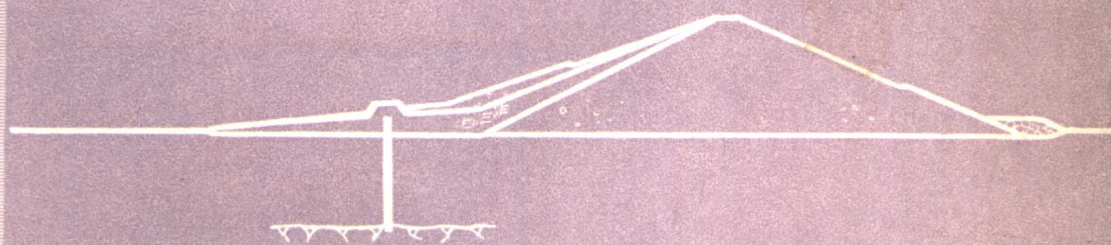


坝工建设技术 经验汇编

第二集



水利电力出版社



9230

坝工建设技术 经验汇编

第二集

水利电力部科学技术司 编
水利电力部科学研究院

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是《坝工建设技术经验汇编》第二集,共包括文章14篇,计有泥沙问题1篇,混凝土坝的应力计算、消能型式、拱围堰各1篇,浆砌石拱坝7篇,水筏道1篇,岩溶渗漏处理1篇,其他方面1篇。这些文章都是建国以来坝工建设的设计、施工、科研方面的技术经验总结。

本书可供水利电力工人、工程技术人员、院校教学人员及有关同志参考。

坝 工 建 设 技 术 经 验 汇 编

第 二 集

水利电力部科学技术司 编
水利电力部科学研究院

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

1976年11月北京第一版

1976年11月北京第一次印刷

印数 00001—8,900册 每册 1.25元

书号 15143·3211

限 国 内 发 行

毛主席语录

阶级斗争是纲，其余都是目。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

独立自主，自力更生，艰苦奋斗，勤俭建国

水利是农业的命脉

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

目 录

黄河三门峡水库的泥沙问题·····	三门峡泥沙问题编写小组 (1)
云南省岩溶区水库渗漏处理的一些体会·····	云南省水利勘测设计院 (18)
混凝土梯形坝的应力分析·····	水利电力部第十二工程局勘测设计院本工程设计组 (29)
蔑窝水库溢流坝消能型式的选择·····	辽宁省水利勘测设计院 (52) 辽宁省水利科学研究所
贵州省某水电站导流工程在流水中直接修建上游混凝土拱围堰的经验介绍 ·····	水利电力部第八工程局 (64) 长江流域规划办公室
洣天河水筏道经验总结·····	湖南省水利电力勘测设计院 (80)
湖南省浆砌石坝·····	湖南省水利电力勘测设计院 (100)
群英水库浆砌石溢流拱坝的设计和施工·····	河南省水利局设计院 河南省新乡地区水利局合编 (126) 焦作市群英水库工程指挥部 焦作市郊区革命委员会水利组 改编
东风水库浆砌石拱坝的设计和施工·····	江西省赣州地区水利电力勘测设计队 (148) 江西省安远县水利电力局
贵州省某水库浆砌石拱坝的设计和施工·····	贵州省水利局 (161)
浆砌条石拱坝设计中若干问题的初步认识·····	四川省水利勘测设计院 (181)
浆砌石坝的砌体强度及应用小石子砂浆的试验研究·····	西北农学院水利系 (198) 二龙山水库指挥部
贵州省某水电站拱坝厂顶溢流设计和运行·····	水利电力部第九工程局勘测设计院 (215)
石门水利枢纽工程隧洞堵头结构·····	水利电力部第三工程局 (230)

黄河三门峡水库的泥沙问题

三门峡泥沙问题编写小组

提 要

三门峡水库是黄河干流上一座以防洪为主的综合利用水库。原规划设计对水库淤积问题的严重性及其造成的影响估计不足，水库建成蓄水后出现了一系列问题。十余年来，开展了大规模的泥沙观测研究工作，对工程进行了改建，并对水库冲淤及输沙规律取得了一些认识。本文通过对大量野外实测资料的分析，阐明水库的冲淤形态和淤积上延的图形、水库的各种输沙特性及其对水库减淤的作用。在此基础上提出了进行水沙调节的方式。这种水沙调节方式可以使水库在较长时间内保持一定的防洪库容，控制淤积上延，并在一定程度上发挥水库的综合利用效益。

一、水库基本情况

三门峡水库位于黄河中游的下段，控制集水面积占全流域面积90%多（图1）。每年流经三门峡站的沙量为16亿吨（其中来自支流渭河的水量约占20%，沙量约占25%），平均含沙量为37.8公斤/米³。黄河干流入库站龙门实测最大含沙量达933公斤/米³（1966年）。

水库来水来沙，在年内分配情况是汛期7~10月水量占全年60%，沙量占全年85%；洪水由暴雨形成，洪峰陡峻，洪量不大而沙量集中，7、8月份一次洪水挟带沙量常可达全年沙量三分之一以上。水库来水来沙过程线，以1970年为例如图2。多年平均悬沙中径黄河干流（龙门）为0.046毫米，支流渭河（华县）为0.024毫米，黄、渭河汇合以后为0.038毫米，其中小于0.025毫米的泥沙占36%。根据上述情况可见，水库来水来沙的主要特点是来沙量很大，而且粒径较细，沙量在年内分布的集中性比水量更为突出。

三门峡库区范围包括黄河龙门以下的干流段及支流渭河、北洛河下游部分（图1）。黄河在潼关（距坝址113公里）附近与支流汇合，潼关以下进入峡谷河段。潼关上下游建库前库区干支流河道特性见表1。在干、支流交汇地带洪水滩地最宽达18公里，潼关附近河床宽度仅1公里，形成天然卡口。因此，潼关水位对渭河、北洛河下游起到局部侵蚀基面的作用。由于渭河下游河道比降远小于黄河干流河道比降，如遇黄河发生洪水而渭河来水较小，在渭河口就会发生顶托或倒灌，有时形成拦门沙坎。此时如与北洛河沙峰遭遇，则必

