

MOAR

系统节能理论与技术应用

瞿英杰 张翮辉 张智勇 瞿思危 著

*Mora system energy saving theory
and technology application*



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

MOAR

系统节能理论与技术应用

瞿英杰 张翮辉 张智勇 瞿思危 著

常州大学图书馆
藏书章

*Mora system energy saving theory
and technology application*



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

MOAR 系统节能理论与技术应用/瞿英杰等著.

—长沙:中南大学出版社,2016.12

ISBN 978-7-5487-2649-4

I. M... II. 瞿... III. 节能-研究 IV. TK018

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 299720 号

MOAR 系统节能理论与技术应用

瞿英杰 张翮辉 张智勇 瞿思危 著

☐责任编辑 刘颖维

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙鸿和印务有限公司

☐开 本 720×1000 1/16 ☐印张 18.25 ☐字数 364 千字

☐版 次 2016 年 12 月第 1 版 ☐印次 2016 年 12 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-2649-4

☐定 价 128.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

作者简介

About the Authors

瞿英杰，1964 年生，湖南山水节能科技股份有限公司董事长兼总经理，毕业于湘潭大学工业自动化专业，MOAR 系统节能理论创始人，长沙市节能服务协会会长。曾作为流体节能技术资深专家主持参与《泵类系统电能平衡的测试与计算方法》和《节能量测量与验证技术要求泵类系统》等多项国家标准的修订起草，累计申请专利并获得授权十余项，发表论文近 10 篇，其中 SCI/EI/ISTP 收录 3 篇。

张智勇，1973 年生，湖南大学 EMBA 毕业，主要从事水泵及水系统能效优化和工程应用工作，具有 20 余年的行业研发和管理经验。

张翊辉，1987 年生，中南大学能源科学与工程学院博士研究生，主要从事计算机多物理场仿真和流程工业节能研究，累计发表论文 20 余篇，其中 SCI/EI 收录近 10 篇；获得专利授权 10 余项，其中发明专利 2 项。

瞿思危，1989 年生，毕业于加拿大多伦多大学能源工程专业，获学士学位，现任安永公司高级咨询员，主要从事能源与重工业制造领域运营优化项目。

前言

Foreword

大量统计数据表明,目前我国流体输送系统(含热交换系统)的平均能源实际使用率只有 25%~35%,当然工业系统中能效的高低取决于技术前沿的先进程度,但现代科学技术已经可以使流体输送系统的能源使用率无限地接近于 70%。

在国家与市场的双重施力下,MOAR 系统节能理论得以催生,这一理论作为一种流体输送系统节能的方法论,是以湖南山水节能科技股份有限公司(股票代码:430573)董事长瞿英杰先生为首的专家团队于 2007 年首次提出的,这一理论以系统最终需求为约束条件,包含流体输送机械、管网系统、调节设备、换热设备和自动控制系统的全系统优化的实现方法和思想体系。

MOAR 系统节能理论是关于流体输送科学体系的一般研究方法的理论,具有探索流体输送相关科学的设计、优化和实施各环节实现方法的一般结构,阐述它们的发展趋势和方向,以及研究各相关子系统和元素中各种方法的相互关系问题。

MOAR 系统节能理论是狭义方法论中的一个分支,采用了诸如观察法、实验法和数学方法等一系列的传统手段,也包含了控制论方法、信息方法和系统方法等新的研究手段,并构建以科学思维作用于流体输送科学中的基本原理和形式。

在瞿英杰的带领下,湖南山水节能科技股份有限公司组织了一批技术人员对公司 20 余年流体系统节能领域的行业经验进行了梳理和总结,并参考了国内外的最新研究成果,最终完成本书。本书包括三大部分的内容:第一部分为理论介绍篇,主要介绍了 MOAR 系统节能理论的定义及其应用基础,以及 MOAR 系统节能理论在水系统节能中的应用;第二部分为技术组成篇,主要介绍了在 MOAR 系统节能理论指导下的各种流体节能技术,这

