

电动机 及其系统的节能技术

袁天祥 编著



化学工业出版社

电动机及其系统 的节能技术

袁天祥 编著

化学工业出版社

内 容 提 要

本书运用系统工程观点,阐述了系统节能的意义、方法;系统的介绍了电动机及其负载系统的各种节能技术、措施,具体的节能和节能计算方法;并从系统节能角度出发,对系统中各个环节(包括电动机、机泵、压缩机、传输机械、车削设备等)的特性、影响功耗的因素,应该采取的措施作了详细的阐述和分析。并列有大量经生产实践考验、行之有效的系统节能新技术应用实例,收集大量实用数据,供读者借鉴和仿照。

本书可供从事节能工作和从事工艺、机械电气设备的选型、设计的工程技术人员、工人同志阅读,也可作为大专院校学生的参考用书和各种节能培训班教材。

全书由余根舜副教授审校,并得到浙江大学许大中教授的帮助。

电动机及其系统的节能技术

袁天祥 编著

责任编辑:朱振东

封面设计:季玉芳

*

化学工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

*

新华书店北京发行所经销

开本 $787 \times 1092^{1/4}$ 印 116^3 插页1 字数387千字

1991年11月第1次印刷 1991年11月第1次印刷

印 数 1—2,500

ISBN 7-5025-0913-5/TP·26

定 价 10.30元

前 言

能源是实现我国四个现代化的物质基础，能源的紧缺已经成为制约我国经济和社会发展的一个关键因素。因此，在今后一个相当长的时期内，要开展以节能为中心的技术改造工作，在近期特别要抓紧节油、节煤和节电。但是在当前的节能技术改造工作中，由于缺乏系统节能观点，特别因受专业的影响和缺乏对负载系统的特性分析及对系统中各环节的统一性认识，使得在实际节能工作中，往往只考虑本专业的设备效率，而不从系统分析着手，从而影响了节能工作的深入发展。实际上大量的能量损失，不是在于单台设备效率不高，而是在于组成系统的结构不合理，或环节间相互影响所造成。为了使节能工作向深度和广度发展，需要寻找一种更为有效和更为科学的节能思路和方法。

系统工程是近几年才兴起的一门新兴学科，应用系统工程理论的系统节能技术，将为我们提供一种与传统节能方式完全不同的思考方法。它是把由各个环节所组成的系统当作一个整体来对待，并从整体出发，来研究系统内部各个环节的特性、相互间的关系及外部系统对它的影响。它着重于整体效益，而不局限于追求单台设备效益。根据系统的观点，组成系统的各个环节虽然都好，或者都采用高效率设备，但是由于系统的结构不合理或要素间相互制约的影响，作为整体，不一定具有良好的功能，达不到预期节能的目的；反之，系统中各环节尽管不完善，但是通过合理的调节、综合、统一，可以使系统成为一个具有良好的功能，以较少的投资，取得较好的节能效

果。因此在分析和制定节能技术措施时，只有着眼于系统总体效益，不局限于追求单台设备的最好效率，才会有显著的节能效果。

本书的目的，在于运用系统工程观点，结合石油化工企业的特点，阐述系统节能的方法，分析各类负载的特性，影响功耗的因素，介绍各种节能技术，通过大量的实例，使读者确立系统节能观点，有效解决当前节能技术改造工作中的问题，并总结、推广系统节能的新技术和应用成果，使读者在实际工作中得以启发和借鉴。

本书第一章着重介绍了系统节能概念、意义和节能的潜力、途径以及系统的基本分析思考方法。第二、三、四章中，针对石油化工企业的特定的功能系统，对组成系统的各个子系统包括电动机、负载系统、调节系统等特性，相互间的关系及其对系统的影响进行了分析，并对提高各环节本身的效率，如电动机节能技术等作了较全面的介绍，使读者全面了解影响系统效率的各个因素，掌握系统的节能技术，并能针对具体系统有选择地制定节能措施，以求得最佳节能效果。书中第五章从系统角度总结了提高系统效率的基本措施，最后通过大量实例，为读者介绍一系列实际经验，以便读者参照办理。

