

保障北京冬奥绿色电能电力组团工程 水土保持设计与应用

曾发意¹, 王丹¹, 王召召², 王晓楠¹, 金永亮¹, 梁亭¹

[1. 北京安睿捷科技有限公司, 北京 100193; 2. 陕西煤业化工建设(集团)有限公司, 陕西 西安 710021]

摘要:保障北京冬奥绿色电能电力组团工程作为北京 2022 年冬季奥运会配套电网工程的重要组成部分, 在设计和施工过程中, 通过优化施工工艺、采用三维投影技术、利用 GPS 虚拟交桩、模拟施工过程等方法, 减小了工程扰动土地面积和土方开挖量, 工程最终达到零弃方; 通过应用高低腿开挖、无人机放线、货运索道等技术, 减少了工程建设对周围环境的破坏; 通过对原塔改造升级, 解决了历史挂渣问题; 通过采用坡面排水工程、SNS 柔性防护网、浆砌石分级护坡、挡土墙、植被恢复等技术创新高陡边坡治理, 减少了水土流失。该工程采用的新技术新方法可复制, 推广性强, 为输变电工程项目水土保持新技术的应用起到了良好示范作用。

关键词:水土保持; 新技术; 保障北京冬奥绿色电能电力组团工程; 输变电工程

中图分类号: S157 **文献标识码:** B **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-0941.2025.03.023

引用格式: 曾发意, 王丹, 王召召, 等. 保障北京冬奥绿色电能电力组团工程水土保持设计与应用[J]. 中国水土保持, 2025(3): 87-90.

随着我国经济建设的突飞猛进, 各地的电力需求日益增加, 输变电工程开发建设规模日益增大。输变电工程在建设过程中势必扰动地表、破坏植被, 造成水土流失^[1], 加之近几年北方地区出现的水资源短缺、水土流失治理任务重、人为水土流失加剧等突出问题, 急需应用一些新技术新方法新经验来减少水土流失, 保护生态环境。关于输变电工程水土保持新技术的研究和论述国内已有一些, 但应用还不够广泛。因此, 为了加快实施绿色可持续发展战略, 在输变电工程建设中采用水土保持新技术意义重大^[2]。笔者通过对保障北京冬奥绿色电能电力组团工程水土保持设计与应用进行研究分析, 总结工程中水土保持新技术的应用, 以期输变电工程项目水土保持新技术的应用起到示范作用。

1 工程概况

保障北京冬奥绿色电能电力组团工程作为高质量建设冬奥的电力工程, 服务于绿色冬奥, 为北京 2022 年冬奥会和冬残奥会提供了安全可靠、绿色清洁的电力服务, 为服务生态文明建设、助力首都率先实现“双碳”目标作出了新的贡献, 为“双奥之城”北京向世界呈现“绿色成绩单”提供了有力支撑。

该工程由张南—昌平Ⅲ回 500 kV 输变电工程、张北柔直北京换流站至昌平 500 kV 送出工程和西白庙 220 kV 输变电工程组成。张北的风电在张北柔直北京换流站完成从直流到交流的转换后, 再通过北京 500 kV 环网输送到北京各赛区、通过延庆地区 220 kV 电网输送到延庆赛区, 保障赛时国家雪车雪橇中心、国家高山滑雪中心、延庆奥运村、延庆山地媒体中心等 5 个奥运场馆及配套设施的绿电应用。工程助力奥运史上首次实现所有场馆 100% 使用绿色电力, “张北的风点亮北京的灯”成为国家电网的亮丽新名片。

张南—昌平Ⅲ回 500 kV 输变电工程起点位于张南 500 kV 变电站, 线路途经河北省涿鹿县、怀来县, 北京市延庆区、昌平区, 终点位于昌平 500 kV 变电站, 路径全长 120 km, 采取同塔双回建设, 单边挂线, 航空线长 85.5 km, 曲折系数 1.40, 沿线海拔 500~1 150 m。另外, 改造张南变出线张南—沙岭子 I、II 回线路 0.65 km, 采取同塔双回建设, 单边挂线。全线杆塔总

收稿日期: 2024-05-16

第一作者: 曾发意(1996—), 男, 陕西安康人, 工程师, 硕士, 主要从事水土保持设计与监测、小流域治理等工作。

通信作者: 王丹(1990—), 女, 河南浚县人, 工程师, 硕士, 主要从事水土保持设计与监测、小流域治理等工作。

E-mail: 1184198259@qq.com

数量 276 基,其中直线塔 195 基、耐张塔 81 基。

张北柔直北京换流站至昌平 500 kV 送出工程新建延庆区 500 kV 换流站双回架空出线 0.14 km,新建铁塔 4 基,利用现状张昌 I 回路路径及铁塔敷设架空线路 45.90 km,新建昌平 500 kV 变电站双回架空进线 600 m,新建铁塔 3 基,改造现有铁塔 99 基。

