

# 新疆电网风力发电运行对风电发展建设的启示

马锋福<sup>1</sup>, 常喜强<sup>1</sup>, 蔡鹏程<sup>1</sup>, 杨永利<sup>1</sup>, 王琳<sup>1</sup>, 姚秀萍<sup>1</sup>, 周悦<sup>2</sup>

(1 新疆电力调度中心, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2 上海交通大学, 上海 200240)

**摘要:**在对新疆电网风力发电研究的基础上, 分析了风力发电存在的问题, 提出了解决这些问题的建议和措施, 同时对风力发电大规模的开发应用提出了建议, 为风力发电的发展提供一定的参考和借鉴。

**关键词:**新疆电网; 风力发电; 解决措施; 开发利用

**Abstract:** Based on the investigation of wind power generation of Xinjiang power grid, the practical application and the existing issues of Xinjiang wind power plants are summarized and analyzed. Suggestions and measures of resolving these problems are put forward. At the same time, some suggestions to develop wind power on a large scale are proposed, which gives a reference for the development of wind power generation.

**Key words:** Xinjiang power grid; wind power generation; measures; development and utilization

**中图分类号:** TK81 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)04-0057-05

新疆特有的地理环境和气候条件造就了风能资源十分丰富, 全疆共有九大风区, 风能资源总储量巨大, 理论上估算新疆全年可提供 2.77 PWh 电量, 居全国前列。风区总面积达 15.45 万平方公里, 疆内年平均风功率密度  $\geq 150 \text{ W/m}^2$  的面积为 12.6 万平方公里, 技术开发量为 234 GW, 同时新疆的九大风区多处于戈壁地上, 地形平坦, 开发面积大, 建场条件优越。

目前新疆风电已形成多家办电的建设格局, 风力发电发展迅速, 装机容量快速发展, 为风电研究提供了广阔的平台。

## 1 风力发电发展

### 1.1 风电发展的优越性

由于石化能源资源日益紧缺, 发展和应用风力发电及其他可再生能源是节约能源的重要举措。风力发电的优越性主要表现在以下几个方面: ①建设风电场的费用廉价, 比水电站、火力发电厂或核电站建造费用低很多; ②不需要火力发电所需要的煤、油等石化燃料或核电站所需要的核材料即可产生电力, 除常规保养外, 没有其他任何消耗; ③风力是一种清洁的自然能源, 没有其他发电方式所产生的环境污染问题。是国际环保组织推荐减弱地球温室效应的最成熟的方式; ④风力发电和其他发电方式相比, 它的建设周期一般较短, 安装投产快, 装机规模灵活; ⑤风力

发电运行简单, 可以完全做到无人值守; ⑥风力发电实际占地面积小, 机组与监控、变电等建筑仅占风电厂约 1% 的土地, 其余场地可作其他产业使用, 风电厂基本选址在荒漠或废弃的荒地上, 对地形要求低, 发电方式多样化, 可以独立运行也可以联网运行, 为边远地区的用电提供了实现可能性。

### 1.2 风电与常规电源的比较

风力发电受气候、风速和风向的变化, 风力发电机功率, 出力变动大。风力发电与常规能源发电的比较如表 1 所示。

### 1.3 风电普遍存在的问题

由于风力发电功率的不稳定性, 对于系统的影响是显而易见的。主要表现在: ①风电的间歇性发电特征与电网连续、可靠、稳定、经济供电相矛盾; ②风速变化的随机性造成容量可信度低, 给电网有功、无功平衡调度带来困难; ③同时还将产生电能质量问题, 并对电网稳定性产生一定影响。

### 1.4 新疆风电发展状况

新疆特有的三大山脉夹两大盆地的地貌, 形成了新疆风多、风大的气候特点。新疆的风能资源品质好, 风频分布较合理, 破坏性飓风十分少见。新疆多数地区风速变化规律是以春秋大、夏季次之, 冬季偏小。即 4 月、5 月风速最大, 12 月和 1 月最小, 风力资源有利于开发, 同时在新疆部分地区呈现冬春季多风, 可弥补枯水期水能资源的缺乏。

