



在石油炼制工序中实现节能目标 / 我们实施的柴油脱硫装置大手术！

出光兴业(株) 爱知炼油厂

RH 装置 节能推进小组

关键字： 加热 · 冷却 · 传热的合理化(加热设备等)
向电气动力、热能转换的合理化(电动力应用设备 · 电气加热设备等)

主题概要

为了达成炼油厂的节能目标(削减 20%的能源消费单位能耗)，我们努力发掘和改善作为主要装置的柴油脱硫装置方面的课题。积极开展信息收集活动，一改往日以科内为中心的收集方式，从企业内外的专业部门汇集各种技术信息，除了科内人员以外，还召集厂内其他科室人员共同参与讨论，由此实现了高温高压的严酷环境下的热回收目标。同时，为了实现蒸馏塔加热炉的燃料消费削减目标，我们将具有同类功能的设备集约化，并重新建立工序结构，使多余设备的热源在原料预热工序中得以有效利用。此外，还对装置内置的全转式机器进行了调查，并就其效率化改造问题进行了研究和探讨。通过这次大手术，在削减能源消费方面取得了巨大的成果。

上述相关事例的实施时间

- | | |
|------------|--------------------------------|
| · 规划制定时间 | 2002 年 5 月~2004 年 2 月、总计 22 个月 |
| · 措施实施时间 | 2004 年 3 月~2005 年 4 月、总计 14 个月 |
| · 措施效果确认时间 | 2005 年 5 月~2005 年 8 月、总计 4 个月 |

工厂概要

生产项目 LPG、汽油、灯油、轻油、柴油、丙烯酸、粉煤

职工人数 320 人（截至 2005 年 4 月 1 日）

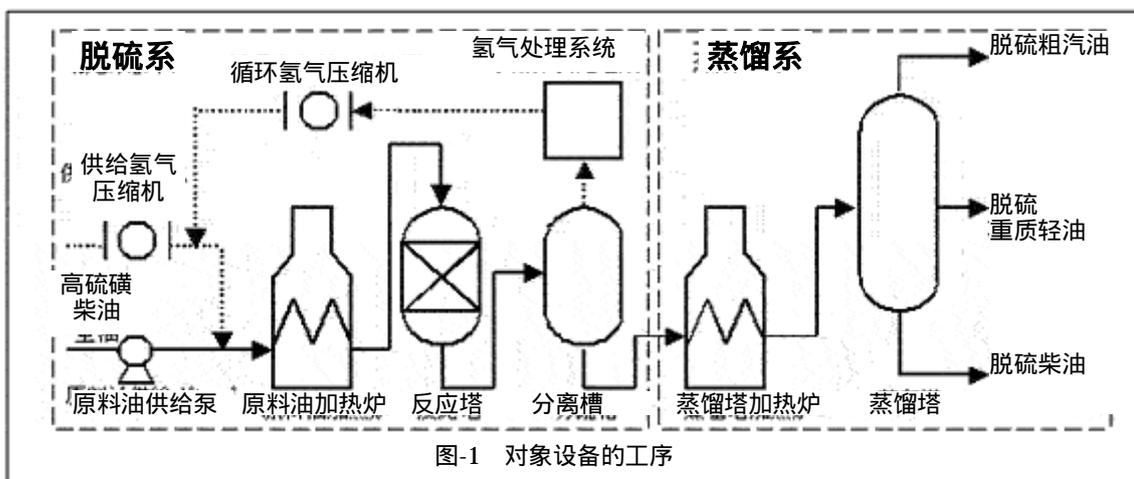
年度能源使用量（2004 年度实绩）

燃料 897,778KL（原油换算）

电力 717,092 千 KWh

对象设备的工序

本炼油厂的作业内容是炼制原油、生产汽油、灯油、轻油等石油产品。本次作为主题实施方案的柴油脱硫装置如图-1 中的工序所示，作为高硫磺柴油原料，经氢化脱硫作用后，可以制造硫磺含量在 0.3wt% 以下的脱硫柴油等产品。



1. 主题选定理由

爱知炼油厂将能源消费单位能耗的削减目标与 1990 年的目标进行对比，并确定了到 2008 年为止将单位能耗削减 20% 的节能推进目标，积极致力于节能活动的开展，最终达成了图-2 所示的节能成果。活动的开展以科内的节能推进小组为中心，积极开展各装置节能课题的发掘活动，并通过对课题的具体化和实施，于 2004 年成功获得了能源消费单位能耗削减 15% 的实绩。

