

节能资料

电能管理
提高锅炉效率

1985

北京能源学会

目 录

电能管理.....	张泉帆 (1)
电费计算.....	莫颢武 (20)
链炉配风与锅炉热效率关系的探讨.....	马宪国 张元忠 (31)
提高锅炉效率的设备.....	李 化 (41)

电 能 管 理

张 泉 帆

电能是高品质的二次能源，它可由石油、煤、天然气、水和铀等一次能源转变而来，它也是太阳能、风能、海洋能、地热能等新能源大规模应用的一种重要中间媒介。因此节电问题和节能及节省资源问题是密切相关的。

所谓节电，简单地说，就是不浪费电能，从直接的角度来看，就是节省使用和合理用电能，从广义看来，就是合理利用资源。

可见，节电所涉及的问题是很广泛的，而节电措施又是多种多样的。

目前，大容量的电力是在水力，火力和原子能等发电厂中，由石油、煤、天然气、水和铀等一次能转变而来的。到目前为止，发电的热效率仍然是较低的，只有30%左右，很少有超过40%的。这也就是说，仅有30~40%的一次能转换为电能了，而其他大部分在转换过程中以发热等各种形式损耗掉了。电能输送过程中还要经过变压器、开关、输电线等输配电设备，又将损耗掉一部分，所以到用户为止，一次能的利用率只有28—38%左右。由此可见，每浪费一度电，就相当于浪费了更多的一次能源。

在用户处，电能又被转换成机械能、光、热等。这些用电设备当然还有个效率问题。所以为了更好地节能，就应该从发电、输配电、到用电的电力系统整体来加以综合考虑。

据有关文献报导，日本电能占整个能源的比例在1978年为32%、预计到2000年时可达50%。为了有效地利用电能，应在供电和用电两个方面来做工作。

1.发电部门的节能

提高发电效率的主要因素有：加大机组尺寸；采用二次再热循环；使用超临界压力锅炉；给水泵采用汽动泵驱动方式，以降低

厂用电率。就目前情况来看，因为锅炉的有关材料性能的限制，很难再提高蒸汽参数，因此应对电能转换效率更加重视。为此，可从以下几方面着眼：首先，对热机应力争扩大高温高压领域，使它的效率更高些。当然，燃气轮机的入口燃气温度约在1100°C，单机效率为29%，由于叶片的冷却方式和陶瓷等耐高温材料得到了发展，所以，扩大高温领域是可能的。现已在研究入口燃气温度为1300°C、单机效率为34%的高效设备。其次，发展与过去不同的新型发电方法，也被日益重视。所谓过去的方法，就是把一次能源转换成机械能的发电方法。若不先转换成机械能，而直接发电，当然是更为理想的方法。为此正在研究燃料电池。它是利用氢和氧的化学反应直接发电的。其理论效率甚高，可达70%。东京电力公司已在4.8兆瓦发电机上进行试验，初阶段的效率达40%，今后，设法更进一步提高效率。此外，磁流体发电，也在加紧研制之中。

在发电方面另一项引人注目的改进是着眼于采用联合循环结构来提高效率。目前，已计划研制利用燃气轮机排气作为汽轮机热源的联合循环发电。采用燃气入口温度为1100°C的燃气轮机组或联合循环结构，总效率可达42%。当燃气轮机的入口燃气温度逐步提高到1300°C和1500°C后，这种联合循环结构的总效率预计可高达50%。若能如此，在发电方法上，将是一项重要的节能措施。如果把煤的气化技术的进展也考虑进来，使煤的气化转换效率提高为90%，那么，以煤为燃料的火力发电效率，将可能提高到40%以上。

2.变电和输配电方面的节能

在输配电方面，为了降低损耗，已采取

了多种措施。例如：电源采用火力发电，缩短输电距离；采用高压输电，采用较粗的导线输电；采用低损耗的变电设备；在大容量火力发电厂和原子能电站采用遥控技术；扩大地下电缆系统和加大支路电抗器的使用；采用高阻抗设备等等。在采取了以上措施之后，已使输配电的损耗率降低。不少国家和地区，输配电损耗率已降至6%以下。

为了提高输电电压，目前已在研究1000千伏的大容量超高压输电技术，以10千兆瓦、600公里输电线路为例，1100千伏与500千伏相比，输电损耗大为降低，其中线路损耗从542兆瓦降至145兆瓦，设备损耗从102兆瓦降至62兆瓦。因此，总损耗从604兆瓦降至247兆瓦。

在采用大容量地下电缆方面，近来，也取得明显的节电效果。为了进一步提高容量与效率，正在设计高压、低介质损耗和最合适的冷却方法。

3. 用电部门的节电

各个用电部门，目前都很重视节能问题，并且已经取得了很好的成效。通过重新评价生产工艺、改善操作运行技术、余热回收和推广节能新技术等已使电能得到较为合理的利用。

工业是主要的用电部门，电动机，尤其是感应电动机在工业中应用极广，通过对电动机的节能，对工业节能用电影响很大。近年来，已在推广使用高效电机，并采用各种形式的调速装置来把恒速电机变为变速电机。而变速电机在很多应用场合有明显的节能效果。因为风机、泵和压缩机的负荷变动，以前通过调节阀门来进行控制的；而目前，可采用变频调速装置使其变速运行，这就是大大地提高了电动机的运行效果。虽然在不同工艺和流量下节电的效果也不同，但是多数会取得20—50%的节电效果。此外，利用可控硅变频调速装置取代电动发电机组，作为钢铁和铝生产等部门的感应加热炉

用的电源，一般可节能10%左右。

总之，工业部门的节能措施是极多的，后面还要详述。

对运输部门而言，石油占主要地位，电力仅占7%以下。但是，随着电动交通工具的发展，这个比例定会有所变化。因此，运输部门的节电问题也是不容忽视的。当前，采用变流器控制的电动车辆，已有一定的普及。这种车辆与使用电阻控制的车辆相比，可节能25—30%。随着交流传动在运输行业中的推广应用，变频控制装置也会日益增加。若能推广使用，预计比用变流器控制的车辆更节能15%左右。

民用部门也是用电的大部门，从发展的观点来看就更是如此。因为照明的要求会越来越高，家用电器会日益普及，所以民用耗电量的比例会逐步提高。因此这部分的节能工作也日益被重视。

