

不同类型山丘区输变电线路工程水土流失的来源、影响因素及措施体系配置

陈卓鑫¹, 李魁², 王文龙^{1,3}, 丰佳⁴, 潘明九⁵, 陈晓刚⁴, 孟欢⁶, 伍欢⁷

(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.杨凌示范区行政审批服务局, 陕西 杨凌 712100; 3.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4.国网浙江省电力有限公司, 浙江杭州 310007; 5.国网浙江省电力有限公司经济技术研究院, 浙江 杭州 310020; 6.国网甘肃省电力公司电力科学研究院, 甘肃 兰州市 730070; 7.中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司, 陕西 西安 710075)

摘要: [目的] 明确不同山丘区输变电线路工程水土流失特征, 为山丘区水土保持设计、监测和防治提供理论参考。[方法] 以全国不同山丘区(东北黑土低山丘陵和漫岗丘陵区、西北黄土丘陵区、南方红壤丘陵区、青藏高原区、新疆山地区)输电线路工程为研究对象, 通过文献查阅、野外调查并结合工程实例, 对山丘区输变电线路工程水土流失来源、影响因素及措施体系配置进行归纳和总结。[结果] 输变电线路工程主要水土流失来源分区可分为站区、道路区、临时堆置区、塔基区、牵张场区和弃土弃渣堆置区; 输变电线性工程水土流失具有不均衡性, 其中站区占水土流失量的比例最高, 达总水土流失量的48%~62%, 其次为塔基区, 其主要来源时段为施工期。[结论] 不同山丘区水土流失影响因素和防治重点差异显著, 水土保持设计时必须考虑土壤侵蚀形式的差异, 并因地制宜地配置水土保持措施。

关键词: 山丘区; 输变电线路; 水土流失; 水土保持措施; 生产建设项目

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2021)04-0151-07

中图分类号: S157.1

文献参数: 陈卓鑫, 李魁, 王文龙, 等. 不同类型山丘区输变电线路工程水土流失的来源、影响因素及措施体系配置[J]. 水土保持通报, 2021, 41(4): 151-157. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.04.022; Chen Zhuoxin, Li Kui, Wang Wenlong, et al. Sources, influencing factors, and controlling measures configuration of soil and water loss in power transmission line projects in different hilly and mountainous regions [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(4): 151-157.

Sources, Influencing Factors, and Controlling Measures Configuration of Soil and Water Loss in Power Transmission Line Projects in Different Hilly and Mountainous Regions

Chen Zhuoxin¹, Li Kui², Wang Wenlong^{1,3}, Feng Jia⁴, Pan Mingjiu⁵, Chen Xiaogang⁴, Meng Huan⁶, Wu Huan⁷

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

Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of

Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2.Administrative Examination and

Approval Service Bureau of Yangling Demonstration Zones, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3.Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100,

China; 4.State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou, Zhejiang 310007, China; 5.Economic and Technological Research Institute, State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou, Zhejiang 310020, China;

6.State Grid Gansu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Lanzhou, Gansu 730070; 7.Northwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group, Xi'an, Shaanxi 710075, China)

Abstract: [Objective] The characteristics of soil and water loss of different types of power transmission line projects (PTLPs) in hilly and mountainous regions were explored to provide a theoretical reference for the

收稿日期: 2012-03-12

修回日期: 2021-04-16

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: 陈卓鑫(1994—), 男(汉族), 湖南省邵阳市人, 硕士, 研究方向为土壤侵蚀。Email: xiyu.zxchen@foxmail.com。

通讯作者: 李魁(1979—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 硕士, 高级工程师, 主要从事人文地理学与城乡规划方面的研究。Email: 68249497@qq.com。

design, monitoring, and prevention of soil and water loss. [Methods] PTLPs in hilly and mountainous regions (low-elevation mountains and hills of Northeastern China, hilly loess region of Northwestern China, hilly region of Southern China, the Qinghai-Tibet Plateau, and the Xinjiang hilly region) in China were taken as the study object. Based on literature review, field investigations and engineering examples, the sources, influencing factors, and controlling measure configurations of soil and water loss in PTLPs of hilly and mountainous regions were studied. [Results] The main sources of soil and water loss in PTLPs could be divided into station area, road area, temporary stacking area, tower area, stretch field area and slag stacking area. The soil and water loss of the PTLPs was spatially variable. The station area accounted for the highest proportion of soil and water loss, which was up to 48%~62% of the total soil and water loss, followed by the tower area. The main source period was the construction period. The influencing factors of soil and water loss and the key points of prevention in the hilly and mountainous regions were significantly different. [Conclusion] There are significant differences in influencing factors and key points of prevention and control of soil and water loss in different hilly areas. Different forms of soil erosion should be considered in the design of soil and water conservation, and the allocation of controlling measures should be adapted to the local conditions.

