

天荒坪： 高山之巅的别样风景

◎ 文 | 吴冠宇 编辑 | 任红

天荒坪抽水蓄能电站位于浙江省安吉县境内，是我国“八五”期间动工兴建，“九五”期末建成的重点工程建设项目，是华东地区第一座大型抽水蓄能电站，也是我国已建的抽水蓄能电站中单个厂房装机容量最大的一座。电站自1998年9月投产以来多年平均综合效率为80.3%，处于同类电站世界先进水平。

天荒坪抽水蓄能电站是华东电网不可或缺的组成部分，它承担着华东电网调峰、调频、事故备用、黑启动等任务。对改善华东电网电源结构，提高供电质量，推动华东地区的经济发展，起到十分重要的作用。

天荒坪抽水蓄能电站的兴建，还大幅增加了地方财政税收，改善了当地交通、通讯等基础设施；电站上、下水库被打造成为环境优美的风景区，极大推动了旅游事业的蓬勃发展，为当地带来了显著的社会和生态经济效益。

走进天荒坪

天荒坪抽水蓄能电站位于浙江省安吉县境内，是我国“八五”期间动工兴建，“九五”期末建成的重点工程，是华东地区第一座大型抽水蓄能电站，也是我国已建的抽水蓄能电站中单个厂房装机容量最大的一座，在世界同类电站中位居前列。

拥有诸多殊荣的天荒坪抽水蓄能电站正是我们此次“中国大坝行”在浙江境内的采访对象之一。

六月，正是江南的梅雨季节，我们一路驱车前往天荒坪抽水蓄能电站。群山在细雨的浸润后更加翠绿，云雾在山间腾升流动，不时有清脆婉转的鸟鸣环绕谷中。青山环绕之间一潭碧水突然映入眼帘，这便是此行的目的地——天荒坪抽水蓄能电站。

电站工作人员热情地接待了我们，并向我们介绍天荒坪电站的相关情况。天荒坪抽水蓄能电站枢纽包括上水库、下水库、输水系统、地下厂房洞室群和开关站等部分。

眼前的这座水库是下水库，位于太湖流域西苕溪支流大溪上。水库设有一座面板堆石坝，坝高92米，坝顶高程为350.2米，坝长225.11米；左岸设有溢洪道，采用侧槽自由溢流方式，不设闸门，这样既减少了工程运行费用，还提高了工程的安全性。下水库最高蓄水位为344.5米，相应库容为859.56万立方米；设计洪水位为百年一遇洪水位347.31米，校核洪水位为千年一遇

洪水位348.25米，可能最大洪水（PMF）洪水位349.29米。

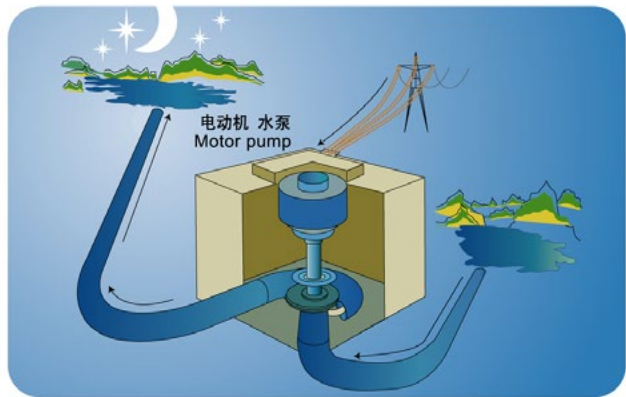
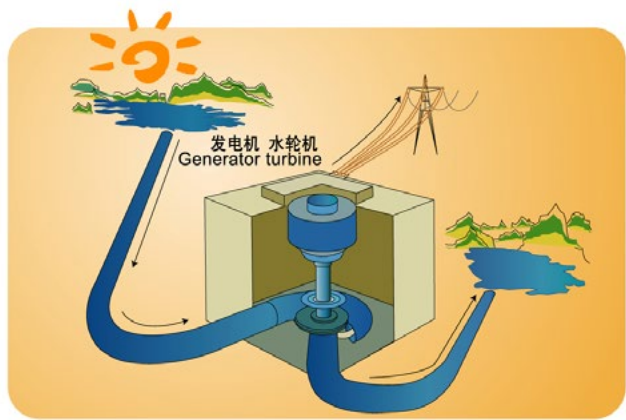
上水库位于天荒坪和搁天岭之间，是利用天然洼地挖填而成，由一座主坝和四座副坝组成，均为土石坝，主坝最大高度72米。主副坝和库底防渗均采用沥青混凝土护面。设计最高蓄水位为905.2米，相应库容919.2万立方米，这相当于能盛下一个西湖。

