

文章编号: 0451—0712(2007)02—0093—04

中图分类号: X144

文献标识码: A

# 砒砂岩地区公路建设水土流失研究初探

张 静<sup>1</sup>, 曹君丽<sup>1</sup>, 杜 娟<sup>2</sup>

(1. 长安大学环境科学与工程学院 西安市 710064; 2. 西安交通大学能源与动力工程学院 西安市 710049)

**摘 要:** 分析砒砂岩地区水土流失严重的机理,采用USLE数学模型法和类比法,以大饭铺至东胜公路为例,对砒砂岩地区公路建设可能产生的水土流失量进行预测。根据预测结果,分析砒砂岩地区公路建设项目水土流失的特点,并提出公路水土保持设计原则。

**关键词:** 公路; 水土流失; 砒砂岩

位于我国晋陕蒙接壤的砒砂岩地区,地形复杂,沟壑纵横,是黄河粗砂的主要来源区,每年向黄河输入泥沙达3.5亿t。造成这一现象的原因主要有:其一,环境恶劣,该区域位于黄土高原的暴雨中心,降水多以暴雨形式出现,冬春季风力强劲且频繁,加之植被稀少等原因,造成砒砂岩侵蚀严重;其二,砒砂岩的性质决定其易于侵蚀。因此,砒砂岩被环境专家称为“地球环境之癌症”<sup>[1]</sup>。经砒砂岩地区的大饭铺至东胜公路建设,势必会加剧砒砂岩地区的水土流失。

大饭铺至东胜公路(简称大~东公路)属国道109线北京至拉萨公路在内蒙古境内的一段,位于鄂尔多斯市东部。公路沿线生态系统脆弱,土壤类型以砒砂岩、风沙土和黄(粘)土为主,其中线路K685+300~K695+600段(10.3 km)位于皇甫川流域,沿线砒砂岩完全出露,水土流失严重。

目前,国内关于砒砂岩的研究主要包括砒砂岩

的侵蚀机理、侵蚀类型、水土流失量预测模式及水土保持措施等方面<sup>[1~7]</sup>。本文应用砒砂岩的研究成果,将USLE预测模型用于该地区公路建设水土流失量的预测中,并通过预测结果,分析砒砂岩地区建设公路产生的水土流失特点,提出砒砂岩地区公路水土保持设计原则。

## 1 砒砂岩侵蚀内因分析

砒砂岩的可蚀性与其组成、岩性组合、颗粒成分、渗透性及有机质含量有关。

### 1.1 砒砂岩的组成

据刘家沟组(地处内蒙古伊克召盟沙圪堵镇北部纳林乡境内)进行的砒砂岩研究<sup>[2]</sup>可知,刘家沟砒砂岩主要由非粘土矿物石英、长石、方解石、白云石和粘土矿物钙蒙脱石、伊利石高岭石组成。砒砂岩各矿物成分含量见表1。

表1 砒砂岩矿物成分

类别	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石	钙蒙脱石	伊利石	高岭石
含量	30~70	5~25	0~10	0~26	0~2	10~35	0~8	0~6
平均含量	49.9	11.4	2.9	10.5	1.9	18.6	3.3	1.9
标准偏差	10.3	6	3.7	8.6	0.4	6.5	3.1	2.5

在砒砂岩的非粘土矿物组成中,石英性质稳定,不是造成岩性不稳定的因素。长石在恶劣气候条件下极易风化,导致岩石结构被破坏,抵抗侵蚀能力减弱。方解石主要起胶结作用,其在砒砂岩中的含量较少,约为10.5%,当它遇到水流后,易与水中的CO<sub>2</sub>

发生化学反应,被水流带走,从而减弱砂岩颗粒之间的胶结作用,这是砒砂岩胶结作用较弱的主要原因。在砒砂岩的粘土矿物组成中,钙蒙脱石是砒砂岩中的基质成分,平均含量为18.6%,钙蒙脱石结构单位层之间键力极弱,易为具有氢键的强极化水分子所

基金项目: 内蒙古交通科技项目(NJ—2004—17)

收稿日期: 2006—09—25

分开,因此,当它遇到水流时,吸附大量水分,体积膨胀至干燥时的 150% 左右,在岩体内产生巨大压力,破坏岩体微结构,是砒砂岩受侵蚀的重要原因。高岭石结构键力较强,膨胀性较小。伊利石的膨胀性介于高岭石与蒙脱石之间,也是砒砂岩易于侵蚀的不稳定因子。