但是近年来，通过汽油、轻油无硫化来强化装置性能的方式使得炼油厂的能源消费量呈现逐年增加的趋势。今后要进一步推进节能的进程，除了继续开展完善运转性能的活动之外，还必须进行革新型设备的改造。因此，我们对能源消费量较大的柴油脱硫装置（以下简称 RH 装置）进行了一次彻底的大手术。着眼点主要有以下 4 点：

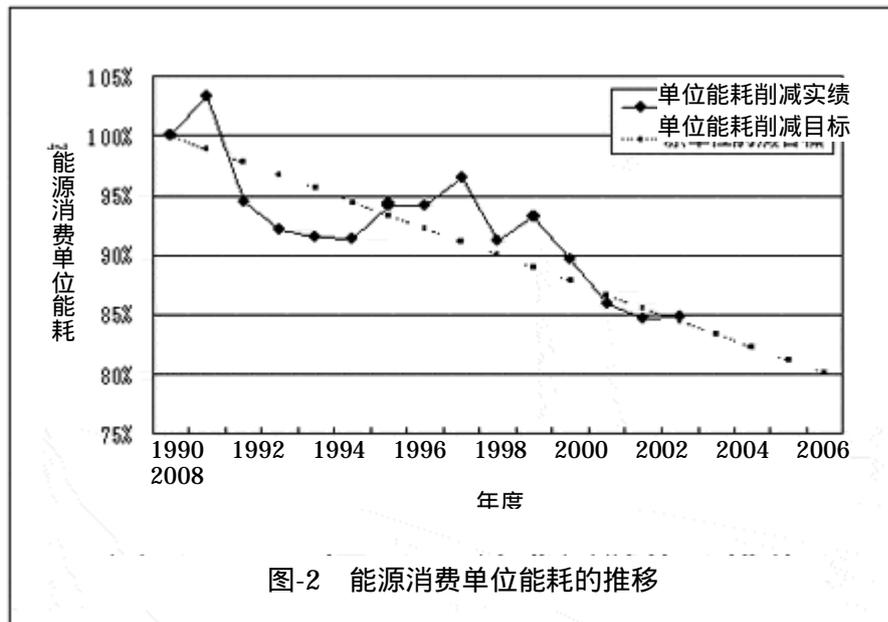
[1] 是否存在高效的能源回收方法

[2] 能否重新建立装置的工序流程并通过集约化削减能源消费

[3]能否对旋转机器进行更高效的运用·改造

[4]能否降低加热炉的出口温度

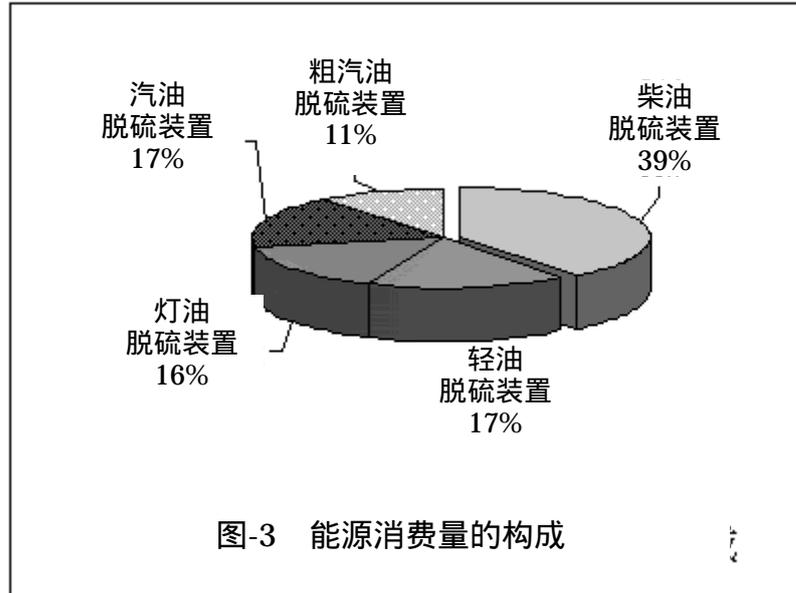
为了实现能源利用的效率化，我们网罗了节能相关课题并开始进行研究和探讨。



2. 现状的掌握及分析

(1) 现状的掌握

以重质油为原料的RH装置与其他使用轻质油的脱硫装置相比，可以在更高的高温、高压下进行脱硫作用。因此，加热炉的燃料消费量也较多，同时，高压环境下的大型压缩机的运转电力消费量也较多。如图-3所示，RH装置与其他脱硫装置相比，能源消费量多，约占脱硫装置总体消费量的39%。由此，我们立足于上述着眼点，从运转方面、设备方面对RH装置总体进行了研究和探讨，并就其节能方面的课题进行了发掘。

