

联合国水电与可持续发展论坛 - 中国北京

# 大型水电工程的生态环境问题

## Ecological and Environmental Problems for Hydropower Projects

高季章  
Gao Jizhang

陈凯麒  
Chen Kaiqi

朱耀泉  
Yaoquan Zhu

中国水利水电科学研究院 (IWHR)

2004. 10

# 1. 中国水电资源的特点

*The characteristics of hydropower resources in China*

# 2. 继续建设大型水电的必要性

*The necessities of continuing the construction of large-scale hydropower*

# 3. 大型水电工程的生态环境问题

*Ecological and environmental problems for large-scale hydropower projects*

# 4. 实现大型水电工程开发与生态环境协调发展的途径

*Approaches of cooperating development of large-scale hydropower projects and ecological environment*

# 5. 结语

*Summary*

# 1. 中国水电资源的特点

## The characteristics of hydropower resources in China

### ★ 总量丰富

#### Abundant water resources in term of total quantity

中国大陆总的理论水能资源蕴藏量为6.76亿kW，经济可开发水能资源为2.96亿kW，年发电量为1.27万亿kW·h。

这个资源量意味着什么？

第一、水能资源是我国最丰富的能源资源。总量世界第一，人均也能接近世界平均水平（按经济可开发水能资源为68%），煤炭资源人均达不到世界平均水平的50%，石油资源人均达不到世界平均水平的10%。

第二、水能是中国现有能源中唯一可以大规模开发的可再生能源。水电能源考虑的时间段越长，其总量越大。按常规能源再使用100年考虑，能源剩余可采总储量的构成为：原煤51.4%，水能44.6%，原油2.9%，天然气1.1%。若按200年考虑，则水能超过60%。

## ★ 分布不均

### Uneven distribution

82.9%集中在西部地区，其中西南四省区（云、贵、川、藏）占全国总量的73.6%。

## 大型为主

### Mainly in large-scale

区域集中。装机容量大于等于25万kW的大型水电站，其装机总容量和年发电量均占全国总量的80%左右。75%的大型水电站和80%的100万kW以上的特大型水电站集中在西部，约60%集中在云、贵、川、藏四省区。



## ★ 东、中部与西部地区水电资源开发程度差异大

### Large difference in hydropower development in East - Middle part and West part of China

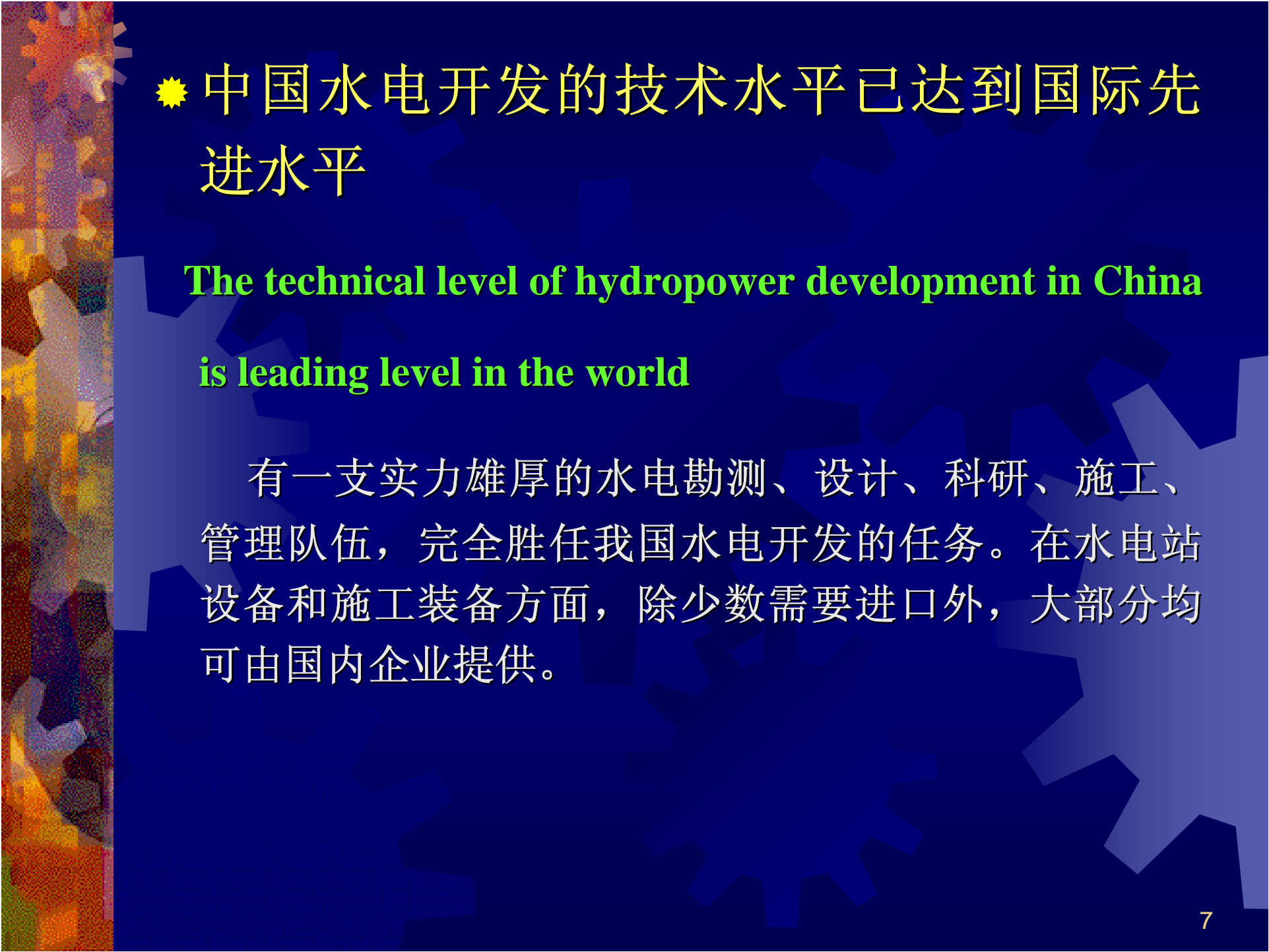
已建水电站大部分在中东部地区，距用电市场近，但大部分调节性能差；待建设的水电站大部分在西部地区，距用电市场远，但大部分调节性能好。

