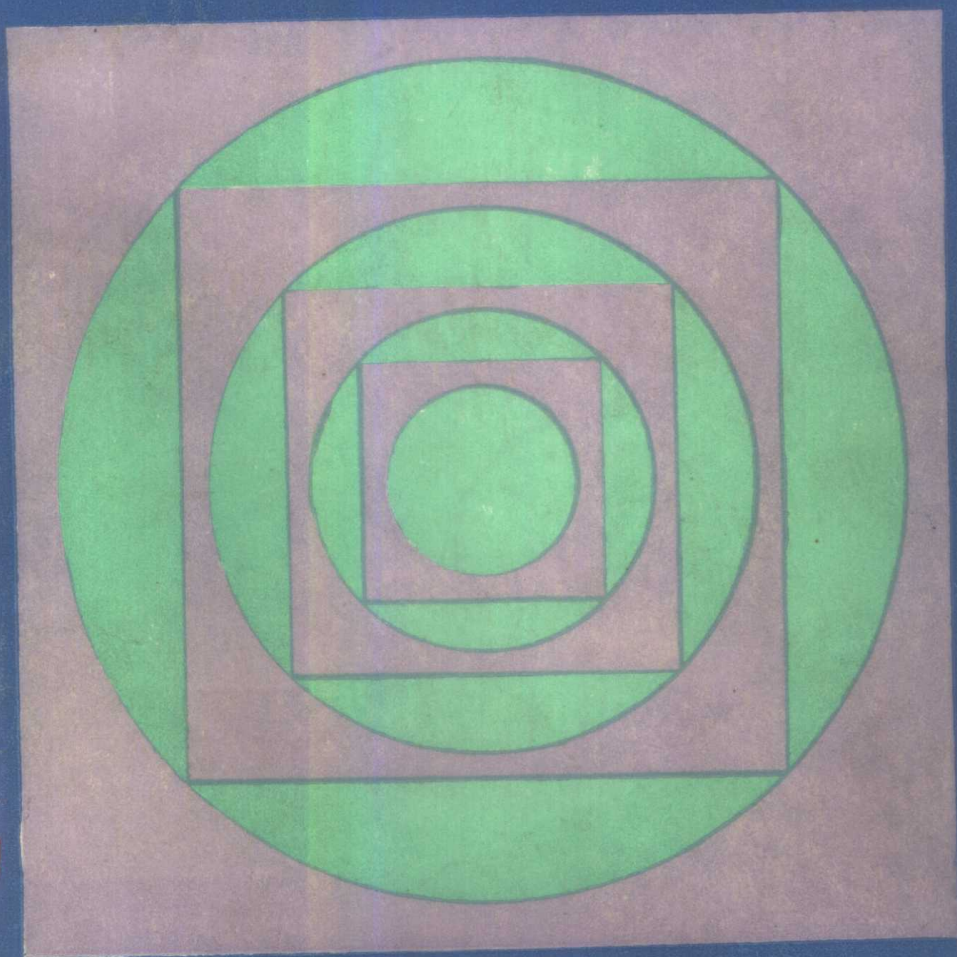


实用化工节能技术

【日】平田光穗等 著



化学工业出版社

实用化工节能技术

〔日〕 平田光穗等 著

梁源修 宋宗义

吴国和 翟羽绅

译

化学工业出版社

内 容 提 要

本书自日文别册化学工业 (Vol. 26, No 12, July, 1982) “实用节能技术”专集中选译了17篇文章。书中各文以化工节能为目的,从物理过程、化学工艺、化工单元操作、化工过程控制、化工机械、化工设计等方面介绍了实用节能技术、化工节能现状和动向以及在日本现行的有关节能法规。本书内容比较系统,既有理论分析,又有实际数据,简明扼要,实用性强。可供从事化工生产、设计和研究的科技人员以及高等学校化工专业师生参考。

本书第9、10、11、12、14、16篇由梁源修译,第2、4、5、8篇由宋宗文译,第1、3、6、7、15篇由吴国和译,第13、17篇由翟羽绅译。全书由梁源修校阅;何跃文同志对部分章节作了技术审核。

