Journal of Electrical Engineering 电气工程, 2018, 6(3), 230-236
Published Online September 2018 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/jee
https://doi.org/10.12677/jee.2018.63027

Hans汉斯

The Influence of Submarine Cable Parameter Modification on Voltage Stability Assessment of Offshore Platform

Chunsheng Yang, Guanrong Liu, Haichun Wei, Guohua Dai, Jianming Wang

CNOOC (China) Co., Ltd., Tianjin Branch, Tianjin
Email: 839691312@qq.com

Received: Aug. 23rd, 2018; accepted: Sep. 5th, 2018; published: Sep. 12th, 2018

Abstract

Submarine cables are used for power transmission between offshore platforms, but their parameters may change according to the operation condition, which may affect the evaluation of power grid stability. This paper focuses on the influence of submarine cable parameters modification on voltage stability assessment and voltage stability models of platforms were established based on L index, with the improved REI equivalence method. Based on the analysis result, the influence of submarine cable parameters modification can be confirmed.

Keywords

Submarine Cables, Offshore Platforms, Parameter Modification, Voltage Stability, L Indicators, Improved REI Equivalent Method

海洋平台电缆参数重取对电压稳定评估的影响

杨春生，刘冠荣，魏海春，戴国华，王建明

中海石油(中国)有限公司天津分公司，天津
Email: 839691312@qq.com

收稿日期：2018年8月23日；录用日期：2018年9月5日；发布日期：2018年9月12日

摘　要

海洋平台电网之间都采用海底电缆传输电能，构成完全基于电缆的独立微网系统。但海底电缆参数会随运行情况发生变化，且与出厂参数区别较大，从而影响平台电网稳性评估等计算的准确性。本文通过考

文章引用: 杨春生, 刘冠荣, 魏海春, 戴国华, 王建明. 海洋平台电缆参数重取对电压稳定评估的影响[J]. 电气工程, 2018, 6(3): 230-236. DOI: 10.12677/jee.2018.63027

虑平台电网边界关联影响，利用平移变换和时间加权回归方法，实现海底电缆参数的重取，进而提高平台微网电压稳定性分析计算的准确度。通过渤海某实际海洋平台群微网的仿真，验证了本文提出方法的准确性，且该方法只需要各平台电网本地运行参数，降低了互联平台间的通信和计算负担。

关键词

海底电缆，海洋平台，参数重取，电压稳定，L指标，改进REI等值法

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

海洋平台电网[1]作为具有一定规模且构成较复杂的非线性动态系统，因为所处环境特殊，导致系统运行工况变化较大，电压可靠度不高[2]，其电压稳定性[3] [4]与海上大型器械的正常工作关系紧密，所以有关海洋平台微电网电压可靠度问题的研究显得尤为重要[5] [6]。海洋平台电网之间多采用长距离海底电缆连接，与普通输电线相比，电容效应较大，参数变化明显，使系统中无功功率可能发生较大变化[7]，对电网中电压可靠度产生较大影响[8] [9]。因而有必要研究海底电缆对平台微网电压稳定性的影响，进而提出相应的参数重取方法。

本文通过建立海底电缆模型并分析其电容参数与无功功率的关系，推导出电容参数变化对互联平台电网容抗等值参数的影响，进而利用平移变换和时间加权回归的方法估计出互联电网间的容抗参数修正表达式。通过对海底电缆参数的修正与重取，提高了海洋平台电网电压稳定 L 指标计算结果的精度。

2. 海底电缆模型及参数

海底电缆的 PI 型等效模型[10] [11] [12]如图 1 所示。

由图 1 可推导出海底电缆的无功功率为(1)。

$$Q_b = Q_a - \omega L \cdot \left[\left(\frac{P}{|V_1|} \right)^2 - \left(\frac{Q_a}{|V_1|} \right)^2 \right] + \omega C V^2 \tag{1}$$

从公式中可以看出，海底电缆传输中，电缆电容性较大，且无功功率很容易随海底电缆中电压变化而变化。当电容有较小变化时，会引起线路中等效感抗的极大消耗，从而影响电压稳定性的计算精度[13]。

3. 海底电缆参数重取

在海底电缆传输中，考虑到海缆两端节点的电压除了受自身电容的影响外，还会受各平台的电压和无功情况的影响，因此需要考虑海底电缆连接区域等值。常用的 REI 等值法和 Ward 等值法，对区域外电网进行等值时需要全网数据，在实际海洋平台电网中不易满足。而常规功率注入等值法是基于互联电网全网潮流信息来完成的，仍然需要互联电网的全网运行数据。本文采用平台电网的本地数据筛选有效的样本点，经过平移变换和时间加权回归，得到平台电网间海底电缆的修正模型。一般情况下，海底电缆等值阻抗中的电阻部分对电压幅值的影响远小于电抗部分，因此可忽略，得到(2)式所示的海缆两端的