## ★ 水电装机世界第一、但水电资源开发率低

### First place in the world in hydropower capacity but development efficiency of hydropower is low

2004年我国水电装机已达到1亿kW，但与巨大的资源相比，总体开发水平低，水电资源开发率不仅大大落后于发达国家的水电大国，也落后于一些发展中国家的水电大国。<sup>6</sup>





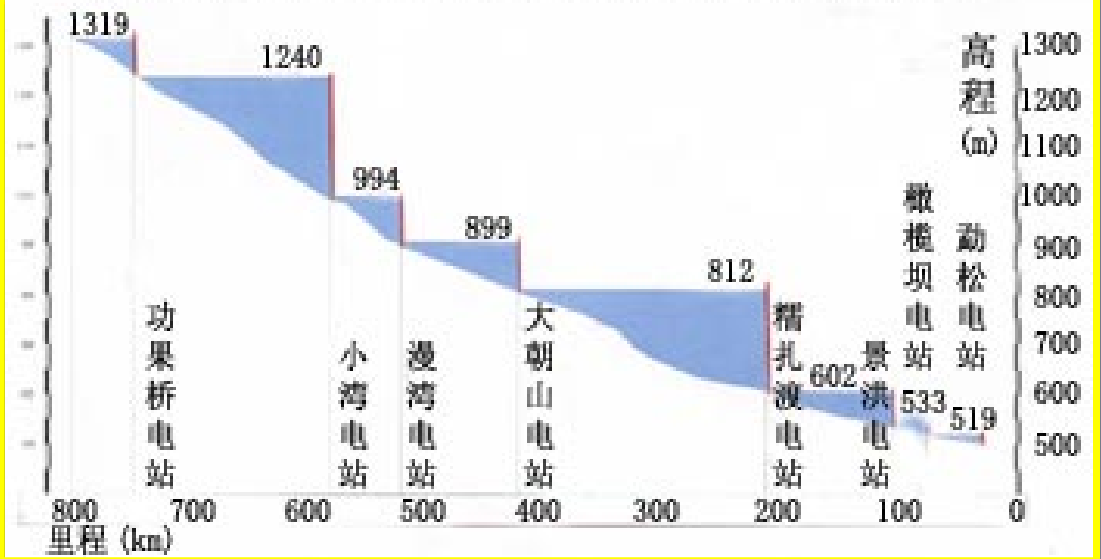
## ✦ 中国水电开发的技术水平已达到国际先进水平

**The technical level of hydropower development in China is leading level in the world**

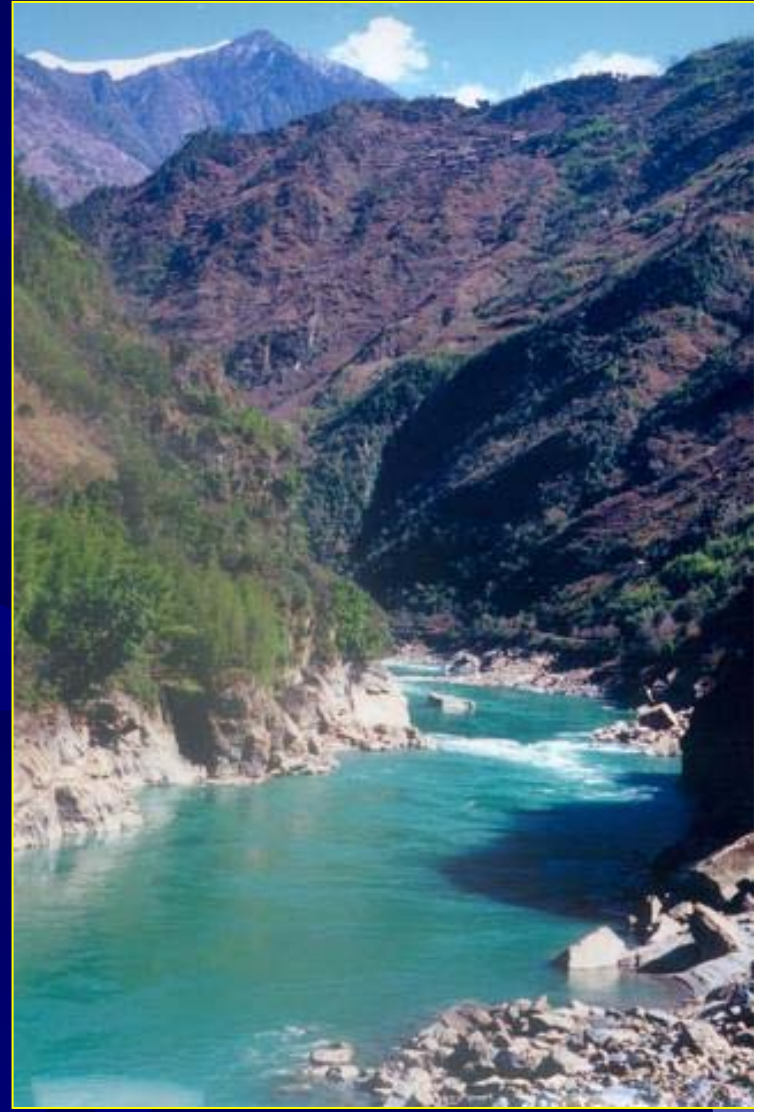
有一支实力雄厚的水电勘测、设计、科研、施工、管理队伍，完全胜任我国水电开发的任务。在水电站设备和施工装备方面，除少数需要进口外，大部分均可由国内企业提供。



澜沧江中下游河段梯级电站纵剖面图（功果桥—南腊河口）







## 怒江大峡谷

## 2. 继续建设大型水电的必要性

The necessities of continuing the construction of large-scale hydropower

### ★ 满足中国建设小康社会的能源需求

Satisfy the energy demand for development and economic construction

至今，世界上大约有五分之一的电力来自水电，世界上有24个国家的水电比重超过90%，至少有三分之一的国家的电力供应以水电为主。有75个国家主要依靠水坝来控制洪水，全世界约有近40%的农田是依靠水坝灌溉。水力发电已经成为当今人类社会文明的重要组成部分。

