

750kV 单回线路永临结合优化设计与应用研究

——以塔额~克拉玛依线路工程为例

许利伟¹, 赵明², 范江江², 谢龙至¹, 付颖煜¹, 门旭¹, 杨佳乐¹

¹国核电力规划设计研究院有限公司 北京

²国网新疆电力有限公司建设分公司 新疆乌鲁木齐

【摘要】针对塔额~克拉玛依 750kV 线路工程接入塔城托里煤电送出工程时,原开断接入设计方案存在成本高、施工风险大、停电时间长等问题,本文提出了单回线路永临结合优化设计方案。以工程 20mm 重冰区段开断点为核心研究对象,结合重覆冰线路设计规范要求,从路径选择、绝缘配合、铁塔结构设计三个维度开展优化设计:优化接入路径并加大档距以降低转角角度,按行业标准确定间隙取值并加长横担满足本期绝缘要求,采用 JC4120J 干字型铁塔并通过抗扭验算、有限元模拟、强化结构设计、选用高等级钢材等措施,解决杆塔近远期受力协调及受扭问题。对比分析结果表明,优化方案相较原方案节省投资约 88 万元,施工风险等级从二级降至三级及以下,电网停电时间从 13 天缩短至 1 天以内,同时简化了施工流程、降低了协调难度。该永临结合设计方案实现了工程本期建设与远期接入的统筹规划,有效规避了资源浪费,提升了工程建设的经济性、安全性与电网供电可靠性,其设计思路和技术措施可为复杂气象地理条件下超高压输电线路开断接入工程提供重要的工程参考。

【关键词】架空输电线路;永临结合;重冰区段;铁塔设计;开断接入;抗扭设计

【收稿日期】2026 年 3 月 12 日

【出刊日期】2026 年 4 月 15 日

【DOI】10.12208/j.jer.20260028

Optimal design and application of permanent-temporary combination for 750 kV single-circuit transmission lines—A case study of Ta'e-Karamay transmission line project

Liwei Xu¹, Ming Zhao², Jiangjiang Fan², Longzhi Xie¹, Yingyu Fu¹, Xu Men¹, Jiale Yang¹

¹State Nuclear Electric Power Planning Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing

²Construction Branch of State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang

【Abstract】 When the Ta'e-Karamay 750 kV transmission line project is connected to the Tacheng Tuoli coal-fired power delivery project, the original breaking-in connection scheme is faced with problems such as high cost, high construction risks, and long power outage duration. This paper proposes an optimized design scheme using the permanent-temporary combination for single-circuit transmission lines. Taking the breaking point in the 20 mm heavy icing section of the project as the core research object, and in accordance with the design specifications for heavy icing transmission lines, the optimization is carried out in three dimensions: route selection, insulation coordination, and tower structure design. The connection route is optimized and the span is increased to reduce the corner angle. The clearance values are determined per industrial standards, and the cross-arms are lengthened to meet the current insulation requirements. The JC4120J guyed-type tower is adopted, and measures including torsional resistance checking, finite element simulation, structural reinforcement, and high-grade steel selection are implemented to resolve the issues of coordinated stress and torsion of the tower under short-term and long-term conditions. Comparative analysis shows that compared with the original scheme, the optimized scheme reduces the investment by about 880,000 yuan, lowers the construction risk level from Level II to Level III and below, and shortens the power grid outage duration from 13 days to less than 1 day. Meanwhile, it simplifies the construction process and reduces coordination difficulty. This permanent-temporary design realizes the overall planning of current construction and future connection, effectively avoids resource waste, and improves the economic efficiency, safety

第一作者简介:许利伟(1989-)男,汉族,河南省洛阳市人,本科,中级工程师,研究方向或从事工作:输电线路设计。

of project construction, and power supply reliability of the power grid. Its design concept and technical measures can provide important engineering references for breaking-in connection projects of EHV transmission lines under complex meteorological and geographical conditions.

