

污水泵浓盐水示踪测流研究

郭建斌¹, 张庆五², 吴海波¹, 郭智成¹

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京市排水管理处, 江苏 南京 210024)

摘要: 针对污水泵流量监测中常规测流方法的缺点, 结合工程实践, 研究浓盐水示踪法在污水泵流量监测中的可行性, 提出该方法适于在低背景盐浓度下污水的测流; 观察激励信号、温度等对测流结果的影响, 给出修正方法; 利用计算机采集技术, 提高方法的准确性、实时性。

关键词: 污水泵测流; 流量; 浓盐水示踪法; 浓度; 实时监测

中图分类号: X52; G353.11 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2003)05-643-04

1 污水浓盐水示踪测流

1.1 浓盐水示踪测流原理

浓盐水示踪测流, 就是在上游入口处向原水体中注入定量的高浓度浓盐水作为示踪剂(图 1), 监测浓盐水在下游被稀释的情况, 得到原水体过流量的数学关系式^[2]:



$$Q_1 \approx \frac{C_2}{C_3 - C_1} Q_2 \quad (1)$$

式中 Q_1 为原水体流量; C_1 为原水体中盐(背景)浓度; Q_2 为浓盐水示踪剂注入流量, 其盐浓度为 C_2 ; 经混合后水体的流量为 Q_3 , 其中盐浓度为 C_3 。

图 1 浓盐水示踪法测流示意图

Fig. 1 Measurement of water flow using concentrated salt water as non-radioactive tracer

可以知道, 该方法主要的难点在于盐浓度监测, 其原理无校验要求, 不受流态、管路形状等因素影响, 仅与浓盐水

注入量、注入盐浓度以及原水体盐浓度变化量相关, 较好适应污水测流现场的条件。国内、外有成功采用该方法用于河道测流的报道, 借鉴并研究其适用性, 对解决污水过流量测量有着较好的现实意义。

1.2 污水测流浓盐水示踪的经济、可行性

浓盐水一般采用定量泵注入, 由式(1)可知, 浓盐水示踪测流的主要工作在于盐浓度的监测。因此重点研究盐浓度监测在污水测流中的适应性问题。

(1) 盐浓度电导法原理 盐浓度的测定方法有很多种, 如化学滴定、电导测试等, 一般较多采用电导法。根据的文献[2, 3], 由 Fooss-onsager (Hills)^[3] 方程可知: 强电解质浓度较低时, 水体电解质含量与其导电性成线性关系。国外部分专业实验室对此做过专门实验验证工作^[3], 相关数据见表 1, 其相关特性曲线(25℃)如图 2 所示, 这些数据较好地校验了水体

表 1 不同浓度标准盐溶液的电导率
Table 1 Electric conduct ratio of NaCl solution at different concentration

NaCl 浓度/mol	电导率/($\mu S \cdot cm^{-1}$)
0.0001	14.9
0.0005	73.9
0.0010	147.0
0.0050	717.9
0.0100	1413.0
0.0200	2766.0
0.0500	6670.0
0.1000	12892.0
0.2000	24820.0
0.5000	58640.0
1.0000	111900.0

收稿日期: 2002-07-04; 修订日期: 2002-10-20

作者简介: 郭建斌(1972-), 男, 江苏南京人, 河海大学讲师, 硕士, 主要从事水动力机械研究。

E-mail: njcall@sohu.com

盐浓度与其导电性成线性关系。

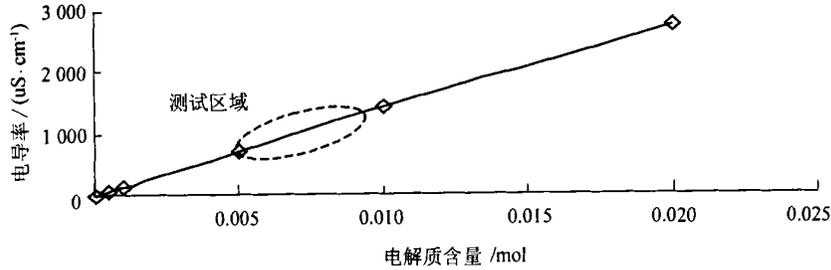


图 2 25℃电解质含量与电导率的特性曲线

Fig. 2 Character curve of electrolytic contents for electric conduct ratio (25°C)

