

55.7 55.8

矿场地球物理论文集

3

苏联 B·H·达哈諾夫等著

9

石油工业出版社

序 言

近年来，在矿場地球物理学方面出現了一些新的方法，这些方法使我們能够極精确而詳細地研究井的剖面。这些新方法有微电測井法（微电極系法、微屏蔽接地电阻法、屏蔽接地电阻法和接地电阻差法），岩層人工極化电位法以及各种研究井剖面的中子測井法。在根据地球物理資料研究岩層儲油性的方法方面，在地球物理勘探的技术方面，在新勘探法（包括磁法勘探）的創造方面，也都逐漸趨於完善。

莫斯科古勃金石油学院矿場地球物理教研室和放射性實驗室所完成的科学研究專題，就反映了上述問題。这些科学研究的結果都收集在本論文中。

文集第一部分論述了放射性測井問題（H. M. 勃里諾娃，Ю. B. 加魯佐，Ю. M. 依万諾夫，С. A. 坎托尔，O. A. 巴尔苏柯夫，O. M. 阿魯丁諾夫，B. B. 拉里奧諾夫和 A. H. 霍林的論文）。在矿場地球物理的这一方面，最重要的問題是要研究許多确定勘探工作和对已得資料作解釋工作的精确度的問題，以及創造用同位素研究岩層儲油性的方法和确定油水接触面位置的方法。

文集第二部分論述了各种磁法測井法，这些方法的發展受到一定程度的限制，因为目前还缺乏肯定的理論。С. H. 沙維金的兩篇文章对这种理論的某些問題进行了分析。

文集第三部分刊載了 B. H. 达哈諾夫和 B. Ф. 彼切尔尼柯夫的文章，其中論述了地球物理測井的某些技术問題。

在这方面最重要的問題是制造綜合的測井裝置。这种裝置的原理圖由莫斯科石油学院矿場地球物理教研室首先拟制，后来成了制造七芯電纜綜合儀器車的基础。文集中有一篇文章描述了該儀器車的原理圖，第二篇文章則論述了电測井用的電極系标准化的問題。這個問題早就是一个迫切的問題，所以必須赶快解决。

莫斯科石油学院地球物理教研室全体人員出版本文集的目的，是要尽可能比較全面地論述他們的科学研究工作的結果。其中有許多工作是根据同石油地球物理总局地球物理勘探科学研究所（НИИГР）訂立的合同进行的，作为对石油工業的一种帮助。

莫斯科石油学院院务委员会將感謝讀者們的認真批評，並將負責詳細回答現場工作人員提出的問題，因为我們認為在对本文集所論述的科学研究工作的結果进行工業試驗和应用时，是可能会發生一些問題的。

目 录

序言

I. 放射性测井

莫斯科石油学院 1952 年型單芯电纜放射性测井双

道仪.....O. M. 阿魯丁諾夫 (1)

根据中子伽偶测井法数据定量地确定孔隙率.....

.....O. A. 巴尔苏柯夫 (15)

利用中子伽偶测井法确定井所鑽穿的岩層中的油

水接触面位置.....A. H. 霍林, H. M. 勃里諾娃 (37)

中子伽偶测井法勘探地帶的半徑及其与源距和油井

参数的关系.....

...A. H. 霍林, Ю. B. 加魯佐, A. C. 別斯特里柯夫 (46)

与研究过程的統計特性有关的放射性测井数据的整

理工作和解釋工作的某些特点.....

.....A. H. 霍林, C. A. 坎托尔, B. B. 拉里奧諾夫 (53)

指示器長度对中子伽偶法测井結果的影响問題.....

.....A. H. 霍林

C. A. 坎托尔, B. B. 拉里奧諾夫, O. A. 巴尔苏柯夫 (64)

岩層粘土含量对中子伽偶测井讀数的影响問題.....

.....A. H. 霍林, B. B. 拉里奧諾夫 (77)

岩層中子特性的研究問題.....B. H. 柯布蘭諾娃 (83)

应用放射性同位素研究岩層的儲油性.....

B. H. 达哈諾夫, B. B. 拉里奧諾夫, Ю. M. 依万諾夫 (92)

II. 磁測井

磁測井的靜磁場法..... C. H. 沙維金 (99)

根据井內的磁場强度确定岩層的磁化率 C. H. 沙維金 (119)

III. 測井的技术問題

關於測量岩層視电阻率和自生極化电位用的电極系

的标准化和制造問題..... B. H. 达哈諾夫 (130)

綜合測量裝置... B. H. 达哈諾夫, B. Ф. 彼切爾尼柯夫 (134)

克服电纜和井壁之間摩擦力所需的拉力的大小.....

