

管理与决策

MANAGEMENT AND DECISION

山西大学
管理与决策研究中心

2017 1
总第4期



科学出版社

管理与决策

MANAGEMENT AND DECISION

山西大学
管理与决策研究中心

2017 1
总第4期

科学出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

管理与决策. 第4辑 / 山西大学管理与决策研究中心编. —北京: 科学出版社, 2017. 9

(管理科学与工程创新丛书)

ISBN 978-7-03-054011-9

I. ①管… II. ①山… III. ①管理工程学 IV. ①C93-05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 180955 号

责任编辑: 李 敏 李晓娟 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 李姗姗

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京九州迅驰传媒文化有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年9月第 一 版 开本: 880×1230 1/16

2017年9月第一次印刷 印张: 6 3/4

字数: 250 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

山西大学管理与决策研究中心 学术委员会

主任委员

于景元 中国航天系统科学与工程研究院，研究员

副主任委员

刘维奇 山西大学管理与决策研究所，教授

委员

徐伟宣 中国科学院科技政策与管理科学研究所，研究员

寇纪淞 天津大学管理与经济学部，教授

盛昭瀚 南京大学工程管理学院，教授

张 维 天津大学管理与经济学部，教授

杨晓光 中国科学院数学与系统科学研究院，研究员

曾 勇 电子科技大学，教授

李建平 中国科学院科技政策与管理科学研究所，研究员

王立彦 北京大学光华管理学院，教授

胡奇英 复旦大学管理学院，教授

王金亭 北京交通大学理学院，教授

许启发 合肥工业大学管理学院，教授

张复明 山西省人民政府，教授

张新伟 山西省科技厅，教授

薛耀文 山西师范大学管理学院，教授

李志强 山西省质量技术监督局，教授

李常洪 山西大学经济与管理学院，教授

张信东 山西大学经济与管理学院，教授

刘卫民 (英国) 诺丁汉大学商学院，教授

郭沛俊 (日本) 横滨国立大学经营学部，教授

吴振宇 (加拿大) 曼尼托巴大学商学院，教授

The Institute of Management and Decision of Shanxi University

Academic Committee

Chairman

Yu Jingyuan China Aerospace Systems Science and Engineering, Professor

Vice Chairman

Liu Weiqi Institute of Management and Decision, Shanxi University, Professor

Committee

Xu Weixuan	Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Science, Professor
Kou Jisong	College of Management and Economics, Tianjin University, Professor
Sheng Zhaoan	School of Management and Engineering, Nanjing University, Professor
Zhang Wei	College of Management and Economics, Tianjin University, Professor
Yang Xiaoguang	Academy of Mathematics and Systems Science, Chinese Academy of Science, Professor
Zeng Yong	University of Electronic Science and Technology of China, Professor
Li Jianping	Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Science, Professor
Wang Liyan	Guanghua School of Management, Peking University, Professor
Hu Qiyang	School of Management, Fudan University, Professor
Wang Jinting	School of Science, Beijing Jiaotong University, Professor
Xu Qifa	School of Management, Hefei University of Technology, Professor
Zhang Fuming	The People's Government of Shanxi Province, Professor
Zhang Xinwei	The Shanxi Science and Technology Department, Professor
Xue Yaowen	School of Management, Shanxi Normal University, Professor
Li Zhiqiang	Shanxi Province Bureau of Quality and Technical Supervision, Professor
Li Changhong	School of Economics and Management, Shanxi University, Professor
Zhang Xindong	School of Economics and Management, Shanxi University, Professor
Liu Weimin	Nottingham University Business School, UK, Professor
Guo Peijun	Business Administration, Yokohama National University, Japan, Professor
Wu Zhenyu	School of Business, University of Manitoba, Canada, Professor

管理与决策 2017①

山西大学管理与决策研究中心

目 录

述评

- 大数据战略对管理决策的启示及应用——基于高级数据分析技术的若干研究 刘祥官 (1)
- 情绪管理在组织变革期的应用评述 高培霞 (19)

论文

- 基于非对称忠诚度双边平台定价模型 张 凯, 韩佳贵 (28)
- 中国股市和债市的联动效应及非对称效应研究 张茂军, 陆任智, 秦文哲 (37)
- 认知偏差对即兴决策风险行为影响的路径分析 薛耀文, 孙素青 (50)
- 高管薪酬对业绩预告精确度的影响分析 程新生, 熊凌云 (61)
- 基于 DAG 方法的因果结构识别原理与效率研究 聂思玥, 刘维奇, 李梦花 (75)

方法

- 季节调整的原理分析 张晓峒, 聂思玥 (87)



CONTENTS

Heuristics and Applications of Big Data Strategy for Management and Decision

—Studies Based on Advanced Data Analysis Technology *Liu Xiangguan* (1)

Emotion Management in Organizational Change

..... *Gao Peixia* (19)

Asymmetric Loyalty Degrees and Two-sided Platforms

..... *Zhang Kai, Han Jiagui* (28)

The Comovement Between the Stock and Bond Market and Its Asymmetry in China

..... *Zhang Maojun, Lu Renzhi, Qin Wenzhe* (37)

The Path Analysis of Cognitive Bias Affects Risk Behavior of Improvised Decision-making under Emergency

..... *Xue Yaowen, Sun Suqing* (50)

Research on Executive Compensation and Management Forecast Precision

..... *Cheng Xinsheng, Xiong Lingyun* (61)

Theory of Causality Structure Identifying Based on DAG Methods and Efficiency Research

..... *Nie Siyue, Liu Weiqi, Li Menghua* (75)

Theoretical Analysis of Seasonal Adjustment

..... *Zhang Xiaotong, Nie Siyue* (87)

大数据战略对管理决策的启示及应用^①

——基于高级数据分析技术的若干研究

刘祥官

(浙江大学 数学科学学院, 杭州 310027)

摘要: 追踪管理科学发展的历史脉搏, 以西蒙的《管理决策新科学》和华罗庚的“管理科学36字方针”为研究对象, 论述管理科学大师若干前瞻性科学思维对今天大数据研究的启示, 并采用华罗庚“管理科学36字方针”的实际应用案例, 比较深度数据分析技术与高级数据分析技术的差异, 指出以计算机机器学习与数据挖掘为基础的“高级数据分析”必将促进管理决策提高到“决策智能化”的发展新阶段。

