

3.1.1 蓄电池充电可接受电流曲线

上世纪60年代中期，美国科学家马斯对开口铅酸蓄电池的充电过程作了大量的试验研究，并提出了以最低出气率为前提的，蓄电池可接受的充电曲线，如图3.1所示。实验表明，如果充电电流按这条曲线变化，就可以大大缩短充电时间，并且对电池的容量和寿命也没有影响^[35~38]。原则上把这条曲线称为最佳充电曲线，从而奠定了快速充电方法的研究方向。

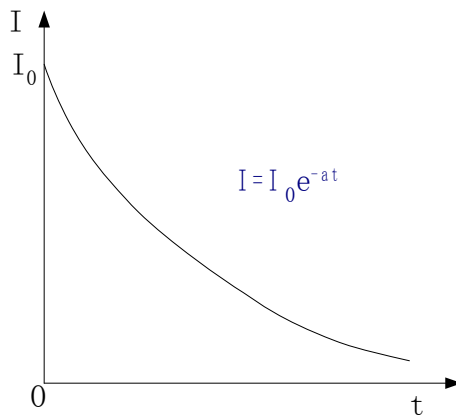


图3.1 蓄电池可接受的充电电流曲线

蓄电池所能接受的最大充电电流的能力的特性曲线可用方程表示

$$I = I_0 e^{-\alpha t} \quad (3.2)$$

I —充电电流； I_0 —初始最大充电电流； α —最大接受力比（ $\alpha = I_0/C$ ， C 为所需补充电量）； t —充电时间

3.1.4.2 快速充电的几种策略

如前所述，快速充电是通过尽可能地延长蓄电池所固有的可接受初始电流的持续时间来实现的。在这段时间里，所要解决的问题是消除极化，而消除极化的主要手段是对蓄电池实施放电，放电量一般为窄而深的放电脉冲。目前国内外各种快速充电装置无一例外地采取这一手段来达到充电快速的目的。但采取的具体策略有：按引进放电脉冲的时刻不同分为充电后期引进放电脉冲法和充电全过程引进放电脉冲法^[43, 44]；按引进放电脉冲的具体方案不同，又分为固定电阻为负

载实施放电方式和逆变放电法。

(1) 充电后期引进放电脉冲法

采用这种方法，是在充电前期以恒定的大电流进行充电，当反馈系统检测出蓄电池的端电压达到一种“极化点”时，实施放电。

(2) 充电全过程引进放电脉冲法

采用这种方法，是在充电全过程实施放电脉冲去极化。整个充电过程按照“充电—停充—放电—停充—充电”这一既定的程序周而复始。

权衡这两种方法，第二种方法更为合理、科学。这是因为：

(1) 极化电压是伴随大电流的介入而产生。在大电流充电的初期，极化电压就已严重存在，不及时予以处理，大电流充电在其初期就难于进行。

(2) 采用第一种方法，反馈系统检测出的蓄电池的端电压包含有整流叠加电压的成分，该值随充电电流大小而异，以此来作为指令控制充电过程并不能真实地反映出蓄电池电动势的增长状况。

(3) 经验表明，所谓“极化点”并不是一个固定的量值，不同容量的蓄电池，以及蓄电池的残余容量不同，其极化点也不尽相同。

3.1.4.3 放电的几种策略

(1) 以固定电阻为负载实施放电法

这种方法的具体电路如图 3.3 所示。充电装置中设置一固定电阻 R ，开关 K 闭合，蓄电池组 E 对负载 R 放电。

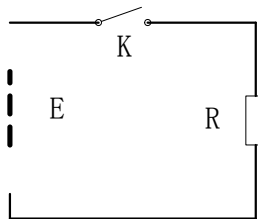


图 3.3 以固定电阻为负载的放电电路

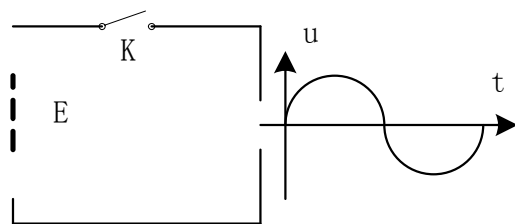


图 3.4 逆变放电电路

(2) 逆变放电法

逆变放电法所用电路如图 3.4 所示。蓄电池组 E 通过开关 K 闭合向交流电网逆变放电。

比较上述第 (1) 和第 (2) 两种方法，后者更为合理、科学，这是因为第 (1) 种方法存在如下弊病：放电脉冲量的最佳点无法确定。放电脉冲既然作为快速放

电的极其重要的手段，理所当然地存在一个量的最佳值。放电脉冲的深度和宽度对消除极化的效果影响甚大，其值太小难于消除极化，而其值太大不但降低充电效率同时又会引起新的极化电压。而电路中的电阻值 R 一经确定，放电深度即随之确定，很难寻求放电量的最佳值。为了弥补这一缺陷，我们加入一个大功率高频 IGBT 开关管，实现对放电电流的控制。通过调节 IGBT 栅极驱动信号的占空比，即可调节放电电流的大小。

3.5 容量及其测试

电池使用条件不同，电池能够放出的容量也不同。规定电池在一定的放电条件下，应该放出的量低限度的电量即为额定容量，单位是 Ah（安时）。所规定的电池放电条件有：电池放电的电流，一般就是放电率、放电终止电压、放电温度。电池的额定容量用 C 表示，不同的放电率得到的电池容量会不同。例如：10 小时率的放电电流表示的电流值为 $I_{10}=C_{10}/10=0.1C_{10}$ ，2 小时率放电的电流为： $I_2=C_2/2=0.5C_2$ ，1 小时放电率的放电电流表示电流值为： $I_1=C_1/1=1C_1$ 。电池放电电流不同，所能够放出的容量也不相同，放电电流越大，能够放出的电量越小^[34]。

