

谈喷射护坡绿化技术

叶建军, 周明涛, 许文年

(三峡大学 土木水电工程学院, 湖北 宜昌 443002)

摘 要: 喷射护坡绿化方法是近年来传入我国的新技术, 具有机械化程度高、生产能力大的优点, 在短短几年时间里, 迅速推广应用。首先回顾了喷射护坡绿化方法的发展历程, 对其进行了归纳总结, 随后根据喷射混合料的状态、配方以及与其他绿化方法和材料配合情况探索了喷射护坡绿化技术的分类, 同时规范了喷射护坡绿化技术专业术语。

关键词: 喷射; 护坡; 绿化; 植被混凝土

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)02-0194-04

Discussion on Material Spraying Methods of Slope Protection and Revegetation

YE Jian-jun, ZHOU Ming-tao, XU Wen-nian

(China Three Gorges University, Yichang 443002, Hubei, China)

Abstract Material spraying methods of slope protection and revegetation is a new slope protection technology introduced into China in recent years, which features high mechanization, high efficiency, and spreading quickly in China within several years. Firstly, the authors review the developing course of material spraying methods of slope protection and revegetation, and give a summary of the methods. Secondly, according to the state of the spraying mixture, the formula for the spraying mixture and combination of the material spraying methods and other slope revegetation methods or material, the methods are classified and at the same time the relating terminologies are standardized.

Key words: spraying; slope protection; revegetation; vegetation-growing concrete

喷射护坡绿化方法是近年来传入我国的新技术, 具有机械化程度高、生产能力大的优点。喷射护坡绿化方法种类繁多, 适用范围广, 短短几年时间里在我国大面积推广应用。如今, 在各种边坡, 如公路边坡、铁路边坡、水利工程边坡、采石场、矿山边坡等的防护与绿化(或生态恢复)工程中, 喷射护坡绿化方法已成为主要的工程技术手段。

1 喷射护坡绿化方法的发展历程

喷射护坡绿化技术最早产生于英国和美国, 但大规模开发应用是在日本。英国人上世纪 50 年代初发明了喷射乳化沥青和植物种子喷播技术, 1958 年该技术传入日本, 经多次试验, 开发出了实用的喷射绿化技术——沥青乳剂覆盖膜养生绿化技术, 并用于名古屋——神户的高速公路边坡绿化工程中。60 年代初, 日本从美国引进了喷播机(hydroseeder)和喷射专用纤维, 把当时先进的液压喷播技术(日本称种子撒布法)也用于了名古屋——神户高速公路边坡绿化工程中。

1973 年, 日本开发出纤维土绿化方法(fiber-soil greening method), 该方法采用了纤维、砂质土和水泥, 并呈台阶形喷射。该方法有较大缺陷, 主要是初期 PH 值过高、易侵蚀、喷层保水、保肥性能差。

为克服纤维土绿化方法的缺点, 日本于 1983 年开发出了所谓高次团粒 SF 绿化方法(soil flock greening method)。方法的主要特征是配方使用了纤维、壤土和乳化沥青, 喷层

pH 值呈中性, 抗侵蚀性更强。此方法至今已应用 200 万 m²。

1987 年, 日本从法国引进连续纤维加筋土方法, 随后, 把它与已有的绿化方法结合, 开发出了连续纤维绿化方法(TG 绿化方法)。该法使用了连续纤维和沙质土, 喷层具备更高的抗侵蚀性; 施工体系由绿化基材供给系统、团粒剂供给系统、连续纤维供给系统组成, 机械化程度高。TG 绿化法 1988 年开始实用化, 已经推广应用多个国家。

在上述三种方法的基础上, 喷射护坡绿化方法在过去的几十年时间里衍生出了种类繁多的方法系列。喷射护坡绿化方法的发展主要集中在喷射配方的研发、施工工艺的革新和喷射机械设备的发明上。欧美和日本在这些领域拥有大量专利(部分已过期)。

1989 年, 广东水利水电科学研究所从香港引进液压喷播技术。最早介绍客土喷播技术的是去日本考察的李旭光等(1995), 随后, 杜娟(2000)、张俊云(2000)和江玉林(2000)也分别对日本客土喷播技术进行了介绍。国内最早在学术期刊上介绍工程应用的是金钟(2001)、周颖(2001), 张俊云(2001), 许文年(2001)。近 4 年来, 我国一些科研和施工单位如: 三峡大学、西南交大也开发了自己的专利技术。这些技术已大规模应用于工程实践。但是, 从总体上讲, 国内在这个领域还很薄弱——主要表现在基础研究和专用机械设备的开发方面。