本书观点新颖，材料丰富，以实用为主，相信对读者会有一定帮助，只是作者知识浅陋，可能达不到预期目的，错误也在所难免，敬请读者批评指正。

本书编写过程中得到许大中教授的帮助，书中部分实例参阅了中国石化总公司节电技术交流资料，本书的出版还得到杭州石化公司的支持，在此一并表示诚挚感谢。

作者一九八八年十一月

目 录

第一章 系统节能概述	1
第一节 系统节能概念与系统分析方法	2
一、系统的概念	2
二、系统节能思想和系统分析方法	13
第二节 系统节能的潜力和途径	16
一、系统中电能的损失与节约	16
二、系统节能的基本途径	18
第三节 系统节能的意义	23
第二章 负载系统的运行特性及节能的基本技术措施	31
第一节 负载系统概述	31
一、概述	31
二、负载系统的分类和特点	32
第二节 管网系统的运行特性及节能基本方法	35
一、管路的压头损失及计算	35
二、管路的损失分析	38
三、管网的运行特性与调节方法	43
四、减低管网阻力的途径	45
第三节 泵类负载的基本参数和运行特性	48
一、泵的简单工作原理和种类	48
二、泵的基本参数和影响泵功耗的主要因素	49
三、泵的特性曲线	61
四、运行参数变化对泵性能的影响	63
五、泵的运行特性和性能调节	68
第四节 风机类负载的基本参数和运行特性	72

一、概述	72
二、通风机的基本性能参数及特性	76
三、压缩机的基本参数和运行特性	82
四、风机类设备的各种调节方法及调节损失分析	91
第五节 机泵类负载系统的节能途径、基本方法及实例	99
一、机泵类负载的节能潜力	99
二、机泵类负载系统的节能思路和基本方法	109
三、节能措施应用实例	125
第六节 制冷负载系统及其设备的运行特性和节能	
基本方法	130
一、有关制冷的几个基本概念	131
二、活塞式制冷压缩机的工作原理、主要参数与特性	135
三、制冷工况变化对制冷系统的影响及节能的基本方法	145
第七节 传输机械与机床设备负载系统的运行特性、	
节能途径与基本方法	157
一、传输机械和机床设备的负载特性及影响负载功耗	
的主要因素	157
二、恒转矩负载的运行特性	162
三、节能途径与节能基本方法	167
第三章 各种运行方式下电动机的性能实用计算及	
基本节电技术	174
第一节 电动机正常运行时的特性及损耗实用计算	175
一、三相异步电动机的特点、简单工作原理	
及基本用途和种类	175
二、电动机的额定参数与额定运行	177
三、电动机的正常运行特性参数及损耗计算	183
第二节 电动机运行条件变化对电动机性能的影响及计算	206
一、负载变化对损耗、效率、功率因数和转矩的影响	207
二、电压变化对电动机性能的影响	216

三、频率变化对电动机性能的影响	232
第三节 电动机的基本节电技术及应用效果	238
一、电动机星-三角 (Y/ Δ) 转换变压运行 的节电技术	239
二、小容量电动机串接可调电抗器自动调压的节电技术	249
三、可控硅调压的节电技术	253
四、功率因数控制器——随功率因数变化自动调节 定子电压的节电技术	256
第四节 几种高效电动机的合理选用及效果	262
一、节能产品电动机——Y(P44)系列电动机	262
二、高效率电动机的合理选用	269
三、节能电动机与节能型电动机的选用	273
四、高效率电动机的节能和经济效益计算	275
五、高效电动机的应用场合	282
六、电机的IP、IC、IM国际标志简介	284
第五节 加强电动机运行管理的节能措施	286
一、电压管理	286
二、保持电动机有较高的负载率	287
三、功率因数管理	294
四、加强电动机的定期维护	296
五、计量管理	296
第四章 系统调节与变速调节的节能技术及系统效率	
分析计算	301
第一节 系统及系统调节概述	301
一、几种典型的基本系统	303
二、系统调节的必要性和种类	305
三、调节的质量指标与调节节能	307
第二节 改变转速的几种系统调节法及节能效果	312
一、改变电动机极对数的调速系统	313

二、变极调压调速系统	320
三、可控硅串级调速系统	325
四、异步电动机的变频调速系统	342
五、无换向电动机调速系统	353
六、电磁转差离合器调速系统	357
七、液力偶合器调速系统	364
第三节 系统各种调节方式对系统效率的影响	376
一、概述	376
二、调节方式对系统效率影响的分析	378
第四节 系统效率的分析计算	391
一、系统效率和电能平衡的概念	391
二、电能平衡的方法与系统效率分析计算	401
三、电平衡计算及系统效率分析举例	407
第五章 提高系统效率的节能措施与系统节能实例分析	413
第一节 提高系统运行效率的一般措施	414
一、系统节能措施制定的一般步骤	414
二、提高系统功能元件的方法更新改造和合理选择	420
三、合理选用系统变速调节的节能技术	427
第二节 系统节能实例分析	444
一、油品冷却系统实现自动调节的节能措施及分析	444
二、锅炉引风调节系统采用变速调节提高锅炉热效率	454
三、变速调节在供水系统中的应用与节能效果	458
四、曝气机采用串级调速调节的节能效果	465
五、大型交流电机调速装置的节能实例	473
六、活塞式压缩机制冷系统的能量调节损失及节能途径	481
附表	491
附图	526
参考文献	527

