

考虑发电侧成本的新能源消纳能力评估

沈 超, 秦潇璘, 李永刚

(华北电力大学 电气与工程学院, 河北 保定 071003)

摘要: 随着近几年新能源装机容量的快速增长, 弃风、光问题变得愈加严重。如何有效评估新能源消纳能力已成为宏观决策部门与新能源发电企业十分关心的问题。考虑了系统调峰能力等约束条件, 提出一种基于时序生产模拟的新能源消纳能力评估方法。通过核算新能源发电企业在全寿命周期内的投资与运行费用, 得出新能源企业在不同盈利水平下相应的弃新能源比例, 并以该比例作为评估新能源消纳能力的指标。以西部某省为例, 对该省 2016 年新能源消纳能力进行评估, 得出在不同弃新能源比例下的新能源装机容量和消纳电量, 验证了方法的合理性和有效性。

关键词: 新能源; 时序生产模拟; 发电成本; 弃新能源比例; 消纳能力

中图分类号: TM715 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-0792.2016.11.001

0 引言

风能、太阳能等资源是清洁的可再生能源^[1]。随着化石燃料大量燃烧引发的日益严重的环境问题, 新能源因其具有的低碳、环保的优越性而受到各国政府越来越多的重视^[2-4]。近年来, 全国新能源装机容量快速增长^[5], 新能源消纳形势已经由原来的全额消纳发展为出现了一定比例的舍弃, 个别地区甚至出现了严重的弃风、弃光现象。准确评估在一定约束条件下的新能源消纳能力对于未来新能源发展有着重要的指导意义^[6]。

目前, 对新能源消纳能力的评估主要有以下两种方法: 一种是不限制新能源出力的评估方法, 该方法以不限制新能源出力为前提, 以各月典型日为周期, 计算各月典型日在负荷低谷时段的调峰裕度能否接纳一定装机容量的新能源出力^[7], 然后除以一定的新能源有效容量系数得到可消纳的新能源装机容量。此方法计算得出的可消纳的新能源装机容量少, 而且边界条件比较粗糙, 计

算结果偏差较大^[8]。另一种是限制一定新能源出力的评估方法^[9], 该方法允许在负荷低谷时段一定比例的新能源舍弃, 以保证更大的装机容量, 从而增加在非负荷低谷时段的新能源发电量, 提高新能源整体消纳水平。国内多个地方的新能源装机容量已经超过了全额消纳的能力, 以不限制新能源出力评估得出的新能源装机容量在实际中很难实现, 电量消纳成为新能源发展的最终目标^[10, 11]。

本文结合后一种新能源消纳能力评估方法的思想, 并将该方法中限制新能源出力的比例明确化, 通过计及新能源发电企业全寿命周期投资与运行成本, 得出新能源企业在不同盈利水平下相应的弃风、光比例, 并以该弃风、光比例为评估指标, 在基于时序生产模拟的新能源消纳能力评估模型基础上, 反推出可消纳的新能源装机容量, 实现了对新能源消纳能力的准确评估, 为大规模新能源有序、健康开发提供参考。

1 新能源消纳能力评估模型

时序生产模拟是一种模拟系统实际运行的仿

收稿日期: 2016-07-05。

基金项目: 国家电网公司科技项目 (5230JY14003R)。

作者简介: 沈超 (1989-), 男, 硕士研究生, 研究方向为新能源发电与并网技术, E-mail: 1033073356@qq.com。

真方法,通常以年为计算时间尺度,通过模拟新能源出力特性和负荷特性时间序列,逐时段模拟电网的电力电量平衡情况,将系统负荷、新能源出力等看作随时间变化的序列,建立电网的电力平衡模型,并考虑联络线运行要求、机组启停、火电最小运行方式、供热等约束,逐点模拟电网运行状况。在调峰受阻时,按照新能源优先消纳的原则进行安排,最终得到年度可消纳新能源装机容量与电量。

1.1 模型评估原理

由于新能源出力的随机性与不可控性,新能源不能像常规机组那样输出稳定可控的功率,新能源的消纳主要依赖于系统的调峰能力^[12,13],即在有新能源出力时常规机组能降低出力以消纳新能源,而新能源不能被完全消纳的主要原因就在于新能源在出力高峰时,常规机组不能降低足够的出力以接纳新能源,图1为新能源消纳原理示意图。