2 喷射护坡绿化方法分类

经过几十年的发展, 喷射护坡绿化技术已繁衍出众多的方法, 需要进行科学的分类。自从喷射护坡绿化方法传入我国以来, 出现了的大量杂乱专业术语, 也需要进行合理规范。下面试图完成这两项工作。

目前国内工程技术界和学术界出现的有关喷射护坡绿化技术的专业术语有: “液压喷播”(汪智耀等, 1999); “水力喷播”(李和平等, 1999); “客土喷播”(杜娟, 2000); “混喷快速绿化”(章恒江等, 2000); “混喷绿化”(肖颀等, 2001); “混喷植生”(周颖等, 2001); “喷砼植草”(金钟, 2001); “植被混凝土”(许文年等, 2001); “喷植”(许铁力, 2002); “有机质混凝土”(周颖等, 2001); “生态治理”(赖世桂, 2002; 徐国钢等, 2002); “三维植被网喷播植草”(顾晶, 2003); “喷植混凝土”(邹俊, 2003); “乳液喷播建植”(匡旭华, 2003); “边坡生态种植基”(张俊云, 2001); “厚层基材喷射植被护坡”(张俊云, 2001, 2002); “边坡 TBS 植被护坡绿化”(四川省励自生态与环境工程技术有限公司等, 2003); “边坡植生基质生态防护”(申新山, 2003); “有机基材喷播绿化”(汪东等, 2003); 另外在工程界还有“客土吹附”的说法, 翻译名词有“纤维土绿化方法”、“高次团粒 SF 绿化方法”、“连续纤维绿化方法”等。在短短几年时间内, 喷射护坡绿化领域出现这么多专业名词, 说明两个问题: 1、喷射护坡绿化技术应用推广很快, 目前在我国已大面积推广; 2、部分单位想标新立异, 以便在市场推广时占得先机。但是, 实际上, 国内某些单位并没有核心技术, 只是炒概念。甚至, 有些单位在盗用别人的专利技术, 为掩人耳目, 另找一个新名词命名已有的喷射护坡绿化技术。

要规范这些专业术语, 需要对喷射护坡绿化技术进行科学的分类。考察已经出现的喷射护坡绿化技术, 笔者认为可以从以下三个方面对其进行分类:

- (1) 喷射混合料的配方。
- (2) 喷射方式, 即机械设备、喷射混合料的干湿状态。
- (3) 与其他绿化方法和材料配合情况。

2.1 按喷射混合料的配方分类

喷射护坡绿化方法核心技术之一就是喷射混合料的配方, 配方应达到 4 个要求: (1) 植物能快速生长; (2) 耐久性; (3) 有较大抗侵蚀能力; (4) 经济、环保。近几十年来, 国内外(尤其是日本)开发了大量的配方。考察这些配方, 可以归结为以下几部分组成: 土壤(纤维)、有机质、粘结剂、肥料(保水剂)、植物种子、其他外加剂。

