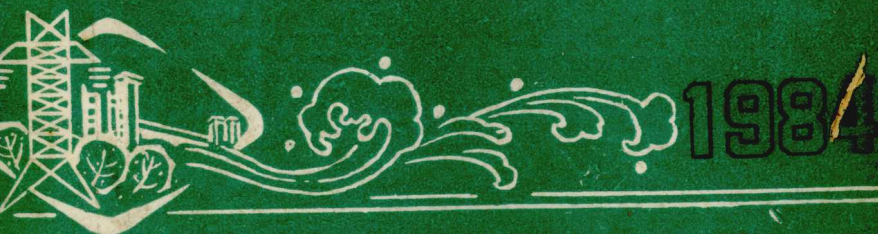


水利水电工程环境影响评价(三)

水利水电工程对环境的影响

刘峻统等 编著



中国水利学会环境水利研究会
葛洲坝水电工程学院

目 录

第一篇 水利水电工程对环境的影响

刘峻德

第一章 对物理的影响

§ 1~1 概述..... (1)

§ 1~2 冲刷和淤积..... (2)

一、冲刷的原因及实例

二、解决冲淤的主要对策

三、水库上下游泥沙冲淤计算的方法

§ 1~3 水文状态的变化..... (38)

一、水文状态变化的原因

二、水文状态变化的特征

三、水文状态变化对上下游的影响

四、最小放流量的问题

§ 1~4 水质的变化..... (46)

一、水质变化的原因

二、水质变化的影响

三、水质标准的确定

四、水质评价的一般方法

§ 1~5 水温的变化..... (70)

一、水温变化的现象和水温分层判别法

二、水温变化的机理及影响

三、水温变化的计算方法

§ 1~6 局部气候的变化..... (95)

一、对气候的影响

二、对气候影响的原因

三、对气候影响的预测

第二章 对生态环境的影响

§ 2~1 微生物..... (101)

一、水利水电工程对微生物影响的主要原因

二、用微生物量来区别蓄水工程的营养类型

§ 2~2 植物..... (108)

一、浮游植物

二、高等水生植物

§ 2~3 动物..... (113)

一、浮游动物

二、底栖动物

三、野生动物

§ 2~4 鱼类..... (117)

第三章 对化学的影响

§ 3~1 自然水的化学成分..... (131)

§ 3~2 温度对水化学的影响..... (133)

§ 3~3 水的矿化度和盐分..... (135)

§ 3~4 营养元素及有机物质..... (141)

§ 3~5 微量元素..... (142)

第四章 对社会环境的影响

§ 4~1 人口增长问题..... (145)

§ 4~2 社会经济的变化..... (147)

§ 4~3 淹没和迁移的问题..... (155)

§ 4~4 对人群健康的影响..... (158)

§ 4~5 景观与旅游..... (160)

主要参考文献

第二篇 专 题

一、水利水电工程与环境..... 方子云 (164)

国内、国际环境水利情况
水利水电工程与环境
水利水电工程环境影响评价
河流开发与污染防治

二、水库诱发地震…………… 李宗华 (204)

概述

水库地震实例及特征

水库地震成因及诱发机理

水库地震地质背景

水库地震主震预测

主要参考文献

第一章 对物理的影响

§ 1—1 概述

水利水电工程对环境的物理影响，早已引起人们的注意。一些大型工程在兴建之前，有的已经对此部分内容进行过专题研究，并在评价的基础上，付诸工程实施。例如水利水电工程引起的冲刷和淤积问题，在工程初步设计阶段，提出综合防治的意见。工程建成后，又设置专门仪器设备，长年累月进行观测，测验上游淤积的数量和速率，下游河床冲刷的深度和范围等，来验证模型的合理性。

水利水电工程对环境的物理影响是多方面的。从影响内容来说，有淤积和冲刷的影响，水文状态变化的影响，水质的影响，气候的影响，地震的影响，淹没和浸没的影响，地下水位变幅的影响等；从影响范围来说，根据工程规模不同，影响范围从几公里到几百公里的面积；从工程用途不同，影响的内容也不同，如蓄水工程有上下游的影响，渠系工程有沿程的影响，航运工程有全河段的影响；旅游性质的工程有美化的影响等等。

但是，系统地认识水利水电工程对环境的物理影响，只是在近十几年来才引起人们注意并加以研究的。这主要是由于大型水利水电工程兴建之后，对物理环境引起了巨大的变化，促使人们进行总结，研究其变化规律，形成了比较系统

