

分布式光伏电源系统一次设计及要点

刘大玮 邓霞容 刘小辉

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 本文以装机容量 36 MW_p 的分布式光伏发电工程为例,介绍了可采用的接入电压等级方案,并根据分布式光伏电源接入配网对并网点电压抬升的影响,选择 10 kV 电压等级并网,给出了一种分布式电源接入系统方案,并进行了导线截面校验。最后结合工作实际,归纳了分布式光伏电源一次设计要点,包括主接线设计以及高压侧熔断器和低压侧断路器的选择。

[关键词] 分布式光伏电源; 接入系统; 高压熔断器; 断路器

[中图分类号] TM615 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1008-5122(2022)02-0079-05

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.02.019

0 前言

新能源行业规模化部署是实现“双碳”目标的关键措施之一。光伏发电在新能源发电中的占比日益增高,其中分布式光伏发电又是“零碳能源”中从消费侧实现清洁能源转型的重要手段。因此,本文以装机容量 36 MW_p 的分布式光伏发电工程为例,详细介绍分布式光伏发电一次设计要点。

1 光伏电站及接入侧基本情况

该光伏电站拟建在辽宁某企业的 3 个厂区厂房屋顶,装机容量约 36 MW_p,厂房屋顶总面积约 40 hm²。经结构专业校核,3 个厂区(A、B、C 区)屋顶荷载满足规范要求,可以布置光伏组件。A、B 两区距离附近 220 kV 宁官变电站较近,约 1 km。A 区两回 10 kV 电缆专线由附近 220 kV 变电站主变压器 10 kV 侧 I、II 段母线引来,导线型号为 YJV-3(1×500),均为用户专线。场内配电站内部两段母线的接线型式为单母线。B 区 10 kV 公网电缆引入 10 kV 配电站,配电站内单母线接线,该支线电源来自 220 kV 宁官变电站 10 kV 侧 II 段母线,导线型号为 YJLV-3(1×500),C 区 10 kV 电源来自 66 kV 化学变电站 I 段母线,导线型号为 YJLV-3(2×500);配电站内

单母线接线。

2 接入系统方案

2.1 接入电压等级方案选择

2.1.1 380 V 电压等级选择

该光伏发电工程装机容量为 36 MW_p,如果按照 400 kW 一个 380 V 并网点进行计算,需要至少 90 个并网点。按照现行国网企业标准规定,8~400 kW 分布式电源可接入 380 V 侧并网^[1]。380 V 并网优点较多:

1)接入系统形式、继电保护等相关程序简单。采用就近接入,设置 380 V 并网柜,接至附近 380 V 备用间隔处。并网点处的继电保护仅需设置孤岛保护、欠压保护、短路保护。目前塑壳断路器及逆变器的技术手段完全满足要求,不需要设置复杂的继电保护装置^[1-2]。

2)施工周期短,入场条件简易。低压接入对施工单位资质要求相对较低,工程接入速度较快。380 V 接入系统无需选择大型逆变器、变压器,占地面积小,动土量非常小,周期显著缩短,厂区管线对工程影响较小。

3)接入系统方案审批及验收程序容易,工作时间明显缩短。

但选择 380 V 电压等级并网并不是毫无缺点,譬如需要占用较多低压配电间隔,有色金属消耗较大等。

2.1.2 10 kV 电压等级选择

根据《分布式电源接入电网技术规定》(Q/

[收稿日期] 2021-11-16

[作者简介] 刘大玮(1985—),男,辽宁阜新人,硕士,高级工程师,主要从事光伏电站设计及管理工

[引用格式] 刘大玮,邓霞容,刘小辉.分布式光伏电源系统一次设计及要点[J].有色冶金节能,2022,38(2):79-83.

