

一种提高石化装置经济效益的 相关积分自适应实时优化技术

无须建模，突破模型化瓶颈

有自动适应原料变化、装置改造等能力

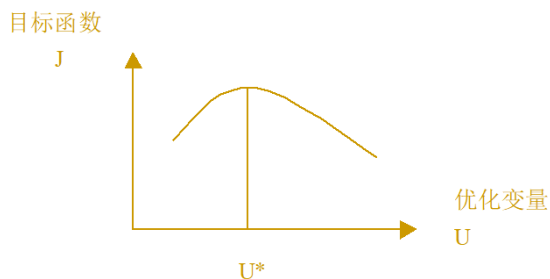
相关积分自适应实时优化操作技术，是基于随机过程数学原理发展起来的，利用采集生产过程的大量的实时数据，在不用建模的情况下实现闭环、在线、实时的优化，并且具有自适应能力，无论原料变化,技术改造带来的生产变化均不妨碍其优化功能。而且一次性投资不高，企业可长期收益。

该技术的新颖性已经获得国际上的认可，目前该技术已经获得中国、美国、加拿大、韩国、新加坡发明专利。

该技术在 140 万/年催化裂化装置持续使用 10 年以上,并经历了多次装置改造的考验。根据多年的台帐统计，总液收增加了 1%左右，相当于每年多产约 1.4 万吨高附加值产品(液态烃+汽油+柴油)。

➤ 实时优化(RTO):

在生产过程中,在线调整关键的操作条件(优化变量),使优化目标,如收率,效益达到最大。



过程优化问题: $J^* = F(U^*)$

也就是去寻找优化变量的最优值 U^* ,
使目标函数达到最佳值 J^* 。

➤ 在实际系统中:

$$J(t) = F(U(t), P(t), t)$$

$P(t)$: 干扰，如物料性质的变化。

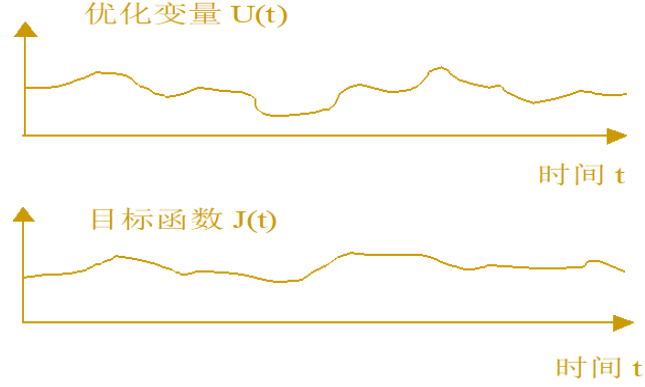
t : 时间， $U \rightarrow J$ 是一个动态过程。

也就是在实际系统中:

1. 目标函数本身是随时间变化的量
2. 优化变量也是随时间变化的量
3. 影响目标函数的除了优化变量外，还有其他的因素（干扰），也是随时间变化的量。

4. 优化变量、干扰变量与目标函数之间的关系是动态的、时变的。

由于目标函数与优化变量之间存在因果关系，因此优化变量的随机自然动态脉动 $U(t)$ ，将引发目标函数的应变脉动 $J(t)$ ：



相关积分定义： $U(t), J(t)$ 为随机过程，则 U 和 J 的互相关积分 K_{UJ} 为：

$$K_{UJ}(T, M) = \int_{-M}^M \frac{1}{2T} \int_{-T}^T U(t - \tau) J(t) dt d\tau$$

要进行以上的相关积分计算，需要采集大量的实时生产数据，进行在线的大数据分析。

在相关积分优化理论中，目标函数 $J(t)$ 、干扰 $p(t)$ 、优化变量 $u(t)$ 被视为随机过程，而优化变量为均值可控，一般地可以表达为

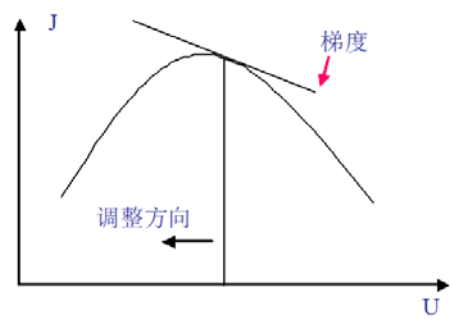
$$\tilde{J}(t) = f(\tilde{u}(t), \tilde{p}(t), t)$$

目标函数定义为：

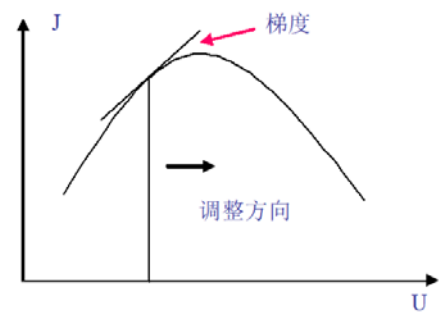
$$\tilde{J}^*(t) = \max_{E\{\tilde{u}(t)\}} E\{f[E\{\tilde{u}(t)\}, \tilde{p}(t), t]\}$$

这里， $E\{\tilde{u}(t)\}$ 为调优变量的均值，它可以是基层控制器的设定值或阀位等。 $f()$ 为未知的函数，上式的意思为调整控制器的设定值，使目标函数的均值达到最大。

