



EPTCHINA.CN
中国电力科技网



中国华电
CHD

第三届热电联产远距离低能耗集中供热技术研讨会



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。

基于大数据技术的供热机组运行性能监测与优化

主办单位：中国电力科技网

协办单位：华电宁夏灵武发电有限公司 宁夏华电供热有限公司

2020年1月8-10日 中国·银川



供热改造年会交流

基于大数据技术的供热机组运行性能监测与优化

EPTCHINA.CN



报 告 人： 付俊丰

指导教师： 万 杰

单 位： 哈尔滨工业大学

时 间： 2020年01月9日

汇报提纲

一、供热机组与大数据研究背景

二、基于运行大数据的运行方式优化

三、基于运行大数据的汽轮机性能监测

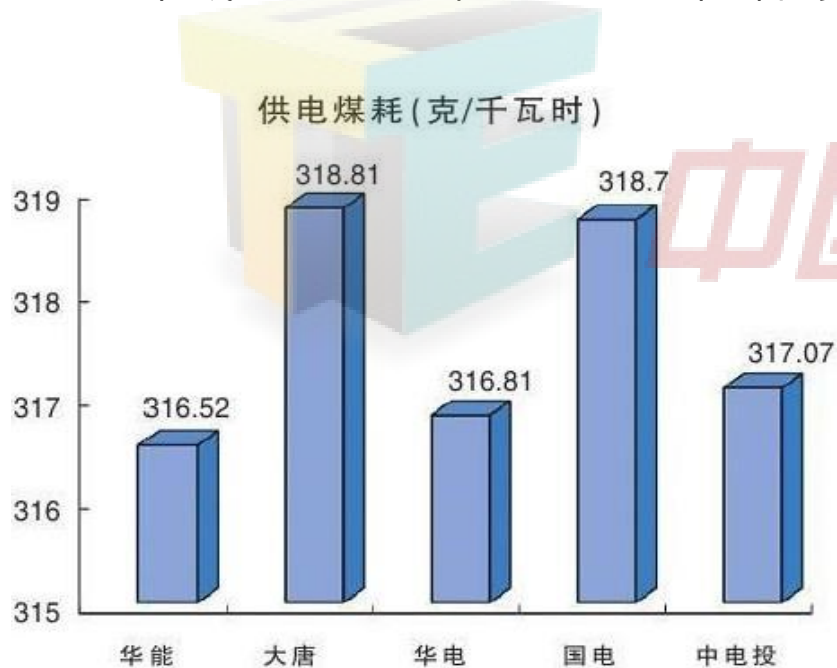
四、实际应用测试

五、结论及展望

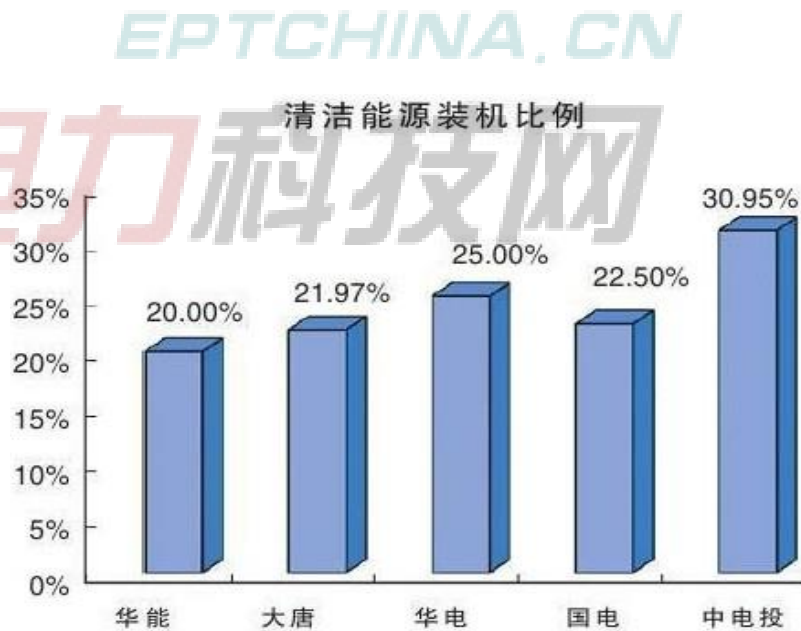
一、供热机组与大数据研究背景

◆ 1.1 研究背景

- **当前共识：**当改造设备、运用新技术等一系列手段运用到一定程度后，供电煤耗下降的空间已经变得有限。
- 从通过在线监测及运行优化视角挖掘设备的节能潜力开始发挥日益重要的作用。



各大集团供电煤耗现状

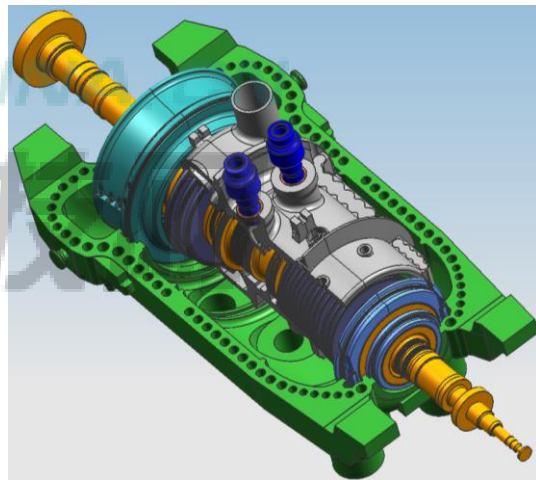


各大集团清洁能源现状

一、供热机组与大数据研究背景

◆ 1.2 现状概述

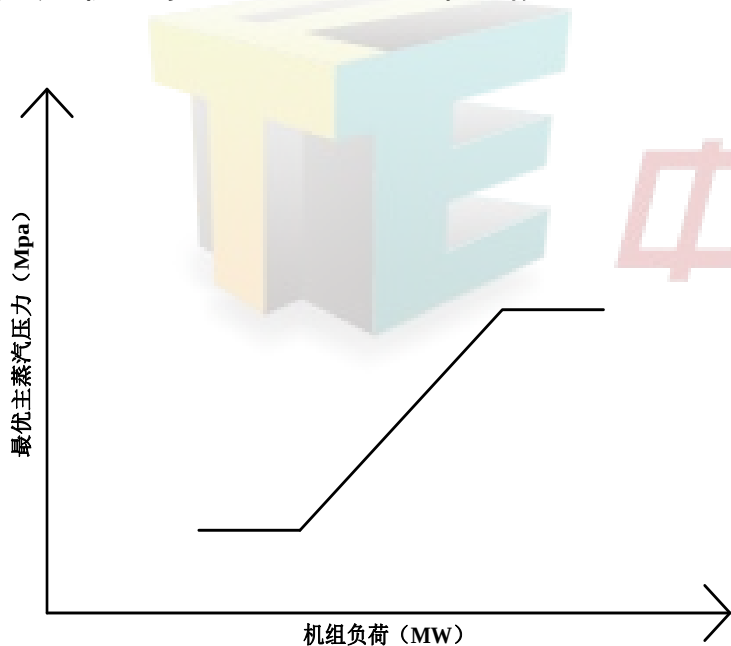
- 目前，开展滑压运行方式优化和性能监测是大型供热机组变负荷运行综合优化常用手段中节能效果最为明显的一种方式。然而，机组复杂多变的实际运行条件限制了传统专有试验方法的即时应用；
- 由于机组处在深度快速变负荷运行过程中，导致实际运行数据蕴含了大量的热惯性噪声信息。若未经有效处理而直接利用，这些噪声数据可能会对设备的阀门造成损耗进而带来安全隐患；
- 在复杂深度变负荷工况下的燃煤机组会对滑压优化的时效性提出了新的要求，传统方法往往是在离线状态下实现的，无法实时动态地进行运行优化调整；
- 尽管很多已有文献给出了理论与建模方法，但是能够根据滑压曲线偏移量计算结果给出实时反馈的功能，还未见成熟且成套的系统予以实现；
- 因此，如何利用机组在实际运行中的数据进行滑压曲线的优化的问题亟需解决。



