

面积流速仪在明渠流量监测中的应用

蒙海涛¹, 鲁金凤², 刘佳泓¹, 陈曼丁¹, 赵吉睿¹

(1. 天津市环境监测中心, 天津 300191; 2. 南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071)

摘要 结合前人对矩形断面明渠流速分布的理论分析与试验研究, 应用大量的试验数据, 建立明渠流量测定的代表断面、代表垂线和代表水深, 可以提高实际明渠流量测定精度, 简化明渠流量测定工作量。结果表明: 实际流量监测中, 量断面最好选择在渠宽4倍的距离以上, 如果不满足条件, 渠越宽, 需要的相对流程越短; 越窄, 相对流程越长。监测水深时, 在 $y=0.4h$ 处作为监测点, 在水流波动较大的水中, 也可以选择应用 $0.2h$ 、 $0.6h$ 和 $0.8h$ 三点法, 但不建议选择 $0.2h$ 和 $0.8h$ 的两点法。监测垂线的选择为: 在 $\leq 3.0\text{ m}$ 的明渠上, 一般取3条垂线就可以代表平均值, 第1条垂线选择应距离渠壁大于 10 cm , 在 $0.1 + (0.5b - 0.1\text{ m})/2 \sim 0.5b$ 范围内平均设置另外两条垂线。

关键词 面积流速仪; 明渠; 流量监测

中图分类号 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2013)35-13687-02

Application of Area Flow Meter in Open Channel Flow Monitoring

MENG Hai-tao et al (Tianjin Environmental Monitoring Center, Tianjin 300191)

Abstract On this basis of the previous theoretical analysis and experimental study of the rectangular open channel flow distribution, as well as a large number of experimental data, this paper established the representative cross-section, representative vertical line and representative water depth for the open channel flow monitoring, which could improve the accuracy and simplify the workload of open channel flow monitoring. The results showed that in the actual flow monitoring, the cross-section should be located at the distance 4 times of the channel width or above; if the conditions cannot be met, a wider channel needs a shorter relative flow path, and a narrower channel needs a longer relative flow path. In water depth monitoring, $y = 0.4h$ is taken as the monitoring point, or in water with violent waves, $0.2h$, $0.6h$ and $0.8h$ can be taken as three-point monitoring, but two-point monitoring ($0.2h$ and $0.8h$) is not recommended. The monitoring vertical line is defined as: for an open channel $\leq 3.0\text{ m}$, 3 vertical lines are taken to represent the mean, the first one should be 10 cm or further away from the channel wall, and the other two set evenly within the range of $0.1 + (0.5b - 0.1\text{ m})/2 \sim 0.5b$.

Key words Area flow meter; Open channel; Flow monitoring

随着“减排”和总量控制的要求, 污染源的监测由单一的浓度监测向浓度监测与总量控制监测并重过渡。明渠流量的精确、快速测流是一个亟待解决的实际应用技术问题。前人在水动力学研究中, 对明渠的流速分布、均匀紊流水力特性等有了大量的研究。Ramamurthy 等采用试验研究了分流明渠流态和分流渠进口上游主渠进佛汝德数对分流量的影响^[1]; 胡春宏经试验研究提出按流速分布特点将渠道断面划分为内区、外区和表面区, 在内区以壁面影响为主, 在外区用二次抛物线分布能较好地拟合实际分布规律^[2]; 王殿常等对垂线流速分布主要的两种观点对数律和尾流律作了分析和比较^[3]; 王二平等对矩形断面明渠流速沿垂线分布的抛物线公式和流速横向分布的乘幂函数公式进行了研究^[4]。在明渠流量测定的实际工作中, 普遍采用多线多点方法。这种测量流量方法虽然在测量精度上满足实际需要, 但测量工作量比较大。为此, 笔者结合前人对矩形断面明渠流速分布的理论分析与试验研究, 应用大量的试验数据, 建立明渠流量测定的代表点位, 以提高实际明渠流量测定精度, 简化明渠流量测定工作量。

