

# 山丘区输变电工程侵蚀环境及水土流失特征

聂慧莹<sup>1</sup>, 冯华<sup>2</sup>, 王文龙<sup>1</sup>, 丰佳<sup>2</sup>, 潘明九<sup>3</sup>, 伍欢<sup>4</sup>

(1.中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2.国家电网浙江省电力有限公司, 杭州 310007; 3.国家电网浙江省电力有限公司经济技术研究院,

杭州 310020; 4.中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司, 西安 710075)

**摘要:**输变电工程在施工过程中扰动地面,造成土壤侵蚀,而山丘区自然条件复杂水土流失尤为严重。为明确山丘区水土流失特征,以山丘区输变电工程为研究对象,通过资料收集整理与实地勘测,探讨了其侵蚀环境、不同建设阶段、不同侵蚀单元水土流失特征及其影响因素。结果表明:在侵蚀动力系统中,输变电工程以人为扰动为主,塔基区和站区、施工道路及弃土(渣)场是输变电工程的主要侵蚀单元;施工期的水土流失量可达自然恢复期的1.3~16.1倍,施工期的侵蚀模数是自然恢复期的1.5~25.3倍;站区和塔基区施工期的水土流失量占比均高于其他侵蚀单元,山丘区土壤侵蚀模数均大于平原区域,是平原区的1.2~1.9倍;在众多建设区域中以变电站建设、塔基开挖、线路施工临时道路为重点,着重山丘区输变电工程水土流失的防治。山丘区输变电工程不同建设期、不同侵蚀单元水土流失特征差异显著,进行水土保持措施配置时应工程措施、植物措施、临时措施有机结合。

**关键词:**输变电工程;侵蚀单元;侵蚀环境;水土流失;水土保持

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)02-0050-07

## Characteristics of Erosion Environment and Soil and Water Losses Induced by Power Transmission and Transformation Project in Hilly Area

NIE Huiying<sup>1</sup>, FENG Hua<sup>2</sup>, WANG Wenlong<sup>1</sup>, FENG Jia<sup>2</sup>, PAN Mingjiu<sup>3</sup>, WU Huan<sup>4</sup>

(1.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of

Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Ministry of Water Resources, Yangling,

Shaanxi 712100, China; 2.State Grid Zhejiang Power Co., Ltd., Hangzhou 310007, China; 3.Economic

Research Institute, State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Hangzhou 310020, China; 4.Northwest Electric

Power Design Institute Co., Ltd., of China Power Engineering Consulting Group, Xi'an, 710075, China)

**Abstract:** The power transmission and transformation project disturbs the ground and causes soil erosion during the construction process, and the soil and water losses under the complex natural conditions in the hilly area are particularly serious. In order to clarify the characteristics of soil and water loss in hilly areas, we took the power transmission and transformation project in hilly areas as the research object, and discussed soil and water loss characteristics and influencing factors in its erosion environment, different construction stages and different erosion units through data collection and field survey. The results show that: in the erosion dynamic system, the power transmission and transformation projects are mainly man-made disturbances; the tower base area and the station area, construction roads and spoil (slag) yards are the main erosion units of the power transmission and transformation projects; the amount of soil and water loss during the construction period can reach 1.3~16.1 times of that in the natural recovery period, the erosion modulus during the construction period is 1.5~25.3 times of that in the natural recovery period; the proportion of soil and water loss during the construction period of the station area and tower base area is higher than that of other erosion units, and the soil erosion modulus in the hilly area is greater than the plain area, and is 1.2~

收稿日期:2021-02-19

修回日期:2021-03-28

资助项目:国家电网总部科技项目“山丘区架空输电线路工程水土保持设计施工关键技术研究”(8100-202019156A-0-0-00)

第一作者:聂慧莹(1996—),女,浙江衢州人,硕士研究生,主要从事生产建设项目水土保持。E-mail:2394893138@qq.com

通信作者:王文龙(1964—),男,陕西大荔人,博士,研究员,主要从事土壤侵蚀与水土保持研究工作。E-mail:wlwang@nwsuaf.edu.cn

1.9 times of that in the plain area. In many construction areas, the focus is on substation construction, tower foundation excavation, and temporary roads for line construction. The emphasis is on the prevention and control of soil and water loss in power transmission and transformation projects in hilly areas, and soil and water conservation projects. The characteristics of soil and water loss in different construction periods and different erosion units of power transmission and transformation projects in hilly areas are obviously different. The allocation of soil and water conservation measures should be organically combined with engineering measures, plant measures and temporary measures.