西白庙 220 kV 输变电工程新建西白庙变电站 1 座,220 kV 架空线路 4 回、110 kV 电缆出线 12 回,新建双回架空线路 31.7 km,新建铁塔 88 基,新建电力隧道 2.8 km。

2022 年 4 月,在北京冬奥会、冬残奥会总结表彰大会上,国网北京市电力公司作为基础保障单位获得了北京冬奥会、冬残奥会突出贡献集体荣誉,习近平总书记在发言中感慨“冬奥 7 年艰辛,奋斗铸就辉煌”。保障北京冬奥绿色电能电力组团工程自 2015 年开始,历时 7 a,圆满地托举了“双奥之城”的绿色电能,用最高标准保障了赛事和城市顺畅运行。

该工程的水土保持设计使项目区环境与经济发展走上良性循环,提高了项目区的环境容量,有效减少了水土流失对生态环境的破坏,对当地及周边经济社会的持续发展具有积极意义^[3]。工程先后获得 2022 年国家水土保持示范工程、2023 年中国水土保持学会优秀设计奖等荣誉,对日后开展输变电工程水土保持设计具有极强的指导意义。

2 工程主要技术难点

2.1 工程穿越重要保护区,水土保持设计难度大

该工程涉及北京市与河北省,线路穿行长城文物保护区和十三陵文物保护区,同时沿途还涉及众多的军事设施和军事保护区,以及八达岭—十三陵风景名胜区、永定河等,共跨越公路、铁路、河流和输变电线路等 94 次。由于工程跨越多,沿线文物和军事敏感因素多,环境保护和水土保持等方面要求高,因此水土保持设计难度大。

2.2 工程涉及区域情况复杂,水土保持工作开展难度大

由于工程途经国家级水土流失重点治理区和省级水土流失重点治理区,且张昌 I 回线路建设较早,当时水土保持意识薄弱,80 余座铁塔处还存在遗留的土石渣,因此如何在复杂情况下顺利开展水土保持工作,减轻对周围环境的破坏,解决历史遗留问题,成为

工程建设中的主要难点之一。

2.3 工程施工环境恶劣,水土流失治理难度高

工程建设总征占地面积达 51.55 hm²,土石方挖填总量 30.13 万 m³。工程施工工期跨越多个雨季,建设区域生态环境敏感,全线丘陵区占比 20%、山地区占比 80%,有 90 余座铁塔全部位于高陡边坡区域,施工难度更大、水土流失治理难度更高,常规施工方式会大大增加扰动面积和土石方,导致水土流失风险提升,水土流失治理难度增大。

3 工程中水土保持新技术的应用

3.1 穿越重要保护区,减少土地扰动

针对工程跨越情况复杂、涉及区域敏感的情况,决定采用低扰动塔基开挖技术和不落地放线技术,搭配低扰动运输方式共同协作,达到减少土地扰动的效果。具体采用高低腿开挖、无人机放线、货运索道等技术。

1) 低扰动塔基开挖技术——高低腿开挖。采用此技术可以少开或不开基面,达到保护植被、防止水土流失的最佳效果。在起伏较大的山丘区,采用高低腿开挖方式可避免修建工作平台,减少降基,最大限度适应山地地形变化,既能减少水土流失,又能减少土地扰动。

2) 不落地放线技术——无人机放线。对比以往的放线方式,无人机放线可避免施工人员行走和牵引线对沿线地表植被的双重扰动。同时,采用无人机放线方式既能节省人力,又能降低施工难度,还能有效减少对生态环境的破坏,减少水土流失效果显著。

3) 低扰动运输方式——货运索道。该工程全线地形情况为丘陵区占比 20%、山地区占比 80%,材料运输自始至终都是一大难题。人拉肩扛、骡子驮运效率不高,车辆运输又要修建临时便道,增加扰动面积,且施工临时便道植被恢复难度较大。而采用货运索道的运输方式,既能提高运输效率,又能减少施工扰动。

3.2 改造升级,解决遗留水土流失问题

本次升级改造塔基 99 座,敷设架空线路 45.9 km,改造期间项目存在历史挂渣问题,因此针对每一座塔基都设计了独立的水土保持工程,形成了融护坡、挡墙、排水、柔性防护、植被恢复为一体的综合防护体系,及时解决了历史遗留问题,提高了老旧退运

