



会员登陆

用户名:

密码:

展会消息

* 第十一届中国化工学会信息技术应用专业委员会年会征文通知

* “2006年全国化工行业信息化应用研讨及成果表彰交流会”圆满闭幕

* 全面落实科学发展观 信息技术推动企业资源节约——资源节约型企业信息支撑技术交

INTERKAMA
ASIA

invensys.
Process Systems

IBM

SAP

资源节约的质量交换网络的研究进展和应用

质量交换网络是上世纪80年代末在换热网络技术在节能方面取得显著进展的基础上发展起来的,二者均是过程集成(Process Integration, PI)这一过程系统工程分枝的一部分。它之所以成为20世纪末以来的研究热点,其原因是两个方面:一方面,可持续发展和环境保护的理念对企业排放废气污水提出越来越严格的要求,迫使企业认真考虑由排废中回收能造成污染的污染物,并通过回用减少排放,提出清洁生产概念,通过过程集成使废物最小化;另一方面,以资源节约和循环利用为特征的所谓“循环经济”,遵循减量化、再利用和废料资源化的3R(Reduce, Reuse, Recycle)原则,也要求有新的理论方法来指导越来越大规模的工业实践。

本文就是将这10多年以来的国内外进展,做一个简要的综述。先介绍基本概念,然后重点介绍夹点分析方法的进展,最后对这种方法的工业应用做一个总结。

质量交换网络(Mass-Exchange Network, MEN)的概念

如上所述,质量交换网络MEN正是由于环境保护需要和循环经济的发展而提出的课题,它要求从流程系统的角度来识别废物最小化而又成本最低的流程方案。这也意味着要识别某种废物组份如何有效地再循环和再利用,为了回收利用既定的废物组份也就必然要利用质量分离载体(Mass-Separating Agent, MSA)来将其从废料中提取出来,这就需要用质量交换器。

1. 单个质量交换器

定义:一个单独的是一个直接逆流接触操作的单元,它利用一种质量分离载体MSA作用于要求分离的污染物(或有回收价值成份),使其从废料流中传递到MSA中来。

单个质量交换器的一般化结构如图1所示。这种质量交换器的例子很多,如吸收塔,吸附器,萃取器,汽提塔,离子交换器等。而质量分离载体MSA则相应为:吸收溶液,吸附剂,萃取剂,汽提蒸汽等。



图1 单个质量交换器的一般化结构

2. 质量交换网络MEN

定义:一个MEN是由多个质量交换器构成的网络系统,它集体满足一个废物回收的任务,从一组富含特定组份的富流股中选择性地将此特定组份传递到一组贫流股(MSA)中去。

图 2 质量交换网络示意图

MEN示意图如图2所示，有一系列待处理的目标物流股（富流股），以一定的流率进入网络内，与质量分离剂（贫流股）逆流直接接触，在汇内贫富流股由于存在浓度差而发生了目标物质的质量传递。富流股的出口组成为 y_1^t ，贫流股的出口浓度

为 x_j^t ，其传递质量的多少由富流股i和贫流股j之间的平衡关系等来决定。在进行

计算时，假设两个接触流股中的污染物的传递是相互独立的，即贫富流股间的其它物质的存在并不影响目标物质的转移。

质量交换网络（MEN）综合问题是指，对于已有的废物流股或污染物流股（富流股），通过各种质量交换操作，用能够接受该物质的流股（贫流股）与之逆流直接接触，综合得到一个质量交换器网络，使之能在满足质量平衡、环境限制、安全等约束条件下，有选择性地将废物或污染物从污染物流股中除去。通常要回答以下几个方面问题：

- 应当利用哪些质量分离载体MSA？
- 用每一个MSA所移出/加入的最优质量负荷是多少？
- 这些废料液和MSA流股应如何匹配才是最优的？
- 什么样的结构才是最优化的网络结构？（包括应放置哪些流股分离器及混合器）

1989年El-Halwagi和Manousiouthakis发表“Mass exchanger network”的论文，首次提出这个概念并用组份浓度——累计交换质量座标表示富集流股和贫流股之间质量交换^[3, 4]。

3. 一个化工企业水网络优化的例子

下面通过一个简单的例子帮助理解这种质量交换网络的优化。

[例1] 如果一个厂有三种工艺过程用水，如图3所示，其操作和极限数据如表一所示。可以看到：操作1用50t/h新鲜水，洗出工艺流股中杂质3.75 Kg/hr，出口杂质浓度为75ppm，其极限水流率为50t/h；而操作2本可用≤50ppm的含杂质水，出口杂质浓度应≤100ppm，其极限水流率为20t/h。但因为现有操作用新鲜水，所以实际用10t/h；