一、供热机组与大数据研究背景

◆ 1.3 传统滑压运行优化存在的问题

- 一般地传统滑压设置曲线：以负荷为自变量，在純凝及定背压工况下，就可以达到极好的节能效果；尤其是机组投产后进行设计曲修正。



空冷机组：未考虑背压对机组负荷的影响

抽汽机组：不仅未考虑背压对机组负荷的影响，还未考虑抽汽量的影响

常规处理方法：通过做平均处理，无法完全消除机组动态效应对热耗率的影响

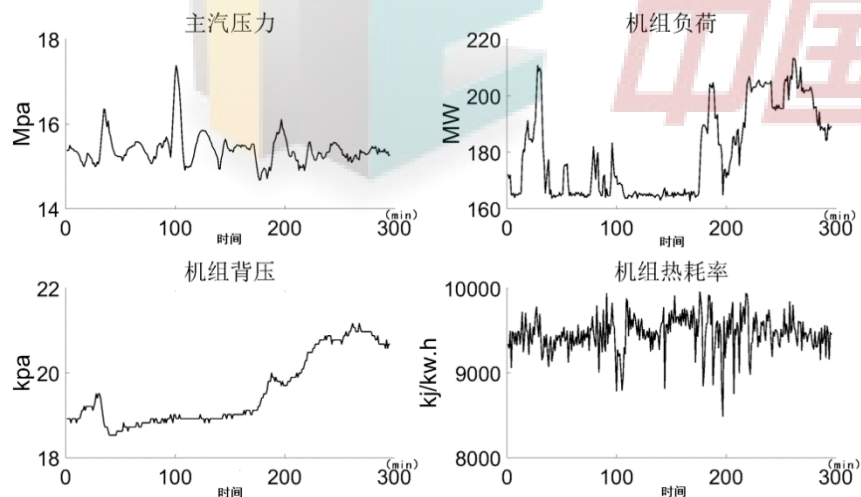
现有服务方式：通过大周期的定期试验测试修正滑压曲线，无法实现机组实时调整

实际滑压优化需重点考虑多个因素

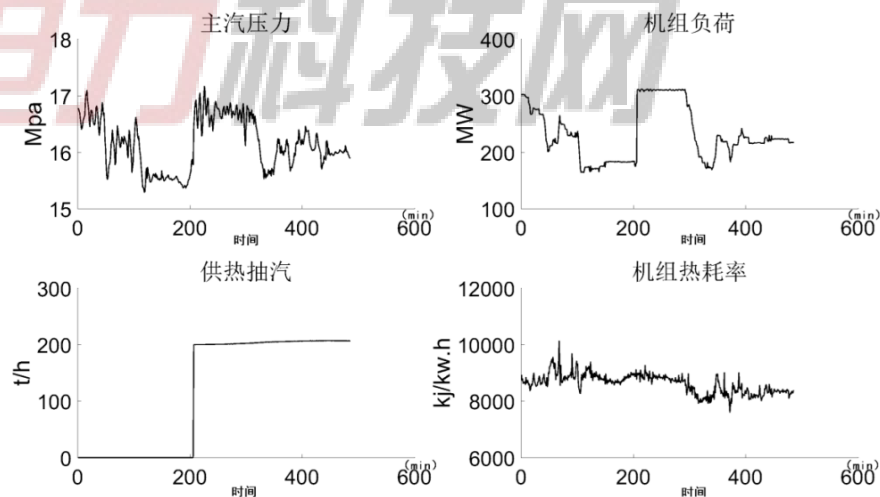
二、基于运行大数据的运行方式优化

◆ 2.1 考虑多影响因素的燃煤机组滑压运行控制策略

- 对于大型空冷供热机组而言，当机组处于滑参数运行时，有许多因素会影响机组的经济性；
- 根据实际观测数据可知，对于直接空冷机组，冬季运行时机组的**背压**控制范围和夏季背压控制范围差异很大；同理，冬季运行时机组的**抽汽**变化差异很大。
- 因此，直接空气冷却装置需要考虑**背压变化与抽汽工况**时对滑压操作的影响。



背压变化对机组负荷的影响

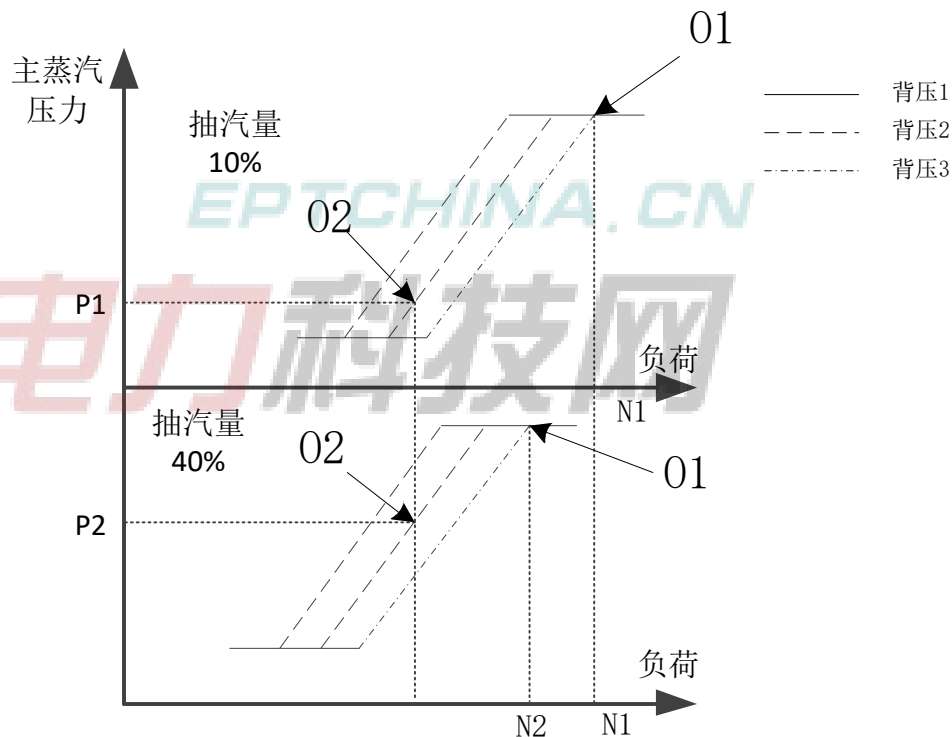


抽汽变化对机组的影响

二、基于运行大数据的运行方式优化

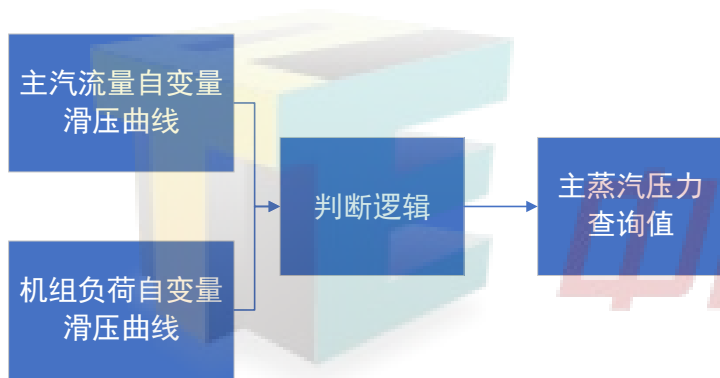
◆ 2.1.1 引入实时修正的高维滑压曲线设计策略；

当抽汽量发生变化时，同一负荷O1下对应的主汽压力P1、P2将会产生偏移。同样，从N1、N2的偏差可知，当抽汽量产生变化时，对机组负荷也会产生影响。同时，在同一抽汽量状态下，背压的变化也会影响压力和负荷。因此可得出结论：当机组运行在非设计工况时（如背压大范围变化或存在抽汽工况），机组以负荷为自变量的最优滑压曲线相对于原滑压曲线会产生大幅度偏移。



