

# 电动自行车智能三阶段充电器的工作原理及实用技术资料

王 赞

2010.12.28.

我国电动自行车产业的飞速发展给电器维修行业提供了新的利润增长点。充电器作为电动自行车的易损配套设备，其维修市场潜力巨大。虽然目前的主流充电器都采用了开关电源式设计，但其控制过程与彩电、彩显等设备的开关电源有着明显的不同。从电动自行车充电器的维修实际以及国内众多电子技术论坛的会员求助情况来看，很多维修人员对电动车充电器的工作过程和三阶段充电原理不明白，而且目前现有的技术资料对此鲜有论述，读者难以理解，因此在检修中缺少必要的理论指导，遇到简单的故障尚能排除，一旦遇到稍具难度的故障或者比较复杂的故障，检修便难以进行，而且存在很大的盲目性。本文从电动车充电器的维修实际出发，围绕目前电动车市场上的主流充电器电路，用浅显易懂的语言，详尽地剖析 2 种典型的智能式三阶段充电器的工作原理和检修方法，并提供 8 个有实用价值的维修实例和 13 张代表性图纸以及 6 种典型充电器的三阶段充电过程中的实测数据等相关技术资料，供维修中参考。

## 一、电动自行车智能三阶段充电器的工作原理

当今的电动自行车充电器，大量地采用了以 PWM 脉宽调制集成电路 TL494N 或者 KA3842 (UC3842) 为核心控制电路，组成智能式开关电源，分三个阶段为蓄电池提供充电电压和电流。由于目前我国的电动自行车普遍采用了 36V / 12AH 的铅酸蓄电池，所以这里以适合于这种蓄电池的 36V 充电器为例，对采用 TL494N 和 KA3842 的电动自行车三阶段充电器的工作原理进行介绍。

1、以 TL494N 为核心的充电器工作原理。参照型号为天津“彪”牌电动自行车采用的 SP2000 三阶段充电器。

**预备知识：首先说一下什么是三阶段充电器。**三阶段充电器属于智能控制的能自动转换充电模式的充电器，所谓三阶段是指恒流充电阶段、恒压充电阶段、涓流充电阶段（又叫浮充阶段）。在**恒流充电阶段**，充电电流是不变的，但输出电压在变。电路根据充电电流的情况自动调整输出电压才能使电流保持在恒定的状态，一方面表现在当充电电流增大时，电路能自动降低输出电压，使电流减小，维持恒定；另一方面，随着蓄电池充进电量的增多，蓄电池两端电压会不断上升，为了防止充电电流变小，因此开关电源的输出端电压必须随着充电过程而逐渐上升。在这个阶段，充电电流较大，一般设定在 1.8A 左右；**恒压充电阶段**是指当蓄电池的电压升高到设定的恒压值时，开关电源的输出电压便保持不变（不再升高），而充电电流则根据蓄电池的充电情况不断减小。该恒压值一般设定为 44.4V-44.8V 左右；**涓流充电阶段**是指当充电器基本充满（充电电流减小到 200—300 毫安）时，电路根据检测到的充电电流会自动减小开关电源的输出电压，此时输出电压固定，充电电流继续逐渐减小，约两小时后充电结束。结束后，充电电流保持在几十毫安以下或者几毫安以下甚至更低。

以上三个阶段的转换是依靠相关集成电路来检测充电电流和输出电压进而根据既定的模式自动实现的。目前厂家提出的“智能型”、“自动控制型”、“全自动”等充电器，如无特殊说明，一般都是指具有三阶段控制功能的充电器。值得一提的是，有的厂家在三阶段充电器的基础上增加了负脉冲充电功能，对于延长蓄电池的使用寿命有着积极的作用。

有必要说明的两点：

### 1、恒流充电电流的数值是根据下列公式确定的：

$$12 \text{ (安时)} \times 1.2 \text{ (效率)} \div 8 \text{ (小时)} = 1.8 \text{ A}$$
 其中，12 安时是指蓄电池的容量，8 小时是指标准规定的充电总时间，1.2 效率是一个定值。可见，蓄电池的容量是确定恒流值的一个关键因素。

## 2、恒压充电的电压值的计算方法：

蓄电池单格电压（V）×蓄电池的格数（个）=恒压充电电压（V）

从目前的电动车充电器设置的恒压充电电压值来看，是按照蓄电池单格电压 2.47V-2.49V 来设计的。36V 蓄电池由 3 块 12V 蓄电池串联而成，每块 12V 蓄电池有 6 格，这样计算出的恒压充电电压值为： $(2.47V-2.49V) \times (3 \times 6) = 44.4V-44.8V$

但是，按照要求，密封电池的充电恒压值在 2.4V/单格为最佳，这样，标称 36V 的电动车的电池最高充电电压应该在 43.2V 为宜。之所以把恒压设置为 44.4V-44.8V，也是出于对充电时间和蓄电池“充满”来考虑的，但这样容易造成蓄电池失水，缩短蓄电池的寿命，其利弊关系以后将有专文论述，这里只要知道恒压电压值是怎样确定的就可以了。

**其次，要认识一下 TL494N。**TL494N 是美国得克萨斯公司专门为开关电源设计的振荡和 PWM 控制器，它能输出频率固定、脉宽可调的矩形脉冲，即定频调宽，来控制电源开关管的导通情况。它内部由一个振荡器（OSC）、两个比较器（静压时间比较器也叫死区时间比较器、PWM 比较器）、两个误差放大器、一个触发器、双与门、双或非门、一个 +5V 基准电压源（Vref）、两个 PNP 输出晶体管组成。芯片内的振荡器可工作在主动方式，也可工作在被动方式。激励输出可工作在推挽方式，也可工作在单端输出方式。在推挽输出方式时，它的两路激励脉冲相差 180°；而在单端输出方式时，它的两路激励脉冲是同频同相的。它不仅可产生脉冲电流，还可控制充放电三极管的导通与截止及其导通、截止、静压时间，在一个芯片内同时解决了电流控制、脉宽调制以及最大电流限制，另外还具有有一些附加监控保护功能。正是由于以上特点，使得 TL494N 在电动车上得到了广泛的应用，它不仅在电动车充电器上占据了“半壁江山”，同样在电动车控制器上也在大量使用，因此，全面认识 TL494N 的意义是很大的，其内部结构见图 1。主要引脚功能介绍：

1 脚是 IC 内部**误差比较放大器 1**的同相输入端。该脚与输出端 1（在 IC 内部，与 IC 的 3 脚相连）的输出端的关系是：该脚电压上升，输出端 1 电压上升。在电动车充电器中，该脚往往被用作输出电压的控制取样输入端。

2 脚是 IC 内部**误差比较放大器 1**的反相输入端，一般用作放大器基准电压输入端。在电动车充电器中，该脚往往被用作放大器的参考电压输入端。

15、16 脚分别是内部**误差比较放大器 2**的反相输入端和同相输入端。在电动车充电器中，15 脚往往被用作充电电流的控制取样输入端，而 16 脚则一般接地（参考电位为 0V）。因此，15 脚电压的变化会引起输出端 2（也在 IC 内部，与 3 脚相连接）电压的变化，可以控制输出电压的高低，进而控制充电电流。

3 脚是 IC 内的**误差比较放大器 1**和**误差比较放大器 2**的公共输出端，其输出表现为**或输出的控制特性**，即在上述两个误差放大器中，输出幅度大者起作用。也就是说，若两个误差放大器之中有一个输出高电平，那么 3 脚就会变为高电平。当 3 脚输出电平变高时，经 IC 内部电路反相使输出端 8、11 脚送出的激励脉冲宽度变窄，充电器的输出电压降低；当 3 脚输出电平变低时，经反相使输出端 8、11 脚送出的激励脉冲宽度变宽，充电器的输出电压升高。可见，输出电压的变化规律是按照输出端为高电平的那个误差放大器所检测的变化而变化的。认识这两个放大器的关系和输出特点，对于正确理解恒流充电阶段和恒压充电阶段的转换和控制原理非常重要。

在本 IC 中，这两个误差放大器通常是一个用于电压控制，另一个用于电流控制。至于哪一个用作电压控制，哪一个用作电流控制，是没有特别规定的，可任意选用。但习惯上把误差放大器 1（即 1、2 脚内部）用作电压检测与控制，误差放大器 2（即 15、16 脚内部）用作电流检测与控制。两个误差放大器输出的信号，在 IC 内部通过两个二极管加到 PWM 比较器的同相端，对输出激励脉冲的控制采用放大器输出电平和锯齿波电平相比较来控制输出脉冲的宽度，该信号电压超过 3.5V 时，输出脉冲宽度将下降到 0。因此，按要求适当处

理两个误差放大器的接脚，充电器即可实现过电流限制和电压限制功能。

4 脚是静压电平控制端。在该脚施加不同的电压，可对输出激励脉冲的最大宽度进行调整，使其不超过  $180^\circ$ ，这样可以保护开关管。在正常工作状态，两个开关管是轮流导通的，一个开关管从导通变为截止的瞬间，另一个开关管必须延迟一段时间再工作，也就是说，要等到第一个开关管完全截止以后，第二个开关管才能导通工作，这样可以避免两个开关管同时导通造成危害。这个时间间隔就称为“静压时间”。可见，在“静压时间”内，两个输出端（8、11 脚）都输出低电平，因此，静压时间也叫“死区时间”。改变 4 脚的电压可设置静压时间，进而改变激励脉冲的占空比。当该脚为 5V 时，8 脚和 11 脚都无激励脉冲输出（占空比为 0），两个开关管都截止，开关电源输出为 0V；该脚接地时，输出最大占空比为 96%；该脚为 -0.3V 时，输出最大占空比为 100%。可见，8、11 脚输出脉冲的占空比大小与 4 脚的关系是：4 脚电压越高，8、11 脚输出的激励脉冲占空比越低；反之，8、11 脚输出的占空比越高。在电动车充电器中，该脚电压一般取 0.45V 左右。

5 脚、6 脚内部是振荡器，5 脚外接振荡定时电容，6 脚外接振荡定时电阻。振荡器的锯齿波频率由 5 脚外接电容  $C_t$  和 6 脚外接电阻  $R_t$  值共同决定，其计算公式为： $f=1/(C_t \times R_t)$ 。

8、9、10、11 脚：这 4 个引脚分别是 IC 内部两组输出三极管的集电极和发射极，直接从 IC 内部引出，可做射极跟随或者集电极输出，每组输出三极管的工作电流可达 200mA。在电动车充电器中，一般把 8、11 脚用作 PWM 激励输出，9、10 脚接地。8 脚和 11 脚直接推动三极管，三极管的型号一般选用 2SC1815。8 脚、11 脚的直流电压与开关电源输出电压的关系是：8、11 脚的直流电压越低，开关电源的输出电压越高；反之，输出电压越低。

12 脚是供电端 VCC。

13 脚是功能控制选择端，也是内部电路复位控制端，用来控制两路输出的工作状态。该脚接 5V 时，形成双路工作状态，即控制两路输出三极管交替工作；该脚接地时，形成单路工作状态，可使被驱动的两个三极管同时导通、同时截止。在电动车充电器中，该脚一般接高电平 5V。

14 脚是内部 5V 基准电压（Vref）输出端。该电压提供 IC 内部各部分的基准电压，还用于确定限流值、控制死区范围和软启动回路的电源。在电动车充电器中，13、14 脚一般连接在一起使用。

7 脚是接地端。

**第三，还要熟悉四运算放大器 LM324。**LM324 是电动车充电器中常用的 IC，主要用于充电状态检测转换控制和指示控制。无论是采用 TL494 还是采用 KA3842 的充电器，都可采用 LM324 来协同完成三阶段充电的控制，只是在不同的充电器中，LM324 的具体用法有所不同罢了。