平田光穗 等

别册化学工业

实用省エネルギー技术

化学工業社

Vol. 26 No 12 July 1982

实用化工节能技术

梁源修 宋宗文

译

吴国和 翟羽绅

责任编辑:孙世斌

封面设计:郑小红

*

化学工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

开本850×1168 1/32印张10 1/8字数279千字

1988年11月第1版 1988年11月北京第1次印刷

印 数 1—3000

ISBN 7-5025-0193-2/TQ·155

定 价3.80元

目 录

1. 节能技术的现状和动向	1
2. 节能与化学工程学	5
3. 化学过程中的节能方法	11
4. 节能与工艺设计	22
5. 节能的工艺分析和组合	38
6. 采用组合系统高效利用能量	54
7. 世界节能对策	62
8. 从节能观点看蒸馏技术	72
9. 蒸馏操作的节能技术	83
10. 低温热源的升温热回收系统	159
11. 化学反应过程的节能	168
12. 节能和新的反应技术	176
13. 粉体技术	187
14. 从节能观点研究流体机械	201
15. 从节能角度看固液分离技术	222
16. 节能仪表控制系统	232
(1) 仪表控制系统和设备	232
(2) 在蒸馏塔系统的应用例	246
(3) 在各种工艺装置中的应用①	272
(4) 在各种工艺装置中的应用②	280
(5) 锅炉仪表应用例	291
17. 生产企业关于工厂能量使用合理化的判断基准	299
附录 常用法定计量单位与非法定计量 单位的换算系数表	315

节能技术的现状和动向

平田光穗 *

“节能”这个词是近几年才听到的。当然，以前并不是没有这个说法，但说起来总与“省力化”或“最佳化”的含义相混同。只是到了1973年，原油价格突然猛涨了四倍，每桶达10美元，即出现了所谓第一次石油危机之后，节能的呼声才开始强烈起来。这样一来，特别是对耗能较多的化学工业产生了很大影响，各公司纷纷成立诸如对策委员会之类的机构，迅速采取节能措施。一般将节能工作分成三个阶段，第一阶段加强日常的能量管理工作；第二阶段是对设备进行小规模的节能改进；第三阶段则是通过对设备的彻底改造和新工艺的开发实现节能。目前，第一和第二阶段的工作已有相当大的进展，并已经进入或正在进入第三阶段。

1981年11月26日分离技术恳谈会举办了关于“蒸馏操作中的节能技术”的讲习会，三井石油化学工业公司的山本介绍了该公司的节能进展情况（见图1-1）。图1-1表明自1973年以来的六年间，该公司的单位能耗（总能量千卡/总产量公斤）下降了约30%（以1973年为100%）^{〔1〕}。

在这次讲习会上，住友化学工业公司的马场介绍了典型石油化工厂的能量消耗情况。他以千叶制造厂的几套装置为对象，以总耗热量为100，考查了蒸馏过程能量消耗所占比率（见表1）^{〔2〕}。

从表1可以看出，蒸馏操作消耗的能量约占全部能耗的45%，一般认为许多其它化学工厂的情况也大体如此。因此，在上述的第一阶段的节能措施中，多数是从蒸馏塔系统的热能管理入手的，且

* 东京都立大学工学部教授。

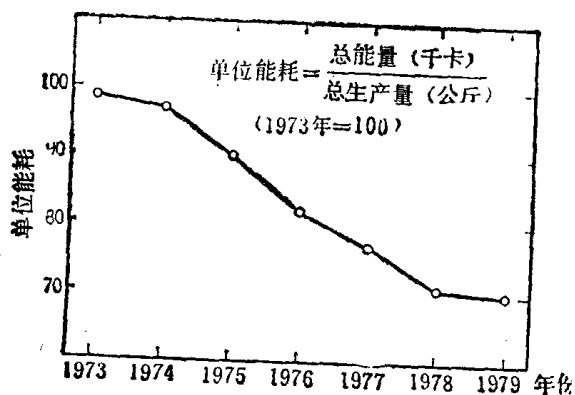


图 1-1 单位能耗

表 1 蒸馏操作的能量消耗率
 [(A~G)装置的总耗热量为100]

装置	蒸馏操作	其它分离操作	装置总耗热量
A	8.2		13.2
B	9.5		10.8
C	14.5	1.0	23.1
D	0.9	6.6	9.0
E	2.2	1.8	4.5
F	10.0	0.1	21.6
G		8.0	17.8
计	45.3	17.5	100