### 1.2 砒砂岩的岩性组成

不同岩性的组合会使岩体的抗蚀性发生巨大变化,主要表现为:亲水性不同的岩石相组合,如砂岩与砂质泥岩,砂质泥岩较砂岩的亲水性强,其风化速度也较快,在一定的时间内,由两者组成的坡面就会凹凸不平,砂岩相对凸出,砂质泥岩相对凹进,很容易发生重力崩塌侵蚀<sup>[2]</sup>;岩石颜色不同(见图 1),吸热能力也不同,这种吸热能力的差异导致岩石中各矿物胀缩体积不同,从而使岩石结构遭到破坏,抗侵蚀能力下降<sup>[2]</sup>。

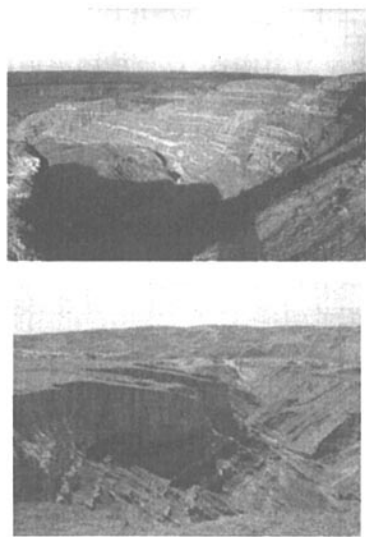


图 1 砒砂岩典型地貌

### 1.3 颗粒成分与渗透性

基岩的粒度成分与岩石的抗风化能力和渗透能力紧密联系。砒砂岩岩体都属于不等粒岩,粗细颗粒较为混杂。由于砂粒的大小不均,不但使砂岩的抗风化能力变差,而且由于大颗粒形成的小空隙都被小颗粒占据,从而导致砒砂岩的渗透能力也较差。较差的渗透力使地表容易形成地表径流,导致水力侵蚀发生。据金争平等(1987)的测定,砒砂岩土的渗透能力约为黄土类土的三分之一,风沙土的四分之一<sup>[3]</sup>。因此,砒砂岩粒度的不均匀性是其抗侵蚀能力差的重要原因。

### 1.4 砒砂岩的有机质含量

根据皇甫川流域的观测资料,砒砂岩的有机质含量较低,仅为 0.2%~0.4%<sup>[4]</sup>。这种土壤不利于植被的生长,造成砒砂岩植被覆盖率低,加速了水土流失。

由砒砂岩的侵蚀机理可知,砒砂岩在当地恶劣的气候环境下易于发生水力侵蚀和风力侵蚀,此外,由于砒砂岩的地貌多沟壑,大于 35° 的沟坡极易发生沟蚀<sup>[4]</sup>。

## 2 大饭铺至东胜公路砒砂岩路段水土流失预测

### 2.1 水土流失类型与分布

由砒砂岩侵蚀机理可知,大饭铺至东胜公路砒砂岩路段水土流失类型主要为水力侵蚀、重力侵蚀和风力侵蚀。侵蚀部位主要分布于公路边坡、取弃土场、施工便道等临时施工场地。

水力侵蚀在砒砂岩路段发生较为严重,分布于施工区的各个部位;重力侵蚀主要发生于路堑边坡和取土场边坡;风力侵蚀广泛存在,主要发生在路堤边坡、弃土场边坡和平台及地表裸露的施工场地。

### 2.2 预测时段

大~东公路工程建设期为 4 年(2004 年~2007 年)。因此,结合施工进度,大~东公路砒砂岩路段建设期的水土流失预测时段除路面、取土场为 2 年外,其余均为 3 年。

### 2.3 预测方法

大饭铺至东胜公路砒砂岩路段水土流失采用水土流失方程式(USLE)和类比法相结合的方法预测。USLE 是经试验研究及数据观测修正,并成功预报砒砂岩地区水土流失的通用方程<sup>[5]</sup>;类比采用准格尔旗皇甫川流域的水土流失研究成果,对有关参数进行修正。