上下水库库底天然高差约590米，筑坝形成水库后平均水头约570米。上、下水库通过输水系统连接。输水系统布置有两条内径7米的钢筋混凝土衬砌的斜井式高压岔管，每条岔管各接三根钢衬支管引水进入水泵水轮机。输水道平均长度1415.5米。

输水系统和地下厂房洞室群全部布置在上、下水库之间的山河港左岸山体中。主厂房里布有6台机组，每台机组容量30万千瓦，总装机容量为180万千瓦，年发电量30.14亿千瓦时。

天荒坪抽水蓄能电站发电的原理其实就是电能转化成水的势能，水的势能再转化为电能的过程。厂房里的六台机组实际上既是水泵又是用来发电的水轮机组。当电网用电量处于低谷时，就利用余电将下水库的水，通过山体里的输水管道抽到上水库将水储存，到了用电高峰时，再将上水库的水放下来，利用上下水库之间的落差，冲击水轮机，带动机组发电。尾水再流入下水库重复利用。

当我们走进地下厂房时，恰值晚峰发电时间，6台机组一字排开，运转的嗡鸣声萦绕在整



Work Principle Diagram 工作原理示意图

个厂房里。优质充沛的电能从这里输往华东电网，走进华东地区的千家万户，点燃万家灯火。

8年，激情岁月光辉历史

从地下厂房出来，我们经过了一条长廊，长廊两边的墙面上挂着天荒坪抽水蓄能电站自兴建以来各个重要历史节点的珍贵照片，似乎在向每一位参观者、每一位值守者讲述天荒坪抽水蓄能电站的光辉历史。

抽水蓄能电站在国外已有一百多年的历史，

世界上首座抽水蓄能电站是瑞士苏黎世的奈特拉电站，1882年建成。20世纪50年代以来，欧美和日本相继引领世界抽水蓄能电站的建设潮流。而我国的抽水蓄能电站建设起步较晚，上世纪60年代后期才开始进行抽水蓄能电站的开发，1968年和1973年先后建成河北岗南和北京密云两座小型混合式抽水蓄能电站，装机容量分别为11兆瓦和22兆瓦。与欧美、日本等发达国家和地区相比，我国抽水蓄能电站的建设存在一定差距。

上世纪80年代中后期，随着改革开放和社会经济快速发展，我国电网规模不断扩大，华东、华北和广东等以火电为主的电网，缺少调峰手段，调峰矛盾日益突出，缺电

局面由电量缺乏转变为调峰容量也缺乏，修建抽水蓄能电站以解决以火电为主的电网的调峰问题逐步形成共识。为此，国家有关部门组织开展了较大范围的抽水蓄能电站资源普查和规划选点，制定了抽水蓄能电站发展规划。上世纪90年代，我国抽水蓄能电站建设进入快速发展期，先后兴建了几座大型抽水蓄能电站，天荒坪就在其中。

1991年8月，国家计委批准了在浙江省安吉县兴建天荒坪抽水蓄能电站的项目建议书。同年11月，华东电力集团公司天荒坪抽水蓄能



转子吊装



水泵水轮机安装



上库沥青砼防渗护面

电站工程建设公司正式组建。天荒坪抽水蓄能电站前期准备工程于 1992 年 6 月开始，场内公路、供水系统、施工通讯系统等相继开工。1994 年 3 月 1 日，开始开挖地下厂房顶拱层，电站主体工程正式开始施工。1998 年 9 月 30 日，首台机组投入试运行，2000 年 12 月 25 日，最后一台机组投产，总工期为 8 年。

在这八年里，电站建设者们不怕苦不怕难，坚守在建设一线。天荒坪的春天多雨多雾，一到梅雨季节，工地上淤泥能厚达 30 厘米，人走在上面都很困难，大型机械更是寸步难移。夏天闷热，建设者们顶着高温暴晒坚持作业。冬天，山上的气温降到摄氏零下十度，简陋的工棚仅能挡住雨雪，挡不住直往人骨头里钻的南方湿冷。

在这样艰苦的条件下，天荒坪抽水蓄能电站的建设者们高质量完成了工程建设，解决了枢纽总体布局、上水库防渗技术、库岸稳定以及高水头、大容量可逆式机组参数和结构选择等一系列重大、关键技术问题，对于推动我国抽水蓄能事业的发展具有重大意义。

80.3%，世界领先水平的综合效率

抽水蓄能电站选址和布局时有一项重要的参考数据，即为输水道总长度（L）与电站利用水头（H）的比值。这个数值可以反映抽水蓄能电站建设成本大小和电站运行期水头损失的程度。因此，一般选择抽水蓄能电站站址时，不应考虑 L/H 比值较大的站址，比如在美国，该值不希望超过 10。

