

桂北山地风电场建设中的生境散失及恢复

蔡澜涛, 庾太林*, 阮韵, 庞丽芳

广西师范大学珍稀濒危动植物生态与环境保护教育部重点实验室, 广西 桂林

收稿日期: 2022年4月5日; 录用日期: 2022年5月6日; 发布日期: 2022年5月13日

摘要

为了了解风电场建设可能造成的生境散失以及人工复植等方式是否能对风电场施工完成后的植被恢复起到积极作用, 本研究对桂北山地的金紫山风电场I期和II期, 资源马家风电场和十万古田风电场共4个风电场的80台风机及其所处平台以样方法进行实地调查。经调查, 进场道路生境永久散失面积为110.87 ha, 风机平台生境永久散失面积为63 m²/台, 风机平台临时散失为784.368 m²/台。采用样方法测算植被盖度, 一年盖度恢复率为32.506%, 二年盖度恢复率为55.525%, 六年盖度恢复率为57.018%, 11年盖度恢复率为82.234%。调查发现风电场施工完成后的复植对水土流失和植被恢复起积极作用。

关键词

风电场, 盖度恢复, 生境散失, 桂北山地

Habitat Loss and Restoration in the Construction of Wind Farm, Mountainous Area in Northern Guangxi

Lantao Cai, Tailin Yu*, Yun Ruan, Lifang Pang

Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection of Ministry of Education, Guangxi Normal University, Guilin Guangxi

Received: Apr. 5th, 2022; accepted: May 6th, 2022; published: May 13th, 2022

Abstract

In order to understand whether habitat loss caused by wind farm construction and artificial replanting can play a positive role in vegetation restoration after wind farm construction, this study

*通讯作者。

文章引用: 蔡澜涛, 庾太林, 阮韵, 庞丽芳. 桂北山地风电场建设中的生境散失及恢复[J]. 世界生态学, 2022, 11(2): 140-149. DOI: 10.12677/ije.2022.112018

conducted field investigation on 80 fans and their platforms of Jinzishan wind farm phase I and II, Ziyuan Majia wind farm and shiwangutian wind farm in northern Guangxi. According to the investigation, the permanent loss area of the access road habitat is 110.87 ha, the permanent loss area of the fan platform habitat is 63 m²/set, and the temporary loss area of the fan platform is 784.368 m²/set. The vegetation coverage is calculated by the sample method. The one-year coverage recovery rate is 32.506%, the two-year coverage recovery rate is 55.525%, the six-year coverage recovery rate is 57.018%, and the 11-year coverage recovery rate is 82.234%. The survey found that the replanting after the construction of the wind farm plays a positive role in soil and water loss and vegetation restoration.

Keywords

Wind Farm, Coverage Recovery, Habitat Loss, Mountainous Area of Northern Guangxi

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在世界飞速发展的今天，我们对于能源的需求及要求越来越高。为实现可持续发展，清洁能源的地位越发重要。在各种能源之中，风能以其清洁可再生，储量丰富，不会排放有害物质，对空气和水源没有污染等特点得到了各国的重视，并且我国也已开始大力发展风力发电产业。广西是全国石油、天然气等常规化石燃料非常匮乏的地区[1]。为实现长远发展，应采取能源结构多元化，风电产业对于广西发展的重要性可见一斑。根据广西的风能资源评估，广西的风能资源主要分布在桂北地区，桂南地区以及北部湾沿海地区，桂西南地区的风力资源分布较少[2]。由于地形原因，桂北地区的风电场基本选址在山脊上，交通条件较差，施工难度较大，对于环境会造成一定的破坏。因此，降低建设过程中造成的生境破坏和建设完成后的生境恢复具有非常重大的实际意义。

2. 研究区域及方法

2.1. 研究区域概况

广西位于我国西南部。以罗城，融安，桂林，兴安一线为界，此界线以北地区为桂北地区。桂北地区的地理位置为东经 110°36'~111°29'，北纬 24°15'~26°23'。桂北地区主要有越城岭、海洋山、猫儿山、都庞岭等山脉，山脉自东北向西南，与湖南相连，地势北高南低。山峰的海拔普遍超过 1000 m，在北部地区形成一道有多个缺口的高山屏障[3]。

