



小湾水电站坝下游河道淤积 与降低水位措施研究

郭庆超

中国水利水电科学研究院泥沙所
2007年10月



主要内容

- 研究目的和内容
- 模型验证计算
- 专题研究
- 结论和建议



研究目的和内容

电站及水库概况

小湾水电站位于澜沧江中下游河段，是澜沧江中下游梯级电站中的龙头电站。最大坝高**292m**，正常蓄水位下库容**149.14亿m³**。以发电为主要开发目的，兼顾防洪等综合利用目的。

漫湾水电站上距小湾水电站约**60km**，漫湾水库库尾与小湾水电站尾水衔接。坝高**132m**，正常蓄水位下库容**9.2亿m³**。



研究目的和内容

水沙特性

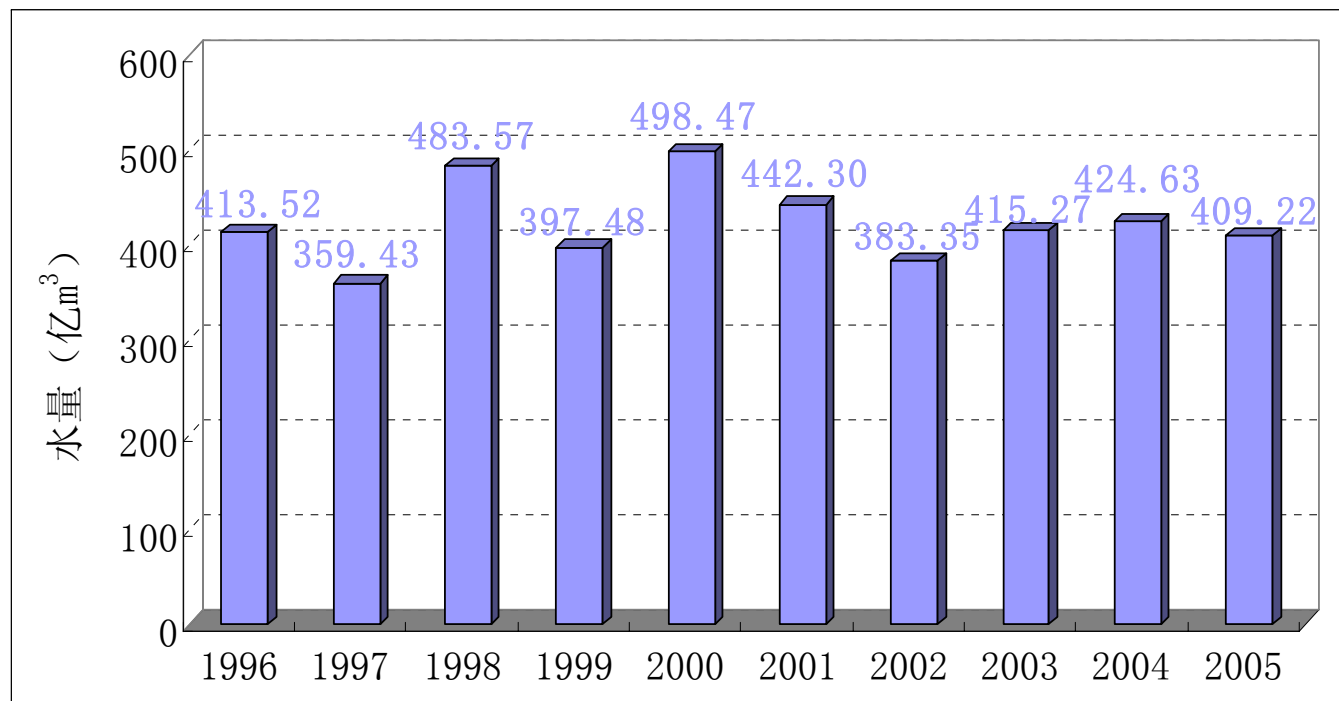
漫湾大坝坝址控制流域面积**11.45万km²**，多年平均流量**1210 m³/s**，千年一遇设计洪峰流量为**18500 m³/s**，5000年一遇校核洪峰流量为**22300 m³/s**，多年平均输沙量**4000万t**，实测最大含沙量**14.3kg/ m³**，平均含沙量**1kg/ m³**。

小湾坝址多年平均流量成果表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年均
流量 (m ³ /s)	420	380	418	597	908	1550	2370	2640	2250	1590	874	553	1210

研究目的和内容

水沙特性



漫湾入库年水量过程



研究目的和内容

河道淤积现状

根据**2006年4月**昆明院对小湾电站尾水出口段河道测量成果反映，小湾水库导流洞出口处河道平均比天然情况下抬高**10m**，小湾电站厂房尾水出口段至**LM65**断面河床沿程均表现为淤积抬高，深泓点淤高在**0.38m~13.01m**之间，平均淤高了**4.43m**，小湾尾水断面处淤高较多，由天然的**982m**淤高至**990.9m**，淤高了**8.9m**。同时，**LM74-1**断面至小湾下游围堰河段除了河床抬升外，还表现为两岸的缩窄。下游河床抬高束窄将影响河道行洪能力和电站出力，对小湾电站极为不利。



研究目的和内容

研究目的

导致小湾水电站下游河道淤积抬高的主要原因：

一，小湾电站施工弃渣；二、漫湾水库运用造成的淤积上延。为了提高下游河道的行洪能力和减小水位抬高对小湾水电站出力的不利影响，必须对小湾下游河道进行治理。如能将施工弃渣和漫湾水库运用两个不同因素造成的淤积从量上分离开来，再配合以清淤，将既能提高清淤效果，又大大降低了施工成本。



研究目的和内容

研究内容

- **专题1：**漫湾水库运用对小湾坝下游河段淤积和水位影响研究；
- **专题2：**2005~2009年小湾坝下游河道冲淤与水位变化研究；
- **专题3：**小湾水电站运用以后坝下游河段冲刷与水位变化研究；
- **专题4：**清淤范围和清淤量确定；



模型验证计算

- 计算条件
- 验证成果
 - ✓ 冲淤量验证
 - ✓ 水位验证
 - ✓ 深泓验证



模型验证计算

计算条件

验证范围：澜沧江干流进口**LM76**~坝前**LM09**断面，
约**60km**长的库段。

验证时间：**1996年~2003年**，共七年时间。

时段划分：汛期（**6~10月**）每天一个时段，非汛期
5~7天一个时段。



模型验证计算

1996~2003年实际淤积量计算

断面法计算淤积量：将**1996年**和**2003年**实测大断面进行套汇，分别计算各断面的冲淤面积，再计算相邻两断面间的冲淤量，最后沿程累加得到总的冲淤量。

相邻横剖面冲淤量计算公式如下：

$$\begin{cases} V = L \times (A_1 + A_2) \div 2 & \text{-----} (A_1 - A_2) \div A_1 \leq 0.4 \\ V = L \times (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2}) \div 3 & \text{-----} (A_1 - A_2) \div A_1 > 0.4 \end{cases}$$