的科学，又反过来指导新建工程，使新建工程将不利影响减至最小，并通过一定的工程技术措施，将不利影响转化为有利影响，充分发挥工程效应，达到环境效益和经济效益最佳。

本章重点是蓄水工程对物理环境的影响。在物理影响中又以水利水电工程产生的主要影响为主，并且较详细地介绍这些影响的原因，实例和解决这些问题的途径。对水库地震问题作专门问题叙述。

§ 1—2 冲刷和淤积

一、冲淤的原因及实例

水利水电工程产生淤积和冲刷，是一个问题的两个方面。例如有可能产生淤积的是输水工程的渠道，蓄水工程的水库库区，水电站的前池，引水口和尾水等。而可能产生冲刷的主要有输水工程的渠道，蓄水工程的下游和电站尾水等。

水利水电工程产生的淤积和冲刷，作为对环境影响而提出来的主要原因是：淤积如果发生在库区，减少了库内有效容积，提高了水库末端河床，堵塞引水建筑物前缘，减少了引水流量，而水库末端河床上升，即背砂现象（翘尾巴），对库区上游周围土地和村庄，带来了威胁；淤积如果发生在输水工程中，则减少了有效引水量；如果发生在水电站的尾水，则降低了水电站的出力，损失掉电能。对于冲刷来说，当兴建蓄水工程时，由于防止洪水带来的灾害，或者弃掉多

余水量，常常兴建一些泄水建筑物，这些建筑物下泄的水量，一般情况下，比天然河道（即未修建工程时）下泄水量所带泥沙少，再加之建筑物集中下泄，下游流速增大，这样，对下游河床就会产生冲刷。冲刷深度将随着下泄量的频率，含沙量大小，主流摆动范围和下游河床地质地貌条件不同而变化。对输水工程来说，冲刷主要引起渠系建筑物的废弃和沿程下切，久而久之就将两岸淘刷，破坏了输水工程。一旦产生上述问题，都将对工程周围和沿岸带来损失，因此淤积和冲刷问题，一直引起水利水电工程兴建时的注意。

水利水电工程产生淤积和冲刷的原因很多。对蓄水工程的淤积问题，与水库的流域面积、地形、地质、地貌（主要是植被）等流域特性和上游河段的水力特性、水库上游附近地区的气象特性等因素有关。在这些因素中，流域内的岩石种类，风化程度，崩坍情况，植被的种类和分布，覆盖层厚度、地形高度、起伏坡度、河流的流量、河床坡降、输沙特性等起着决定性作用。除此以外，人类活动因素如森林采伐，道路兴建，植树造林，拦河和治山等水土保持措施的效果，对水库淤积有着重要影响；对输水工程的淤积问题，除了引水的含沙量和天然河道衔接处的渠道工程之外与渠系的设计关系极大。正确的渠道设计，选择合理的坡降，全面考虑输水工程沿线的地质、地貌和植被生长情况，对输水工程淤积将起到抑制作用。

水利水电工程的淤积和冲刷问题，随着近几十年来工程兴建数量增多，规模增大，经验的丰富和教训的积累，为解

决淤积和冲刷问题提出了一些方向性的办法。我国三门峡水库就是这方面的典型实例之一。

三门峡水利枢纽是我国黄河干流上第一座大型水利枢纽工程。它于1957年4月初动工，1960年9月基本建成蓄水运用。由于当时对淤积问题认识不足，处理不当，使水库淤积的数量和部位大大超过了设计范围。水库运行到1964年10月，仅仅四年期间，库区内淤积泥沙量达40.5亿立方米，占运行水位335米时库容97.5亿立方米的41.5%，不仅侵占了库容，削减了水库防洪能力，影响了水库的使用年限和兴利效果，而且给上下游造成了一系列的危害。

首先从库区及其上游来说，因为黄河是一条有名的多泥沙河流，平均含沙量达37.8公斤/立方米，平均年沙量达16亿吨。兴建大坝之后，拦截了控制流域面积68.84万平方公里的平均来水量431亿立方米的1/4，而且为了满足下游防洪要求，拦截水量大部分在含沙量高的汛期。这样，大部分泥沙随着入库流速减小而沉降到库区，使库内泥沙淤积量显著增加，并且向上游发展，降低上游河槽泄洪能力，造成洪水灾害。黄河、渭河交汇“卡口”处的潼关，1969年汛后，河床高程达到328.5米，比建库前抬高了5米；渭河淤积末端，最远发展到距坝址328公里。黄河北干流淤积末端距坝址处达187公里，远远超过了当时设计的标准。据实地测量，1974年陕西省华县以下滩面抬高3.7米，渭南抬高2米，临潼抬高1米。在渭南以下的防洪堤内外形成2~3米的临背差，成为悬河。北洛河1968年滩槽均淤高2~4米，黄河北干流河床抬高1~2米，结果使潼关330米以下过水断面曾减少60%；

