

基于分布式能源的交直流混合配电网规划研究

文/深圳供电局有限公司 曾伟东 阳浩 舒舟 廖威 林育艺

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司 李志铿

在当前新背景下，在配电网规划中，分布式能源的优化规划已经成为不可或缺的一部分，传统的网架单独规划已经无法适应需求，研究分布式能源和配电网网架协调就成为当前的研究重点。

分布式电源出力及负荷的多场景构建

1. 不确定单元的时序特性分析

本文的分布式电源包含了风电和光伏两种间歇性的电源，其会受到自然环境因素的影响，对于负荷的分析则需要考虑到配电系统的总负荷形式。

(1) 风电出力

针对风电处理，基于最近几年某风电场的风机出力数据进行分析，将日时间序列作为函数的变量，通过预测，得出图1的曲线图。

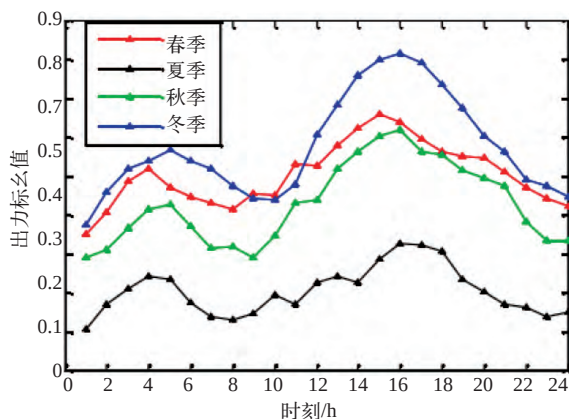


图1 日时序特性曲线

不难看出，风电出力基本上都会低于额定功率，并且按照季节出现了不断降低的趋势，其顺序为冬春秋夏。

(2) 光伏出力

光伏出力会受到光照强度的影响，而天气与季节会影响光照强度。所以随着季节的变化，光伏出力会出现不同的变化。通过最近几年某光伏电站出力数据分析来进行预测，其曲线图如图2所示。

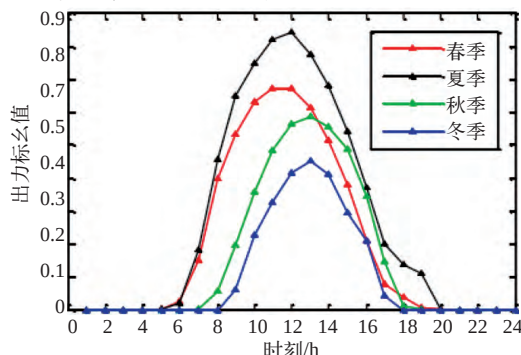


图2 日时序特性曲线

不难看出，光伏出力基本上都会低于额定功率，并且按照季节出现了不断的降低，其顺序为夏春秋冬。

2. 基于时序划分和混合聚类的多场景构建

在各种典型的时序情形之中，虽然得出典型日曲线可以确定之前不确定的变化趋势和范围，但是不能避免各个不确定单元的波动性。以光伏为例，它会受到雨天、阴天、晴天等天气的影响，只考虑季节特征还无法考虑这一种波动情况。另外，基于历史数据的分析并且提出某一天的天气类型来作为数据是很难做到的，这样很难分析极端天气。所以本文的分析提出了多场景分析方法，并且通过混合聚类获取若干离散场景，相比单一的典型日曲线，在不同的场景之中顾及了极端情形，最终增强其单元的波动性，这样也可以反映出不确定性。

基于时序多场景含分布式电源的交直流混合配电网多目标规划

随着分布式电源的大量渗入，再加上直流负荷密度的持续性升高，交直流混合配电网基于电能质量好、网损低、容易接纳分布式电源等性能逐渐得到重视。在当前的新背景之下，对于交流配电网朝着交直流配电网过渡的研究具有明显的现实意义。所以本文围绕这一点进行了初步的规划研究。

