

建设坚强智能电网助推酒泉风电基地发展

刘峻¹, 何世恩²

(1. 甘肃电力科学研究院, 甘肃 兰州 730050; 2. 甘肃省电力公司风电技术中心, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 通过对坚强智能电网目标及甘肃特点的分析, 探讨风电预报预测系统、需求响应等性价比高的技术手段的应用, 描绘出未来接纳大规模风电的甘肃坚强智能电网的愿景。利用大规模风电集聚特性和风光互补的特性, 有利于大规模风电光电的并网运行。通过加强对风能和太阳能的预测, 降低系统备用容量。如果在发电侧就采用大容量储能技术, 系统备用容量将进一步降低, 大大节约发电成本。在极端情况下, 控制出力, 保证系统的安全性。用电侧采用了需求响应机制, 需求可以直接响应风能和太阳能预测, 进一步降低风电等对系统调峰的要求。在需求侧加入 PHEV 及其他大容量储能装置, 由控制系统统一操作, 大大增加系统的可靠性。

关键词: 坚强智能电网; 风电基地; 需求响应; 风电并网

Strong smart grid boosts Jiuquan wind power base development

LIU Jun¹, HE Shi-en²

(1. Gansu Electric Power Testing and Research Institute, Lanzhou 730050, China;

2. Wind Power Technology Center of Gansu Electric Power Corporation, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Through the analysis of the target of strong smart grid and Gansu circumstance, the paper discusses the application of cost-effective technologies such as the wind energy forecast system and the demand response mechanism, and describes the vision of Gansu strong smart grid accommodating large-scale wind power. By taking advantage of the aggregative characteristics of the large-scale wind power base and the complementarity of the wind and solar energy, the integration of large-scale wind power and photoelectric power into grid can be realized. By strengthening the forecast of wind and solar energy, the system reserve capacity can be reduced. If large capacity storage technology is adopted in power generation side, system reserve capacity will be reduced further, which can reduce the generation cost greatly. Under extreme condition, the system safety can be guaranteed by controlling output. Demand response mechanism is applied in consumption side and the demand can directly respond to the forecast of wind and solar energy, and further lower the demand of wind power for peak regulation. Using PHEV and other large-capacity storage equipment in demand side, which are operated unifiedly by control system, can improve the reliability of the system greatly.

Key words: smart grid; wind power base; demand response; wind power integration

中图分类号: TM732 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)21-0019-05

0 引言

甘肃是我国风能资源相对丰富的省区之一, 风能资源理论储量 2.37 亿 kW。而位于河西走廊西端的酒泉地区是甘肃风能资源最为丰富的地区, 可利用面积达到 1 万 km², 风能资源可开发量在 4 000 万 kW 左右。省委省政府及时提出了建设河西风电走廊、再造西部“陆上三峡”的战略构想。全省 2010 年底计划建成投产 516 万 kW, 2015 年计划建成 1 271 万 kW, 展望到 2020 年增加到 2 000 万 kW 及 2020 年以后 3 000 万 kW 以上。2020 年后太阳能光伏发电要有更大的发展。甘肃酒泉千万千瓦风电基

地作为目前我国七个大型风电基地之一, 已经首先于 2009 年 8 月 8 日正式开工建设, 向全世界展现了“陆上三峡”工程的宏伟蓝图^[1]。

风力发电是通过风能转变为电能实现发电, 其发电能力由风速的大小、空气密度而定, 因此风力发电与水电、火电等常规电源相比, 必然具有风的随机性、波动性和不可控性的特点。太阳能发电是将太阳能转变为电能, 由于天气及地球运动原因, 同样具有上述的特点。所以酒泉基地风电接入甘肃电网后, 风电对电网安全稳定运行的影响将会非常突出。主要有平抑风电波动性的调频调峰、电力电量的远距离经济输送及交易消纳等问题。

智能电网是迎接上述挑战的最终出路。智能电网可以解决清洁能源发展面临的一系列问题：如大电网的安全问题；清洁能源集中开发远距离外送的问题；分布式电源接入的问题；用户互动的多元化需求等。

