

新能源消纳理论模型及相关应用介绍

国家电网西北电力调控分中心

2017年8月

能源消纳那些事儿

新能源消纳主要是体制问题，不是技术问题

我们只要新能源，不要火电

真的是这样么 ???

国网公司解决新能源消纳问题的决心非常坚决。今年年初，国网公司出台了促进新能源消纳的20条措施，并承诺在2017—2018年，有效缓解弃风弃光矛盾，到2020年，根本解决新能源消纳问题，弃风弃光率控制在5%以内。



1/

研究背景

2/

新能源出力特性模型

3/

新能源消纳理论模型研究

4/

新能源消纳理论模型的应用

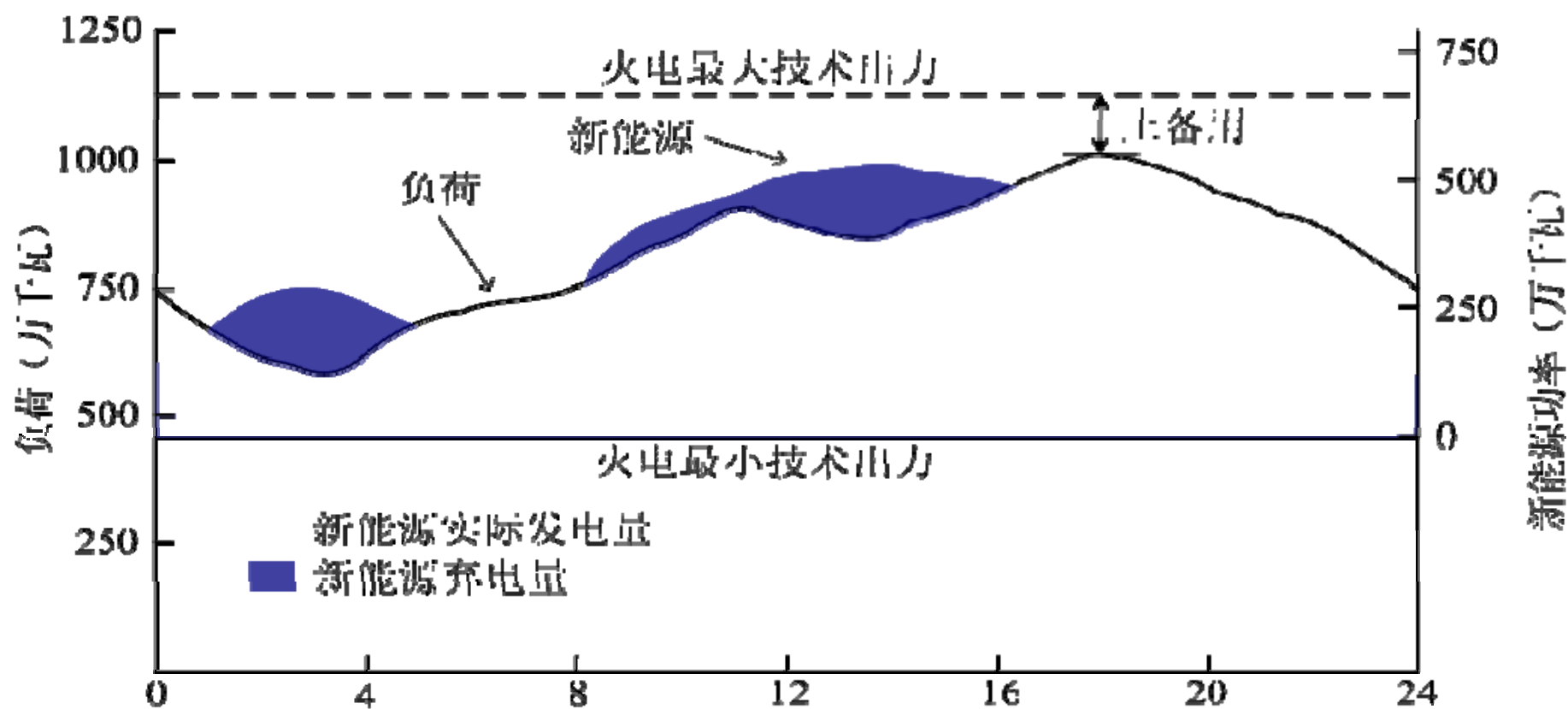
5/

下一步研究展望

研究背景

问题1：新能源如何在电力系统中消纳？

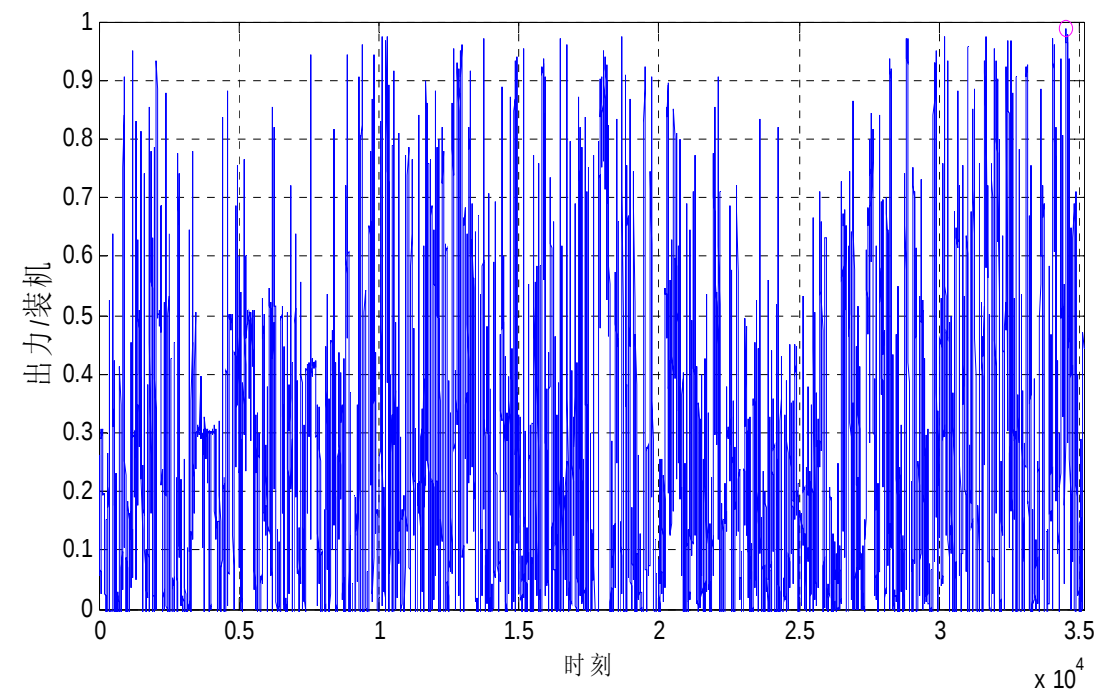
电力系统是一个时时平衡系统，始终要满足“发电=用电”约束，而新能源出力具有较强的波动性和随机性，而常规电源的调节范围有限，使得电网的新能源消纳能力在某些时段无法满足新能源消纳的需求，造成弃电现象。



