

# 反应堆控制系统的干扰问题

胡 華 旦

本工作系统地总结了在重水堆安装调整工作中解决干扰问题的点滴经验。为了便于分析和讨论,把干扰分成固定干扰、不固定干扰、机械震动干扰和周期性干扰四类,分别叙述了每种干扰的表现形式、产生的原因和它们对系统的影响,最后比较详细地论述了几种消除干扰的有效方法。

测量反应堆功率最常用的方法是用硼电离室测量中子流强度,从而间接测出反应堆的功率。对反应堆控制系统的要求,往往希望有尽可能高的灵敏度。利用硼电离室测量功率时,提高灵敏度的主要困难是电流放大器的输入端总存在一定量的电磁干扰,这些干扰有的来自放大器内部;有的来自电源;但更多的来自屏蔽不良的电缆或接地线。干扰大到一定程度将严重地妨碍设备的正常工作。

重水型反应堆的控制系统,在安装调整工作中曾发现有好几种形式的干扰。调整的主要任务就是要消除这些干扰,以保证控制系统正确和稳定工作。干扰本身是个相当复杂的问题,各种类型的干扰有不同的性质和来源,它们对设备的影响也各有不同。因此消除干扰的方法必须按照干扰的特点来决定。在调整中也曾试用过不少方法而未得到预期的效果,这些措施使干扰现象很少发生变化。但也找到一些有效的方法,一经采用这些措施以后,某种类型的干扰往往从此就销声匿迹,不再出现。调整中也发现一些有趣的现象,这些现象帮助找出了干扰的来源。

实际上,不仅堆的控制仪器面临着干扰问题,其他技术领域内的电子仪器也常遇到同样的问题。电磁干扰是提高电子仪器灵敏度的主要障碍之一。要增加控制系统的灵敏度,增加电子仪器的放大率并没有特殊的困难,只要增加放大级数或提高每级的放大率,就可以使微弱的信号得到足够的放大。但是当信号小到和干扰差不多大小时,再提高放大率显然没有任何意义。这时,这些数值不定的、不代表任何参数的干扰将同样被放大,对设备的工作造成严重影响。因此要增加系统的灵敏度,归根到底是如何减小干扰的问题。对反应堆的控制系统来说,干扰往往成为技术上的关键问题之一。因此对干扰进行一些深入的探讨和研究,总结出一些消除干扰的有效方法就具有相当重要的意义。

## 一、各种干扰对设备的影响

最常见的干扰之一,是电子仪器内部交流电源在输入端感应的比较恒定的干扰,干扰的数值只随时间很缓慢地变化。对于用振荡换流器的放大器,干扰的作用和工作信号(也是交流50周/秒)相同,因此往往可以用调整零点等方法来抵消干扰的影响。如果干扰的数值固定不变,抵消后仪器的工作就完全正常。但事实上干扰不可能固定不变。由于环境条件的变化,特别是机壳内温度的变化,干扰的数值也将变化。这时零点就漂移到另一个数值,引起读数或整定值的误差。对于在输入端转换量程的电子仪器,这种干扰的影响还表现为各量程的零点不一致。在灵敏度高的量程,输入阻抗较大,干扰也较大。转到灵敏度低的量程后,由于输入阻抗减小,干扰也将减小。在这种情况下各量程的零点不会在同一位置,解决的办法只有尽可能减小干扰的数值。

另一种常见的干扰可称为不定干扰,它对电子仪器的影响更大。反应堆上各种电气设备

都可能是这种干扰的来源。在某些时间,干扰突然来临,仪表的指示毫无规则地摆动,振幅忽大忽小,有时还夹杂着突然的、振幅很大的跳动;在另一些时间,干扰也可能突然消失,一切变得正常而稳定。这种干扰不消除就不能保证设备的正常工作。不定干扰多数情况下来自设备的外部。它们进入仪器的途径不外是:(1)通过电源;(2)通过设备上屏蔽薄弱的环节;(3)通过连接设备的电缆;(4)通过不正确的接地线。

第三种干扰形式称为机械震动干扰。由于电子仪器或连接电缆的结构上的弱点,有时电子仪器对机械震动非常敏感。当仪器附近有人走动或进行某种震动较大的工作时,仪表指示就发生相应的摆动,或甚至引起某些自动设备的误动作。

