

基于光伏的直流微网系统与井场应用

杨加成¹ 汪诗语¹ 杨宏春²

1.中国石化胜利油田分公司东辛采油厂 257055;

2.中国石化胜利分公司地面工程维修中心 257055

摘要:随着碳中和战略的提出,以风能、太阳能、水能为代表的绿色能源快速增长,成为节能减排的重要手段。我国目前已经成为世界上最大的光伏组件生产国家,光伏发电在我国装机量多年快速增长。石油在开采过程中,采油机需要电网供电,而我国石油分布与太阳能具有高度重合,充分利用井场空地发展光伏发电,并将发电用于井场生产,不但可以降低采油成本,还能充分利用太阳能并网发电,给井场带来额外收益。本文主要对光伏发电原理及应用进行介绍,并就直流微网系统优势及应用进行分析,基于光伏的直流微网系统应用于井场,通过应用原理及具体设计方案,为井场提供清洁能源的同时,增加供电系统的可靠性,降低生产成本。

关键词:光法发电;直流微网;井场;储能装置

前言:

光伏组件发电效率经过技术迭代,目前已经具有市场竞争优势,成为清洁能源中应用广泛的绿色能源。由于目前井场设备采用传统电网供电,因此需要配套变压器、控制器等设备,整体维护成本较高。微网直流系统可以发挥直流电的优势,设备具有体积小、维护简单、能耗损失较小等优点。光伏发电通过微网直流系统输送给抽油机,在阳光充足时提供抽油机电量,并给储能装置充电,当天气较差或者夜晚时,利用储能装置供给抽油机。目前井场中采用光伏与微网直流系统连接抽油机,可以显著降低耗电量,增加供电设备的可靠性,充分利用我国丰富的太阳能资源。

一、光伏发电原理及应用

随着全球气候变暖,以“碳中和”为目标的温室气体排放协议成为各个国家发展新能源的积极动力。我国作为发展中国家,能源结构具有“富煤少油缺气”特征,因此积极发展以风能、太阳能、水能为主的绿色可再生能源,可以尽快实现我国能源结构调整,加大可再生能源的发电量。我国具有丰富的太阳能资源,光伏发电产业规模从无到有,目前已成为世界上最大的太阳能发电组件生产国家。经过多年发展,光伏发电成本下降明显,在广大太阳能丰富地区,光伏发电可以满足本地区能源需求同时,并网发电,实现绿色电源供给。

1、光伏发电原理

光伏发电是利用半导体的光电效应,当阳光照射在半导体上时,它的能量将被金属中最外层电子所吸收,克服原子核对电子的引力,从金属表面逃逸出来,从而形成电子流。目前光伏发电中应用最广泛的材料是单晶硅,硅原子有4个外层电子,如果在纯硅中掺入有5个外层电子的原子如磷原子,就成为N型半导体;若在纯硅中掺入有3个外层电子的原子如硼原子,形成P型半导体。当P型和N型结合在一起时,接触面就会形成电势差,成为太阳能电池。当太阳光照射到P-N结后,空穴由P极区往N极区移动,电子由N极区向P极区移动,形成电流。

光伏发电主要由光伏组件、控制器、逆变器、蓄电池等构成。光伏组件是光伏发电的主要核心,根据组件类型,可以发分为单晶硅、多晶硅、非晶硅,其中单晶硅发电效率最高可达24%,但是缺点成本较高,对于生产技术要求复杂。光伏控制器是能自动防止蓄电池过充电和过放电的自动控制设备。由于光伏发电在夜晚时无法工作,因此需要对光伏发电组件进行实时控制,确保组件质量稳定性,方便将多个光伏系统子站进行集中管理和远距离控制。逆变器是一种将光伏发电产生的直流电转换为交流电的装置,目前光伏发电要想并网发电,就要将直流电源转化为交流电。蓄电池则是为了储存电源。由于光伏发电接入电网后,需要平衡供电高低峰,因此

采用蓄电池可以使光伏组件中的电力传输到蓄电池中,平稳供电。

2、光伏发电的应用

经过多年发展,我国已经成为世界上光伏组件最大生产国与出口国,根据国家能源局统计,2022年我国风电、光伏发电超过1万亿千瓦时,为我国碳减排做出了重要贡献。以分布式光伏发电为代表,在我国太阳能资源丰富的西北地区,大型光伏电站得到大力推广。我国西北地区地广人稀,年均日照时间长达2500小时以上,丰富的太阳能资源可以通过光伏发电转换为电能,增加当地的经济发展水平。此外,在一些偏僻地区,如海岛、西藏等偏远地区,利用光伏发电可以给当地带来清洁能源,解决当地百姓的能源问题。目前,光伏发电已经成为我国绿色能源中增长最快、最优潜力的发电方式,有效带动了我国能源革命,实现绿色能源发展目标。