桂北地区出于低纬度区域，光照充足，受亚热带季风气候影响，气候温和，雨热同期，全年无霜期约 300 天，全年平均日照 1550 小时以上，平均温度 19℃。春夏多雨且雨量充足，年平均降水量约 1900 mm。每年 4 月至 7 月为全年降水量最大的时期，冬季常有寒潮大雨，影响植物生长[4]。桂北地区的植被主要是属于亚热带典型常绿阔叶林，总体特点为：1) 植被分布区系有明显的华东区和华中区两植物区系特征；2) 优势植被以温带分布型为主[5]。

2.2. 风电场概况

本研究以金紫山风电场，马家风电场和十万古田风电场为例，进行研究分析。

金紫山风电场位于广西资源县瓜里乡和车田苗族乡接壤处金紫山上的十里坪坦高山丘陵区，海拔均在 1300 m 以上，地形开阔，多为荒坡，天然草场等山地地形。金紫山风电场于 2009 年开始建设，2011 年并网发电。项目分三期建设，第一期工程总装机容量 4.95 万 kW，安装 33 台 1500 kW 的风力发电机组。第二期工程 4.95 万 kW，安装 33 台 1500 kW 的风力发电机组。第三期工程尚未建设。

马家风电场位于资源县白马山，平水头，马家林场一带山脊及山包区域，距资源县 10 km，距离桂林市约 120 km。马家风电场布置 40 台单机容量 2000 kW 的风力发电机组，装机规模约 80 MW。

十万古田风电场位于广西桂林市资源县河口乡和车田乡境内十万古田一带山脉(广西测)，与金紫山风电场二期场址相邻，项目建设规模 150 MW，布置 60 台 2.5 MW 风机。

2.3. 数据获取

本研究于 2021 年 9 月，10 月及 11 月对金紫山风电场，马家风电场以及十万古田风电场的风机平台随机抽样进行实地考察。通过 GPS 设备确定经纬度及海拔高度。风机平台的植被覆盖情况以样方法进行统计。由于风机平台的尺度并不大，因此取样方面积为 1 m²，样方数为 8，以统计风机平台上植被的物种数和盖度[6]。植物物种确定通过对照图鉴的方式进行。在样方内以 10 cm 为界取点位，1 m² 的样方内可取 100 个点位，通过统计有植被覆盖的点位数，可计算出样方的盖度。

风机平台建设造成的永久性生境散失通过实地测量的方式进行调查统计。风机平台上永久性生境散失主要来源于风力发电机组的箱式变压器和风力发电机的水泥底座，该面积通过长卷尺进行测量即可取得。其它的永久性生境散失主要来自于风电场内用于运输部件和连接各风机平台的道路[7]。本研究将道路视作矩形，长为道路长度，宽为道路宽度。道路宽度通过在实地考察随机取点测量，然后取平均值的方式确定。

将对金紫山风电场，马家风电场和十万古田风电场调查所得的数据进行分组对比。这三个风电场的建设地点和环境情况较为接近，目前金紫山风电场一期工程已完成建设并投产 11 年，二期工程已投产 6 年，而且通过对金紫山风电场工作人员咨询得知，建设完成后采取自然恢复的方式进行处理。十万古田风电场目前已投产 1 年，马家风电场目前已投产 2 年，并且这两个风电场后续的生态修复工作均有人工干预。所采取的方式为回填所在地表层土壤，人工播撒草籽并铺设可降解保护网对未生长成熟的植被进行保护和修建排水渠道预防水土流失等方法。因此，通过对调查结果进行对比，可以了解到所采取的恢复措施对于风电场建设完成后的植被恢复有多大影响。

3. 结果

通过以上方式对三个风电场的情况进行实地调查，调查结果如表 1，表 2，表 3 和表 4 所示。

Table 1. Vegetation statistics of phase I fan platform of Jinzishan wind farm

表 1. 金紫山风电场 I 期风机平台植被统计表

风机编号	海拔高度(m)	盖度(%)	植物物种
I-25	1490	98.750	芒，荻，大丁草，粗叶悬钩子，珠光香青，车前，白车轴草，狗牙根，藁草，蔊菜，地耳草，水蓑衣，蒿草
I-29	1452	96.250	大丁草，粗叶悬钩子，车前，白车轴草，蔊菜，狗牙根，藁草，荻，地耳草，水蓑衣，獐牙菜，狼尾草，珠光香青，芒，佛甲草，金鸡菊