【Keywords】 Overhead transmission line; Permanent-temporary combination; Heavy icing section; Transmission tower design; Breaking-in connection; Torsional resistance design

引言

750kV 超高压输电线路是区域电网能源输送的核心载体,其开断接入设计的科学性直接影响电网建设成本、施工安全与供电可靠性。新疆塔额~克拉玛依I、II回 750kV 线路工程作为北疆电网关键输电通道,需承接塔城托里 2×660MW 煤电项目的开断接入需求,而工程沿线山地占比高、存在 20mm 重冰区段,且原拆旧建新的常规设计方案存在诸多弊端,亟需结合工程实际开展设计优化。

针对原设计方案成本高、施工风险大、停电时间长、协调难度大等问题,本研究引入永临结合设计理念,以工程重冰区段开断点为核心研究对象,从路径选择、绝缘配合、铁塔结构设计三大维度开展优化^[1]。通过优化接入路径、加大档距降低转角角度,按行业标准确定气间隙取值并加长横担满足本期绝缘要求,选用 JC4120J 干字型铁塔并采取抗扭验算、强化结构设计等措施,解决了杆塔近远期受力协调、受扭性能保障等技术难点,形成适配工程的单回线路永临结合优化设计方案。

1 工程概况与建设条件

1.1 塔额~克拉玛依I、II回 750kV 线路工程基本特征

塔额~克拉玛依I、II回 750kV 线路工程是新疆北疆电网的重要输电通道,线路起自塔额 750kV 变电站,止于克拉玛依 750kV 变电站,新建线路总长度 279.52km,其中I回线路 139.67km、II回线路 139.85km。工程除塔额 750kV 变电站出线采用双回路终端塔外,其余路段均为两个单回路并行架设,全线新建铁塔 665 基(不含 12 基换位子塔),I回、II回线路分别新建铁塔 332 基、333 基(均不含 6 基换位子塔)^[2]。

工程沿线地形复杂,平地占比 25.7%、丘陵 11.2%、一般山地 63.1%,海拔高度介于 400m~1600m 之间,整体呈西北向东南走线,途经新疆塔城地区额敏县、托里县及克拉玛依市克拉玛依区。针对沿线不同地理气象条件,工程设计基本风速为 33m/s、37m/s、39m/s、41m/s(离地 10m 高 50 年一遇 10min 平均风速),设计覆冰厚度分 10mm、15mm、20mm 三个等级。

线路导线选用 JL3/G1A-400/50 钢芯高导电率铝绞

线,采用每相 6 分裂布置;地线配置按区段差异化设计,双回路进线档采用 2 根 OPGW-150 光缆+2 根 JLB20A-150 铝包钢绞线,三跨区段采用 2 根 OPGW-150 光缆,两侧变电站出线段及 15mm、20mm 冰区段采用 1 根 OPGW-150 光缆+1 根 JLB20A-150 铝包钢绞线,其余区段采用 1 根 OPGW-120 光缆+1 根 JLB20A-120 铝包钢绞线^[3]。根据国网新疆电力有限公司里程碑计划要求,本工程计划 2026 年 6 月具备带电条件。

1.2 塔城托里 2×660MW 煤电项目 750kV 送出工程概况

塔城托里 2×660MW 煤电项目位于新疆塔城地区托里县境内,由托里国电投发电有限责任公司投资建设,依托新疆本地丰富煤炭资源采用煤电联营模式建设,是区域能源保供重点配套项目,计划 2026 年 12 月建成投产。该项目于 2023 年 9 月取得新疆维吾尔自治区发展和改革委员会核准批复(新发改批复(2023)150 号),其电力送出工程为区域电网重点衔接项目。

根据电力规划设计总院《关于印发新疆塔城国家电投 2×66 万千瓦煤电一体化项目接入系统设计报告评审意见的通知》(电规电网(2024)1718 号)要求,塔城托里火电厂规划出线 2 回,采用开断接入方式衔接至塔额~克拉玛依II回 750kV 线路,该接入方式为两大工程的核心衔接点,也是本次线路设计优化的关键研究对象。

