

小浪底黄河公路大桥施工导流技术

温红杰¹,赵超¹,孙晓辉²,白玲玲²,王万民³

(1.河南黄河河务局,河南 郑州 450003; 2.河南黄河水利水电工程公司,河南 郑州 450003;
3.河南黄河勘测设计研究院,河南 郑州 450003)

摘 要: 通过计算,确定小浪底黄河公路大桥各墩位在不同阶段的施工导流设防标准,分析并选择施工导流方案,综合其运行情况,说明小浪底黄河公路大桥施工导流方案是科学的、经济的、可行的。
关键词: 小浪底;公路大桥;施工导流;方案;论证
中图分类号: U 445 **文献标识码:** B **文章编号:** 1008—486X(2000)03—0008—04

Construction Diversion Technology of Xiaolangdi Huanghe Highway Bridge

WEN Hong-jie, ZHAO Chao, SUN Xiao-hui, BAI Ling-ling, WANG Wan-min

Abstract: In this article, the fortification standards of the construction diversion of each bridge pier in different stages are determined by calculation. The construction diversion plans are analysed and chozen. The comprehensive operation proves that the construction diversion plans of Xiaolangdi Huanghe Highway Bridge are scientific, economical and feasible.
Key words: Xiaolangdi; highway bridge; construction diversion; plan; prove

1 工程概况

小浪底黄河公路大桥位于济源市蓼坞村下游 1km 处的黄河干流上,距小浪底水库主体大坝 2.7km,系联接小浪底南北两岸区的主要通道,设计荷载标准为汽—85T,矿山道路Ⅱ级标准,为我国当时载重量最大的公路桥梁,属特大桥。桥长 508.16m,宽 16.7m;全桥共 10 孔,每孔 50m。

2 施工导流方案

表 1 各墩位的导流情况

设防流量 $Q(m^3/s)$	施工日期	施工墩位	平台结构	过水宽度	施工导流示意图
9500	1992.2.17~92.8.15	7 [#] 、6 [#]	进占	280	7 [#] 、6 [#] 、5 [#] 、4 [#] 、3 [#] 、2 [#] 、1 [#] 进占}-----
5530	1992.9.17~92.10.15	6 [#] (2 次)	进占	280	进占}-----
5530	1992.10.15~92.12.6	3 [#] 、2 [#]	筑岛	180	进占}-----{筑岛}----- 舟桥舟桥
5530	1992.12.21~93.1.15	4 [#]	筑岛	180	便桥{岛}===== (筑岛)舟桥 -----
5530	1992.12.14~93.3.31	5 [#]	浮箱平台	280	便桥(岛)浮箱舟桥 -----
5530	1993.3.21~93.5.16	1 [#]	进占	300	----- (进点)

本大桥基础部分在水中施工,施工期间不能截断主流,要进行导流。桥墩桩基共 18 根,桩径 $\varnothing 2.2m$;桥台桩基共 6 根,桩径 $\varnothing 1.8m$ 。其中 10[#]、9[#]、8[#]桩基在河右岸边的滩地上,因汛期会上水,故安排在非汛期施工,抬高施工工作面即可进行陆地作业;7[#]、6[#]、5[#]、4[#]、3[#]、2[#]、1[#]桩基在河道水中,为水中施工,0[#]桥台位于左岸陆地,可以直接施工。

根据桥址处的水文地质情况,经过与原设计的钢栈桥的施工导流方案对比,结合施工单位河南黄河工程局的实际条件,发挥老黄河的进占优势,决定采用岸边进占、河中筑岛及浮箱平台的综合施工导流方案,经过 1992 年 2 月至 1993 年 6

收稿日期: 2000—04—18
第一作者:温红杰(1968—),男,河南宜阳人,工程师,主要从事水利工程施工研究。

月的运行,顺利完成了施工任务,说明此方案是科学的、经济可行的。各墩位的施工导流方案见表 1。

3 施工导流设防标准的确定

本大桥为小浪底库区的永久性特大桥,设防标准为 20 年一遇标准。来水主要由三花间控制,短期内可预测水情。进占体安排在非汛期进行,以防非汛期洪水为主;若发生超设防标准洪水,可采取加高和短期停工措施。20 年一遇洪水流量为 $11300\text{m}^3/\text{s}$,相应桥址处水位 $H_{20}=137.2\text{m}$,缩窄河床引起的水位壅高 $Z=1.07\text{m}$,壅后的水位 $H=138.27\text{m}$;10 年一遇洪水流量为 $9500\text{m}^3/\text{s}$,桥址处水位 $H_{10}=136.70\text{m}$,缩窄河床水位壅高 $Z=0.75\text{m}$,壅高后的水位 $H=137.45\text{m}$ 。经过分析比较近期水文资料,确定采用 10 年一遇的施工导流设防标准,将施工平台顶高程 $H_{\text{施}}$ 确定为 138.50m 。

