

电动汽车充放储一体站接入配电网电压质量分析

随着电动汽车的普及,电动汽车充放储一体站接入配电网已成为大势所趋。一体站接入与配电网电能双向互动的同时,也对配电网的电压质量带来了影响。在含一体站的配电网电压质量分布计算中采用了三角形面积密度负荷分布模型,运用改进的多场景方法模拟一体站的四种特性行为,分三阶段进行多场景优化,根据其特点计算出贴合实际的节点电压。算例采用牛顿拉夫逊法对含一体站的配电网进行电压分布计算,验证了角形面积密度负荷分布模型的有效性,并运用该模型分析了不同场景下一体站对配电网节点电压的影响。

李 明^{1,2} 韦 钢¹ 郭运城¹ 李 俊³/1.上海电力学院电气工程学院
2.国网新疆电力公司电力科学研究院 3.上海浦海求实电力新技术有限公司



李 明/助理工程师

关键词/Keywords

充放储一体站·
电动汽车·
多场景优化·
角形面积密度模型·
电压分布·

电动汽车在倡导新能源的形势下凸显了优势,与其紧密相关的充电站接入配电网所产生的一系列影响已经成为研究热点。电动汽车的大规模推广,需要可靠有效的充电设施作为基础支撑。电动汽车充放储一体站概念的提出,为电动汽车提供了最大程度的电力保障。然而从配电网的角度出发,电动汽车充放储一体站的接入对网络的安全稳定运行带来了诸多问题。考虑到电动汽车充电的随机不确定性,一体站的负荷建模与出力问题均属于NP难题,因其自身兼具电源特性和负荷特性,在实际运行过程中会对配电网各节点的电压分布产生不确定的影响,也直接影响到配电网的安全稳定运行。随着一体站入网数量的增加和入网容量的增大,对电压分布的影响随之加大,易导致电压分布不均衡

甚至末端电压崩溃。因此一体站入网对电压分布产生的影响亟待分析,并提出有效改善措施。

电动汽车一体站入网方面,多数专家学者基于电动汽车充放电的不确定性建立动态随机模型^[1-2],基于电动汽车随机性的不同情景,分析电动汽车接入对配电网经济运行、电能质量以及配电设备等方面的影响;部分研究通过从不同角度分析配电网承受电动汽车接入的能力。文献[3]运用遗传智能算法建立电动汽车多目标的经济指标函数,分析电动汽车入网的经济运行情况同时进行优化。文献[4-6]考虑不同类型的电动汽车及不同充电模式下对配电网带来的影响。文献[7-9]分析了充电桩对电动汽车充电时,电流通过电力电子装置对配电网的电压质量产生的影响,主要在功率损耗、电压偏差频率等方面。文献[10]着眼于从输、配电网角度,分析电动汽车接入的谐波问题以及电网的接纳能力。文献[11]从电网电源侧的角度出发,评估网络发电容量能否满足电动汽车负荷的快速增长。在电动汽车入网电压问题的研究中,大多关注在谐波及三相电压不平衡等电压质量问题上。文献[12-14]对电动汽车充电站入网所产生的谐波带来的电压质量问题进行分析,并提出了抑制谐波的有效措施。但研究中均没有考虑电站的放电特性以及入网引起的节点电压分布波动。文献[15]仿真分析了大量电动汽车接入时,会造成电压的三相不平衡。同样该分析将电动汽车作为负

上海市教育委员会重点学科建设项目(J51303)。

荷,没有考虑电动汽车电站与电网的能量交换,大规模的电动汽车通过电站充电时更容易导致节点电压分布不均衡的问题。

针对上述分析存在的问题,本文主要进行了以下几方面的研究:建立电动汽车充放储一体站,运用改进的多场景方法模拟一体站的充放电场景;提出含电动汽车一体站的三角形面积密度负荷分布模型,利用模型进行电压分布计算;根据一体站的不同场景,模拟分析配电网各节点电压变化的特点。最后通过算例电压分布计算验证本文建立模型的有效性以及一体站场景选取的合理性,进一步分析不同场景下电压分布的变化。

电动汽车充放储一体站模型

1. 一体站结构特点

传统的电动汽车充换电站因其较为单一的功能,仅能满足电动汽车基本的功能需求。本文提出的电动汽车充放储一体站对传统充换电站进行了改造升级,在功能上兼具充电站、储能站以及分布式电源(DG)三者的特点,更好地实现一体站与电网的电能双向交互能力,进一步提升电动汽车入网的规模,如图1所示。

