



关于长江三峡建造高坝的一些探讨

SOME EXPLORATIONS ABOUT SANXIA HIGH DAM ON YANGTZE RIVER

谢定裕 洪鼎侃 邓大量
梅强中 袁 休 章梓雄

导 言

长江是中国最长的河流，全长约6300公里，流域面积约有一百八十万平方公里，平均入海流量约为每秒34,000立方米（每年约一万亿立方米），仅次于亚马逊河及刚果河，而与恒河相当。

长江发源于青海。最初的一段叫沱沱河，接下是通天河，然后是金沙江。到四川宜宾与岷江汇流后才叫长江。自源头到宜昌这一段是长江上游，自宜昌至江西湖口为中游，湖口以下为下游。上游长约4530公里，落差有4500米；宜昌以下长约1780公里，而落差仅40~50米。通过宜昌的平均流量为每秒14,300立方米。也就是说长江百分之四十以上的流量是来自上游。洪水期是每年六月至十月。在宜昌的洪水流量，历史最高记录是每秒110,000立方米（1870年7月20日）；而在枯水期间，有记录的最低流量只有每秒2,680立方米（1979年3月8日）。在三峡地区，每年泥沙流量约为 5.3×10^8 吨。

在中国的大河中，黄河因屡以洪水为灾而有“害河”之名。可是黄河虽为中国第二长河，其流量却只有长江的二十分之一。一条长江支流岷江的水量就可与整个黄河相比。因为长江水量特别大，虽无“害河”之名，其洪水之灾难也甚可观。近百年来最大的两次洪水，一次发生在1931年，估计有五千多万亩田地淹，145,000人死亡；另一次是在1954年，连武汉都为水

所淹，也造成了很大的生命与财产的损失。

自湖北枝城至湖南城陵矶这一段长江（又名荆江）；江流特别弯曲，河床因泥沙沉积而增高，洪水期间最易泛滥成灾，全靠堤防来减轻灾害。设有荆江分洪区，必要时就须分洪以保护下游人口密集的大城市。

由此可以看到，一方面长江的巨大水量所产生的水利资源非常丰富；另一方面它所能造成的灾害也非常严重。在适当地段建造多目标水库，既可防洪，又可利用水利资源，自然是一个十分引人注目的构想。

三峡高坝的构想

多目标水库的利益，举其大端有：防洪、发电、灌溉、给水、航运、水产、娱乐等。另一不可忽视的利益就是，成功的大工程建设也是国家的一种荣耀。以防洪与灌溉而言，水库的蓄水量愈大，效益就愈高。以发电而言，水坝的落差愈大，发电量就愈大。因为一般水库的底部多半与抛物线形状相近，蓄水量随坝高作非线性增长，所以水坝愈高，其经济效益也愈显著。

长江在三峡区间，江面窄狭，两岸山岩耸立，一般高出水面在五百米以上。建造高坝，在这一带确是理想地段。三峡建坝之议及初步勘测，三十年代就已开始。四十年代，复曾请美国专家萨凡奇（J.L. Savage）博士率领技术人员在三峡勘测，并提出计划报告。自五十年代开始，就有更详细的地质及水文勘测。到目

谢定裕 美国布朗大学应用数学系教授
洪鼎侃 美国匹兹堡大学土木工程系教授
邓大量 美国南加利福尼亚大学地质科学系教授
梅强中 美国麻省理工学院土木工程系教授
袁 休 美国纽约市立大学物理系教授
章梓雄 美国艾奥瓦州立大学水力学研究所教授

前为止，已比较了众多的坝址，似已择定三斗坪为最适宜的坝址。三斗坪位于葛洲坝上游约四十公里处。在自然状态下，长江在此处的深度为16~39米，水面宽度为190~260米。据说根据最新的设想，拟采用的一个方案是：坝高165米，水库高水位是150米，有效蓄水量为73亿立方米，发电量为13,000兆瓦，保证发电量为3,300兆瓦。据说工程费用估计是85亿美元。