1 材料与方

在巴歇尔槽的前段加装和巴歇尔槽收缩段宽度一致矩形明渠, 进行明渠流量测定试验。选取的巴歇尔槽分别为: ①喉宽 0.23 m , 收缩段宽度为 0.58 m ; ②喉宽 2.10 m , 收缩

段宽度为 3.00 m 。

流速测定采用 SonTek/YSI 公司的 FlowTrack 手持式 ADV 流速仪, 为超声波流量计。

采用不同流量级与不同渠宽进行试验。实测流速为 $0.5 \sim 1.5\text{ m/s}$ 。

引入无量纲相对流速 u/v 概念, 其中 u 为 FlowTrack 手持式 ADV 流速仪测定的实际流速, v 为巴歇尔槽测定数据。

2 结果与分析

2.1 监测断面的选择 水流进入明渠后边界发生变化, 流体质点受边界、水压等因素影响, 流体质点运动变得杂乱无章, 做湍流运动, 流体不仅沿渠向进行运动还发生横向运动, 流体产生涡流。在无边界变化的明渠中, 随着能量的交换, 经过一段距离, 流体质点速度在矢量沿线各点方向、大小均相对不发生变化^[5]。该试验将这一段称为均匀段。

通过测量不确定度来估计废水沿程流动对流量不确定度的影响, 用以明渠流量监测断面的选择。理论上, 同一渠道每个过水断面相同时间通过水量是相同的, 所以流量监测中取任何断面都是可以的。但在实际监测中, 同一明渠中相同流速下不同监测断面多次测量值之间的偏差不同。不确定度是说明被测量值分散性的参数, 它不说明测量结果是否接近真值。不确定度值越大, 同一测点相同流速下多次测量值之间的偏差就越大, 在单次的流量监测中, 误差就越大。测量不确定度值越小, 测量值之间的偏差就越小。明渠流量监测断面选在测量不确定度较小的地方。

引入无量纲相对流程 L/b 。 L 为从废水进口到测点的距离, b 为渠宽。沿明渠废水流动沿程中垂线 $0.5b$ 、 $1.0b$ 、 $1.5b$ 、

基金项目 国家自然科学基金项目(51008162); 天津市应用基础及前沿技术研究计划资助项目(10JCYBJC03500)。

作者简介 蒙海涛(1982-), 男, 山西朔州人, 中级工程师, 从事环境监测数据评价和污染源自动监控管理等工作。

收稿日期 2013-11-02

2.0 b、3.0 b、4.0 b 设置监测点(图 1),进行流速测定。每个测点流速样本不低于 8 个。依据试验数据,进行标准差计算:

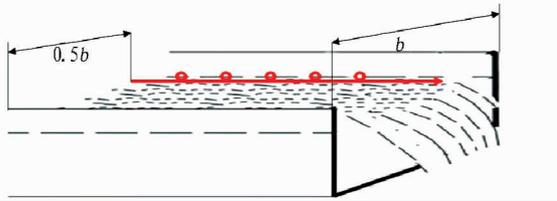


图 1 u/v 与 g/h 拟合曲线

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n-1}}$$

相对不确定度为:

$$u = \frac{S}{\bar{v}\sqrt{n}}$$

统计大量的试验数据可知,废水沿程流动方向,相对不确定度和相对流程 L/b 呈反比,但达到一定的相对流程 L/b ,相对不确定度变化不大。在 0.58、3.00 m 宽的明渠上,在相对流程 0.5 b 的断面上,两个明渠的相对不确定度均为 5% 以上,最大值为 8.6%;随着流程的延长,相对不确定度逐渐减小。在 3.00 m 宽的明渠上,在相对流程 2.0 b 的断面上,相对不确定度达到 1%,且随着流程的延长不再有明显的变化。在 0.58 m 宽的明渠上,在相对流程 4.0 b 的断面上,相对不确定度达到 1%,且随着流程的延长不再有明显的变化。