总之，由于电能是一种宝贵的能源，节电对国民经济起重要作用。但是鉴于节电的最终目的，所以对所采取的节电措施，应有一定的条件，总的说来节电的前提是：首先不能影响产品的质量、性能和产量。因为生产厂的目标是以最低廉的成本，生产出质量和性能都符合要求的产品，并且确保所需要的产量；节电措施也不应恶化环境，应该尽力避免工作环境的恶化。例如，照明的好坏虽然对节电有影响，但是在考虑节电时，必须把对工作人员的长期影响以及对工作效率的影响考虑在内，要全面考虑并慎重进行。对于某些可引起环境污染的设备，在考虑它的节电措施时，必须以满足环境保护要求为前提，例如，必须把排放物质控制在允许的基准值以内。另外，节电的问题，本身就是一个技术经济问题，因此必须仔细研究为了节电而进行的投资，在多长时间內才可以回收，应该力争在尽量短的时间內回收投资费用。不同场合所制定的投资回收期限是不同的，一般讲来，节电投资回收期以2—3年为

宜。此外，由于采取了节电措施，往往会使用设备寿命缩短，例如电动机由连续运行改为间歇运行就是这样，在考虑经济问题时，还应该把设备更新费和所增加的维护费考虑在内。为了做到节电，当然不希望增加其他费用，例如，不应为了节电而提高维修工作量与操作人员工作量，也就是说，不能为了节电而引起其他费用提高和增加额外工作。总之，不是为了节电而节电，节电应取得实效，为此就应有全面的整体的观点。

一、前言

1. 工业能源利用

美国的工业能耗量约占全国总能耗的40%（如表1所示），其中以供暖、生产用热、电气传动、热水、空调和照明为主；表

2列出了美国能源的终端利用情况。

电是重要的二次能源，从终端用量来计算，电能占工业总能耗的12.5%，但是从一次能源的消耗量来看，电在工业总能耗中所占的比例为30.7%。这些数据是根据1975年的统计材料得出的。从1975年以后，美国发电所消耗的一次燃料，一直居于全国各部门的首位。

表1 1975年美国能源利用情况

部 门	燃料消耗量	电力转换损失耗电量	总计(%)
商用和民用	13.48	7.85	35
工 业	18.95	5.69	39
交 通	18.49	0.04	26
其 它	0.07	—	—
总 计	50.99	13.58	100

注：单位为1015Btu

表2 1975美国能源的终端用户

部门	交通	供暖	生产用汽	直接加热	电气传动	原料加工	热水	空调	商业照明	制冷	炊事	电解	其它	总计
(%)	26.2	17.6	16	10.4	8.2	5.1	3.8	3.3	2.6	2.4	1.1	1.1	2.2	100

2. 工业用电

工业用电的场合极为广泛，主要的领域有，电气传动、电解、电加热、空调、电热供暖、照明和制冷等。表3所示为1973年美国电力的利用情况。

表3 1973年美国电力利用情况

应用方式	占美国总能源的%	占电负荷的%
电气传动	8	30
供 暖	6	22
照 明	5	19
制 冷	2	7
水的加热和冷却	1	4
电 解	1	4
其 它	4	14
总 计	27	100

二、工业电负荷

1. 电气传动

电气传动所消耗的电能，在美国约占总耗电量的60%，其中包括各种形式的电动机、电动工具、压缩机、制冷系统、风扇和泵。可见，改进这些设备的用能效率，对降低工业总能耗将起重要作用。

已有很多种方式可以提高电动机的效率，例如，可以通过改进设计；使用较好的润滑系统，改进冷却方式；用热回收系统等等。对于一些小容量电动机，提高电动机的效率往往需要更新机组，这是因为目前高效电动机的效果甚佳。当然，对高效电动机，由于改进了设计和选用了较好的材料，因而造价也会高一些。

电气传动系统的损耗主要可分为以下四

个部分，

原动机（电动机），其典型效率在10~95%之间；联轴节，效率为80~90%；变速器，效率为70~95%；机械负载，效率为1~90%。

表4 典型感应电动机的效率与功率因数

功率 (kW)	功率因数 %			效率 %		
	半	75%负载	满载	半载	75%负载	满载
鼠笼电动机						
0.75	60	71	78	71	76	76
1.5	75	81	86	78	80	80
3.7	76	84	87	83	84	84
7.5	81	87	88	85	86	85
14.9	85	88	89	84	85	84
29.8	86	88.5	89.5	89.5	90	89.5
74.6	85	89.5	90.4	89	90.5	91
149.1	91	93	94	87	90	90
线绕式电动机						
3.7	72.5	80	82.5	78	79	79.5
7.5	69	79	83	83	84.5	85
18.6	75	83.5	87	84	86	86.5
37.2	84	89	90	86	88	88
74.6	88	90.5	89.5	86	88	88
149.1	89	91	92	87	89	90
三相鼠笼型电动机 (2300伏)						
224	87.5	89.3	90.6	90	91.8	92.7
522	90.2	92.0	92.9	91.6	93.0	93.6
745	91.2	92.8	93.7	92.2	93.4	94.0
三相线绕型电动机 (2300伏)						
224	84.7	89	90	90	91.8	92.7
522	88.5	91.8	92.6	91.6	93.0	93.6
745	90.0	92.8	93.5	92.2	93.4	94

为了降低电气传动系统的能耗，对以上四部分都应仔细地加以分析，以确定是否有进一步节能的可能性。在很多场合下，电动机的效率往往比系统其它部分的效率要高，但是当电动只带部分负载运行时，它的效率和功率因数都要降低。表4给出了典型感应电动机的有关数据。

2. 电解

电解的工业应用包括：电解沉积、电镀、电化学、电化学机械、燃料电池、焊接和蓄电池等。电解与腐蚀紧密相关，腐蚀导

至材料的大量损耗，而生产这些材料是需要能源的。据估计，腐蚀造成的损失，相当于美国国民经济总产值的1%。

电解沉积所消耗的能源在电解用能中占主要部分，其中如电解铝和电解镁都是耗电量很大的工业。就当前的工艺而言，每生产1公斤的这类金属，就需要13—15千瓦小时的电能。目前正在努力设法降低这一损耗。希望能够降低到10kWh/kg。

除了电解冶金之外，电镀和阳极氧化是另外两个重要的耗能部门。所谓电镀就是在一种金属上附着上一层电镀层。可用铜、青铜、锌或其它金属作为镀膜材料。阳极氧化，粗糙地来说，是一种逆电镀工艺，一般是用铝作为阳极，通过反应，在其表向上形成一层氧化铝的保护膜。

