

一种基于二维联合分布理论对光伏发电出力统计方法的研究

张北地区太阳能资源充足，尤其是在每年3~6月期间，光伏发电常常可以达到满发状态。但是由于缺乏对光伏发电出力的统计方法，光伏发电只能机械的跟踪调度调整，优势甚至会被舍弃。本文对以概率论中的二维分布方法为理论基础，通过将光伏发电出力视作为一种负荷的思路，对光伏发电对电网的出力进行统计。通过此方法，可以实现调度在协调过程中，对光伏发电利用的最大化。

李龙¹ 代志纲² 马步云¹ 史学伟¹ 岳巍澎¹ 臧鹏¹ 马幼捷³ / 1. 国网新源张家口风光储示范电站有限公司 2. 国网冀北电力有限公司物资分公司 3. 天津理工大学



李龙/工程师

关键词/Keywords

光伏发电·
负荷·
调度调节·
功率注入·

0 引言

在国家智能电网战略中，大规模利用可再生能源是重要着眼点之一。在中国众多可利用的可再生能源中，既属于可再生能源又属于清洁能源的，风能和光能占主导地位。而风电储量虽然大，但是由于其间歇性和巨大的不确定性，对电网的冲击巨大，因此，通过调度的调节，适时适当的弃风，在所难免。但是在张北这样光能资源储量极其丰富的地方，光伏发电的稳定性和可靠性却有巨大的优势。更为重要的是，在夏季，对类似张家口的非大规模工业集中地区，用电负荷中的很大一部分比重来源于空调对电能的消耗。而光能的强弱与空调的使用率显然是十分相关。因此，在这种情况下将电网的负荷与光伏发电统一起来，不仅仅可以提高光伏发电的利用率，更可以让调度对其他可再生能源的利用更加灵活、更可控。因此，对光伏发电出力统计方法的研究十分重要。

1 风光储示范电站光伏出力效果

以国网新源张家口风光储示范电站有限公司一期工程的光伏发电一日出力图为例。

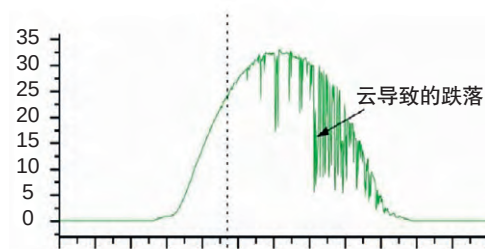


图1 风光储一期工程光伏发电一日出力

在图1中，我们明显可以看到，光伏出力总体趋势相对稳定，而在有云层经过的瞬间，虽然跌落速度快，但是与气温的关联性也明显。所以，与电网负荷的契合率是比较高的。但是，如果仅仅将光伏发电与风力发电打捆送出，那么融入风电的一部分，则丢失了这种高契合度的优势。所以，从理论上利用这种契合度，将对可再生能源对电网的冲击减小。

从短时间来看，在有云经过的情况下，发电总体期望是相对确定的，但是单点的值是随机的。我们以一组数据为例：

24天内，我们对下午三点的光伏电场输出功率进行了统计如表1所示。

如果不考虑此发电场发出功率在时间上的先后顺序，或者说我们可以认为每一个时间点上，发出功率的事件为独立重复时间，那么我们可以用概率来衡量这个光伏电场这一段时间之中的发电能力。

表1 功率输出时间坐标表

d1	d2	d3	d4	d5	d6
20.0	30.0	45.0	35.0	40.0	30.0
d7	d8	d9	d10	d11	d12
20.0	30.0	35.0	40.0	35.0	35.0
d13	d14	d15	d16	d17	d18
40.0	35.0	40.0	40.0	30.0	30.0
d19	d20	d21	d22	d23	d24
20.0	30.0	40.0	45.0	40.0	20.0

从表中可见, 20 MW出现了4次, 30 MW出现了6次, 35 MW出现了5次, 40MW出现了7次, 45 MW出现了2次。如果以24次统计为总体 n , 则我们可以定义函数

$$I_i(x) = \begin{cases} 1, & x = i \\ 0, & x \neq i \end{cases} \quad (1-1) \quad (1)$$

