

一种新型的铁路钢轨探伤车

朱怀桑

(上海超声波仪器厂)

对于钢轨内部伤损的检测,可以采用超声、射线探伤等方法。但在野外作业,最简便、有效、快速的方法,当推超声波探伤。西德、日本、美国、苏联等,都有专用的铁路钢轨探伤车。除了有手推小车外,还有火车头牵引的大型探伤列车。使用探伤车后,钢轨内部伤损可以预先发现而做到预先更换,预先防范,对保证铁路安全起了重要作用。

我国铁路部门,各工务段,都有专业的钢轨探伤组,常年累月对钢轨进行超声探伤。使用的仪器,起初是进口国外的,以后自己制作了JGT-1型(单通道)和JGT-2型(双通道)等专用的钢轨探伤仪。但由于铁路业务日益繁忙,钢轨伤损日益增多,原有的仪器存在盲区较大等原因,已满足不了需要。

根据这种情况,在铁道部的大力支持和指导下,在各铁路局探伤组同志的密切配合下,上海超声波仪器厂研制了一种新型的JGT-3型多通道钢轨探伤车,已于1982年12月通过设计定型。这种新型探伤车,不仅比原来的探伤仪重量大为减轻,而且显著减小了盲区,扩大了功能,可以全面探测钢轨的核伤、螺孔裂纹、轨腰的水平或纵向裂纹以及焊缝裂纹等各种伤损,特别是具有螺孔伤损识别功能,更提高了探伤的效率,进一步降低了漏检的几率。它在初次试用中,就发现了一处即将断轨的重伤,当场采取了紧急加固措施,避免了可能发生的严重后果。接着,在几个铁路局试用中,又多次查出重伤钢轨,经解剖证实,准确率达到百分之百。以下是几张解剖后的实样照片。目前,铁道部已决定,在全铁路普遍应用这种新型探伤车。

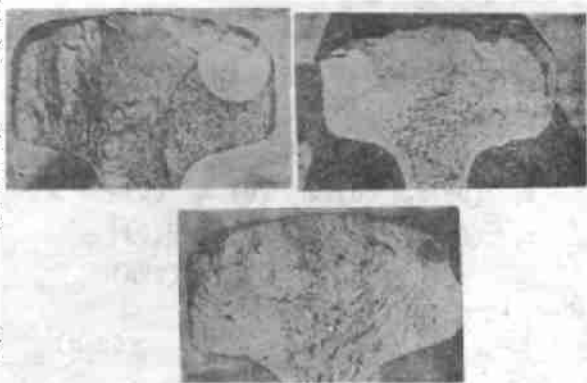


图1 超声探伤仪查出的钢轨内部伤损解剖图

一、JGT-3型探伤车性能特点

特 点

1. 多通道 具有四路发射和接收,可供四只至六只探头同时工作。因而便于全面探测钢轨的轨头、轨腰、螺孔、焊缝等各部位的伤损。

2. 集成化 采用高抗干扰的HTL集成电路组成各种功能电路,既减少了重量和体积,又具有较高的抗干扰性。

3. 多功能 可同时采用脉冲反射和脉冲穿透法探伤,并有螺孔、伤损识别功能,能做到有伤报警而螺孔不报警。从而减少了在轨道接头处由于螺孔的虚假报警声而引起的干扰,便于多组探头同时探伤。

4. 在荧光屏上有四条基线 上两条基线的回波向上,下两条基线的回波向下,同时显示四个通道的探测结果。因而能立即判明是哪一路探头发现有伤,便于观测和判断。

5. 配有轻便的推行小车 具有半自动

二、JGT-3型对钢轨的探伤法

由于钢轨的几何形状比较复杂，钢轨的伤损又有多种多样，为了全面探测钢轨各部分的各种伤损，只用一种探头是不可能的。在JGT-3型中，采取各种探头组合使用，以充分发挥多通道的特点，尽可能做到在一次推行中，全面探测轨头、轨腰、接头、焊缝等各部分的各种伤损，最大限度地避免漏探。

1. 50°探头对轨头的探伤

对轨头的探伤，主要是检查钢轨头部的核伤、夹渣、气泡等，这是钢轨探伤中占第一位的内容。由于轨头具有宽而扁的几何形状，要使超声波能较全面的探查轨头的整个横断面，这是一个比较困难的课题。