(2) 污水测流浓盐水示踪可行性 污水体电导率通常在 50~ 1 500 μS/cm, 部分工业废水电导率可达 10 000 μS/cm 或更高。相同电导变化时, 不同背景浓度水体需要掺入 NaCl 用量见表 2。

表 2 不同背景浓度的 NaCl 用量比较

Table 2 Comparison of usage of NaCl under the background of different salt density

原水体		掺混浓盐水后水体		电导率 变化率 /%	每立方水体 NaCl 示踪用量 / (g·m ⁻³)	2.4m ³ /s 流量测流时需要的示踪剂量	
盐浓度 /mol	电导率 / (μS·cm ⁻¹)	盐浓度 /mol	电导率 / (μS·cm ⁻¹)			掺入 NaCl 量 / (g·s ⁻¹)	浓盐水注入量 / (L·s ⁻¹)
0.001	73.9	0.000601	88.7	20	5.87	14.1	0.047
0.005	717.9	0.006033	861.5		59.90	143.8	0.479
0.050	6670.0	0.060720	8004.0		621.76	1492.2	4.974
0.100	12892.0	0.122554	15470.4		1307.57	3138.2	10.461

注: 注入量以浓盐水按 300g/L 配比后计算得到。

由表 2 可知: ① 在相同分辨率条件下, 原水体背景盐浓度越低, 需要掺入的 NaCl 示踪量越少; ② 以表中第 2 行数据为例: 每立方原水体中掺入 59.90g NaCl 示踪, 电导传感器反映的电阻由 1392.95 Ω 变为 1160.79 Ω, 电阻值改变了 232.16 Ω, 对于测量来说, 系统监测具有很高灵敏度。但高灵敏度造成背景干扰加大, 降低了系统的辨识度。因此适度增加 NaCl 示踪量, 增大注入前、后的电导变化率, 有利于系统的辨识; ③ 污水过流量以 2.4m³/s 计, 由表 4 中所列 4 组数据可知, 对于同为 20% 分辨率, 需掺入的 NaCl 示踪量分别为 14.1、143.8、1492.2、3138.2g/s, 显然后 2 组示踪剂用量偏大, 经济性值得考虑。并且 NaCl 常温最大饱和浓度为 320g/L, 按 300g/L 配比考虑, 浓盐水示踪剂注入量为 0.047、0.479、4.974 和 10.461L/s, 后 2 组浓盐水注入量过大, 注入方法和准确计量存在困难。

因此污水测流采用浓盐水示踪法, 在低背景盐浓度时具有较好经济、可行性。

1.3 盐浓度监测系统

依据电导与盐浓度之间的线性关系, 通过测量水体导电性, 即可确定盐浓度。根据国家相关标准、规程^[2]的定义, 水体导电性定义为测试边长为 1cm 单位立方水体的电阻 R (即电导探头电导池区域电阻, 见图 3) 的倒数, 即水体电导 L 为 $1/R$ 。考虑电阻测量的准确性, 采用惠氏桥电路来测定, 根据电学原理, 电导传感器测得的电阻 R 为

$$R = \frac{u_1 + 2u_2}{u_1 - 2u_2} r_1 \quad (2)$$

式中 R 为传感器反映水体电阻; u_1 为测试信号电压; u_2 为桥路输出电压; r_1 为桥路电阻。

盐浓度电导法^[3]过去依赖人工操作, 所得数据受人为因素影响较大、重复性低, 且人工操作时实时性差, 为保证数据的准确性往往需要增大监测、校验的工作量。

近代计算机采集技术发展已较为成熟, 可以通过程序实现监测自动化, 以高速采集技术来确保数据的实时

性、准确性。设计测试系统简图见图 3。系统通过惠氏电桥把电导传感器所反映的电导(电阻)转换成电流信号, 采用运算放大器放大, 输出与电导成线性关系的电压信号。采集软件由 VC 编制, 控制 A/D 转化并完成相关数据记录, 并依据浓度与电导存在的线性关系, 实时监测水体盐含量及其变化规律。

