



凯博 CFB 锅炉燃烧过程优化控制系统

实 例 分 析



大连凯博科技发展有限公司

2012 年 5 月

1、给煤机故障处理

出现的单台给煤机断煤的故障，自控系统正确诊断出故障，同时启动故障处理预案，维持控制输出不变，相应增加其他给煤机的给煤量，故障消除后再恢复原给煤分配。

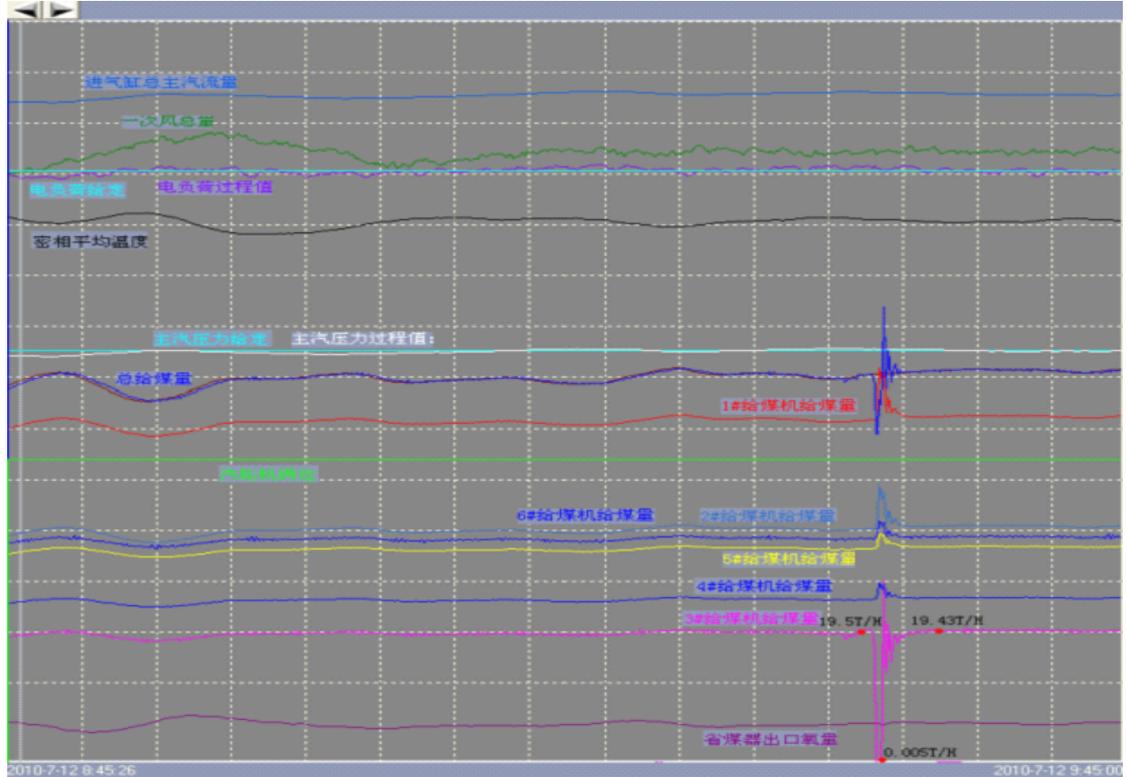


图 1-1 给煤机短时间断煤

图 1-1：2010 年 7 月 12 日 8:45---9: 45 一个小时连续投运曲线图（期间负荷给定与压力给定平稳），3#给煤机发生故障，给煤量由 19.5T/H 瞬间变为 0.005T/H，控制系统反应很快，及时将 3#给煤机给煤量的一半平均分配给 1#、2#给煤机，另一半平均分配给 4#、5#、6#给煤机，保证总给煤量的稳定，在 3#恢复正常后，系统自动恢复原来给煤量。由于加煤及时，压力和负荷基本没有受到影响。系统参数控制平稳，没有大的波动。主汽压力偏差最大只有 0.09MPa，负荷最大偏差只有 1.1MW。

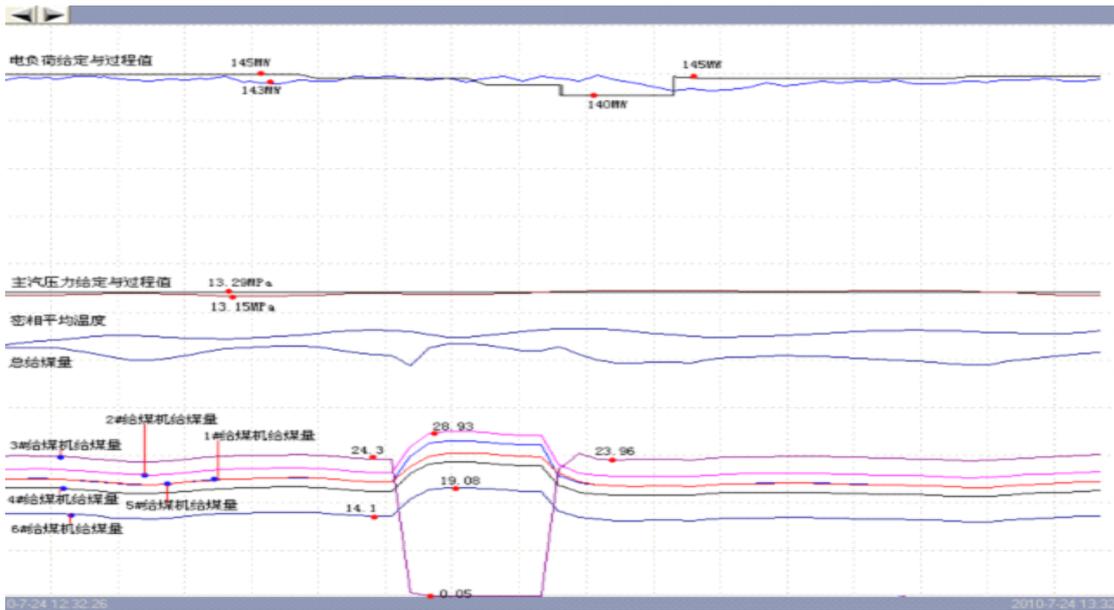


图 1-2 给煤机长时间断煤

图 1-2: 2010 年 7 月 24 日 12:32----13: 32 一个小时连续投运曲线图（期间负荷给定与压力给定平稳），3#给煤机发生故障，给煤量由 24.3T/H 瞬间变为 0.05T/H，断煤时间为 10 分钟，控制系统反应很快，及时将 3#给煤机给煤量的一半平均分配给 1#、2#给煤机，另一半平均分配给 4#、5#、6#给煤机，保证总给煤量的稳定，在 3#恢复正常后，系统自动恢复原来给煤量，同时保证总给煤量的稳定。由于加煤及时，压力和负荷基本没有受到影响。系统参数控制平稳，没有大的波动。主汽压力偏差最大只有 0.06MPa，负荷最大偏差只有 1.5MW。

2、 负荷协调控制运行情况

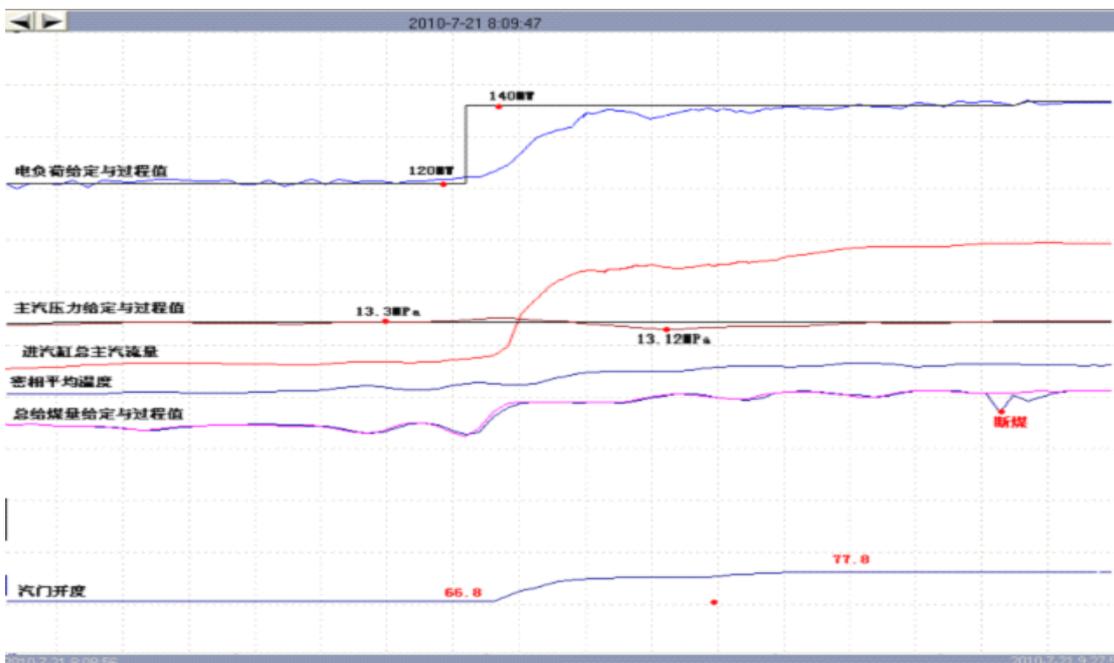


图 2-1 加 20MW 负荷控制图

图 2-1: 2010 年 7 月 21 日 8: 08----9: 27 一个半小时投运曲线图（期间升负荷一次），期间负荷由 120MW 升为 140MW，系统参数控制平稳，没有大的波动。

