

# 不同表土处理对坝上风电场植被恢复的影响

贾志军<sup>1</sup>, 李娟<sup>1</sup>, 甄宝艳<sup>1</sup>, 王富<sup>2</sup>

(1. 河北省水利技术试验推广中心, 河北 石家庄 050061; 2. 河北环京工程咨询有限公司, 河北 石家庄 050011)

**摘要:** [目的] 探讨坝上风电场风机区不同表土处理与植被恢复的组合方式, 阐明表土在植被恢复中的作用与效果。[方法] 采用表土分层清理堆放回覆试验、客土、表土处理与植被恢复组合试验相结合的方法, 分析不同处理的植被恢复效果。[结果] 风电场项目区可采用表土分层清理、分层回覆的方式, 利用表土土壤种子库进行植被恢复。施工生产生活区与弃土弃渣区分别有 16 和 17 种植物萌发, 恢复效果良好, 分层回覆表土后应及时浇水保证种子萌发。不同植被恢复组合方式在群落盖度、植被平均高度、物种数、多样性指数间均存在显著差异, 各处理以分层回覆+自然恢复效果最好, 土地平整+自然恢复效果最差。不同植被恢复组合方式投入差异明显, 投入最高为客土+人工恢复, 最低为土地平整+自然恢复。[结论] 各风电场应根据施工条件、经济条件及植被恢复效果选择适宜的恢复方式, 尽可能采用分层回覆+自然恢复的方式, 不建议使用土地平整+自然恢复的方式。

**关键词:** 风电场; 植被恢复; 土壤种子库; 表土清理

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2018)01-0241-05

**中图分类号:** S154.4, Q14

**文献参数:** 贾志军, 李娟, 甄宝艳, 等. 不同表土处理对坝上风电场植被恢复的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 241-245. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.01.042. Jia Zhijun, Li Juan, Zhen Baoyan, et al. Function and effect of surface soil in process of vegetation restoration in wind field of Bashang areas[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 241-245.

## Function and Effect of Surface Soil in Process of Vegetation Restoration in Wind Field of Bashang Areas

JIA Zhijun<sup>1</sup>, LI Juan<sup>1</sup>, ZHEN Baoyan<sup>1</sup>, WANG Fu<sup>2</sup>

(1. Hebei Extension and Experiment Center for Water Technology, Shijiazhuang,

Hebei 050061, China; 2. Hebei Huanjing Engineering Consulting Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei 050011, China)

**Abstract:** [Objective] The paper aims to explore the combining effect of different surface soil treatments and vegetation restoration methods in wind field of Bashang areas in order to clarify the functions and effect of surface soil in vegetation restoration. [Methods] The effects of different treatments on vegetation restoration were analyzed. These treatments included cleaning and backfilling surface soil test, covering with new soil, surface soil treatment combined with vegetation restoration methods. [Results] The vegetation could be restored using cleaning and backfilling treatment and seed banks of surface soil. 16 and 17 species were found to germinate in the construction living area and spoil area respectively. Irrigating in time was necessary for seed germination after backfilling. There were significant differences in community coverage, average vegetation height, numbers of species as well as diversity index between vegetation restoration combinations, of which the backfilling surface soil + natural restoration was the best, while the land leveling + natural recovery effect was the worst. The invest in the combination of different vegetation restoration patterns was variable, of which new soil+artificial restoration input was the highest and the land leveling+natural recovery was lowest. [Conclusion] Each wind farm should select suitable restoration methods according to construction and economic conditions as well as the vegetation restoration effects. Backfilling surface soil+natural restoration

收稿日期: 2017-08-01

修回日期: 2017-08-14

资助项目: 河北省水利厅项目“河北坝上风电场建设区水土流失规律及其植被恢复与重建研究”(SL2015-16)

第一作者: 贾志军(1974—), 男(汉族), 河北省阜平县人, 硕士, 高级工程师, 主要从事水土保持研究工作。E-mail: jzj0130@163.com。

通讯作者: 甄宝艳(1972—), 女(汉族), 内蒙古奈曼旗人, 大学本科, 高级工程师, 主要从事水土保持研究工作。E-mail: 534071044@qq.com。

should be a top priority, and land leveling+natural restoration should be avoided.