最后一种比较少见的干扰可称为周期性干扰。它是振动换流器电路所特有的。这种干扰有特别的表现形式。干扰出现时,仪表指示作周期性摆动。在某一定时间内摆动的频率和振幅都比较固定,而且往往存在这样的规律:频率愈小振幅就愈大。频率高到一定程度,由于仪表的惰性指针可能来不及摆动,指示就比较稳定。造成这种干扰的原因是反应堆上有两种频率不一致的交流电源。这种情况是很可能有的。很多反应堆为了保证运行安全,除了由电厂供给的交流电源外,还备有自己的交流发电设备,称为可靠电源。由可靠电源供电的设备可以不受外来电源断电的影响。可靠电源的频率虽然也是50周/秒,但由于是单独的发电机产生的,它的频率不可能和外电完全一致。二者的差频就是上述干扰的来源。

在此不可能全部列出在现实中所有的干扰形式,以上所述只是一些典型的实例。反应堆的某些电气设备,还很可能在控制系统中引起上面所没有提到的某些特殊形式的干扰。消除所有这些干扰的方法,概括来说,不外从两方面入手:一方面是改善系统本身的屏蔽和连接方法,以杜绝干扰进入控制系统的途径;或采用某种能避免干扰影响的电路,以减少系统对干扰的敏感性。另一方面是找出干扰的来源,采取措施,如加强屏蔽、改变设备位置或参数等,以减少干扰源对系统的影响。至于具体采用那种办法最有效,必须针对具体情况经过试验才能确定。

## 二、屏蔽

减少干扰的最基本方法之一是屏蔽。在高灵敏度电子仪器的输入端,每一另件都必须有周密的屏蔽,否则仪器不可能正常工作。曾作过这样的试验,在某种自动棒放大器的输入端只要有3厘米长的电缆没有屏蔽好,干扰就足够使放大器得到满负荷输出。这一例子很好地说明了屏蔽的重要性。

除了放大器本身的屏蔽外,电缆的屏蔽也很重要。举例来说,在一般情况下采用ПВЛЭ型电缆已完全满足要求,它是有一层屏蔽的高压电缆。在灵敏度较高的系统中,最好采用屏蔽更密的PK型无线电高频电缆。

## 三、振动换流器的干扰

采用振动换流器的直流放大器中,换流器本身是干扰的主要来源之一。它的激励线圈必须接交流电源。线圈本身和它的引线离放大器输入电路很近,能引起很大的干扰。减少换流器本身的干扰可采用以下方法:

1. 适当选择激励线圈接地点,如图1所示,线圈两端不接地,而在线圈两端并联的电位器上选择一点接地,使输入端受到的干扰最小。这方法很有效。在这电位器的其他点上接地干扰都将迅速增大。

这种方法所以有效,可作如下解释。线圈两端主要是通过布线电容 $C_1$ 、 $C_2$ 将交流电压耦

合至电子管栅极。干扰大小决定于  $C_1$  (或  $C_2$ ) 与电阻  $R_g$  组成的分压器。如果将线圈的 2 端接地, 干扰将完全决定于 1 端的电压和  $C_1, R_g$  形成的分压器 (为简单起见, 不考虑放大器的输入电容)。干扰大小可按式估计:

$$u \approx u_0 \frac{R_g}{X_C} \approx \omega C_1 R_g u_0$$

$u_0$  是加在激励线圈上的交流电压。假定布线电容  $C_1 = 1$  微微法,  $R_g = 10^7$  欧,  $u_0 = 6.3$  伏, 估计干扰电压为

$$u \approx 2\pi \cdot 50 \cdot 10^{-12} \cdot 10^7 \cdot 6.3 \approx 0.02 \text{ 伏}$$

即 20 毫伏。由上式可见,  $R_g$  与  $C_1$  愈大, 干扰则愈强。

如将线圈中点接地, 干扰将适当减弱。因为这时 1 端和 2 端将分别通过  $C_1$  和  $C_2$  在栅极上引起干扰。二者的干扰在相位上差  $180^\circ$ , 因此将互相抵消一部分。但在一般情况下  $C_1 \neq C_2$ , 二者不可能完全抵消。适当调节接地点, 可以使干扰得到最大程度的抵消。

2. 采用簧舌接地电路。振动换流器的簧舌很长, 直伸入激励线圈中心。在换流器的三个簧片中它感受的干扰最强。一般常用的换流器电路如图 2 所示。簧舌接栅极上, 栅极受到的干扰比较大。为减少干扰可采用图 3 所示的电路, 即簧舌接地电路。这时只有簧片之一和栅极连接, 簧舌和另一个簧片接地。

