

脉冲和连续两用的大功率 CO₂ 激光电源

胡昌信 甄艳芬

(中国科学院力学研究所)

一、基本要求

TEA CO₂ 激光器脉冲高压电源电压通常在 40—60kV，电流甚小；而高速流动连续大功率 CO₂ 激光，又需要安培级的大电流直流电源，电压较低，约 10kV 以下，这两套电源都是高压大功率电源，加上调压器和操纵台，体积庞大，费用不小。为提高设备利用率，缩小实验室占地面积，节省投资，我们设计和安装了一套脉冲和连续两用的大功率激光电源，其设计 requirements 是：直流输出电压 $U_d = 60\text{kV}$ ，直流电流 $I_d \geq 1\text{A}$ ，输出功率 $P_d = 60\text{kW}$ 。并在设计时着重考虑了操作简便和保护可靠。

二、主要电路的选择和计算

电源方框图如图(1)。虚线表示用于脉冲工作条件下，此时电源本体通过开关向激光腔放电；连续输出则由电源本体直接对腔体放

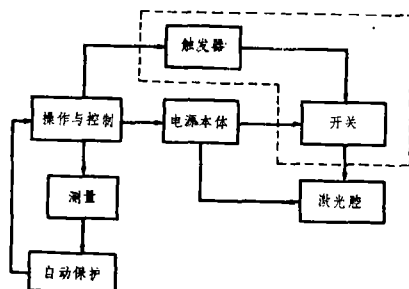


图 1 脉冲和连续两用大功率激光电源方框图

电。连续输出总电路图见图 2。

1. 整流电路

采用三相桥式全波整流电路，电容器 C 的作用在脉冲输出时是储能电容，用作连续输出时，C 是滤波电容。所用主要设备为：三相自耦调压器 TSJY-100/0.5，三相油浸电力变压器 SJ-75/45-0.38 为非标准加工件，高压整流硅堆 2DL-50/3。变压器参数为：容量 $P = 75\text{kVA}$ ，高压侧线电压 $U_{2L} = 45\text{kV}$ ，低压侧线电压 $U_{1L} = 380\text{V}$ ，在高低压侧均采用星形接法的情况下，可作下列计算：

$$\text{低压侧线电流 } I_{1L} = P / \sqrt{3} U_{1L} = 114\text{A}$$

$$\text{高压侧线电流 } I_{2L} = P / \sqrt{3} U_{2L} = 0.96\text{A}$$

$$\begin{aligned} \text{直流输出电压 } U_d &= 2.34 U_{2L} / \sqrt{3} \\ &= 60.86 \text{ kV}. \end{aligned}$$