**Keywords:** wind farm; vegetation restoration; soil seed bank; topsoil cleaning

由于传统的发电方式不仅面临不可替代资源短缺的威胁,而且难以使区域资源—环境—经济—生态和谐发展,促使众多国家都积极发展新型能源<sup>[1-2]</sup>。风能作为一种无污染可再生的清洁能源越来越受到国家的重视而得以迅猛发展<sup>[1,3-4]</sup>。但在风电场的建设过程中,由于风机基础开挖、安装场地平整、施工道路施工、临时堆土等施工活动,必然导致植被和地表严重破坏,地表裸露,水土流失加剧<sup>[1,5]</sup>。坝上地区属内蒙古风源区,风能资源十分丰富<sup>[6]</sup>,但坝上地区属于典型的农牧交错带生态脆弱区,区内风蚀与水蚀并存,为典型的风蚀水蚀混合侵蚀区<sup>[7]</sup>。风电场的建设既有点状工程又有线性工程,对地表造成了强烈的扰动,大部分把原有的植被和土壤破坏殆尽,使地面形成再塑的、几乎没有种源的土壤生土层<sup>[1]</sup>。在风电场现有水土流失防治措施中,植被恢复均以覆土植树、种草为主<sup>[8-10]</sup>,而对于表土剥离的使用,董智等<sup>[1]</sup>的研究认为,表土中的种子库可以作为一种资源进行利用,从而加快其植被恢复。但因对表土清理、堆放、回覆要求较严格,使表土回覆自然恢复未能作为一种资源或植物措施推广使用。事实上,表土中含有大量的原生植被种子,形成较为丰富的土壤种子库。如果合理清理并使用表土,将有助于土壤种子库种子萌发成苗,从而加快原生植被的恢复,利于水土流失的防治。土壤种子库是指存在于土壤表面和土壤中全部存活种子的总和,具有特定生态系统的潜在植物种群,是种群定居、生存、繁衍和扩散的基础,对群落演替和植被恢复具有重要作用<sup>[11-12]</sup>。然而,在生产建设项目方面,土壤种子库的研究主要集中于矿区<sup>[11-13]</sup>,而对风电场区的土壤种子库研究甚少。鉴于此,本文拟以坝上风电场建设过程中的表土为研究对象,选择满井风电场的施工生产生活区、弃土弃渣区及 5 个风机的吊装平台,利用分层清理的表土覆盖各试验区,研究自然恢复条件下利用表土中的土壤种子库进行植被恢复的效果,从而揭示表土分层不同处理措施对植被恢复的影响,以期为生产建设项目中分层清理的表土进一步资源化利用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

研究区位于河北坝上张家口市的张北县单晶河乡中节能满井风电场,海拔高度为 1 200 m 以上,地貌类型属于内蒙古高原南缘坝缘山地低山丘陵区,上覆薄层残坡积物和风成沉积物。项目区属半干旱大

陆季风性气候,年平均气温约 0.8 ℃,最冷月(1 月)平均气温-18.6 ℃,最热月(7 月)平均气温 17.6 ℃,极端最高气温 32.8 ℃,最低气温-37.4 ℃,≥10 ℃积温 1 513 ℃,太阳总辐射量 543.4 kJ/cm<sup>2</sup>,无霜期约 75 d 左右。年降水量 350 mm,降雨季节分布格局很不均匀,降水年变率大,降水主要集中在 7,8,9 这 3 个月内,占全年降水量的 79% 左右。蒸发量是降水量的 4 倍,干旱状况十分严重。全年盛行西风、西北风,年平均风速 4.3 m/s,最大瞬时风速 34 m/s,年平均大风日数 49 d,且与干旱季节同步。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 试验设计与调查

