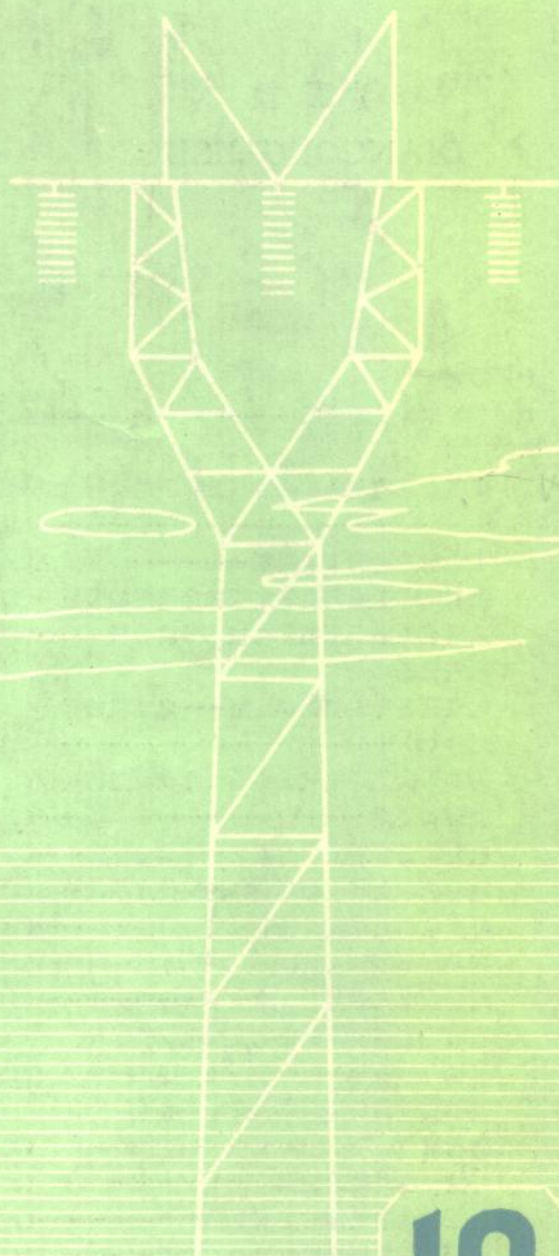


DIANGONG
JISHU

电工技术



10

科学技术文献出版社重庆分社

《电气传动自动化译丛》

征 订 启 事

本刊是电气传动自动化领域的综合性技术刊物。主要介绍国外电气传动控制系统及与电气传动有关的自动化控制系统的基础理论和先进技术。并综合介绍与系统成套密切相关的电机、电器、电控装置、自动化仪表、元件与装置以及控制用计算机、微处理机等。刊载电气传动自动化技术在冶金、煤炭、电站、机床、提升机械（包括电梯群控）造纸、石油、化工、印刷、建材及轻纺工业等方面的实际应用。介绍电控装置的制造技术、生产工艺、可靠性措施及技术标准。报道国际有关会议消息、技术动态、发展趋势等。

本刊读者对象主要是从事电气传动自动化工作的工程技术人员、管理人员，高等院校电机、电器、工企、自动化、计算机等专业的师生，自动化设备设计、制造、调试、维修人员及各工厂、矿山中级以上的电气工人。

本刊为双月刊，单月15日出版，每期72页，代号6—44，定价0.45元。由天津邮局公开发行，欢迎读者到所在地方邮局办理订阅手续。本所不办理订阅手续，但可零售过刊，需要者请向本所情报室综合组购买。

天津电气传动设计研究所《电气传动自动化译丛》编辑部

一九八一年十月

电 工 技 术 (十)

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	印张：6.375字数：22万
1981年11月第1版	1981年9月第1次印刷
科技新书目：13-229	印数：8340

书号：15176·516

定价：0.70元

目 录

31499/05

水平动向

半导体开关的发展.....(1)

节能技术

负荷自动控制的矿物燃料发电厂的运行经验.....

.....(6)

工业锅炉房的节电问题.....林适之(13)

限制电焊变压器空载电压和电流用的装置.....(17)

选用或更换小型锅炉时技术经济分析.....(17)

厂矿电气设备

电气设备知识和正确运用——电动机的保养

工作(2).....(24)

对6千伏工厂电气设备的绝缘状况进行连续

检查的装置.....(27)

电力设备诊断技术的发展——火电部分.....(29)

电动机轴上产生循环负载的无接点系统.....(35)

异步电动机速度特性的近似算法.....(36)

4A系列封闭式绕线型异步电动机.....(38)

同步发电机容量的计算.....(39)

采用可控硅整流器使鼠笼型电动机起动

平稳.....(42)

关于变压器负载系数和变压器容量

的利用.....(43)

可控硅整流器的控制.....(45)

变压器油中气体的溶解系数.....(46)

850大型轧钢机电传动的改造.....(47)

两种星-三角起动线路的比较.....谢兴仪(49)

变电设备的抗震设计.....(50)

水轮发电机线圈温度升高的原因及其防止措

施.....(53)

电动机接入电网正确性检查仪.....(56)

TBB-200-2A型汽轮发电机的一组他励可控

硅励磁系统.....(57)

磁力探伤法.....(59)

立式水轮机的安装方法.....(61)

净水构筑物的水位调节器.....(63)

测试技术

火灾探测装置.....(64)

磁滞式电动机过负载检测装置.....(67)

感应电动机旋转方向检测装置和检测方法.....(68)

欠相检测电路.....(69)

温度计的校正方法及其效果.....(70)

农村电网用单相感应式电表计算电能损耗.....(71)

磁阻式电流互感器.....(72)

KC-40型整流稳压器.....(75)

发明创造、技术革新集锦

灯管管头用粘接剂.....(77)

手表用太阳能电池.....(78)

汽轮发电机密封部分的检漏装置.....(79)

变压器的防噪音装置.....(79)

串联型潜水电动机.....(80)

磁性槽楔.....(81)

充电用交流发电机控制装置.....(82)

加减速控制电路.....(83)

电动机的烧损保护装置.....(85)

避雷器老化检测装置.....(86)

永磁发动机.....(87)

农业电气设备

苏联的农业供电经济.....(89)

6-10千伏电网中监控绝缘用电压互感器工作

方式的研究.....(91)

提高农村电网电压质量的方法.....(94)

悬臂鸟咀状转子的强度性能.....(95)

中型电机电枢半自动数控绕线机.....(96)

电动机保护线路.....(98)

电动机断相保护线路.....(98)

日用电器

照明自动开关.....(99)

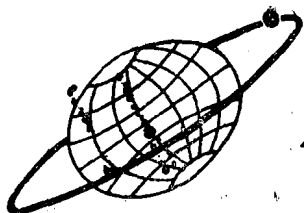
防盗和节电的万能时间电路.....(99)

便所节电节水装置.....(100)

精密电机的速度控制.....(100)

电容进相电动机防噪音电路.....(101)

73.1
144
:10



水平动何

半导体开关的发展

一.前言

半导体开关过去主要是采用可控硅，近来，由于大功率晶体管的使用，半导体开关获得了新的发展。

本文介绍了这两种半导体开关的特点、动作原理、用途和今后的动向。

二.半导体开关和有触点开关的比较

1. 有触点开关存在的缺点
 - (1) 分断时间长；
 - (2) 触点磨损大，分断次数有限。
 2. 半导体开关的特点
 - (1) 分断速度快；
 - (2) 分断电流大；
 - (3) 无电弧、噪音小；
 - (4) 无可动部分，所以寿命为半永久性，操作频率高；
 - (5) 驱动功率小。
- 两者的比较如表1所示。

表 1 半导体开关与有触点开关比较

项 目	半导体开关	有触点开关
断路机构	半导体元件	机械触头
分断时间	小于1毫秒	小于10毫秒
寿命	半永久	有一定动作次数
电弧	无	有
噪音	小	动作时噪音大
外形	较大(带冷却装置)	体积小

三.半导体开关的动作原理和实用举例

1. 可控硅开关

1) 直流可控硅开关

动作原理如图1所示。在直流电路中，导通的主可控硅在 t_3 截止。在主可控硅截止期间，换流

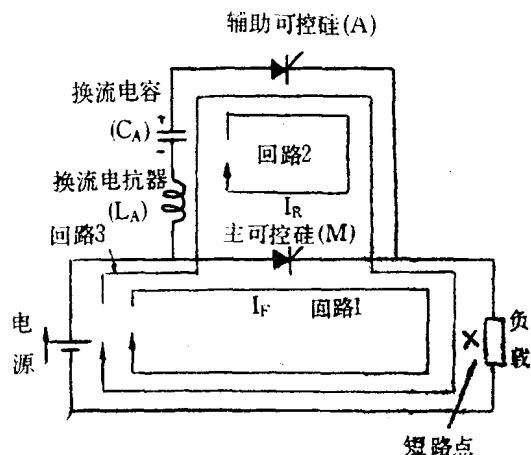


图1 直流可控硅开关原理图

控硅M的控制极断开后，主回路电流 I_F 仍会继续流通。欲使 I_F 分断，必须在可控硅M的控制极断开后使辅助可控硅A触发导通。使换流电容器 C_A 的充电电荷在回路2中产生与主回路电流 I_F 相反的放电电流 I_R ，强迫 I_F 过零，使主可控硅M关断。可控硅M一截止，回路1的电流立即转向回路3，并使电容 C_A 充上与图中极性相反的电压。 C_A 反向充电一结束，通过可控硅A的电流小于维持电流，可控硅A截止。下面介绍应用实例。电气化铁道变电所的直流馈电线过去一直是采用电磁机械式开关保护，但是在维护、噪音等方面存在问题。采用可控硅开关后则可解决上述问题。