..... B. H. 达哈諾夫 (140)

I. 放射性測井

莫斯科石油學院 1952 年型單 芯電纜放射性測井雙道儀

O. M. 阿魯丁諾夫 助理科學研究員

本文敘述用單芯電纜作放射性測井的雙道儀器，這種儀器能同時自動記錄兩種射綫的強度。

目前在油礦的地球物理部門中採用了一些研究岩層核子特性的新方法。這些方法在礦場地球物理學中被稱做“放射性測井法”。其中用得最廣的有兩種：

一種是 γ 射綫測井法 (IM)^①，記錄岩層的自然 γ 射綫的強度。

另一種是中子 γ 射綫測井法 (HIM)^②，記錄由於中子作用於岩層而產生的二次 γ 射綫的強度。

莫斯科古勃金石油學院為了研究上述放射性測井法，曾經在 1950 年至 1952 年內製造了單道儀器車。這種儀器每起

① IM 是 γ 射綫測井法的俄文縮寫字。文中經常出現，以後不再譯成中文。——譯者註

② HIM 是中子 γ 射綫測井法的俄文縮寫字。文中經常出現，以後不再譯成中文。——譯者註

下一次，能以任何一种标准放射性测量的形式自动记录射线的强度。两种放射性测井法各须使用一个井下仪器，不过在採用中子 γ 射线测井法时，还必须在仪器中装设一个中子源。所以在记录 γ 曲线和中子 γ 曲线时，就需要起下两次。

这种井下仪器的指示器部分，包括有三个 AMM-9(MC-9) 型的计数器。因为在採用 γ 射线测井法时，单位时间内的脉冲数相当少，所以要得到精确的曲线图，井下仪器的移动速度就不得超过 200—250 公尺/小时。

井下仪器利用三芯电缆同地面仪器相连。

1952 年莫斯科石油学院制成了一种双道仪，它用两个道同时自动记录 γ 射线和中子 γ 射线的强度（设计者是 И. Ф. 别斯巴洛夫和 А. Г. 雪尔奇等人）。双道井下仪 TM 道的指示器部分包括有六个 АЭВ-9(BC-9) 型计数器。由于这种计数器对软的自然 γ 射线的效应相当高，而且计数器的工作总面积扩大了一倍，所以井下仪器的移动速度可以提高到 500—700 公尺/小时。

井下仪器利用两根电缆同地面仪器相连，所以採用这种仪器测井时，可以用由金属包裹着的所谓“单芯”电缆。

在仪器的结构和线路方面，也规定了用简化的单个仪器来单独记录自然 γ 射线。

这种仪器是用在 AKC-JI51 型标准电测仪器车中的。

同时记录两种射线的 PMD 双道仪的 方框线路图 (圖 1)

射线的第一步记录工作是用井下仪器的能自动熄灭的放

电计数器来进行的(見圖 1, A)。計数器输出的脈冲的平均频率与射綫的强度成正比。

上面一組 TM 計数器, 用来記錄岩層的自然 γ 射綫的强度。下面一組 HTM 計数器(在再往下的一定距离內裝有中子源)用来記錄 HTM 二次 γ 射綫的强度。为了不使 TM 計数器記錄到二次射綫, 必須把这些計数器裝在离中子源相当远的地方。

方框綫路圖所表示的是, 在通过各种不同电子級时两个道的脈冲的形狀(HTM 道的脈冲在綫路圖中[圖 1]用塗黑的符号表示)。

从計数器输出的脈冲的寬度很小(約 10^{-4} 秒), 高度也極小。因此, 要想用电纜把两个道的脈冲傳到地面而不使其振幅和形狀發生很大的失真現象, 就必须用每一道內的陰極輸出器把脈冲的强度放大。

为了同时进行双道記錄, 必須使兩組計数器所输出的脈冲以不同的極性輸入电纜: TM 道的脈冲是正的, HTM 道的脈冲是負的。为此, 在井下仪器中, TM 計数器输出的脈冲必須在相位变換級中变换自己的符号, 然后輸入 TM 陰極輸出器(見圖 1)。

井下仪器的其他各級(高压發生器、整流器 and 高压稳定器), 能供給計数器工作时所需的稳定直流电压約 1000 伏。

地面仪器由井下仪器的电源部分(使用 AKC-JI51 仪器車中的电源部分)和地面控制台組成。

在地面控制台內, 極性不同的 TM 和 HTM 脈冲經過前置放大級而在分离級中分离出来, 然后輸入两个相似的道中。在每一个道中, 都裝有整形級、輸出管和积分網路。在

