

OFweek 智能电网半月观察

2012.06.01-2012.06.15

目 录

目 录.....	1
【豪赌新能源产业 比亚迪的新游戏】	2
【新能源汽车发展思考】	5
【微电网争议升温 国网对其“加强管理”】	12
【智能电网起热潮 超导行业迎来机遇】	15
【储能产业：前景光明 道路曲折】	17
【我国智能电网研究主要关注的十项关键技术】	20
【智能电网状态检测关键技术】	25
【3G 和 4G 无线通信技术在电力 ICT 网络中的应用】	31

豪赌新能源产业 比亚迪的新游戏

作为国内两个兆瓦级新能源储能示范项目之一、也是国内最大的储能示范项目的河北省张北风光储输示范项目一期工程，去年年底，实验基地里用上了比亚迪的铁电池，46岁的王传福终于松了一口气，对于比亚迪来说，这意味着一个全新的开始。

此前，王传福豪赌光伏产业之举一直饱受外界质疑。2月29日，比亚迪发布的公告显示，其2011年度的净利润同比下降达四成多，这表明比亚迪尚未走出低谷期。王传福承认，成长中的比亚迪由于年轻，确实经历了犯错与纠错的过程。与此同时，比亚迪向外界展示了太阳能电池的庐山真面目；不过人们关心，进行了大规模投入的新能源产业在受到产能过剩与价格下跌困扰之后，能否最终获得成功。

这是一个微妙的棋局，新能源是比亚迪董事长王传福最后掷下的棋子，这颗棋子究竟如何与早先的两大业务——汽车与电池板块之间实现联动、从而盘活整盘棋局，对于这个计划，王传福似乎了然于胸。

王传福将产业之间的关联性看得很远。这是一幅有关比亚迪新能源的蓝图：未来在比亚迪新能源住宅里充满了比亚迪自行生产的产品：太阳能发电装置、储能电站，以及建筑物本身和生产太阳能电池面板所需的硅材料。对王传福来说，三个产业最终将构成一盘棋局。将它们融为一体的力量很多，比如垂直整合的全产业链制造模式以及如财务资源的共享等。

“人们出门时，开着比亚迪的电动汽车，这就用上了比亚迪自行生产的电动汽车充电系统。这是比亚迪和美国KB Home公司联手建造的新能源住宅，目前在美国兰卡斯特市有5套。在这些住宅里，都可以为比亚迪双模车F3DM和纯电动汽车e6充电。”比亚迪副总裁何龙说，“比亚迪的战略辐射了新兴行业，有太阳能，有矿石、工业硅、高纯硅、多晶硅、切片和模组。”

这张新能源产业版图正在编织中，何龙说，新能源在研发中继续了比亚迪的垂直整合战略：不依靠单一的创新，而是将IT、汽车的技术整合到新能源研发中，靠成本优势迅速占领市场，将上游核心环节的技术，在下游大规模应用。这种做法会形成“利润垄断”，从而为比亚迪建立了竞争壁垒。“全产业链的优势在于有效控制成本，但风险在于如何突破创新瓶颈、对市场做出快速反应而不是闭门造车。”比亚迪的一位内部人士说。

垂直整合

2007 年，何龙带领十几个技术员组成了一个研发攻坚小组，首要任务就是将太阳能电池成本进行技术分解。由于当时硅板的价格很高，王传福抛给何龙一个技术难题——将比亚迪的汽车车身板的技术运用到太阳能光伏技术中以节省成本。

这其实就是王传福曾屡次强调的战术，即比亚迪每进入一个产业，总是从上游核心环节切入，然后迅速向下游终端渗透，打造一条纵向一体化的产业链。

这次进入光伏产业打法也是如出一辙，王传福始终认为，靠某项单一的技术创新，机会越来越少，最好的方法就是集成创新。所以，他认为，各大业务板块的联动首先在于研发端的整合，即将一个新技术难题分解，从各个业务板块抽调骨干进行攻克，电动汽车电池的技术可以运用到太阳能电池中，手机上的技术也可以运用进去。

“整个技术研发大概花了四年时间，对于新产品，我们必须有足够的证据，去说服自己进行大规模的投资，否则对行业、对公司都是很大的打击。这中间有很多技术难题，比如高压绝缘、形变的问题。比亚迪有一个技术专利，是用在手机玻璃技术，克服原界面容易刮花的问题，这个玻璃技术也被整合在太阳能电池的研发中，类似这样的技术，我们整合了 5 个，凑在一起，每个技术可以增加几瓦，加在一起是 20 瓦。”何龙说，“我们将电动汽车、汽车电池、IT、手机的技术通通整合到光伏产业中，就变成了刚刚推出的 PV TOP.5 光伏技术。20 瓦意味着降低了 10% 的成本。”

“整合研发是将产业链中所有中间环节的毛利都清零，把产品做便宜，让更多的人去使用，形成大量需求，促进行业的良性成长。这种整合我们在汽车领域、IT 领域、电池领域都做了，目的是先培育市场。”他指出。

2010 年初，随着技术的成熟，比亚迪启动了“硅铁战略”，并实现了铁电池的量产。但随之面临的是，光伏产业的白热化竞争。调查报告显示，目前我国生产锂电池的企业已经达到 300 多家，在国内 15 家动力电池投资主体中，仅 2009 年的规划投资总额就达 510 多亿元。

来自河北张北的风光存储项目，何龙盯了 3 年，在公司内部，这被视为比亚迪转型的关键项目。王传福对此给予厚望，这是我国首个也是目前世界上规模最大的，集风力发电、太阳能光伏发电、储能和智能输电“四位一体”的新能源综合利用工程，有望破解我国大规模发展新能源过程中面临的发电上网难题。

据知情人士透露，张北风光储输项目一期工程总投资达 33 亿元，其中 20MW 储能电池的投资约 4 亿元，据悉，张北现投运的 14MW 的储能项目均是采用锂离子电池，国际上采用该技术的储能项目总成本也约在每兆瓦 1130 万元~2500 万元左右。

该人士称，20% 的储能可以解决风电并网的大量问题。截至 2011 年年底，我国有 47000MW 的风电装机，如果以 20% 的比例全部配备储能则需要安装 9400MW 的储能，即

使按照每兆瓦 1000 万元的工程成本计算，需要一次性投入 940 亿元。显然，储能电站是一个无比巨大的市场，这是王传福的新版图，是一个有关新能源汽车、太阳能电站、储能电站为主导的新能源规划。

商业模式之困

在一次投资者见面会上，有人质疑比亚迪三大梦想之一的储能技术所用的铁电池与液流、钠硫等电池的优势不够突出，王传福马上斩钉截铁地反驳：“液流电池只能作为备用电池，不能作为储能电池。这是一个常识性错误。而且我不认为钠硫电池比铁电池有什么先进，恰恰认为它在技术上比较落后，只不过是先走了一步而已。”

有业内人士曾指出，比亚迪的光伏技术具有很大的突破性，这是智能电网产业链难以攻克的核心技术环节，一旦成本降低，智能电网的电价成本亦可降低。

2010 年 4 月，比亚迪参与南方电网和国家电网招标的时候，符合招标要求的投标者太少，以至于比亚迪成了唯一的候选人。2010 年下半年，比亚迪与美国洛杉矶市水电局成功签署可再生储能电网项目合作计划，去年 9 月底又先后和南方电网、长沙市政府签署电站建设合作协议。

当然，除了技术瓶颈之外，在培育市场中，商业模式的想象力与可行性显得尤其重要。比如，储能和电动车市场面临突破商业模式问题。此前，这个问题一直困扰着电动汽车业务。目前全球电动汽车的常见商业模式主要有整车加电池捆绑销售、再加上自充电模式以及国家补贴政策加整车租赁模式。“培育一个市场，在发展的初始阶段，企业要主动把困难留给自己，靠商业模式创新来解决。例如，电动车电池成本太高，是其推广的最大障碍，生产企业不能指望消费者会去主动接受它，也不能把希望寄托在政府补贴上，而是要让企业自己来承担。”何龙说，“培育市场最终还是要靠商业模式的成熟。”

在德国，白天电价是 1 毛 9，晚上是 2 毛 4，储能电池将白天的电存起来晚上用。“现在，意大利和德国的市场一下子火了起来，而就在两年前，我跟他们谈储能，他们一点概念都没有。”

在何龙的描述中，比亚迪的一个发展方向是要做智能家庭能源方案的提供商。未来，人们开电动汽车，用手机控制智能家电、充电开关和汽车。比如人在北京，可用手机启动在深圳家中的电动车，电动车还可以给家中的电器供电。

挑战重重

2009 年 12 月，比亚迪在陕西投资成立商洛比亚迪公司，耗资 5 亿元建设生产线，加工多晶硅和生产太阳能电池。比亚迪公开披露信息显示其太阳能产能号称 1GW，预期占用资金过百亿。但不幸的是比亚迪恰好赶上“光伏寒冬”。

但是随着欧债危机愈演愈烈，加上几大光伏应用市场连续削减补贴，全球光伏产业遭受前所未有的重创，产业链各端的价格一路走低。

不过，王传福依然对新能源产业充满了热忱，这其中的商业判断是中国对石油进口依赖度，在全球化时代，摆脱对石油的依赖，是中国经济发展的大势。同时，光伏制造，尤其是硅片切割、电池制造、组件封装环节，从本质上讲也是典型的常规制造业，这正是比亚迪看家本领，如果与电力、电网公司建立良好的合作关系，光伏制造和储能电站开发业务完全可能成为比亚迪新的增长极。

为了应对新挑战，王传福现在将 2010 年至 2012 年的三年划定为比亚迪的“调整期”。显然，比亚迪帝国为继续扩张做足准备，但外界怀疑比亚迪能否真正成功地将电动车商业化或者将铁电池大面积市场化。

当年，比亚迪靠“抠成本”做法大获成功：加入了四五十个工人的比亚迪“半自动、半人工”生产线也可以日产 3000~4000 块镍镉电池，总体资金投入不过 100 多万元。而在日本，生产同样的产品，一条自动化的生产线只需要几个工人，但成本则动辄上亿美元。但是如今仅仅靠这种做法并不能复制成功，在面向受政府、政策左右的新能源领域的大规模跨进之后，比亚迪已经摇身一变，成为做政府生意的大企业，而这意味着一场新的游戏才刚刚开始。

新能源汽车发展思考

5 月 26 日，发生在深圳的一起交通事故，一辆纯电动出租车被后方来车以近 180 码的速度追尾，起火致车内三人死亡。很多网友调侃说，比亚迪是“躺着也中枪”。的确，这起交通事故将比亚迪推到了舆论的风口浪尖，而其市值也在一天内损失近 16 亿元。

