

中国抽水蓄能电站的发展

摘要 中国抽水蓄能电站的建设虽有 40 年的历史，但它的发展主要是近十几年，本文回顾中国抽水蓄能电站发展情况，用一些具体的事例介绍中国抽水蓄能电站发展特点和在电网中所发挥的作用。由三部分组成：1. 容量增幅大，发展速率高。 2. 在系统中发挥了重要作用。 3. 具有了较为成熟的设计、施工和管理经验。

中国抽水蓄能电站建设已有近40年的历史，我参加了中国第一座抽水蓄能电站的建设，并一直从事这方面的工作，现在有幸和华裔教授学者协会（CSA）接触，为了互相沟通，我很高兴把中国抽水蓄能电站的发展，借CSA的<<学术展望>>刊物作一介绍。

1. 容量增幅大，发展速率高

世界上第一座抽水蓄能电站于 1882 年诞生在瑞士的苏黎士，至今已有一百二十五年的历史。但世界上抽水蓄能电站得到迅速发展，是在六十年代以后的事，也就是说从第一座抽水蓄能电站建成到迅速发展，中间相隔了近 80 年。中国抽水蓄能电站建设起步较晚，六十年代后期才开始研究抽水蓄能电站的开发，1968 年和 1973 年先后在中国华北地区建成岗南和密云两座小型混合式抽水蓄能电站。在近 40 年中，前 20 多年蓄能电站的发展几乎处于停顿状态，九十年代初才开始有了新的发展。至 2005 年底，全国（不计台湾）已建抽水蓄能电站总装机容量达到 6122MW，年均增长率高于世界抽水蓄能电站的年均增长率，装机容量跃进到世

界第 5 位,遍布全国 14 个省市。在建的抽水蓄能电站装机约 11400MW, 预计至 2010 年, 这些电站都将建成, 到时抽水蓄能电站的总装机可到 17500MW 左右。

2. 在系统中发挥了重要作用

抽水蓄能电站运行具有几大特性: 它既是发电厂, 又是用户, 它的填谷作用是其它任何类型发电厂所没有的; 它启动迅速, 运行灵活、可靠, 除调峰填谷外, 还适合承担调频、调相、事故备用等任务。目前, 中国已建的抽水蓄能电站在各自的电网中都发挥了重要作用, 使电网总体燃料得以节省, 降低了电网成本, 提高了电网的可靠性。现举几个电站的运行情况, 说明抽水蓄能电站在系统中的作用。

2.1 潘家口、十三陵抽水蓄能电厂

它们所在的中国京津唐电网是一个以火电为主的电网, 电站在电网中的作用主要体现在调频、调峰、填谷、事故备用、黑启动及保证北京用电的稳定性和可靠性等方面。京津唐电网在没有抽水蓄能电站投入以前, 电网主要依靠燃煤火电机组调频。由于燃煤火电机组受设备的限制, 对电网频率的急剧变化适应能力差。1993 年以前, 京津唐电网周波合格率在 98% 左右。目前电网调频主要以十三陵、潘家口抽水蓄能电厂为主。十三陵抽水蓄能电厂投入运行后, 电网周波合格率每年均达到 99.99% 以上, 除了电网供电状况有所好转外, 抽水蓄能电站参与电网调频起了很大作用。

在事故备用方面也起到重要作用，比较典型的例子如：

1999年3月,北京连续十多天出现大雾阴雨天气，使北京供电线路造成电网雾闪、线路闪络掉闸等事故不断出现，此时十三陵蓄能电站做出快速反应，开机48次，紧急启动成功率100%。

2.2 广州抽水蓄能电站

该电站是中国最大的抽水蓄能电站，装机2400MW，同样在系统中发挥了重要作用。它的作用主要表现在：使核电实现不调峰稳定运行，广蓄电站的调峰填谷作用使香港中华电力公司无需多开两台66万kW煤机，而且在负荷低谷期可以更多接受核电。大亚湾两台900MW核电机组于1994年投入运行，分别向广电和中电两个电网供电。由于两个电网都有抽水蓄能容量供调度使用，为核电创造了良好的运行环境，使核电不作调峰，实现稳定运行。

在事故备用方面，广东电网内火电和核电机组单机容量都大,还有从西南省份经500kV线路供电，广东电网还与香港电网相联，无论火电站、核电站跳机或西电解列等事故均对电网安全影响巨大，而蓄能电站对防止电网事故扩大，恢复正常供电起着显著作用，广蓄自投入运行以来，平均每年紧急启动18次左右。

广蓄还为电网作特殊负荷运行。由于抽水蓄能机组既可作电源又可作负荷，因此对电网调度组织功率特别方便简易，电网中的核电机组、煤电机组调试期间甩负荷实验、满负荷振动实验，都由广蓄机组水泵运行作为负荷，使核电、煤电机组试验得以顺利

进行。

2.3 天荒坪抽水蓄能电站

该电站装机容量达 1800MW，运行综合效率最高达 80.5%，超过一般抽水蓄能电站 4 度换 3 度的指标。电站自首台机组投产以来，对保证华东电网的安全、稳定运行发挥了重要作用。自 1998 年投产至 2003 年 6 月底，已为电网应急调频或事故备用 23 次。它还被电网指定为系统瓦解时，恢复电网的黑启动电源。同时，蓄能电站也成为系统调试的重要工具。天荒坪抽水蓄能电站投入华东电网运行后，对保证华东电网的安全稳定、经济运行发挥了不可替代的作用。

