

全寿命周期成本在海上风电输电方式经济性评估中的应用

凌峰¹, 汤昶烽², 卫志农²

(1.江苏省电力公司电力经济技术研究院, 江苏 南京 210008;

2.河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 210098)

摘要:建立了基于全寿命周期成本(LCC)的海上风电输电方式经济性评估模型,统筹考虑了海上风电输电系统的初始投入成本、运行成本、维护成本、故障成本和废弃成本,寻求在保证安全可靠下在全寿命周期内的经济性和持续性最优方案。比较了用于海上风电接入的高压交流输电、传统的高压直流输电和柔性直流输电方式,根据其特点以典型的输电工程为例,分析了不同输送距离和不同传输容量下各输电系统的LCC情况,给出了各种输电方式的LCC适用范围。算例分析表明,该方法可以克服传统评估方法的片面性,得到更科学、全面的经济性评估结果,具有很好的实用价值。

关键词:全寿命周期成本;海上风电;高压交流输电;高压直流输电;经济性评估

中图分类号:TM721

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2013)05-0005-05

海上风力发电凭借其所具有的比陆上风电更丰富、利用率高、对周边环境影响小等优势在世界范围内迅速发展,已成为风力发电的重要方面。欧盟计划在2020年底达到40GW的目标,我国也将其作为近期的发展重点并于十二五内建成5GW^[1]。目前国内外针对风电接入采用的输电方式进行了不少研究,文献[2]从电能损耗、设备单位成本变化等方面对不同风电场的交直流输电系统进行了对比;文献[3]对海上风电不同输电系统采取的补偿方案进行了评估;文献[4]海上风电场电气系统开关配置进行了经济性分析;文献[5]对风电接入对输电规划的影响从评估体系建立、风电不确定性、政策市场等角度进行了评述;文献[6]以我国的上海东海大桥海上风电场为例,从传输性能、原材料消耗等几个方面说明了如果采用柔性直流输电会更为经济合理;文献[7]分析了不同输电系统用于不同风电场的损耗情况并给出了一些建议。可以看出,这些研究多从原理、技术等方面进行分别比较并说明了该方面的优缺点,由此给出一些经济性分析和建议,但不能反映实际工程建设运营的真实具体的经济性情况,缺少可推广性和实用性。对于海上风电这样规模大、运营周期长、技术要求高的工程,如果不对其整体目标和投资规划充分考虑,可能会导致其最终运营结果和最初的设计预期有很大差异,不仅不能发挥新能源的优势,反而给后期运营管理工作带来巨大经济和社会负担^[8]。

基于全寿命周期成本(LCC)理论的分析评估用于对工程的全寿命周期发展过程进行协调统一的规划和管理,已在电力设计规划决策中被广泛认识和应用^[9-11]。文中在分析海上风电不同类型输电系统的结构和特点的基础上,构建海上风电输电系统的LCC

模型,并根据该模型评估对于距陆地不同距离和不同容量的海上风电场采用不同输电系统的全寿命经济性,以寻找最合理的海上风电接入方式,可以为相关投资规划提供科学、全面的参考。

1 海上风电接入的输电方式

1.1 高压交流输电(HVAC)系统

HVAC系统是在海上风电接入中较为成熟的一种技术,具有稳定、连接简单、造价低等优点,因此迄今为止建成的大多数海上风电场都采用此系统^[12]。典型的HVAC输电系统如图1所示。该系统主要由交流集电系统、海上升压站与无功补偿设备、海底电缆、陆上变电站与无功补偿设备等部分组成。海上风电场的线路从集电系统出来后汇集到海上变电站,再通过升压变压器将电能通过海底电缆输送到岸上的变电站。电缆线路的分布电容通常要远大于架空线路,因此在交流输电系统中会产生很大的电容电流,从而显著降低了电缆输送有功的能力。在实际中,需根据现场情况在电缆的一侧或两侧加装无功补偿装置^[7]。

