

大口径 PCCP 管道沿程水头损失计算探讨

于景洋¹ 袁一星¹ 李文秋² 赵 明¹

(1 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090; 2 中国市政工程华北设计研究院, 天津 300074)

摘要 大口径预应力钢筒混凝土管(PCCP管)的沿程水头损失计算应采用谢才公式,其中粗糙系数的取值至关重要。国内推荐的粗糙系数值偏大,并缺少科学试验数据。通过现场测试,得到DN 2 200的PCCP管粗糙系数在0.011 0~0.011 4之间,均值为0.011 3,此值可作为长距离输水工程大口径PCCP管粗糙系数参考值。

关键词 粗糙系数 沿程水头损失 大口径PCCP管 长距离输水

Discussion on friction head loss calculation for large diameter PCCP

Yu Jingyang¹, Yuan Yixing¹, Li Wenqiu², Zhao Ming¹

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. North China Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300074, China)

Abstract: The calculation of the friction head loss of large diameter prestressed concrete cylinder pipe (PCCP) should employ Chezy equation, and the determination of the roughness coefficient is essential for the calculation. However, the currently recommended roughness coefficient in China is a little bigger, and the experimental data in this field are scarce. By spot test, the roughness coefficient for the PCCP with the diameter of 2 200 mm is varying from 0.011 0 to 0.011 4, and the average value is 0.011 3. This value can be a reference for the long distance water transmission project with the large diameter PCCP.

Keywords: Roughness coefficient; Frictional head loss; Large diameter PCCP; Long distance water transmission

我国淡水资源分布不均匀,地表水多受到污染,随着城镇化发展速度加快,许多城市供水能力不足,国内已建设了许多长距离输水工程,工程中多采用同时具有抗压、抗拉能力的PCCP管,其内衬为水泥砂浆^[1~3]。

长距离输水管线沿程水头损失计算十分重要,直接关系到工程投资和运行费用。如果计算沿程水头损失比实际运行值大,不仅会增加工程投资,还会形成较大的剩余水头;反之,输水能力则达不到设计流量,甚至导致长距离输水项目失败。

沿程水头损失计算公式较多,各公式都有其适用条件,设计需审慎选择。同时,要确定相应公式的系数,否则会有较大的计算误差,影响长距离输水工

程的输水能力和经济性能^[4,5]。大口径PCCP管沿程水头损失计算应采用谢才公式。

1 谢才公式^[6]

$$h_f = \frac{lv^2}{C^2 R} \quad (1)$$

式中 h_f ——水头损失, m;

l ——管长, m;

v ——流速, m/s;

C ——谢才系数;

R ——水力半径, m。

谢才公式计算范围较广,它适用于有压或无压均匀流动的各阻力区。但谢才系数需要经验公式进行计算,常用曼宁公式或巴甫洛夫公式计算谢才系数。

$$\text{曼宁公式: } C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (2)$$

式中 n ——粗糙系数。

曼宁公式的适用条件为 $R < 0.5 \text{ m}; n < 0.02$ 。

$$\text{巴甫洛夫公式: } C = \frac{1}{n} R^y \quad (3)$$

$$y = 2.5 \sqrt{n} - 0.13 - 0.75 \sqrt{R} (\sqrt{n} - 0.1) \quad (4)$$

巴甫洛夫公式的适用条件为 $0.1 \text{ m} \leq R \leq 3 \text{ m}; 0.011 \leq n \leq 0.04$ 。

由于计算谢才系数 C 的经验公式只包括反映管壁粗糙状况的粗糙系数 n 和水力半径 R , 而没有包括流速及运动粘度, 也就是与雷诺数 Re 无关, 因此谢才公式一般仅适用于粗糙区。

长距离输水管线的 PCCP 管内流态常为粗糙区, 在沿程水头损失计算中, 根据实际工程的水力半径选取经验公式计算谢才系数, 但粗糙系数 n 的选取较困难。

2 粗糙系数的选择

粗糙系数是反映壁面粗糙性质并与流动性质无关的系数, 在我国水力计算手册中, 混凝土管的粗糙系数 n 取值为 $0.013 \sim 0.014$, 但由于模具及制造工艺的改进, 实际粗糙系数要小于此范围。

