

孙莉莉,雷永锋,李自成. 农业机器人快速充电系统[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):435-438.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.126

# 农业机器人快速充电系统

孙莉莉,雷永锋,李自成

(成都理工大学工程技术学院,四川乐山 614000)

**摘要:**针对农业机器人充电系统的发展现状,找到影响充电速度的原因——电极极化。以最佳充电曲线和马斯三定律为理论依据,提出以正负脉冲间歇充放电为主的三段式快速充电方案。通过对大量试验数据的分析,确定各个充电阶段的相关参数。同时设计充电系统的硬件电路,编写充电控制程序。结果表明,三段式充电有效消除了蓄电池的极化,大幅度提高了充电接受率,大大缩短充电时间,真正做到快速、高效、安全地充电。

**关键词:**农业机器人;快速充电;电池极化;间歇充放电

**中图分类号:** TM912.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0435-04

中国作为一个农业大国,农业生产的规模化和精准化是现代化农业的重要标志。农业机器人在改善农民劳动环境、降低农民劳动强度和提高劳动效率等方面具有重要意义,尤其在育苗、采摘、灌溉、收获等方面得到了一定程度的应用<sup>[1-2]</sup>。因此,国家已把农业机器人技术及其应用列为农业工程领域的重点研发对象之一。但农业机器人技术在推广过程中受到了时间和空间的限制,主要原因在于机器人动力源问题。因此,作为机器人动力源的蓄电池以及能量补给的充电系统显得尤为重要<sup>[3]</sup>。调查结果表明,现在的蓄电池由于充电设备落后、充电方法不当导致其使用寿命只有 2~3 年,远低于其设计指标 10~15 年的要求,这既增加了使用成本又造成了资源的极大浪费。

目前,一般的蓄电池充电系统完成 1 次充电需要 8~

12 h,显然无法满足机器人对充电系统的要求以及生产的需要。因此,设计一种快速、高效和安全的智能充电系统,是农业机器人技术得到大力发展的重要前提。

## 1 快速充电理论

美国人马斯在 1967 年依据大量试验提出了蓄电池可接受的最佳充电电流曲线(图 1)<sup>[4]</sup>,并给出充电电流的衰减规律:

$$I = I_0 e^{-at} \quad (1)$$

式中: $I$  为任意时刻的充电电流, $I_0$  为初始充电电流, $a$  为充电接受率, $t$  为充电时间。从图 1 可以看出,接受区的任何充电电流不会引起极化,但会延长充电时间<sup>[4]</sup>;出气区的任何充电电流则会导致析气量增多加剧极化,降低充电速度。

按图 1 中的曲线进行充电,在  $t$  时刻充入的电量  $C_c$  为:

$$C_c = \int_0^t I dt = \int_0^t I_0 e^{-at} dt = \frac{I_0}{a} (1 - e^{-at}), \text{当 } t \text{ 趋于无穷即充电结}$$

束时,得蓄电池的额定容量  $C = \frac{I_0}{a}$ ,任意时刻的充电电流  $I$  与

收稿日期:2015-11-09

基金项目:国家自然科学基金(编号:11375055);成都理工大学工程技术学院青年科学基金(编号:C122015013)。

作者简介:孙莉莉(1980—),女,黑龙江双城人,硕士,讲师,主要从事智能充电技术研究。E-mail:sunlilic@126.com。

[7] 鄂越,诸叶平,雪燕,等. 基于 GIS 的农业经济信息管理与服务系统研究[J]. 中国农学通报,2005,21(1):301-305.

[8] 孙治贵,黎贞发,李杰,等. 基于组件式 GIS 技术的水稻生产管理信息系统开发研究[J]. 农业工程学报,2004,20(3):137-140.

[9] 柳玲,汪学兵,艾及熙,等. 基于 SuperMap 组件的城市规划辅助决策支持系统的实现[J]. 计算机工程与应用,2005,41(16):20-23,71.

[10] 杨福运,诸叶平,鄂越. 基于 GIS 的农业经济信息服务系统的设计与实现[J]. 中国农学通报,2008,24(5):429-433.

