

卷册检索号

LNAX-GF2022-010X

铁岭县高家煤矿 4.52 兆瓦分布式光伏发电 项目 接入系统工程消纳 可行性研究报告

设计院名称：辽宁艾希电力工程设计有限公司

电力工程设计乙级证书编号：A221019171

2022 年 10 月 18 日

铁岭县高家煤矿 4.52 兆瓦分布式光伏发电项目

接入系统工程消纳

可行性研究报告

批 准：

审 核：

校 核：

编 写：



工 程 质 量 证 书

企业名称：辽宁艾希电力工程设计有限公司

经济性质：有限责任公司

资质等级：环境工程（大气污染防治工程、固体废物处理处置工程、物理污染防治工程、水污染防治工程、污染修复工程）专项乙级；煤炭行业乙级；电力行业乙级；轻纺行业（轻工工程）乙级；轻纺行业（纺织工程）乙级。

可从资质证书许可范围内相应的建设工程总承包业务以及项目管理和技术与管理服务。*****

证书编号：A221019171

有效期：至2024年07月04日

中华人民共和国住房和城乡建设部制



发证机关

2019年07月04日

No AZ 0168092

人员组织

序号	专业	主要设计人
1	系统	
2	电气一次	
4	电气二次	
5	远动	
6	通信	
7	土建	
8	送电	
9	变电技经	
10	送电技经	

目 录

1 概述	错误! 未定义书签。
1.1 设计依据	错误! 未定义书签。
1.2 工程简介	错误! 未定义书签。
1.3 设计水平年	错误! 未定义书签。
1.4 主要设计原则	错误! 未定义书签。
1.5 设计范围	错误! 未定义书签。
2 电力系统一次	错误! 未定义书签。
2.1 电网现状	错误! 未定义书签。
2.2 工程建设必要性	错误! 未定义书签。
2.3 周边电网概况	错误! 未定义书签。
图 2-2 双井子 66kV 变电站电气总加值曲线图	错误! 未定义书签。
图 2-3 双井子 66kV 变电站电气主接线图	错误! 未定义书签。
2.6 消纳论证	1
2.6.1. 分布式光伏承载力影响因素分析	16
2.6.2 分布式光伏承载力测算方法	17
2.6.3 测算边界条件	24
2.6.4.1 承载力测算	28
调兵山市测算	28

1 概述

1.1 设计依据

1.1.1 铁岭市发展和改革委员会下发的《关于铁岭县高家煤矿 4.52 兆瓦分布式光伏发电项目核准的批复》（铁市发改能源〔2022〕19 号）。

1.1.2 铁岭县财投城乡建设有限责任公司提供的本期工程设计的原始资料和项目申请报告。

1.1.3 设计执行的规程规范

《分布式电源并网要求》（GB/T 33593-2017）

《分布式电源接入配电网设计规范》（Q/GDW 11147-2013）

《国家电网公司关于印发分布式电源并网相关意见和规范（修订版）的通知》（国家电网办〔2013〕1781 号）；

《电能质量 供电电压偏差》（GB/T 12325）；

《电能质量 电压波动和闪变》（GB/T 12326）；

《电能质量 公用电网谐波》（GB/T 14549）；

《电能质量 公用电网间谐波》（GB/T 24337）；

《电力二次系统安全防护规定》（国家电力监管委员会第 5 号令）；

《电力二次系统安全防护总体方案》（国家电力监管委员会电监安全〔2006〕34 号）；

《光伏发电、光伏和燃气电厂二次系统安全防护技术规定》（国家电力监管委员会电监安全〔2012〕157 号）；

《电力系统设计技术规程》（DL/T 5429-2009）；

《工程建设标准强制性条文（电力工程部分）》（2016 年版）；

《地区电网调度自动化设计技术规程》（DL/T 5002-2005）；

《电力系统调度自动化设计技术规程》（DL/T 5003-2005）；
《电力系统安全自动装置设计技术规定》（DL/T 5147-2001）；
《电力系统设计技术规程》（DL/T 5429-2009）；
《电力系统电压和无功电力技术导则》（SD325-1989）；
《电力系统安全稳定导则》（DL/T 755-2001）；
《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T 14285 -2006）；
《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》（GB 50062 -2008）；
《电力系统安全自动装置设计技术规定》（DL/T 5147-2001）；
《电能计量系统设计技术规程》（DL/T 5202-2004）；
《电力系统继电保护设计技术规范》DL/T 5506-2015；
《电力装置的电测量仪表装置设计规范》GB/T 50063-2008；
《国网辽宁电力发展部关于分散式光伏发电项目接入系统受理工作的指导意见》辽电发策部〔2019〕29号
《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》（修订版）（国家电网生〔2018〕979号）；

1.2 工程简介

铁岭县高家煤矿 4.52 兆瓦分布式光伏发电项目位于在铁岭市双井子镇高家窝棚村。本项目为分布式光伏发电项目，总容量 4.52MW。

本工程采取“全额上网”模式，以 10kV 电压等级接入 10kV 双北线。在临近本工程 10kV 舱室开关站附近通过 10kV 双北线，送至双井子 66kV 变电站。

根据业主提供的项目申请报告中的数据，预计本电站的年均上网电量为 589 万 kW·h，光伏电站年均发电利用 1987 小时。



图 1-1 光伏发电站地理位置示意图及周边电网情况

1.3 设计水平年

设计水平年取为 2025 年。

1.4 主要设计原则

1.4.1 根据铁岭供电公司已确定的接入系统方案框架，结合本工程升压变压器及其高低压设备的功能、技术参数等进行深入研究，对接入系统方案予以明确、细化、完善。

1.4.2 合理规划线路路径，做到技术先进、经济合理、安全稳定、运行灵活。

1.5 设计范围

1.5.1 10kV 舱室开关站馈出柜配出 10kV 电缆及架空线路，接至 10kV 双北线主干。

2.1.2 负荷预测

铁岭市地处辽宁省北部，松辽平原中段，是辽宁省 14 个省辖地级市之一，沈阳经济区副中心城市。是吉林、黑龙江两省通往其它省市和出海港口的重要通道。铁岭地区是中国的粮食主产区、优质农产品生产加工基地和新兴的煤电能源之城。

铁岭市属农业地区，农业生产占的比重较大，是全国重点的商品粮基地，素有“辽北粮仓”之称，农业主要产业有农副产品加工、食品加工和饲料加工业。自然资源主要是煤炭，有全国著名的煤炭生产企业——铁煤集团。

铁岭工业是以能源输出为基础的工业体系，其它工业较为薄弱，缺少支柱型的大企业，经济发展相对落后于省内其它地区，虽然近年来发展也比较快，但相对基数小，经济总量也比较小。

参照《2020 年铁岭市政府工作报告》及地区经济发展规划，综合考虑地区实际负荷情况，对铁岭地区进行了电力需求预测，结果详见表 2-3。

预计 2025 年和 2030 年，铁岭地区全社会用电量将分别达到 148 亿千瓦时和 175 亿千瓦时，“十四五”年均增长率为 6.5%，“十五五”年均增长率为 3.4%；铁岭地区全社会最大负荷将分别达到 2170MW 和 2500MW，“十四五”年均增长率为 6.2%，“十五五”年均增长率为 2.9%；铁岭地区统调最大负荷将分别达到 1590MW 和 1800MW，“十四五”年均增长率为 6.5%，“十五五”年均增长率为 2.5%；铁岭北部地区统调最大负荷将分别达到 875MW 和 990MW，“十四五”年均增长率为 6.5%，“十五五”年均增长率为 2.5%。

表 2-3

项目	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年	“十三 五”	“十四 五”	“十五 五”
----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

全社会用电量 (亿千瓦时)	108	122	148	175	10.5%	6.5%	3.4%
全社会最大负荷 (MW)	1610	1910	2170	2500	7.5%	6.2%	2.9%
网供最大负荷 (MW)	1160	1380	1590	1800	7.7%	6.5%	2.5%
其中：铁岭北部地区网供最大 负荷 (MW)	638	759	875	990	7.7%	6.5%	2.5%

