

# 漫谈水利水电建设观念的更新

○ 潘家铮



## 潘家铮

著名水利水电专家，中国水电水利科学技术发展的重要奠基人之一，中国科学院和中国工程院两院院士，土木工程学家。1950年毕业于浙江大学土木工程系，1980年当选为中国科学院院士，1994年选聘为中国工程院院士。同时积极从事文学和科幻创作，是中国唯一一位院士科幻作家。现任国家电网公司高级顾问、国务院三峡工程质量检查专家组组长、国务院南水北调办公室专家委员会主任、清华大学双聘教授，博士生导师。

现在全国都在学习和实践科学发展观，水利行业也不例外。但是水利是一门有几千年历史的老学科，发展到今天已经建立了几百上千种规程、规范、标准、指南，不能像新兴前沿学科那样日新月异。另外，搞改革创新，不免要做试验，但水利工程特别是高坝大库又是不允许搞试验的，所以要在水利建设上创新似乎十分困难。其实天下万事万物，都在不断变化和发展，不但科学技术在飞速发展，社会和人的思想也在不断变化。

学习科学发展观，首先要求我们研究自己的工作是否符合不断变化的形势，以便找出差距，探索更有利有效的发展模式和具体措施。要做到这点，解放思想是前提。我们如能全面研读改革开放以来水利界许多同志和领导提的建议和创造的新概念、新理论，就可以知道水利和其它领域一样，都在不断进步变化。钱正英同志把水利分为古代水利、近代水利、现代水利几个阶段，正说明水利与时俱进的本质。在现代水利以后一定还会发展，只是现在还没有看到而已。

从宏观上讲，以往的单纯“工程水利”之路走不通了，要转向“生态水利”“环境水利”“绿色水利”“人文水利”……水利学科必须和许多外学科融合、杂交。从具体上看，不断有新结构、新技术、新工艺出现，都是明证。关键在于我们对问题能否不宥于成见而换个角度思考？能不能不从表面看问题而想得深入一些？能不能不人云亦云而有些个人见解？

关于不要宥于成见，我随便举些小例子：

防渗是坝工设计中的重要任务，尤其以两岸坝肩、地基覆盖层和破碎基岩以及土石坝坝体的防渗为重点。但是我们的目标是什么？是做到“滴水不漏”吗？能做到“滴水不漏”吗？更重要的是“滴水不漏”是好事还是坏事？

大家都洗过衣服，开始洗时大部分脏东西都很容易洗下，可是要把残留的部分洗掉就很费力了，如果要把最后那一点点痕迹也洗干净，也许衣服都被洗破了。滴水不漏即使能做到，也要花极大的投入，还会导致坝体和地基内长期承受极高的扬压力与渗透比降的作用，成为隐患。有时，完全截断水的下渗还会产生一些意料之外的不利后果。所以对坝内和地基内的排水孔，我们既不希望它们大量涌水渗水，也并不希望它滴水不漏。尤其对于地基，如果渗漏总量不影响工程的功能和效益，渗漏过程不会引起不利后果或在可控范围内，适量的渗流不仅是允许的，也是有利的。

再如，许多工程边坡上都布设了预应力锚索以保证边坡安全。如果经过一段时间，发现预应力松弛了，有些同志就十分担心。这个情况也得具体分析。如果是锚索在长期张力作用下，因为材料徐变或锈蚀等原因使预拉应力减少，当然不好；如果是由于岩体在预应力的长期作用下压缩调整，走向更紧密稳定状态，从而使锚索应力减少，这不正是我们希望发生的情况吗？

下面讲几个问题，供大家参考和批评。



图片来源：CFP

建设新安江水力发电站而拦坝蓄水形成的人工湖——千岛湖

## 关于水利规划

国家发展需要有科学规划。水利是个大学科，其下有很多专业，各专业有专业规划、流域有流域规划，专业规划要服从流域规划，这是《水法》上规定的。但水利也是一个专业，水利规划能独立进行么？它又应该服从什么呢？

搞水利建设，目的是兴利除弊。不幸的是，兴利的同时往往会产生新的弊。有的是直接的，例如建水库带来的淹没损失、移民搬迁和对生态环境的负面影响等；有的是间接的，例如兴建水利工程所造成的水资源浪费、耗竭和污染的大量增加。所以规划中理应利弊并重，防弊为先，最好做到“化弊为利”。以环境影响和移民为例，早年在规划中常是回避或轻轻带过，现在是尽量减免和努力补偿，总之是打被动仗。能不能变被动为主动，在规划中把改造库区和富裕移民、保护生态和优化环境包括在建设任务中，甚至列为首要目的呢？换句话讲，建水库就是为了振兴库区经济、改变库区面貌、富裕库区人民，保护生态，优化环境，实现水资源的合理利用，把轻重点颠倒过来。