图2为可控硅开关的原理图。该装置在额定直流电压600伏、额定电流800安、电流上升率 3×10^6 安/秒（过电流整定值1500安）的情况下成功地分断了1850安峰值电流，分断时间为1020微秒。

图3为分断时各部分的电压、电流波形。首先在 t_1 时刻过电流检测出的分断指令使辅助可控硅在 t_2 导通，主可控硅在 t_3 截止。在主可控硅截止期间，换流

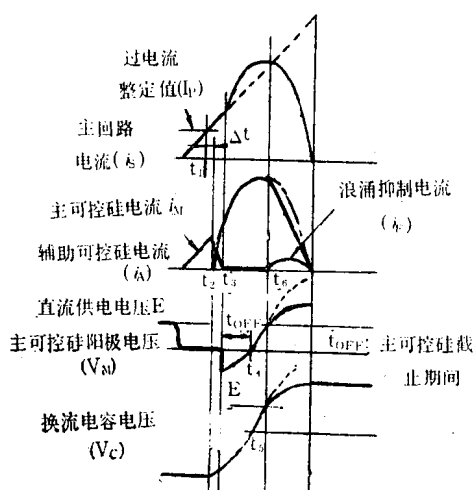
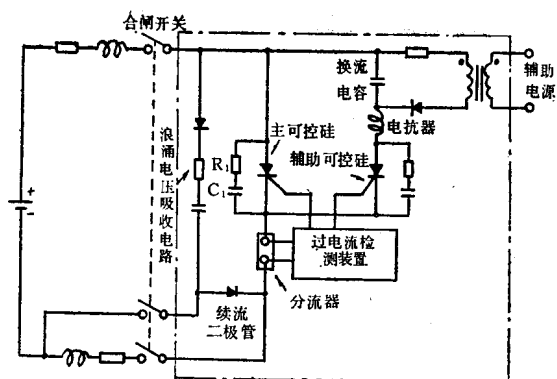


图3 分断时的电压、电流波形图（理论值）

电容器电压 V_c 的极性在 t_3 开始反向,在 V_c 达到接近直流电源电压 E 之前(t_6),主回路电流 i_s 是增加的。此外,由于施加在主可控硅上的反向电压比换流电容电压低一个电抗器 L_A 上的电压降,所以主可控硅上的电压在 V_c 反向(t_5)之前的 t_4 时过零。主回路电流 i_s 一开始衰减(t_6),直流馈电线的等值电感 L_o 中的电流便通过续流二极管形成环流,而流经电源和直流电抗器的等值电感 L_s 的主回路电流 i_s 被浪涌电压吸收电路所分流。因而抑止了电感中集蓄的磁能对换流电容器的过充电。如果分断后的回路电压恰当,可实现快速限流分断。

在直流可控硅开关的分断性能方面回路电感中积蓄磁能的吸收方法是很重要的。

近年来,已用吸能效果好的非线性电阻(氧化锌陶瓷等)作为吸能介质。已研制成功了过电流整定值为数千安,吸收能量为100千焦耳左右的装置。这种氧

化铍陶瓷的单位体积允许能量约为100焦耳/厘米³,为油浸式电容器的一千倍左右,因而可缩小体积。而且对电路中使用的大功率半导体元件来说具有良好的电压抑制特性,因而便于进行绝缘配合。

图4为采用非线性电阻的开关电路。主要元件为主可控硅、换流电路、非线性电阻和与主可控硅反向并联的二极管等。

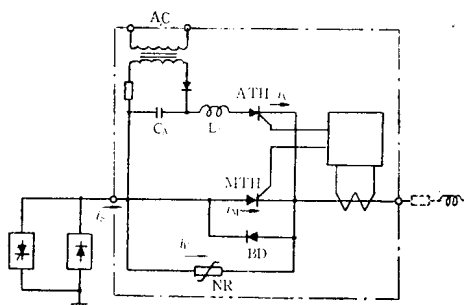


图4 采用非线性电阻的可控硅开关

图5为分断时各部分的电压、电流波形图。当 t_0 时由于直流馈电线接地,回路电流 i_s 开始增大。在故障电流达到过电流整定值(t_1)时,分断信号使辅助可控硅导通(t_2),接着主可控硅截止(t_3)。随后换流电路电流 i_A 通过二极管,当 i_A 等于主回路电流 i_s 时(t_4),二极管截止,结果 i_s 就在换流电路中流通。如果电路的电感较大,则换流电容电压 V_C 以电压上升率

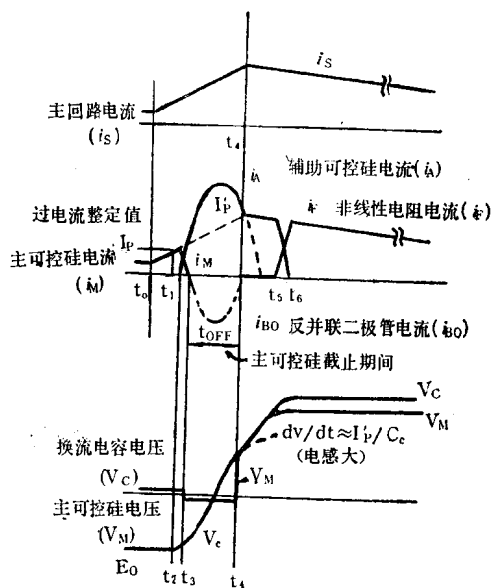


图5 分断时的电压、电流波形 (理论值)

$\frac{dV_C}{dt} \approx \frac{I_F}{C_A}$ 增高, 主可控硅电压也与换流电容电压平行升高。当达到非线性电阻的限制电压时 (t_5), 电流 i_s 开始从非线性电阻分流, i_A 随之衰减, 直至 t_6 时为零。 t_6 以后, i_s 全部流入非线性电阻, 于是电路被断开。

由于直流可控硅开关的限流特性较好, 故适用于故障电流上升率小于 10^7 安/秒的电路。

(2) 交流可控硅开关

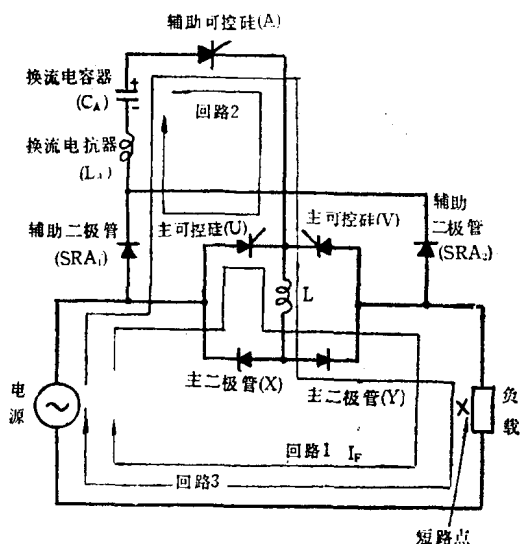


图6 交流可控硅开关原理图

如图6所示, 短路故障时, 发生过电流使主可控硅U和V的触发信号截止, 辅助可控硅A导通。换流电容器 C_A 的电荷在回路2中为可控硅U提供反向电流 I_F , 使可控硅U截止, 电流 I_F 为零。但当换流电容器 C_A 的电荷一反向, 回路3中的辅助可控硅A就自然关断。图7为三相交流可控硅开关的框图, 图8为其分断波形。在故障发生以后, 若其电流超过动作整定值时, 辅助可控硅A便导通, 主回路电流 I_F 就被限流和分断。限流分断时间约600微秒。若用关断时间短的可控硅, 并适当地选定换流电路的参数, 可使限流分断时间缩短为100微秒左右。

交流可控硅开关已大量用于恒压恒频电源系统(简称CVCF)。图9为可控硅在CVCF并联运行系统中的应用实例。若 N_1 CVCF 发生换流故障, 则A点被CVCF内部阻抗短路, 此时, 短路电流也流过其他健全的CVCF, 因此有同时烧毁的危险。为此, 在各CVCF的输出侧接入可控硅开关。一旦发生危险, 能将故障的CVCF迅速地输出交流母线中切除。分断时间为100~200微秒。图10为CVCF系统负载分支电

路中的实用例。负载 $N_1 \sim 3$ 是独立的。当任一分支负载过载时, 该支路的开关就限流分断, 故CVCF仍可继续运行。图11~13为CVCF系统中的具体电路。

