

Newton 科学世界

2017.5

来自中国科学院的权威科普杂志

再谈三峡

特别策划 蓄水运行效益显著 建设长江绿色走廊再谱新章

● 再谈三峡
● 海绵，千奇百怪
● 森林四季之美
● 肠道：吸收营养的最终场所
● 海洋鲜为人知的一面
● 一类经常毒死人的草药

森林四季之美

海洋鲜为人知的一面

一类经常毒死人的草药

性感的代价

海绵，千奇百怪

肠道：吸收营养的最终场所

定价：25.00元
ISSN 1003-1162



9 771003 116173

格物致知三峡工程

撰文/陆佑楣



陆佑楣

1934年生于上海，水利水电工程专家。曾任水电部副部长、能源部副部长、国务院三峡工程建设委员会副主任委员、中国长江三峡工程开发总公司总经理、中国大坝委员会主席。

长期从事水利水电工程建设的技术和管理工作。先后参与组织了刘家峡、盐锅峡、石泉、安康、龙羊峡等水电工程的建设。1993~2003年主持长江三峡工程建设，研究和决策了一系列重大工程技术和管理工作，确保三峡工程各项设计目标顺利实现。主要论著有《长江三峡工程（技术篇）》《长江三峡工程的哲学分析》等。

2003年当选中国工程院院士。2002年荣获国际大坝委员会荣誉奖，2015年荣获世界工程组织联合会（WFEO）工程成就奖。

《科学世界》2011年第9期曾刊登“聚焦三峡”专刊，科学、理性又浅显易懂地系统介绍了长江三峡工程的历史背景、论证过程、综合效益、兴利除害和生态环境效应，加深了读者和社会公众对三峡工程的认识。时间又过去了5年多，三峡工程已蓄水运行13年，实践证明三峡工程已全面达到了论证和设计的预期目标。

三峡工程是人类在世界第三大河流上的巨大造物活动，必然引起国内外的广泛关注，各方有着不同的认识和见解，这是可以理解的，也值得我们认真思考和辨析。社会公众对三峡工程也有诸多疑问：汶川地震、重庆干旱和暴雨是不是三峡工程引起的？鄱阳湖和洞庭湖旱涝、长江口海水倒灌与三峡工程有什么关系？为什么有了三峡工程，2016年汛期时长江中下游还是发生了自1998年以来最大的洪水灾害？针对这些疑问，地震、气象、水利专家都一一予以研究并作出了科学回应。

三峡工程如同人类在地球上的一切造物活动一样，必然改变原有的生态环境，如何评价这一现象本质上是一个世界观的问题。生态的本意是自然界一切生物间（包括植物、动物、细菌以及人类）相互依存的状态，它是一个动态平衡的过程，不存在所谓的“原生态”和一成不变的生态平衡。生态取决于环境，环境的变化必然产生新的生态，而环境好坏的标准则是“人类的可持续发展”^注。

从可持续发展的角度看，一方面，三峡工程是长江防洪综合体系中的关键性骨干工程，拥有221.5亿立方米防洪库容，保护了长江中下游江汉平原150万公顷土地和1500万人口的安全，这是最大的生态环境变化；三峡电站平均每年可获得882亿千瓦时清洁电能，而不消耗一立方水、不排放一立方有害气体，可替代消耗煤炭2800万吨标准煤，产生明显的减排效益；三峡水库蓄水后，从根本上改变了重庆至宜昌河段的三峡航道，3000吨级船舶畅

行无阻，彻底改变了大西南地区的出海条件；通过合理的水资源调度，三峡水库可充分发挥抗旱补水等生态效益。可以说，三峡工程已经成为长江经济带发展不可或缺的重要支撑，极大地改善了当代和未来的可持续发展空间。另一方面，三峡工程改变了长江水资源的时空分布和原有水流状态，改变了鱼类和水生生物的生存环境，可能会对某些鱼类种群的生存造成一定的影响；三峡及其上游梯级水库群形成后，长江中下游泥沙量大幅减少，清水下泄对下游河道产生冲刷作用，导致部分河岸崩塌，在同等流量情况下部分河段水位下降。面对这些问题，人们需要不断深化研究，探索采取各种技术和工程措施，避免和减少三峡工程带来的不利影响，将效益发挥到最大。同时，三峡工程与所有的水库大坝一样，都应加强风险管理，做好应对极端性自然灾害的应急预案，防范各类风险。

人类对自然规律的探索是无止境的，只有在生产实践中不断丰富我们的认识并加以科学运用，人类在改造自然的历史进程中将是有所作为的。

《科学世界》本期刊出“再谈三峡”，大篇幅介绍三峡工程，我感到无比高兴。希望以此为契机，各方一道在三峡工程实践中不断发现新问题、研究新问题、解答新问题，持续加深对三峡工程的了解，从而促进三峡工程安全稳定并且可持续地运行。

不忘初心，继续前行。百年前革命先驱孙中山先生首次提出三峡工程的设想，经过几代中国人的努力，现已梦想成真。今天，我们又奋进在新时代的中国梦中，让我们广大科技工作者一起，为实现两个百年目标而努力奋斗。

注：“人类的可持续发展”的定义是联合国环境与发展大会公认的1987年由挪威首相布伦特夫人提出的“既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展。”

再谈三峡

蓄水运行效益显著 建设长江绿色走廊再谱新篇



总策划: 陈祖煜 贾金生

顾问: 陆佑楣 曹文宣 高安泽

特约专家: 孙志禹 杨骏 丁琦华 徐照明

编写: 周虹 李洋 张家发 任红 田宗伟 李媛 鲁曦卉 殷殷 王永旭 陈根发 雷冠军 王双敬
陈淑婧 曾俊强 周兴波 傅旭东

支持单位: 中国大坝工程学会

鸣谢: 王丁 李磊 郑斌 陈磊 李志远 姜伟 黄桂云 高玉磊 吴迪 杨林江 李善平 段斌 刘飞
秦强 方春明 毛继新

本刊曾于2011年第9期刊登了“聚焦三峡”专题。时间过去了5年多, 三峡工程蓄水运行综合效益显著, 为建设长江绿色走廊再谱新篇章。

然而关于三峡工程的议论仍然没有停息。如今的三峡怎样了?

2016年夏天, 长江中下游发生了自1998年以来最大的洪水。江西、湖北多处民垸溃决, 造成了人员伤亡和重大经济损失。为什么有了三峡工程, 长江还会有洪灾? 如果没有三峡工程, 灾情又会怎样?

2016年9月, 三峡工程最后的一个单项工程升船机试通航, 进入试运行阶段。这个总重量达15500吨的“电梯”是怎样运行的?

三峡工程建成后, 长江水变清了, 对于生活在长江流域的人民自然是好事。但是, 三峡以下长江河道出现长距离沿程冲刷, 它将对生态环境带来什么样的影响? 中华鲟还好吗? 处于水库淹没区的国家一级保护植物红豆杉和珙桐搬进了中国长江三峡集团公司三峡苗圃研究中心, 它们生长得如何?

绿水青山就是金山银山。三峡工程在长江大保护中发挥着怎样的重要作用? 我们将和读者一起再一次回到三峡, 说说这座中华民族伟大复兴的里程碑。

蓄水运行以来	10
长江水变清了	34
长江绿色走廊	42

关于“聚焦三峡”
专题参见: [http://
www.iwhr.com/
zgskyww/ztbd/jjsx/
A100968index_1.htm](http://www.iwhr.com/zgskyww/ztbd/jjsx/A100968index_1.htm)

蓄水运行以来





综合效益

防洪 自2003~2016年底，三峡水库共实施拦洪运用41次，累计拦蓄洪量1219亿立方米。2010和2012年，分别经受了70000和71200立方米/秒洪峰的考验。2016年，通过消减上游洪峰，大大缓解了长江中下游地区的防洪压力。

发电 截至2017年3月1日12时28分，三峡电站累计发电量突破1万亿千瓦时，这一成就将永载我国水电发展史册。1万亿千瓦时意味着节约标准煤3.19亿吨，减少二氧化碳排放8亿多吨。

航运 2016年，三峡船闸过闸货运量达1.2亿吨，再创历史新高。到2017年3月7日，累计过闸货运量突破10亿吨。

抗旱和补水 2003~2016年，三峡水库为下游补水总量达1997亿立方米，累计补水1601天。三峡水库通过实施生态调度，人工创造了适合“四大家鱼”繁殖所需水文、水力学条件，积极促进了四大家鱼的自然繁殖。

生态环境

泥沙 三峡工程蓄水运用以来，在上游水库蓄水拦沙、水土保持工程实施、河道采砂及气候变化等因素的影响下，入库泥沙较初步设计值大幅减小，三峡库区的泥沙淤积大为减轻。水库泥沙淤积未对重庆洪水位产生影响，未出现论证时担忧的重庆主城区河段泥沙严重淤积以及砾卵石累积性淤积影响航道的情况；坝前泥沙淤积未对发电和引航道通航造成不利影响；坝下游河道河势基本稳定，堤防工程安全，未发生重大险情。

水质 蓄水以后，三峡以下的长江中下游干流水质维持在II~III类；三峡库区干流和一级支流水质良好，大部分为II~III类，但是，库区部分支流局部河段有“水华”现象。

地质灾害 蓄水引发的库岸滑坡已从2008年的333次下降到近几年的10次以下。成功预报和处置了千将坪、曾家棚、杉树槽等420多次滑坡灾（险）情，及时撤离人员近10万人。库区未发生因地质灾害造成的人员伤亡，保障了人民生命财产和长江航运安全。

地震 水库蓄水诱发的地震活动绝大部分是3级以下的微震和极微震，只有4次4级以上的地震，最大5.1级，未超出论证时的预测。随着时间的推移，库区地震活动水平将呈起伏性下降，渐趋平缓。此外，汶川与三峡水库分属两个不同的地质构造单元，因此“汶川地震”与三峡水库蓄水无关。

珍稀动植物 蓄水淹没了部分陆生植物生存环境，但由于采取了积极的保护措施没有出现物种灭绝现象；针对部分珍稀和经济鱼类产卵繁殖活动受到的影响，采取了建设保护区、人工繁育、建设种质资源库等多种保护措施，持续开展增殖放流和生态调度，对恢复野生种群资源起到了极大的促进作用。







高峡出平湖

水利者，兴利除弊也。

长江是中华民族的母亲河，孕育出灿烂的中华文明，同时，也给两岸人民带来过深重的灾难。

一个世纪前，孙中山先生在《建国方略》中首次提出了在长江筑坝的构想，希冀利用长江水利富国强民。但是，在那个积贫积弱、内忧外患的年代，三峡工程只能是一个梦。

新中国建立后，历届党和国家领导人都把足迹留在了长江，留在了三斗坪坝址，他们更关注的是治理长江水患。对三峡工程的规划、勘测和设计工作贯穿于20世纪后50年。经过长期、反复的科学论证，三峡工程主体工程终于在1994年正式开工了。

庆幸的是，三峡工程建设时处改革开放的年代，飞速发展的国民经济为三峡工程建设提供了强有力的后盾，科学技术的进步为高质量、高速度地建设三峡工程奠定了基础，我们有充分的把握和能力建造这样巨大的工程。

2006年，三峡主体工程提前一年完工，一座雄伟的大坝在长江拔地而起。历史，在三斗坪这个地标见证了中华民族伟大复兴的足迹。

摄影/黄正平

长江防洪千年变局

五千年中华文明史，一直与治水息息相关。三峡工程作为开发和治理长江的关键性骨干工程，防洪是其首要功能，在长江防洪体系中具有不可替代的作用。

三峡处于长江上游来水进入中下游平原河道的“咽喉”，紧邻长江防洪形势最为严峻的荆江河段，地理位置优越，三峡工程对长江中下游洪水的控制作用是上游干支流水库不能替代的。三峡工程可以控制荆江河段95%的洪水来量，三峡水库的控制和调节作用最直接、最有效，就好比是控制进入荆江洪水大小的“总储水库”。三峡工程建成后，荆江地区的防洪形势发生了根本性的变化，同时也大大提高了武汉防洪调度的灵活性。

三峡工程的建成，标志着以三峡工程为骨干的长江中下游防洪体系基本形成。三峡工程按千年一遇设计，其防洪库容221.5亿立方米，可使荆江河段的防洪标准由原来的十年一遇提高到百年一遇，即可以抵御1954年型的大洪水；遇千年一遇或类似于1870年的特大洪水，经过三峡水库调蓄后，可控制枝城流量不大于80000立方米/秒，配合荆江地区的分蓄洪区运用，可避免荆江地区发生干堤溃决的毁灭性灾害。百年一遇的洪水使用三峡防洪库容调蓄即可抵御，千年一遇洪水需要配合使用分蓄洪区，使用荆江分蓄洪区的概率降至原来的1/10，大大降低了洪水造成的损失。

近些年来，长江上游地区陆续修建了30余座大型水库，使得三峡以上水库的防洪库容增加到660亿立方米以上。通过以三峡工程为骨干的水库群的联合调度，可大大缓解长江的防洪压力。

累计实施拦洪运用41次

三峡水库从2003年开始蓄水运行（当时水位只有135米）到2016年底，累计实施拦洪运用41次，总蓄洪量1219亿立方米。值得大书特书的是，2010和2012年长江上游发生大洪水，

当时三峡水库最大入库流量分别达到70000和71200立方米/秒，均超过1998年最大洪峰流量63300立方米/秒。这两次洪水虽然在历时和洪量上不及1998年的洪水，但巨大的洪峰必定存在着极大的风险。在抗击洪水的过程中，三峡水库通过科学预测、合理调度，充分发挥削峰、错峰作用，最大削峰40%，使荆江河段沙市水位控制在警戒水位以下、城陵矶水位未超过保证水位，未发生洪水灾害。

假如没有三峡工程

2010年7月19日晚间至20日上午，三峡水库迎来峰值70000立方米/秒的洪水，其峰值超过1998年的洪水，是三峡工程建成后迎来的第一次较大规模的洪水。洪峰在20日早上8时抵达三峡大坝，21日早上8时，三峡入库流量逐渐降至60000立方米/秒。在准确预报的基础上，经科学调度，三峡水库成功地应对了这次巨大的洪峰，控制三峡出库流量40000立方米/秒，削减洪峰流量40%，一次拦蓄水量约80亿立方米。如果没有三峡工程，沙市最高水位将达44.8米，接近保证水位45米，汉口水位将达28.1米，超警戒水位0.8米，将形成仅次于1998年的严峻防洪形势。三峡工程2010年这次成功的拦洪蓄洪，节省了大量抗洪的人力物力，其防洪效益就达266.3亿元。

2012年7月24日20时，对长江三峡大坝来说是一个刷新纪录的时刻。入库流量71200立方米/秒，是三峡水库建库蓄水9年来遭遇的最大洪峰。当洪水到达三峡大坝时，8个泄洪深孔同时开启，只见大坝下游八大洪流喷薄而出，江水吼声如雷，浊浪冲天，大坝上游江面水流平稳，波澜不惊。当晚，洪峰开始衰减。25日上午，长江上游洪水退水，标志着历史罕见洪峰顺利过境三峡。通过准确预报和科学调度，三峡水库拦蓄洪峰28200立方米/秒，使大坝下游主要站点水位涨幅在可控范围内，这次洪峰考验可以说是有惊无险。若无三峡工程，宜昌、沙市、枝城水位将超过警戒水位，大量人员将上堤巡查、

历史上有记录的大洪水

宜昌水文站重要历史洪水特征值（按洪峰流量排序）

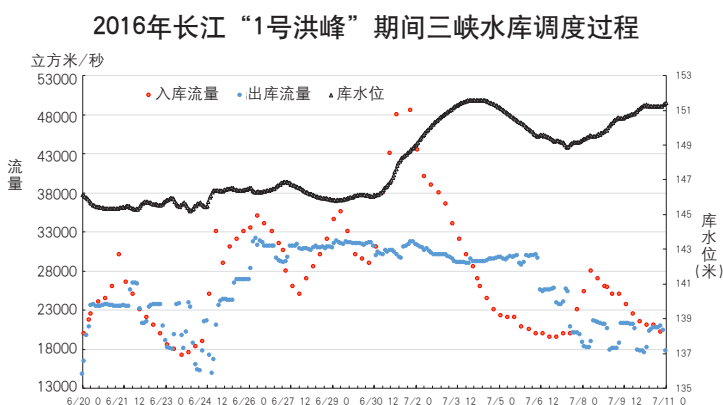
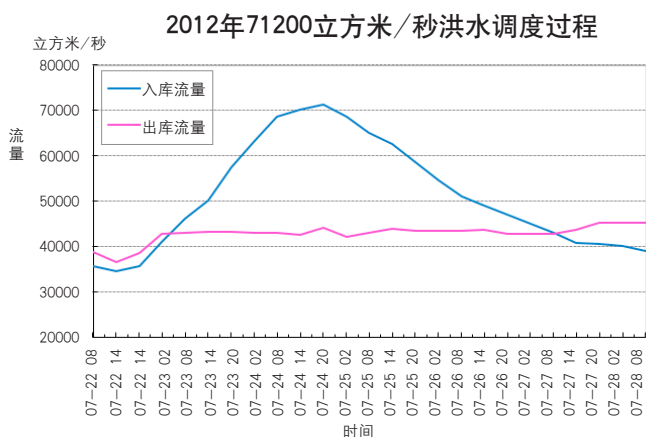
洪水年份	1870	1227	1360	1153	1860	1788	1796	1613	2012	2010	1982	1954	1931	1998	1935
最大洪峰流量	105000	96300	93600	92800	92500	86000	82200	81000	71200	70000	69500	66800	64600	63300	59300

