

中国科学院
水利电力部 水利水电科学研究院

研究报告

16

水庫淤积問題的研究

水利电力出版社



水庫淤积問題的研究

水利水电科学研究院河渠研究所

*

2286S 702

水利电力出版社出版 (北京西郊科学路二里沟)

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 开本 * 8 $\frac{1}{4}$ 印張 * 195千字

1959年12月北京第1版

1959年12月北京第1次印刷(0001—2,070册)

統一书号: 15143·1859 定价(第10类)1.50元

目 录

提要	4
前言	5
一、总論	6
1. 我国河流泥沙的一般情况	6
2. 我国重要水庫淤积問題的特点及 水庫淤积問題研究的任务	11
二、国内主要水庫淤积資料分析和室内試驗資料分析	14
(一) 官厅水庫	14
1. 官厅水庫概况	14
2. 水庫淤积分布及其特征	16
3. 三角洲的形成对回水的影响	26
4. 三角洲洲面的造床	28
(二) 丰满水庫	31
1. 丰满水庫概况和水文泥沙的主要特点	31
2. 淤积量和淤积分布的分析	33
3. 推移质、造床质和冲泻质的淤积規律	42
4. 庫水位下降时河床的冲刷	47
5. 水庫地形和支流入汇对淤积分布的影响	51
(三) 多沙河流上游留淤小型水庫	52
1. 錐体淤积形成的条件	52
2. 十八亩台水庫和韭園沟水庫	54
(四) 三門峽水庫	58
1. 三門峽水庫概况和圍堰截流期的水文泥沙情况	58
2. 淤积量和淤积型式及淤积特点	61
3. 淤积过程和冲刷过程与河床平衡的关系	71
(五) 室内試驗資料分析	80
1. 悬移质三角洲淤积模型試驗	80

2. 推移质三角洲淤积二元水槽試驗	88
3. 二元均匀流悬沙淤积試驗	94
三、水庫淤积計算方法	97
(一) 水庫来沙量和三角洲淤积量計算	97
1. 水庫来沙量的估算方法	97
2. 有异重流的水庫三角洲淤积量計算	101
3. 两水庫区間河段清水冲刷的淤积量估算方法	108
4. 水庫淤积物干容重問題	111
(二) 多沙河流的水庫三角洲淤积計算方法	116
1. 水庫淤积的普遍規律	116
2. 饱和輸沙水流的淤积部位計算方法	122
3. 不考虑回水影响的三角洲部位和外形計算示例	130
4. 水庫纵向平衡的計算方法	134
5. 考虑回水影响的三角洲淤积計算問題	140
(三) 不考虑淤积的不稳定回水近似計算方法	142
1. 問題的提出和方法实质說明	142
2. 断面水位变位計算和回水的特性	146
3. 回水末端变化和水位壅高的計算	155
(四) 不飽和挟沙水流的水庫淤积計算方法	161
1. 不稳定情况下水庫淤积发展規律	161
2. 考虑泥沙淤积的不稳定情况下的回水曲綫計算	164
3. 庫水位上升过程中淤积的計算方法	166
4. 庫水位降落过程中淤积河床的冲刷計算	169
5. 淤积发展过程計算示例	172
四、特殊的水庫淤积問題研究	180
(一) 水庫异重流	180
1. 水庫异重流的主要特征	180
2. 异重流挟沙量估算方法	182
3. 异重流的淤积量和排泄量	186
(二) 水庫冲刷研究	189
1. 水庫冲刷研究的重要性	189
2. 泄空冲刷和不淤水庫問題	189

