

## 创新发展储能技术,提高新能源利用效率

新能源的迅猛发展促使中国在配网及用电侧大量发展微电网,预计在城镇化建设过程中,微电网将会有井喷式发展。而每个微电网中必须备有一套容量足够的、无二次污染、具有长寿命周期的储能单元。这对提高国家新能源的利用率,大幅降低CO<sub>2</sub>及所有可吸入悬浮颗粒物的排放具有重大意义。这种与中国城镇化进程配套的创新型储能技术的推广应是对建设宜居城镇和蓝天国家所不可缺失的。

### 1 智能微电网及微能源网群

#### 1.1 微电网

在一个区域以内,由至少一种清洁能源发电单元(如小水电、风电、光电、生物质能等)和一种储能单元所组成的,其所发的电能以该区域自用为主的发供电系统,则可称之为微电网(以MG表示)(图1)。

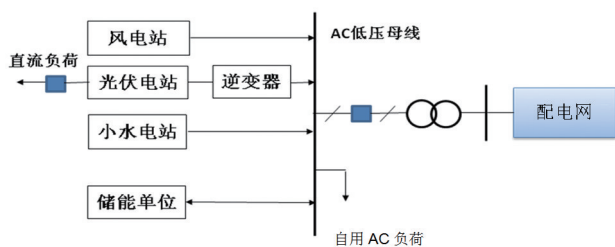


图1 MG示意

微电网具有以下特征:1)有一定容量的储能单元;2)严格实现CO<sub>2</sub>及其他污染物的零排放;3)所发出的电能以区内自用为主,不足或多余之电量与外部配电网的互调节;4)总装机容量一般不大于双位数兆瓦级,就是说它是类属于分步式的发用电网。

#### 1.2 智能微电网

一个可无人掌控的具有自趋优运行能力的微电网,称为智能微电网(以SMG表示)(图2)。

智能微电网中必有一个状态数据实时收集和优化控制系统,使之能自动趋近于安全运行和效益极大化的目标。即智能微网一定配备有一个状态自感知单元和自调控单元。故从本质

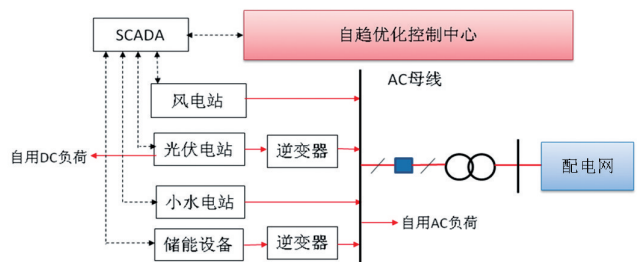


图2 SMG示意

上说,一个智能微电网就是一种地面无人驾驶的机器人系统。

智能微电网具有以下特征:1)具有微网的所有特征,特别是零排放的特征。2)自动实现发电、储电、自用电以及与外部配电网交互电量的自趋优化的能力。3)微电网内部的保护系统实现优化配置,其优化指标为设备故障时间和全微网年平均停电时间极小化。4)控制系统能实现微网与外部配电网“并网”与“离网”的扰动极小化。

中国城镇化过程会产生数以10万计的新兴小城镇,每个城镇宜兴建若干个这样的微电网,因此将来要建立的不是简单的智能微电网,而是智能微电网群。

#### 1.3 智能微电网群

$n$ 个( $n>1$ )智能微电网由不高于110 kV电压等级线路联接成的统一智能电网称为智能微电网群;若该微电网有 $m$ 个端点与外部配电网联接,应遵循条件 $m<n$ (图3)。

一个微电网群若在运营中能自实现以效益和安全极大化为

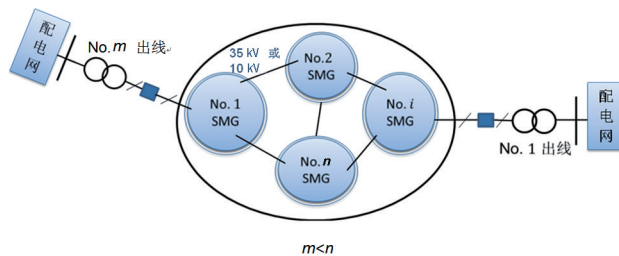


图3 智能微电网群(SMG)示意

指标的优化潮流(OPF),则称该微电网群为智能微电网群(the smart group of microgrids,SGMG)。

试想若每建一个微电网就单独增加一台变压器和断路器与外配网相联接,就一定会有大量变压器整年几乎处于空载运行状态,白白增加低压侧网损。故 $m<n$ 的条件十分重要。

#### 1.4 智能微能源网群

一个宜居城市或城镇,居民需要的不仅是电,而且夏需冷,冬需暖。以电制冷(常规空调)不经济,燃煤以取暖,更应严令禁止。中国应该发明一种既可蓄能发电,又能供热供冷的电热冷三联供的新型储能系统。在芜湖市高新开发区已建成一套500 kW容量的集供应电、热水和冷风为一体的“三联供”系统,可发电450 kW·h,可覆盖3850 m<sup>2</sup>的供暖面积(约为50余户家庭)。夏季每天可供300 m<sup>2</sup>的商场、写字楼或蔬菜保鲜库3℃的冷风。如果智能微网中的储能单元采用上述的压缩空气储能技术以替代常规的电池储能单元,则这种智能微电网群就成为“智能微能源网群”了。