而近日比亚迪发布公告称，e6 电动车经过国家认可的权威检测部门检测合格，事故中的碰撞属极端情况，起火原因仍需等待事故报告。而据最新的消息称，科技部专家已受深圳市邀请对这起事故的起火原因进行调查，目前得出的结果是电池并没有爆炸，整个箱体完整没有裂开，事故中电池应该是被撞短路，电池盒还没开拆，有待深入检查。

这起事故让刚刚启动产业化大幕的电动汽车陷入了一场前所未有的信任危机，能实现零排放环保梦想的纯电动车到底安不安全？现在，业内对于这一事件的争论依然在继续。

从深圳飙车事件看新能源车技术的未来

对于中国汽车业的发展方向而言，电动车仍然是最可行的技术路线。相对于传统汽车复杂的发动机和燃油、进排气控制系统，变速箱系统，电动车在结构上简单得多，这也导致电动车的另一个优点，就是可靠性高。因此，电动车的可靠性要远远超过传统汽车。当然，电动车的大发展或许会带来另一个社会问题，那就是原先大量的汽车保养和维修行业的从业人员将会失业。简单、可靠、零排放是电动车无可比拟的技术优势。

电动车的技术瓶颈

相对于混合动力车在技术难度、复杂性和制造成本上的劣势而言，电动汽车的寿命甚至长于普通化石燃料汽车。电动车的瓶颈在过去汽车发展的 100 多年里都没有多少改变，那就是电池问题。就目前的电池种类而言，大多数电动自行车所使用的电池是铅酸电池，这种电池基本上没有太大的危险性，也不会爆炸。而 E6 上使用的磷酸铁锂电池则是锂电池的一种。由于这种电池的充放电效率高达 90%，循环放电次数高达 2000 次以上，无记忆效应，高温性好，是现有技术条件下比较理想的动力电池。随着人类在电池技术上的进步，今天的电池技术已经取得了长足的进步，但是电池的安全性却始终没有在实际应用中得到足够的验证。这也是比亚迪 E6 在事故后导致公众对电动车安全性质疑的最主要原因。据有关报道，比亚迪 E6 所使用的电池仅仅做过时速 50 公里的挤压测试，而并未做过时速 100 公里的测试，而事发当天的碰撞事故中 E6 受到了时速 100 公里的碰撞。事实上，在汽车碰撞中，传统汽车由于所使用燃料的易燃性极易发生碰撞后自燃甚至爆炸的次生事故。目前，对于传统汽车和电动汽车在事故中发生燃烧的几率统计目前还没有足够的例证，笔者认为电动车在碰撞之后的危险性未必高于传统汽油机汽车。电动车电池在极限状态下如果发生燃烧或者爆炸，这可以通过增加适当的安全器件来解决，如自动断电或自动灭火器的设计，相信“5·26”事件会给电动车企业一个提升安全性的动力。而有人说电动车会释放出比传统汽车更多的电磁辐射，这是完全没有科学依据的。电动车主要使用电池和直流电机，由其动力系统而引发的电磁辐射微乎其微。

其它新能源车的处境

除混合动力车和电动车之外，燃料电池汽车似乎也是一个很有希望的发展方向，但是燃料电池车至今天为止都没有一款量产车上市，这主要是由于燃料电池高昂的成本以及化学性能上的不稳定性而决定的。早在 2008 年之前，美国通用汽车曾耗费 10 亿美元对燃料电池汽车进行研发，但是也未能在技术上有革命性的突破。而混合动力

车在具备了传统汽车和电动汽车的两种优点的同时，也具有了两种车型的缺点，以及在维修和保养上具有一定的技术难度。虽然这种难度会在混合动力车逐渐普及的过程中得到缓解，但是较高昂的车价也是令消费者望而却步的重要因素。据测算，在同一尺寸规格、同一品牌的车型中，购买混合动力车型在目前的商品油价格前提下要使用5-10年后方可收回购车时多出的预算。或许混合动力车仍然需要某种外在的推动力来打败传统汽车，但是这一天的到来还有待时间推进。

解读锂电池安全性能普及知识很重要

比亚迪 E6 拥有的动力电池和启动电池均采用比亚迪自主研发生产的 ET-POWER 铁电池，这种技术已经代表了世界先进水平。在环保方面，它不会对环境造成任何危害，其含有的所有化学物质均可在自然界中被环境以无害的方式分解吸收，是绿色环保的电池。E6 拥有 90KW 的组大功率，450N·m 的扭矩，表现非常不错。最高时速 140Km/h，300 公里的续航里程使其成为这个领域的佼佼者。

虽然，事故原因不得而知，但是围绕着电动汽车的发展和前景的讨论却一浪高过一浪。中国北方车辆研究所国家 863 电动车重大专项电池测试中心主任王子冬表示，该中心曾经对比亚迪电动汽车做过挤压碰撞测试，电池模块在发生 50% 的变形之后，并没有发生起火燃烧。但是这仅仅是在车速 50 公里/小时的情况下所做的测试，这个标准来自美国，但是时速高于 100 公里时的挤压测试试验并没有去做。而据当时目击者称肇事跑车的时速远高于 100 公里/小时，这表明关于电动汽车的电池试验标准有待提高。电动汽车车辆国家工程实验室副主任林程明确表示：“这一事件会对我国电动汽车，电池行业产生重大影响，但是我们不能光盯着动力电池，现在看来情况还是非常复杂。事实上汽油车发展了这么多年也不止一次发生这样的事故，电动汽车技术还在发展阶段，媒体不能过早下结论，误导广大群众。”



电动汽车专用电池

一位行业专家表示，不管是磷酸铁锂电池还是锰酸锂电池都没有从本质上解决安全性问题。包括能量密度、放电功率，电池组的包裹性和碰撞所发生高压电击，都是威胁电动车安全的因素。到现在为止，世界上没有一项技术能从根本上解决好这些问题。

对于此次出事的比亚迪 E6，有相关专家表示，量产车比之于试验阶段的试验车，车身尾部少了粗壮的后防撞杆。由于所有的 90 块 ET-power 铁电池集中排列在车身底盘上，车身离地间隙只有一拳的 15cm 高度，势必事故风险增大。另外，由于本身对于电动汽车的灭火方法，安全认识的未知，很多人对于锂电池的爆炸风险有所忌惮，造成在发生事故时，路过的行人不敢近距离进行灭火救援，所以普及电动汽车的相关安全知识非常重要。

应尽早设立完善电动汽车整车技术标准

1971-1976 年间，日本通产省向政府提出发展新能源汽车的建议，因此创建了日本电动汽车协会（JEVA），专门负责电动汽车标准化的研究与标准的制订。该协会是由汽车、蓄电池、充电器、电机及控制器的制造厂商和其他相关组织组成。协会下设 3 个分委会：整车分委会、基础设施分委会、蓄电池分委会。从 20 世纪 80 年代至今，先后发布了有关新能源汽车的六十多项标准，从电动车辆术语、整车的各类试验方法与要求，到各种蓄电池、电机等关键零部件和充电系统的技术要求与试验方法，分门别类制定了标准或技术导则达 61 项，形成了比较完整的纯电动汽车与混合动力汽车标准法规体系。JEVA 也在不断完善其标准体系，特别是电动汽车用锂离子蓄电池性能试验方法的制订。

美国负责电动汽车标准制修订的机构为美国汽车工程师协会（SAE）。在制定电动汽车标准方面，SAE 无论是在标准的数量上，还是推出新标准的速度方面都处于领先地位。如 SAE 的汽车蓄电池标准委员会，在汽车用动力蓄电池方面已发布标准 14 项，正在制修订标准 3 项。其燃料电池标准委员会有六个工作组在工作，分别负责排放和能耗、接口、性能、安全、回收、术语这六个方面的标准制修订工作。目前已发布 15 项标准，正在制修订 8 项标准，已形成世界上最完善的燃料电池标准体系。

欧盟的情况比较复杂，由于电动汽车还处于产业化推进阶段，各国对未来市场的发展还没有统一的认识，在制订标准上有所区别。相关标准化组织没有具体针对各零部件产品制订术语和测试等标准，已有标准多为通用性标准，包括电动汽车术语、操纵特性、能量特性测量、安全特性以及噪声、排放等。截至目前，欧盟共制定电动汽车动力电池标准 19 项。

总之，美国、欧洲与日本关于电动车的标准主要集中于各种主要零件的专业性范围，整车的标准还有待进一步完善。

新能源车发展需多元化要适应市场国情

近年来，随着电动汽车热的升温，国家相关部门将纯电动汽车升格为国家新能源汽车的发展路线，并加以政策扶持。但是，“5·26”重大交通事故却让人们开始反思，纯电动汽车是否真的能承担起如此之重的责任。在这个问题上，国内车企的资深人士和专家表达了自己的看法。



新能源车要适应国情适应市场

日前，中国汽车工程学会常务副理事长兼秘书长付于武先生接受了笔者采访，谈了他对中国发展新能源汽车形势的思考。“中国新能源汽车的发展，一定要适应中国的国情，汽车发展的路线必须要适应市场，这就需要多元化、多样化。我国把新能源汽车作为国家七大战略性新兴产业之一，无疑是将大力的推动我国新能源汽车的发展。借鉴国际经验，当前发展新能源汽车应特别关注以下这个问题，能源的多样化是我国考虑新能源汽车发展的基础，而汽车的电动化是中国汽车产业解决能源问题的最佳途径，也是提高中国汽车产业竞争力的战略举措。虽然纯电驱动是我们主要方向，但是并不等于混合动力、插电式混合动力、燃料电池就不是我们的技术路线，更不要把内燃机的升级和发展新能源汽车对立，所以我觉得在这些问题上，要充分适应我们的国情，坚持多元化。”

付玉武认为：“发展电动汽车，我们和国外是在同一起跑线上，因为车用电机外国也是刚刚起步，外国人也是刚刚在做，我们并不比国外差上一个等级。只是电力电池方面，我们不在同一起跑线上，这个是整个工业体系决定的差距。”

对于比亚迪电动车起火案，付玉武表示：“在事故的技术鉴定报告出来之前，这些分析都缺乏依据。国家已经派了一个技术小组前往深圳调查，相信事故结果会尽快出来。但是我们也不要因为一次事故就去否定发展电动车项目。一个新兴产业，只有发现问题，才能大力去研究、解决问题，这是发展电动车产业必然经历的阶段。”

国家强制标准不如放开新能源车发展方向

笔者与一位国内某大型汽车集团研究院的电动汽车项目负责人交流后得知，无论是从电动车用电池组的特性来看，还是从目前技术条件下的改善措施来看，电动汽车特别是只依靠电池组的纯电动汽车，在安全性方面的确存在“硬伤”。然而，国家政策的扶持却使得电动汽车在中国汽车界遍地开花。在这种情况下，现有电动车安全标准过于简单、落后是不争的事实。

