

# 半干旱丘陵地区乡村道路侵蚀特点和影响因素研究

## ——以内蒙古四子王旗东南部为例

常月明<sup>1</sup>, 雷俊义<sup>2</sup>, 李永香<sup>1</sup>, 闫玉玲<sup>1</sup>, 赵娜<sup>1</sup>

(1. 内蒙古师范大学 地理科学学院, 呼和浩特 010022; 2. 内蒙古师范大学 附属中学, 呼和浩特 010020)

**摘 要:** 内蒙古北部半干旱丘陵低山地区的乡村道路, 侵蚀严重, 使运输受阻, 经常被迫改道, 占用耕地, 严重影响了当地农村的发展。以阴山北麓四子王旗的农耕地区为例, 通过大量实地考察, 研究道路侵蚀特点, 并从自然和人为两方面研究道路遭受侵蚀的原因, 分析道路侵蚀的发生机理。结果表明: 乡村土质道路侵蚀的主要影响因素是路面坡度和降水强度, 人类的使用方式也直接影响路面侵蚀。研究区位于坡面上和谷地中汇水处的土质道路普遍发育不同程度的侵蚀; 夏季发生的有限的几次强降水是研究区道路遭受侵蚀的重要原因; 位于较大坡度坡面上和谷地中汇水处的道路侵蚀最为严重; 两边不等高和壤质土的路面都易遭受侵蚀; 人类使用的季节性和维护的缺失加剧了道路侵蚀。

**关键词:** 半干旱; 乡村道路; 侵蚀特点; 影响因素

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)05-0116-06

## Study on the Road Erosion Characteristics and the Effect Factors in Semiarid Hilly Region

—Take the Southeast of Siziwang County, Inner Mongolia as an Example

CHANG Yue-ming<sup>1</sup>, LEI Jun-yi<sup>2</sup>, LI Yong-xiang, YAN Yu-ling<sup>1</sup>, ZHAO Na<sup>1</sup>

(1. College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China;

2. High School Affiliated to Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010020, China)

**Abstract:** The county roads of low mountain and hilly regions in semiarid area of Inner Mongolia North, are seriously eroded, which impact the local transportation. The roads are often forced to change their courses and occupy cultivation due to erosion, which seriously affects the development of local countries. This article took agricultural area as an example in Siziwang County which lies the foot of the North Yinshan Mountain, through a great deal of investigation on the spot, erosion characteristic and the road erosion causes were studied from two aspects of natural and human, the occurrence mechanism of the roads erosion was analyzed. The results show that the main factors affecting the soil road erosion of the rural are the road surface slope and rainfall intensity, the using mode of human beings also directly affects the road erosion. The soil roads universally develop different levels of erosion, which lies on the slope and the catchment in the valley; the limited several events of strong precipitation which happens in summer are the important reason for the road erosion in the study area. The roads are seriously eroded which lie the high slope surface and the catchment in the valley. The roads surfaces on both sides of unequal height and loamy soil are all easily eroded. The seasonal human using and the lack of maintenance made the roads erosion serious.

**Key words:** semiarid; country roads; erosion characteristics; effect factors

公路的建设和运营对自然生态环境的扰动相当强烈, 尤其建设过程中不可避免地要改变地形地貌、扰乱土壤结构、破坏植被, 在降雨、风力和重力等外营力的作用下, 就会形成强烈的侵蚀<sup>[1-7]</sup>。半干旱丘陵

低山区人类活动形成的各种土质道路与自然水系交织在一起, 形成土质道路侵蚀。这类土质道路多数未加修整, 系自然踩踏形成。它包括村落之间联系的村间路, 以村庄为中心的各种宽度的耕作路以及各个村

委会之间的土质公路等。这些道路以村庄为中心向四周辐射分布,村落多数位于靠近河流的地形平坦地区或者山脚下,其中以位于河流边的占据比例最大,河流或从村落旁边经过或穿过村落,形成了河流和道路交织围绕村落的格局,较之河流的分布,道路的分布更密集,一方面村落内部有户间路、有联系外界的主干路、有放射状的耕作路,易形成侵蚀;另一方面位于低平处的村落易成为水流的汇聚地,也给水流侵蚀创造了条件。

