

溜砂坡形成机理及防治措施研究

常 旭, 吴国雄, 郭 迁

(重庆交通学院 重庆市 400074)

摘 要: 溜砂坡是一种较为严重的特殊山地灾害, 属于斜坡重力侵蚀的特殊类型, 常对公路、铁路等线路工程构成严重的危害。分析了溜砂坡的形成过程和砂粒在坡面滑动时的特征, 推导了砂粒起动的临界条件, 得出砂粒的起动受控于砂坡的天然休止角。以川藏公路中坝段 K3930+320~K3930+800 溜砂坡为例, 通过室内试验研究了砂粒起动条件、砂粒含水量和砂粒粒径对溜砂坡休止角的影响。在此基础上, 提出了控制砂源区、改变砂坡坡度以及固砂护坡技术等防治对策。

关键词: 溜砂坡; 天然休止角; 防治措施

溜砂坡是指高陡斜坡在强烈的物理风化作用下, 形成的大量砂粒和碎屑, 在自重作用下发生溜动, 并在坡脚堆积形成锥状斜坡的现象。传统地貌学将其列入一般的风化剥落碎屑堆积物中, 未进行专门研究。1989 年陈永宗先生提出了砂岩、砂质泥岩风化泻溜产砂的概念; 1995 年罗德富、毛济周等明确提出了溜砂坡的概念, 并列举了溜砂坡对公路的危害, 但对其形成和发生机理未进行研究。随着西部大开发的深入, 溜砂坡对公路、铁路等建筑物的危害日趋严重, 因此加强溜砂坡形成机理与防治方法的研究已迫在眉睫, 具有良好的社会、经济意义。

1 溜砂坡形成过程分析

溜砂坡的形成是从砂源区砂粒的形成、运动、堆积开始的, 一个典型溜砂坡可概化为以下模型:

砂源区 $\xrightarrow[\text{形成}]{\text{砂粒}}$ 溜动区 $\xrightarrow[\text{运动}]{\text{砂粒}}$ 堆积区 $\xrightarrow[\text{砂坡形成}]{\text{砂粒}}$ 砂坡形成。

若干砂粒重复上述过程, 堆积的砂坡就会愈来愈大; 若砂源区停止产砂, 砂坡就会停止发展, 并趋向溜砂坡发展。据观察, 溜砂始于坡面, 依次带动深层的砂粒向下运动。

2 砂粒滑动特征研究

砂粒运动严格意义上属于三维问题, 影响因素与运动机理非常复杂。出于数学、力学分析上简化考

虑, 对溜砂坡做如下几点假设: (1) 溜砂运动为二维平面运动; (2) 砂粒为均质的球体, 在平面坐标下简化为圆; (3) 假定砂坡坡面形状已知, 在平面坐标下坡面方程为 $f(x, y) = 0$ 。砂粒滑动模型如图 1 所示。