据了解，我国目前有 GB/T18384.1、2、3-2001《电动汽车安全要求》三项涉及电动车安全国家标准，但其中只有一项对安全碰撞提出要求，且仅限于正面碰撞，标准低于燃油车。当笔者问及电动汽车安全标准的缺位是否是影响电动汽车安全性的因素时，这位业内人士却给出了一个令笔者意外的答案。他表示：“纯电动汽车本就是一个有技术瓶颈的事物，而安全问题的硬伤更是让纯电动汽车的发展举步维艰。相比之下，包括混合动力或燃料电池在内的其它新能源汽车也有各自的优点。与其说完善一个可执行性未知的纯电动汽车标准，不如把新能源车发展方向放开，让各种新能源汽车在竞争中优胜劣汰。”

国情之选 电动车将实现产业跨越式发展

从 2009 年国家公布《汽车产业调整和振兴规划》以来，新能源汽车已然成为中国汽车发展的“国策”，其地位不断被夯实。2012 年 4 月 18 日，国务院常务会议讨论通过《节能与新能源汽车产业发展规划（2012-2020）》。按照规划，到 2015 年，纯电动汽车和插电式混合动力汽车累计产销量要达到 50 万辆，2020 年超过 500 万辆。规划中的新能源汽车主要是指纯电动汽车、插电式混合动力汽车、燃料电池汽车，而新能源补贴仅限于纯电动和插电式混合动力。

截止到 2011 年 6 月，新能源汽车国内保有量仅 1 万余辆，私人购买仅百余辆，与推广目标相去甚远，到 2012 年底大约只能完成原定计划的 1/5 之弱。数据显示，财政部原来预留的 50 亿元新能源车补贴预算，至今用于私人购买补贴资金不到 1 亿元，用了计划的 2% 左右。而在新能源发展的重镇——上海，到 2011 年底全市新能源汽车私家

车保有量仅十多辆，原定目标为 2012 年之前达到 1 万辆。新能源车发展的这种萧条景象真可以用“理想很丰满，现实很骨感”来形容。

电动车：国家的战略需要

之所以我国大力发展电动车以及插电式混合动力，首先是为了应对日益紧迫的能源危机。2011 年，我国石油的对外依存度超过 56%，超过了国际公认的警戒线。与此同时，中国的汽车保有量仍然在迅猛增长，目前的保有量不到 1 亿辆，预计到 2030 年，汽车总保有量将达到 4.5 亿辆。石油资源相对缺乏，而煤炭资源非常丰富，在汽车普及的背景下，国家出于战略考虑选择电动车无疑是理性的选择。

此外，借助电动车实现汽车产业的跨越式发展、缩小我国与国外汽车技术水平的差距也是发展电动车的深层动因。另外，减少碳排放和环境污染也是该项政策的理由。

为何不重点扶持非插电式混合动力

现在市场上有不少人质疑上述政策，认为非插电式的混合动力也应该给予政策补贴，进行大力扶持。对于这个问题，记者认为出于两方面的原因，国家更有理由向纯电动车政策倾斜。

首先看能效和排放。非插电式混合动力车型主要还是依靠汽油机运作，电力只是辅助动力，因此其能效和排放无法与纯电动车相比。总体估算，汽油机汽车的总效率是 15%，电动车的总效率是 28%，从降低碳排放和提高能源利用率来说，电动车有很大的优势。在这方面，非插电式的混合动力没有优势。

其次是国家汽车战略的考虑。目前，丰田等企业在混动技术方面非常成熟，而国内的车企才刚刚起步，电池和电驱系统的配套产业也不是很完善。在这种情况下，对于非插电式的混合动力给予战略扶持和财政补贴很容易让外资形成规模优势和垄断地位，对培养中国自身的电动车研发和制造能力有害无益。一位不愿具名的官员对此表示：“如果对混合动力进行补贴，极有可能是直接补贴外资品牌。他们的技术很成熟了，我试开过外资的那几辆车，只要开始对混合动力补贴，短期内普锐斯会到处都是。”

国家项目，产学研联动

尽管明确了纯电动和插电式混合动力的发展方向，但这并不意味着中国新能源汽车之路会一帆风顺。

首先，电池、电机、控制器、电动附件等关键零部件与材料尚不能满足整车需要，存在低水平重复建设现象，产业链尚未成熟。另外，国营企业尤其是大型国企对于发展新能源动力不足，兴趣不大。此外，在换电站、充电桩、充电站、智能高效电网等

相关配套网络和设施的建设也相对滞后。即使在深圳、上海这些示范重点城市，慢速充电桩和快速充电站都非常少，尤其是前者，这直接影响消费者的购买意愿。

对于上述问题，业界人士认为，需要通过大型国家项目的形式和产学研联动的开发模式来打破藩篱，实施跨界合作，实现在短期内中国电动车产业逐步形成自身的体系竞争力。

在电池领域，日本的技术优势更加明显，无论是镍镉电池、镍氢电池还是锂电池，在全球市场的占有率都超过 50%。这其中自有原因。1976 年日本以大型国家项目的形式开展电动汽车以及车用动力电池的研究开发，1992 年起又开始了为期 10 年的锂电池开发项目，这两次技术攻关都以重要企业牵头，再配合通产省的工业技术院和电力中央研究院等政府机构展开。

在技术创新方面，日本形成了独具一格的技术创新联盟制度。由丰田牵头，组织日本车企成立了电动车联盟，联合了整车、电池、能源几大环节上的重要厂家，总共 160 家公司，构造了“集团作战”的模式。

中国汽车工程学会常务副理事长兼秘书长付于武也认为：“政府主导下跨行业跨学科，产学研合作联合比什么都重要。电动汽车是跨界的技术，需要跨界的行动，这个时候跨行业、跨学科，上下游相关产学研组合起来的合作，比什么都重要。”

微电网争议升温 国网对其“加强管理”

一方认为它是解决新能源并网的捷径，一方则认为它会对大电网造成冲击。随着新能源装机的增多，微电网争议日渐升温。

在北京左安门桥环岛处，坐落着一个名为“华商智能公寓”的建筑，它是左安门微电网的示范项目，项目已经运行了一年多，通过微电网管理系统，协调运行风、光等分布式电源，为公寓内 68 家住户提供供电服务。投资方北京市电力公司介绍说项目总装机量约 200 千瓦，每年可以节约标准煤近 30 吨，减少二氧化碳排放 90 余万吨。

而北京市电力公司为此付出的代价是，日复一日的承担其高出北京市标杆电价近一倍的发电成本。而公寓门外的三个电动汽车充电桩，还没来得及发挥应有作用已被废弃。项目初建成时摆上的崭新电动汽车了无踪影，已沦为私家车的免费停车位。

在中国，随着可再生能源比重不断加大，微电网被寄予厚望，然而现实是，国内的分布式能源尚处于起步阶段，微电网发展步履维艰。

当下，类如左安门的示范项目正在多处出现，形成了一个年产值近 10 亿人民币的微电网市场，催生了一批微电网领域的专业公司。但作为一个新生事物，微电网在技术上还未成熟之时，却早早陷入到中国特有的政策桎梏与利益纠葛之中。



微电网

争议微电网

事实上，微电网在业内是一个敏感话题。一名来自国网系统的人士透露，微电网的发展一方面会对大电网造成不稳定，另一方面分布式发电自发自用，大电网的售电量就会减少，影响到国网的利益。据其介绍，目前国网对微电网的态度是“加强管理”。

一些微电网企业人士担心，未来国家电网会在并网问题上卡住微电网的脖子，“现在国家电网表面上是不推动微电网发展，暗地里正在加紧研究，未来如果必须要发展微电网，国网希望由他们自己来做”。

在国网能源研究院智能电网研究所所长张义斌看来，就中国目前的发展状况，微电网只有在那些大电网鞭长莫及的偏远地区具有存在价值，微电网未来的发展空间非常有限，存在的必要性并不太大，产业化更是提不上日程。

“微电网是分布式电源发展到一定阶段的产物，利用微电网技术去管理一些需要协同运行的微型分布式电源。国内与国外不同，住宅以居民楼居多，留给光伏等分布式发电的空间非常有限，未来节能减排主要还是要靠规模化的可再生能源开发利用。微电网需要具有一定专业水平运维人员，这在居民家中或小型社区中的可操作性差，这也是英国微电网没有真正发展起来的重要原因。同时，微电网在成本上也无法与现在的电网竞争”张义斌说。

张义斌认为，国内‘微电网’概念不断地“泛化”，很多时候将一些典型的配电网或者供电网络等同为微电网。国外研究微电网的电压等级基本是以 400 伏为主，直接发出来就能用。而国内所谓的“微电网”很多是用传统的电网技术，各种电压等级都有，和传统配用电技术没有区别，根本不需要微电网技术来支撑。“现在一些人借微电网之名，发展以高成本分布式发电为主要电源，再辅以高成本储能的小型配电网，即使不考虑其应承担的各类电价交叉补贴、基金附加以及大电网的系统备用费用，其供电成本也不具备可持续发展能力。”

在张义斌看来，并网难的症结不在国网。“微电网技术运行等方面没有明确的国家标准，上网电价等关键政策尚不明确，国家电网找不到政策依据合法合规接入；同时，分布式电源直接并网或者以微电网的形式接入大电网，会对电网安全和可靠供电造成不利影响。国网作为一个责任央企，在这件事上，它也无所适从。”

难题待解

事实上，业内对微电网存在的问题并不讳言。微电网与大电网之间的快速隔离、并网状态与孤网状态的无缝切换，以及微电网内部稳定控制是微电网面临的三大核心问题。

以稳定控制为例，微电网的发电侧为具有间歇性的可再生能源，不可控，用电侧由于范围较小，个别用户的负荷变化会对整体负荷造成较大影响，负荷也不可控。

据介绍，目前解决这一问题的基本方向是通过储能系统来平衡发电侧的不可控，通过通讯系统、双向互动、价格变化用电侧响应等来做到负荷的相对可控，但经验还在摸索之中。

此外，微电网当前成本还不具备市场竞争力。微电网的发电成本包括分布式电源与微电网控制系统两部分，从经济学的角度分布式发电成本尚高，更不必说微电网。

以光伏发电为例，目前光伏每瓦的造价约为 12 元，千瓦成本 12000 元，以光伏每天能发电 4 小时（这是极好状况）、电价每度一元计算，收回成本需要近 10 年的时间。微电网控制系统同样价格不菲，尤其是其中的储能系统投资成本较高，一般而言，锂电池需要充放电 6000 次才能收回成本，这已经大大超过锂电池的使用寿命。而储能系统仅仅占到整个微电网控制系统成本的三分之一，此外还要加上变配电设置和控制系统，最后微电网的后期运维还要计入成本，微电网的经济性可想而知。

不仅如此，在当下的电力体制下，微电网还被指面临合法性的尴尬。有专家认为，微电网的运行模式与现行电力法相悖，只有拥有电力管理部门颁发的“供电许可证”的企业才能成为合法的供电主体。

