

沙漠地区高速公路工程防沙体系效益分析

左合君, 董智, 魏江生, 高永, 胡春元

(内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 沙漠地区高速公路建设在西部大开发中的战略地位和重要作用, 决定了高速公路沙害防治已成为交通线路沙害防治的主要内容之一。以新地—麻黄沟高速公路为例, 对防沙体系的防护效益进行研究。认为新地—麻黄沟高速公路防沙体系设计合理, 符合当地自然环境条件; 阻沙带、固沙带改变了风沙流结构, 降低了输沙强度, 增加了地表粗糙度, 有效的起到了削弱风速, 阻截流沙, 控制沙丘形态变化, 保持地表稳定的作用; 防沙体系建成后仅节省清沙费一项, 3年可收回体系建设投资, 而防沙体系设计使用寿命为5~7年, 若日常维护及时并辅以封育恢复天然植被措施, 其使用寿命还可延长甚至长期发挥防沙作用; 该地区公路防沙体系的结构配置对干旱、半干旱沙漠地区高速公路沙害防治具有一定的借鉴作用。

关键词: 沙漠地区; 高速公路; 防沙体系; 防护效益

中图分类号: U 412; S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)06-0222-04

Benefit Analysis of Sand-prevention Engineering System for Highway in Desert Region

ZUO He-jun, DONG Zhi, WEI Jiang-sheng, GAO Yong, HU Chun-yuan

(College of Ecology and Environment Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China)

Abstract: Strategic position and important function of highway development in desert region at the western region development decided that the sandy-prevention of highway has become the main contents in the transportation circuit. Taking Xindi—Mahuangou highway as an example to research defending benefit of the sandy-prevention system. This sandy-prevention system of Xindi—Mahuangou highway had a reasonable design, matching the native natural environment; the sand-prevention belt and the sand-fixed belt have changed the structure sandstorm flows, lowered the sandy-transportation rate. At the same time, it increased the roughness and took an important role in weakening wind velocity, preventing sand, controlling dune appearance variety and keeping surface stability; after the sandy-prevention system set up, only by the sandy-cleaning fee can taking back the investment of system developments during 3 years use. However, sand-defend system by engineering general for 5~7 years use. If usually maintenance on time and assist to seal to restore natural plant measure, its service life can prolong to defend the sand over a long period of time; the sand prevention system of this region did a reference function to the sandy-prevention of highway in arid and semiarid sandy land.

Key words: desert region; highway; the sandy-prevention system; protection benefit

随着西部大开发战略的实施, 沙漠地区公路建设得到长足发展, 特别是高速公路里程迅速增加。沙漠地区风力强劲, 沙源丰富, 具备了公路形成沙害的动力和沙物质基础, 极易发生路基、路面、边坡、路肩的风蚀、沙埋, 造成公路沙害, 影响公路的正常运营。因此, 沙漠地区高速公路的沙害防治已成为交通线路沙害防治的主要内容之一。本文以丹拉国道主干线内蒙古自治区段新地—麻黄沟高速公路(以下简称新麻高速公路)为例, 对防沙体系的建设及防护效益进行了研究, 为沙漠地区高速公路防沙体系设计、建设和维护提供理论依据。

1 研究区概况

1.1 自然条件

新麻高速公路地处乌海市海勃湾区北端黄河东岸, 桌子山西侧山前平原, 公路穿越乌兰布和沙漠东南缘。沙害路段为K1128+250~K1130+260, 全长2 km。

乌海属典型温带大陆性气候。年平均降雨量160~170 mm, 全年蒸发量为3 481 mm, 雨季集中于6~8月份。年平均气温9.0~9.2℃, 1月份平均温度-9.7℃, 7月份平均温度25.4℃, 极端最高气温39.4℃, 极端最低气温-32.6℃。10月的年有效积温为3 515~3 645℃。年平均风速3.1~4.7 m/s, 最大风速为28 m/s; 全年8级以上大风日数为15~32 d, 最多52 d, 4~11月以东南风为主, 11~3月以西北风为主; 年均沙尘暴25.6次, 扬沙51.9次, 以春季为主; 年起沙风(≥5 m/s)为3 550.2 h, 其中5~8 m/s的风速占66.7%, 5~15 m/s的风速占32.4%, 15~20 m/s的风速占0.9%。