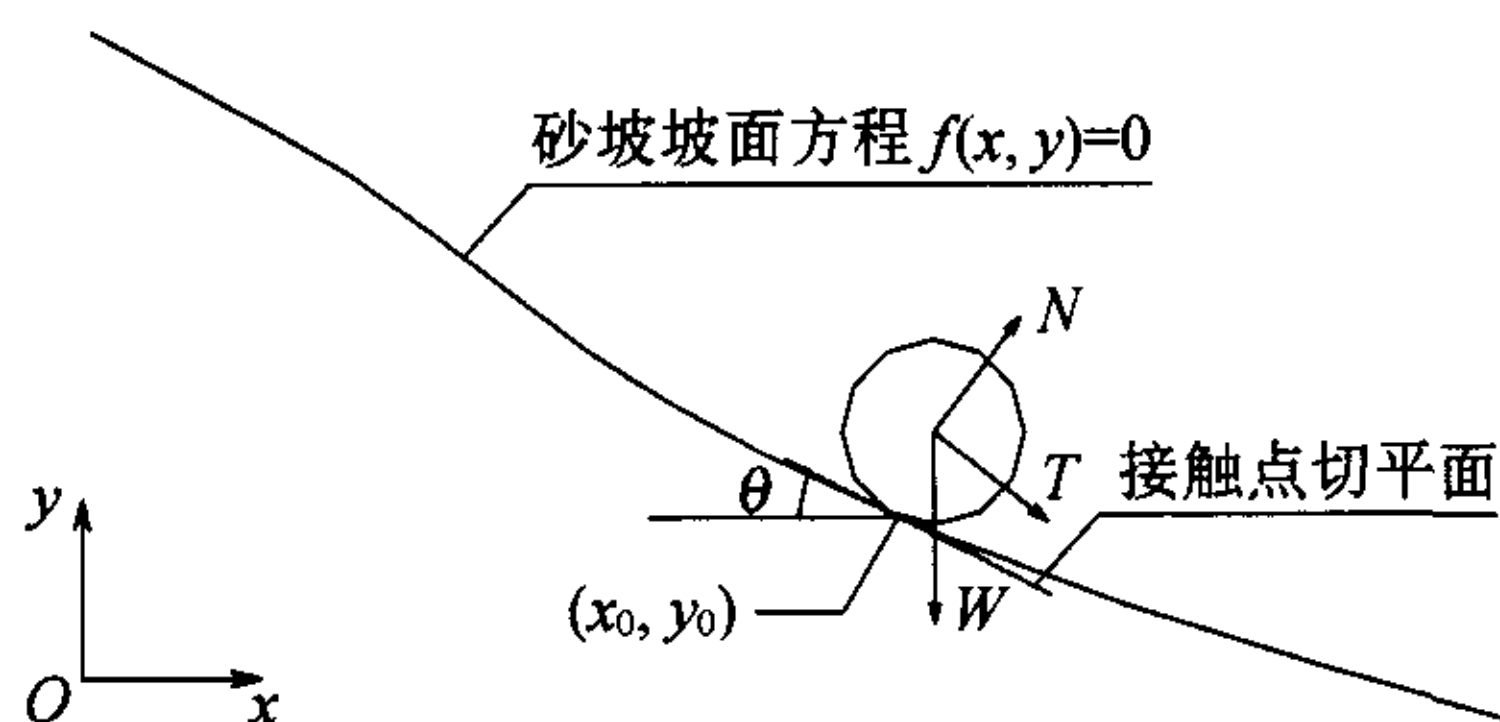


图 1 砂粒滑动模型

位于砂坡表面的松散砂粒为直径是 d 的球体, 其含水量为 ω , 砂粒重量 $W = W_s(1 + \omega)$, 其沿坡向下的切向分量 T 及与坡面垂直的法向分量 N 分别为:

$$T = W \cdot \sin\theta \quad (1)$$

$$N = W \cdot \cos\theta \quad (2)$$

式中: θ 为砂坡坡面接触点切平面与水平方向的夹角, $\theta = \tan^{-1} \left[\left| \frac{f'_x}{f'_y} \right|_{(x_0, y_0)} \right]$, $f'_x = \frac{\partial f}{\partial x}$, $f'_y = \frac{\partial f}{\partial y}$, f 为坡面方程。

设砂粒与砂坡面的接触面积为 S , 则在接触面上产生的剪应力及法向应力分别为:

$$\tau = \frac{W}{S} \cdot \sin\theta \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{W}{S} \cdot \cos\theta \quad (4)$$

设砂粒内摩擦角为 φ (粘聚力 $c=0$), 根据 Mohr-coulumb 准则, 抗剪强度 τ_f 为:

$$\tau_f = \sigma \tan\varphi = \frac{W}{S} \cdot \cos\theta \cdot \tan\varphi \quad (5)$$

定义砂粒抗滑系数 K 为:

$$K = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{\frac{W}{S} \cdot \cos\theta \cdot \tan\varphi}{\frac{W}{S} \cdot \sin\theta} = \cot\theta \cdot \tan\varphi \quad (6)$$

当 $K \leq 1$, 即 $\theta \geq \varphi$ 时, 砂粒处于失稳状态。由此说明砂粒的起动受控于其内摩擦角 φ , 对于砂粒来说, 其内摩擦角与砂坡的天然休止角一致, 故砂粒的起动受控于砂坡的天然休止角。这与现场和室内模型试验得出的结论相符。

3 溜砂坡室内模型试验研究

3.1 试验装置

试验采用自制溜砂坡模型试验装置(图2)量测休止角, 模型槽的上半部 AB 段坡度为 50° , 大于一般溜砂坡的天然休止角; 下半部 BC 段为模拟坡脚缓倾段, 坡度为 10° 左右。具体操作为: 砂粒通过装砂漏斗(模拟砂源区)从 A 点向下溜, 在 B 点附近开始堆积而形成砂自由堆积体(模拟溜砂坡堆积区), 透过透明的挡板量测出砂自由堆积体的角度, 即为休止角。