燃料电池是一种通过电解作用把化学能直接转换为电能的装置。就目前而言，它的容量还很小，但是已着眼于开发电力用的大型系统，以便用于小型孤立电厂。

蓄电池是电解能源的另一种重要应用场合，它的容量范围很广，所贮存的能量从1焦耳以下直到 18×10^9 焦耳（5MWh）。这种大容量的蓄电池可用于电力系统的能量存贮。

电成型、腐蚀加工和焊接是电解用于制造和材料加工业的一些形式。这些技术已被广泛地用于从微电路加工到飞机制造业。在若干应用场合下，这些技术与机加工相比可以节能。除此之外，焊接有助于维修设备，从而导致省材料和减少更新设备。这当然也可以节省生产和制造这些设备的能源。

3. 电加热

由于电能比较容易控制，起始投资较少，容量适用范围较宽，所以在工业中被广泛地用来作为各种形式的加热能源。典型的应用计有：电阻加热器（金属外壳加热器、电热炉等）；红外加热器、感应和高温电阻加热；电介质加热以及电弧加热等。

电弧炉在冶金工业中是一种重要的电负载。电弧炉炼钢的典型能耗为 0.6 kWh/kg 。提高电加热效率的方法很多，主要的有改善传热面；加强绝热；实现热回收和改进控制方式等。

4. 交流高压系统

加热、通风和空调都涉及到交流高压系统，这也是工业部门的重要耗能领域。工业对环境的要求不同于民用和商用，在某些情况下为了特定过程的需要，对环境标准常有严格的要求，但是在多数情况下，生产过程对环境的要求并不太严。虽然如此，对空调还是有要求的，这主要是从维护生产人员的身体健康和保持工作效率来出发的。

有关交流高压电的应用问题以后再讨论。

5. 照明

工业对照明的要求，程度上相差很大，有些工业（如大型构件的安装与焊接），对照明的要求不高，而另一些工业（如精密机加工和集成电路等），却对照明有较高的要求。

在美国，照明用能很多，照明耗电量约占全部电能的20%，占全国总能耗的5%。在全部照明用电中，工业照明约占20%。总的说来，工业照明的节能机会比民用和商用为少。

三、工业能源与电力管理

1. 制订工业电力管理计划

各种工业的情况大为不同，产品和生产方式千变万化，再加上组织机构也是不同的，所以，很难订出一个通用的节能计划；而只能根据各单位的具体情况来制订。但是，在制订能源管理计划时，却有一些可以通用的导则。有很多大企业已经制订了有效的能源管理计划。通过实践，证实了这些计划对节能和降低生产费用可起重要作用。然

而对一些小型企业，往往缺乏制订和执行能源管理计划的专业人员和设备，在这种情况下，有必要争取外来的帮助，以便制订一个好的管理计划。当然这项计划的成败仍然取决于本企业有关人员的努力，而且任何完善的计划，也只有通过有效的执行才能发挥出应有的作用。

对电力管理计划而言，可以争取当地供电部门的支持。这些支持包括制订计划、指导技术和交流经验，当然，有时也可以帮助培训电能管理人员。

一项良好的能源管理计划，应具有表5所列的工作内容。

表5 能源管理计划要点

第一阶段	成立管理机构
1.1	委托制订能源管理计划
1.2	指定能源管理人员
1.3	成立全企业及各部门的能源管理机构
第二阶段	核算与分析
2.1	总结能源利用的历史情况
2.2	初步调查
2.3	对有关设计方案、设备性能、数据表格等进行初步分析与评价
2.4	制订能源核算计划
2.5	对设备和生产过程进行能源核算
2.6	根据核算结果算出年度用能量
2.7	与历史记录数据作比较
2.8	根据工程计算；热平衡与物质平衡；理论效率计算；计算机分析与模拟等工作，制订能源管理方案
第三阶段	能源管理计划的执行
3.1	对各部门提出有效利用能源的目标
3.2	确定需要投资的地方及优先顺序
3.3	建立测量与报告程序，安装必要的监控与记录仪表
3.4	向主管人员提供能源实用情况，并报导有关结果
3.5	培训能源管理人员
3.6	对能源管理计划定期地进行总结与评价。

对表5的有关内容讨论如下：

(1) 第一阶段：成立管理机构

成立能源管理机构,指定专人负责能源管理事宜,对制订和执行能源管理计划是非常重要的。当然,为了开展工作,能源管理机构应具有适当的权限与资金。只有详细地了解企业能源利用的历史情况、目前的要求以及未来的打算,才能订出一项较为实用的节能目标与工作导则。在这一工作过程中,对能源的供求情况以及能源的费用的变化趋势,也应有慎重的估计。对一些较小的企业而言,往往并不一定要成立能源管理机构,而是把能源管理任务委托给有关人员即可。

(2) 第二阶段:核算与分析

1) 设备与工厂的能源核算

对工厂已有的有关能源利用的历史记录,必须注意收集并详加评价与分析。对工厂所用能源的类型;周期变化的趋势;财政支出情况;能源供求与工艺生产的关系;用量的最大值与最小值等等资料,皆应仔细分析,对重要的数据最好用图表或曲线的形式表示。

历史数据有助于制订能源核算计划,同时有利于核算人员考虑设备的性能和能源的类型。在进行正式的核算之前,建议先对全厂的一般情况作一概括的查询,以便初步地掌握主要能源的利用情况以及工厂的生产过程和各部门的职能。这些工作,对拟定计划草案是很有帮助的。

能源核算工作最好是由有经验的、至少是受过训练的一组人员来执行,因为毕竟目测仍是收集信息的主要手段之一。因此经验和训练是必要的,核算组可由3至5人组成,每人都应有明确的分工。例如,有的核算人员可以主管照明;另一些人员可以分管高压交流系统;设备和生产过程;建筑结构等等,有了分工之后就能把工作做得更深入更细致。

能源核算中经常出现的难点是一些有关能源利用的变化性的因素,例如设备的利用率、带负载的多少、工作人员的效率、气候

条件以及其它一些可变的条件等等。除此之外,有些设备的额定功率有时也难以查明,再加上灰尘、润滑等因素也可能使额定功率发生变化。对一台较复杂的设备或系统装置往往没有一个总的铭牌,以便标明总功耗的大小,而系统中的各个部件分别具有铭牌,这时为了获得总容量还必须做一些工作。设备的负载系数也是非常重要的,因为设备所消耗的能量不但与此有关,而且设备的效率也因带载不同而有异。

