

芦苞涌分流量变化分析

刘中峰^{1,2,3},黄本胜^{1,2,3},邱 静^{1,2,3},胡 培^{1,2,3},王丽雯^{1,2,3}

(1. 广东省水利水电科学研究院,广东 广州 510610; 2. 广东省水动力学应用研究重点实验室,广东 广州 510610;
3. 河口水利技术国家地方联合工程实验室,广东 广州 510610)

摘要:为解决芦苞涌分流量大幅度减小的问题,调查整理了芦苞水闸修建、改建、重建时的过流量资料,分析北江干流石角—芦苞河段河床冲淤演变及其引起的河道水位变化,计算了典型年来流条件下芦苞涌在河床下切前、后分流量的变化。结果表明,芦苞水闸的修建和北江河床下切导致北江向芦苞涌的分流量大幅减少,现状工况(2007年水闸、河床下切后)与最初天然工况(无闸、河床下切前)相比,在97%典型年来流条件下年均分流量减少约96.5%。

关键词:分流量;水位;河床冲淤演变;芦苞涌

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2014)01-0073-05

Analysis of the change of shunt volume into Lubao Stream//LIU Zhongfeng^{1,2,3}, HUANG Bensheng^{1,2,3}, QIU Qing^{1,2,3}, HU Pei^{1,2,3}, WANG Liwen^{1,2,3} (1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510610, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Hydrodynamics Research, Guangzhou 510610, China; 3. Estuarine Water Technology National and Regional United Engineering Laboratory, Guangzhou 510630, China)

Abstract: In order to solve the problem due to the greatly reduced shunt volume from North River to Lubao Stream, flow data of Lubao sluice during the construction and reconstruction was collected and investigated. By analyzing the water level variation of Shijiao Station caused by riverbed entrenchment of North River from Shijiao to Lubao, the shunt volume change before and after the riverbed entrenchment was calculated, under the condition of a typical year upstream flow. The results show that the shunt volume was considerably reduced because of the riverbed entrenchment and the Lubao sluice construction. For upstream flow of a typical year ($P=97\%$), compared to the past condition (i. e. without Lubao sluice and before the riverbed entrenchment), the shunt volume reduces by 96.5% under the present condition (i. e. with Lubao sluice of 2007 and after the riverbed entrenchment).

Key words: shunt volume; water level; riverbed entrenchment; Lubao Stream

北江向芦苞涌的分流是佛山市、广州市河涌、湖泊的重要补给水源。近年来,两市水资源短缺问题日益突出,这固然与两市生产和生活用水量攀升以及城市污水处理系统建设滞后有关,但芦苞涌分流量大幅度减少也是一个不容忽视的原因。芦苞涌分流量减少,不仅会造成可用水量减少,而且会导致河涌纳污能力减小,水质恶化,水资源形势更为严峻^[1]。芦苞涌分流量减少的原因主要有两个:一是北江河床下切导致北江干流水位下降;二是芦苞水闸的修建抬高了分流临界水位。本文通过历史资料的收集整理及调查研究,计算分析了因北江河床下切及芦苞水闸修建、改建等原因导致的北江向芦苞涌分流量的变化,为增加芦苞涌的分流量、改善河涌沿岸水资源紧缺状况提供参考。

1 研究区域水系概况

如图1所示,芦苞涌为北江干流的主要分洪水

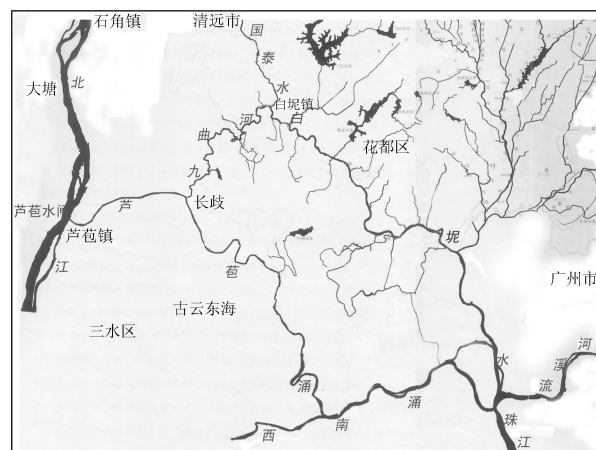


图1 研究区域水系示意图

基金项目:广东省水利科技重点攻关计划(ysk200801)

