[开关设备]

基于LCC理念的220 kV GIS户内外布置方式的比选

文/山东电力工程咨询院有限公司　陈　博　祝心愿　李福俊

提出了针对220 kV GIS户内外布置方式比选的全寿命周期成本数学模型，并以官庄220 kV变电站工程为例，对220 kV户外GIS和户内GIS两种布置方式进行全寿命周期成本计算，通过对两种方案的比较分析，得出了不同站址环境条件下的220 kV GIS经济性布置方式，可为其他类似的工程设计提供参考。

气体绝缘全封闭开关设备（Gas Insulated Switchgear，GIS），因具有占地面积小、运行可靠性高、检修维护方便等优点逐步取代了敞开式开关设备，GIS因将主要一次设备均封闭在金属壳体内，因此曾普遍认为具备户外运行的条件。

但随着GIS运行经验的积累，各类缺点也逐渐暴露。现运行时间达到5年的户外GIS已出现了GIS壳体表面锈蚀现象，且GIS本体安装的各类传感器等零部件故障率较高，给运行维护单位带来很大不便，以上问题以沿海地区和污染严重地区最为严重，环境条件较好的内陆地区也同样存在，大大增加了检修维护工作量。且GIS设备的密封技术，在雨、雾、冰或雪等恶劣天气条件下遭遇极大挑战，恶劣天气条件下，GIS密封系统常难以适应环境条件骤变而出现漏气现象。

基于以上问题，出现了GIS户内布置的方案，以提高其运行可靠性及减少检修维护工作量，但其初始成本高于户外GIS布置方案。为正确反映220 kV户内外GIS设备布置方式的经济性评估，提出了针对220 kV GIS户内外布置方式比选的全寿命周期成本数学模型，并对两种布置方式进行全寿命周期成本计算，实现了220 kV GIS户内外布置方案的经济性选择。

电力系统全寿命周期成本分析原理

电力系统的全寿命周期成本管理是在可靠性的基础上使设备或系统的全寿命周期成本最低的管理。其核心内容是对设备或系统的（Life Cycle Cost，LCC）进行分析计算，往往采用净现值法将费用发生当年的现值按照复利计算折算到终值，以量化值进行决策。主要应用以下计算模型，如图1所示。

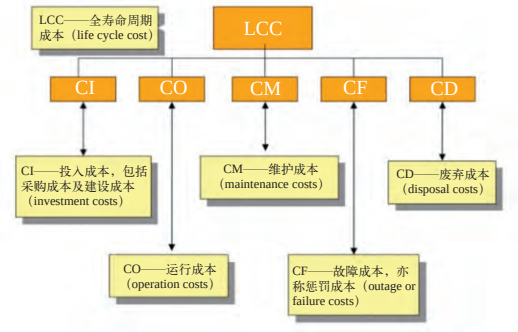

图1　全寿命周期成本分析模型

$$LCC = CI + CO + CM + CF + CD \quad (1)$$

从LCC角度对变电站工程项目进行成本估算，就是对式（1）中LCC的各组成部分分别进行估算然后加总。

220 kV户内外GIS布置比选LCC模型

1．LCC模型建立

220 kV户内外GIS设备布置比选的全寿命周

期成本模型可按式（1）考虑，其中运行成本CO是指变电站运行期间发生的一切费用总和，包括变电站设备的能耗费，变电站工作人员的工资、福利、培训费、特殊岗位补贴，以及变电站运行环境的保护和美化费用，对于户内和户外GIS设备来说，其运行成本CO是基本相同的，不随着户内外的变化而有较大改变。

报废成本CD是指设备退役后的拆除和运输费用，并考虑设备报废后的可回收费用，对于户内和户外GIS设备来说，其拆除和运输费用基本相同，而可回收费用会由于运行环境的不同而有少许差别，但对方案比选影响不大，此处按照成本相近考虑。

考虑本次所要建立的模型是对两种布置方式的比选，因此，当某种成本对于两种布置方式相同或相近时，采取不计入LCC总成本的方式。因此可将式（1）简化为

$$LCC=CI+CM+CF \tag{2}$$

在该数学模型的基础上，分别计算户内GIS和户外GIS两种布置方式的LCC，其中户外GIS考虑三种站址环境条件，如表1所示。

表1　LCC计算的站址环境条件

布置方式	户外			户内
环境条件	环境一	环境二	环境三	
污秽等级	d级及以下污秽	d级污秽	e级污秽	不考虑周围环境影响
污染情况	周围环境良好，附近无较大污染源	周围环境恶劣，附近多重工业、化工业等污染源	污染情况严重	

2．一次投资成本

220 kV GIS设备的一次投资成本可定义为

$$CI=C_{I1}+C_{I2}+C_{I3}+C_{I4} \tag{3}$$

式中，C_{I1}代表GIS涉及的一次设备和电缆等的购置成本；C_{I2}代表GIS所需土地的购买或出售成本；C_{I3}代表GIS的土建成本；C_{I4}代表员工的培训成本和数据记录成本。

