

# 新建青藏铁路施工期土壤侵蚀预测

邹长新, 沈渭寿, 张慧

(国家环境保护总局南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042)

**摘要:** 高寒、干旱、少氧的严酷自然条件, 导致了青藏高原高寒植被十分独特、脆弱、对人类扰动极其敏感的自然属性。青藏铁路的建设必将在一定程度上加剧沿线地区的水土流失。利用遥感与地理信息系统技术, 结合野外调查分析结果, 编制了唐古拉山口至拉萨段铁路两侧 50 km 范围土壤侵蚀现状图。根据铁路沿线水土流失现状和工程建设活动对水土流失的影响分析, 对施工期土壤侵蚀类型与强度的变化以及工程造成的水土流失总量进行了预测, 并据此分析了工程可能造成水土流失危害。

**关键词:** 青藏铁路; 遥感; 施工期; 土壤侵蚀预测

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)06-0015-04

中图分类号: S157.1

## Soil Erosion Prediction for Construction of Qinghai-Tibetan Railway

ZOU Chang-xin, SHEN Wei-shou, ZHANG Hui

(Nanjing Institute of Environment Science, State Environmental Protection Administration, Nanjing 210042, Jiangsu Province, China)

**Abstract** The Qinghai-Tibetan plateau is one of the regions with the least man-made disturbance in the world. The harsh natural conditions of high elevation, cold and drought climate and oxygen deficiency result in the fact that the plateau vegetation and ecosystems are unique and very fragile and susceptible to man-made disturbance. The construction of the railway will intensify soil erosion along the railway line to a certain degree. The map of soil erosion condition in the section from Tanggula mountain pass to Lhasa city in the range of 50 kilometers each side along the line was drawn by using the techniques of remote sensing and geographic information system. Based on analysis of the status of soil and water loss, and the influence of the railway construction projects, the changes of the types, intensities and the total amount of the soil erosion caused by the construction are predicted, and the damage from soil erosion is analyzed.

**Keywords** Qinghai-Tibetan railway; remote sensing; construction period; soil erosion prediction

新建青藏铁路格尔木至拉萨段全长 1 142 km, 自北向南纵贯青海和西藏 2 省区。其中青海省境内 596.58 km (含 31.75 km 既有线), 行政区划上跨越青海省海西州格尔木市和玉树州至多县; 西藏境内 545.42 km, 从唐古拉山口至西藏自治区首府拉萨 (简称唐一拉段), 跨越西藏那曲地区的安多县、那曲县、拉萨市的当雄县、堆龙德庆县和拉萨市区。

青藏铁路的建设是中国政府实施西部开发战略的主要组成部分, 它的建设对于完善西部地区交通运输体系、促进少数民族地区经济快速发展、增强民族团结、维护国家利益具有十分重要的战略意义。

然而, 铁路所经地区地处青藏高原腹地, 地表植被十分独特, 生态环境恶劣、脆弱, 对人类扰动极其敏感<sup>[1]</sup>。青藏铁路施工期的工程建设将不可避免地沿

线水土流失状况造成一定的影响。本文以青藏铁路西藏部分 (唐拉段) 为例, 根据铁路沿线地表水土流失现状和工程对水土流失的影响分析, 预测了施工期土壤侵蚀类型与强度的变化以及工程造成的水土流失总量, 并据此分析了工程可能造成水土流失危害。

### 1 土壤侵蚀现状遥感制图

采用 2001 年 Landsat-5 TM 影像和 Landsat-7 ETM+ 影像, 经过几何纠正与投影转换, 并参考铁路所经地区地形图、土地利用图及其它土壤侵蚀相关资料及图件, 分析土壤侵蚀类型、坡度、植被覆盖度、地表组成物质等状况, 利用 ERDAS 和 ARC/INFO 软件, 采用人机交互判读方法, 综合分析判定铁路沿线 50 km 范围内土壤侵蚀类型与强度, 即在微机屏幕上

