



# 四川主要山区河流 设计最高通航水位标准探讨

陈建华

(四川省交通运输厅交通勘察设计研究院, 四川 成都 610017)

**摘要:** 山区天然河流的洪水期水位暴涨暴落、洪峰历时较短, 针对海事部门划定的禁航水位(或禁航流量)一般低于国标的要求水位, 可以适当降低通航建筑物最高通航水位以节省工程投资, 需要探寻山区性河流设计最高通航水位的合适标准。选择四川省内7个和重庆市内4个水文站的水文资料进行计算分析, 结果表明: 将频率法直接改为保证率法难以控制水位降幅, 适当降低洪水重现期标准是可行与合适的。

**关键词:** 山区性河流; 设计最高通航水位; 通航标准

中图分类号: U 617.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)03-0106-06

## Standard for design highest navigable water level of main mountainous rivers in Sichuan province

CHEN Jian-hua

(Research Institute of Traffic Survey and Design of Sichuan Provincial Department of Transportation, Chengdu 610017, China)

**Abstract:** The flood peak level of mountain river changes abruptly and the lasts short. Since the forbidden level stipulated by the maritime sector is generally lower than the national standard, we can decrease the maximum navigable water level of navigation structures to save construction investment. Thus we need to explore the appropriate standard. Analyzing the hydrologic data of 7 hydrometric stations in Sichuan province and 4 hydrometric stations in Chongqing city, we draw the conclusion that it is difficult to control the stage drop adopting the guarantee rate method instead of the frequency method directly, and it is feasible to lower the standard of the flood return period appropriately.

**Keywords:** mountainous river; design highest navigable level; navigation standard

山区天然河流, 洪水期水位暴涨暴落, 洪峰历时较短, 洪水期间, 坡陡流急, 而且表面流速和平均流速一般都随流量增大而加大, 各种不利于航行的恶劣流态比比皆是, 船舶难以航行。内河通航标准<sup>[1]</sup>(简称国标)对天然河流设计最高通航水位的洪水重现期规定: I~III级航道20 a、IV~V级航道10 a、VI~VIII级航道5 a。对山区河流专门加了一个“注”, 对出现高于设计最高通航

水位历时很短的山区性河流, III级航道的洪水重现期可降为10 a一遇, IV、V级可降低为5~3 a一遇, VI、VII级可按3~2 a一遇执行。

为确保船舶航行安全, 一般海事部门会根据船舶现状或河道两岸的堤防高程的变化, 对其管辖的通航河段划定禁航水位(或禁航流量)。如沱江、涪江等一些通航河流上的禁航水位, 其禁航率大约在2%~3%, 一年中因洪水停航的天数大

收稿日期: 2015-08-26

作者简介: 陈建华(1964—), 高级工程师, 从事航道整治工程的设计、研究。

约在  $7 \sim 11 d^{[2]}$ 。一般禁航水位远低于国标中关于山区性天然河流设计最高通航水位的洪水重现期中“注”所相应的水位。四川省内主要通航河流均为山区性河流，其设计最高通航水位确定标准值得深入研究。

针对设计通航水位计算有不少成果<sup>[3-5]</sup>，文献[6]提出最高通航水位计算可将频率法直接改为保证率法，提出 I ~ III 级航道保证率 > 99.95%、IV ~ V 级航道 99.95% ~ 99.85%、VI ~ VIII 级航道 99.85% ~ 99.50%。本文主要针对四川省内和重庆市内通航河流上的代表性水文站，对山区天然河流航道设计最高通航水位的确定标准进行探讨。

## 1 通航水位保证率与通航保证率

通航水位保证率与通航保证率是两个概念：通航水位保证率应该包括枯水水位通航保证率与洪水水位通航保证率。通航水位保证率常以百分比表示，枯水水位通航保证率为  $P_L(\%)$ 、洪水通航保证率为  $P_h(\%)$ ，则通航水位保证率为  $P_w = P_h + P_L - 1$ 。