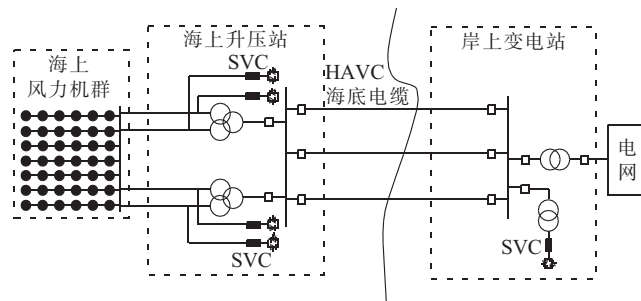


图1 典型的HVAC系统

1.2 传统高压直流输电(PCC-HVDC)系统

PCC-HVDC系统也是在跨海输电中广泛应用的一种较为成熟的技术,其优点主要体现在长距离输电造价低、损耗小,运行经验也较柔性直流输电丰富。典

型的 PCC-HVDC 系统如图 2 所示。

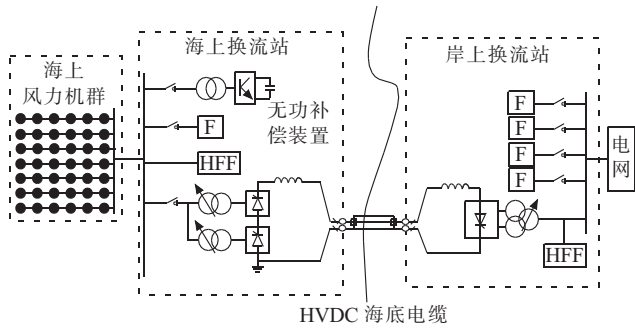


图 2 典型的 PCC-HVDC 系统

该系统主要由滤波器、换流变压器、晶闸管换流阀、电容器组件、直流电缆等部分组成。其中交流滤波器用来吸收换流变压器所产生的谐波,减少谐波对交流系统的影响,同时向换流站提供无功。电容器组件和电压器并联用于提供换流阀工作时所需要的无功。直流电缆有充油电缆,不滴流电缆以及交联聚乙烯电缆等几种,其中充油电缆可以用于较高电压等级和较大功率的传输,但长度很难超过 100 km,且可能会出现绝缘油外泄污染环境的危险。

1.3 柔性直流输电(VSC-HVDC)系统

VSC-HVDC 系统是以电压源型换流器(VSC)、可关断器件和脉宽调制(PWM)技术为基础的新一代直流输电技术,由于其在运行控制上可对两端交流系统的有功无功功率进行独立调节,还能有效改善低电压穿越能力^[13],在风电并网上有着较大的优势和前景。德国已经将其用于距离内陆 125 km 的 400 MW 海上风电场接入并网,并于 2009 年运行,还有 3 个总计达 2 176 MW 的工程将于 2013 年投入运行。我国建设的上海南汇风电场并网的 VSC-HVDC 工程也已经投入运行。典型的 VSC-HVDC 系统如图 3 所示。

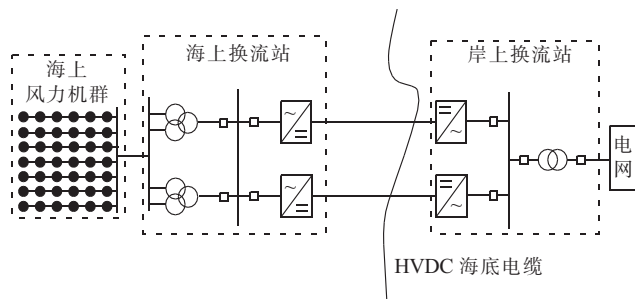


图 3 典型的 VSC-HVDC 系统

该系统主要由海上换流站和直流电缆组成。换流站的核心是高频绝缘栅双极型晶体管(IGBT)开关器件,其工作在 500~2 000 Hz 之间,通过控制 PWM 脉冲,其输出电压可根据系统需要自动调节。IGBT 开关器件在换流器上的应用消减了系统谐波并改善了电能质量,但高频同时也带来较高的系统损耗^[14]。与传统直流输电相比,其换流站的占地面积和总重量都小很