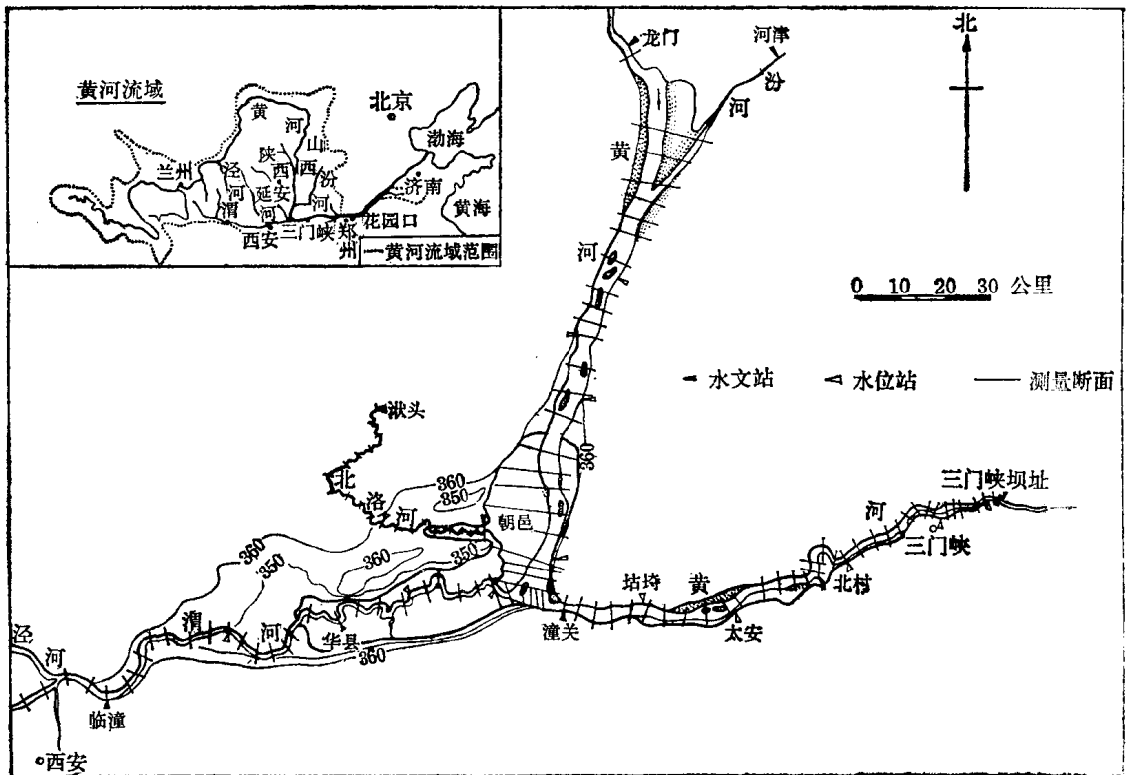


图 1 三门峡水库平面图

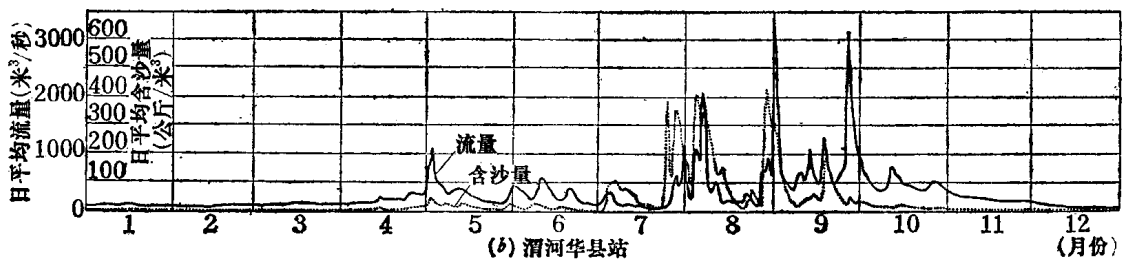
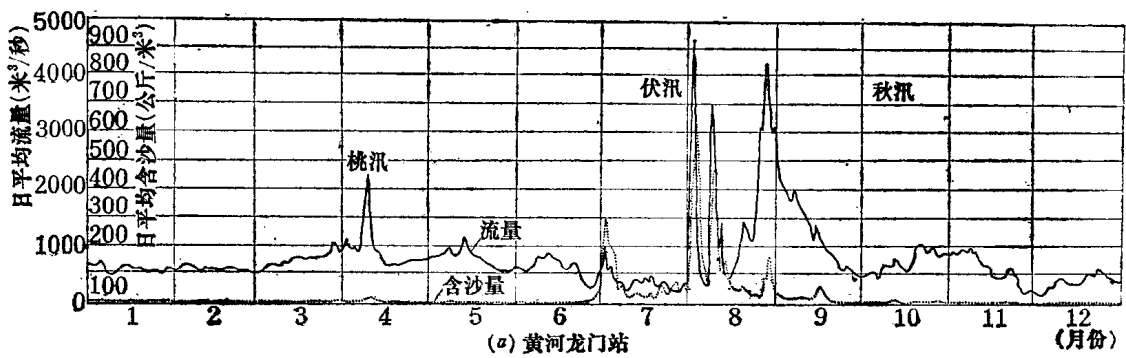


图 2 1970年龙门站及华县站流量、含沙量过程线

表 1

建库前库区干支流河道特性

河 段		床 沙 中 径 (毫米)	比 降 (‰)	枯水河槽宽度 (米)	洪水河床最大宽度 (米)	河 型
黄 河	距坝110~150公里 (潼关以上)	0.13	3.5~3.7	2000~5000	18000	游 荡
	距坝 70~110 公里 (潼关以下)	0.14	3.0~3.5	600~900	3200	过 渡
渭 河	距潼关0~110公里	0.16	1.5	100~500	11000	弯 曲
北洛河	距潼关0~45公里	0.09	2.3	30~50	4000	弯 曲

然形成拦门沙坎，对渭河下游影响更大。

三门峡工程于1957年动工，1960年建成。坝顶高程353米。原设计逐步抬高运用水位，近期不超过340米，相应库容162亿立米，淹没土地135万亩。1960年 9 月开始蓄 水，最高蓄水位332.58米，经过一年半的时间(其中只有一个汛期)，淤积泥沙达15.9亿立米，潼关河床高程上升4.5米，渭河、北洛河下游水位相应抬高。由于淹没给国民经济带来的影响，其严重性远远超过原来的估计，因此于1962年 3 月改变运用方式，降低水位，滞洪排沙。但因泄流规模过小，泄水孔过高，淤积继续发展，到1964年汛后，共损失库容39.9亿立米，其中潼关以下损失库容33.4亿立米。而且，随着淤积上延，库区两岸土地的浸没、盐碱、沼泽化面积进一步增加。1965年以后，逐步对工程进行了改建，加大泄流规模，增建两条左岸泄水洞，打开高程较低的导流底孔，降低电站进口高程(图 3)。工程改建前后泄流能力见表 2。