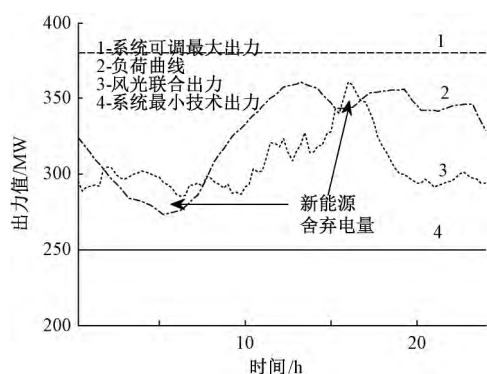


图1 新能源消纳原理图

由图可知,负荷曲线与系统最小技术出力之间为新能源可消纳空间。显然,任意时刻系统所能消纳的新能源最大值等于该时刻发电负荷减去系统最小技术出力,也就是调峰裕度。在实际调度运行过程中,当新能源出力超过该时刻的调峰裕度时,超出的部分需要被切除以保证电力的供需实时平衡,这便造成了新能源的舍弃^[14]。

新能源消纳电量由式(1)计算得出:

$$Q_{\text{acc}} = \sum_{i=1}^n \min(p_{\text{new } i}, p_{1i} - p_{\text{min}}) \quad (1)$$

式中: $p_{\text{new } i}$ 表示第 i 时刻新能源出力值; p_{1i} 表示第 i 时刻的负荷值; p_{min} 表示系统最小技术出力; $p_{1i} -$

p_{min} 即为系统调峰裕度。

当新能源出力值超过系统能提供的调峰裕量时,超出的新能源出力将会被限制以维持电力供需平衡,被限制的新能源电量表示为:

$$Q_{\text{aban}} = \sum_{i=1}^n \max(0, p_{\text{new } i} - (p_{1i} - p_{\text{min}})) \quad (2)$$

由以上结果可计算得出弃新能源比例为:

$$\eta = \frac{Q_{\text{aban}}}{Q_{\text{acc}} + Q_{\text{aban}}} \times 100\% \quad (3)$$

1.2 模型中的数据确定

(1) 负荷曲线。根据规划数据,评估水平年的各日负荷曲线可根据年最大负荷预测结果、历史年负荷曲线和典型日负荷曲线模拟生成。根据文献[15]中的方法模拟评估水平年各日负荷时序曲线。

(2) 新能源出力曲线。在规划时间尺度上,难以预测评估水平年某一天的新能源出力,为此采用历史风电和光伏实际出力值模拟得到评估水平年的新能源出力曲线。根据历史风电和光伏实际出力曲线和各时间点的装机容量,得到风电和光伏出力标幺值曲线,然后以风电和光伏出力标幺值曲线分别乘以规划的装机容量作为风电与光伏出力曲线^[16],并将两者相加形成风光联合出力曲线。

需注意的是,以此种方法模拟得到的评估水平年各日的新能源出力曲线必然会与实际出力值有较大的出入,因此在各个时间点得到的新能源消纳功率和弃风功率会有较大差异,但是由于风资源与光资源在年际特性下有较强的稳定性^[17],其年平均风速、平均光照强度等统计性特征基本不变,故以此方法计算得出的年发电量、年利用小时数等指标差异不大,可作为模拟新能源出力的方法^[18]。

(3) 系统最低技术出力确定。根据日负荷预测水平并考虑旋转备用,确定除新能源以外的电源开机容量,开机顺序按照文献[19]中的规定并考虑各机组的检修计划后确定。

系统最低技术出力取决于各电源的调峰深度,水电根据水电站类型和所在季节确定,火电 300 MW 以上容量机组调峰率按 50% 考虑,200 ~ 300 MW 机组按 40% 考虑,200 MW 以下机组要求有

日内启停调峰能力。供热机组在供热期(11月~次年3月)与非供热期(4月~10月)最低出力分别为额定容量的90%和60%。

1.3 调峰裕度的有效利用分析

新能源的消纳主要依赖于常规机组的调峰能力,常规机组能降到的最低技术出力将直接决定新能源的消纳能力。然而常规机组出力不可能一味降低,一方面常规机组出力降到一定程度时会造成运行成本的明显上升;另一方面还会造成常规机组出力不稳,影响发电质量。因此,在系统调峰能力短期内不会有太大提高的前提下,如何更有效地利用现阶段的系统调峰裕度,对新能源消纳电量的提高有重要意义。