多,一个 550 MW 换流站的体积只有传统直流输电换流站的 1/8,可以明显降低需要搭建海上平台的海上风电接入的施工难度和建设成本。VSC-HVDC 电缆目前主要使用的是聚合物挤包绝缘电缆,具有体积小、柔韧性强、重量轻、弯曲半径小、绝缘水平优越、环保易铺设等特点,使电缆在恶劣的海底条件和深水条件下更易于敷设,且耗材也比常规直流输电要少。

2 海上风电输电系统的 LCC 模型

2.1 LCC 模型简介

输电工程的 LCC 模型是从工程的全寿命周期出发,综合考虑从设计到退役期间的各个环节,将项目论证规划、生产建设、运行维护、故障检修、改造报废等各方面因素折算为统一标准下的等效费用进行评价^[10]。此种评价方法可以把方案的经济性评价、可靠性评价、安全性评价、持续性评价结合起来,克服传统评价中或简单根据前期投资或片面追求可靠性的矛盾,体现了经济效益、社会效益和环境效益最大化的原则,使投资决策方案更为科学合理。

一般输电工程的全寿命周期成本 C_{LCC} 主要由初始投入成本 C_1 、运行成本 C_0 、维护成本 C_M 、故障成本 C_F 和废弃成本 C_D 5 个主要部分组成:

$$C_{LCC} = C_1 + C_0 + C_M + C_F + C_D \quad (1)$$

根据 LCC 理论,由于初始投入成本是一次性的成本属于现值,而运行成本、维护成本、故障成本是每年均会发生的成本,废弃成本虽为一次性成本但不属于现值。由于资金具有时间价值,因此需要进行折算。折算主要有 2 种方法:一是将所有的成本都折算为现值进行比较,二是将所有的成本均折算为年费用进行比较。文中采用折算为现值进行比较:

$$C_{LCC} = C_1 + \sum_{t=0}^{t=n} \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} (C_{O_t} + C_{M_t} + C_{F_t}) + \frac{C_D}{(1+r)^n} \quad (2)$$

式中: r 为折现率; n 为工程寿命周期; t 为年份。

2.2 海上风电输电系统 LCC 模型的建立

以 LCC 理论为基础,结合海上风电接入输电工程实际情况,建立海上风电输电系统的 LCC 模型。

2.2.1 初始投入成本 C_1

初始投入成本即基本建设的成本,一般包括设备的购置费用、建筑工程费用、安装费用和其他动态费用等,这一成本发生在寿命周期初期,属于一次性投入。海上风电接入的输电系统的初始投入成本为:

$$C_1 = C_{sub} + C_{cab} + C_{ins} + C_{com} + C_{rig} + C_{land} \quad (3)$$

式中: C_{sub} 为变电站成本; C_{cab} 为电缆成本; C_{ins} 为安装成本; C_{com} 为补偿设备成本; C_{rig} 为海上平台建造成本; C_{land} 为海上用地成本。

2.2.2 年运行成本 C_{O_r}

年运行成本主要为系统运行损耗费用,可表示为:

$$C_{O_r} = \beta \cdot S \cdot T_0 \cdot u \quad (4)$$

式中: β 为损耗率; S 为系统的输送容量; T_0 为年最大运行时间; u 为售电价。其中风电输电的损耗率 β 可以通过如下公式计算求得^[15]:

$$\beta = \frac{(\sum_i^n P_{li} \cdot p_i) \cdot h}{(\sum_i^n P_{gi} \cdot p_i) \cdot h} \quad (5)$$

式中: P_{li} 为系统在风速为 i 时的有功损耗; P_{gi} 为机组在风速为 i 时发出的有功功率; n 为风速的等级划分; p_i 为风速为 i 的概率。

