

沪蓉西高速公路弃土场渣体侵蚀特征
——以宜(昌)至长(阳)段为例

肖建芳¹, 张洪江¹, 江玉林², 陈宗伟², 陈学平², 郑巍伟¹
(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 交通部科学研究院, 北京 100029)

摘要: 随着我国高速公路的迅速发展, 由此形成的水土流失已成为突出的环境问题。为探讨高速公路建设期间弃土场渣体侵蚀规律, 在沪蓉西高速公路宜长段 1 标区弃土场布设观测小区进行定位观测和分析研究。结果表明: (1) 降雨量与弃土场渣体侵蚀量呈显著的正相关关系。在不考虑影响坡面渣体侵蚀其它因素前提下, 随降雨量的增大, 渣体侵蚀量逐渐加大。(2) 研究区堆渣体沟蚀发生严重, 局部坡面渣体侵蚀量高达 92 848 t/km²。调查发现沟深下切深度基本在 40 cm 以内, 受坡面汇水面积影响, 从坡上到坡脚, 堆渣侵蚀量逐渐加大。
关键词: 高速公路; 弃土场; 渣体侵蚀; 沟蚀
中图分类号: U411; S157 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2007)03-0121-03

The Characteristics of Detritus Erosion of Spoil
Ground of the West of Hurong Expressway

XIAO Jian-fang¹, ZHANG Hong-jiang¹, JIANG Yu-lin²,
CHEN Zong-wei², CHEN Xue-ping², ZHENG Wei-wei¹

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083; 2. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The fast development of expressway has led to serious soil erosion and water loss, which has become the outstanding environment problem. An observation plots is allocated in the spoil ground in Hurong west expressway so as to study the characteristics and process of detritus erosion during the construction of expressway. The result shows as following. The precipitation and the erosion intention present a significantly positive relation. The more the precipitation is, the stronger the intensification of soil erosion is without taking other factors into consideration. (2) Gully erosion is serious in the experimental area, of which the amount of detritus erosion can reach 92 848 t/km². It is found the erosion length is almost within 40 cm, which is increasing from the top slope to the bottom slope based on the size of the catchment.
Key words: expressway; spoil ground; detritus erosion; gully erosion

水土流失是全球性的环境问题, 据美国华盛顿世界观察研究所的调查资料表明^[1], 目前在全世界的农耕地上, 每年平均流失肥沃土壤 264 亿 t, 由于水土流失, 全球耕地每年正以 700~900 万 km² 的速度消失。我国是世界上水土流失最为严重的国家之一, 据水利部遥感中心调查统计^[2], 我国目前水土流失面积达 492.6 万 km², 占国土面积的 51%, 而且每年还新增水土流失面积 2 460 万 km²。土壤流失遍布全国, 且强度高, 成因复杂, 危害严重, 尤以南方的红壤、西北的黄土和东北的黑土流失最为严重。目前我国水土流失研究主要集中在农业过渡垦殖和林业滥伐方面, 随着经济建设的加速发展, 公路建设项目纷纷上马。高速公路建设项目呈线性分布, 多穿行于河谷山川之间, 弃土弃渣量多, 损坏地貌面积

较大, 极易造成水土流失^[3]。因此, 关于高速公路建设期间水土流失的成因分析和规律研究成为水土保持研究的重要课题。研究沪蓉西高速公路(上海至成都高速公路西段)宜长段建设引起的水土流失, 揭示湖北鄂西山地高速公路施工过程中的水土流失规律, 对认识鄂西地区的水土流失变化、保护自然生态环境尤其重要。同时, 也可对公路侵蚀定量预测与评价模型和水土保持技术体系模式的建立提供数据支持和理论依据。

1 研究区概况

沪蓉西高速公路湖北宜昌至长阳(白氏坪)工程位于湖北省西南角, 路线以宜昌长江公路大桥南岸为起点, 长阳为终

* 收稿日期: 2006-05-24
基金项目: 交通部西部交通科技项目“公路与生态工程技术研究(20033182233)”的部分研究内容
作者简介: 肖建芳(1981-), 女, 北京林业大学水土保持学院在读硕士生; 责任作者: 张洪江, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 流域管理和土壤侵蚀。