大多数都获得了明显的效果。

从蒸馏塔系统考虑的节能项目是很多的，在讲习会上三菱油化的笠井将其归纳成以下几个方面⁽³⁾：

I. 减少输入能量

1. 操作条件最佳化

- (1) 使回流比最小；
- (2) 进料板、出料板最佳化；

(3) 多点进料、侧线出料等。

2. 在线最佳控制

(1) 控制板间温度差；

(2) 在线气相色谱控制 (利用微型计算机等) 。

3. 提高塔效率

(1) 把塔加高；

(2) 使用高效塔板；

(3) 采用高效填料。

4. 改变蒸馏系统的工艺

(1) 进料与塔釜馏出物，或进料与塔顶馏出物进行热交换；

(2) 进料预热最佳化；

(3) 安装中间再沸器或冷凝器；

(4) 改变塔群的蒸馏组合顺序；

(5) 与其它分离法 (如膜分离法) 组合使用。

I. 回收输出能量 (潜热回收)

(1) 发生蒸气 (加压) ；

(2) 采用多效蒸馏方式；

(3) 塔顶馏出物作为其他塔的再沸器热源；

(4) 采用热泵方式；

(5) 用做吸收式制冷机的热源；

(6) 和其它装置组合使用。

以上各项，据笠井介绍，已经实现的项目是 I 1(1)，2(1)，2(2)，3(2)，4(1)，4(2)，I (2)，目前正在实现或正在研究的项目是 I 1(2)，1(3)，3(3)，4(3)，4(4)，I (1)，I (3)，I (4)，其余几项是有待今后解决的课题。

化学工程协会的产业部门委员会所属的节能系统专门委员会是在1981年3月成立的，现由35名委员组成，本人担任委员长。该委员会召开了一次预备委员会，参加人员有野口研究所的铃木明、日铁化工机的鹤田英正；节能中心的井口光雄以及本人，会议讨论并制定出委员会的宗旨。讨论的结果认为先不要把工作面铺得太宽，

而要把工作集中到化学工业的节能系统这方面来,在掌握现状的同时,再陆续发现新问题。到目前为止已开了八次会,会上介绍并讨论了最新的卓越节能系统,现列举几个具体实例如下:

东丽公司川崎工场利用二甲苯蒸馏塔塔顶废热进行发电的系统;

新日本制铁化学公司户畑制造所在苯蒸馏过程中采用前馈控制的节能系统;

大金工业公司的自然循环式中低温热能输送系统;

三井造船公司利用有机热载体的中低温废热回收发电系统等等。

另外,正在研究关于膜分离、超临界萃取、填料塔的重评、热泵等的最新情报。

作者于1981年10月对美国科罗拉多州的油母页岩考察了两周^[4]其庞大的资源占有绝对优势。1985年到1990年将陆续建设一批工厂,有关各公司正在全力以赴地进行准备工作,其中一部分已经考虑采用颇为先进的技术,例如,已开始研究用超临界萃取法代替干馏法的适用性问题。但是,在这种场合下,其目的与其说是节能,还不如说是为了回收用普通干馏方法不能回收的油即节省资源更为恰当。

以上简单地叙述了我对节能技术现状的看法,而今后在推行所谓第Ⅲ阶段或者进而推行第Ⅳ阶段节能措施时,应当开阔眼界,认真考虑各种可能,采纳各个领域中的最新技术。

参 考 文 献

1. 山本正恵, 分離技術, 11, No. 2, 112 (1981)
2. 馬場 進, 分離技術, 11, No. 3, 130 (1981)
3. 立井六郎, 分離技術, 11, No. 2, 104 (1981)
4. 平田光穂, ペトロテック, 5, No. 1, (1982)

西村 肇*

1. 化学工业节能的现状

目前节能工作已取得很大的进展,尤其是废热回收方面更为显著。例如,在钢铁工业中 220°C 以上的废热及先进的乙烯工厂中 120°C 以上的废热几乎全被利用了。由于节能工作取得了如此的进展,可以说已经达到了一个新的转折点。