从图1新能源消纳原理图中可知,负荷曲线与常规机组最低出力之间为系统新能源消纳空间,即常规机组调峰裕度。理论上说,如果新能源出力能够充满这一区间,即可实现对系统提供的调峰裕度的完全利用,实现系统最大消纳新能源电量。但是,由于新能源出力的不确定性,在新能源出力值小于调峰裕量值时仍需要提高常规电源出力以实现电力供需平衡。所以如果能使新能源在系统可提供的消纳空间内实现密集出力,则可以有效提高新能源消纳电量,且出力越密集,消纳新能源电量越多。

图2为计算得出的2015年中国西部某省一个地区在不同新能源装机容量下的新能源消纳电量变化情况,新能源装机比例为100%表示2014年初的新能源装机容量。由图可知,当新能源装机容量从100%增加至300%时,新能源消纳电量逐渐增加,且增长速度逐渐变缓,尤其当新能源装机容量达到2倍于初始装机容量时,提高新能源装机容量对提高新能源消纳电量影响很小,这说明当新能源装机容量增加到一定程度时,新能源消纳电量会达到一个饱和期。

图3表示在不同的装机容量下的弃新能源比例变化情况。由图可知,随着新能源装机容量的增加,弃新能源比例也在不断上升。

由以上分析可知,一方面,提高新能源装机容量有助于提高新能源消纳电量,即可以更有效地利用系统可提供的调峰裕度;另一方面,提高

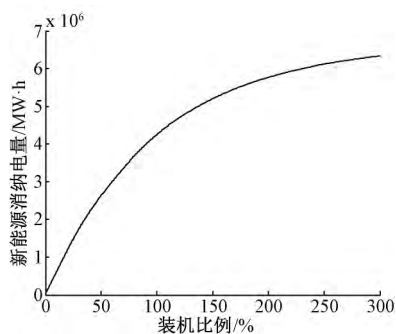


图2 不同新能源装机容量下的新能源消纳电量

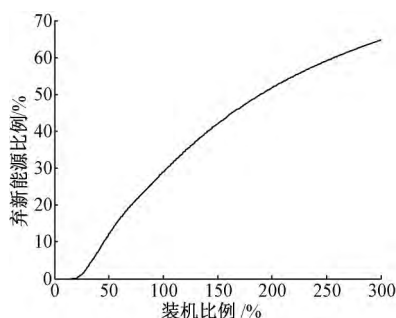


图3 不同新能源装机容量下的弃新能源比例

新能源装机容量又会造成弃新能源比例的升高。也就是说,在提高新能源装机容量使得新能源消纳电量提高的同时又必须要承受较高的弃新能源比例,而弃新能源比例过高时就会造成风电场及光伏电站的年利用小时数的大幅降低,使得新能源发电企业亏损。所以,如何确定合适的弃新能源比例,使得既能充分利用系统的调峰裕度来提高新能源消纳量,又能兼顾新能源发电企业的成本使其不至于亏损,这将直接决定未来新能源装机容量。

2 发电侧角度弃新能源比例分析

从上述分析可知,当以限制一定新能源出力的方法对新能源消纳能力作评估时需确定一个弃新能源比例,并以该比例为评估指标,计算在该比例下可消纳的新能源装机容量。本节从新能源发电企业的角度分析企业在不同盈利水平下要达到的年利用小时数,并以相应的年利用小时数折算得出在不同的盈利水平下的弃新能源比例,以此作为确定新能源装机容量的指标。

2.1 新能源发电企业成本分析

新能源发电企业费用一般包括投资费用和运营费用^[20]。投资费用又细分为器件费用和附加费用。而运营费用主要包括维护、修理、保险、地皮费用和税务, 平均每年的运营费用约为初期投资费用的 3%^[21]。

假设单位 MW 容量的风电场初期投资费用为 $C_{g, w}$, 单位 MW 容量光伏电站初期投资费用为 $C_{g, p}$ 。投资成本中 $\omega\%$ 为向国内银行贷款, 贷款期限为 n 年, 贷款年利率为 r_1 , 则风电场本息投资费用为:

$$Q_{1, w} = C_{g, w} \times (1 - \omega\% + (1 + r_1)^n \times \omega\%) \quad (4)$$