二、直流微网系统的技术特征与井场应用

早期人类发明电力时以直流电为主,虽然结构简单,但是由于直流电压较低,无法满足远距离运输的要求,因此在实际应用中存在各种限制,特斯拉考虑到直流电的应用局限性,采用交流电进行电力传输。相比于直流电,交流电可以提升电压,适合远距离运输,因此,目前世界上电网普遍采用交流电供电。随着时代发展与技术进步,直流电可以直接为各种用电设备服务,不再需要变压器等设备,能够降低电力设备的复杂性。

直流微网系统是指由微型电源、用电负荷、储能装置集合在一起的电网。在实际使用中,直流微网系统既可以与电网连接,采用电网进行运行,也可以作为电力局域网,采用孤岛模式使用。由于直流微网系统结构简单可靠,设备大多通过并网变换器接入直流母线。和交流微网相比,直流微网不需要对电压的相位和频率进行跟踪,可控性和可靠性大大提高,因而更加适合分布式电源与负载的接入。

1、直流微网系统特征

直流微网系统相比传统电网供电系统,具有效率高、无相位问题、结构简单、体积小、供电质量高、能源供应环保等优点。直流系统中不存在无功电流分量,在提供同样有功功率的情况下,直流系统电流幅值及相应损耗较交流系统更小。根据电流与电压的关系,直流电路损耗相比较交流电路,能够减少一半以上。交流电在使用中,需要进行降压,而直流电则可以直接并入直流母线,节省了变压器等设备,提高了设备的可靠性。目前DC/DC变换器多采用高开关频率,因此装置功率密度远大于工频变频器,体积更小。目前大多数用电设备与储能设备都是直流电,采用直流微网系统可以方便接入储能装置,供电质量更高。此外,随着环保意识的增强,交流电压在使用中产生磁场变化,导致电离辐射,而直流电网不会产生磁场变化,电辐射更小,更加环保。随着电力技术进步,直流

电在实际应用中的困难逐渐被解决，且原有优势逐渐显露出来。

2、直流微网在井场的应用现状

目前油田井场采油井在供电上，普遍采用交流电作为动力来源，由于需要经过变压器降压后给油井设备使用，因此普遍是一台油井对应一台变压器，大量变压器对设备后勤维护要求较高。由于交流异步电机的启动电流较大（一般是额定工作电流的5~7倍），变压器的容量必须留有较大余量，这就造成运行时无功损耗很大，功率因数很低。为了降低能源损耗，井场经过技术改进，采用变频器控制柜，实现了自动调参，为生产带来了一定的便利，但变压器的数量和容量并没有减少。在实际使用中，抽油机工作原理下，配重无法实现完全平衡，因此存在一定的倒发电现象，为了解决这个问题，采用大电容吸收电量，或者采用制动电阻消耗额外产生的电量，在此过程中电能转换为热能，会造成其他设备电子元器件加速老化，降低使用寿命。

目前在部分采油厂中，针对井场用电中存在的问题，开展了直流微网系统的应用。根据采油厂油井分布情况与工作特点，将相近范围内的油井视为一个整体，采用变压器集中供电，然后通过整流装置，实现“交一直”整流环节，随后以一条公共直流母线的形式传输到单井，每口单井配备专用的“直—交”逆变器，并联在母线上向电机供电，从而实现电机拖动。

三、目前井场供电中存在的问题

1、线路维护工作繁重

为了保证井场供电，需要针对每个油井搭建专用供电线路，而油井普遍处于交通不便的野外，为了保证供电线路正常运行，需要电力维护人员定期维护。井场供电中线路维护人员无法使用现代交通工具，有时只能依靠徒步前行，不但使维护工作效率低，也无法保证井场供电的安全性及可靠性。对于一些环境恶劣的地区，线路更容易损坏，这就使井场电网维护工作任务繁重，急需可靠性高、维护简单的供电系统，特别是在新疆等偏远地区，电网维护任务更为繁重。

2、设备众多，供电成本较高

我国石油资源虽然较为丰富，但是普遍埋藏较深，品位较差，因此开采成本相较于其他国家明显较高。在石油开采中，抽油机电力消耗是重要成本。目前井场供电中，需要一整套供电设备服务于抽油机，其中包括变压器、控制器、各种配套电子设备，这些在运行中都要消耗大量电力。在井场供电中，由于输电线路远，每个抽油机都需要采用“一井一变”的供电模式，不仅设备成本较高，耗费大量电力，也需要专业人员定期维护，这些增加了石油开采成本。降低抽油机运行中的电力消耗，采用更便捷的供电系统，是井场供电中一直追求的目标。

