

SCADA 系统在能源供应系统中的应用研究

纪 纲 上海同欣自动化仪表有限公司 (上海 200070)

刘胜军 中石化天津分公司 (天津 300270)

摘要: 随着我国节能环保事业的发展和公用事业的进步, 以及计算机技术、通信技术、互联网技术的成熟, 数据采集与监视控制 (SCADA) 技术的应用获得了飞跃发展。在能源供应领域, SCADA 系统的应用从代替人工上门抄表、人工统计计算、人工现场巡查, 发展到复杂的统计分析以及对能源供应系统进行全面的监控, 在实施“双碳行动”中发挥着重要作用。首先, 阐述了能源供应 SCADA 系统的基本功能。然后, 例举了通过 SCADA 系统实现能源管网管理的增强功能和应用效果。最后, 归纳总结了 SCADA 技术的发展趋势。SCADA 技术在能源供应系统中的应用, 对“双碳”目标的实现具有积极促进作用。

关键词: SCADA 供热网 数据采集 实时监控 最佳工况 趋势图 效益最大化 节能

The positive role of the energy supply SCADA system in achieving the "Dual Carbon" goal

Liu Shengjun SINOPEC Tianjin branch (tianjin 300270)

Ma Luwen Shandong NHU Amino acid Co., Ltd.(weifang 261108)

Ji Gang Shanghai Tontion automation instrumentation Co., Ltd. (shanghai 200070)

Abstracts: The application of SCADA technology has developed quickly, with the development of energy conservation and environmental protection and the progress of public utilities, and the maturity of computer technology, communication technology, and Internet technology. With 30 years of application practice, the application level of SCADA technology has also been greatly improved. For example, the energy supply SCADA system, develop from the replacement of manual meter reading, manual statistical calculation and manual on-site inspection to complex statistical analysis, comprehensive monitoring of the energy supply system, play an important role in the implementation of the "Double Carbon Action". The article describe how to find the faulty flowmeter quickly by the heat supply network loss data provided by SCADA and the loss data of various main pipes, as well as the visualized trend graph display, so as to reduce losses. The SCADA system can display the quality of the energy supplied and the status of the supply network in real time, and immediately alarm and notify the operator when the state exceeds the limit. So that the operating parameters of the supply network can be maintained at optimal values, and control energy quality in the best condition, to create benefits. The article also explained the positive effects of prepaid control and online publishing functions.

Key words: SCADA Steam supply network data acquirement real time monitoring
Best operation condition Trend graph Maximize benefits Energy saving

0 引言

数据采集与监控 (supervisory control and data acquisition, SCADA) 是一个硬件和软件系统, 被用于远程仪表数据采集与监控, 在能源供应网中扮演着重要角色。

在 SCADA 系统中, 操作站 (上位机) 用通信的方法采集下位机数据, 并将控制信号传送至下位机, 以实现控制。下位机包括智能仪表或可编程逻辑控制器 (programmable logic controller, PLC)。相比以模拟信号直接传输为基础的 DCS) 和工控机, SCADA 系统可节省大量线缆, 并提高系统准确度和可靠性, 以实现管控一体化, 这是现代测量控制技术的一大进步。

SCADA 系统在我国蓬勃兴起始于二十世纪九十年代。兴起的原因有两个, 分别在于供给侧和需求侧。其一是供给侧, 计算机技术、通信技术和互联网技术到二十世纪九十年代已经相当成熟,

价格也大幅度降低。个人电脑单价下降了一个数量级，功能却强大了几个数量级。通信模块的单价也下降了一个数量级。这就为 SCADA 系统的普及创造了良好的条件。从需求侧来看，由于我国节能环保事业获得了飞跃发展，热电厂、热力公司、能源公司，在全国各地如同雨后春笋般诞生，急需用现代化管理手段代替传统的上门抄表、人工统计计算模式，以提高效率改善管理争取效益。

江苏扬州某热电厂有 150 个用户，以前一直采用现场巡视、人工上门抄表、人工统计计算的方法管理。由于管理方式落后，不能及时发现系统存在的问题，以至他们的一个最大用户，计量表故障，流量示值严重偏低，导致一段时间企业经营亏损。领导层才认识到数据实时采集，对全网产销状况的及时监控的重要性，从而下定决心筹建能源计量 SCADA 系统。

