



EPTCHINA.CN
中国电力科技网

SXEC 苏夏

大机组供热改造与优化运行技术2019年会



付俊丰

哈尔滨工业大学电气工程专业在读博士。主要研究大型火力发电机组综合控制优化、电力系统数据挖掘技术等方向。发表相关学术论文5篇，其中SCI检索1篇、EI检索1篇、EI会议2篇。参与国家自然科学基金项目1项、吉林省科技发展计划重点科技研发专项1项。

第十一届 抽汽机组热电负荷的联合预测及分配优化

主办单位：中国电力科技网 协办单位：江苏苏夏能源集团 2019年9月25-27日 中国·石家庄

Qingdao / 2010 Nanjing / 2011 Yangzhou / 2012 Wuxi / 2013 Suzhou / 2014 Xian / 2015 Guangzhou / 2016 Shenyang / 2017 Xuzhou / 2018 Changshu / 2019 Shijiazhuang

抽汽机组热电负荷的联合预测及分配优化

报 告 人： 付俊丰

指导教师： 万 杰

单 位： 哈尔滨工业大学

时 间： 2019年09月25日

汇报提纲

一、研究背景及现状概述

二、基于改进遗传算法的热电负荷优化分配

三、基于人工经验和实际大数据的耗差曲线集获取方法

四、融合小指标考核的热电负荷动态分配优化综合决策支持系统

五、实际应用测试

六、总结与展望

一、研究背景及现状概述

◆ 1.1 研究背景

- 在节能环保的迫切需要下、在市场竞争越来越激烈的条件下，全厂机组的安全高效运行调度控制需求变得更加强烈；
- 火电厂存在大量的纯凝机组，为了满足供热需要，往往将其改造成抽凝机组。对单台机组的优化提出了新的要求。同时对于厂级多台机组的整体优化使得全厂热电负荷分配问题既存在节能优化空间、又存在优化实施难度；
- 随着能源互联网和大数据技术的发展，给全厂机组间热电负荷分配优化问题的解决，带来了新的机遇和挑战；
- 通过对于分配策略的研究，对能源的高效利用，以及对电厂降低污染物的排放，进而对整个电力行业的绿色发展，都具有十分重要的意义。

关键词：燃煤机组、节能环保、热电负荷分配、大数据技术

一、研究背景及现状概述

◆ 1.2 现状概述

◆ 目前研究成果主要集中在两大方面：

- 优化算法探索方面，如动态规划、遗传算法、人工免疫算法、复形调优法等；
- 供热机组的热效率计算、热电解耦及等效建模策略；
- 实际电厂多工况的应用及测试：机组型号组合、复杂边界条件、考核指标等；

◆ 关键研究基础：

- 通过大量专有试验的方法，建立每台机组不同主蒸汽流量以及不同电负荷和热负荷时的机组耗差关系曲线；
- 基于遗传算法，根据给定的整个电厂的电负荷、热负荷以及每台机组的当前背压（基于出厂设计耗差曲线进行修正），输出每台机组最优的电负荷和热负荷设定值；

◆ 典型测试案例效果显著：热耗率最大降低50kJ/kW.h。

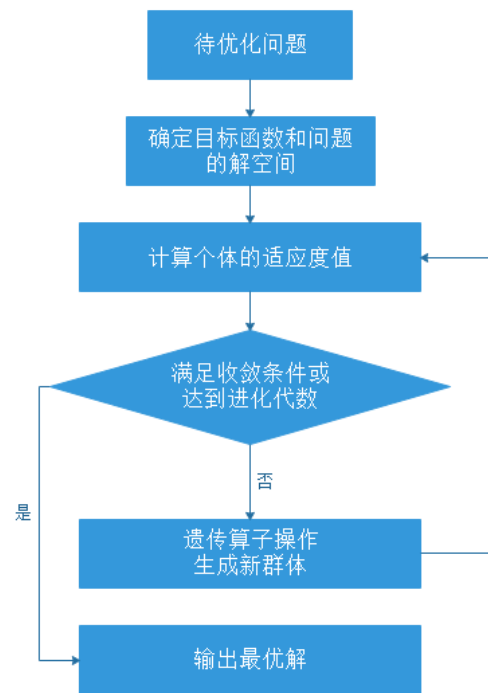
二、基于改进遗传算法的热电负荷优化分配

2.1 机组间热电负荷的分配优化是典型的随机优化问题

最常用的随机优化算法：遗传算法

- **原理：**遗传算法的基本步骤包括选择、交叉、变异。选择和交叉基本上完成了遗传算法的大部分搜索功能,变异增加了遗传算法找到最优解的能力。
- **优势：**快速随机的搜索能力；具有潜在的并行性，可以进行多个个体的同时比较，具有随机性；具有可扩展性，容易与其他算法结合。

