

# 陕北—湖北±800kV 输电线路工程 水土流失特征及其综合治理

潘明九<sup>1</sup>, 丰佳<sup>2</sup>, 王文龙<sup>3</sup>, 顾晨临<sup>1</sup>, 刘波<sup>1</sup>, 单军<sup>1</sup>, 余智芳<sup>1</sup>

(1.国网浙江省电力有限公司经济技术研究院, 杭州 310020; 2.国网浙江省电力有限公司, 杭州 310007;

3.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)

**摘要:**输电线路作为路径长、跨度大的典型线型工程,在生态环境脆弱的丘陵地貌、山地地貌等山丘区进行建设,会破坏该区环境,加剧水土流失。为顺应当前国家生态文明建设新形势,以沿线涉及黄土丘陵地貌、山地地貌和平原地貌的陕北—湖北±800 kV 特高压输电线路工程为例,通过野外调查和测钎法监测水土流失,对其水土流失特征、强度及其治理体系进行探讨。结果表明:(1) 特高压输电线路工程水土流失具有点状线型分布特征;其工程空间跨度大,侵蚀环境差异显著,侵蚀类型多且复杂。(2) 输电线路工程在黄土丘陵地貌的土壤侵蚀模数 $[12\ 000\sim 25\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})]$ 明显高于山地地貌 $[3\ 600\sim 9\ 500\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})]$ 和平原地貌 $[950\sim 2\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})]$ ,是该工程重点土壤侵蚀防治区。(3) 站区和塔基区是输电线路工程造成最大土壤侵蚀量的水土流失单元,其土壤侵蚀量分别为 27 267 t 和 37 478 t,应为水土流失重点防治单元。(4) 在水土流失治理的工程措施基础上,融入近自然治理思想,优先选择乡土草、灌、树种,以此集成针对山丘典型生态环境脆弱区的输电线路水土流失综合治理体系。研究结果可为输电线路工程水土流失防治提供理论依据和决策支持。

**关键词:**黄土丘陵区;山丘区;输电线路工程;水土流失;综合治理

**中图分类号:**S157.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2022)05-0206-07

## Characteristics of Soil Erosion and Comprehensive Control of Shanbei-Hubei ±800 kV Transmission Line Project

PAN Mingjiu<sup>1</sup>, FENG Jia<sup>2</sup>, WANG Wenlong<sup>3</sup>, GU Chenlin<sup>1</sup>, LIU Bo<sup>1</sup>, SHAN Jun<sup>1</sup>, YU Zhifang<sup>1</sup>

(1.Economic Research Institute of State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd.,

Hangzhou 310020, China; 2.State Grid Zhejiang Power Co., Ltd, Hangzhou 310007, China;

3.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:**China is a mountainous country, and transmission lines, as a typical linear project with long paths and large spans, are inevitably constructed in loess hills and hilly areas where the ecological environments are fragile, which destroys the environment and exacerbates soil erosion in this area. In order to comply with the current new situation of national ecological civilization construction, we took the northern Shaanxi-Hubei ±800 kV UHV transmission line project involving the loess hilly and gully area, hilly area and plain area as an example, and monitored the water and soil through field surveys and drilling methods. Erosion, the characteristics and intensity of soil erosion and its governance system were discussed. The results show that: (1) the soil erosion of the UHV transmission line project has the characteristics of point-like linear distribution; its engineering space span is large, the erosion environment is significantly different, and the erosion types are diverse and complex; (2) the soil erosion moduli  $[12\ 000\sim 25\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})]$  of the transmission line project in the loess hilly and gully area are significantly higher than those of the hilly area  $[3\ 600\sim 9\ 500$

收稿日期:2021-03-29

修回日期:2021-04-12

资助项目:国家电网公司总部科技项目“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:潘明九(1974—),男,内蒙古凉城人,硕士,主要从事输电线路工程水土保持研究。E-mail:41915643@qq.com

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

$t/(km^2 \cdot a)$ ] and plain area  $[950 \sim 2\,000\ t/(km^2 \cdot a)]$ . It can be seen that the loess hilly and gully area is the key soil erosion control area of the project; (3) the water and soil loss units in the station area and the tower base area have the largest amount of soil erosion caused by the point-type project and the line-type project respectively, and the soil erosion amounts are 27 267 t and 37 478 t, respectively; therefore, the station area and the tower base area should be the key water and soil erosion prevention and control units; (4) on the basis of engineering measures for water and soil erosion, the idea of close-to-nature governance should be introduced, and native grasses, shrubs, and tree species should be preferentially selected to integrate a comprehensive water and soil erosion control system for transmission lines in typical ecologically vulnerable areas. This article can provide theoretical basis and decision support for the prevention and control of soil erosion in power transmission line projects.