对于每一个时间点上的输出值, 即为一个 x_j , 则通过

$$P(i) = \frac{\sum_{j=1}^n I_i(X_j)}{n} \quad (1-2) \quad (2)$$

得到数据的概率。在此例中, 我们有 $n=24$, 即有24个 x_j , 而 i 有5个, 即20, 30, 35, 40, 45。那么我们可以得到如下的输出概率, 如表2所示。

表2 功率输出概率坐标

功率 (MW)	20.0	30.0
概率	0.167	0.208
35.0	40.0	45.0
0.333	0.250	0.042

这样, 我们就得到了一组衡量光伏电场输出能力的表格。如果我们用图表来表示这个例子, 可以得到如图2所示。

功率 (mw)

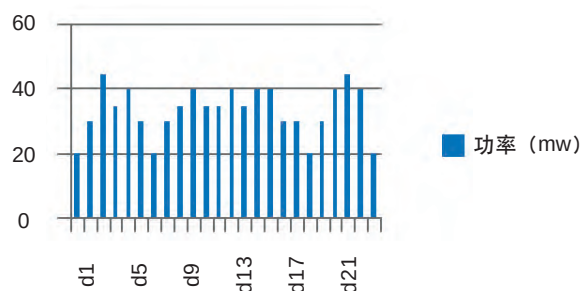


图2 功率输出时间坐标

经过变换后功率输出概率坐标如图3所示。

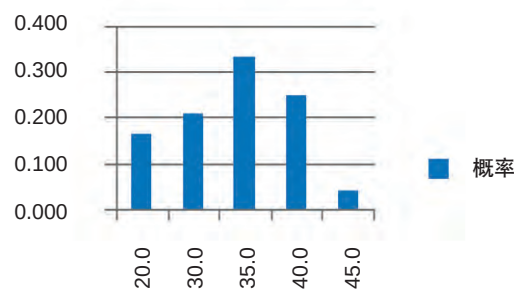


图3 功率输出概率坐标

显然我们通过一种转换将功率与时间的坐标系转换为了功率与概率的坐标系。当然, 我们的转换并非没有条件, 而是在假定每天这个时段发出的功率是独立重复事件的基础之上的。

如果我们的衡量目标针对的是一组负荷, 那么我们依旧可以用这种方法将负荷的功率需求转变为概率坐标系, 在对比电场输出的时候, 仅仅需要将负载的需求功率转变为负值即可。

2 间歇式能源与负荷的联合分布

既然得到了光伏电场和负载在概率上的需求, 那么我们就可以按照概率论的计算方法来衡量间歇式能源对波动的负载需求的满足程度。

我们依旧以一组数据为例, 假设我们有一组短时间内波动的负荷和一个光伏发电场, 我们要知道短时间内这个光伏电场对这个负荷的满足能力, 通过装机容量显然是不够的, 而对负荷满足程度的描述, 以时间和量为衡量单位也并不恰当。因此, 我们尝试着用概率中二维随机变量的

联合分布来解决这个问题。

假设有一光伏发电机组和一负荷在段时刻内有如下输出和概率，如表3、表4所示。

表3 功率输出概率坐标

光伏输出(MW)	20	30	40
概率	0.375	0.5	0.125

表4 负荷概率坐标

负荷需求(MW)	-20	-30	-40	-50
概率	0.125	0.25	0.375	0.25

如果将两组数据作二维随机变量的联合分布，则可认为负荷需求为负的功率输出。如此就得到了一个二维联合分布，如表5所示。

表5 功率与负荷的二维联合分布概率坐标

单位: MW	20	30	40
	0.375	0.500	0.125
-20	0	10	20
0.125	0.047	0.063	0.016
-30	-10	0	10
0.250	0.094	0.125	0.031
-40	-20	-10	0
0.375	0.141	0.188	0.047
-50	-30	-20	-10
0.250	0.094	0.125	0.031