由于该项目属于多机组间优化，同时存在大量复杂的限制条件。而遗传算法的快速搜索和灵活解算能力是处理该项目突出问题的最佳选择。



遗传算法基本解决步骤

二、基于改进遗传算法的热电负荷优化分配

适应度函数改进：更好地适应复杂实际问题

一般算法缺点：

遗传算法在适应度函数选择不当的情况下有可能收敛于局部最优，而不能达到全局最优。

提出改进

适应度函数尺度变换：

在遗传算法的运算后期，算法能对个体适应度进行适当放大，提高个体之间的竞争性。

进一步

适应度函数定义：

$$ObjV = \frac{1}{R \times e^{(\alpha\beta)}}$$

深度创新

幂尺度变换：

新的适应度是原有适应度的某个指定乘幂。可以在算法的执行过程中不断对其进行修正，满足竞争性要求。

二、基于改进遗传算法的热电负荷优化分配

算法基本步骤:

选择:
$$p_i = \frac{F_i}{\sum_j^N F_j}$$

交叉:
$$\begin{cases} X'_A = aX_B + (1-a)X_A \\ X'_B = aX_A + (1-a)X_B \end{cases}$$

变异:
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}q} e^{-\frac{(x-q)^2}{2q^2}}$$

本项目采用轮盘赌法，即基于适应度比例的选择策略。个体适应度越高，被选中的概率越大。

针对交叉操作，采用浮点数编码，故相应的交叉策略选取算术交叉，是由两个个体的线性组合而产生出两个新的个体。

高斯变异也是重点搜索原有个体附近的局部区域。具体操作时用符合均值为原有参数值，方差为原有参数值平方的正态分布的一个随机数来替换原有的基因值。

二、基于改进遗传算法的热电负荷优化分配

针对遗传算法中适应度函数的定义问题，提出了一种基于试验数据的指数尺度变换系数改进方法，解决了常规遗传算法易陷入局部优化的问题，实现快速准确的全局优化。

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{符合条件: } ObjV = \frac{1}{R} & (P_{\min} < P_n < P_{\max} \ \&\& \ Q_{\min} < Q_n < Q_{\max}) \\ \text{不符合条件: } ObjV = \frac{1}{R \times e^{(\alpha\beta)}} & (P_n < P_{\min} \text{ or } P_n > P_{\max} \ \&\& \ Q_n < Q_{\min} \text{ or } Q_n > Q_{\max}) \end{array} \right.$$

α 为常系数，目标是使得当计算出的 β, P_n 超过设定阈值100%时，其适应度值大于满足条件下适应度值的100倍，即 $\alpha = 1, \beta > 100$ ；
在实验中 α 取5；

二、基于改进遗传算法的热电负荷优化分配

2.2 基于改进遗传算法的抽汽机组热电负荷的分配优化

种群定义：

考虑遗传算法的结构，需构造初始种群矩阵，结合本文问题，采用如下的矩阵形式：

$$\begin{pmatrix} P_{11}P_{12} & \cdots & P_{1n}Q_{11}Q_{12} & \cdots & Q_{1n} \\ P_{21}P_{22} & \cdots & P_{2n}Q_{21}Q_{22} & \cdots & Q_{2n} \\ P_{31}P_{32} & \cdots & P_{3n}Q_{31}Q_{32} & \cdots & Q_{3n} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ P_{m1}P_{m2} & \cdots & P_{mn}Q_{m1}Q_{m2} & \cdots & Q_{mn} \end{pmatrix}$$



边界条件：

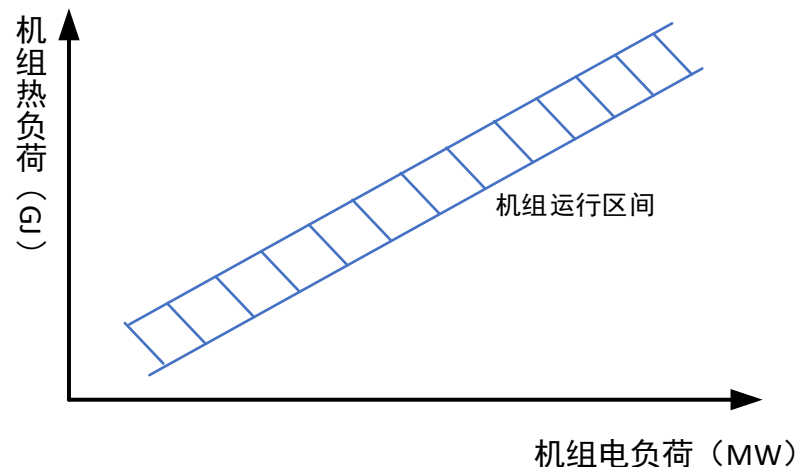
为满足其电负荷最大值与最小值之差最大并且最大热负荷与最小热负荷不等的抽汽机组，定义下列限制条件：