**Keywords:** transmission and transformation line project; erosion unit; erosion environment; soil and water loss; soil and water conservation

随着对电力需求的增长,输变电建设在近几年得到迅速发展<sup>[1]</sup>,较一般生产建设项目而言,输变电工程具有强度大、范围广等特点,因此,输变电项目产生的水土流失特征与传统项目也不同,从建设与投资强度上来看,输变电工程涉及区域范围广、资金投入成本大,野外环境不可控因素众多,工程建设的技术要求较高,水土流失不均衡<sup>[2-4]</sup>。输变电工程在施工期间对塔基、站区、施工道路、牵张场、生活区等区域施工<sup>[5]</sup>,对周边环境造成一定破坏,从而引发水土流失<sup>[6-7]</sup>。

关于输变电工程水土流失的研究较为丰硕<sup>[8-10]</sup>,主要集中于不同建设区域、不同施工阶段水土流失特征差异性研究。孙中峰等<sup>[11]</sup>研究了黄土区输变电工程的水土流失,得出施工线路的水土流失大于其他建设区域;史小栋等<sup>[12]</sup>则针对不同建设时期输变电工程的水土流失展开研究,认为建设施工期水土流失面积大于运行期。现有的研究主要偏向输变电工程水土流失量的比较,由于地区差异性及环境不可控因素,输变电工程的水土流失在不同地理分区上具有不均衡性,以地区总水土流失量进行比较不能充分体现各地区的差异性<sup>[13-14]</sup>,而山丘区地形复杂,输变电工程难度大,在一定程度上加剧了水土流失,是输变电工程水土流失研究的重要研究区域。此外,对于输变电工程侵蚀环境组成尚不明确。侵蚀环境是指对土壤侵蚀发生发展具有一定影响的环境条件,这一概念在早期城市、道路中得到应用<sup>[15-16]</sup>,而对于输变电工程,侵蚀环境涉及多个侵蚀单元、侵蚀动力复杂,明确其侵蚀环境组成至关重要。

因此,为进一步明确山丘区输变电工程侵蚀环境,细化山丘区各建设区域、各侵蚀单元输变电工程的水土流失特征,更好地体现山丘区输变电工程区域性和阶段性的水土流失特征,通过对典型性山丘区输变电工程资料收集整理及野外实地勘测,探讨其侵蚀环境、不同建设阶段、不同侵蚀单元水土流失特征及其影响因素,以期揭示区域性、阶段性输变电工程水土流失特点,为山丘区输变电工程水土保持治理提供理论基础。

## 1 山丘区输变电工程侵蚀环境

### 1.1 侵蚀环境组成

输变电工程侵蚀环境是指在输变电工程水土流失责任范围内,可能造成水土流失的环境系统。侵蚀环境是影响输变电工程水土流失的主要原因,而在侵蚀环境组成中又可以分为自然环境因素和人为环境因素两种,输变电工程受人为扰动剧烈,人为环境因素是造成其严重侵蚀的主要环境因素。自然环境因素主要包括植被覆盖、土壤、地形地貌和地质条件等<sup>[17-18]</sup>。输变电工程侵蚀环境划分为侵蚀动力系统、侵蚀对象、侵蚀单元3个部分。侵蚀动力系统包括水力作用、风力作用、冻融作用。侵蚀对象是指工程区域范围内的原生地表物质、弃土弃渣、岩土混合物等。侵蚀单元根据实际情况划分为塔基、站区、施工道路、牵张场、生产生活区。具体见图1。

### 1.2 侵蚀环境作用特点

在侵蚀动力系统中,输变电工程的侵蚀动力以人为扰动为主,同时往往伴随着水力、重力侵蚀,且其水土流失发生环境主要受下垫面和外营力的直接影响。与自然营力相比,人为作用对侵蚀环境的影响具有短时性、持久性、高强度破坏性。对于塔基和变电站区域,基坑开挖过程中,如遇质地坚硬的岩体,需进行爆破,由此易引发土地塌陷,且在这种情况下难以采取措施进行保护,破碎的地表在外力作用下,产生自然灾害,会进一步加重水土流失。弃土场土壤质地疏松,该区地表裸露无植被覆盖,在降雨和风力作用下,为侵蚀创造有利条件,坡度较陡时由于受到重力作用诱发山体滑坡等灾害,发生侵蚀的同时导致周围环境受到威胁。平原区以水力侵蚀为主,而山丘区由于地势陡峭,除受水力、风力侵蚀外,同时也存在重力侵蚀作用。