关键词: 大数据战略; 高级数据分析技术; 管理决策; 管理科学

中图分类号: C931.1 **文献标识码:** A **文章编号:** (2017) 01-0001-18

0 引言

进入21世纪以来, 随着计算机、互联网、手机、微信等现代信息技术的广泛应用, 人类的社会活动, 人们的生活、工作和学习迈入了一个以“大数据”为特征的时代。人类的一切活动积累的信息, 包括: 数字、文本、图像、语言、声音、视频、数据流等, 都能够转化为数据, 通过计算机等工具进行深度分析和挖掘, 从中提取出对人类活动有价值的各种信息。这些信息的价值, 超乎人们的常规认识和想象, 以至于智库的精英们提出了“大数据战略”的任务, 把数据的存储、分析和应用提高到了战略的高度。

在计算机的发展史上, 人们为存储各种不同类型的数据和信息, 从最初建立的关系型数据库(如dBASE), 发展到大型数据库(如ORACLE), 再发展到具有人工智能的数据仓库, 更进一步发展到今天规模庞大的服务器组成的数据中心。今天的数据存储设备存储着来自各个方面如大海大洋、如天空云朵般的数据量, 而被称为“云存储”。社会与企业汇集的数据量, 用“海量数据”和“天文数字”已经无法深刻描述和分析它们。于是为了具体地描述数据量, 人们建立了新的字节单位, 由初期的KB、MB字节, 发展到GB、TB字节, 进一步延伸到PB (2^{50} b)、EB (2^{60} b)、ZB (2^{70} b)、YB (2^{80} b)字节。通过这些超级字节单位来描述大数据的数量规模。而超级计算机更以每秒千万亿次(PB)、百亿亿次(EB)的运算速度处理着数据, 使数据的计算和分析达到空前的速度和深刻程度。从中发现大数据隐含的规律和特殊价值。

另外, 互联网上的金融、商业、医疗等“互联网+”形态的经营与服务活动, 完全颠覆了传统的管理流程和模式, 使经济活动规模更大、更便捷、更高效。所有这一切都表明: 人类社会的发展已经从信息技术(information technology, IT)时代跨入了大数据技术(data technology, DT)时代。人们从注重信息技术与计算机的硬件应用、信息采集的实时应用的形态, 发展到对大量信息数据的深度分析与数据挖掘, 并且由此引起人们思想观念和思维形态的变革。DT时代融汇了IT时代的各种信息技术与计算机技术的发展成果, 催生了一门新的学科——“数据科学”, 为大数据战略的实施提供了强有力的科学理论基础。

近年来, 有关“大数据”的学术论著众多^[1-5], 学者们从不同角度探讨和论述了“大数据时代: 生活、工作与思维的大变革”; “数据革命如何改变政府、商业与我的生活”; “大数据时代的产业变革与数据科学”; “大数据主义——一场发生在决策者、消费者行为以及几乎所有领域的颠覆性革命”及“数据

^① 作者简介: 刘祥官, (1943—), 浙江人, 浙江大学理学院数学系运筹学与控制论博士生导师, 浙江大学系统优化技术研究所所长。研究方向: 应用数学, 运筹学与控制论, 复杂工业系统的优化与控制, E-mail: xgliu@zju.edu.cn。

挖掘方法与模型”；等等。有关大数据、大变革与大机遇的论著还在如雨后春笋般生长出来。这些著作足以证明大数据已经渗透到人类社会生活与生产经营活动的方方面面。

然而，当我们从战略高度思考“大数据”的价值和意义时，不禁要追踪到 2011 年美国总统科学顾问委员会给总统和国会的咨询报告中的一段权威论述。

这份智库报告从战略高度论述了大数据无处不在的重要价值：“以机器学习、数据挖掘为基础的高级数据分析技术，将促进从数据到知识的转化，从知识到行动的跨越。联邦政府的每一个机构和部门都需要制定一个应对大数据（big data）的战略……”智库报告清晰地抓住了“大数据时代”的特质：从数据到知识，从知识到行动。大数据无处不在，数据正在成为人类社会的战略资源，以至于政府的每一个部门都需要制定应对大数据的战略，以实现国家和政府对社会发展方方面面的引导与管理决策。

人们越来越亲身体会与感觉到了“大数据”所带来的人类生活、工作和思维的变革。这种变革和创新颠覆了过去的习惯和经验，因而必须学习新的知识和行动方式。例如，数码相机颠覆了柯达胶卷；手机、微信、QQ 颠覆了电报和纸质通信；机器人和自动化技术颠覆了车间生产中工人的主导地位和作用；智能制造、智慧工厂、智慧交通、智慧城市，……新概念和新思路、新技术、新工艺和新产品日新月异地不断涌现。这些颠覆性的变革启示着更加广泛领域的管理决策新思维。同时，数据科学和大数据技术又极大拓展了人们“预测未来、谋划发展，把握机遇，抢占先机”的空间。因此，它也带来了人们在科学管理与决策领域的思维变革与跨越。

本文围绕着大数据战略对管理决策的启示及其深度应用，从历史发展脉络中，对其理论、技术、模型、预测与应用展开若干综合回顾与探讨。特别从数据挖掘和高级数据分析角度，结合了中国与美国两种类型的管理科学典型理论与案例展开比较与论述。

1 西蒙《管理决策新科学》的前瞻性启示

1.1 西蒙的《管理决策新科学》

“管理就是决策”这是管理学名著《管理决策新科学》学术观点的精华所在。该书是美国卡内基·梅隆大学 H. A. 西蒙教授的代表作。由于他在决策理论研究方面的突出贡献和开创性、前瞻性的研究成果，他获得了 1978 年诺贝尔经济学奖。

在管理科学的历史发展阶段中，从古典的泰勒科学管理学派发展到行为科学学派，又进一步发展到社会系统学派、决策理论学派、系统管理学派和管理科学学派等。以 H. A. 西蒙为代表的决策理论学派，是吸收了行为科学、系统理论、运筹学和计算机软件等学科的内容而发展起来。他的代表性学术观点是：“决策贯穿管理的全过程，管理就是决策”；“组织是由作为决策者的个人所组成的系统”，他还首先探讨了“计算机能管理公司吗”这样一个计算机与管理决策之间关系的前瞻性问题。对决策的过程、决策的准则、程序化的决策与非程序化决策及组织机构的建立同决策过程的联系等问题进行了深入的分析，并且预测了信息技术对经济的影响。