$$\begin{cases} Q_{nmax} - Q_{nmin} \neq 0 \\ P_z = \sum_{i=1}^x P_i \\ Q_z = \sum_{i=1}^x Q_i \\ P_i = \psi_1(q_i) \quad [i = 1, 2, 3 \cdots m] \\ P_j = \psi_2(q_j) \quad [j = m, m+1, m+2 \cdots X] \\ P_{jmax} - P_{jmin} > P_{imax} - P_{imin} \end{cases}$$

抽凝机
背压机

二、基于改进遗传算法的热电负荷优化分配

- ◆ 背压机具有特殊性，机组电负荷与热负荷之间存在较强的耦合关系；
- ◆ 需要在设置优化边界条件时将耦合关系嵌入其中；
- ◆ 基于改进遗传算法，可实现在合理范围内的对纯凝机组与背压机组联合运行的热电负荷分配计算。

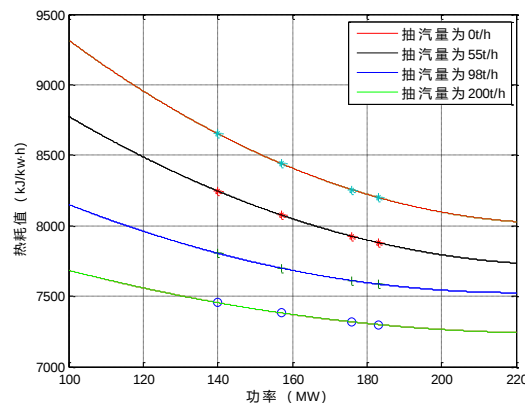
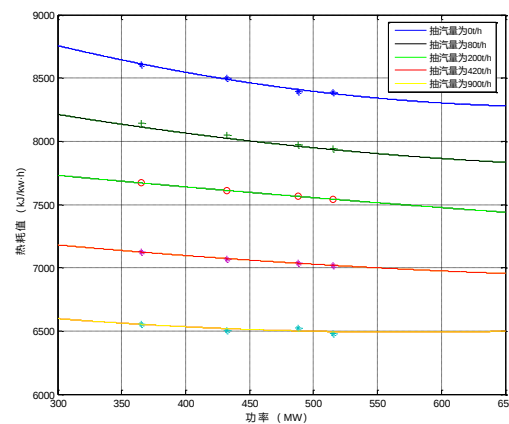


背压机热电强耦合特性示意图

三、基于人工经验和实际大数据的耗差曲线集获取方法

◆ 3.1基于人工经验和实际数据的耗差曲线仿真获取

- 直接利用机组出厂理论设计的耗差修正曲线存在较大误差；
 - 进行专有试验获取详尽准确的耗差曲线不仅需要稳定的特定工况、影响机组正常生产运行，而且需要耗费大量人力物力等资源；因此，在便捷实施方面具有一定局限性；
 - 本项目提出的优化策略：基于理论分析和人工经验，仿真得到机组热耗率曲线的结构和形式；结合实际运行大数据和已有的机组实际热耗修正曲线，使用非试验的手段，便可以得到相对准确的机组耗差曲线。
- ◆ 对实际机组经常进行大量的专试验获取耗差曲线不实际，但可以利用部分试验数据和大量历史数据，并结合仿真模型进行耗差曲线修正是切合实际的。