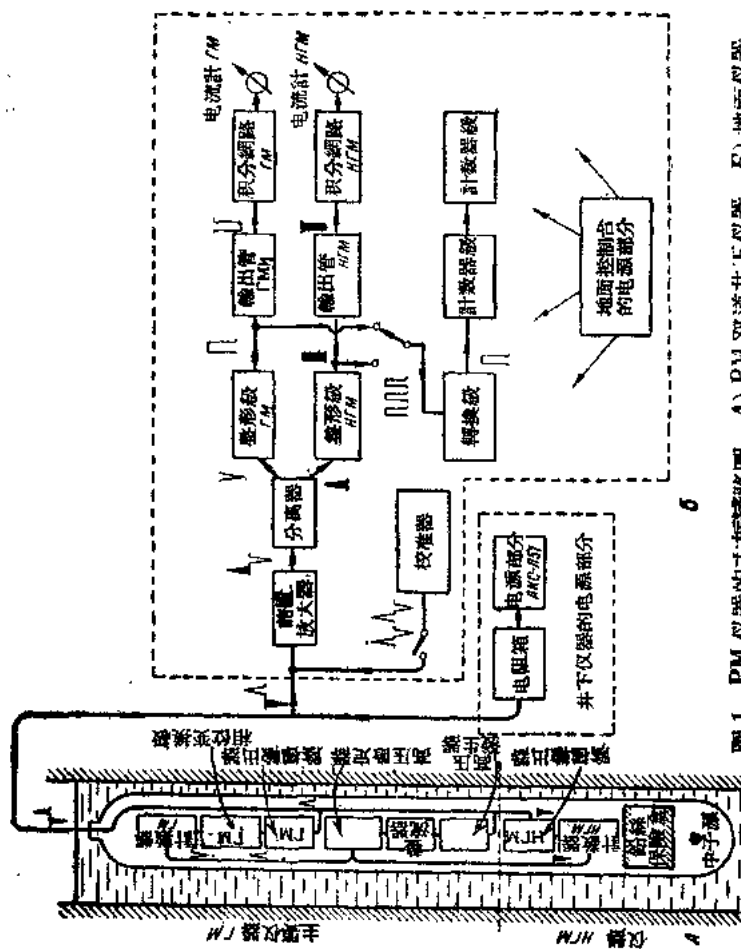


图 1 PM 仪器的方框线路图: A) PM 双道井下仪器, B) 地面仪器。

每一次脈冲輸入以後，整形級就產生一種矩形電壓脈冲。這種脈冲到了輸出管中就變成形狀一致的電流脈冲。電流脈冲經過積分網路就變成連續性的電流。這種電流與所得脈冲的平均頻率成正比。它並且能使照相記錄器的電流計的指針偏轉。

這就是能同時自動記錄兩種射線的綫路。

PM 單芯電纜雙道儀的無線電原理圖

兩組井下儀器的綫路示於圖 2。

兩組計數器的接綫圖完全一樣。計數器的負極接地，正極通過各該計數器的電阻 ($R_1—R_6$ 和 $R_{34}—R_{36}$ ，各為 6 兆歐) 接在高压上。負脈冲從正電極(計數器的引出綫)，通過阻隔電容器 ($C_1—C_6$ 和 $C_{16}—C_{18}$) 饋入 FM 道的相位變換級的電子管 J_1 的控制柵和 IFM 道的陰極輸出器 (J_7) 的控制柵上。

FM 主要井下儀器(圖 2)。從 FM 組的六個計數器輸出的負脈冲通過電容器 $C_1—C_6$ 饋入相位變換級的電子管 J_1^* 的控制柵上。正脈冲就從這個電子管的屏極通過阻隔電容器 C_7 輸入 FM 陰極輸出器(電子管 J_2) 的控制柵。放大後的 FM 道正脈冲從這一級的陰極輸出端 R_{11-12} 發出，通過耦合電容器 C_{15} (8 毫法拉) 饋入中間纜芯。

雙道井下儀器的電源為 127 伏電壓的直流電 (200 毫安)。儀器所需電流的大小主要取決於電子管的燈絲電流的大小。為了盡量減小這種電流，必須在儀器中採用 12 伏式的電子管。在正常工作情況下，這類電子管的燈絲只需要 150 毫安電流。而且因為這類電子管的燈絲電壓較高，所以