2.1.3 铁岭地区供电量及负荷预测

根据铁岭地区电力负荷发展历史及变化趋势的分析，结合铁岭地区经济发展规划对铁岭地区网供最大负荷进行预测，铁岭地区各220kV变电站负荷预测结果见表2-4。

从表中可以看出，2022年达到1332MW，2025年达到1590MW。

铁岭地区供电负荷预测表

表 2-4

单位：MW

序号	变电站	2022 年	2023 年	2024 年	2025 年
1	铁岭变	147.8	156.7	166.1	176.0
2	牛岗变	167.0	177.0	187.6	198.9
3	开原变	227.5	241.1	255.6	270.9
4	昌图变	119.6	126.8	134.4	142.4
5	调兵山变	132.0	139.9	148.3	157.2
6	西丰变	63.3	87.8	93.1	98.7
7	业民变	76.7	81.3	86.2	91.4
8	新地变	143.6	152.3	161.4	171.1
9	双山变	62.0	65.7	89.7	95.1
10	鱼台变	51.4	54.5	57.8	61.2
	合计	1332	1418	1504	1590

2.2 工程建设必要性

随着全球经济的快速发展和生活水平的日益提高，人们对能源的

需求也在飞速增长。现今国际能源的价格步步攀升，能源交易与合作已经成了影响各国间邦交的重要因素。可以说，这是全球就能源供应遭遇到挑战的时候。而一次性能源储量不但非常有限，而且对环境的不良影响是不可逆转的，加上气候的变化和能源供应的安全保障等问题的纷至沓来，每个国家都遇到了极大的挑战。

因此，全世界已经刮起一股追求清洁、安全、可再生的能源生产方式的潮流，这些能源来自太阳、大海、风等。其中太阳能是唯一能够对二氧化碳排放进行必要削减的发电技术，今天，太阳能已经成为全球范围内最有效的能源解决方案之一。

我国目前的电力供应依然以火力发电为主，水电、光伏发电、核电等规模非常小，电力结构极为不合理，一方面带来能源的极大浪费，另一方面也带来了严重的环境问题。

为此，国家提出了发展新能源发电、鼓励清洁能源的综合利用的政策。根据《中国应对气候变化国家方案》和《可再生能源中长期发展规划》，我国将通过大力发展可再生能源，优化能源消费结构。由于我国在太阳能发电以及核电领域具有一定的技术及资源优势，因此这两块新能源发电将成为我国未来电力发展的重要方向。据规划，到2020年火电比例将减少到50%，水电、核电、光伏发电及太阳能发电比例将达到30%、8%、12%。

太阳能被誉为二十一世纪最有开发价值的绿色环保新能源之一。我国是太阳能蓄量较丰富的地区，但是太阳能资源利用工作开展得较为缓慢，随着经济水平的不断提高，人类对环境的保护意识逐渐增强，人们更注重生存质量，开发绿色环保新能源成为能源产业发展的方向，作为绿色环保新能源之一的太阳能发电场的开发建设是十分必要的。同时太阳能发电的开发，特别是太阳能发电设备的国产化能拉动、

促进机械、电器、制造业、服务业及相关产业的快速发展。通过“市场换技术”的合作方式，可以获得国外太阳能发电现代化技术，迅猛提升国内太阳能发电设备的制造水平和生产能力。

场址地形地质条件满足太阳能发电场的建设要求，交通运输条件较为便利，具备建设太阳能发电场的条件。

本太阳能发电场的建设对促进当地经济和社会的发展具有重要意义：

（1）有利于调整优化铁岭县的能源结构

新能源是重要的能源资源，在满足能源需求、改善能源结构、减少环境污染、促进经济发展等方面发挥了重要作用。因此，“十二五”期间，铁岭县将依托水火互济的能源资源条件，加快发展光伏发电和太阳能等新能源，大力推广太阳能和地热能在建筑中的规模化应用，降低煤炭在能源消费中的比重，形成规模型、效益型、生态型的多元能源工业体系。

太阳能是一种洁净的可再生的一次能源。太阳能发电是一种不消耗矿物质能源、不污染环境、建设周期短、建设规模灵活、具有良好的社会效益和经济效益的新能源项目。随着人们对环境保护意识的增强，以及国家有关部门对太阳能发电工程项目在政策方面的扶持，太阳能发电在我国得到了迅猛发展。而铁岭县地区是辽宁省太阳能资源比较丰富的地区之一，大部分地区地势平坦、开阔。适合于大规模开发、安装太阳能发电。太阳能发电在该地区具有较好的发展前景。

（2）有利于铁岭县地区经济的发展

太阳能发点是清洁能源的开发利用项目，符合我国能源产业政策、当地总体发展规划和环境保护要求，具有明显的经济效益、社会效益和环境效益。在项目设计、建设和运营阶段严格执行报告中提出

的环境保护与水土保持措施，项目建设对当地区域环境影响较小，符合国家相应环保法规要求。因此，从环境保护和可持续发展的角度来讲，本太阳能发电项目可行。

太阳能发电的建设将充分利用铁岭县太阳能资源，大力发展清洁能源，促进当地经济可持续发展具有积极作用，具有良好的社会效益和环保效益。

2.3 周边电网概况

本项目周边现有调兵山 220kV 变电站 1 座。现有主变 2 台，容量 120MVAx2。变电站 66kV 侧现有出线 18 回，预留 1 回出线间隔位置，主接线方式为双母线带旁路母线。

66kV 变电站 1 座，为双井子 66kV 变电站。变电站位于本项目东北侧直线距离 5.5km。现有主变 2 台，容量均为 20MVA。66kV 侧为线变组接线方式，进线 2 回，为 66 千伏调青甲线和 66kV 调青乙线。10kV 侧为单母线分段接线，出线 5 回，为 10kV 双北线、10kV 双东线、10kV 双南线、10kV 双树线、10kV 高煤线。变电站 2021 年最大负荷 16MW，最小负荷 1.9MW。