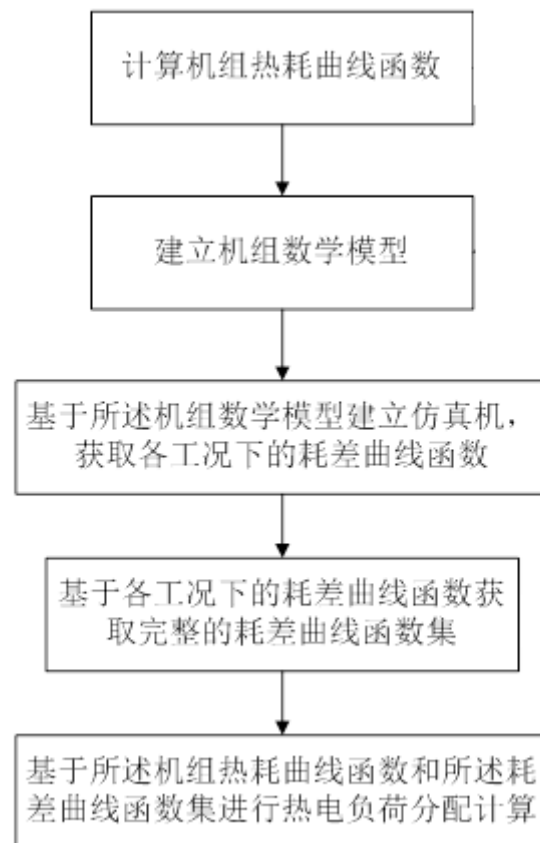
不同机组热耗曲线确定

三、基于人工经验和实际大数据的耗差曲线集获取方法

基于人工经验和实际数据的 耗差曲线组仿真获取

基于实际运行大数据和人工先验知识，建立汽轮机变工况仿真模型，结合海量历史数据对模型进行修正，通过仿真获得了50MW背压机组和300MW抽凝机组复杂变工况的相对较为准确的多维耗差曲线函数集。

实际系统作为单独模块开发，耗差曲线函数集可进行灵活修正。



三、基于人工经验和实际大数据的耗差曲线集获取方法

◆ 3.2 机组间热电负荷三维分配优化方法的算法设计

- ◆ 实际热电负荷分配是一个三维优化问题，影响机组经济性的除了受电负荷和抽汽量影响之外，还会受到抽汽质量（冷凝器背压变化）的影响；
- ◆ 在上述的便捷&精确耗差曲线集获取方法的基础上，进一步提出并实现了一种考虑电负荷P、热负荷Q以及抽气质量M（背压X）的三维建模方法。

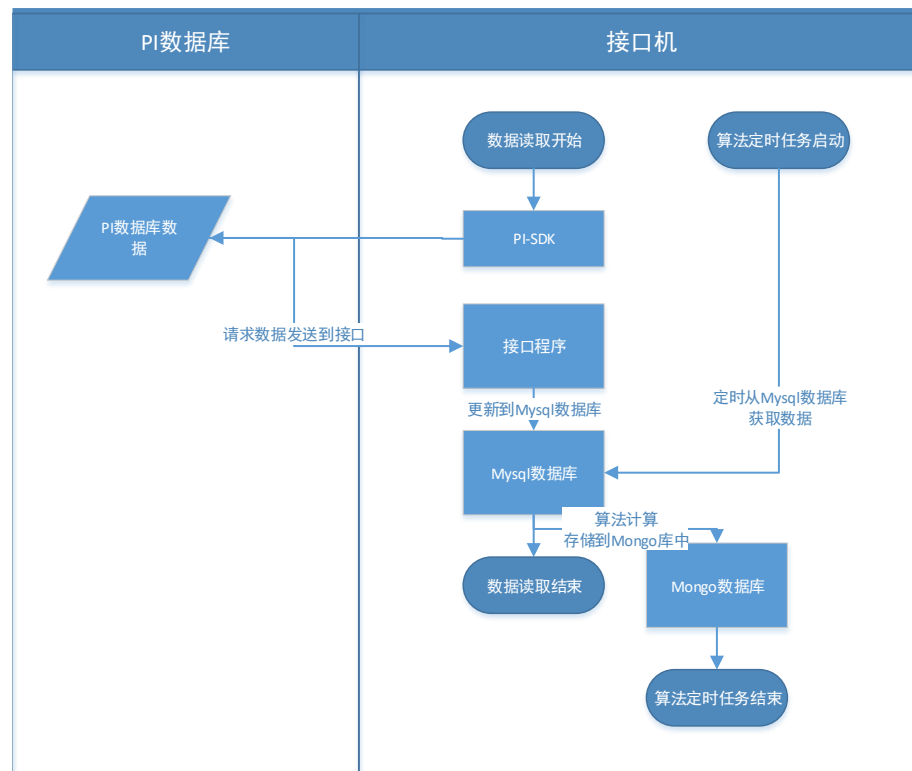
$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 = \theta_1 \cdot f(P_1, Q_1, M_1) \\ R_2 = \theta_2 \cdot f(P_2, Q_2, M_2) \\ \dots \\ R_n = \theta_n \cdot f(P_n, Q_n, M_n) \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} R_1 = \theta_1 \cdot f(P_1, Q_1, X_1) \\ R_2 = \theta_2 \cdot f(P_2, Q_2, X_2) \\ \dots \\ R_n = \theta_n \cdot f(P_n, Q_n, X_n) \end{array} \right.$$