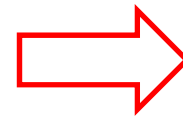
研究背景

问题2：能否用新能源特性的统计规律来量化分析新能源消纳能力？

从单一的新能源电厂出力来看，是杂乱无章的，能否找到一个新能源群的出力特征？进而能否找到新能源在电力系统中消纳的规律？



麻黄山第三风电场2014年出力曲线

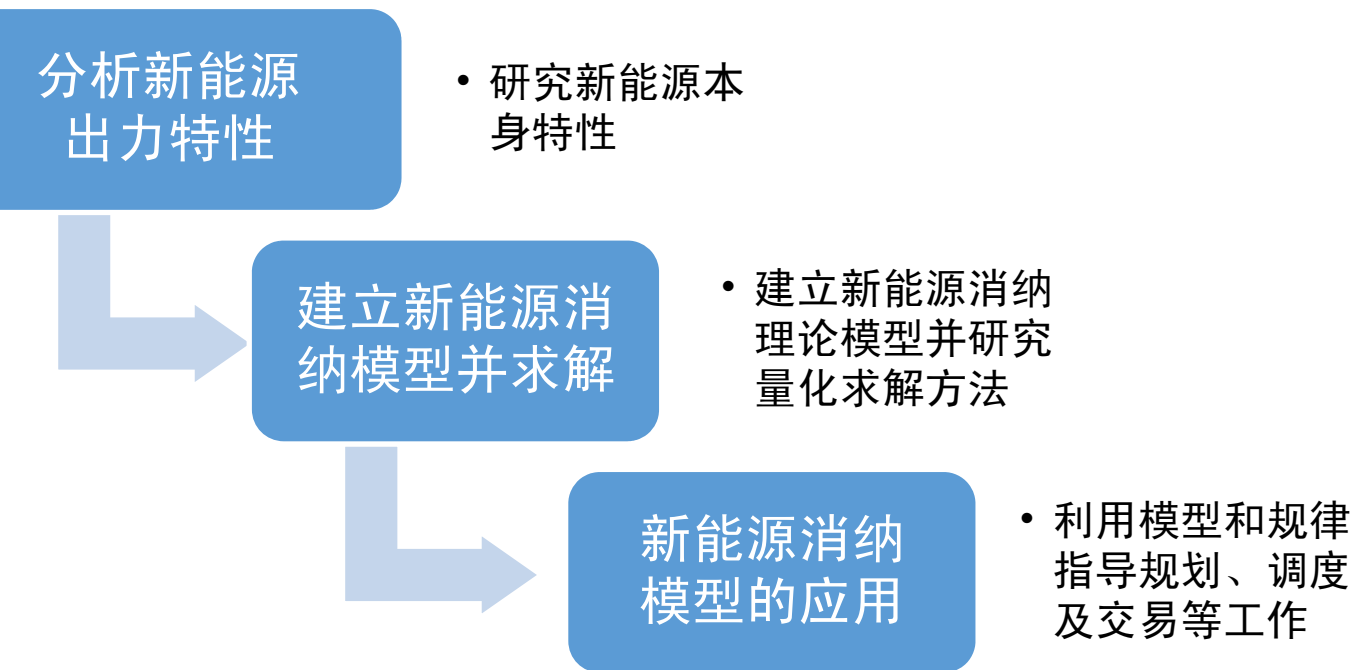


新能源消纳规律

研究背景

问题3：能否找到新能源消纳量化分析的思路？

以新能源出力特性分析为基础，从**机理上**对新能源消纳进行量化分析研究，建立新能源消纳模型，并研究模型的求解方法，探索科学解决新能源消纳问题的理论支撑。



1/

研究背景

2/

新能源出力特性模型

3/

新能源消纳理论模型研究

4/

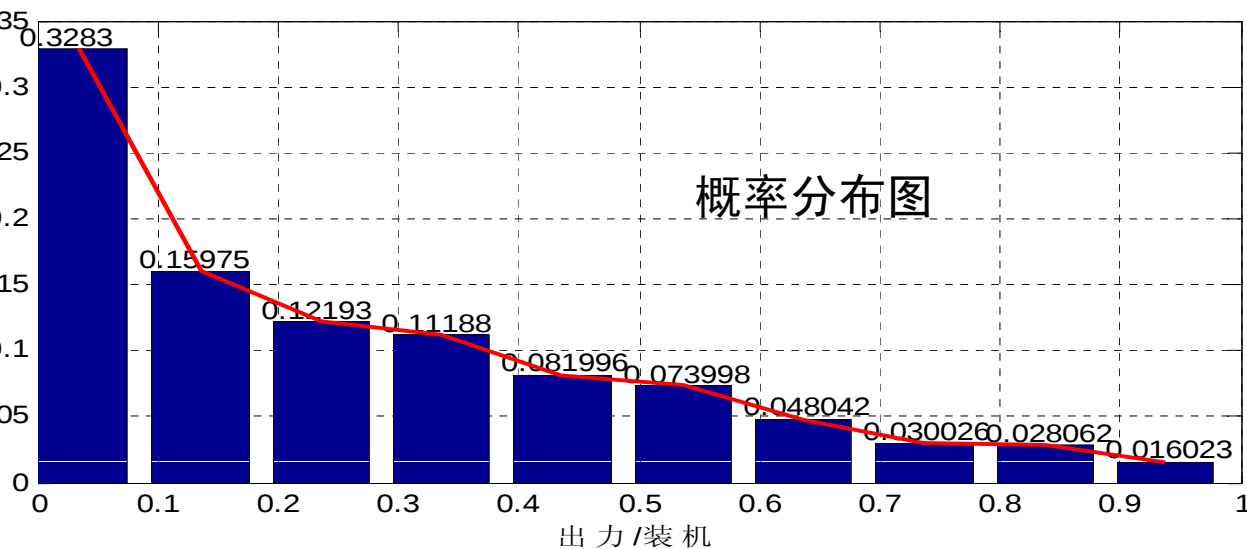
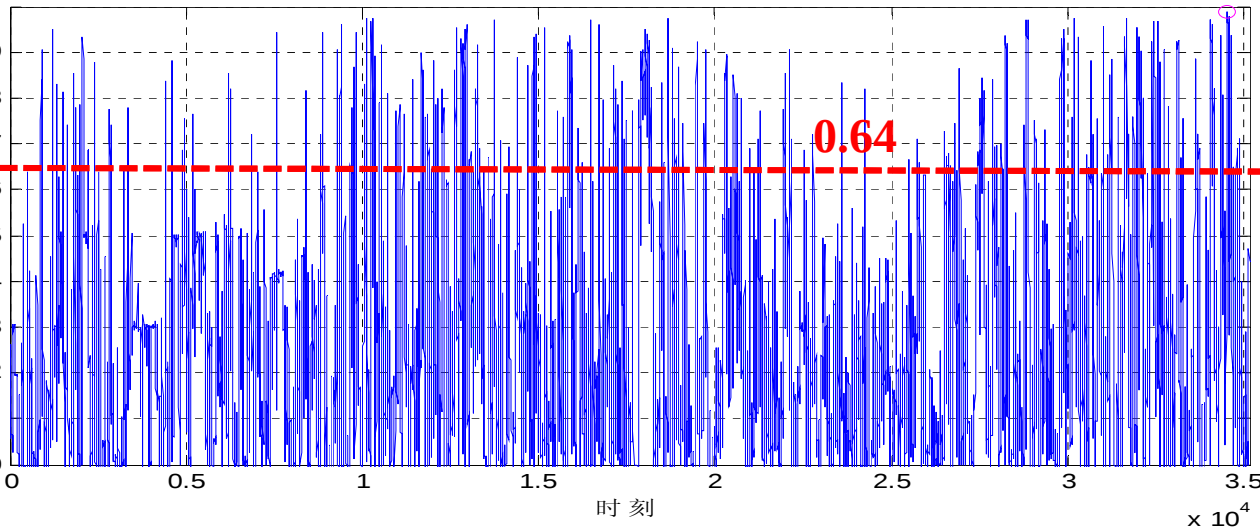
新能源消纳理论模型的应用

5/

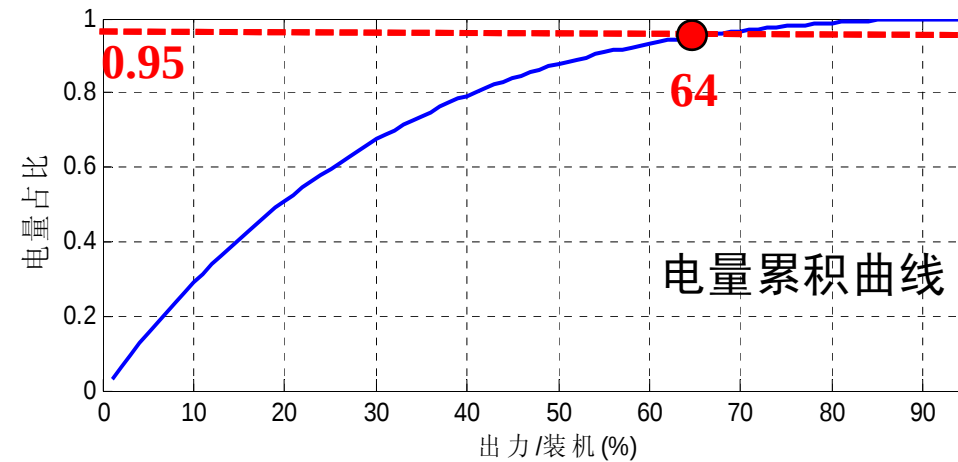
下一步研究展望

风电出力概率分布

麻黄山第三风电场2014年出力曲线



95%分位数



规律:

- 1) 风电出力越小, 其出现的概率越高, 即风电出力序列的构成从时长上以中等风和小风为主
- 2) 电量累积曲线随着出力水平增加而逐渐呈S形和特性。
- 2) 95%分位数远小于装机容量, 但这个出力水平贡献了全年95%的电量。

问题:

- 1) 这个规律是否可以推广到全省?
- 2) 这个规律在年际间是否仍然保持?

风电出力概率分布

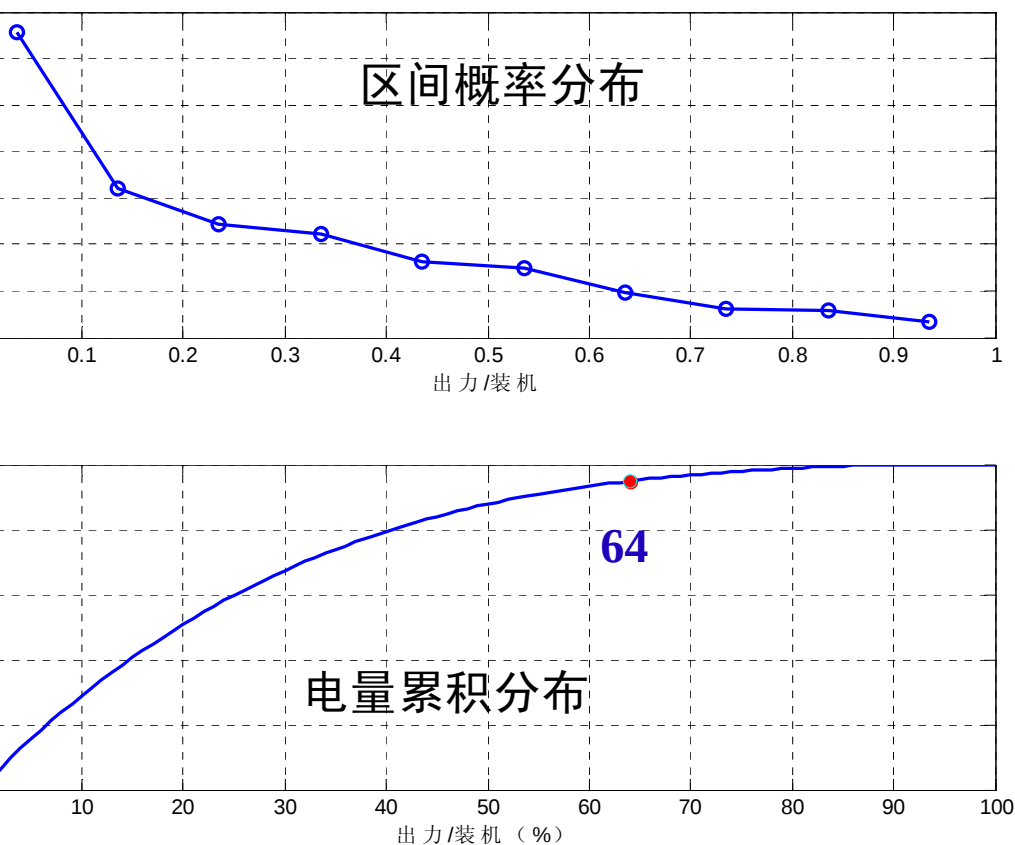
题:

这个规律是否可以推广到全省?

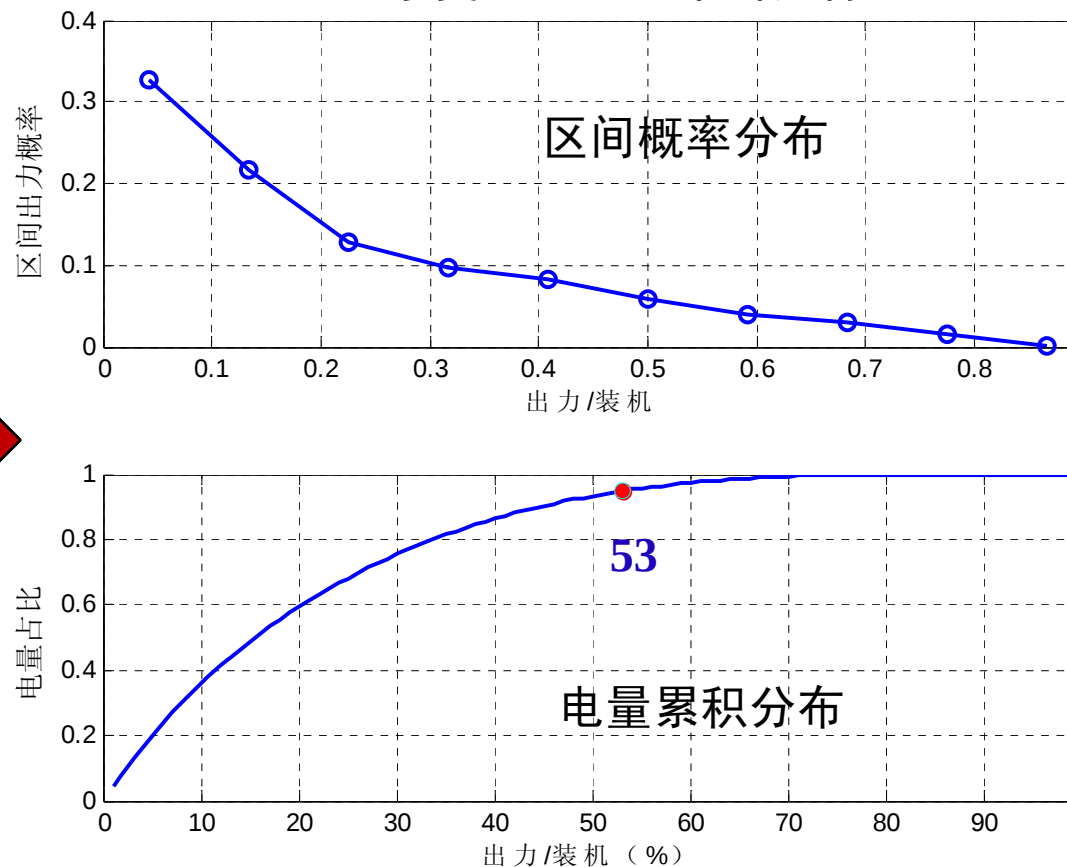
这个规律在年际间是否仍然保持?

可以看出，无论是单一风电场，还是全省风电，其出的概率分布特征（小出力占大概率）以及电量累积曲线（95%分位数以上趋于饱和）规律一致。

麻黄山第三风电场2014年出力特性



宁夏风电2014年出力特性



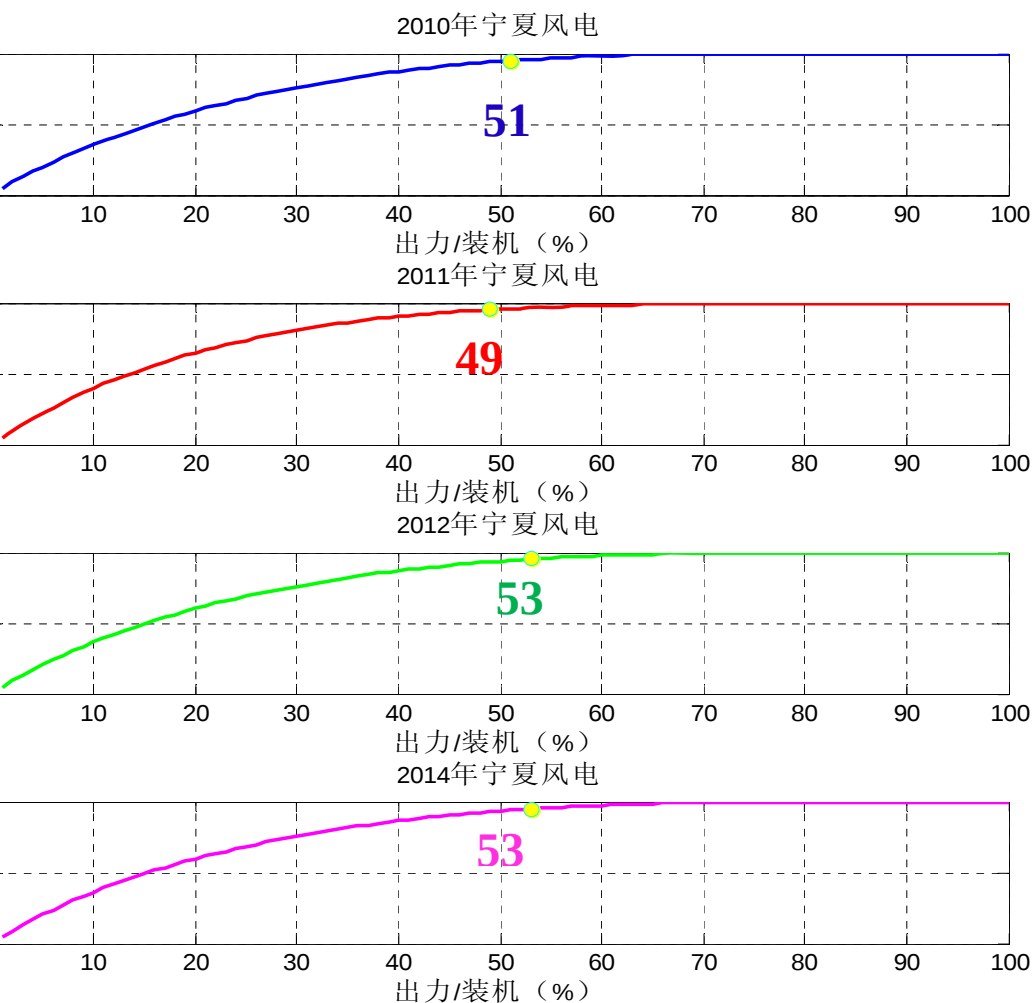
风电出力概率分布

题:

这个规律是否可以推广到全省?