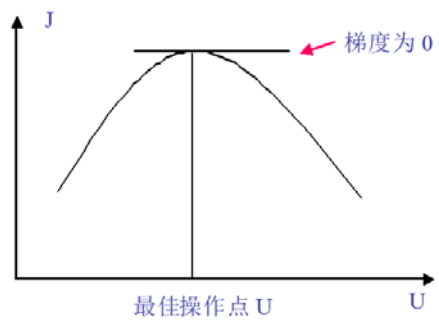
用相关积分计算梯度，根据梯度决定调整方向。如梯度为负，则优化变量向减小的方向调整：



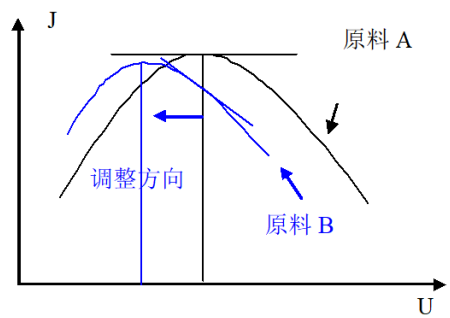
反之，如梯度为正，则优化变量向增大方向调整：



如果梯度为零，找到最优值：



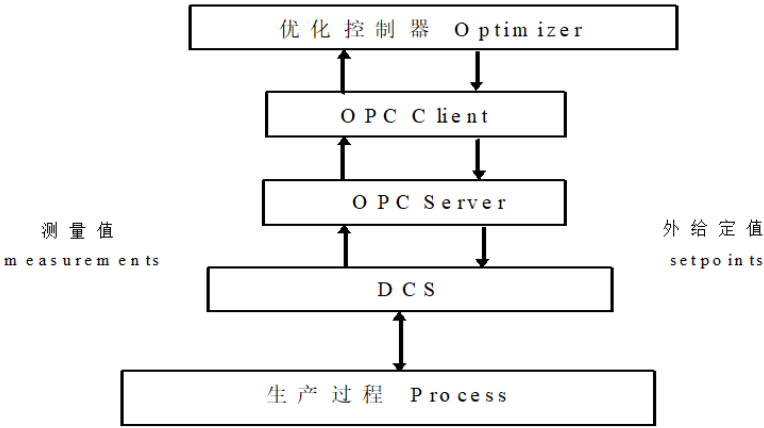
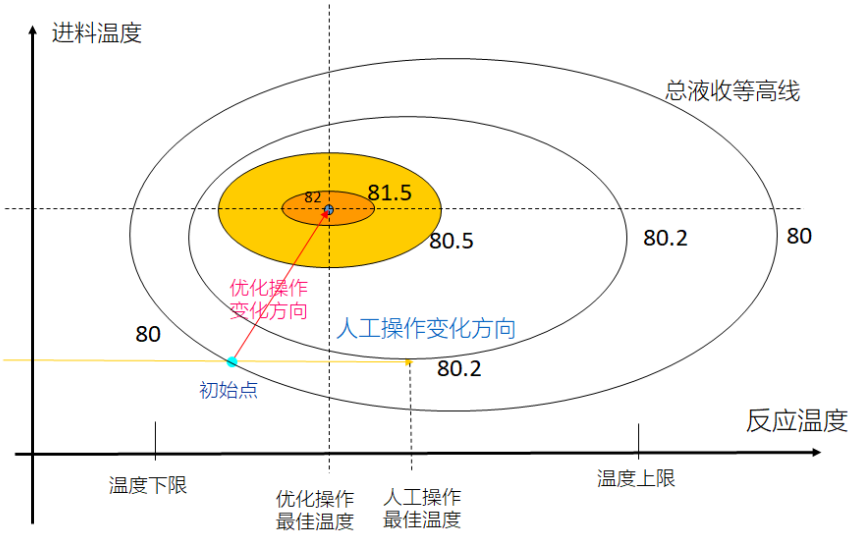
持续计算梯度，如果原料变化，梯度也会变化，据此重新寻找最优值：



以上的计算原理可以推广到多个优化变量的情形.

在多个（ m 维）优化变量的系统中：

- 优化变量对目标函数的梯度是多维（ m 维）空间的一个向量。
- 而目标函数对优化变量的相关积分也是一个 m 维的向量
- m 个优化变量的自相关积分是一个 $m \times m$ 维的矩阵。
- 根据多维的相关积分理论，可以根据以上的相关积分矩阵来计算出梯度向量。



二级优化控制结构
Two level control structure

- 在现场优化实施过程中，数据的采样周期大约为每分钟一次，而控制周期（优化变量调整的周期大约为每 10 分钟一次。
- 在优化的调整过程中，为了保证安全，每个变量的调整中有最大步长的限制，而且每个优化变量的优化范围，也就是优化的上下限也是由工艺人员或者操作工根据现场装置的情况设定。
- 通过这些有限制的调整，使优化变量逐渐地逼近最优点，而且可以保证生产的安全。

应用相关积分优化技术的先决条件：

满足以下三个条件就可以应用该技术

- 连续生产过程
- 优化的目标函数 J 必须是可以在线测量或在线计算的
- 过程必须由 DCS 控制

相关积分优化控制商用软件有：

DCIO Express for FCC 系列

DCIO Express for Dewaxing Process 系列

DCIO Express for CR 系列

DCI Optimizer 系列等

应用于：

催化裂化装置反应系统在线优化

连续重整装置反应系统在线优化

芳烃歧化反应器在线优化

芳烃异构化反应器在线优化

酮苯脱蜡装置在线优化

乙烯裂解炉裂解反应在线优化

.....