1.2 防沙体系结构

新麻高速公路位于乌兰布和沙漠东南缘, 穿越桌子山前乌兰布和沙漠东扩的沙物质沉积区, 形成沙害的沙源是多年来黄河封冻时从乌兰布和沙漠越过黄河冰面突遇桌子山的阻挡形成的, 沙丘密度在0.7~0.9之间, 沙丘流动性强, 裸

* 收稿日期: 2005-01-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号30360088)

作者简介: 左合君(1971-), 男, 甘肃渭源人, 硕士, 讲师, 主要从事荒漠化防治研究。

露沙丘占90%以上,沙粒粒径以细粒、极细粒为主。该地夏秋季盛行东南风、冬春季盛行西北风,沙丘具有往复式移动的特点。该路段公路走向与主、次害风向的夹角小于 45° ;路堑距离长、高度大,容易形成路面舌状和堆状沙埋。因此防沙体系设计以工程防护体系为主,左右对称型结构,两侧的防护宽度各为400 m。防沙体系由4个功能带组成,以公路为轴线,从公路边坡开始由内到外依次为整平带(输沙带)、固沙带、阻沙带、封沙育草带。其中,固沙带宽250 m,由沙柳格状沙障构成,近路侧宽150 m的沙障规格为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$,远路侧宽100 m的沙障规格为 $1\text{ m} \times 2\text{ m}$,障高20 cm。阻沙带宽80 m,由5行沙柳高立式沙障组成,总体走向与公路平行(或与主风向交角控制在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 范围内),孔隙度30%~40%,障间距为15~20 m,障高1.0~1.5 m。

2 研究方法

2.1 风速测定

风速测定使用中国科学院兰州寒区旱区环境与工程研究所研制的10~12通道遥测风速自动采集仪,观测高度分别为200 cm和20 cm,风速仪记数间隔为6~8 s,观测时间为1 h,所测风速为瞬时风速。粗糙度是衡量下垫性质的指标,即地面风速为零的高度,可用下式计算:

$$\lg Z_0 = (\lg Z_2 - A \lg Z_1) / (1 - A) \quad (1)$$

$$A = V_2 / V_1 \quad (2)$$

式中: Z_0 ——地面粗糙度(cm); Z_1, Z_2 ——任意两高度(cm); V_1, V_2 —— Z_1, Z_2 对应的风速(m/s)。

2.2 输沙量测定

输沙量使用内蒙古农业大学生态环境学院自制的沙尘采样器测定,采样时间为5 min。风沙流结构特征值可用下式表示:

$$\lambda = Q_{2-10} / Q_{0-1} \quad (3)$$

式中: Q_{0-1} 为0~1 cm高度气流层内的输沙量; Q_{2-10} 为2~10 cm高度气流层内的输沙量。

2.3 沙丘形态变化测定

沙丘形态变化采用标杆法测定,分别在防沙体系内外选择一个高度、形态相似的沙丘,从沙丘迎风坡坡角开始,沿其运动方向每隔3 m设一带刻度的标杆,并测定该点的相对高程,作为沙丘原始(对照)形态控制点,然后定期测定各点的蚀积状况和沙丘的形态变化。

3 结果与分析

3.1 风速和下垫面性质

在流动沙丘上和半隐蔽式沙柳方格沙障内,分别选择一个地形相似、高差相近、距路等距离的样地,测定4个不同点200 cm和20 cm高度处的风速,比较流动沙丘上和半隐蔽式沙柳方格沙障内同一点不同高度的风速降低百分比。旷野风速为 7.75 m/s 时,流动沙丘上和半隐蔽式沙柳方格沙障内不同点的风速降低百分比见图1。由图1可知,流动沙丘上不同观测点20 cm高度处较200 cm高度处风速的降低百分比在15%~35%范围内,而半隐蔽式沙柳方格沙障内不同观测点20 cm高度处较200 cm高度处风速的降低百分比在60%~75%范围内。