在前一时期的节能工作中,只用废热回收这一方法已经收到了相当明显的效果。这是因为废热的能量很大,只要进行换热,就能够节能。还因为废热回收方法技术简单,而且经济效益也很大。总之由于所利用的能量是以前所废弃的热量,回收能量的设备如果只用换热器,则所需的经费不多。过去许多事例证明,只用一年左右的时间就能把设备费回收回来(设备费用节省能量的费用除,其商值为一年左右)。反过来说,如果能收到这样大的经济效益,废热回收当然会取得进展。

回收废热的温度已经达到能回收 220°C 或 120°C 废热的水平,但是现在只停留在这个水平上没有什么新的进展。所以如此,当然有很多原因,但最主要的原因是腐蚀的问题。第二个原因是所回收的热能能否被利用的问题。低温热能的用途局限性很大,例如只能用于锅炉给水予热等方面。如果我们按温度范围调查一下热能需要和供给的情况,就会发现低温废热的供热大于需要,供需不平衡。因此,为了能够回收更多的废热量,则必须首先开拓需要的领域。

现时废热回收停滞不前的第三个原因是经济问题。由于过去废

* 东京大学工学部教授。

热回收只是单纯的换热，所以设备费用低，投资回收年限大约为一年或不到二年的时间。但是进而利用低温的热能，就要使用透平机、压缩机等动力机械，这样一来可以设想固定费会增加，投资回收需要三年到五年的时间，因而企业对是否搞废热回收就决心不大了。如果石油价格真正能够超过每年物价的上涨率，即使投资回收年限需要五年的时间，这在经营管理上也是有利的。但如果石油价格像目前这样，不再涨价，投资回收需五年时间的话，则与所需投资额相比，废热回收的效益太小，在经营上就没有吸引力了。

大概可以说化学工业的节能只靠废热回收的时代已经过去了，现在已经进入了必须考虑新节能方向的时期了。为此让我们看一看其它行业是怎样开展节能工作的和怎样获得成功的吧。

2. 其他行业的节能经验

节能取得效益最成功的例子大概是日本小型汽车降低了燃料消耗率。目前，日本汽车在美国、欧洲的消费者中间享有盛誉。从其势头看，会像日本照相机遍及世界市场那样，大有独占世界汽车市场的倾向。所以有这样的竞争力，就在于日本汽车的质量好，同时燃料消耗低。

日本汽车燃料消耗低的原因，简单地说是由于执行了1976年所制定的氮氧化物的排气法规。众所周知，汽车制造厂最初对执行该法规持消极的态度。但是，当时东京、大阪等革新自治团体却施加了强大的压力，要按规定把氮氧化物的排出量减少到原来的1/10，以达到1976年排放标准。在必须实行的情况下，汽车制造厂为了完成这个艰巨的任务竭尽全力进行研究工作。通过研究工作，同时达到了既严格执行排放标准，又提高燃料燃烧效率这一通常认为是互相矛盾的要求。

该问题获得解决是由于汽车制造厂在难点面前一开始就科学地研究发动机。以前发动机的设计几乎全部有赖于设计人员的直觉。虽然以前对于汽缸中燃料与空气如何混合，如何点火、如何燃烧都曾进行过研究，但还没有有效地应用于设计上。

这方面的开端是东京大学熊谷清一郎教授所发明的熊谷发动机。该发动机能使氮氧化物的排出量降低到原来的 $1/10$ 以下。发动机的汽缸分成两部分，燃料分别在高于化学计量比及低于化学计量比的范围内燃烧。这样做是因为已经知道这样两部分汽缸中所生成的氮氧化物的量都很少。该方法的关键问题是要在空燃比接近于20的条件下实现稀薄燃烧。按以前汽车发动机设计者的观点那是不可能的，然而根据飞机发动机当时已经有了在空燃比为25条件下实现燃烧的经验，熊谷教授深信在汽车发动机上也是可行的，因而继续进行试验，他找到了一般汽车发动机之所以无法增加过剩空气比例的原因，是由于在气化器内燃料的气化不完全，各汽缸中的空燃比波动很大，如果要提高空燃比，一部分汽缸就不能点火。原因清楚后，就改进了气化器和总管，从而达到了稳定地稀薄燃烧。

稀薄燃烧的实现，直接关系到燃料消耗率的改善。这由于空气过剩率在1%以上，使燃料完全燃烧的四冲程循环，若提高空气过剩率，则燃料消耗量与理论混合比时相比较，要下降30%以上。这里可以这样理解，即老式发动机是在燃料浓于理论混合比的条件下操作，处于不完全燃烧的状态，因此改变成稀薄燃烧后，不仅减少了氮氧化物的生成量，而且使燃料消耗率得到了明显的改善。