因为未读到新方案具体资料，这里我们且就1980年“长办”所公布的资料来作讨论的依据。那时的计划是坝高210米，坝顶长为2600米；水库高水位是200米，低水位是170米；水库容量为704亿立方米，有效蓄水量为376亿立方米；发电设计落差为111米，发电量为25,000兆瓦，保证发电量为7,320兆瓦，每年发电1110亿度。工程费用自然也将远远超过85亿美元。

由上看来如果高坝造成，且能妥善经营，洪水灾害可以大大减轻，而且发电、灌溉、给水的经济效益也非常大。此外，三峡水库的蓄水也可用于南水北调，用长江流域丰富的水量来济补干燥的华北。

如果水库的水位提高200米，重庆的水位将会提高40米，大大有利于上游的航运。可是同时也估计将有66万亩农田被淹没，140万居民需要迁移。如果水位提高150米，则水面将淹及万县，12万亩农田被淹没，迁移人口约四十万。

二十世纪以来，世界各国大坝、高坝建造了不少，工业先进国家及第三世界都有。我们现在举几个有名的例子来作一比较。

(一)胡佛(Hooven)坝。建于1936年，在美国科罗拉多(Colorado)河上。坝高221米，长379米，当时是世界最高的坝，为一拱形重力坝。发电量1,354兆瓦，水库最大蓄水量为360亿立方米。科罗拉多河在世界上不能算是大河，在坝址平均流量为每年134亿立方米，只相当于三峡长江流量的三十分之一。泥沙流量为每年1.13亿立方米(1.08亿吨)。胡佛坝地处沙漠之中，上下游人烟都极稀少。

(二)阿斯旺(Aswan)坝。阿斯旺在埃及的尼罗河上，在开罗之南960公里，离河口亚历山大港1200公里。尼罗河是世界最长的河流，流域面积列世界第四位。可是以流量而言，平均却只有每秒3,000立方米，只及长江的十分之一。在洪水期间，在阿斯旺的流量平均为每秒8,000立方米。1902年曾在此造一低坝。1970年高坝完成，位于原来低坝上游7公里处。坝高110米，长3,600米，坝底宽960米，坝顶宽40米，是一岩石坝。水库容量为1570亿立方米，发电量2,100兆瓦。工程费用估计是十亿美元。在造坝过程中约有十万居民迁移。下游人口集中在尼罗河两岸十至十五公里宽的狭长地带。人口密集区在尼罗河三角洲，在1,000公里以外。

(三)巴克拉(Bhakra)坝。此坝在印度萨特莱杰(Sutlej)河上，位于德里西北350公里处。萨特莱杰河是印度河的一条支流，发源于西藏境内的喜马拉雅

雅山，于巴克拉之东三百公里处入印度境，下游向西流入巴基斯坦境内，穿过大印度沙漠边缘而注入印度河。

巴克拉坝于1963年建成，坝高226米，为印度境内最高的坝，是一混凝土重力坝。发电量为1,050兆瓦，有效蓄水量为74.4亿立方米。萨特莱杰河的平均流量为每年168亿立方米，其最大洪水流量为每秒11,300立方米，每年泥沙流量约为3450万吨。

巴克拉水库的形成，波及371个村庄，三万六千人，其中全部淹没的村庄有62个，包括有人口五千的古城Bilospun。巴克拉位于海拔360米的山区，其下游人烟不密，离德里虽只有350公里，却并不属于同一河流体系。

胡佛坝、阿斯旺坝及巴克拉坝都曾为美国、埃及与印度带来经济上巨大的利益。它们的建成都曾使美国、埃及与印度引以为荣。胡佛坝是以美国总统的名字命名。阿斯旺坝的水库命名为纳塞湖，纳塞就是当时埃及的总统。而巴克拉坝之建成，尼赫鲁曾称之为“复兴的印度的现代圣殿”。以三峡高坝之空前规模，如果建造成功，其政治意义也必然将是非常巨大的。