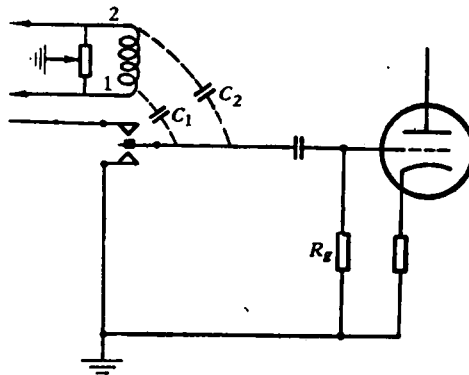


图 1 激励线圈引起的干扰

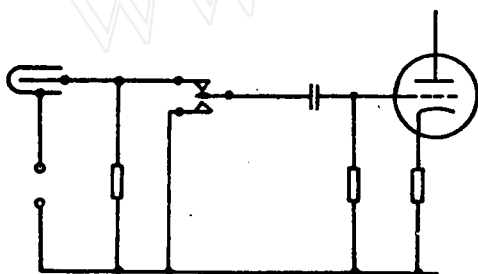


图 2 簧舌接栅极电路

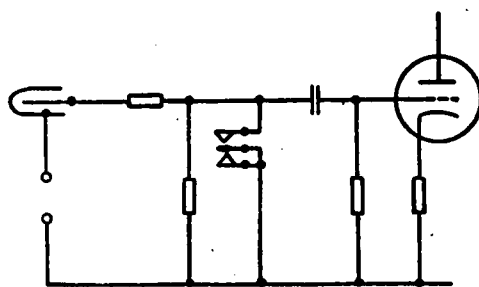


图 3 簧舌接地电路

采用图 3 的电路时应注意以下两个问题:

首先这电路的换流系数比较小。即由同样的直流电压得到的交流信号比较小。这是因为栅地之间总存在一定的电容。特别当栅极连有较长的电缆时, 这电容的数值相当大。栅极的电压变化将决定于这电容的充放电情况。当簧舌和上簧片接通时, 电容通过换流器触点迅速放电, 这时放电时间常数极小。当簧舌和上簧片断开时, 电容由电离室来的直流电流充电。由于电离室的内阻和栅地间电阻很大, 充电时间常数很大。在簧片断开的半周内, 电容往往来不及充电到最大电压。这就限制了输出交流信号的幅值。电路时间常数愈大, 输出交流信号愈小。假定电缆电容为 2000 微微法, 栅地间总电阻为  $10^7$  欧, 电路时间常数  $= RC = 2000 \cdot 10^{-12}$

$\cdot 10^7 = 2 \cdot 10^{-2}$  秒。簧片每次断开的时间为  $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{50} = 0.01$  秒。从开始断开的瞬间起, 电压按充电指数曲线上升。到 0.01 秒末只上升到电源电压的 40%。得到的交流信号将减弱 1 倍多。

这种电路的另一个必须注意的问题是, 由于电路时间常数对换流系数有影响, 在改变输入端电阻以改换量程时, 电阻的计算将发生困难。解决的办法是采用图 4 的接法。改变量程时不

改变电路时间常数,使换流系数保持不变。图4中 $R_0$ 的作用是减少电离室及其电缆的电容对电路的影响。

簧舌接地电路一方面减少了干扰,一方面也减弱了信号,以致信号干扰比的增加不大。

3. 使激励线圈屏蔽并改变引出线的接法。这种方法很有效。目前有些振动换流器,线圈引线均从底座上引出,它们和簧片的引线一道通过胶木底座,在很长一段距离内互相接近和平行。底座的绝缘不良也容易使交流电流“漏到”簧片的引线上,这样的结构显然不适于放大微弱信号。经过试验证明,如果把线圈引线改由换流器上端引出,并用铜箔把线圈屏蔽好,便可使换流器本身带来的干扰减少一个数量级左右。

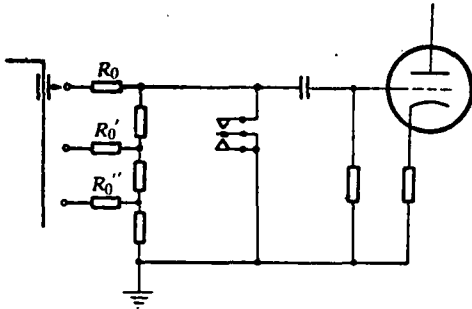


图4 变换量程不改变电路时间常数的接法

电子仪器内部的另一个干扰源是第一级电子管的灯丝。在振动换流式电路中,为减少灯丝带来的交流干扰常采用下列方法:(1)灯丝用整流和滤波后的直流供电;(2)如果末级是相敏整流器或放大器,灯丝可用整流后的100周脉动电流供电,因为100周信号理论上不会对相敏电路有影响;(3)实际上100周信号对相敏电路仍有一定影响。这时可调节第一电子管灯丝的接地点以减弱影响;(4)采用灯丝电压较低电子管也可以减小干扰。