表 2

工程改建前后的泄流能力

	各 级 水 位 下 泄 流 能 力 (米 ³ /秒)			
	300(米)	315(米)	330(米)	340(米)
原 设 计	0	3080	5460	6600
改 建 后	3240	9390	13800	16120

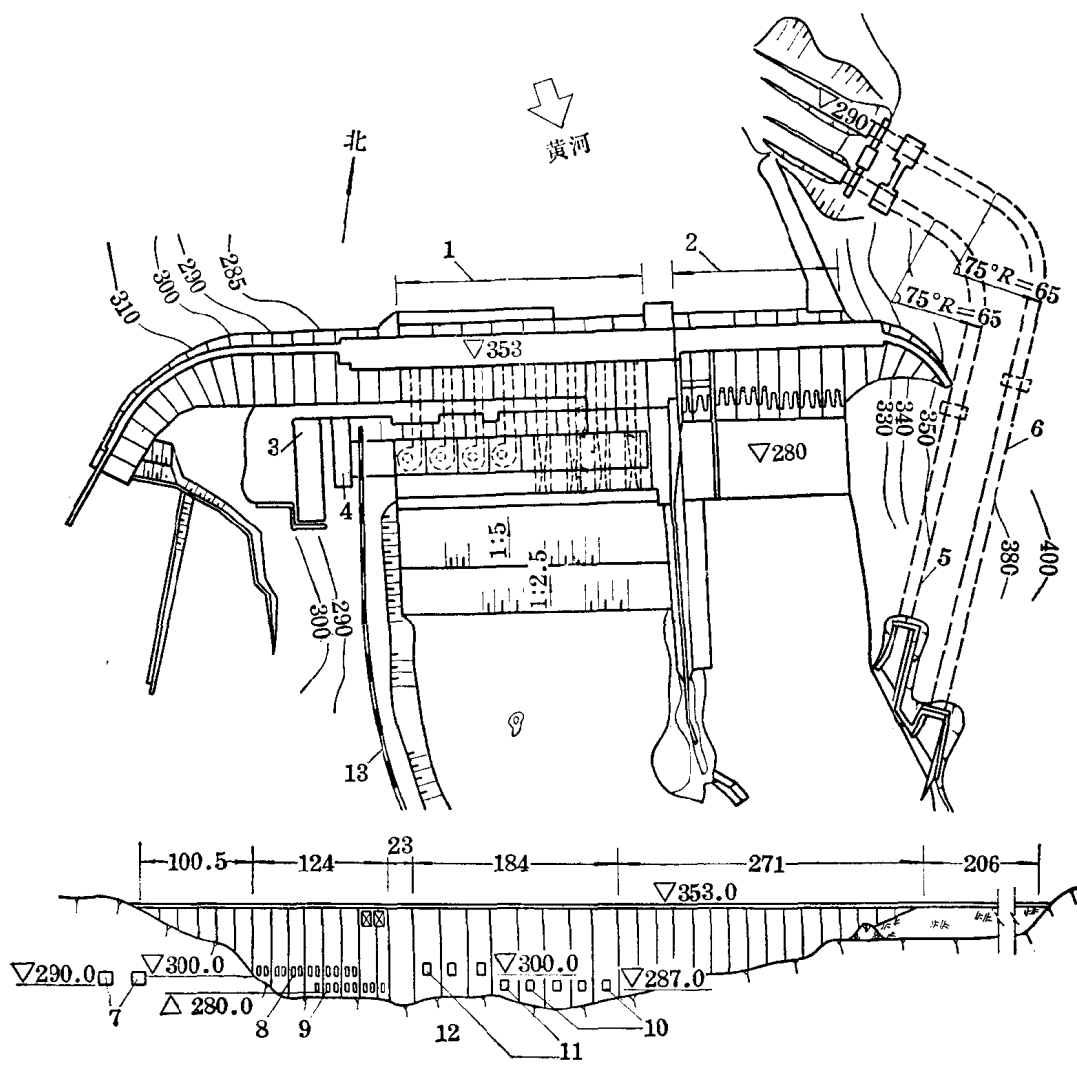
改建工程陆续投入运用后已取得一定成效。1970年以来，库容恢复6.7亿立米，潼关河床高程下降1.9米，水库淤积上延也得到一定的控制。改建前后运用方式及库容损失情况如表 3。改建后，通过合理运用，目前除保持一定的防洪、防凌^①库容外，还能适当兼顾灌溉、发电效益。

二、水库冲淤形态及淤积上延问题

水库淤积的数量和部位，关系到有效库容的损失和库区的淹没范围及周围地区可能发生盐碱沼泽化的问题。

① 每年 2 月融冰期，黄河下游的下段流冰卡塞，形成冰坝，需要水库控制下泄流量，称为防凌。

三门峡水库的纵向淤积形态与水库运用方式密切有关。在库水位较高、蓄水持续时间长、水位变幅小的蓄水运用时期，入库泥沙大部分以三角洲形式淤在庫首，一部分较细的泥沙则被异重流挟带，淤在三角洲前坡以下，直至坝前。三角洲洲面比降 $1.5\sim 1.7\text{‰}$ ，前坡比降 $6\sim 8\text{‰}$ 。在滞洪运用时期，坝前水位较低，水位变幅很大，水库淤积形态一般为自上而下逐渐增厚的楔形体，如图4。淤积后的床沙组成较建库前明显细化。



单位：米

图 3 三门峡枢纽改建后工程布置图

1—电站坝段；2—溢流坝段；3—110千伏变电站；4—副厂房；5—1号隧洞；6—2号隧洞；7—泄流排沙隧洞；8—12个 3×8 米深水孔；9—8个 3×8 米底孔；10—电站进水口；11—排沙钢管；12—闪长玢岩；13—进厂铁路

表 3

三门峡水库改建前后运用方式及库容损失情况

时 段	运 用 方 式	泄 流 设 施	库 容 损 失 (亿立方米)	年平均库容损 失率(%)
1960年9月~1962年3月	蓄 水 运 用	12个深孔	15.9	5.7
1962年3月~1966年6月	滞 洪 运 用	12个深孔	18.6	3.2
1966年6月~1970年6月	初步改建, 非汛期防凌蓄水, 汛期畅泄排沙	12个深孔 4根钢管 2条隧洞	9.3	1.8
1970年6月~1973年10月	进一步改建, 非汛期防凌、灌溉蓄水, 汛期畅泄排沙	12个深孔 4根钢管 2条隧洞 8个底孔	-6.7	-1.7