3. 决定水庫冲刷量的因子分析	192
(三) 利用泥沙淤积形成天然鋪盖研究	199
1. 問題的提出和說明	199
2. 异重流鋪盖形成的分析	201
3. 全部泥沙淤积鋪盖形成的实质	209
4. 泥沙淤积距离計算方法	213
(四) 壅水段的淤积規律和計算方法	217
1. 河床平衡的破坏和河床平衡的建立过程	217
2. 壅水段淤积的顆粒拣选作用和計算方法	223
3. 从实测断面水位和流量計算淤积分布和发展的方法	226
(五) 对水庫规划設計和施工管理工作的一些意見	229
1. 水庫规划設計施工和泥沙淤积	229
2. 水庫规划設計和异重流的排泄	231
五、水庫淤积的一些理論問題的探討	235
(一) 均匀水流的淤积分布和含沙量递减規律	235
1. 超饱和均匀流悬移质沿程淤积分布分析	235
2. 二元悬移质运动方程式和均匀流沉淀的边界条件	243
3. 二元悬移质运动方程式求解方法	247
(二) 水庫淤积和回水变化过程分析	249
1. 回水变化过程分析	249
2. 水庫淤积过程分析	255
参考文献	260
英文提要	262

水庫淤积問題的研究

水利水电科学研究院河渠研究所

提 要

本书比較全面地討論了有关水庫淤积的各方面的問題。包括：1) 从天然实测資料和室內試驗以分析不同类型的水庫淤积的規律；2) 討論了水庫淤积的普遍規律和不同类型的水庫淤积計算方法；3) 討論了几个特殊的水庫淤积問題及其計算方法；4) 从理論上分述了水庫淤积范疇的几个問題。

水庫淤积的发展过程是三角洲和回水曲綫相互影响、相互促进的过程，也是淤积平衡比降的逐渐建立的过程。

发源于黄土高原水土流失严重而含沙量很高的河流的水庫，其淤积可分为五区，即：尾部段、頂坡段、前坡段、过渡段和坝前段。尾部段的形成主要由于回水曲綫的影响，而頂坡段和前坡段則成为三角洲的主体。頂坡的形成是和水流的飽和挟沙能力密切相关的。过渡段和坝前段的淤积則为异重流挟带泥沙所淤积。异重流挟沙量和三角洲淤积量占进庫沙量的百分数都可根据平均顆粒級配曲綫进行估算。

对前述类型的水庫，其三角洲部位和形式的計算方法可以大为簡化，一如三之(二)所述。而对一般河流上的水庫，則需进行逐时逐段的計算。

对含沙量較低的河流水庫，虽然不能形成异重流，但相当于异重流所挟带的冲海质的顆粒泥沙也基本上不参加庫首三角洲的淤积。

在一定的建筑物布置情况下，水庫在泄空过程中排泄泥沙量决定于河流的水力因素和淤积物的組成。如果河相关系为已知，則泄空冲刷量是可以計算的。

水庫泥沙淤积不仅仅使有效庫容損失，因而具有消极意义；另一方面还可以利用它形成建筑物的鋪盖和全庫区的鋪盖，以减少坝身和全庫区的渗漏。在本书中討論了异重流鋪盖形成計算方法和泥沙淤积距离計算方法。

根据沙量平衡的关系，討論了超飽和情况下的泥沙在二之水流中沿程分布規律，討論了在二元水流中含沙量沿程遞减規律。在书中也討論了在簡化情况下的淤积和回水的相互关系問題：一方面从淤积具有三角洲形式并

往前推进方面来討論回水区水深的变化过程；另一方面，也从泥沙运动方程式和水流运动方程式来討論回水区水深变化过程。但由于后者問題复杂，还不能直接用解析方法求解。

前 言

解放十年来，在我国各大河流特别是在华北多沙河流的水利建設中提出了不少水庫淤积問題，它对我国国民經济发生重要的影响。为了預見淤积的发展，就必须进行分析計算。但是，由于我国水庫淤积問題的特殊性，也由于問題的复杂性，它往往不是一般文献所提出过的分析方法和計算方法所能解决的。从問題的性質来看，分析和計算的目的并不限于計算有效庫容的淤滿年限。这就反映了我国水庫淤积問題的复杂性，也反映了我国水庫淤积科学研究的广闊前景。除了水利建設以外，生产上也提出了不少水庫淤积問題，要求对它們进行理論上的闡明。