我国过去历来都是用50°探头，即利用入射角为50°，折射角为69°的超声横波，在轨头内进行反射式探伤。国际上也通用这种探头。例如日本国有铁道新干线和旧干线所用的两种车，西德国有铁道探伤车，也都使用入射角为50°的探头。

采用50°探头进行探测时，为增大探测范围，探头位置与前进方向成20°偏角，使射入钢轨中的横波经轨颚再反射至轨头内，利用一次波和二次波，同时进行探伤。如图3所示。

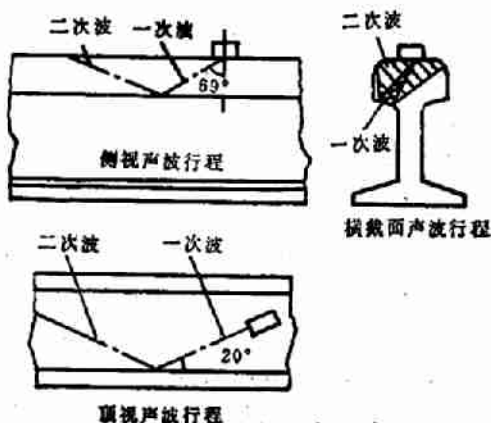


图3 50°探头声程

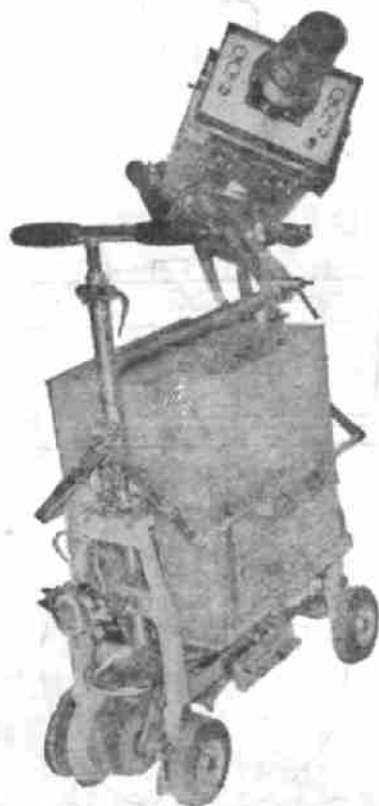


图2 探伤车全貌

翻板和探头自动升降装置，能方便地上下路基，显著地减轻了探伤人员的劳动强度。

主要性能

1. 配有前后50°探头，前后30°探头和0°探头(即直探头)等多种探头；

50°探头：能发现100mm ϕ 1平底孔；

30°探头：能发现100mm ϕ 1平底孔；

0°探头：能发现长度不小于5mm的水平裂纹；

在无缝线路，可使用双35°穿透探头对焊缝进行探伤。

2. 工作频率：2MHz。

3. 仪器连同推行小车的总重量：35kg。

4. 耗电量：不大于9W。

5. 电源：使用镍镉电池，充足后可连续工作12小时。

6. 使用环境温度：-15°C~+45°C

从图中可以看出，声波发射后，到达轨头下腭面之间的一次波探测范围，还不到轨头横截面的三分之一。而从下腭面反射至轨头的二次波探测范围，则可达横截面的一半。但只采用一只 50° 探头，无论探头位置怎样摆法，不论是内发(向路轨内侧发射)或外发(向路轨外侧发射)，其探测范围只有轨头的一半，另一半全部是盲区。

根据这种情况，JGT—3 型中采用二只 50° 探头，一只内发，一只外发。这样可以大大缩小盲区。当然在轨头中心还有一小部分盲区(如图 4 所示)。但这部分还可以用其它探头来弥补。根据对许多核伤解剖证实，核源中心一般在轨头侧面向内，顶面向下 5—15 毫米范围，完全可以被探测发现。即使伤损存在于盲区，根据作用力的分析，由于受力面小，



