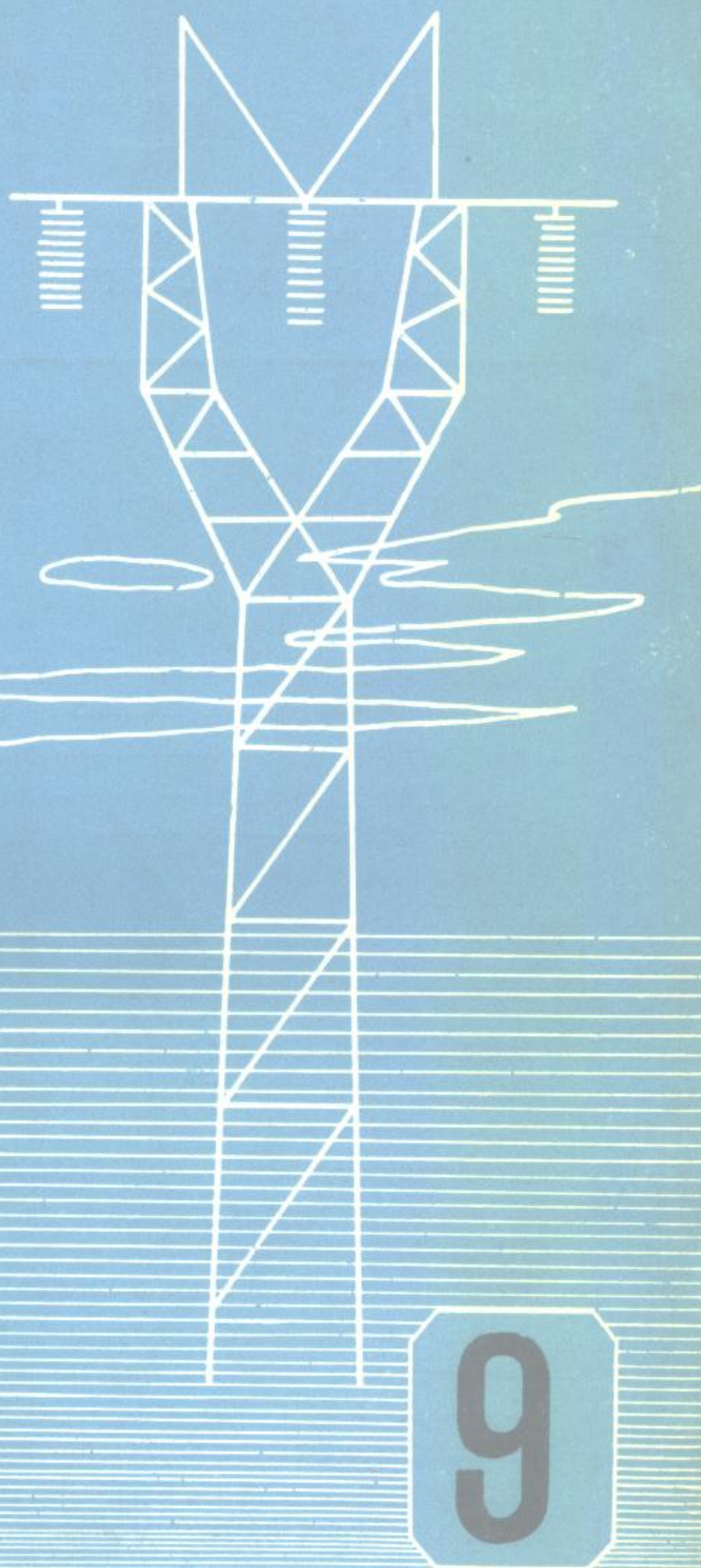


DIANGONG
JISHU

电工技术



科学技术文献出版社重庆分社

1982年《电力建设》征订启事

《电力建设》为综合性技术刊物，主要报导有关电力建设规划、勘测、设计、施工和科研等方面的科技成果、最新技术和发展动向。欢迎广大读者订阅。

本刊为双月刊，每期售价0.50元，全年6期共3.00元。单位订户请通过银行转帐手续预订。开户：北京德外电力建设总局。帐号：933015，地安门分理处。个人订户亦可通过邮局将订款汇寄北京德外电力建设总局电力建设编辑部。预订截止日期：1981年11月15日。

为避免差错，务请汇款人在帐单上写清订购刊名、份数、订购单位和地址，以利准确邮寄。

《电力建设》编辑部

《电焊机》杂志征订启事

《电焊机》杂志由一机部成都电焊机研究所编辑出版，是一本着重报导国内外有关焊接设备的发展趋势、科研成果、生产及使用维修经验等内容专业性刊物。

本刊新开辟“焊工园地”专栏，刊登一些有关焊接设备及工艺的通俗易懂的文章，有助于焊工提高基础理论及实际操作水平。

本刊读者对象：广大焊接行业的工人、工程技术人员、大专院校师生，以及有关行业的生产、科研、设计工作者。

本刊由全国各地邮局订购，邮政代号62—81，双月刊，可破订，订阅数量不限，欢迎广大读者踊跃订阅。

《电焊机》杂志编辑部

电 工 技 术 (九)

中国科学技术情报研究所重庆分所	编 辑
科学技术文献出版社重庆分社	出 版
重庆市市中区胜利路91号	
四川省新华书店重庆发行所	发 行
科学技术文献出版社重庆分社印刷厂	印 刷

开本：787×1092毫米1/16

1981年9月第1版

科技新书目：7-244

印张：4.875字数：16万

1981年9月第1次印刷

印数：8620

书号：15176·505

定价：0.55元

电工技术

DIANGONG JISHU

第九集(1981年第三集)

34999/04

目 录

节能技术

- 变、配电设备的节能检查.....(1)
- 射频干燥器的设计方法.....(10)
- 小型工业炉的节能(二).....(14)
- 工业企业照明装置的节电经验.....(19)
- 防马达空转节能.....(27)

厂矿电气 设 备

- 发电机故障的诊断技术.....(21)
- 电动机故障的诊断技术.....(28)
- 中等容量高压电动机轴承的选择、维护与
检查.....(36)
- 发电厂发电机和开关设备的保护装置.....(37)
- ПТ-60-130/13型汽轮机高压和低压转子
止推轴承的改型.....(41)
- 发电厂水槽的阴极保护方法.....(43)
- 0.4~10千伏电网导线连接方法.....(44)
- 提高矿山提升设备工作制动的可靠性.....(48)
- 电站化验分析员需要掌握的新方法.....(50)
- 电机外壳防护型式的选用及其表示法.....(51)
- 接高、中压侧总电流的自耦变压器备
用保护.....(53)
- 同步阻抗和短路比的关系.....(54)

测试技术

- 检测电力变压器故障的新方法.....(56)
- 汽轮发电机轴承座绝缘的检测.....(58)

- 裂缝开度简易测定法和记录仪.....(59)
- 机械量和热量单位换算图.....(61)

农 用 电 气 设 备

- 具有磁悬挂转子的异步电动机.....(62)
- 电动机的起动.....(64)
- 电流过载的提防.....(64)
- 自动照射装置.....(57)

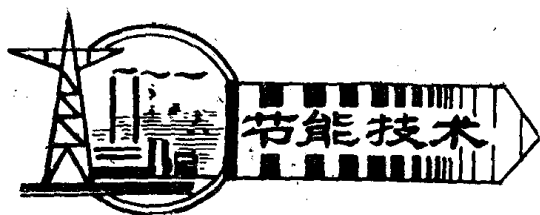
创造发明、 技术革新集锦

- 照明灯用自动开关.....(65)
- 感应电动机的改进.....(66)
- 挖掘机用的异步电动机.....(67)
- 高度经济的电动机.....(68)
- 变压器绕组框架.....(69)
- 变压器引线绝缘装置.....(69)
- 防止复合绝缘层间气隙放电的方法.....(74)
- 轻便式点焊机.....(72)
- 电弧焊用附加装置.....(73)
- 用于调整和校验APT-1H型组件的装置.....(74)
- 高压晶体管的应用.....(75)
- 电缆间带 ДИП-1 型警报器的自动防
火装置.....(76)
- 酸性蓄电池充电时的通风装置.....(77)
- 220 伏的无触点电铃.....(36)
- 自动饮水器.....(50)

科技小史

- 蒸汽机与电动机让贤.....(61)

73.1
144
=9



31-03/06

变、配电设备的节能检查

1 合同功率是否恰当

当我们从事研究节省能源之际，尽管有各种报告，如把最大功率控制在多少千瓦范围内，负荷率能提高百分之多少，或者，由于每月用电量减少多少千瓦，能节省百分之多少能源的效果。用这种数字表示的方法，对电气工作者能掌握这些量的大小，还可以有个概念，但对管理人员和一般工作人员而言，如何能做到更确切评价这种效果还是不够的。在本节中，为如实反映这种效果，只能采用金额来表示最终节省电能费用，或用百分数来表示节省电费的多少。

(1) 合同功率与基本费用

电费由二个基本因素确定——合同功率的大小以及实际用电量的多少来决定。因此，要减少电费必须从降低合同功率和减少总的实际用电量这二方面考虑。另外，为降低电费单价，而提出的特别许可工业，深夜用电等制度。但以下仅从合同功率予以考虑。

