



受长江回水顶托的龙透关沱江大桥 通航净空尺度的论证研究

刘晓帆, 吴林, 谢玉杰, 金瑞

(四川省交通运输厅交通勘察设计研究院, 四川成都610017)

摘要: 根据流滩坝枢纽坝下、沱江河口洪水位及李家湾水文站洪峰流量分析了长江回水顶托对沱江河口段水面比降的影响, 采用流滩坝枢纽坝下一般受顶托影响和不受顶托影响的水位流量关系曲线和相应比降分别推求了龙透关沱江大桥受顶托影响和不受顶托影响的3 a一遇洪水位, 应用二维水动力学数学模型SMS对上述2种工况进行数值模拟, 分析论证受长江回水顶托的龙透关沱江大桥通航净空尺度。

关键词: 回水顶托; 通航净空尺度; 数值模拟

中图分类号: U 64

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)01-0108-05

The navigational clearance of Longtouguan bridge on Tuojiang river effected by the Yangtze River backwater

LIU Xiao-fan, WU Lin, XIE Yu-jie, JIN Rui

(Sichuan Communication Surveying & Design Institute, Chengdu 610017, China)

Abstract: The impact of the Yangtze River backwater on the water surface slope of the Tuojiang river estuary is analyzed by flood levels below the Liutanba dam, flood levels of the Tuojiang river estuary and flood peak discharges of the Lijiawan hydrological station. The Longtouguan bridge once-every-three-years flood levels affected and non-affected by the Yangtze River backwater are calculated using corresponding stage-discharge relationship curves below the Liutanba dam and water surface slopes. The two cases are simulated by 2D hydrodynamic numerical model SMS to identify the navigational clearance of the Longtouguan bridge on the Tuojiang river effected by the Yangtze River backwater.

Key words: backwater; navigational clearance; numerical simulation

沱江是长江上游的一级支流, 发源于成都平原西北边缘茂汶县九顶山南麓, 由绵远河、石亭江、湔江三支流与岷江分流的蒲阳河、毗河二支流在金堂赵镇汇合后始称沱江。干流穿金堂峡进入丘陵区蜿蜒南行, 流经简阳、资阳、资中、内江、富顺, 于泸州市汇入长江。干流(金堂至泸州段)全长496 km, 总落差214.1 m, 平均比降0.43‰, 控制面积21 270 km², 占全沱江流域面积的76.3%。在金堂赵镇以上为上游, 赵镇至内江市

为中游, 内江市至泸州市河口为下游。流域在平原河渠的纵横交织下, 形成十分复杂的水网区, 中、下游支流与干流呈对称性的树枝状。主要支流有石亭江、资水河、球溪河、蒙溪河、大清流河、釜溪河和濑溪河。自1985年以来, 在沱江干流曾规划了26级电航枢纽, 现已建成梯级14座。根据《四川省内河水运发展规划》, 规划沱江干流金堂至龙门阵段341 km为V级航道, 规划龙门阵至泸州段155 km为IV级航道。

收稿日期: 2013-05-07

作者简介: 刘晓帆(1982—), 女, 博士, 工程师, 从事港口与航道工程。

拟建泸州市龙透关沱江大桥位于四川省泸州市龙马潭区,下距沱江汇流口约3.5 km,上距流滩坝航电枢纽约18.6 km。桥位距离沱江汇流口很近,桥区河段水文要素受到长江水位顶托的影响较大。本研究根据流滩坝枢纽坝下、沱江河口洪水水位及李家湾水文站洪峰流量分析了汛期长江回水顶托对河口段水面比降的影响,采用流滩坝枢纽坝下一般受顶托影响和不受顶托影响的水位流量关系曲线和相应比降分别推求了龙透关沱江大桥受顶托影响和不受顶托影响的3 a一遇洪水位,应用二维水动力数学模型SMS^[1-2]对上述2种工况进行数值模拟,分析论证受长江回水顶托的龙透关沱江大桥通航净空尺度。

1 资料收集

1) 李家湾水文站。

龙透关沱江大桥上游约97 km有李家湾水文站,李家湾水文站设立于1940年11月,位于四川省富顺县黄葛乡,是沱江下游控制站,控制流域面积23 283 km²,距河口里程100 km,多年平均流量410 m³/s,实测最大流量16 200 m³/s(1948-07-18),实测最小流量6.72 m³/s(1978-03-25)。

2) 流滩坝枢纽。

流滩坝枢纽位于四川省泸州市泸县高寨乡境内,距河口里程22.1 km,坝址集水面积24 299 km²,水库正常蓄水位239.50 m,回水长度18 km,船闸有效尺寸100 m×12 m×1.5 m(长×宽×门槛水深),下游最高通航水位239.50 m,下游最低通航水位229.99 m。