在侵蚀单元中,塔基区和站区、施工道路及弃土场是输变电工程的主要侵蚀单元。施工过程中必要的道路建设主要有以下两种形式:新修道路和临时施

工便道。新修道路中的水土流失主要在于道路边坡挖填形成,而临时施工便道主要受人为扰动影响,尤其在山丘区,临时道路起到运输作用,往往采用人力、牲畜运输的方法,受树枝乔灌木的阻挡,植被和土壤受践踏,土壤压实后在雨后地表径流阻力减小,易发生水土流失,同时树木的砍伐、修剪减弱了冠层的截流作用促使更多的降雨到达地面,发生溅蚀。原始地形地貌发生改变,植被砍伐、修剪促使降雨对扰动地面直接发生侵蚀,增大了水土流失<sup>[8]</sup>,周围生态环境的破

坏对农业生产和生活也造成一定威胁<sup>[19]</sup>。山丘区变电站选址通常为山前平坦区域,但由于地处山区地形条件复杂,变电站防洪排导设施建设造成严重土地扰动。地势陡峭,塔基开挖难度大、破坏面较大且较难恢复,因此变电站、塔基、施工道路和弃土场成为产生水土流失的主要侵蚀单元。平原区输变电工程侵蚀单元主要为变电站、塔基和牵张场,工程施工过程中弃渣较少,一般不单独设立弃渣场。可见,相对于平原区,山丘区输变电工程侵蚀单元更多元且侵蚀环境复杂。

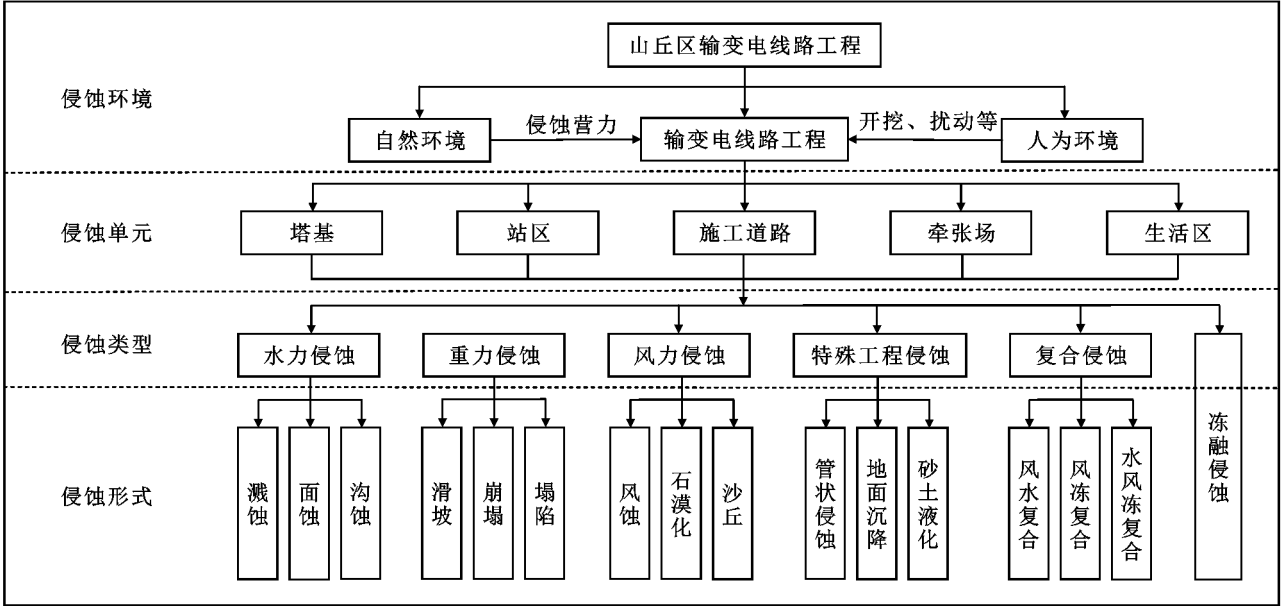


图 1 山丘区输变电工程侵蚀环境

在侵蚀对象中,输变电工程侵蚀对象主要涉及细碎岩石颗粒和土壤的流失。山丘区输变电工程建设过程中,可能遇质地坚硬的岩体,人为爆破后产生的岩土混合物。场地平整过程中的表土剥离及施工道路边坡土壤侵蚀。

输变电工程侵蚀环境还可能导致土地肥力下降和资源浪费。场地平整过程中表土剥离使表层的养分流失不利于植被生长,植被的破坏加重了水土流失,在挖填过程中,往往挖方大于填方,多余土壤的堆弃一方面浪费资源,另一方面,增加了可蚀土体的数量,促进了水土流失发生,可能造成崩塌、滑坡、塌陷等突发性的水土流失。