2.2.3 年维护成本 C_{M_r}

维护成本主要包括各年维护检修过程的材料和人工等费用,一般根据历史平均检修情况估算或由工程经验根据建造成本折算得到,考虑到海上风电接入数据搜集较为困难,文中采用根据初始投入成本折算:

$$C_{M_r} = f_m \cdot C_I \quad (6)$$

式中: f_m 为工程维护率。

2.2.4 年故障成本 C_{F_r}

故障成本指由于故障对电网以及用户造成的经济损失,主要与停电的发生时间、持续时间、停电频率以及用户类型有关,可以表示为:

$$C_{F_r} = S \cdot T_0 \cdot \lambda \cdot u \quad (7)$$

式中: λ 为系统的不可用率。

2.2.5 废弃成本 C_D

废弃成本指设备报废时可回收的残余价值。海底输电电缆由于敷设范围广,拆除成本高,废弃成本通常认为与报废处置费用相抵消。变压器等设备属材料密集型产品,其残值收入需要在模型中考虑,可表示为:

$$C_D = \sum_{i \in M} (C_{ied} - C_{ier}) \quad (8)$$

式中: C_{ied} 为废弃设备 i 所耗费的费用; C_{ier} 为该设备的残值,根据不同设备的原值采用折算系数折算得到。

3 不同输电系统的 LCC 比较

3.1 不同输送距离的 LCC 比较

海上风电场一般至少需要距离海岸 5 km 以上,少数发达国家规定在 30 km 以上。目前投运的海上风电场多数还是以近海风电场为主,由于远海风电场的风能更充足且对环境的影响更小,正在向远海发展,德国即将投运的两座均距离海岸达 200 km。而不同输送距离下各输电系统的经济性会有较大差异,以往的经济性比较认为,一般跨海输电的等价距离为 24~48 km,即当输电距离大于该距离时采用直流输电更为经济。

对 300 MW 风电场在不同输送距离下的全寿命周期成本进行比较,电压等级均取 150 kV。不同系统初始投入成本的主要价格如表 1 所示^[16]。

表 1 不同输电系统的初始投入成本价格

	HVAC	PCC-HVDC	VSC-HVDC
$C_{sub}/M\text{€}$	10	30	45
$C_{cab}/(\text{k€} \cdot \text{km}^{-1})$	1 500	720	600
$C_{ins}/(\text{k€} \cdot \text{km}^{-1})$	340	250	215
$C_{com}/\text{k€}$	270	130	0
$C_{mg}/M\text{€}$	13	32	24
$C_{land}/\text{k€}$	50	180	125

注:ME为兆欧元,k€为千欧元。

系统的最大运行时间可根据风电场的年利用小时得到,一般海上风电场较陆上风电场高,可达 3 000 h 以上。若假设风速符合瑞利分布模型,并根据上海东海大桥风电场 90 m 高度年均风速 8.4 m/s 可得年利用小时数大致为 3 200 h。300 MW 的输电系统损耗率随着输送距离的变化情况大致如图 4 所示。

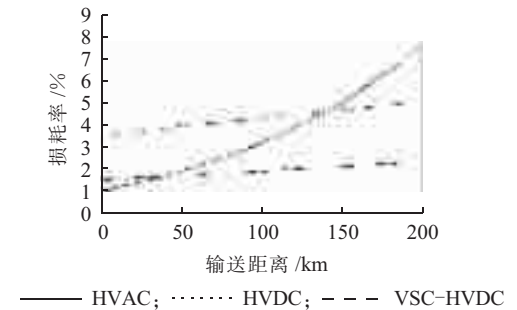


图 4 不同输电系统的损耗率

系统的不可用率根据可靠性数据^[2],考虑到直流输电用于海上风电的可靠性还有待进一步研究,而由于风电出力的不确定性,当相同容量的风电场代替常规机组会使停电期望上升 55%左右^[17],由此综合考虑得到 300 MW 风电 HVAC、PCC-HVAD、VSC-HVDC 系统的不可用率分别为 0.61%、2.41%、0.96%。其余参数为:售电价采用德国海上风电的专门上网电价 0.15 €/ (kW·h),工程维护率电力行业通常均取 1.8%,残值系数取 30%,报废系数 1%,折现率取 8%,工程寿命周期均为 30 年^[10,14]。

