说明书摘要

本发明公开了一种考虑电动汽车充电站可调度性的储能容量配置方法。能够根据电动汽车充电站充电功率可调度性置信水平给出相应的储能容量配置方案。为了折中电动汽车充电站可调度性和储能投资成本，提出了定义和计算电动汽车充电站充电功率可调度性的方法，并在充电站充电功率预测数据的基础上提出了储能系统损耗的储能-电动汽车充电站联合系统调度策略，得到最佳的储能系统功率及容量配置方案。本方法选取储能系统投资成本及充放电损耗成本最小为目标函数，约束条件包括储能系统剩余寿命及充电站功率可调度性置信水平。并针对模型特点利用遗传算法求解模型。本发明可应用于电动汽车充电站储能系统配置领域。

权利要求书

# 一种考虑电动汽车充电站可调度性的储能容量配置方法，其特征在于包括以下步骤：

## 采用持续预测方法对电动汽车充电站充电功率进行短期预测。

## 以维持每个调度周期内电动汽车充电站储能系统充放电能量平衡为目标，考虑储能系统充放电损耗，构建电动汽车充电站-储能系统调度策略。

## 对电动汽车充电站充电功率置信水平进行定义与计算，结果用来规划满足电动汽车充电站可调度性置信水平的储能方案。

## 利用曲线拟合以及非参数估计方法生成储能功率和容量约束，联合计及储能投资成本及损耗的目标函数构成完整的优化问题并采取遗传算法进行求解。

## 2. 根据权利要求1所述的考虑电动汽车充电站可调度性的储能容量配置方法，其特征在于：所述的步骤1)中的采用持续预测方法对电动汽车充电站充电功率进行短期预测具体方法为：

持续预测方法采用历史实测的电动汽车充电站充电功率平均值预测延时个时段后的电动汽车充电站充电功率：



其中，是在时刻对从时刻开始持续时间长度为的电动汽车充电站充电功率预测值；是从时刻开始持续时间长度内电动汽车充电站历史充电功率平均值。为预测实测，为单个预测时长，本发明中取为0.5小时，预测时段本发明中取为1小时，即。在实际应用过程中，可根据实际需要调整的取值。

进一步，可以用下式表示时刻电动汽车充电站充电功率预测值与实测值之间的误差：



# 3．根据权利要求1所述的考虑电动汽车充电站可调度性的储能容量配置方法，其特征在于：所述的步骤2)中的以维持每个调度周期内电动汽车充电站储能系统充放电能量平衡为目标：



该式表示在一个完整的调度周期内储能系统总充电能量与总放电能量相等。其中，分别表示一个完整周期内储能系统的充放电次数；分别表示储能系统充放电效率；表示电动汽车充电站充电功率计划值(调度值)与实际值之间的差额，意味着充电站储能系统处于充电状态，意味着充电站储能系统处于放电状态。

# 根据权利要求1所述的考虑电动汽车充电站可调度性的储能容量配置方法，其特征在于：所述的步骤2)中考虑储能系统充放电损耗，构建电动汽车充电站-储能系统调度策略如下：

为更加合理地确定电动汽车储能系统容量，本发明考虑了充放电次数和充放电深度对储能寿命的影响：







其中，为待配置的电动汽车充电站储能系统的额定功率；为待配置的电动汽车充电站储能系统的额定容量；为单位功率投资成本；为单位容量投资成本；为储能系统容量投资成本，为储能系统生命周期，为储能系统日常维护成本；为单位功率投资与单位容量投资的比例系数。

本发明采取下式计算蓄电池次充放电后的剩余使用寿命：



其中，表示蓄电池剩余寿命(百分数)；表示次放电后蓄电池寿命损失；是对应在第次放电深度下蓄电池使用寿命。

累积次放电过程对蓄电池寿命损耗，可以得到蓄电池使用寿命为：



# 根据权利要求1所述的考虑电动汽车充电站可调度性的储能容量配置方法，其特征在于：所述的步骤3)中对电动汽车充电站充电功率置信水平进行定义与计算，具体步骤如下：

电动汽车充电站可调度性置信水平是指电动汽车充电站-储能联合系统出力符合调度水平的概率值，本发明首先定义了一个二元变量来表征电动汽车充电站充电功率是否能响应相应的系统调度，具体表达式为：