智能电网的概念最早由美国提出。其最初动因主要是美国电网装备老化，技术落后，亟需改进。美国的电力系统成熟于 20 世纪 60 年代末期和 20 世纪 70 年代初期，到目前为止，它的装备已全面处于全寿命周期末期。美国不希望电力系统进行简单的重复发展，而是希望有一个实质性的提升。2003 年的研究表明，2009~2019 年美国电力需求将增长 19%，而发电仅能增长 6%，不足以满足供电需求。电力传输的损失较高，输配效率有待提高。美国是世界上重要的能源消耗大国和世界最大的石油进口国，碳排放总量和人均排放量均居世界前列。从美国自身能源安全和环保的角度来看，需大力推动新能源的发展。其他因素包括电网的“阻塞”影响市场效率，防止大停电和恐怖袭击影响电网安全等。

由于我国电网发展所处的阶段和清洁能源开发特点与国外不同，中国智能电网内涵与欧美有一定差别。我国电网是发展中的电网，既要进行大规模建设，又要进行智能化改造。风电等清洁能源远离负荷中心，发展智能电网除了满足清洁能源的分散接入和用户的互动化需求之外，重点是解决风电等集中接入和远距离输送问题。2007 年底，华东电网启动了智能电网项目的可行性研究^[2]。2009 年 3 月份，国家电网公司提出要“建设坚强的智能电网”，5 月 21 日在 2009 特高压输电技术国际会议上，国家电网公司正式发布了举世瞩目的“建设坚强智能电网”的研究报告。2010 年 3 月，国家电网公司发布《国家电网智能化规划总报告（修订版）》^[3]，坚强智能电网是以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强网架为基础，以通信信息平台为支撑，具有信息化、自动化、互动化特征，包含电力系统的发电、输电、变电、配电、用电和调度各个环节，覆盖所有电压等级，实现“电力流、信息流、业务流”的高度一体化融合的现代电网。“坚强”与“智能”是现代电网的两个基本发展要求。“坚强”是基础，“智能”是关键。强调坚强网架与电网智能化的高度融合，是以整体性、系统性的方法来客观描述现代电网发展的基本特征。电网的“坚强”与“智能”本身也相互交叉，不可拆分。为实现我国智能电网的健康可持续发展，需分阶段稳步推进电网智能化建设，分别是规划试点阶段、全面建设阶段和引领提升阶段。甘肃电网如何在国家电网公司

总体目标下，结合自己的特点，研究、示范并实施坚强的智能电网，从而从根本上解决风电并网送出的“瓶颈”。风电等清洁能源的快速发展对电网形态、电源结构提出了更高的要求。大规模风电聚集特性和风光互补的特性，使大规模风电光电的运行波动性减少；风电预报预测系统的使用可以使运行方式更加合理；用电侧采用需求响应机制，如果需求可以直接响应风能和太阳能预测，则可降低系统备用容量。储能技术可以平滑风电等间歇式电源出力，减小负荷峰谷差，显著促进清洁能源规模化开发利用，需要从战略高度加以重视，如在需求侧优先加入 PHEV 及其他大容量储能装置；抽水蓄能技术成熟，可大规模经济利用。目前我国抽水蓄能电站仅占总装机容量的 1.3%，而甘肃还没有，需要加快发展。通过对坚强智能电网目标及特点的分析，探讨风电特性的研究，在建设坚强送端电网的基础上，结合风电预报预测系统、需求响应、抽水蓄能等技术手段的应用，描绘出未来接纳大规模风电的甘肃坚强智能电网的愿景。

1 甘肃电网坚强智能电网

1.1 甘肃电网的特点

甘肃电网处于西北电网中心，承担着电力互送、水火互济、陆上“三峡”电力送出的重任。随着西北 750 kV 主网架的逐步建成，酒泉千万级风电资源的开发，西北主网与新疆联网和新疆特大型煤电基地的建设步伐的加快，黄河上游装机容量 420 万 kW 拉西瓦水电站的建成投运，凸显了甘肃电网在西北电网的枢纽地位。