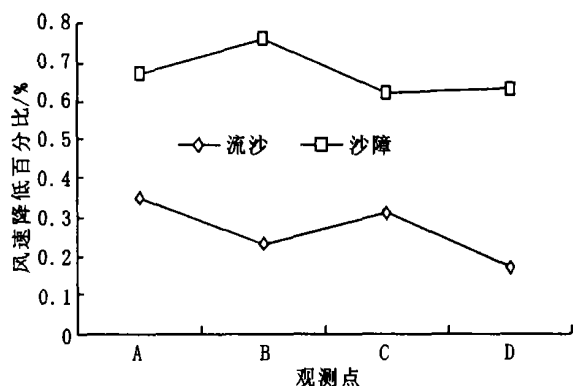


图1 沙柳方格沙障与流沙(对照)风速降低百分比

下垫面的性质变化受地表状况和风速变化的影响。根据连续实测的20组风速数据的平均值分别计算流沙和半隐蔽式沙柳方格沙障内地表粗糙度,结果显示:流沙地表粗糙度为 0.0721 cm ,半隐蔽式沙柳方格沙障地表粗糙度为 5.7463 cm ,防沙体系内地表粗糙度较流沙增加了79.70倍,反映出防沙体系对改变下垫面性质具有显著作用。

为研究防沙体系内部距公路距离不同的各观测点之间风速和地表粗糙度变化趋势,在规格为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的固沙带内,沿垂直于公路的方向,从固沙带外缘开始依次布设9个观测点,测定200 cm和20 cm高度处的风速,并利用20次观测数据的平均值绘制2个高度风速的变化趋势线(见图2),从图2可以看出,气流在吹越防护体系的过程中不断地受到沙障的阻挡而使风能减弱,风速降低,不论是200 cm高度还是20 cm高度,风速的降低均表现出较强的线性变化规律,但二者降低的缓急程度不同。受风速变化的影响,距路最远、最近两点的下垫面性质也有较大差异,最远点地表粗糙度为 0.5408 cm 、最近点地表粗糙度 1.2119 cm ,相差2.24倍。

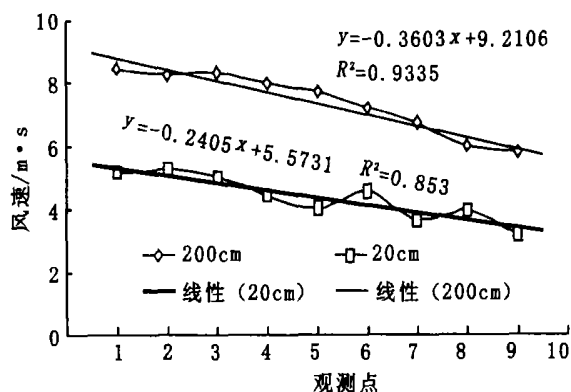


图2 距公路不同距离的各观测点风速变化趋势

3.2 风沙流结构

输沙量观测时间为5 min,该时段2 m高度处旷野平均风速为 6.78 m/s 。输沙量测定结果显示,沙柳方格沙障内总输沙量为3.69 g,输沙率为 $0.0074\text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$,流沙地总输沙量为62.23 g,输沙率为 $0.1245\text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$,流沙地总输沙量、输沙率分别是沙障内的16.87倍和16.82倍。

从风沙流随高度的分布(见图3)可以看出,流沙地风沙流分布于0~20 cm高度范围内,0~10 cm高度范围内占95%,表明流动沙丘近地层内风沙运动剧烈、输沙强度大;沙柳方格沙障内风沙流分布于0~8 cm高度范围内,0~4 cm高度范围内占90%,表明半隐蔽式沙柳方格沙障内近地层只有轻微的风沙运动,且输沙强度小。从风沙流结构特征值分

析, 流沙地 $\lambda = 1.68 > 1$, 表明下层沙量处于未饱和状态, 风沙流尚有较大的搬运能力, 在沙源丰富的条件下, 有利于吹蚀的发生; 沙柳方格沙障 $\lambda = 0.74 < 1$, 表明下层沙量处于饱和状态, 风沙流中的沙粒要产生堆积。