收稿日期: 2002-03-17 修回日期: 2003-05-28

资助项目: 铁道部重大建设工程环评项目

作者简介: 邹长新 (1977-), 男 (汉族), 辽宁朝阳人, 硕士, 主要从事区域生态环境保护与 RS/GIS 应用等方面研究。E-mail: zcxnie@yahoo.com.cn

进行土壤侵蚀类型与强度勾绘、制图 作业比例尺 1 : 10 万。具体工作流程如图 1 所示。

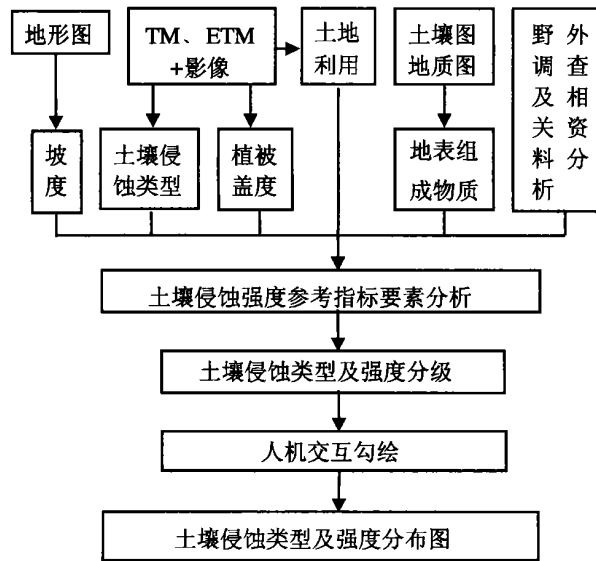


图 1 土壤侵蚀遥感制图技术流程

## 2 铁路沿线水土流失现状

据铁路沿线 50 km 范围水土流失现状图,研究段有冻融、水力和风力 3 种侵蚀类型,以冻融侵蚀和水力侵蚀为主,风力侵蚀面积较小;侵蚀强度有微度、轻度、中度和强度 4 级,且以微度和轻度为主。

### 2.1 水力侵蚀

高强度的降水和高山冰雪融水形成大量的地表径流成为水蚀的主要外营力。羊八井至拉萨沿线,由于山高坡陡,土层松散,一旦地表遭到扰动或破坏,极易造成大面积的面蚀,甚至诱发滑坡或泥石流的发生。研究段水力侵蚀作用相对全区比较显著,是西藏自治区水蚀的最主要地段之一。在铁路两侧 2 km 范围内,水蚀面积为 933.46 km<sup>2</sup>,占水土流失总面积的 43.03%。总体上看,该段水力侵蚀强度较小,以微度和轻度水蚀为主,也存在小面积中度侵蚀,其中微度水蚀面积占土壤侵蚀面积的 24.86%,轻度水蚀占 17.78%,中度水蚀仅占 0.39%。

### 2.2 风力侵蚀

铁路经过地区具有沙质荒漠化形成的风力和物质条件,其表现形式以流动沙丘、平沙地和大面积的风蚀草场为主,其中以风蚀草场分布最广。铁路沿线错那湖、当曲地区由于土质疏松,干旱少雨,过度放牧,导致地表植被稀少,在大风的作用下,地面细颗粒物随风漂移,造成风力侵蚀。研究段风蚀面积较小,在铁路两侧 2 km 范围内,风蚀面积为 135.05 km<sup>2</sup>,仅占水土流失总面积的 6.22%,侵蚀强度为微度、轻