3) 龙透关沱江大桥。

拟建龙透关大桥于沱江河口上游3.5 km处跨越沱江,左岸为香林路,右岸为鱼台。该河段总的态势顺直微弯,左岸建有道路护坡工程,右岸岸坡陡峭,亦建有道路护坡工程,桥区河段两岸线稳定。受城市规划的影响,桥梁设计单位只设计了1个桥位方案,提供了2个桥式方案——方案1(龙翔沱江):主桥(55+181.5+119.5+107)m中承式拱桥;方案2(凤舞江阳):主桥(60+150+150+65)m拱塔索辅梁桥。本研究仅对推荐方案(方案1)进行分析。

2 设计最高通航水位的推求

2.1 设计洪水

采用李家湾水文站1941—1985年年最大洪峰流量资料,并加入历史洪水调查资料组成不连续系列进行经验频率计算。以矩法计算统计参数的初值,采用P-Ⅲ型理论频率曲线,用目估适线法确定统计参数及计算值^[3],成果见表1。

表1 李家湾水文站设计洪峰流量成果

| 流量均值/ (m ³ ·s ⁻¹) | C _v | C _s /C _v | 不同重现期流量/(m ³ ·s ⁻¹) | | | | | |
|---|----------------|--------------------------------|--|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | | 2 a | 3 a | 5 a | 10 a | 20 a | 50 a |
| 7 080 | 0.47 | 3.5 | 6 230 | 7 580 | 9 350 | 11 500 | 13 700 | 16 400 |

拟建桥位距河口3.5 km,桥位到河口之间没有支流汇入,桥位处集水面积取沱江流域面积27 840 km²,采用水文比拟法^[4]移用李家湾水文站设计洪水成果(面积指数取2/3)至桥位处,成果如表2所示。

表2 桥位处设计洪峰流量计算成果

| 断面名称 | 集水 面积/km ² | 不同重现期流量/(m ³ ·s ⁻¹) | | | | | |
|------|--------------------------|--|-------|--------|--------|--------|--------|
| | | 2 a | 3 a | 5 a | 10 a | 20 a | 50 a |
| 李家湾站 | 23 283 | 6 230 | 7 580 | 9 350 | 11 500 | 13 700 | 16 400 |
| 拟建桥位 | 27 840 | 7 020 | 8 540 | 10 500 | 13 000 | 15 400 | 18 500 |

2.2 流滩坝枢纽坝下水位流量关系曲线

流滩坝航电工程设计时在流滩坝坝下设计一组基本水尺,于1984年4月—1987年10月进行逐时水位过程观测。作李家湾水文站和流滩坝坝下及沱江口(沱江口以下2 km处二道溪)基本水尺处1984年4月—1987年10月逐时水位过程线图,摘录李家湾、流滩坝坝下与二道溪相应的峰谷水位,加入1936年、1948年、1981年3个历史调查洪水,绘制成流滩坝坝下水位流量关系图。下线为不受长江洪水顶托影响的关系线,中线为一般受顶托影响的采用线,受严重顶托的上限不定线。一般受顶托影响的中线和不受顶托影响的下线如图1所示。