可以发现，在不同的概率对应的剩余功率数值，也有相等的。我们将相等的剩余功率的概率合并，可以得到联合概率输出坐标如表6所示。

我们可以分析一下该组数据的物理意义：当功率为0的时候，我们可以认为间歇式能源所

表6 联合概率输出坐标

功率 (MW)	-30	-20	-10
概率	0.094	0.266	0.313
功率 (MW)	0	10	20
概率	0.219	0.094	0.016

发出的功率恰好等于负荷所消耗的功率，而这种刚刚好的情况的概率或者说可能性为0.219，即不到22%。在别的可能性下，间歇式能源发出的功率超过负荷的需求，这时候可能超过的功率为10 MW也可能是20 MW，他们的概率分别是0.094和0.016。在多数情况下，这个间歇式能源电场并不能满足这个负荷的供电，其亏欠的功率分别为30 MW、20 MW和10 MW，概率分别为0.094,0.266,0.313。剩余功率输出概率坐标如图4所示。

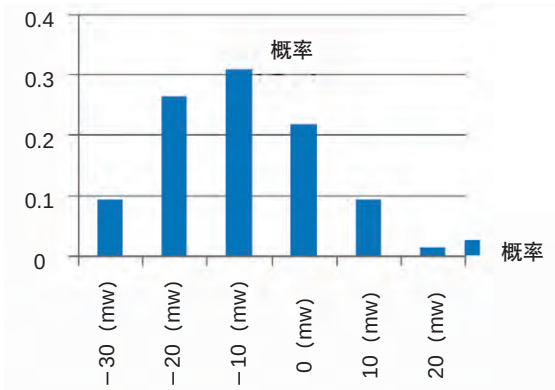


图4 剩余功率输出概率坐标

我们可以发现，这个间歇式能源对此负载的满足程度不大。但是我们如果将这个结果作为一个新的负载，而用一个和第一个间歇式能源电场拥有同样能力的电场来进行供电，那么我们可以得到一组新的数据如表7所示。

整理后得到概率输出坐标如图8所示。
得到相应的图如图5所示。

3 概率结果分析

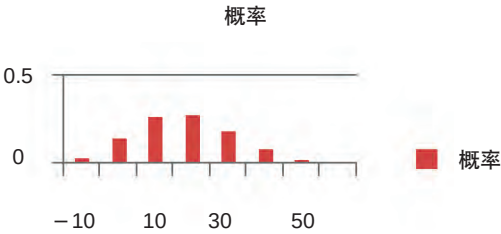
以上一章计算结果为基础，我们可以对本文

表7 联合概率输出坐标

单位 (MW)	-30	-20	-10
	0.094	0.266	0.313
20	-10	0	10
0.375	0.035	0.100	0.117
30	0	10	20
0.5	0.047	0.133	0.1565
40	10	20	30
0.125	0.012	0.033	0.039
0	10	20	
0.219	0.094	0.016	
20	30	40	
0.082	0.035	0.006	
30	40	50	
0.1095	0.047	0.008	
40	50	60	
0.027	0.012	0.002	

表8 概率输出坐标

功率(MW)	-10	0	10	20
概率	0.035	0.146	0.262	0.272
功率(MW)	30	40	50	60
概率	0.184	0.080	0.01975	0.002



提出的统计方法的合理性进行理论论证。根据图5可知，剩余负荷为负值的情况下，说明负荷没有被满足，而在正值的情况下，有剩余。而电力系统中，有正值的情况是不会发生的，否则将会影响电能质量。因此，我们可以将所有剩余负荷的正值归为0，如表9所示。

表9 剩余负荷

功率 (MW)	-30	-20	-10
概率	0.094	0.266	0.313
功率 (MW)	0	0	0
概率	0.219	0.094	0.016

在这种情况下，重新统计光伏出力的期望，可以发现， $E(x)=-11.27$

这个结果相对于传统方法统计光伏出力的结果，显然小了，而结果更加安全。如果我们不按二维分布统计方法来统计，而是采用普通方法直接用期望值相减，那么得到的值如表10、表11所示。

