

火电工程建设项目水土保持植物措施初探

孙顺蒂¹, 余新晓¹, 姜德文², 赵永军², 冯兴平³

(1. 北京林业大学, 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083;

2. 水利部 水土保持监测中心, 北京 100053; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 火电工程建设项目在生产建设期及运营期都会产生大量的水土流失。植物措施作为开发建设项目水土流失的主要防治措施之一, 对项目区植被恢复, 新增水土流失控制以及水土保持设施效益的发挥有重大意义。就火电工程建设项目的特点及影响火电工程建设植物措施配置的几大因素作了简要分析, 包括项目所在地自然特点、项目防治分区及植物的生态学特性等方面。分析了内蒙古上都发电有限责任公司三期(2×600 MW 机组)工程植物措施情况, 以期对火电类开发建设项目科学合理配置植物措施, 有效发挥植物措施保持水土、改善环境效能以及充分体现“生态优先, 综合利用”原则和更好地绿化美化提供参考。

关键词: 水土保持; 植物措施; 火电项目

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2007)02-0141-05

中图分类号: TM611, S157

Discussion on Botanic Measures for Soil and Water Conservation in Thermal Power Project

SUN Shun-di¹, YU Xin-xiao¹, JIANG De-wen², ZHAO Yong-jun², FENG Xing-ping³

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of the

Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Monitoring Center of

Soil and Water Conservation, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China; 3. Institute of Soil and

Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The implementation of thermal power project may induce a large amount of soil erosion in both construction period and operation period. As one of the major measures for soil erosion control, botanic measures can play a great role in vegetation rehabilitation, soil erosion control and benefit accomplishment of soil and water conservation facilities. This paper makes a brief analysis of construction project characteristics and the factors which have great influences on allocation of botanic measures, including features of project location, layout of thermal power project, biological characteristics of plant and so on. It also analyses botanic measures in the third stage of the project by Shangdu Power Generation Co., Ltd. in Inner Mongolia. It is hoped that the study can afford some references for scientific allocation of botanic measures, effective control of soil and water loss, improvement of environment and full demonstration of the principle of “ecological priority, comprehensive use” and afforestation functions.

Keywords: soil and water conservation; botanic measure; thermal power project

火电建设项目是资源开发性建设生产类项目, 在建设期和生产运营期都将发生水土流失, 依据《中华人民共和国水土保持法》和开发建设项目水土保持技术规范等相关法律、法规规定, 必须编报水土保持方案。根据火电建设项目的特点, 要因地制宜, 因害设防, 以“谁开发, 谁保护, 谁造成水土流失, 谁负责治理”为原则, 明确水土流失防治责任范围, 确定相应的治理措施, 实施分区综合防治。并以“生态优先、综合利用”为原则, 通过植物措施与工程措施的有机结合,

形成有效的水土流失综合防治体系, 达到有效防治水土流失的目的^[1-5]。

1 火电项目水土流失防治特点

1.1 火电项目水土流失影响因子

火电项目一般占地较少, 且较为集中, 工程在建设造成水土流失的主要因素以人为侵蚀为主。主要表现在施工准备期场地的平整, 地面覆被物的清除; 土建施工期基础开挖回填, 建(构)筑物建设; 拦灰

渣坝坝基开挖及坝体施工, 铁路专用线及厂外道路建设; 输电线路布设及厂外给(排)水管线布设等, 使土地大面积完全暴露, 原地貌土地被扰动, 损毁植被, 造成地表扰动和再塑; 大量松散土体、建(构)筑材料、施工材料、土石料临时堆积占地, 使地表失去固土防冲能力; 影响周围生态环境, 产生水土流失, 造成区域和沿线水土流失加剧。从影响区域看, 施工对地表的扰动和对植被的影响主要发生在主厂区、施工生产生活区、交通道路区、铁路专用线区、供水管线区、贮灰场区及生活附属区。从影响时段看, 主要是前期的“三通一平”、土建工程基础施工、投产后的灰渣排放等时段。从影响强度看, 大多数火电项目土石方开挖、填筑量不是很大, 造成新增的水土流失量虽是建厂前的几倍, 但较其它建设项目相对较小。从最终植被恢复的效果看, 大多数火电项目都能较好地恢复植被, 改善厂区内生态环境^[6]。