$$\text{直流输出电流 } I_d = I_{2L} / 0.82 = 1.17\text{A}$$

$$\text{输出功率 } P_d = U_d I_d = 71.2\text{kW}.$$

可见满足设计提出的要求。

2. 过电压和过电流保护线路

我们安装的这台电源是国内最大功率的 CO₂ 激光电源，因此在考虑保护时比较谨慎，在高压侧、低压侧和直流侧都加装了保护，如图 3。

a. 阻容吸收保护。其作用是在发生过电压或浪涌电压时保护变压器和硅堆免遭损坏。变压器低压侧和高压侧电阻电容的计算公式是：

$$R_i = 0.3 \frac{U_{iL}}{I_{i0}}; \quad C_i = 10^4 \frac{I_{i0}}{f U_{iL}}$$

1981 年 4 月 13 日收稿

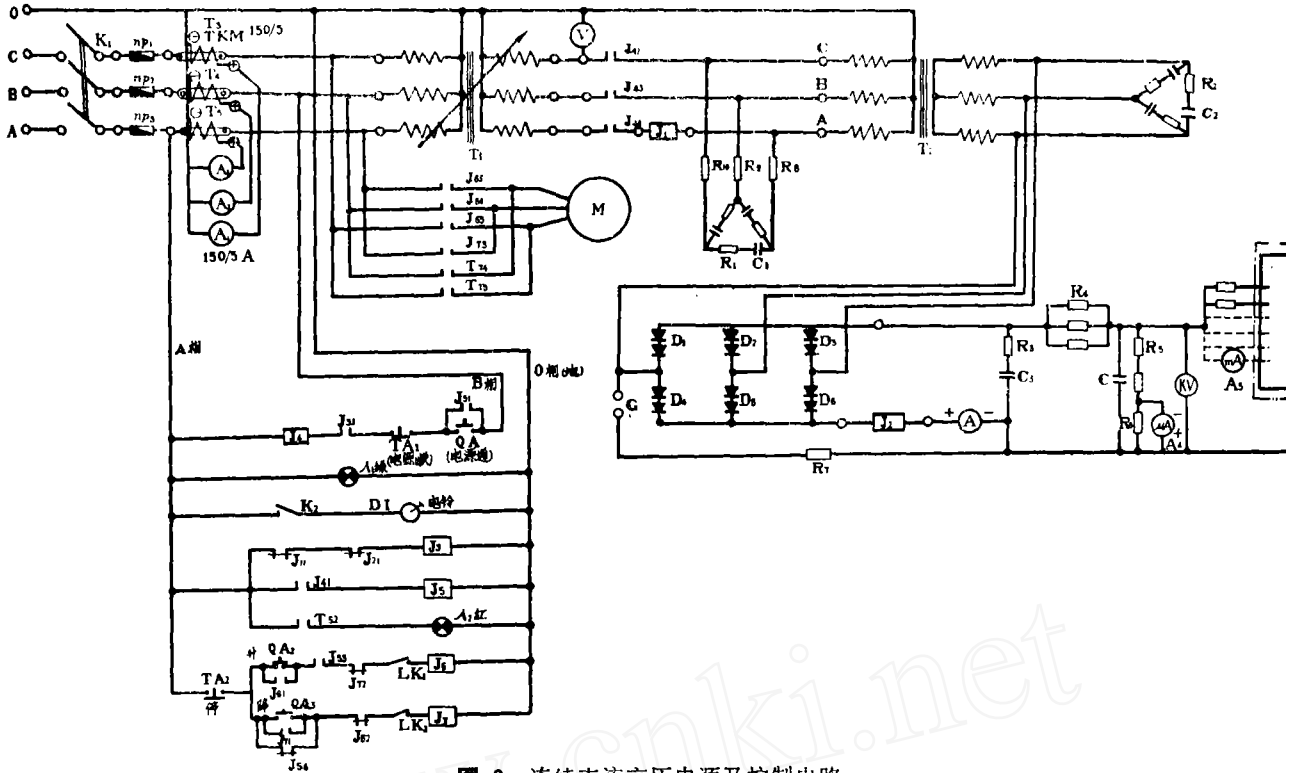


图 2 连续直流高压电源及控制电路

$i = 1, 2$, 分别代表低压侧和高压侧的参数, U_{1L} 是线电压, I_{10} 是空载相电流, $f = 50$ 赫是供电频率。变压器的空载相电流由制造厂家给出, 为额定相电流的 2.4%, 由于高低压侧均为星形接法, 故相电流等于线电流, 得 $I_{10} = I_{1L}, I_{20} = I_{2L}$, 故相应的 $I_{10} = 2.4\% I_{1L} = 2.73A$; $I_{20} = 2.4\% I_{2L} = 0.023A$ 。由此算得 $R_1 = 41.8\Omega$, $C_1 = 1.4\mu f$, $R_2 = 0.59 \times 10^6\Omega$, $C_2 = 102 \times 10^{-6}\mu f$ (耐压 60kV 以上)。直流侧阻容吸收保护元件的计算公式是

$$R_3 = 0.058 \frac{U_{2L}}{I_{20}}, C_3 = 1.2 \times 10^5 \frac{I_{20}}{fU_{2L}}$$

代入数值可得 $R_3 \approx 10^5\Omega$, $C_3 = 0.0012\mu f$ (耐压 60kV 以上)。阻容保护中所用电阻功率的选择原则是

$$P_{Ri} \geq \frac{U_i^2 R_i}{R_i^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C_i}\right)^2}$$

$i = 1, 2, 3$ 。

例如对于直流侧吸收电阻 R_3 的功率为 $P_{R_3} =$

50W。

b. 操作过电压保护

为了保护操作过电压, 我们采用了单相放电球隙 G 保护措施(图 3), 操作过电压往往是三相对称出现的, 因此对任一相(例如 A 相)加装球隙就可以达到保护变压器绝缘的目的。只要 A 相出现了危及绝缘的过电压, 球隙 G 就击穿放电, 通过电阻 R_7 流过放电电流, 此电流引起接在变压器低压侧 A 相的电流继电器 J_1 跳闸, 切断高压电源, 达到保护变压器的目的。几年来的实践表明, 进行单相保护是完全可行的, 没有出现过单独的 B 相或 C 相过电压, 这样就不必加装三相保护球隙, 否则在数十 kV 的高压下, 增加一对放电球隙就要相应增加绝缘距离, 也增加了不安全因素。

c. 过电流保护

主要是在直流侧接入了过电流继电器 J_2 , 只要流过 J_2 的整流电流超过了额定值 1.2A, 它就会使接在控制回路中的常闭触点 J_{21} 断开(见图 2), 辅助接触器 J_3 失电, J_3 的常开触