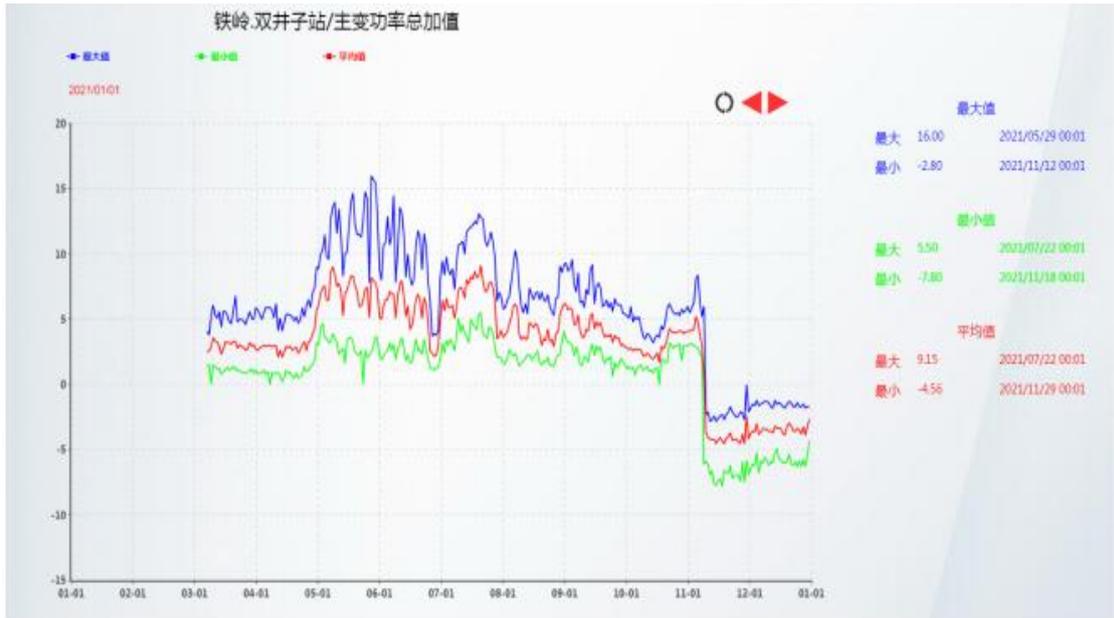


图 2-2 双井子 66kV 变电站电气总加值曲线图

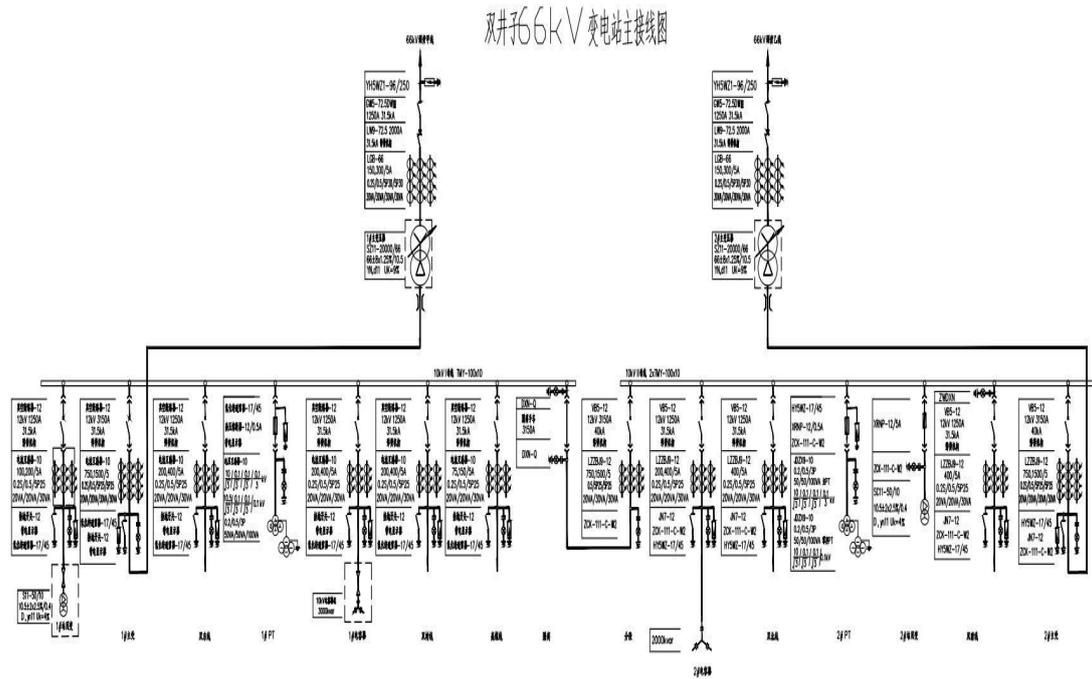


图 2-3 双井子 66kV 变电站电气主接线图

本工程计划接入 10kV 双北线，经现场勘察 10kV 双北线主干为近期改造线路，主干架空导线为 JKLYJ-10-240 型绝缘线，并全线架设避雷线；10kV 双北线马圈分 1#-87#架空导线为 JKLYJ-10-240 型绝缘

线,无避雷措施;10kV 双北线现全线负荷为 7815kW,最大电流 248.8A,最小电流为 36.8A。

2.4 接入系统方案

2.4.1 接入电网电压等级

本工程确定采用 10kV 电压等级并网。

2.4.2 接入系统方案

接入方案 1:

本工程以铁岭县高家煤矿 4.52 兆瓦分布式光伏发电项目舱室开关站馈出柜为起点至双井子 66kV 变电站配出的 10kV 双北线主干 100# 杆止,考虑到铁岭县双井子 2.16 兆瓦分布式光伏发电项目同期建设,本期新建 10kV 电缆及架空线路,亘长 5.5km; 电缆采用 YJV22-8.7/15kV-3×120 型,地埋敷设,亘长 0.2km, 安装隔离刀闸 1 组,断路器 1 台,氧化锌避雷器 1 组; 架空导线采用 JKLYJ-10-240 型绝缘线,亘长 5.3km, 全线架设避雷线,逐基接地。

迁改光伏电站规划区域内 0.4kV 线路,迁改方案与本方案路径无交叉。

电缆选择方式

通过热稳定校验、载流量校验、经济电流密度校验等计算,电缆选择如下:

舱室开关站至并网点的交流电缆选用 YJV22-8.7/15kV-3×

120mm² 型。

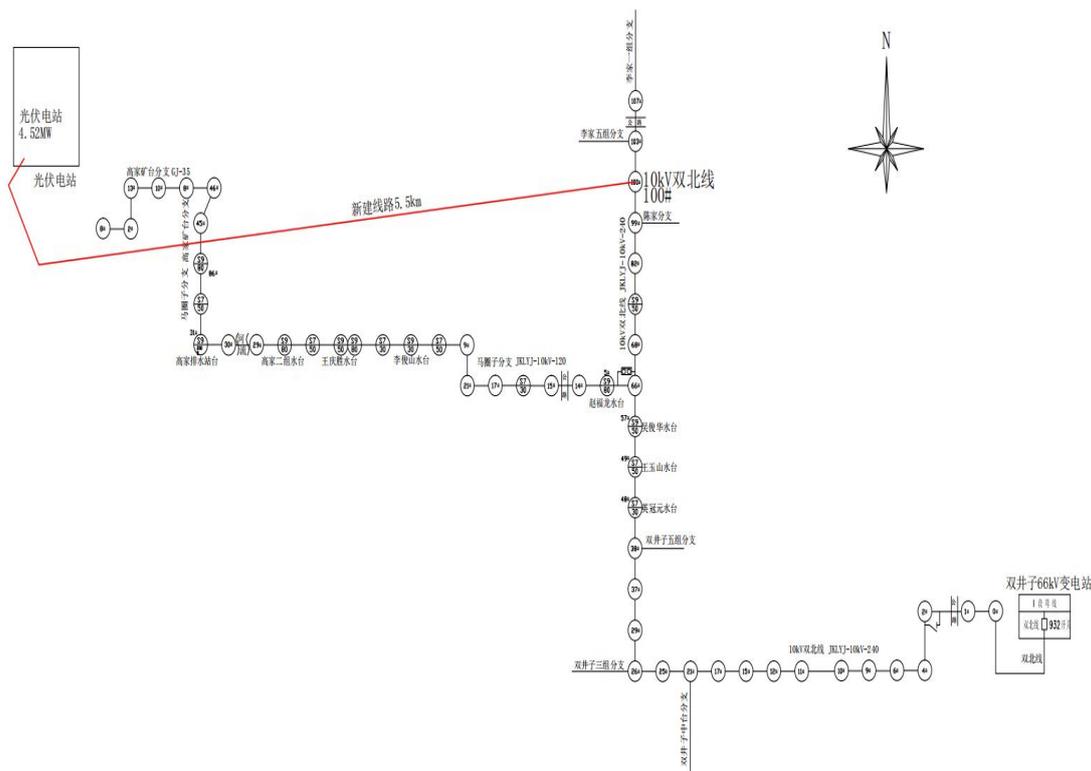


图 2-4 方案 1 路径示意图

接入方案 2:

本工程以双井子 66kV 变电站配出的 10kV 双北线 73#杆（马圈分 T 接点）为起点至铁岭县高家煤矿 4.52 兆瓦分布式光伏发电项目舱室开关站馈出柜止，新建电缆线路及改造 10kV 架空线路，总长 7.3km，改造架空线路，全线架设避雷线，逐基接地；

原 10kV 双北线 73#杆(马圈分 T 接点)至 10kV 双北线马圈分 86#杆，导线为 JKLYJ-10-240 型绝缘线，总长 4.7km，因线路无避雷措施，本期需增设避雷线，逐基接地；原 10kV 双北线马圈分 86#杆至 10kV 双北线高甲西台左 14#末端杆为国网线路，导线为 JG-35 型，总长 2.2km，需整体改造，考虑到铁岭县双井子 2.16 兆瓦分布式光伏

