

改进的变尺度优化算法在节水灌溉制度优化设计中的应用*

王红霞^{1,2}, 卢文喜², 韩晓明³, 贾小丰², 陈伟伟²

(1. 水利部 山西水利水电勘测设计研究院, 太原 030024; 2. 吉林大学 环境与资源学院, 长春 130026; 3. 中港二航局三公司, 江苏 镇江 212003)

摘 要: 应用改进的变尺度混沌优化算法对水分生产函数模型进行求解, 求解程序用 Visual Basic 编写。以河西武威绿洲春小麦数据为例, 将混沌算法应用于小麦灌溉制度优化设计中, 并与动态规划法进行对比, 证明改进的混沌优化算法可以提高灌溉制度优化设计的精度与速度。

关键词: 变尺度混沌优化算法; 灌溉制度; 动态规划

中图分类号: S274. 1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2008)01-0219-04

Application of Chaos Optimization Algorithm in Optimal Design of Water Saving Irrigation Program

WANG Hong-xia¹, LU Wen-xi¹, HAN Xiao-ming², JIA Xiao-feng¹, CHEN Wei-wei¹

(1. Shanxi Investigation and Design Institute of Water Resource, Taiyuan 030024, China; 2. Environment and Resource Academy, Jilin University, Changchun 130026, China; 3. The Third Company of CH2E Second Navigational Engineering Bureau, Zhenjiang, Jiangsu 212003, China)

Abstract: This text has lead in an improved mutative scale chaos optimization algorithm to solve water production function model on the basis of Visual Basic programming. We applied Chaos algorithms to optimize the design of irrigation systems, contrasting with the dynamic planning algorithm through the experiment date of the spring wheat in Hexiwuwei oasis. It has proved that in some extent we can really improve the precision and speed of the irrigation system optimization design when using Chaos optimization algorithms.

Key words: mutative scale chaos optimization algorithm; irrigation procedure; dynamic planning

混沌是指在确定性系统中出现的一种貌似无规则、类似随机的现象, 是普遍存在的复杂运动形式和自然现象。混沌运动是指在确定性系统中局限于有限相空间的高度不稳定性运动, 混沌运动能遍历空间内所有状态, 但其优化结果与搜索空间关系很大, 并且由于混沌运动具有随机性使得有可能在接近全局最优解时, 却跳得很远, 从而造成优化时间的浪费。针对以上问题, 提出改进的变尺度混沌优化算法, 其特点: (1) 根据搜索进程, 不断缩小优化变量的搜索空间; (2) 根据搜索进程, 不断改变“二次搜索”的调节系数^[1]。

由作物普遍存在的耗水规律^[2]可知, 等量缺水如果发生在作物的不同阶段, 缺水对作物产量的影响是不同的, 作物需水关键期的水分亏缺会导致较大的减产。针对作物各生育期的耗水规律建立灌溉制度模型, 以达到有限灌溉用水在各生育期优化分配的目的。该文将基于混沌优化算法的作物优化灌溉决策模型应用到节水制度优化中, 并与动态规划方法做比较, 结果表明, 混沌算法比动态规划法具有更好的全局搜索优越性, 更接近最优解。

1 改进的变尺度混沌优化算法

混沌优化是通过混沌变量实现的, 混沌变量的产生有多种方法。选用应用较广的 Logistic 映射, 其方程如下:

$$X_{k+1} = \mu X_k(1 - x_k) \tag{1}$$

式中: μ ——控制参数, 容易证明当 $\mu = 4$ 时, 式(1)完全处于混沌状态, 在数学上的解释就是通过式(1)的迭代可“随机”产生(0, 1)之间除开不动点(即 0.25, 0.5, 0.75)之外的所有数值。利用混沌对初值敏感的特性, 赋给式(1) n 个(0, 1)之间不同的初值(不动点除外)即可得到 n 个轨迹不同的混沌变量。步骤为

Step 1 初始化 $k = 0, r = 0$ 。 $x_i^k = x_i(0), x_i^* = x_i(0), a_i^r = a_i, b_i^r = b_i$, 其中 $i = 1, 2, \dots, n$ 。这里 k 为混沌变量迭代标志, r 为细搜索标志, $x_i(0)$ 为区间 n 个相异的初值, x_i^* 为当前得到的最优混沌变量, 当前最优解 f^* 初始化为一个较大的数。

