

水电引领绿色能源发展

○ 张楚汉

能源是人类文明进步与社会经济发展的动力。水能本质上是太阳辐射引起地球大气环流而形成的河川径流的天然势能，它周而复始，永不枯竭。水能是人类最早发明和用于工业化的能源之一。



张楚汉

清华大学教授，中国科学院院士，水利水电工程专家。现为美国土木工程协会会员，中国力学学会荣誉会员，中国水利学会名誉理事，水利部科技委委员。担任Journal of Earthquake and Tsunami, Energy and Power Engineering等国际期刊编委。先后完成了三峡、二滩、小湾、溪洛渡等30多项高坝工程的关键技术研究，在国内外发表论文200余篇，撰写学术专著5部，培养博士30余人，获国家自然科学基金三等奖、国家科技进步二等奖、全国科学大会奖、国家优秀教学成果一等奖等省部级以上奖励10余项。

大力开发水电是当务之急

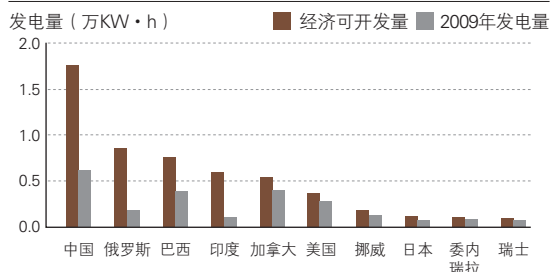
早在1878年，法国人就建成了世界上第一座水电站，这标志着人类将天然水能资源转化为电能的开始；1910年，当时我国一批抱有“实业救国”理想的爱国人士，在云南滇池出口螳螂川修建了中国第一座水电站——石龙坝电灯厂，装机480千瓦，1912年正式向昆明送电；2010年，世界上最大的长江三峡水电站建成，26台机组共1820万千瓦全部投产，使我国水电总装机容量攀上2亿千瓦高峰，稳居世界第一。从螳螂川到长江，从石龙坝到三峡，中国水电走过了整整一百年艰难而又辉煌的历程。在《中国水电百年》纪念会上，笔者发自肺腑感叹：“水电百年尽沧桑，装机两亿显辉煌，江河治理路漫漫，绿色能源谱华章”，表达了一个清华水利水电人的心声。

水电百年，历经坎坷。旧中国战火连年，国弱民穷，水电建设举步维艰，1949年，全国水电装机仅36万千瓦，年发电量12亿度。新中国成立以来，特别是30年的改革开放，给中国水电事业的发展注入了巨大的动力。到2010年，我国水电

累计总发电量达8万亿度，在国家经济发展、人民生活奔向小康的大战略中起着重要支撑作用；水电能源供应相当于替代了30亿吨标准煤，减少了二氧化碳排放量80亿吨，节能、生态和环境保护的效益显著，在全球CO₂减排的任务中作出了重要贡献。目前世界上前10大水电站中，我国占有4席。我国水电技术在国际上也崭露头角，水力发电成为国际市场上具有较强竞争力的行业之一。

然而，我国水电开发却饱受移民和环境生态保护问题的困扰，“十一五”原规划水电开工建设为7400万千瓦，但实际开工量仅2003万千瓦

部分国家水能资源利用情况（2009年）





三峡水电站枢纽建成发电

瓦。其中，有移民和环保问题，也有部分社会舆论问题。笔者认为，对待我国水电开发，要从全国乃至全球能源战略中来审视，要全面权衡水电能源的利与弊，要缓解中国的能源短缺和环境污染问题，大力开发水电能源是当务之急和必由之路。

百年来，由于化石能源的过度使用，导致全球气候变暖与生态环境恶化。我国以煤为主的能源结构造成大气中二氧化碳和烟尘的70%、二氧化硫的90%、碳氧化物的67%来自燃煤。节能减排、发展绿色低碳经济、应对气候变化已成为我国乃至全球经济社会发展的一项重要而紧迫的任务。目前，我国政府已向世界做出两项承诺：至2020年我国非化石能源消费比重占一次能源消费量的15%（目前仅占7%左右）；2020年单位GDP CO₂排放量比2005年要下降40%~45%。这两项承诺要求大力加强节能减排，加速发展水电与核电能源，同时积极开发风能和太阳能等绿色能源，才能达到预期目标。