表中给出了1153~1998年历史大洪水的洪峰流量。从表中可以明显看到，1870年大洪水是从1153年至今调查到的最大的一次洪水，相当于“千年一遇”的大洪水。“千年一遇”大洪水通俗地讲就是平均1000年中发生一次的大洪水，或者说就是每年发生该量级洪水的概率是千分之一。表中所列是有记录的大洪水的洪峰流量，三峡水库建成前的大洪水都在不同程度上造成了重大灾害。三峡水库建成后，2010和2012年经历了两次入库流量分别为70000和71200立方米/秒的洪峰，经三峡水库调蓄后，出库流量约40000立方米/秒，未对下游造成任何灾害。

抢险。城陵矶水位、支流荆南四河水位将可能超过保证水位，部分分洪区可能分洪运用、部分洲滩民垸可能扒口行洪。由于2012年主要是长江上游型洪水，中下游没有同时发生大洪水，因此，2012年洪水对武汉影响不大。如果遭遇类似于1998年全流域型大洪水，三峡工程将发挥更大作用。

2016年汛期，受超强厄尔尼诺影响，长江中下游地区遭遇了自1998年以来最严重的洪涝灾害，以三峡水库为核心的流域水库群实施了联合防洪调度，充分发挥了梯级水库的防

洪功能，成功应对了2016年长江“1号洪峰”，通过拦洪、错峰、削峰调度，避免了与长江中下游形成的“2号洪峰”叠加遭遇，控制沙市站没有超过警戒水位，城陵矶站没有超过保证水位。此后，结合实时水雨情和中下游地区的防汛形势，多次调整减小三峡水库下泄流量，降低城陵矶附近最高洪水水位约1米，减少超警堤段250千米，避免了荆江河段超警和城陵矶地区分洪，为湖北、安徽、江苏等地的防洪抢险和城市排涝创造了有利条件，取得了显著的防洪效益。



摄影/肖艺九

2012年7月24日20时，71200立方米/秒流量的洪峰到达三峡大坝后，8个泄洪深孔同时开启泄洪。本次削峰拦蓄洪峰流量28200立方米/秒，保证了下游的安全。

2016年长江洪水

2016年，长江中下游的洪水引起了全社会的广泛关注，围绕洪水成因、三峡工程在其中的作用等公众关心的问题，在这里给出一些答案。

2016年长江发生了什么样的洪水？

长江大洪水通常分为两类：区域性大洪水和流域性大洪水。2016年的洪水属于前者。洪水主要不是来自于三峡水库上游，而是由中下游地区的暴雨形成，所以2016年长江洪水为中下游区域性大洪水。

2016年长江洪水的特点和影响程度如何？

干流自监利以下全线超警戒水位，持续时间长，洪峰水位高，但干堤险情少，共50处一般险情，数量远少于1998年的9000余处，且均得到有效控制，没有危及到堤防安全。

支流洪水大，超历史洪水河流多，堤防险情多，多处溃堤。部分城市严重内涝，渍水时间长。

流域受灾范围广，洪涝灾情严重，但与以往相比，人员伤亡较轻。

为什么三峡工程建成后仍然有2016年洪水？

2016年长江中下游洪水属于典型的当地洪水致灾，长江中下游地区暴雨频繁，形成了区域性大洪水以及部分支流的特大洪水。由于三峡工程的建设不能改变中下游流域的降水分布以及径流形成的特点，中下游干堤虽然已经基本建设达标，但是支流及湖泊防洪排涝能力低，城市开发建设与防洪排涝能力矛



长江荆江段各水文站分布图

盾突出，因而即使有了三峡工程，2016年长江中下游仍然形成了大范围的洪涝灾害。

三峡工程在2016年长江防洪中发挥了什么作用？有什么样的效果？

2016年长江1号洪峰来临前，依据洪水预报成果，按照初步设计方案实行了三峡工程对城陵矶地区进行补偿的调度方式，也就是在入库流量峰值仅为5万立方米/秒的条件下，将水库下游流量控制为3.1万立方米/秒，削减出库流量1.9万立方米/秒，消峰率达38%，拦蓄洪量约29亿立方米。

针对2号洪峰和监利以下河段全线超警的严峻形势，运用三峡上游30余座大型水库群调蓄作用，共拦蓄227亿立方米，其中三峡



2016年7月1日，雨中汉口江滩公园与缓慢上涨的江水。

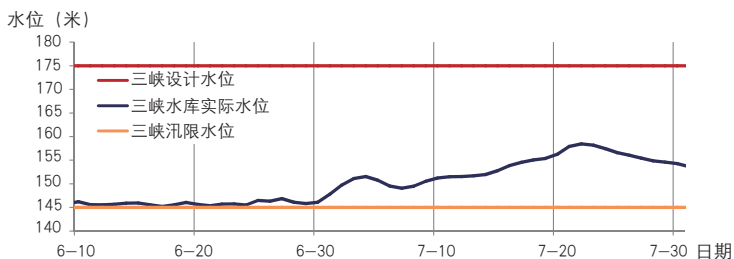


2016年7月10日，湖南华容新华垸红旗闸溃口。

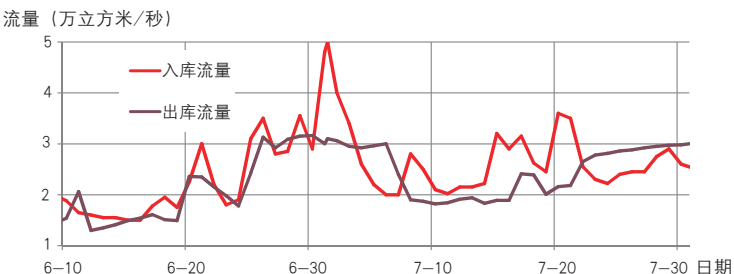


2016年7月7日，武汉市民撤离渍涝中的南湖社区。

2016年主汛期，三峡水库水位过程线



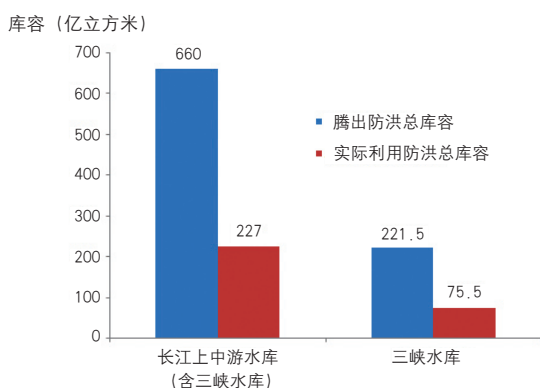
2016年主汛期，三峡水库入出库流量过程线



水库拦蓄75.5亿立方米。这种水库群的联合运用，使得在实行三峡工程对城陵矶地区补偿调度时，三峡水库仍然留有足够的防洪库容，以应对可能的上游洪水和工程自身的安全风险。

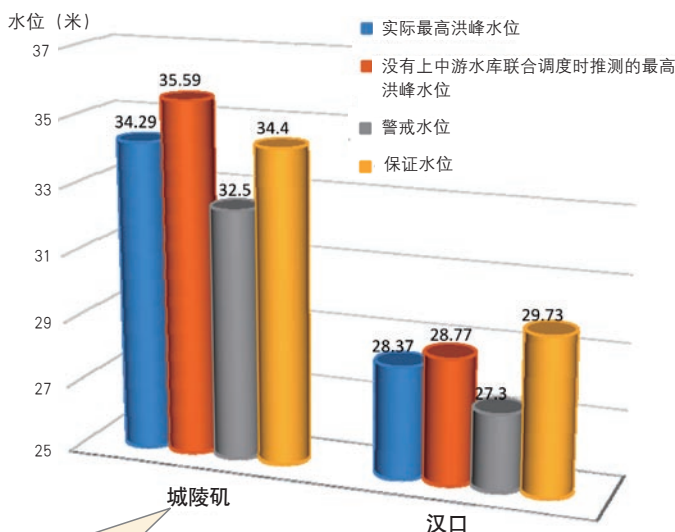
2016年实行三峡工程补偿调度的效果体现为：分别降低荆江河段、城陵矶附近地区、武汉以下河段水位0.8~1.7米、0.7~1.3米、0.2~0.4米，减少超警戒水位堤段长度250千米，有效减轻了长江中游城陵矶河段和洞庭湖区防洪压力，避免了城陵矶地区分洪，确保了人民群众生命财产及长江干堤和重要基础设施的安全。

三峡及其上游干流水库防洪库容及2016年汛期运用情况



2016年7月9日傍晚，人们在汉口江滩公园休闲娱乐。如果没有三峡等水库调节作用，此地当时应已被洪水淹没。

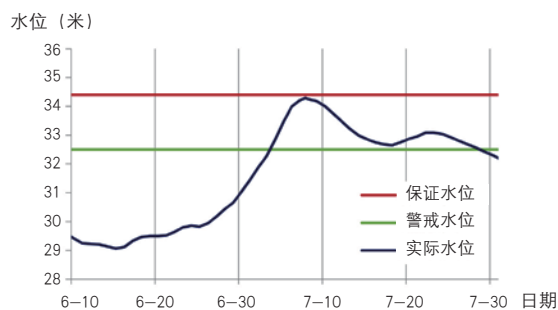
2016年主汛期，长江中游重要水文站洪水水位调控效果



以城陵矶为例，实际最高水位为34.29米，仅比保证水位低0.11米；如果没有水库联合调度，则最高水位可能为35.59米，将超过保证水位1.19米，城陵矶地区将被迫启用分蓄洪区。

如果没有水库联合调度，各河段洪水水位还可能上涨。沙市：0.8~1.7米，城陵矶：0.7~1.3米，汉口：0.2~0.4米。

2016年主汛期，长江城陵矶水文站水位过程线



一万亿千瓦时绿色电力

2017年3月1日12时28分，三峡电站累计发电突破1万亿千瓦时大关，这是三峡电站运行管理史上一个重要里程碑。三峡电站成为我国第一座发电量突破1万亿千瓦时的水电站。

这1万亿千瓦时电力是可再生的清洁能源，具有巨大的节能减排效应，在优化我国能源结构、促进国民经济发展和长江经济带建设等方面发挥了积极作用。

三峡电站的建设，形成了以三峡近区电网为核心的坚强区域性电网，极大地促进了全国联网的进程；三峡电站参与电网系统调峰运行，改善了调峰容量紧张局面，为电力系统的安全稳定运行提供了可靠的保障。三峡电站巨大的发电效益在我国清洁能源电力供应、节能减排、促进经济社会可持续发展等方面作出了重要贡献。

保证防洪，增发电量

三峡电站是世界上装机容量最大的电站，安装了32台70万千瓦和2台5万千瓦的水轮发电机组，总装机容量2250万千瓦，约占全国水电总装机容量的7%，多年平均发电量882亿千瓦时。

2003年首批机组投产发电；2008年三峡右岸电站最后一台机组正式并网发电，三峡工程初始设计的左右岸电站26台机组全部投产运行；2012年包括三峡地下电站在内6台机组的三峡电站全部机组建成投产。根据三峡电站年设计发电量，至少要有11个完整发电年度才能实现1万亿千瓦时的发电量，三峡电站通过科学决策、优化调度，在首批机组投运14年、全部机组达产不到5年时间里即实现了累计发电量1万亿千瓦时。

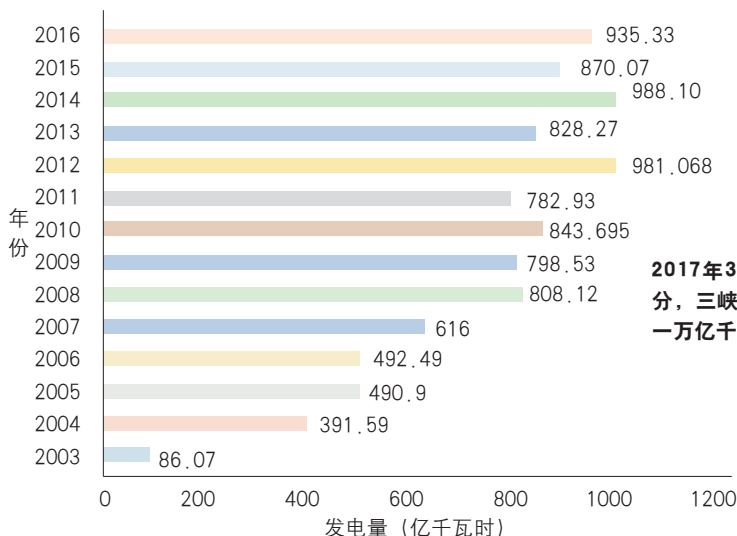
按照装机容量计算，三峡电站年发电量应该远超设计发电量。但三峡水库并不能总是维持在较高水头发电，它有几个特征水位，其一为175米正常蓄水位，是指三峡水库在正常运用情况下，为充分发挥防洪、抗旱、发电、航运、供水和补水、节能减排与生态环保等综合功能而蓄到的最高水位；其二为145米防洪限制水位，指三峡水库在每年汛前必须要降低到这个水位，也是汛期防洪应用时的起调水位。三峡水库防洪限制水位至正常蓄水位之间的库容为“防洪库容”。

为保证三峡工程“防洪”这一首要任务，三峡水库内的水位每年都要有规律地升降。在汛期（6~9月），水库一般维持在防洪限制水位，以留出防洪库容调节可能发生的洪水；当入库流量可能对下游安全造成威胁时，水库拦蓄洪水，水位抬高。洪水过后，水库水位及时降低至防洪限制水位，以迎接下一次可能发生的洪水。

145米水头低，三峡电站机组无法更好地利用发电水头，发挥发电的最大效益。因为三峡水库的首要任务是防洪减灾，发电兴利等功能是次要的，所以在汛期来临之前，为最大限度地容纳洪水，要舍弃兴利，将水位降至145米，腾出库容迎接洪峰，保证下游人民生命财产的安全。

虽然三峡工程的发电效益需服从“防洪”这一社会效益，但两者并不是完全对立的，通过对水库进行科学调度，可以协调三峡水库诸多效益的关系。“中小洪水优化调度”就是在三峡水库拦蓄洪水为下游保安全时，一方面拦洪错峰，减轻下游防洪压力；另一方面通过准确的中长期水情预报和精准的短期预报，合理利用拦蓄的洪水发电，增发电量。

三峡电站历年实发电量



精确调度，利用好每一方水

“用好每一方水、发好每一度电”。长江电力通过精确预报和科学制定调度计划，精心开展以三峡水库为核心的长江流域三峡、葛洲坝、溪洛渡、向家坝四座梯级水库联合调度。

通过信息共享和对自建站网的不断完善，实现三峡水库上游金沙江石鼓以下区域水雨情信息收集和实时监控；健全流域梯级水库预报系统，全面掌握长江上游流域的径流特性，并密切关注上游水库调蓄情况；同时坚持水文气象会商制度，持续地跟踪水情、气象变化情况，遇大洪水时加密预报频次，滚动更新气象、水文预报方案。由此确保实现水库来水的精准预报，做出合理的水库调度方案。

一张图看懂

一万亿千瓦时意味着什么?

