



REETC/TN016: 2024

陆上风电风资源技术可开发量评估 方法

Method for assessing the technical
exploitability of onshore wind
resources

2024-01-27 发布

2024-01-27 实施

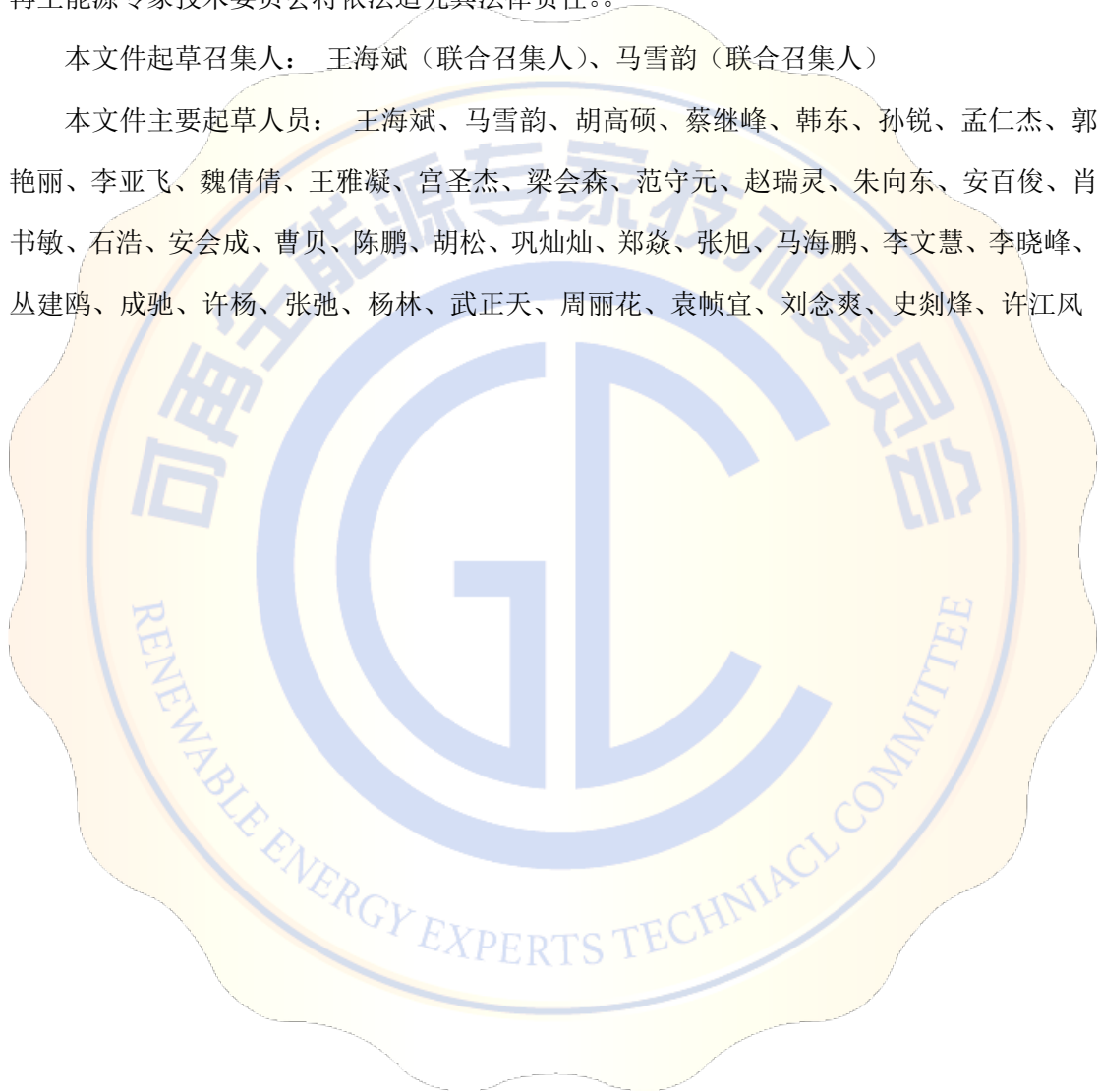
可再生能源专家技术委员会 发布

版权声明

本文为技术说明，不属于标准及规范性文件，可用于应对行业实际问题实施时提供执行依据，及行业制修订相关标准或规范性文件时提供参考。本文的著作权属于可再生能源专家技术委员会成员单位共有，任何成员单位或个人未经其他成员单位同意不得直接或变相将本文全部或部分用于商业用途及市场宣传。对于违反此声明或者其他违法使用本文内容者，可再生能源专家技术委员会将依法追究其法律责任。

本文件起草召集人：王海斌（联合召集人）、马雪韵（联合召集人）

本文件主要起草人员：王海斌、马雪韵、胡高硕、蔡继峰、韩东、孙锐、孟仁杰、郭艳丽、李亚飞、魏倩倩、王雅凝、宫圣杰、梁会森、范守元、赵瑞灵、朱向东、安百俊、肖书敏、石浩、安会成、曹贝、陈鹏、胡松、巩灿灿、郑焱、张旭、马海鹏、李文慧、李晓峰、丛建鸥、成驰、许杨、张弛、杨林、武正天、周丽花、袁帧宜、刘念爽、史剡烽、许江风