线路走廊资源利用效率。

3.3 根据不同坡度分别设计水土保持措施体系,创新高陡边坡治理技术

塔基周围存在较多高陡边坡,根据不同坡度分别设计水土保持措施体系,创新高陡边坡治理技术,综合防治水土流失,从根本上减少了工程土石方开挖和工程占地,减轻了对地表的扰动,在保护生态的同时亦节约了建设资金^[4]。

3.3.1 坡度 $<15^\circ$ 的较缓边坡

在山地丘陵线路中,塔基位于较缓边坡开挖土方时,在保证塔腿能露出地面的前提下,尽量不降基或少降基,直接从天然地面开挖,保留原地形和植被。同时,采用坡面排水沟、植被恢复等措施综合防治水土流失。

3.3.2 $15^\circ \leq$ 坡度 $<25^\circ$ 的较陡边坡

在山地丘陵线路中,塔基位于较陡边坡开挖土方时,在保证塔腿能露出地面的前提下,尽量不降基,基坑开挖不得超深,基坑不要一次挖到设计埋深,预留 200 mm,在浇制混凝土时挖至设计深度。同时,采用坡面排水沟、干砌石护坡、浆砌石护坡和植被恢复等措施体系综合防治水土流失。

3.3.3 坡度 $\geq 25^\circ$ 的高陡边坡

在山地丘陵线路中,塔基位于高陡边坡时,土方开挖极易产生水土流失。施工过程中采用高低腿开挖方式,在一定坡度范围内达到完全不降基,大大减少了土方开挖量。同时,采用排水沟、SNS 柔性防护网、浆砌石分级护坡、挡土墙和植被恢复等完善的水土保持措施体系,减少了水土流失。

1) 排水工程。塔基坡度较陡时,山坡一侧汇流的雨水极易对塔基造成冲刷,依照山势布设排水沟可拦截和排除产生的地表水,最终排入自然沟道。

2) 坡面防护工程。① SNS 柔性防护网。高陡边坡易造成山体滑坡、块石滚落,采用 SNS 柔性防护网可避免土体滑落、块石滚落导致的植被破坏及水土流失现象。② 浆砌石分级护坡。坡度 $\geq 25^\circ$ 时采用浆砌石护坡,护坡的外露高度不大于 6 m,大于 6 m 时采用分级护坡的方式。③ 挡土墙。在山地丘陵线路中,若塔基开挖面破坏了原有土体稳定结构,且坡度陡峭,在实施护坡的情况下也不能保持稳定,则必须修建挡土墙。

3) 植被恢复。工程措施实施后对扰动区域进行

植被恢复,与项目环境相呼应,形成一定的景观效应。

3.4 利用 3S 先进技术手段,减少水土流失

1) 利用 3S 技术形成地图协作系统,对项目全线及周围地理环境进行了精准调查分析,准确识别项目现场的高陡边坡、植被和岩石等,为一塔一图及水土保持专项设计提供了有力支撑,并合理调配了塔基周围土石方,最终达到零弃方。

2) 依托地图协作系统,充分利用现有道路作为施工便道;无道路区域,采用索道运输技术,节省了人力物力,提升了施工效率,减少了临时施工道路修筑及树木砍伐,从而减少了地表扰动和植被破坏。该项目具体设计中,利用 3S 技术手段,经过图像数据统计,施工线路中 26% 的施工便道占用原有乡村便道,只是在原来基础上加以整修,其余的 74% 采用索道运输技术。

3) 利用地图协作系统结合现场情况选择牵张场和临时占地范围。张南—昌平Ⅲ回 500 kV 输变电工程设牵张场 26 处,面积共计 3.64 hm^2 ;西白庙 220 kV 输变电工程设牵张场 9 处,面积共计 0.45 hm^2 ;张北柔直北京换流站至昌平 500 kV 送出工程设牵张场 9 处,面积共计 0.45 hm^2 。另外,项目依托数据资料利用三维投影模拟施工过程,在土石方开挖重点阶段提前规划,预估土石方挖填量,采取措施减少土石方挖填和地表扰动,减少了水土流失。

3.5 新材料、新技术的应用

1) SNS 柔性防护系统技术自 1995 年引入中国以来,已大量成功地应用于国内铁路、公路、水电站、矿山和市政工程,解决了传统边坡防治措施难以解决的大量难题,但在输变电工程领域使用较少,过往输变电工程多使用圪工防护形式。SNS 柔性防护网具有安装快捷方便、防护作用强、成本低、经久耐用、维护简单、美化沿线景观等优点。该工程共计实施 SNS 柔性防护网 1.0 hm^2 ,对土体或块石进行保护,以避免土体滑落、块石滚落导致的植被破坏及水土流失现象。