度、中度和强度 4 级。其中,微度风蚀面积占土壤侵蚀面积的 1.16%,轻度风蚀占 2.09%,中度风蚀占 1.60%,强度风蚀占 1.37%。

### 2.3 冻融侵蚀

冻融侵蚀是研究段土壤侵蚀面积最大的侵蚀类型,但侵蚀强度较弱,以微度侵蚀和轻度侵蚀为主,也存在小面积的中度侵蚀和强度侵蚀。铁路两侧 2 km 范围内,冻融侵蚀面积为 1 101.02 km<sup>2</sup>,占水土流失总面积的 50.75%,其中,微度冻融侵蚀面积占土壤侵蚀总面积的 36.17%,轻度冻融侵蚀占 13.98%,中度冻融侵蚀占 0.60%。

### 2.4 铁路两侧不同范围内的土壤侵蚀强度

根据铁路沿线 50 km 范围水土流失现状图,在铁路两侧不同距离 (2~5~50 km) 范围内,微度和轻度水蚀面积比例在下降,中度和强度水蚀面积比例在上升。各类强度风蚀面积比例在下降,但整个风蚀面积比例较小。微度冻融侵蚀面积比例在下降,轻度、中度与强度冻融侵蚀面积比例明显上升 (表 1)。在铁路两侧 2 km 范围内的平均土壤侵蚀模数为 607.0 t/(km<sup>2</sup>·a),铁路两侧 5 km 范围内的平均土壤侵蚀模数为 671.0 t/(km<sup>2</sup>·a),铁路两侧 50 km 范围内的平均土壤侵蚀模数为 838.6 t/(km<sup>2</sup>·a)。

## 3 施工期水土流失预测

### 3.1 预测方法

目前,国内主要应用类比法、实地测试法和数学模型法来预测工程建设造成的水土流失量<sup>[2]</sup>。青藏铁路是世界第一条高原铁路,至今未有类似建设项目的观测和研究成果可供分析比较,因此用类比法来预测该铁路水土流失量不太适宜;由于高原上自然环境条件十分原始、恶劣,也为实地测试带来了很大的困难。介于以上条件的限制,研究段工程造成的水土流失量预测采用遥感解译结合数学模型法,即在水土流失现状基础上根据工程活动对地表的破坏和扰动程度预测土壤侵蚀类型与强度的变化,根据预测模型计算工程造成的水土流失总量。

### 3.2 施工期土壤侵蚀类型与强度变化预测

工程施工期导致的土壤侵蚀类型和强度的变化是比较复杂的,既要考虑工程自身特点对水土流失的影响,也要考虑施工地表土壤侵蚀现状。因此,施工期土壤侵蚀类型和强度的变化,需要结合工程影响程度与地表土壤侵蚀现状做出科学合理的土壤侵蚀类型和强度的变化预测。

3.2.1 施工期土壤侵蚀类型变化 根据施工地表的土壤侵蚀类型,若施工地表的土壤侵蚀类型为风力侵

蚀或水力侵蚀,施工期造成的水土流失影响表现为侵蚀强度的增大;若施工地表的土壤侵蚀类型为冻融侵蚀,施工期不仅会造成侵蚀强度的增大,而且由于工程造成的地表土壤和植被的破坏,导致土壤侵蚀类型由冻融侵蚀变为风力、水力和冻融综合侵蚀。

3.2.2 施工期土壤侵蚀强度变化 不同工程性质对土壤侵蚀强度的影响不同。对于破坏性较强的工程,如路堤、路堑、取弃土场、沙石料场由于地表深挖或填埋,对地表破坏程度较大,土壤侵蚀强度可在现状侵蚀强度的基础上直接变为强度或极强度侵蚀。对于破坏性较小的工程,如站场、施工营地和施工便道等,施工期造成的水土流失强度的变化较小,预测方法是在现状土壤侵蚀强度基础上增大一级计算。如在预测施工营地造成的水土流失强度变化时,若施工前为微度侵蚀,施工期则变为轻度侵蚀,依此类推。施工期造成的水土流失类型和强度变化见表 2。

