

利用动力设备的最合理化运行进行节能

新日本石油炼制(株) 根岸炼油厂

系统小组

关键字： 燃料的合理化燃烧

主题概要

本炼油厂拥有 8 台锅炉、6 台蒸汽轮机发电机以及 2 台燃气涡轮发电机。各类机器的能源效率当然会有差异，结合时刻变化的电力及蒸汽的需求，如果要通过手动调整来维持各机器运作的最佳组合是一件非常困难的事。因此，我们开发了一套使所有锅炉及发电机能够达到实时合理化的控制系统，用最少的燃料产出足量的电力及蒸汽。

上述事例的实施期间	2002 年 10 月~2005 年 3 月	(总计 30 个月)
· 规划制定时间	2002 年 10 月~2003 年 8 月	(总计 11 个月)
· 对策实施时间	2003 年 9 月~2004 年 12 月	(总计 16 个月)
· 对策效果确认时间	2005 年 1 月~2005 年 3 月	(总计 3 个月)

工厂概要

生产项目 包括 LPG、粗汽油、汽油、灯油、轻油、柴油、润滑油等所有石油产品

职工人数 677 名 (截至 2005 年 4 月 1 日)

年度能源使用量 (2004 年度实绩)

燃气(含柴油) 1,142,000 KL (柴油换算)

电量 710,000 MWh

对象设备的工序

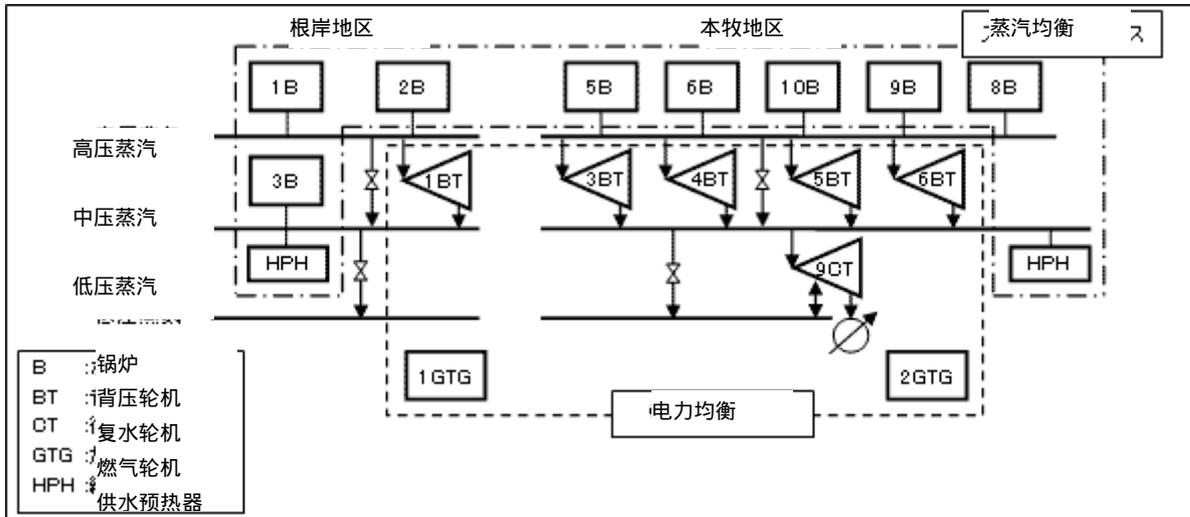


图-1 对象设备的工序

1. 主题选定理由

由于动力设备的构成机器数量多、运作自由度高，因此可以通过其运作的合理化来达到节能的效果。同时，动力设备所使用的能源占公司内使用能源总量的 39%，哪怕一些细微的运作改善都可能对能源有莫大的节约，因此选用了这一方案。

2. 现状的掌握及分析

(1) 掌握现状

本炼油厂拥有 8 台锅炉、6 台蒸汽轮机发电机以及 2 台燃气涡轮发电机，原先考虑到各类机器的能源效率差，进行了昼夜间负荷的调整。然而，毕竟机器数量太多，结合时刻变化的电力及蒸汽的需求要通过手动调整来维持各机器运作的最佳组合是有局限的。