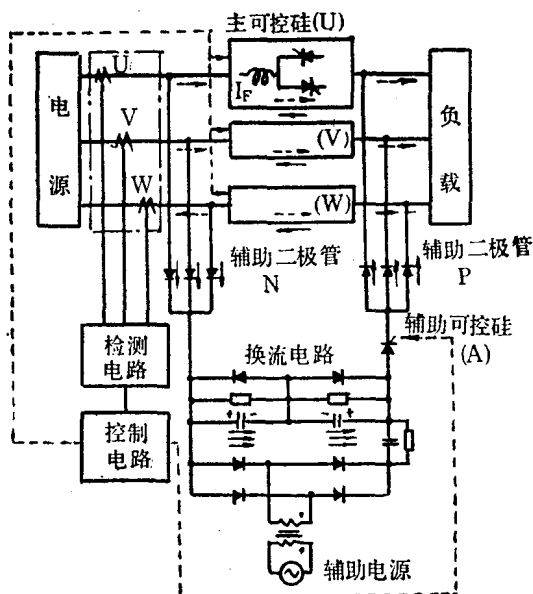


图7 三相交流可控硅开关方框图

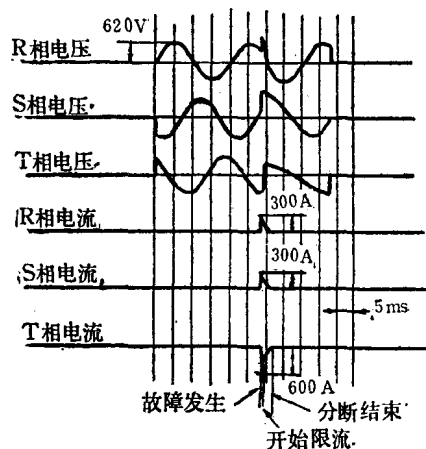


图8 交流440伏、200安可控硅开关的短路电流(30千安)分断波形

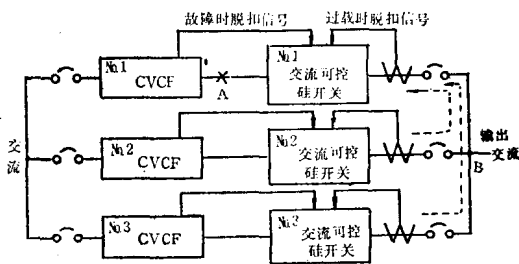


图9 可控硅在CVCF并联系统中的应用

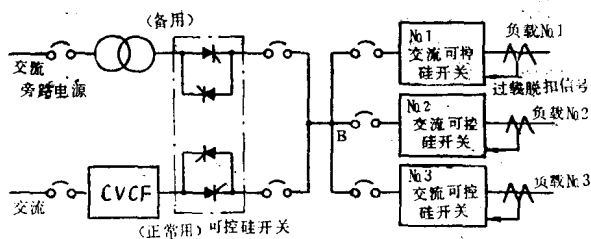


图10 CVCFF系统负载分支电路中的用例

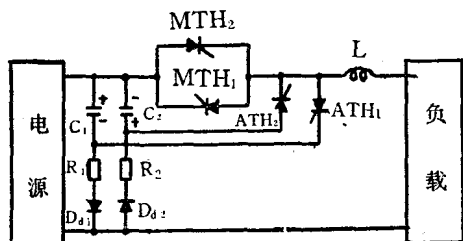


图11 单相分断的方式。例1(单相)

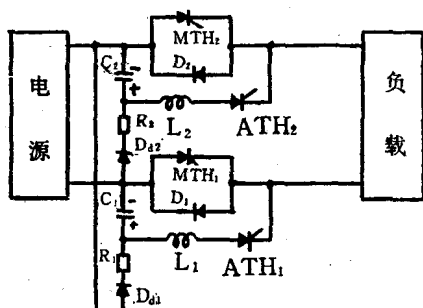


图12 单相分断的方式。例2(单相)

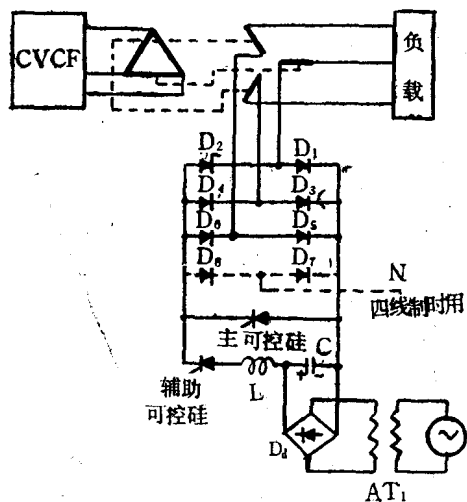


图13 三相分断的方式

此外，GE公司还生产有感应炉用的单相3000伏、10000安半波断路器和升压器用三相600伏、1600安限流开关。

2 晶体管开关

晶体管开关的方框图如图14所示。三相电力通过二极管 D_1 、 D_2 、 D_3 和功率晶体管 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 进行供电。晶体管开关的动作原理如下：控制晶体管的基极电流 I_B ，使它的集电极与发射极间的等值电阻剧增，进行限流分断。在正常负载条件下主回路电流 I_F 小于晶体管的直流放大系数 h_{FE} 与 I_B 的乘积。可是一旦发生短路，电流 I_F 立即增至 $h_{FE} \times I_B$ 。由于 I_B 为一定值，故 I_F 不可能大于 $h_{FE} \times I_B$ 。当发生短路时，晶体管的集电极与发射极之间的等值电阻迅速增大，因此集电极与发射极之间的电压 V_{CE} 也迅速升高。当 V_{CE} 大于稳压管的击穿电压 V_Z 时，电压检测电路动作，输出使基极电流减小的信号，故 $h_{FE} \times I_B$ 值减小，起到了限流作用。假如使晶体管截止，除能限制电压和电流外，还可限制功率。

这种分断方式与电源的备用容量无关，这点与有触点的开关和可控硅开关的原理有很大的不同。此外，由于晶体管开关能使阻抗增大，所以即使负载侧短路也不会造成短路故障。

晶体管开关的规格如表2所示。用交流200伏、50赫，预期短路电流10千安的短路试验设备进行三相短

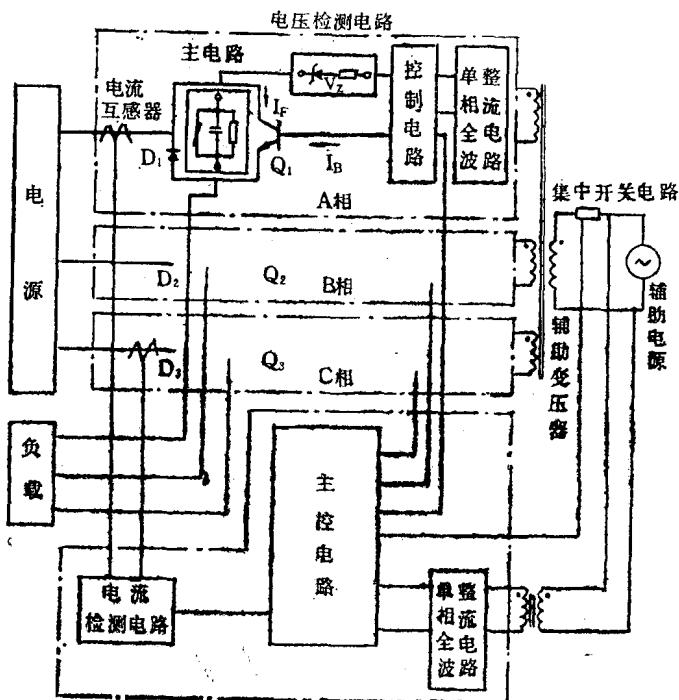


图14 晶体管开关电路框图

路试验, 证明有可靠的分断特性, 其示波图见图15。
对交流200伏、50赫、400瓦的感应电动机进行了运行
中的人为三相短路试验, 以验证晶体管的分断动作。
图16为分断效果良好的示波图。

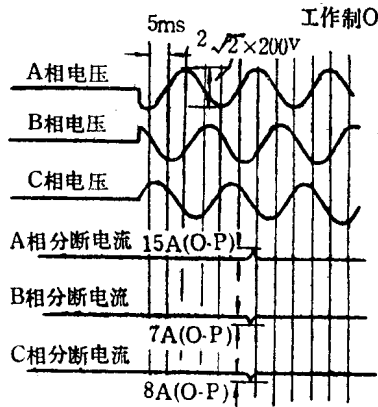


图15 晶体管开关分断交流200伏、10千安的示波图

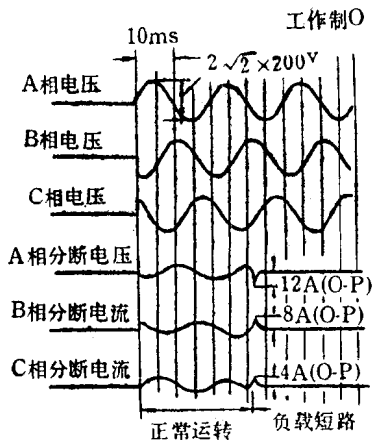


图16 电动机负载时的分断波形

晶体管开关用作逆变电源的下位开关可充分发挥
其特长, 实现与逆变电源的选择性分断。由于大量采
用了晶体管开关, 所以当发生短路时可以把故障母线
分断而不会影响电源。这对自动开关、接触器和热继
电器等来说是很难达到的。