道路的存在,使得水流的汇聚和流路都发生变化,一方面道路本身成为汇水面,成为侵蚀源地,另一方面,道路将坡面分割,使得坡面的汇水面积的大小发生变化。侵蚀时以位于汇水处的最为严重,从各个坡面上下泄的水流迅速在谷中汇流,在无固定流路的情况下呈漫流状态,加上有植被对地面的保护作用和对水流的减挡作用,很难发育冲沟,但是山谷中道路的形成,改变了下垫面条件和水流的流路,坡面上汇集下来的水流由漫流变为股流,加上路面对水流的阻力小,水流侵蚀作用加大,迅速进行下蚀,一旦形成侵蚀沟,便同时发生下蚀、测蚀和溯源侵蚀,水流作用加强<sup>[2]</sup>。

乡村道路侵蚀近年在我国逐渐被重视,关于道路侵蚀目前国内已有不少成果<sup>[5-8]</sup>,田风霞等通过人工模拟降雨研究了黄土道路侵蚀过程<sup>[5]</sup>,曹龙熹等研究了黄土高原典型小流域道路特征及其影响因素<sup>[9]</sup>,但系统的实地调研研究乡村土质道路路面特点和人类活动对路面侵蚀影响的不多,本论文选取库伦图镇,通过多次实地调研研究道路路面特点、道路所在地形特点、研究区降水特点、人类使用道路特点等,分析这些因素对道路侵蚀的影响,在理论上是对道路侵蚀研究的进一步完善,实践上可为道路侵蚀治理提供依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

1.1.1 自然环境 内蒙古四子王旗地处阴山北麓的干旱、半干旱地区,是乌兰察布市最大的以牧为主、农牧结合的旗县。全旗总土地面积 24 016 km<sup>2</sup>,占乌兰察布市总面积的近一半,其中牧区面积 19 525 km<sup>2</sup>,占 81.3%;农区面积 4 491 km<sup>2</sup>,占 18.7%。据有记载以来的气象资料表明,全旗历年平均降水量仅为 250~300 mm,无霜期不足 110 d,年平均风速 4.5 m/s,年均 8 级以上大风日 44 个。该旗地形从南至北由阴山山脉北缘、乌兰察布丘陵和蒙古高原三部分组成。其中:山地占 4.1%,丘陵占 56.1%,高原占

39.8%。统观地形趋势东南高而西北低。海拔高度为 1 000~2 100 m,相对高差 1 100 m。旗境东南西河子、活福滩、忽鸡图、三元井地段属阴山山脉北坡。海拔 2 000 m 左右的山峰约 100 余座,这些山峰均属中等切割或轻微切割,相对高程 1 000 m 左右。

1.1.2 道路情况 截至 2004 年,研究区公路总里程 2 040 km,按公路等级分类:二级沥青路 146.6 km,三级沥青路 124.1 km,三级砂石路 226 km,四级公路 1 542.9 km。按权属分类:省道公路二段 181.9 km;旗县及边防公路 5 条,总里程 664.3 km;乡村公路总里程 1 193.8 km,土质公路占总公路里程的 86.7%。全旗 23 乡镇苏木通公路,119 个行政村嘎查中,有 89 个通公路,占总数的 74.7%。平均每百平方公里土地有公路 7.9 km,每万人有公路 100 km。但是由于研究区农村牧区面积广大,农耕路和大量村间路无法进行确切统计,而且其长度要远远超过 2 000 km,研究区的农耕路与村间路宽度 2.5~6 m,长度与串联村落的数量和村落的大小有关,许多土质道路,尤其是村际路和耕作路都是自然踩踏形成,没有填方坡和挖方坡,近年新修的乡际间的土质公路也都是在原有道路的基础上进行修整或裁弯取直形成的,绝大多数路段都是自然踩踏路,少有填方坡和挖方坡。