二、基于运行大数据的运行方式优化

◆ 2.1.2 多元自变量滑压优化方法

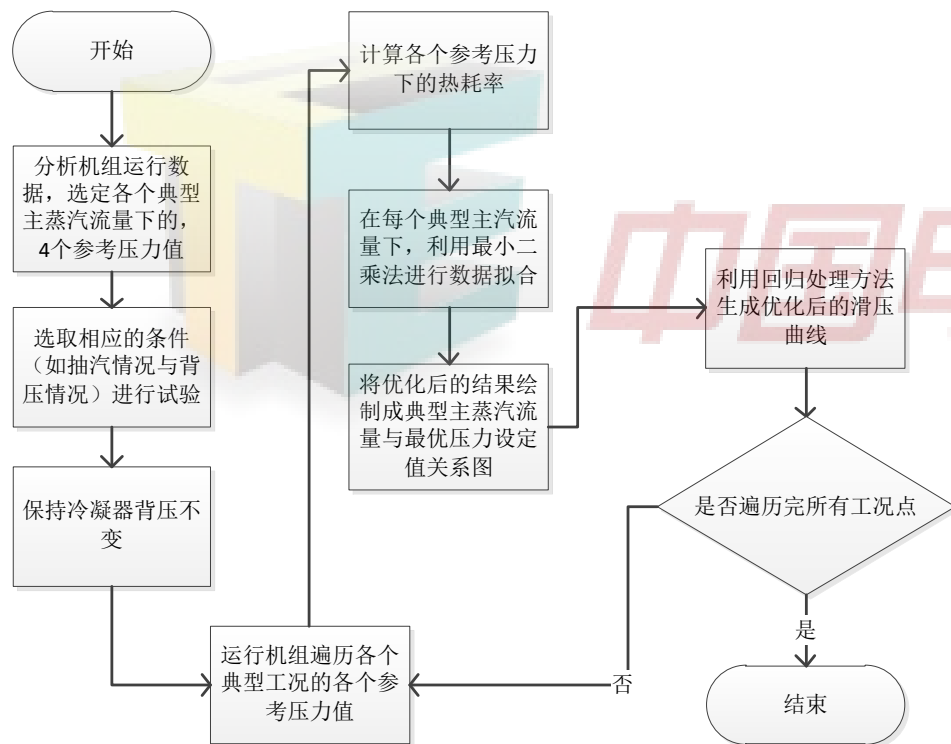


主汽流量与负荷自变量融合模型

- 现有方法都可以在不同程度上提升机组在滑压运行过程中的经济性，但往往都是将机组运行和测点视为理想工况或者是无故障状态；另一方面，现有方法是将优化后的单条曲线直接修改至DCS系统。对于机组如何能够在安全运行前提下，通过切换滑压曲线以保证机组在复杂变工况过程中的滑压运行经济性，目前尚有权威文献进行详细阐述。
- 利用多元自变量滑压优化方法方法可以在机组极端工况下或者由于调节级压力测点故障前提下，保证机组安全稳定的同时，尽最大限度保证滑压经济运行；
- 通过设置合适的上下限，保证该逻辑可以满足日常运行及特殊极端工况运行条件，防止由于在边缘值震荡引起的系统不稳定；

二、基于运行大数据的运行方式优化

◆ 2.1.3 基于人工先验知识和完备工况试验的综合实施方案

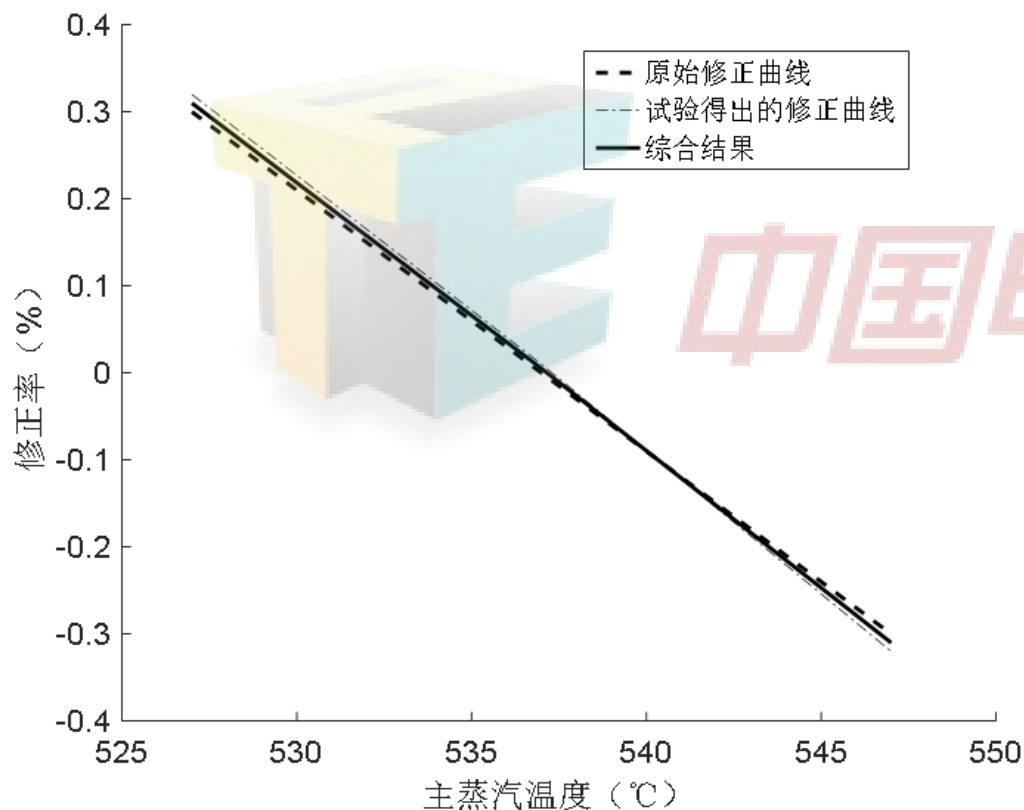


● 技术特色：

- 用主蒸汽流量作为自变量代替负荷，实现三维滑压滑压的二维设计策略；
- 根据机组实际特点，优化选取主给水流量及调节级压力的多元自变量；
- 纯凝、抽汽和高背压变工况差异化处理；

二、基于运行大数据的运行方式优化

◆ 2.1.4 针对主汽温度偏移问题而提出的主蒸汽温度修正方法



● 技术特色:

- 机组滑压运行过程中的主蒸汽温度偏离工况也将影响机组的经济性。因此，在滑压优化过程当中需要考虑主蒸汽温度参数的影响。
- 在滑压优化过程中，通常利用的是汽轮机制造厂提供的理论性能修正曲线；然而，实际中的主蒸汽温度对机组热耗率的影响，与理论的耗差修正曲线会有一定的偏离。
- 如何获取与机组实际特性相匹配的精确主汽温度性能修正曲线，具有十分重要的意义。

二、基于运行大数据的运行方式优化

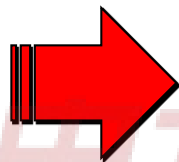
◆ 依靠完备试验获取滑压曲线的局限性

方法需求

- 机组处在大范围深度变工况过程；
- 开展试验的条件往往较为严苛；
- 试验过程较为复杂，试验周期比较漫长。

限制条件

- 运行状态时常偏离最佳工况；
- 电厂无法提供指定负荷；
- 需考虑系统参数修正。



◆ 利用机组运行大数据的优化方案是近几年研究的热点。从机组运行大数据中获取的有效信息更加贴合机组实际运行情况，进而得到的优化结论更加符合实际需求。但电厂中存在的大数据的量过于庞大，有效信息和噪声信息有着复杂的耦合。有必要对如何更好的利用机组运行大数据来进行滑压优化曲线的获取开展详细的分析，和完整的方案设计。

