

山地光伏项目坡面土壤侵蚀机理研究

董旭 路冰瑶

中电建新能源集团股份有限公司南方分公司

摘要:为研究山地光伏建设项目土壤侵蚀机理, 以期对山地光伏建设项目水土流失防治提供治理措施。文章采用了6种坡度(2°、4°、6°、8°、10°、12°), 5种流量(8L/min、16L/min、24L/min、32L/min、40L/min)完全组合冲刷试验, 系统研究了山地光伏项目坡面侵蚀土壤剥蚀率、土壤侵蚀含沙量的影响因素及与坡面形态之间的关系。结果表明: 土壤剥蚀率的影响因素为坡度和流量, 其中坡度对其影响大, 流量对其影响小; 土壤侵蚀含沙量随冲刷历时增加而减少, 在40分钟趋于稳定, 这是由于在坡面侵蚀稳定状态下, 水流和坡面形态互馈机制导致的; 土壤剥蚀率与坡面侵蚀形态正相关。通过上述试验研究, 在小坡度情况下, 可以不采取水土防治工程措施, 在大坡度情况下, 水土流失较为严重, 势必要采取工程措施来进行水土流失防治。

关键词: 山地光伏; 土壤剥蚀率; 含沙量; 坡面形态
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.19.077

引言

随着全球环境问题的日益严重, 新能源正在得到越来越多的关注和推广。作为全球最大的能源消费国家之一, 中国也在近年来大力发展新能源, 我公司积极响应服务国家“3060”发展战略。新能源发展战略意义主要体现在几个方面: 一、减少对传统能源的依赖, 二、提升能源利用效率, 三、应对全球气候变化, 四、推动经济发展。综上所述, 新能源工程建设对国家双碳战略意义重大。

光伏在新能源工程中占据较大比例, 随着光伏电站逐年增加, 建设条件好的土地逐渐减少, 山地建设条件次之的土地便成为光伏建设的另一资源, 但是山地光伏建设进一步毁坏了土地植被, 对山体水土流失影响较大。山体光伏项目水土流失与水流水动力学特性关系十分密切, 本文通过研究山地光伏项目坡面降雨汇水水动力学特性及坡面侵蚀形态来揭示水土流失本质原因, 以期对山体光伏项目水土流失治理提供解决措施。

山地坡面水土流失包括土壤剥离、输移和沉积3个过程, 土壤剥离是水土流失的重要内容, 土壤剥离影响因素主要为水流的水动力学和土壤, 研究和阐明黄土坡面细沟流土壤剥离能力与各水动力学参数以及床面形态的关系, 对认识土壤侵蚀过程具有重要作用^[1-10]。

一、材料与方法

(一) 试验材料

土壤质地对实验影响结果较大, 本实验采用黄土高原地区的土壤, 土壤粒径结果见表1:

表1 试验土颗粒机械组成(单位: %)

粒径(mm)	<0.002	0.002~0.02	0.02~0.05	0.05~0.25	>0.25
百分数(%)	24.13	39.05	29.32	4.25	3.25
中径 d_{50} (mm)	0.015				

(二) 试验设计

- (1) 实验采用可调坡度钢槽, 钢槽长×宽×深=6m×0.4m×0.6m;
- (2) 填土前, 在钢槽底部铺设20cm厚沙子, 并铺设土工布一层, 模拟天然透水层;
- (3) 根据山地光伏建设项目坡度实际调查情况, 坡度分为六级, 分别为2°、4°、6°、8°、10°、12°, 共6个坡度;
- (4) 根据野外实际调查, 设计流量为8L/min、16L/min、24L/min、32L/min、40L/min;
- (5) 沿钢槽设置观测断面5个, 分别为0.5m、1.5m、2.5m、3.5m、4.5m。采用KMnO₄染色示踪法观测断面表面优势流速(重复测量三次);
- (6) 每5min采集泥沙样, 进行体积和时间测量, 最后烘干求解含沙量;
- (7) 每隔20分钟, 测得跌坑的间距、深度及水面宽度。

二、土壤剥蚀率与坡度和流量的响应关系

山地光伏项目水土流失严重程度的重要指标之一为土壤剥蚀率, 土壤剥蚀率定义为单位时间、单位面积被剥蚀掉的土壤重量, 土壤剥蚀率越大, 表明土壤被侵蚀的程度越剧烈。本实验通过不同流量、不同坡度侵蚀, 得出各组次剥蚀率, 经过计算, 得出结果见表1:

表1 各试验组次土壤剥蚀率 D_r ($g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)

试验坡度/slope $J=\sin \theta$	试验流量/discharge ($10^{-3} \times m^3/s$)				
	0.1333	0.2667	0.4000	0.5333	0.6667
0.0349	2.16	7.84	5.72	3.26	4.60
0.0698	7.33	20.75	22.46	20.21	26.65
0.1045	16.64	28.07	40.25	46.38	29.25
0.1392	27.40	55.65	53.59	58.67	40.34
0.1736	29.28	59.03	58.74	71.20	68.78
0.2079	30.22	59.64	55.79	61.33	65.27

由表1分析发现, 小坡度下, 土壤剥蚀率变化范围较小, $J=0.0349$ 情况下, 土壤剥蚀率变化范围为2.16~7.84, 说明小坡度小, 土壤侵蚀不严重, 流量改变对其影响较小。在大坡度下, 土壤剥蚀率变化范围为30.22~65.27, 数值是小坡度下的15~30倍, 说明影响

山地光伏项目水土流失的重要因素为坡度，流量的影响相对来说较小。通过SPSS软件分析发现土壤剥蚀率与坡度、流量均呈幂函数关系，关系式如下：

$$Dr = 26853.44Q^{0.461}J^{1.446} \quad (1)$$

式中：Dr为土壤剥蚀率， $g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ； $R^2=0.891$ 。式(1)与文献【12】坡度项指数相差很小，说明试验具有代表性，通过研究，可知在坡度较大的山地光伏项目上，一定要注意水土流失的防治，由此是在桩基施工期间，机械对地表土进行了严重的扰动，在雨季导致水土大量流失，影响后期植被的恢复，因此在雨季，尤其是大雨来临之前，可以覆盖雨布等措施，防止水土流失，或者采用临时措施，桩基施工及电缆沟施工前，将所有表土进行剥离，然后集中堆放，覆盖雨布，等施工完毕后，将土壤种植土进行回填，并及时种植植物，以防止水土流失。在小坡度的山地建设光伏项目，可以不采取措施，或者用挖机修建临时排水沟，通过以上措

施，保证山地光伏建设项目水土流失治理达到国家规范要求。

三、水流含沙量影响因素

山地光伏建设项目水土流失影响程度的另一指标为水流含沙量，水流含沙量为随时间的推移，水流中土壤的含量，含沙量具有随时间波动范围较大、变化较为迅速等特点，其一直是研究土壤侵蚀的重点，含沙量能很好的表达降雨汇水情况下，土壤水土流失程度随时间的变化关系。图1为不同坡度下含沙量随冲刷历时的关系图。

图1列出了不同坡度下含沙量随冲刷历时的变化，可以得出随着冲刷历时的增加，土壤含砂量由大变小，最后逐渐趋于稳定，稳定时间大约为40分钟，究其原因，冲刷初期，山地较为松散浮土较多，遇到水流极易被带走，随着时间的增加，山地坡面形态趋于复杂、稳定，其抵抗水流冲刷能力增强，同时，表层松散土壤被冲刷带走，深层坚硬土壤裸露，能有效抵抗水流的冲