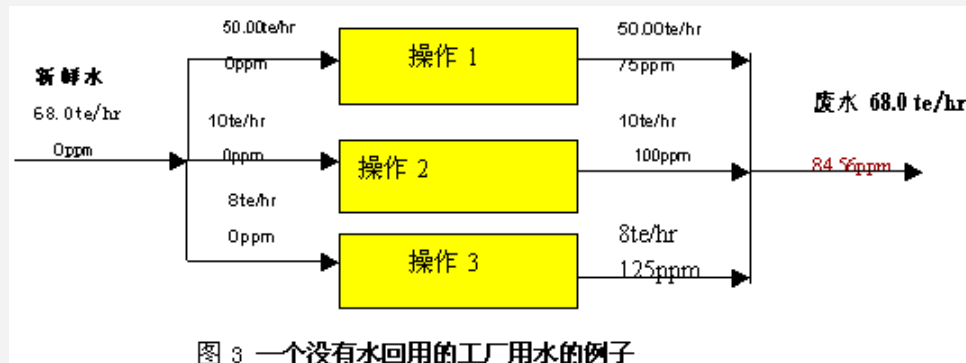


图 3 一个没有水回用的工厂用水的例子

表二：极限工艺过程数据及其限制水流率

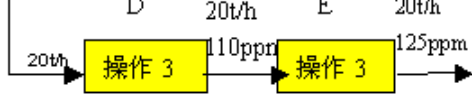
操作 i	$r_{m_i \text{ tot}}$ Kg/hr	$C_{i, \text{ in}}^{\text{lim}}$ (ppm)	$C_{i, \text{ out}}^{\text{lim}}$ (ppm)	f_i^{lim} (te/hr)
1	3.75	0	75	50
2	1.00	50	100	20
3	1.00	75	125	20

操作3可用含杂质75ppm以下水，其极限流率为20t/h,但因为实际用新鲜水，只用8t/h。总使用新鲜水68t/h。

但是否有节约新鲜水的潜力呢？如果利用水夹点分析可知最小新鲜水用量的目标值（在下一节交待）：最小新鲜水用量为56.67t/h。也就是：新鲜水用量及排污水量下降18%，这时流程变为图4所示。这种节水效果显然是由于部分操作1的污水回用造成的。

热夹点、水夹点、氢夹点到性质夹点的发展

如果要回顾20世纪过程系统工程有哪些重大突破，夹点技术的创造及推广应用无疑应排在最重大的突破之列。这一节首先从过程集成的解决途径角度了解夹点技术在PI中的位置，然后重点介绍夹点技术的发展脉络。



1. 两类质量集成的方法

从学术方法角度来考查质量集成的解决方法，可以分为两大类[4]：独立于网络结构的方法和基于网络结构的方法。

独立于网络结构的方法：最典型的就是夹点分析方法。这类方法的特点是：①把设计过程化解为层级过程，在每个层级上求得目标值，然后作为下一个层级之用；②

目标值（如最小新鲜水用量）是一个只与过程性质及条件有关的基础指标，而与系统结构无关；③设计过程的可视化性能好，使工程师便于发挥自己的才智和经验，交互作用好。这类方法的缺点是：处理多组份或多个目标杂质的复杂质量交换网络时有困难，难以用平面图形表示。

基于网络结构的方法：如超结构（Superstructure）法[5]，状态空间表示法（State-Space Representation）[6]，过程网络法（Process Graphs）[7]。这类方法是预先将所有可能发生的网络结构设计成一个“超级结构模型”，然后用数学规划（通常是非线性混合整数规划MINLP）来求取最优网络结构。这种方法虽然便于处理复杂网络，但是也存在以下问题：首先，构建的超级结构模型必须包括了最优目标结构，否则MINLP是无法搜索到最优解的；其次，MINLP算法尚缺乏成熟的商业化软件包能保证收敛到最优解；此外，工程师的经验和判断难以介入求解过程。

本文只着重介绍前者，后者的进展可参阅文献[8-10]。

2. 换热网络夹点和质量交换网络夹点的比较

质量交换网络夹点方法是在换热网络的基础上发展起来的，所以有相似之处，但也有很多不同。我们将它们加以对比，会加深对其理解，如表三所示。在了解后面性质夹点之前，读者可能难以全面理解这一比较表的深刻涵意，不妨读完本节之后再回过头来体味其中意思。

表三：换热网络夹点和质量交换网络夹点的比较

	换热网络	质量交换网络
网络构成的基本流股	高温热流—低温热流	特定组份/性质的贫流股—富流股
外加流股	即有冷却水（冷却器） 又有蒸汽（加热器）	只有外加贫流股 没有外加富流股
传递推动力	温差 ΔT	富流股浓度 y_p 与贫流股 x_j 之间浓度差 ϵ_{pj} $y_p = m_{pj} x_{pj} + b_{pj}$ $\epsilon_{pj} = (y_p - b_{pj}) / m_{pj}$ x_{pj}
传递介质之间接触	不接触，有换热面隔开	直接逆流接触，因此质量分离剂需要再生
夹点计算图座标	T—H	浓度C—传质量m；或 浓度C—液流量 F
夹点设计规则	①夹点之上不应设冷却器 ②夹点之下不应设加热器 ③尽可能消除通过夹点的热流动	①不应有废料流从性质夹点之下排出系统 ②不应有新鲜原料从夹点之上用于任何阱 ③不应有性质负荷穿越夹点