所谓合同功率就是与电力公司相互订立的在30分

表 1 有关合同功率种类(东京电力公司)的供电规程

合同种类		适用范围
高压用电	甲	用于动力(也包括其照明): 电压6KV, 合同功率从50KW至500KW
	乙	用于动力: 电压6KV, 合同功率从500KW至2000KW; 带有30分钟所需最大功率表
超高压用电		用于超高压的动力, 合同功率原则上超过2000KW; 带有30分钟所需最大功率表
一般企业用电		供照明、小型电器及动力混合使用, 合同功率为50KW以上。若合同功率超过500KW, 则带有30分钟所需最大功率表
深夜用电		应使用不与其他合同种类相同的负荷设备, 须在午夜11时至次日早晨7时使用

表 2 有关电费单价(1976年, 东京电力公司)的供电规程

合同种类		基本电费 日元/kw				电量用费 日元/kwh			
		6kv	20kv	60kv	140kv	6kv	20kv	60kv	140kv
高压用电	甲	765				8.95			
	乙	1000				8.60			
超高压用电			950	910	870		8.35	8.05	7.70
一般企业用电		1000	950	910		12.65	12.25	11.85	
深夜用电		230	210			7.65	7.40		

注: 仅表示一般费用, 特别费用分别增加20%。

钟或1 小时内的最大用电限度，以此确定每月的基本电费。基本电费是在合同没有废除或更改的情况下，每月必须支付的费用，可按下式计算：

$$\text{基本电费} = \text{单价} \times \text{合同功率} \times \left(1 - \frac{\text{功率因数}\% - 85}{100}\right)$$

单价视供电种类而异，东京电力公司的规定如表1、2所示：

特别费用的比例在电力公司的供电规程修改时期与用户合同功率变动时期并不是固定不变的，应根据确定的规则计算，由电力公司向各用户预报确定的数值作为合同功率的底数。

随着合同功率的增加，支付的电费当然也随之增加，而负载功率越低，基本电费的加权值越大，平均功率单价随之上升。由此可见，掌握、分析实际用电情况，经常研究所签订的合同功率是否适当等情况，是非常必要的，而在研究节省能源方法时，通常是降低最大所需功率，这样使合同功率和最大实际功率之差增大，合同功率若能处于原来的状态，则是不适当的，应予以注意。

500KW以上的合同功率的用户应根据负载设备、运转率、不均衡性情况来估计最大所需功率，据此与电力公司签订合同功率。一般来讲，应安装30分钟最大所需功率表，每月以该表测得的最大功率为标准，以判断合同是否妥当。

(2)变压器容量与合同功率

关于不足500KW的高压配电合同，应根据负荷设备或配电变压器的总容量确定之，一般可根据配电变压器总容量来签订合同；在这种情况下，无须安装所需最大功率表。根据配电变压器总容量而得出的合同功率的计算标准如表3 所示；若以图表示，则为图1。

合同功率是否恰当，决定于实际最大功率消耗没有超过合同功率，而且也没有大幅度降低；但若超过

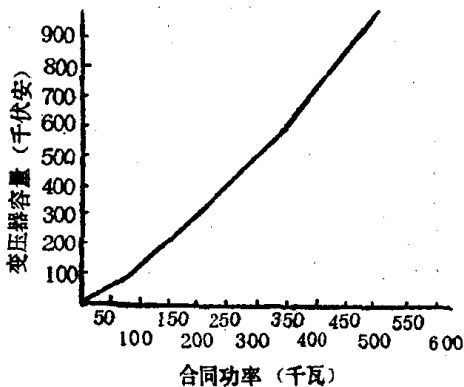


图1 配电变压器容量与合同功率的关系
(高压甲类，一般企业用电)

表3 配电变压器容量的合同功率换算值(高压甲类，一般企业用电)，摘自“东京电力司供电规程”

变压器容量 [KVA]	合同功率 [KW]换算值	适于左栏变压器最大容量时的合同功率 [KW]
小于50	80%	40
50~100	70%	56*
100~300	60%	195
300~600	50%	345
600~(987.5))	40%	(500)

时，虽可与电力公司协商修正签订的合同，但这时的计量可考虑按功率表一小时的数值作为基准。另外，当低于合同值时，则要多支付基本费用。

合同功率是通过全年运行情况而得出的确定值，而最大功率只有在夏季出现，而其它季节，即使保持较低的值，也必须使合同功率保持在全年不超过夏季最大功率的范围内。因此，欲更改合同功率时，主要研究季节变动的原因，对最大功率的实际情况加以考虑。

对于不足500KW的用户，在其电气技术负责人的权限比较小的地方，若要增加负载设备，可委托城镇电气工程队承办。由于已有的最大功率及不均衡性等，没有考虑到这些增加的设备，所以在这种情况下，一般在施工时同时安装与所增设的电气设备相匹配的配电变压器。在这种变电所内，所装设的小变压器就像记载着它的发展历史一样布满在室内，这不仅恶化冷却通风条件，维护检修也不方便，而且对合同功率而言，也欠妥当。

不足500 KW的用户若要减少合同功率时，因为合同的基本条件是按配电变压器的总容量订的，故此时，必须考虑减少配电变压器的容量。

(3)最大功率的测定

合同功率及配电设备由工厂近期发展计划所决定，不能只根据眼前的需要加以判断。但正确掌握当时实际情况也十分必要；负荷随时间作何种变化，查明其原因无疑是节省能源管理上的一个重要因素。

为研究已有设备(不足500KW的合同)的合同功率是否恰当，从而须测定最大功率时，以用户功率表每隔一小时的读数作为基准。测定时，有如下注意之点：

一般最大功率的测定时间越短，其数值越大；它随测定时间增长而减小。因此，30分钟的最大功率值要比一小时测得的最大功率要大。

(a) 估计最大功率发生的时刻，确定连续的正确时间间隔（如一小时），记下功率表上的读数。

(b) 根据功率表上测得的记录，把作了记录的记

录纸带，按小时划分成段，再按比例算出用电量的平均值。这时，以用户功率表读数为基准，并应预先了解它与功率记录仪读数之差，从而进行计算。

(c) 由于最大功率随季节及设备运转状况而改变，故需参考尽可能长期的测试数据。

为了正确规划合同功率，从而需要减小变压器容量时，虽然其最大功率通常不应超过变压器容量，但考虑变压器短时过载还是容许的。对这种情况，可参阅“变压器温升的影响”一节，同时还需调查电压变动对运行的影响等问题。

2 变压器的高效运行

变电所除了进行电路的投入、切除及有关电量的测定之外，其更重要的作用是用以改变配电电压，如用电场所分配所需要的电压。送往工厂的电能全部要通过变压器来提供，所以变压器的效率关系到整个电能的利用率。若能提高变电设备的效率，则可显著地节省电能。变压器与其它电气设备相比，其效率之高几乎已经没有什么改进的余地了。此外，由于它是一种静止电器设备，没有摩擦损耗。维护方面的真正问题是老化问题。几乎没有其它因素对其性能和效率有影响的了。而作为工厂热源的锅炉则不同，假若其运行、清扫、维护等方法的不同，其燃烧效率会大不一样，有提高效率、废热利用的余地。对变压器来说，不可能由于运行、操作方法的不同而得到很大的节能效果。但由于变压器不管工厂的作业如何总是长期连续运行的，所以若能将其损耗限制为最小，积年累月，其节省的数值也是非常可观的。

(1) 变压器的效率

变压器损耗可分为空载损耗和负载损耗两种。空载损耗是铁损、激磁电流引起的线圈电阻损耗以及绝缘材料的电介质损耗之和。若所加电压、频率一定时，它与变压器的负载无关。负载损耗包括：由负载电流引起的线圈电阻损耗及漏磁通在线圈压板、铁心夹件等其它部分上产生的杂散负载损耗。负载损耗与电流的平方成正比增加。同时，由于温度变化、线圈电阻改变，负载损耗也跟着改变。

设变压器功率因数为100%，在额定输出功率时，其效率按下式表示：

$$\eta = \frac{\text{输出功率 (W)}}{\text{输出功率 (W)} + \text{空载损耗 (W)} + \text{负载损耗 (W)}} \times 100\% \quad [\text{换算为 } 75^{\circ}\text{C}]$$

若输出功率为任意时，损耗、效率按图2变化；空载损耗与负载损耗相等时，变压器效率最高。

现以下述变压器为例，试计算实际负载状态时的损耗及效率：

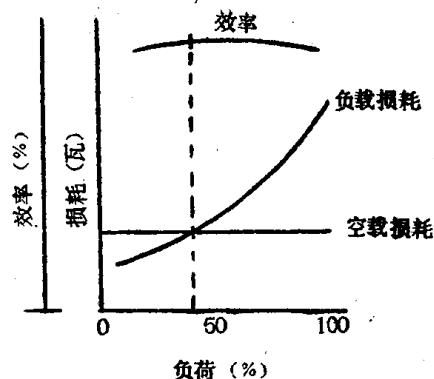


图2 变压器损耗与效率特性

〔输出功率〕 100KVA，三相

〔一次电压〕 6KV，〔二次电压〕 210V

〔二次电流〕 274.9A，

〔效率〕 97.4%，

空载损耗： 534W。

负载损耗： 2136W。

根据上式，额定输出功率时的效率为：

$$\eta_{100} = \frac{\text{输出功率}}{\text{输出功率} + \text{空载损耗} + \text{负载损耗}} \times 100$$

$$= \frac{100}{100 + 0.534 + 2.136} \times 100 = 97.3994\%$$

功率损耗为2.67KW

75%负载时（变压器负载以电流值表示） $\eta =$

$$\frac{75}{75 + 0.534 + 2.136} \times 100 = \frac{75}{76.580} \times 100 = 97.936\%$$

