

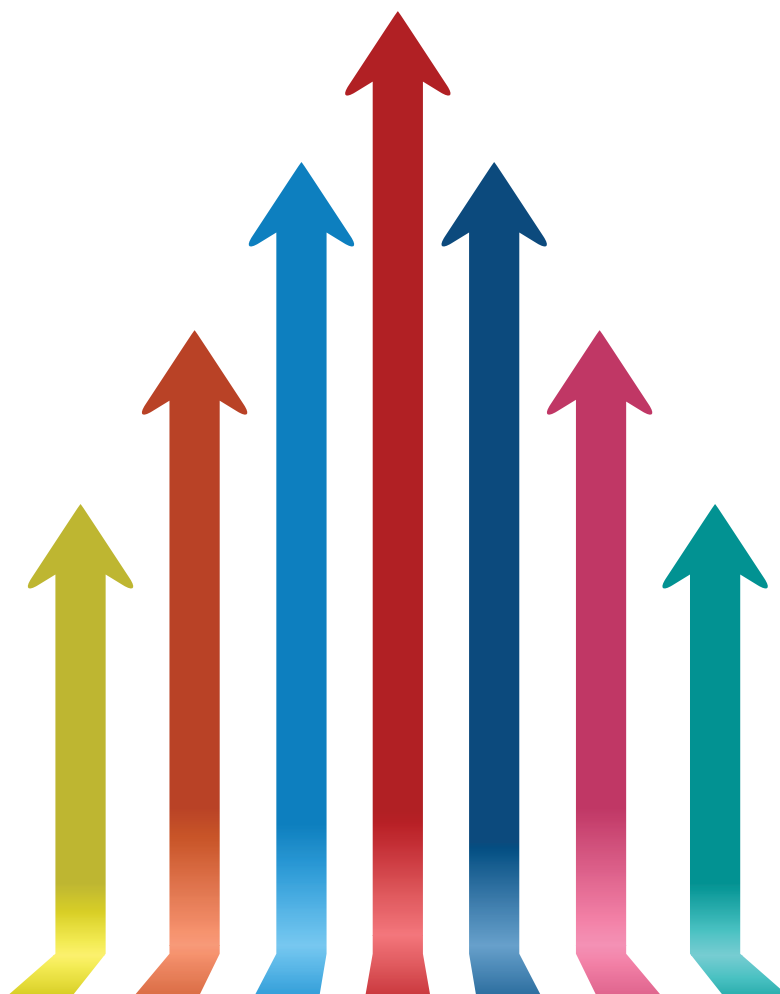
# 达到新高度： 计划与调度领域的六大最佳实践



## 概述

自2015年中期以来,石油价格已从100美元/桶左右下跌至约25美元,然后再度回升至45美元以上。这样的价格波动导致大量离岸项目终止,并对中游产业产生了巨大影响。石油价格的低迷在短期内给炼油企业带来巨大利益,但由于价格仍在波动,炼油企业正在致力于实现卓越运营,以维持他们的利润,同时寻找改善业务的方法。除了价格波动之外,全球页岩气的开采以及原油进口管制的放松大幅增加了原料选择的数量。在价格持续波动和出现新原料供应的情况下,炼油厂面临着更强的选择性。准确的计划和先进的调度工具可以扭转利润下降的趋势。

过去几年的技术进步使炼油企业能够以最有效的方式使用资产。在炼油和烯烃行业,这意味着优化原料选择、生产计划和排产计划,以降低运营成本,最大限度地提高盈利能力。对于行业大鳄来说,这些进步促进了几十年来的专业知识积累。对于新兴的小型生产商而言,采用炼油厂优化软件可极大地提高炼油效益,增加企业整体利润。为此,计划和调度团队需要具备充分的专业知识,以支持优化工作。计划和调度团队的主要目标是提高炼油厂或烯烃工厂的利润,这离不开先进的软件工具。实现最高利润的决定因素是非常复杂的,并且包含了广泛的信息,例如原料的多种选择,权衡反应深度,或者炼油厂调度排产的复杂性。以下计划和调度的六个最佳实践将帮助计划人员和调度人员更好地改进他们的决策并提高利润。





