



基于概率的发电量计算方法

立项申请

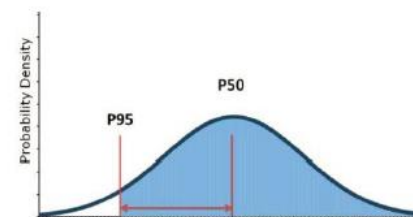
2019年风能资源专业组举行关于发电量折减系数专题技术论坛，引发发电量计算方法的广泛讨论



风能资源专业组 2019 年技术论坛

会议通报

——发电量折减系数设置专题



中国可再生能源学会风能专业委员会

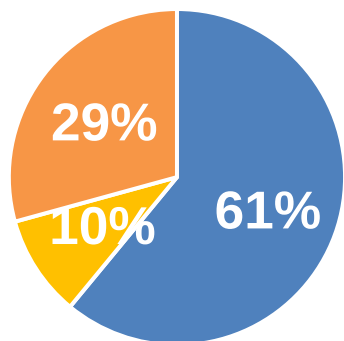
风能资源专业组

2019 年 9 月

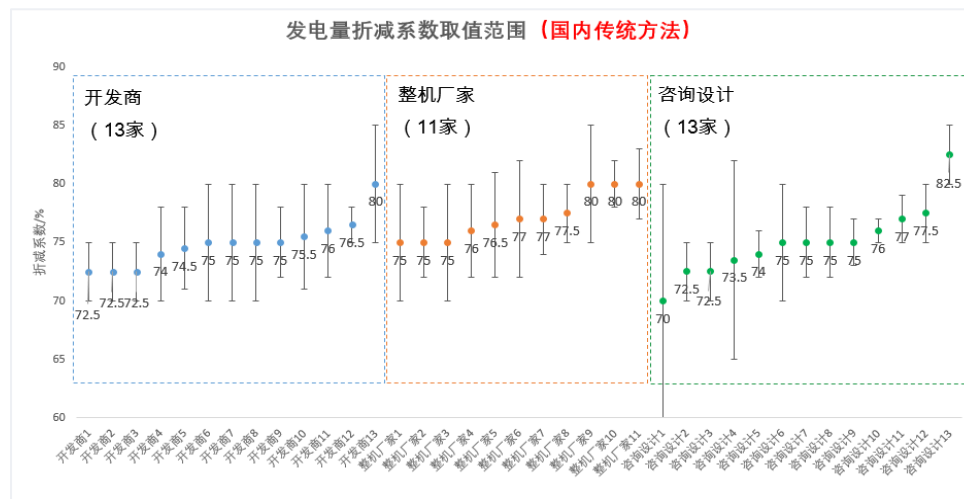
会上调研结果——国内主要使用情况

- ✓ 有效调查问卷41份，覆盖**开发商、整机厂家、咨询设计单位**；
- ✓ 综合折减法为目前行业内计算发电量折减的主流方法 **(61%)** ；
- ✓ 从不同企业类型的分布情况来看，大部分的**开发商和咨询设计方**采用综合折减法，而采用概率算法的单位以**整机厂家**居多。