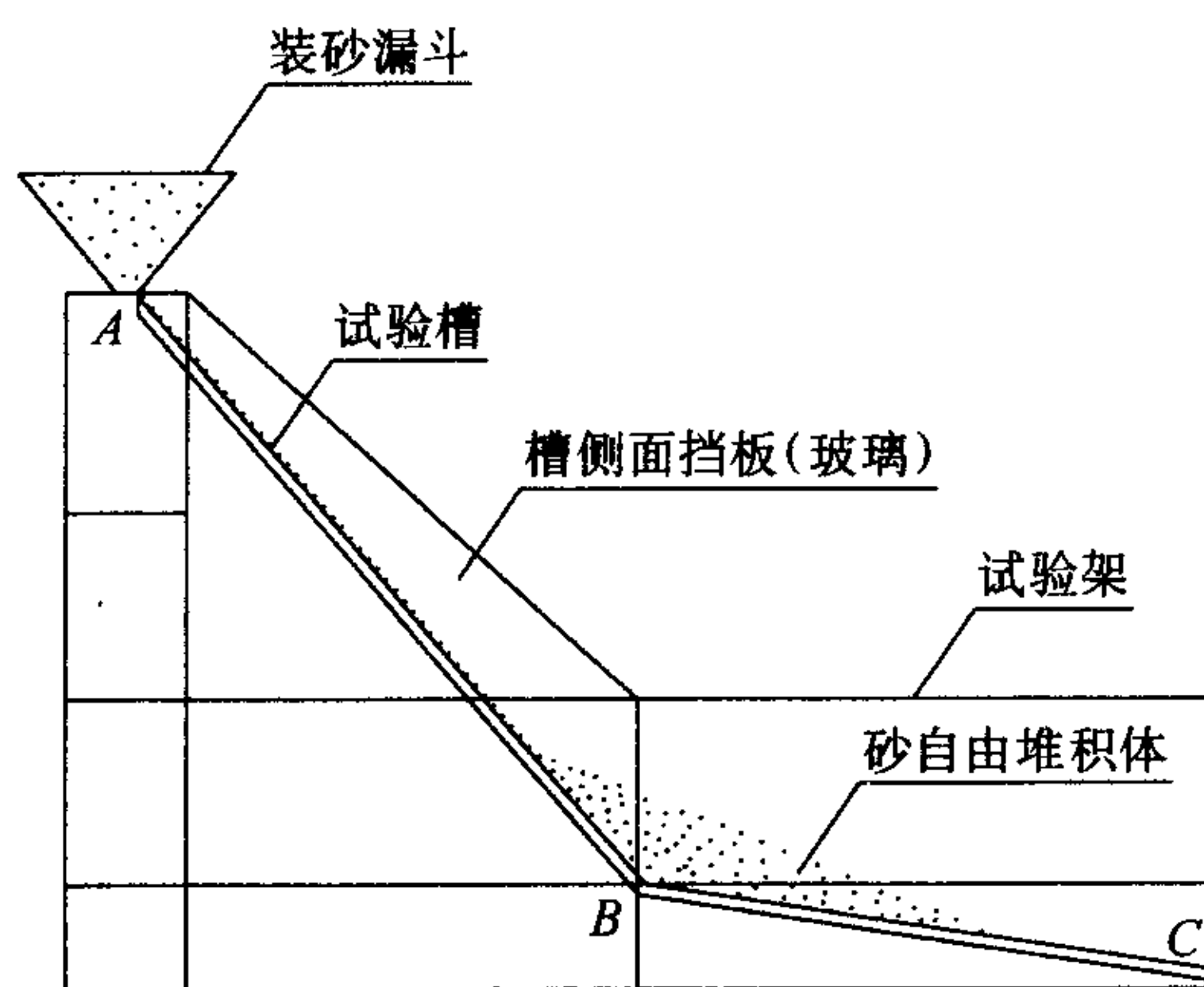


图2 溜砂坡模型实验装置示意

3.2 起动条件与休止角关系

表1为溜砂坡在不同诱发因素下休止角大小的情况。从表1可以看出, 当震动力不大时, 休止角与天然休止角差距不大; 切坡状况和后方有砂源时, 休止角比天然休止角小。

表1 溜砂坡在不同状况下的休止角

编号	工 况	砂坡平均休止角度/(°)
1	天然状况	35.2
2	加震动作用状况	35.1
3	模拟切坡状况	34.4
4	后方有砂源状况	34.7

3.3 含水量与休止角关系

将现场采集的溜砂坡砂样按照砂粒中粒组含量, 将砂样筛分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂共5组粒径的子砂样, 然后对其在含水量为0%、3%、6%、9%、12%、15%、18%、21%的状态下, 分别进行试验(砾砂、粗砂含水量达到15%以后, 中砂含水量达到18%以后, 细砂和粉砂含水量达到21%以后, 基本达到饱和状态)。图3为5种砂样含水量与休止角的关系。