# 计划

炼油厂的生产计划对盈利能力至关重要。例如，在一家产能为每天200,000桶的炼油厂，原油计划人员负责做出决策，一年内在原材料方面花费超过10亿美元（人民币60亿）（假设原油价格仅为35美元/桶）。即使是一个仅有百分之一的小错误，也会给每桶原油增加大约35美分的成本，每年高达1000万美元（人民币6000万）。更大的错误可能很轻易就吞噬掉大多数炼油厂如今已经非常微薄的利润。用数学优化器做出这些决策是真正从现实出发的唯一方法。有三种推荐的方法可以使优化器获得最佳效果：

- 选择正确的建模参数
- 优化问题求解更可靠
- 分析方案，使方案更具适应性



## 选择正确的建模参数

从最简单的单一原油炼油厂到最复杂的综合炼油厂或化工厂，生产计划员可以自由地决定炼油厂如何使产品进入市场。这种自由就像攀登一座山——有许多可能的路径通往山顶，但由于各种因素的影响，比如天气和时间，有一条路是最好的。你必须成功找出这条路，然后攀登到山顶——这是对持续盈利的保障。通往山顶的最佳路径就是最优的生产计划，而这只有通过适当的信息才能实现。

为了获得这些信息，计划人员需要关于山的地图。一般来说，这张地图应该是一个线性规划模型，以充分代表实际炼油厂和烯烃工厂运营的复杂性。线性规划模型，也称为计划模型，可能包括数百个变量。

必须选择影响产量、能耗和其他经济驱动因素的正确参数。例如，必要的输入包括来自当前分析的进料质量，不同运行操作模式，不同分馏塔再沸器进料速率，冷凝器负荷下的产品收率，所有这些因素都会影响工厂的盈利能力。

## 可靠地解决优化问题

线性规划一直是炼油厂优化的值得信赖的方法。然而，在过去的五到十年，线性规划已经开始求解更多的非线性方程和关系式，技术进步使这些问题已经能够更快更容易地得到解决。但这是简化为线性方程才实现的，因此引入非线性方程将大大提高模型精度。非线性建模最有影响的应用包括调和规则和具有反应的操作单元，例如流化催化裂化（FCC）和裂解（蒸汽裂化）炉。重蜡油或乙烷等廉价原料的升级通常是工厂利润最大的一项业务，而且已得到证明提高模型精度对于行业中的许多炼油厂和烯烃生产企业是有价值的。

非线性方程能够实现更精确的调和规则。使用传统的线性规划，调和规则的不准确导致调和计划和实际结果之间存在偏差。为防止产品不合格导致巨大的损失，就必须确保调和产品始终是合格的，也即物性指标必须高于规格要求。但当调和指标高于规格要求时，被称为质量过剩，也会导致利润损失。传统的线性调和规则的不准确，往往迫使操作人员用非最优方式添加高价值调和原料手动校正调和产品质量。因此，计划人员可以在计划模型中使用更准确的调和规则，以此提高盈利能力。

一旦建立模型并达到较高的精度水平，包括非线性关系，就可以开始对工具进行测试。模型是否可靠地收敛？结果是否可重复？查找并解决模型问题成为这一阶段的主要工作。回想一下，数学模型自身引起的伪最优（局部最优）以及真实的全局最优，虽然非线性方程确实提高了精度，但它们也更倾向于局部最优。传统的问题排除方法是一个繁琐的过程，通过使用几组不同的求解初始值避免局部最优情况的发生。一些高级优化程序中的新功能，使计划人员能够通过设定任何数量的求解初始值检测局部最优，并最终解决这一问题。这大大增加了结果的可靠性，并通过避免局部最优减少利润损失。

其中一个例子是烯烃生产企业Borealis，他们在自己的工厂实施了非线性高级优化工具。最初，Borealis报告称，它们的复杂模型存在收敛和局部最优问题。在实施高级优化项目之后，他们能够收敛所有情况，几乎没有局部最优问题的发生。此外，通过使用非线性方程来对关键工厂限制因素进行建模，Borealis改进了其模型的准确性，而且使计划更接近实际工厂限值。