Keywords: hilly and mountainous region; power transmission line project; soil and water loss; soil and water conservation measure; production and construction project

伴随着工业化、城市化进程的加快以及生产建设项目的日益增加,输变电路工程土壤侵蚀已成为水土保持研究的热点之一^[1-2]。人类通过扰动地表、破坏植被、修筑人工地形等不同的扰动方式对输变电路项目区的地貌进行重塑^[3],产生大量弃土弃渣体地貌单元,其边坡具有坡度大、结构疏松及土壤养分缺乏等特点^[4]。在暴雨作用下,易以“点状”或“线型”等形式造成边坡水土流失,影响周边环境生态功能。然而,我国输变电路工程跨越的生态功能区具有多样性和复杂性,不同气候、土壤和植被条件下的输变电路工程水土流失特征存在差异^[5]。

输变电路工程作为一种典型的点、线性相结合的生产建设项目,具有跨度广及扰动点分散等特点^[1]。就单个塔基而言,输变电路工程对地面的扰动呈点状,塔基施工占地较小,对地表的破坏程度较其他线性工程小;而以整个项目而言,其对地面的扰动呈线状,一些输变电路工程易跨越土壤环境敏感区、自然保护区及生物多样性优先保护区等重点生态功能区,这势必会对土地资源、生态景观及生态系统整体性产生重要影响^[6]。研究表明,输变电路工程水土流失具有不可控因素多、总体水土流失强度较小、局部点状水土流失强烈的特点^[7],相对于原地貌水土流失,输变电路工程建设引起的水土流失量可增大 5.1 倍^[8]。此外,根据线路组成、工程特性及施工建设等特点,不同水土保持类型区水土流失来源和水土流失特征差异显著^[9]。同时,我国山地丘陵面积约占国土总面积的 70%,而山丘是输变电路工程水土流失强度最大的水土保持类型区^[10]。因此,针对于山丘区的输变电路工程水土流失防治工作应予以足够

重视,山丘区输变电路工程水土流失研究亟需进一步的深入和完善。目前,国内研究多集中在城市生产建设项目水土流失特点研究^[11],而专门针对输变电路生产建设项目的研究则相对较少,特别是不同山丘区输变电路工程水土流失的来源识别以及水土流失分布的不均衡性研究较为鲜见^[12]。鉴于此,本文以中国不同山丘区输变电路工程为研究对象,对输变电路工程各区段水土流失来源、影响因素及措施体系配置进行归纳和总结,以期对山丘区输变电路工程水土流失防治提供参考。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

土壤侵蚀分区表征不同区域土壤侵蚀的类型、特点、分布及水土流失治理特征及其差异性。全国土壤侵蚀一级区划可分为水力侵蚀、风力侵蚀和冻融侵蚀三大类型区,其中水力侵蚀区一般分为 6 个二级土壤侵蚀类型区。基于土壤侵蚀分区,针对于山丘区且兼顾输变电路工程实际设计的可操作性,本研究选择东北黑土低山丘陵和漫岗丘陵区、西北黄土丘陵区、南方红壤丘陵区、青藏高原区 and 新疆山地区五大山丘区,具体的区域位置、气候类型、土壤类型和植被类型详见表 1。

1.2 数据来源

针对不同类型山丘区输变电路工程,本文各选取了一个典型输变电路工程项目进行分析。然而一些项目多跨越几个水土流失类型区,本文只选取了跨越山丘区的路段,项目的基本概况详见表 2。另外,在 2020 年 9—10 月分别对西北黄土丘陵区(甘肃)、南方红壤丘陵区(江西)、青藏高原区(青海)的输

