

黄土地区公路边坡降雨侵蚀灾害易损性评价

严超群¹, 郭宝安², 雷叶¹

(1. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 针对黄土地区公路边坡受降雨侵蚀破坏较为频繁的情况, 将降雨侵蚀灾害作为一个单独的灾种, 阐述黄土边坡降雨侵蚀破坏机理。降雨侵蚀破坏的偶然成分很少, 边坡抗灾能力受到威胁的程度需要提前预测, 使工程提前采取相应措施。研究建立黄土地区公路边坡降雨侵蚀灾害易损性的评价方法和评价流程, 采用侵蚀模数作为评价指标, 通过分析 USLE 水土流失方程中各因子的取值和计算方法, 计算某黄土地区的侵蚀模数, 根据易损性等级的划分分析出边坡受降雨侵蚀的易损性和抗灾能力, 发出预警信息, 以便及时采取预防措施, 减少和控制灾害的发生。

关键词: 公路边坡; 降雨侵蚀; 灾害; 易损性; 黄土地区

中图分类号: U418.5 ; X43

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)03-0120-05

Assessment of vulnerability of rainfall erosion disaster on highway slope in loess area

YAN Chaoqun¹, GUO Baoan², LEI Ye¹

(1. Yangling Vocational and Technical College, Yangling 712100, China;

2. Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: In view of the situation that the highway slope of loess area is frequently damaged by rainfall erosion, the paper took rainfall erosion as a separate disaster species and expounded the destroy mechanics of rainfall erosion on loess slope. The accidental elements of destroy of rainfall erosion is very few. The degree of slope disaster threatened need to be predicted in advance so as to to take measures for project in advance. The paper researched to set up the evaluation method and evaluation procedure of rainfall erosion disaster vulnerability on highway slope of loess area and took erosion modulus as evaluation indexes. Through the analysis of value of each factor and calculation method in USLE equation of soil and water loss. It computered a erosion modulus of loess region. According to the level of vulnerability, the paper analyzed the vulnerability of rainfall erosion on slope and the ability of anti-disaster. It is necessary that on the premise of prediction and early warning information to take corresponding preventive measures and to reduce and control the occurrence of disaster.

Key words: highway slope; rainfall erosion; disaster; vulnerability; loess area

黄土地区年降雨量虽少, 但汛期还是会发生大量公路边坡水毁, 给公路交通和社会带来严重影响。在诸多病害中, 降雨引起的坡面冲刷最为常见。首先会造成坡面不完整, 影响公路坡面的景观; 其次边坡的水土流失易在路堑边坡坡脚产生淤积, 阻塞边沟, 进而产生路面的破坏; 再者边坡受降雨侵蚀产生的细沟切割土体, 增加降雨入渗的机率, 对边坡局部稳定性十分不利, 进而影响边坡整体稳定性。黄土地区的公路边坡大量存在降雨侵蚀破坏, 由于一般

对交通没有直接影响, 只有当坡脚堆积物数量较多、影响边沟及路面功能时才影响行车速度和行车安全, 因而没有引起足够的重视。国内外研究人员很早就意识到边坡的水害, 在边坡防排水及边坡灾害方面有广泛的研究, 但这些研究多集中在大型滑坡崩塌方面, 对大量存在的公路边坡小型灾害研究却很少, 而且研究工作侧重于技术分析, 很少将边坡防水工程作为防灾减灾工程来考虑^[1-6]。近年来, 为了提高黄土地区公路减灾防灾水平, 我国交通部要

收稿日期: 2014-01-02; 修回日期: 2014-01-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071192)