根据海上风电输电系统的 LCC 模型,计算的 LCC 结果如表 2 所示。可以看出,如果仅根据初始投入成本比较,当海上风电场距离陆地为 45 km 时采用 HVAC 系统已经是最不经济的选择,这也符合一般跨海输电的等价距离。但如果根据全寿命周期的分析结果,此时采用 HVAC 系统仍最为经济。当距离超过 70 km 后,直流输电的优势才逐渐体现出来。对于 VSC-HVDC 系统,部分研究从损耗角度认为只有对超远距离的海上风电场才合适,而从 LCC 比较来看,尽

管年运行成本在 150 km 内都比另 2 种输电系统高,但超过 80 km 后的全寿命周期成本已经比 HVAC 系统经济,超过 120 km 后会成为最经济的选择。

表 2 不同距离下各输电系统的 LCC 比较 M€

输送距离/km	输电系统	C_i	C_o	C_M	C_F	C_D	C_{LCC}
15	HVAC	50.92	21.50	10.32	9.88	-1.47	91.16
	PCC-HVDC	76.86	25.62	15.57	39.07	-2.22	154.91
	VSC-HVDC	81.35	60.21	16.48	15.56	-2.34	171.26
45	HVAC	106.12	28.94	21.50	9.88	-3.06	163.39
	PCC-HVDC	105.96	28.88	21.47	39.07	-3.05	192.33
	VSC-HVDC	105.80	63.90	21.44	15.56	-3.05	203.66
70	HVAC	152.12	37.06	30.83	9.88	-4.38	225.51
	PCC-HVDC	130.21	31.60	26.39	39.07	-3.75	223.51
	VSC-HVDC	126.18	66.98	25.57	15.56	-3.64	230.65
120	HVAC	244.12	60.80	49.47	9.88	-8.63	357.24
	PCC-HVDC	178.71	37.03	36.21	39.07	-5.99	285.87
	VSC-HVDC	166.93	73.15	33.83	15.56	-5.52	284.65

3.2 不同传输容量的 LCC 比较

随着 5 MW 风电机组的投入使用,海上风电场规划的容量也日益增大,从早期的 100 MW 到数个 800 MW 的风电场群正在建设。对不同距离下不同容量风电场输电系统的 LCC 进行比较,输送距离为 70 km, 120 km, 150 km 不同容量的输电系统 LCC 如图(5—7)所示,其中 120 km 的 LCC 计算结果如表 3 所示。

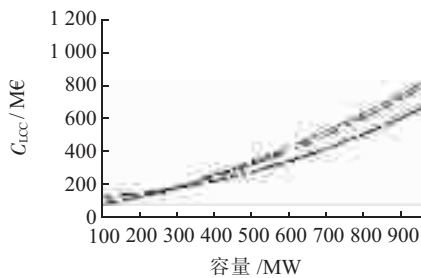


图 5 70 km 不同容量下各输电系统的 LCC

可以看出,对于距离陆地 100 km 以内的大型风电场,采用交流输电仍然较为经济,且随着容量上升优势更为明显;但是超过 110 km 之后,交流输电在可靠性、变电站造价低等方面的优势已经不足以弥补运行成本、输电线路成本等方面的劣势,更适合采用直流输电。在 2 种直流输电中,传统直流输电适合于大规模风电场,而柔性直流输电对于容量小的风电场更经济,但是随着距离的增加,柔性直流输电的优势会逐步增大。