表 1 风力发电与常规能源发电的比较简表

发电类型	火电和水电	风力发电
发电机输出功率的特点	可调度——运行人员可以安排机组的出力	间歇性——机组出力随气象条件、季节和每日不同时间段而变化,不能按计划发电
发电机种类和数量	同步发电机,一般发电厂包含数台或者十几台机组	采用多种发电机技术,包括感应发电机、双馈变速发电机和同步发电机,并且有些发电系统采用多种电力电子控制技术。大型风电厂包含数百台机组
故障时的暂态响应特性	取决于反映同步发电机组机电特性的功率振荡方程	不同类型的风电机组在故障时的暂态响应不同
运行特性	由发电机组和励磁系统的特性决定	由风电机组和协调全部风电机组群运行的风电场综合控制系统决定

2007 年新疆电网风电机组装机容量达到 301 MW,同比增加了 40.63%;2008 年装机容量为 488 MW,同比增加了 37.89%。装机容量快速发展,预计到 2010 年底,总装机容量将会超过 1 000 MW。新疆电网 2001~2010 年风电装机容量一览表如图 1。

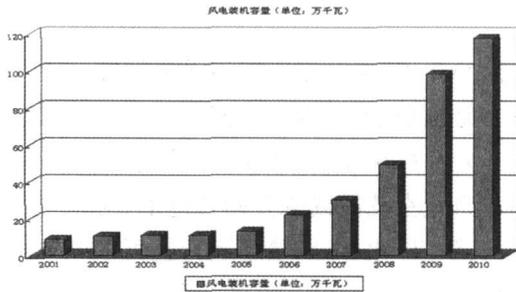


图 1 2001~2010 年风电装机容量

从上面的数据和图表可以看出,虽然新疆电网目前为独立电网,对风电发展有一定的制约,但是新疆电网开发利用风能资源的力度仍然很大,随着新疆电网与西北电网的联网,新疆电网 750 kV 网架的建设和发展,新疆风力发电,清洁能源的利用将在新疆得到更大的发展和利用。

## 2 新疆电网风力发电运行情况分析

2007~2008 年全网风力发电机组发电量曲线如下图 2 所示。

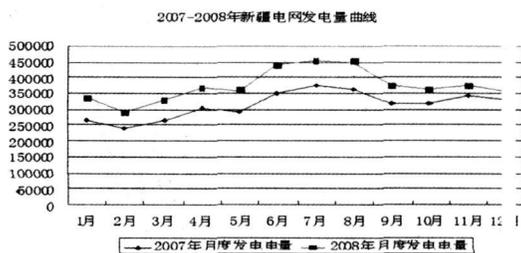


图 2 2007~2008 年全网风力发电电量

从曲线中可以看出新疆电网总发电量和风力发电量都是逐年显著增加。2008 年,风力发电总电量 777.29 MW h,风力发电量明显增加,较 2007 年增加了 56.5%。风电的快速发展,也给新疆电网的运行带来许多问题,下面就各方面的问题逐一进行分析。

### 2.1 风电对电网调峰的影响

随着风力发电机组以及大容量火电发电机组、供热机组建成和投产,新疆电网的调峰压力很大。2008 年新疆电网最大发电峰谷差 1 758 MW,最小发电峰谷差 1 192 MW。电网负荷的峰谷差较大,系统调峰困难。2009 年随着农灌及空调负荷增长迅猛,新疆电网峰谷差进一步加大,预计平均峰谷差 1.51 GW,较 2008 年增长 18%,最大峰谷差 1.8 GW,较 2008 年增长 19%。2010 年新疆电网调峰缺口在 1.77~2.4 GW 之间。峰谷差的增加不利于调峰。另外,新疆电网机组结构更是加重了电网的调峰压力。