3. 水夹点

1994年Wang和Smith发表了著名的“废水最小化”论文，提出了直接计算最小新鲜水用量的目标值方法，并用这种方法找到最佳回用水方案，为这种基于概念的图解方法奠定了基础[11]。1996年Dhole及Ramchandani等在推广应用这种方法时，称之为“水夹点”[12]。这种基于概念的方法有两个基本假定：第一，水从每个用水过程中取出的污染物负荷为常数；第二，在每个用水过程中，此污染物的进口和出口浓度均有一个最大极限值，这个极限值取决于溶解度、流量限制和结垢等。

考虑如图1所示的一个用水单元，物料通过与水(MSA)接触达到净化目的。其水的进口杂质为 $C_{i in}^w$ ，出口为 $C_{i out}^w$ 。而物料进口杂质浓度为 $C_{i in}$ ，出口为 $C_{i out}$ 。为了表示浓度-质量负荷曲线，上面实线为工艺物流，下面虚线代表水流。通过这个单元操作有 ΔM kg/h 的杂质，自工艺物流传递到水流中去。显然，水流出口浓度愈高，则水量就愈少，从图5上就表示为水流线斜率愈大，因为从公式中可以看到：斜率就是流量的倒数。从图5上看，如果水流率大到 $C_{i in}^w = C_{i out}^{lim}$ ，也就是水出口浓度达到工艺物流进口允许极限浓度时。则传质推动力=0，用水量达到极小值。

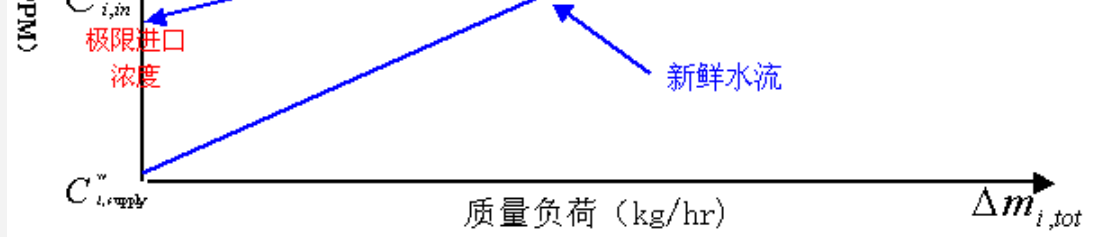


图 5 极限水流率的概念关系图

对于一个由多个用水单元组成的复杂用水网络。就需要构建复合浓度—负荷曲线，如图6和图7所示。对工艺用水而言称水阱，形成一个上面的水复合曲线。对供水而言，形成一条走在下方的“水源”复合曲线，如果两条曲线越贴近，则耗水量愈小，于是形成在“夹点”达到极限，此时对应的斜率就是新鲜水最小用量的目标值如图11所示