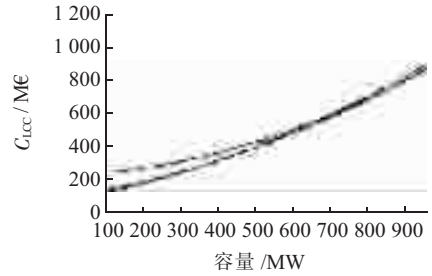


图 6 120 km 不同容量下各输电系统的 LCC

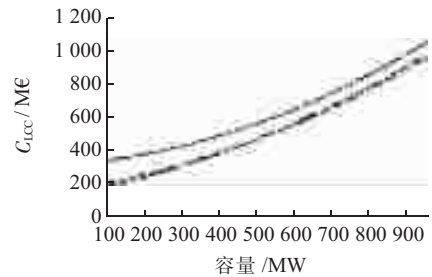


图 7 150 km 不同容量下各输电系统的 LCC

表 3 不同容量下各输电系统的 LCC 比较 M€

输送容量/MW	输电系统	C_i	C_o	C_M	C_F	C_D	C_{LCC}
100	HVAC	228.72	18.24	46.38	9.91	-6.59	296.65
	PCC-HVDC	137.26	12.61	27.81	39.06	-3.96	212.78
	VSC-HVDC	120.84	23.98	24.54	15.54	-3.48	181.41
300	HVAC	244.12	60.80	49.47	9.88	-8.63	357.24
	PCC-HVDC	178.71	37.03	36.21	39.07	-5.99	285.87
	VSC-HVDC	166.93	73.15	33.83	15.56	-5.52	284.65
500	HVAC	259.32	105.23	52.55	65.12	-7.47	474.74
	PCC-HVDC	220.16	60.70	44.61	119.15	-6.35	438.29
	VSC-HVDC	213.01	122.70	43.16	74.57	-6.14	447.30
800	HVAC	282.27	185.48	57.20	233.87	-8.13	750.69
	PCC-HVDC	282.34	94.07	27.21	320.33	-8.14	745.83
	VSC-HVDC	282.13	199.75	57.17	236.04	-8.13	766.96

根据 120 km 时的 LCC 计算结果可以看出,随着容量的增大,初始投入成本占全寿命周期成本的比重逐步下降,100 MW 时占到 75% 以上,而 800 MW 时只占到不到 40%,运行成本和故障成本的影响越来越大,这是规划大型海上风电场应当注意的一个问题。

4 适用范围分析

由不同传输距离和不同传输容量的 LCC 变化情

况,可以得出对于不同的海上风电场,适宜采用的输电方式,如图8所示。

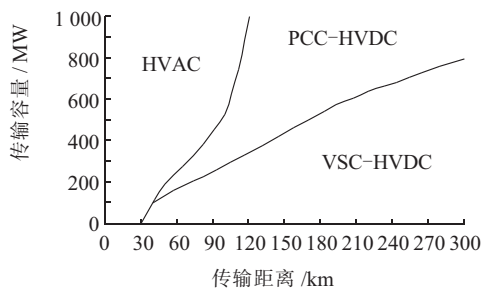


图8 不同输电系统的适用范围

(1) HVAC系统适合短距离、大容量的海上风电场。对于30 km以内的近海风电场均采用HVAC较为合适,30 km至100 km根据装机容量的大小来选择,对500 MW以上的大规模海上风电场仍建议采用HVAC。(2) PCC-HVDC系统适合于中远距离、大容量的海上风电场。对于100 km以上超过800 MW的超大规模风电场其优势较为明显。(3) VSC-HVDC系统适合远距离、中小容量的海上风电场,距离越远其优势越明显,适宜的传输容量范围越大。

HVAC的经济性主要受到电缆成本和输电损耗的限制;PCC-HVDC由于工作原理会加重谐波的污染,其能否确保风电稳定可靠的接入是经济性提高的主要方面;目前而VSC-HVDC由于在风电并网方面的优势,从长远来看VSC-HVDC的适用范围会越来越大,其经济性的提高有待于技术逐步成熟和器件价格的下降,以使换流站的造价和损耗能够进一步降低。

5 结束语

构建了海上风电输电系统的LCC成本模型,并根据海上风电接入的3种不同输电方式的技术特点,对不同距离、不同容量的海上风电场输电系统进行经济性比较,得出以下结论:(1)不同输电方式的经济性随着传输距离和传输容量的不同而变化,HVAC系统适合短距离、大容量的海上风电场,PCC-HVDC输电系统适合于中远距离、大容量的海上风电场,VSC-HVDC系统适合远距离、中小容量的海上风电场;(2)由LCC比较结果可以看出,初始投入成本最优或损耗最低的方案在全寿命周期内未必是最优的方案,基于LCC的评估会比传统方法更科学、全面,具有较高的实用价值。随着海上风电的进一步发展和输电技术水平的提高,在投资规划时根据项目的实际条件采用该方法评估选择最优的输电方式具有很好的实践和推广意义。

参考文献:

[1] 彭源长.可再生能源发展“十二五”规划发布[N].中国电力报,2012-08-08.