(1) 表层土覆盖土壤种子库萌发状况的测定。施工前,对施工生产生活区、弃土弃渣区进行表土利用人工分别按 0—10 和 10—30 cm 分层清理、分层堆放,用密目防尘网或土工布覆盖防止水土流失。等施工生产生活区拆除后和弃土弃渣区封闭后,先在 2 个试验区覆盖 10—30 cm 层的土壤,最后再将 0—10 cm 的表土覆盖在最上面,镇压后浇水。

待有种子萌发时,在 2 个试验区随机布设 1 m × 1 m 的小样方 30 个,调查样方内的种子萌发数量,并鉴定其种类,分别统计其科、属特性、生活型等特征,探讨表土土壤种子库及其萌发状况。

(2) 表土覆盖与客土覆盖植被恢复效果的测定。在风电场 33 个风机位内随机选取 5 个相邻风机位做定位试验监测点,5 个风机位土壤的处理方式分别为清表并分层处理、土地平整、购买客土,植被恢复方式主要为利用土壤种子库自然恢复植被和人工种植恢复植被方式,5 种组合方式分别用风机号来表示(表 1)。以上试验从 2010 年 5 月 5 开始,至 2011 年 8 月结束。在试验期内,所有的试验风机全部做封禁处理,避免任何人畜干扰,在春季最干旱的时候人工浇水 1 次。各风机位土壤处理与植被恢复方式见表 1。自然恢复指利用土壤种子库的恢复,人工种植植物种则选择条播披碱草+苜蓿,播幅 20 cm。

表 1 5 个风机位表土处理与植被恢复方式

试验风机区	表土处理方式	植被恢复方式
96 <sup>#</sup>	分层回覆	自然恢复
98 <sup>#</sup>	土地平整	自然恢复
82 <sup>#</sup>	土地平整	人工种植(苜蓿与披碱草)
81 <sup>#</sup>	购买客土	自然恢复
79 <sup>#</sup>	购买客土	人工种植(苜蓿与披碱草)

在 5 个风机位平台试验区内,随机设置 30 个面积  $1\text{ m}\times 1\text{ m}$  的草本样方,按生态学方法调查样方内的种类、数量、高度、盖度等内容,计算其 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数。

1.2.2 数据处理与分析 生物多样性指数采用以下公式计算:

Shannon-Wiener 多样性指数( $H$ )

$$H = -\sum P_i \lg P_i \quad (1)$$

Simpson 多样性指数( $D$ )

$$D = 1 - \sum P_i^2 \quad (2)$$

Pielou 均匀度指数( $J_{sw}$ )

$$J_{sw} = (-\sum P_i \lg P_i) / \lg S \quad (3)$$

式中: $P_i$ ——第  $i$  个物种的相对密度; $S$ ——物种数目。

数据采用 SPSS 17.0 软件分析,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan's 新复极差法比较不同数据组间差异,图形采用 Excel 软件制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 两个试验区种子库萌发状况

分层覆盖清理的表土经镇压、浇水后,土壤种子库中的植物萌发、成苗。调查结果显示,2 个试验区的植物中均为草本植物,未出现木本植物。

施工生产生活区共计有 16 种植物,分别属于 9 科,其中藜科 3 种,其数量占全部幼苗总数的 42.25%;菊科 2 种,占全部幼苗总数的 27.09%;禾本科 3 种,占全部幼苗总数的 15.38%;其余包括罂粟科 1 种,十字花科 2 种,蔷薇科 2 种,蓼科 1 种,豆科 1 种、伞形科 1 种。弃土弃渣区共计有植物 17 种,分属 9 个科,其中,藜科 3 种,占全部幼苗总数的 45.08%;禾本科 3 种,占全部幼苗总数的 15.16%;菊科 3 种,占全部幼苗总数 27.85%;其余包括茜草科 1 种,十字花科 1 种,蔷薇科 2 种,蓼科 1 种,伞形科 1 种和豆科 2 种。植物发芽情况见表 2。