尽管微电网技术还不够成熟，更为关键的是发展也缺乏国家层面统一标准规划，政策的不确定性是微电网未来发展的最大障碍。目前，在国家政策层面，包括微电网接入、规划设计、建设运行和设备制造等环节，都缺乏相应的国家层面的技术标准与管理规范。更重要的是，关于微电网建设、运营模式，政府相关政策尚不清晰。

专家表示微电网在短期内难以实现产业化，但未来随着技术成熟、可再生能源成本下降、储能产业发展以及未来化石能源价格的持续上涨，实现经济性只是时间问题。“如果这些问题都得到解决，微电网将得到爆发式增长，未来市场有望达到千亿。

智能电网起热潮 超导行业迎来机遇

智能电网已成为电力工业重要发展方向。智能电网必须能解决未来电网发展所面临的一些关键问题，比如特大电网的安全稳定问题；电网支持大规模可再生能源运行的能力问题；电网应用现代电力前沿技术的能力问题等。从研究现状和产业化进程来看，美国侧重于在需求侧管理、配电网重构、分布式发电管理等方面；欧洲侧重于推广分布式发电；中国的研究起步相对较晚，从大电网和中低压电网 2 个角度同时切入，在华东电网、华北电网都得到了较大的发展，但完全成熟并产业化的成果相对较少。智能电网的建设和发展是一个多学科交叉的崭新学术领域，需要从多角度统揽问题，更需要新技术、新设备应用，以适应未来电网的要求。

超导电力技术将是 21 世纪具有经济战略意义的高新技术。超导技术的实用化、产业化会对电力领域产生巨大影响。目前我国关于超导技术的各项研发均已步入正轨，且进入产业化运作，现已普遍运营在电力行业、通信领域、军事领域以及医疗领域等。

作为新材料产业主攻方向之一的超导材料将迎来发展机遇

超导材料是指具有在一定的低温条件下呈现出电阻等于零以及排斥磁力线的性质的材料，其在智能电网，城市电力扩容等方面具有广阔的应用前景。

在全球范围内，智能电网正迎来投资热潮，而智能电网是我国“十二五”期间发展的重点之一。据业界人士介绍，在大规模建设智能电网过程中，超导是关键技术。如果超导电缆等的价格具有足够的吸引力，就将进入智能电网的商业化应用，前景非常广阔。

除此之外，由于占地空间小、开挖铺设工作量小，高温超导电缆也被纳入向超大城市中心送电的考虑范围。专家告诉记者，华东、华南许多大型城市目前已面临这样

的问题：城市扩容太快，用电量猛增，输电电缆严重饱和，但市区内新建高压架空线已不可能。并且我国城市建设地下管道系统规划水平落后，再铺设大容量的电缆也有很大难度。“与常规电缆相比，高温超导电缆的输电能力高出 3-5 倍。”

专家认为，第二代高温超导带材产业化生产以后，可有效解决人口密集的大都市圈电力扩容问题，并改善供电系统的安全性和可靠性。目前国际上第二代高温超导带材即将进入大规模市场化应用，我国大力介入这一领域的产业化研发恰逢其时。

另外，“在刚起步的高温超导产业当中，行业普遍预计限流器是超导行业实现商业化最早、市场前景最明确的超导应用。因为在各网的输配电都要用到它。”国内一家超导线材制造商向记者表示。

业内人士指出，超导限流器是目前唯一能解决短路电流过大，并且保护电路的产品。按照“十二五”规划中，短路电流超过 100KA 的变电站数量测算，到 2020 年，我国超导限流器潜在市场容量 2000 亿元。

超导电气设备产业化

在我国关于超导的研发中，超导材料经营经历了低温到高温的研发，第一代材料已经研究成熟，第二代材料由于其成本低更适用于产业化运作而被市场看好；超导产品品类逐渐增加，现已进行产业化运作的有超导电缆、超导限流器、超导滤波器、超导储能等。

超导限流器能在电网短路时，限制短路电流，保护电网。保守预计，广东电网在 2015 年会有 60 个变电站短路电流超过设计的安全标准。华东等电力负荷大区也有同样的问题。与其他限制短路电流的方式相比，超导限流装置有不改动原有设计和设备，运行能耗大幅降低等优点。据测算，与 500kV 空心电抗器对比，超导限流器每年将节省电费达 200 万元，节省原有设备改造投入 500 万元以上。估计超导限流器的市场在 600 亿元。

超导滤波器是移动通信基站静态扩容的重要手段。它提高移动通信基站覆盖面积一倍，同时降低掉话率 50% 以上。超导滤波属于成熟技术。美国目前已经装备了 6000 台超导滤波器。我国目前生产的超导滤波器还主要是应用于军事雷达、军事通信方面。民用方面，联通公司已经在北京和唐山的试点基站安装了超导滤波器，成功运行 4 年以上。随着移动通信数据传输量的大幅度增加，超导滤波器必将进入移动通信基站。保守估计超导滤波器的市场在 375 亿元。

超导储能主要用于解决风电、光伏发电系统的并网问题。超导储能响应速度快，可以快速根据电源放电状况收/放电能。目前国家电网资助的中国电科院“第二代高温超导储能单元构成关键技术研究”项目验收已经获得通过。在美国和日本，超导储

能已经有 10 例以上的应用。由于超导储能主要用于调节电能质量，与抽水蓄能等大规模的能量储存手段，并不矛盾。

高温超导电缆也是超导技术在电力领域应用的一个重要方面。它采用无阻和高电流密度的高温超导材料作为载流导体，具有载流能力大、损耗低和体积小的优点，相同截面积的超导电缆的传输容量将比常规电缆高 3~5 倍，而电缆本体的焦耳热损耗非常小。虽然在交流运行状态下，它也存在一定的损耗，但超导电缆只要超过一定长度后，即使考虑到低温冷却和终端所需的电能消耗，其输电损耗也将比常规电缆降低 50%~70%。有专家曾计算过，以我国电网传输损耗约占发电容量的 7% 计算，如果全部采用超导电缆，则可以将电网的传输损耗减少到大约 3.5% 以下，效益显而易见。

由于超导技术被认为将在一定程度上决定一个国家智能电网的竞争力，因此，对于超导产业而言，“十二五”期间，我国智能电网的全面建设将给该产业的发展提供良好的发展契机。

超导产业“十年十倍”

国家智能电网的发展，对超导材料带来实质需求。据了解，未来十年，随着我国电网和非电网市场的超导应用，市场规模将超过 2000 亿元。新材料产业“十二五”发展规划显示，目前我国新材料产业占国内生产总值 15%，预计未来五年的增速将保持在 20% 以上。

而据国际超导工业界的数据显示，2010 年，全球超导电力技术产业产值约 75 亿美元，预计到 2020 年，该产值将达 750 亿美元，也就是说，超导产业有望迎来“十年十倍”的迅猛增长。

由于超导技术壁垒高，虽然各类超导材料企业以及电线电缆类生产企业相继进入超导产业市场，但全球仅少数研究机构掌握相关技术，且尚未有企业实现大规模商业化生产，市场呈现垄断格局，因此市场的最先进入者将因丰富的运行经验占据明显的优势地位，成为市场的领导者。

储能产业：前景光明 道路曲折

随着国际社会对节能减排的日益重视和清洁能源的迅猛发展，对储能技术发展和应用的要求快速提高。风电光伏产业的迅猛发展客观上要求快速推进大容量储能产业的必要配套，储能技术在很大程度上解决了新能源发电的随机性、波动性问题，可以

实现新能源发电的平滑输出，能有效调节新能源发电引起的电网电压、频率及相位的变化，使大规模风电及光伏发电方便可靠地并入常规电网。

针对现有储能产业的发展，未来我国有望针对多种储能技术的基础研发，通过建设重点项目，扩大储能示范，通过政府政策或行政手段，辅以资金支持，促进储能技术在电力系统的应用。此外，还将通过制定相应的财政补贴政策，鼓励用户侧采用储能技术，促进储能技术在用电环节的应用。

“前景很光明，道路很曲折。”对中国方兴未艾的储能产业来说，如何在机遇即将来临之际把握政策风向、破解商业化难题已是当务之急。

近年来，中国对储能产业的关注度明显提升。如中央已把储能写入了“十二五”规划，并提出要加强储能先进技术的应用。智能电网规划的六大方面中则有三方面都提到了储能应用。此外，国家发改委、科技部、工信部、商务部、知识产权局日前联合研究审议发布的《当前优先发展的高技术产业化重点领域指南（2011年度）》首次加入了动力电池及储能电池一项，并将之排列在风电、光伏、生物质能之前，成为指南优先提及的领域。科技部发布的《国家“十二五”科学和技术发展规划》更把储能作为战略必争领域，列为先进能源领域的重点解决方向。

电动汽车和储能成未来重点

据了解，《智能电网重大科技产业化工程“十二五”专项规划》提出了九项重点任务，将在“十二五”期间形成关键技术突破，以及实现产业化示范工程的建设。这其中包括大规模间歇式新能源并网技术、支撑电动汽车发展的电网技术和大规模储能系统等。

《规划》针对小水电与其他可再生能源的协同发展提出了具体措施，指出将综合利用多种技术手段，突破小水电群大规模接入电网的技术瓶颈，减少其对电网安全稳定运行的影响。研究提高小水电群接入消纳能力的电网优化方法和柔性交流、柔性直流输电技术，小水电发电能力预测技术，小水电监测与仿真平台集成技术，小水电与大中型水电站群系统多时空协调控制方法，小水电与风电、火电系统多时空协调控制，提高小水电群接入消纳能力的区域稳定控制理论、控制方法和控制系统。

在支撑电动汽车发展的电网技术方面，《规划》明确将建换电站与储能站一体化监控系统与示范工程。电动汽车智能充放电机、智能车载终端和电动汽车与电网互动协调控制系统；还将研究充电设施运营的商业模式，以及基于物联网的智能充换电服务网络的运营管理系统建设方案。

在大规模储能系统的技术突破领域，储能电池的大容量化和集成应用将成重点。《规划》指出将重点研究基于锂电池储能装置的大容量化技术，以及单体钠硫电池产

品化和规模制备自动化中的关键问题以及集成应用中的核心技术，先进的钠硫电池产业化制备技术，兆瓦级钠硫电池储能电站的集成应用技术。

调峰电源将加快发展

储能是智能电网、可再生能源接入、分布式发电、微网以及电动汽车发展必不可少的支撑技术。在智能电网建设以及电动汽车产业的大力发展下，储能正成为新能源领域投资的又一个热点。

据中科院工程热物理研究所所长助理、鄂尔多斯大规模储能技术研究所所长谭春青介绍，预计到2020年，国内整个储能产业的市场规模至少可达6000亿元。他认为，铅酸电池是当前最成熟的技术，液流、钠硫电池也是目前相对成熟的新技术，而未来，压缩空气储能技术具有很大的发展空间。