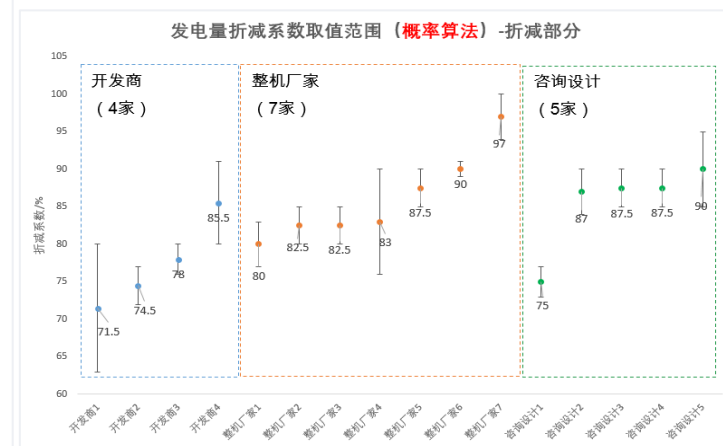
发电量计算方法占比



■ 综合折减法 ■ 概率算法 ■ 两者皆用



整机厂家折减系数的中位数平均为 77.2%，， 开发商的中位数平均为 74.9%， 咨询设计单位为 75.0%。



整机厂家折减部分取值范围中位数的平均为 86.1%， 开发商的中位数平均为 77.4%， 咨询设计单位 85.4%

发电量计算方法

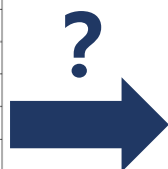
综合折减法

根据每项影响发电量的因素，对计算的理论发电量进行折减，得到实际估算的发电量结果

序号	折减类别	典型取值范围
1	尾流折减	软件计算
2	空气密度折减	软件计算
3	控制和湍流折减	5%左右
4	叶片污染折减	6%以内
5	风电机组可利用率折减	5%-10%
6	风电机组功率曲线保证率折减	5%
7	场用电、线损等折减	3%-10%
8	气候影响折减	3%-7%
9	软件计算误差折减	5%-10%
10	电网频率波动与限电等折减	3%-5%
11	大规模风电场尾流折减	探索中
	总计	20%-45%

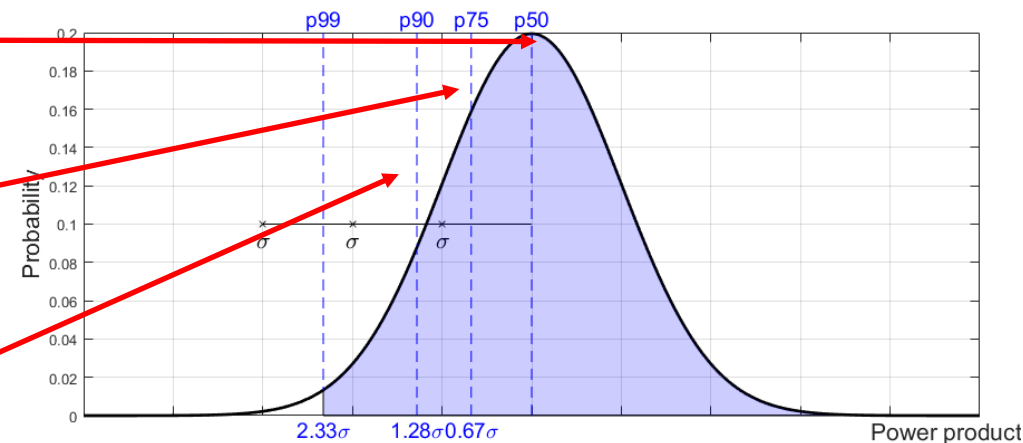
2009年发改委发布《说明》

- 仅有1个结果无法判断结果的可靠程度
- 通常会选较为保守的方式（70%~80%）



基于概率算法

将影响发电量因素分为损耗和不确定度，通过分析不确定度给出不同概率下分别能达到的发电量水平



- 可根据不同用途和角色需要进行选择
- 利于平价时代进行精算
- 不同项目的差异可被充分研究且有明确的数学表达，利于积累和提升分析经验



IEC标准有关情况

IEC61400-15(Assessment of Wind Resource, Energy Yield and site suitability input conditions for wind power plants)

该标准在发电量计算部分采用概率算法，目前该标准的草案已规定了相关不确定度的来源并给出了相关定义，暂未给出建议的取值范围，目前依然在编

不确定度分类	描述	编号	子分类
1.测量不确定度	包括传感器不确定度和测风数据质量	1a	设备准确性
		1b	测量干扰
		1c	测风数据质量和基础数据
2.历史气候	包括本地数据和参考数据的长期订正，历史变化以及长期数据的可靠性等不确定度，	2a	参考数据的周期
		2b	参考站点
		2c	风频分布
		2d	数据合成
3.垂直外推		3a	外推到轮毂高度
4.未来风速变化	考虑到未来风气候的变化所引入的不确定度	4a	年际变化
		4b	气候变化
		4c	未来的风频变化
5.空间变化	包括从测风塔外推到各个独立机位点的不确定度	5a	模型输入
		5b	水平外推
		5c	其他不确定度
6.机组表现和损耗	包括考虑不同大气状况以及尾流损失在内的各种损失下计算机组产量的不确定度	6a	可靠性
		6b	尾流影响
		6c	机组性能
		6d	电气损耗
		6e	环境影响
		6f	降功率
		6g	其他损耗
7.其他		7	

IEC风资源标准草案中不确定度的相关说明

国内相关规范

《风电场工程微观选址技术规范》（NB/T 10103-2018）（国家能源局，2019年5月1日）该规范**首次提出**“风电场年发电量的不确定性分析，宜根据风电场风能资源评估中风数据测量、长期校正、年际差异、未来气候差异、流体建模、功率曲线以及其他不确定性等各种误差进行。”

