

# 三峡水库回水变动区重庆河段泥沙淤积影响及治理\*

张绪进, 母德伟, 赵世强

(重庆交通大学 西南水运工程科学研究所, 重庆 400016)

**摘要:**三峡工程按 175 m 方案蓄水后,随着水库运行时间的增长,重庆主城区河段的泥沙淤积将成累积性增加,边滩加高加宽,河床发生一定的演变,泥沙淤积将会对该河段的港口、航道和沿江市政基础设施和生态环境等造成一定的负面影响。综合各方面的研究成果,进一步加大长江上游的水土保持力度、采取建库拦沙及蓄水攻沙、根据泥沙淤积情况规划调整河道岸线,实施港口改造和航道整治等综合措施,是减少重庆河段的泥沙淤积,降低其负面影响的有效途径。

**关键词:**三峡水库;回水变动区;泥沙淤积;治理措施

**中图分类号:**TV85 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2006)05-0013-05

## Sediment Aggregation and Regulation for Chongqing Reach of the Fluctuating Backwater District in Three Georges Reservoir

ZHANG Xu-jing, MU De-wei, ZHAO Shi-qiang

(The Southwest Waterway Engineering Institute, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400016, P. R. China)

**Abstract:** Chongqing downtown river reach lies in the fluctuating backwater district of Three Gorges Reservoir (TGR). After running on the 175M scheme of the TGR, it shows that the deposits increase accumulatively with the TGR running in the downtown reach, the bed sand will be finer, the river bar will be widen and higher, there will be bed evolution and the backwater area upwards. The sediment aggregation brings out important influence on harbor, navigation, the infrastructures and eco-environment along both banks of the reach. Combined with various respects of research achievements, the main engineering measurements are put forward in order to decrease the influence, such as soil conservation and building reservoirs upstream to prevent sand sedimentation, narrowing the flow to wash sand, bank regulation, harbor reconstruction and navigable channel treatment, etc. These measures have very good effect on decreasing deposition and eliminating the negative effects.

**Keywords:** Three Georges Reservoir; the fluctuating backwater district; sediment deposit, treatment measures

三峡工程举世瞩目,建成后具有巨大的防洪、发电和航运等综合效益,2003年6月,三峡大坝已按 135 m 蓄水运行,实现了初步的通航和发电目标。50 多年来,中央及国家主管部门对建设三峡工程十分重视,鉴于黄河三门峡水库泥沙淤积的教训,指示三峡工程要深入研究长江的泥沙问题。20 世纪 50 年代,国内外就开展了泥沙模型试验的尝试和研究,由于泥沙运动规律复杂,在理论上和实践上仍有许多问题有待解决,至今国外对泥沙模型尚无成熟经验。从“七五”到“十五”期间,国家科委等主管部门先后组织了国内多家科研单位和多所大学对三峡的泥沙问题进行了物理模

型试验及数学模型计算研究,取得了大量的有益的科研成果,为三峡工程的宏观决策和水库调度等提供了强有力的科学依据,并促进了泥沙研究的发展和完善<sup>[1]</sup>。

三峡水库正常蓄水后,枯水期 175 m 水位回水末端位于江津附近的红花碛,汛期 145 m 水位回水末端位于长寿附近,在长寿以下约 500 km 的河段为水库常年回水区,航运条件将得到根本改善,而长寿以上河段属水库回水变动区,重庆主城区河段正好处于回水变动区,同时具有水库和天然河道的双重特性,枯期呈现水库特性,汛期呈现天然河道的特性。根据已建水库

\* 收稿日期:2006-05-15

作者简介:张绪进(1959-),男,四川蓬安人,研究员,主要从事水利水运工程研究。

的运行实践和国内多家科研单位进行的重庆河段泥沙模型试验研究成果<sup>[2-5]</sup>可见:随着三峡枢纽运行时间的增长,重庆河段的泥沙淤积将成累积性增加,泥沙淤积将会给该河段的港口、航道和沿江市政基础设施建设造成一定的负面影响,可结合重庆的建设发展,采取一系列综合措施予以解决。