目录

1、 目的及范围	5
2、 规范性引用文件	5
3、 术语及定义	5
4、 基础资料	6
4.1 风资源数据.....	6
4.1.1 中尺度图谱数据	6
4.1.2 测风塔数据.....	6
4.1.3 风电场运行数据	6
4.2 地理信息数据	6
4.2.1 地形高程数据.....	6
4.2.3 风电场限制性因素数据.....	6
4.3 经济评价数据	7
4.3.1 上网电价数据.....	7
4.3.2 投资水平及经营成本	7
4.3.3 发电量数据.....	7
5、 风资源技术可开发量评估方法	7
5.1 资源评估.....	7
5.1.1 中尺度图谱数据验证与选择	7
5.1.2 中尺度图谱数据订正	8
5.1.3 不同风速段下电量计算.....	8
5.2 典型地形分类	9
5.3 地理开发容量评估	9
5.3.1 风电场限制性因素数据处理	9
5.3.2 地理可开发面积统计	10
5.3.3 容量转化系数计算.....	10
5.3.4 地理开发容量评估.....	10
5.4 经济评价计算	11
5.5 技术可开发量评估	11

附录 A 评估流程.....	12
附录 B 完整案例.....	13
B.1 数据收集.....	13
B.2 中尺度图谱数据验证.....	13
B.3 不同风速段下小时数评估.....	13
B.4 地理开发容量评估.....	14
B.5 经济性评价.....	15
B.6 风资源技术可开发量.....	20
附录 C 省级/区域容量转化系数.....	21
附录 D 风电场限制性因素资料清单.....	22
附录 E 省级/区域地理可开发面积与地理开发容量.....	23



1、目的及范围

本文件主要针对国内陆上风电场项目的风资源技术可开发量评估。

本文件适用场景主要为风电场规划时，省、市、县级别区域的风资源技术可开发量的评估。

2、规范性引用文件

下列文件在本办法的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本文件：

GB/T 18710 风电场风能资源评估方法

GB/T 12343.3 国家基本比例尺地图编绘规范 第3部分：1:500000 1:1000000 地形图编绘规范

GB/T 37523 风电场气象观测资料审核、插补与订正技术规范

NB/T 10103 风电场工程微观选址技术规范

NB/T 10639 风电场工程场址选择技术规范

NB/T 10909 微观选址中风能资源分析及发电量计算方法

NB/T 31085 风电场项目经济评价规范

NB/T 31098 风电场工程规划报告编制规程

QX/T 308 分散式风力发电风能资源评估技术导则

REETC/TN010 在役风电场风资源评估方法指导文件

3、术语及定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 地理可开发面积

剔除风电场限制因素后，可规划风电场项目的区域面积。

3.2 容量转化系数

单位平方公里面积内风电场项目规划容量的万千瓦数。

3.3 地理开发容量

地理可开发面积乘以容量转化系数得到的数值。

3.4 技术可开发量

地理开发容量中考虑风电场项目开发技术经济性的容量。

4、基础资料

4.1 风资源数据

4.1.1 中尺度图谱数据

资源普查区域内中尺度图谱数据，数据应包括位置坐标、风速、风向、温度等时间序列（逐十分钟或逐小时）的数据。

4.1.2 测风塔数据

资源普查区域内收集到的测风塔数据。测风塔的数据测量和处理应符合 GB/T 18710 GB/T 37523 和 NB/T 10103、NB/T 31147 的规定。

4.1.3 风电场运行数据

（1）风电机组运行数据

资源普查区域内运行的风电机组数据，风电机组信息应包括风电机组的位置坐标、轮毂高度、叶轮直径、单机容量等；风电机组运行数据应包括 10min 的平均风速、最大风速、风向等。

（2）风功率预测塔数据

资源普查区域内风功率预测塔实测数据。风功率预测塔数据应符合 REETC/TN010 的规定，包括风功率预测塔的位置坐标、测风高度、平均风速、风向等风功率预测塔实测数据。

4.2 地理信息数据

4.2.1 地形高程数据

SRTM30m、NASADEM30 等含有高程信息的地理信息格网数据。

4.2.3 风电场限制性因素数据

（1）“三区三线”数据

“三区”指城镇空间、农业空间、生态空间三种类型的国土空间；“三线”分别对应城镇空间、农业空间、生态空间划定的城镇开发边界、永久基本农田、生态保护红线三条控制线。

（2）行政边界数据

省、市、县等对应的行政边界数据。

（3）风电场数据

资源普查区域内已建风电场、已核准未建风电场位置及范围。

（4）其他限制性因素数据

资源普查区域内风电场规划时所需考虑规避的地理信息数据，符合 NB/T 10639 的相关规定。

4.3 经济评价数据

4.3.1 上网电价数据

风电场上网电价按照全国各地评估期实际电价政策执行。目前主要以脱硫燃煤基准电价、水电电价、交易电价、分时电价为主，对于执行交易电价、分时电价的省份采用加权平均电价考虑，具体以当地风电上网电价政策及实际执行情况为准。

4.3.2 投资水平及经营成本

风电场投资水平参考资源普查区域已建风场造价水平并结合装机规模、编制期市场价信息价、地形地貌、机型方案、风场方案、取费定额差异等造价相关项综合考虑进行预估。

经营成本参考 NB/T 31085 及市场水平综合考虑。

4.3.3 发电量数据

根据风能指标参数，选取评估期主流机型，计算得到资源普查区域内不同风速下对应机型的发电量。

5、风资源技术可开发量评估方法

5.1 资源评估

5.1.1 中尺度图谱数据验证与选择

选取多个风资源中尺度图谱数据，对图谱数据的准确性方面进行验证比选。

选取资源普查区域的测风塔实测数据作为样本，将测风塔的实测数据推算到与中尺度数据图谱同一高度的代表年平均风速，与中尺度相同格点位置风速进行对比分析，选取平均绝对误差与均方根误差最小的中尺度图谱数据。

平均绝对值误差

$$\text{MAE}(V, h) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |h(v_i) - u_i|$$