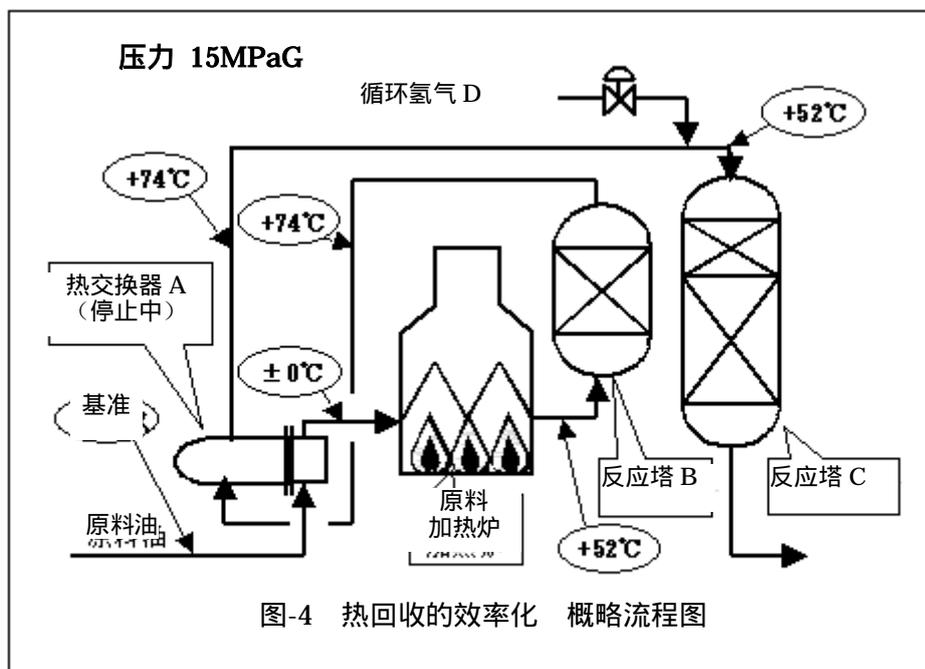


(2)现状的分析

关于“高效的能源回收方法”

[1] 氢化脱硫作用是一种发热反应，因此，反应塔的出口温度高于入口温度。一般来说，应从出口处的油中回收热能，这样就需要在反应塔的入口/出口处设置热交换器。

若如图-4 中所示的反应塔 C 的入口温度低于反应塔 B 的出口温度为条件，那么该条件可以通过热交换器 A 及循环氢气 D 进行调整，但是经过运转后，热交换器 A 的热回收会过剩而导致无法调整合理的温度，因此拔去了热交换器 A 内部的软管。在此，我们就能否通过对该高温反应塔 B 出口油的热回收、“使未能进行热交换的年度损耗保持在 1500KL(原油换算)”这一课题进行了研究和探讨。



关于“能否重新建立装置的工序流程并进行集约化”

- [2] 加热炉设置于需要热源的位置。一般来说，硫化脱硫装置上都会为升温至反应温度时必须的原料进料、或蒸馏加热时必须的蒸馏塔供水设置加热炉。表 1 所示是出光兴业制 RH 装置的加热炉基数对比结果。爱知炼油厂的 RH 装置上，除了上述 2 处以外，反应塔中间还有一个加热炉，与其他炼油厂的 RH 装置相比多一个加热炉。这是为了更有效地对重质原料进行脱硫的装置设计，但从节能的角度来看却是一个消极因素。基于最新设计建造的 A 炼油厂的 RH 装置上，除了中间加热炉以外，还设置了蒸馏塔加热炉。在此，我们立足于“一个装置 5 台加热炉。废气的热能损耗巨大，每年损耗可达 4700KL(原油换算)，能否停止、尽量降低负荷”这一观点进行工序的再构筑，以停止蒸馏塔加热炉运转为目标，就节能措施进行了研究和探讨。