Continued

I-12	1810	82.000	佛甲草, 七星莲, 獐牙菜, 龙芽草, 藁草, 白车轴草, 车前, 珠光香青, 芒, 金鸡菊, 粗叶悬钩子, 白茅
I-16	1618	83.500	芒, 藁草, 白车轴草, 车前, 粗叶悬钩子, 珠光香青, 长鬃蓼, 龙芽草, 狗牙根, 圆舌粘冠草, 獐牙菜, 狼尾草, 大丁草, 狼把草
I-09	1735	85.125	狼把草, 狼尾草, 车前, 白车轴草, 芒, 獐牙菜, 金鸡菊, 粗叶悬钩子, 大丁草, 藁草, 葶菜, 狗牙根, 石芥苳
I-21	1503	78.125	裂苞铁苳菜, 石芥苳, 金鸡菊, 蛇含委陵菜, 车前, 白车轴草, 芒, 狗牙根, 大丁草, 狼尾草, 藁草
I-02	1692	79.375	蒿草, 白车轴草, 车前, 狗牙根, 藁草, 大丁草, 粗叶悬钩子, 狼尾草, 獐牙菜, 珠光香青, 芒
I-16	1630	87.250	白茅, 狗牙根, 石芥苳, 大丁草, 藁草, 狼尾草, 车前, 白车轴草, 芒, 珠光香青, 龙芽草, 獐牙菜, 粗叶悬钩子
I-18	1602	99.500	芒, 狗牙根, 佛甲草, 大丁草, 荻, 粗叶悬钩子, 珠光香青, 车前, 白车轴草, 藁草, 獐牙菜, 龙芽草, 葶菜, 圆舌粘冠草, 长鬃蓼, 狼把草, 石芥苳, 金鸡菊
I-19	1572	80.250	车前, 白车轴草, 大丁草, 狗牙根, 芒, 龙芽草, 狼尾草, 獐牙菜, 藁草, 粗叶悬钩子
I-35	1438	52.875	大丁草, 藁草, 芒, 白茅, 狗牙根, 车前, 白车轴草, 狼尾草
I-22	1400	55.250	狗牙根, 狼尾草, 藁草, 粗叶悬钩子, 车前, 白车轴草, 大丁草, 芒, 狼把草
I-36	1384	77.375	大丁草, 藁草, 葶菜, 狗牙根, 粗叶悬钩子, 车前, 白车轴草, 獐牙菜, 狼尾草, 珠光香青, 金鸡菊
I-17	1564	78.375	白茅, 狗牙根, 大丁草, 藁草, 芒, 车前, 白车轴草, 狼尾草, 粗叶悬钩子, 珠光香青, 葶菜, 金鸡菊, 狼把草
I-20	1514	87.250	大丁草, 狗牙根, 佛甲草, 藁草, 葶菜, 珠光香青, 獐牙菜, 龙芽草, 车前, 白车轴草, 粗叶悬钩子, 长鬃蓼, 金鸡菊, 圆舌粘冠草
I-23	1455	94.500	野草莓, 佛甲草, 獐牙菜, 龙芽草, 粗叶悬钩子, 长鬃蓼, 狼把草, 金鸡菊, 狗牙根, 大丁草, 狼尾草, 芒, 藁草, 葶菜, 车前, 白车轴草

Table 2. Vegetation statistics of wind turbine platform of Jinzishan wind farm phase II
表 2. 金紫山风电场 II 期风机平台植被统计表