通航保证率是指能让设计标准船舶（队）正常航行的实际通航天数与总天数之比，具体计算公式如下：

$$P_d = 365 - R_s - R_f - R_w - R_b - R_y - R_x \quad (1)$$

式中： $P_d$  为年通航期(d)； $R_s$  为水位、水流条件不满足通航要求的天数(d)，包括低于设计最低通航水位、高于设计最高通航水位和洪水封航的天数； $R_f$  为影响通航的大风与波浪的换算天数(d)，根据设计船舶抗风浪能力确定； $R_w$  为影响通航的大雾换算天数(d)； $R_b$  为冰封的天数(d)； $R_y$  为影响通航的流凌天数(d)； $R_x$  为通航建筑物维修、清淤的天数(d)。式中的各项参数均采用多年统计资料的年平均值。

## 2 各水文站最高通航水位计算

频率与保证率在水文事件中，反映着两种不同的水文现象出现的机率，各自统计的水文系列

不同，但都可用统计学的方法进行分析计算，并具多年平均的概念。频率使用的水文系列是以每年中的一个特定数值作为水文系列，如洪水频率使用每年瞬时最高值，而保证率则以每天日平均值为水文系列，因而各自量度单位也不同，频率法的量度单位是 a，而保证率法的量度单位是 d。

为了研究这一问题，精选了四川省内 7 个水文站和重庆市内 4 个水文站，并选用了上述水文站 20 世纪 60—80 年代的水文系列，因为在这段时间，我国山区通航河流受人类活动影响较少，水文条件没有发生重大变化，因而这一时段的水文资料系列能反映这些河段的天然水文现象。虽然有些水文站可能现在已不处在天然状态下了，但当时的水文资料系列还是能反映它们原来天然状态的。

作为某一水文站的水文资料系列而言，按上述论点，用其每年最大洪峰值资料绘制出洪水频率曲线，用其日平均水位资料绘制综合历时曲线，同时，为了进行对比，也可以用日平均水位最大值资料绘制出频率曲线。将上述 11 个站的水文资料系列，分别绘制洪水频率曲线、日平均最大值频率曲线和综合历时保证率曲线，并将其分别绘制在同一张图上，从而找出它们之间的关系。图 1、2 分别为岷江高场站、沱江李家湾站 1961—1987 年洪水频率曲线与综合历时曲线，表 1 为两站洪水频率。表 2 为规范中相应洪水期的水位及其相应水位的保证率。可以看出，某一洪水位可以有频率与保证率的一一对应关系，频率与保证率对某个水文站是可以相互换算的。如长江合江站所在 III 级航道的河段按 20 a 一遇要求，其对应的保证率为 99.98%，平均约 13 ~ 14 a 仅有 1 d 对设计标准船舶（队）的正常航行产生影响，这与实际情况相差甚远；即使按国标“注”中规定：“III 级航道洪水重现期可采用 10 a”，其对对应的保证率也只有 99.96%，平均约 6 ~ 7 a 才有 1 d 对设计标准船舶（队）的正常航行产生影响，这也与实际情况相差甚远。对其它各级航段来说，也都有类似情况。