三峡电站总装机容量2250万千瓦，为全球最大的水电站



三峡电站总装机容量2250万千瓦

2012年7月三峡电站机组全部投产，年设计发电量882亿千瓦时，为我国国民经济和社会发展注入源源不断的清洁电能，发挥了巨大的社会效益。

在发电效益上

按照每千瓦时电量支撑12元GDP来算，一万亿千瓦时相当于支撑国家12万亿GDP



12元GDP



12万亿GDP

1千瓦时 相当于

一万亿千瓦时 相当于

注：（根据国家统计局、国家能源局发布的2015年GDP数据和社会用电量推算）



2015年

北京市年用电量为953亿千瓦时，一万亿千瓦时足够北京用10.5年



2016年

中国城乡居民人均生活用电量为582千瓦时，一万亿千瓦时足够一亿个三口之家用5.72年



2016年

全国用电量59198亿千瓦时，一万亿千瓦时足够全国用60天



在绿色环保上

一万亿千瓦时相当于

种植阔叶林
224.3万公顷



覆盖
3.5个上海

注：（根据国务院发展中心推荐数值，1公顷阔叶林每年吸收的二氧化碳约为365吨）



在节能减排上

一万亿千瓦时相当于

节约标准煤
3.19亿吨



减少二氧化碳排放量
8亿多吨

减少二氧化硫排放量
899万吨



减少氮氧化物
257万吨

减少28613.31万辆

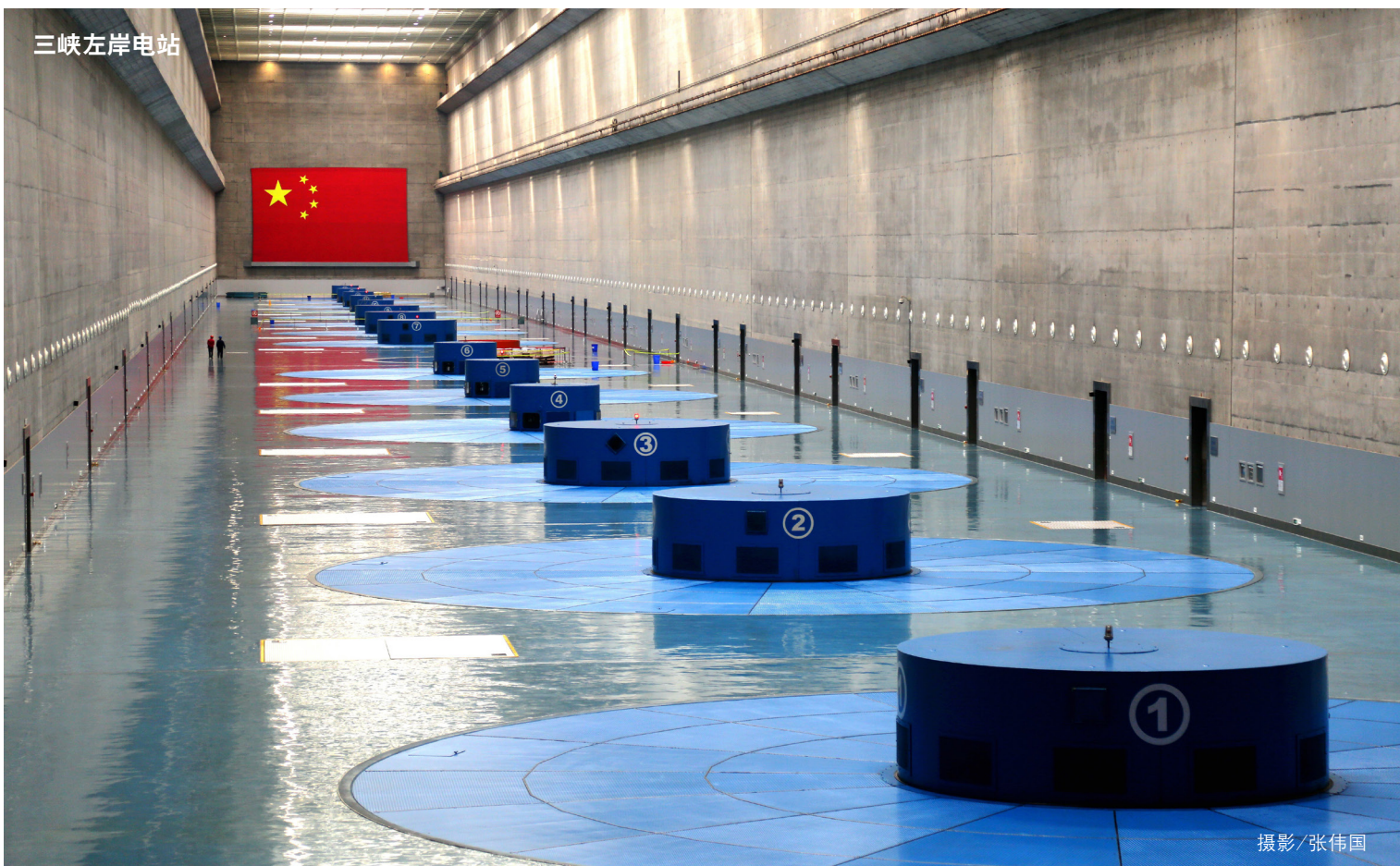
2.0L小汽车一年的CO₂排放量



注：（按每百公里排放30kgCO₂，一年行驶里程约1万公里计算）

绘图/宋程

三峡左岸电站



摄影/张伟国

针对工作重心和上游来水的不同，三峡水库在调度方面也会各有侧重。在水库消落期，优化安排梯级水库消落次序，实现梯级水库综合效益最大化。在汛期，积极开展梯级水库联合防洪优化调度工作，并在做好防大汛、抢大险、救大灾的同时，积极主动开展汛期中小洪水调度，提高汛期发电水量利用率及机组利用水头。在蓄水期，通过汛末预报预蓄、提前蓄水等措施，开展梯级水库联合蓄水优化调度，确保发电、蓄水两不误。

14年来，三峡电站发出的强大电流源源不断地输送至华中、华东和南方八省二市，为长江经济带发展提供了强劲动力，为国家和社会发展提供了重要的能源支持，为国家节能减排、环境保护作出了突出贡献，发挥了巨大的经济效益和社会效益。

机器人加入巨型机组检修

任何设备都需要进行停机维护，水轮发电机组也不例外。根据电力行业《水电站设备检修管理导则》，水轮发电机组的标准检修项目、停用时间主要是根据转轮直径的不同，停用时间有所区别。三峡电厂在借鉴国外大型水电企业维修管理策略的基础上，实施以诊断评估为基础的状态检修。即根据主设备制造商技术规范、相关技术标准拟定设备检修周期和主要检修项目，结合设备状态监测和诊断评估结果，优化检修项目，合理调整检修时间和工期安排，并对检修过程实行项目管理，优化资源配置、保证检修质量、控制检修成本，最终实现按需检修，应修必修，提升了检修质量，降低了检修成本，缩减了检修周期。

在巨型机组的设备检修方面，三峡电站进行了大量的科技



攻关工作，率先将尖端的激光焊接、机器人技术运用到了机组的精益检修中。三峡水利枢纽首先使用水下遥控机器人进行导流底孔封堵检修水下清理工作，充分发挥水下机器人作业水深大时间长、安全程度高、经济性强的优势，为我国水利电力行业水下工程作业提供了一个全新的解决方案和思路。世界首套巨型压力钢管检测机器人集群在三峡电站的成功应用，使钢管能够得到快速的检测并呈现三维图像，填补了巨型压力钢管内表面全方位快速检测的技术空白。

机器人开展压力钢管检查



把电力输送出去 ▶ 摄影 / 郭朝阳

摄影 / 饶家华

长江黄金水道，助力“一带一路”

长江是真正的黄金水道

价格低廉

水路运输与公路、铁路运输相比，价格上具有无可比拟的优势。公路、铁路、水路的运输成本呈现“元角分”的关系，分别约为0.5~1.1、0.3、0.025元/(吨·千米)，水路运输历来是大宗商品运输的首选。

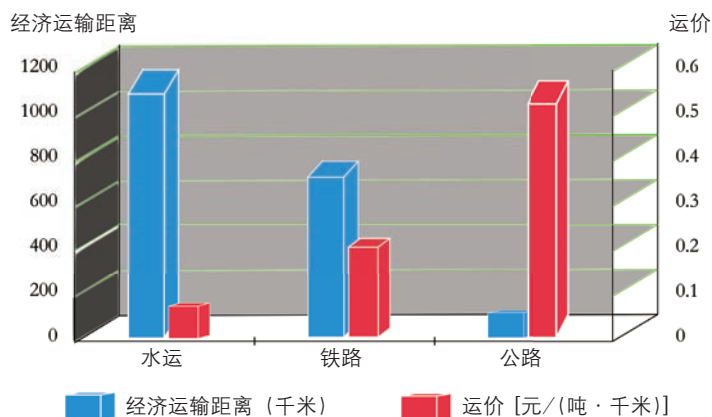
运输量大

长江历来被称为黄金水道，长江水系构成“一横、一网、十线，沟通东西、辐射南北”的航道体系。长江干线航道从云南省水富县至长江口全长2838千米，全线可通航1000吨以上船舶；干支流通航里程约7.1万千米，占全国50%以上；长江黄金水道承担了沿江地区85%的煤炭、铁矿石以及中上游地区90%的外贸货运量。2016年，长江干线货运量达到了23.1亿吨，2005年以来连续十年位列世界第一，是密西西比河的4倍多，是莱茵河的7倍多。

为重庆提供入海口

长江干线串联了上海、武汉、重庆等重镇，沟通长江三角洲、长江中游和成渝三大城市群。长江干线航运为新兴的直辖市重庆提供了入海口，为重庆市的经济腾飞插上了翅膀。重庆港已成为长江上游地区最重要的枢纽港和内陆开放的重要窗

水运、铁路、公路经济运输距离和运输成本对比



口。重庆已成为长江上游地区外贸物资的主要通道，90%以上的外贸物资通过水运完成。

三峡工程对长江航道的作用

三峡工程建设之前，长江这条世界第三大河流其水运的发展远未达到应有的地位，年货运量远低于世界同类河流。主要是长江航道除葛洲坝库区外，仍然基本处于天然状态，特别是



川江夜航 摄影/黄正平

川江和荆江河段，航道条件制约着长江航运事业的发展。宜昌至重庆河段长660千米，流经丘陵和高山峡谷，地势陡峻，水流湍急，滩礁接踵，共有滩险139处，单行控制航段46处。由于航运条件存在问题，上水拖载能力低，运行时间长，运输成本高，每马力的拖载能力只有下游的1/10。荆江河段河道蜿蜒曲折，浅滩消长频繁，航道变迁无明显规律。每年枯水期，浅滩交替出现，不能保证航运畅通。所有这些都制约了航运和旅游事业的发展，也影响了人们的安全感。

三峡水库蓄水后，长江航道成为名副其实的黄金水道，长江上游干流渠化里程近700千米，航道尺度增大，吃水深度增加，绞滩站全部撤除，大部分河段可双向通航，全线全年可昼夜通航；船舶单位平均能耗降低，有效降低了船舶运输成本，提高了航运效益；库区船舶的标准化、大型化进程加快，提高了三峡永久船闸、升船机的利用率和通过能力。

“一带一路”与关键节点城市示意图



长江黄金水道是“一带一路”发展战略的有力支撑

长江黄金水道，是长江经济带发展的基础和依托。从地域位置来看，长江经济带东接21世纪海上丝绸之路的东线，西连21世纪海上丝绸之路的南线，北通丝绸之路经济带诸节点城市，战略地位非常重要。长江经济带的加入将使丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路更好地衔接，让单线发展变为多线并进，在促进长江沿线经济发展的同时，打通“一带一路”南北两线，在我国境内完成“一带一路”的“并轨”，使“三线”齐头并进，形成区域内的优势互补、协作互动格局，缩小东、中、西部发展差距，推动经济要素有序自由流动、资源高效配置、市场统一融合，促进区域经济协调发展，并实现“一带一路”的联动效应。

长江经济带示意图



三峡船闸货运量突破10亿吨

截至2017年3月7日，世界上规模最大的内河船闸——三峡船闸累计过闸货运量突破10亿吨。

三峡水库蓄水后，库区100多处主要险滩被淹没，加之航道整治工程的实施，库区通航条件得到了很大改善，大部分单行控制河段被取消，绞滩站全部被撤销。重庆至宜昌河段水深为4.5米以上的航道长达548千米，一年中有半年以上可以通行5000吨级单船和万吨级船队。

三峡水库的调节作用使得下游枯水期最小流量由每秒3200立方米提高到每秒5500立方米，从武汉到重庆，机动散货船枯水期和汛期上行通航时间分别为135小时和175小时，较船闸建设前缩短了约1/3。航道通航条件改善后，加上三峡库区水上搜救体系的完善、应急救助站点的建立等管理措施的实施，船舶运输的安全性大大提高。9年来的试验性蓄水期间，船闸未发生两线船闸同时停航等事故，实现了“安全、高效、畅通”的通航目标。

三峡船闸是目前世界上连续级数最多、总水头最高、规模最大的内河船闸，自2003年投入运行以来，已连续14年实现安全、高效运行。

投入运行以来，三峡船闸过闸货运量逐年递增，2011年首次突破亿吨，提前19年达到设计能力。2014年至2016年连续3年货运量突破亿吨。截至2017年3月7日，三峡船闸累计运行12.87万闸次，过船73.1万艘次，通过旅客1181.5万人次，货运量10.01亿吨。

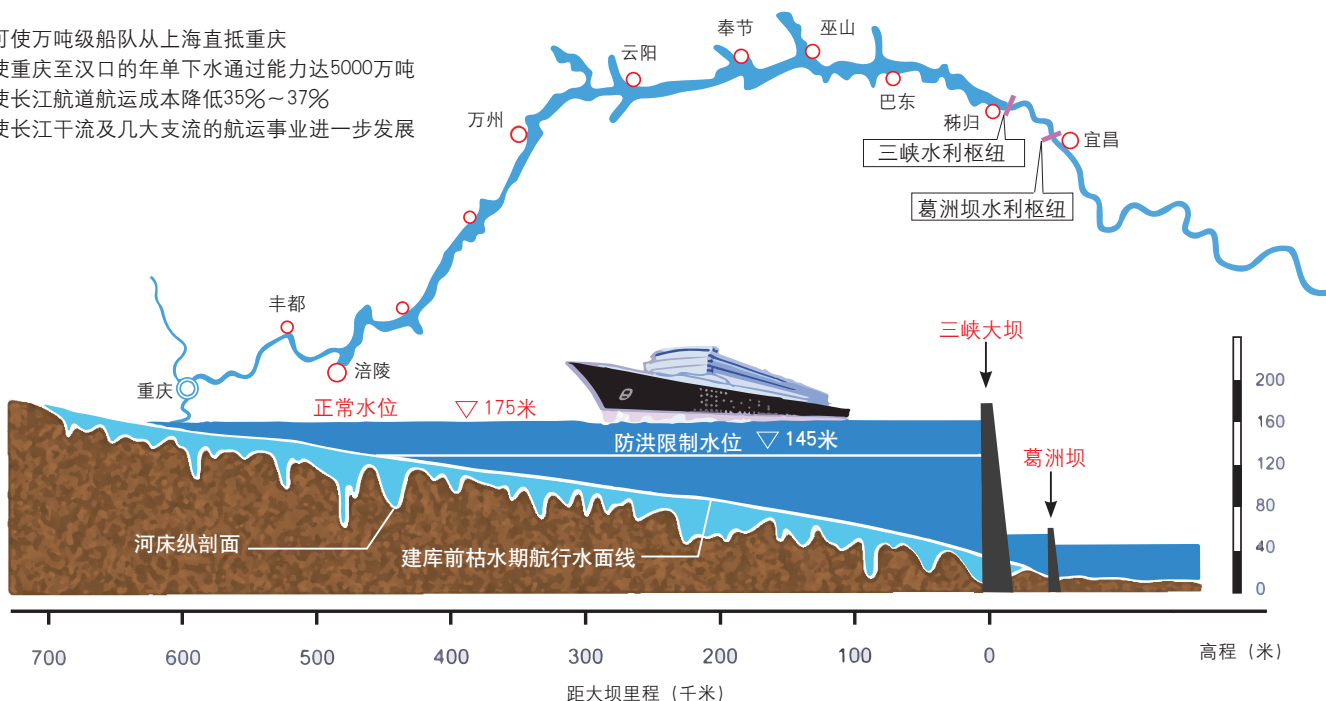
三峡工程是治理和开发长江的关键性骨干工程，对推动长江经济带发展具有重要意义。三峡工程蓄水后，极大地促进了长江航运的快速发展和沿江经济社会的协调发展，使长江“黄金水道”实至名归，有力地支持了长江经济带战略的实施。目前，三峡船闸全年过闸货运量是三峡工程蓄水前该河段年最高货运量的6倍以上。

三峡工程蓄水后还增加了2000千米支流航道，使长江干流及几大支流的航运事业都得到进一步发展。

三峡船闸投运后，三峡集团作为三峡工程的建设运行管理单位，不断采取措施，保障船闸安全运行，提高通航效率。例如，采取156米水位以下时船闸四级运行、一闸室待闸，分别在船闸一闸首上游和六闸首下游增设船舶停靠设施等。同时，还支持开展了船闸通航流量标准实船试验、提高三峡—葛洲坝

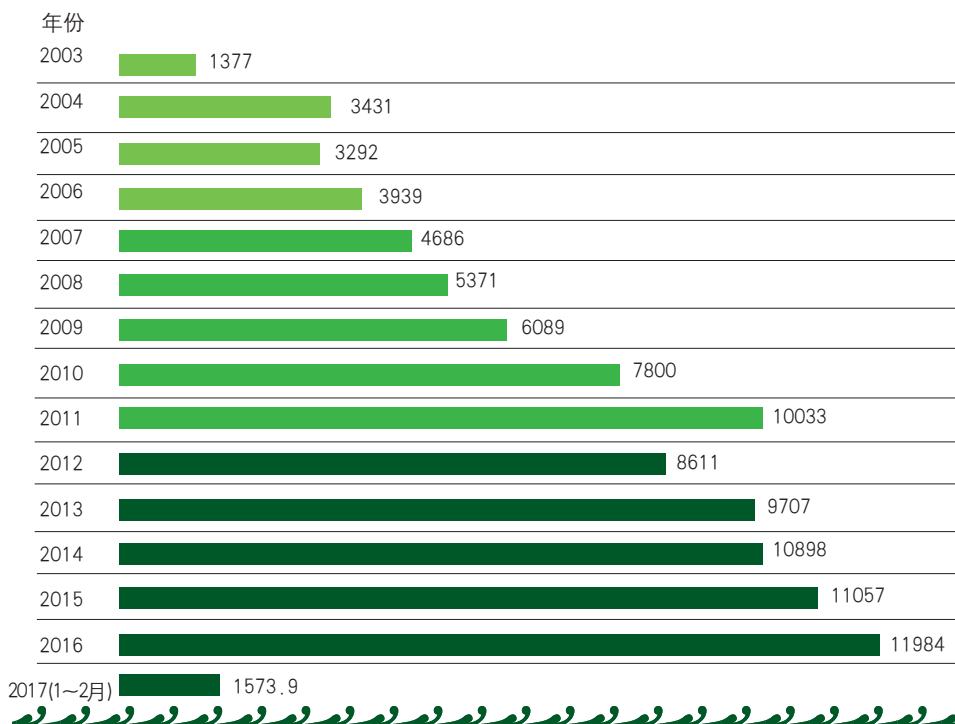
三峡工程四大航运效益

- 可使万吨级船队从上海直抵重庆
- 使重庆至汉口的年单下水通过能力达5000万吨
- 使长江航道航运成本降低35%~37%
- 使长江干流及几大支流的航运事业进一步发展



两坝间航道汛期通航流量试验等工作。

在检修方面，三峡集团突破了国内外大型船闸检修的传统模式，创造性地提出“大修小修化、小修日常化”的检修指导思想。为提高船闸检修效率，研制了快速检修工装、检修修补材料，完善了检修工艺，同时还研制了船闸专用载人升降车、人字门同步顶升系统。通过大量创新和施工组织优化措施，极大减少了船闸检修对三峡枢纽通航的影响。在三峡船闸运行管理各方共同努力下，三峡船闸年均通航率达95.9%，高于设计的84.1%。



三峡船闸运行货运量 (万吨)



货轮通过船闸

摄影/黄正平



三峡升船机——全球最大的“超级电梯”