### 1.2 研究方法

研究区范围广大,北部地区以草原为主且面积大,以风蚀为主;南部以农为主,风蚀、水蚀、冻融侵蚀、重力侵蚀都存在,但三种侵蚀随地形和季节发育各有侧重,春季以风蚀和冻融侵蚀为主,夏秋季节以水蚀为主,重力侵蚀在有沟谷的地方,一年四季都有发生。本文选取农区的库伦图镇作为研究区域,重点研究该区水蚀,于 2011 年 7 月 31 日(7 月 27 日下过大雨)和 2013 年 7 月 24 日(7 月 22 日下过大雨),借助 GPS 定位功能,对该区库伦图村、三元井村道路网密集的两个村落以实地调查的方法进行研究,并选取两村间的村间路和耕作路作为调查对象,调查雨后道路路面侵蚀的情况以及与降雨、坡面要素和人类使用情况的关系等。

## 2 乡村道路侵蚀特点研究

研究区内遍布着以村落为中心的各种级别的土质道路,这些道路多数位于地势较低处或者地形平坦处。由于研究区的地形和降水特点,土质道路多数遭受侵蚀<sup>[2]</sup>。道路网的存在显著扩展了流域径流渠道网,构造了流域降雨至河道有效的输送机制,减少径流汇集时间,增大流域径流系数,洪峰流量显著增加;

路表径流产生时间短、流速高,改变了坡面径流进入河道的同步性,促使河流洪峰提前<sup>[10-12]</sup>;道路网络影响流域侵蚀过程,改变流域水文形成过程<sup>[13]</sup>。

作为一种特殊的土地利用方式,土质道路显著改变了下垫面土壤和水文特征,是一类不同于一般坡面的特殊侵蚀环境<sup>[8]</sup>。张科利等<sup>[14]</sup>将道路侵蚀过程的特点总结为侵蚀过程中的径流与泥沙异源性、空间分布上的线状或网络状特征、泥沙运移过程中的强径流搬运能力和不同部位的内部差异性显著等。由于土质路面较自然坡面致密坚硬,入渗能力弱产流强度大,形成径流时间短。路面产生的径流常常集中下泻冲刷道路下端或路基边坡,同时,由于路面比较光滑,在相同流量和坡度条件下,径流流速会远大于农田,径流挟沙力大大增加,常常在路面薄弱处或低处发育侵蚀。道路侵蚀主要表现为侵蚀路面、侵蚀两侧路基或路基底部,路面侵蚀表现顺路侵蚀或横向侵蚀;道路本身呈线状,但在区域上又会形成网络状,道路网叠加于自然水系网之上,不仅对自然汇流产生重要影响,同时也往往是沟蚀发生的诱因。由于道路对自然地形条件的改变,形成了路面、挖土坡和填土坡等不同的侵蚀产沙单元,而每个单元的下垫面性状差异很大,导致道路不同部位的侵蚀特征差异显著。

## 2.1 道路侵蚀具有普遍性

近年来研究区由于大范围的退耕还林草和降水丰沛,大范围面上的水土流失得到较好的治理和遏制,研究区植被盖度普遍提高,2012年、2013年研究区农区坡面植被盖度都在85%以上,丘陵低山区草地牧草高度普遍在30 cm以上,坡面上发育的侵蚀沟有90%多得到较好治理,大多数的侵蚀沟在中等强度的降水下侵蚀不发育或非常弱。研究区的土质道路在该区是一种分布广泛的道路类型,是研究区较为典型和主要的裸地,也成为研究区夏季侵蚀的最主要对象,由于路面容重高,饱和入渗率低,这种特性使得道路在较小的降雨强度下即能形成径流,使得研究区位于坡面上的道路普遍遭受侵蚀。2011年7月底和2013年7月底调查了库伦图、朝克文都、三元井三个乡的各级道路,研究区面积为435 km<sup>2</sup>,地形以低山丘陵为主,通过遥感影像解译该区有各级道路747.62 km,道路密度1.72 km/km<sup>2</sup>。通过GPS测量调查长度220 km,其中坡面上的道路140 km,占63.6%。调查发现其中油路路面没有侵蚀,但路基有侵蚀发生,有侵蚀细沟,其余的各级道路只有分布在平坦地方的道路不发生侵蚀,位于坡面上的道路90%多发生过侵蚀,位于坡面上道路80%多的路段遭受侵蚀。侵蚀多数表现为细沟和浅沟,其中细沟占比例较大,