计算得到**1996年~2003年**间实际淤积量为**2.372亿m³**



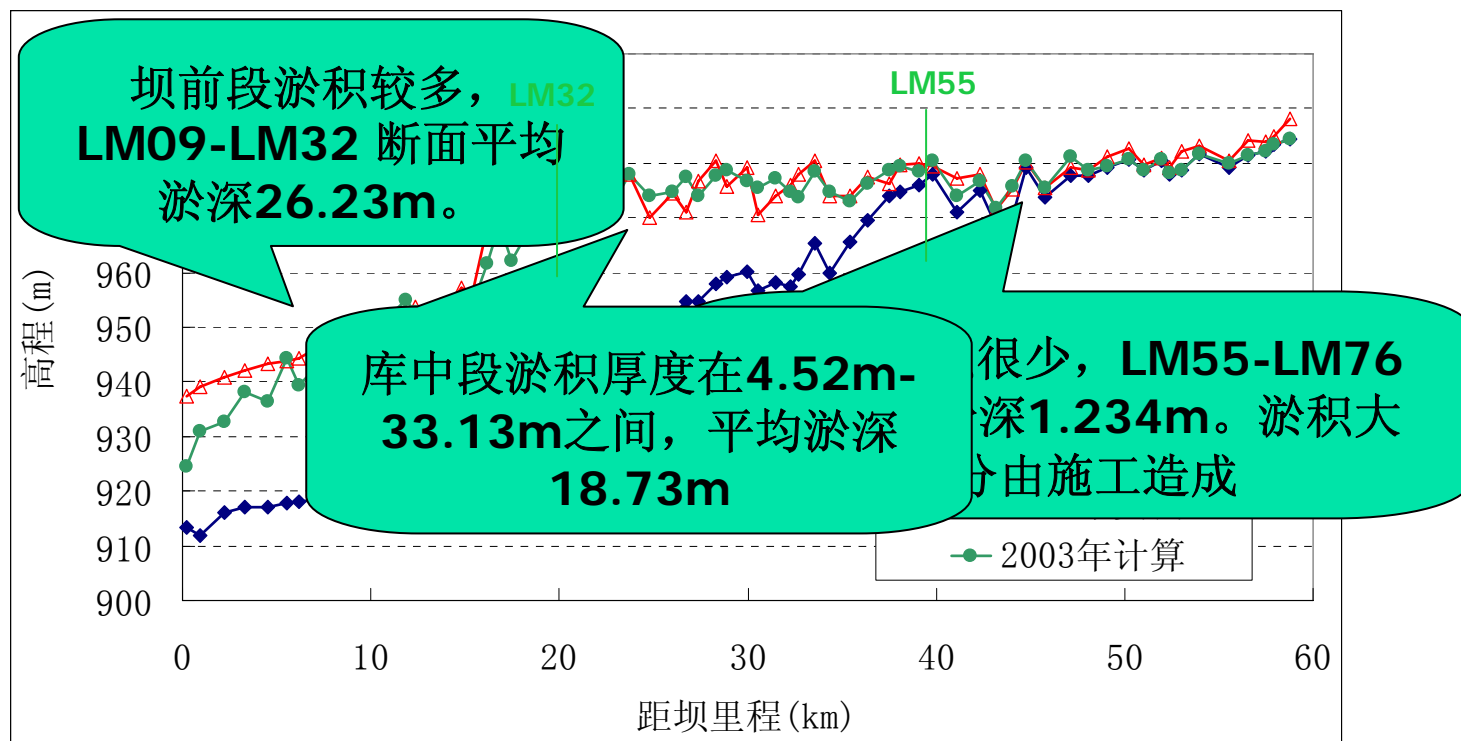
模型验证计算

验证成果

验证计算得到**1996年~2003年**间累积淤积量为**2.251亿m³**，计算淤积量与实测淤积量之间相差**0.121亿m³**，相对误差仅为**5.10%**。小湾电站于**2002年1月**开工，**2002年至2003年**间已有部分弃渣淤积在漫湾水库库尾，若减去这部分弃渣造成的误差，则计算相对误差小于**5.1%**。说明淤积量验证成果良好。

模型验证计算

验证成果—2003年深泓验证



2003年深泓验证



模型验证计算

验证成果—库尾水位验证

LM76断面2005年水位验证

单位：m

流量 (m ³ /s)	390	800	1170	1210	1500	2340	3000	5000
实测	993.42	994.59	995.36	995.44	996.03	997.53	998.63	1001.3
计算	993.24	994.54	995.58	995.68	996.25	997.59	998.57	1001.3
差值	0.18	0.05	-0.22	-0.24	-0.22	-0.06	0.06	0.0

误差范围0~0.24m，平均误差0.13m



专题研究

计算条件

- 水沙系列：选取来水来沙量与多年平均值接近的**2001**年为代表年，以多年平均值为标准对代表年的水沙过程进行缩放，以缩放后的代表年水沙过程为天然情况下的水沙过程进行循环计算。

多年平均来水量**442.30**亿 m^3 ，沙量**7002**万 t

- 初始地形：**2005**年**10**月实测地形。



专题研究

专题1：漫湾运用及小湾施工影响

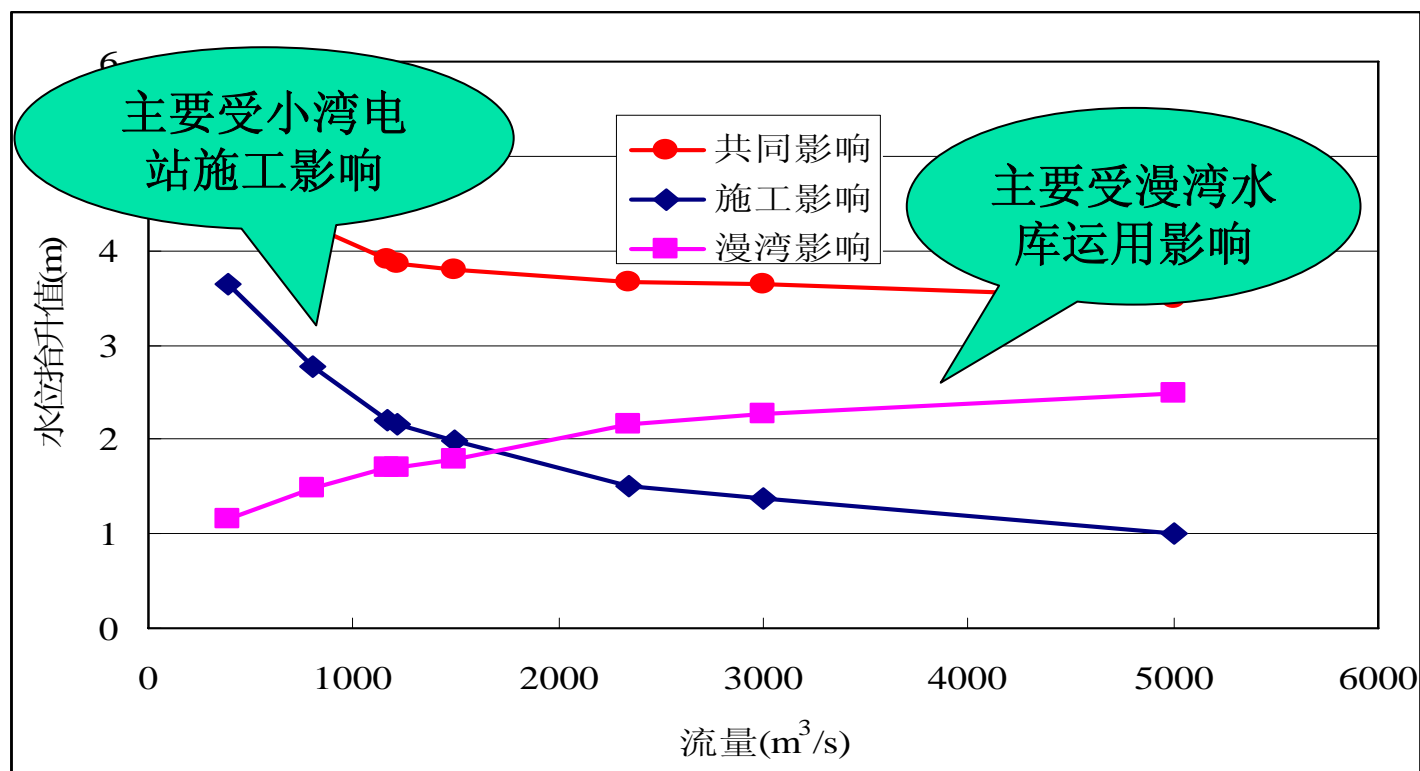
进口LM76断面2005年水位比较 单位：m

流量(m ³ /s)	390	800	1170	1210	1500	2340	3000	5000
1996年	988.61	990.33	991.46	991.57	992.24	993.87	994.99	997.81
2005年实测	993.42	994.59	995.36	995.44	996.03	997.53	998.63	1001.30
2005年计算	989.77	991.82	993.16	993.28	994.04	996.02	997.26	1000.29
2005年抬高	4.81	4.26	3.90	3.87	3.79	3.66	3.64	3.49
漫湾水库影响	1.16	1.49	1.7	1.71	1.8	2.15	2.27	2.48
小湾施工影响	3.65	2.77	2.2	2.16	1.99	1.51	1.37	1.01

2005年比1996年水位抬高3.49m~4.81m，其中，漫湾水库运用造成的水位抬高值为1.16m~2.48m，小湾电站施工造成的水位抬高值为1.01m~3.65m。