LM324 内部含有四个形式完全相同的运算放大器，除电源共用外，四个运放相互独立，其内部结构如图 2 所示。每个放大器都可用图 3 所示的符号来表示，可以看出，每个放大器都有 5 个引出脚，其中“+”为同相信号输入端，“-”为反相信号输入端，“V+”、“V-”为正负电源（负电源端一般接地）供电端，V0 为输出端。“Vi+”为同相输入信号，表示运放输出端的信号与该输入端的相位相同；“Vi-”为反相输入信号，表示运放输出端的信号与该输入端的相位相反。在实际的电路图中，为了方便，一般只在一个放大器中标出 IC 的供电端和接地端，而其他放大器只标出“+”、“-”和输出端。

在电动车充电器中，LM324 多用作电压比较器，通过对同相输入端或者反向输入端的电压进行比较，在输出端得到高电平或者低电平的变化，再通过高低电平的变化去控制指示灯的亮灭或者对开关电源进行相关的控制。输出端高低电平的变化是由两个输入端的电压比较决定的，一般规律是：若同相输入端电压高于反向输入端，则输出端为高电平；若同相输入端电压低于反向输入端，则输出端变为低电平。当然，以上是指在不设运放的反馈电阻时而

言的。

LM324 的具体作用要在具体的电路中才可确定,关于这一点,我们将在下面的电路分析中给予讲述。

**SP-2000 智能三阶段充电器的工作原理:** 有关电路见图 4。

①、**启动与振荡:** 从图中可以看出,三极管 V1—V4、变压器 T1、T2 及外围其它元件组成半桥式功率开关变换电路,自激启动后,它激工作。充电器连接蓄电池并插上交流插头后,220V 交流电压经变压器 LF1 和 C1、C2 滤除干扰,经 D1—D4 整流、C5 滤波形成 300V 左右的直流电压,加在三极管 V1 和 V2 的串联回路,通过启动电阻 R5 和 R6 提供基极偏压,首先使得 V1 导通, T2 次级绕组的正反馈使 V1 迅速饱和。V1 导通后, T1 的初级被 300V 电压储能,线圈中的电流和磁感应强度随时间线性增加。增加到饱和点后, V1 的集电极电流迅速下降, V1 退出饱和区进入放大区,此时 T2 次级感应的电压极性相反,经过一个正反馈过程后, V1 截止, V2 饱和导通。此过程周而复始,形成了自激振荡。但在这个时刻, V1、V2 尚未受到 IC1 (TL494N) 的控制,因此处于自由振荡状态。

自激振荡形成后,在 T1 的 8—10 绕组产生感应电动势,经 D9、D10 整流、C8 滤波后形成直流电压为各电路供电。当 IC1、IC2 等得电进入工作状态后,电路进入了受控状态, IC1 的 8 脚、11 脚轮流输出激励脉冲,使推动管 V4、V3 轮流交替工作,经 T2 的 3—4—5 绕组激励 V1、V2,使其工作在既定的振荡频率上。T1 的次级绕组输出感应电动势经 D15 整流、C18 滤波,形成直流输出电压,加到蓄电池的正极开始充电。充电电流在电阻 R30 两端形成压降,经 R38、R37、R39 送到 IC2 (LM324) 的 9 脚,使 9 脚电压低于 10 脚电压 (10 脚为 0V), 8 脚即输出高电平,通过 R44 点亮组合发光管 LED2 中的 LED2A (红色发光管 RED),表示正在充电;同时,8 脚变为高电平后,6 脚也会变为高电平,从而使得 7 脚变为低电平,涓流充电指示灯 LED2B (绿色) 不亮。

在空载状态下,由于没有充电电流,故 IC2 的 2 脚电压 (为负压) 低于 3 脚电压,1 脚输出高电平。该高电平通过 R45 驱动 LED2A 发光;同时,9 脚电压会高于 0V (即 10 脚电压),使 8 脚电压变为低电平,进而使得 6 脚电压低于 5 脚电压,7 脚输出高电平,通过 R43 驱动 LED2B 发光。所以,在空载状态下,充电指示灯 LED2 内部的红色、绿色灯都发光,混合后指示灯 LED2 的显示为橙色。

②、**恒流充电的原理:** 在电路开始工作时,充电电流会很大。为了限制充电电流,保证充电器自身和蓄电池的安全,采用了恒流充电控制电路。该控制电路主要由电流取样电路和 IC1 的 15、16 脚内部的误差放大器组成,根据充电电流的大小来调整 8、11 脚的输出的激励脉冲占空比的大小,从而使充电电流保持恒定。16 脚是内部误差放大器的同相输入端,在本电路中接地,即参考电压是 0V。15 脚是恒流控制端,控制信号来自充电电流检测电阻 R30 的左端。充电时, R30 两端形成压降,这个压降经 R38、R37、R13 反馈给 IC1 的 15 脚,通过与 16 脚电压比较后,控制内部误差放大器的输出,把充电电流限制在 1.8A 上 (该电流值是由基准电压和取样反馈电路的电阻阻值来设计的,其计算公式从略。因此,改变取样电阻的阻值,就会改变恒流充电电流的大小)。充电电流越大, R30 两端的压降越大,反馈到 IC1 的 15 脚的电压越低;反之,充电电流越小,该压降越小,反馈到 15 脚的电压越高。根据电路的设计,当充电电流达到 1.8A 时,15 脚电压正好为 0V (达不到 1.8A 时为正电压),如果充电电流超过 1.8A 时,15 脚电压就会变为负压,因此该脚电压就会低于 16 脚电压, IC1 内部误差放大器 2 的输出端 (即 IC1 的 3 脚) 电平就会变高,通过 IC1 内部电路进行自动调整,使 8、11 脚的激励脉冲宽度变窄,输出电压下降,进而使充电电流下降。当充电电流低于 1.8A 时,控制过程相反。总之,通过对输出电压进行调节,确保了充电电流恒定在 1.8A 的水平上。

在这个充电阶段内,测量 15 脚电压时,万用表显示为 0V 或者极其微弱的负压。

**③、恒压充电的原理：**随着充电不断进行，蓄电池正极电压不断升高，当其电压升高到 44.8V 以后，恒压控制电路开始起作用，把开关电源的输出电压锁定在 44.8V 上，以保证下一步充电的正常进行。

恒压充电控制电路是通过 IC1 的 1、2 脚内部的误差比较放大器来完成的。IC1 的 14 脚输出的 5V 基准电压通过 R25、R21 为 2 脚（误差放大器 1 的反向输入端）提供参考电压（本电路中为 3.17V），1 脚（误差放大器的同相输入端）收到的是蓄电池正极（也即开关电源的输出端）经 R29、R26、R27 分压后得到的取样电压。在恒流充电阶段，蓄电池电压较低，1 脚电压是低于 2 脚电压的，误差放大器 1 的输出端为低电平，所以此时误差放大器 1 不参与对电压的控制。当蓄电池正极达到 44.8V 以后，1 脚电压升高，达到与 2 脚相等的幅度，若输出端电压继续升高超过 44.8V，则 1 脚电压大于 2 脚电压，通过内部误差比较放大器的作用，使 3 脚电压变为高电平，经 IC1 内部电路控制使 8、11 脚输出的激励脉冲宽度变窄，进而输出电压降低。因此这个电路准确地把输出电压箝位在 44.8V 上。由于输出电压固定，随着充电的不断进行，蓄电池充进的电量增多，充电电流不断减小。也正是由于充电电流的减小，IC1 的 15 脚电压升高，15 脚电压开始大于 16 脚电压，误差放大器 2 的输出端为低电平，因此退出了对 PWM 激励脉冲的控制，恒流控制电路便不再起作用了。

**④、涓流充电阶段的原理：**在恒压控制阶段，充电电流不断减小，IC2 的 9 脚电压不断升高。当电流减小到 300 毫安以下时，IC2 的 9 脚的电压开始大于 0V（即开始高于 10 脚电压），使得 8 脚跳变为低电平 0V，充电指示灯（红色）LED2A 熄灭；同时，8 脚跳变为低电平 0V 后，还使得 6 脚电压低于 5 脚电压，7 脚输出跳变为高电平，浮充指示灯 LED2B（绿色）点亮，提示充电进入浮充阶段。更重要的是，这里还对输出电压进行控制。在 IC2 的 7 脚变为高电平之后，还会使得 D19 的正极电压升高，进而使得 IC1 的 1 脚电压升高，通过内部误差比较放大器的作用使 8、11 脚输出的激励脉冲宽度变窄，开关电源的输出电压变低。在这个充电阶段阶段，开关电源输出电压被抑制在较低的输出电压上（对本充电器而言，转入涓流充电状态后，开关电源的输出电压下跌为 42.2V）。

进入涓流充电阶段以后，会立即出现充电电流的大幅度下降，一般下降到 30 毫安左右。但由于蓄电池自身的特点，进入涓流状态充电电流大幅度下降后，充电电流还会有一个缓慢上升的过程。上升到一定程度后（上升的幅度视不同的充电器和蓄电池而有所差异，一般上升到 50 毫安-100 毫安左右，有的可升到 200 毫安左右）便不再升高，开始缓慢地持续降低。约两小时后，充电电流维持在 20 毫安或者几毫安以下甚至更低的水平上，整个充电过程至此结束。所以，一个正常的智能三阶段充电器，在充电结束以后，即使长时间通电不把交流电源插头拔下，也不会对蓄电池造成过充电的危害。

## 2、以 KA3842 为核心的电动车充电器的工作原理：

KA3842 是开关电源专用的振荡和 PWM 控制芯片，其工作频率可达 500KHZ，启动电流小于 1mA，最大供电电压 30V，其输出电流可直接驱动大功率双极型开关管或场效应管。该 IC 内部包括一个电压反馈误差放大器、一个电流比较器、基准电压发生器、振荡器、PWM 控制器、输出激励电路和过压保护 / 欠压锁存控制等电路，通过外部电路的设置（如 LM324 和精密稳压源 TL431 等），也可实现开关电源输出的恒流控制和恒压控制，故该 IC 也被广泛地应用在电动自行车充电器中。其内部结构如图 5 所示。

各引脚功能介绍：

1 脚是内部电压反馈误差放大器的输出端，一般用于误差放大器补偿；

2 脚是内部误差放大器的反相输入端（即误差信号输入），用于检测输出端的电压情况，以便使 IC 对 PWM 输出作出相应的调整；

3 脚是开关管电流监测端，用于过流保护的取样。该脚在每个周期内对流过开关管的电流进行检测，当电流过大时，会使得该脚电压大于 1V，3 脚内部的电流比较器控制 PWM 电

路停止激励脉冲的输出，关断开关管的输出，起到保护作用。

4 脚是内部 OSC 振荡器的外接定时元件端，接 RC 网络为 OSC 电流振荡提供条件；

5 脚是接地端；

6 脚开关管激励脉冲输出端，直接决定开关管的工作状态。该脚为方波输出，脉宽越宽，开关电源的输出电压越高。

7 脚是 IC 的供电端。该脚正常工作电压为 11V-30V，但在启动时，只有当该脚电压大于 16V 以后才能使 IC 进入工作状态。启动后，IC 可工作在 16V 以下，但不能低于欠压保护锁定的阈值电压 11V。当某种原因使该脚电压小于 11V 时，该脚内部的欠压保护锁存器动作，IC 停止工作，以防止开关管因激励不足而损坏。