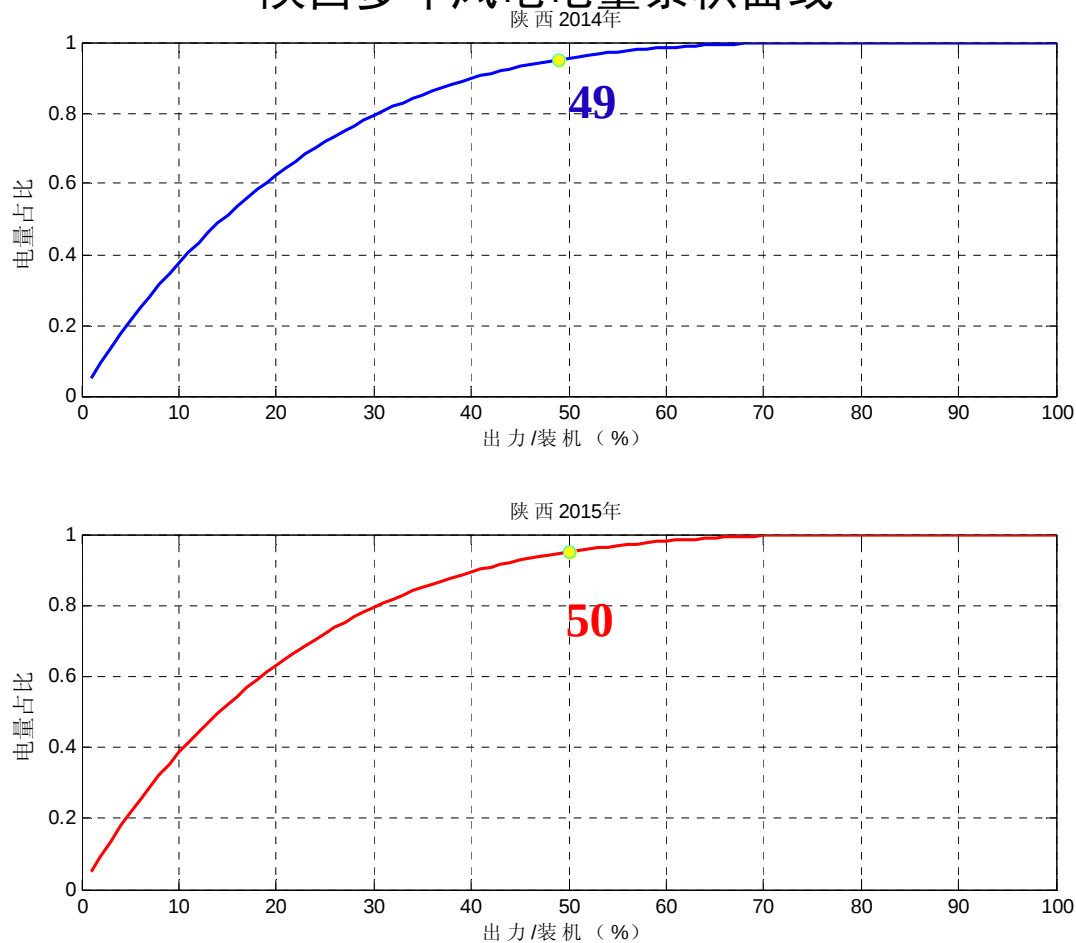
这个规律在年际间是否仍然保持?

宁夏多年风电电量累积曲线



可以看出, 对一个省而言, 风电电量累积曲线在年际间保持渐近的饱和特性, 且相邻年份95%分位数变化不大, 即年际间呈现出一定的惯性。

陕西多年风电电量累积曲线



风电出力概率分布

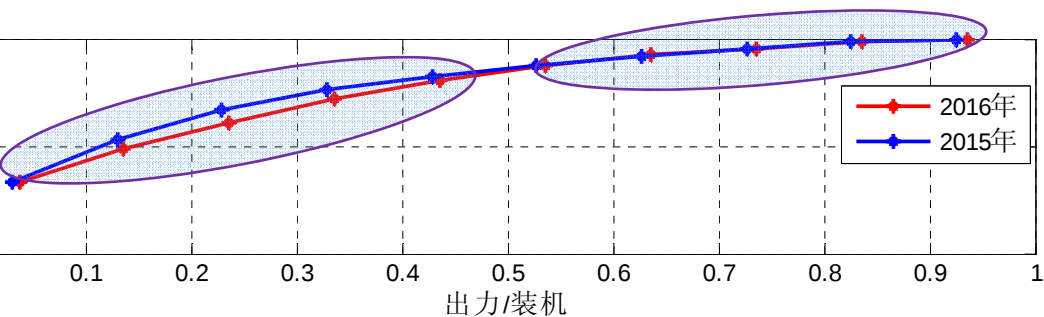
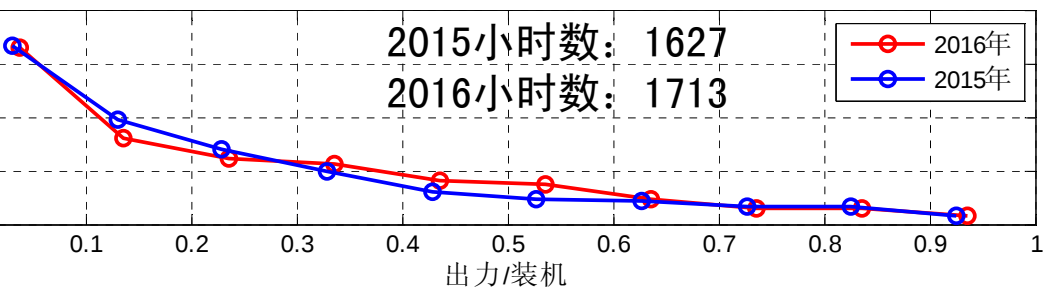
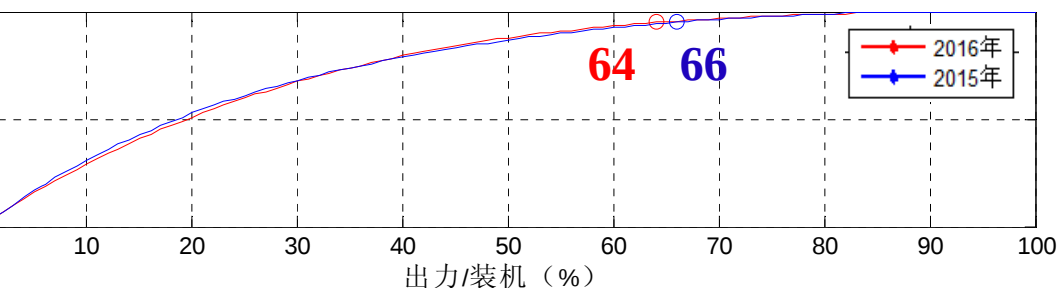
题:

这个规律是否可以推广到全省?

这个规律在年际间是否仍然保持?

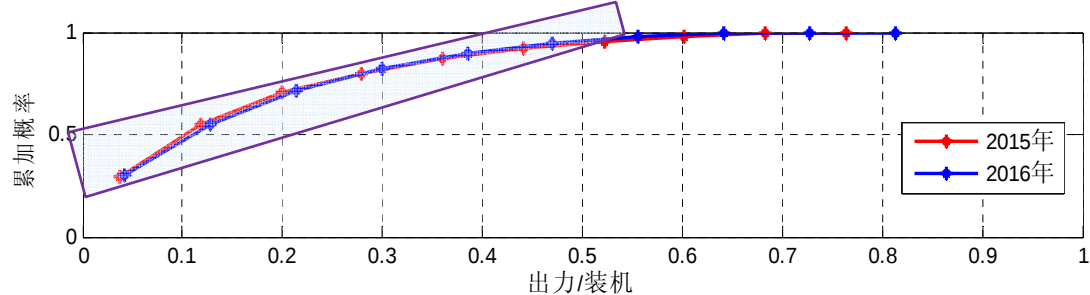
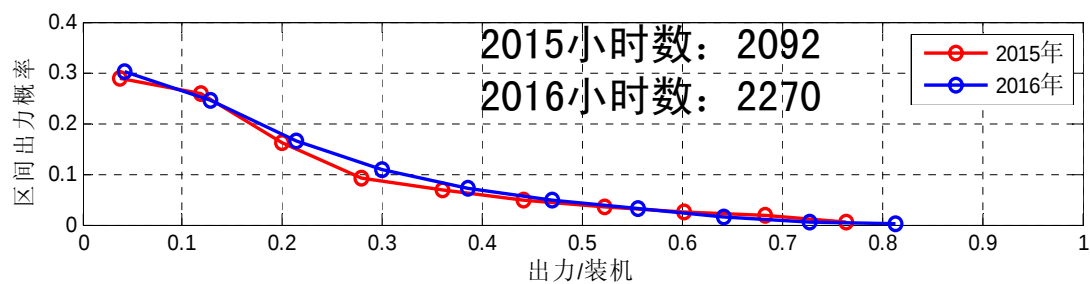
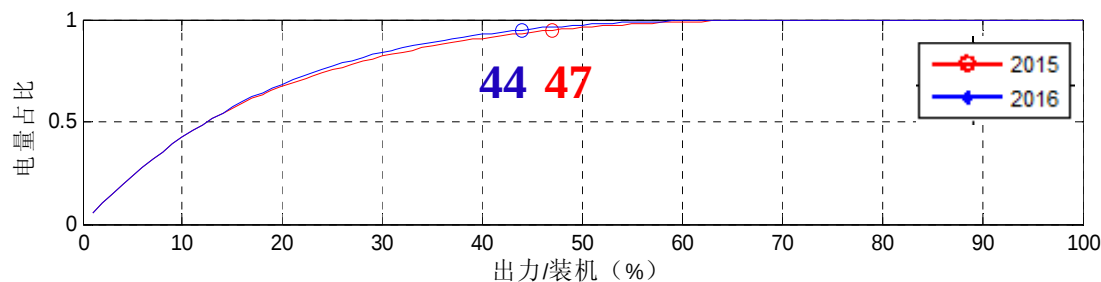
出力特性变化=f(资源的变化, 装机规模的变化)

麻黄山第三风电场—装机固定



两年间电量累积曲线的差异仅体现在较低出力区间, 随着出力水平的提高, 累积概率趋于饱和, 95%分位数往往在这样的饱和区域, 因此95%分位数在年际间对资源变化呈现较弱的敏感性。

青海风电—仅新增1座风电场



风电出力概率分布

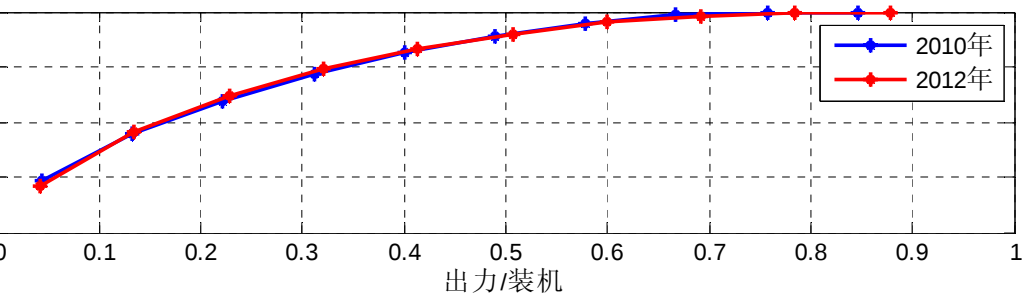
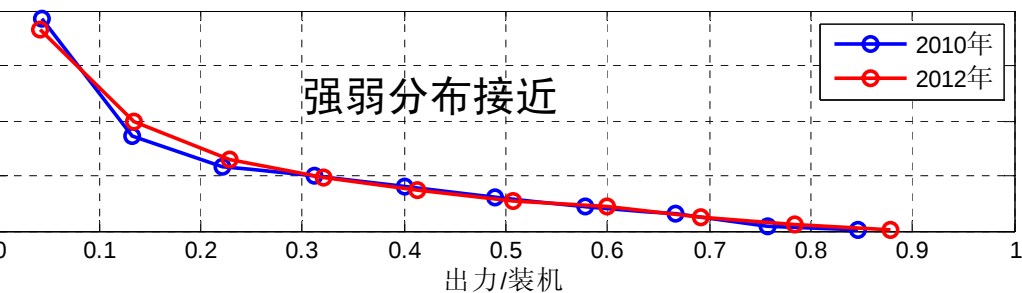
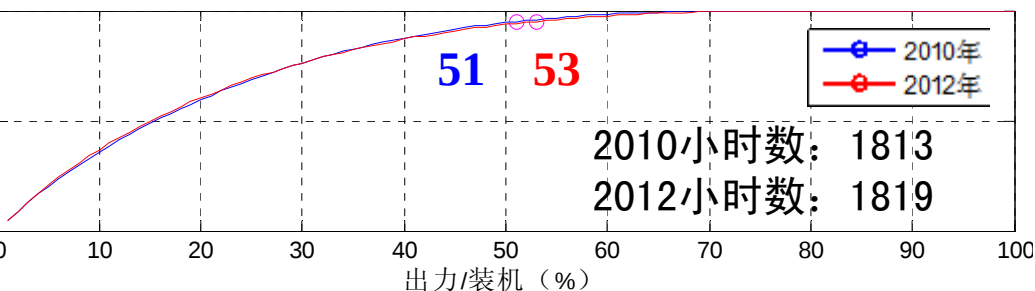
题:

这个规律是否可以推广到全省?