点,东接江汉平原,南邻湖南省,北部与湖北省神农架林区、秭归县相衔接,向西经过恩施、利川与重庆市相毗邻。研究区地理位置为东经 $108^{\circ}23' \sim 111^{\circ}26'$,北纬 $29^{\circ}07' \sim 31^{\circ}24'$ 之间。

研究区地处中纬度,属亚热带大陆性夏热潮湿气候区,光照充足,雨量充沛,四季分明,雨热同期,无霜期长,有明显的大陆性季风气候特征。夏天受夏季风控制,降雨充沛,气候温暖湿润;冬天受冬季风控制,降雨较少,气候较寒冷干燥。年均气温 $14 \sim 16.7^{\circ}\text{C}$,极端最低气温为 -13.8°C ,最高气温 41.2°C 。无霜期 $240 \sim 273\text{ d}$ 。雨季发生在 $5 \sim 8$ 月份,多以暴雨出现,年均降水量 $1\,338 \sim 1\,600\text{ mm}$,日最大降雨量 190.4 mm ,雨量多,强度大。年平均日照 $1\,571 \sim 1\,704.5\text{ h}$ 。全年春秋短,冬夏长;夏季多梅雨,初冬至早春冷空气及寒潮频繁。

公路工程所经区域地形地貌复杂。地势西南高,东北低,自西向东呈梯级下降。东西高差大约 $1\,500\text{ m}$ 。公路沿线地貌是江汉平原向鄂西山区过渡的地带,丛峦叠嶂,绵延起伏,沟壑纵横,高低错落,立体地貌突出。路线所处大地构造位置,属扬子准地台的鄂湘黔台褶皱之东北部。在构造体系上,为新华夏系鄂西隆起带的南段。属我国东北新华夏系第三隆起带的一部分。它东邻鄂中沉降带,西接第三沉降带的四川盆地。全路段内断裂构造比较发育,东部大多以与褶皱轴线近于垂直的北、北西向断裂为主,西部大多以与褶皱轴线近于垂直的北、北东向断裂为主。本公路沿线主要工程问题包括崩塌、塌陷、滑坡及土体膨胀变形。根据 2000 年遥感调查成果,项目区的土壤侵蚀类型主要表现为水力侵蚀,其中又以面蚀和沟蚀为主;局部有重力侵蚀发生。

研究区段土壤类型较多样,其成土母质主要是石灰岩、泥质岩类风化残积物、页岩、石英砂岩、第四纪黏土残积物和近代河流冲积物。不同母质在复杂的地势、水文、气候植被、自然因素和人为因素的影响下,形成不同类型的土壤,包括 7 大类,以黄棕壤面积最大,石灰土次之,再次之是黄壤、水稻土、棕壤、潮土等。土壤有机质含量中等、土层厚度、土壤类型成交叉垂直分布。

研究区的位置在 $K0+620$ —智家湾高架桥(右侧)。该弃土场为大量弃土弃渣顺坡堆放,形成裸露松散的土石边

坡,其平均坡长 60 m ,裸露土石表面积达 1.3 万 m^2 ,坡度约为 $32 \sim 35^{\circ}$ 。坡面堆积物含砾石较多,以砾岩为主。该弃土场水土流失较为严重,有明显的面蚀和沟蚀发生。此外,研究区所选的坡面上已零星恢复少量植被,主要为羊胡子草 *Eriophorum vaginatum*,盖度不到 1% 。

2 研究方法

在研究区内设置雨量计,观测每场降雨的降雨量及降雨历时。采用为插钎法^[4]观测面蚀发生过程及面蚀量,用红色马克笔划线标记,将竹钎打入地下至刻痕与地面齐平为止,每次降雨后,测定地面与竹钎刻痕之间的高差,通过计算坡面各个竹钎裸露高差的算术平均值,则求出坡面在此次降雨条件下产生的冲刷厚度,再乘以实测小区的面积和渣体容重得到观测小区的冲刷量。在一个长 61 m ,宽 38 m 的长方形边坡上,设立观测小区,将竹钎自上而下布设 3 列,竹钎排列为 $6\text{ 行} \times 3\text{ 列}$ 。