1.3 工程建设约束与核心衔接需求

本工程建设及线路开断接入面临多重刚性约束,其一为地理气象约束,开断接入点位于 20mm 重冰区段,覆冰荷载大且易出现过载情况,杆塔设计需严格遵循《重覆冰架空输电线路设计技术规程》(DL/T 5440-2020),严控转角角度与结构受力;其二为工期与电网运行约束,两大工程均计划 2026 年投产,接入施工需最大限度缩短塔额~克拉玛依II回 750kV 线路停电时长,保障区域电网供电可靠性;其三为经济与资源约束,设计方案需规避拆旧建新造成的资源浪费,契合电力工程提质增效、绿色低碳的建设理念^[4]。

基于工程建设背景与约束条件,本次线路开断接入的核心衔接需求为:实现托里煤电项目与塔额~克

克拉玛依II回 750kV 线路的电气、结构安全匹配衔接，满足长期稳定运行要求；严控施工安全风险，简化施工流程与多部门协调难度，保障施工与电网运行安全；统筹工程本期建设与远期接入需求，实现资源高效利用，在控制建设成本的同时，规避后期改造带来的二次施工与电网停运影响，最终实现工程经济性、安全性与可靠性的有机统一。

2 原开断接入设计方案及问题分析

塔城托里 2×660MW 煤电项目 750kV 送出工程需开断接入塔额~克拉玛依II回 750kV 线路，原设计方案采用常规拆旧建新的开断接入模式，虽能满足线路力学性能与结构稳定性的基础要求，但在工程经济性、施工安全性、电网运行可靠性及施工实施效率等方面存在诸多突出问题，难以适配工程建设的实际需求，本节将对原设计方案的具体内容及核心问题展开全面分析。

2.1 原开断接入设计方案

塔额~克拉玛依开断接入塔城火电厂 750kV 线路工程，起自拟建的塔城火电厂，止于塔额~克拉玛依II回 750kV 线路既定开断点，具体为 N2169 塔北侧新建 AG53 塔、N2170 塔南侧新建 BG53 塔。该方案的施工内容为拆除原塔额~克拉玛依II回 750kV 线路 N2169、N2170 两基单回线路直线塔，同时拆除 N2169-N2170 档间 343m 输电线路，再新组立 AG53、BG53 两基单回路耐张塔，以此实现塔城托里煤电送出线路与塔额~克拉玛依II回 750kV 线路的开断衔接。

原设计方案涉及的杆塔处理工程量及工程费用具体为拆除 N2169（ZBC41201-54，94.59t）、N2170（ZBC41201-36，74.41t）两基铁塔，新建 AG53（JC41203，88.71t）、BG53（JC41204，97.77t）两基铁塔，整体杆塔处理总费用达 357 万元；其中新建 AG53、BG53 塔基永久性占地面积分别为 489.04 m² 和 530.61m²，需完成相应土地征收、变更登记等前期工作。