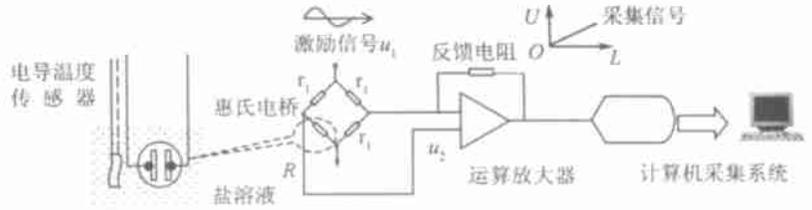


图 3 盐浓度监测系统原理图^[5]

Fig. 3 Principle of monitoring system of salt density

1.4 电导数据修正

(1) 激励信号的正确选用 采用交变激励信号可以有效减少溶液导电时产生的 Faraday 效应影响, 同时过高频率的激励信号使水体介电(容性)电阻明显增大, 根据国内外相关实验数据, 采用 1000Hz^[3] 作为测试激励信号的频率, 偏差可以忽略。

(2) 温度修正 温度变化可以引起电导值较大变化。国外专业实验室进行过专门研究^[4], 研究成果表明温度与电导成线性关系, 斜率约为每摄氏度 2% 电导变化率。在电导监测过程中, 增加对测点处的实时温度监测, 并以 25℃ 为基准, 修正为

$$C = KL_{25} + c = KL_t \xi + c \tag{3}$$

式中 C 为水体中浓度; K 为比例系数; c 为常数; L_{25} 为 25℃ 电导值; L_t 为 t ℃ 时电导值; ξ 为温度校正因子, 取 $\xi = 1 - (t - 25) \times 2\%$; t 为溶液测试温度。

2 污水测流浓盐水示踪法应用

南京某污水泵管道曲折、水质恶劣和流态紊乱等因素影响, 常规测流基本失效, 如超声测流数据急剧变化率达 300%。拟采用浓盐水示踪法测流。

2.1 浓盐水示踪测流可行性

对原水体背景盐浓度共进行了 4 次监测, 数据按 t 分布校验^[6,7] (数据量大, 近似为正态分布校验) 背景盐浓度的稳定性, 统计数据见表 3。

表中数据表明, 原水体中示踪剂的盐浓度(背景)相当稳定, 电导率约 735.0 μS , 盐浓度约 0.005 mol。该泵站污水额定提升量为 2.4 m^3/s , 按表 2 数据知道需注入的 NaCl 量为 143.8 g/s, 换算成浓盐水(以 300 g/L 的 NaCl 配比)注入速度为 0.479 L/s, 可以知道: 采用浓盐水示踪实现污水测流, 具有较好的经济、可行性。

2.2 浓盐水示踪测流成果分析

通过定量泵在该污水泵前集水池中把浓盐水均匀喷注入原水体中, 沿程渗混均匀较好, 经沿程多点数据对比表明渗混均匀效果在 99.97% 以上, 通过计算机采集系统对下游污水中盐浓度变化特性进行动态监测, 得到污水中盐含量变化特性曲线(图 4), 并根据式(1)得到泵机运行流量特性曲线(图 5)。

实测数据表明该污水泵实际运行流量约为泵机额定流量的 60% ~ 70%, 已偏离经济运行。其主要原因是沿程有较多弯管、闸阀等, 水力损失巨大, 并且泵性能不适合该工况下运行, 造成其偏离额定工况点工作。

