

文章编号:1003-207(2022)11-0008-12

DOI:10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2021.1655

# 华罗庚管理科学与工业大数据分析的系统工程

刘祥官<sup>1</sup>, 郜传厚<sup>1</sup>, 罗世华<sup>2</sup>, 王义康<sup>3</sup>, 吴武林<sup>4</sup>

(1. 浙江大学数学科学学院, 浙江 杭州 310027; 2. 江西财经大学统计学院, 江西 南昌 330013;  
3. 中国计量大学理学院, 浙江 杭州 310018; 4. 福建师范大学经济学院, 福建 福州 350117)

**摘 要:**本文简介了攀钢顾问华罗庚教授亲自指导完成的攀枝花钒钛资源综合利用中的国家重大攻关项目成果,以“国家科技进步一等奖”中的典型大数据分析案例为例,来论述华罗庚教授所创建的管理科学理论对钢铁工业大数据分析、智能优化算法和工艺智能制造上的指导作用。通过对具体案例和算法的介绍,能够帮助我们更深刻地理解华罗庚管理科学 36 字方针的丰富内涵。特别是在今天数字经济时代,如何应用华罗庚管理科学理论指导工业生产线智能制造技术的研发,具有普遍的指导意义。

**关键词:**华罗庚管理科学;大数据分析;人工智能;智能优化算法

**中图分类号:**C931.1

**文献标识码:**A

## 1 引言

随着数字经济时代的到来,大数据与人工智能在各行各业的应用越来越广泛。近年来,数字产业化与产业数字化发展齐头并进,不断推进着各行各业的高质量发展。在此背景下,许多研究者与开发者都向我们提出一个理论指导的问题:大数据与人工智能应用的核心技术是什么?通过推进大数据与人工智能发展,促进企业转型升级、企业管理与生产线优化的程序和步骤有何科学规律可供遵循?工业大数据分析与人智能的算法水平果真决定着智能制造成果的效益水平吗?如此等等,成为大家在推进“中国制造 2025”实践中不断深入探索的问题。这是智能制造探索中提出的第一层次问题,即怎么做的问题。

笔者作为当年华罗庚小分队的成员,一种似曾相识的感觉油然而生。当年为了提高我国经济部门和管理水平,华罗庚教授在国家

领导人的鼓励和支持下,在全国经济战线推广应用优选法、统筹法(简称“双法”)。从 1964 年到 1985 年的 20 余年间,随着我国企业管理现代化的进步和装备水平的逐步提高,双法小分队帮助相关企业应用计算机绘制统筹图;应用计算机计算国家特大型钢铁企业发展规划中的投入产出比例;在企业生产工艺的“一条龙”优选中,推进生产线质量与效益的提高,直至取得了国家重大攻关项目成果,获得了“国家科技进步一等奖”。推广“双法”的层次在不断提高。时至今日,当年的企业领导、技术人员和工人师傅提起华罗庚教授的“双法”,记忆依然深刻。

这些高水平的“双法”推广应用,促成了华罗庚教授在 20 世纪 80 年代初,在《适应国民经济发展,开展科技咨询服务》一文中,从理论上总结提高、高屋建瓴地提出了管理科学 36 字方针,即“大统筹、广优选、联运输、精统计、抓质量、理数据、建系统、策发展、利工具、巧计算、重实践、明真理”。时至今日,它仍然引领着我国管理科学数字化的持续发展。华罗庚教授以富有中华民族传统文化特色的“三字经”形式,用 12 句话、36 字概括了企业经济活动中的管理统筹与工艺优化问题的主要方法类型与工程运行规律。为论述方便,我们也把这 36 字方针简称为华罗庚《管理科学三字经》。

那么,华罗庚教授总结的《管理科学三字经》,在今天中国制造业的大数据与人工智能推广应用中是否具有指导意义呢?这是在智能制造实践探索中提

**收稿日期:**2021-08-20; **修订日期:**2022-05-21

**基金项目:**国家社会科学基金资助重大项目(21&ZD152);福建省社会科学基金资助项目(FJ2021C015);福建省科技厅创新战略研究项目(2022R0027);全国中国特色社会主义政治经济学研究中心(福建师范大学)资助项目(Y202110)

**通讯作者简介:**吴武林(1989-),男(汉族),浙江丽水人,福建师范大学经济学院,讲师,博士,研究方向:宏观经济统计,E-mail:wwl9005@163.com.

出的第二层次问题,即智慧制造工程的理论指导问题。

通过理论结合实践的深入思考与研究,得到的科学结论是:在当今计算与通讯条件下,与时俱进地运用华罗庚教授的管理科学理论,一定能够加速中国制造业向着大数据与人工智能的高质量应用发展。

## 2 与时俱进阐释华罗庚《管理科学三字经》

在当今各类经济活动中推广应用大数据与人工智能,旨在不断地改革和提升企业的管理效率与生产效益。能否把华罗庚《管理科学三字经》贯穿于大数据与人工智能的推广应用中呢?

本文以笔者在国家特大型企业工作 20 年的经历,在攀钢公司经济研究所和企业管理处推进公司现代化管理工作的经验,在华罗庚教授指导下,主持完成国家重大攻关项目,取得“国家科技进步一等奖”的工作实践经验,以及在浙江大学数学学院 20 年运筹学与控制论教学与科研岗位上的心得,来重新思考和理解华罗庚《管理科学三字经》。同时,按照当前大数据与人工智能技术的功能内涵,对华罗庚《管理科学三字经》的 12 句纲要,进行新的排序,分解为以下三个部分进行解读和阐释。

### 2.1 智能优化算法纲要

#### (1) 算法纲要内涵

包括 5 句话,即“大统筹、广优选、精统计、抓质量、联运输”。这是与企业经济活动的管理智慧密切结合的智能优化算法纲要。

这 5 句话中,每一句都包含着众多的数学算法。单纯从数学角度看,它们大多是成熟的经典数学算法。但是,一旦把它们与企业经济活动密切结合取得成效,把管理者、生产者与研究者的智慧,和数学算法有机地结合起来,交叉应用,那么它们的应用就是典型的“运用之妙,存乎一心”的广义“智能优化算法”,成为人工智能应用的数学科学理论依据。

#### (2) 主要算法纲要概述

对以上 5 句算法纲要的主要内容,结合当年小分队实践概述如下:

1) 在“大统筹”中的算法有:统筹图的关键路线法 CPM 的算法、计划评审技术 PERT 的算法、图论算法,等等。华罗庚教授特别强调的指导思想是对研究对象在更大范围的统筹优化。大统筹的优化目标,不仅仅是缩短某项工程的周期,而且更包含着对资源、人力的统筹安排和全局优化,甚至包括“联运

输”的物流调度在内的全局优化。大统筹中的各种算法,例如:如何估计非确定型的工期问题,华罗庚教授给出了  $\beta$  分布的数学期望算法<sup>[1]</sup>。由最乐观估计  $a$ ,最悲观估计  $b$  和最可能估计  $c$ ,按照公式(1)计算得到数学期望工期  $Te$ ,从而对非确定型工程的工期,作出科学的安排。

$$Te = (a + 4c + b) / 6 \tag{1}$$

华罗庚教授对“大统筹”中相关管理人员的智慧挖掘,曾经给出一个形象比喻。他说:对统筹图要群策群力完善和优化。他用“观图不语非君子”与中国象棋娱乐中的“观棋不语真君子”作对比,鼓励众人运用集体智慧优化完善统筹图。这是统筹法应用中典型的智能化实践。在攀钢 1 号高炉大修中,正是各个层次施工管理中的统筹法和统筹图的综合应用,使得大修工期从 75 天缩短为 54 天。