1.2 坚强智能电网发展的目标

上述特点决定了甘肃坚强智能电网发展的目标是：以国家电网公司建设坚强智能电网发展的总体目标为指导，以 750 kV 电网为骨干网架、特高压直流新能源送出为重要支撑、各级电网协调发展的坚强电网为基础，利用先进的通信、信息和控制等技术，构建以信息化、数字化、自动化、互动化为特征的自主创新、满足千万千瓦风电基地可持续开发及经济送出的要求的国家坚强智能电网的有机组成部分^[4]。

坚强智能电网能够友好兼容各类电源和用户接入与退出，能充分应对酒泉千万千瓦风电基地接入电网的挑战，最大限度地提高电网的资源优化配置能力，提升电网的服务能力，保证安全、可靠、清洁、高效、经济的电力供应；推动电力行业及其他产业的技术升级，满足我省经济社会全面、协调、可持续发展要求。

1.3 甘肃坚强智能电网发展的优势

甘肃应抢抓千万千瓦级风电基地建设的机遇, 以建设坚强智能的 750 kV 输电网和特高压直流为统领, 统筹做好发电、调度、变电、配电、用电和信息各个方面的工作, 有序推进坚强智能电网的建设。

作为电力传输的通道, 输电网不但关系着发电和用电的平衡, 而且是网络、市场经济配置的工具。坚强灵活的输电网不但是电力系统安全稳定运行的基础, 也是资源优化配置、基地风电送出和消纳、电力市场健康发展的前提。

目前河西电网的最高电压为 330 kV, 包括 7 个串联的 330 kV 变电站通过约 1000 km 联结起来。输电能力约 70 万 kW, 不能完全满足电力输送需求^[5]。

为了完成基地 2010 年 516 万 kW 风电的接入和送出, 750 kV 安西~酒泉~金昌~永登双回 750 kV 输电线路正在建设中, 如图 1 所示, 将在 2010 年年底投入运行。然而, 仍然不能完全送出基地电力, 再加上风电的继续发展, 特高压直流输电将是可行的解决方案。

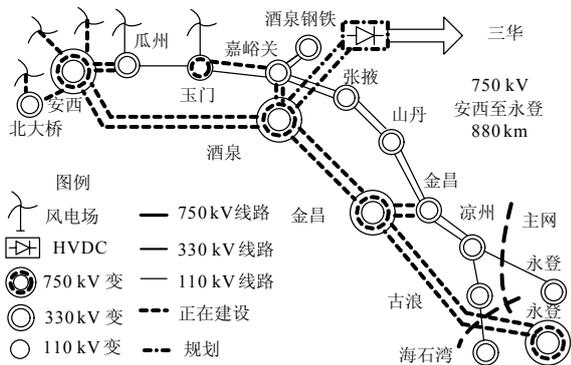


图 1 河西电网示意图

Fig.1 Hexi grid schematic illustration

酒泉千万千瓦级基地的发展是一个难得的机会, 必须要抓住机会, 推动坚强电网的建设。在政府的支持下, 加快 750 kV 超高压交流电网建设, 加快特高压直流电网的可行性研究等前期工作。同时全面建设通信和信息平台, 协调发展发电、传输、转换、分配、消费和调度技术, 有效促进电力系统运行效率、电网可靠性和电能质量的全面提升。

2 智能电网推进可再生能源发展

2.1 大规模风电并网存在的问题

发电、供电和用电必须同时完成的特点, 决定了整个电力系统的总发电出力必须随用电负荷的变化而变化; 由于风电、光电的随机性的特点, 发电出力难以控制, 为了满足发供用同时完成的电力系

统基本要求, 必须要有适应这种间歇性发电出力变化要求而相应反向变化的发电出力调整能力。否则风电引起电网的频率和电压偏移很可能超出频率、电压允许范围, 特别是在大的风速扰动、故障和操作下, 风电还将可能使得电网动态电压失去稳定。如果电网现有调频和调压手段不足, 电网安全稳定受到威胁。