- [2] BRESESTI P, KLING W L, RALPH L, et al. HVDC Connection of Offshore Wind Farms to the Transmission System [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2007, 22(1): 37-43.
- [3] MARQUES M, CASTRO R, ALMEIDA M E. Connection of Offshore Wind Parks: HVAC and HVDC-LCC Links with STATCOM [C]. Electrical Power Quality and Utilization, 2011 11th International Conference on, 2011.
- [4] 王建东, 李国杰. 考虑电缆故障时海上风电场电气系统开关配置方案的经济性比较与分析 [J]. 电网技术, 2010, 34(2): 125-128.
- [5] 崔晓丹, 李威, 任先成, 等. 大规模风电接入的输电网规划研究述评 [J]. 江苏电机工程, 2012, 31(6): 1-5.
- [6] 赵清声, 王志新, 张华强, 等. 海上风电场轻型直流输电的经济性分析 [J]. 可再生能源, 2009, 27(5): 94-98.
- [7] 朱宜飞, 陶铁铃. 大规模海上风电场输电方式的探讨 [J]. 中国工程科学, 2010, 12(11): 89-97.
- [8] 史京楠, 韩红丽, 徐涛. 全寿命周期成本分析在变电工程规划设计中的应用 [J]. 电网技术, 2009, 33(9): 63-66.
- [9] 罗晓初, 李乐, 魏志连, 等. 全寿命周期成本理论在配电变压器改造投资决策中的应用 [J]. 电网技术, 2011, 35(2): 207-211.
- [10] 苏海锋, 张建华, 梁志瑞, 等. 基于改进均值聚类随机粒子群算法的变电站LCC规划 [J]. 电工技术学报, 2012, 27(4): 209-215.
- [11] 刘汉生, 刘剑, 李俊娥, 等. 基于全寿命周期成本评估的特高压直流输电线路导线选型 [J]. 高电压技术, 2012, 38(2): 310-315.
- [12] DE ALEGRIA I M, MARTIN J L, KORTABARRIA I, et al. Transmission Alternatives for Offshore Electrical Power [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2009, 13(5): 1027-1038.
- [13] YAO X J, SUI H X, XING Z X. The Study of VSC-HVDC Transmission System for Offshore Wind Power Farm [C]. Proceedings of International Conference on Electrical Machines and Systems, 2007.
- [14] 曾丹, 姚建国, 杨胜春, 等. 柔性直流输电不同电压等级的经济性比较 [J]. 电力系统自动化, 2011, 35(20): 98-102.
- [15] BARBERIS NEGRA N, TODOROVIC J, ACKERMANN T. Loss Evaluation of HVAC and HVDC Transmission Solutions for Large Offshore Wind Farms [J]. Electric Power Systems Research, 2006, 76(11): 916-927.
- [16] VAN EECKHOUT B. The Economic Value of VSC HVDC Compared to HVAC for Offshore Wind Farm [D]. Belgium: Katholieke Universiteit Leuven, 2008.
- [17] 姜文, 严正, 杨建林. 计及风电场的发输电可靠性评估 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(22): 126-130.

作者简介:

凌峰(1971),男,江苏无锡人,高级工程师,从事电力系统规划与建设工作;
汤昶烽(1988),男,江苏南京人,硕士研究生,研究方向为电力系统经济性与可靠性;
卫志农(1962),男,江苏江阴人,教授,博士生导师,研究方向为电力系统运行分析与控制、输配电系统自动化等。

磁开关误跳的事故。因此建议各厂根据实际情况增加中间继电器的动作功率,可以采用更换继电器或在原有继电器跳闸线圈中并联电阻的方法,使其动作功率大于 5 W。对于 DCS 至励磁系统的开入量,其装置开入电源为 24 V,由于改为强电开入存在一定难度,对于重要的开入量,如“励磁投入”、“励磁退出”等,应采用大功率中间继电器传输方式。

