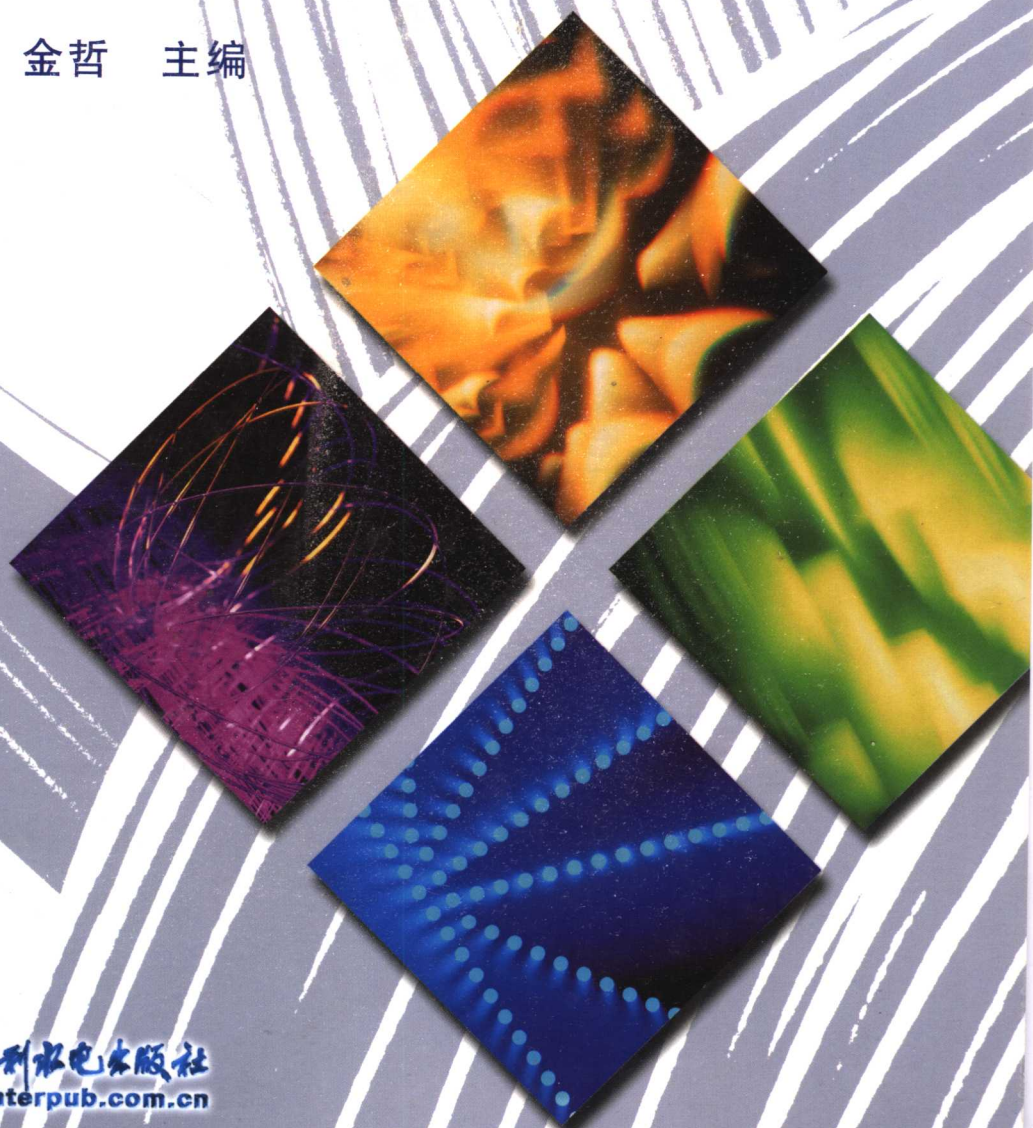


Xiandai

Jiedian Jishu Yu Jiedian Gongcheng

现代节电技术 与节电工程

● 孙成宝 金哲 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

现代节电技术 与节电工程

● 孙成宝 金哲 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

全书共分十三章,介绍了常用供电、用电设备的各种实用节电技术及节电工程。内容包括:电动机、照明、风机、水泵、炼钢电弧炉、电加热设备、空调设备、电焊机和变压器的节电技术;电网无功补偿与节电;电网经济运行与改造;节电管理;电力需求侧管理等。