Step 2 把 x_i^k 映射到优化变量取值区间成为 mx_i^k

$$mx_i^k = a_i^r + x_i^k \cdot (b_i^r - a_i^r) \tag{2}$$

Step 3 如上一解被接受,

$$mx_i^{k+1} = m_{xi}^* + 0.1(b_i^r - a_i^r)(2.0x^{k+1}i - 1) \tag{3}$$

否则继续大范围搜索。

$$\text{Step 4} \quad k = k + 1; x_i^k = 4 \cdot x_i^k(1 - x_i^k) \tag{4}$$

Step 5 重复 Step 2, 3, 4。直到一定步数内 f^* 保持不变为止, 然后进行以下步骤。

* 收稿日期: 2006 09 18
基金项目: 吉林省科技发展规划重大项目(20050416-2)
作者简介: 王红霞(1981-), 女, 山西文水人, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉研究。
通信作者: 卢文喜(1956-), 男, 吉林德惠人, 教授, 博士生导师, 主要从事生态水文、地下水系统数值模拟和优化管理研究。

Step 6 缩小各变量的搜索范围

$$a_i^{r+1} = mx_i^* - \gamma \cdot (b_i^r - a_i^r) \tag{5}$$

$$b_i^{r+1} = mx_i^* - \gamma \cdot (b_i^r - a_i^r) \tag{6}$$

此处 γ 取值可借鉴模拟退火思想, 初始时取 0.5, 然后按一定速率下降, 即 $\gamma^{r+1} = \beta \gamma^r$, 其中 β 可取稍小于 1 的数, 迭代时还应注意检查 $\gamma(b_i^{r+1} - a_i^{r+1})$ 的大小, 一般可认为当 $(b_i^{r+1} - a_i^{r+1}) < 10 E^{-10}$ 时 γ 停止继续下降。应该指出的是, 初始时 γ 不能小于 0.1, 因为该算法只能保证真实最优解落在以临时最优解为中心, $0.1(b_i^r - a_i^r)$ 为半径的领域内^[3]。 $mx_i^* = a_i^r + x_i^* o(b_i^r - a_i^r)$ 为当前最优解。为使新范围不致越界, 需做如下处理:

若 $a_i^{r+1} < a_i^r$, 则 $a_i^{r+1} = a_i^r$; 若 $b_i^{r+1} > b_i^r$, 则 $b_i^{r+1} = b_i^r$ 。另外, x_i^*, x_i^k 还需做如下还原处理:

$$x_i^* = (mx_i^* - a_i^{r+1}) / (b_i^{r+1} - a_i^{r+1}) \tag{7}$$

$$x_i^k = (mx_i^k - a_i^{r+1}) / (b_i^{r+1} - a_i^{r+1}) \tag{8}$$

Step 7 再把 x_i^* 与 x_i^k 的线性组合作为新的混沌变量, 用此混沌变量进行搜索

$$y_i^k = (1 - \alpha)x_i^* + \alpha x_i^k \tag{9}$$

式中: α ——一较小数。

Step 8 以 y_i^k 为混沌变量进行 Step 2, 3, 4 的操作。

Step 9 重复 Step 7, 8 的操作, 直到一定步数内 f^* 保持不变为止。然后进行以下步骤。

Step10 $r = r + 1$, 减小 α 的值, 同样借鉴模拟退火的思想, $\alpha^{r+1} = \lambda \alpha^r$, 式中: λ ——稍小于 1 的数。取重复 Step 6, 7, 8, 9 的操作。

Step 11 重复 Step 10 若干次后结束寻优计算。

Step 12 此时的 mx_i^* 即为算法得到的最优变量, f^* 为算法得到的最优解。

求出全局极小值 $\min[-f(x)]$ 即全局极大值优化问题。

2 变尺度混沌算法在灌溉制度优化模型中的应用

2.1 模型的建立

作物优化灌溉决策模型, 可以在给定初始条件(包括可供利用水量和播前土壤含水量)下, 确定作物的最优灌溉策略, 以确保最大限度地利用天然降雨, 减少灌溉补水, 取得最大效益。

2.1.1 目标函数

灌溉制度优化计算中常以有限水量分配后获得最大效益、产量或相对产量最大为目标函数。作物的产量形成也是一个连续过程, 不同阶段的生长指标对产量构成的影响颇大, 作物在某个阶段缺水不仅对本阶段的生长有影响, 而且还会影响后续阶段的生长。Jensen 水分生产函数模型能较好地符合此要求, 因此选用此模型作为目标函数。即:

$$F = \max\left(\frac{Y_a}{Y_m}\right) = \max \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_a}{ET_m}\right)_i \lambda_i \tag{10}$$