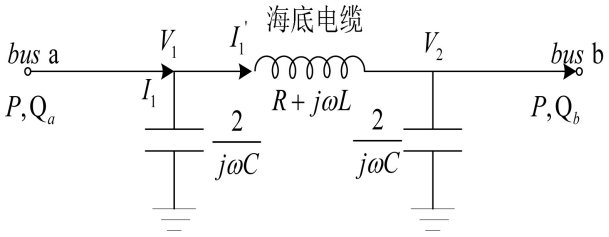


Figure 1. Submarine cable model
图 1. 海底电缆模型

电压降关系。

$$U_E = -X_R I_E + U_R \tag{2}$$

U_E 和 I_E 是测量平台边界节点 E 的电压和电流，可由系统测得其具体值；U_R 为关联平台 R 的电压，随着系统的运行方式等因素的变化而变化，是一个变化量；X_R 为节点 R 的等值电抗，属于待求量。由式(2)可以看出，当 X_R 不变时，U_E 和 I_E 呈变距线性关系；当 X_R 变化时，U_E 和 I_E 呈非线性关系。因此，可根据电压无功灵敏度关系求取海缆的等值参数，对区域外平台电网进行等值。由于 U_R 是阶段性变化的，若采用随机抽样的方式从 SCADA 系统选取(U_E,I_E)点对，有可能导致选取的两点分布在不同的直线附近，这样求得的斜率是不准确的。综合考虑系统负荷的投切变化、SCADA 系统数据同步刷新速度等因素，在较短时间内，系统的运行方式、负荷投切等情况是保持不变的，此时即可认为节点 R 的电压 U_R 保持不变。因此，在 U_R 保持不变的情况下，可以从时间上来限定筛选有效的(U_E,I_E)点对。在筛选出有效的(U_E,I_E)点对后，采用平移归一化的手段，将所有有效的(U_E,I_E)点对按照其构成线段的中点到坐标原点的向量进行平移，得到一条以$-X_R$为斜率的过原点直线，所有有效(U_E,I_E)点对都均匀分布在这条直线上或其附近。此时即可求得正确的直线组斜率，进而得到海底电缆的修正等值参数 X_R。当系统的运行方式发生较大变化时，虚拟节点 R 的等值电抗 X_R 可能会随之发生变化，此时采集到的样本数据具有实时性的问题。考虑到系统运行方式不会频繁发生改变，因而采用权重系数占据比例的方法来实现等值参数的求取。结合最小二乘法曲线拟合思想，设立一个如式(3)所示的权重函数，式中 t 表示当前时间；t_i 表示采集第 i 个样本点的时间；t_0 表示采样的起始时间。当样本点距离当前时间越近时，权重系数越大，表明该样本数据的实时性越好，计算得出的 X_R 也越准确。

$$\omega_i = 1 - \frac{t - t_i}{t - t_0} \tag{3}$$

$$X_R = -\frac{\sum_{i=1}^{N} \omega_i U_{Ei} I_{Ei}}{\sum_{i=1}^{N} \omega_i I_{Ei}^2} \tag{4}$$

此时，电缆的等值参数的求取公式如式(4)所示。式中 U_{Ei}、I_{Ei} 分别表示第 i 个边界节点的电压和电流，可以通过平台电网的 SCADA 系统采集或通过简单计算得到；ω_i 为权重系数。

4. 静态电压可靠度评估 L 指标

本文采用 L 指标[14]表征平台电网的运行状态与其系统稳定极限之间的差距，其大小在 0 到 1 之间。L 指标值与 1 的临近程度表示系统临近发散的程度，即 L 指标值越小，表示系统越稳定；L 指标值越趋近于 1，表示系统越不稳定，电压可能存在即将崩溃的风险。如下式，

$$L = \underset{j\in\alpha_L}{MAX}\left(L_j\right) = \left|1 - \frac{\sum \dot{F}_{ji}\dot{U}_i}{\dot{U}_j}\right| \tag{5}$$