本书通俗易懂,实用,涉及面广,是一本难得的降损节电用书。它适用于工矿企业、电力部门的节能管理人员以及工程技术人员阅读。可作为节电监察检测培训教材,也可作为工人岗位培训用书,还可作为各大专院校电类各专业的节能参考书。对企业进行节电技术改造,装备节电产品也具有较高的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代节电技术与节电工程/孙成宝,金哲主编. —北京:中国水利水电出版社, 2005

ISBN 7-5084-2961-3

I. 现... II. ①孙... ②金... III. 电能—节能
IV. TM92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 051824 号

书 名	现代节电技术与节电工程
作 者	孙成宝 金 哲 主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales @ waterpub. com. cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 23.5 印张 557 千字
版 次	2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	45.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

本书编写组成员名单

主 编

孙成宝 金哲

副 主 编

苑薇薇 黑晓红 王传军 刘多斌

编写人员

孙成宝	金 哲	苑薇薇	黑晓红
王传军	刘多斌	王文涛	姜 华
黑晓霞	郑 丹	王丽华	刘力男
刘 宁	孙晓忱	程云峰	肖艳梅
周 丽	王秋旻	张 涛	张 鹏
温存明	冯喜强	李凤学	冯 勃
李奎生			

前 言

电力是国民经济发展的基础资源。随着我国现代化建设的进展、科学技术的进步、经济的持续发展和人民生活水平的不断提高,对电力需求越来越大。为了缓解电力能源供应紧张局面,提高电能利用率和使用效率,我国制定了“开发与节约并重,近期把节约放在优先地位”的能源方针政策和《中华人民共和国节约能源法》。节电是国家发展经济的一项长期战略方针,是一项利国利民的事业,有利于提高国有资源利用率,减少环境污染,符合环保和社会可持续发展的原则;有利于减轻电网的负荷压力,缓解能源短缺状况;有利于提高经济增长率和取得较好的经济效益和社会效益;有利于落实科学发展观,建设节能型社会。除了用经济和法律手段制约生产和生活中的浪费外,更重要的是要在全社会大力倡导一种勤俭节约光荣的氛围,以节约为荣,以炫耀性、浪费性的消费和生活方式为耻。节约不是口号,更不是穷困才需要节约。节约是一种修养、一种现代文明生活方式,更是一种做人的责任,一个可持续发展的社会,需要每一个人都负起责任,从身边每一件小事做起,把节约作为一个现代人的基本素养来自觉践行。因此,提高从事供用电、节电管理人员的技术素质,让更多的科技工作者掌握并推广现代节电技术与节电工程,已迫在眉睫。

本书以通俗易懂的语言和简明概括的图表,详细地阐述了各种用电设备节电原理、节电方法及节电效益。本书所述现代节电技术涉及面广,包括电动机、风机、水泵、照明、电加热设备、空调设备、电焊机、变压器和炼钢电弧炉的节电技术,同时也详细地介绍了电网无功补偿与节电,电网经济运行与改造,节电管理方法及电力需求侧管理方法。这些节电技术与节电工程对我国城乡电网改造及建设、降损节电工作具有指导作用。

在本书编写、出版过程中,得到辽宁省农电局、沈阳理工大学、东北电力培训中心、兰州电力技术学院、兰州供电公司、沈阳市农电局、山东鱼台供电局、陕西阎良电力局等单位的一些专家和朋友的帮助和支持,在此深表谢意。对于本书中的疏误之处,敬请广大读者批评指正。

作者

2005年6月

目 录

前言

第一章	节约用电的基本知识	1
第一节	概述	1
第二节	节约用电的措施与方法	2
第二章	电动机的节电技术	5
第一节	生产机械的负荷曲线	5
第二节	电动机的能量损耗	6
第三节	电动机的特性曲线	10
第四节	电动机的合理选用	12
第五节	电动机的经济运行	49
第六节	电动机无功功率就地补偿技术	53
第七节	电动机调速节能技术	59
第八节	绕线式异步电动机同步运行技术	67
第九节	电动机的节能改造	69
第三章	照明节电技术	81
第一节	概述	81
第二节	照明的基本知识和照明器的特性	81
第三节	照明器的合理选用	84
第四节	优化照明设计	89
第五节	照明的节电技术	93
第六节	照明线路的合理选用	97
第七节	中国实施绿色照明工程简况及趋势	99
第四章	风机和水泵的节电技术	101
第一节	风机和水泵的简介	101
第二节	风机和水泵的能量损耗	122
第三节	风机和水泵的合理选用	123
第四节	风机和水泵的节电技术	137
第五章	炼钢电弧炉的节电技术	149