表 2 表土清理分层处理植物发芽情况

植物名	种名	科(生活型)	施工生产生活区		弃土弃渣区	
			株数/株	比例/%	株数/株	比例/%
藜	<i>Chenopodium album</i>	藜科(AH)	306	33.15	286	37.05
猪毛菜	<i>Salsola collina</i>	藜科(AH)	66	7.15	52	6.74
灰绿藜	<i>Chenopodium glaucum</i>	藜科(AH)	18	1.95	10	1.30
角茴香	<i>Hypocoum erectum</i>	罂粟科(AH)	2	0.22	0	0.00
狗尾草	<i>Setaria viridis</i>	禾本科(AH)	86	9.32	62	8.03
线叶蒿	<i>Artemisia subulata</i>	菊科(O)PH	8	0.87	2	0.26
荞麦	<i>Fagopyrum esculentum</i>	蓼科(AH)	3	0.33	0	0.00
叉分蓼	<i>Polygonum divaricatum</i>	蓼科(AH)	0	0	2	0.26
牡蒿	<i>Artemisia japonica</i>	菊科(PH)	0	0	2	0.26
苣荬菜	<i>Sonchus arvensis</i>	菊科(PH)	242	26.22	211	27.33
独行菜	<i>Lepidium apetalum</i>	十字花科(AH)	87	9.43	55	7.12
花旗杆	<i>Dontostemon dentatus</i>	十字花科(AH)	5	0.54	0	0.00
猪殃殃	<i>Galium aparine</i>	茜草科(AH)	0	0	3	0.39
委陵菜	<i>Potentilla chinensis</i>	蔷薇科(PH)	3	0.33	2	0.26
二裂委陵菜	<i>Potentilla bifurca</i>	蔷薇科(PH)	5	0.54	3	0.39
迷果芹	<i>Sphallerocarpus gracilisl.</i>	伞形科(PH)	34	3.68	23	2.98
花苜蓿	<i>Medicago ruthenica</i>	豆科(PH)	0	0	2	0.26
糙叶黄耆	<i>Astragalus scaberrimus</i>	豆科(PH)	2	0.22	2	0.26
冰草	<i>Agropyron cristatum</i>	禾本科(PH)	18	1.95	6	0.78
克氏针茅	<i>Stipa krylovii</i>	禾本科(PH)	20	2.17	27	3.50
合计			923	100.00	772	100.00
种子库密度/(株·m <sup>-2</sup> )			30.77		25.73	

注:AH 一年生草本植物;PH 多年生草本植物。

对 2 个表土覆盖区的植物种的生活型进行分析,结果表明:施工生产生活区 1 年生植物的数量占总数的 62.08%,其中藜科占了 42.25%;数量最多的 4 种 1 年生植物为藜、独行菜、狗尾草和猪毛菜。弃土弃渣

区 1 年生植物的数量占总数的 60.88%,其中藜科占了 45.08%,数量最多的 4 种植物为藜、狗尾草、独行菜和猪毛菜。多年生植物在施工生产生活区和弃土弃渣区所占的比例分别为 37.92%和 39.12%,其中

均以菊科的苣荬菜占的比例最大,其次为迷果芹、针茅、冰草。野外测定结果表明,2个区域的表土集中覆盖自然植被恢复后,施工生活生产区的覆盖度可达到55%,平均高度达到24.8 cm;弃土弃渣区的覆盖度可达到45%,平均高度达到21.2 cm。

由此可见,通过分层堆放和回覆表土,可使表土中有活力的土壤种子萌发并生长,且2个试验区种子库的植物种类、数量及其幼苗所占比例相近。按种子库密度换算,施工生产生活区与弃土渣场区的土壤种子库密度平均为30.77,25.67株/m<sup>2</sup>。恢复植物种既有1年生植物也有多年生植物,不仅可有效覆盖地表,而且1年生植物种子成熟后又可落于地表形成新的种子库,多年生植物也可继续存续,从而保障了2个区域的植被恢复。