#### 2.3.1 水力侵蚀量预测

(1)通用水土流失计算方程式(USLE):

$$A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

式中:  $A$  为平均土壤水蚀模数,  $t/(hm^2 \cdot a)$ ;  $R$  为降雨侵蚀力因子,  $MJ \cdot mm/(hm^2 \cdot h \cdot a)$ ;  $K$  为土壤可侵蚀因子,  $t \cdot h/(MJ \cdot mm)$ ;  $L$  为坡长因子,无量纲;  $S$  为坡度因子,无量纲;  $C$  为植被覆盖因子,无量纲;  $P$  为水土保持措施因素,无量纲。

(2)模型应用于公路经过砒砂岩路段水土流失预测时参数的取值。

$R$ : 根据准格尔皇甫川流域的研究成果,  $R$  值取皇甫川流域中心的年平均值 800<sup>[4]</sup>。

$K$ :根据准格尔皇甫川流域多年的观测资料,砵砂岩区  $K$  值取均值  $0.03^{[4]}$ 。

$L$ : $L=0.41\lambda^{0.3}$ , $\lambda$  为任意地块斜坡长的水平投影长度,  $m$ 。

$S$ : $S=0.074\ 4\theta^{1.45}$ , $\theta$  为坡度, ( $^{\circ}$ )。

$C$ :地表覆盖因子大小取决于地表覆盖物的种类和覆盖率。公路路基施工期  $C$  值取 1。

$P$ :施工期保持措施因子主要考虑施工场地土地处理措施,不同的管理技术下  $P$  的取值不同<sup>[8]</sup>。施工期公路路基  $P$  值取 1,施工便道取 0.7,砵砂岩路段取弃土场设排水设施  $P$  值取 0.6。

### 2.3.2 重力侵蚀

在没有重力侵蚀预报模型的情况下,采用皇甫川流域砵砂岩类型小流域的重力侵蚀计算方法,对大于  $35^{\circ}$  沟坡的降雨侵蚀量乘以 1.3 的系数<sup>[4]</sup>,作为复合侵蚀估算总量,其关系式为:

$$A_G=1.3\cdot A\quad (\theta\geqslant 35^{\circ})$$

式中: $A_G$  为水力重力复合侵蚀模数,  $t/(hm^2\cdot a)$ ;  $A$  为水蚀模数,  $t/(hm^2\cdot a)$ 。

### 2.3.3 风力侵蚀

根据皇甫川流域风化砵砂岩的监测数据<sup>[4]</sup>(见

表 2),确定施工期裸露砵砂岩的风蚀强度为  $9\ 000\sim 15\ 000\ t/(km^2\cdot a)$ 。

表 2 皇甫川流域风化砵砂岩的风蚀强度值

土壤	地类	植被	覆盖度 /%	风蚀模数 $t/(km^2\cdot a)$
砵砂岩土类	天然草地	天然牧草	<5	15 000
	人工草地	沙打旺	40	6 000

## 2.4 水土流失量预测

### 2.4.1 水土流失背景值

大~东公路砵砂岩路段位于皇甫川流域,根据皇甫川流域单元小流域土壤侵蚀强度图<sup>[4]</sup>可知,确定大~东公路砵砂岩路段涉及区域内的土壤侵蚀模数为  $18\ 000\ t/(km^2\cdot a)$ 。

### 2.4.2 大~东公路砵砂岩路段建设期水土流失量预测

根据大~东公路砵砂岩路段水土流失类型与分布、预测时段及预测方法,确定本工程砵砂岩路段建设过程中不同部位的水土流失强度值,并结合水土流失面积<sup>[6]</sup>计算可知:砵砂岩路段施工期可能造成的水土流失量为 4.45 万  $t$ 。详见表 3。

表 3 大~东公路砵砂岩路段(10.3 km)建设期水土流失预测结果

侵蚀部位		侵蚀面积/ $hm^2$	侵蚀模数/ $(t/(km^2\cdot a))$	侵蚀年度/ $a$	侵蚀量/ $t$
路基侵蚀区	坡率为 1:1.5 的路堤	3.84	37 533	3	4 323.8
	坡率为 1:1.75 的路堤	2.73	37 005		3 030.7
	坡率为 1:0.75 的路堑	2.21	48 333	3	3 204.5
	坡率为 1:1 的路堑	4.32	50 437		6 536.6
	坡率为 1:1.25 的路堑	0.96	38 178		1 099.5
	路面	25.24	15 100	2	7 622.5
	边坡平台	0.83	15 180	3	378
	路基征地区范围内的其他地区	25.0	15 200	3	1 140
取土场侵蚀区	边坡	0.32	61 845	2	395.8
	坑底	0.55	12 397		136.4
弃土场侵蚀区	边坡	0.92	43 848	3	857.1
	平台	1.70	15 238		777.1
施工便道侵蚀区		3.93	10 280	3	1 212
施工场地侵蚀区		10.08	10 397	3	3 144.1
合计		82.63	/	/	44 471.2