2) 在“广优选”中的算法有:新产品、新工艺、新方法、新材料的“四新”开发试验中可大幅度提高科学试验效率的各种单因素优选法,各种多因素优选法<sup>[1]</sup>,以及诸多正交试验法,均匀设计法等等优选算法安排。不同应用对象选取不同的优选方法。对于优选法应用的广度延伸,即从局部的生产点优选拓展为对企业整条生产线寻求优化,华罗庚教授称之为“一条龙”优选法。对于复杂的生产线,有高维参数组合优化算法、抛物体优选法,等等。一条生产线的指标与产品,如果与国际先进水平有差距,那么总可以设计出成套的优选方法,组成智能优化算法系统,进行生产线的智能优化升级。这时,生产过程的大数据,就可以为生产线的全局寻优,创造了智能优化算法应用的广阔天地和英雄用武之地。

在华罗庚教授“广优选”实践中,有两方面的优化过程体现了今天的智能优化算法。其一是确定最优点的计算过程是与寻求生产实践的最优状态密切结合的。是生产者的智慧与数学模型计算相结合的过程,是得到数学证明的生产过程最优化结果。这种“广优选”算法,就是今天生产实践中的智能优化算法。其二是在生产工艺“一条龙”优化实践中,工艺系统的数据优化分析过程,应用各种运筹学方法建模优化,用数学建模优化替代了生产工艺过程的高维度复杂优化试验,其实质就是今天的“大数据分析”。

所取得的国际先进水平的“广优选”成果,正是工业“大数据分析”的目标。把人的智慧凝结在生产实践中,这正是今天人工智能技术应用的内核。

3) 在“精统计”算法中,有大数据的各种宏观分布规律分析算法(如均匀分布、正态分布、t 分布、F

分布、 $\beta$  分布等等),时间序列分析算法,差异显著性检验算法,小子样统计推断算法,等等。“精统计”的意义在于:不仅仅对现有的生产与管理数据现状有清楚的认识,而且通过统计算法的灵活应用,对未来的发展趋势有科学的预测。流程工业的高水平智能制造是预测控制,即预设的高质量控制。它比传统的自动化反馈控制,在认知上是超前的。这也是“精统计”算法的智慧与人工智能的技巧所在。华罗庚教授在讲到“精统计”时特别指出:“第一是数据力求精确,含糊的数据得不出正确的结论。”“第二是要充分利用数据中包含的许多信息。数据处理、信息加工,都要尽量利用数据中信息量的方法。”华罗庚教授对“精统计”的论述,包括“信息量”概念等,完全是超前大数据时代的数据挖掘思路。

为了深入理解华罗庚教授的“精统计”中关于“尽量利用数据中信息量的方法”,在“精”字上的创新,以攀钢提钒攻关中的案例,来说明优选方法与统计方法相结合的信息量挖掘技术,是如何从“杂乱无章、毫无规律”的数据中梳理出有生产指导意义的统计规律的<sup>[2]</sup>。

图 1 是为寻求提钒工艺的控制参数雾化能力  $A$  与风量单耗  $Q$  对提钒氧化率的影响规律而设计的二元分布优选图<sup>[3]</sup>。它的分析技巧在于既应用了双因素优选法,又应用了统计学的分类、聚类与离群点分析:把提钒氧化率  $\eta$  数据分为 3 类“等高区”数据: $\eta \geq 90\%$  为优区数据,记为  $\bullet$ ,  $80\% \leq \eta < 90\%$  为波动区数据,记为  $\circ$ ,而  $\eta < 80\%$  为低区数据,记为  $*$ 。这样 3 种符号代表提钒氧化率的 3 种不同生产水平。它把纷繁复杂的数据分类为三种集合。称图 1 为提钒氧化率的等高区优选图。显然,这样的信息量挖掘,容易求得二维参数的区间临界值。于是在“毫无规律”数据中得到了基本的生产控制规律:生产过程的控制只有尽力控制在优区  $\Omega = \{Q \geq 69 \cap A \leq 265\}$  才能够保证提钒氧化率  $\eta$  的平均值达到 90% 以上。如果操作参数落在波动区或低区,那么钒氧化率均值是不可能达到 90% 以上的。图 1 中的另一个数据分析技巧在于建立起反映送风设备能力(供风量的上限和下限)的双曲线  $F = A \cdot Q$ ,作为剔除假数据(离群数据)的科学依据。如果数据点在两条双曲线之外,那么在分析计算中应当予以剔除。像这种把“精统计”与工艺参数优选相结合的算例,在提钒大数据分析中还有许多。

4)在“抓质量”算法中,需要强调的是:各种  $6\sigma$  算法,既是企业产品质量控制的算法,同时也是企业

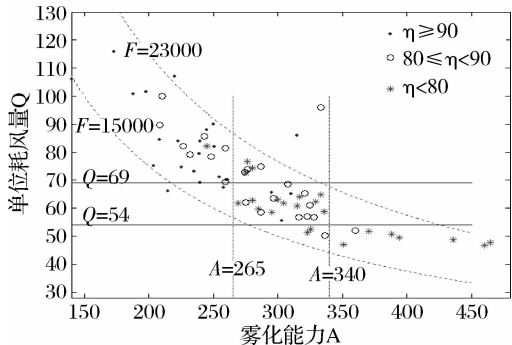


图 1 雾化能力—风量等高区优选图

生产线在生产过程控制质量的算法,并且也是企业原燃料采购中的质量评估的抽样检验算法。企业自动化生产线上各种工业数理统计算法的应用,它们包含着人工智能应用的算法基础。其中特别有用的机器智能推断是小子样统计推断理论的应用。即从大数据中发现小子样的特殊变化,用小子样与母体的差异显著性计算公式,得出工艺是否发生了显著性变化的科学结论。这一智能优化算法将导致新的质量控制规律的发现。为避免重复,本节的案例参见“理数据”一节中表 1 和公式(3)的案例。

5)在“联运输”算法中,在现代物流规划中,早就有各种成熟的运筹学算法的应用,如线性规划算法、非线性规划算法、动态规划算法(如运输过程的最短路径算法)、整数规划算法(如集装箱空间最佳利用率的装箱优化算法,背包算法等),多目标规划算法等等。华罗庚教授在许多重大规划项目的咨询工作中,都把“联运输”作为“大统筹”工作的一个组成部分来处理。

以上这 5 大方面算法纲要,从数学角度看,它只是一个目录提纲。实际上,在企业管理和发展的不同领域,各种算法的采用都要根据企业实际需求而确定,而且需要与时俱进地创新智能优化算法应用。

### (3)何谓智能优化算法

在华罗庚教授推广“双法”的年代,数学上还没有“智能优化算法”的术语,在控制论学科也没有“智能控制”这一术语。而现在,在智能控制论中,典型的智能优化算法通常是指以下各种算法。如:神经网络算法、遗传算法、模拟退火算法、禁忌搜索算法,等等。随着人们对各种复杂对象的数字化研究的深入,许多新的智能优化算法不断建立,如随机森林算法、粒子群算法、捕食者算法,等等。以及各种机器学习算法,如:支持向量学习机、神经网络学习机、迭代学习机,等等。不同学习机的数学模型原理与算法均不同。总之,人们在科学研究与社会经济活动