**Keywords:** loess hilly and gully region; hilly area; transmission line engineering; soil erosion; comprehensive management

我国是一个多山的国家,全国山地、丘陵的面积占到了国土总面积的 70% 左右,而目前大部分丘陵地貌、山地地貌等山丘区的生态环境仍然脆弱、经济发展还较为落后。特高压输变电线路作为一种典型线型工程,具有路径长、跨度大的特点<sup>[1]</sup>,建设过程中不可避免地会经过丘陵地貌、山地地貌等山丘区生态环境脆弱区,并且塔基开挖、修建施工场地、平整牵张场、修筑施工便道等活动,对地表产生较大强度的扰动。不仅会加剧施工区域的水力侵蚀,还会对周围区域的地质稳定性造成不利影响,增大边坡失稳、发生滑坡等重力侵蚀的可能性,导致严重的水土流失,进而使生态环境更加严酷。因此迫切需要明确生态环境脆弱的山丘区特高压输电线路工程水土流失特征及其强度,为水土保持设计和施工提供理论支撑和决策支持。

输电线路工程作为涉及区域广、侵蚀环境复杂的典型点—线型工程,水土流失在不同区域极不均衡<sup>[2-3]</sup>。研究发现,输电线路工程在黄土区引起的水土流失量要高于其他建设区域<sup>[4]</sup>,且其施工后引起的水土流失量相较施工前可增大 5.1 倍<sup>[5]</sup>。虽然黄土高原各类型区的侵蚀强度在治理后大幅度下降(大致在 35% 左右)<sup>[6]</sup>,且当今黄河输沙量下降至 2.48 亿  $t/a$ <sup>[7]</sup>,但生产建设活动依然会产生一定的水土流失。因此,对于输电线路工程,尤其是涉及生态环境脆弱区的线路工程,土壤侵蚀强度在工程沿线区域的分布差异,需要进行重点研究。水土流失监测作为输电线路工程水土保持防治的前提,有小区观测法、控制站法、简易坡面测量法、简易水土流失观测场法、原子示踪法和定量遥感法<sup>[8]</sup>。其中钢钎法和简易坡面量测法是较为常见的水土流失定点监测方法。水土保持措施是输电线路工程水土保持防治的重点和主体,可分为工

程措施、植物措施和临时措施,工程措施主要包括堡坎、排水沟、道路硬化、土地整治、拦渣护坡工程等<sup>[9]</sup>。在特殊地貌如沙地,还要配置草方格沙障以防风固沙<sup>[10]</sup>。关于植物措施的配置,相对来说较为单一,在输电线路工程中大都以撒播草粒为主<sup>[11-12]</sup>,而对灌木种和乔木种在植物措施中的配置相对欠缺,且对乔、灌、草混合搭配在输电线路工程水土保持措施中的应用研究十分薄弱。

为顺应国家生态文明建设新形势和国家电网公司高质量绿色发展的内在需求,迫切需要在典型丘陵地貌、山地地貌等生态环境脆弱区域开展架空输电线路工程水土流失特征、影响因素研究,提出系统科学的特高压输电线路工程水土流失综合治理技术,为丘陵、山地地貌等生态环境脆弱区架空输电线路的水土保持提供理论依据和技术支撑,具有重要科学意义与广阔应用前景。本研究以涉及黄土丘陵地貌、山地地貌和平原地貌的陕北—湖北±800 kV 特高压输电线路工程为案例,分析输电线路工程的水土流失特征、沿线地貌的土壤侵蚀量以及水土流失危害和原因,并提出针对丘陵地貌、山地地貌等生态环境脆弱区输电线路工程的水土保持综合治理技术。为输电线路工程水土流失控制,降低输电线路水土流失强度和生产活动导致的崩塌、滑坡等自然灾害发生的频率,以及保证输电线路工程的安全运营提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 项目及项目区概况

陕北—湖北±800 kV 特高压输电线路工程途经陕西、山西、河南、湖北四省,路径全长约 1 137.30 km,包括:陕北换流站及其接地极、接地极线路 39 km;武汉换流站及其接地极、接地极线路 119 km。工程沿线区域地

貌涉及黄土丘陵、山地和平原地貌等。黄土丘陵地貌主要涉及榆林、吕梁、临汾等地区；山地地貌主要涉及三门峡、平顶山、信阳、黄冈等部分地区；平原地貌主要涉及南阳、孝感和武汉等部分地区(表 1)。