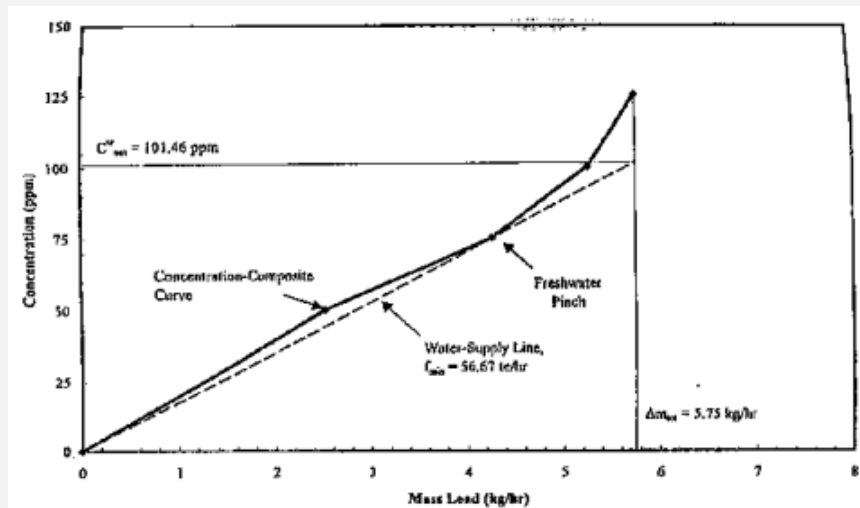
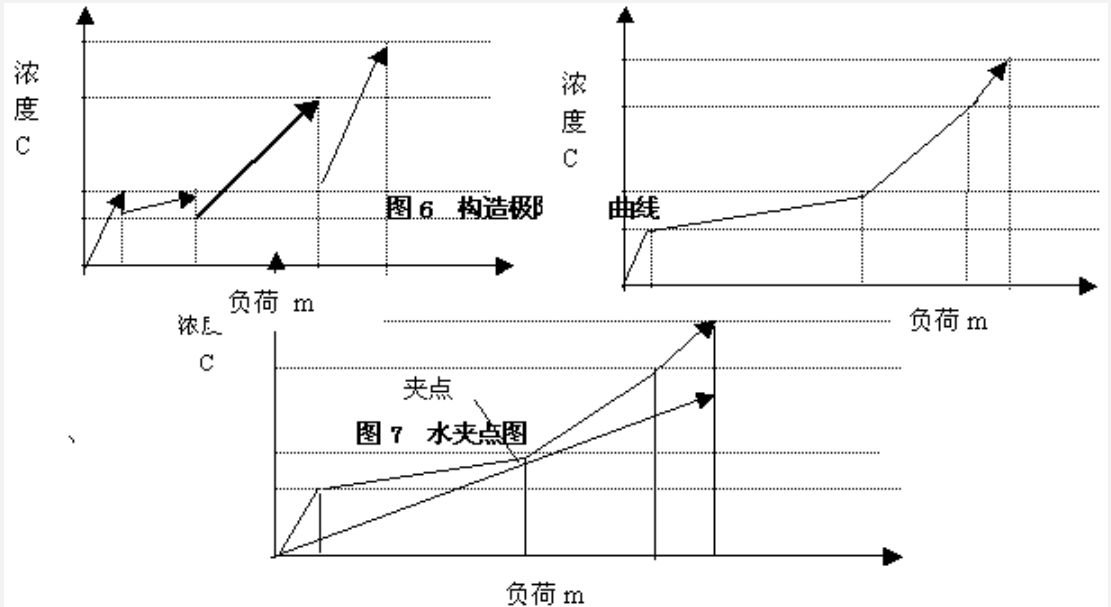


Figure 8.11. Concentration-composite curve and optimal water-supply line for Example 2.1.

8 例题中的水夹点图

[例1]的数据构成的复合曲线如图8所示。从夹点分析可知：最小新鲜水用量为56.67t/h，也就是：新鲜水用量及排污水量下降18%，这时流程变为图4所示。

1996年，Paul Tripathi^[12]也对Wang和Smith采用的水夹点设计法进行了改进，提出了以水的最大重复利用率为目标的新型水夹点技术，详见图9这种新型水夹点技术是以水的最大重复利用率为目标来设计用水网络的，并建立了一个以杂质浓度为纵轴、流量为横轴的组合图，简称C-F图(Concentration-Flowrate Graph)，由此得到一个呈阶梯状的组合曲线，将出口水流状态所组成的阶梯线称为水源组合曲线，而将进口水流状态所组成的阶梯线称为用水组合曲线。图9中两组阶梯线重叠的部分代表可在此范围内得到再次利用，没有重叠的那部分用水组合曲线用新鲜水与之相匹配，没有重叠的那部分水源组合曲线对应的出水将作为废水排放掉；用水组合曲线和水源组合曲线相交的位置即为水夹点，该点限制了水的进一步重复利用，因此该点就是水利用系统的用水瓶颈。

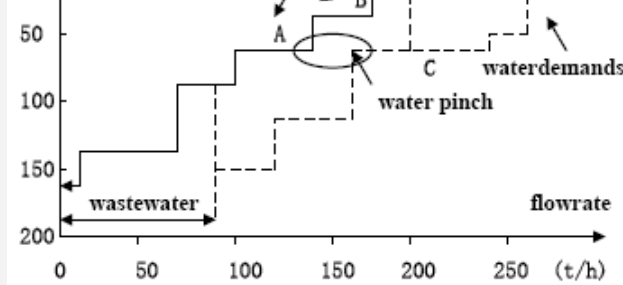


图 9 C—F 夹点图

1999年, Castro等^[14]引入了多夹点(新鲜水夹点和再生水夹点)的概念。他们采用水源图(Water Source Diagram)代替总组合曲线。

2002年, Hallale^[15]又提出了一种全新的以废水最小化为目标的图解方法, 该方法采用了用水组合曲线新的表示方法, 提出了水剩余率的概念, 构造了与热夹点分析的梯度组合曲线相类似的水剩余率框图。

表四: 水夹点图形解算法的进展

图解特点	目标函数	作者	文献	发表年代
浓度—质量图 (C— Δ m)	新鲜水用量最小化	Wang & Smith	[11]	1994
浓度—流量 (C—F)	水重复利用率最大	Smith & Tripathi	[13]	1996
水源图 (多夹点)	新鲜水用量最小化	Castro等	[14]	1999
水剩余率框图	废水量最小化	Hallale	[15]	2002

