

Research on Generation Characteristics of Mountainous Wind Power in Guizhou

Nianjie Tian¹, Qian Zhao¹, Yao Yao¹, Deliang Zhang², Hongwei Huang², Wukui Zhai²

¹CSG Power Dispatching & Control Center, Guizhou Guiyang

²Qingdakeyue Corporation, Beijing

Email: zwk1015@163.com

Received: Sep. 11th, 2017; accepted: Sep. 24th, 2017; published: Sep. 29th, 2017

Abstract

The generation characteristics of mountainous wind power in Guizhou are analyzed from the dimensions of time and space in order to enhance wind power forecasting, dispatching scheduling and other related businesses. Time dimension includes a season-unit analysis as the long-term scales and a minutes-unit analysis as the short-term scales, in which the long-term analysis focuses on wind power generation change and the short-term analysis focuses on the generation curve. Space dimension is used for the study of power and generation coupling characteristics in wind enrichment area in Guizhou. Finally, some suggestions and comments are given from the perspective of dispatching operation management.

Keywords

Wind Power, Time Dimension, Fluctuation Characteristics, Space Dimension, Coupling Characteristics

贵州山区风电出力特性研究

田年杰¹, 赵倩¹, 姚瑶¹, 张德亮², 黄红伟², 翟武悝²

¹贵州电网有限责任公司电力调度控制中心, 贵州 贵阳

²北京清大科越股份有限公司, 北京

Email: zwk1015@163.com

收稿日期: 2017年9月11日; 录用日期: 2017年9月24日; 发布日期: 2017年9月29日

摘要

本文从时间、空间两个维度出发, 研究了贵州山区风电的出力特性, 以提升风功率预测、调度计划编制

等相关业务水平。时间维度包括以季节为单位的长期尺度和以分钟为单位的短期尺度，长期尺度上侧重于风电电量变化特性，短期尺度上侧重于其出力波动特性。空间维度则主要用于研究贵州风电富集地区内相邻风电场在电量和电力两个层面的耦合特性。最后从调度运行管理的角度出发给出了一些建议和意见。

关键词

风电，时间维度，波动特性，空间特性，耦合特性

Copyright © 2017 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

风电大规模接入，已成为当前我国电网调度运行中亟待解决的关键问题。近年来，贵州风电装机规模快速发展，也给调度运行带来严峻挑战。提升调度运行水平，确保风电消纳的重要前提是研究和掌握风电的出力特性。为此本文基于贵州风电管理相关经验，介绍了贵州山区风电出力特性的相关研究成果。

2. 贵州风电发展概况

贵州风电发展始于 2011 年，位于贵州毕节赫章县的韭菜坪风电场并网发电，拉开了贵州省风电发展的序幕。

2.1. 风资源概况

与甘肃、内蒙古等风资源丰富的地区相比，贵州风资源相对匮乏。整体上贵州处于四类风区，西部毕节、六盘水两地和中部的黔中部分地区风资源条件较好，达到三类风区标准，贵州风资源在我国整体情况如下图 1 所示[1]。