光伏电站本息投资费用为:

$$Q_{1, p} = C_{g, p} \times (1 - \omega\% + (1 + r_1)^n \times \omega\%) \quad (5)$$

以新能源企业运行寿命 $k = 20$ 年计, 则考虑资金的时间价值后, 风电场与光伏电站运行寿命期内的运行费用总额折现值分别为:

$$Q_{2, w} = \sum_{k=1}^{20} \frac{C_{g, w} \times 3\%}{(1 + r_2)^k} \quad (6)$$

$$Q_{2, p} = \sum_{k=1}^{20} \frac{C_{g, p} \times 3\%}{(1 + r_2)^k} \quad (7)$$

式中: r_2 为折现率^[22]。

综上, 单位容量风电场和光伏电站运行寿命期内总费用分别为:

$$Q_{zw} = Q_{1, w} + Q_{2, w} \quad (8)$$

$$Q_{zp} = Q_{1, p} + Q_{2, p} \quad (9)$$

2.2 不同盈利水平下的弃新能源比例分析

风电场与光伏电站的收益主要来源于售电。根据历年风电场与光伏电站的年发电小时数可估计出一定装机容量下全年的发电量, 再根据上网电价即可得出风电场与光伏电站运行一年的收益。

假设风电场与光伏电站在运行年限 t 后的收益与投资及寿命期内的运营总成本达到平衡, 即要求在运行 t 年后回收成本 (有 $20 - t$ 年的纯盈利期), 则可据此得出风电场与光伏电站的纯盈利期为 $(20 - t)$ 年时可允许的年平均弃风、光比例。

已知单位 MW 风电与光伏成本为 Q_w, Q_p , 假设风电与光伏上网电价分别为 a_w, a_p , 风电场与光伏

装机容量分别为 P_w, P_p , 风电与光伏年平均利用小时数分别为 h_w, h_p , 则计算得出风电场与光伏电站在 t 年内回收成本时相应的弃风、弃光比例为:

$$\eta_w = 1 - \frac{Q_w}{h_w \cdot a_w \cdot t} \quad (10)$$

$$\eta_p = 1 - \frac{Q_p}{h_p \cdot a_p \cdot t} \quad (11)$$

3 算例分析

根据以上分析, 以西北某省实际数据为例, 计算该省 2016 年可消纳的新能源装机容量。

(1) 负荷数据

根据规划预测, 2016 年该省夏季最大负荷将达到 4 002 万 kW, 冬季最大负荷将达到 3 862 万 kW。全年中, 4 ~ 10 月共 7 个月的时间采用夏季运行方式, 其它 5 个月采用冬季运行方式。夏季和冬季典型日负荷曲线如图 4。

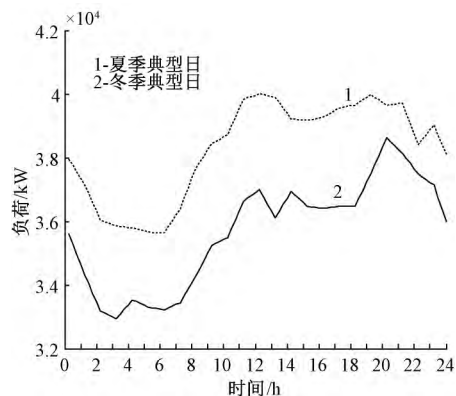


图 4 典型日负荷曲线

(2) 风光出力曲线

采用该省使用的 D5000 电网调度系统记录的风电光伏出力统计数据得到风电光伏年出力标么值曲线。

(3) 常规电源出力分析

根据电源规划, 2016 年该省火电机组装机容量将达到 4 564 万 kW, 其中供热机组约占 40%, 水电装机容量为 726 万 kW。截止到 2015 年底该省风电装机容量为 954.2 万 kW, 光伏装机容量为 492.6 万 kW, 风电光伏装机容量比接近于 2: 1。2015 年该省全年弃风比例为 31.6%, 弃光比例为