上世纪90年代后期这方面研究进入高潮, 除了发表了许多论文外, 还出版了两本专著: 一本是美国El-Halwagi 著“通过过程集成来防止污染: 系统设计的工具”(Pollution Prevention Through Process Integration: Systematic Design Tools^[16]); 另一本是James G. Mann及Y. A. Liu (刘裔安), “工业用水节约及废水减量”^[17] (Industrial water reuse and wastewater minimization, Mc Graw-Hill 1999)。后者在国内已由中国石化出版社于2001年12月组织翻译出版。与此同时, 在工业上的实际应用也蓬勃展开, 并取得显著效益。

4. 氢夹点

由于环保要求越来越高, 对燃油中S、N、烯烃等含量的控制越来越严, 炼油厂只能用加氢处理来减少它们的含量, 提供更清洁的燃料; 另一方面, 由于轻质原料短缺, 炼油厂要把重质原料加氢裂化, 变成价值更高的轻烃类, 也需要大量用氢气; 此外, 交通运输用燃料总的发展趋势是C/H比越来越低, 也就是氢含量越来越高。这使氢成为紧缺资源, 在炼油厂的许多平衡中H₂平衡成为现代炼油厂最重要的技术—经济平衡。它不仅关系到操作的适应性, 而且涉及一个企业的赢利能力及改造可能性。^[18]

1999年英国的UMIST大学将用于换热器网络分析的夹点技术转移到氢资源的优化配置上来^[19, 20], 这一创新立即被Linnhoff March咨询公司推向商业化应用。这种氢夹点分析与水夹点类似, 但纵坐标为氢纯度, 横坐标为氢流量, 从而构成氢组合曲线, 可以求出氢夹点及氢回收、制氢量(包括引进量)的目标值。

这种办法也同样可以得到氢纯化制造单元(如变压吸附, 膜分离或深冷分离)的优化配置规则: ①不应该把氢纯化单元放在夹点之下; ②把氢纯化单元放在夹点之上可以获益; ③氢纯化单元最佳位置是跨越夹点(象热泵在热网络中的位置)。

氢夹点分析用来求得最小氢补充量(最大氢回收), 在节约氢的同时也降低了生产成本。同时还可以用来研究使炼油厂达到新油品环保指标时, 如何用最小投资来增加氢的产量(扩大加氢能力)。同时也可以制定增加炼油厂产量及适应性的技术改造方案。

5. 性质夹点^[21-23]

过去传统的质量集成特点是基于追踪独立化学组份的“化学中心法”, 化学组份的物料平衡处于核心地位。但是物料回用问题则是由流股的性质或功能所驱动和控制的, 理由如下:

①许多产品及中间产物(特别是精细化工)的质量是由性质/功能确定的, 因此, 在考虑循环/回用过程及废物流时也必须使其性质满足那些加工单元的要求, 使之能接受;

②许多环保规范要求的限制也常常表现为性质指标(如PH, COD, 毒性, 颜色等);

③排出废料的生态后果依赖于污染物的性质。

因此, 这就导致开发性质集成方法。这种新方法与传统不同的挑战在于: 基于化学组份的方法服从物质守恒定律, 而性质则不是这样。

(1) 基本概念^[21]

一个物质交换网络有 N_{sink} 个阱和 N_{source} 个源。每个阱 j 有性质为 p_j^{in} 流量为 G_j 的进料, 其性质应满足以下约束条件:

$$p_j^{\text{min}} \leq p_j^{\text{in}} \leq p_j^{\text{max}}$$

p_j^{min} 和 p_j^{max} 分别表示性质的容许低限和高限, $j = 1, 2, \dots, N_{\text{sink}}$ 。同样 N_{source} 中的每个源 i 都有流量为 F_i 性质为 p_i 的出料股, 也就是那些可能替代新鲜原料的工艺流股或废料流。此外, 还有外部源(新鲜原料)的性质为 p_{fresh} 流量为 F_{fresh} 。

优化问题的目标可以是：新鲜原料消耗最小；使回用的物料达到最大或排出的废料最小。

性质混合算子 $\psi(p_i)$ ：当几种源流混合时，混合物的性质就要成为每一个源流流量及其性质的函数，用以下混合规则计算：

$$F_T \times \psi(p_T) = \sum F_i \times \psi(p_i)$$

$$F_T = \sum F_i$$

不同的性质 $\psi(p_i)$ 的表达式也不相同，如两种液体混合后的密度 ρ_T 的表达式如下：

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$F_T / \rho_T = F_1 / \rho_1 + F_2 / \rho_2$$