要做到这点必须把水利规划纳入到更高层次的规划里去，作为其组成部分。那就是由国家主持，把某一地区某一流域的各种规划综合平衡，优化决策，制定总体发展规划。这个规划将根据科学发展观全面解决土地、矿产、水资源的综合

开发和调配布局，地区的经济发展和转轨，生态环境的保护和优化，人民的致富和人才培养，而不应是各部门各地方规划的简单相加。那种条块分割，各谋其利的“规划”，总不免目光短浅，矛盾重重，是做不到科学发展的。

## 用建库来改变库区和移民的面貌

承接上面的话题，再谈谈淹没和移民问题。建水库要淹没土地，迁移原住民，造成移民的悲痛和严重的社会问题，这是建库的最大难题，也是一些人反对建库的最主要理由。

过去我国对移民的安排总是“一次性补偿”，以“后靠”、“务农”为主，强调粮食自给，交给地方政府包干。今后这种做法对少量移民也许还行得通，对涉及数万乃至十余万的移民就不能这么办了，必须靠改变局面、长远安排来解决。

长期以来，水利水电开发总是利在下游和受益区，弊在上游特别是库区，这一情况应该扭转。应该详细调研库区各项资源和条件，研究可以开发什么新的经济增长点？如何科学地转轨？可以搞哪些大农业和创办什么新企业（农业林业、渔业矿业、土产特产、加工升级、旅游休闲等，为此，要创造什么条件（交通、电力、引资、投资、宣传、教育、对口支援等），准备多少投入？创办的企业可以建在库内（必须是现



锦屏水电站

代化的清洁产业），也可建在库外（专为库区就业的飞地）。将农民分为三大类，一类继续搞大农业，人数不多。库区的“环境容量”应以“致富”为准，出路只能是减少农业人口。第二类以年轻一代为主，专门培养，使其脱离农业，创业致富。在工程建设期就应充分吸纳他们进行培训、参建和转业。第三类是鳏寡孤独、老弱病残和失去土地一时未能安排的人，率先实施生老病死的可靠社会保障。这些措施加上淹没耕地的作价入股，就真正能做到库区经济发展，移民稳定受益。

我的设想是，建库后，原来的城镇乡村将变成北欧那样文明清洁的中小城镇和新型村庄，部分移民继续搞大农业；年轻一代经专门培养多数进入第二、三产业，创业致富；老弱病残得到可靠社会保障；库区成为山青水秀的旅游圣地，提前进入文明社会。只要认真去做，移民问题不仅能做好，而且可为中国社会面貌的改变和进步做出贡献。

这样做需要更多的投入，资金可从三方面来：一是开发部门原来安排的移民淹没补偿费用。二是按市场规则，实施电力竞价上网，水电还应享受可再生能源的政策优惠，把对库区和移民的长期支持列入发电成本，提取一定的发电收益，用到上游和库区；上游水库对下游梯级产生的效益，也应合理反馈回来。三是国家和地方政府的投入。后两部分投入是长期扶植的资金来源。

这一工作绝非水利水电部门或开发商能胜任，必须由国家和政府主持、组织和监督才能完成。就我国来说，大水电开发应该列为国策，和我国能源布局、地区经济发展改造、库区脱贫致富、农民向城市转移、生态环境保护改进等一系列重大进展结合起来，是国家意志和行为！

### 用建库来改善生态环境

水利水电开发将对生态环境产生复杂的影响，客观的评价应是：对绝大多数工程来讲，有利有弊，利大于弊，弊可以采取的措施予以减免，不应成为制约开发的因素。

关于水利水电开发的负面影响，针对我国国情，最主要的还是水质污染和对水生生物（以鱼类为主）的影响。特别是水质污染问题。

有人说，水库是一潭死水，污染物只进不出，最终必然变成一库臭水。这话值得商榷。首先，任何水库不能只蓄不泄，不可能变成一潭死水。当然建库后水深加大、流速降低，自净能力减弱，但这并不是水库的罪过。长期以来，人们都把河流作为天然排污下水道，不论什么垃圾、污水、毒品都向河流一送了之，这是错误、落后和不负责任的恶习。工农业和城镇大发展后，不论建不建水库，这样做的后果都一样严重。江南平原、淮河中下游、太湖流域、海河辽河平原等地并没有大水库，河水还是成为“巧克力糖浆”。相反，拥有两百多亿库容的新安江水库，由于严格控制污染，建库50年仍是一库清水，下游杭嘉湖平原一再要求从水库引水解决困难，这不是活生生的例子吗？