(4) 由于直流继电器动作是具有方向性的,当交流串入直流后,继电器会在交流电的半周波动作,而在另一半周波返回,因此在不影响保护性能的前提下对于某些可能引起误动的关键开入量,可以增设动作延时来降低灵敏度,以躲避工频交流量串入时带来的干扰。为了提高保护输入光耦在直流接地、交流串入直流等情况下的抗干扰能力,从 2006 年起华东调度就采用在分相电流差动保护远方跳闸输入光耦中增加 20 ms 延时以躲过干扰。

4 结束语

针对直流系统故障造成电厂(变电站)开关误跳或

设备损坏等事故,通过对事故检查、分析和处理解决,提出了相应的防范措施。一方面从设计源头、管理方面下工夫,减少交流串入直流回路的源头;另一方面在技术层面上重点解决交流串入直流后如何防止误跳闸。这样将大大降低直流系统故障造成重大设备事故的概率,提高设备的安全稳定性。

参考文献:

- [1] 陆 榛,黄 巍,任晓辉,等.厂站交直流互串跳闸分析及防范措施[J].福建电力与电工,2008,28(1):29-31.
- [2] 国家电网公司.国家电网公司十八项电网重大反事故措施[M].北京:中国电力出版社,2005.
- [3] 马世燕.控制电缆分布电容对继电器控制系统的影响[J].建筑电气,2012,31(3):4-8.
- [4] 丁晓兵,赵曼勇,皮显松,等.防止交流串入直流导致母线保护误动的措施[J].电力系统保护与控制,2008,36(22):97-99.

作者简介:

周国平(1978),男,江苏常熟人,助理工程师,从事继电保护工作;
张 炯(1970),男,浙江上虞人,助理工程师,从事配电线路工作;
李辰龙(1980),男,辽宁朝阳人,工程师,从事继电保护工作;
蒋 琛(1981),男,江西鹰潭人,助理工程师,从事继电保护工作。

Analysis of the Malfunction of the Excitation Switch Caused by Crosstalk of the AC and DC and Its Preventive Measures

ZHOU Guo-ping¹, ZHANG Jiong², LI Chen-long¹, JIANG Chen²

(1. Jiangsu Frontier Electric Technology Co.Ltd., Nanjing 211102, China;

2. Shangyu Electric Power Company, Shangyu 312300, China)

Abstract: Malfunction of the protection devices caused a serious impact on the power system, especially its safe and stable operation. Crosstalk of the AC and DC power is the main factor that caused the malfunction of the protection devices. An unit outage caused by a mistakenly jump of the excitation switch in a power plant is described, as a result of the AC into DC control loop. Also the preventive measures are proposed from the design, construction, testing and other aspects.

Key words: DC control loop; crosstalk of the AC and DC; malfunction of the switch; preventive measures

(上接第 9 页)

The Application of LCC in the Economic Evaluation of Transmission Means of the Offshore Wind Power

LING Feng¹, TANG Chang-feng², WEI Zhi-nong²

(1. Electric Power Economic and Technological Research Institute of Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210008,

China; 2. College of Energy and Electric, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: This paper establishes the economic evaluation model of transmission means of the offshore wind power based on the full life cycle cost (LCC), with considering the initial investment costs, operating costs, maintenance costs, failure costs and disposal costs of the offshore wind power transmission system, to seek the optimal economic and persistent solution to ensure its safety and reliability in the whole life cycle. With comparing the high-voltage AC transmission, the traditional HVDC and flexible HVDC manner for the offshore wind power, according to their characteristics in a typical transmission project as an example, this paper analyzes their LCC situations for different transmission distances and capacities of the transmission systems, and gives a variety of LCC scopes in different transmission modes. Numerical example shows that this method can overcome the one-sidedness of the traditional assessment methods, and reach more scientific and comprehensive economic evaluation results, with perfect practical value.

Key words: LCC; offshore wind power; high-voltage AC transmission; HVDC; economic evaluation