变电线路工程进行了实地调研,对站区、塔基区、道路区、牵张场区、弃土弃渣堆置区等区域的水土流失、水

土保持措施等情况进行了考察,可为不同山丘区输变电线路工程水土流失分析提供支撑。

表1 不同类型山丘区分布位置及其主要气候、土壤、植被类型

山丘区	区域位置	土壤侵蚀类型区	主要气候类型区	主要土壤类型	主要植被类型
东北黑土低山丘陵和漫岗丘陵区	小兴安岭和长白山西部向松嫩平原过渡的山麓冲积、洪积平原地区	水力侵蚀区、冻融侵蚀区	温带季风气候区	黑土、黑钙土	乔木、灌木、草被
西北黄土丘陵区	太行山西侧西、日月山—贺兰山东侧、秦岭北侧、阴山南侧包围的区域	水力侵蚀区、风力侵蚀区	暖温带半湿润、半干旱气候区	黄绵土、黑垆土	乔木、灌木、草被
南方红壤丘陵区	大别山以南,巴山、巫山以东,西南至云贵高原,东南方向直至东南沿海并包括台湾、海南岛及南海诸岛	水力侵蚀区	热带、亚热带湿润气候区	红壤、棕壤	乔木、灌木、草被
青藏高原区	横断山脉以西,喜马拉雅山以北,昆仑山和阿尔金山、祁连山以南部分地区	冻融侵蚀区	寒带干旱区	高山草甸土	草被
新疆山区	天山、阿尔泰山地区	风力侵蚀区、冻融侵蚀区、水力侵蚀区	温带干旱半干旱气候区	棕漠土	草被

注:部分内容来源全国水土保持规划(2015—2030年)。

表2 不同类型山丘区典型输变电工程概况

山丘区类型	工程名称	工程水土流失防治责任范围/m ²	工程水土流失总量/t	工程塔基数目	线路区段选择	选定区段线路长度/km
东北黑土低山丘陵和漫岗丘陵区	某220 kV输电工程	147 500	1 027	220	黑龙江	71.0
西北黄土丘陵区	某800 kV特高压输电工程	2 563 800	144 017	455	陕西段	226.9
南方红壤丘陵区	某500 kV输电工程	2 203 800	20 689	517	福建	170.0
新疆山区	某750 kV输变电工程	1 962 200	11 862	700	新疆	324.0
青藏高原区	某400 kV输电工程	3 120 000	18 862	921	西藏段	421.1

2 山丘区输变电线路工程水土流失来源

2.1 水土流失来源环节

输变电线路作为线状点式工程,特别是对于超高压、特高压输电线路,线路路径与施工工期较长,地表扰动较大,水土流失较为严重^[13]。针对输变电线路工程建设的特点,将输变电线路水土流失的主要来源进行分区(表3)。由图1可知:①在山丘区,变电站区所在地为大多为山坡,建设过程中削坡平地等工程势必会改变原地貌形态,导致土壤表层裸露,同时改变原地表坡度,诱发新的水土流失。②塔基区内的浇筑杆塔基础、临时占地、修建护坡及排水沟等工程均需开挖。工程开挖改变开挖面的坡度,降低土壤的抗蚀能力,易发生沟蚀等,导致裸露坡面沟网发达,部分切沟沟深能

超过1 m,严重威胁塔基安全。③临时堆置区是由于施工产生的弃土弃渣临时堆存而形成的,其土质疏松、养分匮乏,若管理不当,遇暴雨易发生土壤侵蚀。④道路建设破坏用地范围内地表植被,施工中路基高填、路堑深挖产生新的裸露坡面,为土壤侵蚀提供物源地。调查中发现,对于土质道路而言,车辙的存在加快了径流汇集,股流极易对道路进行切割,两侧的深沟导致部分道路已无法正常通车。⑤牵张场区主要用于机械作业、材料堆放以及架线施工,主要施工活动是平整、动土、侵占地表。⑥工程开挖而产生弃渣堆置区,宜选择荒沟、凹地、支毛沟进行堆置。对单个塔基的弃渣,采取就近设置处置点处理。一般在弃渣、弃土、取土等区域,其水土流失强度往往会高出自然侵蚀强度的数倍^[14]。

表3 输变电线路工程水土流失防治分区及水土流失来源识别

序号	分区	工程建设特点与水土流失影响识别
1	站区	基础开挖大,产生大量临时弃土,表土裸露
2	塔基区	塔基开挖,呈点状破坏,地表植被破坏,塔基边坡裸露
3	临时堆置区	堆土松散,坡面基本无植被覆盖,土壤结构破坏
4	道路区	路堑开挖,呈线性破坏,地表植被破坏,路堑表土裸露
5	牵张场区	地面试被破坏,表土压实,表土裸露
6	弃土弃渣堆置区	地面平整,截排水沟修建,坡面基本无植被覆盖



图 1 山丘区水土流失实地调查

2.2 水土流失来源时段

根据建设类项目和水土流失预测要求,水土流失来源的主要时段可分为施工期(含施工准备期)和植被恢复期^[15](表 4)。土建施工对地表的扰动主要为:施工区域基础开挖和道路修建,这会对施工区地面、植被进行碾压、破坏,造成土壤结构破坏,地面裸露,失去植被保护,在外营力作用下易发生水土流失;在植被恢复期,由于地表土壤的植被状态还处于恢复阶段,植被的保护作用有限,在遭遇降雨、降雪时易发生