有助于改善燃料消耗率的其他因素，还有诸如减少发动机的摩擦阻力、减轻车身的重量、减少加速时的损失等。例如，CVCC发动机成功的主要原因在于使用滚珠轴承等从而彻底地减少了发动机的摩擦损失。另外，发动机用油的选择也很重要，要尽可能使用粘度低的油品，这样就可以大大减少燃料的消费量。从分析包括加速、减速在内的实际行驶能量损失的原因看，40%是发动机的摩擦损失，30%是车身的加速损失，行驶阻力不超过20%。

减少发动机的摩擦，减轻车身重量的动机也是为了适应排气法规。就是说，为适应排气法规，采用稀薄燃烧，减少在一定的空气量中所加入的燃料量，如汽缸容积一定，则动力自然就减少，汽车的加速性能和爬坡能力就降低。为了解决这个问题，就要尽一切努力来减少发动机的摩擦，减轻车身的重量。

汽车发动机的这一经验，给了化工厂节能工作以很大的启发。

最重要之处在于：节能是在执行排气法规过程中实现的。另外，也是抛弃以前设计者的常识，向稀薄燃烧挑战并且取得了成功。他们一旦改变了传统的看法，就满怀信心向着理论上有可能的方向前进，排除一个个障碍。并在排出障碍的过程中，有效地应用了基础的科学的研究方法。此外更重要的是排气法规也带来了节能的效果，因此已经固定下来。

3. 化学工业今后节能的方向

由以上经验类推，今后化学工业的节能恐怕只有带来其他好处才能期待取得新的进展。所谓其他好处大概有改变工艺而提高产品质量、减少排气量而改善对环境的影响等。上述汽车的例子告诉我们这是可能的。按照习惯的看法，一般认为排气法规与节能这是互相矛盾的目标，但事实说明正好相反。但是，为了破除习惯的看法，首先对发动机内种种重要的燃烧现象进行了系统地研究，在技术上也取得了稀薄燃烧、成层燃烧的飞跃进步。虽然最初只是少数人向这个方向迈进，但这些人确信其理论上是正确的。

化学工业的节能也有类似的例子，比如UCC公司的乙烯*气相聚合法。该法生产低密度聚乙烯时不采用传统的高压工艺，所以能量消费非常少；另外由于不使用水，所以也不排放污水，对环境影响小。采用这种方法是由于有了气相本体聚合这样一种新的设想，并且发现了使之成为可能的催化剂。气相本体聚合和以往任何聚乙烯的聚合技术都不同，我认为把握住这个方向是重要的，确信其理论也是正确的。日本瑞翁公司的佐伯康先生根据对聚合物制造工艺的综合性研究，很早就指出了这是未来聚合工艺过程前进的方向。

只有在技术发展方向上有理论上的把握，并对工艺过程的本质进行深入研究和理解，今后的节能工作才有可能成为现实。具体地讲，化学工艺过程中改变分离方法是一个很重要的方向性的问题，

* 原文误为氯乙烯聚合法——译者注。

这是因为化学过程中能量消耗的大部分是用于分离过程的。

化学过程中分离的手段主要是依赖于蒸馏。诚然，蒸馏是一种适用面广而且可靠的方法，但耗能很大。分离耗能往往是理论上所需最小能量的几十倍，特别是水溶液分离耗能很多。进一步研究溶液的化学构造特性，难道不能开发出利用各自特性的新分离方法吗？以前曾进行过这样的尝试，特别是用萃取分离代替蒸馏分离的尝试早就进行过了。但是除特殊情况外，一般都由于操作麻烦和产品的纯度达不到要求而未被广泛地采用。