表 1 柴油脱硫装置的加热炉基数

	原料 加热炉	中间 加热炉	蒸馏塔 加热炉	合计
爱知炼油厂	2	2	1	5
A 炼油厂	2	0	0	2
B 炼油厂	2	0	1	3

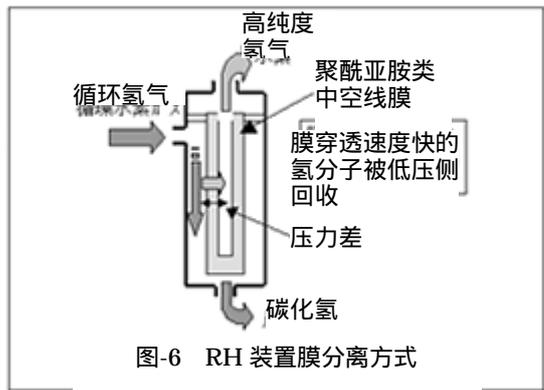
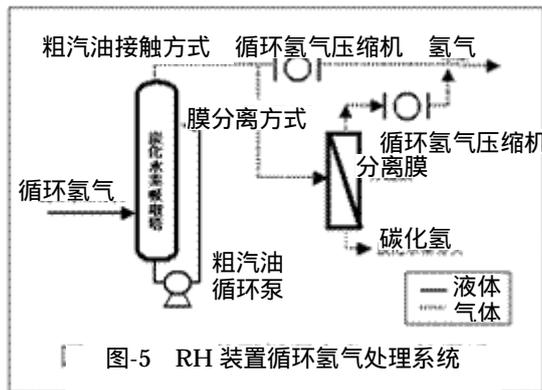
- [3] 关于“更有效地运用·改造旋转机器”

A 压缩机、旋转机的效率化

我们立足于“RH 装置内压缩机、旋转机 60 台。其中既有老化设备也有运转率低下的设备。使用的能源量巨大，有无可以改善的措施。”这一点，对所有设备的能源使用量、效率、运转率等进行了调查。结果表明，大型循环氢气压缩机每年的能源使用量达 17,000KL(原油换算)，且效率低下。同时，运转率始终低下的泵、运转率变化幅度较大的泵、以及效率正在下降的泵占多数，我们认为，通过对这些泵的改造应该可以快速获得节能效果，因此开始了这一课题的研究和探讨。

B 利用膜分离设备的最大功率

从催化剂的活性及寿命上来看，RH 装置的循环氢气必须保持高纯度状态。RH 装置上可以采用两种方式来维持循环氢气的纯度。第一是通过沼气等碳化氢与粗汽油的对流接触进行吸收清除的方式(粗汽油接触方式。建设初期即开始运转)，第二是通过膜分离进行分离的方式(膜分离方式。以节能为目的而增设)。(参照图-5)。粗汽油接触方式需要大型高压泵，因此电力消费量大。而膜分离方式则是在被中空线膜分隔的高压线及低压线之间，通过分子的膜穿透速度的差异对氢气和碳化氢进行分离的方式(参照图-6)，因此具有无需动力源的特点。在目前的运转中正在最大限度地使用消费能源最少的“膜分离”方式，我们认为，“能否更有效地利用膜分离！要做到这一点，只要完全停止粗汽油接触方式的使用，就可以实现年度削减 2800KL(原油换算)能源的目标”。实际上，膜分离设备的能力设定低于膜本身的最大功率，通过对膜本身余力的有效利用可以进一步获得节能效果。因此，在确认设备薄弱环节的同时，对如何排除障碍进行了研究和探讨。



如上所述，我们通过“1.主题选定理由”中所述的4个着眼点进行分析，并就其改善措施进行了探讨。此外，我们按类别对RH装置进行分类，以网罗形式展开讨论，其结果总结如表2所述。我们立足于上述具有巨大期待效果的课题开展了相关活动。