水力侵蚀、冻融侵蚀等。另外,输变电工程水土流失强度与各期工程的施工内容也密切相关。一般来说,随着施工的进行,水土流失会逐步递减。例如,变电站区在施工阶段对地表扰动相当剧烈,从而引起的流失强度也大。随着工程的进行,对地表扰动相对缓和,相关的水土保持措施也陆续发挥效用,使水土流失减少。水土保持监测数据也表明施工期(含施工准备期)是输变电路工程产生的水土流失最大的时段^[7]。

表 4 输变电路工程不同区段水土流失主要来源时段

主要水土流失来源区	主要时段	扰动强度	水土流失来源
站区	施工期(含施工准备期)	强	平整场地、基础开挖、材料堆放压占、扰动地表
	植被恢复期	弱	自然侵蚀
塔基区	施工期(含施工准备期)	强	平整场地、基础开挖、表土剥离、扰动地表、植被破坏、临时堆土
	植被恢复期	弱	自然侵蚀
道路区	施工期(含施工准备期)	强	表土剥离、扰动地表、人力和运输机械压占地表
	植被恢复期	弱	自然侵蚀
弃土弃渣堆置区	施工期(含施工准备期)	强	地表裸露、土质疏松、植被破坏
	植被恢复期	弱	自然侵蚀

3 不同类型山丘区输变电路工程水土流失特征

山丘区输变电路工程主要水土流失来源分区

特征如图 2 所示。①就同一山丘区而言,各分区水土流失量所占比例具有明显的差异,站区总水土流失量的比例最高,达总水土流失量的 48%~62%,其次为塔基区。这与站区的基础开挖、临时堆土和土方回填

有关,施工扰动和破坏面积相对其他项目分区大。站区和塔基区的原始地貌遭到破坏,土体结构被破坏,土壤抗蚀能力降低,水土流失量较大。因此,站区和塔基区在施工前剥离表土后应根据当地气候、地形等条件妥善地集中堆放于临时堆置区内,并采取临时遮挡和排水等防护措施,如在施工时坡脚处修建挡墙,坡上方设截水沟,边坡处布设护坡,在斜坡上布设排水沟。施工结束后进行土地整治、植被恢复或复垦。

②就不同山丘区而言,南方红壤丘陵区在站区的水土流失量占比最高,青藏高原区在塔基区的水土流失量占比最高,这可能与水土流失形式和影响因素有关。如南方红壤丘陵区,其降雨量较其他区大,若不及时进行水土流失防护,施工中形成的裸露边坡可能在一次暴雨后就会形成较大的水土流失量^[16]。因此,基于山丘区输变电线路工程水土流失特征不均衡性的特点,在针对山丘区输变电线路工程的水土流失防治时,应充分重视水土流失占比大的分区。

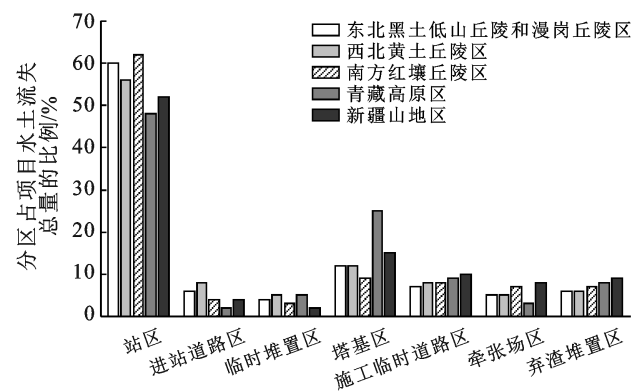


图2 不同类型山丘区输变电线路工程分区水土流失所占比例

4 不同类型山丘区输变电线路工程水土流失的影响因素

我国山丘区面积分布广泛,不同区域山丘区气候、土壤、植被等条件(水、热状况)存在较大差异,其决定了不同性质的外营力作用及其强度组合,且在组合中各种侵蚀的相对重要性不同^[17]。山丘区输变电线路工程建设过程易发生的土壤侵蚀形式主要包括水力侵蚀、风力侵蚀及冻融侵蚀,不同区域发生水土流失的影响因素具有差异。①东北黑土低山丘陵和漫岗丘陵区土壤侵蚀类型主要包括水力侵蚀、冻融侵蚀、风力侵蚀及混合侵蚀^[18]。水力侵蚀主要发生于6—9月,由于坡面较长、汇水面积较大,降雨时易形成径流集中冲刷,导致水土流失;风力侵蚀是东北地区重要的土壤侵蚀方式,常发生在1—5月。此区域气候变化导致的土体冻融交替现象普遍发生,由于冻