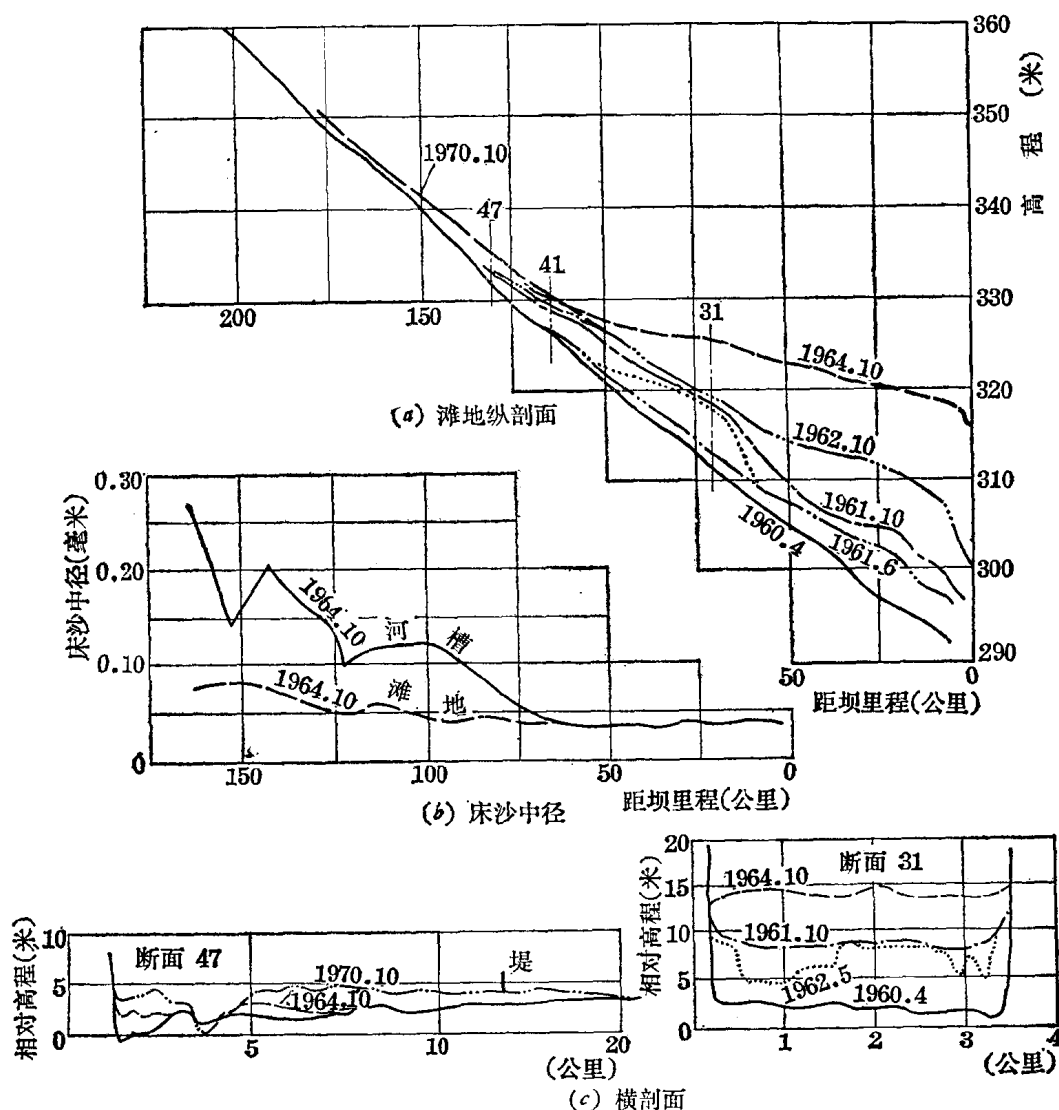


图 4 三门峡水库淤积过程中滩地及河槽纵横剖面变化

建库前库区河道具有明显的滩槽断面形态。蓄水运用时期三角洲顶点上下的河槽逐渐淤平，泥沙淤积分布于全河宽，滩槽高差减小，宽深比加大。滞洪运用后，库水位降低，水流在三角洲淤积面上切割形成深槽，其宽度小于河床的淤积宽度。随着工程的改建，潼关以下逐步形成高滩深槽，目前平滩流量已超过10000米³/秒。在冲刷过程中床沙组成逐渐变粗（图5）。

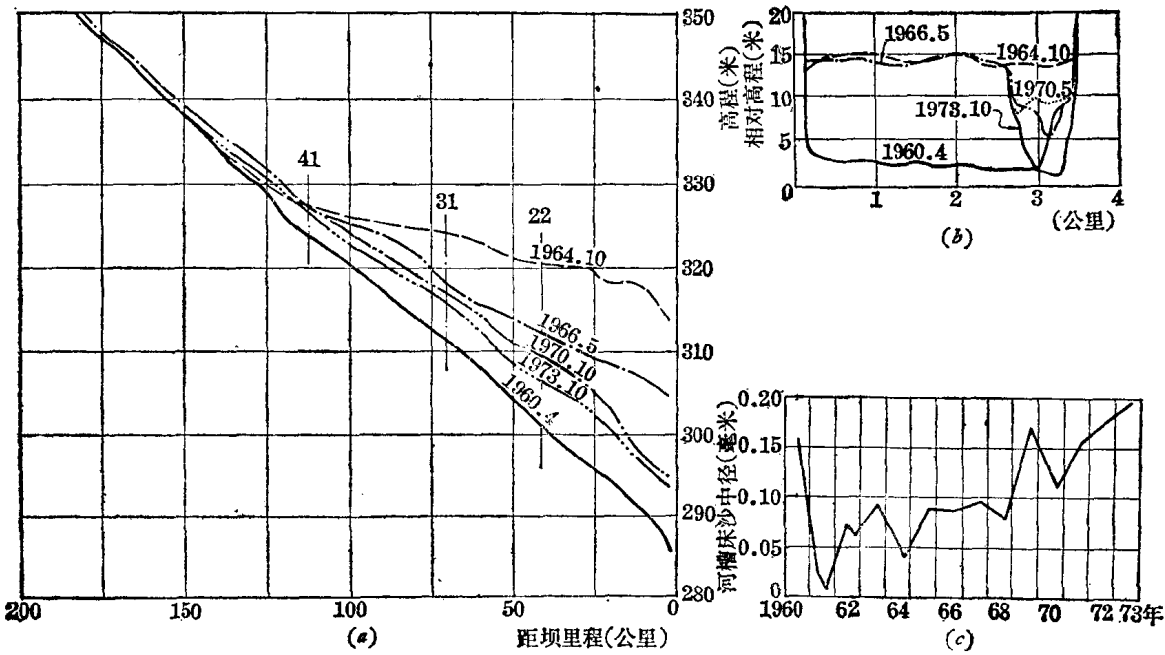


图5 三门峡水库改建后冲刷过程中河槽纵横剖面变化

a—河槽纵剖面(平均河槽高程); b—横剖面(31断面); c—31断面河槽床沙中径变化

三门峡水库泥沙淤积的主要特点是淤积向上游延伸很远。一般水库淤积上延是壅水期回水与淤积相互作用的结果，在水库水位降低时，末端淤积又会冲刷下降，淤积最远点的河床高程往往低于坝前实际发生的最高水位。但三门峡水库则有所不同，在库水位降落后，壅水作用已经消除，下段河槽开始冲刷下降，而末端附近前期形成的淤积不能立即冲走，淤积还继续向上延伸。图6为1966年8~10月潼关以下库区淤积上延的图形。由于这种前期淤积的影响，渭河淤积末端位置已达到距坝260公里，超过坝前滞洪水位与河床平交点100公里以上，而淤积末端的河床高程高出滞洪水位达25米以上。