对于220 kV户内、户外GIS来说，C_{I1}与C_{I4}是相同的。C_{I2}会由于220 kV GIS户内、户外布置方式的不同导致变电站占地面积有所不同，需根据不同变电站的工程规模、站址情况及总平面布置等方面进行分别计算。C_{I3}会由于220 kV GIS户内、户外布置方式的不同而不同，一般来说，220 kV GIS户内布置时土建工程量主要体现在建筑结构、建筑电气及暖通等，220 kV GIS户外布置时土建工程量主要体现在架构、架构及设备基础、电缆设施等，因此，要根据不同变电站的建筑及设备基础形式进行分别计算。因此，220 kV户内、外GIS布置方式比选的一次投资成本简化为

$$CI=C_{I2}+C_{I3} \tag{4}$$

3．检修维护成本

220 kV GIS的检修维护成本可定义为

$$CM=C_{M1}+C_{M2}+C_{M3}+C_{M4}+C_{M5}+C_{M6} \tag{5}$$

式中，C_{M1}代表试验成本，主要指GIS设备在安装过程中的的相关检测试验成本；C_{M2}代表GIS的安装成本，主要包括设备安装时的运输、人工和调试的总费用；C_{M3}代表巡视成本，主要是指有计划的定期巡视所需要的人工成本；C_{M4}代表零部件更换成本，主要包括GIS设备在检修时需要更换的零部件费用；C_{M5}代表检修人工费用，主要包括负责运行或管理人员的工资；C_{M6}代表检修期间停电损失费用，此处检修停电损失仅考虑供电企业自身电力收入损失。

对于220 kV户内、户外GIS来说，C_{M1}和C_{M2}是基本相同的，由于配电装置所处的运行环境不同，会导致巡视、更换零部件、人工费及检修次数不同， 进而C_{M3}、C_{M4}、C_{M5}、C_{M6}不同。因此，220 kV户内、外GIS布置方式比选的检修维护成本简化为

$$CM=C_{M3}+C_{M4}+C_{M5}+C_{M6} \tag{6}$$

4．故障停运成本

故障停运成本是指在变电站运行中由于故障或事故引起中断供电损失而形成的成本，可定义为

$$CF=C_{F1}+C_{F2} \tag{7}$$

式中，C_{F1}代表故障停电损失成本；C_{F2}代表设备故障修复成本。对于220 kV户内、户外GIS来说，由于户外GIS运行环境恶劣，易发生漏气及绝缘子闪络等故障导致停运次数较多，时间较长，带来的C_{F1}故障停电损失比户内GIS要高得多。故障修复成本由于GIS厂商不同其计费方式差异较大，且相对于故障损失成本来说，故障修复成本所占比例很小，因此，220 kV户内、外GIS布置方式比选的故障停运成本简化为

$$CF=C_{F1} \tag{8}$$

由于故障停电成本C_{F1}除包含供电企业自身电力收入损失外还包含社会GDP损失、用户赔偿费用、发电企业损失等，对于不同地区的不同变电站差别较大，不具有通用性，此处仅考虑设备的故障率所导致的供电企业自身电力收入损失。

220 kV官庄变电站LCC计算

1．LCC计算条件

对于220 kV官庄变电站来说，其220 kV GIS户内布置和220 kV GIS户外布置两个方案的总占地面积是相同的，因此其C_{I2}所需土地的购买或出售成本相同，此处不再比较。可得最终的变电站220 kV户内、外GIS布置方式比选的LCC计算模型为

$$LCC=CI+CM+CF$$
$$=C_{I3}+C_{M3}+C_{M4}+C_{M5}+C_{M6}+C_{F1} \quad (9)$$

以220 kV官庄变电站为例计算，其计算条件如表2所示。

表2　220 kV官庄变电站计算条件

项目	计算参数
220 kV GIS出线间隔	6
220 kV主变进线间隔	3
母联间隔	1
PT间隔	2
变电站运行年限/a	40
折现计算利率（%）	7
年运行时间/h	8 760
变电站停电损失功率/MW	100
每kW·h电网企业损失/元	0.23

2．LCC计算结果

一次投资成本CI、检修维护成本CM及故障停运成本CF计算结果如表3、表4、表5所示。

表3　一次投资成本（CI）LCC计算

布置方式	户外/万元			户内/万元
环境条件	环境一	环境二	环境三	三种环境
出线架构	108			进、出线直接挂在建筑上，不需出线架构
GIS基础	72			GIS基础与GIS室一体建设
GIS室	–			302.4
一次投资成本	180			302.4

表4　检修维护成本（CM）LCC计算

布置方式	户外						户内	
环境条件	环境一		环境二		环境三		三种环境	
检修类别	小修	大修	小修	大修	小修	大修	小修	大修
周期/a	5	10	3	6	3	6	5	10
检修次数	4	3	7	6	7	6	4	3
每次停电时间/h	6	72	6	72	6	72	6	72
每年巡视次数/次	8		10		12		6	
壳体防锈喷漆次数/次	3		7		7		1	
小型断路器、门控开关、继电器等零部件更换次数/次	1		2		3		1	
检修维护成本/万元	434.7		758.73		799.37		391.26	