3.5.1 内阻法测剩余容量

(1) 蓄电池内阻与荷电程度之间有良好的相关性。

美国 GNB 公司曾对容量 200~1000A·h，电池组电压 18~360V 的近 500 个 VRLA 蓄电池进行过测试，实验结果表明，蓄电池内阻与容量的相关性非常好，相关系数可以达到 88%。随着蓄电池充电过程的进行，内阻逐步减小；随着放电过程的进行，内阻逐步增大。另外，随着蓄电池老化，其剩余容量随之下降，内阻也逐渐增大。

具体实施方法是：将蓄电池充满电(12V 蓄电池为例，充电至 13.8V，浮充电流至 10mA。) ，然后 1C 放电率对电池放电，记录放电过程中内阻与电量大小。当蓄电池放电完毕(12V 蓄电池放电至 10.8V)就可获得完整的放电曲线，即剩余电量与蓄电池内阻之间的关系。将此曲线存入 EPROM 中，在以后测试同型号同

规格的蓄电池时，单片机将根据在线测到的电池内阻值，通过查表计算，得出其剩余电量值。

蓄电池完全充电（充满）和完全放电（放完）时，其内阻相差 2~4 倍，变化率远远大于蓄电池端电压变化率（约为 30%~40%），因此，通过测量蓄电池内阻可以比较准确地预测其剩余容量。另外，对于在线使用的蓄电池来说，内阻法还有一个突出优点是对系统影响最小，可以在蓄电池整个使用期内准确测量。因此，不难看出内阻法最适合于 VRLA 蓄电池剩余容量的在线测量。

(2) 电池荷电态与欧姆内阻的关系

表 3.3 电池荷电态与欧姆内阻的关系

荷电态/%	100	85	68
欧姆内阻/mΩ	0.50	1.20	1.93

电池荷电态与欧姆内阻的关系如表 3.3 所示。根据文献提供的资料表示采用交流阻抗法对 6V/4Ah 密封蓄电池的测试结果，在电池剩余容量高于 40%时，电池的内阻(它包含了欧姆内阻和部分浓差极化内阻)几乎是相同的；只是在低于 40%时，其内阻才迅速增加。即密封铅蓄电池在使用过程中(电池容量高于 80%)，其内阻改变很小；一旦电池内阻有了显著变化，则电池的寿命也即告终止了。在电池剩余容量与内阻之间没有找到严格的数学关系。

3.5.2 放电法测试蓄电池的容量

对蓄电池以规定的电流恒流放电到规定的终止电压,记录时间可依据下面的公式估计其剩余容量。

$$C = I_f t \quad (\text{Ah}) \quad (3.25)$$

式中 C——蓄电池容量 (Ah)； I_f ——恒定放电电流 (A)；t——放电时间 (h)

3.5.3 不完全放电法预测电池容量

由于内阻法不精确，核对放电法又太费时间，因此人们想到蓄电池容量的半荷内阻测量方法对蓄电池进行容量检测。对于电池组采用 1%-5%C 的浅度放电，在放电状态下，对蓄电池组的各单体电池的端电压进行巡检，找出端电压下降最快的一只，将其确认为落后电池，再利用核对放电仪器，对该节电池进行核对放电，检测其容量，即代表该组电池的容量。

3.8.2 脉冲快速充电方案—低压充电

由于蓄电池充电过程中会引起欧姆极化、浓度极化、电化学反应三种极化电阻的变化。为了消除和减轻极化现象，可采用脉冲充电法。

脉冲充电系统首先对各传感器工作状态进行检查。若一切正常，则结合铅酸蓄电池特性，在开始充电时进行预充电，然后采用大电流多个脉冲快速充电，接下来再采用短时间多个脉冲放电以消除极化现象。这样周而复始快速完成给蓄电池的充电（充电期间系统有温度补偿控制）。充电期间对脉冲充电电流及放电电流进行设定，组成脉冲充电、放电系统。充电过程中检测蓄电池荷电状态，刚开始充电时电池电压较低，充电电流被限制在最大充电电流范围之内，随着电池充电不断增加，电池电压不断升高，当蓄电池端电压达到补足充电转换点时，脉冲充电电流自动逐渐变小，进入补足充电阶段。充电后期采用定电压充电段，获得过充电量，将电池恢复至完全充电态。自动结束，启动停充警示系统。充电电流曲线如图 3.18 所示。