1. 能源供应 SCADA 系统的基本功能

① SCADA 系统的基本的功能是数据采集。系统能从热源厂（或冷源厂）到最终用户的海量数据采集，再行保存、分析^{[1][2]}。

② SCADA 系统可实现以地理信息技术（geographic information system, GIS）地图（或楼层）为基础的运行数据显示分析。

③ SCADA 系统可以对所有下位机上传的自诊断信息进行记录、显示、编制事件报表，并中文显示事件的具体内容，以便及时处理。

④ SCADA 系统可以完成重要参数的越限报警，防止流量计在超限的状态下运行。

⑤ SCADA 系统可以自动编制各种统计报表并显示，包括生产报表和收费报表。

⑥ SCADA 系统可以为问题查找和分析提供形象化的材料，可用趋势图显示采集到的数据和分析计算结果随时间变化的关系。

⑦ SCADA 系统可以实现断点数据补齐。数据传输中断恢复后可自动至下位机海量存储器内补录有关历史数据，以保证数据的完整性。

⑧ SCADA 系统提供丰富的接口，能够与第三方软件平台融合。

⑨ SCADA 系统可以集中显示全部实时数据。若有某个参数越限，则该数值转红并闪烁报警，以引起操作人员注意。

2. 系统的增强功能与应用效果

SCADA 系统也是如此，经过近三十年的发展、改进，新的成果不断出现，新的应用创造了显著的效益。尤其是我们国家向世界作出“双碳”的庄严承诺，使得 SCADA 这门现代技术将会以其特有的优势为节能减排和创造效益作出一份贡献。

2.1 供热网管热损统计分析

管网热损耗简称管损。降低管损是供热网计量管理、设备管理、调度管理以及经营管理部门的共同任务。SCADA 系统可以实现对供热管网热损的统计分析。SCADA 系统首先计算进入热网的蒸汽总量与用户消耗的蒸汽总量按公式计算管损，然后用趋势图和数字予以显示。在规模较大的供热网，供汽总管不止一路。于是，SCADA 系统先在各路总管的始端分别设置总表，再计算各路总管的管损。这样的设计便于在管损异常时对问题的查找和分析。以下以示例说明 SCADA 对供热管网热损的统计分析功能