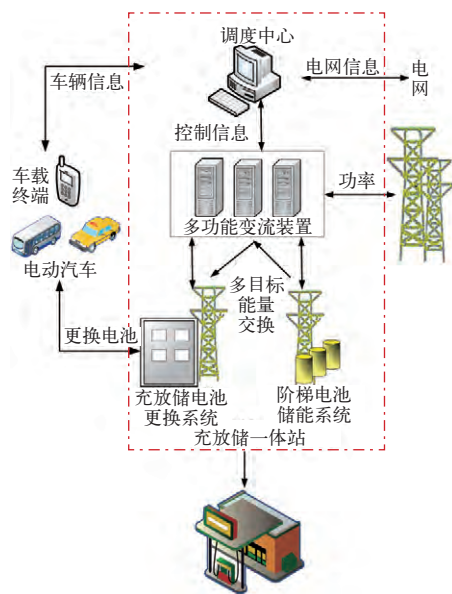


图1 电动汽车充放储一体站

一体站功能结构上可分为四部分:主控系

统(调度中心)、能量转换系统(多功能变流装置)、充放储电池更换系统和阶梯电池储能系统,这四部分由主控系统统一调度。

2. 一体站功能优势

一体站是未来智能电网的重要组成部分,与传统充电站相比,其避免了电动汽车无序充电带来的电网危害,充分利用了主动式储能系统并网运行,为配电网提供增值效益,通过主控系统实现多功能多目标优化运行。

(1) 削峰填谷

一体站通过采集电动汽车以及电网信息,及时反馈到主控系统,调度中心输出的控制信息调控电能流动的大小和方向,利用峰时放电、谷时充电在为电动汽车供电的同时实现对电网削峰填谷的作用。

(2) 电能质量优化治理

一体站对电网的电能质量优化治理主要包括谐波治理、无功补偿等。一体站站内配置的有源滤波器可对站内谐波进行集中补偿,同时通过控制变流装置达到谐波的就地治理,能够有效地解决谐波污染,降低功率损耗。在无功补偿方面,一体站利用无功补偿装置以及AVC控制技术实现无功补偿及电压调节的区域电压优化。

(3) 紧急支持功能

一体站具备电池更换系统和阶梯电池储能系统,两套储能系统在电网发生紧急状况时快速对电网放电,延缓电网进入紧急状态,最大程度保持系统的暂态稳定,为电网的其他紧急控制争取时间。

(4) 孤岛运行

当电网出现严重紧急情况甚至系统崩溃时,一体站可采取保护措施脱离电网孤岛运行,与局部负荷形成微网运行。一体站的储能系统可作为微网的分布式电源,提供不间断电能服务,降低经济损失。同时跟踪上级电网运行状况实时调整,以便及时无缝并网。

3. 一体站数学模型

一体站在正常运行模式下可向电动汽车提供充电服务,亦可通过储能系统向电网放电提供增

值服务。采用一体站充放电调整率 $\eta_{\text{CFSI}}[i]$ 为

$$\eta_{\text{CFSI}}[i] = \frac{P_{\text{CFSI}}[i]}{P_{\text{CFSIe}}[i]} \quad \eta_{\text{CFSI}}[i] \in [-1, 1] \quad (1)$$

式中, i 取1时为一体站内充电系统的充放电情况, i 取2时为一体站内储能系统的充放电情况; $P_{\text{CFSIe}}[i]$ 为充电/储能系统的额定充电功率; $P_{\text{CFSI}}[i]$ 为充电/储能系统的实际充放电功率。

充放电调整率 $\eta_{\text{CFSI}}[i]$ 为正值表示一体站处于充电状态, 为负值则表示放电状态; 其数值大小反映一体站的充放电功率及可调节程度。

电动汽车实际充电功率 $P_{\text{EV}}(t)$ 与车辆信息及车辆预计抵达时间 τ_n 有关

$$P_{\text{EV}}(t) = \sum_{n \in N} [(q_{\text{fi}} - q_{\text{li}}) \delta(t - \tau_n)] \quad (2)$$