中,已经把人类对自然科学、社会科学研究中的各种规律性认识,都转化为数学上新的算法规则。在建立算法规则后,由计算机的机器学习来处理大数据分类。这些算法规则不同于经典的算术、代数、微积分和概率统计等的算法规则。

所谓“智能优化算法”,其实质是把人类对自然科学和社会科学规律的认识——人的智慧与数学算法规则有机地结合起来,制订出新的算法规则,以此通过大数据计算来认识新的规律和提出新的对策。即以自然规律作为数学算法规则的科学依据。这种规则不同于数学自身定义的算法规则。这些智能优化算法与经典的微积分、代数和概率统计的算法鲜明不同点在于:有时它们是给出算法的规则和计算步骤(程序),但是无法写出数学模型的解析公式。例如禁忌搜索算法的优化搜索过程就是这种情况。它以法律中的“回避原则”来确定搜索对象,从而提高了优化解的搜索效率。

由此可见,从大数据与人工智能的技术角度看,与时俱进地重新认识当年华罗庚教授推广应用“双法”的实践,其技术高度不在于传统的数学理论学术水平,不在于数学模型公式和计算的复杂度,而在于数学模型与算法对管理者、生产者及研究者的实践智慧的有机结合深度上。这也正是华罗庚小分队推广“双法”能够取得巨大经济效益的诀窍所在,能够取得重大项目攻关成果的数学智慧所在。因此,我们需要在智能优化算法高度上理解华罗庚《管理科学三字经》的算法纲要及其应用的精华所在。

当把代表人工智能算法水平的围棋 AlphaGo 的深度学习算法,与围棋世界冠军的棋艺水平进行深入对比时,确实体会到:人工智能的算法水平,决定着计算机的智能水平,决定着计算机的围棋段数水平。它的启示是:企业管理与生产的智能化水平,在于不断地完善和优化企业生产与管理工程的智能优化算法水平。随着企业计算机装备水平的提高,数据采集与通讯硬件装备水平的提高,智能优化算法的不断提升,必然与时俱进地提升企业的高端智能制造水平和管理智能化水平。

由此,现在能够很好地解释:华罗庚小分队推广的“双法”是在推广应用一系列的智能优化算法,是数学方法与企业实践有机结合的智能算法。因此,其计算结果能够成功地转化为企业管理与生产的显著经济效益。而没有与企业实际相结合的数学方法应用,常常只是从数学上建立了简化的统计模型等公式(如回归公式等)。这些模型与管理者和操作者

的经验与智慧是分离的、存在差距的,因而在生产和管理实践中缺乏实施的可操作性,也就无法取得实际应用效果。由此,不能不钦佩华罗庚教授在开拓数学应用于国民经济建设中的数学智慧和他在智能优化算法应用上的创新性 & 远见性。

华罗庚教授推广应用“双法”的成效充分说明:在今天强大的通讯能力(即数据采集能力)和计算能力(云计算能力)条件下,按照华罗庚《管理科学三字经》推广应用大数据与人工智能技术的应用,一定会比当年推广应用“双法”给企业带来更大的经济效益、更高效的生产效率。

## 2.2 工业大数据分析与智能制造的工程管理纲要

企业的工业大数据分析与智能制造是一项系统工程。其工程管理纲要,完全可以按照华罗庚《管理科学三字经》中的 5 句话来全面规划,即“建系统、理数据、策发展、利工具、巧计算”。

企业如何进行工业大数据的系统分析? 如何建立流程工业生产线的智能制造系统? 华罗庚《管理科学三字经》的 5 句话给出了工业大数据系统分析的工程步骤、研究途径和预期目标,以及实现智能化生产需要增添的软硬件工具和手段。它反映了生产线大数据分析进程与人工智能技术应用的整体设计思路。

以下从国家重大攻关项目的实际案例分析来阐述华罗庚教授这 5 句话如何指导工业大数据分析工作,从而也可以深入理解攻关中建立智能优化算法的核心技术难度。

经过冶金工程师 8 年的科学试验和试生产,1978 年底攀钢雾化提钒车间正式投产。这是具有中国完全自主知识产权的生产工艺。但是正式投产后攀钢提钒新工艺的指标与国际水平相比存在明显差距。这是多年攻关未克的难题,也是关系到雾化提钒工艺是否具有生命力的重大问题。钒钛资源是国家的重要战略物资,因此尽快提高钒氧化率和收得率的技术攻关具有重大的技术经济价值。

国务院和冶金部领导要求攀钢按照“科学技术是第一生产力”,依靠科技进步迅速提高提钒工艺的钒氧化率和收得率。然而从冶金工艺角度进行多年攻关未能取得进展。工程师向公司领导汇报的技术难点是:“数据杂乱无章,毫无规律”。在此背景下,公司总经理要求华罗庚教授的两位学生参加攻关组:“到提钒车间去运用华罗庚优选法、统筹法,把提钒氧化率提高上去。”并且布置了车间主任把试验数据和生产原始记录数据全部交给这两个“学数学的”去处理。一麻袋试验炉数据和生产车间的原始记录

就是当年的“大数据”。如何进行大数据分析,如何运用数学优化方法解决冶金工艺的攻关难题?这在当年冶金部系统是从来没有先例的。所幸当时攻关中有华罗庚教授著作《统筹法平话及其补充》、《优选法平话及其补充》的理论指导,有参加华罗庚小分队在攀钢推广应用“双法”积累的实践经验,以及运筹学分支《系统分析 SA》的一些资料可供参考。攻关实践中如何一步步推进,这里简述如下。

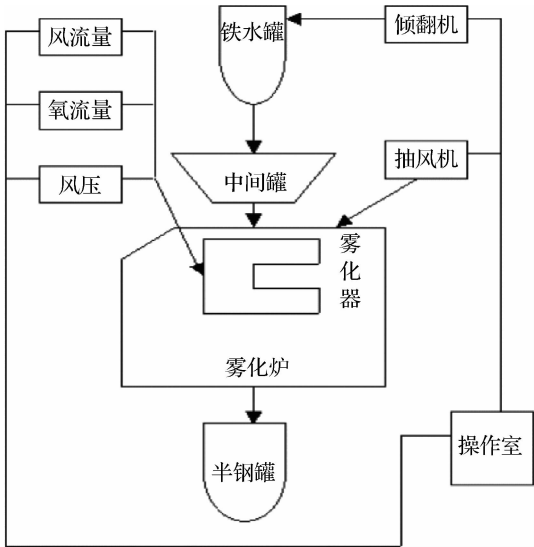


图 2 雾化提钒工艺流程示意图

2.2.1 “建系统”工作

即建立三个层次的分析系统,包括:(1)建立与攻关目标密切结合的生产工艺系统;(2)建立物理数学模型结构系统;(3)建立数据分析计算系统<sup>[4]</sup>。

(1)建立生产工艺流程系统

仿照华罗庚《统筹法平话及其补充》的工作步骤,

首先调查生产线上的各种设备和生产岗位,这是真实的生产线调研和学习过程。完整的生产过程事无巨细,缺一不可。但是进行系统分析却可以略去与系统优化数学建模无关的细节,从而把握工艺系统优化的物理基础。提钒工艺的生产流程系统如图 2,图中标出了 7 种主要生产设备和操作室中 3 类主要操作仪表。