酒泉风电基地在比较广阔的地域上分布, 出力同时率远小于 1, 大型基地风电场群的积聚效应使整体出力变化趋缓, 波动也减小, 出力高的概率变小。初步分析得到酒泉风电基地的保证容量为装机容量 1.4%, 说明酒泉风电在电力平衡时发挥的作用基本可以忽略。酒泉风电基地的有效出力为装机容量的 62.9%, 有效出力高, 表明安排系统调峰的难度比较大。

2.2 坚强智能电网提高风电接纳能力

为了建立坚强智能电网, 电力调度系统应继续改进并将风力发电预测预报系统、营销系统和负荷预测系统纳入到系统运行安排。该系统将采用新一代可视化技术, 通过相量测量单元 (PMU) 提供的电压和电流采样、实时传感器数据、天气情况及周边地理信息, 它可提供电网在某一地点的全息信息和预警, 将能够探索广大范围的电网状态, 并在几秒钟内, 切换到探索电网的一条线路的具体细节问题。它将迅速提供风电接纳瓶颈的有关信息, 减轻甚至避免系统连锁故障。有了这样的可视化的智能调度系统将使风电接纳能力大大增加。

系统中存在着大量的能与电网运行友好合作的可平移负荷, 如居民负荷 (电暖气、空调、热水器、电冰箱) 的比重超过运行储备, 还有较大容量的高耗能负荷是可中断负荷。可平移、可中断的负荷如果通过采用智能家电、智能楼宇技术感知电网频率的飘移, 而自动投切, 则可担负起调频任务, 起到旋转备用一样的作用, 而且无通信要求; 支持与用户互动的智能配电网可使广大用户、电动汽车 (PHEV) 参与到感知风电出力波动的可再生能源消费中来, 实现有效的需求响应, 削峰填谷。由于智能电网将按规划大规模覆盖, 所以就可以补偿大规模风电光发电出力的波动, 降低对电网调频调峰能力的要求, 提高各类发电的经济性, 提高整个电网的风电等新能源的接纳能力, 提高风电送出能力, 同时也提高输电设备利用率, 降低电能输送损失。

2.3 需求侧管理与需求响应

需求侧管理 (DSM) 是现代电力系统在电力市场条件下产生的用电管理模式, 通过提高终端用电

效率和优化用电方式，在完成同样用电功能的同时减少电力功率和电量消耗，实现低成本电力服务，达到节约能源和保护环境的目。它突破了传统的电力管理模式，改变了依靠单纯地扩大供应能力以满足日益增长的电力需要的方式，在更高层次上处理供应侧和需求侧的关系^[6]，而需求响应则是需求侧管理(DSM)在竞争性电力市场中的最新发展^[7-8]。

需求响应是指电力用户针对市场价格信号或激励机制作出响应并改变正常电力消费模式的市场参与行为。需求响应项目可以划分为基于价格和基于激励两类^[8]：

(1) 基于价格的需求响应包括分时电价、实时电价、高峰电价；

(2) 基于激励的需求响应包括直接负荷控制、可中断负荷、需求侧竞价、紧急需求响应、容量市场计划、辅助服务计划。

而与接纳大规模风电等可再生能源相关的需求响应重点着眼于系统安全稳定运行。需求响应从系统运行角度看，比起需求侧管理更强调其与用户的互动，包括信息互动与电能互动，而互动性主要是通过部署各类需求响应项目来实现的。

实施需求响应的障碍可分为四大类^[8]：监管障碍、经济障碍、技术壁垒和其他障碍。监管障碍是由特定的监管制度，市场设计，市场规则，或者需求响应程序本身造成的。经济障碍主要是对电力企业和用户提供的经济激励不足。技术障碍是指潜在的需求响应实施的技术壁垒，包括对新型的计量设备的需要，计量标准或通信技术。其他障碍是一些不属于上述类别障碍。主要牵涉顾客对需求响应计划的理解，并愿意参加。