图 4 50° 探头盲区

危害也小。而当伤损发展到有较大威胁时，则已越出盲区，而可以被检查发现。

2. 30° 探头对螺孔裂纹的检查

30° 探头，主要用于检查螺孔的斜裂纹，也可检查水平裂纹，附带检查一些轨头至轨底的斜裂纹。

30° 探头发出的超声波在进入钢轨后，产生约 40° 折射角的横波。为了探测到螺孔的裂纹，折射角越小越好。但 30° 探头几乎已是产生横波的最小入射角了。如图 5 所示，在 27° 以下，横波折射能量急剧减小，而且产生了较强纵波，使探伤变得复杂难行。所以，探测螺孔斜裂纹，以 30° 探头为佳。

当前 30° 探头逐渐向前移动时，如螺孔第 2 象限有向下的斜裂纹，则首先出现裂纹回波，然后出现螺孔波。如第 4 象限有向上的斜裂纹，则在螺孔波出现之后，再出现裂纹回波。其位置如图 6 所示。但如第 1 象限有向上的裂纹，第 3 象限有向下的裂纹，则

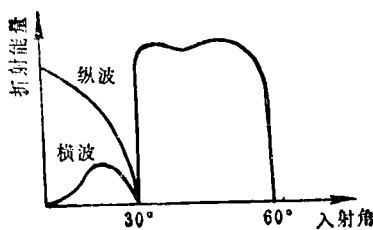
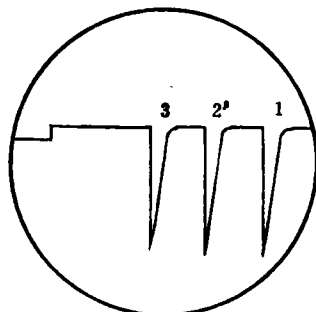
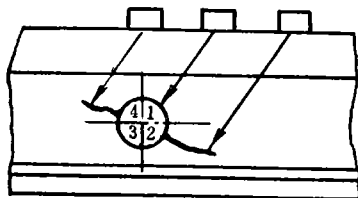


图 5 入射角对折射能量的影响



1. 第 2 象限向下裂纹波
2. 螺孔波
3. 第 4 象限向上裂纹波

图 6 30° 探头的回波

使用前 30° 探头就不可能探到。这时，则必须使用后 30° 探头才能够探到。因此，对螺孔斜裂纹，需要同时使用前后 30° 探头，才能作到全面探测。

3. 0° 探头(即直探头)的使用

0° 探头也可用作反射式探伤。当螺孔有水平裂缝时，在螺孔波的后面，将出现裂缝波，便于确认有伤。但对于斜裂缝，则只有底波消失，而不一定有伤波显示。故 0° 探头同 30° 探头，可以互相弥补，以便既能发现水平裂缝又能发现斜裂缝。

0° 探头主要是检查轨头至轨底间(轨腰范围内)的水平裂纹、螺孔裂纹、纵向裂纹和斜裂纹。它用来作为穿透式探伤，同时兼有反射式探伤的功用。

作为穿透式探伤时，由发射晶片发射纵波从轨头经轨腰发射到轨底，被轨底界面反射后接收，声程往返走行了两倍钢轨高度的距离，其轨底回波显示在基线的穿透报警小方门上，如图7所示。报警门的位置和宽度，根据钢轨的高度，可以适当调节。只要底波位于报警门中，显示正常，即不产生报警声。如果钢轨内部有伤损，超声波的发射或接收被阻挡，因而无轨底波显示。这时喇叭即报警，故穿透报警是“无波报警”。

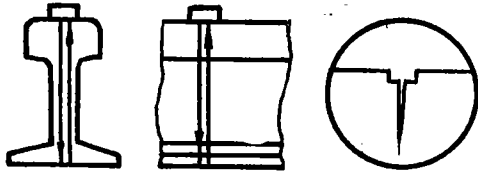


图7 0°探头的回波

0°探头也可用作反射式探伤。当螺孔有水平裂缝时，在螺孔波的后面，将出现裂缝波，便于确认有伤。但对于斜裂缝，则只有底波消失，而不一定有伤波显示。故0°探头同30°探头，可以互相弥补，以便既能发现水平裂缝又能发现斜裂缝。