第一节	电弧炉炼钢的用电特点	149
第二节	炼钢电弧炉的节电技术	150
第三节	感应熔炼炉的用电特点	153
第四节	感应熔炼炉的节电技术	155
第六章	电加热设备的节电技术	157
第一节	电加热设备的节电管理	157
第二节	电阻炉的节电技术	161
第三节	远红外线加热的节电技术	165
第四节	盐浴炉的节电技术	171
第五节	电炉短网的改造	174
第七章	空调设备的节电技术	177
第一节	空调设备的基本知识	177
第二节	空调设备的节电因素	188
第三节	空调设备的实用节电技术	194
第八章	电焊机的节电技术	205
第一节	电焊机的技术参数	205
第二节	电焊机的合理选用	209
第三节	电焊机的节电技术	210
第九章	变压器的节电技术	215
第一节	变压器的基本参数	215
第二节	变压器的合理选择	220
第三节	变压器的负荷分配	225
第四节	变压器的经济运行	231
第五节	变压器的节能改造	243
第六节	节能变压器的应用	252
第十章	无功补偿与节电	260
第一节	无功补偿的作用与配置	260
第二节	无功电源与无功负荷	262
第三节	无功补偿容量的确定	268
第四节	无功负荷的最优化补偿	271
第五节	无功补偿节电效益分析	284
第十一章	电力网经济运行与改造	286
第一节	电力网的基本运行参数	286
第二节	电网的优化运行	292

第三节	电网的负荷调整	300
第四节	电网的电压调整	313
第五节	电网的运行管理	327
第六节	电网的降损改造	328
第十二章	节电管理	332
第一节	线损管理	332
第二节	计量管理	341
第三节	抄表管理	342
第四节	用电单耗管理	343
第五节	反窃电管理	349
第十三章	电力需求侧管理	351
第一节	电力需求侧管理概述	351
第二节	电力需求侧管理的技术手段	354
第三节	实施电力需求侧管理技术的实例分析	360
第四节	国外电力需求侧管理介绍	361

第一章 节约用电的基本知识

第一节 概述

一、节约用电的重要性

能源是发展国民经济和提高人民生活水平的重要物质基础，是人类赖以生存的基本条件。节约能源，保护环境是我国经济和社会发展的长远战略方针，而节约用电又是节能工作最重要的组成部分。

改革开放以来，我国节能工作认真贯彻执行党中央、国务院关于“资源节约与开发并举，把节约放在首位”和“高度重视节约能源和原材料，提高资源利用效率”的方针，取得了显著的经济效益和社会效益。

节电的重要性体现在：

(1) 节电是保证我国经济持续、快速、健康发展的重要方面。新中国成立以来，我国电力发展的速度是比较快的，特别是近十年来，每年装机都在千万千瓦以上，但仍然满足不了国民经济发展和人民生活水平提高的需要，全国持续缺电已 20 多年。从今后 10 年规划来看，电力仍然是制约国民经济发展的主要因素。因此，在加快电力建设的同时，必须重视节电，提高电能利用率，从电力开发和节约两方面来保证国民经济发展的需要。不论是电力供应紧张还是暂时有所缓和，我们都要始终重视节电工作，不能有任何松懈。要注意研究出现的新情况，不断解决新问题。展望今后 10 年，我国电力供需形势极为严峻，节电任务十分繁重，我们必须长期牢牢树立节电的思想。

(2) 要爱护资源，保护环境。我国人均能源占有量少，消耗水平低，节约能源减少浪费的任务十分迫切。目前我国能源生产量居世界第三位，但我国人口众多，人均矿物能源（煤炭、石油、天然气）仅为原苏联的 $1/7$ ，美国的 $1/4$ ，相比之下不是能源资源很富有的国家。我国能源利用率仅为工业发达国家的 $3/4$ ，电能利用效率也远低于这些国家，这种状况，必须引起高度重视。为了保持我国经济持续、高速、健康发展并为子孙后代着想，我们必须从思想上树立“总量丰富、人均不足、厉行节约”的观念。能源矿产资源是有限的，不可再生的，用一点，少一点。因此，我们必须走资源节约型的道路，逐步建立起资源节约型的经济发展结构，在努力开展节能节电的基础上发展电力和能源工业。那种认为我国能源资源多得很，浪费一点无所谓观点，只顾当前，不顾长远的观点是十分错误的。