由此可见，密度的混合算子就是： $\psi(\rho_i) = 1 / \rho_i$

源流的性质负荷：源流*i*的性质负荷 M_i 定义为：

$$M_i = F_i \times \psi_i$$

同理，阱流的性质负荷为 $U_j = G_j \times \psi_j$

新鲜原料用量最小原理：考虑一个新鲜料 F_{fresh} 及一个源流 F_i 混合成 G_j 供给阱

，按混合规则有：

$$(F_{fresh} + F_i) \psi_j^{in} = F_{fresh} \psi_{fresh} + F_i \psi_i$$

$$F_{fresh} \psi_i - \psi_j^{in}$$

$$G_j = \psi_i - \psi_{fresh}$$

从以上方程式看到只有 ψ_j^{in} 是唯一未知数，它越大则 F_{fresh} 越小，所以我们应取阱所能接受的最大值 ψ_j^{max} 。从而导出以下新鲜原料用量最小法则：

法则一：要使新鲜原料用量消耗量最小，应使源流性质算子取对应的阱能接受的最大值 $\psi_j^{in} = \psi_j^{max}$

于是，上式变成：

$$F_{fresh} \psi_i - \psi_j^{max}$$

$$G_j = \psi_i - \psi_{fresh}$$

源流优先利用原理：

从以上方程可以看出：分子 $(\psi_i - \psi_j^{max})$ 越小，则 F_{fresh} 越小。所以，对应阱*j*的源流 N_{source} 中，应首先选 ψ_i 小的那个源流优先利用。从而导出以下法则：

法则二：源流利用的顺序应从性质算子 ψ_i 最低的优先，按 ψ_i 上升的顺序来排序。

性质组合曲线：如果有一个源流1送给阱1，则可以构造一个“阱的U—G图”，

如图10所示。上面的线是斜率为 ψ_j^{max} 的阱1操作线，下面为外部性质为 ψ_{fresh} 流量为 F_{fresh} 的新鲜原料线，右面为阱1的 M_1-F_1 线。由右向左移动，当碰到源流线后形成的负荷—流量图。三条线形成的三角形为“可行域”，由于采用了源1的一部分替代了新鲜原料，使新鲜原料用量下降。

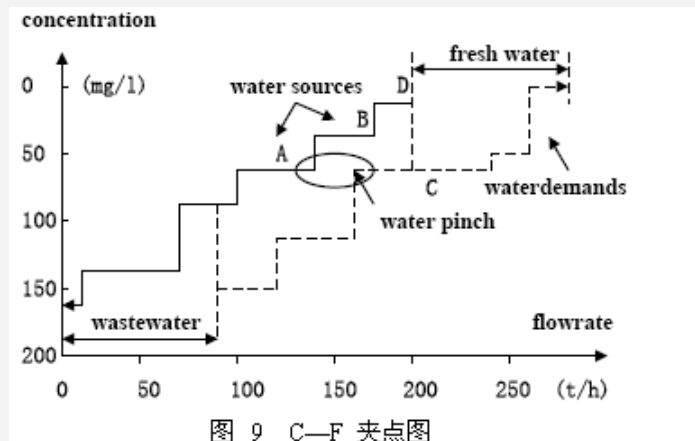


图 9 C—F 夹点图

如果有多组“源—阱”存在，则可以形成性质组合曲线图，如图11所示。这时上面曲线是由三个阱流作出的“阱组合曲线”，其斜率按 ψ_i 上升的顺序来排序，一个比一个高。下面是由斜率为 ψ_{fresh} ，由原点开始的外部新鲜原料线，继以按升序排列斜率为 ψ_i 的“源组合曲线”。而源组合曲线向左移动与阱组合曲线相碰形成的夹点，将图分为两个区域：夹点之上区域和夹点之下区域，从而也形成新鲜原料最节省，而排废料最少的三条法则：

法则一：不应该有性质负荷穿越夹点

法则二：不应该有性质负荷从夹点之下排出系统

法则三：不应该有新鲜原料在夹点之上用于任何阱

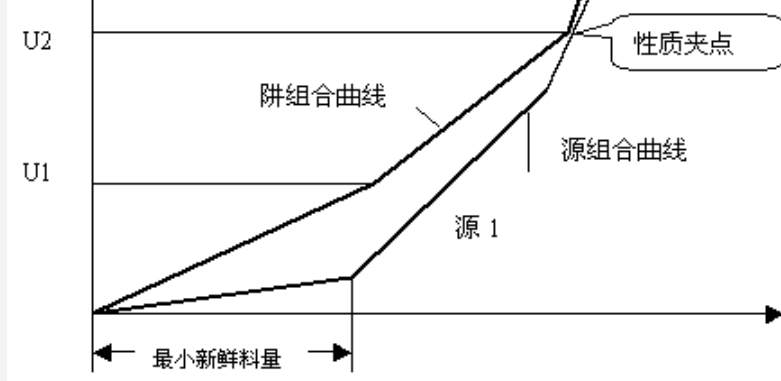


图 11 基于性质的原料回用夹点图

质量交换网络方法的应用

1. 厂区发展的总体规划的节能降耗

一个厂区现场通常包括许多分厂/装置、公用工程系统（水、电、汽、压缩空气及燃料系统）。当规划一个现场的已有装置的扩产改造及增加新的产品生产线/或关闭独立的生产线时，必须同时考虑公用设施的改进，以便支持这种扩产改造，同时使生产成本下降，并降低废水及废气排放以满足所有环境保护的要求。这种规划设计过去一直靠有经验的高级工程师凭多年的经验来提出方案，但无法保证是最优化的。