### 3.3 土壤侵蚀模数的确定

风力侵蚀和水力侵蚀土壤侵蚀模数的确定根据中华人民共和国行业标准 SL190-9《土壤侵蚀分类分级标准》。冻融侵蚀土壤侵蚀模数的确定是一项极其复杂的工作,国内虽然已有关于青藏高原冻融侵蚀的动力分析<sup>[3]</sup>,至今还未见到有关冻融侵蚀模数的定量研究。

由于冻融侵蚀是因寒冻和热融交替作用,使地表土体和松散物质发生蠕动、滑塌和产生泥流的一种现象,但其往往同水力侵蚀、重力侵蚀交互影响,共同作用,土壤侵蚀流失量较小<sup>[3-4]</sup>。因此,同级土壤侵蚀强度下,冻融侵蚀模数比风蚀和水蚀模数要小。这里采取在风蚀和水蚀模数的基础上降低一级的方法计算冻融侵蚀模数。在工程施工导致的土壤侵蚀类型由冻融侵蚀变为风力、水力和冻融综合侵蚀的情况下,其侵蚀模数的计算与风力和水力侵蚀模数相同。本预测中土壤侵蚀强度划分标准见表 1。

表 1 土壤侵蚀强度划分标准  $t/(km^2 \cdot a)$

分 级	水蚀侵蚀模数	风蚀侵蚀模数	冻融侵蚀模数
微度侵蚀	< 500	< 200	< 200
轻度侵蚀	500~ 2 500	200~ 2 500	200~ 500
中度侵蚀	2 500~ 5 000	2 500~ 5 000	500~ 2 500
强度侵蚀	5 000~ 8 000	5 000~ 8 000	2 500~ 5 000
极强度侵蚀	8 000~ 15 000	8 000~ 15 000	—
剧烈侵蚀	> 15 000	> 15 000	—

### 3.4 土壤侵蚀量的计算

沈渭寿等曾对陕-甘天然气管道工程造成的土壤侵蚀量做出预测<sup>[5]</sup>,本预测采用如下公式计算施工

期土壤侵蚀总量  $W_s$

$$W_s = M_{s1}f_1 + M_{s2}f_2 + \dots + M_{sn}f_n = \sum_{i=1}^n M_{si}f_i \quad (1)$$

式中:  $W_s$ ——土壤侵蚀总量 ( $t$ );  $M_{si}$ ——施工期各工程施工地表土壤侵蚀模数 [ $t/(km^2 \cdot a)$ ];  $f_i$ ——各工程破坏的地表面积 ( $km^2$ )。

工程造成的土壤侵蚀增加量  $\Delta W$  为:

$$\Delta W = \Delta M_{s1} \cdot f_1 + \Delta M_{s2} \cdot f_2 + \dots + \Delta M_{sn} \cdot f_n = \sum_{i=1}^n \Delta M_{si} \cdot f_i \quad (2)$$

或  $\Delta W = W_s - W_0$  (3)

式中:  $\Delta M_{si}$ ——土壤侵蚀模数增加量 ( $t$ );  $W_0$ ——施工前地表土壤侵蚀量,计算方法同  $W_s$ 。

用下式计算施工前后的平均土壤侵蚀模数:

$$\bar{M} = \sum_{i=1}^n M_{pi} \cdot S_{pi} \quad (4)$$

式中:  $\bar{M}$ ——平均土壤侵蚀模数;  $M_{pi}$ ——某一强度的土壤侵蚀模数;  $S_{pi}$ ——某一强度的土壤侵蚀面积占水土流失总面积的百分比。

### 3.5 工程造成的水土流失面积及流失总量

3.5.1 工程影响的水土流失面积 由于铁路工程是线性工程,主要工程活动主要集中在线路两侧 2 km 范围内。研究段工程取弃土场和沙石料点共 134 处,其中 2 km 范围内 110 处,占 82.1%; 5 km 范围内 124 处,占 92.5%。因此,工程造成的水土流失主要在铁路两侧 2 km 范围内,2~5 km 范围影响较轻,5 km 以外几乎没有影响。