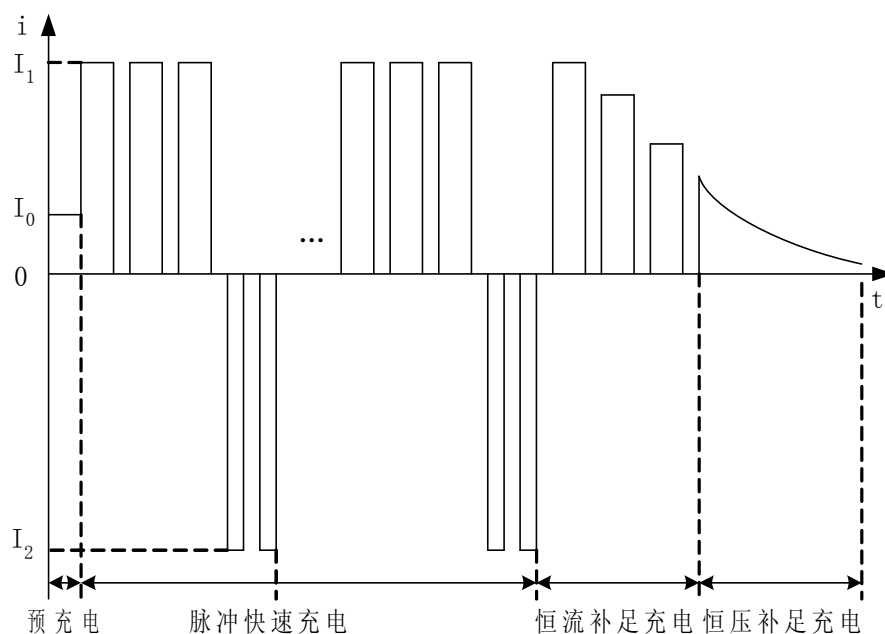


图 3.18 一种多脉冲充电电流曲线

本充电系统的明显特点是比常规恒流恒压充电时间大为缩短，整个充电过程无须人工干预，实现了智能化、自动化，而且铅酸蓄电池的使用寿命可以延长。

给使用蓄电池用户节省费用。

4.1.1 整流模块

整流模块的性能对整个充电系统起着至关重要的作用。所以在确定整流模块的型号、新能参数是要综合考虑系统要求和元器件的匹配问题。在整流模块的选择时，须保证模块可以实现恒流恒压控制功能，并且电压电流连续可调。

目前常用的整流模块按输入动力电源类型不同分为单相桥式整流模块和三相桥式整流模块两种。按照整流元件类型不同可分为硅整流管模块、晶闸管整流管模块、IGBT 整流模块等。其中硅整流模块主要用于普通的直流用电设备，IGBT 整流模块多用于变频调速系统中。晶闸管整流模块应用范围较广泛，凡是要求具有一定的控制精度和要求输出可在一定范围内调节的直流供电系统中，均可采用晶闸管整流模块，实现交流到直流的转换。

晶闸管是电流控制型电力半导体器件，要驱动晶闸管，需要较大的脉冲触发功率。另外，由于一些辅助电路的元器件，如同步变压器、触发变压器等体积也比较大，因此，如果要把移相触发系统与晶闸管主电路及传感器等封装在同一外壳内制成晶闸管智能模块，具有很大的难度。所以，国内外一直采用将晶闸管器件与移相触发系统分立制作的传统形式。随着技术的进步，人们将把晶闸管主电路与移相触发系统以及过电流、过电压保护传感器共同封闭在一个塑料外壳内，制成晶闸管智能模块，简称 ITPM（Intelligent thyristor power module）。晶闸管恒流恒压控制模块是高度集成的反馈控制稳流稳压系统，内置大功率晶闸管芯片、移相控制电路、反馈控制电路、保护电路和线性电压、电流传感器，是新一代高科技电力调控产品。

由于晶闸管智能模块解决了同步变压器、脉冲触发变压器微型化的问题，使移相触发系统的体积大幅度减小，能够集成在体积很小的塑料外壳内。其在信号幅度、抗干扰能力、高压隔离、同步信号输入等方面具有显著的改进。

由于散热条件的好坏对晶闸管的应用有着很重要的影响，为了使智能模块具有比较高的散热性能、绝缘性能，故 ITPM 采用了 DBC（陶瓷覆铜板）材料。

DBC 作为一种电力电子器件的基础材料，具有其他材料无可比拟的导热性能、绝缘性能。同时，在模块内部，采用了其他一些特殊材料，比如，具有良好电绝缘和保护性能以及良好热传导作用的弹性硅凝胶等，这些材料对提高模块的整体性能，起到了非常重要的作用。

图 4.1 为晶闸管智能三相桥模块的内部接线图。

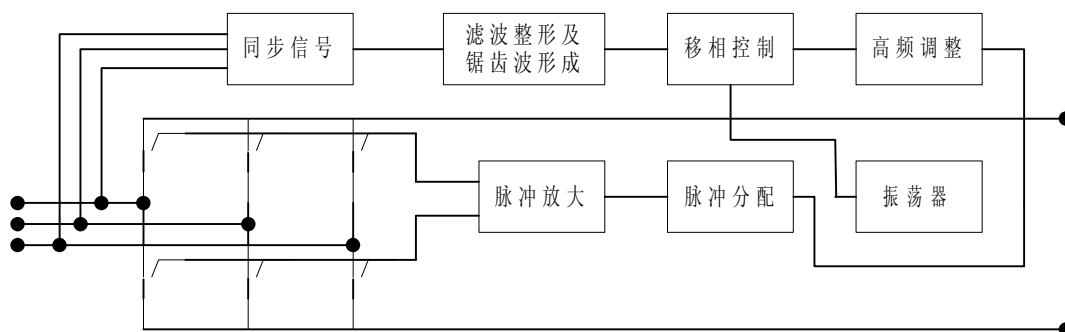


图 4.1 晶闸管智能整流模块内部接线图 [45]

近年来，人们通过对智能模块进行不断的技术改进，已经用数字技术取代了模拟技术，使移相触发系统更为准确可靠，扩大了智能模块的输出容量。目前已研制出输出最大工作线电流 1600A，额定工作电压为 380V 和 660V 的智能模块，其在各种场合得到了广泛应用。

(1) 智能整流模块工作原理

在图 4.1 所示的电路中六只晶闸管构成三相全控整流桥，通过移相控制电路，控制 6 只晶闸管导通角，可直接从模块输出端获得 0~510V 的直流电压。在移相控制电路中，使用了数字化专用集成电路 JP-SSY01，具有很高的移相精度和工作稳定性。