(2) 分析现状

如图-1 所示，动力设备依靠电力及压力对 3 个蒸汽系统上的机器的运作进行调整。

为了解析各机器的合理运作，以下图表所表述的是对锅炉、涡轮机的电力及蒸汽平衡所产生的影响。

[1] 对电力及蒸汽平衡的影响

下表中列举了蒸汽轮机发电机增加运作时间时，高压蒸汽消耗（-）、中压蒸汽产生（+）及发电（+）之间的关系（表1）。

除此以外，还要考虑发电量、蒸汽产量及各装置的条件等。

	燃料消费	高压蒸汽量	中压蒸汽量	低压蒸汽量	电力发生
高压锅炉	+	+			
蒸汽轮机发电机		-	+		+
高压供水预热器	-		-		
燃气轮机发电机	+				+
中压锅炉	+		+		
复水轮机发电机			-	±	+
工序轮机			-	+	
厂内电力					-
电力零售		-	+		
8M 2M 减压阀			-	+	

表-1 电力及蒸汽平衡影响表（+：增加，-：减少）

为了获得上述的平衡，一般会采用线性规划法(LP)，但当含有较强非线性要素的机器较多时，有必要考虑采用其他的方法。因此，为了决定如何进行最合理化，对各机器的特性，是否含有非线性性进行了探讨。

[2] 关于最合理化的方法

锅炉的燃料消耗量与蒸汽发生量的关系如图-2所示。两者之间的关系基本可以用线形来表示。

涡轮机的入口蒸汽流量与发电量的关系同样绘成坐标图后可以看出，一部分机器具有弱非线性性、但是也基本可以用线形来表示。

以上结果表示机器特性不含有强非线性性，机器运作范围内，大多数机器的效率可以用线形来表示。

因此，最合理化的方法可以采用线性规划法(LP)，若要作为执行工具，则需要采用多变数预测控制方式。

同时，根据前面的表进行了模拟计算，其结果每年可以节约能源折合1亿数千万日元。

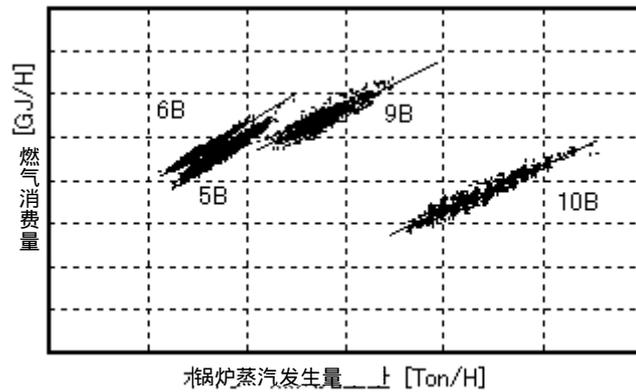


图-2 锅炉的能源消耗单位能耗图

3. 活动经过

(1) 管理体制

对动力设备的多变数预测控制法，国内也少有引进的事例，我公司炼油厂也是初次尝试。因此，我们花了一年的时间对当时的现状进行了解及分析，然后才引进了多变数预测控制法(表-1)。

实施项目	2002年	2003年	2004年	2005年
现状的掌握·分析		←→		
DCS控制方式的改造			←→	
多变数预测控制的引进		←→	←→	
效果的确认				←→

表-1 管理体制

(2) 目标的设定

优先启动能源效率较高的机器，进行合理化控制

(3) 问题点及其探讨

通过模拟的线形合理化计算我们知道了可以获得莫大的节能效果，但是为了最大限度地发挥多变数预测控制法的效果，以下的一些问题必须要解决。

关于 DCS 控制与多变数预测控制的分担

DCS 控制系统与多变数预测控制系统的特征如表-2 所示。从表中可以看出多变数预测控制系统，它的控制周期问题（控制较迟缓）致使它在安定化技术上弱于 DCS 控制系统。因此，我们对 DCS 控制与多变数预测控制的正确分担进行了探讨。