表5　故障维修成本（CF）LCC计算

布置方式	户外			户内
环境条件	环境一	环境二	环境三	三种环境
设备可利用系数	0.999 4	0.999 2	0.999	0.999 6
40 年故障停运费用	161.16	214.89	268.61	107.44

3．220 kV户内外GIS布置方案比选

220 kV户内外GIS布置方案40年全寿命周期总成本计算结果如表6所示，其比较如图2所示。

表6　40年全寿命周期(LCC)成本计算结果表

布置方式	户外			户内
环境条件	环境一	环境二	环境三	
	d级及以下污秽周围环境良好	d级污秽周围环境恶劣	e级污秽	三种环境
盐密值/(mg/cm^2)	<0.24	>0.24	>0.24	
一次投资成本（CI）	180	180	180	302.4
检修维护成本（CM）	161.16	214.89	268.61	107.44
故障维修成本（CF）	434.7	758.73	799.37	391.26
总成本（LCC）	719.58	1 058.53	1 148.29	749.86

（下转第95页）

封，如图10、图11、图12所示，塞子拧紧时密封圈不再受剪切力，密封圈不易损坏，密封效果更好。

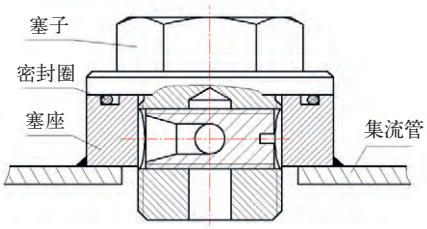

图10　改进后的放气塞结构

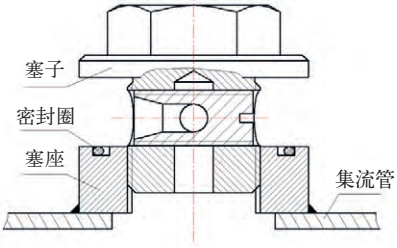

图11　放气塞关闭状态结构

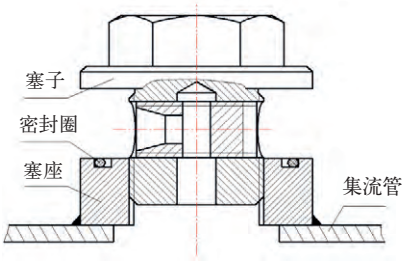

图12　放气塞导通状态结构

（2）优点

操作方便，解决了改进结构Ⅱ所述片散氮气充气塞和注油后放气塞子的所有缺点。

结束语

片散充、放气塞经过不断摸索与改进，最终确认图10结构最理想，充气、放气操作方便，无磕碰损坏漏气隐患，且密封圈不易损坏密封良好，是一种值得推广的可拆片散充、放气结构。EA

（收稿日期：2015.03.24）
（编辑：刘群点）

（上接第92页）

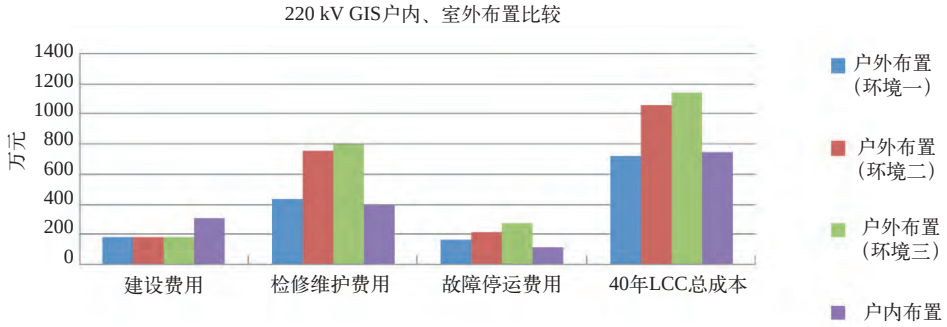

图2　220 kV GIS户内布置与户外布置(LCC)分析柱状图

由表6和图2可知，当站址为d级及以下污秽且周围环境良好时，户外GIS布置方案40年全寿命周期成本比户内GIS布置方案低30.28万元；当站址为d级污秽且周围环境恶劣时，户外GIS布置方案40年全寿命周期成本比户内GIS布置方案高308.67万元；当站址为e级污秽时，户外GIS布置方案40年全寿命周期成本比户内GIS布置方案高398.43万元。

结束语

从40年全寿命周期角度考虑，以官庄220 kV变电站工程为实例对三种不同环境下的户内、外GIS设备进行了LCC计算，分析计算得出，当站址为d级及以下污秽且周围环境良好时，建议采用户外GIS布置方案；当站址为d级污秽且周围环境恶劣或e级污秽时，建议采用户内GIS布置方案。由于官庄220 kV变电站站址处于d级污秽，且周围5 km内多化工厂，环境较为恶劣，因此推荐采用户内220 kV GIS布置。

工程在设计及建设时，对户内、户外方案孰优孰劣问题应慎重定论。可以此工程为借鉴，综合考虑工程实际规模、站址环境状况、运行检修经验等诸多因素，选择全寿命周期成本最优的布置方案。EA

（收稿日期：2015.02.12）
（编辑：刘群点）