3.5.2 工程造成的水土流失总量 该段铁路工程施工前铁路沿线 2 km 范围内土壤侵蚀总量为 1 316 964 t/a,平均侵蚀模数为 607.0 t/( $km^2 \cdot a$ )。施工期土壤侵蚀总量为 1 464 584 t/a,平均侵蚀模数为 675.0 t/( $km^2 \cdot a$ )。施工期铁路沿线 2 km 范围内土壤侵蚀量增加 147 620 t/a,平均土壤侵蚀模数增加 68.0 t/( $km^2 \cdot a$ ) (表 2)。

表 2 铁路工程水土流失预测结果

预测区域	时 段	土 壤 侵 蚀 总量 $t/(a^{-1})$	平均侵蚀模数 / $(t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1})$
2 km	施工前	1 316 964	607.0
	施工期	1 464 584	675.0
	增 量	147 620	68.0
5 km	施工前	3 534 177	671.0
	施工期	3 685 298	699.7
	增 量	151 121	28.7
50 km	施工前	44 516 655	838.6
	施工期	44 671 374	841.5
	增 量	154 719	2.9

施工前铁路沿线 5 km 范围内土壤侵蚀总量为 3 534 177 t/a, 平均侵蚀模数为 671.0 t/(km<sup>2</sup>·a) 施工期 5 km 范围内土壤侵蚀总量为 3 685 298 t/a, 平均侵蚀模数为 699.7 t/(km<sup>2</sup>·a) 施工期铁路沿线 5 km 范围内土壤侵蚀量增加 151 121 t/a, 平均土壤侵蚀模数增加 28.7 t/(km<sup>2</sup>·a)

施工前铁路沿线 50 km 范围内土壤侵蚀总量为 44 516 655 t/a, 平均侵蚀模数为 838.6 t/(km<sup>2</sup>·a) 施工期土壤侵蚀总量为 44 671 347 t/a, 平均侵蚀模数为 841.5 t/(km<sup>2</sup>·a) 铁路沿线 50 km 范围内土壤侵蚀量增加 154 719 t/a, 平均土壤侵蚀模数增加 2.9 t/(km<sup>2</sup>·a)

水土流失总增加量中, 铁路沿线 2 km 范围内的增加量占 95.4%, 铁路沿线 5 km 范围内的增加量占 97.7%。从不同范围内平均土壤侵蚀模数增量分析, 铁路沿线 2 km 范围内增加 68 t/(km<sup>2</sup>·a), 沿线 5 km 范围内增加 29 t/(km<sup>2</sup>·a), 而 50 km 范围内仅增加 2 t/(km<sup>2</sup>·a) 因此, 铁路工程在施工期间造成的水土流失影响主要在沿线 2 km 范围内, 2~5 km 范围内影响较轻, 5 km 以外几乎不对水土流失造成影响

工程建设对施工地表造成的水土流失影响则更为显著, 施工地表在施工前平均土壤侵蚀模数为 518 t/(km<sup>2</sup>·a), 强度较弱, 属微度或轻度土壤侵蚀 施工期平均土壤侵蚀模数为 2 361 t/(km<sup>2</sup>·a), 程度明显加重, 属轻度或中度土壤侵蚀, 平均侵蚀强度增加一级。从造成水土流失的工程类型看, 路堤工程对水土流失影响最大, 造成的侵蚀量为 58 001.3 t/a, 占全部工程造成的土壤侵蚀总量的 37.5%; 取土场与弃土场造成的土壤侵蚀量分别为 36 245.4 和 42 762.7 t, 造成的土壤侵蚀量占总侵蚀量的 23.4% 与 27.7%。其它工程造成的土壤侵蚀量相对较少(表 3)。