在三峡造高坝的基本问题

与前面所举三座有名的大坝相比，拟议中的三峡高坝，无论规模、效益、影响及风险，都远为巨大。首先，在上述例子中，科罗拉多河只是中等河流；萨特莱杰河是印度河的一条支流；尼罗河虽是世界第一长河，可是其流量只及长江之十分之一。以流量及洪水流量而言，三峡的流量约为阿斯旺坝的五倍，是胡佛坝及巴克拉坝的三十倍。以水库容量及有效蓄水量而言，三峡水库约为巴克拉坝的五倍，胡佛坝的二倍，但为阿斯旺坝的一半。由此可见，一方面长江三峡流量特别大，高坝的负担及建坝所承担的风险也特别大；另一方面，虽防洪效益巨大，却不如上述三坝。三峡高坝建成后，发电效益非常高，比上述三坝高十倍以上。

三峡高坝与前面所举三座大坝的基本比较，见附表。

附表 三峡高坝与胡佛、阿斯旺、巴克拉坝的对照比较

	坝高 (米)	水 库	有 效	平 均	平均 泥沙量 (亿吨/年)	发电量 (1,000 兆瓦)	迁 徙 人 口 (万)
		蓄水量 (10亿 立方米)	蓄水量 (10亿 立方米)	流量 1,000 立 方 米/秒			
三 峡	210	70.4	37.6	14.3	5.3	25	140
	165		7.3	14.3	5.3	13	40
胡 佛	221	36		0.425	1.08	1.35	很少
阿斯旺	110	157	90	3	0.345	2.1	10
巴克拉	226		7.44	0.533	0.345	1.05	3.6

上述三座大坝，可说都是建造在国家的边远山区或者沙漠地带。上下游人烟都相当稀少。即使如此，阿斯旺坝曾迁移10万居民，巴克拉坝曾迁移36,000居

民。三峡位于中国腹地，上下游人口密度都很高。估计上游迁移人口达40~140万，要淹没大批良田。下游自宜昌以下都是人口密集地区。宜昌本身就是30~40万人口的城市。人口500万的大都会武汉，在三峡下游约750公里处，直线距离不过300公里。如果高坝发生问题，而葛洲坝又无法承受，这双重灾害所造成的生命财产的损失，是不堪设想的。

因此，在从事这一庞大的、影响深远的大规模工程建设之前，自应审慎地考虑各种因素，比较得失。相信国内有关单位必定就许多问题已经作过大量的研究与讨论。我们在国外，因为缺乏资料，并不清楚这些研讨的内容。下面所提出的这些问题，很可能国内早已有充分的讨论及妥善的结论。但是，因为这一计划影响实在太太，我们在这里即使说几句多余的话，应不至于有不好影响。

在得失的项目中，有些是直接或间接的经济效益，可以用金钱来衡量，例如，发电量、灌溉的效益、洪灾消减的经济效益、航运与娱乐的经济效益，以及工程建造的直接投资、农田淹没的损失、迁移人民重建家园的花费等。也有一些得失就无法简单地用金钱来衡量，例如洪灾中死伤的人民，蓄水库对环境生态的影响，因高坝建造而对山川历史文物的永远破坏，被迫迁移的人民的物质上与精神上的损伤等等，这些无形的损失，虽也可用一些公式来折合成经济数量，可是这些公式大体而言并不是完全客观的。此外有一些得失的比较，又牵涉到一些估计，例如水库对地层的影响，人造湖形成后对大气、生态的影响。这些估计的依据，到目前为止，还是些并不成熟的学科，因此这些估计的可靠性，也必须仔细衡量。

由于在三峡造坝是一十分复杂的计划，牵涉到许多因素，影响遍及全国，事前的调查计议尤宜审慎周详。古谚“集思广益”，对三峡造坝更有意义。詹森(R. B. Jansen)在《坝与公共安全》(Dams and Public Safety)一书中有一句话可以提醒我们：“在许多出事故的例子中有一人说了话就拍板算数的负责人，尽管有时候这些负责人确是有实学成就的专家”。也是在这一基础上，我们虽然资料欠缺，还是抱着“愚者千虑必有一得”的精神，在下面列出一些应该注意的项目，加以讨论。

三峡高坝是一多目标水库，所以在所有的考虑中，就要问问：这些目标是否真那么重要？要达到这些目标，在三峡造坝是否是最好的选择？这些目标是否也可用其他方法来达到？手头具体资料的欠缺，使我们无法对许多问题作深入的讨论，因此也就只能在一般性的层面上将问题提出来，请有关方面注意。