土壤: 已开发的技术可用沙土系列、壤土系列、黏土系列(按土壤学分类)。其作用是植物生长创造基本条件。

纤维: 已开发的有机纤维有: 秸秆纤维、纸浆纤维等; 无机短纤维如玻纤; 连续纤维, 即不同长度的有机和无机纤维的混合物。其功能是增加喷射物整体性和抗侵蚀性。

有机质: 很多有机物用于喷射配方中, 如: 酒糟、稻壳、锯末、泥炭土、动物粪便、腐烂的作物秸秆、下水道污泥等。其作用在于增加土壤有机物含量, 改善土壤结构。

粘结剂: 已开发众多系列, 如硅酸盐系列、乳化沥青系列、植物或动物胶、高分子树脂系列。其作用在于增强喷射物的强度和抗侵蚀能力。

肥料: 一般用普通化肥和长效肥混合使用, 有时也用菌肥。具体配方依据植物品种和土壤条件。

保水剂: 已有的保水剂种类繁多: 淀粉系列、纤维素系列、合成聚合物系列、蛋白质系列、其它天然物及其衍生物系

列、混合系列。作用在于提高喷射物的抗旱性能。

植物种子: 一般为已经工业化生产的草种和灌木种子, 目前主要靠进口。

其它外加剂: 如着色剂、团粒剂、消毒剂、酸碱缓冲剂等, 它们一般用于特定场合, 特定需要。

可以看出, 由于喷射混合料配方组分众多, 且组分又很复杂, 按配方分类是十分困难的。一个思路是以喷射混合料中的主要成分(如粘结剂、有机质、土壤等)来对其进行命名和分类。以水为主要介质, 用草种、纤维、粘合剂、肥料、保水剂、染色剂制成混合悬浊液进行喷射绿化的技术命名为液压喷播绿化技术。

以水泥为粘结剂, 且重量比大于 5%, 有机物(纤维+ 有机质或有机质)含量小于 20% (体积比), 并由土壤、肥料、水等组成喷射混合料进行护坡绿化的技术命名为植被混凝土护坡绿化技术。

粘结剂重量比小于 5%, 有机物(纤维+ 有机质或有机质)含量小于 20% (体积比), 并由土壤、肥料、水等组成喷射混合料进行护坡绿化的技术命名客土喷播护坡绿化技术。

有机质含量大于 20% (体积比), 且使用有机粘结剂或无机粘结剂, 并由土壤、肥料、水等组成的喷射混合料进行护坡绿化的技术命名为有机基材护坡绿化技术。

以乳化沥青为粘结剂, 含量大于 5% (重量比), 有机物含量小于 20% (体积比), 并由土壤、肥料、水等组成喷射混合料进行护坡绿化的技术命名为沥青基材护坡绿化技术。表 1 列出上述分类。

按照上述分类标准, 很容易把国内现有所有技术都可以归纳到上述 5 大类喷射护坡绿化技术中, 如张俊云的“厚层基材喷射植被护坡技术”因所含有机物远超过 20% (体积比), 属于有机基材护坡绿化技术。

表 1 按主要成分对喷射护坡绿化技术分类 %

特征	有机物含量(不 包括有机粘结剂)	粘结剂			其它主要组分
		水泥	沥青	其它	
沥青基材	< 20		> 5		土、肥料等
植被混凝土	< 20	> 5			土、肥料等
液压喷播					水、纤维、肥料
有机基材	> 20				土、肥料等
客土喷播	< 20		< 5		土、肥料等

前述众多专业术语如: “混喷植生”、“生态治理”、“混喷快速绿化”、“混喷绿化”、“喷砼植草”、“喷植”、“喷植混凝土”、“乳液喷播建植”、“边坡生态种植基”、“边坡 TBS 植被护坡绿化”、“边坡植生基质生态防护”、“客土吹附”等因其名称所包含内容过于笼统, 不适合用作特指某种配方的喷射技术。周德培、张俊云博士(2003)用“厚层基材喷射植被护坡技术”一词来概括除液压喷播以外的所有喷射护坡绿化技术, 也是不恰当的。

上述 5 大类喷射护坡绿化技术还可以按照喷射混合料组分的其它特征进行进一步细分, 比如当喷射混合料中的粘结剂用有机物(即乳化沥青或高分子树脂), 有机质(不包括粘结剂)体积比大于 20% 时, 喷射混合料应命名为有机基材, 如果用了连续纤维, 就可以进一步向下命名为连续纤维有机基材。再如: 喷射混合料中没使用粘结剂, 且有机质含量小于 20%, 按上述分类标准应命名为客土喷播, 如果使用的土壤是壤土系列, 则可以继续向下命名为壤土系客土喷播。其它的命名规则同理。

2.2 按喷射方式分类

如按喷射方式(喷射混合料的干湿状态)对喷射护坡绿化技术进行分类,可以将其分为:液压喷播、干式喷播、湿式喷播。

液压喷播的定义是:将草种(纤维)、粘合剂、肥料、保水剂、染色剂和水等制成有一定黏稠度的悬浊液,通过专用喷播机械设备喷射到需要绿化的表面上。国外如欧美、日本有多家公司生产专用液压喷播机。目前,国内已经引进了日本的喷播机械生产技术,有多家公司能够生产液压喷播机。显然,该技术的喷射混合料是在搅拌桶中加水搅拌成黏性悬浊液,再经管道喷射到需要绿化的地面上。