黄河北干流金水滩以下的漫流量只有3000秒立方米；北洛河朝邑附近的漫滩流量由建库前1000秒立方米降至150~200秒立方米；渭河华县断面由原来的过水流量5000秒立方米降至2000秒立方米。由于河床抬高，断面缩窄，必然造成洪泄不畅。以渭河为例，1967年汛期发生了河口8.8公里长河槽淤死现象，迫使渭河漫滩乱流。1968年9月12日，渭河莲河市~柳枝一带发生5000秒立方米的洪峰，结果淹没耕地六万多亩，一万五千多人受灾。1973年9月1日，华县洪峰流量5010秒立方米（比建库前同流量水位高3.73米），当时平槽流量不过3000秒立方米，还淹没耕地25万亩，约十万人受灾，而且使支流倒溉2~7.5公里。

其次，对下游河道冲淤的情况。三门峡水库未建成前的1950~1960年，平均每年进入下游的泥沙有17.6亿吨，其中淤积在下游河道的有3.9亿吨，其特点是：从地区分布来看；一般情况是汛期淤河南、冲山东，非汛期全河都淤积；泥沙年内分配主要在汛期，尤其是汛期的洪峰区，占汛期内淤积的91.5%，汛期占全年总淤积的81%，平水期占8.5%；从淤积部位来看，汛期滩地淤积占70%，主槽占30%，非汛期都淤积在河槽内；从淤积物组成看，床沙占4/5，悬沙占1/5；淤积物下游比上游细，滩地比主槽细，淤积在主槽的大部分大于0.05毫米的颗粒。水库建成以后，由于上游来水来沙经过水库调节和控制，改变了下游河道的水文特性，而这种改变又与水库运用方式密切相关。因为水库调节作用表现在削减洪峰，蓄水拦沙，下泄清水，滞洪滞沙，改变了下游水沙条件。使下游河床淤积特性也相应发生变化，主要表现在：

1、清水下泄期：从1960年9月到1962年3月水库高水位蓄水运用期，泥沙大量淤积在库区，下泄水流泥沙含量大大降低。清水下泄，使全河道发生显著冲刷，一年半河床冲刷量达8.3亿吨，使下游河床发生：

①河槽冲刷、滩槽差变大。清水下泄期间，花园口以上河槽刷深1.0~1.5米，花园口以下刷深0.5~1.0米，山东河段一般刷深0.5~1.5米。河槽刷深使滩槽差变大，各站同流量下水位下降，有利于防洪。

②水流趋于集中，河势变顺直。过去河势散乱，江心洲多的现象显著改善，小洲联成大洲，位置比较稳定。花园口以下至杨桥25公里河段，河道顺直，河宽由1500~2000米变为不足1000米，最窄300~400米。杨桥~辛寨，黑石~黑岗口两河段，由过去支流分散，河洲众多变为一般河或主流明显。黑岗口以下河道变得甚为规律。

③中水流量持续时间长，对河床的破坏和塑造影响较强。一般有工程的河段，流势较集中，向窄深发展；无工程控制的河岸有刷涤展宽和河湾上挫的趋势。入湾多呈“入袖”之势。因此，在没有工程防护或工程失守的河岸，坐湾滩比较严重；在有工程防护的河岸，险情增多，抢险时间加长。

2、改建排沙期，1965年至1973年底进行改建，打了两条排沙洞，在坝内打开封堵的底孔，又加了四条管道，才使下游河道又逐渐回淤，1964年11月至1973年12月，全下游共淤积39.1亿吨，但其淤积特性较建库前发生了下述变化：

①水库下泄流量一般不超过6000秒立米，河水失去漫滩

淤积的机会，泥沙都淤在河槽中，使滩槽高差逐渐减小，平滩流量变小。加上生产堤的影响，有的河段形成二级悬河，过水能力大大减小。1973年花园口洪峰流量仅5000秒立米，却使花园口到石头庄160公里河段水位普遍超过1958年22300秒立米最高水位0.2~0.4米。