作者简介: 严超群(1980-), 女, 四川遂宁人, 硕士, 讲师, 主要从事道路桥梁工程技术设计、施工、灾害等研究工作。

求在公路设计、施工、养护及管理要全面体现以预防为主、减灾方针。发展的方向是将边坡灾害的技术预测与灾害损失分析,概率风险分析方法结合起来,在预测的前提下,对其可能带来的灾害风险进行评价,发出预警信息,并采取相应的预防措施。本文针对黄土地区公路边坡普遍受降雨侵蚀灾害的情况,将侵蚀灾害作为一个单独的灾种,分析破坏机理,提出易损性评价方法。黄土地区公路边坡易损性是指易受危险性降雨侵蚀破坏作用的特性,反映的是坡面对降雨侵蚀的承受能力。所以,评价边坡降雨侵蚀易损性时,主要考虑侵蚀模数的大小,分析不同危险性降雨下边坡出现的侵蚀模数的等级,进而确定黄土边坡受到危险性降雨的承灾能力。

1 黄土地区公路边坡侵蚀破坏机理

黄土的工程特性是干燥时坚固,受雨水浸湿后强度显著降低,且易水解剥落,因此黄土地区公路边坡病害以雨水冲刷侵蚀为主。侵蚀灾害会引起公路坡面大量水土流失、边坡冲沟、冲蚀坑等不良现象,路堤坡脚冲刷、路肩上出现冲蚀缺口等现象也时有发生,长时间的侵蚀灾害会引起边坡崩塌、滑溜、滑坡等病害,影响边坡的稳定。降雨对黄土地区公路边坡的侵蚀破坏包括击溅侵蚀和径流侵蚀,其中径流侵蚀根据形态分为面蚀和沟蚀^[7]。

1.1 击溅侵蚀

击溅侵蚀是指降雨初期雨滴直接打落在坡面上,坡面土粒离开原来的位置向坡脚移动的现象。由于降雨初期雨量还不小,在无防护的坡面上,雨滴的动能作用使坡面一部分土粒产生跃移,引起土粒分散和飞溅而完全脱离原来位置,表层土的结构发生破坏,在重力的作用下向坡下移动。雨滴击溅侵蚀量取决于降雨能量、土的可蚀性及坡面形态,是一次降雨最先形成的坡面侵蚀,在整个坡面上都可能发生。

1.2 面蚀

降雨一段时间后,雨水填满坡面由于击溅产生的坑洼处,降雨强度超过土的入渗强度时,雨水汇集在一起形成坡面径流。在裸露平整的坡面上,坡面径流在开始时呈薄而均匀的层流,随后形成不同深度的径流,受侵蚀面积形成一定规模。面蚀就是指坡面上松散土受到这种薄层水流或地表径流作用所发生的冲刷破坏^[1]。面蚀的侵蚀能力取决于流速和流量,而流速和流量又取决于降雨特征、坡度、坡长、坡面渗透率、坡面粗糙度等^[2]。在裸露的坡面

上,都会形成不同程度的面蚀,一般情况下,降雨强度大、坡面土体抗冲蚀性差、坡度较大、入渗率低时,面蚀就比较强烈^[7]。

1.3 沟蚀

坡面产生的径流进一步汇集而形成股流,水流在沟槽中冲刷能量不断加大,进而产生下切、侧蚀形成各种程度的侵蚀沟。土的侵蚀学根据有关规定将侵蚀沟分为细沟、切沟、冲沟和坳沟,长期的侵蚀作用形成黄土沟壑。但是公路边坡不允许出现明显侵蚀沟,最多只允许出现侵蚀较轻的细沟,细沟宽不超过0.2 m,深不超过0.1 m,长度要看边坡的高度,在公路边坡坡面上横断面可能形成V字形或箱形,呈网状、辐合状或辐射状等。

公路边坡坡度比一般黄土边坡大,远远大于产生冲刷的起始坡度。在不加防护时,黄土边坡出现冲刷侵蚀破坏是必然的,引起工程水土流失、坡面环境恶化、在坡脚形成堆积,影响边沟和路面的功能,必须加以重视。

2 降雨侵蚀灾害边坡易损性的等级及评价流程

2.1 降雨侵蚀危险性评价指标

降雨侵蚀力指标 R 反映了我国降雨侵蚀灾害的降雨危险性,总体规律是:

由东南到西北,降雨侵蚀力为大于5到小于 $1000 \text{ m} \cdot \text{t} \cdot \text{cm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$,可分为三个等级^[8]:

一级: $R < 50$,主要位于新疆、青藏高原、内蒙古西部,由于降雨量稀少,降雨侵蚀力弱。

二级: $50 \leq R < 400$,主要位于秦岭山区、黄土高原、东北地区、四川盆地、云贵高原等,多高山。北部地区植被较差,侵蚀严重;其南部地区多阴雨天气,降雨时重力侵蚀严重。

三级: $R \geq 400$,包括华南、华东、辽东沿海,这些地区年降雨量大,在丘陵、山区并且植被较差时侵蚀严重。

降雨侵蚀力指标 R 可以作为公路边坡降雨侵蚀的评价指标,当然据此得到的危险性反映了降雨侵蚀作用强度,还不能说明作用结果,最终还需要取决于边坡的抗侵蚀能力。

2.2 侵蚀灾害边坡易损性等级

若将边坡受降雨侵蚀灾害单独作为一个灾种,对其进行等级划分,可用侵蚀模数或冲刷深度作为划分指标,在评价边坡降雨侵蚀时,只要能估算出边坡侵蚀模数,侵蚀灾害的规模、危害程度也就明确

了,因此可将侵蚀模数作为评价侵蚀易损性的评价指标。在这里将降雨侵蚀灾害易损性按侵蚀模数的大小分级(见表1),等级越大,侵蚀破坏越严重,也说明降雨侵蚀破坏抗灾能力越低。

表1 降雨侵蚀破坏分级 $t/(km^2 \cdot a)$, mm

| 级别 | 侵蚀模数 | 年均流失厚度 |
|----------|-----------------------|----------------------|
| I 微度侵蚀 | < 200, 500, 1000 | < 0.16, 0.4, 0.8 |
| II 轻度侵蚀 | 200, 500, 1000 ~ 2500 | < 0.16, 0.4, 0.8 ~ 2 |
| III 中度侵蚀 | 2500 ~ 5000 | 2 ~ 4 |
| IV 强度侵蚀 | 5000 ~ 8000 | 4 ~ 6 |
| V 极强度侵蚀 | 8000 ~ 15000 | 6 ~ 12 |
| VI 剧烈侵蚀 | > 15000 | > 12 |

2.1 中将我国降雨危险性分为三个等级,每一级降雨可能造成的侵蚀破坏等级并不相同,若根据模型计算出该地区侵蚀模数,同时考虑降雨的频率的影响,易损性级别就明确了。例如,陕北某路段的一处黄土边坡,计算得降雨侵蚀力为 $365 m \cdot t \cdot cm/(hm^2 \cdot h \cdot a)$,降雨危险性等级为二级,计算侵蚀模数为 $445 t/(km^2 \cdot a)$,根据降雨侵蚀破坏等级和危险性等级确定其易损性级别为 I 级,由此可知该处边坡抗侵蚀灾害的能力强。

2.3 评价流程

降雨侵蚀破坏的偶然成分很少,也就是说暴雨作用下无防排水的裸露黄土边坡必然发生侵蚀破坏,边坡抗灾能力受到威胁的程度需要提前预测,以采取相应措施。边坡抗侵蚀灾害能力评价的实质就是易损性评价。易损性用以表示承灾体承受灾害的能力,是承灾体自身的属性,易损性的倒数就是抗灾能力。在一定等级的危险性降雨作用下,黄土边坡越易于损毁,其抗灾能力越弱。易损性评价的核心内容是建立易损性模型,评价流程见图1所示。

3 公路边坡降雨侵蚀模数的计算

3.1 侵蚀计算模型

降雨侵蚀灾害的边坡易损性是指在各级降雨作用下边坡侵蚀破坏的程度,只要建立降雨因素与边坡侵蚀模数或侵蚀强度的关系模型,计算相应的侵蚀模数,就可以解决边坡易损性问题。