### 2 中国创造的压缩空气储能系统

无论是微电网或者智能微电网,亦或是智能微电网群,都离

不开一种单元,即储能单元。“十二五”以来,中国大力发展风电、太阳能等可再生能源,然而由于其输出功率具有随机波动性甚至间歇性的特征,目前又缺乏高响应速度和大容量储能装备与之自律控制,故使大量可再生能源难以得到有效利用。现在在全国约有1亿kW风电装机容量,稳居世界第一,然而年均风机利用小时数尚不足2000h,中国第一类光照地区弃光率达25%~30%。弃风、弃光现象严重。

新能源革命,需革能源浪费的命,当下最重要的是发展与风电和光电装机容量相匹配的储能系统。储能有多种类技术,如电化学储能和机电储能等。根据国际能源署2014年统计,目前抽水蓄能容量占绝大多数,带补燃的压缩空气储能紧随其后,此二者皆属机电储能类型。

压缩空气储能技术是将弃光、弃风、弃水(小水电站)或低谷电能通过多级压缩把电能转换为分子的内势能存入压力储气空间,待发电时通过释放高压气流,射入气轮机带动发电机组发电。大规模的压缩空气储能对于聚纳废弃的新能源、抚平风光电站功率的波动、削峰填谷以及增加电力系统有功与无功旋转备用等方面皆具有重大意义。且其使用寿命周期达40年以上,无后处理二次污染问题。其单位千瓦的投资额与抽水蓄能电站相当。

目前世界压缩空气储能技术主要分为补燃式和非补燃式两大类。国际上已用的是补燃式,如德国与美国。所谓补燃式压缩空气储能仍以燃烧天然气以求提高其效率,故本质上是提高效率的燃气轮机,其主要消耗的能源仍是化石能源,即天然气,故这种储能方式不符合中国致力于降低碳排放的国情。

国家电网公司于2012年10月结合清华大学电机工程与应用电子技术系、中国科学院理化技术研究所、上海电气集团公司和中国电科院启动了一项无燃烧压缩空气储能示范研究项目(图4)。该项目已于2015年4月以500kW无燃烧压缩空气储能发电系统的建成,各项指标均达合同要求通过了验收,并获5项中国发明专利受理和1项美国发明专利受理而告成功。

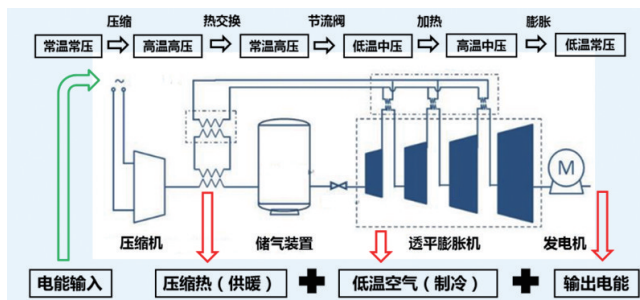


图4 无燃烧压缩空气储能原理

如图4所示,压缩空气储能包括以下系统:1)空气压缩机;2)压缩空气储气罐;3)压缩空气输出流量控制系统,简称调速系统;4)透平发电机系统。除此之外还有辅助系统,如预热回

收系统等,利用集蓄压缩热以提高效率并可供暖;还可利用乏气以供冷。这是美国学者于1984年出版的《Co-generation》(电热联产)一书中提出的“目标”。现在中国提出并实现的是电热冷三联供系统。

如果将进气温度提高至400℃(用阳光加热),大气压力12MPa,则储能密度可达60kW·h/m<sup>3</sup>。对于一座20MW的压气蓄能电站,每天发电4h,只需17根直径为1.02m,长100m的标准管线钢储存。储气容量可以根据用户需求确定。目前正在规划设计中的储气空间是在金坛县利用采完食盐的10万m<sup>3</sup>盐腔,既节约投资又可安全地提高气压,可储存超过600万kW·h的电。

对于其他储能系统,目前看来,磷酸铁锂电池比较安全,储能密度也较高,特别宜于在绿色交通系统中应用。建议有关部门当下就着手考虑其无公害后处理问题。对锂电池进一步研究的重点建议放在以下几个方面:1)降低其对所处环境温度的敏感性;2)提高其充放电次数,特别是在深放深充和快充条件下的充放电次数;3)加强研究低成本无公害的后处理的工程化技术。近年来,液流电池也在研究中,其显著特点是污染少,充放电次数可大幅提高,望中国早日在技术上和工程实现上取得突破。

### 3 结论

1) 智能微能源网群的发展与中国城镇化的进程相适应。它不可取代的优点是满足新城镇的能源需求而不带来污染,故是一个新的发展方向。

2) 智能微网群的发展离不开储能技术和储能工程的发展。

3) 压缩空气储能作为中国自主创新的新型储能技术,对降低弃风、弃光和弃小水电能量有重大意义。试想只要推广利用这项创新技术,将目前风电利用率提高10%,即相当得到一座千万千瓦级的零排放大电厂。且该电厂可实现电热冷三联供,是目前储能系统中技术成熟度和综合效率最高的储能系统。设备国产化率为100%。

4) 当前,压缩空气储能技术已具备市场化条件,迫切需要政府相关部门在运营模式和电价政策等方面给予扶持。

望政府有关部门制定由于该新技术转化为大生产力的电价政策,使得废弃电、低品位电(废弃电和低谷电)和高品位电的价格得到合理区分。除了第一座50MW试验示范工程需有适当额度资金支持外,这一技术的推广并无需政府大量出资,只要制定一套合理政策,就会有充裕资金进入,最终形成大生产力。

5) 建议将这种既能大幅提高新能源利用率和降低碳排的自主创新技术推广应用,经试点(以金坛50MW压气蓄能发电站为试点)成功后再大力推进,并列入“十三五”规划。

文/卢强

作者简介:清华大学教授、中国科学院院士。

(责任编辑 刘志远)