风机编号	海拔高度(m)	盖度(%)	植物物种
II-20	1746	64.875	鼠尾粟, 车前, 獐牙菜, 珠光香青, 白车轴草, 芒, 狗牙根, 大丁草, 佛甲草, 粗叶悬钩子
II-10	1676	88.750	大丁草, 狗牙根, 狼尾草, 车前, 白车轴草, 獐牙菜, 珠光香青, 粗叶悬钩子, 芒, 风轮菜, 白茅, 金鸡菊, 小蓬草, 狼把草
II-03	1638	56.375	车前, 白车轴草, 粗叶悬钩子, 狗牙根, 佛甲草, 薹草, 大丁草, 獐牙菜, 芒, 焯菜
II-08	1590	37.250	白茅, 芒, 石芥苳, 珠光香青, 鼠尾粟, 蕨, 截叶铁扫帚, 狗牙根
II-19	1727	18.500	芒, 石芥苳, 车前, 白车轴草, 白茅, 大丁草, 狗牙根
II-16	1749	42.000	佛甲草, 醉鱼草, 獐牙菜, 小蓬草, 芒, 车前, 白车轴草, 白茅, 龙芽草, 狗牙根, 薹草, 粗叶悬钩子
II-18	1762	61.250	黄毛草莓, 五岭龙胆, 佛甲草, 车前, 白车轴草, 石芥苳, 狗牙根, 獐牙菜, 芒, 薹草, 焯菜, 金鸡菊, 粗叶悬钩子, 狼尾草, 大丁草
II-14	1734	14.375	车前, 白车轴草, 佛甲草, 狗牙根, 白茅, 芒, 大丁草, 狼尾草
II-15	1734	43.750	佛甲草, 芒, 白茅, 鼠尾粟, 狼把草, 大丁草, 狗牙根, 车前, 白车轴草, 狼尾草, 獐牙菜, 小蓬草, 粗叶悬钩子
II-09	1628	98.125	狗牙根, 大丁草, 薹草, 焯菜, 獐牙菜, 地耳草, 珠光香青, 车前, 白车轴草, 粗叶悬钩子, 荻, 狼尾草, 石芥苳, 狼把草, 金鸡菊, 龙芽草, 野草莓
II-17	1704	82.500	芒, 白茅, 石芥苳, 大丁草, 狗牙根, 狼尾草, 地耳草, 粗叶悬钩子, 车前, 白车轴草, 珠光香青
II-11	1732	77.000	白车轴草, 车前, 芒, 珠光香青, 獐牙菜, 佛甲草, 龙芽草, 狗牙根, 狼尾草, 粗叶悬钩子, 大丁草, 薹草, 石芥苳
II-13	1673	36.375	狗牙根, 龙芽草, 车前, 白车轴草, 芒, 大丁草, 狼尾草, 石芥苳, 獐牙菜, 粗叶悬钩子, 狼把草
II-30	1722	77.125	狼尾草, 獐牙菜, 芒, 金鸡菊, 大丁草, 狗牙根, 白茅, 佛甲草, 石芥苳, 狼把草, 车前, 白车轴草, 粗叶悬钩子, 薹草

Table 3. Vegetation statistics of wind turbine platform of Shiwangutian wind farm
表 3. 十万古田风电场风机平台植被统计表