8 脚是 IC 的 5V 基准电压（Vref）输出端，为 OSC 振荡电路供电，同时为内部误差放大器提供基准电压。

这里以比较典型的澳柯玛电动车 GD—MC—36II 充电器为例，介绍这种智能充电器的工作原理，有关原理见图 6。

**1、启动和振荡：**连接蓄电池并插上交流电源插头后，220V 交流电压经抗干扰变压器 LI 滤除干扰后再经 D1-D4 整流、C2 滤波，形成 300V 直流电压。该电压分两路输出，一路经开关变压器 L2 的 4—1 绕组送到开关场效应管 T1（5N60C）的 D 极，为其供电；另一路经启动电阻 R10 为 IC1（KA3842）的 7 脚提供启动电压，随着电容 C7 的充电，7 脚很快达到 16V，内部的振荡器开始工作。在 IC1 的控制下，从 6 脚输出一定占空比的 PWM 激励脉冲，驱动开关管 T1 工作在开关状态。开关变压器的次级输出的感应电动势经 D7、D8 整流、C11 滤波，形成直流输出电压为蓄电池充电。同时，开关变压器的 7—6 绕组输出的感应电动势经 D10 整流、C12 滤波后形成的直流电压为开关电源“冷地”部分的电路供电，主要包括四运放 IC2（LM324）、精密稳压源 IC4（TL431A）、光电耦合器 IC3（EL817）等。

开关电源工作后，7 脚由 L2 的 3—2 绕组产生的感应电动势经 D6 整流、C7 滤波形成的电压提供启动后的持续供电。

D5、C8、R11 组成尖峰脉冲吸收电路，用于在开关管从导通转为截止的瞬间抑制 T1 的漏极所产生的幅值极高的尖峰脉冲。其原理是：在 T1 截止的瞬间，其漏极产生的尖峰脉冲经 D5、C8 即 300V 电源构成充电回路，充电电流将尖峰脉冲抑制在一定的范围内，避免了 T1 被尖峰脉冲击穿。当 C8 充电结束后，C8 通过 R11 放电，为下个周期再次吸收尖峰脉冲作准备。

**2、恒流充电阶段的控制：**开关电源工作后的初期，因待充的蓄电池电压低，充电电流会很大。充电电流流过 R16 产生的压降通过 R19 送到 IC2 的 13 脚，使 13 脚电压高于 12 脚参考电压，IC2 的 14 脚输出低电平，组合发光管 LED2 内部的绿色发光二极管（用于涓流充电的指示）不亮。14 脚的低电平送到 2 脚，使 2 脚电压低于 3 脚电压，1 脚输出高电平，LED2 的红色发光二极管点亮，表示正在充电。

随着充电状态的进入，充电电流增大。当增大到 1.78A 时，根据电路的设计，充电电流产生的压降经 R20 送到 IC2 的 9 脚的电压等于 10 脚的参考电压，9、10 脚内部的比较放大器开始起控，此时，只要充电电流上升，9 脚电压就会大于 10 脚电压，8 脚就会输出低电平，使光电耦合器 IC3（EL817）内部的发光二极管亮度增强，开关电源的控制芯片 IC1（KA3842）的稳压反馈端 2 脚电压升高，进而通过 IC1 内部 PWM 控制器使开关管 G 极的激励脉冲减小，开关电源输出降低，这样就把充电电流限制在了 1.78A 上。此时由于蓄电池两端电压较低，经电压取样电阻 R37、R36 取样后的电压也较低，因此加到 IC4（TL431A）的基准极 R 的电压小于 2.5V，所以此时 IC4 这一路不对开关电源输出电压的高低进行控制。

**3、恒压充电阶段的控制：**恒压充电的控制电路由取样电阻 R37、R36 和精密稳压源 IC4 以及 KA3842 的内部电路组成。在恒流充电一段时间之后，蓄电池的正极电压持续上升。当

升高到 44.6V 时，根据电路设计，此时由 R37、R36 取样后的电压加到精密稳压源 IC4（TL431A）的基准极（R）电压等于 2.5V，IC4 开始起控。只要充电器的输出电压继续升高，IC4 的基准极 R 电压就会升高，IC4 的阴极电压就会降低，通过 IC3 和 IC1 的控制（具体原理同前，不再赘述），使开关电源的输出电压降低，把输出电压稳定在 44.6V 上。此时，因充电电压被限定，充电电流会逐渐减小，因而 9 脚电压会低于 10 脚电压。恒流充电控制电路也会因为 9 脚电压低于 10 脚电压而使 8 脚一直输出高电平，即不会再输出低电平对开关电源的输出电压进行控制，故恒流控制电路退出工作状态。

**4、涓流充电阶段的控制：**根据电路的设计，当充电电流等于 250 毫安左右时，IC2 的 13 脚电压等于 12 脚电压。当充电电流小于 250 毫安时，IC2 的 13 脚电压开始低于 12 脚电压，14 脚输出高电平。该高电平一路经 R22 送到 LED2 绿色发光管的正极，使绿灯点亮；另一路送到 IC2 的 2 脚使 2 脚电压高于 3 脚电压，1 脚变为低电平，LED2 的红色发光管熄灭。绿灯亮、红灯灭，表示充电进入涓流充电状态。为了对开关电源的输出进行同步控制，14 脚输出的高电平加到二极管 D13 的负极，使其正极电压升高，因此稳压取样元件 IC4（TL431）的基准极 R 电压升高，阴极 K 电压降低，光电耦合器 IC3（EL817）内部的发光二极管亮度增强，因此内部光敏三极管的发射极电压升高，IC1（KA3842）的 2 脚稳压反馈端电压也升高，经 IC1 内部电路控制后，IC1 的 6 脚输出的 PWM 驱动脉冲减小，开关电源输出降低，使充电进入涓流充电状态。实测进入涓流状态后，开关电源的输出电压降低到 42.8V。

## 二、电动车智能充电器常见故障检修方法和技巧

这里按照故障的类型，分类进行总结和说明。

### （一）、以 KA3842 为核心的充电器故障检修方法与技巧

#### 1、不能充电，电源指示灯不亮，保险丝烧断。

这种情况一般是电路存在严重的短路现象，要检查整流二极管（整流桥）、滤波电容、开关场效应管、控制芯片等部位。一般以整流二极管击穿、开关管击穿和控制芯片一起损坏为常见。开关管损坏后，往往还会连带烧断源极对地电阻。导致开关管击穿的原因除了负载过重和自身质量外，还要特别注意其栅极电阻是否变大。该电阻的阻值变大以后，会引起激励不足，使开关管过热而烧毁，进而引起其它元件的连带损坏。尖峰脉冲吸收电路出问题也会导致开关管击穿，其特点表现在开机瞬间击穿、或者无规律性击穿开关管并引起连带损坏。该电路引起开关管击穿的故障高发点是尖峰脉冲吸收电容或二极管。更换电容时要特别注意其耐压要求，一般不能低于 1000V，如有条件，最好更换比原电容耐压更高一些的同容量电容。二极管要选用快恢复二极管，也就是说要注意它的开关速度，常用的是 FR157、FR107 等型号，绝对不可随便找一个换上，否则会很快再次击穿并引起开关管损坏。

由于有些人习惯随车带着充电器，所以会因振动造成元器件虚焊现象。常见的是开关变压器某引脚等处脱焊，这些部位的相关引脚脱焊后，会引起光电耦合器的供电消失而使得开关电源控制芯片稳压失控，也很容易烧毁开关管并连带损坏其它元件。

偶见保险丝自然熔断的情况，这种情况更换保险丝后即排除故障。

**KA3842 好坏的判断技巧：**断开 6、7 脚外围电路，用外部的 12V-18V 直流电源加在 7 脚与 5 脚之间，此时 8 脚应该有 5V 电压输出。如果没有 5V 输出，而且 8 脚外围没有对地短路现象，则可判断 KA3842 不良。

#### 2、指示灯不亮，开关电源无输出，保险丝完好。

遇到这种情况要首先检查启动电路，特别是启动电阻和 IC 的供电脚外围元件有无对地漏电等问题。实际维修中以启动电阻断路（或阻值变大）、或 IC 的供电脚外接电容漏电使该脚无电压或者电压达不到 IC 的启动阈值电压为常见。在上述情况下，开关电源的 IC 不能完成启动过程，故电源指示灯一直不亮。

另外一种情况是开关电源的控制 IC 不良, 或者外围元件如激励脉冲输出端相连的器件出问题导致激励信号不能送到开关管, 又或者开关管自身故障等原因, 使得开关管不能进入工作状态, 也会出现这样的故障。检修时根据本文提供的 6 个典型充电器的实测数据, 应该很容易找到故障根源。

### 3、指示灯亮, 但开关电源输出电压低。

这种情况说明开关电源已经起振, 电压低的原因大都出在稳压控制电路或者负载电路。负载电路故障很容易发现, 这里讨论稳压控制电路的检修方法。检修该电路时以光电耦合器为分界线, 根据控制与被控制的关系以及附表提供的实测数据, 可以判断出故障出在光电耦合器以前还是以后。一个快速判断故障范围的办法是: 把光电耦合器的光敏三极管一端断开, 在其 3、4 脚外围的电路板铜箔上接入一只 20K 的优质可调电阻 (如图 7 所示), 先把可调电阻的阻值调到几百欧姆, 插上电源插头后, 缓慢地调大该电阻 (一定要注意非常缓慢地调节, 否则会出现烧坏元件的危险), 同时观察输出电压的情况。如输出端有较大的变化, 说明故障出在光电耦合器的初级侧 (即内部发光二极管的一侧) 电路, 否则就出在次级侧 (内部光敏三极管的一侧) 电路。使用该办法值得注意的一点是, 由于 KA3842 自身具有完善的欠压保护功能, 因此当调节的外加可调电阻过小时, 开关电源会进入欠压保护状态, 使输出端无电压。解决这个问题可采用在关机状态多次调节、然后多次开机的办法, 即调节一次可调电阻, 然后开机一次, 观察输出端电压在调节以后的变化, 从而作出判断。

开关管的源极电阻 (过流检测电阻) 阻值变大也会引起开关电源的输出端变低。以澳柯玛的充电器为例, 该电阻正常阻值为  $0.51\ \Omega$ , 它的阻值变大直接使开关管的带负载能力减小, 从而使得输出电压降低。阻值变得越大, 开关电源的输出电压越低, 该电阻断路则会导致无输出电压。

有一些没有设置防反接二极管 (这种二极管是指例如澳柯玛 DS—MC—3612II 中的 D10) 的充电器, 当用户自行处理输出引线出错导致正负极接反时, 引起的故障也是输出电压低, 这种情况下常见的损坏元件是充电电流检测电阻、运算放大器等, 一般更换后即可排除故障。

KA3842 的 7 脚在启动以后如果没有得到后续供电, 也会导致这种故障。常见原因是开关变压器的后续供电引脚虚焊、整流二极管击穿、限流电阻断路等。在这种情况下, 开关电源没有进入正常的受控振荡状态。

### 4、开关电源输出电压过高

检查方法同“3”。另有一种比较少见的输出电压过高故障, 输出电压高达 80V 甚至 100V 以上, 一般是精密稳压源击穿或者光电耦合器的供电电阻断路以及内部发光二极管击穿导致 KA3842 的 2 脚稳压控制端电压为 0V, 使得 PWM 激励脉冲处于超宽状态下造成。

### 5、能够充电, 但不管充电多长时间, 都显示正在充电中, “涓流充电” 指示灯一直不亮。

这种情况要结合其他因素来综合判断。蓄电池本身不良也会出现这种情况, 这里的讨论建立在蓄电池良好的基础之上。这种故障很有可能是恶性故障, 极有可能造成“过充电”而损坏蓄电池, 所以要尽快加以排除。