经过对黄河小浪底水文站 1979~1990 年的水文资料分析,确定各施工导流阶段洪水指标如表 2,作为各相应施工导流阶段的设防标准。

表 2 大桥施工导流设防洪水指标

设防流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$	水位 $H(\text{m})$	最大水深 $H_{\text{max}}(\text{m})$	平均水深 $H_{\text{c}}(\text{m})$	重现期	备 注
11300	137.30	7.40	5.11	20	桥址处断面数据
9500	136.70	6.90	4.61	10	
5530	135.40	5.60	3.31	10	

注: 1.表中设防流量值为小浪底站提供; 2.表中水位以黄海基面为准; 3.表中 20 年一遇的洪水设防流量只为作设防标准的方案比较,10 年一遇的洪水标准是施工导流的设防标准。

4 各施工导流阶段的水力计算

4.1 计算断面的确定

以桥轴线所在断面为本河段计算代表断面,其有关河床特征值如表 3。

表 3 公路桥轴线河床断面特征表

序号	流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$	水位 $H(\text{m})$	最大水深 $H_{\text{max}}(\text{m})$	平均水深 $H_{\text{c}}(\text{m})$	水面宽 $B(\text{m})$	平均粒径 $d(\text{mm})$	中值粒径 $d_{50}(\text{mm})$	备 注
1	17000	138.76	8.96	6.67	500	56.56	17	造床流量
2	9500	136.70	6.90	4.61	411	56.56	17	汛期 10 年一遇流量
3	5530	135.40	5.60	3.31	405	56.56	17	非汛期 10 年一遇流量

注: 造床流量,河床平均粒径,中值粒径系采用黄委会规划勘测设计研究院的《小浪底枢纽黄河公路大桥河床冲刷分析报告》中的数据。

4.2 水力计算公式说明

4.2.1 河床一般冲刷计算公式

对施工导流期间桥址处河床一般冲刷计算采用交通部 1982 年颁布的《公路桥位勘测设计规程》第 8、4、3 条,桥下河槽一般冲刷计算公式 $(64-1)$,即:

$$H_P=[A\ Q_2/\mu\ Li(h_{\text{max}}/h_c)^{5/3}/Ed^{1/6}]^{3/5}$$

式中: H_P ——桥下河槽冲刷后最大水深(m); d ——河床土壤平均粒径(mm); Li ——桥孔净长(m);在本进占施工导流计算时,取过水断面的宽度为桥孔净长; E ——与汛期含沙量 ρ 有关的系数,含沙量大于 $10\text{kg}/\text{m}^3$,计算时取 $E=0.86$; μ ——水流压缩系数,取 $\mu=1.0$; Q_2 ——建桥处桥下断面上河槽部分通过的设计流量 m^3/s ,此处即为设防流量。

4.2.2 缩窄河床段的平均流速 V_c 。

采用武汉水利电力学院 1979 年编制的《水利工程施工》中的公式,即:

$$V_c=Q/\epsilon A$$

式中: V_c ——缩窄河床段的平均流速(m/s); Q ——导流设计流量(m^3/s); ϵ ——侧收缩系数;两侧收缩取 0.9,一侧收缩取 0.95; A ——过水断面面积(m^2)。

4.2.3 缩窄河床产生的水位壅高 Z

采用武汉水利电力学院 1979 年编制的《水利工程施工》中的公式:

$$Z=(1/\varphi^2)\times V_c^2/2g-V_0^2/2g$$

式中: Z ——水位壅高(m); V_c ——平均流速(m/s); V_0 ——行近流速(m/s); φ ——流速系数,此处取 $\varphi=0.8$; g ——重力加速度,取 $9.8\text{m}/\text{s}^2$ 。

4.2.4 $V_{\max}-H_{\max}$ 经验公式

小浪底水文站实测最大流速与最大水深的经验公式:

$$V_{\max}=0.57d^{1/6}h_{\max}^{0.66} \qquad h_{\max}=(V_{\max}/1.116)^{1.52}$$

式中: $V_{\max}$ ——最大流速(m/s); $H_{\max}$ ——最大水深(m)。

4.3 各阶段的施工导流的水力计算成果

4.3.1 导流河床冲刷计算

根据各墩位的施工导流的过流条件和各种流量设防标准,对六次施工导流的一般河床冲刷分别进行了计算,计算结果如表 4:

表 4 各期施工导流河床冲刷计算结果

序 号	最大 水深 $H_{\max}$ (m)	平均 水深 H_c (m)	平均 粒径 d (mm)	桥孔 净长 Li (m)	单宽流 量集中 系数 A	造床流 量河床 B (m)	造床流 量平均 水深 H (m)	与汛期 含沙量 有关的 系数 μ	桥台 压缩 系数 μ'	设计 流量 Q (m^3/s)	一般冲 刷后水 深 H_p (m)	导流冲 刷后平 均水深 H_p (m)	备 注
1	7.40	5.11	56.56	380	1.20	500	6.67	0.86	1.0	11300	9.04	6.49	20 年一遇 用于方案比较
2	6.90	4.61	56.56	380	1.20	500	6.67	0.86	1.0	9500	8.42	6.17	10 年一遇 用于方案比较
3	6.90	4.61	56.56	280	1.20	500	6.67	0.86	1.0	9500	10.12	7.70	7 [#] 、6 [#] 进占
4	5.60	3.31	56.56	280	1.20	500	6.67	0.86	1.0	5530	8.27	5.70	6 [#] 二次进占, 5 [#] 浮箱平台
5	5.60	3.31	56.56	180	1.20	500	6.67	0.86	1.0	5530	10.77	8.31	4 [#] 、3 [#] 、2 [#] 筑岛屿
6	5.60	3.31	56.56	300	1.20	500	6.67	0.86	1.0	5530	7.93	5.60	1 [#] 进占

4.3.2 水力计算的特征值表

根据 6.4—1 公式、4.2.2 公式、4.2.3 公式,通过计算,结果如表 5。
其中: $V_o=Q/A_1$

式中: Q ——设计流量标准(m^3/s);

A_1 ——河床原过水断面面积(m^2), $A_1=B\times h_c$; B ——造床流量
时水面宽,取 500m; h_c ——冲刷前平均水深(m); H_p ——冲刷后
的最大水深(m); A_2 ——导流近河床过水断面面积(m^2); B ——
导流后过水面宽度(m); $h_{\max}$ ——冲刷前的最大水深(m)。查图
1 得:

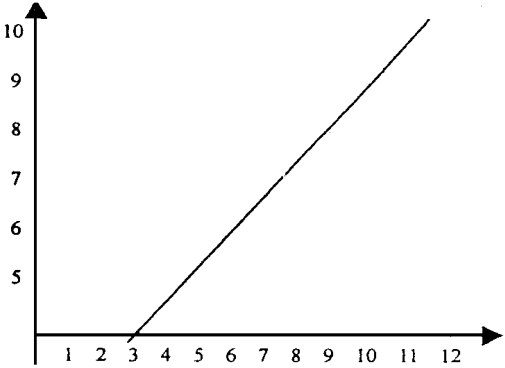


图 1

注:本图由黄河水利委员会勘测规划设计研究院的《小浪底枢纽黄河公路大
桥河床冲刷分析报告》中提供。

表 5 水力特征计算表

序 号	冲刷前 水位 H (m)	冲刷后 水深 H (m)	冲刷前 平均水 深 h_c (m)	冲前河 底高程 H_2 (m)	冲后河 底高程 H_1 (m)	一般冲 刷深 H_2-H_1 (m)	流量 标准 Q (m^3/s)	侧收缩 系数 ϵ	河床原 过水断 面面积 A_1 (m^2)	导流后 过水断 面面积 A_2 (m^2)	平均 流速 V_e (m/s)	行近 流速 V_0 (m/s)	水位 壅高 Z (m)	壅高后 水位 H (m)	备 注
1	137.2	9.04	5.11	132.09	128.16	3.93	11300	0.90	2555	2466.2	5.09	4.42	1.07	138.27	B ₂₀ 为 380m
2	136.7	8.14	4.61	132.09	128.56	3.53	9500	0.90	2305	2344.6	4.50	4.12	0.75	137.45	B ₁₀ 为 380m
3	136.7	10.12	4.61	132.09	126.58	5.51	9500	0.95	2305	2156	4.50	4.12	0.85	137.55	过水断面 宽为 280m
4	135.4	8.27	3.31	132.09	127.13	4.96	5530	0.90	1655	1596	3.85	3.34	0.61	136.01	过水断面 宽为 280m
5	135.4	10.27	3.31	132.09	124.63	7.46	5530	0.90	1655	1495.8	4.11	3.34	0.78	136.18	过水断面 宽为 180m
6	135.4	7.93	3.31	132.09	127.47	4.62	5530	0.95	1655	1680	3.47	3.34	0.39	135.79	过水断面 宽为 300m