摄影/孙荣刚

2016年9月18日，三峡工程的收官之作、世界上最大的升船机——三峡升船机启动试通航。三峡升船机是目前世界上技术难度最高、规模最大的垂直升船机，也是中国第一座齿轮齿条爬升式升船机。三峡升船机建成前，全球提升重量最大、提升高度最高的升船机是比利时斯特勒比升船机，其过船规模为1350吨级船舶，最大提升高度73米。三峡升船机的过船规模为3000吨级船舶，连船带水最大提升重量1.55万吨（相当于24万个65千克成人的重量），最大提升高度113米（相当于37层楼房的高度）。

为什么要花大力气建设升船机？

三峡升船机过船规模为3000吨级，预估年通过量1800万吨。单从运力上看，与永久船闸过亿吨的通过量相比微不足道。故而方案设计论证时，出现了是否有必要花大力气建设升船机的质疑。

回顾三峡升船机的设立初衷，是为了让客船和特种船舶与其他普通船舶分流过坝，提升过坝人员、物资和枢纽自身的安全。船闸闸室消防安全是航运界一个国际难题，升船机承船厢里的消防难度远低于船闸，升船机两边墙上每隔3.5米的高度就有一个安全通道，人员逃生更容易、快速。若能实现客船、特种船舶分流到升船机，会大大降低三峡双线五级船闸这个过

坝大通道的安全风险系数。另外，升船机正常升降速度0.2米/秒，单程船舶行驶和“翻坝”时间仅需37分钟，仅为此类船舶通过永久船闸过坝时间（约4小时）的1/6。因此，升船机的建设不仅能为三峡工程提供客轮过坝的快速通道，而且也提高了通航调度的安全保障水平。

建什么样的升船机？

三峡工程的重要性和社会影响极大，必须确保三峡升船机在任何情况下都能安全运行，因而三峡升船机最终采用了比钢丝绳卷扬全平衡垂直爬升式升船机更为安全的齿轮齿条垂直爬升式升船机。上世纪七八十年代，钢丝绳卷扬全平衡垂直升船机是国际上主流的升船机型式之一，比利时的斯特勒比升船机、我国建造的第一个升船机水口升船机以及丹江口升船机、隔河岩升船机均是这一型式。

相较于钢丝绳卷扬升船机，齿轮齿条爬升式升船机多出了一套短螺杆长螺母柱安全保障机构。试验研究和国外的运行实践表明，齿轮齿条爬升式升船机可以在船厢水漏空、地震等极端情况下，承船厢出现不平衡载荷时自锁，克服了钢丝绳卷扬方案中承船厢可能因不平衡力发生倾覆的问题。

如前所述，被提升的船只有3000吨，为什么需要1.55万吨的提升重量呢？那是因为船必须放在一个“水池子”里。这个

水池子叫承船厢。升船机要同时提升船舶和承船厢。

三峡升船机通航水流条件复杂。上游航道最高通航水位175米，最低通航水位145米，变幅30米。下游航道最高通航水位73.8米，最低通航水位62米，变幅11.8米，下游水位变化最快时每小时达0.5米。

长江是我国黄金水道，设计要求升船机投运后必须高效运行，达到年平均工作335天，每日工作22小时，平均日运转18次。

三峡升船机主体结构及功能

三峡升船机布置在枢纽工程的左岸，双线五级船闸的右侧。其核心建筑是上闸首、下闸首、承重塔柱。高达146米的承重塔柱支撑着承船厢及平衡重共3.1万吨的重量，支撑着承船厢最高113米的垂直升降。

升船机的承船厢为钢结构，作为船舶进出承船厢通道的上、下闸首为整体式U型混凝土结构。上、下闸首皆设有一道可翻转的卧倒门，关闭时阻隔上、下游航道里的水体，卧倒打开时船厢与上下游航道的水连为一体，航道贯通。

承船厢外形尺寸132×23×10米（长×宽×高）。升船机的主要机电设备如驱动系统、船厢门及其启闭机等皆安装在船厢上。承船厢上下行走的齿轮、对接锁定安全机构的短铰杆安

装在承船厢的两侧，承船厢弧形工作门以及闸首与承船厢的间隙密封装置安装在承船厢上下游两端。

运行过程

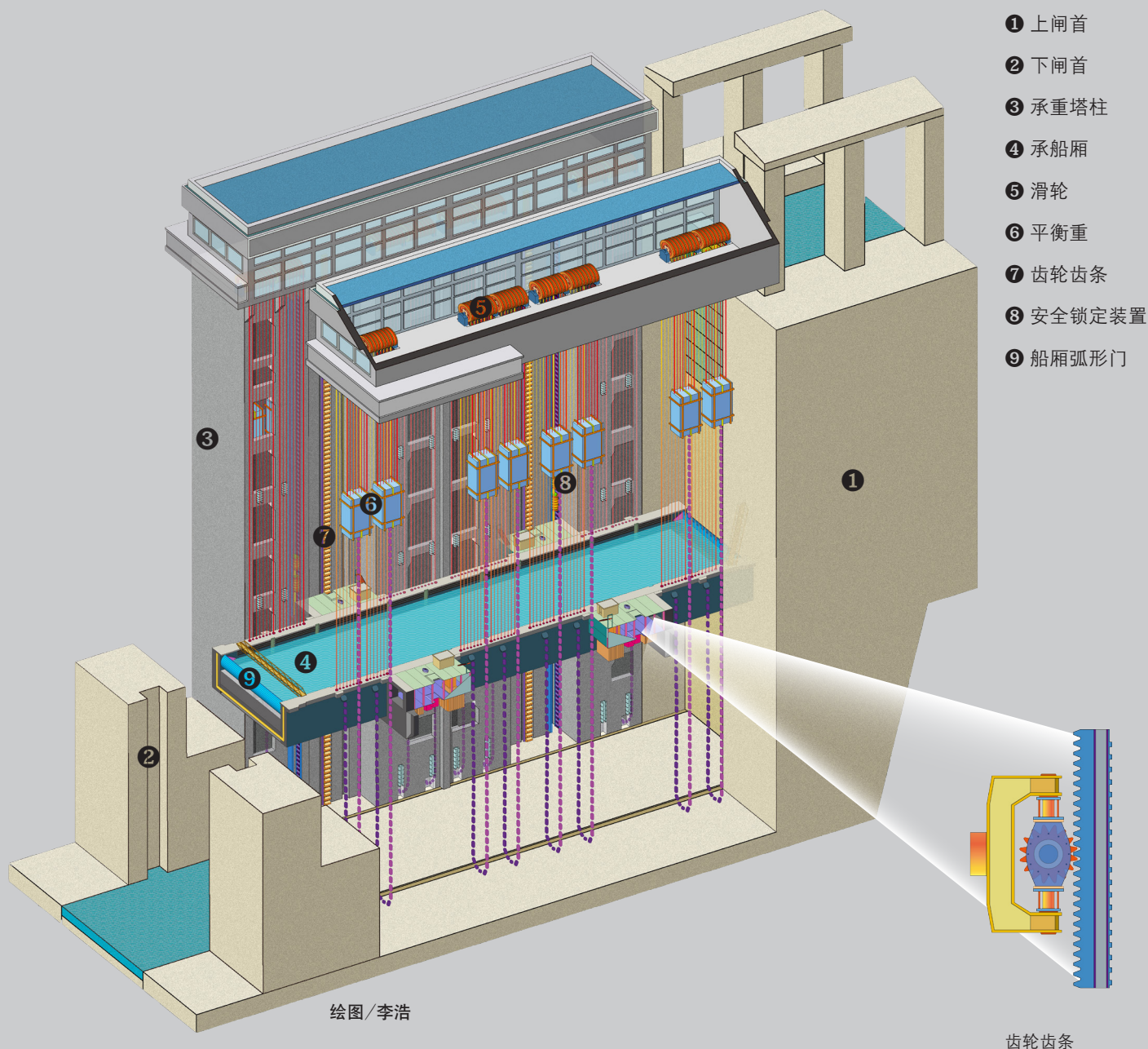
三峡升船机为上、下双向通行，其上、下行工作流程一致。以上行为例，升船机设备的动作及船舶的移动依次为：船厢下降至船厢水位与下游航道水位齐平位置停靠下来，伸出安装在船厢下游端的间隙密封机构顶紧下闸首工作门，向船厢工作门与下闸首工作门之间的间隙充水，下游端船厢弧形门与下闸首卧倒门打开，船厢水域与航道水域连通，船只进入承船厢。然后，船厢门和下闸首卧倒门关闭，间隙水泄水，下游间隙密封机构退回，船厢对接锁定的上、下锁定螺杆复位，与螺母柱脱开。

驱动机构启动，齿轮沿齿条爬行，船厢以每秒0.2米的速度匀速上升，与此同时，驱动机构驱动安全机构、对接锁定机构的螺杆沿螺母柱空转，同步运行；当船厢运行至上游航道水位时，船厢停车，船厢对接锁定机构动作，上、下锁定螺杆与螺母柱接触，上游间隙密封机构伸出与上闸首工作门对接，间隙充水至与上游水位齐平，闸门开启，船厢水域与上游引航道水域连通，船只驶离船厢。单程通过时间约为37分钟。



船舶通过升船机“翻越”三峡大坝

三峡升船机主体结构及功能



平衡重使升船机“举重若轻”

盛水承船厢是运载船舶升降过坝的载体。3.5米标准运行水深的承船厢总重是1.55万吨，根据阿基米德定律，船只驶入承船厢会排出同等重量的水，承船厢依旧保持在1.55万吨。由于运用物理学平衡原理在船厢两侧设置了同等质量的配重，提升或者放下承船厢，驱动机构仅需克服不平衡质量和运动阻力（约提升400吨左右重量的力，相当于承船厢总重的2.5%左右），船厢即可轻松升降。

配重设置在船厢两侧塔柱内，滑轮设在塔柱的顶部，钢丝绳绕过滑轮，一端连着船厢，一端连着配重。滑轮两侧钢丝绳的长度相等时，滑轮两边钢丝的重量也相等，处于绝对平衡状态。运行过程中，承船厢与配重一上一下，滑轮两边的钢丝绳也就随之长短不一，长边的重量增加，平衡被打破。于是，通过在承船厢和配重下面悬挂平衡链补偿，使得滑轮两边的承船厢和平衡重处于任何位置皆可保持平衡。

齿轮齿条为升船机装上了“轮子”和“轨道”

安装在承船厢两侧的4个齿轮和安装在混凝土塔柱上的4根齿条，有如火车的轮子与轨道。驱动机构推动4个齿轮在4根齿条上啮合升降带动承船厢升降，齿轮齿条是升船机行走的导向机构。

船厢在上下升降过程中，齿轮齿条处于受力状态。安装在混凝土塔柱上的齿条承担着经啮合齿轮向混凝土塔柱传递船厢驱动力的作用，发生地震时，齿条还作为承载设备，传递船厢与塔柱之间的横向地震力。

齿轮齿条是升船机的关键部件，其抗磨损能力如何，对升船机的安全运行至关重要。当初齿轮齿条交由德国厂商生产，但他们在加工过程中出现了裂纹等瑕疵。三峡集团组织郑州机械研究所、中国第二重型机械集团对德方工艺的制造材质进行调整。经过两年探索，制造出不开裂的齿条。其后，建设者们对其齿轮齿条进行疲劳试验，结果试验设备累坏了，齿轮齿条样品没出现问题。经测算，三峡升船机齿轮齿条寿命约为70年，超过设计规定的35年使用寿命。

齿轮托架机构：使升船机具有自动适应塔柱变形变位能力

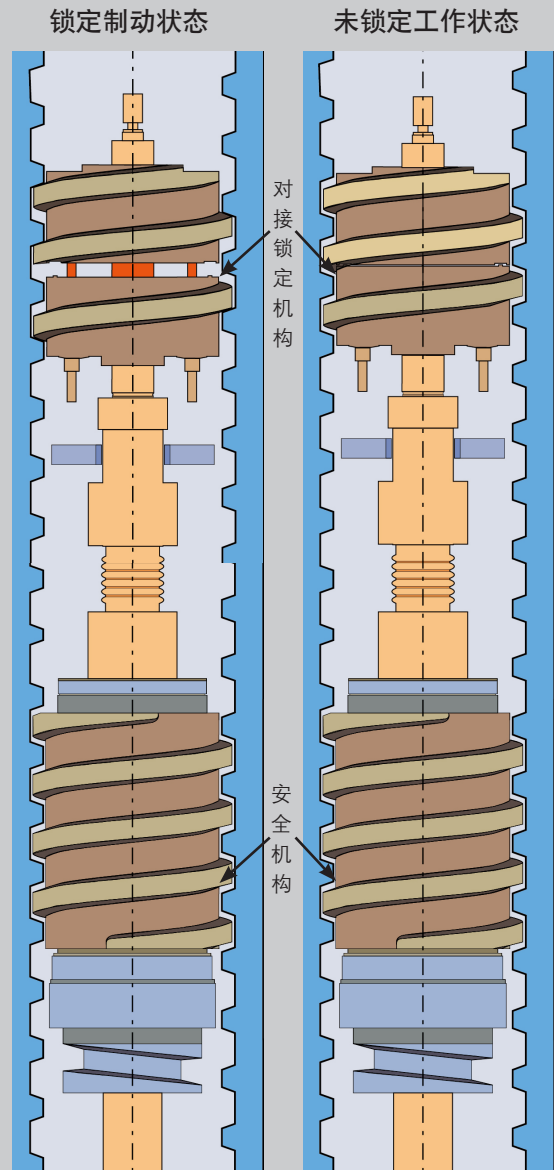
作为升船机行走机构的齿轮与齿条，需要精确啮合，同时还需要呈弹性接触，具有自动适应塔柱和船厢变形变位的能力。因为无论是混凝土还是钢结构，都会因温度变化产生变形变位。

齿轮与齿条这一变形变位适应性技术是通过一个巧妙的齿轮托架机构来实现的。齿轮托架机构是一个可前后摇摆的四连杆支架，具有传递、监测并限制齿轮载荷、适应塔柱和船厢变形，从而保持小齿轮与齿条精确啮合的功能。齿轮托架系统与可伸缩联轴器联合作用，能自动调整工作状态，自动适应传动轴位置误差，使船厢及其设备系统适应混凝土塔柱因日照等因素产生的温度变形，保证升船机升降运行过程不会发生卡阻现象。当船厢与平衡重系统之间的不平衡力超过驱动机构齿轮载荷的设定值时，升船机控制系统电气制动停机，随不平衡力逐步增加，直至安全机构将船厢锁定。

安全装置力求升船机运行“万无一失”

齿轮齿条构成升船机的行走机构，短螺杆长螺母柱则是升船机的安全保障机构。

短螺杆长螺母柱安全锁定装置简单而巧妙。长螺母柱埋设在承船厢两侧的混凝土塔柱上，全高125米，从塔顶一直贯通到塔底。螺母柱为不连接的两个螺母柱片组成，多节拼装，螺母柱面向船厢一侧呈90°左右敞开状态，以使嵌套在长螺母柱里的短螺杆能随升船机爬升行走机构同步上升或下降。短螺杆安装在船厢上。



如图所示，上方的短螺杆配合长螺母柱是升船机的对接锁定机构，对接锁定机构只在承船厢与闸首工作门对接时工作。承船厢与闸首工作门对接时，对接锁定机构上下锁定块在液压驱动下张开与螺母柱锁定，承担对接时垂直方向载荷。

下方的短螺杆配合长螺母柱为船厢安全机构，螺杆螺牙与螺母柱螺牙间上下各有60毫米间隙。承船厢正常升降运行时，短螺杆在长螺母柱里作不接触螺母毫无摩擦的空转，随船厢同步升降。而一旦遇有船厢漏水、沉船甚或发生地震，不平衡力将首先导致齿轮齿条爬升机构的驱动力超载而停机，随后承船厢即产生不规则的上升下降运动。当船厢某侧的配重重于滑轮另侧的船厢时，螺杆上升，轻于滑轮另侧的船厢时螺杆下降，直至最终短螺杆与长螺母柱的间隙消失，短螺杆螺牙与长螺母柱螺牙贴合，上下抵紧。借助螺母与螺杆的自锁，由事故引发的承船厢不平衡力通过支撑杆、旋转螺杆传至螺母柱，再经螺母柱传到混凝土塔柱结构上，从而实现船厢的安全锁定。

巨大的淡水资源库

2003~2016年汛前，三峡水库累计为下游补水1601天，补水总量1997亿立方米。与初步设计相比，三峡水库逐步提高了枯水期下游流量补偿标准，1~4月份水库下泄流量按6000立方米/秒左右控制，相比天然流量增加了1500立方米/秒左右。

三峡水库为下游实施补水调度期间，平均增加航道水深0.7米，改善了下游航运条件，有效满足了下游生产、生活、航运、生态等用水需求。

2011年，长江中下游部分地区遭遇百年一遇的大面积干旱。为有效应对中下游持续特大旱情，三峡水库启动了抗旱补水调度，日均向下游增加出库流量1500立方米/秒，累计向下

游补水54.7亿立方米，有效改善了中下游生产、生活、生态和通航用水条件，为缓解中下游特大旱情发挥了重要作用。2014年2月，受同期降水偏少、中下游水位下降和潮汐活动等因素影响，上海长江口水源地遭遇历史上持续时间最长的咸潮入侵。为保障上海市供水安全，三峡水库第一时间启动了“压咸潮”补水调度，日均增加出库流量1020立方米/秒，累计向下游补水17.3亿立方米，有效缓解了长江口水源地的危机。2015年6月，主动与相关各方沟通协调，及时调减三峡水库出库流量，降低“东方之星”沉船事故江段水位，为救援工作创造有利条件。



神奇秀美的三峡旅游

三峡工程的兴建，不仅使长江三峡原有的自然景观更加美丽，而且还增添了高峡平湖等人文景观，让三峡大坝景区日益成为吸引中外游客的重要旅游目的地。自2003年来，景区累计接待旅客超过1600万多人次，特别是自实施“一免一开”政策以来（即对中国大陆游客旅行免门票开放，向社会全面开放客车、有条件开放货车在三峡专用公路通行），景区接待游客量接连攀升、屡创新高。2015年，三峡大坝旅游区共接待游客207.77万人次，同比增加6.45万人，增长3.2%。2016年，接待游客人数再次突破200万人次，到达203万人次。实践证明，三峡工程在优化库坝区产业结构、推进服务业发展、增加移民就业等方面日益发挥越来越重要的作用。



摄影/孙荣刚



摄影/黄正平

长江水变清了

泥沙问题在三峡工程论证时一直是一个重要议题。三峡水库运行后，不但没有出现人们担忧的类似三门峡水库推移质受阻、泥沙淤积上游的现象，而且来沙比预计的要少很多。长江水变清了会有什么影响？让我们一起去长江看看吧。



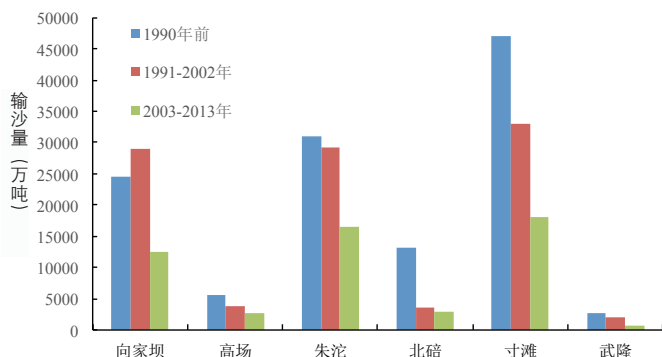


长江水为何变清了?