沟的深度在0.5 m左右,最深的地方有1.2 m,最浅的有0.3 m,如该区位于三元井村东平均坡度为37°的陡坡面上一段1.6 km长的二级土质路,其中1.2 km路段的路面上有至少一条连续的深度在0.5 m左右,宽度在1 m左右的浅沟。图1为2011年10月5日拍摄的库伦图村南坡面上坡度在15°左右坡面遭受侵蚀的道路。图中左侧为原路面,沟深1.2 m左右,宽1 m左右,整个坡面路段500 m左右,由于顺路而下水流的强烈侵蚀,道路右侧全部成切沟,道路被迫右移。再如从库伦图到朝克文都的15 km左右的土质公路,有近5 km成为2 m左右深沟,使得这条道路不得不废弃,只得另开道路。



图1 发育在耕作路面上的浅沟(2011年10月5日摄)

## 2.2 侵蚀多数是在短时的强降水下发生的,时间上表现比较集中

研究区的道路侵蚀主要是风蚀、水蚀和重力侵蚀,风蚀集中在春季风大的3月和4月,重力侵蚀一年四季都有发生,而水蚀主要由夏季有限的几次强降雨引起,时间上表现得较为集中,其中研究区6—9月降水占全年降水总量的70%以上。对道路侵蚀影响最大的是水蚀,土质道路与其他类用地相比较,土质地紧实,降雨初期,雨滴动能的溅蚀作用不足以破坏路面表土层土壤结构<sup>[15]</sup>,降雨对路面的影响主要表现在降雨过程中产生的地表径流对路面的冲刷。吴普特等认为,“在硬地面条件下,4 mm的降雨即可产流”。张科利等<sup>[16]</sup>通过野外小区观测资料指出:浅沟侵蚀基本上与降雨量没有关系,浅沟侵蚀主要受降雨强度的影响。大量统计表明,在一定区域内,只有降水量达到并超过一定数值之后,才能出现土壤侵蚀,人们称这个临界雨量为侵蚀性降雨标准。中科院的试验表明黄土地区侵蚀性降雨标准大体为8~15 mm。美国确定的侵蚀性降雨标准为12.7 mm。雨量和雨强相同,降水历时不同,侵蚀效果也不同。研究区年降水量在300 mm左右,但每年降水集中,次数少,强度大,10年、20年一遇24 h最大降水量分别为67.1 mm和100.8 mm,6 h最大降水量分别为