包括湖南山水节能科技股份有限公司独家开发的系列核心技术,也包括近期行业中新涌现的一批先进节能技术,例如石油化工行业的系统节能技术,都可以归纳在 MOAR 系统节能理论的研究框架之内;第三部分为水系统应用篇,主要以工业循环冷却水系统为研究对象,介绍 MOAR 系统节能理论对水系统节能的指导意义。

全书由瞿英杰主持撰写,张翮辉博士负责全书统稿和文档整理工作,张智勇、瞿思危先生分别从不同角度对 MOAR 系统节能理论的创立、完善和发展作出了贡献。另外,湖南省流程工业节能重点实验室常务副主任、中南大学能源科学与工程学院副院长邓胜祥教授对本书的撰写提出了宝贵的指导意见。本书可以作为石化、化工、钢铁、电力和自来水等流程工业节能领域研究人员、教师、研究生和高年级本科生的教学与学习用书,也可以成为系统节能相关领域设计与项目实施人员的参考资料与培训教材。

限于编者水平,且时间仓促,书中难免存在纰漏之处,望广大读者给予指正。

著 者

2016 年 5 月于山水节能九华工业园

目 录

Contents

上篇 理论介绍

第1章 绪 论	(3)
1.1 流体系统节能概述	(3)
1.2 MOAR 的定义	(5)
1.3 MOAR 的基本结构	(6)
1.4 MOAR 视角下的系统效率	(9)
1.5 MOAR 的应用步骤	(11)
1.6 MOAR 与 DCS 的关系	(20)
1.7 水系统节能中的常用方法	(21)

中篇 技术组成

第2章 MOAR 核心技术	(29)
2.1 循环水系优化技术	(30)
2.2 流体系统现场监控仪	(35)
2.3 动态管网平衡调整技术	(38)
2.4 在线可调叶片泵	(41)
2.5 热流体系统仿真技术	(53)
2.6 CFD 仿真技术	(54)
2.7 AS 高效节能水泵	(62)

2.8	ERP 生产管理系统、PDM 产品数据管理与节能服务	(67)
2.9	再制造技术简介	(71)
2.10	专利技术	(73)
2.11	小结	(74)
第3章	石油、石化工业的系统节能技术	(75)
3.1	概述	(75)
3.2	石油、石化行业的节能形势	(75)
3.3	MOAR 在石油、石化节能中的应用举例	(78)
3.4	小结	(91)
第4章	流程工业的余热利用	(92)
4.1	工业余热简介	(92)
4.2	余热的利用方式	(92)
4.3	余热利用技术	(97)
4.4	小结	(101)
第5章	流体输送系统的余压利用	(103)
5.1	概述	(103)
5.2	余压转化为机械能	(103)
5.3	余压转化为电能	(107)
5.4	小结	(115)
第6章	变频技术及其在风机水泵调速中的应用	(116)
6.1	概述	(116)
6.2	变频器的基本概念及分类	(116)
6.3	电机的调速原理与变频调速技术	(119)
6.4	风机的变频节能原理	(121)
6.5	风机变频改造节电量计算	(123)
6.6	变频器的结构组成与系统功能	(133)
6.7	某钢铁厂除尘风机的变频改造项目案例	(139)
6.8	小结	(145)

下篇 水系统应用

第 7 章 工业循环水系统的 MOAR 应用	(149)
7.1 前言	(149)
7.2 循环水系统节能视角的 MOAR 阐述	(150)
7.3 工业循环水子系统组成及其节能	(154)
7.4 应用实践	(155)
7.5 小结	(162)
第 8 章 循环水系统节能的评估与节能优化	(163)
8.1 概述	(163)
8.2 循环冷却水系统简介	(163)
8.4 循环水系统能耗分析	(167)
8.5 循环水系统节能技术	(170)
8.6 小结	(182)
第 9 章 工业循环冷却水四大子系统的节能服务途径	(184)
9.1 概述	(184)
9.2 研究边界与内容	(185)
9.3 系统节能的主要服务路径	(191)
9.4 小结	(203)
第 10 章 工业循环冷却水系统的给排水管网系统优化	(204)
10.1 概述	(204)
10.2 工程优化简介	(204)
10.3 图论和遗传算法在给排水管网中的应用	(210)
10.4 给排水管网的节能优化与可靠性分析	(212)
10.5 小结	(214)
第 11 章 钢铁厂各主要工艺及循环水系统水量的精确计算	(215)
11.1 概述	(215)