4. 双35°探头对焊缝接头的轨腰探伤

对长轨焊缝，以双35°探头作穿透式探伤为佳。一只晶片作发射，以35°入射角向后发射声波，产生折射角为45°的横波，从轨头经轨腰到轨底，在轨底界面向后发射，然后被后面的另一片35°晶片所接收。由于折射角为45°，故二探头之间的距离正好为轨高的一倍，穿透波显示在小方门内，如图8所示。

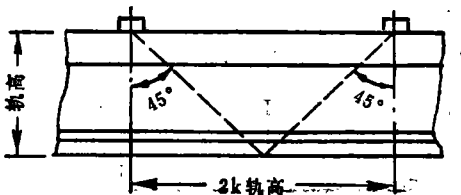


图8 35°探头布置方式

当无伤损时，穿透波显示正常，只要小方门调节适当，便穿透波保持在小方门内，

即无报警。当遇有伤损时，超声波被伤损阻挡，荧光屏上穿透波消失，同时喇叭报警。探头报警移位的长度，即为伤损的纵向长度。如图9所示。这是折射角为45°的独特优点，使判伤简易方便。故我们既有30°反射式探头，又有35°穿透式探头。不能因两者角度相近而互换。

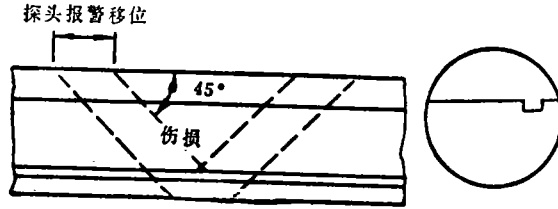


图9 35°探头探伤情况

5. 各种探头的组合使用

从以上分析可知，为要全面探测钢轨的伤损，单用一种探头是不可能的，需要用多种探头同时探测，以发挥不同探头的特长，互相弥补各自的盲区和不足。

在JGT-3型中，具有四个通道和四只探头架，配置的探头，不仅有单探头，而且有两种探头合在一起的组合探头，可以根据需要灵活采用多种组合方式。以下介绍2种较典型的方式：

(1) 使用二只50°探头，一只前30°探头，一只0°+后30°组合探头。如图10所示。前后50°探头探测轨头部分。前后30°探头探测轨腰斜裂纹。0°探头探测水平裂纹。由于一共用5只探头，四个通道不够用，故将二只30°并联使用，在一个通道一根基线上显示。这种方式可较全面探测到钢轨各部分伤损，特别是对螺孔裂纹的检查，故适宜于在有缝线路上使用。

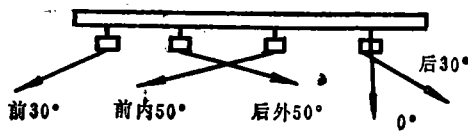


图10 第一种组合方式

(2) 使用一只50°探头，一只50°+50°

组合探头，一只 35° 单晶片发射探头，一只 35° 单晶片收 $+0^\circ$ 的组合探头。如图 11 所示。这种方式适用于无缝线路，利用双 35° 对焊缝进行穿透式探伤。双 35° 和 0° 可以交换使用。3 只 50° 探头则固定作为对轨头的探伤。

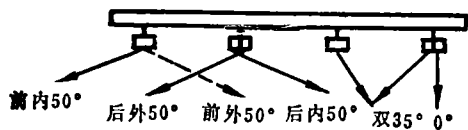


图 11 第二种组合方式

三、JGT—3 型原理方块图

原理方块图见图 12。直流电源输入电压幅度范围为 $17\sim 22\text{V}$ 。经过开关式稳压器，输出稳定的 13.5V 直流电压。开关式稳压电路同一般稳压电路相比，其突出的优点是电路本身的功耗极小，转换效率高达 90% 以上。这有利于减少整机功耗，延长电池使用时间。缺点是在开关瞬间有高频干扰，为此在本电路中采取了抗干扰措施，有效地消除了由于干扰所产生的杂波。

开关稳压电源输出的 $+13.5\text{V}$ 直流电压，除作为整机的直流电源外，并通过变流器变换成 2000Hz 的交流方波。变流器为磁饱和式的多谐振荡器，变换效率也较高。除作为示波管的灯丝电源，以及经高压整流器产生一组高压直流电源外，还作为主振信号送往同步信号发生器。

