

从工程方法论看大型水利枢纽工程中的环境问题

LOOKING AT THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF LARGE WATER CONSERVANCY PROJECT FROM AN ENGINEERING PERSECTIVE

刘 继

导 言

从工程方法论的观点研究水利枢纽工程的环境问题,就是把水利工程的研究对象放到与其周围事物相互制约、相互联系、相互作用的关系中去考察,用系统层次规律去考察工程的系统性和层次性,考察系统与要素、要素与要素、系统与环境的矛盾运动,并且运用事物状态发展规律—稳态—渐进态—暂态—激波态规律去考察全流域各种物质形态的转化运动。工程方法论要求我们不仅就大坝、水库论大坝、水库,还要看到,从整个流域的地面状况到大气环流和海洋是纵横万里的大系统,不仅要研究发电、防洪、灌溉、航运这个传统的“降水—流量模式”,还要兼及生态环境和气候变化,我们称之为“降水—植被—土壤—流量—生态—气候模式”,以寻求水资源开发的总体最优化方案。我们不仅要看到今天的河流,还要研究它的历史和演化,预测未来;要特别重视渐进态这一运动形态,如泥沙冲淤对河床、航运和自然地理的演变,环境变化对动植物盛衰的影响以及遗传物质的蓄失。在改造自然的蓝图中,不仅要看到直接的、必然

的因果关系,还要看到间接的、或然的因果关系。例如,从大量移民看到可能发生的疾病扩散,过度种植,滥伐山林,粗造梯田,以至造成气候恶化、土壤贫化、水土流失、江河淤积和冲刷、河道碍航、水库淤平、洪水为害、自然地理劣化等恶果。不仅要看到河流、大坝等无生命的东西,还要看到居民、植物、森林、水生物、陆地动物群等有生命的东西,看到两者的相互作用、相互制约关系。

人们在改变其生存环境时必须考虑环境的反作用,并应使自己的行为和经济活动,在经历近期、远期、超远期的相互作用之后,取得生物—环境系统的最优谐调。但是迄今为止,人们在对地球进行大规模干预的大型水利工程中却缺乏大系统观点,往往是这一代人自豪地炫耀改造大自然的杰作,而下一代人却饱受大自然的惩罚。

工程方法论的联系论和系统论告诉我们,从宇宙间事物普遍联系和绝对运动的观点来思考周围的世界——自然界和社会构成的大系统时,就会发现存在着几个相互作用、相互联系、相互制约的主要子系统:自然资源系统、生态环境系统、社会经济系统和人

类社会(图1)。如果把长江流域

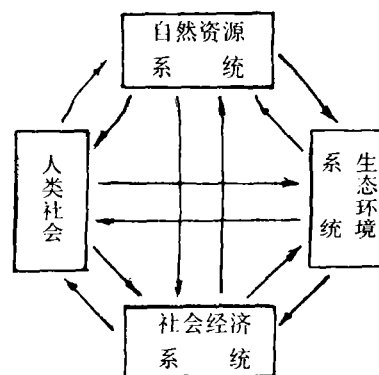


图1 四个相互联系、相互作用的系统

看作一个大系统,那么,三峡大坝就是一个子系统。如果我们要在三峡筑起拦江大坝,改变流量高达110 000立方米/秒的自然水流,干预每年输运的4~5亿吨泥沙的分布,将上游几百里的坡降减平,把落差集中在三峡发电,使上游淤积,下游冲刷,淹没耕地十几万亩,迁移人口三四十万。这种种巨变会不会打乱环境的和谐,改变生态的平衡,影响流域的自然地理呢。

纵观世界大型水利工程,规划设计之时都是旨在“兴利避害”,但结果却往往在多少年后引出新的“害”来,不得不花巨资改进,而有些危害是不可逆转的,以致成为永久憾事。近年来,不仅

