

南水北调工程江苏段流量 在线监测技术选择

王 军

(南水北调东线江苏水源公司宿迁分公司, 江苏 宿迁 223800)

摘要:根据南水北调东线工程江苏段流量监测需求,邀请专家针对在线测流技术的选择提出不同的关注重点,依据指标体系选择的原则,测算各指标相对于目标层的权重,建立科学完善的指标体系。通过模糊分析评价得到 2 个控制断面各自的最优测流方法,有利于南水北调输水水量的精准监控,为跨流域的水资源调配提供技术支撑,保障南水北调工程运营及效益发挥。

关键词:流量监测;模糊综合评价;南水北调工程江苏段

中图分类号:[TV123] 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2020)11-0019-06

Study on selection of flow online monitoring technology in Jiangsu section of South to North Water Transfer Project

WANG Jun

(Suqian Branch of Jiangsu Water Source Co., Ltd., the East Route of South to North Water Diversion,
Suqian 223800, China)

Abstract: According to the flow monitoring requirements of the Jiangsu section of the East Route of the South – to – North Water Diversion Project, experts were invited to put forward different focus points for the selection of online flow measurement technology. According to the principle of index system selection, the weight of each index relative to the target layer was measured and a scientific and complete index system was established. The optimal flow measurement methods of the two control sections were obtained through fuzzy analysis and evaluation, which was conducive to the accurate monitoring of the water conveyance volume of the South to North Water Transfer Project, and could provide technical support for the inter – basin water resources allocation, and ensure the operation and benefits of the South to North Water Transfer Project.

Key words: flow monitoring; fuzzy comprehensive evaluations; Jiangsu section of South to North Water Transfer Project

南水北调东线工程江苏段主要是利用现有河道供水来调水,具有防洪、排涝、航运、供水等综合功能,河道特点是断面宽且不规则、水深浅、流速低,对船舶航运等影响大,对流量在线监测的测量精度、可靠性

和维护、使用方便性等方面要求较高^[1]。用科学的方法优选流量在线监测技术显得尤为重要,本文通过建立选择流量在线监测技术的指标体系,用模糊分析法选择最优的流量在线监测方法。

收稿日期:2020-09-21

作者简介:王军(1975—),男,工程师,工程硕士,主要从事工程项目管理工作。E-mail:jsnsbd@163.com

1 南水北调东线工程江苏段在线流量监测断面概况

南水北调东线工程江苏段分为 2 条线路:运河线和运西线。运河线自江都抽水站起源,一路沿京杭运河向北延伸,至邳州市西北部向西沿不牢河有一分支路线,即刘山—解台—蔺家坝线;运西线沿金宝航道入洪泽湖,再沿徐洪河北上,入骆马湖。江苏—山东省界调水主要通过韩庄运河,由台儿庄泵站抽引骆马湖水入南四湖,实现调水出省的意图^[2]。

为了掌握南水北调东线工程江苏段流量变化,为供水调度提供决策依据,分别设置了 2 处在线流量监测控制断面:骆马湖控制断面和金宝航道控制断面。

1.1 骆马湖控制断面

骆马湖断面位于韩庄运河,是江苏—山东省界重要的计量断面。该断面于 2000 年曾经进行过断面整治,两岸为浆砌块石护坡,河道形状规则,测流条件良好,可保证较高的测流精度和可靠性。该断面最高通航水位 26.98 m,最低通航水位 20 m,供水最高水位 21.33 m。河宽近 80 m,设计流量为 $150 \text{ m}^3/\text{s}$,流速约为 0.4 m/s 。最低水深 3.6 m,最高供水水位水深约 5~6 m,水位变化不是很大,属于浅宽型航道。

1.2 金宝航道控制断面

金宝航道贯穿了扬州市宝应县和淮安市金湖县,全长 28.40 km(裁弯取直整治前全长 30.88 km)。该河道沟通了里运河与洪泽湖,串联了金湖站和洪泽站,承转江都站、宝应站抽引的江水,是运西线输水的起始河段,也是南水北调东线工程的重要组成部分,具有输水、航运、排涝、行洪综合功能。