63.1 mm 和 87.8 mm,3 h 最大降雨量分别为 61.7 mm 和 85.6 mm,降水多表现为短时强降水。该区连续降水过程的最大值大多地区在 80 mm 以上,一日最大降水量大多在 50 mm 以上,少数地区超过 100 mm;丘陵低山地区,日降水量 25 mm 以上就能成灾,据气象资料载 1969 年 7 月 31 日 19 时到 20 时,乌兰花降水 48.8 mm,1981 年 6 月 30 日朝克文都的特大暴雨,历时 6 h,降雨 400 mm,2010 年 8 月 2 日夜間四子王旗大范围内普降中雨,个别地区降大雨,在短短的 2 h 内,库伦图、忽鸡图等地的降雨量分别达到 48.0 mm,34.0 mm,暴雨造成 35 km 公路被毁,8 处涵洞、2 处过水路面毁坏。一日最大降水量达 50 mm 以上,还出现过 10 min 降水 17.5 mm 的记录。个别年份也出现长时间持续性降水,如 1974 年 7 月,连续降雨 8 d。研究区虽然干旱年份多,但涝灾平均约三年出现一次,多年气象资料统计,研究区每年暴雨次数在 4 次左右,每次降雨量都在 10 mm 以上,都是可蚀性降水<sup>[17]</sup>。但近年研究区长历时的强降水出现频率增多,近两年每年多达 8 次左右,如图 2 是 2013 年 7 月 24 日拍摄的三元井村南的村间路遭遇侵蚀情况,其中沟深 50 cm 左右,宽 30 cm 左右,从坡顶一直延续到坡底,道路长 300 m 左右,细沟沿两边车辙侵蚀,分别长 300 m 左右,系研究区 2013 年 7 月 22 日长时间的强降水侵蚀形成的,图 2 中道路所在坡度 10°以下,水流来源于上游平均坡度为 25°左右坡面,导致路面被侵蚀,形成细沟。短时、强度大是研究区降水的主要特点,强降水是研究区道路遭受侵蚀的主要原因。道路路面上的侵蚀沟都是在数次强降雨下形成的,严重的在村落内的道路有一次降雨成深沟的现象。



图 2 强降水对村间路的侵蚀(摄于 2013 年 7 月 24 日)

### 3 道路侵蚀影响因素研究

乡村道路侵蚀是自然因素和人为因素共同作用的结果,自然因素主要有降水、地形、土壤等因素,人为因素主要是人类对道路的不合理使用和维护的缺失。

#### 3.1 坡度和坡长对道路侵蚀的影响

关于坡度和坡长对坡面侵蚀的影响,国内外相关研究较多<sup>[4-6]</sup>,张科利等<sup>[16]</sup>对黄土坡面浅沟侵蚀特征值作了研究,表明发生浅沟侵蚀的临界坡度约为 18°,临界坡长为 40 m 左右,坡面 26°时最有利于浅沟侵蚀的发生。刘小勇等对硬地面侵蚀产沙进行试验研究表明<sup>[18]</sup>,坡度增加产沙量增加,容重越大,产沙量越大。受雨强和上游路段来水来沙影响,位于研究区的土质道路,在各种坡度的情况上都有可能发生侵蚀。在研究区主要表现为以下几种情况:一种是坡度较小的,一般小于 5°的位于谷地中的道路,由于有从上游段较大坡面上汇流下的水流,水流流速大,造成土质路面的严重侵蚀;第二种是位于坡度较大坡面上的道路,一般大于 10°,尤其是直线型坡面,路面普遍发育侵蚀;第三种是位于坡度较大坡面上道路两侧路基基底遭受剧烈侵蚀;其中占比例最大的是坡度较大的路面侵蚀,观察中有路面坡度是 64°的,且侵蚀剧烈。这种类型的占据路面侵蚀的 80%多。关于坡长对路面侵蚀的影响,由于道路面的坡长一般都较长,一时还难以评定,调查中发现较多的是位于坡面上呈倾斜的路面,坡长虽然较短但水流横向侵蚀路面;还有一种情况是水流漫过路面侵蚀坡长较短呈斜面的路基;至于坡形对路面侵蚀的影响,以凹形坡和直线型坡侵蚀较为严重。坡度越大,坡面越长发生侵蚀的路段越长,侵蚀越严重,由于道路上的水流主要来源于道路路面,道路路面光滑平坦,水流下渗少,沿坡下流时,汇集水流流量越来越大,上游来水含沙量小,或经多次沉积,水流顺坡而下,雨强越大,水流流速越大,对路面的侵蚀力也越大,所以在研究区常看到在一次暴雨后路面上形成连续的沿路面分布的细沟;坡度的大小与降雨强度大小结合起来,共同影响路面侵蚀,能迅速在坡面形成水流的降雨强度与能使水流迅速下泄的坡面坡度结合是最有利于侵蚀的结合(表 1)。