能源包括电力的消费又是和环境保护密切相关的。二氧化碳排放形成的温室效应以及酸雨对环境污染带来的危害是世界各国都十分关注的问题，我国电力生产的 $3/4$ 是燃煤，这个问题更应引起我们的高度重视。要千方百计降低发电煤耗，节约电力，提高电能的利用效率。

(3) 节约电力是改变我国某些企业经济效益的重要措施之一。在我国工业产品成本

中, 能源平均约占 9%, 其中很大部分是电力。能源包括电力在生产成本中所占比重远高于工业发达国家, 节约的潜力是很大的。能耗的高低对许多行业的产品成本有重要影响。因此, 要使我国目前粗放经营为主的消耗型经济向集约经营为主的效益型经济逐步过渡, 加强节能节电的工作十分重要。

(4) 节电可以看成是一种最经济的电源。节电可以少建电厂, 国外普遍都把节电看作是一种电源。用户节电比建同等容量电厂的投资要少得多, 同时用户节电还可相应节约一部分建设电网的费用, 而输电网配电网的费用, 占电力总投资的 40%~50% 左右; 节电相应地节约了煤炭的消耗, 这样也就减少了建设煤矿的投资和运输煤炭的铁路交通的投资; 节电不产生对环境的污染, 相应地减少燃煤电厂脱硫脱硝的投资。考虑以上因素, 根据计算, 终端用户节约 1kW 其相应的投资只相当于建设电源综合投资 (包括电网、煤矿、交通运输及电厂环保设施等) 的 40%~50%。因此, 节电可以看作是一种最经济的电源, 要努力组织开发。

二、节约用电的方针政策

国家对能源工业和节能、节电非常重视, 结合我国国情制定了开源节流的能源政策, 并在当前把节能、节电放在首位。在开源方面要大力开发煤炭、石油、天然气, 并加快电力建设步伐, 要积极发展火电, 大力开发水电, 有重点、有步骤地建设核电站。在节能方面则是大力开展节煤、节油、节电等节能工作。

节电的出路在于坚持科学管理, 依靠技术进步, 走合理用电、节约用电、提高电能利用率的道路, 大幅度地降低单位产品电耗, 以最少的电能创造最大的财富。

我国能源工作的总方针是坚持“开源和节流并重”, 要在 20 年间年平均节能率达 3.7% (多数国家只有 2%), 这是一个很高的指标。以往我们主要靠调整经济结构的手段间接节能, 而占总能耗 65% 的企业, 降低电耗的直接节能在“六五”期间只占 30%, 这说明一方面节能的任务仍很艰巨, 另一方面则表示主要能耗的工业企业在节能方面的潜力是很大的。何况我国的能源利用率与世界发达国家的差距仍较大, 为此; 只要全国能源工作者乃至全国人民提高节能意识, 树立长期节能思想, 在各个领域里, 特别是工矿企业, 靠真本领, 下硬功夫, 并辅之以必要的制度、政策、办法等, 用节能来缓和能源供需矛盾和促进经济的发展是完全可能的。

第二节 节约用电的措施与方法

一、实现节电的措施

要实现节电目标, 应做好以下几方面工作:

(1) 提高认识, 转变观念。我国能源和电力供需矛盾不是短期可以解决的, 因此, 要把节能节电作为我国国民经济发展的一项战略方针。各行各业都要认真贯彻。对电力部门, 也要转变观念, 不仅要搞好发电供电, 还应抓好社会节电, 社会节电抓出成果, 负荷峰谷差不断降低, 不仅取得巨大的社会效益, 也给电力部门本身增加可观的经济效益。

(2) 多渠道筹集资金, 增加节电投入。要实现节电目标, 就要增加节电资金的投入, 要努力开拓节电资金渠道, 建立节电基金, 要争取一些有利于节电的政策, 吸引国家、地