变流器的方波信号作为同步信号的来源，有几个优点。一是省掉了一只主控振荡器，二是可减少变流器高压的干扰，减少荧光屏上的杂波，三是高压整流的滤波也更为简易。四路环行同步信号产生的原理如图 13 所示。

变流器的 2000Hz 方波信号，经二分频后，产生 1000Hz 的 Q 与 \bar{Q} 信号，其相位正好相差 180° 。 Q 与 \bar{Q} 信号又各经过二分频，各产生一对相位相差 180° 的 500Hz 方波信号。经微分后，并去掉负向脉冲，便可得到 a 、 b 、

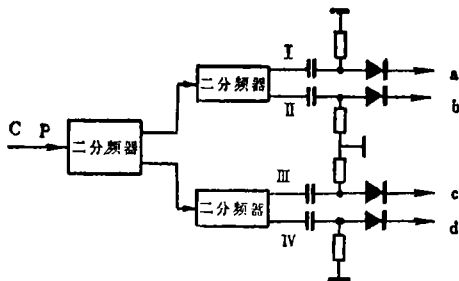


图 13 四路环行同步信号产生的原理图

c 、 d 四路环行同步脉冲信号。如图 14 所示。

这四路环行同步信号，控制四个通道的

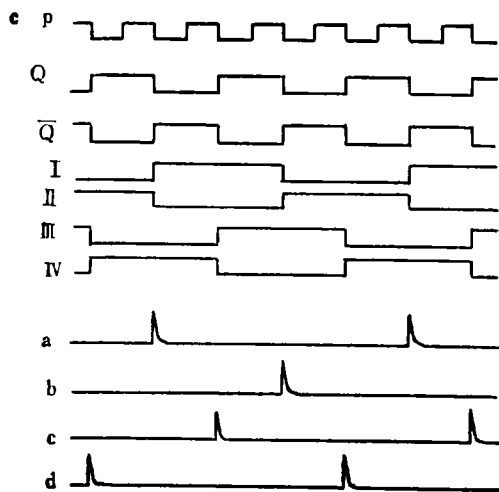


图 14 分频方波信号及四路环行同步脉冲信号图

发射，使它们依次轮流发射。每一通道的重复频率都是 500Hz 。而每相邻两通道的发射时间间隔都是 $500\mu\text{s}$ 。发射管为高速可控管，可以在探头上激发起 2MHz 的超声脉冲波。探头都采用双晶片，收发分开，以减少近距杂波。各通道的接收回波，通过四只前置放大器，分别加以初步的放大，再经电子开关送往公共通道放大。

对这四路信号，如何进行放大，一种常见的方案，就是每路都使用一套多级放大器，一共用四套。但这样使用的元件太多，而且互相之间还要屏蔽隔离。现在采用的是由电子开关进行时间分割，使四路信号合用一个公共通道，合用一套多级放大器。即随着某一路通道的发射超声脉冲，随即产生一个宽度为 $120\mu\text{s}$ 的方波开关信号，将这一路的电

子开关打通，使这一路接收到的反射脉冲信号经过公共通道放大到足够强度。而其他三个通道，因无方波开关信号，电子开关处于关闭状态，故无接收信号输入。这样，每路轮流发射，轮流接收，又轮流占用公共通道进行放大，可以节省不少电路。公共通道为四级放大器和一级射极跟随式检波器，可将接收到的微弱高频脉冲信号放大 60db 以上，连同前置放大和电子开关等，总增益可达 100db 以上，并转换成正向视频脉冲输出。

由于采用射极跟随式检波，负载能力强，可以带动三路负载。一路输往报警电路，另二路分别由电子开关控制输往上、下偏向板的视频放大器。当一、二通道信号送来时，电子开关将通往上偏向板的一路关掉，使信号经视放后，成为负向的视频脉冲，送往下偏向板。于是在荧光屏上出现向上的回波。当三、四通道信号送来时，电子开关将通往下偏向板的一路关掉，使信号经视放后，成为负向的视频脉冲，送往上偏向板。于是在荧光屏上出现向下的回波。这样分成上、下回波，便于观测辨别。