发电项目同期建设，本期改造导线采用 JKLYJ-10-240 型绝缘线，加装避雷线，逐基接地；由改造后 10kV 双北线高甲西台左 14#末端杆至舱室开关站附近新建终端杆，新建 10kV 架空线路，导线采用 JKLYJ-10-240 型绝缘线，加装避雷线，逐基接地；亘长 0.2km；由新建舱室开关站附近终端杆至舱室开关站馈出柜，新建 10kV 电缆线路，电缆采用 YJV22-8.7/15kV-3×120 型，地埋敷设，亘长 0.2km，安装隔离刀闸 1 组，断路器 1 台，氧化锌避雷器 1 组。

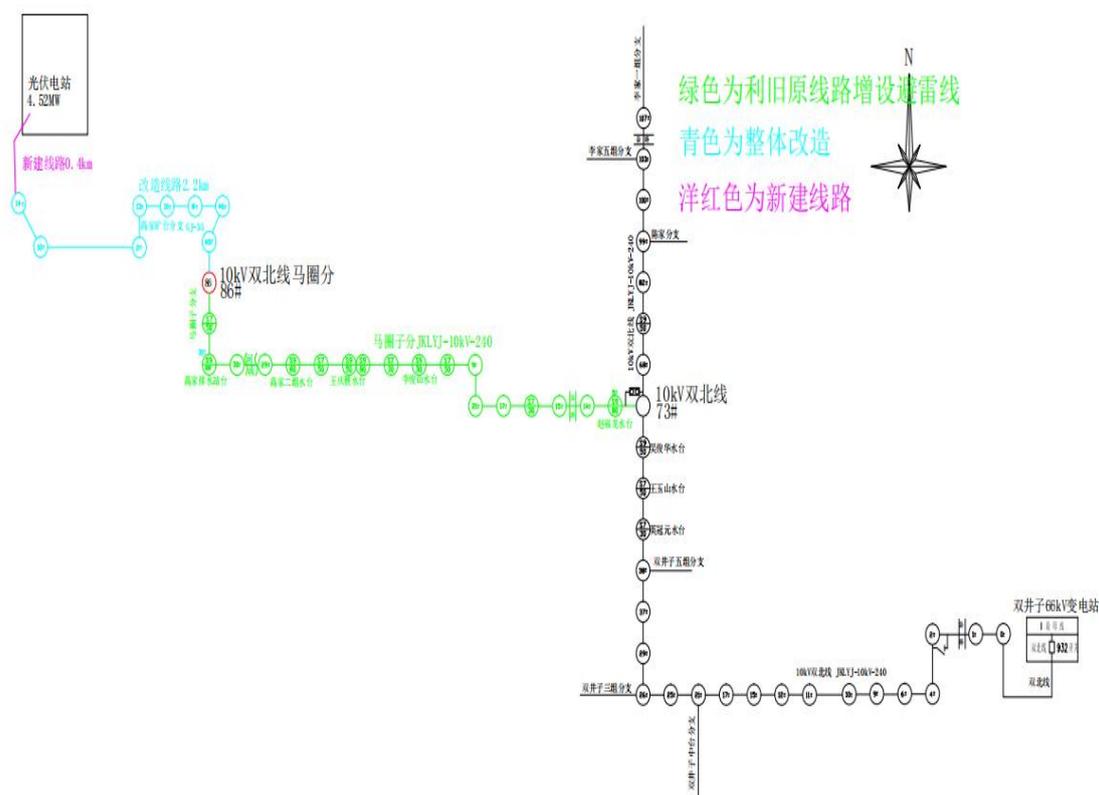
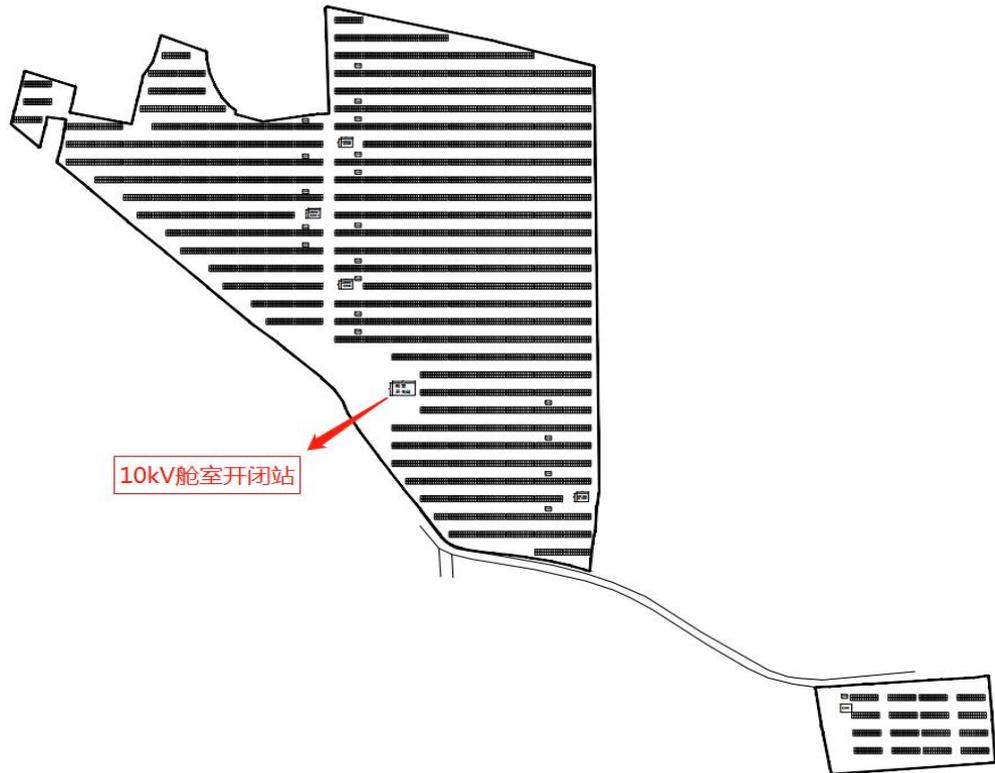


图 2-4 方案 2 路径示意图

迁改光伏电站规划区域内 0.4kV 线路，迁改方案与本方案路径无交叉。

本工程舱室开关站位置位于厂区中部，靠近村路位置，见图 2-5



2-5 舱室开关站位置图

2.4.2.1 导线截面选择

根据经济电流密度进行导线截面选择，计算公式为

$$S=P/\sqrt{3}JVe\cos\phi$$

S-导线截面 (mm²)

P-送电容量 (KW)

Ve-线路额定电压 (KV) (10KV)

J-经济电流密度 (A/mm²) (2.25)

本工程 $\cos\phi=0.95$ ，导线截面计算结果为

线路名称	计算导线截面 (mm ²)	选择导线型号
舱室开关站-并网点	118.85	YJV22-8.7/15kV-3×120

由以上计算结果可得出，本工程采用 YJV22-8.7/15kV-3×120 型电缆。

2.4.3 系统侧电气一次部分校核

本工程 T 接至 10kV 双北线，该 10kV 线路出口，开关柜配出 10kV 电流互感器变比为 400/5。结合铁岭县双井子 2.16 兆瓦分布式光伏发电项目容量考虑，经校验，现开关柜内 10kV 电流互感器额定电流满足本期工程接入要求。其他设备满足本期工程接入要求。

2.4.4 接入系统分析

双井子 66kV 变电站现运行主变 2 台 (20MVA)，变电站 2021 年最大负荷 16MW，最小负荷 1.9MW。结合消纳报告，在正常运行状态下，光伏电站所发电力，可在双井子变 10kV 侧消纳，不会上送 66kV 侧。

2.5 无功结论

当分布式光伏发电项目满发和停发两种情况下，变流器动态补偿后，可以有效减小电网电压的波动。公共连接点的电压波动为 0.002p. u.，电压波动率在 1%以内，满足系统运行要求 (0% ~ +7%，即 10kV -10.7kV)，所以分布式光伏发电项目接入后系统电压仍保持稳定。