图1.Borealis实现了高级优化，包括非线性模型，以实现更精确的结果，大大加快运行时间

## 解决方案分析, 实现稳健性

炼油厂和烯烃生产企业目前面临的挑战是确保生产计划在一系列运行条件(包括原料和产品价格的变化)下保持盈利。下图显示了CBOE原油ETF波动指数, 该指数衡量了市场对于未来30天原油价格波动的预期。由于这种波动, 今天最优的计划可能在下周就不是最优了。避免这种情况的最好方法是使用一个可靠并且可重复的模型来建立应急计划, 在您的日常工作流程中测试各种输入。例如, 计划人员应该在每桶高于和低于当前价格几美元的范围内测试多种原油和产品的价值。



图2.CBOE原油ETF波动指数 (VIX) 自2004年1月以来的市场波动性更大, 凸显了在制定炼油和烯烃生产计划时对于应急计划的需求。



回想一下，优化程序能够找到最高目标函数，它是所有可能解中的一个点。在现实中，任何时候都不可能实现最好的点解决方案，因此应急计划的另一个非常重要的方面就是了解对盈利能力影响最大的变量。例如，减少总体原油处理能力可能显然会降低炼油厂的利润率，但是如果减少一种原油，而用另一种原油替代呢？这些是应急计划能够帮助计划团队回答的重要问题。

当计划执行过程中出现应急状况时，需要知道之前的哪个场景可以解决这一问题，对于经验不足的计划人员尤其是重要的。因此，记录每周和每月的应急案例解决方案，并结合先进的数据分析技术来寻找合适的模式，这是面对价格波动时实现持续盈利的最佳方式。

制定应急计划方案的最大障碍是需要运行的大量案例。目前大多数中型炼油厂每个周期运行约20个方案。上述应急计划方案将使这一数字增加到近100个。对于世界级的综合炼油/化工企业，这个数量还会增加一个数量级，而且解决时间也将随之增加。这样庞大的工作量和解决时间可能会阻碍计划人员及时得出结论并向交易员传达最佳方案的能力。得益于近期计算能力的发展，我们开发了一个优秀的解决方案。在多核处理器上并行求解是一些优化工具所具有的高级功能。行业最高水平甚至采用了高性能计算（广为人知的云计算），以进一步减少求解时间。例如，一家亚洲炼油企业使用先进的优化多核处理器来求解800个常规方案。该公司将解决时间从36小时缩短到了1.5小时。为挖掘贸易商机以前计划人员需要安排设备连夜运行，但现在计划人员可以在当天下午做出响应，基本达到实时交易的水平。该公司利用这种全新的高效的解决方案，在竞争对手之前快速把握商机，从而提高其盈利能力。

# 调度

炼油行业是无法预测的,任何事情都不可能完全按照计划进行。一旦计划人员创建了计划,调度排产人员就要开始分解执行该计划。对于炼油企业来说,制定安全、高效、可行的排产方案面临着几个挑战。在执行时,调度人员必须严格遵守产品规格、市场和监管要求,如果不能正确管理,这些可能影响炼油厂的利润,而且,随着市场上新原料的出现和复杂性的增加,制定涵盖全厂的全面的排产方案就变得至关重要。

- 在协作环境中进行调度
- 管理运营中断
- 优化产品调和

## 在协作环境中进行调度

协调各部门工作,严格按计划执行,是任何炼油厂调度的一个重要工作。通常,工厂有原油调度员、产品调度员和其他利益相关者,他们需要了解企业当前企业运行目标和炼油能力的准确信息。这些人员一起工作制定调度方案,并且需要在计划、装置运行、停产、原料接收、油罐、产品线等方面进行协调,为炼油厂创建一个高效、可行的排产方案。这些数据相互关联,并且需要随时可用,这样才能在组织内的成员之间实现共享,因此将所有这些调度信息纳入一个平台是实现协作的关键因素。

目前,这项工作主要采用电子表格或其他本地解决方案。对于炼油企业来说,这种方法最初看起来成本低廉;然而,不同的工具往往无法满足运行限制、精确性质和成分预测以及库存可视化等要求。成员间传递的独立电子表格可能会引发人为错误,对炼油厂利润造成影响。此外,随着复杂性的提高和额外限制条件的引入,由于时间的限制,调度人员往往会很快地选择第一个可行的解决方案,而不是利润最高的方案。

