



山东热电联产机组在线监测系统的研究

摘 要：介绍了山东省热电联产机组在线监测系统开发时使用的主要标准和规范，还介绍了山东省热电联产机组在线监测系统的系统结构及软、硬件的组成和特点。在硬件方面，详细描述了热电采集终端 LN2000-RTU 的系统架构和特点，指出 LN2000-RTU 采用普通双绞线的远程 I/O 功能和热电联产专用采集单元的三种采集方式可以明显降低设备投资和现场施工量。在软件方面，详细描述了正推法和反推法二种热力模型的计算方法，并比较了这两种方法各自的优点和不足之处。对于使用反推法计算热力模型时的主要参数：锅炉效率的计算，进行了详细的误差分析，并介绍了两种使用最小二乘法计算锅炉效率的拟合公式，具有较大的实用参考价值。

关键词： 热电联产，在线监测系统，供热机组

中图分类号： TP273 **文献标识码：** A **文章编号：**

1. 概述

为了满足国发办[2007]53 号文《节能发电调度办法（试行）》中关于建设热电联产机组在线监测系统的要求，“以热定电”。首先，必须实施火电机组的在线监测，使得“关停小火电机组”能够切实落实。用技术的手段实现对机组运行工况的实时在线监测，真正做到热电联产机组与小火电的区分，坚决制止高耗能的小火电机组运行时，供热负荷低却发电量高的不正常情况。

其次,实施在线监测也是衡量热电联产机组是否达标的必备条件。2000 年 8 月,国家四部委联合下发了《关于发展热电联产的规定》(计基础[2000]1268 号文),文件要求,热电企业中所有的热电联产机组总热效率年平均大于 45%;单机容量在 5 万千瓦以下的热电机组,其热电比年平均应大于 100%,单机容量在 5 万千瓦至 20 万千瓦以下的热电机组,其热电比年平均应大于 50%,单机容量 20 万千瓦及以上抽汽凝汽两用供热机组,采暖期热电比应大于 50%。这两个条件是衡量热电机组是否达标的必备条件,为热电机组实施“以热定电”奠定理论基础^[1]。

第三,实施火电机组的在线监测是实现热电联产机组科学管理的要求。可以科学合理地引导、支持和促进山东省热电联产企业的健康发展,优化山东省能源结构,实现经济利益和社会效益双赢。

经过二年的建设周期,山东热电联产机组在线监测系统在 2009 年 5 月通过验收,可以实现对全省 266 家电厂、644 台热电联产机组的在线监测,“以热定电”,为电网的节能发电调度提供充足的信息。

2. 硬件系统结构及特点

本系统是在山东电力集团公司原有的 EMS(能量管理系统)调度自动化的基础上进行功能扩充,其优点是充分利用现有系统的电网电气信息和传输通道,最大限度减少重复投资。

硬件系统结构:现场热流量变送器采集 644 台热电机组外供热力的数据后,通过采集通信设备,传输给 189 家热电厂的系统子站^[2],由子站上传至中心主(分)站(省统调热电机组上传至省调中心主站,地方热电机组上传至 17 个市调分站再转发至省调中心主站),由省调中心主站进行相关数据处理后发布。传输方式,省统调机组采用现有的光纤数据网通道,非统调机组采用光纤网络技术或 GPRS 无线传输

等方式。省调中心主站负责将子站和分站上传的热力和电气数据信息收集整理、分析处理后按照国发办[2007]53 号文《节能发电调度办法（试行）》提供节能发电调度信息，采用 WEB（浏览网页）技术上网发布，供省市经贸委、山东电力集团公司的有关部门及各热电厂等有关单位查询。

为适应电力调度系统的高可靠性要求及“以热定电”实时计算和月度、季度和年度购电计算，确保热流数据不丢失，系统的服务器、前置机和在现场采集热流数据的系统子站（双网，双电源，双 DPU）等关键设备，均设计为双冗余结构，在故障情况下可以自动切换。