金宝航道控制断面位于扬州、淮安市界,大汕子西侧河段,两岸为浆砌块石护坡,河道规整,测流条件良好。该断面最高通航水位 7.6 m,最低通航水位 5.8 m。在最低通航水位 5.8 m 时水深为 3.6 m,河宽近 100 m,流速约为 0.5 m/s ,设计输水流量 $150 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2 南水北调江苏段流量在线监测技术的选择

2.1 流量在线监测技术指标体系选择

目前进行流量监测的方式有以下 7 种:缆道自动测流、声学多普勒流速(又分为 H-ADCP 和走航式 ADCP)、超声波时差法测流、水工建筑物(涵洞)

推算流量、水位比降法推算流量、雷达水表面波流速测量再推算流量^[3]。根据流量监测各类方法的特点,从南水北调工程东线江苏段流量在线自动监测的目的出发,结合影响测流技术选择的因素,对指标的选取和确定进行分析,使评价指标符合目标的特征和需求。通过筛选建立南水北调工程江苏段流量在线监测技术选择指标体系。目标层中有 1 个指标,准则层中有 4 个指标,指标层中有 11 个指标,形成了金字塔式的指标体系,见表 1。

表 1 南水北调工程江苏段流量在线监测技术选择指标体系

目标层	准则层	指标层
流量在线监测 技术选择 (A)	适用性(B1)	C11 通航船舶适应
		C12 水文特性适应
	实时性(B2)	C21 采集速度
		C22 传输速度
		C23 处理速度
		C31 测量精度
	可靠性(B3)	C32 测量范围
		C33 安全性
		C41 仪器费用
	经济性(B4)	C42 安装费用
		C43 运维费用

2.2 指标权重的确定

2.2.1 构建准则层的判断矩阵及其权重向量

比较准则层指标的两两相对重要程度,建立判断矩阵见表 2。

表 2 准则层判断矩阵

类别	适用性	实时性	可靠性	经济性
适用性	1	2	2	7
实时性	1/2	1	1	3
可靠性	1/2	1	1	3
经济性	1/7	1/3	1/3	1

通过计算得出判断矩阵 B 的权重向量为:

$V = (0.4725, 0.2273, 0.2273, 0.0729)$;其他参数为: $\lambda_{\max} = 4.0030$, $CI = 0.001$, $RI = 0.89$, $CR =$

0.0011。由于 CR 小于 0.1,故判断矩阵的一致性是可以接受的。

2.2.2 构建指标层的判断矩阵及其权重向量

(1)比较各适用性指标的两两相对重要程度,建立判断矩阵见表 3。

表 3 适用性指标判断矩阵

类别	通航船舶适应	水文特性适应
通航船舶适应	1	1
水文特性适应	1	1

通过计算得出判断矩阵 B_1 的权重向量为: $W_1 = (0.5, 0.5)$;其他参数为: $\lambda_{\max} = 2, CI = 0.000, CR = 0.000$ 。由于 CR 小于 0.1,故判断矩阵 B_1 的一致性是可以接受的。

(3)比较各实时性指标的两两相对重要程度,建立判断矩阵见表 4。

表 4 实时性指标判断矩阵

类别	采集速度	传输速度	处理速度
采集速度	1	3	2
传输速度	1/3	1	1/2
处理速度	1/2	2	1

通过计算得出判断矩阵 B_2 的权重向量为: $W_2 = (0.5396, 0.1634, 0.2970)$;其他参数为: $\lambda_{\max} = 3.009, CI = 0.0046, RI = 0.52, CR = 0.0088$ 。由于 CR 小于 0.1,故判断矩阵 B_2 的一致性是可以接受的。