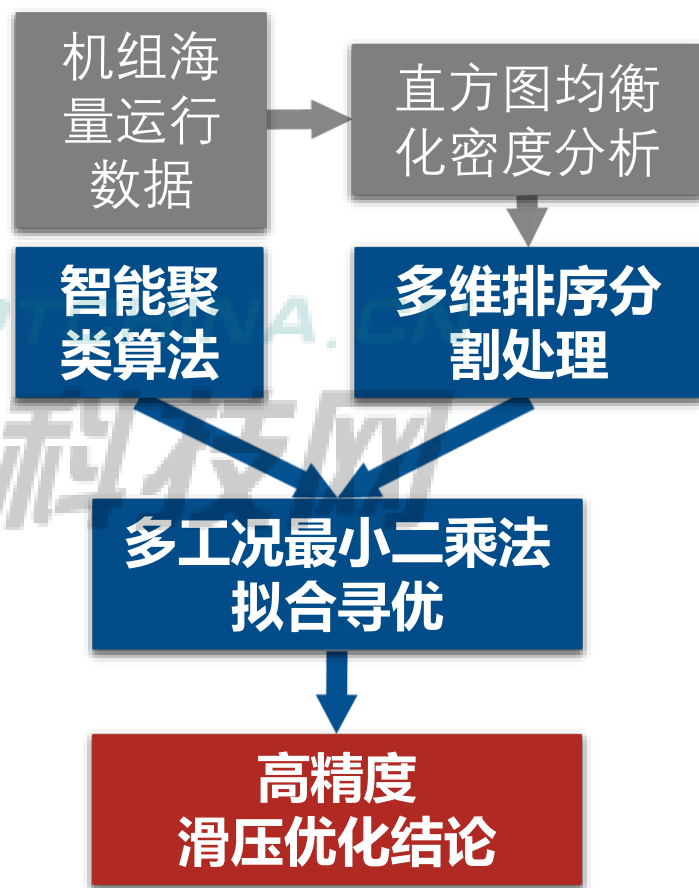
◆ 因此，开发了试验与实际运行大数据多维排序及聚类的动态效应消除策略

二、基于运行大数据的运行方式优化

◆ 2.2 基于排序聚类技术的机组动态效应消除过程

主要技术内容及特色：

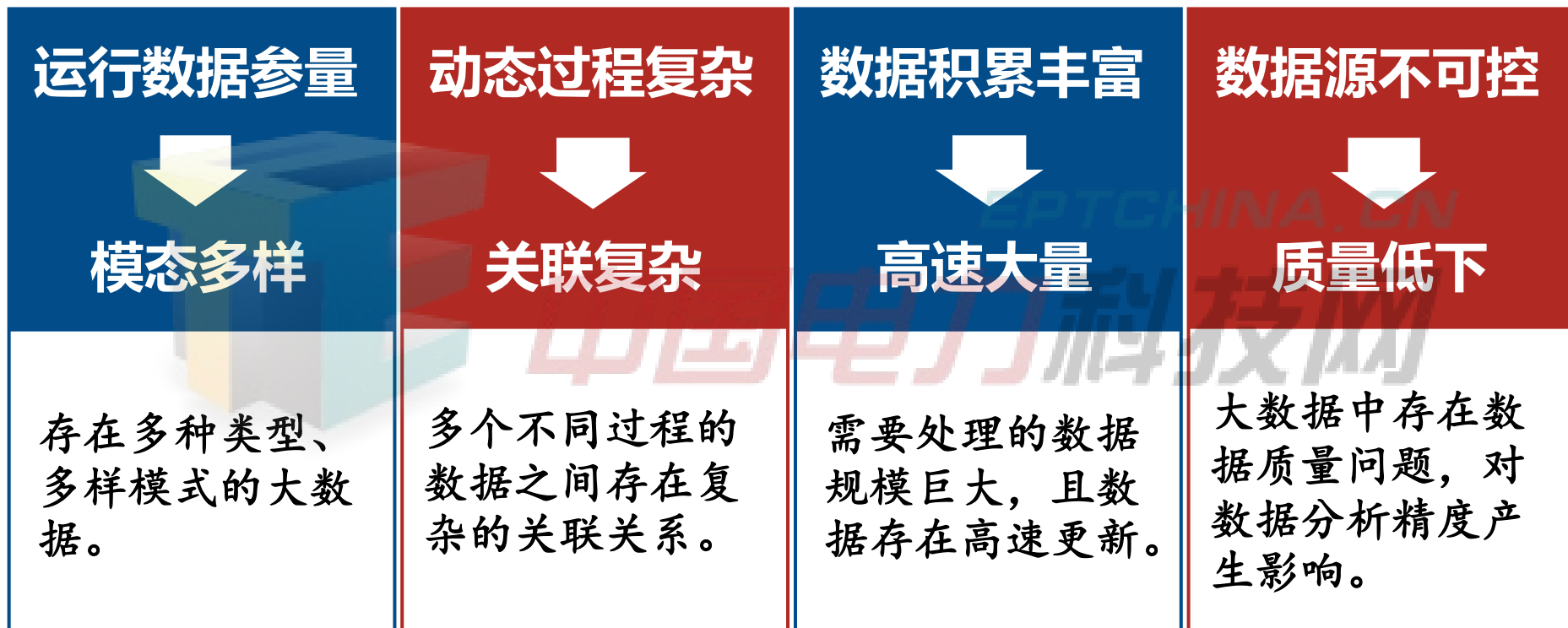
- ◆ 通过“直方图均衡化密度分析法”，获得机组运行数据的密度分析结果；
- ◆ 利用上述步骤统计出的分析结果，对原始数据进行聚类方法处理，并将靠近密度中心的数据进行保留；
- ◆ 再利用最小二乘法对数据进行拟合，可得到抛物线最低点，即该流量条件下的最优压力值。同理可获得所有流量条件下的最优压力值；
- ◆ 最后结合机组最低稳燃压力与机组额定压力，便可得到一条完整优化后的滑压曲线。



技术路线

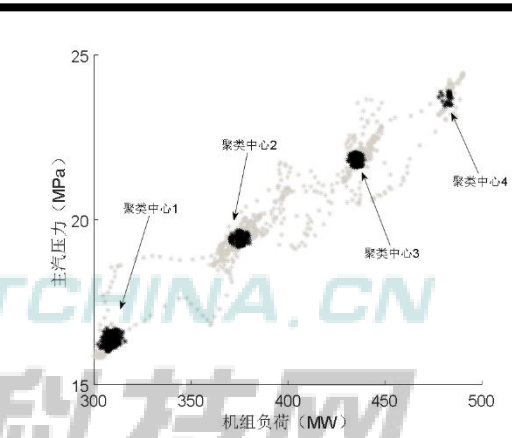
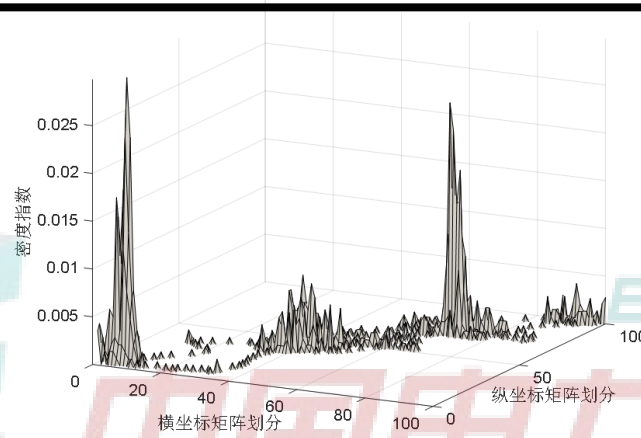
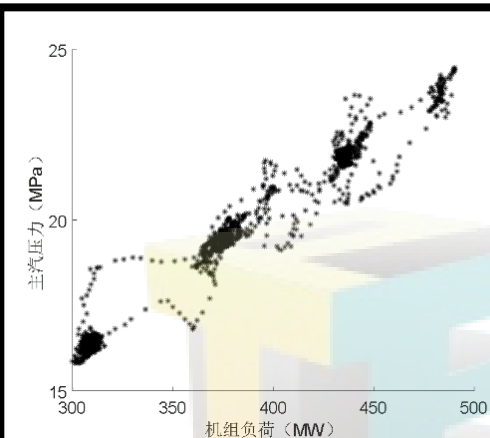
二、基于运行大数据的运行方式优化

◆ 2.2.1 直方图均衡化密度分析结合FCM聚类方法

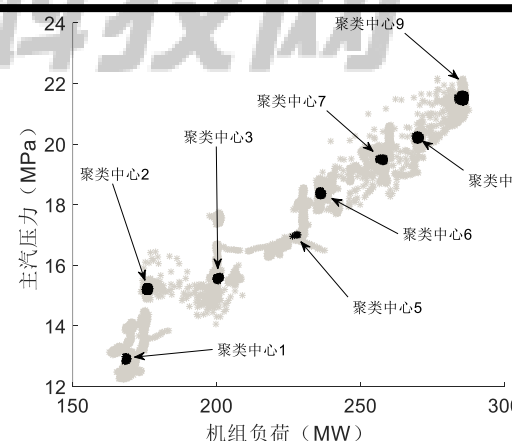
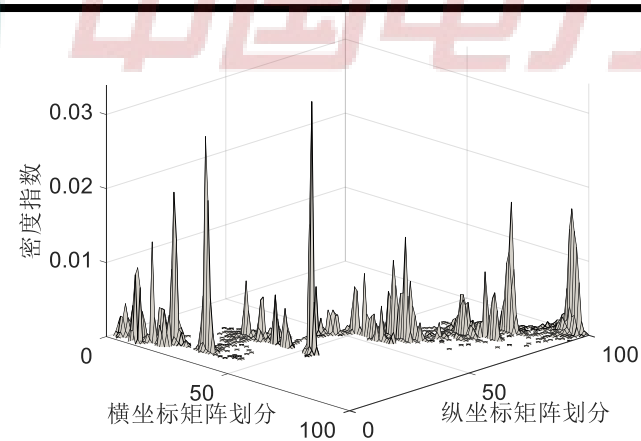
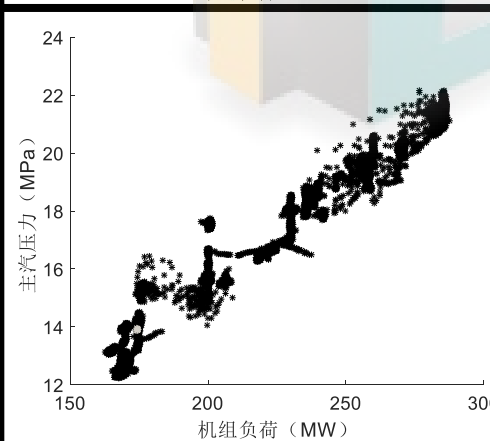


