

百万千万级新能源基地接入对随州电网稳定性的影响分析

李子寿 卢子敬

国网湖北省电力有限公司 湖北武汉 430000

摘要: 人类对能源安全的担忧和环境恶化的焦虑,使得充分利用可再生能源已经成为全球共识。以太阳能、风能为代表的大规模可再生能源并网发电已经成为新型电力系统不可阻挡的发展趋势,是解决能源短缺的有效手段。同时,大规模新能源接入对电力系统深层次的影响正在凸显,各国学术界和工程界均给予极大关注。本文的目的,在于从实际电网的角度,从风光特性、潮流分布、外送需求、潮流分析、暂稳分析等方面提出研究思路与解决方案。

关键词: 新能源; 电网; 分析

Analysis on the impact of millions of new energy bases connected on the stability of Suizhou power grid

Zishou Li Zijing Lu

State Grid Hubei Electric Power Co., LTD. Hubei Wuhan 430000

Abstract: Human concerns about energy security and anxiety about environmental degradation have made it a global consensus to make full use of renewable energy. Large-scale renewable energy grid-connected power generation represented by solar energy and wind energy has become an unstoppable development trend of the new power system, and is an effective means to solve the energy shortage. At the same time, the deep impact of large-scale new energy access on the power system is being highlighted, and the academic and engineering circles of various countries pay great attention to it. The purpose of this paper is to put forward research ideas and solutions from the aspects of landscape characteristics, power flow distribution, delivery demand, power flow analysis, power flow analysis and temporary stability analysis from the perspective of actual power grid.

Keywords: New energy; Power grid; Analysis

引言

人类对化石能源枯竭、能源安全和环境恶化的担忧导致对清洁、可再生能源的需求增大,许多国家已经做出大规模开发利用太阳能发电、风力发电的决策和规划,一个以新能源发电为标志的电力系统新时代正在到来。

随着光伏发电在电力系统中装机容量所占比例越来越大,它对电力系统规划、仿真、调度、控制的影响也引起人们极大关注[1]。光伏发电呈现“规模化分散开发、低压接入、就地消纳”以及“大规模集中开发、中高压接入、高压远距离外送消纳”两种方式并存格局,对电力系统的影响无论从深度还是广度而言都将是深远巨大的,国内外工程界和学术界的研究亦是热度不减、成果频出。

本文结合实际百万千瓦级新能源基地接入区域电网为背景,从风光特性、潮流分布、外送需求、潮流分析、暂稳分析等多个角度,对大规模新能源基地接入后区域电网特性的变化进行了分析,同时对于存在的问题提出

了合理的建议。本文可以为后续新能源基地的接入分析提供借鉴与思考。

一、随州电网概况

随州市位于湖北省北部,地处长江流域和淮河流域的交汇地带,辖广水市、随县、曾都区。东承武汉,西接襄阳,北临信阳,南达荆州,居“荆豫要冲”,扼“汉襄咽喉”,为“鄂北重镇”,是湖北省对外开放的“北大门”,国家实施西部大开发战略由东向西的重要接力和中转站。全市总面积9636km²,随州地区“无煤、无油、少气”,水电资源有限,境内资源开发条件相对较好的是风能和太阳能。

1. 电源现状

随州市地处长江流域和淮河流域的交汇地带,地形主要以平原和丘陵为主,水能资源不太丰富,风电、光伏资源较为充裕。

截至2021年底,随州全网装机总容量为290.7万kW,其中:风电装机容量165.8万kW,光伏装机容量

121.2 万 kW, 其他小水电小火电合计装机容量 3.8 万 kW。随州电网现况装机表如表 1.1-1 所示。

表 1.1-1 随州电网现况装机表

单位: 万 kW

项目	2021
合计	290.7
1、小火电	1.7
2、小水电	2.1
3、风电场	165.8
220kV 接入	21.25
110kV 及以下接入	144.5
4、光伏电站	121.2
220kV 接入	15
110kV 及以下接入	106.16