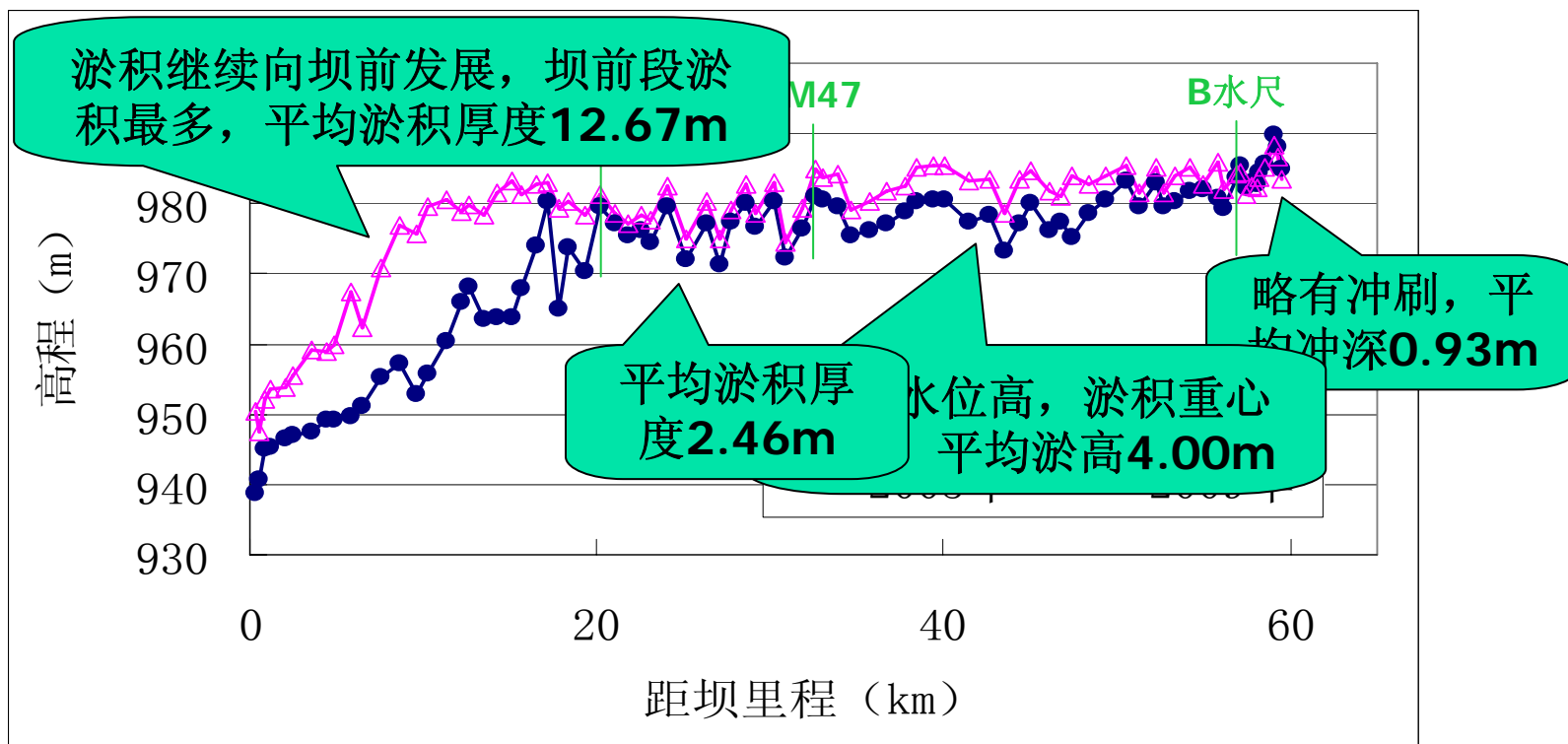
专题研究

专题1：漫湾运用及小湾施工影响



专题研究

专题2：2005~2009年冲淤变化



2005~2009年总淤积量0.971亿 m^3 。



专题研究

专题2：2005~2009年冲淤变化

2009年与2005年LM76断面水位比较 单位：m

流量 (m ³ /s)	390	800	1170	1210	1500	2340	3000	5000
2005年	993.24	994.54	995.58	995.68	996.25	997.59	998.57	1001.25
2009年	992.74	994.77	996.25	996.38	997.17	999.09	1000.36	1003.40
差值	-0.50	0.23	0.67	0.70	0.92	1.50	1.79	2.15



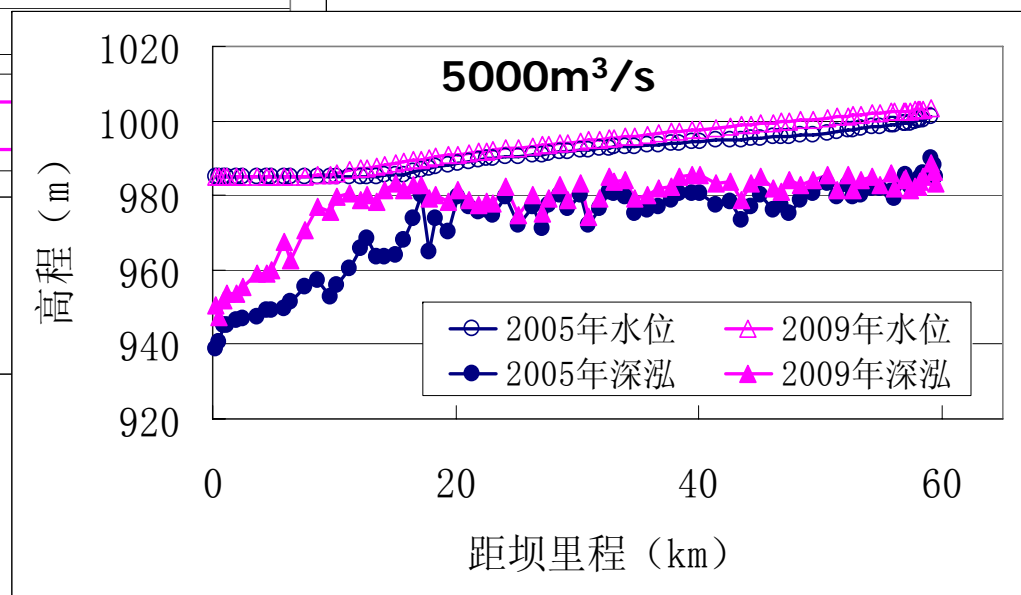
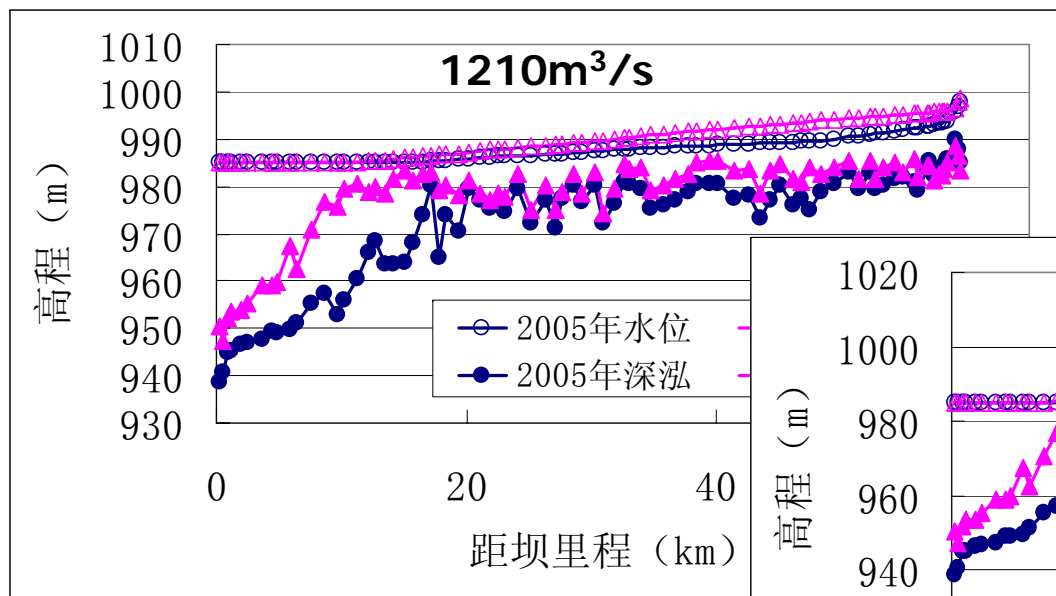
专题研究

专题2：2005~2009年冲淤变化

从表中可以看出，除 $390\text{m}^3/\text{s}$ 流量级水位降低 0.5m 以外，其余各流量级水位均有所抬高，抬高值在 $0.23\text{m}\sim 2.15\text{m}$ 之间，且表现为流量越大，水位抬高越多。由此看来，2009年与2005年相比，虽然库尾段 2.5km 左右发生了冲刷，平均冲深 1m 左右，但是由于随着漫湾水库的运用，库区的泥沙淤积在向坝前发展，计算水面线时坝前的水位基准面也随之向大坝方向发展，且库区总体呈淤积状态，导致水位在库区中段已有较大抬高，因此，虽然库尾段发生了冲刷，但库尾LM76断面的水位仍然呈抬高趋势。