首先是在长时间充电后手摸蓄电池, 看是否温度过高。若温度不高, 则可基本判断问题不大, 可能只是“充满”指示灯或者其限流电阻损坏, 如果只是这两个元件损坏 (或者其中之一), 往往伴有红色充电指示灯熄灭的现象; 若蓄电池温度过高, 则说明充电器始终处于“恒流充电模式”或者“恒压充电模式”, 使充电电流一直很大或者充电电压一直很高, 造成过充电使蓄电池过热。造成这种情况的原因有: 恒流充电控制电路的充电电流取样电路元件不良, 恒压控制电路的输出电压取样元件不良、LM324 不良等。

当然最准确的办法是测量相关点的电压来判断。



以本文介绍的澳柯玛充电器为例：首先测量 LM324 的 14 脚电压，若该点电压在长时间充电后仍然为 0.6V 左右（在正常转入浮充阶段时该脚电压为 18V 左右），说明控制电路没有转入浮充状态，此时测量充电电流若为 1.8A 左右，说明电路处于恒流充电阶段，重点检查电流检测电路的 R19、R20、LM324 自身等；若充电电流为几百毫安，说明处于恒压充电阶段，应重点检查电压检测取样电路的各个元件。实际中，这种故障的常见原因以充电电流检测电阻 R19 变值或者 LM324 内部损坏为常见。若测得 14 脚电压为 18V 左右的高电平，而且 LED2 的两个指示灯都不亮，则只能是涓流充电指示灯坏或者其限流电阻坏。

## （二）以 TL494 为核心的智能充电器故障检修方法和技巧

与 KA3842 充电器相比，TL494 充电器有着自己的特点，因此检修方法也有所不同。这里简要介绍如下：

1、**接通电源指示灯不亮、无电压输出。**如果整流电路电压正常，则检查启动与自激振荡的形成电路，主要包括启动电阻 R5、R6，开关管 VT1、VT2 和 VD5、VD6、VD7、VD8 等元件。如没问题则检查两个变压器的相关绕组及其外围元件。

2、**空载输出电压低，指示灯正常。**这种故障可能是自激振荡已经建立，但没受到控制 TL494 芯片正常控制的原因。实践中常见的原因是控制芯片 TL494 损坏。判断 TL494 是否正常的方法和技巧：断开其 12 脚（供电端）外围的铜箔后，在 12 脚和地之间接入 12V 外部直流稳压电源，通过以下测量可以判断 TL494 的好坏：

①、首先测量 IC 的工作电流。方法是在外接电源与 12 脚之间串入电流表，此时的电流应该为 12 毫安左右。改变外接电源的电压值，当外接电压在 7V—20V 之间变化时，该电流值应该恒为 12 毫安。

②、测量 14 脚（基准电压输出端 Vref）电压是否为 5V。若低于 5V 很多而且 14 脚外围元件没问题，则判断 TL494N 损坏。

③、观察 5、8、11、和两个驱动三极管 V3、V4 的集电极波形。以上各点的参考波形如图 8 所示（空载时测量）。若 5 脚没有波形而且定时元件完好，则判断 TL494N 损坏；8、11 脚没有波形或者波形异常，外围元件若没问题也可判断 TL494N 损坏。V3、V4 的集电极无波形或波形异常，重点检查供电电阻 R10、T2 的相关绕组和 V3、V4 本身。

④、测量 8、11 脚电压。正常情况下，这两个引脚的电压是相等的，若有较大差别则先检查 V3、V4 及其周边电路，如经上述检查无问题，则可基本判定 TL494N 损坏。

⑤、去掉 12 脚外接的直流电源，恢复原电路。在断电状态下测量各引脚的对地正反向电阻，与表 1-1 相对比，如发现某些引脚与正常值有较大差别而其外围无故障元件，则可判断 TL494N 损坏。插上电源插头，在空载状态下测量 TL494N 各引脚电压，如 12 脚和 14 脚电压正常，出现其他一些引脚的电压异常时，如该引脚和与其相关的引脚外围没问题，也可判断 TL494 损坏。

3、**空载输出电压基本正常，指示灯显示也正常，但连接蓄电池后显示已经充满，但实测充电电流很小，只有几十毫安。**

这种故障一般发生在三个部位：一是 LM324 本身及其外围电路有问题，使电路一直处于涓流充电状态。这种情况下，变压器一般不会出现异常的声音。二是 TL494 内部有故障或者其 PWM 输出端外接的某个三极管（2SC1815）击穿，造成半桥式变换电路工作异常。三是半桥式开关变换电路本身元件不良。在上述的两种情况下，由于半桥式开关变换电路的工作频率不能正常地受控，故变压器一般会有异常的响声。

4、**空载输出电压过高，但连接蓄电池后充电电流为 0。**这种故障一般是半桥式开关变换电路彻底失去 TL494 的控制所致。常见原因是 TL494 损坏（有的则是连同 LM324 等元件一并损坏）。而造成上述问题的原因，最常见的是充电电流检测电阻断路或者虚焊。

5、**充电状态不能转换。**这种故障多数属于恶性故障，往往会对蓄电池造成过充电的危

害。检修时按照“以 KA3842 为核心的充电器故障检修方法与技巧”中的第 5 项来进行，这里不再赘述。强调一点：检修这种故障需要坚实的理论功底和分析能力，但只要懂得了三阶段的转换原理，再参考本文给出的实测数据，弄清故障时所处的实际状态，由此下手进行检修，排除故障也是不难的。

### 三、电动自行车故障分析与检修与 8 例

这里总结了维修实际中遇到的具有代表性的 8 个维修实例，尽量多涉及不同的电路，注重了故障典型性，适当给出了两个检修难度较大的故障，以更加贴近维修实际，供读者参考。

**例一、小羚羊电动车 SMA-36C3A 充电器，无论空载还是连接蓄电池充电，电源指示灯都不亮。**

**分析与检修：**从故障现象看，应该是开关电源的变压器初级侧有问题。空载情况下测量“+”输出端电压为 0，但交流输入的 300V 整流电压正常。接着测量 U1（UC3842）的各引脚电压，均为 0V。7 脚是供电端，检查该脚对地电阻正常，无漏电或对地短路现象。重点检查 7 脚外接的元件，当在路测量 300V 输出端与 7 脚之间的电阻 R10 时（用  $R \times 1K$  档），发现表针刚开始时有电阻数值指示，但又缓慢地回摆至无穷大。可见，该电阻已经断路损坏。更换一只 100K / 2W 的电阻，故障排除。

R10 是启动电阻，该电阻断路后不能在开机瞬间为 UC3842 提供启动电压与启动电流，故开关电源不能进入工作状态。实践表明，启动电阻断路是电动车充电器中很常见的一个故障，但检修难度不大。检修这种故障要注意 400V 滤波电容的放电问题，以防遭到电击，还有可能在测量时造成其他元件损坏。所以遇到无电压输出而且指示灯不亮的故障时，要养成对 400V 滤波电容放电的习惯。放电时用电烙铁的交流插头短接一下 400V 滤波电容两端即可。

**例二、澳柯玛电动车 DS-MC-3612 II 充电器不能充电，空载时指示灯显示正常，但连接蓄电池后，充电指示灯没有变为红色。**

**分析员检修：**首先在空载种状态下测量“+”输出端电压，为 32V，比正常值 42.8V 差很多。仔细倾听，变压器有“兹兹”声发出，结合这个现象，初步判断开关电源的振荡可能存在问题。空载测量 IC1 的各引脚电压，1—8 脚分别为：1、0.2V；2、0.26V；3、0V；4、0.25V；5、0V；6、0.1V；7、13V；8、0.6V。对照本文的附表 2—1，发现 7 脚（应为 18.7V）和 8 脚电压（应为 4.96V）最为异常，而且 7 脚电压决定 8 脚电压，如果 7 脚电压达不到 16V，8 脚就不会有正常的基准电压输出。所以要先检查 7 脚电压不够的原因。当检查至电阻 R9 时，发现其在路电阻过大，竟然达到 160K 以上。这个电阻一般情况下为 100 欧姆以下。判断 R9 断路损坏，拆下测量证实判断正确，更换一只 15  $\Omega$  / 0.5W 的电阻后，故障排除。

R9 是 KA3842 在完成起动过程之后的后续供电电压的限流电阻。当 7 脚的启动电压超过 16V 时，KA3842 的内部电路启动，产生 5V 基准电压，然后 IC 进入正常的振荡状态。正常振荡产生后，由开关电源自身输出的 18.7V 为 7 脚继续提供后续的供电。R9 断路后，7 脚得不到正常的后续供电，使得 IC 的振荡无法维持，故产生本故障现象。

按照 KA3842 的特点，虽然 7 脚电压超过 16V 才可进入工作状态，但进入工作状态以后，7 脚电压可以低于 16V，只要在 11V 以上就算正常。从这个角度讲，上述 7 脚电压为 13V 是不能完全判断 7 脚电压异常的。但是，本例之所以能够迅速判断出 7 脚电压异常，就在于根据附表可以知道该充电器 KA3842 的 7 脚的正常电压值为 18.7V，而且在 13V 电压下，5 脚没有基准电压产生，可判断要么是 KA3842 不良，要么 7 脚供电有问题。如果在 13V 电压下，5 脚有正常的基准电压产生，那就不能判断 7 脚电压异常了，而是要按照输出电压低的思路来检修了。

有的维修资料介绍，这个电阻断路后会造成指示灯闪烁、无输出的故障，事实证明这种说法是不具备普遍性的，或者说是错误的，在此给与纠正。

**例三、澳柯玛电动车 DS-MC-3612 II 充电器，插上电源插头后指示灯不亮，测充电器输出端无电压。**

**分析与检修：**根据故障现象，判断开关电源的变压器初级侧有问题。观察保险丝管熔断，内壁发黑且有黄色金属熔化物附着在管壁上，说明存在严重的短路现象。同时还发现负温度系数热敏电阻 PT1 炸裂，开关管 T1（5N60C）的 G 极电阻 R8（15Ω）烧黑。测 T1 的三个电极均已击穿，S 极的过流检测电阻 R1（0.51Ω）断路。将 T1 用 SSS10N60C 代换，R8、R1、PT1 和保险丝管换为同型号元件后开机，指示灯仍然不亮。测 IC1（KA3842）的外围元件无明显损坏，怀疑 IC1 损坏。判断 KA3842 好坏的方法如下：把它的 6 脚与外围电路断开，用外接直流 17—20V 电压正极接在 7 脚上，负极接在 5 脚上，此时 8 脚（5V 基准电压输出端）应该有 5V 输出。如果没有，则判定 KA3842 损坏。经上述操作后，发现 5 脚无输出（电压接近 0V），而 8 脚外围元件无异常，判断 IC1 已经损坏。用一只 UC3842 代换后，故障排除。

这是电动自行车充电器比较常见的故障。此故障的根源一般是由于开关场效应管击穿而引起，T1 击穿后造成的高电压、大电流会连带损坏 KA3842 以及上述的其它元件。当发现开关管击穿后，以上元件一般都会损坏（有时 PT1 可以幸免），希引起维修人员注意。KA3842 的好坏判断方法是笔者在实践中总结出来的，简单易行，可供读者参考。

**例四、天津“彪”牌电动车 SP2000 充电器，连续长时间充电后，充电指示灯仍然为红色，蓄电池发热较大。**

**分析与检修：**用本充电器对一块已经充满电的蓄电池进行充电，现象相同。从故障现象看，应该是充电器一直处于恒流或者恒压充电状态而不能转为涓流充电，造成过充电所致。指示灯为红色，清楚地说明了这一点。为确定到底处于哪一种充电状态，测量充电电流为 230 毫安，“+”输出端电压为 44.9V。从电流看，应该进入涓流充电状态了，但从电压看，仍然停留在恒压充电状态，因此分析认为该故障的实质是：在蓄电池实际上已经被充满的情况下，充电过程仍然处于恒压充电状态，而不能正常转入涓流状态，致使开关电源的输出电压居高不下，使充电器长时间输出较大的充电电流，蓄电池过充电而发热。明白了这一点，我们只需找到为什么没有进入涓流状态的原因就行了。