②全年调节运用之后，汛期排出非汛期的淤积，大大增加了下游汛期淤积比例，使汛期淤积量占全年总量的比例，由建库前的81%增加到96.7%；汛期中的平水期淤积量也由占汛期的8.5%增加到23.6%。

③建库前汛期淤河南，冲山东；非汛期全河淤积。改建后汛期全河淤积，非汛期冲河南，淤山东。

三门峡工程是我国水利工程冲刷和淤积的典型实例。在国外，这方面的实例也很多。如苏联的德詹（Тебжен）水库、格尔格比耳（Гергебилъ）水库，美国麦克米伦（Mcmillan）水库和派克（Parker）水库等，对上下游都产生了严重的影响。

二、解决冲淤的主要对策

水利水电工程产生冲淤问题，实际上是由于河流挟带泥沙而引起的。泥沙问题是在本世纪二十年代前后，才作为坝工建设的主要问题，引起人们注意。四十年代以后，由于大型水利水电工程的发展迅速，泥沙问题作为广泛研究课题而开展起来。六十年代它已经成为水利水电工程的环境影响重要问题之一，而引起科学家的关注。

但是，到目前为止，泥沙问题仍集中在研究水库方面

其他如渠系则研究不多。究其原因，主要是灌溉、航运、发电都要求水库常年蓄水，维持一定的库水位，尤其是航运和水力发电提供了廉价的电力和运输，引起了人们的关注。而且随着水工技术的发展，高坝大库大量出现，蓄水拦沙的结果，库容损失加快，最终影响防洪和水资源的综合利用，所以，对水库的冲淤研究发展较快。

根据国际大坝会议介绍情况来看，处理冲淤问题较好的有：美国在土壤侵蚀方面，日本在修建拦河堰控制粗沙入库方面，苏联在水库降水冲刷和水库坍岸方面，法国和阿尔及利亚在水库清淤排沙方面，我国一些大型水库采取底孔排沙方面都积累了一些经验。现在分别介绍于下：

1、防止土壤流失，减少泥沙入库。

影响水库淤积速率的主要因素之一是集水区土壤的侵蚀程度。在土壤侵蚀严重的地区，很多小水库经过一、二次洪水就全部淤废。因此，在流域范围内开展土壤保持工作，是减轻土壤流失和水库淤积的重要措施。对于流域面积小的水库，减淤效果相当显著。对于流域面积大的工程，也有一定的效果。

2、增加库容拦沙，延长水库寿命

这里所说增加库容拦沙包括两层含意：一是在水库规划时留有能维持一定使用期限的堆沙库容，或者水库淤满到一定程度后增加坝高以增加库容；另外一种是在水库所在流域或其它适当地点修建水库，利用这些水库拦沙来延长水库的寿命。

但值得注意的是加大库容后，水库的拦沙率也相应增

加。在一定条件下，加大库容并不能相应地延长使用期限。同时，分期增加库容时，新增单位库容造价也会很高，经济不合理，且常受地形和技术条件的限制。所以，有些地区采取在上游或旁侧另修水库拦沙来延长本水库寿命。例如美国为了延长米德湖寿命，在科罗拉多河上游又修建了格陵峡（Glen Canyon）和佛兰明峡（Fleming Gorge）等大型水库，几座水库的总库容达413亿立米，并且让地方上还修建了十余座中、小型水库，来延长米德湖的有效使用年限。

3、汛期降低水位运用排沙减淤

一般来说，大多数河流汛期来沙所占比重很大，而在汛期中几次洪水挟带的泥沙又占汛期的大部分。因此在汛期降低水库运用水位，提高库内流速可以使一部分或大部分泥沙排出库外，达到减淤的目的。我国三门峡水库就是这种实例之一。在国外运用这种方法也较常见，如苏联在一些库容不很大的水电站水库及灌溉枢纽经常使用，并曾在电站部颁布的发电厂运行规程上规定多沙河流水库在汛期应降低水位运行。

值得注意的是汛期降低水位运行，加速了原在水库末端淤积的粗沙向坝址推进的过程，如果接近水电站的引水管，会威胁水轮机的安全。

汛期降低水位的幅度除受泄流能力制约外，还受发电水头要求及引水口高程的限制。如降低水位太少，则减淤作用不大；降低水位太多，又导致出力下降电能损失，和上游引水困难等问题。另外，降低水位应用的持续时间，要和水库调节程度结合起来考虑。对于调节程度不大的季节性水库，