表 1 道路坡度坡长与侵蚀情况

地点	坡长/ m	坡度/ (°)	路面 土质	侵蚀情况
六道沟东	250	22.8	砂壤质	全部侵蚀
富贵梁顶	240	16.21	壤质	全部侵蚀
头股梁	682	10.38	壤质	部分侵蚀(100 m 左右)
三元井东沟	1620	36.5	黏土质	90%多被侵蚀

#### 3.2 降水强度是影响道路侵蚀的最主要因素

研究区面积广大,只在乌兰花和供济堂设了气象站,各地详细降水资料缺乏,降水强度以定性描述为

主;按照国家气象局颁布的降水强度等级划分标准,我国内陆地区降水强度分为小雨、中雨、大雨、暴雨、特大暴雨以及各级间过渡类型,共十一级;具体在研究区道路侵蚀上各级降水强度的侵蚀表现为:强度最小的是“毛毛雨”即小雨,强度相当于每天几毫米,只有长时间的降水才能在道路上形成水流,雨后不行车,对道路侵蚀很小;其次是中雨,强度为每天十几毫米到二十几毫米,一般降水时间半小时左右,路面会形成侵蚀性水流,对路面形成侵蚀;再次是大雨,降水十几分钟路面即会形成水流;强度最大的是暴雨和特大暴雨,强度在每天 50 mm 甚至更大,地面上迅速起水形成侵蚀,十几分钟的降水,坡面上的道路即可形成侵蚀沟,研究区的降水,在 2012 年和 2013 年的降水多表现为大雨和短时暴雨,尤其在 2013 年 7 月发生至少 5 次以上的大到暴雨,对道路的破坏和侵蚀非常严重。强降雨是道路形成侵蚀的最主要原因。其中能否迅速在坡面上形成水流的降雨强度是主要因素。

### 3.3 上游来水的影响

除了坡度和强降水是影响道路侵蚀的主要原因外,上游来水是导致平坦地面上道路侵蚀的重要因素,调查发现位于低平处,侵蚀成沟的道路,全部是由于上游有大量水流汇集到所在路面上侵蚀造成的,而且一旦发育有浅沟,在数年的时间内便会发育成深达数米的冲沟,导致道路毁坏。

### 3.4 人类对道路的使用方式直接影响道路的侵蚀

道路是人类活动作用在地面上的一种特殊的线状体,对于土质道路而言,路面上车辙的形成是坡面上道路发生侵蚀的主要原因,路面上有车辙的道路,即使坡度很小也有侵蚀发生,且形成固定的线状,中间凸起,两边是细沟,沟深时道路废弃,同时耕作时农民习惯拉着犁在路上走,形成深浅不一的犁痕,也为侵蚀创造了条件。如图 3 的路面是黏土质的,在三元井东,平均坡度  $35^{\circ}$  左右,由于雨后或雨中路面湿黏时行车,形成车辙,水流顺车辙侵蚀,形成细沟。其次就是车流量大的道路,侵蚀程度要较车流量小的道路弱,主要是车辆来往对侵蚀细沟的破坏,从而抑制了水蚀的迅速发展。研究区近年农村人口急剧减少,人类活动强度减弱,也影响到道路侵蚀<sup>[19]</sup>;耕作路使用的高峰期是春季耕种期和秋季的收割期,主要是在四月底到五月初以及八月底到十月初这段时间,而该区降水最多的是六月和七月两个月,从而形成道路的闲置和侵蚀期的叠加;同时研究区的道路多数顺直没有或很少有弯曲,道路起伏小,造成水流阻力小,可顺坡而下,侵蚀越来越大。



图3 水流沿车辙侵蚀(摄于 2011 年 7 月 28 日)