专题研究

专题2：2005~2009年冲淤变化





专题研究

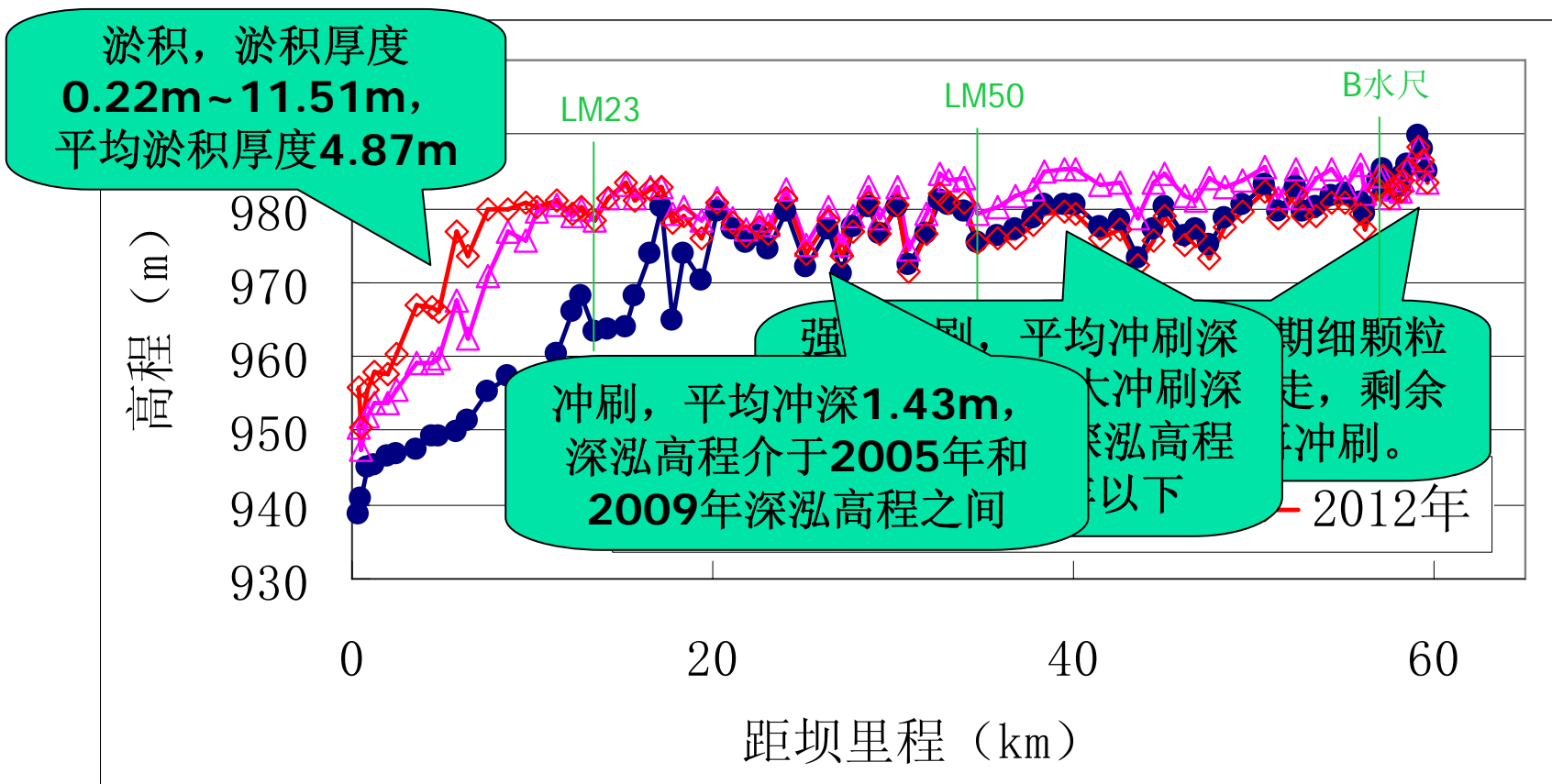
专题3：小湾运用后冲淤变化

小湾水库拥有**149亿 m^3** 的巨大库容，设计排沙比为**6.3%**。小湾电站投入运用后，将对漫湾水库产生强烈冲刷。

在计算出来的**2009年**地形基础上计算**3年**，到**2012年**漫湾水库的总冲刷量为**670万 m^3** 。

专题研究

专题3：小湾运用后冲淤变化





专题研究

专题3：小湾运用后冲淤变化

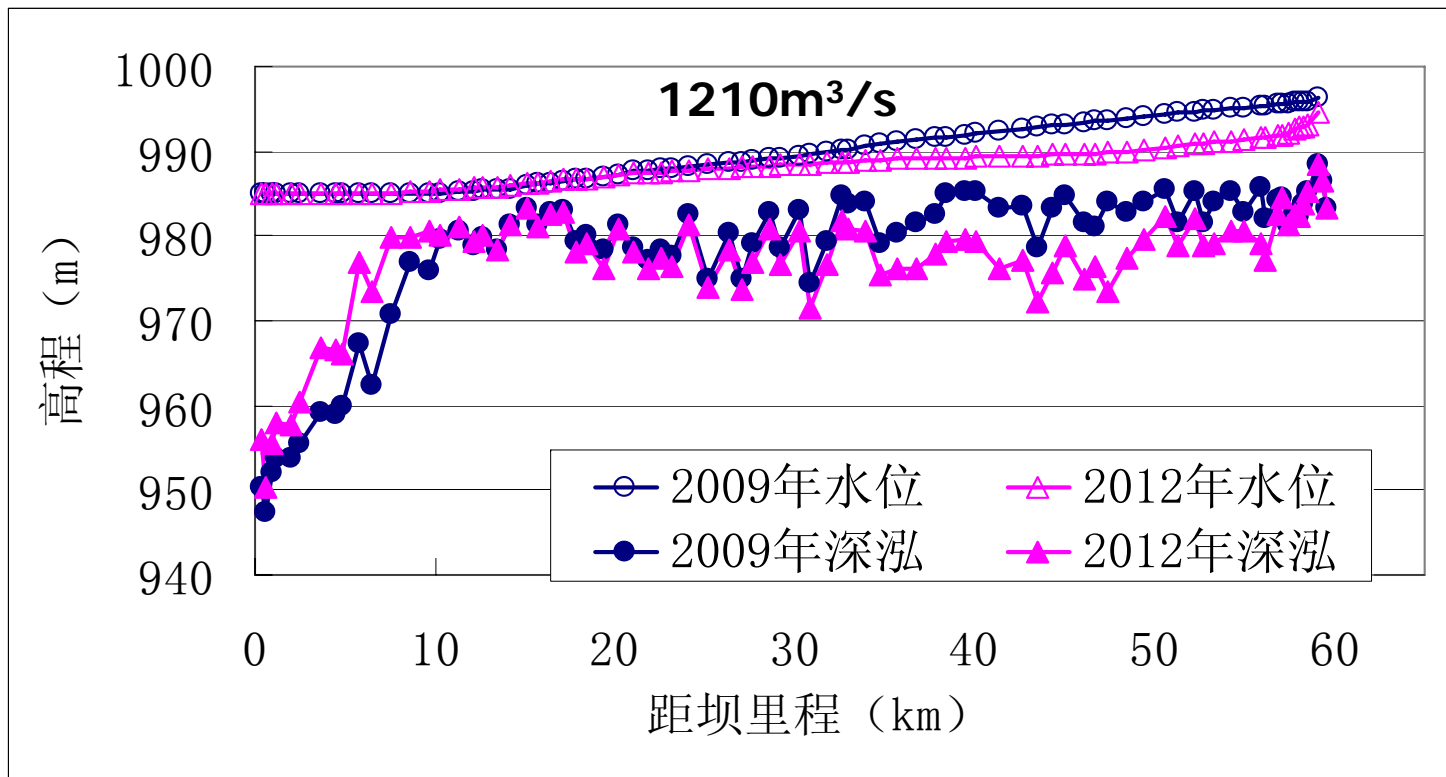
小湾电站运用前后LM76断面水位比较

单位：m

流量 (m ³ /s)	390	800	1170	1210	1500	2340	3000	5000
2005年	993.24	994.54	995.58	995.68	996.25	997.59	998.57	1001.25
2009年	992.74	994.77	996.25	996.38	997.17	999.09	1000.36	1003.40
2012年	992.03	993.37	994.38	994.47	995.22	996.93	997.94	1000.65
2012与 2009差	0.71	1.40	1.87	1.91	1.95	2.16	2.42	2.75
2012与 2005差	1.21	1.17	1.20	1.21	1.03	0.66	0.63	0.60