四、融合小指标考核的热电负荷动态分配优化综合决策支持系统

4.1 实际机组运行优化与控制的决策支持系统

◆ 基于PI数据库实时通讯的综合决策支持系统

- 采用JavaEE 企业级组件化业务处理模块；
 - 采用Mongodb 数据库存储PI测点数据；
 - 利用Matlab设计算法以实现经济性计算分析功能。
- ◆ 实现对生产实时监控和在线分析经济性的功能完善。



四、融合小指标考核的热电负荷动态分配优化综合决策支持系统

◆ 融合小指标考核

- 充分发挥热电负荷分配优化系统的功能;
- 提高运行人员的运行水平、保证机组安全、降低机组的能耗;
- 从运行过程中对小指标入手进行考核, 同时考核运行的安全性。

绍兴滨海热电厂热电负荷分配

日期: 2018-11-06 21:39 到: 2018-11-06 22:38

时间	主汽温	再热汽温	排烟温度	Nox	Nox不合规点	Nox最大	Nox最小	Nox总排	再热蒸汽温度	负荷	主汽温	再热汽温	排烟温度	Nox	Nox不合规点	Nox最大	Nox最小	Nox总排	再热蒸汽温度	负荷
2018-11-06 01:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 01:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 01:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 01:45	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 02:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 02:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 02:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 02:45	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 03:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 03:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 03:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 03:45	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 04:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 04:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 04:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 04:45	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 05:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 05:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 05:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 05:45	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 06:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 06:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 06:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 06:45	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 07:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 07:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 07:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 07:45	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16

绍兴滨海热电厂热电负荷分配

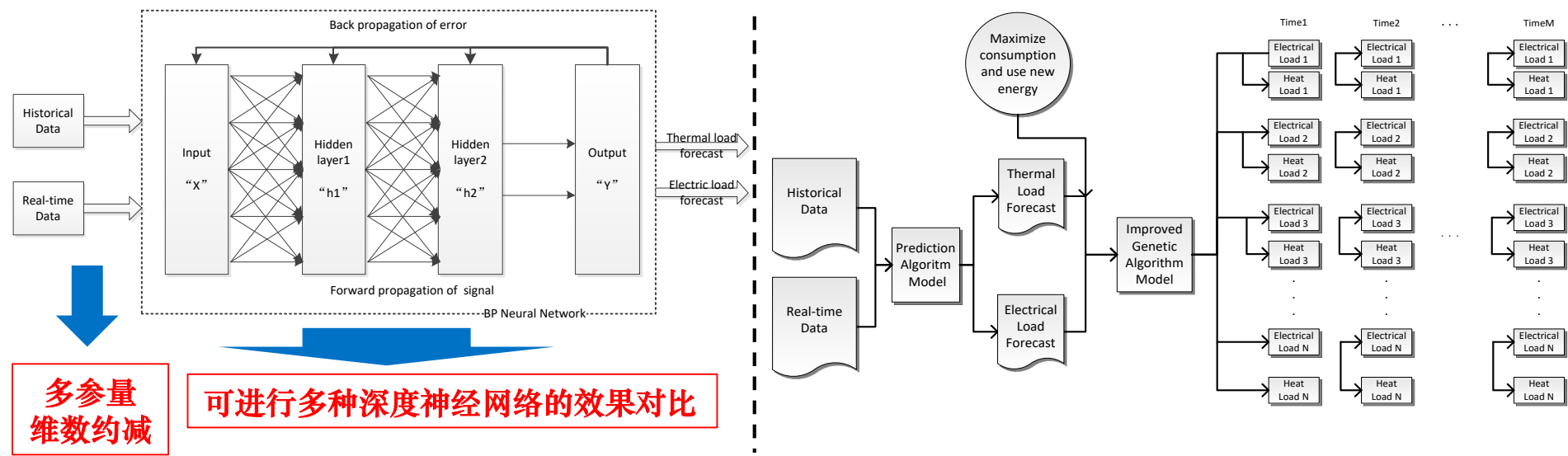
日期: 2018-11-06 21:46 到: 2018-11-06 22:38