作者简介:刘中峰(1985—),男,河北冀州人,工程师,硕士,主要从事水资源及水力学研究。E-mail: lzfeng555@126.com

道之一,始于佛山市三水区芦苞镇北江干流,流经三水区、花都区,于南海区的官窑附近注入西南涌。在长歧,芦苞涌左岸分出一条支流,即九曲河,九曲河于花都区的白坭镇与发源于清远市坑尾的国泰水汇合后成为白坭水,白坭水和西南涌在老鸦岗附近与流溪河汇合后注入珠江。芦苞涌是其流经区域的重要水源,其流量的减少势必会对各地用水造成不利影响。

2 北江河床演变及水位变化

2.1 河床演变分析

根据研究需要,对北江干流石角—芦苞河段几十年来的河床冲淤变化进行了详细分析。该河段可分为两部分,其中石角—大塘河段先向左后向右微弯,河流长 17.81 km;芦苞河段向左微弯,河流长 11.98 km。各时段石角—大塘河段与芦苞河段年均冲刷量情况见图 2,图中负值表示淤积量。河床冲淤演变特征如下^[2-3]:

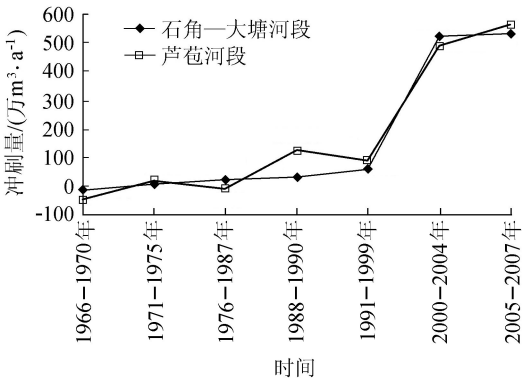


图2 各时段研究河段年均冲刷量的变化

- a. 1966—1970 年河床冲淤变化总的趋势为淤积,其中,石角—大塘河段上冲下淤,冲淤基本平衡,淤积量约为 70.3 万 m³;芦苞河段呈淤积趋势,淤积量约为 239.7 万 m³。
- b. 1971—1975 年河床略微冲刷,总冲刷量为 118.58 万 m³,其中,石角—大塘河段冲刷量为 33.12 万 m³,芦苞河段冲刷量为 85.46 万 m³。
- c. 与前 1 个时段相比,1976—1987 年河段冲淤变化非常明显,主要表现为大部分时间的明显冲刷,特别是石角—大塘河段,河床冲刷量达 258.74 万 m³,芦苞河段冲刷量为 116.80 万 m³。
- d. 与前 3 个时段比较,1988—1990 年河段河床冲淤变化主要表现为明显的冲刷,其中,石角—大塘河段冲刷量为 94.10 万 m³,芦苞河段冲刷量为 379.06 万 m³,是 20 世纪 80 年代末北江下游河段冲刷最明显的河段之一。
- e. 1991—1999 年河床演变剧烈,表现为大幅冲刷,其中,石角—大塘河段冲刷量为 518.08 万 m³,

芦苞河段冲刷量为 803.22 万 m³,河床的冲刷由下游向上游发展,其发展趋势十分明显。人为采砂是造成该现象的重要原因。该时段河床下切趋势明显,且下切速度非常快,特别是芦苞河段,其深泓线平均下切 4~5 m。

f. 2000—2007 年石角—芦苞河段受到一系列人类活动的影响,包括 2000—2004 年进行的北江下游航道整治工程(河道疏浚)以及该河段大规模无序采砂活动,这些人类活动深刻改变了北江下游自然冲淤演变的格局。2000—2004 年石角—大塘河段及芦苞河段的总冲刷量分别为 2 613.5 万 m³ 和 2 443.4 万 m³,全河段河床大幅度下切,最大下切深度达 8.77 m;2005—2007 年两河段冲刷总量分别为 1 595.9 万 m³ 和 1 689.1 万 m³,河道继续整体下切,平均下切深度约为 2.1 m,最大下切深度达 4.6 m。