从本文的原理分析可知，进入涓流充电状态是依靠对充电电流的检测进而通过 LM324 进行相关控制来实现的。其关键在于 IC2 的 9 脚电压要高于 10 脚电压，而且 8 脚要变为低电平，7 脚要为变高电平。只要 9 脚电压高于 10 脚电压，就可判断 LM324 不良；如果 9 脚电压一直不能高于 10 脚，那就检查 9 脚外围元件，查找 9 脚电压不能升高的原因。对照表 1—1 进行测量上述部位的电压值，9 脚也已经高于 0V，但 8 脚仍然为 21V，怀疑 LM324 内部不良，试代换一只 LM324，故障排除。

本充电器没有设计半可变电阻，在实际维修中，一些设有半可变电阻的充电器往往会因随车携带引起的振动等原因使半可变电阻的触电发生位移变化，引起与本故障类似的现象，以及恒流充电电流过大或者过小、恒压充电电压升高或者降低等现象，造成蓄电池过充电或者充不满而亏电从而损坏蓄电池的情况，应引起充分注意。

**例五、安琪尔电动车 DS-MC-3612 I 充电器，充不进电，连接蓄电池后，充电指示灯为绿色，显示已经充满。充电器一直有较大的“兹兹”声发出。**

**分析与检修：**首先测量空载输出电压，为 41.1V，比正常空载输出略低。连接蓄电池后，测量充电电流，只有 10 毫安（用 MF47 型指针式万用表的 50 毫安档测）。根据上述测量结果，再结合有“吱吱”声发出，判断半桥式变换电路出问题的可能性大，而充电控制电路出问题（即实际上进入涓流充电状态）的可能性小一些，有关电路请参见本文“图纸部分”的对应图纸。为查看半桥式变换电路的工作状态，首先测量 IC1（TL494）各引脚在空载状态下的电压，1—16 脚电压分别为：1、3.23；2、3.23；3、3.30；4、0.44；5、1.42；6、3.58；

7、0； 8、1.80； 9、0； 10、0； 11、1.19； 12、12.02； 13、4.9； 14、4.9； 15、0.18； 16、0。仔细对照本文的附表 4—1，发现 11 脚与正常值相差太大，而且与 8 脚也不一样，此时半桥变换电路肯定不能正常工作。

按照上面介绍的检修方法，排除了 TL494 本身损坏的可能性，V1、V2 及其相关电路未见异常，重点检查 11 脚外围元件。测量 V3 各引脚电压时，发现明显异常。将 V3 拆下测量，证实已经击穿损坏，更换一只 2SC1815，故障排除。

当 TL494 的 8、11 脚电压差别较大时，要先检查该引脚外围元件，尤其是 2SC1815 出问题的可能性较大。

**例六、小羚羊电动车 SMA—36C3A 充电器，在空载状态下指示灯显示正常，但连接电瓶进行充电时，充电指示灯仍然为红色，显示已经充满。**

**分析与检修：**该充电器的指示灯设计与一般的有所不同：1、绿色灯为电源指示，红色灯为充满指示；2、在充电过程中，红色指示灯不亮，只有绿色灯亮；进入涓流充电状态后，红绿指示灯都亮。根据客户的反映，果然是联接电瓶后一插上交流电源插头，红色、绿色指示灯都亮起，提示“电瓶已经充满”。试对多块不同电量的电瓶充电，现象一样。

根据故障现象，很自然地考虑到可能是充电检测电路出了问题，使充电控制集成电路 U4（LM324）错误地执行了进入“涓流充电”以后的状态，或者是开关电源的输出有问题。连接蓄电池后实测充电电流为 0，充电中测量“+”输出端电压为 38.5V（这个电压比涓流状态的输出电压还低很多），可见并没有进入涓流充电状态。接着测量空载输出电压，竟然只有 23V！看来问题就出在输出电压过低上了。

按照输出电压过低的思路，测开关管的漏极电压为 306V，正常；检查了负载对地电阻无异常，稳压控制部分的关键元件没发现问题。测量 U1 的各引脚电压，发现 7 脚供电端为 14.7V，1 脚为 1.8V，2 脚为 0.15V，3 脚为 0.01V，4 脚为 0.27V，6 脚 0.12V，8 脚 0.5V，以上各点电压都不抖动。从数据来看，测量结果与例二非常相似，故按照例二的方法进行检查，但没发现问题，后来干脆代换了 KA3842，故障依旧。怀疑开关管 T1（5N60C）性能不良，但代换后故障依然。维修一时陷入困境。

后来仔细观察电路板上的各个元件，发现大功率电阻 R3（0.68Ω / 8W）的颜色有些异常。该电阻是负反馈电阻，对开关管的工作有着重要影响。把 R3 拆下，用数字表测量，发现阻值变大为 4.3Ω，比额定值 0.68Ω 大了 6 倍多！更换一只同型号电阻，故障排除。

R3 作为负反馈电阻，既是过流检测电路的关键元件，同时还起着限制开关管电流的作用。R3 阻值变大以后，直接引起开关管的输出能力和带负载能力变小，开关变压器的储能减少，使得输出电压变低。虽然稳压电路检测到输出端变低以后会自动调整输出电压，但同样由于 R3 的原因，仍然不能使输出电压升到正常值。输出电压过低，直接引起充电电流过小或者无充电电流，充电控制检测电路肯定会进行相应的动作控制，因此红色指示灯会点亮，出现错误的提示。

本例故障的启发是：1、判断电瓶电量是否真的充满，不能仅仅根据指示灯来判断。在指示灯显示充满的情况下，还要测量开关电源输出端电压。一块正常的待充电瓶在真的充满电以后，此时测量开关电源的输出端电压一般会大于 41V，如低于此值过多，则故障为充电器输出电压过低或者电瓶不良；2、对于待修的充电器，要先测量其空载状态的输出电压，这对快速判断故障很有益处；3、对于 R3 这种关键部位的小阻值电阻，其微小的变化都会引起输出端电压较大的变化，因此一定要拆下并且用数字表对其阻值进行精确测量，如果无法精确测量，干脆代换一只同型号电阻。

在实际维修中，多次遇到该电阻出问题的故障实例，或者阻值变大，或者断路损坏。这个电阻**断路后**，会引起开关电源无输出；**阻值变大以后的现象会根据变大的程度的不同而不同**，其总的规律是：阻值变得越大，输出电压越低，但与此相对应的故障现象却又有所不

同。例如在本充电器中，当该电阻的阻值变为不超过  $2.2\Omega$  时，表现为可以对电瓶进行充电（即充电时红色充满指示灯能够熄灭），但会导致电瓶的充电时间过长或者不能充足，长期使用会引起电瓶亏电损坏；当阻值在  $2.2\Omega - 120\Omega$  之间时，表现为联接电瓶后，一插上交流电插头即显示电量已经充满，而实际上却充不进去，同时当该电阻的值在上述范围内增大到一定程度时，输出电压会波动，电源指示灯和充满指示灯也都闪烁。阻值变得越大，电压波动越明显，指示灯闪烁的时间间隔也越长；当阻值大于  $120\Omega$  时，电源指示灯也不亮了，输出电压极其微弱；当该电阻断路后，输出电压为  $0V$ 。但在实际中，该电阻的阻值以变大到  $10\Omega$  以内和断路损坏为常见。

**例七、天津“彪”牌电动车 SP2000 充电器，客户反映说指示灯不亮了，而且发出“漏气”的响声，不敢继续使用。**

**分析与检修：**在不连接蓄电池的情况下插上电源插头，发现两个指示灯都不亮，而且充电发出“吡吡”的类似于气体泄漏的响声，响声很大。首先测量空载输出电压，发现该电压高达  $80V$ ！连接蓄电池以后，还发现实际的充电电流为  $0$ ，而且开关管  $V1$ 、 $V2$ （2SC4138）发热严重。初看该故障不好下手，但从“吡吡”声可知半桥式变换电路的频率控制肯定不正常，故首先直接检查半桥式控制电路。常规检查  $V1$ 、 $V2$ 、 $V3$ 、 $V4$  及其外围没发现问题。但后来从充电电流为  $0$  这个方面考虑，可知充电回路可能存在断路的地方。按照这个思路检查充电回路，发现充电电流检测电阻  $R30$  在路电阻值过大（该电阻为  $0.1\Omega/3W$ ），仔细观察，确认该电阻的一端有一道不很明显的裂纹。对  $R30$  进行补焊后，再次通电，发现充电的“吡吡”声已经明显减轻，空载测量输出电压，刚通电时为  $25V$ ，后逐渐上升，最后稳定在  $30V$ 。因此我们把检修的思路从输出电压高转变到输出电压低上来。从空载输出电压逐渐上升的变化，我们可以看出，半桥式开关变换电路的频率没有受到 TL494N 的有效控制，故把检查的重点确定到 TL494N 的 PWM 输出端到双开关管的控制通道上，但检查后一无所获。决定重点检查 TL494N。

测量 TL494N 的各个引脚电压，发现都很微弱，电源供电端 12 脚为  $0.5V$  左右。从图中可知，该 IC 的供电是经变压器次级绕组的 D9、D10 整流而来，检查 D9、D10 没问题。怀疑 TL494N 损坏。按照本文维修方法中介绍的步骤，把 12 脚与外围电路断开，外加  $12V$  直流电源，测量其工作电流为  $30$  毫安，比正常的  $12$  毫安高出很多；接着测量 14 脚电压（基准电压输出端），为  $0.09V$ ；恢复 12 脚外围，去掉外接电源，在路测量 TL494N 的各引脚对地正反向电阻，与附表 1—1 对照，发现大多数都不正常。根据以上综合判断，TL494N 已经损坏。更换一只 TL494N，再次插上电源插头，充电器的两个指示灯点亮，但比较微弱。空载测量输出端电压，为  $23V$ ，比更换 IC 以前更低了，但空载输出电压始终很稳定，同时还发现“吡吡”声已经基本消失，这说明半桥式开关变换电路已经受到了 TL494N 的有效控制。

那么还有什么原因造成了输出电压低呢？从三阶段充电的转换控制可知，LM324 也能对输出电压进行控制，而且更重要是考虑到该充电器的原始故障是空载输出电压高达  $80V$ ，而且造成了 TL494N 过压损坏，从理论上讲，LM324 的供电与 TL494N 出自同一点，因此也存在过压损坏的可能性。在路测量 LM324 的各个引脚对地电阻，与附表 1—2 对照，发现多数与正常值差别较大，故判断 LM324 也没能逃过高压的劫难。代换一只 LM324，充电器恢复正常，故障彻底排除。

**例八、英克莱电动车 LY-36C 充电器不能充电，但空载时指示灯都正常。**

**分析与检修：**插电观察，空载时电源指示灯为红色，充电状态指示灯为橙色（可清晰地看到这个发光二极管内的红色灯和绿色灯同时发光），指示灯的亮度比正常时低。但在插上电源插头的瞬间，指示灯的亮度很亮。仔细倾听，充电器在指示灯变暗以后有轻微的“丝丝”声发出。空载时测量输出电压，发现在通电的瞬间为  $44V$ ，然后立即下降为  $19V$ ，指示灯也随之变暗。

按照例七的思路检查输出电压变低的原因，并代换了 IC2（LM324），无效。检查 IC2 的 14 脚至 TL494N 的 1 脚之间的控制电路各元件，没发现问题。联想到有轻微的“丝丝”声，分析认为还是应从 TL494 入手。