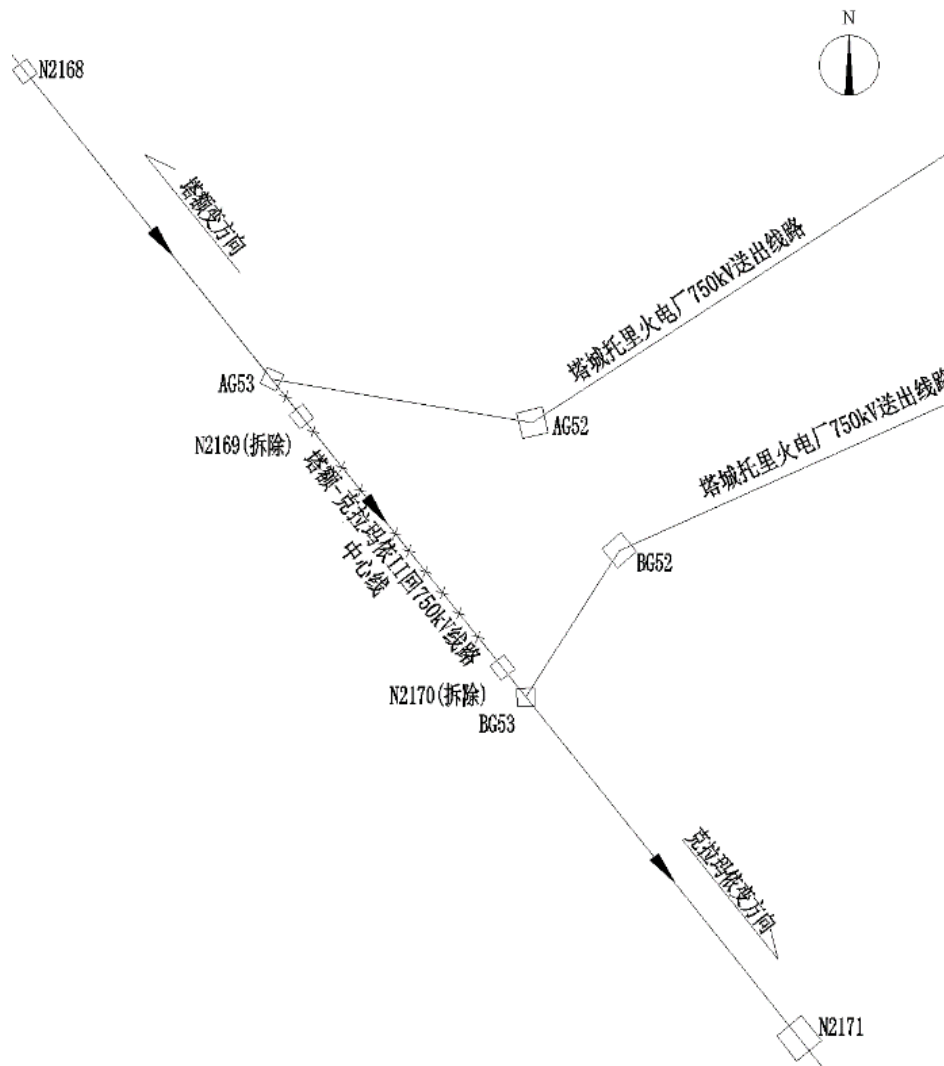


图 1 塔额~克拉玛依开断接入塔城火电厂 750kV 线路工程原设计方案

从技术设计角度,原方案采用行业常规杆塔型式与施工工艺,N2169、N2170塔及新建AG53、BG53塔的力学性能、结构稳定性均符合现行750kV架空输电线路设计规范,杆塔受力逻辑清晰,规避了永临结合设计型式下可能出现的杆塔受扭工况影响,能够保障线路长期稳定运行,这也是原设计方案最核心的技术优势。

2.2 原开断接入设计方案存在的问题

2.2.1 工程经济成本偏高,资源浪费问题突出

原方案的经济成本劣势体现在多方面,其一为土地与前期费用支出,新建AG53、BG53塔基需新征永久性用地,涉及土地征收补偿、土地权属变更登记等一系列前期工作,产生额外的费用与时间成本;其二为材料与建设成本增加,新塔建设需新增大量基础混凝土和钢材,不仅直接提升材料采购成本,其运输、仓储、现场管理等配套成本也相应增加;其三为资源严重浪费,原N2169、N2170塔仍具备正常使用功能,却因开断接入需求被拆除,造成杆塔资源的无效损耗,与电力工程提质增效、绿色低碳的建设理念相悖^[5]。

2.2.2 施工作业风险等级高,安全管控难度大

N2169、N2170塔的拆除作业及档间线路拆旧工作,被划定为电力施工作业二级风险,作业过程中存在多重安全隐患。高空拆塔、线路拆除易引发高处坠落、物体打击等人员安全事故,大型施工机械的进场与操作可能造成机械伤害,而在原有750kV线路周边开展拆旧、建新交叉作业,若管控不当,极易引发电网短路、跳闸等电网事故,对施工人员生命安全和电网临时运行安全构成双重威胁,现场安全管控的难度与压力显著增加^[6]。

2.2.3 电网停电时间过长,供电可靠性受严重影响

原方案需在塔额~克拉玛依750kV线路下完成旧塔拆除、新塔组立的核心施工工序,为保障施工安全,必须对该段750kV线路进行全时段停电配合。按照电力工程常规施工作业效率与工序衔接要求,旧塔拆除、场地清理、新塔基础施工及组立等全流程作业,至少需要连续停电13天。塔额~克拉玛依750kV线路是新疆北疆电网的核心输电通道,长时间停电将直接导致区域电网供电能力下降,对沿线工业生产、居民生活的电力供应造成不利影响,大幅降低电网供电可靠性。