2.3 水位相关线建立

采用长江二道溪站与沱江口基本水尺相关点据(低水部分),再摘录1969—1972年4 a观测资料的高水点子得二道溪与沱江口水位相关线^[5],如图2所示。

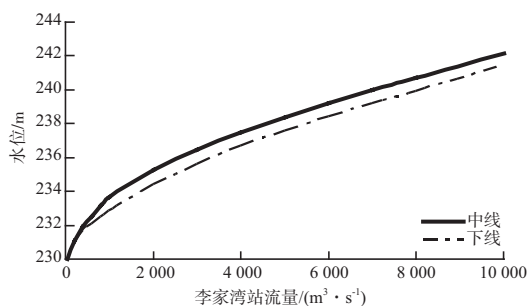


图1 流滩坝枢纽坝下水位流量关系曲线

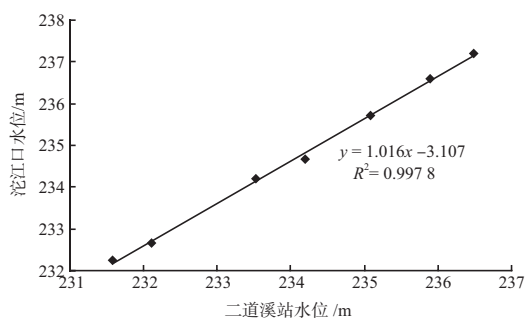


图2 二道溪站与沱江口水位相关线

2.4 长江回水顶托对沱江河口段比降的影响

回水顶托影响是一个十分复杂的问题，它要受到许多诸如沱江、长江来水量，沱江支流来水量等因素的影响，并随着以上来水量的变化组合而产生程度不同的影响。鉴于资料有限，这里仅讨论长江回水顶托对流滩坝至河口水位比降的影响。统计1984年4月—1987年10月李家湾水文站、流滩坝枢纽坝下、二道溪站流量相应水位见表3。沱江河口水位是根据二道溪站水位，由二道溪站与沱江口水位相关线（图2）推求得到。由表3可以看出，随着沱江流量增大，流滩坝至沱江口水位差和比降有增大的趋势，水位差变化范围为2.22~5.56 m，比降变化范围为0.10‰~0.25‰，说明沱江流量增大可以减弱长江洪水顶推作用。

2.5 设计最高通航水位的推求

根据《四川省内河水运发展规划》，桥区河

表3 流滩坝至沱江河口洪水比降

| 李家湾站洪峰时间 | 李家湾洪峰流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$) | 流滩坝水位/ m | 二道溪站水位/ m | 沱江口水位/ m | 流滩坝至沱江口 水位差/m | 流滩坝至沱江口 比降/‰ |
|------------------|------------------------------------|-------------|--------------|-------------|------------------|-----------------|
| 1984-06-25T11:00 | 3 120 | 236.13 | 233.24 | 233.86 | 2.27 | 0.10 |
| 1984-07-03T10:00 | 4 820 | 239.03 | 235.60 | 236.26 | 2.77 | 0.13 |
| 1984-07-07T04:00 | 7 040 | 241.00 | 234.84 | 235.49 | 5.51 | 0.25 |
| 1984-07-14T20:00 | 3 700 | 237.10 | 234.24 | 234.88 | 2.22 | 0.10 |
| 1984-07-20T04:00 | 1 820 | 236.30 | 234.14 | 234.78 | 1.52 | 0.07 |
| 1984-07-24T00:00 | 3 650 | 237.11 | 233.60 | 234.23 | 2.88 | 0.13 |
| 1984-07-26T22:00 | 3 580 | 237.17 | 233.76 | 234.39 | 2.78 | 0.13 |
| 1984-07-31T14:00 | 4 680 | 238.37 | 235.37 | 236.03 | 2.34 | 0.11 |
| 1984-09-15T12:00 | 6 420 | 238.52 | 233.70 | 234.33 | 4.19 | 0.19 |
| 1986-07-03T00:00 | 3 450 | 236.98 | 231.40 | 232.00 | 4.98 | 0.23 |
| 1986-09-05T00:00 | 3 960 | 237.83 | 235.08 | 235.73 | 2.10 | 0.10 |
| 1987-06-28T13:00 | 6 080 | 238.51 | 232.82 | 233.44 | 5.07 | 0.23 |
| 1987-07-12T06:00 | 6 960 | 239.22 | 233.04 | 233.66 | 5.56 | 0.25 |
| 1987-07-19T06:00 | 5 000 | 237.56 | 232.50 | 233.11 | 4.45 | 0.20 |
| 1987-07-21T00:00 | 3 620 | 238.53 | 235.08 | 235.73 | 2.80 | 0.13 |
| 1987-08-20T04:00 | 3 050 | 236.49 | 232.46 | 233.07 | 3.42 | 0.15 |

段航道等级为IV级。GB 50139—2004《内河通航标准》^[6]6.2.1条规定不受潮汐影响和潮汐影响不明显的河段，IV级航道设计最高通航水位应采用10 a一遇水位，对出现高于设计最高通航水位历时很短的山区性河流，IV级航道可采用洪水重现

期3~5 a的水位。本研究根据李家湾水文站3 a一遇洪峰流量7 580 m^3/s ，查流滩坝枢纽坝下水位流量关系曲线的中线得相应水位240.40 m，查下线得相应水位239.65 m。根据2.4节分析，桥位水位受长江回水顶托影响时，采用比降0.1‰作为流滩坝

到河口的洪水比降, 从而推得桥位3 a一遇水位为238.54 m; 桥位水位不受长江回水顶托影响时, 采用比降0.25‰推得桥位3 a一遇水位为235.00 m。经过分析比较, 确定采用238.54 m作为桥位设计最高通航水位。