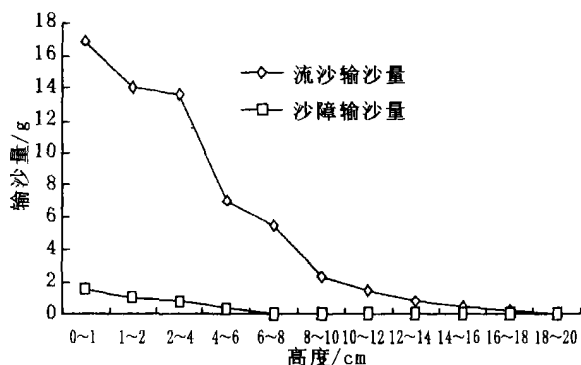


图3 沙柳方格沙障与流沙(对照)的风沙流结构

3.3 阻沙效益

阻沙带处于防沙体系的最前沿, 是防沙体系的核心组成部分, 其功能是阻截沙源, 保护固沙带免遭流沙埋压。因此, 阻沙带的阻沙效益直接影响防护体系的稳定和整体防沙效益。为此, 选择地形起伏较小, 位于沙丘中下部的第一带高立式沙柳沙障(疏透度为50%)测定其风速流场, 在障前4H、1H和障后1H、4H、8H处布设5个观测点, 并绘制旷野风速为7 m/s、9 m/s时的风速流场图(见图4、图5)。

从图4和图5可以看出, 不论旷野风速是7 m/s还是9 m/s, 障前100 cm高度以下、1H~3H范围内均出现一个风力加强区, 而在障后1H和4H附近, 100~200 cm高度处形成强风区, 100 cm高度以下处形成弱风区。究其原因气流在运动过程中遇到高立式沙障的阻挡, 上部气流被迫抬升, 越过障顶后在上方形成气流密集区, 风力随之加强, 而下部气流遇阻耗能后风速降低, 在障后产生涡旋、回流, 形成弱风区。由此可反映出风沙流通过高立式沙障时, 其堆积形态为“双峰”型, 堆积最高点在障后。但在不同的旷野风速条件下, 高立式沙障前后的风速流场结构也存在一定差异, 随着旷野风速的增大, 障前的流场趋于平缓, 障后上方的强风区流场结构变化不明显, 而下方两个弱风区的流场结构却正好相反。

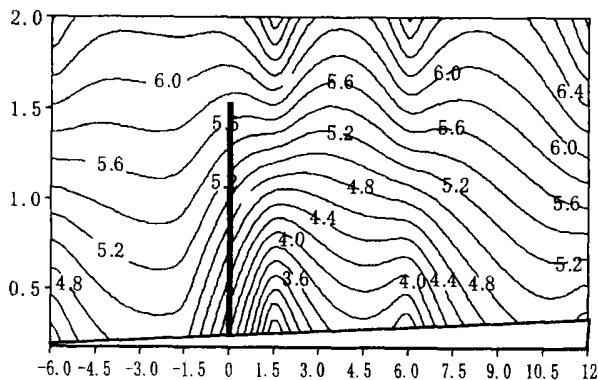


图4 旷野风速为7 m/s时的风速流场图

从流场看风速的恢复, 旷野风速为7 m/s时, 气流在障后8H附近恢复到旷野风速, 而旷野风速为9 m/s时, 气流在障后8H附近尚未恢复到旷野风速, 但两者差异不大。这与王训明、陈广庭等的风洞实验结果不符, 可能是因为风洞实验

中风沙流比较稳定, 而野外多湍流和波动, 且风沙流具有层次性和间歇性的缘故。但野外流沙在沙障前后的堆积形态调查却与实测流场变化规律的推论相一致。这也反映出高立式沙障流场结构的复杂性和受地形、阵风影响的多变性。

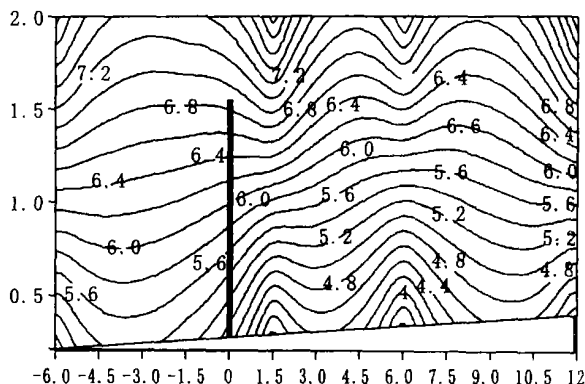


图5 旷野风速为9 m/s时的风速流场图

由于乌海年起沙风(5 m/s)为3 550 h, 其中5~8 m/s的风速占66.7%, 5~15 m/s的风速占32.4%, 故该地区防沙体系阻沙带障高若设计为1.5 m, 其障间距选择8H~12H较为合理。这也说明新麻高速公路防沙体系阻沙带障间距的设计是可行的, 是符合当地自然环境特征的。