电网中水电比重小,火电比重大,水电占总装机容量的 20%,火电(含燃气和生物)比例为 75.5%。新疆电网中水电中有调节能力的水电机组较少,仅仅只有吉林台水电站、恰甫其海水电站、察汗乌苏水电站能调节,由于这三个水电站近两年来水较少,来水处于枯水期,为保证来年农灌用水,水电站冬季基本处于出力较小或者全停,调节能力有限。参与系统调峰较少。

火电机组中,供热机组所占比重大;电网中还存在大量的不参与调峰的自备电厂,2008 年其装机容量占到了全网总装机容量的 14.99%;风机比重进一步增大,2008 年新疆电网直调风电装机容量为 0.488 05 GW,风电装机容量占到最小负荷的 15.9%。如果再考虑火力发电厂供热因素,自备电厂不参与调峰等因素,系统调峰压力增大。电网调峰困

难。因此,对于目前调峰压力较大的新疆电网,风电的大量投运,如果不采取一定的技术措施,将不能保证清洁能源被充分利用,火电发电厂也将不能很好地经济运行。

新疆电网调峰困难,具体可以从下图的比较曲线中看出,2009年 2 月 8 日,达风变风电出力与系统负荷比较如图 3、图 4 所示。

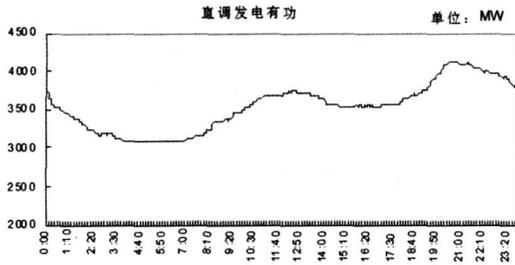


图 3 系统负荷曲线

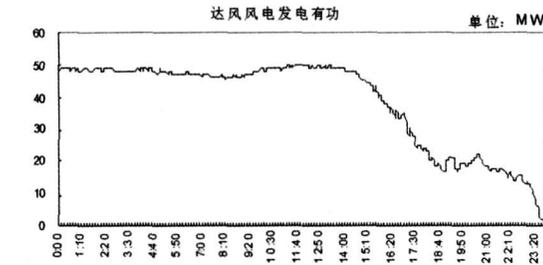


图 4 达坂城风电出力

## 2.2 风电对电网频率造成影响

风力发电对电网的频率调整也产生一定的影响,风电对新疆电网频率的影响包括对全网系统频率和地区电网频率的影响两个方面。

### 2.2.1 对系统调频的影响

新疆电网 2008 年 2~11 月,风电发电出力 15 min 内波动超过 90 MW 的次数统计如表 2 所示。

从表 2 可以看出,风电出力的剧烈波动十分频繁,系统调频机组随着频繁调整,对系统的调频压力很大,使系统频率合格率下降。

表 2 新疆电网 2008 年风电出力波动统计

月份	次数	月份	次数
2	25	7	32
3	45	8	51
4	32	9	39
5	39	10	44
6	40	11	39

目前新疆电网投产的风电机组大多不能进行有功调节,也没有功率预测系统,新疆电网峰谷差较大,后夜低谷时段负荷约 3 000 MW 左右,在风电超过 200 MW 的情况下,大量火电机组需要投油来满足系