现在则可以利用MEN方法，使整体方案优化起来，接近目标值，最好地发挥投资效益，使原料消耗/能耗最小化，从而将工厂改造成为低成本制造商。这种应用往往是效益最大的，比一个具体的装置的节能降耗效益高得多。例如，Dunn和El-Halwagi

[23]称，某一个聚合物工厂要求扩大生产，需要增加蒸汽供应，并希望降低操作成本。他们用夹点技术识别机会与潜力，结果使换热网络及共用工程优化，成本下降了10%，废水排放量下降10%，零投资产能扩大5%，每年节省费用达250万美元。

Shell, Exxon, BP-Amoco, BASF 和Mitsubishi等大型跨国公司均报道采用这种技术受益匪浅，有的甚至使能耗下降25% [19]。

2. 在新装置设计/老装置技术改造中扩产脱瓶颈及节能降耗中应用

KBC与Linnhoff March公司宣称，他们已做过1200多起夹点技术应用案例，可以达到以下明显经济效益：[24]

- 节能达10-30%，同时减少了CO₂的排放；
- 以最小的成本增加产能，使投资费用减少可达30%；

Dunn 和 Halwage 报道[23]，在对一个特种化学品工厂的脱瓶颈项目中，因工厂产品供不应求而生产能力又受限制时，用质量集成方法使工厂两大主要瓶颈消除，同时使生产能力扩大12%，氢成本下降25%，项目改造投资回收期少于1年。

Hall和Ognisty. 报道如何利用夹点技术来设计一套节能降耗的催化裂化/气体分离装置。[25]

3. 在节水减排中的应用

这方面应用是近十年来的热点，也是推动质量交换网络研究发展的主要动力之一，国内外均做了大量工作。

例如：在1994~1995年间，英国威尔士的孟山都公司7个制造厂废水集中处理后排向河口，环保部门要求将其COD降低90%。原方案打算投资1500万美元新建的废水处理设施。针对这一项目首次使用了水夹点技术，使新鲜水消耗降低了30%，使水大量回用后，排出污水减少，新建的废水处理设施的投资从1500万美元降低到350万美元，节约了1150万美元投资费用，并使每年的操作费用和原材料成本降低了100万美元。这项措施还使孟山都公司荣获了1995年英国化学工程师学会办法的杰出安全与环境保护奖[27]。

例如，1996~1997年度，台湾某石化工业区在包含五个石化厂的范围内应用了水夹点，获得了成功。新鲜水耗用量每天减少1082吨，减少部分废水处理和处置费用，每年利润增加292,200美元，而投资费用仅为50,000美元。投资回收期为6个月。[17]

又如，Dunn和 El-Halwagi报道[24]，对一个聚合物工厂扩产时，发现废水处理系统已达到极限，必须想法降低污水处理负荷，用质量交换网络研究找到废水回用机会，辅以反渗透技术部分再生废水，提出24项改进，使排废水量下降30%，回收期小于1年；在一个造纸厂进行的夹点分析项目使新鲜水用量下降了55%，改造回收期不到2年。在Tripathi造纸厂，利用水夹点技术，投资了150万美元进行技术改造，每年可获得80万美元的效益，两年就收回了成本[17]。

例如，英国的Linnhoff March公司宣称：根据他们做过的30多例项目的经验，用这种方法，对炼油厂可有10%~30%的节水潜力；在食品工业有30%~40%的潜力；而对精细化工可高达60%[28]。

本世纪初，我国一些高等院校及公司也开始水夹点技术的研究和应用，例如西安交通大学[29, 32]、大连理工大学[30]、青岛科技大学[31]和北京圣金桥信息技术公司[27, 33]等，均在石油化工、化肥、啤酒等工厂应用水夹点分析做过不少项目，取得可观效益。

我国中国石化总公司总部领导十分重视这一技术的推广应用，从2004年就开始自上而下地，分期分批有系统地推广应用。在总部成立的“节水减排技术领导组”的统一领导下，将下属45个企业分成四批，经过办“节水减排培训班”一现场调研一建立方案一提出可研报告一可研报告评审等环节，现在可研报告已完成。争取在三年时间内提前完成国资委下达的指标，争取达到国际先进水平，用水总量预计下降56%。投资回收期一般一年左右。2005年全年炼油企业平均吨油耗水量历史性达到1吨以下；2006年，加工吨油耗水量将进一步下降到0.8吨以下。其中镇海炼化股份公司加工吨原油耗水量为0.31吨，加工吨原油排水量为0.07吨，各项用水排水指标均领先于国内同行业水平，达到国际先进水平，成功实现了工业污