### 2.4.3 建设期新增水土流失量

由上述预测结果可知,大~东公路砵砂岩路段建设期水土流失总量约为 4.45 万  $t$ 。其中,水土流失

背景值为 3.99 万  $t$ ,占建设期水土流失总量的 89%;建设期的新增水土流失量为 0.46 万  $t$ ,占建设期水土流失总量的 11%。

### 3 预测分析

#### 3.1 砒砂岩地区公路建设水土流失特点

##### 3.1.1 工程区水土流失背景值大

大~东公路砒砂岩路段建设期水土流失背景值较大,为 3.99 万 t,占建设期水土流失总量的 89%。砒砂岩地区土壤侵蚀量大与砒砂岩本身的性质有很大关系。在水蚀模型中,土壤可蚀性因子  $K$  值越大,侵蚀模数越大。由砒砂岩的性质可知,相对黄土和风沙土的土壤可蚀性,砒砂岩的土壤可蚀性很高,均值为  $0.03 \text{ t} \cdot \text{h} / (\text{MJ} \cdot \text{mm})$ 。当模型中除  $K$  值以外的其他因子均相同时,砒砂岩的土壤侵蚀强度分别是黄土和风沙土的 1.5 倍和 4 倍。

砒砂岩地区水土流失背景值大的另一个重要原因因为原有地表植被覆盖率低。砒砂岩地区气候恶劣,地貌支离破碎、土壤有机质含量低,这些因素造成该区生物物种匮乏、植被覆盖率低的状况。植被覆盖率低又加剧了水土流失。

##### 3.1.2 主体工程单位长度产生的水土流失量大

大~东公路砒砂岩路段建设区为丘陵沟壑区,地形复杂,加之砒砂岩的强侵蚀性,造成地表沟壑纵横,沟深一般为数十米,最大相对高差可达百米以上,地表被切割得支离破碎。在这样的地貌上进行公路建设,主体工程的填、挖土方量大,高填方及深路堑路段较多。因此,工程施工时形成的边坡面积相应较大,主体工程单位长度产生的水土流失面积较大。此外,在砒砂岩丘陵沟壑区建设公路,为了公路建设的需要,人为将地表开挖、整平,严重扰动了原地貌,破坏了地表植被,造成土壤抗蚀性降低、植被丧失、边坡稳定性降低等结果。因此,在砒砂岩丘陵沟壑区建设公路,主体工程扰动部位侵蚀模数较大。

主体工程单位长度产生的水土流失面积较大,且扰动区的侵蚀模数大,因此主体工程单位长度产生的水土流失量大。

#### 3.2 砒砂岩地区公路建设水土保持设计原则

依据以上砒砂岩地区公路建设的水土流失特点,提出在该地区进行公路建设的水土保持设计原则:

- (1)工程扰动区的水土保持重在防水,避免过量水体与砒砂岩基体接触;
- (2)工程防护与生物防护相结合,重在生态防护;

- (3)生态防护物种选择要适宜砒砂岩土质条件;
- (4)水保与主体工程同时设计、同时施工;
- (5)对重点水土流失区进行营运期的跟踪监测。

### 4 结语

砒砂岩地区水土流失较为严重,在该类地区进行公路建设会导致水土流失的加剧。本文根据砒砂岩地区的水土流失研究成果,采用美国通用水土流失方程和类比法进行了在砒砂岩地区进行公路建设时,水蚀、重力侵蚀和风蚀的计算方法研究,并进行了相关因子的确定。

以大饭铺至东胜公路砒砂岩路段为例,应用 USLE 水土流失预测模型,对工程砒砂岩路段建设造成的水土流失量进行计算。

通过预测结果,得出在砒砂岩地区进行公路建设,具有以下几个特点:工程区水土流失背景值大;主体工程单位长度产生的水土流失量大;植被恢复期水土流失量大幅度减少。根据这些特点提出砒砂岩地区公路建设的水土保持设计原则。