此前山东电力公司调度主站已经具备完善的 SCADA(数据采集与监控)功能、已经完成了对统调电厂的相关电信息的采集，在此基础上，对统调电厂仅需要增加对热工相关数据的采集，就可以满足信息采集的功能。因此，建设山东热电联产机组在线监测系统的主要的难点之一在于：研发一种在现场采集热流数据的系统子站，能够用于 550 台地方（非统调）各类热电机组现场的、低成本、高可靠性、采用双机热备用方式的专用采集及通信设备。作为一种典型设备，硬件系统方面我们重点介绍 LN2000-RTU 在山东热电联产机组在线监测系统网中的应用。

LN2000-RTU 系统可以把其远程采集终端放在方圆十公里范围内的现场设备附近，通过 1 根普通的双绞线（CAN 现场总线）连接到其远程采集终端，从而对这些设备进行高速遥测或遥控，所以大大降低了电厂的投资和施工量。LN2000-RTU 系统也可以通过 GPRS 无线通讯方式对几百公里外的设备进行遥测或遥控。

LN2000-RTU 系统和调度中心的通信方式也是非常灵活的，可以通过光缆也可以通过 GPRS 无线方式等将数据上传给调度中心，其灵活性和可靠性可以确保该类系统安全地运行、人机界面友好和节省工程

投资。

LN2000-RTU 系统实际上是 DCS 系统 LN2000 的远程 I/O 装置微型化后转型的一种产品，它主要特点和技术指标：

主机功能：

- 主机为冗余热备用、具有存储数据的功能的双控制器组成。可以使用 IEC-101、IEC-104 等规约，通过光缆或 GPRS 无线方式等将数据上传给省调度中心。
- 在上传的通讯出现故障时，主机具有对通信过程监视诊断功能，能根据通道状态判优自动或人工切换主备用通信通道，并有在通信正常后，可以将存储的数据补送省调度中心的功能。
- 有 GPS 时钟接口。可以向其它智能设备校时。
- 接受 LN2000 软件的全面支持，有操作员站的以太网接口。可以在操作员站上使用 LN2000 软件的人机界面监控系统或输入一些人工检测的数据等。