GDW 1480—2015)第4条,400~6000 kW 分布式电源可接入 10 kV 电压,6000~30000 kW 分布式电源可接入 35 kV 电压。最终并网电压等级应根据电网条件,优先采用低电压等级。该项目分两期,一期光伏发电系统本期和远期安装容量均为 20 MW_p(厂区 A),二期光伏发电系统本期和远期安装容量均为 16 MW_p(厂区 B+C),一次建成,总安装容量为 36 MW_p。20 MW_p 电站可选择 10 kV 电压等级接入,需要较少配电间隔,有色金属消耗小,工程技术造价相对较低。

2.1.3 分布式电源对并网点处电压影响

分布式电源接入配网等效电路如图 1 所示。其中, S 为视在容量, \dot{U}_s 为配网母线电压,假设配电系统无穷大,其幅值不变;设 $Z=R+jX$ 为线路阻抗, R 为电阻分量, X 为电抗分量; P 和 Q 为系统侧向公共连接点方向传输有功及无功功率, P_L 和 Q_L 为本地负载消耗的有功功率及无功功率; \dot{U}_{PCC} 为公共连接点处电压; Q_C 为公共连接点处无功补偿容量,取正值时,发出感性无功,取负值时,发出容性无功; P_G 和 Q_G 为逆变器发出的有功及无功功率, Q_G 取正值时,发出感性无功,取负值时,发出容性无功。

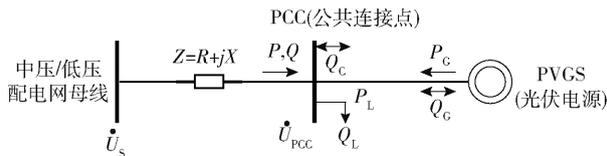


图 1 分布式电源接入配网等效电路图

由图 1 可知,配网向公共连接点传输的容量为:

$$\bar{S} = P + jQ \quad (1)$$

因此,配网母线电压 \dot{U}_s 与 PCC 点电压 \dot{U}_{PCC} 的电压跌落为:

$$\Delta \dot{U} = (R + jX) \left(\frac{P + jQ}{\dot{U}_{PCC}} \right)^* \quad (2)$$

式(2)中 * 表示取向量共轭。

取 $\dot{U}_{PCC} = U_{PCC} \angle 0^\circ$, 变换公式(2)为:

$$\Delta \dot{U} = \frac{RP + XQ}{U_{PCC}} + j \frac{XP - RQ}{U_{PCC}} \quad (3)$$

由图(1)得知, $P = P_L - P_G$, $Q = Q_L - Q_G - Q_C$, 简化计算设虚部为 0 得到:

$$U_{PCC} = \dot{U}_s + \frac{R(P_G - P_L)}{U_{PCC}} + \frac{X(Q_G + Q_C - Q_L)}{U_{PCC}} \quad (4)$$

假设本项目负载所需要的无功功率均由电网提供, $Q_C = 0$;逆变器功率因数取 1,则有 $Q_G = 0$ 。由公式(4)可知,负载容量较小时,光伏发电系统输入系

统的有功功率可引起公共连接点处电压升高。380 V 电缆线路接入可改善电能质量,但负载率较低时容易引起电压越限;10 kV 电缆尽量接入馈线前端,防止电压抬升^[3]。

根据现场实际情况,厂区内数控机床、铣床生产线等对电能质量要求较高,多点 380 V 接入时,容易导致轻载电压越限。加之并网点数量过于繁杂,安装并网柜需要较多外立面及备用间隔,原有低压配电室备用位置不多。综上所述,不考虑 380 V 电压等级并网,选择 10 kV 电压等级并网。

2.2 接入系统方案及导线截面校验

考虑周边电网情况,接入系统方案如下:

一期光伏项目接入既有的 A 厂区 10 kV 开闭站,利用既有的 10 kV 机床甲乙线送至 220 kV 宁官变电站 10 kV 侧 I、II 段母线。

二期光伏项目接入既有的机床厂 B 厂区、C 厂区 10 kV 开闭站,利用既有的 10 kV 宁十乙线机床分支线、沈机线分别送至 220 kV 宁官变 10 kV 侧 II 段母线、66 kV 化学变 10 kV 侧 I 段母线。光伏电站接入系统方案如图 2 所示。