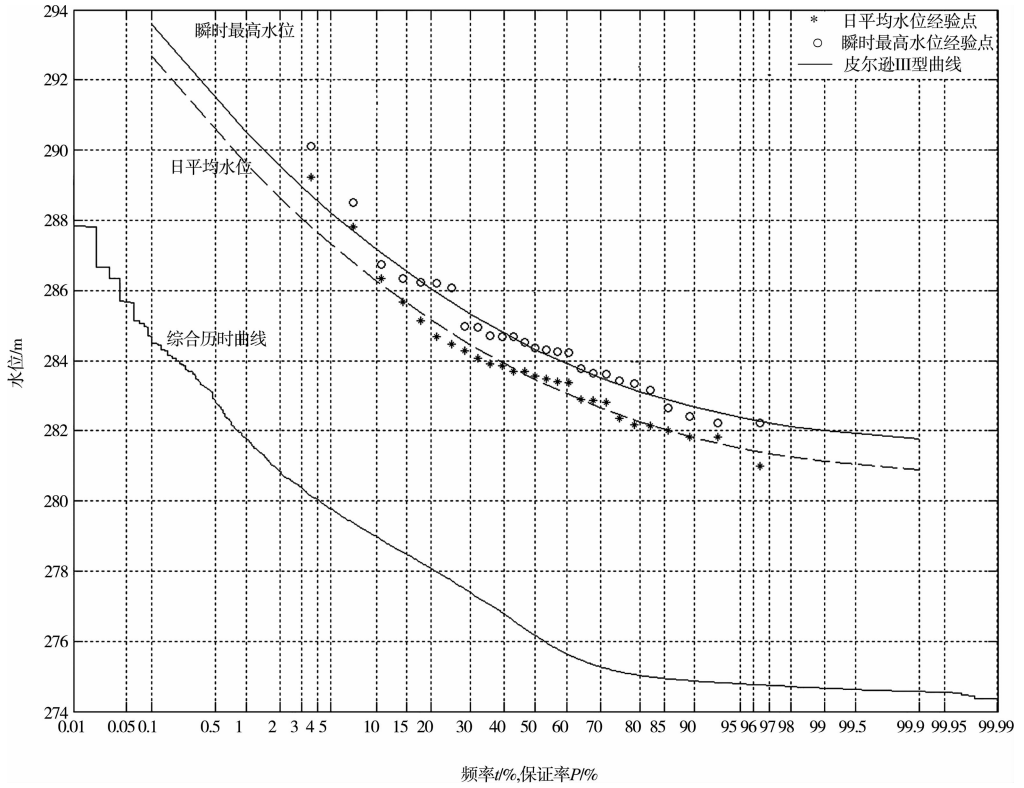


图1 岷江高场站 1961—1987 年洪水频率曲线与综合历时曲线

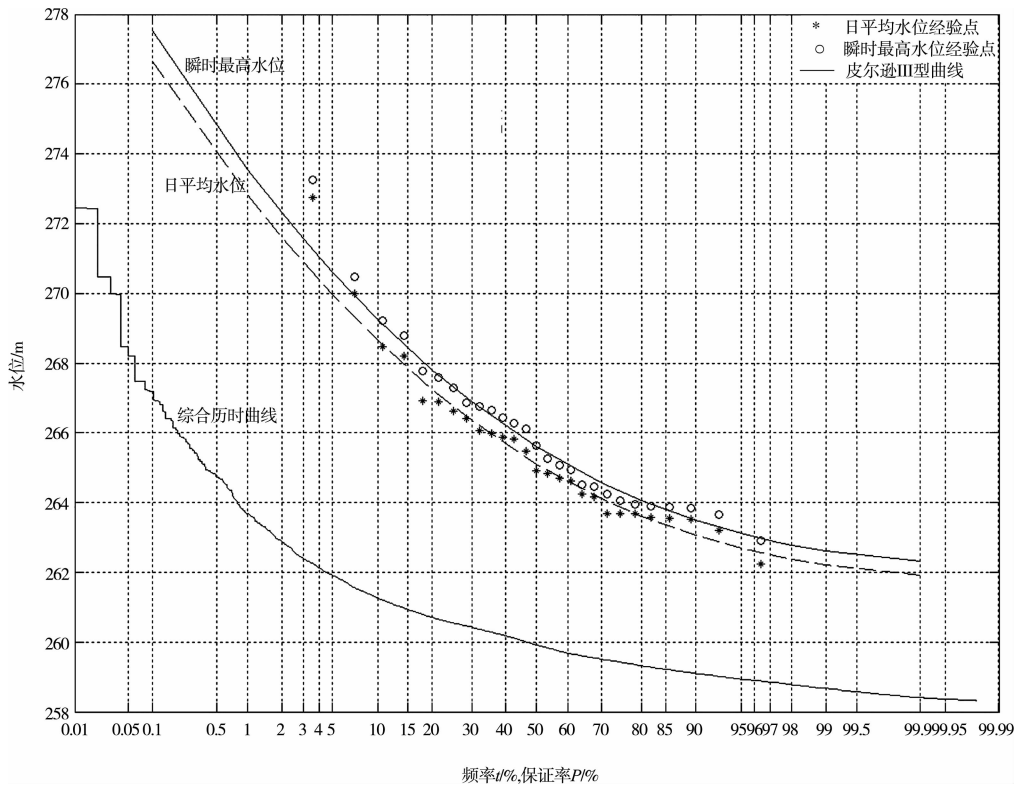


图2 沱江李家湾站 1961—1987 年洪水频率曲线与综合历时曲线

表 1 典型站 1961—1987 年洪水频率

| 水文站        | 水位         | 重现期/a | 水位/m   | 保证率  | $C_v$    | $C_s$ |
|------------|------------|-------|--------|------|----------|-------|
| 岷江<br>高场站  | 瞬时<br>最高水位 | 20    | 288.21 | 0.01 | 0.006 5  | 1.2   |
|            |            | 10    | 287.16 | 0.02 |          |       |
|            |            | 5     | 286.03 | 0.04 |          |       |
|            |            | 3     | 285.15 | 0.06 |          |       |
|            |            | 2     | 284.32 | 0.13 |          |       |
| 李家湾站       | 日平均<br>水位  | 20    | 287.32 | 0.02 | 0.006 5  | 1.2   |
|            |            | 10    | 286.27 | 0.04 |          |       |
|            |            | 5     | 285.15 | 0.06 |          |       |
|            |            | 3     | 284.27 | 0.15 |          |       |
|            |            | 2     | 283.44 | 0.33 |          |       |