目前,随着采砂管理体制的逐步理顺和采砂监管力度的加强,研究河段的冲刷强度将大幅下降,未来河道下切幅度将不会太大。

2.2 水位变化分析

北江干流石角—芦苞河段有石角水文站和芦苞水文站,其中,石角水文站为北江控制站点,属国家水文站,监测系列资料较长,数据可靠度高,代表性较好;芦苞水文站位于芦苞涌口附近,其水位可作为芦苞水闸的闸上水位。根据对石角水文站、芦苞水文站同步监测水位数据(1953 年 7 月至 1962 年 12 月逐日数据)相关关系(图 3)的分析可知,两站点水位具有较好的相关性,水位变化规律基本一致,因此可由石角水文站水位得到芦苞水文站水位。本文以石角水文站为代

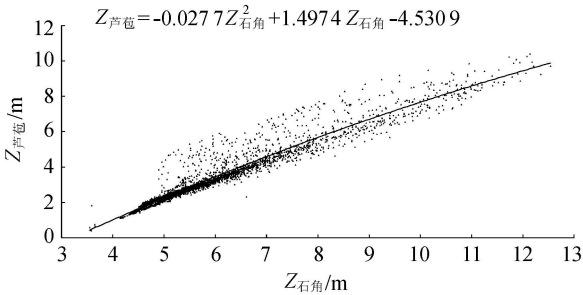


图3 芦苞水文站、石角水文站水位相关关系

从图 3 可以看出拟合曲线上方存在较多实测点据。分析可知,西江与北江在下游交汇进入网河区,交汇点位于芦苞水闸下游约 15 km 处,西江洪水汇入对北江水位产生顶托作用,故导致在石角水文站同一水位下,芦苞水文站水位变化幅度较大。由于缺乏芦苞水文站水位资料,本文采用图中拟合关系进行分析,即 $Z_{\text{芦苞}} = -0.0277 Z_{\text{石角}}^2 + 1.4974 Z_{\text{石角}} - 4.5309$ 。

图 4 是石角水文站 1952—2010 年逐年平均水

位和平均流量过程线。从图4可以看出:2000年以前,石角水文站水位序列的上升、下降趋势与流量序列的上升、下降趋势比较吻合,各年份水位变化与流量变化情况基本一致,说明该阶段水位的变化主要受来水条件的影响;2000年以后,石角水文站水位下降非常严重,远低于历年平均值,而对应年份的流量值并没有出现非常明显的变化,结合河床演变分析可知,该阶段河道不断冲刷,河床严重下切,导致水位变化出现异常。因此,本文将2000年作为河床下切前后的临界年份。

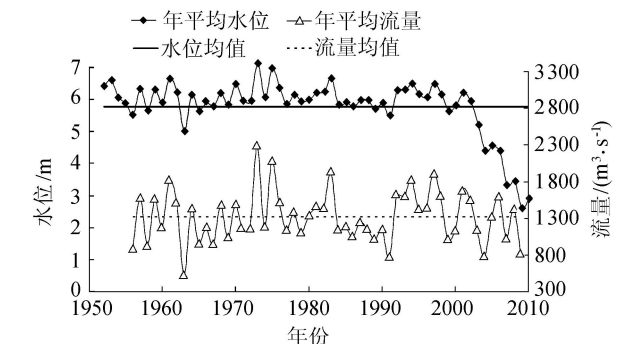


图4 石角水文站平均水位、平均流量过程

图5为不同年份下石角水文站的水位-流量关系。从图5可以看出:石角水文站的水位-流量关系在2000年之前比较稳定,在2000年之后发生了较明显的变化,尤其是2002年、2003年、2005年、2006年、2007年、2010年的水位-流量关系呈绳套形变化,即相邻两年同一枯水流量下的水位下一年较前一年降低,其中2010年较2009年枯水水位降幅甚至达1.1 m;中洪水期同一流量下水位也有不同程度的下降,相比2000年,2010年300 m³/s、600 m³/s、800 m³/s、1 000 m³/s、2 000 m³/s流量级的水位分别下降4.12 m、3.87 m、3.77 m、3.80 m、3.12 m。