2. 电网现况

随州电网以 220kV 电网为主网架, 以编钟变为电源支撑, 内部形成了单链及辐射供电结构。随州电网与湖北省 500kV 主网通过 500kV 编钟~樊城、编钟~仙女山线路进行联络; 与襄阳电网通过彭湾~烈山、卧龙~烈山、樊城~烈山、樊城~曾都 4 回 220kV 线路进行联络。

截止 2021 年底, 随州电网有 500kV 变电站 1 座, 即 500kV 编钟变, 主变 2 台, 主变容量 200 万 kVA。220kV 变电站 5 座, 主变 9 台, 总容量为 171 万 kVA。220kV 线路 19 条, 总长 899.3km。110kV 变电站 35 座, 主变 56 台, 总容量 238.6 万 kVA; 110kV 线路 89 条, 总长 1471.4km。

3. 随州百万千瓦级新能源基地概况

国能长源随州市随州百万千瓦新能源多能互补基地规划装机容量 100 万 kW, 全部为光伏发电项目, 拟选场址位于随州市随县尚市镇、万福店镇、唐县镇、环潭镇和洪山镇, 距离随县约 14km, 距随州市区约 29km。项目采用分批建设, 一期 40 万 kW, 已取得湖北省能源局建设指标(《湖北省能源局关于公布 2021 年平价新能源项目的通知(鄂能源新能[2021]53 号)》), 预计于 2023 年投产, 二期 30 万 kW 及三期 30 万千瓦待取得建设指标后续建设。项目建成投产后, 所发电量在湖北电网内消纳。

二、风光特性分析

1. 风电出力特性分析

风电月最大出力比是指风电月最大出力与装机总容量的比值, 风电月平均出力比是指风电月平均出力与装机总容量的比值。根据对随州境内风电全年出力情况进行统计分析, 随州境内风电月最大出力比除 10 月份未超过 80% 外, 其余各月最大出力比均超过 80%, 其中 5 月份最大出力比最高, 接近 90%。随州境内风电月平均出力比较高的月份有 2-5 月、8 月、11 月、12 月等 7 个月份, 其中 3 月、4 月风电月平均出力比最高, 接近 40%。

风电各月日出力特性曲线绘制采用地区风光组合出力各月最大日风电整点出力数据。出力最大的时段一

般为 6-8 点、18-23 点时段。随州风电出力特性详见图 2.1-1。

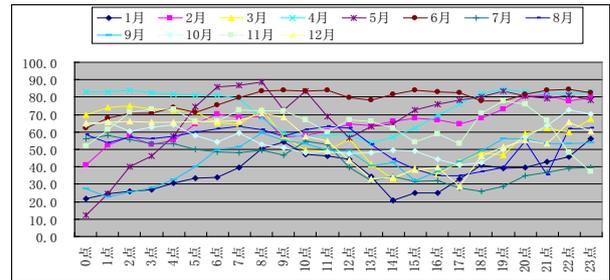
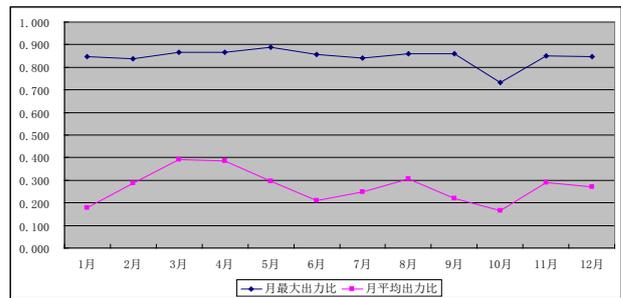