式中, q_{fi} 为车辆满电容量; q_{li} 为剩余电量。

充电系统、储能系统剩余电量分别用 $Q_{\text{CSIL}}(t)$ 、 $Q_{\text{FSIL}}(t)$ 表示, 定义储能系统通过Boost升压电路对充电系统进行电能支撑运行的功率为 $P_{\text{B}}(t)$, 其关系满足

$$\begin{cases} Q_{\text{CSIL}}(t) = Q_{\text{CSIL}}(t_0) + \int_{t_0}^t [P_{\text{CFSI}}(t) + P_{\text{B}}(t) - P_{\text{EV}}(t)] dt \\ Q_{\text{FSIL}}(t) = Q_{\text{FSIL}}(t_0) + \int_{t_0}^t [P_{\text{FSI}}(t) - P_{\text{B}}(t)] dt \end{cases} \quad (3)$$

配电网原有负荷为 $P_{\text{L}}(t)$, 经过一体站中充电系统和储能系统调节后的电网负荷为

$$P_{\text{L}}^* = P_{\text{L}}(t) + P_{\text{CFSI}}(t) + P_{\text{FSI}}(t) \quad (4)$$

由于一体站的电池和变流装置规模有限, 充电系统和储能系统受到边界条件的限制。一体站的功率约束主要考虑充放电电流的约束以及变流器的功率约束

$$P_{\text{CFSI,FSImin}} \leq P_{\text{CFSI,FSI}} \leq P_{\text{CFSI,FSImax}} \quad (5)$$

一体站的能量约束主要考虑充电系统和储能系统要留有一定的备用容量以应对电网紧急情况

$$\begin{cases} K_{\text{re1}} Q_{\text{CSIf}} \leq Q_{\text{CSIf}}(t) \leq Q_{\text{CSIf}} \\ K_{\text{re2}} Q_{\text{FSIf}} \leq Q_{\text{FSIf}}(t) \leq Q_{\text{FSIf}} \end{cases} \quad t \in [t_0, t_0 + T] \quad (6)$$

式中, Q_{CSIf} 和 Q_{FSIf} 分别为充电系统和储能系统的电池满电容量; K_{re1} 和 K_{re2} 为备用容量系数, 一般可选取15%~20%。

含电动汽车一体站的配网负荷分布

1. 含一体站的配电网负荷分布模型

将复杂辐射型配电网模型简化, 并建立包含一体站的配电网模型, 如图2所示。

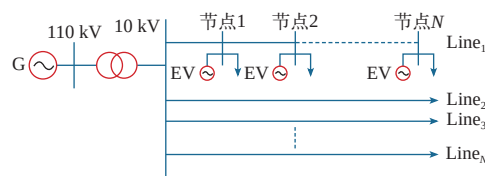


图2 含一体站的配电网简化模型

为全面分析含电动汽车一体站的配电网各节点电压分布, 本次采用一种新型的三角形面积密度负荷递增分布模型, 即三角形面积密度模型, 如图3所示。

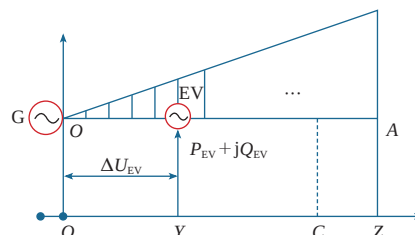


图3 含一体站三角形面积密度负荷分布模型

传统分析中采用负荷均匀分布模型对于实际配电网中的负荷分布严重不均匀的情况, 会造成较大误差, 从而缺乏真实性。三角形面积密度模型考虑以递增的三角形面积表示负荷的大小, 最大程度减小误差。同时面积密度的负荷分布, 也较为贴近实际配电网负荷的不均匀分布。

模型假设在节点Y处接入一体站, 三角形的面积即负荷总的功率, C为线路中任意一点。当配电网模型中只含系统大电源, 无电动汽车一体站作用时, 三角形面积密度负荷分布模型可由下式表示

$$\begin{cases} P_{\text{OC}} = \frac{c^2}{z^2} P_{\text{L}} & Q_{\text{OC}} = \frac{c^2}{z^2} Q_{\text{L}} \\ P_{\text{CZ}} = \left(1 - \frac{c^2}{z^2}\right) P_{\text{L}} & Q_{\text{CZ}} = \left(1 - \frac{c^2}{z^2}\right) Q_{\text{L}} \end{cases} \quad (7)$$