### 参考文献:

- [1] 张占全,张锐,牛新年. 砒砂岩区沙棘生态建设成效显著[J]. 中国水土保持,2005,(5).
- [2] 石迎春,叶浩,等. 内蒙古南部砒砂岩侵蚀内因分析[J]. 地球学报,2004,25(6).
- [3] 金争平,史培军. 内蒙古半干旱地区土壤侵蚀过程的研究[J]. 干旱区资源与环境,1987,1(2).
- [4] 金争平,史培军,侯福昌,等. 黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式[M]. 北京:海洋出版社,1992.
- [5] 赵羽,金争平,史培军,等. 内蒙古土壤侵蚀研究[M]. 北京:科技出版社,1989.
- [6] 郝飞,卢生亮,白凤清,等. 鄂尔多斯高原东胜区砒砂岩沙棘综合开发技术初探[J]. 内蒙古水利,2004,(4).
- [7] 唐政洪,蔡强国,李忠武,等. 内蒙古砒砂岩地区风蚀、水蚀及重力侵蚀交互作用研究[J]. 水土保持学报,2001,15(2).
- [8] 刘永珍. 公路建设项目施工期环境影响研究[D]. 南京林业大学硕士学位论文,2003.
- [9] 薛刘杰. 公路建设区水土流失的量化探讨——以国道 112 线丰宁段为例[J]. 河北师范大学学报(自然科学版),2002,26(4).

文章编号:0451-0712(2007)02-0097-04

中图分类号:U491.13

文献标识码:A

# 公路网最佳经济规模模型研究

于江霞<sup>1,2</sup>, 王选仓<sup>2</sup>, 王秉纲<sup>2</sup>, 石勇民<sup>2</sup>, 郭筱穆<sup>2</sup>

(1. 西安电子科技大学经济管理学院 西安市 710071; 2. 长安大学公路学院 西安市 710064)

**摘 要:** 从经济角度出发,建立了公路建设的最佳经济规模模型,在公路建设总体规模一定的约束条件下,确定不同公路等级结构,即效益成本比最大的等级结构。在此基础上对陕西省公路合理等级结构进行了测算,并提出今后陕西省公路建设发展的方向。说明该模型在预测公路网规模时具有实用性和可操作性。该模型丰富了公路网规模的预测内容,对中国干线公路网以及区域公路网规划也具有重要的指导意义。

**关键词:** 公路网; 最佳经济规模; 等级结构; 投入产出理论

公路是社会经济发展最重要的基础设施之一,公路网的发展规模是区域社会经济发展水平的重要标志。公路发展规模的大小,决定着区域交通的便捷程度,直接关系到区域经济的发展和社会文明的进步。对于公路建设的总量即适应经济发展的公路网总体规模的确定,国内外已有所研究,采用的方法也较多,但是对于不同等级公路的结构比例问题,国内外尚缺乏成熟的研究。本文从经济学的投入产出角度分析,建立公路最佳经济规模模型,在公路建设总体规模一定的约束条件下,来确定不同公路等级结构,即效益成本比最大的等级结构,期望在公路合理等级结构研究方面起到抛砖引玉的

作用。

### 1 投入产出理论

投入产出理论主要应用于研究国民经济,它的主要内容是编制棋盘式的投入产出表和建立相应的线性代数方程体系,构成一个模拟现实的国民经济结构和社会产品再生产过程的经济数学模型,综合分析和确定国民经济各部门间错综复杂的联系和再生产的重要比例关系。投入产出法的投入,是指产品生产所消耗的原材料、燃料、动力、固定资产折旧和劳动力;产出是指产品生产出来后所分配的去向、流向,即使用方向和数量,例如用于生产消费、生活消费和积累。

基金项目:陕西省交通科技项目(01-33R)  
收稿日期:2006-09-18

## A Study on Soil Erosion and Water Loss Prediction of Highway Construction in Pisha Sandstone Area

ZHANG Jing<sup>1</sup>, CAO Jun-li<sup>1</sup>, DU Juan<sup>2</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China;  
2. College of Energy and Power, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** The reasons why the soil erosion and water loss in Pisha sandstone are serious are analyzed. By using model of universal soil loss equation and analog method, the amount of soil erosion and water loss of Da-Dong Highway which is constructed in Pisha sandstone area is predicted. According to the consequence of prediction, the characteristics of soil erosion and water loss and the principle of soil and water conservation of highway construction project in Pisha sandstone area are presented.

**Key words:** highway; soil erosion and water loss; Pisha sandstone