| 沱江<br>李家湾站 | 瞬时<br>最高水位 | 20    | 270.61 | 0.02 | 0.008 94 | 1.2   |
|            |            | 10    | 269.26 | 0.04 |          |       |
|            |            | 5     | 267.81 | 0.06 |          |       |
|            |            | 3     | 266.68 | 0.13 |          |       |
|            |            | 2     | 265.60 | 0.26 |          |       |
| 李家湾站       | 日平均<br>水位  | 20    | 269.96 | 0.04 | 0.008 68 | 1.2   |
|            |            | 10    | 268.65 | 0.04 |          |       |
|            |            | 5     | 267.25 | 0.08 |          |       |
|            |            | 3     | 266.15 | 0.17 |          |       |
|            |            | 2     | 265.11 | 0.36 |          |       |

事实上在许多山区通航河流上，即使所有跨河建筑物都满足国标的要求，而在洪水期影响通航的并不是跨河建筑物，而是航道本身的水流条件。或者说，该航段的禁航水位较有关规范所规定的洪水重现期所相应的水位为低。

### 3 最高通航水位确定标准

根据四川省航运部门的意见，可适当降低洪水对航行的限制，但按文献[6]的建议将频率法直接改为保证率法，且保证率为Ⅰ~Ⅲ级航道 > 99.95%、Ⅳ~Ⅴ级航道 99.95%~99.85%、Ⅵ~Ⅷ级航道 99.85%~99.50%，相应综合历时保证率的保证率分别为Ⅰ~Ⅲ级航道 > 99%、Ⅳ~Ⅴ级航道 99%~98%、Ⅵ~Ⅷ级航道 98%~97%，相应水位的洪水重现期及与国标的比较见表 2。根据此表计算出因洪水平均每年影响设计标准船舶(队)正常航行的天数：Ⅰ~Ⅲ级航道 < 4 d，Ⅳ、Ⅴ级航道为 4~7 d，Ⅵ、Ⅶ级航道为 7~11 d。