其中：F 矩阵是对节点导纳矩阵进行部分求逆所得到的子矩阵。

5. 实际算例

本文选取渤海某地区实际海洋平台群电网作为仿真算例，如图 2 所示。该海洋平台群电网由三个区域电网，11 个平台，25 个节点(4 个发电机节点和 21 个负荷节点)构成。其中，P1、P3 和 P10 为发电机平台，主要由燃气轮机发电机组构成；P9 上装有无功补偿装置，包含 2 个 1Mvar 的电抗器；其余平台均为负荷平台。应用本文方法，对图 2 所示的海底电缆进行参数重新取值，表 1 为部分参数重取结果。

将重新取值后的海底电缆参数信息代回该实际海洋平台电网的支路信息，更新仿真算例的支路信息矩阵。对待评估区域外电网等值后的计算该实际海洋平台电网的潮流和电压稳定 L 指标，其结果如图 3 所示。

分别截取属于区域电网 A、区域电网 B、区域电网 C 的负荷节点的电压稳定 L 指标仿真计算结果如图 4 所示。

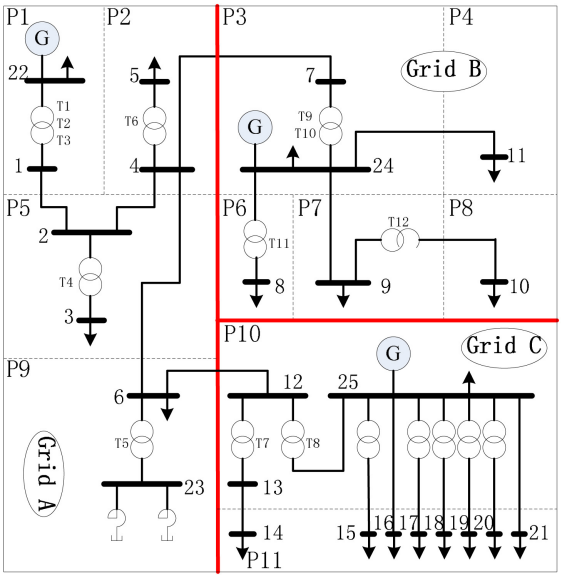
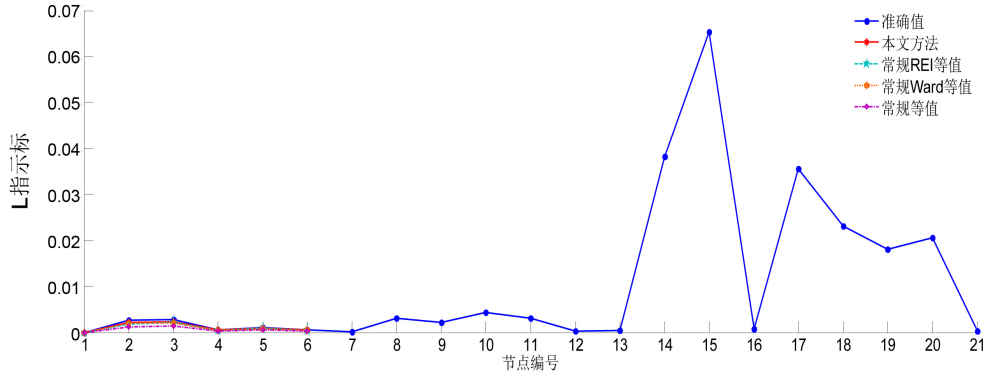


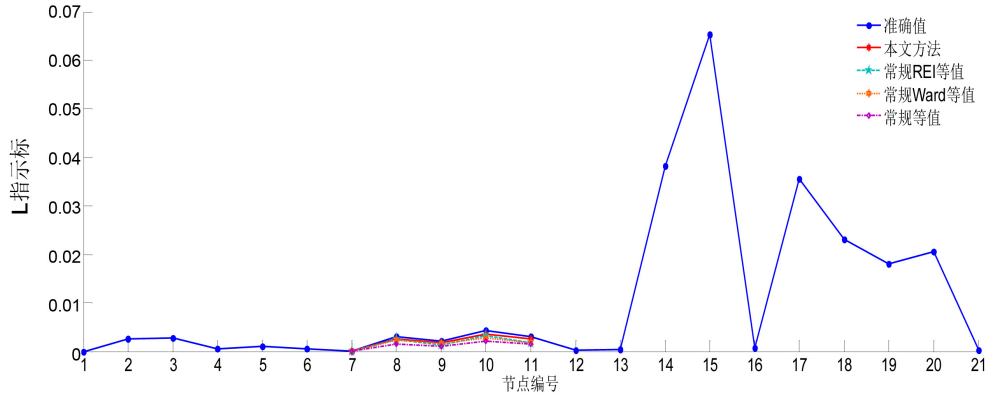
Figure 2. Microgrid model of an offshore platform in the Bohai area
图 2. 渤海地区某海洋平台微电网模型