自20世纪90年代以来,进入三峡的沙质推移质和砾卵石推移质泥沙量总体都呈下降趋势。其原因一是近年来长江上游水土保持逐渐加强,水土流失相应减少,经过坡改梯、育林种草等减少土壤侵蚀。二是长江上游没有大的降雨区域,近年来没有集中暴雨区,滑坡、泥土流失等自然现象减少,进入长江内泥沙量减少。三是水利工程拦蓄了一些泥沙。上游干支流上建造的水利设施,阻拦了进入长江干流中下游的泥沙。四是三峡水库蓄水后,壅高了上游的水位,迫使长江的水流变缓,致使水流的携沙能力下降,水流中的泥沙在水库尾部地区沉积下来。随着上游梯级水库陆续兴建,三峡水库的泥沙淤积问题还会进一步缓解,不但不会堵塞重庆港和加重重庆上游洪水灾害,而且水库的大部分有效库容可长期保留。

三峡大坝蓄水发电以来,2003~2013年入库年均径流量为3680亿立方米,较1990年以前和1991~2002年仅减小8%和5%,变化幅度较小。但是,2003~2013年年均入库悬移质输沙量为1.86亿吨,较1990年以前和1991~2002年分别减小62%和48%,减少幅度较为明显。

长江上游水文站监测输沙量变化



清水下泄带来的中下游河势演变

如前所述,近些年来长江上游来水的含沙量减少。三峡水库蓄水后,出库沙量更是大幅度减少。2002~2013年,宜昌至鄱阳湖湖口河段河道总体呈现被冲刷状态,仅平滩河槽年均冲刷1.035亿立方米,宜枝河段出现最大冲刷深度-19.3米。

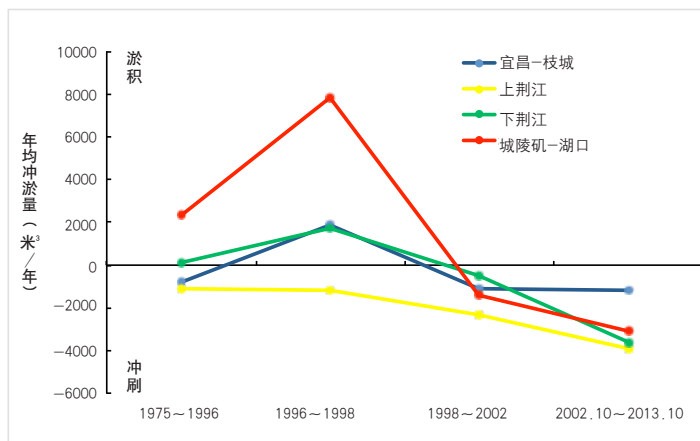
三峡工程建成后,长江口来沙量也呈现显著减少的趋势,长江口南支由三峡水库蓄水前的年平均冲刷量0.126亿立方米/年增至蓄水后的年平均冲刷量0.316亿立方米/年,北支由三峡水库蓄水前的年平均淤积量0.243亿立方米/年略增为蓄水后的年平均淤积量0.259亿立方米/年,长江口河床冲刷

已逐渐显现。

随着坝下游河道冲刷下切,下游各站枯水期同流量下水位有不同程度的降低,降低值均在论证预测范围内,如2003~2013年,宜昌站水位下降0.50米(5500立方米/秒),枝城站水位下降0.58米(7000立方米/秒),沙市站水位下降1.50米(6000立方米/秒),大通站尚无明显变化。

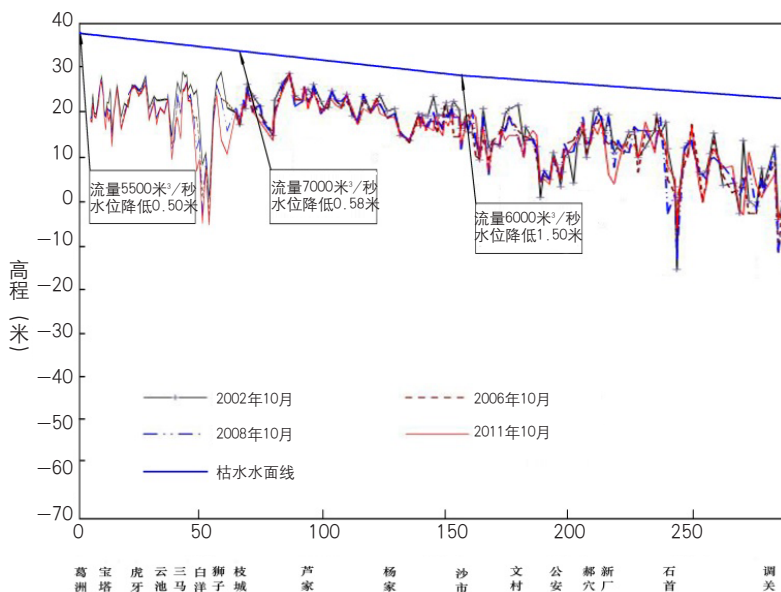
清水下泄冲刷造成河道河势不断发生变化,但总体河势基本稳定,荆江大堤和干堤护岸险工段基本安全稳定。

宜昌至湖口河段冲淤变化



宜昌至枝城河段位于长江中游,全长约61千米,是长江由山区性河流向冲积平原河流过渡的河段,河道形势为顺直微弯型河道;枝城至城陵矶河段称为荆江,流经江汉平原与洞庭湖平原之间,藕池口以上为上荆江,长约172千米,是弯曲分汉性河道;下荆江长约175千米,属典型的蜿蜒性河道;长江下游城陵矶至湖口段为藕节状宽窄相间的分汉型河道。根据年均泥沙冲淤资料显示,三峡工程蓄水后,长江中下游地区河道总体呈现被冲刷状态,局部河段河势变化较大。

三峡水库下游河道深泓和枯水位变化



清水如何冲刷泥沙?

河流的水沙关系是河流演变的基础，也是河流治理的重要问题。河道受到水流的作用，存在水流刷深、泥沙淤积以及冲刷、淤积不平衡的不同现象，从而形成了不同的河道形态。冲刷、淤积和平衡是一个动态转化的过程，长江水变清，是水中的含沙量减少，同时河道受清水冲刷，不断被淘蚀，导致河道河势发生改变。在对长江水变清的问题研究之前，首先需要明白的是河道实现冲刷、淤积和平衡的基本原理。

在天然河流中，水流会携带和搬运大量的泥沙颗粒，有以滚动、跃移等形式在床面附近运动的推移质，也有悬浮在水体中、随水流一起向下游运动的悬移质。在水流作用下，运动的泥沙颗粒与床面静止的泥沙颗粒发生频繁交换。一方面，床面静止的泥沙颗粒在水流拖曳力、上举力等作用下会离开床面；另一方面，水流中的泥沙颗粒在自身重力作用下又会沉降到床面上。水流中运动的泥沙与床面上静止的泥沙的交换作用，导致河床冲淤和床面高程起伏变化。其基本原理可用Exner方程描述：

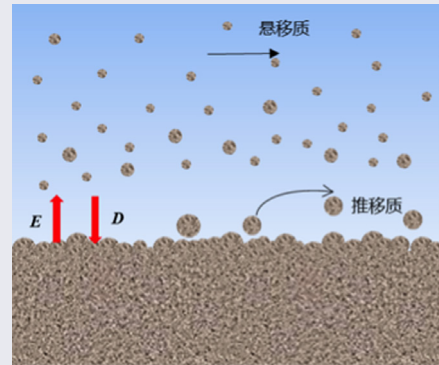
$$\frac{\partial \eta}{\partial t} (1 - \lambda_p) = D - E = \alpha \omega_s C - \alpha \omega_s C_*$$

其中， D 为单位时间沉降到单位床面的泥沙体积， E 为单位时间从单位床面起悬的泥沙体积， η 为河床的床面高程， λ_p 为床面泥沙的孔隙率， α 是恢复饱和系数， ω_s 为泥沙沉降速度， C 为水流中泥沙的浓度， C_* 为水流饱和挟沙时的浓度。

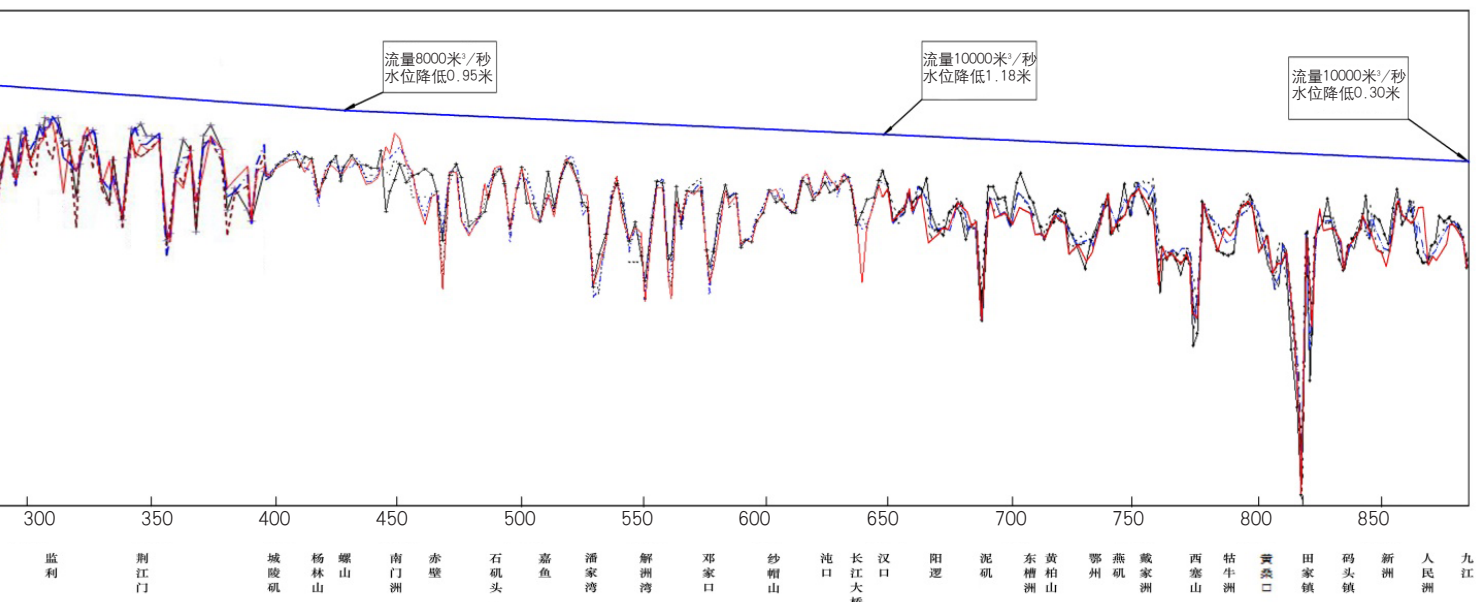
天然河流经过长期的自动调整，河流通常会达到一种近似于平衡的稳定状态。在这一状态下，单位时间内离开床面的泥沙体积 E 和返回床面的泥沙体积 D 大致相等，床面不会发生显著

的冲刷或淤积，因而可以保持较为稳定的床面高程。但是，由于某种原因（天然或人类活动所引起），河流上游来沙量大幅度减少（如水库下泄清水），河流的天然稳定状态就会遭到破坏，河床会出现冲刷、粗化等现象。在上下游水库统筹规划、优化调度下，上游来水流量建坝前后变化不大，床面泥沙的起悬速率 E 在变化前后保持相近的水平；而下泄水流中携带泥沙的浓度急遽降低，使得通过沉降作用补充床面的悬沙体积 D 大为减少。这时 $E > D$ ，河床高程随时间的偏导数为负，意味着更多的泥沙被带离床面，床面高程随之下降；在床面由非均匀沙组成时，细颗粒泥沙相较于粗颗粒泥沙易于被水流拣选带走，表现为冲刷过程中的河床粗化。

泥沙颗粒的运动形式



当离开的泥沙体积 E 大于沉降的泥沙体积 D ，就会造成局部的河床冲刷，河床高程降低。反之， $D > E$ 时，就会造成局部的河床淤积，河床高程增加。

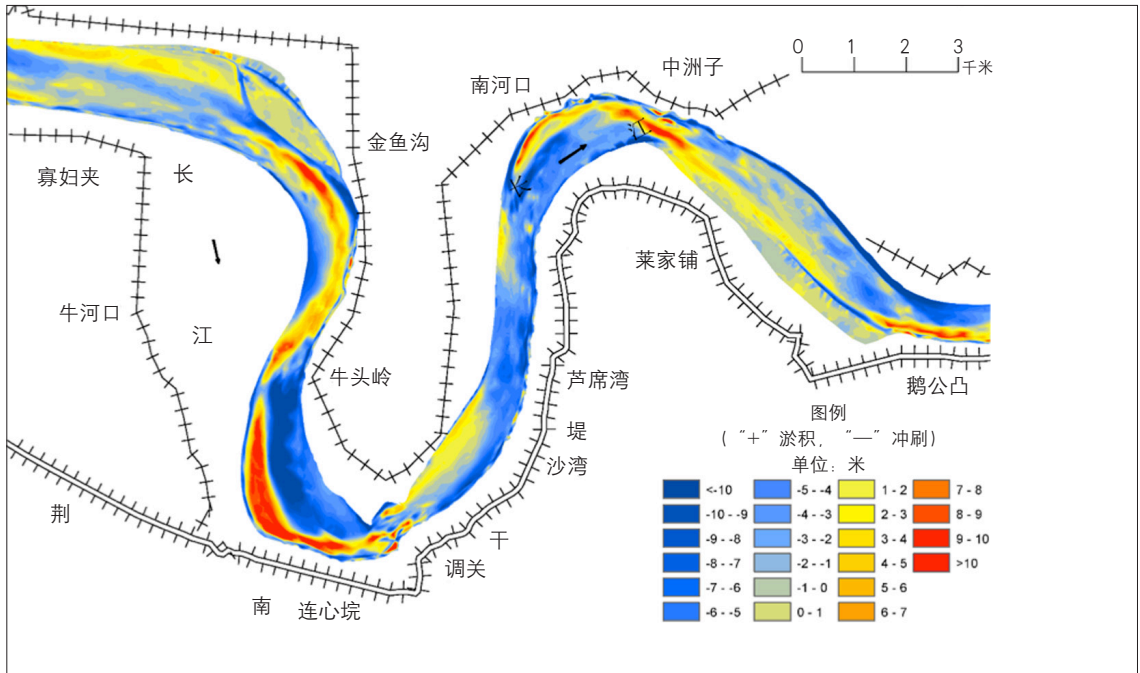


从上图可以看出深泓点也即河流断面最大水深变深，枯水期水位降低，由此可以看出清水下泄造成的冲刷侵蚀了河床底部，使河道变深。

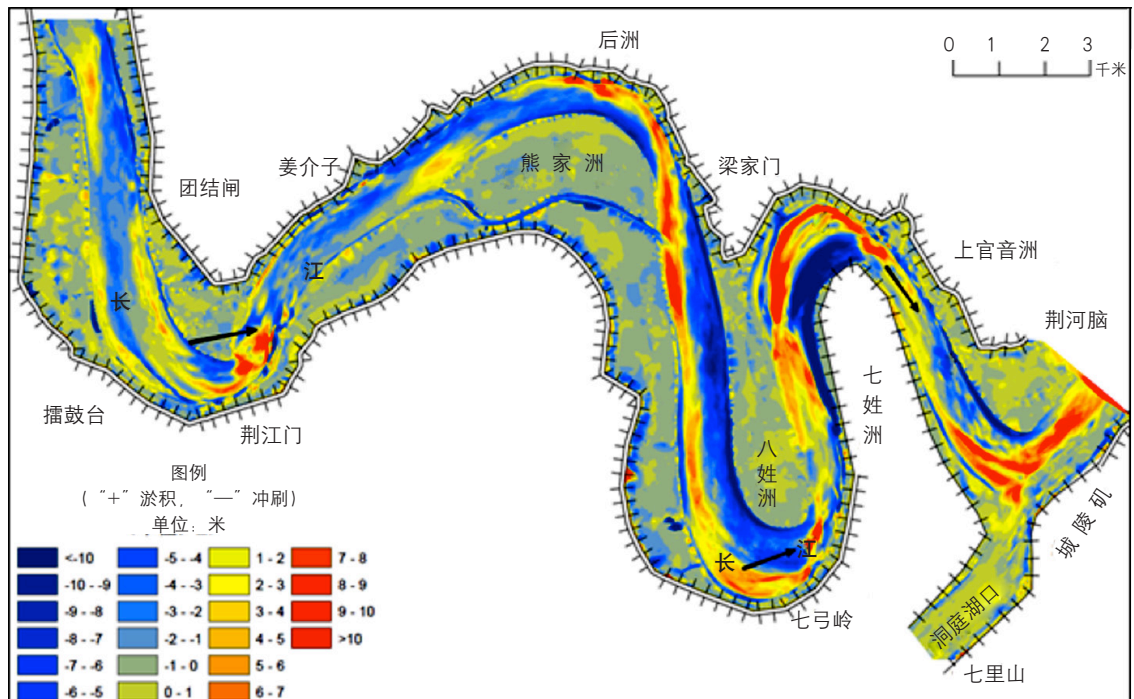
长江河道弯曲绵延，是大自然千百年来鬼斧神工之作。然而，河道并不是一成不变的，尤其是三峡工程蓄水运用后，削减了汛期下泄洪峰，增大了枯水期流量，水库排沙量远小于预期值，致使坝下游河道的来水来沙条件改变。在清流不断淘蚀过程中，长江中下游河道将经历较长时期的冲刷—平衡—回淤过程。