但是可以说，由于最近膜分离技术的进步，已有可能用耗能很少的分离过程来代替许多蒸馏过程。

当然，对于目前单纯的醋酸纤维素膜，能适用的分离溶液很有限。应当针对溶液的物理化学特性，进一步开发灵敏且分离性能高的膜。为此最近有九个化学企业公司联合成立了机能性高分子膜的研究组织，着手进行基础研究，这是非常有意义的尝试。但唯一遗憾的是，据说联合研究的目的是进行膜的物性研究和开发新型的分离膜，并不包括溶液构造的研究。开发新的发动机，如仅对发动机进行种种改动，无论如何也是不成的，而最终是在对其中发生的燃烧现象进行深入研究后才成功的。由此我认为在开发新膜时，一定要进行有关溶液物性的系统研究。特别是要进行有关水溶液的研究，因为水溶液不是简单的混合物，而是如同高分子溶液或结晶混合物那样构造很复杂，而且由于溶质的化学特性不同，每种水溶液的结构也不同。

水溶液的构造，至今几乎没有进行过详细地研究。只有少数专从事物理化学工作者对此感兴趣，而化学工作者对不发生化学反应的现象不感兴趣，化学工程工作者仅对整理汽液平衡数据感兴趣。但为了开发膜的分离技术，这样做是不行的。化学工程工作者必须对各种溶液的物性进行深入地研究。

以上是根据工艺过程本质现象的研究，叙述了有关节能技术的开展方向。

4. 采用其它行业的技术

化学工业开展节能技术的另一个方向是积极采用以前没有使用过的其它行业的技术。使用微型计算机、气体透平机等就是例子。

大型汽车发动机由于使用微型计算机，自动调整点火时间，自动调整直接喷射时的空燃比，而获得了很大的效果。在化学工业中，由于能量的大部分也用于加热炉，我认为根据这样的方式，精确地自动调整空燃比，将会有很大的效果。因为如果这种方式能减少废汽量，那就相应地减少了热量的浪费。在化学工厂的加热炉中，以往废气中残留氧的浓度是7%，也就是很多都在空气过剩率超过化学计量50%的情况下运转，我想在这种情况下，采用微型机的效果会非常大。

再一个例子是积极地利用气体透平等动力设备。在钢铁工业中，由于最近的高炉是加热操作的，针对炉顶气体具有足够的压力，可把炉顶气送透平机发电。大体上一座高炉可发电1000千瓦，所以是很受重视的节能项目。化学工业以前由于存在波动的问题，一方面在理论上承认其有效果，但另一方面对采用蒸汽压缩、热泵又无勇气。但在防止波动等技术飞跃前进的今天，应当进一步大胆地向这个方向前进。

一般认为100℃以下的热能很难利用，笔者最近发表的包含(clathrate)发动机，就是利用100℃以下的热能进行动力回收和冷冻的方法，这也是气体包含化学现象与气体透平机高度组合而产生的。这个领域尚未开拓，我认为将来会有很大的希望。

参 考 文 献

- 1) 西村肇：“化学工業の発展と化学の方法”学問における価値と目的 東京大学出版会(1980)
- 2) 西村肇：エネルギー政策第3の道 エコノミスト 7月14日号(1981)
- 3) 西村肇・守田和裕 クラスレートエンジンの提案(研究ハイライト) 化学工学 12月号掲載予定(1981)

化学过程中的节能方法

伊藤丈太郎*

前 言

目前正在运转的炼油厂和石油化工厂，多数建成于六十年代。从六十年代到七十年代初，国际原油牌示价格长期稳定，每桶不到2美元。然而现在，原油价格已经急剧上涨，甚至可以说每桶40美元的原油时代将会到来。即使把变动率打折扣计算，这10年间也上涨了十几倍。由于能量价格大幅度上涨，以热回收为主的节能设备的经济平衡点变化很大，现有设备的节能改造工作也已大力发展。经过石油危机后的节约运动和对策研究，近几年来，现有设备的改造课题急剧增加，其规模也越来越大。而且，对构成工艺过程的机器设备和控制系统的技术革新已有了惊人的成就，在能量关联工程学和过程系统工程学等方面的成就也正在对节能作出很大的贡献。

本文以利用现有基本技术提高工艺系统的能量利用率为目的，简要介绍适用技术的选择及评价方法。

1. 课题的选择

1.1 基本技术的对照表

从前发表了许多有关节能的研究例及实施例，把这些优秀事例加以整理，再加上自己的经验、技术和解析结果等，由此做成的节能对照表是很有用的资料。本文由于篇幅所限不能一一列出，仅略举出已经发表的对照表供读者参考^[1]。这种对照表的内容繁多且涉及面很广，其项目难以列全，需要经常努力更新。这时，各种技术