防洪 长江，尤其是荆江，洪水为患，几乎每年都造成生命财产的损失。人命何价？这是很难用金钱估计的。有些人建议可用抚恤金或者保险公司赔偿金额为标准来衡量。这也许是对社会损失的一种价值衡估。可是对其本人及亲友，显然是极不适当的。由此

可知，几乎人人都可同意，任何可以减少水灾的努力，都应鼓励；但是国家人力物力有限，无法一厢情愿地做所有想做的事，因此某种层次上的经济代价的估计，还是需要的。

在防洪方面，中国过去数十年的努力，如沿长江大堤之建造、延长及加固，荆江分洪工程之建造，都在相当程度上减轻了洪水的灾害。由于长江水量特大，而三峡水库容量有限，即使高坝建成，仅靠三峡水库并不能完全消除水灾，还需继续依靠沿江的堤防及上游与支流的水土保持和水利设施。所以即使要建造三峡高坝，其他建设也不能偏废。可是国家人力物力有限，三峡高坝的建造势必占去这一方面相当份量的人力与物力。为了达到防洪的目标，这就应该比较一下，堤防建设，设立分洪区、扩大湖泊，在上游、在支流上造坝，何者效益更大？更早见效？更有把握完成？较少风险？

发电 在实现现代化的过程中，中国所紧缺的一项资源就是能源。三峡高坝如能造成，若以210米高度为准，发电量可达25,000兆瓦。这自然是一极可观的能源。可是在比较得失时，也应该考虑其他可以开发的能源。据估计长江干、支流的全部水力资源可达230,000兆瓦。也就是说，尚有八倍于三峡的水电资源分布在长江的上游及支流上。金沙江、岷江、沱江、嘉陵江、乌江等都有丰富的水力资源。在这些河流上建坝，不但可以获得能源，而且也同样可起防洪的作用。

我们没有关于长江上游及支流水力资料的资料，不清楚长江上游及支流有那些合适的坝址，相信这方面的调查工作国内一定已做了不少。在长江上游及支流上建坝的可行性，其发电效益，其防洪与灌溉的效益，其所需的经济投资额，应根据调查结果来与三峡建坝作具体比较。事实上，在长江上游与支流上建坝和在三峡建坝，是并行不悖的计划，是可以相辅相成的计划，但是以先后次序而言，很可能先在上游及支流造坝，会更加妥当。

航运 三峡高坝造成以后，无论水位会高达万县或重庆，对三峡以上的航运自然会有所裨益。可是长江水运的潜力，尤其在武汉以上那一段，即以目前的情况而言，显然还远远未充分利用。因此，因造高坝而产生的航运方面的利益，在目前还不应是十分迫切的因素。高坝将大江截断，虽有船闸，对于航运自然也有不便利的影响。

灌溉与给水 这方面的效益，手边没有新的资料，以四十年代萨凡奇计划的估计，水库可供水量每年约为1000亿立方米，可灌溉宜昌以东，武汉以西，常德以北，襄阳以南约六千万亩农田，也可供此一地区家庭及工业用水。此外，三峡水库或可协助拟议中的南水北调的计划。可是长江水流量是有定额的，用于此就必缺于彼。水库建成后下游用水的分配自然也将受到影响，这些考虑应已在规划中作仔细分析。

娱乐 高坝造成后,“高峡出平湖”。这一片人造大湖,高坝工程本身及湖边的园林可以提供不少娱乐效益。胡佛坝、阿斯旺坝、及巴克拉坝都使得那些本来人迹罕到的不毛之地变成旅游佳地。三峡水库自然也具此潜力。可是三峡本身本来就已是一无二二的旅游胜迹,一直是中国境内最具吸引力的游览区之一。不但自然景象举世无双,在中国文化传统中尤其一直是文学、历史所传咏的胜地,现在一旦“截断巫山云雨”,在娱乐价值上的得失,就很难说了。