表 1 陕北—湖北±800 kV 特高压直流输电工程沿线地貌类型

地区		地貌类型
陕西	榆林	黄土丘陵地貌
	吕梁	黄土丘陵地貌
山西	临汾	黄土丘陵地貌
	运城	山地地貌、平原地貌
	三门峡	山地地貌
	洛阳	山地地貌、平原地貌
河南	平顶山	山地地貌、平原地貌
	南阳	山地地貌、平原地貌
	驻马店	山地地貌、平原地貌
	信阳	山地地貌
	随州	山地地貌
湖北	孝感	山地地貌、平原地貌
	黄冈	山地地貌
	武汉	山地地貌、平原地貌

该输电线路工程自北向南涉及中温带干旱区、暖温带半湿润区和亚热带湿润区,气候类型包含温带大陆性气候、温带季风性气候和亚热带季风性气候,年降水量 414~1 252 mm,≥10℃的多年平均积温为 3 397~5 222℃,无霜期为 150~240 d,最大冻土深度 5~119 cm。土壤类型主要涉及黄绵土、褐土、黄棕壤、潮土、水稻土等。植被类型以农作物、落叶灌木、落叶乔木和禾本科草本为主,沿线林草覆盖率 22%~62.2%。根据《全国第二次土壤侵蚀遥感普查》结果,该工程沿线区域侵蚀类型以水力侵蚀为主,土壤侵蚀模数为 200~15 000 t/(km<sup>2</sup>·a)。

### 1.2 水土流失监测方法

根据工程沿线气候和地貌类型,将工程涉及区域分为黄土丘陵地貌、山地地貌和平原地貌等 3 类地貌。对 3 类地貌类型的典型水土流失单元(站区、道路区、施工生产生活区、排水管线区、接地极、塔基区、牵张场区等)进行定点监测,因工程涉及区域以水蚀为主,主要通过野外调查法和定位插针(测钎法)测定工程典型水土流失单元的土壤侵蚀模数。

测钎法即通过测量一段时期内测钎露出地表的上端长度变化,来确定监测区域土壤侵蚀量的方法。为了防止测量人员进入测钎阵列造成人为扰动,一般相邻测钎的间距为 1 m,并且按 3×3 阵列,用 9 个测钎来布设为一个监测点(监测面积 100 m<sup>2</sup>)。根据水

土流失单元区域大小不同,可布设多个监测点。测钎垂直打入地面,上端露出部分为 10 cm,每个月测定一次露出地表的测钎长度,大风日和大雨日加测,以一定时期内测定的露出地表的测钎长度差值的平均值作为土壤侵蚀厚度。在各单元监测点的周围区域用环刀取表层土样,进行三次重复,带回室内采用烘干法测定其土壤容重。某单元测钎法测得土壤侵蚀模数的计算公式如下:

$$M_i=(1000h_i\rho_i)/t_i \tag{1}$$

式中: $M$  为某单元测钎法测的土壤侵蚀模数[t/(km<sup>2</sup>·a)]; $h_i$  为某单元 1 a 内的土壤侵蚀厚度(mm); $\rho_i$  为某单元的土壤容重(t/m<sup>3</sup>); $t_i$  为某单元的监测时间(a)。

$$W_i=F_i\times M_i\times T_i \tag{2}$$

式中: $W_i$  为某单元的土壤侵蚀量(t); $F_i$  为某单元的区域面积(km<sup>2</sup>); $T_i$  为某单元的预测时间(a)。某单元的监测时间为该工程各单元施工时间与自然恢复时间之和(从施工到开始治理这段时间)。

## 2 结果与分析

### 2.1 输电线路工程水土流失特征

输电线路工程作为典型的点—线型生产建设项目,它与高速公路/铁路、天然气管道工程等线型工程在水土流失特征方面有相似之处,与矿山开采和城镇建设等点型工程差异较大,水土流失特征与其各自独特的水土流失单元息息相关。输电线路工程是点型和线型结合的工程。变电站/换流站、送端接地极、受端接地极都属点型工程,线型工程则主要由塔基和架空线组成。除了以上主体工程,还有施工道路、生产生活区、弃土场、牵张场等配套设施(表 2)。

输电线路工程水土流失呈点状线型分布。与接地极相比,换流站因其占地面积较大,工程涉及区域较广,是水土流失点状分布的重要组成部分。陕北—湖北±800 kV 特高压输电线路工程共涉及两大换流站(包含相应配套设施),其水土流失量为 143 256 t。塔基区一般占地面积较小,但数量极大,是水土流失线型分布的主导区域。该工程共建塔基 2 282 个,监测水土流失量为 37 478 t。与换流站相比,塔基区分布广而散,不能集中统一进行水土流失治理,且因其个体占据区域小而易被忽视,在今后的水土流失防治上应加以重视。点状分布的塔基是水土流失防治重点。此外,塔基、变电站/换流站又沿着架空线路呈线状分布,成为典型的线型工程,决定了输电线路工程水土流失呈点状线型分布特征,因而输电线路工程水土流失具有总体水土流失强度小、但局部点状水土流失强烈的特点<sup>[13]</sup>。