设计和制造电子仪器时,另件的布置和接线都应尽可能避免产生干扰。这些属于一般设计制造上的问题,在这里不作详细讨论。

#### 四、震动干扰

机械震动引起的干扰,在理论上很难进行计算和分析。主要依靠实际运行经验来确定。

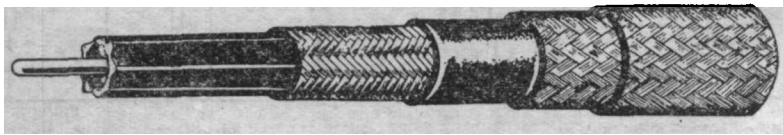


图5 B-III型电缆

重水堆的控制系统中大量采用了B-III型电缆(图5)。这种电缆的特点是绝缘材料用塑料空管,因此绝缘很好,分布电容较小。此外它共有三层屏蔽。从这些特点看来它应当是很适用于堆控制系统的。但是由于采用了空管作绝缘层,给电缆带来了一个缺点,它的芯线会在空管中自由活动。只要受到很小的震动,分布电容就有相应的改变。电容改变将引起电压骚动,也就是引起干扰。

由于B-III型电缆带来很大的震动干扰,严重地影响重水堆的功率测量仪表的工作。把B-III型电缆更换为PK型电缆后才恢复正常。

#### 五、接地问题

解决干扰问题时,往往对正确的接地注意较少。实际上有很多干扰是由不完善的接地线所引起的。在接地问题上常存在这样的看法,即认为接地好坏只决定于接地线的粗细和地线对大地的电阻。因此当怀疑地线有问题时,只想到增加导线截面和减少地线对大地的电阻,较

少去具体分析地线引起干扰的真正原因。实际上对很多电子设备来说,接地线的粗细和接地电阻的欧姆数并不是很重要的问题,更重要的是在系统或设备内部的各个部分接地的连接方法和次序。连接方法不正确不仅可能引起干扰,还可能引起自激振荡。

一般在考虑接地时,为节省电缆,往往将各部分的地线分别接在附近的接地铜排或公共的金属壳架上,这样做对普通低灵敏度系统不会发生任何问题。但对于高灵敏度系统,由于附近有其他电路或杂散的电磁场,很可能在两个接地点之间造成某种干扰电压,通过这两个接地点进入高灵敏度系统。因此对于高灵敏度系统来说为了避免地线上引起的干扰,最好采用所谓一点接地的方法。

一点接地法广泛地应用在超高频技术和其他高放大率的放大器中。当然在这些场合下采用一点接地不一定是为了避免干扰,而是为了防止自激。因为在这些放大器中如果采用任意多点的接地法,就很可能在底盘上形成输入和输出之间的共同回路,产生寄生反馈,严重影响设备的参数。

重水堆的功率测量系统是一个很好的例子,可说明一点接地法消除干扰的显著作用。安装调整中曾发现功率表有很强的不定干扰,它的光点摆动不定,没有任何规律。干扰有时强,有时弱,在深夜偶而也会突然稳定下来。当干扰出现时,功率表根本无法取得正确读数。为了消除这一干扰,曾采取过很多措施,例如改变放大器安装地点,以缩短电缆长度;更换过好几种电缆;使电缆由钢管中穿行,以加强电缆屏蔽。为找出干扰源,在堆上也曾进行过很多次探索和试验。这一切都没有得到满意的后果。

根据以上情况可以得出两点看法:(1)干扰可能不是来自某个特定的设备,而是有很多设备对系统发生干扰;(2)干扰进入系统的主要途径可能不是透过屏蔽,而另有其他途径。

仔细研究功率表的接地电路后,发现接地电路上存在着引进干扰的可能性。为杜绝干扰进入系统的途径,把原来电路的三点接地改成了一点接地。自从电路改接以后,不定干扰就再也没有出现。

图6是原来的接地电路,它有三个接地点。电离室电池的负端在A点接地,输入装置在B点接地,电子放大器在C点接地,放大器输出端回到输入装置后也在B点接地。A, B, C三点

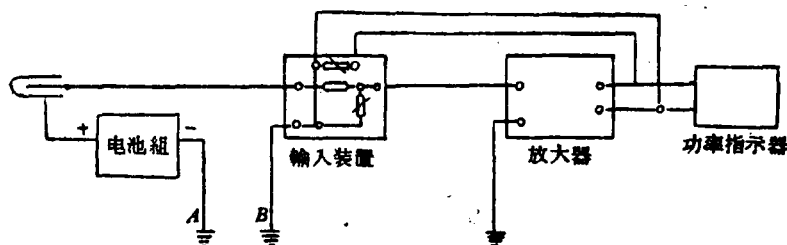


图6 功率测量系统原来的接地电路

间的接地铜排大约长7—8米。

以B, C两点为例, B, C两点间的铜排显然包括在放大器输入电路中。公共接地铜排上流过的电流是很复杂的。这些电流只要在B, C两点间产生很小的电位差,就足够形成干扰。