式中, P_{OC} 、 Q_{OC} 、 P_{CZ} 和 Q_{CZ} 分别为一体站接入位置前后的负荷有功功率和无功功率。

2. 一体站多场景优化

多场景技术^[16]是将随机过程中一些难以用确定的数学模型完全描述的不确定因素，通过可能出现的多个场景，转化为确定因素的组合来解决。本次根据电动汽车充放储一体站的特性区分其行为，即充电行为、放电行为和储电行为。结合一体站三种行为特征，将系统运行状态建立多场景模型，如表1所示。

表1 系统多场景描述

场景数	场景描述	一体站行为
1	系统正常运行	充电+放电+储电
2	系统负荷高峰运行	放电
3	系统负荷低谷运行	充电+储能
4	系统故障	放电(离网)

配电网系统多场景运行对应不同的一体站特征行为，本次将多场景优化分为三个阶段，各阶段均进行单场景优化。

1) 当系统处于正常运行状态及正处于负荷低谷运行时，优先考虑一体站的充电行为。在满足电动汽车充电要求的同时，可以考虑一体站的储能行为。这时一体站表现为负荷性质，负荷大小范围在一体站容量的0~100%。

2) 系统经过上一阶段达到负荷高峰运行状态，优先考虑一体站的放电行为。这一阶段一体站起到DG的作用，支撑电网减少负荷波峰运行时间。由于相比第一阶段，一体站从负荷变为电源，表现为DG性质，故出力大小范围在一体站容量的0~200%。

3) 当系统中某一节点或某一区域中出线故障时，可根据故障范围及严重程度，考虑将一体站与电网解列。孤岛运行后的一体站只能进行充电行为，利用其储存的多余电能对电动汽车进行充电。一体站表现为负荷性质，负荷大小范围在一体站容量的0~50%。

通过上述配电网系统的多场景分阶段优化，可以清晰地将电动汽车一体站在接入配电网的情况下进行等效处理。按照一体站的充储电行为和放电行为建立不等式约束模型如下（一体站设定容量为 $P_{EV1} + jQ_{EV1}$ ）。

1) DG性质为

$$\begin{cases} P_{EV1}^{min} \leq P_{EV} \leq 2P_{EV1}^{max} \\ Q_{EV1}^{min} \leq Q_{EV} \leq 2Q_{EV1}^{max} \end{cases} \quad (8)$$

2) LOAD性质为

$$\begin{cases} P_{EV1}^{min} \leq P_{EV} \leq P_{EV1}^{max} \\ Q_{EV1}^{min} \leq Q_{EV} \leq Q_{EV1}^{max} \end{cases} \quad (9)$$

一体站的储能系统在其表现为DG性质时，对配电网的最大支持能力可达到额定容量的2倍，这也是处理一体站负荷模型的关键。

配电网电压分布计算

依照图3建立的模型，设大电源端口即线路始端O点电压为 U_o ，线路中任一节点C电压为

$$U_C = U_o - \Delta U = U_o - \Delta U_{EV} - \Delta U_G \quad (10)$$

根据电路的叠加定理，本次考虑系统电源和一体站对系统电压的作用。电压损耗 ΔU 由 ΔU_G 和 ΔU_{EV} 两部分组成，其中 ΔU_G 是由系统电源单独作用引起的，包含由于系统中C点之后的等效综合负荷引起的电压损耗 ΔU_{G1} 以及C点之前的三角形负荷分布等效负荷引起的电压损耗 ΔU_{G2} 两部分； ΔU_{EV} 是由一体站接入系统所引起的电压损耗，本次定义 ΔU_{EV} 分两种情况考虑，即一体站作为电源支撑电网放电，以及作为负荷为电动汽车充电。

1. 系统电源单独作用

由系统电源单独作用引起的电压损耗为

$$\Delta U_G = \Delta U_{G1} + \Delta U_{G2} \quad (11)$$

由于系统中C点之后的等效综合负荷引起的电压损耗为

$$\Delta U_{G1} = C(P_{CZ}r + Q_{CZ}x) / U_N \quad (12)$$

综合式(7)可得出

$$\Delta U_{G1} = \frac{C[(1 - C^2 / Z^2)P_L]r + C[(1 - C^2 / Z^2)Q_L]x}{U_N} \quad (13)$$