刘 继 (Liu Ji) 水利电力部科技司高级工程师。

许多国家因大型水利工程使生态环境失却平衡而烦恼,而且有些国家拟建或在建的大型水库因环境问题遭到公众反对,不得不停建或缩建。因此,分析国际上的经验和教训对完善我国大型水利工程的规划设计是十分必要的。此外,对水利工程环境影响评价,必须首先进行工程影响范围和“环境本底”的调查,了解工程原始条件,充分运用天时、地利以收因地制宜之效。现在我国长江流域和国际上的环境本底情况如何?从最近1300年长江洪灾间隔随时间的演变(图2)可以看出,

洪灾愈来愈频繁,愈来愈严重。国际上气候反常,水旱灾害也日趋增多。由于林木砍伐,表土流失,森林覆盖率缩小,气温湿度调节能力减弱,以及草原植被减少和沙漠化等导致长江泥沙增多。据最近报道,上游岷江源头的高山原始森林已被砍掉60%,1981~1984年长江年输沙量又增加了1.6亿吨,同多年平均输沙量5.23亿吨相比,增加了近30%。国际上也有类似的情况,例如:随着人口的增加,人类对自然资源施行过度开发,森林遭到破坏,生态环境恶化。人类发展

决问题的模式。根据工程方法论的高复杂性与高精确性不兼容的原理,更难于进行精确的定量研究。因此,个案分析是一个较为有效的方法。分析表明,迄今的大型水利工程,由于大规模地改变环境,很少有付出沉重代价的。

1. 国外因环境问题停建或缩建的大型水利工程

巴西 已把原计划在亚马逊河上修建而尚未动工的所有25座水坝全部搁置起来。

澳大利亚 由于公众反对,1983年取消了在塔曼斯尼的富兰克林河上修建水坝的计划。

印度 由于公众反对,政府在施工8年,耗资300万美元之后,于1980年停建了赛伦特水坝。迪汉水库工程将淹没940平方公里土地,破坏印度东北部的生态平衡,淹没大量地下矿藏,邦首席部长反对兴建此工程,建议修建许多小坝来代替。特里水库因需移民五万人,淹没古老的特里镇,还可能因砍伐森林而诱发滑坡,导致地貌演变,引起环境变化。另外水库可能有严重的淤积问题,水的蒸发可以引起气候变化,从而加重该区内的侵蚀;区内森林的各种野生动物的生活将受到不良影响。因此,工程计划遭到反对。

世界银行近年规定,建筑水坝必须评估其对环境的影响。它资助的工程必须保护好有可能受到破坏的文化财产和自然野生地。调查分析各国水利工程对环境的影响后表明:水利工程对土地、水源、农业和其他经济活动都有影响,对居民和居民健康、生活质量也有影响,对动植物品种的生存也有威胁。

