

基于流速分区理论的半圆形明渠测流点布控方法研究

韩宇,吴章生,马壮壮,李彤姝,陈建,贺向丽
(中国农业大学,北京100083)

摘要:【目的】针对半圆形渠道进行物理模型试验研究,揭示半圆形渠道沿壁面法线方向平均速度特征位置的分布规律,为非标准断面渠道测流方法提供新思路。【方法】基于不同水力条件下渠道断面流速的量测结果,从流速分区理论出发,利用经典对数公式推导半圆形渠道断面测速法线上平均流速特征位置点的理论计算公式,考虑侧壁对摩阻流速的影响,基于测定特征位置的流速从而得到整个半圆形渠道断面的平均流速。【结果】本研究提出半圆形明渠在过圆心的测速法线上平均速度特征位置的计算公式,与试验结果相比,该公式计算结果所得平均误差在10%左右,该公式能较好地反映半圆形明渠测速法线平均速度特征位置的分布特性;沿测速法线方向分析半圆形明渠断面流速分布精度更高,流速分布规律的分析也更加合理。【结论】平均流速特征位置点理论公式计算结果与模型试验结果较为吻合,公式精度较高,工程中可通过测量特定位置的点的流速进而推求断面平均流速,达到快速准确确定渠道断面流量的目的。

关键词:流速分布;对数定律;剪切力;分区理论

中图分类号:TV131.2

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20190257

韩宇,吴章生,马壮壮,等.基于流速分区理论的半圆形明渠测流点布控方法研究[J].灌溉排水学报,2019,38(11):42-48.

0 引言

天然河道与人工渠道中的水流测量系统是河流水文学、动力学等研究的科学基础。不同形状的断面对水流流态和过流能力有重要影响^[1],由于圆形断面管道在同样过水面积下水力半径最小,并且具有极好的受力性能,因此广泛应用于明流涵洞、城市排水管道、输油输气管道等实际工程中。当圆形断面管道未全部充满时,上表面与大气自由接触,非满流的圆形管道可视为明渠水流^[2]。当前广泛应用于明渠测流的方法为速度-面积法,通过测流确定面积元上某些特征点流速,以其表征相应的面积元的平均流速,相对应的流量则可表示为平均流速与对应面积元的乘积。根据数值积分原理,将面积元的流量积分就能得到通过截面的流体的总流量,但这种方法由于测点较多也存在一定实际应用问题。

为进一步简化测流程序,适应复杂多变的非标准断面并提高测流精度,提高灌区渠道水有效利用系数,提高灌区管理科学化水平,断面流速分布特性与测点布控的研究近年又成为热点^[3]。许多研究人员通过对水文测验数据的直接分析,选取误差符合要求的垂线和测点组合,得到测线测点的组合,为比较准确地得出断面平均流量提供方法。刘金友等^[4]对大赉水文站流量测验数据分析后,得出采用两点法测流能满足精度要求,极大地缩短测流历时,提高了测流次数。贺路博等^[5]对东辽河泉太站不同水位各测速垂线的平均流速进行分析,为测速垂线的精简提供依据。任华^[6]对东台(泰)水文站流量测验数据分析后,对该站简测法、常测法测速垂线数目及布设提出了具体方案。黄锦鑫等^[7]对崇阳水文站多年实测资料分析后提出,常测法采用九线一点法,简测法采用三线两点法,不同方法采用不同的流量系数来对测量结果进行修正。郑杰等^[8]对则克台(北岸干渠)的测验数据精简分析后,发现精简后的数据与原数据相关关系很好,各项指标符合规范要求。严军等^[9]统计整理各试验组次的流速测量结果,通过拟合分析,建立了矩形渠道测速垂线相对

收稿日期:2019-06-10

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0403203,2017YFD0701000,2016YFD200700,2016YFC0400207);中央高校基本科研业务费资助项目(10710301,1071-31051012,1071-31051361,2019TC108);吉林省重点科技研发项目(20180201036SF,20170204008SF);国家自然科学基金面上项目(51979275)