第一章 系统节能概述

在工矿企业的节能技术改造工作中，人们还习惯于只去研究如何提高生产装置中单台设备的性能和运行效率，特别因受专业的局限，还往往只考虑本专业有关的设备效率。例如，电气专业只考虑如何提高电动机的效率；机械专业只着眼于机械设备的更新改造；工艺则只筹划工艺的技术进步等，而很少从整个系统分析着手。实际上任何一个生产过程或生产装置，总是由各类设备，包括电气的、机械的、仪表的等有机组合起来并协调工作的；而且它们又是相互关联、相互制约的。因此孤立的去研究系统中某一个单体设备，不仅节能效果有限(例如，用高效YX型电动机代替JO₂型电动机，额定效率只能提高2~4%；即使采用各种电动机节能控制器，也只能把电动机的运行效率再提高2~3%)，而且有时某些节能措施还可能对装置中其他设备或生产过程产生不良影响，因而就整个系统来说，这种节能措施可能是无效的。

大量事例分析表明，能量损失往往不是由于单台设备效率不高，而是在于组成系统的结构不合理、设备不配套或环节间相互影响所造成。有时组成系统的各个单台设备可能都是高效低耗的先进设备，但由于结构不合理或者在运行、调节过程中设备间相互制约的影响，就整体来说，可能效率很低，造成的损失要比单台设备所造成的损失严重几倍甚至几十倍；反之，有时组成系统的各个设备效率可能不高，但是通过合理的综合、统一、调节却可以大大提高系统的效率，以较少的投资取

得较好的节能效果。因此在分析和制定节能技术措施时，必须树立系统节能观点，运用系统分析的方法，着眼于系统的总体效果，而不局限于追求某单台设备的最佳运行状况，这是节能工作能否向深度和广度发展的关键。

为此，必须掌握和运用系统工程学的理论，去研究、解决系统的节能问题。本章首先将对系统的概念，特征，系统的基本思想，分析方法及系统节能的意义、潜力、途径作简要介绍。

第一节 系统节能概念与系统分析方法

一、系统的概念

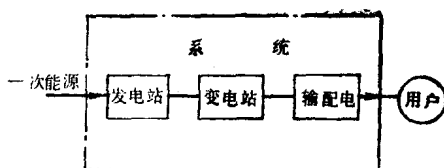
1. 系统的含义

系统是我们经常使用的一个名词，例如我们常说的化工系统、炼油系统，一个工厂的生产系统、工艺过程系统等等。那末系统真实的含义是什么呢？实际上系统可以看作是一个由一些不同部分（环节）有机结合的综合体，它包含有几层意思：一是系统是由一些不相同的部分或环节结合而成的一个综合体或整体。例如一个化工厂的生产系统，它是由管理系统、销售系统、工艺过程系统、动力系统等这样一些不同的部门或环节所组成的综合体。另一层意思是这些部门或环节既不能脱离整体独立存在，在系统中也并不是孤立的，它们之间是相互关联又相互制约的，任何一个部门出问题，相互间都会受到干扰，并影响整个系统的正常运转。从上面所举例子中还可看出，构成系统的这些部门或环节本身也可以自成一个较小的系统；这个小系统还可以由更小的系统或只是由一群设备（设备群）或单台设备所构成。如上面所说的生产系统，是由诸如过程系统、动力系统等这样一些较小的系统所组成，而其中较小的系

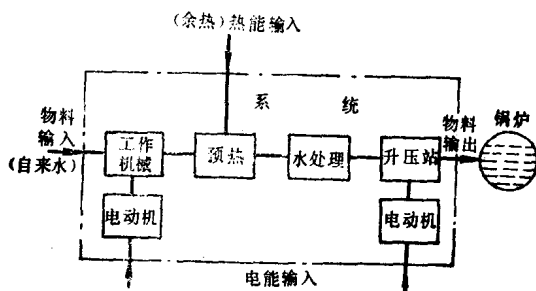
统则又是有供气、制冷、供电、给水等一些更小的系统所组成；对一个更小的系统来说，如给水系统，就只有电动机、水泵、管道、阀门、容器以及被输送的流体等这样一些设备群和被加工物料所组成。这些单个的设备，我们把它看成是构成系统最小的基本单元。由几个基本单元组成一个基本系统；几个小系统构成一个大系统，这样，整个系统形成了一个层次的结构。