目前已有 $V_{CEO} = 600$ 伏、 $I_C = 100$ 安的大容量晶体

管开关出售。此外还出现了反向导通晶体管。随着半
导体技术的发展, 大容量领域的实用化将为期不远。

四 结束语

半导体开关具有动作速度快、无电弧、快速重合
闸、操作频率高等优点。虽然目前价格较贵, 但随着
半导体技术的发展, 今后将加速实用化步伐。

表2 晶体管断路器的规格

项 目		内 容	备 注
额 定 值	电 压	200/220伏	
	电 流	3~15安	A ₀ 种
	频 率	50~2千赫	
	分断电流	10千安	对称值
控 制 电 源	电 压	100/110伏	用直流—交
	电 流	80毫安	流变换后, 不
	频 率	50/60赫	停电源也可
	电压波动	-15~+10%	以
性 能	分断时间	自动	小于100微秒
		手动	小于50毫秒
	耐 压		1500伏1分钟
	绝 缘 电 阻		大于10兆欧
使 用 环 境	温 度	-10~+40℃	
	湿 度	相对湿度10~85%	
	海 拔 高 度	1000米以下	
	振 动	0~5g	最大振动频
	冲 击	10g	率55次/秒

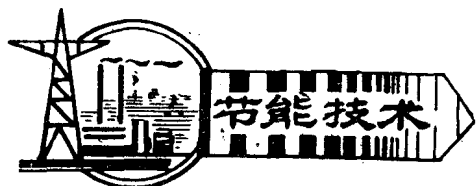
〔刘亚篪 节译自《电气计算》, 1980, 48, №8,
393—399, 江鹤令校〕

喷镀金属的织物纤维

这种纤维采用镍金属化的特殊工艺方法生产。镀
金属后仍能保存织物的所有特性。镀金属层厚度为
0.05至0.20微米。由这种镀金属的纤维所生产的织物
完全能防止产生静电并有低的表面电阻。甚至在洗涤

后这些特性仍能保持不变。这种新材料将用于平面加
热(在低压情况下)、屏蔽、装备半导体器件工业生产
场所和服装特种加工等领域。

〔张裕庆摘译自《Elektrotechnik》, 1979,
№4, 130〕



负荷自动控制的矿物燃料发电厂的运行经验

M. J. Metcalfe等

一、引言

60年代中期,对CEGB(中央发电局)电网的某独立部分进行了负荷规划试验。试验表明,必须使汽轮机和锅炉的控制更好地协调,以改善机组的升降负荷的速度。因此,在Rugely A电厂的一台12万千瓦燃煤机组和Fawley电厂的一台50万千瓦燃油机组上安装了负荷控制器。

由于把贮能的使用局限在这一重要的调频功能上,所以锅炉的波动能保持在最小的范围内。

本文研究了实现该控制系统的各项实际情况,并介绍了从Rugely和Fawley两电厂的发电机组中所获得的装置动态特性。

二、燃煤机组的负荷控制

1. 负荷控制系统的构成

装在Rugely电厂的负荷控制系统的简单方块图示于图1。大体上,该系统由作用于调节阀的汽压控制回路和调整锅炉负荷信号的功率回路组成。向电网指令加载用以下方法来实现:以每分钟为最大持续功率的0.5%~50%的速度将锅炉负荷信号递增。必要时,可用经过滤波的系统频率信号改变锅炉负荷信号和汽压整定点,以实现系统的调频。

实现新的负荷调整方案所需的附加控制设备由电子组件构成。在Rugely电厂,这些组件通过辅助控制台与运行人员联系。通常,控制设备的输出通过步进电动机与电厂的执行机构相接,只有一种例外的情况,即引至调节阀的输出是通过恒速(调速)电动机起作用。

2. 调节阀的不稳定性

在某些情况下,当Rugely和Fawley两电厂所采用的那类调节阀安装在一个闭合控制回路里时,就出现一个极限周期(图2),在出现极限周期的准确的负载值是机组运行汽压的函数。但是,比较典型的是在75%最大持续功率范围内。

如果汽流是由单阀控制的,那末,产生此种型式的极限周期,可能需要下列两个条件:

- 作用于调节阀阀头上的净蒸汽力信号的变化;
- 连接阀与执行元件的机构有磨损。

调节阀阀头上的净蒸汽力取决于通过阀的压差和受上游压力与下游压力作用的面积比。在某些阀设计

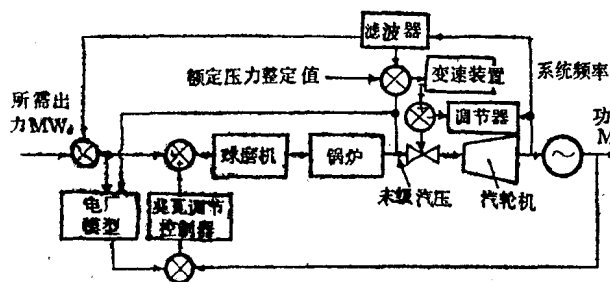


图1 负荷控制: 调节燃煤机组

这种负荷控制器的基本设计原理在于: 锅炉贮存的备用能量不用于实现规定的负荷变化, 而用于实现调频功能, 锅炉贮能的存在对于实现这种功能颇为重要。这是用汽压控制回路来实现的, 该回路整定点可以改变, 以便释放所贮存的能量用于调频的目的。

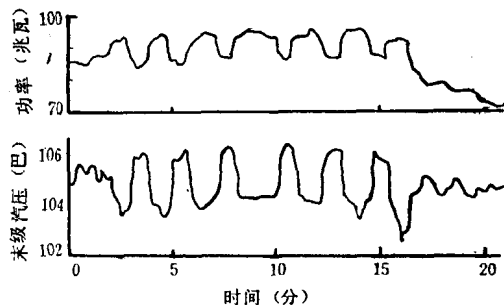


图2 调节阀的不稳定性

中(包括Rugely和Fawley电厂的),净蒸汽力会改变给定阀孔上的信号;而在另一些设计中,就没有信号的变更,同时也不会发生上述那种类型的极限周期。

实用上采用四个同时动作的调节阀来控制汽流。这四个阀在局部不稳定过程中的相互作用特点没有完全弄清楚。看来,磨损,亦即极限周期的活动性趋向于逐渐集中在一个阀上。模型研究表明,这些阀所受的力受到阀出口扩散部分汽压回复特性的强烈影响。

三、燃煤机组的燃烧控制

在设定的球磨机额定性能和燃料发热值条件下,总燃料回路能把所需的功率信号转换成球磨机总加载信号。球磨机总加载信号与从所有运行的球磨机所得到的稳态计算输出进行比较,以调整各球磨机的需求量,直到平衡或达到控制范围为止。这种由信号比较进行的调节能自动地考虑运行的、由运行人员加偏压的以及手动控制的球磨机台数。另外一些变量(包括球磨机性能和燃料的发热值)可由图1所示的兆瓦调整回路来补偿。

燃烧用空气流量的所需值根据汽流的测量值和另一调整信号求出。该信号的作用是将烟气中的氧浓度调整到整定值上(图3)。氧的浓度可由装在锅炉后烟道烟气流中的固体探针测得。对于大约0.016赫以下各种的干扰,总的空气流量控制系统都能起响应。

控制系统里规定有一些限值,保证火焰稳定所需的风箱最小压力得以维持,并且使拖动送、引风机的电动机的最大电流不会起振。

四、燃煤机组控制系统的性能

本节叙述与Rugely电厂12万千瓦机组有关的装置动态响应特性。负荷控制器设计成既能在调节方式下运行,也能在非调节方式下运行。在调节方式下,可得到预调斜率*的频率调节,该预调值可调定在1%和11%斜率之间。另一方面,在非调节方式下,倘若系统频率保持在预调的限值之间,则就不进行频率的调节。如果超过了这些限值,就可得到4%斜率的调节。但是,必须强调,这些斜率值代表了压力调节回路有时间(通常约1分钟)起作用后所获得的装置的响应特性。这无论如何都不会影响到防止机组超速所需的快速飞锤式调节器的动态响应特性。

必须指出,在Rugely电厂试验中,所有的输出功率测量值是供电功率,而不是发电功率。供电功率等于发电功率减去机组辅助设备所消耗的电功率。在机组全出力时,这种辅助设备的负荷约占8000千瓦,所以12万千瓦机组的总输出功率相当于11.2万千瓦的供电功率。