光伏电站应配置无功电压控制系统，系统应具备多种控制模式，包括恒电压控制、恒功率因数控制和恒无功功率控制等，能够按照电力系统调度机构指令，自动调节光伏电站的无功功率，控制光伏电站并网点电压在在正常运行范围内，其调节速度和控制精度应能满足电力系统电压调节的要求。

本工程配置的变流器需具备自动调节无功功率的功能，满足电网

对电压质量的要求。

2.6 消纳论证

2.6.1. 分布式光伏承载力影响因素分析

(1) 用电负荷水平及总体运行特性

随着分布式光伏的快速发展，配电网由“无源网”逐步发展为“有源网”，配电网运维管理更加复杂。局部高比例分布式光伏接入，电网下网潮流变轻，甚至出现倒送，甚至反向超载，导致地区网供负荷特性发生变化，网供负荷低谷出现在白天用电高峰期。分布式光伏发电缺乏监测和预测手段，常规负荷预测无法考虑分布式发电的影响。

(2) 电源装机构成情况

分布式光伏只向电力系统提供随光资源变化的有功功率，不具备适应电网频率波动的自适应调节能力。在发电结构中，随着常规电源比例的下降和分布式光伏的上升，系统频率调节能力呈下降趋势。

(3) 电力电量平衡能力

分布式光伏出力存在不确定性，且预测难度较大，要求电网预留更多备用容量；分布式光伏与集中式光伏、风电、水电相互叠加，导致局部地区白天负荷低谷时段调峰难度加大，节假日期间更为突出。

(4) 电压水平和控制能力

在分布式光伏大发期间，局部地区下网潮流变轻，甚至倒送，使系统电压升高，甚至越限，节假日期间尤为突出。由于分布式光伏多采用恒功率因数（ $\cos \phi = 1$ ）运行，不提供无功功率，大发期间并网点电压升高较为明显，严重时可能导致电源脱网，影响电网安全。

随着分布式光伏并网容量快速增长，大量负荷就地平衡，表现为

实际负荷继续增长的同时，220 千伏层面的网供负荷增长不大甚至减少，相当于替代部分常规机组。且分布式光伏在故障期间不能提供有效的无功支撑，暂态电压水平逐渐降低，造成电压长时间凹陷。

(5) 电能质量问题

分布式光伏高比例接入地区，变流器等电力电子元件大规模接入电网，易导致谐波、电压闪变、三相不平衡等电能质量指标超标。

2.6.2 分布式光伏承载力测算方法

2.6.2.1 前期准备工作

分布式光伏接入电网的承载力评估应以分布式光伏并网数据、分布式光伏并网性能数据、电网设备参数、电网安全运行边界数据等为基础开展评估，并充分考虑在建及已批复电源和电网项目。评估数据应来源于历史运行数据、运行设备参数、电网实测数据、电网和电源的建设规划数据，并充分考虑地理位置、电网结构、运行方式、负荷类型、负荷水平、时间尺度等因素。

(1) 电网数据

- a. 电网一次接线图、电网等值阻抗图、各级母线短路容量表。

(2) 设备数据

- a. 电网设备参数，运行限值等。
- b. 电源特性数据：电源名称、机组台数、机组类型（同步电机、异步电机或变流器）、发电机组额定功率、视在功率、机组装机容量、理论发电量、机组功率因数调节范围等。

(3) 运行数据

- a. 运行方式数据：包括电网和电源正常运行方式数据。
- b. 电网运行数据：评估周期内各电源出力、电网负荷、断面潮流、母线电压等历史数据。
- c. 电网各节点谐波电流、间谐波电压含有率实测值。

表 3-1 分布式光伏承载力测算基础数据需求表

序号	数据需求	类别	用途	来源
1	电网拓扑	电网数据	确定评估范围；确定变压器、线路连接和上下级关系；评估等级展示	调度系统
2	运行方式	运行数据	电网拓扑结构调整	调度系统
3	母线大小方式短路阻抗	电网数据	短路电流计算、电压偏差计算	继保
4	母线短路电流限值	设备数据	短路电流校核	标准
5	母线电压	运行数据	电压偏差计算	调度系统
6	母线电压偏差限值	设备数据	电压偏差校核	标准
7	变压器容量限值	设备数据	热稳定评估	厂家
8	线路电流限值	设备数据	热稳定评估	保护限值、CT 限值、线型限值
9	变压器负荷时序	运行数据	热稳定评估	调度系统
10	线路负荷时序	运行数据	热稳定评估	调度系统
11	电源装机信息	设备数据	热稳定评估	调度系统
12	电源出力时序	运行数据	热稳定评估	调度系统
13	谐波电流	运行数据	谐波校核	电能质量监测
14	间谐波电压	运行数据	谐波校核	电能质量监测

	含有率			
15	谐波电流允许值	设备数据	谐波校核	标准
16	间谐波电压含有率限值	设备数据	谐波校核	标准

2.6.2.2 测算方法

(1) 热稳定评估

热稳定评估指基于变压器、线路的历史负载时序，以变压器或线路热稳定不越限为原则，评估分布式光伏可新增容量裕度。首先，计算历史各时刻点变压器和线路的反向负载率， t 时刻的反向负载率 $\lambda(t)$ ，按以下公式计算：

$$\lambda(t) = \frac{P_D(t) + P_C(t) - P_L(t)}{S_e} = -\frac{P_{Net}(t)}{S_e} \times 100\% \quad (1)$$

式中， $P_D(t)$ 为变压器或线路供电范围内分布式光伏 t 时刻的出力； $P_C(t)$ 为分布式光伏以外其他电源 t 时刻出力； $P_L(t)$ 为 t 时刻用电负荷； $P_{Net}(t)$ 为 t 时刻变压器或线路的下网功率， t 的时间分辨率通常为15min； S_e 为变压器或线路实际运行限值。

接着，评估变压器或线路供电范围内可新增分布式光伏容量 P_m ，按以下公式计算：

$$P_m = \min((1 - \lambda(t)) \times S_e) \times k_r \quad (2)$$

式中， k_r 为裕度系数， $k_r \leq 1$ 。

(2) 短路电流校核

短路电流校核以分布式光伏接入前后，系统各级母线短路电流均不超过短路电流限值为原则，分布式光伏接入前，按以下公式校核：

$$I_{xz} < I_m \quad (3)$$

待校核容量（ P_m ）的分布式光伏接入后，按以下公式校核：

$$I_{xz} + 1.5 \times \frac{P_m}{\sqrt{3}U_N} < I_m \quad (4)$$

式中， I_{xz} 为系统最大运行方式下，母线短路电流现状值，可按母线大方式短路容量来确定； U_N 为各级母线额定电压，分布式光伏产生的短路电流通常不超过其额定电流的 1.5 倍； I_m 为允许的短路电流限值，应选取与母线联接的相应断路器开断电流限值的最小值，电力行业标准《配电网规划设计技术导则》也对各级母线短路电流水平进行了规定。

（3）电压偏差校核

电压偏差校核以无功功率就地平衡和分布式光伏接入前后电网电压不越限为原则，待校核容量（ P_m ）的分布式光伏接入后导致的各级母线电压偏差按以下公式计算：

$$\delta U = \frac{R_L \Delta P + X_L \Delta Q}{U_N^2} \times 100\% \quad (5)$$

式中： U_N 为各级母线额定电压； ΔP 、 ΔQ 分别为分布式光伏注入的有功功率和无功功率增量； R_L 、 X_L 分别为电网阻抗的电阻和电抗分量；在高压电网中，一般 $X_L \gg R_L$ ，可忽略电网电阻分量，则：

$$\delta U \approx \frac{X_L \Delta Q}{U_N^2} = \frac{\Delta Q}{S_{sc}} \times 100\% \quad (6)$$