(2)建立物理数学模型系统

根据生产工艺流程系统,建立起描述生产过程物质流和信息流合二而一的“物理数学模型系统”。物理数学模型系统的技术诀窍是物质流与数据流的有机融合和逻辑统一。这一模型系统解析了生产过程的物质流加工与制造过程的逻辑衔接关系,也解析了从“原燃料参数—设备参数—操作参数—目标函数”之间的输入—输出数据的逻辑关联的函数关系。它既反映了物质流的物理化学变化过程,也反映了数据流的逐步演变过程(函数映照过程)。生产的物质产品和目标函数合二而一。这是大数据分析 with 生产实践有效结合的物理基础,是智能优化算法的物理基础。没有这样的物理数学模型描述和要求,难免发生数学模型与生产实践脱节的问题。其结果将导致数学模型优化计算结果在生产中缺乏可操作性。

攀钢提钒工艺系统优化的物理数学模型系统如图 3 所示。图中列出的生产过程影响目标函数的各种变量多达 21 项。在“建系统”中,技术核心是建立大数据分析系统。要把生产工艺过程相关的影响因素与工艺的目标函数组成一个逻辑关联清晰的系统分析对象,形成一组逻辑关联图和数学模型结构图,以便在大数据分析中准确把握生产指标与各项影响参数的关联。这些影响参数包括:

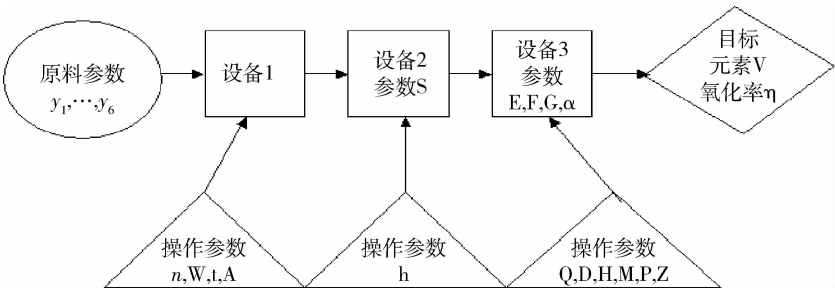


图 3 提钒工艺系统优化的物理数学模型系统

1)原燃料参数。这些参数包括企业外购的原燃料质量数据,它的优化显然与性价比的优化密切相关。也包括从上一级工序传输过来的初级产品数据。这些参数是本工序无法变更的。但是它们影响

目标函数的规律是必须把握的。这是输入参数。  
2)设备参数。生产过程设备参数的设定是相对固定的。它们与操作参数等其它参数的组合优化,对于生产目标的优化是强相关的。设备参数的设定

通常对生产过程起到主导的作用,是生产中的关键参数。设备参数设定偏离优化范围,必然影响操作参数的调节和作业目标的实现。

3)操作参数。这是工艺生产过程可以动态调整的参数,也是调整后对目标函数形成相互映照的参数。操作参数的调整量,可以按照目标函数的反馈量进行调整,即进行反馈控制;也可以按照目标函数的预测值和时间的滞后量,进行预测控制,这也就是所谓的智能控制。生产工艺系统全程各个环节操作参数的组合优化算法是实现智能制造过程的核心技术。

4)目标函数。这是工艺系统优化要达到的指标。在企业中不同工艺在不同时期会根据市场变化而提出不同的生产要求,因此系统优化要根据目标函数的要求进行工艺参数的优化设置。目标函数有时是单一要求,有时却是多目标要求。当然,工艺的多目标要求最终都可以转化为企业的最终效益的单一目标。大数据分析的智能优化算法与工艺参数的优化控制都要符合目标函数的要求。

以上是在提钒工艺完善提高的攻关实践中,按照华罗庚教授的指导对“建系统”进行的经验概括。当年给公司写的技术建议报告《运用数学方法探索雾化提钒的生产规律》中明确写着:“华罗庚的大统筹、广优选、理数据、策发展的应用数学理论是我们应用各种数学模型和方法的理论依据。”充分印证华罗庚《管理科学三字经》对技术攻关的指导作用。

2015 年以来,参与许多大型工业企业学习工业 4.0 的培训工作,看到人们十分重视德国人的技术观点,即工业智能制造系统的核心技术是建立信息物理系统 CPS(Cyber Physical System)。深入解剖 CPS 的技术思路,与 1979 年建立攀钢提钒工艺系统优化的物理数学模型系统的技术思路是一致的。只是今天推行“工业 4.0”的硬件装备水平与生产自动化水平更高了。实践成果充分证明:华罗庚《管理科学三字经》完全适用于指导工业智能制造系统的创新研发。

(3)建立生产过程大数据处理的智能优化算法系统

各种数学计算模型组成的智能优化算法系统包括:

1)机理模型系统。各个生产环节的冶金机理模型,如物料平衡、热平衡模型等,这是冶金生产过程必然要遵循的基本数学计算公式。在许多情况下,机理模型把复杂的非线性过程简化为线性模型。这

些机理模型反映了正常工艺过程必须遵循的基本数量关系。这是基于物质不灭定律和能量守恒定律建立的机理模型的各种公式。

2)数理模型系统。它反映以大数据为基础的,输入一输出数据之间的各种关联规律。数理模型系统有多种类型。主要类型有各种组合优化模型、各种概率统计模型(如多元回归模型、主因素分析模型等)。这种以数据为依据的数学模型计算结果,常常能够反映工艺机理中的非线性复杂情况,是对工艺机理模型的深化、补充与精确完善。

3)推理模型系统。这是以工艺的专家知识为基础的模型。它的主要类型有:设备诊断推理模型、生产工艺过程的故障诊断推理模型,等等。这种推理模型通常在计算机语言中表达为 IF.. THEN.. ELSE 的判断形式。判断过程多是以工艺知识为基础,也伴随着工艺参数阈值的判断。因此,推理模型通常不是以数学公式描述的模型,而是以知识集合的“与”、“或”、“非”的运算形式表达的模型。

机理模型、数理模型和推理模型,它们组成了工艺系统优化的智能优化算法系统,是流程工业大数据分析进程必须建立的三类模型系统。只有建立了这三者相互关联的算法系统,才能够准确严密地进行工业大数据分析,才能够准确地定位大数据分析的计算结果。并且从大数据分析中,发现工艺流程设计或设备参数设计中存在的问题以及解决这些问题的优化方案。

以上三个层次的“建系统”是流程工业实现智能制造不可缺少的环节。华罗庚教授在指导攀钢提钒工艺优化中曾经指出:“为要自动化,首先必须最优化。只有最优化基础上的自动化,才是真正的自动化。”从现在智能制造技术角度理解华罗庚教授的思路,实质上就是智能制造的数学建模思路。

## 2.2.2 “理数据”的内涵与价值

“理数据”包含着工业大数据的算法设计与数据分析两大方面工作。

(1)理数据的前提步骤:数据预处理。它包括 1)剔除假数据;2)数据的规范化处理和 3)对异常数据保持着创新发现的警觉三个方面内容。<sup>[5]</sup>

剔除假数据的算法,既可以按照大数据的宏观分布规律剔除异常分布数据,如孤岛数据。这种异常数据常是因为企业对某种指标的考核而人为造成的,应予剔除;也可以通过设备的额定能力的计算模型,来剔除超过设备能力的假数据和设备能力不足的异常数据(如图 1 中剔除设备能力以外的数据点)。