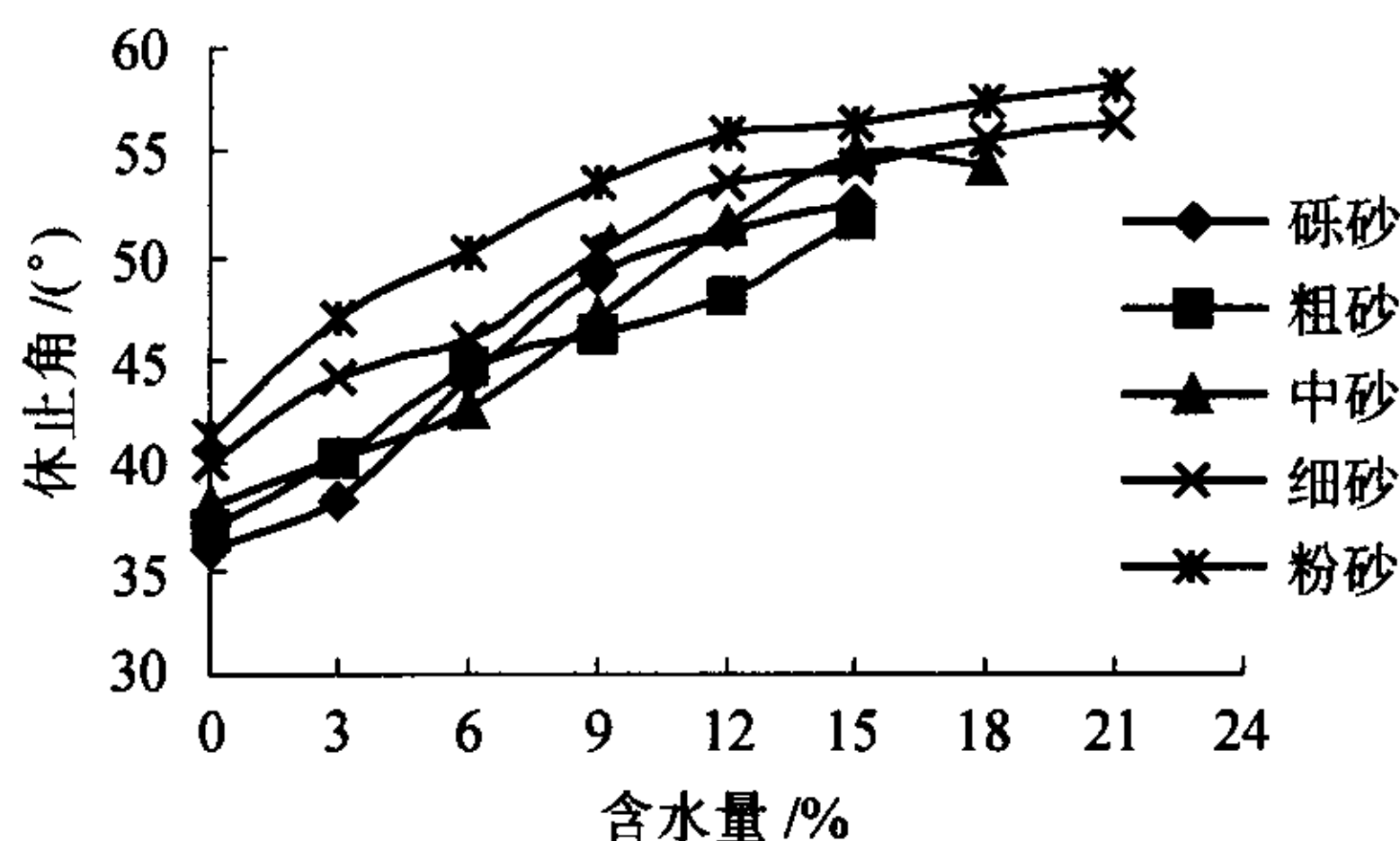


图3 砂样含水量与休止角关系

从图3可以看出, 对于5组不同粒径的砂样, 含水量对其休止角的影响均较大。休止角随含水量的增大而增大。含水量在0%~12%之间, 休止角的变化最大, 到15%以后慢慢趋于平缓。