为了取得能耗的真实数据,最好是在典型工作条件下用传感器和适当的仪表进行实测,这类仪表种类繁多,如电流表、温度计、热流计、气流计、亮度计等等,如某些情况下还会采用红外扫描或热图等更为复杂的技术。至于测量与记录的程度等级,当然要随具体条件而异,例如要考虑到节能潜力的大小、可用资金的多少等等。当然,在绝大多数情况下,根据设备的铭牌或技术资料就可以取得所需功率的数据,而且程度也够用了。值得注意的是,从运行人员处往往可以得到非常有用的信息,尤其是设备的工作方式是经常不变的情常况下就更是如此。

能源核算记录表格应包括设备名称、编号、所用能源类型、铭牌上的额定功率值、典型负载率、每天的运行时间、每天的总能耗等等,从每天的总能耗可进而推出每月或每年的总能耗。对于不经常开动的设备则可统计出每个使用周期的总能耗量,并折算成统一的单位MJ或Btu。

从记录数据折算成所需要的结果,可通过手算,也可以使用计算机。利用计算机的优点是显而易见的,不但迅速精确,而且有关数据便于存储,以备必要时提用。通过计算机还可以把所测得的数据和其它数据相比较,以便进一步分析不同能源和不同设备的能源管理特点。

2) 生产过程的能源核算

对某些制造业和过程工业而言,确定生

产单位产品所需要的能源是很感兴趣的。这同样也可以利用上述的能源核算技术，只稍加变化即可，因为这种方法常涉及到很多财政计算，所以有时也称之为能源计算。

为此，首先要确定原材料的能源含量，然后算出把此材料加工成产品所需要的能量，同时尚要算出在生产过程中所产生的废气及其它副产品所具有的能量，把这些能量都折合到同一能量单位相加，即可获得单位产品所包含的能量。此量可作为衡量能源利用好坏的标志，从而就可为节能提供目标。

在这种核算中，应仔细地确定生产这一产品所需要的全部材料以及加工出的所有产物。在某一特定的时间内，所供给的原材料可能是变化的，这就要根据具体情况取出一些有代表性的数值。至于各种原材料所含有的能量，则可根据有关文献或是美国商业部的有关资料近似地得出。材料所含有的能量应包括制取该原材料所付出的能量，同时也要包括材料本身的热值，因为该热值在生产过程中相当于燃料。

能量转换过程是能源核算工作的一个重要方面，对转换的损失决不应忽视。由其它能源转变成电能，就涉及到能量转换效率问题。在这一转换中，取 10.8MJ ($10,200\text{ Btu}$) 的燃料能可产生 1kWh 的电力 (3.6 MJe)，因此燃料转换成电的转换效率为 $3.6 \div 10.8 = 0.33$ 或 33% 。

过程蒸汽的能源含量，应包括生产此蒸汽所用的燃料和电力。其中包括输电线损耗。对于热电联产厂，情况当然要更复杂一些，因为这时应区分开有多少燃料用于发电，有多少燃料用于产汽。有些资料上给出了处理这类问题的一些近似方法。

核算时也要注意另一个问题，那就是生产出的废品有时是需要加以处置的。而处理废品也需要能量，有时甚至还要加上运送废品所需的交通工具用能，

同样，工厂的副产品，也要进行核算。

3) 分析能源核算结果，找出节能机会
通过核算，一般可以找出一些节能的机会，有些节能机会是很明显的，例如有些设备维护不善，有些设备全日运行，而实际上并不需要如此等等。这些情况，通过加强维护和管理，就可以在不投资或少投资的条件下，迅速地取得节能效果。

但是，进一步地节能就需要对核算结果进行仔细的分析，找出浪费能源的所在，挖掘节能潜力。例如应对每一生产过程、每一个设备作能量平衡计算。这在有时就要做一些设备或流程上的改进，才能取得明显的节能效果。当然，这往往就需要有一定的投资。在作出投资决定之前，进行可行性分析是必要的，这要兼顾到技术的可行性、经济的合理性以及满足环保的要求。其中投资回收期 and 纯节能量是关键的经济因素。

(3) 第三阶段：执行能源管理计划
测量和监控设施对评价能源管理计划的执行情况是至关重要的。必须建立起日常的记录与报表制度，以便把管理计划和运行人员联系在一起，同时也可以管理人员和设备的用能情况之间速通信息，从而指明运行人员工作的不足之处。把能量消费情况和能源费用按时制成图表有助于能量管理计划的执行。总之，为了执行计划，必须设法使全体人员重视这一计划，并各有自己的工作目标。这些做法还应持之以恒，并不断改进，才能做到预期的效果。

2. 电负荷分析

能源核算是分析能源利用情况的一种通用工具，它可以分析各类能源在短期或长期内的利用情况。除此之外，对于短期工业电能的利用情况，可以利用每日的负载曲线来加以评价。负载曲线是通过安装在现场的表计上的记录数据作出的，所以这种分析方法适于现场分析。当然，有时也需要装一些专用仪表，以便对某些过程实现监控。

对一些小容量的负载而言，用电度表就

可以简单地获取其电能利用情况，以瓦时表示的能耗可由下式确定

$$E = \frac{K_b P_t C_t N}{1000} \text{ (kWh)}$$

式中E为所用电量，以kWh表示； K_b 为表计常数，单位为瓦时/转； P_t 为电压互感器比； C_t 为电流互感器比；N为电度表盘的转数。在用电时电度表的转盘就会转动。其累计转数可由计数器给出。如此，在某一段时间的N值就可以读出。 K_b 值一般由表上给出，而 P_t 和 C_t 对于小容量表计而言通常为1.0。所以E值就很容易算出。在多数情况下，无需计算，E值可以直接读出。

当P求出后，就可以求出在P（小时）期间的平均负载L：

$$L = \frac{E}{P} \text{ (kW)}$$

式中E的单位为kWh，P的单位为小时。

对于较大的负载，不但需要测出kWh，而且有时还装有无功表和功率因数表。

为了绘制日负载曲线，则因已用电度表逐时地测出kWh值，然后即可绘制出24小时内负载的变化情况。

现以某工厂为例，它一天中负载的变化情况如表6所示。

表6 某厂日用电负载记录表

读表时间	耗电量	用电情况	占总用电量的百分数
1:00	640	①班前用电	17%
2:00	610		
3:00	570		
4:00	570		
5:00	640		
6:00	770		
7:00	1120		
小计	4920		
8:00	1470	①班后用电	29%
9:00	1700		
10:00	1790		
11:00	1850 (峰值)		