数据的规范化处理,特别是 $[0,1]$ 区间的规范化,有助于简化模型计算和发现数据的变动规律。

特别提醒的是:对异常数据保持警觉有时可以帮助在数据分析中,及时发现存在的问题,甚至发现新的关键影响因素。这种异常数据的特殊应用,有时会撞击出创新发现的火花。

## (2)“理数据”中的算法设计

这是根据工艺系统的目标要求进行设计的。实际物理空间是如何达到目标函数要求的?分解物理空间中的众多原燃料条件参数、设备状态参数、人工或自动化操作参数等高维参数,是如何影响着目标函数的?显然这是一种十分复杂的多层次组合优化的寻优过程。华罗庚教授称之为工艺流程的“一条龙优选”。如果仅仅是按照数学上的经典公式进行数据计算,那么在许多复杂情况下就会陷入“数据杂乱无章,毫无规律”的窘境。此时,就必须建立能够找出优化规律的创新算法,例如高维组合优化算法。

1)寻求高维工艺参数组合优化的算法—集合优选法

在 20 世纪,为了缩短寻优进程,数学上在穷举法之外,设计了正交试验法、多因素优选法、均匀设计法等优选方法,把数以千计的穷举法试验次数,减少到数十个代表性试验结果,由此计算出“最优工程条件”下的参数组合。最后,通过最终试验的实践验证来检验是否达到了优化目标。

在数据中心云计算时代,依靠大数据中心的存储能力和计算能力,就可以通过工艺过程大数据的组合优化算法,把各种参数不同范围组合的结果计算出来,通过结果的对比,让计算机自动找出最优工程条件,从而得到人工智能的优化结果。这也就是所谓的“机器学习”过程。由计算机的“深度学习”,找出各种工艺参数的最优组合,包括应用各种“学习机”对工艺参数进行分类分析、聚类分析,找出能够获得工艺指标稳定改善的工艺参数组合。

在攀钢提钒工艺攻关中,创建的寻求高维工艺参数组合优化的算法,其集合论公式为:

$$\Lambda = \bigcup_j \Lambda_j = \bigcup_j \bigcup_i \Lambda_j^i = \bigcap_{j,k \in \Omega} \Lambda_j^k \cup \overline{\bigcap_{j,k \in \Omega} \Lambda_j^k} \\ = \Lambda^* \cup \overline{\Lambda^*} \quad (2)$$

公式(2)中, $\Omega$ 为目标函数的优区。它表示通过工艺参数的集合分解,可以分为优区集合与非优集合,优区集合的交集可以得到指标的优化值,优区集合的非集,显然无法达到指标的优化值。通过两类集合指标值的差异显著性检验筛选,从而求得全体影响参数的最优组合,得到优化指标值。

该计算公式适用于冶金工艺优化的原理在于:冶金工艺参数在生产过程基本服从正态分布或均匀分布,高维参数之间的既具有均衡搭配性,也具有状态遍历性。能够通过集合分解进行寻优。

## 2)寻求工艺指标预测控制的动态算法

在“理数据”的算法设计中,从已知的数据,预测工艺系统的发展,如同股票市场的预测一样,具有诸多的不确定性。因此,预测发展的算法是智能优化算法中最具挑战性的算法设计。它的成功与否,需要通过生产实践检验。随着通讯技术的发展和检测条件的不断完善,预测算法的不确定性逐步减少,从而能够提高预测的命中率。在算法设计中,显然运筹学的各种最优化方法,统计学的各种分类分析、聚类分析方法,都是可以用来寻求目标函数的最佳结果。

## (3)“理数据”中的数据分析设计与技巧

有了工艺大数据的计算结果,数据分析设计的任务包括:

### 1)如何分析计算结果的可靠性与可行性?

优化后的条件与原来条件之间是否存在差异显著性?众多工程条件中与原来工程条件的关键性差异何在?这是深化认识和把握工艺规律的关键所在。在工业数理统计中,这是要通过差异显著性检验来进行数学证明的。差异显著性的计算结果,通过相关的临界值查表就能够在“90%把握”或“95%把握”或“99%把握”上确定差异的显著性。从而帮助工程技术人员和管理人员对自己的优化结果有更深刻的认识,做到对生产实践验证心中有数,避免冒险试验造成重大经济损失。

2)如何通过数据分析和假设检验来发现工艺过程原来未知的关键影响参数?

攀钢提钒工艺参数系统优化的生产验证试验,就是在试验进程中,通过小子样数据的差异显著性检验,发现了生产数据发生显著性变化。然后提出新工艺参数的假设,进一步验证新的关键影响因素的存在,从而取得攻关试验的突破性进展,完成了工艺系统的完善提高任务。

以下通过生产进程的小子样数据的案例分析,说明新的关键工艺参数 $\beta$ 角的发现和验证过程。如表 1 所示,提钒车间两个班生产的 9 炉生产数据中,5 炉发生了显著性差异,即低区异常,却是希望的结果。这是典型的小子样统计推断问题。因此首先检验 5 炉生产数据与母体的差异显著性成立。

运用表 1 的原始数据和 t 分布差异显著性检验



公式(3),得出这 5 炉小子样与原生产数据母体发生了 0.99 显著性差异的结论。(详细计算过程略)

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (3)$$

于是对数据变异提出了“存在某种未知关键参数”的假设。由于该项参数发生了变化,导致指标的显著性差异。询问车间主任生产上发生什么新情况,导致数据异常? 车间主任答复是:更换了新的雾化器。其它一切正常。笔者从数学和流体力学角度提出了雾化器中与  $\alpha$  角相对应的另一个角度  $\beta$  角的新参数假设。冶金工程师则从冶金反应工程学角度分析认为  $\beta$  角的优化对改善冶金反应氛围具有重要作用,支持了  $\beta$  角的假设。这样,最后通过生产验证,完全证明了雾化器  $\beta$  角是影响钒氧化率的关键性因素。

表 1 9 炉生产原始数据表

班次	序号	$\eta$	A	Q	D	H	P	备注
15 日 中班 (乙)	1	92.1	337	37	3.5	26.9	3.6	a
	2	81.9	176	55	3.3	24.5	3.0	
	3	92.4	326	37	2.4	24.8	3.1	a
	4	74.7	330	38	4.1	27.8	3.6	
	5	79.1	325	40	2.6	25.0	3.6	
15 日 夜班 (丙)	6	90.9	286	43	4.8	28.0	3.5	
	7	92.1	313	40	4.7	28.5	3.5	a
	8	89.5	353	37	4.3	28.5	3.5	a
	9	90.9	326	24	4.4	32.3	3.5	a

注:a 表示“低区异常”。

由数学上的数据分析和新参数假设,导致一项新的工艺参数  $\beta$  角的发现,从而取得提高钒氧化率攻关的突破性进展。新参数的发现也丰富了雾化提钒工艺理论。这就是大数据分析中“理数据”的价值。也因此,冶金工程师在攻关总结会上不无感慨地说:“数学为提钒攻关成功立下了奇功”。