这个规律在年际间是否仍然保持?

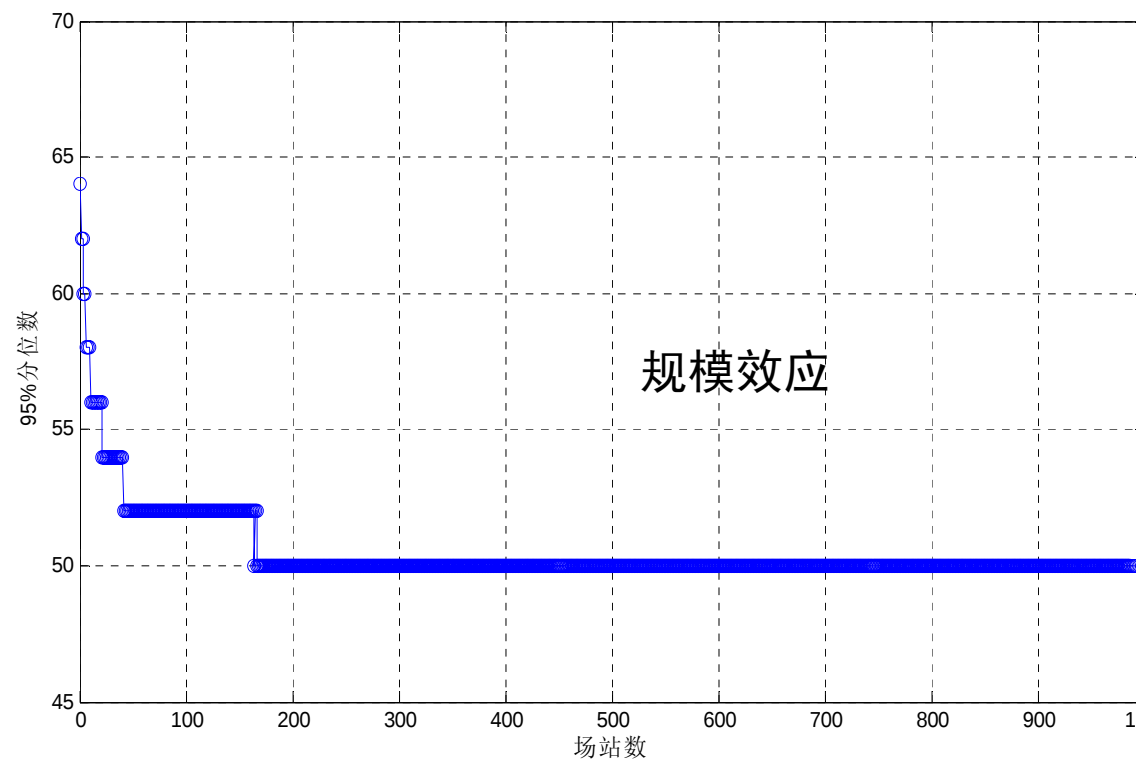
出力特性变化=f(资源的变化, 装机规模的变化)

宁夏风电—风资源相近, 装机增加近200万



实际数据表明: 同一个省相邻两年风资源相近的情况
装机容量变化较大时, 风电95%分位数变化不大。

测算发现: 风电场数量的增加对全省风电95%分位数的
响逐步减小, 并最终趋于饱和。因此95%分位数在年际
对装机变化呈现较弱的敏感性。

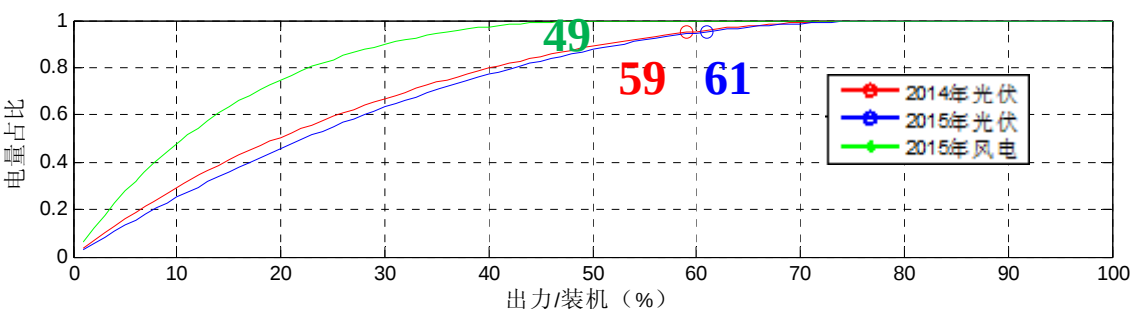


光伏出力概率分布

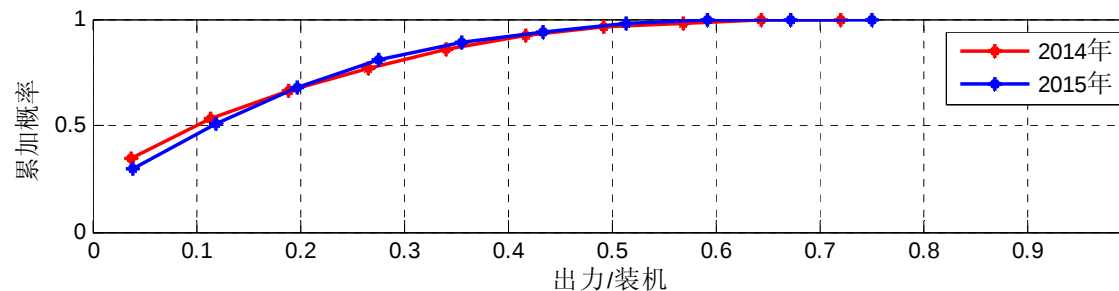
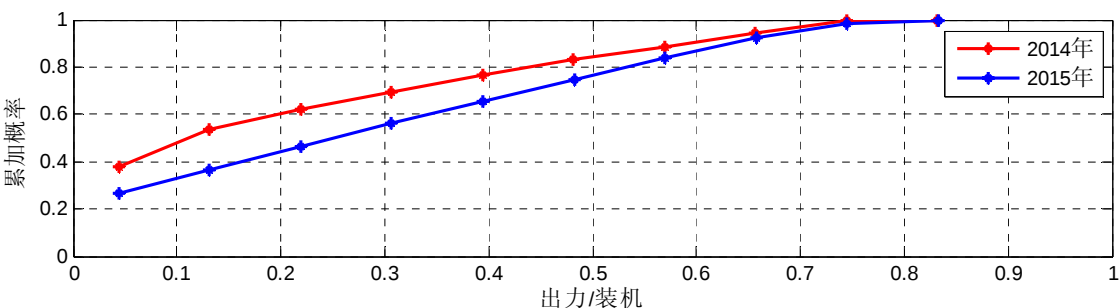
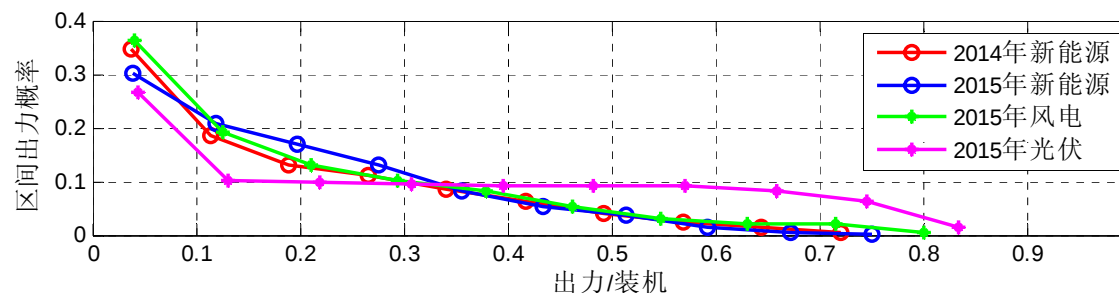
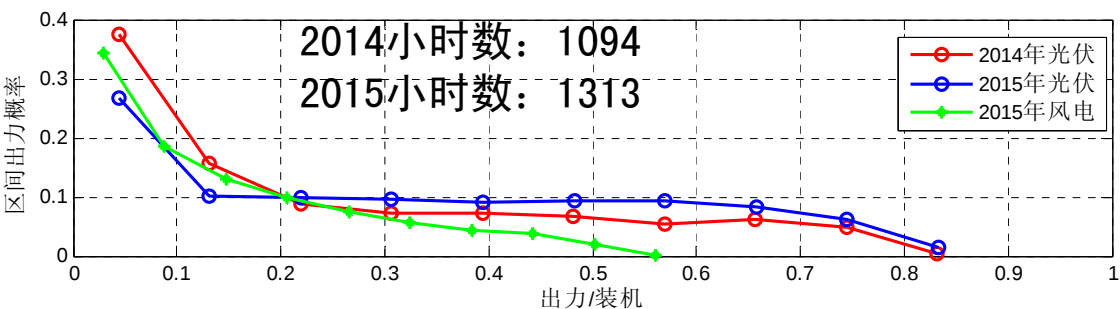
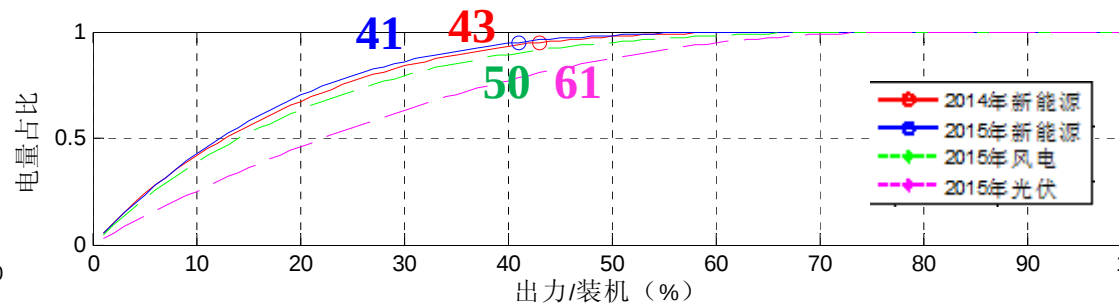
光伏的概率分布具有和风电类似的规律，稍有不同的是：

- 1) 光伏出力在多个区间上的概率相对于风电更为均衡一些；
- 2) 光伏电量累积曲线相对风电更为平缓，达到饱和的时间更长，95%分位数更大一些。

陕西光伏



陕西新能源



新能源出力概率分布分析结论

普遍规律

- 1) 新能源（风电/光伏）全年出力序列的构成从时长上以中等以下出力为主，大出力出现的概率较低。
- 2) 新能源（风电/光伏）电量累积曲线随着出力水平增加而逐渐呈现饱和特性。
- 2) 95%分位数远小于装机容量，但这个出力水平却贡献了全年95%的电量。

应用场景

1) 新能源消纳分析

场景：如何保证宁夏电网新能源弃风率在5%以内？

2017年宁夏新能源装机1530万千瓦，若新能源95%分位数为45%，则需保证700万千瓦的消纳空间，才能达到5%的弃电率。而以目前宁夏1000万千瓦的负荷规模，无法满足这个要求。为此，我们充分发挥大电网优势，通过跨省互济和跨区外送，拓展了宁夏新能源消纳空间，目前宁夏新能源除少量局部断面限制外，整体不受限。