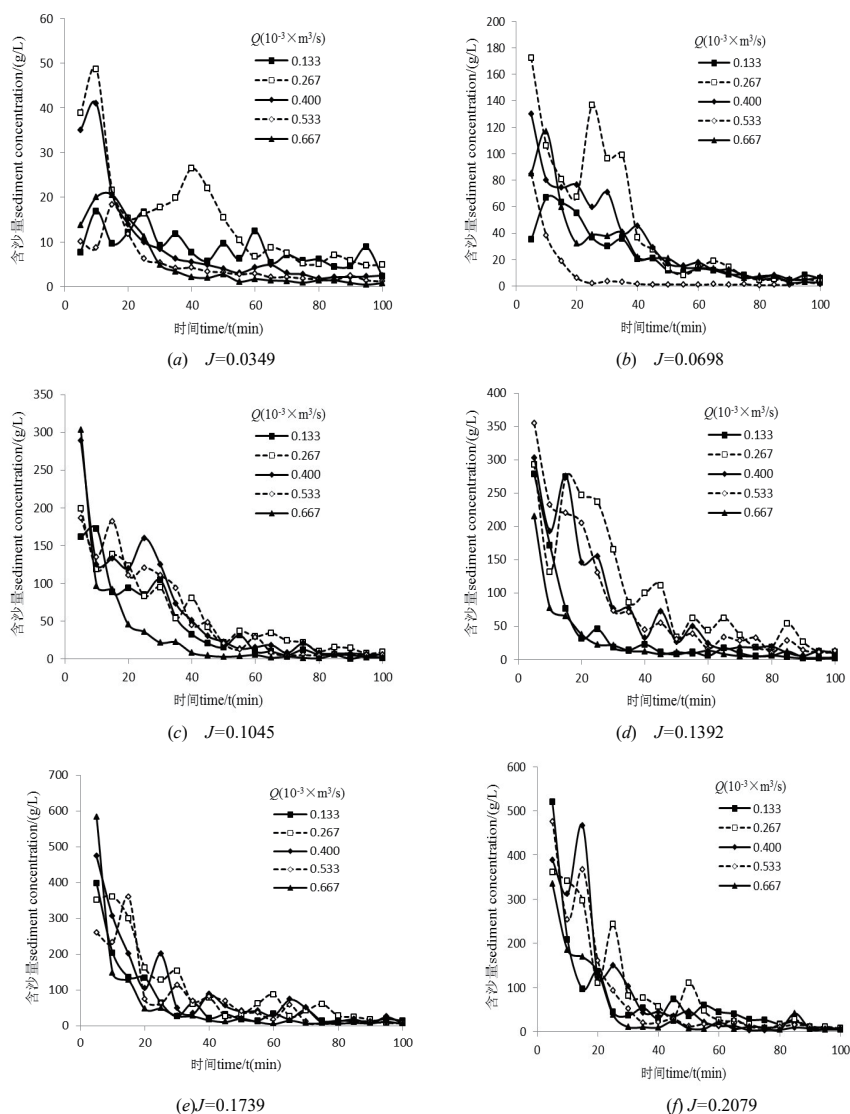


图1 不同坡度下含沙量随冲刷历时变化关系图

刷, 由此造成40分钟后, 含沙量很小, 并趋于稳定。从图1还可以看出, 坡度越大, 初期水土流失越严重, 这是由于坡度越大, 势能越大, 水流流速越快, 带走的土壤越多, 同时, 坡度越大, 土体稳定性越差, 在水流侵蚀下, 极易造成土体崩塌, 被水流带走, 在后期, 逐步趋于稳定, 是由于山地坡面侵蚀形态复杂, 水流出现左右摆动, 流程增加等原因, 导致水流与坡面形态逐步趋于稳定。

通过上述研究, 可以得出, 在建设山地光伏项目, 为防止水土流失, 在大坡度情况下, 可以采用加固土地稳定的方法来进行水土流失治理, 如在山地坡面种植根系发达的植物, 或者采用草方格的方式加固土壤, 甚至在一些北方地区, 植被种植很难成活地区, 可以采用混凝土格构的工程措施, 来加固山地坡面, 以保证坡面稳定, 达到水土流失防治的目的。

四、土壤剥蚀率与床面形态关系

通过阅读大量文献可知, 目前研究多集中在土壤剥蚀率与水动力学关系上, 与山地光伏项目坡面形态研究较少, 在实验过程中发现, 在坡面形态发育稳定情况下, 坡面形成结皮与跌坑互相交错的形态, 类似于阶梯深潭结构, 该结构对水流消能效果较好^[19]。

为研究问题方便, 特定义坡面形态发育成熟度参数, 跌坑间距为各个跌坑间距的平均值, 用L表示; 跌坑深度为上游结皮段至跌坑底部的垂向距离, 所有跌坑深度的平均值用H表示。结构形态如图3所示。

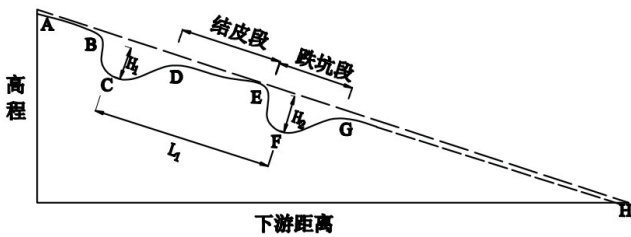


图3 跌坑、结皮发育示意图

从图3可以, 坡面形态发育成熟, 跌坑数量多, 跌坑平均间距小, 跌坑深度深, 因此可以研究山地光伏建设项目时, 可以采用跌坑发育数量、跌坑发育深度与土壤剥蚀率的关系, 来表征坡面侵蚀程度。