作者简介:韩宇(1985-),女,副教授,主要从事生态明渠水流特性方向研究。E-mail: yhan@cau.edu.cn

流速 u/v 与相对水深 y/H 的抛物线关系式和矩形渠道测速垂线平均流速的横向分布的幂函数关系式。

部分研究人员从现有公式与模型出发,推导出符合具体渠道的流速分布和流量计算精度要求的流速分布公式。全卫国等^[10]根据已知圆管紊流流速分布的近似模型,研究出了使用管道轴线处的最大流速得到断面流量的方法,并通过实验验证了这种方法的正确性和可行性,得到了相关的试验公式。卢金友等^[11]从紊流的雷诺方程出发,推导了垂线平均流速沿河宽分布公式。谭显文等^[12]由依据三维雷诺方程建立矩形渠道的紊流数学物理模型,推导出窄深式矩形明渠的全断面流速分布公式和平均流速横向分布公式。李丹武等^[13]考虑侧壁对均匀流速的影响,利用普朗特—卡门粗糙平板流速分布公式,对标准U型明渠均匀流断面平均流速进行了计算研究,根据渠道水深与半径 R 的关系分别推导出平均流速的公式。刘春晶等^[14]通过试验证实含尾流函数的对数流速公式比全水深对数公式可以更精确的描述明渠均匀流的流速分布,当卡门常数和积分常数采用不同值时仍可使用全水深的对数公式。茆志超等^[15]利用 Lane 和 Kelinske 紊动动量交换系数 ϵ_m 求得一种新型的垂线流速分布公式。通过对模型与流速分布公式的分析,得出测速测点的布控方法,从而得出断面流量。综上可见,研究人员对流速公式的推导为进一步求解渠道断面流量,研究渠道过流能力的影响因素奠定了基础。但是大多是矩形明渠,对半圆形明渠的流速分布规律研究较少,并且,通过实际测验数据简化测速测点或者是通过推求断面流速分布公式的方法仍然存在测点比较多和测速较为复杂的问题。

张伟等^[16]建立抛物线形渠道断面优化数学模型,将粒子群优化算法引入到抛物线形渠道断面优化计算中,采用粒子群算法在全局空间下搜索渠道断面优化问题的全局最优解,对抛物线型渠道断面进行了优化,提高其过流能力。王延召等^[17]基于中下级渠道中直角分水口区域建立水流计算模型,计算节点区域水力要素,研究得到淤积末期过流能力和过流宽度明显下降,渠系节点区域悬移质淤积对支渠引水分流有较大影响。根据 YANG 等^[18]的研究,在流动区域内存在零雷诺剪切应力线,该线可以将光滑明渠流断面进行切割划分,即可以用一条倾斜的直线将断面划分成2处不同的区域。HAN 等^[19]通过分析具有光滑平坦或弯曲河床的水槽中的平均速度分布证明光滑明渠流中存在分割线。流速分区理论将底壁和侧壁切应力从总切应力中分开,能够更准确地模拟污染物运移、泥沙运动等流动现象。本文从应用较为广泛的对数公式出发,基于流速分区理论,考虑侧壁对流速分布的影响,根据不同水深下的半圆形明渠的试验数据,以过圆心的测速法线为研究对象,推导出计算每条径线平均速度特征位置点的公式。通过测定特征位置的流速从而得到整个半圆形渠道断面的平均流速,为快速准确地测定流量提供一种简便易行的方法。

1 理论推导

假定半圆形明渠半径为 r ,最大水深为 h ,水面与边壁交界处与圆心的连线和水平面成 α 角,取1条过圆心且与中心线夹角成 θ 的直线。根据明渠流速分布对数公式^[19],其流速分布表达式为:

$$\frac{u}{u_*} = 2.5 \ln \left(\frac{u_{*s} y}{\nu} \right) + 5.5, \quad (1)$$

式中: u 为流速(m/s); u_* 为摩阻流速(m/s); u_{*s} 为局部摩阻流速(m/s); ν 为运动黏度(m²/s); y 为该点距边壁的距离(m)。由于是半圆形渠道,式(1)中所含参数与角度无关,半圆形渠道断面示意图如图1所示。图1注明角度只是为了便于描述测速法线。

CHIEN 等^[20]指出能量都是向最近的边界运输并沿着最短的距离向边壁耗散。对于半圆形渠道来说,能量是沿着边壁法线方向耗散的,故半圆形渠道的流速分区界限为水面线。基于流速分区理论,如图1所示,而根据 HAN 等^[19]的研究,对数定律两侧的摩阻流速并不是完全相同的,摩阻流速 u_* 与整体剪切应力有关,即:

$$u_* = \sqrt{gRs}。 \quad (2)$$

式(1)右边的摩阻流速为局部摩阻流速 u_{*s} 与边界剪切应力有关,即:

$$u_{*s} = \sqrt{gL_n s}, \quad (3)$$

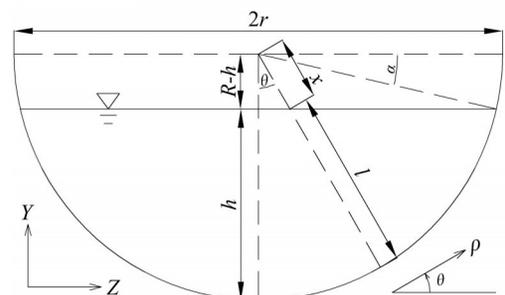


图1 半圆形渠道断面流速分析示意图

式中： g 为当地重力加速度(m/s^2)； R 为渠道水力半径(m)； s 为底坡坡度； L_n 代表从沿法线方向从边壁至分界线的距离(m)^[18]。

取长为 l ，宽为 dr (dr 为无穷小量)的矩形断面，由于 dr 无限接近于0，通过该矩形的流量可以表示为：

$$Q = l \cdot dr \cdot \bar{u}, \quad (4)$$

$$l = L_n, \quad (5)$$

式中： Q 为流量(m^3/s)； l 为所取矩形断面的长度(m)； \bar{u} 为代表该矩形断面的平均流速(m/s)。

局部摩阻流速随着宽深比 z/b (z 为该点距侧壁的距离， b 为渠道宽度)的增加而增加。取该直线上距边壁为 ρ 的点，以该点为顶点取边长为 $d\rho$ ， dr (dr 无限接近0)为上底和下底的矩形，以通过该矩形的流量为：

$$dQ = u \cdot d\rho \cdot dr. \quad (6)$$

对 ρ 进行积分，可得到：

$$Q = dr \cdot u_* \int_0^l (2.5 \ln(\frac{\rho u_{*s}}{v}) + 5.5) d\rho = dr \cdot u_* \cdot l (2.5 \ln(\frac{l u_{*s}}{v}) + 3). \quad (7)$$

由式(1)当 $u = \bar{u}$ 时 $y = \bar{y}$ 并令 $\bar{y} = \bar{\rho}$ 并可得：

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = 2.5 \ln\left(\frac{\bar{\rho} \cdot u_{*s}}{v}\right) + 5.5. \quad (8)$$

联立式(4)，式(7)和式(8)得到：

$$l(2.5 \ln(\frac{l u_{*s}}{v}) + 3) = 2.5 \ln\left(\frac{\bar{\rho} \cdot u_{*s}}{v}\right) + 5.5. \quad (9)$$

故沿壁面法线方向至水面测速线的平均速度特征位置点 $\bar{\rho}$ 为：

$$\bar{\rho} = \frac{l}{e}, \quad (10)$$

式中： e 指自然对数。

2 物理模型试验装置及工况

试验分为2部分，其一是在英国科学工程研究实验室(ESL)完成^[21]。该试验在宽0.61 m，深0.365 m，长21.26 m的倾斜水槽中进行，该水槽的坡度可由3个液压千斤顶进行调节。渠道断面如图2所示。试验所用导管由若干2 m长的塑料PVC管段和一个2 m长的亚克力透明管段构成。每段管道的内径 d 为244 mm，壁厚为3 mm，外径 D 为250 mm，渠底泥沙厚度为 t 。本文因仅讨论光滑渠道，故选取原始数据中 $t/D=0$ 时的2种工况，即半圆形光滑断面。透明管段从水槽下游端4.5 m开始，可通过调节尾门控制水位。从亚克力透明管段部分可清楚地看到管道内部结构，并精确定位各种测量仪器。试验管道以0.5 m的间隔支撑在水槽内的一系列底座上，以保证在充满水的情况下，圆管形状不会发生可测量的变形。在每个2 m的管段中，在顶部位置切割一个110 mm宽、1 800 mm长的纵向槽，以测量任何纵向位置的边界剪切应力、速度和水深。该试验渠道断面示意图及相关参数如图2所示。本试验2组次(ESLa、ESLb)渠道试验参数见表1。

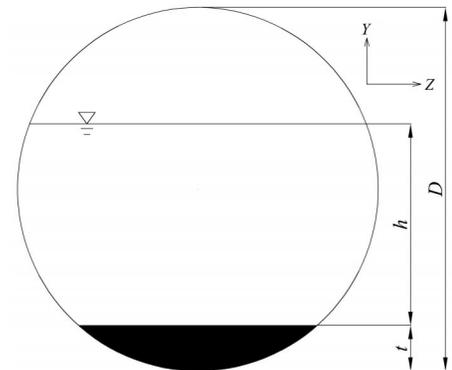


图2 渠道断面示意图(ESL)