[11] 盛建东,蒋平安,文启凯,等. 基于 GIS 的区域土壤养分管理与作物推荐施肥信息系统研究[J]. 土壤,2002,34(2):77-81,112.

[12] Song Y H, Heong K L. Use of geographical information system in analyzing large area distribution and dispersal of rice insects in South Korea[J]. Journal of Applied Entomology,1993,32(3):307-316.

[13] 曹铭昌,王靖,丁晖,等. 基于 GIS 的国家生物物种资源信息系统设计及实现[J]. 生态与农村环境学报,2014,30(2):

214-219.

[14] 谢彪. 市场是最好的炼金石——彭朝冰谈地理信息化建设[J]. 国土资源导刊,2013(9):46-47.

[15] 司丽丽,闫峰,姚树然,等. 基于 GIS 的小麦白粉病防控气象服务系统的构建与应用[J]. 江苏农业科学,2014,42(8):131-135.

[16] Nelli F. Drawing a line chart[J]. Beginning JavaScript Charts, 2013,4:61-80.

[17] 王晋东,张明清,韩继红. 信息系统安全技术策略研究[J]. 计算机应用研究,2001(5):43-47.

[18] 李晓辉,罗保华. 基于 GIS 的土地利用地理信息系统建设研究[J]. 农业网络信息,2013(2):43-44,50.

[19] 马新辉,文斌. 基于 GIS 的流域环境信息系统设计与开发——以江苏省流域环境信息系统为例[J]. 计算机应用研究,2002,19(8):106-107,113.

[20] 刁海亭,聂宜民. 基于现代信息技术的蔬菜安全预警与追溯平台建设[J]. 中国农业科学,2015,48(3):460-468.

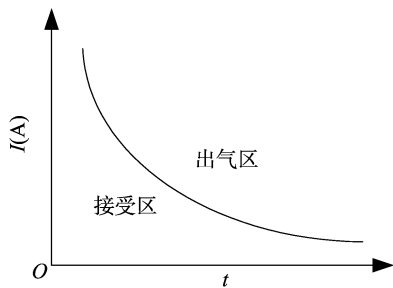


图1 最佳充电曲线

电池待充入的容量  $C_d$  的关系为：

$$C_d = C - C_c = \frac{I_0}{a} - \frac{I_0}{a}(1 - e^{-at}) = \frac{I_0 e^{-at}}{a} = \frac{I}{a} \quad (2)$$

由(2)式得,对于任意时刻的充电接受率  $a = \frac{I}{C_d}$ 。

1972 年,马斯又依据蓄电池大量充放电试验提出了马斯三定律,为快速充电理论奠定了基础<sup>[5]</sup>。

第一定律:对于任意给定的放电电流,蓄电池充电接受率  $a$  与电池放出容量  $C_d$  的平方根成反比。 $K_1$  为放电电流常数,依据放电电流大小而定。

$$a = \frac{K_1}{\sqrt{C_d}} \quad (3)$$

第二定律:对于给定的放电量  $C_d$ ,蓄电池充电接受率  $a$  与放电电流  $I_d$  的对数成正比。 $K_2$  为放电量常数,依据放电量多少而定; $k$  为计算常数。

$$a = \frac{K_2}{\sqrt{C_d}} \lg(kI_d) \quad (4)$$

第三定律:采用不同的放电率放电后,蓄电池的可接受充电电流是各个放电率下可接受充电电流之和。

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

式中: $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  为各个放电率下的允许充电电流, $I_t$  为总的接受电流。则蓄电池总充电接受率为:

$$a_t = \frac{I_t}{C_t} \quad (5)$$

式中: $C_t$  为蓄电池放出的总电量,即

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots + C_n$$

马斯三定律证明了在蓄电池充电过程中适时地进行短时间的大电流放电,提高蓄电池的充电接受率,增强蓄电池接受电流的能力,加快充电速度。

## 2 快速充电方案的确定

### 2.1 铅酸蓄电池的极化

极化即蓄电池充放电过程中,其端电压大于开路电压的现象,极化是影响充电速度和充电效率最主要的原因。极化会阻碍充电电流的增加,减缓化学反应速度;还会加剧水解反应,产生大量气体,延缓充电速度腐蚀极板;还会产生热量,严重时会发生爆炸。极化包括浓度极化、欧姆极化和电化学极化。浓度极化是由溶液中离子扩散过程的迟缓性,造成在一定电流下电极表面与溶液本体浓度差而产生极化,充电停止后浓度极化逐渐减弱并最终消失;欧姆极化是由电池各连接部分的电阻造成的;电化学极化是由电极表面电化学反应的迟缓性造成。后二者充电结束后立即消失。

### 2.2 快速充电方案

实现快速充电需采用大电流,但大电流充电势必会加剧极化,对蓄电池造成很大的危害<sup>[6]</sup>。因此,要实现快速、无损充电必须减弱或者消除充电过程中的极化。

本研究以马斯三定律为理论基础,并依据蓄电池的充放电原理以及极化的产生机理,采用以正负脉冲间歇充放电为主的三段式充电方案。将整个充电过程分为正负脉冲间歇充放电、恒压充电、恒流浮充 3 个阶段,充电曲线见图 2。

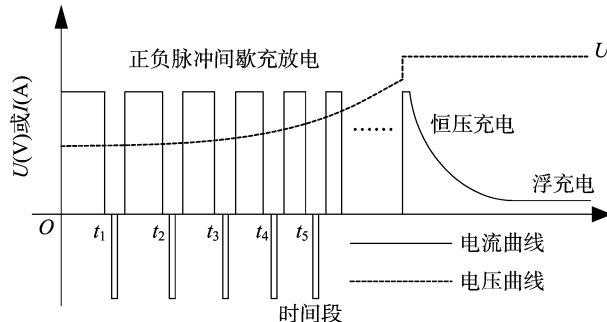


图2 分段式充电曲线

第一阶段:采用不同时间宽度的正脉冲对蓄电池充电,负脉冲前后的停充间歇自动消除欧姆极化和电化学极化,削弱浓度极化。负脉冲放电还可消除极板孔隙间的气体,进一步削弱浓度极化,提高充电接受率,增大充电电流,达到快速充电的目的<sup>[7~8]</sup>。

第二阶段:对蓄电池进行 14.7 V 恒压充电。充电过程中充电电流逐渐减小,当电流降至 0.1 A 时,转入第三阶段。

第三阶段:采用 0.1 A 恒流浮充,主要提供蓄电池自放电的能量补给。

### 2.3 确定正负脉冲间歇充电参数

蓄电池充入电量的 90% 都来自于正负脉冲间歇充放电,因此,合理设置此阶段的充电参数是实现快速充电的基础。本研究以 12 V/10 (A·h) 铅酸蓄电池为对象进行参数的计算。

蓄电池开始充电时充电接受率约为 1,所以初始充电电流理论值可取 10 A。从图 1 可知,充电电流按指数规律快速衰减,为了保证充电顺利进行,本研究选用 9.5 A 的电流充电。当电流衰减到 E 点时,如果继续用 9.5 A 的电流充电就会产生极化。依据马斯定律,此时采用大电流放电会削弱极化,增大充电接受率,则使充电电流由 E 点上升到 A 点,保证蓄电池仍能 9.5 A 的电流继续充电,充电曲线由 1 转换为 2。通过对试验数据的比较取放电电流为 5 A,既保证放电电流不对极板产生冲击,又保证充电效率。因此,依次在 F、G、H 等点放电,即可一直用 9.5 A 的电流进行充电(图 3)。