1. 含VSC-MTDC的交直流混合配电网潮流

计算交直流混合系统包含了多个直流区域以及交流区域，并且每一个区域之中又包含了一条或者是多条支路。针对VSC-MTDC的稳态模型，具体如图3所示。

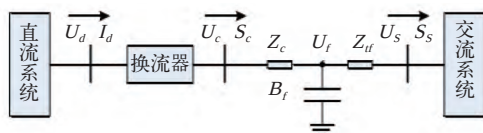


图3 VSC-MTDC稳态模型图

2. 基于时序多场景的交直流混合配电网多目标规划——算例分析

分布式电源规划。分布式并网类型、位置以及容量。对于网架的规划则包含了直流改造线路的确定以及新建接入位置是否能够成为滞留线路点确定。

(1) 算例概况和参数设置

本章将IEEE33节点配电系统作为算例，其拓扑图如图4所示。

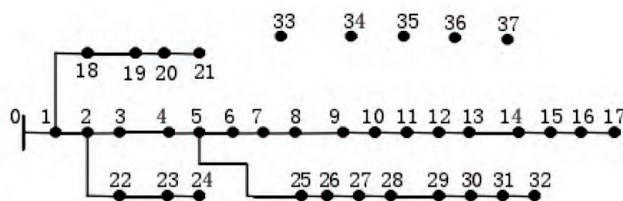


图4 IEEE33节点系统拓扑图

在未来的发展中，随着直流负荷的不断增长，系统之中的每一个负荷点都不再是单纯的交流负荷。所以基于原本的总负荷作为基础来设置交直流负荷比例，具体见表1。

在原有系统基础上增加33~37五个节点；其总负荷增加600 kW+j320 kvar；其直流负荷占据为0%、30%、50%、70%和100%。当每一个负荷点接入系统之后，除开平衡节点之外的32个节点之中就会选择一个与之相互连接，但是只能选择

一条线路，并且在选择的时候还需要通过直流或者是交流的方式。针对需要改造的直流线路，在系统之中的所有线路都可以成为候选线路，并且做好相应的优化。

表1 各节点直流负荷所占比例

节点	直流负荷占比 (%)	节点	直流负荷占比 (%)
1	0	17	100
2	50	18	50
3	20	19	60
4	30	20	50
5	40	21	20
6	60	22	40
7	60	23	80
8	20	24	60
9	10	25	50
10	20	26	40
11	20	27	50
12	50	28	10
13	60	29	60
14	20	30	60
15	10	31	70
16	50	32	50

在交流配电网之中，光伏电源发出的为直流电，利用DC/AC换流器实现并网；风机选择直流发电和交流发电，利用DC/AC或者是AC/DC/AC换流器实现并网。所以这两种分布式能源如果直接并入直流子系统，那么就可以节约环流。因为最好的并网单元容量为60 kV·A，在某一个阶段的并网基数为 m ($m=0, 1, 2, \dots, 7$)，所以，其节点安装容量为 $m \times 60 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 。

(2) 规划结果分析

1) 基于线路直流改造以及新建直流线路规划：考虑到线路直流改造和直流新建，按照这一个模型，就可以获取相应的配置，具体见表2。

表2 规划结果

DG配置	DG容量	直流改造线路	新建线路
7 (PV, 60)			
13 (WT, 180)		12-13	
17 (WT, 180)		16-17	33-1 (交流)
20 (PV, 120)	WT:840	19-20	34-10 (交流)
23 (WT, 240)	PV:660	22-23	35-17 (交流)
24 (PV, 240)	急容量:1500	23-24	36-31 (交流)
27 (PV, 120)		29-30	37-24 (交流)
29 (PV, 120)		30-31	
31 (WT, 240)			

从表2可以看出,改造成为直流线路,其处于直流负荷密度相对较高的节点周围,如13、17、23、30和31,并且滞留线路大部分都处于系统的末端,这样就能够实现换流器容量的减少,同时也可以节约投资。在并网位置,除开7和20节点,其余的都处于滞留线路一段,能够减少环流,进而控制投资和损耗;对于新建的线路,按照新增加的负荷点直流负荷的实际比例,就可以选择入网的正确行使,而35、36和37直流负荷偏高。所以需要建立滞留线路,并且通过直流子系统端点来接入配电网之中。