Table 1. Part of the submarine cable parameter retrieving results
表 1. 部分海底电缆参数重取结果

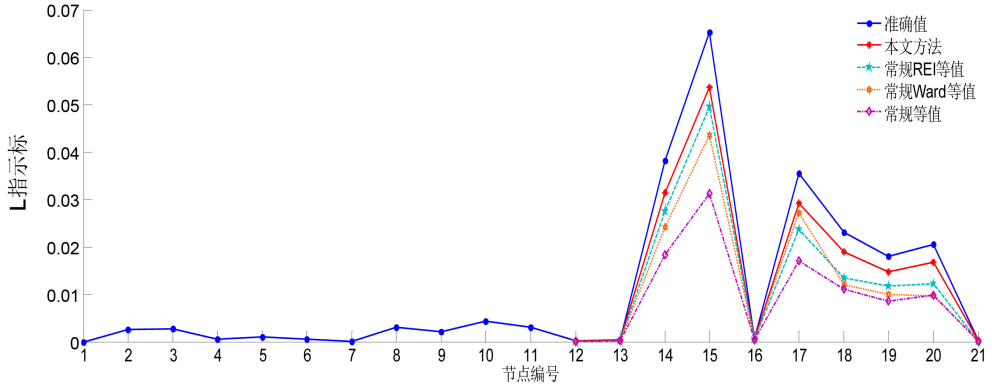
编号	长度(km)	电阻(Ω/km)	电容(uF/km)	电感(mH/km)
L1	13.6	0.126	0.22	0.39
L2	8	0.126	0.22	0.39
L3	2.2	0.126	0.22	0.39
L4	2.4	0.126	0.22	0.39
L5	1.5	0.372	0.16	0.46
L6	2.2	0.0607	0.53	0.32



(a)



(b)

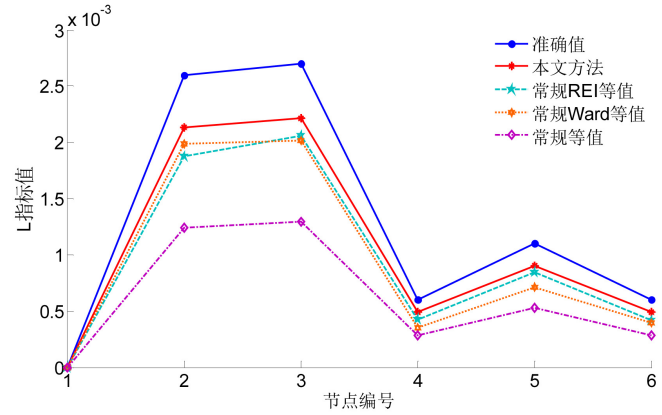


(c)

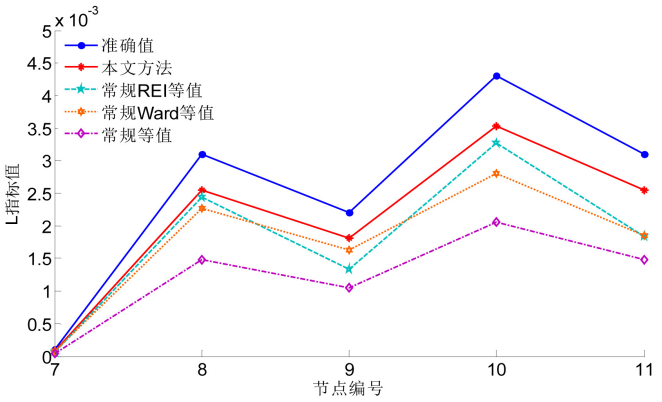
Figure 3. Simulation results of voltage stability L index after parameter re-take. (a) Simulation results after regional grid A parameter retake; (b) Simulation results after regional grid B parameter retake; (c) Simulation results after regional grid C parameter retake

图 3. 参数重取后电压稳定 L 指标仿真结果。(a) 区域电网 A 参数重取后仿真结果；(b) 区域电网 B 参数重取后仿真结果；(c) 区域电网 C 参数重取后仿真结果