均方根误差

$$\text{RMES}(V, h) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (h(v_i) - u_i)^2}$$

式中：

$h(v)$ 为中尺度图谱的点年平均风速数据；

u 为测风塔实测代表年风速数据；

m 为测风塔个数。

5.1.2 中尺度图谱数据订正

利用收集到的测风塔实测数据进行流场仿真，以单个测风塔为中心，半径为 20km 的区域进行流场仿真，得到的仿真图谱的数据区域插值替换对应的中尺度图谱数据。

选取资源普查区域内的测风塔实测数据作为样本，将测风塔实测数据订推算与中尺度图谱数据同一高度的代表年平均风速，与中尺度数据同样测风点的风速进行比值，通过比值对图谱进行。

5.1.3 不同风速段下电量计算

针对资源普查区域，考虑空气密度对电量计算的影响，根据风速与空气密度之间的能量关系，将中尺度图谱风速折算到标准空气密度下，得到标准空气密度下的年平均风速。

现场空气密度年平均风速转化为标准空气密度下的年平均风速。

$$v_{\text{标}i} = v_i \times \sqrt[3]{\frac{\rho_i}{1.225}}$$

式中：

ρ_i 为现场空气密度；

$v_{\text{标}i}$ 为标准空气密度下的年平均风速；

v_i 为现场空气密度下的年平均风速。

根据不同风速区间下的风速频率分布，得到威布尔分布的形状参数 k ；根据年平均风速与形状参数 K 之间的关系，得到威布尔分布尺度参数 A 。

年平均风速 v 、形状参数 k 、尺度参数 A 之间的关系： $v = A\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$

式中：

Γ 为伽马（gamma）函数；

A 为威布尔分布尺度参数；

k 为威布尔分布的形状参数。

根据风能指标参数，选取评估期主流机型。根据标准空气密度下区域年平均风速、风切变指数，选取对应风区的适用机型及轮毂高度；并采用风电机组动态功率曲线，与威布尔分布 A 、 k 参数进行拟合估算发电量，得到资源普查区域内不同风速段下电量指标计算表。

表 1 不同风速段下机型选取与发电量计算表

标准空气密度 年平均风速 (m/s)								
形状参数 k								
机型								
轮毂高度 (m)								
年发电小时 数 (h)								

注：建议标准空气密度年平均风速按照风速段从 4.5m/s 进行取值，每 0.2m/s 一个间隔。

5.2 典型地形分类

对资源普查区域内地形根据海拔高程进行划分。参考 GB/T 12343.3 中地形起伏度划分，根据绝对海拔高度划分为小于 30 米、30-200 米、200-500 米、500-1000 米、1000-2500 米、大于 2500 米，共六种绝对海拔高度。为了简化地形分类，对绝对海拔高程进行归类，划分为平原、丘陵、山地、复杂山地四种典型地形，下表为对应关系。

表 2 典型地形分类标准

绝对海拔落差	典型地形分类
<30 米	平原
30-200 米	丘陵
200-1000 米	山地
>1000 米	复杂山地

5.3 地理开发容量评估

5.3.1 风电场限制性因素数据处理

风电场限制性因素的避让距离应符合 NB/T 10639 的相关规定。

考虑风电机组噪音传播对居民区的影响，风电场规划区域与村庄缓冲距离至少 600 米；
在生态红线较多的地区，考虑到风电机组的施工平台面积，风电场规划区域与生态红线缓冲距离至少 50 米；

对于公益林、自然保护区、水源保护地等环境敏感区，风电场规划区域与环境敏感区域缓冲距离至少 1000 米；

根据收集到的测风塔位置，技术可开发区域与平原、丘陵地形的测风塔之间缓冲距离至少 5000 米，与山地、复杂山地地形的测风塔缓冲距离至少 3000 米；

对于已建和规划风电场，考虑风电场之间尾流的影响，风电场规划区域与已建、已规划

的风电场缓冲距离至少 1500 米。

5.3.2 地理可开发面积统计

将中尺度图谱中现场空气密度下的平均风速统一推算到标准空气密度下的平均风速，根据地形分类，规避风电场限制性因素，统计平原、丘陵、山地、复杂山地四种地形标准空气密度下不同风速段的地理可开发面积。

表 3 不同地形标准空气密度下不同风速段的地理可开发面积

地形分类	平原	丘陵	山地	复杂山地
标准空气密度下 年平均风速 (m/s)	地理可开发面积 (km ²)			

注：建议标准空气密度年平均风速按照风速段从 4.5m/s 进行取值，每 0.2m/s 一个间隔。

5.3.3 容量转化系数计算

容量转化系数取决于地形、所在地区限制性因素排查结果、不同风区当前适用的风电机组型号等因素。

对资源普查区域已建成的风电场项目进行地形分类，平原、按照丘陵、山地、复杂山地分类，统计风电场项目的面积与容量之间的关系，得到容量转化系数。

选取资源普查区域的不同地形进行机位点的设计规划，按照平原、丘陵、山地、复杂山地分类，统计风电场项目的面积与容量之间的关系，得到容量转化系数。

5.3.4 地理开发容量评估

容量转化系数与地理可开发面积的乘积，按照平原、丘陵、山地、复杂山地分类，得到不同风速下的地理开发容量。

表 4 不同地形标准空气密度下不同风速段的地理开发容量

地形	平原	丘陵	山地	复杂山地
标准空气密度下 年平均风速 (m/s)	地理开发容量 (万 kW)			