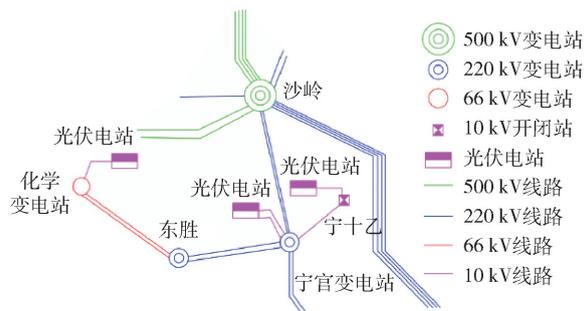


图 2 光伏电站接入系统方案图

本工程一期远期规划装机容量为 20 MW_p, 2 回 10 kV 线路送出,每回送出容量为 10 MW_p, 接入点额定电流为 539 A, 小于导线长期允许最大载流量 715 A。经校验,机床甲乙线满足本工程的送出要求。二期远期规划装机容量为 16 MW_p, 2 回 10 kV 线路送出,一回送出容量为 6 MW_p, 接入东厂区,一回送出容量为 9.75 MW_p, 接入细河厂区,接入点额定电流分别为 330 A、536 A, 小于导线长期允许最大载流量 570 A 和 715 A。经校验,10 kV 宁十乙线机床分支线、10 kV 沈机线,满足本工程的送出要求。10 kV 宁十线导线允许电流 570 A, 满足本工程的送出要求。

2.3 短路电流及电容电流计算结果

按照系统最大运行方式计算得到短路电流,见

表1。根据短路计算结果,一次元件遮断电流取31.5 kA。

表1 2017年一期工程短路电流计算结果

序号	变电站	三相短路容量/三相短路电流/	
		MVA	kA
一期工程	宁官 10 kV 母线	465.02	25.57
	A 厂区 10 kV 母线	431.31	23.72
二期工程	宁官 10 kV 母线	465.02	25.57
	化学 10 kV 母线	414.46	22.79
	B 厂区 10 kV 母线	305.60	16.80
	C 厂区 10 kV 母线	396.43	21.80

A 厂区 10 kV 侧系统接地电容电流增加 1.68 A, 现状电容电流 4.22 A, 届时电容电流约为 5.9 A; B 厂区 10 kV 侧系统接地电容电流增加 1.51 A, 现状电容电流 4.64 A, 届时电容电流将达到 6.15 A; C 厂区 10 kV 侧系统接地电容电流增加 2.02 A, 现状电容电流 4.96 A, 届时电容电流将达到 6.98 A。三个区的电容电流均小于电容电流允许临界值 10 A, 因此均可以不安装消弧线圈。

3 设计要点

3.1 开闭站内主接线设计

光伏电站(含分布式和集中式)电站常设升压站或汇集站,如图3所示。并网点所在虚线框内在用户 10 kV 母线处取一间隔,业主自建一汇集站,汇集站出口接入厂区 10 kV 母线。此种接入方案分界点明显,产权分割界限清晰,一次及二次设备标准化配置操作性较强。