H. A. 西蒙在《管理决策新科学》（修订版）的前言中讲道：1960 年之前他就开始在纽约大学研究和讲授管理决策理论，到 1977 年出第三版，虽然不断修订，但是其核心学术思想没有改变。他认为：“计算机应用在新决策中的技术正在使蓝领工人的、经理的和专业性的工作发生巨大的变化，就像使用机械来代替人力时所引起的变化一样。”他敏锐地把计算机应用于管理决策所引起的革命性变革，与机械代替人力的第一次工业革命的意义，提高到同一高度认识其重大意义。

这里应当指出的是：H. A. 西蒙研究管理决策是在 1960 年之前，当时计算机技术及其应用还处在初期发展与探索阶段。他就能远见卓识地把延伸人的脑力劳动的先进机器——计算机与管理科学的决策学说结合起来研究。显然，我们不得不佩服诺贝尔经济学奖获得者的高瞻远瞩。

1.2 《管理决策新科学》对大数据研究启示

在当今大数据时代，深入思考 H. A. 西蒙对“管理决策新科学”的研究思路，可以看到：他研究了计算机与管理的关系，提出了计算机管理公司的命题，剖析了计算机对工作场所自动化的影响，从组织上

设计了制订管理决策的人-机系统，预言了信息技术对经济的深远影响，等等。所有这些方面，在大数据时代研究中所涉及的社会经济管理问题都沿着 H. A. 西蒙决策理论引领的方向大大深化了，并且由公司管理决策延伸到政府和社会管理决策的方方面面。计算机技术与网络化信息技术比 50 年前更加先进，由大数据技术构建与集成的人机系统在管理决策中的应用更加深刻，其自动化与智能化的程度更高了。

在这里我们要归纳和强调两个重要的历史启示是：

其一，人类的第一次“工业革命”是以蒸汽机为代表的机器装备的发明，其实质是机器延伸了人的“体力劳动”，使人类的劳动生产效率大发展而远远超越人类自身的体力所能够达到的水平。而第二次“工业革命”则是计算机的发明以及由此延伸的自动化，它大大延伸和提高了人的“脑力劳动”水平，又一次极大地提高了人类的劳动效率。实际上，第二次“工业革命”已经超越了工业范畴，而成为包含社会各行各业应用计算机的“产业革命”。

其二，现在的“大数据”时代的实质是人类正在经历着第三次“产业革命”。这个革命的特征是以机器人为代表的各种智能产品和智慧组织，包括手机、智慧交通、智慧工厂和智慧城市等。这些智能产品和社会组织不仅具有使用功能，而且具有服务功能。例如，智能手机不仅具有打电话、发微信等信息交流的第一功能，即主流使用功能，而且还具有购物、金融、交通旅游与订票等第二功能，即伴生服务功能。并且其第一功能和第二功能是随着社会的发展，通过软件版本的更新开发和升级换代而不断地扩张和延伸着，而机器硬件主体并没有更多的扩张。机器装备的整体智慧水平则在升级换代中不断提高，服务的社会面随着大数据的不断扩充、发展而越来越广泛，效率越来越高。

因此，大数据时代的智能产品，其实质是把机器装备延伸人的“体力”与计算机芯片延伸人的“脑力”两者有机地结合在一起。这些智能产品及其伴生的“大数据”带来了人类管理决策能力与决策过程的变革与提升。如果说 1978 年远见卓识的 H. A. 西蒙把计算机、自动化与管理决策理论研究相结合，取得获诺贝尔经济学奖的成果，那么在今天大数据时代，更需要通过大数据技术来研究管理决策中的新情况和新需求。人类社会的管理决策智能化水平将随着大数据的发展，提高到一个崭新的阶段。

1.3 计算机在企业管理决策中应用轨迹

在 H. A. 西蒙提出“计算机能管理公司吗”的课题时，计算机的数据库还很小，如 dBASE II 一类的关系型数据库，它们只够做一些财务汇总与统计分析一类的纯粹管理统计工作，还谈不上在管理决策上的深入应用。

20 世纪 80~90 年代后，国际上的跨国公司、我国的特大型企业使用了大型 ORACLE 数据库，于是能够开发企业资源规划（enterprise resource planning, ERP）一类的系统，以进行企业的产供销经营管理。ERP 系统只是计算机辅助企业管理部门的管理工作。随着各种决策支持系统（decision support system, DSS）的深入开发，ERP 系统逐步发挥了辅助管理决策的作用。此时，计算机数据库的数据量已经达到了海量水平。

进入 21 世纪以来，随着大型企业的生产过程自动化水平的不断提升，数据检测手段与通信技术的不断完善，企业生产车间的制造执行系统（manufacturing execution system, MES）在生产过程中积累了大量检测数据。它与企业 ERP 系统的联网，逐步形成了企业的大数据。企业大数据的深度分析，成为企业经营管理决策的重要参考和依据。各种决策支持系统软件的开发与应用，有效提高了企业经营管理的决策水平，并且向着管理决策的自动化逐步提升。

企业大数据在管理决策上较早的一个重要应用是生产线上产品在线的全面质量管理（total quality control, TQC）。在产品质量控制中，计算机通过大数据的 6σ 分析技术，实现质量管理决策的自动化。它确保自动化生产过程的产品质量数据稳定在均值 $\mu \pm 3\sigma$ 范围内。显然，它比过去自动化流水生产线上产品质量依靠抽样检验和统计推断理论，人工进行质量控制的管理决策，在产品质量管理决策自动化方面上升了一个大台阶。

现在，大数据在企业管理决策上应用的水平进一步提升到人事管理与员工调度决策等管理领域。调度管理自动化的一个典型案例，就是美国贝尔大西洋公司（Bell Atlantic）运用计算机和机器学习算法，从企业积累的大数据中进行高级数据分析，通过数据挖掘和机器学习，创建了任务调度规则，再由计算机根据新的任务和调度规则进行人员调度，指派相关技术人员处理全球的技术维护业务。其结果是计算机调度

管理决策比起调度员的经验指派,取得更好的经济效益。按可比计算,计算机调度方案每年可为该公司节省开支 1000 多万美元。

在这个案例中,大数据技术应用于管理决策流程是:管理人员根据运筹学模型和优化算法,对企业管理的历史大数据建立相应的数学模型与分类算法,进而通过机器学习和数据挖掘,创建了详细的科学调度规则。在此基础上,再由计算机根据新的任务要求,计算出调度方案提供给调度管理人员,从而实现了计算机在技术人员调度上的管理决策智能化与自动化。这里,优化模型与算法软件构成了大数据技术应用于管理决策的核心技术。进入大数据时代,H. A. 西蒙设想的“计算机管理公司”正在逐步深入,使计算机程序化决策成为现实。当然,非程序化的决策仍然只能依靠管理人员的经验和智慧。在管理决策上,计算机能够延伸管理人员的经验与智慧,但是不可能完全代替管理者的决策。