水库建成后自净能力减弱是事实，但即使不建库，千千万万吨污水毒物同样进入河道排向下游。所谓自净，无非是把祸害稀释一下尽快送向下游去“以邻为壑”罢了。解决水质污染问题不是禁建水库而是整治污染源，水库的兴建正可以起正本清源的作用。例如三峡水库的兴建和其创造的巨大经济效益，就使国家能投入大量的资金治理库区污染问题。

再讨论一下鱼的问题。建水库对以鱼为主的水生生物有很大影响。但如果把近几十年来江河水产品品种的减少和质量的下降，以及珍稀物种的灭绝全归咎于水利水电开发是与事实不符的。造成这种后果的主要原因是毁灭性的滥捕滥杀，江河水质的严重污染和其它影响鱼类生存的人类



活动。与其盲目归咎于水库建设，不如加强科学研究，采取保护和增殖鱼类的人工工程措施。例如严禁过度捕捞、制订科学的禁渔期制度，优化水库调度，使之有利于鱼类繁殖生存，防止和避免船舶航行对鱼类的杀伤，利用水库和陆地鱼塘大力发展人工养殖业。对一般鱼种，完全可通过其它方式补偿增产。对于珍稀品种，设立保护区和人工繁殖放流，积极研发基因工程，防止某些品种的灭绝，修建闸坝时视需要建设过鱼设施等，这才是正道。

### 防洪和水库调度的新思路、新措施

防洪是水利建设中的重大任务。半个世纪以来，确实取得了巨大成就。但是，在这个过程中也走过弯路，主要就是单纯视洪水为敌，“拒敌于国门之外”。

许多专家在对传统的防洪观念和做法经过反思后提出了新的见解。例如，首先要重新认识人与洪水的关系，理解洪水自古以来就有，它与人类的发展相始终。千百年来人与洪水的关系基本上是人不断与洪水争地，寸土不让。导致堤防越修越高，河道越来越窄，同样流量下水位愈抬愈高、防洪风险也越来越大、洪灾损失越来越重。因此要科学地与洪水相处，给洪水以出路。其次认识到防洪要靠综合措施，包括工程措施如筑堤、建库、设置分洪区等，也包括非工程措施如预测预报、信息传递、洪水保险等。越大洪水，发生的概率越小，要防御它的代价和风险越大，出事后的损失也越重，是硬拼好还是妥协好？不如对不同对象分别科学地制定标准，设置分洪区，举办洪水保险，化集中投入和集中损失为分散投入和分散付出。第三，认识到洪水不仅是害，也是资源，尤其对中国干旱缺水地区是宝贵的天赐资源，因此必须把防洪和“用洪”结合起来。像这类新的思路和待探索的问题是很多的。

建水库拦洪是防洪重要手段，水库调洪也已有成熟做法。这里存在一个问题：我们不能预知来的是什么样的洪水，因此只能模拟历史上发生过的各种洪水过程演算，来做调洪规划设计，是个“外包线”概念。防洪安全是第一位的，在汛期死板执行规定，牺牲其它综合效益，也未必能确保安全。改进之道，就是实施“动态调洪”和“智能调洪”。现在已有许多专家提出种种优化

调度方法，例如采用“灵活汛限水位”，预报预泄措施等，以求在保证防洪安全的前提下，最大限度地增加水库综合效益包括生态环境效益。今后大水库的“动态调洪”确实是个发展方向。

其次，要实施智能化自动调洪。我觉得现在的调洪方式和手段太落后了，出现重大险情时要国家领导去现场拍板决策。今后科技迅猛发展，预测预报精度和信息传递速度不断提高，大水库不断增加，需要大范围联合优化调度，应该建立几个现代化集中调度中心，根据各河流上下游雨情、水情、水位的预测和实测资料，由电脑自动确定各水库的蓄泄要求，直接操作各种设备泄洪蓄洪，并不断根据新的信息实时调整，操作人员只起监视和出现意外时的干预作用，就像航天飞机的发射、着陆一样。

### 关于水库泥沙淤积

水库泥沙淤积是建设水库的又一拦路虎，中国许多河流含沙量很高，特别是黄河三门峡的教训，使人们谈沙色变，甚至萌生一种无能为力的思想。所以在三峡工程论证中，不少人反复强调重庆将变成一座死港死城，要“为重庆送葬”，“准备后事”。