风机编号	海拔高度(m)	盖度(%)	植物物种
104	1687	53.375	粗叶悬钩子, 地毯草, 大丁草, 狗牙根, 藁草, 车前, 白车轴草, 珠光香青, 白茅
107	1708	22.750	地毯草, 狗牙根, 大丁草, 车前, 白车轴草, 獐牙菜
202	1754	5.625	地毯草, 车前, 白车轴草, 狗牙根
201	1733	32.500	狼尾草, 车前, 地毯草, 狗牙根, 大丁草, 狼把草, 白车轴草, 石芥苳, 獐牙菜, 粗叶悬钩子
308	1732	24.125	地毯草, 大丁草, 狗牙根, 车前, 白车轴草, 狼尾草, 龙芽草, 石芥苳, 白茅
302	1733	3.375	狗牙根, 地毯草, 大丁草, 藁草, 车前
301	1699	6.250	地毯草, 狗牙根, 狼尾草, 狼把草, 白车轴草, 车前
702	1725	12.625	大丁草, 藁草, 蔊菜, 狗牙根, 地毯草, 芒, 石芥苳, 车前, 白车轴草
701	1676	34.000	白车轴草, 地毯草, 大丁草, 狗牙根, 粗叶悬钩子, 车前, 石芥苳, 藁草, 狼尾草, 狼把草, 白茅
602	1693	28.500	狗牙根, 车前, 大丁草, 狼尾草, 白车轴草, 狼把草, 地毯草, 粗叶悬钩子
703	1742	31.375	白车轴草, 狗牙根, 地毯草, 车前, 大丁草, 石芥苳, 粗叶悬钩子, 狼尾草, 龙芽草, 獐牙菜
704	1749	47.750	大丁草, 狗牙根, 地毯草, 车前, 石芥苳, 藁草, 鼠尾粟, 白车轴草, 狼尾草, 狼把草, 粗叶悬钩子, 白茅, 芒
706	1752	45.125	地毯草, 狗牙根, 大丁草, 藁草, 蔊菜, 狼把草, 车前, 白车轴草, 狼尾草, 鼠尾粟, 石芥苳, 粗叶悬钩子
705	1701	42.250	大丁草, 藁草, 狗牙根, 车前, 地毯草, 獐牙菜, 狼尾草, 白车轴草, 粗叶悬钩子, 鼠尾粟
707	1694	30.750	地毯草, 狗牙根, 车前, 大丁草, 白车轴草, 粗叶悬钩子, 狼尾草, 鼠尾粟, 石芥苳
305	1726	41.000	大丁草, 车前, 白车轴草, 地毯草, 狗牙根, 鼠尾粟, 粗叶悬钩子, 狼把草, 狼尾草, 芒, 白茅, 野草莓
101	1703	52.875	地毯草, 大丁草, 狗牙根, 车前, 鼠尾粟, 地毯草, 狼把草, 白茅, 石芥苳, 藁草, 獐牙菜, 粗叶悬钩子, 芒
103	1716	55.750	蒿草, 地毯草, 狗牙根, 大丁草, 狼尾草, 狼把草, 车前, 石芥苳, 白茅, 鼠尾粟, 野草莓, 粗叶悬钩子
203	1772	34.250	车前, 大丁草, 狼尾草, 白车轴草, 地毯草, 狗牙根, 石芥苳, 獐牙菜, 佛甲草, 鼠尾粟
304	1717	45.875	白车轴草, 车前, 狗牙根, 大丁草, 地毯草, 鼠尾粟, 蒿草, 野草莓, 粗叶悬钩子, 石芥苳

Table 4. Vegetation statistics of fan platform of Majia wind farm
表 4. 马家风电场风机平台植被统计表

风机编号	海拔高度(m)	盖度(%)	植物物种
301	1365	17.125	狗牙根, 大丁草, 藁草, 地毯草, 狼尾草, 石芥苳, 车前, 白车轴草
302	1447	58.500	藁草, 地毯草, 大丁草, 狼尾草, 芒, 石芥苳, 狗牙根, 鼠尾粟, 车前, 粗叶悬钩子, 白车轴草, 狼把草, 獐牙菜
303	1373	50.375	地毯草, 大丁草, 狗牙根, 藁草, 石芥苳, 粗叶悬钩子, 芒, 白茅, 车前, 白车轴草
304	1292	5.250	白车轴草, 大丁草, 狗牙根, 车前, 地毯草, 石芥苳
305	1290	33.875	大丁草, 狗牙根, 车前, 白车轴草, 地毯草, 狼尾草, 芒, 鼠尾粟, 粗叶悬钩子
306	1255	62.625	大丁草, 藁草, 石芥苳, 车前, 地毯草, 狗牙根, 白车轴草, 狼尾草, 狼把草, 粗叶悬钩子, 野草莓, 白茅, 鼠尾粟, 佛甲草
307	1206	67.750	地毯草, 狗牙根, 狼尾草, 狼把草, 大丁草, 藁草, 芒, 石芥苳, 金鸡菊, 野草莓, 鼠尾粟, 粗叶悬钩子, 獐牙菜, 佛甲草, 车前, 白车轴草
101	1150	59.000	藁草, 地毯草, 狗牙根, 狼尾草, 芒, 白茅, 粗叶悬钩子, 车前, 大丁草, 蔊菜, 白车轴草
102	1164	71.750	大丁草, 车前, 地毯草, 狗牙根, 白车轴草, 芒, 狼尾草, 狼把草, 石芥苳, 白茅, 佛甲草, 鼠尾粟, 野草莓, 藁草
201	1198	62.625	狗牙根, 地毯草, 大丁草, 石芥苳, 芒, 白茅, 车前, 鼠尾粟, 狼尾草, 白车轴草
202	1169	57.250	狗牙根, 石芥苳, 车前, 大丁草, 藁草, 鼠尾粟, 白茅, 白车轴草, 地毯草, 蒿草, 粗叶悬钩子
103	1214	39.750	地毯草, 狗牙根, 藁草, 石芥苳, 车前, 大丁草, 白车轴草, 狼尾草
204	1079	57.250	鼠尾粟, 狗牙根, 地毯草, 石芥苳, 车前, 大丁草, 狼尾草, 粗叶悬钩子, 白车轴草, 芒
205	1139	55.125	狗牙根, 石芥苳, 地毯草, 大丁草, 狼尾草, 粗叶悬钩子, 鼠尾粟, 狼把草, 车前, 芒, 白车轴草
206	1151	83.000	狗牙根, 石芥苳, 车前, 地毯草, 藁草, 粗叶悬钩子, 狼把草, 芒, 白茅, 狼尾草, 白车轴草, 鼠尾粟, 佛甲草