表 2 水文站相同水位的频率与保证率换算

| 河道      | 站名  | 统计<br>年限/年 | 航道<br>等级 | 各重现期的水位/m |        |        |        |        | 相应水位的保证率/% |        |        |        |        |        |
|---------|-----|------------|----------|-----------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|         |     |            |          | 20 a      | 10 a   | 5 a    | 3 a    | 2 a    | 20 a       | 10 a   | 5 a    | 3 a    | 2 a    |        |
| 长江      | 万县  | 1961—1987  | Ⅲ        | 139.09    | 137.15 | 134.87 |        |        |            | 99.99  | 99.97  | 99.90  |        |        |
| 长江      | 寸滩  | 1961—1987  | Ⅲ        | 188.17    | 186.16 | 183.90 |        |        |            | 99.98  | 99.96  | 99.91  |        |        |
| 长江      | 合江  | 1961—1987  | Ⅲ        | 223.33    | 222.16 | 220.89 |        |        |            | 99.98  | 99.96  | 99.88  |        |        |
| 岷江      | 五通桥 | 1964—1987  | Ⅳ        |           | 343.06 | 342.61 | 342.20 | 341.76 |            | 100.00 | 99.98  | 99.97  | 99.94  |        |
| 岷江      | 高场  | 1961—1987  | Ⅳ        |           | 287.16 | 286.03 | 285.15 | 284.32 |            | 100.00 | 99.96  | 99.94  | 99.87  |        |
| 嘉陵江     | 北培  | 1964—1987  | Ⅳ        |           | 203.13 | 200.90 | 198.91 | 196.82 |            | 99.98  | 99.93  | 99.85  | 99.70  |        |
| 嘉陵江     | 南充  | 1964—1987  | Ⅴ        |           | 272.30 | 270.88 | 269.76 | 268.69 |            | 99.99  | 99.95  | 99.89  | 99.73  |        |
| 涪江      | 小河坝 | 1960—1987  | Ⅴ        |           | 226.76 | 225.32 | 224.20 | 223.13 |            | 99.98  | 99.95  | 99.94  | 99.81  |        |
| 渠江      | 罗渡溪 | 1960—1987  | Ⅴ        |           | 223.47 | 222.49 | 221.29 | 219.96 |            | 99.99  | 99.96  | 99.93  | 99.87  |        |
| 沱江      | 李家湾 | 1961—1987  | Ⅴ        |           | 269.26 | 267.81 | 266.68 | 265.60 |            | 99.96  | 99.94  | 99.87  | 99.74  |        |
| 乌江      | 武隆  | 1961—1983  | Ⅴ        |           | 200.63 | 198.45 | 196.48 | 194.39 |            | 99.98  | 99.95  | 99.88  | 99.80  |        |
| 平均值     |     |            |          |           |        |        |        |        |            | 99.983 | 99.979 | 99.937 | 99.909 | 99.808 |
| 平均一年的天数 |     |            |          |           |        |        |        |        |            | 0.061  | 0.076  | 0.223  | 0.333  | 0.702  |

这样适当降低了国标所规定的标准，但水位降低值的效果非常明显(表 3)：Ⅲ级航道水位平均降低了 8.77~7.07 m，Ⅳ、Ⅴ级航道平均降低了 7.40~4.56 m，而通航保证率只降低 1%~2%。由于水位降低值较大，对于通航建筑物来说，节

省投资是显著的，但也可能限制了航运效益的发挥，不利于远期的船舶通航安全。可见将频率法直接改为保证率法难以控制水位降幅，保证率降低的幅度不大，但由此引起的水位降幅可能达 7 m 左右，在实际工程中不好把握、不好操作。

表3 给定保证率相应水位的洪水重现期及与国标的比较

| 河道  | 站名  | 给定保证率相应的洪水重现期/a |      | 给定保证率的水位/m |        | 比国标水位降低值/m |      |      | 航道   |         |
|-----|-----|-----------------|------|------------|--------|------------|------|------|------|---------|
|     |     | 99              | 98   | 99         | 98     | 最大         | 最低   | 平均   |      |         |
|     |     |                 |      |            |        |            |      | 最大   |      | 最小      |
| 长江  | 万县  | 1.48            |      | 128.50     |        | 10.59      | 8.65 |      |      |         |
| 长江  | 寸滩  | 1.43            |      | 178.12     |        | 10.13      | 8.12 | 8.77 | 7.07 | III级    |
| 长江  | 合江  | 1.40            |      | 217.73     |        | 5.60       | 4.43 |      |      |         |
| 岷江  | 五通桥 | 1.02            | 1.01 | 339.79     | 339.26 | 3.35       | 2.41 |      |      |         |
| 岷江  | 高场  | 1.00            | 1.00 | 281.78     | 280.83 | 5.20       | 3.37 |      |      |         |
| 嘉陵江 | 北培  | 1.22            | 1.05 | 192.58     | 189.22 | 11.68      | 6.33 |      |      |         |
| 嘉陵江 | 南充  | 1.14            | 1.01 | 266.66     | 265.71 | 5.17       | 3.10 | 7.40 | 4.56 | IV~V级航道 |
| 涪江  | 小河坝 | 1.05            | 1.00 | 220.67     | 219.67 | 5.65       | 3.53 |      |      |         |
| 渠江  | 罗渡溪 | 1.12            | 1.05 | 214.53     | 212.16 | 10.33      | 6.76 |      |      |         |
| 沱江  | 李家湾 | 1.16            | 1.03 | 263.68     | 262.88 | 4.93       | 3.00 |      |      |         |
| 乌江  | 武隆  | 1.11            | 1.03 | 188.54     | 185.59 | 12.86      | 7.94 |      |      |         |
| 平均  |     | 1.19            | 1.02 |            |        | 7.77       | 5.24 |      |      |         |