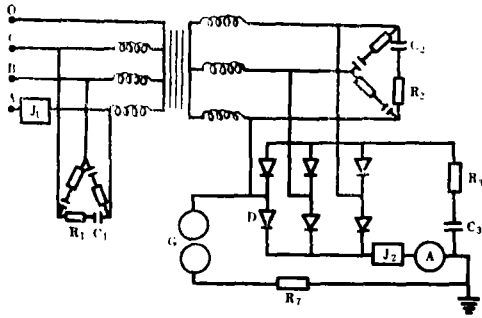


图 3 过电压和过电流保护线路图

点 J_{31} 释放, 使主接触器 J_4 断电, J_4 的常开触点 J_{42} , J_{43} , J_{44} 断开, 于是电源被切除, 起到了保护作用。另外, 接在变压器低压侧 A 相的交流继电器 J_1 整定在 120A, 除了可以作为 A 相放电球隙的执行元件外, 还可以保护变压器的 A 相短路和对称过载, 给 J_2 起一定程度的辅助和后备作用。有了 J_1 和 J_2 的联合保护, 就避免了过电流对设备的危害。

三、电源的操作及说明

由于本电源设计时宁可将继电器和各接触器之间的相互联结和自锁考虑得复杂些, 从而换来操作程序的简便。实际上, 对这样大功率的激光电源, 包括调压器电动机的升压、行止和降压过程, 在整个操作面板上只有五个按钮。升降压过程中接触器之间的一系列相互联结或分断, 均在操作台内自动完成, 这给操作人员带来了极大方便。下面对照图 2 简述一下操作程序和发生的过程。

升压过程

1. 合上自动空气断路器 K_1 , 于是辅助接触器 J_3 通电, 常开触点 J_{31} 闭合。录灯 Π_1 亮, 表示操纵台有电, 准备实验。

2. 按下主令电器 QA_1 : 主接触器 J_4 通电, J_{41} 闭合, 使接触器 J_5 通电。 J_{42} , J_{43} , J_{44} 闭合, 使调压器输出与变压器低压侧接通, 即高压接通。 J_{51} 闭合, 使放松 QA_1 后产生自锁, J_4 仍通电。 J_{52} 闭合, 红灯 Π_2 亮, 表示已有高压。 J_{53} 闭合, 调压器电机准备升压。 J_{54} 释

放(启动时 LK_2 断), 以免在按下 QA_2 后电机反转(J_{54} 的作用见后)。

3. 按下主令电器 QA_2 : 电机升压接触器 J_6 通电, J_{61} 闭合, 产生自锁。 J_{62} 释放, 使电机不得反转。 J_{63} , J_{64} , J_{65} 闭合, 电机正转, 开始升压。

4. 达到所需电压后, 按下主令电器 TA_2 : J_6 断电, J_{63} , J_{64} , J_{65} 释放, 调压器电机行止转动, 不再升压。 J_{61} 释放, 使松开按钮 TA_2 后, J_6 亦无电。 J_{62} 闭合, 为降压作好准备。

降压过程

1. 按下主令电器 QA_3 , 此时发生的过程如下: 电机降压接触器 J_7 通电, J_{71} 闭合, 产生自锁。 J_{72} 释放, 保证电机升压回路断开, 此线路使接触器 J_6 和 J_7 不会同时通电。 J_{73} , J_{74} , J_{75} 闭合, 调压器电机反转, 即降压。

2. 按下主令电器 TA_2 , 发生和升压程序(4)类似的情况, 电机行转, 调压器降至所需电压位置。

说明: (1) 不论在升压或降压过程中, 只要按下 TA_2 , 电机就行转, 升降压均行止。

(2) 如果在升降压过程中, 不按行止按钮 TA_2 , 而由调压器电机自行升降, 则在升压过程中, 受升压行程限位开关 LK_1 限制, 在降压过程中, 受降压行程限位开关 LK_2 限制。

(3) 实验完毕后, 只需按下主令电器 TA_1 , 则高压各部分均断电。若此时调压器不在最低电压位置, 则 LK_2 是闭合的, 由于 J_{54} 和 J_{62} 都是常闭触点, 则电机一直降压, 直至 LK_2 限位释放为止。这样就能自动保证在每次实验前, 调压器均从最低电压开始升压, 这便是 J_{54} 的作用。

本电源考虑到操作人员的不固定性, 设计了继电器和接触器之间的相互联锁, 在一定程度上能避免误操作的出现, 并在危及设备安全时能立即自动断电, 所以自 1975 年投入使用后, 几年来一直运行稳定。

参加本文工作的还有赵笃凤、张裕民、李仅科等同志。