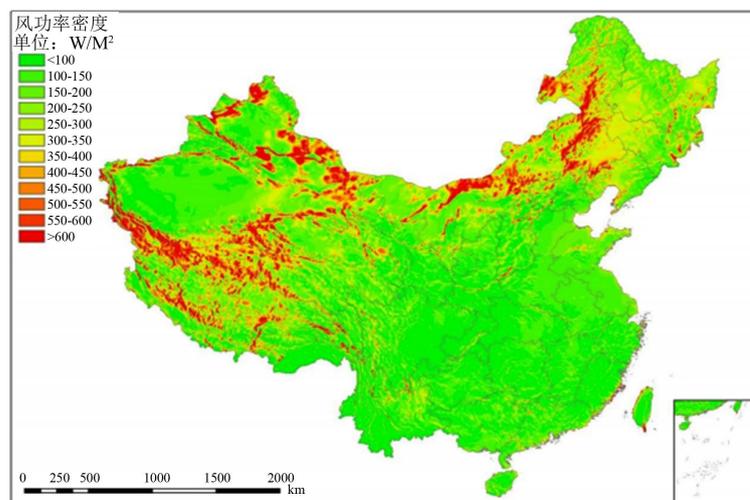


Figure 1. Guizhou wind resources

图 1. 贵州风资源水平

据测算，贵州可开发风电资源储量 456 万千瓦，目前已开发风电资源达到 352 万千瓦[1]。特别是近 5 年风电快速发展，大量条件较好的风区均已开发。

2.2. 风电发展情况

截止 2016 年底，贵州省风电装机容量达到 352 万 kW，风电装机发展趋势如表 1 所示。可以看出 2013 年至 2016 年为贵州风电发展的快速上升期，平均装机容量增长近 60 万千瓦。

同时随着传统电源的增速放缓，风电在电网装机中的比例越来越大，对电网调度运行的影响已不容忽视。至 2015 年，风电装机比例超过 10%，电网低谷调峰、输电通道容量等方面的挑战更是日益凸显。

2.3. 风电分布特点

截止 2017 年初，贵州已投产风电场达 23 个，其分布如下图 2 所示。在地域分布上与贵州风资源分布一致，并呈现出如下两方面显著特点。

1) 集中于西部和中部两个风带

贵州风电场均处于贵州西部的毕节、六盘水地区和黔中的贵阳、都匀部分地区，风电场分布与风资源分布高度契合。

2) 均处于山区地形环境



Figure 2. Guizhou wind power distribution

图 2. 贵州风电分布图

Table 1. Wind power installed capacity

表 1. 风电装机容量

年份	装机/MW	占比/%
2012 年	96.5	3.07
2013 年	134.8	3.15
2014 年	232.6	6.31
2015 年	297.5	10.01
2016 年	352.2	12.10

上述风电集中区域皆为山区地形环境。山区风电的出力受地形影响较大，和平原地区风电出力特性相比有显著差异，在风电的出力特性分析中必须考虑这一影响因素[2] [3]。

3. 时间维度出力特性

风电出力的时间维度特性是指风电发电量或出力与时间的相关性[4]。本文中所研究的风电时间维度出力特性主要包括以季节为单位的长期尺度和以分钟为单位的短期尺度。

3.1. 长期时间特性

在长期尺度上电力系统调度运行重点关注的是电量分配合理性，因此本文所研究的风电长期时间特性主要是分析不同季节风电的发电量特点。

3.1.1. 研究方法

我国春、夏、秋、冬四个季节分别对应 3~5 月，6~8 月，9~11 月，12~2 月。考虑到风电发电量与其装机关系密切，且不同时期机组检修、故障情况不同对发电量影响较大，本文将以等效利用率为研究对象，分析不同季节的发电量变化特点[5]。等效利用率计算公式如下：

$$\eta_w = \frac{W_w + \Delta W_w}{S_w} \quad (1)$$

如式(1)所示， η_w 为风电等效利用率， W_w 、 S_w 分别为风电实际发电量和装机容量， ΔW_w 为核准修正电量，对应由于出力受限、机组检修、设备故障等导致的风电可发电量修正值。

逐年计算各季节的风电等效利用率，由此计算其均值和方差，观察数据波动性，并对比不同季节的发电量差异，即可实现对风电季节发电量特性的分析。

3.1.2. 结果分析

由于 2011 年贵州风电处于起步阶段，装机规模过小。本文统计了 2012 年至 2016 年风电各季节等效利用率数据，如表 2 所示。

基于 2012~2016 年各年统计数据，可以直观发现贵州夏季和冬季风电发电量明显高于春季、夏季。同时夏季风电发电量波动较冬季较大，冬季风电发电较为稳定。

造成上述现象的原因在于贵州省地处亚热带季风气候区域，夏季盛行自东南季风，冬季盛行西北季风，因此上述两个季节的发电量优于春季、秋季。同时贵州夏季可能受到我国南部沿海的台风气候影响，因此夏季风电发电量波动性较冬季较强。