远程数据采集单元功能：

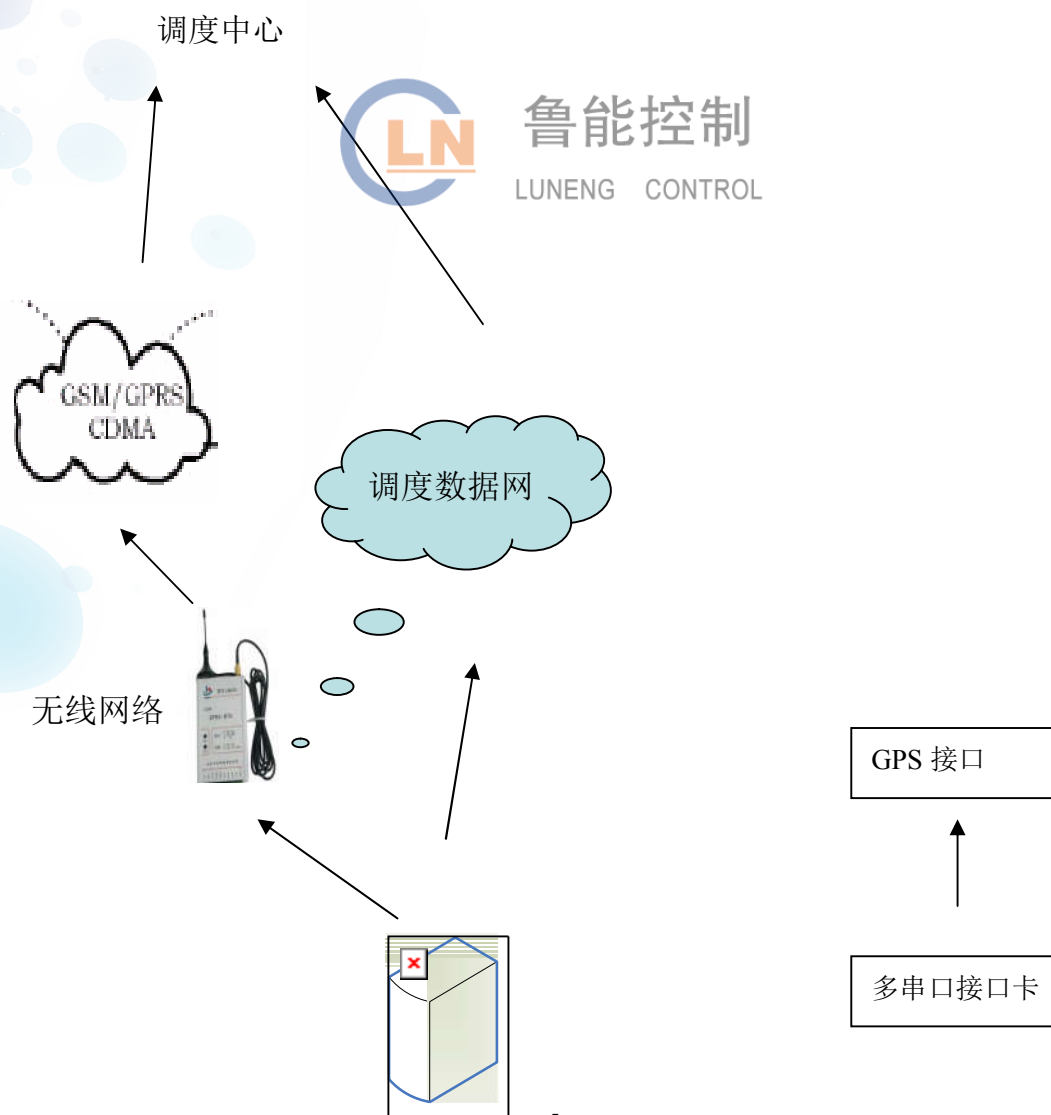
- 采集单元可以远离主机。使用冗余热备用的双 CAN 现场总线接口与主机高速通讯，与主机使用普通双绞线的通讯速率为 5Kbps 时，距离可以达到 10 公里。
- 采集单元有 GPRS 接口。可以使用无线通讯方式和主机通讯。
- 数据采集单元信号采集通道的设计容量不受限制；还可以按照要求任意扩充的多个 RS485 和 RS232C 通讯接口。
- 采集单元的主要特点是有三种采集方式，参见下面的方案：

方案 1：采用通讯方式。使用 RS232、RS485 等接口，使用 Modbus 或 CDT 等各种通讯协议与其它系统采集数据；还可以采用冗余热备用的双网卡（10M/100M）通讯方式。通过安全防护隔离装置实现和厂级信息管理系统（MIS 或 SIS）的数据交流。

方案 2：采用硬接线方式。将采集单元安装在现场和任意 DCS 系统使用其 AO 输出通道硬接线方式相连采集数据，或直接从现场的变送器采集数据（可以为这些变送器提供独立的 24V 电源）。

方案 3：采用热电联产采集单元（专用采集卡）。利用其采集通道具有的极高输入阻抗或极低输入阻抗的特性直接附在原有的其它系统的采集通道上采集数据，从而在保持原系统可靠性的情况下，降低了电厂的投资。