水电资源开发潜力巨大

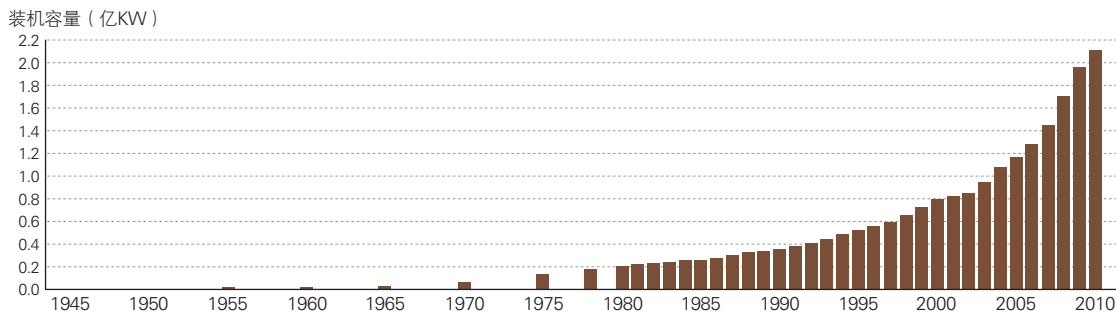
水电是清洁的可再生能源。全球水能资源理

论蕴藏量约50亿千瓦，其中技术可开发装机容量为22.6亿千瓦，迄今全球水电仅开发了约20%。水电由于生产过程简单，运用灵活，又具有其他兴利除弊的综合效益，成为西方发达国家率先开发利用的能源，迄今发达国家平均已开发了70%，其中法国90%，瑞士87%，美国74%，日本67%。我国是全球水电资源蕴藏量最丰富的国家，理论蓄藏量为6.9亿千瓦，其中技术可开发量为5.7亿千瓦，至2010年底我国水电装机已达2亿千瓦，占技术可开发量的35%，尚有2亿~3亿千瓦的开发潜力。从全国电能比重看，水电占全国总装机容量的22%和总发电量的16%，仅次于煤电，位居第二位。目前，全国规划的大型水电基地，主要集中于我国西南地区，包括长江上游、金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江、乌江、黄河上游、红水河、怒江等13个流域。西藏雅鲁藏布江的水能资源也在科学规划与研究中，未来水电开发仍有巨大的发展潜力。

我国水电开发的有利目标是：

水电工程一般与防洪、灌溉（抗旱）、供水、航运、改善河流生态环境等多目标结合，取得最大的综合利用效益。除巨大的发电效益外，

中国水电装机容量发展示意图 (1949—2010)



在防洪方面，自1988年以来，由于水利水电工程建设，我国累计防洪减淹耕地12亿亩，减少经济损失2.9万亿元；在解决干旱方面，全国灌溉面积达8.7亿亩，年供水能力6300亿立方米。此外，还解决了2.5亿农村人口的饮水困难和1亿人口的饮水不安全问题，带来的社会、经济、环境与生态效益是巨大的。

水电是绿色能源，不消耗燃料，不排放二氧化碳、二氧化硫等温室气体和有害物质，在抑制全球气温上升与能源结构调整中将起到重要作用。根据预测，2020年我国在完成上述两项承诺条件下，CO₂的总排放量仍将达110亿吨，居全球首位，因此大力开发水电资源实在是一项刻不容缓的任务。根据新规划，我国到2020年水电装机将达3亿千瓦，年发电量将超过1.2万亿度，相当于减排二氧化碳11.4亿吨、二氧化硫750万吨、氮氧化物300万吨、烟尘280万吨，将为改善环境与发展低碳经济做出显著贡献；

水电能源的调节性能好，启动快，在电网运行中担负调峰，快捷而有效，在当今绿色能源和非水可再生能源如核电、风电、太阳能光伏发电、波浪潮汐发电等日益发展的21世纪，水电的调节功能不可或缺。由于风能、太阳能等非水可再生能源的不稳定出力特征，给大规模开发与并入电网带来困难。在煤电与核电主要负担基荷的条件下，水电（包括抽水蓄能电站）的易调节性可供未来大规模非水可再生能源在电网负荷中良好的调节与互补，所谓“电网离不开水电，水电离不开电网”就是这一道理。例如黄河上游以龙羊峡为龙头的系列水电站（规划完成后可达2000万千瓦装机）辅以抽水蓄能可为未来青海西北地区千万千瓦级的太阳能与风能基地的发展提供可

行保障；

小水电是广大农村、牧区和边远少数民族地区的重要电源。我国小水电资源丰富，技术可开发量达6500万千瓦，覆盖600万平方公里国土面积和1亿以上人口，对未来农村实现现代化、城镇化也具有重要意义。

