

# 东辽河南崴子灌区渠首闸门流量系数的率定

高玉军<sup>1</sup>, 门宝辉<sup>2</sup>

(1. 吉林省水文水资源局 四平分局, 吉林 四平 136000; 2. 华北电力大学 可再生能源学院, 北京 102206)

**摘要:** 闸门流量系数的准确率定是灌区引水流量计算及水资源配置的重要依据。通过对吉林省公主岭市南崴子灌区渠首段进行水文测验, 获得水位、流量等数据; 再通过统计计算, 分析了流量系数与闸门上下游水位差、流量系数与闸门相对开度以及流量系数与下游流量之间的关系。结果表明, 流量系数与闸门上下游水位差呈负相关关系, 而流量系数与闸门相对开度、流量系数与下游流量呈正相关关系, 而且相关系数均在 0.8 以上。

**关键词:** 南崴子灌区; 渠首闸门; 流量系数; 水文测验

**中图分类号:** TV 698 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672 1683(2015) 03-0413-04

## Determination of flow coefficient at canal head gate in Nanweizi Irrigation District of Dongliao River

GAO Yujun<sup>1</sup>, MEN Baohui<sup>2</sup>

(1. Siping Branch, Hydrology and Water Resource Bureau of Jilin Province, Siping 136000, China;

2. Renewable Energy Institute, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** Accurate determination of gate flow coefficient is very important for the water resources allocation and calculation of the discharge into the irrigation district. Based on the hydrological tests of the canal head in Nanweizi Irrigation District of Gongzhuling City in Jilin Province, we obtained water level and flow data. The relationships between the flow coefficient and water level difference of gate upstream and downstream, flow coefficient and relative opening degree of the gate, and flow coefficient and downstream flow were obtained using the statistical calculations. The results showed that flow coefficient is negatively correlated to the water level difference between gate upstream and downstream, whereas flow coefficient is positively correlated to the relative opening degree of the gate and the downstream flow, and all correlation coefficients are above 0.8.

**Key words:** Nanweizi Irrigation District; canal head gate; flow coefficient; hydrological test

灌区渠首闸门流量系数的准确率定是引水流量计算及水资源配置的重要依据, 因此有许多学者对其进行过研究: 党九社<sup>[1]</sup>在研究桃曲坡水库高洞平板闸门流量系数时, 通过试验分析认为闸门边界条件对流量小的约束影响大, 而对流量大的影响约束反而小; 李玲等<sup>[2]</sup>认为闸门的流量系数公式应该随着闸门前和闸门后的水流流态等条件的变化而调整; 邱静等<sup>[3]</sup>结合东深供水原水生物处理工程生物池出水闸过流量物理模型, 对宽顶堰平板门闸孔出流流量系数进行了研究; 田间等<sup>[4]</sup>认为常规设计的闸墩结构和闸室上下游连接段为矩形断面的无坎宽顶堰, 其流量系数在 0.36~0.375 之间取值更为适宜; 苗宝广等<sup>[5]</sup>通过对有压隧洞流量系数与闸门开度关系的研究, 认为闸门开度越小, 则水流的沿程水头损失和隧洞其他部位局部水头损失越小, 而闸门附近的局部损失越大; 刘晓庆等<sup>[6]</sup>通过室内的物理模型试验对水力翻板闸

门流量系数进行了研究, 认为采用流量系数与相对开度的多项式函数关系式来确定水力翻板闸门的流量系数时, 其结果的精度高; 马永红等<sup>[7]</sup>采用无压隧洞过水流量计算公式对梨树灌区渠首闸门系数进行了率定, 得出最大和最小流量所对应的流量系数分别为 0.77 和 0.64, 取其平均值为 0.71; 樊晶晶等<sup>[8]</sup>采用 Fluent 软件对平板闸门小开度的闸前水头与闸门开度进行了研究, 认为采用数值模拟的方法研究小开度闸门后的水流特性是可行的; 穆祥鹏等<sup>[9]</sup>结合实验室水槽数据和现场观测数据, 对基于传统的能量方程和量纲分析的方法的弧形闸门流量计算进行了对比分析, 为闸门的水力学计算提供了依据; 贾西斌<sup>[10]</sup>认为, 《水闸设计规范》SL 265-2001 中公式(A.0.1-1)不适于高淹没度的开敞式水闸。