水“零”排放。[34]

4. 氢夹点分析的应用

利用氢夹点分析可以使新炼油厂设计用氢量减少35%，使氢气压缩机轴功率减少46%。[19] Linnhoff March咨询公司2001-02年所进行的14个氢夹点分析项目，在提高收率和降低成本方面就可取得690万美元/年的收益；他们在日本做的氢夹点项目表明：如果不追加投资，仅改变操作，可以使氢压缩机功耗下降12%；如果追加少量投资，可以使氢压缩机功耗下降17%。[28]

5. 在VOC（挥发有机物）及燃烧尾气回收，改善环境方面应用

El-Halwagi 报道，某化学—聚合物联合企业提出：生物化学处理加工用热量太大，导致排废温度超标；而且VOC在加工过程中由释放气及废水中排出，都限制了扩大生产。经过MEN分析后，经过操作改进及技术改造，使热负荷下降90%，VOC损失减少50%，项目投资回收期约18个月。[4]

南非的Zhelev用夹点技术来设计烧煤锅炉的填充床吸收塔式接触省煤器系统，其中传热和传质的平衡用夹点计算可以使烟气排出温度低于标准排烟温度而不至于引起后面冷凝腐蚀风险。这样既可以提高锅炉整体热效率，又使排烟更洁净。[35]

德国Karlsruhe的法—德联合环境研究所利用多目标夹点分析，研究了一个自行车制造厂的喷漆生产线，来评估能量、水和VOC的回收潜力。[36]

6. 生态工业园区内企业间的原料/半成品/用水互供

目前国际上已开发了一些新的质量交换网络工具软件，用来识别废水回用和其它“质量交换体”跨过程边界交换的机会[37]。

(1) DIME工业材料交换软件包 (Dynamic Industrial Materials Exchange)：由美国 Bechtel (现Nexant) 工程公司与能源部环境工程实验室联合开发，用来辅助工业副产品协调利用的机会识别及分析；

(2) DIET设计工业生态系统工具 (Designing Industrial Ecosystems Tool)：包括设备协调数据库（识别非产品输出的潜在匹配）；多目标优化模型（允许对匹配进行环境、经济和社会多目标优化计算）；现实性筛选等模块的生态工业园区设计工具雏形；利用地理信息系统GIS设计工业废料交换：因为工业废料交换利用的一大难题是废料运输。德州大学 (University of Texas, Austin) 利用GIS研究了20个不同工业设施的水网络，优化配置后总新鲜水用量可以下降90%，水成本下降20%。

柔性是指系统从一种状态过渡到另一种状态情况下，灵活调节满足目标要求的能力，柔性分析就是分析系统柔性大小，判断系统变量是否满足柔性要求以及优化增大系统柔性。清华大学在鲁北工业园区的设计中已经应用质量交换网络的柔性分析[38]，以达到使物质循环和环境减排的目的。因为原料互供和再循环链接限制了各个子系统的操作，从而带来了大系统柔性的降低。因此分析这种带有子系统间物流链接的大系统的柔性，找出大系统以及其内部各个子系统的柔性瓶颈，从而确定改进措施是十分必要的。

7. 其它方面的应用

Zhelev还将夹点技术用于水、电、汽等所有公用工程资源的管理，将其总成本（水、电和汽迭加起来的成本）制成组合曲线，采用类似水夹点分析那种网格图来表示现金流的管理方案，以求达到利润率最大的目标值。[39]

印度学者Singhvi等将夹点技术用于化工供应链管理[40]。将“供应数据—需求数据”绘成组合曲线，利用夹点技术可以得到更多的启迪，从而加速决策过程。他们用两个计算案例证明：对单个产品供应链而言，夹点方法得到的结果与用GAMS软件包非线性规划严格计算找到的结果一致；而对多产品供应链，用夹点方法可得到优异的起点，使数学规划计算时间降低为原来的1/6。

结束语

质量交换网络的理论自从17年前提出以来，不论在理论研究，还是在实际应用方面均有了长足的进展。这一理论对建设资源节约型的企业，实现清洁生产具有重要的指导意义。但这种理论还处于发展的初创时期，有些地方还不成熟，有的方法尚缺乏严格的理论基础证明其普遍规律性。今后应当一方面加强理论研究，一方面在大胆实际应用中发现问题，不断提升质量交换网络的理论，使之逐步完善、成熟。

| 合作伙伴 | 友情链接 | 联系我们 | 意见反馈 |

Copyright 2005 中国化工信息网IT频道 Best view : 800*600

中国化工信息中心 中国化工信息网 设计制作