



上海能效

节能环保产业系列丛书

工业企业电能 平衡 实用手册

SHANGHAI INDUSTRY
ELECTRIC ENERGY
BALANCE
PRACTICAL GUIDE

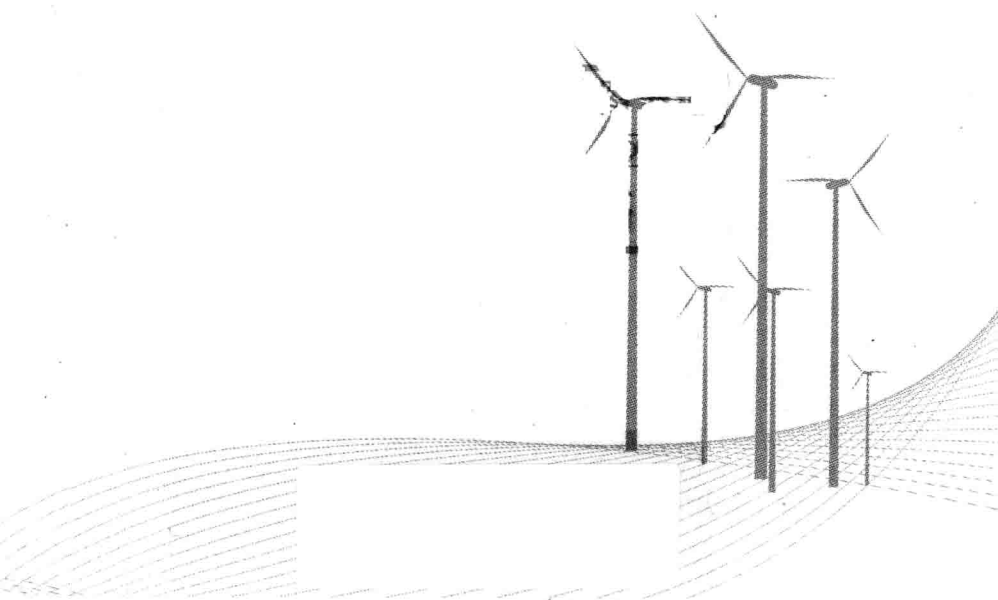
上海市能效中心 编

上海科学技术出版社

节能环保产业系列丛书

工业企业电能平衡实用手册

上海市能效中心 编



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

工业企业电能平衡实用手册 / 上海市能效中心编.
—上海:上海科学技术出版社,2013.10
(节能环保产业系列丛书)
ISBN 978-7-5478-1858-9

I. ①工… II. ①上… III. ①工业企业—电能—节能—指南
IV. ①TM60-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 153009 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社
(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)
新华书店上海发行所经销
常熟市兴达印刷有限公司印刷
开本 889×1194 1/32 印张 5.5
字数: 140 千字
2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-5478-1858-9/TK·11
定价: 38.00 元

此书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向承印厂联系调换

内容提要

国家电机能效提升计划已将电能平衡列为重点工作,本书是在总结了上海市电能平衡实施的实践基础上编写而成,是节能与综合利用系列教材之一。编写者主要来自于研究机构、节能服务公司、设备制造企业以及政府部门,积累了多年的节电方面的实践经验。

本书围绕企业如何开展电能平衡展开,分为十二个章节介绍,内容包括电能平衡概念、变压器、变配电、电动机、风机、水泵、空压机、中央空调、电加热设备、整流设备、照明系统的电能平衡与节能措施,最后介绍了上海电能平衡实施的具体案例。

全书注重理论与实践相结合,可作为企业开展电能平衡测试或实施节电改造的指导用书,也可作为政府或相关部门推进电能平衡工作和开展节能培训的参考用书。

编写委员会

主 编 原清海

副主编 秦宏波

编 委 俞增盛 丁永青 刘 洋 汪国兴
向勇涛 张 浩 钱惠国 刘 东

前 言

节能环保产业是指为节约能源资源、发展循环经济、保护生态环境提供物质基础和技术保障的产业,是国家加快培育和发展的七个战略性新兴产业之一。节能环保产业是先进制造业和现代服务业紧密结合且极具发展潜力的综合性产业,具有科研、人才高度密集的特性和对其他产业的渗透、带动和引领作用,已成为新一轮国际竞争中的重要组成部分。培育发展节能环保产业,对加快经济发展方式转变、促进产业结构优化升级,实现绿色发展、循环发展、低碳发展具有重要意义。