## 1 河道概况及水文泥沙特性

重庆河段地处长江上游丘陵宽谷河段,从平面形态上看,该河段河道弯曲,特别是长江干流呈现连续弯道形态,嘉陵江则自北向南由左岸在朝天门汇入长江(见图1)。重庆河段河道断面一般较窄,长江的洪、枯水河宽一般在1 000 m和600 m左右,个别河段洪、枯水河宽分别达2 000 m和250 m。嘉陵江河段两岸较陡峭,一般由基岩组成,岸线凹凸不平,较为稳定。重庆河段的河床多由卵石或卵石夹沙组成,卵石中值粒径在60 mm左右,淤沙中值粒径在2 mm左右,部分河段有基岩出露,形成石梁和暗礁。从河床纵剖面来看,则是深潭与浅滩相间,河床高程起伏不平呈锯齿状,同时嘉陵江的入汇又使得该河段具有河口特性。以上这些特点决定了重庆河段水流运动的复杂性。

重庆河段出口控制水文站为寸滩水文站,长江上游有朱沱水文站,嘉陵江上游有北碚水文站。根据资料统计,朝天门以上的长江干流多年平均流量8 580 m<sup>3</sup>/s,多年平均悬移质输沙量3.1亿t,卵石推移质32.35万t,悬移质中值粒径0.028 mm,来水来沙年内分配极不均匀,汛期6~10月分别占全年的74.6%和94.7%;嘉陵江多年平均流量2 250 m<sup>3</sup>/s,多年平均悬移质输沙量1.49亿t,中值粒径0.033 mm,汛期6~10月来水来沙分别占全年的75.2%和93.0%。重庆河段具有典型的山区河流特征,日水位最大变幅约8 m,年水位最大变幅可达33 m,天然情况下该河段多年平均冲淤基本平衡,洲滩相对稳定。

## 2 泥沙模型试验的主要成果

### 2.1 模型设计概况

我所建造的重庆河段泥沙模型平面比尺为1:175、垂直比尺1:125,模型范围:长江从茄子溪至铜锣峡,嘉陵江从井口至朝天门河口,模拟河段总长68 km。模型沙采用荣昌精煤,其 $r_s = 1.33 \text{ t/m}^3$ 。与之相匹配的有一套较大型的浑水系统,模型流量和水位采用SX-1型微机流量水位自动控制系统进行可视化自动控制,该系统可以迅速准确地跟踪峰谷流量和水位的变化过程,悬移质含沙量通过浑度仪监测并配合