2 输变电工程水土流失特征

2.1 不同阶段水土流失特征

输变电工程跨越多种地貌地形并随线路的延展呈线型分布,项目区域内气候条件、土壤类型各不相同,产生的水土流失也存在差异,不仅空间跨度大,扰动点分散,而且还具有历时短、总体水土流失强度小、但局部点状水土流失强烈的特点<sup>[20]</sup>,且不同建设阶

段、不同侵蚀单元的水土流失影响均不相同<sup>[10]</sup>。

从不同建设阶段来看,不同时期的施工活动导致输变电工程水土流失呈现阶段性特征。将输变电工程线路划分为施工期和自然恢复期,其中施工期又包括施工准备和基础施工两个方面。选取南方和北方山丘区输变电工程在不同建设阶段的水土流失量进行比较,由表 1—2 可知,整体上,各输变电工程在施工期的水土流失量和土壤侵蚀模数均大于自然恢复期,施工期的水土流失量可达自然恢复期的 1.3~16.1 倍,施工期的侵蚀模数是自然恢复期的 1.5~25.3 倍。各输变电工程施工期的水土流失占比达 55.0% 以上,最高为 89.7%。站区和塔基区施工期的水土流失量占比均高于其他侵蚀单元,最高可占水土流失总量的 94.6%,86.5%,牵张场在施工期的水土流失占比最小为 60.2%。输变电工程的水土流失多集中于施工期<sup>[10-11]</sup>,施工阶段是发生水土流失的主要环节,主要由于材料堆放压占地表以及部分塔位施工修建临时道路导致原有地貌损坏。塔基开挖和清理工序改变原始地形和土壤条件,从侵蚀物质和侵蚀条件上加剧了侵蚀。在塔基面开挖过程中,产生

的土石堆在风力、水力作用下易发生流失。此外，变电站建造、输变电的架设等对地面的压占都存在水土流失的隐患<sup>[21]</sup>。因此，在有挖填方的建设中，例如

塔基开挖和变电站修建等区域的水土流失较其他施工区更大。综合上述，阶段性差异是输变电工程水土流失最主要的特点。

表 1 不同类型区典型各输变电工程不同阶段的水土流失量 t

建设区域	浙江丽西 500 kV		新疆莎车 750 kV		吉林向阳 500 kV		新疆五家渠 750 kV		湖南长沙 500 kV	
	施工期	恢复期	施工期	恢复期	施工期	恢复期	施工期	恢复期	施工期	恢复期
站区	106	6	210	59	47.6	33.9	123	61	692	43
塔基区	449	294	855	351	0.5	1.0	209	134	634	100
道路	35	14	868	362	0.4	0.8	226	147	152	24
牵张场	12	11	209	87			45	29	4	3
生产生活区			29	8	7.5	5.1	23	11		
合计	602	325	2171	867	55.8	40.8	626	382	1482	170

表 2 不同类型区典型各输变电工程不同阶段的侵蚀模数 t/(km<sup>2</sup>·a)

建设区域	浙江丽西 500 kV		新疆莎车 750 kV		吉林向阳 500 kV		新疆五家渠 750 kV		湖南长沙 500 kV	
	施工期	恢复期	施工期	恢复期	施工期	恢复期	施工期	恢复期	施工期	恢复期
站区	1260	300	1900	800	2000	800	1500	550	10100	400
塔基区	2450	400	1900	800	2500	1050	1500	550	4050	400
道路	700	150	1900	800	2000	800	1500	550	5120	400
牵张场	700	150	1900	800			1500	550	1043	343
生产生活区			1900	800	1500	505	1500	550		
合计	5110	1000	13300	4000	8000	3155	7500	2750	20313	1543