功率损耗为76.75KW - 75KW = 1.75KW

50%负荷时：

$$\eta = \frac{50}{50 + 0.534 + 2.136} \times 100 = \frac{50}{51.068} \times 100 = 97.90\%$$

功率损耗为1.068KW。

同样算法，在25%负载时， $\eta = 97.3994\%$ ，损耗为0.6675KW。

该变压器在100%负荷和25%负载下，效率相等。由此可见，功率损耗与负载成比例。由一台变压器承受100%的负载，或同样负载由四台变压器承受，则损耗完全相等。

另外，变压器的最高效率点与空载损耗对负载损耗之比有关，可按下式求得：

设空载损耗 = a

额定负载时的负载损耗/空载损耗 = y

根据最高效率点x在空载损耗与负载损耗相等之处的条件，得：

$$a = (x)^2 \times ay, \quad x = \sqrt{1/y}$$

如上述变压器， $y = 2136/534 = 4$ ， $x = \sqrt{1/4} = 0.5$

即：负载为50%时，效率最高。随着y值的增大，最高效率点向低负载侧移动，而当额定负载时的负载损耗/空载损耗为6时，41%负载状态时，效率最高。

这些值是将变压器线圈温度换算为75℃时的负载损耗值。故随负载的减少，变压器线圈温度当然要降

低，最高效率点也有某些变化，但温度变化不大时，最高效率点变化甚微。（参阅“变压器温度与效率”一节）

变压器特性如表4所示，随着变压器容量增大，效率逐渐提高。

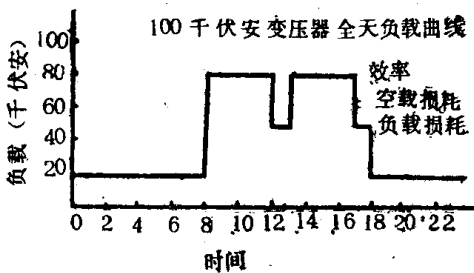
(2) 日效率的研究

表 4 变 压 器 特 性 表

配电用6KV油浸式变压器特性表 (三相50Hz, 6.6KV/210VJISC4304标准)				油浸式变压器特性表 (三相50Hz, 60KV/6.6KVJEC-168标准)			
容量[KVA]	效率[%]	总损耗[KV]	空载损耗与负载损耗之比	容量[KVA]	效率[%]	总损耗[KW]	空载损耗与负载损耗之比
10	96.3	0.384		3000	98.75	38.0	
20	96.8	0.661		4500	98.89	50.6	
30	97.1	0.896	1:2.4	5000	98.93	54.1	1:3.6
50	97.2	1.44	}	6000	98.98	61.8	}
75	97.3	2.08	1:6.2	7500	99.07	70.4	1:4.9
100	97.4	2.67		10000	99.16	84.8	
150	97.6	3.69		15000	99.21	119.5	
200	97.7	4.71		20000	99.29	143.0	
300	97.9	6.44					
500	98.1	9.68					

所谓日效率，是指变压器日输出功率与日输出功率 + 功率损耗之比，可用下式表示：

$$\eta = \frac{\text{日输出功率}}{\text{日输出功率} + \text{日功率损耗}}$$



日输出功率 1040KWh(假设pf = 100%)

空载损耗534W × 24h = 12.816KWh

负载损耗 $2136W \times \left\{ \left(\frac{20}{100} \right)^2 \times 14h + \left(\frac{80}{100} \right)^2 \times 8h + \left(\frac{60}{100} \right)^2 \times 2h \right\} = 13.6704KWh$

日效率 = $\frac{1040}{1040 + 12816 + 136704} = 0.975$

图3 变压器的日效率及其计算

绘制日负载变化曲线并计算包括变压器在不同时

间的功率损耗，相加便得总功率损耗。决定这个效率大小的因素有：负载曲线的形状，变压器的负载损耗与空载损耗之比的大小，如图3所示。

对于机械厂、一般制造厂或办公大楼来说，负载集中于白天，夜间只是安全上的耗电，其负载功率较低。是这种负载曲线时，空载损耗小，即负载损耗与空载损耗之比大的变压器的损耗较小，即比值为5:1的变压器比4:1的更有利。

此外，化学工业和钢铁工业等需要日夜操作的部门，负载在长时期内比较均匀，负载率也高。在这种负

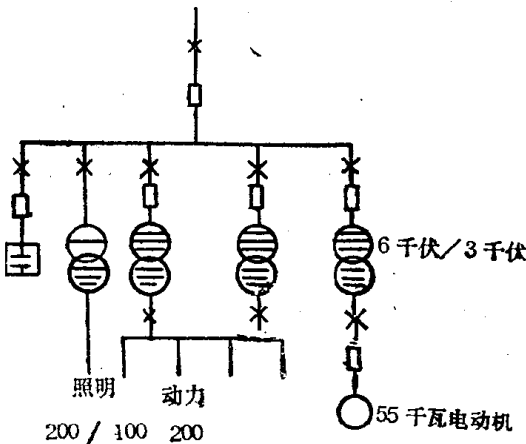


图4 6KV/3KV联结变压器举例

载曲线的情况下, 在平均负载电流时的损耗与空载损耗相等的变压器, 其效率最好。通常负载损耗与空载损耗之比越小, 损耗也越小。2:1的变压器特性要比3:1的优越。

(a) 高压电动机用联结变压器在电动机停止后切除。

一次电压为6KV, 二次电压为3KV供电动机使用时, 通常采用高压电动机专用的6KV/3KV变压器(见图4)。这种变压器白天运行, 夜间停止, 但变压器不断电, 故这是一种负载率非常低的使用方法, 日效率差。

如果白天电动机只运转10小时, 其余14小时完全浪费于变压器的空载损耗。电动机为55KW时, 应以三相100KVA变压器作为联结变压器; 设空载损耗为0.6KW;

日损耗: $0.6\text{KW} \times 14 = 8.4\text{KW}$

此外, 若一个月有星期六、星期天及假节日7天, 则日损失:

$0.6\text{KW} \times 24\text{h} \times 7\text{天} = 100.8\text{KWh}$

而还须加上其余23天的损失: $8.4\text{KW} \times 23 = 193.2\text{KWh}$, 总损失约为290KWh/月。

这种变压器在电动机停止工作的同时, 也被切断, 则空载损耗为零。若要使变压器的负载率提高, 可选择负载损耗与空载损耗之比小的变压器, 这样特别有利。这种情况下, 一般不会发生变压器合闸冲击电流和电动机起动电流重叠。变压器投入运行后, 电动机才起动; 另外, 在停止时, 为避免电动机感应电压的影响, 待电动机切断后, 再切断变压器。

(b) 多台变压器的运行效率

① 负载不均匀分担比总容量均匀分担, 效率更差。

在同一工程中, 若有数台单独运行的变压器, 则在分担工程负载时, 每台变压器所承担的负载由其容量比确定。不平衡时会引起不平衡损失。如有三相100KVA变压器、三相75KVA变压器各一台, 其负载分别为60KVA, 70KVA; 这时的损失如下:

三相	100KVA	三相	75KVA
电压	6KV/200V	电压	6KV/200V
空载损耗	534W	空载损耗	416W
负载损耗	2136W	负载损耗	1664W

100KVA变压器, 负载60KVA时的损耗为:

$$534\text{W} + \left(\frac{60}{100}\right)^2 \times 2136\text{W} = 1302.96\text{W}$$

75KVA变压器, 负载70KVA时的损耗为:

$$416\text{W} + \left(\frac{70}{75}\right)^2 \times 1664\text{W} = 1865.47\text{W}$$

总损耗功率为: $1302.96\text{W} + 1865.47\text{W} = 3168.43\text{W}$
变压器总负载为 60KVA + 70KVA, 若按相应变压器

容量分配, 则:

$$100\text{KVA} \text{ 变压器所接负载} = (60 + 70) \times \frac{100}{(100 + 75)} \\ = 74.3\text{KVA}$$

$$75\text{KVA} \text{ 变压器所接负载} = (60 + 70) \times \frac{75}{(100 + 75)} \\ = 55.7\text{KVA}$$

按容量分配负载时的损耗为:

$$100\text{KVA} \text{ 变压器的损耗} = 534\text{W} + \left(\frac{74.3}{100}\right)^2 \times 2136\text{W} \\ = 1713.17\text{W}$$

$$75\text{KVA} \text{ 变压器的损耗} = 416\text{W} + \left(\frac{55.7}{75}\right)^2 \times 1664\text{W} \\ = 1651.78\text{W}$$