综上所述,明渠流量监测断面应选在流速均匀段,但不同的明渠均匀段形成所需的相对流程不同,和渠的宽度有一定的关系。该研究中,在 0.58 m 宽的明渠上测量断面应大于相对流程 4.0 b,在 3.00 m 宽的明渠上应大于相对流程 2.0 b。所以在实际监测应用中,测量断面最好选择在渠宽 4 倍的距离以上,如果不满足条件,可按照该研究得出的结论去应用。

2.2 测量垂线的选择 前人大量的水力学研究认为,区内各垂线流速分布均不同程度地受壁面影响,也认为流速在横断面的分布上呈对称性,即以中垂线为对称线。孙东坡等认为,沿明渠横断面的边壁区与中心区,测线平均流速还是连续变化并与某横向位置有关;边壁区变化大些,中心区变化小些^[6]。

在实际测量中,大多数人会选择以明渠 1/2 的渠面上均匀布置垂线。张泽宏等认为,考虑到明渠流量中渠道一般具有规则性(矩形或梯形),除去侧边的两条垂线应尽量靠边以减少波形系数带来的测量误差外,其他垂线之间的距离应均匀分布^[7]。在大量的实际试验操作中,不论在 0.58 m 还是在 3.00 m 的明渠上,距离渠壁 0.10 m 以内的不适宜作为流速的测点。不论是选为转子流速仪还是超声波流速仪,空间的物理因素对流速的影响特别大,超声波回波的监测点大多都在 10 cm,并且仪器本身的支架、结构等具有一定的形状和大小。所以在实际监测中第一条垂线应选择 10 cm 外。

明渠实际流速的横向分布如图 2 所示。在 3.00 m 渠

上,0.60 m 的内垂线上的流速变化明显,且小于平均值,在渠的中心位置流速达到最大值。大量数据统计可以得出,在 ≤ 3.00 m 的明渠上,取 3 条垂线就可以代表平均值。测点距渠壁 > 10 cm 为第 1 条垂线,在 $0.1 + (0.5 b - 0.1 m)/2 \sim 0.5 b$ 的范围内平均设另外两条垂线。

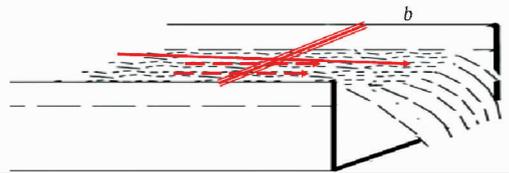


图 2

综上所述,明渠横向流速的分布对边壁区影响较大,对中心区影响较小,且沿中垂线对称。

2.3 监测水深的选择 前人大量的水力学研究表明,光滑壁面明渠均匀紊流中,沿水深方向流动具有明显的分区结构。张泽宏等认为,在水深 0.40 ~ 0.60 m 水深的明渠上应选择 1 个测点,在 0.60 ~ 1.00 m 应选择 2 ~ 3 个测点,在 1.00 ~ 3.00 m 应选择 5 个测点^[7]。该研究引入无量纲相对深度的概念 y/h , y 为测点的水深, h 为明渠的水深。分析在水深 h 为 0.50 ~ 1.00 m 的明渠上同一条垂线上不同深度试验所测的大量流速值,对 u/v 和 y/h 值进行拟合,可以得出图 3。从图 3 可以看出,在水深 h 为 0.40 ~ 1.00 m 的明渠中, $y = 0.4 h$ 处测点流速为该条垂线上的平均值。这个结论与董曾南等得出明渠均匀紊流中断面平均流速点在 $y = 0.36 H$ 相接近^[4]。从图 3 还可以看出,最大的流速并不在废水的表面,而在水深 0.7 ~ 0.8 h 。同时大量试验数据汇总发现,3 点法测量和在 $y = 0.4 h$ 测定的值更接近,大多数数据 2 点法略小于 3 点法。

综上所述,该研究在监测水深的选择上的结论为:在 $y = 0.4 h$ 处作为监测点,在水流波动较大的水中,也可以选择应用 0.20 h 、0.60 h 和 0.80 h 的 3 点法,不建议选择 0.20 h 和 0.8 h 的 2 点法。