国网能源研究院副总经济师兼能源战略与规划研究所所长白建华表示，为满足未来我国电力需求及清洁化发展目标，2015年全国电源总装机将达15亿千瓦左右，2020年将达19亿千瓦左右。而未来十年，我国非化石能源装机比重将不断上升。他表示，预计水电装机比重将基本保持不变，未来10年保持在20%左右；煤电装机比重持续下降，由2010年的68%下降到2015年的65%和2020年的60%；非化石能源装机比重不断上升，由2010年的25%上升到2015年的30%和2020年的34%；调峰电源，包括抽水蓄能、燃气发电等装机比重将增大，由2010年的4.4%上升到2015年的4.8%和2020年的6.2%。在这种能源发展的大背景下，储能技术尤其是调峰电源将得到大发展。

储能发展需要技术、政策同步跟进

就目前的储能技术发展水平看，单一的储能技术很难同时满足能量密度、功率密度、储能效率、使用寿命、环境特性以及成本等性能指标，如果将两种或以上性能互补性强的储能技术相结合，组成复合储能，则可以取得良好的技术经济性能。

中国电力科学研究院电工与新材料研究所总工惠东表示“没有任何一种储能技术能全面满足智能电网接纳分布式能源需要，因此，发展各种储能技术，是适应智能电网建设的需要。”

这一观点得到了程时杰的赞同。“由于不同储能技术具有不同优势和适用性，电力系统的实际工作情况使得单一储能技术难以满足所有要求，因此，建设和发展智能电网，必须要对各种储能技术进行复合利用。”

在电网应用中，要实现系统的稳定控制，电能质量改善和削峰填谷等多时间尺度上的功率平准控制，可以将超导储能、飞轮储能或超级电容器等功率密度高、储能效率高以及循环寿命长的储能技术与铅酸电池、液流电池或钠硫电池等能量密度高但受

制于电化学反应过程的储能技术相结合，以最大程度地发挥各种储能技术的优势，降低全寿命周期费用，提高系统经济性。

应当指出，电力储能技术虽然经过长期的发展，但要在电力系统中大规模应用还需克服技术和成本等诸多问题。如高效低成本长寿命的储能材料、标准化系列化的储能模块、储能的功率变换装置、储能与可再生能源发电的一体化技术、分布式储能与电网的协调、复合储能技术等。近年来，多种电力储能技术获得了较快的发展，如飞轮储能、超级电容器、锂离子电池、钠硫电池、液流电池、锌空气电池等，出现了一些规模化的示范，为其商业应用积累了丰富的技术和市场经验。

而且，储能技术的发展，除了自身的技术进步外，还需要其他一些技术或政策上的配套。如实施分时电价，合理拉开不同供需时段的电价，使得储能的削峰填谷有利可图，则会吸引更多的市场力量参与进来，也能够直接推动储能技术和产业化发展。

我国智能电网研究主要关注的十项关键技术

电力系统是一个技术密集型的行业，新技术的应用与电力系统发展是密切相关的，也是推动电网发展的强大动力。我们国家现在的电网发展已经进入了一个新的发展阶段，建成了一个特高压的骨干网架，根据电网电压协调发展的坚强智能电网正在稳步推进。要实行电网智能化发展，存在很多技术性问题和挑战。

要解决风电场大规模并网，给电力系统安全稳定评估分析及对策等问题。解决变电站自动化调度中心自愈能力。分布式发电并网、需求式管理。攻克新型直流输电、大规模储能，超导电力等技术问题。在电力市场方面，要解决市场体系设计、电价机制设计、电力发展机制等问题。

中国电力科学院总工程师印永华介绍，目前我国智能电网研究主要关注以下十项关键技术上：

1. 特高压交、直流输电技术

(1) 2011年12月份，特高压科技工程顺利投入运行，特高压交流输电技术顺利通过了500万千瓦的输电能力考验，具备了大电源在集体外送输电工程中往外运送的条件，我们一期工程最大只能输送240万千瓦左右的能力，经过扩建以后，增加了变压器，输送能力超过了500万千瓦。12月8日12时~15时，工程在电网全接线运行方式下，稳定运行在500万千瓦水平，平均功率518.7万千瓦。其中14时12分~48分，进行了超500万千瓦功率运行实验，平均功率533.8万千瓦。

(2) 大容量特高压开关

我国在国际上率先建立了 63 千安特高压开关的试验能力，并首次研制成功电力等级最高、电流开断能力最强的特高压开关，实现了世界高压开关试验和制造技术的重大突破。

(3) 特高压升压变压器

能源基地大型发电机组通过特高压升压变压器直接接入电网，有利于提高电源送出通道输送能力，发挥特高压大容量输电的优势。特高压升压变压器属世界首次研制，国网公司组织三大变压器厂联合攻关，在世界上首次研制成功额定容量 100 万千伏安的双柱特高压变压器，代表了国际同类设备制造的最高水平。

(4) 特高压同塔双回输电技术

特高压同塔双回路的走廊宽度与两个单回路相比，可以从 140 米下降至 80 米，结合后续特高压工程，对特高压同塔双回输电的关键技术进行了深入研究，攻克了过电压绝缘配合、导线排列、雷电防护、潜供电流、杆塔设计等关键技术。目前，已在安徽淮南—上海特高压输电工程中得到应用。

(5) 特高压可控高抗技术

采用可控高抗技术，能够动态补偿输电系统的柔性输电功率，调节系统电压，可以限制系统的高电压，提高系统的安全性。特高压可控高抗技术在世界上属于首次研制。目前已经全面突破系统集成等关键技术。

(6) $\pm 1100\text{kV}$ 特高压直流输电技术

$\pm 1100\text{kV}$ 特高压直流输电关键技术研究已经取得重大进展，技术规范已正式发布，为全面开展设备研制和成套设计和试验打下了坚实的基础。

(7) 特高压多段直流输电技术

特高压多段直流输电技术研究已全面展开，主回路结构、主接线方式、过电压及绝缘配合、系统运行方式及控制策略等试验研究工作已取得初步成果。在能源基地多个电源协调外送，向多个受端系统供电等方面具有应用价值，将提高特高压直流输电系统的灵活性和安全性。

2. 智能输变电装备技术

装备技术是实现智能电网的基础，通过将智能技术整合到输变电装备中，使其向大容量、低损耗、环境友好、智能化方向发展，是提高供电可靠性的重要保障。

(1) 变压器

朝着高可靠性、安全（难燃、低噪声）、低损耗、智能化及紧凑化方向发展，其技术经济指标将会进一步提高，随着未来新材料和新技术的发展，变压器也将随之出现变革。

(2) 断路器

SF6 断路器继续在高电压、大电流、高可靠性和选相控制的方向发展。真空断路器会继续向高电压发展，固态断路器将主要应用在一些需要高性能开断和投入的场合。在直流输电领域，高压直流断路器的研制和应用，将推动多段直流输电的发展，推进电网形态发生变革。

(3) 电子式互感器

电子式互感器将得到广泛应用，研究的重点包括：技术规范化和智能化；外国相关技术；功能拓展等等。

(4) 输变电设备在线监测及故障诊断技术

变电站和输电线路的在线监测和智能维护技术将迅速发展，全面采用智能传感技术和自动实时的预警机制。逐步实现变电站一次主设备的全息监测和实时状态评价，在输电线路中安装监测导线、杆塔、绝缘子的电、热、力、像等传感器，实现在线监测。

(5) 输电设备新材料

为了进一步节约走廊、提高输送容量、减小损耗，输电设备大量采用节能、环保的新材料，输电导线的电、热、机械性能将进一步提高。大截面导线、耐热导线、复合材料芯导线、复合绝缘子、高强度钢材和钢管杆塔将广泛应用；高压复合材料杆塔将开始研制。随着超导材料技术的突破，远期超导输电技术将逐步得到应用。

3. 新型电力电子器件及应用技术

电力电子技术和装备应用于交、直流输电系统，可以显著提高电网发、输、配、用各个环节的可控性，推动风能、太阳能等可再生能源的开发和利用，是实现坚强智

能电网的重要保障。随着材料技术的发展，电力电子器件级的技术会响应取得突破，对输电技术体系产生巨大影响，将促进电力系统实现整体技术提升。

3.1 柔性交流输电技术

国家电网公司编制了“电力系统电力电子关键技术研究框架”，加紧开展柔性交流输电技术的研发。目前基于晶闸管半控器件的 FACTS 装置已推广应用；基于全控器件的静止同步补偿器（STATCOM）也取得了重大技术突破，逐步得到应用。

3.2 柔性直流输电技术

国家电网公司于 2006 年 5 月制订了《电压源换相高压直流输电系统关键技术研究框架》，全面启动了该技术的系统研究。目前，上海南汇风电场 VSC-HVDC 示范工程已投入运行；大连 1000MW 级 VSC-HVDC 工程进入建设阶段；舟山 VSC-HVDC 工程也开始前期工作。

（1）电压源换相高压直流输电技术（VSC—HVDC）

采用新型全控型电力电子器件 IGBT 构成换流器，其主要特点如下：可以对有功和无功功率进行精确控制。无需外部交流网提供换相电压，不会发生换相失败。可以很好地解决换流器谐波问题。大大减少无功补偿容量和换流站占地位置。大大减少无功补偿容量和换流站占地面积。

（2）电压源换相高压直流（VSC-HVDC）配电网

采用 VSC-HVDC 技术，构成配电网，能够实现对电网参数，网络结构的灵活快速控制，输送功率的合理分配。这属于前瞻性配电网技术，目前处于基础理论研究阶段，尚无工程应用。

4. 大规模交、直流混合电网安全稳定控制技术

电力系统被誉为最复杂的人造系统，也是可靠性要求极高的庞大系统，必须应用现金的安全稳定控制技术，建立完善的大规模交直流混合电网电网协调控制体系。

大规模交直流混联电网安全稳定控制技术体现在以下几个方面：

（1）建立在线安全分析、评估和决策理论，构建防范电网大面积停电的在线实时预警和防御体系。

(2) 智能 PSS 和 TCSC、SVC 等 FACTS 设备推广应用，达到对网络潮流和母线电压的快速、平滑调节与控制。

(3) 应用现金控制及信息技术，针对交直流混合、多滞留亏馈入和新能源发电并网等，构建具有高度适应性的电网安全控制系统。

5. 电网调度的全局优化与协调控制技术

电网智能化调度在智能电网体系中起到“神经中枢”的作用。借助先进的计算机、通信、电力系统分析和控制理论及技术，实现对电网调度的全局优化与协调控制，保证大电网的安全、经济运行。