项目	控制周期	稳定化技术	优化技术
DCS 控制系统	0.5 秒 ~	○	×
多变数预测控制系统	15 秒 ~	△	○

表-2 控制系统特征比较

作为探讨对象的 DCS 控制系统的控制项目及控制内容如下表(表-3)。

项目	控制目的
① 锅炉负荷控制	高压蒸汽的压力稳定化(迅速应对蒸汽需求量的变化)
② 涡轮机负荷控制	中压蒸汽的压力稳定化(迅速应对蒸汽需求量的变化)
③ 发电量控制	跟踪需求电量的变化

表-3 DCS 控制系统的内容

4. 对策的内容

(1) 改变锅炉负荷的控制方式

控制系统改造后

为了使 DCS 控制及多变数预测控制能够进行贴切的分担，我们新创了一个能将多变数预测控制产生的偏压与 DCS 控制的母管输出压合计的结构（图-3）。其结果，既能完成对需要快速响应的母管压力的控制，同时又能控制各个锅炉按照高效的顺序启动。

两个系统的分担内容如下。

- DCS 控制 高压蒸汽压力控制
- 多变数预测控制 高效率锅炉优先启动控制

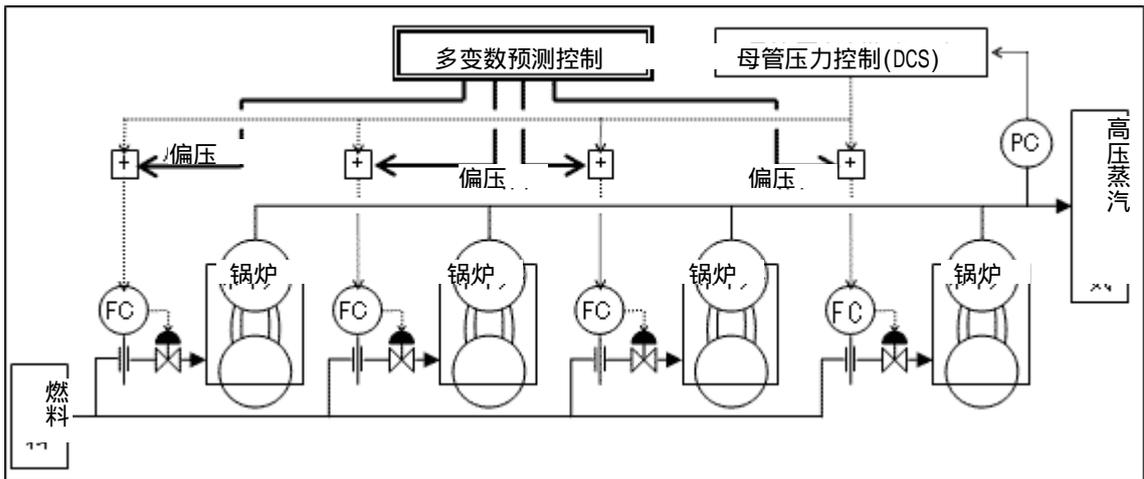


图-3 锅炉

(2) 改变涡轮机的控制方式

控制系统改造前

各轮机分别控制出口压力，因此无法按照涡轮机的效率高低来控制优先顺序（图-4）。