第2部分试验是在澳大利亚伍伦贡大学流体力学实验室(UOW)的长6.3 m，宽0.3 m，深0.15 m，糙率(n)为0.01的半圆形倾斜大型水槽中进行。该水槽的主要组成部分是上、下游集水箱，玻璃水槽和圆形管道循环系统。上、下游集水箱采用不锈钢制造(图3)。上游集水箱在水槽中心对齐并且与通道的中心线对称，使得通道入口处的流动尽可能均匀。蜂窝钢板位于水槽入口处，使速度更均匀。渠道中的测点流速由激光多普勒流速仪(LDA)测量。水深由水槽末端的可调节后挡板和排水口控制，并通过固定在渠道上的测深杆来测量半圆形渠道最大水深。流量大小通过泵的不同频率来调节，流量由安装在进水管中的电磁流量计测量。根据对称性原则，只在渠道中心线一侧布置了测线和测点。测点分布参照国际标准ISO1088，以使通过

测点的流速测量可以准确反映渠道平均流速。试验半圆形渠道布置示意图如图3所示,本试验6组次(UOWa—UOWf)渠道试验参数见表1。

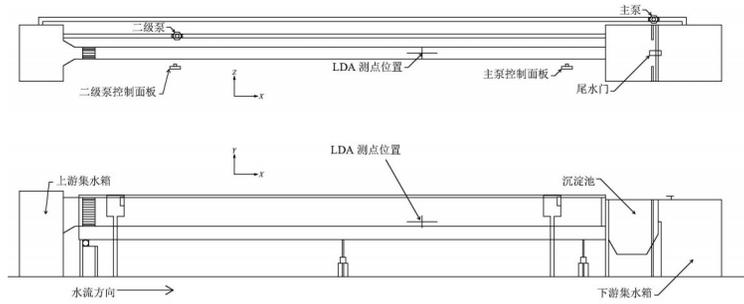


图3 流体力学实验室半圆形渠道布置示意图(UOW)

表1 试验参数

| 组次 | 最大水深 h/m | 径向测线条数 | n | s | $Q/(L \cdot s^{-1})$ |
|------|------------|--------|------|-------|----------------------|
| ESLa | 0.081 | 7 | 0.01 | 0.001 | 5.36 |
| ESLb | 0.124 | 7 | 0.01 | 0.001 | 11.70 |
| UOWa | 0.075 | 8 | 0.01 | 0.001 | 3.46 |
| UOWb | 0.085 | 9 | 0.01 | 0.001 | 5.04 |
| UOWc | 0.100 | 11 | 0.01 | 0.001 | 8.17 |
| UOWd | 0.125 | 13 | 0.01 | 0.001 | 15.55 |
| UOWe | 0.140 | 14 | 0.01 | 0.001 | 21.35 |
| UOWf | 0.150 | 15 | 0.01 | 0.001 | 25.78 |

3 结果与分析

基于英国科学工程研究实验室的流速分布数据,绘制不同工况下的半圆形渠道断面流速分布图,结果如图4和图5所示。当 $t/D = 0$ 时,存在 $(h+t)/D = 0.506$ 和 $(h+t)/D = 0.333$ 这2种工况,因此,从图4和图5可以看出,等速线的整体分布接近于半圆形的壁面形状,总体来说沿壁面法线方向分析流速,接近壁面的流速较小,远离壁面的流速较大。但最大流速并不分布在水面处,而是在水面之下的位置。

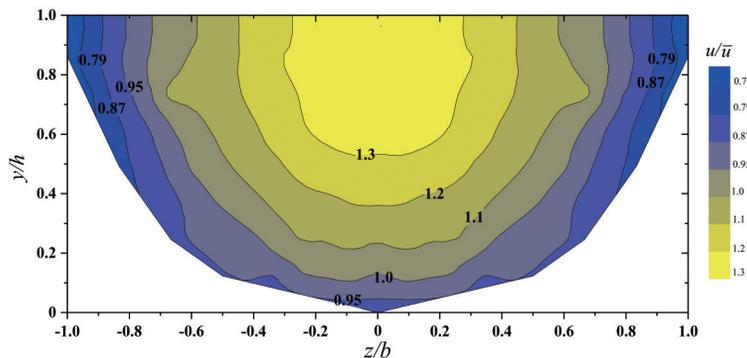


图4 半圆形渠道等速线分布图(ESLa)