弯曲河段河床在自然条件下，主要表现为凹岸冲刷，凸岸淤积，弯顶缓慢下移，这是因为在河

流流经弯道时，在离心力和重力的共同影响下，凹岸不断受到清水侵蚀，凸岸发生淤积，以至河流越来越弯，甚至发生“裁弯取直”现象。三峡工程运行后，由于水沙过程改变，坝下游河道呈现出长距离、长时间的以冲刷为主的河床变形过程，局部河势出现较大调整，一些河段水流顶冲位置变化，特别是下荆江弯曲半径较小的弯道段，水流趋直，原凸岸和凹岸的位置出现缓慢调整。



调关弯道冲淤平面分布图 (2002~2013年)



尺八口弯道冲淤平面分布图 (2002~2013年)

调关弯道位于长江中游的下荆江中部，尺八口弯道处于长江中下游荆州市监利县，根据2002~2013年冲淤平面分布图显示，局部河势调整较为明显，弯道段航道弯曲半径减少。



2013年5月7日，长江大堤江西彭泽段发生崩岸险情。

长江水变清对生态环境的影响

利于航运 三峡工程建成后，库区水流、泥沙运动发生很大变化。在较大范围的常年库区，水深增大，水流减缓，航行条件显著改善。

利于防洪 由于中下游河道冲刷下切，长江水深的增加，同样洪水条件下水位降低，长江行洪能力增强。另外，淤积的泥沙减少，湖泊的蓄洪滞洪能力有所提升，同样对防洪有利。

延长湖泊寿命 随着长江的水深增加，进入长江的湖泊泥沙被带出湖泊，减少了湖泊的泥沙淤积，例如洞庭湖在三峡水库运用后，三口河道和洞庭湖区年平均淤积量由蓄水前1991~2002年的6200万吨减少为蓄水后2003~2013年的56万吨，三口流入洞庭湖泥沙明显减少，而三峡水库汛后蓄水期城陵矶水位下降较多，导致洞庭湖泥沙出流，这对于缓减洞庭湖淤积萎缩是有利的。

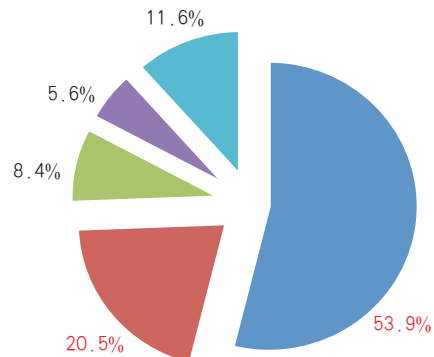
通江湖泊枯水期提前 三峡水库汛末蓄水期长江水位下降较多，导致关联湖泊出流加快，关联湖泊枯水期提前，洞庭湖枯水期提前了20天左右，枯水期成为常态化。2003年以来，受河道枯水河槽冲刷影响，低水时长江中游各站水位总体呈逐渐下降趋势，削弱长江顶托作用，导致鄱阳湖、洞庭湖向长江泄水加快，枯水期同流量下水位偏低部分抵消了三峡下泄流量增加的水位抬升作用，两湖水位抬升不及预期明显，尤其是鄱阳湖更不显著。

崩岸问题 由于泥沙量减少，由浑水下泄变成清水下泄，对堤防冲刷力度加大，侵蚀能力加强。河流的弯道凹岸在清水像“刀子”一样的冲刷下，下部越淘越深，上部则处于悬空状态，在重力作用下，岸坡崩塌失稳时有发生。自蓄水以来（2003~2012年）总计崩岸655处，崩岸总长度495.9

千米，主要发生在蓄水运用前的崩岸段和险工段范围内，但总体河势基本稳定，荆江大堤和干堤护岸险工段基本安全稳定，未发生重大崩岸险情。

长江中下游水变清 三峡工程建成以来，长江水不仅是视觉上的清，更是水质上的干净，总体水质较好。长江上设有的检测站网系统含有1个流域水环境检测中心、8个流域分中心、17个省级中心、90个地市分中心，能进行地表水、地下水、大气降水、污水与中水、生活饮用水和饮用天然矿泉水、土壤与底质、海水等七大类一百余项参数分析测试工作，为长江流域实施最严格水资源管理及水资源与水生态保护提供基础信息支撑。

2013年长江流域总体水质评价



■ I-II类 ■ III类 ■ IV类 ■ V类 ■ 劣V类

2013年全年评价河长59648.0千米，按《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）评价，全年水质符合和优于III类水的河长占总评价河长的74.4%。劣于III类水河长中，主要超标项目为氨氮、总磷、五日生化需氧量、化学需氧量和高锰酸盐指数等。

三峡水库蓄水后库区的水质情况

在《科学世界》2011年第9期的“聚焦三峡”中谈到库区的水质情况，并对水中氮磷浓度进行了统计，但当时并未进行进一步的原因分析。那么，库区氮磷污染主要是由什么原因引起的呢？

库区水质情况如何？

三峡水库蓄水后，库区干流的水质状况总体保持稳定：1998~2014年，库区干流主要国控断面的监测数据表明，大部分水质稳定在Ⅱ~Ⅲ类。库区一级支流的水质与干流的水质基本一致，二、三级支流略差。上游支流水质有好转趋势，大部分均满足或优于Ⅲ类水质标准。

水体富营养化

水华的发生说明水体已经富营养化，会导致水中溶解氧下



主要为有机磷类、氨基甲酸酯类、菊酯类、除草剂类和其他类。



主要为氮磷钾类化肥。1984年至今，全国化肥施用量增加了225%，粮食单产量仅增加56%，存在过量施用问题，既污染水体和大气环境，又影响食用农产品安全。我国化肥当季利用率仅为30%~35%，发达国家化肥当季利用率为60%~70%，比我国高出一倍。

降，水质恶化，甚至丧失水体应有的功能。水华的暴发需具备三个条件：充足的营养盐（氮、磷、硅等）；缓慢的水流流态；适宜的气候条件（气温、光照等）。

三峡水库蓄水后，库水位升高，过流断面增大，水体流速减小，但由于三峡峡谷型水库的特点，干流水体流速与湖泊相比仍比较大，尚不满足水华发生所需要的流速条件，并且蓄水后，大力治理库区生态环境，因此在库区干流并没有发生水华现象。但在部分库湾及支流区域，由于水体流速较小，滞留时间长，水体内营养盐含量高，当水温和光照达到一定条件时，就有可能出现水华。

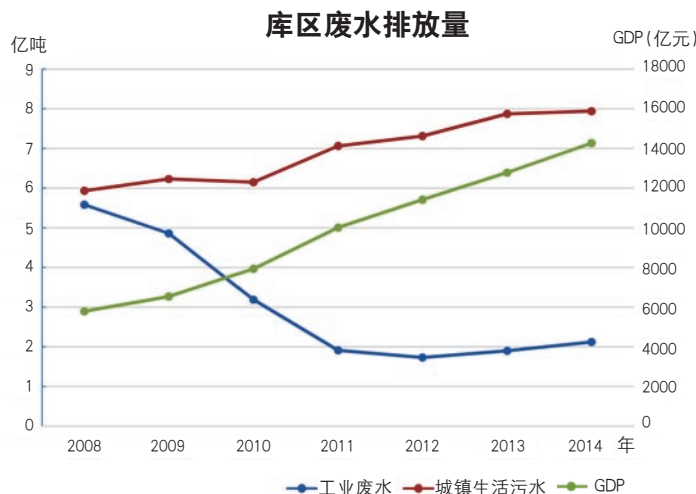
污染物的主要来源

污染物不论是固体还是液体物质，都来自于河流水域和两岸陆地——每年漂浮到三峡大坝坝前的固体垃圾近7万立方米；2013年向长江排放的废污水达56.4亿吨，较2000年增加88.2%，主要包括工业废水、城镇生活污水及农业面源污染。如此大规模的污水排放对库区水质的影响是不容置疑的。随着科技的进步和对工业污染治理力度的加大，污染环境的污染源已由工业为主逐步转到工农业污染并重和以农业面源污染为主的发展趋势。

近10年来，三峡库区及其上游为了发展当地经济，石油、化工、能源、城镇燃气以及交通运输等行业发展迅猛，而且这些工业园区和企业、城镇污水处理厂等大多沿江分布。沿江还分布几十座化学品装卸码头和中转仓库，这些风险源对水环境安全构成严重威胁。此外，三峡库区磷矿资源丰富，磷矿的开采以及磷化工企业的污水排放，也是库区污染物的重要来源。

农业面源污染，主要包括农药与化肥的使用及排放和畜禽养殖业排污。

畜禽养殖是库区污染物的重要来源。库区存在大量散养的畜禽，畜禽粪便中含有丰富的氮、磷等营养物质，如果大量流失于环境中，就有可能引起酸雨、河流水质恶化等，成为农业面源污染的重要原因之一。



水库诱发地震未超出预测

2003年三峡水库蓄水后，库区地震活动增加了，而且和水位有比较明显的相关性。但是水库诱发的地震，99%以上都是0.5~1级的小震，最大地震是2013年12月16日发生在巴东县的5.1级地震。经专家初步判断，水库地震的活跃期已过，最大震级将不会超过论证时预测的5.5级。

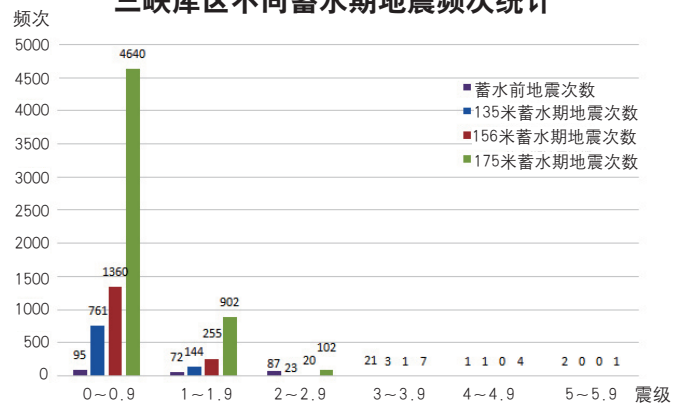
库区地震活动统计

三峡工程蓄水后，库区地震活动频次比蓄水前明显增强，地震强度主要以微震和极微震（震级<3.0级）活动为主。地震活动频次显著高于本地区地震本底，震级越低越显著。最大为5.1级，与蓄水前库区的天然地震最大震级相当，而大于3.0级以上的地震不论是发生强度还是频次都没有明显变化。

地震动向

2010年至今，三峡水库实施了7次175米正常蓄水位试验性蓄水。在此期间发生的绝大多数都是3级以下的微震和极微震，4级以上地震共有3次，分别是2013年12月16日发生在巴东县东瀼口镇的5.1级地震、2014年3月27日发生在秭归县郭家坝镇的4.2级地震以及2014年3月30日发生在秭归县郭家坝镇的4.5级地震。蓄水后库区地震最大震级为5.1级，与蓄水前库区的天然地震最大震级相当，并且主要发生在三峡库区沿江10千米范围内的湖北库段。根据专家评估，库区地震活动水平将呈起伏性下降，渐趋平缓，最大强度也只在5级左右，不会超过前期的预测强度5.5级。地震易发库段的位置及已发生的最大地震震级都处于工程前期预测的范围之内。

三峡库区不同蓄水期地震频次统计

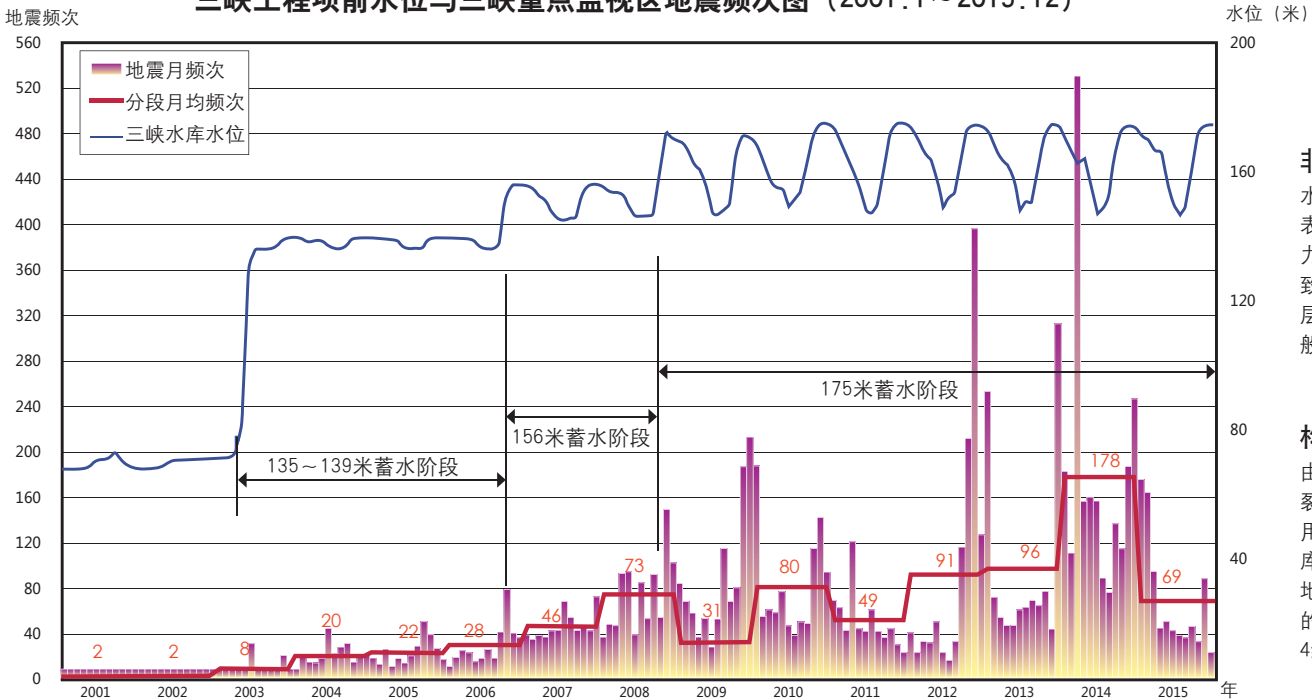


注：蓄水前小于M2.0级地震监测资料不完善，共计533个月
 135米蓄水期（2003.6.1~2006.9.20），共计40个月
 156米蓄水期（2006.9.21~2008.9.27），共计24个月
 175米蓄水期（2008.9.28~2016.6.30），共计93个月

2013年12月26日，湖北省巴东县东瀼口发生5.1级地震。地震发生时，水库水位为173.93米，属175米高水位后的水位缓慢下降阶段。这属于库区沿断裂软弱破碎岩体渗透产生浅层应力调整，导致岩体破裂变形并伴有岩溶塌陷形成的非典型构造型水库地震。这在世界上由水库诱发地震中震级排第10位，其中最大震级为印度柯伊纳水库的6.4级。

2010年前，每当水库水位快速上升时，库区的地震频次和强度随坝前水位的升高而增强。2010年后，每当库水位快速上升至高水位运行期后，库区的地震频次和强度随坝前水位的降低而增强，表现出明显的滞后性。2013年12月的频次突增阶段对应于巴东5.1级地震序列。但高频次地震仍然是以2.0级以下微震为主。

三峡工程坝前水位与三峡重点监视区地震频次图（2001.1~2015.12）



长江绿色走廊



绿水青山就是金山银山

长江经济带横跨我国东中西三大地区，覆盖面积205万平方千米，是我国经济发展最具活力和潜力的区域之一，也是我国生态屏障重要功能区域之一。习近平总书记指出，在当前和今后相当长一个时期，把修复长江生态环境摆在压倒性位置，共抓大保护，不搞大开发。

三峡工程对于建设长江经济带和绿色走廊具有横贯东西、辐射南北、承上启下、通江达海的作用。

水库蓄水至175米后，长江上游干流渠化里程近700千米，为新兴的直辖市重庆打通了入海通道。长江三角洲成为“一带一路”连接长江经济带的重要终端之一。

生物多样性是长江绿色走廊的标志性特征。为了充分高效利用长江水资源，为人类社会经济可持续发展服务，长江中上游相继投产了一大批控制性水利水电工程。这些工程为科学调度水资源，保障长江流域珍稀动、植物资源稳定的水文、水质边界条件，建设长江绿色走廊提供了工程手段。