从政策和管理层面对风电并网进行管理是一项长期的系统工程。从某种程度上讲，相比用技术方案解决风电并网问题而言，政策和管理制度的完善是性价比较高的方案。

由于需求相应资源可以灵活部署和迅速替代发电资源，因而基于智能电网中先进的传感与控制技术，利用需求相应来配合可再生能源发电运行以降低可再生能源发电的波动性是在技术上与经济上都极佳的解决方案，这也是当前的研究热点^[9-10]。比如美国加州电网调度就明确提出应对大规模可再生能源发电并网的三大策略：组合发电、储能与需求响应。需求响应与可再生能源发电组合的模式也开创了需求响应项目的新型运作方式：利用需求响应不仅能响应电价信号与激励机制，还能响应风电出力变化的特点，显著降低风电的波动。

3 接纳大规模风电的甘肃坚强智能电网框架

如图 2 所示为可接纳大规模风电光电的甘肃坚强智能电网框架，具有以下鲜明特点：

(1)发电部分利用了大规模风电集聚特性和风光互补的特性，并配套建设抽水蓄能、常规火电等，以后采用 CCS（二氧化碳捕捉和封存）技术和电能储存技术，将极大地降低发电的总体出力波动，降低间歇性成本，有利于大规模风电光电的并网运行。通过加强对风能和太阳能的预测，制定合理的互补曲线图，就可以极大地降低系统备用容量。在极端情况下，控制出力，保证系统的安全性。

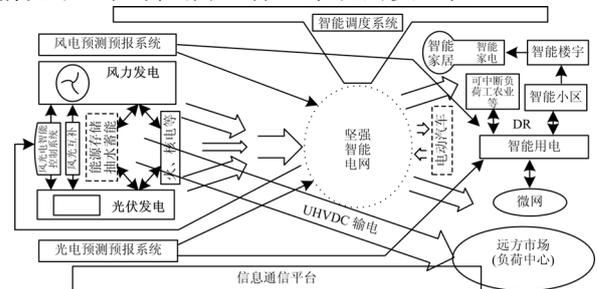


图 2 接纳大规模风电的甘肃坚强智能电网框架

Fig.2 The schematic illustration of the strong & smart grid to accommodate large scale wind power

(2) 输电部分在甘肃坚强智能输电网的基础上，增加了特高压直流远距离输电技术。2010 年底风电装机容量 516 万 kW，然后继续增加，2010 年底建成的 750 kV 双回线路也不能送出酒泉全部风电，随着风电装机容量增加到 1 000 万 kW 以上，西北电网的总体调峰能力已经无法满足要求，需要在更大范围解决调峰问题，必须建设特高压直流输出通道，风电、火电、光电和核电打捆外送。

(3) 用电侧采用了智能用电、需求响应等，需求可以直接响应风能和太阳能预测，进一步降低风电等对系统调峰的要求。如果出现电能短缺，系统备用容量不足时，可以按照一定规则对非重要的负荷中断供电，并按合同规定进行补偿。需要考虑酒泉风电基地 330 kV 汇集母线、线路上发生金属性短路的话，有可能导致低电压穿越能力不足的风电机组全部逃逸的严重情况，因为投产的风电机组都没有做低电压穿越能力试验，是否满足要求没有验证，必须要有应急预案。利用风电机组状态信息结合超短期风电预测预报给出预警，采取负荷紧急控制等措施，才能保证系统频率稳定，见图 3。未来如果在需求侧也加入 PHEV 及其他大容量储能装置，由控制系统统一操作，则可以大大降低用户的停电时间，增加供电的可靠性。最终实现最重要的功能，

即大规模可再生能源接纳和低耗高效输送双轮助力低碳经济。

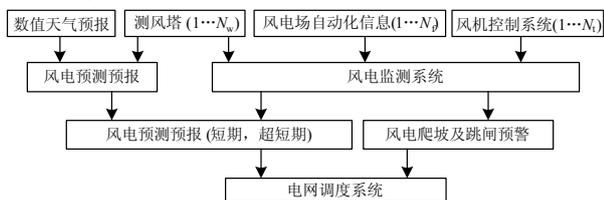


图3 风电预测系统及风电扰动预警

Fig.3 The wind power forecasting and disturbance early warning

(4)将风电预测系统有效地集成到智能电网调度中心的EMS(能量管理系统)中,通过合理安排运行方式及根据超短期预测及时修正可以大大降低运行备用。如果没有可靠的电力系统负荷预测与风电预测预报,调度员必须保持可观的储备,以应付潜在的风速转折性变化。可靠的风电预测允许调度显著减少其未来出力的不确定性,现在的风电预测技术在一定程度上已经达到了非常高的准确性,短期、特别是如15 min至4 h的超短期风电预测。