式中: n ——作物整个生育期生长阶段数; λ_i ——第 i 生育阶段的水分敏感指数, 可用 Jensen 模型分析灌溉试验资料求得^[2]; Y_a ——作物实际产量; Y_m ——作物最大产量; ET_a ——作物实际蒸散量; ET_m ——作物最大蒸散量。

2.1.2 阶段变量

根据不同作物的生育特点, 将全生育期划分 n 个阶段, 以生育阶段的自然顺序设置阶段变量 i , 即 $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

2.1.3 决策变量

模型决策变量包括 2 个: (1) 各生长阶段的灌水量 d_i ; (2) 实际蒸散量 $ET_a, i = 1, 2, \dots, n$ 。

2.1.4 状态变量

状态变量包括 2 个: (1) 某一生长阶段初期可供灌溉的水量 q_i ; (2) 计划湿润层可供小麦利用的水量 W_i 。其中 W_i 是土壤含水率的函数:

$$W_i = 1000 \gamma H_i (\theta - \theta_{oi}) \tag{11}$$

式中: γ ——土壤干容重(g/cm^3); H_i ——第 i 阶段计划湿润层深度(m); θ_i ——第 i 阶段计划湿润层土壤平均含水率, 以占干土重的百分数计; θ_{oi} ——土壤含水率下限, 以占干土重的百分数计。

2.1.5 系统方程

系统方程是描述系统在运动过程中状态转移的方程, 由于本系统有 2 个状态变量, 系统方程有 2 个:

(1) 水量分配方程。若对第 i 个阶段采用决策 d_i 时, 可表达为

$$q_{i+1} = q_i - d_i \tag{12}$$

式中: q_i, q_{i+1} ——第 i 及第 $i + 1$ 阶段初可用于分配的水量。

(2) 土壤计划湿润层内的水量平衡方程, 可写成:

$$(ET_a)_i + W_{i+1} = W_i + d_i + P_i + K_i + WZ_i \tag{13}$$

式中: P_i ——第 i 阶段的有效降雨量; W_i, W_{i+1} ——第 i 阶段及第 $i + 1$ 阶段初土壤可供利用的水量; K_i ——第 i 阶段的地下水补给量; WZ_i ——计划湿润层增加而增加的水量。

2.1.6 约束条件

根据田间实际情况和生产经验得到以下决策约束:

$$i = 1, 2, \dots, n; 0 \leq d_i \leq q_i \tag{14}$$

$$\sum_{i=1}^n d_i \leq Q \tag{15}$$

$$(ET_{\min})_i \leq (ET_a)_i \leq (ET_m)_i \tag{16}$$

式中: Q ——全生育期单位面积上可供分配的水量; $(ET_{\min})_i, (ET_m)_i$ ——第 i 阶段的最小和最大蒸散量。

土壤含水率约束:

$$\theta_{oi} \leq \theta_i \leq \theta_m \tag{17}$$

式中: θ_m ——田间持水量。

对于具体问题还有具体的约束条件, 也要加进去。

2.1.7 初始条件

假定作物播种时的土壤含水率为已知, 即:

$$\theta_1 = \theta_0 \tag{18}$$

$$W_1 = 1000 \gamma H_1 (\theta_0 - \theta_{o1}) \tag{19}$$

设第一时段初可用于分配的水量为作物生育期可用于分配的水量, 即:

$$q_1 = Q \tag{20}$$

2.2 模型的求解

采用变尺度混沌算法进行求解, 其具体过程如下:

Step 1 设混沌变量。由模型中的实际变量(包括决策变量和状态变量)可设混沌变量: 各生长阶段灌水量的混沌变量 d_{hi} 和计划湿润层可供小麦利用水量的混沌变量 W_{hi} 。

Step 2 变量初始化 $k = 0, r = 0$ 。 $d_{hi}^k = d_{hi}(0), W_{hi}^* = W_{hi}(0)$, 其中 $i = 1, 2, \dots, n$ 。这里 k 为混沌变量迭代标志, r 为细搜索标志, $d_{hi}^k = d_{hi}(0), W_{hi}^* = W_{hi}(0)$ 为区间 n 个相异的