(3)比较各可靠性指标的两两相对重要程度,建立判断矩阵见表 5。

表 5 可靠性指标判断矩阵

类别	测量精度	测量范围	安全性
测量精度	1	2	4
测量范围	1/2	1	3
安全性	1/4	1/3	1

通过计算得出判断矩阵 B_3 的权重向量为: $W_3 = (0.5584, 0.3196, 0.1220)$;其他参数为: $\lambda_{\max} = 3.0183, CI = 0.0091, RI = 0.52, CR = 0.0176$ 。由于 CR 小于 0.1,故判断矩阵 B_3 的一致性是可以接受的。

(4)比较各经济性指标的两两相对重要程度,建立判断矩阵见表 6。

表 6 经济性指标判断矩阵

类别	仪器费用	安装费用	运维费用
仪器费用	1	3/2	2/3
安装费用	2/3	1	2/3
运维费用	3/2	3/2	1

通过计算得出判断矩阵 B_4 的权重向量为: $W_4 = (0.3254, 0.2483, 0.4263)$;其他参数为: $\lambda_{\max} = 3.0183, CI = 0.0091, RI = 0.52, CR = 0.0176$ 。由于 CR 小于 0.1,故判断矩阵 B_4 的一致性是可以接受的。

2.2.3 指标层权重向量的确定

根据准则层相对目标层权重 V 、指标层相对准则层权重 $W_1、W_2、W_3、W_4$,可以计算得出指标层各项指标相对于目标层的权重,如表 7 所示。

表 7 南水北调工程江苏段流量在线监测技术选择指标权重

目标层	准则层	指标层	权重
流量在线监测 技术选择 (A)	适用性 (B1)	C11 通航船舶适应	0.2362
		C12 水文特性适应	0.2362
		C21 采集速度	0.1227
		C22 传输速度	0.0371
	实时性 (B2)	C23 处理速度	0.0675
		C31 测量精度	0.1269
		C32 测量范围	0.0727
	可靠性 (B3)	C33 安全性	0.0277
		C41 仪器费用	0.0237
	经济性 (B4)	C42 安装费用	0.0181
		C43 运维费用	0.0311

2.3 控制断面测流方法的选择

2.3.1 骆马湖控制断面测流方法选择

不同测流方法在骆马湖控制断面各指标的平均分值见表 8。

将上述各种测流法各评价指标分值代入相应的隶属函数,得到各评价指标对各级标准的隶属度,综合各评价指标权重及其在各评判集上的隶属度,可得各测流方法的综合评判矩阵,即通过计算求得各测流方法的隶属度见表 9。

表 8 各种测流方法在骆马湖控制断面各指标的平均得分

指标	缆道自动 测流	超声波时 差法测流	水工建筑物 (涵闸)测流	比降法测流	雷达水表面波流速 测量再推算流量法	H-ADCP	走航式声学多普 勒流速测流法
C11 通航船舶适应	60	71	0	62	58	81	63
C12 水文特性适应	92	77	0	56	68	85	86
C21 采集速度	65	91	91	82	90	89	84
C22 传输速度	73	90	92	81	89	90	73
C23 处理速度	75	92	85	68	91	89	85
C31 测量精度	95	82	61	62	72	83	78
C32 测量范围	95	83	85	78	63	92	75
C33 安全性	93	90	75	91	90	92	71
C41 仪器费用	84	61	65	72	81	65	82
C42 安装费用	80	60	3	81	82	62	89
C43 运维费用	73	61	65	82	81	67	85

表 9 骆马湖控制断面各种测流法模糊综合评价矩阵

测流方法	好	较好	一般	较差	差
缆道自动测流法	0.3142	0.3168	0.3690	0.0000	0.0000
超声波时差测流法	0.1640	0.6240	0.2119	0.0000	0.0000
水工建筑物测流法	0.1248	0.2160	0.1713	0.0154	0.4724
比降测流法	0.0334	0.3463	0.5730	0.0472	0.0000
雷达水表面波流速测量再推算流量法	0.1336	0.3759	0.4669	0.0236	0.0000
水平声学多普勒流速测流法(H-ADCP)	0.2543	0.6913	0.0543	0.0000	0.0000
走航式声学多普勒流速测流法	0.1306	0.6123	0.2571	0.0000	0.0000