上述淤积上延是冲积河流在局部侵蚀基面变动后，为了适应来水来沙条件而进行河床调整的结果。实测资料表明，淤积上延的过程是比较快的。上延以后，有时可以持续相当长的一段时间。但遇到有利的水沙条件产生沿程冲刷，淤积末端位置又会下移。反之，则将向上延伸。十三年来渭河河槽淤积末端即曾经历了几次上延下移的过程。

这种河床再调整作用，是通过比降、床沙组成及断面形态三个方面的变化，调整水流输沙能力，达到新的输沙相对平衡。由于后面两个因素的作用，淤积后新的河床比降J不

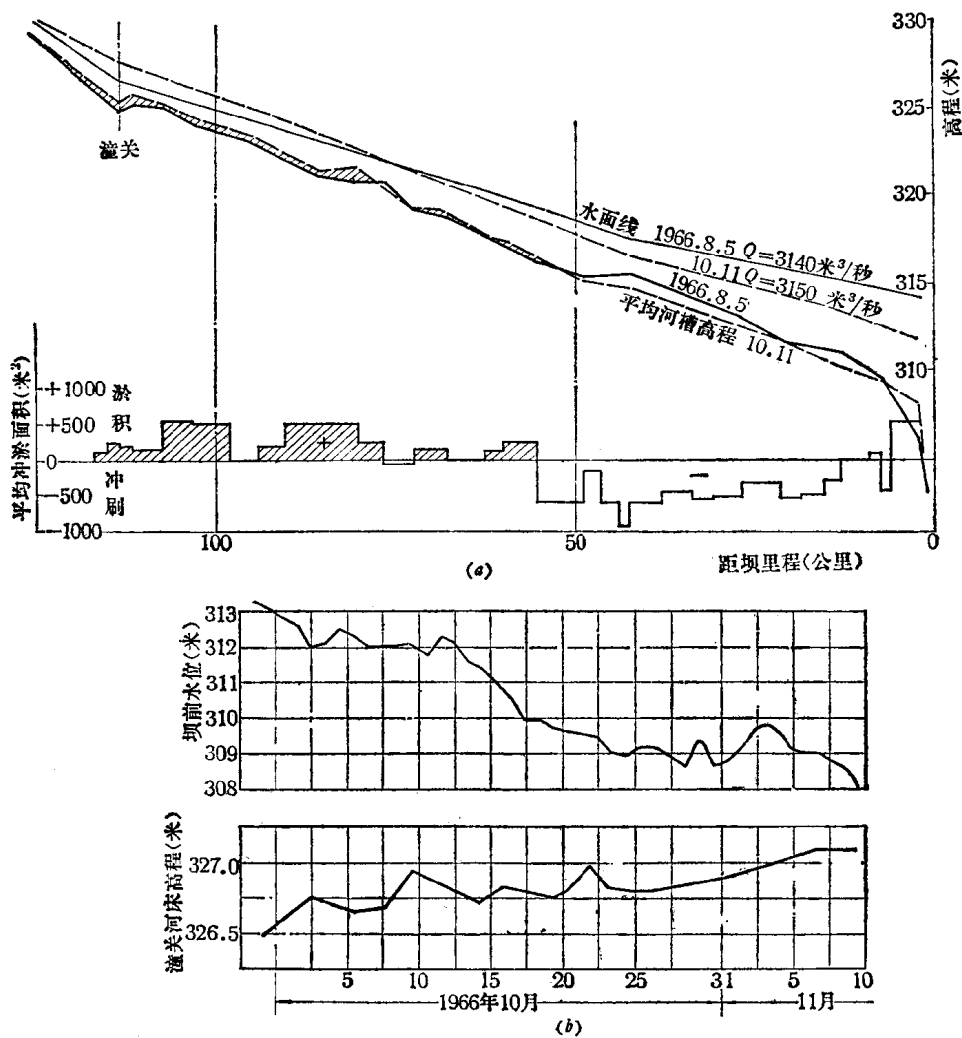


图 6 水库淤积上延图形

●—1966年8月5日及10月11日潼关以下黄河干流水面线及河槽纵剖面；b—坝前库水位降落过程中潼关河床高程的变化

一定需要恢复到原河道比降 J_0 。从我国北方一些水库的资料来看，在淤积前后的河床比降比值 (J/J_0) 与床沙中径比值 (D/D_0) 之间存在一定的关系 (图7a)。如原河床物质组成与悬移质组成相差比较悬殊，或水库壅水程度较大时，则淤积后河床细化也愈显著。而原河床物质组成又与原河床比降有一定联系，因此， J/J_0 值与局部侵蚀基面的抬升高度 H 及建库前的原河道比降 J_0 也存在一定的关系，如图7b所示。可以看出，随着 $HJ_0^{0.2}$ 的增大， D/D_0 不断减小， J/J_0 也相应减小。应该指出，由于各水库的来水来沙条件不同，河床形态的调整也有一定的影响，图7a、7b没有包括这些因素，因此点群比较分散，只能说明淤积后比降调整的一般趋势。