3、以风能、太阳能为主的新能源供应不稳定

我国大力发展以太阳能、风能为主的新能源，而我国石油资源分布则与太阳能、风能有高度重合，因此利用太阳能、风能为抽油机供电成为井场电力供应新趋势。在实际运行中，由于太阳能、风能受到自然因素影响，无法做到持续稳定供电，产生的谐波污染问题影响了新能源在井场中的应用。部分井场在投入资金与设备采购光伏发电站后，由于各种因素影响，没有达到稳定供应电源的目的，导致实际效果有限。此外，由于前期对新能源的利用经验不足，没有采用直流微网系统，没有配套建设蓄电池，导致新能源供应不稳定，影响了后续井场对风能、太阳能的利用。

四、光伏发电直流微网系统在井场中的应用

目前光伏发电在井场中应用有自发自用和全额上网两种。自发自用是光伏发电设备与井场内部电网连接，自己消化掉电量，多余部分只能舍弃掉，而全额上网则是指光伏所发电量经逆变器转换后全部并入现有电网，再通过变压器低压侧对井场供电。但是由于光伏发电不稳定，在整个运行中会产生大量谐波，对电网的稳定性造

成影响，因此在实际应用中受到限制。为了合理利用光伏发电产生的电量，减少对电网稳定的影响，采用直流微网系统成为井场光伏电站建设中的有力途径。电网通过整流器，光伏、储能通过直流斩波器共同接入直流母线，末端通过逆变器对电机等设备供电。同时光伏发出的电可利用直流母线汇集起来，集中通过一台并网逆变器上网，从而有效解决光伏并网产生的谐波污染问题。

1、直流微网系统应用于井场工作原理

在天气晴朗时，光伏发电组件正常发电，微网内部产生的发电功率高于油井设备用电功率，这时直流母线与储能装置连接，储能装置按照设定好的工作模式进行充电，光伏组件作为供电设备为井场供电，同时补充储能装置电量。当天气较差或者夜晚时，光伏组件发电功率下降，储能装置充电将会停止，这时对于井场用电无法满足情况下，由储能装置开始提供供电，保证井场内设备的正常使用，这样可以提高供电系统的稳定性。由于井场用电设备固定，用电场景简单，因此用电功率保持在一个稳定区间，这就为直流微网系统的可靠性提供理论依据。据统计，抽油机一天的用电量在100~250度之间不等，因此在光伏组件安装时可以按照日用电的1.3倍安装储能装置。考虑到不同抽油机之间的用电量不同，应当做到“一井一案”。

2、光伏发电直流微网系统供电设计方案

鉴于目前井场用电已经与电网相连，可以实现便捷取电，因此直流微网系统可以利用已有的电网连接，形成“光伏+储能+电网”多能互补的直流微网供电模式，各电源设备通过采用下垂控制，实现系统电能的有序调度。当白天光照条件良好时，光伏组件不仅向井场供电，也同时对储能装置进行充电，确保充分利用太阳能。考虑到日照受到自然因素影响，如果白天遇到降雨或者阴天，会影响井场正常运行，因此还要确保电网承担部分供电。考虑到电网作为企业，也需要考虑供电成本，为了保证电网的正常运转，电网可以将供电时间安排到全天，而白天供电占比要降低，这样既可以充分利用光伏发电，又能降低对电网的影响，提供井场生产的稳定性。储能装置在该类井场中主要负责为线路电压暂降提供支撑，提高电能质量，以及承担紧急情况（光照条件不好的情况下电网出现停电现象）下的供电任务，避免母线电压出现大范围的波动，扮演一个后备电源的角色。

总结：

光伏发电在实际使用中，由于受到天气因素的影响，无法提供稳定的电源供给，通过采用直流微网供电模式可以得到解决。目前来说，部分地理位置较为偏远的边远井存在井场取电困难等问题，采用光伏+储能的直流微网系统，不仅可以解决以上问题，还可充分利用绿色能源供电，降低碳排放，实现井场电能的自给自足。

参考文献：

- [1]王贵生，孙士奇，刘军，等. 含光伏的油田井场直流微电网结构及其功率分配规律研究[J]. 电工技术，2022年第18期 76-69页 共4页
- [2]王卿伟，蔡京陶，邵志奇. 直流微电网光伏发电储能系统的应用研究[J]. 电工文摘，2019年第4期 19-21页 共3页
- [3]秦乐胜，李营波. 油井直流微电网智能群控系统在东辛采油厂的应用[J]. 石油石化绿色低碳，2018年第1期 50-53页 共4页

作者简介：杨加成 1997-5-25 汉，男，硕士，助理工程师，研究方向采油工程。

汪诗语 1995-12-8 汉，女，硕士，助理工程师，研究方向采油工程。

杨宏春，男，汉族，1969-06-10。高级工程师，研究方向采油工程。