本书可說是我們近年进行上述研究工作的总结。

全书共分五篇。第一篇为总論。在这里扼要介紹了我国主要河流和主要水庫的泥沙和淤积特点，以便于了解我国水庫淤积問題的一般面貌。在第二篇中根据我国已建并进行測驗的水庫进行了淤积規律的分析。水庫淤积是一个复杂的問題，要对它进行严格理論分析是困难的。为了使解決問題比較符合实际情况，最主要的根据还是实测成果。所以我們首先討論了这个問題。其次，为了印証水庫淤积的某些規律，我們也进行过一些室内試驗。所以，实测成果中也包括后者。在第三篇中基本上討論了两种类型的水庫淤积計算方法：第一类是多沙河流水庫的淤积外形和部位的計算方法；第二类是悬移质含沙量小、顆粒細、水流挟沙远未达到饱和，而庫水位变幅又比較大的水庫淤积計算方法。第一类計算方法是不考虑回水曲綫影响的，因而是比較近似的。考虑回水曲綫影响的多沙河流水庫淤积計算方法的研究工作我們还在进行中。此外，在本篇中还提出了近似的不稳定情况（指进庫流量和庫

水位都随時間改变的情况)的回水曲綫計算方法。第四篇討論了几个特殊的水庫淤积問題。所謂“特殊”就是指不是一般的庫首淤积及其計算方法問題；特殊的水庫淤积問題反映我国水庫泥沙問題的多樣性和复雜性。第五篇討論了几个水庫淤积中的理論問題。

本书中衡量单位所用符号系采用的最近公布的国际公制法文符号。時間除“秒”和“分”采用“s”和“min”表示外，都用的中文符号。因为考虑到在同一个单位中，用一种文字表示（例如流量符号为 m^3/s ）是比較方便的，也是一般所习用的。

本书由侯暉昌、馮启德、秦芳、呂秀貞、姜乃森、焦恩泽和彭漢泽等同志执笔編写，潘桂兰同志参与了本书的許多計算和校核工作。

在完成本书初稿过程中，很多协作部門和同志給我們提供了資料和不少宝貴意見。在此向他們表示深深的謝意。

必須說明，由于完成这一工作的時間比較短促且限于作者水平，里面存在不少不成熟和未解決的問題。希望讀者多多批評指正。

一、总 論

1. 我国河流泥沙的一般情况

河流泥沙主要来自流域表土的侵蝕冲刷，我国幅員广闊，各地区的气象水文、地質地貌、森林植被和农业水利等条件差別很大，河流泥沙的数量和性質也有显著的差別。我国河流泥沙的測驗年份不长，除一部分多沙河流少量水文站有10~20年的測驗資料以外（其中年份多不連續或殘缺不全），其他河流泥沙測驗基本上都是在解放后逐漸开展的。有的已有4~5年有的仅有1~2年的泥沙測驗資料。另一方面，已有的測驗工作只限于悬移質的含沙量和輸沙率測量，顆粒分析工作作得还不多；至于推移質和河床質的測驗，則仅在最近3~4年內在重要河流上試点进行。表1是根据实測資料整編的我国主要河流有代表性的測站的悬移質含沙

表 1

我国主要河流有代表性的测站流量沙量特征表

(根据实测资料的整编成果编制)