图 1 为 LN2000-RTU 主机和远程数据采集单元各种方案汇总示意图



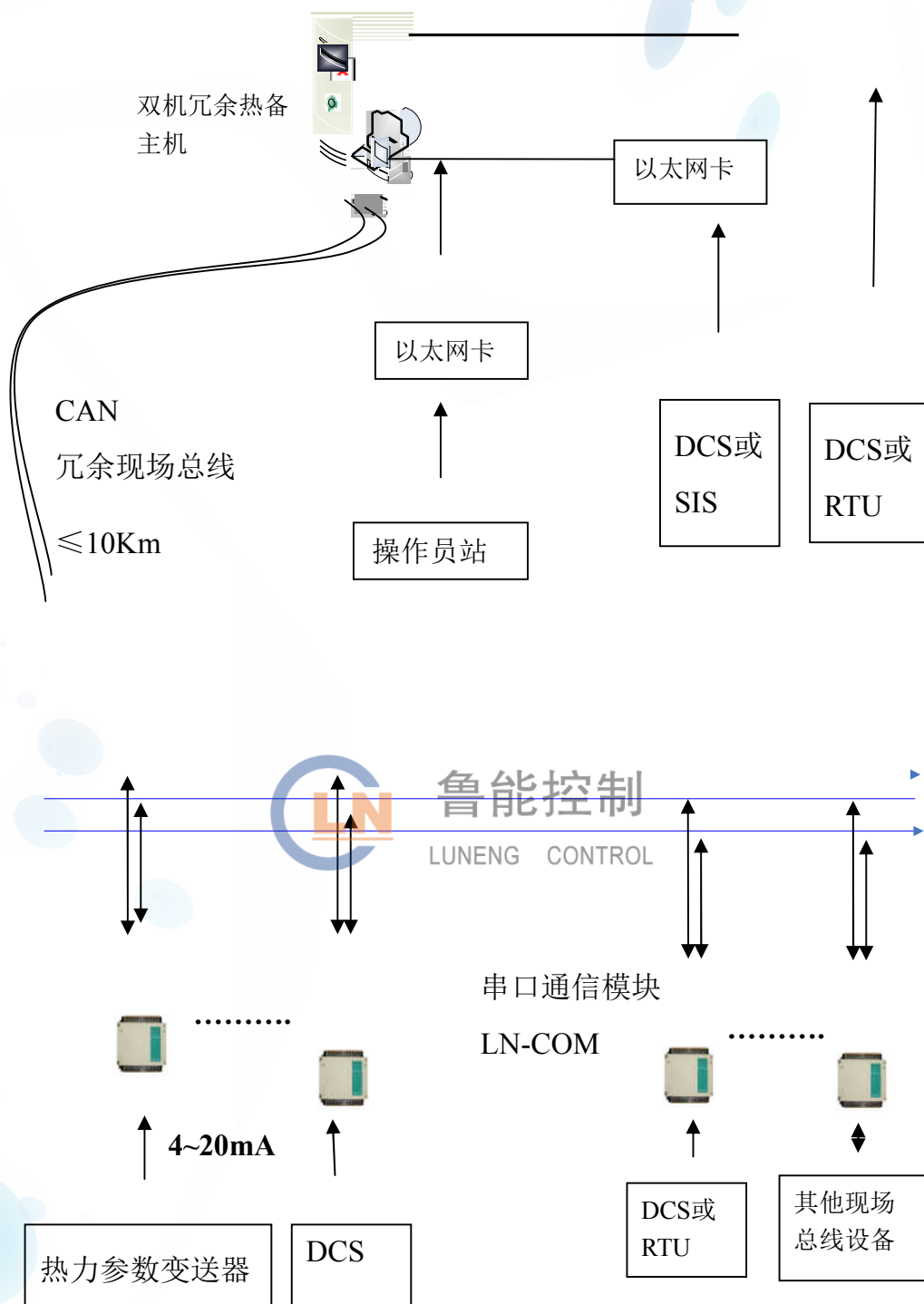


图1. LN2000-RTU系统各种方案汇总示意图

3. 软件配置方案

调度主机操作系统采用了先进的 Unix+Windows 操作系统平台，并使用了与大型商数据库 Oracle，以及 MS Office 提供的支持。系统应用软件采用 C++ 编写。主机系统采用了 Client/Server 模式结构，数据库和系统处理功能分布在各个软件模块中。软件模块通过标准数据接口和“软总线 (iiNetS)”模块相互联接，并由 iiNetS 统一管理。独到的软总线技术使各个模块可以随意配置在各个节点机中，而且是“即装即用”的，非常容易扩充和升级。考虑到系统的可用性和安全性，可以在多个节点机上为重要的功能模块配备冗余模块。

管理系统通过基于 Internet/Intranet 技术的 WEB 服务器，向调度数据网外发布实时信息。网外用户通过通用的浏览器软件（如 IE 6.0 等），即可浏览到在线监测系统中的有关实时信息和历史数据，这也是实现机组在线监测系统与 MIS 系统网络连接的手段。

安全管理系统采用典型的 INTRANET 结构，与外界的计算机互联采用通过国家鉴定的物理隔离设备、路由器和“防火墙”等网络技术，使 SCADA 系统可以有效地防止外来黑客的攻击和病毒的感染。如果 WEB 服务器因遭受攻击而被停止工作，外部计算机无法得到机组监测系统的信息，但机组监测系统仍然可以保持正常运行。

热力计算模型分别采用二种方法实现：

①. 正推法^[3]：

1) 热效率计算方法：

总热效率 = (供热量 (kJ) + 供电量 (kWh) × 3600 kJ/kWh) / (燃料总消耗量 (kg) × 燃料单位低位热值 (kJ/kg)) × 100%；

式中： 供热量 (kJ) = Σ (抽汽量 (kg) × (抽汽焓 (kJ/kg) - 回水焓 (kJ/kg)))

2) 热电比计算方法:

热电比 = 供热量 (kJ) / (供电量 (kWh) × 3600 kJ/kWh) × 100%;

采用正推法计算热效率的特点在于锅炉热效率建模简单, 计算精度相对较高, 现场数据采集量少: 除了有关电气参数外, 每台机组只需要采集: 供热抽/排汽流量、温度、压力, 入炉煤量, 入煤低位发热量等几个有关热力参数即可。但是现场的采集系统子站需要配有操作员站, 并设在运行值长台上, 每天上午 9 点前, 由值长人工录入前一天机组的入炉煤量, 入煤低位发热量等数据。所以这种方法在统调电厂使用的较多。

②. 反推法:

1) 热效率计算方法:

总热效率 = (供热量 + 供电量 (kWh) × 3600 kJ/kWh) / $\Sigma ((D_z H_z - D_g H_g - D_j H_j) / N_g) \times 100\%$

式中:

供热量 (kJ) = $\Sigma (\text{抽汽量 (kg)} \times (\text{抽汽焓 (kJ/kg)} - \text{回水焓 (kJ/kg)}))$,

D_z - 主汽流量 (kg/h), 热电终端采集

H_z - 主汽焓 (kJ/kg), 由蒸汽压力、温度查水和水蒸汽热力性质图表取得

D_g - 给水流量 (kg/h), 热电终端采集

H_g - 给水焓 (kJ/kg), 由给水压力、温度查水和水蒸汽热力性质图表取得

D_j - 减温水流量 (kg/h), 热电终端采集

H_j - 减温水焓 (kJ/kg), 由减温水压力、温度查水和水蒸汽热力性质图表取得

N_g - 锅炉热效率, 同实现公式中单一锅炉热效率;



鲁能控制

LUNENG CONTROL

2) 热电比计算方法:

热电比 = 供热量 (kJ) / (供电量 (kWh) × 3600 kJ/kWh) × 100%;

采用反推法计算热效率的特点在于锅炉热效率建模相对复杂, 现场数据采集量多, 在一般情况下, 给水流量等于主汽流量, 可以不用采集; 减温水焓在总热量计算中, 可根据实际情况决定是否参与计算。这种计算方法不需要配有操作员站, 也无需每天由人工录入数据。但是, 式中锅炉热效率 η_g 的确定比较麻烦, 这也是这种计算方法误差大小的关键之处:

(1). 对于燃用设计煤种的锅炉而言, 可以使用锅炉设计性能曲线 (即有对应不同锅炉负荷的多个锅炉设计效率点), 采用最小二乘法拟合出锅炉设计性能曲线:

$$\eta = \eta_e \times f1(D/De) \quad (1)$$

式中: η 是锅炉设计效率, η_e 是锅炉额定负荷对应的设计效率, D 是锅炉负荷, De 是锅炉额定负荷, $f1()$ 为拟合函数。

计算锅炉效率直接采用公式 (1)。

(2). 对于燃用测定锅炉效率时燃用的煤种并遵循试验时的运行条件的锅炉, 可以采用实际运行效率值作为计算锅炉效率: 将该锅炉已有实际运行性能曲线 (即有对应不同锅炉负荷的多个锅炉实际运行效率点) 和对应额定负荷的实际运行效率 η_{es} , 采用最小二乘法拟合出锅炉实际运行性能曲线

$$\eta = \eta_{es} \times f2(D/De) \quad (2)$$

上式中 $f2()$ 为拟合函数。

计算锅炉效率直接采用公式 (2)。

理论上来说, 锅炉热效率主要受到煤种 (包括发热量、灰分、水分、挥发分)、运行条件 (包括运行氧量、配风情况、煤粉细度、燃料分配)、锅炉型式和锅炉负荷的影响。在炉型确定的情况下, 随锅

