



# 风电网络与储能设施的联合优化

研究成果: Joint Planning of Energy Storage and Transmission for  
Wind Energy Generation

作者: Wei Qi, 梁湧, Zuo-Jun Max Shen

发表于 *Operations Research* (2015 年第 6 期 63 卷)

电力是国民经济的命脉, 改革开放以来, 电力工业快速发展。曾经困扰我国经济发展的电力供应不足问题已经基本得到解决, 但同时存在着有一些地区面临供电不足、一些地区长期电力供大于求的情况。展望未来, 经济的持续健康发展离不开能源的支持, 而电力又是重中之重。如何确保电力不成为经济社会发展的瓶颈, 并进一步保障人民生活用电质量, 是个迫在眉睫的研究课题。

随着全球范围内大力发展可再生能源, 我国风电建设也如火如荼。希望在 2020 年时, 风力发电总装机容量能满足电力需求的 15%。虽然愿景很美好, 现实中可再生能源的推广却遇到了很多麻烦。比如, 风力资源丰富的地方通常远离需求密集的城市和工厂, 无法与现有的输电网络连接起来。因此, 在规划风力发电厂厂址的时候, 决策者需要谨慎的设计输电网络来连接风力发电厂和城市, 具体地说, 需要长距离的高压输电线把电从遥远的风力电厂输送到城市中去。高昂的输电网络建设成本造成了可再生能源发电成本过高, 而不得不依赖国家补贴和政策支持。

麻烦并不止如此, 可再生能源如风力发电和太阳能发电最为人诟病的是其缺乏连续性。更让决策者头疼的是, 一天当中发电曲线似乎总是不能和用电曲线相匹配。当用电高峰来临时, 可再生能源无法充分供给, 当用电低谷来临时, 可再生能源却在源源不断的输出, 而造成“弃风”、“弃光”等现象。根据国家能源局发布的我国 2014 年风电行业的相关数据, 在年度利用小时数只有 1893 小时情况下, 仅弃风率这一项指标就达到了 8% (国家能源局 2015)。风电不稳定和调峰难实现是造成弃风现象的重要原因。

清华大学经济管理学院管理科学与工程系梁湧教授与其合作者聚焦目前在可再生能源中占比最大的风电, 致力于研究解决风力输电网络造价过高和风电不可控性所带来的弃风问题, 而他们创新性地运用供应链管理思想和理论作为研究思路, 提出了在建立新的输电网络来连接风力资源丰富的风厂地址时, 通过选择如何在输电网络的节点上设置合适的储能装置, 来最小化输电网络的建设成本和弃风量。储能装置起到了类似于供应链管理中 Pooling 的作用, 通过高吸低输, 提高了风机输出端的稳定性, 同时在不弃风的前提下, 降低了对输电线电压等级的要求, 节省了输电网络的建设成本。

研究假设输电网络的拓扑结构为放射状, 即所有风厂的输出端都先和一个汇合点连接, 在汇合点可能会布有储能设施, 而所有的汇合点再和唯一的用电城市或者唯一的电网接入点连接。这样的假设并不会带来太大的问题, 因为根据风力资源丰富地区一般相聚较远的特性, 放射状的风力发电厂和储能设施组成输电网络可以被用来作为基本的组成元素, 用来把丰富的风力资源接入现有电网。



该研究利用数学建模,把这一复杂的问题表达为一个混合整数非线性优化问题,而后进一步把该问题转化为一个混合整数锥优化问题。锥优化问题在求解复杂度上要远小于一般的混合整数非线性优化问题。研究发现,在大多数情况下,即使仅仅利用非常小型的储能装置,决策者也能将整个输电网络的建设费用和弃风量大幅降低。这无疑是一个好消息,因为一般来说,大型储能装置的费用都是十分高昂的。利用这一套解决办法,可以解决任意的符合研究基本设置的规划问题。梁教授及其合作者希望通过这项研究能够为国家可再生能源下一步发展带来正面的作用,并为其他相关的基础设施建设带来指导意义。

供稿:科研事务办公室

编辑:高晨卉

责编:孙荣玲