## ★ 发挥水力发电的综合效益

### Produce integrated benefits of hydropower development

#### -环境效益

中国经济可开发水能资源为2.96亿kW，水电与火电相比，每年可少燃煤5.8亿t，减少排放烟尘700万t，减少排放二氧化碳3.5亿t，减少排放二氧化硫900万t，减少排放灰渣1.8亿t。同时每年可少开采煤炭6亿t，可节约大量的采煤坑木，节约大量的堆放剥离石渣和煤矸石的用地。

火力发电通过各种措施可以减少二氧化硫的排放，但无法减少二氧化碳的排放，而二氧化碳是造成温室效应全球变暖的罪魁祸首。



## 一 灌溉、供水效益

中国水资源短缺，时间、空间分布极不均匀。从解决我国水资源短缺和分布极不均匀的问题，保障灌溉、供水水源出发，应该建设一大批具备年调节和多年调节能力的水库，其中大多数可与大型水电站结合。



★ 按“统筹区域发展”的方针，需要大力发展水电  
According to “overall development for each region” policy  
hydropower need to be developed

加快中国西部水电开发，加大西电东送的力度，是实行区域协调发展战略最有效最可行的战略措施。

—充分考虑了西部的资源优势，而且是可再生的资源优势；

—在减轻东部地区污染的同时，没有增加西部地区的污染。

—电力具有稳定的、长期的市场。

—西部水电开发可以带动西部地区的交通、建材等工业，也将吸纳部分产业结构调整产生的剩余劳动力。



### 3. 大型水电工程的生态环境问题

**Ecological and environmental problems for large-scale hydropower projects**

✦ 水电工程建设进入生态环境约束时期

**Hydropower construction entered constriction period due to ecological environment**

水电工程建坝必然改变河道原来的流量过程，它的影响大小取决规划的设计和运行规则，根本上说是人类对水资源如何使用决定了对生态环境的影响程度。水电工程建设经过技术约束、投资和市场约束、已进入生态环境约束时期。

## 不同的开发方式对生态环境的影响程度不同

种类	作用	主要环境影响
水库类	全年能源生产；瞬间发电容量；提供基荷调节和峰荷服务。	水库淹没造成自然栖息地变化及社会影响，特别是移民问题；改变河流水文状态，影响河段冲淤变化，影响水生生物。
径流式	提供基荷，调节受限。	限制洪水,阻隔河道，影响水生生物。
抽水蓄能式	发电容量受时段限制,向纯用户供电。	上、下水池对自然环境造成的影响。
跨流域引水式	仅提供能源。	减少调出流域的水量；增加调入流域水量，影响深远。
电站升级改造类	延长项目运行年限,有时能增加产出。	产生的新的影响很小。
综合利用类	水力发电及其它水资源利用。	主要是水库带来的影响、需要评估其它用途带来的整体影响。



## ★ 大型水电工程的主要生态环境问题

### Main ecological problems for large-scale hydropower projects

水电开发对环境的影响，主要是由于水资源利用方式的改变或兴建大坝而引起。水电开发，无论是调节性能好的大型水库，还是径流式发电、抽水蓄能发电、跨流域引水发电等开发方式，其对自然生态环境造成的影响，都是通过水工构筑物对河道的阻隔、水沙情势的变化、淹设与移民和工程施工等作用而施加影响。

## 其主要不利影响有以下几方面：

- ✿ 移民对社会环境的影响；移民安置区建设对生态环境的影响；
- ✿ 大坝的淹没、阻隔、径流调节对生物资源、生物多样性等方面的影响，特别是对水生生物、鱼类资源的影响；
- ✿ 水文情势改变对下游及库湾、库尾水质的影响；
- ✿ 水库泥沙淤积对河道的影响；库区水位抬高对周边土壤盐渍化的影响；
- ✿ 水土流失，大量开挖弃渣和混凝土废料对生态环境的影响
- ✿ 泄洪过程的冲刷及雾化作用对岸坡的影响；
- ✿ 水库蓄水后，山体滑坡与水库诱发地震影响；
- ✿ 高边坡开挖对植被和景观的影响等。