依据三角形负荷分布模型，定义负荷概率系数 β ， $\beta = \mu L$ ，其中 μ 负荷概率因数，同时定义 $\mu = \mu_1 + j\mu_2$ 。系统负荷随距离分布可表示为

$$\int_0^Z \beta dL = \int_0^Z \mu L dL = P_L + jQ_L \quad (14)$$

求解式(14)可得出负荷概率因素

$$\mu = 2(P_L + jQ_L) / Z^2 \quad (15)$$

即

$$\mu_1 = 2P_L / Z^2 \quad \mu_2 = 2Q_L / Z^2 \quad (16)$$

由上式可得

$$\Delta U_{G2} = \frac{2C^2(P_L r + Q_L x)}{3U_N Z^2} \quad (17)$$

2. 电动汽车一体站单独作用

(1) 电动汽车一体站作为电源单独作用

当一体站作为电源向配电网提供电能时，可将其视为电池站向电网集中供电的B2G模式的分布式电源，设定容量为 $P_{EV1} + jQ_{EV1}$ ，假定配电网中无电源接入时，系统中C点电压损耗按照一体站接入节点位置的不同进行分析如下。

1) 当 $0 < C \leq Y$ 时，一体站的接入对接入点之前的线路起到了提高节点电压的作用

$$\Delta U_{EV1} = -C \frac{P_{EV1} r + Q_{EV1} x}{U_N} \quad (18)$$

2) 当 $Y < C \leq Z$ 时，一体站的接入对Y点之后的线路并没有直接作用，但由于一体站的接入提升了节点Y的电压，从而间接影响了其后节点的电压，综上考虑节点Y之后的电压损耗为

$$\Delta U_{EV2} = -Y \frac{P_{EV1} r + Q_{EV1} x}{U_N} \quad (19)$$

(2) 电动汽车一体站作为用电负荷

当一体站作为充电站向电动汽车提供电能时，可将其等效处理为负荷模型，设定容量为 $P_{EV2} + jQ_{EV2}$ 。此时，系统中总负荷为

$$P_L^* + jQ_L^* = (P_L + P_{EV2}) + j(Q_L + Q_{EV2}) \quad (20)$$

系统中可类似等效为系统电源单独作用，将式(20)带入式(7)、式(11)、式(13)和式(17)中可得到电压损耗为

$$\Delta U_{GEV} = C \frac{(1 - C^2 / 3Z^2)(P_L^* r + Q_L^* x)}{U_N} \quad (21)$$

3. 含电动汽车一体站的配电网电压损耗计算

(1) 电动汽车一体站作DG时

一体站作为电源与系统电源向配电网供电时，同样按照系统中C点前后不同电压损耗进行分析如下。

1) 当 $0 < C \leq Y$ 时，根据上述分析及式(10)、式(13)、式(17)和式(18)可推导出C点电压为

$$U_C = U_0 \frac{C}{U_N} [(1 - \frac{C^2}{3Z^2})(P_L r + Q_L x) - (P_{EV1} r + Q_{EV1} x)] \quad (22)$$

2) 当 $Y < C \leq Z$ 时，同理，根据式(10)、式(13)、式(17)和式(19)可推导出C点电压为

$$U_C = U_0 \frac{C}{U_N} [(1 - \frac{C^2}{3Z^2})(P_L r + Q_L x)] + Y \frac{P_{EV1} r + Q_{EV1} x}{U_N} \quad (23)$$

(2) 电动汽车一体站作LOAD时

一体站作为负荷接入电网，由系统大电源单独供电时，根据式(10)、式(21)可推导出C点电压为

$$U_C = U_0 - \frac{C}{U_N} [(1 - \frac{C^2}{3Z^2})(P_L^* r + Q_L^* x)] \quad (24)$$

三角形负荷分布模型中，节点电压与负荷的接入位置以及负荷距离面积有关。

4. 常规均匀分布负荷的配电网电压损耗计算

负荷成均匀分布可借鉴上述三角形负荷分布时电压分布的计算分析，电压计算公式如下。

(1) 电动汽车一体站作为电源作用

1) 当 $0 < C \leq Y$ 时

$$U_C = U_0 - \frac{C}{U_N} [(1 - \frac{C}{2Z})(P_L r + Q_L x) - (P_{EV1} r + Q_{EV1} x)] \quad (25)$$

2) 当 $Y < C \leq Z$ 时

$$U_C = U_0 - \frac{C}{U_N} [(1 - \frac{C}{2Z})(P_L r + Q_L x)] + Y \frac{P_{EV1} r + Q_{EV1} x}{U_N} \quad (26)$$