表2 课题一览表

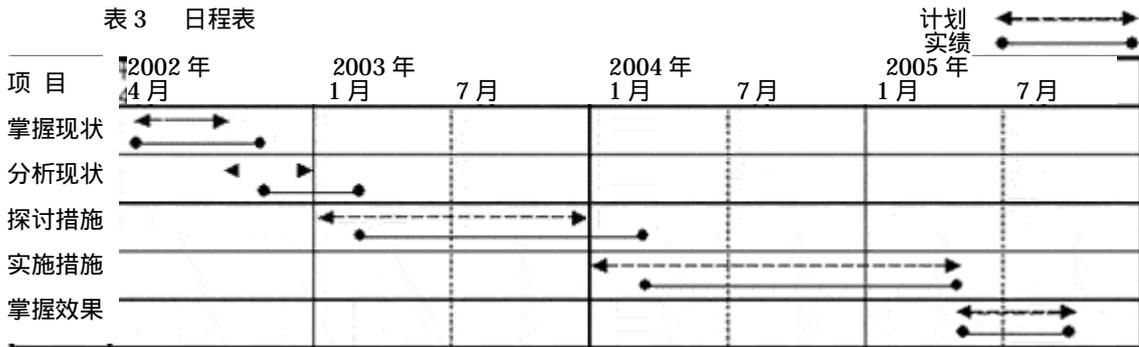
是否存在高效的能源回收方法				

3. 活动经过

(1)管理体制

炼油一科节能推进小组作为实施炼油一科节能措施的推进小组，在TPM活动中开展被称作科经簿(科室经营收支帐簿)的活动，并积极从中发掘和改善节能课题。在本次的活动中，为了获得超越过去的成果，除了各科经簿活动直接推进人员外，还积极号召科内研究运转·设备的技术人员、厂内相关科室(负责设备管理的工务科、负责节能推进·设备规划的管理科)人员共同参与。本次活动的推进方式是，首先给予讨论的时间，从掌握各类装置的现状、到措施的研究探讨、实施以及效果的掌握，将众多信息共享化，并根据需要获取负责专业技术资源的总公司石油技术中心、设备管理中心等的技术人员的协助。活动规划及实绩如图3所示。

表3 日程表



(2)目标的设定

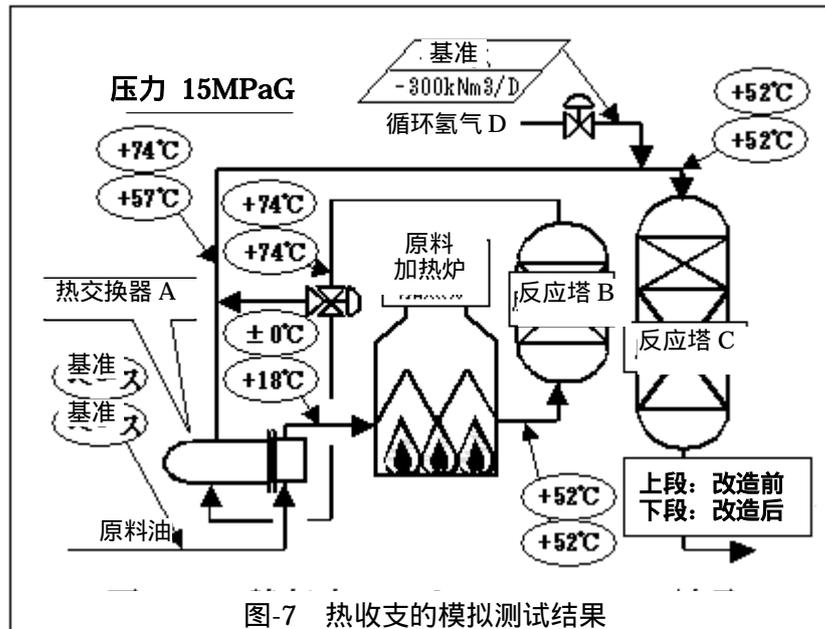
目标：5,000KL / 年（原油换算）

为本厂年度节能目标量的 60%，是一个非常远大的挑战性目标。

(3)问题点及其研究

关于高效的能源回收方法 如上所述，热交换器 A 在运用时无法进行温度控制，因此拔下了热交换软管。
 [1] 要想获得节能效果，则必须回复软管连接，因此，还必须同时采取不会影响运转性能的相应措施。

由此，我们首先就热交换器 A 上的热回收量的控制方法进行了研究和探讨。RH 装置的反应温度受到原料种类、性状、处理量的影响，在约 11 个月的持续运转期间(RH 装置的脱硫催化剂采用以 1 年为周期的运转模式，从催化剂活性较高的初期活性期起、至活性开始降低的末期为止的约 11 个月期间进行运转，在停止装置运转 1 个月后再进行催化剂的交换)，运转调整幅度为 ± 5 。在热交换器上进行上述调整是最佳方案，具体方法是使流体的一部分走旁路，结果表明可以在该旁路量条件下对其进行可变控制。不过，该部位处于高温·高压状态，且连接管道也是厚度为 33mm 的钢管，因此必须考虑到热膨胀的问题，我们就这一问题进行了慎重的研究和探讨。此外，我们事先对催化剂活性、流体的流程模式、工序流体系统内的物质收支、热收支状况进行了模拟测试，并通过过去 10 年以上的运转数据进行详细的分析，依靠我们自己的力量提前算出了旁路量。(参照图-7)其次，为了将热回收最大化，该时段的下游反应塔入口循环氢气量应控制在反应上的限量范围（下限）。关于反应上的限量值(下限值)，在对该装置的专利商、催化剂生产厂商、其他企业的信息及以往的运转状况等进行网罗性的调查后，与公司内部专业部门共同协商决定。



