

青藏高原高速公路建设中弃土场土壤流失特性

——以青海平阿高速公路为例

陈宗伟¹, 江玉林², 张洪江¹, 程 云¹, 杨占武³

(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 交通部科学研究院, 北京 100029;

3. 青海省林业科学研究所, 青海 西宁 810016)

摘 要: 随着我国开发建设项目的不断发展, 开发建设过程中引起的土壤流失问题已成为倍受关注的研究热点之一。作者以青藏高原平阿高速公路青沙山隧道南口的两个弃土场为研究对象, 进行相关性分析, 得出弃土场坡面土壤流失量与降雨量、平均降雨强度和径流深的相关性显著。通过回归分析得到高速公路建设过程中不同植物配置坡面的土壤流失量预测方程。研究结论对该地区高速公路建设过程中土壤流失量的预测和水土保持措施的合理布设具有指导意义。

关键词: 土壤流失; 高速公路; 弃土场; 青藏高原

中图分类号: S157; U412. 366

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006) 06-0004-03

The Properties of the Soil Loss in the Spoil Area During the Construction of Expressway in Tibetan Plateau

——Example as the Ping' a Express in Qinghai Province

CHEN Zong-wei¹, JIANG Yu-lin², ZHANG Hong-jiang¹, CHENG Yun¹, YANG Zhan-wu³

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. China Academy of Transportation Science, MOC, Beijing 100029, China;

3. Qinghai Academy of Forestry, Qinghai Xining 810016)

Abstract: With the development of construction projects in China, more and more scientists paid more attention to the soil loss. Two spoil areas near the south of Qingshashan tunnel along Ping' a expressway in Tibetan Plateau were chosen as the study objects. Through the correlation analysis, the soil loss quantity on side slope of the spoil area was significantly correlated to the amount of rainfall, the average intensity of rainfall and the depth of rainoff. Moreover, the prediction equations for the soil loss quantity on side slope with different vegetation during the construction of the express were got. The conclusions were significant to predict the soil loss quantity and dispose the measurement of soil and water conservation during the construction of expressway in Tibetan Plateau.

Key words: soil loss; expressway; spoil area; Tibetan Plateau

随着我国高速公路建设的发展, 由于坡面开挖、路基填方、取土、堆渣、桥涵架设、施工机械碾压等诸多因素的影响, 使得高速公路施工沿线的植被遭到干扰, 破坏了原有自然植被状况, 产生了新的人为土壤流失。如何有效地进行在建高速公路土壤流失预报, 采取相应预防监督和治理措施来减少或降低新的人为土壤流失, 是目前一项紧迫的任务。发达国家对因建设项目引发的土壤流失防治力度大, 有效地减少了这类土壤流失。国内王治国^[1]、李智广^[2]、徐永年^[3]、郭锐^[4]、张琳^[5]等先后对开发建设项目的土壤流失量预测问题进行了探讨, 但尚未找到一种有效的方法, 对开发建设项目土壤流失进行定量预测研究。因此, 以平阿高速公路为研究区域, 探讨在高速公路建设过程中的土壤流失量特性, 对高速公路建设过程中土壤流失潜在危险的预测和水土保持措施的合理布设具有重要意义。

1 研究路段基本情况

平阿路是青海省目前在建的一条高等级公路, 北起平安县平安镇, 与兰西高速路相连; 南止化隆县阿岱镇, 全长 42 km。整条公路地势南高北低, 海拔 2 066~ 2 900 m, 经过河谷阶地、低山丘陵和中山(脑山) 地带三种地貌类型。

受高原季风和南部山区地形影响, 降水在季节上有明显差异, 南部偏多, 北部偏少。多雨中心在清沙山一带, 年降水量在 600 mm 以上。随着海拔降低, 降水逐渐减少。南部脑山地区为 600 mm, 中部浅山地区为 350~ 450 mm, 北部川水地区在 350 mm 以下。降水时间分布不均, 夏末秋季较多, 晚冬春季较少。春季降水量为 60~ 120 mm, 占年降水量的 15%~ 20%; 夏季降水量为 190~ 300 mm, 占年降水量的 51%~ 62%; 秋季降水量为 69~ 142 mm, 占年总降水量的