从以上计算机应用于企业管理决策中的发展轨迹回顾可以看到,H. A. 西蒙开拓的“计算机管理公司”,在大数据时代跃上的一个新台阶是:以数据挖掘和机器学习为特征的高级数据分析技术及其深入应用。而数据挖掘与机器学习的核心技术则在于数学建模与各种智能优化算法。而这些核心技术却是 H. A. 西蒙的开拓性研究中所欠缺的。因此,我们需要注意另一个角度的研究,这就是华罗庚管理科学所进行数学建模与深度数据分析的研究。

2 华罗庚“管理科学 36 字方针”对大数据研究启示

2.1 华罗庚“管理科学 36 字方针”及其深度数据分析技术

华罗庚通过 20 年在企业推广优选法统筹法的大量实践,总结出企业经营管理决策优化的“管理科学 36 字方针”,为中国管理科学的发展奠定了模型与方法的数学基础。它集中反映了华罗庚作为数学家的数学理论紧密联系管理实践的深刻智慧。在今天大数据时代,我们对此有了更深刻的理解。

2.1.1 解读华罗庚“管理科学 36 字方针”的设计思路

在《中国管理科学》杂志的封底,赫然印着 36 个大字:

“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。”

这是华罗庚教授在他生命的最后 20 年中,带领他的推广“双法”小分队,在全国工矿企业大规模开展推广应用统筹法、优选法工作,把数学与管理科学密切结合,通过实践总结出来的“管理科学 36 字方针”。

如何深刻理解“管理科学 36 字方针”在企业管理决策中的应用?如何从“管理科学 36 字方针”的方法指导到统筹优化系统建模,再到“理数据”的深度数据分析,再到管理决策中的知识发现,然后转化为企业经营管理决策的实际行动,从而为企业创造巨大的经济效益?这是我们理解华罗庚“管理科学 36 字方针”的脉络主线。也是我们理解华罗庚“管理科学 36 字方针”直通大数据战略,衔接其高级数据分析技术,以及从数据到知识,从知识到行动战略思想的关键所在。

其实,在总结这“管理科学 36 字方针”之前,华罗庚就已经归纳了中国企业经营管理与生产工艺的两大科学管理命题。他在大量实践基础上指出:“在生产工艺中搞优选,在经营管理中搞统筹,这是企业科学管理中的两大普遍命题。”因此,“大统筹,广优选”成为华罗庚“管理科学 36 字方针”的领头方针。华罗庚正是从众多数学方法中,以统筹法与优选法为突破口,把众多分支的数学方法在管理科学中交叉应用起来。同时,华罗庚把“统筹与优化”作为管理科学的哲学基础。离开了统筹与优化的管理,就谈不上管理决策的科学水平。

在这“管理科学 36 字方针”中,华罗庚用 15 个字归纳了企业管理中要重点抓的 5 类代表性的重要数学方法,即“大统筹,广优选,联运输,精统计,抓质量”;他又用 9 个字归纳了和强调了企业管理决策中的系统建模思路和深度数据分析技术,即“建系统,理数据,策发展”;再用 6 个字,即“利工具,巧计算”,说明利用计算机等工具与创新建立算法对提高企业管理水平的重要性。最后 6 个字“重实践,明真理”,则是华罗庚明确指出的一条真理:对管理科学中数学方法应用成果的检验重在实践,是通过企业管理与生产实践的成果与效益来检验方法与工具应用的水平与成败,而不在于数学方法与理论达到什么样的高深程度。

历史的实践和今天大数据的发展充分证明，华罗庚总结的“管理科学 36 字方针”不仅对企业管理决策具有实际应用指导价值，而且对大数据时代的数据科学发展具有前瞻性的指导价值。

2.1.2 华罗庚“管理科学 36 字方针”中的深度数据分析技术

在大数据战略中，“高级数据分析技术”是指以机器学习与数据挖掘为基础，实现从数据到知识发现，又从知识到行动的转化。它构成了大数据技术的核心。在大数据技术中，机器学习与数据挖掘工作离开了高性能计算机则寸步难行。然而，进一步深入分析就会知道，实际上，机器学习与数据挖掘中，学习与挖掘软件的设计，关键技术依然在数学算法的设计上。所谓“关键技术的关键在于数学技术”是对大数据战略中“高级数据分析技术”的恰如其分描述。

为了区别大数据的“高级数据分析技术”，这里把华罗庚“管理科学 36 字方针”中的“理数据”的分析技术称为“深度数据分析技术”。而运筹学中的系统分析（system analysis, SA）分支，则是研究系统建模与数据分析理论的。

与大数据的“高级数据分析技术”主要依靠计算机不同，40 年前华罗庚的“深度数据分析技术”则主要依靠人的智慧，结合实际管理课题，选择适用的数学模型与算法，计算出管理过程的优化数据，发现管理过程的新知识，并且转化为企业生产与管理决策的创新行动。深度数据分析技术有时也使用计算机进行计算分析，但它并不依赖计算机，许多优选与统筹计算，大子样的统计计算，依靠手工“巧计算”也能够完成。

实践充分证明：50 年前华罗庚推广优选法、统筹法的实践过程，就是以深度数据分析技术为基础，实现管理工程的统筹与生产工艺的优化。以下我们逐一论述 5 类方针中的数学方法及其深度数据分析技术。

1. “大统筹”中的深度数据分析技术

统筹法是通过工程网络图中的工序及其衔接关系和完成时间的数据计算和分析来实现工程总工期的优化与人力设备资源的统筹安排。它包括最早开工时间、最迟开工时间、最早完工时间、最迟完工时间和关键路线时间的计算和数据分析。在关键路线确定之后，为缩短整个工程的工期，通过平行作业、交叉作业的安排和技术革新等措施，达到缩短关键路线工期，提高效益的目标。随着统筹法的推广应用，这些数据分析计算和工程统筹图的绘制，都已经实现了计算机自动化完成。华罗庚在 1965 年发表的《统筹法平话及其补充》著作中，就已经对这些深度数据分析方法作了详细介绍。没有统筹图的深度数据分析，就没有统筹法的科学应用。统筹图的优化过程实质上就是从数据转化为工程施工科学组织的知识，进一步变为管理者的决策和工程行动的过程。