2. 世界各国大型水利工程存在的环境问题

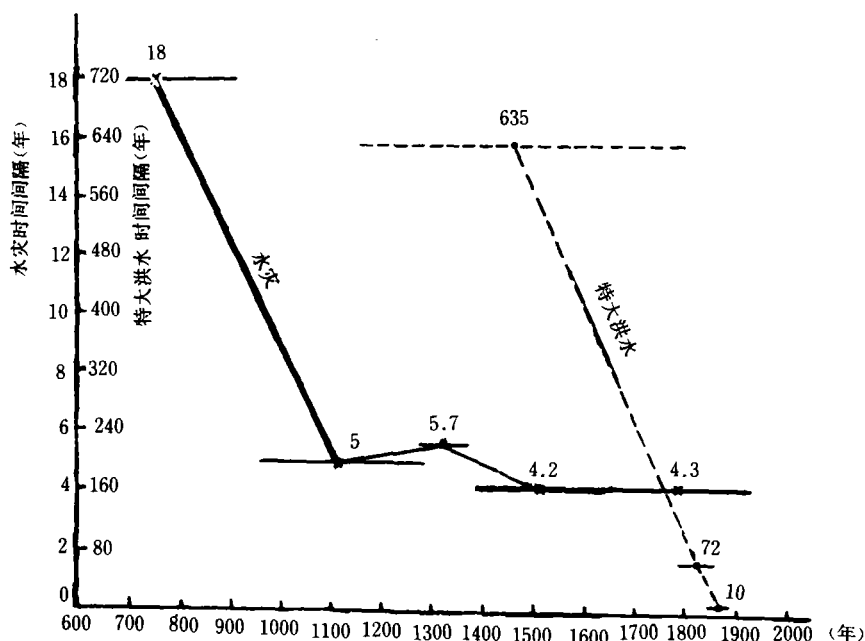


图2 长江流域水灾和特大洪水的间隔随时间的演变

初期,地球上1/3的陆地覆盖着森林,共78亿公顷,现已减至27亿公顷。我们绘出的世界森林面积减少与人口增长的相关图示于图3。

上述“环境本底”恶化的情况是兴建大型水利工程时必须考虑的。否则就可能造成不良后果,例如,三门峡水库修建后发生严

重的泥沙淤积问题就是对环境本底情况考虑不周的实例。

从个案分析考察世界水利工程的环境生态问题

环境和生态问题,由于其复杂性,很难有一个包罗万象的解

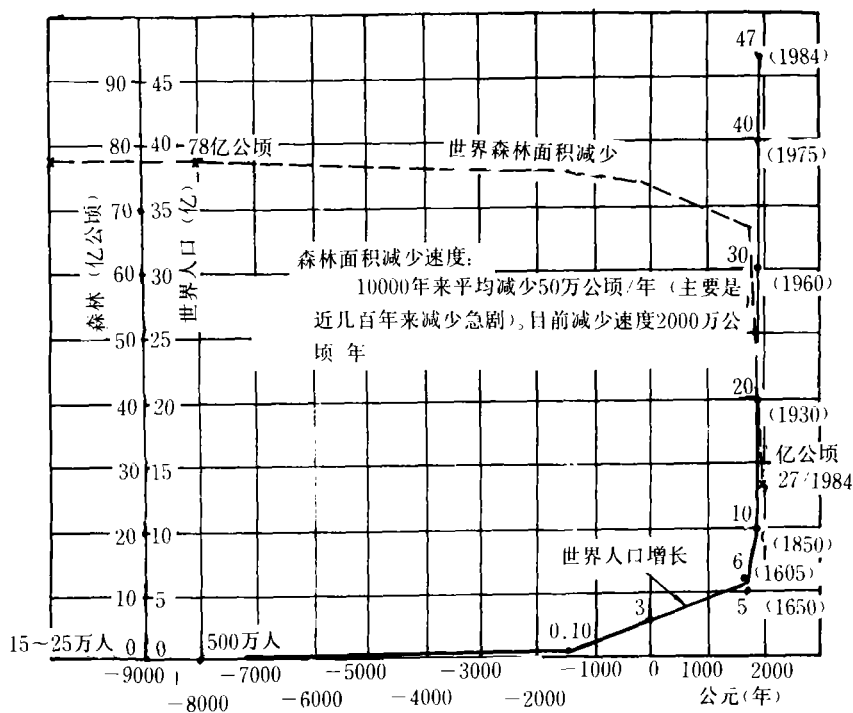


图3 最近11000年以来世界森林面积减少与人口增长的相差图

(1) 水库污染和疾病蔓延

建设大坝、水库常使上游某一支流的间断性污染蓄积于水库,污染整个径流;生物污染如微生物或传染媒介在水库中的大量繁殖将加重污染浓度,扩大血吸虫病等的流行范围;建坝民工可能将各地传染病带到库区随即扩散蔓延;蓄水淹没的林木和其他有机物将使库水污染更为严重,长期蓄容的静水也加剧了污染程度。而且水体一旦污染,治理费用甚巨,也极难复原。布罗科蓬多水库发出硫化氢恶臭毒气,电厂工作人员要戴防毒面具,电站设备6年即被腐蚀。

(2) 动植物及遗传物质的消失,鱼类生活受到影响

水利工程往往损害维持和繁殖动植物所必需的生态地区的面积或连续性。库区淹没大片土地、森林可能破坏动物群、植物群,或导致动物迁移,甚至使某些物种消亡,遗传物质消失,损失难