3.4 砂粒粒径与休止角关系

砂粒粒径对休止角具有较大的影响, 不同砂粒粒径与休止角的关系如图4所示。图4横坐标1、2、3、4、5分别代表砂砾、粗砂、中砂、细砂和粉砂。

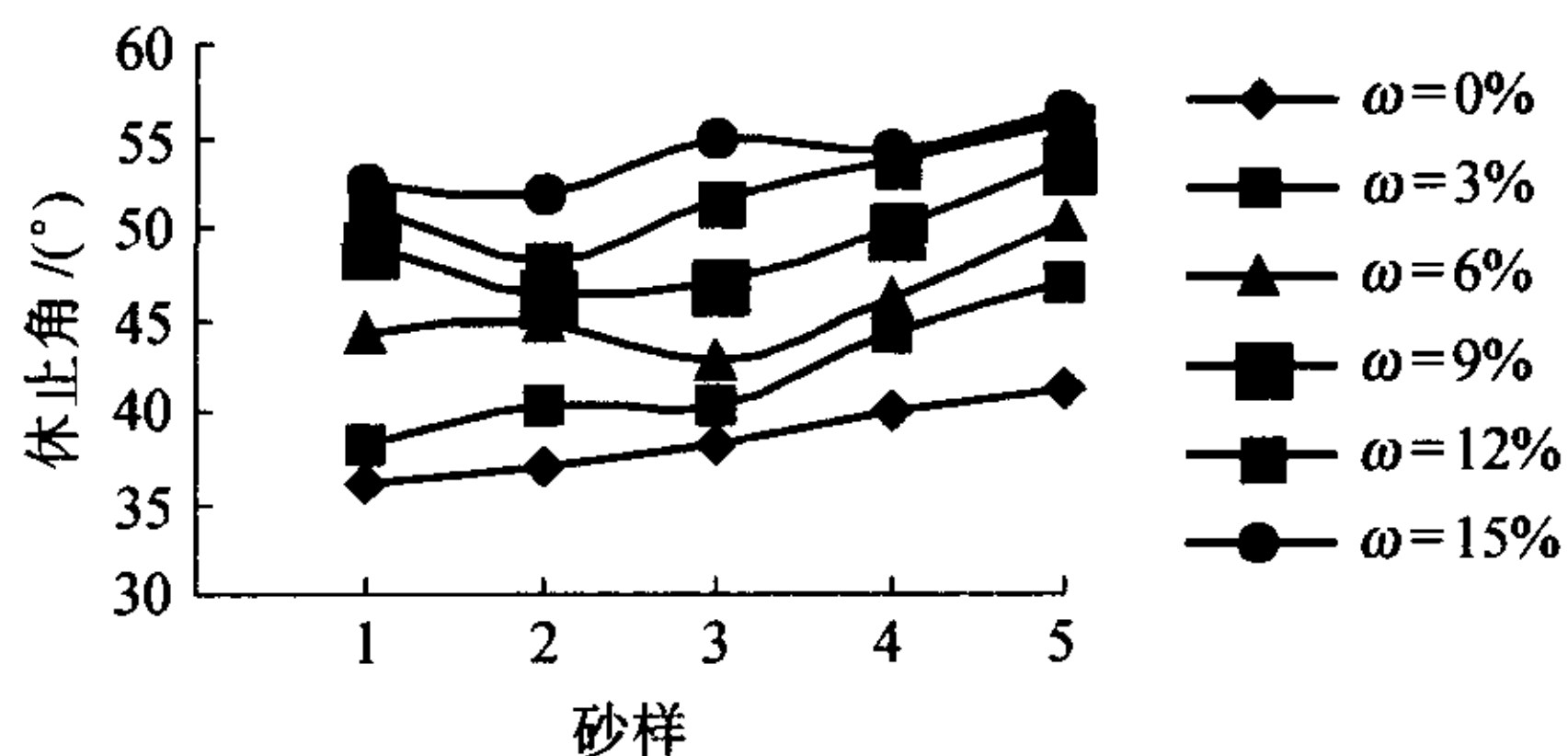


图4 砂样粒径与休止角关系

从图4中可以看出,对于5组砂样,当含水量较小时,存在着随粒径的增加而休止角逐渐减小的趋势。当含水量较大后,减小的趋势并不明显。

4 溜砂坡防治措施研究

根据以上分析,针对溜砂坡的特性,提出以下防治对策。

4.1 控制砂源区措施

据溜砂坡形成与演化规律分析,控制砂源区,使之停止产砂或少产砂,是遏制溜砂坡发生的理想对策。针对川藏公路中坝段,可在集中产砂的高陡斜坡上,喷撒含有耐寒、快速生长的低等生物种子的土壤,使已经松动的岩块、砂粒稳定在陡坡上,同时减缓岩体风化。

4.2 改变砂坡坡度措施

目前,公路上常用的改变砂坡坡度的工程措施有如下几种。

(1)挡砂墙。

挡砂墙是溜砂坡防治的最常用的工程措施,适用于砂源区已基本稳定,无明显的砂粒、碎屑溜动的溜砂坡地区。

重力式挡砂墙按砂坡的休止角和作用于挡砂墙上的土压力进行设计。对于已经稳定的溜砂坡,重力式挡砂墙适用于坡脚开挖高度在4 m以下的情况;当坡脚开挖高度大于4 m时,为满足挡砂墙抗倾覆稳定的要求,需在挡砂墙上部施加锚杆或锚索,或将挡砂墙设计成多级台阶式。

(2)棚洞挡砂工程。

棚洞挡砂工程不仅可以挡砂,而且可将多余的溜砂排到公路外侧。它适用于砂源区不断产砂并向堆积区汇集或开挖高度大于4 m的规模较大的溜砂坡。

(3)排砂渡槽。

排砂渡槽适用于已有明显溜砂凹槽,且砂源区不断向凹槽供砂的溜砂坡。

4.3 表部固砂护坡措施

(1)木桩排网工程。

木桩排网工程适用于活动性较弱、附近有木桩原料的溜砂坡表部加固,它工程投资少、施工方便,可以取得立竿见影的效果。

木桩采用直径为20~30 cm的树干或枝条,桩长为1.0~1.3 m,以平行等高线方向为行,以垂直

等高线方向为列,按照3 m×3 m左右的行距和列距,将木桩置入(埋入或打入)砂坡中,坡内深度为30~50 cm。并且,每隔3行和3列的桩顶用木条连接、钉牢。