初值, d_{hi}^* 和 W_{hi}^* 为当前得到的最优混沌变量, 当前最优解 f^* 初始化为一较小的数。

Step 3 变量约束区间的选取。设 ad_i, bd_i 分别为 d_i 的区间上下限, a_{wi}, b_{wi} 分别为 W_i 的区间上下限。区间的具体值可由具体问题确定。

Step 4 把 d_{hi}^k 和 W_{hi}^k 映射到优化变量取值区间成为 d_i^k 和 W_i^k 。映射公式如下:

$$d_i^k = a_{di} + d_{hi}^k \cdot (b_{di} - a_{di})$$

(21)

$$W_i^k = a_{wi} + W_{hi}^k \cdot (b_{wi} - a_{wi})$$

(22)

Step 5 用混沌变量进行搜索。如上一解被接受, 则 $d_i^{k+1} = d_i^* + 0.1(b_i^r - a_i^r)(2.0x_i^{k+1} - 1)$, $w_i^{k+1} = w_i^* + 0.1(b_i^r - a_i^r)(2.0x_i^{k+1} - 1)$; 否则继续。

Step 6 混沌变量迭代

$$d_i^{k+1} = 4 \cdot d_i^k(1 - d_i^k), W_i^{k+1} = 4 \cdot W_i^k(1 - W_i^k)$$

(23)

Step 7 重复 Step 4, 5, 6。直到一定步数内 f^* 保持不变为止, 然后进行以下步骤。

Step 8 缩小各变量的搜索范围

$$a_{di}^{r+1} = d_i^* - \gamma \cdot (b_{di}^r - a_{di}^r),$$
$$b_{di}^{r+1} = d_i^* + \gamma \cdot (b_{di}^r - a_{di}^r)$$

(24)

$$a_{wi}^{r+1} = W_i^* - \gamma \cdot (b_{wi}^r - a_{wi}^r),$$
$$b_{wi}^{r+1} = W_i^* + \gamma \cdot (b_{wi}^r - a_{wi}^r)$$

(25)

式中: $\gamma \in [0, 0.5]$, $d_i^* = a_i^r + dh_i^* \cdot (b_i^r - a_i^r)$ 和 $W_i^* = a_i^r + Wh_i^* \cdot (b_i^r - a_i^r)$ 为当前最优解。

为使新范围不致越界, 需做如下处理:

若 $a_{di}^{r+1} < a_i^r$, 则 $a_{di}^{r+1} = a_i^r$; 若 $b_{di}^{r+1} < b_i^r$, 则 $b_{di}^{r+1} = b_i^r$ 。

另外, d_{hi}^* 和 W_{hi}^* 还需做如下还原处理:

$$d_{hi}^* = (d_i^* - a_{di}^{r+1}) / (b_{di}^{r+1} - a_{di}^{r+1})$$

(26)

$$Wh_i^* = (W_i^* - a_{wi}^{r+1}) / (b_{wi}^{r+1} - a_{wi}^{r+1})$$

(27)

Step 9 设计把 d_{hi}^* 与 d_{hi}^k , W_{hi}^* 与 W_{hi}^k 线的线性组合作为新的混沌变量, 用此混沌变量进行搜索

$$d_{hyi}^k = (1 - \alpha) d_{hi}^* + \alpha d_{hi}^k$$

(28)

$$d_{hyi}^k = (1 - \alpha) W_{hi}^* + \alpha W_{hi}^k$$

(29)

式中: α ——一较小数。

Step 10 以 d_{hyi}^k 和 W_{hyi}^k 为混沌变量进行 Step 4, 5, 6 操作。

Step 11 重复 Step 8, 9 的操作, 直到一定步数内 f^* 。保持不变为止。

Step 12 $r' = r + 1$, 减小 α 值, 重复 Step 8, 9, 10, 11 操作。

Step 13 重复 Step 12 若干次后结束寻优计算。

Step 14 此时的 d_i^* 和 W_i^* 为算法得到的最优变量, f^* 为算法得到的最优解。

2.3 实例应用

以河西武威绿洲春小麦高产高效优化灌溉研究试验所得数据为依据, 应用混沌算法(MSCOA)进行灌溉制度的优化设计, 并与原有的动态规划法(DPSA)进行对比, 分析混沌模型的特点。