表 3 各工程对施工地表水土流失的影响 t/a

工程类型	施工前 侵蚀量	施工期 侵蚀量	工程造成	土壤侵蚀 增量/%
路 堤	10524.1	68525.4	58001.3	37.5
路 堑	73.4	1493.9	1420.5	0.9
站 场	860.5	7955.7	7095.2	4.6
弃土场	684.3	43447.0	42762.7	27.7
取土场	6687.7	42933.1	36245.4	23.4
沙石料场	371.9	2692.1	2320.2	1.5
施工营地场地	588.8	2453.8	1865.0	1.2
施工便道	938.6	5947.5	5008.9	3.2
合 计	20729.3	175448.4	154719.1	100.0

### 3.6 工程建设中可能造成的水土流失危害分析

施工期铁路沿线 2 km 范围内平均土壤侵蚀模数增加了 68 t/(km<sup>2</sup>·a), 5 km 范围内增加了 29 t/(km<sup>2</sup>·a), 而 50 km 范围内仅增加了 2 t/(km<sup>2</sup>·a) 因此, 铁路工程明显加重了沿线较近范围内地表的土壤侵蚀状况, 将不可避免地造成一定的水土流失危害。

因此, 铁路工程明显加重了沿线较近范围内地表的土壤侵蚀状况, 将不可避免地造成一定的水土流失危害。

(1) 在多年冻土区的富冰、饱冰、含土冰层地段的坡地边缘挖方、取土、人为活动等将使冻土暴露在空气中, 融化后有可能形成热融滑塌、融冻泥流、风沙融蚀坍塌。

(2) 路堤站场工程占地、取土(料)场、施工便道、施工营地、人为活动等扰动地表、损坏植被、土壤, 使湖积、冰积环境中形成的细沙外露, 土壤抗蚀性降低, 为风力侵蚀提供了丰富的沙源

(3) 在沿线的固定、半固定沙丘、沙地地段, 工程施工时可能破坏沙结皮、损坏植被, 造成沙地面积扩大, 对农业、交通运输业产生不利影响。

(4) 在沿线河道范围内取土、取沙卵石后, 若不及时采取措施等将增加河流泥沙量, 造成流水对河岸冲刷作用增强, 下游河道泥沙淤积, 增加防洪负担。

(5) 取土场的松散地表, 弃土场堆积的大量弃土弃渣, 在山高坡陡处一旦遭遇较强降水或高山冰雪融水, 将加重水力侵蚀, 甚至诱发滑坡或泥石流的发生。

冻融侵蚀模数的确定尚缺少定量方法研究, 本预测计算采用的冻融侵蚀分级标准是据青藏高原冻融侵蚀的动力分析而得, 有待进一步深入研究。由于铁路工程建设是一种线性工程, 研究段铁路工程施工期造成的水土流失影响主要在沿线 2 km 范围内, 2~50 km 范围内影响很小。施工结束后, 工程导致的水土流失强度随着地表植被的恢复会逐渐减弱, 但水土流失量在一定时段内依然大于施工前的水平。因此, 在铁路施工期与运营期需及时采取水土流失防护措施, 加强水土流失监测, 尤其要对水土流失的重点地段和重点工程予以高度的重视, 把工程建设造成的水土流失量控制在最小, 争取用最短的时间恢复地表植被, 减缓地表水土流失。

#### [参 考 文 献]

- [1] 楚玉山, 刘纪元, 李爽, 等. 西藏自治区土地利用 [M]. 北京: 科学出版社, 1992. 76-85.
- [2] 水利部水土保持司. 开发建设项目水土保持方案技术规范 [Z]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [3] 董瑞昆, 许兆义, 杨成永. 青藏高原冻融侵蚀动力特征研究 [J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 12-16.
- [4] 刘绪军, 景国臣, 齐恒玉. 克拜黑土区沟壑冻融侵蚀主要形态特征初探 [J]. 水土保持科技情报, 1999(1): 28-30.
- [5] 沈渭寿, 关有志. 陕—甘天然气管道工程对环境的影响与防治对策 [J]. 环境科学研究, 1999, 12(6): 54-56.