环境生态 生态方面的考虑,是一般工程人员最不愿注意的。在国外固然如此,想来在中国情形也相似,因为这些方面的考虑,对于工程人员会增多一些限制。可是如果目光放远一点就可知道,自然界的生态环境是会影响到人类幸福的。葛洲坝工程建造时曾有中华鲟鱼的问题引起人们的注意。三峡高坝的建造要提高水位,淹没大片土地,对这一带的动植物自然会有影响。是否会造成若干生物的绝种?动物的强迫迁移又会产生哪些连带影响?人造湖的形成是否会对生态产生什么其他影响?这些问题都不一定会有明白的答案。规划时应该组织生物学家、生态学家对这些方面加以调查研究,并提出报告及建议。

人民的迁徙及重建家园 如果三峡要造高坝,根据估计,将有40~140万人将要被迫离开他们的家园,迁移到陌生的地方,重新建立事业与家园。一般人都安土重迁,中国老百姓尤其如此。所以这一“人本的代价”(human cost)实在非常大,只有身处其境者才能体会。据国外的社会调查,许多被迫迁移者,因在迁移过程中所受到的各种压力,后来不少人出现精神上的病态。在许多国家,如有因公共建设而要求人民迁徙时,都必须举行听证会,听取群众的意见,向群众解释,而且与群众协商双方都满意的代价。在中国是否有这种与群众交流的措施,我们不清楚。可是这些人民的福利一定要顾到,不应该由工程人员片面决定。对于这些被迫迁移的人,如果他们不能迁到更好的地方,不能有更好的工作,不能有更好的生活,则这一高坝的建造对他们显然是不利的。要他们得到有利的补偿,势必需要增加总经费与投资。

地震 地震对高坝的影响,需特别注意。一是在建坝期间或坝成之后,地震如对高坝造成损坏,可能会引起极大灾害。满水的水库,如因地震而溃决,或因大规模滑坡,将造成的灾害尤其巨大,另外一方面是坝建成,并在水库注水后,会因注水而引发局部的地震。这样引发的地震,已有记录的强度可达六级以上。广东新丰江大坝于1959年建成。水库注水后就曾于1962年3月19日引发6.1级的地震,在坝顶造成长达82米的裂缝。可注意的是,在新丰江一带过去并无严重的地震记录。可是坝成以后十年期间,却有25万次在0.2级以上的地震。据我们所知,三峡地区是在弱地震区内,较近的大地震带一条在西方,自川西到滇西:包括松潘、平武、液县、成都、甘孜、

炉霍、道孚、康定、西昌、渡口入云南经腾冲入缅甸。另一大地震带在北方,自陕南经西安,临潼,东北入山西纵谷。两条地震带都在400公里以外。可是新丰江水库也并不在地震带附近,而注水后就引发地震。三峡高坝规模要大得多,引发地震的可能性及强度也会更大。三峡一带虽无活动的断层,未必没有不活动的断层。如坝址在这些不活动的断层上,六七级的地震,就可使这些断层活动,直接影响高坝的安全。这些方面,相信工程单位一定已经注意到。水利电力部或许也有本身的地质专家,这些专家可能也很胜任,可是事关重要,因此其他部门如地质部、地震局、及科学院的地质专家们的独立调查与意见,实在是必要的。

地震的发生及强度之预测与估计,强震对高坝究竟构成多大风险,都还是些在发展中的学科。当未知因素甚多时,自当以保守安全为尚。利用现代的工程技术,已经不是不能建造抗震的结构,问题在要抗大地震就需更大量的投资。所以地震问题也就与工程的设计与投资有密切的连带关系。

经济效益 在讨论经济效益时,一方面要对防洪、发电、灌溉、给水、航运等多方面的可能效益提出适当的估计;另一方面也要对各种投资,包括安全的工程建设,妥善的人民迁徙,以及田园淹没等方面详加估计。各种风险如地震、洪水量、泥沙量等的估计也会影响工程建设的投资额。这些都应该全面照顾到。经济效益与投资额的比较,有一点可以在此提一提的,就是投入资金所隐含的利息开销。举一个例子来说明,以上面提到的85亿美元投资额为例。我们不清楚这是将用什么方式筹资。假定采用一种极端的方式,即工程一开始就借款85亿美元,又假定每年利息是10%,又假定工程在十年后完工,则等到十年后坝建成开始有经济效益可以开始偿还时,以复利计算,那时欠款就已达到220亿美元。因此以后每年的经济效益必须超过22亿美元才能付偿这一投资额的利息。在这一计算中包含许多假设,实际情形也许会好一些。可是在这一计算中也并没有包括工程以外其他措施的投资与损失。另外一点应提及的是,高坝如同任何人为的结构一样,是有寿命的。寿命长短与上游的水土保持、泥沙控制及其他水利建设都有密切关系。高坝的设计寿命是50年,还是10年或500年呢,又与经济效益的计算有重大关系。