四路环形同步信号，还送往四路扫描锯齿波发生器，以产生四路扫描，形成四条时基基线。这四路扫描有两种方式。一种是，第一、二、三通道为反射式探伤，第四通道为穿透式探伤。另一种是，四个通道全部为反射式探伤。可由开关来控制选用其中一种方式。反射式和穿透式的扫描速度是不同的。反射式扫描整个基线的时间为 $120\mu\text{s}$ ，相当于 200mm，是固定的。而穿透式扫描速度则可以调节，使基线长度可在 200mm 上下有些变化，以适应对长轨和短轨穿透探伤的不同需要。扫描产生器产生的锯齿波，经差分放大器放大后，形成峰-峰值近 100V 的正反两路锯齿波，送往左右偏向板，形成时基基线。

与此同时，四路环形开关信号产生器受同步信号和扫描信号控制，产生宽度也为 $120\mu\text{s}$ 的四路开关方波。除了供电子开关外，

此四路方波还按一定幅度比例，分别送往上、下偏向板。第一、二通道的开关方波送往上偏向板，其幅度为一通道大于二通道，故第一基线就上移较多、第二基线上移较少。第三、四通道的开关方波送往下偏向板，其幅度为四通道大于三通道，故第四基线下移较多，第三基线下移较少。于是，这四条基线正好从上到下依次排列，对应于第一、二、三、四通道。而回波又是第一、二通道向上，第三、四通道向下。这样，在同一荧光屏上，可以迅速判明是哪一路通道发现有伤了。同时，四路扫描信号还控制启辉信号产生器，产生正向的启辉方波，送往示波管栅极，使基线显示。有关波形图如图 15 所示。

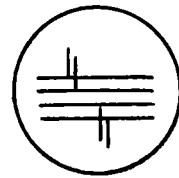
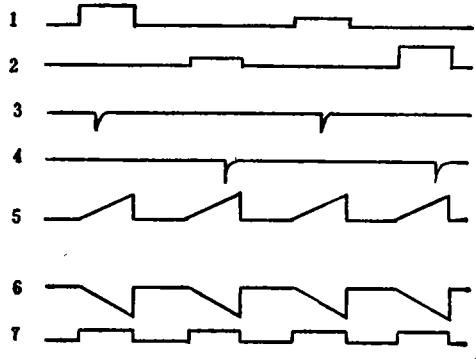


图 15 波形图

1-二通道开关信号至上偏向板；2-四通道开关信号至下偏向板；3-二通道回波至下偏向板；4-四通道回波至上偏向板；5-正向锯齿波至右偏向板；6-负向锯齿波至左偏向板；7-启辉信号

音响报警电路分为反射式报警电路和穿透式报警电路两种。

反射报警门方波产生器，产生报警方波，其前沿在基线的始端刻度 0.5 处，后沿在基线末端刻度 5.5 处。在此范围内，如有伤损的反射信号输入，则与非门就有信号输出，

使反射报警音响发生器发生 500Hz 的音响信号。所以是“有波报警”。刻度 0.5~5.5，相当于 185mm 的距离，正好包括轨头部分一次波和二次波探测到的范围。反射报警方波，同时送到上偏向板，使基线上出现向上的方门。图 16A 所示为四基线全部是反射式时的情形。

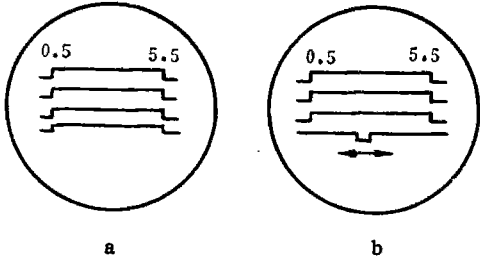


图 16 荧光屏四基线图

穿透报警门方波产生器，在第四基线上产生一个可以移动的小方波。当在小方波的范围，正好有底波输入时，与非门就有信号输出，于是穿透报警音响发生器就不发生报警。当有伤时，底波消失，于是与非门无信号输出，穿透报警音响发生器就发生 1000 Hz 的报警声。故穿透报警与反射报警不同，是“无波报警”。但穿透报警在四条基线全部为反射式时不发生作用。只在三条基线为反射式，一条基线为穿透式时才发生作用。穿透报警小方波同时也送到上偏向板，使第四基线出现向下的小方门，如图 16B 所示。