(2)格梁锚杆固砂加植被护坡工程。

格梁呈“井”字形排列,梁为C25钢筋混凝土结构,截面尺寸为30 cm×30 cm,纵、横间距为5 m×5 m,交叉处用R32S自钻式锚杆加固,锚杆长6 m。在格梁框架内进行植被护坡。

4.4 注浆固砂措施

微型花管树根桩固砂工程,适用于线路因更改平面布置设计需拆除原挡砂墙,或开挖溜砂坡坡脚的情况。

微型花管选用 $\phi 50\sim 80$ 的PVC管(也可选用自来水铁管),长度根据需加固砂坡的厚度而定,而后在管上钻梅花型排列的小孔。花管的间距一般为1.5~2.0 m。根据模型试验,注浆压力取0.2~0.8 MPa。

5 结语

溜砂坡作为我国部分地区公路病害的一种特殊形式,严重威胁公路工程安全和行车安全,正日益引起人们的重视。通过本文的研究,使人们对溜砂坡的形成及其防治有了一个基本的认识,为溜砂坡公路病害的进一步研究和防治提供了有益的参考。

参考文献:

- [1] 阙云. 溜砂坡形成机理及防治技术初步研究[D]. 重庆交通学院, 2003.
- [2] 王成华,等. 溜砂坡的形成演化规律与防治对策[A]. 海峡两岸山地灾害与环境保育研究[C]. 2002.
- [3] 王成华,等. 川藏公路中坝段溜砂坡发生机理与防治关键技术示范研究报告[R]. 2002.
- [4] 罗德富,等. 川藏公路南线(西藏境内)山地灾害与防治对策[M]. 北京:科学出版社,1995.
- [5] Clark G M. Debris slide and debris flow historical events in the Appalachians south of the glacial border [M]. 1987.
- [6] 梁光模,王成华,张小刚. 川藏公路中坝段溜砂坡形成与防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(4).
- [7] 陈永宗,等. 黄河粗泥沙来源及侵蚀产沙机理研究文集[M]. 北京:气象出版社,1989.