Continued

203	1151	28.875	狗牙根, 车前, 地毯草, 大丁草, 白车轴草, 石芥苳
207	1206	77.500	地毯草, 狗牙根, 石芥苳, 车前, 大丁草, 佛甲草, 粗叶悬钩子, 白车轴草, 狼尾草, 白茅, 鼠尾粟
209	1121	73.375	狗牙根, 车前, 地毯草, 大丁草, 狼尾草, 石芥苳, 白车轴草, 佛甲草, 鼠尾粟
208	1121	62.750	狗牙根, 狼尾草, 鼠尾粟, 大丁草, 车前, 地毯草, 白车轴草, 芒, 粗叶悬钩子
401	1450	53.250	狗牙根, 大丁草, 地毯草, 石芥苳, 车前, 白车轴草, 鼠尾粟, 狼尾草
402	1453	74.125	车前, 狗牙根, 地毯草, 大丁草, 白车轴草, 石芥苳, 狼把草, 佛甲草, 芒, 粗叶悬钩子, 鼠尾粟
403	1441	68.500	狗牙根, 车前, 地毯草, 白车轴草, 石芥苳, 狼把草, 大丁草, 鼠尾粟, 狼尾草, 芒
404	1387	51.875	地毯草, 狗牙根, 大丁草, 石芥苳, 鼠尾粟, 车前, 狼把草, 芒, 白车轴草
405	1374	68.375	狗牙根, 地毯草, 大丁草, 石芥苳, 车前, 鼠尾粟, 白车轴草, 白茅, 狼把草, 狼尾草, 佛甲草
406	1359	43.250	狗牙根, 大丁草, 地毯草, 石芥苳, 车前, 鼠尾粟, 白茅, 白车轴草
407	1298	50.750	狗牙根, 地毯草, 大丁草, 藁草, 鼠尾粟, 车前, 石芥苳, 芒, 白车轴草, 狼尾草
408	1238	64.125	狗牙根, 大丁草, 石芥苳, 地毯草, 车前, 鼠尾粟, 狼尾草, 狼把草, 白车轴草, 佛甲草, 獐牙菜, 芒
409	1192	46.500	地毯草, 狗牙根, 大丁草, 石芥苳, 车前, 狼把草, 白车轴草, 白茅
410	1107	63.750	狗牙根, 大丁草, 地毯草, 石芥苳, 车前, 狼把草, 金鸡菊, 佛甲草, 白茅, 野草莓, 白车轴草
104	1176	57.500	大丁草, 狗牙根, 地毯草, 车前, 石芥苳, 狼把草, 白茅, 鼠尾粟, 白车轴草

经统计计算, 金紫山风电场 I 期风机平台上植被的平均盖度为 82.234%, 平均植物物种数为 12.625; 金紫山风电场 II 期风机平台上植被的平均盖度为 57.018%, 平均植物物种数为 11.642; 十万古田风电场风机平台上植被的平均盖度为 32.506%, 平均植物物种数为 9.4; 马家风电场风机平台上植被的平均盖度为 55.525%, 平均植物物种数为 10.2。

风电场建设造成的永久占地包括风力发电机组底座。箱变以及场内道路等。经调查可知: 风电场风力发电机组底座的占地面积为 36 m², 箱变的占地面积为 27 m²。于调查过程中随机选择的测量出测得的路宽为: 8.2 m, 10.7 m, 5.8 m, 6.7 m, 6.9 m, 6.2 m, 6.4 m, 7.9 m, 4.7 m, 6.4 m, 取平均值为 6.99 m。