方、企业、个人更多的资金投资于节电，以加速企业的节电改造和老旧设备的更新。

(3) 加强对节电的宏观管理。认真执行国家制定的产业政策，严格控制电耗大的五小企业的发展，要加强企业用电的定额管理。同时要制定用电产品电耗定额，推广节电先进产品，禁止超定额电耗产品进入市场，并加强从规划、设计、基建、生产各个环节进行节电的全过程管理。

(4) 采用经济技术等办法，引导用户转移电网高峰用电。利用电价结构的调整，全面推行分时电价，拉开峰谷，季常电价差距，同时，采用蓄冷节电等技术手段，引导用户转移电网高峰用电，提高电力资源利用效果。

(5) 大力推进技术节电，支持和鼓励节电技术和产品的开发、应用。重点推广的节电措施是：高效节能灯，风机、泵类节电技术；电子节电技术；蓄冷节电技术；余能回收发电技术；转移高峰电力措施；变压器节电技术；电动机节电技术；电炉钢节电技术；电加热节电技术。

(6) 推行电力需求侧管理，提高电力终端效率。资源综合规划与能源需要侧管理相结合，把节电做为新的电力资源看待是国际上行之有效的资源配置方式，借鉴国外在电力需求侧管理方面的有益经验，依据我国用电管理的实际情况，在推行电力资源综合规划的同时，有计划、有目标地推行电力需求侧管理，不断提高电力终端利用效率。

(7) 建立健全节能节电法规体系。市场经济在一定意义上讲是法制经济，现在已有《中华人民共和国节约能源法》及节能节电的条例、规定和标准，但还不够完备，同时缺乏强有力的监督检查机制。因此，应加速组织制定完备的节能节电法规体系，并建立相应的监督管理机制。

二、实施节电措施的方法

为了确保节电措施能够得到批准，对措施强调的重点应该是确保技术可靠和确保经济效益。一般来说，引进的新设备具有显著的节电效果，当利用这种新设备时，应判断制造厂所提供数据的可靠性及其实施的可能性，准确掌握产品说明书和应用后的实际效果。

有效实施节电措施的步骤见表 1-1。

表 1-1 有效实施节电措施的步骤

步 骤	实 施 项 目	说 明
1	提出节电对象清单	(1) 由负责人利用各级组织提出清单 (2) 建立检查表
2	掌握节电方法和技术 (步骤 1 和 2 可先可后)	(1) 根据制造厂说明书，其他公司的情报、各种分散文献中的情报、“判断基准” (2) 根据经验
3	实施的步骤按制定的计划进行	(1) 投资回收期短的优先 (2) 设备改造工作量不大的可以优先
4	根据节电计划目标制定预算方案	根据实施步骤，每负责人确定每一项目的预算
5	取得预算	要取得预算的经济效益，应在预算方案中把重要的节电要点写出并加以说明

续表

步 骤	实 施 项 目	说 明
6	订货或施工	向制造厂订货，购买设备，进行施工
7	施工	订购设备运到后进行施工
8	估算节电效果	以节电措施实施前的情况作为基准估算节约量
9	评价	对取得预算的计划进行对比，并对这些措施的可行性进行论证评价
10	提出报告	把已实施的项目，实施前存在的问题，根据这些问题制定的措施方案、实施后的效果等加以总结向上级提出报告

第二章 电动机的节电技术

电动机作为将电能转换为机械能的一种转换装置，在各个领域得到了广泛应用。据统计，电动机消耗的电能约占全国总用电量的 60%~70%。

目前，在一些企业中，由于管理水平低、技术落后，多数电动机处于轻载、低效、高能耗的运行状态，电能浪费十分严重。为此，应搞好电动机的节电工作。

电动机节电应以节约电能和提高电动机的综合效益为原则，合理选择电动机，使其处于经济运行状态。同时，对在用电动机进行节能改造，降低电动机的能量损耗，提高电动机的运行效率。

为便于掌握电动机的节电技术，了解生产机械的负荷曲线，掌握电动机的基本知识是十分必要的。

第一节 生产机械的负荷曲线

一、生产机械的负荷曲线

在生产过程中，生产机械所消耗的有功功率是不断变化的。生产机械所消耗的有功功率随时间而变化的曲线称为生产机械的负荷曲线。该曲线可根据测定数据绘制出来。根据测定部位不同，可分为：生产机械的电动机输入功率负荷曲线；生产机械的电动机输出功率负荷曲线；生产机械的固有负荷曲线等。实际上，生产机械的固有负荷曲线与生产机械的电动机输出功率负荷曲线完全相同。