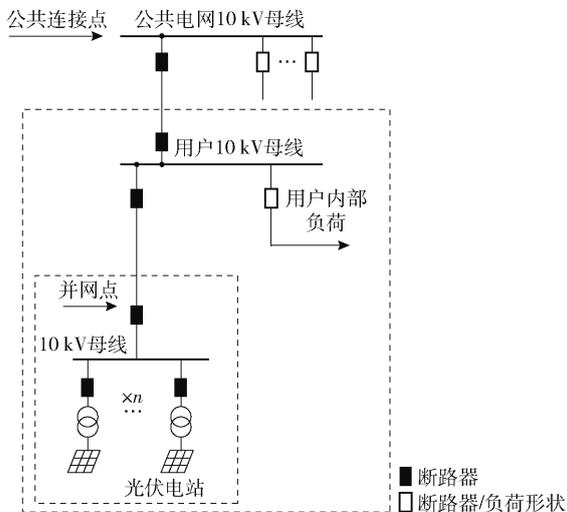


图3 常见接入系统主接线示意图

本项目给出了就近接入车间低压配电室变压器高压侧的方案,如图4所示。图4仅为A厂区一个并网点示意图。产权分界点及计量点设在车间变电所变压器高压侧环网柜入口处,利用原有电缆传输光伏组件发出的电能。由于存在工程进度及厂区构筑物所有权双重约束,并网点选择在车间变电所变压器环网柜处。此种方案受厂区管网直埋限制,原厂区未设电缆沟,全场为直埋。故利用原有电缆传输电能节省人力物力大面积开挖,缩短了工程建设周期,相对节省工程投资。

3.2 光伏升压变压器高低压保护设计要点

3.2.1 光伏变压器高压侧熔断器的选择

高压熔断器选择技术条件一般包含电压、电流、开断电流、保护熔断器特性;户内环境条件校验包含环境温度、海拔高度、地震烈度。图5为一组光伏升压变压器并网电气接线图。

根据现行标准,计量互感器及测量互感器熔断器只需按照额定电压和开断电流进行选择。值得注意的是,工作电压低于其额定电压的电网不宜采用限流式高压熔断器,以免因过电压而使电网中的电器损坏。

对于保护变压器用熔断器,设计应研究其弧前熔断时间特性曲线,并考虑以下问题:

1) 0.1 s 以下范围内动作电流应尽可能大。主要是考虑励磁涌流耐受性和侧保护装置的配合。一般情况下,应尽量避免低压侧短路、高压侧熔断器。如果采用高压侧熔断器对低压短路进行保护,要校核最小开断电流,最小开断电流应低于预期短路电流。图5中选择这种做法的原因是省去低压母线短路保护功能。双分裂变压器能够有效避免这一措施,但成本相对会提高一些。

2) 在 10 s 以下范围内动作电流较低,可以保证绕组故障、一次接地故障快速消除,与上级开关保护装置的配合性会更好。

3) 额定电流的选择应进行计算校核,尽量按照熔断器的生产厂商推荐数据选择。西安电力电容器厂、北京施耐德对保护变压器熔断件给出的极值为 125 A, 对应变压器容量为 1 250 kVA^[4], 超过此数值则不推荐。国家电网公司企业标准对 12 kV 固体绝缘环网柜熔断器技术条件明确规定,组合电器的额定电流值应从 100 A、125 A 中选取^[5]。因此在大型逆变器-变压器组的高压保护装置选取上,现行国家、行业、企业标准都有明确规定。按照现行技术条