江苏常州新北区某地处化工区的热电厂，为周围的化工厂供汽。由于化工厂昼夜连续用汽且流量大，再加上先进的管理，热网管损维持在 0.5% 的先进水平。

在该公司热网调度发现，从 2013 年 4 月 2 日起，管损陡增。如图 1 所示^[3]。

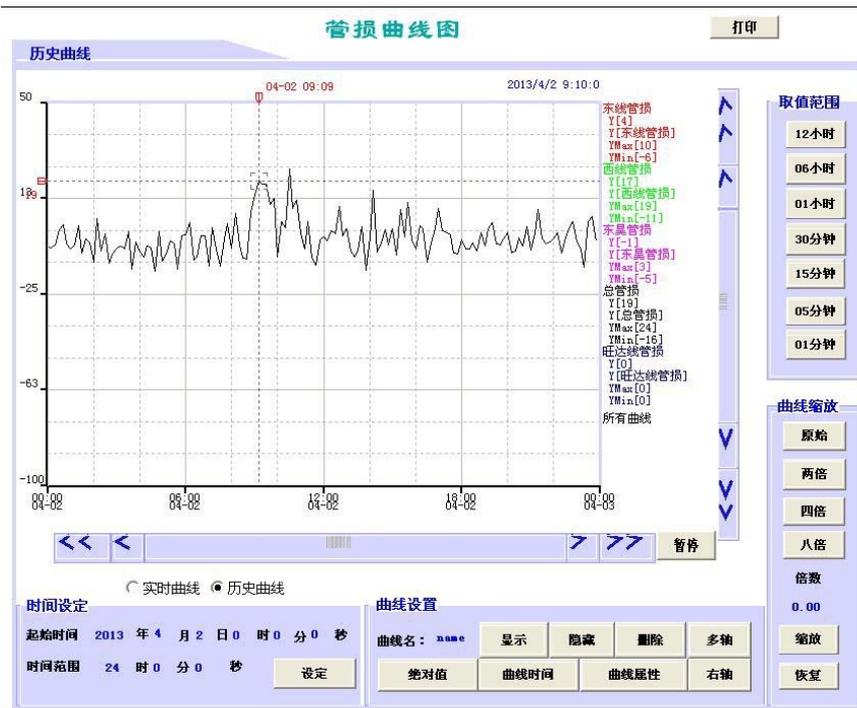


图 1 供热管网损陡增

由图 1 可知：在这天的 0:00~8:30，全网管损平均值仍然只有 0.5%左右；从 9:00 开始，管损突然跳到 19%左右，显然，从 9:00 开始有重大的事件发生。SCADA 系统组网单位售后服务人员查阅了相关的管损趋势图，发现该公司供汽总管共有四路，从当天的各路总管管损趋势图分析，发现四路中的三路管损，随时间变化曲线完全无异常情况，只有第二路总管管损趋势图与图 1 所示的全网管损曲线具有大致相同的波形。显然，这段时间管损陡增是由第二路总管引起的。从统计数据计算，分表之和比总表示值少 15t/h。

进一步检查发现，第二路总管的用户表计共有 8 套。其中：6 套表计的流量趋势图与管损陡增的趋势图完全不相关；2 套表计的趋势图却是密切相关。这 2 套计量表属一家颜料厂所有。该厂每天下午开始生产的颜料湿料全部放在第二天 9:00 起送干燥流程进行热风干燥，需消耗大量蒸汽。这些数据分别由一台 DN250 和另一台 DN300 涡街流量计测量。由于其是山东某厂的产品，上限流速只允许达到 40m/s，超流速状态下流量会严重偏低，从而引起管损陡增。找到病根之后，由热电厂推动换上与原来相同通径、限流速允许达到 80m/s 的横河公司 DY 型涡街流量计从而使问题得到解决。每天 30t 蒸汽的损失得以避免。

2.2 锅炉燃料单耗统计分析

热电厂锅炉的燃料已大多改为燃气或燃料油，其流量经流量计测量，然后送计算机。锅炉产生的蒸汽经流量计测量，数据也传输至计算机。通过 SCADA 可以按公式计算燃料单耗，并通过趋势图和数字作实时显示。如果在某一段时间内的平均单耗升高且高于预定值，则发出提示信号。这可以及时查找原因，避免经济损失进一步扩大。有时因除氧器回收水系统出问题，有时锅炉负荷太低，都会引起燃料单耗升高。

2.3 供热品质控制在最佳状态实现效益最大化

能源供应网 SCADA 系统中具有丰富的显示画面，如数据集中显示画面、越限报警画面、事件记录画面、趋势图画面，这些显示都对供热品质的确保起到重要作用。下面的例子具有一定的启发意义。

上海浦东某高科技园区热力公司供热网中的一家制药厂蒸汽消耗量停止累积，全网管损显示值显著升高。因为制药厂是连续生产，不可能突然停止用汽，工程人员怀疑是流量计故障。经现

场对仪表进行检查校验发现流量计未发生损坏，只是蒸汽的温度参数低于同用户所签协议的数值。这是因为供汽方为了提高服务质量，在供用汽协议中承诺供汽温度低于 180℃ 不收费。而恰巧在冬季爆冷的清晨，由于气温低用汽量大，导致供汽温度不达标，从而造成短时的损失。后来将减温减压系统的设定值做了调整，解决了问题。

该案例表明，SCADA 系统再加上值班人员及时的调控，能将供热品质保持在最佳值。因为供汽压力和温度参数过多的富余量，将会提高供方的成本。而参数不达标，又会因违约而蒙受经济损失。所以在两者之间存在一个最佳数值。

在这个实例中，管理人员如果能正确运用重要参数越限报警功能，也不致于温度进入“不收费”区间而蒙受损失。

2.4 计量与远程控制相结合收到节能效果

上海某机场是用能大户，仅仅一期工程从能源中心将冷冻水输往各幢楼宇的管道就达 1m 管径。冷冻水用户共有 9 个。基建完工后没有 SCADA 系统，冷冻水阀门只能现场操作。