* 千代田化工建设公司工艺技术部工艺技术课技师。

的有效性应通过每个适用事例进行研究，不要在列表时进行技术取舍选择。

1.2 不可逆操作的节能对照表

所谓化学过程节能，是指将达到预定目的所必须的能量消耗降至最低的水平。热力学第二定律表明，在可逆过程中节能可达到最大程度。因此，实际的工艺过程应在经济容许的范围内尽量接近可逆过程。就是说，通过将过程中增大或者把有效能损失控制在最小限度的办法，能够达到节能的目的。其具体方法是，尽量避免向大气散热等本质上不可逆变化，将热交换的温差等各种操作的推动力控制在最小限度内^[2]。表1为常见于化学过程中的不可逆操作及其对策的实例，也可以说是以节能为目的的热力学的节能对照表。从这观点出发，通过考察对象过程，就可能找出更深入的课题。

表 1 不可逆操作的节能对照表

不可逆操作	对策例	能量的有效利用技术
1. 向大气排放	- 降低冷却器入口温度 - 防止热损失 - 降低排烟温度	- 蒸馏系统的最佳化 - 热交换系统的最佳化 - 低温排热的回收 - 加强保温 - 提高加热炉的效率
2. 非平衡状态流体混合	- 在平衡状态下混合 - 防止混合	- 蒸馏系统的最佳化 - 热交换系统的最佳化
3. 节流、冲撞、急剧地改变方向	防止压力损失	- 动力回收 - 流体输送系统的最佳化
4. 顺流热交换	逆流热交换	热交换系统的最佳化
5. 操作推动力的浪费	尽量降低温度差、压力差和浓度差	- 热交流系统的最佳化 - 蒸馏系统的最佳化 - 流体输送系统的最佳化
6. 能量转换效率低	提高转换效率	提高机器的效率

2. 工艺系统的分析和改善方法

这样一来,就应该从提出的庞大数量的课题中,选择有效的方案,针对实施中的问题进行研究。这样,如果采用单一的对策直接

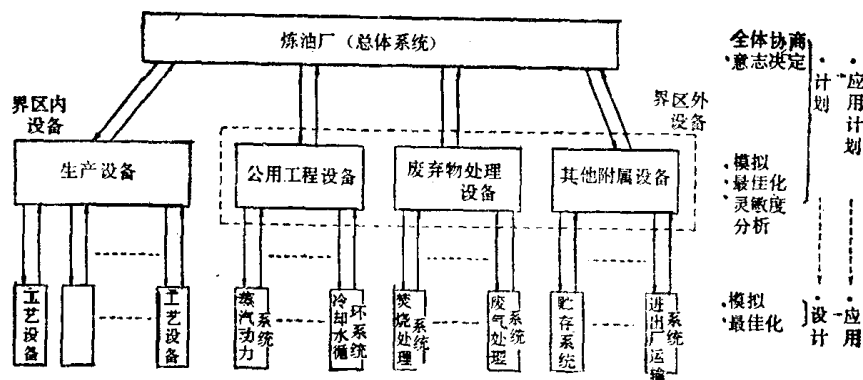


图 3-1 总体系统

降低能量消耗,而且对其他方面没有影响的话,则是很容易评价的。但是,一般来说,这样简单的例子为数不多,因此,在评价时必须依据下述程序进行。

2.1 对象系统的定义

化学工厂是由生产设备(由各种工艺设备组成的界区内设备)、公用工程设备、废弃物处理设备以及其他附属设备构成的,可将它们看作是具有如图3-1所示层次结构的总体系统。

在考虑化学过程的节能时,通常必须了解对象系统所处的范

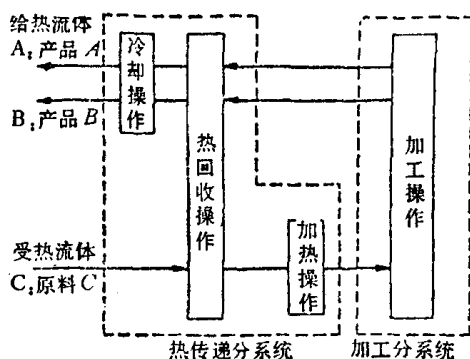


图 3-2 一般的工艺系统