2.4 溪口抽水蓄能电站

电站装机容量虽不大，但自 1998 年 2 台机组投运以后，提供的削峰填谷电量，解决了宁波电网约 40% 的峰谷差调节问题。

综上所述，已建的抽水蓄能电站不管是大型还是中型，在实际运行中都很好地发挥了调峰、填谷、调相、调频、事故备用和替代燃煤机组的作用，取得了良好的信誉和经济效益。

3. 具有了较为成熟的设计、施工和管理经验

中国抽水蓄能电站建设虽然起步较晚，但有以往大规模常规水电建设所积累的经验，加上近十几年来引进的国外先进技术和管理经验，使中国抽水蓄能电站有较高的起点。尽管目前已建的抽水蓄能电站数目不多，总装机规模也不大，但单个电站规模已居世界前列。如：广州抽水蓄能电站，已是当今世界上装机规模最

大的抽水蓄能电站；在建设速度方面，广蓄一期工程全部竣工仅58个月，广蓄二期、十三陵和天荒坪电站主体工程的实际施工工期，与世界经济发达国家相比并不逊色；在单位千瓦装机容量投资方面，一般都不太高，而广蓄电站，还低于世界同类电站水平，其中广蓄还远低于具有一定调峰能力的燃煤电站的单位千瓦投资；中国正在建设的西龙池抽水蓄能电站，最大扬程达704m，进入了世界上已投运的单级混流式抽水蓄能机组中扬程最高的先进水平；天荒坪与广州抽水蓄能电站单级可逆式水泵水轮机组单机容量300MW，设计水头500m以上，均为世界先进水平。

中国通过近10几年来建成的第一批抽水蓄能电站的实践，积累了设计、施工和运行管理的经验，在技术上取得了丰硕的成果。

在建设管理方面有一套行之有效的制度。普遍实行了以项目法人责任制为中心，以建设监理制和招标承包制相配套的建设管理模式。

在运行管理方面达到较高水平。抽水蓄能电站可逆式水泵水轮机—发电电动机组运行工况多、监控对象多、自动化元件多、信息量多，计算机监控系统比常规水电站计算机监控系统复杂，操作要求也比常规水电站高。已建成的抽水蓄能电站在运行管理方面都达到较高水平，表现在：（1）人员精炼，基本上做到无人值班或少数人值守。（2）综合效率高，电站运行的平均综合效率，一般在75%左右。广蓄平均达78%，天荒坪平均达79.4%，最高达

80.6%。(3) 可用率和机组启动成功率均达先进水平。

抽水蓄能电站与常规水电站相比，除机组特殊外，在水工建筑方面也有它的特殊性，比如对防渗的要求就特别严格，因为它的水是用电换来的，同时机组吸出高度多为负值，厂房多为地下式等等，因此在设计和施工方面都有一定的难度，在已建的抽水蓄能电站中，攻克了这些难关，为今后抽水蓄能电站的建设，取得了成功的经验。

如十三陵电站上水库，是人工开挖填筑而成，库盆采用钢筋混凝土面板防护，在北京这样寒冷地区，这样大规模的钢筋混凝土防渗工程在中国是第一个，在国外也少有。天荒坪抽水蓄能电站的上库，也是人工开挖填筑而成，天荒坪电站的防渗措施系采用沥青混凝土衬护，渗漏量很少。这两个工程说明在人工库盆防渗方面，中国已积累了一定的经验。

又如地下厂房轻型支护，广州抽水蓄能电站宽21m的大型地下厂房采用喷锚支护，其支护参数在国内外同类工程中是比较先进的。实践证明，中国在地下厂房喷锚支护设计和施工方面都具有成功的经验。

广蓄电站厂房400t天车和天荒坪电站厂房500t天车均采用岩壁吊车梁，取代传统的柱式支承吊车梁，既减少厂房宽度，节约投资，又缩短了工期。通过广蓄、天荒坪等电站岩壁吊车梁实践，中国已完全掌握了岩壁吊车梁的设计理论和施工技术。

抽水蓄能电站的引水道有竖井和斜井两种布置形式。斜井与竖

井相比，斜井水道长度短，水力过渡条件好，具有节省投资、提高电站效率等优势。但斜井的施工难度较大，施工技术比竖井复杂。中国目前已建的广蓄、十三陵、天荒坪等蓄能电站，引水道均采用斜井布置。通过这些斜井施工，已形成了较为成熟的斜井安全快速施工成套技术。

结语 近十几年来，中国抽水蓄能电站的迅速发展，主要是由于中国国民经济的高速发展，促进了中国抽水蓄能电站的大发展，而这十几年正是中国改革开放经济大发展时期。在这十几年中虽然取得了很大成绩，但在发展过程中还有不少问题有待进一步解决和提高。

鸣谢 本文有些材料来自于“中国抽水蓄能电站专委会”学术交流年会，在此对中国抽水蓄能电站专委会表示感谢！

供稿人；李例