土膨胀,常出现冻裂,这些裂缝在夏季土体融化时也不能复合,严重威胁塔基和线路安全。另外,冻融侵蚀往往不是独立发生的。一方面,冻融作用与水力作用互为条件,相互促进;另一方面,受冻融作用影响的土壤除直接发生冻融侵蚀外,亦极易成为风力侵蚀的物质来源^[19]。因此,混合侵蚀将给架空输电线路工程的稳定性和运行安全带来极大的影响。②西北黄土丘陵区地貌形态极为复杂,区域内垂直变化剧烈。由于区域内活跃的水力、风力、重力等侵蚀营力作用,导致土壤侵蚀剧烈,生态环境脆弱^[20]。黄土丘陵区降水具有雨热同期的特征,年内降雨多集中于6—9月且多短时暴雨,加之黄土具有土体疏松,垂直节理发育,具有湿陷性,遇水后土体迅速分解、崩解。同时,作为发生水土流失的诱因,区内滑坡、崩塌、地面塌陷、沉降等活动频繁,对输变电线路工程施工及运行安全产生极大威胁。此外,区内水资源有限,植被营建难度较大,大面积的地表裸露加剧了风力、水力侵蚀^[21]。③南方红壤丘陵区土壤侵蚀类型以水力侵蚀为主,并伴有崩岗等重力侵蚀。水力侵蚀来源于区域内丰沛的降雨,以长历时降雨为主,地表形成径流易对地表进行冲刷^[22]。红壤丘陵区输电线路塔基一般位于通常难以徒步抵达的山坡高处,为方便工程施工往往会修筑施工便道,此类便道土层裸露,雨水冲刷作用强烈,其表面径流会对路面两侧的下坡面产生冲刷,破坏坡面土层。崩岗为主的重力侵蚀则主要发生于花岗岩区,塔基面重力侵蚀严重威胁塔基稳定与安全^[23]。④青藏高原区土壤侵蚀以冻融侵蚀为主。区域内冻融侵蚀主要表现为结节性冻土区的自然冻融作用及发生于季节性冻土区和永久冻土区由于人为施工不当带来过量热量变化造成的人为性质的冻融作用,一般还伴随风力侵蚀的产生。此区域输变电线路工程往往不得不选址于山丘区,普遍缺乏植被覆盖,部分区域甚至完全为裸露,导致风化、侵蚀、搬运作用强烈。此外,区域独特的高寒草甸、高寒草原及高寒沼泽草甸等高寒植被、地表结皮一旦遭到破坏几乎不可逆转,加剧了区域生态破坏^[24]。⑤在新疆山地区,由于地表以砂砾、薄层土层覆盖为主,风力侵蚀易造成输变电线路工程塔基松动^[25]。冻融侵蚀则主要来源于季节性冻土区冻融作用的影响,造成塔基面变形。与东北低山丘陵和漫岗丘陵区 and 青藏高原区类似,针对冻融侵蚀,对于冻土区内的输变电线路工程,应当进行合理的工期规划,规避季节性冻融侵蚀带来的影响,亦应注意施工时热量变化引发的冻融侵蚀,可采用冻土区专业塔基施工技术保障施工安全及塔基稳定。

5 输变电线路工程不同区段水土保持措施配置

根据水土保持措施布设原则,通过工程措施、植物措施及临时措施等多种水土保持措施形成综合防治体系,以达到防治水土流失的目的。在进行措施布设时,应根据主体工程、地形地貌、地质条件等环境状况和各项建设分区的水土流失特点,确定各区的防治重点和措施配置^[26],不同分区的总体水土流失防治措施详见表 5。通过表土剥离回用、平整土地、增加植被,提高了项目区土壤植被涵养水源能力,减少了项目区土、肥流失,可有效提高土地生产力。坡面防护措施可有效防止崩塌、滑坡等重力侵蚀。站区通过景观绿化、美化,促进了工程建设和生态环境协调发展。道路区、牵张场区、弃渣堆置区通过植被恢复可改善土壤水分、团粒结构、孔隙率等,提高土壤抗蚀性,水土流失得到基本控制。水土保持工程、植被措施实施后,扰动地面的植被得到恢复,生态效益显著。

山丘区不同区段输变电线路工程的水土流失防治措施具有差异,需要因地制宜地配置水土保持措施。①对主体工程设计的稳定边坡,应布设边坡防护措施。主要护坡措施有工程护坡、植物护坡、工程和植物相结合的综合护坡。对于不同山丘区护坡措施适配而言,在降水条件允许的低缓坡(如南方红壤丘陵区),应布设植物护坡措施,而对于高(或陡)边坡,应布设植物和工程相结合的综合护坡措施。在降水少的地区则不宜布设植物措施(如西北黄土丘陵区、新疆山地区等),应以工程护坡措施为主。在东北黑土地山丘陵和漫岗丘陵区,坡长一般较长,汇水面积相对较大,降雨时易集中汇流,坡脚容易遭受水流冲