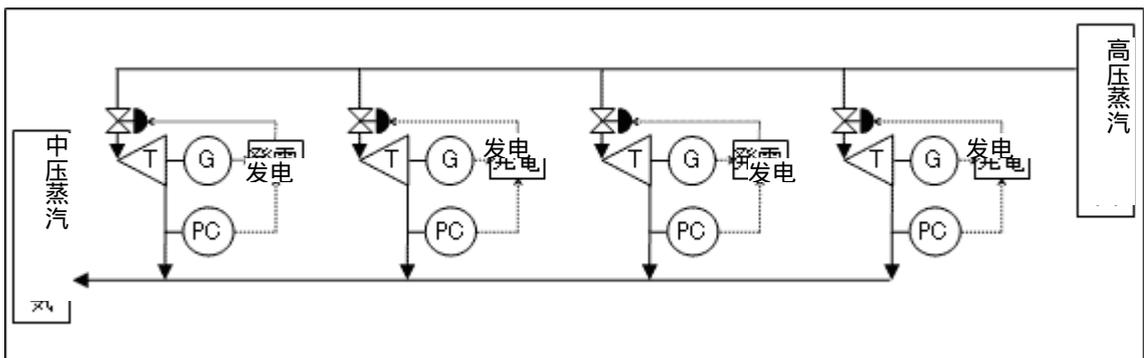


图-4 蒸汽轮机发电机控制（改造前）

控制系统改造后

由分别控制出口压力变更为所有轮机共同控制一根共通的母管压力的方式后，可以和锅炉一样创建一个能将多变量预测控制产生的偏压与 DCS 控制的母管输出压合计的结构，这样就可以按照各涡轮机的效率高低来控制其启动的优先顺序了。（图-5）

由于该控制系统过去未曾应用于轮机，故对其控制性进行了一周的测试，确定其压力控制的跟踪性没有问题。同时，相邻的轮机间的干扰也消失，过去也增加的母管压力也处于稳定状态，这也是从中获得的第二大

效果。

两个系统的分担内容如下。

- DCS 控制 中压蒸汽压力控制
- 多变数预测控制 高效率涡轮机优先启动控制

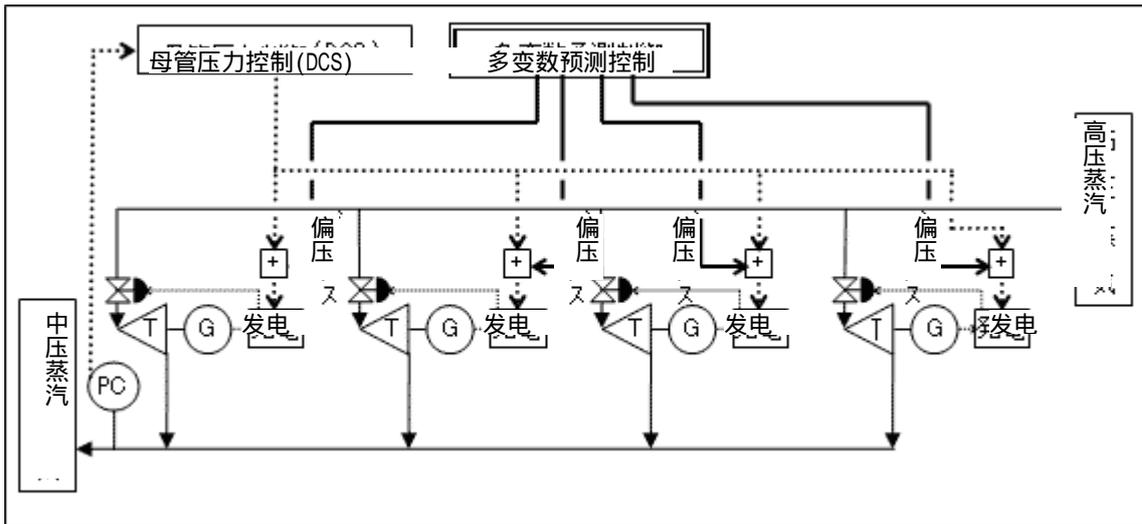


图-5 蒸汽轮机发电机控制 (改造后)

(3) 改变发电量控制方式

控制系统改造前

发电量是由燃气涡轮机和凝汽汽轮机进行控制的。燃气涡轮机利用快速控制来控制发电，而凝汽汽轮机则是低速运作，在控制发电的同时还要控制燃气涡轮机的输出量保持一定的值(SP)。(图-6)。其结果，燃气涡轮机对于需求电量必须做出快速反应，不得不进行最大输出量(High)的运作。