上述试验说明,土壤中的种子库较为丰富,只要进行适当的人为干扰,如分层清理、分层覆盖,在覆土后镇压、浇水,并严禁人畜的破坏,土壤中的种子均能正常发芽,并形成一定数量和覆盖度的植物群落,从而使受损的植物群落达到恢复的效果。因此,在实践

中如果来不及进行人工植树种草措施的建设,一定要在施工过程中,注意分层清理表土和分层堆放,在完工后进行分层集中覆盖,以此达到利用自然力恢复地面植被的目的。

## 2.2 风机试验区植被恢复效果

由表3可知,5个风机试验区在不同的恢复方式下,经过第1a的治理与第2a的抚育管理,植被恢复效果有较大的差异。对于表土分层堆放分层回覆+自然恢复方式(96<sup>#</sup>),即使利用土壤种子库自然恢复植被的方式,该方式下第1a植被盖度为50%,第2a提高至65%;植株的平均高度由54 cm降低为34.8 cm,植物种类由13种增大为14种,Simpson指数由0.885 2增大为0.903 4,Shannon指数由2.352 6增大为2.475 1,均匀度指数由0.810 3增大为0.859 1。这表明生物多样性增大,物种数更走向于均匀分布。从群落组成来看,第2a一年生植物数量有所减少,禾本科植物的数量逐渐增加,群落中糙隐子草、羊草、克氏针茅等数量明显增大,这也使得整个群落的高度有所下降。

表3 风机试验区植被恢复效果及治理费用

试验风机区	96 <sup>#</sup>	98 <sup>#</sup>	82 <sup>#</sup>	81 <sup>#</sup>	79 <sup>#</sup>	
第1 a 恢复 效果	群落盖度/%	50 <sup>a</sup>	25 <sup>c</sup>	40 <sup>ab</sup>	30 <sup>bc</sup>	60 <sup>a</sup>
	平均高度/cm	54 <sup>a</sup>	35 <sup>b</sup>	12 <sup>c</sup>	13 <sup>c</sup>	15 <sup>c</sup>
	物种数/种	13 <sup>a</sup>	6 <sup>b</sup>	8 <sup>b</sup>	5 <sup>b</sup>	8 <sup>b</sup>
	Simpson 指数	0.885 2 <sup>a</sup>	0.694 1 <sup>b</sup>	0.825 0 <sup>a</sup>	0.685 0 <sup>b</sup>	0.846 7 <sup>a</sup>
	Shannon 指数	2.352 6 <sup>a</sup>	1.399 8 <sup>c</sup>	1.899 4 <sup>b</sup>	1.326 5 <sup>c</sup>	1.974 6 <sup>b</sup>
	Pielou 指数	0.810 3 <sup>ab</sup>	0.743 0 <sup>b</sup>	0.829 7 <sup>a</sup>	0.785 5 <sup>b</sup>	0.890 0 <sup>a</sup>
	治理投资/元	38 844.59	224.47	19 125.04	49 240.22	68 365.26
第2 a 恢复 效果	群落盖度/%	65 <sup>b</sup>	35 <sup>c</sup>	55 <sup>b</sup>	45 <sup>bc</sup>	80 <sup>a</sup>
	平均高度/cm	24.8 <sup>b</sup>	40 <sup>a</sup>	17 <sup>b</sup>	15 <sup>b</sup>	19 <sup>b</sup>
	物种数/种	14 <sup>a</sup>	7 <sup>b</sup>	8 <sup>b</sup>	6 <sup>b</sup>	8 <sup>b</sup>
	Simpson 指数	0.903 4 <sup>a</sup>	0.715 3 <sup>b</sup>	0.833 0 <sup>a</sup>	0.7127 <sup>b</sup>	0.846 0 <sup>a</sup>
	Shannon 指数	2.475 1 <sup>a</sup>	1.508 1 <sup>c</sup>	1.938 8 <sup>b</sup>	1.4745 <sup>c</sup>	1.963 8 <sup>b</sup>
	Pielou 指数	0.859 1 <sup>a</sup>	0.705 3 <sup>b</sup>	0.838 4 <sup>a</sup>	0.7460 <sup>b</sup>	0.896 8 <sup>a</sup>
	抚育管理费/元	598.37	598.37	598.37	598.37	598.37