河 名	站 名	流域面积 (km ²)	年平均径流 (10 ⁸ m ³)	年平均含沙量 (kg/m ³)	年输沙总量 (10 ⁶ t)	最大含沙量 (kg/m ³)	平均侵蚀模数 (t/km ² /年)
松花江	松花江	51500	170.3	0.127	1.98	2.76	38.4
嫩 江	江 桥	164000	213.1	0.084	2.00	1.20	12.2
辽 河	巨流河	127000	53.79	4.46	23.5	25.2	286
永定河	官 厅	42540	14.22	49.2	82.64	436	1944
桑干河	石匣里	22560	11.39	52.4	63.40	519	2780
洋 河	响水堡	14140	5.40	31.5	17.0	310	1200
滦 河	黄壁庄	22970	24.68	9.64	23.76	107	1040
黄 河	兰 州	216190	341.6	3.09	99.53	207.8	461
黄 河	包 头	355940	254.4	4.99	130.10	68.7	365
黄 河	龙 门	494470	362.2	31.50	1134	605	2293
黄 河	陕 县	684470	417.3	36.58	1752	590	2559
黄 河	秦 厂	723320	487.6	30.09	1490.0	286	2060
黄 河	洛 口	737255	534.8	21.83	1165	165	1580
无定河	绥 德	22920	15.37	196.14	330.8	1518	14431
渭 河	咸 阳	49800	56.04	29.04	162.8	403	3210
渭 河	华 县	105350	90.3	30.55	291.5	690	2767
泾 河	张家山	41800	17.11	182.50	336.5	978	8049
淮 河	蚌 埠	121330	261	0.539	18.60	9.29	153
长 江	李 庄	650000	2873	1.53	472	6.24	725
长 江	宜 昌	1010000	4509	1.06	497	4.45	492
长 江	大 通	1700000	9336	0.442	431	2.29	253
金沙江	屏 山	503000	1441	1.41	229	9.42	454
岷 江	高 场	127000	969.4	0.618	60.1	6.52	473
嘉陵江	北 碚	159000	651.9	2.81	192	19.1	1208
乌 江	武 隆	81700	549	0.578	32.8	3.71	401

量和輸沙率的特征数字。其中个别測站的測驗年份不长，其平均值与根据系列延長插補的多年平均值相比，可能有一定的出入，但仍可看出各河流的泥沙概况。

西北和华北属黃土高原和黃土丘陵地带，土质細而疏松，黃土复盖层厚，更兼这些地区汛期多暴雨，因而水土流失严重，形成沟壑纵横现象。流经这些地区的河流的悬移质含沙量都很高，泥沙顆粒也很細。其中黃河(陝县)和永定河(官厅)的多年平均含沙量都在 30 kg/m^3 以上，是世界上著名的多沙河流。这些河流汛期洪峯、沙峯猛漲急落，实测的最大含沙量超过 500 kg/m^3 以上，而枯水期的流量和沙量都很小，最大和最小含沙量的比值可达 $400 \sim 500$ 倍以上。至于发源于黃土地区的河流，其含沙量也較高，如东北的辽河、长江的支流嘉陵江和汉江，其多年平均含沙量約为 $2 \sim 5 \text{ kg/m}^3$ 。

至于其他地区的河流，或因流域地质条件較好，或因植物复盖破坏較少，流域上的水土流失不若黃土地区的严重，从流域的侵蚀模数可以看出这种情况，河流的含沙量也小得多，其多年平均值一般都在 $1.0 \sim 1.5 \text{ kg/m}^3$ 以下。

一般河流的輸沙量多集中在汛期的 3、4 个月內，汛期的沙量約占全年总沙量的 $60 \sim 70\%$ 以上。悬移质泥沙顆粒在汛期較細，而在枯水期較粗。

下面簡單介紹黃河和长江的泥沙情况。

黃河是世界上著名的渾水河流，根据 35 年的統計，陝县站的多年平均徑流量只有 $42300 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，而多年平均沙量却有 $1360 \times 10^9 \text{ t}$ ，多年平均含沙量高达 32.2 kg/m^3 。若就最大与最小值比較，最大与最小的年輸沙量分別为 $2950 \times 10^9 \text{ t}$ (1933 年) 与 $690 \times 10^9 \text{ t}$ (1936 年)，其比值为 $4.28:1$ ；而含沙量的变幅更大，实测最大含沙量达 590 kg/m^3 ，而最小仅为 1.5 kg/m^3 ，相差达 393 倍。表 2 是黃河 35 年平均沙量和泥沙粒徑的沿程变化，可以看出沿程泥沙的情况随着其所流经地区的特性而有所不同。