2) 指导电网和新能源发展规划

场景：新建通道，保证陕北新能源弃风率在5%以内？

目前，陕北地区新能源装机超过600万千瓦。若新能源95%分位数为43%，则对应的出力约280万千瓦。而目前陕北外送通道能留给新能源的最小份额不足100万千瓦，则通道能力需再提升180万千瓦，才能保证陕北弃风率控制5%以内。

1/

研究背景

2/

新能源出力特性模型

3/

新能源消纳理论模型研究

4/

新能源消纳理论模型的应用

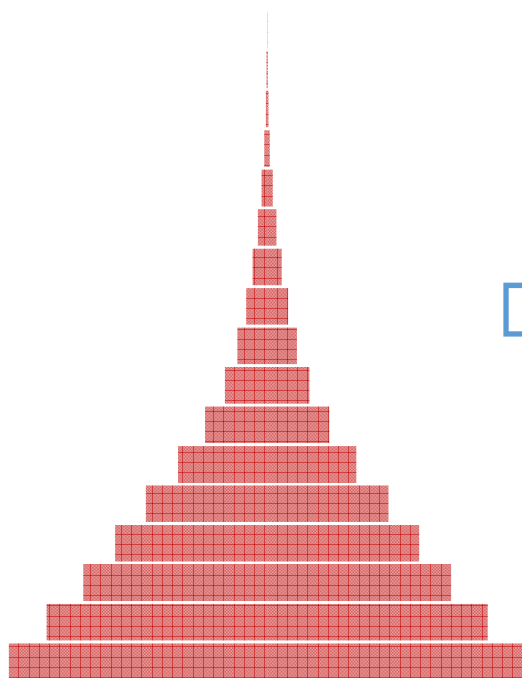
5/

下一步研究展望

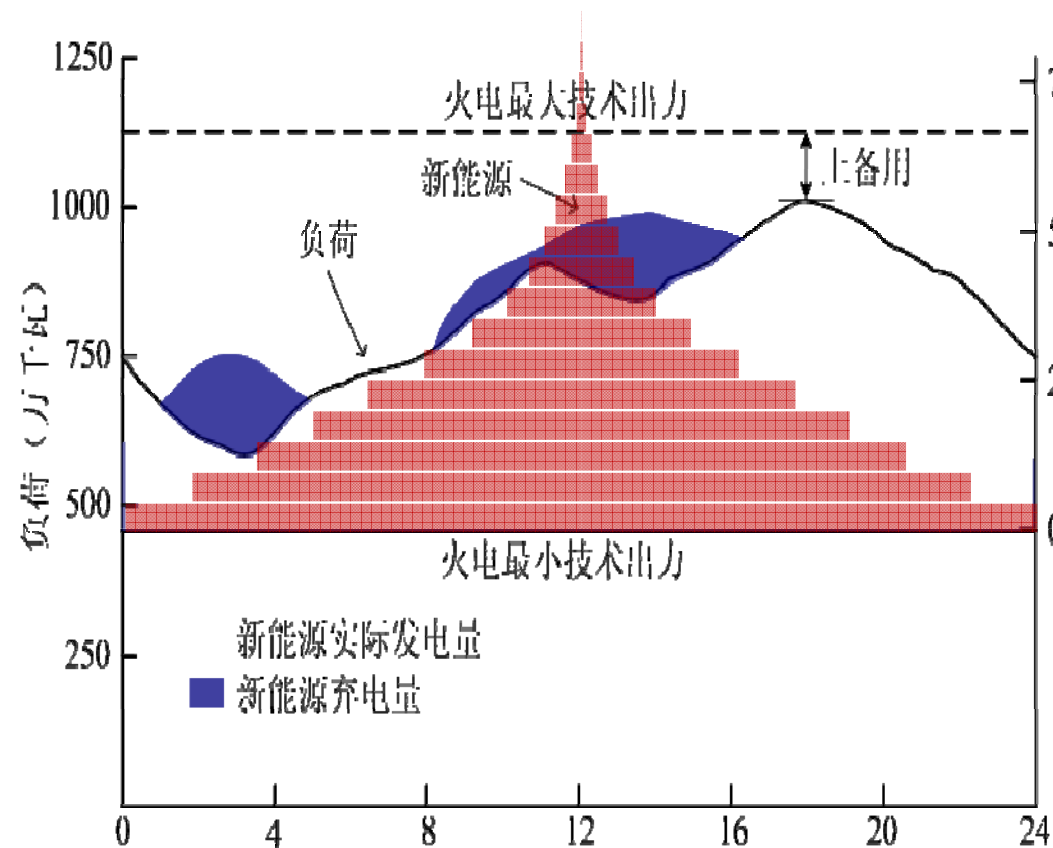
新能源消纳理论模型研究

以新能源出力统计学规律为基础，结合电网运行特性，建立新能源消纳理论基础模型，并进一步考虑外送、自身储能及网络约束，得到完备的新能源消纳理论模型。最后，结合不同的应用领域，研究了时序仿真、概率分析、经验公式三种解法。

大于95%占比0.001%	电量0.0%
大于90%占比0.002%	电量0.0%
大于85%占比0.005%	电量0.0%
大于80%占比0.02%	电量0.0%
大于75%占比0.2%	电量0.0%
大于70%占比0.5%	电量0.1%
大于65%占比1.1%	电量0.2%
大于60%占比2.2%	电量0.4%
大于55%占比3.5%	电量0.7%
大于50%占比5.6%	电量1.1%
大于45%占比8.1%	电量1.6%
大于40%占比11.5%	电量2.3%
大于35%占比16.3%	电量3.3%
大于30%占比24.2%	电量4.7%
大于25%占比34.5%	电量6.9%
大于20%占比46.9%	电量9.7%
大于15%占比58.9%	电量12.6%
大于10%占比71.2%	电量15.4%
大于5%占比85.3%	电量18.7%
大于0%占比100%	电量22.2%



新能源出力、时间及电量占比



新能源消纳理论模型研究

以新能源出力统计学规律为基础，结合电网运行特性，建立新能源消纳理论基础模型，并进一步考虑外送、自备电厂及网络约束，得到完备的新能源消纳理论模型。最后，结合不同的应用领域，研究了时序仿真、概率分析、经验公式三种解法。

时序仿真法

概率分析法

经验公式法

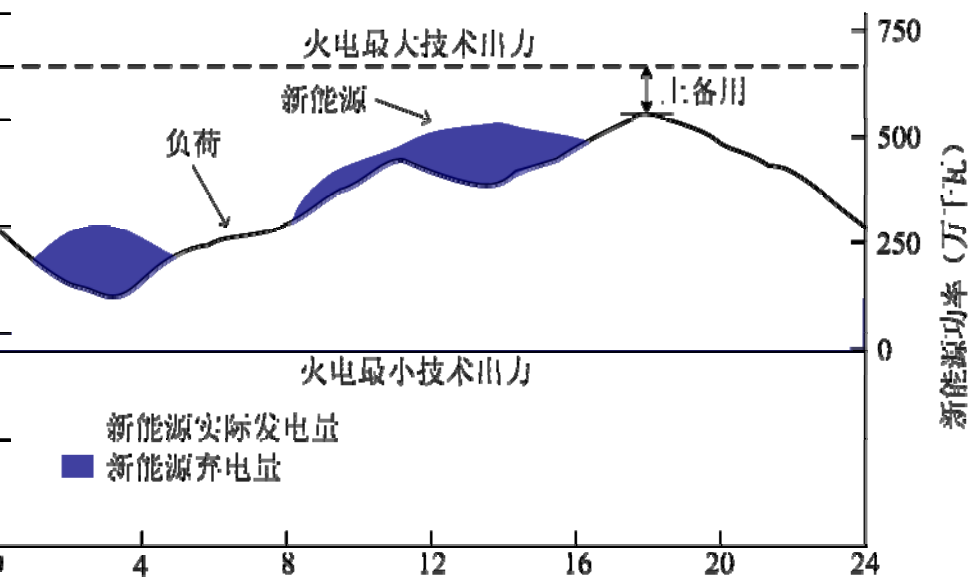
新能源消纳理论基础模型

考虑外送、自备电厂及
网络约束的新能源消纳
理论模型

新能源消纳理论模型研究

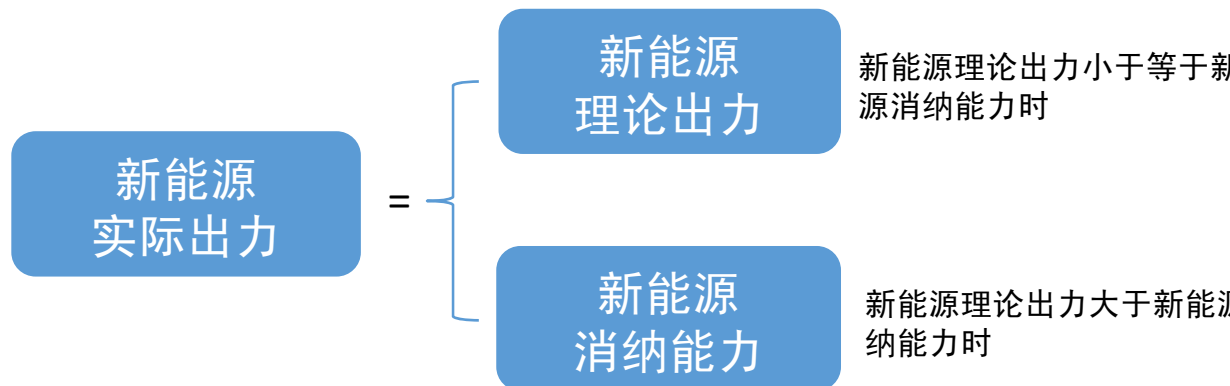
Question1: 如何建立新能源消纳理论模型?

- 1、电力系统是一个时时平衡系统，始终要满足“发电=用电”约束（**发用电平衡约束**）。
- 2、新能源出力不稳定，为了保证电力系统安全，需要在新能源为0的情况下系统仍能平衡（**备用约束**）。
- 3、常规能源的调节范围有限（**调峰约束**）。



三大约束:

- ✓发用电平衡约束: 新能源消纳能力=负荷-火电最小技术出力
- ✓备用约束: 火电最大技术出力=负荷 $\times$ (1+上备用系数)
- ✓调峰约束: 火电最小技术出力=火电最大技术出力 $\times$ (1-火电调峰能力)



新能源消纳理论模型研究

研究了三种不同方法对新能源消纳模型进行建立和求解：时序仿真法、概率分析法、经验公式法，下面分别介绍。

时序仿真法——最直观的方法

模拟电力系统的运行，将系统三大约束转化为数学表达：

$$\text{备用约束: } P_{g,\max} = P_{l,\max} (1 + \alpha)$$

$$\text{调峰约束: } P_{g,\min} = P_{g,\max} (1 - \beta)$$

$$\text{发用电平衡约束: } P_{a,\max}(t) = P_l(t) - P_{g,\min}$$

$$\text{新能源理论发电量: } E_t = \int P_t(t) dt = \int [S\mu\gamma_{w,d}(t) + S(1-\mu)\gamma_{s,d}(t)] dt$$

$$\text{新能源弃电量: } E_c = \int \{P_t(t') - [P_l(t') - P_{\max}(1 + \alpha)(1 - \beta)]\} dt'$$

$$\text{上备用系数取5\%时, 可以推导出新能源弃电率为: } \lambda = \frac{\int \{S\gamma(t') - [P_l(t) - 1.05P_{\max}(1 - \beta)]\} dt'}{\int S\gamma(t) dt}$$

式中， $\gamma(t)$ 是根据模型一得到的新能源出力归一化特性， $P_{\max}$ 是系统的最大负荷，根据以上理论模型即可研究弃电率 λ 与火电调峰率 β 、新能源装机 S 之间的定量关系。

新能源消纳理论模型研究

时序仿真法——最直观的方法

时序仿真法中， $\gamma(t)$ 是将历史出力归一化后得到的新能源出力特性。将全年历史数据代入该式测算年度弃电率，分别采用乱序历史数据和随机模拟两种方法来验证时序仿真法的有效性，结果如图1、2所示。可以看出，两种方法计算得到的弃电率统计直方图均符合正态分布，且均值都为27.2%。