统调频的要求。风电出力变化和频率变化频繁,给调频工作带来难度,具体可参见 4 月 30 日的风电发电出力与系统频率变化图,如图 5、图 6 所示。

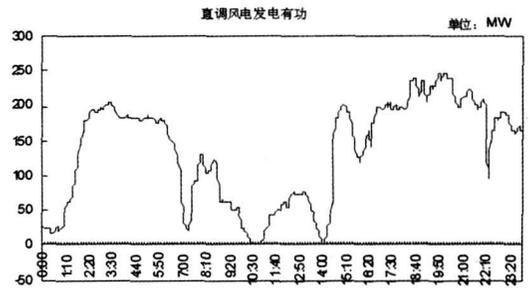


图 5 全网风电发电出力

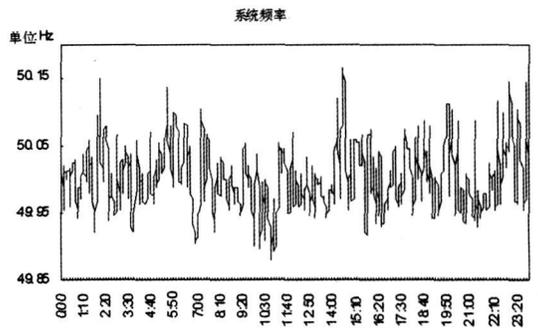


图 6 系统频率变化

### 2.2.2 对地区电网频率稳定造成影响

以塔城地区为例,地区电网的风电厂在小负荷时出力较大,向主系统输送功率较大,发生联络线跳闸时,易出现高频问题,给地区电网频率控制和频率稳定带来严重影响。2009 年 2 月 17 日的曲线如图 7、图 8 所示。

若在此情况下若发生系统与塔城地区联络线的跳闸等事故将造成塔城电网孤网运行,塔城电网将面临严重高频局面。

### 2.3 风电对电网动态电压特性产生影响

目前投产的风电机组大多不能进行有功、无功调节,对电网动态电压特性影响较大。并网时从电网大量吸收无功,造成电网电压水平降低。

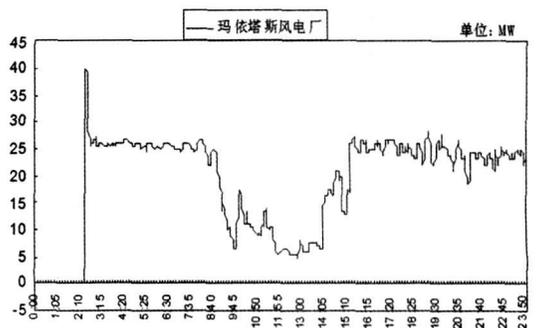


图 7 塔城地区风电出力图

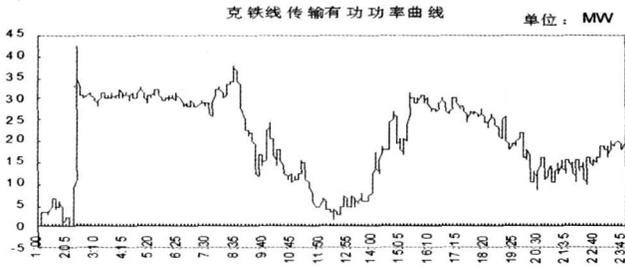


图 8 塔城地区功率交换曲线

达风变电站是目前新疆电网中风电接入最多的 220 kV 变电站, 35 kV 和 110 kV 电压等级均有风电接入。根据 2008 年全年和 2009 年 1、2 月的统计, 达风 110 kV 母线电压最低为 109 kV, 全年电压基本在 113 kV 以下。为保证 110 kV 母线电压, 需要抬高 220 kV 母线电压, 达风 220 kV 母线电压最高为 241 kV, 全年电压基本在 238 kV 以上, 同时也牺牲 35 kV 母线电压。

#### 2.4 风电机组对电网产生电压闪变与电压波动问题

从水利厅风电场、天风风电场 10 kV 风电汇集点母线的电能质量监测中, 发现风机在正常运行时会给电网带来电压波动及闪变问题。

### 3 发展风力积极采取的措施

虽然风电发展在新疆电网将有与别的电网不同的问题。为了更好地开发好风电, 最大程度地利用风力资源, 保证风电送得出、落得下, 仍积极开展风力发电的研究, 采取多种措施积极促进风电发展。

1) 为保证风电的送出, 加快了电网建设步伐, 不断改善和加强风电接入系统的网架, 通过提升风电接入系统的电压等级, 加强接入电网的主网架建设来减少和解决风电接入系统带来的问题。