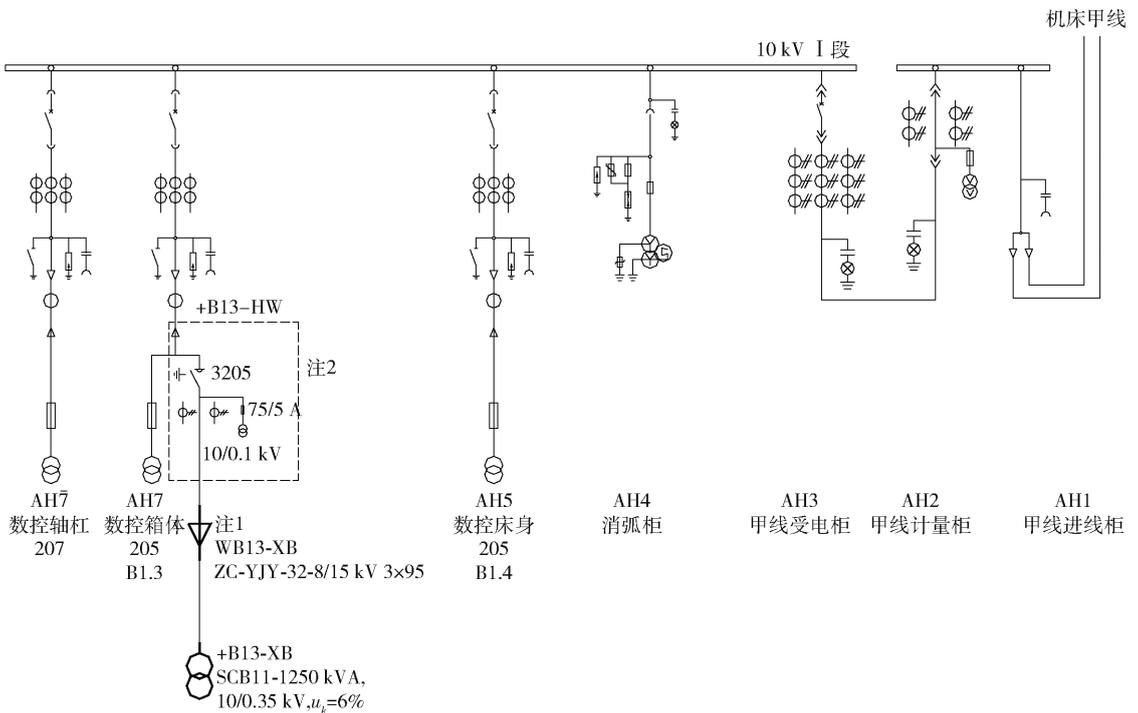


图4 A 厂区部分电气主接线图

1 500/5 A	1 250 A/2 000 A	电涌保护器	SCB10-1 000/10.1 000 kVA 10±2×2.5%/0.315 kV D, 11, U/d%=6%	JN15-12/31.5 kA XRNT-12/100 A	XRNT-10/1 A 100.1 kV, 0.2级 100/5 A, 0.5 带电显示器	JN15-12/31.5 XRNT-10/1 A, MT-FGB-10P 10/0.1/0.1 kV, 0.5/6P, 40/60 VA 3 ² /J3 ² /3 带电显示器	31.5 kA/4 s	630A-31.5 kA	JN15-12/31.5	100/5 A	带电显示器 100/5 A, 10P5
-----------	-----------------	-------	--	----------------------------------	--	---	-------------	--------------	--------------	---------	------------------------