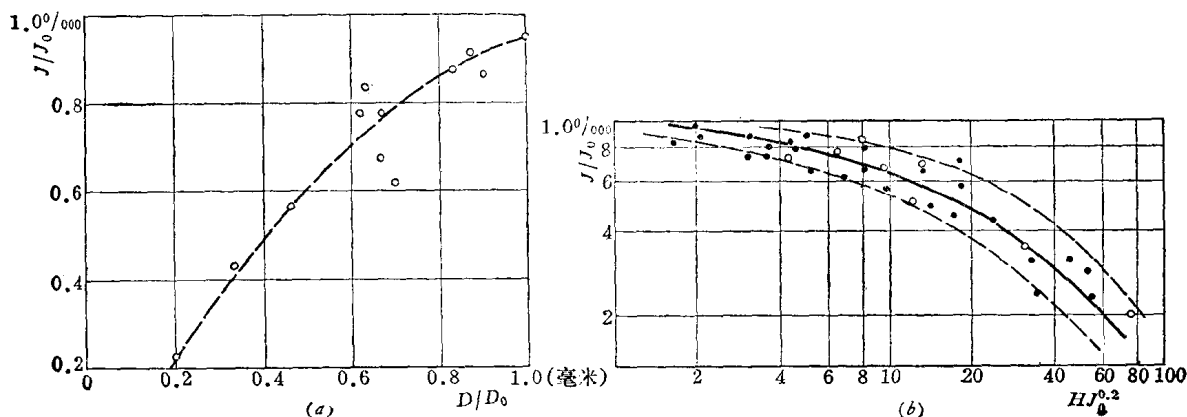


图 7

a—水库淤积前后河床比降比值与床沙中径比值关系；

b—多沙河流水库淤积前后相对平衡比降关系。

J_0 、 J —分别为淤积前后比降(0/000)； D_0 、 D —分别为淤积前后床沙中径(毫米)；

H —局部侵蚀基面抬高程度(米)

渭河下游河床由于比降很平，床沙组成很细，淤积泥沙与原河床组成差别不是很大，这样就使淤积后的比降与原河道的比降之比值较大，从而使淤积上延十分显著。工程改建后，潼关河床冲刷下降，一般水沙条件下，渭河淤积上延已得到相应的控制。

滩地淤积末端上延的原因则与河槽淤积末端上延的原因有所不同。主槽淤高后，平滩流量减小，漫滩机会增加。汛期滩地每上水一次，就会淤高一次，这样，滩地淤积将不断向上游发展，如图 4。另一方面，随着滩地的淤高，主槽过洪能力加大，洪水漫滩机会转而减少，滩地淤积速度就会越来越慢，其淤积末端亦将渐趋稳定。

三、水库输沙特性

在多沙河流上修建水库将引起大量泥沙淤积。在流域来沙没有得到控制以前，减少水库淤积，延长水库寿命的有效途径是充分利用水库输沙特性，按水库运用的一定方式，把一部分或全部泥沙排泄出库。

根据水库运用情况的不同，有各种不同的排沙形式：

1. 异重流排沙

在蓄水运用时期，异重流排沙是主要的排沙形式。图 8 为 1961 年三门峡水库蓄水运用时期的异重流排沙过程。水槽试验和野外观测都证明在异重流潜入点处：

$$\frac{\mu^2}{\frac{\Delta\rho}{\rho'}gh} \approx 0.6 \quad (1)$$

式中 μ 及 h 分别为潜入点的平均流速(以米/秒计)及水深(以米计)， ρ' 及 $\Delta\rho$ 分别为浑水的密度及浑水清水密度差。应该指出，异重流的形成、持续运行及排出库外各有其不同的条件。为要使异重流挟带的泥沙排出库外，一方面在一定流量下细颗粒含沙量必须比

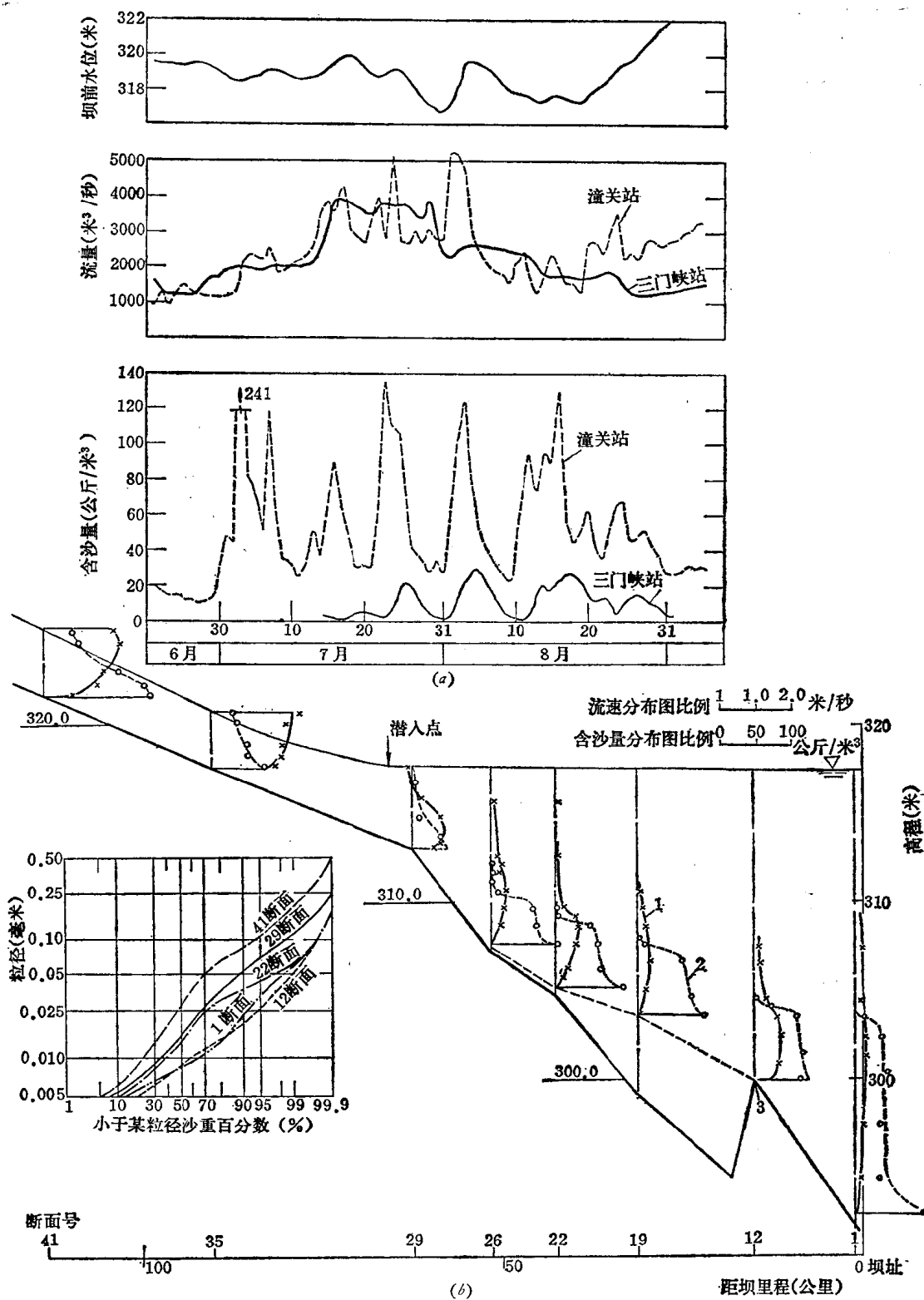


图 8 1961年水库异重流排沙过程线

a—1961年7~8月坝前水位进、出库流量，含沙量过程线；b—1961年8月16~18日异重流沿程流速含沙量及悬沙颗粒级配分布

1—流速分布图；2—含沙量分布图；3—由于坝岸形成潜坝

较高，库底应具有一定坡度，使异重流具有足够能量，足以克服沿程损失和局部损失；另一方面应有较低的泄水孔以利于异重流排出库外。据1960~1964年资料统计，三门峡水库洪水时期中到达坝前的异重流，其排出沙量平均约占这些洪水进库总沙量的26.5%。但就整个时期而言，异重流排沙数量不过占同期总进库沙量的10%左右。