2) 工程在设计过程中贯彻项目全寿命周期管理的理念,推广应用输电线路机械化施工锚杆基础设计技术、掏挖岩石锚杆复合基础设计技术和输电线路机械化施工桩基础技术等新技术,减少了工程施工扰动和土方挖填,为水土保持工作顺利开展奠定了基础,实现了工程功能可靠,节约建设和运行总体成本,推进基建标准化建设,又好又快建设“资源节约型、环境

友好型”输电线路的目标,转变了国网北京市电力公司电网建设的方式。

4 效益分析

4.1 水土流失治理度提高,土壤侵蚀模数降低

项目位于北京市和河北省,其水土流失防治标准执行一级标准。根据《生产建设项目水土流失防治标准》(GB/T 50434—2018)中对建设类项目水土流失防治一级标准的要求,该项目在施工过程中通过优化施工工艺,因地制宜将水土保持工程措施、植物措施、临时措施有机结合,使项目建设区内的水土流失得到有效控制。截至设计水平年(2022年),项目区水土流失治理度达 99.17%,平均土壤侵蚀模数降至 $197 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,均超过国家标准规定的要求。

4.2 林草覆盖率升高,生态系统趋于稳定

随着项目区水土保持综合治理措施的全面实施,项目区林草覆盖率由 78.10% 提升至 83.38%,植被盖度显著增大,土壤水分、团粒结构、孔隙率等得到改善,水源涵养能力大幅增强,微生物种群数量明显增加,土壤肥力提升,区域内生物种群数量明显增多,生态系统更加稳定。

4.3 加强节能环保,践行绿色施工理念

该工程从设计、施工、建设管理等方面采取了有效措施,全面落实了环境保护和水土保持的要求,建成了资源节约型、环境友好型的绿色和谐工程:建筑物钢柱、钢梁、外墙铝镁锰板等全部采用工厂预制加工,现场机械化拼装;站内路灯基础、散水、围墙压顶、井盖井圈等采用预制式,减少了施工区域土地扰动及水土流失;应用 3S 技术指导工程施工,开展场地布置、专业碰撞演示、主变压器安装辅助等工作,施工现场严格落实“六个百分百”的绿色施工标准,采用喷雾降尘设备,同时配合洒水作业。

4.4 技术方法可复制,推广性强

输电线路工程属于典型的点-线工程,线路长、沿线地形复杂、塔基范围小且分散。输电线路由塔基和架

空线路组成,水土流失不只产生于塔基施工,塔基建设、主塔和电线架设均需要大量的临时用地,如施工场区(塔基施工区、材料站、架线临时用地)、施工道路区、弃渣点区等。该工程因地制宜,合理选择基础形式,全线 71.7% 的基础形式采用灌注桩和人工挖孔原状土基础,减少了占地及开挖土方量。该工程平原占比 20%,100% 采用吊车分解组塔;山区占比 80%,采用悬浮抱杆分解组塔。工程在施工过程中严格按照国家和北京市水土保持相关法规要求,通过优化施工工艺、采用三维投影技术、利用 GPS 虚拟交桩、模拟施工过程等,提高了工程建设效率,减少了临时占地;通过采用无人机放线等技术,减少了通道林木砍伐。项目采用的新技术新方法可复制,推广性强。

5 结束语

保障北京冬奥绿色电能电力组团工程在实施过程中始终坚持以习近平生态文明思想为指导,践行“绿水青山就是金山银山”理念,以综合防治水土流失为主线,把水土保持综合治理同区域经济社会发展结合起来,采用的新技术、新方法在项目施工过程中取得了显著成效,起到了很好的示范作用,引领和带动了周边的水土保持综合治理,并将进一步提升输变电工程项目水土保持生态文明建设水平。

参考文献:

- [1] 周晓新. 输变电工程的水土流失特点及防治措施[J]. 山西水土保持科技, 2021, 30(3): 30-32, 36.
- [2] 陈曦, 蔡勇, 杭翠翠, 等. 输变电工程水土保持管理及防治新技术探究[J]. 中国科技投资, 2020(32): 156, 164.
- [3] 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.
- [4] 潘葳. 输变电工程水土保持方案设计与实施脱节问题探讨[J]. 绿色科技, 2020(22): 143-144.

(责任编辑 徐素霞)