2) 针对风电场接入系统引发的系统电压问题, 不断完善无功电压补偿装置的配置, 保证风电场的安全稳定运行, 以提高风电场投产后地区电网的稳定性。在电网网架薄弱, 系统短路容量小的系统风电接入装设可控静补等。

3) 为缓解风电发展加剧的新疆电网调峰、调频问题, 充分挖掘现有火电机组的调峰潜力, 增加高效大容量火电机组的利用率。要求大机组采取各种科学措施, 进行深度调峰。要求装机容量在 135~150 MW 的机组具备两班制运行能力, 以便在负荷较低时轮流启停调峰。

4) 针对风力发电带来的电网调峰问题, 加强与气象部门联系, 收集主要风区多年来风历史数据, 与风电出力进行对应分析, 找出来风情况和风电出力的内在关系, 为风电出力预报系统提供原始数据和理论基础。开发研究风力发电预报系统, 为获得较为准确的风电场发电量的预测结果, 帮助风电场更合理地制定对外界提供风能的计划。

5) 积极开展风电仿真分析。模拟风电接入, 建立风机和风电场仿真模型, 研究新疆电网风电接入系统的频率稳定性、电压稳定性、动态稳定性, 并针对风电容量、接入电压等级、风机不同类型、风机功率动态变化、风速变化进行敏感性和适应性分析。

6) 积极研究新疆风资源情况, 在新疆电网风电接纳能力一定的情况下, 通过概率数学方法研究, 得出分散布局方式建设风电思路, 总量相同, 分散格局, 星点接入方式, 减少风电对电网的影响程度。目前, 电网分别在 6 个地区建成了不同容量规模的风电场, 而避开了集中在一个地区开发风电场、减少风资源对风电出力的影响。

通过分析新疆风电出力波动和新疆电网的承受能力, 以及对采取的各种措施效果的分析, 得出这些应对风电波动出力及保证电网安全运行的方法。实际情况证明这些方法是有效的, 无论风电的等效装机、风电出力波动量及系统的调节能力和运行, 电网的配合建设方面, 是有一定的成效的。

风电并网运行的容量与电网的调节能力直接相关, 风电并网容量与电网负荷的比例, 国际上通常认为 6%~8%。而尽管新疆电网的规模不大, 风电装机容量却占新疆电网 2008 年最小负荷比例约为 16%, 电网后夜风电发电比例占负荷高于 10% 以上, 大大超过了大型电网容纳风电的比例。几年来风电机组没有发生因电网原因限制发电的现象, 基本实现了全额收购风电。新疆风电的建设与电网同步和谐展开, 达到了保证风电效益和电网安全运行双赢。

### 4 风力发电大规模开发的建议

#### 4.1 针对电网接纳风电进行深度分析

在研究电网接纳风电的能力时, 充分考虑以下因素: 电网规模, 电网中不同类型电源的比例及其调节特性, 负荷水平及其变化特性和风电场的地域分布、可预测性与可控制性等。

#### 4.2 针对风电的特殊性采取的分散接入方式

由于风电大规模开发后,若集中加入一点大容量接入,风电的变化对系统的稳定性、潮流分布、电压控制均产生较大的影响,由于风力的不确定性,风能的突然消失也将造成风电停运,集中接入的风电会因为风的消失而停运,造成功率变化幅度较大,而分散接入可以最大限度地减少对电网的影响。即减少风电集中送出对系统电压、功率转移造成的影响,减少风的消失对风机功率的影响,进而减少风对电网功率波动造成的影响,从而减少系统功率的波动。又可以利用各风场来风的不同时性,分布式风电较强的“错峰效应”,使全网风电总出力变化趋于平缓,减少电网调峰调频压力。

