

文章编号: 1005- 8893 (2006) 04- 0043- 03

# 水夹点技术在企业节水减排中的应用<sup>\*</sup>

杨瑞洪<sup>1</sup>, 李定龙<sup>1</sup>, 曹雨平<sup>2</sup>

(1. 江苏工业学院 环境与安全工程系, 江苏 常州 213164; 2. 扬州工业职业技术学院)

**摘要:** 水夹点技术是一种用于企业用水系统优化, 以提高水的回用率为目标的过程集成技术。介绍了水夹点技术的基本原理, 利用水夹点技术寻找用水系统最少新鲜水用量, 即夹点, 并以夹点为节水目标引入数学方法分配水源, 设计最优用水网络。最后, 应用该方法进行实例分析, 节水成效显著。

**关键词:** 水夹点技术; 水分配; 用水网络

中图分类号: X 703; TU 991. 31

文献标识码: A

## Application of Water Pinch Technology in Water Conservation and Wastewater Reduction in Enterprises

YANG Rui- hong<sup>1</sup>, LI Ding- long<sup>1</sup>, CAO Yu- ping<sup>2</sup>

(1. Department of Environmental and Safety Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China; 2. Yangzhou College of Industrial Technology)

**Abstract:** Water pinch technology is one of water system integration technologies which is used in water- using network optimal design to improve the level of wastewater reuse. The principles of water pinch technology is introduced, minimum fresh water consumption pinch can be found with the water pinch technology, and mathematical method is brought in to distribute water resource, and design the optimal water- using network. Last, the method was applied to analyze an example, the effect was obvious in water saving.

**Key words:** water pinch technology; water allocation; water- using network

早在 20 世纪 80 年代, 水的优化分配问题就已被提出, 当时主要采用数学规划理论, 且针对仅含单杂质污染组分的用水系统<sup>[1]</sup>。1994 年, 英国 Manchester 大学科学技术研究所的 Wang 和 Smith 等人在研究化工过程中废水最小化问题时, 提出了水夹点技术<sup>[2]</sup>。这种方法以整个系统的新鲜水消耗流量和废水产生流量最小为目标对用水系统进行优化设计。在目前的工程应用中都获得了较好的节水减排成效, 其推广应用的价值越来越被人们重视。

### 1 水夹点技术原理

水夹点技术的前提是用水单元必须满足杂质传质模型, 文献 [1~ 4] 详细的阐述了该模型。

水夹点技术的原理是通过构造质量浓度组合曲线, 寻找夹点, 确定用水系统的节水瓶颈。

按照文献 [2] 给出的方法绘制质量浓度组合曲线。当确定了系统的质量浓度组合曲线后, 将所有用水单元的用水过程用复合曲线来分析。由于新鲜水杂质质量浓度为零, 因此供水线必然通过坐标

\* 收稿日期: 2006- 04- 25

作者简介: 杨瑞洪 (1980- ), 男, 江西宜春人, 硕士研究生; 联系人: 李定龙。

原点。供水线斜率越大,新鲜水流率越小。为了保证一定的传质推动力,供水线必须总是处于质量浓度组合曲线的下方或和浓度组合曲线重叠。因此,可以以原点为中心旋转供水线,当与质量浓度组合曲线相接触时即为最优供水线,这个接触点就是新鲜水夹点,如图 1 所示。

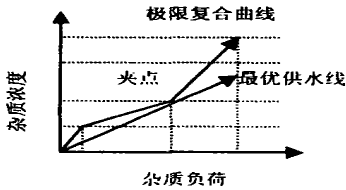


图 1 组合曲线夹点确定

Fig. 1 Pinched composite curve for example

由图 1 可见,位于物料线下方的供水线均可满足要求。当供水线入口质量浓度一定时,为了使所用新鲜水量达到最小,应该尽可能增大其出口质量浓度。当出口质量浓度达到最大时,供水线与复合曲线某点相重合,即找到夹点,此时供水线斜率最大,斜率的倒数即为新鲜水最小用量。因此,在已知用水系统中各操作的极限过程数据时,可以通过该方法预先计算出用水网络的新鲜水最小用量的理论值,然后,以该理论值为目标,依据水分配物料守恒方程计算水流量分配,设计最优用水网络。