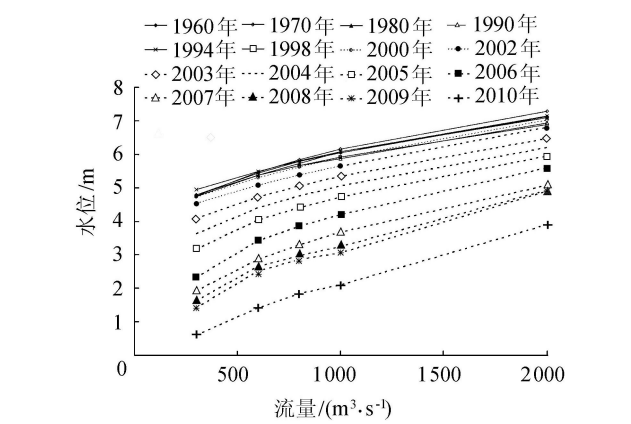


图5 石角水文站不同年份水位-流量关系

结合前面河床冲淤分析成果可知,20世纪90年代以来,大规模采砂活动、航道整治等原因造成该河段河道不断冲刷,河床严重下切,从而导致在上游

来流变化不大的情况下,河道水位逐渐下降,且越来越明显。北江干流河道水位降低势必会使北江向芦苞涌的分流减少。

3 芦苞水闸建设历程及芦苞涌分流量

为减轻北江洪水对广州的威胁,1921年在芦苞涌口兴建芦苞水闸,1923年建成,该水闸称为1923年水闸。水闸共分7孔,其中中孔长23 m,上游设置坝高为6.80 m的滚水坝,坝顶高程8.69 m,不设闸门;中孔两侧各为净宽为10 m的3个闸孔,闸顶高程12.09 m,底部设置低堰,堰顶高程3.89 m,均设平板式钢闸门。根据有关试验资料^[4],1923年水闸过流量与芦苞站水位的关系为

$$Q_{\text{总}} = Q_{\text{闸孔}} + Q_{\text{滚水坝}} \quad (1)$$

其中

$$Q_{\text{闸孔}} = 19.466 Z_{\text{芦苞}}^2 + 20.215 Z_{\text{芦苞}} - 375.33 \quad (Z_{\text{芦苞}} > 3.89 \text{ m})$$

$$Q_{\text{滚水坝}} = 16.024 Z_{\text{芦苞}}^2 - 252.84 Z_{\text{芦苞}} + 994.21 \quad (Z_{\text{芦苞}} > 8.69 \text{ m})$$

随着广州市社会、经济的快速发展,对防洪工程提出了更高的防御标准,年久失修的芦苞水闸已难以满足新的防洪要求。1983年对芦苞水闸进行改建,1987年竣工并投入使用,称该水闸为1987年水闸。1987水闸横向全长101 m,分为7墩8孔,孔口尺寸为10 m×4 m(宽×高),闸底为驼峰堰,堰顶高程为4.49 m,每孔设潜孔弧形钢闸门。根据有关试验资料^[5-6],1987年水闸过流量与芦苞站水位的关系为

$$Q = 45.336 Z_{\text{芦苞}}^2 - 354.33 Z_{\text{芦苞}} + 734.03 \quad (Z_{\text{芦苞}} > 4.49 \text{ m}) \quad (2)$$