在其他条件相同的情况下，对同一台生产机械，用不同的电动机拖动，由于各电动机运行效率不同，导致生产机械的电动机输入功率负荷曲线也将不同。

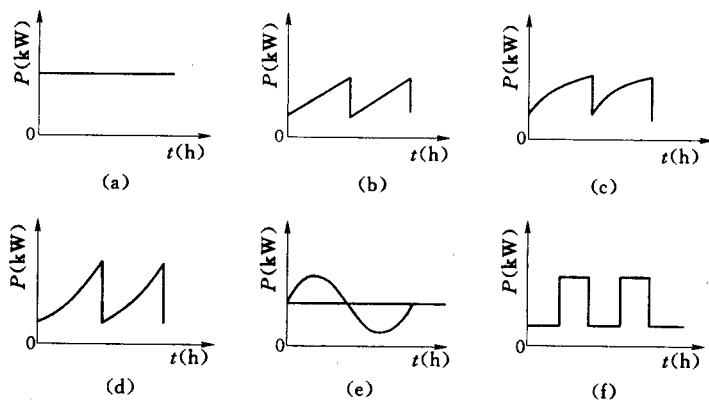


图 2-1 生产机械的典型负荷曲线

(a) 恒值负荷曲线；(b) 锯齿波型负荷曲线；(c) 指数曲线型负荷曲线；(d) 幂指数曲线型负荷曲线；
(e) 正弦波型负荷曲线；(f) 脉冲型负荷曲线

生产过程中,由于电压波动、负载扰动等因素,生产机械的负荷曲线形状多是不规则的。但在允许的误差范围内,经过典型化和线性化处理,可归结为图 2-1 所示的几种典型曲线。

二、生产机械的负荷曲线分类

图 2-1 所示的负荷曲线可分为两大类:第一类如图 2-1 (a) 所示,称为恒值负荷曲线;第二类如图 2-1 (b) ~图 2-1 (f) 所示,称为变值负荷曲线。

通常,具有恒值负荷曲线的生产机械称为恒负荷生产机械,具有变值负荷曲线的生产机械称为变负荷生产机械。生产机械的负荷曲线不同,电动机经济运行方法也不同。由此可见,为使电动机经济运行,必须测定生产机械的负荷曲线。

第二节 电动机的能量损耗

一、电动机能量损耗种类

当电动机将输入的电能转换为输出轴上的机械能时,总要伴随一些能量的损耗。根据 GB755-87《电机基本技术要求》中规定,将电动机能量损耗划分为恒定损耗、负载损耗及杂散损耗。

1. 恒定损耗

恒定损耗是指电动机运行时的固有损耗,它与电动机材料、制造工艺、结构设计、转速等参数有关,而与负载大小无关。恒定损耗包括铁心损耗(含空载杂散损耗)及机械损耗。

(1) 铁心损耗 P_{Fe} (含空载杂散损耗)。铁心损耗亦称铁耗,指主磁场在电动机铁心中交变所引起的涡流损耗和磁滞损耗。异步电动机在正常运行时,转差率很小,转子铁心中磁通变化的频率很小,一般仅为每秒 1~3 周,所以铁耗主要为定子铁心损耗。

铁耗大小取决于组成电动机铁心材料、频率及磁通密度,近似公式 $P_{Fe} \approx k f^{1.3} B^2$ 。磁通密度 B 与输入电压 U 成正比,对某一台电动机而言,其铁耗近似于与电压的平方成正比。

空载杂散损耗 P_o 是指空载电流通过定子绕组的漏磁通在定子机座、端盖等金属中产生的损耗,由于空载电流近似不变,因此这些损耗也是恒定的。

铁耗一般占异步电动机总损耗的 20%~25%。

(2) 机械损耗 P_{mw} 。通常包括轴承摩擦损耗及通风系统损耗,对绕线式转子还存在电刷摩擦损耗。

轴承摩擦损耗主要与轴承型号、装配水平、润滑脂有关。通风系统的风摩擦损耗主要取决于冷却风扇所用材料、风机效率、风道设计合理性。机械损耗高低还与电动机转速有关,轴承摩擦损耗正比于转速的平方,通风损耗正比于转速的三次方。

