

大型风电基地集中并网关键技术

姚天亮¹, 郑昕¹, 杨德洲²

(1. 中能建甘肃省电力设计院, 甘肃 兰州 730050;

2. 国家电网甘肃省电力公司, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 风电是理想的非石化清洁能源, 大型风电基地集中并网技术是世界前沿课题。基于甘肃酒泉千万千瓦级风电基地的并网案例, 分析了一期3 800 MW风电的实际出力特性, 指出了电网接纳风电能力的制约因素, 提出了大容量风电集中并网跨区域消纳策略存在的问题, 并结合已有大型风电场并网运行经验和酒泉风电基地“2.24”风机脱网事故, 研究了风场内部35 kV电网接地方式、动态无功补偿设备配置等关键技术问题, 解决了一期风电工程在主要设备选型、电力设计、事故处理等细节问题, 有利于酒泉千万千瓦级风电基地的可持续发展, 对国内外大型风电基地推广集中并网方案具有示范意义。

关键词: 大规模风电基地; 跨区域消纳; 接地方式; 动态无功补偿

Abstract: Wind power is the ideal non-petrochemical clean energy, and the concentrated grid-connection technologies of large-scale wind power bases are the leading issue in the world. Based on the grid-connection case of Jiuquan 10 GW Wind Power Base in Gansu Province, the actual output characteristics of 3.8 million kilowatts of wind power are analyzed, the constraints of wind power integration capacity in power grid are pointed out, and the problems of large-capacity wind power cross-regional accommodation strategy are proposed. Combined with grid-connection operating experiences for the existing large-scale wind farms and "2.24" wind fans disconnection from the grid in Jiuquan Wind Power Base, some key issues such as grounding method of 35 kV power grid in wind farm, the configuration of dynamic reactive compensation are studied, the details of main equipment selection, electric power design, and accident treatments of the first phase wind power project are solved. It is of benefit to the sustainable development of Jiuquan 10 GW Wind Power Base, and has the important demonstration significance for the promotion of concentrated grid-connected schemes in domestic and foreign large-scale wind power bases.

Key words: large-scale wind power bases; cross-regional accommodation; grounding method; dynamic reactive compensation

中图分类号: TM715 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2012)06-0004-04

0 引言

按照国家风电发展规划, 分别在甘肃酒泉、新疆哈密、河北、吉林、蒙东、蒙西、江苏、山东等7个风能资源丰富地区, 开展8个千万千瓦级风电基地的规划和建设工作, 并提出了“建设大基地、融入大电网”以及由近及远、分期建设的总体消纳思路。其中, 甘肃酒泉千万千瓦级风电基地一期3 800 MW风电在2011年全部并网发电, 二期3 000 MW风电工程即将核准。酒泉一期风电工程建设周期2年时间, 成就了世界之最, 由于国内外没有案例可以借

鉴, 因此也承载着摸索大型风电基地^[1-2]建设经验、大型风电场典型设计、大型风电场并网技术规范等关键技术的历史使命。

酒泉一期风电至今已并网运行1年多, 积累了大量的实际运行特性数据和有益的并网运行经验, 但是在2011年曾多次发生风电机组脱网事故, 最多时约700台风机同时脱网, 损失风电出力率达54.4%, 暴露出大型风电基地在设备选型、施工管理、电力设计、外送消纳等方面存在的诸多问题。

基于酒泉千万千瓦级风电基地一期工程规划设计经验、并网运行特性的研究, 对大型风电基地集中并网策略进行深入剖析和思考, 在关键问题和技术

细节方面获得了一些新的见解。

1 大型风电基地出力特性

酒泉风电基地不同区域风力资源特性与风电出力特性的研究结论^[3]:酒泉地区风电场出力波动性大,最大出力可达到装机容量,最小出力可达到0,全年多数出力一般集中在装机容量的20%以内,绝大部分出力在装机容量的70%以下,整个酒泉区域出力系数平均约为0.63。

酒泉风电基地风电近两年出力统计分析:理论研究结论与实际运行数据吻合,装机容量越大最大出力同时率越低,不同区域风电群之间的相关性和互补性不明显,随着同一区域风电装机规模的增大同时最大出力系数反而降低。