得到结论：时序仿真法的计算结果是精确且可靠的。

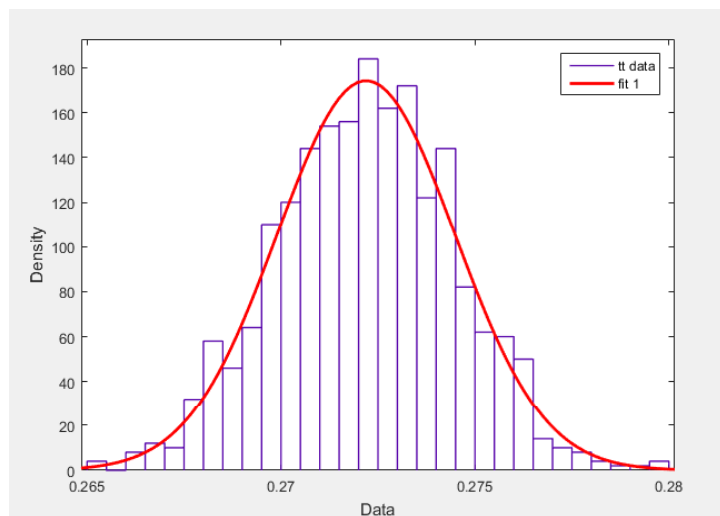


图 1

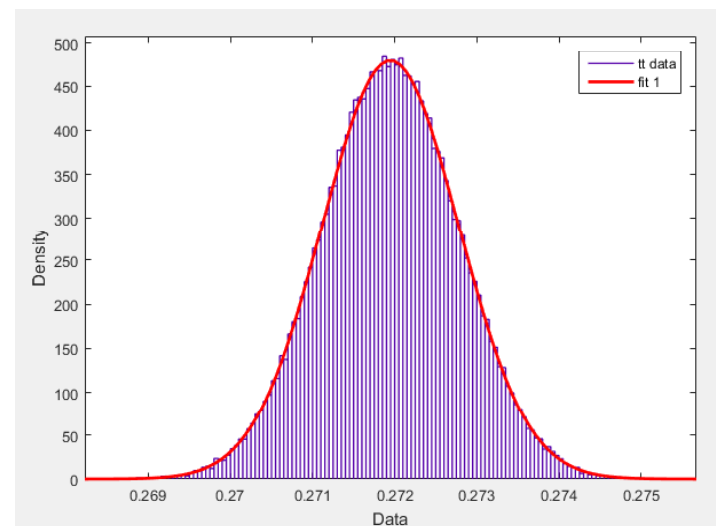


图 2

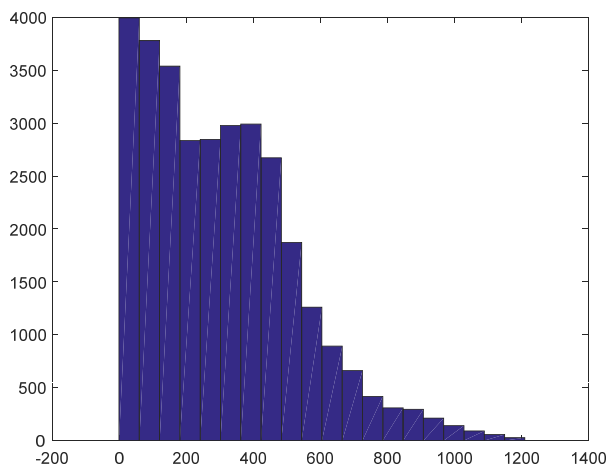
新能源消纳理论模型研究

概率分析法——最数学的方法

用数值算法证明了时序仿真法计算结果的稳定性，能不能从数学上严格证明满足相同分布的新能源出力计算得到的弃电率是确定值？

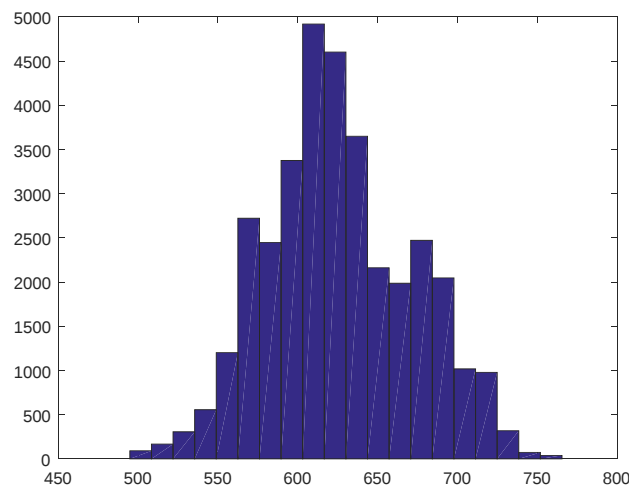
新能源理论出力、新能源消纳能力和新能源弃电功率均是满足一定概率分布的随机变量，通过概率论的方法可以证明，并且提供了计算弃电率的另一种方法。

新能源理论出力概率分布



新能源平均理论出力

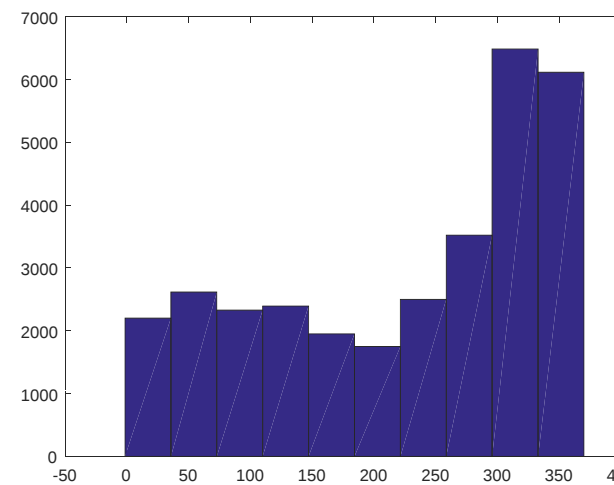
新能源消纳能力概率分布



+



新能源弃电功率概率分布



新能源平均弃电功率

新能源弃电率=新能源平均弃电功率/新能源平均理论出力

新能源消纳理论模型研究

率分析法——最数学的方法

新能源消纳能力、新能源理论出力和新能源弃电功率均是满足一定概率分布的随机变量，记新能源消纳能力为 $x(t)$ ，其概率密度函数 $f_x(x)$ ，新能源理论出力为 $y(t)$ ，其概率密度函数为 $f_y(y)$ ，新能源弃电功率为 $z(t)$ ，其概率密度函数为 $f_z(z)$ ，根据新能源消纳机理有：

$$z(t) = \begin{cases} y(t) - x(t), & y(t) > x(t) \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

因为 $x(t)$ 和 $y(t)$ 相互独立，所以：

$$f_z(z) = \begin{cases} \int_{-\infty}^{+\infty} f_x(x) f_y(z+x) dx, & z > 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

即 $f_z(z)$ 可以通过 $f_x(x)$ 和 $f_y(y)$ 卷积得到，根据弃电率的定义，弃电率按下式计算：

$$\lambda = \frac{\int_{t1}^{t2} z(t) dt}{\int_{t1}^{t2} y(t) dt} = \frac{\bar{z}(t2 - t1)}{\bar{y}(t2 - t1)} = \frac{\bar{z}}{\bar{y}}$$

$\bar{z}$ 和 $\bar{y}$ 分别为 $z(t)$ 和 $y(t)$ 的均值，可以由它们的概率密度函数求出，因此弃电率可以求出，即

结论：新能源弃电率=新能源平均弃电功率/新能源平均理论出力

新能源消纳理论模型研究

经验公式法——最工程的方法

有没有更简单的，能够口算新能源弃电率的方法？

相对于新能源出力的波动性，负荷波动相对平稳，若忽略负荷的波动特性，以平均负荷代替实际负荷，那么系统的新能源消纳能力=平均负荷-常规能源最小技术出力，即：

$$P_a = P \cdot \varepsilon - P(1 + \alpha)(1 - \beta)$$

式中， P_a 为消纳能力， P 为最大负荷， ε 为负荷率， α 为上备用系数， β 为调峰率。

定义两个变量：

1、单位负荷装机系数 η ：新能源装机 S 与最大负荷 P 的比值；

2、消纳系数 θ ：消纳能力 P_a 与新能源装机 S 的比值。

那么消纳系数的公式为：

$$\theta = \frac{P_a}{S} = \frac{P \cdot \varepsilon - P(1 + \alpha)(1 - \beta)}{S} = \frac{\varepsilon - (1 + \alpha)(1 - \beta)}{\eta}$$

经验公式

通过上式计算出系统的消纳系数，再查右表即可计算出弃电率。

例如：以弃电率5%为目标，则其单位负荷装机系数满足： $\eta \approx \frac{\varepsilon - (1 - \beta)}{0.45}$

结论：对于一个内部无网络约束的孤立系统，其弃电率主要由负荷率、调峰率和单位负荷装机系数决定。

消纳系数	电量占比	弃电率
100%以下	100.00%	0%
95%以下	100.00%	0%
90%以下	100.00%	0%
85%以下	100.00%	0%
80%以下	100.00%	0%
75%以下	100.00%	0%
70%以下	99.90%	0.1%
65%以下	99.70%	0.3%
60%以下	99.30%	0.7%
55%以下	98.70%	1.3%
50%以下	97.60%	2.4%
45%以下	95.90%	4.1%
40%以下	93.60%	6.4%
35%以下	90.30%	9.7%
30%以下	85.60%	14.4%
25%以下	78.70%	21.3%
20%以下	69.00%	31.0%
15%以下	56.30%	43.7%
10%以下	40.90%	59.1%
5%以下	22.20%	77.8%

新能源消纳理论模型研究

经验公式法——最工程的方法

能否利用经验公式量化分析各省的新能源承载能力？

消纳系数 θ 还可以通过下式计算：

$$\theta = \frac{P_a}{S} = \frac{\text{消纳空间电量}/8760}{\text{新能源理论发电量}/\text{理论利用小时}} = \frac{\text{理论利用小时}}{8760 \left(\text{新能源理论发电量}/\text{消纳空间电量} \right)}$$

也就是说，消纳系数 θ 可以通过新能源理论发电量占消纳空间电量的占比计算得到，西北典型理论利用小时为1850，令 $\theta=0.45$ ，可以得到以弃电率5%为目标，系统的新能源理论发电量不能超过消纳空间电量的50%。还可以推断出，在弃电率达到5%的目标时，消纳空间占有率不会超过50%。

采用上述公式计算陕西、甘肃的新能源理论发电量占消纳空间电量的比例如下所示：

省（区）	陕西	甘肃
新能源理论发电量/消纳空间电量	30%	123%

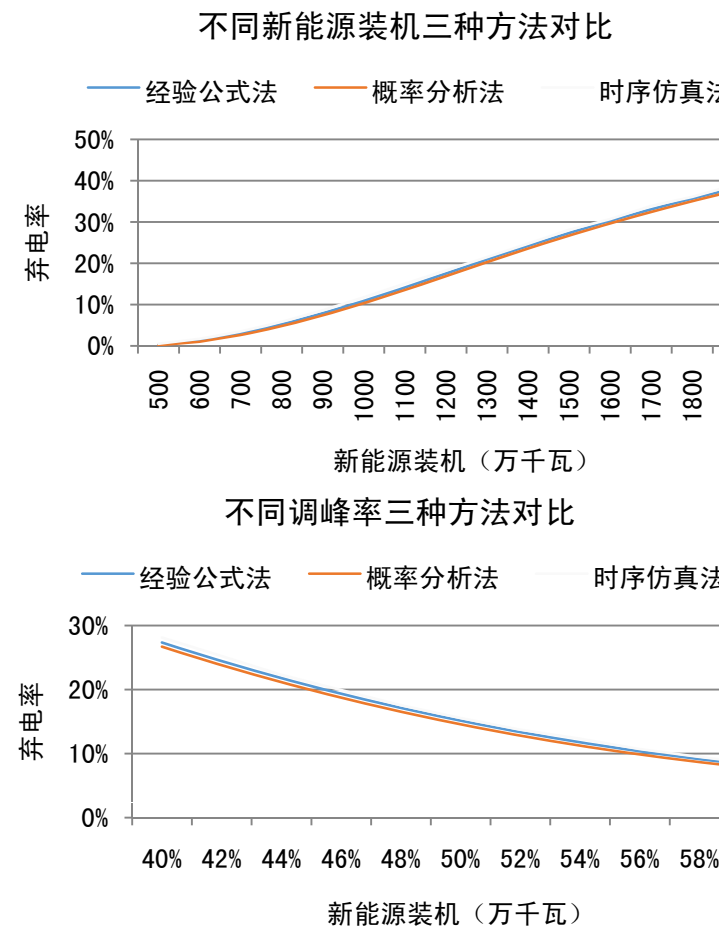
计算结果表明：陕西若无断面约束情况下仍有装机空间，甘肃装机规模已远超其消纳能力。

新能源消纳理论模型研究

种方法对比

以宁夏电网为例，最大负荷1000万千瓦，负荷率95%，上备用系数5%，调峰率40%，新能源装机1500万千瓦，风电占比60%，分别改变新能源装机和调峰率，采用以上三种方法，对弃电率进行计算，结果如图所示，三种方法的计算结果相近，均可以得到相对准确的结果。三种方法的特点如下：

方法	时序仿真法	概率分析法	经验公式法
特点	概念清晰，但是各种因素对弃电率的影响规律需要通过数值计算完成；计算比另外两种慢；可以考虑外送；可以考虑网络约束。	概念不够直观，可以通过数值计算分析各种因素对弃电率的影响规律；计算快速；可以考虑外送；可以考虑网络约束。	概念清晰，能直接从经验公式分析出各种因素对弃电率的影响规律；计算快速；可以考虑外送；无法考虑网络约束。



新能源消纳理论模型研究

Question2: 如何在模型中考虑外送的影响?