3)大数据分析的可视化技术应用

当年华罗庚教授提出“理数据”的核心思想是运用数学方法揭示数据中隐含的信息量和客观规律。它对企业管理和工程技术的意义是显然的。从数据挖掘技术角度审视华罗庚教授的“理数据”技术,同样看到华罗庚教授超前时代的数据分析智慧。特别是数据可视化技术对于解决工程争议问题,可谓一目了然。以下举攀钢提钒攻关中的 2 个案例进行说明<sup>[5]</sup>。

A. 两组工程技术人员分别设计了两种型号的雾化器 E=1 与 E=2,哪种雾化器性能更好些? 过去这是争论不休的话题。工程师们各自都能找出自己的最好生产数据,来证明自己的设计是好的。如何评判? 通过“理数据”,把历史上积累的生产数据作出滤波时间序列图,如图 4。通过大数据对比,很容易得到结论:雾化器型号 E=1(图 4 上半部分)显然优于 E=2(图 4 下半部分)。于是淘汰了双管雾化器。长期争议的问题得到了科学解决。关键是工程师们心服口服地不再争议了。

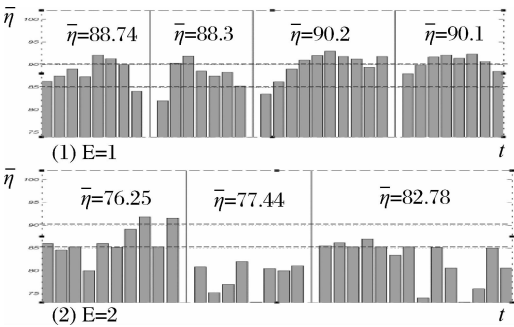


图 4 不同型号雾化器的生产指标时间序列直方图对比

B. 构建数据可视化的软件仪表

用滤波时间序列图反映提钒工艺过程钒氧化率的历史变迁。早在 1979 年就用它作为软件仪表,考核雾化器使用的寿命周期。

如图 4 中上半部分的时间序列图。每一个雾化器使用过程中,钒氧化率的时间序列图的“载波”形成一种波形:先是上升,达到最大值后,然后逐步下降到钒氧化率低于 90%。这样一种变化过程,反映了雾化器的设备状态。由于雾化器安装在提钒炉中(如图 2),平时看不见它在使用过程中由于高温产生变形和损坏。这样盲目使用,氧化率已经低于 90%了还在用。这怎么能够实现指标达到 90%以上呢? 于是,时间序列图作为数据分析可视化图表就成为考核雾化器使用寿命周期的仪表。一旦时间序列直方图低于 90%,就更新雾化器。这就从设备条件上保障了攻关指标的实现。

上述两个案例说明:大数据分析首先要靠人的智慧,是对人们在生产实践中积累的经验的的数据证明或否定。对生产过程存在的问题和需求越熟悉,提出的算法设计和得到的数据分析,就越能够说明问题的解决途径。例如:两种设备在生产实践中谁更好些? 在无法直接检测条件下,设备使用寿命周期如何确定? 如何使用数据序列作为确定设备使用



周期的软件仪表?这些都是通过数据分析对设备的优劣和使用寿命作出判断要考虑的问题。

大数据分析既要能够指出系统存在的问题和差距,同时,大数据分析和计算结果还要能够提出实现目标优化的途径和措施。只有这样的大数据分析,才能够促进领导的科学决策和下定决心实施新的措施和进行生产验证。大数据分析提供了科学管理与优化决策的数量化依据。

### 2.2.3 高质量的“策发展”如何实现

对于华罗庚管理科学的“策发展”,它既包含着用大数据预测事物的发展趋势,特别是生产线目标函数的发展潜力,同时,“策发展”还包含着实现这个发展潜力的途径和方法的策划。

在攀钢提钒工艺攻关中,经过半年多大量数据的计算和分析,用数据论证了雾化提钒工艺的氧化率能够达到90%以上。而原来生产的平均提钒氧化率只达到83.4%,同时,大数据分析回答了领导关心的第二个问题:如何能够挖掘出生产潜力,使工艺指标达到国际先进水平。

由于提出的技术分析报告回答了领导关心的这两个方面问题,因此,公司领导看后立即组织提钒攻关组成员单位,包括公司科技处、提钒炼钢厂、设计处、钢铁研究所、总调度室、自动化研究所、重庆设计院等部门的有关领导和科技人员听取了汇报和论证,大家一致同意组织生产攻关试验,并且由公司下达文件执行。1980年元月11日,经过冶金部批准,提钒车间投入新年生产,于是开始了生产攻关试验。经过18个日夜的生产试验和实时生产数据的跟踪分析,首先验证了生产优化方案能够取得钒氧化率指标的改善。继而在攻关试验过程中,通过追踪实时生产数据的小子样统计分析,提出新工艺参数的假设,进而发现和验证了新的关键参数 $\beta$ 角。从而一举取得了攻关的突破。

实践证明大数据分析对于生产工艺的“策发展”,具有把数据计算能力转化为生产力的重要作用。这是数学技术转化为生产力的过程。

归纳以上实践经验,把握华罗庚《管理科学三字经》的“策发展”,必须包含两大方面的功能和内涵:(1)策发展的预测功能,要求通过大数据分析预测工艺的发展潜力;(2)策发展的策划功能,要求通过数据分析找出实现管理目标的途径和办法,包括过程优化控制的范围与新措施地发现,即优化创新。

当管理者、生产者和研究者的智慧和措施转化为计算机自动计算分析的工业软件,并普遍应用在

流程工业的生产线上时,这就是人工智能技术的应用。在实践中不断完善提高,就形成了生产线的智能制造技术。由此得到一个合乎逻辑的科学论断:华罗庚《管理科学三字经》是指导流程工业智能制造技术开发的强有力工具。

### 2.2.4 “利工具,巧计算”是从大数据分析到智能制造的必然要求

当年华罗庚教授提出“利工具,巧计算”,主要是针对数学建模和数据系统分析中遇到的问题提出的。当工程师向领导汇报“数据杂乱无章,毫无规律”时,它说明了数据分析的难度。如果只是套用教科书经典计算公式,肯定什么规律也算不出来。因此“巧计算”的功夫是在智能优化算法的设计上。

华罗庚教授在“巧计算”上具有突出的创新思路。在攻关过程中,当学生向他汇报:“规律不稳定怎么办?”时,他立即指出:“规律不稳定意味着还存在未知数”。即影响指标的未知参数还没有全部挖掘出来。于是,在生产攻关试验中,通过数据的变异和小子样统计推断这样的“精统计”,提出了存在一个新的参数 $\beta$ 角的假设。假设检验的计算证明了未知参数 $\beta$ 角的存在。最后,经过生产检验确定 $\beta$ 角是影响钒氧化率新的关键参数。这样的“精统计”包含着华罗庚教授指导的创新“巧计算”。

如今生产线上的各种数据采集工具,在线采集的数据量超越过去的千万倍。如果没有计算机处理数据,无法想象大数据分析工作怎样能够深入。而且,当前大数据处理结果是要求转化为智能制造,即智能优化算法软件化,在线计算结果通过计算机自动化执行生产过程的智能制造。但是现在有的管理者和研究者不太理解“巧计算”的重要性。有的研究者习惯于套用国外的算法软件或机器学习软件。这样简单套用的算法,很难获得属于中国特色的工业大数据分析与人机智能算法的创新成果。