1.2 火电项目水土流失防治特点

火电项目属建设生产类项目, 制定火电项目水土保持措施总体布局依据的主要原则是以水土流失防治目标为指导, 工程措施与植物措施相结合、重点治理与全面防护相结合, 使水土保持措施满足科学设计、功能合理、经济实用、方便管理的要求, 为下一阶段的水土保持设计提供指导。总体思路是以防治水土流失、改善项目区生态环境、保证主体工程正常安全运行为最终目的, 以对周边环境和安全不造成负面影响为出发点, 以挖填面、贮灰场、耕植土(表土)堆场、弃渣处置、管道施工作业带为重点, 同时配合主体工程设计中具有水土保持功能的措施进行综合规划, 全面布设水土流失防治措施体系。在贮灰(渣)场、临时堆土场等“点”状位置, 以排水、拦挡工程措施为主, 辅以土地整治、植物措施和其它措施; 在厂外道路、管道施工作业带“线”状位置, 电厂主厂区、施工场地等“面”上, 以土地整治措施、工程措施和植物措施相结合, 形成完整的水土流失防治体系。植物措施及工程措施的目的在于防止扰动面的土壤大量流失, 控制工程建设造成的新增水土流失, 维护工程的安全运行, 绿化、美化环境, 恢复改善工程占压、挖损、扰动破坏的土地及植被, 其效益主要体现在安全效益、生态效益和社会效益上^[7-8]。

2 火电项目植物措施的配置

2.1 火电项目植物措施的树草种选择及构建原则

火电项目在建设过程中的开挖、回填及堆弃等活动, 使土壤结构遭到破坏, 土壤肥力趋于贫瘠; 电厂在生产过程中排放的烟尘灰渣和 SO₂ 亦对周围的环境

造成一定的影响, 因此, 在植物建造和措施布设时应全面贯彻“因地制宜、因害设防、突出重点、美化环境、注重效益”的原则, 并根据项目的周边环境, 结合当地林、草建设方向和项目建设的需要, 充分利用土地、植物以及水利等资源, 营造水土保持植被和环境美化植被^[9-10]。树种、草种选择的原则是: (1) 因地制宜、提高绿化的成功率。应首选乡土的树种、草种和在当地绿化中已推广使用的, 适应性、耐贫瘠抗污染能力强, 尤其是抗 SO₂ 和有较强滞尘能力的树种、草种, 选择的树种、草种根系要发达。草种要耐践踏, 扩展能力强; 要有较强的固土护坡功能; 树种、草种对土壤、气候条件要有较强的适应性, 栽后容易管理。(2) 遵循保护环境和美化环境相结合的原则, 常绿树草种应占一定的比例, 在条件许可的情况下, 可适当引进新的优良树草种, 以满足生物多样性和美化环境及多功能的要求。(3) 树种选择要做到因地制宜、适地适树, 充分考虑树种的抗逆性, 确保造林工程持续、稳定地发挥效益, 达到防风、固土的防护功能与环境效益有机结合, 树种选择应考虑树形美观的树种, 同时注意层次上和保护目标的协调搭配, 既要考虑水土保持又要兼顾绿化、美化。从乔、灌比例来说, 以乔木为主, 辅以草本, 形成复层绿化; 从速生和慢长的比例来说, 着眼于慢长树, 积极采用速生树合理配置, 争取早日取得绿化效果, 又能得到稳定的绿化作用。建设后期重点对主厂区进行绿化, 对施工后造成的裸露地面及道路两侧可进行水土保持植被的恢复, 可考虑进行道路、广场的硬化和道路两侧及广场、建筑物周边和裸露空地的绿化; 机组安装期可进行植物措施的整地工程和种草, 机组安装完成时, 应完成厂区、施工生产生活区及厂外设施区的全部植物措施工程, 对贮灰(渣)场覆土后造林或种草绿化。

2.2 根据项目所在地的气候自然特点选择植物措施

中国幅员辽阔, 气候类型复杂多样, 大部分位于北温带和亚热带, 属大陆性季风气候区, 四季分明, 冬寒夏热。由于气温和降水存在着时间和空间分配或分布的差异, 客观地影响了植被的分布, 因此各地火电项目建设中植物措施的配置和相关树草种的选择也要做到“因地制宜, 适地适树”。

2.3 根据不同的防治分区选择不同的植物措施

根据火电项目建设的特点, 其防治区一般可分为主厂区防治区、施工生产生活区防治区、贮灰(渣)场区防治区、铁路专用线区防治区、线性设施区及厂外给供(排)水管线区防治区, 位于海边的火电项目还应考虑码头区防治区和进港道路区防治区等。根据不同的分区, 植物措施的选择有所不同。