本文拟利用在天然渠道水文测验获得的水位、流量等数据, 探讨闸门流量系数与上下游水位差、闸门的相对开度和

收稿日期: 2014-05-14 修回日期: 2015-03-21 网络出版时间: 2015-05-13

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150513.1541.018.html>

作者简介: 高玉军(1968-), 男, 吉林梨树人, 高级工程师, 主要从事水文水资源方面的研究。E-mail: jlspgaoyujun@163.com

通讯作者: 门宝辉(1973-), 男, 黑龙江绥化人, 博士, 主要从事水文水资源方面的研究。E-mail: menbh@126.com

流量之间的统计关系, 并分析影响闸门流量系数的因素, 从而准确确定闸门流量系数, 为灌区引水流量的计算和合理分配提供理论支撑。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究区概况

南崴子灌区位于吉林省公主岭市以西, 东辽河右岸, 是由二龙山水库提供水源的中型自流灌区。地理坐标位于东经  $124^{\circ}40'$  至  $124^{\circ}45'$ , 北纬  $43^{\circ}24'$  至  $43^{\circ}33'$  之间。灌区整体沿东辽河右岸呈长条形分布, 南北长约 18 km, 东西平均宽 5 km; 地势东北高, 西南低, 地面坡度在  $1/1\ 500 \sim 1/2\ 000$  左右; 海拔高程在 188 m 至 174 m 之间。灌区内土壤主要为有机质含量较高的黑色草甸土和黄色冲积土, 以及由此演变成的水稻土。灌区属于温带大陆季风气候, 多年平均降雨量是 413 mm。

灌区始建于 1938 年, 1945 年因故停建。建国后, 参照初建规模进行续建, 到 1985 年共建成引、排水干渠 8 条, 支渠 19 条, 闸、涵、渡槽、跌水等建筑物 114 座, 电灌站 6 座。2012 年, 对灌区渠首进水闸进行了改造, 即采用了: 开敞式宽顶堰型式闸室、尺寸为 3 孔  $2.0\text{ m} \times 2.0\text{ m}$  的胸墙闸孔,  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  的铸铁闸门、10 t 的手电两用启闭机。闸底板座落在含细粒土砂层上。消力池为混凝土 U 型槽, 采用底流式消能。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 水位的观测

为了准确测定闸上、下游的水位变化过程以落差大小。根据《灌溉渠道系统量水规范》(GBT 21303-2007), 水尺断面设置在水流平稳且不易受水流行进流速以及水跃影响的地方, 并采用四等水准测量引测水尺零点高程, 即闸前水尺设在闸上游左侧混凝土挡水墙上, 编号为  $P_{上}$ ; 闸下水尺设在闸下游远端混凝土挡水墙上, 水尺与消力池末端距离为消力池进口至闸门距离的三倍左右, 编号为  $P_{下}$ , 见图 1。水尺板使用喷漆陶瓷钢板制作, 刻度标记为 1 cm 的国家标准,

$P_{下}$  水尺设在水面较稳定处, 作为闸下水位采用值较有代表性。水位观测结果见图 2。

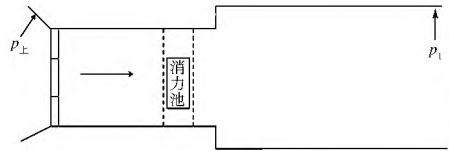


图 1 水位观测水尺布设示意图

Fig. 1 Schematic diagram of gauge layout for observing water level

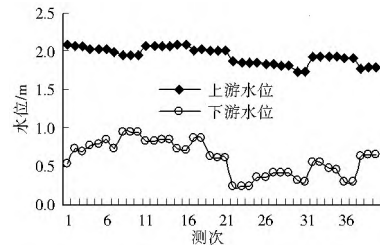


图 2 水位观测结果

Fig. 2 Water level observation results

#### 1.2.2 流量的测定

流量的测定内容包括流速和断面面积, 前者采用 LS 68 和 LS 78 型流速仪测定, 后者则采用船上悬杆悬吊的方法进行测量, 测深垂线间距一般取 2.00 m, 个别水深变化较大处则加密为 1.00 m, 以控制断面变化的转折点。用测深杆测定水深, 连续施测两次, 误差在允许范围内时取其平均值。