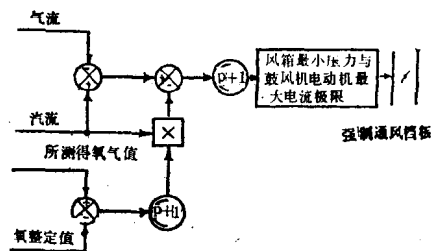


图3 空气流量控制：燃煤机组

1. 机组加载

首先讨论非调节方式下的机组加载情况,这时,预调限值要规定得足够宽,以避免额定频率偏差下的任何调节。由这种运行方式可以给出有关发电功率变化的资料。由于最终的蒸汽压力是通过调整调节阀的位置来实现的,所以这种结果是可以预料到的。因此,这也表明了兆瓦调整回路消除扰动的程度。这点在下面的第3节中还要研究。在所需的负荷恒定时运行的典型实例示于图4,它示出了所需负荷为10.5万千瓦的8小时试验的部分结果。所达到的平均值为10.68万千瓦,其瞬时值的标准偏差为1470千瓦。试验中的最小和最大瞬时值为10.20和11.16万千瓦,分别出现在吹灰的开始和末尾。吹灰定期进行是为了清洗燃烧室受热面,并采用直接从锅炉里来的数量不等的蒸汽,最高的数量相当于6千瓦的电量。这就导致了汽轮机可用汽量的变化。在此次试验中,最终汽压可保持在 ± 0.5 巴范围内。在另一次4小时的类似试验中(没有吹灰,所需负荷为10.1万千瓦)获得10.21万千瓦的平均值和870千瓦瞬时值的标准偏差。其最小和最大负荷值为9.68和10.51万千瓦。然而,电厂半小时平均值的标准偏差仅为350千瓦。

负荷的变化是由于所需量的递增作用所致。这些跃增变化量通常整定在每分钟为0.5~10%最大持续功率范围内,但是也采用了每分钟为50%最大持续功率的快速变化率。事实上,大于每分钟10%的所需量的变化率不会使机组加载率有多少增加,这是因为设备的时间常数在决定动态响应时间方面起主要的作用。图5所示为所需负荷量以每分钟1%最大持续功率递增时的情况。图5中9万千瓦范围内需求负荷量和功率输出两者均有所停顿*,说明在当时磨煤机运行条件下所能达到的最大输出负载的影响。将辅助磨煤机投运能使递增加载达到最终所应完成的目标。这样,递增加载速率通常就能得到准确地满足。图6所示为每分钟50%最大持续功率负荷跃增的快速率下的情况。这

* 斜率值可定义为 频率变化(以额定频率的百分比表示)与相应机组出力变化(以满载出力的分数表示)之比。

* 图5中9万千瓦附近的曲线有一段水平段。——校者注

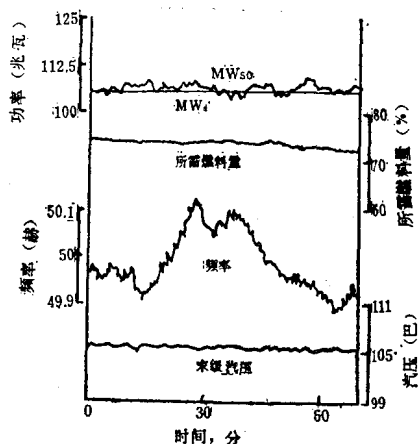


图4 所需负荷恒定时的运行：非调节方式

也涉及到运行人员将两台辅助磨煤机投运的操作。由图可见，负荷在开始时迅速增加，此后，在达到所需值之前有些轻微的波动。这种波动可能是由于兆瓦调整回路的作用所引起的，特别是由于所采用的简化模型的特性曲线和装置的特性曲线之间的差别所引起的。当负荷为图5和图6中的9.0~9.5万千瓦左右时，出现第2节第2条所述的调节阀的不稳定性。

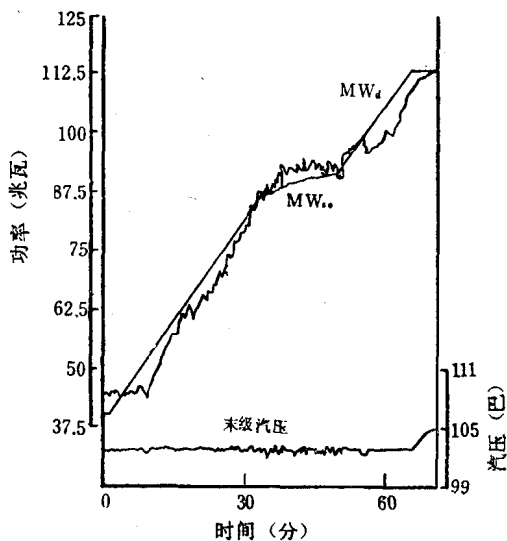


图5 1%递增加载率的特性曲线

2. 频率调节

改变调节器回路的压力整定点就可利用锅炉所贮能量在短时期内（1分钟或2分钟）实现频率调节。如时间较长，则可改变锅炉的燃料供给量来实现频率调节。其量值相当于10%最大持续负荷的模拟性频率跃减所引起的设备动态响应特性曲线（示于图7）。在该

模拟试验中，频率的阶跃变化作用于负荷控制器，而该控制器再确定压力整定点和锅炉的燃料供给量，但是，要把这种阶跃变化作用于飞锤式调节器是不可能的。因此，设备的动态响应特性比系统中的实际变化要慢。图7所示的负荷升高比10%最大持续功率阶跃的要稍大些，特别是在频率阶跃以后的3~9分钟时期内。造成这种情况是由于磨煤机的响应特性比在计算锅炉燃料供给量初始变化值时负荷控制器所假定的特性曲线要大。实际上，在对装置的响应特性进行试验前的约6个星期，所有参数都已整定好，并输入负荷控制

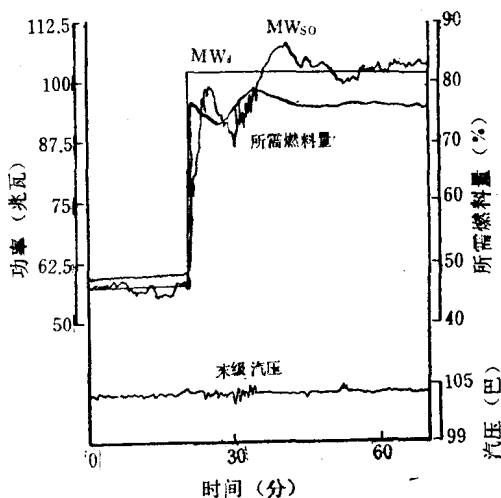


图6 当辅助球磨机投运时所需负荷的阶跃变化

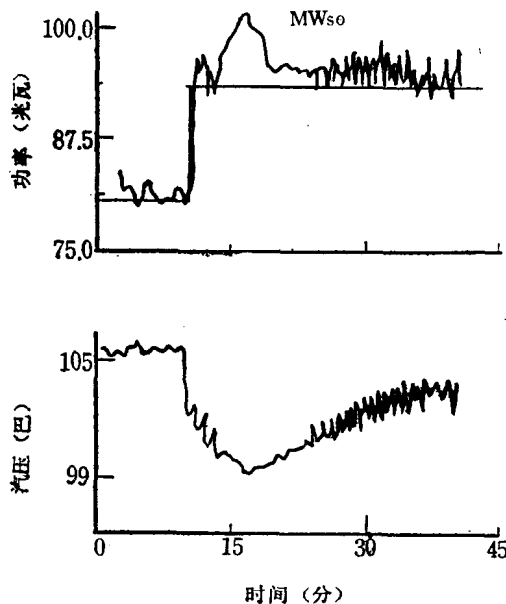


图7 阶跃频率变化的特性曲线

器内。试验时，这些参数能准确地保持不变。因此，与在试验过程的绝大多数工况下选择特定的整定值来进行试验相比，更能代表逐日的典型运行工况。

在高负荷水平下，系统频率的下降会使调节阀的开度变大。因此，调节回路是不可能跟踪压力整定点的变化，这样，可用的贮能就不再是设计值了。这种实例如图8所示。最初得到的输出功率比稳态值要小，该稳态值只有在汽压回到额定值时才能达到。

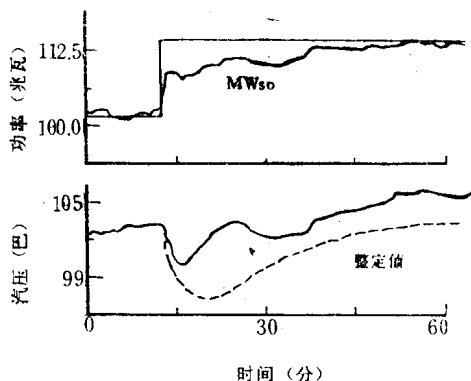


图8 阶跃频率变化的动态响应特性曲线：调节阀开到最大

随着系统频率的增大，会出现另一个反常现象，这就是造成压力整定点增高，因此增加了锅炉的贮能。假如锅炉压力增加到与安全阀整定值一样大，蒸汽就会通过安全阀排出。再者，除非压力整定点大大降低，否则排出蒸汽的损耗会持续下去，而压力调节回路将产生动作，使锅炉压力恢复到整定点值，从而用降低汽轮机负荷的方法来维持安全阀的汽流不变。为了避免这种情况，应将压力整定点的上限输入到负荷控制器里。这样做所产生的效果示于图9，这里采用了模拟性的频率阶跃。当达到压力极限时，锅炉不能再吸收更多的贮能，因而机组的出力将增至设计值以上。在此初始阶段所发出的过剩功率会由于随之而来的功率不足而补偿，所以总的能量平衡得以保持。

必须指示，虽然一般来讲是希望把这个上限用到压力整定点上，但也有例外的情况。例如，如果部分电网系统与其余部分隔开的话，可能会发生系统频率升得很高的情况，那末最好是通过安全阀放出蒸汽来降低系统的频率。因此，采用汽压上限值是有条件的，即系统的频率要小于正常运行时不会达到的某个临界值。