1987年水闸的调度原则为:洪水期承担分洪任务,设计分洪流量为1 200 m³/s,平水期向芦苞涌引水。然而由于1987年水闸将底板高程大幅抬高,加之该时期芦苞涌附近北江河床大幅下切、水位下降,导致北江向芦苞涌的分流大幅减少,对下游佛山、广州的取用水造成了不利影响。

因此,在确保防洪安全的前提下,最大程度地向芦苞涌分流以缓解下游水资源紧张情况,2005年启动“两涌一河”整治工程对芦苞水闸进行重建,2007年全面建成,称该水闸为2007年水闸。相比1923年水闸该水闸闸址向下游平移了33 m,横向全长78 m,布置4孔15.0 m×3.5 m(宽×高)潜孔式闸孔,每孔设置平板钢闸门,过流总净宽60 m。新闸底板高程由4.49 m降至-0.50 m,胸墙底高程为3.0 m,设计年分流量为15亿 m³^[7]。根据有关试验资料^[6],2007年水闸过流量与芦苞站水位的关系为

堰流

$$Q = 11.297Z_{\text{芦苞}}^3 - 53.391Z_{\text{芦苞}}^2 + 97.898Z_{\text{芦苞}} - 42.603 \quad (-0.5\text{ m} < Z_{\text{芦苞}} < 4.88\text{ m}) \quad (3)$$

闸孔出流

$$Q = -2.8971Z_{\text{芦苞}}^2 + 241.85Z_{\text{芦苞}} - 704.62 \quad (Z_{\text{芦苞}} \geq 4.88\text{ m}) \quad (4)$$

考虑到芦苞水闸为限流闸,设计过流量为1200 m³/s,因此当上述各闸过流量计算结果大于设计流量时取1200 m³/s。此外,根据1982年5月至1983年7月实测数据得到芦苞水闸闸下水位-流量关系为

$$Q = 10.392e^{0.6547Z_{\text{芦苞}}} \quad (Z_{\text{芦苞}} \geq -2.0\text{ m}) \quad (5)$$

将芦苞水文站水位代入式(5),即可求得无闸情况下北江向芦苞涌的分流量。计算中,只要芦苞水文站水位达到各关系式的水位下限,即认为芦苞涌可过流。

4 芦苞涌分流量变化

4.1 基本思路

a. 以河床明显下切前(1953—1999年)芦苞站年均水位进行排频,选取水位保证率为97%和50%的典型年,计算各典型年在无闸、1923年水闸、1987年水闸和2007年水闸4种工况下的分流情况,横向对比分析修建水闸造成的分流量变化。

b. 根据所选取的典型年石角水文站逐日流量,按2010年石角水文站水位-流量关系(图5)及石角、芦苞两水文站水位相关关系(图3),得到各典型年上游来流不变但河床下切情况下芦苞水文站的逐日水位序列,依据该序列计算各典型年在河床下切情况下4种工况(无闸、1923年水闸、1987年水闸和2007年水闸)的分流情况,在进行各工况横向对比的同时,也与河床下切前相应工况进行纵向对比,以分析河床下切、水位下降造成的分流量变化。

4.2 分流量变化分析

根据上述研究思路,计算河床下切前、后芦苞水闸过流量变化,限于篇幅,下面仅对水位保证率为

97%的典型年(1991年)计算结果进行分析。根据石角水文站资料,1991年北江全年径流量为240.04亿m³,年内分配情况见表1。

表1 1991年石角水文站北江径流量年内分配情况

月份	径流量/亿 m³	月份	径流量/亿 m³
1	11.52	7	24.53
2	9.86	8	27.76
3	18.83	9	20.74
4	27.24	10	9.42
5	35.27	11	7.90
6	38.73	12	8.24

4.2.1 河床下切前

图6(a)为河床下切前各工况下北江向芦苞涌逐日分流量情况。从全年情况看,无闸时芦苞涌年均分流量为83.9 m³/s;1923年水闸工况年均分流量为22.9 m³/s,较无闸时减少61.0 m³/s,减小幅度达72.71%;1987年水闸将闸底板高程抬高后,年均分流量进一步减小为10.1 m³/s,较无闸情况大幅减少87.96%;2007年水闸年均分流量较重建前增加明显,并且比无闸工况有所增加,达100.5 m³/s。