二、基于运行大数据的运行方式优化

机组 1



机组 2



原始数据

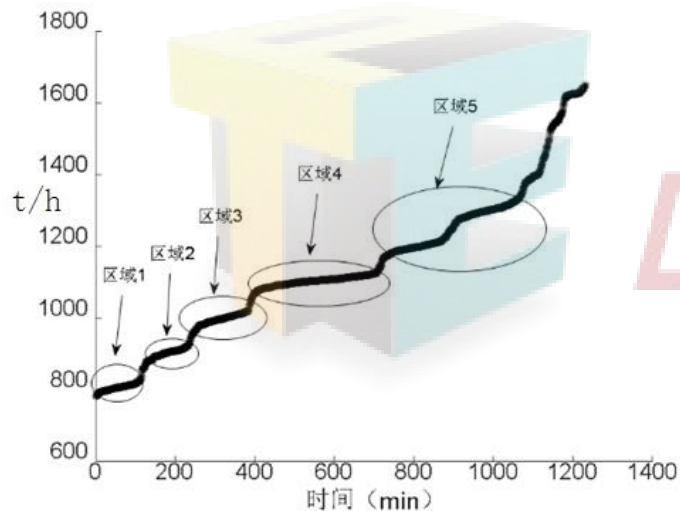
密度分析

智能聚类

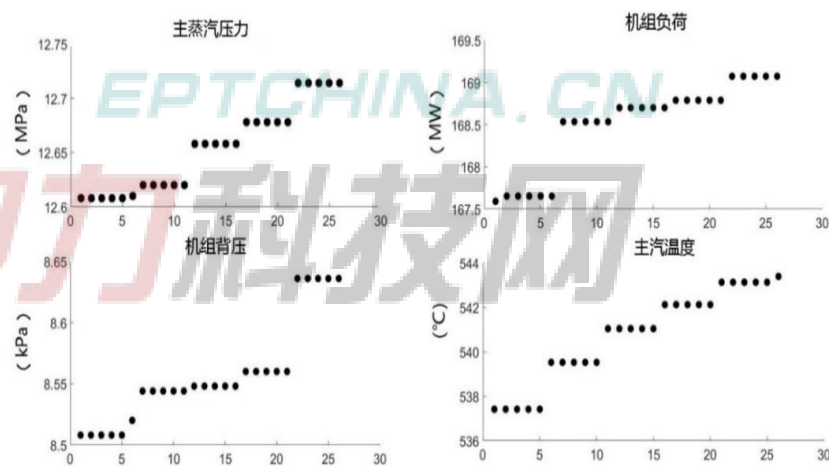
二、基于运行大数据的运行方式优化

◆ 2.2.2 基于机组运行大数据排序聚类的滑压曲线优化方法

为了解决现有方法中由于热惯性等原因引起的优化点不准确等问题，提出了一种基于自动排序及聚类技术的数据噪声消除技术。具体过程如下所示：



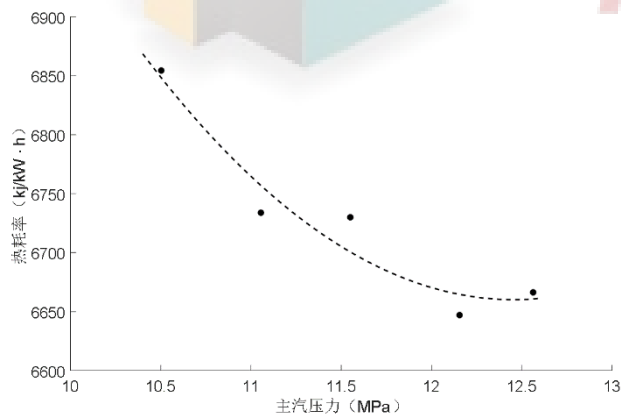
将机组运行数据进行主汽流量升序排序处理后，可出现明显的阶梯状图形，将负荷相对稳定部分划分为各个子区域，在每个子区域中经过多维度筛选找出最佳压力。



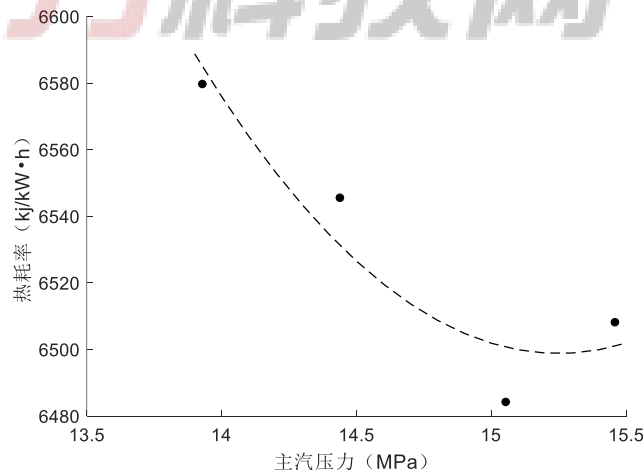
对其中每个压力点进行滑动平均处理，最终比较出满足最低热耗率的压力点。以某一区域中的某一段压力点为例，每5个点计算一次平均值。

二、基于运行大数据的运行方式优化

- 即可通过比较热耗率的方法，选择该压力点的压力值。同理在所有压力点中都可得到其最优压力值。
- 最后将该流量条件下的压力值进行汇总处理即可得到一个抛物线模型，随后即可通过最小二乘法对数据进行拟合，从而得到抛物线最低点，即可得到该负荷条件下最优压力值。其中各个压力点的间隔不得小于0.5MPa。
- 最后将每一段主汽流量下的最优压力进行最小二乘法曲线回归，得到最终的滑压优化曲线结果。