1 000 ml比重瓶称重进行控制,悬沙级配由光电测沙仪分析确定,淤积地形用电阻式测淤仪测量,流速由HD-4B型流速仪测定。

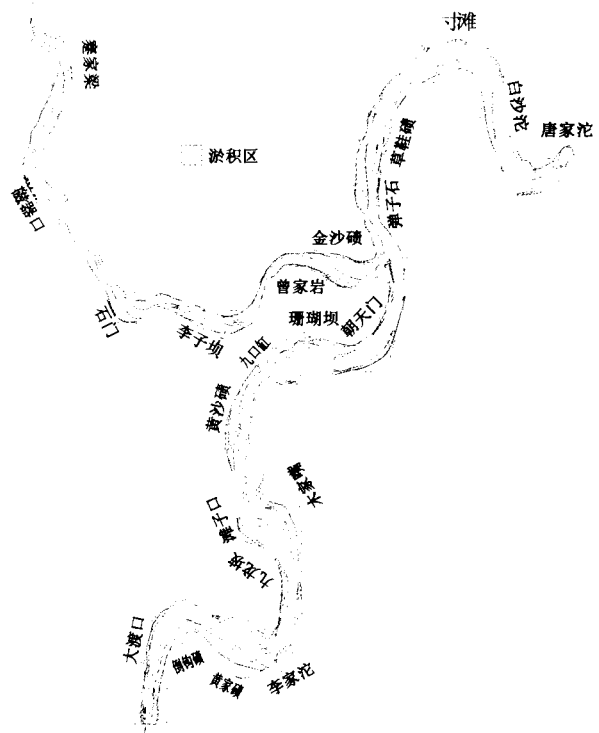


图1 重庆河段河势及泥沙淤积分布图

### 2.2 泥沙淤积数量与河床冲淤演变

根据三峡水库调度安排,2003年~2012年,坝前水位分别按135 m和156 m方案运行,此时段水库的回水基本未对重庆河段产生影响。2012年以后,坝前水位按175 m方案调度,界时重庆河段将处于水库回水变动区,汛期6~9月坝前水位控制在142 m或145 m运行,此时重庆河段的水位较建库前的天然水位升高0~3 m,汛后10月水库开始蓄水,到10月底水库达到正常蓄水位175 m,此时该河段水位最大升高约为15 m。由于水库蓄水后,改变了该河段在天然情况下的冲淤平衡条件,破坏了汛末走沙的规律,汛期水位的壅高加重了该河段的泥沙淤积,而汛末水库蓄水,不仅使该河段失去了天然河道的冲刷条件,而且由于该时段河流中仍有一定的含沙量,其泥沙也会淤积在回水变动区河段,这将会进一步加重该河段的泥沙淤积。系列泥沙试验结果表明:三峡水库运行至2012年后,重庆河段的淤积边滩已初步形成,到水库运行至第30年时,在重庆钢铁城左岸一带有一定的泥沙淤积,边滩宽度一般20~50 m,对岸的倒钩碛进一步淤宽增高,并与下游的黄家碛边滩连接成一片,淤积厚度达5~15 m,滩面高程175 m以上;在九龙坡河段,其河床中的九堆子滩面有一定的泥沙淤积较,淤积厚度6~10

m,在九龙坡码头作业区一侧,泥沙淤积形成宽50~80 m的边滩,淤厚10~18 m,滩面高程175 m左右;在珊瑚坝至朝天门河段,珊瑚坝的洲头左侧及洲尾附近、南岸的老鹤碛边滩和朝天门沙嘴有一定的泥沙淤积;在朝天门至梁沱河段,从江北咀到大佛寺大桥沿岸特别是在梁沱港区泥沙淤积较为严重,淤积宽度250 m左右,淤厚可达10~20 m;在寸滩河段,泥沙淤积主要集中在寸滩对岸的母猪碛沿岸。在嘉陵江河口段,金沙碛滩地进一步淤高,并向下游汇合口方向有较大的发展,实测该边滩最宽达450 m,淤厚8~10 m,滩面高程170~175 m。

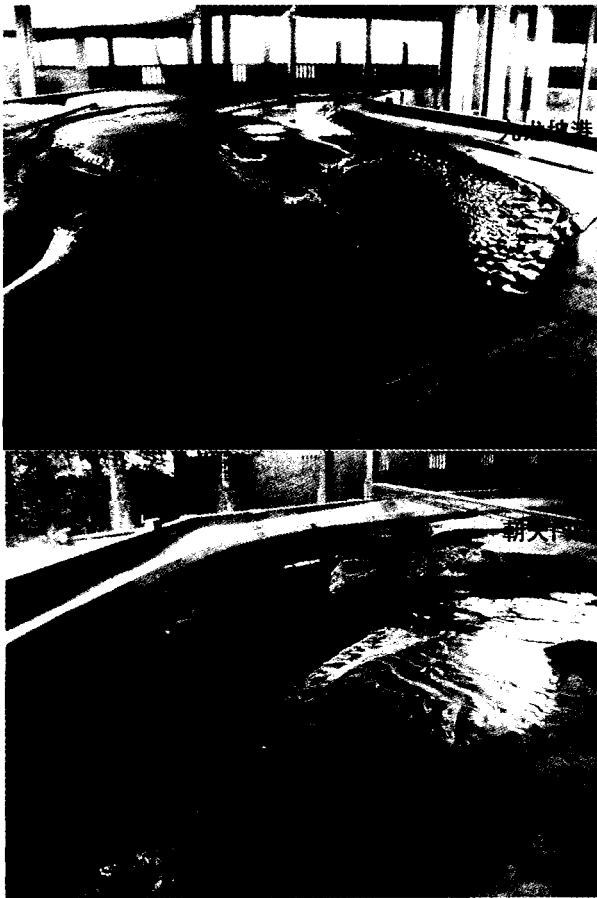


图2 重庆河段泥沙模型照片

表1中列出了重庆河段在三峡水库不同运行时段的泥沙淤积量。从图1和图2中可以看出,重庆河段泥沙淤积主要分布在弯曲河段的凸岸边滩、河道放宽段、回流沱区等部位,淤滩留槽是重庆河段泥沙淤积的主要特点,即天然情况下存在碛坝的地方均大量的淤积,大部分河段原有的深槽基本能够保留。随着泥沙的进一步淤积,重庆河段逐渐向着单一、规顺、微弯和高滩深槽方向发展,直至达到淤积平衡。