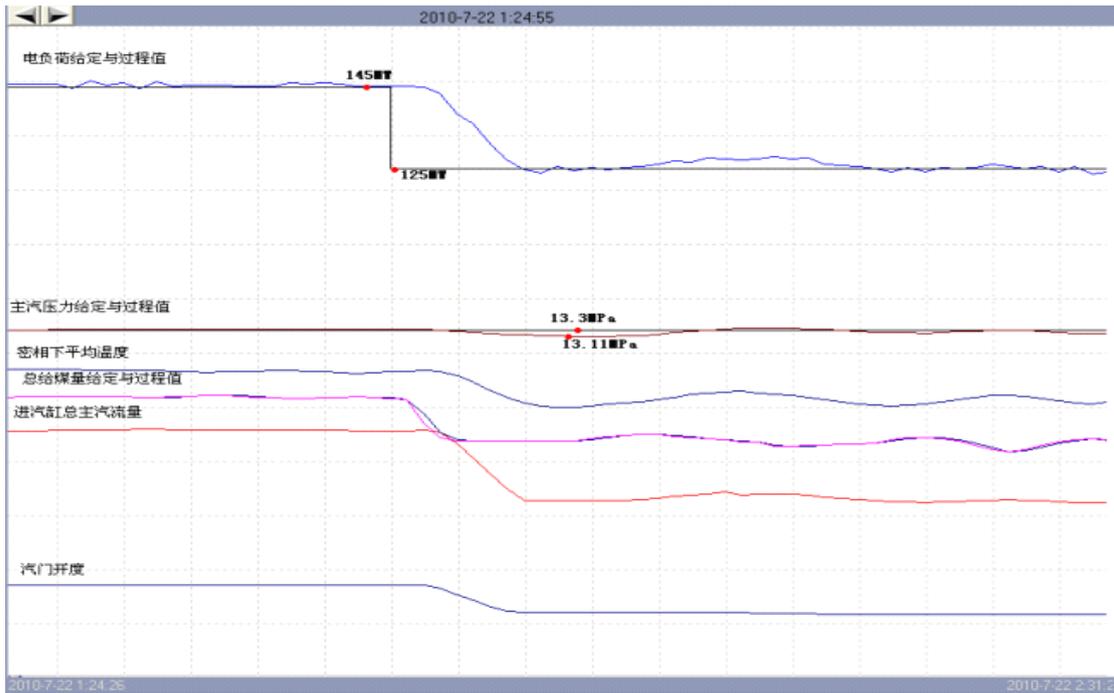


图 2-2 减 20MW 负荷控制图

图 2-2: 2010 年 7 月 22 日 1: 24----2: 31 一小时投运曲线图 (期间降负荷一次), 期间负荷由 145MW 下降为 125MW, 用时 8 分钟, 系统参数控制平稳, 没有大的波动。

负荷平均变化率为 2.5MW/分钟。

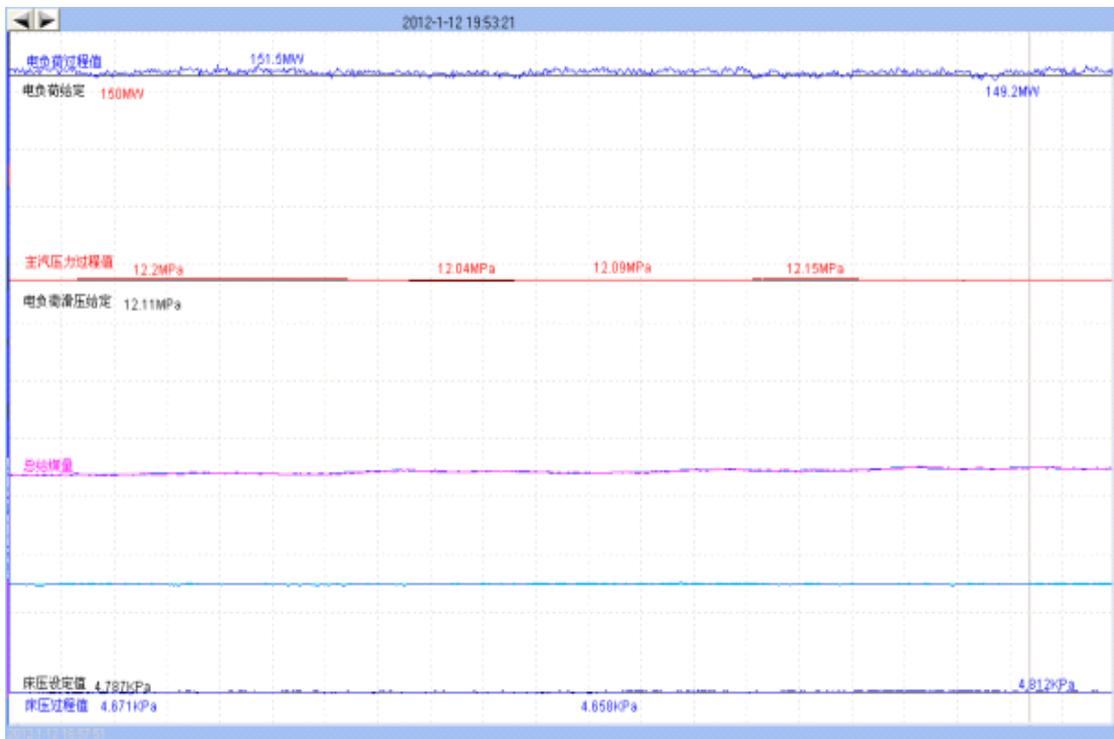


图 2-3 稳态运行 1 小时曲线图

图 2-3: 2012 年 1 月 12 日 18 点 57 分至 1 月 12 日 19 点 57 分

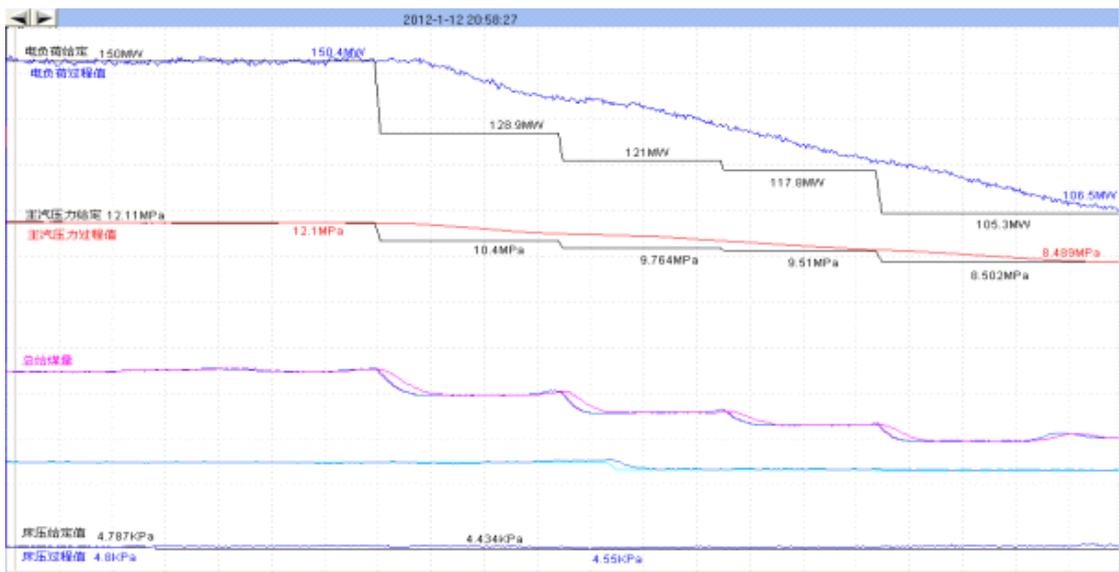


图 2-4 滑压方案降负荷 44.7MW

图 2-4：2012 年 1 月 12 日负荷设定值从 150MW 降到 114.2MW。负荷设定值先由 150MW 降到 128.9MW 相应的压力设定值也由 12.1MPa 降到 10.4MPa，然后负荷设定值降到 121MW 再降到 117.8MW 最后到 105.3MW，压力设定值自动改变为 9.764MPa、9.51MPa、8.502MPa。负荷变化率大于 2MW。压力在允许范围内波动。

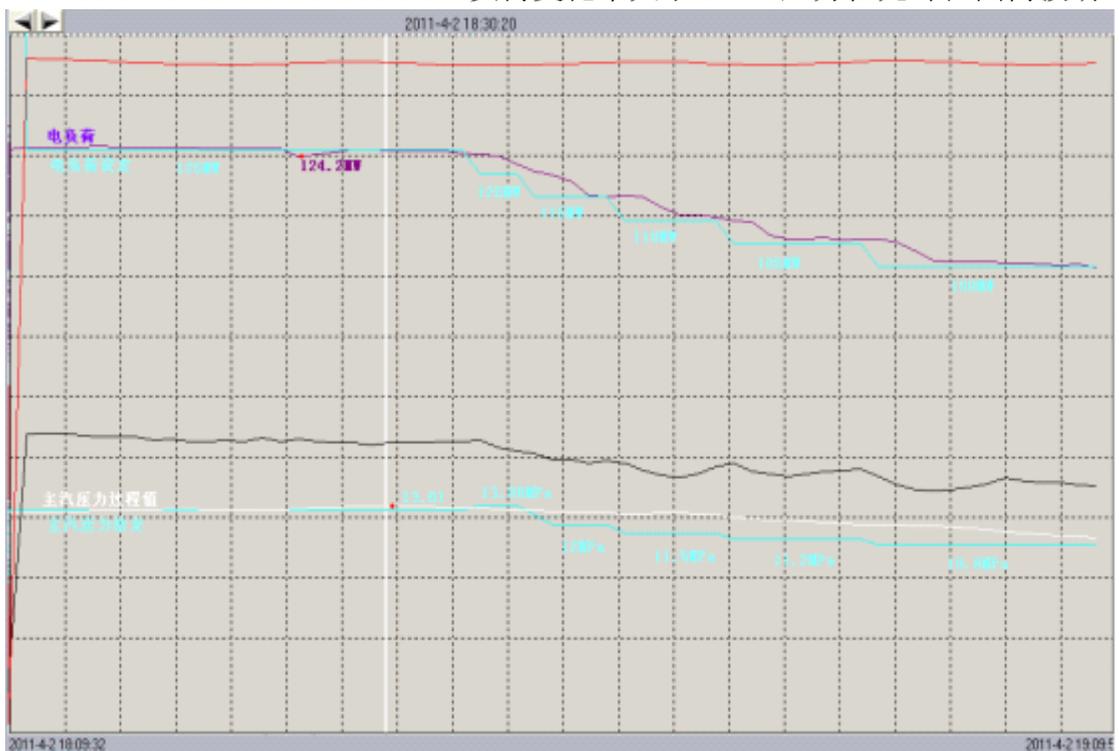


图 2-4 滑压方案降负荷 25MW

图 2-4：这是 2011 年 4 月 2 日连续变负荷曲线图。负荷由 125MW 减到 120MW 再减到 115MW 然后减到 110MW 减到 105MW 最终减到 100MW。压力由 13.08MPa 减到 12MPa 再减到 11.5MPa 然后减到 11.2MPa 最终减到 10.8MPa。