注：1. 对于Ⅲ级航道，最大值取国标中20 a一遇水位与方案2中保证率为99%的水位差；最小值水位为国标中“注”10 a一遇水位与方案2中保证率为99%的水位差。

2. 对于Ⅳ~Ⅴ级航道，最大值取国标中“注”5 a一遇水位与方案2中保证率为98%的水位差；最小值水位为国标中“注”3 a一遇水位与方案2中保证率为99%的水位差，而国标中非山区性河流规定10 a一遇值未采用。

考虑到上述对国标所规定的标准降低较多，降低水位值也较大，因此考虑将重现期提高到2 a一遇，对于Ⅰ~Ⅲ级重要航道，仍保持至少5 a一遇，对于Ⅵ~Ⅶ级航道，则采用1 a一遇，对应保证率也达到98%（表4），降低洪水重现期后比原

国标水位降低值的比较见表5。

表4 四川省山区性河流设计最高通航水位的重现期

| 航道等级  | Ⅰ~Ⅲ  | Ⅳ、Ⅴ | Ⅵ~Ⅶ |
|-------|------|-----|-----|
| 重现期/a | 10~5 | 3~2 | 2~1 |

表5 降低洪水重现期后比原国标水位降低值比较

| 河道   | 站名  | 统计年限/年    | 航道等级 | 各重现期的水位/m |        |        |        |        | 相应水位的保证率/% |      |      |      |     |  |
|------|-----|-----------|------|-----------|--------|--------|--------|--------|------------|------|------|------|-----|--|
|      |     |           |      | 20 a      | 10 a   | 5 a    | 3 a    | 2 a    | 20 a       | 10 a | 5 a  | 3 a  | 2 a |  |
| 长江   | 万县  | 1961—1987 | Ⅲ    | 139.09    | 137.15 | 134.87 |        |        |            | 1.94 | 2.28 |      |     |  |
| 长江   | 寸滩  | 1961—1987 | Ⅲ    | 188.17    | 186.16 | 183.9  |        |        |            | 2.01 | 2.26 |      |     |  |
| 长江   | 合江  | 1961—1987 | Ⅲ    | 223.33    | 222.16 | 220.89 |        |        |            | 1.17 | 1.27 |      |     |  |
| 岷江   | 五通桥 | 1964—1987 | Ⅳ    |           | 343.06 | 342.61 | 342.20 | 341.76 |            | 0.45 | 0.41 | 0.44 |     |  |
| 岷江   | 高场  | 1961—1987 | Ⅳ    |           | 287.16 | 286.03 | 285.15 | 284.32 |            | 1.13 | 0.88 | 0.83 |     |  |
| 嘉陵江  | 北培  | 1964—1987 | Ⅳ    |           | 203.13 | 200.90 | 198.91 | 196.82 |            | 2.23 | 1.99 | 2.09 |     |  |
| 嘉陵江  | 南充  | 1964—1987 | Ⅴ    |           | 272.30 | 270.88 | 269.76 | 268.69 |            | 1.42 | 1.12 | 1.07 |     |  |
| 涪江   | 小河坝 | 1960—1987 | Ⅴ    |           | 226.76 | 225.32 | 224.20 | 223.13 |            | 1.44 | 1.12 | 1.07 |     |  |
| 渠江   | 罗渡溪 | 1960—1987 | Ⅴ    |           | 223.47 | 222.49 | 221.29 | 219.96 |            | 0.98 | 1.20 | 1.33 |     |  |
| 沱江   | 李家湾 | 1961—1987 | Ⅴ    |           | 269.26 | 267.81 | 266.68 | 265.60 |            | 1.45 | 1.13 | 1.08 |     |  |
| 乌江   | 武隆  | 1961—1983 | Ⅴ    |           | 200.63 | 198.45 | 196.48 | 194.39 |            | 2.18 | 1.97 | 2.09 |     |  |
| 平均值1 |     |           |      |           |        |        |        |        | 1.70       | 1.93 |      |      |     |  |
| 平均值2 |     |           |      |           |        |        |        |        |            | 1.41 | 1.22 | 1.25 |     |  |