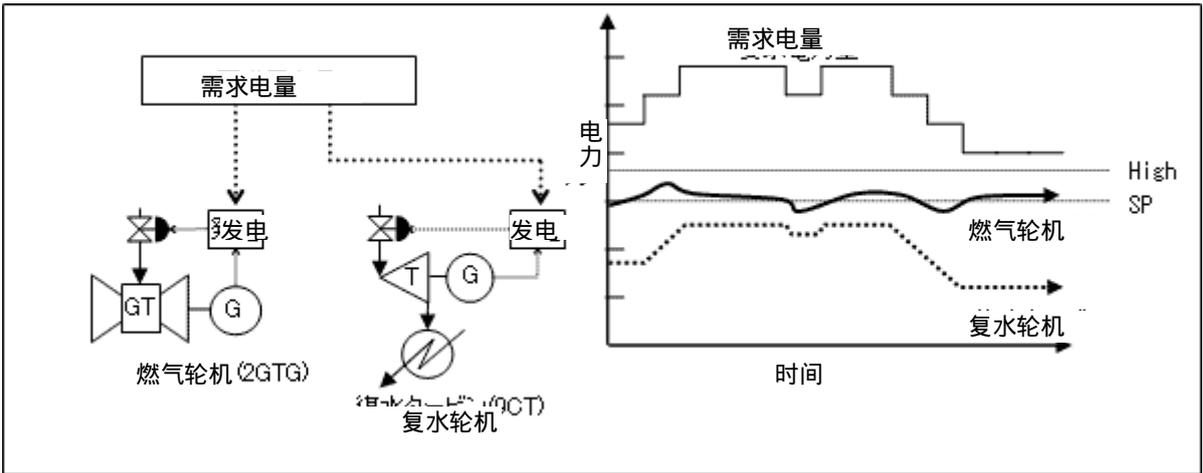


图-6 发电同时同量控制 (改造前)

控制系统改造后

由于复水轮机要利用低速运作来控制燃气涡轮机维持既定输出值,因此多变数预测控制系统也能对其进行控制,将复水轮机从原先的控制系统中分离出来,改造成由多变数预测控制系统进行支配。(图-7)

这样改造后,使多变数预测控制系统下的复水轮机及背压轮机,成为燃气涡轮机发电控制的辅助控制,实现让高效率的燃气涡轮机保持最大输出量的运转,控制低效率的复水轮机进行最低限的运转。

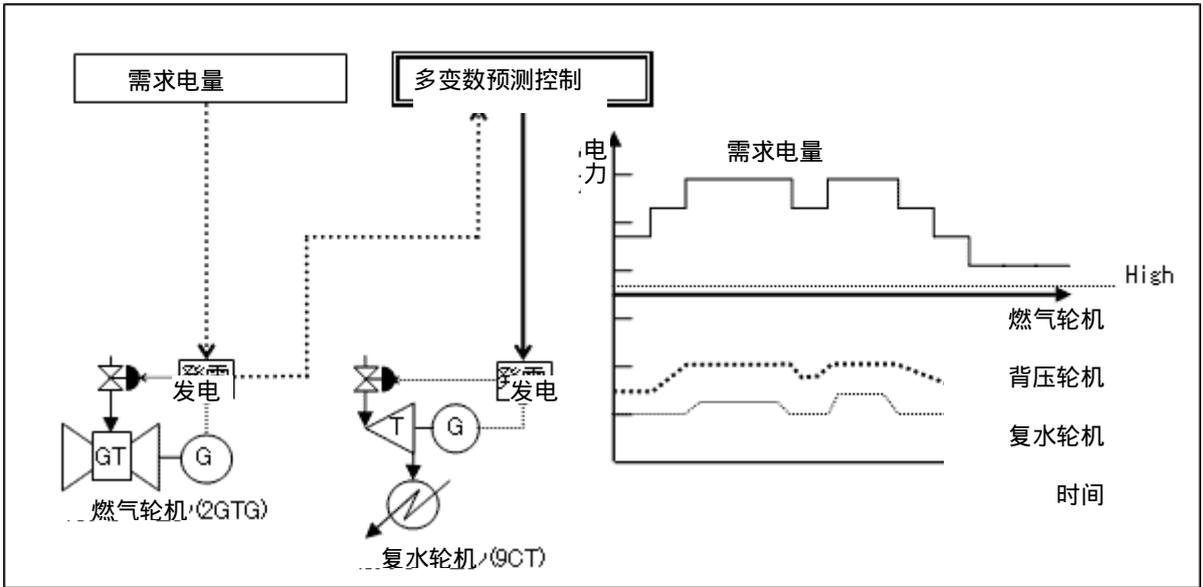


图-7 发电同时同量控制 (改造后)