2.2 不同侵蚀单元水土流失特征

从不同侵蚀单元上看，由表 1 可知，整体上，各工程在站区、塔基、道路 3 个侵蚀单元的水土流失量较大，而牵张场、生产生活区由于受人为扰动小，水土流失相对较弱。5 个工程的站区、塔基区、道路、牵张场、生产生活区占总水土流失量的比重分别为 20.5%，45.0%，27.2%，5.9%，1.2%。5 个工程中站区水土流失量占比最大为 77.9%，水土流失量分别为其他侵蚀单元的 6.2~40.5 倍，塔基区和道路区域为 80.5%，40.5%，分别是其他区域的 6.7~32.4 倍和 1.0~47.3 倍。各工程牵张场和生产生活区水土流失量占本工程水土流失总量的比重分别为 0.4%~9.7%，1.2%~12.5%。由结果可知，不同侵蚀单元水土流失差异大，塔基区和站区的水土流失最为严重，与现有研究结果一致<sup>[22]</sup>，塔基占地面积较其他建设单元而言较小，但一条完整的输变电塔基数量大，这是由于在挖填过程、多余土体临时堆放时人为扰动程度较大，原有地表破坏程度大，尤其是在塔基区和站区，原始环境发生改变，总体土地扰动面积大，存在突发性和潜在危害性。此外，在道路边坡施工过程中一系列的土工作业导致土壤原有结构被破坏，抗蚀性减弱，并随着植被的减少，加重了水土流失，甚至发生崩塌等地质灾害。因此，突发不确定性、不可预测性和潜在危害性均是其水土流失特征。

由表 3—4 可知，从不同地理分区上来看，相同的侵蚀单元，山丘区水土流失量与平原区相比，不存在

必然大小关系，但是山丘区土壤侵蚀模数均大于平原区域，是平原区的 1.2~1.9 倍。这可能是由于输变电工程涉及范围广，基本涵盖了各类地貌区域<sup>[23]</sup>，且其水土流失沿工程区域呈线状离散性分布，单个独立的侵蚀源实际侵蚀面积不大而侵蚀强度大<sup>[24]</sup>。相同地貌类型，不同施工地段所造成的土壤侵蚀各不相同<sup>[25]</sup>。在山地丘陵区，输变电工程土壤侵蚀最严重的区域为站区和塔基区，其次为施工道路，而在平原地区道路为土壤侵蚀模数最大的区域。总体上，平原地区的水土流失范围和强度都弱于山地丘陵地区，在两区的水土流失强度分区中，一级分区以地貌和侵蚀类型为依据，平原地区一级为微度侵蚀区，而山地丘陵区则为轻度侵蚀区<sup>[26]</sup>，由此可见，山丘区的一级分区的侵蚀强度远大于平原地区。

3 输变电工程水土流失防治

对于输变电工程，工程措施、临时措施和植物措施也是治理水土流失的主要措施<sup>[27-28]</sup>，根据不同地理分区自然条件，对不同侵蚀单元水土流失采取相应措施，具体主要包括：土地整治工程、斜坡防护工程、防洪排导工程、植被恢复、拦渣工程、临时防护工程等(表 5)。

护坡工程指在不同坡度范围采取合适的措施以达到减少水土流失的一种工程手段。平原区和山丘区较缓坡度条件下，即当坡度小于 25°时，植物措施配置尤为重要，但当坡度大于 25°时由于植物措施在陡坡不稳定，存在加剧水土流失的风险性，此时，工程



措施优于植被措施,极其严重的需要采用综合防护措施,例如防护网、水泥浆砌等方法。3 种措施中防护效果最好的属综合防护措施,其次是工程措施和植物措施<sup>[29]</sup>。此外,对于山丘区尤其是西北风力侵蚀区,

在措施类别中采用草方格沙障减缓水土流失。在护坡工程选择的同时应当因地制宜,避免概化,从地区的自然条件、施工情况、防护要求等方面充分考虑措施的可行性,择优选择。

表 3 不同类型区典型输变电项目不同地理分区水土流失量 t

侵蚀单元	浙江丽西 500 kV		新疆莎车 750 kV		吉林向阳 500 kV		新疆五家渠 750 kV		湖南长沙 500 kV	
	山丘区	平原区	山丘区	平原区	山丘区	平原区	山丘区	平原区	山丘区	平原区
站区		112		269	81		184		735	
塔基区	741	4	114	1092	2		331	12	734	
道路	45		45	1185	8		365	8	176	
牵张场	23		26	270			64	10	7	
生产生活区				37	13			34		
合计	809	116	185	2853	104		944	64	1652	

表 4 不同类型区典型输变电项目不同地理分区侵蚀模数 t/(km<sup>2</sup>·a)

侵蚀单元	浙江丽西 500 kV		新疆莎车 750 kV		吉林向阳 500 kV		新疆五家渠 750 kV		湖南长沙 500 kV	
	山丘区	平原区	山丘区	平原区	山丘区	平原区	山丘区	平原区	山丘区	平原区
站区		1560		2700	2800		1500		10500	
塔基区	2945	1560	3200	2700	3550		6500	2050	4450	
道路	850		3200	2700	2800		6500	2050	5520	
牵张场	850		3200	2700			6500	2050	1386	
生产生活区			2700	2050				2050		
合计	4645	3120	9600	13500	11200		21000	8200	21856	