十万古田风电场场内道路长约 62 km, 道路占地面积为 43.34 ha; 马家风电场场内道路长约 58 km, 道路占地面积为 40.54 ha。十万古田风电场和马家风电场的场内道路均已用水泥硬化。金紫山风电场场内道路长约 52 km, 经计算得知金紫山风电场道路占地面积为 36.35 ha。十万古田风电场装机数为 60 台, 马家风电场装机数为 40 台, 金紫山风电场装机数为 66 台, 可计算出金紫山风电场风电机组占地面积为 2376 m², 十万古田风电场风电机组占地面积为 2160 m², 马家风电场风电机组占地面积为 1440 m²。由此可知, 金紫山风电场的永久性生境散失为 36.59 ha, 十万古田风电场永久性生境散失为 43.55 ha, 马家风电场的永久性生境散失为 40.69 ha。

综上所述, 可知: 1) 金紫山风电场 I 期风机平台 11 年植被盖度为 82.234%, 年平均恢复率为 7.476%; 2) 金紫山风电场 II 期风机平台 6 年植被盖度为 57.018%, 年平均恢复率为 9.503%; 3) 十万古田风电场风机平台 1 年植被盖度为 32.506%, 年平均恢复率为 32.506%; 4) 马家风电场风机平台 2 年植被盖度为 55.525%, 年平均恢复率为 27.763%; 5) 物种数由大到小为金紫山风电场一期 > 金紫山风电场二期 > 马家风电场 > 十万古田风电场。

4. 讨论

从调查结果来看, 风电场建设会造成一定程度的生境散失, 其中永久性生境散失的面积并不大。在建设完成后, 进行人工复植对后续的植被恢复以及预防水土流失均可起到积极作用。

5. 结论

风机平台建设时需要进行前期处理, 经过处理后, 平台上是没有植被覆盖的。因此, 刚完成风力发电机组安装工程的风机平台可视为次生裸地。通过对金紫山风电场风机平台的调查情况可知, 因工程建设过程造成的次生裸地, 在自然恢复的条件下, 经过足够的时间是可以恢复一定程度的植被覆盖的。从马家风电场和十万古田风电场的调查结果可以看出: 在风机平台建设完成后进行一系列的人工植被恢复措施, 对平台植被恢复是有积极作用的。例如, 回填建设区域表土可以为之后的植被恢复工作奠定良好基础; 于风机平台设置截流沟, 将水引入通往风机道路的排水沟中, 可以一定程度的预防可能发生的水土流失现象; 在植被尚未发育成熟, 还不能发挥其保持水土的功能时, 对这些区域进行覆盖, 以减少风力对地表的侵蚀, 同时提高植物的成活率等[8][9]。

从十万古田风电场和马家风电场的调查结果上看, 建设完成后一年风机平台植被的恢复率最高, 这主要是因为生态恢复的过程中进行了人工复植, 恢复的植被主要来源于人工种植, 因此此时植被的植物物种数不高。在建设完成后两年, 植被的恢复程度更高了, 盖度和植物物种数均有上升, 但是年均恢复率却有所下降。这主要是因为人工复植只是在第一年进行, 在第一年人工播撒草籽, 种植植被, 并且对尚未长成的进行保护, 确保种植的植被可以发育完全。这些工作完成后, 第二年就让已经长成的植被进行自然演替, 不再进行人工干预, 因此年均恢复率出现了下降。而金紫山风电场一、二期机组均为自然恢复, 并未进行人工干预, 只是植被恢复的时长不同, 一期机组的植被自然恢复了 11 年, 二期机组的植被自然恢复了 6 年, 从调查结果上看, 植被盖度和植物物种数均是随时间上升的, 但是年均恢复率是随时间下降的。该结果是符合演替规律的, 在此过程中未进行人工干预, 可视为是次生演替, 经过足够时间的发展后, 植被盖度和植物物种数虽可能保持上升, 但是会趋向于稳定, 因此年均恢复率会出现下降, 并且年均恢复率会随着时间的发展持续下降。这代表植被逐渐达到了动态平衡的状态。虽然植被会随着时间逐渐的恢复, 但永久性的生境散失却是不可避免的。前文提到, 永久性生境散失主要来自于风电机组占地和风电场内的道路占地。根据实地调查的情况, 金紫山风电场的场内道路有部分是经过水泥硬化的, 另外的并未进行水泥硬化。经过水泥硬化后的道路, 已经不可能恢复植被覆盖了, 属于永久性