### 3.5 道路路面特点和位置对道路侵蚀的影响

道路路面特点、道路的位置均对路面侵蚀和泥沙输移有重要的影响。道路路面特点主要包括路面宽度、弯曲度、紧实度、路面土质和平整度等因素,其中对侵蚀影响较大的是道路位置、路面土质和平整度,道路位于平坦谷地或平坦坡面上的,水流主要沿车辙或路面低凹处侵蚀;道路位于斜坡面上,如果路面是沿坡倾斜的,则侵蚀路面低的一侧,同时发生横向侵蚀;道路与沟谷相邻的,还发生重力侵蚀和侧向淘蚀;研究区的土壤以栗钙土为主,腐殖质层厚度薄,在 30 cm 左右,有机质含量 1% 左右。土质路面腐殖质层更薄,多数表现为缺少腐殖质层,腐殖质能把土粒胶结成稳定团聚体和团粒结构,因而含腐殖质多的土壤抗蚀性强,道路路面不生长植物,故其土壤腐殖质含量较周围地面要低,道路路面的抗冲能力较弱。研究区路面土壤质地基本表现为壤质、砂质和黏质三种类型,土质在砂质路面多表现为松散结构,但砂质路面易于水流下渗,侵蚀弱,如三元井东一段 2 km 的坡度  $45^{\circ}$  左右的坡面,由于路面全是 2 mm 左右的粗砂,但侵蚀微弱。但壤土质型路面侵蚀严重;路面土壤与道路形成方式有关,直接踩踏形成的表现为与下伏基面土壤类型一致,经过修葺形成的路面,其路面土质与下伏基面有差异,而且上覆土层与原来基面存在一个接触面。

研究区土壤的机械组成基本是土壤粒径  $<0.01$  mm 的颗粒含量约为 20%, 0.01~0.05 mm 的颗粒占 41%, 0.05~0.25 mm 的颗粒占 27%, 0.25~0.5 mm 的颗粒占 10.8%, 0.5~1 mm 的颗粒占 1.2%。土壤的机械组成比较轻,以砂质、砂壤质和沙砾质占优势,黏粒含量低。Evans 等<sup>[20]</sup>研究表明,88% 的侵蚀性土壤的黏粒含量为 9%~35%, 75% 侵蚀性土壤的黏粒含量为 9%~30%, 当黏粒含量在 30%~35% 时,由于土粒的胶结力增大,土壤抵抗雨滴击溅的能力增大。研究区路面土壤黏粒含量较低,土壤的抗蚀性弱,易为流水侵蚀。路面的紧实度对侵蚀的影响表

现在同一坡度路面,水流沿土质疏松地方侵蚀,路面紧实处难被侵蚀。

## 4 结论及治理建议

### 4.1 结论

(1) 半干旱丘陵低山地区的乡村土质道路是人类活动作用于地面的产物,分布广泛。研究区地形起伏大,夏季降水多为暴雨,使得其中位于坡面上的土质道路路面普遍发育水蚀,尤其坡度大的路段处,80%多路段被侵蚀,以发育细沟为主,深度和宽度均在0.5 m左右。

(2) 由于研究区年降水主要集中在夏季,且降水以暴雨为主,降水强度大,年均四次左右,使得道路水蚀表现得较为集中。其中强降雨是影响道路侵蚀的主要因素之一,降水强度越大,道路侵蚀发育越快。

(3) 地形因素中坡度和坡长是影响土质路面侵蚀的主要因素,坡度的影响表现在道路所在坡度较小,但位于上游水流汇集地,易造成土质路面的严重侵蚀;位于坡度较大直线型坡面上的道路,普遍发育侵蚀;坡度较大坡面上道路两侧路基基底遭受剧烈侵蚀;路面坡长都较长,有利于路面侵蚀发育。