因此,对比今昔,在当前通讯技术和工业互联网条件下,数据自动采集和传送,大数据中心存储生产过程数据和运算能力都能够使从大数据分析到智能制造一气贯通。因此更需要在传统生产线升级为智能制造的过程中更好地“利工具”——包括通讯工具、数据采集与传输工具、计算机高效计算工具、大数据平台、智能手机工具等等,都属于华罗庚管理科学“利工具”的范畴。而在“巧计算”方面,则主要是必须考虑大数据分析计算的速度要满足智能制造的实时要求。当然,“巧计算”也包括创新建立适合生产工艺特点的智能优化新算法。

“利工具”和“巧计算”是 40 年前华罗庚教授超前对今天工业大数据分析和智能制造中,在数学工具需求上的前瞻性指导。没有“利工具,巧计算”是无法实现工业大数据分析和智能制造的。华罗庚教授《管理科学三字经》的创新前瞻性今天依然有其重要指导作用。

### 2.3 数学建模与智能优化算法应用是否成功的检验标准:“重实践、明真理”

华罗庚教授在生命的最后 20 年,倾注其全部数学智慧在国家经济建设中推广应用“双法”,为国家作出了重大贡献。华罗庚教授在实践中一贯强调:应用数学成果的检验标准看实际应用成效,而不是强调数学论文的学术水平。这就是他概括的“重实践,明真理”。

在纯粹数学领域,华罗庚教授在众多数学领域的研究成果十分突出,包括数论领域、多复变领域、代数领域等,其高深的学术水平得到世界公认。而在应用数学领域,他既有应用数学理论成果,建立众多算法设计(如《数论在近似分析中的应用》中的华一王方法,《应用统计中的数论方法》中的均匀设计,等等)。在 20 年持续进行的为国民经济建设服务的应用数学推广中,他始终强调的是“重实践,明真理”,把为国家和为人民服务放在第一位,把为企业创造效益作为检验数学应用成效的标准。同时,把推广“双法”在经济建设中的应用升级为管理科学,在更高层次和更具前瞻性上进行了概括和总结,提出了管理科学 36 字方针。正因为如此,今天探索企业推广应用大数据和人工智能技术中,仍然可以从华罗庚《管理科学三字经》中得到深刻的指导和创新思路的启示。

## 3 华罗庚《管理科学三字经》对攀钢企业转型升级的贡献

### 3.1 华罗庚教授受聘为攀钢技术顾问

1980 年 6 月,华罗庚教授受聘为冶金部攀枝花钢铁公司的技术顾问。一个数学家能够受聘为国家特大型钢铁企业的技术顾问,这是攀钢公司领导对华罗庚教授的管理科学理论与实践价值的高度评价,也是对他为攀钢企业管理与生产实践作出的杰出贡献的充分肯定。

### 3.2 攀钢高炉大修“大统筹”的管理成效

1978 年 11 月华罗庚小分队到四川省推广应用双法,初次来到攀钢。恰好遇上了冶金部批准和下达攀钢 1 号高炉大修工程。公司领导明确要求:大

统筹首先应用到 1 号高炉上,缩短大修工期,为攀钢增产生铁作贡献。于是,冶金部下达的工期为 75 天。在攀钢大修指挥部的统筹指挥下,“大统筹”的科学安排,平行作业、交叉作业与技术革新交叉应用;公司大修指挥部的统筹图动态统筹协调各施工单位修建部、炼铁厂、电修厂等单位的统筹施工,终于使攀钢 1 号高炉大修只用 54 天就完成了全部大修任务。高炉提前投产 21 天,为攀钢增产了 3 万多吨铁水,带来了巨大经济效益。《攀钢 1 号高炉大修应用统筹法》获得四川省推广应用优选法统筹法成果一等奖。

### 3.3 雾化提钒工艺完善提高使钒氧化率指标达到了国际先进水平

1979 年 3 月在攀枝花钒钛资源综合利用科技工作会议,国家科委和冶金部领导对攀钢提出了依靠科技进步完善提高雾化提钒工艺的要求,立项了国家重大攻关项目《攀钢现流程冶炼工艺的完善与提高》。其中的两个核心工艺就是钒钛矿大高炉冶炼工艺和雾化提钒工艺。雾化提钒工艺指标达到国际先进水平则是多年攻关未克的难题。

公司领导要求提钒车间主任把生产原始记录和试验炉数据全部提供给数学工作者。于是一麻袋数据搬回自动化所计算机研究室进行大数据分析。在当时企业的计算能力下,这样大的数据量,要从中找出优化控制规律,显然不是一件易事。在大数据分析中遇到了各种难题,我们到北京向华罗庚教授请教。华罗庚教授以他数学家对数据分析的睿智,敏捷地给了我们一句启示:“规律不稳定意味着这里还存在未知数。”正是这一指导,在后来的生产试验中,从 9 炉生产数据的异常变化中,通过模型计算,发现了新的关键工艺参数。由此取得了生产攻关试验的突破性进展。

1980 年 2 月,华罗庚教授听到攻关成功消息后给攀钢发来了电报:“攀枝花钢铁公司胡指挥长,蒙刘祥官、李吉鸾二同志告知攻关捷报,十分高兴。谨向攀钢致以热烈祝贺,并盼再接再厉再攀高峰。有必要和可能,我或其他同志将去攀钢学习。华罗庚”。从这封电报我们可以看出,华罗庚教授对攀钢提钒攻关的关注度和投入程度。在 1985 年 2 月除夕夜,为纪念攀枝花建设 20 周年,华罗庚教授专门写了一封信给攀钢领导。华罗庚教授写道:

“1964 年当我们在乌蒙山区工作学习的时候,也正是攀枝花钢铁公司奠基之日。那是一个指挥统一,干劲冲天,奋不顾身,相互配合的大战役。

二十年来蜿蜒于群山中的铁路,兀立于崇山之中金沙江畔的攀钢也早为人民做出不少贡献。

攀钢重视科技,科技紧联攀钢,也已文章篇篇,硕果累累。

这种从实际出发,以理深研的精神是科学新风尚也。

华罗庚 1985.2.19 旧历除夕”

这封信<sup>[6]</sup>高度概括了华罗庚教授指导攀钢科技攻关的精粹:“从实际出发,以理深研的精神”。

### 3.4 华罗庚教授是“国家科技进步一等奖”成果的主要完成人

华罗庚教授作为纯粹数学家,1956 年就获得了“国家自然科学成果一等奖”。这反映了他在数学理论研究的最高水平。而作为应用数学家,他的成果则和攀枝花的“国家科技进步一等奖”联系在一起。1988 年,在华罗庚教授逝世 3 周年后,《攀钢提钒工艺参数系统优化——完善提高提钒工艺技术》项目获得了“国家科技进步一等奖”。在《成果申报书》中记录着华罗庚教授作为主要完成人的贡献是:

(1)向攀钢领导主动提出运用最优化等数学方法进行雾化提钒工艺参数系统优化的方案,并具体指导他的助手和学生的攻关研究。

(2)指导助手运用抛物体法求解提钒氧化率的理论值可能达到 98% 及其相应的工艺参数值。

(3)指导了学生的优化研究,包括:1)应用抛物线法确定雾化器的主要参数角的最佳范围;2)听到关于生产中钒氧化率变化规律很不稳定的汇报后,明确指出“规律不稳定,意味着还存在未知参数”导致发现雾化器新的关键参数,取得攻关突破。