22.4%, 故该省新能源消纳形势非常严峻。

(4) 弃新能源比例分析

由式 (4) ~ (11) 可知, 与风电及光伏企业在不同盈利水平下的弃风、光比例相关的参数及结合工程实际得到部分参数取值如表 1 所示。

表 1 参数及取值

参数名称	符号	取值
风电场初期投资费用/万元	$C_{E, w}$	767
光伏电站初期投资费用/万元	$C_{E, p}$	900
贷款比例/%	ω	80
贷款年限/a	n	10
贷款年利率/%	r_1	5.94
折现率/%	r_2	8
风电等效满负荷发电小时数/h	h_w	2 288
光伏等效满负荷发电小时数/h	h_p	1 544

根据表中的参数取值可计算得出风电、光伏企业在不同盈利水平下 ($t = 20, 15, 10$) 的弃风、光比例以及在以 2015 年底风电、光伏 2:1 的装机比例下考虑风光联合出力后的综合弃新能源比例如表 2 所示。

表 2 不同盈利水平下的弃风/光比例 %

类别	弃风/光比例		
	20 年收回成本	15 年收回成本	10 年收回成本
风电	47	30	13
光伏	43	24	6
综合	45	26	8

4 评估结果

根据以上方法和数据, 对该省 2016 年新能源消纳情况做出评估, 得出 2016 年该省在新能源不同盈利水平下可消纳的装机容量与新能源消纳电量如表 3 所示。

表 3 新能源消纳能力评估结果

类别	评估结果		
弃新能源比例/%	8	26	45
新能源装机容量/(万 kW)	598.6	1 511	2 373.1
新能源消纳电量/(亿 kW·h)	98.40	186.5	233.2

由表可知, 在 8% 的弃新能源比例下计算可消

纳的新能源装机容量只有 598.6 万 kW, 远小于当前新能源实际装机容量 (当前新能源装机容量为 1 446.8 万 kW), 且新能源消纳电量很小, 也就是说以当前系统的实际新能源消纳能力及新能源装机规模, 弃新能源比例不会低于 8%; 当以 26% 的弃新能源比例计算得出可消纳的新能源装机容量为 1 511 万 kW, 新能源消纳电量 186.57 亿 kW·h 相对于 8% 的弃新能源比例有明显增高, 且新能源发电企业有一定盈利, 在实际生产中可行; 而在 45% 的弃新能源比例下计算出可消纳的新能源装机容量及新能源消纳电量也有了明显提升, 但 45% 的弃新能源比例在工程实际中不可承受, 这也可作为衡量新能源企业效益盈亏的转折点。

另外, 本文评估得出的新能源装机容量为省内消纳, 未考虑新能源外送功率, 这是因为该省外送通道有固定的火电与配套新能源, 省内新能源发电量很少参与外送。

5 结论

本文从系统调峰能力角度分析了弃风、光原理, 通过模拟系统实际运行情况提出了基于时序生产模拟的新能源消纳能力评估方法, 并从调峰裕度有效利用的角度得出不同新能源装机容量对新能源消纳电量的影响。从结果中可知, 当把新能源装机容量提高到一定水平时, 新能源消纳电量会达到一个饱和期。

通过计及新能源企业全寿命周期投资与运行成本, 计算了新能源企业在不同盈利水平下相应的弃风、光比例, 明确了在不同弃风、光比例下可消纳的新能源装机容量, 可有效指导新能源开发规模和建设时序, 实现新能源健康有序发展。

本文中的计算结果可为相关决策部门作新能源发展规划提供参考, 相应的弃新能源比例在不同的省份会因地域风光条件与电源结构的不同而存在差异, 但本文中提出的新能源消纳能力的评估方法可为其他省份提供借鉴。

参考文献:

[1] 颜苏莉, 孙婧豪. 我国光伏产业的发展现状、存在问题

- 及解决之道 [J]. 华北电力大学学报 (社会科学版), 2016 (1): 9 - 12.
- [2] 徐秋实, 邓长虹, 赵维兴, 等. 含风电电力系统的多场景鲁棒调度方法 [J]. 电网技术, 2014 (3): 653 - 661.
- [3] 翁振星, 石立宝, 徐政, 等. 计及风电成本的电力系统动态经济调度 [J]. 中国电机工程学报, 2014 (4): 514 - 523.
- [4] 刘小聪, 王蓓蓓, 李扬, 等. 计及需求侧资源的大规模风电消纳随机机组组合模型 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35 (14): 3714 - 3723.
- [5] 刘小聪, 王蓓蓓, 李扬, 等. 基于实时电价的大规模风电消纳机组组合和经济调度模型 [J]. 电网技术, 2014 (11): 2955 - 2963.
- [6] 贾文昭, 康重庆, 李丹, 等. 基于日前风功率预测的风电消纳能力评估方法 [J]. 电网技术, 2012, 36 (8): 69 - 75.
- [7] 刘纯, 曹阳, 黄越辉, 等. 基于时序仿真的风电年度计划制定方法 [J]. 电力系统自动化, 2014, 38 (11): 13 - 19.
- [8] 张军, 许晓艳, 黄永宁, 等. 基于时序生产模拟仿真的宁夏电网风光优化配比研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2014 (19): 81 - 86.
- [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] 刘德伟, 黄越辉, 王伟胜, 等. 考虑调峰和电网输送约束的省级系统风电消纳能力分析 [J]. 电力系统自动化, 2011, 35 (22): 77 - 81.
- [11] 刘文颖, 文晶, 谢昶, 等. 考虑风电消纳的电力系统源荷协调多目标优化方法 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35 (5): 1079 - 1088.
- [12] 凡鹏飞, 张粒子, 谢国辉. 充裕性资源协同参与系统调节的风电消纳能力分析模型 [J]. 电网技术, 2012, 36 (5): 51 - 57.
- [13] 郭飞, 王智冬, 王帅, 等. 我国风电消纳现状及输送方式 [J]. 电力建设, 2014, 35 (2): 18 - 22.
- [14] 郑静, 文福拴, 周明磊, 等. 计及需求侧响应的含风电场的输电系统规划 [J]. 华北电力大学学报 (自然科学版), 2014, 41 (3): 42 - 48.
- [15] 吕泉, 王伟, 韩水, 等. 基于调峰能力分析的电网弃风情况评估方法 [J]. 电网技术, 2013 (7): 1887 - 1894.
- [16] 曹阳, 李鹏, 袁越, 等. 基于时序仿真的新能源消纳能力分析及其低碳效益评估 [J]. 电力系统自动化, 2014, 38 (17): 60 - 66.
- [17] 孙春顺, 王耀南, 李欣然. 水电 - 风电系统联合运行研究 [J]. 太阳能学报, 2009, 30 (2): 232 - 236.
- [18] 雷涛, 鞠立伟, 彭道鑫, 等. 计及碳排放权交易的风电储能协同调度优化模型 [J]. 华北电力大学学报 (自然科学版), 2015, 42 (3): 97 - 104.
- [19] 国家发展与改革委员会. 节能发电调度办法实施细则 (试行) [S]. 北京: 国家发展与改革委员会, 2008.
- [20] 董永平, 何世恩, 刘峻, 等. 低碳电力视角下的风电消纳问题 [J]. 电力系统保护与控制, 2014 (5): 12 - 16.
- [21] 苏剑, 周莉梅, 李蕊. 分布式光伏发电并网的成本/效益分析 [J]. 中国电机工程学报, 2013 (34): 50 - 56.
- [22] 解建宁, 高辉, 韩仁德. 我国风力发电度电成本的分析与预测研究 [J]. 神华科技, 2009, 7 (5): 39 - 42.

The Evaluation of Renewable Power Accommodation Capability Considering the Cost of Electricity Generation-side

SHEN Chao, QIN Xiaolin, LI Yonggang

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University,
Baoding 071003, China)

Abstract: With the rapid growth of renewable power installed capacity in recent years, wind and photovoltaic power curtailment has grown more serious. How to evaluate the renewable power accommodation capability effectively has been a serious question concerned by both macroscopic decision-making departments and renewable power generation enterprise. Taking the peak load regulation ability into consideration, a new method is proposed based on sequential production simulation. The ratios of renewable power curtailment at different profit levels were established by calculating the life cycle investment and operating cost of renewable power generation enterprise and were considered as an index to evaluate the renewable power accommodation capability. Taking a province in west China for example, this paper evaluated the renewable power accommodation capability of the province in 2016 and got the renewable power installed capacity and accommodation electric power, which verified the rationality and validity of the method.

Keywords: renewable power; sequential production simulation; power generation cost; the ratio of renewable power curtailment; accommodation capability