降壓電阻 R_{37} 中耗損的功率就可減少。

計數器用的高壓直流電，是由一個專門的無線電電路從較低的屏壓中發出的。這個電路包括：由電子管 J_3 和 J_4 組成的雙管脈沖發生器，由二極管 J_5 組成的整流器以及由電子管 J_6 和 J_8 組成的穩壓器。

多諧振盪器可以當作脈沖發生器使用。它的左臂是一個五級管 J_3 (12Ж8)，右臂是四極管 J_4 的三極部分（陰極，控制柵極和簾柵極）。四極管 J_4 的簾柵極被當作多諧振盪器右臂的屏極使用。

為了增高脈沖前沿的陡度，可以用電阻 R_{17} 把 J_4 的控制柵極同屏極電路的正極相連。

多諧振盪器的兩臂由電容器 C_9 和 C_{10} 耦合。這樣耦合後，就能使雙臂的電子管交替着完全開啓和完全閉鎖，從而引起振盪。當右臂閉鎖時，脈沖變壓器 TP 初級線圈的電流被截斷，而把脈沖電壓感應到次級線圈中去。振盪出的頻率每秒約 10 000 週。變壓器次級線圈中的高壓電流脈沖，經過由二極管 J_5 (12Ж8) 組成的半波整流器整流後積聚在 C_{12} 上。當充電最飽和時，電容器兩板之間的電壓約等於脈沖的振幅。

二極整流管的燈絲是接在高壓上的。因此，燈絲電源由同一個變壓器中的專用燈絲線圈供給。電容器 C_{12} 上的約 1500 伏電壓被接入電子穩壓器的輸入端。

把電子穩壓器接成一個並聯電路，五極管 J_6 (12Ж8) 就是用來作穩壓器的。它的工作原理如下：儲電電容器 C_{12} 放出的高壓電流被接在分壓器上。這個分壓器由電阻 R_{20} (1.6 兆歐) 和電子管 J_6 的內電阻組成。為了穩定 J_6 的屏壓，必

須通过一个分压器使第一栅極的电位受同一屏压的控制。这个分压器由电阻 $R_{22}-24$ 和 $R_{25}-28$ 組成。电子管的陰極接在稳压管 J_6 的直流正电位上。稳压管通过屏电路的电阻 R_{32} 得到补充电源，这是因为电子管 J_6 通过的电流还不足以使稳压管进行正常工作。 J_6 栅極上的控制压等於陰極电压与栅極电压之間的电位差。这个控制压也能控制通过电子管的电流的大小，因此也能控制稳压級的电压降。

这样，当稳压器輸入端的高压增高时，电子管 J_6 的控制栅的电位就会增高，通过它的电流就会增大，稳压級的电压降也就会增大。因为稳压器上的电压降增大了，所以稳压器輸出端的电压变化極微。相反，当稳压器輸入端的电压降低时，控制栅的电位就会降低，通过电子管的电流和高压落差就会减小， J_6 的屏極电位就会增高以补偿 C_{12} 电压的降低。計数器上的电压是由 J_6 的簾栅極供給的。簾栅極通过 1 兆欧的电阻与屏極相連。为了再經過一次濾波，稳压器輸出端的分路上必須接一个电容器 C_{13} 。

必須指出，放电計数器所需的电流很小，实际上發生器的全部功率都消耗在稳压級中。稳压器輸出端的电压大小取決於分压器臂 $R_{22}-24$ 与 $R_{25}-28$ (15兆欧—0.75兆欧) 的比值。在調整稳压器时，电阻 $R_{25}-28$ 应接在輸出电压約为 950 伏的地方。

在 HTM 附屬仪器中裝有三个 MC-9 型的計数器和一个由电子管 J_7 組成的陰極輸出器級。这一級陰極輸出器同 J_7 組成的陰極輸出器接在同一个輸出端上。

HTM 附屬仪器計数器上的屏極电源、灯絲电源和高压，是通过一个五脚接綫插座由 FM 主要仪器供給的。

当切断附属仪器而讓 IM 仪器单独工作时，井下仪器的灯絲电路就会被切断，所以必須在 IM 仪器的五脚接綫插座上裝置一个帶有电阻的交換插子。这个插子上的电阻要等於一个电子管的灯絲电阻。