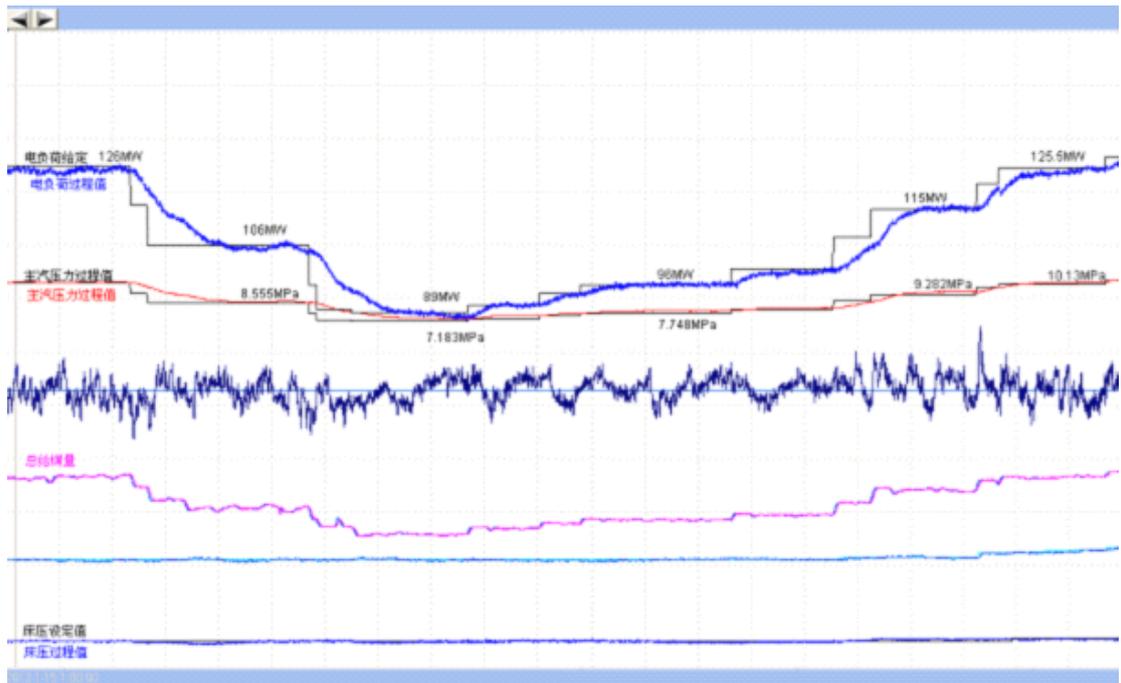


图 2-5 滑压方案 8 小时运行曲线图

图 2-5：这是 2012 年 1 月 15 日连续运行 8 小时曲线图。其间变负荷十多次。负荷变化的同时压力值自动给出。各参数运行平稳，满足运行要求。

3、煤质波动时的调控（定负荷控制）

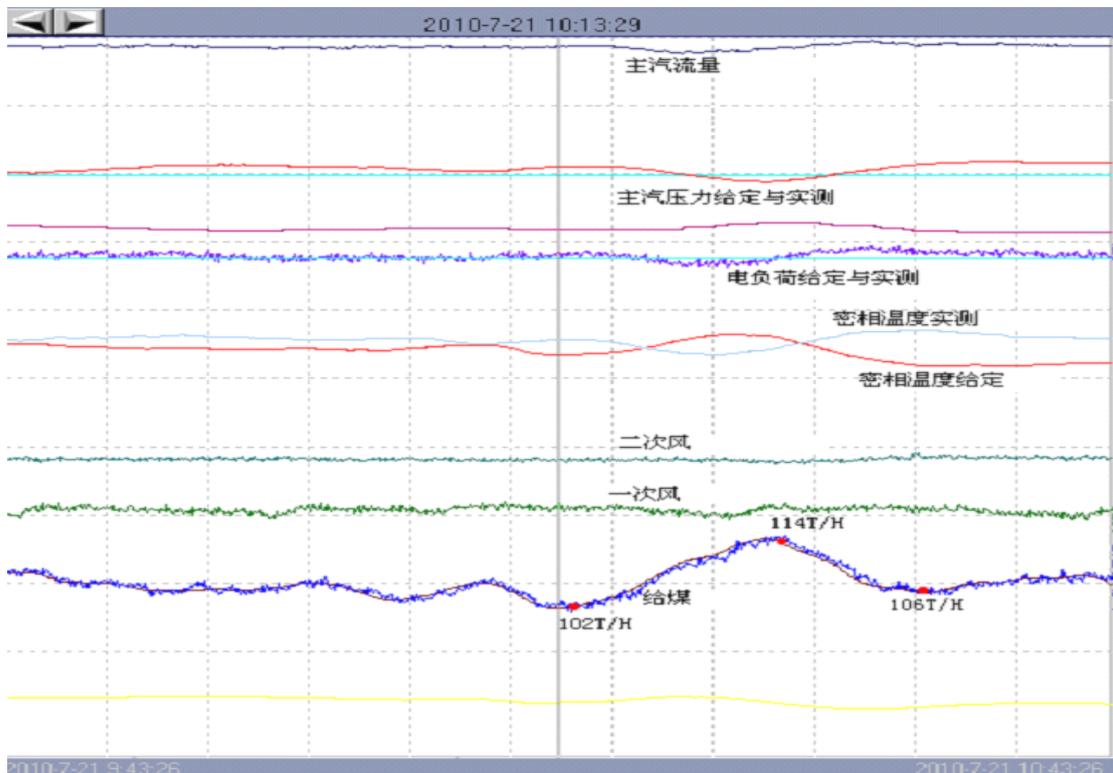


图 3-1 短时间煤质变化

图 3-1: 2010-7-21 10 时 13 分煤质干扰时的控制曲线竖线处煤质变化，当压力、负荷尚未变化时，协调控制系统的给煤量迅速上调了 12 吨，维持了压力、负荷的稳定。

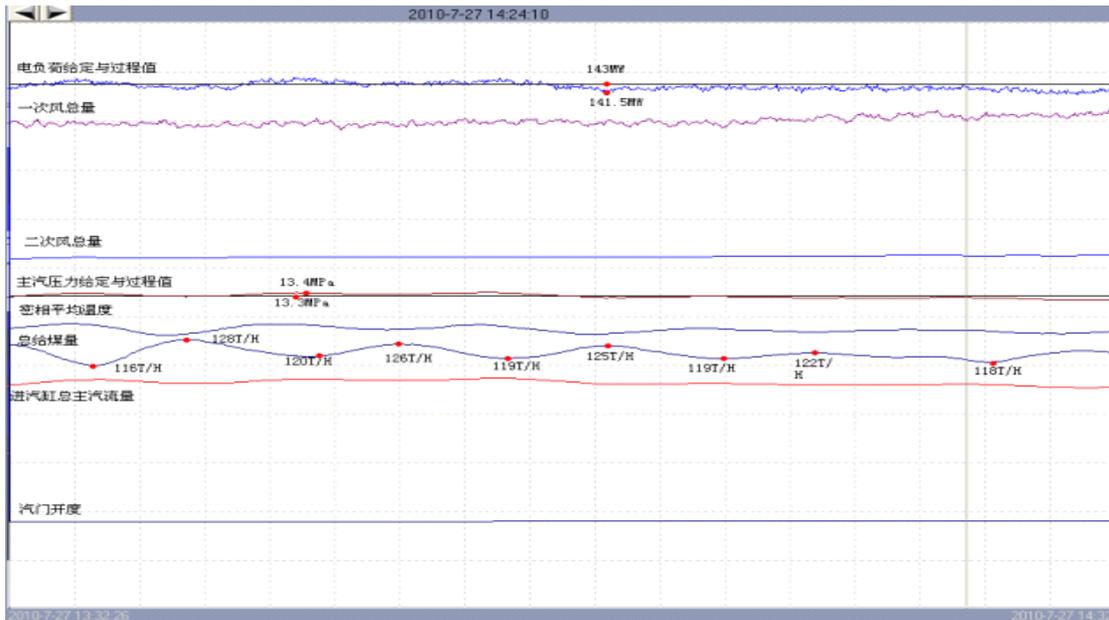


图 3-2 煤质长时间频繁变化

图 3-2: 2010-7-27 13 时 32 分煤质干扰时的控制曲线竖线处煤质变化，整个过程持续 40 分钟，当压力、负荷尚未变化时，协调控制系统的给煤量最大调煤幅度达到了上调 12 吨，维持了压力、负荷的稳定。整个过程压力负荷均控制在很小的偏差之内。