改变后的电路见图7。电池负端不接A点,用电缆连到输入装置。再用电线从输入装置连到放大器接地端子。在这里总的用电线接地,输入装置中输出部分和输入部分分开。输出电路改从放大器内部接地。这样三个接地点A, B, C只剩下一点C,既保证了系统接地,又不会从地线引进干扰。

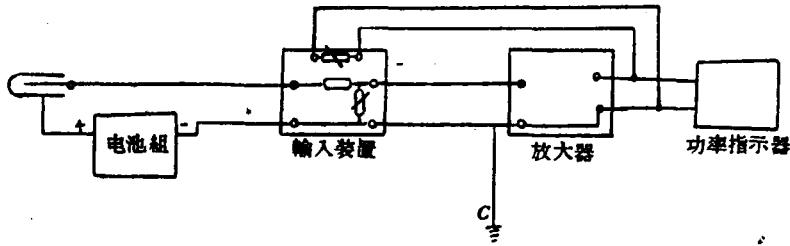


图7 改成一点接地法以后的电路

这样接法的另一个优点是,输入电路是双电缆组成的回路。把两根电缆平行捆扎在一起,可以减少电磁场的干扰。因为电磁场在这两根电缆中感应的干扰电压正好是相位相反,大小相同的。

## 六、周期性干扰

振荡换流器电路还可能发生一种有趣的干扰现象。上面讲过,当反应堆上有两种50周交流电源时,可能产生周期性干扰。

产生这种干扰的过程如下。换流器按某个电源频率振动,但在栅极可能有另一个电源频率的干扰。如果二者频率完全一致,那么小量的固定干扰本来可以用调零点的方法抵消,对仪表的影响很小。但事实上二者频率不可能完全一致。举例来说,如果二者频率分别为49和50周/秒,就会出现另外的情况,在某一瞬间二者相位正好符合(图8中瞬间A),通过换流器的干扰最强,过1/4秒后相位将差 $90^\circ$ (图8中瞬间B)。

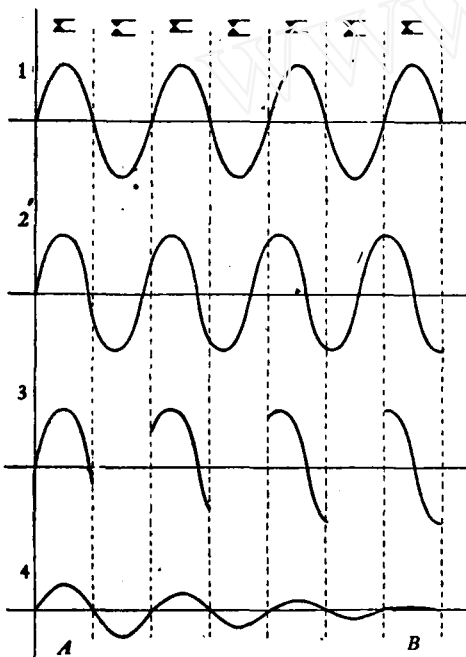


图8 1. 换流器的电源; 2. 干扰信号; 3. 通过换流器以后的干扰信号; 4. 通过放大器的实际干扰信号。

在换流器簧片接通的瞬间,干扰信号正好正负相消。通过换流器的实际干扰信号等于零。干扰强弱的变化频率等于两个交流电源的差频。

以上推论可以用下列实验证明:将两种交流电源分别加在示波器的垂直轴和水平轴上,示波器屏上将出现一个椭圆。两种电源频率一致时,椭圆静止不动。频率不一致时,椭圆将围绕某一轴转动,每秒转动圈数等于两电源之间的差频。实际观察证明,椭圆的转动和功率表光点的摆动是完全符合的,如果有意地变更可靠电源的频率,椭圆的转动和仪表光点的摆动周期将同时改变。

一般反应堆上只有极少数设备由可靠电源供电,其他绝大部分设备由外电源供电。因此可以推想,电子仪器输入端主要是外电源引起的干扰。上述周期干扰现象只在当电子仪器本身由可靠电源供电时才可能发生。一旦发现这种干扰现象时,如果可能的话,解决的办法之一是使电子仪器改由外电源供电。