“大统筹”方针中的“大”字，反映了华罗庚教授对统筹法应用中要全面统筹考虑工程的工期、人力、设备等资源的安排，工程越大越要统筹等方面的统筹思想。显然，大统筹的深度数据分析随着统筹范围的扩大而难度加大。深度数据分析技术是统筹法应用取得成功的关键。大修工程统筹图的深度数据分析，比传统的工程管理甘特图安排更深刻地反映大型工程施工管理的内在联系规律和优化方向，并且应用这些统筹与优化知识，缩短大修工程的总工期。

攀枝花钢铁（集团）公司（简称“攀钢”）在 1978 年的 1 号高炉大修中，在华罗庚推广“双法”小分队的帮助下应用了统筹法。原冶金部原计划工期 75 天，实施大统筹施工后，54 天完成大修工程。工期缩短了 28%，从而为大高炉冶炼钒钛磁铁矿增产生铁 3 万 t 奠定了基础，取得了重大经济效益。大统筹中的深度数据分析就包括主要矛盾线的计算以及缩短工期的平行作业、交叉作业、技术革新和人力设备资源等措施的统筹安排。对于不确定性的工序完成时间，利用数学期望时间的计算公式进行工期估计。通过工程中多次深度数据分析，有效地进行统筹图主要矛盾线的调整和优化，并且通过统筹图中的前锋线全面把握各个施工层面的进度。因此，公司大修工程指挥部能够预见性地把握工程的总工期，提前完成了高炉大修工程。

2. “广优选”及其深度数据分析

优选法应用的目标是以最少的实验次数找到最佳的试验结果。不论单因素优选或多因素优选，都需要对实验数据进行深度数据分析，从而找到优选的方向和确定新的优选试验点。华罗庚的一个“广”字，不仅包括了更大范围的优选，寻求新的突破和更好的指标结果；而且包括各种优选方法的广泛应用于不同

的应用对象。不论是“单刀直入”的单因素优选，或是考虑复杂的多因素影响，以至采用正交试验设计、均匀设计等试验设计方法，把按照均衡搭配与各态遍历原则需要进行数以千次的试验次数，通过几十次试验的结果及其深度数据分析计算，就能够找到多因素各自的最佳控制范围及其最佳组合。最后再通过工程实践检验优选结果，达到改善工艺指标的最佳工程效果。

这些优选试验的深度数据分析方法，华罗庚在他的《优选法平话》《优选学》等著作中，都有深入的理论与应用论述。而在全国范围的推广“双法”应用中，更获得众多充满技巧的优选应用成果，令人赞叹。笔者 1980 年应华罗庚老师之邀，参加了江苏省推广“双法”小分队的工作，在原南京第二机床参与了龙门刨加工车床床体的刀具角度优选。该厂原来由于无法加工而废弃的球墨铸铁机床床体，通过刀具角度优选，成功地恢复了加工制造。对刀具角度试验数据的深度分析，优选试验方向，3 次试验达到正常加工效果。此事令该厂总调度室主任茅塞顿开，对优选法的效用心服口服。并且使废弃的铁疙瘩恢复了使用价值。

1979 年，攀钢在钒渣制品的深加工中，通过磁选机的磁选提高钒渣的含钒品位和等级，以期创造更大的经济效益。在推广优选法工作中，通过磁选工艺各项参数的优选和深度数据分析，确定了最佳工艺参数组合，显著提高了攀钢钒渣的含钒品位等级。这一效益显著的优选成果，引起攀钢领导的高度重视。公司总经理从中得到了创新启示。进一步提出了在提钒车间运用优选法的要求，要求把钒资源回收率的水平提高到国际先进水平。对这样复杂的钒资源综合利用的核心工艺，“广优选”能否达到完善提高工艺的目标？本文将在华罗庚“深度数据分析技术”应用案例分析中做详细论述。

3. “联运输”中涉及的深度数据分析技术

在企业与社会管理中，运输涉及企业的产供销各个环节。在当今大数据时代，社会物流派送的最优化问题极为复杂。其求解不再是经典的线性规划模型求解问题，而是需要通过智能优化算法才能够实时得到满意解的运筹学非确定多项式（non-deterministic polynomial, NP）难题。物流规划的求解，不仅涉及函数优化问题，而且涉及组合优化问题。由此可知，华罗庚把“联运输”作为管理科学 36 字方针重要内容之一，充分显示了其管理眼光的远见性。“联运输”的一个“联”字，把单一的企业产供销运输问题，联系成为社会物流派送问题、联合运输问题、库存优化问题。其数据分析技术的深度与难度自然也发展到了一个新的高度。

4. “精统计”及其深度数据分析技术

企业的一般生产统计，无论是产量、质量，还是消耗、成本等方面的统计都是企业管理决策中的重要一环。而社会经济发展的一般统计，则反映着社会的发展水平。然而，众所周知，统计中存在着真实数据的统计与造假数据的统计。所谓垃圾数据的统计结果只能得到垃圾的结论。华罗庚提出的“精统计”之“精”，反映两方面的要求，一是统计数据的真实性与准确性之“精”，通过相应的数学方法排除假数据，得到真实数据的准确统计；二是各种统计方法应用之“精”，选用恰当的统计方法，能够从“精统计”的数据中发现企业管理与生产的内在规律，从数据转化为企业管理知识，从而实现企业经营管理的统筹优化。

以华罗庚指导的攀钢提钒工艺优化中的“精统计”为例，从原始生产记录数据出发的统计方法，不仅有不同时间、不同设备型号等生产状态对指标影响的分类统计，而且有聚类分析、回归分析、时间序列分析、抽样统计和小子样统计推断等多种统计方法的综合应用。对数据深度分析的“精统计”揭示了攀钢提钒工艺完善的内在规律，从而能够在生产攻关中使工艺指标一举达到国际先进水平。“精统计”为攻克了多年未能解决的技术难题发挥了重要作用。

在今天大数据应用中，“精统计”依然是数据转化为知识，知识转化为效益的强有力工具。由此足见华罗庚“管理科学 36 字方针”的前瞻性。

5. “抓质量”中的深度数据分析技术

产品质量是企业的生命线。这是企业管理范畴的共识。华罗庚把“抓质量”作为他的“管理科学 36 字方针”的一项重要内容。华罗庚“抓质量”的主要内涵是为企业的质量管理工作递数学工具，从产品质量数据的深度分析中推进产品质量的稳定控制。华罗庚“抓质量”中优先推荐的方法是各种优选方法的应用，通过寻求提高产品质量的关键因素的优化控制，达到主动提高产品质量的目的；同时，也包括