4、风量的调控

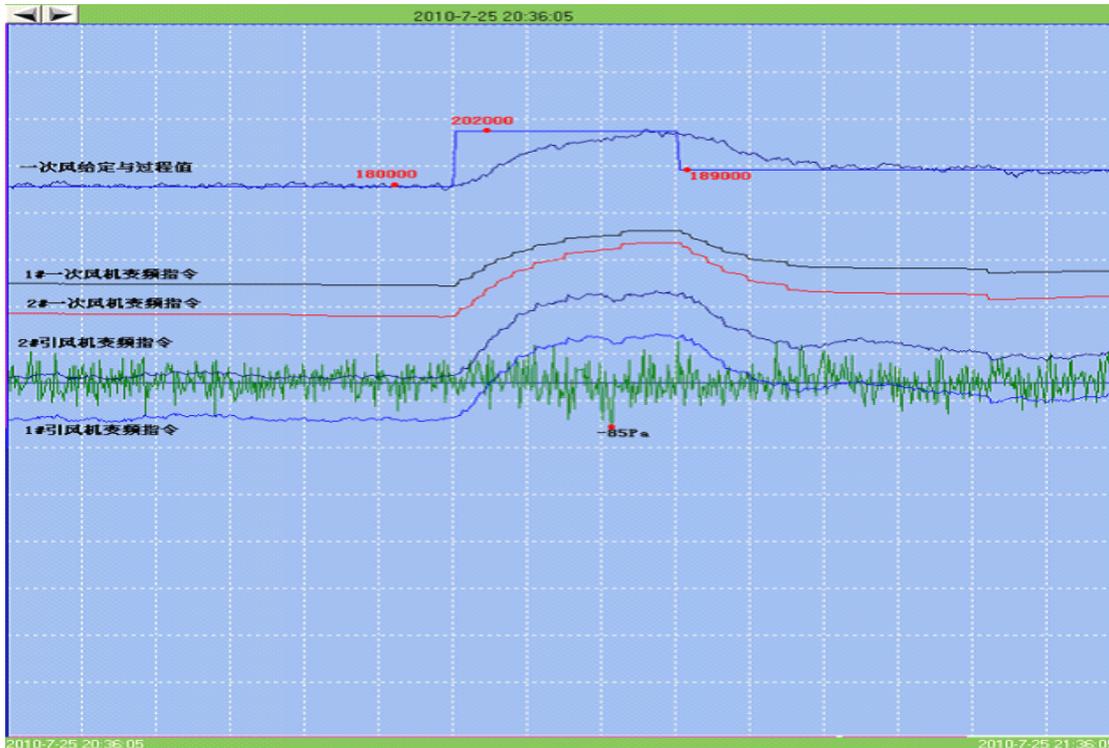


图 4-1 升降负荷时一次风变化及引风调控曲线

图 4-1: 2010 年 7 月 25 日 20:36——21: 36 连续投运曲线图（期间为升降负荷过程）。一次风总量由 180000→202000→189000，由于在引风控制中增加了一次风控制的前馈信号（即在调整一次风的时候，同时调整引风机变频），炉膛负

压基本没有受到影响。系统参数控制平稳，没有大的波动。负压偏差最大只有85Pa。

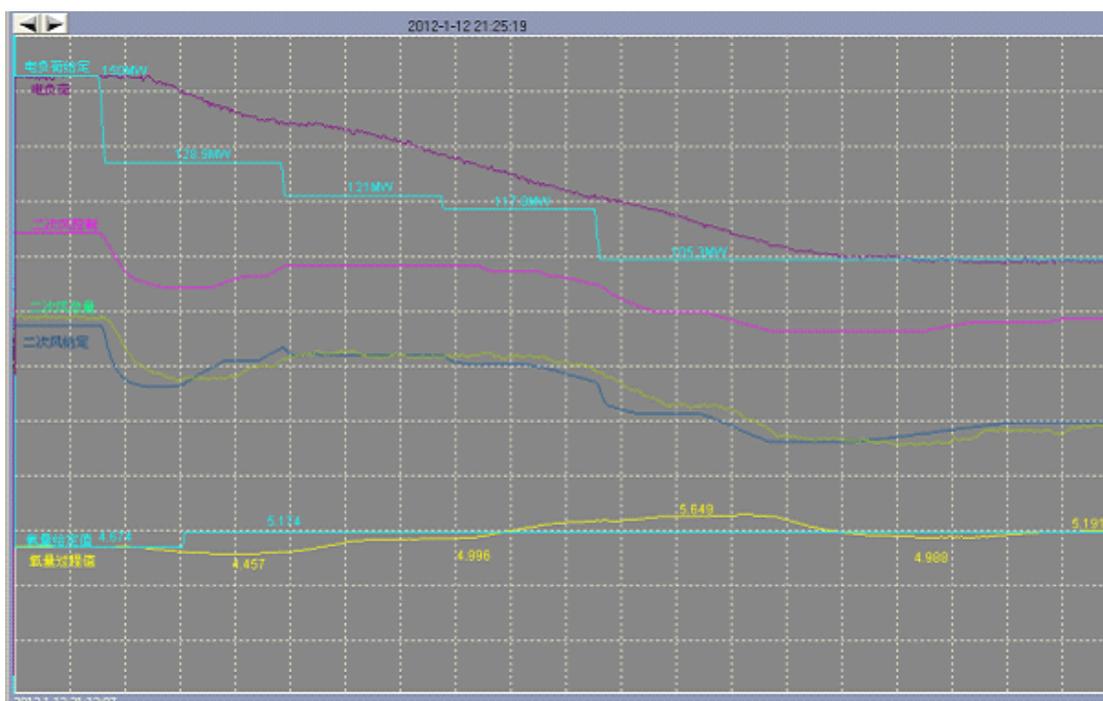


图 4-2 二次风调控曲线

图 4-2：2012 年 1 月 12 日 21:13——22: 13 连续投运曲线图。系统参数控制平稳，调节及时，没有大的波动。

5、 母管制机组控制效果

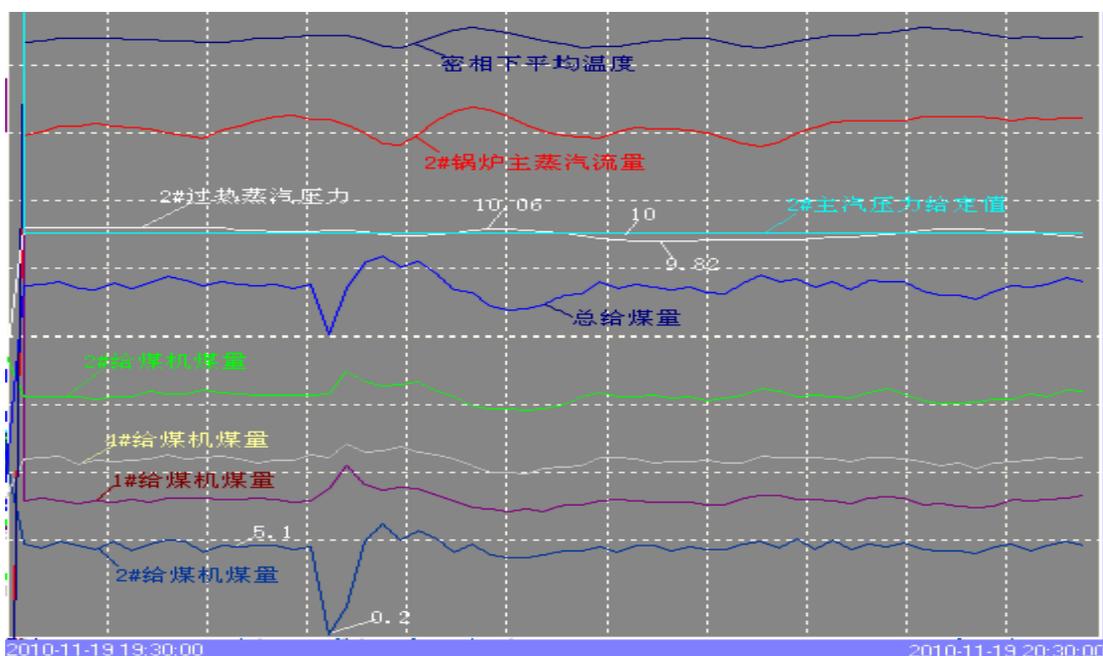


图 5-1 给煤机短时间断煤

图 5-1：2#给煤机的煤量从 5.1T/h 降到 0.2T/h 后，其他三台给煤机将给煤量补充上来，保持了主蒸汽压力的稳定，当时主蒸汽压力设定值为 10MPa，主蒸汽压力过程值实际最低为 9.82MPa，最高为 10.06MPa。

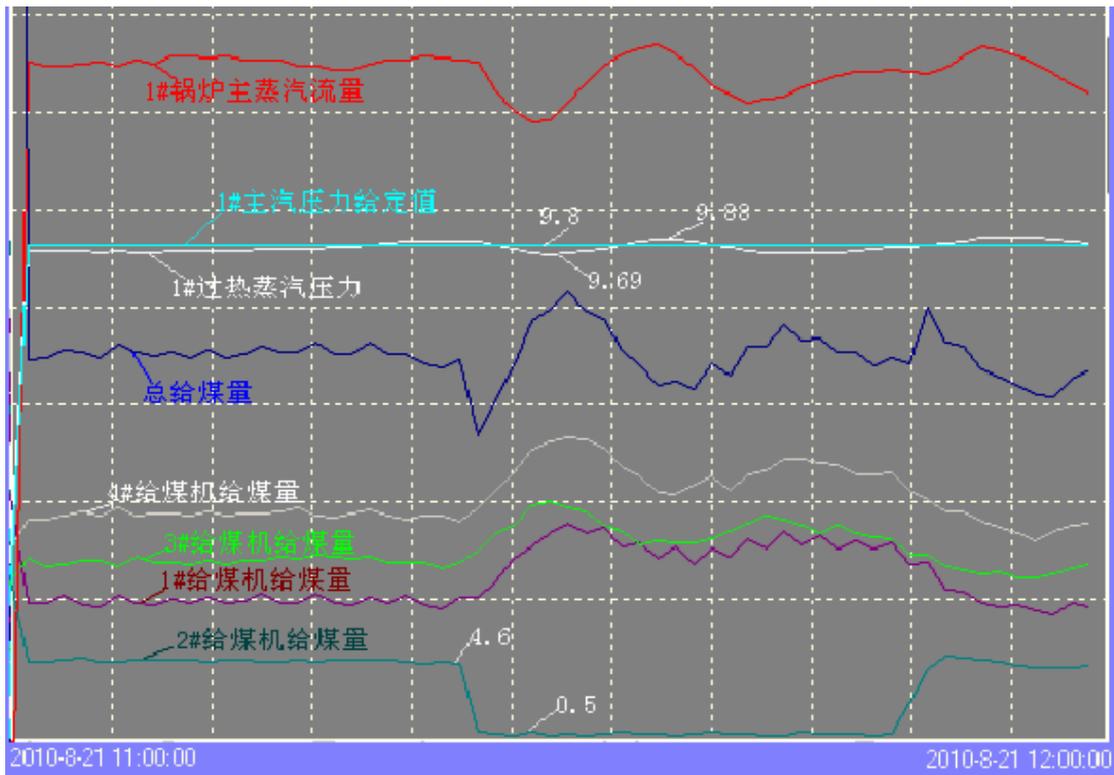


图 5-2 给煤机长时间断煤

图 5-2: 2#给煤机的煤量从 4.6T/h 降到 0.5T/h 后, 其他三台给煤机将给煤量补充上来, 虽然 2#给煤机断煤约 27 分钟, 但经过自动控制另外三台给煤, 保持了主蒸汽压力的稳定, 当时主蒸汽压力设定值为 9.8MPa, 主蒸汽压力过程值实际最低为 9.69MPa, 最高为 9.88MPa。锅炉主蒸汽流量也很快趋向平稳。