## 2 应用的主要步骤

### 2.1 目标系统选取

水夹点技术应用的第一步是选定合理的目标系统。对于一个用水网络复杂的大型企业,不可能将整个用水网络选为一个系统进行优化,应该考虑单元出水中污染物组分、工艺流程和地理位置布局等因素将其划分若干系统,分别进行优化<sup>[4]</sup>。

### 2.2 用水单元选定

目标系统的实质是多个用水单元的构成体,因此,要选定通过优化能实现一定节水成效的有节水潜力的用水单元。为简化系统,同时提高节水成效,可选定为同一系统的用水单元需满足:①是用水流量较大;②用水水质要求较低,出水水质较好;③出水主要污染物成分相同或相似;④地理位置不能偏离目标系统太远,个别用水量巨大的单元可以不考虑地理位置。

### 2.3 关键污染物组分确定

对于只含有单一杂质的系统,则选取该杂质为

关键污染物组分;对于含有多种杂质的系统,若系统存在着某一种杂质最有可能限制污水回用,而其它杂质的影响比较小或者可以通过简单处理来消除,则可以选取该杂质做为关键污染物组分,仍然作为单杂质系统处理;否则按多杂质系统处理。

### 2.4 极限过程数据确定

目前极限过程数据主要采用设备工艺分析、定性比较、假设和实验等方法初步拟定,再根据上述方法获得的数据建立极限复合曲线,作系统夹点分析图,通过进一步的分析修正数据<sup>[4]</sup>。

### 2.5 夹点分析

根据用水操作的极限数据构造浓度组合曲线,分析确定夹点位置,计算夹点处整个系统的最小新鲜水用量和排污量最小的理论目标值。

### 2.6 水源分配,构造用水网络

依据理论目标值和夹点所在杂质浓度值,用物料守恒方程(1)、(2)和(3)计算各单元水流量分配结果<sup>[5,6]</sup>,依据分配结果设计最优用水网络。

供水流量等于单元额定用水流量:

$$f_i + \sum_{j \neq i} X_{i,j} = F_i \quad (1)$$

为了使得新鲜水用量最小,回用水杂质质量(新鲜水中杂质为 0)等于进水极限杂质质量:

$$\sum_j C_{j,out} X_{i,j} = C_{i,in}^{max} F_i \quad (2)$$

单元进口杂质极限值与单元杂质传递之和等于出口杂质极限值:

$$\sum_j C_{j,in}^{max} X_{i,j} + \Delta m_i = C_{i,out}^{max} F_i \quad (3)$$

式中:  $f_i$ —单元  $i$  新鲜水用量;  $F_i$ —单元用水额定流量;  $\Delta m_i$ —单元  $i$  传递的总杂质质量负荷;  $C_{j,in}^{max}$ —单元  $j$  极限入口质量浓度;  $C_{j,out}^{max}$ —单元  $j$  出口杂质质量浓度;  $C_{i,out}^{max}$ —单元  $i$  出口杂质质量浓度;  $X_{i,j}$ —为单元  $j$  回流到单元  $i$  的回用水流。

### 2.7 调整用水网络

实际用水网络不可能完全符合理论计算结果,需要根据装置的用水实际及网络的工程造价等情况进行合理的调整,使得用水网络简洁和实用,调整的基本原则:①减少单元供水水源数,删除水量过小的回用水量;②尽量不大幅度影响节水效果;③考虑用水匹配地理位置就近,降低工程造价等。

3 实例研究

为更好的阐明夹点技术的应用过程及价值, 下文引用某用水系统实例进行阐述。

3.1 极限数据

该用水系统主要含 5 个用水单元, 关键杂质成分为硬度浓度可看成单杂质系统进行研究, 现给定各用水单元相应的极限过程数据见表 1。

表 1 各用水单元极限过程数据

Table1 Limiting process data of the operations

<i>i</i>	$F_i / (t/h)$	$C_{i,inf}^{max} / (mg/L)$	$C_{i,out}^{max} / (mg/L)$	$\Delta m_i / (kg/h)$
1	50	0	60	3.0
2	40	20	100	3.2
3	75	40	120	6.5
4	60	75	120	2.7
5	35	80	180	3.5