2006 年能源 SCADA 系统建成投运后，从所采集的运行数据来看，很不合理。暖通专业的设计参数为供水温度 6℃，回水温度 12℃，但在每年的春秋季节，回水温度连 8℃ 都不到，显然冷冻水循环流量太大，浪费了不少电力。其次，将供水温度一直固定在 6℃ 也并非必须，因为在春秋季节楼宇空调所需的冷量很少，就连一天里的 24 小时的不同时段，冷量的需求也有很大差别，将供水温度适当调高，有利于提高冷机效率，节约能源。因此，供回水温度控制点的确定有一个最优化的问题。在各个楼宇能得到足够冷量的前提下，将供回水温度控制得高一些，有利于节能^{[4][5]}。

此后有人提出供回水温度合理化的建议，并在各路负荷的进水管道上，装上控制阀，以将回水温度控制在合理数值。此建议很快得到实施。经试验数据统计，不同时段约可少开一台循环泵，仅此一项，每天就可节电 12000kwh。因此节能效果显著。

2.5 改进经营方式实现预付费管理

预付费管理是 SCADA 系统的特殊应用。在预付费管理系统中，除了能源计量数据自动采集、统计分析和显示之外，还须有 IC 卡读卡功能和预付费控制功能，在预付费控制器中，除了显示能源耗用量之外，还显示能源单价、每一次充值记录以及剩余金额、阀门开度等，并在金额耗尽后驱动控制阀自动关闭。

预付费管理改变人工上门抄表、人工统计和后付费的落后管理模式为自动抄表、自动统计计算以及预先付费的现代管理模式^{[6][7]}，不仅数据准确、管理效率提高，更重要的是杜绝了能源费拖欠这一老大难问题，收到经济效益，深受能源供应单位的欢迎。

2.6 对下位机的当前状况进行监视

监视的内容是多方面的，例如主电源掉电监视；机柜（或表箱）门被非法开启监视；关键设定数据被非法修改监视等。尤其是第三项，对数据安全和公正计量具有极其重要的意义。为此，上位机定时读取下位机预先设计的清单中的关键设定数据，与上位机中的原始数据进行比较，若不相符，则发出调查建议。

2.7 网上发布功能使用户经手机获得用能信息成为可能

有很多供热网为了约束用户超计划用能，往往规定超计划用能后，加一倍或数倍计费。这项规定通常在流量二次表中得到实施^[1]。现在随着互联网技术和移动通信技术的融通，SCADA 系统具备了网上发布功能，用户可以通过手机随时随地上网查看自己的用能信息，为企业争取了效益。

2.8 及时发现工艺设备的故障

能源计量 SCADA 系统的任务中，并不含对工艺设备的故障或状况进行诊断，但工艺设备与计量设备是相互关联的，有时工艺设备故障会影响计量数据，或通过仪表的示值反映出来。所以从对计量数据的分析能间接地发现工艺设备的故障所在，从而收到意想不到的效果。有例为证^{[8][9]}。

2000 年上海最高的一幢大厦组建了能源计量 SCADA 系统，采集大厦内共 106 个能源计量点的数据，其中就包括洗衣房供汽流量，相应的工艺设备为 PRV1。该计量点的计量结果是洗衣房的

经济考核依据，其系统图如图 2 所示。

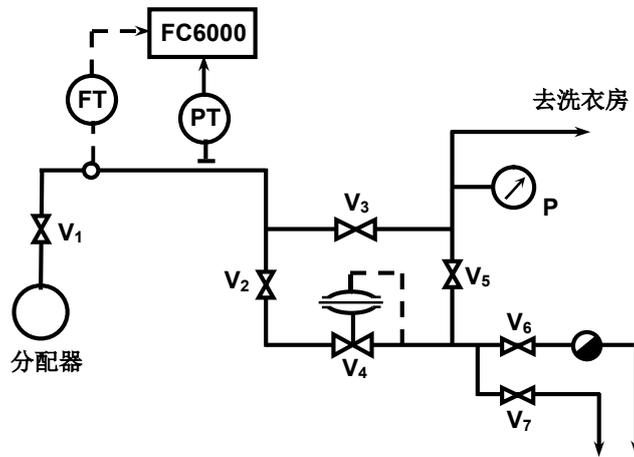


图 2 蒸汽减压与流量测量系统

该系统投运后的最初几年，运行一直良好。白天和上半夜，洗衣房开工，蒸汽流量在 1.0~2.5t/h 之间波动。后半夜收工后，流量减为 0.2t/h 左右。减压阀正常时的典型历史曲线如图 3 所示。