从年内各月情况看,无闸时各月均可向芦苞涌分流,最小月均分流量为36.3 m³/s(11月),最大月均分流量为222.2 m³/s(6月);1923年水闸修建后,有5个月不能向芦苞涌分流,最大月均分流量为148.5 m³/s(6月);1987年水闸工况下,分流时间进一步减少,最大月均分流量为72.2 m³/s(6月);2007年水闸工况共有7个月(3—9月)的月均分流量大于无闸时流量,最小月均分流量为28.4 m³/s(11月),最大月均分流量为313.4 m³/s(6月)。

4.2.2 河床下切后

图6(b)为河床下切后各工况下北江向芦苞涌的逐日分流量。由于1923年水闸工况和1987年水闸工况均不分流,因此仅对无闸工况和2007年水闸工况进行分析。无闸时,北江向芦苞涌年均分流量为6.2 m³/s,全年各月均可向芦苞涌分流,最小月均分流量为1.6 m³/s(11月),最大月均分流量为18.4 m³/s

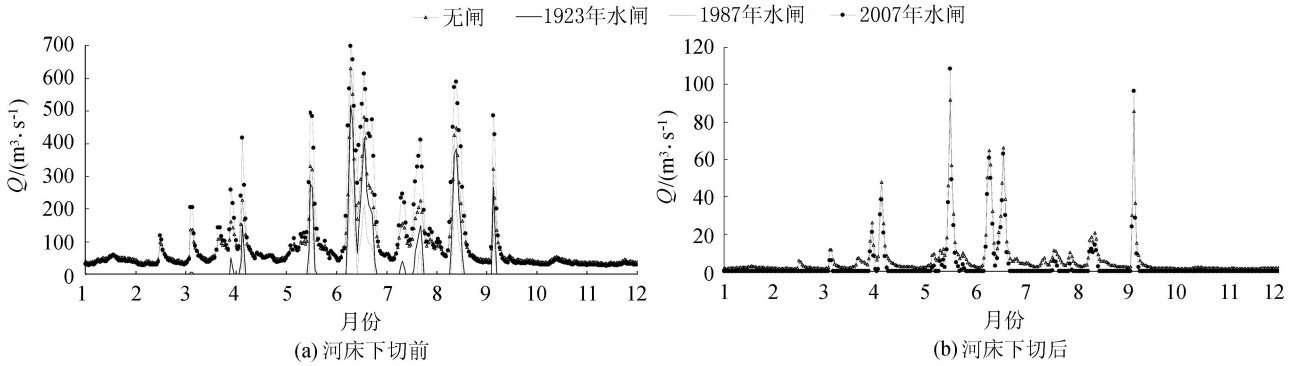


图6 北江向芦苞涌逐日分流量(97%典型年)

(6月);2007年水闸工况年均分流量小于无闸工况,为 $2.9\text{ m}^3/\text{s}$,较无闸工况减少53.23%,2007年水闸工况共有5个月不分流,最大月均分流量为 $13.1\text{ m}^3/\text{s}$ (6月)。

4.2.3 河床下切前、后对比分析

计算分析了97%典型年来流条件下,无闸、1923年水闸、1987年水闸、2007年水闸4种工况下河床下切前、后北江向芦苞涌的平均分流量。结果表明,河床下切后各工况年均分流量较河床下切前出现较大幅度的减小,减小幅度在92.6%~100%之间。将河床下切后的2007年水闸工况视为现状工况,河床下切前的无闸工况视为最初的天然工况,对两种工况分流情况的对比可知,在97%典型年来流条件下,由于水闸的修建及北江河床下切等原因,造成北江向芦苞涌的年均分流量减少约96.5%。北江向芦苞涌的分流量大幅下降,势必对下游佛山、广州等地经济社会发展的正常取水需求造成严重不利影响。