(4)由于华罗庚教授对完善雾化提钒工艺的贡献,攀钢公司于 1980 年聘请他为技术顾问。

冶金部科技司在审查成果主要完成人名单的过程中,初始上报名单列有公司总经理和副总经理,但是科技司领导明确指出:公司领导的工作成绩已经得到上级的肯定,他们已经被提拔为冶金部副部长和攀枝花市的市委第一书记。因此经征求本人意见,不列入主要完成人名单中。华罗庚教授的贡献则列出以上 4 点。从今天大数据时代战略观点看,华罗庚教授的突出贡献应当是给公司的技术报告《运用数学方法探索雾化提钒的生产规律》中指出的:“华罗庚的大统筹、广优选、理数据、策发展的应用数学理论是我们应用各种数学模型和方法的理论依据。”

## 4 结语

本文结合华罗庚教授亲自指导的“国家科技进

步一等奖”成果《攀钢提钒工艺参数的系统优化——完善提高提钒工艺技术》的实践,阐述华罗庚《管理科学三字经》的学术思想和应用经验,解决实际问题的科学思路和途径,理论与方法,高效解决问题的技巧。期望继承和发扬华罗庚的数学智慧,为我国工业企业的大数据与人工智能的自主创新贡献绵薄力量。同时充分认识今天解决工业大数据分析智能制造的课题中,华罗庚教授的前瞻性数学思维仍然具有普遍应用价值。在此特别强调的再认识:

(1)中国最早的工业大数据分析 with 智能优化算法的拓荒者

也许有人对华罗庚教授在攀枝花钒钛资源综合利用攻关中的大数据分析工作产生疑问,果真中国的应用数学家超前时代 30 年就开始了工业大数据与智能优化算法的拓荒工作? 答案是肯定的,毕竟成果摆在那里,事实胜于雄辩。

这里引用一段 1980 年国务院副总理、中科院院长方毅同志在第三次攀枝花资源利用科技工作会议上的报告来说明。方毅报告中指出:“有些工作,例如雾化提钒,应用了数学方法,进行科学分析,从大量数据中找出最优条件,在实际工作中起到了效果。”

请注意,1980 年科技界还没有“大数据”这个术语,方毅同志总结的“从大量数据中找出最优条件”<sup>[6]</sup>,与今天术语所说的大数据分析与智能优化算法内涵本质是一致的。

40 年过去了,迄今还没有读到国内外在工业大数据与智能优化算法应用更精彩的工业应用成果。

因此,可以坦诚地说:当年华罗庚教授和他的团队——推广应用双法小分队,在我国经济建设中所做的大统筹、广优选等管理科学理论的应用,充分证明了华罗庚教授团队是中国企业运用大数据与智能优化算法的拓荒者,是超前时代 30 年的数学技术创新应用团队。

(2)再认识华罗庚《管理科学三字经》的学术价值与经济价值

今天重新认识华罗庚教授面向企业以推广应用优选法、统筹法为核心的《管理科学三字经》的实践,其实质是用智能优化算法解决企业生产和管理优化问题。这是华罗庚教授把数学方法与管理者、生产者和科技人员的智慧相结合的更加广义的智能优化算法。他的开拓性工作赢得了国内外数学界的赞许,被誉为“为千百万人的数学”。从这里可以看到华罗庚《管理科学三字经》与千百万人的智慧结合的力量。也因此,他所带领的双法小分队,为国家、为

众多企业创造了数以亿计的经济效益。

与国外科学家创建遗传算法、神经网络算法等智能优化算法相比,华罗庚教授推广应用“双法”,在中国最早把包括运筹学算法在内的各种广义智能优化算法应用于企业管理与生产实践。他成为中国大庆石油公司和攀枝花钢铁公司两个国家级特大型企业的顾问,成为国家两大支柱产业科技创新的咨询专家,并且切切实实推进了企业依靠科技进步的转型升级工作。

因此,可以展望,随着工业界智能优化算法的发展,按照华罗庚《管理科学三字经》的思路,开发具有自主知识产权的国产工业智能制造软件,一定能够加快我国工业智能制造的发展壮大。

在纪念华罗庚教授诞辰 112 周年的时候,我们谨以此文表达对华罗庚教授管理科学理论与实践的崇敬之情。期望更多的后来者循着前辈科学家的创新足迹前进。

参考文献:

[1] 杨德庄主编. 华罗庚文集(应用数学卷 I, II)[M]. 北京:科学出版社,2010.  
Yang Dezhuang edits. Selected Papers of Loo-keng Hua (Applied Mathematics, Parts I, II)[M]. Beijing: Science Press,2010.

[2] 刘祥官,李吉鸾. 工艺参数系统优化的数学方法及其应用[J]. 大自然探索,1982(1):108—116.  
Liu Xiangguan, Li Jiluan. Mathematical methods of system optimization for technological parameters and its application[J]. Discovery of Nature, 1982(1):108—116.  
[3] 李吉鸾,刘祥官,伍礼成,等. 最优化方法在雾化提钒中的应用[J]. 运筹学学报,1983,2(2):45—52.  
Liu Jiluan, Liu Xiangguan, Wu Licheng, et al. Optimization applied process of atomization extracting[J]. Operations Research Transactions, 1983, 2(2):43—50.  
[4] 刘祥官,李吉鸾. 冶金生产过程的系统优化[J]. 系统工程理论与实践,1994,14(6):54—59.  
Liu Xiangguan, Li Jiluan. Systematic optimization of the metallurgical production process[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 1994, 14(6):54—59.  
[5] 刘祥官,刘学艺. 雾化提钒工艺的参数优化[J]. 浙江大学学报(理学版),2005,32(1):30—33.  
Liu Xiangguan, Liu Xueyi. Parameter optimization of atomization extracting[J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2005, 32(1):30—33.  
[6] 《方毅与攀枝花》编委会. 方毅与攀枝花[M], 北京:中共党史出版社,2016 年.  
Fang Yi and Panzhihua’s Editor. Fang Yi and Panzhihua [M]. Beijing: Chinese CP History Press, 2016.

Hua Luogeng System Engineering of Management Science and Industrial Big Data Analysis

LIU Xiang-guan<sup>1</sup>, GAO Chuan-hou<sup>1</sup>, LUO Shi-hua<sup>2</sup>, WANG Yi-kang<sup>3</sup>, WU Wu-lin<sup>4</sup>

- (1. School of Mathematical Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;  
2. School of Statistics, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China;  
3. School of Science, China University of Metrology, Hangzhou 310018, China;  
4. School of Economics, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China)

**Abstract:** The achievements of the national key research project in the comprehensive utilization of vanadium and titanium resources in Panzhihua are briefly introduced under the personal guidance of Professor Hua Luogeng, a consultant of Pangang. Taking the typical big data analysis case in the “first prize of national scientific and technological progress” as an example, the guiding role of the management science theory created by Professor Hua Luogeng in big data analysis, intelligent optimization algorithm and process intelligent manufacturing of iron and steel industry is discussed. Through the introduction of specific cases and algorithms, it can help us more deeply understand the rich connotation of Hua Luogeng’s 36 word policy of management science. Especially in today’s digital economy era, how to apply Hua Luogeng’s scientific management theory to guide the research and development of intelligent manufacturing technology of industrial production line has universal guiding significance.

**Key words:** Hua Luogeng management science; big data analysis; artificial intelligence; intelligent optimization algorithm