干式喷播此技术是在干式混凝土喷射护坡技术的基础上发展起来的,工艺和机械设备基本一样,不同的是喷射混合料不一样。国内基本上都是使用国产干式混凝土喷射机械设备。它的显著特征是喷射混合料是干的,在压风的作用下,经过混凝土喷射机和喷射管道,在喷枪口处才与水相遇。这种方法的优点在于喷射距离大,缺点是效率较低,喷射层不均匀,粉尘污染大。

湿式喷播此技术是在湿式混凝土喷射护坡技术的基础上发展起来的,工艺基本上和湿式混凝土喷射技术一样。日本开发出了专门的机械设备。国内也有厂家能够生产专用设备。它的特点是喷射混合料在喷射机料斗中加水搅拌成泥状经喷射管道喷射到需要绿化的表面。它可以是压风输送,也可以螺旋挤出,或压风加螺旋挤出。它的优点是喷射无粉尘污染,喷射层均匀,效率高。缺点是搅拌困难,输送距离有限,一般不大于 30 m,且易堵塞管道。这大大限制了技术的适用面。

目前,在土质边坡护坡绿化中,液压喷播护坡绿化技术应用最广,它通常与土工网、土工布等配合使用。当和其它的绿化方法一起使用时,液压喷播作为一种播种方式。在岩石边坡护坡绿化中,干式喷播法应用最为广泛。而湿式喷播法只是适用于一些低矮的缓边坡中。

2.3 按与其它绿化方法和材料配合来分类

目前,液压喷播作为一种播种方式和表土防护技术,主要用于土质边坡,已与多种绿化方法和材料配合使用,如与整地工程配合、与土工网(布)或覆盖材料等配合。因其作为

播种方式与其它播种方式如人工播种无本质上的差别,应用范围也基本一样,本文不作详细论述。至于施工机械设备和喷射配方,周德培等(2003)在《植被护坡工程技术》一书中有很详细的论述。

其它 4 种喷射护坡绿化技术一般用于岩石边坡,且与锚杆(锚索)和铁丝网(土工网)配合使用。这主要为了增强喷射混合料初期的整体性能,防止垮落和侵蚀;同时可以对边坡进行浅层防护。一般可以有如下组合,见图 1:

习惯上,把与铁丝网+锚杆配合护坡绿化的喷射技术直接以喷射混合料来命名,如:植被混凝土+铁丝网+锚杆用于护坡绿化时,就叫植被混凝土护坡绿化技术。

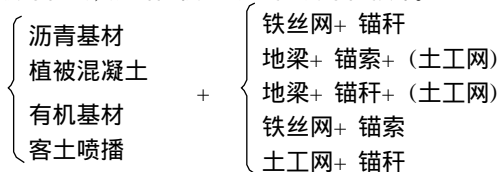


图 1 4 种喷射护坡绿化技术组合

笔者认为,铁丝网+锚索配合护坡绿化的喷射技术可取名为:锚索+喷射护坡绿化技术。如:铁丝网+锚索+有机基材用于护坡绿化时,命名为:锚索+有机基材护坡绿化技术。如地梁+锚索(锚杆)配合护坡绿化的喷射技术可取名为:地梁+喷射护坡绿化技术。地梁+锚索(锚杆)+客土喷播用于护坡绿化时,可命名:地梁+客土喷播护坡绿化技术;土工网+锚杆配合护坡绿化的喷射技术可取名为:土工网+喷射护坡绿化技术。三维网+锚杆+沥青基材配合护坡绿化时可命名为:三维网沥青基材护坡绿化技术。

3 结 语

随着我国公路、铁路等大型基础建设的大规模开展,喷射护坡绿化技术在我国必将迎来推广应用高潮。尽早规范喷射护坡绿化技术术语,制订工程技术规范,是保证行业健康发展的前提。预计近几年内,国内在喷射护坡绿化技术配方、机械设备、施工工艺等方面将取得巨大进展。