其中，表示时段电动汽车充电站实际充电功率与调度水平之间的功率差值；为储能系统额定功率；表示时段能量差值；分别表示储能系统允许充放电能量的上下限。当电动汽车充电站充电功率与调度值的差值小于等于储能系统的额定功率且储能系统存在冗余的充放电能量时，认为电动汽车充电站具备可调度性，取值为1；反之，当电动汽车充电站充电功率与调度值的差值大于储能系统的额定功率或者储能系统存在冗余的充放电能量时，认为电动汽车充电站不具备可调度性，取值为0。

电动汽车充电站运行以天为周期，基于多天多时段的电动汽车充电站实际充电功率和调度水平采样可以计算出充电站可调度概率：



其中，为总的充电站充电功率采样时段，即可认为是充电站可调度性置信水平。

# 根据权利要求1所述的考虑电动汽车充电站可调度性的储能容量配置方法，其特征在于：所述步骤4)中利用曲线拟合以及非参数估计方法生成储能功率和容量约束，联合计及储能投资成本及损耗的目标函数构成完整的优化问题并采取遗传算法进行求解，具体步骤为：

在功率差额概率密度函数未知条件下，本发明采用非参数核密度估计方法确定功率可调度性置信水平：



其中，是积分值为1的核函数，是带宽，是电动汽车充电站功率采样数，是功率差额。功率可调度性置信度水平则对应为累积概率，与该累积概率对应的功率差额值为满足该置信度水平的储能系统最小额定功率值，表示储能系统额定功率能够以该概率水平弥补电动汽车充电站实际充电功率和调度目标功率差额的最小规划值。从而，在确定电动汽车充电站可调度性置信度水平后，储能系统功率下限值可以通过计算电动汽车充电站实际功率和调度水平功率差额累积分布函数在相应置信度概率水平下的功率差额值得到。

储能规划结果包含额定功率和容量值，在确定最小额定功率约束后，需要确定不同额定功率下满足置信度水平要求的最小储能容量约束。不同储能额定功率下的最小储能容量可以通过迭代方法搜索得到：

①初始化储能系统额定功率值及容量值。

②计算电动汽车充电站调度性置信水平。

③如果，则储能容量增大并返回②，直至可调度性置信度水平满足要求。

④增加储能额定功率值并返回①直至大于最大功率差额。

最后，计算得到不同额定功率下的一组储能容量最小值。为了计算储能最优规划结果并减少计算量，对储能系统不同额定功率与相应储能最小容量值进行曲线拟合得到曲线表达式，并作为非线性约束函数用于满足目标函数的储能最优规划结果计算中，最后利用遗传算法对目标函数寻优得到储能投资成本最小规划结果。

说明书

一种考虑电动汽车充电站可调度性的储能容量配置方法

技术领域

本发明涉及一种电动汽车充电站的储能容量配置方法，尤其是涉及考虑电动汽车充电站可调度性的储能容量配置方法。

背景技术

随着能源与环保压力的逐步增大以及可再生能源技术的迅猛发展，发展新能源汽车，尤其是纯电动汽车已经是大势所趋。作为未来电网中比重庞大的负荷，同时又兼具大规模能量存储能力的电动汽车动力电池，在实现智能电网的过程中，势必要扮演一个举足轻重的角色。相应地，随着电动汽车在世界各国的广泛发展，充电基础设施的规划与建设问题已得到各国政府的关注。

众所周知，电动汽车充电行为受人们出行规律影响，就单个电动汽车而言具有很大的随机性和不确定性；而采用电动汽车充电站进行集中充电时，虽无法完全杜绝电动汽车充电的随机性，但在具备电动汽车充电站的情况下可以将将众多电动汽车视为一个整体，充电功率的波动性有所减小且具备以天为周期的周期性。同时，面对电动汽车集群是的电动汽车充电站具备了一定的调度能力：充电窗口短行驶时间长的汽车可优先充电，充电窗口长行驶时间短的汽车可适当滞后充电；在电力系统负荷高峰期时，尽量少安排充电功率，在电力系统负荷低谷时，尽量多安排充电功率。

为应对电动汽车充电功率的随机性，电动汽车充电站仍需要配置相应的储能装置：在实际充电功率小于预测值时可安排储能装置充电，在实际充电功率大于预测值时可安排储能装置放电，不足缺失功率。电动汽车充电站充电功率可调度性置信水平与充电站储能系统的配置量密切相关：电动汽车充电站充电功率可调度性置信水平低，意味着电动汽车充电站自身调节功率的负担轻，相应地储能系统配置要求较低；反之，电动汽车充电功率可调度性置信水平高，意味着电动汽车充电站自身调节功率的负担重，储能系统配置要求高。利用电动汽车充电站可调度性是未来电动汽车充电领域功率调度的重要发展方向，但尚缺少根据可调度性置信水平来配置充电站储能容量的建模方法。

发明内容

为解决上述问题，本文发明提出了一种考虑电动汽车充电站可调度性的储能容量配置方法，同时考虑储能系统投资成本及充放电损耗，求取电动汽车充电站相应可调度置信水平下最佳的储能容量配置方案。

本发明的技术方案采用如下步骤：

## 采用持续预测方法对电动汽车充电站充电功率进行短期预测。

## 以维持每个调度周期内电动汽车充电站储能系统充放电能量平衡为目标，考虑储能系统充放电损耗，构建电动汽车充电站-储能系统调度策略。

## 对电动汽车充电站充电功率置信水平进行定义与计算，结果用来规划满足电动汽车充电站可调度性置信水平的储能方案。

## 利用曲线拟合以及非参数估计方法生成储能功率和容量约束，联合计及储能投资成本及损耗的目标函数构成完整的优化问题并采取遗传算法进行求解。

所述的步骤1)中的采用持续预测方法对电动汽车充电站充电功率进行短期预测的具体步骤为：

在区域电力系统调度运行中需要按需求对辖区内电动汽车充电站充电功率做出不同时间尺度的预测，包括短期、中期、长期充电功率预测。其中，短期预测的时间尺度通常介于十几分钟至几小时之间，常应用于电力系统经济负荷调度。本发明采用预测时间尺度为1小时的持续预测方法进行电动汽车充电站充电功率预测，持续预测方法的原理图如图1所示。

持续预测方法采用历史实测的电动汽车充电站充电功率平均值预测延时个时段后的电动汽车充电站充电功率：



其中，是在时刻对从时刻开始持续时间长度为的电动汽车充电站充电功率预测值；是从时刻开始持续时间长度内电动汽车充电站历史充电功率平均值。为预测实测，为单个预测时长，本发明中取为0.5小时，预测时段本发明中取为1小时，即。在实际应用过程中，可根据实际需要调整的取值。

进一步，可以用下式表示时刻电动汽车充电站充电功率预测值与实测值之间的误差：



所述的步骤2)中的以维持每个调度周期内电动汽车充电站储能系统充放电能量平衡为目标，具体为：



该式表示在一个完整的调度周期内储能系统总充电能量与总放电能量相等。其中，分别表示一个完整周期内储能系统的充放电次数；分别表示储能系统充放电效率；表示电动汽车充电站充电功率计划值(调度值)与实际值之间的差额，意味着充电站储能系统处于充电状态，意味着充电站储能系统处于放电状态。

所述的步骤2)中的考虑储能系统充放电损耗，构建电动汽车充电站-储能系统调度策略，充放电损耗计算方法如下：

为更加合理地确定电动汽车储能系统容量，本发明考虑了充放电次数和充放电深度对储能寿命的影响：







其中，为待配置的电动汽车充电站储能系统的额定功率；为待配置的电动汽车充电站储能系统的额定容量；为单位功率投资成本；为单位容量投资成本；为储能系统容量投资成本，为储能系统生命周期，为储能系统日常维护成本；为单位功率投资与单位容量投资的比例系数。

本发明采取下式计算蓄电池次充放电后的剩余使用寿命：



其中，表示蓄电池剩余寿命(百分数)；表示次放电后蓄电池寿命损失；是对应在第次放电深度下蓄电池使用寿命。

累积次放电过程对蓄电池寿命损耗，可以得到蓄电池使用寿命为：



所述的步骤3)中的对电动汽车充电站充电功率置信水平进行定义与计算具体方法为：

电动汽车充电站可调度性置信水平是指电动汽车充电站-储能联合系统出力符合调度水平的概率值，本发明首先定义了一个二元变量来表征电动汽车充电站充电功率是否能响应相应的系统调度，具体表达式为：