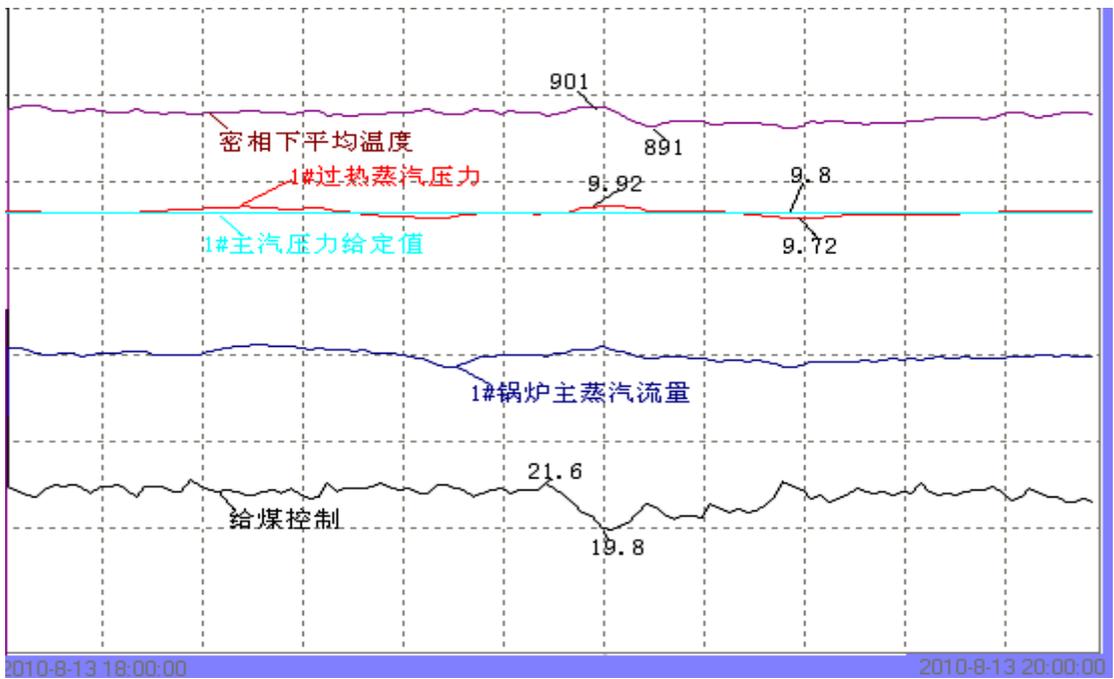


图 5-3

图 5-3：是 2010 年 8 月 13 日 18 点至 20 点锅炉燃烧自动控制时的曲线，由上图可以看出，当过热蒸汽压力、密相下平均温度变化不大时，给煤控制（给煤量的控制指令）也是小幅度的调整，当过热蒸汽压力出现下降的时候，给煤控制则会明显的增加，加大实时总给煤量。当过热蒸汽压力出现上涨的时候，给煤控制会提前进行回调，这样保证了在调节过程中过热蒸汽压力能控制在给定值的范围内。燃烧优化控制系统在调节过程中，综合考虑了影响压力和燃烧的各种因素，并能根据这些因素的变化趋势对燃烧过程进行预估，然后根据变化趋势和预估的结果对给煤量进行提前调节，实现了对主蒸汽压力的平稳控制。

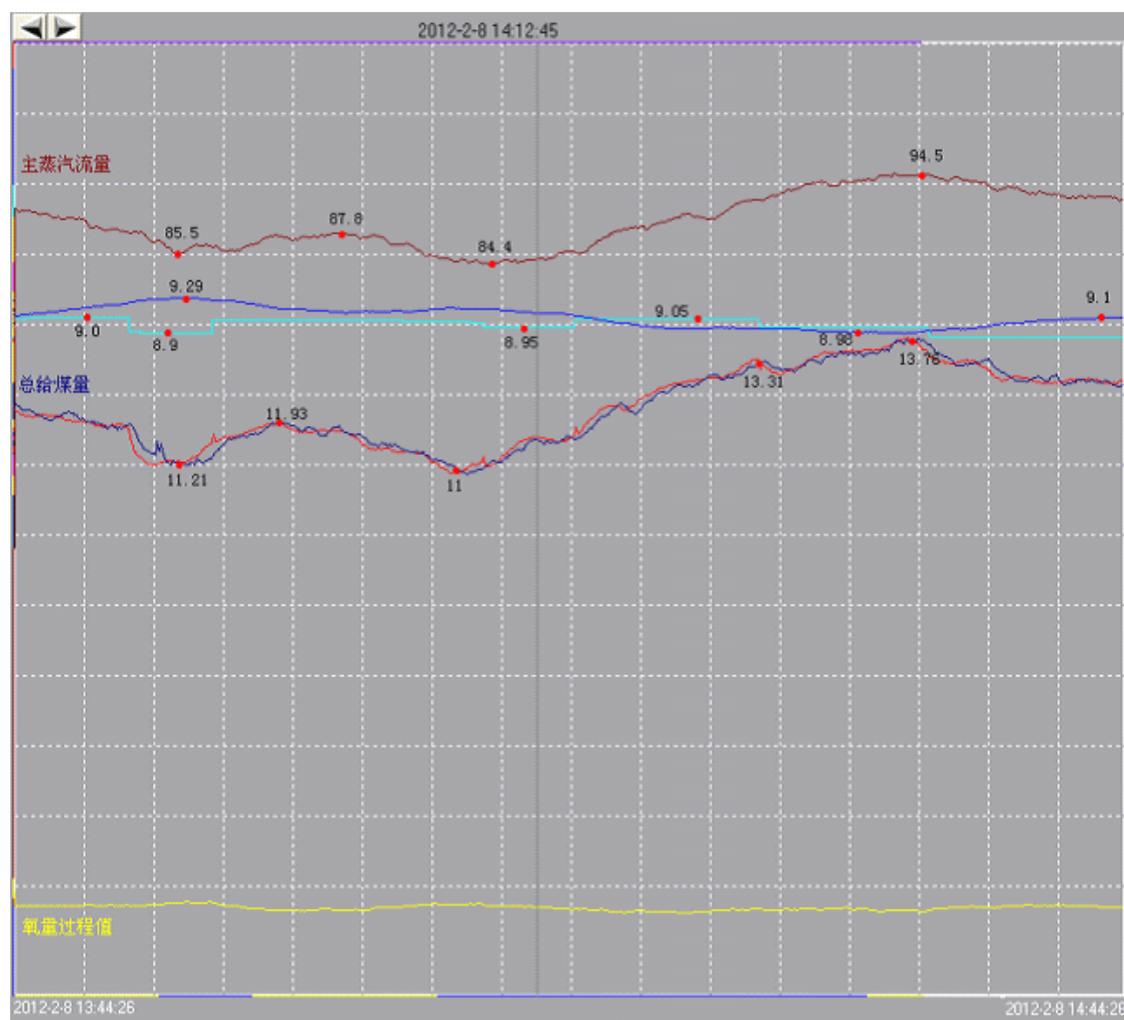


图 5-4

图 5-4 为 2012 年 2 月 8 日 13:44—14:44 投运曲线，期间负荷最大变化量 10 吨，压力控制没有超调，压力最低为 8.98MPa，最高为 9.29MPa。

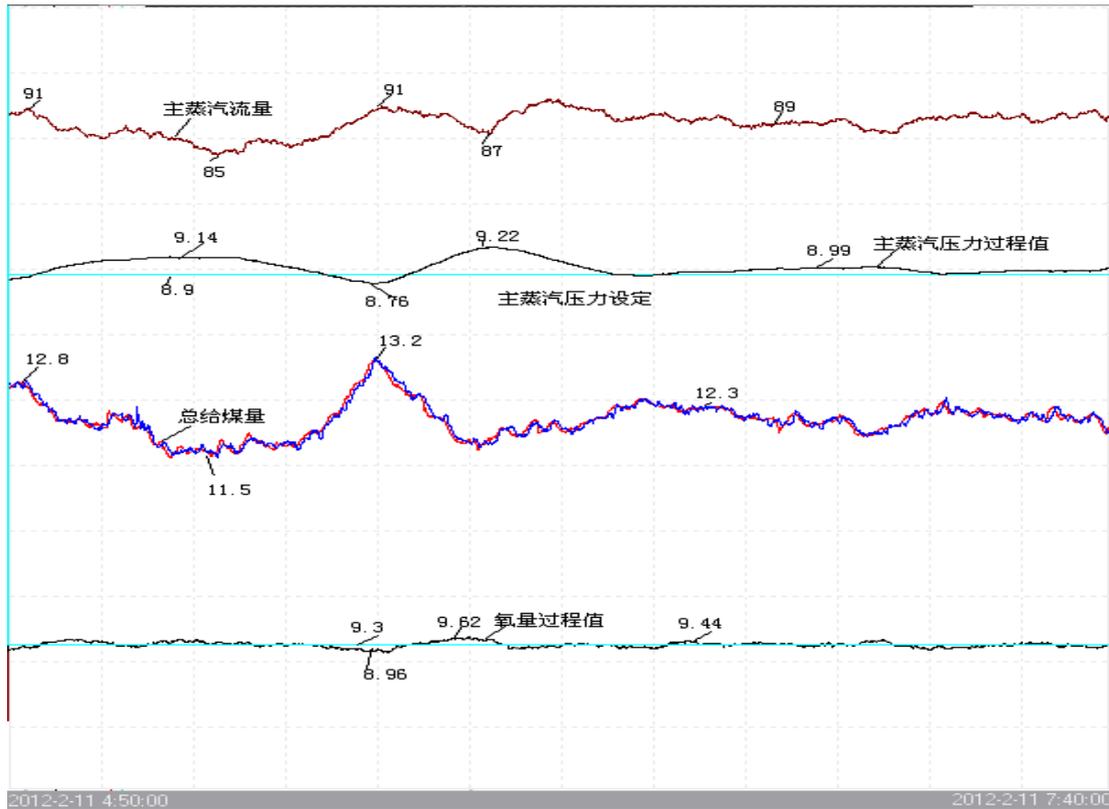


图 5-5

图 5-5 是 2012 年 2 月 11 日 4:40—7:40 投运曲线, 期间负荷变化经历过先减负荷, 然后增负荷, 紧接着减负荷, 最后负荷小幅回调至稳定运行, 煤量及时自动调整, 满足了负荷变化的要求, 压力设定值为 8.9MPa, 实际过程值压力最低为 8.76MPa, 最高为 9.22MPa, 在负荷调节过程完成后, 最后压力稳定在 8.99MPa 左右, 自动系统调节及时、运行稳定。