2.3.1 主厂区防治区 主厂区绿化的目的在于美化环境、防尘降噪、净化空气、减少裸地、防止风蚀,植物措施的选择应遵循“因地制宜、适地适树、适草”的原则,绿化区域为建设项目的生产区及生产附属设施区,采取点、线、面相结合,乔、灌、草、花相结合,并根据电厂功能分区不同,建筑群体的平面布置和使用特点,有所侧重地进行绿化。一般应根据电厂自身建设特点和项目区的气候特点,结合当地绿化工作的经验及电厂污染物排放状况,选择既能保持水土又能对污染物有吸收功能的植物作为厂区绿化的骨干物种。在发挥林草防护和观赏等功能的前提下,尽可能结合生产,做到既防污,防噪,防风,保护环境,抗病虫害,同时又具有美化环境的功能。绿化可按各功能区和建筑物的分布布置。在树种选择上可选择树形美观、挺拔高大的乔灌木,并采用高、中、低、矮植物和草地进行灵活绿化,并适当布置一些花坛、水池等,与建筑物的造型艺术相匹配,形成和谐的小园林空间。

主厂区一般主要分为:主厂房区、贮煤场区、空冷平台、升压站区、厂区道路和办公区。

(1) 主厂房区是电厂生产的核心,也是厂区噪音的主要来源,一般主体都有噪音配置,为了更好地削减噪音,绿化措施要结合防噪对策,还要适当配置防噪能力强的绿化植物种,同时注意与厂区整体绿化相协调。既在主厂房区四周道路两侧种植一定数量观赏树种,在墙基、斜坡、台阶两旁、建筑物空间设置花坛,为防止对地下管线的影响,植物措施选用根系浅的草本植物和低矮灌木。主厂房区闲置地绿化以种植草坪为主,可适当配置一些低矮灌木。

(2) 贮煤场区由于装、卸以及堆放作业等易引起扬尘,在风力的作用下影响周边环境,对于因气象原因引起的扬尘,除了在煤场运行中及时采取相应防护措施外,还应在其周边设置防尘绿化带,以减少煤场运行中扬尘对厂区及周边的影响。

(3) 冷却塔区主要建筑物有冷却塔、循环水泵房等。冷却塔区绿化以草坪为主,冷却塔区经常有水塔顶部散落的水滴。草坪选择习冷凉、耐寒、耐践踏的草种为主。

(4) 空冷平台面积较大,设施少,有较大的绿化空间。但因空冷器有进风要求,不宜种植高大乔木,其绿化应以种植草坪为主,树种选择树型美观的灌木进行美化点缀,中间空地种植草坪。

(5) 道路绿化根据绿化整体布局 and 道旁建筑物的功能,合理种植行道树,建设绿色通道,同时应注重防护功能,且应留出足够的安全视距。以乔灌木结合为主,尽量选择适应当地气候的树种。

2.3.2 施工生产生活区防治区 一般情况施工生产生活区为临时占地,不宜采取高标准防护措施,水土保持措施以恢复原土地功能为主,施工结束经土地整治后,一次性播撒草种,采用天然封育进行自然恢复。

2.3.3 贮灰(渣)场区防治区 由于粉煤灰轻质,极易产生风蚀,为防止因大风引发的风蚀,首先,应该考虑在贮灰(渣)场征地范围内的贮灰(渣)场四周岸坡的上风向种植防风绿化隔离林带,林带选择乔灌混交林,北方地区主要选择耐旱、耐瘠薄、防风固沙效果较好的树种,形成乔灌结合的防风林带。其次,由于施工后期贮灰(渣)场就要投入运行,因此贮灰(渣)场周边的防护林树种还要考虑选择速生树种。第三,贮灰(渣)场服役期满每个小区达到设计标高时顶部要覆土,种植适应当地土壤和气候条件的优良品种。贮灰(渣)场覆垦还可以采用天然封育的方法,进行自然恢复。

2.3.4 铁路专用线区防治区 铁路专用线填方路基边坡采取植草护坡措施,种植方式以条播为宜,草种选择适地和在当地绿化中已推广使用的草种。

2.3.5 线性设施区及厂外给供(排)水管线区防治区

(1) 线性设施防治区包括输电线路、燃煤运输系统、厂外道路。其中厂外道路包括进厂道路、运灰(渣)道路、运煤道路。线性设施防治区两侧结合当地适生植被和两侧周边环境实际,采取相应的植物措施进行绿化。厂外道路两侧适宜选择不同的乔木种类进行绿化。