5 施工导流的最大冲刷水深的验算

由 4.2.4 验算公式: $h_{\max}=(V_{\max}/1.116)^{1.52}$ 推算出的 $h_{\max}$ 与施工导流的最大冲刷水深相比较,经过验证,二者基本吻合。

表 6 施工导流计算的最大冲刷水深 H_p 与小浪底水文站实测 $V_{\max}$ 对照值

序号	平均流速 $V_c(\text{m/s})$	最大流速 $V_{\max}(\text{m/s})$	最大水深 $h_{\max}(\text{m})$	冲刷后水深 $H_p(\text{m})$	备 注
1	4.64	5.57	11.52	10.12	7 [#] 、6 [#] 进占
2	3.85	4.62	8.67	8.27	5 [#] 浮箱平台
3	4.11	4.93	9.57	10.77	4 [#] 、3 [#] 、2 [#] 筑岛
4	3.47	4.16	7.93	7.93	1 [#] 进占

注: V_c 由表 5 查得,验证时取 $V_{\max}=1.2V_c$, H_p 由表 4 查得。

6 各墩位施工导流的运行情况

6.1 第一次施工导流

第一次施工导流是由右岸开始进占 7[#]、6[#]墩位的施工平台,从 1992 年 2 月 17 日至 1992 年 8 月 15 日,完成了大桥的 7[#]东、7[#]西、6[#]东的基础桩的施工、6[#]西桩成孔施工。在 1992 年 8 月 15 日上午,河水流量由 $2700\text{m}^3/\text{s}$ 猛增到 $3300\text{m}^3/\text{s}$,下午增到 $5560\text{m}^3/\text{s}$,施工平台前的水位达 137.6m,超过 137.45m 的设防水位,含沙量达 $500\text{kg}/\text{m}^3$,又由于左岸修路往河中大量抛弃石碴,造成河槽堵塞,主流南挑,对南岸占体的裹头造成强大的冲击,致使裹头处的铅丝笼块石下沉后被洪水冲走,6[#]墩位占体被冲毁。

6.2 第二次施工导流

第二次施工导流是在 7[#]占体前继续进占,即 6[#]墩位的二次进占。从 1992 年 9 月 17 日开始,到 1992 年 10 月 15 日完工。在此期间,顺利完成了 6[#]墩位的桩柱、盖梁的施工。直到 1993 年 3 月 31 日 5[#]墩位的立柱、盖梁完工后拆除。

6.3 第三次施工导流

是在 3[#]、2[#]墩位筑岛,从 1992 年 10 月 15 日起至 1992 年 12 月 6 日结束,和北岸通过舟桥架设的便道相连,此时 7[#]、6[#]墩占体未拆除,过水断面宽为 180m,施工期间无险情。

6.4 第四次施工导流

是在 3[#]、2[#]墩位的筑岛上向河心延伸到 4[#]、5[#]墩位之间,形成了 2[#]、3[#]、4[#]三个墩位的一体化筑岛,此时为了保证过水断面宽度,南岸 7[#]墩位的占体拆除,并搭设一便桥,便于 5[#]、6[#]墩位的施工通过,施工期间无险情。

6.5 第五次施工导流

第五次施工导流是 5[#]墩位的浮箱平台的搭筑。从 1992 年 12 月 14 日开始,到 1993 年 3 月 31 日结束。此时北岸的河中筑岛拆除,过水断面宽 280m。在施工期间,浮箱平台经受住了河水的考验,顺利地完成了 5[#]墩的施工任务。

6.6 第六次施工导流

第六次施工导流是北岸 1[#]墩的进占,占体 50m。此时南岸占体,浮箱已拆除,从 1993 年 3 月 21 日开始施工,到 1993 年 5 月 10 日结束,过水断面宽度为 300m,利用占体顺利完成了最后一个墩位的施工任务。

7 结语

小浪底黄河公路大桥的施工导流,经过实际施工证明,是经济、可行的。实施这一方案比原设计的钢栈桥施工导流方案节省资金 300 多万元,较计划工期提前一个月完成了大桥的下部工程的施工,获得了小浪底水利枢纽建设管理局 30 万元奖励,为大桥的按期竣工提供了良好的条件,保证了小浪底水利枢纽主体工程的顺利施工,并按期进行了大河的截流。经过 6 年多来的运行,经受住了大吨位、高强度施工运输车辆行驶的考验,该桥从未发生任何质量问题,说明施工质量优良、社会效益良好。

[责任编辑 杨道富]