(4) 多变数预测控制引进前后的运作情况

[1] 锅炉

按照优先顺序(10B>9B>6B>5B)，效率最高的10B始终维持高负荷运转，其余的锅炉在负荷降低时从低效率的机器开始关闭，负荷增加时从高效率的机器开始开启，具有良好的控制性。(图-8)

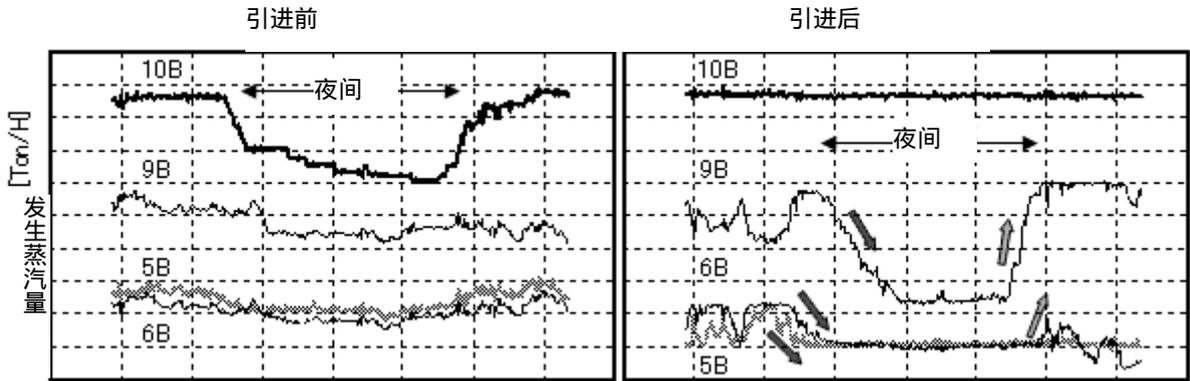


图-8 锅炉运转情况

[2] 涡轮机

引进前，所有机器的负荷变动基本相似；引进后，按照优先顺序(6BT>3BT>5BT>4BT)负荷进行增减，其中效率最高的6BT维持了高运转。(图-9)

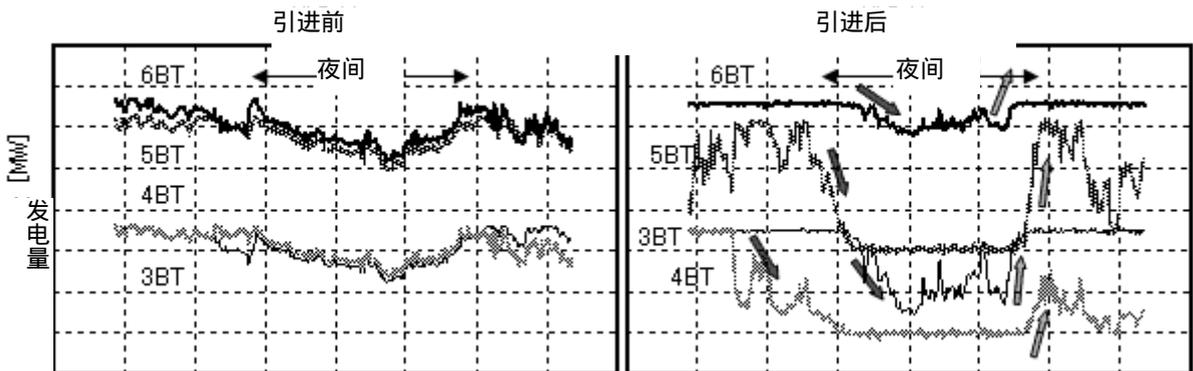


图-9 涡轮机运转情况

[3] 发电量

引进后，9CT维持了最低限的运转，2GTG除了发电需求量较少的夜间，也基本达到了高运转。(图-10)