刷的边坡,应布设工程护坡措施。另外,如在南方湿润地区或北方多雨季节,一般以蓄满产流的形式形成径流;而在北方干旱地区或南方少雨季节,只有当降雨强度大于下渗强度时才产生径流。因此,在进行水土保持径流调控设计时,必须先明确坡面产流机制。

②在易受风沙危害的区域(如新疆山地区),应布设防风固沙措施(沙障及其配套固沙植物等)。同时,此地区的土壤一般砾石含量高,土壤养分含量欠缺,植被恢复能力较弱。输变电线路工程塔基区的土石方多采用就地平衡,在施工过程中应减少地表土壤的破坏及加强表土利用,特别是对于青藏高原的高原草甸应注重草皮的剥离、保护和利用。调查中发现这些地区的植被一旦被破坏就难以恢复,塔基附近的植被多呈斑状分布。③由于山丘区侵蚀营力的差异,山丘区输变电线路工程的水土流失防治措施侧重点也各不相同,东北山丘陵和漫岗丘陵区的水土保持重点在 3—5 月的冻融—水力混合侵蚀;青藏高原区、新疆山地区防治重点在于冻融侵蚀和风力侵蚀;西北黄土丘陵区 and 南方红壤丘陵区则在水力侵蚀。④针对于有冻土存在的山丘区,尤其是在青藏高原的多年冻土区,冻土的冻胀、融沉、流变移位问题会对塔基产生冻拔、不均匀沉陷、流变移位和扭转变形等问题。因此,在水土保持设计时,首先通过输变电线路选线、塔基类型和施工时间的合理确定,可在很大程度上避免或减少冻融灾害的产生。其次,施工前须做好排水措施,防止地表水、地下水与地基多年冻土接触是保证冻土稳定的关键。同时,冻土区基础玻璃钢模板成型技术可缩短基坑暴露时间,从而减少水化热对冻土的影响^[27]。在适配坡面防护措施时,应考虑工程材料的耐冻、隔热、胀缩性等性能^[28]。

表 5 山丘区输变电工程不同区段水土保持措施布设

分区	水土保持措施	相关因素	布设内容
站区	工程措施	地质、地形、降雨、周边环境	边坡防护工程、挡土墙、排水措施、表土剥离
	临时措施	周边环境、总平面布置	土石方平衡、临时拦挡、苫布覆盖、临时土质排水沟
	植物措施	土壤特性、气候条件、植物适应性、水土保持功能性	边坡和空地绿化美化站区、景观设计
塔基区	工程措施	地质、地形特征、汇水面积等	挡土墙、边坡防护工程、截排水沟
	临时措施	气候条件、周边环境	装土袋临时拦挡、苫布覆盖、排水沟、沉沙池
	植物措施	周边环境、总平面布置	全面整地、栽植植被
临时堆置区	临时措施	地形与土壤因素、降雨等气候因素、施工组织	草袋装土临时拦挡、苫布覆盖、临时土质排水沟、围栏
道路区	工程措施	地质、地形特征、与现有道路结合、土石方平衡	边坡防护工程、挡土墙、排水措施
	临时措施	气候条件、周边环境	草袋装土临时拦挡、临时土质排水沟、洒水降尘
	植物措施	气候条件、地形地质、景观设计	全面整地、栽植植被
牵张场区	植物措施	恢复植被、地貌、景观条件	全面整地、栽植植被
弃渣堆置区	工程措施	管理措施、自然因素、总平面布置、施工安排	护坡和挡墙、排水措施、沉沙池
	临时措施	地形特征、周边环境	苫布覆盖、临时土质排水沟、围栏
	植被措施	土壤特性、降雨特征、植被适应性、景观配置	土地整治、撒播草籽

输变电线路工程技术的发展也有效地削弱建设项目对周边环境的影响。例如,线路选择技术、线路施工技术、水土保持新技术等^[29](表6)。同时,在山丘区,高低腿配合全方位不等高基础得到了全面应用,尤其经过林区时采用的加高杆塔跨越方式,其根据实际地形自由调节组合,能够很好地适应塔位原地形,在施工过程中大大地降低了对塔位附近植被的损坏程度,这样可以减少土石方开挖量,减少了水土流失^[30]。针对塔