水电开发面临的挑战

当前，我国水电开发所面临的主要挑战是：

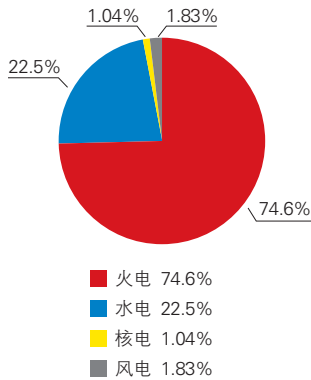
1. 移民问题

我国是当今世界水利移民最多的国家，建国以来已累计移民1600万人，相当于欧洲一个中等国家的人口。其中三峡水电站这项举世瞩目工程的背后是120万移民举家迁徙、鞍马劳顿的身影。2010年10月26日大坝蓄水至正常蓄水位175米，正式宣告这项工程跨越两个世纪的百万移民难题终告破解。历史经验表明，水利移民要贯彻以人为本，妥善安置，建立合理而可持续的补偿机制，做到“迁得出，稳得住，逐步能致富”的目标，使移民的长期生产和生活得到科学、合理的保障，成为推动经济发展的动力。

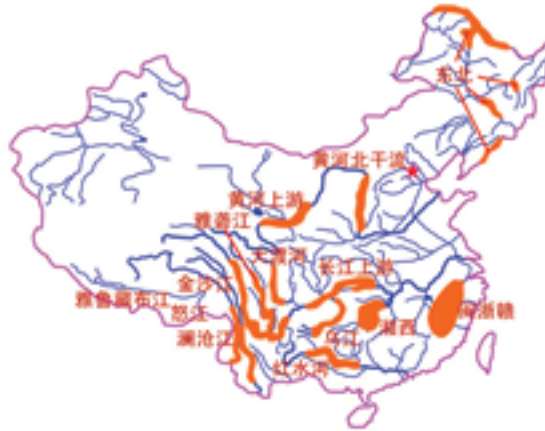
2. 生态环境问题

事物皆有正反两面，水电工程对生态环境的影响也具有有利和不利两方面，其中最大的有利方面是减少和避免洪水和干旱灾害给下游城镇居民与农民生产、生活、环境的破坏，避免洪旱灾害带来的疾病流行与灾民安置等环境与社会问题，这对社会、经济与环境生态的效益是难以估量的。以黄河为例，黄河水少沙多，淤积严重，由于水资源短缺，黄河流域过去以牺牲环境生态

中国电力装机形势 (2009年)



中国十三大水电基地



维系经济增长。上世纪80、90年代，黄河几乎年年断流，1997年断流226天，河道萎缩，河流功能基本丧失。小浪底水库电站建成后，以调水调沙确保下游不断流为目标，建成运行后解决了断流问题，在恢复黄河生态功能方面发挥了重要作用。

此外，水库形成的人工湖泊改善库区环境，如使库区气候冬夏温差变小，湿度增加，有利于农作物、经济作物生长，也为鸟类野生动物创造了较好的栖息环境。水库水域还为群众提供优美的旅游景区，如新安江水库就形成了一个由1078座岛屿组成的千岛湖，50年来保持水质优良、风景优美，是我国著名的国家5A级旅游景区。

诚然，水电工程建设也对生态环境具有不利的影响，包括泥沙冲淤，库岸再造引发地质灾害，水库可能触发地震，水库周边浸没，引起土地盐碱化，库区水质变化，河流阻断对生物种群的胁迫，建坝对人文与自然景观的影响等。其中泥沙冲淤影响最突出的例子是三门峡水库，蓄水后形成潼关淤积，严重威胁关中平原，这一历史教训应永远引以为戒；水库地质灾害也需要认真勘查、监测、防治，务使灾害降至最低；水库诱发地震已证明其震级不会超过坝址的设计构造地震，只要认真设计防范，大坝可保安全；库区水质保护，则关键在于严格两岸排放控制；至于生物种群的变化是肯定存在的，关键在于认真保护，从规划、设计、运行全方位来考虑这一生态

问题，使影响减至最小。

综合言之，水利水电工程利大于弊，功不可没。美国著名的Hydro Review最近对2177个美国人作了民意调查，在询问对水电工程的利弊如何评价时，78%的人认为利远大于弊，可见国际上对水利水电工程的不同声音已逐渐取得共识。然而，我们仍需十分重视水利工程中的生态环境问题，要从规划、设计到运行全过程将生态环境的不利影响减至最小程度，以实现水利水电工程的和谐与可持续发展的目标。

3. 坝库安全问题

2008年，汶川8.0级大地震考验了水利水电工程的表现，震区2360多座各类水利水电工程中，有1/3遭到不同程度的震损，但无一溃坝，也没有因泄洪造成严重次生灾害，总体表现是良好的。

我国水电工程中有很多高坝大库，现在正在建设或规划中的西南地区大江大河上的200米以上的高坝有几十座，其库容达几十亿至百亿立方米，其装机达几百万至千万千瓦级，泄洪流量达几万立方米/秒，再加上强震、环境与复杂地质条件等因素，坝库安全远重于泰山。高坝大库的安全问题包括地质灾害、地震安全、泄洪冲刷，坝基与边坡稳定、地下工程稳定等多个方面，应从勘测、设计、施工、管理等各个环节上确保大坝的高质建设和安全运行。