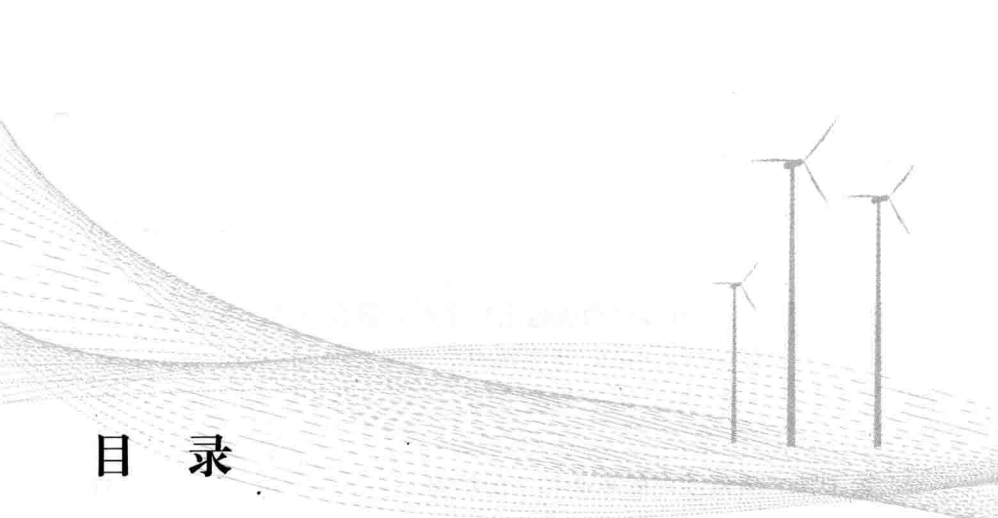
2012年6月,国务院发布《“十二五”节能环保产业发展规划》;同年12月,上海市经济和信息化委员会发布《上海市节能环保产业发展“十二五”规划》;2013年8月国务院出台《关于加快发展节能环保产业的意见》,再次提出节能环保产业是打造中国经济升级版的一项重要而紧迫的任务。为认真贯彻落实国务院意见,进一步推广普及节能环保产业相关知识,培育发展本市节能环保产业,加快城市生态文明建设,上海市能效中心组织编写了《节能环保产业系列丛书》,包括政策法规、实用手册、培训教材等类别。本套丛书涉及面广、内容丰富,希望对从事节能环保事业的各位读者有所助益。

本书作为“节能环保产业系列丛书”组成之一,全面介绍了电能平衡的基本概念、各用电系统实施电能平衡的测试计算方法和主要节能措施,详细介绍了上海市利用信息化手段开展电能平衡的经验做法,对于全国其他兄弟省市按照国家《电机能效提升计划(2013—2015年)》要求,开展年耗电1 000万kW·h以上工业企业的电能平衡工作,促进电机系统能效提升具有借

鉴意义。

电能平衡工作涉及面广,技术性强,囿于丛书编写时间和水平,书中难免有疏漏之处,敬请批评指正。

编 者



目 录

第 1 章	电能平衡概述	1
1.1	电能平衡概念	1
1.2	开展电能平衡的目的和意义	2
1.3	开展电能平衡的原则	3
1.4	电能平衡几个重要参数	4
第 2 章	变压器的电能平衡和节能措施	7
2.1	概述	7
2.2	变压器损耗的现场测试	9
2.3	变压器的电能利用率计算	11
2.4	变压器的经济运行	11
2.5	变压器的节能措施	12
第 3 章	配电线路的电能平衡和经济运行	14
3.1	概述	14
3.2	配电线路损耗的计算法	15
3.3	配电线路损耗的实测法	17
3.4	配电线路损耗测算的一般步骤	21
3.5	配电线路的经济运行	23