基区的土石方宜就地平衡的特点,尤其是在青藏高原区,采取筒式或螺旋钻头旋挖机技术来进行成孔施工,有效减少了挖方量及扰动面积。另外,输变电工程建设会对自然景观造成了一定程度的破坏,导致不同尺度的“生态伤疤”。因此,在水土保持措施设计中,在防治水土流失的同时也应该加强植被恢复措施的布置和设计,并注重景观设计的要求,尤其是在办公生活区应提高植被建设标准,宜采用园林式绿化。

表6 输变电线路工程新技术及其特点

输变电线路工程技术	相应技术	具体内容	适用性
线路选择技术	3S技术	数字化摄影测量结合遥感技术	应用灵活,更能有效的优化路径,适用所有区域
线路施工技术	动力伞展放导引绳技术	环保型的飞行器导引绳展放	适用于跨越物多、农田多、山区树多的区域
水土保持技术	护坡技术	插筋补强护坡技术	适用于等陡峭的边坡
		灰土护坡技术	适用于降雨量较大的坡面
		SNS防护	适用于有潜在地质灾害的坡面,施工简捷,防护效果好
	土地整治技术	三维排水柔性生态袋护坡	生态、环保与柔性相结合的护坡技术
		隔坡、反坡整地技术	适用于山区地形
	植被恢复技术	坡式梯田整地	适用于8°~15°的坡耕地
		喷混植生强制绿化法	用于对所有岩体坡面,进行强制性的快速绿化,但费用较高
		液压喷播	适用于站区等平整地

6 结论

(1) 输变电线路工程水土流失来源主要有站区、道路区、临时堆置区、塔基区、牵张场区和弃渣堆置区。站区占水土流失量的比例最高,达总水土流失量的48%~62%。

(2) 山丘区架空输电线路工程土壤侵蚀时段分布集中,主要时段在施工期,土壤侵蚀空间分布分散,各塔基影响区域虽不连成片却广泛分布于整条线路。

(3) 不同类型山丘区发生水土流失的影响因素和防治重点具有差异,在水土保持设计和治理时必须考虑不同山丘区土壤侵蚀形式的差异,应因地制宜地配置水土保持措施。

[参 考 文 献]

- [1] 蔡莹,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(S2):51-54,84.
- [2] 刘皓.高原地区输变电工程水土保持生态保护及恢复途径探析[J].中国水土保持,2018(8):12-14.
- [3] 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.
- [4] 陈卓鑫,王文龙,康宏亮,等.砾石对红壤工程堆积体边坡径流产沙的影响[J].生态学报,2019,39(17):6545-6556.
- [5] 罗霞,华国春.输变电建设水土流失特点与水土保持监测[J].安徽农业科学,2015,43(13):182-183.
- [6] 黄志元,刘宝华,崔星怡,等.输变电工程对土壤环境的

影响及其防控[J].农业资源与环境学报,2019,36(5):561-569.

- [7] 马士新,毕超,徐化东,等.110 kV 架空输电线路水土保持措施体系配置研究[J].水土保持通报,2010,30(6):162-165.
- [8] 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.
- [9] 闫超,张娜娜,赵言文.江苏省输变电类生产建设项目水土保持综合评价[J].水土保持通报,2014,34(2):120-123.
- [10] 闫超,张娜娜,赵言文.江苏省输变电类生产建设项目水土流失特点分析[J].江西农业学报,2013,25(10):114-117.
- [11] 邵薇薇,张海行,刘家宏,等.丘陵区海绵城市建设模式研究:以凤凰县为例[J].水利水电技术,2017,48(5):6-13.
- [12] 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:以蒙西一天津南输变电工程为例[J].水利水电技术,2018,49(10):28-36.
- [13] 闵兴华,张洋,王新军,等.江苏省生产建设项目水土流失特点[J].水土保持通报,2014,34(6):126-130.
- [14] 李建明,王志刚,张长伟,等.生产建设项目弃土弃渣特性及资源化利用潜力评价[J].水土保持学报,2020,34(2):1-8.
- [15] 赵力,廖彤,汤泽平,等.500 kV 国安输变电工程穿越水源保护区的生态影响与生态保护调查分析[J].生态科学,2019,38(3):107-115.