试验区位于祁连山北麓、甘肃河西武威绿洲。该区光照资源丰富、降水稀少, 水面蒸发量 1 107 mm, 年均温度 6~7.5℃, 干燥度 3.0~4.0, 属内陆干旱荒漠气候; 春小麦平均产量 5 802 kg/hm², 生育期综合灌水平均 5 029.8 m³/hm²; 土壤理化性状为有机质 1.65%, 全氮 0.106%, 全磷 0.089%, 水解氮 47.28 mg/kg, 速效磷 8 mg/kg, pH 值 8.23, 土壤容重 1.37 g/cm³, 孔隙度 46.06%, 田间最大持水量 22.3%, 萎蔫系数 8.3%(春小麦), 土壤质地中壤, 入渗速度平均 15 cm/h, 地下水深度 30~50 m。

武威绿洲麦田播种时土壤含水量一般为 16%~20%, 平均 18%; 其它生育期不影响小麦生长发育的最低土壤含水量一般是 15%~17%, 据陈仲全研究认为不影响春小麦生长发育的最低土壤含水量为凋萎系数的 1.75 倍, 而从田间持水量到田间最大持水量的 70% 之间的土壤水分对作物生长最有效, 从出苗到拔节, 拔节到抽穗和抽穗到成熟期的土壤含水量下限为田间最大持水量的 70%~75%, 60%~65% 和 50%~55%。根据武威 33 a(1951~1980 年、1992~1994 年)降水资料, 小麦生育期达到 70% 保证率的有效降水量为 705 m³/hm²; 而小麦植株高度一般为 0.8~1 m。

在土壤最低含量为 16% 和 14% 两个标准下, 分别用动态规划逐次逼近法(DPSA)和混沌算法(MSCOA)来解此模型并进行对比, 所得结果见表 1, 2。选用 Visual Basic 编写求解节水灌溉混沌算法模型的程序代码语言, 计算结果分析对比。

表 1 土壤含水量为 16% 以上的灌溉制度优化结果对比

方法	计划灌溉定额/ (m ³ ·hm ⁻²)	不同生育期优化灌溉定额/(m ³ ·hm ⁻²)					全生育期优化灌溉 定额/(m ³ ·hm ⁻²)	最优值 Ya/Ym
		d1	d2	d3	d4	d5		
DPSA	3000	600	750	975	675	0	3000	0.7983
MSCOA	3000	860.3246	679.1302	378.5092	277.7146	799.7772	2995.4558	0.9109
DPSA	3375	600	675	1200	900	0	3375	0.8596
MSCOA	3375	963.6378	965.0397	485.8854	298.0740	662.0360	3374.6729	0.9392
DPSA	3750	600	750	975	675	750	3750	0.9210
MSCOA	3750	1216.3302	567.6337	400.9148	428.6942	1125.7302	3739.3031	0.9688
DPSA	4125	600	900	975	675	975	4125	0.9548
MSCOA	4125	1105.2020	544.9451	702.7592	517.7062	1249.1200	4119.7325	0.9868
DPSA	4500	600	900	1125	675	1200	4500	0.9772
MSCOA	4500	910.3674	1125.9116	545.8730	515.0521	1279.9992	4377.2033	0.9978
DPSA	4875	675	900	1125	675	1200	4575	0.9772
MSCOA	4875	910.3674	1125.9116	545.8730	515.0521	1279.9992	4377.2033	0.9978

表 2 土壤含水量为 14% 以上的灌溉制度优化结果对比

方法	计划灌溉定额/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	不同生育期优化灌溉定额/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)					全生育期优化灌溉 定额/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	最优值 Y_a/Y_m
		d1	d2	d3	d4	d5		
DPSA	2625	0	600	675	675	675	2625	0.8847
MSCOA	2625	845.5349	427.7081	400.2101	129.2390	818.7379	2621.4300	0.8900
DPSA	3000	0	900	750	675	675	3000	0.9276
MSCOA	3000	900.6071	639.5644	388.7965	194.1158	876.9162	3000	0.9240
DPSA	3375	0	900	750	675	1050	3375	0.9600
MSCOA	3375	885.1906	601.7422	474.8312	250.5051	1162.7309	3375	0.9536
DPSA	3750	0	900	1200	900	750	3750	0.9727
MSCOA	3750	763.1283	794.6237	373.8719	365.7790	1424.5112	3721.9141	0.9768
DPSA	4125	0	900	1200	900	900	3900	0.9727
MSCOA	4125	892.6319	843.0139	443.4647	460.1664	1424.4790	4063.7559	0.9935