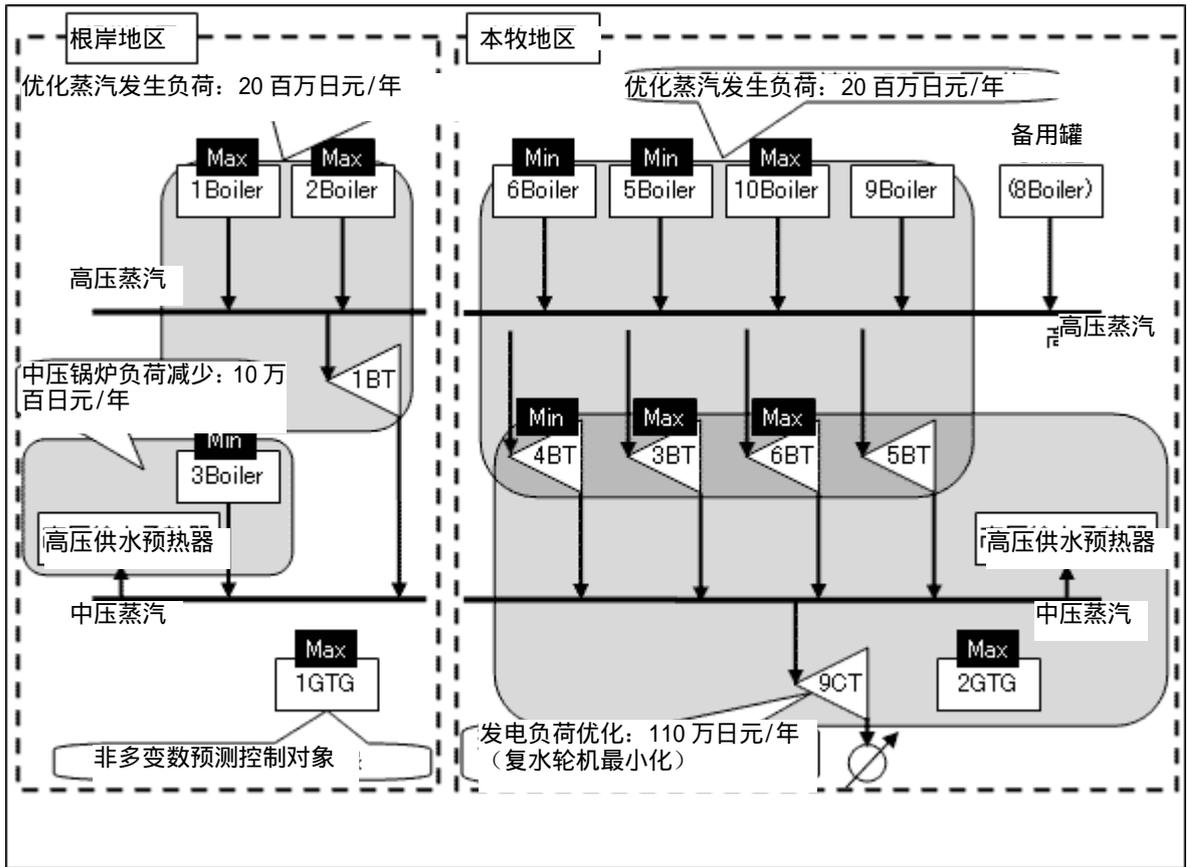


图-11 对策实施后的效果 (Max, Min 表示电机的运转状况, 未记载的机器实施的负荷调整)

6. 总结(具体描述实践结果 PR 要点)

结合时刻变化的电力需求及蒸汽需求, 用线形合理化计算出结果, 并且构筑一个将这一结果真实地、实时地反映到设备上的控制系统, 实现了大幅度的节能及二氧化碳的减排, 为防止地球温暖化做出了贡献。

7. 今后的计划

动力设备高度控制的引进在国内尚属罕见, 本公司炼油厂也是初次尝试。希望今后在其他炼油厂也能得到推广, 为节能及环保作出贡献。

完