由以上分析可知,三峡水库按175 m方案运行后,重庆河段沿岸大部分港区均将发生一定的泥沙淤积,并对船舶进出港航行、靠泊和装卸作业产生不利影响。

同时水位抬高后,航道条件虽在总体上有所改善,但在水库水位消落期(每年的4~5月份),由于上游来流量小、河道水位低及泥沙淤积的发展,使部分河段的流速和比降偏大,滩槽移位,航宽和水深不足,成为碍航滩险。如长江九龙坡码头前沿的三角碛滩段、谢家湾河段、嘉陵江瓷器口、石门和金沙碛河段等便是如此,而长江梁沱河段的中洪水急流滩受泥沙淤积影响后滩势更为明显。此外,重庆河段的泥沙淤积还将对沿岸的取排水口等市政基础设施的正常运转及生态环境(如淤泥边滩滋生细菌)等造成一定的不利影响。

表1 三峡水库不同时期重庆主城区河段泥沙淤积汇总表/ $10^4 \text{ m}^3$

年份	长江淤积量		嘉陵江淤积量 3.2 km	全河段淤积 总量
	汇合口以上 18.8 km	汇合口以下 9.5 km		
第10年 (2012年末)	943.8	354.8	153.0	1 451.6
第20年 (2022年末)	2 574.9	1 450.3	448.5	4 473.7
第30年 (2032年末)	3 990.8	2 185.3	701.9	6 878.0

### 3 泥沙淤积治理措施研究

#### 3.1 港区改造与航道整治

为减少三峡蓄水后泥沙淤积对重庆港口、航道的影 响,提高航道等级与通过能力,经综合分析,选择了长江九龙坡河段、梁沱河段和嘉陵江金沙碛河段进行航道整治和港口改造的初步研究。根据各滩险成因采取相应的整治原则和治理措施,以达到减少泥沙淤积,改善航道条件和港区水陆域条件的目的。经水文泥沙资料的分析,初步确定该河段的设计流量为 $Q_k/Q_{\text{嘉}} = 2\ 286/363 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

1)根据九龙坡河段的碍航情况,首先确定在九堆子洲头附近修建一鱼嘴,鱼嘴头部以1:10的坡度从高程165 m逐渐升至170 m,其左侧与一顺坝相连,以将上游来水分流归槽,一方面重点保证左槽的流量和水深,冲刷港区泥沙,另一方面将右槽水流集中,将槽中淤沙冲走,以维护其副槽的通航作用;而对九龙坡港区一侧的整治主要是通过调整岸线(即将岸线向淤沙边缘推进),以消除港区前沿的泥沙淤积,保证船舶能够正常进出港作业。设计流量时三角碛顶部分出露,碍航严重,采取疏浚开挖措施,考虑重庆至宜昌近期航道尺度标准最小水深3.5 m,将三角碛的开挖高程确定为158.3 m。采取上述整治工程后,在设计流量时三角碛处水深达到3.7 m,满足I级航道通航水深要求。实测当流量 $Q_k/Q_{\text{嘉}} = 7\ 640/3\ 160 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,三角碛滩面流速分布较为均匀,码头附近的最大表面流速降至3.4 m/s,较整治前流速减小0.6 m/s。可见整治工程

实施后,九龙坡河段的通航条件得到较大改善,满足了万吨级船队的顺利航行和九龙坡港区正常运转要求。

2)在朝天门~梁沱河段,主要采取了炸低夫归石和外梁礁石至160 m高程,以减弱礁石的挑流和阻水作用,消除不良流态,调顺水流流向,冲刷梁沱沿岸的淤沙,保证该港区的正常使用。试验表明整治工程实施后,流量小时外梁和夫归石切除部分对水流没有影响;当流量 $Q_k/Q_{\text{嘉}}=7\ 640/3\ 160\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,由于夫归石炸低后,其对流速的影响明显减弱,该处主流分布趋于均匀,河床流态明显好转,外梁顶部水深约4.5 m,已完全满足船舶吃水要求,该处的航道有效宽度大于300 m,梁沱内流速增大至1 m/s以上,沱内的回流消除,这将大大减少沱内的泥沙淤积,梁沱以下河段流速分布亦更加趋于均匀化;当流量增至 $Q_k/Q_{\text{嘉}}=10\ 710/10\ 975\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,夫归石段工程前的紊乱流态已基本消除,外梁处的水深大于10 m,该段水流流态良好,且主流流速有所减小,梁沱内的流速进一步增大,随着流量的继续增大,该段河道的通航条件将更加良好。可以看出整治工程实施后,效果良好。

3)针对嘉陵江金沙碛河段的特点,选择在滩首附近修建两条下挑丁坝的方法进行整治,结果表明:该整治建筑物实施后起到了控制淤积发展,稳定航槽,改善通航水流条件的明显效果,被免了无整治建筑物时航槽向河心的摆动,黄花园大桥2#主墩矗立于主航道中央而碍航的危急状态,有利于船舶在该河段的顺利航行。