系统另外还有一层意思是它的目的性或者说它的功能。每个系统都有它自己特定的功能，所谓系统的功能是指系统与外部环境相互联系和作用过程的能力。它表示系统与外部间物质、能量和信息的输入、输出的变换关系。理解了上面这三层意思，我们就可以对系统下一个比较明确的定义：系统是由若干个相互作用和相互依赖的要素（环节）有机结合而成具有特殊功能的整体。同时我们把组成该系统的一些较小的系统称为该系统的子系统；把组成系统的最小单元，或者说，为了分析系统的目的而定义的具有特定功能的最小单元，如电动机、机泵、管阀等单台设备称为组成系统的最小功能元件，在一些系统工程的专业书上把它称为“要素”。

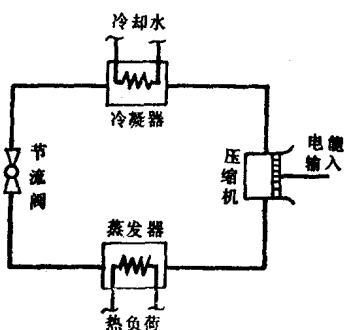
依据这一概念，我们可以看到，在工矿企业中任何一个生产装置或工艺过程，都可以看成是一个系统，都是由一些环节或功能元件有机组合在一起并具有特殊功能的整体；这个整体在完成某项操作或实现某个生产过程时，都是由这些功能元件联合、并相互协调地完成的。例如输电系统，从发电厂把电能输送到用户，是经过发电机发电、变压器变压、输电线传输、分配这样一些环节协调动作，才能完成把电能输送到用户的任务，如图1-1(a)，再如锅炉的给水系统，把常温常压的自来水，经过预热、软化、除氧、升压变成具有一定温度和一定压



(a) 电力传输系统 (开口系统)



(b) 锅炉给水系统



(c) 压缩机制冷系统 (封闭系统)

图 1-1 几种系统示意图

力的软化水进入蒸汽锅炉，完成锅炉给水任务，如图1-1(b)，类似的，压缩机制冷系统，它把低温低压的氨蒸气，经压缩机压缩做功，变成高温高压的氨气，再经冷凝换热冷却，变成液体氨，然后经节流阀调节、蒸发器蒸发吸热，再变成低温低压的氨气，吸入压缩机，完成一个循环，达到制冷的目的等，如图1-1(c)。图(a)、(b)称为开口系统，后者称为闭口系统。

由图还可看到，系统的功能不同，组成系统的环节或设备是不同的。这些设备各有各的功能，如发电机发电，变压器变压，电动机把电能转换为机械能，机泵设备又把机械能转换成流体的压力能等。系统的功能就是通过这些设备各自的功能协调地工作实现的。但系统中这些设备并不是简单凑合起来的，每个设备也不具备系统的功能，无论是压缩机还是蒸发器都不可能单独具有制冷的能力，它们只能互相依赖、有机结合在一起，并通过特定的操作才能完成预定的目的，同时这些环节又各自会对系统及相互间产生影响。因此，任何一个装置分析起来都是由这样一些相互作用和相互依赖的元件结合而成的一个具有特殊功能的综合体。通常把这些设备称为“硬件”，把通过合理协调达到预定的目的称为“软件”，故系统又可以说是一个具有“硬件”和“软件”的综合体。我们把具有特定功能元件有机组合起来具有特定功能的系统，称为特定功能系统。如上面所举的电力传输系统，锅炉给水系统、压缩机制冷系统等等。

2. 系统范围和系统最小单元的确定

系统是我们所要研究的对象，我们讲节能就是讲这个整体的节能，而不是讲其中某个子系统或某一功能元件的节能。那末如何确定一个系统呢？系统的大小、范围又如何划分呢？系

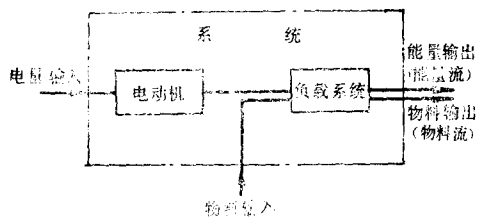
系统中的最小单元又是如何确定呢?实际上系统涉及的范围很广,千差万别,种类也很多,如果对系统分类的话,按其运动属性,可分为静态系统与动态系统;按其反馈属性可分为开环系统和闭环系统;按其行走路线可分开口系统和闭口系统;按其规模和复杂程度又可分为大系统和小系统等。大的可以大到自然系统,人造系统;就一个工厂来说,为了研究整个生产情况,可以把整个生产部门看做是一个整体,那就是生产系统;如果只研究某一个装置或过程,也可以只把这一装置和流程作为一个整体,例如蒸馏系统、换热系统、流体输送系统、能量回收系统等。所以说,系统的大小、范围是根据我们所研究的目的和需要来确定的。