表 2

黃河干支流沿程沙量及粒徑变化

河名	站名	35年平均 含沙量 (kg/m ³)	35年平均 年輸沙量 (10 ⁸ t)		侵蝕模数 (t/km ² /年)		悬移质 平均粒徑 (mm)	河床质 平均粒徑 (mm)
			測站 以上	区向	測站 以上	区向		
黄河	循化	4.49	0.32		253			
	兰州	2.87	0.89	0.57	412	.635	0.0860	
	青銅峽	6.50	2.00	1.11	722	1830		
	包头	5.00	1.24	-0.76	344		0.0356	0.104
	吳堡	21.60	6.20	4.96	1425	6240	0.0591	
	龍門	29.02	9.80	3.60	1980	6090	0.0640	0.191
	陝县	32.20	13.60	3.80	1985	2000	0.0448	0.184 (細沙部 分未考 慮卵石)
	秦厂	24.80	12.40		1715		0.0510	0.0915
	洛口	20.90	10.70				0.0369	
	利津	23.40	11.80				0.0374	0.060
渭河	咸陽		1.60		3210		0.0473	0.300
	華县		3.44		3260		0.0396	0.113

黄河在上游循化以上流经沼泽及草地，水土流失轻微，沙量也不大；在兰州附近进入黄土区，有小支流来汇，在兰州与青铜峡之間，又有发源于水土流失严重的六盘山的祖厉河和山水河汇入，沙量有所增加。在青铜峡与包头之間，由于宁夏和内蒙灌区的引水灌溉，且河道又宽广平缓，泥沙在河道中落淤，沙量反而减少。在包头与陕县之間汇入的支流较多，较大的支流有无定河、汾河、北洛河、泾河和渭河，这一地区是我国水土流失最严重的西北黄土高原，因而水量和沙量都急剧增加，且沙量增加的比例远较水量增加的比例为大，因而含沙量的增长也特别大。其中北洛河和泾河的沙量都很多，两河的实测最大含沙量分别高达1191.8kg/m³和984.2kg/m³。就沙量的来源而言，包头以上的沙量仅占陕县总沙量的9.1%，而包头以下的来沙量却占90.9%，

說明這一段是黃河泥沙的主要來源。包頭與龍門之間的區間侵蝕模數高達 $6000t/km^2/年$ 。可見這一帶地區水土流失的嚴重性，因而使陝縣的沙量達到全河的最高峯。陝縣與秦廠間雖有伊洛河和沁河入匯，但沙量都較少，秦廠以下流經大堤之間，沒有支流匯入，且河道寬廣平緩，泥沙逐漸落淤，含沙量有所下降；在洛口以下河道縮窄，又有沖刷現象。

黃河干支流沙量在年內的变化，一般都集中在夏季的6、7、8月份，干流各站汛期沙量約占年沙量的50~70%；支流汛期的沙量更為集中，約占年沙量的90%。黃河包頭以下的懸移質平均粒徑約為 $0.045mm$ 。至于懸移質泥沙顆粒組成在時間上的变化，一般是汛期粗顆粒泥沙（大于 $0.06mm$ 或 $0.1mm$ ）的百分數基本上变化不大，而細顆粒泥沙的百分數，特別是粒徑小于 $0.005mm$ 泥沙的百分數，隨流量的大小而有所增減；在低水期，粗顆粒的百分數有顯著增加，細顆粒的百分數則急劇減少。至于懸移質平均粒徑與流量含沙量的关系，在流量大和含沙量高時，平均粒徑較細，变化也較小；而在流量小和含沙量低時，平均粒徑較粗，变化也較大。這些情況都說明汛期泥沙來自流域的表土沖刷，細顆粒沖瀉質成分較多，而低水期的泥沙則來自河床本身，粗顆粒的成分較大。至于懸移質含沙量沿垂綫的分布，粗顆粒泥沙靠近河床的含沙量較大，靠近水面的含沙量較小，而細顆粒泥沙含沙量在垂綫上基本上是均勻分布的。黃河河床質的平均粒徑和河流比降存在着一定的关系，但一般不隨流量的大小而变化。

一般在黃土地區的多沙河流，懸移質泥沙的特性基本上與黃河相同。

長江流域的水土流失遠不如黃河流域嚴重，且水量遠較黃河為大，因此含沙量不高，年平均值在 $1.5kg/m^3$ 以下。但因水量很大，故輸沙總量仍是一個可觀的數字，宜昌站的多年平均輸沙量為 $490 \times 10^6 t$ ，約為黃河陝縣站年輸沙量的 $1/3$ 。長江在宜昌和三峽以上的上游河床多系岩石或大塊卵石組成，懸移質泥沙來自流域的表土沖刷，其中來自上游金沙江的約占60%。在四川省內有