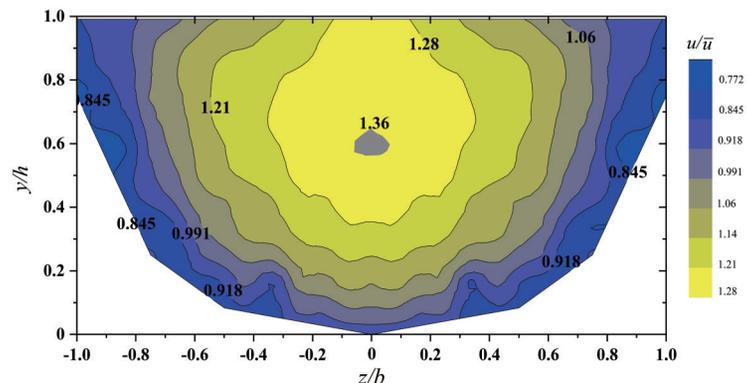


图5 半圆形渠道等速线分布图(ESLb)

在实际中,一般采用垂线方向测流,并沿测速垂线分析流速分布规律,根据刘晓东等^[22]研究,明渠水流外区域流速分布偏离传统对数定律。为使传统对数定律更好地适应本文的研究,并结合本文推导公式的推导方法,在半圆形渠道中对半圆形断面试验流速测量值沿测速法线方向进行对数流速分布分析。图6为初步比较2种分析方法的误差,即对试验一第1组数据(ESLa)的不同斜率测速法线方向流速测量值与经典对数定律计算值进行比较后所得到的。图6中,纵坐标为 u/u_* ,横坐标为 yu_*/ν 。实线为根据对数定律计算所得的计算值,不同形状的散点代表不同斜率的测速法线的测量值。由图6可知,沿测速法线方向分析试验数据,其流速分布规律与经典对数定律计算值有很高的吻合度。

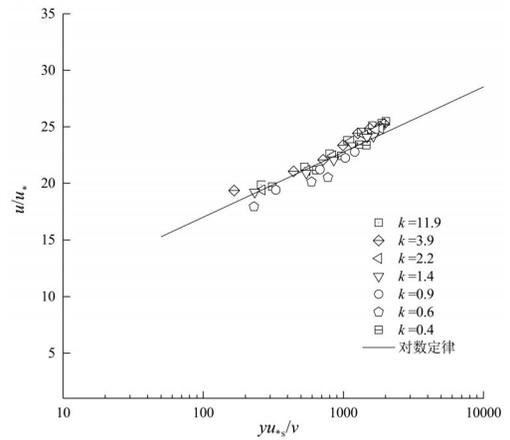


图6 测速法线方向流速测量值与经典对数定律计算值

为了进一步比较测速垂线与测速法线2种方法分析流速分布的精度(不包含尾流函数),表2为列表分析比较试验一2组试验数据共有的测线与经典公式所得到的误差值的结果。相对误差计算式为:

$$E = \frac{\rho - \bar{\rho}}{\bar{\rho}} \times 100\%, \quad (11)$$

式中: ρ 为测量值; $\bar{\rho}$ 为计算值。

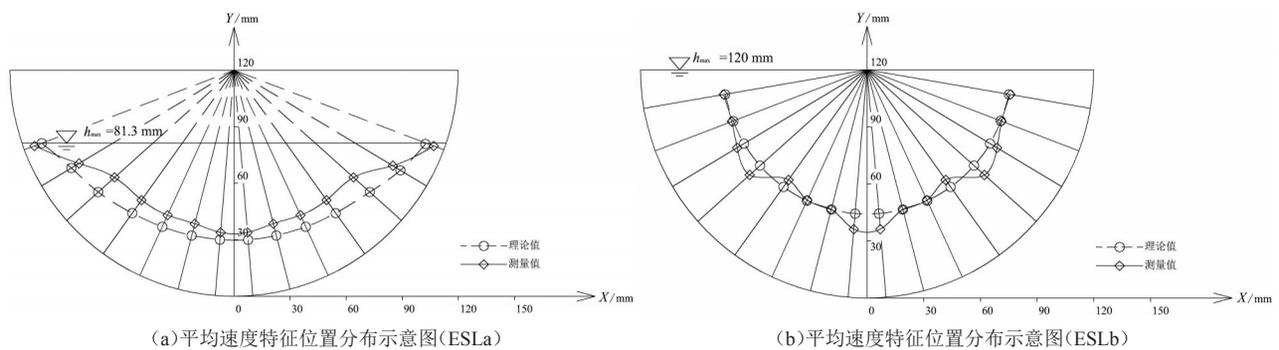
测速垂线与测速法线2种方法的计算结果如表2所示。

表2 测速法线与测速垂线方向流速分布的精度对比

| ESLa | | | | ESLb | | | |
|-------------|---------------|----------------------|----------------|-------------|----------------|----------------------|----------------|
| 法线斜率 k | 线方向平均 误差/% | 垂线到中心线的 距离比 z/b | 垂线方向平均 误差/% | 法线斜率 k | 法线方向平均 误差/% | 垂线到中心线的 距离比 z/b | 垂线方向平均 误差/% |
| 11.90 | 3.35 | 0.083 | 6.63 | 11.90 | 2.16 | 0.083 | 3.53 |
| 3.87 | 3.28 | 0.250 | 5.04 | 3.87 | 2.58 | 0.250 | 2.83 |
| 2.18 | 1.63 | 0.417 | 3.64 | 2.18 | 3.22 | 0.417 | 6.56 |
| 1.39 | 1.07 | 0.583 | 3.92 | 1.39 | 2.05 | 0.583 | 12.40 |
| 0.88 | 2.49 | 0.750 | 8.35 | 0.88 | 2.76 | 0.750 | 21.84 |
| 0.59 | 6.53 | 0.833 | 14.42 | 0.59 | 4.71 | 0.833 | 30.18 |
| 0.38 | 1.06 | 0.667 | 4.88 | 0.38 | 2.21 | 0.667 | 19.05 |

由表2可知,根据测速法线方向分析的流速分布与经典对数定律计算值之间的误差较根据测速垂线方向分析的值小,即沿测速法线方向分析半圆形断面流速分布精度更高,故沿测速法线方向分析半圆形渠道流速分布规律是合理的。