总的损耗功率为: $1713.17\text{W} + 1651.78\text{W} = 3364.95\text{W}$, 与前者之差为: $3364.95\text{W} - 3168.43\text{W} = 196.52\text{W}$ 。

这样, 为了按容量比例进行负载分配, 各变压器所接负载应以实际负载为基准, 重新进行分配; 再由各变压器供电。最简单的方法是两台变压器的并联运行(图5)。并联运行时, 须注意如下各点:

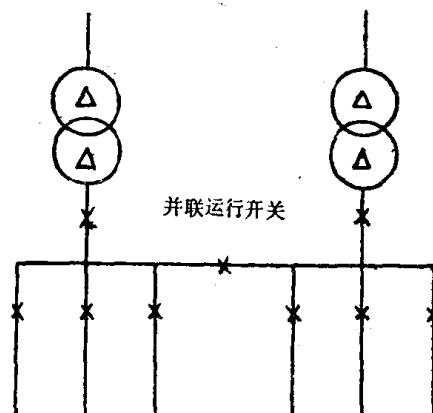


图 5

- 二次电压相等 (可调整抽头)
- 变压器额定输出功率之比应小于3:1
- 百分数阻抗下降的绝对值之差应在10%以内
- 变压器所承受的电流按下式计算:

$$I_1 = \frac{I_2 Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_2 = \frac{I_1 Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

I_1, I_2 : 各变压器所承受的电流

I_2 : 满负载电流

Z_1, Z_2 : 各变压器的百分数阻抗

- 二次侧线路开关的开断容量要大

这样按变压器容量相应地分配负载, 总的来看, 变电效率最高。在同一台变压器的情况下, 假若日总

功率不变, 负载变化大即所谓负载率低的情况与负载变化小即所谓负载率高的情况相比, 显然前者损耗较大。

②变压器组运行台数的控制

变压器组并联运行时, 日间功率与夜间功率或者夏季功率与冬季功率的差异较大, 参见图7。在低负载时, 变压器运行组减少, 为提高日效率, 应考虑高效运行方案。

在此情况下, 虽可减轻不运行变压器组的空载损耗, 但运行的变压器组却担负了不运行的变压器的负载损耗, 所以负载损耗增加。那末, 负载究竟为多少时, 解列比较有利呢? 这可根据公式求得。现将配电变压器分为二组, 其特性如表5所示。在图6那种情况下, 试计算比较冬季时变压器应并联运行, 还是应一台三相500KVA变压器单独运行。

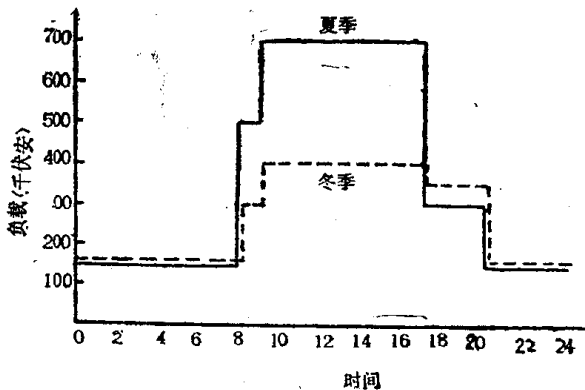


图6 夏季和冬季的日负载曲线

表5 三相6KV/200V变压器的特性

变压器	容量	空载损耗	负载损耗	效率
编. 号	[KVA]	[W]	[W]	[%]
A	500	1936	7744	98.1
B	300	1288	5152	97.9

假设: A (500KVA变压器), B (300KVA变压器) 的阻抗相等, 二台变压器并联运行, 负荷分别按变压器容量比例分配; 在冬季, 日负载可按下表分配:

总负载	A 分担的负	B 分担的负	负载时间	功率(视在)
[KVA]	载[KVA]	载[KVA]	[h]	[KVA]
150	93.75	56.25	12	1800
300	187.5	112.5	1	300
400	250	150	8	3200
350	218.75	131.25	3	1050
总计			24	6350

平均利用率 = $6350/24 \times (500 + 300) = 33\%$

变压器A、B并联运行时, 变压器A的损耗为:

$$L_A = 1.936KW \times 24h + \left\{ \left(\frac{93.75}{500} \right)^2 \times 7.744KW \times 12h \right\}$$
$$+ \left\{ \left(\frac{187.5}{500} \right)^2 \times 7.744 \times 1 \right\} + \left\{ \left(\frac{250}{500} \right)^2 \times 7.744 \times 8 \right\}$$
$$+ \left\{ \left(\frac{218.75}{500} \right)^2 \times 7.744 \times 3 \right\} = 70.7507KWh/日$$

◎变压器B的损耗为:

$$L_B = 1.288KW \times 24h + \left\{ \left(\frac{56.25}{300} \right)^2 \times 5.152 \times 12 \right\}$$
$$+ \left\{ \left(\frac{112.5}{300} \right)^2 \times 5.152 \times 1 \right\} + \left\{ \left(\frac{150}{300} \right)^2 \times 5.152 \right.$$
$$\times 8 \left. \right\} + \left\{ \left(\frac{131.25}{300} \right)^2 \times 5.152 \times 3 \right\}$$
$$= 47.0723KWh/日$$

◎总损耗为:

$$L_A + L_B = 70.7507KWh + 47.0723KWh = 117.823KWh$$

以下按相同方法, 计算A(500KWh变压器)单独运行时的损耗:

$$L_A = 1.956KW \times 24h + \left\{ \left(\frac{150}{500} \right)^2 \times 7.744 \times 12 \right\}$$
$$+ \left\{ \left(\frac{300}{500} \right)^2 \times 7.744 \times 1 \right\} + \left\{ \left(\frac{400}{500} \right)^2 \times 7.744 \right.$$
$$\times 8 \left. \right\} + \left\{ \left(\frac{350}{500} \right)^2 \times 7.744 \times 3 \right\} = 108.647KWh/日$$

可见, 在冬季一台500KVA变压器运行较为有利。其差为:

$$117.823KWh - 108.647KWh = 9.176KWh/日$$

负载变化较小, 负载曲线比较平滑时, 可按以下方法简单计算, 也能得出单台运行较为有利的结论。

设: 变压器A的空载损耗为a', 负载损耗为a'', 变压器B的空载损耗为b', 负载损耗为b'';

二台运行时的平均利用率为x, 单台变压器就足以供应最大功率。

$$a' + b' + (x)^2 \times a'' + (x)^2 \times b'' > a' + (2x)^2 \times a''$$
$$b' + b''x^2 > 3a''x^2 \quad X < \sqrt{\frac{b'}{3a'' - b''}}$$

此值适用于变压器A、B时代入上式, 得:

$$X < \sqrt{\frac{1.288}{3 \times 7.744 - 5.152}} \quad x < 0.2669$$

即二台变压器并联运行情况下, 每台变压器所承担的负载约为27%以上时, 二台运行效率较好; 27%以下, 单台运行较为有利。反之, 若单台运行的利用率在 $26.69\% \times 2 = 53.38\%$ 以下时, 单台运行较为有利。

为减少变压器损耗而进行运行变换时, 应根据上述各点, 研究空载损耗、负载损耗的特点, 并根据

负荷曲线的形状，分析二组运行及一组运行效率的高低，故必须以负载实测值为依据，作出负载曲线的图形并进行细致计算。另外，由并联运行中解列出的变压器，其一次侧为开路状态，但二次侧开关尚未断开时，在一次侧不仅有引起感应电压的危险，而且其反激磁功率能达到与空载损耗相等的数值。故虽解列，反而会使损耗增大。

(3) 变压器功率因数。

电费由二种费用所决定：即由合同功率决定的基本费用及由实际用电量决定的电费。由于采用了根据功率因数的高低决定基本费用增、减的办法，所以各用电单位都尽量想改善配电的功率因数。改善功率因数一般使用普通电容器。由于只能改善从接入电容器的位置开始到电源侧的功率因数，而对于接入点以后的负载侧，并无好处。

高压电容器与低压电容器相比，体积小、占地面积少而且设备费便宜，很容易由电费减少的部分而得到补偿。故一般广泛采用高压电容器。至于功率因数，通常是以配电功率因数为代表，但这不能说不重视变压器功率因数及低压侧的功率因数。

(a) 配电功率因数及变压器功率因数

高压配电的用户，各种仪表完备，能经常正确了解功率的实际情况。另外，高压电容器是分散设置，并由开关控制，所以配电变压器的功率因数经常处于良好的状态。

60KV 电压的用户以会同电力公司作的试验资料为基础，商订配电的功率因数。但因测量仪器不足，一般不能确实掌握变压器本身的功率因数。因此，以下试推测6KV系统的变压器功率因数。