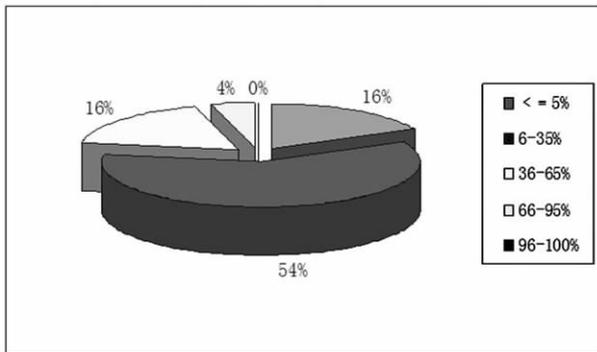


图1 2010—2011年酒泉风电基地不同出力出线的时间频率图

表1 不同时段风电发电电量所占比例

时段	2010年	2011年
	所占比例/%	所占比例/%
00:00—06:00	44	41
06:00—12:00	20	19
12:00—18:00	21	20
18:00—24:00	15	20

2010年10月23日至11月9日河西风电送出未受限制,河西风电出现同时率为0.72,瓜州和玉门分别为0.69、0.92。00:00—06:00、06:00—12:00、12:00—18:00、18:00—24:00发电量占总发电量比例河西为25%、25%、28%、22%。

2011年甘肃风电最大出力为4月22日的2667MW,占当时风电装机总容量的65%,占全网发电出力的22%。全网风电1min、5min、15min最大负荷变化速率月最大年平均值分别为:275、361、566MW。酒泉风电基地瓜州地区风电发电同时率为0.63,玉门地区风电发电同时率为0.78。

风电不同出力出现时间频率统计:全网风电出力主要集中在5%~35%装机容量区间,出现时间频率为54%;36%~65%装机容量区间出现时间频率为26%;0~5%和65%以上装机容量出现的时间频率分别为16%和4%。

2 跨区域消纳能力研究

中国西部地区大型风电基地风电资源丰富,但区域内用电负荷小、消纳能力差,迫切需要大规模跨区域输电,送往中东部负荷密集地区进行消纳。国家电网因风电并网问题承受着多方面压力,并网技术规范^[4]要求大型风电基地并网设计应开展电网接纳风电能力专题研究,应考虑能源资源情况、风电出力特性、电网负荷特性、电源结构、调频调峰能力等因素,分析风电有效容量,研究风电消纳方向,提出电网接纳风电能力和输电方案等,并对风电开发规模和进度提出建议。

由于风电出力具有随机性和间歇性,风电的市场消纳研究需要考虑电力平衡、电量平衡以及调峰能力,电网接纳风电的能力受多重因素制约,以酒泉风电基地为例分析如下。

(1)大容量风电群最大出力需要考虑同时率。酒泉风电基地最大出力同时率为装机容量的64%左右,出力主要集中在5%~35%之间。因此,电力平衡需要分别考虑风电大发、风电平发和风电为零的情况,风电场升压主变压器容量和送出线路导线截面积的选择,可按乘以最大同时率以后的数值考虑。

(2)风电电量的消纳新构想,大力发展适应性负荷,如电解铝、城市供热等负荷。大型风电基地周边矿产资源丰富,适宜发展高耗能产业,将大规模风电直接用于高耗能产业是国家重点科研攻关项目,也称为“非并网风电应用”,彻底打破风电并网后远距离输电后使用的瓶颈,有效减轻了高电压等级网架的输电压力,节省电网投资并降低网损。

(3)跨区消纳需要强大的特高压输电网作为支撑。酒泉风电基地外送通道主要依托750kV第1、第2输电通道,受不同运行方式下电网安全稳定极限的限制以及两条输电通道潮流分配不均的影响,不能充分发挥特高压网架的输电能力。风电跨区消纳还存在一个需要平衡的问题,就是为了接纳区外

清洁能源,中东部负荷中心地区需要统筹本地和外来电源的比例,控制火电建设规模和利用小时数。

(4) 与消纳能力对应的是调峰能力^[5-6]。网内水电调峰能力受水量影响,火电调峰深度受技术因素和经济指标影响,调峰能力的计算存在不确定性,即使跨区具备调峰调剂能力,受省网间网架交换能力的限制,难以发挥跨区调峰作用。由于风电的不稳定性,远距离输电需要与火电或水电捆绑联合外送,可通过建设抽水蓄能电站来解决调峰问题。