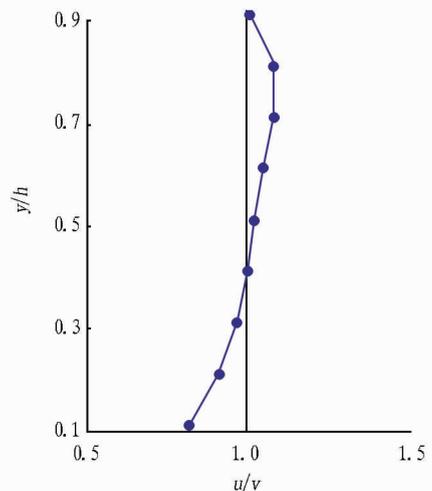


图 3 u/v 与 g/h 拟合曲线

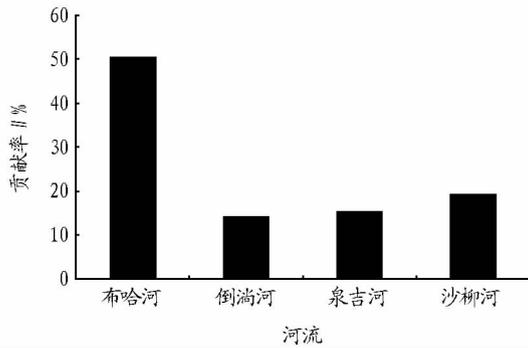


图3 入湖河流颗粒有机质对青海湖湖体的贡献率

粒有机质碳同位素值最大,与其他3条河流形成明显的差别。这说明,布哈河的颗粒有机质来源与其他3条河流可能不同。稳定性碳同位素通常作为营养源的示踪剂^[11-12],综合分析布哈河中颗粒有机质碳同位素组成,可推测:其颗粒有机质多来自于自身水体中水生植物的残体或分解物。然而,其他3条河流的颗粒有机质来源可能在很大程度上受到陆源有机质输入的影响。因为已有的研究表明^[13],环青海湖地区的植物类群主要以C₃植物为主,而C₃植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值一般较低^[14]。

采取合适的步长和容忍度,用IsoSource软件计算出了青海湖湖体颗粒有机质的来源。结果表明,布哈河的贡献率最大,超出了50%,这也与布哈河的流域面积是相符合的。布哈河作为青海湖流域最大的入湖河流,对青海湖颗粒有机质的贡献理应是最大的。当然,其他入湖河流的贡献也不能小觑。但由于流量的限制以及有机质含量等原因,倒淌河、泉吉河和沙柳河对青海湖湖体颗粒有机质的贡献是有限的。

然而,IsoSource软件的估算是基于稳定性同位素的质量平衡原理进行的^[9,15],同位素组成的变化会影响运算的结果。环湖河流同位素组成是否存在时空的巨大变化还不得