12:00	1830	上班时间	54%
13:00	1790		
14:00	1790		
15:00	1760		
16:00	1690		
小计	15670		
17:00	1470	①班后用电	29%
18:00	1310		
19:00	1210		
20:00	1090		
21:00	960		
22:00	800		
23:00	730		
24:00	640		
小计	8210		
总计	28800		100%

根据表6的数据可作出如图1所示的某厂日负载曲线。

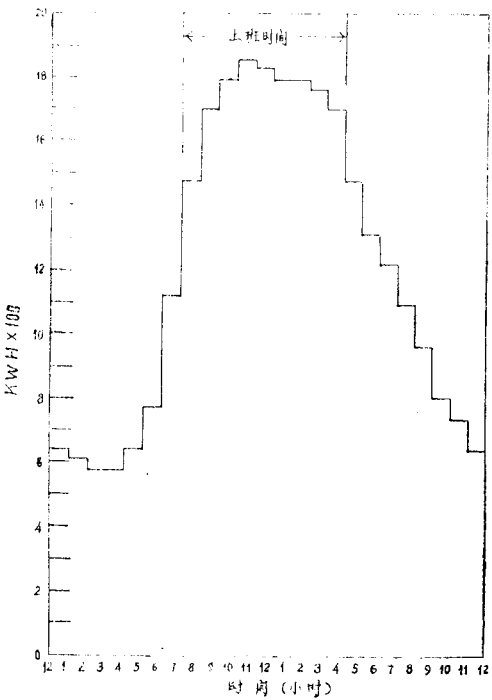


图1 某厂的日负载曲线

由图1可知：
该厂的峰值负载在11点钟出现
用电的最大负载与最小负载之比近似于

3:1

上班时间的耗电量占 50% 左右（实际为 54%），也就是说一半左右的用电量是在非生产时间用掉的。

上述情况对制订电能管理计划是很有用的。我们需要对用电情况作进一步的研究，从分析中不但能了解到用电的情况，而且也能看出工厂的生产情况以及电费支出情况。以下对电负载的情况加以讨论。

工厂的电负荷一般是由照明、电动机、压缩机、制冷设备以及其它用电设备组成的。所有这些设备的容量总和称之为设备总容量，而任一时间的实际负载都比这一总容量为小，原因是显而易见的，因为电动机不可能都同时满载工作，照明设备也不可能在同一时间全用等等。可见，实际负载与设备容量之间是有差异的，此差异的大小可用一个系数来度量，此系数即为差异系数：

$$DV = \frac{D_{m1} + D_{m2} + D_{m3} + \dots}{D_{max}}$$

式中 $D_{m1}, D_{m2}, \dots$ 为各种负载最大需求电量的总和，以 kW 表示； D_{max} 为工厂用电的最大需求量，当各种负载并不同时投入使用（在一般情况下都是如此），此差异系数将大于 1，对工厂而言典型的差异系数值为 1.3 到 2.5 之间。当各种用电负载的最大需求量同时出现时，则此最大需求量就会等于该厂设备总容量，而这时的差异系数就等于 1。然而，如前所述，这种情况是极为少见的，只在很特殊的情况下才会发生。

由于工厂中的各种设备是经常起动和停止的，所以在任一时刻的负载都可能是变化的，为了方便起见，一般取一定的时间间隔来计算用电需求量：

$$D = \frac{E}{P} \text{ (kW)}$$

式中 D 为需求量，以 kW 表示； P 为计算需要所取的时间间隔（一般可取 0.25、0.5、或 1 小时）， E 为在 P 期间内所消耗的

kWh 数。可见，如此所计算出的需求量 D 实际上为一平均值，它比此期间的最大瞬时值为小，而比此期间的最小瞬时值为大。

通常，电力部门对峰值需求量最感兴趣，因为这一数值决定了为满足用户需要而必须装设的供电设备的容量。为此可引入一称之为需求系数的参数：

$$DF = \frac{D_{max}}{CL}$$

式中 D_{max} 为最大需求量，以 kW 为单位； CL 为设备总容量，单位为 kW。需求系数 DF 一般小于 1，典型值范围在 0.25 到 0.90 之间。

最大负荷可影响用户在供电系统方面的投资，所以最大负荷的利用时数对用户而言是一个感兴趣的参数。如果设备一直在最大负荷下运行，当然这时最大负荷的利用时数就最大，但实际上这种情况很少出现，因此就有必要引出一个参数来描述在工作期间内最大负荷的占有时间。为此，可给出在某一周期内的最大负荷利用小时数 $HUOD$ ：

$$HUOD = \frac{E}{D_{max}} \text{ (小时)}$$

式中： $HUOD$ 为最大负荷利用小时数； E 为在 P 期间内的能耗数，以 kWh 表示； D_{max} 为在 P 期间的最大需求量 (kW)； P 为以日计、月计或年计（一般都要大于以小时计）的一段时间。

另一个有用的参数称之为负载系数，它用于描述工厂有效地用电的能力，它实际上是在某一给定期间内的平均负载与最大负载之比。负载系数越高，电能的利用率也就越高，负载系数可定义为：

$$LF = \frac{E}{(D_{max})(P)}$$

式中： LF 为负载系数（无量纲）； E 为在 P 期间内的能耗量，以 kWh 表示； D_{max} 为在 P 期间的最大需求量，以 kW 表示， P 为以

小时为单位的一段时间（一日、一月或一年）。LF的另一种表示式为：

$$LF = \frac{HUOD}{P}$$

或：

$$LF = \frac{L}{D_{max}}$$

式中L为P期间的平均负载：

$$L = \frac{E}{P} \quad (\text{kW})$$

现将以上各关系式整理如表7所示：

表7 负载分析公式摘要

公 式	定 义
$E = \frac{K_h P_t C_t N}{1000}$	E：在P期间内所用的电能 (kWh)
$L = \frac{E}{P}$	E_{max} ：在P期间内所用的最大能量 (kWh)
$DV = \frac{D_{m1} + D_{m2} + D_{m3}}{D_{max}}$	K_h ：仪表常数 (瓦时/每转)
$D = \frac{E}{P} - D_{max} = -\frac{E_{max}}{P}$	P_t ：电压互感器变压比
$DF = \frac{D_{max}}{CL}$	C_t ：电流互感器变流比
$HUOD = \frac{E}{D_{max}}$	N：电度表盘的转数
$LF = \frac{E}{(D_{max})(P)}$	L：平均负载 (kW)
$= \frac{HUOD}{P}$	P：以小时为单位的一段时间通常为1天、1月或1年
$= \frac{L}{D_{max}}$	DV：差异系数，无量纲
	D_{max} ：在P期间的最大需求电量 (kW)
	D_{m1} 、 D_{m2} 等：个别负载的最大需求电量 (kW)
	D：在P期间的需求量 (kW)
	DF：P期间的需求系数 (无量纲)
	CL：联接的负载 (kW)
	HUOD：P期间内最大负载利用小时数 (h)
	LF：P期间的负载系数 (无量纲)