地面控制台。地面控制台的綫路示於圖 3。IM 道的正脈冲和 HIM 道的負脈冲沿着井下仪器電綫中的一根叫做“信号綫”的纜心輸入控制台的輸入端。信号綫上的脈冲通过阻隔电容器 C_1 輸入电子管 J_1 的左三極管的控制柵上。这个电子管能把兩個道的極性不同的脈冲放大。放大后的脈冲从电子管 J_1 的左三極管的屏極出發，通过級間耦合电容器 C_3 和 C_4 輸入电子管 J_1 的右半部和 J_2 的左半部(兩半部都被接成二極管)。

电子管 J_1 的右半部只能通过 HIM 的正脈冲，电子管 J_2 的左半部只能通过 IM 的負脈冲。

为了消除脈冲倒流和干扰所引起的虛假动作，每个二極管都被一个数值不大的正电压(15 伏以下)閉鎖着，这个正电压由分压器 R_{13} 供給。因此，每个二極管只能通过振幅比閉鎖电压高的井下仪器的脈冲。

电容器 C_2 是用来使兩個道的总閉鎖电路退耦的。电容器 C_3 和 C_4 通过电阻 R_5 和 R_7 接地，以便洩漏其积儲的电荷。

下面分别来研究 IM 和 HIM 脈冲的通过情况。HIM 道的正脈冲从 J_1 右二極管的陰極通过电容器 C_{13} 輸入 J_3 左三極放大管的柵極。放大后的倒脈冲輸入电子管 J_3 右半部的柵極，並从右半部的屏極(正極)輸入 HIM 道的脈冲整形用的多諧振盪器(由 J_4 組成)的輸入端。

TM 道的負脈冲从电子管 J_2 左二極管的屏極輸入电子管 J_2 右半部的柵極，並从右半部的屏極(正極)輸入 TM 道的脈冲整形用的多諧振盪器(由 J_3 組成)的輸入端。

在兩個道中，由电子管 J_3 和 J_6 組成的兩個脈冲整形用的多諧振盪器是類似的。为了加以說明起見，我們來研究一下由电子管 J_6 組成的多諧振盪器。

整形級是一個陰極耦合的閉鎖多諧振盪器電路。左臂到右臂由電容器 C_{19} 來耦合，右臂到左臂由陰極電阻 R_{37} 來耦合。多諧振盪器處於左臂的穩定的閉鎖狀態和右臂的開啓狀態，這是因為右臂柵極通過電阻 R_{35} 接在屏極電源綫上，而左臂柵極通過電阻 R_{36} 接地。

左臂柵極上產生偏壓是因為左三極管的柵極電位低於陰極的閉鎖電位。通過 C_{18} 饋入的起步正脈冲會使多諧振盪器跟着動作起來。

當多諧振盪器動作起來時，在电子管 J_6 的右三極管的屏極上就形成一個正電壓脈冲。這個脈冲的寬度取決於耦合電容器 C_{19} 的數值、屏極電阻的數值和柵極電阻的數值。

在變位後，多諧振盪器能在新的狀態下持續到耦合電容器 C_{19} 再次充電的時值，然後多諧振盪器就回復到原來的狀態。

當柵極與陰極之間的電位差變得小於电子管屏電流的截止電壓或接近於這一電壓時，多諧振盪器就能自動振盪起來。所以必須注意電路中能使振盪級進行正常工作的參數狀態。

整形後的矩形正脈冲，通過電容器 C_{20} 和開關 $HK-2$ (第二接觸點)從右臂的屏極輸出到輸出管 J_7 的控制柵上。

为了使记录速度均匀起见，必须在地面控制台内装置两个由电子管 J_4 和 J_7 组成的“五极管积分器”（这是技术科学副博士 Г. П. 戈里别克提出的）。在两个道中，这两个电子管的工作是类似的。为了举例说明，我们可以研究一下由电子管 J_4 组成的这一级，即 FM 道的输出级。

“五极管积分器”利用了五极管的特性：即当栅极电压固定时，五极管的屏流数值实际上与屏压无关。整形后的脉冲通过 C_9 输入 J_4 的控制栅而使输出管 J_4 闭锁和开启。每一个脉冲都会使 J_4 的屏电流产生矩形的脉冲。这种矩形脉冲在接入输出管屏电路中的积分网络 RC 里被平均了。这种积分装置的特点是：虽然积分电容充电的反电位也会改变 J_4 的屏极电位，但是因为五极管的屏极有上述特性，所以屏电路中的电流脉冲仍旧能保持原有的形状。因此，几十伏的反电位并不能改变积分电流与平均频率的线性关系。