为验证式(10)的适用性,对所做的8组次试验进行数据处理,将测速法线上平均流速特征位置的测量值与理论值标注出来,结果见图7。



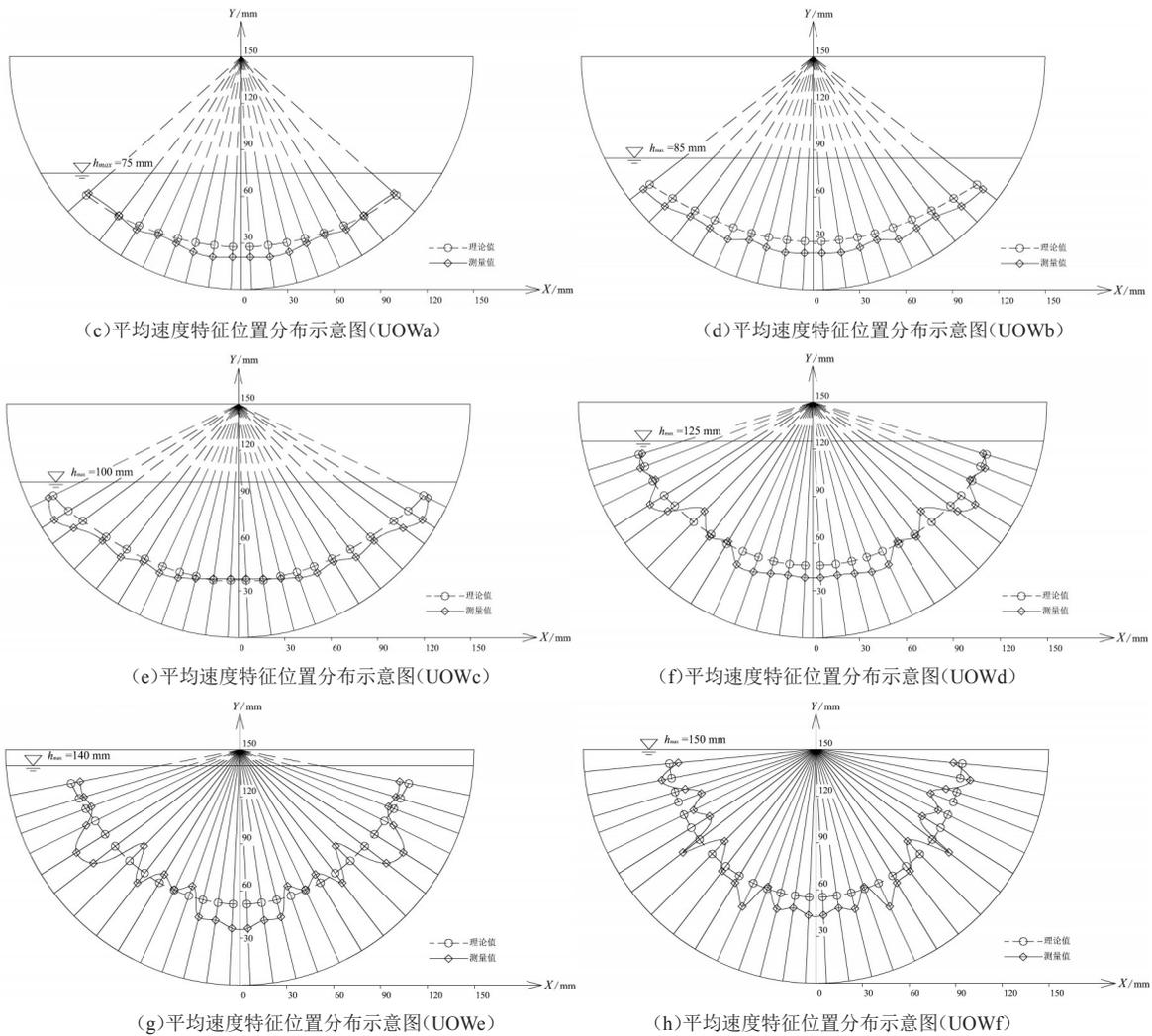


图7 不同水深下测速法线平均速度特征位置分布示意图

图7描述了不同水深不同测速法线方向上的平均流速特征位置分布,理论值是根据式(10)计算得到的,测量值是通过插值法求得代表测速法线方向上平均速度点的特征位置。通过试验可以发现,理论值与测量值均较为接近,而且变化趋势相同。根据式(11)进一步计算不同组次测量值和理论值的相对误差发现,2种方法所得平均误差在10%左右,理论值与试验数据较为吻合。从图7也可以看出,大部分理论值都在测量值的上方,且大部分点都处在试验测量值波动范围之内。在7组不同水深的试验中,同一渠道,最大水深越小,测量值和理论值之间的波动越大。在实际断面测速中,应用式(10)计算出理论值后再测量测速法线上该值对应点的流速,即为该测线平均流速,再推算出断面平均流速,从而得到断面平均流量。

4 讨论

本文综合分析了国内外相关学者对明渠水流流速分布规律的研究,从流速分区理论出发,利用经典对数公式推导半圆形渠道断面测速法线上平均流速特征位置点的理论计算公式,研究得出,在非标准断面中,仅需测定特征位置的流速即可得到其断面平均流速的结论。优化测点布控方法能够简化于水文站测流工作,与刘金友等^[4]、贺路博等^[5]研究结果相似,但不同的是本文提出测点布控方法能够应用于灌区非标准断面测流,并考虑侧壁对摩擦流速的影响,适应复杂多变的非标准断面并提高测流精度,提高灌区管理的科学化水平^[3]。在实际应用中,本文提出的基于流速分区理论的测点布控方法,能够综合考虑不同管径、糙率、坡度、最大水深等对半圆形明渠过流能力和流速分布的影响,也是不同于传统流速-面积法测流原理的测线测点布控方案,以期能够适应复杂多变的实际环境,减少测流工作量。

5 结论

1)沿测速法线方向分析试验数据,其流速分布规律与经典对数定律计算值有很高的吻合度。因此,平

均速度所在特征位置的值存在于壁面法线方向上。

2)根据流速分区理论,考虑测流断面上边壁对不同测点流速的影响,利用经典对数公式推导获得半圆形渠道断面测速法线上平均流速特征位置点的理论计算公式,为传统的流速一面积法测流提供了一种全新的测点布控方案。

3)平均流速特征位置点理论公式计算结果与模型试验结果较为吻合。因此,理论公式精度较高,工程中可通过测量特定位置的点的流速进而推求断面平均流速,达到快速准确确定渠道断面流量的目的。

参考文献:

- [1] 王晓升,陈毓陵,孙靖康. 分水闸站枢纽分水池流态改善措施研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(12): 107-113.
- [2] 罗佳. 圆形断面管道无压均匀流水力特性研究[D]. 北京:清华大学, 2016.
- [3] 张茂堂,蒋有能. 渠道水有效利用系数测试研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(S2): 71-75.
- [4] 刘金友,兰金生. 大赉水文站测速垂线精测点的分析探讨[J]. 吉林水利, 2008(5): 4-6.
- [5] 贺路博,张国宁. 东辽河泉太站垂线平均流速沿河宽分布简析[J]. 吉林水利, 2010(11): 66-67.
- [6] 任华. 东台(秦)水文站流量测验测速垂线精测点分析[J]. 江苏水利, 2010(3): 34-35, 37.
- [7] 黄锦鑫,程正选,庞甘露,等. 陆河流域水文测站测速垂线与测点精测点分析[J]. 长江工程职业技术学院学报, 2009, 26(4): 41-43.
- [8] 郑杰. 则克台(北岸干渠)站流速垂线精测点分析[J]. 陕西水利, 2016(4): 121-122.
- [9] 严军,王二平,孙东坡,等. 矩形断面明渠流速分布特性的试验研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2005(5): 59-64.
- [10] 全卫国,李国光,金秀章,等. 用圆管中最大流速测量流量的实验研究[J]. 华北电力大学学报, 2001(4): 39-42.
- [11] 卢金友,詹义正,赵根生,等. 河道中受侧壁影响的断面流速分布规律研究[J]. 水利学报, 2012, 43(6): 645-652, 658.
- [12] 谭显文,王正中,赵延风,等. 窄深式矩形明渠紊流流速分布规律研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2013, 45(6): 67-73.
- [13] 李丹武. 标准U型明渠均匀流断面平均流速计算研究[J]. 黑龙江水利, 2017, 3(2): 48-50.
- [14] 刘春晶,李丹勋,王兴奎. 明渠均匀流的摩阻流速及流速分布[J]. 水利学报, 2005(8): 950-955.
- [15] 裴志超,张耀哲,张毅. 一种新型的垂线流速分布公式[J]. 人民黄河, 2010, 32(3):100-101.
- [16] 张伟,何武全. 基于粒子群算法的抛物线形渠道断面优化方法[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(4): 94-98.
- [17] 王延召,张耀哲. 渠系节点悬移质淤积分布数值模拟[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(5): 81-85.
- [18] YANG S Q, LIM S Y. Mechanism of energy transportation and turbulent flow in a 3d channel[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1997, 123(8):684-692.
- [19] HAN Y, YANG S Q, DHARMASIRI N, et al. Experimental study of smooth channel flow division based on velocity distribution[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2015, 141(4):1-6.
- [20] CHIEN N, WAN Z H. Mechanics of sediment transport[M]. S.I.: American Society of Civil Engineers, 1999.
- [21] KNIGHT D W, STERLING M. Boundary shear in circular pipes running partially full[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 126(4):263-275.
- [22] 刘晓东,韩宇,邱流潮,等. 基于平均紊动结构下明渠水流流速分布研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(8): 106-114.

Mean Velocity Measuring Point of Semi-circular Open Channel Section Based on Flow Partitioning Theory

HAN Yu, WU Zhangsheng, MA Zhuangzhuang, LI Tongshu, CHEN Jian, HE Xiangli
(China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: 【Objective】 The purpose of this paper is to reveal the characteristic position of the mean velocity along the normal line of the semi-circular channel wall and provided a novel method for flow measurement in non-uniformed channel, the physical model experiments were conducted in semi-circular channel. **【Method】** Based on the measuring results of flow velocity under different hydraulic conditions, the theoretical formula for calculating the mean velocity characteristic position along the normal line of the semi-circular channel wall was derived from flow partitioning theory. Considering the influence from side wall to friction velocity, the mean flow velocity of the entire semi-circular channel section can be obtained by measuring the flow velocity at the characteristic location. **【Results】** This paper proposed the theoretical formula and the measurements achieved a good agreement within 10% error. The formula can clearly reflect the distribution of the semi-circular open channel well. The velocity distribution should be analyzed along the normal line, thus the analysis methods was more reasonable. **【Conclusion】** The theoretical results on determining mean velocity characteristic position fitted well the results from experiment and it indicated the formula has higher precision. The flow velocity at a specific position can be measured to further estimate the mean flow velocity of the section, so as to quickly and accurately determine the flow rate of the channel section in the project.

Key words: velocity distribution; log-law; shear force; flow partitioning theory

责任编辑:陆红飞