沟蚀是公路基本建设过程中最为普遍的一种水力侵蚀形式,特别是对施工期较长的工程,若挖填方边坡和弃土边坡不能及时采取相应的水土保持防护措施,由于降水造成的沟蚀结果。运用体积估算法^[5],即在坡长 61 m 、宽 38 m 的坡面上,取 10 m 宽并在上、中、下坡面上每隔 5 m 沿等高线布置若干条线段,测量每个线段上的冲刷沟的宽和深并计算断面积(深沟概化为梯形计算,浅沟概化为三角形计算),然后折算成单位面积上的冲刷量(m^3),乘以被冲刷物质的容重,得出单位面积上渣体侵蚀量,从而对坡面沟蚀总量进行测算。

设立观测小区后,定期观测,在每次降雨过后观测坡面的面蚀和沟蚀的发生和发展状况,详细记录其变化量。通过记录竹钎红线标记处距地面的高度(即侵蚀厚度),以及量测沟道的宽度和深度,计算出地表侵蚀程度和渣体侵蚀量。

3 实验结果与分析

3.1 降雨特征

实验区 2005 年 4 月 11 日到 2005 年 9 月 25 日的降雨纪录(间隔 12 h 以内的降雨量算作一次降雨),见表 1 。

表 1 降雨量和降雨强度的量级分配

| | 降雨量量级/mm | | | | 平均降雨强度量级/(mm·h ⁻¹) | | | | 总计 |
|----------|----------|-------|--------|-------|--------------------------------|--------|-------|------|-------|
| | < 5 | 5~ 15 | 15~ 30 | > 30 | < 2.5 | 2.5~ 5 | 5~ 10 | > 10 | |
| 降雨场次 | 17 | 10 | 6 | 7 | 25 | 7 | 6 | 2 | 40 |
| 降雨量/mm | 50.4 | 80.4 | 127.5 | 397.1 | 204.3 | 237.6 | 180.2 | 33.3 | 655.4 |
| 占降雨总量比/% | 7.7 | 12.3 | 19.5 | 60.6 | 31.2 | 36.3 | 27.5 | 5.1 | — |

从表 1 中可看出,次降雨量小于 5 mm 的降雨即小雨共 17 次,降雨量合计 50.4 mm ,占总降雨量的 7.7% ,可见小雨场次虽多,但降雨总量很少;次降雨量大于 30 mm 的降雨(暴雨)量共 7 次,降雨量合计 397.1 mm ,占总降雨量的 60.6% 。由此可见,次降雨量大于 30 mm 的降雨量虽然次数不多,但所占比例最高,是总降雨量 655.4 mm 的主要贡献者。次降雨量在 $5 \sim 15\text{ mm}$ 和 $15 \sim 30\text{ mm}$ 降雨,两者基本接近,总比例为 31.8% ,而次降雨量小于 5 mm 的降雨量最少。平均降雨强度小于 2.5 mm/h 的降雨量共 25 次,所占次数最多,降雨量合计 204.3 mm ,占总降雨量的 31.2% ,平均降雨强度在 $2.5 \sim 5\text{ mm/h}$ 的降雨 7 次,降雨量 237.6 mm ,占总降雨量的 36.3% ,平均降雨强度在 $5 \sim 10\text{ mm/h}$ 的降雨 6 次,降雨量 180.2 mm ,占总降雨量的 27.5% ,雨强大

于 10 mm/h 的降雨仅为 2 次,降雨量为 33.3 mm ,占总降雨量的 5.1% 。可见,降雨强度主要集中在 10 mm/h 以下,其降雨量占整个观测期间降雨总量的 95% 。