关于装置工序流程的重建及集约化

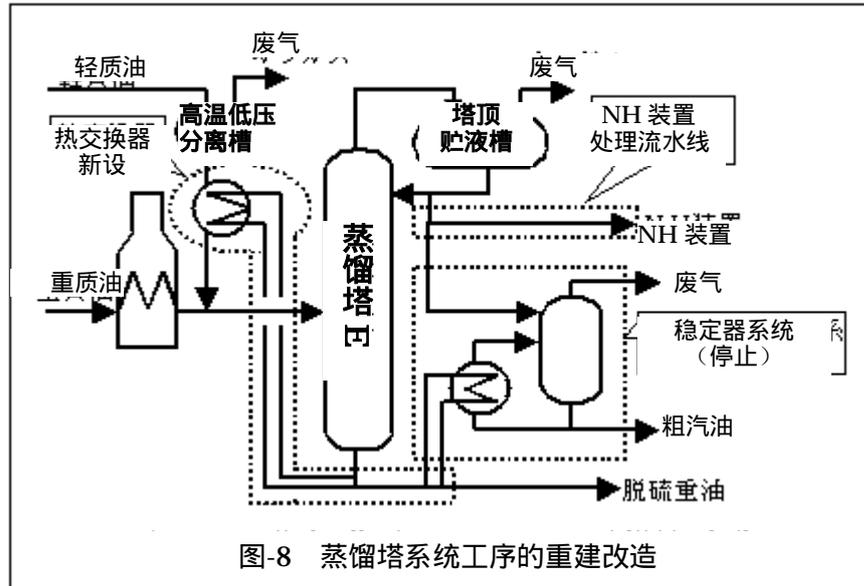
- [2] 要想停止蒸馏塔加热炉的运转，最容易想到的措施就是采用与 A 炼油厂 RH 装置相同的炼油方式，但是，由于该炼油方式上存在太大的差异，所以无法实现。因此，我们自己研究了一种新型的炼油方式。这种方式必须从装置内获得与蒸馏塔加热炉热量同等程度的热源，装置内还应具备蒸馏塔塔底的脱硫柴油的温度条件。但是，脱硫柴油的热能被稳定器类的再沸器或原料类预热所利用，几乎已经没有多余的热量可以再利用。因此，我们必须再次重建工序机能，停止稳定器的运转，并在其热源的有效利用上下功夫。此稳定器是分离粗汽油中所含废气的蒸馏塔，但由于塔底的粗汽油中还含有若干硫磺成分，因此要被送至粗汽油脱硫装置(以下简称 NH 装置)进行脱硫处理。NH 装置上也同样实施分离废气的工序，只要能满足以下条件，即可停止 RH 装置的稳定器，因此立即进行了研究和探讨。

A 被稳定器分离的废气中有硫化氢混入，那是粗汽油中混入的物质原封不动地被送至 NH 装置所致。NH 装置上必须采取措施以防硫化氢引起的腐蚀。

B 必须就 NH 装置的废气分离工序中能否进行合理处理这一流程问题进行研究和探讨。

就上述 A 中的问题，我们联合设备管理部门，对运转·分析数据·检查历史进行了评估，由此得出不会急速发生腐蚀变化的结论。关于 B，我们进行了蒸馏模拟测试，并确定 NH 装置上可以进行合理的处理。

如上所述，为了获得可以停止稳定器运转的结论，我们将脱硫柴油的热能在蒸馏塔加热炉上加以有效利用。我们还进行了蒸馏塔模拟测试来确认热能利用对蒸馏塔加热炉的影响，并凭借我们自己的技术能力对工序流程进行了重新研究和探讨(参照图-8)。



关于更有效地运用·改造旋转机器

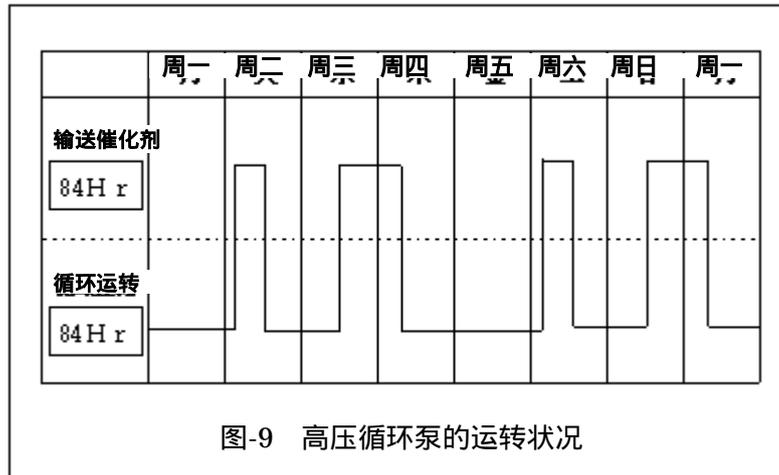
[3]