于估量。因为生物种类愈是繁多,人类以及生物群体的生存条件愈是稳固。巴西大坝影响鱼群的回游繁殖;哥伦比亚乌拉大坝破坏了动物群和植物群;苏联伏尔加河、乌拉尔河的水坝和灌溉工程挡住水流以致黑海水面下降2.6米,鱼子酱产量下降,1/3的鲑鱼缺乏产卵地,影响繁殖。大型水利工程可能导致水温结构的改变,影响生物的环境。可见,建设大坝,改变水流和鱼道,对鱼类的生活和产卵繁殖有不利影响。印度乌凯—卡克拉帕拉工程建坝后,因泄放的流量减少,渔业遭受到不利影响。国外有人指出,中国河流上建造的45 000座水坝和700多座防洪闸未设供鱼类通行的出口,这使鱼类丧失了产卵的地方,使收获量显著减少。长江流域的所有大湖除两个最大的以外,其余的都与长江隔绝,长江的捕鱼量减少了一半多,从50年代的45万吨下降到1980年的20

万吨。

(3)可能破坏水源使农业生产无法维持,因而减少甚至抵消了水利工程对发展经济的推动作用,降低农业投资的收益。

(4) 使土地贫瘠、沙漠化和水土流失

建设大型水库,由于地下水位变化、淹没森林和破坏流域植被等原因,往往导致土地贫瘠、沙漠化和水土流失,大量移民又可能加剧这一过程。例如,埃及阿斯旺水坝建成后土地日渐贫瘠,出现沙漠化趋势。我国安徽省1950年后修建一系列水库,共淹耕地40万亩,移民40万人。移民失去土地只得开垦山坡荒地以图生存。地尽之后,继之以毁林、垦荒。结果是水土流失。金寨县水土流失面积400平方公里,每年有2 500万立方米泥沙流入河流水库,金寨县多年修建的40多座拦河大坝大半淤平,水库变成沙库。库容23亿立方米的大型梅山水库,每年有70~100万立方米泥沙入库。一旦上游坝被淤平,流入库中的泥沙骤增,使之更迫近失效之期。黄河三门峡水电站建设中泥沙淤积问题上的重大失误教训更为惨痛。移民安置失当往往造成过多放牧,过度种植,开发森林,加剧了凝结物沙漠的出现。根据工程方法论的发展论和联系论,我们把大型水利工程对生态系统的影响画成图4所示概率因果链网络图。由图可知,若不加干预和优化调控,它本身是一个恶性循环,是不断加剧的过程。如果流域农村缺乏燃料和其他能源,广大村民加入上述过程,则生态恶性循环更为加剧。

(5) 泥沙问题和河道冲淤

哥伦比亚安芝加亚水库和我国三门峡水库都发生了严重泥沙淤积问题,前者12年将水库淤满,后者经多年治理才获解决。

(6) 气候变化

大型水库蒸发可能引起气候

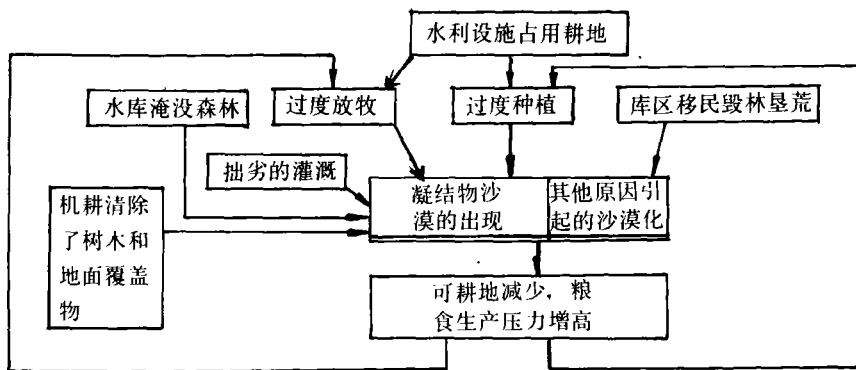


图4 大型水利工程对生态系统的影响——生态学恶性循环的概率因果链网络

变化，这是印度特里水库计划遭到反对的主要理由之一。砍伐或淹没森林也会引起气候变化。印度喜马拉雅山的居民从切身经历中懂得了随着树木被伐，土壤失去持水能力所产生的恶果，因而自发组织起来保护山区林木。