对有缝线路探伤时，轨道接头处有三只螺孔。从超声波探测角度来说，螺孔等于是一个大的伤损。因此，一遇到螺孔时，反射式要报警，穿透式也报警。为了使螺孔不报警，真正的伤损才报警，又增设了螺孔、伤损识别电路。

穿透报警的 1000Hz 音响和反射报警的 500Hz 音响，经过音响混合电路后，送到音频功放电路进行功率放大，推动喇叭报警。因此，可以分辨出三种报警声：反射报警声，穿透报警声，反射和穿透混合报警声，便于对伤损的判别。

四、JGT-3 型使用的 四通道电子开关

其线路图见图 17 所示。电子开关由双栅场效应管 4D01E 组成。这是一种 N 沟道耗尽型绝缘栅场效应管。与普通单栅场效应管不同，它具有 G_1 、 G_2 两个栅极。当在 G_1 端加上回波信号时，在 D 端即有一个信号电压输出到公共通道。其增益为

$$K = g_m \cdot R_L$$

式中 g_m 为跨导，其大小随 V_{G2S} 而变，即随第二栅的电压而变。当 $V_{G2S} < -5V$ 时，则双栅场效应管完全关断。这样就可以当作开关用了。在开关方波未到来时，使 V_{G2S} 小于 $-5V$ ，于是回波不能进入公共通道。开关方

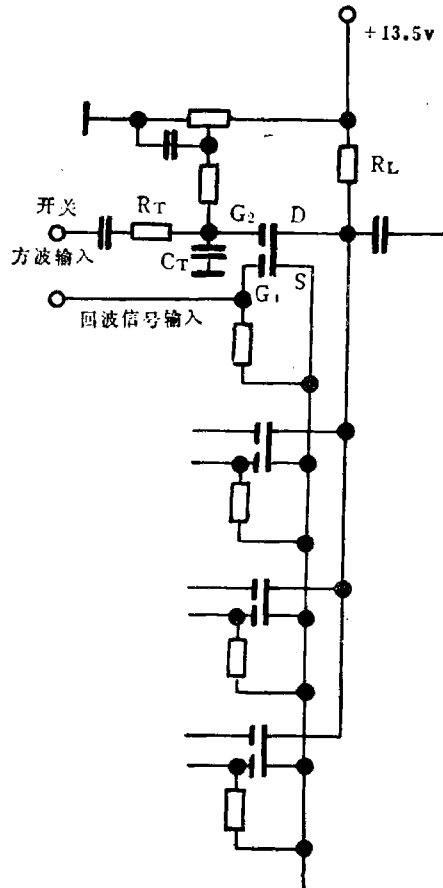


图 17 四通道电子开关线路图

波到来后, V_{G2S} 则大于 $-5V$, 于是回波即经放大后, 进入公共通道。在图 6 中只画出了一个通道的详细电路, 其他三路均相同。

这种电子开关还兼有增益控制的作用。即通过调节 G_2 的直流偏置电平, 就可以改变在开通时 V_{G2S} 的大小, 从而控制增益的大小。对增益的线性控制范围可达 40db 左右。

这种电子开关还兼有深度补偿的作用。即改变开关方波的波形, 可使增益大小随距离而变化。图 6 中由于 C_T 的存在, 可以使开关方波的上升沿呈指数曲线形, 时间常数为 $R_T \cdot C_T$ 。这样, 近距离的 V_{G2S} 小, 增益就低, 远距离 V_{G2S} 大, 增益就高。改变 C_T 的

