这个数量需求应当大于 10 个。

表 5 满载同时轮询测试

测试内容	满载同时轮询测试	
测试方案	8 口串口服务器满载状态下, 分别接入 3 个继电器、1 个模拟量采集器、1 个电参数采集模块、1 台 UPS、1 套蓄电池检测系统、1 台油机。 满载同时轮询测试。在每个设备的极限轮询档位下, 分别调整档次, 测试满足需求下, 尽可能多采集数据的最佳组合。	
记录内容	每次采集是否正常, 记录产生的最大接收数据流量。	
测试结果	满足航天测控站需求的最佳档位组合	继电器—5 档
		模拟量采集器—3 档
		油机—3 档
		电参数采集模块—3 档
		UPS—3 档
		蓄电池监测系统—2 档

表 6 上位机服务器接收数据测试

测试内容	上位机服务器接收数据测试	
测试方案	测试过程, 使用网络发送软件, 模拟数据采集终端运行在最佳采集方案的状态, 往上位机服务器发送组播数据。 每台计算机允许多开网络发送软件, 但每台计算机最多运行 3 个网络发送软件。	
记录内容	每次增加一个网络发送软件, 记录此时上位机服务器的运行状态。	
测试结果	最多接入数据采集终端数	10 个以上, 满足航天测控站需求。

通过本实验结果分析, 可知上位机服务器软件, 可同时采集 10 个以上, 采用最佳档位组合进行采集的末端局域网的数据, 满足航天测控站对数据采集末端局域网数量的需求。

### 2.3 上位机服务器数据存储测试

在执行网络收发包压力测试时, 同时执行上位机服务器数据存储测试, 测试上位机服务器是否满足航天测控站对 10 台以上数据采集终端进行正常的存储数据。

表 7 上位机服务器数据存储测试

测试内容	上位机服务器数据存储测试	
测试方案	测试过程, 仿真 10 个以上的数据采集终端发送数据状态, 上位机服务器进行数据存储, 存储运行三十分钟。	
记录内容	记录数据存储是否正常。	
测试结果	存储是否正常	满足上位机服务器同时对 10 个以上数据采集终端进行存储操作的需求。

通过本实验结果分析, 可知上位机服务器软件的存储功能, 可同时存储 10 个以上, 采用最佳档位组合进行采集的末端局域网的数据, 满足航天测控站对上位机服务器数据存储性能的需求。

### 2.4 显示界面刷新率测试

在执行网络收发包测试时, 同时进行显示界面刷新率测试, 测试上位机服务器是否能将 10 台以上数据采集终端所发送的采集的数据、及分析的结果实时显示在网页中。

表 8 显示界面刷新率测试

测试内容	显示界面刷新率测试	
测试方案	测试过程, 仿真 10 个以上的数据采集终端发送数据状态, 上位机服务器进行数据推送至前端页面, 页面刷新运行三十分钟。	
记录内容	网页刷新是否正常。	
测试结果	刷新是否正常	满足航天测控站同时对 10 个以上数据采集终端进行数据处理及显示的需求。

通过本实验结果分析, 可知上位机服务器软件的分析显示功能, 可同时处理、分析并显示 10 个以上, 采用最佳档位组合进行采集的末端局域网的数据信息, 满足航天测控站对上位机服务器数据处理显示性能的需求。

### 2.5 系统稳定性测试

在执行全系统的压力测试的同时, 测试系统的稳定性, 包含从数据采集, 到数据存储, 到数据分析, 再到数据局显示的整个过程的测试。主要测试对象为数据采集模块和数据发布模块的稳定性, 通过查看供电系统智能监测服务器软件, 以及数据采集客户端软件的运行情况判断运行状态。

表 9 显示界面刷新率测试

测试内容	系统稳定性测试	
测试方案	全系统运行, 包含从数据采集, 到数据存储, 到数据分析, 再到数据局显示的整个过程的测试。	
记录内容	系统稳定运行时间。	
测试结果	12 小时	系统稳定运行无异常
	24 小时	系统稳定运行无异常
	36 小时	系统稳定运行无异常
	48 小时	系统稳定运行无异常
	60 小时	系统稳定运行无异常
	72 小时	系统稳定运行无异常

通过本实验结果分析, 可知, 全系统能够稳定运行 72 小时以上, 软件运行稳定性可靠, 满足使用需求。

## 3 结束语

该文对航天测控站供电系统智能监测系统进行了设计及实验验证, 设计结合上位机服务器与数据采集终端的 C/S 架构、上位机服务器与前端页面显示的 C/S 架构、数据采集终端与串口服务器的 TCP 服务架构, 并从软硬件两个方面设计数据采集模块, 从数据的存储、分析、显示 3 个主要功能设计了数据发布模块。通过测试串口终端接入、网络收发包、上位机服务器数据存储、显示界面刷新等实验证明了设计方案的可行性。

该设计满足航天测控站的需求, 并提出了如下创新点。

(下转第 15 页)