通过将有关键调度排产活动纳入一个平台,炼油企业能够简化工作流程,更加全面地了解整个石油供应链。自动化调度软件使原油和产品调度员使用同一系统完成排产工作,避免职能部门之间的任何脱节现象。这提高了对炼油厂活动的掌握水平,可实现对原料组成和物料移动的更好跟踪,有利于更好地了解什么原料以及什么时候即将到货。掌握这些信息使调度人员能够充分利用工艺装置并充分发挥其性能。如果调度人员在调度排产过程中能够达到尽可能多的限制条件,则炼油企业可以通过达到装置运行和产量最高上限来提高利润率。

在应用先进炼油调度系统之前,PETRONAS Melaka炼油厂的调度人员使用不同的电子表格,导致调度无法达到最优(图3)。通过业务流程变更和采用单一的网络数据库后,PETRONAS废除以前单机使用的电子表格,创建了一个协作的调度环境,将人为错误降到最低,使原油加工的利润增加了0.10美元/桶。

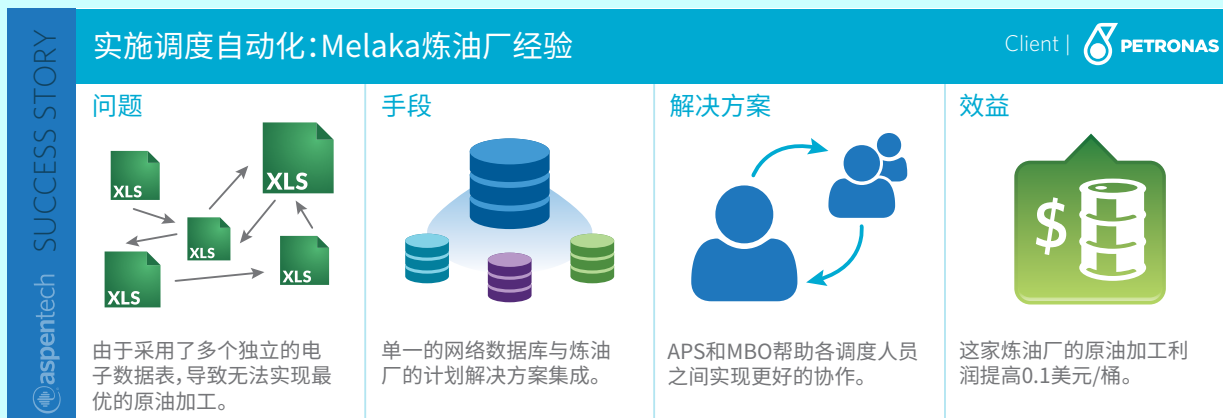


图3: 了解PETRONAS炼油厂如何通过先进的调度自动化避免使用独立的电子表格, 使原油加工利润增

## 管理运营中断

在炼油厂和烯烃厂, 无法彻底避免意外情况。可能发生的常见意外情况包括检修、停工和与天气相关的事件。这些事件中的一部分是可以预测的, 而其他事件, 例如运行问题、天气干扰和物流问题, 通常是意想不到的, 并且会暂时迫使炼油厂或烯烃厂停工, 以进行安全预防。



检修是指计划停工, 通常为30-90天, 用于工厂维护和改进项目。这通常需要提前几个月进行安排, 在某些情况下甚至需要提前几年。



计划外停工可能是由机械或过程相关事件引起的, 例如压缩机跳闸或切断器堵塞。



飓风、台风和季风等天气相关的事件是不可避免的, 并且可能导致工厂停工, 需要进行安全预防。



例如,如果FCC装置意外停车,调度人员必须快速确定最佳行动方案,以维持产量并以最有效的方式运行炼油厂。没有先进的调度解决方案,这些工作可能会非常耗时,并且每分钟都会带来经济损失。一流的调度技术使调度人员能够简化工作流程,为分析提供更多时间,并有更多时间确定在停工期间运行炼油厂的最佳决策。虽然工厂不在正常条件下运行,但是拥有完善的计划和进度计划可以减少这些停工造成的损失。计划和调度软件使炼油企业能够运行不同的方案,以做出最佳决策,并快速返回到理想的运行状态。它还使调度人员能够比较计划、调度和实际情况,以更好地了解炼油厂生产中存在的缺陷。