* 收稿日期: 2005-12-06

基金项目: 交通部西部交通建设科技项目“公路路域生态工程技术研究”(200331822333)

作者简介: 陈宗伟(1972-), 男, 博士生, 主要从事公路路域水土保持研究, 发表论文 4 篇。

22%~27%; 冬季降水量仅为 3~13 mm, 占年降水量的 1%~3%。全年降水集中在 5~9 月, 占全年降水总量的 81%~87%。

研究路段内的主要土壤类型为高山草甸土、山地草甸土、栗钙土和灰钙土。脑山地区主要植被类型为高山灌丛草甸, 以金露梅(*Potentilla fruticosa*)、高山绣线菊(*Spiraea alpina*)为主, 草本层有蒿草(*Kobresia* spp)、苔草(*Carex lanceolara*)、短柄草(*Brachypodium sylvaticum*)、火绒草(*Leontopodium leontopodioides*)、早熟禾(*Poa attenuata*)、珠芽蓼(*Polygonum*)等, 植被覆盖度 70%~80%; 浅山地区植被以小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)和赖草(*Leymus dasysylchys*)等为主; 川水地区常见的植物以枸杞(*Lycium barbarum*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、狗娃花(*heteropappus altaicus*)、赖草等为主。

2 研究方法和观测结果

选择研究路段桩号为 K34+055 的青沙山隧道南口为试验地, 试验地共有 2 个弃土场。一个是以堆积红土为主的弃土场(1 号弃土场), 地理位置为经度 101°58'30", 纬度 36°15'03", 占地 0.54 hm²。一个是以堆积弃渣为主的弃土场(2 号弃土场), 地理位置为经度 101°58'18", 纬度 36°14'53", 占地 0.37 hm², 其中堆积弃渣为主的 2 号弃土场表面覆盖 20~30 cm 厚的耕作土。两个弃土场表面均种植植物, 1 号弃土场种植的植物有披碱草(*Elymus dahuricus*)、老芒麦(*Elymus sibiricus*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)和青稞(*Hordeum vulgare* var. nudum)、油菜(*Brassica juncea*)两种植物配置, 2 号弃土场种植的植物为披碱草、老芒麦。在每种植物配置的弃土场坡面布设径流小区, 其中每种植物措施上布设 2 个径流小区, 共 6 个径流小区, 砌水泥池观测。因弃土场坡面条件限制, 不可能按标准径流小区的大小布设, 故而每个径流小区大小按 4 m×15 m 的规格布设。各径流小区基本情况见表 1。

表 1 观测径流小区基本情况

编号	坡长/m	海拔/m	坡度/°	土壤容重/(g·cm ⁻³)	小区种植植物	弃土场类型
1-1	27	2974	48	2.0	披碱草、老芒麦、沙棘	1 号
1-2	27	2974	48	2.0	青稞、油菜	1 号
1-3	27	2974	48	2.0	披碱草、老芒麦、沙棘	1 号
1-4	27	2974	48	2.0	青稞、油菜	1 号
2-1	38	2940	42	2.3	披碱草、老芒麦	2 号
2-3	38	2940	42	2.3	披碱草、老芒麦	2 号

降雨数据采用布设径流小区附近气象站的观测数据, 包括降雨历时和降雨量。平均降雨强度由降雨量和降雨历时推算而得。土壤流失量通过测量径流小区中的径流量和径流水土混合样中的烘干土重计算径流含沙量后, 进而推算出两个弃土场坡面单位面积坡面上的土壤流失量(表 2、表 3)。径流深为径流小区径流量与径流小区面积的商。