Table 2. Season characteristics of wind power generation in Guizhou

表 2. 贵州风电季节发电量变化特性

年份	春季	夏季	秋季	冬季
2012 年	0.07	0.23	0.11	0.32
2013 年	0.07	0.27	0.08	0.33
2014 年	0.05	0.32	0.07	0.31
2015 年	0.02	0.19	0.04	0.29
2016 年	0.09	0.34	0.08	0.32
均值	0.06	0.27	0.08	0.31
方差 ($\times 10^{-4}$)	5.6	30.8	5.1	1.8

这一特性对电网调度运行的影响在于夏季汛期水电大发，风电和水电面临较为明显的协调矛盾。而冬季处于枯期，风电大发客观上符合贵州冬季负荷高的运行需求。

3.2. 短期时间特性

在短期尺度上电力系统调度运行重点关注的是电力平衡，确保频率稳定，因此本文所研究的风电短期时间特性主要是分析其分钟级波动特性[6] [7]。

由于当前电网频率与联络线偏差考核的时段要求为 10 分钟，因此本文重点分析风电 10 分钟的波动特性。

3.2.1. 研究方法

借鉴发电量的研究思路，本文通过等效波动率分析风电出力的波动性[8]。等效波动率计算公式如下：

$$\lambda_w = \frac{\Delta P_w^{\max}}{S_w} \quad (2)$$

如式(2)所示， λ_w 为风电的等效波动率， ΔP_w^{\max} 为 10 分钟内风电出力最大波动量，满足 $\Delta P_w^{\max} = P_w^{\max} - P_w^{\min}$ ，其中 P_w^{\max} 、 P_w^{\min} 分别为风电在 10 分钟尺度范围内的最大、最小出力， S_w 为风电装机。

统计不同年份风电的等效波动率分布特性，能够用于计算风电发展对电网调频的影响。

3.2.2. 结果分析

本文统计了 2014~2016 年的等效波动率分布情况。如图 3 所示为三年的等效波动率分布图，不难发现三年间尽管风电装机增大，但其等效波动率基本保持稳定，其等效波动率期望依次为 3.96%、4.27% 和 4.48%。这一现象的原因在于新建的风电场往往与原风电场位置相近，其短期气候环境相似，因此等效波动率变化不大。但同时也可以发现三年来等效波动率呈逐步上升趋势，其原因主要是风电装机增大，波动性上升。