统计质量管理方法的应用，特别是 6σ 数据的深度分析，以达到产品质量的稳定性控制。深度数据分析是华罗庚“抓质量”方针的关键技术，与专业工程师从工艺角度抓质量，两者途径不同，但是却是殊途同归。华罗庚“抓质量”的深度数据分析，包括质量数据的分布规律，质量合格率、改判率等的计算确定，改善质量的优选方案与试验数据分析，统计质量推断等方面的分析与计算。最终提出改善产品质量的建议等方面。

1980 年在攀钢 PD1 重轨质量攻关的深度数据分析中，在 3 万炉生产数据基础上建立数学模型寻求重轨拉力强度 σ_b 与重轨化学成分 [C, Si, Mn, P, S] 之间的相关关系的 5 元回归分析。但是，这种常规分析模型控制不了拉力强度 σ_b 的质量稳定性。因此建立了 σ_b 对 [C] 与 [Si]、[Mn] 合金元素控制下限的深度数据分析算法，从而把握了重轨拉力强度 σ_b 的数据分布规律，得到了“钢种现有成分设计无法达到 PD1 重轨质量百分之百合格”的结论。于是科技管理部门做出了变更钢种型号的决策，采用新的钢种生产该型号重轨。由此案例可以看到：在产品质量的管理决策中，“深度数据分析技术”提升了对产品质量控制规律的认识，从而指导质量管理的决策过程。在今天大数据的高级数据分析技术应用中，它可进一步提升在线质量管理的自动化与智能化水平。

通过对以上 5 个方面管理科学方针的“深度数据分析技术”的论述得知，深度数据分析既包含统筹优化思想与管理科学的结合，同时也包含相应的各种数学方法的广泛采用，用深度数据计算分析定量论证管理决策的科学性与可行性。至于这 5 种代表性的数学方法与深度数据分析技术之外，其他企业管理决策中需要运用的模型与方法的深度数据分析，华罗庚均以数学上的“举一反三，触类旁通”，推而广之处理。并且进一步总结为“建系统，理数据，策发展，利工具，巧计算”这 5 个方面的普遍系统建模工作思路。因此，可以说华罗庚以其数学家的思维，超前 40 年实践着企业管理决策中的深度数据分析。

综上所述，我们从华罗庚管理科学的“深度数据分析技术”中得到的启示是：管理决策问题的数学模型设计与算法设计仍然适用于今天的高级数据分析技术。而且由于当今计算机与信息技术水平大大提高，智能优化算法比传统运筹学算法也有了新的发展，因此高级数据分析技术在管理决策自动化与智能化水平上，随着计算机技术提高，提升到了一个新的阶段。

2.1.3 华罗庚“管理科学 36 字方针”中“深度数据分析技术”的综合应用

在深入学习和借鉴国外先进水平的“以机器学习与数据挖掘为基础的高级数据分析技术”之后，我们进一步研究了华罗庚“管理科学 36 字方针”中的“建系统，理数据，策发展，利工具，巧计算”这 5 个方面的系统建模工作思路。经过深入比较研究，我们可以看到华罗庚总结的这 5 方面方针，直通着大数据的高级数据分析技术的路线图。

1. “建系统，理数据，策发展”的研究路线图对比与案例分析

在当今大数据时代，先进的工业制造领域的管理决策已经进入了智能制造与智慧工厂的发展新阶段。国际上的先进代表是德国的“工业 4.0”版本，在中国，我们的奋斗目标是“中国制造 2025”。由于工业生产过程信息化与自动化技术的提高，在计算机控制的生产线上，伴随着物质生产过程也采集了海量的工艺数据。另外，计算机应用于企业经营管理，也产生了企业管理活动的大数据。如何汇总企业管理与生产工艺的大数据，通过数据挖掘和机器学习的高级数据分析技术，发现新知识，一体化地实现生产过程的制造智能化和经营管理决策的智慧化？这是大数据战略中的一个重大课题。

对此，德国人在工业 4.0 的研发中，提出了一个重要的系统建模思路，称为信息物理融合系统（cyber physical system, CPS）建模分析，也称为信息物理系统或智能物理系统。通过系统的物理关联和信息关联的结构分析，建立起智能制造与智慧管理的一体化系统。这个系统建模思路得到了学术界的广泛接受。

深入对比先进的 CPS 建模路线图和它综合解决工艺制造的智能化与管理智慧化思路，我们深入研究与思考华罗庚管理科学中的“建系统，理数据，策发展”方针及其在攀钢提钒工艺优化中的成功实践，不禁感慨华罗庚这 9 个字方针科学总结的深刻性、前瞻性和实践的指导价值。

1979 年的攀钢提钒工艺没有计算机控制和采集的数据，但是车间生产过程有完整的在线生产原始记录。按照华罗庚指导的“建系统，理数据”方针，我们不仅整理出一大批原始记录中的有效数据，按照数据分布规律清理排除假数据，而且在“理数据”基础上，建立起生产工艺流程的系统分析框图，建立

起工艺控制优化分析的信息系统——“数学物理模型图”，从而完成“建系统”工作。在“建系统，理数据”基础上展开深度的数据分析，从而发现了提钒工艺达到 90% 以上钒氧化率指标的许多新知识和规律性认识。改变了原来的“数据杂乱无章，毫无规律”的认识。在 7 个月数据深度分析基础上，攻关组写出了《运用数学方法探索雾化提钒的生产规律》的技术报告，把提钒工艺的生产操作参数、设备参数与原燃料参数与提钒氧化率指标的关系规律一一揭示出来，操作控制中的问题和管理上的问题也一一揭示出来，并且提出了相应的改善措施与科学管理决策，预测了雾化提钒工艺参数系统优化后可以达到钒氧化率 90% 以上的国际水平。从而完成了“策发展”的预测工作。在攀钢的管理决策下，不再进行实验室试验，而是直接在炼钢厂提钒车间进行在线生产试验验证这些规律。在试验期中按照技术报告阐述的规律对操作工人进行技术培训，按照优化操作要求进行生产，设备管理等方面的优化措施也逐一落实。经过 18 天的生产试验验证和后来持续的生产证明，攀钢提钒工艺的钒氧化率指标完全达到了国际先进水平。该案例的详细技术性分析将在下文论述。

通过以上“攀钢提钒工艺参数的系统优化——完善提高提钒工艺技术”案例实践过程的回顾，可以看到华罗庚“建系统，理数据，策发展”路线图可以直通今天的工业企业智能制造与智慧工厂的构建，可以衔接德国的“工业 4.0”和“中国制造 2025”的路线图。在“策发展”中，既包含着微观数学模型对生产工艺过程的计算机预测控制这一智能化技术，也包含着宏观的社会发展的统筹优化策划。华罗庚的著作《计划经济大范围最优化的数学理论》即属于“策发展”的宏观优化模型系统。