时间	主汽温	再热汽温	排烟温度	Nox	Nox不合规点	Nox最大	Nox最小	Nox总排	再热蒸汽温度	负荷	主汽温	再热汽温	排烟温度	Nox	Nox不合规点	Nox最大	Nox最小	Nox总排	再热蒸汽温度	负荷
2018-11-06 01:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 01:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 01:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 01:45	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 02:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 02:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 02:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 02:45	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 03:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 03:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 03:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 03:45	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 04:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 04:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 04:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 04:45	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 05:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 05:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 05:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 05:45	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 06:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 06:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 06:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 06:45	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 07:00	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 07:15	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16
2018-11-06 07:30	539.17	539.32	132.17	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	213.96	543.23	541.73	133.85	23.00	Y	23.00	23.00	nu	21.00	218.16

小指标考核

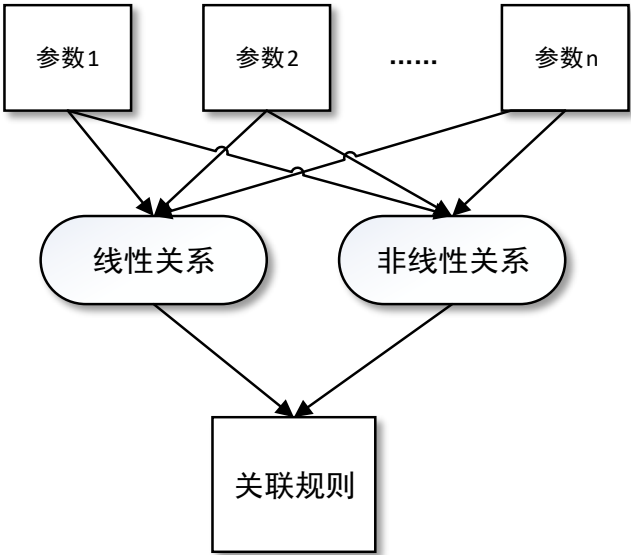
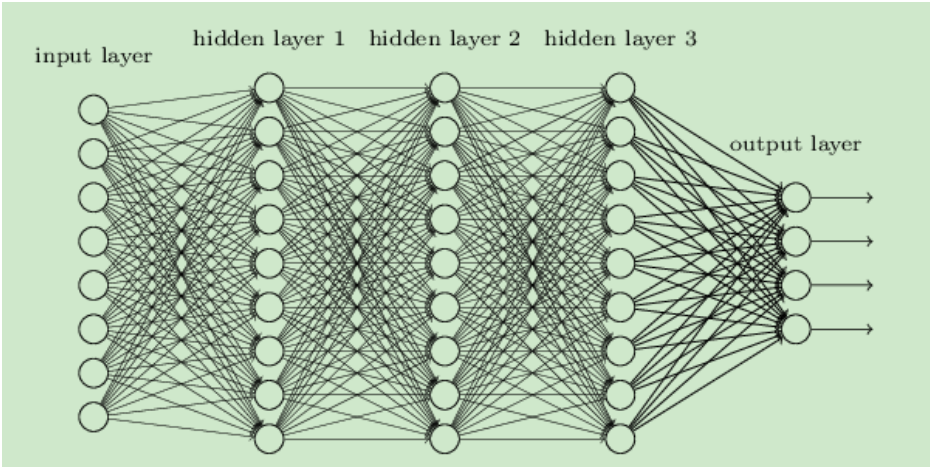
◆ 4.2 基于神经网络的热电负荷联合预测模型的算法开发

热电负荷动态分配优化方案设计



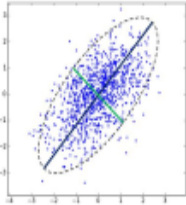
- ◆ 结合联合预测功能，将传统负荷分配输出单一向量，拓展为动态时序矩阵；
- ◆ 解决静态方法存在的时效性问题。

基于多参数维数约减的深度学习神经网络回归预测建模



- 不同神经网络的应用效果不同
- 通过**大数据关联分析**，找到各物理量的**关联关系**，进行多参数的解耦表达，将**关联性强的实际数据**输入模型。

主成分分析 (PCA)