3.4 沙丘形态变化

防沙体系内沙丘形态的变化是衡量防沙体系防护效益的主要指标。以2003年11月8日体系内外两个对照沙丘各观测点测定的相对高程为原始基准点, 与2004年5月19日测定的相对高程对比分析, 并绘制沙丘形态变化图(见图6、图7)。由于观测时段正值当地大风季节, 所测沙丘形态变化数据能反映该地风沙运动的真实情况。

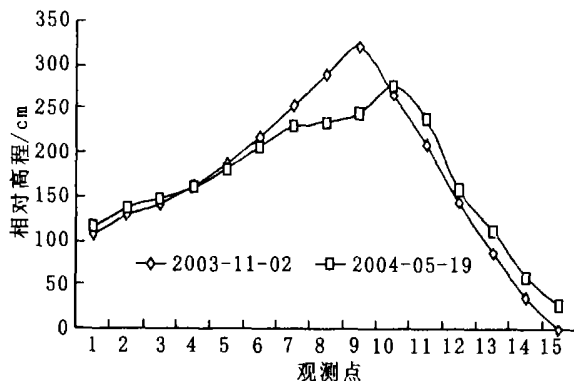


图6 流动沙丘形态变化

对比图6、图7所示沙丘形态变化图可知, 流动沙丘顶部和迎风坡上部风蚀严重, 最大风蚀深度达75 cm, 而迎风坡下部出现轻度堆积, 背风坡中、下部发生大面积堆积, 沙丘表现为整体前移, 说明防沙体系外风沙运动剧烈, 蚀积变化频率高, 移沙量大; 防沙体系内沙丘顶部和迎风坡上部有风蚀发生, 风蚀深度10 cm左右, 而迎风坡下部和背风坡下部蚀积交替, 以堆积为主。但总体来看, 体系内风沙运动微弱, 蚀积变化程度低, 移沙量少, 沙物质的运移只限于体系内部, 说明防沙体系对控制沙丘形态变化、保持地表稳定具有显著作用。

3.5 社会效益

新麻高速公路K1128+250~K1130+260路段沙害以沙丘整体前移埋压路基、路面为主。沙害路段公路走向与主、次害风向的夹角均小于45°; 路堑距离长、高度大, 一旦形成沙

害, 清沙比较困难。有关资料显示, 磴口至乌海的黄河岸边, 流沙东移速度为 $10 \sim 15 \text{ m/a}$, 最大为 17 m/a 。如果流沙移动速度以 10 m/a 、路侧沙丘高度以 4 m 计算, 每年新麻高速沙害路段的流沙堆积量为 $2\,000 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 80\,000 \text{ m}^3$ 。

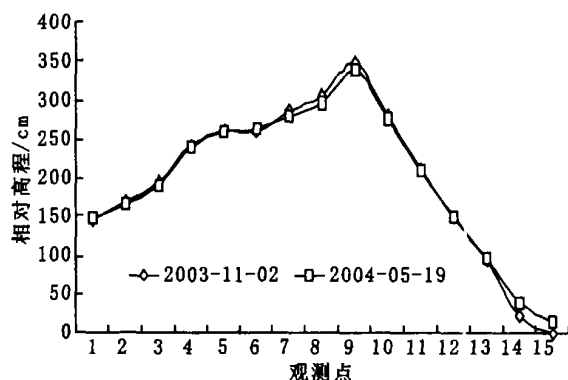


图7 防沙体系内沙丘形态变化

若无防沙体系, 按阿拉善盟公路管理局公路清沙试验的费用定额测算: 单纯人工清沙的成本为 15 元/m^3 , 该路段清沙费用每年为 120 万元; 使用推土机、装载机清沙的成本为 5.5 元/m^3 , 年清沙费为 44 万元; 清运距离较长, 采用人工、机械联合清沙的成本为 8 元/m^3 , 年清沙费为 64 万元。以上费用尚不包括风沙流对路边坡、路面的损害而产生的维护费, 路面积沙