## 优化产品调和

任何炼油厂的目的是将原油炼成不同的调和组分,然后调和成可销售的产品,如馏分油、汽油或柴油。炼油企业有义务按照产品规格要求交付这些产品(满足特定要求),如果不能正确管理,可能会导致再调和或产品质量浪费。在产品规格越来越严格、监管要求不断变化的情况下,以最优方式充分利用炼油厂库存并优化调和配方,会对工厂利润产生重大影响。

计划人员制定调和目标,然后将其传递给调和调度员并由其负责执行。问题在于,这些目标可能难以实现,通常代表计划阶段的平均值。它们不考虑生产的限制因素,如罐存上下限、罐底油、批次调和事件和操作干扰。

大多数调和配方是通过执行单一批次调和优化获得的,需要考虑组分可用库存和某个时间点的预计质量。如果要进行优化,需要考虑的是单次调和的最大利润,而不考虑总体的调和排产计划。为了真正优化调和排产计划,炼油企业需要考虑将要发生的所有调和组分并预测库存,从而在确定的时间段内实现最大利润。这种优化需要先进的多周期调和解决方案,很难使用一般的电子表格来处理。

随着调和复杂性的提高和额外限制条件的引入,在获得最佳调和配方时,调度人员的响应也变得非常关键。通常,炼油企业对于调和配方的态度是以安全和过度补偿为主,以确保产品符合规格与合同要求。通过调和解决方案,调度人员可以精确地对调和操作建模,包括非线性物性、油罐限制、组分可用性和物流限制,以最大程度地提高利润率,减少质量浪费。

## 结论

炼油市场持续变化,炼油和石化行业缺乏熟练员工的情况日益普遍。对具有丰富经验的主管的需求也促使许多公司将新的工程师和管理人员轮转到计划和调度岗位,以便在经济和决策方面积累能力和专业经验。一流的计划和调度技术现在已成为炼油厂精简工作流程,保持市场竞争力的必备条件。这些工具本身具有专业领域知识和最佳实践,支持更快、更好的决策,从而帮助员工提高工作效率。

采用计划和调度技术,能提高炼油企业对整个石油供应链的可见能力,并进一步提高其利润收益。AspenTech始终致力于投资开发新的工具,为计划人员和调度人员创造直观的用户环境,为炼油和石化行业提供支持。aspenONE® Petroleum Supply Chain套件是业界最值得信赖的计划和调度解决方案,是超过35年的炼油行业专业经验的结晶。

欲了解更多信息

[www.aspentech.com/psc-resource-center](http://www.aspentech.com/psc-resource-center)

联系我们

[PSC@aspentech.com](mailto:PSC@aspentech.com)

AspenTech是为能源、化工、工程建筑以及其他通过化学过程制造和生产产品的行业提供工艺制造优化软件的领先供应商。采用集成的aspenONE® 解决方案, 工艺制造商可以实现最佳实践, 优化工程、制造和供应链运行。因此, AspenTech的客户能够提高产能, 增加利润, 降低成本, 并提高能源效率。如需了解世界领先的工艺制造商如何依靠AspenTech软件实现卓越运营目标, 请访问 [www.aspentech.com](http://www.aspentech.com)。

#### 全球总部

Aspen Technology, Inc.  
20 Crosby Drive | Bedford, MA 01730 | United States  
电话: +1-781-221-6400 | 传真: +1-781-221-6410 | [info@aspentech.com](mailto:info@aspentech.com)

#### 地区总部

德克萨斯州休斯顿 | 美国  
电话: +1-281-584-1000

圣保罗 | 巴西  
电话: +55-11-3443-6261

雷丁 | 英国  
电话: +44-(0)-1189-226400

新加坡 | 新加坡共和国  
电话: +65-6395-3900

麦纳麦 | 巴林  
电话: +973-13606-400

北京 | 中国  
电话: +86-10-5924-1600

上海 | 中国  
电话: +86-21-51375000

[china.marketing@aspentech.com](mailto:china.marketing@aspentech.com)

如需查看全部办事处, 请访问 [www.aspentech.com/locations](http://www.aspentech.com/locations)