工程改建以后，异重流已经不是水库的主要排沙形式。但是，由于泄流底孔较低，库区比降增大，并有明显深槽，有利于异重流运行。1973年非汛期蓄水时期就曾出现三次异重流。我国某些水库，河床比降较陡，水库长度不大，泄水孔较低，一次洪峰的异重流排沙量可达进库沙量的50~60%。因此，在一定条件下，利用异重流排沙，也是水库减淤的一种形式。

2. 壅水期的明流排沙

当水库水位降低时，虽然仍有壅水，库区发生淤积，但与此同时，由于库内行近流速较大，细颗粒泥沙沉降又需要相当长的距离，水库仍可排出一部分泥沙。从图9可以看出，随着淤积的发展，泥沙推向坝前，库容不断减小，水面比降逐渐加陡，排沙比（出库输沙率与进入壅水段输沙率之比）逐渐加大。因此，排沙比与前期淤积有很大关系。根据三门峡水库的资料分析，壅水期明流排沙关系如图10和式2：

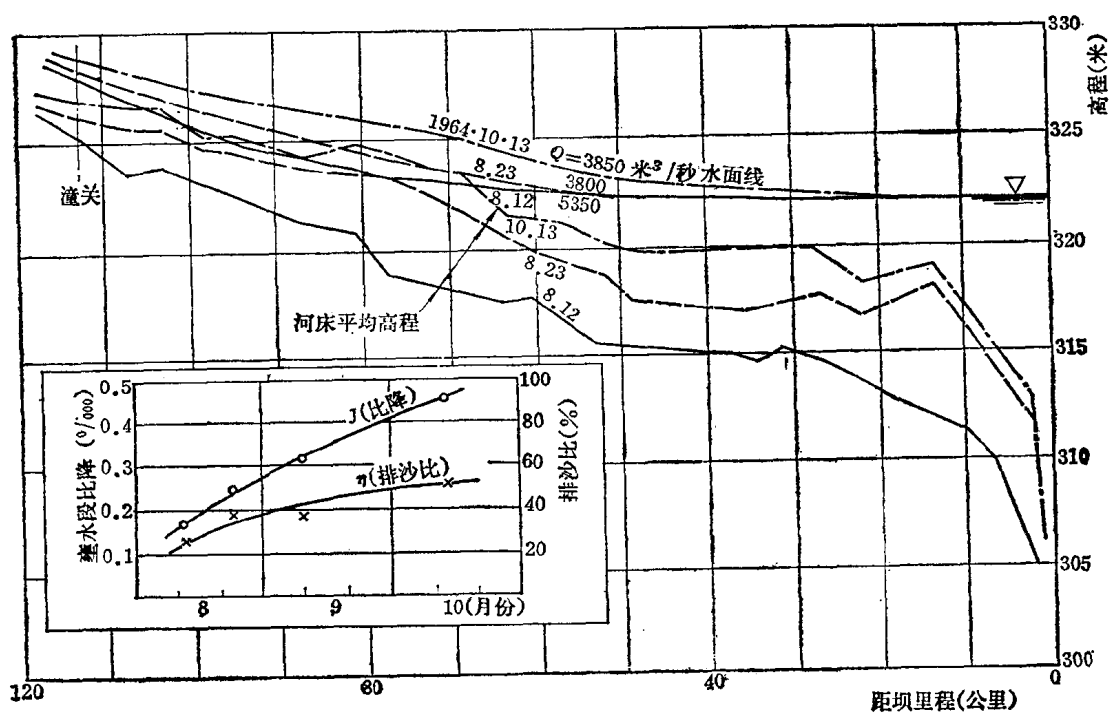


图 9 1964年8~10月水库蓄水淤积过程中纵剖面变化

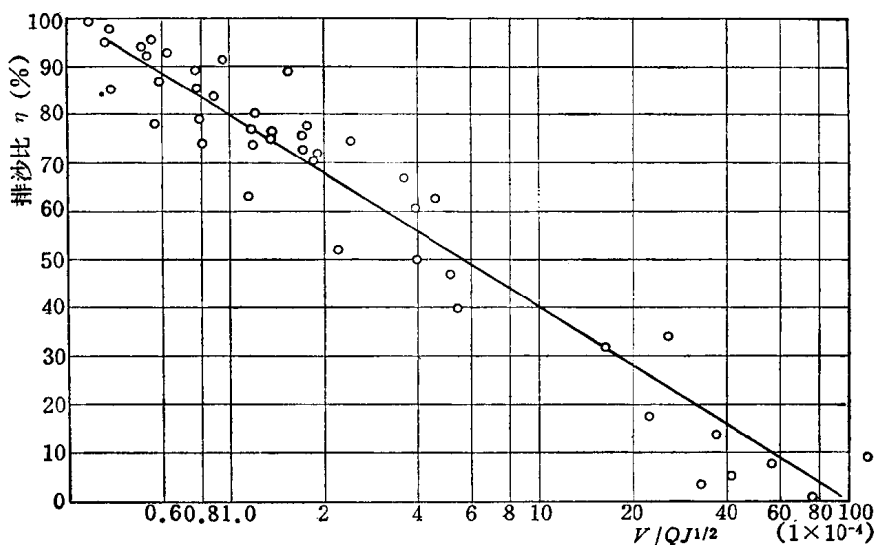


图 10 壅水期明流排沙关系图

$$\eta = f\left(\frac{J^{0.5}}{V/Q_0}\right) \quad (2)$$

式中 V 为库容(以亿立米计), Q_0 为出库流量(以米³/秒计), J 为水面比降(以‰计), η 为排沙比(以%计)。 V/Q_0 实质上反映了进库泥沙在壅水段内停留的时间, 停留时间愈长, 泥沙淤积愈多, 所以排沙比应与 V/Q_0 成反比, 而与水面比降成正比关系。