2.2.4 施工流程复杂,协调难度大且工期管控风险高

原方案涉及旧塔拆除、新塔基征占、新塔建设、线路重新衔接等多个施工环节,为压缩停电时间,施工单

位需组织多个施工队开展交叉作业,工序衔接的精准性要求极高。同时,工程实施需与多个部门、单位进行协调沟通,包括电力调度部门的停电计划审批、运维部门的现场安全监护、国土部门的土地征占审批、当地政府的现场协调等,任一环节协调不到位,均会导致施工进度受阻、施工方案临时变更等问题^[7]。此外,交叉作业的工序冲突、多单位协调的沟通成本,极易造成工程建设周期延长,进一步增加工程综合成本。

3 永临结合优化设计方案与关键技术措施

3.1 永临结合设计理念内涵

永临结合设计是电力工程全生命周期管理的主要技术手段之一,核心是打破工程本期建设与远期规划的设计壁垒,通过一体化规划设计实现临时工程与永久工程的资源共享、功能融合。在超高压输电线路开断接入工程中,该理念要求从设计阶段统筹考虑现阶段线路运行需求与远期电源接入、线路改接需求,在满足本期工程安全稳定运行的基础上,为远期工程预留合理的结构空间与技术条件,从根源上减少后期改造带来的拆旧建新、重复施工问题,实现工程建设经济性、安全性与电网运行可靠性的有机统一,契合电力工程提质增效、绿色低碳的发展要求。

3.2 本工程优化设计原则

结合本工程20mm重冰区段的地理气象特征、电网接入刚性要求及工程建设工期规划,本次永临结合优化设计遵循四大核心原则,确保方案的科学性、可行性与适配性:

安全合规,近远统筹:严格遵循《110kV~750kV架空输电线路设计规范》《重覆冰架空输电线路设计技术规程》等现行国家及行业标准,兼顾本期架线与远期接入的杆塔受力、绝缘配合要求,杜绝因预留远期条件降低本期线路运行安全标准。

因地制宜,适配工况:针对开断点重冰区段覆冰荷载大、易过载的特征,优化路径与杆塔结构设计,严控转角角度、提升杆塔抗扭与抗载性能,适配复杂气象地理工况的设计要求。

经济高效,降险提质:在保障安全的前提下,最大限度降低工程建设成本与土地资源消耗,简化施工流程,降低施工作业风险等级与跨部门协调难度,缩短电网停电时长。

技术可行,便于实施:优化方案选取成熟可靠的技术与工艺,匹配工程现场施工条件与现有技术水平,确保设计方案能够顺利落地实施,同时兼顾线路后期运维的便捷性。

3.3 绝缘配合优化设计

3.3.1 绝缘配合标准依据与气间隙取值

本次绝缘配合优化严格遵循《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545-2010)要求,结合工程所在地的海拔高度、污秽等级与气象条件,确定750kV 线路的最小空气间隙基础取值,同时考虑重冰区段覆冰对绝缘间隙的影响,预留一定的安全裕度,确保线路在本期与远期运行中均能满足绝缘配合要求^[8]。

3.3.2 本期架线绝缘距离补偿设计

因铁塔按远期预留转角角度组立,本期按0° 转角架线将导致铁塔横担有效绝缘距离缩短,存在绝缘间隙不满足运行要求的问题。针对该问题,本次优化通过加长横担长度的方式对绝缘距离进行补偿,精准计算绝缘距离损失值,确定横担加长的具体尺寸,确保本期架线的空气间隙满足规范要求,同时完成跳线间隙圆校核,避免跳线与铁塔构件发生放电。

3.3.3 近远期绝缘配合协调性校核

采用三维仿真计算的方式,对本期架线、远期接入两种工况下的线路绝缘配合性能进行全面校核,重点验证不同工况下空气间隙、跳线对杆塔的最小距离是否满足规范要求。校核结果表明,优化后的绝缘配置能够同时适配近远期两种运行工况,无需在远期接入时对横担、绝缘金具进行改造,实现了近远期绝缘配合的协调性与统一性。