岷江、沱江、嘉陵江和烏江等較大的支流來匯，沙量有所增加，但含沙量變化不大。宜昌站的輸沙量為全河的最大值。沙市以下為細沙河床，河道寬闊平緩，宜昌至漢口之間為泥沙淤積河段，包括因四口分流所形成的洞庭湖淤積，這一河段內雖有湘、資、沅、澧四水匯入，但沙量較少，且泥沙都先在洞庭湖中落淤。漢口以下有漢江和贛江來匯，贛江沙量不大，且先落淤在鄱陽湖內，因而漢口至大通段則為沖刷河段。懸移質沙量在年內的分布，干流宜昌以上沙量多集中在汛期的7、8、9月份，約占年沙量的75~80%；支流汛期沙量集中程度較高，約占80~90%，其中北岸支流的集中期大致與干流相同，而南岸支流的汛期較干流為早。長江懸移質泥沙顆粒分析資料不多，一般汛期粒徑較細，枯水期粒徑較粗，其平均粒徑約在0.01~0.04mm之間變化。

2. 我國重要水庫淤積問題的特點及

水庫淤積問題研究的任務

隨着我國水利建設事業的發展，在各大河流，包括黃河、長江、淮河等大河流的流域規劃中，計劃修建的和目前已建成并投入運用的與正在施工的大中型水庫很多，而隨着水利化運動的開展，小型水庫更是遍地開花。

在河流上筑壩蓄水後，河流輸沙平衡受到破壞，泥沙在水庫內淤積，庫容日漸減小而致湮廢，水庫淤積問題對所有水庫來說都是普遍存在的。一方面，各河流輸沙量多少和水庫庫容大小各有不同，因而水庫有效庫容由於淤積而損失的問題的迫切程度也有差別，這是一般所了解的。另一方面，各水庫在國民經濟上所擔負的任務不同，水庫淤積也帶來不同的問題。例如庫水位變化時泥沙淤積的發展、回水和淤積的相互影響、利用異重流排沙的可能性等等，都是以往研究得很少的問題。泥沙淤積所造成的對國民經濟影響的迫切程度也不完全是由泥沙來量和庫容大小來決定的。以下就我國幾個重要水庫的淤積問題來說明我國水庫淤積問題的特點及其對國民經濟的重要性。

目前正在修建和計劃修建規模宏偉的水庫有黃河的三門峽水庫和長江的三峽水庫。黃河三門峽水庫是防洪、灌溉、發電和航運的綜合利用水庫，其多年平均進庫流量為 $1130\text{m}^3/\text{s}$ ，最大洪水流量達 $30,000\text{m}^3/\text{s}$ ；壩址的多年平均含沙量為 $32.2\text{kg}/\text{m}^3$ ，輸沙量為 $13.6 \times 10^8\text{t}$ 。水庫庫區包括壩址至潼關 115km 的黃河干流峽谷段，和潼關以上的黃河干流和支流渭河的河谷及兩河之間的關中平原。在庫水位為 360m 時，庫容為 $650 \times 10^8\text{m}^3$ ，其中潼關以上黃河部分庫容占 $210 \times 10^8\text{m}^3$ ，渭河部分庫容占 $220 \times 10^8\text{m}^3$ ，其餘部分庫容占 $220 \times 10^8\text{m}^3$ ；此水位時的水庫面積達 3500km^2 ，潼關以下屬河道型，寬度較窄，而潼關以上屬湖泊型，寬度達 $20 \sim 25\text{km}$ ，最寬處可達 50km 。關中平原人口稠密、農產豐富，水位愈高淹沒損失愈大，因而在運用上對正常高水位需要適當安排，目前計劃運轉的正常高水位為 340m ，俟後根據泥沙淤積的發展和需要的庫容，逐步提高正常高水位，逐年遷移人口，以減少淹沒損失。因為三門峽水庫是黃河中下游唯一的庫容較大的水庫，對下游防洪具有決定性的作用，為了減少泥沙淤積和延長水庫壽命，除了在流域範圍積極開展水土保持工作，還可以根據黃河汛期含沙濃度高和細顆粒泥沙百分數大的特點，利用異重流把泥沙排出庫外。即使這樣，三門峽水庫的淤積在比較長的時間內還是很嚴重的。一方面，淤積影響有效庫容的迅速損失；另一方面，隨著淤積向上游發展，有可能威脅上游城市的安全（對黃河流域的水庫來說，由於水庫淤積抬高回水所帶來的淹沒問題是普遍存在的）。由此可見三門峽水庫淤積問題的重要性。