图 2.1-1 随州风电出力特性

2. 光伏出力特性分析

随州境内集中式光伏月最大出力比超过 75% 的月份有 5 月、9 月、10 月等 3 个月, 最大出力比较低的月份有 4 月和 12 月, 接近 60%。随州境内集中式光伏月平均出力比超过 15% 的月份有 6 月、7 月、8 月、10 月等 4 个月, 集中在夏季; 月平均出力比低于 10% 的月份有 1 月、11 月、12 月, 集中在冬季。

集中式光伏各月日出力特性曲线绘制采用地区风光组合出力各月最大日集中式光伏整点出力数据。光伏出力时段为 7-18 点, 最大出力时段为 11-13 点。随州光伏出力特性详见图 2.2-1。

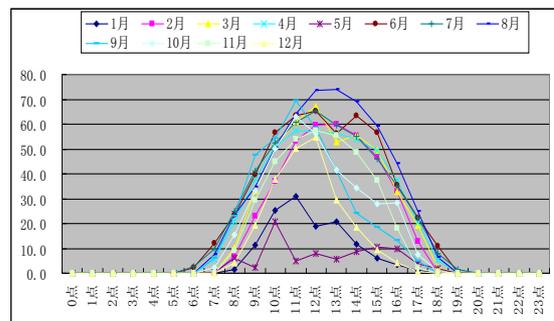
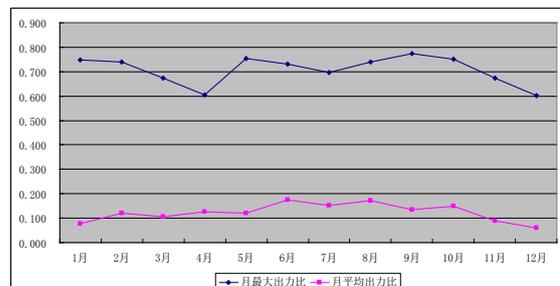


图 2.2-1 随州光伏出力特性

3. 风光互补特性分析

利用随州典型日新能源装机出力、负荷数据，根据随州地区年负荷特性，整理得到每月负荷最小典型日出

力特性，与风、光出力特性进行叠加，可以得到全年每月典型日最大电力盈余，见表 2.3-1。

表 2.3-1 随州电网 2023 年每月典型日最大电力盈余

时间	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0	-9.7	26.3	56.2	72.5	-33.5	38.4	19.5	17.1	-0.7	45.1	25.6	36.8
1	-2.8	47.0	66.2	71.5	-15.0	48.3	20.8	11.1	0.3	47.4	40.4	34.3
2	0.0	57.5	70.9	75.7	9.4	59.1	20.5	26.2	4.2	43.7	58.2	37.9
3	1.4	51.0	68.8	72.2	17.8	59.8	17.5	16.9	8.2	43.8	58.5	41.6
4	9.5	56.0	70.0	73.5	35.9	64.2	22.4	23.2	13.1	48.7	60.9	39.7
5	12.6	69.8	70.0	73.8	60.0	59.7	15.9	25.5	25.5	40.6	47.1	41.7
6	10.9	77.5	58.7	69.8	67.3	62.1	10.1	27.0	34.7	31.6	44.7	41.4
7	14.3	66.8	50.5	64.2	67.5	74.5	11.8	32.0	33.2	36.3	42.8	36.6
8	23.6	53.6	59.1	66.1	76.4	85.3	25.8	39.9	61.5	43.0	52.1	34.8
9	29.9	53.7	60.9	74.2	51.7	97.8	35.6	46.9	77.5	63.0	76.6	41.4
10	31.6	77.6	64.6	92.1	88.0	116.6	62.8	70.5	80.6	83.1	91.5	49.8
11	32.7	98.8	73.4	101.2	47.9	122.3	70.5	87.9	92.5	96.2	89.5	55.9
12	17.6	111.9	97.0	108.1	44.0	131.7	66.1	108.1	86.8	92.1	111.7	54.2
13	6.9	118.6	62.4	103.5	57.2	117.6	51.5	95.4	58.3	82.0	112.2	13.3
14	-22.5	117.2	54.4	102.2	56.2	128.6	45.8	74.4	36.6	72.5	94.0	3.1
15	-22.5	110.1	55.9	101.4	66.9	121.6	29.7	52.1	13.0	64.4	67.8	-5.1
16	-25.2	88.1	29.8	95.2	70.7	96.6	18.6	30.3	9.6	50.3	47.5	-9.3
17	-18.4	52.2	22.4	80.3	61.4	79.8	-7.3	3.7	2.1	15.2	17.1	-34.9
18	-14.6	40.8	6.5	68.7	64.3	62.5	-24.2	-11.5	7.8	11.5	37.4	-11.0
19	-17.2	40.5	-7.2	60.0	63.1	49.2	-23.8	-12.7	17.4	21.3	47.3	-1.4
20	-15.6	44.4	7.0	50.4	53.1	49.0	-22.3	4.8	18.3	28.9	46.1	-0.5
21	-3.9	43.9	15.6	52.0	53.6	51.5	-18.4	-27.9	15.9	39.4	35.2	2.0
22	11.0	48.8	23.9	61.2	61.7	59.3	-9.4	17.4	21.2	55.2	14.8	29.5
23	33.5	62.4	40.3	66.6	60.8	62.1	-5.6	19.2	25.4	54.8	-0.9	22.5