(4) 道路路面特点对侵蚀也有重要影响,路面位于坡面低处以及壤质路面、路面两边不等高、路面腐殖质含量小,都利于路面侵蚀发育。

(5) 人类对道路的季节性使用和维护的缺失也是导致道路侵蚀的重要因素。鉴于道路的侵蚀和人类使用特点,定期对现有路面进行维护,有利于减缓路面侵蚀。

(6) 由于研究条件的限制,对野外道路侵蚀缺乏定量化的研究,加强野外数据实时采集,有利于更进一步了解道路侵蚀机理。

### 4.2 治理和防治建议

鉴于路面的侵蚀特点和实地调查的了解,提出如下治理建议:(1) 抬高路面,降低路面坡度,减少上游来水来沙;(2) 定期对路面覆粗沙,可减缓甚至消除水流对路面的侵蚀;(3) 对使用频率低的农耕路,可在路上种植马蔺、冰草、鸢尾等固定道路路面水土;(4) 禁止雨后马上行车,以免土质道路被毁。

### 参考文献:

[1] 何吉成,徐雨晴,刘兰华.我国长大客运专线建设工程的水土流失影响指数比较[J].水土保持研究,2010,17(6):35-38.

[2] 常月明,张卫青,董丹萍,等.半干旱丘陵地区乡村道路侵蚀研究:以内蒙古四子王旗南部为例[J].内蒙古师范大学学报:自然科学汉文版,2009,38(2):227-230.

[3] 申震洲,姚文艺,李勉,等.不同下垫面对坡面侵蚀特征的影响[J].水土保持研究,2010,17(1):6-9.

[4] 郑世清,周保林,赵克信.长武王东沟试验区沟坡道路侵蚀及其防蚀措施[J].水土保持学报,1994,8(3):29-35.

[5] 田风霞,王占礼,郑世清,等.黄土道路侵蚀过程模拟试验研究[J].水土保持通报,2007,27(2):1-5.

[6] 王占礼,邵明安.黄土丘陵沟壑区第二副区山坡地土壤侵蚀特征研究[J].水土保持研究,1998,5(4):11-21.

[7] 郑世清,霍建林,李英.黄土高原山坡道路侵蚀与防治[J].水土保持学报,2004,24(1):46-48.

[8] 史志华,方怒放,李璐,等.应用 KINEROS2 模型对土质道路侵蚀过程的模拟[J].地理研究,2010,29(3):408-415.

[9] 曹龙熹,张科利,张卓栋,等.黄土高原典型小流域道路特征及影响因素[J].地理研究,2008,27(6):1271-1280.

[10] Haigh M J, Rawat J S, Bartarya S K. Environmental correlations of landslide frequency along new highways in the Himalaya: preliminary results[J]. Catena,1988,15(6):539-553.

[11] Jones J A, Swanson F J, Wemple B C, et al. Effects of roads on hydrology, geomorphology, and disturbance patches in stream networks[J]. Conservation Biology,2000,14(1):76-85.

[12] Pransutjarit C. Impacts of land use evolution on streamflow and suspended sediment in Mae Taeng watershed, Chiangmai[D]. MS Thesis. Environmental Science, Department of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand,1983.

[13] Wemple B C, Swanson F J, Jones J A. Forest roads and geomorphic process interactions, Cascade Range, Oregon[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2001,26(2):191-204.

[14] 张科利,徐宪利,罗丽芳.国内外道路侵蚀研究回顾与展望.地理科学,2008,28(1):119-123.

[15] 吴银明,李娜,陆卫东等.西苔溪流域城镇化对径流的长期影响研究[J].水文,2006,26(4):81-84.

[16] 张科利,唐克丽,王斌科.黄土高原坡面浅沟侵蚀特征值的研究[J].水土保持学报,1991,5(2):8-13.

[17] 王万忠.黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究(Ⅱ).水土保持通报.1984(3):58-63.

[18] 刘小勇,吴普特.硬地面侵蚀产沙模拟试验研究[J].水土保持学报,2000,14(1):33-37.

[19] 李月臣,刘春霞.三峡库区(重庆段)水土流失的社会经济驱动机制研究[J].水土保持研究,2010,17(5):222-225.

[20] Evans R D, Belnap J. Long-term consequences of disturbance on nitrogen dynamics in an arid ecosystem[J]. Ecology,1999,80(1):150-160.