带负荷控制器的机组对实际系统频率偏差的响应特性曲线示于图10。在这种情况下，飞锤式调节器和负荷控制器都对相同的频率变化作出响应。在所

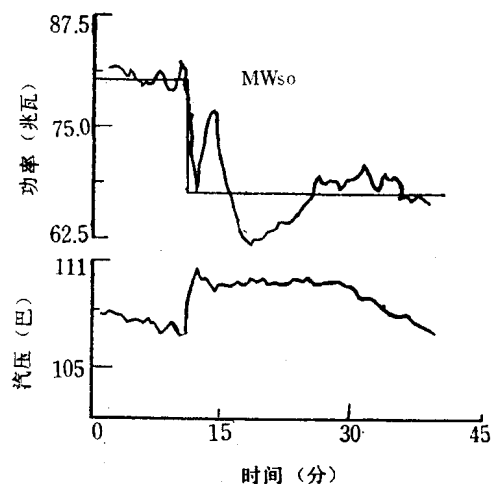


图9 阶跃频率变化动态响应特性曲线：达到汽压上限

实例中，负荷控制器的下降特性曲线被整定到额定值的1%。在两小时的试验过程中，所达到的平均下降值为0.93%。这种数值虽然是设备所要求的，而且所用的大部分调节范围也是所要求的，但对于所碰到的频率偏差来说，在该下降值下进行的调节是可行的。实际上，设计最常用的下降值是4%（四分之一的增益）。含有非线性调节特性的影响示于图11。在49.95赫和50.05赫的范围间不需要调节，超出了这个范围，调节作用达到4%的下降值。在高指标设备上，采用这种非线性特性调节是有利的。因此，在频率偏差较小的情况下，调节局限于低指标设备。高指标设备只有在偏差

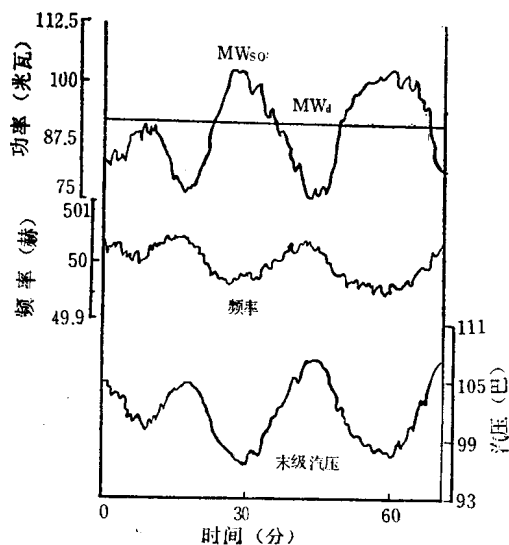


图10 调节到1%的下降特性曲线

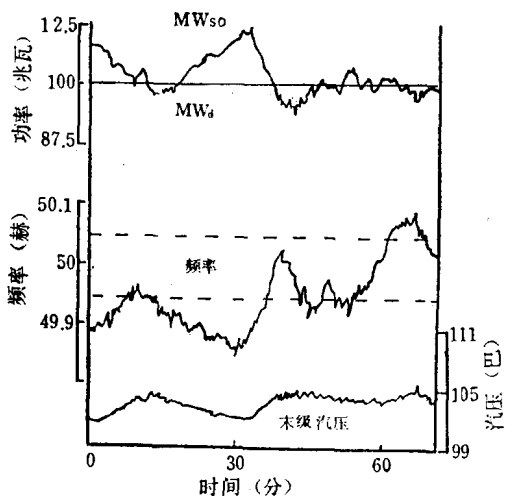


图11 非线性下降特性的调节

较大时才采用，因为实现这种调节的费用是很高的。

3. 对电厂干扰的响应特性

兆瓦调整电路对阶跃输入功率的响应特性示于图12，它表明没有不稳定的迹象。当在所要求的稳定负荷下运行时，对锅炉进行过吹灰，所以增加了额外的用汽量。因此，调节器回路就降低了汽轮机的负荷，以维持汽压不变，同时兆瓦调整回路增加了向锅炉输入所需的燃料，以便恢复负荷。在这种情况下，吹灰用的抽汽在整个加热阶段时保持不变。因此，对调节回路提供了一个阶跃变化。由于吹灰程序设备产生故障，使这种全阶段固定加热时间拖得比一般情况要长。因此，得到了比较完整的对阶跃扰动的响应特性曲线。

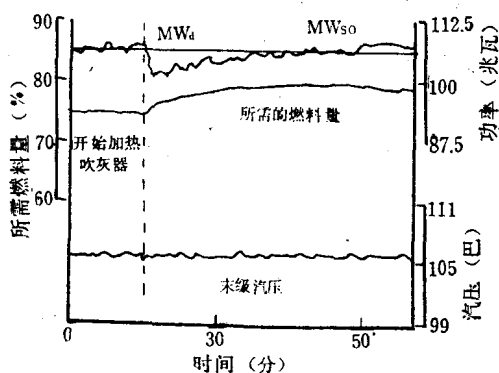


图12 锅炉吹灰的扰动

磨煤机停止运行的影响示于图13。进行这次试验时，其余4台磨煤机均有更高的负荷，以供给所需的燃料。在那台磨煤机停止运行以后，机组的出力有短时的

增加。这种现象是由以下两个因素造成的：1) 负荷控制器在停用的磨煤机完全空载前在信号检测上会将它作为完全停止运行工况来处理，因此燃料的输入会暂时超过计算值。2) 在这种情况下，其余的磨煤机提供了比停止运行的一台磨煤机要大的出力。因此，兆瓦调整回路必须发出信号来减少所需燃料量，而得到所要求的出力（如图13所示）。为了进行试验，当磨煤机停止运行时，所要求的负荷要保持稳定。但是，磨煤机通常只在负荷变化时才投入和停役。因此，在偏离所需负荷情况下，出现什么情况通常根据负荷变化的稍微超前或滞后就能被反映出来。

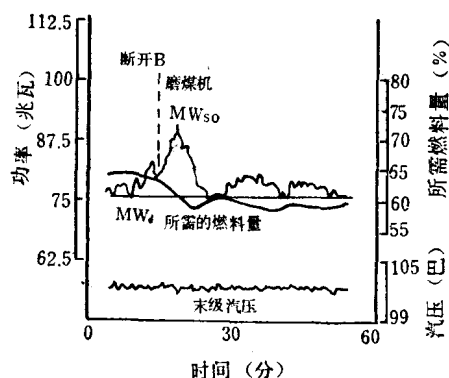


图13 磨煤机停止运行的影响

4. 燃烧质量

为了将用新控制系统得到的燃烧效率与用最普通的控制系统得到的燃烧效率进行比较，曾进行了许多试验。最普通的控制系统为“压力为主”式，其调节阀用于向汽轮发电机加负荷，以达到所希望的电气负荷输出，而锅炉压力则是用调节向锅炉供给的燃料量来控制。用来进行比较的“压力为主”系统，不包括烟气-氧的调整回路。

新控制系统在调节和非调节两种方式下都进行了试验。在上述两种情况下，下降值都整定在4%内，在非调节方式下，频率的呆滞区为 ± 0.15 赫。由于在96%的时间里，系统频率在 ± 0.15 范围内，所以在非调节方式下运行时，锅炉的燃烧率能有效地保持不变。

比较性试验结果示于图14，以烟气中氧的平均分布浓度的正态频率（概率）分布图表示。显然，与传统的系统相比，新系统严格地控制了氧的水平，在这方面非调节的方式比调节的方式更能令人满意。必须指出，由于低负荷运行时，有风箱压力下限值的约束，所以空气流量不会减到太低的数值而仍足以使氧的浓度保持在整定点的数值上，所以在低负荷运行中就出现了较高的浓度值（74.5%）。

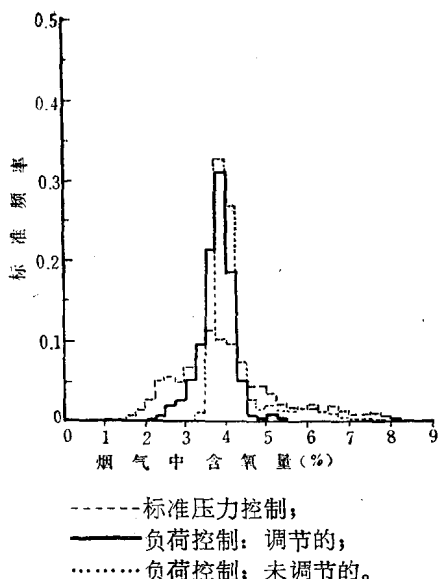


图14 烟气中氧的分布浓度正态分布
频率(概率)图

燃用某具体煤种的锅炉燃烧损失与烟气/氧的浓度的函数关系示于图15。当氧浓度的值下降到4%以下时,损失曲线急剧上升,反应了在低空气-燃料比下未燃烧的可燃物的增加(特别明显的是灰中的炭)。当氧浓度超过4%时,未燃烧的燃料损失较低;而且该曲线随着氧浓度的提高而增加,这是由于排烟热损失增大的结果。