智能模块在控制上可分为开环控制与闭环控制。在晶闸管组成的电源系统中，大部分是采用电流闭环控制和电压闭环控制。图 4.2 是闭环控制系统工作原理图。

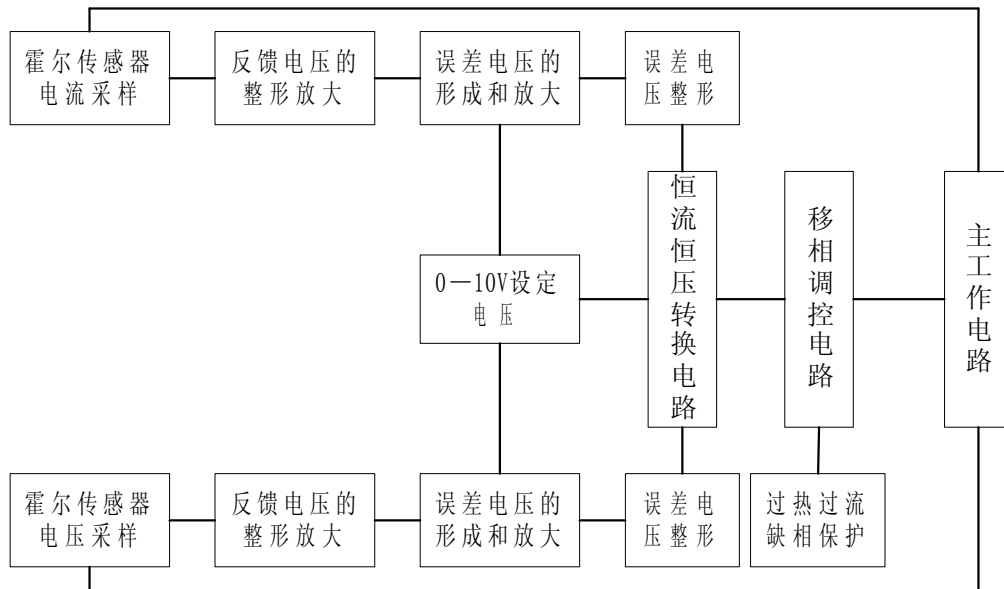


图 4.2 闭环控制系统工作原理图^[45]

该原理图可大体分为三部分：移相调控部分、电压反馈部分和电流反馈部分。工作原理如下：首先，由用户根据实际情况，选择模块工作在恒流状态还是恒压状态，通过“恒流恒压转换电路”，确定电压反馈部分工作或电流反馈部分工作；然后，用户调整“0-10V 设定电压”，该电压通过“移相调控电路”，控制主电路晶闸管开通一定的角度，从而输出用户希望的电压或电流；该输出电压或电流经“霍尔传感器采样”、“整形放大”后，与“0-10V 设定电压”进行比较，形成误差电压，该误差电压经处理后，控制“移相调控电路”，根据输出电压或电流的大小，随时快速调整晶闸管的导通角，达到稳定输出电压或电流的目的。

（2）整流模块控制系统的特点：

1) 采用线性霍尔传感器，实现电气隔离，提高了整机性能。霍尔效应式传感器是一种新型电流、电压采样器件，其工作原理是利用霍尔元件在磁场中产生感应电压的霍尔效应，将电流、电压转换为电压信号。霍尔传感器的优点是转换系数高、有良好的电气隔离作用、响应速度快、线性度较好，对提高整机性能有很大好处。

2) 反馈系统的应用，使“0~10V 设定电压”与输出电压与电流成较好的线性对应关系，克服了晶闸管移相角度与输出电压非线性的缺点。

3) 在电压反馈与电流反馈电路中，采用高精度的霍尔传感器和精密放大电路；同时，模块化的产品缩短了控制电路与移相电路、主电路的信号传输距离，

从而使模块的控制精度较高，比其他同功能产品有更大的优越性。

4) 多种保护功能，使用更加安全方便。

5) “移相调控电路”采用专用数字电路 JP-SSY01，使触发更为准确可靠。

(3) 整流模块的主要技术参数和功能：

由于目前电动汽车动力蓄电池组的电压 U_d 基本上都在 420V 以下，其电流也一般都在 300A 以下，所以我们选择测试系统整流模块时，选择额定电压 600V，额定电流 300A 的整流模块。

1) 在晶闸管控制曲线上线性度较好的范围内（恒压在 100V~350V，恒流约在 35%~75%A（A 为最大设定电流）），稳压精度在 0.5%，稳流精度在 1%之内；在线性度较差的范围内，稳压精度不大于 1%，稳流精度不大于 2%。

2) 电网调整率：电网变化 $\pm 20\%$ ，输出变化（调整范围内）不大于 $\pm 1\%$ 。

3) 高线性对应关系，0~10V 设定与输出电流（压）成较好线性关系，非线性度不大于 5%。

4) 过流、过热、缺相三种保护功能，使模块应用更为安全。

5) 霍尔传感器采样信号的输出，可外接电流、电压显示。

6) 如果内部反馈系统效果达不到用户要求，用户可选择禁止使用，从外部另接反馈控制电路。

为了能够适应其他类型电池的充电，以及电池数量不等于 24 块的蓄电池组充电的情况，要求输出电压在 150~300V 连续可调，充电电流在 0~30A 连续可调。为此，我们设计充电系统时选择了淄博银河高技术开发有限公司开发的恒流恒压控制整流模块，充电系统结构框图如图 4.3。