在降雨侵蚀研究中,侵蚀计算模型一般由边坡条件、降雨因素构成,在黄土地区降雨侵蚀计算中,多采用降雨强度指标^[8]。目前,国际上计算降雨侵蚀应用最广的是水土流失方程(USLE)。USLE 方程基本形式:

$$A = RKLSCP \quad (1)$$

式中: A 为土流失量; R 为降雨侵蚀力因子; K 为土可蚀性因子; L 为坡长因子; S 为坡度因子; C 为覆盖因子; P 为措施因子。

20 世纪 80 年代以来,我国一些研究者以该方程为原型,结合各地资料进行修正,建立了多种形式的因子取值方法,研究了各因子的值。

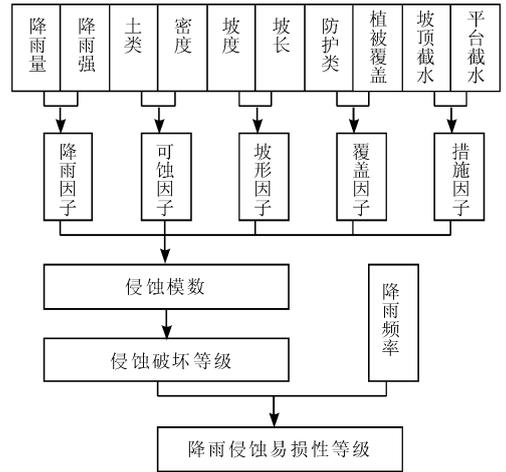


图1 易损性评价流程图

3.2 降雨侵蚀力因子

降雨侵蚀力因子反映的是降雨引起侵蚀的潜在能力,我国许多研究者研究了降雨侵蚀力指标,黄土地区常采用江忠善等建立的估算某年降雨侵蚀力指标值 R 的关系式^[9]:

$$R = 1.67(P_c I_{60}/100)^{0.953} \quad (2)$$

式中: R 为某年降雨侵蚀力, $m \cdot t \cdot cm/(hm^2 \cdot h \cdot a)$; P_c 为一次雨量 ≥ 10 mm 的年雨量, mm; I_{60} 为最大 60 min 降雨强度, mm/h。

用(2)式计算的是年降雨侵蚀力,可直接用它来预测边坡表面侵蚀模数,也可以采用研究者绘制的中国年平均降雨侵蚀力 R 等值线图,在计算侵蚀模数时可在等值线图中直接查取。

3.3 土可蚀性因子

土的可蚀因子用 K 表示,美国 Wischnleir 等通过测定标准小区单位降雨侵蚀力作用下的侵蚀模数,分析了 55 种土的理化指标与 K 值的关系,提出了包括 24 个变量的土可蚀性因子 K 值的估算模式,绘制成土可蚀性因子诺漠图,从图上可查取 K 值。黄土地区土的侵蚀要远远大于其他地区,说明黄土区的土侵蚀主要是由于土的抗冲性弱引起的,但黄土又具有较强的抗蚀性,这一划分从侵蚀作用机理方面有意义,但在实践中不便区分抗蚀性与抗冲性,往往在土的可蚀性指标中统一体现。

3.4 坡形因子

公式(1)中坡长用 L 表示,坡度用 S 表示,常将二者作为一个独立的坡形因子 LS 考虑。在确定 LS 时,均用单位面积土流失量与标准小区坡度、坡长下单位面积流失量的比值。有关研究者建立了几个不同地区的 LS ,一般标准小区坡长 20 m,坡度 $5^\circ \sim 150^\circ$ 不等,其中陕北黄土地区常用江忠善等人研究的公式 $LS = (\lambda/20)^{0.4}(\varphi/10)^{1.3}$,其中 λ 为坡长, φ 为坡度。坡度值已将公路边坡坡度范围包含其中,可用于公路边坡降雨侵蚀预测。

3.5 覆盖因子

C 称为覆盖因子,是控制土流失强度的一个重要影响因素。种类和覆盖度是植被在抵抗土流失中的作用主要取决于的因素,当地面完全裸露时, C 值为 1.0,如果地面得到良好的保护时, $C = 0.001$,因此在不同的植被覆盖度下, C 值在 0.001 ~ 1 之间。在计算公路边坡降雨侵蚀时,当边坡防护程度很高,根本不存在冲刷问题,也就没有必要进行侵蚀计算。但在路堑坡面、路堤坡面有适当植物防护时,可以仿照路堑坡顶的自然斜坡按上述方法取值。