(5) 建议将风电基地输电规划纳入国家能源发展战略和“十二五”电力规划,以实现风电并网消纳规划的实施。对于需要跨省(区)消纳的风电,要整体规划、剔除无序开发。风电工程与电网建设工期不匹配,也是造成并网难的问题之一。风电场建设周期为6个月~1年,而配套电网建设需要1~2年,建议由国家主管部门统一核准,提前安排电网建设项目,以确保风电基地与电网工程配套建设、同步投产。

3 风电场内部 35 kV 电网接地措施

2011年2月24日酒泉风电基地一期工程风机脱网事故的原因是风电场内部35 kV线路电缆头绝缘击穿发生单相瞬时接地故障,升压站35 kV母线上直挂的消弧柜不能快速地降低电容电流,造成弧光接地持续发生,系统内产生接地过电压,导致箱式变压器、35 kV母线TV等设备烧毁,诱发系统复杂故障。

酒泉一期风电消弧方式为升压站直挂消弧柜,35 kV系统为不接地,事故发生后专家一致推荐大型风电场内部采用接地系统,35 kV系统接地方式选择成为并网技术热点,目前,设计主要推荐方案有接地变压器加消弧线圈^[7-8]和经小电阻接地^[9]方式,两种消弧接地方式消弧原理不同且各有优缺点。

①经消弧线圈接地的优点是非故障相对地电压基本不变并立即稳定,三线电压完全对称,单相接地故障不会恶化,可带故障运行2个小时。缺点是完全补偿会产生谐振过电压,容易造成间歇性弧光反复接地,并且接地电流很小,查找故障发生地点比较困难。

②经小电阻接地的优点是系统发生单相接地时健全相电压升幅很小,可以降低设备绝缘等级,节省

设备造价。小电阻接地计算过程针对性强,零序过流保护的灵敏度高,有利于故障排除。电阻成套接地装置结构紧凑,占地面积小,便于安装。缺点是35 kV系统构成大电流接地系统,发生任何形式故障都作用于跳闸,使内部汇集线路的跳闸次数大大增加,降低了供电可靠性。若零序保护拒动将危害接地点附近的设备绝缘,进而发展成复杂短路故障。

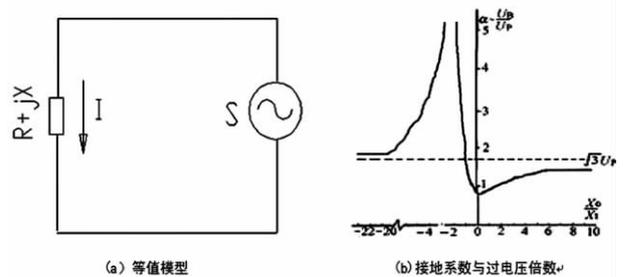


图2 单相接地故障等值模型及过电压倍数

但是从图2(b)可以看出,非故障相过电压倍数与接地系数有很大关系,接地系数大于0时单调递增,接地电阻对过电压影响不大;接地系数小于0时,考虑零序接地电阻对过电压影响复杂,在特定范围内可能出现谐振过电压。

因此,风电场内部35 kV汇集线路很长,“架空线+电缆”接线形式较为复杂,电网事故反措提出风电场消弧接地方式的选择,要以快速消除单相接地故障,或配备可靠灵活的小电流接地选线跳闸装置,有效切除永久故障。

4 无功补偿配置

在建设坚强智能电网背景下,动态无功补偿设备与风电市场发展存在双向的相互促进作用关系。风电市场的发展,保证了动态无功补偿市场的空间,动态无功补偿市场能够提高电网的风电接纳能力。随着风电市场接入问题显现,动态补偿设备迎来发展机遇,市场高速发展区域也实现由东部回归西部的态势,SVC价格体系呈现下降走势;无功补偿产品体现出升级换代趋势,技术性能更好的SVG将取代SVC成为风电补偿的主力军,SVC将在更深入电网侧的汇集站发挥其大容量的优势。

对于大型风电基地,受风电功率间歇性和随机性影响,推荐采用动态无功补偿设备,建议优先采用SVG动态无功补偿装置,在工程阶段具体设备选型由业主经技术经济综合比较后确定,规程要求响应

时间小于 30 ms,同时并网前要进行背景特征谐波测试,确定安装响应的滤波支路治理谐波。

并网风电出力波动频繁,加大了电网运行压力,随着入网风电装机容量的迅速增长,风电场发生故障概率大大增加,威胁电网安全稳定运行。图3为大型风电场配置SVG动态无功补偿装置后,当电网线路发生单相瞬时接地故障和风电场35 kV发生相间或两相接地故障时,电网主要节点电压和风电场母线电压波动曲线。