注：建议标准空气密度年平均风速按照风速段从 4.5m/s 进行取值，每 0.2m/s 一个间隔。

5.4 经济评价计算

风电场投资水平参考资源普查区域已建风场造价水平并结合装机规模、编制期市场价信息价、地形地貌、机型方案、风场方案、取费定额差异等造价相关项综合考虑进行预估。

资源普查区域的风电场项目经济评估应考虑不同地区上网电价、技经边界条件、风电场开发类型等因素。风电场开发类型主要包括分散式风电、集中式风电、大基地风电三类。在技术可开发量评估计算风电场经济性时，建议分散式风电场参考 30MW 考虑、集中式风电场参考 100MW 考虑、大基地风电场参考 500MW 考虑。

风电场项目经济性评估参考 NB/T 31085 并结合评估边界要求、各地政策、法规、市场水平等进行评估。

表 5 不同风速段下风电场项目经济评价表

地形分类	分类：平原、丘陵、山地、复杂山地四种地形					
项目类型	分类：分散式、集中式、大基地三种项目类型					
标准空气密度下 年平均风速(m/s)						
地理开发容量(万 kW)						
机型						
轮毂高度 (m)						
年发电小时数 (h)						
上网电价 (元/kWh)						
储能配置						
单位千瓦造价预估 (元/kW)						
项目全投资 IRR						
项目资本金 IRR						

注：建议标准空气密度年平均风速按照风速段从 4.5m/s 进行取值，每 0.2m/s 一个间隔。

5.5 技术可开发量评估

根据不同风速段下风电场项目经济评价计算的结果，对满足风电场项目经济性要求的风速段下的地理开发容量进行累计，累计结果为资源普查区域风电场项目规划的技术可开发量。

附录 A 评估流程

风资源的技术可开发量评估方法流程图如下：

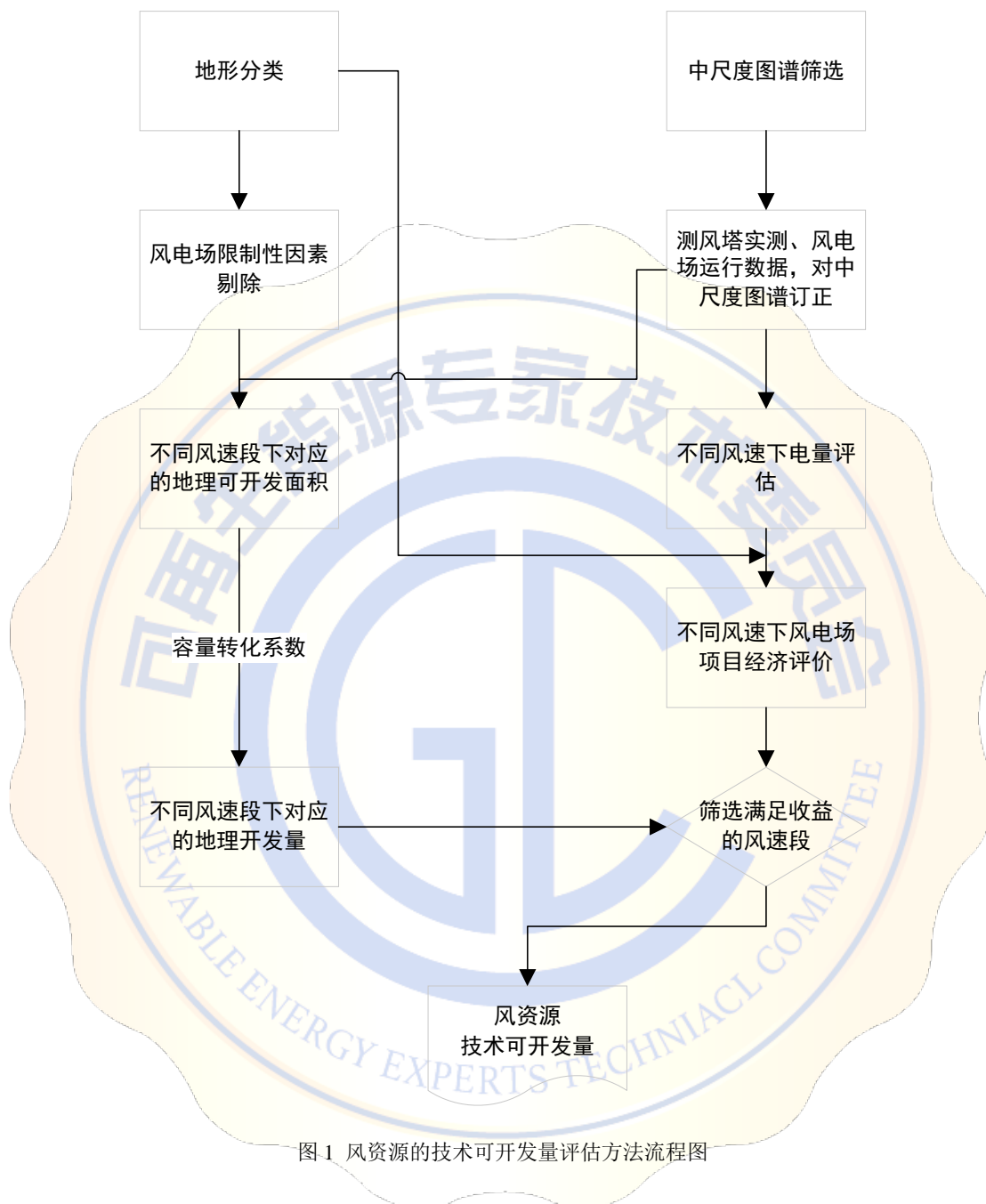


图 1 风资源的技术可开发量评估方法流程图

附录 B 完整案例

B.1 数据收集

表 6 收资清单

数据分类	数据类型	备注	是否收集	
风资源数据	中尺度格点数据/图谱	广西 A、B 两套图谱	√	
	测风塔数据	150 座	√	
	风电场运行数据		部分收集	
地理新数据	地形高程数据	NASADEM30	√	
	限制性因素数据	“三区三线”数据		部分收集
		行政边界数据		√
		已建风电场数据		部分收集
	其他限制性因素数据	河流、道路等	部分收集	
经济评价数据	上网电价数据		√	
	工程造价数据		√	
	风电相关政策	储能配置要求	√	