#### 4.3 深入研究电网调峰调频

对大规模风电并网带来的电网调峰、调频能力不足等问题进行深入研究,引导水风互济、风电的发展与电网其他电源相协调的发展方式。在风电发展的同时,应建设与风力发电装机容量相当的调峰电源(如:具有调峰能力的水电站、燃气轮机组、抽水蓄能电站等),作为风电出力的反调节器,以弥补风电随机性电源造成的发电能力的不平衡,有效减少风电出力的波动对系统的不利影响。

#### 4.4 风电场的运行控制

制定风电场运行的相关规定、并网准则、技术要求等,明确风电场并网的程序和条件,优化风电场并网管理流程;制定风电生产技术支持系统标准体系办法,适合电网安全稳定运行的风能实时监测系统的技术标准;对风电开发涉及的风速、风向、气温、气压等气象信息进行实时监测,建立风力资源共享体系和运行规则。

#### 4.5 积极采用动态无功补偿

对于风电波动产生的电能质量问题、谐波问题,积极在风电场汇集点加装动态无功电压补偿装置,以积极跟踪风电功率变化带来的电压问题,快速适应风电功率变化,开展风电场电压控制技术研究及谐波治理,保证风电场的安全稳定运行。

#### 4.6 积极研究气候变化对风能资源的影响

积极研究气候变化对风能资源的影响、风电建设对风电场周围气候的影响,从而更有效地掌握风能资源的变化情况。

#### 4.7 积极研究风机类型的效果

建立不同风机模型,对不同电网结构接入不同类型的风机进行敏感性和适应性分析,以求最佳利用风电资源。

#### 4.8 积极研究风电接入系统的各种稳定性分析

在电网仿真分析中,模拟风电接入,建立风机和风电场仿真模型,研究电网风电接入系统的频率稳定性、电压稳定性、动态稳定性,并针对风电容量、接入电压等级、风机功率动态变化、风速变化进行敏感性和适应性分析。

### 5 总 结

新疆的风力发电近几年发展速度越来越快,尽管风力发电在实际的开发和运行中存在一些问题,但是风力发电作为新型清洁能源,仍然有巨大的社会效益和经济效益,风力发电仍然有巨大的市场。

只要积极开展对风电的特殊性的研究,积极采取各种技术措施,如:分散接入系统;选择相对稳定的风力资源建设风电场;通过与气象部门的合作,准确预测风力发电功率;配套建设调峰调频电源,合理安排机组备用容量进行峰谷调节;积极进行谐波治理,采用动态电压补偿和控制等技术,加快建设高电压等级联络线(750 kV 电网),实现与外部电网的联系(与西北电网联网),扩大电网规模和电网的综合调节能力,就能真正充分利用清洁能源,实现风力、水电和火电等资源的优化配置。

### 参考文献

- [1] 孙元章,吴俊,李国杰. 风力发电对电力系统的影响[J]. 电网技术, 2007, 31(20): 55-62.
- [2] 耿华,杨耕,崔扬,梁之龙. 并网型风力发电系统的现状与发展[J]. 东方电气评论, 2006, (2): 1-7.
- [3] 计崔. 大型风力发电场并网接入运行问题综述[J]. 上海电力, 2008, (1): 59-63.
- [4] 靳静,艾芊. 我国风电场建设及运行现状评估与发展前景研究[J]. 华东电力, 2007, 35(8): 44-49.
- [5] 岑海堂,薛正福. 大型风电机组发展现状与关键技术[J]. 科技创新导报, 2008, (24): 78-79.
- [6] 陈树勇. 大型并网风力发电场规划方法研究[D]. 电力部电力科学研究院, 1998.
- [7] 田华,朱莉. 三门峡黄河风电场一期工程并网方案研究[J]. 电网技术, 2009, 33(4): 98-103.

#### 作者简介:

马锋福(1982-),男,硕士,主要研究方向为电力系统调度运行和控制。

常喜强(1976-),男,硕士,主要研究方向为现代电力系统分析与控制,电力系统调度运行及电力系统稳定。

(收稿日期: 2009-06-12)