表 2 输电线路工程与其他生产建设项目工程水土流失特征比较

项目类型	水土流失单元	水土流失特征
输电线路工程	塔基、变电站/轮流站、送端接地极、受端接地极、配套设施	水土流失点线状分布;跨越空间尺度大,侵蚀环境差异显著,侵蚀类型多且复杂
高速公路 <sup>[14]</sup>	弃土弃渣废弃物、路基工程、采土取石场、施工便道、生产生活区	侵蚀地貌单元不完整;弃渣堆积体为水土流失最大侵蚀地貌单元;沿线不良地质结构,易发生崩塌、滑坡、沉降等;可能发生特殊工程侵蚀
天然气管道工程 <sup>[15]</sup>	管道线路、增压站、中间清管站、门站建设区、临时施工场地	涉及地貌类型多;水土流失呈线状分布,区域变异大,植被恢复难度高;开挖面及弃土弃渣易造成水土流失;管线穿越公路和铁路,易造成水土流失,危机交通安全
矿山开采 <sup>[16]</sup>	矸石山、塌陷区、辅助用地	易失稳,发生滑坡、坍塌、泥石流等灾害;地表水渗漏,影响岩土层稳定;塌陷缓慢发展,增大边坡坡度,加剧水土流失
城镇建设工程 <sup>[17]</sup>	弃土弃渣堆积体、道路、地面扰动	水土流失主要因素为人为因素;存在水土流失潜在性;地面硬化面积大,改变水循环,加大地表径流,加剧排涝压力

工程空间跨度大,侵蚀环境差异显著,侵蚀类型多且复杂。陕北—湖北±800 kV 特高压输电线路工程途经陕西、山西、河南、湖北四省,线路全长 1 137.3 km。工程空间跨度大,沿线地区的气候、土壤、植被等自然要素空间差异性极大,分属于多个水土流失类型地区,如陕西省榆林、山西省吕梁等黄土丘陵区,河

南省洛阳(洛宁县、伊川县)等属北方土石山区,湖北省孝感市(孝昌县、安陆县)等属南方红壤区。该工程沿线侵蚀类型多且复杂,土壤侵蚀以水力侵蚀为主,在陕西和山西境内的黄土丘陵地貌也有小型崩塌、滑坡等重力侵蚀灾害发生,在榆林一带也有微弱的风力侵蚀(图 1)。



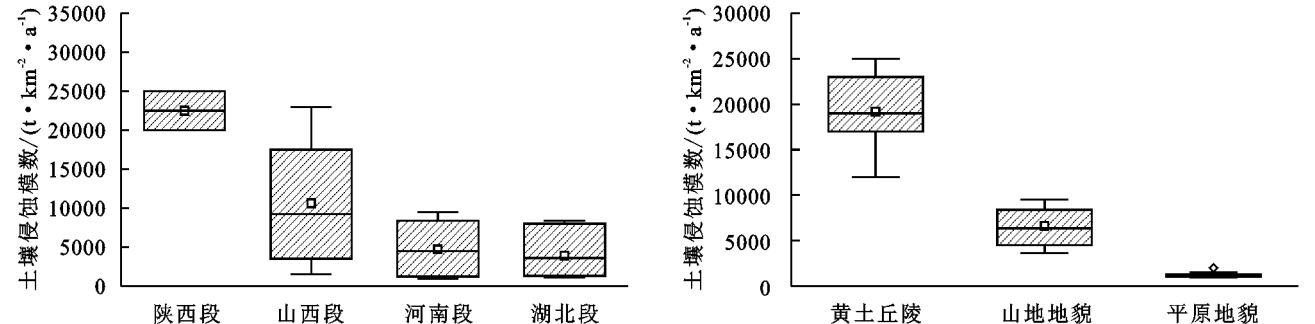
图 1 陕北—湖北±800 kV 特高压输电线路工程沿线地貌类型及水土流失状况

2.2 输电线路工程沿线土壤侵蚀模数分布

陕北—湖北±800 kV 特高压输电线路工程涉及陕西、山西、河南、湖北四境。施工后各区域的平均侵蚀模数由大到小依次为陕西段>山西段>河南段>湖北段(图 2)。其中,陕西省榆林境内施工后的侵蚀模数最大,为 20 000~25 000 t/(km<sup>2</sup>·a)。山西省境内施工后的侵蚀模数次之,为 1 500~23 000 t/(km<sup>2</sup>·a)。河南省和湖北省在施工后的土壤侵蚀模数近似,分别为 950~9 500 t/(km<sup>2</sup>·a)和 1 090~8 400 t/(km<sup>2</sup>·a),其中河南省平原地貌的侵蚀模数