B.2 中尺度图谱数据验证

根据收集到的 150 座测风塔数据，将测风塔年平均风速订正到与中尺度图谱 A、图谱 B 同样风速高度的代表年平均风速，计算得出 A、B 两套中尺度图谱风速与测风塔风速的平均绝对误差、均方根误差。

表 7 A、B 两套中尺度图谱模拟风速平均绝对误差、均方根误差

中尺度图谱	图谱风速高度	平均绝对误差 MAE	均方根误差 RMSE
A 图谱	115m	0.462	0.655
B 图谱	115m	0.821	1.062

根据计算结果，中尺度图谱 A 的模拟风速平均绝对误差、均方根误差均较小，本次案例中选用中尺度图谱 A 作为广西资源普查的风资源图谱，并用测风塔实测数据对中尺度图谱 A 进行修正。

B.3 不同风速段下小时数评估

根据空气密度与风速之间的能量公式，将修正后的中尺度图谱 A 的平均风速订正到标准空气密度下的年平均风速。

根据不同风速进行机型的选取。本次案例中年平均风速在 5.5m/s 以下选用低风速 204-5.6 机型；年平均风速在 5.5m/s-6.5m/s 以下选用低风速 204-6.25 机型；年平均风速在 6.5m/s 以上选用低风速 204-6.7 机型。由于广西区域切变较小，选用标准塔架高度 115m。

表 8 不同风速段下电量评估

标准空气密度下 年平均风速(m/s)	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
机型	204- 5.6	204- 5.6	204-5.6	204-5.6	204-5.6	204- 5.6	204- 6.25	204- 6.25	204- 6.25
轮毂高度(m)	115								
年发电小时数(h)	1627	1794	1961	2127	2291	2451	2472	2615	2753

续表 8 不同风速段下电量评估

标准空气密度下 年平均风速(m/s)	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1	7.3	7.5	7.7	7.9
机型	204- 6.25	204-6.25	204-6.7	204-6.7	204-6.7	204- 6.7	204- 6.7	204- 6.7	204- 6.7
轮毂高度(m)	115								
年发电小时数(h)	2886	3012	3032	3141	3243	3338	3426	3507	3581

B.4 地理开发容量评估

根据广西地形分类划分为平原、丘陵、山地、复杂山地，规避收集到的部分风电场限制性因素，统计不同地形不同风速下的地理可开发面积。

表 9 不同地形不同风速下的地理可开发面积

地形分类	平原	丘陵	山地	复杂山地
标准空气密度下 年平均风速(m/s)	地理可开发面积(km ²)			
小于 4.2	22018.9	19059.2	73525.2	3729.5
4.2-4.4	6456.4	2933.1	8793.5	333.7
4.4-4.6	6540.1	2890.5	8097.4	314.2
4.6-4.8	5610.0	2396.0	7029.0	284.2
4.8-5.0	4183.3	1617.2	5608.3	248.1
5.0-5.2	2401.9	963.6	4151.6	210.4
5.2-5.4	1279.8	547.9	2929.0	177.7
5.4-5.6	642.3	298.2	1956.7	137.4
5.6-5.8	345.3	174.6	1292.6	101.1
5.8-6.0	203.8	112.6	822.2	81.1
6.0-6.2	130.5	59.3	523.3	55.3
6.2-6.4	71.2	29.5	335.4	42.3
6.4-6.6	35.3	16.1	204.7	28.2
6.6-6.8	16.1	8.4	129.1	19.4
6.8-7.0	5.5	5.1	76.5	13.0
7.0-7.2	3.4	2.8	49.1	7.5
7.2-7.4	1.0	1.7	29.8	3.9
7.4-7.6	0.4	1.4	16.4	2.8
7.6-7.8	0.3	0.6	9.8	1.2

根据收集到的历史风电场项目的容量与面积,并随机选取不同区域范围进行点位的设计规划,计算风电场项目的容量与面积比值,得到广西的-容量转化系数。容量转化系数与样本有很大的关系,为统计数据,仅作参考。

表 9 广西不同地形下的容量转化系数(单位:万 kW/km²)

地形分类	平原	丘陵	山地	复杂山地
容量转化系数	0.080	0.084	0.095	0.105

容量转化系数与地理可开发面积的乘积,可得到广西平原、丘陵、山地、复杂山地中不同风速下的地理开发容量。

表 10 不同地形标准空气密度下不同风速段的地理开发容量

地形分类	平原	丘陵	山地	复杂山地
标准空气密度下 年平均风速(m/s)	地理开发容量(万 kW)			
小于 4.2	1277	1182	5000	280
4.2-4.4	374	182	598	25
4.4-4.6	379	179	551	24
4.6-4.8	325	149	478	21
4.8-5.0	243	100	381	19
5.0-5.2	139	60	282	16
5.2-5.4	74	34	199	13
5.4-5.6	37	18	133	10
5.6-5.8	20	11	88	8
5.8-6.0	12	7	56	6
6.0-6.2	8	4	36	4
6.2-6.4	4	2	23	3
6.4-6.6	2	1	14	2
6.6-6.8	1	1	9	1
6.8-7.0	0	0	5	1
7.0-7.2	0	0	3	1
7.2-7.4	0	0	2	0
7.4-7.6	0	0	1	0
7.6-7.8	0	0	1	0