现仍以某厂为例，根据表7中所列的关系式，即可计算出各种负载参数。已知数据和

计算结果如表8所示：

表8 某厂的负载分析数据

已 知 数 据	计 算 结 果
P：24h	1. $D_{max} = \frac{E_{max}}{P} = \frac{1850 \text{ kWh}}{1 \text{ hr}} = 1850 \text{ kW}$
E：28800 kWh/day	2. $DV = \frac{D_{m1} + D_{m2} + D_{m3} \dots}{D_{max}} = \frac{2459}{1850} = 1.33$
E_{max} ：1850 kWh	3. $DF = \frac{D_{max}}{CL} = \frac{1850}{2792} = 0.66$
CL：2792 kW	4. $HUOD = \frac{E}{D_{max}} = \frac{28800 \text{ kWh/day}}{1850 \text{ kW}} = 15.6 \text{ hr/day}$ (每日)
D_{m1} 、2、3... 53、62、144、80、700 1420 kW	5. $LF = \frac{HUOD}{P} = \frac{15.6}{24} = 0.65$ (每日)

从上表可见,需求小时数只有15.6,这时因为该厂为一班工作制。从计算的结果看来,该厂的负载系数很低。

通过能源核算,可以发现不少节能的机会。例如,发现照明时间过长(每天约12小时),这时就可以用根据照度来自动关灯的系统,因而也就可以少用照明电。另外,办公室的照明水准可以适当低一些,为此可采用台灯加强必要的照度,而不必大面积地提高照度。这样做也可以节电。通过采用合适的控制装置可以降低空调系统的用能。同样,也可以降低制冷系统的用能。其它还有通过改善空压机的漏气,减少热损,以及错开热处理炉的工作时间等方式,都有一定的节能效果。现假定某厂经改进能源管理工作之后,初步节省的电能如下:

节电措施	节电量	
	kW	kWh/yr
提高照明效率	16	67,000
降低办公照明水准	111	495,000
非工作时间自动灭灯	—	425,000
改进空调与小风扇的控制	71	425,000
改进空压机,实现局部热回收	—	200,000
把热处理与峰荷时间错开	37	
总计	235	1,612,000

这些节电措施的投资回收时间平均为5.3个月。

可见该厂在实行部分改进之后,每日可平均节电4400kWh,每年可节省约33,000美元,而节能投资仅为14,500美元。

改进后一日内各段时间的用电情况为:

	kWh	%
班前时间	4400	18
上班时间	14400	59
班后时间	5600	23
总计	24400	100

改进后某厂的日负荷曲线如图2所示

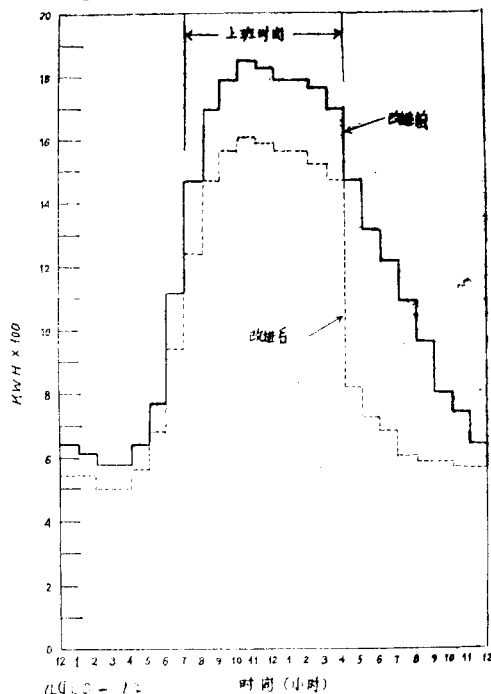


图2 某厂改进后的日负荷曲线

当工作方式变动之后,所得参数将随之而变:

$$D_{\max} = \frac{1850 - 235}{1 \text{ hr}} = 1615 \text{ kW}$$

$$HUOD = \frac{24400 \text{ kWh/day}}{1615} = 15.1 \text{ hrs/day}$$

$$LF = \frac{1.51}{24} = 0.63$$

此例说明当提高上班时间用能百分数时, $D_{\max}$ 改进了很多(降低了13%); HUOD改进不多(降低约3%); LF也降低很少。

对该厂而言,无疑将需要进一步改进工作。作为他们,首先当尽量减少非生产用能,并降低HUOD。

至此为止,以上的分析只集中在讨论电力的有功方面,而忽略了对负载无功分量的分析,实际上,在绝大多数情况下,供给负载的视在功率为有功分量(以kW计)和无功

分量 (以kVAR计) 的矢量积:

$$|S| = \sqrt{R^2 + Q^2}$$

式中: S为视在功率, kVA;

P为有功功率, kW; Q为无功功率, kVAR。视在功率可用矢量表示, 其幅值为S, 其相位为 θ , θ 可表示为:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\text{kVAR}}{\text{kW}} \right)$$

另一个有用的参数为功率因数:

$$\text{Pf} = \cos \theta$$

功率因数也可以表示为:

$$\text{Pf} = \frac{|P|}{|S|}$$

功率因数只能等于1或小于1, 一般总是希望功率因数大一些, 因为这时的无功分量就比较小, 功率因数低就意味着无功分量大。所以功率因数的大小可反映负载无功分量的大小, 尽管无功分量不直接损耗功率 (它被储存于磁场或电场中), 但是由于输配电系统的容量取决于视在功率, 也就是说取决于有功与无功分量的矢量和, 所以无功的增大将导致加大输配电系统的投资与运行费用。此外还由于附加损耗的加大, 也使用户的运行费用提高。

提高功率因数的常用办法是用电容来对感性负载加以补偿。这种方法的利弊应根据实际情况作经济分析, 不能一概而论。

现以图3所示的供电系统为例阐述上述论点。

该供电系统有中四个负载, 母线容量为600A, 负载A为远距的高电感性负载, 其功率因数仅为0.6; 其有功功率为75kW, 但是其视在功率却高达125kVA, 因此电流为150A。