式中： S_{sc} 为母线小方式短路容量；国标《分布式电源并网技术要求》规定分布式光伏功率因素调节范围为 0.98（超前）~0.98（滞后），

可据此估算无功注入量 ΔQ 的正负最大值。

根据评估周期内各级母线电压时序和国家标准《电能质量 供电电压偏差》规定的电压偏差限值，估算分布式光伏接入导致的正负电压偏差允许值 ΔU_+ 和 ΔU_- 。然后，按以下公式校核：

$$\delta U_+ < \Delta U_+ \quad \text{且} \quad \delta U_- > \Delta U_- \quad (7)$$

式中： δU_+ 、 δU_- 为按公式(6)计算得出的正负电压偏差极值。

(4) 谐波校核

谐波校核以系统中分布式光伏接入电网节点谐波电流值、间谐波电压含有率不越限为原则。校核对象包括分布式光伏提供的谐波电流和间谐波电压有可能影响的所有节点。

谐波电流按以下公式校核：

$$I_{xz,h} < I_h \quad (8)$$

式中： $I_{xz,h}$ 为电网节点第 h 次谐波电流实测值； I_h 为注入各电压等级电网节点的第 h 次谐波电流允许值，按国家标准《电能质量 公用电网谐波》的规定选取。

间谐波电压含有率按以下公式校核：

$$IHRU_{xz,ih} < IHRU_{ih} \quad (9)$$

式中： $IHRU_{xz,ih}$ 为电网节点 ih 次间谐波电压含有率实测值； $IHRU_{ih}$ 为各电压等级下 ih 次间谐波电压含有率限值，按国家标准《电能质量 公用电网间谐波》的规定选取。

2.6.2.3 评估流程

分布式光伏承载力评估流程如图 3-1 所示，描述如下：

Step 1: 明确待评估区域电网范围，画出待评估区域电网拓扑图。

一般来说，评估范围以单台 220kV 变压器的供电区域划分，评估对象包括该区域内所有 35kV~220kV 等级的变压器、35kV~110kV 等级的线路、10kV~220kV 等级的母线。

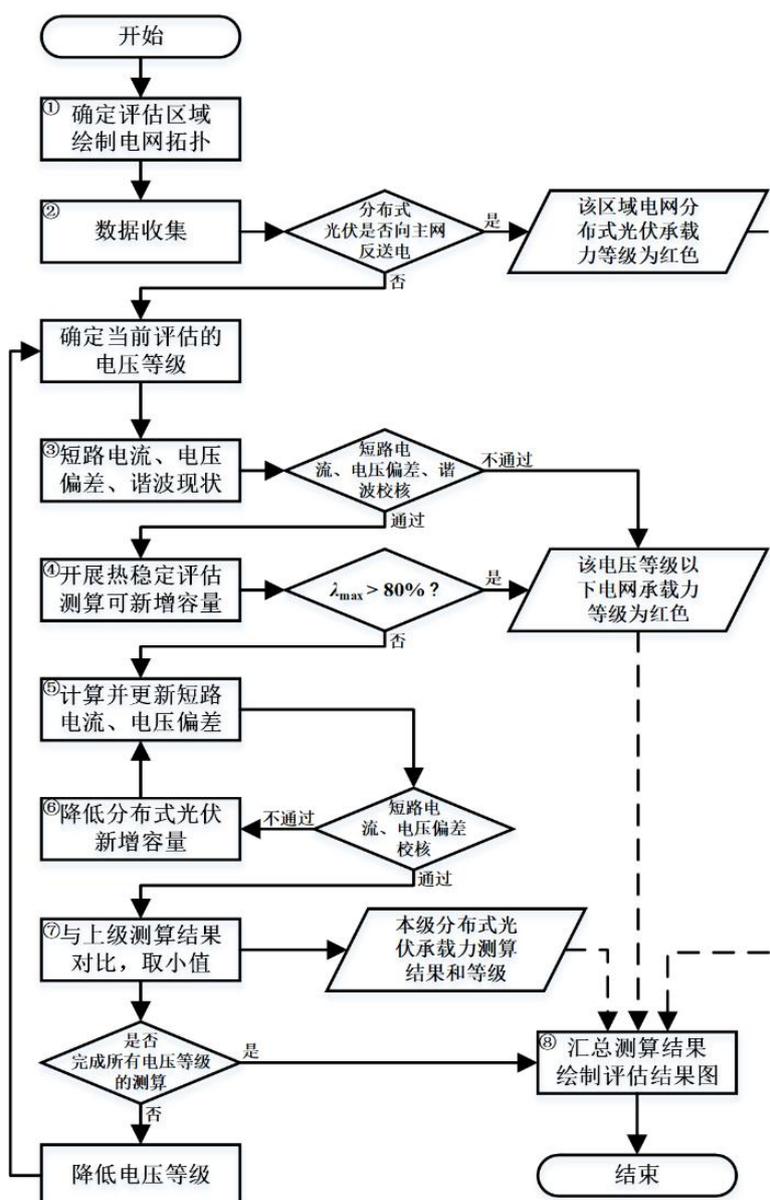


图 3-1 分布式光伏接入电网承载力评估流程图

Step 2: 按照表 3-1 所列数据需求进行数据收集，判断待评估区域是否发生分布式光伏向 220kV 及以上电网反送电，即该区域分布式光伏总出力是否大于用电负荷，若反送则该评估区域各电压等级分布式光伏承载力等级为红色。

Step 3: 按照电压等级从高至低分层进行评估。基于搜集的系统数据、设备参数、运行数据，统计当前层级各母线短路电流、电压偏差的现状值和谐波实测值，并参照各项限值进行校核，若校核不通过，则该电压等级及以下区域电网的分布式光伏承载力等级为红色。

Step 4: 在待评估区域电网正常运行方式下，按照公式（1）、公式（2）开展热稳定评估，确定当前层级变压器和线路的反向负载率及可新增分布式光伏容量。统计评估周期内的反向负载率的最大值 λ_{\max} ，若 $\lambda_{\max} > 80\%$ ，则该电压等级及以下区域电网的分布式光伏承载力等级为红色。

Step 5: 根据 Step 4 得出的可新增分布式光伏容量，按照公式（4）~（7）计算并校核短路电流和电压偏差。

Step 6: 若 Step 5 校核不通过，逐步降低可新增分布式光伏的容量，重复 Step 5，直到校核通过，通过校核的容量即为待评估电网当前层级的分布式光伏承载力。

Step 7: 完成当前电压等级电网的测算后，依据拓扑联接关系，将测算结果与上一电压等级的进行比较，取两者间较小值作为本级评估结果。然后，逐渐降低电压等级，重复 Step 3~6，直至完成待评估电网所有电压等级的测算。

Step 8: 汇总各级测算结果，按表 3-2 所示原则，划分待评估电网分布式光伏承载力等级，列出各级母线的分布式光伏承载力裕度，最终依据电网拓扑绘制该区域的分布式光伏承载力结果图。

表 3-2 分布式光伏承载力评估等级划分依据

评估等级	判断依据	含义	建议
红色	1)分布式光伏向 220kV 及以上电压等级主网反送电； 2) $\lambda_{\max}>80\%$ ； 3) 短路电流、电压偏差或谐波校核不通过。	1)分布式光伏就地消纳条件不足； 2)变压器或线路热稳告警； 3)电网存在安全风险。	建议在负荷水平、电网安全性得到改善前，暂停分布式光伏接入。
黄色	$0<\lambda_{\max}\leq 80\%$ ，且通过短路电流、电压偏差和谐波校核。	变压器或线路反向负载未达警戒值，接入条件良好。	建议对分布式光伏新建项目进行容量审核。
绿色	$\lambda_{\max}\leq 0$ ，且通过短路电流、电压偏差和谐波校核。	变压器或线路无反向负载，分布式光伏消纳条件较优。	建议分布式光伏参考承载力结果优先接入。

2.6.3 测算边界条件

2.6.3.1 负荷情况

铁岭地区负荷特点，峰谷差较大，早间峰、晚间峰较高。每年在夏季灌溉期及冬季取暖期用电量相对较大；铁岭地区是粮食主产区，农业发达，工业落后，增长缓慢，新能源消纳能力偏弱。