LLE

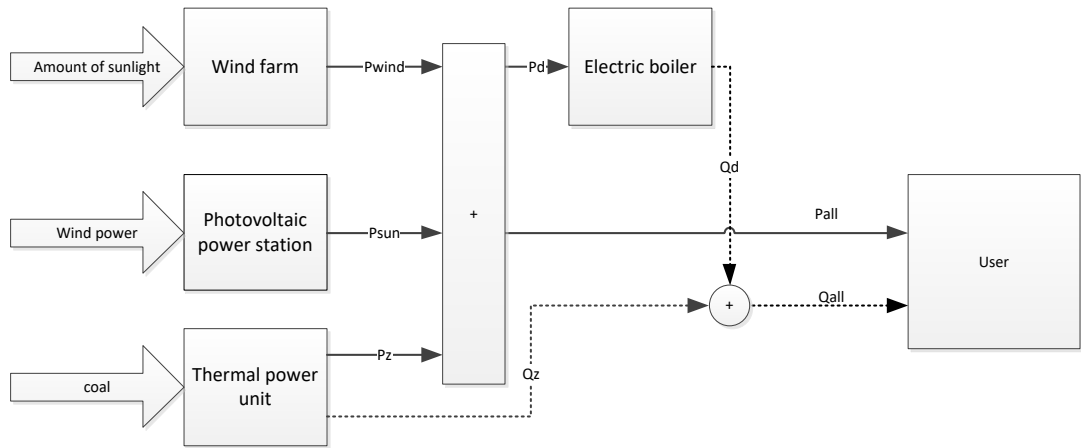


信息增益

$$H = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i)$$

维数约减

4.3 带有新能源的区域微网经济调度决策指导

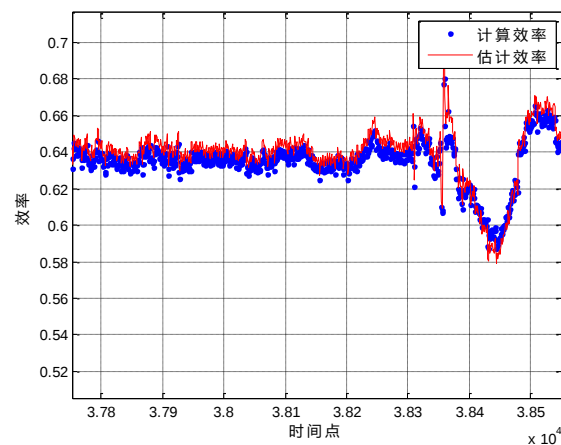
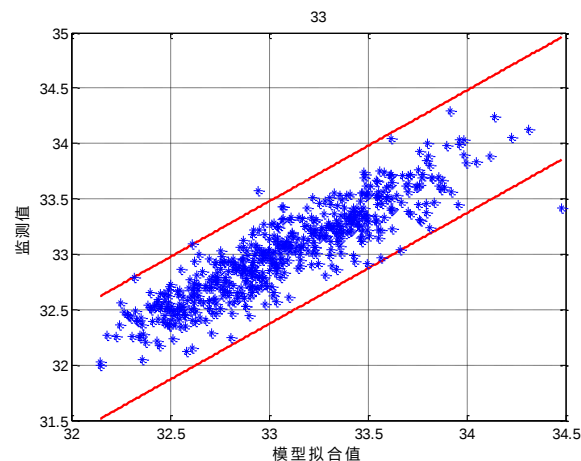
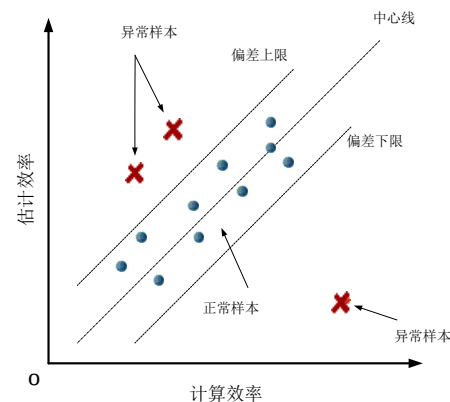
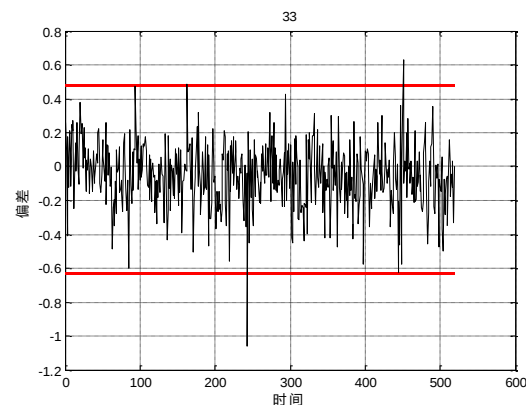


$$\begin{cases} P_z = P_{all} - P_{wind} - P_{sun1} - P_{sun2} \\ Q_z = Q_{all} - Q_{sun} - Q_d \end{cases}$$