✓ **中长期外送:** 需要增加火电开机来保证外送电力, 会增大火电最小技术出力, 会改变发用电平衡约束和备用约束。

发用电平衡约束变为:

新能源消纳能力=负荷+外送-火电最小技术出力

备用约束变为:

火电最大技术出力=(负荷+外送) × (1+上备用系数)

中长期外送的本质是增加了送端的负荷, 影响送端机组开机。

✓ **短期现货交易:** 不需要增加火电开机来保证外送电力, 不会改变火电最小技术出力, 所以通过外送增加的新能源消纳空间等于外送电力, 只会改变发用电平衡约束。

发用电平衡约束变为:

新能源消纳能力=负荷+外送-火电最小技术出力

短期现货交易的本质是由受端承担了新能源的一部分波动性, 对受端的接纳能力提出了要求, 对送端机组开机没有影响。

新能源消纳理论模型研究

Question3: 如何在模型中考虑自备电厂的影响?

企业自备电厂一般不参与系统调峰，自备电厂比例不同对新能源消纳空间的影响不同，自备电厂的参与将改变系统的调峰约束。

调峰约束变为：

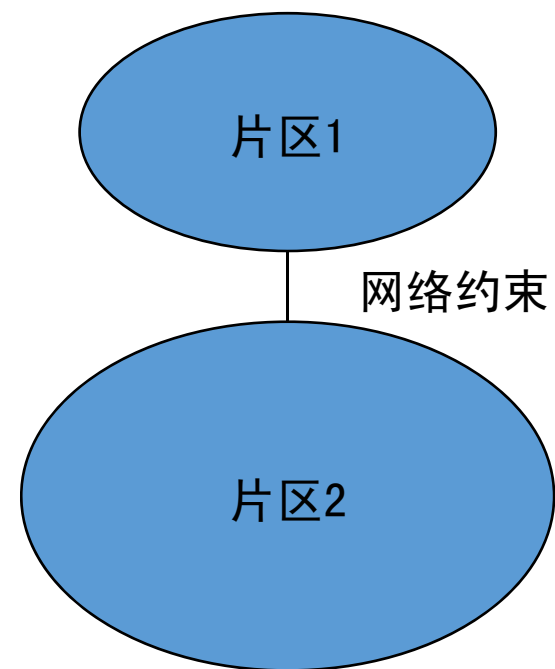
火电最小技术出力=火电最大技术出力 $\times$ （1-自备电厂比例） $\times$ （1-火电调峰率）+火电最大技术出力 $\times$ 自备电厂比例

可见自备电厂比例越大，相同装机下的火电最小技术出力越大，系统调峰能力越小。

新能源消纳理论模型研究

Question4: 如何在模型中考虑网络约束?

以上建立的模型未考虑网络约束的影响，而目前影响西北新能源消纳的最主要的因素为网络约束。网络约束的考虑方法是以约束的断面为界，将系统划分成多个内部无网络约束的片区，片区内部用无网络约束模型进行分析，新能源优先就地消纳，片区内部无法消纳时，考虑其他片区进行支援，片区之间考虑网络约束影响。



至此，建立了考虑外送、自备电厂和网络约束的新能源消纳理论分析模型，并分别提出了时序仿真法、概率分析法和经验公式法三种行之有效的求解算法。

1/

研究背景

2/

新能源出力特性模型

3/

新能源消纳理论模型研究

4/

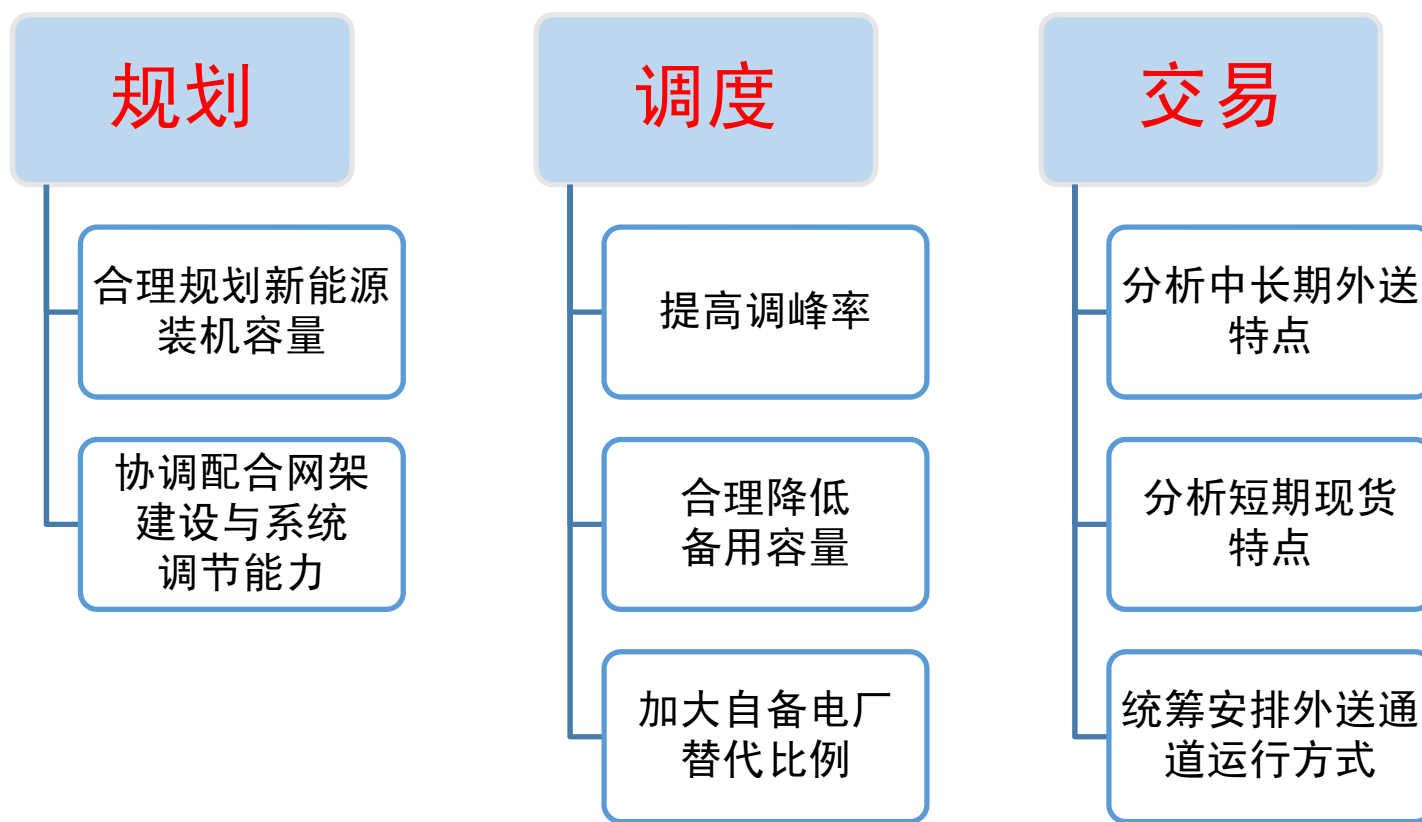
新能源消纳理论模型的应用

5/

下一步研究展望

新能源消纳理论模型的应用

在建立了新能源消纳理论模型，并量化求解后，我们对电网中实际的新能源消纳情况进行了分析，得出了有利于指导发展规划、调度运行、电力交易的量化结论。



Question1: 如何规划新能源装机?

以弃电率为目标，利用模型计算系统能够接纳的新能源装机，或者给定目标弃电率和新能源装机计算系统的最大负荷和自备电厂占比。

以宁夏电网为例，最大负荷1000万千瓦，负荷率95%，上备用系数取5%，调峰率40%，风电装机占比60%，在不考虑外送的方式下，弃电率要达到5%，所能接纳的新能源装机容量为818万千瓦。

进一步考虑目前银东直流、灵绍直流外送（目前能力均为400万），宁夏电网可接纳的新能源装机容量为1400万千瓦。

再进一步考虑西北区域内省间互济能力，宁夏电网可接纳的新能源装机容量为1600万千瓦。

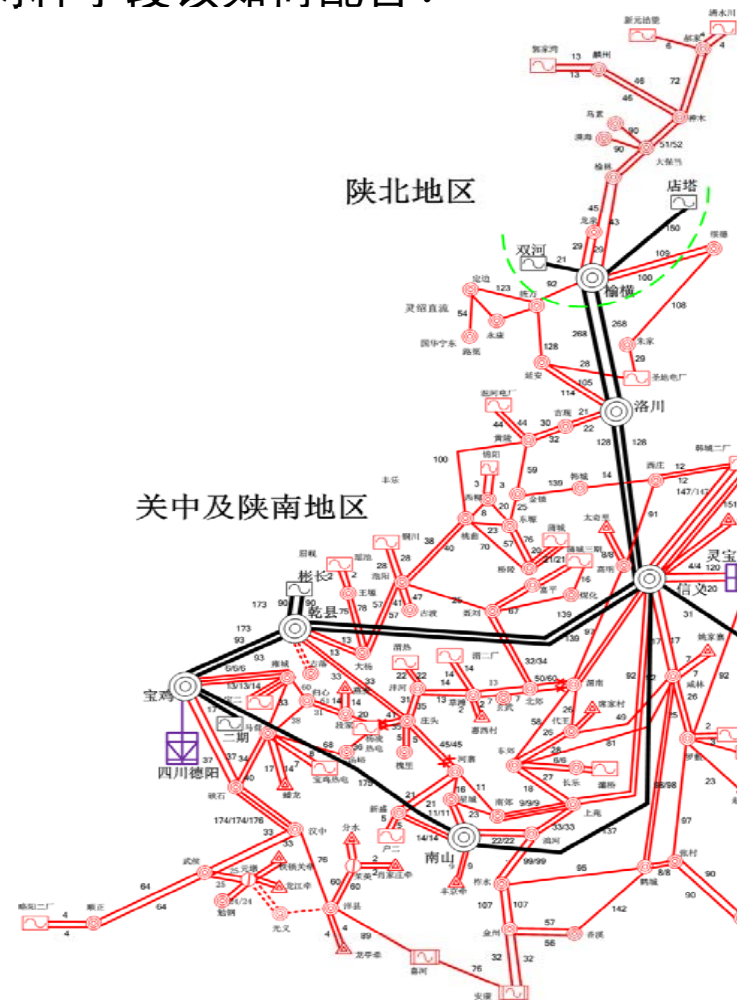
Question2: 如何协调配合网架建设与系统灵活调节能力?

加强网架建设和增加系统灵活调节手段都是减小弃电率的有效手段，这两种手段该如何配合？

以陕西电网为例，目前，陕西电网分为陕北地区与关中陕南地区两个区域，通过两回750kV线路和三回330kV线路相连。2020年底，陕北地区新能源装机将达到1230万千瓦，受制于网架约束，新能源消纳形势严峻。为缓解陕北地区新能源消纳压力，计划建设陕北送出二通道增强送出能力。采用模型计算以5%为目标弃电率，分析二通道送出能力和调峰率之间的关系，如下表所示：

通道送出能力	400	450	500	550
通道送出能力与 新能源装机比值	33%	37%	41%	45%
受端调峰率	62%	59%	57%	56%
弃电率	5%	5%	5%	5%

从表中可以得到不同通道送出能力与受端调峰率配合对新能源消纳能力的影响，可以看出，在目标弃电率为5%的前提下，增强通道送出能力可以降低对受端调峰率的要求，且二者可以找到一个合理的配合比例。



Question2: 如何协调配合网架建设与系统灵活调节能力?

加强网架建设和增加系统灵活调节手段都是减小弃电率的有效手段,这两种手段该如何配合?