图7为6KV配电系统的用户举例，功率因数联合测试数据如表6所示时，可算出动力用变压器的功率因数。

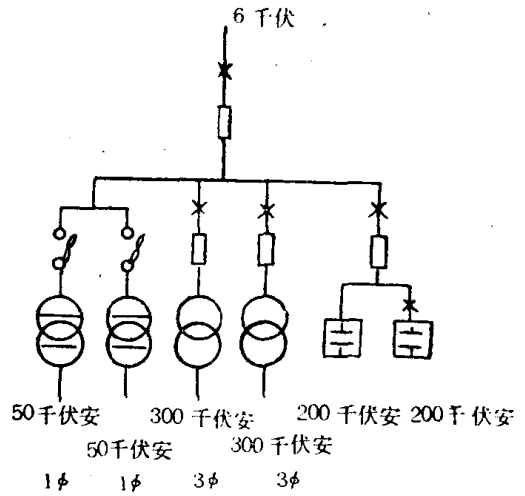


图 7 6KV配电举例

表 6 功率因数实测值

合同功率	389KW	配电变压器	
		照明用	50KVA × 2
		动力用	300KVA × 2
实测负载	350KW	改善功率因数用电容器	
实测功率因数	98%	200KVA × 2	

① 受电点的功率因数

由功率为350KW、功率因数为98%，得出视在功率为：

$$350 \div 0.98 = 357.14 \text{ KVA}$$

若要使功率因数达100%，根据图8(a)，则电容器容量为：

$$\sqrt{(357.14)^2 - (350)^2} = 71.063 \text{ [KVA]}$$

② 变压器总的平均功率因数

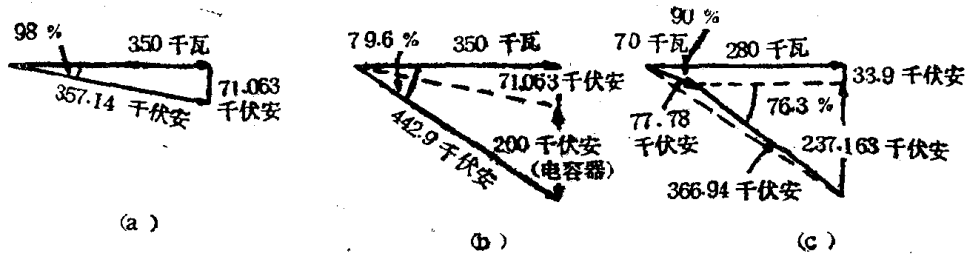


图 8 变压器功率因数的计算方法

根据图8(b)，变压器总的视在功率为：

$$\sqrt{(350)^2 + (71.063 + 200)^2} = 442.7 \text{ [KVA]}$$

$$\text{功率因数} = 350 / 442.7 = 0.7906$$

③ 动力用变压器的功率因数

照明用变压器为50[KVA] × 2，负载为70KW，若

功率因数为90%，则照明用变压器的视在功率为：

$$70 \div 0.9 = 77.78 \text{ [KVA]}$$

为使功率因数达到100%，所需电容器容量为：

$$\sqrt{(77.78)^2 - (70)^2} = 33.9 \text{ [KVA]}$$

动力用变压器的视在功率为：

$$\sqrt{(350-70)^2 + (200 + 71.063 - 33.9)^2} = 366.94[\text{KVA}]$$

功率因数为: $(350-70) \div 366.94 = 0.763$

矢量图如图8(c)。

在一般情况下,无低压电容器的动力用变压器的功率因数约为75%,但焊接用变压器的功率因数在50%以下。

(b) 变压器的功率因数及效率

制造厂家给出的变压器效率值为在额定电压下,功率因数为100%,线圈温度换算为75℃时的数值。因而,在现场实际使用情况下,需要进行功率因数、温度的修正,所以在额定状态下变压器的实际效率和损耗并不等于推荐值。如前所述,变压器损耗的计算以视在功率作为基准,就能概略掌握这种情况下的损耗值。只根据使用功率无法算出变压器的效率。

由于变压器的负载损失与电流平方成正比变化,故负载在低功率因数的情况下,负载增加,负载损耗亦随之增加;但是,变压器容量是以KVA表示的,功率因数尽管很低,变压器负荷不得超过100%并限制在铭牌上标出的空载损失之内。以下介绍计算以KW表示的变压器负载损耗。

$$\text{负载损耗} [\text{KW}] = \left(\frac{\text{实际负载KW/变压器实际功率因数}}{\text{额定容量KVA}/100\%} \right)^2$$

× 额定容量时的负载损失[KW]

设:变压器输出功率为A[KVA],实际负载为a[KW],变压器功率因数为 $\cos Q_a$,则负载损耗 W_a 为:

$$W_a = \left(\frac{a}{A} \right)^2 \times \left(\frac{1}{\cos Q_a} \right)^2 \times W_0$$

(W_0 为额定时的负载损耗)

即:负载损耗按 $\left(\frac{1}{\cos Q_a} \right)^2$ 的比例增加,功率因数为100%时,负载损失最小。

若将功率因数100%与75%进行比较,则得

$$\frac{W_a}{W_0} = \frac{(1/0.75)^2}{(1/1)^2} = 1.78$$

根据这种计算方法,若功率因数为70%,则负荷损失增加1倍。

表 7 6KV/200V三相油浸式变压器

容 量 [KVA]	空载损耗 [W]	负载损耗 [W]	效 率 [%]
500	1936	7744	98.1

以下举例说明。变压器参数如表7所示,实际负载为300KW,变压器功率因数为75%,负载损耗 W_{a1} 为:

$$W_{a1} = \left(\frac{300}{500} \right)^2 \times \left(\frac{1}{0.75} \right)^2 \times 7744\text{W} = 4956\text{W}$$

若功率因数提高到95%,则负载损耗 W_{a2} 为:

$$W_{a2} = 4956\text{W} \times \left(\frac{0.75}{0.95} \right)^2 = 3089\text{W}$$

损耗之差为: $4956\text{W} - 3089\text{W} = 1867\text{W}$

若这种变压器每天运行24小时,每年运行350天,则每年损耗可减少:

$$W = 1.867\text{KW} \times 24\text{h} \times 350\text{天} = 15683\text{KWh/年}$$

把变压器功率因数从75%提高到95%,所需电容器容量为:

$$C = \sqrt{\left\{ \left(\frac{300}{0.75} \right)^2 - (300)^2 \right\} - \left\{ \left(\frac{300}{0.95} \right)^2 - (300)^2 \right\}} = 166[\text{KVA}]$$

假设这种低压电容器的损耗为0.25%,则电容器损耗功率 W_{c1} 为:

$$W_{c1} = 166 \times 0.25\% = 0.415\text{KW}$$

每年损失为:

$$W_{cy} = 0.415\text{KW} \times 24\text{h} \times 350\text{天} = 3486\text{KW}$$

当变压器功率因数由75%提高到95%,又电容器引起的配电损耗的减少量忽略不计,则总功率减少为:

$$15683\text{KWh} - 3486\text{KWh} = 12197\text{KWh/年}$$

功率因数为75%时,变压器的效率 η_{75} 为:

$$\eta_{75} = \frac{\text{输出功率}[\text{KW}] \times 100}{\text{输出功率} + \text{空载损耗} + \text{负载损耗}} = \frac{300 \times 100}{300 + 1.936 + 4.956} = 97.75[\%]$$

功率因数为95%时,变压器的效率 η_{95} 为:

$$\eta_{95} = \frac{300 \times 100}{300 + 1.936 + 3.089} = 98.35[\%]$$

(4) 变压器的温度。

(a) 变压器温升的影响

变压器的安装地点应避免炎热,尽可能选在凉爽之处;另外,尽量提高冷却效果,设法改进通风条件,并考虑变压器的安装距离。任何一种电器都怕受热,故必须防止因热而引起的绝缘劣化及开关氧化等问题。变压器应根据其绝缘等级而确定温升极限值。考虑到测量方法等误差,可参考表8的数值规定。此时作为冷却基准的介质温度——空气为40℃,水为25℃。

通常绝缘材料的温度与寿命的关系,由经验公式 $Y = ae^{-b\theta_H}$ 表示,式中a、b为常数, θ_H 为最高温度。该公式表明,最高温度上升6℃,则绝缘材料的寿命减少一半。

变压器发热,可看成是由负载损耗与空载损耗之和全部转化为热,其发热量H为:

$$H = 860 \text{千卡} \times (\text{空载损耗} + \text{负载损耗})\text{KWh}$$

因此,500KVA的变压器,在300KW,功率因数

表 8 变压器温升极限值

内 容	温度测量方法	A 级绝缘	B 级绝 缘
干式自冷线圈	温度计法	50	70
	电 阻 法	55	75
干式风冷线圈	电 阻 法	55	
浸油自冷线圈	电 阻 法	55	
油浸风冷线圈			
油浸水冷线圈			
强迫油循环水冷线圈	电 阻 法	60	
强迫油循环风冷线圈			
油	温度计法	50	

为75%的负载时

$$H = 860 \text{ 千卡} \times (1936 + 4956) / \text{时} = 5927 \text{ 千卡/时}$$

若煤油的发热量为8600千卡/时，则相当于每小时燃烧0.72公升煤油的热量。

因线圈的绝缘以及绝缘油的劣化与温度有很大关系，故冷却介质温度较低及平均负荷不高时，绝缘油温度又低的情况下，当然有一定的过载能力。表9及图9表示了短时容许负载值。若取变压器寿命为90年，就可得出对其寿命无很大影响的变压器发热范围。