所有抽汽机组的总热负荷 Q_z 和总电负荷 P_z 分别为常数，其取值方法如下：
在非供热期，总热负荷 Q_z 取常数为零。而在多能源互补运行系统中，以新能源最大化消纳为原则， P_z 为总需求电量 P_{all} 减掉风力实时最大发电量 P_{wind} 、光伏发电实时最大电量 P_{sun1} 、太阳能热发电实时最大电量 P_{sun2} 的剩余电量；而 Q_z 为总需求热量 Q_{all} 减掉太阳能储热 Q_{sun} 的剩余所需热负荷。

4.4 基于性能在线预估的实时修正热电负荷分配优化系统——耗差参数集

- 基于卡尔曼滤波的性能退化预估
- 基于线性回归模型的性能异常检测



五、实际应用测试

5.1 典型应用案例1：4台抽凝机组、2台200MW机组



通过本软件进行机组的热电负荷分配优化，在机组总的电负荷和热负荷不变的情况下，通过将电负荷和热负荷在各机组间进行分配，节能效果如下：

- 供热期：热耗降低 **21.817 KJ/KWh**
- 非供热期：热耗降低 **55.893 KJ/KWh**



五、实际应用测试

5.2 典型应用案例2：4台50MW抽凝机组、2台300MW机组



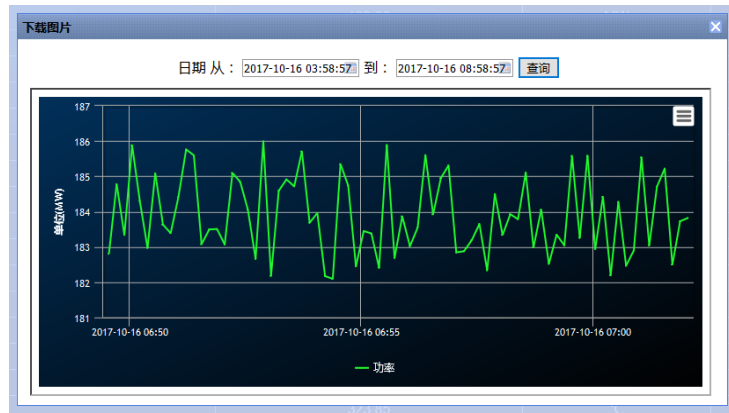
热电负荷分配优化结果及对比



优化结果统计分析



参数设置界面



实时显示及历史查询

五、实际应用测试

应用效果

◆ 直接经济效益：

- 第三方检测报告结果：平均全厂发电热耗率降低43.1kJ/kWh，折合降低发电标煤耗1.47g/kWh左右。
- 可实现年折合节省至少4125吨燃煤量，年折合节约247.5万元，达到了良好的节能效果。

◆ 间接经济及社会效益：

- 该系统基于PI数据库实时通讯，融合了缸效、供热比等性能指标以及主再热汽温小指标、NOx小指标的实时计算显示功能，为运行人员提供机组性能状况信息、减少了工作量。
- 可实现全厂二氧化碳排放年减排至少1.08万吨，氮氧化物年减排至少31.35吨，二氧化硫年减排至少66.0吨，大大减少供热电厂的污染物排放，具有良好的社会环境效益。



专利及软著成果



已发表论文

六、总结与展望

- 利用海量历史数据仿真的方式获得机组复杂变工况的多维耗差曲线函数集，结合改进遗传算法实现了多台背压机组和凝机组的热电负荷分配优化。
- 基于PI数据库实时通讯，融合小指标考核、性能指标以及热经济指标实时计算显示功能，实现全厂机组的多元可视化运行性能监控和动态优化指导策略，为运行人员提供综合决策支持。

六、总结与展望

后期研究关注点

1) 基于大数据和深度学习算法的抽汽机组热电负荷动态智能分配优化

- 利用实际大数据进行多个深度学习算法的应用精度对比分析;
- 提高大数据应用效率的多维因素的关联分析及维数约减策略;

2) 深入研究机组间热电负荷分配优化三维问题的实现方法

3) 利用多评价指标（煤价规划、热耗对比等）的抽汽机组间热电负荷分配优化

4) 基于机组性能退化预警的耗差曲线实时修正策略

未来，完成供热机组热电负荷精细化控制策略关键技术开发、指导决策支持系统建立等应用软件工作，进一步提高全厂机组节的能潜力。

**谢谢，
请批评指正！**