表 5 输变电工程不同侵蚀单元防治措施布设

侵蚀单元	防治措施	具体措施	
		山丘区	平原区
站区	工程措施	浆砌石截排水沟、砾石压盖、护坡	穴状整地、全面整地
	植物措施	草方格、植草护坡、站内绿化	土地复耕
	临时措施	表土剥离防护、临时堆土防尘网苫盖、临时排水沟、沉沙池	
塔基区	工程措施	防护网、排水沟、浆砌石挡墙	土地整治、土地复耕、混凝土排水沟
	植物措施	植被恢复	土地复耕
	临时措施	表土剥离防护、临时堆土场拦挡、苫布铺盖	
施工道路	工程措施	土地整治	穴状整地、全面整地
	植被措施	植被恢复	土地复耕
	临时措施	临时排水系统	
牵张场	工程措施	水平阶、水平沟、鱼鳞坑整地	穴状整地、全面整地
	植物措施	植被恢复	土地复耕
	临时措施	棕垫铺盖	
生产生活区	工程措施	土地整治、砾石压盖	穴状整地、全面整地
	临时措施	排水沟、彩条布苫布	

在土地整治过程中,需要考虑土壤、地形、坡度等多个因素的影响<sup>[30]</sup>,例如在项目竣工后,在塔基区、临时道路、临时占地区域需进行土地整治工作,首先考虑各区立地条件,配合土地平整和清理工作选择最佳整治方法,以期尽最大限度恢复原始状态。输变电工程中,对于平原地区坡度平缓一般采取穴状整地或全面整地的方法,该方法扰动面积小,恢复难度较小,容易执行;而对于山丘区当坡度大于 15°时,结合陡坡特点采用水平阶、水平沟或反坡梯田的整治方法,

鱼鳞坑整地的方法难度较大且对技术要求较高,通常在坡度达到 25°时选择。在输变电工程中,拦渣工程是用拦挡的方式防治土石发生位移,主要措施是挡渣墙的修筑,挡渣墙的形式较多,可根据具体项目情况进行选择,当前主要形式有半重力式、重力式、衡重力式、倒 T 式、支挡式、空箱式<sup>[31]</sup>。

在防洪排导方面,避免水流对土石渣的冲刷以及对地面的冲蚀,以防洪排导的方式减小水流对土体的破坏。防洪排导布设在不同施工区域有所不同,在站区需

要进行美观设计,因此,通常排导水管的布设与道路正交,为了保证土石渣在管道内不淤积,在布设时应有一定坡度,此外避免水土下渗需要进行防渗处理。在道路两侧,排水设施应与道路平行,为减小物质出口的冲击能量,需要在排导出口处设置消能装备。

临时措施方面,在输变电工程施工过程中,表土剥离后应装袋集中放置,避免降雨和水流对其的侵蚀,以便后期重复利用。准备期间的施工应当设置排水、拦护和沉沙措施<sup>[27]</sup>。在施工准备期完成或工程竣工后需要对临时措施进行清理。期间若无遮蔽条件,则可采取下层遮雨布铺垫、上层降雨布遮盖的方式来避免水流对临时堆放土体的侵蚀<sup>[22]</sup>。植被恢复方面主要针对的是项目竣工后在建设区域及周边由于施工影响导致地表裸露的区域,植树种草和复耕是使用频度最高的两种措施。

综合上述,水土保持措施的选择均为水土流失治理的传统方法。近年来在塔基、线路选择上突破了原有的局限性,从施工技术的创新和输变电的选择上进行完善优化。塔基设计上,平原区采用四角单独开挖方式,减少占地和地面扰动,山丘区地势陡峭更适宜高低腿塔基形式。在线路的选择设计上,运用先进数字化的全数字测量技术展开目标线路的测量与预测,并通过航片技术进行宏观把控,从目前实施效果来看,初步实现了线路的优化,不足之处在于其覆盖范围较小,资料的获取受限制。在此基础之上,进一步优化路径,将全数字测量技术、卫星影像及 GPS 技术结合,一方面可以节约投资成本,另一方面减少了土石方量,减弱了水土流失。在施工技术上,采用动力伞和张力放线结合的导引绳技术,张力放线是通过选定铁塔后,人工将牵引线展放,从牵张场牵拉而实现输电线架设的过程,其中铁塔的选择对于线绳的牵放至关重要。动力伞是指通过环保型飞行器进行导引,从而实现输变电展放的方法<sup>[32]</sup>,跨度大、植被覆盖度密集的区域宜采用该方式。采用二者结合的方法进行输变电线的架设,减弱了对农田、耕地、山林中植被草木、土地的践踏,也减少了对树木的砍伐,实现绿色高效可持续发展的目标,同时对临时道路的需求不大,降低了项目投入成本,减少对地面的破坏程度,减小防治的工作量以达到控制水土流失的目的。