3.2 渣体侵蚀与降雨的关系

降雨雨滴动能作用于地表^[6],导致土壤颗粒分散,引起土壤渗透性下降,利于形成地表径流,同时雨滴直接打击地表,导致土粒飞溅并沿坡面向下迁移,可见,雨滴侵蚀力是土壤流失的主要影响因子。美国通用土壤流失方程 $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$ 表明^[7~11],坡面土壤侵蚀与降雨侵蚀力 R 有关, R 的大小取决于降雨量、强度等。实验区 2005 年 5 月 3 日至 2005 年 8 月 22 日的降雨观测资料和渣体侵蚀量资料统计分析如表 2 。

将降雨量、降雨强度分别与渣体平均侵蚀量进行相关性

分析, 得出:

表 2 降雨特征与渣体平均侵蚀量对应关系表

| 序号 | 降雨量 / mm | 平均降雨 强度/(mm · h ⁻¹) | 平均侵蚀量 /(t · km ⁻²) | 降雨时间 |
|----|-------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------|
| 1 | 7.1 | 2.4 | 980 | 2005- 05- 03 |
| 2 | 5.3 | 2.75 | 980 | 2005- 05- 12 |
| 3 | 10.3 | 5.15 | 840 | 2005- 05- 17 |
| 4 | 16.4 | 1.2 | 1330 | 2005- 05- 20 |
| 5 | 116.8 | 4.25 | 3570 | 2005- 07- 10 |
| 6 | 7.7 | 5.13 | 1050 | 2005- 07- 16 |
| 7 | 95.8 | 5.03 | 2940 | 2005- 07- 22 |
| 8 | 30.8 | 6.16 | 1680 | 2005- 08- 03 |
| 9 | 48.1 | 2.92 | 2800 | 2005- 08- 15 |
| 10 | 15.1 | 7.55 | 980 | 2005- 08- 17 |
| 11 | 61.9 | 1.54 | 2100 | 2005- 08- 22 |

$M=23.624R+858.1$ ($5.3\leq x\leq 116.8$, 相关系数 $r=0.9515$)

(1)

式中: M ——平均侵蚀量(t/km²); R ——降雨量(mm)。

$M=1765.8e^{-0.0344I}$ ($1.2\leq x\leq 7.55$, 相关系数 $r=0.1315$)(2)

式中: M ——平均侵蚀量(t/km²); I ——平均降雨强度(mm/h)。

由式 1 可看出, 在弃土场边坡上, 降雨量和与渣体侵蚀量进行线性拟合, 呈一元线性正相关关系, 并且相关系数大于 0.9, 说明实验区的渣体侵蚀量与雨量组合关系较好, 在不考虑影响坡面渣体侵蚀的其它因素的前提下, 随着降雨量增大, 渣体侵蚀量逐渐加大, 见图 1。由式 2 可以看出, 降雨平均强度与渣体侵蚀量关系不大。

3.3 侵蚀沟发生特征

为测量和统计方便, 将沟宽大于等于 26 cm、沟深大于等于 16 cm 的侵蚀沟划分为深沟, 沟宽小于 26 cm、沟深小于 16 cm 的侵蚀沟划分为浅沟, 计算侵蚀沟的断面面积时, 深沟断面可概化为梯形, 浅沟概化为三角形。观测期间沟蚀渣体侵蚀量详见表 3。

参考文献:

[1] 彭尔瑞, 杨志雷, 饶碧玉. 从水土流失论人与自然的持续发展[J]. 云南农业大学学报, 1998, 13(2): 193- 195.

[2] 彭可珊. 中国水土流失基本概况及其综合治理[J]. 天水师范学院学报, 2001, 21(1): 47- 52.

[3] 徐宪立, 张科利, 罗利芳, 等. 青藏公路路堤边坡产沙与降雨特征分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 22- 24.

[4] 李朝霞, 王天魏, 史志华, 等. 降雨过程中红壤表土结构变化与侵蚀产沙关系[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 1- 4.

[5] 李文银, 王治国, 蔡继清. 工矿区水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 125.

[6] 张洪江. 土壤侵蚀原理[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000. 42.