3.6 措施因子

公路边坡的措施因子用 P 来表示,主要反映当公路边坡有完善的地表排水系统时的作用。根据有关实验结果,截断坡顶来流可以减少产沙量 61% ~ 79%。因此可认为,如果有公路边坡顶设置截水沟、平台截水沟等排水设施时, P 可取 0.6 ~ 0.7,以体现减蚀的作用。当边坡无排水设施时取最大值 1,排水设施不完善时在上述取值基础上可适当增大。排水设计关键部位是路基断面上几个坡度转折部位,即自然斜坡与挖方边坡、边坡平台、坡脚、填方路基的路肩等,在这些部位设纵向的截水沟、边沟或拦水带,则坡面径流长度限制在 6 ~ 10 m,能有效控制边坡冲刷。

4 易损性评价示例

陕西省延安市某省级公路 K22 + 300 至 K22 + 500 的一段黄土边坡,坡高约 18 m,坡度 1: 0.75,边坡平台没有设截水沟,坡面也没有防护,根据陕西省气象局气象资料,延安地区多年平均年雨量为 550 mm,降雨危险性级别为二级。现在用前述评价方法来评价这段边坡降雨侵蚀灾害的易损性。

首先根据年平均降雨量来计算最大 60 min 降雨量 I_{60} ,进而计算降雨侵蚀力 R 。重现期 3,5,10,15 年对应的小时降雨量和降雨侵蚀力计算结果见表

2。该处边坡表面黄土的平均天然含水量为 8%,平均干密度为 1.45 g/cm³,取颗粒密度 2.7 g/cm³,计算有效空隙比为 0.646,崩解速率^[11]为 0.29 min⁻¹,考虑到有关黄土可蚀性研究,该边坡的可蚀因子取 $K = 0.45$ 。地形因子 LS 用前面介绍的江忠善的公式^[4]计算得到 $LS = 5.561$;因坡面没有设置防护,取 $C = 1$;也无排水设施,取 $P = 1$ 。将单位统一后,用式(1)计算侵蚀模数如表 2 所示。

表 2 侵蚀计算结果

| 重现期 | 最大 60 min 降雨量 | 降雨侵蚀力 | 侵蚀模数 |
|-----|---------------|-------|---------|
| 3 | 30.7 | 221.5 | 554.29 |
| 5 | 41.7 | 298.7 | 747.49 |
| 10 | 55.9 | 392.3 | 981.71 |
| 15 | 64.2 | 447.6 | 1119.84 |

我国规定的侵蚀分级标准,出现轻度侵蚀以上侵蚀破坏级别的频率为 10%,出现微度侵蚀的频率为 20%^[11],按照前述分类级别,综合得出该边坡的侵蚀灾害易损性为(抗侵蚀能力)为 II 级。上述侵蚀模数计算是多年平均值,也是计算区的平均值,实际见到的情况可能是近几年的侵蚀结果,侵蚀从公路边坡坡顶到坡脚依次加强,向会有明显的细沟,情势虽不严重,但近年来延安市由于气候变化,极端降雨时有发生,未来年降雨量有增多趋势,根据边坡侵蚀链概念^[12],建议该边坡应设两个边坡平台,并在平台上设截水沟,从而截断侵蚀链,这样即使坡面无防护也可有效控制降雨侵蚀产生的灾害,也可以在边坡上用播撒草籽等植物防护的方法减小覆盖因子的大小来减小侵蚀模数,防止水土流失。

5 结 语

降雨侵蚀灾害的破坏性虽小,但是长期受侵蚀作用,造成水土流失积累严重,也会引起公路边坡滑塌、坍塌等稳定性问题,从防灾减灾的角度出发提出黄土地区公路边坡受降雨侵蚀灾害的易损性评价方法,文中引用了 USEL 经验模型水土流失方程计算侵蚀模数,为了使该模型适用于公路边坡降雨侵蚀计算,逐一研究了方程中各因子的取值,确定边坡易损性级别,将边坡灾害的技术预测与灾害损失分析,概率风险分析方法结合起来。这样在预测的前提下,对其可能带来的灾害风险进行评价,能够发出预警信息,并根据评价结果提出相应的预防措施。