粗糙系数选取过大, 会直接增加工程的投资额。如 PCCP 管长约为 120 km , 在流量 $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 管径为 2.2 m , 如选用粗糙系数 $n = 0.013$, 沿程水头损失将比取值 $n = 0.0115$ 多 21.2 m 。若按此值减少沿程水头损失, 就需要增大管径, 造成初期投资增加。粗糙系数是长距离输水管线设计和分析的重要参数, 国内外大口径 PCCP 管水力计算选取粗糙系数见表 1^[7]。

表 1 大口径 PCCP 管粗糙系数设计值

工程名称	直径/ m	粗糙系数
北京怀柔应急供水	2.0	0.012 5
北京张坊应急供水	2.0	0.012 5
呼和浩特引黄供水	2.0	0.012 5
哈尔滨磨盘山输水	2.2	0.011 5
深圳供水网络	3.0	0.011 0
万家寨引黄供水	3.0	0.012 0~0.012 5
利比亚大人工河	4.0	0.011 6

表 1 为已建大口径 PCCP 管在设计时选用的粗糙系数, 但施工后, 管线运行的实际粗糙系数值资料

很少。运行测得的粗糙系数值与设计值相吻合, 是对设计成果较好的证明, 进而能指导相近管径 PCCP 管道的设计和水力分析。

3 工程实测

哈尔滨磨盘山长距离输水管线一期工程设计供水量 $45 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 重力有压流, 管线全长 176.22 km , 约 $2/3$ 为 PCCP 管道, 管径为 2.2 m , 沿线布置 38 个测压点。施工过程中, PCCP 管承插接口处填充双组分聚硫密封膏, 模具严格控制表面粗糙度和清洗周期。

第一期工程在 2006 年 11 月开始正式运行, 对运行的压力数据进行监测, 选取水流稳定时间段的流量值与测压点压力值, 分析计算 PCCP 管的粗糙系数。因输水工程管材根据地理情况不同, 钢管及 PCCP 管材间隔布置, 只选择在 PCCP 管段上的 11 个测压点, 9 个 PCCP 管段, 每个测压管段选 3 个流量, 分别测量水头损失。经计算测压点间的沿程阻力见图 1, 图中分别为每个管段在 3 种流量下的阻力。

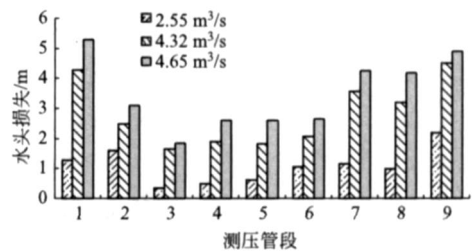


图 1 测压管段水头损失

根据 AWWA · W9 规范的 PCCP 局部阻力系数计算公式, 将测压管段的水头损失去除局部阻力, 得到沿程水力损失, 可以对粗糙系数求解, 因测量过程中有测量误差, 取多个测量值减少误差影响, 用最优化方法求解实际的粗糙系数。工程中, 管径为 2.2 m , 水力半径为 0.55 m , 采用巴甫洛夫公式计算沿程水头损失。

在 $0.010 0 \sim 0.013$ 范围内搜索 3 种流量下的粗糙系数, 当计算误差的平方和最小, 得到 3 个流量下的较优的粗糙系数值, 使沿程水头损失测量值与计算值最接近, 见图 2。

从图 2 中可知, 3 个流量值, 计算的粗糙系数较优值是在 $0.011 0 \sim 0.011 4$ 之间, 误差平方和最小, 粗糙系数均值 $n = 0.011 3$ 。选取均值作为测量粗糙系数结果, 用巴甫洛夫公式计算流量为 $5.44 \text{ m}^3/\text{s}$