如何利用科学的梯级水库群联合调度方式，高效地利用这些水利水电工程，为长江大保护，为中下游防洪安全、生态环境保护、航运条件改善和水资源高效利用发挥更大的效用，是一项极为复杂的工作，相关部门正在积极探索并取得初步成效。

长江流域鱼类资源

长江是我国淡水鱼类种类最丰富的河流，也是我国野生鱼类资源和主要淡水养殖对象的优良种质来源。长江流域现有鱼类400余种（亚种），其中纯淡水鱼类350种左右，淡水鱼类之多居全国各水系之首。例如，珠江水系纯淡水性鱼类239种，黄河水系仅150种。长江流域有10种河海洄游性鱼类，中华鲟、鲟鱼等7种为溯河洄游性鱼类，鳊鱼与松江鲈则为降河洄游性鱼类。

长江还是我国淡水渔业最重要的产区，渔产量占全国淡水鱼产量的60%。在我国主要的35种淡水养殖对象中，长江自然分布的有26种，其中四大家鱼（草鱼、青鱼、鲢鱼、鳙鱼）等种类的品质被认为是我国所有水系中最优的。过去人工饲养的“家鱼”鱼苗、现在人工繁殖用的“家鱼”亲鱼，都是取自长江。

鱼类资源保护刻不容缓

水库蓄水后，库区江段由原来的流水环境转变为缓流和静水环境，特有

鱼类栖息地丧失，生物多样性指数降低，库区不同地点的长江上游特有鱼类在渔获物中的优势度与蓄水前相比减少41.0%~99.9%。

“四大家鱼”近年的鱼苗产卵量显著减少。在上世纪60年代，长江干流“四大家鱼”鱼苗径流量在1000亿尾左右。干流36个家鱼产卵场中，宜昌产卵场是最大的1个，产卵规模约占全江的5%~7%。现在宜昌产卵场每年的家鱼产卵量为几亿粒。

长江著名的“三鲜”（3种溯河洄游性鱼类，即鲟、刀鲚、暗纹东方鲀）已极度濒危。在长江中栖息的国家重点保护水生野生动物的生存均受到严重威胁。

损害鱼类资源的因素

人类活动是导致长江鱼类资源现状的重要原因：酷渔滥捕、围湖造田、工矿废水、水利水电工程、农业面源污染、采砂等。其中，酷渔滥捕是损害鱼类资源的最直接、最重要因素。

三峡工程实施生态调度恢复鱼类自然繁殖生境

针对当下长江鱼类资源所面临的现状，人们也采取了措施进行补救。四大家鱼的产卵活动不仅需要江水涨落的洪峰过程等自然环境条件的刺激，而且产出的卵需要一定流速的水流才能孵化并发育成幼鱼。所以三峡水库蓄水、水流变缓后，四大家鱼的产卵就受到影响。要想提高四大家鱼的产卵量，需要在它们繁殖期间提供人造洪峰来保持中下游江段持续的涨水过程。

三峡水库通过合理的生态调度，利用5月末腾空防洪库容的时机，控制最大下泄流量，形成人造洪峰，人工创造四大家鱼繁殖所需水文、水力学条件的洪峰过程，为下游四大家鱼的繁殖产卵营造良好环境。

但仅仅是通过有限的措施依然不能有效地补救长江鱼类资源，需要从根本上进行保护。著名鱼类生物学家曹文宣院士呼吁，为了保护长江四大家鱼的种质资源，保证淡水养殖业可持续发展，同时为了保护长江的珍稀水生动物，建议在长江禁渔10年。

中国四大家鱼



赤水河：保护长江珍稀鱼类的国家级试验基地

2016年12月27日，农业部网站发出《关于赤水河流域全面禁渔的通告》，决定从2017年1月1日零时起至2026年12月31日24时止，在四川省合江县赤水河口以上赤水河流域全部天然水域，实施全面禁渔10年。

赤水河发源于云南省镇雄县赤水源镇（原板桥镇），跨川、滇、黔3省13县市而过，至四川省合江县纳入长江，是长江上游右岸大型一级支流之一。目前在赤水河干流尚未兴建水利工程，仍保持天然的河流特征，水质良好，生境多样，鱼类的饵料生物丰富。在赤水河流域分布的160种鱼类中，属于长江上游特有种的鱼类就有46种，自然流态保证了鱼类洄游、摄食和繁殖所需的自然环境。2005年，国务院办公厅批准赤水河干流河段及部分支流河段建立“长江上游珍稀特有种鱼类国家级自然保护区”。

值得注意的是，赤水河分布的鱼类中包括白鲟、达氏鲟和胭脂鱼3种国家重点保护野生动物以及46种长江上游特有鱼类。这些珍稀特有种鱼类在长期的自然选择过程中，形成了与长江上游水域生态环境高度适应的形态特征、行为特征和生活史特征，具有重要的科研价值、生态价值和经济价值。

赤水河鱼类分布状况

源头段：镇雄—坡头镇。分布有鱼类21种，其中特有鱼类10种，包括昆明裂腹鱼、四川裂腹鱼、花鲈鲤、青石爬鮡、西昌华吸鳅和宽唇华缨鱼等。

上游段：坡头镇—茅台镇。分布有鱼类41种，其中特有鱼类10种，如西昌华吸鳅、昆明裂腹鱼和长薄鳅等。

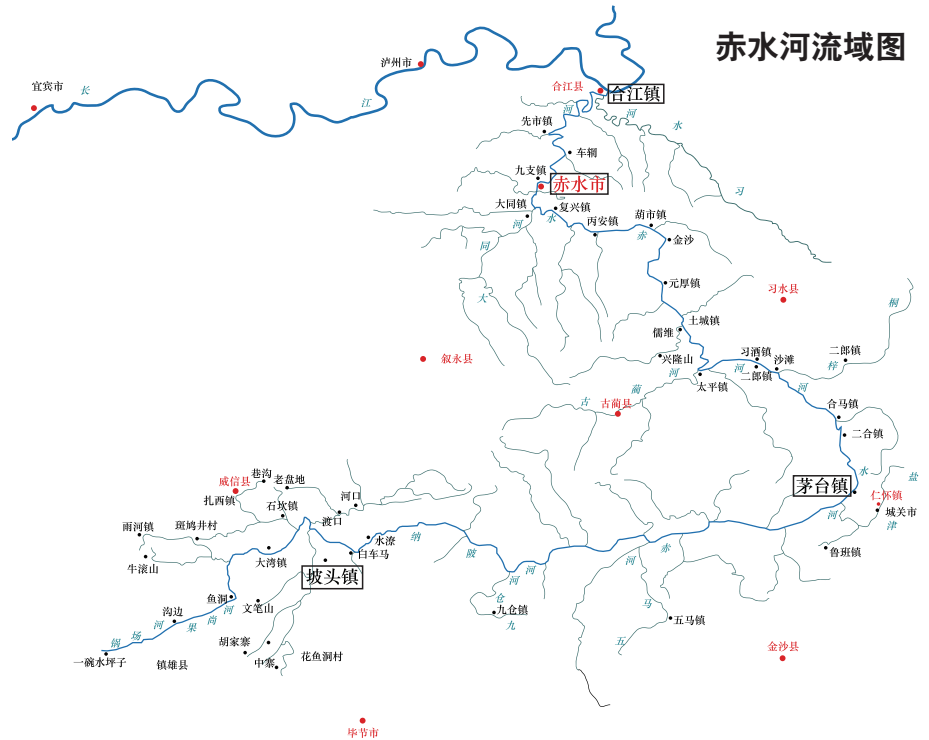
中游段：茅台镇—赤水市。分布有鱼类

91种，其中特有鱼类20种，如岩原鲤、宽口光唇鱼、长薄鳅和四川华吸鳅等。

下游段：赤水市—合江河口。分布有鱼类113种，其中特有鱼类31种，如黑尾近红鮰、高体近红鮰和厚颌鲂等。干流江段生活的圆口铜鱼和圆筒吻鲈也偶见于该

江段。

我们相信，随着禁渔通告的实施，对于赤水河特有鱼类资源的保护将起到积极的作用。同时，作为在长江支流禁渔的试验性尝试，将对后期长江干流的禁渔提供合理的数据和资料。



长江上游珍稀特有种鱼类保护区标志



爱国鱼：中华鲟



摄影/黎明

一定要回到长江生儿育女

中华鲟是和恐龙同时代的物种，根据已经发现的化石标本考证，它在地球上至少已经生活了1.4亿年之久。在研究生物进化、地质、地貌、海侵、海退等方面具有重要的科学价值。

从鱼类学上讲，鲟鱼是一个大家族，世界上有27种鲟鱼，均分布于北半球。鲟鱼家族大部分属于温水性与冷水性之间的亚冷水性鱼类。中国共有8种鲟鱼，分布在新疆、黑龙江、长江流域。新疆流域分布有西伯利亚鲟、小体鲟和裸腹鲟3种；黑龙江流域有史氏鲟、达氏鳇2种；长江里有中华鲟、白鲟和达氏鲟3种。

中华鲟属于底栖性鱼类，生活在沿海大陆架延伸段，随着水温变化在渤海至南海水域觅食迁徙。为了适应水底的生活，它的嘴巴长得很特别，位于头的下端，呈伸缩圆筒状，没有牙齿，以水底的小鱼小虾螺蛳贝类为食。

从外形上看，中华鲟体型硕大，成年鱼身长可达4米，体重最高达600千克。身体呈纺锤流线型，形态威武。外披5行漂亮的骨板，背部1行，体侧和腹部各2行。这5行硬鳞不仅支撑着中华鲟庞大的身躯，同时也可以感知水流的方向。

中华鲟具有独特的生活习性，它们繁衍生息需要往返于长江、大海之间，是典型的咸水、淡水都能生存的洄游性鱼类。每年的夏秋季节，成群结队的中华鲟由生活在长江口外的浅海水域回游到长江，历经三千多千米的溯流搏击，回到自己的故乡四川金沙江一带产卵繁殖。鱼卵孵化后，幼鱼顺流而下，在中国近海生长。它们就这样世代代在长江上游出生，在大海里生长，养成了身居海外不忘故乡的习惯。

中华鲟是在长江里产卵繁殖，然后到大海里生长发育。它们的寿命在40龄以上，雄鱼在9龄以上达到性成熟，雌鱼在12龄以上达到性成熟，

它的一生中超过90%的时间是生活在海洋里，它到长江里来仅仅为了生儿育女。从洄游长江到再回到大海的整个繁殖过程长达近2年时间，在这个过程中，中华鲟完全不进食，全靠消耗自身的营养，一般情况下一条雌性的中华鲟产卵以后体重会消耗1/5~1/3。

它们无论游到哪里，最后都会回到长江，所以叫中华鲟，也有人称其为“爱国鱼”。

500万尾中华鲟放流长江

1981年葛洲坝工程截流，阻断了中华鲟的洄游之路，中华鲟的生存面临较大的危机。为了保护中华鲟，1982年成立了中华鲟研究所，重点工作就是人工增殖放流，以对野生资源进行补充和恢复。

人工增殖放流初期，需要从长江葛洲坝下捕捞野生中华鲟亲鱼，筛选后将合适的亲鱼运回研究所，通过人工催产受精的方式进行繁殖。在1985年以前，受医药工业发展限制，对包括中华鲟在内的很多鱼类均采用脑垂体催产，为了中华鲟催产需要消耗一定数量的野生中华鲟。但这个问题很快得到了解决，1985年中华鲟研究所利用人工合成激素催



产中华鲟成功，从而结束了捕杀野生中华鲟进行催产的历史。

2009年10月4日，研究所取得了中华鲟全人工繁殖的成功。全人工繁殖的中华鲟是以野生中华鲟为“祖辈”，人工繁殖出子一代的个体为“父辈”，使这种“父辈”的雄鱼和雌鱼在人工养殖条件下发育成熟，再通过人工繁殖获得的子代中华鲟，即为子二代。这是人类在保护这一濒危物种过程中取得的重大成果。从1984年至今，中华鲟研究所已向长江放流各种规格的子一代、子二代中华鲟超过500万尾。

2009年10月4日，世界上第一批中华鲟全人工子二代幼鱼孵化。



三十多年来，持续向长江实施中华鲟放流，以补充和恢复自然种群。摄影/黎明

中华鲟是活化石

中华鲟所属的族群，可以追溯到遥远的晚二叠纪—晚侏罗纪之间，是历经重重劫难仍然存留世间的古老物种。中华鲟的历史比现代长江还要悠久，可谓地质年代的活化石。人们常常将中华鲟比作是水中大熊猫，以突出其珍稀地位。但就在刚刚过去的2016年，大熊猫刚刚被世界自然保护联盟（IUCN）摘掉了濒危的帽子，被重新确定为易

危动物，而中华鲟却早在2010年就被升级为极危动物，比大熊猫的处境危险两个等级。

2010年的这次升级，是自1989年被《中华人民共和国野生动物保护法》作为国家一级保护动物、1997年列为濒危野生动植物国际贸易公约附录Ⅱ保护物种之后，中华鲟第三次被人类重新审视和评定。



在长江口误捕到的中华鲟 摄影/庄平



中华鲟仍在产卵

2014年底，中国水产科学研究院长江水产研究所等3家国内权威科研机构的联合监测结果显示，整个产卵季未发现野生中华鲟自然繁殖。这也是第二年未发现野生中华鲟自然产卵的迹象。有关专家认为，这意味着未来最小的中华鲟可能就是2012年出生的。按照最保守估计，这批2012年的中华鲟最大能活40岁，也就是说再过37年，整个物种就将在自然界消失。中华鲟正在遭遇生存危机。

幸运的是，2015年4月16日，在长江口青草沙附近水域，中国水产科学研究院东海水产研究所的科研监测团队发现了一尾中华鲟，全长8.1厘米，体长7厘米，体重2.19克，经形态和分子鉴定，确定为野生中华鲟幼鱼，这证明了之前一年（2014年）中华鲟曾经产卵；2016年11月24日，葛洲坝产卵场又重新监测到中华鲟自然产卵。

历史上，中华鲟的产卵场位于长江上游干流和金沙江的下段；80年代，受葛洲坝阻隔的影响，不能回溯到上游的中华鲟，在紧接葛洲坝下的宜昌长航船厂至万寿桥附近约7千米江段上，形成了一块面积大约330公顷的新产卵场。但这个产卵场与航道比邻，加之下端是化工园区的排污处理区，对中华鲟来说，并非理想产房。2013~2015年，这个产卵场没有监测到中华鲟产卵，甚至2015年秋季科研人员还曾在这个产卵场救护过被机船螺旋桨打伤的中华鲟。

2015年4月16日，在长江口青草沙附近水域，科学家发现了一尾野生中华鲟幼鱼，证明了上一年中华鲟曾经产卵。 摄影/庄平



1982~2012年，中华鲟在葛洲坝下产卵场每年产卵1~2次；2002~2010年每年仅产卵1次；2011、2012各产卵2次；2013~2015年没监测到产卵。2016年重新监测到产卵。

新科技用于子二代中华鲟的放流跟踪

受中华鲟洄游距离长、生活史复杂以及技术水平的限制，最初增殖放流的效果确实很难评估。2013~2016年间，声呐、荧光、体外标记及卫星追踪技术综合运用于中华鲟放流监测，放流前，每条中华鲟都会获得唯一的编码，后期会通过沿途布设的17个断面进行入海洄游运动规律的监测。据估算，近年来放流的大规格中华鲟到达河口江段的比例为40%~50%。沿途的主要影响包括误捕及航运，在到达河口崇明岛附近水域时，会面临高强度近岸插网及刀鱼捕捞作业影响，误捕量每年可达几千尾。如果全江及近海生态环境能进一步改善，能让更多的中华鲟回到产卵场，中华鲟野生种群仍有逐渐恢复的可能。



声呐跟踪技术被运用于中华鲟放流跟踪。图为编号2192的中华鲟轨迹。



浮出水面的中华鲟 摄影/黎明

三峡特有珍稀植物

早在三峡工程的论证阶段，植物学家就提出，三峡水库蓄水之后，疏花水柏枝、荷叶铁线蕨等珍稀植物会受到淹没的直接影响。有人预言，这两种植物都生长在175米淹没线以下，前途堪忧。那么，三峡蓄水这些年，关于植物保护这一课，交出了怎样的一张答卷呢？

疏花水柏枝可担重任？

疏花水柏枝 (*Myricaria laxiflora*)，柽柳科，水柏枝属，直立灌木，叶呈披针形或长圆形，密生于当年生绿色小枝上，像柏树嫩叶而得名；花粉红色或淡紫色；子房呈圆锥形，蒴果呈狭圆锥形。1984年，中国科学院武汉植物研究所三峡地区发现其模式物种并为其定名。该物种仅分布于长江流域四川省、重庆市和湖北省，被确定为极度濒危灭绝物种，在三峡大坝蓄水之后，曾被认定为已灭绝物种之一。

疏花水柏枝通常长在河岸和路边，不太高，一蓬蓬的绿叶间，点缀着不起眼的小白花。2008年，在三峡大坝下游约100千米处的湖北省枝江市董市镇沙滩上发现了疏花水柏枝的野生居群。这片野生居群的发现，扭转了三峡工程蓄水会导致该物

种灭绝的学术观点。不久，在湖北省宜昌市长江段胭脂坝上，也有大批野生疏花水柏枝被发现。2014年，四川多地发现疏花水柏枝，这是该物种首次在四川被发现。

科学家发现，疏花水柏枝有着特殊的“反季节”生长周期，每年春夏时期，江水上涨，疏花水柏枝的枝干全部腐烂，但它的根系在水底数米仍能“呼吸”；到了秋冬季节，当河滩露出水面，它就开始从沉积物中汲取养分，迅速地生长繁殖。同时，由于其具有在汛期水下生存达半年之久的神奇功能，科学家已经考虑在三峡水库的消落带上移栽这种植物。