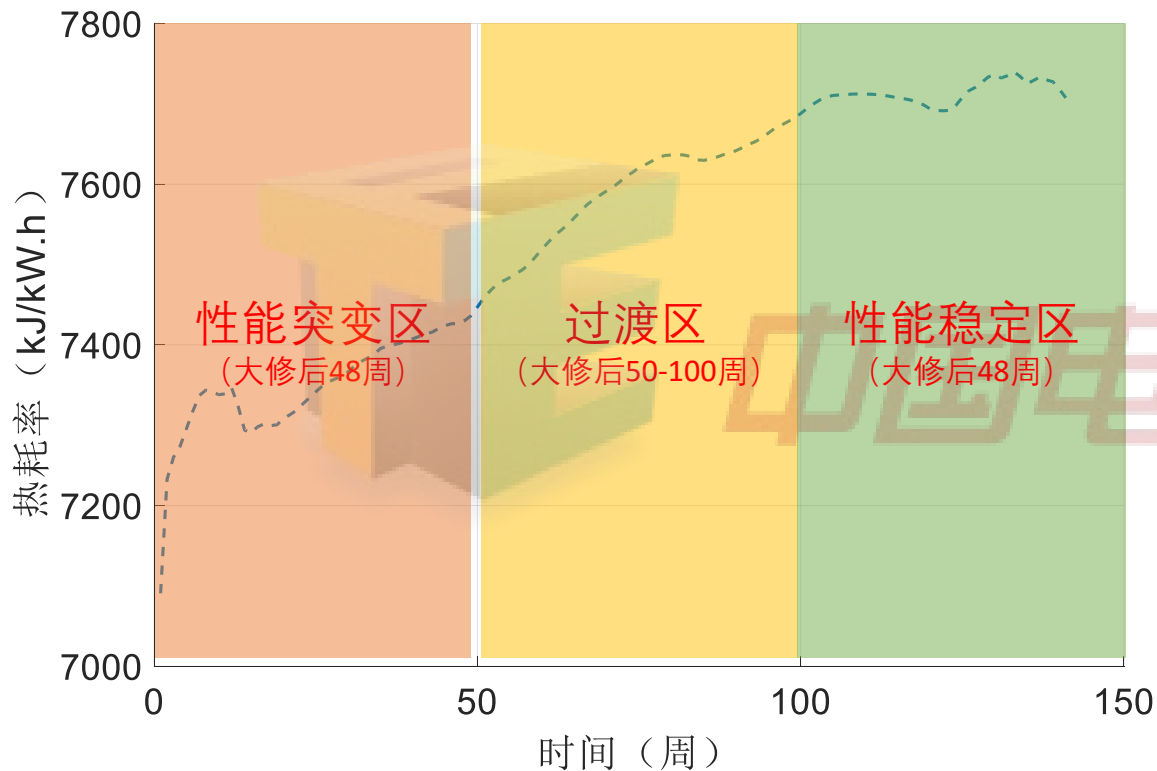
示例1



示例2

三、基于运行大数据的汽轮机性能监测

◆ 汽轮机在线实时监测的必要性



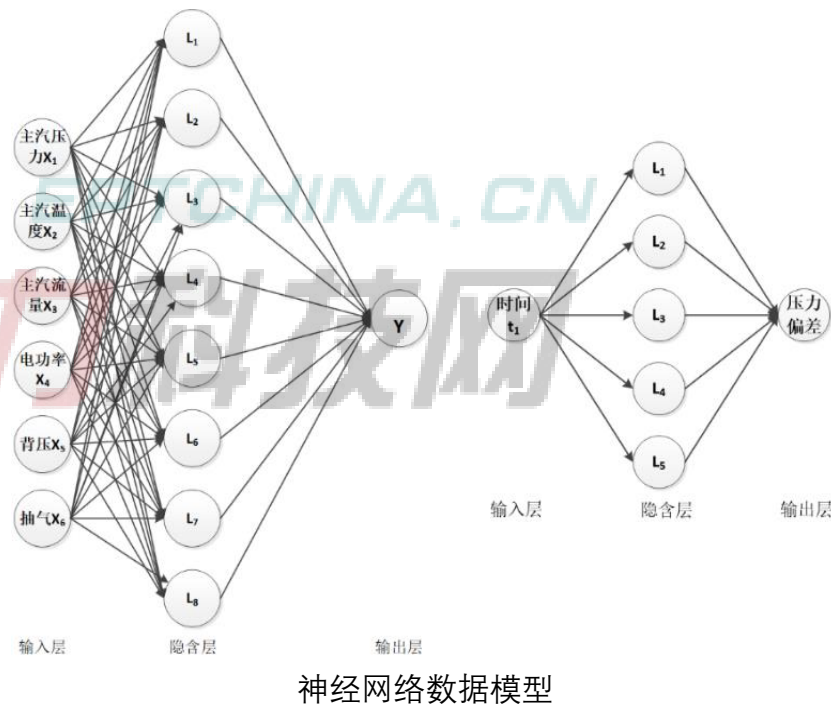
◆ 实际运行数据显示：机组在投入运行或大修后，其运行性能会在短时间内迅速下降，一段时间后的下降速率将变缓。

如何利用合理的性能评价手段和汽轮机性能监测技术进行合理建模，是时下研究的重点。

三、基于运行大数据的汽轮机性能监测

◆ 3.1 考虑最优压力点影响因素的在线实时监测方法

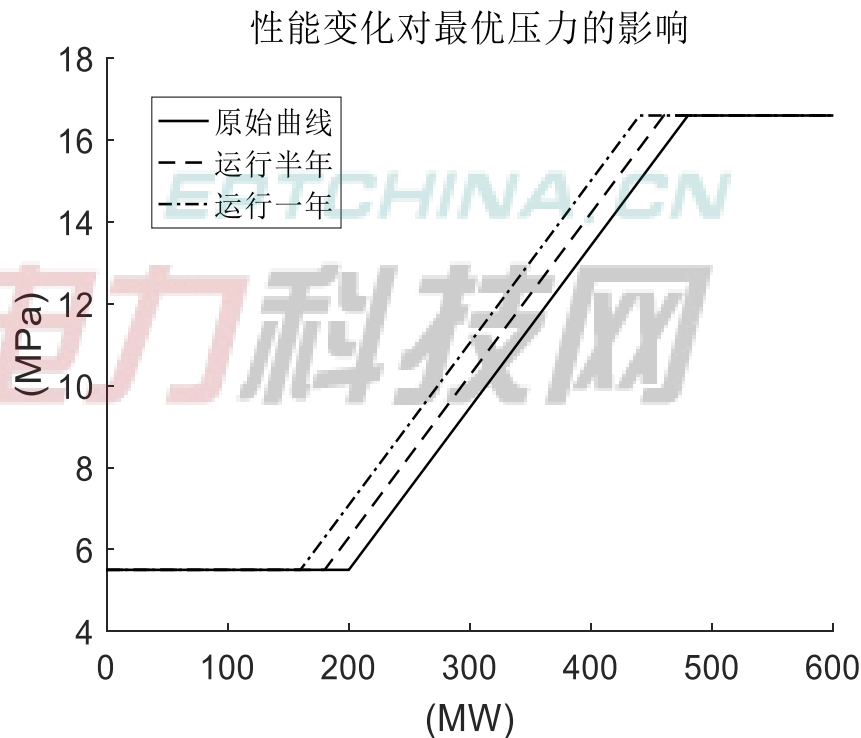
- 通过排序聚类方法处理后，同时结合神经网络数据模型，对热耗率差值进行预测，即可得到当机组性能下降时，描述机组通流性能的预测量和实时计算值；
- 基于实际运行大数据的汽轮机性能退化的检测方法，能够在得到近稳态工况数据的基础上反应汽轮机的热耗率水平；
- 通过预测热耗偏差可以在描述汽轮机的性能退化程度的同时，对性能退化进行预估，减小直接对热耗率进行预测的误差影响；该方法可以用于指导实际滑压曲线实时运行调整；
- 利用上述方法得出变化后的滑压曲线，结合当前机组负荷，分析出该工况的最佳运行主汽压力。通过DCS通信，将上述结果反馈给机组操作人员。操作人员采取相应措施。



三、基于运行大数据的汽轮机性能监测

◆ 3.1.1 机组热耗率曲线的影响规律

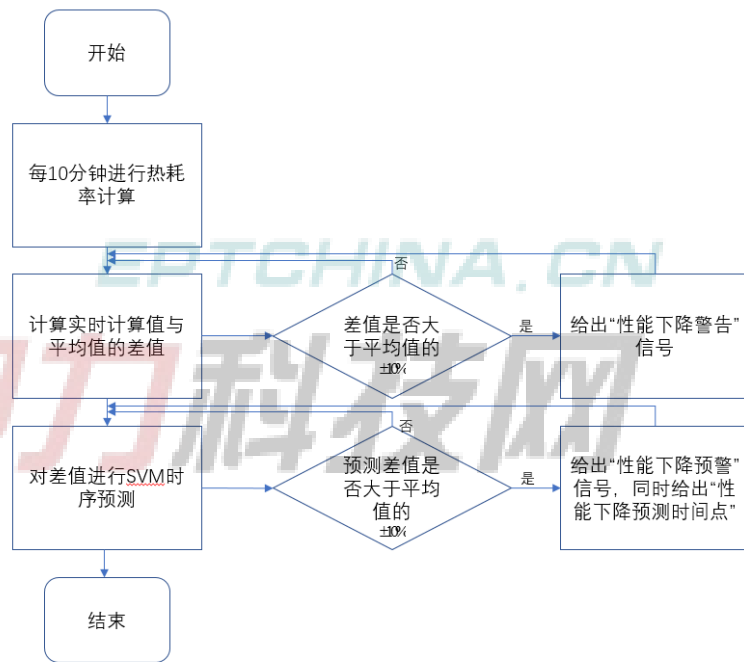
- 对于机组的性能实时监控及修正方式，目前主要是利用参数变化对热耗率的影响进而修正滑压曲线的方式进行。
- 汽轮机性能主要是指通流性及其对热耗率的影响，其中热耗率主要针对修正之后的热耗率，通流能力是指在特定主蒸汽压力及特定调门位置的主蒸汽流量值。
- 由于影响通流能力的因素很多，且通流能力又与热耗率等性能参数耦合，需研究热耗率变化对曲线的影响。