按最大隶属原则,由表 9 可知,水工建筑物测流法的评价为“差”等级,缆道自动测流法、比降测流法、雷达水表面波流速测量再推算流量法的评价为“一般”等级,超声波时差测流法、水平声学多普勒流速测流法(H-ADCP)、走航式声学多普勒流速测流法的评价为“较好”等级。3 种方法中,水平声学多普勒流速测流法(H-ADCP)在“好”等级的分值为 0.2543 最高,在“较好”等级的分值为 0.6913,也是最高,故骆马湖控制断面选用水平声学多普勒流速测流法(H-ADCP)进行测流。

骆马湖控制断面位于山东、江苏两省交界处,支流交汇多,船舶通航量较大,环境较为复杂,设备安全隐患较多,而且河道右岸为乡村小路,设备安装施工条件较差。

H-ADCP 设备仅需在河道左岸设置即可满足要求,安全性较高,不影响船舶通航,适应性较好。而且 H-ADCP 一般采用支架的形式安装在河道岸边,对施工条件要求较低,施工量相对也较小。所以,H-ADCP 的特点与骆马湖控制断面的特点相吻合,可满足此断面的流量测验需求,同时 H-ADCP

设备造价低、精度较高,满足测流要求。因此,骆马湖控制断面选用水平声学多普勒流速测流法(H-ADCP)是合理的。

2.3.2 金宝航道控制断面测流方法选择

根据打分情况得到金宝航道控制断面的各指标平均得分见表 10。

超声波时差法测流精度高,在宽浅河道的低流速状态下仍能保持较高精度^[5]。另外,金宝航道控制断面位于大汕子河口闸管处位置,设备安装位置安全性高,具备同时在两岸设置测流装置的条件。因此,金宝航道控制断面选用超声波时差测流法是合理的。

表 10 各种测流方法在金宝航道控制断面各指标的平均得分

指标	缆道自动测流	超声波时差法测流	水工建筑物测流	比降法测流	雷达水表面波流速测量再推算流量法	H-ADCP	走航式声学多普勒流速测流法
C11 通航船舶适应	55	98	0	65	58	75	65
C12 水文特性适应	90	88	0	56	70	81	91
C21 采集速度	63	95	95	83	95	92	81
C22 传输速度	78	96	94	81	94	91	75
C23 处理速度	82	92	91	75	92	89	85
C31 测量精度	95	82	70	66	65	75	84
C32 测量范围	92	78	85	78	68	88	81
C33 安全性	85	92	82	93	92	91	70
C41 仪器费用	85	65	62	72	82	61	82
C42 安装费用	82	63	45	81	81	62	92
C43 运维费用	73	66	65	82	83	61	91

将上述各种测流法评价指标分值代入相应的隶属函数,得到各评价指标对各级标准的隶属度,综合各评价指标权重及其在各评判集上的隶属度,可得各测流方法的综合评判矩阵,即通过计算求得各测流方法的隶属度见表 11。

按最大隶属原则,从表 11 可知,水工建筑物测流法的评价为“差”等级,比降测流法、雷达水表面波流速测量再推算流量法的评价为“一般”等级,缆道自动测流法、水平声学多普勒流速测流法(H-ADCP)、走航式声学多普勒流速测流法的评价为“较好”等级,超声波时差测流法的评价为“好”等级,故金宝航道控制断面选用超声波时差测流法进行测流。

金宝航道断面位于宝应湖下游,水流流速较小,流量测验的相对误差可能会较大。另外,由于此地区的水流流速均不大,周围水系的含沙量较小,且断面位于南水北调大汕子枢纽附近,河道也较为顺直,周围环境的安全性相对较好。