对于目标函数值,见表3。

表3 新建的规划目标

目标项	数值
DG年投资运行维护费用/万元	146.34
线路直流改造及新建线路的费用/万元	1.325
DG并网所接换流器的费用/万元	0.32
负荷所接换流器的费用/万元	3.102
直流系统线路上的换流器的费用/万元	26.6
年经济费用/万元	177.6870
年有功网损/(CMW·h)	884.12
年平均电压稳定性指标	0.062

在交直流混合配电网形成之中,因为在直流子系统中进行分布式电源并网,就可以减少环流,进而控制费用,而高密度的直流负荷区域因为形成了直流子系统,也可以适当控制环流的费用消耗。

经过规划,交直流混合配电网如图5所示。

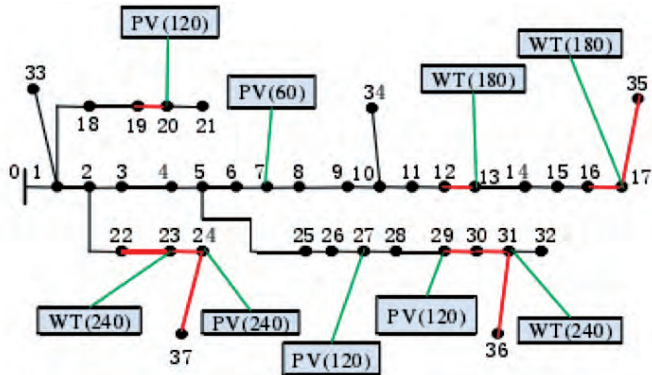


图5 交直流混合配电网

其中,红色表示滞留线路,绿色表示分布式电源的类型与容量,这样就可以清楚地看到布局情况。

2) 不考虑直流改造和直流线路新建的规划:如果不考虑这两个因素,其规划的结果见表4。

不难看出,相对于对直流规划的考虑,其并网容量有一定程度的降低,这主要是因为是在交直流混合配电网之中省去了环流环节,这样就能够减少投资与损耗,使得接纳的程度逐渐提高。

表4 规划结果

DG配置	DG容量	直流改造线路	新建线路
7 (WT, 240)			
13 (WT, 120)			
16 (PV, 120)			33-3 (交流)
18 (WT, 60)	WT:600		34-17 (交流)
23 (PV, 180)	PV:480		35-13 (交流)
24 (WT, 120)	急容量:1 080		36-7 (交流)
26 (WT, 60)			33-3 (交流)
29 (PV, 120)			
31 (PV, 60)			

当没有考虑直流改造和新建的时候,依旧会在现有的交流网络之中消纳大量的直流负荷。虽然没有直流改造费用,但是并网和负荷消纳所需要的环流费用却有明显的提升,这样就使得花费的费用高于直流的改造与新建。另外,经过改造与新建之后,其年网损要低于交流配电网,并且电压稳定性更佳。图6为平均电压稳定性的指标对比图。

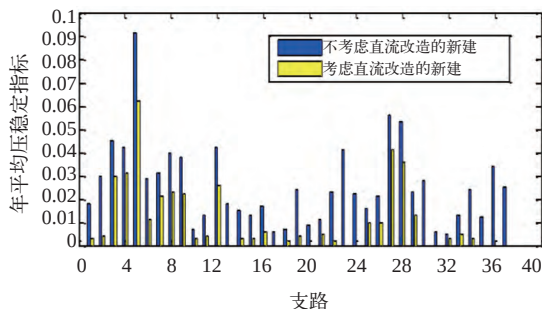


图6 指标对比图

经过考虑,直流之后所形成的交直流混合配电网,改造成为直流线路的是13, 17, 20, 23, 24, 30和31,新建的直流线路是35, 36和37。这些支路都不会有不稳定性的问题出现,并且指标设置为0,从图6可以看出,相比之下,交直流混合配电网支路稳定性更强。

结束语

随着社会的不断发展,伴随负荷扩增以及分布式电源的不断深入,配电网规划的方法也在进行不断的研究与更新。希望通过本文基于分布式能源的交直流混合配电网规划,能够对于今后的配电网规划有一定的指导意义。EA