由风光荷叠加曲线可以看出，随州电网盈余较大通常出现在春季上午或午间，风光组合出力最大时刻出现在 6 月份某日午间，此时风电出力达到 0.8，光伏出力达到 0.65。而在风光资源均较好的六月份，通过统计筛选可知，其中连续 3 小时风电出力超过 0.7 的天数共有 5 天，其中午间光伏出力超过 0.6 的天数共有 16 天。因此，在考虑一定的置信系数后，新能源大发时刻风电出力取 0.7，光伏出力取 0.6 是可信的。

三、基地接入对电网稳定性的影响

1. 基地接入对区域电网潮流分布的影响

以春腰方式为例，分析基地二期新能源基地接入对随州电网潮流分布的影响。保证随州地区开机及负荷不变，方式一：开基地二期 30 万千瓦出力，关随州电厂 50 万层面机组 30 万；方式二：开基地二期 30 万千瓦出力，关襄阳地区 220 千伏层面机组 30 万千瓦出力，潮流分布如下：

线路及主变名称	初始潮流	方式一	变化量	方式二	变化量
编钟#1 主变	633.3	755.3	120	709.3	76
编钟#2 主变	632.1	751.9	119.8	707.1	75
卧烈线	108.4	121.0	12.6	144.2	35.8
产烈线	39.7	71.2	31.5	106.7	67
樊烈线	122.6	142.1	19.5	163.9	41.3
樊曾线	187.4	209.9	22.5	234.2	46.8
钟安线	89.0	77.6	-11.4	63.9	-25.1
钟曾线	248.7	232.7	-16	215.8	-32.9
随曾线	141.0	136.7	-4.3	132.5	-8.5
烈随线	7.7	16.2	8.5	27.8	20.1
钟烈一回线	155.3	128.4	-26.9	95.1	-60.2
钟烈二回线	172.9	143.1	-29.8	105.9	-67
曾风线	108.5	111.8	3.3	115.5	7
钟梨I线	186.3	183.7	-2.6	180.7	-5.6
钟梨II线	177.7	175.1	-2.6	172.3	-5.4
季烈线	211.7	211.6	-0.1	211.7	0
渠水线	166.9	161.8	-5.1	156.0	-10.9

从潮流结果分析，基地二期接入对随州内部潮流分布影响不大，主要影响随州外送断面相关主变和线路潮流的分布。基地二期投产后，在外部不同开机方式下，其外送电力大约 50%~75% 从编钟两台主变上网。

2. 基地接入对区域电网外送需求的影响

2022~2025 年，随州地区除随县百万光伏多能互补基地外无大规模新能源投产，根据随州市近年来新能源并网容量与发电情况统计，预计 2023 年随州电网内新能源最大出力可达 228 万千瓦，对应的负荷约为 68 万千瓦，则随州电网最大的外送需求约为 160 万千瓦，而随州外送断面无稳控限额约为 144 万千瓦，存在弃风弃光的可能，因此基地投产后需要考虑稳控措施来保证新能源的消纳。预计 2024 年随州电网内新能源最大出力可达 245 万千瓦，对应的负荷约为 73 万千瓦，则随州电网最大的外送需求约为 172 万千瓦，同样的需要采

取稳控措施来满足地区电源的外送需求。预计 2025 年随州电网内新能源最大出力可达 266 万千瓦，对应的负荷约为 78 万千瓦，则随州电网最大的外送需求约为 188 万千瓦，同样的需要采取稳控措施来满足地区电源的外送需求。

3. 典型潮流分析

本文选取春腰典型方式进行分析，结合上文新能源出力与负荷特性的关系，此时考虑实际出力情况，在考虑一定的置信系数后，新能源大发时刻风电出力取 0.7，光伏出力取 0.6。随州电厂 220 千伏层面机组开机较小，随州地区负荷按 68 万千瓦考虑，随州电网呈现外送特性。随州各变电站上网潮流如下表所示；

随州电网负荷分点

单位: 万 kVA/万 kW

负荷分点	主变容量	春腰
1 季梁	36	-29
2 烈山	36	-20
3 曾都	36	-14
4 随县	36	8
5 梨园	60	-21
6 永阳	36	-25
7 凤凰	33	-10

春腰方式下，相关主变及线路潮流负载率如下表所示：

线路名称	热稳限值 (MW)	潮流值 (MW)	负载率	线路名称	热稳限值 (MW)	潮流值 (MW)	负载率
编钟#1 主变	1000	556.3	55.63%	钟烈一回线	460	122.7	26.67%
编钟#2 主变	1000	554.2	55.42%	钟烈二回线	459	136.7	29.78%
随永线	226	57.6	25.49%	烈季线	482	211.2	43.82%
随曾线	226	126.9	56.15%	万季线	289	89.6	31.00%
卧烈线	226	54.0	23.89%	钟梨 I 线	550	128.5	23.36%
樊烈线	460	55.1	11.98%	钟梨 II 线	550	122.6	22.29%
严烈线	610	60.1	9.85%	曾凤线	550	26.9	4.89%
樊曾线	460	102.7	22.33%	永梨线	550	120.7	21.95%
钟随线	226	22.5	9.96%	凤永线	226	2.9	1.28%
钟曾线	459	125.8	27.41%	钟曾线	460	191.7	41.67%

从春腰典型潮流分布来看，正常方式下随州地区无重载线路，编钟主变负载率较高，存在一台主变故障后，另一台主变过载的风险。

4. 潮流稳定分析

考虑初始潮流分布不同，随州外送能力的大小就不同，通过分析可知在随州电厂 500 千伏层面机组开机越大，随州外送能力就越大，因此本计算中考虑较恶劣运行方式，计算中随州电厂 500 千伏层面按不开机计算。