其中，表示时段电动汽车充电站实际充电功率与调度水平之间的功率差值；为储能系统额定功率；表示时段能量差值；分别表示储能系统允许充放电能量的上下限。当电动汽车充电站充电功率与调度值的差值小于等于储能系统的额定功率且储能系统存在冗余的充放电能量时，认为电动汽车充电站具备可调度性，取值为1；反之，当电动汽车充电站充电功率与调度值的差值大于储能系统的额定功率或者储能系统存在冗余的充放电能量时，认为电动汽车充电站不具备可调度性，取值为0。

电动汽车充电站运行以天为周期，基于多天多时段的电动汽车充电站实际充电功率和调度水平采样可以计算出充电站可调度概率：



其中，为总的充电站充电功率采样时段，即可认为是充电站可调度性置信水平。

所述的步骤4)中利用曲线拟合以及非参数估计方法生成储能功率和容量约束具体方法如下：

在功率差额概率密度函数未知条件下，本发明采用非参数核密度估计方法确定功率可调度性置信水平：



其中，是积分值为1的核函数，是带宽，是电动汽车充电站功率采样数，是功率差额。功率可调度性置信度水平则对应为累积概率，与该累积概率对应的功率差额值为满足该置信度水平的储能系统最小额定功率值，表示储能系统额定功率能够以该概率水平弥补电动汽车充电站实际充电功率和调度目标功率差额的最小规划值。从而，在确定电动汽车充电站可调度性置信度水平后，储能系统功率下限值可以通过计算电动汽车充电站实际功率和调度水平功率差额累积分布函数在相应置信度概率水平下的功率差额值得到。

储能规划结果包含额定功率和容量值，在确定最小额定功率约束后，需要确定不同额定功率下满足置信度水平要求的最小储能容量约束。不同储能额定功率下的最小储能容量可以通过迭代方法搜索得到：

①初始化储能系统额定功率值及容量值。

②计算电动汽车充电站调度性置信水平。

③如果，则储能容量增大并返回②，直至可调度性置信度水平满足要求。

④增加储能额定功率值并返回①直至大于最大功率差额。

最后，计算得到不同额定功率下的一组储能容量最小值。为了计算储能最优规划结果并减少计算量，对储能系统不同额定功率与相应储能最小容量值进行曲线拟合得到曲线表达式，并作为非线性约束函数用于满足目标函数的储能最优规划结果计算中，最后利用遗传算法对目标函数寻优得到储能投资成本最小规划结果。

附图(表)说明

图1 事前1h持续预测模型原理图

图2 方法流程图

图3 某电动汽车充电站功率特性

图4 功率差额累积概率分布的非参数估计

表1 算例优化结果

具体实施例

采用一最大充电功率拟设计为60MW的电动汽车充电站进行算例测试，该充电电站某天的充电功率特性如图3所示，采用本发明算法为此电动汽车充电站规划储能系统配置方案，表1给出了相应的优化结果，包括储能系统的容量、功率以及系统配置成本。从结果可以看出，若要求电动汽车充电站具备更高的可调度性置信水平，则该电动汽车充电站的储能系统必须具备更大的功率、容量，相应的建设成本也越高。通过本算例验证了本发明所提模型的有效性，实际工程应用中，可根据实际需要确定设计变电站的可调度性置信水平，继而应用本发明为充电站配置合理的储能系统。

上述具体实施方式用来解释说明本发明，而不是对本发明进行限制，在本发明的精神和权利要求的保护范围内，对本发明做出的任何修改和改变，都落入本发明的保护范围。

说 明 书 附 图（表）



图1 事前1h持续预测模型原理图



图2 方法流程图



图3 某电动汽车充电站功率特性



图4 功率差额累积概率分布的非参数估计

表1 算例优化结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 可调度性置信水平 | 最小额定功率  (MW) | 储能系统优化结果 | | 储能系统投资成本  (×107$) |
| 功率  (MW) | 能量  (MW·h) |
| 0.70 | 2.68 | 8.57 | 11.98 | 2.36 |
| 0.75 | 3.35 | 12.89 | 18.36 | 5.38 |
| 0.80 | 4.64 | 17.36 | 20.86 | 6.98 |
| 0.85 | 5.92 | 21.58 | 25.69 | 9.01 |
| 0.90 | 8.15 | 27.65 | 33.21 | 13.58 |
| 0.95 | 12.63 | 35.86 | 48.36 | 19.74 |