炉燃用煤种、运行条件和负荷的变化，锅炉效率的变化可以达到 10% 以上，因此，在线计算锅炉效率时，必须在线采集煤种、运行条件和锅炉负荷，以保证在线锅炉效率的准确性。但是，由于现有的技术手段无法实现煤种资料和部分锅炉运行参数的在线采集，热电终端采集仅仅在线采集了锅炉负荷，这必然会导致锅炉效率的准确度大大降低，其误差将有可能达到 10%。因此，上述提出的锅炉效率计算方法应在煤质和运行条件相对稳定的情况下使用，否则应重新进行试验确定煤质和运行条件改变后的锅炉效率。

当锅炉燃用煤种和运行条件偏离其适用条件后，锅炉效率会发生明显变化，导致计算锅炉效率误差增大。由于可以不增加操作员站，所以这种方法在非统调的地方电厂（小机组上）使用的较多。

4. 运行效果

山东热电联产机组在线监测系统较为重要的一块功能是将各热电厂机组的供热情况、热电比和热效率在网上实时发布。系统的整个部署满足《电网和电厂计算机监控系统及调度数据网络安全防护规定》（国家经贸委[2002]第 30 号令）和《电力二次系统安全防护规定》（国家电力监管委员会 5 号令）对电网计算机监控系统 and 系统之间互联的安全要求，符合《全国电力二次系统安全防护总体框架》的有关规定。

热电联产机组在线监测系统属于调度网的安全 I 区系统，要部署在安全 I 区；WEB 服务器部署在调度网的安全 III 区。在实时系统和 WEB 发布功能之间要安装电力系统物理隔离设备。系统的电网模型、图形、运行数据等都在安全 III 区的 WEB 服务器上做镜像，其它第三方应用或系统都是和 WEB 服务器进行数据通信，保证了安全 I 区的 EMS 功能的安全性。

山东热电联产机组在线监测系统投入运行后，设立了专职的日常

维护人员，负责系统远方终端和主站的检查维护，负责系统软件的修改和完善，保证数据准确可靠。为此，每年也需要有一定的维护预算费用。此外，热电厂设专责人负责现场数据的可靠性。

山东热电联产机组在线监测系统投入运行后，通过实时采集和分析机组运行的动态信息，企业管理明显上了一个档次，通过对生产进行量化控制和有效监管，进而科学合理地安排供热量、发电量计划，大大提高了山东省热电企业的管理水平。

5. 参考文献

- [1] 李明宇，田卫东。修正热量法计算供热煤耗暨热电联产效益分析。水利电力机械。2005，Vol. 27 No. 5, 55-58。
- [2] 山东热电联产机组在线监测系统可行性研究报告。工程设计证书甲级 150001-sj 号，工程咨询资格证书工咨甲 9507006 号，2007，7。
- [3] 朱辉，邢济东，刁立璋等。加强监督管理，促进热电联产健康发展。应用能源技术。2006，No. 8, 32-34。

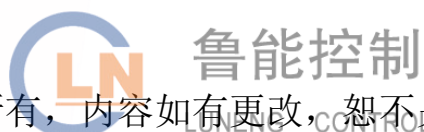
有关更多信息

想要了解更多鲁能控制 DCS 分散控制系统的产品、技术与服务信息，

请访问公司网站：www.lnkz.com

或拨打咨询电话：0531-87526166、87526966

或扫描二维码关注公司微信公众账号，了解更多最新资讯：



鲁能控制公司版权所有，内容如有更改，恕不另行通知。