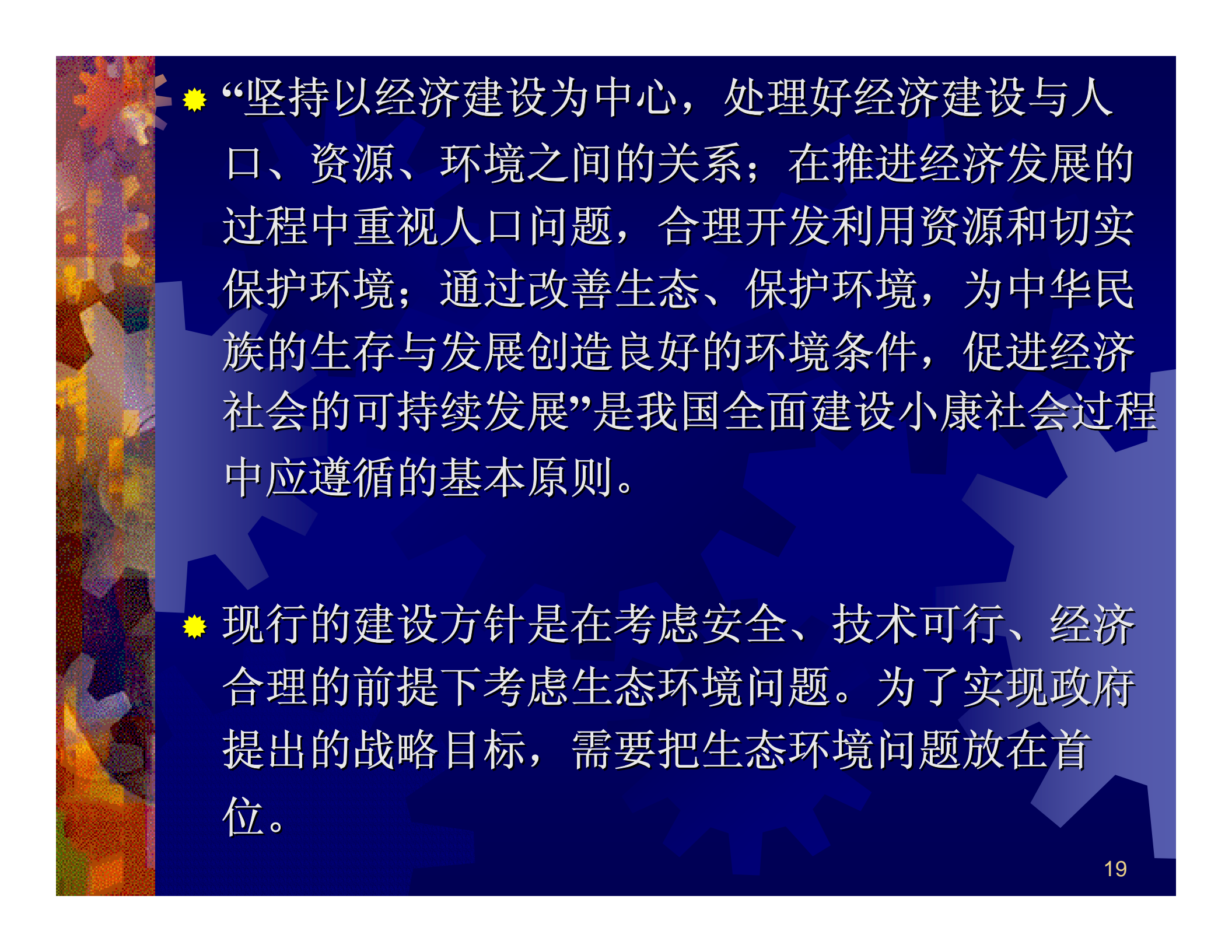
## 4. 实现大型水电工程开发与生态环境协调发展的途径

Approaches of cooperating development of large-scale hydropower projects and ecological environment

(一) 只有生态环境友好的大型水电工程才能可持续发展

It is only possible to conduct sustainable development when the large-scale hydropower projects are ecological-friendly





✦ “坚持以经济建设为中心，处理好经济建设与人口、资源、环境之间的关系；在推进经济发展的过程中重视人口问题，合理开发利用资源和切实保护环境；通过改善生态、保护环境，为中华民族的生存与发展创造良好的环境条件，促进经济社会的可持续发展”是我国全面建设小康社会过程中应遵循的基本原则。

✦ 现行的建设方针是在考虑安全、技术可行、经济合理的前提下考虑生态环境问题。为了实现政府提出的战略目标，需要把生态环境问题放在首位。

## (二) 加强国家对水能资源的统一管理


**The uniform management from the government to hydropower resources should be reinforced**

- ✿ 应该在国土资源综合规划和水资源综合规划的指导下制定水能资源开发规划。
- ✿ 政府应该对水能资源规划加强统一管理，强化规划工作中的规划环境影响评价工作，超前组织对尚未进行规划的河流开展综合规划，对尚未批准的河流规划尽快进行审查。

### (三) 因地制宜、选择适当的开发目

**The appropriate development objectives should be determined based on different local situations**

- ✦ 过去的水力资源规划，追求100%的开发率。应因地制宜、选择适当的开发目标。对于移民和淹没耕地少，生态环境影响小的河流，可以充分利用水能资源进行全面开发；对于移民和淹没耕地多，生态环境影响大的河流，可以放弃部分河段的开发。参照多数发达国家的情况，水电资源平均开发70—80%是可行的。



(四) 大型水电工程的开发与运行目标中，须将生态环境保护目标列入其中、开发与运行方式要兼顾生态环境保护的要求

The ecological and environmental protection purposes should be included in the development and operation purposes of hydropower projects. The approach of development and operation should accommodate the requirement of ecological and environmental protection

- “龙头水库”加多级引水式开发的模式可以减少淹地移民、减轻对生态环境的影响。上游河道坡降大，河谷狭窄，人烟稀少，经济不发达，因此在上游修建高坝大库，淹没损失所造成的经济影响一般较中下游为小。水电的运行方式，以调峰运行经济价值最高，但为了兼顾生态环境影响，应该安排一定的机组按基荷稳定运行。工程还应该在低部位设置放水设施，以保证在机组全停时也能下泄最低生态流量，同时保证下游河段的供水需要。



## (五) 把解决好淹没区的移民经济可持续发展作为水电开发的基本目标之一

**It is critical to keep the economic sustainable development of immigrants from inundation area as one of the fundamental objectives for hydropower development**

- ★ 兼顾项目建设区、电源业主、输电、用电区的利益，考虑到建设区为用电区带来的巨大环境效益，经济上应该向建设区适当倾斜，给予一定的经济补偿。淹没土地和移民安置补偿方式可考虑在电站建设总投资股份基础上的折算入股方式，用一部分电站发电的持久效益，解决为电站建设做出贡献的移民经济可持续发展问题。
- ★ 政府在提高移民经济补偿和生态环境修复要求的同时，应该给水电开发以税收优惠，如对移民和生态环境工作搞得好的水电开发项目实行退税政策。



## (六) 妥善处理与自然保护区的关系

Properly handle the relations with natural protection area

- ★ 应禁止在自然保护区核心区内建设水电工程、在缓冲区内建设水电工程要采取非常慎重的态度，若对自然保护区、风景名胜区及森林公园等产生影响的应采取必要生态恢复治理与补偿措施。对于淹没区的重要文物，需要提前进行发掘、迁移、保护。