另外，近年气温变化较大，而铁岭地区大工业负荷相对较少，居民用电占比较高，负荷大小易受气温变化导致的人体舒适度影响。2018 年、2020 年、2021 年最大负荷出现在夏季高温时段，2019 年最大负荷出现在冬季供暖时段。

铁岭电网负荷分布：大工业占总负荷的 51.6%，居民用电占总负

荷的 23.3%，非居民照明占总负荷的 2.9%，非普工业占总负荷的 12.5%，商业占总负荷的 7.3%，农业占总负荷的 2.4%。

表 3-3 铁岭市负荷情况(单位：万千瓦)

年份	年均负荷	最大负荷	最小负荷
2019	66.2	93.6	284
2020	66.5	97.6	309
2021	69.5	105.6	349
2022 预计	69.3	103.5	412

2.6.3.2 电源情况

铁岭电网为“大电源、轻负荷”的电力外送型电网。目前铁岭电网装机总容量 617.98 万千瓦。其中铁岭北部（昌图、开原、西丰、清河地区）220 千伏及以下电源总装机容量 184.31 万千瓦，其中风电总装机容量 88.45 万千瓦，火电等其他装机 95.86 万千瓦。电力送出最终将通过清河电厂至沈阳的 4 条 220 千伏线路及 220 千伏昌岭线送出；调兵山地区 220 千伏及以下电源总装机容量 81.85 万千瓦（其中风电装机 14.85 万千瓦，光伏装机 7 万千瓦，火电装机 60 万千瓦），该地区与康平、法库、彰武属于蒲河 220 千伏系统，通过调法一二线等线路外送；银州区及铁岭县地区，220 千伏及以下电源总装机容量 101.8 万千瓦（其中风电装机 29.6 万千瓦，光伏装机 8.7 万千瓦，火电装机 60 万千瓦，生物质装机 3.5 万千瓦），通过新虎线、牛虎线等线路外送。

表 3-4 铁岭地市电源装机情况

序号	电源类型	集中式/分布式	容量 (MW)
1	燃煤	集中式	4575.5
		分布式	0
2	核电	集中式	0
3	燃气	集中式	0
		分布式	0
4	风电	集中式	1530.6
		分布式	46
5	光伏	集中式	165.2
		分布式	42.6
6	水电	集中式	29.23
		分布式	0
7	其他	集中式	0
		分布式	0

2.6.3.3 电网网架情况

铁岭电网目前以 11 座 220kV 变电站为中心,形成 9 个 66kV 供电区域,分别为铁岭系统、牛岗系统、新地系统、开原系统、业民系统、昌图系统、调兵山系统、西丰系统、双山系统,供电区域之间均有联络。变压器 17 台(有载 15 台),变电总容量 2400 兆伏安; 220 千伏线路 48 条,全长 1270.81 千米; 66 千伏变电站 90 座,变压器 166 台,变压器容量 3066.5 兆伏安。

截止 2021 年 12 月,铁岭电网共有 220 千伏线路 52 条,线路总长度 1332.484 千米,铁岭供电公司负责维护 220 千伏线路 48 条,维

护总长度 1281.653 千米。

66 千伏线路 123 条，总长度 2492.06 千米。其中，铁岭供电公司所属 66 千伏线路 86 条，长度 2098.81 千米。用户所属 66 千伏线路 37 条，长度 393.25 千米。

10 千伏线路共 618 条，总长度 11828.88 千米。其中，铁岭供电公司所属 10 千伏线路 518 条，长度 10392.58 千米。用户所属 10 千伏线路 100 条，长度 1436.3 千米。

表 3-5 铁岭市电网网架情况

电压等级	变电站数量	总容量 (MVA)
500kV	1	150
220kV	11	2400
66kV	90	3066.5

2.6.3.4 电力电量平衡情况

2021 年，随着疫情趋于稳定，水泥、化工等行业好转，铁岭电网用电负荷平稳增长。截至 12 月底，铁岭电网全社会用电量 97.6 亿千瓦时，同比增长 4.3%。铁岭地区发电量 227.26 亿千瓦时，同比增长 0.06%。其中清洁能源发电 30.1 亿千瓦时（风：27.2 亿；光：2.9 亿），同比增长 5.6%。全年弃风电量仅 0.33 亿千瓦时，风电可利用率为 99%，未发生弃光情况。2021 年度售电量 57.70 亿千瓦时，同比增长 3.21%。

分布式电源与集中式电源主要为新能源，即风、光发电形式，地区管辖的地方电厂中风电类型发电资源占比较大，光伏其次，出力受

自然气候影响较大，特别是从电量数据统计情况来看，发电量远远高于社会用电量，是外送型电源城市，对分布式电源的就地消纳存在一定困难。

2.6.4 承载力测算及结论

2.6.4.1 承载力测算

调兵山市测算

(1) 区县源网荷的基本情况（边界条件）

调兵山主要由调兵山变及牛岗变提供电源，其中煤矿负荷比重大。目前调兵山市境内风电、光伏及常规电源接入容量已经达到 868.5MW，可消纳负荷有限，电源上送至 220kV 系统时段较多，仅双井子变 2#主变系统适于接入分布式光伏。

(2) 调兵山市分布式光伏承载力测算的数据、资料需求汇总

1) 母线参数表

220kV 变电站	评估母线	电压等级 (kV)	大方式短路阻抗 (标幺值)	小方式短路阻抗 (标幺值)	短路电流限值 (MVA)	电阻 R (Ω)	现电压偏差 (%)
调兵山变电站	跃进变电站主母	66	0.2120	0.3356	31.50	0.00	3
调兵山变电站	跃进变电站主母	66	0.2120	0.3356	31.50	0.00	3
调兵山变电站	调兵山变电站西母	66	0.0986	0.1453	31.50	0.00	3
调兵山变电站	调兵山变电站东母	66	0.0937	0.1332	31.50	0.00	2
调兵山变电站	大青变电站主母	66	0.25	0.3637	31.50	0.00	3
调兵山变电站	阿吉变电站主母	66	0.2314	0.3321	31.50	0.00	3
调兵山变电站	调兵山变电站母线	220	0.0112	0.0164	40	0.00	2
调兵山变电站	跃进变电站一母	10	0.1575	0.2044	31.50	0.00	3
调兵山变电站	跃进变电站二母	10	0.1586	0.2089	31.50	0.00	3
调兵山变电站	腰堡变电站一母	10	1.3649	1.4045	31.50	0.00	3
调兵山变电站	腰堡变电站二母	10	1.3649	1.4045	31.50	0.00	3
调兵山变电站	双井子变电站一母	10	1.1723	1.3542	31.50	0.00	3
调兵山变电站	双井子变电站二母	10	1.1557	1.1952	31.50	0.00	3
调兵山变电站	施荒地变电站一母	10	0.3628	0.4	31.50	0.00	3
调兵山变电站	施荒地变电站二母	10	0.3628	0.4	31.50	0.00	3
调兵山变电站	大青变电站一母	10	0.8268	2.2	31.50	0.00	3

调兵山变电站	大青变电站二母	10	0.7983	2.135	31.50	0.00	3
调兵山变电站	阿吉变电站一母	10	1.8932	1.9508	31.50	0.00	3
调兵山变电站	阿吉变电站二母	10	0.7577	0.8203	31.50	0.00	3

2) 设备/线路参数表

220kV 变电站	设备/线路名称	类别	电压等级	容量/电流限值 (MVA/A)
跃进变电站	跃进变电站 2#主变高压侧	设备	66	40.0
跃进变电站	跃进变电站 2#主变低压侧	设备	10	40.0
跃进变电站	跃进变电站 1#主变高压侧	设备	66	20.0
跃进变电站	跃进变电站 1#主变低压侧	设备	10	20.0
腰堡变电站	腰堡变电站 1#主变高压侧	设备	66	8.0
腰堡变电站	腰堡变电站 1#主变低压侧	设备	10	8.0
双井子变电站	双井子变电站 2#主变高压侧	设备	66	20.0
双井子变电站	双井子变电站 2#主变低压侧	设备	10	20.0
双井子变电站	双井子变电站 1#主变高压侧	设备	66	20.0
双井子变电站	双井子变电站 1#主变低压侧	设备	10	20.0
施荒地变电站	施荒地变电站 2#主变高压侧	设备	66	20.0
施荒地变电站	施荒地变电站 2#主变低压侧	设备	10	20.0