机械损耗一般占总损耗的 10%~50%,电动机容量越大,由于通风损耗变大,在总损耗中所占比重也增大。

2. 负载损耗

负载损耗主要是指电动机运行时,定子、转子绕组通过电流而引起的损耗,亦称铜

耗。它包括定子铜耗 P_{Cu1} 和转子铜耗 P_{Cu2} ，其大小取决于负载电流及绕组电阻值。

铜耗约占总损耗的 20%~70%。

3. 杂散损耗（附加损耗）

杂散损耗 P_s 主要由定子漏磁通和定子、转子的各种高次谐波在导线、铁心及其他金属部件内所引起的损耗。

这些损耗约占总损耗的 10%~15%。

Y (IP44)、JO2 系列电动机各种损耗所占比例见表 2-1。

表 2-1 Y (IP44)、JO2 系列 2 极、4 极电动机损耗分布

系 列	Y (IP44)			JO2		
功率范围 (kW)	0.55~5.5	7.5~22	30~90	0.6~5.5	7.5~22	30~100
$\frac{P_{Cu1} + P_{Cu2}}{\sum P}$ (%)	60~70	30~50	20~30	60~70	30~50	20~30
$\frac{P_{Fe}}{\sum P}$ (%)	20	20	20	20	20	20
$\frac{P_{rw}}{\sum P}$ (%)	10~20	20~35	40~50	5~10	15~25	30~50
$\frac{P_s}{\sum P}$ (%)	5~10	10~15	15~20	5~10	10~15	15~20

二、减少各种损耗的措施

减少电动机损耗应该着眼于主要损耗分量的下降，从 Y (IP44) 系列损耗比例来看，小功率电机铜耗占主要比例，应从适当增加有效材料使用，增大导线截面来降低绕组电阻达到降低损耗，提高效率。较大功率电动机，主要损耗在机械损耗及杂散损耗上，应该通过各种措施减少通风系统损失和杂散损耗。

1. 降低铜耗

由于绕组铜耗是由于电流通过绕组而产生的热损耗，降低 I^2R 损耗的最好途径是减少电阻，但它受到电动机的几何尺寸和成本约束。

定子可用增大导线截面和增加导线股数的办法或使用导电率高的铜材来降低绕组电阻。

笼型异步电动机转子可以用增大导条截面积的办法降低电阻值，放大槽形可以制成截面较大的铝导条。对于绕线型异步电动机转子可以采用铜导线，增大转子铜导线截面。

其次减小定、转子间气隙，并降低磁通密度（采用更多、更好导磁铁心）降低所需要的磁场强度从而降低了空载电流，使定子绕组中损耗减少，提高电动机功率因数。

2. 降低铁耗

(1) 采用导磁性能良好的冷轧硅钢片可降低磁滞损耗。对于一定磁通密度和钢片厚度，磁滞损耗取决于材料的好坏。但是优质硅钢片价格昂贵，因此对损耗的改善必须与成本增加作技术经济比较。

(2) 用较薄硅钢片可降低涡流损耗。硅钢片加工，冲剪应力对铁耗影响较大，对冲片进行热处理可降低 10%~20% 的损耗。

(3) 降低磁通密度则可减少磁滞损耗和涡流损耗。减少气隙能降低绕组中电流，由于制造安装原因，收效不大。增大铁心才能有效地降低磁通密度，往往采用增长铁心长度方法来达到降低磁通密度。

一般高效率电动机比同功率电动机用铁量大致增加 35%。

3. 降低机械损耗

机械损耗是由于电动机摩擦和通风而造成的，摩擦主要是轴承摩擦，采用优质、低摩擦轴承可稍有改善。风摩擦是指冷却空气和电动机旋转部分的摩擦，采用高效风机及通风结构合理设计可以减少风摩擦损耗 20%~30%。