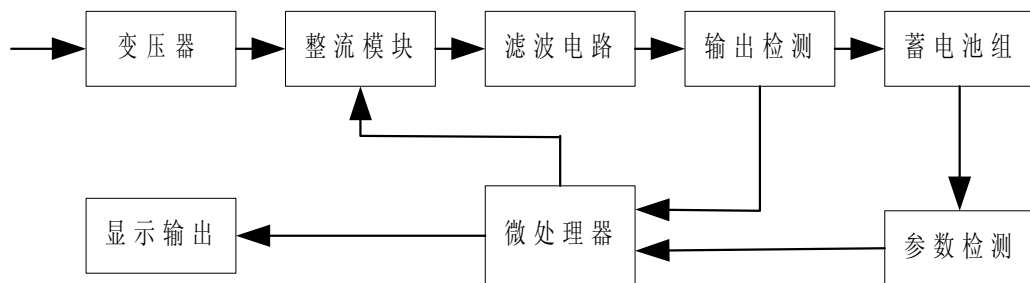


图 4.3 充电系统结构框图

在这一系统中，整流模块不仅起到整流作用，还起着调节输出电压和电流的作用。根据输出检测和蓄电池参数的反馈信息，结合蓄电池的充电特性，微处理器给整流模块一个控制指令调节整流模块的输出电压或电流。

(4) 整流模块的保护

整流模块工作状况好坏决定充电试验的成败，必须保证其正常的工作，为此，须必须对其进行必要的保护设计。包括过流保护、过热保护、缺相保护和短路保护等。在本设计中采用过流、过热自动指示和缺相、短路自动断电的方法保护整流模块。过压保护采用外接阻容吸收和压敏电阻过电压保护相结合的双重保护。

模块内置有过流保护，但为安全起见必须再外接快速熔断器。选择快速熔断器的原则：

- 1) 熔断器的额定电压大于电路的正常工作电压。
- 2) 熔断器的额定电流要根据模块的额定电流选取。在此设计中根据模块参数选择额定电流为 25A 的快速熔断器。

采用阻容吸收回路作为过压保护，与晶闸管模块并联连接。电容器把过电压的电磁能变成静电能量存储，电阻防止电容与电感产生谐振。这种吸收回路能抑制晶闸管由导通到截止时产生的过电压，有效避免晶闸管被击穿。

压敏电阻也可作为过压保护，在三相晶闸管模块前，成角接。当电压过大时，压敏电阻内部成雪崩导通，形成很强的电流，致使串联的快速熔断器断路，从而达到过电压保护。快速熔断器、压敏电阻和阻容吸收电路的接法如图 4.4 所示：

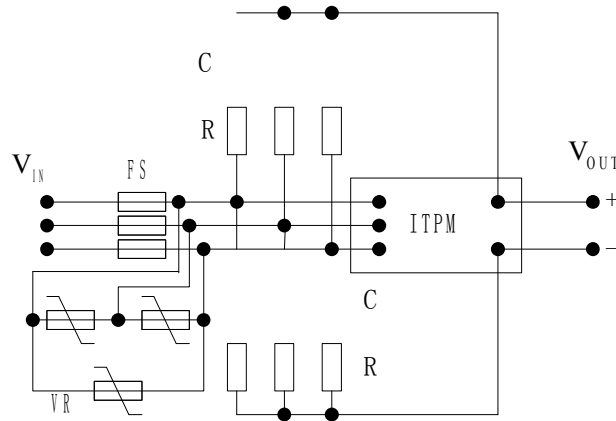


图 4.4 三相整流模块保护电路

(5) 整流模块的安装步骤：

- 1) 把散热器和风机按通风要求装配于机柜合适位置。
- 2) 在模块导热底板表面与散热器表面各均匀涂覆一层导热硅脂，然后用四个螺钉把模块固定于散热器上，四个螺钉用力要均等，使模块底板与散热器表面紧密接触。

3) 用接线端头环带将铜线扎紧，最好再浸锡。然后套上绝缘热缩管，用热风或热水加热收缩。

4) 将接线端头平放于模块电极上，用螺钉紧固，保持良好平面压力接触。

控制端接插件有三种形式：5脚、9脚和15脚。9芯线和15芯线均带屏蔽层。屏蔽线应接于控制电源地线上。在此充电系统中采用带过热、过流、缺相保护的模块控制端是15芯接插件。各脚号与引线颜色及功能对应接线关系见表4.1和图4.5。

表 4.1 各引脚引线颜色及功能

引脚号	1	2	3	4	5	6	7	8
引线颜色	红色	黑色	黑白双色	中黄色	橙色	白色	深蓝色	深绿色
引脚功能	+12V	GND	GND	CON	E _{CON}	-12V	RES	IVS
引脚号	9	10	11	12	13	14	15	
引线颜色	棕色	紫色	粉色	灰色	浅蓝色	浅绿色	柠黄色	
引脚功能	I _G	U _G			OFF	I _{GL}	T _{GL}	

其中：4脚为触发电路控制信号，0~10V信号输入，此时OFF端必须接地，禁止恒流恒压功能，只能作为普通移相调压模块但各种保护正常。恒流恒压应用时此脚悬空。5脚为简单测试模块引脚。方便用户检测模块功能使用，此端已从模块内部通过1K电阻同+12V电源连接，输出10V直流信号，可外接10~100K电位器，但不宜作给定信号使用。此端口一般空置。7脚为手动复位端口，当电路保护后此端接+12V电源进行复位，复位前必须首先排除保护故障，把电压、电流给定信号降为零。8脚为恒流恒压控制选择端。恒流时接+12V电源，恒压时接地或悬空。9脚为恒流控制给定信号输入，0~10V直流电平。10脚为恒压控制给定信号输入，0~10V直流电平。14脚为过流保护指示端口。出现过流时输出低电平，外接发光二极管点亮。15脚为过热保护指示端口。出现过热时输出低电平，外接发光二极管点亮。