五、土壤剥蚀率与L/H值关系

跌坑的发育单纯的用间距和深度表示较为单一, L越小、H越大, 表明跌坑发育越加成熟。因此, L/H值越小, 代表山地坡面床面形态越加复杂, 消能效果越加显著。图4显示了土壤剥蚀率与L/H值之间关系。

由图4分析可知, L/H < 20时, 土壤剥蚀变化范围较大, 体现在图上为斜率较大, 说明坡面形态发育成熟度与坡面侵蚀程度是一致的, 但是在L/H > 20后, 土壤剥蚀率变化很小, 说明在这个范围内, 水流对土壤的侵蚀能力较弱, 究其原因, L/H > 20时, 山地坡面发育不成熟, 跌坑数量少, 间距大, 且深度较浅, 此种情况是在山地坡面坡度较小的情况下发生, 说明坡度较小的情况

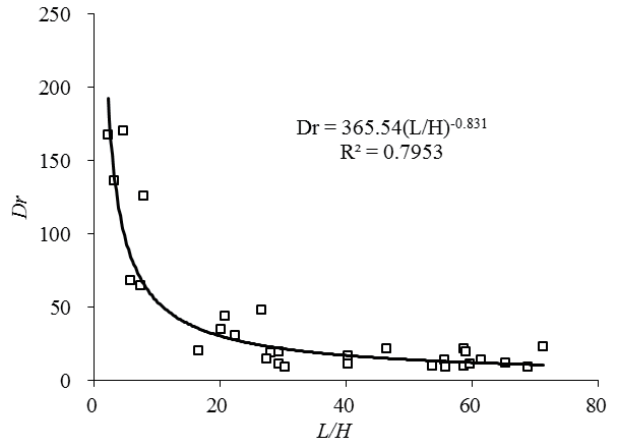


图4 土壤剥蚀率与L/H值之间关系图

下, 土壤流失不严重, 因此在山地建设光伏项目, 坡度较小的情况下, 可以不采取防治措施, 或者采用简易的临时措施, 如铺撒碎石子或铺设绿目网等措施。在大坡度下, 要采取工程措施, 才能达到水土流失防治的目的。

六、结论

(1) 土壤剥蚀率与坡度、流量呈现正相关关系, 流量对土壤剥蚀率影响较小, 坡度对土壤剥蚀率影响较大。因此在建设山地光伏项目时, 一定要重点关注大坡度情况下的水土流失状况, 并采取相应措施。

(2) 土壤含沙量随着冲刷历时的增加由大变小, 在40分钟后趋于稳定, 这是由于坡面形态与水流互馈机制造成的。因此在建设山地光伏项目时, 可以采用降低水流流速的方式来防治水土流失。

(3) 土壤剥蚀率随着L/H值增加而减少, 说明跌坑发育越加成熟, 土壤剥蚀率越大, 在L/H > 20时, 土壤剥蚀率趋于稳定, 说明小坡度下, 水土流失不严重, 这与土壤剥蚀率影响因素研究成果一致。

参考文献

[1] 谭贞学, 王占礼. 黄土坡面细沟径流输沙对水动力学参数的响应[J]. 中国水土保持科学. 2011, 9 (5): 1-6.
 [2] 王瑄, 李占斌. 土壤剥蚀率与水流功率关系室内模拟实验李占斌[J]. 农业工程学报, 2006, 22 (2): 185-187.
 [3] 李君兰, 蔡强国. 坡面水流速度与坡面含砂量的关系[J]. 农业工程学报, 2011, 27 (3): 73-78.
 [4] 刘俊体, 孙莉英. 黄土坡面细沟发育过程及侵蚀产沙特征研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33 (3): 18-23.
 [5] 王龙生, 蔡强国. 黄土坡面细沟形态变化及其与流速之间的关系[J]. 农业工程学报, 2014, 30 (11): 111-117.

作者简介: 董旭 (1991.7-), 男 (汉族), 内蒙古人, 工程师, 一级建造师, 主要从事新能源工程 (光伏、风电) 建设。