组成系统的最小单元,也是根据我们研究的需要和深度来确定的。例如为了研究某装置空气冷却系统的效能,我们可以把组成空调系统的电动机、空气冷却器等作为组成系统的最小功能元件,至于更小的元件,如构成电动机的定子、转子;构成空冷器的风叶、管束等不必考虑和研究。但是,如果要单独研究电动机或空气冷却器,那末也可以把它们作为一个系统来对待,例如为了提高空冷器整体的性能,此时就得把组成空冷器的风叶、管束、翅片管等作为该系统的子系统或最小单元加以研究。所以说,研究的对象、目的、深度不同,系统的大小、范围及最小单元的确定也是不同的。

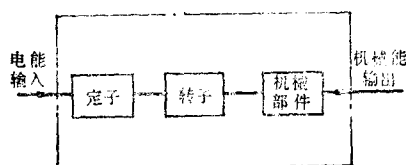
当然我们也可以根据系统中信息流动的情况来确定系统的范围。对石油化工生产过程来说,任何一个系统中不但有被加工的物料在流动,同时还有信息,能量在流动,通常称为“物料流”、“信息流”、“能量流”,因此系统的范围和性质也可以根据所要研究的这些“流”来确定。从系统角度来说,对于开口系统,一般总是把能量的输入起点设备到输出终点设备或者

以物料的输入起点设备到流动的终点设备的整个设施作为一个系统来研究，更合理和有效。例如蒸汽供给系统，根据蒸汽流动情况，可把从蒸汽锅炉直到蒸汽用户整个蒸汽流动途径作为一个系统，在这个系统里既包括蒸汽锅炉本体，也包括了整个热力管网环节、保温环节和使用环节等。如果只把锅炉作为一个系统，只考虑锅炉的效率，不顾及输汽管网、保温环节、用汽设备、废汽回收等情况，即使锅炉效率很高，整个系统的燃料单耗也不会下降很多的。对于闭路系统，则以一个循环途径及途径中有密切关联的系统作为一个整体来研究。如图1-1(c)的制冷系统，在这个系统里，包括了与之有关联的蒸发系统和冷凝系统等。

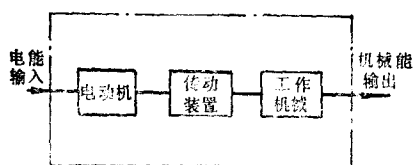
但是，我们要讨论的并不是所有这些“流”，而只讨论“能量流”；也不研究所有系统，而只研究具有能量传递现象的系统。确切的说，只研究把电能转变成机械能、位能、热能，实现能量转换、传递的一些系统。由于这类系统的能量变换，传递都是通过电动机和一些机械设备（设备群）来实现物料的处理加工，因此我们把具有这一特征的系统归结在一起，称为电动机能量传递系统，简称电动机及其系统，以区别于把电动机作为整体的电动机系统和把电动机、拖动机械及其控制装置作为整体的电动机拖动系统。为了研究方便，今后我们把用于能量转换、传递的设备群，包括机泵、管网、调节设备以及系统输出设备的容器、罐、塔等，也就是系统中除电动机外的一切设施称为负载系统，并把它看成是组成系统的一个环节或子系统。电动机是驱动负载系统、实现系统目的的原动力，它是组成系统的另一个环节；上述各单台设备则是组成这些子系统或环节的最小单元。这样我们就可以把所要研究的系统画成如图1-2(a)的结构形式。今后我们着重研究的就是这个系统及系



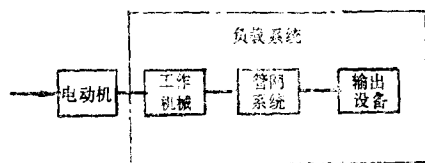
(a) 系统结构图



(b) 电动机系统



(c) 电力拖动系统



(d) 负载系统

图 1-2 几种系统结构图