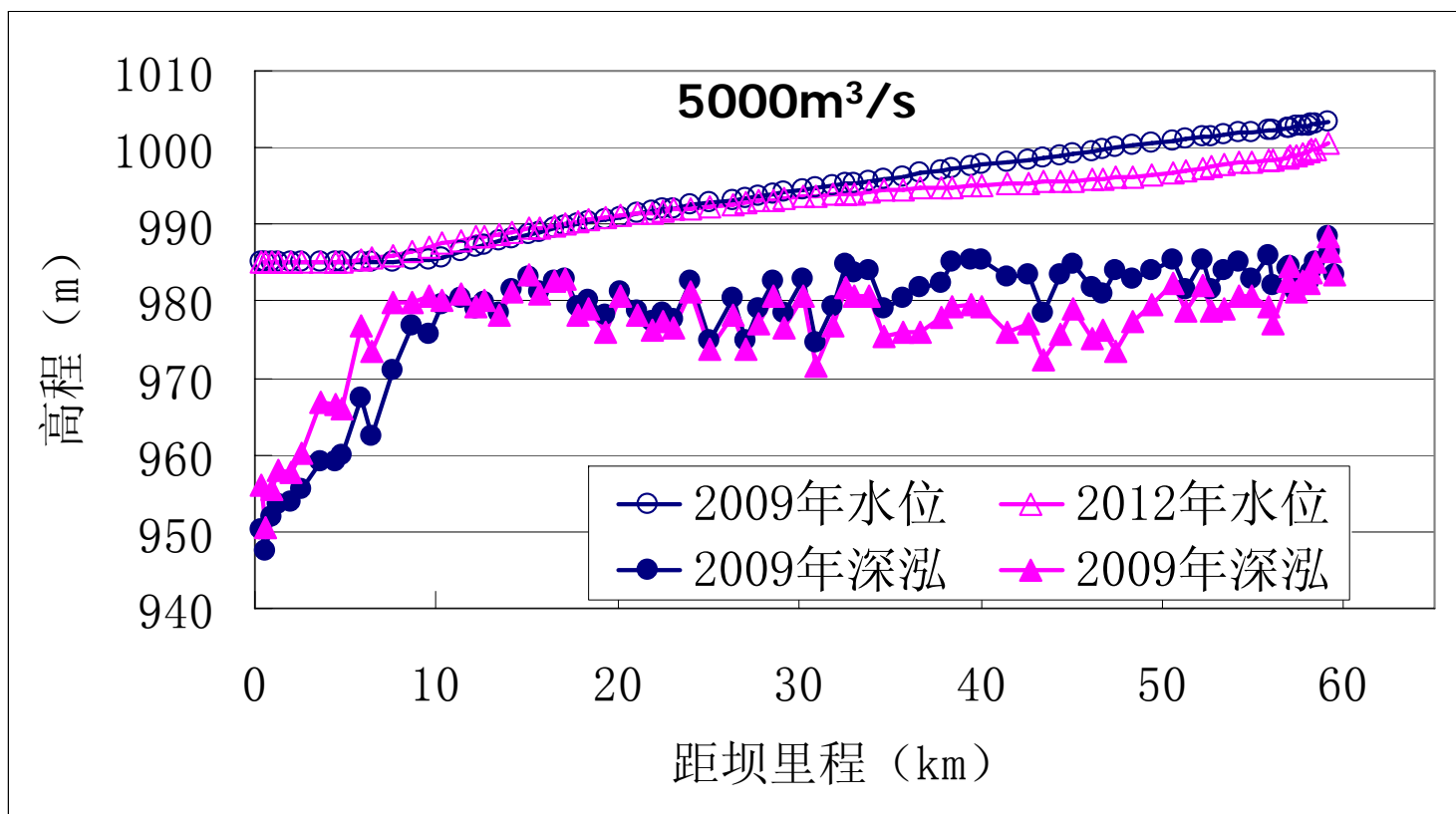
专题研究

专题3：小湾运用后冲淤变化



专题研究

专题3：小湾运用后冲淤变化





专题研究

专题3：小湾运用后冲淤变化

计算结果显示，2012年LM76断面水位较2009年均有所下降，下降幅度在0.71m~2.75m之间，且流量越大，水位下降越多。2012年LM76断面水位不但比2009年有所下降，而且比2005年也有一定的下降，下降幅度在0.60m~1.21m之间。

由此可见，即使不对库尾河段采取清淤措施，小湾水电站投入使用后，自然的水力冲刷也可以将库区内的一部分淤积物带走，从而使小湾坝下游水位比2005年还有所降低，如果小湾水电站运用的同时再配合一定的河道清淤措施，则对降低小湾下游河道的水位效果会更好。



专题研究

专题4：清淤效果分析

为了确定合适的清淤范围和清淤量，在**2005**年地形资料基础上，就不同清淤量和清淤范围对降低小湾水电站下游河道水位的效果进行了多个方案分析研究。清淤量从**10万m³**到**180万m³**，包括**10万、20万、30万、50万、70万、100万、140万和180万m³**等**8**个清淤量级；清淤范围从**600m**到**1500m**，包括**600m、900m、1200m和1500m**等**4**个清淤范围。越靠近库尾断面清淤面积越大。



专题研究

专题4：清淤效果分析

(1) 随着清淤量的增加，各流量级的水位降低值也呈增加趋势。清淤量**180万m³**、清淤距离**1500m**时各流量级水位降低值最大，在**1.75M~4.14M**之间，其中当流量为**1000m³/s**左右时，水位下降最明显，这主要是因为流量在**1000m³/s**左右时，清淤面积在总断面过水面积中占的比例相对较大，且下游河段的水位基面影响较小，而大流量时清淤面积占总过水面积明显下降，清淤效果也随之降低。



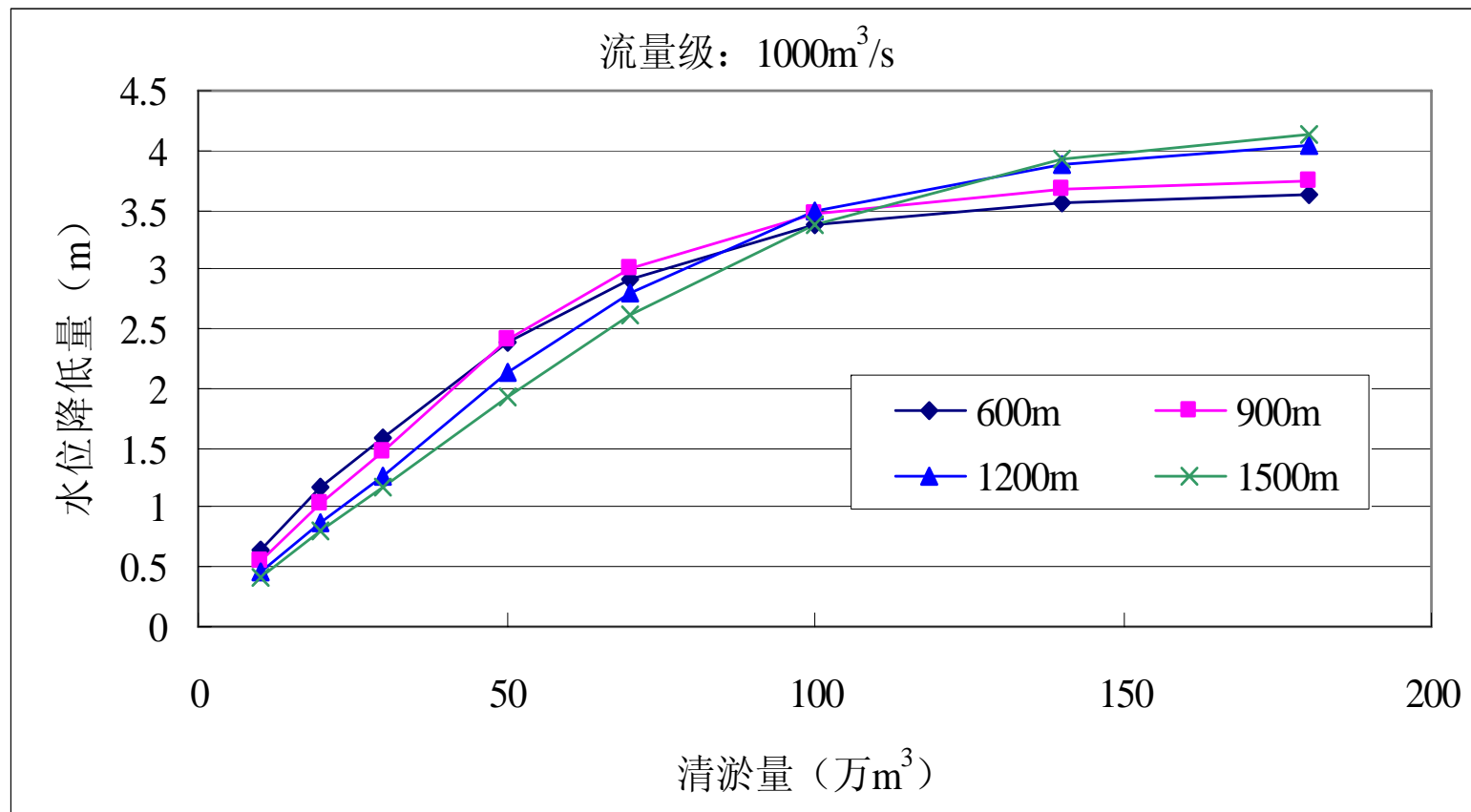
专题研究

专题4：清淤效果分析

(2) 清淤量在**100万m³**以下时清淤效果较好。当清淤量在**100万m³**以下时，随着清淤量的增加水位降低值增加较快，但当清淤量大于**100万m³**时，虽然随着清淤量的增加水位降低值也在增加，但增加明显变缓，清淤效果下降。因此，从工程投资和水位下降效果来看，清淤量宜控制在**100万m³**以内。