输水系统的平、立面布置直接关系到 L/H 比值的大小。天荒坪电站在上下水库位置确定后，

连接上下水库的引水发电系统的布置对抽水蓄能电站的经济性影响显著。电站建设者们结合地下厂房的位置设置，对引水发电系统的布置进行了多方案的比较，按地下厂房为首部、中部和尾部，上游输水系统的平面布置为一洞二机、一洞三机和一洞六机，立面布置为竖井、倾角 51° 的斜井和倾角 60° 的斜井，共拟定了 11 种方案。经过技术上和经济上的综合比较，最终选择了尾部地下厂房、高压管道为 58° 倾角的斜井、在平面上主管 2 根（即一洞三机）的方案。最终布置的天荒坪的 L/H 比值为 2.5，是国内外已建在建大型纯抽水蓄能电站中比值最小的一座。L/H 值较小，可以降低输水道单位长度水头损失，提高抽 - 发循环的综合效率。

我国安装的大型可逆式机组的现代抽水蓄能电站综合效率，也就是电站抽水效率与发电效率的乘积，一般为 70% 至 75%，国际上抽水蓄能电站综合效率为 75% 至 78%，例如，英国的迪诺威克（Dinorwig）抽水蓄能电站，按抽水 / 发电的日循环工况运行，平均效率为 78%；德国的伦克豪森（Ronkhausen）蓄能电站综合效率为 75.1%。天荒坪抽水蓄能电站通过充分利用自然条件并采用一系列先进的设计理念和技术，自 1998 年 9 月投产以来多年平均综合效率为 80.3%，处于同类电站的世界先进水平。

水库防渗技术的飞跃

天荒坪抽水蓄能电站上水库是我国第一次大规模采用沥青混凝土面板防渗技术。

天荒坪电站上水库工程所处地质条件较复杂，各处岩石的风化程度不一，南库底和西库岸



地下厂房

以全风化岩为主，最深处 30 多米，全风化岩中夹强、弱风化岩块，尺寸大小不一，分布不均。水库蓄水后不均匀沉降难以避免，电站建设者在充分比较了钢筋混凝土面板防渗、沥青混凝土面板防渗、库底黏土防渗及其它几种防渗型式的组合后，选择了全库盆沥青混凝土面板防渗结构。其优点是可以最大限度适应库底风化岩土的不均匀沉降，不设结构缝、库底与岸坡和坝坡护面连成一体可避免接头渗漏，防渗效果可靠。天荒坪上水库为国内第一个大面积采用沥青混凝土防渗面板的工程，沥青混凝土防渗面板总面积达 28.5 万平方米，目前总渗漏量稳定在 2L/s 左右，运行良好。

依托天荒坪电站，水电建设者研究并系统地提出了沥青、聚酯网和沥青混凝土技术指标；在沥青混凝土面板防渗层施工工艺和方法上实

现飞跃，为后期西龙池、呼和浩特抽水蓄能电站建设提供了范例。天荒坪电站之后，沥青混凝土防渗面板施工由借鉴国外技术发展到全面自主施工，并发展了改性沥青混凝土面板设计和施工技术，逐步实现了高品质沥青材料国产化。

华东电网高质供电的强大保障

天荒坪抽水蓄能电站是华东电网不可或缺的有机组成部分，它承担着华东电网调峰任务，同时具备调频、调相、事故备用和黑启动等任务。对改善华东电网电源结构，提高供电质量，避免大面积停电系统瓦解事故，推动华东地区的经济发展，起到十分重要的作用。

天荒坪电站地处长江三角洲中心，靠近华东电网负荷中心，调峰能力极强。电站高峰发



上水库风景

电能力为 180 万千瓦，低谷填谷能力为 198 万千瓦，峰谷最大调峰能力可达 378 万千瓦，目前华东最大峰谷差 8200 万，调峰能力占 4.39%。

天荒坪抽水蓄能电站自投产以来，典型的运行方式是每天早、晚峰发电，早峰 8 时至 12 时，晚峰 17 时至 22 时，低谷 23 时至次日 6 时抽水，即“两抽一发”。在系统负荷特别紧张时，电站采用“两发两抽”“三发两抽”运行方式最大限度满足系统需求。

天荒坪电站机组具有快速响应能力，由静态到满载发电仅需 2 分钟，为电网应急调频和事故备用创造了非常有利的条件和手段。天荒坪抽水蓄能电站在华东电网历次重大事故处理过程中都展现了卓越的性能。例如，2018 年 7 月 4 日 16 时 44 分 14 秒至 16 时 46 分 14 秒，绍兴站损失 2147 兆瓦，系统频率降至 49.92 赫兹，天荒坪抽水蓄能电站一次调频正确动作，总出力由 1138 兆瓦升至 1162 兆瓦，四台机组出力及导叶开度均增加，使系统逐步恢复正常运行。