1981年11月前后，横跨亚洲很宽一条地带的暴雨毁坏农田、村庄、市镇，根本原因在于汇水区森林遭到破坏。兴建大型水利工程是人类用最基本的方式改变自己的家乡——地球的条件，是在进行地球生态的气候试验，它将影响热系统、对流、风系和我们星球的降雨方式，有可能引起更大的环境混乱。所以有些大型水利工程往往引起其他国家的广泛关注。

(7) 地下水位变化，土地盐碱化和沼泽化

建库蓄水使地下水位抬高。建坝后，下游水位降低过多，又会发生海水倒灌，海盐沉留于沃土中造成盐碱化。阿斯旺水坝建成后即曾发生这种情况。近年全球性海水水位上升，更加剧了上述弊端。国外有些大型输水工程，也产生了土地沼泽化问题，不仅丧失良田，而且由于蒸发而损失

极为可观的水量，在水资源日趋珍贵的今天这是不容忽视的问题。

(8) 淹没森林、耕地、矿藏、农村、城市、历史文物，造成大量移民等社会问题

纳尔马达河谷水库、乌凯一卡克拉帕拉工程分别淹没6和2.2万公顷森林，巴西一水库淹没大片热带雨林地区，卡里巴水库淹没51万公顷土地，我国梅山等水库淹没40多万亩耕地，移民40多万人。有些水库还淹没矿藏，破坏山川历史文物，淹没古城，这一切恶化了生态环境，造成了严重社会问题。

(9) 诱发地震、塌坡、溃决，对自然地理的影响

新丰江大坝建成后，1962年诱发6.1级地震，坝顶造成82米长的裂缝。建坝后由于淹没、冲淤也会对自然地理造成影响。

大坝设计、施工、保养失当往往发生溃决泛滥，造成生命财产巨大损失。美国蒂顿岭坝崩溃，损失达10亿美元。分析世界上309次溃坝事件表明，坝基引起失事占有很大比重。由于大型水坝的物质、能量和信息三要素的数据量庞大，任一要素处置失当

都会导致可靠性降低。大型水利枢纽元件、参数极多，即使每一元件、参数可靠度极高（如达到0.999），而全系统的全工况可靠度（为各元件、各参数可靠度的乘积）仍可能很低。因此，防止坝堤溃决是各国极为重视的重大课题。

3. 各国解决水利工程环境问题的经验

当然，由水利工程引起的环境问题是可解决的，并有许多成功的经验。例如：

(1) 加纳克蓬坝库区控制疾病蔓延

该坝区在蓄水前，儿童患血吸虫病的有30.9%。为减少疾病蔓延采取了以下措施：1)新建的居民点距水边1公里以上；2)用管道从水库引水，减少人们与水接触的机会；3)修建公共厕所；4)库边码头建在深水处，避免上下船时趟水；5)在码头控制钉螺和杂草孳生；6)开展卫生教育活动，使村民参加血吸虫病控制计划。后来抽查治愈的居民，复发率、发病率为零。

(2) 解决鱼类生存和繁殖问题

苏联从七十年代中期开始，水利工程着眼于发电、防洪、灌溉、供水、航运等多目标开发，重视对鱼类生活的影响，注意同时大力发展渔业。具拉杰坝的过鱼建筑物就是成功的范例。朝鲜民主主义人民共和国近年兴建的南埔闸等也设置了鱼道。大量生长浮游植物的水库水不流通，为防止鱼类死亡，须修建专门供水管道输送鲜水。葛州坝工程采取人工送鱼过坝和人工繁殖措施，珍贵的中华鲟鱼得以保存并能大量繁殖。而且鲟鱼亦能改变回游范围，适应建坝后的新环境，节省了过鱼建筑物，从生物—环境适应规律来看，这是我国一项成功的