从这一关系可以看出, 在壅水位较低时期, 减少水库淤积的有效途径是降低 V/Q_0 值及加大比降。工程改建以后, 各级水位的泄流能力均有所增加, 滞洪机会大大减少, 在来沙较集中的洪水时期能降低水位运用, 壅水期明流排沙比也将较改建前有所增加, 改建前 1964 年汛期为 35%, 改建后 1966~1972 年平均为 81%。

3. 沿程冲刷与溯源冲刷排沙

当坝前水位下降时, 水库上段脱离回水影响, 由于来水来沙与河床不相适应, 河床通过冲淤变化进行调整。在有利的水沙条件下, 则将发生自上而下的沿程冲刷。

当坝前水位降到库区淤积面以下时, 水流从淤积面的顶坡段进入前坡段, 局部比降急剧加大, 发生强烈的自下而上的溯源冲刷。图 11 为一次溯源冲刷发展过程中冲刷率、比降、床沙组成变化情况。初期水面比降较陡, 冲刷发展很快, 随着比降的渐次展平, 冲刷率亦相应减小, 河床组成则在冲刷过程中不断粗化。根据三门峡水库实测资料分析, 溯源冲刷的出库输沙率与流量、比降、水深及床沙中径之间, 存在着如下的经验关系(图 12)。

$$Q_s = k \left[Q J^{1.5} \left(\frac{h}{D_{50}} \right)^{0.5} \right]^{1.3} \quad (3)$$

式中 Q_s 为出库输沙率(以秒吨计), Q 为流量(以米³/秒计), J 为冲刷河段平均比降(以‰计), h 为平均水深, D_{50} 为床沙中径(均以米计), k 为系数可取作 100。

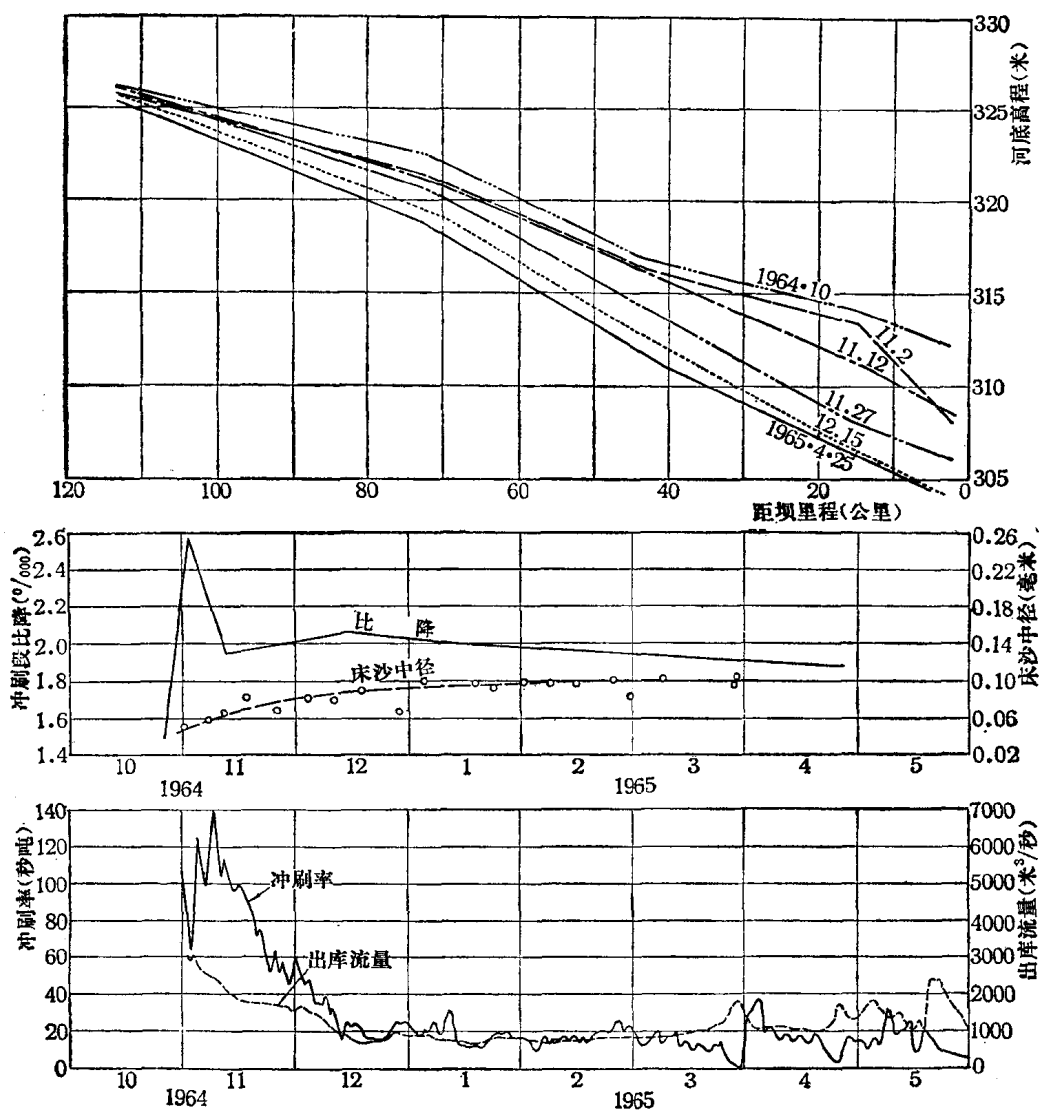


图 11 1964年10月~1965年4月水库溯源冲刷过程中河床及水力因子变化过程线

表达沿程冲刷的挟沙能力关系与式(3)具有类似的形式。但是,黄河的特点是挟沙能力常随着来水来沙条件的改变而呈现较大幅度的调整。在一定的来水条件下,如果来沙较多,则河床发生淤积,挟沙能力也随而加大;反之,如来沙较少,则河床发生冲刷,挟沙能力也随而降低。因此,沿程冲刷的挟沙能力关系还应以来水来沙作为参数。

溯源冲刷的排沙效果与水库前期淤积有很大关系。前期淤积面高,则水位降落后局部水面跌差大,溯源冲刷强度也大,最大时一天冲刷量可达0.12亿吨。表4列出了1964年7月至1972年7月期间两种冲刷形式的冲刷量和强度。可见,溯源冲刷对排出库内泥沙的作用很大,尤其当溯源冲刷与沿程冲刷能互相衔接时,对整个库区冲刷的效果,特别是消除库首淤积的作用更为显著。