A 循环氢气压缩机的高效率化

循环氢气压缩机使用 RH 装置生产初期(30 年前)的叶轮。但是, RH 装置的运转通过上述节能改造后, 所使用的循环氢气量已经降低, 可见该机的负荷有望减少。伴随负荷的减少, 轴动力也有望降低, 不过, 压缩机在最高效率点的运转尚存在难题, 通过对最高效率点的修正可能会达成节能目标。此外, 采用最新技术的高效率叶轮, 如果可以进一步降低轴动力, 则表明还将可以获得更大的节能效果。因此, 我们重新设计了循环氢气压缩机。

B 旋转机的有效利用

在对所有旋转机的运转状况进行调查时发现, 高压循环泵的运转模式如图-9 所示, 该泵以向反应塔 B 供油的模式及最小流量下的待机模式切换运转。但是, 该泵为高温高压泵, 反复进行启动/停止操作时不但会增加作业人员的负担, 同时, 系统的停止/再启动也会对其他系统产生巨大影响, 因此, 我们就如何在不停止泵运转的条件下实现电力削减目标的方法进行了研究和探讨。



C 有效利用膜分离设备的最大功率

为了获得与膜主体能力保持均衡的能力，在膜以外的部位寻找工序上存在的重点薄弱环节并就其措施进行了研究和探讨。研究和探讨的结果表明，通过对入口流量调节阀及安全阀的能力调整，可以强化上述能力。

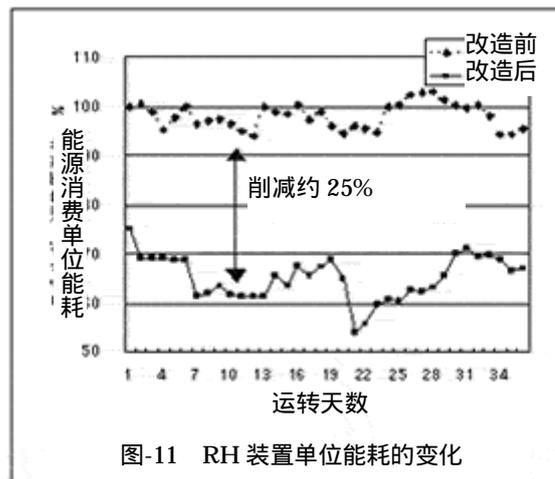
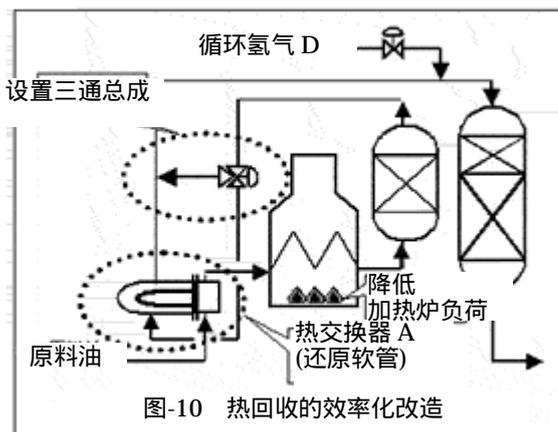
4 措施的内容

[1]关于“高效的能源回收方法”

措施共有三项，分别是恢复热交换器 A 的软管连接、该热交换器的旁路管道配置、以及设置用于下游反应塔 C 入口温度控制的三通总成。(参照图-10)。反应塔 C 的温度调整可以通过新设的三通总成的开闭对通过热交换器的流体流量进行调整，然后再对回收热量进行调整。

[2]关于“装置工序流程的重建及集约化”

根据研究和探讨的结果，在停止 RH 装置稳定器系统运转的同时，新设了轻质油预热器。(参照图-8)其结果，加热炉的负荷得到了大幅度的下降。不过，热回收未能与加热炉的燃烧热量保持均衡，因此未能停止加热炉的运转，但是，我们通过“高效的能源回收方法”及“装置工序流程的重建及集约化”，成功削减了 25%的 RH 装置加热炉燃料使用量。(参照图-11)