施荒地变电站	施荒地变电站 1#主变高压侧	设备	66	40.0
施荒地变电站	施荒地变电站 1#主变低压侧	设备	10	40.0
调兵山变电站	岗调甲线	线路	66	120.0
调兵山变电站	调跃乙线	线路	66	120.0
调兵山变电站	调跃甲线	线路	66	120.0
调兵山变电站	调青乙线	线路	66	120.0
调兵山变电站	调青甲线	线路	66	120.0
调兵山变电站	调兵山变电站 2#主变高压侧	设备	220	120.0
调兵山变电站	调兵山变电站 2#主变低压侧	设备	66	120.0
调兵山变电站	调兵山变电站 1#主变高压侧	设备	220	120.0
调兵山变电站	调兵山变电站 1#主变低压侧	设备	66	120.0
大青变电站	大青变电站 1#主变高压侧	设备	66	10.0
大青变电站	大青变电站 1#主变低压侧	设备	10	10.0
阿吉变电站	阿吉变电站 2#主变高压侧	设备	66	20.0
阿吉变电站	阿吉变电站 2#主变低压侧	设备	10	20.0
阿吉变电站	阿吉变电站 1#主变高压侧	设备	66	20.0
阿吉变电站	阿吉变电站 1#主变低压侧	设备	10	20.0

（3） 调兵山市分布式光伏承载力测算典型日选取方案

铁岭电网普遍在月末时期负荷较大，因铁岭地区 2022 年风电出力最大时为 4 月 21 日，故在进行区县分布式光伏承载力测算时，以 4 月 21 日作为测算的典型日。

(4) 调兵山市分布式光伏承载力详细测算结果（拓扑、表格两种形式呈现）

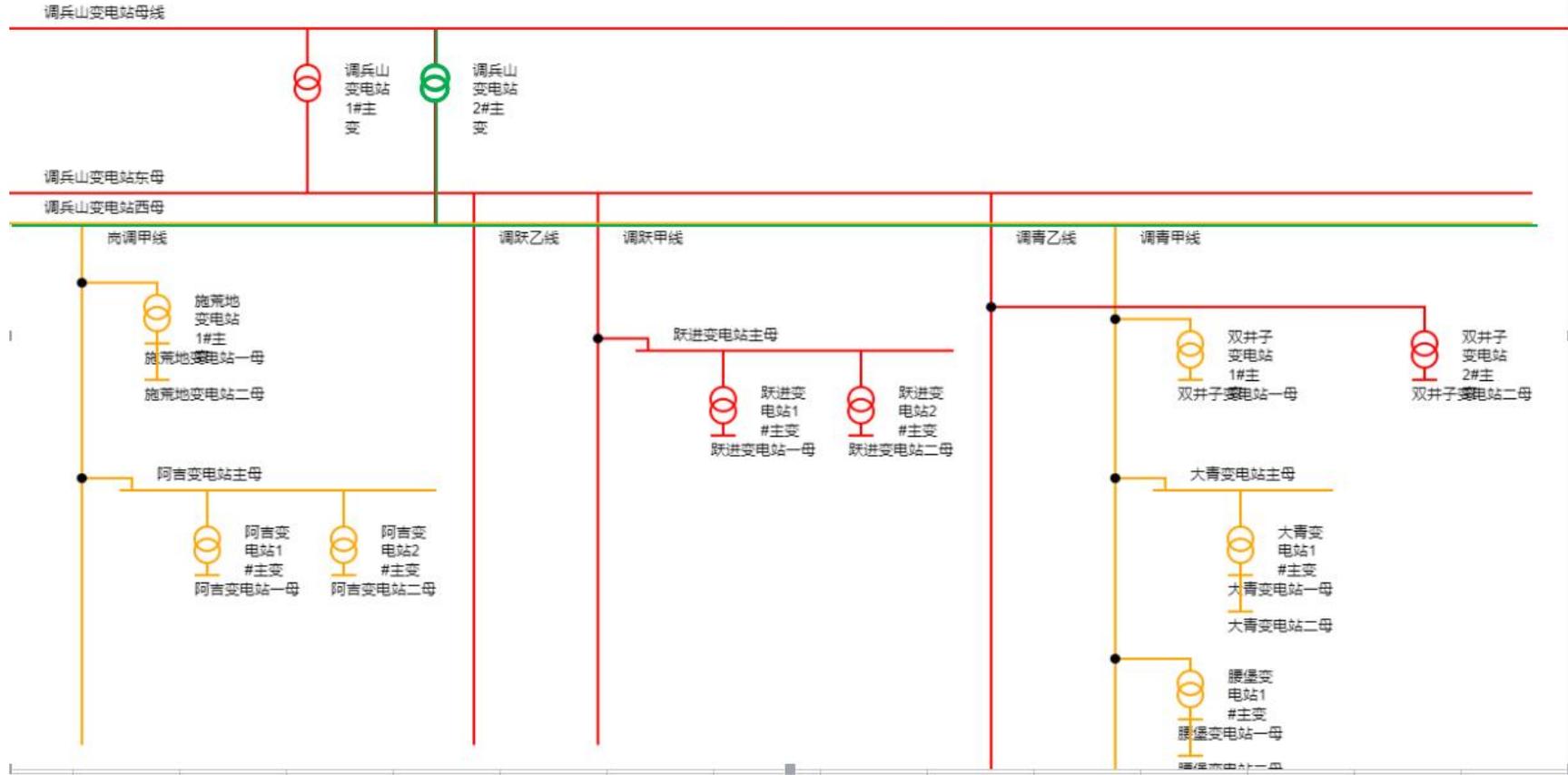
1) 测算结果表

220kV 变电站	评估母线	反向负载率	短路电流校核	电压偏差校核	谐波校核	评估等级	P _m	供电区域可新增 (MW)
		λ_{\max}					(MW)	
调兵山变电站	调兵山变电站母线	-11.87%	通过	通过	通过	绿	14.24	14.24
调兵山变电站	施荒地变电站一母	64.53%	通过	通过	通过	黄	14.24	-
调兵山变电站	腰堡变电站二母	79.25%	通过	通过	通过	黄	2.65	-
调兵山变电站	腰堡变电站一母	79.25%	通过	通过	通过	黄	2.65	-
调兵山变电站	大青变电站二母	79.25%	通过	通过	通过	黄	5.06	-
调兵山变电站	大青变电站一母	79.25%	通过	通过	通过	黄	5.06	-
调兵山变电站	阿吉变电站主母	64.53%	通过	通过	通过	黄	14.24	-
调兵山变电站	双井子变电站一母	79.25%	通过	通过	通过	黄	6.64	-
调兵山变电站	调兵山变电站西母	64.53%	通过	通过	通过	黄	14.24	-
调兵山变电站	阿吉变电站二母	64.53%	通过	通过	通过	黄	14.08	-

调兵山变电站	阿吉变电站一母	64.53%	通过	通过	通过	黄	10.64	-
调兵山变电站	施荒地变电站二母	64.53%	通过	通过	通过	黄	14.24	-
调兵山变电站	大青变电站主母	79.25%	通过	通过	通过	黄	6.64	-
调兵山变电站	阿吉变电站一母	64.53%	通过	通过	通过	黄	10.64	-

2) 评估等级拓扑展示

调兵山变电站



2.2 结论

根据上述计算结果及光伏发电时段特性，本工程光伏电站与同期铁岭县双井子 2.16 兆瓦分布式光伏发电项目光伏电站所发电量可在双井子变 10kV 侧消纳，不会上送 66kV 侧，未产生因分布式电源导致向 220kV 及以上电网反送电的情况，故铁岭县高家煤矿 4.52 兆瓦分布式光伏发电项目可以接入双井子 2#主变系统。