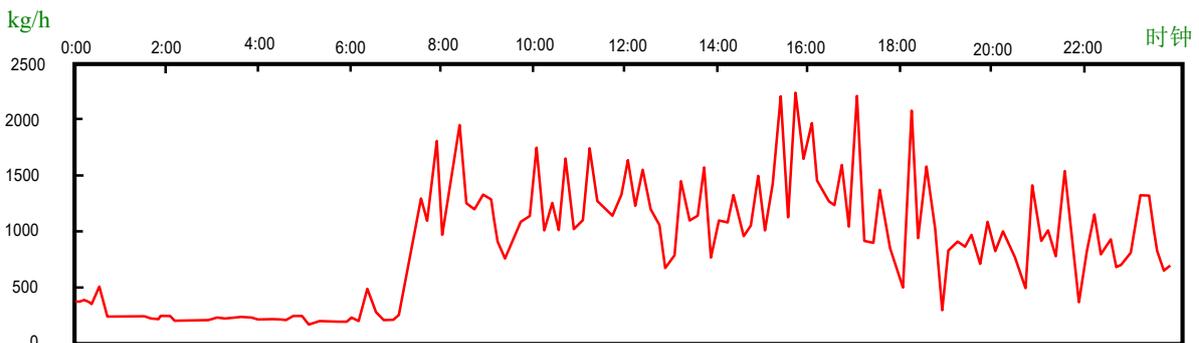


图 3 减压阀正常时的典型流量曲线

可是在 2007 年 5 月的一次停车小修之后，情况发生了变化。其中，开工期间的流量变化范围并无异样，而停工期间的流量示值却大幅度升高，甚至比开工期间的最大流量还要大。减压阀异常时的典型历史曲线如图 4 所示。

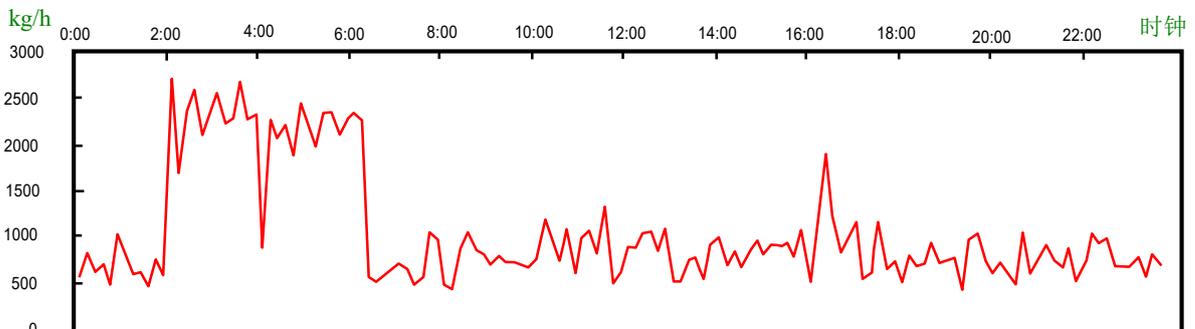


图 4 减压阀异常时的典型流量曲线

因此，仪表人员先对流量传感器进行检查校验，经放在流量标准装置上校验，一切正常，流量系数也与铭牌数据一致。后来又查了流量二次表，也是正常的。大家对洗衣房停工期间流量升得如此高，感到无法理解。于是组织力量在后半夜作现场检查测试。在做了多项检查测试无果的情况下，怀疑减压阀可能有故障，影响流量计的正常工作。于是将图 2 中的上游切断阀 V₂ 缓慢关小，

改由旁通阀 V_3 控制出口压力 P ，待 V_2 全关后，流量示值降到 0.2t/h ，从而真相大白。然后对减压阀作进一步检查，发现其金属膜片损坏，更换后，一切恢复正常。

对此案例作进一步分析，流量示值偏高十几倍起因是减压阀膜片损坏，使其在小开度工作时产生流动脉动，从而对涡街流量计产生严重干扰^[8-9]。

3. SCADA 技术的发展趋势

SCADA 系统就其本身的任务而言就是数据采集与监控，但是在解决了从无到有的问题之后，人们并不满足，还希望解决从有到优的问题。随着大数据技术的应用，这个目标正在越来越近。

通过大数据分析，人们可以解决以前只能由人工解决的问题，例如第 3.1 节中对管损数据自动分析，完成故障仪表自动查找任务；第 3.3 节对供冷品质进行最优化设计，将供冷系统的供回水温度控制在最佳值，使之既满足用户要求又最大限度的节约能源。

在第 3.2 节所举的例子中，虽然 SCADA 系统已经有了重要参数越限报警功能，但是未将此报警值与合同义务联系起来，因此需作改进。

在第 3.7 节所述的计量数据网上发布功能中，如果能在用户即将超负荷运行之前，及时向用户发出提示信号，用户必将感激不尽，而且也不致因超负荷运行而使供热网承受压力。

能源供应网是一个供方的供应能力与需方的需求保持平衡的一个综合体，供应网在运行过程中，在有限的供应能力与不断变化的需求之间要保持平衡，调度员起着至关重要的作用，调度员的需求是 SCADA 技术的发展动力，调度员积累的经验是进一步改进的源泉。可以预期，这门技术将会进一步发展，功能将会更趋完善。

在系统结构上，也有很大改进，早期的 SCADA 系统，多以专用电缆或数传电台为传输介质，在上位机的指挥下以轮询的方式与各下位机实现通信，由于串口通信的速率较低，轮询一圈费时较长，以致实时性不佳，后来逐渐被分级采集所代替，即在现场设置若干子站去多台下位机采集数据，然后经局域网将数据上传到主站。

随着互联网通信、卫星通信和微波通信技术的发展，不仅通信更及时而且抵抗各种干扰的能力也大大增强。

大数据技术在能源供应 SCADA 系统中具有广阔的应用前景。

5. 结论

SCADA 系统实现远程数据采集与监控，缩短了被监视与控制对象与人之间的距离，即使对象远在千里之外，也如同近在咫尺，使监视与操控人员得心应手。

SCADA 系统的应用在我国蓬勃兴起始于上世纪九十年代，三十年以来随着技术的进步，这门技术也获得了进一步发展，对节能减排事业和企业创收工作做出了显著的贡献。对我们国家实现“双碳”目标具有积极作用^[10]。

供热网管损统计和各路总管管损统计，并用趋势图作形象化显示，为发生故障的流量计和相关的其他仪表的查找，提供了方便，从而及时避免更大的损失。

SCADA 系统能将所供能源的品质作实时显示和监控，从而可将此品质控制在最佳状态，实现效益最大化。

SCADA 系统与预付费管理相结合，能实现预付费经营的现代化，从而彻底解决能源费拖欠这一老大难问题，提高经济效益。

SCADA 系统的网上发布功能，使用户经手机上网获得自己消费的实时数据成为可能，从而为

企业争取到效益。

本文所讨论的能源供应系统，主要以供冷和蒸汽供热系统为主，其他如热水供热系统、燃气供应系统，也有相同或相似情况，有待人们进一步研究。

参考文献

1. 纪纲. 流量测量仪表应用技巧 第二版. 北京: 化学工业出版社, 2009:265~277
2. 陈茹. 安装 SCADA 系统应考虑的问题. 自动化仪表, 1999,(5):44
3. 何志俊, 殷胜军, 纪波峰, 纪纲. 管损统计在供热网 SCADA 系统中的应用. 自动化仪表, 2017: 93~95, 99.
4. [美]罗杰·海因斯, 刘易斯·维尔森编. 供热通风与空气调节系统设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社. 2007.
5. 张经为. 提高空凋制冷系统效率的方法[J]. 科技视界, 2015, (19): 72.
6. 韩鹏, 周围, 何志俊等. 用能单位能源供应预付费系统. 自动化仪表, 2017(2): 93~95.
7. 张毅, 纪波峰, 纪纲. IC 卡预付费管理系统在蒸汽供热网的应用. 热电技术. 2021(6):
8. 纪纲, 纪波峰. 流量测量系统远程诊断集锦. 北京: 化学工业出版社, 2012: 264~268
9. 谭增显, 纪纲. 减压阀振荡对涡街流量计的影响. 自动化仪表. 2009(09): 74~76
10. 张立谦, 罗琤. 试论热量在供热行业实施“双碳行动”中的积极作用. 区域供热. 2021(4): 88~90.

(本文源自《自动化仪表》2024 年第 7 期)