空载测量 TL494N 的各脚电压，1—16 脚分别为：1、1.74V；2、3.16V；3、4.78V；4、0.49V；5、1.69V；6、3.68V；7、0V；8、1.98V；9、0V；10、0V；11、2.04V；12、9.79V；13、4.93V；14、4.93V；15、0.17V；16、0V。对照本文的附表 6—1 可以看出，电压异常主要表现在以下引脚上：1、3、8、12 四个引脚。从原理分析可知，输出电压低，12 脚供电肯定要低；1 脚检测的是输出电压，因此也肯定要低；而 3 脚电压高，正是输出电压变低的原因，也就是说，3 脚电压高，充电器的输出电压肯定要低。这说明以上三个引脚的电压异常应该是合乎故障规律的，原则上说，可以暂时不用检查和探究。只有 8 脚电压值得考虑：首先是电压低，其次是与 11 脚电压相差较多。造成二者电压差别的常见原因一是 8 脚外围电路，特别是 V4（2SC1815），二是 TL494N 本身。先检查 8 脚外围，没发现故障元件。判断 TL494N 损坏的可能性很大。代换一只 TL494N，再次通电，充电器恢复 41.3V 的空载输出，试对一块待充蓄电池进行充电，恒流充电电流、恒压充电电压均正常，也能在充电电流为 250 毫安时正常转入涓流充电状态，证实故障排除。

大量的维修实践表明，采用 TL494 为核心控制电路的充电器，TL494 本身的故障率较高，因此检修此类充电器时，要先从 TL494 入手。同时，确保 TL494 正常也是对其他电路进行检查的基础。

#### 四、13 种电动车充电器代表性图纸

除了在原理介绍中给出的两种充电器图纸外（SP2000 和 DS-MC-3612II），这里再提供 13 种具有代表性的三阶段充电器图纸（电路各不相同，有的虽然采用了相同的主要集成电路，但在电路设计上有所不同，甚至差别很大），**包括两款具有负脉冲充电功能的智能三阶段充电器图纸**，通过这些图纸来涵盖主流三阶段充电器电路的基本类型，尽量使读者在维修中找到相同或接近相同的图纸来对照参考。

这 13 张图纸有 10 张是根据实物来绘制的，3 张是搜集的具有代表性的电路，使该系列图纸更全面和完善。以上图纸基本上都给出了元件的型号或参数，但因时间原因，极个别型号的图纸只标出了关键元件和易损元件的参数。

如无特别说明，本系列图纸均是指 36V 充电器图纸。

1、安琪尔电动车充电器图纸，充电器型号 DS-MC-3612 I，**该充电器具有负脉冲充电功能**。见图 9。

2、小羚羊电动车充电器图纸，充电器型号 SMA-36C3A，见图 10。

3、力霸皇电动车充电器图纸，充电器型号 HP-1205AC，见图 11。

4、英克莱电动车充电器图纸，充电器型号 LY-36C，见图 12。

5、佳腾牌 36V 电动车充电器图纸，见图 13。

6、SPORTS MAN（斯波兹曼）电动车充电器图纸，充电器型号 SP2000-36C，见图 14。

7、永久龙牌电动车充电器图纸，见图 15。

8、采用 KA3842 和 LM393 的电动车充电器图纸，见图 16。

9、电动自行车 GD-36 型充电器图纸，见图 17。

10、TN-1 型充电器图纸，**该充电器具有负脉冲充电控制功能**，见图 18。

11、采用 TL494 和 LM358 的杂牌充电器图纸，见图 19。

12、具有防反接继电器的电动车充电器图纸，见图 20。

13、电动自行车 48V 三阶段充电器图纸，该充电器带有散热风扇，见图 21。

#### 四、6 种典型智能充电器的三阶段实测数据

这里给出从一线实测的 6 种不同充电器的三阶段充电电压数据，该数据清晰地表明了

三个阶段内电路的工作状态及其转变特征,同时给出各关键器件的正常对地电阻值和引脚功能等,是检修、研究三阶段智能型充电器的重要依据和第一手数据参考资料。

说明:

1、表内的所有电阻值均使用 MF-47 型指针式万用表的  $R \times 1K$  档测得,所有电压值均使用 DT9205+ 数字万用表以合适的量程测得。

2、电阻值精确到小数点后一位;电压值精确到小数点后两位。

3、凡电阻值后面带有 \* 号的,表示在测量时表针回摆,表中的数值为稳定以后的值;凡电压值后面带有 \* 号的,表示该点电压抖动。电压值为 # 的,表示在测量时充电状态发生转变,无法测到正常电压值。

4、在恒流充电、恒压充电过程中以及进入涓流充电状态的初期,表中的一部分电压值会根据充电过程的不同以及初始充电时电瓶残余电量的不同而有所变化和不同,故当读者实测的电压值与本表给出的数值不完全一致时,不要认为一定有故障,要结合具体情况加以分析判断。

5、鉴于电路中“热地”和“冷地”的区别,故凡采用 KA3842 (UC3842) 的充电器数据,其 IC 本身、开关场效应管、光电耦合器的次级(即光敏三极管一侧)的对地参考点均为“热地”——即 KA3842 的 5 脚或者 400V 大滤波电容的负极,其他测量点的对地参考点均为“冷地”;凡采用 TL494 的充电器数据,只有两个功率开关管的对地参考点为“热地”(即 400V 滤波电容的负极),其余均为“冷地”。此问题在各表格中不再单独说明。

6、关于每个表前的综述中“空载电压”、“恒压电压”、“涓流电压”均是在充电器的“+”输出端对地测量,而不是对“-”输出端测量的。其中“恒压电压”是指充电器转入恒压充电状态后的“+”端输出电压;“涓流电压”是指充电过程转入涓流充电后的“+”端输出电压。由于在恒流充电状态下,“+”端输出是不断上升的,而且又受到蓄电池残余电压的影响,因此没有提供在恒流充电阶段的电压。

6、由于设计和制造时元件参数的差异,以及使用中元件参数的变化,某些数据如“恒压充电电压”、“恒流充电电流”等会与理论值有所差别,甚至两只完全一样的充电器也可能存在上述差异。本测试数据均是针对所测样品而言。

7、实验表明,温度对三阶段充电器电压的测试具有明显影响。以恒压充电电压值为例:SP2000 充电器在温度为 20 度时,恒压值为 44.8V,但在 10 度时为 45.3V,在 0 度时为 46.1V,温度越低,恒压充电电压值越高;在 25 度时为 44.1V,在 30 度时 43.6V,在 35 度时为 43.3V 温度越高,恒压充电电压值越低。因此,表中的相关电压值会因测试时温度的不同而有所区别。本文给出的测试数据均是在室温 20 度时测得。

8、给出实测数据的这 6 种充电器,在本文中“电动自行车图纸”一项中均有相应的图纸参照,因此实用性更强。

附表见下页:

1、天津“彪”牌电动车 SP2000 充电器实测数据

该充电器空载输出 42.7V，恒流充电电流为 1.82A，恒压充电电压为 44.9V，涓流电压 42.6V。空载时充电指示灯为橙色，恒流和恒压充电阶段为红色，涓流充电阶段为绿色。电源指示灯一直为红色。

表 1—1：开关电源 PWM 控制集成电路 IC1（TL494CN）各引脚功能与实测数据

引脚	功能描述	空载时电压 (V)	恒流充电时电压(V)	恒压充电时电压(V)	涓流充电时电压(V)	对地正向电阻(K $\Omega$ )	对地反向电阻(K $\Omega$ )
1	内部误差比较放大器同相输入端	3.17	2.76	3.17	3.17	2.0	2.0
2	内部误差比较放大器反相输入端	3.17	3.17	3.17	3.17	5.0	5.0
3	补偿 / PWM 比较器输入端	3.48	1.80	1.76	3.50	13.0	5200
4	死区时间控制输入端	0.45	0.45	0.45	0.45	9.5	10.0
5	外接定时电容	1.40	1.34	1.35	1.43	12.0	12.0
6	外接振荡电阻	3.71	3.92	3.86	3.73	12.0	12.0
7	接地端	0	0	0	0	0	0
8	内部输出驱动管 1 的集电极	2.14	1.77	1.71	2.08	1.0	1.0
9	内部输出驱动管 1 的发射极	0	0	0	0	0	0
10	内部输出驱动管 2 的发射极	0	0	0	0	0	0
11	内部输出驱动管 2 的集电极	2.14	1.77	1.71	2.08	1.0	1.0
12	IC 启动与供电端	19.78	23.8	23.05	20.5	2.5	2.5
13	输出方式控制端	4.96	4.95	4.95	4.95	3.0	3.0
14	基准电压（5V）输出端	4.96	4.95	4.95	4.95	3.0	3.0
15	控制比较放大器的反相输入端	0.16	0	0.02	0.16	0.8	0.8
16	控制比较放大器的同相输入端	0	0	0	0	0	0

表 1—2：充电控制集成电路 IC2（LM324）在路实测数据

引脚	功能描述	空载时电压 (V)	恒流充电时电压(V)	恒压充电时电压(V)	涓流充电时电压(V)	黑笔接地电阻(K $\Omega$ )	红笔接地电阻(K $\Omega$ )
1	放大器 1 的输出端	18.05	0.57	0.57	0.06	13.0	30.0
2	放大器 1 的反相输入端	-0.16	0.27	0.27	0.17	15.0	9.0
3	放大器 1 的同相输入端	0.13	0.14	0.15	0.13	2.5	2.5
4	IC 供电端	19.80	24.2	22.30	24.1	2.5	2.5
5	放大器 2 的同相输入端	4.95	4.95	4.95	4.95	3.0	3.0
6	放大器 2 的反相输入端	0.62	22.7	0.62	-0.02	13.0	30.0
7	放大器 2 的输出端	18.37	0.57	18.10	23.15	13.0	41.5
8	放大器 3 的输出端	0.62	22.7	21.16	0	13.0	32.5
9	放大器 3 的反相输入端	0.03	-0.13	-0.10	0.02	0.6	0.6
10	放大器 3 的同相输入端	0	0	0	0	0	0
11	接地端	0	0	0	0	0	0
12	放大器 4 的同相输入端	0	0	0	0	0	0
13	放大器 4 的反相输入端	0	0	0	0	0	0
14	放大器 4 的输出端	0.12	0.41	0.30	0.12	13.0	1800



表 1—3：其它关键元件实测数据

元 件 编 号	型 号	功 能	测量点	空载时电 压 (V)	恒 流 充 电 时电压(V)	恒 压 充 电 时电压(V)	涓流充电时 电压(V)	黑笔接地电 阻 (KΩ)	红 笔 接 地 电阻 KΩ)
V1	C4138	功 率 开 关 管	基极	156.5	149.1	142.6	152.9	12.0	300.0*
			集电极	312.0	300.0	286.5	306	20.0	500.0*
			发射极	157.5	150.1	143.4	153.4	8.0	280.0*
V2	C4138	功 率 开 关 管	基极	0.56	-0.90	-0.80	-0.46	3.0	3.0
			集电极	157.5	150.1	143.4	153.4	8.0	250.0*
			发射极	0	0	0	0	0	0
V3	2SC1815	PWM 驱 动 管	发射极	1.42	1.41	1.38	1.38	13.0	13.0
			集电极	1.47	5.27	6.16	2.34	4.0	4.0
			基极	2.15	1.81	1.68	1.97	1.0	1.0
V4	2SC1815	PWM 驱 动 管	发射极	1.42	1.41	1.38	1.38	13.0	13.0
			集电极	1.47	5.27	6.16	2.34	4.0	4.0
			基极	2.15	1.81	1.68	1.97	1.0	1.0

2、澳柯玛电动车 DS—MC-3612II 充电器实测数据

该充电器空载输出电压 **42.6V**，恒流充电电流 **1.78A**，恒压充电电压 **44.6V**，涓流充电电压 **42.6V**。空载时充电指示灯为橙色，恒流和恒压充电阶段为红色，涓流充电阶段为绿色。电源指示灯一直为红色。