在流域水文泥沙條件方面，永定河上的官廳水庫和三門峽水庫是同類型的，它們都是黃土地區的水庫。官廳水庫上游流域中水土流失嚴重，多年平均進庫含沙量達 $36\text{kg}/\text{m}^3$ 。官廳水庫早已建成，幾年來進行了大量的泥沙測驗工作，在下列三方面取得了豐富的實測資料：（1）汛期挾帶細顆粒泥沙含沙濃度高的水流進入水庫後，往往形成異重流，並通過輸水道排出庫外；（2）在開始運用的前三年（1953～1955年）是基本上只攔洪不蓄水的階段，

因水庫泄空造成水力冲刷作用，有一定数量的淤积泥沙被排出庫外；（3）在1956年以后的正式蓄水阶段，庫水位变化范围不大的情况下的纵向泥沙淤积分布。通过这些实测資料的分析研究，可以了解黃土地區中型水庫在不同运用过程中的淤积发展規律、淤积分布形式和利用异重流排沙的可能性与排沙数量，对預測在华北和西北黃土地區多沙河流上的水庫淤积发展，有极其重要的意义，特别是对估計黄河三門峽水庫的淤积发展更为重要。

长江三峡水庫是河道型的年調节水庫，由于庫容較大，如果考虑了上游干支流水庫对泥沙的拦蓄作用，进庫泥沙量将不会很多，泥沙淤积对水庫寿命來說是不严重的。但由于水庫运用时，庫水位变幅較大，回水变动范围也較长，规划中提出了壅水后泥沙淤积对庫内港埠航运的影响和上游的淹沒問題。

松花江上的丰满水庫属河道型多年調节水庫，蓄水到現在已有16年。該水庫的特点是每年調节运用过程中，庫水位变幅和回水变动范围較大，在水位下降时，水庫上端恢复为自由河段，而进庫含沙量又未达飽和，原先在庫首淤积的泥沙被冲刷下移。通过丰满水庫淤积資料的分析，可以为估算庫水位变幅較大、进庫水流含沙濃度不高的河道型水庫的淤积发展，提供寶貴的数据，特别是对长江三峡水庫淤积发展的預測，更有重大的意义。

在水土流失严重的西北黃土高原上，小型留淤水庫是水土保持的一种措施。这些水庫的特点是沙量大、庫容小，运用数年后就会淤滿失效，因而小型水庫本身的淤积問題是迫切的。但更重要的是通过小型留淤水庫的淤积資料分析，可以为預測大中型水庫淤滿时建立平衡比降的过程提供一些論据。

除了上述一些水庫的淤积特点以外，由于水庫在国民經济中所担负的任务不同，因泥沙淤积还提出了如下的一些問題：（1）水庫泥沙淤积使回水曲綫抬高和上延，除对水庫回水范围内的防汛工作有所影响外，还对水庫上游沿庫城市和过庫建筑物（例如铁路、公路、桥梁）高程的决定有很大的影响。在多沙河流上的水庫，这类問題更为迫切。水庫淤积的发展最后将达到淤滿的平