供电导线的截面积取决于流过它的电流和允许的压降。对A负载而言, 选用3/0号

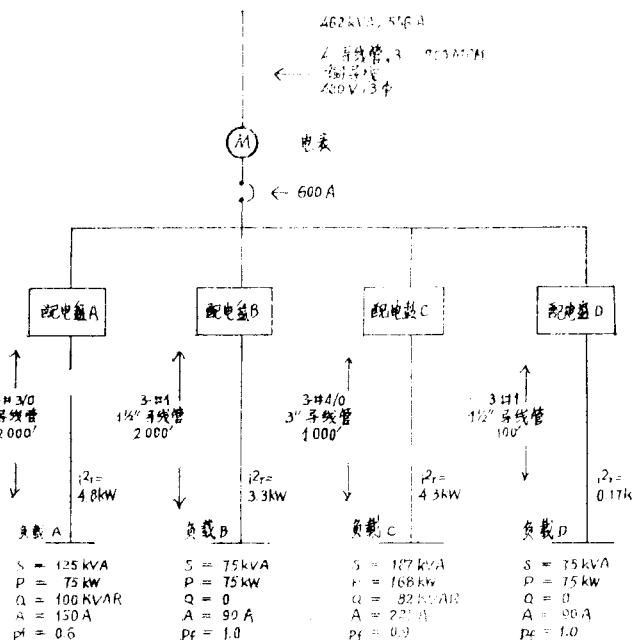


图3 某厂201建筑供电图

导线, 每一千英尺的重量为508磅, 电阻为0.062欧。因为在该导线中流过的电流为150安, 所以在该导线电阻中的功率损耗为:

$$P = \sqrt{3} i^2 r = (1.732)(150^2)(0.124) W = 4.8 kW$$

对其它几支负荷也可以进行同样的计算。

功率因数的影响是显而易见的, 尽管A、B负载的有功功率是相同的, 然而由于功率因数不同, A负载导线中的电流为150A, 而B负载导线中的电流只有90A。A负载的 i^2r 附加损耗也比B为大。由于B所用的导线、开关、导线管都比较小, 所以B用的供电投资费用只相当于A的一半左右。

供电距离长短的影响, 可从B和D的对比中看出。对于远距离连续工作的较大容量负载, 为了减少附加损耗, 应考虑选用较大的导线截面积。

假如负载的典型运行时数为已知, 则可估算出线损的大小以及多年的能耗费用:

负载	线损 kW	每年运行 时数	年耗电量 (kWh)
A	4.8	2000	9600
B	3.3	2000	6600
C	4.3	4000	17,200
D	0.17	2000	340
总			33,740

假如每度电的平均费用为 3 美分, 则每年在配电系统中的损耗即为 1011 美元, 在工厂的运行期间, 这是一项主要的非生产用能。

3. 工业能源管理策略

工业能源管理策略可分为三类:

- 改善运行和维护工作
- 进行技术改造
- 采用新设计的节能设施。

改进运行方式和提高维护水平, 可以在不用或少用投资的情况下, 取得节能效果, 对由于运行维护不善而浪费很大的企业, 这方面的节能潜力是很大的。当这方面的节能潜力挖掘出之后, 进一步的节能就需根据条件使用一定的投资进行技术改造。采用新型的节能技术, 重新设计工艺流程, 可取得明显的节能效果。但是, 也需要较多的投资, 具体用哪类方式, 要根据实际情况进行技术经济分析后确定。

(1) 电气传动与电气传动机械

电气传动设备用电量约占工业用电的 80% 左右, 尽管分马力电动机数量大, 然而主要用电设备还是容量大于 0.75kW 的工业电动机。

主要的工业电负载及其占工业用量的百分数为:

泵 (24%)

电解、电加热、高压交流系统、照明及其它 (23%)

压缩机 (14%)

鼓风机与风扇 (12%)

电机的综合应用 (9%)

直流传动 (8%)

机械工具 (7%)

分马力电机应用 (3%)。

典型的工业电动机是 11.2kW (15 马力) 的多相电动机, 其工作寿命大约为 40000 小时。在过去, 由于能源费用低廉, 所以对 15 马力以下的小型电动机, 一般都不太注重效率, 只有大容量电动机才注意效率问题。但是, 近年来由于能源费用的提高, 市场上已出现各种容量的高效电动机。当然, 高效电动机的价格比普通电动机要高一些, 但由于它效率高, 所以运行费用少, 总的说来, 在一般情况下还是合算的。

为了使电动机更有效地工作, 应注意以下事项:

- 电动机应在其额定电压下工作, 三项电源电压的不平衡度要尽量小, 因为不平衡将使损耗加大。例如 3% 的不平衡度可使损耗增加 25% 左右。由此可见, 电源电压的平衡度对提高电动机效率的影响之大。

- 对电动机应加强维护, 这包括加强冷却通风, 使散热面保持清洁, 使轴承的润滑良好等等, 有时只改善润滑就能有百分之几的节能潜力。

- 电动机合理的起停与工作顺序, 也与节能有关, 当不用电动机时应使它停止运转; 各电动机的起停时间应注意安排, 以便尽量减少峰值负荷。

- 由于电动机在额定负载左右效率最高, 所以要使电动机的容量与负载相匹配是很必要的, 要尽量避免选用容量远大于需要的电动机。

- 对工作制也要注意考虑, 对一些小容量电动机而言, 有时连续工作反而更经济。

- 注意功率因数的变化, 电动机在额定负载下运行, 往往功率因数最佳。

在设计新系统时, 或对老厂进行技术改造时, 往往要选用一些电动机, 15kW 以下

的小容量电动机的效率差异是很大的,这时应选用效率高的电动机,为此要多付出些投资,但是这些投资从节电所得中可以得到偿还,额外投资的回收期一般不长。

在考虑电气传动系统时,不能只着眼于电动机,因为有关的机械部分,有时效率也不高。这些损耗往往以热的形式耗散掉了。对这些部分加强维护,对提高整个传动系统的效率也是很重要的。

在用机械加工材料时,电能要转换成各种形式的机械能,这时能耗的多少与材料的种类以及加工的速度有关,所以,为了节能,应研究既能满足生产要求而又能节能的加工方式。在电气传动系统投入运行时,除了它本身的损耗之外,有关的输配电系统也会有相应的损耗,其中包括变电站的损耗,有关变压器、开关及配电盘的损耗,所以在考虑节能问题时应具有整体观念。在这些方面应注意的能源管理措施有:

- 根据实际情况,选用尽可能高的电压,因为当容量相同时提高电压可以减少电流,从而导致降低 I^2R 损耗。例如当容量相同时电压差提高一倍,电流将减小一倍,从而使 I^2R 损耗将降低4倍。

- 通过选用适当的电动机电压,可少用变压器,从而可减少变压器的损耗。经验表明,即使高压电动机的投资多一些,也比多装变压器合算。

- 对于长距离大电流导线,导线的截面选得稍大一点可能是经济的。

- 设法提高电网的功率因数。功率因数低可增加损耗,并加大电网压降。为了提高电压又需要采用其它措施,当然就导致增加额外的投资与损耗,因此,必须仔细地研究用电容器补偿电力系统功率因数的问题,若补偿适当,会有很好的经济效益。

- 校核负载系数。负载系数是度量工厂用电有效性的重要参数。它表明在某段时间内的实际用电量和最大需求用电量的关系。

当负载系数趋近于1时,则表明实际用电相当于最大需求用电,这时对供电设备就比较经济。例如某厂某月工作时间为200小时,最大需求功率为30,000kW,而在这段时间内的实际用电量为 3.6×10^6 kWh,则它的负载系数仅为60%。在高峰用电时间(一般只有15—20分钟),如何加以适当管理,则可以在不影响生产的情况下使峰荷降低,从而提高负载系数,节省电能,获得经济效益。例如:上例中若把峰荷从30,000 kW降到20,000 kW时,这时负载系数就要从60%提高到90%,那么这将意味着该厂每月可节省电费15,000美元到25,000美元。

- 应尽可能地降低峰值负荷。在高峰用电期间可以把允许暂停工作的负载切除,而对正常生产并无妨碍。这类负载包括空压机、加热器、制冷器、空调等。由于峰值出现的时间很短,而且又缺乏集中控制系统,所以用手动操作来错开峰荷往往是不现实的,因而实用中多采用“自动电力需求控制系统”。

- 应重视计量仪表的作用。计量仪表对执行能源管理计划是至关重要的。在现场装设必要的监控与记录仪表,将有助于合理地利用能源。通常,装设仪表可取得5%—10%的节能效果。

(2) 风机与泵

风机和泵的容量取决于需要处理的风量和物质流量。实用中,风机和泵的容量总是比所需要的要大一些,这是由于设计总要留点余量,有时也是因为设计条件与实用条件有所差异之故。这种容量上的余度往往会导至降低效率。

对风机而言,风量与转速的关系如下:

$$Q = C_r N \quad \text{m}^3/\text{sec}$$

式中Q为风量,单位为 m^3/sec ; C_r 为常数,单位为 m^3/r ; N为风机转速,单位为 r/sec 。

风机所消耗的功率与转速的立方成正比,

$$P = P_r N^3 \quad (\text{W})$$

式中P为风机的输入功率,单位为W; P_0 为常数,单位为 $W \cdot \text{sec}^3/r^3$

上式表明风机的输入功率与其转速的立方成正比,这也就是说如果气流大一倍,则消耗的功率就要增加八倍;反之如果气流减小一半,则输入到风机的功率将减至原功率的八分之一。

通过改变皮带轮或装较小容量的风机可以减少气流,从而也就减小了输入到风机的功率。

泵的情况与风机类似,设法减小流率,就可以大量节能。

(3) 空气压缩机

在很多工厂中空压机是主要的用电设备之一。在这里,电能转换为热能和压缩空气流的势能,所以提高空压机的效率应着眼于尽可能地回收热以及回收储存的势能。

为了使空压机有效地工作,应注意以下各点:

- 根据实际要求选用最适合的空压机类型与容量。不同的用途有不同的要求,为了节能,应根据所要求的气流率、气压等来选用合适的设备。在工业应用中,200—200kW的旋转式空压机是常用的,尽管这种空压机有时要比往复式空压机的效率要低一些,但是它的价格比较便宜,而且维护也比较简单,所以应用比较普遍。在部分负载的情况下,往复式空压机比旋转式空压机的效率有时要高25%左右。新式的旋转式空压机,由于增加了一些措施,已在一定程度上改进了部分负载下的效率。冷却方式也是应仔细考虑的,用风冷或是用水冷,通常取决于何种介质适于热回收。

- 改进空压机系统的运行也有助于节能。当然,首先应消除在管线或阀门处的漏气现象。如此,排气压力可减至最小。由于排气压力的降低而节省的能源可按前述风机的类似方法进行估算。例如,设排气压力减至原来值的一半,因为压力随转速的平方而变,所以

转速亦将降低到原来值的70.7%。又因输入功率与转速的立方成正比,所以此时输入的功率值将为: $0.707^3=35\%$ 。由此可见,压力的下降对节能的影响。当然,这是理论上的分析结论。实际上空压机的工作将难以如此理想,而实际节能量将取决于空压机的类型。实测表明:实际的节能量约是理论计算值的一半左右。也就是说,压力减少50%时,输入功率仅下降30%左右。现举例说明如下:

设某空压机原工作压力为 $6.89 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ (100psi) 现降至 $6.20 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ (90psi), 则所需功率下降5%。若电动机的容量为373kW (500马力)。全年工作,每年可节电150,000kWh,按当时的电价,这相当于每年节省5000美元左右。

- 应使空压机的进风温度尽量低。进风往往来自外部的空气,降低进风温度就意味着可以减少被压缩的空气量。进风温度对节能的影响如表9所示

表9 空压机进风温度与所需功率的关系

进风温度 °C	°F	要求21°C时排气量为1000m ³ ,其它温度时的进风量(m ³)	与21°C时相比,所需功率的增减情况(%)
-1	30	925	-7.5
5	40	943	-5.7
10	50	962	-3.8
16	60	981	-1.9
21	70	1000	0
27	80	1020	+1.9
32	90	1040	+3.8
37	100	1060	+5.7
43	110	1080	+7.6
49	120	1100	+9.5

- 在空压机系统中漏气是影响效率的主要因素,故应设法测出漏气量,并进而努力减少漏气量。若某厂的漏气量超过其用量的10%,就应该尽快采取有效的措施加以改进。可以通过一些简单的方法来测量漏气量,例如可以在非生产时间内观察空压机的输出情况,这时空压机的输出主要被漏掉