表 2—1：开关电源振荡与 PWM 控制 IC1（UC3842）实测数据

引 脚	功能描述	空载时电压 (V)	恒流充电时电 压(V)	恒压充电时电 压(V)	涓流充电时电 压(V)	黑笔接地电阻 (KΩ)	红笔接地电阻 (KΩ)
1	误差信号放大器补偿（误差输出）端	1.48	3.42	3.10	2.17	10.5	15.5
2	反馈输入(误差放大器输入)端	2.48	2.40	2.48	2.47	10.22	11.0
3	开关管过流检测（用做过流保护）端	0	0.09	0.06	0.01	0.2	0.2
4	外接 RC 定时元件	2.10	2.11	2.14	2.12	10.5	15.5
5	接地端	0	0	0	0	0	0
6	PWM 开关管驱动脉冲输出端	0.50	4.19	3.18	1.36	9.5	10.2
7	IC 供电端	18.47	21.40	22.45	20.55	8.0	90 *
8	5V 基准电压输出端	4.96	4.96	4.96	4.96	4.7	4.7

表 2—2：充电控制集成电路 IC2（LM324）在路实测数据

引脚	功能描述	空载时电 压 (V)	恒流充电时 电压(V)	恒压充电时 电压(V)	涓流充电时 电压(V)	黑笔接地 电阻(K Ω)	红笔接地 电阻(K Ω)
1	放大器 1 的输出端	0.66	17.70	19.20	-0.02	13.0	40.0
2	放大器 1 的反相输入端	17.22	0.57	0.59	18.10	12.5	50
3	放大器 1 的同相输入端	5.07	5.07	5.06	5.07	8.0	12.5
4	IC 供电端	18.60	19.26	20.80	19.52	7.5	13.1
5	放大器 2 的同相输入端	0.13	0.15	0.13	0.14	2.8	2.8
6	放大器 2 的反相输入端	-0.11	0.34	0.33	0.32	14.0	8.5
7	放大器 2 的输出端	16.07	0.65	0.66	-0.02	12.5	40.0
8	放大器 3 的输出端	17.46	16.02	19.57	18.37	13.0	49
9	放大器 3 的反相输入端	0	0.15	0.06	0.02	1.2	1.0
10	放大器 3 的同相输入端	0.16	0.15	0.16	0.15	1.0	0.5
11	接地端	0	0	0	0	0	0
12	放大器 4 的同相输入端	0.04	0.04	0.04	0.04	0.6	0.5
13	放大器 4 的反相输入端	0	0.16	0.09	0.01	1.1	1.0
14	放大器 4 的输出端	17.22	0.57	0.59	18.10	12.5	50

表 2-3:光电耦合器 IC3（EL817）在路实测数据

引脚	功能	空载时电压 (V)	恒流充电时电 压(V)	恒压充电时电 压(V)	涓流充电时电 压(V)	黑笔接地电阻 (K Ω)	红笔接地电阻 (K Ω)
1	内部发光管的正极	16.10	17.70	18.96	17.25	10.0	17.0
2	内部发光管的负极	15.13	16.80	17.86	16.24	10.5	20.0
3	内部光敏三极管 E 极	2.62	2.38	2.48	2.56	9.5	10.5
4	内部光敏三极管 C 极	18.47	21.40	22.45	20.55	8.0	90*

表 2-4：开关管 T1 和精密稳压源 IC4 在路实测数据

元件编 号	型号	功 能	测量点	空载时电压 (V)	恒流充电时电 压(V)	恒压充电时电 压(V)	涓流充电时电 压(V)	黑笔接地电阻 (K Ω)	红笔接地电阻 (K Ω)
T1	P5N60C	开	栅极 G	0.50	4.20	3.29	1.38	9.0	10.0
		关	漏极 D	302	260	258	281	9.0	400.0 *
		管	源极 S	0.008	0.13	0.06	0.01	0.5 Ω	0.5 Ω
U3	TL431A	精	基准极	2.5	2.32	2.50	2.50	2.1	2.1
		密	R						
		稳	阳极 A	0	0	0	0	0	0
		压	阴极 K	15.09	16.80	17.77	16.23	10.5	20.0
		源							

3、浙江力霸皇电动车 HP1205AC 充电器实测数据

该充电器空载电压 **41.8V**，恒流充电电流 **1.81A**，恒压充电电压 **44.7V**，涓流充电电压 **41.8V**。空载时充电指示灯为绿色，恒流充电阶段为红色，恒压充电阶段为橙色，涓流充电阶段为绿色。电源指示灯一直为红色。

表 3—1：开关电源振荡与 PWM 控制 U1（UC3842）实测数据

引脚	功能描述	空载时电压 (V)	恒流充电时电 压(V)	恒压充电时电 压(V)	涓流充电时电 压(V)	黑笔接地电阻 (K Ω)	红笔接地电阻 (K Ω)
1	误差信号放大器补偿（误差输出）端	2.68	#	#	#	7.5	7.5
2	反馈输入（误差放大器输入）端	2.18	#	#	#	5.5	5.5
3	开关管过流检测（用做过流保护）端	0.18	0.29	0.24	0.18	1.0	1.0
4	外接 RC 定时元件	1.90	1.88	1.90	1.90	4.0	4.0
5	接地端	0	0	0	0	0	0
6	PWM 开关管驱动脉冲输出端	0.66	4.36	4.33	0.05	10.0	1.2
7	IC 供电端	17.65	17.61	19.46	17.64	7.5	150 *
8	5V 基准电压输出端	4.99	4.99	5.00	4.99	3.0	3.0

表 3—2：充电控制和指示灯控制集成电路 U3（LM358）实测数据

引脚	功能描述	空 载 时 电 压 (V)	恒流充电时电压 (V)	恒压充电时电压 (V)	涓流充电时电压 (V)	黑笔接地电阻(K Ω)	红笔接地电阻(K Ω)
1	放大器 A 输出	0	11.20	11.04	0	11.5	27.0
2	放大器 A 反相输入	0.22	0.23	0.23	0.22	2.2	2.2
3	放大器 A 同相输入	0.20	0.39	0.35	0.38 #	2.0	2.0
4	接地端	0	0	0	0	0	0
5	放大器 B 同相输入	0.07	0.23	0.20	0.07	0.5	0.5
6	放大器 B 反相输入	0.22	0.23	0.23	0.23	2.2	2.2
7	放大器 B 输出	0	3.45	0	0	12.0	17.0
8	供电端	12.56	12.70	12.87	12.65	10.0	28.0

表 3—3:光电耦合器 U2（EL817）在路实测数据

引脚	功能	空载时电压 (V)	恒流充电时电 压(V)	恒压充电时电 压(V)	涓流充电时电 压(V)	黑笔接地电阻 (K Ω)	红笔接地电阻 (K Ω)
1	内部发光管的正极	5.17	10.89	8.89	5.00	12.0	30
2	内部发光管的负极	4.07	9.70	7.69	3.94	10.0	∞
3	内部光敏三极管 E 极	4.86	1.08	2.59	4.95	0.5	0.5
4	内部光敏三极管 C 极	17.65	17.61	19.38	17.65	8.0 *	130

表 3—4：开关管 Q1 和精密稳压源 Q2 在路实测数据

元件编号	型号	功能	测量点	空载时电压(V)	恒流充电时电压(V)	恒压充电时电压(V)	涓流充电时电压(V)	黑笔接地电阻(KΩ)	红笔接地电阻(KΩ)
Q1	SSP7N60	开关管	栅极 G	0.48	4.47	3.03	0.49	9.0	300 *
			漏极 D	305	297	260	287	11.0	20.0
			源极 S	0	0.08	0.03	0	0	0
Q2	AZ431	稳压源	基准极 R	2.41	2.35	2.30	2.40	2.5	2.5
			阳极 A	0	0	0	0	0	0
			阴极 K	4.07	9.70	7.61	3.94	10.0	∞

表 3—5：晶体管 Q3、Q4 在路实测数据

元件编号	型号	测量点	空载时电压(V)	恒流充电时电压(V)	恒压充电时电压(V)	涓流充电时电压(V)	黑笔接地电阻(KΩ)	红笔接地电阻(KΩ)
Q3	2SC1213	基极 B	13.20	13.39	13.39	13.31	8.0	8.0
		集电极 C	26.90	23.24	26.00	26.61	4.0	4.0
		发射极 E	12.58	12.80	12.83	12.73	10.0	28.0
Q4	2SC1213	基极 B	0.01	0.60	0.62	0	10.0	10.0
		集电极 C	7.04	0.11	0.10	6.03	16.0	∞
		发射极 E	0	0	0	0	0	0

4、安琪尔 DS—MC—3612I 充电器（带负脉冲充电控制功能）实测数据

该充电器空载输出电压 41.7V，恒流充电电流为 1.78A，恒压充电电压为 44.9V，涓流充电电压 41.7V。空载时充电指示灯为橙色，恒流和恒压充电阶段不亮，涓流充电阶段为绿色。电源指示灯一直为红色。

表 4—1：开关电源 PWM 控制集成电路 IC1（TL494CN）各引脚功能与实测数据

引脚	功能描述	空载时电压 (V)	恒流充电时电压(V)	恒压充电时电压(V)	涓流充电时电压(V)	黑笔接地电阻(KΩ)	红笔接地电阻(KΩ)
1	内部误差比较放大器同相输入端	3.22	3.05	3.22	3.23	2.0	2.0
2	内部误差比较放大器反相输入端	3.22	3.22	3.22	3.23	5.0	5.0
3	补偿 / PWM 比较器输入端	3.85	2.61	2.08	3.28	13.0	5M
4	死区时间控制输入端	0.44	0.45	0.45	0.45	10.0	9.5
5	外接定时电容	1.64	1.64	1.41	1.43	12.0	15.0
6	外接振荡电阻	3.58	3.64	3.66	3.64	12.0	26.0
7	接地端	0	0	0	0	0	0
8	内部输出驱动管 1 的集电极	2.03	1.71	1.66	1.90	0.9	0.9
9	内部输出驱动管 1 的发射极	0	0	0	0	0	0
10	内部输出驱动管 2 的发射极	0	0	0	0	0	0
11	内部输出驱动管 2 的集电极	2.03	1.71	1.66	1.90	0.9	0.9
12	IC 启动与供电端	11.78	16.27	16.05	15.84	2.2	2.2

13	输出方式控制端	4.90	4.92	4.91	4.91	3.0	3.0
14	基准电压（5V）输出端	4.90	4.92	4.91	4.91	3.0	3.0
15	控制比较放大器的反相输入端	0.17	0	0.07	0.16	0.8	0.8
16	控制比较放大器的同相输入端	0	0	0	0	0	0

表 4—2：充电控制集成电路 IC2（LM324）在路实测数据

引脚	功能描述	空载时电 压 (V)	恒流充电时 电压(V)	恒压充电时 电压(V)	涓流充电时 电压(V)	黑笔接地 电阻(K Ω)	红笔接地 电阻(K Ω)
1	放大器 1 的输出端	5.22*	7.50*	8.00*	7.75*	13.0	32.0
2	放大器 1 的反相输入端	5.95*	7.80*	0.50*	8.50*	14.0	100.0
3	放大器 1 的同相输入端	4.66*	7.85*	7.85*	6.25*	14.0	41.0
4	IC 供电端	11.82	16.23	16.30	15.94	2.5	2.5
5	放大器 2 的同相输入端	0.02	0.03	0.03	0.04	10.0	11.0
6	放大器 2 的反相输入端	4.90	4.91	4.91	4.90	3.0	3.0
7	放大器 2 的输出端	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	13.0	11.0
8	放大器 3 的输出端	10.41	0.64	0.64	14.40	12.5	37.0
9	放大器 3 的反相输入端	0	15.90	15.20	0	12.5	38.0
10	放大器 3 的同相输入端	4.80	4.91	4.92	4.90	3.0	3.0
11	接地端	0	0	0	0	0	0
12	放大器 4 的同相输入端	0	0	0	0	0	0
13	放大器 4 的反相输入端	0.04	-0.13	-0.07	0.03	1.0	1.0
14	放大器 4 的输出端	-0.08	15.08	15.21	-0.02	12.5	38.0