以陕西电网为例,目前,陕西电网分为陕北地区与关中陕南地区两个区

通过两回750kV线路和三回330kV线路相连。2020年底,陕北地区新能源装机将达到1230万千瓦,受制于网架约束,新能源消纳形势严峻。为此,建设陕北送出二通道增强送出能力。采用模型计算以5%为目标弃电率,送出能力和调峰率之间的关系,如下表所示:

通道送出能力	400	450	500	550
通道送出能力与 新能源装机比值	33%	37%	41%	45%
受端调峰率	62%	59%	57%	56%
弃电率	5%	5%	5%	5%

表中可以得到不同通道送出能力与受端调峰率配合对新能源消纳能
影响,可以看出,在目标弃电率为5%的前提下,增强通道送出能力建
可以降低对受端调峰率的要求,且二者可以找到一个合理的配合比例。

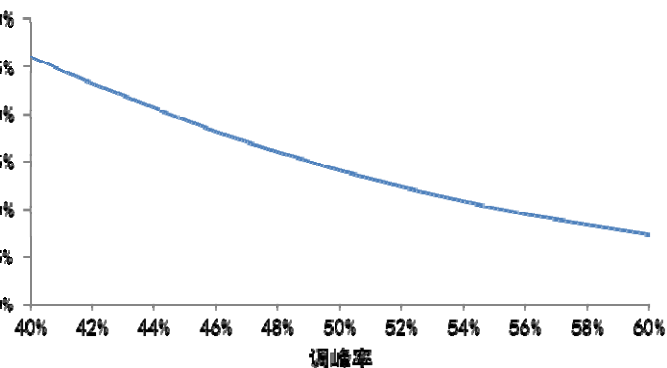


Question3: 怎么在现有条件下拓展新能源消纳空间？

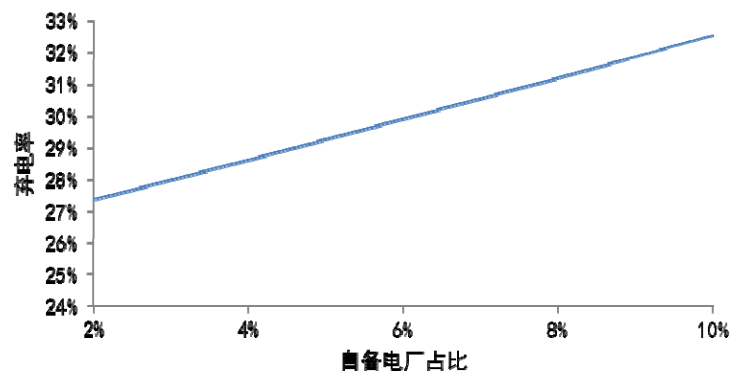
以宁夏电网为例，最大负荷1000万千瓦，负荷率95%，新能源装机1500万千瓦，风电装机占比60%的孤立系统为例，分别改变调峰率、自备电厂占比、上备用系数，对弃电率进行计算，得到如下关系曲线。

结论如下：调峰率越大，自备电厂占比越小，上备用系数越小，弃电率越小，说明采用增加调峰率、加大自备电厂替代比例、合理降低备用等手段可以改善电网的调节性能，能够有效促进新能源消纳。

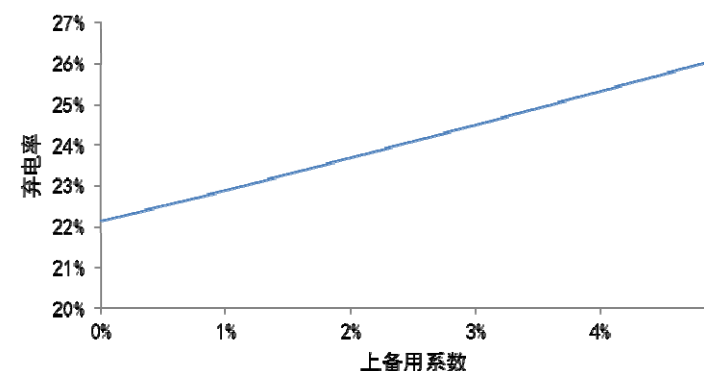
调峰率对弃电率的影响



自备电厂占比对弃电率的影响



上备用系数对弃电率的影响



Question3: 怎么在现有条件下拓展新能源消纳空间?

目前，在电网调度运行中，已经采用了增加调峰率、合理降低备用、加大自备电厂替代的方式，扩展新能源的消纳空间。

增加调峰率

- 采用主控区置换、跨省交易、陕青调峰互济、甘新联网通道互济、援疆电量库等省间互济模式，在某一省新能源出力较大时，提高该省调峰率。
- 优化梯级水库运用方式，发挥水电的灵活调节能力。
- 加快推进调峰辅助服务。
- 加快建设抽水蓄能电站。

合理降低备用

- 安排甘肃、宁夏、新疆留负备用容量。
- 全网不含新能源的备用容量控制在3%以内。
- 积极向国调汇报，建议将备用留在直流通道上，在保证安全的前提下进一步降低全网备用容量。

加大自备电厂替代比例

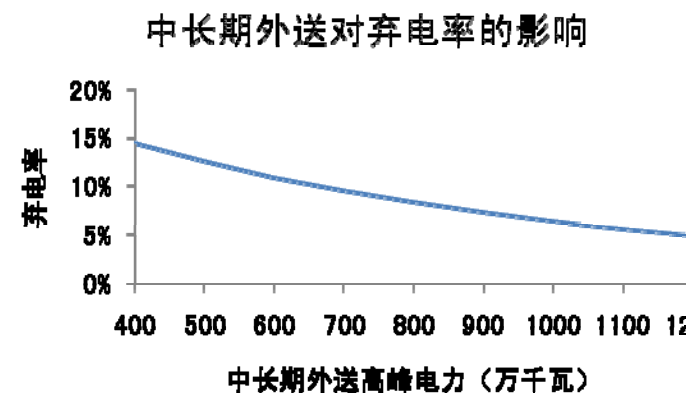
- 安排新疆、甘肃做好替代交易。
- 日前，积极采用停机替代的模式。
- 实时，积极开展实时替代交易。

Question4：如何统筹安排外送通道的运行方式？

（1）中长期外送能否只送新能源？

以宁夏电网为例，最大负荷1000万千瓦，负荷率95%，上备用系数5%，调峰率40%，新能源装机1500万千瓦，风电装机占比60%，通过模型计算不同中长期外送下的弃电率，得到关系和结论如下。

高峰电力/低谷电力 (万千瓦)	400/280	600/420	800/560	1000/700	1200/840
弃电率	14.41%	10.90%	8.34%	6.41%	4.97%
外送中新能源成分	10.45%	9.05%	7.92 %	7.02%	6.28%
新能源发电量 占总发电量比例	20.12%	18.50%	17.04%	15.75%	14.61%



结论如下：

中长期外送越大，弃电率越小，但是外送中新能源成分也进一步减小，新能源发电量占总发电量比例逐渐减小，一方面说明

中长期外送无法只送新能源，另一方面，也说明无法依靠增加中长期外送实现新能源发电量占比上升。

中长期外送的本质是增加了送端的负荷，影响送端机组开机。

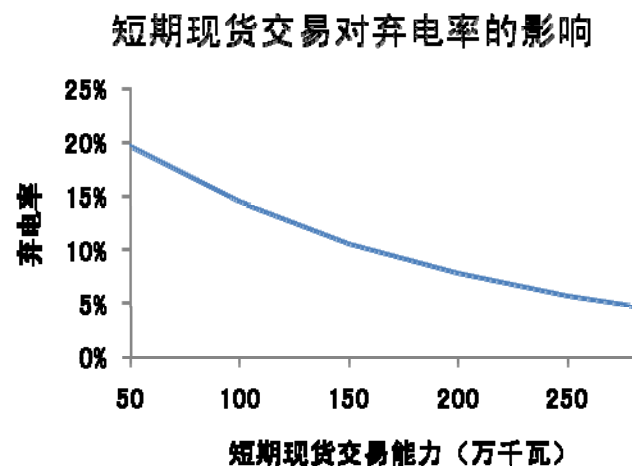
实际运行中，我们通过争取提高直流中长期外送功率以及外送负荷率来提升消纳能力，降低弃电率。

Question4：如何统筹安排外送通道的运行方式？

（2）短期现货交易效果与中长期外送有何不同？

以宁夏电网为例，最大负荷1000万千瓦，负荷率95%，上备用系数5%，调峰率40%，新能源装机1500万千瓦，风电装机占比60%，仅考虑银东直流（容量400万千瓦），采用250万千瓦现货交易，可将弃电率降至5%左右。采用模型计算不同短期现货交易下的弃电率，得到关系和结论如下：

现货交易电力 （万千瓦）	50	100	150	200	250	300
弃电率	19.71%	14.55%	10.66%	7.81%	5.72%	4.13%
新能源发电量 占总发电量比例	25.13%	26.32%	27.19%	27.82%	28.27%	28.61%
外送中新能源成分	100%	100%	100%	100%	100%	100%
通道利用小时 （小时）	429	772	1030	1220	1358	1464



结论如下：

短期现货交易能够实现只送新能源，现货交易越大，弃电率越小，新能源发电量占总发电量比例越大，但是短期现货交易的通道利用小时不高。

与中长期外送相比，短期现货交易对于减小弃电率更为有效，主要原因是其本质上是由受端承担了新能源的一部分波动性，对受端的接纳能力提出了要求，对送端机组开机没有影响。

实际运行中，我们利用通道裕量积极申请现货交易，提升新能源消纳水平。但部分情况下，现货受制于对端接纳能力。

Question4: 如何统筹安排外送通道的运行方式?

短期现货交易对于减小弃电率更为有效，但是安排外送通道运行方式一方面要考虑新能源消纳，另一方面也要兼顾经济性。

以宁夏电网为例，最大负荷1000万千瓦，负荷率95%，上备用系数5%，调峰率40%，新能源装机1500万千瓦，风电装机占比60%，仅考虑银东直流外送（容量400万千瓦），采用模型计算不同中长期外送和跨区现货交易配比下的弃电率和通道利用小时如下表所示。

中长期高峰电力/低谷电力 (万千瓦)	350/245	300/210	250/175	200/140
现货交易电力 (万千瓦)	50	100	150	200
弃电率	11.28%	8.80%	6.88%	5.40%
通道利用小时 (小时)	6820	6129	5409	4667

跨区现货交易电力越大，弃电率越小，但是相应的通道利用小时也会减小，对于本例中的系统，安排中长期外送300万千瓦，跨区现货交易100万千瓦，弃电率可降至8.80%，同时能保持较高的通道利用小时(6129小时)。

实际运行中，我们统筹优化中长期与短期现货配比，在满足直流利用小时的前提下，尽量留取现货空间。

中国移动
中国联通

OK/s 2G 3G 4G 5G 69%

< 弃电率

计算

结果

外送(中长期) ①

外送能力(万千瓦): 400

高峰开始时间 08:00

高峰结束时间 20:00

高峰电力(万千瓦): 350

低谷电力(万千瓦): 245

短期现货 ①

短期现货(万千瓦): 50

是否启用全部短期现货: ☒

贡献率

是否计算贡献率: ☐

1/

研究背景

2/

新能源出力特性模型

3/

新能源消纳理论模型研究

4/

新能源消纳理论模型的应用

5/

下一步研究展望

下一步研究展望

第1小组：新能源出力特性规律统计分析组



开展理论功率还原研究

研究各省历年出力概率分布特性

深化最小保证出力研究和应用

研究新能源的变化速率研究

下一步研究展望

第2小组：模型算法深化完善应用小组



模型算法深化完善

开发新能源消纳智能量化分析平台

开发新能源消纳计算掌上工具（APP）

下一步研究展望

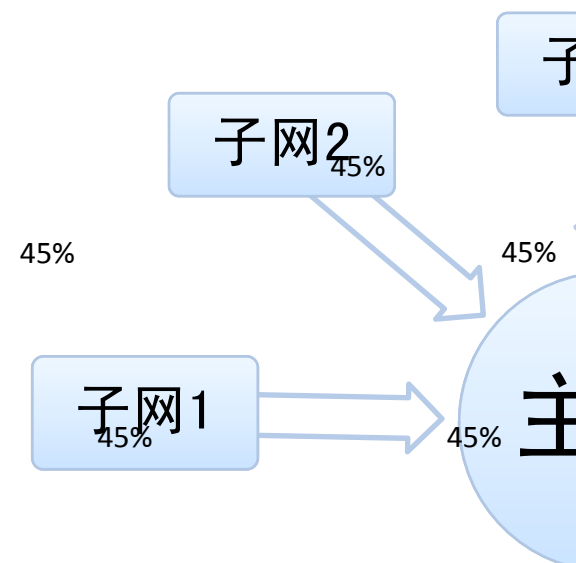
第3小组：电网自身接纳能力提升研究小组



建立电网灵活调节能力的标准

深化研究外送通道的合理应用

建立电网的新能源承载力标准



下一步研究展望

第4小组：新能源消纳措施量化分析小组



量化分析主控区置换的支援水平

量化分析调峰辅助服务的能力

量化分析援疆电量库的支援水平

新疆



主网



前期我们经过初步研究已经找到了一些
思路和灵感，希望大家借助分部创新工作室
这个广阔的平台加入我们的研究，让我们共
同为新能源消纳贡献更大的力量！
我们期待您的加入！