[3]关于“更有效地运用·改造旋转机器”

A 循环氢气压缩机的高效化

循环氢气压缩机的再设计根据 RH 装置常规运转时的循环气体流量设定了最高效率点。改造后的效果在高效率叶轮的交换上也发挥了很大的作用，同时，轴动力与以前相比也得到大幅度的改善，获得的节能效果超出了计划目标以上(削减了约 10%的驱动用蒸汽)。

B 旋转机的有效利用

为了在不停止高压循环泵运转的状态下也能够减少负荷，我们就减少循环运转时的旋转次数方式进行了研究和探讨。在控制旋转次数的方式有两种，一种是 VVVF 方式(变频器)及、另一种是液力耦合器方式，经过对这两种方式的改造成本、节能效果、操作性、收益性的对比，最终采用了最有利的液力耦合器方式。改造后的泵旋转次数如图-12 所示，输送催化剂时以 100%的旋转数运转，而其他时间段(循环运转)时则以 50%(设备最低旋转次数)的旋转次数进行运转，由此达到削减电力的目的。

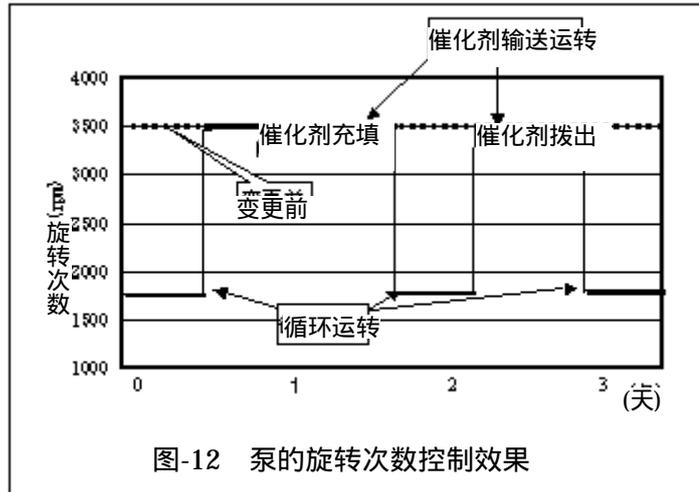


图-12 泵的旋转次数控制效果

C 有效利用膜分离设备的最大功率

改造的结果使膜分离设备可以在膜主体的最大功率下进行循环氢气处理，粗汽油循环泵的停止期限也延长至 20 天，由此达到了削减电力使用量的目的。

5. 措施实施后的效果

通过以上的评估，成功地达成了 8,900KL/年(目标的约 1.8 倍)的节能目标。这个只相当于炼油厂总体消费能源的 1.3%。

表 4 在石油炼制工序中实现节能目标/我们试试的柴油脱硫装置的大手术！之成果

名称	分类	节能目标		节能效果(实绩)		削减额 千日元/年
		燃料削减 (L/年 (原有换算))	燃料削减 (L/年 (原有换算))	电力削减 千 KW/年	CO ₂ 削减量 吨/年	
1、高效的能源回收方法		300	1,500	-	4,400	44,800
2、重新建立装置的工序流程并进行集约化		2,800	4,500	-	13,200	134,500
3、更有效地运用·改造旋转机器						
A、循环氢气压缩机的高效率化		800	1,300	-	5,800	58,800
B、有效利用旋转机器		300	(600)	1,450	1,700	18,000
C、有效利用膜分离设备的最大功率		200	(400)	1,000	1,100	12,000
总计		5,000	8,300	2,450	26,000	288,100

6. 总结

由于 RH 装置在高压·高温的严酷条件下运转，因此在节能改造方面给人以强烈的“困难”这种先入之见。但是，本次我们经过长期坚持不懈的研究和探讨，终于获得了超越初期计划目标以上的节能成果。不但在技术层面上有了很大提高，同时也在意识层面上获得了巨大成果，应该说我们开展了一项充实而有意义的活动。今后，我们还将继续向装置的节能领域开始新的挑战，并继续开展以削减 20%能源消费单位能耗为目标的相关节能活动。

7. 今后的计划

为了继续维持本次的活动成果，我们进一步就相关问题进行了研究和探讨。

- (1) 通过每月的性能管理，对能源消费单位能耗、燃料单位能耗、加热炉效率等进行评估，并确保维持管理的PDCA的正常运转。
- (2) 为了达成节能目标，应采取与本次的柴油脱硫装置事例同样的方式对其他装置的节能改善方案进行研究和探讨，并对装置实施大手术发出挑战。