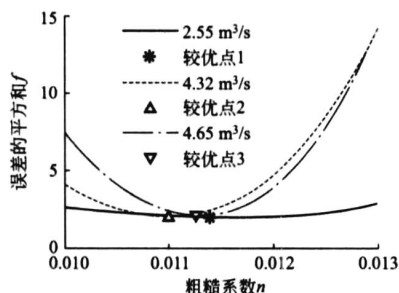


图2 粗糙系数较优点

— 实测值 --- 计算值

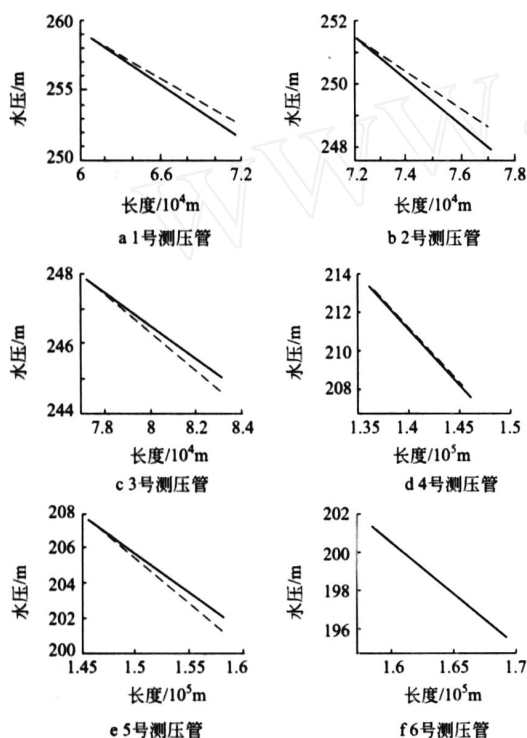


图3 各测压管段水力坡度比较

的6个测压管段的阻力,将其计算值与实测值进行比较,水力坡度线见图3。

从图3可看出,6个测压管段计算值和测量值的水力坡度线接近,误差均在1 m以内,可以满足工程应用的要求。各管段计算值与实测值的误差产生原因有以下几点:

- (1) 输水管道弯头的局部水头损失计算采用经验公式;
- (2) 各管段上附件如排气阀的水头损失未计算;
- (3) 测量设备及数据传输过程中的误差。

4 结论

大口径 PCCP 管沿程水头损失计算应采用谢才公式,并根据工程实际的管径情况,选用曼宁公式或巴甫洛夫公式计算谢才系数。同时,对大口径 PCCP 管粗糙系数的选择进行分析,经实测磨盘山长距离输水管道 DN200 的 PCCP 管的粗糙系数在 0.011 0~0.011 4 之间,均值 0.011 3 与设计值接近。提出在使用 PCCP 管的长距离输水管道设计和水力分析时,选取较合适的粗糙系数,使设计结果与实际情况一致,以减少工程投资和运行费用。

参考文献

- 1 陈文斌. 预应力钢管在市政工程中的应用. 中国市政工程, 2006, (4): 72~73
- 2 顾佳宏. 长距离大口径输水工程管道材质的选择. 上海水务, 2007, 23, (1): 16~18
- 3 冯启峰. 大口径 PCCP 管在深圳输水工程中的应用. 中国给水排水, 2001, 7(1): 61~63
- 4 孙万功. 输水管道设计中的糙率选取问题研究. 太原理工大学学报, 2003, 34(3): 371~372
- 5 李辉. 重力流压力管道输水系统的水力学问题. 山西建筑, 2004, 30(8): 73~74
- 6 吴持恭. 水力学. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2008
- 7 刘进, 王东黎. 南水北调中线 PCCP 管道的摩阻损失计算分析. 见: 中国水利学会第二届青年科技论坛论文集. 郑州: 黄河水利出版社, 2005

✉ 通讯处: 150090 黑龙江哈尔滨市南岗区海河路202#
哈工大二校区 2624 信箱

电话: (0451) 86283807

E-mail: yjy1234@yeah.net

收稿日期: 2009-03-12

作者致歉

2008 年《给水排水》增刊(Vol. 34)刊出“深圳市饮用水溴酸盐风险调查研究”一文,文章数据和成果来自深圳市水务(集团)有限公司主持完成的国家 863 课题“南方地区饮用水安全保障技术”成果和 2004 年 8 月哈尔滨工业大学董文艺博士的学位论文。由于文章发表前,本人未征得课题完成单位和原作者同意,也未向《给水排水》杂志社说明此事,特此声明,并在此表示诚挚致歉。

张奎山