## (七) 妥善解决水库泥沙淤积问题

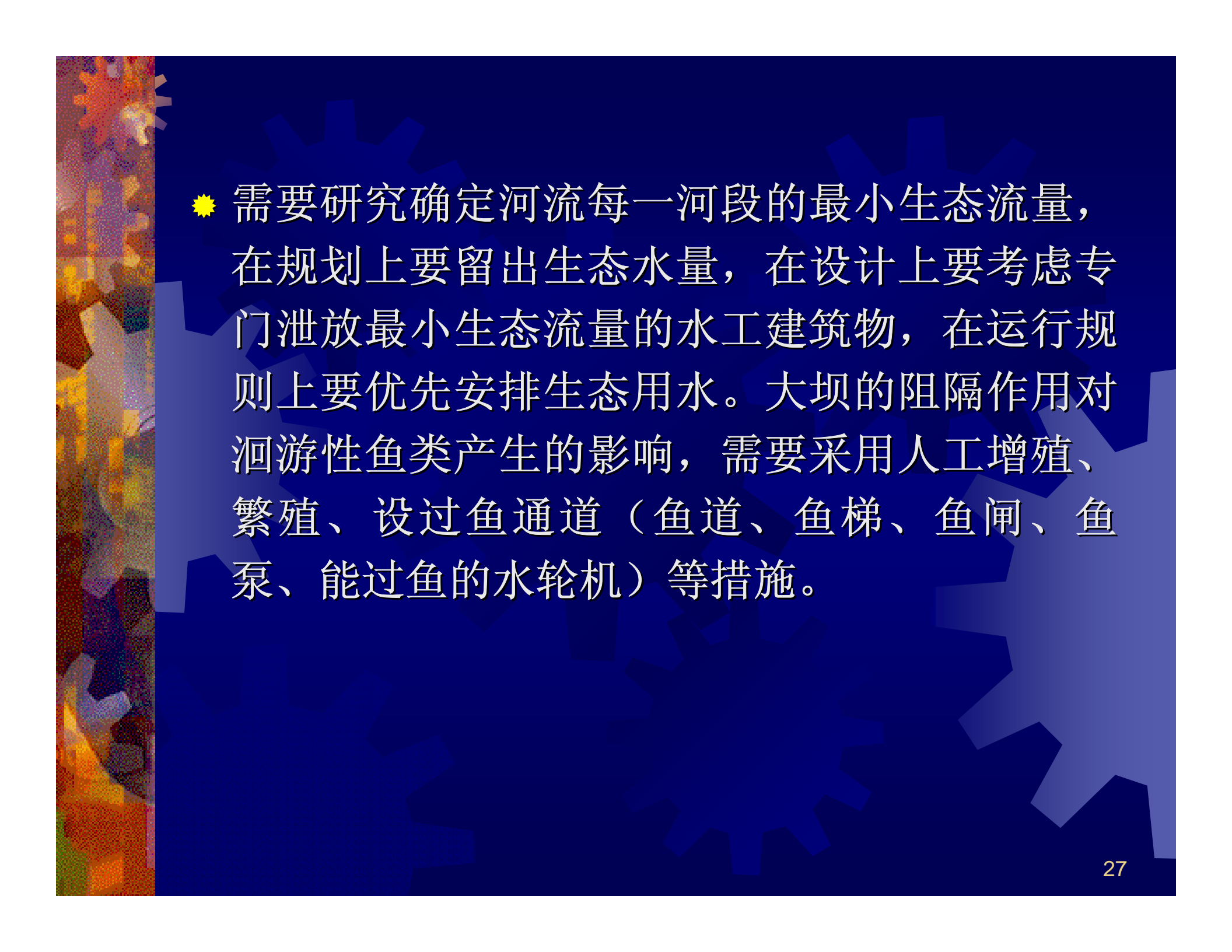
### Properly handle sedimentation problems in reservoir

- 大型水电工程中的高坝泥沙淤积问题比较突出。泥沙淤积会缩短水库的使用寿命，抬高库尾河床可能导致土壤盐碱化。向下游输送泥沙的减少会增加水流的冲刷能力、加速岸坡的冲刷，河口缺乏泥沙补充可能引起岸线的蚀退。妥善解决水库泥沙淤积问题对于电站效益和保护生态环境都是非常重要的。
- 中国对解决水库泥沙淤积问题已积累了丰富的经验。要坚持不懈地做好库区和上游的水土保持工作，要设置足够的低高程的排沙设施，安排必要的排沙水量和合理的运行方式，必要时采取其它辅助清淤措施。

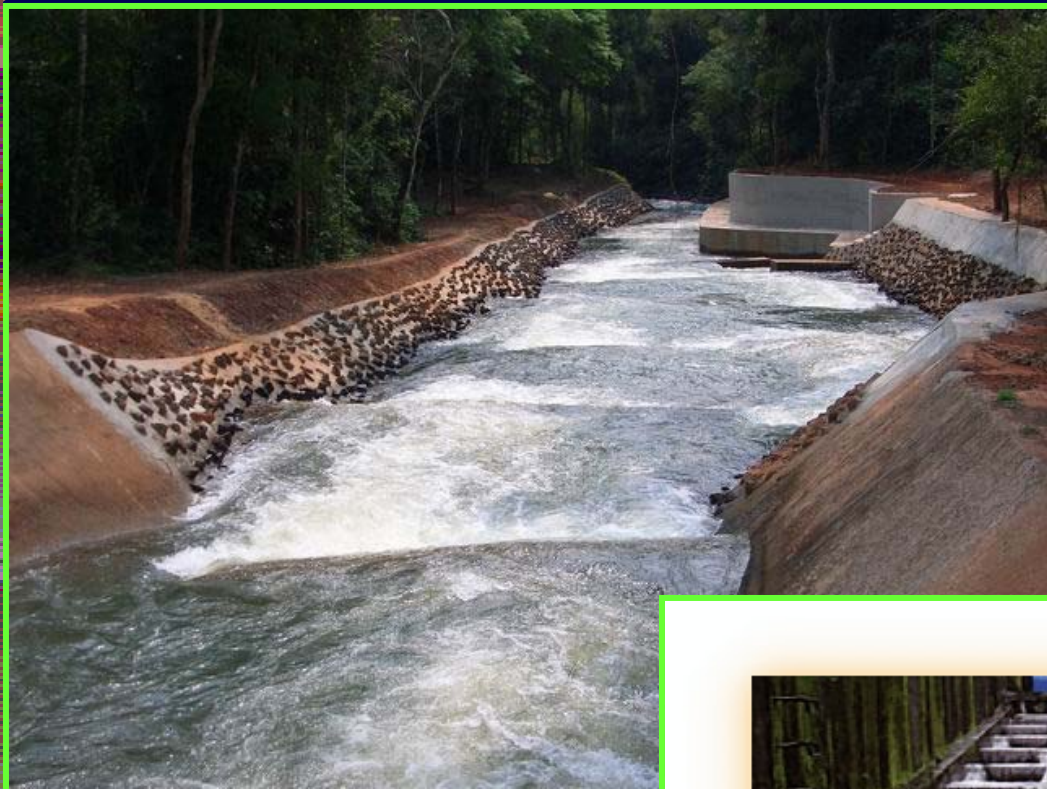
## （八）保证河流每一河段的最小生态流量和设置过鱼设施是减轻对生物多样性影响的主要措施