我感到这种消极想法是错误和有害的，应该从几十年的实践中重新认识。一是只要措施正确、持之以恒，水土保持和水利建设能有效减少泥沙入河。三峡工程在论证中多年平均输沙量是5.3亿吨，实际上蓄水以来仅1.9亿吨，而且许多减沙因素还会长期持续下去。第二，建坝后，河道中原来泥沙冲淤平衡状态被打破，水库确实要不断淤积，但经过一段时间运行后，达到新的平衡状态，就不会再出现累积性淤积了。此时的淤积形态和保留的有效库容取决于水沙特性、水库形态和水库运行方式与条件。科学的规划设计可使水库长期利用。第三，淤在库中的泥沙也不是铁铸铜浇，随着科技的迅猛发展，我们将有力量进行大规模疏浚。我认为连黄河的泥沙也有条件吸挖出来利用。如果水库上游一些港口、航道受影响，既可疏浚，也可改建迁建（上海还在外海建新港呢，重庆怎么会变成死港死城）。

黄河治理已取得很大成绩，但没有完全解决问题。今后应该采取些大动作，解决长治久安问题，基本目标就是做到黄河下游河道中泥沙进出平衡，不再累积性淤高。我设想今后黄河会大量



冲沙，并有几条专门设计建造的巨龙似的挖沙船，巡回疏浚，塑造稳定深水河槽，大洪水来了上滩不成灾。滩地只由少数人科学文明地生产利用，实施防洪保险，大洪水来时就放弃，绝大多数农民都应转业，这才符合科学发展观。

### 解决西南地震灾害的出路是建设高坝大库

中国的主要水电资源集中在地震烈度较高的西南高山深谷地区，许多人担心水坝在强震下溃决，造成严重次生灾害，尤其在汶川大地震后，有人联名上书中央，要求在查清安全问题之前，暂缓开发西南水电，这是一种误解。

汶川大地震是千百年不遇的特大自然灾害，人民伤亡巨大，而灾区内大小水坝无一溃决，尤其是位在极震区的两座高坝大库——紫坪铺面板坝和沙牌碾压混凝土拱坝巍然无恙，各水电站很快恢复供电，为抗震救灾做出不可磨灭的贡献。事实证明了水坝抗震能力之强和水利水电工程设计、施工、管理体系的成熟和完善。

真正对下游造成重大威胁的是天然滑坡造成的坝及形成的水库，即堰塞湖，最大的就是唐家人堰塞湖。为此，政府集中人力物力进行抢险，动迁下游数十万人民避让，最后解除了险情，但也付出巨大代价。在大西南深山峡谷区，如果发生特大地震，不知会造成多少个更大的堰塞湖，后果是可怕的。

出路只有一条，那就是抓紧搞流域开发，建成一批震不垮、能调节水资源和洪水的高坝大库，例如目前雅砻江上正在修建的三百多米高的锦屏大坝。这些工程建成后，可以根据情况泄流腾库，拦蓄堰塞湖的溃决洪水。大坝形成的宽深水道，是一条震不垮的生命运输线，水电站的强大电能也是抗震救灾的动力保证。更重要的是：



唐家人堰塞湖

通过流域水电开发，打通交通道路，开通信息渠道，发展库区经济，实施产业结构转轨，进行生态移民，彻底改变落后面貌，为抗震救灾奠定坚实基础。停滞和回避不是出路是死路。当然，这样说不是可以忽视建坝的抗震问题，相反，要付出更大努力，使建成的坝即便遇到“极限地震”也不会垮，这是做得到的。

### 水利工程的施工

施工中的主要问题是保证质量和满足进度要求。质量的保证首先取决于人的质量

意识，同时要有完善的质量保证体系，并严格地得到执行。

施工中最怕出现意外事故。我想今后在开工前和施工中，都应该在虚拟环境中进行演示和预测。虚拟现实技术就是所谓“灵境技术”，在计算机中设置一个仿真的三维施工环境，输入综合性信息，包括所有的自然及人为控制条件等。

我们可以在这个环境中进行仿真的施工活动，也可以在模型中模拟出现某种洪水或地震等，如果某一工序中某些条件不满足预定要求，就会发出警报，出现事故（如边坡崩坍、洪水破堰），这时可以通过人机交互改变条件进行研究改进。模型也可以自动做出最适当的反应措施，修改施工计划，使施工有更大的预见性和可靠性。现场施工和虚拟施工相互配合，前者校正后者，后者指导前者。这应该是水利工程施工今后的发展方向。