(2) 厂外供(排)水管线为临时性占地,根据原地貌分别进行复垦、复耕或在施工结束后进行土地整治,选择优质草种,采取人工撒播的方式进行植被恢复,亦可采用天然封育的方法进行自然恢复。

2.4 根据植物的特性来选择植物措施

每一种植物,都有不同的生态学特性,作为城市环境景观要素之一,植物的不同之处在于它是有生命力的,一些对污染敏感的树木,在它生长的过程中,如遇到污染物质对其毒害,通常会在叶上反映出来,出现伤痕,或是生理代谢过程中发生变化,或是体内成分发生异常变化^[11-14]。火电项目在建设过程中会造成大量的水土流失,在运营期会排出大量的有害气体,正确选择植物,在保护和美化环境的同时,还能改善环境。

2.4.1 抗二氧化硫强的植物 云杉、白皮松、罗汉松、龙柏、圆柏、日本柳杉、扁柏、粗榧、皂角、刺槐、桑、加杨、夹竹桃、大叶黄杨、棕榈、女贞、香樟、茶花、栀子花、丝兰、海桐、蚊母、枸骨、苏铁、厚皮香、八角金盘、广玉兰、杨梅、构树、臭椿、无花果、樱花、合欢、青桐、

乌桕、黄金树、丝棉木、白蜡、无患子、八仙花、紫藤、银薇、翠薇、木槿、旱柳、花曲柳、桂香柳、白榆、山毛桃、黄菠萝、色赤杨、紫丁香、忍冬、水蜡、柽柳、叶底珠、银杏、东北赤杨、枸杞、柳叶绣线菊、胡颓子、蜡梅、金盏菊、松叶牡丹、金边虎尾兰、槭葵、蜀葵、铁扁担、朝天椒、紫茉莉、百日草、鸡冠花、菖蒲、石竹、水仙、九里香、金鱼草等。当这类树木遇到二氧化硫有毒气体浓度为 $0.3 \mu\text{g}/\text{g}$ 时, 经过几小时, 在叶脉之间就会出现点状或者块状的黄褐斑或黄色斑, 但叶脉仍为绿色。

2.4.2 抗氟化氢强的植物 罗汉松、龙柏、云杉、侧柏、杜松、沙松、皂角、刺槐、京桃、黄菠萝、桑、枣树、花曲柳、旱柳、山桃、白榆、卫矛、桂香柳、紫丁香、茶条槭、忍冬、水蜡、复叶槭、木槿、女贞、小叶朴、臭椿、柽柳、夹竹桃、连翘、叶底珠、大叶黄杨、栀子花、茶花、海桐、蚊母、瓜子黄杨、无花果、合欢、枫杨、小叶女贞、丝棉木、接骨木、八仙花、银薇、翠薇、木芙蓉、胡颓子、金盏菊、仙人掌、金边虎尾兰、槭葵、铁扁担、朝天椒、紫茉莉、百日草、鸡冠花、九里香、矮牵牛、葱兰、一串红等植物。

2.4.3 抗氟化氢强的植物 罗汉松、龙柏、圆柏、棕榈、云杉、杜松、侧柏、白榆、刺槐、花曲柳、梓树、桑、枣树、桂香柳、旱柳、紫丁香、桃叶卫矛、加杨、臭椿、忍冬、皂荚、柽柳、夹竹桃、大叶黄杨、海桐、蚊母、小叶女贞、石榴、黄连木、竹叶椒、泡桐、月季、胡颓子、黄花美人蕉、金盏菊、松叶牡丹、木槿、多花蔷薇、百日草、水仙、九里香、矮牵牛、万寿菊、香豌豆、金鱼草、葱兰等。当这类树木遇到氟或氟化氢有毒气体浓度为 $0.002 \sim 0.004 \mu\text{g}/\text{g}$ 时, 叶端和叶缘就会出现伤斑, 然后逐渐向叶片中心扩展。如浓度再高时, 会使整片叶子枯焦而脱落。