- ploration with the simplified simple biosphere model [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 79(2/3): 225-242.
- [13] Coutts A M, Harris R J, Phan T, et al. Thermal infrared remote sensing of urban heat: Hotspots, vegetation, and an assessment of techniques for use in urban planning [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 186:637-651.
- [14] Caccamo G, Chisholm L A, Bradstock R A, et al. Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(10):2626-2639.
- [15] 张恩伟,彭双云,冯华梅.基于 GIS 和 RUSLE 的滇池流域土壤侵蚀敏感性评价及其空间格局演变[J].*水土保持学报*, 2020, 34(2):115-122.
- [16] Liu Youcun, Ding Qianqian, Chen M, et al. Analyses of Runoff and Sediment Transport and their Drivers in a rare earth mine drainage basin of the Yangtze River, China [J]. *Water*, 2020, 12(8): 2283.
- [17] 边晓辉,刘燕,丁倩倩,等.浙江省湖州市土地利用和覆被变化对热岛效应的响应[J].*水土保持通报*, 2019, 39(3):263-269,275.
- [18] 王宇,杨光,韩雪莹,等.内蒙古 1990—2018 年土地利用变化及生态系统服务价值[J].*水土保持学报*, 2020, 34(5):244-250.
- [19] 王勇,王世东.基于 RSEI 的生态质量动态变化分析:以丹江流域(河南段)为例[J].*中国水土保持科学*, 2019, 17(3):57-65.
- [20] 朱冬雨,陈涛,牛瑞卿,等.基于移动窗口遥感生态指数的矿区生态环境监测与评价[J/OL].*武汉大学学报(信息科学版)*: (202001-08) [2020-12-30]. <https://doi.org/10.13203/j.whugis.20190122>.
- [21] Baig M H A, Zhang L, Shuai Tong, et al. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance [J]. *Remote Sensing Letters*, 2014, 5(4/6):423-431.
- [22] Chen Chao, Fu Jiaoqi, Zhang Shai, et al. Coastline information extraction based on the tasseled cap transformation of Landsat-8OLI images [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2019, 217(5):281-291.
- [23] 王君,杨晓梅,隋立春,等.西安市 1995—2016 年植被覆盖度动态变化监测及景观格局分析[J].*生态科学*, 2019, 38(6):81-91.
- [24] Masina M, Lambertini A, Irene Daprà, et al. Remote sensing analysis of surface temperature from heterogeneous data in a maize field and related water stress [J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(15):2-31.
- [25] Xu Hanqiu. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(13/14):4269-4276.
- [26] Roy P S, Rikimaru A, Miyatake S. Tropical forest cover density mapping [J]. *Tropical Ecology*, 2002, 43(1):39-47.
- [27] 徐涵秋.利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J].*遥感学报*, 2005, 9(5):589-595.

(上接第 157 页)

- [16] 陈洋,张海东,于东升,等.南方红壤区植被结构类型与降雨模式对林下水土流失的影响[J].*农业工程学报*, 2020, 36(5):150-157.
- [17] 王磊.多种外营力作用的黑土坡面复合土壤侵蚀过程与机理研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学, 2020.
- [18] 郑粉莉,张加琼,刘刚,等.东北黑土区坡耕地土壤侵蚀特征与多营力复合侵蚀的研究重点[J].*水土保持通报*, 2019, 39(4):314-319.
- [19] 范昊明,蔡强国,王红闪.中国东北黑土区土壤侵蚀环境[J].*水土保持学报*, 2004, 18(2):66-70.
- [20] Guo Wenzhao, Chen Zhuoxin, Wang Wenlong, 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.
- [21] 胡春宏,张晓明.黄土高原水土流失治理与黄河水沙变化[J].*水利水电技术*, 2020, 51(1):1-11.
- [22] 李桂芳,杨任翔,谢福倩,等.不同土地利用方式下赤红壤坡面土壤侵蚀特征[J].*水土保持学报*, 2020, 34(2): 101-107.
- [23] 王佳妮,马戊,张晓明.干湿循环下崩岗土体裂隙发育对其渗透性能的影响[J].*水土保持学报*, 2021, 35(1): 90-95.
- [24] 张宇,易仲强,张习传,等.西藏输变电工程水土流失特点及防治措施分析[J].*中国水土保持*, 2015(6):65-67.
- [25] 洪传勋.新疆戈壁荒漠区域风蚀影响因子分析[J].*中国水土保持科学*, 2013, 11(S1):25-28.
- [26] 潘晓颖,张长伟,孙蓓.输变电工程特征及其水土流失防治措施[J].*人民长江*, 2016, 47(23):28-30.
- [27] 王光丽.高海拔地区电网工程冻土施工技术效果评价研究[D].北京:华北电力大学, 2016.
- [28] 杨贺菲,张长伟,陈兰.西藏水土流失特征及生产建设项目水土保持措施设计:以川藏铁路拉萨至林芝段供电工程为例[J].*中国水土保持*, 2020(5):30-32.
- [29] 孙强,雷磊,邹斌,等.输变电工程水土保持在线监测系统关键技术研究[J].*水土保持通报*, 2018, 38(2): 241-245.
- [30] 汪立峰.500 kV 输电线路设计中的水土保持问题[J].*电力建设*, 1999(8):27-29.