(6) 整流模块的测试

为了检验模块是否正常，可对模块控制功能进行简单测试，测试时应注意：

- 1) 加电前仔细检查线路连接是否正确。
- 2) 测量模块主电路输出电压时，输出端必须接不小于100W的负载，保证

主电路最小工作电流大于 50mA，空载时测出的数据不准确。

根据如图所示接法对模块输出电压与输入电压之比与控制信号的关系进行测试，其在正常工作范围内应满足线性要求。将模块输出端接上假负载(如灯泡)，通过调节接 9 脚的电位器，从而自 9 脚输入 0~10V 控制信号，在输出端用示波器（或万用表）测得不同控制电压下的支流输出，并记录下来。

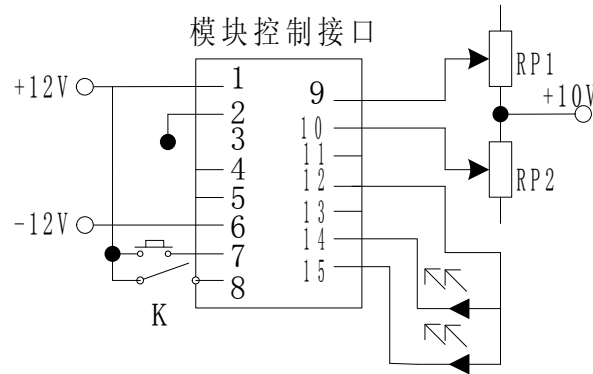


图 4.5 测试电路控制引线接法

经测试，得出整流输出电压随控制信号强弱变化曲线，如图 4.6 所示。

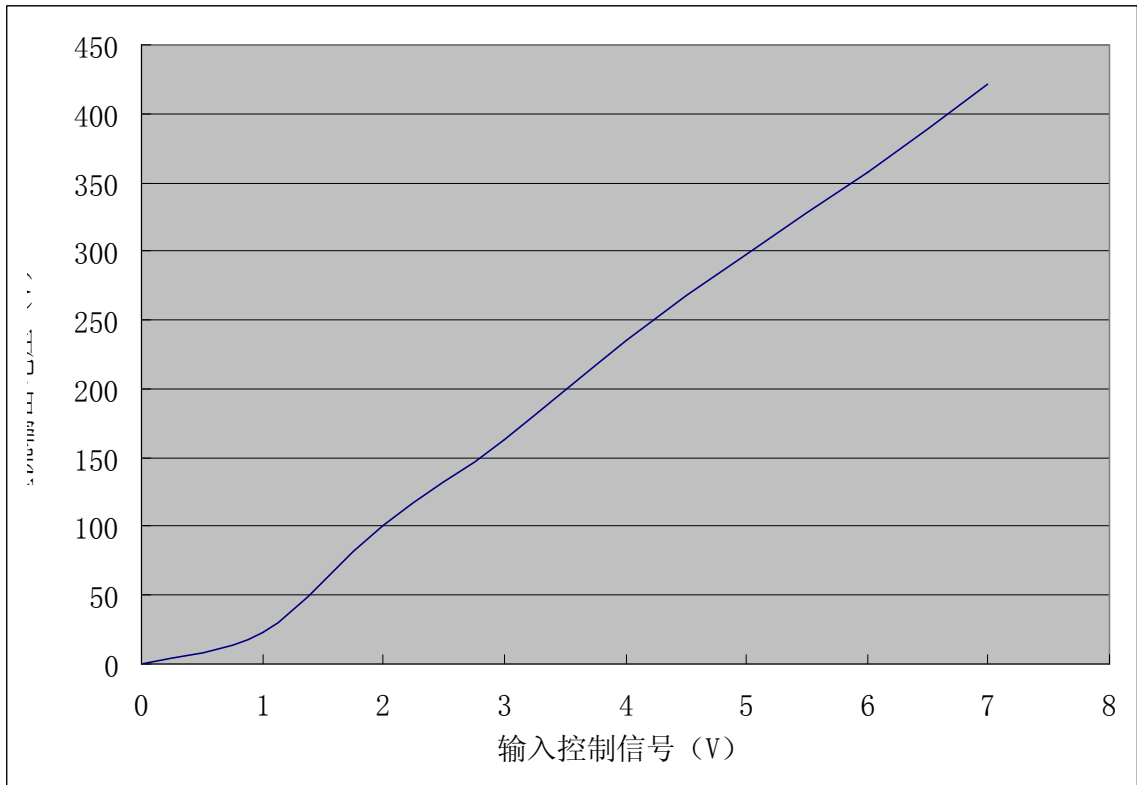


图 4.6 输入电压与输出电压之比随控制信号强弱变化曲线

此测试结果显示，在正常工作电压范围内模块整流输出电压与输入控制信号基本上成线性关系，满足该充电系统的设计要求。

4.2.1 主电路的设计

充电系统主要由变压器，桥式可控整流智能模块和充电控制电路所组成，充电电流无级调节，蓄电池初始充电时采用分段恒流充电方式，当蓄电池即将充满时充电机转为恒电压充电方式，最后采用脉冲充电，直到充满为止，充电程式可通过微机设定或根据需要进行更改。设计要求直流输出具有恒流和恒压两种功能，且电压和电流均可线性调节。电池组由 24 块铅酸蓄电池组成，额定电压为 288V。