2.4.4 抗烟, 滞尘力强的植物 臭椿、京桃、皂荚、槐树、刺槐、白榆、加杨、桑、旱柳、柽柳、柞树、白蜡、桂香柳、枣树、山楂、卫矛、山花椒、紫穗槐、胡枝子、锦鸡儿、木槿、忍冬、花曲柳、枫杨、山桃、梓树、黄金树、夏叶槭、稠李子、黄菠萝、蒙古栎、白皮松、广玉兰、樟、蚊母、女贞、棕榈、二球悬铃木、胡颓子、夹竹桃、大叶黄杨、构树、无花果、乌桕、银薇、翠薇、金盏菊、金鱼草等植物。

2.4.5 消减噪音能力强的植物 杨树、白榆、旱柳、梓树、桑树、夏叶槭、桧柏、油松、刺槐、落叶松、桂香柳、山桃、黄金树、东北赤杨、丁香、爬墙虎、紫藤、大叶黄杨、女贞、蚊母、海桐、锦带花、郁李、枸杞、胡颓子等植物。

2.4.6 杀菌能力强的植物 夹竹桃、稠李、高山榕、紫荆、木麻黄、银杏、桂花、玉兰、千金榆、银桦、厚皮

香、柠檬、合欢、圆柏、假槟榔、核桃、木菠萝、雪松、刺槐、垂柳、落叶松、柳杉、云杉、桉树、柑橘等。

3 应用实例

以华北地区的内蒙古上都发电有限责任公司三期($2 \times 600\text{MW}$ 机组) 工程为例, 该工程位于内蒙古锡林郭勒盟正蓝旗上都镇建设区域土壤类型以栗钙土为主, 植被类型为典型草原植被, 由丘陵和丘间平地植被组成。该工程主要的水土保持植物措施配置如下。

3.1 厂区水土保持植物措施配置

由于厂内很多公用设施在一期已一次建成, 因此厂区占地较小, 主要分为: 主厂房区、煤场区、空冷平台、升压站区、厂区道路和办公区。

主厂房区选择丁香、玫瑰, 既注意与厂区整体绿化相协调, 又注意植物的防噪能力; 升压站区的防护以硬化为主, 绿化主要布设在外围空地并以根系浅的灌木和草坪为主, 防雷电袭击, 增加绿化美化效果。

贮煤场周边种植吸尘性强的巨大乔木青杨和新疆杨, 可起到防尘绿化带作用。

空冷平台绿化以草坪为主, 选择桧柏球进行美化点缀, 中间空地植草坪。因为空冷器有进风要求, 不宜种植高大乔木。

场区道路主要树种选择云杉、樟子松、桧柏球、丁香、玫瑰, 株距以 5m 为宜。道路两侧以株距 0.25m 种植绿篱, 树种选择桧柏、紫叶小檗等。厂区内 7m 宽的干道两侧布设绿篱栽植云杉、樟子松与丁香间种, 4m 宽的辅道两侧布设绿篱间种灌木, 同一条道路两侧行道树种应一致, 不同的道路两侧行道树种应不同, 使其景观各异。

综合办公区绿化以种草坪和绿篱为主, 在绿化草树种选择上, 花灌木以丁香为主, 草坪以早熟禾、野牛草为主。楼前基础种植应该将行人与楼下办公室隔离开, 以保证室内安静; 楼后空地较大, 主要以绿化美化为主。

3.2 施工生产生活区水土保持植物措施配置

推荐混播组合: ① 羊草+ 紫花苜蓿+ 沙生冰草+ 草木樨; ② 沙打旺+ 黑沙蒿+ 蒙古冰草+ 高披碱草; ③ 紫穗槐+ 沙生冰草+ 无芒雀麦+ 草木樨; ④ 二色胡枝子+ 沙打旺+ 扁蓿豆+ 老芒麦+ 赖草+ 冰草。施工生产生活区为临时占用土地, 恢复原土地功能即可。

3.3 供排水管线区水土保持植物措施配置

一次性播撒草种, 采用天然封育的方法进行自然恢复, 草种同施工生产生活区。

4 结论和建议

调查表明, 实施水土保持措施, 开发建设项目中植被恢复系数一般能达 95% 以上, 林草植被覆盖率一般在 20% 左右。火电项目在开发建设项目中占有很大比重, 研究在开发建设的过程中如何节能降耗, 保护环境, 实现人与环境的和谐发展, 是火电类项目必须考虑的问题。植物措施作为建立综合性水土保持防护体系的重要组成部分, 对保护环境、改善环境和美化环境发挥着重要作用。