的生境散失。未经过水泥硬化的道路，还会恢复一定程度的植被覆盖，最终恢复到仅工作车辆经常碾压的部分没有植被覆盖的程度，虽然程度有限，但还是能减少一部分永久性生境散失。不过为了方便之后的风电机组保养和维修工作，之后建设的风电场场内道路还是全部都进行了水泥硬化。风电场场内道路的存在可能会导致生境破碎化产生，因此场内道路合理的路线规划具有极大的重要性。

同时，在对风机平台进行实地考察的过程中，发现风力发电机对风机平台的植被生长还是存在有消极影响。有研究表明，风场的建设会加快地表的蒸散发[10]，提高地面温度[11]，减小风电场区域内近地表的空气湿度以及表面感热通量，对云和降水等其他气象要素也能起到间接改变作用[12]，以上因素都会影响植被生长情况。风机平台上的植被组成中，绝大部分为草本植物，几乎没有木本植物存在，而且在调查过程中没有在风机平台上发现乔木。植物生长过程中，温度和降水是重要的影响因素，风电场对降水的影响是有限的[13]，因此温度可能为主要影响因素[13]。在植被恢复情况最好的金紫山风电场，一部分风机平台周边草坡的植被逐步向风机平台扩张，可达到接近完全恢复的状态，但是并未出现木本植物生长于风机平台的情况。有研究表明，风电场运行对电场区、上下风区植被的影响机制是不同的[14]，这是一个较为复杂的过程。风电场是怎样对当地植物生长造成消极影响的？风电场的建设以及运行是否会对当地的生态环境造成持续性影响？目前我国正大力发展风电产业，这些问题是非常值得警惕的。

参考文献

- [1] 刘兴正, 杨柱龙, 徐焕, 杜慧珠. 广西风能资源[J]. 广西气象, 1982(4): 37-43.
- [2] 甘一忠. 广西风能资源评价工作探讨[J]. 广西气象, 2005(4): 55-56.
- [3] 苏宗明. 广西植被的自然环境条件对广西植被的影响[J]. 广西科学, 1998(1): 52-58.
- [4] 林吕何. 桂林鸟类初步研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 1982(2): 79-90.
- [5] 苏宗明, 李先琨, 丁涛, 等. 广西植被[M]. 北京: 中国林业出版社, 2014.
- [6] 马海霞, 张德罡, 杜凯, 等. 高寒草甸群落调查最小样方面积和最小样方数研究[J]. 草原与草坪, 2020, 40(4): 40-46.
- [7] 王志科, 张嘉宸, 李廷山, 周小永, 袁鹏洲. 高海拔地区风电场建设对环境的影响及水土保持对策探讨——以共和县切吉乡 1000MW 风电项目为例[J]. 绿色科技, 2020(20): 140-142.
<https://doi.org/10.16663/j.cnki.lskj.2020.20.044>
- [8] 周艳芬, 耿玉杰, 吕红转. 风电场对环境的影响及控制[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(13): 2642-2646.
- [9] 陈健冬. 风电场对生态环境的影响及生态恢复措施研究[J]. 节能与环保, 2021(2): 40-41.
- [10] 李国庆, 刘志锋, 常学礼, 张蒙. 风电场对草地蒸散发影响分析[J]. 生态科学, 2016, 35(6): 146-151.
- [11] Zhou, L.M., Tian, Y.H., Roy, S.B., et al. (2012) Impacts of Wind Farms on Land Surface Temperature. *Nature Climate Change*, 2, 539-543. <https://doi.org/10.1038/nclimate1505>
- [12] 李国庆, 张春华, 张丽, 张蒙. 风电场对草地植被生长影响分析——以内蒙古灰腾梁风电场为例[J]. 地理科学, 2016, 36(6): 959-964. <https://doi.org/10.13249/j.cnki.sgs.2016.06.020>
- [13] Leung, D.Y. and Yang, Y. (2012) Wind Energy Development and Its Environmental Impact: A Review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 16, 1031-1039. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.024>
- [14] 李朋磊, 李国庆, 郑平. 风电场对植被变化影响分析——以重庆武隆风电场为例[J]. 风能, 2017(5): 76-79.