汛期低水位运行时间可以适当延长；对于调节程度较大的水库，延迟蓄水必须要有可靠的水文预报，否则汛后无水可蓄，造成额外损失。

4、定期泄空冲刷恢复库容

水库定期泄空冲刷是早已实行的一种减淤方法，主要适用于季节性使用的水库。国内外在这方面都积累了一定的经验。根据各国报导来看，水力冲刷的周期一般是2~3年一次或每年1~2次，每年冲刷的时间有几天到几十天不等。

定期泄空冲刷要解决的主要问题是：

(1) 冲刷量及冲刷距离的计算关系，也就是冲刷的效果问题。这个问题苏联穆哈米达诺夫 (Мухамеджанов) 根据野外测验资料及试验研究提出下列冲刷量及冲刷距离的经验关系式可供参考。

$$W = \varepsilon A_2 h_c^{1.182} Q^{0.79} t^{0.438}$$

$$L = A_1 h_c^{0.248} Q^{0.275} t^{0.373}$$

式中：W、L——分别为冲刷量（以立米计）及冲刷距离（以米计）

Q——冲刷流量；

t——冲刷持续时间；

h_c ——冲刷时水位下降值；

ε ——淤积容积与扣去稳定水流所占体积后总库容之比；

A_1 、 A_2 ——与淤积物平均粒径及冲刷条件有关的系数，根据实测资料确定。

上述公式可作为中小型水库计算冲刷时参考。

(2) 冲刷流量的选择

冲刷流量对冲刷效果的影响很大。根据苏联一些学者对野外研究和模型试验，提出最有利的冲刷流量是多年平均流量的2~4倍。苏联费列克塞(Я·Н·Флексер)及伏洛霍夫(А·Н·Волохов)提出降水冲刷强度取决于水流能量的大小，亦即取决于冲刷流量与降落水深之乘积。对表面溢流及底孔泄流两种泄流方式，分别求得冲刷强度最大的冲刷流量相应为最大泄流能力的0.5及0.6倍，下降水深分别为最大水头的 $2/5$ 及 $2/3$ 。

(3) 冲刷时机问题

一般建议水力冲刷选在河流天然来水量接近于有利冲刷流量值的时段，并以洪水退落时期为宜。冲刷持续时间则应考虑冲淤需要并以不影响洪水末期充满水库到规定的蓄水位为原则。

(4) 水力冲刷的经济问题

水力冲刷水库内淤积的泥沙，需要消耗一定的水量和损失一定的电能。因此在水资源比较短缺的地区，采用这一排沙措施，有必要和其它措施进行比较。从苏联一些枢纽(如表1)的实际资料来看，冲刷每立方泥沙需耗水量25~100立方水，损失电能为0.2~0.9千瓦小时。

5、机械清淤

水库机械清淤一般认为成本较大，而且清出的泥沙要组织强大的运输力量把它运走。但在水资源缺乏地区和小型水库中也是处理泥沙的措施之一。

表1 苏联一些枢纽水力冲刷泥沙所耗水量

枢纽名称	所在河流	坝高(米)	冲刷每立方泥沙耗水量 (立米)
查水电站	库拉河	35	40~50
乌切满希	楚河		~100
切尔由尔塔	苏拉克河	37.5	45~55
格耳格比耳	卡拉柯易斯	54.0	25~30
库姆渠首	切列克		~45
古玛	辽尼	52.0	~30

三、水库上下游泥沙冲淤计算的方法

水库冲淤计算的任务是估计水库的使用寿命，了解淤积发展过程和水库淤积对上下游河道的影响。

水库淤积情况取决于来沙数量及其组成，在进行水库规划设计时首先遇到的问题是确定来沙量的大小。这个问题，在有实测水文资料的地区，固然可以利用实测资料来解决，但当资料系列往往很短，或者泥沙资料不完整，有的地区则没有实测资料时，对来沙量计算就必须采用估算的方法。根据国外经验，对此一般通过流域自然地理条件进行估算。在这一方面可分为以下几种方法。

1、绘制侵蚀模数等值线图，利用等值线图进行估算。

这种方法是将整个流域按土地利用、地形、气候及土壤特点，分为若干特性相似的产沙区。在每一区内利用水文站实测资料求出多年平均输沙量。如有小型水库淤积测量资料