



# 南澳大利亚州大停电启示

文 / 国网发展澳洲分公司副总经理、南澳电网公司董事 史兴华

当地时间 2016 年 9 月 28 日，澳大利亚南澳州发生大停电事故。

事故当天，受极端天气影响，南澳州大部地区连续出现强降雨并伴有暴风、冰雹、闪电，局部地区瞬时风力达到 180 ~ 260 公里/小时，极端气候直接导致前所未有的全州停电事件。本次事故是自 1998 年以来断网时间最长、影响面积最大的一次。

现如今，即使是在落后国家也

很少发生因为恶劣天气导致省级电网一片黑暗的事故。为什么会发生如此严重的事件？此次南澳全州停电事件非常值得反思。

## 事件回放

南 澳 大 利 亚 州 (South Australia) 简称南澳州，位于澳大利亚中南部，总面积约 104.3 万平方公里，占澳大利亚大陆总面积的 1/8。据 2015 年统计，全州总人口

约 170.2 万人，是唯一与澳大利亚大陆上所有州都接壤的一个州。

2015 年，南澳州装机总量达到 4675 兆瓦，主要是由天然气发电（约占 53.8%）和风力发电（约占 29%）构成，年发电总量约 125 亿千瓦时。南澳州是澳大利亚可再生能源发电占比最高的地区，其中风力发电提供全州电力供应的 37%。南澳输电公司 ElectraNet 是州内唯一的输电公司，输电线路总长度为

5529 公里。

事故发生当天，南澳州全州用电负荷为 1895 兆瓦，其中风力发电 883 兆瓦，燃气发电 330 兆瓦，维州通过两条电力联络线 Heywood 送入 613 兆瓦，一起为南澳 85 万用户提供电力供应。极端恶劣天气使南澳电网在 88 秒之内遭受 5 次系统故障，导致州内 275 千伏、132 千伏线路倒塔 20 座，共 4 条 275 千伏输电线路和 1 条 132 千伏输电线路跳闸停运，共发生大幅度电压扰动 6 次，引发 9 座风电厂共计 445 兆瓦的风力发电脱网。风电场出力突然大幅度损失使得与维州相连的一条联络线 Heywood 严重过载跳闸。南澳洲此时剩余发电容量不足以应对瞬间 900 兆瓦电力供应减少，突然大规模的出力损失超出低频减载装置反应速度，低频减载保护未及时启动切负荷，在首次输电线路故障发生仅 2 分钟后，系统频率崩溃，南澳电网全停。事故发生后，在 AEMO (Australia Energy Market Operator) 指导下，位于托伦斯岛 (Torrens island) 的电厂首先启动，逐步恢复部分负荷和输电系统，然后通过 Heywood 联络线恢复大部分电力供应。经过十几小时的抢修，80 ~ 90% 的用户恢复供电。

### 成因分析一： 能源结构调整带来挑战

近年来，南澳州大力发展可再生能源（主要是风电和光伏发电）

替代传统的化石能源发电，这对维持全州电力安全稳定供应提出了很大挑战。

可再生能源具有间歇性、波动性的特点，因此电网中的常规电源不仅需要为负荷波动留出足够备用，还需要在可再生能源产生较大波动时，及时调节出力以平衡可再生能源的变化。另外，由于分布式太阳能光伏系统和家庭电池储能装置日益普及，用户从电网获取电量逐渐减少。截至 2016 年 5 月，南澳已经关停所有常规燃煤机组，仅剩燃气机组发电。根据南澳输电公司预测，未来三年，南澳电力基荷期货价格为 100 澳元 / 兆瓦时，而同期的新州和维州的价格则在 55 ~ 65 澳元 / 兆瓦时之间。在同一个电力市场内，根据经济规律，南澳必定会通过东部州的联络线（与西部和北部及南部联网距离更远）输送尽可能多的电力。在某些极端时段下，南澳用电需求较小，可再生能源出力较大，南澳州从州际联络线受入负荷较大时，南澳电网自身惯性容量一定不足（即常规电源开机不足），一旦发生南澳电网故障或者州级联络线故障，必然增大系统崩溃的可能性。

从 1998 年到 2013 年，澳大利亚电力市场交易逐步实现市场化，国家电力市场主体由发电商、网络服务商（输配电）、购电商、零售商、终端用户和特殊成员组成，通过现货交易或签订电价合同，实现电力