图14和15一起都表明所试验的控制系统是有效的。在调节方式下用新型控制系统(而不是用传统的“压力为主”系统)得到的运行效率的改善约为0.2%。这些结果也表明,系统频率调节所需的燃烧变化导致了燃烧效率的损失;在Rugely电厂的运行中,由于把控制系统切换到非调节方式,就使燃烧效率进一步改善了0.16%。

所达到的对燃烧过程的这种严格控制有助于避免

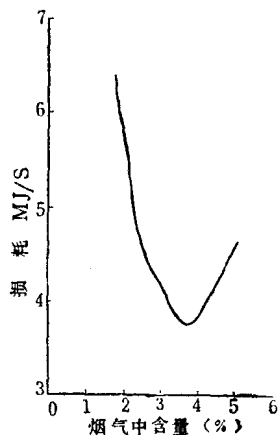


图15 损失曲线: 煤的燃烧

燃烧室内出现短暂还原性工况。这些还原性工况当然是不希望出现的,因为在某些情况下这会导致炉壁的腐蚀,而在采用含铁较高的煤的场合下还会形成低粘度的煤渣。

五、燃油机组控制系统的 结构及性能

1. 燃烧控制

环境保护与设备腐蚀方面的考虑,要求燃油锅炉内的空气燃料比能很准确地控制,最典型的情况是将其控制在与烟气中容积氧浓度为0.5%以下相对应的数值。因此,控制所需的准确度比燃煤时要高,但是由于没有响应特性慢的磨煤装置以及能较容易地测出燃料流量,因此达到这种控制准确度的潜在可能性也较大。

目前有几种同时控制油和空气流量的方法。Fawley 电厂所采用的控制系统结构(图16)中装有一个经过精心设计的快速油流量控制回路,它能使油流量与在运行期间所测得的高精度空气流量相配合。将鼓风机速度控制(图16未示出)与强制送风挡板控制结合起来,就实现了燃烧空气流量的控制。

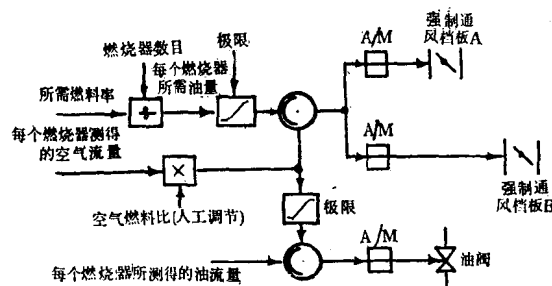


图16 燃烧控制: 燃油机组

火焰稳定性的要求表明了向各个燃烧器供给空气和燃料的比率的上限和下限。因此,投运的燃烧器数目(Fawley电厂最多为32个)必须变动,以适应正常运行中由电网控制中心规定的大多数的负荷调节任务。燃烧器数目的变动开始为手调,按照操作人员的指令,将控制系统稳定在图16所示的一个极限上。点大或停役所需的一切操作(包括灭火时间用蒸汽和空气吹洗燃烧器,以排除未燃烧完的油)由燃烧器自动程序设备来完成。

2. 负荷控制

对燃油机组来说,完全可以根据等效的燃料流量来满意地跟踪所需的电负荷。因此,兆瓦调整回路(图1)可以省略,而采用一个简单的但在实践中,其精度相当满意的负荷控制系统。

对于Rugely电厂而言,它严格地需要设备长期在50%最大连续负荷以上运行,然而在Fawley电厂,要

将设备运行的负荷范围扩大到低达25%最大持续功率,因此就要求有良好的控制。正如Waddington所论述的那样,当负荷降到50%最大连续功率以下时,调节稳定性余量的减少需要动态补偿。而在Fawley电厂,这种动态补偿是以锅炉汽鼓压力微分信号形式来实现的(图17)。

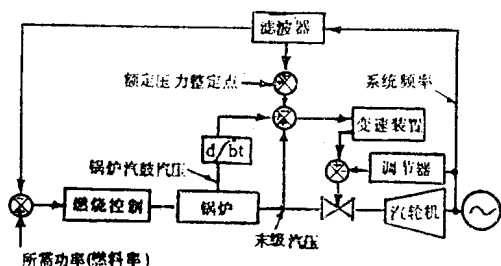


图17 负荷控制：燃油机组的调节

3. 控制系统的性能

图18示出了Fawley电厂机组在正常运行负荷范围内用自动控制使之稳定运行的能力。为了适应负荷从46.0万千瓦降到13.0万千瓦(在过夜时机组经常需要这样)就需要从在高负荷下燃烧30个燃烧器中停役19个。在每个燃烧器停役后的清洗都会引起炉膛的轻度降温,因而会使锅炉的蒸汽有短暂轻度的降低。当负荷如图18所示的那种递减方式变化时,负荷控制器的反应是减低汽轮机负荷来保持所需的汽压值,以使在负荷下降时在所需负载曲线附近只产生较小的波动。在随后恢复到高负荷时,因燃烧器无需清洗,因此,相应的功率输出增大是比较均匀的。在负荷下降和增加的两种情况下,在40万千瓦下的振荡是调节阀不稳定(第二节第2条所述)而产生的。

在Fawley机组上已进行了多方面的试验,包括负荷控制系统的频率调节和非调节两种方式。尽管两个电厂的锅炉动态特性与所涉及的运行限制条件有很

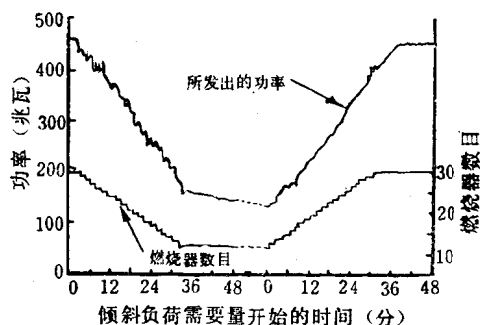


图18 燃油机组对所需负荷递减变化的响应曲线：非调节方式

大差别,但是,在Fawley电厂所得到的特性曲线与第四节所述Rugely电厂得到的基本上相似的。

六、未来的负荷控制

在传统上,CEGB一直采用矿物燃料机组来承担负荷跟踪和调频的职能。这种职能主要是由生产成本较高的较小组(小于50万千瓦)所完成的,但是,由于经济上的原因,越来越多的小型电厂业已关闭,或停止运行,因而上述调频职能必需由其它的电厂来承担。将来运行和会采用的电厂可归纳为如下四种类型:

1)核电站:这种电站生产的电成本较低,因此,一般来说适用于带基本负荷运行,此外,而其机动性亦尚未证明,所以不能靠它来跟踪负荷。

2)燃气轮机:燃气轮机电厂代表了另一种相反情况,有很大的机动性,但因采用高级燃料,生产成本较高。因此,它们适用于尖峰负荷,但是在日负荷周期的其余时间内,其运行费用太昂贵,而不能用来跟踪负荷。

3)抽水蓄能电站:该种电站是专门设计来满足负荷跟踪需要的,机动性极大,且生产成本适当。目前CEGB的抽水蓄能容量仅局限于Efestiniog电厂的36万千瓦。但在80年代初期其容量可因Dinorwic电厂而增加到186万千瓦的总蓄能容量。此容量应能充分满足大部分调频的要求。

4)采用矿物燃料的大型机组:这些机组将能满足与日负荷周期有关的大多数负荷变化的要求。此外,还将要求它们提供超过蓄能电站所能满足的一些负荷调节。在蓄能电站发生故障或在系统解列状态下,使一部分电网失去蓄能电站的支持性后备,矿物燃料大型机组就会被要求满足大部分的调频要求。有时候可能整个蓄能电站位于小范围的网路系统内,这就要求至少一部矿物燃料电厂能完成加载和调频的职能。

本文表明,将负荷控制用于采用调节阀控制锅炉压力的矿物燃料的机组,在技术上是可行的。为了证明这点,不仅进行了一系列的试验,而且Rugely电厂的机组从1976年3月起也已在这种方式下运行。对某些机组来说(即用大开度调节阀运行的机组和允许锅炉压力随负荷而增减的机组),滑压运行方式在经济上也许是合理的。虽然滑压能增加机组的效率,但由于调节阀经常处于大开度下,所以也会引起调频能力的不足。因此,现在的问题是从所要求的运行特性及经济性的观点来看,电网中多少机组和那些机组应该配备负荷控制器。

七、结束语

在燃煤和燃油的两台机组上已成功地安装了负荷控制器,它包括燃料控制,向锅炉供给空气和向汽轮机送汽控制。为了满足调频的要求,负荷控制器被设计成能保存锅炉所贮备的能量以用于满足调频的要求,有助于增大设备满足上述要求的能力,也有助于减少周期性变化对设备的损坏。将所需燃料量供给锅炉比用传统的“压力为主”控制器要稳妥。由于这个原因以及用测量燃烧气体中的氧来控制空气,烧煤电厂的燃烧效率已得到改善。当借助于汽轮机的调节阀来实现闭路控制时,在最大持续功率75%左右有一个极