经验。

(3)合理安置移民,控制流域的生态学恶性循环

安徽解决库区移民毁林垦荒的问题也积累了成功的经验,他们提出推广省柴灶、太阳灶,建设沼气池,营造柴薪林以防止流域居民伐林烧柴,建立生态学的良性循环等(图5)。

(4)采取低坝水库群梯级开

发方式解决泥沙问题

法国罗纳河水势湍急,冲刷强烈,挟沙甚多,河床淤浅,海轮难行。他们的方法是沿全河修建一系列小水库群,分散治沙,发电、航运和其他事业共同发展,获得成功。

(5)加强水利工程的环境控制和流域管理

法国1976~1977年制定法

通过,应采取相应措施。

(3)注意水库淤积问题,包括排沙,上游植树造林和水土保持,下游河道、河岸的防冲措施,以及水库淤积的预测、量测和防治。

(4)水库泄放的水长期不清会影响下游的用水和渔业。为解决这一问题,可采用水库分层取水的方法。

(5)水库蓄水后,对困处库内的水生动物和库岸地区的陆地动物应采取妥善的保护措施,或救出,或设置新的通道。对珍贵动物尤其应注意保护。

(6)对小气象变化的影响,可根据气温、气压、湿度、降水等气象因素予以预测、观测和判断。

(7)设有淹没式挑流鼻坎的高落差溢洪道下游,尤其在近表面的水流中,偶尔会产生氧气、氮气过饱和现象,危及鱼类的生存。为防止这种现象,应合理设计溢洪道的挑流设施。

(8)库水富营养化影响饮用和鱼类生存。解决办法是清理库底防止营养盐类,尤其是含磷、氮、钾等营养物质流入水库。此外,还可养殖食草鱼类。由国外引进新鱼种应注意保持动物界的平衡,注意生物链效应。

(9)地下水变化会影响供水和农业,还会引起库岸滑塌。可参考各国防止这些影响的方法。

(10)国际大坝委员会设立了专门研究水库诱发地震的技术委员会。大坝设计应考虑这一问题,并应在坝体和水库周围埋入和建立自动记录式测震仪器,以便随时监测、分析和预报。

(11)水库可能会扩大疟疾、血吸虫病、丝虫病等地方病的流行区域。为防止传染媒介在库区繁殖,可对库区居民进行有关健康、卫生、预防、社会常识方面的教育,蓄水前清理库底,易沼泽化的地方应予以填平或疏导积水;在蚊蝇、钉螺等媒介产卵期,每隔一周升降一次库水位;经常撒杀

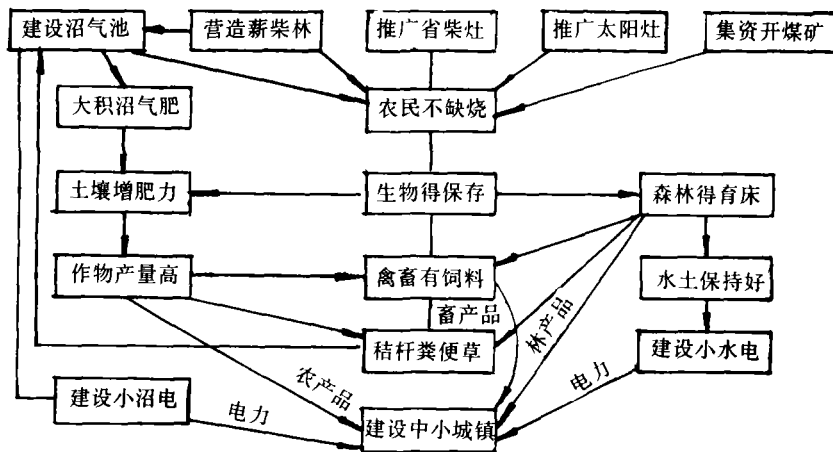


图5 对流域农村能源节流和合理安置库区移民所致的生态学良性循环

律,规定要审查装机容量大于500千瓦的新建水电站对环境的影响,所有水电站都应考虑发电和自然保护两个方面,寻求两者都是最优的方案。美国的重要经验之一是流域管理,解决引起地形变化,水土流失,泥沙输移、沉积等问题,不仅要顾及整个流域,还要顾及海域。竣工后仍应自始至终进行管理。