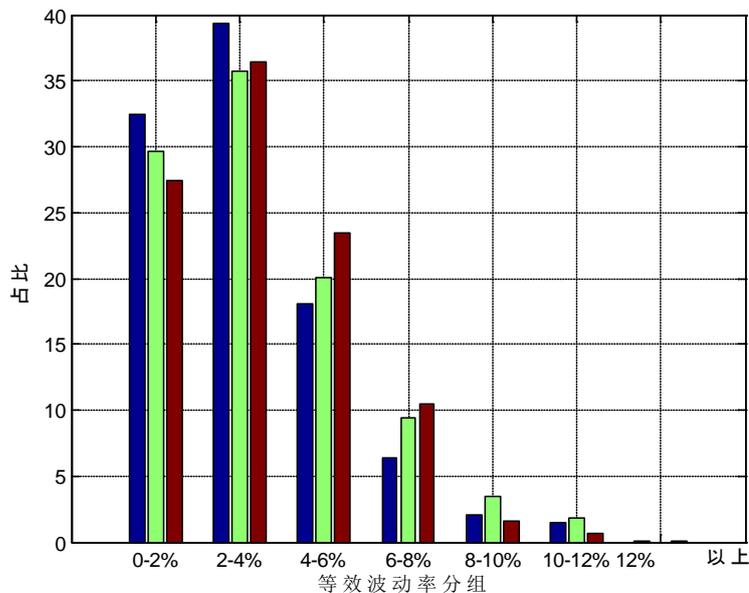


Figure 3. Equivalent volatility profile

图 3. 等效波动率分布图

风电的短期波动性较负荷波动性更加显著，客观上要求电网需要匹配更多的调频容量，以满足风电波动下的调控要求。

4. 空间维度出力特性

风电出力的空间维度特性，是指位于同一区域内的风电场在发电量和出力两个层面的相关性[9] [10]。

从研究结论上看，贵州两个风电集中区域的分析结果是一致的，本文将以贵州西部山区风电为对象介绍研究结果。

4.1. 电量特性

4.1.1. 研究方法

风电场空间维度的电量特性是指处于同一区域的不同风电场逐日发电量的相关性。通过统计其逐日发电量，并计算其相关性指标即可分析其电量特性。

4.1.2. 结果分析

本文以贵州西部乌江源、麻窝山、马摆大山三个风电场为例介绍分析过程和分析结论，其分析结论同样适用于贵州两个风电富集区域的其他风电场，具有通用性。

上述三个风电场 2016 年夏季某月逐日发电量如图 4 所示。可以发现三个风电场逐日发电量呈高度相关性。将其发电量与装机容量的比值作为分析对象，乌江源、麻窝山、马摆大山发电量相关性指标分别为：

$$\begin{cases} Cov_{1,2} = 0.645 \\ Cov_{1,3} = 0.431 \\ Cov_{2,3} = 0.453 \end{cases} \quad (3)$$

如式(3)所示， $Cov_{1,2}$ 、 $Cov_{1,3}$ 、 $Cov_{2,3}$ 分别为乌江源与麻窝山，乌江源与马摆大山，麻窝山与马摆大山的逐日发电量协方差。

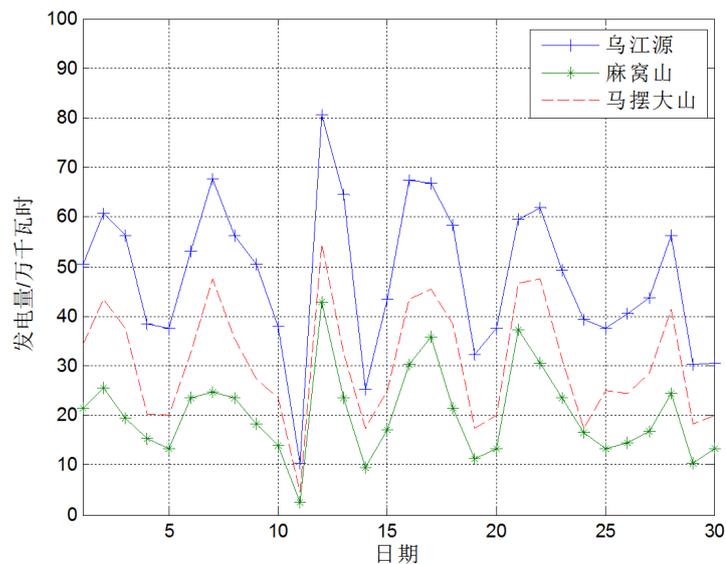


Figure 4. Daily generation of wind power

图 4. 风电场逐日发电量

同一风资源富集区域内气候条件相似因此风电场发电量呈较高的相关性。由于风电接入区域相对偏远，因此送出通道容量有限，这一特点客观上限制了风电消纳。

4.2. 电力特性

4.2.1. 研究方法

借鉴电量研究的特点，分析同一区域不同风电场出力波动性的相关性。

4.2.2. 结果分析

仍以乌江源、麻窝山、马摆大山三个风电场为研究对象。2016年某日三个风电场出力曲线如图5所示。可以发现乌江源与麻窝山发电曲线相似性较强，呈较为明显的时滞特点，而马摆大山则与上述两个风电场出力相关性较差。

造成上述的原因在于尽管处于同一风电富集区域，但是由于山区影响，同一区域内风的规律变化较大。因此在较长时间尺度上发电量呈较高的相关性，而在短时间尺度上相关性明显下降。

这一特点启示在短期优化调度上，需要深入考虑不同风电场的出力波动特性，使其协同优化，提升运行效率。

5. 风电管理措施建议

1) 加强风电基础数据管理，全面掌握不同电压等级风电场实时数据。基础数据是运行分析的基础，风电与火电、水电不同，风机数量多，接入电压等级低等特点给其基础数据管理带来困难。结合贵州实际亟需加强基础数据管理，将不同电压等级风电场的实时运行数据接入调度中心自动化系统，包括发电功率、上网功率、无功功率、无功可调能力等。