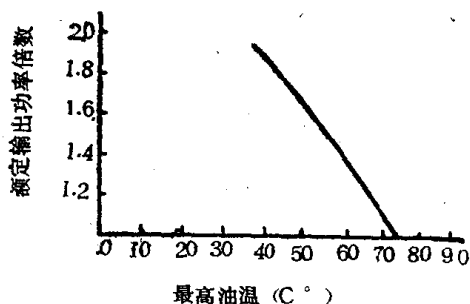


图 9 由油温决定的容许负载（自冷式）

表 9 自冷式、水冷式变压器短时容许负载（以额定输出功率的倍数表示）

过载时间 (h)	过 载 前 负 载		
	90	70	50
0.5	1.59	1.77	1.89
1	1.40	1.54	1.60
2	1.24	1.33	1.37
4	1.12	1.17	1.19
8	1.06	1.08	1.08

* 恐系“+”之误——译者注。

(b) 变压器的温度与效率

线圈温度换算为75℃时的变压器损耗为：

$$W_{75} = I^2 R_t \left(\frac{309.5}{234.5 + t} \right) + \left\{ W_t - I^2 R_t \left(\frac{234.5 + t}{309.5} \right) \right\}$$

式中， W_{75} ：换算成75℃时的负载损耗[W]

t ：测量 W_t 时的线圈温度 [℃]

W_t ： t ℃时的负载损耗[W]

I ：测量 W_t 时的一次电流值[A]

R_t ：换算到一次侧 t ℃时的线圈电阻[Ω]

以上式可知，

负载损耗 = 线圈电阻损耗 - * 杂散损耗

线圈电阻引起的损耗随线圈温度上升而使换算值 (W_{75}) 降低，即温度上升，线圈电阻增加。

杂散损耗与线圈温度按反比减少。

改变上述关系，展开得：

铜线电阻与温度的关系：

$$R_t = R_0 [1 + a(t - t_0)]$$

式中， R_0 ： t_0 ℃时的电阻值 (20℃时比电阻为 0.158Ω/mg)

R_t ： t ℃时的电阻值，

a ：材料温度系数(铜为0.00393)

线圈温度从 t_0 ℃上升到 t ℃，差为 t ，此时电阻值 R_t 为：

$$R_t = R_0 [1 + 0.00393t_1]$$

同样，设线圈温度从 t_0 ℃上升到 t ℃时的杂散损耗 W_{ht} ：

$$W_{ht} = W_0 - I^2 R_0 \left(\frac{1}{1 - 0.00393t_1} \right)$$

式中， W_0 ： t_0 ℃时的负载损耗[W]

求出线圈温度从 t_0 ℃变到 t ℃时的损耗之差为：

$$\begin{aligned} W - W_0 &= I^2 R_t + W_{ht} - W_0 \\ &= (1 + 0.00393t) R_0 I^2 + W_0 - I^2 R_0 \\ &\quad \times \left(\frac{1}{1 - 0.00393t_1} \right) - W_0 \\ &= I^2 R_0 \left(\frac{-154 \times 10^{-7} t_1^2}{1 - 0.00393t_1} \right) \end{aligned}$$

即在同一负载条件下，变压器温度上下变化时，温度上升，损耗减小。若温度变化范围减小到使损耗变化甚微，就不影响效率。此时，温度改变10℃，负载损耗差为-0.16% $I^2 R$ ，设 $I^2 R$ 为变压器总损耗的60%，则在损耗的总数中，仅变化0.1%左右。

[谢祥生译自<电气と工事>1979年12月号别册
付录；王肇平、潘宏祥校]

射频干燥器的设计方法

R. Morrow

摘要: 本文概述制造纺织品射频干燥器时, 为确定其设计判据而作的测量的结果。在这方面, 文章以独特方式应用测量品质因数的方法, 这点, 在所有射频应用中均可适用。以若干很有用的经验公式来描绘所得结果。可用其中一个公式很容易地探究出一种新型的湿度计。由于本文所作的这些测量工作的结果, 研制出了一种新的极板设计, 通过它可大大地改善干燥器的效率和可靠性。最后, 将根据测量所作之计算同实际结果进行了对比。文中采用的符号:

- C 干燥器电容, 法
- E 干燥器电场强度, 伏/米
- f_0 谐振频率, 赫兹
- f_L 有负载时的谐振频率, 赫兹
- f_U 空载谐振频率, 赫兹
- Δf 半功率点频率宽度, 赫兹
- I 电感线圈电流有效值, 安
- R_c 临界耦合常数
- L 干燥器电感, 亨
- M 干基百分比湿度(按干重量计算, 参阅2.2节), %
- M^* 标准的百分比湿度(参阅3.1节), %
- P_A 干燥器输入功率, 瓦
- P_U 功率密度(单位体积的平均功率), 瓦/米³
- Q 干燥器的品质因数
- Q_G 振荡器有载品质因数
- Q_L 干燥器有载品质因数
- Q_U 干燥器空载品质因数
- R 感应线圈电阻, 欧
- V 极板电压有效值, 伏
- δ 电场表层深度, 米
- ϵ_0 自由空间介电常数, 法/米
- ϵ'_r 干燥器系统的有效相对介电常数
- ϵ'_r 相对介电常数
- ϵ'' 损耗系数
- σ 干织物的包装密度(参阅2.2), 公斤/米³
- σ^* 最大可能包装密度, 以及标准的包装密度(参阅3.1节), 公斤/米³

- ξ 电场方向系数
- η 射频效率
- ω 角频率, 弧度/秒

1. 前言

1.1 射频加热

从特征上看, 不良导体也是不良导热体, 因此, 难于用一般的对流、传导和辐射的方法加热。这个难题可用射频加热来解决。由于所有电介质在电场中都要被极化, 高频电场迭加交变极化, 使均匀地在整个各向同性电介质中分布的能量的体积耗散增大。以公式

$$P_U = \omega \epsilon_0 \epsilon'' E^2 \quad (1)$$

求得单位体积中的耗散功率 P_U 。在本文所述的射频干燥法中, 织物里的水分造成的损耗系数 ϵ'' 一般要比织物本身大得多。正因为损耗系数一般随湿度而增加, 愈湿的部分吸收的能量愈多, 从而使干燥具有选择性。当干燥达到预期值时, 它还能自动停止。其原因是射频电场与松束缚水(Loosely bound water)的偶极矩紧密地耦合(这种水在工业干燥过程中一般应尽力消除), 而只与强束缚水(Strongly bound water)微弱地耦合。

一般, 被干燥的物料构成电容器的电介质。此电容器与电感线圈调谐。为此, 调谐所需频率应与射频振荡器来的功率相耦合。由电容器里的射频电场使此电介质加热。

目前, 射频功率已实用于干燥纸张、玻璃、纤维、饼干以及毛织品等等。

本文所举实例为在纺织品(特别是毛线和丙烯酸纤维线)干燥方面的应用。

1.2 Q值测量

Q值即为电路的品质因数。通过关系式

$$\epsilon'' = \frac{\epsilon'_r}{Q}$$

把Q与公式(1)中的 ϵ'' 直接相关起来。式中 ϵ'_r 是相对介电常数。

试验电极系统或实际系统的Q值是在物料实际所处的位置上测量的, 而不采用电桥来测量介电性能的方法。这样, 就能在正确频率(27兆赫兹)、正确包装

密度以及相对于纤维方向的正确电场方向上(这点尤其重要)有效地测出介电性能。纺织物的介电性能具有极大的各向异性,在纤维方向上损耗系数最大,因此使电场方向与纤维方向取得一致。这样,要布置一个电桥试验设备是十分困难的。包装密度和频率也是一个难题。因此,靠近对实际使用之设备测量Q值是既快又直接的办法。这种方法已在实际工作的干燥器上使用,并借以估计它的性能。

测量谐振频率 f_0 值与半功率点上频率宽度比值是测出Q值并使干扰最小的方法,其公式为

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} \quad (2)$$

某一工作点上的Q值一旦确定,可以用下列诸方程求出一系列重要电路参数,它们是:

(a) 电极电压有效值

$$V = \left[\frac{P_A Q_L}{\omega C} \right]^{1/2} \quad (3)$$

(b) 感应线圈电流有效值

$$I = \left[\frac{P_A \omega C}{Q_L} \right]^{1/2} \quad (4)$$

(c) 射频效率

$$\eta = 1 - Q_L / Q_U \quad (5)$$

(d) 使负载与振荡器良好匹配所需之临界或最佳耦合常数 k_c

$$1/2$$

$$k_c = (Q_L Q_G) \quad (6)$$

实际的耦合常数可通过试验性测量求出,并可调节到上述最佳常数。

(e) 有效相对介电常数

$$\epsilon'_{\text{eff}} = (f_U / f_L)^2 \quad (7)$$

若干上述方程的推导,作者已在另一报告中阐明。

2. 试验方法

2.1 Q_L 和 ϵ'_{eff} 的测量

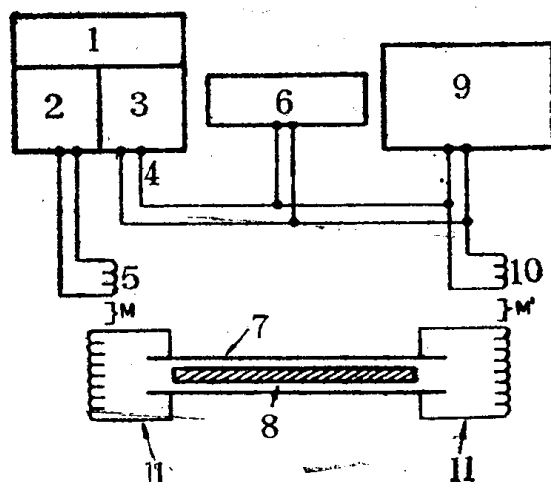
测量 Q_L 值所用装置的简图示于图1。可变频率振荡器通过互感耦合使干燥器起振,这样就使实际中采用之额外的接地线和杂散电容的影响减至最小。振荡器输出用一台示波器测量,频率用数字式频率表测量。振荡器还监控干燥器的振荡。它是通过远离激发点的一个小耦合回路实现的,以便使直接耦合的影响最小。