文物古迹的破坏与消灭 三峡地处中国心脏地带,有丰富的文化古迹,万县以下,白帝城、巫山、秭归、香溪等都有与中国历史及神话息息相关的文化古迹。这些都将随高坝的建造而沉没于湖底。这种损失是无法估计的。现在许多人的注意力只集中于眼前的经济效益,会觉得这些文物古迹的价值不切实际。可是这些文物古迹的破坏是不能逆转的。二三代人以后,人民的物质生活逐渐提高,回过头来看,可能会觉得这方面的损失比短暂的经济效益更大得多。当然,自然灾害与战争也不断在摧毁可贵的文化遗产,但那

是出于不得已，是出于愚昧与无知。现在我们是作清醒的选择。我们有责任作最明智及周详的考虑。

建造高坝需要注意的一些方面

在客观比较以后，如果结论是应先在三峡建造高坝，我们可以再提出一些应该特别注意的项目。这些项目，相信主持计划与工程人员已早顾到，有些方面我们在前面也已约略提过，但在此多说几句，当于事无损。

地质方面 近年发生变故的高坝中，最令人注意的是1963年10月9日意大利Vaiomt高坝的失事。Vaiomt坝高265米，是当时世界最高的薄拱坝，也是世界第二高坝。由于地层不稳，上游大量滑坡，因而发生变故，有2600人死于这一次灾害。可以一提的是，坝结构本身并没有太多损坏。由此可知，地质方面的考虑不仅限于坝址，也要顾及附近区域。据统计，40%水坝失事原因是由于坝基的毛病，所以地质的安全是一极关重要的考虑因素。在中国，工程主管单位水电部想来也有直属的地质部门。已为建坝的准备作了广泛的勘测。但是其他单位的独立勘测及咨询，恐怕还是必要的。在工程计划及建造期间，应该有一由地质部、地震局及科学院的地质专家组成的常设地质咨询小组，为高坝的建造不断提供意见。这不是在怀疑某一地质部门的能力，而是认识到只有靠不同的独立的勘查，才能收集思广益之效。

水文方面 水坝发生变故的另一主要原因由于泄洪道出问题，约占全部事故的23%，也就是说，变故的另一主因是由于洪水。1979年8月11日，印度的Machhu II坝被洪水冲走。这是一土石坝，坝高只有26米。但因下游8公里处就是一有75,000居民的城市Marvi，估计这次死于灾难的人数在20,000以上。目前三峡关于洪水流量的估计，想来都是根据过去数十、数百年的记录，可是近一二十年来，由于长江上游大量砍伐森林，而这种大规模的水土破坏是历史上的新现象，这些人为变更难免会影响流域水性，因此水文资料的诠释分析就须特别审慎。与这有密切关系的是泥沙问题。任何在近年看见过长江的人，都不免对江水的浑黄感到惊异，几乎以为这是黄河。这也是由于近年长江上游水土流失太多。我们还记得，黄河上三门峡水坝就因为忽略泥沙问题冒然兴建，结果是完全无法达到本来造坝的目标。由此可见泥沙问题实在不可忽视。三峡建坝的工程人员自然不会轻视泥沙问题，可是需要提请特别注意的是，象前面所举数字，三峡地区每年泥沙流量为5.3亿吨，是不是最新的可靠的数据？而且也应调查一下，目前上游水土流失情况是在改进呢，还是继续在恶化。如果泥沙问题十分严重，高坝工程中是否应有特别的排沙设施？或者是不是应先解决上游大量水土流失问题后，再进行高坝的建造？如能这样，效果会更好。