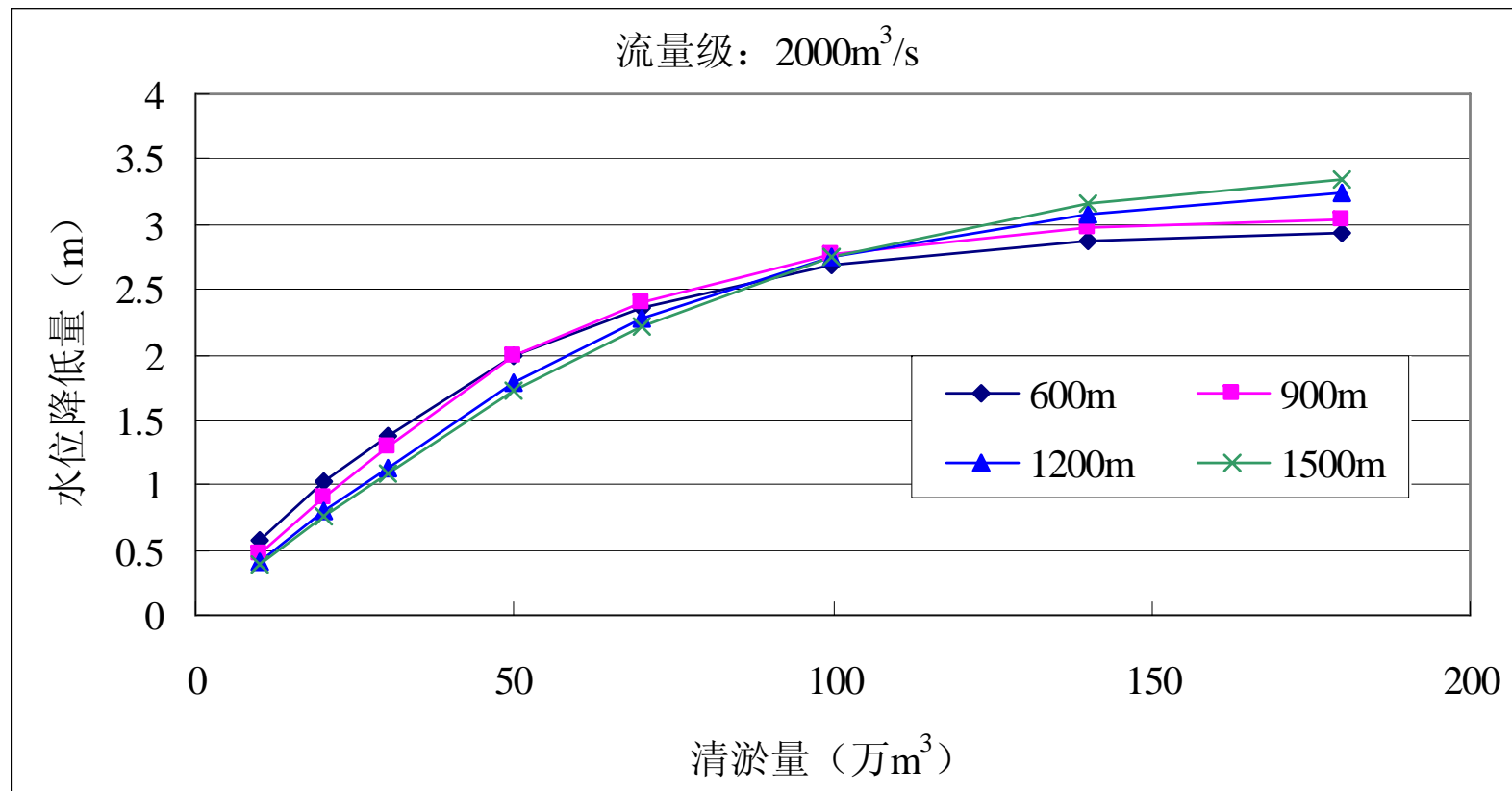
专题研究

专题4：清淤效果分析



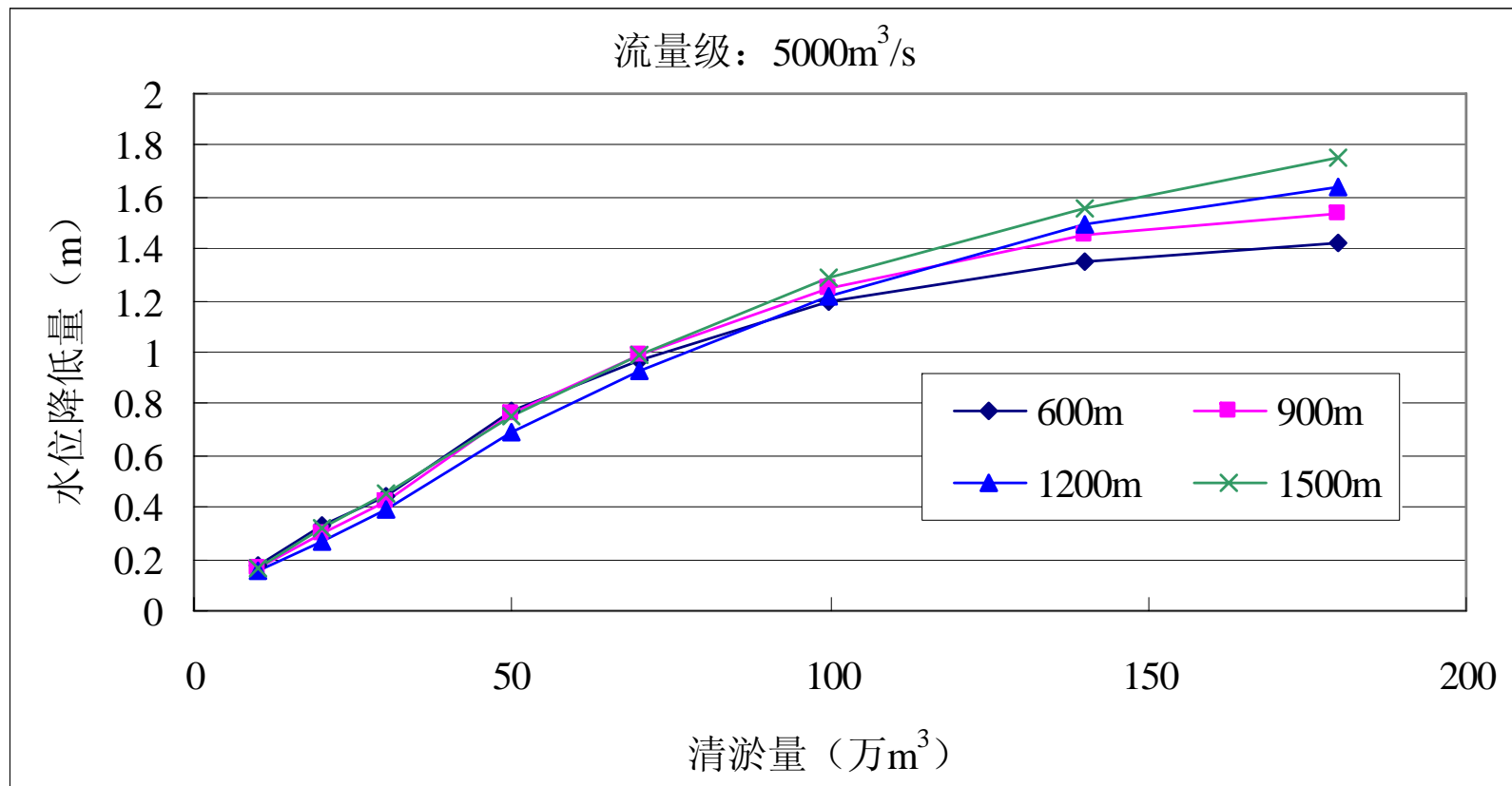
专题研究

专题4：清淤效果分析



专题研究

专题4：清淤效果分析





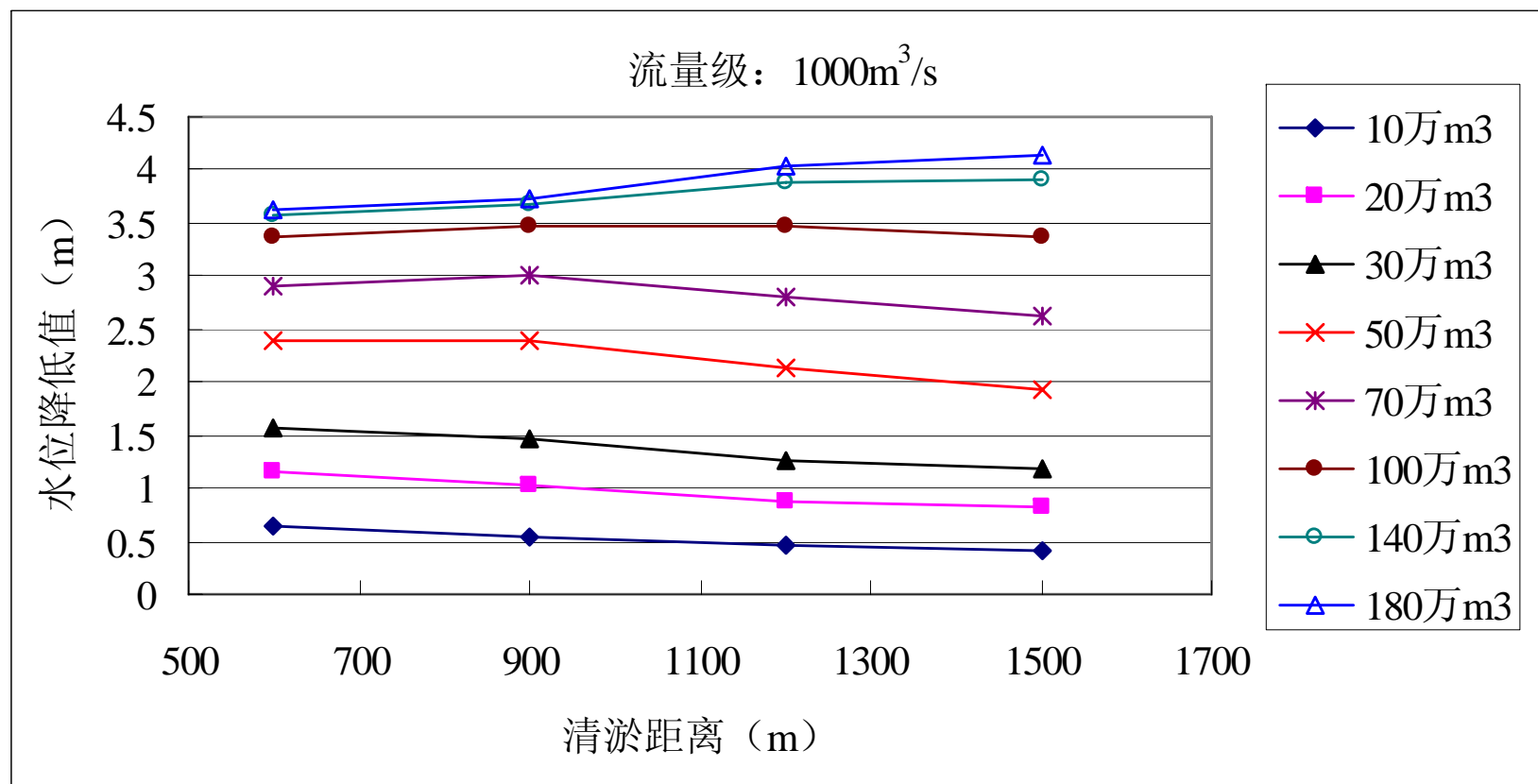
专题研究

专题4：清淤效果分析

(3) 清淤范围对降低水位的效果比较复杂，当清淤量较小时，清淤范围越短越有利于水位下降，当清淤量较大时，清淤范围越长越利于水位降低。当清淤量较小时，清淤范围越短，断面过水面积增加越明显，这时过水面积的增加在降低水位中起了主导作用；当清淤量较大时，若清淤范围仍然很短，虽然可以进一步增加断面过水面积，但由于下游断面的侵蚀基准面没有变化，这种局部河段过水面积的增加对降低水位的效果开始减弱，若这时将清淤河段延长，就可以在实现扩大断面过水面积的同时，降低下游断面的侵蚀基准面，从而有利于上游断面的水位下降。