每一湿度下的 Q_L 值是以方程式2确定的。根据由加载而引起的谐振频率变化,可由公式(7)来确定 ϵ'_{eff} 。

空载品质因数 Q_U 是在干燥器中无物料的情况下测得的。此时利用了最小互感耦合,以防电阻损耗与

电路耦合。这种测量方法可有效地确定线圈电阻和极板电阻。

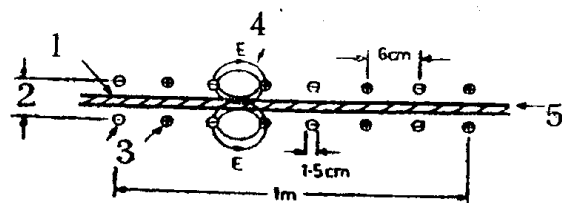
一般采用图2所示之“双重杂散场”极板系统。它为1米长、0.3米宽,并具有0.03米的缝隙。该系统与织物一起,借同一套极板组可构成单流程或三流程系统。为了研究设备大小的影响,将设备尺寸作了变化。如下所述,为了试验不同极板和线圈材料的影响而制作了几种平板系统。



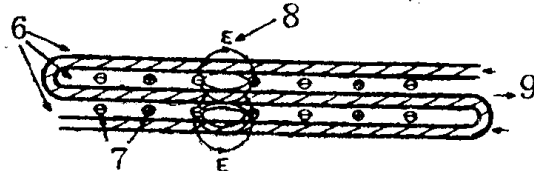
①阴极射线示波器; ②上图形; ③下图形; ④输出信号检测; ⑤检测线圈; ⑥频率表; ⑦干燥器电容器; ⑧负载(物料); ⑨变频振荡器; ⑩振荡线圈; ⑪干燥器的电感器(耦合回路和电感线圈等组成)

图1. 测量回路图

双重杂散场单流程系统



三流程系统



①物料; ②间隙; ③电极; ④电场电力线; ⑤运动方向; ⑥物料; ⑦电极; ⑧电场电力线; ⑨运动方向

图2. 单流程和三流程双重杂散场极板系统, 此图表明三流程情况下射频电场与物料耦合更佳

2.2 湿度M和包装密度σ

被试纺织物放置于一组试验极板中,保持静止并进行干燥。在干燥过程中数次测量 Q_L 值,每次测量 Q_L 值的前、后都称出物料(纺织物)的重量。此过程结束时,将物料烘干,以确定其干重量,并且湿度M以此干重量的百分比表示,故又称干基百分比湿度。湿度的测量误差可从湿端(50%)的±3%改善至干端为±1%。

包装密度σ是极板之间构成的容积(1米×0.3米×0.03米)除极板间物料干重量所得的商,对于毛织物来说为12.3公斤/米³,对丙烯纤维为26.6公斤/米³。以下将要讨论之标准包装密度σ*对毛织物为62公斤/米³,对丙烯纤维为132公斤/米³。

2.3 效率测量

在24兆赫兹高速射频毛条干燥器样机上以极板排出给定重量水份所需实际功率值与理想值 2.26×10^6 焦/公斤对比的方法测量出效率的试验值。毛条干燥器能平行地干燥6—12个连续的毛纤维条,利用图2所示双重杂散场三流程极板系统使湿度M从~35%降至~18%。根据含水量(负载)仔细标定振荡器的输出功率,并在每一测量期间尽可能地保持恒定。但某些出入是不可避免的。在所有情况下,干燥均以三流程方式工作。

2.4 极板和线圈材料对效率的影响

为了试验电极材料和线圈材料对空载品质因数 Q_0 (因而对效率)的影响,制成了一台如图1所示由两 0.81×1.22 米平行极板,中间间隔28毫米形成之简单电容器构成的试验性干燥器。采用铝、铜和不锈钢作极板并依次试验之。为了干燥器的调谐,采用三只 $1\frac{1}{2}$ 匝、直径5厘米的线圈,它们在金属极板上要尽量隔开。这样就形成了图1所示的干燥器调谐感应线圈。用三只同样的线圈组成一调谐绕组。它们由一般常用之制造干燥器系统的材料,即13毫米×1.5毫米的镀银铜带、表面洁净的铜带、严重氧化的铜带、纯铝带以及不锈钢带制成。

3. 结果

3.1 Q_L 值和 ϵ' 值的测量

图3示出六根毛条纤维与四根丙烯纤维按单流程和三流程方式干燥时 Q_L 值的测量结果以及按经验公式

$$\frac{1}{Q} = \xi \frac{\sigma}{\sigma^*} (0.0244 \frac{M}{M^*} - 0.0171) \quad (8)$$

求出的曲线。式中σ是实际的干燥包装密度,σ*是在无外力的环境条件下的最大可能干燥包装密度。M是

百分比湿度,M*是取决于材料,并与物料良好加工所需最终湿度有关的标准百分比湿度(对毛纤维为18%,丙烯纤维为4%)。ξ值是由电场方向同纤维方向相关连程度所决定的系数,对平行极板来说,该系数为0.5,对双重杂散场单流程系统为1.0,对双重杂散场三流程系统为2.0。

线性方程仅与曲线初始线性部分一致。但是,由于期望射频干燥仅用于最后干燥处理和清除平均湿度为30—18%的毛条纤维和平均湿度为11—4%的丙烯纤维之湿斑痕,故此方程是十分有用的。

图4示出有效相对介电常数 ϵ' 的测量。此时,其结果是线性的,在所涉及的湿度含量范围内可以下列湿度经验方程描绘之。该式为

$$\epsilon' = 1 + 0.083 \xi M \sigma \quad (9)$$

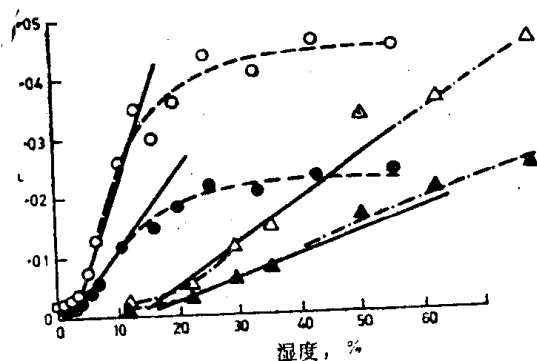


图3.红色丙烯纤维和黑色毛条纤维在单流程和三流程方式下 $1/Q_L$ 与湿度的关系曲线,——方程式(8),○三流程丙烯纤维 ●单流程丙烯纤维 △三流程毛条 ▲单流程毛条

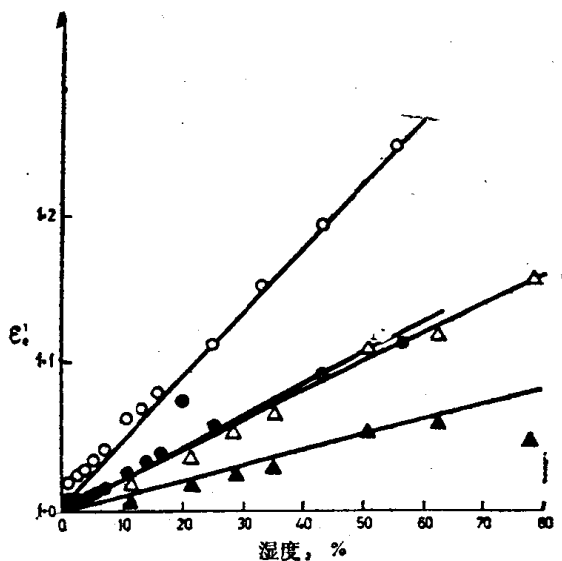


图4 红色丙烯纤维和黑色毛条纤维在单流程和三流程方式下有效相对电容率 ϵ' 与湿度的关系曲线,——方程式(9) ○三流程丙烯纤维 ●单流程丙烯纤维 △三流程毛条 ▲单流程毛条

式中的 ξ 值对于平行极板为1.0,双重杂散场、单流程系统为1.0,三流程系统为2.0。

对几种不同尺寸的极板作了测量,发现 Q_L 和 ϵ' 均与尺寸无关。

3.2 效率的测量

(a) 样机结果

图5列出效率的试验结果和以公式(5)推算出之相应的理论曲线。所用之 Q_L 值由图3取得 Q_U 是典型的代表性值,为450。此处引用的湿度是指干燥器中的平均湿度,这也就是用于求 Q_L 的值。