本文初步探讨了如何科学合理地配置植物措施, 最大限度防止水土流失给工程带来的危害, 保障工程的安全和正常运行, 同时减轻水土流失对项目区土地资源的破坏, 使项目区的土地生产力和水土保持功能得到一定程度的恢复。目的是为了社会效益、经济效益与生态效益的最大统一。

[参 考 文 献]

- [1] 姜德文. 开发建设项目水土保持全程管理简述[J]. 中国水土保持, 2004(6): 9—10.
- [2] 乔彦芬, 姜德文, 田玉柱. 综合型水土保持科技示范园的规划设计——以北京市延庆县水土保持科技示范园为例[J]. 水土保持通报, 2006, 26(1): 85—88.
- [3] 赵永军, 姜德文, 袁普金. 线状工程建设项目的水土保持监测——以西气东输项目为例[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 71—76.
- [4] 赵永军. 水土流失防治责任范围的界定[J]. 中国水土保持, 2005(1): 19—20.
- [5] 赵永军. 水土流失防治责任范围的界定(续) [J]. 中国水土保持, 2005(2): 21—23.
- [6] 刘庆. 火电厂绿化系数专题调研报告[J]. 电力建设, 2000(5): 25—30.
- [7] 回莉君, 沈波. 东北地区植物带保护坡耕地水土资源效果研究[J]. 资源科学, 2006, 26(增刊): 119—124.
- [8] 许晓东. 边坡治理中植物护坡的选择与验收指标[J]. 人民珠江, 2004(4): 46—48.
- [9] 邹战强, 陈子平. 广东兴宁兴达坑口(煤矸石) 电厂水土保持方案必要性及机组性能分析[J]. 广东电力, 2006(6): 28—31.
- [10] 胡丽萍. 燃煤电厂建设过程中的水土保持设计方案探讨[J]. 电力环境保护, 2006(2): 45—46.
- [11] 上海市林学会科普委员会, 上海市园林管理局绿化宣传站. 城市绿化手册[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984.
- [12] 任步钧. 北方城市园林绿化[M]. 黑龙江: 东北林业大学出版社, 2000.
- [13] 尹公. 城市绿地建设工程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 140—163.
- [14] 卓丽环. 城市园林绿化植物应用指南[M]. 北京: 中国林业出版社, 2003. 3—30.
- [5] 田亚平. 南方丘陵区的生态脆弱度评估[J]. 地理研究, 2005, 24(6): 843—852.
- [6] 孙芳, 杨修. 农业气候变化脆弱性评估研究进展[J]. 中国农业气象, 2005, 27(3): 170—173.
- [7] 倪深海, 顾颖, 王会容. 中国农业干旱脆弱性分区研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(5): 705—709.
- [8] 苏筠, 李莲华, 吴之正, 等. 农业旱灾形成过程中的承灾体脆弱性分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 83—87.
- [9] 邹君, 谢小立. 中国南方水资源脆弱区农业水资源管理方略探讨[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 158—163.
- [10] 田喜洲. 试论生态旅游资源的脆弱性及其保护[J]. 生态经济, 2001(12): 56—58.
- [11] 孙才志, 林山杉. 地下水脆弱性概念的发展过程与评价现状及研究前景[J]. 吉林地质, 2000, 19(1): 30—36.
- [12] 杨晓婷, 王文科, 乔晓英, 等. 关中盆地地下水脆弱性评价指标体系的探讨[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(2): 46—49.
- [13] 刘绿柳. 水资源脆弱性及其定量评价[J]. 水土保持通报, 2002, 22(2): 41—44.
- [14] 杨燕舞, 张雁秋. 水资源的脆弱性及区域可持续发展[J]. 苏州城建环保学院学报, 2002, 15(4): 85—88.
- [15] 郭跃东, 何岩, 邓伟, 等. 扎龙河滨湿地水系统脆弱性特征及影响因素分析[J]. 湿地科学, 2004, 2(1): 47—53.
- [16] 王小丹, 钟祥浩. 生态环境脆弱性概念若干问题探讨[J]. 山地学报, 2003, 21(6): 21—25.
- [17] GoguRC, Dassargues A. Current trends and future challenges in ground water vulnerability assessment using overlay and index methods. Environment Geology, 2000, 39(6): 549—559.
- [18] 何福红, 黄明斌, 李景保. 土壤水库和森林植被对水资源的调节作用[J]. 土壤与环境, 2001, 10(1): 42—44.

(上接第 135 页)