B.5 经济性评价

案例以广西区域考虑,风电场容量按照集中式风电场开发类型,即容量 100MW 评估,根据广西风电政策,风电上网电价为 0.4207 元/kWh,同时储能配建 20%/2h,对主要边界条件进行假设。边界条件假设见下表。

表 11 项目方案概况

序号	项目	单位	数值
1	项目容量	MW	100
2	建设工期	月	12
3	机型		GWH204-5.6/6.25/6.7
4	轮毂高度	M	115
5	场址地形		平原/丘陵/山地/复杂山地
6	升压站等级	kV	110
7	线路	形式	架空为主

表 12 技术经济测算边界值

序号	项目	单位	数值
一	建设与运营年薪		
1	建设工期	月	12
2	项目运营期	年	20
二	融资方案假设		
1	资本金比例-长期投资	%	20.00%
2	资本金比例-流动资金	%	30.00%
3	融资方式		银行长期借款
4	利率	%	4.30%
5	贷款年限	年	15
	其中：宽限期	年	1
6	还款方式		等额本金
7	流动资金借款利率	%	3.65%
三	经营成本假设		
1	人工成本		
	人员编制	人	10
	平均工资	万元/人	8
	工资附加率	%	60.00%
2	修理费		
	第 1-5 年	%	0.20%
	第 6-10 年	%	0.80%
	第 11-15 年	%	1.20%
	第 16-20 年	%	1.50%
3	材料费	元/kW	10
4	保险费率	%	0.25%
5	其他费用	元/kW	20
6	是否考虑通胀		否
四	税收及其他假设		
1	企业所得税	%	25%/15%
	减半	年	3

	免征	年	3
2	增值税税率	%	13.00%
	风电产品即征即退	%	50.00%
3	城建税	%	5.00%
4	教育费附加	%	3.00%
5	地方教育费附加	%	2.00%
6	固定资产		
	折旧年限	年	20
	残值率	%	5.00%
7	利润分配		
	法定公积金	%	10.00%

不同地形分类不同风速段的风电场项目经济性评价见下表。风电场项目经济性评价结果与评价模型中参数取值相关，下表中数据仅为本案例的结果。

表 13 广西平原地形不同风速段集中式风电场项目经济性评价

地形	平原									
项目类型	集中式 (100MW)									
标准空气密度下 年平均风速 (m/s)	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
机型	204-5.6					204-6.25				
轮毂高度 (m)	115									
年发电小时数 (h)	1357	1527	1694	1861	2027	2191	2351	2372	2515	2653
上网电价 (元/kWh)	0.4207									
储能配比	20%, 2h									
单位千瓦造价预估 (元/kW)	5400					5200				
项目全投资 IRR (%)	4.95	5.61	6.13	6.85	7.34	7.88	8.57	9.23	9.82	10.38
项目资本金 IRR (%)	5.21	6.19	7.68	8.96	10.99	13.01	15.01	16.95	18.79	20.6

续表 13 广西平原地形不同风速段集中式风电场项目经济性评价

地形	平原									
项目类型	集中式 (100MW)									
标准空气密度下 年平均风速 (m/s)	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1	7.3	7.5	7.7	7.9	
机型	204-6.25					204-6.7				
轮毂高度 (m)	115									
年发电小时数 (h)	2886	3012	3032	3141	3243	3338	3426	3507	3581	
上网电价 (元/kWh)	0.4207									
储能配比	20%, 2h									
单位千瓦造价预估 (元 /kW)	5200					5400				
项目全投资 IRR (%)	10.91	11.39	11.83	12.24	12.6	13	13.42	13.84	14.26	
项目资本金 IRR (%)	22.32	23.95	25.47	26.89	28.19	28.59	28.99	29.39	29.79	

表 14 广西丘陵地形不同风速段集中式风电场项目经济性评价

地形	丘陵									
项目类型	集中式 (100MW)									
标准空气密度下 年平均风速(m/s)	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
机型	204-5.6					204-6.25				
轮毂高度 (m)	115									
年发电小时数 (h)	1357	1527	1694	1861	2027	2191	2351	2372	2515	2653
上网电价 (元/kWh)	0.4207									
储能配比	20%, 2h									
单位千瓦造价预估 (元/kW)	5800					5600				
项目全投资 IRR (%)	4.33	4.99	5.51	6.23	6.72	7.26	7.95	8.61	9.2	9.76
项目资本金 IRR (%)	4.59	5.57	7.06	8.34	10.37	12.39	14.39	16.33	18.17	19.98

续表 14 广西丘陵地形不同风速段集中式风电场项目经济性评价

地形	丘陵									
项目类型	集中式 (100MW)									
标准空气密度下 年平均风速(m/s)	6.3	6.5		6.7	6.9	7.1	7.3	7.5	7.7	7.9
机型	204-6.25			204-6.7						
轮毂高度 (m)	115									
年发电小时数 (h)	2886	3012		3032	3141	3243	3338	3426	3507	3581
上网电价 (元/kWh)	0.4207									
储能配比	20%, 2h									
单位千瓦造价预估 (元 /kW)	5600			5400						
项目全投资 IRR (%)	10.29	10.77		11.21	11.62	11.98	12.38	12.8	13.22	13.64
项目资本金 IRR (%)	21.7	23.33		24.85	26.27	27.57	27.97	28.37	28.77	29.17