- 11.2 钢铁厂主要工艺用水概述 (216)
- 11.3 钢铁厂各主要工艺循环水系统水量精确计算分析的
数学建模 (219)
- 11.4 小结 (227)
- 第 12 章 冷却塔冷却能力评估及其强化措施 (229)**
 - 12.1 概述 (229)
 - 12.2 冷却塔的基础知识 (230)
 - 12.3 冷却塔的性能测试 (232)
 - 12.4 冷却塔的热力计算及冷却效果评估 (235)
 - 12.5 冷却塔改善方法 (239)
 - 12.6 冷却塔改造的节能收益 (253)
 - 12.7 小结 (254)
- 第 13 章 热轧时轧辊喷水冷却过程的计算机仿真及优化设计
..... (255)**
 - 13.1 概述 (255)
 - 13.2 轧辊喷水冷却过程的流体行为仿真研究 (257)
 - 13.3 喷水管优化方案 (268)
 - 13.4 优化前后的冷却效果对比评价 (272)
 - 13.5 优化前后热应力分布的对比评价 (274)
 - 13.6 小结 (276)
- 参考文献 (278)**



第1章 绪论

1.1 流体系统节能概述

1.1.1 流体系统节能的含义

长期以来,系统概念的定义和其特征的描述尚无统一的定论。所以对于流体系统,我们只能以一般工业中常用的方式和一贯的方法进行定义。流体系统是以流体(液体和气体)的属性为依托建立的人工系统;以人工或自然的方法使流体闭式循环或开式循环为手段实现某种特定的目标;由一群有关联的元件组成,根据预先编排好的规划工作,达到服务于生产或生活的目的。整个流体系统必须是由相互作用、相互依赖的若干组成部分(子系统)或元件结合而成的具有特定功能的有机整体,并且这个流体系统又是它从属的更大系统的组成部分,流体系统可以分为:设备集(硬件)、流程集(软件)、元件和组分之间的联系集三个子集。

流体系统节能(fluid system energy saving)是以利用流体(流体是气体和液体的总称)属性为依托建立的服务于生产或生活的人工系统,在设备集、流程集、元件和组分之间的联系集中进行优化,尽可能地减少能源消耗量,生产出与原来同样数量、同样质量的产品;或者是以原来同样数量的能源消耗量,生产出比原来数量更多或数量相等质量更好的产品。

1.1.2 流体系统节能的边界条件

要研究流体系统节能,就必须分析其外延的边界,也就是研究对象的输入、输出条件。流体系统节能外延边界是根据所研究的具体对象而确定的,一般有以下几种确定的方法。

(1) 常规边界(狭义边界)

一般情况下流体系统是指整个生产流程中的某一套形成了开放式循环或内部循环的相对独立并可被区分的流体设备集,而流体系统节能就是这个设备集的能源投入与产出(功能)效果的优化活动;我们把投入理解为输入,产出理解为输出,那么一切包含在输入与输出之间的所有设备集(硬件)、流程集(软件)、元件和组分之间的联系集,都属于本流体系统,它们与输入、输出条件一起构成了常规流体系统,所以输入、输出条件就是这个流体系统的常规边界。

常规边界中输出条件(功能)一般是流体力学参数,例如:压力、流量等,也可能是对某个生产设备的服务效果,例如冷却(加热)温差、燃烧效率等。

(2) 广义边界

在实际工程应用中,由于项目要求可能必须要对范围进行扩充,比如在钢铁和化工行业进行流体系统节能时,可能项目要求与产量相关。在这种情况下由于输出条件的变化——输出条件(功能)由对某个生产设备的服务效果变成了产量,所以必须包括输入的能源到产量这个边界中所有的设备集(硬件)、流程集(软件)、元件和组分之间的联系集,要控制的组分及关联的数量扩充了很多,它们与输入、输出条件一起构成了广义流体系统;我们把这种情况定义为流体系统的广义边界。