最小,为 950~1 200 t/(km<sup>2</sup>·a)。

侵蚀模数大小与所处地貌类型息息相关,该工程沿线地貌主要涉及黄土丘陵、山地和平原。施工后各地貌的平均侵蚀模数由大到小依次为黄土丘陵>山地>平原。黄土丘陵地貌土壤侵蚀强度为极强度—剧烈,侵蚀模数为 12 000~25 000 t/(km<sup>2</sup>·a),山地地貌的侵蚀模数为 3 600~9 500 t/(km<sup>2</sup>·a),为中度—极强度土壤侵蚀。平原地貌的侵蚀模数仅为 950~2 000 t/(km<sup>2</sup>·a),为轻度土壤侵蚀。由此可见,黄土丘陵地貌是该工程的重点土壤侵蚀防治区。



### 2.3 输电线路工程水土流失单元土壤侵蚀量差异分析

黄土丘陵地貌内的输电线路工程主要包括陕北换流站、送端接地极和线路工程。由图3看出,站区的土壤侵蚀量为18 220 t,是陕北换流站中造成最大土壤侵蚀量的区域,其次是供排水管区,其土壤侵蚀量为10 471 t。电机电缆区是送端接地极中造成最大土壤侵

蚀量的区域,其土壤侵蚀量为7 330 t,而汇流装置区和检修道路区的土壤侵蚀量相较很小,分别为4 t和17 t。塔基区和施工道路区是线路工程中的土壤侵蚀主导区域,它们的土壤侵蚀量分别为28 768 t和22 271 t。综上,塔基区是黄土丘陵地貌内造成最大土壤侵蚀量的区域,应为该区域重点水土流失防治单元。

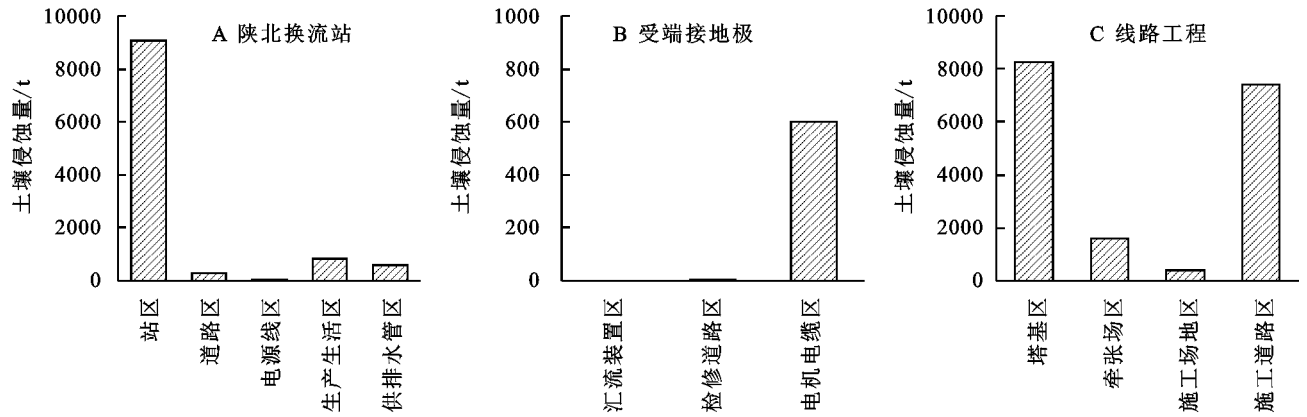


图3 黄土丘陵地貌输电线路重点工程区土壤侵蚀量

山地地貌内的输电线路工程主要包括湖北换流站、受端接地极和线路工程。

由图4看出,站区是湖北换流站中造成最大土壤侵蚀量的区域,其土壤侵蚀量为9 047 t,其余区域的土壤侵蚀量较小,为69~840 t。电机电缆区是受端接地极中造成最大土壤侵蚀量的区域,其土壤侵蚀量