## 4 结论

影响输变电类项目水土流失的环境因素较多,通过研究山丘区输变电工程侵蚀环境,可根据不同建设时期、不同侵蚀单元侵蚀特征进行输变电工程水土保持措施实施。主要结论如下:(1) 在侵蚀动力系统中,

输变电工程的侵蚀动力以人为扰动为主,塔基区和站区、施工道路及弃土场是输变电工程的主要侵蚀单元。(2) 施工期的水土流失量可达自然恢复期的 1.3~16.1 倍,施工期的侵蚀模数是自然恢复期的 1.5~25.3 倍。(3) 站区和塔基区施工期的水土流失量占比均高于其他侵蚀单元,山丘区土壤侵蚀模数均大于平原区,是平原区的 1.2~1.9 倍。(4) 在众多建设区域中以变电站建设、塔基开挖,线路施工临时道路为重点,在地貌类型上着重山丘区输变电工程水土流失的防治,将水土保持工程措施、植物措施与临时措施有机结合。

### 参考文献:

- [1] 贺亮,刘国东,张新宁,等.西南地区输变电工程建设中的土壤侵蚀及其防治[J].中国水土保持,2007(12):46-48.
- [2] 杨光俊,张雷,宋康,等.输变电工程环境影响评价的公众参与[J].华北电力技术,2012(10):76-80.
- [3] Li B J, Niu D X, Lu Y, et al. Analysis of the surplus rate of power transmission and transformation project cost based on grey correlation analysis[C]// The 2015 International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Information Science (EEEIS2015). Guangzhou, China:2016.
- [4] 高宝林,周全.输变电工程水土保持设施技术评估程序及应注意的问题[J].中国水土保持,2009(10):13-15.
- [5] 田甜.探讨输变电工程水土保持措施方案设计与实际实施的脱节问题[J].广东水利水电,2011(11):30-31.
- [6] Jaiswal R K, Mukherjee S, Raju K D, et al. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2002,4(1):1-10.
- [7] 贺康宁,王治国,赵永军.开发建设项目水土保持[M].北京:中国林业出版社,2009.
- [8] 张贞,刘国东,贺亮.康定 500 kV 输变电工程水土流失防治措施及生态恢复对策[J].亚热带水土保持,2008,20(2):60-63.
- [9] 杨文姬,孙中峰,乔锋,等.对华北地区 500 kV 输变电工程水土保持的认识与建议[J].中国水土保持科学,2011,9(6):79-82.
- [10] 彭瑶,付丽,汤建熙,等.江苏省输变电类开发建设项目水土流失特点及防治管理措施[J].中国水土保持,2013(2):5-8.
- [11] 孙中峰,蔡建勤,王愿昌,等.山西省输电路工程水土保持方案相关问题探讨[J].水土保持通报,2008,28(5):21-24.
- [12] 史小栋,尹嫚,王巧红,等.输变电工程在不同阶段的水土流失防治责任范围变化分析:以四川省 500 kV 输变电工程为例[J].四川环境,2013,32(6):62-65.
- [13] 朱建军,李志伟,朝俊.InSAR 变形监测方法与研究进展[J].测绘学报,2017,46(10):519-535.
- [14] 刘斌,葛大庆,李曼,等.地基合成孔径雷达干涉测量技