表10 光伏输出概率

光伏输出(MW)	20	30	40
概率	0.375	0.5	0.125

$E(x)1=27.5$

表11 剩余负荷概率

负荷需求(MW)	-20	-30
概率	0.125	0.25
负荷需求(MW)	-40	-50
概率	0.375	0.25

$E(x)2=-37.5$

结果的剩余负荷为-10。

对比两种统计方法，我们可以认为，在相同的光伏输出的情况下，通过二维联合分布统计出的数据虽然相对保守，但是在多个光伏电场联合发电时，优于云层覆盖的随机性，在单个光伏电场被笼罩的情况下，其他电场拥有裕量来补偿此电场的亏欠，因此具有更强的稳定性。优于超出负荷的功率被视为0，显然在很多情况下，此部分富余电量可以作为调峰的工

具,或者作为对储能装置输出的能量,对功率平滑输出具有帮助。

从另一方面来讲,此统计方法的数据源是以“日”中的某时间点为横坐标,以此点的出力为纵坐标,显然此方法直接离散化了输出,同时,以一段时间的中每天的某个时间点为横坐标,此方法可对比统计这段时间内每天同一时间光伏出力与负荷的关系,计算出的结果是针对每天此时时间点的,因此更具有光伏强度与负荷的关联性,可以抵消电网中由于光照强度带来的空调负荷攀升。以此数据位基础,进行调度预测,或以此方法计算出的剩余负荷为依据统筹其他发电厂的计划,就可以减少对空调等与光伏相关联的负荷的考虑。

4 结束语

此计算方法是从小上来改善对符合计算的统计方法,而在实际操作中,只要调度按照此方法来计算负荷,光伏与其他新能源的输出从物理上来说依旧是打捆送出,并不存在需要单独送出的问题。

而此理论方法应用的实际瓶颈是,实际统计所依赖的实际数据采样出力量庞大,必须结合:采样、传输、计算、统计四个方面,而这四个方面又针对光伏发电和负荷两方面。所以如果没有电网智能化的支持,和海量的数据处理能力,是难以实现的。如今我国智能电网的建设如火如荼,许多先进的传感器出力元件和计算机出力方法逐渐应用于电网,因此,相信此方法在一段时间内是可以进行实践的。

新能源发电,必须结合储能装置的配合。此方法只是结合了现有的方法对光伏出力进行统计。如果大规模储能可以大范围应用于实际生产,储能环节的量 and 反应速度可以大幅提升,那么此统计方法的应用可以拥有更大的空间。

参考文献

[1] Ma Youjie ,Ma Buyun ,Zhou Xuesong ,Survey

on New Energy of Smart Grid 2010 1st IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing, PIC 2010.

- [2] 陈元新.智能电网建设市场谁将分享-《电器工业》-2009-09-05.
- [3] 林莉,孙才新,王永平,等.大容量风电场接入后电网电压稳定性的计算分析与控制策略[J].电网技术,2008,32(3):41-46.
- [4] 新能源及可再生能源发电规模化应用的有效途径—微电网技术.中国高等学校电力系统及其自动化专业第二十四届学术年会论文集,2742-2745.
- [5] 徐青山.电力系统故障诊断及故障恢复[M].第1版.北京:中国电力出版社,2007.
- [6] 张步涵,曾杰,毛承雄,等.电池储能系统在改善并网风电场电能质量和稳定性中的应用 [J].电网技术,2006,30(15):54-59.
- [7] Vikrant A Chaudhari. Automatic Peak Power Tracker for Solar PV Modules Using dSPACER Software [J].Maulana Azad National Institute of Technology (Deemed University), 2005 (6).
- [8] 李斌,刘天琪,李兴源.分布式电源接入对系统电压稳定性的影响[J].电网技术,2009,33(3):84-88.
- [9] 李秀兰.对教材中有关次序统计量分布证明的一点看法[J].雁北师范学院学报,2000,(06).
- [10] DVON Dollen. Enabling energy efficiency intelligent grid [R/OL].

(收稿日期:2015-5-21) EA

作者简介

李龙(1985-),男,学士,助理工程师,主要研究方向:电气工程及其自动化。

代志纲(1979-),男,硕士,主要研究方向:电网输变电工程。