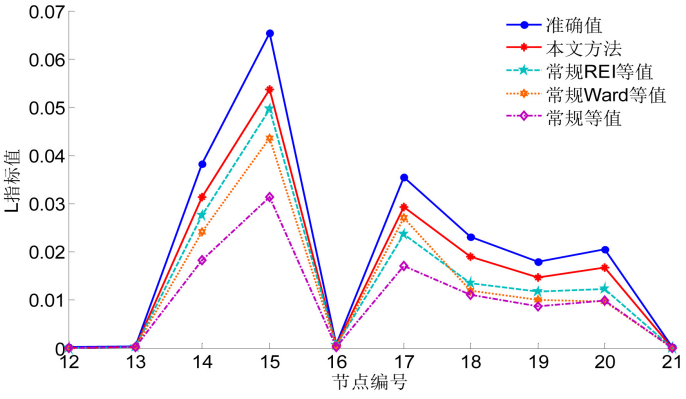
将图 4(a)~(c)分别与图 3(a)~(c)进行对比，不难发现经海底电缆参数重新取值后，电压稳定 L 指标计算结果相比准确值仍然有着相同的走势。并且进行参数重取后，各负荷节点的电压稳定 L 指标值都更加接近准确值，尤其是在系统薄弱节点(区域电网 A 节点 3、区域电网 B 节点 10、区域电网 C 节点 15)。由此可以看出，对海底电缆的参数进行重新取值校验后，微电网系统的电压稳定性 L 指标更加可靠。



(a)



(b)



(c)

Figure 4. Results of voltage stability L indicator simulation after parameter re-take. (a) Simulation part results after regional grid A parameter retake; (b) Simulation part results after regional grid B parameter retake; (c) Simulation part results after regional grid C parameter retake

图 4. 参数重取后电压稳定 *L* 指标仿真部分结果。(a) 区域电网 A 参数重取后仿真部分结果；(b) 区域电网 B 参数重取后仿真部分结果；(c) 区域电网 C 参数重取后仿真部分结果

6. 结论

本文通过采用海洋平台电网的本地测量数据筛选有效的样本点，经过平移变换和时间加权回归，得

到平台电网间海底电缆的修正方法。利用该方法对实际海洋平台微电网的海底电缆参数进行修正，能够显著提高 L 指标电压稳定性评估结果的准确性。

基金项目

“十三五”国家科技重大专项“海上油田区域供电工程技术研究及应用(编号：2016ZX05058-004-008)”部分研究成果。

参考文献

[1] Bromhead, R.J. (1986) Offshore Electrical Systems. *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, **133**, 457-461. https://doi.org/10.1049/ip-c.1986.0069

[2] 张浩. 未来海洋平台电力系统研究[J]. 船电技术, 2014, 34(11): 71-73.

[3] 武晓朦, 刘健, 毕鹏翔. 配电网电压稳定性研究[J]. 电网技术, 2006, 30(24): 31-35.

[4] Majumder, R. (2013) Some Aspects of Stability in Microgrids. *IEEE Transactions on Power Systems*, **28**, 3243-3252. https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2234146

[5] 郑连清, 庄琛, 马世强, 等. 微电网改进负荷功率分配策略与并网稳定性分析[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(4): 17-23.

[6] 刘怡. 大型电力系统电压稳定评估指标及其算法研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2009.

[7] 张欢, 赵荣祥, 辛焕海, 等. 海岛电网发展状况与研究动态[J]. 电工技术学报, 2013, 28(11): 95-105.

[8] 段献忠, 何仰赞, 陈德树. 论电力系统电压稳定几种使用判据和安全指标[J]. 电力系统自动化, 1994, 18(9): 36-41.

[9] 吕婷婷, 段玉兵, 龚宇雷, 等. 微电网故障暂态分析及抑制方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(2): 102-107 + 13.

[10] Iyer, S., Belur, M. and Chandorkar, M. (2010) A Generalized Computational Method to Determine Stability of a Multi-Inverter Microgrid. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **25**, 2420-2432. https://doi.org/10.1109/TPEL.2010.2048720

[11] Årdal, A.P. (2011) Feasibility Studies on Integrating Offshore Wind Power with Oil Platforms. Institutt for elkrafttekknikk, Trondheim.

[12] Kolstad, M.L. (2013) Integrating Offshore Wind Power and Multiple Oil and Gas Platforms to the Onshore Power Grid Using VSC-HVDC Technology. Institutt for elkrafttekknikk, Trondheim.

[13] 张继芬, 胡鹏, 刘峻. 海上石油平台电网安全稳定控制系统[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(2): 237-241.

[14] Kessel, P. and Glavitsch, H. (1986) Estimating the Voltage Stability of a Power System. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **1**, 346-354. https://doi.org/10.1109/TPWRD.1986.4308013

Hans汉斯

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD
   下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2333-5394，即可查询
2. 打开知网首页 http://cnki.net/
   左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx
期刊邮箱：jee@hanspub.org