4 结论

为了实现社会的可持续发展与繁荣,为了改善电力系统的整体性能,建设“资源节约型、环境友好型”的新一代电力系统,研究开发示范建设坚强智能电网是绝对必要的,这是历史的必然,电力行业的发展方向。应当抓住这个机会进行创新,创造一个更可靠、更坚强和更智能的电力基础设施。

要根据本地区的特点,在国家电网公司总体目标下,描绘出结合地区特点的甘肃坚强智能电网愿景,明确建设甘肃坚强智能电网框架,进而指导具体的研究、开发和示范,验证其特性,以保证后续的评估、建设和提升工作的顺利开展,在此过程中,需要与政府沟通,获得政府的支持,同时倾听各方意见、特别是用户的意见和期待,不断完善,才能使智能电网这一技术革命从根本上解决超大规模风电基地等可再生能源并网的挑战,完成时代赋予的历史使命。

首先,建设超/特高压输电网络基础设施,以接纳和送出酒泉基地风电和太阳能光伏发电。大范围的电力平衡区域,能提供更大的接纳能力。将大规模风电输送到经济发达地区,如“三华”电力市场可以确保甘肃酒泉基地的风电可持续发展。

其次,应建设火电厂包括以后的核电和具有二氧化碳捕捉和封存能力的火电等,建设适合酒泉地

区的抽水蓄能电站,以减少风电的波动性。“风火电打捆”输送,提高输电通道及设备的利用率。

第三,大力研发推广适用于所有类型可再生能源并网的智能电网技术,以进一步改善风电接纳能力,如需求响应、风电预测预报系统、混合动力电动汽车等、能源储存电力电子和新的超高压/特高压保护原理。特别是智能电力调度系统是提高风电接纳能力必不可少的有效手段。

参考文献

- [1] HE Shi-en, WANG Wei-zhou, JIA Huai-sen, et al. Integration of wind power into Gansu grid and its operation[C]. //The First International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, SUPERGEN. Nanjing: 2009.
- [2] 帅军庆, 瞄准世界前沿, 建设智能电网[J]. 国家电网, 2008.
- [3] 国家电网公司. 国家电网智能化规划总报告(修订版)[R]. 北京, 2010.
- [4] 何世恩. 建设具有甘肃特色的坚强智能电网[J]. 甘肃电力, 2009(4): 8-10.
- [5] 甘肃电力调度通信中心. “甘肃电网2010年运行方式”[R]. 2010.
- [6] 朱成章, 徐任武. 需求侧管理[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [7] 张钦, 王锡凡, 王建学. 电力市场下需求响应研究综述[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(3): 97-106. ZHANG Qin, WANG Xi-fan, WANG Jian-xue. Survey of demand response research in deregulated electricity markets[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(3): 97-106.
- [8] 张钦, 王锡凡, 付敏, 等. 需求响应视角下的智能电网[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 48-55. ZHANG Qin, WANG Xi-fan, FU Min, et al. Smart grid from the perspective of demand response[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 48-55.
- [9] Federal Energy Regulatory Commission. A national assessment of demand response potential[R]. 2009.
- [10] Demand Response and Smart Grid Coalition. Accelerating the use of demand response and smart grid technologies is an essential part of the solution to America's energy, economic and environmental problems[EB/OL]. [2008-11-24].

收稿日期: 2010-06-10

作者简介:

刘峻(1972-), 男, 本科, 高工, 从事电力系统分析及试验研究工作;

何世恩(1961-), 男, 硕士, 高级工程师, 在职博士研究生, 从事电力系统运行管理、继电保护新技术的开发和风电并网工作。E-mail: he.shien@stu.xjtu.edu.cn, hofstadter2003@sina.com