FM 道的积分网络由电阻 $R_{22}-23$ ， $R_{24}-26$ 和电容 $C_{10}-12$ 组成。

利用开关 ПК-3 可以使电容器 $C_{11}-12$ 连起来，以便使时间常数从 3 秒增为 6 秒和 12 秒。电阻 $R_{22}-23$ (30 万欧) 是主要电阻，它同电容器 $C_{10}-C_{12}$ 共同决定积分器的时间常数。电阻 R_{24} 、 R_{25} 、 R_{26} (450 欧) 被用来调整记录刻度盘的灵敏度。通过开关 ПК-4，电流计输入端可以同这三个电阻的任何二个接成旁路。

电流计与积分网络的电阻串联。这样，从计数器发出的非周期性脉冲就平均了，并在电流计中形成一种与脉冲频率成正比的电流。因而，电流计上的光点偏转度同记录脉冲的速度成正比。在所得脉冲频率发生变化时，电流计上的光点

反应速度就由积分網路的“時間常数”来决定。在所得脈冲頻率發生变化的情况下，“時間常数”越大，电流計光点就移动得越慢。

由於核子反应有統計性質，所以要用积分網路来进行工作。計数器中的脈冲並不是經過均等的間隔時間發生的，它們总是按各个偶然情况的統計規律分佈的。所以單位時間內的脈冲数是在其平均数左右变动着的。这就說明了为什么当井下仪器停止不动时，电流計的光点仍旧变动。为了減小电流計光点的变动，也必須使用积分網路来校平与所得脈冲頻率成正比的电流。

但是記錄裝置的慣性增大后，划分薄岩層的能力就会降低。为了精确地划分出薄岩層，就必须降低測井的速度。

根据必須在曲綫圖上划出的岩層的厚度以及岩層的放射性强度就能决定积分器的時間常数和井下仪器的移动速度。

显然，同时起不小作用的还有其他一些因素：放射綫指示器的大小和排列方向，放射綫的硬度、源距、井徑等。對於这些因素都应该进行專門的研究，本文就不再敘述了。

为了調整地面控制台的刻度，电阻 R_{24-26} 应该是可变的。

为了用机械計数器来記錄每一个道的脈冲数，必須在控制台上裝一个由电子管 J_9 組成的轉換級和一个由电子管 J_{10} 組成的能延續脈冲的閉鎖多諧振盪器。机械計数器就接在振盪器的輸出端上。

由电子管 J_8 組成的轉換級，是一个有兩種穩定狀態的觸發器电路。觸發器由兩個放大級組成；每一級的屏極都通過由电容器旁路的电阻与另一級的柵極耦合。觸發器的陰極接地，而柵極通过电阻 R_{53} 和 R_{59} 接在 80 伏的穩定的負电压上。

通过电容器 C_{30} 和 C_{32} 饋在兩個控制柵上的脈冲，能使觸發器工作起来。当开关 $HK-2$ 接触在 1 上时，轉換級的輸入端就收到 ΓM 道的脈冲。当开关接触在 2 上时，轉換級就收到 $H M$ 道的脈冲。每收到一次脈冲时，觸發器就要倒相。於是每一个三極管就交替着閉鎖和开启。

电阻 R_{50} , R_{57} 和 R_{51} 是觸發器的屏極負載，通过电阻 $R_{54}-R_{55}$ ，与此負載並联着兩個氖管。当三極管閉鎖时，相应的氖管就熄灭；当三極管开启时，氖管就閃光。所以，由每一次脈冲輸入而引起的氖管的交替閃光，就成了轉換級进行工作的指标。脈冲从轉換級的右三極管的屏極負載部分，通过电容器 C_{33} 饋入計数級多諧振盪器（由电子管 J_{10} 組成）的左三極管的柵極。

当把开关 $HK-2$ 換接在 2（“照相記錄端”）上时，轉換級和多諧振盪器的屏压就被切断。

为了檢查和調整地面儀器的測量道，必須在控制台上裝設一个校准器。校准器是一个由电子管 J_8 組成的开启多諧振盪器电路。校准器会产生矩形脈冲，取微分后，这些脈冲就饋入地面控制台的輸入端。校准器的週期性脈冲頻率，随着耦合电容 C_{37} 和 C_{38} 的轉換而变化。开关 $HK-1$ 接在 2 上时，校准器發出每分鐘 1580 ± 20 週的週期脈冲；开关 $HK-1$ 接在 1 上时，校准器發出每分鐘 6000 ± 80 週的脈冲。