6、效益评价

A、锦西 6#炉

1) 煤耗、能耗对比:

由表 1、2: 白班投运数据

	实际煤耗 (kg/吨汽)	标准煤耗 (kg/吨汽)	能耗 (度电/吨汽)
手动平均	208.25	84.1	17.28
自动平均	203.16	82.2	17.01
百分比	降低 2.4%	降低 2.2%	降低 1.5%

说明: 手动数据取 2006 年 10 月 21 日~23 日两个前夜和两个后夜的手动操作的

平均数据，自动数据取 2006 年 10 月 21 日~23 日三个白班投运自动平均数据。

由表 3:

	实际煤耗 (kg/吨汽)	标准煤耗 (kg/吨汽)	能耗 (度电/吨汽)
手动平均	203	81.9	16.87
自动平均	209	81.1	16.28
百分比	增加 2.8%	降低 0.9%	降低 3.4%

说明：手动数据取 2006 年 10 月 28 日 8 点~30 日 8 点 48 小时数据，自动数据取两组数据平均(2006 年 10 月 30 日 8 点 30 分~31 日 8 点 30 分 24 小时自动数据与 2006 年 11 月 2 日 10 点~3 日 10 点 24 小时自动数据)。

由表 5:

	实际煤耗 (kg/吨汽)	标准煤耗 (kg/吨汽)	能耗 (度电/吨汽)
手动平均	217.9	83.9	17.11
自动平均	212	81.6	16.27
百分比	降低 2.7%	降低 2.7%	降低 4.9%

手动时间是：2006 年 11 月 4 日 14 点至 2006 年 11 月 7 日 14 点 (72 小时)

自动时间是：2006 年 11 月 7 日 14 点至 2006 年 11 月 10 日 14 点 (72 小时)

总评:

	实际煤耗 (kg/吨汽)	标准煤耗 (kg/吨汽)	能耗 (度电/吨汽)
手动平均	211.16	83.3	17.07
自动平均	209	81.5	16.4
百分比	降低 1%	降低 2.1%	降低 3.9%

说明： 由于上述各段数据时间不同，总评数据按下式计算

$$\text{总平均} = \frac{\text{数据1} \times \text{时间1} + \text{数据2} \times \text{时间2} + \text{数据3} \times \text{时间3}}{\text{总时间(小时)}}$$

分析： 由于煤质有差别，上述实际煤耗资料，自动与手动相比，互有增减（但在相邻时间段，煤质、负荷较一致时，自动较手动仍是降低）；因此这里以标准煤耗为准计算节能效益：上述三组数据标准煤耗自动时平均降低了约 2.1%，自控时机组能耗平均下降了 3%。

2) 瓦斯气控制效益评价:

手动、自动时平均烧瓦斯气量数据比较:

时 间 段	平均瓦斯平均压力 kPa	平均瓦斯量 吨/小时
10月21日09点15分至21日16点40分(自动)	125	0.53
10月21日16点40分至22日00点40分(手动)	109	0.114
10月22日00点40分至22日08点40分(手动)	68	0.127
10月22日08点40分至22日16点28分(自动)	93	0.157
10月22日16点28分至23日00点40分(手动)	98	0.01
10月23日00点40分至23日08点50分(手动)	184	0.188
10月23日08点50分至23日16点30分(自动)	140	0.53
10月28日08点00分至30日08点00分(手动)	195.9	0.102
10月30日08点30分至31日08点30分(自动)	117.9	0.383
11月02日10点00分至03日10点00分(自动)	138.3	0.585
11月04日14点00分至07日14点00分(手动)	223	0.366
11月07日14点00分至10日14点00分(自动)	132	0.399
合 计:		
手动时平均烧瓦斯气量 (吨/小时)	0.151	
自动时平均烧瓦斯气量 (吨/小时)	0.43	

分析: 从上面的数据可以看出, 投自动时, 在瓦斯总管压力低于手动时的条件下, 瓦斯的燃烧量也要高于手动控制的时候。这样, 自动控制时在允许燃烧瓦斯的情况下实现了通过尽可能多地烧瓦斯, 达到节约燃料成本的目的。

根据上面统计的资料, 自动时平均每小时要比手动时多烧 0.279 吨瓦斯气, 按年平均运行 250 日计算, 那么一年可多烧瓦斯气: 1674 吨。如果瓦斯气的燃烧值平均按煤的三倍计算, 那么因为多烧瓦斯气而节省的燃煤数是: 5022 吨。

B、河南中孚电力有限公司

表一:

巩义 1#、2#机组 5 月到 9 月电厂统计电煤耗 (克煤/度电)

	1#	2#	
5月手动操作	534.3	530.4	
6月手动操作	512.8		2#检修
7月自动控制	516.1	519.5	
8月自动控制		579.7	1#检修
9月自动控制	485.8	498.2	

说明:

巩义电厂长期以来 1#机组比 2#机组电煤耗略高, 自 7 月份 1#机组投入优化控制

系统后，1#机组比 2#机组电煤耗明显降低。

表二：

从 6 月 27 日至 7 月 23 日 1#机组手动操作/优化自动控制煤耗比较（克煤/度电）

手动实际煤耗	自动实际煤耗	手动标准煤耗	自动标准煤耗
521	510		

说明：

优化控制系统比手动操作电煤耗降低 11 克/度电，降低 2.1%!

以上数据来自 DCS 实测数据，每 10 秒采集一次，上述煤耗为原煤耗，从 6 月 27 日至 7 月 23 日，优化控制系统和手动操作分别统计比较。

（某电厂 168 小时投运曲线）

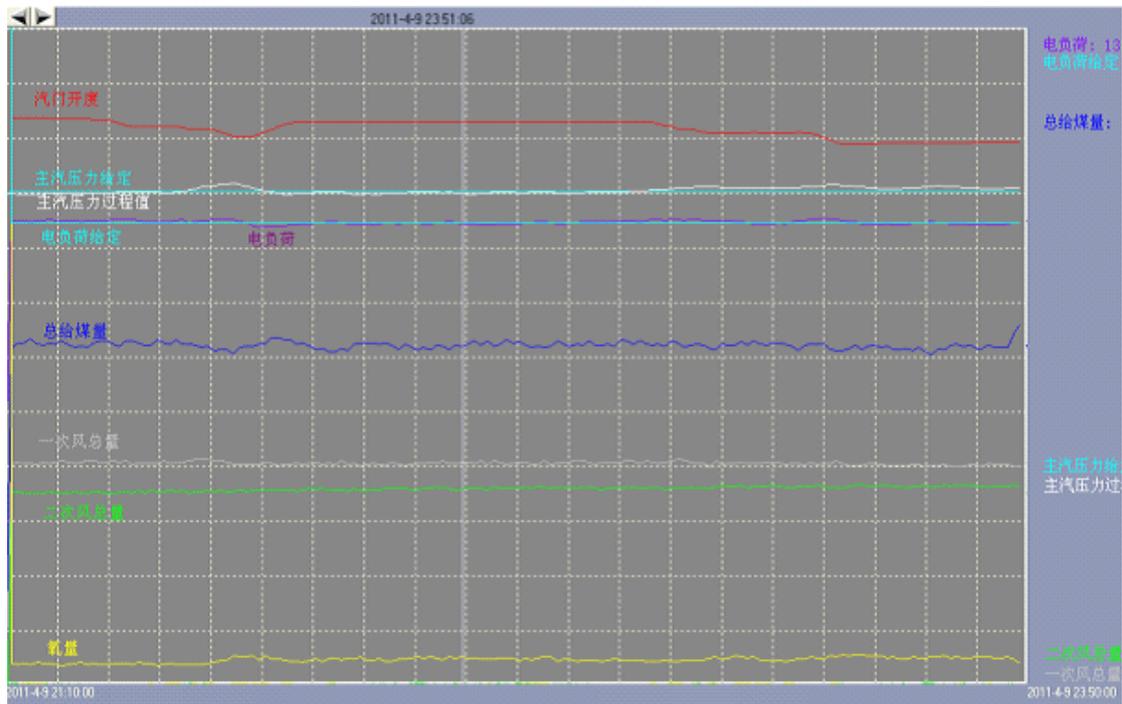


图 1：时间段：2011 年 4 月 9 日 10 点至 4 月 9 日 23 点 50 分

时长：2 小时 50 分，主汽压力设定值：12.4Mpa

分析项目	电负荷最大值 (MW)	电负荷最小值 (MW)	电负荷给定值 (MW)	电负荷平均值(T/h)	主汽压力最大值 (Mpa)	主汽压力最小值 (Mpa)	实时误差 (Mpa)	平均误差 (Mpa)
结果	131.1	128.8	130	130.1	12.57	12.3	0.17	0.05