为601 t,而汇流装置区和检修道路区的土壤侵蚀量相较很小,分别为2 t和3 t。塔基区和施工道路区是线路工程中的土壤侵蚀主导区域,它们的土壤侵蚀量分别为8 258 t和7 433 t。综上,站区、塔基区和施工道路区是山丘区内造成土壤侵蚀的主要区域,应为该区域重点水土流失防治单元。

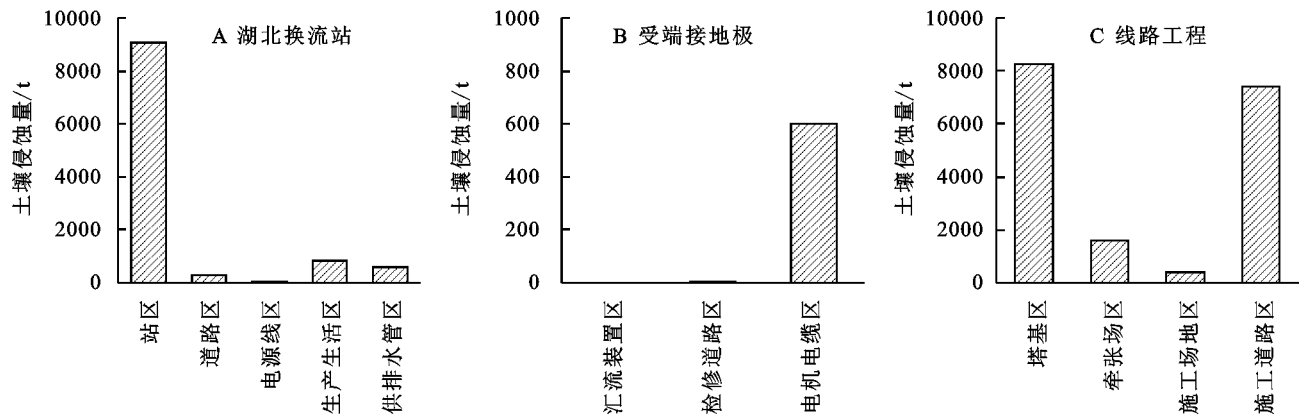


图4 山地地貌输电线路重点工程区土壤侵蚀量

平原地貌内的输电线路工程主要为线路工程。由图5看出,塔基区是平原区线路工程中造成最大土壤侵蚀量的区域,其土壤侵蚀量为452 t,其次为施工道路区,其土壤侵蚀量为214 t,牵张场区和施工场地区的土壤侵蚀量相较塔基区很小,分别为74 t和21 t。因此,同黄土丘陵地貌和山丘地貌的线路工程一样,塔基区同样是该区域的水土流失重点防治对象。

综上,在整个输电线路工程中,站区和塔基区的土壤侵蚀量分别为27 267 t和37 478 t,分别占点型工程和线型工程土壤侵蚀量的47.6%和49.3%,是造成土壤侵蚀的主要水土流失单元。

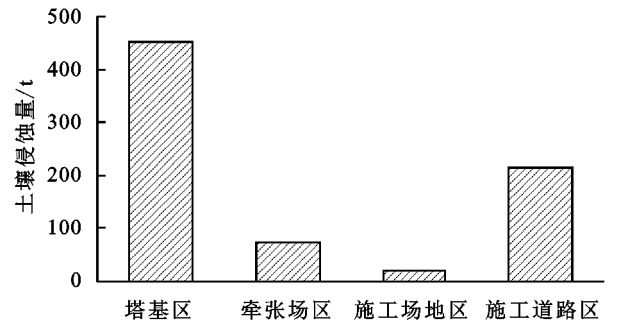


图5 平原地貌输电线路重点工程区土壤侵蚀量

### 2.4 输电线路工程水土流失危害

本工程建设过程中人为活动造成新增水土流失

的原因主要是破坏地表植被、地表结皮、挖方的临时堆放,在雨季、风季易产生水土流失。根据本工程地形地貌和施工建设的特点,产生的水土流失危害主要有以下几个方面:

(1) 工程建设过程中将破坏原地貌和植被、地表结皮,形成裸露疏松的土层,如不采取防护措施,造成土壤侵蚀加剧,塔基周边的土壤可能随之流失,导致塔基基础暴露在外,对铁塔的稳定性带来不利影响,可能危害工程安全运行。

(2) 工程线路施工时需跨越多条河流,若不采取措施防护临时堆土,土方可能流失到河道内,增加河道的泥沙量。

(3) 主体工程建设过程中总占用土地面积 585.19 hm<sup>2</sup>,其中占用耕地 194.26 hm<sup>2</sup>,施工结束后扰动区若不进行治理,可加剧土地退化,影响土地生产力。