**The main measurements for alleviating the negative effects to biological variety are to ensure the minimum ecological discharge and setup fishway**

- ★ 大坝的淹没、阻隔、径流调节对生物多样性产生影响。河流是物质、能量流动的通道，同时也是生物迁徙的通道，淹没使得生物栖息环境由激流、浅水环境变为静水、深水环境，对于适于浅水、激流生境的水生生物产生不利影响；径流的变化，特别是下游水文情势的变化，影响到生物栖息地；生态水文学过程的变化，对生物资源与生物多样性都有不同程度的影响。

- 
- ✦ 需要研究确定河流每一河段的最小生态流量，在规划上要留出生态水量，在设计上要考虑专门泄放最小生态流量的水工建筑物，在运行规则上要优先安排生态用水。大坝的阻隔作用对洄游性鱼类产生的影响，需要采用人工增殖、繁殖、设过鱼通道（鱼道、鱼梯、鱼闸、鱼泵、能过鱼的水轮机）等措施。





✦ 鱼道照片



## (九) 保护库区生态，控制污染源可减免建坝对水库水质的影响

**It is able to reduce the influences to water quality due to dam construction by controlling the pollutant and protecting the ecology in reservoir**

- ✦ 筑坝建库后，改变了原库区河段的天然流动水体自净能力。但就水库库区整个水体而言，特别是交换较快的水库，出现富营养化的可能性较小。但如果库区过度发展养殖业，出现富营养化的可能性较大。一般网箱养鱼，80%的饵料残留在水体中。库区生态保护得好，污染源控制的好，水库水体水质可维持在较好的水平，有的还可能改善。

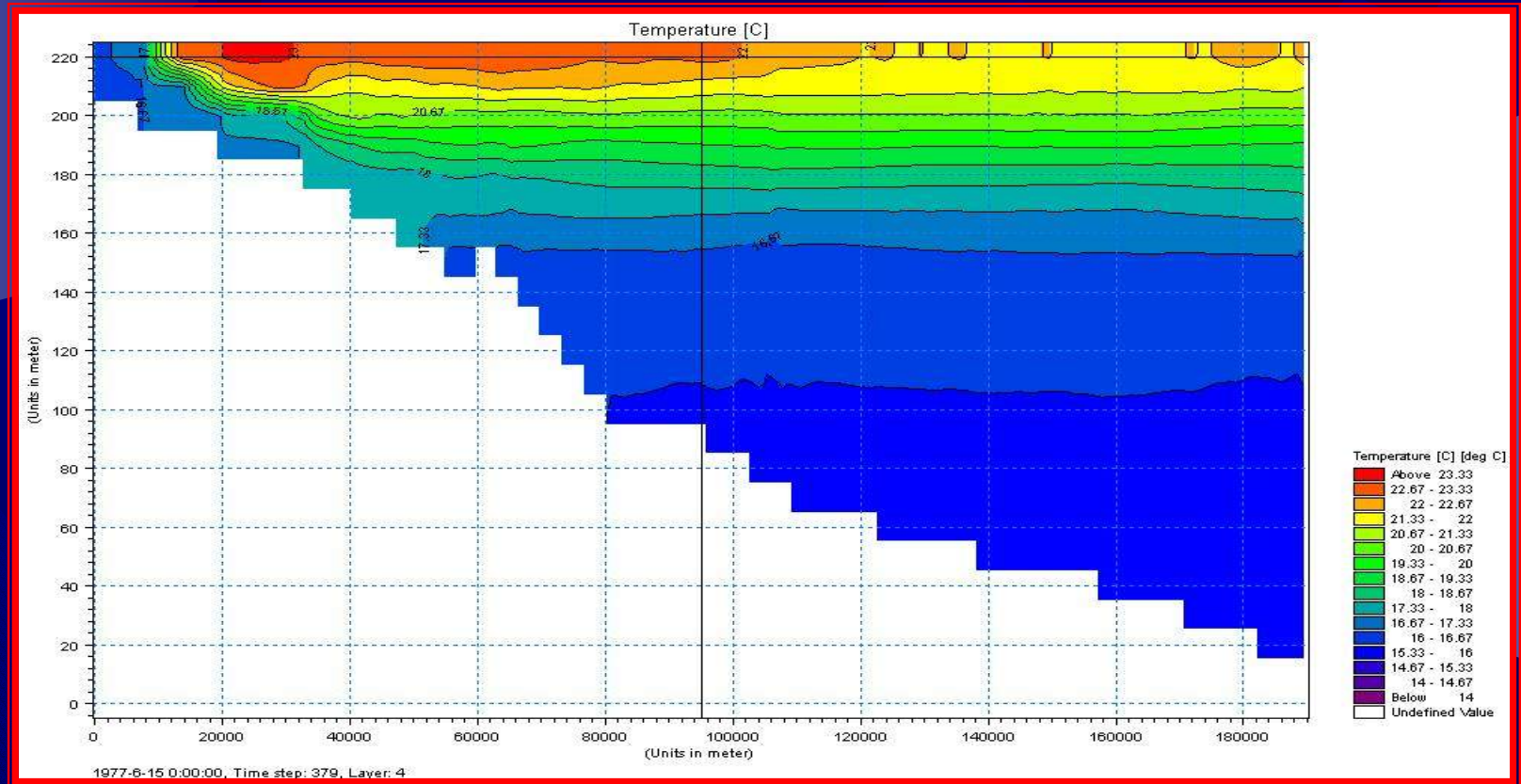
## 闽江水口电站上游水葫芦疯长成灾

2004年4月下旬，福建闽江水口电站上游“水葫芦”长势触目惊心，一层厚实的“绿毯”将江面盖得严严实实，连绵数公里。受灾最为严重的雄江镇，近三分之二的水面被水葫芦覆盖。目前，该区域水面交通严重受阻。