### 大坝和通航

通过水利水电建设可以极大地改善通航条件，但也出现了船舶过坝的问题。对于高坝来说，升船机优点更多，但现在发展得不够快、不

够多。

最简单的就是钢丝绳卷扬的垂直升船机，也就是一座升降船舶的大电梯。承船厢、船舶及附带的水再重，也是被平衡重平衡的，所以卷扬力及制动力并不需要很大。但是因为要考虑在出现意外（如承船厢失水）时的安全问题，许多工程不敢采用，而改用复杂的齿轮齿条爬升、螺母螺杆保安。有人提出一种自平衡升船机，将平衡重筒浸在水中，由水的浮力操纵承船厢升降，出现意外能自动恢复平衡，这真是巧妙构思，可惜没有得到推广应用，对此我深感遗憾。现在总算在澜沧江一座水电枢纽中得到实施，我们期待着好消息。

对于水利水电建设和发展内河航运间的关系，过去总是交通部门点菜，水利部门买单，争议不断，成效不著。三峡工程开了个好头。内河航道是天然的廉价交通线路，今后有关部门应综合和联合规划，调查组织货源客源，科学合理分流，规定恰当的航道等级，船舶定型化，结合适当的过坝设施和疏浚维护，最大限度地发挥航运潜力。

### 设计优化深化无止境

水利工程在设计分析中有很多问题尚未解决。新结构、新理论、新分析试验手段的出现永无穷尽，形似成熟的传统理论和做法，也在不断更新。尤其工程规模越来越大，有些过去可以忽略的问题都浮现出来。混凝土坝的温度控制和防裂设计是个典型例子。

上世纪30年代以来，大体积混凝土坝的温控防裂理论和实践似乎已定型。现在看来，对特高特大的坝，还需在已有经验的基础上进一步深化和精细化。温控不能只控制几个大的温差指标，或一个坝块的平均值，而要控制整个施工和运行过程中全部坝体范围内的温度变化（准确些讲是控制温度场在空间和时间上的“梯度”），水管冷却也要求做到“个性化”，而不是粗糙的规定。合理的冷却过程、高质量的接缝灌浆加上严格的表面保温才能真正避免开裂。由于分析手段和温控设备的进步，精细控制是可以做到的。

混凝土在浇筑后由于水化热作用温度将升高，然后通过散热逐渐回落。当初始影响消失后，除坝面附近部位受气温（水温）的年变化有周期性升降外，内部温度已趋稳定，一般称为坝

体已经达到准稳定状态。过去常认为只要度过施工时期，坝体达到准稳定状态后，温控任务就完成。现在发现，运行期坝面温度的年变化，不仅会产生表面裂缝，还会对整个坝体应力变形产生相当大的影响，已经灌好的接缝会重新张开。张开了会怎么样？这些问题都值得深入探究和解决。

对于中小型工程，还可以走另外一条路：做好上游面的防渗层，并设置一些诱导缝，放松温控要求，简化施工，快速上升。旧式的砌石坝内全是缝，妥善设计，也一样能安全运行。

黄委会为了便于开展对黄河的规划和设计研究，搞了一条“数字黄河”，昆明院在设计小湾拱坝中，也建立了一个“数字小湾”，这都非常好。我想，对于任何一座大型水利水电工程，都有必要建立一个全面、精确、动态的“数字某某”，其功能应比当前的数字黄河、数字小湾更上一层楼，起到验证、预测、优化、研究比较等各种作用，是最先进的设计科研工具，也是最完整可靠的活档案。

### 水电与其它新能源结合问题

河道中的流量随洪枯季节有很大变化，水电站的出力也随之变动。修建一些有调节能力的大水库可以适当改变这一情况，但很难达到年甚或多年调节的要求。因此水电站不能如核电或煤电厂那样按某一额定出力全年稳定运行，即使能做到，各方面的要求也不容许河道永远均匀泄流。

另一方面，电力负荷是不断变化的，水电机组出力的变动又极其灵活方便，因此水电站（包括抽水蓄能电站）总是与核电、火电及其它电源共同投入大电网中运行，由电网统一优化调度以取得最大效益。但是，如何进一步充分利用汛期电能和减轻电网压力，如何协调经济效益和国家、社会利益，仍然有大量问题有待研究解决。

尤其近来全球都在强调减排温室气体应对气候变化，都在抓紧开发水电以外的可再生能源，其中风电、太阳能最为重点，加大利用核能也提上议程。但风电、太阳能具有随机性、间断性和不可控性的特点，核电站宜在稳定出力下运行。如何尽量吸纳风能、太阳能、核能而保证电网安全与经济，是重大问题。充分开发水电和抽水蓄能，与上述能源紧密结合起来，也许是解决问题的一个方向，值得我们深入探索和实施。☞