(2) 电动汽车一体站作为负荷作用

$$U_C = U_0 - \frac{C}{U_N} [(1 - \frac{C}{2Z})(P_L^* r + Q_L^* x)] \quad (27)$$

配电网网络参数、负荷参数以及一体站容量已知的情况下，可分别计算两种负荷分布模型的节点电压分布。

算例分析

建立含一体站的配电网模型，10 kV线路参数选取如下，长度取为 $l = 10$ km，总负荷数为10，电阻 $r = 0.082 \Omega/\text{km}$ ， $x = 0.247 \Omega/\text{km}$ 。配网模型端电压

$U_0=1.05$ (pu), $U_N=1.0$ (pu), $S_B=10$ MV·A, $U_B=10$ kV。线路负荷数据: $P_L=6$ MW, $Q_L=3.6$ Mvar。电动汽车一体站数据: $P_{EV}=2$ MW, 功率因数 $\cos \varphi=0.9$ 。

含一体站的潮流电压计算采用牛顿拉夫逊法, 程序步骤框图如图4所示。

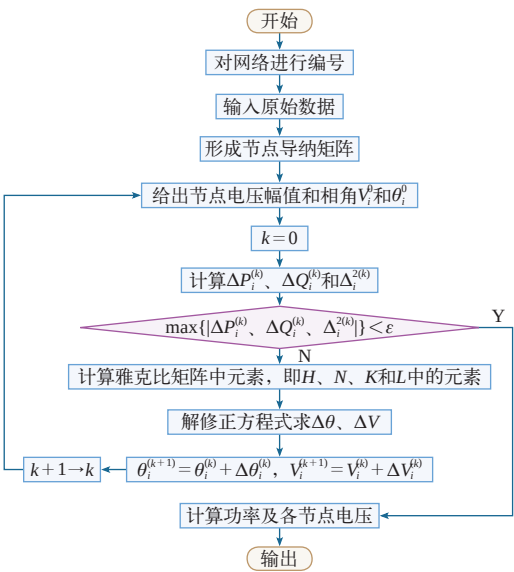


图4 含一体站的牛顿拉夫逊法电压计算流程

算例节点负荷数据如表2所示。

表2 10节点负荷数据

节点	有功功率/MW	无功功率/Mvar
1	0.06	0.009 972
2	0.18	0.079 778
3	0.3	0.159 557
4	0.42	0.239 335
5	0.54	0.319 114
6	0.66	0.398 892
7	0.78	0.478 67
8	0.9	0.558 449
9	1.02	0.638 227
10	1.14	0.718 006

1. 建立模型验证

基于算例及上述数据对以三角形面积密度负荷分布模型和以均匀分布负荷模型的配电网进行电压分布计算, 将两种负荷分布模型的计算结果与采用牛顿拉夫逊法的电压计算进行对比, 以此验证负荷分布模型的有效性。图5为不含一体站的

配电网模型验证图, 图6和图7为在5号节点接入一体站的配电网模型验证图, 根据场景不同区分为DG性质的一体站(以下用EVDG代替)以及负荷性质的一体站(以下用EVLOAD代替)。

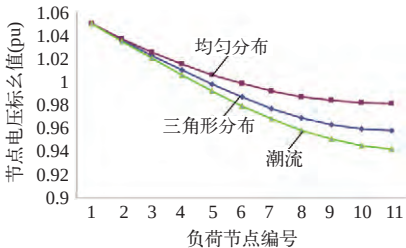


图5 不含EV模型验证图

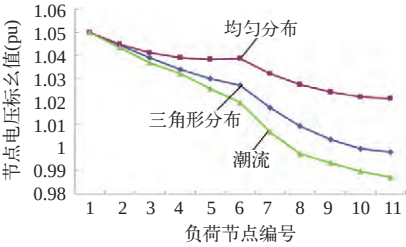


图6 含EVDG模型验证图

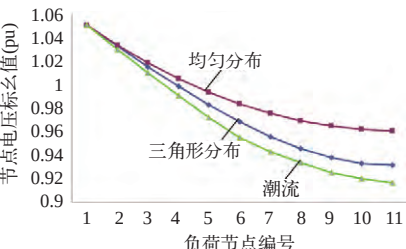


图7 含EVLOAD模型验证图

通过上述3图节点电压分布曲线可知, 三角形面积密度负荷分布模型的电压分布计算结果与牛顿拉夫逊法的潮流计算非常接近, 明显优于均匀负荷分布模型的计算结果, 由此验证了三角形负荷分布模型的正确性。