表 15 广西山地地形不同风速段集中式风电场项目经济性评价

地形	山地									
项目类型	集中式 (100MW)									
标准空气密度下 年平均风速(m/s)	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
机型	204-5.6					204-6.25				
轮毂高度 (m)	115									
年发电小时数 (h)	1357	1527	1694	1861	2027	2191	2351	2372	2515	2653
上网电价 (元/kWh)	0.4207									
储能配比	20%, 2h									
单位千瓦造价预估 (元/kW)	6200					6000				
项目全投资 IRR (%)	3.73	4.39	4.91	5.63	6.12	6.66	7.35	8.01	8.6	9.16
项目资本金 IRR (%)	3.99	4.97	6.46	7.74	9.77	11.79	13.79	15.73	17.57	19.38

续表 15 广西山地地形不同风速段集中式风电场项目经济性评价

地形	山地									
项目类型	集中式 (100MW)									
标准空气密度下 年平均风速(m/s)	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1	7.3	7.5	7.7	7.9	
机型	204-6.25			204-6.7						
轮毂高度 (m)	115									
年发电小时数 (h)	2886	3012	3032	3141	3243	3338	3426	3507	3581	
上网电价 (元/kWh)	0.4207									
储能配比	20%, 2h									
单位千瓦造价预估 (元/kW)	6000					5800				
项目全投资 IRR (%)	9.69	10.17	10.61	11.02	11.38	11.78	12.2	12.62	13.04	
项目资本金 IRR (%)	21.1	22.73	24.25	25.67	26.97	27.37	27.77	28.17	28.57	

表 16 广西复杂山地地形不同风速段集中式风电场项目经济性评价

地形	复杂山地									
项目类型	集中式 (100MW)									
标准空气密度下 年平均风速(m/s)	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
机型	204-5.6						204-6.25			
轮毂高度 (m)	115									
年发电小时数 (h)	1357	1527	1694	1861	2027	2191	2351	2372	2515	2653
上网电价 (元/kWh)	0.4207									
储能配比	20%, 2h									
单位千瓦造价预估 (元/kW)	6600							6400		
项目全投资 IRR (%)	3.12	3.78	4.3	5.02	5.51	6.05	6.74	7.4	7.99	8.55
项目资本金 IRR (%)	3.38	4.36	5.85	7.13	9.16	11.18	13.18	15.12	16.96	18.77

续表 16 广西复杂山地地形不同风速段集中式风电场项目经济性评价

地形	复杂山地									
项目类型	集中式 (100MW)									
标准空气密度下 年平均风速(m/s)	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1	7.3	7.5	7.7	7.9	
机型	204-6.25			204-6.7						
轮毂高度 (m)	115									
年发电小时数 (h)	2886	3012	3032	3141	3243	3338	3426	3507	3581	
上网电价 (元/kWh)	0.4207									
储能配比	20%, 2h									
单位千瓦造价预估 (元/kW)	6400					6200				
项目全投资 IRR (%)	9.08	9.56	10	10.41	10.77	11.17	11.59	12.01	12.43	
项目资本金 IRR (%)	20.49	22.12	23.64	25.06	26.36	26.76	27.16	27.56	27.96	

B.6 风资源技术可开发量

按照不同风速段下风电场项目经济性评价结果，本次案例中选取全投资内部收益率 IRR 不小于 6% 作为风速筛选边界，对平原、丘陵、山地、复杂山地下全投资内部收益率 IRR 不小于 6% 的风速段下地理开发容量进行累加，得到广西风资源的技术可开发量为 2022 万 kW。

表 17 广西风资源的技术可开发量

地形	平原	丘陵	山地	复杂山地
标准空气密度下 年平均风速(m/s)	技术可开发量 (万 kW)	技术可开发量 (万 kW)	技术可开发量 (万 kW)	技术可开发量 (万 kW)
小于 4.2	0	0	0	0
4.2-4.4	0	0	0	0
4.4-4.6	0	0	0	0
4.6-4.8	325	0	0	0
4.8-5.0	243	100	0	0
5.0-5.2	139	60	282	16
5.2-5.4	74	34	199	13
5.4-5.6	37	18	133	10
5.6-5.8	20	11	88	8
5.8-6.0	12	7	56	6
6.0-6.2	8	4	36	4
6.2-6.4	4	2	23	3
6.4-6.6	2	1	14	2
6.6-6.8	1	1	9	1
6.8-7.0	0	0	5	1
7.0-7.2	0	0	3	1
7.2-7.4	0	0	2	0
7.4-7.6	0	0	1	0
7.6-7.8	0	0	1	0
技术可开发量求和 (万 kW)	2022			

注：风资源的技术可开发量与中尺度图谱、风电场限制性因素、风电场项目经济模型、政策等因素相关，上表数据结果仅为本次案例边界条件下的结果。

附录 C 省级/区域容量转化系数

根据收集到的省级/区域内历史风电场的容量与面积，并随机选取不同区域范围进行点位的设计规划，得到容量转化系数。由于容量转化系数与样本有很大的关系，为统计数据，下表结果仅做参考。下表结果不包含北京、上海、西藏、台湾、香港、澳门、海南等城市的容量转化系数分析。