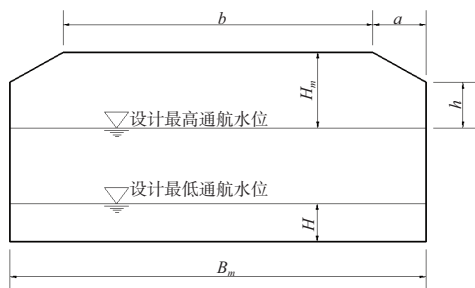
3 大桥通航净空尺度

3.1 通航净空高度

GB 50139—2004《内河通航标准》第5.2.2条第1款规定, 天然和渠化河流Ⅳ级航道上的水上过河建筑物的最小通航净空高度为8.0 m, 见表4和图3。

表4 天然和渠化河流水上过河建筑物通航净空尺度

| 航道等级 | 代表船舶、船队 | 净高 H_m | 单向通航孔 | | | 双向通航孔 | | |
|------|---------|----------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| | | | 净宽 B_m | 上底宽 b | 侧高 h | 净宽 B_m | 上底宽 b | 侧高 h |
| Ⅳ | (1)3排2列 | 8.0 | 75 | 61 | 4.0 | 150 | 136 | 4.0 |
| Ⅳ | (2)2排2列 | | 60 | 49 | 4.0 | 120 | 109 | 4.0 |
| Ⅳ | (3)2排1列 | | 45 | 36 | 5.0 | 90 | 81 | 5.0 |



注: B_m —净宽; H_m —净高; H —航道水深; b —上底宽; h —侧高。

图3 通航净空示意

当沱江来流量为3 a一遇时, 长江回水顶托使得龙透关沱江大桥处的相应水位增加3.54 m。因而, 在龙透关沱江大桥净空高度论证时, 最不利工况出现在长江对沱江口有回水顶托作用时。根据桥位设计最高通航水位, 图解龙透关沱江大桥通航孔净空高度见表5。在设计最高通航水位下, 大桥通航孔净空高度为15.14 m, 满足GB 50139—2004《内河通航标准》规定的Ⅳ级航道水上过河建筑物通航孔净空高度不小于8.0 m的要求。

表5 龙透关大桥桥梁通航净空高度表

| 标准 | 设计最高通航水位 | 通航孔顶部最低高程 | 净空高度 |
|-------|----------|-----------|-------|
| 3 a一遇 | 238.54 | 253.68 | 15.14 |

3.2 最小通航净宽

GB 50139—2004《内河通航标准》5.2.2节规定, 当水上过河建筑物轴线的法线方向与水流流向的交角不大于 5° 时, 天然和渠化河流水上过河建筑物的通航净空尺度(图3)不小于表4所列数值。GB 50139—2004《内河通航标准》5.2.3节

规定, 当水上过河建筑物轴线的法线方向与水流流向的交角大于 5° , 且横向流速大于0.3 m/s, 通航净宽必须在本标准第5.2.2条规定净宽基础上加大, 增加值应符合本标准附录C的规定。现将附录C中Ⅳ级航道净宽增加值摘录于表6中。

表6 天然和渠化河流各级横向流速下

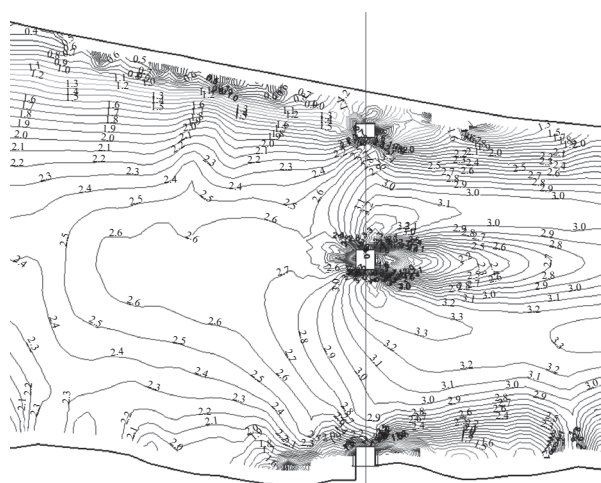
| 航道等级 | 代表船舶、船队 | 单向通航净宽增加值 | | | | |
|------|---------|---------------------------|----|----|----|----|
| | | 横向流速/($m \cdot s^{-1}$) | | | | |
| Ⅳ | (1)3排2列 | 15 | 30 | 45 | 55 | 70 |
| | (2)2排2列 | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 |
| | (3)2排1列 | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 |
| | (4)货船 | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 |