三、基于运行大数据的汽轮机性能监测

◆ 3.1.2 机组滑压控制实时调整策略研究

- 考虑到DCS系统通讯的特殊性，无法进行参数的在线实时更改。故提出了一种控制调整策略，可利用现有DCS系统的基本框架，在此基础上增设决策辅助支持系统，在不改变原有DCS控制系统的前提下，可在线计算出相应的参数修正值并实时显示在系统界面上，运行人员可根据该显示值手动进行参数调整。



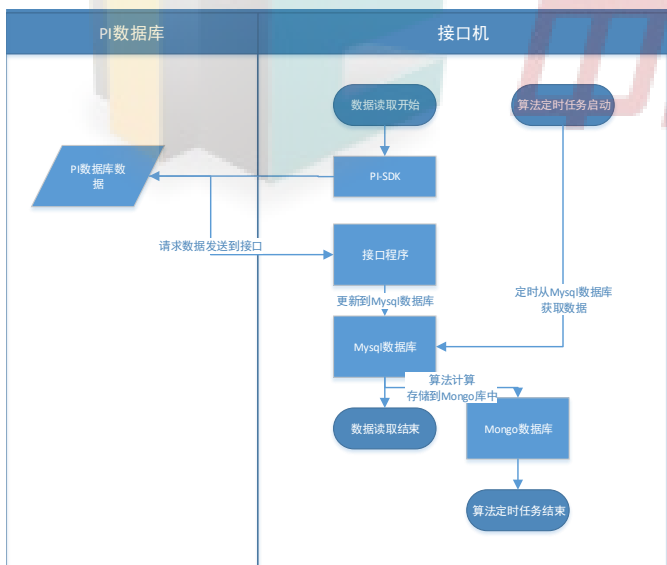
辅助运行调整策略

该方案是要解决现有方法中的缺乏时效性、准确性，以及对机组运行状态进行分析与修正，而提出的一种考虑机组性能退化的汽轮机最优滑压点动态监测及调整的方法。

三、基于运行大数据的汽轮机性能监测

◆ 3.1.3 基于B/S架构的决策支持系统构建

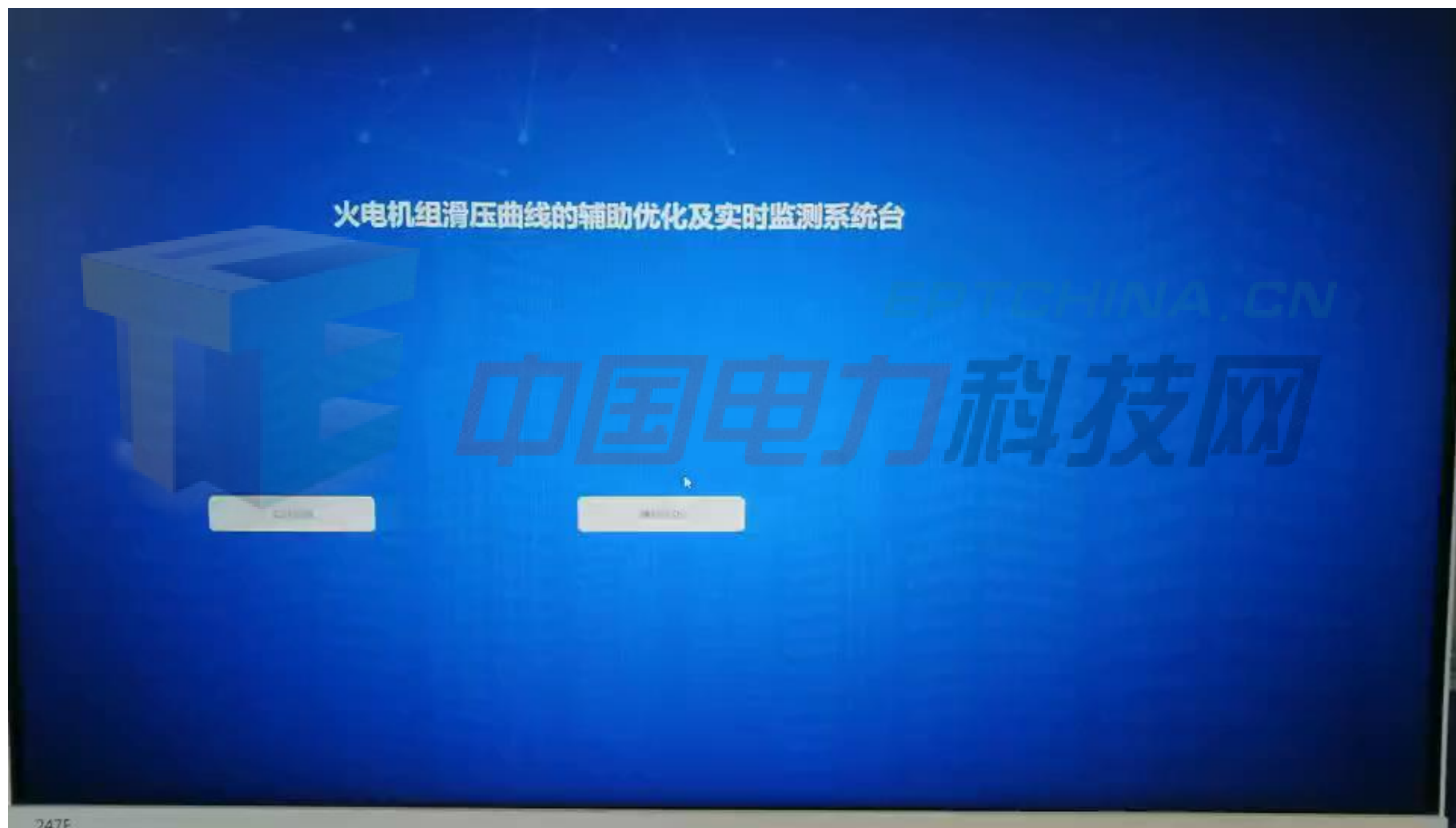
- 考虑机组热效率的影响及系统特点，设计平台系统拟采用JavaEE 企业级开发进行组件化业务处理。本系统既可采用PI数据库作为数据源，同时也可直接利用机组DCS系统直接作为数据源；
- 采用Mongodb 数据库存储测点数据，利用Matlab数据算法实现经济性分析数值混合编程的方式完成对生产实时进行监控和经济分析的功能；工具包将Matlab代码转化为Java类，在服务器端的Servlet,JSP中去调用转化而来的Java类；
- 系统以这种方式进行开发，效率极高，其充分发挥了Matlab在数值计算和图形处理上的强大优势和Java在Web应用程序中的强大功能。在运行效率上也克服了利用MatLab Web Server采用的CGI方式效率低的缺点。



系统结构框图

部件组成	技术参数
产品名称	火电机组滑压曲线的辅助优化及实时监测系统
CPU	Intel® Core™ i5 2.7GHz
硬盘	1T· SATA 接口硬盘及以上
内存	4G-DDR3-SDRAM 及以上
PCI 插槽	4 个
重量	4.0 kg
体积	164 mm(W) x 225 mm(D) x 180 mm(H)

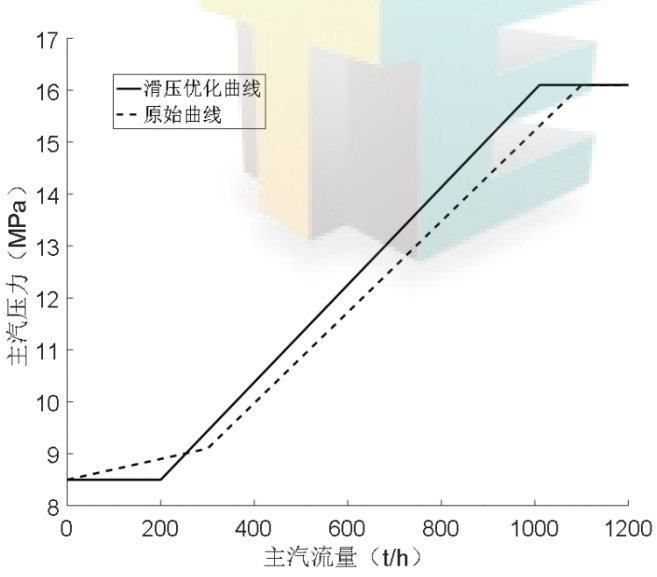
系统相关技术参数



四、实际应用测试

内蒙古某六高调门亚临界330MW机组

内蒙古某公司为**亚临界330MW机组**，机组自投产以来仅进行了相应的调门特性曲线优化，而滑压运行优化工作未开展、一直沿用出厂的理论设计曲线。同时，机组配置了**六高调门喷嘴组**，不仅结构上存在特殊性，而且运行方式上也存在特殊性：机组采用空冷方式，夏季背压变化范围较大；在冬季，机组还需进行抽汽供热。所以，机组运行工况十分复杂，需要开展细致的宽工况适应性滑压曲线综合优化工作。