2.3.1 计算负脉冲时间宽度 本研究以增加充电电流 9.5 A 的 1% 为目的进行负脉冲放电,则可接受的电流增量  $I_{0d} = 95$  mA。放电后可接受的充电电流约为 9.6 A。由公式(3)、公式(5)得:

$$I_{0d} = K_2 \sqrt{C_d} \lg(kI_d) \quad (6)$$

由经验取: $K_2 = 16$ ,  $k = 10$ , 放电电流  $I_d = 5$  A。设放电时间为  $t$ ,则

$$I_d t = C_d \quad (7)$$

联立式公式(6)和公式(7)求得  $t = 9$  ms。以 5 A 的电流

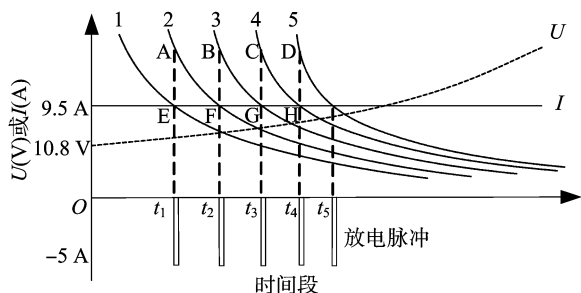


图3 正负脉冲间歇充电提高充电电流

放电 9 ms 可使蓄电池可接受电流增大 95 mA。

### 2.3.2 计算不同正脉冲时间宽度 首个正脉冲的时间宽度 $t_1$ :

$$I_0 e^{-a_1 t_1} = 9.5。$$

初始充电  $I_0 = 10$  A,  $a_1 = 1$ , 上式计算得  $t_1 = 185$  s。

首个正脉冲充入的电量  $\Delta C_1$  和待充入电量  $C_1$  分别为:

$$\Delta C_1 = I t_1 = 9.5 \text{ A} \times 185 \text{ s} = 0.488 \text{ A} \cdot \text{h}。$$

首个负脉冲放电后,即第2个正脉冲开始充电时的电流接受率  $a_2$  由公式(3)得:

$$a_2 = \frac{I + 1\% I}{C_1} = \frac{9.5 + 1\% \times 9.5}{9.512} = 1.009。$$

第2次放电前,可接受的充电电流降为 9.5 A,则蓄电池待充入的电量  $C_2$  由公式(2):

$$C_2 = \frac{I}{a_2} = \frac{9.5}{1.009} = 9.415 (\text{A} \cdot \text{h})。$$

第2个正脉冲的时间宽度  $t_2$ :

$$t_2 = \frac{C_1 - C_2}{I} = \frac{9.512 - 9.415}{9.5} \text{ h} = 36.8 \text{ s}。$$

依此递推得:

$$C_n = 9.512 \left( \frac{1}{1.01} \right)^{n-1}。$$

$$t_n = 0.01 \left( \frac{1}{1.01} \right)^{n-1} \quad (n \geq 2)。$$

当充入额定容量的 90% 时,停止正负脉冲间歇充电,可算得  $n = 226$ 。

除了利用负脉冲放电消除极化,还可以在负脉冲放电前设置停充间歇。停充间歇既可进一步消除极化,又可为正负脉冲之间的转换提供缓冲时间。因此,依据大量试验在负脉冲前后分别设置 0.5 s 的停充间歇。

$$t_{\text{正}} + t_1 + t_2 + t_3 + L + t_{226} = 1.32 \text{ h};$$

$$t_{\text{负}} = 226 \times 9 \text{ ms} = 2 \text{ s};$$

$$t_{\text{停}} = 226 \times 1 \text{ s} = 226 \text{ s};$$

$$t_{\text{总}} = t_{\text{正}} + t_{\text{负}} + t_{\text{停}} = 1.38 \text{ h}。$$

从上面的计算可知,只需要 1.38 h 就可以充电到电池容量的 90%,大大缩短了充电时间。

## 3 硬件及软件的实现

### 3.1 硬件电路的设计

充电系统由主电路和控制电路组成,电路结构见图4。主电路包括输入整流滤波、DC/AC 逆变、高频变压器、输出整流滤波和双向 DC/DC 电路<sup>[9]</sup>。双向 DC/DC 电路采用 Buck/Boost 结构,它既可实现正脉冲充电,又通过电容为负脉冲放电提供能量通道,存储的能量用于下次充电,提高充电效率。控制电路由单片机 PIC18F4520、信息采集处理电路和指示报警电路组成<sup>[10]</sup>。ECCP1 模块产生的 PWM 信号用于控制半桥逆变器中功率管  $S_1$  和  $S_2$  的通断,CCP2 模块产生的 PWM 信号用于控制双向 DC/DC 电路功率管  $S_3$  和  $S_4$  的通断。通过对充电电压、电流信息的采集实现电压、电流闭环控制。通过对温度的采集实现超温故障报警。