注: 1. 双向通航净宽增加值为单向通航净宽增加值的2倍; 2. 当横向流速为表中范围内某一值时, 通航净宽增加值可采用内插法确定。

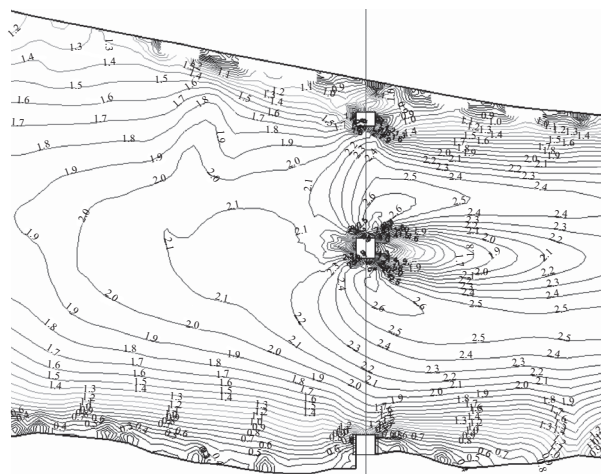
本研究在3 a一遇洪水受长江回水顶托和不受回水顶托2种工况下, 应用二维水动力数值模型SMS对桥区河段的水流条件进行数值模拟。数值模拟结果表明: 龙透关大桥修建后, 3 a一遇洪水($Q=8\ 540\ m^3/s$), 受长江回水顶托工况下, 桥轴线上游3倍船长范围通航孔内水流流速为1.27~2.67 m/s, 水流与桥轴线法线方向的夹角为 $-0.09^\circ \sim 11.26^\circ$, 最大横向流速为0.39 m/s; 不受长江回水顶托工况下, 桥轴线上游3倍船长范围内水流流速为1.76~3.21 m/s, 水流与桥轴线法线方向的夹角为 $-0.10^\circ \sim 8.84^\circ$, 最大横向流速为0.45 m/s。

选取最不利工况, 在3 a一遇洪水不考虑长江回水顶托时, 桥轴线上游3倍代表船队长度的主航

道内,最大横向流速为0.45 m/s,经计算,单向通航净宽增加值为20 m,双向通航净宽增加值为40 m。GB 50139-2004《内河通航标准》5.2.2节规定IV-(3)级通航双向通航孔净宽基础值为90 m(表4),则龙透关大桥处单孔双向通航最小净宽为130 m。龙透关大桥推荐方案的通航孔跨径为181.5 m,采用单孔双向通航,扣除桥墩宽度20 m,紊流宽度20 m,实际有效通航净宽为141.5 m,可满足单孔双向通航最小净宽130 m的要求。



a) 不受长江回水顶托



b) 受长江回水顶托

图4 建桥后桥区3 a—遇洪水($Q=8540\text{ m}^3/\text{s}$)水流流速分布

4 结语

1) 河口回水顶托影响是一个十分复杂的问题,它要受到许多因素的影响,诸如支流、干流来水量等,并随着以上来水量的变化组合而产生程度不同的影响。本研究中龙透关大桥位于沱江汇合口上游3.5 km,长江回水顶托对大桥净空高度产生了不利影响,但对大桥通航净宽产生了有利影响。由于河口回水顶托对桥梁通航净高、净空尺度影响不一致,在对受河口回水顶托影响的大桥通航净空尺度论证时必须同时考虑这两种影响,选择不利工况合理确定大桥通航净空尺度。

2) 通过分析沱江不同来流量时相应沱江河口段水面比降来研究长江回水顶托对洪水水位的影响,并利用二维水动力数值模型SMS对桥区河段进行数值模拟,从而对受长江回水顶托的龙透关沱江大桥通航净空尺度进行论证。论证结果表明,龙透关大桥推荐桥式方案为(55+181.5+119.5+107)m四跨高低拱梁拱组合体系,右侧181.5 m孔跨为通航孔,其通航净高、净宽均能够满足建桥河段双向通航的要求,不会影响航道通过能力。

参考文献:

- [1] 施奇. SMS二维水动力数学模型在淮干方邱湖河段整治中的应用[J]. 江淮水利科技, 2011(3): 11-13.
- [2] 战博, 曾涛. 达州市州河大桥桥区平面二维水动力数值模拟[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版, 2011, 30(1): 31-34.
- [3] 黄振平. 水文统计学[M]. 南京: 河海大学出版社, 2003.
- [4] 刘光文. 水文分析与计算[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989.
- [5] 李顺超, 刘晓帆. 金沙江(水富至宜宾)航道整治工程设计最低通航水位的推求. 水道港口, 2010, 31(5): 483-487.
- [6] GB 50139—2004 内河通航标准[S].

(本文编辑 郭雪珍)