参考文献:

- [1] 王俊光,梁冰. 降雨要素对黄土边坡渗流及稳定性的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2010,21(1):42-45.
- [2] 李家春,田伟平,马保成,等. 黄土地区公路边坡降雨灾害预测预警方法研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009,20(4):27-30.
- [3] 周玉才,雷万荣,余广文,等. 江西省地质灾害-气象预警预报系统研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008,19(2):67-70+75.
- [4] 谢洪波,尹振羽,钱壮志. 降雨型突发性地质灾害县级气象预警研究——以云南新平县为例[J]. 安全与环境学报, 2008,8(2):72-75.
- [5] 陈记. 降雨渗流情况下岩体边坡稳定性分析[J]. 交通标准化. 2010,21(3):183-186.
- [6] 郭月芹. 黄土区公路边坡防护植物适应性研究[D]. 西安:长安大学,2004.
- [7] 李凌姜. 黄土公路边坡柔性防护技术试验研究[D]. 西安:长安大学,2009.
- [8] 李家春. 公路边坡降雨灾害评价方法与指标研究[D]. 西安:长安大学,2005.
- [9] 王万中,张宪奎. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(1):29-39.
- [10] 王福恒,李家春,田伟平. 黄土边坡降雨入渗规律试验[J]. 长安大学学报(自然科学版),2009,29(4):20-24.
- [11] 张莹莹,田国行,杨晓明,等. 高速公路边坡降雨侵蚀特征分析[J]. 中外公路, 2010,30(1):78-81.
- [12] 李家春,董卫卫. 公路排水系统及对降雨侵蚀链的控制作用[J]. 公路, 2008,(12):13-17.

(上接第 119 页)

参考文献:

- [1] 黄嘉佑,张贻. 黄河流域旱涝与水资源分析[J]. 大气科学,1996,20(6):673-678.
- [2] 刘扬,韦志刚. 近 50 年中国北方不同地区降水周期趋势的比较分析[J]. 地球科学进展,2012,27(3):337-346.
- [3] 赵传成,王雁,丁永建,等. 西北地区近 50 年气温及降水的时空变化[J]. 高原气象,2011,30(2):385-390.
- [4] 钱维宏,刘大庆. 中国北方百年四季降水趋势与海平面气压形势[J]. 地理学报,2003,58(z1):49-60.
- [5] 苗娟,林振山. 我国九大气候区降水特性及其物理成因的研究 II——我国各区降水与环流因子的关系[J]. 热带气象学报,2004,20(1):64-72.
- [6] 何福红,黄明斌,党廷辉. 黄土高原沟壑区小流域综合治理的生态水文效应[J]. 水土保持研究,2003,10(2):33-37.
- [7] 高蓉,陈少勇,董安祥,等. 西北地区东部耕作层土壤湿度近 22 年变化分析[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(6):186-190+195.
- [8] 陆登荣,黄斌,王劲松. 甘肃河东雨养农业区旬降水变化及其与土壤湿度关系[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(2):230-235.
- [9] 王小军,贺瑞敏,尚曼廷. 榆林市降水时空变化规律研究[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(5):103-108.
- [10] 黄振平. 水文统计学[M]. 南京:河海大学出版社,2003.
- [11] 张艳梅,陈海涛,黄太林,等. 近 50 年六盘水市雨季降水特征分析[J]. 安徽农业科学,2011,39(15):9072+9114.
- [12] 陈操操,谢高地,甄霖. 泾河流域降雨量变化特征分析[J]. 资源科学,2007,29(2):172-177.
- [13] 卢爱刚,王瑛. 延安市近 60 年气温与降水趋势突变分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(1):60-62.
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [15] 蒋俊,宋孝玉,李怀有. 南小河流域降水特性及趋势分析[J]. 水资源与水工程学报,2007,18(4):23-26.