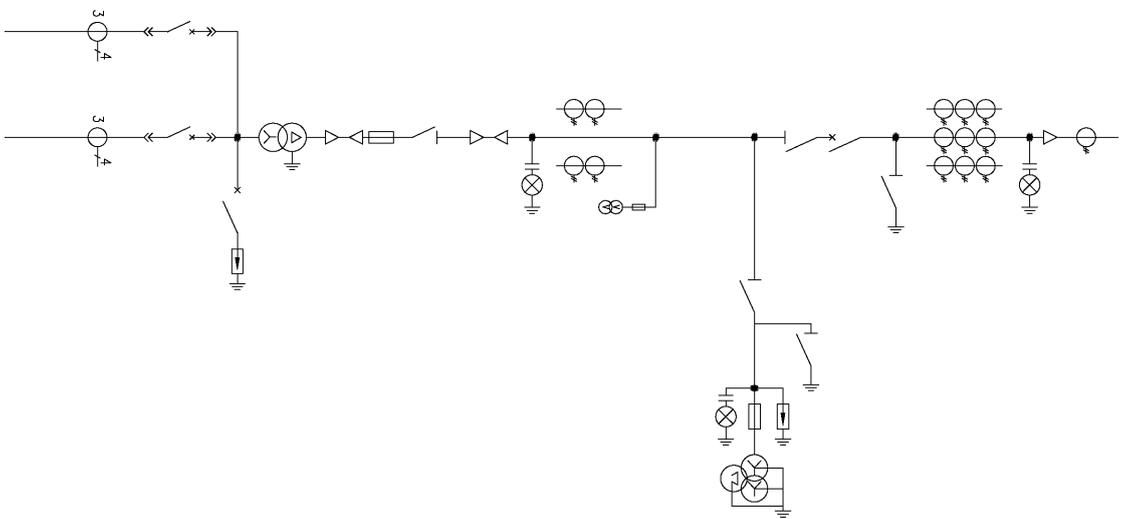


图5 一组光伏升压变压器并网电气接线图

件,设置断路器柜式为首选方案。总而言之,10 kV 变压器容量受现行熔断器技术手段限制,不宜选择过大。

3.2.2 升压变压器低压侧断路器的选择

升压变压器低压侧断路器的选择方式大致与配电回路相同。低压框架断路器的额定电流及瞬时电

流脱扣器定值的设计稍有区别。由于逆变器这一静止元件存在最大出力情况,故选择框架断路器的额定电流应满足:

$$I_n > I_{g\max} \quad (5)$$

$$I_{set3} > 1.5I_{n-NBQ} \quad (6)$$

式中, I_n 为框架断路器的额定电流,A; $I_{g\max}$ 为逆变器的最大工作电流,A; I_{set3} 为框架断路器的瞬时整定电流,A; I_{n-NBQ} 为逆变器的额定电流,A。

由图5可知,逆变器在发电状态时潮流方向为:逆变器-变压器-系统侧,直流侧提供的最大短路能量约为直流分量的1.5倍,故静止元件的最大输出短路能力为其额定值的1.5倍。逆变器交流出口断路器的瞬动整定值无需过大。当然,如果按照常规配电系统8~10倍进行整定,实际操作中并非不可,因为并网系统的短路容量远远大于静止元件提供的短路容量,只是根据继电保护原理,要保护逆变器及其交流电缆,1.5 I_{n-NBQ} 的定值完全能够满足。

4 结束语

接入系统方案应在技术条件允许的前提下,综合考虑业主需求。根据实际情况,选择合理的接入方案能够有效提高项目收益。虽然光伏产业发展迅速,相关技术规范的更新较快,仍有很多技术规定不够明确。需要设计者综合现行行业规范、国家标准,深刻了解光伏原理,进行合理系统设计。

[参考文献]

- [1] 国家电网公司. 分布式电源接入电网技术规定: Q/GDW 1480—2015[S]. 2015.
- [2] 国家电网公司. 分布式电源接入系统典型设计: 接入系统分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014: 27-29.
- [3] 杨勇, 赵波, 葛晓慧, 等. 分布式光伏电源并网关键技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014: 60-78.
- [4] 中国航空规划设计研究总院有限公司. 工业与民用供电设计手册(第四版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2017: 390-391.
- [5] 国家电网公司. 12 kV 固体绝缘环网柜技术条件: Q/GDW 730—2012[S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

Primary Design and Key Points of a Distributed Photovoltaic Power Supply System

LIU Da-wei, DENG Xia-rong, LIU Xiao-hui

Abstract: Taking the distributed photovoltaic power generation project with installed capacity of 36 MWp as an example, this paper introduced the available access voltage level scheme, and according to the influence of distributed photovoltaic power supply access to the distribution network on the voltage rise of the grid connection point, 10 kV voltage level was selected to connect to the grid, and a distributed power supply access system scheme was given, and the conductor cross section was verified. Finally, combined with the actual work, the primary design points of distributed photovoltaic power supply were summarized, including the main wiring design, the selection of high voltage side fuse and low voltage side circuit breaker.

Key words: distributed photovoltaic power supply; access system; high pressure fuse; circuit breaker new energy; carbon emission target