

[电能量采集终端]

基于MQTT规约的电能量采集终端远程运维平台

文/何小俊 刘泽阳 徐鸿鑫 赵英龙 陈 婷
贵州电网有限责任公司毕节供电局

电能量数据采集是电力交易结算的基础和关键，当前省级电网公司通过电能量计量系统（TMR）实现电量数据的采集，但由于电能量数据的非实时性，一些由于设备原因导致的采集失败问题往往得不到及时处理，电量主站系统缺少对厂站电能量采集终端的控制手段。当前数字化、网络化及高性能电能量计量设备的应用为解决以上问题提供了物质基础。搭建了一套基于MQTT规约的电能量采集终端远程运维平台，实现厂站电能量采集终端的远程参数配置、信号复归及系统升级等功能，为快速处理电能量采集设备缺陷提供了有效手段。

电能量计量系统（简称TMR系统）由主站系统、厂站端电量设备（电量采集装置、电能计量装置）和数据传输通道构成，主要实现电能量数据的自动采集、远程传输及计费结算等功能，为电力市场的运营、电量结算及电网线损考核等提供支持和服务的信息系统。国内一些公司针对关口电量管理建立了计算机管理系统，有些供电公司在电力营销信息管理系统中建立计量管理子系统。通常变电站电能计量表数据由电能量采集终端进行数据汇集，通过调度数据网络传输给调度主站系统，电能量采集终端的稳定可靠运行成为电能量数据采集的关键所在。在实际应用中，由于变电站数量多、分布广泛，当电能量采集终端发生故障时需要现场进行检查处理，因此及时性难以保证。此外，对于一些简单的日常工作仍需人员现场操作，经济性不高。为解决以上问题，提出基于MQTT规约的电能量采集终端远程运维平台方案，通过远程访问变电站终端实现配置修改、程序升级等操作，提升运维工作效率。

技术现状

1. 电能量采集系统

电能量计量系统部署于省级或市级电力公司调度部门或营销部门，实现变电站、发电厂及用户电能数据收集、存储、分析和结算等功能，采集通道包括网络、GPRS及拨号等方式。省级TMR系统包括主站系统、厂站电量采集装置以及相应的数据传输通道，系统典型架构如图1所示。

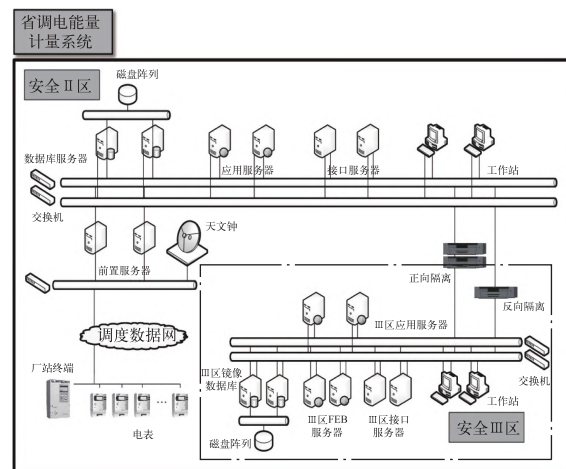


图1 TMR系统典型架构图

电能量数据由电能表采集后，经电能量采集终端上传至调度主站，然后转送至交易中心、营销等应用系统，实现电能量费用的结算。目前系统实现的主要功能有电能数据自动采集、正确性校核及数据补召等。

电能量采集终端是介于电能表和电量主站系统之间的通信设备，用于采集站内电能表数据，并进行预处理、分类、存储、规约转换及分类分时转发等，还可进行对时、电能表状态监测等。电能量采集装置是电能数据的通信中枢，一方面采集、存储数字电能表以串行通信形式送入电能数据；另一方面将采集到的电能数据通过上行通道传输到电能计量系统的主站中。

由于电量数据为非实时传输，通过主站的召唤命令进行定时采集，因此对于采集失败后的缺陷处理通常采用人员现场检查处理，及时性得不到保证，此类问题在月末或费用结算日往往较为突出。

2. 电能量采集规约

电能量数据传输遵循IEC 60870-5-102:1996《电力系统电能累计量传输配套标准》（以下简称《102》）。《102》通常使用以太网为传输介质进行通信，厂站终端作为服务端，主站作为客户端，以TCP/IP的方式进行通信。

《102》帧格式分为固定帧长、可变帧长和单字节帧三种，固定帧长主要用来发起数据采集召唤、控制命令，可变帧长主要用来传输电能量数据，单字节帧主要用来响应确认。

目前对于电能量计量系统主子站间通信主要用来传输电能量数据、对时等，不具备对厂站电能量采集终端的远程控制、参数修改及信号复归等操作。

3. MQTT协议

消息队列遥测传输（MQTT）是ISO标准(ISO/IEC PRF 20922)下基于发布/订阅模式的消息协议。它工作在TCP/IP协议族上，是为硬件性能低下的远程设备及网络状况糟糕的情况下而设计的发布/订阅型消息协议。

MQTT是一个基于客户端—服务器的消息发布/订阅传输协议。MQTT协议是轻量、简单、开放和易于实现的，这些特点使它适用范围非常广泛。在很多情况下，包括受限的环境中，如机器与机器

（M2M）通信和物联网（IoT）。其在通过卫星链路通信传感器、偶尔拨号的医疗设备、智能家居及小型化设备中已广泛使用。

MQTT协议是为大量计算能力有限，且工作在低带宽、不可靠的网络的远程传感器和控制设备通信而设计的协议，它具有以下主要的几项特性：

1) 使用发布/订阅消息模式。提供一对多的消息发布，解除应用程序耦合。

2) 对负载内容屏蔽的消息传输。

3) 使用 TCP/IP 提供网络连接。

4) 有三种消息发布服务质量。“至多一次”，消息发布完全依赖底层 TCP/IP 网络。会发生消息丢失或重复。这一级别可用于如下情况：环境传感器数据，丢失一次读记录无所谓，因为不久后还会有第二次发送；“至少一次”，确保消息到达，但消息重复可能会发生；“只有一次”，确保消息到达一次。这一级别可用于在计费系统中，消息重复或丢失会导致不正确的结果。

5) 小型传输。开销很小（固定长度的头部是 2 字节），协议交换最小化，以降低网络流量。

6) 使用 Last Will 和 Testament 特性通知有关各方客户端异常中断的机制。

基于MQTT规约的智慧变电站电能量采集终端远程运维平台设计和搭建方案在网络状况较差且较为偏远的厂站，解决当前电能量系统数据采集失败后得不到及时处理、采集终端无法远程控制问题，能够大大提升故障处置的及时性和效率。为此，结合MQTT协议的特点，提出基于物联网MQTT协议的电能量采集终端远程运维平台建设方案。

(1) 系统架构

电能量采集终端统一运维平台总体架构如图2所示，部署在省级调度中心主站，能够实现终端远程重启、终端软件升级、终端参数设置及终端参数读取等操作功能，运维操作指令通过Kafka消息总线发送到前置采集服务器，前置采集服务器进行相关报文的组装，组装后的报文通过MQTT代理将报文发送到采集终端，采集终端根据运维指令进行相关操作，操作完毕后将结果通过MQTT代理、前置采集最终反馈到远程运维操作界面。

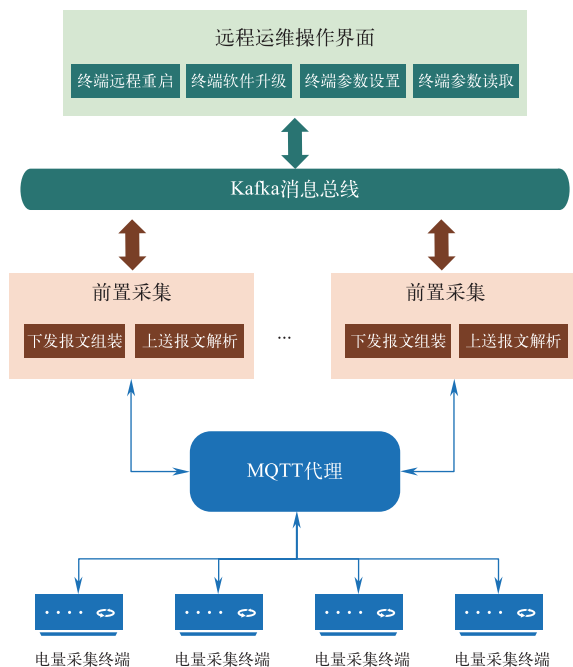


图2 系统总体架构图

(2) 系统功能架构

采集终端统一运维平台功能架构如图3所示，主要包括终端重启、终端升级、终端参数设置及终端参数查询四类功能。终端重启功能包括终端状态监视、单终端重启及多终端重启子功能；终端升级包括软件版本管理、终端升级执行、终端升级确认及升级情况统计子功能；终端参数设置包括终端参数设置、参数设置确认及换表参数设置子功能；终端参数查询包括终端参数召测、终端参数对比子功能。

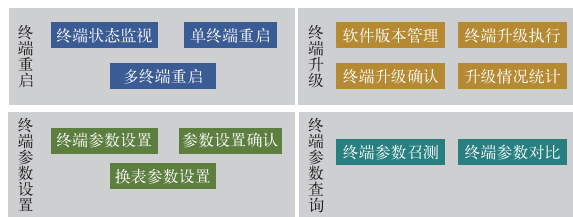


图3 系统功能架构图

(3) MQTT规约设计

将MQTT协议应用于电能量采集终端和电能量计量主站是本方案的核心。交互协议运行在TCP/IP之上，保留原有的IEC102协议用于传统电量数据采集交互，增加MQTT协议满足设备管理业务交互及应用管理等需求，基于发布/订阅消息模式，提供一对多的消息发布。信息交互图如图4所示，服务调用逻辑关系如图5所示。

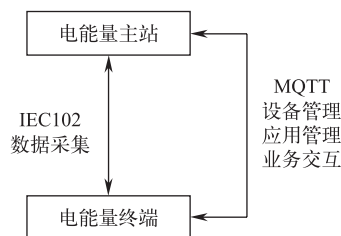


图4 信息交互图

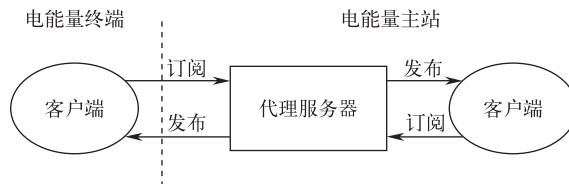


图5 服务调用逻辑关系图

MQTT报文均以JSON格式表述，报文通用头部包含字段见表1。

表1 报文通用头部说明

名称	类型	是否必选	描述
mid	number	是	Message_id，在请求报文中该值为请求ID；在应答报文中，该值为应答所对应请求报文的ID
method	String	是	消息类型，全大写，单词中间用“-”隔开
timestamp	number	是	消息发送的时间戳，UTC时间，单位s
expire	number	否	此报文过期的相对时间（相对timestamp），UTC时间，单位s，不包含该字段，或者该字段为-1时，表示永不过期
body	JSON对象	否	报文内容，详见各报文定义
sig	String	否	body字段内容的签名

应答报文格式见表2。

表2 应答报文首部说明

名称	类型	是否必选	描述
mid	number	是	在请求报文中该值为请求ID；在应答报文中，该值为应答所对应请求报文的ID
method	String	是	消息类型，全大写，单词中间用“-”隔开
timestamp	number	是	消息发送的时间戳，UTC时间，单位秒
body	JSON对象	否	报文内容，详见各报文定义
sig	String	否	body字段内容的签名
code	number	是	存在与应答报文中，标识应答的返回码

协议规定了返回码，功能说明见表3。

状态标识	含义	说明
100	已发送	起始态
200	终端已接收	中间态
300	已处理	中间态
400	已超时未执行	可为中间态也可为最终态
500	执行成功	最终态
600	执行失败	最终态
601	未识别的请求	最终态
602	消息格式错误	最终态
603	消息签名验证不通过	最终态
700	设备故障	最终态

MQTT报文交互过程

1. 设备注册

厂站终端系统与MQTT代理服务器建立连接后，向主站发送设备注册报文，主站收到报文后，根据设备的类型和顺序号，将各设备在主站系统中的设备ID返回给终端，后续交互数据均以主站下发的设备ID为设备的唯一标识。

设备注册时主站与终端交互的主题中的ertuId采用终端的唯一编码，主站根据该编码及设备的顺序号在档案中匹配终端、电能表的ID；在设备注册响应帧中，主题中的ertuId与设备注册帧中的ertuId一致，并在报文中告知终端各个设备的ID，基于MQTT的其他业务交互中，终端、电能表的ID均以主站下发的ID为设备的唯一标识。设备注册流程如图6所示。

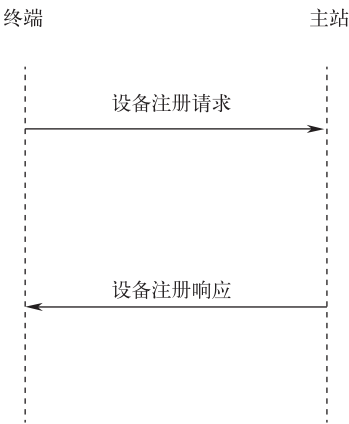


图6 设备注册流程图

body对应的消息内容见表4。

名称	类型	是否必选	描述
devices	Array	是	设备信息的列表
sn	String	是	设备编码，唯一标识
devType	String	是	设备类型，ertu/meter
name	String	否	设备名称，可为中文
pn	String	是	设备顺序号，终端为0，电表从1开始
……		否	可继续扩展
devId	String	否	主站响应报文中必选，告知终端及电表在主站的唯一ID

2. 设备升级

主站下发设备升级报文至终端，终端接收升级包后，应答升级包已下载、已升级成功/失败。如升级包过大，主站可对文件进行分段传输，每下发一个升级包，终端应答升级包已接收，升级包接收完全后终端开始升级并反馈升级结果。主站下发升级包时，不进行同步等待，根据终端应答确认升级包下发的成功与否。确认接收升级包的响应报文中，返回码为200；确认升级成功的报文返回码为500。设备升级主要针对系统层面的升级。设备升级流程如图7所示。

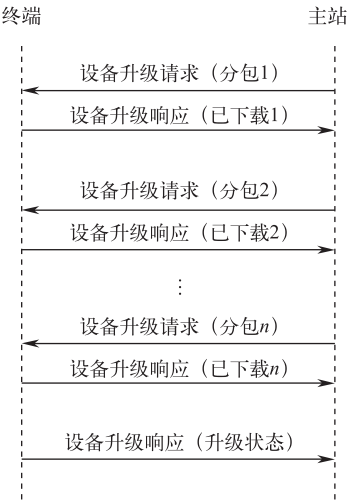


图7 设备升级流程图

3. 设备控制

主站通过设备控制命令，实现对终端重启操作。设备控制流程如图8所示。

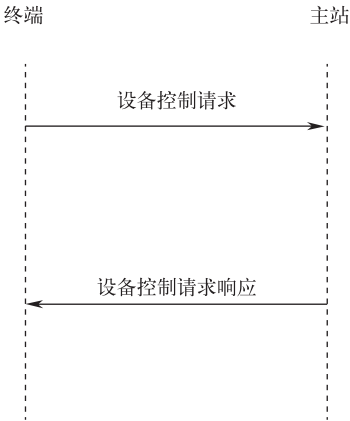


图8 设备控制流程图

4. 设备参数读取
设备参数读取流程如图9所示。

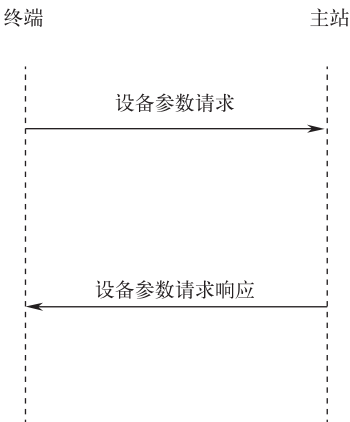


图9 设备参数读取流程图

body对应的消息内容见表5。

表5 body对应的消息内容

名称	类型	是否必选	描述
devId	String	是	设备在主站的档案ID
devType	String	是	设备类型，ertu/meter

终端参数属性名称见表6。

表6 终端参数属性名称

名称	类型	描述
ertu_time	String	终端时钟
IP1	String	主通道IP
port1	String	主通道端口
gate1	String	主通道网关
IP2	String	副通道IP
port2	String	副通道端口
gate2	String	副通道网关
.....		

电能表参数属性名称见表7。

表7 电表参数属性名称

名称	类型	描述
commAddr	String	通信地址
assetNo	String	资产号
modelCode	String	型号
wiringMode	String	接线方式
powerDigit	String	电能量小数位
voltageDigit	String	电压小数位
ct	String	电流比
pt	String	电压比
protocol	String	电表规约
.....		补充

5. 设备参数设置

主站向终端下发参数设置命令，可实现对终端参数的修改配置。设备参数参考电能表、终端的物模型静态属性。设备参数设置流程如图10所示。

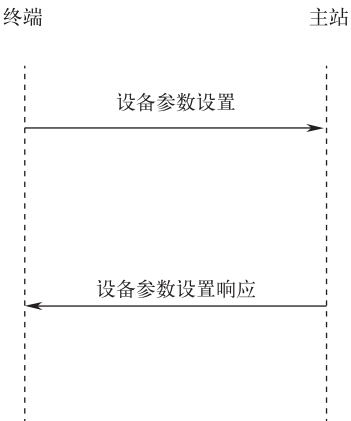


图10 设备参数设置流程图

工程应用

目前，系统已开发完成并进入试运行阶段，通过与现有TMR系统的结合，能够实现1 500余台电能量采集终端的远程管理，基本满足日常工作需求。

结束语

从实际应用需求出发，通过物联网MQTT协议与电力公司电能量计量系统的结合，设计搭建了一套电能量采集终端远程运维平台，实现采集终端的远程参数配置、信号复归及系统升级等功能，为电能量采集设备的快速远程处置提供了手段。EA

(收稿日期：2021-07-01)