(3) 微观边界

流体系统节能效果取决于元件和组分的能效、元件和组分之间的联系能效,还包括整个系统的流程能效,另外还有更高层面的管理能效;在研究过程中我们往往只能进行分层研究,比如汽轮机高效点及其分布状态研究,在这样的研究过程中,输入条件为进口蒸汽压、背压、蒸汽流量、进口蒸汽温度,输出条件则为汽轮机的转速和转矩,包含的范围就是汽轮机及其附属设备。

以上的研究范围实质上还是一个流体系统,不过它的范围变小了,其中所有的设备集(硬件)、流程集(软件)与输入、输出条件一起构成了微观流体系统,也是我们所说的常规系统中的一个组分(子系统),我们把这种边界叫作微观边界。

(4) 渺观边界

在研究汽轮机这个流体系统时发现,必须对汽轮机的级间密封装置进行进一步研究,以提高其效率。那么我们要成立一个新的研发项目,研究的对象是汽轮机多级叶轮之间的密封装置及其泄露情况;输入条件为上级蒸汽压、下级蒸汽压、轴颈、蒸汽物化属性,输出则为泄露量和两端压降。研究范围实质上还是一个流体系统,不过它的范围更小了,其中所有的设备集(硬件)、流程集(软件)与输入、输出条件一起构成了渺观流体系统,也是我们所说的常规系统中的子系统的子系统,我们把这种边界叫作渺观边界。

1.1.3 流体系统仿真技术

(1) 系统仿真

所谓系统仿真,就是根据系统分析的目的,在分析系统各要素性质及其相互关系的基础上,建立能描述系统结构或行为过程的、且具有一定逻辑关系或数量关系的仿真模型,据此进行实验或定量分析,以获得正确决策所需的各种信息。

系统仿真的基本方法是建立系统的结构模型和量化分析模型,并将其转换为适合在计算机上编程的仿真模型,然后对模型进行仿真实验;由于连续系统和离散(事件)系统的数学模型存在很大差别,所以系统仿真方法基本上分为两大类,即连续系统仿真方法和离散系统仿真方法,流体系统仿真技术采用连续系统仿真方法。

在以上两类基本方法的基础上,还有一些用于系统(特别是社会经济和管理系统)仿真的特殊而有效的方法,如系统动力学方法、蒙特卡洛方法等。系统动力学方法通过建立系统动力学模型(流图等)、利用 DYNAMO 仿真语言在计算机上实现对真实系统的仿真实验,从而研究系统结构、功能和行为之间的动态关系。

(2) 流体系统仿真的主要工具软件

目前市面上有多款关于流体系统仿真的软件,各有不同的技术优势,按以上的边界分类可以分为两类。

①常规系统类:主要包括热流体系统仿真软件 Flowmaster、流体网络系统仿真软件 THLF、管网流体仿真软件 PipeNet、流体散热系统仿真软件 Icepak 以及通用型仿真软件 Matlab/Simulink 等。

②微观系统类:主要包括三维计算流体力学软件 CFX、Fluent、Phoenix、STAR-CD 和 Numeca 等。

1.2 MOAR 的定义

流体系统节能可以通过以下四个基本途径来实现:

- ①M(Management), 管理系统运行。
- ②O(Optimization), 优化工艺需求。
- ③A(Adjustment), 调整能量供给。
- ④R(Rise), 提升元件能效。

由上述四个途径的英文首字母构成“MOAR”, MOAR 系统节能理论以获得国

家发明专利授权的(专利号: ZL2012 10108862.7)“一种工艺循环水系统的优化方法”为核心,结合应用行业工艺数据库,可通过后台云计算方式为用户合理调度系统给予决策支持。