目前，随着环境的不断变化，疏花水柏枝的野生资源分布也逐渐萎缩，那我们是不是就听之任之了呢？并没有。在中国长江三峡集团公司三峡苗圃研究中心，仍有大量实验室培育的疏花水柏枝。科学家像园丁一样浇灌着它们，呵护着它们的幼苗。时值冬日，疏花水柏枝幼苗被覆盖上一层既保温又透气的塑料膜。成年时，让它们回归到原始生活的地方。

荷叶铁线蕨的新家园

荷叶铁线蕨 (*Adiantum reniforme*)，中国特有种，铁线蕨科，铁线蕨属。多年



疏花水柏枝

生草本植物，兼有药用价值，其根状茎短而直立，叶簇呈圆形或圆肾形。上面深绿色，光滑并有同环纹；下面疏被棕色的长柔毛，叶缘具圆钝齿，长孢子叶的叶片边缘反卷成假囊群盖。荷叶铁线蕨主要分布在重庆的万州、涪陵、石柱县等地。1984年，《中国植物红皮书》将其列为二级稀有濒危植物；1996年《中华人民共和国野生植物保护条例》中，将其列为国家一级保护野生植物。

荷叶铁线蕨是一种古老植物，也是三峡地区的特有植物。它靠孢子繁殖，在早春发叶，7月后形成孢子囊群，8~9月孢子陆续成熟。在植物群落中，处于伴生



精心养护疏花水柏枝扦插苗



统计疏花水柏枝扦插苗的成活情况



三峡特有植物荷叶铁线蕨

生长中的荷叶铁线蕨

地位，常躲在其他植物之下，一定要等到这些植物都不再生长了，它才慢慢生长。它对生境如此挑剔，以至于野生种群仅仅断续分布在万州新乡、小沱山、杉树坪及石柱县西沱，海拔150~320米的地带。

在1991年发布的《长江三峡水利枢纽环境影响报告书》中，科学家认为蓄水将淹没其主产地，可能保留小片散生地，但若保护不力，其自然分布的产地可能会消失。对于这个物种，科学家采取了迁地保护的策略。在三峡苗圃研究中心，亦可觅到荷叶铁线蕨的踪迹。实验室里，科学家用“组织培养”方式繁育它们的下一代，种质资源圃中，随处可见不同生长阶段的荷叶铁线蕨的蓬勃身影。

从某种意义上说，三峡苗圃研究中心是三峡特有珍稀植物的庇护所、孵化站和幼儿园。除了公众关心和关注最多的疏花水柏枝和荷叶铁线蕨以外，这个科研机构还抢救保护了87科356种植物，每年都有大量的珍稀植物如珙桐、红豆杉、红花玉兰、巴东木莲等从这里运往三峡和金沙江的野外。它们始于根芽，长于树木，最终回归自然的怀抱，点缀于长江两岸。

三峡苗圃研究中心

为什么要成立三峡苗圃中心？

三峡库区植物种类丰富，三峡水库蓄水之后，在库区淹没线下和移民迁建区内，直接或间接接受淹没影响的陆生植物物种近500种，主要为禾本科、菊科、大戟科、蔷薇科和无患子科。三峡苗圃中心针对珍稀濒危植物，采取迁地保护、就地保护及种质资源保存等方法。为对三峡库区和流域特有珍稀植物进行抢救保护与研究，切实履行三峡工程生态环境保护的社会责任，中国长江三峡集团公司专门成立三峡苗圃研究中心。

三峡苗圃中心在做什么？

三峡苗圃研究中心位于湖北宜昌三峡坝区红线内，上与宜昌市秭归县城毗邻，下与三峡大坝茅坪副坝相接壤，茅坪溪水贯穿其中。研究中心占地面积约30万平方米，截至2016年底，共计栽种87科356种33286株植物，其中陆生植物304种、水



国家一级保护植物红豆杉

生植物52种；引种苗木17000株，繁育苗木已上盆栽种16286株；代表植物有国家一级保护植物珙桐、红豆杉、荷叶铁线蕨、伯乐树，国家二级保护植物香果树、杜仲、润楠、连香树、水青树、红椿，三峡特有濒危植物疏花水柏枝、红花玉兰等。

探索植物培育体系，还三峡植物多样性

绝大部分珍稀濒危植物分布于海拔300米以上，所受三峡蓄水影响较小，广受关注的3个珍稀濒危物种疏花水柏枝、荷叶铁线蕨与川明参均得到妥善安置。疏花水柏枝主要分布在155米以下，水库蓄水淹没其野外生境，但引种栽培、迁地保护等措施以及人工繁育技术使其得到有效保护。荷叶铁线蕨主要分布在200米以上，水库淹没的仅为一小部分，且已成功实现人工繁育；川明参在库区80~380米之间分布，且在四川、湖北等地也有分布，水库蓄水使其数量减少，但不会造成物种灭绝。



国家一级保护植物珙桐

长江上中游骨干水库联合调度

出于开发水资源、水能资源，保障流域防洪安全和发展航运等方面的需要，1998~2016年，长江上游干支流已建成和基本建成较大作用的水库52座，控制性水库远景总调节库容近1000亿立方米。长江中下游的水资源、水生态和江湖关系与上游的水土保持和水库群调度息息相关。建设以三峡水库为核心的长江上中游水库群联合调度体系，保障长江生态环境系统稳定的水文、水质边界条件，可促进梯级水库群更好地为长江经济带绿色生态廊道建设和长江大保护服务。

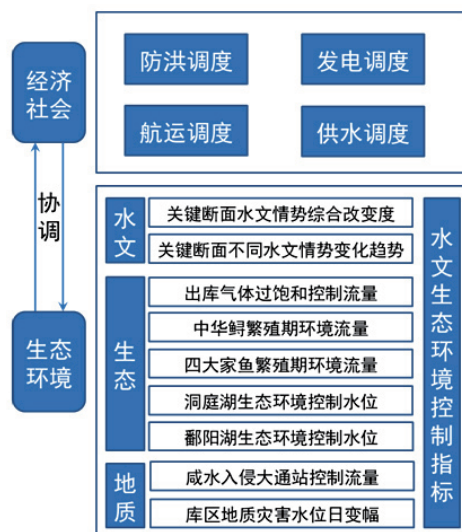
近年来，由于上游水库群汛末集中蓄水，叠加降水偏枯、三峡清水下泄引起的河道冲刷、沿岸经济和社会取水强度增大等多方面因素的影响，洞庭湖城陵矶、鄱阳湖湖口汛后水位有所下降，两湖提前进入河相，枯水期增长，给两湖地区社会经济、生态带来一定的影响。建设面向生态的长江上中游梯级水库联合调度体系，协调经济及社会与生态环境、蓄水与防洪的矛盾，是长江经济带绿色生态廊道建设的重中之重。

梯级水库蓄水和流域防洪安全是一对矛盾。若蓄水开始时间过晚，则汛后来水

量有限，不足以“喂饱”众多水库的兴利库容。蓄水不能达到正常蓄水位，则水库不能完成设计的功能任务，必须抓住汛期的“尾巴”，将汛期末端的雨洪资源充分利用起来。但反之若蓄水开始时间过早，则汛末依然有发生暴雨洪水的可能性，给流域防洪带来一定的风险。蓄水和防洪的协调，需要在联合调度、风险可控的前提下，充分利用汛末来水量较大的8~9月份提前蓄水，减轻10~11月份蓄水压力。

根据水库群联合调度蓄水的多年实践，金沙江下游的向家坝、溪洛渡水库已经提前到9月上旬开始蓄水，金沙江中游梯级水库和二滩、锦屏一级、构皮滩等水库已经提前到8月上旬蓄水，三峡水库已经从原设计的10月上旬开始蓄水提前到了9月中旬。蓄水时间调整后，三峡水库连续7年蓄水至175米，长江上游水库群蓄水情况整体良好。同时汛末下泄流量有了一定程度的提高，有效缓解了中下游因江湖关系变化产生的枯水期提前问题。

防洪安全是梯级水库群调度的硬性约束条件，提前蓄水要以保障流域防洪安全为前提。长江上中游已建立系统、立体

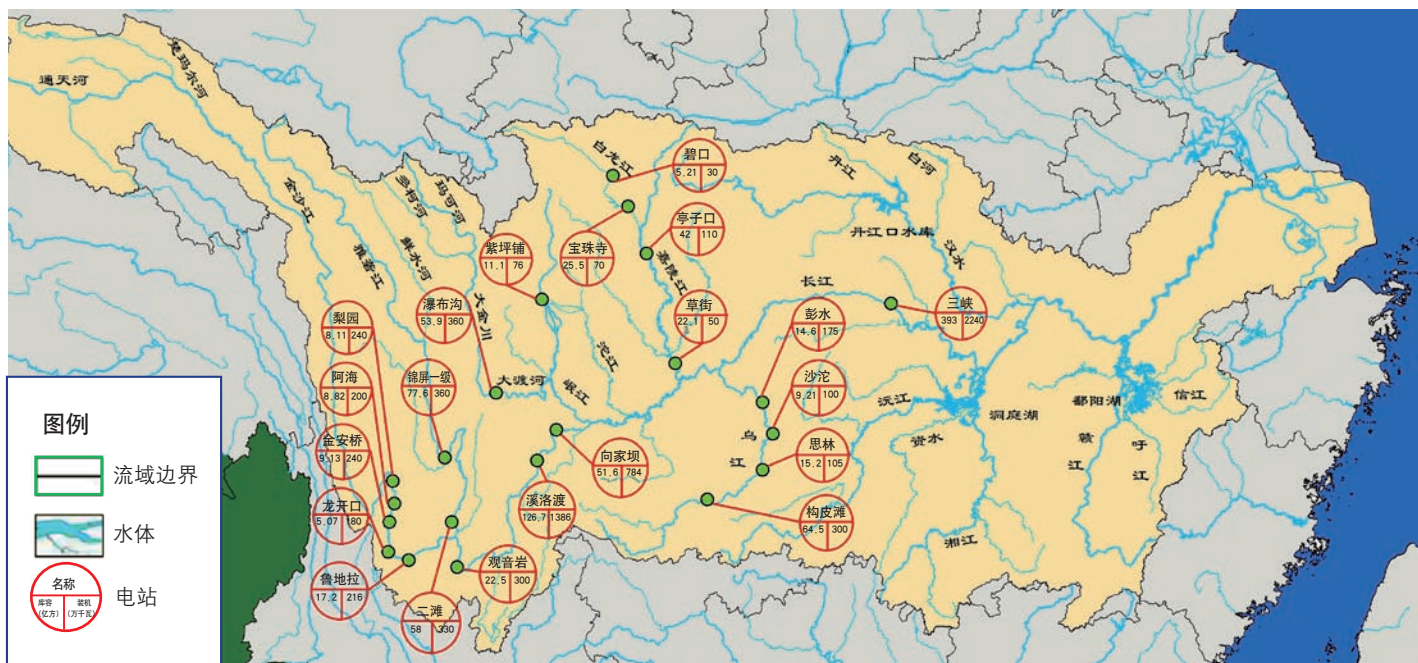


水库调度需要综合考虑各方面的因素

的地面、空间观测系统，通过气象预报、雨情预报、洪水预报等手段，有效预测蓄水期间来水情况。水库蓄水过程中若有大暴雨洪水来临，立即启动应急机制，各水库依次泄水，腾空防洪库容，保障流域防洪安全。

除蓄水时间要尽量提前，梯级各水库蓄水的时序也非常重要。长江流域除防洪法赋予防汛指挥机构汛期统一调度的职责外，其他时段没有明确统一的调度指挥决策机构。

长江上中游已有21座骨干水库纳入梯级水库群调度



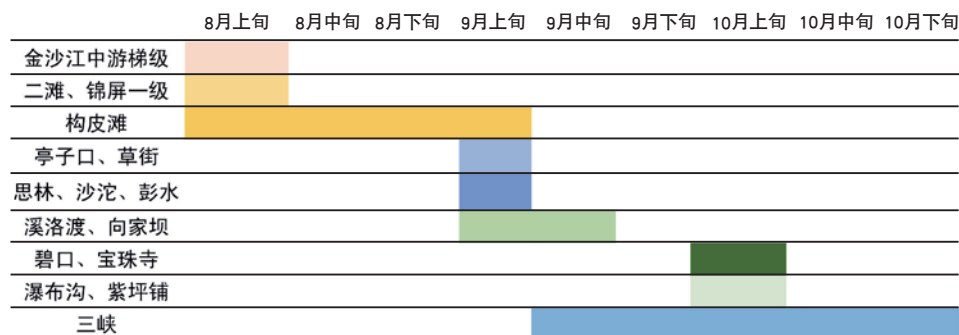
每年汛末各水库按自身的调度方式运行，如果在蓄水时序上不进行统筹协调安排，集中蓄水将急剧减少长江干支流下泄流量，影响下游航运、供水和生态安全。这一问题已经得到正确的认识和解决，2012年开始，长江上游10座水库开始实施联合调度。经过多年的实践，纳入联合调度的水库数量已增加到21座，长江上中游水库已摸索出一套高效的蓄水时序表，实现了蓄水目标和下泄流量的“双赢”。

近年来，通过实施水库群联合调度，长江流域水资源得到进一步高效利用，防洪、发电、航运、供水、生态、社会等效益显著。

防洪效益 2010年、2012年汛期，三峡水库均遭遇入库洪峰流量超70000立方米/秒的洪水，通过水库群联合调度，有效降低了长江中下游荆江河段洪峰水位，大大减轻了中下游防洪压力。2014年7月中旬，乌江流域发生较大洪水，通过水库群联合调度，充分发挥乌江干流梯级水库拦洪、错峰、削峰作用，有效缓解了乌江沿线思南、沿河、彭水、武隆等县城防汛压力，取得了显著的防洪减灾效益。2016年7月，长江中下游地区发生了区域性大洪水，通过联合调度长江上中游控制性水库群，共拦蓄洪水227亿立方米，有效减轻了长江中游城陵矶河段和洞庭湖区防汛压力，避免了荆江河段超警和城陵矶地区分洪，确保了人民群众生命安全，确保了长江干堤和重要基础设施安全。

发电效益 据初步统计分析，2009~2015年，增加水库群总体发电量540亿千瓦时，增

长江上中游梯级水库蓄水时序



金沙江中游梯级，雅砻江二滩、锦屏一级等水库于8月初起蓄，8月上旬可蓄至正常蓄水位；构皮滩水库于8月初起蓄，8月底控制蓄水位628.12米，9月上旬可继续上蓄至正常蓄水位；亭子口、草街、思林、沙沱、彭水9月初起蓄，9月上旬可蓄至正常蓄水位；溪洛渡、向家坝梯级于9月上旬起蓄，9月中旬可蓄至正常蓄水位；碧口、宝珠寺、瀑布沟、紫坪铺水库于10月初起蓄，10月上旬可蓄至正常蓄水位；三峡水库于9月10日开始蓄水，起蓄水位一般不超过150米，一般情况下9月底控制蓄水位162米，经国家防汛抗旱总指挥部同意后，9月底视来水情况可调整至165米，10月底可蓄至175米。

加发电利润130余亿元，相当于节约标准煤1935万吨，减少温室气体排放5100万吨。

航运效益 2009年以来，多次利用有利时机减小三峡水库下泄流量，实施航运调度，及时疏散滞留在三峡枢纽与葛洲坝枢纽之间的江段的2628艘船只，保障了交通安全。

供水效益 2009~2015年，长江上游水库群累计为中下游补水超过2000亿立方米，有效缓解了中下游降水偏枯带来的缺水问题。

生态效益 从2011年开始组织开展了生态调度试验和库尾泥沙减淤调度试验，已积累了一定的监测资料，在水库运行对青、草、鲢、鳙四大家鱼自然繁殖的影响

机制、规律等方面取得了初步的成果。

社会效益 2014年2月，在长江口咸潮入侵、上海市供水告急情况下，紧急调度三峡水库加大下泄流量，取得较好的社会效益。2015年6月2日，长江防汛抗旱总指挥部应急调度三峡水库，积极应对“东方之星”客轮翻沉事件，有效将下泄流量从原来的17200立方米/秒减少至7000立方米/秒，为沉船救援创造有利条件。

面向生态的长江上中游梯级水库联合调度，是在充分考虑人类活动自律性和生态自适应性基础上，在最大限度满足敏感期的生态需求的同时，支撑城镇化和工业化的发展需求，在人类社会发展和生态进化的竞争中实现多赢，实现新的平衡。^[N]

责任编辑/唐云江 版式设计/戚长红、李晴

三峡水库汛末提前蓄水相关水位、流量比较

年份	8月末水位 (米)	开始蓄水		9月末水位 (米)	蓄水结束		9月下泄流量 (立方米/秒)	10月下泄流量 (立方米/秒)
		时间	水位 (米)		时间	水位 (米)		
2008	145.9	9月28日	145.27	150.23	11月4日	172.8	25800	11600
2009	146.5	9月15日	145.87	157.5	11月24日	171.4	16800	8500
2010	158.6	9月10日	160.2	162.84	10月26日	175	21600	9950
2011	150	9月10日	152.24	166.16	10月30日	175	12600	8200
2012	150.1	9月10日	158.92	169.4	10月30日	175	20500	14400
2013	150	9月10日	156.69	167.02	11月11日	175	14300	8000
2014	158.08	9月15日	164.63	168.58	10月31日	175	29400	13900
2015	152.83	9月10日	156.01	166.41	10月28日	175	19800	13000
2016	147.35	9月10日	145.96	161.97	11月1日	175	10300	9350

2008年，三峡水库9月28日开始蓄水，11月4日蓄水结束，汛末下泄流量11600立方米/秒；2015年，三峡水库充分利用汛末来水，提前18天，9月10日开始蓄水，10月28日即蓄水至175米，蓄水结束，汛末下泄流量13000立方米/秒，较2008年显著提高，有效缓解了中下游江湖关系恶化问题。