2.5 输电线路工程水土流失综合治理

基于陕北—湖北±800 kV 特高压输电线路工程水土流失单元、特征以及各地貌区的土壤侵蚀模数分布,

提出针对黄土丘陵地貌、山地地貌等山丘区生态环境脆弱区输电线路工程的水土保持综合治理措施(表 3)。综合治理要点在于根据水土保持措施布设原则,对工程设计中的水土保持措施进行综合规划,通过工程措施、植物措施及临时措施的有机结合,形成综合防治体系,以能保护地表、防治水土流失、改善生态环境。

输电线路水土流失治理工程措施主要有土地整治、挡渣、护坡、防洪排导等工程。输变电项目拦渣工程在符合挡土墙设计规范的同时,还应考虑拦渣数量、渣体岩性、地形地质条件、建筑材料等多种因素<sup>[18-20]</sup>。塔基、临时道路、弃渣场等由于开挖或堆弃而形成的不稳定边坡,需采取护坡工程。边坡小于 1:1.5 的土质或沙质坡面,可采取植物护坡;对堆积物、不稳定的高陡边坡、遭受水流冲刷的坡脚,需采用工程护坡;而对于条件复杂的不稳定边坡,应采用综合护坡<sup>[20]</sup>。防洪排导工程主要是为了防止雨水、地表水和洪水等对损坏地表或工程堆积物等的冲刷,目前主要使用的类型有截洪沟、排水沟、排水孔等<sup>[21]</sup>。

表 3 山丘区输电线路工程水土流失综合治理措施

综合治理措施	治理单元	具体技术措施
工程措施	塔基区	挡土墙、边坡防护工程、排水工程、土地整治
	站区	挡土墙、边坡防护工程、主体防沉基、土地整治
	永久/临时道路区	排水沟、土地平整
	弃渣场	护坡拦渣工程、截洪沟、排水沟、排水孔
基于近自然治理的植被措施	塔基区	全面整地、乡土灌、草种搭配栽植
	架线施工场地	全面整地、栽植乡土灌木
	牵张场区	栽植乡土乔木或灌木
	永久/临时道路区	栽植乡土乔木、撒播草种

在实施以上输电线路工程水土保持工程措施治理技术的基础上,通过详细调查工程涉及区域植被类型、植被覆盖度、气候、土壤等因素,优先选择乡土草、灌、树种,并结合施工后对环境带来的实际影响,如遮阴、表层土壤贫瘠等问题,选择能够适应变化环境的植被类型。可采用选择多种草、灌、树种进行播种的方式,通过自然选择以得到较优的物种组合。根据气候、土壤等因素,设计植被覆盖度,以能无人工干涉而自然生长为宜。根据群落演替理论,利用乡土物种,恢复施工前原有地表自然景观,以使人为生活生产活动对生态环境的影响降到最低。而针对黄土丘陵地貌水力侵蚀和重力侵蚀都较为严重的情况,在布设植物措施时,尤其要注意植株的混合搭配和规模密度,已有研究表明单一且繁密的植物群,反而会促使发生浅层滑坡,加剧水土流失<sup>[22]</sup>。在黄土丘陵地貌,控制撒播的草种数量并结合灌木和乔木幼苗的定植以控

制植株密度是有必要的。

近年来,近自然恢复理念得到各国生态学的关注,其起源于 19 世纪德国在林业领域所提出的近自然林业理念。它的核心理念是根据群落演替理论,利用乡土物种,把退化草地恢复到物种组成、多样性和群落结构与地带性植被接近的生态系统<sup>[23]</sup>。源于此,我们提出近自然治理的概念:以植物措施为核心,针对不同生态环境特点,以尽可能恢复原有地貌自然景观为目的的水土流失治理方式。两者都认同:应用与区域环境相适应的乡土草种进行草地恢复是关键<sup>[24]</sup>。而不同之处在于:近自然恢复的对象是退化生态系统,而近自然治理则针对生产建设所影响的人为干扰区域;并且,相较于近自然恢复,近自然治理在治理时会更加强调运用人工绿化技术,重视人类活动在水土流失治理中所能发挥的积极效应。

综上,基于现有的输电线路工程水土保持工程措



施治理技术,融入了近自然治理,优先选择乡土草、灌、树种,集成黄土高原输电线路水土流失综合治理体系。经过综合治理后,尽可能降低输电线路工程对生态环境的影响,接近甚至恢复到原有的水土流失分区生态景观状态,以达到最佳的治理效果。