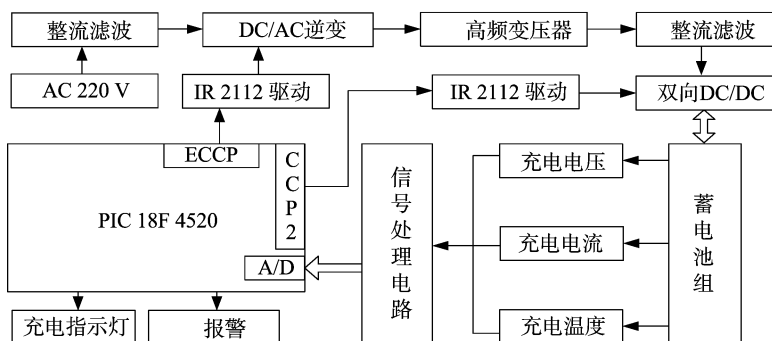


图4 系统硬件结构

### 3.2 充电控制流程

充电系统以硬件电路为基础,通过程序控制完成了正负脉冲间歇充放电、恒压充电和恒流浮充三段式充电。充电控制程序流程见图5。

## 4 试验结果分析

负脉冲放电(图6)和停充间歇(图7)对极化影响的局部放大,从图中可以看出,二者都削弱了极化,提高了蓄电池的充电接受能力。

本研究还将三段式充电和传统多阶脉冲充电进行了充电

比较,对比结果见图8、表1。

从图8可以看出,正负脉冲间歇充电到电池容量的 90% 只需要 1.3 h,传统的多阶脉冲充电需要 2 h 以上。从表1可以看出,正负脉冲间歇充电的充电效率比多阶脉冲充电高 5%,温度升高却低 4℃。证明正负脉冲间歇充电提高了充电效率,加快了充电速度,保护了电池,真正做到了高效、安全、无损地充电。