4. 减少杂散损耗

注意转子槽形设计（斜槽），采用串接的正弦绕组和散布绕组以降低高次谐波，增加定子齿槽、采用磁性磁楔等都能有效减少杂散损耗。

综上所述，从设计、材料、制造工艺等观点出发，降低损耗提高效率主要措施如表 2-2 所示。

表 2-2 降低损耗的主要措施

损耗措施	定子绕组损耗	转子绕组损耗	铁耗	杂散损耗	机械损耗
设计	增加导体截面积；缩短绕组端部长度	增加导体截面积和转子端环尺寸	增加铁心长度	选择合适的绕组型式和节距；选择合适的槽配合和转子槽斜度；选择最佳气隙长度	改进风扇设计，提高风扇效率
材料	采用耐高温、较薄绝缘材料，增大槽内铜线的填充系数	提高转子导条及端环导电率	采用低损耗电工钢片；采用较薄电工钢片		采用优质、低摩擦轴承；采用摩擦系数小、性能好的润滑脂
工艺	缩短绕组端部长度；提高绕组槽满率			转子槽特殊绝缘处理；改进转子表面切削加工方法	安装良好，同心度高

三、电网质量对电动机损耗影响

由于电网质量原因，如：电压波动、频率下降或上升以及网内高次谐波源的注入，都会造成三相异步电动机损耗增加。

1. 电压波动对各种损耗的影响

电压波动将对各种损耗产生影响，其关系如下：

(1) 对铁心损耗影响

$$P'_{Fe} \approx P_{Fe} \left(\frac{U'}{U_N} \right)^2 \tag{2-1}$$

(2) 对机械损耗影响

$$P'_{fw} \approx P_{fw} \left(\frac{1-s}{1-s_N} \right)^2 \tag{2-2}$$

(3) 对转子铜耗影响

$$P'_{Cu2} \approx P_{Cu2} \left(\frac{U_N}{U'} \right)^2 \left(\frac{1-s_N}{1-s} \right)^2 \quad (2-3)$$

(4) 对杂散损耗影响

$$P'_s \approx P_s \left(\frac{U_N}{U'} \right)^2 \left(\frac{1-s_N}{1-s} \right)^2 \quad (2-4)$$

式中 U_N ——电网额定电压, V;

U' ——电网电压波动值, V;

s ——三相异步电动机转差率;

s_N ——三相异步电动机额定转差率。

P'_{Fe} 、 P_{Fe} 、 P'_{fW} 、 P_{fW} 、 P'_{Cu2} 、 P_{Cu2} 、 P'_s 、 P_s 为对应 U' 和 U_N 时的各种损耗。

由上述公式知, 运行电压降低时, 电动机的铁耗按电压平方减少, 在负载率一定时, 运行电压下降, 电动机转矩下降, 转差率变大, 转子的铜耗将增加, 因此一台电动机在恒负载运行时, 电压下降将使总损耗增加。只有在负载率较低的情况下, 当电压下降时电动机的总损耗才能下降, 效率才能提高。

2. 三相电压不对称对损耗影响

一般电网负载都存在不同程度的不对称, 而使电网电压呈不对称运行, 习惯上用三相电压不平衡度来标明不对称的程度

$$\text{不平衡度} = \left(\frac{\text{最大电压} - \text{最小电压}}{\text{三相平均电压}} \right) \times 100\%$$

利用对称分量法, 不对称电源电压可分解成正序分量、负序分量。电路中, 很小的负序电压分量将会引起相当大的负序电流, 如负序电压分量为 5% 时, 其负序电流将达 20% ~ 35% 额定电流, 因而将在绕组中产生较大损耗及过热现象。

负序电压将产生负序磁场, 负序磁场产生的转矩为负值, 是一个制动转矩。由于负序分量所产生的机械功率为负值, 它将吸取一部分机械功率, 变为转子负载电流引起的铜损耗。

负序分量在转子上引起额外的铁损、铜损和杂散损耗, 同时也会在定子上增加损耗。如有 3.5% 不平衡电压加在电动机上, 那么将使电动机总损耗增加 20%, 效率下降 3% ~ 4%。

总之三相异步电动机在不对称电压下运行时其性能恶化, 过载能力下降, 效率下降, 并有局部过热危险, 因此 GB 12497—90《三相异步电动机经济运行》规定电压不平衡度应小于 1.5%。

3. 电网频率对损耗影响

(1) 对总铁耗影响。当电压恒定时, 铁耗中的涡流损耗与频率无关, 而磁滞损耗则随频率变化, 总的铁耗可以认为是

$$P'_{Fe} = P_{Fe} \sqrt{\frac{f_N}{f}} \quad (2-5)$$

(2) 对机械损耗影响