

# 基于一致性算法的户外充电桩储能智能控制方法

欧雯萍

广西建设职业技术学院

**摘要:** 由于新能源发电技术具有极大的随机性与间歇性,一旦电动汽车在没有控制的情况下接入户外充电桩充电,就会导致电网峰谷差进一步扩大,因此本文提出基于一致性算法的户外充电桩储能智能控制方法。根据户外充电桩的储能单元结构与工作原理,确定储能单元的充放电特性,为后续控制提供数据支撑,基于一致性算法制定一个双层控制策略,实现户外充电桩储能单元的安全一致性智能控制。实验结果表明,设计方法控制后户外充电桩储能充放电负荷的峰谷差较控制前减少了719kW,控制能力较为优越。

**关键词:** 一致性算法; 户外充电桩; 储能控制; 智能控制方法

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2022.04.214

## 引言

21世纪以来,随着环境污染问题日益严峻,具有零排放、低噪声等优点的电动汽车应运而生,并逐渐成为世界各国汽车制造商的关注焦点。在我国,电动汽车的起步虽然较晚,但受到了全国各城市的广泛推广,电动汽车的使用必须有与之配套的户外充电桩的支持,所以大力推进户外充电桩储能技术的发展,是我国电动汽车应用的首要任务。但是,新能源发电技术在自然条件等因素的影响下,具有随机波动性等特点,如果大量电动汽车在没有控制的情况下接入户外充电桩进行充电,可能会造成电网峰谷差增大,进一步提升电网负荷运行风险,同时电网过负荷会增加对户外充电桩的容量需求,影响电网运行的经济性。因此,为全面迎接新能源发电技术带来的严峻挑战,国内外众多学者针对电网储能控制展开相关研究,文献[1]作者刘志坚等人口前馈自抗扰控制算法设计一个储能控制策略,解决了储能系统功率分配抗干扰能力弱的问题;文献[2]作者南斌等人建立了充电桩的负荷状态向量,在考虑调峰需求响应的条件下,根据不同充电模式提出了不同的控制目标和控制策略。综上,研究户外充电桩储能的智能控制,对推动我国电动汽车的发展具有非常大的实用价值。

## 一、确定户外充电桩储能单元结构

当下,我国户外充电桩储能单元的类型众多,其中由铅酸电池构成的储能单元具有多级扩展性,因此可以存储更多的电能,再加上铅酸电池具有绿色环保等优点,被广泛应用于储能系统中,所以本文主要以铅酸电池组成的储能单元作为研究对象<sup>[3]</sup>。一般来说,户外充电桩的储能单元主要由铅酸电池模块、功率转换模块、监控模块以及电池管理模块这几部分构成,示意图如下所示:

根据上图所示的户外充电桩储能单元结构,可以将储能分为单级式与双级式这两种结构,其中单级式结构具有灵活性差、造价高等缺陷,一旦发生故障就会严重

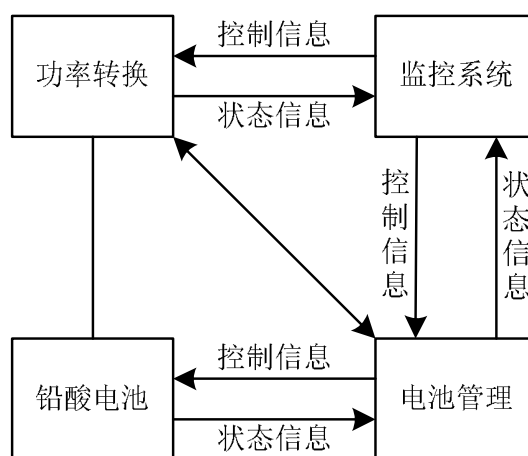


图1 户外充电桩储能单元结构图

影响户外充电桩的整个储能单元,而双级式结构相对来说配置更加灵活,所以在我国受到了更加广泛的应用,下面本文将针对户外充电桩储能双级式拓扑结构的工作原理进行具体分析<sup>[4]</sup>。双级式储能最大的优点就是无需变压器也可以进行升降压变换,当户外充电桩储能单元处于放电状态时,储能的直流电压会提升到较高的直流电压,再经过逆变成交流电压,满足电动汽车的充电需求。与此同时,在户外充电桩储能的实际放电过程中,为防止配电变压器过载,还需对每一台户外充电桩的功率进行平均分配,假设户外充电桩的数量为 $N$ ,那么各个充电桩的输出功率为:

$$P_i = Q_i - \frac{G}{N} \quad (1)$$

式中, $P_i$ 表示第 $i$ 台户外充电桩的输出功率; $Q_i$ 表示第 $i$ 台户外充电桩的实时功率; $G$ 表示配电变压器的过载量。综上,本文在确定户外充电桩储能单元拓扑结构的基础上,分析了储能的工作原理,为后续获取储能充放电特性提供理论基础。

## 二、获取储能单元的充放电特性

在上述户外充电桩储能单元结构的基础上,本章将

详细分析储能单元的充放电特性<sup>[5]</sup>。在规定的 work 环境下，户外充电桩储能单元可以释放的总电量也就是储能的容量，而这个容量也决定着储能单元的充电特性，下式为储能容量计算公式：

$$R = I * t \quad (2)$$

式中， $R$  表示户外充电桩储能单元的实际容量； $I$  表示储能单元在单位时间内可释放的电量； $t$  表示正常工作环境下储能单元放电时间。由式（2）可知，一般户外充电桩储能单元的容量包括额定与实际这两种，其中额定容量在铅酸电池出厂时即可获取，由于电池实际工作环境的温度、湿度等因素不同，所以电池的实际容量并不是额定容量，本文根据储能放电条件来确定储能的实际容量。在此基础上，可分析储能的充电特性，在户外充电桩储能单元的实际充电过程中，前期储能的容量会随时间的增长而迅速增加，直到储能电池中的活性物质全部还原成充足电的状态后，储能电池两端的电压不再升高，储能容量不再变化，此时电池所充电量达到饱和状态。

针对户外充电桩储能的放电特性展开研究<sup>[6]</sup>，根据户外充电桩储能单元的拓扑结构，可以构建储能电池的等效模型，本文主要采用 Rint 模型，在该模型中，可以得到储能电池在放电条件下的等效关系式，如下所示：

$$U(t) = U_1(t) + r * i(t) \quad (3)$$

式中， $U(t)$  表示户外充电桩储能电池的开路电压参数； $U_1(t)$  表示储能电池端电压参数； $r$  表示储能电池等效模型中串联的电阻阻值； $i(t)$  表示储能电池的放电电流。将相关数据代入式（3）所示的户外充电桩储能电池等效模型后可知，储能单元的放电电压随 SOC 的增加而呈不断增长的趋势，而且储能单元的放电深度越深，电池内阻越大。以上本文分别探讨了户外充电桩储能的充电与放电特点，为后续储能控制提供数据支撑。

### 三、户外充电桩储能单元的安全一致性控制

基于以上内容，为实现户外充电桩储能单元的智能控制，本文引入了一致性算法制定储能的双层控制策略。近年来，一致性算法被广泛应用于我国电网的分布式控制中，主要指各节点状态变量从初始值收敛至相同值的过程，所以该算法具有就近原则，从而形成一个分布式交互协议，实现户外充电桩储能单元的控制<sup>[7]</sup>。那么在本文制定的户外充电桩储能单元控制策略中，主要分为上、下两层控制算法，在上层控制流程中，通过通讯网络与邻居电网之间建立联系，从而更新户外充电桩储能电源的负荷功率。由于新能源发电技术具有随机性与间歇性，所以时常发生户外充电桩储能输出功率和电动汽车输入功率不匹配的情况，为获取户外充电桩储能

单元最优输出功率，需要确定不平衡功率的偏差值  $P_0$ ，表达式如下：

$$P_0 = P_1 - P_2 \quad (4)$$

式中， $P_1$  表示户外充电桩储能的最佳输出功率； $P_2$  表示户外充电桩储能中供需不平衡的功率。根据一致性算法迭代规则，在进行户外充电桩储能的智能控制时，需要利用局部信息交互实现全局控制信息的传递，所以在一致性算法迭代时，需要先将各状态变量的初始值设为：

$$\begin{cases} P_0(0) = 0 \\ C(0) = [(1 - a + 2bP_1(0))] \end{cases} \quad (5)$$

式中， $C$  表示与户外充电桩储能单元的增量成本； $a$ 、 $b$  表示与户外充电桩储能单元容量、使用寿命相关的单数参数。根据式（5）确定户外充电桩储能初始状态变量后，即可进行一致性迭代过程，在迭代周期内，一致性算法会通过获取不平衡功率偏差值来和分布式控制器之间交互控制信息，最后根据储能的 SOC 值判断储能控制算法是否达到收敛要求，如果没有达到要求则继续迭代，如果达标则可以得到户外充电桩智能控制所需的负荷参考值，然后将其传输至下层控制算法中，下层控制算法就会基于功率-电流双闭环控制原理，对户外充电桩储能单元的功率与电流的参考值和实际值之间进行对比，从而对储能单元实时地追踪，完成双闭环控制。总而言之，本章引入了一致性算法，制定一个上、下两层安全一致性控制策略，从而实现户外充电桩储能的智能控制。

### 四、算例分析

为验证本文所设计的基于一致性算法的户外充电桩储能智能控制方法的有效性与正确性，本章以某工业园区的电负荷和新能源出力数据为例进行仿真分析。假设该工业园区内设有 8 个充电桩，详细参数如下表所示：

表1 算例园区内充电桩参数设置

充电桩编号	充电模式	最大充电功率 /kW	充电状态下最小功率 /kW
C1	自动充满	120	21
C2	自动充满	100	16
C3	按时间充电	80	18
C4	按时间充电	60	15
C5	按电量充电	90	12
C6	按电量充电	80	10
C7	按金额充电	50	14
C8	按金额充电	30	8

根据表中数据已知，本次算例园区内设置的各个户外充电桩的最大充电功率与充电状态下最小功率均不一致，同时本文为各充电桩设置了不同的充电模式。基于

上述户外充电桩的实验数据，以文中设计方法为实验组，并选择文献[1]与文献[2]方法为对照组，实验过程中，均控制电动汽车的充电时间集中在当日的上班时间内，也就是电动汽车进入工业园区后，就在户外充电桩进行充电，那么该园区充电桩储能的充放电负荷曲线如下图所示：

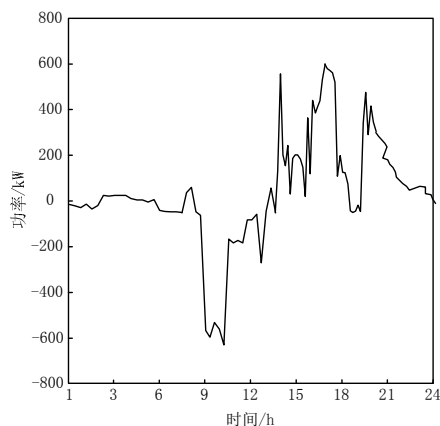


图2 算例园区内充电桩储能充放电负荷曲线

从上图中可以看出，在21:00到次日6:00时段内，由于该工业园区员工处于休息时间，无电动汽车在园区内的户外充电桩进行充电，所以充电桩储能处于闲置状态，充放电功率基本为0；在6:00-1:30时段内，园区工作人员开始上班，电动汽车驶入园区后在户外充电桩开始充电，所以充电桩储能处于放电状态，最大放电功率为-624kW；在1:30-21:00时段内，园区内电动汽车的电量差不多充满，所以充电桩储能进入充电状态，最大充电功率为601kW。由此可知，当下该园区户外充电桩储能处于严重失衡状态，为满足员工电动汽车的充电负荷需求，每日进行大量的充放电，且充放电负荷的最大峰谷差高达1225kW，长此以往势必会增加充电桩储能单元的压力，进而引发供电系统失稳。因此，在此背景下，分别采用本文设计方法与文献[1]、文献[2]方法对该园区户外充电桩储能进行调节控制，所得具体控制结果如下图所示：

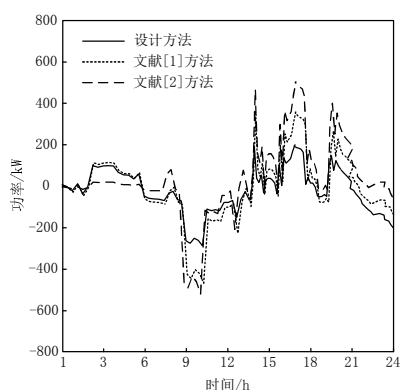


图3 不同方法控制后充电桩储能充放电负荷对比

根据上图可以看出，经过上述方法控制后，算例园区内充电桩储能单元充放电负荷的峰谷差均发生显著下降，其中文献[1]方法控制下充电桩储能充放电负荷峰谷差为827kW，较控制前减小了398kW；文献[2]方法控制下充电桩储能充放电负荷峰谷差为1009kW，较控制前减小了216kW；本文设计方法控制下充电桩储能充放电负荷峰谷差为504kW，较控制前减小了719kW。由此可知，与对照组方法相比，本文设计方法下充电桩储能充放电负荷峰谷差更小，也就是说本文设计方法的控制性能更加优越，可以在满足工业园区户外充电桩供需平衡的基础上，提升电力系统稳定性。

## 五、结束语

针对电动汽车的充电调度问题，本文从户外充电桩储能的角度出发，设计一种基于一致性算法的户外充电桩储能智能控制方法。文中设计方法在确定储能单元充放电特性的基础上，制定一个上、下一致的双层控制策略，从而完成户外充电桩储能的智能控制。同时，本文通过仿真实验结果对设计方法的合理性及正确性进行了验证，证明本文设计方法可以在满足电动汽车与户外充电桩之间的动态匹配，并提升储能的可调控能力，为新能源发电技术的健康发展奠定理论基础。

## 参考文献

- [1] 刘志坚, 李晓磊, 梁宁等. 基于前馈自抗扰的光伏微电网混合储能控制策略[J]. 电力建设, 2021, 42(09): 96-104.
  - [2] 南斌, 徐成司, 董树锋等. 考虑多充电模式的充电桩优化控制策略[J]. 电力工程技术, 2021, 40(05): 2-9.
  - [3] 徐睿, 肖监, 范伟等. 储能式充电桩参与电网需求侧响应联合运行优化[J]. 电力大数据, 2019, 22(08): 8-13.
  - [4] 谢雨轩, 白云驹, 肖意军. 含地面充电桩的储能式有轨电车车地整体性容量配置[J]. 储能科学与技术, 2021, 10(04): 1388-1399.
  - [5] 陈景文, 李晓飞, 莫瑞瑞等. 基于频率分割和虚拟直流机的混合储能控制策略研究[J]. 电子器件, 2021, 44(02): 486-492.
  - [6] 杨小刚, 王慧华. 基于负载的新能源汽车充电桩控制系统设计[J]. 现代电子技术, 2020, 43(24): 131-134.
  - [7] 梁建宾, 王星, 赵中良等. 储能与充电桩相结合的方案研究[J]. 电子测试, 2021(20): 111-112+116.
- 本论文是2022年度广西高校中青年教师科研基础能力提升项目2022KY1160《关于户外型充电桩散热及特殊环境下的改良与研究》的研究成果。