(1) 构建智能调度中心

在信息支撑方面，建立分布式一体化数据和参数共享平台，实现基于三维可视化的智能互动式人机交互系统；在电网安全防御方面，建成在线安全评估和预警防控体系；实现基于 PMU 的高级应用和广域安全稳定监控；在电网运行优化方面，实现计划和调度的时空优化协调，实现基于全局信息优化的有功、无功闭环控制。

(2) 建立适应新能源发电的新型能量管理系统

随着风、光、储系统和电动汽车等大规模商业化运行，建立与之相适应的新型能量管理系统。对接入电网的发、用、储等设备进行统一调度管理，有效平衡间歇性发电功率和电网负荷状态之间的不同步性，提高接纳间歇性可再生能源发电的能力。

6. 可再生能源发电友好接入技术

开发和应用间歇性电源友好接入技术，将直接推动风电、太阳能等可再生能源的开发利用。实现各种类型可再生能源发电过程建模，掌握可再生能源大规模接入后的系统运行特性。建立可再生能源发电的功率预测系统和现金的运行控制装置，实现对大规模间歇式电源有功、无功等物理量的全面控制。

7. 大容量储能技术

主要着眼于最有可能出现突破并世纪推广应用的大容量电池储能技术。该项技术一旦突破，将使目前的配用电体系发生重大变革，并且也将对风电、太阳能等可再生能源的间歇性问题提供一种可行的解决方案。

8. 智能配电网和微网技术

着力于提高配电网的智能化水平，重点是配电网对分布式电源、微网、电动汽车等新型用电设备或系统的接纳和适应。开发高级配电自动化系统，适应分布式电源、储能系统、用户定制电力技术、电动汽车充放电设施等方面的要求；构建智能配电终端软、硬件平台，实现短路接地故障的快速自愈，以及电压和无功综合优化控制等功能。

9. 灵活接入、双向互动的综合用户服务技术

智能用电技术实现在供电侧与用户之间的双向互动，从用户的角度来看，未来电网不再局限于传统的“供电”，而形成即是综合供能的现代能源网络，又能提供信息服务等新型功能的综合网络。

10. 低碳、高效的电力市场技术

建设低碳环保、开放有序、竞争充分、搞笑协调、促进安全、服务用户的电力市场。将可再生、分布式新能源与电动汽车、储能元件等新型市场成员纳入市场配置平台，提供安全、清洁、优质的电能服务。

为保障国民经济发展和人民生活水平的提高，我国电网正处于加快发展的关键时期，必须加强新技术和新装备的研发，为建设安全可靠、经济高效、清洁低碳、灵活智能的现代化电网提供坚强的保障。

智能电网状态检测关键技术

摘要：国家电网公司已提出全面建设坚强智能电网的发展目标，状态检测技术为提高智能电网安全稳定水平和电网设备管理效益提供了有力的技术支撑。未来智能电网状态检测技术将远远超出传统状态检测的范畴，不仅局限于电网装备的状态检修，而是延伸出更多的复合型高级应用。探讨了智能电网状态检修关键技术，包括输电线路设备管理、状态检修和全寿命周期管理、智能变电站相关技术等方面，提出了需要研究的问题和方向。

引言

电网是经济社会发展的重要基础产业，是国家能源产业链的重要环节，为保障我国未来能源和经济社会可持续发展，国家电网公司提出了符合我国能源战略和电网企业需求的智能电网发展模式。智能电网是指电网的智能化，是建立在集成的、高速的双向通信网络的基础之上。通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控

制方法，以及先进决策支持系统技术的应用，实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全的目标。根据 IBM 中国公司高级电力专家 Martin Hauske 的解释，智能电网有 3 个层面的含义[1]：首先是利用传感器对发电、输电、配电、供电等关键设备的运行状况进行实时监控；然后把获得的数据通过网络系统进行收集、整合；最后通过对数据的分析、挖掘，达到对整个电力系统运行的优化管理。2009 年 5 月 21 日举行的“2009 特高压输电技术国际会议”上，国家电网公司总经理刘振亚表示，积极发展智能电网已成为世界电力发展的新趋势，到 2020 年，中国将全面建成统一的坚强智能电网。我国国家电网结合基本国情和特高压实践，确立了加快建设坚强智能电网的发展目标，即加快建设以特高压电网为骨干网架，各级电网协调发展，具有信息化、数字化、自动化、互动化特征的统一的坚强智能电网。

为了提高智能电网安全稳定水平和电网设备管理效益，需要加强和提升电网设施的监控能力，针对输变电设备状态检测的有效方法和先进技术、传感技术、状态评估技术、信息技术以及通信支撑技术开展技术研究和工程应用。国家电网公司已于 2009 年 7 月决定自 2010 年起全面推广实施状态检修，全面提升设备智能化水平，推广应用智能设备和技术，实现电网安全在线预警和设备智能化监控。

1 智能电网与传统电网在状态检测方面的差异

1.1 传统电网状态检测技术现状

状态检修是以设备当前的实际工作状况为依据，通过先进的状态监测手段、可靠性评价手段以及寿命预测手段，判断设备状态，识别故障的早期征兆，对故障部位及其严重程度、故障发展趋势作出判断，并根据分析诊断结果在设备性能下降到一定程度或故障将发生之前进行维修[2]。状态检修的高效开展，需要大量的设备状态信息，为设备状态评价以及状态检修策略的制定提供基础数据。设备状态信息包括巡检、运行工况、带电检测、停电例行试验、停电诊断试验数据等。

随着状态检测技术的发展，人们越来越清晰地认识到“带电检测、在线监测、停电检修试验”三位一体的检测模式代表着未来输变电设备状态检测技术的发展方向。

带电检测一般采用便携式检测设备，在运行状态下对设备状态量进行现场检测，其检测方式为带电短时间内检测，有别于长期连续的在线监测[3]。在带电检测技术方面，国内外目前采用的主要带电检测技术包括：油色谱分析、红外测温、局放检测、铁心电流带电检测、紫外成像检测、容性设备绝缘带电检测、气体泄漏带电检测，其中最常用、最有效的是局放带电检测、油色谱分析及红外测温技术。尤其是局放带电检测技术，它是目前发展最为迅速、对电气设备绝缘缺陷检测最为有效的一种带电检测技术。

在在线监测技术方面，目前应用较多的主要集中在变电设备，而输电线路和电缆也逐步出现一些应用。对于变电设备，变压器和电抗器采用的在线监测技术主要包括：油色谱、局放、铁心接地电流、套管绝缘、顶层油温和绕组热点温度；CT、CVT、耦合电容等容性设备主要是对其电容量和介损进行监测；避雷器主要监测其泄漏电流；而断路器、GIS 等开关设备主要在线监测技术包括开关机械特性、GIS 局放、SF6 气体泄漏及 SF6 微水、密度。其中应用比较成熟有效的：变压器油色谱在线监测、容性设备和避雷器在线监测。对于输电线路，目前主要应用的在线监测方法主要有雷电监测、绝缘子污秽度、杆塔倾斜、导线弧垂等监测技术，但是比较成熟的主要是雷电监测和绝缘子污秽监测。对于电力电缆，主要在线检测方法是温度和局放，相对成熟的是分布式光纤测温。

在停电检修试验方面，国内外都形成了一套成熟的预防性试验方法和规程。

我国状态检测和评估工作还处于起步阶段，状态检测技术应用及推广上存在的问题主要有：(1) 状态检测技术应用范围不广，与电网设备总量相比，状态监测技术应用的设备覆盖面还处于较低水平；(2) 状态检测装置可靠性不高，存在误报现象，并且装置的故障率高，运维的工作量较大；(3) 缺乏统一的标准和规范指导，各厂家装置的工作原理、性能指标和运行可靠性等差异较大，同时各类装置的校验方法、输出数据规范以及监测平台都各不相同；(4) 缺乏深入有效的综合状态评估方法；(5) 在线监测技术需要深入研究，现行的在线监测技术在设备缺陷检测方面还存在盲区，状态参量还不够丰富，对突发性故障预警作用不够明显；(6) 缺少统一的考核、评估和指导方面的行业管理机构。

1.2 智能电网与传统电网在状态检测方面的差异

智能电网对状态信息的获取范围将与传统电网发生很大的变化。未来智能电网的状态信息不仅包括电网装备的状态信息，如：发电及输变电设备的健康状态、经济运行曲线等；还应有电网运行的实时信息，如：机组运行工况、电网运行工况、潮流信息等；还应有自然物理信息，如：地理信息、气息信息等[4]。

传统电网的信息获取及利用水平较低，且难以构成系统级的综合业务应用。智能电网将通信技术、计算机技术、传感测量技术、控制技术等诸多先进技术和原有的电网设施进行高度融合与集成，与传统电网相比，智能电网进一步拓展了对电网的全景实时信息的获取能力，通过安全、可靠、通常的通信通道，可以实现生产全过程中系统各种实时信息的获取、整合、分析、重组和共享。通过加强对电网实时、动态状态信息的分析、诊断和优化，可以为电网运行和管理人员提供更为全面、精细的电网运行状态展现，并给出相应的控制方案、备用预案及辅助决策策略，最大程度的实现电网运行的安全可靠、经济、环保。智能电网状态检修将不仅仅局限于电网装备的状态检修，势必延伸出更多的复合型高级应用。

2 智能电网状态检测关键技术

智能电网状态检测的应用范围将不再局限于状态检修、全寿命周期管理等狭隘的范畴，而是扩大至对安全运行、优化调度、经济运营、优质服务、环保经营等领域。智能电网状态检测技术应涵盖以下方面：电网系统级的全景实时状态检测；真正意义的电网装备全寿命周期管理；电网最优运行方式；及时可靠的电网运行预警；实时在线快速仿真及辅助决策支持；促进发电侧经济、环保、高效运行等[4]。本文主要探讨了输电线路设备管理、状态检修及全寿命周期管理、智能变电站相关技术等研究方向需要研究和解决的问题及预期达到的目标。

2.1 输电线路设备管理

输电线路智能化关键技术是基于信息化、数字化、自动化与互动化对输电线路设备进行监测、评估、诊断和预警的智能化技术，以保证输电线路运行的安全性。而输电线路设备管理是实现输电线路状态检测从而实现输电线路智能化的重要方面，具体而言，针对输电线路设备管理的研究需涵盖的内容如下。

(1) 输电线路设备“自检测”功能研究：研究输电设备的特征参量及检测、监测技术；构建设备状态监测和诊断路线图；滚动优化检修策略；构建输电线路状态检修体系。

(2) 输电线路设备“自评估”功能研究：构建设备运行状态的数字化评价体系，实现设备的自评价功能；构建设备故障风险评估模型，实现设备风险成本的可控管理；建立设备的经济寿命模型。

(3) 输电线路设备“自诊断”功能研究：研究主要设备的典型故障模式，提取有效的特征参量，给出故障的评判标准；研究多特征参量反映同一故障模式时设备状态的表征方法；逐步建立具有自诊断功能的智能设备技术体系。