表 1 和表 2 说明, 除个别结果外混沌算法所得优化值普遍优于动态规划法。这主要是由于动态规划法将状态变量离散为有限个值, 然后进行优化组合寻出最优值, 这样必然导致只能在有限范围内寻优, 而使得更优值的缺失。混沌算法由于其遍历性, 只要时间足够长, 可使寻优轨迹无限接近区间内的所有点, 这样就避免了状态变量离散造成的寻优范围限制, 而使优化值接近全局最优。综合比较, 混沌算法比动态规划法具有更好的全局搜索优越性, 更接近最优解。

表 1 和表 2 对比, 发现在相同的灌溉定额下, 土壤最低含水量限制标准较低者所得优化值优于较高者, 如在计划灌溉定额为 3 000, 3 375, 3 750, 4 125 m^3/hm^2 时, 土壤最低含水量 16% 所对应的优化值分别为 0.910 9, 0.939 2, 0.968 8, 0.986 8, 而土壤最低含水量 14% 所对应的优化值分别为 0.924 0, 0.953 6, 0.976 8, 0.993 5。当土壤最低含水量限制标准较低时, 则可供作物利用水量范围大, 即作物可利用更多的土壤水, 有利于作物的生长, 优化值也会较高, 因此所得结果是符合实际情况的。

3 结论建议

改进的变尺度混沌算法通过一些关键参数的选取方法和原则, 能进一步改善算法的效能, 提高算法的寻优速度和精确性。另外, 该方法采用混沌变量进行搜索, 搜索过程按照混沌运动自身的规律进行, 迭代公式简单易懂, 编程十分

方便。由于混沌变量固有的遍历性, 使得该方法只要时间足够长便绝对能得到真实的最佳解^[4]。

综上所述, 将混沌优化算法运用到灌溉制度优化设计中, 可以提高优化结果的精度, 减少运算时间^[5]。它以其自身搜索的性质方便快捷地得到优化结果, 比其他算法有自身的优越性, 且比较适用于实际情况, 对节水灌溉制度优化的设计是一种较新且实用的方法。

参考文献:

[1] 张彤, 王宏伟, 王子才. 变尺度混沌优化方法及其应用[J]. 控制与决策, 1999, 14(3): 285-288.

[2] 由懋正, 王会肖. 农田土壤水资源评价[M]. 北京: 气象出版社, 1996: 99-114.

[3] 张火明, 杨建民. 变尺度混沌优化方法的改进及应用[J]. 华东船舶工业学院学报: 自然科学版, 2004, 18(4): 21-26.

[4] CHEN L, AIHARA K. Global search ability of chaotic neural networks[J]. IEEE Transactions on Circuit & Systems Fundamental Theory & Applications, 1999, 46(8): 974-993.

[5] 段春青, 邱林, 陈晓楠, 等. 混沌算法在节水灌溉制度优化设计中的应用[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(9): 133-136.

(上接第 218 页)

并加强边坡的绿化。

针对路基变形和滑移不良地质现象可采用沙砾石盲沟、塑料排水板等手段加强排水; 用换填等手段加强地基土的力学性质; 设置挡土墙、抗滑桩、坡脚防护墙等手段进行防护。

5 结 论

本次工作评估的对象是线状工程项目(公路工程), 工程区地质环境条件简单, 地质灾害不发育, 现有地质灾害类型较单一, 主要为危岩(崩塌)、滑塌、潜在不稳定斜坡和路基沉降与滑移等地质现象, 灾害发育程度弱, 对工程建设的危害性小。根据区内已有地质灾害的规模、稳定状态、危害对象、潜在发展趋势及损失情况, 综合评估其地质灾害危险性的现

状为危险性小等级。这些评价结果与实际基本相符。根据综合评估结果, 建设用地适宜性级别为适宜-基本适宜, AK18+900- AK19+300, AK19+630- AK20+450 段的适宜性为基本适宜, 其余路段均为适宜。

参考文献:

[1] 张梁, 张业成, 等. 地质灾害评估理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 1998.

[2] 张博, 傅荣华, 傅小兵. 西藏阿里地区巴尔至札达公路改建工程地质灾害危险性综合评估及防治对策[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 187-190.

[3] 唐立梅, 李波, 陈一洲. 石林锁龙公路地质灾害评估[J]. 防灾科技学院学报, 2006, 8(3): 102-104.