[7] 李文银, 王治国, 蔡继清. 工矿区水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 124.

[8] 左长青, 马良. 天然降雨对红壤坡地侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 1- 4.

[9] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [M]. Agriculture Handbook, no. 703, USDA- ARS, Washington DC, 1998.

[10] Jones J A, Swanson F J, et al. Effects of roads on hydrology, geomorphology, and disturbance patches in stream networks[J]. Conservation Biology, 2000, 14: 76- 85.

[11] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1- 20.

[12] 尹远志. 湖北三峡库区水土保持规划及实施效果[J]. 水土保持通报, 1997, 17(7): 105- 110.

[13] 李献珍, 张晓军. 影响坡面水土流失的降雨因素[J]. 黑龙江水利科技, 1999, (3): 34- 35.

[14] 刘力, 高二俊. 公路建设中的水土流失及其治理对策[J]. 内蒙古水利, 2005, (1): 60- 61.

[15] 张照录, 薛重生. 湖北三峡库区降雨侵蚀力的计算及其特征分析[J]. 中国水土保持, 2005, (8): 10- 12.

[16] 肖建青, 史学建, 等. 高速公路边坡防护的降雨和径流冲刷实验研究[J]. 水土保持通报, 2004, 24(2): 16- 18.

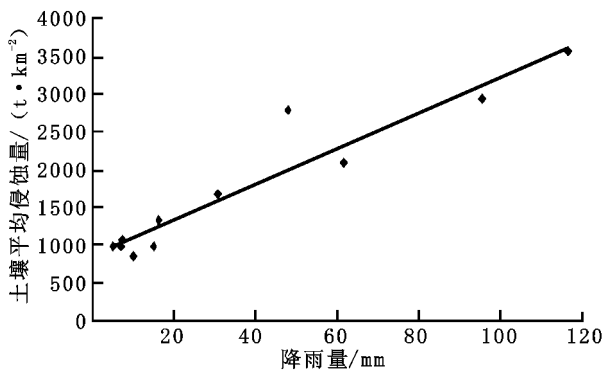


图 1 渣体侵蚀量与降雨量关系

表 3 弃土场沟蚀渣体侵蚀量

| 观测时间 | 降雨量 / mm | 渣体侵蚀 体积/ m ³ | 渣体侵蚀量 /(t · km ⁻²) |
|--------------|-------------|----------------------------|------------------------------------|
| 2005- 05- 15 | - | 90.243 | 46489.9 |
| 2005- 07- 17 | 303.4 | 142.18 | 73246.0 |
| 2005- 09- 28 | 647.7 | 180.23 | 92848.0 |

观测小区从最初弃土到 2005 年雨季开始前, 沟蚀较为严重, 经调查沟蚀直接导致渣体侵蚀总量达 19 946 t/km², 其中深沟共 7 条, 渣体侵蚀量 16 338 t/km², 占总量的 81.91%, 浅沟侵蚀量相对较小, 为 3 608 t/km², 占总量的 18.09%。雨季结束后, 渣体侵蚀量高达 92 848 t/km², 其中深沟共 11 条, 渣体侵蚀量为 84 407 t/km², 占总量的 90.91%, 浅沟侵蚀量为 8 440.7 t/km², 占总量的 9.09%。从坡上到坡脚, 渣体侵蚀量逐渐加大, 这可能主要是受坡面汇水面积的影响。调查中发现沟深下切深度基本上在 40 cm 以内。

4 结 论

降雨量与弃土场渣体侵蚀量呈显著的正相关关系, 经回归分析, 其关系式为 $M=23.624R+858.1$ 。在不考虑影响坡面渣体侵蚀的其它因素的前提下, 随降雨量的增大, 渣体侵蚀量逐渐加大。

研究区堆渣体沟蚀发生严重, 局部坡面渣体侵蚀量高达 92 848 t/km²。调查发现沟深下切深度基本在 40 cm 以内, 受坡面汇水面积影响, 从坡上到坡脚, 堆渣侵蚀量逐渐加大。