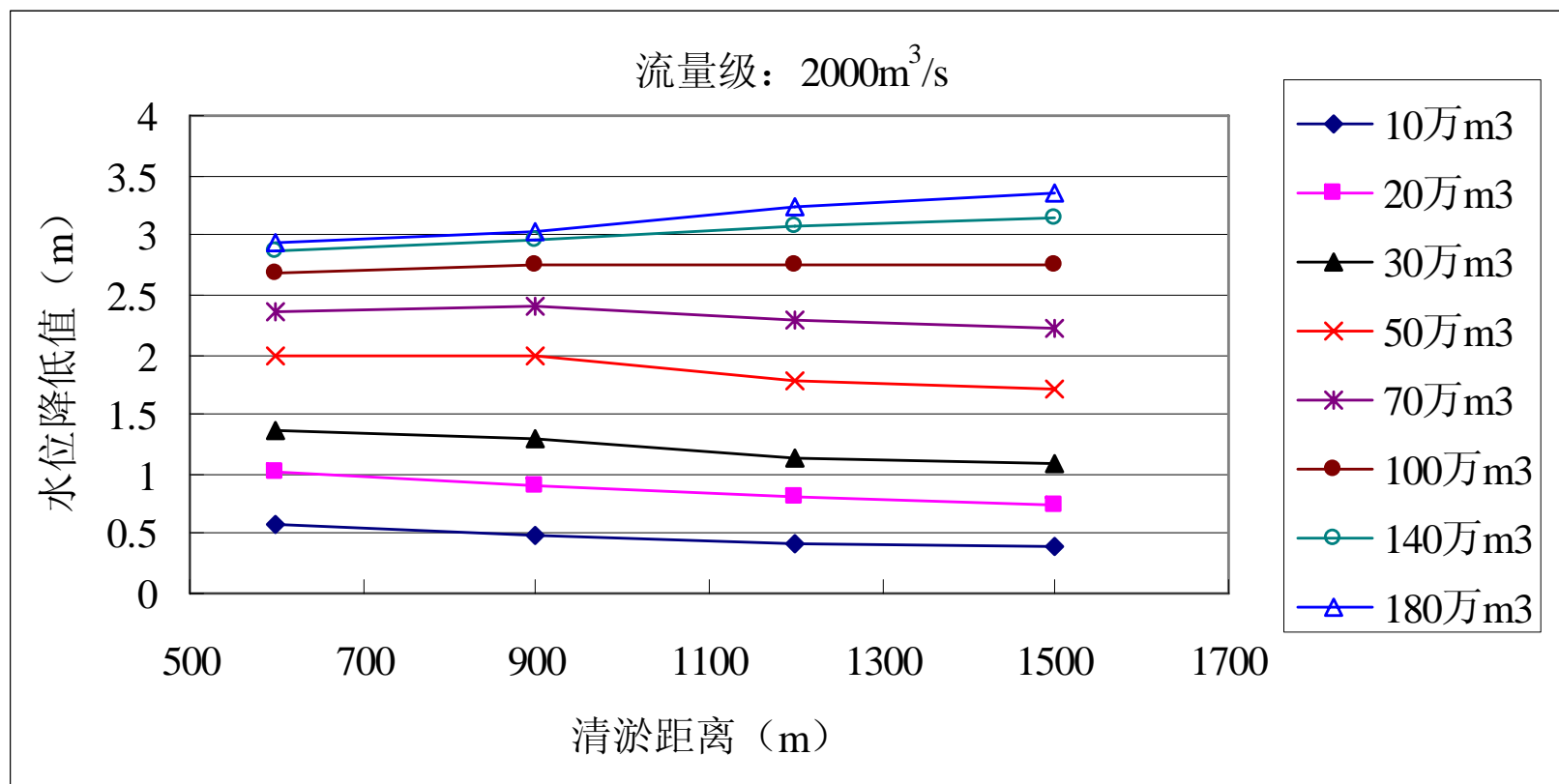
专题研究

专题4：清淤效果分析



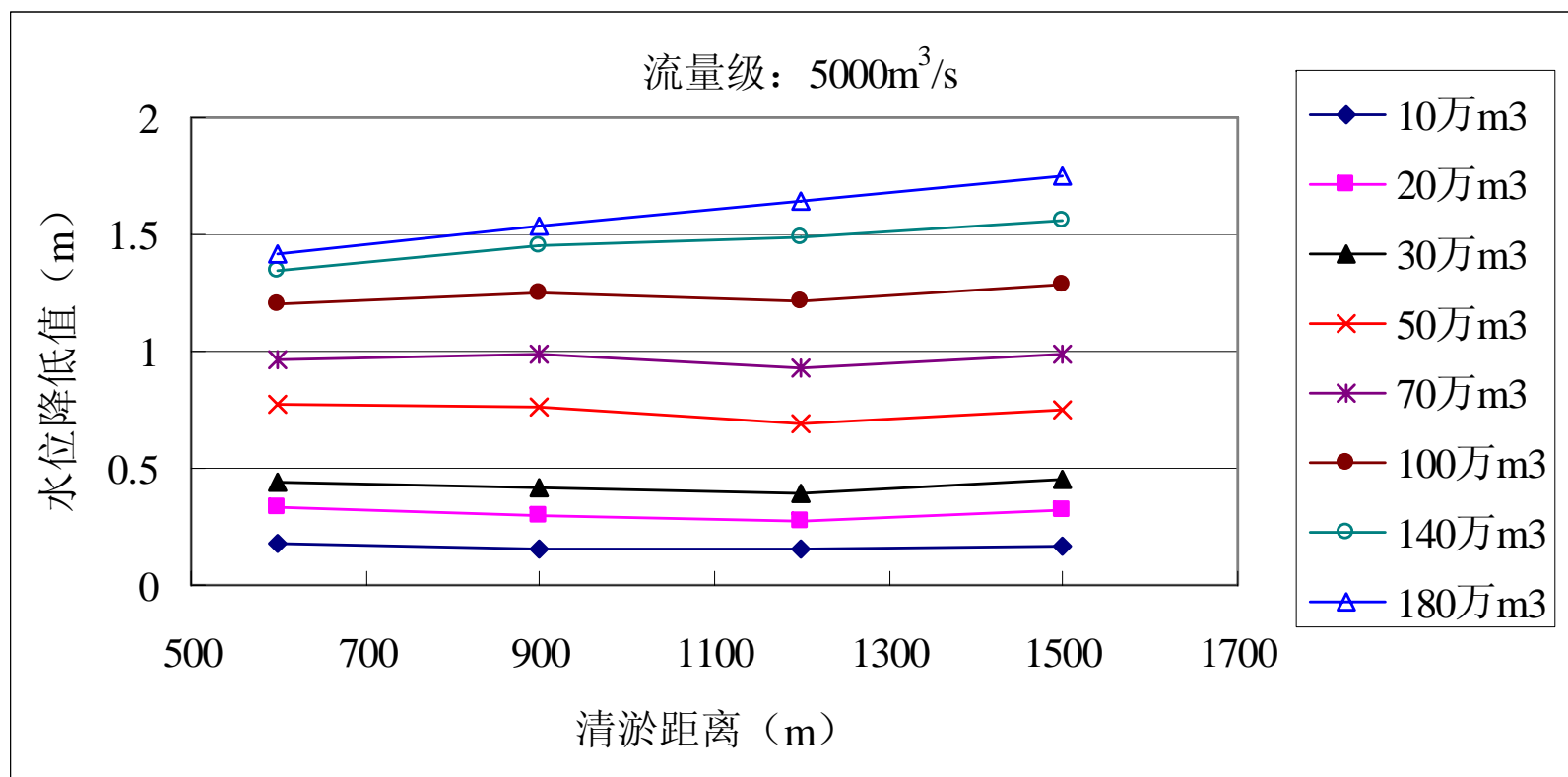
专题研究

专题4：清淤效果分析



专题研究

专题4：清淤效果分析





专题研究

专题4：清淤效果分析

(4) 清淤量与清淤范围建议：综合考虑清淤工程投资和
水位下降效果，建议清淤量控制在**100万m³**以内，清淤河段
宜控制在**600~900m**范围内。主要理由在于：其一，当清
淤量大于**100万m³**，水位下降效果明显降低，工程投资效益
显著下降；其二，由于小湾水库运用以后对大洪水的调蓄作
用，下游出现大流量的机会将明显减少，大部分时间流量小
于**2000m³/s**，而对于小于**2000m³/s**的中小流量级，当清
淤量小于**100万m³**时，清淤范围控制在**600~900m**内，对
降低水位更有利。



结论和建议

- 1, 建立了漫湾水库运用对小湾坝下游水位影响的数学模型。验证计算表明, 该数学模型能很好地反映漫湾水库的泥沙淤积规律和库尾水位的变化, 可以用于漫湾水库运用对小湾坝下游水位影响的研究。
- 2, 辩明了小湾坝下游水位抬升的原因, 分离出了漫湾水库运用和小湾施工弃渣对水位抬升的贡献率。研究表明小湾坝下游的水位抬升是漫湾水库淤积上延和小湾施工弃渣共同造成的, 二者的影响均不容忽视。**1996~2005年各流量级水位抬高3.49m~4.81m, 其中, 漫湾水库运用影响占1.16m~2.48m, 小湾电站施工影响占1.01m~3.65m。且流量小于1500m³/s时施工影响占主导地位, 而流量大于1500m³/s时漫湾水库运用的影响略大。**



结论和建议

- 3, 小湾水电站运用前坝下游水位将继续抬高。研究表明, 若漫湾水库采用目前运用方式, 在来水来沙接近多年平均条件下, **2005年至2009年小湾坝下游水位仍将抬升**, 对于多年平均流量**1210m³/s**, **2009年LM76断面水位抬升约0.70m**。这种水位抬升完全是漫湾水库淤积上延造成的。
- 4, 水力自然冲刷对降低水位效果明显。研究表明利用小湾运用后水力自然冲刷能量, 不仅可以**将2005年至2009年小湾坝下游的淤积物全部冲走**, 而且可以将**2005年以前的相当一部分淤积物冲走**。与小湾运用前的**2009年底坝下游的水位相比**, 经过**3年水力自然冲刷**, 至**2012年LM76断面1000m³/s流量的水位可以下降约1.7m**。



结论和建议

- 5, 清淤量和清淤范围对降低水位的影响：清淤量越大，水位下降越多，并且清淤量较小时加大清淤量对水位下降效果较明显，当清淤量大于**100万m³**时，加大清淤量对水位下降效果明显变缓。清淤范围对水位下降效果的影响比较复杂，当清淤量较小时，清淤范围越短越有利于水位下降，当清淤量较大时，清淤范围越长越有利于水位降低。



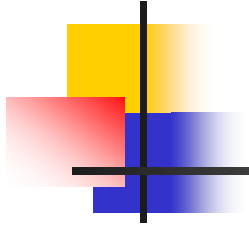
结论和建议

- 6, 通过工程清淤, 再结合水力自然冲刷, 可以使小湾坝下游水位得到明显下降。比如当清淤量为**50万 m^3** , 清淤范围为**600~900m**时, 清淤以后**LM76**断面**1000 m^3/s** 流量的水位可以下降约**2.4m**; 经过**3**年水力自然冲刷, **LM76**断面**1000 m^3/s** 流量的水位可以下降约**1.7m**。考虑到清淤与水力自然冲刷效果有重合之处, 在清淤和水力自然冲刷共同作用下, 使**LM76**断面**1000 m^3/s** 流量的水位下降**3.0~4.0m**应该是可以实现的。
- 7, 清淤量和清淤范围建议: 考虑到清淤工程投资和水位下降效果, 建议清淤量控制在**100万 m^3** 以内, 清淤范围控制在**600~900m**以内。



结论和建议

- 8, 清淤时机建议:** 目前做局部清淤是可以的, 但不宜进行大范围清淤, 因为漫湾水库淤积上延影响, 清淤以后会发生强烈回淤, 起不到降低水位的目的。建议在**2009**年汛后小湾蓄水运用前进行一次大规模清淤, 此后小湾水库的清水下泄不会造成回淤, 清淤对降低水位的效果可以长期得以维持。



谢谢