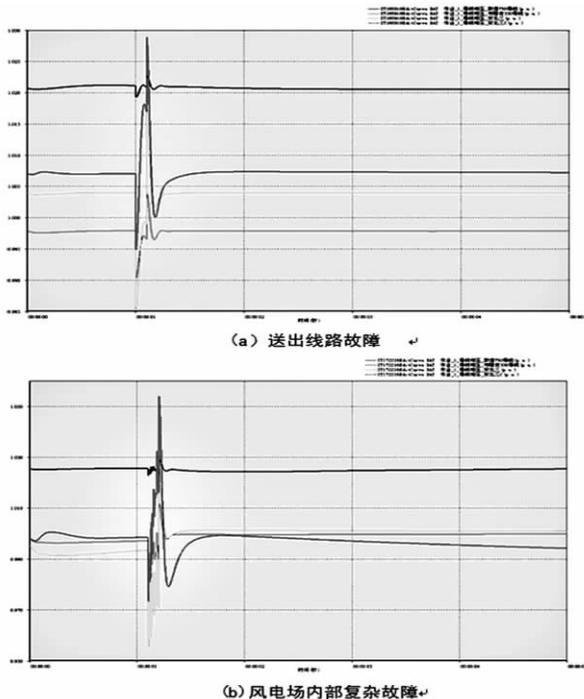


图3 电网故障风电场SVG投运时电压响应曲线

可以看出,故障发生时主要节点电压瞬间跌落,SVG能够快速抬高主要节点电压,有利于电网电压恢复和重建,有利于风电机组低电压穿越过程,因此SVG响应时间快速,可以达到5 ms,非常有益于大型风电场与电网保持同步稳定运行。

此外,甘肃酒泉千万千瓦级风电基地大容量风电通过750 kV输电系统集中外送时,电源集中上网造成送端电压飙高,为满足电网电压控制要求需要在电网主要节点和输电线路采取加装线路高压电抗器、母线高压电抗器和低压电抗器等技术措施,有效解决主网的电压波动问题。

目前无功补偿技术存在的问题:应该加快特高压750 kV可控高压电抗器的研制投运,加快35 kV

及以上电压等级直挂大容量SVG的研制、评估以及运行经验积累,加快酒泉地区电网AVC策略确定并尽快投运,确保酒泉风电基地内多台SVG统一受控,按照同一控制策略运行。

5 结 语

中国千万千瓦级风电基地目前还处于建设初期,大型风电场并网关键技术的研究是一项系统而复杂的课题,需要在实践中不断的研究其出力规律、输送通道与消纳市场、设备制造及设计运行经验,不断出台和完善相关技术标准和行业规范,指导和引领中国的风电产业健康可持续发展。

参考文献

- [1] 汪宁渤,马彦宏,夏懿.甘肃酒泉10 GW级风电基地面临的巨大挑战[J].电力建设,2010,31(1):101-104.
- [2] 郝正航.风电基地电力外送面临的技术挑战[J].电气制造,2011(2):29-31.
- [3] 西北电力设计院,甘肃省电力设计院.新疆及甘肃河西走廊地区风电场输电规划[R].
- [4] 国家能源局.NB/T31003-2011大型风电场并网设计技术规范[S].
- [5] 韩自奋,陈启卷.考虑约束的风电调度模式[J].电力系统自动化,2010,34(2):89-91.
- [6] 衣立东,朱敏奕,魏磊,等.风电并网后西北电网调峰能力的计算方法[J].电网技术,2010,34(2):129-132.
- [7] 盛晔,朱玛.配电网中性点经消弧线圈加并联选线电阻接地方式的运行安全性探讨[J].能源工程,2011(5):18-22.
- [8] 陈锐.基于快速消弧线圈的扰动法选线分析及应用[J].电力系统保护与控制,2008(20):41-44.
- [9] 于盛楠,冯蓓艳,张嘉晏,等.中性点经小电阻接地配电网系统的故障定位[J].电力与能源,2011,32(3):206-209.

作者简介:

姚天亮(1979),男,汉族,工程师,硕士,研究方向为电力系统一次规划、新能源并网研究等。

(收稿日期:2012-06-15)

欢迎订阅 欢迎投稿