而知。因此,今后大范围的取样以及长时间序列上采集同位素信息,可进一步完善该试验的结果。

参考文献

- [1] 吴丰昌,王立英,黎文,等.天然有机质及其在地表环境中的重要性[J].湖泊科学,2008(20):1-12.
- [2] 朱广伟.太湖富营养化现状及原因分析[J].湖泊科学,2008(20):21-26.
- [3] 周笃珺,陈保华,李世蓉.4200年来青海湖盆地植被及环境的演变[J].青海环境,1996(6):109-112.
- [4] WANG Y S, GONZALEZ R J, PATRICK M L, et al. Unusual physiology of scale-less carp, *Gymnocypris przewalskii*, in Lake Qinghai: a high altitude alkaline saline lake[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2003, 134:409-421.
- [5] CHEN D, ZHANG X, TAN X, et al. Hydroacoustic study of spatial and temporal distribution of *Gymnocypris przewalskii* (Kessler, 1876) in Qinghai Lake, China[J]. Environmental Biology of Fishes, 2009, 84:231-239.
- [6] 冯宗炜,冯兆忠.青海湖流域主要生态环境问题及防治对策[J].生态环境,2004(13):467-469.
- [7] 董春雨,王乃昂,李卓仑,等.基于水热平衡模型的青海湖水位变化趋势预测[J].湖泊科学,2009(21):587-593.
- [8] 陈桂琛,彭敏.青海湖流域生态环境保护与修复[M].西宁:青海人民出版社,2008.
- [9] PHILLIPS D L, GREGG J W. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources[J]. Oecologia, 2003, 136:261-269.
- [10] BENSTEAD J P, MARCH J G, FRY B., et al. Testing IsoSource: stable isotope analysis of a tropical fishery with diverse organic matter sources[J]. Ecology, 2006, 87:326-333.
- [11] PETERSON B J, HOWARTH R W, GARRITT R H. Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarine food webs[J]. Science, 1985, 227:1361-1363.
- [12] 易现峰,张晓爱,李来兴,等.高寒草甸生态系统食物链结构分析——来自稳定性碳同位素的证据[J].动物学研究,2003(25):1-6.
- [13] YI X F, YANG Y Q, ZHANG X A, et al. No C4 plants found at the Haibei Alpine Meadow Ecosystem Research Station in Qinghai, China: evidence from stable carbon isotope studies[J]. Acta Botanica Sinica, 2004, 45:1291-1296.
- [14] EHLERINGER J R, RUNDEL P W. Stable isotopes in physiological ecology and food web research[J]. Trends in Ecology and Evolution, 1986, 1:42-45.
- [15] ESTRADA J A, LUTCAVAGE M, THORROLD S R. Diet and trophic position of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) inferred from stable carbon and nitrogen isotope analysis[J]. Marine Biology, 2005, 147:37-45.

(上接第13688页)

3 结论与讨论

(1)明渠流量监测断面应选在流速均匀段,但不同的明渠均匀段形成所需的相对流程不同,和渠的宽度有一定的关系。实际流量监测中,量断面最好选择在渠宽4倍的距离以上。如果不满足条件,渠越宽,需要的相对流程越短;越窄,相对流程越长。

(2)监测水深的选择为:在 $y=0.4h$ 处作为监测点,在水流波动较大的水中,也可以选择应用 $0.2h$ 、 $0.6h$ 和 $0.8h$ 的3点法,但不建议选择 $0.2h$ 和 $0.8h$ 的2点法。

(3)监测垂线的选择为:在 $\leq 3.00\text{m}$ 的明渠上,一般取3条垂线就可以代表平均值。第1条垂线选择应距离渠壁大于 10cm ;在 $0.1 + (0.5b - 0.1\text{m})/2 \sim 0.5b$ 的范围内平均设

置另外两条垂线。

参考文献

- [1] PIRZADEH B, SHAMLOO H. Numerical investigation of velocity field in dividing open-channel flow [C]//12th WSEAS Int Conf on APPLIED MATHEMATICS. Cairo, Egypt, 2007:29-31, 194-198.
- [2] 胡春宏,惠遇甲.明渠挟沙水流运动的力学和统计规律[M].北京:科学出版社,1995.
- [3] 王殿常,王兴奎,李丹勋.明渠时均流速分布公式对比及影响因素分析[J].泥沙研究,1998,9(3):86-90.
- [4] 王二平,金辉,张艳艳,等.矩形明渠流速分布特征及其在流量量测中的应用[J].灌溉排水学报,2008,27(4):25-28.
- [5] 董曾南,丁元.光滑壁面明渠均匀紊流水力特性[J].中国科学,1998(11):1208-1217.
- [6] 孙东坡,王二平,董志慧,等.矩形断面明渠流速分布的研究及应用[J].水动力学研究与进展,2004,19(2):144-150.
- [7] 张泽宏,张松,刘亚辉.流速仪在明渠流量计检测中的应用[J].中国计量,2012(4):90-92.