线路及主变名称	热稳值	初始潮流	编钟#2 主变 N-1	卧烈线 N-1	严烈线 N-1	樊烈线 N-1
编钟#1 主变	1000	699.0	1174.7	724.6	708.8	726.6
编钟#2 主变	1000	697.8	/	723.4	707.6	725.4
卧烈线	226	108.5	146.1	/	113.8	122.3
严烈线	610	39.5	113.9	68.3	/	74.0
樊烈线	460	121.5	171.5	139.0	129.6	/
樊曾线	460	187.1	242.0	199.0	192.8	204.3
钟随线	460	183.0	142.5	190.0	185.5	190.1
钟曾线	460	256.1	221.9	252.2	254.0	249.8
随曾线	226	161.7	147.6	154.8	158.5	152.4
烈随线	460	20.0	8.9	35.3	26.3	38.0
钟烈一回线	460	163.8	99.4	186.6	172.9	198.8
钟烈二回线	460	182.2	110.6	207.6	192.3	211.1
曾凤线	550	114.0	122.1	115.4	114.7	116.1
线路及主变名称	热稳值	钟曾+樊曾二回 N-2	樊烈+樊曾 N-2	樊烈+钟烈 N-2	钟随+钟丰 N-2	随曾+曾都-凤凰 N-2
编钟#1 主变	1000	739.2	790.6	713.3	684.6	696.2
编钟#2 主变	1000	738.0	789.4	712.1	683.4	695.0
卧烈线	226	125.5	143.0	131.6	111.2	105.5
严烈线	610	85.9	128.0	93.8	44.9	34.7
樊烈线	460	153.5	/	/	124.9	117.6
樊曾线	460	/	/	200.6	201.3	200.2
钟随线	460	388.9	230.1	231.3	/	106.8
钟曾线	460	/	349.8	260.8	316.0	290.6
随曾线	226	482.6	219.8	143.9	105.0	/
烈随线	460	106.8	3.3	92.7	101.8	59.2
钟烈一回线	460	177.3	173.3	/	215.3	150.7
钟烈二回线	460	197.3	192.8	316.1	239.6	167.6
曾凤线	550	6.0	88.4	114.8	132.4	/

从潮流稳定结果来看，基地的接入加重了随州电网的外送需求，在春腰方式下，存在主变过载的风险。

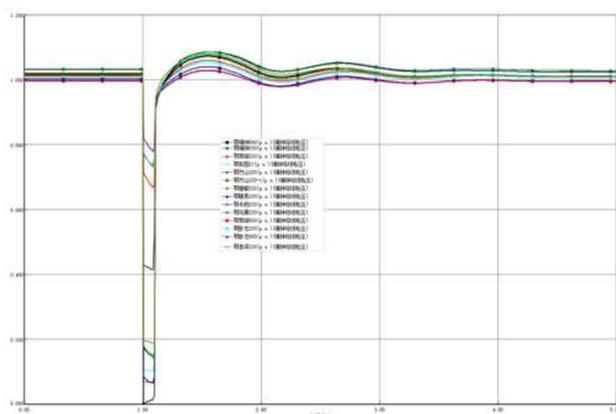
5. 暂态稳定分析

本文主要考虑随州电网内部同杆线路的 N-2 故障

以及相关元件的N-1故障,计算故障包括:编钟主变N-1、樊曾二回N-1、严烈线N-1、随曾+曾都-凤凰N-2、钟随+钟丰N-2、卧烈线N-1、樊烈线N-1、樊曾二回+樊烈线N-2等故障。具体计算结果如下表所示:

序号	故障类型	稳定情况	详细情况及措施
1	编钟主变 N-1	编钟运行主变过载	切随州基地新能源
2	樊曾二回 N-1	/	/
3	严烈线 N-1	稳定	/
4	随曾+曾都-凤凰 N-2	稳定	/
5	钟随+钟丰 N-2	稳定	/
6	卧烈线 N-1	稳定	/
7	樊烈线 N-1	稳定	/
8	樊曾二回+樊烈线 N-2	稳定	/
9	钟烈一回+樊烈线 N-2	稳定	/

从仿真结果来看,基地接入后随州电网不存在暂态失稳的风险,满足安全稳定运行,计算曲线如下所示:



四、结论与建议

1. 结论

本文结合实际区域电网概况以及新能源基地的概况,对区域电网的风光特性、潮流分布特性、外送需求、潮流稳定以及暂态稳定等各个方面分析了百万千瓦级新能源基地接入对区域电网的影响;同时,对于百万千瓦级新能源基地接入后随州电网存在的主变过载的问题,提出了通过切除新能源机组的措施来保证区域电网的稳定。