风险分析 风险分析一方面包括自然风险因素如洪水、泥沙、地震及造坝期间的洪水等的分析；另一方面，例如水力计算、水文资料、工程结构分析、基础地质抽样等都是工程设计的依据，它们的可靠性的分析，也属于风险分析。此外，人为的因素如战争及其他破坏也应列入考虑。除了坝溃的风险分析以外，也要做坝溃后的风险分析。例如洪波的速度及幅度，下游的警报系统，人民的疏散准备等就与坝溃后的风险有密切关系。1963年12月14日，美国洛杉矶市内Baldwin Hills坝突然因坝基滑动而崩溃。在不到两小时的时间内，水库的水就全部流光。虽然灾区居民有16,500人，但因警报及疏散工作做得非常好，只有5人死亡，27人受伤。全面的风险分析工作不但可以对造坝的计划有所帮助，也可借此发现下游警报系统、疏散计划及其他方面的薄弱环节，从而加以改进。风险分析正是一门在发展中的新兴学科，但已愈来愈为工程界所重视。

工程计划方面 到葛洲坝去参观过的人，大概都听到过三三〇工程单位所津津乐道的事。当大江截流的关键时刻，在合龙口抛下的一个个25吨重的水泥四面体，竟都立刻被激流冲走。在这紧张关头，一位机智的工程人员，临时想出一个方法，将三个四面体用钢索拴在一起，同时抛到合龙口，终于站住了，而使大江截流顺利完成。这一故事固然说明了这位工程人员的灵敏机智，同时也说明了工程计划的缺陷。显然事先这一关键性的施工方案并未经过考验。拟议中的三峡高坝，是世界上最前所罕见的巨大工程，事先各方面的计划，尤宜周详审慎。我们现在再就下面几点，提请注意。

1. 长江三峡高坝之建造，中国的工程技术势将面临巨大的考验。高坝基础强度就与工程材料和施工技术有密切关系。坝基出事的一个重要因素是由于水的渗漏，这就又关连到渗漏灌浆的技术。这些施工技术当然又直接与机械设备有关。这种种方面，中国工程人员自然都已注意到，而且他们也不断在从过去的经验，如三门峡、葛洲坝、龙羊峡等工程设施中，学习和发展了许多可贵的新技术。这里我们想要强调的是，应该有一全面性的对自己工程技术的评估，看看现在是否已到达安全进行这一巨大工程的水平。

2. 下游堤防之加固是一个迫切的问题。在高坝建造期间，洪水对工程的威胁尤其危险。1961年7月12日，印度的Panchet坝就是在工程建造期间被冲毁的。这次事故，死于灾难的人数亦以千计。因此为了应付这种可能的灾难，下游堤防实在有事先予以加固的必要。下游堤防，本来也应加固，但为了高坝的建造，尤其具有迫切性。

3. 在坝建成后注水期间，以及灌溉系统建成或南水北运以后，下游的水量就会降低。如果长江下游水量降低过多，河口地区就可能会产生海水倒灌现象，因而使得海盐沉留在长江三角洲的沃土上。这一问题

在阿斯旺高坝建成后就曾在尼罗河三角洲上出现。因此在计划期间,就应考虑到这一点。这也说明三峡高坝绝非一局部的工程,实在牵涉到整个长江流域。

4.不久以前,天津市建中环公路,报上赞扬那些迫迁的居民。搬到新地区时,房屋还没有完全造好,水电亦未安装,他们却为大众利益默默忍受艰苦。真是多么善良的群众!可是这也表明负责单位忽略群众利益,没有事先作妥善安排的计划。三峡高坝之建造将有数十万人民要被迫迁移,必须要有妥善的安置计划,不能使这些人民在被迫离乡背井之外,还要更受额外的不便。

5.在生态方面,也应该有一常设的咨询小组。高坝建成后,上游就是一人造大湖。本来的大片陆地,将成为湖底。原来在陆地上的建筑物、树木等等是否应该在淹没前加以处理?因为这会影响将来水底生态的发展。本来是流动的河水一旦变为静滞的水域,也会导致生态的变化。例如,是否可能会有血吸虫及其他寄生虫在湖里衍生?有些稀有的生物,是否应该迁移保护?这些问题一般工程人员都比较忽略,应该委托专门人员事先筹划、研究与处理。