滑压优化曲线结果

试验工况	滑压原始曲线		优化曲线		节能效果
主蒸汽流量 (t/h)	主蒸汽压力 (MPa)	计算热耗率 (kj/kW·h)	主蒸汽压力 (MPa)	热耗率 (kj/kW·h)	热耗率 (kj/kW·h)
702	13.35	9240	13.7	9170	70
802	14.3	8950	15.05	8782	168
947	15.05	8790	15.41	8698	92
998	16.15	8580	16.45	8405	175

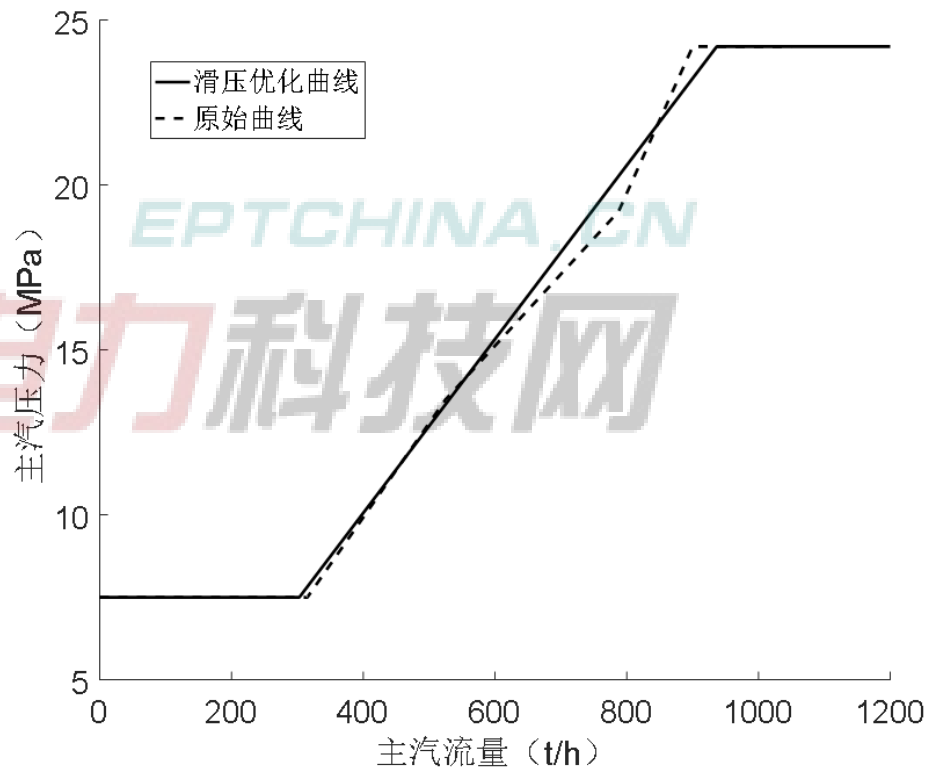


结果显示：优化前后，在各种工况下，相同负荷点的主蒸汽压力平均提升0.4MPa左右，至少节省煤耗1.6 g/Kw·h，大大提高了机组经济性

四、实际应用测试

◆ 内蒙古某公司四高调门超临界350MW

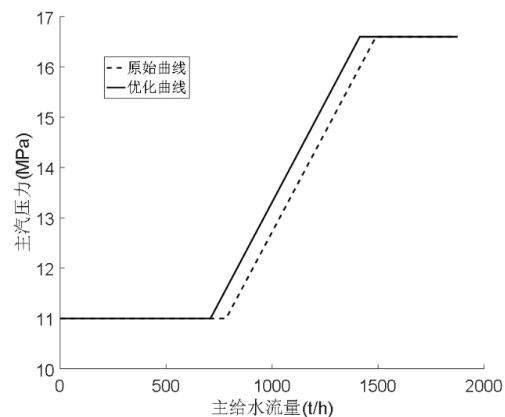
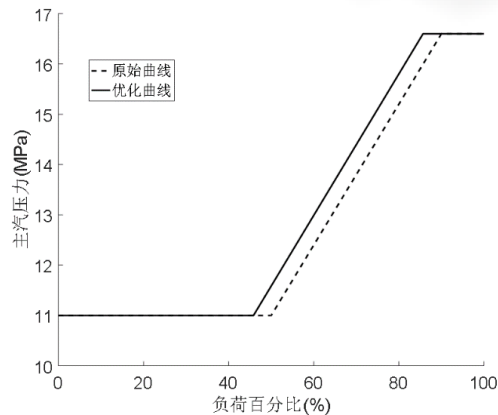
- 优化前后，在各种工况下，相同负荷点的主蒸汽压力平均提升**1.2MPa**左右，至少节省煤耗**2g/kW·h**，大大提高了机组经济性；同时，通过在线监控及实时调整系统，机组运行经济性将进一步得到提升。
- 后期，通过进一步进行机组高背压和抽汽工况的验证，可以直接进行实际运行数据采集分析验证，也可设计专门试验测试验证。
- 并且，优化后的滑压曲线与出厂理论设计值比较接近，这也说明了优化结果的合理性。



四、实际应用测试

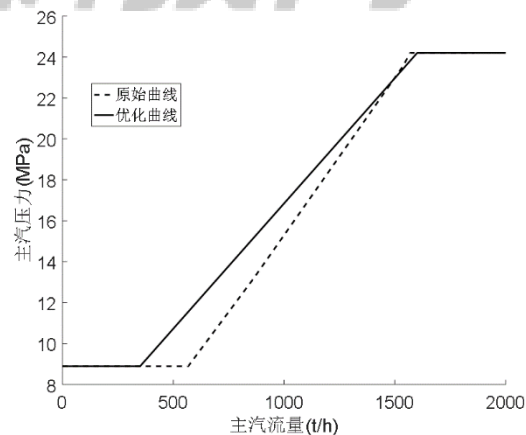
◆ 河北某公司四高调门亚临界600MW

- 1号机的热耗率同比下降了70.3kJ/kW·h，2号机的热耗率同比下降了55.4kJ/kW·h。相同负荷点的主蒸汽压力平均提升0.8MPa左右，至少节省煤耗2.1g/kW·h，大大提高了机组经济性。
- 并且，考虑到该厂的调节级压力测点损坏，本次优化试验结果采用以负荷百分比的形式和以主给水流量的形式给出，结果如下。



◆ 吉林某公司四高调门超临界660MW机组

机组的热耗率同比下降了45.1kJ/kW·h。相同负荷点的主蒸汽压力平均提升0.9MPa左右，至少节省煤耗1.3g/kW·h，大大提高了机组经济性。



五、结论

- ◆ 提出了一套完整的考虑多影响因素的燃煤机组滑压运行控制策略，其中包括研究适用于空冷供热机组变工况的考虑多因素影响的滑压曲线完备获取方法及主汽温度耗差修正曲线优化方案；基于机组运行大数据排序聚类的滑压曲线获取方法；机组滑压控制的实时修正及应用策略。设计了可满足不同工况需求的滑压优化控制曲线，从根本上提高了机组的热经济性和操作灵活性。
- ◆ 讨论了燃煤机组运行数据在滑压优化过程中的可行性，详细介绍了典型的聚类算法模型如FCM（模糊C均值聚类）、k-means（K均值聚类）。同时利用聚类算法的特点有效结合滑压优化问题，设计出了一套完整、高效的滑压优化曲线设计策略。对比不同电厂的经济性可知，该方法可提高滑压优化设计效率及设计准确性，充分发挥了大数据应有的价值。
- ◆ 给出了一套机组性能在线监测及调整策略，并设计出一套辅助决策支持系统。考虑到DCS的通讯特点，无法实时进行参数修改，提出了一套有人工参与的修正方案，可在现有的条件下满足优化需求和监测目标，大大提高滑压优化的时效性。
- ◆ 从理论分析、现场调研、试验设计、算法研究、策略实现等多个方面充分证明了：
所提出的一套完整的考虑多影响因素的燃煤机组滑压运行控制策略，具有很强的独创性、理论完整性和可推广性。



谢谢指导

CEPTCHINA.CN
中国电力科技网