主电路采用晶闸管智能控制模块整流，利用 PWM 控制 IGBT 模块的开通和关断实现蓄电池快速充电控制。主电路如图 4.7 所示。

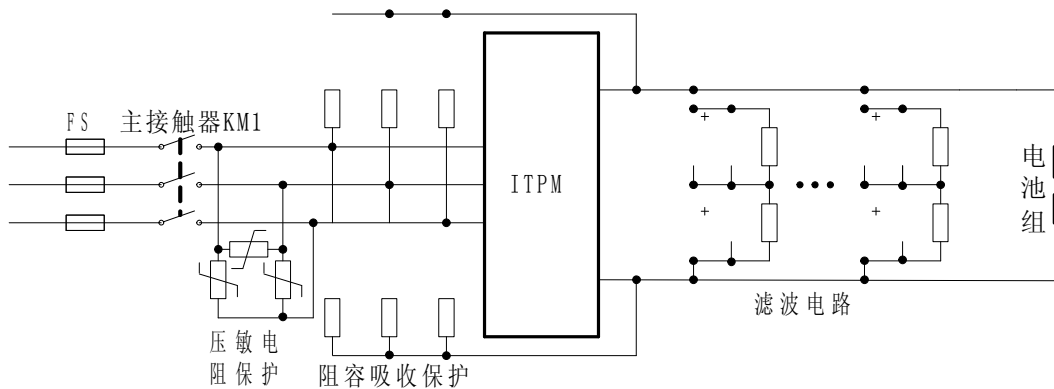


图 4.7a 充电主电路示意图

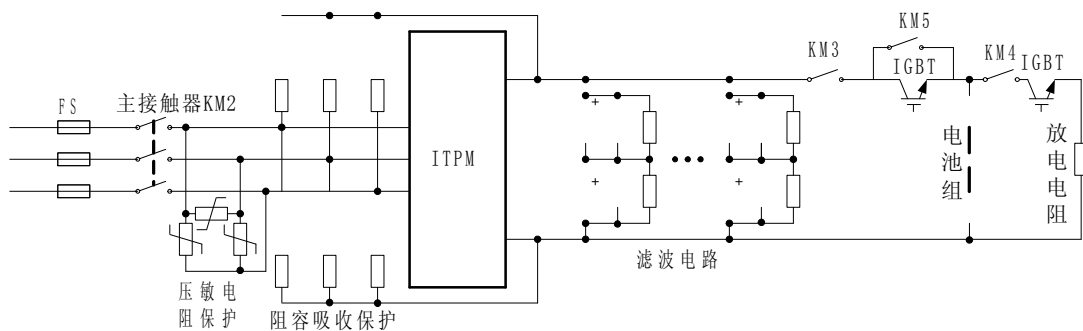


图 4.7b 带有放电电阻的充电系统主电路示意图

图 4.7a 所示充电主电路中主要通过调节 ITPM 的控制信号输入实现分段恒流

充电。图 4.7b 为带有放电电阻的充电系统主电路，适合在充电过程中加入放电脉冲，进一步提高充电效率，缩短充电时间。

与电脑相连的检测电路的充电电压可由分压精密电阻取得，经过相应的放大后送至电脑的 A/D 口；充电电流经过电流传感器采样、放大，然后也送至电脑的 A/D 口；蓄电池温度经过温度传感器，将对应的电压量放大后送至电脑的 A/D 口。根据采集到的这些信号，电脑自动判断充电转换时刻，向整流模块和 IGBT 模块发出控制指令，从而实现智能充电。

这里，整流模块的输出电流的调节范围大，可实现充电脉冲幅值的无极调节，再结合 PWM 脉宽调节，使充电过程控制大大简化，控制精度大大提高。

高压充电电路实现的功能是在 100~300V 电压连续可调以及 0~30A 电流连续可调充电功能。低压快速充电实现的功能是在 0~30V 电压可调，0~100A 电流可调，恒流充电、恒压充电以及脉冲快速充电等功能。

与主电路相关的设计说明：

1) 电路形式采用全控整流电路，选用集成化控制模块，具有集成度高、多相脉冲对称性好、线性度高、相序自动识别，无须同步变压器、软启动以及缺相保护等功能。

2) 采用电压、直流侧电流的传感器采集电压和电流信号。

3) 放电电阻发热量大，要求其布置要合理，散热要良好。也可以在开机自检中将其作为假负载。

4) 温度检测采用 AD590 型集成温度传感器，可以长距离传输信号。

4.3.2 脉冲充电控制主程序设计

在快速充电过程中，采用分级定电流基础上加入放电脉冲实现快速充电，仍然将充电电流分成三级，如图 4.30 所示。开始充电时采用大电流，随着电池容量的增加，电压逐渐升高，电流等级开始降低，使充电电流的脉冲幅度和宽度随蓄电池端电压的升高而分级减小。采用这种方法可以消除充电接近充满时易出现的振荡现象及过充电问题。