批发和零售交易。国家电力市场在电力供应和购买方面引入竞争机制，为用户提供廉价电力。

目前联邦政府和州政府正在部署能源领域低碳排放计划，并已制定了相应的目标：在供应侧建设大规模的风电和光伏电站，在需求侧大力安装屋顶光伏，计划在 2020 年前建成 6000 兆瓦可再生能源。

南澳是澳洲电力变革的先行兵，计划在 2025 年前率先达到可再生能源占比 50% 的目标。南澳电网作为省（州）级电网，目前可再生能源占比在世界上名列前茅。根据南澳输电公司数据，2015 年，风力发电占比 37%，2016 年 5 月 22 日，风电占日需求的 87%，为最高日纪录。目前，南澳可再生能源占比已经达到 45%，实现 2020 年 50% 的目标没有悬念。

但大规模可再生能源的并网接入并没有充分考虑到电网安全问题，或者即使已经意识到了安全隐患，也没有足够的机制或者有效的动力来解决问题。一旦遇到恶劣天气（在南澳，局部小气候会不时发生），电网发生多重故障时，很难保证电网安全稳定运行。9 月 28 日全州停电，再次证明了这一点。

### 成因分析二： 网架结构薄弱

南澳电网是典型的受端电网，除因环保因素考虑停用燃煤电厂外，州内用电主要靠可再生能源和天然

气发电平衡，其中风力发电总量占比更是高达近40%。其外部受入电力仅靠单一通道上的两条275千伏线路，两条线路经常处于重载运行的状态。在9月28日的这种极端天气情况下，因风机未能经受住连续的系统故障而大量甩负荷甚至脱网，造成南澳对外联络线路过载而引发连锁跳闸，最后导致系统崩溃。本次大停电引发了相关企业用户和民众的强烈不满，一方面，南澳电价比其他州高出了50%以上，另一方面是用电可靠性远低于其他州。

事实上，南澳电网孤网运行在历史上已经发生过10次，但监管机构为不推高电价上升，严格核算输配电公司的基建投资、运行维护和投资回报（对每个输配电公司，每5年作为一个监管期，发布一次监管收入），致使电网建设严重滞后，80%的输电线路运行超过40年，输变电设备严重老化，很难承受重大自然灾害的袭击。如果南澳电网能够加快建设新的对外联络线路，发生此类事故的概率将大大降低。

受南澳州政府委托，南澳输电公司已经在开展新建联络线和非电网加强方案（如需求侧管理、故障时快速切除负荷、建设大容量储能装置等）的可行性研究，并于近日发布以南澳州能源改革为题的技术规范咨询报告。该报告针对近期南澳州大停电事故，明确了新建联络线项目的必要性，提出了新建国际联络线、非电网储能等共5项方案，

预计总投资额为5~25亿澳元（视方案不同），报告着重说明了其中4项新建联络线的具体计划，阐述了其在降低发电侧投资成本、增加市场竞争力以及降低电价、提高系统安全性、推动可再生能源消纳外送等多方面的经济与社会效益。

### 事故给我们带来哪些启示

电网结构薄弱往往是发生大停电事故的根本原因。坚强的网架结构是抵御电网故障，防止大面积停电事故发生的物质基础。加强电网规划建设，构筑坚强网架基础，应结合地区经济和电力需求的发展变化，对电网规划进行动态调整，集中解决电网局部区域存在的电网结构薄弱、输送能力不足等问题，通过重点站线建设和合理实施分区运行格局，优化电网结构、强化网架基础，满足地区用电需求，从而彻底地在系统方面杜绝电网大面积停电的风险。

分析本次事故的原因，电力系统应从“源-网-荷”多个层级提升系统防御大停电的能力。

第一，需加强电源端管理工作。加强机组的并网管理，尤其是机组的励磁、调速、一次调频等配置和性能。针对风电场，应对其高频、低频、过电压、低电压等性能进行明确规定，尤其是提升风机的低电压穿越能力，确保风机在端电压降低到一定值的情况下不脱离电网还能继续运行，在系统受到大的扰动

时减少对系统的进一步冲击。

第二，要强化电网防控手段建设。部署系统风险辨识和在线预警系统。国内外历次大停电事故表明，大停电事故往往是由于极端天气诱发，外部风险可能带来的系统风险未得到有效预警、未及时采取措施的情况下发生的。