### 3 结论

(1) 输电线路工程水土流失具有点状线型分布特征;其工程空间跨度大,穿越水土流失类型区多;输电线路工程水土流失环境差异显著,侵蚀类型多且复杂。

(2) 陕北—湖北±800 kV 特高压输电线路工程各地貌的侵蚀模数由大到小依次为黄土丘陵地貌 $[12\ 000\sim 25\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})]$ >山地地貌 $[3\ 600\sim 9\ 500\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})]$ >平原地貌 $[950\sim 2\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})]$ 。输电线路工程沿线涉及的黄土丘陵地貌土壤侵蚀强度为极强度—剧烈,山丘地貌土壤侵蚀强度为中度—强度,平原区地貌土壤侵蚀强度为为微度—轻度。由此可见,黄土丘陵区是该工程重点土壤侵蚀防治区。

(3) 关于陕北—湖北±800 kV 特高压输电线路工程,站区和塔基区分别是点型工程和线型工程造成最大土壤侵蚀量的水土流失单元,其土壤侵蚀量分别为27 267 t和37 478 t。应为水土流失重点防治单元。

(4) 在水土流失治理工程措施的基础上,融入近自然治理思想,优先选择乡土草、灌、树种,集成黄土丘陵地貌、山地地貌等山丘区输电线路水土流失综合治理。经过综合治理后,接近甚至恢复到原有的生态景观状态,以达到最佳的治理效果。

#### 参考文献:

- [1] 高建荣.甘南山区输电线路水土流失特征及对策研究[J].水土保持应用技术,2009(4):31-33.
- [2] Li B J, Niu D X, Lu Y, et al. Analysis of the surplus rate of power transmission and trans-formation project cost based on grey correlation analysis[C]. Electrical Engineering and Information Science, 2016.
- [3] 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.
- [4] 孙中峰,蔡建勤,王愿昌,等.山西省输电线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.
- [5] 李海涛,崔树春,胡菲.华东某地220 kV 输变电工程水土保持措施研究[J].污染防治技术,2018,31(6):5-8.
- [6] 张世杰.黄土高原不同侵蚀类型区允许土壤流失量研究[J].水利水电技术,2018,49(4):217-223.
- [7] 胡春宏,张晓明.黄土高原水土流失治理与黄河泥沙变化[J].水利水电技术,2020,51(1):1-11.
- [8] 夏小林.开发建设项目水土保持地面监测方法和预测方法研究[J].水利水电技术,2011,42(8):92-94.
- [9] 万昊,雷磊,魏金祥,等.浅析特高压输变电线路工程中的水土保持措施设计[J].水土保持应用技术,2020(1):49-50,54.
- [10] 王天宇,王硕.伏沙地草原区特高压交流输电线路工程水土流失特征及防治措施[J].中国水土保持,2020(3):5-7,29.
- [11] 石丽荣.输电线路工程水土保持措施述评:以宁夏沙湖750 kV 输变电工程为例[J].甘肃科技纵横,2018,47(8):33-35.
- [12] 尹武君,邓川,杨晓瑞,等.特高压输电线路工程水土保持专项设计探讨[J].四川环境,2020,39(2):151-155.
- [13] 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):133-136.
- [14] 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.
- [15] 张显双,刘明义,李秋梅,等.引四平天然气长输管道工程水土流失特点及防治措施[J].中国水土保持,2000(6):41-42.
- [16] 张耀方,江东,史东梅,等.重庆市煤矿开采区土壤侵蚀特征及水土保持模式研究[J].水土保持研究,2011,18(6):94-99.
- [17] 张志兰,郑云泽,史东梅.城镇建设项目水土保持技术体系及调控分析[J].水土保持应用技术,2018(5):25-28.
- [18] 刘刚,申义贤,裴华,等.输变电工程水土保持措施设计探讨[J].中国水土保持,2011(11):20-22.
- [19] 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.
- [20] 谢明亮,王慧觉,余超.特高压输变电工程水土流失防治措施[J].亚热带水土保持,2010,22(1):72-73,78.
- [21] 张萌,吴飞.输变电线路工程的水土保持[J].上海电力学院学报,2008,24(2):111-113.
- [22] Guo W Z, Chen Z X, Wang W L, et al. Telling a different story: The promote role of vegetation in the initiation of shallow landslides during rainfall on the Chinese Loess Plateau[J]. Geomorphology, 2020, 350: 106879.
- [23] 贺金生,卜海燕,胡小文,等.高寒草地的近自然恢复:理论基础与技术途径[J].科学通报,2020,65(34):3898-3908.
- [24] Rantala-Sykes B, Campbell D. Should I pick that: A scoring tool to prioritize and valuate native wild seed for restoration[J]. Restoration Ecology, 2019, 27(1): 9-14.