平衡比降，沿庫或过庫建築物的安全高程应根据淤积的最后平衡比降的水位来决定，这个问题已引起設計部門的注意。(2)在火电站的設計中，为了节省工程造价，常常利用天然河流上的水庫作为天然的冷却池；为了确保火电站的有效使用年限，提出了水庫泥沙淤积影响电站引水口的堵塞問題和进入幅射器中的最大粒徑問題。(3)对于沒有防洪庫容的低水头水电站，也提出了如何防止洪水期推移质泥沙进入水輪机的問題等等。

此外，过去在泥沙研究工作上，总是从泥沙为害的消极方面考虑得較多，而从如何利用泥沙的积极方面考虑得較少。通过黃河三門峽水利樞紐第二期圍堰截流工程的經驗，淤积对防止渗漏有很大的作用，并指出了在多沙河流上利用泥沙淤积形成坝前鋪盖和庫底鋪盖的可能性。

上面所提的水庫淤积对国民經济的影响的問題仅仅是一部分，由于正在施工和計劃修建的水庫很多，泥沙淤积将会帶來更多的新問題。为了解决生产实践中提出的問題，需要我們进行深刻的研究和理論上的概括，以指导当前生产建設并提高科学研究的水平。

二、国内主要水庫淤积資料分析和室內試驗資料分析

(一) 官厅水庫

1. 官厅水庫概况

如第一篇中所述，华北流經黃土高原地区的河流，由于水土流失严重，故有汛期含沙量很高而悬移质顆粒很細的特点。目前，对于这种河流的水庫淤积規律的研究工作还做得很不够。一般來說，多沙河流的水庫淤积中，除了存在着由于淤积而使有效庫容迅速减少的严重問題以外，还提出了两类特殊的問題：一类是淤积对回水所产生的影响和水庫上游平衡的建立問題；第二类是利用水庫异重流排沙問題。

对一般沙量不大的水库来说，淤积对回水的影响很小因而可以忽略。同时，由于库容和年输沙量比值较小，上游的平衡问题也就不是很迫切的。

官厅水库是我国目前发生异重流和淤积发展比较严重并对其进行详细测验的一个多沙河流水库。测验工作自1953年开始。对官厅水库资料的全面分析，既具有现实生产意义，也有很大科学意义。首先，给已经提到日程上来的三门峡水库淤积问题的分析，提供了宝贵的参考资料。

官厅水库修建在永定河上。永定河是海河水系五大支流之一。流域面积 $48,600 \text{ km}^2$ ，而官厅水库以上约占 87.5% 。桑干河、洋河在水库末端相会后入库，水库内 90% 水量及 80% 沙量来自桑干河，其余来自洋河。汛期沙量占全年进库总沙量的 80% 。进库年平均水量 $1720 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，年平均输沙量 $62.1 \times 10^4 \text{ t}$ ，多年平均流量为 $54.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ，年平均含沙量为 36 kg/m^3 ，是我国的多沙河流之一。

永定河雨量多集中在汛期(6~9月)。汛期多年平均水量占全年的 47% 。官厅水库泥沙主要来自汛期暴雨对黄土地区的地表冲刷，因此，洪峰流量大时含沙量也大。汛期沙量占全年进库总沙量的 90% 左右。而汛期的水量与沙量又集中于洪峰过程。

进库泥沙中粒径 $d < 0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$ 的细颗粒泥沙所占百分数，汛期大约在 $50 \sim 80\%$ 之间，非汛期则小于 20% ，洪水时期泥沙中值粒径 d_{50} 变动于 $0.007 \sim 0.025 \text{ mm}$ 之间。

官厅水库进入正常运转阶段(1956年)到1958年的进库沙量、水量统计如表3。

组成官厅水库的另一分支为媯水河，在水库坝址上游约 5 km 处入汇。其入库水量不到进库总水量的 1% ，入库沙量则更少。但水库在媯水河部分库容相当大。当蓄水到 480 m 高程时，媯水河库容占全部库容的 50% 以上。水库在上游断面较窄，平均宽度约 $1,500 \text{ m}$ ，在 $1,015$ 断面处逐渐展宽，最宽处达 $4,600 \text{ m}$ ，到 $1,008$ 断面又复收缩，直到坝址，坝址断面宽约 500 m 左右。水库水面