按照“河流流量测验规范(GB 50179-93)”, 针对闸门开启情况(高度、孔数), 上下游水位的不同组合均匀分布流量测次, 每个流量级要实测 1~4 次, 以满足数据的代表性和分析要求。

测验分三个阶段, 第一阶段: 泡田期, 流量较大, 5 月 18 日至 5 月 21 日, 测次为 1~10 次, 流量为  $2.67 \sim 10.4\text{ m}^3/\text{s}$ ; 第二阶段: 保苗期, 流量适中, 5 月 28 日至 5 月 31 日(11~21 次), 流量为  $4.84 \sim 8.55\text{ m}^3/\text{s}$ ; 第三阶段: 生长期, 流量较小, 6 月 11 日~6 月 26 日(22~40 次), 流量为  $0.604 \sim 6.08\text{ m}^3/\text{s}$ 。实测流量结果见表 1, 其流量变化过程见图 3。

表 1 上下游水位差- 实测流量- 闸门流量系数的关系

Tab. 1 The relationships among water level difference, measured flow, and gate flow coefficient

测次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
上下游水位差 $\Delta z/\text{m}$	1.56	1.34	1.38	1.26	1.24	1.18	1.25	1.00	1.00	1.00
实测流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	2.67	6.18	5.55	7.89	7.52	6.60	6.06	10.40	10.10	10.30
闸门流量系数 $\mu$	0.56	0.77	0.77	0.76	0.73	0.69	0.69	0.91	0.88	0.89
测次	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
上下游水位差 $\Delta z/\text{m}$	1.25	1.25	1.21	1.21	1.35	1.37	1.15	1.15	1.37	1.38
实测流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	8.30	8.43	8.31	8.38	5.88	5.91	9.94	8.55	4.91	4.95
闸门流量系数 $\mu$	0.85	0.86	0.85	0.86	0.81	0.81	0.85	0.86	0.79	0.80
测次	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
上下游水位差 $\Delta z/\text{m}$	1.38	1.64	1.63	1.63	1.50	1.49	1.41	1.40	1.40	1.41
实测流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	4.84	0.61	0.60	0.63	1.77	1.86	2.74	2.78	2.84	1.37
闸门流量系数 $\mu$	0.78	0.34	0.33	0.35	0.53	0.56	0.65	0.66	0.68	0.45
测次	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
上下游水位差 $\Delta z/\text{m}$	1.43	1.36	1.37	1.44	1.47	1.61	1.62	1.15	1.15	1.15
实测流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	1.29	4.10	3.85	1.74	1.72	1.46	1.46	6.07	6.08	5.94
闸门流量系数 $\mu$	0.52	0.72	0.67	0.57	0.55	0.57	0.56	0.79	0.79	0.76

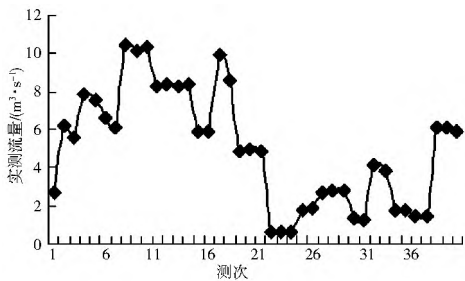


图3 流量测验结果

Fig.3 The results of observed flow

### 1.2.3 闸门流量系数的率定公式

根据平底闸门流量的计算公式及实测的流量数据来推求闸门流量系数。计算公式为:

$$\mu = \frac{Q_{\text{实测}}}{bh\sqrt{2g\Delta z}} \quad (1)$$

式中: $\mu$ 为闸门流量系数; $Q_{\text{实测}}$ 为实测流量( $\text{m}^3/\text{s}$ ); $b$ 为闸门宽度( $\text{m}$ ); $h$ 为开启闸门高度( $\text{m}$ ); $\Delta z$ 为上下游水位差( $\text{m}$ ),  
 $\Delta z = z_{\text{上}} - z_{\text{下}}$ 。