对于土地平整+自然恢复组合(98<sup>#</sup>)来说,因土地平整,表土未得到分层回覆而使得土壤相互掺混在一起,土壤种子库内的种子可能因覆土太厚而不能获得萌发机会,因而无论物种数还是各多样性指数均较分层覆土自然恢复处理明显下降,而且群落盖度低,第1,2a群落盖度分别为25%和35%,平均高度为35和40 cm,植物种仅6~7种,且仍以1年生植物为主。当采取土地平整+人工种植的方式时(82<sup>#</sup>),因人工种植增加了土壤的扰动与翻耕,加之种植了苜蓿和披碱草2种草本植物,使得物种多样性等各项指标均超过土地平整与自然恢复组合。这说明在同等的

处理方式下,人工种植可以加快植被恢复的速度,增加物种的多样性和地表覆盖度。从群落组成上看,人工种植直接增加了群落的多年生草本比例,使得群落演替进程加快。

对于客土+自然恢复(81<sup>#</sup>)而言,其群落组成物种数更少,仅有5种植物,说明购买的客土中土壤种子库较为缺乏,加之客土时的土壤整治,萌发种子数也少,因而植物多样性指数还是盖度较低,物种组成上主要也是以1年生的藜、猪毛菜、狗尾草等为主。而客土+人工种植的组合(79<sup>#</sup>),由于人工植物的种植,群落组成物种数由5种增加为8种,由于种植

密度加大,植被盖度明显大于其他各个处理,使得地表的有效覆盖增加;而且植物多样性指数均较购买客土自然恢复有所增大。

对比 5 种不同组合方式的植被恢复效果发现,5 种不同组合方式间存在显著差异,且第 1,2 a 效果基本相同。以植被恢复的第 2 a 为例,群落盖度在各处理间表现为  $79^\# > 96^\# > 82^\# > 81^\# > 98^\#$ ,且客土+人工种植方式、土地平整+自然恢复方式均与其他处理间差异显著;物种数表现为  $96^\# > (79^\# = 82^\#) > 98^\# > 81^\#$ ,且分层处理+自然恢复方式与其他处理间差异显著;Simpson 指数和 Shannon 指数均表现为  $96^\# > 79^\# > 82^\# > 81^\# > 98^\#$ ,对于 Simpson 指数,分层处理+自然恢复、客土+人工种植、土地整治+人工恢复与其他两种恢复方式有显著差异,Shannon 指数则呈现出分层回覆+自然恢复处理与其他处理间差异显著,客土+人工恢复与土地整治+人工恢复处理与其他处理间差异显著;Pielou 指数的大小顺序与群落盖度变化相同,且分层处理+自然恢复、客土+人工种植、土地整治+人工恢复与其他 2 种恢复方式有显著差异。综合来看,分层回覆+自然恢复效果最佳,其次是客土+人工恢复与土地平整+人工恢复,土地平整+自然恢复效果最差。