这是在国标中对山区河流专门加的“注”的基础进一步降低了，Ⅰ~Ⅲ级航道的洪水重现期可降为10~5 a一遇，Ⅳ、Ⅴ级降低为3~2 a一遇，Ⅵ、Ⅶ级按2~1 a一遇。从表5中可见，Ⅲ级航道水位平均降低了1.93 m左右，Ⅳ、Ⅴ级航道平均降低了1.25 m左右，达到了适当降低水位的目的。

山区河流往往有已建、在建或将建的调蓄能力较大的水库，这对降低其下游河道同频率洪水量有明显的作用，在水运工程（航运、航电枢纽）设计中应加以利用。

#### 4 结语

1) 针对山区天然河流的洪水期水位特点，一般海事部门划定的禁航水位（或禁航流量）低于国标的要求水位，通航建筑物的建设也不必为了洪水期不能通航的几天而抬高通航建筑物高程，从而增加工程投资，所以需要探寻山区性河流设

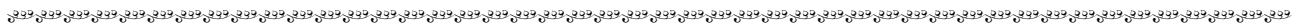
计最高通航水位的合适标准。

2) 通过计算比较表明：将频率法直接改为保证率法难以控制水位降幅，适当降低洪水重现期是可行与合适的。

#### 参考文献：

- [1] GB 50139—2014 内河通航标准[S].
- [2] 四川省交通厅内河勘察规划设计院. 降低山区河流船闸设计最高通航水位的研究[R]. 成都: 四川省交通厅内河勘察规划设计院, 2005
- [3] 毛赛珠. 关于设计通航水位计算方法的剖析 [J]. 华东水利学院学报, 1985(4): 76-81.
- [4] 闵朝斌. 关于最低设计水位计算方法的研究[J]. 水运工程, 2002(1): 29-33.
- [5] 贡炳生. 论天然河流设计最低通航水位两种确定方法的矛盾与统一[J]. 水运工程, 2005(2): 56-60.
- [6] 唐存本, 贡炳生, 张贤明. 山区天然河流设计最高通航水位确定方法的探讨[J]. 水运工程, 2007(4): 66-69.

(本文编辑 武亚庆)



## · 消 息 ·

### 振华重工中标华能如东 300 MW 海上风电项目

近日，振华重工中标华能如东 300 MW 海上风电场 1<sup>#</sup>标段南区风机的基础施工安装及 2 座升压站的建造和安装工作，中标额约为 6.2 亿元。

工程位于江苏省南通市如东县八仙角海域，总装机容量为 300 MW，共布置 50 台 4 MW 和 20 台 5 MW 风力发电机组，风电场配套设置 2 座 110 kV 海上升压站和一座 220 kV 陆上升压站。在风机基础施工和安装项目中，振华重工承担了 36 根桩的施工和风机安装工作，施工周期约为 17 个月；在升压站项目中，振华重工承担了升压站上部模块和下部导管架基础的建造、运输、海上施工吊装、调试等工作。

项目建成后，将成为国内最大的海上风场，预计年发电量近 7.4 亿 kW·h，社会效益和环保效益显著。

(摘编自《中国交通建设网》)