参考文献

- [1] 周德培,等.植被护坡工程技术[M].北京:人民交通出版社,2003
- [2] 许文年,等.清江隔河岩电厂高陡混凝土边坡绿化技术研究[J].水利水电技术,2003,34(6):43-47.
- [3] 许文年,等.岩石边坡护坡绿化技术应用研究[J].水利水电技术,2002,33(7):35-37.
- [4] 张俊云,等.岩石边坡喷射种植基试验研究[J].岩石力学与工程学报,2001,20(2):239-242.
- [5] 张俊云,等.厚层基材喷射护坡试验研究[J].水土保持通报,2001,21(4):23-25.
- [6] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [7] 王铁桥,等.挖方岩石边坡绿化技术与方法探讨[J].三峡大学学报(自然科学版),2003,25(2):101-103.
- [8] 叶建军,等.南方岩质坡地生态恢复探讨[J].水土保持研究,2003,10(4):238-241.
- [9] 张俊云,周德培,等.厚层基材喷射植被护坡的抗侵蚀试验研究[J].西南交通大学学报,2002,37(6):628-631.
- [10] 李旭光,等.日本的公路边坡绿化与防护-1994年赴日本考察报告[J].公路交通科技,1995,12(2):59-64.
- [11] 杜娟.客土喷播施工方法在日本的应用与发展[J].公路,2000,(7):72-73.
- [12] 张俊云,等.岩石边坡生态护坡研究简介[J].水土保持通报,2000,20(4):36-38.
- [13] 江玉林.高等级公路生态环境保护问题与对策[J].公路,2000,(8):67-71.
- [14] 金钟.喷砵植草技术在惠河高速公路高边坡防护中的试验应用[J].广东公路交通,2001(2):18-19.
- [15] 周颖,等.喷混植生技术在高速公路岩石边坡防护和绿化中的应用[J].岩土力学,2001,22(3):353-356.
- [16] 汪智耀.铁路路基边坡防护应推广液压喷播植草技术[J].铁路工程造价管理,1999,(4):32.
- [17] 李和平,等.水力喷播技术引进及试验研究[J].水土保持通报,1999,19(2):27-30.
- [18] 章恒江.岩质坡面喷混快速绿化新技术[J].国外公路,2000,20(5):30-32.
- [19] 肖飙,白史且.喷播绿化技术在成绵高速公路的应用[J].草原与草坪,2001,(4):39-40.

- [20] 许文年, 等. 工程边坡绿化技术初探[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2001, 23(6): 512- 513
- [21] 许铁力. 铁路边坡喷植防护施工技术[J]. 西部探矿工程, 2002(6): 156- 157.
- [22] 赖世桂. 漳龙高速公路九砂溪石质边坡的生态治理技术[J]. 草业科学, 2002, 19(7): 58- 60
- [23] 徐国钢, 赖庆旺. 中国西南部道路边坡生态治理的实践[J]. 草业科学, 2002, 19(1): 66- 69
- [24] 顾晶. 三维植被网喷播植草技术在高速公路边坡上的应用[J]. 生态环境, 2003, 12(2): 155- 156
- [25] 邹俊. 喷植混凝土技术在三峡船闸环境绿化中的应用[J]. 人民长江, 2003, 34(9): 15- 16
- [26] 匡旭华. 浅谈乳液喷播建植技术的应用[J]. 石河子科技, 2003, (2): 43- 44
- [27] 四川省励自生态与环境工程技术有限公司, 等. 岩石边坡 TBS 植被护坡绿化技术[J]. 中国环保产业, 2003, (8): 44
- [28] 申新山. 岩石边坡植生基质生态防护工程技术的研发与应用[J]. 中国水土保持, 2003, (10): 26- 28
- [29] 汪东, 肖飙. 有机基材喷播绿化技术在高速公路岩质边坡的应用[J]. 草坪与绿化, 2003, (5): 24- 25

(上接第 176 页)

农田的斑块的破碎度和景观的复杂度最低, 从 1989~2001 年近 20 年间, 农田斑块的破碎度和景观的复杂度变化不大, 交错带的斑块的破碎度和景观的复杂度最高, 从 1989~1999 年 10 年间, PPU 值较之 1999~2001 年高 2 个百分点, 这主要是和人类活动的逐渐增强, 人类对自然景观的影响加大有关。由于 80 年代末期到 90 年代在克里雅河流域进行了大规模的开荒活动, 在于田县, 尤其是交错带一带开垦了大量的荒地, 但同时由于于田地区地下水资源不足, 存在边开垦边撂荒的现象。这种状况直到 90 年代中后期, 随着退耕还林还草工作的进行, 以及当地对交错带保护力度的增加, 情况才有所好转。