5 结 论

- a. 河床下切前,1923年水闸和1987年水闸工况分流量分别较无闸工况减少72.71%和87.96%,2007年水闸工况分流量则有所增加;河床下切后,1923年水闸和1987年水闸工况均不分流,2007年水闸工况分流量较无闸工况减少53.23%。
- b. 总体来看,北江河床下切和芦苞水闸的修建导致北江向芦苞涌的分流大幅减小,现状工况(2007年水闸、河床下切后)与最初天然工况(无闸、河床下切前)相比,在97%典型年来流条件下年均分流量减少约96.5%。
- c. 2007年水闸底板高程大幅降低至-0.5 m,可使芦苞涌分流量有所增加。尽管降低底板高程可以

改善或解决河床下切导致的取水保证率降低的问题,但这些工程措施不仅耗费大量的人力、物力和财力,而且高程也不可能一降再降。只有完善相应法律法规,加强采砂监督与管理,保证河床稳定,才是解决这一问题的根本方法。

参考文献:

[1] 林晓纯. 芦苞涌、西南涌分洪对下游三角洲水环境影响及对策研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2001,40(增刊2):39-42. (LIN Xiaochun. Study on the measure and influence of shunt volume through Lubao and Xinan Stream on water environment of downstream delta[J]. ACTA Scientiatum naturalium Universitatis Sunyatseni, 2001, 40(Sup2): 39-42. (in Chinese))

[2] 罗宪林,杨清书,贾良文,等. 珠江三角洲网河河床演变[M]. 广州:中山大学出版社,2002.

[3] 邱静,杜涓,谭超,等. 北江干流(韶关—河口)河道采砂控制规划报告:2011—2015年[R]. 广州:广东省水利水电科学研究院,2010.

[4] 丁宪铠. 芦苞水闸水工模型试验报告[R]. 广州:广东省水利水电科学研究院,1979.

[5] 刘世裕. 芦苞水闸断面模型比较试验报告[R]. 广州:广东省水利水电科学研究院,1984.

[6] 北江大坝加固达标工程芦苞水闸改建水工模型试验研究[R]. 广州:广东省水利水电科学研究院,2003.

[7] 王宁. 芦苞涌与西南涌受闸影响入广州水量变化分析[J]. 广东水利电力职业技术学院学报,2009,7(3):47-53. (WANG Ning. Analysis on the change of water volume influenced by water-gate flow into Guangzhou through Lubao and Xinan Stream [J]. Journal of Guangdong Technical College of Water Resources and Electric Engineering, 2009, 7(3): 47-53. (in Chinese))

(收稿日期:2013-01-05 编辑:骆 超)

(上接第64页)

[6] GUNAWAN S, AZARM S. A feasibility robust optimization method using sensitivity region concept [J]. ASME J Mech Des, 2005, 127: 858-865.

[7] 许焕卫,黄洪钟,何俐萍. 稳健设计中的稳健可行性分析[J]. 清华大学学报:自然科学版,2007,47(增刊2):1721-1724. (XU Huanwei, HUANG Hongzhong, HE Liping. Feasibility robustness analysis in robust optimization designs [J]. Journal of Tsinghua University: Science & Technology, 2007, 47(Sup2): 1721-1724. (in Chinese))

[8] 孙林松,张伟华. 加速微种群遗传算法及其在结构优化设计中的应用[J]. 应用基础与工程科学学报,2008,16(5):741-748. (SUN Linsong, ZHANG Weihua. Accelerated micro genetic algorithm and application to structural optimization [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2008, 16(5): 741-748. (in Chinese))

[9] 孙林松,孔德志. 基础变形模量不确定条件下的拱坝最大有限元等效应力分析[J]. 河海大学学报:自然科学版,2012,40(5):530-533. (SUN Linsong, KONG Dezhi. Analysis of arch dam's maximal finite element equivalent stress with consideration of uncertainty of deformation modulus of foundation rocks mass [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2012, 40(5): 530-533. (in Chinese))

(收稿日期:2013-06-26 编辑:熊水斌)