### 3.2 上游建库拦沙效果

3.2.1 试验控制条件 为了探讨上游建库拦沙对减缓重庆河段泥沙淤积的效果,进行了有无溪洛渡水库

拦沙系列输沙对比试验<sup>[6]</sup>。无溪洛渡水库拦沙情况下的175 m方案试验选用1961至1970年的水文资料,模型进口泥沙粒径用长江寸滩水文站资料,其水沙过程直接采用长江科学院数学模型计算结果。溪洛渡水库修建后的泥沙试验资料系由国电公司成都勘测设计院提供,溪洛渡水库运行10~30年,重庆河段长江进口悬移质含沙量将减少53.6%,悬沙中值粒径将由原天然情况 $d_{50}=0.028\ \text{mm}$ 减小到 $d_{50}=0.0175\ \text{mm}$ 。为了进行对比试验分析,模型进口的水沙控制条件主要考虑了:(1)长江进口流量过程:考虑了溪洛渡水库的调节作用;(2)长江进口悬移质含沙量过程:直接采用时段天然输沙量减去溪洛渡水库拦沙量,再除以溪洛渡水库调节后的川江时段流量;(3)长江进口悬移质颗粒级配:以寸滩水文站和朱沱水文站悬移质颗粒级配的平均值作为川江天然级配,再根据溪洛渡电站出库含沙量和级配计算成果,计算有溪洛渡电站的长江进口悬移质颗粒级配;(4)长江进口推移质输沙量及级配与无溪洛渡水库拦沙时一致;(5)嘉陵江水沙条件保持不变。

3.2.2 减淤效果 试验主要进行了有无溪洛渡水库拦沙情况下,重庆河段在三峡水库运行30年的系列泥沙试验,研究表明:溪洛渡水库建成后,由于其巨大的拦沙库容,能有效地拦截金沙江进入长江的泥沙,减小三峡入库含沙量,重庆河段的泥沙淤积平均减少39.2%(图3为各分河段减淤效果图),其中边滩淤积量平均减少43.0%,深槽淤积量平均减少21.1%。可见溪洛渡建库拦沙后对于减少三峡库区重庆河段泥沙淤积将会产生较显著的效果,对延长重庆河段港口航道等设施的使用寿命起到十分重要的作用。