下面简单地介绍 MOAR 系统节能理论的基本思想,并且以一般化工行业冷却循环水系统为例加以说明。MOAR 系统节能理论以下简称 MOAR。

1.3 MOAR 的基本结构

MOAR 的基本结构如表 1-1 所示,整个体系架构如图 1-1 所示。

表 1-1 MOAR 的基本结构

实现路径	实施原理	能效提升*	核心技术	平台技术
管理系统运行(此项属于增值服务,如有需要另行协商)	以协调和提高全系统能效作为系统调度质量指标;通过对现场实时监测、由运营中心的专家系统提出建议调度方案,现场运行主管进行调度决策,完成调整,以实现系统处于最佳能效状态运行的目的	5% ~ 10%	①利用流体输送动态方程优化解算 ②现场监控仪 ③管网动态仿真技术	①物联网技术 ②流体输送系统技术经济学 ③移动互联网技术 ④远程数据采集技术 ⑤DCS 系统设计技术
优化需求参数	全面理解生产工艺要求,精确调整系统中用水单元的需求,降低冗余浪费	10% ~ 20%	①数据统计与间断函数分析技术 ②自适应调节阀	①相关行业产品及工艺数据库 ②换热装置节能产品数据库 ③除尘设备节能产品数据库 ④自适应调节阀设计、制造技术
动态调整供给配置	调整和改善工艺流程需求和供给子系统之间不匹配造成的能效降低	5% ~ 15%	①管网动态仿真技术 ②(需求驱动)变量供水控制系统 ③在线可调叶片泵	①流体输送节能产品数据库(泵、风机、压缩机) ②复杂配送系统建模及优化技术 ③变频器设计、生产技术(外协合作) ④可调泵设计、制造技术

续表 1-1

实现路径	实施原理	能效提升*	核心技术	平台技术
提高元件能效	提高用能元件的实际运行能效, 运用再制造技术降低能耗	10% ~ 15%	① CFD 仿真技术 (含汽蚀分析) ② AS 系列高效水力模型 ③ 冷却塔提效改造技术 ④ 零件强度、振动仿真分析 ⑤ 换热器换热效率优化技术	① 水力机械设计、生产技术 ② 流体输送机械优化设计技术 ③ 主要水力部件快速精密成型技术 ④ 风机产品设计、生产技术 (外协合作) ⑤ 换热器优化设计、制造技术 (外协合作)

* : 以上能效提升率不能简单叠加。

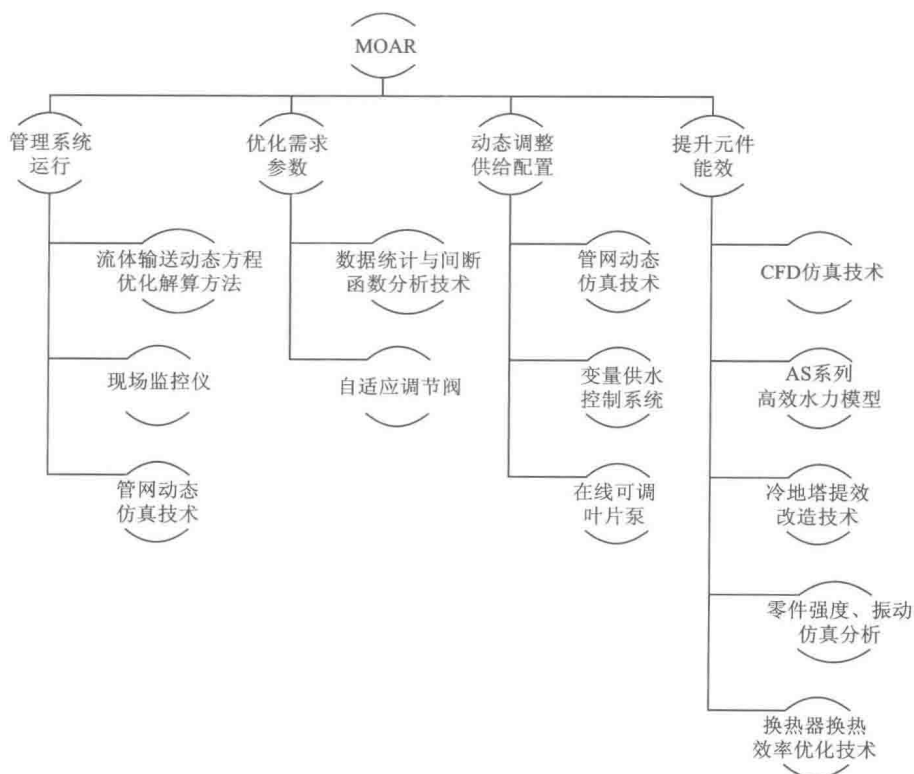


图 1-1 MOAR 的体系架构