把华罗庚管理科学的“建系统，理数据，策发展”方针结合高级数据分析技术的应用，结合“中国制造 2025”复杂项目的研发，无疑具有深刻的指导作用。

2. 从当年的“利工具，巧计算”方针到今天的机器学习与数据挖掘技术

莫须讳言，在华罗庚建立“管理科学 36 字方针”的年代，中国的计算机应用于企业管理与生产过程控制的水平很低。因此华罗庚生前接触到的计算机在管理中的应用，具有前沿水平的不过是计算机自动绘制统筹图和特大型企业管理中应用投入产出模型时的复杂计算。但是华罗庚却能够以数学家的前瞻性眼光地把“利工具，巧计算”列入了“管理科学 36 字方针”之中，把握了管理科学付诸实践的核心技术。今天大数据时代的一切信息化、自动化技术进步，都与“利工具，巧计算”密切相关。所谓“利工具”，华罗庚并不仅仅只是指计算机工具。在今天大数据时代，手机也已经成为商务管理、社会管理的有效工具，大家已经习以为常。因此，华罗庚提出的“利工具”是在更广泛意义上的总结，而不是仅仅指计算机。实际上，今天的数据中心、超算计算机就是大数据处理的强大工具；而云存储、云计算及智能优化算法等新技术的发展，则是更高水平的“巧计算”。

“巧计算”对于数学家华罗庚来说，确实是其专长。在华罗庚的数学生涯中，“巧计算”的例子很多。当 20 世纪 60 年代发达国家还没有间谍卫星的时候，他根据报纸新闻中公开发布的苏联洲际导弹试验区域数据，通过“巧计算”，就把导弹发射点和导弹飞行的距离这样的绝密级数据给计算出来了。在推广优选法中，他为了让不懂优选点计算公式的人也能够掌握确定优选点的方法，曾经用长纸条作为“巧计算”的工具，通过对折纸条，确定 0.618 试验点的对称点 0.382。通过持续对折把优选法的各个试验点计算出来。在数学理论上，还有他和王元院士合作建立的多元积分巧计算的“华王方法”等。

在今天数据挖掘和机器学习的计算中，不断创新建立了各种“巧计算”的算法，完成从数据到知识发现的过程。各种智能优化算法的建立，都是引进各个自然科学学科研究的规律，建立起数学的智能算法。例如，神经网络算法源于人体神经感受原理的应用；遗传算法源于生物学“适者生存、优胜劣汰”原理的应用；模拟退火算法则源于冶金工艺过程的能量最小化原理；禁忌搜索算法则把社会科学中法律规定的回避规则转化为算法规则，等等。如果没有这些创新算法的“巧计算”，就无法解决好大数据计算中的科学分类、总结规则以及函数优化、组合优化等难题。并且在计算时间上陷于无法满足实时控制和实时管理需求的困难境地。反过来，这些创新规则的“巧计算”，如果没有计算机就无法计算下去。智能优化计算离开了计算机则寸步难行。

综上所述，“管理科学 36 字方针”中的“利工具，巧计算”，对大数据时代数据科学的发展与高级数据分析技术发展具有前瞻性的启示。作为管理科学方针，它们对建立智慧工厂和智能制造系统具有指导意义。

华罗庚“管理科学36字方针”中的“建系统，理数据，策发展，利工具，巧计算”这5个方面方针，对于指导今天的大数据应用课题的研究，具有原创性的指导作用。它的清晰思路，可以避免在新技术发展面前陷于“邯郸学步”的境地。根据笔者在特大型钢铁公司工作20年的经验，在今天钢铁企业的转型升级进程中，如何开拓大数据的应用，促进钢铁企业向着智能化生产、建立智慧车间，开发更高技术水平的工艺流程和更好质量的产品，华罗庚“管理科学36字方针”都能够发挥它的方针性指导作用，指导自主创新的管理者和科技人员不断取得转型升级的新成果。

2.2 华罗庚“深度数据分析技术”应用案例分析

2.2.1 高级数据分析技术在管理决策中应用思考

大数据技术是“以机器学习与数据挖掘为基础的高级数据分析技术”作为其技术核心，实现“从数据到知识，从知识到行动的转化”。从大数据到知识发现，这就是管理决策中的大数据战略思路。因此，在借鉴国外的一些高级数据分析技术之时，我们有必要深入解剖管理决策中的若干重要的机器学习与数据挖掘技术。然而，可惜的是，在众多大数据著作中，只能看到一般的统计对比技术的应用和新管理思路的发现。或者看到以各种学习机为主要手段的分类器，对各种不同类型的管理课题建立管理规则，然后应用于新的管理数据的决策之中。很显然，这种层次的高级数据分析，其数据挖掘的深度与企业管理中的复杂应用实际存在着巨大的差距。

大数据在管理决策中的高级数据分析技术怎么做？这是许多企业管理工作者关心的课题。本节通过攀枝花钢铁（集团）公司的重大成果中的深度数据分析技术应用情况介绍，与文献上的高级数据分析技术进行深入对比，来阐述大数据技术应用中的知识发现与创新行动。其目的也包含着发扬我国老一辈科学家的自主创新精神，去取得更深刻的大数据应用成果。避免一些人在大数据时代的科技研发中“邯郸学步”，亦步亦趋地简单模仿国外的成果。与其照搬照抄国外，不如深入理解老一辈科学家的创新精神和相关理论，理解他们40年前深度数据分析技术与创新成果，这样对我们今天在大数据时代的自主创新大有裨益。

2.2.2 攀钢完成国家科技进步奖一等奖成果进程简介

1988年，原冶金部攀枝花钢铁公司（现为攀枝花钢铁集团公司）的一项成果“攀钢提钒工艺参数的系统优化——完善提高提钒工艺技术”被评为国家科技进步奖一等奖。这是攀钢获得的第一项国家最高科技进步奖。它的技术分量显然是足以给人启示。