## 5 结论

本研究针对蓄电池充放电过程中存在的极化现象,提出

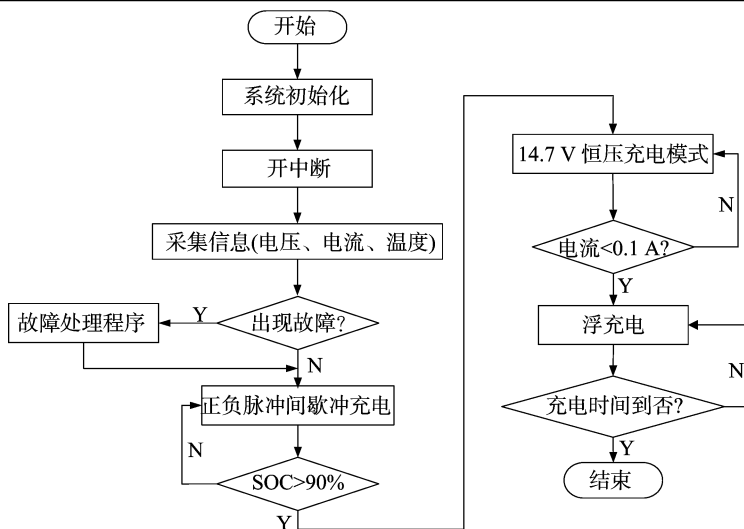


图5 充电控制流程

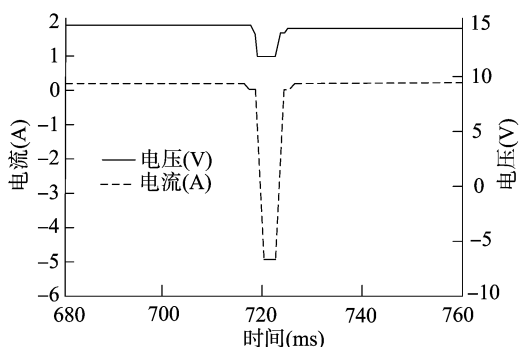


图6 负脉冲放电对极化的影响

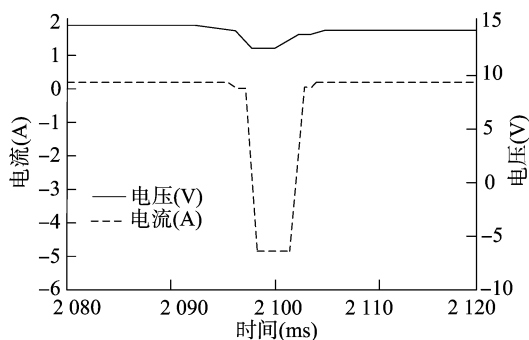


图7 停充间歇对极化的影响

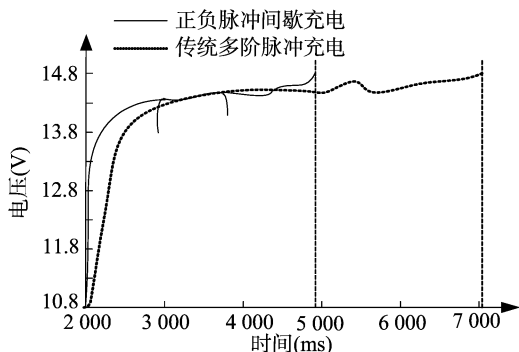


图8 2种充电方法的对比

表1 2种充电方法结果对比

充电方法	充电时间(s)	充电效率(%)	温度升高(℃)
多阶脉冲充电方法	7 100	93.37	6
正负脉冲间歇充电法	4 800	98.51	2

了以正负脉冲间歇充电为主的三段式充电方案。以9.5 A恒流充电为目的,依据马斯三定律和最佳充电电流曲线,算出不同充电接受率时的正脉冲宽度,计算负脉冲的宽度,设置间歇时间,同时设计充电系统的硬件电路和充电控制程序。结果表明,正负脉冲间歇充电有效地消除了电池的极化,增大了充电接受率,缩短了充电时间,提高了充电效率。

#### 参考文献:

- [1] 张 琴. 农业机器人研究进展[J]. 湖南农机, 2014, 41(1): 22-23.
- [2] 毕 昆, 赵 馨, 侯瑞峰, 等. 机器人技术在农业中的应用方向和发展趋势[J]. 中国农学通报, 2011, 27(4): 469-473.
- [3] 孙莉莉, 李自成, 雷永锋. 基于模糊自适应PID算法的快速充电系统设计[J]. 自动化与仪表, 2015, 30(4): 69-72.
- [4] 王义军, 侯 超, 李文峰, 等. 一种电动汽车充放电策略的研究[J]. 电力电子技术, 2013, 47(6): 81-85.
- [5] 王 源. 电动汽车用动力铅酸电池快速充电技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- [6] 王 刚. 电动汽车车载快速充电技术的研究与实现[D]. 天津: 河北工业大学, 2013.
- [7] 郭毅锋, 王志福, 黄丽敏. 大功率铅酸动力电池带负脉冲充电系统设计[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(12): 3448-3451.
- [8] 吴铁洲, 白 婷, 胡丽平, 等. 间歇-正负脉冲蓄电池快速充电方法的研究[J]. 电子器件, 2014, 37(6): 1245-1250.
- [9] 王兆安. 电力电子技术[M]. 5版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [10] 张永超, 王春芳, 李 强, 等. 基于PIC单片机的电动车正负脉冲式快速充电站设计[J]. 低压电器, 2012(2): 26-30.