并且，当华东电网一旦处于瘫痪状态时，天荒坪电站可以作为 500 千伏主网架的黑启动电源。黑启动就是在整个电力系统因故障停运后，处于全“黑”状态时，不依赖别的网络的帮助，通过系统中具有自启动能力的机组的启动，带动无自启动能力的机组，逐步扩大电力系统的恢复范围，最终实现整个电力系统的恢复。电网崩溃后，柴油发电机作为天荒坪电站唯一的安保电源，提供厂用电，其容量为 650 千伏，可以供一台机组黑启动。电站一次可向系统提供 60 万千瓦时的事故电源，电源前备用；能够顶替 60 万千瓦事故运行一小时，运行前加容量。黑启动时，利用这 60 万千瓦时宝贵资源，带动系



安吉县天荒坪镇余村，三面青山环绕，入眼皆是美景。 摄影 / 黎明

统其他发电机组，并逐步恢复电网结构。

资源开发与生态保护的平衡

天荒坪抽水蓄能电站的兴建，大幅增加了地方财政税收，改善了当地交通、通讯等基础设施，电站上下水库被打造成为环境优美的风景区，极大推动了当地旅游事业蓬勃发展，为当地带来了显著的社会和生态经济效益。

1991 年，天荒坪抽水蓄能电站工程建设公司成立时，安吉县还是一个贫困县。1992 年 6 月，天荒坪电站前期准备工程开工，8 月，原安吉县山河乡更名为天荒坪镇。1994 年，电站进入施工高峰期，从小镇到电站建设工地，处处机器轰鸣，大型施工车辆往来穿梭，一派热火朝天的建设景象。这个时期，大量外来人口涌进这个浙北山区小镇，小镇的百行百业也逐渐开始兴旺。

建设期间，天荒坪抽水蓄能电站工程建设

公司也有意为当地经济发展助力，支出 5067 万元用于当地对外公路和电站下游浒溪河治理等地方收益的交通和水利项目。一条电站上下水库的连接公路因带动了周围乡村经济发展，被当地村民们称为“十里致富路”。

除了推动当地经济发展，天荒坪抽水蓄能电站还尤为关注生态保护，并在建设过程中从生态的角度对电站选址布局进行了考量。整个电站的建设是在基于不破坏整体生态的前提下进行的，除去裸露在外的水库工程，其余比如地下厂房洞室群等都在山体内部进行建设。宁可花大资本与人力开挖山体内部，也不从外部进行施工，以尽量减少水电开发对当地环境的影响，旨在保护当地的生态。

随着电站建成蓄水后，天荒坪电站的上下水库如今都已是环境优美秀丽的风景区。每年来的游客络绎不绝。

下水库现在形成了一片集幽谷、青山、瀑



2019 年春节假期，电影《飞驰人生》开片不久，男主角张弛练车时疾驰的赛道正是在浙江安吉的天荒坪电站下水库。

布、小溪一体的风景区，并且有一个好听的名字——“长谷洞天”。从下水库到上水库有一条长 12 公里的盘山公路，也就是前文中提到的“十里致富路”。这条路还以高山美景和弯道出名。今年年初上映的电影《飞驰人生》就在这条盘山公路和下水库取景：沈腾所饰演的男主角张弛驾着一辆白色的赛车，在弯曲的公路上飞驰，镜头从下水库的坝顶掠过，坝后是一道道“之”字形公路，赛车连续飘移过几连发夹弯，刺激得让人血脉偾张。

我们沿着电影里的这条公路，从下水库驱车前往上水库。上水库风景区名叫“江南天池”，是国家 4A 级景区。它如一面倒映着天空的镜子安静地躺在群山之巅，云雾缭绕在四周的山顶，宛如瑶池仙境。

电站工作人员介绍说，这里夏日能避暑亲水，冬日能在被称为“江南的长白山”的冬季野外滑雪场，尽享滑雪之乐，滑雪之余还可以去竹林

间的高山温泉放松身心。而且，这里还是享誉天文界的观星夜公园，是全国首个夜天光保护区。晴朗的夜晚，会有大批天文爱好者聚集在此。优美的风景吸引了大量游客的到来，这让水库周边村子里的很多人家看到了商机，都开起了农家乐和民宿，比电站库区所在的大溪村涌现出两百多户农家乐，成了“浙北农家乐第一村”，并且近年来还逐步向高品质民宿转化，成为来这里旅游不可错过的一项特色体验。不仅在大溪村，旅游业还带动了例如余村、山河村等村庄的发展，如今的安吉县也已是国内著名的生态旅游县。

站在天荒坪的最高点搁天岭，俯瞰整个上水库，群山环抱，翠竹簇拥，人工与自然完美结合。天荒坪抽水蓄能电站的建设从坝址选址开始就坚持在保护中开发，开发中保护，实践结果证明水电开发不仅可以满足经济发展需求，也能在资源开发与生态环境保护中找到平衡，并且发挥出显著的生态经济效益。📺