大小, 就可以改变深度补偿的范围, 如图 18 所示。

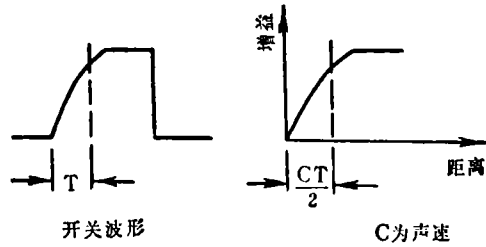


图 18 深度补偿波形图

至于公共通道通向视放的电子开关, 由于控制的功率较大, 故改用晶体管并联式开关, 如图 19 所示。

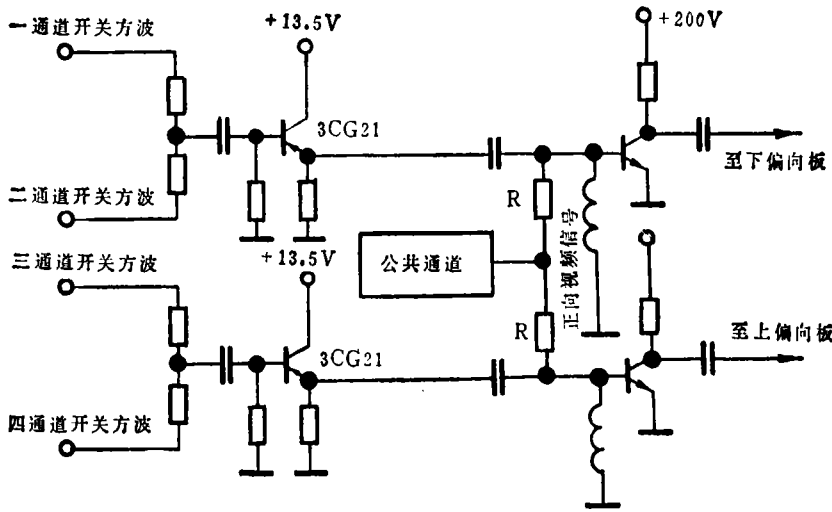


图 19 晶体管并联式开关线路图

这里采用 3CG21 管作开关管, 其 e、c 极倒接, 即 e 作 c, 而 c 作 e。平时处于饱和导通, 信号被短路。当开关方波到来时, 管子截止。于是公共通道送来的正向视频信号, 即经过 R 而加到视放管基极。e、c 倒接运用, 是为了使开关作用更为可靠。

在 JGT—3 型中还采用了几种新型电路, 如用 HTL 组成的扫描产生电路等, 由于篇幅有限, 就不一一详细介绍了。

五、JGT—3型探伤车的结构特点

其结构见图 20。探伤车采用前后翻板。当翻板放下时, 即处于探伤状态, 此时翻板上的胶轮收起, 探头紧贴轨面。探伤车依靠尼龙轮在钢轨上推行。当探伤车处于运输状态时, 可将前后翻板收起, 此时胶轮着地, 小车可在公路或土路上推行。

由于采用了翻板形式，探伤时可使四只探头拉开相当间隔(总长度达 1M)，以提高探伤效果。而运输时，翻板收起，总长缩小为 600mm，车子仍显得小巧灵活。

车身底下的两只探头，有自动升降装置。当翻板放下时，探头随同放下。翻板收起时，

探头也随同收起，以保护探头，免与地面摩擦。

仪器可以上下俯仰，也可以左右旋转，以便于观测。不用时还可以卸下，使用、保管都比较方便。

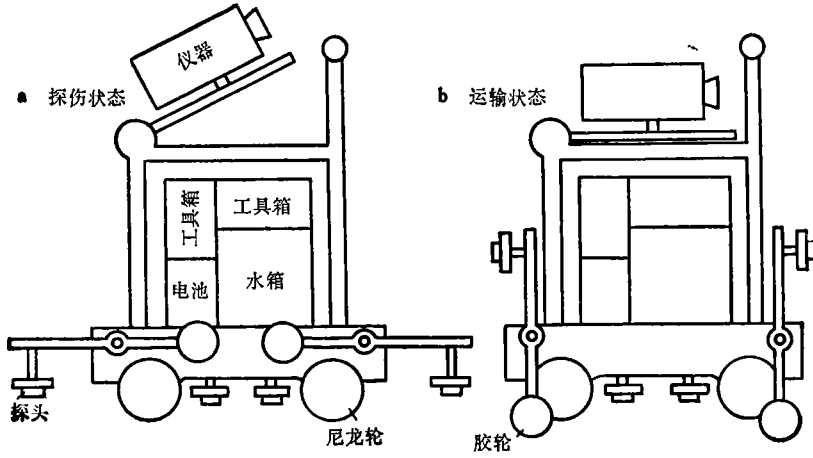


图 20 JGT—3 型探伤车结构示意图