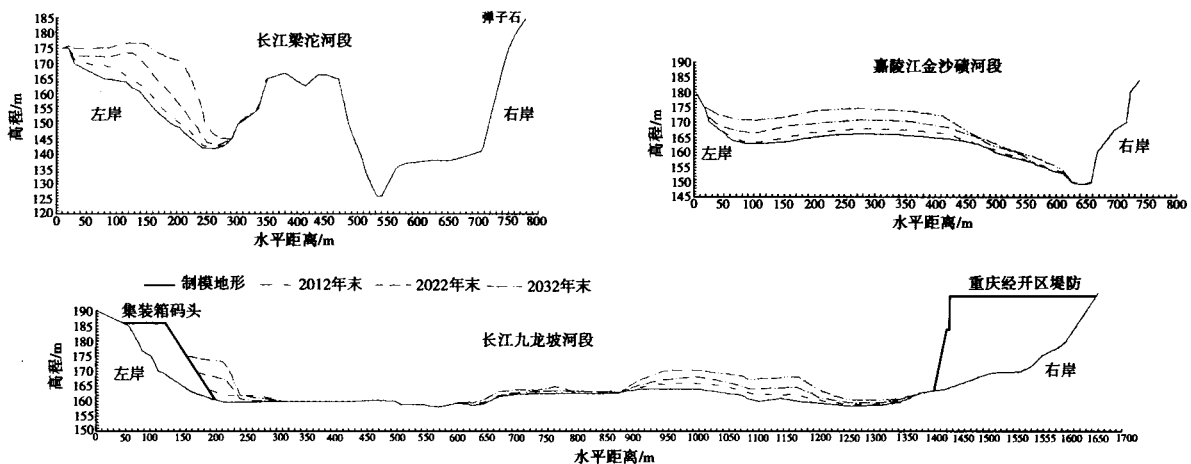


图3 泥沙淤积断面示意图

除此以外,泥沙淤积的减少还将有效地降低该河段因淤积引起的水位上扬,减小该河段的水面比降。这无论是对于改善该河段的通航条件,减少淹没损失

和后期移民数量,还是对于改善整个三峡库区回水变动区河段的生态环境都是十分有利的。

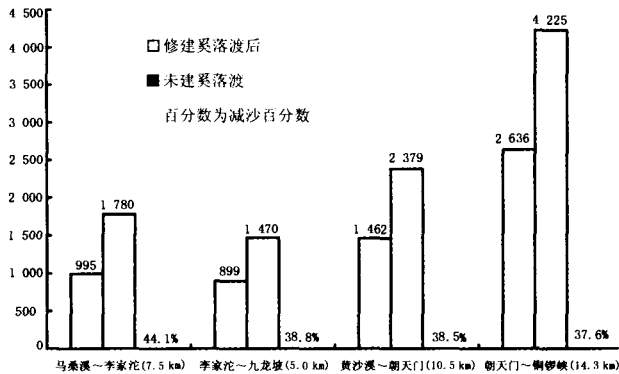


图4 三峡水库运行30年重庆长江各分段减淤效果柱状图

#### 4 治理措施建议

通过以上的分析,并综合各方面的研究成果,为了减少三峡回水变动区重庆河段的泥沙淤积影响,保证航运畅通,建议采取以下工程措施:

1) 加大长江上游水土保持力度,实施生态环境综合治理,减少入河泥沙量。比较20世纪90年代与60年代实测嘉陵江的水沙资料,可见减少效果十分明显。

2) 上游建库拦沙与蓄水攻沙相结合。目前,在长江上游正修建溪洛渡和向家坝等巨型水利枢纽,这些枢纽均具有较好的防洪、发电和拦沙等综合效益。可以预见,如能在紧邻三峡库尾的长江朱杨溪、嘉陵江草街(已动工修建)和井口修建水利枢纽(以下简称“三库”),并与三峡水库联合调度运行,更具有近距离拦沙与蓄水攻沙的明显作用,可有效改善重庆主城区河段泥沙淤积和港航交通条件。“三库”紧邻库尾,作用直接,在与上游干、支流陆续建成的溪洛渡、向家坝、亭子口等水利枢纽配合下,三峡库尾的泥沙淤积问题可望得到较大改善。

3) 实施河道岸线调整、港口改造和航道整治综合工程措施。重庆航运中心的建设需要对重庆主城区河段的河道岸线进行总体规划调整、实施港口改造和航道整治综合工程措施。实施河道岸线调整,一方面可

起到归顺岸线,调整泥沙淤积分布,使其沙随水走,泥沙归槽的作用;另一方面又能提高城市防洪标准,改善城市水陆交通条件,治理滑坡、防止库岸崩塌等。根据泥沙淤积对港口影响的预测,及早开展港口改造的综合研究并适时实施,既能提高港口吞吐能力,又能确保港口的正常安全运转。进行航道整治,辅以机械挖泥疏浚等工程措施,可以提高河道冲刷能力,调整泥沙淤积分布,增加航深,保证航道安全畅通。

上述工程措施的实施,既是治理重庆河段泥沙淤积的需要,又对重庆的建设发展具有重要的推动作用。

#### 5 结语

三峡水库按175m方案蓄水运行后,在重庆主城区河段的两岸边滩、弯道凸岸、河道放宽段、回流沱等处将会发生一定的累积性泥沙淤积,将会对重庆河段的港口、航道和沿江取排水口等市政基础设施造成一定的负面影响,通过加大长江上游的水土保持力度、采取建库拦沙及蓄水攻沙、根据泥沙淤积情况规划调整河道岸线,实施港口改造和航道整治等综合措施,可以取得治理泥沙淤积,建设发展重庆的良好效果。

#### 参考文献:

- [1] 交通部三峡工程航运办公室. 长江三峡工程泥沙和航运关键技术研究成果汇编[R]. 1991.
- [2] 赵世强. 三峡工程变动回水区重庆主城区河段泥沙模型试验研究报告[R]. 重庆西南水科所, 2003.
- [3] 陈稚聪. 三峡工程运行初期重庆主城区河段泥沙模型试验研究报告[R]. 清华大学水利水电工程系, 2003.
- [4] 郭继明. 三峡工程运行初期重庆主城区河段泥沙模型试验研究报告[R]. 长江科学院, 2002.
- [5] 余明富. 三峡工程变动回水区重庆主城区河段泥沙模型试验研究报告[R]. 南京水利科学研究院, 2003.
- [6] 张绪进. 溪洛渡水库拦沙对于减缓三峡库区重庆河段泥沙淤积效果的对比试验研究[R]. 重庆西南水科所, 2001.