目前国内跨区域电网互联的通道线路走廊资源有限且相对集中（特别是经济发达地区），沿途局部地理环境、气候条件复杂，部分电网位于大面积雷暴、污闪多发和冰灾频发区域，在极端天气情况下，若发生多回通道同时或相继失去，极易导致事故扩大。

在日常工作中，必须结合局部电网运行特性强化风险分析与预警，制定事故预案，避免事故扩大。要研究极端天气与电网故障发生的关联关系，建设电网气象监测及预警系统，对设备跳闸风险等进行在线辨识和分析，逐步建立从元件级风险到电网级风险的评估预警。

第三，要补充加强三道防线建设。第一道防线的技术措施主要是继电保护（包括重合闸、电气制动等）；第二道防线主要是按稳定判据决定切机、切负荷以及连锁切机、切负荷等；第三道防线主要是低频、低压减负荷、振荡解列等。

除了确保高速、准确切除故障的第一道防线，还要强化第二道防线的安稳系统等，提高安稳措施的可靠性，对于严重故障后的控制措

施仍然要果断并适当留有裕度，确保安稳动作后的电网尽快回到相对安全的运行区域。健全失步解列第三道防线，发现电力系统暂态稳定破坏后，解列有关断面，再配合必要的低周减载等其他第三道防线措施，保证局部电网的稳定运行。不断完善安全稳定控制策略，加强三道防线协调配合，提高装置动作可靠性，筑牢电网安全防线。

第四，提升负荷控制能力。随着特高压直流输电通道的逐步投入运行，对现有依靠同步发电机调节

大功率缺失的电网调度运行方式提出一定挑战，需要辅助以负荷调节控制手段。深入研究“源-网-荷”互动控制技术，增强负荷侧快速控制手段，在极端条件下发生特高压直流闭锁导致大功率缺失、局部区域解列成小系统时，需要综合运用直接负荷控制、频率响应负荷和电压响应负荷等技术，提升电力系统的防御能力。

另外，还要重视黑启动预案编制和演练。作为电力系统安全措施的最后一条，必须制定适合本网情

况的黑启动应急预案，在黑启动过程中，应按照负荷的重要等级，并考虑电网的稳定及恢复速度有序恢复。为了保证电网的电压水平，要求电网中的无功补偿设备能根据电压情况进行必要投切，避免远距离输送无功功率。调度员应结合国内外黑启动实际经验，不断地总结和学习积累系统全停后的事故处理经验，然后制定详细的黑启动应急预案并逐年修编，在系统允许情况下，择机进行系统黑启动演练，研究并开发黑启动辅助决策支持系统。🌐

## 点 评

# 推进电力市场化需将安全放在首位

本次南澳大停电的原因，是由于外部极端天气造成电力系统设备的频繁故障，引发风电机组大量甩负荷脱网，进而造成联络线严重过载跳闸，孤立电网因有功和无功缺失，引发系统频率和电压崩溃，造成南澳大面积停电。

其实，早在2014年，AEMO的报告就指出，依靠大量风电来代替传统燃煤机组维持整个州的电力供应存在系统崩溃的风险。今年8月份，AEMO再次警告，现有的应急频率调控方案已经不足以应对停电风险。但当地政府和电力部门太多依赖可再生能源所带来的经济效益，因此并未采取及时有效的措施避免大停电事故的发生。推进节能减排，落实联合国气候变化大会的承诺，大规模发展可再生能源是大势所趋；依靠电网实现电力资源在更大范围的优化配置也是适应市场

经济规律的体现。联系国内外实际，就是要建立一个公平、开放、透明的电力交易市场。开放电力市场并非意味着电价下降，电力市场交易工作应主动适应市场化的要求，保障交易机构发挥出应有的作用，努力扩大市场化交易规模，提升市场服务水平，促进能源资源大范围优化配置，加强交易技术支撑平台建设和应用。

南澳州此次大停电事件确实引人深思，电力行业有其固有规律，体制可以改变，观念可以更新，但电力生产的客观特性不会改变，保证电网安全稳定特性运行的目标也不会改变。在推进电力市场化进程中，必须把电网安全放在第一位，建设坚强的电网，加强源荷网协调，提升技术业务水平，有效避免大面积停电事故，确保电网的安全稳定、优质经济运行。🌐