表 18 省级/区域容量转化系数（单位：万 kW/km²）

省份/区域	平原	丘陵	山地	复杂山地	省份/区域	平原	丘陵	山地	复杂山地
安徽	0.1242	0.1322	0.145	0.161	吉林	0.153	0.151	0.12	\
重庆	0.1044	0.1554	0.191	0.212	辽宁	0.148	0.149	0.13	\
福建	0.1318	0.1348	0.161	0.178	蒙东	0.0998	0.1138	0.108	\
甘肃	0.1296	0.1426	0.145	0.161	蒙西	0.0972	0.1082	0.108	0.12
广东	0.0796	0.0836	0.095	0.105	宁夏	0.129	0.142	0.145	\
广西	0.058	0.062	0.068	0.075	青海	0.074	0.065	0.04	0.04
贵州	0.1182	0.1202	0.145	0.161	山东	0.162	0.1543	0.161	0.178
河北	0.12	0.134	0.11	0.106	山西	0.142	0.156	0.172	0.178
黑龙江	0.103	0.119	0.108	\	陕西	0.1196	0.1236	0.145	0.161
河南	0.134	0.133	0.132	0.12	四川	0.0882	0.0902	0.108	0.12
湖北	0.131	0.146	0.145	0.161	天津	0.1014	0.1164	0.108	\
湖南	0.0896	0.0926	0.108	0.12	新疆	0.142	0.132	0.108	0.12
江苏	0.1022	0.1082	0.12	\	云南	0.0888	0.0908	0.108	0.12
江西	0.13	0.14	0.15	0.14	浙江	0.0894	0.0924	0.108	0.12

注：容量转化系数与统计的样本有很大的关系，为统计数据，上表结果仅做参考。

附录 D 风电场限制性因素资料清单

表 19 风电场限制性因素资料收集项

序号	资料名称
1	拟规划区域省、市、区县（含各乡镇）行政边界
2	“三区三线”数据库
	最新本土地利用规划图
3	矿产资源分布和矿业权（采矿权、探矿权）分布图
4	林地一张图
	国家一二级、省级公益林分布
	自然遗产地范围
	国家公园范围
	自然保护地范围
	森林公园范围
	候鸟栖息地、鸟类主要迁徙通道/迁徙地
	各类保护区范围
	风景名胜区
	沿海基干林带或消浪林带
	基本草原
5	除基本草原外各类草原
	水源保护地
6	各类其他保护区范围
	区县内已建、在建、已核准（备案）待建风电、光伏项目信息
7	区县内已建、在建、已核准（备案）待建风电、光伏项目信息
8	文物保护单位
9	军事限制开发区域
10	民航机场净空要求
11	军用机场净空要求
12	河、湖、水库禁开发边界

附录 E 省级/区域地理可开发面积与地理开发容量

风资源中尺度图谱的风速分布直接影响不同风速下风电场项目的地理可开发面积和地理开发容量的统计。下表选用 AWS 中尺度图谱，平均风速高度为 100m，参考附录 C 的容量转化系数进行不同风速下地理可开发面积和地理开发容量的统计分析。下表结果不包含北京、上海、西藏、台湾、香港、澳门、海南等城市的地理可开发面积及地理开发容量的分析累计。

表 20 附录 E 地理可开发面积及开发容量边界条件

资料类别	说明
中尺度图谱	AWS 中尺度图谱
中尺度图谱风速高度	100m
容量转化系数	参考附录 C
区域	省级区域，不包含北京、上海、西藏、台湾、香港、澳门、海南 7 个城市
已建风电场	部分考虑，根据收集到的已建风电场数据
限制性因素	部分考虑，部分数据涉密无法准确获取

表 21 省级/区域地理可开发面积及地理开发容量合计表（基于 AWS 中尺度图谱）

类型	地理可开发面积 (km ²)				地理开发容量 (万 kW)			
	平原	丘陵	山地	复杂山地	平原	丘陵	山地	复杂山地
标准空气密度下年平均风速 (m/s)								
小于 4.2	294765	245205	946157	180143	32384	26792	106660	21606
4.2-4.4	94651	66756	176537	22981	11110	8255	23373	3096
4.4-4.6	95654	47730	111697	16158	11067	5555	12216	1825
4.6-4.8	116735	52595	101092	14812	13755	6201	10820	1646
4.8-5.0	152485	78123	90782	13382	18321	9514	9490	1461
5.0-5.2	155247	99642	81690	11800	18921	12223	8384	1269
5.2-5.4	134570	127154	73742	10323	16108	15751	7431	1090
5.4-5.6	133186	119188	67844	8890	15549	14541	6711	927
5.6-5.8	123018	119492	63142	7552	14243	14459	6162	773
5.8-6.0	128729	97373	58022	6393	14531	11547	5622	644
6.0-6.2	129724	82600	51364	5366	14526	9718	4976	535
6.2-6.4	115393	65464	44680	4486	13126	7665	4314	441
6.4-6.6	130100	59340	38066	3757	14690	6844	3662	366
6.6-6.8	127503	52926	32179	3143	14845	6040	3086	307
6.8-7.0	97919	39307	26927	2621	11407	4496	2575	257
7.0-7.2	72126	32271	22141	2164	8322	3730	2135	211
7.2-7.4	51850	23152	17705	1741	5849	2650	1734	170
7.4-7.6	37120	18486	14005	1421	4042	2108	1391	139
7.6-7.8	23993	14106	11071	1154	2625	1625	1112	113
7.8-8.0	14979	9568	8560	929	1682	1110	869	92
8.0-8.2	8714	6149	6529	747	1018	723	670	74

类型	地理可开发面积 (km ²)				地理开发容量 (万 kW)			
	平原	丘陵	山地	复杂山地	平原	丘陵	山地	复杂山地
标准空气密度下年平均风速 (m/s)								
8.2-8.4	5766	4025	4964	563	697	476	513	56
8.4-8.6	3755	2581	3724	449	475	310	386	44
大于 8.6	3348	3594	8764	1414	458	453	923	152

注：地理可开发面积、地理开发量与中尺度图谱数据、容量转化系数等相关，上表数据结果仅为本文附录 E 边界条件下的分析统计结果。