限周期。业已表明,这是由于各阀上的蒸汽力符号的改变而引起的。当然,这种极限周期现象是不希望有的,但好在它仅出现在极限负荷范围内,并且不会严重影响负荷控制器的运行。

试验和运行经验表明,负荷控制器能完全满足系统运行的要求。它能保持规定的发电指标和遵循负荷变化规程。此外,它有助于对系统频率偏差的响应特性进行规定的调节。用哪一种运行方式*都可以来调节整个频率偏差,或只调节不正常的大偏差。

[刘君堂、邱建甫译自《Proc. IEE. 》, 1979, 126, №4, 徐仁德校]

* 指采用调节工况和非调节工况。——校者注。

工业锅炉房的节电问题

林 适 之

建国以来我国能源生产增长了25倍,目前煤、油合计年总产量已超过6亿吨标准煤。但随着工农业生产和人民生活水平的提高,加上能源利用率低,且有严重浪费,致使我国存在着严重的能源短缺问题,影响了工农业生产的发展和人民生活的需要。据估计由于能源不足而有30%的工业生产不能发挥作用。能源不足已成为影响四个现代化建设的重要问题,解决好能源问题已是十分紧迫的战略任务。节能已被广泛认为是最便宜、最迅速的能源“供应”的新来源,是当前解决能源短缺的主要途径。

据不完全统计,全国工业锅炉总数超过18万台,供应生产和采暖生活用热,年用煤量将近2亿吨,占全国煤产量的三分之一。工业锅炉房用电设备安装总容量估计近200万千瓦,年用电量近70亿度。研究和改进工业锅炉本体设计和供热系统的设计以节约能量具有十分重要的现实意义,而在当前电力供应十分紧张

的情况下,设法节约用电更有其重要意义。本文着重分析工业锅炉房用电现状和节电的主要途径,供研究节能问题参考。

一、合理配套锅炉辅机,降低电耗

锅炉机组的主要用电设备有送、引风机,给水泵等辅机。这些辅机的电机总安装容量约9—10千瓦/吨蒸汽/时,占工业锅炉房总安装容量的80—90%,因之,降低锅炉辅机的电耗是节电的关键。

在1976年11月召开的工业锅炉行业会议上,研究了工业锅炉消烟除尘措施,并制定了暂行规定讨论稿。暂行规定推荐的燃烧方式,除1吨/时炉外,都采用链条炉排、往复炉排等机烧炉排。并要求各锅炉厂今后应随锅炉成套供应除尘装置,推荐采用PW、DG等型旋风除尘器。鉴于配置除尘装置后,烟气阻力增加,要求风机厂发展两个系列的新型引风机,其参数如下:

蒸发量, 吨/时	1	2	4	6	10	20
风量, 米 ³ /时	3500	7000	14000	22000	30000	60000
风压, 毫米水柱	180	180	220	220	250	300
	220	220	280	280	300	350

自工业锅炉行业会议以来,各锅炉厂生产的锅炉及配套的辅机,基本上都是按暂行规定要求生产和配套的。一些锅炉厂生产的2—20吨/时锅炉所配辅机,综合列于附表1。对6.5吨/时以上的锅炉,有的锅炉厂

有计算书(热力和空气动力计算),有的厂只有热力计算书而没有空气动力计算书,对4吨/时及以下的锅炉多数都不供应计算书。从所配辅机来看,不论有无计算书,计算结果如何,基本上都是按暂行规定要求

直接配套辅机的，因而所配辅机不甚合理，特别是引风机，风量风压普遍偏大，以致电机安装容量大，耗电多，增大了基建投资和运行费用。

以鞍山锅炉厂SHL-20-13A型锅炉为例，根据制造厂热力计算书和空气动力计算书，排烟量（锅炉出口）为40100米³/时，锅炉本体烟气阻力47.7毫米水柱，XSW型旋风除尘器（即DG型）阻力按国家动力设施标准图标定为50—60毫米水柱，锅炉以后的烟道阻力按一般布置约20—30毫米水柱，则总烟气阻力约130毫米水柱。考虑到除尘器阻力，在工业锅炉房实际生产时有可能高于试验室或热态试验时测定数据，如按100毫米水柱计，总烟气阻力也仅170毫米水柱。锅炉厂按暂行规定建议的风机系列，配用Y5—47型引风机，№12，风量41540—46000米³/时，风压368—365毫米水柱，风压比设计计算值高80%，电动机容量75千瓦，轴功率48.9—51.5千瓦。如改选引风机，即使选用效率较低的Y4-73型引风机，№11，风量43900—49300米³/时，风压248毫米水柱，电动机容量为55千瓦，轴功率35.2—38.1千瓦，可节电25—30%；如选№10，风量41200—45300米³/时，风压203—196毫米水柱，电动机容量仅40千瓦，轴功率25.2—26.4千瓦，可节电近50%。同厂生产的SHL—10—16/350型锅炉，按计算书排烟量26171米³/时，锅炉本体阻力53.5毫米水柱，总烟气阻力也仅130—170毫米水柱，该厂配Y5—47型引风机，№9，1740转/分，风量27790—30040米³/时，风压270—255毫米水柱，电动机容量40千瓦，轴功率22.7—23.4千瓦，所配风机风压也比按计算应配风压高30—50%，要选用风压较低风机，又无合适风机可选，看来暂行规定所规定的新型风机系列风量风压参数，基本上是按可能发展的Y5-47型风机提出的，而与锅炉实际需要不尽相符，或者说风量风压余量过大。从原提参数看，锅炉愈大，要求风压愈大，这显然也不符合实际需要。目前生产的4—20吨/时锅炉，结构布置类同，都装有省煤器（空气预热器），除尘器型式也相同，总烟气阻力可说基本相同。锅炉本体阻力，经计算都在40—50毫米水柱范围内，与长期以来生产的各类锅炉本体阻力是基本相同的。除尘器阻力在总烟气阻力中所占份额最大，直接影响风机风压的选定。目前几种旋风除尘器的试验阻力都较低，PW型为30毫米水柱，DG型为50—60毫米水柱，一般反映实际生产中阻力大于测定值，因之，在选定引风机时在风压方面留有一定余量是需要的。1977年DG型除尘器标准图说明中推荐采用的引风机风压在200毫米水柱左右，与计算值相比，留有一定富余，比较切合实际，如余量留得过大，势必造成能量的浪费。同时有必要对生产中的除尘器作一定数量

的测定，以便正确确定除尘器阻力。从一些锅炉房的实际运行情况来看，由于施工质量不好或维修管理不善，漏风严重，而引风机实际性能也有达不到铭牌出力等情况，以致一般都希望引风机风量风压选的越大越好。从目前强调节能的角度看，这种状况是不尽合理的，可以从提高施工质量，加强管理，保证产品质量等来解决。为此，锅炉辅机的配套，以引风机为例，应以计算为基础，参照实际测定数据，合理选定为宜，而行业会议推荐的风机系列也有必要进一步研究修订。

二、对变工况运行的锅炉应调整配套辅机以便节电

按工业锅炉产品型谱，烧烟煤锅炉的煤质分为三类，煤的低位热值分别为2500—3500，>3500，>5000大卡/公斤。实际各锅炉厂生产的链条炉排层燃炉要求煤质的低位热值都在4000—5000大卡/公斤，部分要求>5000大卡/公斤，尤其是2—4吨/时小型工业锅炉更是如此。目前我国工业锅炉中，除有少数是以供应生产用汽为主外，多数是以供应采暖生活用热为主的，也有相当数量的锅炉完全供采暖生活用热的。当前我国燃料供应的实际情况是工业锅炉以烧次煤为主，除以供应生产用汽的锅炉有可能燃用部分较好的煤外，大部分工业锅炉都燃用当地煤，特别是当地劣质煤，锅炉愈小供应煤质愈次，采暖用煤大多夏季进煤，贮存半年，煤质变坏。因之，多数工业锅炉实际燃煤煤质都低于锅炉设计煤质。而70年代以来生产的工业锅炉，不少设计采用的炉排热负荷和容积热负荷都偏高，而布置的受热面积又偏小，因而有些产品，尤其2—4吨/时小型工业锅炉，在燃用设计煤种煤质条件下都难达到铭牌出力，在燃用劣质煤时出力更受影响，出现了4吨/时炉当3吨/时炉用，设计时按铭牌出力的1/2—3/4采用等等不正常的现实情况。一些水火管锅炉火管积灰，而实际生产中又不可能做到经常清扫，以致严重影响传热，锅炉出力大幅度下降，反映的问题尤为严重。工业锅炉热效率低，达不到铭牌出力等问题严重影响着能源的有效利用。这些问题有待于工业锅炉生产企业的整顿和在锅炉本体设计中采取实事求是切实措施研究解决。当前工业锅炉实际出力达不到铭牌出力，而锅炉厂配套供应的辅机，不仅按铭牌出力配套，而且又有相当大的富余，因之，大大增大了用电设备的安装容量和运行中的电能损耗。

4吨/时及以上的工业锅炉设计压力都是13公斤/厘米²及以上的，但大部分用户要求用汽压力都较低，有相当多数的工业锅炉的实际工作压力都在8公斤/厘米²以下，有的低到3—5公斤/厘米²。锅炉厂配套