表 4—3：其它关键元件实测数据

元 件 编 号	型号	功能	测量点	空载时电 压 (V)	恒 流 充 电 时电压(V)	恒 压 充 电 时电压(V)	涓 流 充 电 时电压(V)	对地正向 电 阻 (K Ω)	对地反向 电阻(K Ω)
V1	13007—2	功 率 开 关 管	基极	153.50	149.00	149.70	151.50	11.0	280.0*
			集电极	305	294.00	298.00	303	20.0	500.0*
			发射极	155.50	150.00	150.60	152.50	7.5	250.0*
V2	13007—2	功 率 开 关 管	基极	0.48	-1.04	-0.86	-0.40	3.0	2.5
			集电极	155.50	150.00	150.60	152.50	7.5	250.0*
			发射极	0	0	0	0	0	0
V3	2SC1815	PWM 驱 动管	发射极	1.32	1.35	1.33	1.36	13.0	13.0
			集电极	1.39	5.87	5.19	2.17	4.0	4.0
			基极	1.98	1.69	1.65	1.95	0.8	0.8
V4	2SC1815	PWM 驱 动管	发射极	1.32	1.35	1.33	1.36	13.0	13.0
			集电极	1.39	5.87	5.19	2.17	4.0	4.0
			基极	1.98	1.69	1.65	1.95	0.8	0.8
V8	2SD880Y	负 脉 冲 充 电 控 制管	基极	-0.05	-0.08	-0.06	-0.07	9.0	10.0
			集电极	41.50	39.00	44.02	41.38	15.0	12.0
			发射极	0	0	0	0	0	0

5、小羚羊 SMA—36C3A 充电器实测数据

该充电器空载输出电压 42.0V，恒流充电电流为 1.48A，恒压充电电压为 45.0V，涓流充电电压 42.0V。  
空载时充电指示灯为红色，恒流和恒压充电阶段不亮，涓流充电阶段为红色。电源指示灯一直为绿色。

表 5—1：开关电源振荡与 PWM 控制 U1（KA3842）实测数据

引脚	功能描述	空载时电压 (V)	恒流充电时电 压(V)	恒压充电时电 压(V)	涓流充电时电 压(V)	黑笔接地电阻 (K Ω)	红笔接地电阻 (K Ω)
1	误差信号放大器补偿（误差输出）端	1.72	3.30	2.95	1.66	11.0	32.0
2	反馈输入（误差放大器输入）端	2.47	2.50	2.48	2.48	6.5	6.5
3	开关管过流检测（用做过流保护）端	0.01	0.15	0.1	0.01	1.0	1.0
4	外接 RC 定时元件	2.02	2.02	2.02	2.02	11.0	11.0
5	接地端	0	0	0	0	0	0
6	PWM 开关管驱动脉冲输出端	0.78	4.20	4.06	1.22	11.0	11.0
7	IC 供电端	14.45	14.7	16.35	14.60	8.5	120 *
8	5V 基准电压输出端	4.95	4.95	4.95	4.95	7.0	7.0

表 5—2:光电耦合器 U2（4N35）在路实测数据

引脚	功能	空载时电压 (V)	恒流充电时电 压(V)	恒压充电时电 压(V)	涓流充电时电 压(V)	黑笔接地电阻 (K Ω)	红笔接地电阻 (K Ω)
1	内部发光管的正极	0.36	1.04	0.87	0.23	15	28
2	内部发光管的负极	0	0	0	0	0	0
3	空脚	0	0	0	0	∞	∞
4	内部光敏三极管 E 极	2.4~2.6	2.47	2.46	2.52	1.2	1.2
5	内部光敏三极管 C 极	14.3	14.61	16.24	14.62	8.5	100*
6	内部光敏三极管 B 极	1.7~2.0	3.06	1.7~1.9	2.25 **	∞	15

注：1、2、3 脚的参考地为 U4 的 11 脚；4、5、6 的参考地为 U1 的 5 脚。

表 5—3：开关管 Q 和精密稳压源 U3 在路实测数据

元件编号	型号	功能	测量点	空载时电压 (V)	恒流充电时电 压(V)	恒压充电时电 压(V)	涓流充电时电 压(V)	黑笔接地电阻 (K Ω)	红笔接地电阻 (K Ω)
Q	IRFPG50	开关管	栅极 G	0.74	4.03	3.92	0.75	11.0	80.0 8
			漏极 D	304	296	305	296	8.0	200.0 *
			源极 S	0.01	0.14	0.12	0.01	0.5 Ω	0.5 Ω
U3	TL431A	精密稳压源	基准极 R	2.5	2.5	2.5	2.5	9.0	10.5
			阳极 A	0	0	0	0	0	0
			阴极 K	2.5	2.5	2.5	2.5	9.0	10.5

表 5—4：充电状态控制集成电路 U4（LM324）在路实测数据

引脚	功能描述	空载时电 压 (V)	恒流充电时 电压(V)	恒压充电时 电压(V)	涓流充电时 电压(V)	黑笔接地 电阻(K Ω)	红笔接地 电阻(K Ω)
1	放大器 1 的输出端	15.52	0.04	0.08	16.71	14.0	36.0
2	放大器 1 的反相输入端	0	0.15	0.08	0	0.1 Ω	0.1 Ω
3	放大器 1 的同相输入端	0	0	0.03	0.03	1.2	1.2
4	IC 供电端	18.24	18.42	18.60	18.28	2.0	2.0
5	放大器 2 的同相输入端	7.96	7.18	7.50	6.69	15.0	∞
6	放大器 2 的反相输入端	7.93	7.24	7.46	6.56	15.0	∞
7	放大器 2 的输出端	0.25	0.71	0.25	0.20	14.0	37.0
8	放大器 3 的输出端	2.51**	0.63	2.6~3.0	2.15	14.0	28.0
9	放大器 3 的反相输入端	2.33	2.50	2.50	2.50	9.0	11.0
10	放大器 3 的同相输入端	2.24	2.31	2.50	2.48	7.0	7.0
11	接地端	0	0	0	0	0	0
12	放大器 4 的同相输入端	0	0.15	0.08	0	0.1 Ω	0.1 Ω
13	放大器 4 的反相输入端	0.23	0.2	0.13	0.10	6.0	6.0
14	放大器 4 的输出端	0	2.93	1.56	0.16	13.5	29.5

6、英克莱电动车 LY-36C 充电器实测数据

该充电器空载输出 41.3V，恒流充电电流为 1.81A，恒压充电电压为 44.3V，涓流充电电压 41.3V。空载时充电指示灯为橙色，恒流和恒压充电阶段为红色，涓流充电阶段为绿色。电源指示灯一直为红色。

表 6—1：开关电源 PWM 控制集成电路 IC1（TL494CN）各引脚功能与实测数据

引脚	功能描述	空载时电 压 (V)	恒流充电时 电压(V)	恒压充电时 电压(V)	涓流充电时 电压(V)	黑笔接地 电阻(K Ω)	红笔接地 电阻(K Ω)
1	内部误差比较放大器同相输入端	3.13	2.96	3.13	3.13	1.5	1.5
2	内部误差比较放大器反相输入端	3.13	3.13	3.13	3.13	5.0	5.0
3	补偿 / PWM 比较器输入端	3.43	2.36	2.28	2.86	13	∞
4	死区时间控制输入端	0.45	0.44	0.44	0.44	9.8	9.8
5	外接定时电容	1.44	1.36	1.40	1.61	11.8	16
6	外接振荡电阻	3.67	3.76	3.77	3.58	11.8	24
7	接地端	0	0	0	0	0	0
8	内部输出驱动管 1 的集电极	2.03	1.73	1.74	1.99	1.0	0.9
9	内部输出驱动管 1 的发射极	0	0	0	0	0	0
10	内部输出驱动管 2 的发射极	0	0	0	0	0	0
11	内部输出驱动管 2 的集电极	2.03	1.73	1.74	1.99	0.9	0.9
12	IC 启动与供电端	14.68	22.9	22.85	23.4	2.5	2.5
13	输出方式控制端	4.91	4.90	4.95	4.90	2.8	3.0
14	基准电压（5V）输出端	4.91	4.90	4.95	4.90	2.8	3.0
15	控制比较放大器的反相输入端	0.17	-0.08	0.06	0.16	0.6	0.6
16	控制比较放大器的同相输入端	0	0	0	0	0	0

引脚	功能描述	空载时电压 (V)	恒流充电时电压(V)	恒压充电时电压(V)	涓流充电时电压(V)	黑笔接地电阻(K $\Omega$ )	红笔接地电阻(K $\Omega$ )
1	放大器 1 的输出端	0.04	0.12	0.06	0.13	13.5	38.0
2	放大器 1 的反相输入端	6.89	8.16	7.55	7.96	14.8	$\infty$
3	放大器 1 的同相输入端	0	0	0	0	0	0
4	IC 供电端	14.53	22.8	21.36	23.31	2.4	2.5
5	放大器 2 的同相输入端	7.00	8.40	7.98	7.34	14.5	$\infty$
6	放大器 2 的反相输入端	0	0	0	0	0	0
7	放大器 2 的输出端	13.60	21.92	21.42	21.05	13.2	38.0
8	放大器 3 的输出端	-0.02	21.3	20.85	22.33	12.8	38.0
9	放大器 3 的反相输入端	0.04	-0.14	0	-0.05	1.0	0.9
10	放大器 3 的同相输入端	0	0	0	0	0	0
11	接地端	0	0	0	0	0	0
12	放大器 4 的同相输入端	4.90	4.90	4.90	4.90	3.0	3.0
13	放大器 4 的反相输入端	-0.02	21.31	20.81	-0.05	12.9	37.5
14	放大器 4 的输出端	13.23	0.58	0.61	21.83	12.9	38

表 6—2：充电控制集成电路 IC2（LM324N）在路实测数据

表 6—3：晶体三极管在路实测数据

元 件 编 号	型号	功能	测量点	空 载 时 电 压 (V)	恒 流 充 电 时 电压(V)	恒 压 充 电 时 电压(V)	涓 流 充 电 时 电压(V)	对地正向电 阻(K $\Omega$ )	对地反向电 阻(K $\Omega$ )
V1	13007 — 2	功 率 开 关 管	基极	149.0	146.2	147.2	154.90	9.5	180 *
			集电极	303	296	305	310.50	17 *	210 *
			发射极	150.5	147.2	148.3	155.90	6.5	160 *
V2	13007 — 2	功 率 开 关 管	基极	0.52	-0.93	-0.81	-0.41	2.5	2.5
			集电极	150.5	147.2	148.3	155.90	6.5	160 *
			发射极	0	0	0	0	0	0
V3	2SC1815	PWM 驱 动管	发射极	1.33	1.37	1.40	1.41	14.0	16.0
			集电极	1.39	5.88	5.30	2.42	4.0	4.0
			基极	2.01	1.68	1.73	2.01	0.8	0.8
V4	2SC1815	PWM 驱 动管	发射极	1.33	1.37	1.40	1.41	14.0	16.0
			集电极	1.39	5.88	5.30	2.42	4.0	4.0
			基极	2.01	1.68	1.73	2.01	0.8	0.8