基于各种在线流量监测技术的指标对照情况,计算出各指标对于优选测流技术的目标的权重向量为

$$W = (0.2362, 0.2362, 0.1227, 0.0371, 0.0675, 0.1269, 0.0727, 0.0277, 0.0237, 0.0181, 0.0311)。$$

再分别针对骆马湖控制断面和金宝航道控制断面进行模糊综合评价计算。结果表明,骆马湖控制断面的最优测流方法是水平声学多普勒流速测流法(H-ADCP),金宝航道控制断面的最优测流方法是超声波时差法。

通过分析计算确定了骆马湖控制断面的 H-ADCP 和金宝航道断面的超声波时差法的平均流速,均可作为断面的指标流速。在优选自动测流方法运行一段时间后,随着南水北调两步制水价政策逐步深入落实,对南水北调流量在线监测需求将增大,测点将会逐步增多,对测流的准确性、实时性等要求也将更高,对测流方法的有效性和可靠性选择的研究将会进一步深入。

表 11 金宝航道控制断面各种测流法模糊综合评价矩阵

测流方法	好	较好	一般	较差	差
缆道自动测流法	0.2783	0.3665	0.2960	0.0591	0.0000
超声波时差测流法	0.4986	0.4391	0.0622	0.0000	0.0000
水工建筑物测流法	0.1761	0.2252	0.1126	0.0136	0.4724
比降测流法	0.0423	0.4218	0.4886	0.0472	0.0000
雷达水表面波流速测量再推算流量法	0.1831	0.3238	0.4695	0.0236	0.0000
水平声学多普勒流速测流法(H-ADCP)	0.1805	0.6603	0.1591	0.0000	0.0000
走航式声学多普勒流速测流法	0.2123	0.5874	0.2003	0.0000	0.0000

3 结 论

受自然环境和地形、工程调度、船舶航运等方面的影响,现有的自动监测设备未能充分发挥作用。因此,针对南水北调东线工程的运行情况,分析对比各类流量测验方法,依据不同条件,选择最优的测流方式以实现流量在线监测。

(1)通过分析南水北调工程江苏段测流存在的问题,总结出影响在线测流技术选择的因素主要有通航船舶、水文特性、实时性、测量精度、经济性和安全性。

(2)建立了准则层包含实时性、可靠性、经济性、实用性的指标体系,并经过指标分析和筛选,完善了指标体系,指标层包含通航船舶适应、水文特性适应、采集速度、传输速度等 11 个指标,同时确定了本文采用模糊分析方法进行测流技术优选。

(3)确定了各指标相对于目标层的权向量为: $W = (0.2362, 0.2362, 0.1227, 0.0371, 0.0675, 0.1269, 0.0727, 0.0277, 0.0237, 0.0181, 0.0311)$,

并分别对骆马湖控制断面和金宝航道控制断面进行模糊分析计算。结果表明,骆马湖控制断面的最优测流方法是水平声学多普勒流速测流法(H-ADCP),金宝航道控制断面的最优测流方法是超声波时差法。

参考文献:

- [1] 曾春芬,马劲松,杨树滩. 南水北调东线江苏段水资源优化调度与配置研究新探[J]. 江苏水利, 2019 (5):47-50.
- [2] 郭玉雪,张劲松,郑在洲,等. 南水北调东线工程江苏段多目标优化调度研究[J]. 水利学报, 2018, 49 (11):1313-1327.
- [3] 胡艳娇,黄琦,田长涛. 水文缆道测流系统应用分析[J]. 科技创新与应用, 2019 (22):165-166.
- [4] 吴志勇,徐梁,唐运忆,等. 水文站流量在线监测方法研究进展[J]. 水资源保护, 2020, 36(4):1-7.
- [5] 关君. 基于时差法流量检测关键技术的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2017.