表 3 原水体背景电导数据统计 (25℃)

Table 3 Statistical value of electrical conduct of original backgrounds

次数	均值 / μS	标准差 / μS	95% 置信度最大误差 ($\pm 2s/\sqrt{n}$, $n = 5.500$)
1	735.5925	3.995534	± 1.0775
2	735.4120	5.676728	± 1.5310
3	735.1069	3.299280	± 0.8897
4	736.1089	2.557811	± 0.6898

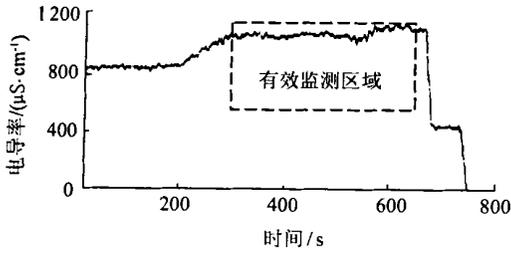


图 4 污水中盐含量特性监测曲线

Fig. 4 Monitoring curve of salt content in sewage

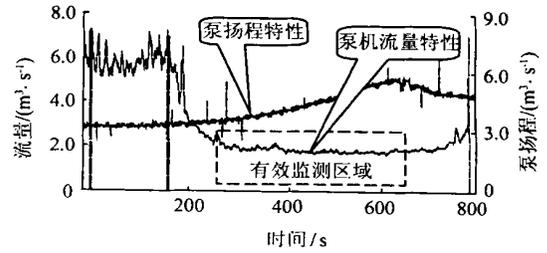


图 5 泵机运行流量特性曲线

Fig. 5 Character curve of pump working flow

3 结 论

(1) 污水具有水质恶劣、流态紊乱等特点, 是造成常规测流难以正常工作、调校困难的主要原因。浓盐水示踪测流较好适应了这一现场条件, 因此该测流方法具有较好的应用前景。

(2) 浓盐水示踪法应用于污水测流, 在低背景盐浓度时有较好经济、可行性。

(3) 应用计算机采集技术, 可以确保对浓盐水示踪剂监测的准确性和实时性, 有效减少测试误差。

参考文献:

- [1] 川田裕朗 (日). 流量测量手册[M]. 北京: 中国计量出版社, 1982. 22- 77.
- [2] ISO2975/ II. ISO 标准手册[S]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 137- 234.
- [3] 斯科格 D A, 韦斯特 D M. 仪器分析原理[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981. 136- 143.
- [4] 范 隆, Jon C, 等. 水中无机成份化学分析[M]. 北京: 中国地质出版社, 1987. 57- 64.
- [5] 郭建斌, 张庆五, 陆泳平. A/ D, D/ A 转化过程中的软处理[J]. 电测与仪表, 1999(10): 30- 33.
- [6] 技术监督局. 电子级水电阻率测试方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 1998. 1- 2.
- [7] 苏彦勋. 流量计量与测试[M]. 北京: 中国计量出版社, 1992. 13- 147.

Flow measurement using concentrated salt water as non-radioactive tracer in sewage pump

GUO Jiarbin¹, ZHANG Qirwu², WU Haibo¹, GUO Zhicheng¹

(1. Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Drainage Administrative Office of Nanjing, Nanjing 210024, China)

Abstract: Taking account of the defects of routine measurements of water flow on sewage pump, the feasibility study about the method using as non-radioactive tracer was made from the theory and the practice. It was shown that the method was suitable for sewage measurement under the background of low salt density. The effects of exciting signals and temperature on results were observed. Then the revision method were proposed. With the technique of data acquisition by computer, the accuracy and synchrony of this method were improved.

Key words: measurements of water flow in sewage pump; water flow; the method using concentrated salt water as non-radioactive tracer; monitor dynamically