结 语

从以上的讨论可知,一方面三峡高坝之建造可以在防洪、发电、灌溉、给水等方面带来巨大且及时的利益,同时也可以体会到这一工程计划在许多方面都是世界空前的。在大河干流上,又在人口密集的心脏地带建造高坝是从来没有人做过的。因为无论就河水流速或人口密集程度而言,它都是过去的重要大坝的十倍以上,所以建坝所冒的风险也特别巨大。至于经济效益,在计算各种合理的投资及花费,以及与其他可以代替的工程设施比较以后,是否特别有利,我们因为资料有限,也还不太清楚。

值得再提的是在长江上游及支流上造坝,或许具有与在三峡上造坝同样类型的效益,同时可以减少一些在三峡上造坝的风险与损失。而且这些与三峡造坝相辅相成的工程设施,在三峡造坝之前进行,也许还更妥当一些。所以这一方面的比较研审,是十分重要的。

听说中国已与美国的垦务局订立合同,请美国垦务局为三峡高坝之可行性作一调查研究,并提出报告。外国专家不一定在各方面都比中国专家高明。可是请独立的、有能力的其他单位提出意见,总是十分可贵的。其实就这一层言,如可能的话,也可以设法请教台湾方面的专家,因为近几十年来,台湾的工程师也颇有一些建造高坝的经验,例如1973年建成的达见高坝,就是一座200米高的拱坝。可是在请教外国专家时,也需要注意到他们幕后的经济利益集团。如果以后工程方面有可能与他们合作,有可能向他们购买器材设备,他们的意见难免会受这些利益的影响。三峡高坝

是造在中国,他们对此高坝的社会责任不会象对其本国高坝那么关心。所以在衡量其报告的建议时,也要注意这一层。如能组织一些独立的、真正关心中国命运的专家,参与评审他们的报告,就会更加妥当。

三峡高坝的建造,本身虽然主要是一个工程问题,但因其影响深远,所以不能完全由工程部门决定。工程单位,因为本身的职业立场,一般总是倾向于大工程的建造。尤其在此时,三三〇工程已将完工,数万工程人员,如能立即投入40公里以外三峡高坝的建设,是一十分便利的措施。这些因素难免使他们对三峡建坝增多一些热诚。因此对他们的建议的审查也要顾及这一因素。

总之,这一工程是一项十分庞大复杂的计划。更进一步、更全面、更翔实审慎的研究调查实在需要。三峡毕竟已在那里千百万年了。虽然大家都求治心切,“只争朝夕”,可是要想到这坝一旦建成,三峡面貌的改变就再也不能逆转,因此再延迟几年,考虑得更妥贴、更周到些,也不为过。毕竟我们不仅应向这一代人民负责,也要想到以后世世代代的子孙。

参考文献

1. "A Brief Introduction of Three-Gorge Project on the Yangtze River". The Yangtze Valley Planning office, (1980).
 2. "Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects", W.C. Ackermann, G.F. White, E.B. Worthington, editors. American Geophysical Union, Washington, D.C. (1973).
 3. R.B. Jansen, "Dams and Public Safety", U.S. Dep't of Interior, Water and Power Resources Service, (1980).
 4. "Safety of Dams, Flood and Earthquake Criteria", Committee in Safety Criteria for Dams, National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C. (1985).
 5. "Encyclopaedia Britannica", 15th edition (1974). 下列项目:
 - "Rivers and River Systems", 15: 874.
 - "River Deltas", 15: 867.
 - "Nile River", 13: 102.
 - "Yangtze River", 19: 1072.
 6. 宋希尚, "谈扬子江水电工程", 见《河上人语》, 245页, 台北文星书店 (1965).
 7. 上海师范大学, 《简明中国地理》, 上海人民出版社 (1974).
- 谢启:

在准备本文期间,曾向颜本琦教授,聂华桐教授,邱照淋教授,苏兆星教授,刘师琦博士请教。他们提供了非常宝贵的意见,另外也曾请教过一些不愿及不便示名的专家,在此一并致谢。