(b) 线圈和干燥器材料的影响

为了试验极板材料和线圈材料对 Q_U 值的影响,采用铝板作干燥器电容器的极板(图1)和各种不同材料的线圈作干燥器的谐振感应线圈(图1和2.4节说明)。试验结果示于表1。还采用了镀银线圈和各种极板材料,其结果示于表2。相应的效率值系根据纺织业应用甚多的 Q_L 为100的典型代表性值计算而得。

表1: 采用各种线圈材料和 铝板时的 Q_U 和 η (设 $Q_L = 100$)

线圈材料	Q_U	η
镀银	746	0.87
表面洁净的铜	648	0.85
表面氧化的铜	636	0.84
表面经一个月氧化后的铜	511	0.80
铝	570	0.82
不锈钢	155	0.35

表2: 用各种材料和镀银线圈时的 Q_U 和 η

极板材料	Q_U	η
表面洁净的铜	701	0.86
铝	679	0.85
不锈钢	383	0.74

4. 讨论

4.1 Q_L 和 ϵ' 值的测量

通过简单线性方程能很好地描绘 $1/Q_L$ 和 ϵ' 两数值在有意义的湿度范围内的结果。表示出此两数值与湿度和包装密度的比例。

根据方程(8)计算 Q_L 值时,最大包装密度和最终湿度这样两个与物料有关的常数必须已知。第一个常数确定可能被充填的极板系统份额,第二个常数是和无更多非结合水时的湿度有关的量。

与几何外形有关的 ξ 值:对于电场与纤维之间夹角为90°时的平板为0.5;对于电场与纤维方向一致(反

映前述介电各向异性)时的双重杂散场为1.0。对于三流程系统,由于物料是在极板上面和下面分别与电场耦合,有 $\xi = 2.0$ 。可以认为它同将包装密度值加倍的情况是一样的。

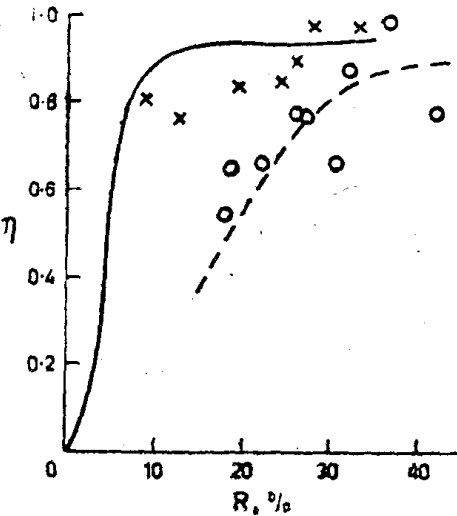


图5 三流程丙烯纤维和毛条纤维的效率 和湿度的关系曲线

○丙烯纤维 ×毛纤维条... 方程(3) 计算
丙烯纤维 —— 方程(3) 计算毛纤维条

将方程(8)限制于用来表达图3中干燥终端试验结果这个有意义的区域,这是可行的,因为在此区域中射频干燥法远比其它一般方法更有效。它的另一重要附加优点是清除难以对付的湿斑痕。对于所需的全部干燥过程,都采用射频加热是不经济的。

根据方程式(9)计算 ϵ' 值时,不存在与物料有关的常数,并且方程适用于很大的湿度范围。 $M_0/100$ 是极板间实际存在的水量。因此 ϵ' 与实际水量呈线性关系,这可构成以下将讨论的简单在线运行湿度表的基本原理。

设电场方向保持恒定,则显示 Q_L 和 ϵ' 两个量与外形尺寸无关的那些试验结果就明白地表示出这两个量是物料的特性。

对于趋于烘干的湿纤维来说,温度对 Q_L 值的影响是难以确定的。但是,一些毛毡的近似结果表明 Q_L 值可能比操作温度下的值要低50%。这就使实际极板电压要低一些,并且射频效率要比按保守的冷态测量值计算出的要高一些。

4.2 效率的测量

在实验测量值的误差范围内,毛纤维和丙烯纤维两者效率的理论和实验值相当一致。这种一致似乎因 Q_L 测量系在室温下进行,而物料和极板在高温下工作,从而显得难予理解。但是,如上所述, Q_L 在室温下测量的结果折算到高温下工作情况时要乘一个1/2的系数。为了补偿这种情况,调谐线圈的电阻估计加一

倍, 由于 $Q = \omega L/R$, 故 Q_0 降一半。

因此, 根据实验室测量结果计算效率值应该是射频设计研究的一部分, 由于 Q_L 的实际值一旦确立, 它与系统的尺寸无关。根据公式(3)可清楚看出, 干燥器的 Q_0 要尽量高, Q_L 尽可能低。

只在干燥过程的最后阶段采用射频干燥器才经济, 并据图5可见, 设计预期的最低平均湿度和认识到可能出现不良射频效率是十分重要的。

虽然在腐蚀气氛中工程技术人员常会采用不锈钢, 但据表1和表2可见, 在干燥器结构(特别是调谐线圈或射频电流集中的任何可能元件)方面应用, 它是很不良的材料。铜、铝两种材料用于干燥器的调谐线圈和电流集中的其它元件均很好, 且镀银元件尤佳。这些结果与公布的电阻率数据极为一致。但是, 这个结果并非显而易见, 其原因是表层深度 δ 太小, 例如铜在27兆赫情况下 $\delta = 13.0$ 微米, 因而估计氧化层厚度要影响这些结果。

4.3 极板电压的计算

大功率下测量射频电压十分困难, 而且要特别注意取得可靠的结果。因此, 下述一些实例大多系定性的, 只取得唯一一次良好的定量比较结果。在一台负载为蒸馏水的消毒用干燥器上获得测量电压和计算电压的详细比较资料。 Q_L 为67, 电容167微微法, 输入功率1.4千瓦, 测量电压1.9千伏(有效值), 而用公式(2)时计算电压为1.8千伏。并非经常如此吻合, 但误差总不超过 $\pm 20\%$ 。作为定性例子, 可援引历史上导致一种纺织干燥器成功的某些研制工作。上述毛条和毛纤维干燥器的最早设计系采用平行板极板, 其 Q_L 值很高, 计算(按公式2)极板电压为21千伏(有效值),

场强为 $E \approx 700$ 千伏/米(有效值)。这个结构在远未达到满功率的情况下就损坏了。第二次采用了单流程双重杂散场系统, 其 $V = 15$ 千伏(有效值)和 $E \approx 310$ 千伏/米(有效值)。此系统仍被击穿损坏。最后设计了三流程、计算电压 $V = 9.1$ 千伏(有效值)和 $E \approx 200$ 千伏/米(有效值)的系统。它经受了大量连续性现场试验。其细节(包括机械方面)在Hodgett和Morrow报告中已有论述。

4.4 湿度计

由于有效介电常数的变化表明与极板间纺织品的含水量成正比, 一旦纺织品的重量已知后, 即可按调谐后的电路频率马上确定出湿度。在某一固定频率下工作时, 为了保持系统处于谐振, 须使电容和湿度成线性变化, 为此采用了相敏技术^[12]。这点可构成能给出快速连续输出或对某种干燥器发出监控信号之“在线”湿度计的基础。

5. 结论

本文提出之干燥器的 Q_L 值测量方法既简单又适用, 据这些测量而进行之计算结果与实验结果极为近似。文中详细讨论的方法提供一种设计射频干燥器的方法。本文提供的数据亦有助于此类设计, 所列举的公式当然还可进一步从基本上进行研究。各种干燥器材料的分析结果可供设计者参考。

文中提出的湿度计可用来设计出快速、精确的静态和动态测量的价格高昂的系统, 以用于那些迄今尚依赖干燥样和重量样的缓慢生产过程。

[刘家桢译自《IEE Proceedings-B》, 1980, 127, No2, 124—128, 徐仁德校]

小型工业炉的节能(二)

Ⅶ 检测的重要性

对于确保最佳的工业炉炉膛效率而言, 合适的检测是一项重要的手段; 对于全面确保工艺过程的要求来说, 合适的检测则更为至关重要。

为此, 需采用各种仪表来实现:

- 控制温度或时间的循环周期;
- 在所有的热功率情况下确保合宜的空气/燃料比例;
- 获得要求的炉膛气氛;
- 保证燃料经济地利用;
- 测量和记录燃料输入量。

对于一台工业炉工作状况的最好的检查办法之一是按一定的时间间隔测定与记录单位出力的燃料耗量。这就需要装设燃料量测定用的流量计。将某星期的这类数据与以往各星期的数据相比较, 就可对工业炉的效率作出有价值的判断。如果运行性能发现有任何下降的情况, 则就应进行研究, 并应以以往的良好记录为目标进行不断的改进。

当然, 进行详情全面的检测是颇为费钱的事; 但经验表明, 可以在燃料利用经济性、产品废品率降低及炉子维护费用降低等方面得到补偿收益。检测工作当然也可与自动控制结合起来; 自动控制设备可以减少运行操作人员的工作量, 并且可以比运行人员手控