(4) 输电线路设备“事故预警、辅助决策”功能研究：构建设备运行可靠性预计模型，实现设备故障的数值预报功能；实现设备寿命周期成本的优化管理；结合设备的特征参量开发辅助决策系统，使其能够为电网调度提供设备的可靠性数值预报信息，提供先进的供电安全快速预警功能。

2.2 状态检修和资产全寿命管理

状态检修过程中设备基础数据的收集与管理、设备状态的评价、故障诊断与发展趋势预测、剩余寿命评估等 4 个方面的内容是资产全寿命周期管理过程中资产的利用、维护、改造、更新所需要开展的基础性工作，同时资产的规划、设计、采购的管理也

离不开设备在使用和维护期间历史数据、状态和健康记录等的反馈。针对面向智能电网的输变电设备的状态检修和资产全寿命管理需研究以下内容。

(1) 基于自我诊断功能的故障模式、故障风险的数值预报技术：以油浸式电力变压器、断路器和 GIS 为对象，在初级智能化设备的基础上，进一步开展增加自我检测参量、改进自我检测功能的研究；在自我诊断方面，开展提高智能化水平的研究，实现设备故障几率和故障风险的数值预报，服务于智能化设备乃至电网的安全运行管理。

(2) 状态检修辅助决策：在已有输变电设备状态检修辅助决策基本功能基础上，研究基于状态检修的检修计划编排及优化技术、设备状态分析及故障诊断技术、输变配设备典型缺陷标准化技术、设备厂家唯一性标识建立和跟踪技术、在线监测数据接入技术等，并完善扩充输变电设备的评价导则。

(3) 资产全寿命周期管理：在已有成熟套装软件、生产管理、调度管理、营销管理、可靠性管理、招投标管理、计划统计等应用基础上，研究电网资产从规划、设计、采购、建设、运行、检修、技改直至报废的全寿命周期管理中的各种信息化关键技术，重点研究设备资产全息信息模型、设备资产全寿命周期管控技术、基于资产表现与服务支持的电力设备供应商综合评价技术、设备资产全寿命周期优化评估决策体系及其相关算法、基于资产全寿命周期的技改大修辅助决策技术等，最终实现以资产全寿命周期评估决策系统为关键支撑系统的资产全寿命周期管理体系。

(4) 面向智能电网的设备运行和检修策略：研究面向智能电网的变电站巡检技术、巡检项目和巡检技术规范；研究面向智能电网的停电试验和维护策略；研究完成符合智能电网运行特点的设备停电试验和检修建模；研究智能化附件的现场维护、检验和检定技术和策略。建立起一套面向智能电网的设备运行和检修技术体系和标准体系，满足智能电网的运行管理要求。

(5) 面向智能电网的设备寿命周期成本管理策略：研究各类一次设备的故障模式及故障发生几率，研究各种故障模式下的检修模型(所需时间和资源分布规律)，研究各种故障模式下的风险损失(检修成本、供电损失成本、社会影响折算成本等)。面向智能电网，研究设备的技术经济寿命模型，按新、旧设备分类建立寿命周期成本模型和与之相适应的设备检修和更换策略。面向智能电网，完成设备寿命周期成本管理技术体系和标准体系，满足智能电网的运行管理要求。

2.3 智能变电站相关技术研究

智能变电站是智能电网的物理基础，其核心技术是智能化一次设备和网络化二次设备。针对智能变电站相关技术的研究内容需包括以下方面。

(1) 智能变电站技术体系及相关标准规范：研究智能变电站的架构和技术体系，明确智能变电站的定义和定位，制定相应的标准和规范，指导未来智能变电站的建设和运行，提高智能变电站的标准化程度、开放性和互操作性。

(2) 智能变电站动态数据处理：通过开发开放式的智能化变电站系统，并改进通信设备以便取得更快的数据采集率，或者把在线测量数据储存在当地的一个智能化变电站中，然后，在各个智能化变电站之间交换相关的数据，把每一个智能化变电站当作一个 Agent，从而实现基于 Multi-Agent 的全数字实时决策应用。在高级调度中心侧则需要开发广域全景分布式一体化的 EMS/WAMS 技术支持系统。

(3) 智能变电站系统和设备的自动重构技术：建立智能装置的模型自描述规范，实现智能变电站中系统、设备的自动建模和模型重构，在系统扩建、升级、改造时实现智能化、快速化的系统部署、测试、校验和纠错，提升智能变电站自动化系统的安全性，减少系统建设和调试周期。

(4) 智能变电站分布协调/自适应控制技术：研发分布协调/自适应控制的技术和方法，解决灵活分区导致的继电保护、稳定补救和无功补偿装置定值的自适应修改，实现解列后包括发电在内的微网和变电站的分布式智能控制。

3 结论

状态检测技术是为基于状态的检修或预知性维修服务的一种技术，其发展是源于状态检修对于电网装备状态信息获取、分析、评判的技术性需求。在未来智能电网的状态检测中，势必要提高信息采集的准确性，加强采集信息的可靠性和准确性验证手段，通过远程、现场校验和校准技术，提高监测信息的可用度。同时，智能电网状态检测的信息处理，必须针对不同应用需求，分层分布处理。智能电网状态检测的应用范围，将不再局限于状态检修，全寿命周期管理等，将会扩大到对安全运行、优化调度、经济运营、优质服务等领域。总之，未来智能电网的状态检测技术将远远超出传统电网状态检测的范畴，检测范围将大幅扩展、全方位覆盖，且将为电网运行、综合管理等提供外延的应用支撑，而不仅局限于电网装备的监测。

参考文献：

- [1] IBM 论坛 2009，点亮智慧的地球[EB/OL].
- [2] 陈安伟. 输变电设备状态检修的应用[J]. 电网技术, 2009 , 33(20): 215-218.
- [3] 邓万婷. 带点检测技术在湖北智能电网状态检修模式中的应用[J]. 湖北电力, 2010, 34(增 1): 29-31.

[4] 刘骥,黄国方,徐石明. 智能电网状态监测的发展[J]. 电力建设,2009,30(7): 1-3.

3G 和 4G 无线通信技术在电力 ICT 网络中的应用

引言

当前,信息与通信、自动化、生产、管理等应用日益走向融合,信息网络与通信网络融合在一个网络平台上,实现了数据信息传输、音视频会议、电话、传真、即时通信等多种类型的应用服务,这种新型网络模式称为信息通信技术(ICT, Information Communication Technology)网络模式。

ICT 网络模式不仅是业务网络的融合,还带来了产业网络的融合,给各行业的通信与信息网络带来建设、应用、运行、维护全过程的创新。

进入 20 世纪 90 年代以来,移动通信系统飞速发展,从传统的通信业务逐渐向互联网、多媒体等宽带业务发展,为新一代电力 ICT 网络的无线接入带来新的选择。随着 3G 在全世界范围的大规模商用,其已成为目前通信领域讨论的热点,传输速率在支持静止状态下为 2 Mbit/s,步行慢速移动环境中为 384 kbit/s,高速移动下为 144 kbit/s,定位于多媒体 IP 业务。4G 将移动通信推向更大的带宽,物理层采用 OFDM-MIMO 技术,极大地提高了频谱效率,使数据通信速率有了质的提高。

核心网演进为全 IP 网络,使用 IPv6 提供了海量的 IP 地址,同时提供了 4 种 QoS 水平,满足不同业务的服务需求,系统容量更大,功能更强。4G 的最大特点是能够在任何地方提供互联网的宽带接入,同时提供信息通信之外的定时定位、数据采集、远程控制等综合功能。

因此,研究 3G 和 4G 无线通信技术在新一代 ICT 网络模式中的应用,将无线通信接入和电力通信网络进行统一规划,充分考虑电力业务和信息化发展的需求,使无线通信技术更好地服务于电力系统,具有重要意义。

1. 3G 和 4G 技术研究与应用的进展

4G 移动通信系统是目前移动通信领域的研究热点,虽然 3G 移动通信系统比以往的移动网络有巨大的进步,但是离目前用户对移动通信系统的期望仍有差距。所以,世界各地都展开了 4G 的研究和讨论。在中国,China 4G WORLD 于 2009 年 5 月 13-14 日在北京召开,会议内容包括 LTE (Long Term Evolution, 长期演进), VoLTE 和 Mobile

Backhaul，研讨中 LTE 备受关注。LTE 是未来主流的移动通信技术，LTE R8 标准已于 2009 年 3 月完全冻结，意味着 LTE 正式进入商用化研发的倒计时，完全能够满足 2010 年商用的需要。基于 LTE -Advanced 的研究已经在 3GPP (3rd Generation Partnership Project, 第三代合作伙伴计划) 进行，3GPP 已经向 ITU 提交了基于 LTE 演进的 4G 候选技术的初稿，2011 年初将会提交完整版本和自评估报告。

4G 通信技术与 3G 及现有通信技术相比，具有通信速度更快、网络频谱更宽、智能性更高、终端兼容性更好等优点。部分国内外专家认为，为了实现 4G 移动通信，在无线接入网络、核心网和终端技术方面都需要进行深刻的变革。

目前关于 4G 的研究很多，如多址方案、调制与编码、智能天线技术等，但基于电力系统的应用研究相对比较薄弱，而 4G 技术在电力信息系统中的理论及应用研究正是一个能带来可观的经济效益和社会效益的领域。

2. 3G 和 4G 无线通信技术在电力 ICT 网络中的应用

2.1 应急通信

在发生灾难、事故等紧急情况下，需要启动应急通信系统建立事故现场的通信。应急通信系统的架构如图 1 所示。

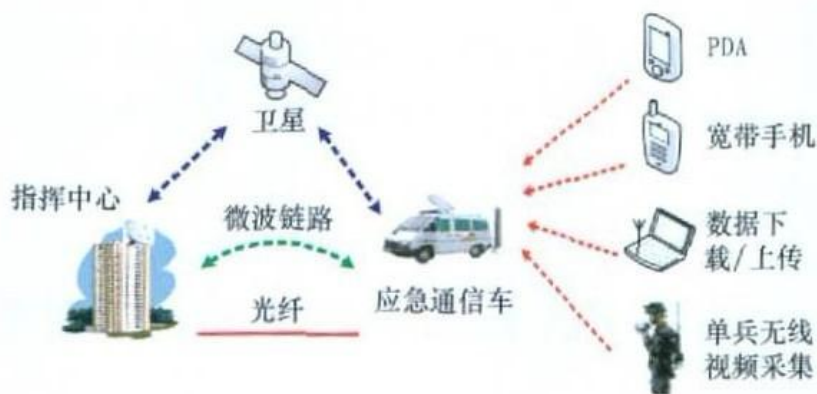


图 1 应急通信系统

应急通信指挥车是现场通信的核心，与 PDA、手提电脑、单兵视频采集等终端采用 4G 宽带无线技术进行通信，与指挥中心通过卫星、光纤或微波链路建立连接。

单兵视频采集终端通过无线方式将现场视频数据传送到应急通信指挥车，PDA、智能手机、手提电脑等终端通过无线接入到应急通信指挥车进行通信，这都需要大量的数据传输。系统采用 OFDM 作为无线通信技术，同时结合 MIMO，在发端和收端配备多个