3.2 用水网络优化设计

对上述系统用水过程进行夹点分析, 得系统理论最小新鲜水消耗流量和排污量为 135.83 t/h, 夹点处杂质质量浓度为 120 mg/L, 因此, 1 至 4 单元的部分出水都可以进行回用。

根据方程 (1)、(2) 和 (3) 计算水流分配结果, 从而设计出优化管网, 如图 2。为使得用水网络新鲜水流量尽可能达到理论目标值, 各单元进出口杂质浓度均按极限值计算进行设计, 仅操作 4 进出口杂质质量浓度没有达到极限值, 因此系统新鲜水实际用量和排污量为 141.54 t/h 略大于理论目标值。比全部采用直排水系统节水减排 45.56%, 节水减排成果显著。图 2 中单位分别为: 流量 t/h, 污染物质量浓度 mg/L。

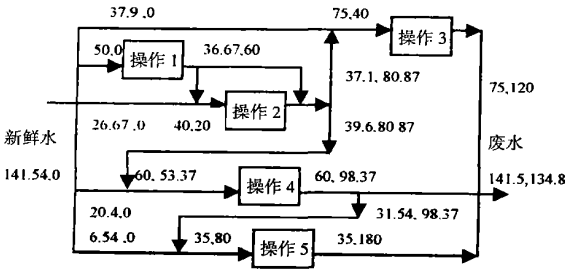


图 2 优化设计用水网络

Fig. 2 The optimal design water network

3.3 用水网络调整

依据上文网络调整原则将用水网络调优得图 3, 系统新鲜水实际用量为 144.93 t/h, 比采用直

排水系统节水 44.26%, 节水成果仍然显著。图 3 中单位分别为: 流量 t/h, 污染物质量浓度 mg/L。

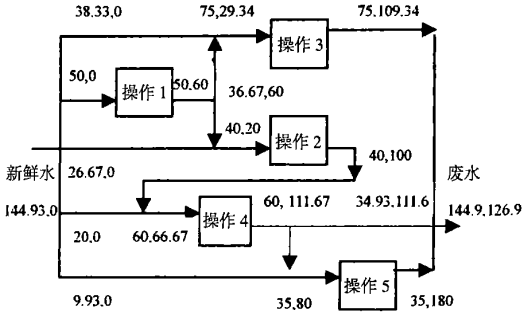


图 3 调整简化后的用水网络

Fig. 3 The water network after being simplified

由图 3 可见, 调整后用水系统节水效果稍差, 但是大部分用水单元的进出口杂质质量浓度都小于极限值, 能更好的保证各单元的用水水质。同时, 用水网络也相应的得到简化。

4 结论探讨

可见应用水夹点理论对企业用水系统进行优化设计, 可以获得很好的节水减排效果, 有较大的推广应用价值。实际工程中系统优化方案制定和实施的前提是每个用水单元都必须满足各自用水的水质要求, 即优化方案可行。因此, 在应用过程中需注意以下两点: ①由于过程极限数据主要通过经验和对用水设备进行分析等获得, 难以做到准确无误, 因此, 为了保证方案的可行性在提取极限过程数据时应当适当保守一些; ②在设计出理论优化网络后, 应根据企业实际情况和工程造价等, 对用水网络进行调整, 不可一味的追求节水效果。

参考文献:

[1] 冯霄, 王斌. 节水减排过程水系统集成技术 [J]. 中国能源, 2002, (1), 22- 24.

[2] 刘裔安. 工业用水节约与废水减量 [M]. 北京: 中国石化工业出版社, 2001. 24- 38.

[3] 汤小玲, 戴友芝. 水夹点技术在节水减排中的应用 [J]. 炼油技术与工程, 2004, 34 (10): 56- 58.

[4] 曹殿良. 水夹点技术在石油化工企业的应用 [J]. 金山油化纤, 2005, 24 (1), 24- 26.

[5] Ravi P, Uday V S. Targeting and Design of Water Networks for Fixed Flowrate and Fixed Contaminant Load Operations [J]. Chemical Engineering Science, 2005, 60: 255- 268.

[6] Detchasit P, Thongchai S. GA: Genetic Algorithm Toolbox for Water Pinch Technology [J]. Chemical Engineering and Processing, 2005, 43: 203- 217.