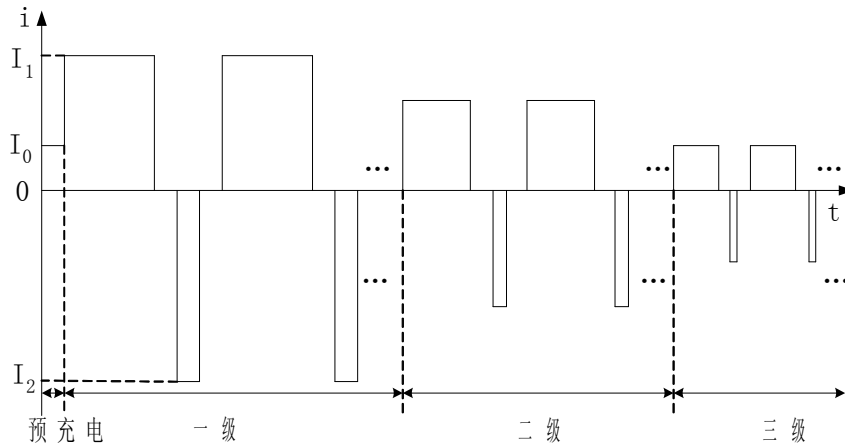


图 4.30 分阶段恒流加脉冲充电

由于快速充电末期极化内阻和浓差内阻的增加，若充电电流过大，容易造成过充电，并且实际充入容量也会下降。为此，须在充电末期小电流补充充电和恒压补充充电，使分段恒流加智能脉冲充电更完善，其主程序流程图如图 4.31 所示。

本充电系统首先对各传感器工作状态进行检查。若一切正常，则结合铅酸蓄电池的充电性能技术要求，在开始充电时进行预充电，然后采用大电流多个脉冲快速充电，接下来再采用短时间多个脉冲放电以消除极化现象。这样周而复始快速完成给蓄电池的充电（充电期间系统有温度补偿控制）。开始充电的瞬间进行小电流的充电是有必要的，当电池很空的时候，由于电池可能已经处于受损的状态，这时采用小电流恒流预充电，有利于激活电池内的反应物质，部分恢复受损的电池单元。充电期间对脉冲充电电流及放电电流进行设定，组成脉冲充电、放电系统。充电过程中检测蓄电池荷电状态，刚开始充电时电池电压较低，充电电流被限制在最大充电电流范围之内，随着电池充入电量不断增加，电池电压不断升高，当蓄电池端电压达到补足充电转换点时，脉冲充电电流自动逐渐变小，进入补足充电阶段。充电后期采用定电压充电段，获得过充电量，将电池恢复至完全充电态。自动结束，启动停充警示系统。

本充电系统的明显特点是比常规恒流恒压充电时间大为缩短，整个充电过程无须人工干预，实现了智能化、自动化，而且铅酸蓄电池的使用寿命可以延长。给使用蓄电池用户节省费用。

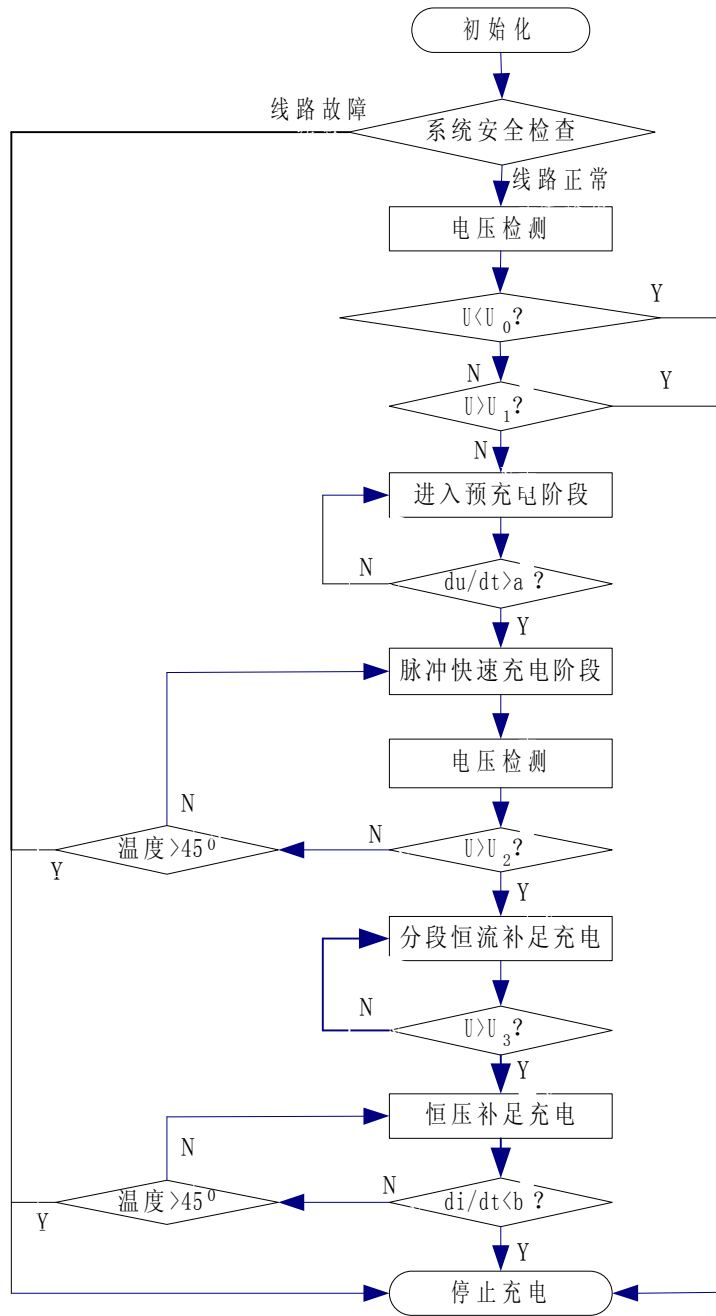


图 4.31 充电系统主程序流程图