3.4 铁塔结构精细化优化设计

3.4.1 设计依据与杆塔型式选型

铁塔结构设计以现行750kV 输电线路设计规范、重冰区段设计要求及本工程近远期受力工况为依据,结合工程现场施工条件与杆塔受力特征,选用JC4120J 干字型铁塔作为开断点杆塔。该塔型结构简洁、受力清晰,适配超高压输电线路重冰区段的使用要求,且便于进行结构强化与抗扭设计,能够同时满足本期受扭、远期转角的双重受力需求。

3.4.2 杆塔近远期多工况受力分析

本次优化全面梳理了杆塔在全生命周期内的三大受力工况:一是本期架线工况,铁塔按远期转角布置,本期直线架线导致塔身产生扭转载荷;二是远期拆线工况,远期接入时拆除原有档间导线,杆塔处于类终端塔受力状态,主材与横担受拉荷载剧增;三是远期接入工况,煤电送出线路接入后,杆塔承受设计转角下的覆冰、大风等组合荷载。通过力学计算明确各工况下杆塔的应力分布、变形特征与最不利益受力部位,为后续结构优化提供精准的技术依据。

3.4.3 铁塔抗扭性能提升关键措施

针对杆塔本期受扭的核心问题,采取多重措施提升铁塔抗扭性能:一是按各工况下的最大不平衡张力对塔身进行抗扭验算,确保铁塔抗扭刚度满足规范要求;二是采用有限元模拟技术,对塔身、横担、节点等关键部位进行受力仿真分析,优化节点连接方式,强化薄弱部位的结构设计;三是选用Q420 高等级钢材作为铁塔主材,提升材料的抗拉、抗扭强度,同时适当增加塔身斜材的截面尺寸,增强塔身的整体抗扭与抗变形能力。

3.4.4 铁塔材料与构造优化设计

在材料选用上,除主材采用Q420 钢材外,横担、挂点等受力关键部位均采用高强度钢材,在保障结构安全的前提下,实现材料的经济合理利用;在构造设计上,优化铁塔横担的布置形式,增大挂点间距,减少荷载集中;强化铁塔基础的抗拔、抗倾覆设计,匹配铁塔近远期的受力特征,确保基础与塔身的受力协同;简化铁塔构件的连接形式,采用标准化、模块化设计,便于现场加工与施工安装。

4 原方案与优化方案多维度对比分析

为验证永临结合优化设计方案的技术可行性与工程实用性,以经济成本、施工安全、电网运行、工程实施为核心评价维度,结合《重覆冰架空输电线路设计技术规程》(DL/T 5440-2020)《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545-2010)等标准要求,对本工程原拆旧建新方案与永临结合优化方案开展全维度对比分析。

4.1 经济成本对比

原设计方案采用常规拆旧建新模式,杆塔处理总费用达357 万元,包含N2169、N2170 两基铁塔拆除费用,AG53、BG53 两基铁塔新建费用;且新建塔基需新征永久性用地919.65m²,涉及土地征收补偿、权属变更登记等前期工作,产生额外的时间与资金成本。同时,原N2169、N2170 铁塔仍具备正常使用功能,因拆旧造成钢材、混凝土等建材的无效损耗,违背电力工程绿色低碳、资源集约的建设理念。

永临结合优化方案摒弃拆旧环节,在原塔位直接新建N2169G、N2170G 两基JC4120J 干字型铁塔,无需新增线路走廊与永久性用地,避免了征地审批与旧塔拆除的资源浪费;仅通过铁塔结构强化、横担加长实现近远期功能适配,相较原方案直接节省工程投资约88 万元,同时减少了材料运输、现场施工配套等间接成本,从工程建设全流程实现降本增效,符合电力工程