第 4 章	电动机的电能平衡和节能措施	27
4.1	概述	27
4.2	电动机的损耗	30
4.3	异步电动机输入电功率的测量	31
4.4	异步电动机输出功率的测量和计算	33
4.5	电动机的电能利用率计算	37
4.6	电动机的节能措施	38
第 5 章	风机的电能平衡和节能措施	41
5.1	概述	41
5.2	风机的基本特性	42
5.3	风机电能利用率的现场测试	44
5.4	风机电能利用率的计算	51
5.5	风机系统的节能措施	51
第 6 章	水泵的电能平衡和节能措施	54
6.1	概述	54
6.2	离心式水泵的基本特性	55
6.3	水泵电能利用率的现场测试	57
6.4	水泵电能利用率的计算	61
6.5	泵系统的节能措施	61
第 7 章	空压机的电能平衡和节能措施	65
7.1	概述	65
7.2	空压机的基本特性	66
7.3	空压机组电能利用率的现场测试	71
7.4	空压机组电能利用率计算	73
7.5	空压机系统的节能措施	75
第 8 章	中央空调的电能平衡和节能措施	80
8.1	概述	80

8.2	中央空调电能利用率的现场测试	84
8.3	中央空调的经济运行	92
8.4	中央空调的节能措施	94
第 9 章	整流设备的电能平衡和节能措施	100
9.1	概述	100
9.2	整流设备电能利用率的测算方法	101
9.3	整流设备的节能措施	106
第 10 章	电加热设备的电能平衡和节能措施	109
10.1	概述	109
10.2	工业电炉的现场测试	112
10.3	工业电炉的电能利用率计算	115
10.4	工业电炉的节能措施	119
第 11 章	照明设备的电能平衡和节能措施	126
11.1	概述	126
11.2	照明领域重要性能参数	131
11.3	照明设备的现场测试	134
11.4	照明设备的电能利用率计算	136
11.5	照明设备的节能措施	137
第 12 章	上海电能平衡实施案例	140
12.1	实施方法	140
12.2	辅助工具	141
12.3	工作流程	150
12.4	实施步骤	150
12.5	报告编写深度要求	152
12.6	报告样例	158
参考文献		163

第 1 章 电能平衡概述

1.1 电能平衡概念

1.1.1 电能平衡

电能平衡是对供电电量在用电系统内的输送、转换、利用进行测量、分析和研究的一种方法,反映出供给电量、有效电量和损失电量之间的平衡关系。

根据能量守恒定律,用电系统内的电能平衡可由下面关系式表示,电能平衡模型图如图 1-1 所示。

$$W_G = W_Y + W_S \quad (1-1)$$

式中 W_G ——供给电量($\text{kW} \cdot \text{h}$);

W_Y ——有效电量($\text{kW} \cdot \text{h}$);

W_S ——损失电量($\text{kW} \cdot \text{h}$)。

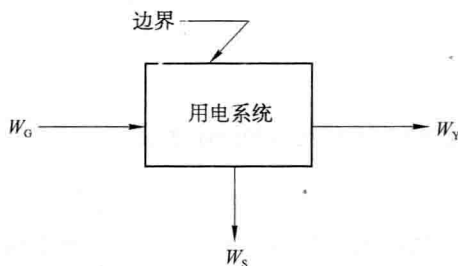


图 1-1 电能平衡模型图

1.1.2 用电系统及边界的确定

电能平衡所考察的用电设备、装置所构成的系统称为用电系

统。一台或一组用电设备可以视为一个用电系统，一个车间或一个工厂也可以视为一个用电系统，因此用电系统是可以人为确定的。

用电系统与其周围相邻部分的分界面称为用电系统的边界。进行电能平衡时，用电系统应有明确的边界，边界应根据电能平衡研究的范围和需达到的目的等因素确定。

为了使企业电能平衡的结果具有可比性，同类用电系统应有统一的边界。对一般企业而言，可将用电系统分为变压器系统、配电线路系统、电动机系统、风机系统、泵系统、空压机系统、中央空调系统、电加热系统、整流系统和照明系统。

1.1.3 供给电量、有效电量和损失电量

用电系统界外供给用电系统的有功电能的总和称为供给电量。

用电系统在一定生产工艺条件下，达到预定的目标和质量标准时，在物理、化学变化中所需的有功电量称为有效电量。

供给电量和有效电量之差称为损失电量。

1.1.4 企业电能平衡的范围

企业开展电能平衡时应包括整个企业中为生产服务的所有电能消耗的设备，即包含生产和辅助配套生产系统。

1.2 开展电能平衡的目的和意义

电能平衡是工业企业实现科学管理、合理使用电能极其重要的基础工作，是用电方面的系统工程。电能平衡从电网计量点开始，通过普查、统计、测试、计算等手段，揭示企业在整个生产过程中各个用电环节的电能使用情况，研究分析哪些是合理使用，哪些是不合理使用，哪些损失是必要的，哪些损失是不必要的。在此基础上找出使用中的问题，制定节电措施和改造计划。通过加强科学管理，采用新设备、新技术、新工艺、新材料等

手段,降低产品用电单耗,使企业电能利用率提高到一个新的水平。

企业开展电能平衡的意义归纳起来有以下四点:

(1) 摸清用电设备家底,全面了解设备运行使用状况。

(2) 掌握用电水平。通过电能分布图、主要用电设备的电能利用率、主要用电系统的电能利用率、能耗框图等直观形象地反映企业用电情况和水平,实现企业、车间以及用电管理人员从定性认识到定量认识的飞跃。

(3) 找出企业设备和管理中的薄弱环节,制定节电规划。通过对设备和工艺点的测试以及系统分析,找出问题并针对性提出近期和远期整改计划。如合理选用设备、改造低效高耗能设备、改变不合理的工艺、制定用电管理中的规章制度等。对一些明显不合理而又容易解决的问题,应该及时加以解决,使电能平衡这项技术管理工作尽快收到效益。

(4) 提高企业用电管理人员的素质,培养一批技术管理人员。

1.3 开展电能平衡的原则

(1) 电能平衡的理论基础是能量守恒定律,所以电能平衡是电能“收入”与“支出”的平衡。“收入”包括用电系统从外界吸收的电能和系统本身自发的电能;“支出”包括用电系统内有效利用的电能和各项损失的电能。

(2) 电能平衡是能量平衡而不是功率平衡,所以电量应使用电能表测定,对于稳定负荷可利用输入功率或输出功率与运行时间来求其电量。

(3) 电能平衡是在企业正常生产情况下进行的,它反映的不是企业用电设备的额定效率,而是实际运行使用效率。因此与设备的选型和运行工况合理与否密切相关。

(4) 电能平衡可取用某一代表日、某正常生产月、某正常生产季度或某一年的用电量来进行平衡,即平衡的时间可以是一天或

一个月、一个季度或一年。各企业应根据生产特点与规律自行决定。

(5) 电能平衡方法有两种,即正平衡(直接平衡法)与反平衡(间接平衡法),在实际平衡工作中上述两种方法应结合起来灵活使用,既有利于分析又可以减少工作量。

(6) 企业电能平衡的测算误差应尽量低于10%。

1.4 电能平衡几个重要参数

1.4.1 有功功率和无功功率

有功功率是保持用电设备正常运行所需的电功率,也就是将电能转换为其他形式能量(如机械能、光能、热能)的电功率。有功功率过低会导致线损增加、容量下降、设备使用率下降,从而导致电能浪费加大。

无功功率是用于电路内电场与磁场的交换,并用来在电气设备中建立和维持磁场的电功率。它不对外做功,而是转变为其他形式的能量。凡是有电磁线圈的电气设备,要建立磁场,就要消耗无功功率。无功功率过高会导致系统容量下降、设备和线路的损耗增加,冲击性无功负载还会使电压剧烈波动。

1.4.2 电能利用率

为了衡量企业各项用电设备及企业总体有功电能的利用情况,引入电能利用率的概念。所谓电能利用率是指用电系统的有效利用电量与输入有功电量之比。电能利用率可通过直接测定法(正平衡法)或间接测定法(反平衡法)得到:

直接测定法(正平衡法)按式(1-2)计算:

$$\eta = \frac{W_Y}{W_G} \times 100\% \quad (1-2)$$

间接测定法(反平衡法)按式(1-3)计算:

$$\eta = \left(1 - \frac{W_s}{W_G}\right) \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 η ——用电系统的电能利用效率%。

如果在电能平衡时间内,用电系统输入的有功功率与有效利用功率保持恒定不变,则电能利用率也可用功率求得。

对于串联用电系统(如图 1-2 所示),其电能利用效率按式(1-4)计算:

$$\eta_c = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \cdots \cdot \eta_i \quad (1-4)$$

式中 η_c ——串联用电系统的电能利用效率;

η_i ——用电系统中串联单元 i 的电能利用效率;

n ——用电系统中单元数量;

i ——1, 2, $\cdots$, n 。

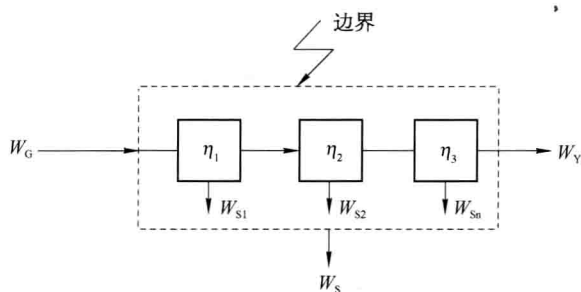


图 1-2 串联系统图

对于由若干单元并联组成的用电系统(如图 1-3 所示),其电能利用效率按式(1-5)计算:

$$\eta_B = (K_1 \eta_1 + K_2 \eta_2 + K_3 \eta_3 + \cdots + K_i \eta_i) \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 η_B ——并联用电系统的电能利用效率;

K_i ——单元 i 的分电率,即为各单元从总供电量中分得的电量占总供电量的分电权重; $K_1 + K_2 + K_3 + \cdots + K_n = 1$;

i ——1, 2, $\cdots$, n 。

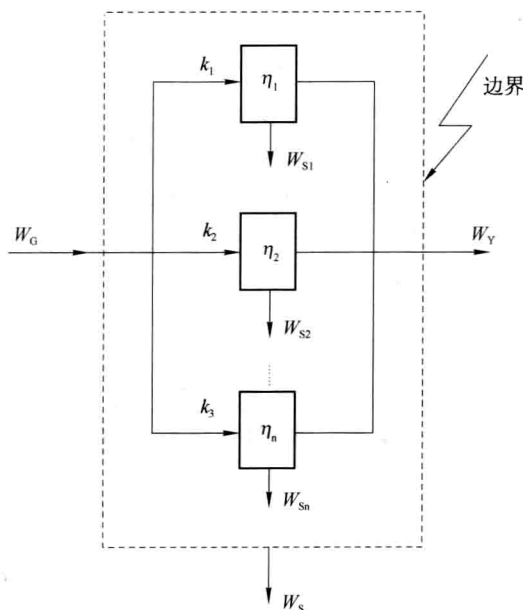


图 1-3 并联系统图

1.4.3 负荷率

负荷率(负载率)是指在规定时间内的平均负荷与最大负荷之比的百分数,是用来衡量在规定时间内负荷变动情况。

目前,我们可以通过把各个时间段的用电负荷情况统计出来,绘制在一张以横坐标为时间,纵坐标为负荷的坐标图上来得出电网负荷曲线,用以指导企业合理的安排生产,削峰填谷。

1.4.4 节能率

节能率是指报告期内节能量与基准期的能源消耗量之比,即采取节能措施之后节约的能量与未采取节能措施之前能源消费量的比值。它用以反映节能设备或节能技术节约能源的能力。

第2章 变压器的电能平衡和节能措施

2.1 概述

变压器的电能利用率即是其效率,在所有用电设备中变压器的电能利用率是最高的。目前小型变压器的电能利用率可达98%以上,大型变压器的电能利用率可达99%左右。就实际使用情况而言,一般企业变压器的电能利用率低于这一水平,特别是当变压器的实际负荷小于额定负荷的30%时,其电能利用率不到90%。

虽然变压器的电能利用率很高,但由于多数工业企业的变压器是长年运行的,因此其损耗的总电量依然很可观。由于变压器的损耗与负荷率有关,而变压器的损耗又包括有功损耗与无功损耗两部分,下面分别对变压器的损耗和负荷率加以介绍。

2.1.1 变压器的有功损耗

变压器的有功损耗由铁耗和铜耗组成。其中铁耗主要是变压器铁心中的磁滞损耗和涡流损耗,它与变压器外加电压的平方成正比。当变压器外加电压和频率确定不变时,铁耗也就不变,因此又叫不变损耗。铁耗可通过空载试验求得。由于空载电流很小,它在变压器绕组中产生的铜耗远小于铁耗,所以铁耗就近似等于空载有功损耗。

变压器铜耗主要是变压器一次侧和二次侧绕组电阻所引起的损耗。因此,它与变压器的负荷电流的平方成正比,又称作可变损耗。变压器额定负荷时的铜耗可由短路试验测定。由于短