- 另外，建坝使水库所在河流的水温产生不同程度的影响，高坝大库，坝前垂向水温呈现出明显分层现象。对水温要求高的河段，可以通过设置分层的电站进水口和泄水建筑物解决这一问题。



## (十) 采用减轻泄洪雨雾冲刷的消能新技术研究

**New investigations for reducing the erosion due to flood releasing, rainfall and snow events should be carried out**

★ 高坝泄洪为提高消能效率，采用水舌碰撞消能，但泄洪雨雾造成的影响比较严重，容易引起泄洪雨雾区岸坡表层植被和土石滑塌。从保护岸坡和环境要求，需要研究消能效率高且雾化影响小、经济适用的新型消能技术。包括：

- (1) 新型的底流消能技术(如向家坝工程)
- (2) 泄洪洞内消能技术;
- (3) 施工导流洞与永久泄洪洞结合的新型消能技术。



三峡雾化作用照片



江口电站雾化作用照片



## (十一) 研究预测和处理滑坡等地质灾害的关键技术

**Research the key technology to predict and manage geological disasters such as land-slides**

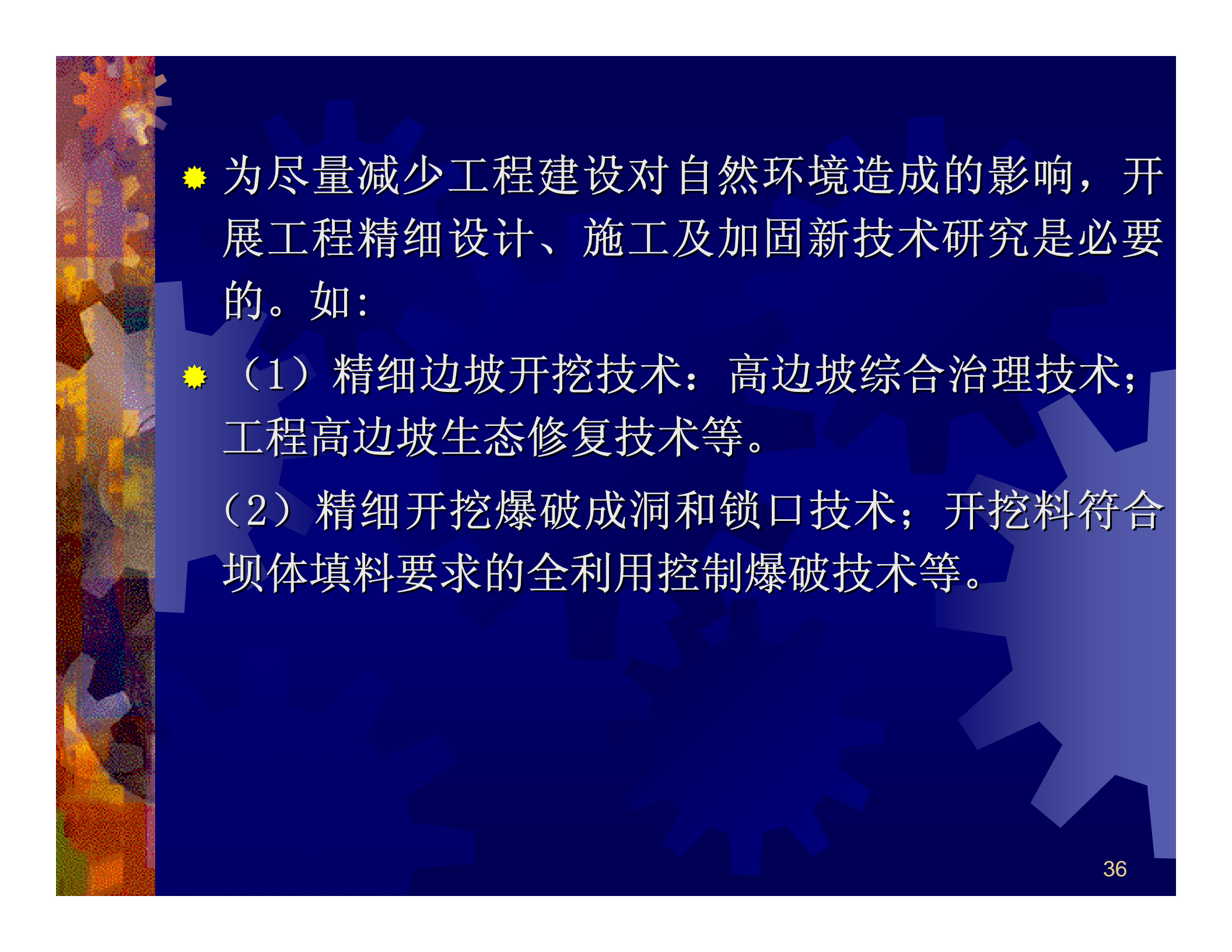
库水位的涨落和波浪冲刷对岸坡产生影响。库岸地下水位抬高，岩土软化，强度降低，从而诱发岸坡地质灾害。对策是：

- (1) 建立基于GPS的滑坡安全预警立体监测自动化系统。
- (2) 进行库区崩塌、滑坡灾害的综合治理。

## (十二) 采用尽可能减少植被破坏的精确勘探和施工技术

Apply accurate reconnoitering and construction technology to reduce the damages to vegetation

- ★ 水电工程勘测，大量采用洞探、坑、槽探等地质勘探手段，由于爆破开挖、乱置弃渣、不回填封堵，对工程区的生态环境造成一定的影响。应大力发展对生态环境影响较小的工程勘测技术，如“3S”技术（RS、GPS、GIS），以及微地震技术、浅层反射、折射技术、层析成像技术（CT法）、电磁波地质雷达技术等为代表的精确物探勘测新技术。