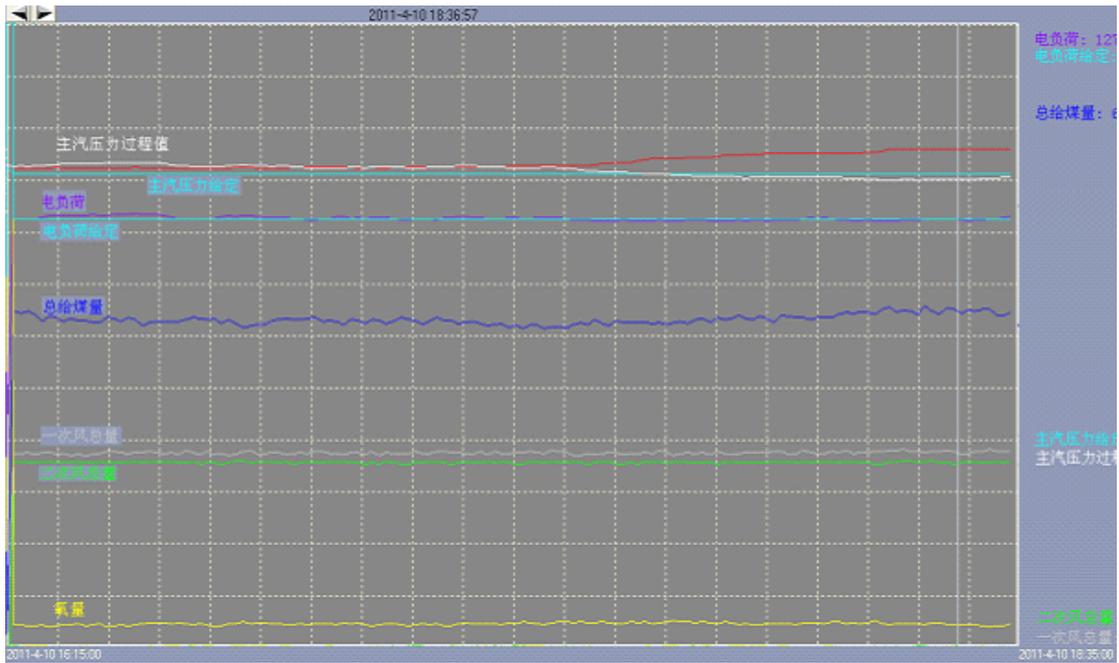


图 2：时间段：2011 年 4 月 10 日 16 点 15 分至 18 点 35 分

时长：2 小时 20 分，主汽压力设定值：12.5Mpa

分析项目	电负荷最大值 (MW)	电负荷最小值 (MW)	电负荷给定值 (MW)	电负荷平均值(T/h)	主汽压力最大值 (Mpa)	主汽压力最小值 (Mpa)	实时误差 (Mpa)	平均误差 (Mpa)
结果	128.3	126.1	127	126.95	12.7	12.35	0.2	0.08

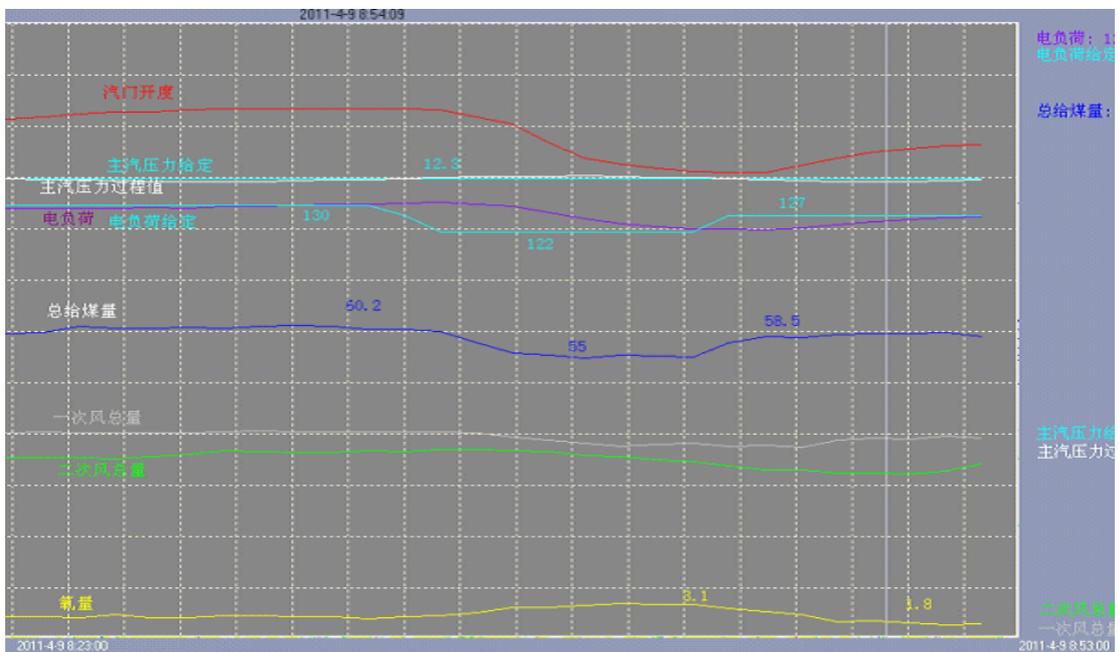


图 3：5#炉自动降 8MW 升 5MW 负荷

分析:负荷设定值从 130MW 降到 122MW, 又升到 127 MW。优化控制系统减煤 5.2 吨再加煤 3.5 吨, 压力设定值为 12.3, 最小值为 12.22Mpa, 最大值为 12.38 Mpa。自动控制配合完成了这个负荷变动, 压力在允许范围内波动。同时一次风量和二次风量自动调整。

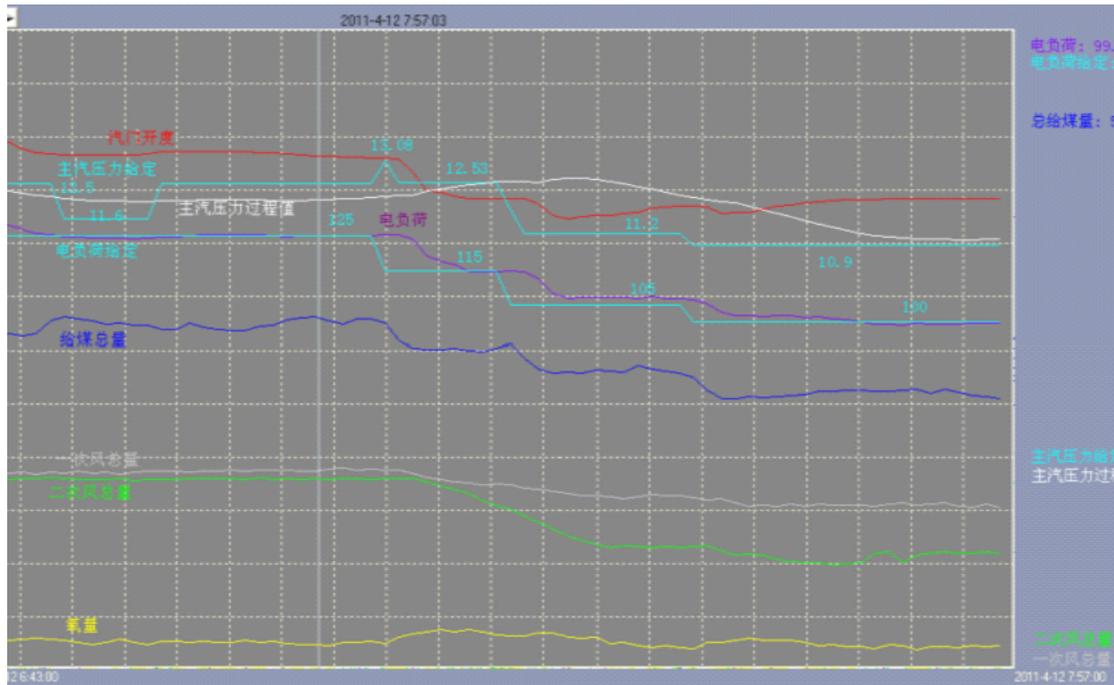


图 4: 5#炉自动降 25MW 负荷

分析:负荷设定值从 125MW 分阶段降到 100MW, 优化控制系统累计减煤 12.8 吨, 每次从修改负荷设定值到负荷调整到位用时约四分钟时间, 期间压力设定值修改三次(如上图), 最小值为 10.9Mpa, 最大值为 13.08 Mpa。自动控制配合完成了这个负荷变动, 压力在允许范围内波动。同时一次风量和二次风量自动减小。

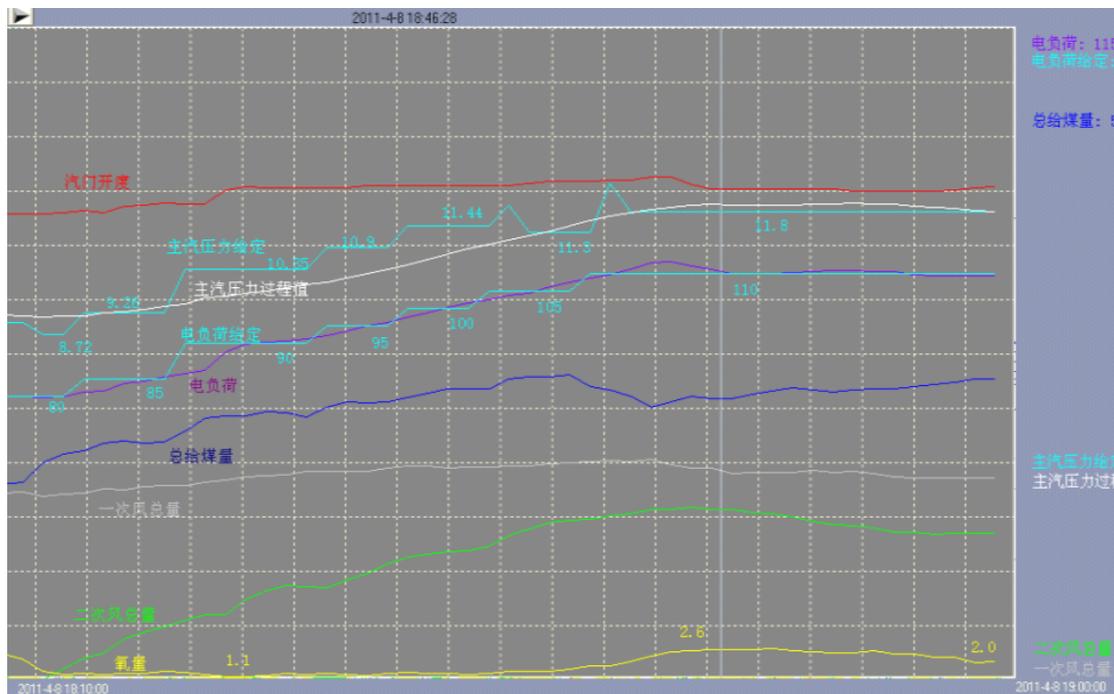


图 5: 5#炉自动升 30MW 负荷

分析:负荷设定值从 80 MW 分阶段升到 110MW, 总计升负荷 30MW。优化控制系统累计加煤约 19 吨, 每次从负荷设定值改变到电负荷调整到位约用时三分钟。自动控制配合完成了这个负荷变动, 压力在允许范围内波动。负荷变化没有超调。同时一次风量和二次风量自动减小。