绿洲中水体的 PPU 值在 1989~1999 年有所增大。可知该研究区的水环境变化情况比较大, 这和近年来当地居民大力发展灌溉, 开荒面积增多分不开, 但开发利用水资源的同时对土地的沼泽化的影响也比较大。到 2001 年, 由于保护力度的加大, 过度利用水资源的状况有所改变。

荒漠的 PPU 值 20 年来变化不大, 但尽管当地居民在荒漠与交错带之间植树造林, 提高植被覆盖度, 但是没有很好的保护绿洲, 加之不合理的开发利用, 导致植被非常好的绿洲退化成交错带, 形成潜在的沙漠化地带。

于田绿洲—荒漠交错带的演变过程是于田绿洲荒漠化改善与恶化与否的表现。从宏观的角度来看, 这种演变趋势受到了两个主要变量的控制, 即自然因素和人为因素的影响, 其中人类活动对于田绿洲环境演变过程起着主导性作用^[6,7]。

于田绿洲环境演变经历着从有序到无序最终到有序这样一个动态过程。为使人类活动与绿洲环境之间相互适

应、相互协调, 必须树立人地关系协调观, 使于田绿洲走可持续发展的道路^[8]。

随着社会政治和经济的发展, 人们对环境保护、生态建设和可持续发展认识的不断提高, 有关专家学者对塔里木盆地南缘的荒漠化现状给予了特别的关注, 在深入实地考察的基础上, 从理论上提出了大量的合理化建议和科学的防治措施。特别是从极端干旱绿洲特有的生态环境出发, 在掌握好绿洲、交错带、荒漠、水体的动态平衡关系的同时, 结合近几年野外考察实践的经验, 提出了在绿洲、交错带、荒漠、水体之间建立比较理想的层次关系的方法和建议, 即继续坚持大搞农田基本建设, 增加排灌设施, 提高水资源利用率, 维持绿洲的生态平衡, 扩大绿洲范围和提高绿洲生产力, 开展各种植树造林活动, 尤其是营造农田防护林, 防风固沙林, 使绿洲呈现新的发展^[9]。

4 结 语

利用遥感手段, 结合 GIS 技术, 对干旱区绿洲的生态环境的动态变化进行分析评价, 可以为合理的开发绿洲, 对可持续发展绿洲资源以及为改善绿洲生态环境提供新的研究方法和研究手段^[10]。通过对于田绿洲景观动态研究以及对其现状特点及时空分布规律的分析, 奠定了深入研究其生态环境变化机制和驱动因子的必要条件和前提。本文针对于田县 20 年来景观变化的分析研究, 从理论上提出了维持于田县生态环境可持续发展的一些建议和意见, 旨在改善于田县脆弱的生态环境, 建立满足人口、资源、环境协调发展的生态环境, 从而促进社会经济的可持续协调发展。

参考文献:

- [1] 塔西甫拉提·特依拜, 熊黑钢, 丁建丽, 等. 干旱区环境演变与遥感应用研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 2001. 109- 115
- [2] 熊黑钢, 钟巍, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 塔里木南缘自然与人文历史变迁的耦合关系[J]. 地理学报, 2000, 55(2): 17- 19.
- [3] 樊红. ARC/INFO 应用与开发技术[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1999. 45- 96
- [4] 高志强, 刘纪远, 庄大方. 基于遥感和 GIS 的中国土地利用/土地覆盖的现状研究[J]. 遥感学报, 1999, 3(2): 9- 14
- [5] Robert C. Frohn. Remote Sensing for Landscape Ecology [M]. New York: The Lewis Publisher of Boca Raton, 1999. 15- 16
- [6] 吴薇. 近 50 年来毛乌素沙地的沙漠化过程研究[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 164- 168
- [7] 李宝林, 周成虎. 东北平原西部沙地近 10 年的沙质荒漠化[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 307- 315
- [8] 马光, 曾苏, 吕锡武等. 环境与可持续发展导论[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 3- 11.
- [9] 俎瑞平, 高前兆, 钱鞠. 2000 年来塔里木盆地南缘绿洲环境演变[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 122- 128
- [10] 塔西甫拉提·特依拜, 熊黑钢, 丁建丽, 等. 塔里木盆地南部生态环境演变研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 2001. 116- 117.