天线，利用空间分集和复用，提高信道容量。由于子载波间相互正交，接收端可采用相关技术将子信道的信息分开，子信道之间的相互干扰很小。OFDM 的抗频率选择性衰落和抗多径效应等性能优异，能在恶劣的地理环境中提供高质量的通信。被视为准 4G 技术的 LTE，其系统传输带宽可在 1.5~20 MHz 范围内灵活配置，峰值传输速率上行可达 50 Mbit/s，下行达到 100 Mbit/s；LTE-Advanced 系统带宽设计为 100 MHz，考虑的峰值速率上行达 500 Mbit/s，下行达 1 Gbit/s。利用这样的数据速率，单兵视频采集终端能够向应急通信指挥车回传清晰的现场视频和图像数据，PDA、宽带手机等终端也能够进行高速的数据上传/下载和通信。

2.2 配电自动化

3G 和 4G 应用于配电网具有许多优势，其覆盖面广，适合分布广泛的配电网终端监测点的接入需求。3G 和 4G 都是双向通信系统，支持数据的双向传输。3G 在低速环境下的通信速率在 2 Mbit/s 以上，4G 的通信速率与 3G 相比，达到上行 50 Mbit/s、下行 100 Mbit/s 以上。这样高的数据传输速率，完全能够满足配电网自动化的信息传输要求。以 4G 为例，移动通信系统应用于配电自动化系统的组网方式，如图 2 所示。

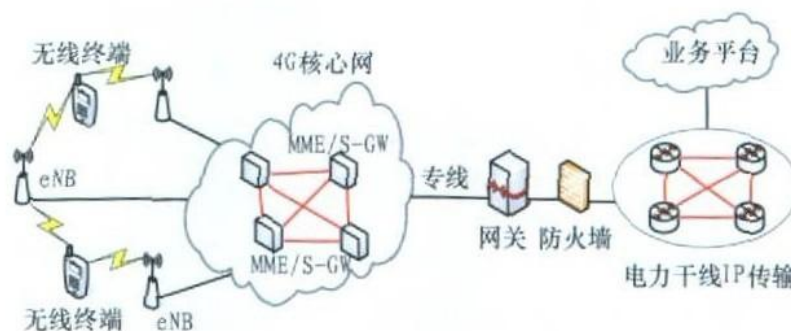


图 2 4G 应用于配电自动化系统

4G 采用更趋于扁平化的网络架构，取消了 3G 中的 RNC 节点，仅由 eNB 组成。这种扁平化的网络架构带来的好处是降低了呼叫建立时延及用户数据的传输时延。无线接入终端从驻留状态转换到激活状态的时延在 100 ms 以内，数据传输时延在 10 ms 以内，完全能够满足配电自动化要求的响应时间和数据传送时间。

在保证传输数据可靠性方面，3G 和 4G 均使用了 HARQ（Hybrid Automatic Repeat Request，混合自动重传）进行链路差错控制。HARQ 同时使用 FEC（Forward Error Correction，前向纠错）和 ARQ（Automatic Repeat Request，自动重传）技术，保证了数据吞吐量和可靠性。同时，3G 和 4G 系统对用户均有认证机制，对传输数据均进行加密处理，以保证服务于配网自动化系统的可靠性。

2.3 无线视频接入

视频信息具有数据量大、对错误敏感、压缩算法复杂等特点。无线信道带宽有限，由于干扰、多径效应等原因造成误码率高，且无线视频接入的终端一般是便携的，功率受限，无法进行复杂的压缩变换算法，这些都给无线视频接入带来了挑战。

视频压缩标准的数据速率以及 2G 和 3G 数据传输速率分别见表 1 和表 2 所列。

压缩标准	典型数据速率
H.261	p×64 kbit/s
MPEG-1	<1.5 Mbit/s
MPEG-2	1.5~35 Mbit/s
MPEG-4	8 kbit/s~35 Mbit/s
H.263(H.263+,H.263++)	8 kbit/s~1.5 Mbit/s
H.264	4 kbit/s~30 Mbit/s

表 1 视频压缩标准的数据速率

技术标准	数据传输速率
2G	GPRS 理论上限 172.2 kbit/s
	CDMA1X 理论上限 153.6 kbit/s
	WCDMA 384 kbit/s~2 Mbit/s
3G	CDMA2000 384 kbit/s~2 Mbit/s
	TD-SCDMA 384 kbit/s~2 Mbit/s

表 2 2G 和 3G 系统数据传输速率

比较表 1 和表 2 的数据可知，2G 的数据传输速率无法满足传输较为清晰、连续的视频流的要求，3G 相对于 2G 在数据速率上有了很大提高，视频电话、在线电视等多媒体服务已成功用于 3G。但是传输更为清晰流畅、质量更高的视频，同时在高速移动环境下仍能保持高数据速率的通信，均对移动通信系统提出更高的要求。

LTE 项目是 3G 的演进，始于 2004 年 3GPP 的多伦多会议。LTE 并非 4G 技术，而是 3G 与 4G 技术之间的一个过渡，是 3.9G 的全球标准，它改进并增强了 3G 的空中接入技术，采用 OFDM 和 MIMO 作为其无线网络演进的唯一标准。

LTE 的峰值数据速率为上行 50 Mbit/s，下行 100 Mbit/s。被业界普遍认为是 4G 标准的 LTEAdvanced，考虑的峰值速率上行达到 500 Mbit/s，下行 1 Gbit/s。如此高的传输速率，能够传送图像质量更好的视频流，提供更为丰富的多媒体服务。

同时，在保证数据可靠性、降低误码率方面，4G 系统不仅采用信道编码、交织等技术，还采用 HARQ 进行链路差错控制。

HARQ 将 FEC 和 ARQ 两种差错控制技术相结合，综合了 FEC 方式的高通过率和 ARQ 方式的高可靠性。HARQ 通信系统是在一个 ARQ 系统中包含一个 FEC 子系统，如图 3 所示。



图 3 HARQ 系统原理

常 FEC 部分用来纠正信道中经出现的错误，以减少重传次数进而提高系统通过率；ARQ 部分的作用是纠正那些不常出现的、FEC 不能纠正的错误，即当校验结果正确时，往发送端反馈 ACK 信号，当校验错误时，则往发送端反馈 NACK 包。

2.4 智能电网

智能电网起源于 1998-2002 年美国电科院推动的“复杂交互式网络/系统”，该系统试图为电网开发一个中央神经系统，以提高调度员对网络故障的判断能力。经过几年的发展，智能电网已经得到世界各国的认可。尤其是近年，智能电网进入一个快速发展阶段，2009 年 5 月 19 日，美国能源部公布了第一批智能电网标准：《IEEE 2030 指南：能源技术及信息技术与电力系统（EPS）、最终应用及负载的智能电网互操作》（P2030）也将于近期讨论和公布，芯片厂商英特尔将主持 2009 年 6 月 3-5 日在加州圣克拉拉举行的首次会议，讨论这份智能电网指南，内容包括智能网络的定义、拓扑、互操作性、最终应用、接口和集成等。在中国，智能电网技术也受到了政府和企业的高度重视，国内许多研究机构和企业都在积极开展智能电网的研究和网络建设工作。

智能电网目前并没有一个公认的定义，但是大家普遍认为它不是局部的解决方案，而是着眼于未来电网的发展前景。它将实现发电、输电、配电、储能和用电完全自动的配置和管理，使电网变成一个高速、双向、实时、动态、交互的网络。

为了实现智能电网全自动化，需要采用先进的通信技术以保证信息高效传输。在电力系统应用的通信传输通道种类繁多，有铜芯线、电力线载波、微波中继、光纤通信等。通过应用这些载体，以及引入新的网络通信技术，智能电网可以在更广的范围实现更多的信息和应用的连接和集成，使数据在整个电力系统的不同主体及不同的应用系统间进行传输，满足智能电网对通信系统的要求。

4G WiMAX、3G 无线语音和数据通信都可用于智能电网，它们的特点是：均为双向通信系统，可实现智能电表的数据采集和控制；部署较灵活、方便，通过用户附近的基站就可实现智能电表的无线接入；具有较好的传输带宽，可以实现较高速率的数据传输；无线覆盖面广，可以应用于不具备有线通信条件或有线通信无法满足需求的情况，成为智能电网中有线通信技术的有益补充。目前，国外公司已经展开这方面的应用，美国通用电气公司已经制造了采用 WiMAX 技术的智能电表，使用的是英特尔的 WiMAX 芯片。

3. 基于 3G 和 4G 技术的电力 ICT 网络中的安全

与有线通信方式相比，无线通信的信息安全问题更为突出：信道开放，无法阻止攻击者窃听，恶意修改并转发；无线传播会因多种原因造成信号衰减，导致信息丢失；需要经常移动设备，设备容易丢失或失窃；用户不必与网络进行实际性的连接，使得攻击者伪装成合法用户更为容易。

4G 网络相对于 2G 和 3G 网络在信息安全方面有了很多改进，设有二层保护：第一层为接入网（E-UTRAN），由 eNB 和 UE 提供 RRC（RadioResource Control，无线资源控制）信令完整性保护和机密性保护；第二层为核心网（EPC），由 MME 和 UE 执行 NAS 信令的加密和完整性保护。无线链路和核心网有各自的密钥，以下安全措施能够保证接入到电力 ICT 网络中数据的安全性。

1) 拥有网络 and 用户间的双向认证，使攻击者无法伪装成合法用户使用网络服务或窃取合法用户信息，非法基站无法伪装成接入点骗取用户的接入，从而获得用户上传的信息。

2) 使用安全算法对用户数据和信令数据进行加密和完整性保护。

3) eNB 和核心网之间有安全联盟，相邻的 eNB 之间也有安全联盟。

4) 4G 核心网与电力 ICT 网络间设置防火墙, 实现 2 个网络间的隔离, 同时保证网络间传输信息的安全性。

4. 结束语

移动通信从 3G 发展到 4G, 数据传输速率不断提高, 提供的业务向移动互联网、手机电视、视频通话等多媒体 IP 方向发展, 业务种类更多, 服务质量更高。未来的电力 ICT 网络, 将是一个高带宽、IP 化、多级 QoS 保障、提供多种业务的信息通信网络平台。无线通信网络可以作为其有线网络的延伸, 提供更丰富、灵活和方便的接入方式, 从多方面满足电力 ICT 网络无线通信的需求。