- ★ 为尽量减少工程建设对自然环境造成的影响，开展工程精细设计、施工及加固新技术研究是必要的。如：

- ★ （1）精细边坡开挖技术：高边坡综合治理技术；工程高边坡生态修复技术等。

- （2）精细开挖爆破成洞和锁口技术；开挖料符合坝体填料要求的全利用控制爆破技术等。



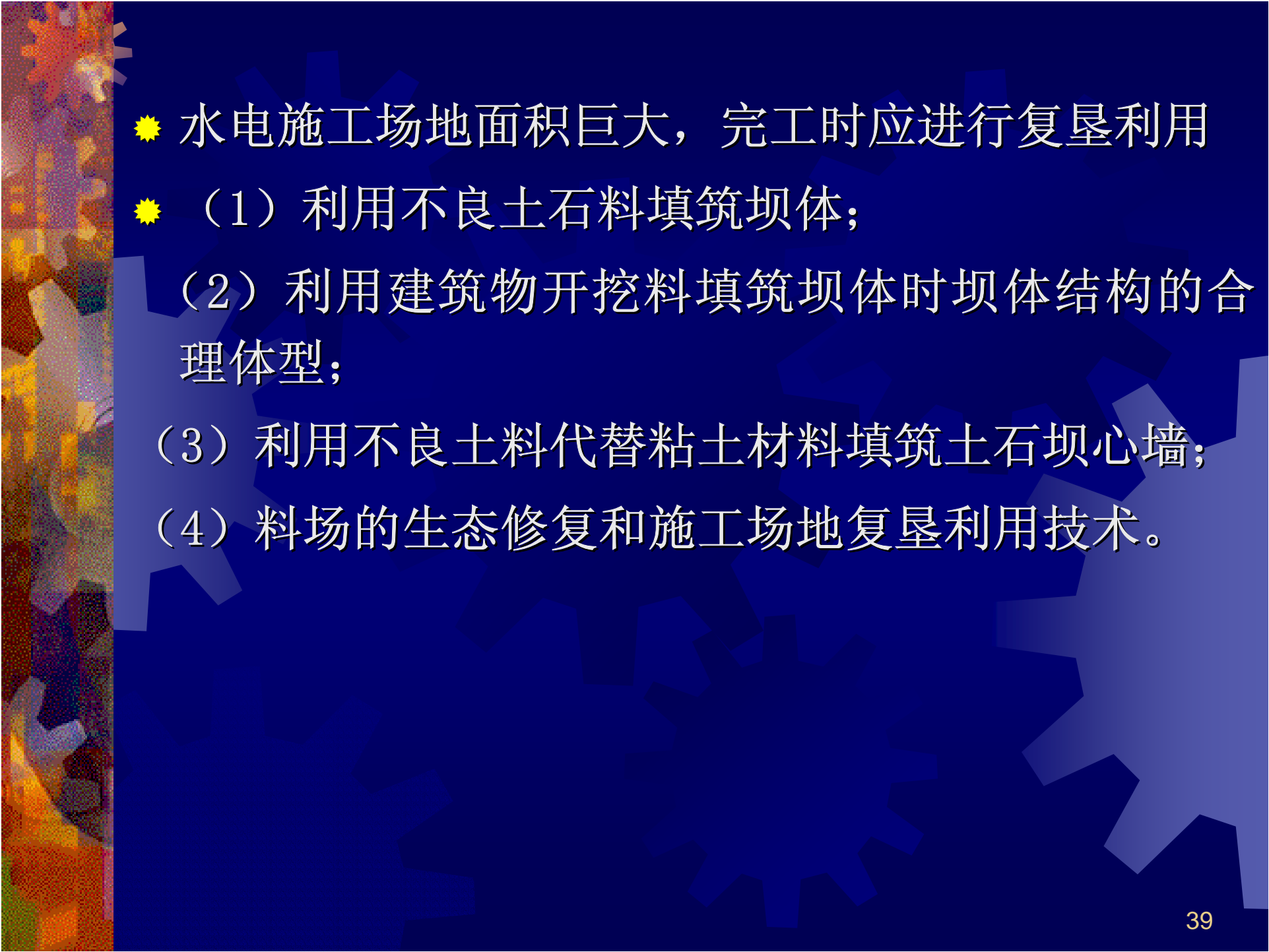


✦ 高边坡爆破照片

### (十三) 研究遗弃开挖料的完全利用及填筑标准、施工迹地复垦技术

**Investigate the complete utilization of dredging deposit and technology of filling standard and re-cultivation of construction site**

- ✦ 中国在水电建设中对于施工土石料的合理利用进行过一系列的研究，但出发点主要是基于经济方面的考虑或因为料源的缺乏，并未有意识地考虑环境方面的因素，因此其研究成果尚不全面。但相关的研究成果却为进一步的深入研究奠定了良好的基础。

- 
- ★ 水电施工场地面积巨大，完工时应进行复垦利用
  - ★ (1) 利用不良土石料填筑坝体；
  - (2) 利用建筑物开挖料填筑坝体时坝体结构的合理体型；
  - (3) 利用不良土料代替粘土材料填筑土石坝心墙；
  - (4) 料场的生态修复和施工场地复垦利用技术。




## 5. 结语 Summary

- ★ 水电建设对环境的影响有利有弊。对于具体的工程而言，辩证的分析之后还须科学决策。

根据水电工程对环境的影响不同，应该采取“积极改善、可以改变、不得破坏”的环境原则。对环境影响利大于弊，兼顾改善环境的水电工程，应该积极建设。对环境影响利弊相当，但水能资源、社会效益巨大，综合平衡有利于社会可持续发展的，根据环境是可以改变的原则应容许其上马并采取积极的环境治理与修复措施。对环境有严重影响，破坏生态环境的水电工程，应该放弃。



- 
- ★ 特别是在流域水能资源梯级开发规划中，要统筹兼顾生态保护与建设发展的关系。水能利用最大化的设计原则已不符合时代的要求，要树立流域水量、水质、水能统一管理的管理的概念，树立流域是一个生态系统的概念，综合考虑开发活动间的相互影响，需要把生态环境问题放在首位，发展先进的科学技术，建立新的生态环境友好的大型水电工程建设体系，从规划、勘测、设计、施工、运行管理各个阶段的环节，优先考虑生态环境问题，实现水能资源开发利用与生态环境保护双赢。



谢谢各位!  
Thanks!