3 观测数据分析

3.1 相关性分析

不同降雨条件下高速公路弃土场坡面土壤流失量与降雨特性因子之间是否具有相关性是土壤流失量预测方程建立的关键和基础^[6]。因此在建立土壤流失量预测方程之前, 首先必须分别做土壤流失量和降雨历时、降雨量、平均降雨强度和径流深的相关性分析。通过相关性分析得出, 观测径流小区土壤流失量与降雨历时、降雨量、平均降雨强度和径流深的相关系数分别为: -0.302, 0.254, 0.377 和 0.904。表明土壤流失量与降雨历时、降雨量、平均降雨强度和径流深之间均有一定程度的相关性。

表 2 研究路段 1 号弃土场降雨特性和土壤流失量

径流小区	降雨序号	历时/h	降雨量/mm	平均降雨强度/(mm·h ⁻¹)	径流深/mm	土壤流失量/(t·hm ⁻²)
1-1	1	0.17	2.10	12.35	0.06	0.01
	2	1.17	10.90	9.32	2.30	20.44
	3	0.42	3.70	8.81	0.59	1.24
	4	14.17	7.90	0.56	0.09	0.01
	5	19.87	14.50	0.73	0.42	0.10
	6	1.67	16.20	9.70	5.50	26.85
	7	24.00	21.80	0.91	1.30	0.34
	8	9.67	7.80	0.81	0.02	0.01
	9	3.62	8.10	2.24	0.37	0.30
1-3	1	0.17	2.10	12.35	0.06	0.01
	2	1.17	10.90	9.32	4.62	48.53
	3	0.42	3.70	8.81	0.60	1.47
	4	14.17	7.90	0.56	0.09	0.02
	5	19.87	14.50	0.73	0.32	0.05
	6	1.67	16.20	9.70	4.58	54.02
	7	24.00	21.80	0.91	1.40	1.71
	8	9.67	7.80	0.81	0.07	0.01
	9	3.62	8.10	2.24	0.88	0.66
1-2	1	0.17	2.10	12.35	0.06	0.01
	2	1.17	10.90	9.32	3.00	26.75
	3	0.42	3.70	8.81	0.62	0.90
	4	14.17	7.90	0.56	0.02	0.00
	5	19.87	14.50	0.73	0.09	0.01
	6	1.67	16.20	9.70	5.69	69.01
	7	24.00	21.80	0.91	1.34	1.04
	8	9.67	7.80	0.81	0.04	0.01
	9	3.62	8.10	2.24	0.53	0.02
1-4	1	0.17	2.10	12.35	0.06	0.02
	2	1.17	10.90	9.32	4.07	22.54
	3	0.42	3.70	8.81	0.64	2.13
	4	14.17	7.90	0.56	0.20	0.03
	5	19.87	14.50	0.73	4.20	0.09
	6	1.67	16.20	9.70	5.30	27.18
	7	24.00	21.80	0.91	1.39	1.32
	8	9.67	7.80	0.81	0.08	0.03
	9	3.62	8.10	2.24	0.82	0.47

表 3 研究路段 2 号弃土场降雨特性和土壤流失量

径流小区	降雨序号	历时/h	降雨量/mm	平均降雨强度/(mm·h ⁻¹)	径流深/mm	土壤流失量/(t·hm ⁻²)
2-1	1	0.17	2.10	12.35	0.05	0.02
	2	1.17	10.90	9.32	0.56	0.49
	3	0.42	3.70	8.81	0.08	0.02
	4	14.17	7.90	0.56	0.30	0.15
	5	19.87	14.50	0.73	0.78	1.10
	6	1.67	16.20	9.70	1.97	0.76
	7	24.00	21.80	0.91	0.90	0.29
	8	9.67	7.80	0.81	0.30	0.20
	9	3.62	8.10	2.24	0.61	0.61
2-3	1	0.17	2.10	12.35	0.11	0.03
	2	1.17	10.90	9.32	1.21	4.56
	3	0.42	3.70	8.81	0.46	0.19
	4	14.17	7.90	0.56	0.41	0.28
	5	19.87	14.50	0.73	1.29	2.41
	6	1.67	16.20	9.70	2.60	4.50
	7	24.00	21.80	0.91	1.22	0.61
	8	9.67	7.80	0.81	0.40	0.40
	9	3.62	8.10	2.24	0.50	0.98