2. 建议

发展新能源是国家的战略,新能源的大规模接入电网必然对现有电网的运行存在一定的影响,同时新能源的消纳也是迫在眉睫的问题。因此建议从电力系统规划、仿真、调度、控制角度,分析大规模光伏系统的建模与仿真、大规模光伏接入对系统动态和稳态特性的影响、大规模光伏外送及消纳的关键技术。

参考文献:

[1] 赵争鸣,雷一,贺凡波,等.大容量并网光伏电站技术综述[J].电力系统自动化,2011,35(12):101-107.

Zhao Zhengming, Lei Yi, He Fanbo, et al. Overview of large-scale grid-connected photovoltaic power plants [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(12): 101-107(in Chinese).

[2] 鲁宗相,李海波,乔颖.高比例可再生能源并网的电力系统灵活性评价与平衡机理[J].中国电机工程学报,2017,37(1):9-19.

Lu Zongxiang, Li Haibo, Qiao Ying. Flexibility evaluation and supply/demand balance principle of power system with high-penetration renewable electricity [J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(1): 9-19(in Chinese).

[3] 王锡凡.电力系统优化规划[M].北京:水利电力出版社,1990.

Wang Xifan. Power system optimization planning [M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1990(in Chinese).

[4] 刘波,郭家宝,袁智强,等.风光互补发电系统特性研究[J].华东电力,2010,38(12):1903-1906.

Liu Bo, Guo Jiabo, Yuan Zhiqiang, et al. Characteristic research of wind-PV hybrid power system [J]. East China Electric Power, 2010, 38(12): 1903-1906.

[5] 吴克河,周欢,刘吉臻.大规模并网型风光储发电单元容量优化配置方法[J].太阳能学报,2015,36(12):2946-2953.

Wu Kehe, Zhou Huan, Liu Jizhen. Capacity allocation optimization method of largescale grid connected wind-PV-battery generation unit [J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2015, 36(12): 2946-2953.

[6] 雷一,赵争鸣.大容量光伏发电关键技术与并网影响综述[J].电力电子,2010(3):16-23.

Lei Yi, Zhao Zhengming. Overview of large-scale PV integration key technologies and its impact [J]. Power Electronics, 2010(3): 16-23(in Chinese).

[7] 陈权,李令冬,王群京,等.光伏发电并网系统的仿真建模及对配电网电压稳定性影响[J].电工技术学报,2013,28(3):241-248.

Chen Quan, Li Lingdong, Wang Qunjing, et al. Simulation model of photovoltaic generation grid-connected system and its impacts on voltage stability in distribution grid [J]. Transaction of China Electrotechnical Society, 2013, 28(3): 241-248(in Chinese).

[8] 张轶,鲁国起,张焰,等.光伏电站并网对电网

可靠性的影响 [J]. 华东电力, 2010, 38 (5): 700-706.

Zhang Yi, Lu Guoqi, Zhang Yan, et al. Influence of grid connection of photovoltaic power station on power grid reliability[J]. East China Electric Power, 2010, 38(5): 700-706(in Chinese).

[9] 胡泊, 辛颂旭, 白建华, 等. 我国太阳能发电开发及消纳相关问题研究 [J]. 中国电力, 2013, 46(1): 1-6.

Hu Bo, Xin Songxu, Bai Jianhua, et al. Study on issues concerning solar power development and

accommodation in China[J]. Electric Power, 2013, 46(1). 1-6(in Chinese)

[10] 王一波, 李晶, 许洪华. 考虑电网安全稳定约束的光伏电站最大安装容量计算与分析 [J]. 太阳能学报, 2008, 29(8): 971-975.

Wang Yibo, Li Jing, Xu Honghua. Analysis of the maximum installed capacity of PV station constrained by power sytem security and stability[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2008, 29(8): 971-975(in Chinese).