根据闸门上下游水位的观测值(图2)计算得到上下游水位差 $\Delta z$ (表1),再将实测的流量值(图3)代入式(1)计算得到闸门流量系数(图4)。

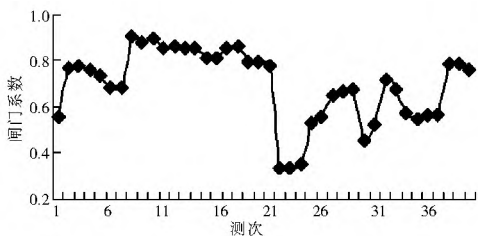


图4 闸门流量系数的计算结果

Fig.4 The calculation results of gate flow coefficient

## 2 结果分析

### 2.1 水位与流量的关系

分析实测流量与下游水位之间的关系(图5),发现水位流量关系点据较集中地分布在单一线两侧,表明河底无冲淤,流量水位测验精度较高。由于选择的是顺直断面,流态接近明渠均匀流,所以水位流量关系才呈直线关系。通过相关分析得到下游水位( $z_{\text{下}}$ )与实测流量( $Q_{\text{实测}}$ )的相关系数为0.97,其关系式为

$$z_{\text{下}} = 0.0718Q_{\text{实测}} + 0.2437 \quad (2)$$

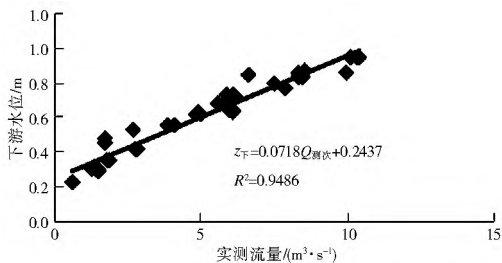


图5 实测流量与下游水位关系

Fig.5 The relationship between measured flow and water level of lower reaches

### 2.2 闸门流量系数与上下游水位差平方根之间的关系

由式(1)可知,闸门流量系数与上下游水位差的平方根呈反比,即上下游水位差越大,其水能损失越大,则闸门流量系数越小。研究区闸门流量系数与上下游水位差平方根之间的统计关系见图6和式(3),两者的相关系数达到了0.83。

$$\mu = -1.7217\sqrt{\Delta z} + 2.6828 \quad (3)$$

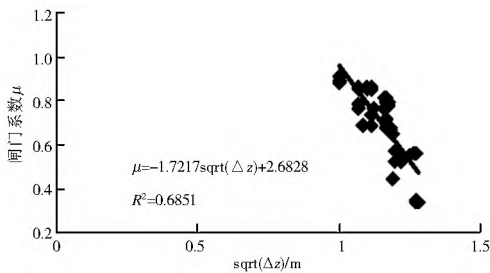


图6 闸门流量系数与上下游水位差平方根的关系

Fig.6 The relationship between gate flow coefficient and water level difference of gate upstream and downstream

### 2.3 闸门流量系数与闸门相对开度之间的关系

闸门的相对开度是指闸门的实际开度 $e$ 与上下游水位差 $\Delta z$ 之比。实际运行中,闸门开启越小,上下游水位差越大,水头损失越大,则闸门流量系数越小,即闸门流量系数与相对开度之间呈正相关关系(图7),相关系数达到了0.86。两者的关系式如下:

$$\mu = 2.369e/\Delta z + 0.4298 \quad (4)$$

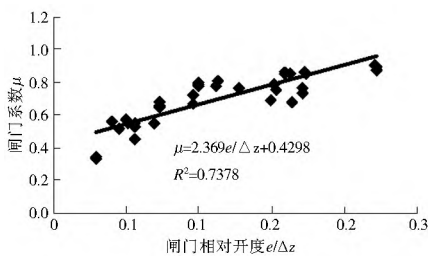


图7 闸门流量系数与闸门相对开度的关系

Fig.7 The relationship between gate flow coefficient and relative opening degree

### 2.4 闸门流量系数与流量的关系

利用闸门流量系数的计算结果(图4)与实测流量数据(图3)进行相关分析,结果见图8和式(5),两者相关系数达到了0.90。

$$\mu = 0.0469Q_{\text{实测}} + 0.4602 \quad (5)$$

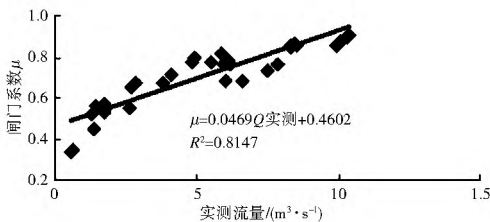


图8 闸门流量系数与流量的关系

Fig.8 The relationship between gate flow coefficient and flow

## 3 结语

为了确定东辽河南崴子灌区渠首闸门流量系数,本文利用

水位、流量等水文要素的实测数据,分析了水位流量关系、闸门流量系数与上下游水位差、闸门相对开度、流量之间的关系,得到闸门流量系数与不同因子之间的相关系数均在 0.8 以上。

本次水文测验分布在灌区的泡田期、保苗和生长期,测次在各个时期均匀分布,因此所计算的闸门流量系数具有代表性。

#### 参考文献(References):

- [1] 党九社. 桃曲坡水库高洞平板闸门综合流量系数分析[J]. 陕西水利, 1997(4): 40-41. (TANG Ji r she. Analysis on comprehensive flow coefficient of GA Odong plate gate of Taoqupo reservoir[J]. Shaanxi Water Resources, 1997(4): 40-41. (in Chinese))
- [2] 李玲, 李玉梁, 黄继汤, 等. 三岔管内水流流动的数值模拟与实验研究[J]. 水利学报, 2001(3): 49-53. (LI Ling, LI Yu liang, HUANG Ji tang, et al. Numerical simulation and experimental study on water flow in Y-type tube[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2001(3): 49-53. (in Chinese))
- [3] 邱静, 黄本胜, 赖冠文, 等. 宽顶堰平板闸门孔出流流量系数的研究与应用[J]. 中国农村水利水电, 2002(9): 41-42. (QIU Jing, HUANG Ben sheng, LAI Guan wen, et al. Study on flow coefficient of broad crest weir and its application[J]. China Rural Water and Hydropower, 2002(9): 41-42. (in Chinese))
- [4] 田间, 李贵清, 季安. 无坎宽顶堰堰流流量系数的探讨[J]. 水利水电科技进展, 2003, 23(3): 34-35. (TIAN Jian, LI Gui qing, JI An. Discussion on weir flow coefficient for broad crest ridge free weirs[J]. Advances In Science and Technology of Water Resources, 2003, 23(3): 34-35. (in Chinese))
- [5] 苗宝广, 刘善均, 徐一民, 等. 有压隧洞流量系数与闸门开度的关系[J]. 水利水电技术, 2004, 35(9): 70-72. (MIAO Bao guang, LIU Shan jun, XU Yi min, et al. Pressure tunnels dis-

charge coefficient vs gate opening[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2004, 35(9): 70-72. (in Chinese))

- [6] 刘晓庆, 李克锋, 易文敏, 等. 水力翻板闸门流量系数的探讨[J]. 水电能源科学, 2011, 29(11): 122-125. (LIU Xia o qing, LI Ke feng, YI Wen min, et al. Research on discharge coefficient of hydraulic tumble gate[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(11): 122-125. (in Chinese))
- [7] 马永红, 赵宇. 梨树灌区渠首闸门系数率定分析及重要性[J]. 农业与技术, 2012, 32(1): 4. (MA Yong hong, ZHAO Yu. Analysis on gate flow coefficient of Lishu Irrigation District and its importance[J]. Agriculture and Technology, 2012, 32(1): 4. (in Chinese))
- [8] 樊晶晶, 王海军, 毛舒娅, 等. 平板闸门小开度闸后水流特性数值模拟[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(2): 124-128. (FAN Jing jing, WANG Hai jun, MAO Shu ya, et al. Numerical simulation of flow characteristics of sluice gate with small opening[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(2): 124-128. (in Chinese))
- [9] 穆祥鹏, 陈文学, 崔巍, 等. 弧形闸门流量计算方法的比较与分析[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(5): 20-22, 27. (MU Xiang peng, CHEN Wen xue, CUI Wei, et al. Comparison and analysis of discharge calculation methods of radial gates[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(5): 20-22, 27. (in Chinese))
- [10] 贾西斌. 高淹没度开敞式水闸孔径计算公式探讨[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3): 154-156, 141. (JIA Xi bin. Discussion of the computational formula for the gate size of open sluice with high submergence degree[J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012, 10(3): 154-156, 141. (in Chinese))