我国对有关环境影响尚无全面系统的研究和处理。对因筑坝建库引起的一系列问题虽也作了一定的研究、论证,对水库淹没和泥沙淤积也作了较多研究,但还不够全面系统和缺乏生态观点。

对水电工程环境影响评价工作在1980年前后已经起步,这是认真贯彻环境保护法和《基本建设项目环境保护管理办法》的良好开端。

大型水利工程规划设计中应重视的问题

(1)系统地调查生态环境问题,编制措施报告,包括施工前的准备,施工中的措施,以及将来水利工程运行中的管理。

(2)为清除漂浮垃圾,使木材、浮冰、鱼类、船只等能从大坝

陈省身、林家翘二位教授获 全美华协华人杰出成就奖

在全美华人协会1986年年会上本刊两位顾问编委,也是两位世界著名的数学家,同时获得全美华协颁发的华人杰出成就奖。此奖是专门颁发给在科学技术上成就卓著,同时又特别热心于在华人社会事务的华裔学者、专家的。

陈省身教授是基础数学方面与历代数学鼻祖齐名的当代数学家。杨振宁称他们这几位大师为:欧(几里得)、高(斯)、黎(曼)、嘉(当)、陈(省身)。数学界同行称赞道:“陈省身就是现代微分几何。”他一生努力,不但自己乐于研究、学习,先后发表了一百多篇学术论文,写过六本专著;而且乐于指导后学,指点晚辈,先后带过30多名博士研究生。近年退休后又亲返母校,在天津南开大学主持、创办了南开大学数学研究所。它已成为中外注目的高级数学人才培养、开发中心之一。

林家翘教授是当代世界著名的应用数学权威。是美国麻省理工学院(MIT)应用数学的讲座教授。林教授不仅造诣深,贡献大,而且对全美华协、对华裔同胞特别关心、尽心;对美中科技交流,对《科技导报》也是特别关心、尽心。本刊经常收到林教授亲自撰写或推荐的文章。

(蔡德诚)



照片:右三为林家翘教授,左三为我国驻美大使韩叙,右二为全美华人协会总会顾问主席潘毓刚教授,右一为本刊美方编委李耀滋教授。

虫剂,但要注意不危害人和鱼类;种植不利于钉螺生活的植物等。

(12)重视流域的水土保持问题。对淹没的森林、树木和农田,要根据植被的持水效应制定出造林规划。造林的面积采取等效植被造林对策。对移民安置,采取开发型移民,特别要防止移民迫于生活滥伐山林,或在山坡粗造梯田,导致水土流失和生态学—经济学上的恶性循环。

(13)在工程可行性研究和规划设计中,应同时研究潜在的环境问题。一些国家在法律中规定,坝的所有者有义务在规划阶段编制关于环境变化预测报告;

在工程批准书中写明环境保护方面必须采取的措施;在施工中监视有关环境保护措施执行情况;竣工后进行环境变化的检测,发现重要情况或与规划阶段的评价不符,应即向审批机关报告,请有关专家进行研究。此外,还可由专家组成的小组进行定期检查。我国《基本建设项目环境保护管理办法》也规定,设计中应有环境保护方面的篇章。

(14)大型水利枢纽设计必须以大系统观点为指导,空间上关注全流域万千里的影响,时间上纵观前后几千年的演化。精于

此,才能造福民族,避免殃及子孙后代。

(15)根据工程方法论的高科技多学科交融原理,对大型水利枢纽工程的环境问题必须采用多学科交叉研究法,由水电专家、水利专家、水力学专家、土建专家与经济学家、社会学家、水文学家、气象学家、土壤学家、农学家、地理学家、生物学家、遗传学家、医药学家、应用数学家、系统工程学家、控制论学者等通力合作,才能确保最后的方案不仅在技术上、经济上、可靠性上,而且在社会影响上、政治上也是最优的。