1. 攀钢提钒工艺的重要性与难题

攀枝花是我国的钢铁钒钛基地，其钒钛资源储量在世界上都占有显著地位，钒、钛也是国家建设的战略物资。然而钒钛的综合利用更是攀枝花开发中的技术难题。从1965年开始建设，到1978年攀钢一期工程全面投产，攀钢的“钒钛磁铁矿大高炉冶炼技术”已经居于世界领先水平，获得国家技术发明一等奖。但是，作为攀枝花资源综合利用中的另一项核心工艺——攀钢雾化提钒工艺，在关键的钒氧化率指标上与国际上其他提钒工艺（苏联的转炉提钒工艺和南非的摇包提钒工艺）相比，存在着明显差距。攀钢提钒工艺从1972年试验炉生产到1978年年底建成提钒车间，攀钢生产的钒渣，使我国从钒进口国一举变为钒出口国。提钒工艺的完善提高是攀钢现流程生产中的一项重大课题。它也是8年努力攻关未克的一道难题。

2. 提钒车间“大统筹，广优选”的深度数据分析与攻关进程

1978年，时任国务院副总理和中国科学院院长的方毅同志亲自到攀枝花，连续8年主持攀枝花资源综合利用科技工作会议，推动攀枝花的开发建设。攀钢领导根据方毅副总理和冶金部的指示，依靠科学技术是第一生产力，大力加强攀钢提钒工艺的攻关工作。在这种情况下，在攀钢自动化研究所工作的两位华罗庚教授的学生，按照公司领导指示深入提钒车间，展开了“大统筹，广优选”的攻关工作。时任中国科学院副院长的华罗庚教授，直接指导了学生的应用数学攻关。“理数据”工作的起步，就是从提钒车间搬回办公室一麻袋试验炉数据和车间生产的原始记录。由此开始了长达8个月的深度数据分析工作。

根据公司领导的批示，数学工作者参加了提钒攻关组。通过提钒车间生产现场的深入调研和不同角度的数据计算分析，理清了提钒氧化率指标与工艺参数之间的复杂关系，终于从冶金工程师感到“杂乱无章，毫无规律”数据中，总结提出了《应用数学方法探索雾化提钒生产规律》的技术报告，并且提出了

改进工艺的管理建议与实施生产优化操作的措施建议。

1979 年 12 月, 在技术报告得到冶金工程师和提钒车间主任认可后, 攀钢组织了公司科技处、设计处、钢铁研究所、提钒炼钢厂、电修厂、自动化部各方面主管领导与技术人员参加的《应用数学方法探索雾化提钒生产规律》报告会, 审查制定了 1980 年一季度《提钒攻关计划》。于是, 一场“从数据到知识, 从知识到行动”的公司管理决策和生产试验验证计划展开了。

1980 年 1 月, 根据冶金部指示, 攀钢提钒车间投入新年生产, 同时也正式开始优化操作的生产攻关试验。1 月 11 ~ 29 日, 18 个日日夜夜生产试验, 提钒生产新的原始记录与钒氧化率化验数据不断产生, 而伴随着新生产的追踪数据处理, 不断验证着生产规律, 通过在操作室的可视化数据图表, 不断传递给操作工长。以至操作工长高兴地说: 看来你们找到的规律是正确的。从而更增加了工人按照科学规律, 实施优化操作的信心。

但是, 依靠原有数据的深度分析规律性结论, 转化为工人的优化操作和车间的科学管理之后, 平均钒氧化率指标的提高遇到了“天花板”, 还没有稳定达到国际先进水平。在追踪新的生产数据深度分析中, 数学工作者应用小子样统计推断理论, 结合流体力学和冶金工艺知识, 提出关键设备雾化器还存在着新的关键参数 β 角的假设, 进行了差异显著性检验, 证明了雾化提钒工艺存在新的关键参数。通过生产过程的新数据处理, 计算推导出了新的知识发现, 得到车间主任的肯定和支持。他在组织完成钒氧化率车间生产计划之后, 进一步组织了新工艺参数 β 角的正反两面生产验证, 并且优选了 β 角的控制范围。由此取得了提钒工艺完善, 提高钒氧化率攻关的突破性进展。

至此, 雾化提钒通过深度数据分析技术, 由数据到知识, 由知识发现到新的管理决策行动, 使提钒生产攻关试验取得了圆满成功。钒氧化率指标达到 90% 以上, 达到国际先进水平。深度数据分析技术对提钒规律的认识, 也深刻地丰富了雾化提钒的工艺理论。

经过提钒车间 8 年生产验证和工艺完善提高, 1988 年“攀钢提钒工艺参数的系统优化-完善提高提钒工艺技术”成果, 经过冶金部评审推荐申报了国家科技进步奖一等奖。主要完成人为攀钢和中国科学院应用数学研究所的科技人员, 包括刘祥官、李吉鸾、陈岐、伍礼成、胡文淦、徐伟宣、徐忠玲、陈德泉和华罗庚。公司参与攻关的两位主要领导黎明和韩国宾, 因他们分别被提拔为冶金部副部长和攀枝花市委第一书记, 而没有列入主要完成人。

2.2.3 深度数据分析技术与当今高级数据分析技术的比较研究

考虑到攀钢提钒工艺作为企业的知识产权和技术秘密, 应当予以保护的需要, 本部分的详细技术性比较研究所涉及的图表和数据, 均引用 1983 年第 2 期《运筹学杂志》上公开发表的论文“最优化方法在雾化提钒中的应用”中的图表。其工艺数据做了保密处理。现在我们用新的大数据视角重新审视的目的, 只是为了证明华罗庚管理科学的深度数据分析技术早在 30 多年前就已经应用在复杂冶金工艺优化的管理决策中。今天我们应用高级数据分析技术, 完全可以在此基础上做出更高的管理决策水平。

1. “建系统, 理数据”方针与提钒工艺的数学建模

1) 建立工艺流程的模型框图。复杂的提钒工艺过程用工艺流程框图来表达物质流的加工过程 (如图 1)。它的作用如同统筹图, 分析生产过程的主要设备、设备与操作室之间的衔接关系、物质流生产过程的设备与控制关系, 从而理清物质生产过程的来龙去脉。这样简化的工艺流程模型框图对于我们建立一个恰当的系统分析数学模型框图, 是十分重要的。

2) 建立工艺流程物质流与信息流两者合一的数学物理模型框图。数学物理模型框图如图 2 所示。即建立一个物质流与信息流联系在一起的统一的数学物理模型系统。其作用是在进行信息流优化分析的同时, 也就确定了冶金生产过程物质流的优化控制。这就是由原燃料参数、设备参数、操作参数与系统指标组成的数学物理模型框图。

显然, 这样的数学物理模型设计与当前流行的 CPS 的原理是相通的。

图 2 中的各项可控参数及指标的变动范围见表 1。