2. 一体站作DG时出力变化对电压分布的影响

采用同样的配电网模型以及负荷数据, 在5号节点接入一体站, 当一体站作DG时, 按照EVDG不同出力方案进行测试, 处理方案如表3所示。根据本文所提出的三角形面积密度负荷分布模型及算法计算节点电压分布, 结果如图8所示。

以上图表表明, 在一体站接入位置不变的情况下, 配网电压分布由一体站作DG时出力所决定, EVDG出力越多, 对节点电压的提升效果越明显, 配电网整体电压水平越高。

表3 EVDG出力方案数据

方案	EVDG出力/(%)	容量/MV·A
1	0	0
2	20	0.8+j0.387 4
3	40	1.6+j0.774 8
4	60	2.4+j1.162 2
5	80	3.2+j1.549 6
6	100	4+j1.937

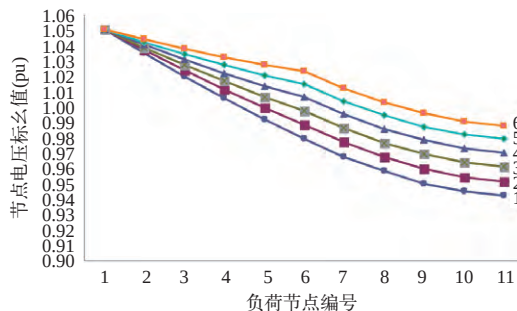


图8 EVDG不同出力电压分布变化曲线

3. 一体站作DG时位置变化对电压分布的影响

EVDG出力达到100%，改变一体站在配电网中的接入位置，不同接入点方案如表4所示。节点电压分布曲线如图9所示。

表4 EVDG接入位置方案数据

方案	EVDG位置（节点）	容量/MV·A
1	3	4+j1.937
2	5	4+j1.937
3	7	4+j1.937
4	9	4+j1.937

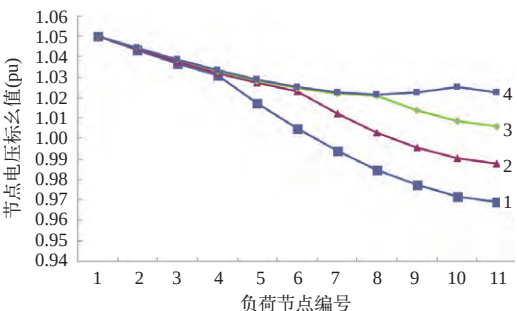


图9 EVDG不同接入位置电压分布变化曲线

从图9电压分布变化曲线可以看出，当EVDG出力保持不变时，改变接入位置同样会对电压造成相应的变化。方案4中节点电压大小明显高于方案1～方案3中的电压，而方案4中EVDG的接入位

置更靠近线路末端负荷侧，方案1中EVDG的接入位置更靠近母线端，说明EVDG越靠近线路末端对电压分布的影响越大。

4. 一体站作LOAD时位置变化对电压分布的影响

一体站作负荷进行储能并为电动汽车充电时，当一体站容量不变，改变一体站在配电网中的接入位置，不同接入点方案如表5所示。节点电压分布曲线如图10所示。

表5 EVLOAD接入位置方案数据

方案	EVLOAD位置（节点）	容量/MV·A
1	2	2+j0.968
2	4	2+j0.968
3	6	2+j0.968
4	8	2+j0.968

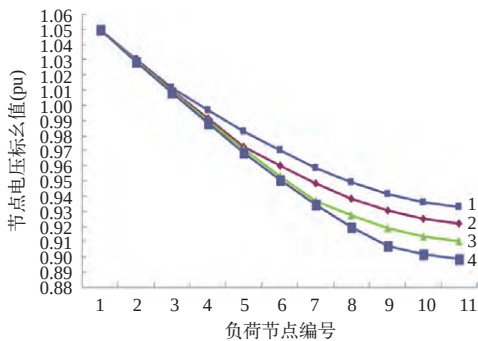


图10 EVLOAD不同接入位置电压分布变化曲线

从图10可以看出，一体站表现为负荷作用时，再考虑一体站满负荷运行的极端状况下，改变EVDG的接入位置同样对电压产生变化。方案1中各节点电压水平明显优于其余3种方案，而方案1中较方案4更靠近系统母线端，可见EVLOAD的接入位置越靠近母线端对电压的影响越大。