(上接第 408 页)

#### 参考文献(References):

- [1] 张瑞瑾. 河流泥沙动力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1989. (ZHANG Rui jin. Sediment Dynamics in River[M]. Beijing: China WaterPower Press, 1989. (in Chinese))
- [2] 王光谦, 李铁键. 流域泥沙动力学模型[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009. (WANG Guang qian, LI Tie jian. Basin Sediment Dynamics Model[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2009. (in Chinese))
- [3] 吴作平. 流域水沙水动力学模拟方法研究[J]. 水电能源科学, 2011(1): 67-68, 88. (WU Zu o ping. Study on hydrodynamics simulation method of water-sand in valley[J]. Water Resources and Power, 2011(1): 67-68, 88. (in Chinese))
- [4] 万新宇, 包为民, 钟平安. 基于相似推理的多沙河流水库坝址泥沙预测[J]. 水电能源科学, 2013(12): 191-194. (WAN Xin yu, BAO Wei min, ZHONG Ping an. Similarity-based reasoning for predicting sediment of dam site in heavy sediment carrying river[J]. Water Resources and Power, 2013(12): 191-194. (in Chinese))
- [5] 耿艳芬, 王志力. 基于径向基函数神经网络的河网洪水泥沙预报[J]. 水利水运工程学报, 2008(1): 47-52. (GENG Yan fen, WANG Zhi li. Sediment and flood forecast for river system based on radial basis function[J]. Hydro Science and Engineering, 2008(1): 47-52. (in Chinese))
- [6] 秦毅, 石宝, 李楠, 等. 含沙量预报方法探讨[J]. 泥沙研究, 2010(1): 67-71. (QIN Yi, SHI Bao, LI Nan, et al. Analysis on method of sediment concentration forecast[J]. Journal of Sediment Research, 2010(1): 67-71. (in Chinese))
- [7] 瞿宜峰, 李鸿雁, 刘寒冰. 人工神经网络与遗传算法在多泥沙洪

水预报中的应用[J]. 泥沙研究, 2003(4): 7-13. (ZHAI Yi feng, LI Hong yan, LIU Han bing. Application of artificial neural networks and genetic algorithms on silt-laden flood forecasting[J]. Journal of Sediment Research, 2003(4): 7-13. (in Chinese))

- [8] 彭清娥, 曹叔尤, 刘兴年, 等. 流域年均含沙量 BP 模型问题分析[J]. 泥沙研究, 2000(4): 51-54. (PENG Qing e, CAO Shu you, LIU Xing nian, et al. Analysis of annual average sediment concentration in a watershed by BP Model[J]. Journal of Sediment Research, 2000(4): 51-54. (in Chinese))
- [9] 李祚泳, 邓新民, 侯宇光. 流域年均含沙量的 PP 回归预测[J]. 泥沙研究, 1999(1): 66-69. (LI Zu o yong, DENG Xin min, HOU Yu guang. Projection pursuit regressive prediction of yearly average sediment concentration in a watershed[J]. Journal of Sediment Research, 1999(1): 66-69. (in Chinese))
- [10] 彭清娥, 刘兴年, 曹叔尤. 流域年均含沙量的人工神经网络模型[J]. 水利学报, 2000(11): 79-83. (PENG Qing e, LIU Xing nian, CAO Shu you. Artificial neural networks model of annual average sediment concentration in a watershed[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000(11): 79-83. (in Chinese))
- [11] Sasal M, Kashyap S, Rennie C, et al. Artificial neural network for bed load estimation in alluvial rivers. Journal of Hydraulic Research, 2009, 47(2): 223-232.
- [12] Yang C T, Marsooli R, Aalami M T. Evaluation of total load sediment transport formulas using ANN. International Journal of Sediment Transport Research, 2009, 24(3): 274-286.
- [13] David E. Rumelhart, James L. McClelland, The PDP Research Group. Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition[M]. MIT Press, 1986.