### 2.3 风机试验区植被恢复投入费用

由表 3 可知,第二年的抚育管理费用相同,即在春季最干旱时人工灌水 1 次,采用全面封禁管理;但 5 种植被恢复方式组合第一年的投入费用差异明显,投资由高到低的顺序为  $79^\# > 81^\# > 96^\# > 82^\# > 98^\#$ 。而植被恢复效果由高到低表现为  $96^\# > 79^\# > 82^\# > 81^\# > 98^\#$ 。结合费用与恢复效果来分析,以土地平整+人工恢复的方式费用较省,恢复效果较好。因而,在各风电场,可以根据具体施工条件,在经济条件允许的条件下,尽可能采用分层回覆+自然恢复的方式,至少应该采用土地平整+人工恢复方式;不建议采用客土+人工恢复方式,除非风电场区无表土可清理使用或清理的表土数量不足;而且为了加快风电场区的植被恢复进度与效果,不建议仅进行土地平整+自然恢复的方式,尽管其费用最少,但因植被恢复效果差而使水土流失控制效果减弱。

## 3 结论

(1) 风电场项目的植被可以通过土壤中的种子库进行恢复,关键是要做好表土的分层清理、分层回覆工作,回填时应将 0—10 cm 的土层覆在最上面,并在覆土后浇水以保证植物种子顺利萌发,且时间控制在 4 月中下旬至 8 月中下旬之间为宜。

(2) 不同植被恢复组合方式间在群落盖度、植被平均高度、物种数、多样性指数间均存在显著差异,各处理组合方式的恢复效果大小顺序在各指标间排列不一致,综合来看,各处理间以分层回覆+自然恢复效果最好,土地平整+自然恢复效果最差。

(3) 不同植被恢复组合方式间的投入差异明显,由高到低表现为  $79^\# > 81^\# > 96^\# > 82^\# > 98^\#$ 。各风电场在选用植被恢复方式时,建议根据施工条件、经济条件及植被恢复效果进行综合评价,以选择适宜的恢复方式。尽可能采用分层回覆+自然恢复的方式,至少应该采用土地平整+人工恢复方式;不建议直接进行土地平整+自然恢复的方式。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 董智,贾志军,李红丽,等. 河北省坝上风电场建设区水土流失特点与植被恢复途径[J]. 中国水土保持科学, 2009,7(5):82-86.
- [2] 杨丹青,张峰,武文一. 风电场工程项目水土保持措施配置研究[J]. 水土保持通报,2008,28(4):116-120.
- [3] 孙璐. 风电场工程的水土保持防治对策[J]. 山西水土保持科技,2014(1):43-44.
- [4] 陈俊松,文毅. 山地风电场水土流失特点及防治对策[J]. 亚热带水土保持,2016,28(4):51-53.
- [5] 史彦林,贾洪纪,张利,等. 黑龙江山区风电场工程水土流失特点及防治措施[J]. 中国水土保持,2010(9):21-23.
- [6] 米勇. 坝上地区风电场工程水土流失特点及防治措施[J]. 水土保持应用技术,2012(5):16-17.
- [7] 海春兴. 河北坝上土地利用与土壤风蚀的动力学过程研究[D]. 北京:北京师范大学,2003.
- [8] 奚同行,林圣玉,张华明,等. 环鄱阳湖区风电场工程水土流失特征及防治措施体系[J]. 中国水土保持,2012(6):63-65.
- [9] 彭艳平,杨磊. 浅谈新疆风电场水土保持措施配置:以新疆华电小草湖风电场二期一期工程为例[J]. 新疆环境保护,2009(2):30-33.
- [10] 孟宪华. 风电场工程水土流失规律及其防治技术研究[D]. 北京:中国农业科学院,2010.
- [11] 刘文胜,齐丹青,苏焕珍,等. 兰坪铅锌矿区植被恢复初期土壤种子库的季节动态[J]. 中南林业科技大学学报,2016,36(9):1-6,11.
- [12] Anderson T M, Schütz M, Risch A C. Seed germination cues and the importance of the soil seed bank across an environmental gradient in the Serengeti[J]. Oikos, 2012,121:306-312.
- [13] 常青,张大维,李雪,等. 中国矿区土壤种子库研究的必要性与挑战[J]. 应用生态学报,2011,22(5):1343-1350.