5. 一体站对配电网电压分布的调节作用

在分析一体站的具体运行情况时，根据多场景模拟将其处理为EVDG和EVLOAD两种不同模型。通过对这两种不同模型中不同情况下引起节点电压变化的计算，发现其对电压变化的不同作用效果。当一体站作EVDG作用时，由于其具有类似DG的电压调节能力，所以EVDG在线路末端的调压能力十分明显；而当一体站作EVLOAD作用时，类似于配网中接入的大负荷，并不具备调压能力，在远离母线时会造成电压跌落较为明显。

结束语

本文针对复杂链式配电网进行等效简化,并用多场景优化处理含电动汽车充放储一体站的配电网,采用了含一体站的三角形面积密度负荷分布模型进行节点电压分布计算。算例分析验证了本文建立模型与方法的有效性,并运用模型与电压计算方法分析了一体站不同运行状态对配电网稳态电压分布的影响,主要结论如下。

1) 电动汽车充放储一体站模型充分考虑电动汽车充电功率随机因素,以及自身运行约束条件,较为真实反映一体站的实际运行状况。

2) 建立的三角形面积密度负荷分布模型克服了均匀分布负荷模型误差较大的缺点,解决了含一体站的配电网节点负荷不均匀的问题,在大规模一体站入网时亦可推广应用。

3) 对一体站的多场景处理,解决了一体站在不同功能行为转化之间的问题,在电压分布计算中一体站的多场景分阶段优化模拟了真实运行情况,有利于含一体站的配电网电压质量分析。

4) 含一体站的配电网电压分布计算结果表明:一体站作EVDG时,系统中各节点电压与EVDG的出力和接入位置有关;一体站作EVLOAD时,节点电压同样会受到EVLOAD入网位置的影响。一体站不同场景对电压分布的影响分析,有助于解决电压控制及无功优化等问题。

参考文献

- [1] 徐国钧,刘永胜,李题印,等.基于层次分析和概率模拟的电动汽车对配电网负荷影响研究[J].电力系统保护与控制,2012,40(22):38-45.
- [2] 蔡德福,钱斌,陈金福,等.含电动汽车充电负荷和风电的电力系统动态概率特性分析[J].电网技术,2013,37(3):590-596.
- [3] 张帝,姜久春,张维戈,等.基于遗传算法的电动汽车换电站经济运行[J].电网技术,2013,37(8):2101-2107.
- [4] 李国,张智晟,温令云.换电模式下电动汽车充换电网的规划[J].电力系统保护与控制,

2013,41(20):93-98.

- [5] 周念成,熊希聪,王强钢.多种类型电动汽车接入配电网的充电负荷概率模拟[J].电力自动化设备,2014,34(2):1-7.
- [6] 田文奇,和敬涵,姜久春,等.电动汽车换电站有序充电调度策略研究[J].电力系统保护与控制,2012,40(21):114-119.
- [7] 马玲玲,杨军,付聪,等.电动汽车充放电对电网影响研究综述[J].电力系统保护与控制,2013,41(3):140-148.
- [8] 张谦,韩维健,俞集辉,等.电动汽车充电站仿真模型及其对电网谐波影响[J].电工技术学报,2012,27(2):159-164.
- [9] Wu Di, Aliprantis, Dionysios C, et al. Electric energy and power consumption by light-duty plug-in electric vehicles[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2011, 26(2):738-746.
- [10] 高赐威,张亮.电动汽车充电对电网影响的综述[J].电网技术,2011,35(2):127-131.
- [11] 刘晓飞,张千帆,崔淑梅.电动汽车V2G技术综述[J].电工技术学报,2012,27(2):121-127.
- [12] 卢艳霞,张秀敏,蒲孝文.电动汽车充电站谐波分析[J].电力系统及其自动化学报,2006,18(3):51-54.
- [13] 肖湘宁,陈征,刘念.可再生能源与电动汽车充电设施在微电网中的集成模式与关键问题[J].电工技术学报,2013,28(2):1-14.
- [14] 杜学龙,刘志珍,王建,等.电动汽车充电站谐波抑制方法的对比分析[J].电力系统保护与控制,2012,40(19):139-149.
- [15] Putrus G A, Suwanapongkarl P, Johnston D, et al. Impact of electric vehicles on power distribution networks[C]. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009:827-831.
- [16] 曾博,刘念,张玉莹,等.促进间歇性分布式电网高效利用的主动配电网双层场景规划方法[J].电工技术学报,2013,28(9):155-171.

(收稿日期:2014-07-01) EA