2) 建立风功率预测管理机制，提升预测准确性。风功率预测是风电调度运行的重要依据。建立风功率预测管理机制，强化对风电场功率预测的考核和评价，推动其不断提升功率预测精确性，是确保可再生能源消纳的重要机制保障。

3) 落实无功电压管理要求，确保地区电网电压合格率。风电接入对地区电网冲击较大，特别是山区

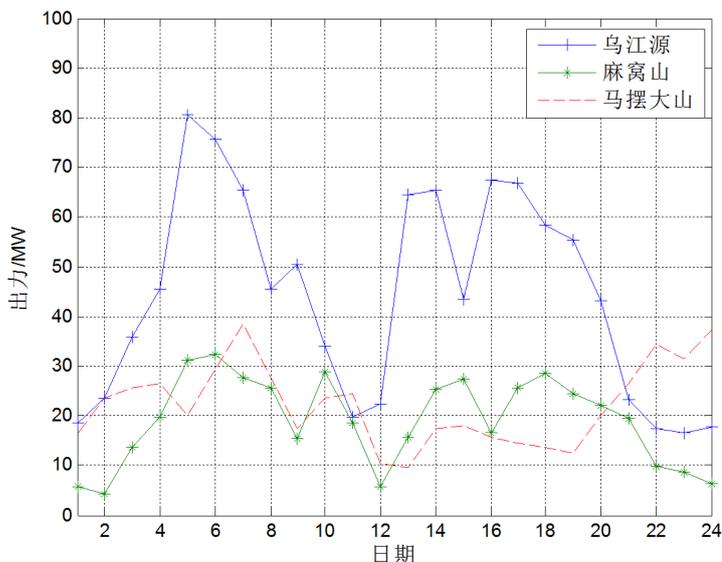


Figure 5. Generation curve of wind power
图5. 风电场发电曲线

网架薄弱地区, 风电接入可能造成局部电压不合格的问题。为此需要落实风电场无功电压管理要求, 将其站内 SVG 等无功电压调控设备纳入自动电压控制系统, 确保地区电网电压合格率。

6. 结论

开展风电出力特性研究是风功率预测、调度运行优化等调度业务的重要基础。本文从时间和空间两个维度出发深入分析了贵州山区的风电出力特性。时间维度从长期和短期两个尺度分析了风电的季节特性和波动特性, 贵州夏季风电大发的规律可能与汛期水电消纳冲突, 是时间尺度上需要重点关注的运行特性。空间维度从电量和电力两个角度出发, 说明了由于山区地形影响, 同一地区风电场发电量相似的前提下发电出力可能有较大差异。最后从加强数据管理、提升功率预测、落实无功电压考核三个层面提出了提高风电管理的措施建议。

参考文献 (References)

- [1] 王长路, 王伟功, 张立勇, 等. 中国风电产业发展分析[J]. 重庆大学学报, 2015, 38(1): 148-154.
- [2] 薛禹胜, 雷兴, 薛峰, 等. 关于风电不确定性对电力系统影响的评述[J]. 中国电机工程学报, 2014(29): 5029-5040.
- [3] 雷亚洲. 与风电并网相关的研究课题[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(8): 84-89.
- [4] 林卫星, 文劲宇, 艾小猛, 等. 风电功率波动特性的概率分布研究[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(1): 38-46.
- [5] 韩杏宁, 黎嘉明, 劲宇, 等. 风电功率状态的时域概率特性研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(14): 31-39.
- [6] 肖创英, 汪宁渤, 陟晶, 等. 甘肃酒泉风电出力特性分析[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(17): 64-67.
- [7] 孙荣富, 张涛, 梁吉, 等. 电网接纳风电能力的评估及应用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(4): 70-76.
- [8] 熊一, 查晓明, 秦亮, 等. 风电功率爬坡气象场景分类模型及阈值整定研究[J]. 电工技术学报, 2016, 31(19): 155-162.
- [9] 刘畅, 吴浩, 高长征, 等. 风电消纳能力分析方法的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014(4): 61-66.
- [10] 薛禹胜, 郁琛, 赵俊华, 等. 关于短期及超短期风电功率预测的评述[J]. 电力系统自动化, 2015(6): 141-151.

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: 2161-8763, 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: sg@hanspub.org