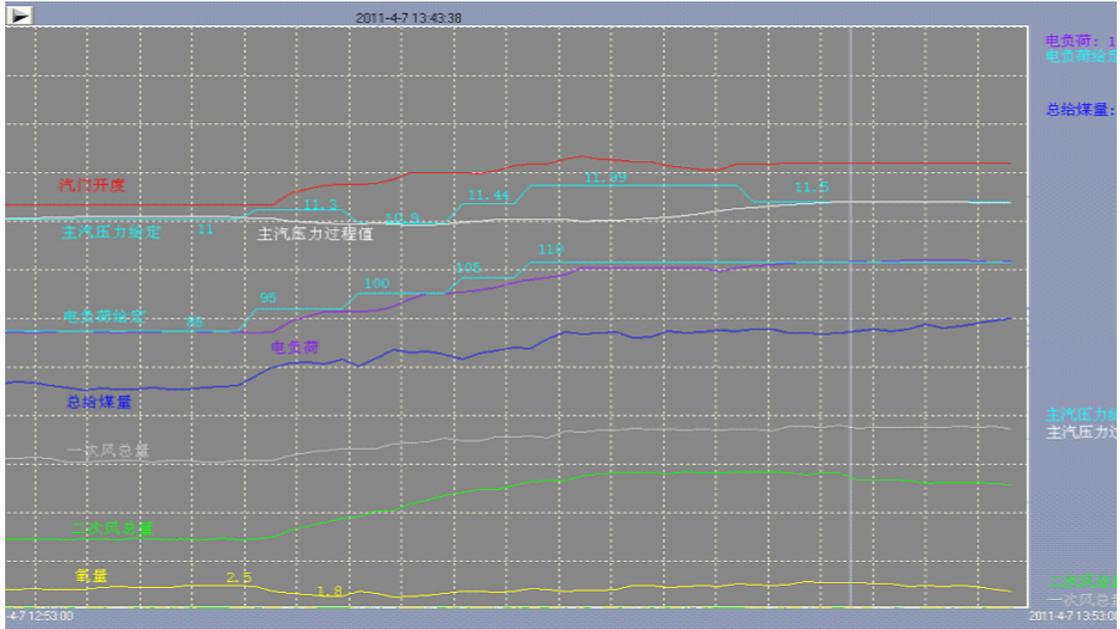


图 6: 5#炉自动升 22MW 负荷

分析:负荷设定值从 88MW 升到 110MW, 优化控制系统累计加煤 10 吨, 每次从修改负荷设定值到负荷调整到位用时四分钟时间, 自动控制风量、氧量配合完成了这个负荷变动, 压力变化平稳, 负荷的调整也是一步到位, 没有超调产生。

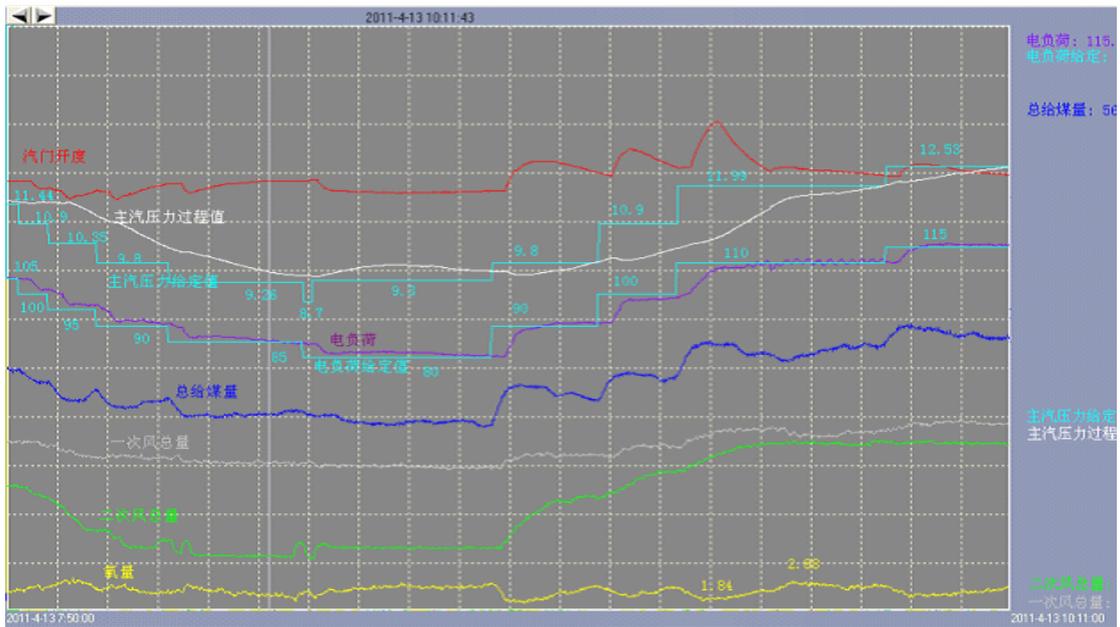


图 7: 5#炉自动减 25MW 再升 35MW 负荷

分析:负荷设定值从 105MW 分五次减至 80MW, 优化控制系统共减煤 10.5 吨再加煤 19.3 吨, 每次变负荷从修改负荷设定值到负荷调整到位用时约四分

钟时间，变负荷跟随迅速，同时给煤、风量调整及时，自动控制配合完成了这个负荷变动,压力在允许范围内波动。

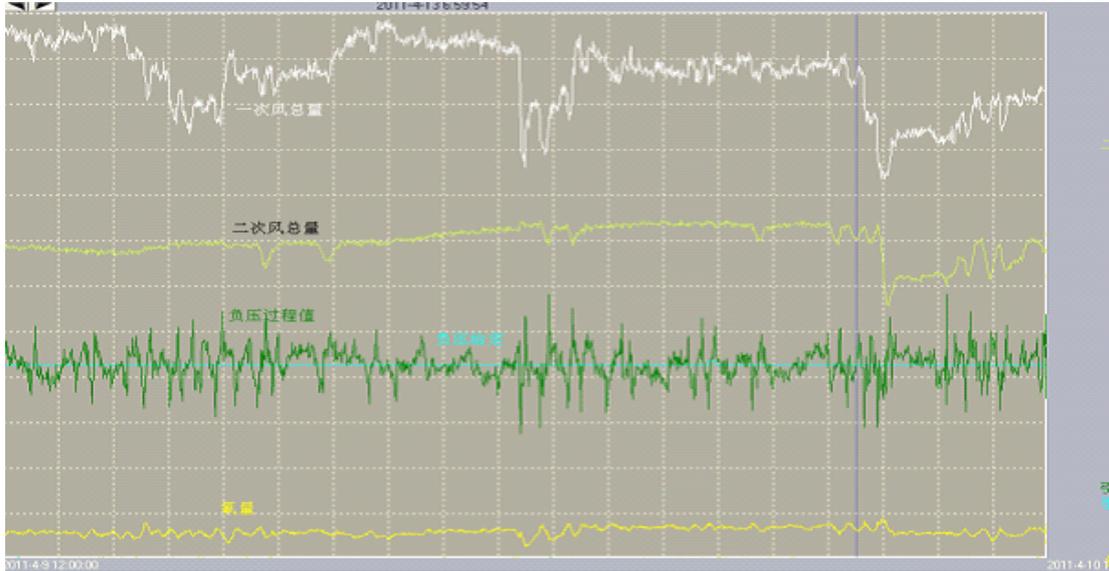


图 8: 5#炉 24 小时自动负压曲线 (2011 年 4 月 9 日 12 时—2011 年 4 月 10 日 12 时)

实时煤耗平均值做对比如下：

根据这一段时间自动和手动的数据统计比较，得到下面的煤耗对比情况：

单位：克煤/度

	实时煤耗	标准煤耗
手动平均	545.15	340.55
自动平均	530.6	336.72
百分比	降低 2.66%	降低 1.12%

采用计算方法：

$$\text{标准电煤耗} = \frac{\text{总给煤量}}{\text{电负荷} \times 0.84} \times \text{给煤含碳量}$$

由于给煤含碳量不能在线测量，这里采用反推法计算

由总风量和烟气氧含量计算实时总耗氧；

由实时总耗氧、实时总给煤计算实时吨煤耗氧；

由实时吨煤耗氧和碳氧关系计算实时给煤含碳量（实际上是烧碳量）

0.84 是为了折算成标准煤。

公司业绩地图：



大连凯博科技发展有限公司

地址：大连市高新技术园区火炬路 1 号海外学子创业园 A-412-1

电话：0411-84753800/13998689393

传真：0411-84753719

邮编：116023

Email: daibo516@vip.sina.com

网址：www.cfb.cn

版本号： Ver 201205