弃土场坡面土壤流失量与径流小区径流深之间存在极显著的正相关,这与许多研究结果是一致的^[7],即径流小区径流深对高速公路弃土场坡面的土壤流失量起决定性的作用,且不同场次的降雨过程中,径流深越大,引起的弃土场坡面土壤流失量也就越大。弃土场坡面土壤流失量与平均降雨强度的相关系数为 0.33,虽未达到显著水平,但较其他因子影响显著,说明弃土场坡面土壤流失量与平均降雨强度之间存在一定的相互影响,并为正相关关系。弃土场坡面土壤流失量与降雨量之间的相关系数为 0.254,两者之间的相关性不显著,弃土场坡面土壤流失量受降雨量的影响较平均降雨强度比较不太显著。弃土场坡面土壤流失量与降雨历时之间呈较为显著的负相关,这与前面的分析一致,相同降雨量的条件下,降雨历时越大,平均降雨强度就越小,因此弃土场坡面的土壤流失量就越小。综合分析,在回归分析中选用径流深为因变量进行线性回归分析。

3.2 土壤流失量预测方程建立

按径流小区种植植物的不同,对 6 个弃土场坡面径流小区 2005 年的 9 场降雨数据及对应土壤流失量观测数据进行线性回归分析,得出弃土场坡面土壤流失量和径流深的关系见表 4。

表 4 观测径流小区土壤流失量预测方程

径流小区	小区种植植物	模型	r^2	r
1- 1、1- 3	披碱草、老芒麦、沙棘	$E = - 2.74 + 8.81R$	0.816	0.904
1- 2、1- 4	青稞、油菜	$E = - 3.03 + 7.33R$	0.641	0.801
2- 1、2- 3	披碱草、老芒麦	$E = - 0.18 + 1.51R$	0.530	0.728

表内式中: E 为土壤流失量 (kg/hm^2); R 为径流深 (mm)。

表 4 中三个回归方程检验的 P 值均小于 0.003,说明线性回归方程是显著的,即该组回归方程合理反映了弃土场坡面径流小区土壤流失量和径流深之间的相关关系,可以用来预测研究路段的弃土场坡面土壤流失量。

回归结果表明,弃土场坡面土壤流失量随着径流深的增加而增加。弃土场坡面土壤流失量预测方程的常数项为负值,表明不是只要有降雨就会有土壤流失现象发生,只有当径流深达到一定数值时,弃土场坡面才开始出现土壤流失。但径流深在实际预测过程中不能直接测定,需通过测定径流小区的径流量推算而得,同时考虑到径流深本身相对于降雨量和平均降雨强度而言,不是一个单因子变量,而是受降雨量和平均降雨强度共同作用的因变量,因此,为了便于在实际工作中直接、快速预测弃土场坡面土壤流失量,将径流深与降雨量和平均降雨强度进行线性回归分析得出表 5 中的方程。

表 5 观测径流小区径流深回归方程

径流小区	小区种植植物	模型	r^2	r
1- 1、1- 3	披碱草、老芒麦、沙棘	$R = - 2.32 + 0.22Q + 0.27I$	0.664	0.815
1- 2、1- 4	青稞、油菜	$R = - 2.24 + 0.24Q + 0.26I$	0.594	0.771
2- 1、2- 3	披碱草、老芒麦	$R = - 0.56 + 0.10Q + 0.06I$	0.662	0.814

表内式中: I 为平均降雨强度 (mm/h); Q 为降雨量 (mm)。

表 5 中三个回归方程检验的 P 值均小于 0.003,因而回归方程是显著的,即该组回归方程合理反映了径流小区径流深度和降雨量、平均降雨强度之间的相关关系,可以用来参考文献:

[1] 王治国,段喜明,李文银,等.开发建设项目水土流失预测的若干问题讨论[J].中国水土保持,2000,(4):35- 37.
[2] 李智广,曾大林.开发建设项目土壤流失量预测方法初探[J].中国水土保持,2001,(4):24- 26.
[3] 徐永年,孙秋来.谈开发建设项目扰动面土壤流失量的预测[J].中国水土保持,2004,(3):25- 27.
[4] 郭锐,张绒君,党生,等.天然气管道建设中的土壤流失与防治[J].水土保持学报,2002,16(5):54- 57.
[5] 张琳,赵辉.开发建设项目水土流失监测问题的探讨[J].湖南水利水电,2001,(5):35- 36.
[6] 贾乃光.数理统计[M].北京:中国林业出版社,1999.
[7] 何丙辉,缪池远,吴咏,等.遂宁组紫色土坡耕地土壤侵蚀规律研究[J].水土保持学报,2004,18(3):9- 15.

测研究路段的径流深。通过表 4 中的回归方程可得到,径流深和降雨量和平均降雨强度呈显著的正相关,同样回归方程的常数项为负值,说明在降雨初期不会有径流产生,只有当降雨量和平均降雨强度达到一定值时,弃土场坡面才会有径流发生。将表 5 中的回归方程代入表 4 的相应土壤流失量预测方程中,可得出弃土场坡面土壤流失量与降雨量和平均降雨强度的关系式,见表 6。

表 6 观测径流小区土壤流失量预测方程

径流小区	小区种植植物	模型
1- 1、1- 3	披碱草、老芒麦、沙棘	$E = - 23.18 + 1.94Q + 2.38I$
1- 2、1- 4	青稞、油菜	$E = - 19.45 + 1.76Q + 1.91I$
2- 1、2- 3	披碱草、老芒麦	$E = - 1.03 + 0.15Q + 0.09I$

表 6 中的方程表明,弃土场坡面土壤流失量与降雨量和平均降雨强度成正比,降雨量和平均降雨强度越大,土壤流失量也越大。弃土场坡面土壤流失量预测方程中的常数项为负值,说明并不是所有的降雨都会产生土壤流失,只有当降雨量和平均降雨强度达到一定值时,弃土场坡面才会发生土壤流失。

4 结论与建议

青海平阿高速公路建设过程中弃土场坡面土壤流失现象严重,其弃土场坡面土壤流失量与降雨历时、降雨量、降雨强度、最大降雨强度和径流深线性相关,其中弃土场坡面土壤流失量与降雨量、平均降雨强度和径流深的相关性显著。为了便于在实际工作中应用,将径流深用降雨量和平均降雨强度表示,得出弃土场坡面土壤流失量预测方程为:

(1) 披碱草、老芒麦和沙棘配置的弃土场坡面:

$$E = - 23.18 + 1.94Q + 2.38I;$$

(2) 青稞和油菜配置的弃土场坡面:

$$E = - 19.45 + 1.76Q + 1.91I;$$

(3) 披碱草和老芒麦配置的弃土场坡面:

$$E = - 1.03 + 0.15Q + 0.09I.$$

通过这三个方程可以快速、准确预测不同弃土场坡面因降雨引起的土壤流失量,为合理配置水土保持措施提供理论参考。

但是,由于研究路段地处西北干旱地区,降雨稀少且集中,观测数据序列仅涉及一年的数据,因此研究结果虽然对研究路段预测弃土场坡面流失量有参考价值,但还有待后续研究的验证。同时,在整个数据分析过程中没有考虑前期降雨和两场降雨间隔时间的影响,而这两个因子在弃土场坡面产流过程中有着很重要的作用,因此这点在今后的研究过程需进一步深入探讨。

另外,1号弃土场坡面土壤流失量预测方程中平均降雨强度的系数较降雨量大,说明土壤流失量对平均降雨强度的反应要敏感一些。但2号弃土场坡面土壤流失量对降雨量的反应更敏感,分析原因可能是由于2号弃土场坡面植被、坡度或其他原因引起的,这说明土壤流失量除受降雨特性的影响外,还与植被、地形等因子有关,由于本次试验径流小区布设数量有限,不能得出定量性的结论,建议在今后的研究中进一步探讨。