- 术及其应用[J].国土资源遥感,2017,29(1):1-6.
- [15] 史东梅.高速公路建设中侵蚀环境及水土流失特征的研究[J].水土保持学报,2006,20(2):5-9.
- [16] 甘枝茂,孙虎,甘锐.黄土高原地区城郊型侵蚀环境及其特征[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(2):39-43.
- [17] 蔡萱,石剑波,张莹,等.湖北省输变电工程水土流失特征研究[J].水电与新能源,2019,33(6):57-62.
- [18] 蔡萱,占海歌,石剑波,等.鄂西南及鄂中输变电工程水土流失特征研究[J].人民长江,2019,50(2):51-54,84.
- [19] 李大鸣,田顺发,张弘强,等.塔基建设对蓄滞洪区洪水演进影响评价:以蒙西—天津南输变电工程为例[J].水利水电技术,2018,49(10):28-36.
- [20] 刘卉芳,徐永年,池春青,等.云南省输变电工程水土流失特点浅析[J].水土保持研究,2008,15(2):133-135,138.
- [21] 王露露,孙中峰,朱清科.山西省输变电工程水土保持低扰动工程技术[J].水土保持研究,2013,20(3):310-315.
- [22] 樊广英,米秋菊.河北南部 500 kV 输变电工程建设中的土壤侵蚀及其防治[J].中国水土保持,2008(10):15-17.
- [23] 王晖,张家其,吴宜进,等.天门 220 kV 侨乡输变电工程水土保持监测实践[J].中国水土保持,2014(9):62-64.
- [24] 跳锋.孝感庙头 220 kV 输变电工程水土保持监测实践[D].武汉:华中农业大学,2016.
- [25] 解刚,薛凤,王向东,等.水电项目水土保持生态效应评价研究[J].水利水电技术,2018,49(1):167-173.
- [26] 樊广英,米秋菊.冀南地区 500 kV 输变电工程建设中的土壤侵蚀及其防治[J].水科学与工程,2008(3):60-63.
- [27] 贺亮,李光伟,刘国东,等.500 kV 输变电工程水土流失及综合防治[J].亚热带水土保持,2007,19(4):48-51.
- [28] 丁广鑫.交流输变电工程环境保护和水土保持工作手册[M].北京:中国电力出版社,2009.
- [29] 徐宪立,张科利,刘雯,等.青藏公路路堤边坡水土保持措施及效益分析[J].长江流域资源与环境,2008,17(4):619-622.
- [30] 关力强.如何提高水土保持工程的造林成活率[J].河北水利,2010(4):40-40.
- [31] 张鑫,孙艳,于世江.浅谈公路建设中水土保持措施[J].辽宁省交通高等专科学校学报,2009,11(1):25-27.
- [32] 侯从军.动力伞展放导引绳在特高压线路施工中的应用[J].电网与清洁能源,2011,27(8):27-33.

(上接第 49 页)

- [13] 郑粉莉,杨勤科,王占礼.水蚀预报模型研究[J].水土保持研究,2004,11(4):13-24.
- [14] 陈美淇,魏欣,张科利,等.基于 CSLE 模型的贵州省水土流失规律分析[J].水土保持学报,2017,31(3):16-21.
- [15] 陈锐银,严冬春,文安邦,等.基于 GIS/CSLE 的四川省水土流失重点防治区土壤侵蚀研究[J].水土保持学报,2020,34(1):17-26.
- [16] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
- [17] 黄硕文,李健,张欣佳,等.河南省近十年来土壤侵蚀时空变化分析[J].农业资源与环境学报,2021,38(2):232-240.
- [18] 王欢,高江波,侯文娟.基于地理探测器的喀斯特不同地貌形态类型区土壤侵蚀定量归因[J].地理学报,2018,73(9):1674-1686.
- [19] 尹洪.四川省邛崃市水资源供需平衡分析及可持续开发利用研究[D].成都:四川农业大学,2010.
- [20] 杨木易,赵城生,张雪,等.土壤侵蚀定量评价及防治研究:以黑龙江省望奎县为例[J].佳木斯职业学院学报,2018(9):441-442.
- [21] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the Asae, 1994,37(6):1835-1840.
- [22] 胡云华,刘斌涛,宋春风,等.基于 USLE 模型的大小凉山地区土壤侵蚀定量研究[J].水土保持通报,2016,36(4):232-236.
- [23] 刘斌涛,宋春风,史展,陶和平.西南土石山区土壤流失方程坡度因子修正算法研究[J].中国水土保持,2015(8):49-51,77.
- [24] 胡云华,刘斌涛,宋春风,等.基于 USLE 模型的大小凉山地区土壤侵蚀定量研究[J].水土保持通报,2016,36(4):234-235.
- [25] 李婷,张世熔,廖明辉,等.基于 3S 和 USLE 的沱江流域中游土壤侵蚀定量评价[J].水土保持研究,2011,18(1):24-27.
- [26] 彭建,李丹丹,张玉清.基于 GIS 和 RUSLE 的滇西北山区土壤侵蚀空间特征分析[J].山地学报,2007,25(5):548-556.
- [27] 黄金良,洪华生,张珞平,等.基于 GIS 和 USLE 的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究[J].水土保持学报,2004,18(5):75-77.
- [28] 徐新良.中国 GDP 空间分布 km 网格数据集[DB/OL]. [2021-01-20]. <https://www.resdc.cn/DOI/doi.aspx?DOIId=33>.
- [29] 中华人民共和国水利部.土壤侵蚀分类分级标准 GB/SL190—96[S].北京:中国水利水电出版社,1966.