式中： P_{grid} ——风电场年上网电量；

P ——风电场年理论发电量。

8.2 不确定性分析

8.2.1 风电场年发电量的不确定性分析，宜根据风电场风能资源评估中测风数据质量、长期校正、年际差异、未来气候差异、流体建模、功率曲线以及其他不确定性等各种误差进行。

8.2.2 总的不确定度宜按如下公式计算：

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2} \quad (8.2.2)$$

式中： σ ——总的不确定度；

σ_i ——独立不确定度分量。

8.2.3 净发电量宜按如下公式计算：

$$P_{50} = P \times D' \quad (8.2.3)$$

式中： P_{50} ——净发电量，超越概率为50%下的发电量；

P ——风电场年理论发电量；

D' ——确定性折减系数，主要包括风电机组可利用率、功率曲线保证率、尾流修正系数、风电场电气效率、环境影响修正系数。

8.2.4 各种概率下可能达到的风电场年发电量，宜按照如下公式计算：

$$P_n = P_{50} \times [1 - N_v(n\%) \times \sigma] \quad (8.2.4)$$

式中： P_n ——超越概率为 $n\%$ 下的发电量；

$N_v(n\%)$ ——特征变量，可由标准正态分布表查得。



国际咨询机构情况

损耗折减取值示意表

Loss category 折减类型	Technical loss type 具体损失类型	Typical 典型值	Range 取值范围
1 Availability 有效性	• turbine availability 风机可利用率	3%	
	• balance of plant availability 电场平衡（变电站）	< 1%	2-10%
	• grid availability 电网可用率	< 1%	
2 Electrical 电气	• operational electrical losses 电气损耗	1-2%	2-3%
	• wind farm consumption 厂用电		
3 Turbine performance 风机性能	• power curve adjustments 功率曲线	1-2%	0-5%
	• high-wind hysteresis 高风速滞后		
	• control losses (SCADA) 控制系统		
4 Environmental 环境因素	• blade degradation and fouling 叶片老化和污垢	1-2%	1-6%
	• degradation due to icing 冰冻引起的性能退化		
	• high and low temperature 高温和低温		
5 Curtailments 主动折减	• wind sector management 扇区管理	Design dependent 根据实际情况	0-5%
	• grid curtailment 限电		
	• noise, visual and environmental 噪声、闪变及其他环境因素		

不确定度取值示意表

Uncertainty category 不确定度类型	Uncertainty type 不确定性种类	Typical values 典型值
1 Wind data 风数据	• wind measurements 测风	2-5% on wind speed 风速上 2-5%
	• long-term extrapolation 长期订正	1-3% on wind speed 风速上 2-5%
2 Future wind variability 未来风的不确定性	• inter-annual variability 年际变化	2-6% on wind speed 风速上 2-6%
	• climate change 气候变化	? 暂无确定区间值
3 Spatial variation (flow modelling) 空间分布(风流模型)	• vertical extrapolation 垂直外推	0-5% on wind speed 风速上 0-5%
	• horizontal extrapolation 水平外推	0-5% on wind speed 风速上 0-5%
4 Power conversion 能量转换	• power curve 功率曲线	5-10% on AEP 发电量上 5-10%
	• metering 计量	0-2% on AEP 发电量上 0-2%
5 Plant performance and losses 风机可利用率及损失	• wake effects 尾流效应	0-5% on AEP 发电量上 0-5%
	• technical losses 风机故障	0-2% on AEP 发电量上 0-2%
6 Other 其他	• air density 空气密度	0-2% on AEP 发电量上 0-2%

来源：《46200 Planning and Development of Wind Farms: Wind resource assessment using the WAsP software》，DTU RISO，2016

背景:

- 基于概率的方法，对于投资决策和融资担保有其不可替代的作用。
- 现有的标准规范更多为方法学层面，缺少实操层面的指导，尤其是不确定性分析的取值方法。
- 国内使用基于概率的方式并不多，而国际项目则要求给出发电量的概率分布。

项目目标:

- 给出基于概率算法可操作性更强的指导细则（重点为不确定度取值方法）。
- 为国内大范围应用概率算法进行项目发电量计算提供支撑，也为平价、国际化做好准备。

实施方案： 参考现有标准的分类方式，通过研究大量项目的特点和实际表现给出不确定的计算方法和取值建议。

项目预计周期： 6~12个月

请批评指正