参考文献

- [1] 张奎壁, 邹受益. 治沙原理与技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990
- [2] 朱朝云, 丁国栋, 杨明远. 风沙物理学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992
- [3] 胡春元, 杨茂, 杨存良. 库布齐沙漠穿沙公路沙害防治技术[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(3): 71-77.
- [4] 凌裕泉. 草方格沙障的防护效益[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1992
- [5] 徐新文, 胡玉坤, 潘伯荣. 塔里木沙漠公路防沙体系的防护效益[J]. 干旱区研究, 1998, 15(1): 21-26
- [6] 王训明, 陈广庭. 塔里木沙漠公路沿线机械防沙体系效益评价及防沙带合理宽度的初步探讨[J]. 干旱区资源与环境, 1997, (4): 28-35

(上接第 165 页)

则偏低。(4) 未来之研究可加入历年之植物景观之变迁, 以及植生工法施工后之植物空间变化, 应可更完整了解与评估植

造成的车速减缓、营运中断、交通事故等对社会产生的经济损失。防沙体系建成后仅节省清沙费一项, 3 年可收回防沙体系建设的全部投资, 而沙柳沙障工程防沙体系的使用寿命一般为 5~7 年, 若维护及时并辅以封育恢复天然植被措施, 其使用寿命还可延长甚至长期发挥防沙作用。因此, 新麻高速公路防沙体系的社会经济效益是十分显著地。

4 结论

(1) 固沙带内半隐蔽式沙柳沙障, 削减近地表风速 60% 以上, 并使地表粗糙度比流沙上提高了 79.70 倍; 障内输沙率为 $0.0074 \text{ g/(cm}^2 \cdot \text{min)}$, 仅是流沙地输沙率的 5.9%, 风沙流结构特征值 $\lambda = 0.74 < 1$, 近地层流沙以堆积形态为主, 地表趋于稳定。

(2) 阻沙带有效地起到了削弱风速、阻截流沙的作用, 保护了固沙带半隐蔽式沙障的安全; 高 1.5 m 的高立式沙障有效防护距离相当于 $8H \sim 12H$ 障高。

(3) 防沙体系内风沙运动微弱, 蚀积变化程度低, 移沙量少, 沙物质的运移只限于体系内部, 说明防沙体系对控制沙丘形态变化、保持地表稳定具有显著作用。

(4) 新麻高速公路防沙体系起到了防风固沙、保护公路、节约养护经费的作用。体系建成后仅节省清沙费一项, 3 年可收回防沙体系建设的全部投资。而防沙体系设计使用寿命为 5~7 年, 若日常维护及时并辅以封育恢复天然植被措施, 其使用寿命还可延长甚至长期发挥防沙作用。

生工法之景观生态效益。

参考文献

- [1] 林信辉, 张俊斌, 陈意昌. 西南部泥岩空间结构与景观生态变迁之研究[J]. “水土保持学报”, 2002, 34(4): 261-278
- [2] 林信辉, 张俊斌, 周跃. 台湾西南部泥岩土地利用型态与环境劣化趋势之分析[J]. 云南地理环境研究, 2003, 15(3): 40-47.
- [3] 林裕彬, 林怡君. 以景观生态观点探讨芦竹乡农田景观结构[J]. 中国文化大学地理研究报告, 1999, (12): 107-130
- [4] 林裕彬, 邓东波, 吴振发. 景观生态计量方法于农业景观生态系统之空间结构探讨[J]. 农业工程学报, 2001, 47(2): 7591.
- [5] 张俊斌, 张振生. 结合遥测影像、地理信息系统及景观生态计量方法应用于泥岩景观生态变迁[J]. 水土保持研究, 2004, 11(5): 100-107.
- [6] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 1-20
- [7] Baker, W. L. The landscape ecology of large disturbances in the design and management of nature reserves[J]. Landscape Ecology, 1992, 7(3): 181-194
- [8] Dramstad, W. E., J. D. Olson, R. T. T. Forman. Landscape Principles in Landscape Architecture and Land-use Planning [M]. Washington D. C: Island Press, 1996
- [9] Forman, R. T. T. M. Godron. Landscape Ecology [M]. New York: John Wiley & Sons, 1986
- [10] Gross, J. E., C. Zank, N. T. Hobbs. Movement rules for herbivores in spatially heterogeneous environments: responses to small scale pattern[J]. Landscape Ecology, 1995, 10(4): 209-217.
- [11] Gustafson, E. J. G. R. Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern[J]. Landscape Ecology, 1992, 7(2): 102-103
- [12] Turner, M. G., R. H. Gardner. Quantitative Methods in Landscape Ecology [M]. New York: Springer, 1991.