提质增效的发展要求。

4.2 施工安全对比

原方案施工流程包含旧塔拆除、档间 343m 线路拆改、新塔基础施工与组立等多个环节,需组织多支施工队伍开展交叉作业,施工工序衔接复杂;其中 N2169、N2170 铁塔拆除作业被划定为电力施工作业二级风险,高空拆塔、线路拆除过程中易引发高处坠落、物体打击等人员安全事故,且在运行中的 750kV 线路周边开展拆旧、建新交叉作业,若管控不当极易引发电网短路、跳闸等事故,对施工人员生命安全和电网临时运行安全构成双重威胁,现场安全管控难度大、压力高。

4.3 电网运行对比

原方案因需在 750kV 线路下完成旧塔拆除、新塔组立的核心工序,为保障施工安全,需对塔额~克拉玛依 II 回 750kV 线路连续停电 13 天。该线路作为新疆北疆电网的核心输电通道,承担着沿线工业生产、居民生活的主力供电任务,长时间停电将直接降低区域电网供电能力,大幅降低电网供电可靠性,同时增加区域电网的调度压力,影响电网整体运行稳定性。

优化方案充分考虑电网运行的刚性约束,利用短时间停电窗口期完成旧塔拆除与新塔架线的无缝衔接,将电网停电时间从 13 天缩短至 1 天以内,最大限度减少了施工对核心输电通道运行的影响,保障了北疆电网的供电可靠性与运行稳定性。同时,优化方案中铁塔结构、绝缘配置均接近远期双工况设计,线路投运后无需因塔城托里煤电项目接入开展二次改造,从根本上避免了后期施工对电网运行的再次干扰,实现了工程建设与电网运行的协同发展。

4.4 工程实施对比

原方案涉及旧塔拆除、新塔征地、线路重新衔接等多个施工环节,工程实施需协调电力调度、国土管理、当地政府、线路运维等多个部门与单位,审批流程复杂、跨部门协调难度大;且为压缩停电时间,需开展多工序交叉作业,对工序衔接的精准性要求极高,任一环节协调不到位或工序衔接失误,均会导致施工进度受阻、施工方案临时变更,工期管控的不确定性风险高,易造成工程建设周期延长、综合成本增加。

优化方案无需新增土地征占,省去了国土审批等前期工作,施工环节简洁、工序衔接清晰,大幅减少了跨部门协调工作与沟通成本;施工组织难度显著降低,

施工流程完全匹配工程 2026 年的投产工期要求,工程实施效率大幅提升,工期管控的确定性显著增强。

5 结语

本文以塔额~克拉玛依开断接入塔城火电厂 750kV 线路工程为研究对象,针对原拆旧建新设计方案存在的成本高、施工风险大、停电时间长、实施协调难度大等问题,引入永临结合设计理念,从路径选择、绝缘配合、铁塔结构设计三个核心维度开展系统性优化设计,形成了适配 20mm 重冰区段工程特征的 750kV 单回线路永临结合开断接入优化方案,通过多维度对比分析,验证了该方案的技术可行性与工程实用性。

参考文献

- [1] 蒋兴良,李雨泰,张佳沁,等. 输电线路脱冰跳跃动力响应研究进展与展望[J]. 振动与冲击, 2025, 44(24): 85-98.
- [2] 杨代勇,于群英,矫立新,等. 覆冰条件下架空输电线路舞动特性及其防治技术[J]. 电气工程学报, 2025, 20(3): 309-322.
- [3] 陈易飞,王睿君,张宇,等. 基于多因素融合的输电线路覆冰风险评估与分级预警方法[J]. 电力大数据, 2025, 28(6): 1-9.
- [4] 易明涛. 抗冰加强型水平穿越式铁塔节点抗冰拔力设计及验证[J]. 电力工程技术, 2025, 44(5): 156-162.
- [5] 颜子威,朱映洁,章东鸿,等. 沿海强风区 500kV 架空输电线路防风加强设计[J]. 南方能源建设, 2024, 11(1): 185-195.
- [6] 周翔,王磊,李阳. 复杂微地形架空输电线路覆冰厚度特性及仿真研究[J]. 电网技术, 2024, 48(8): 3102-3110.
- [7] 黄彬,张浩,刘阳. 输电铁塔扭转响应计算及等效静风荷载研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2022, 56(3): 497-505.
- [8] 唐波. 架空输电线路设计[M]. 3 版. 北京: 中国电力出版社, 2023.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS