

自来水厂含氯水对供水泵空化特性的影响

常近时 李连超

(中国农业大学水利与土木工程学院)

摘要 为了解决自来水厂含氯水对供水泵叶轮进口区域造成的空蚀破坏问题,用自行研制的水初生空化压力和充分空化压力测量装置,对不同氯质量浓度的水样进行了试验研究。结果表明,在室温 20℃,氯质量浓度为 0.5~ 1.3 mg·L⁻¹ 的条件下,自来水样的初生空化压头为 5.71~ 6.41 m,充分空化压头为 0.60~ 0.68 m,饱和汽化压头为 0.24 m,故 Δ 值为 5.47~ 6.17 mm;空化压力值和氯质量浓度近于线形关系。若将供水泵的吸上高度较抽送清水时降低 $\Delta/2$,即可显著改善供水泵的空化和空蚀特性。

关键词 泵; 初生空化; 氯

中图分类号 TV 131.32; TH 3

Influence of Water Containing Chlorine on Pump Cavitation Behavior in Water Supply Plants

Chang Jinshi, Li Lianchao

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 10083, China)

Abstract For solving the question of cavitation damage of impeller inlet, induced by water containing chlorine, in pumps in water supply plants, a measurement device used to measure the incipient cavitation pressure was developed and the full-developed cavitation pressure of water samples with different chlorine concentration was analysed. The experiment result indicated that the incipient cavitation pressure and full-developed cavitation pressure, with 20℃ room temperature and 0.5~ 1.3 mg/L chlorine concentration in water samples, were 5.71~ 6.41 m and 0.60~ 0.68 m respectively. With $P_d = 0.24$, therefore, $\Delta = 5.47 \sim 6.17$ m. The result also indicated that the value of cavitation pressure was nearly linear to the quality concentration of chlorine. Accordingly, by reducing the suction height of pumps with the value of $\Delta/2$, compared with the condition of pumping pure water, the pump cavitation status will be improved greatly.

Key words pumps; incipient cavitation; chlorine

为了保障城市居民饮用水的清洁,自来水厂需对供水做氯处理。含氯水的初生空化压力增大,从而使供水泵的空化与空蚀特性恶化。例如,北京市最大的自来水厂北京市水源九厂的主要供水泵,在不长的运行时间内,叶轮进口区域均发生了空蚀破坏。经笔者研究,这种状况除与吸水池布置不良导致水泵进口流态不均匀有关外,还与水的加氯处理有着密切的关系。

收稿日期: 2001-12-04

常近时,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)196 信箱, 100083

清水加氯处理后, 水中自由空化核子数量增多, 从而使水的初生空化压力显著提高^[1,2]。试验结果表明, 在较高的压力下水便发生初生空化。因此, 水泵在清水条件下确定的允许吸上高度运行, 不能保证水泵叶轮进口区域不发生空化与空蚀。鉴于这种情况, 新建自来水厂时, 供水泵的安装高程不能按清水条件确定, 必须适当计入水中加氯的不利影响。

1 试验原理与装置

1.1 试验原理

雷列依给定的单一球形空泡在水中的静态平衡条件^[1]:

$$p - p_v = \frac{K}{R^3} - \frac{2\sigma}{R} \quad (1)$$

式中: p 为水系统中球形空泡外穷远点的压力; p_v 为水的蒸汽分压; K 为气体常数; σ 为水的表面张力; R 为球形空泡半径。

由式(1)可知, 只要将空泡外水系统的压力 p 降至初生空化压力 p_s , 空泡半径即会突然增大至初生空化半径 R_s , 空泡则处于新的平衡状态, 即

$$p_s - p_v = \frac{K}{R_s^3} - \frac{2\sigma}{R_s} \quad (2)$$

1.2 试验装置

图 1 为笔者设计的水质空化压力测定装置示意图。该装置由减压部分、观察部分和测力部分等组成。减压部分由拉杆、活塞和玻璃活塞缸体组成。在充满试验水样的缸体内, 拉杆向上拉动活塞造成真空, 当压力减至 p_s 时, 水样中产生用放大目镜可见的首批气泡, 即形成初生空化。在拉杆与活塞之间设有测力计, 可测得此时拉杆向上的拉力, 从而可以计算得出此时水样的空化压力。

1.3 试验程序

1) 当玻璃活塞缸体内无水样时, 由拉杆提升活塞, 测定摩擦力与活塞重力之和。

2) 移出玻璃活塞缸, 打开底部取水口, 将配好的水样移至取水口下方, 抽取水样并将取水口封住。

3) 联接活塞与拉力计, 打开照明电源, 调整放大目镜至清晰位置。

4) 缓慢向上提拉活塞, 用放大目镜观察玻璃活塞缸中水样的变化情况。当出现首批气泡时, 停止提拉活塞, 并记录拉力计读数 F_s , 此力对应初生空化压力。

5) 继续提拉活塞, 则活塞缸内气泡逐渐增多, 增大; 一直拉至水沸腾。此时记录拉力计读数 F_r , 此力对应水样的充分空化压力或饱和蒸汽压力。

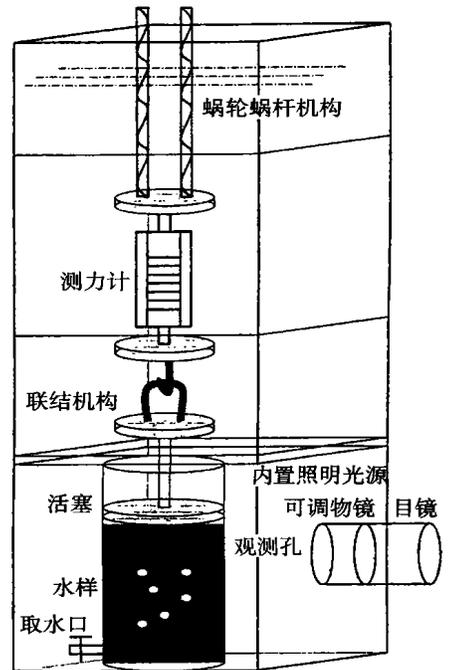


图 1 水质空化压力测定装置示意图

1.4 水样的获取与氯质量浓度的选择

在实验室内采用化学试剂配制含有一定质量浓度氯的水样。

自来水厂泵吸水池中氯的质量浓度一般定在 $1.0 \sim 1.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。为了提高测量结果的准确度,本次试验配制的水样中氯的质量浓度为 $0.5 \sim 1.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。取质量浓度分别为 $0.5, 0.7, 0.9, 1.1$ 和 $1.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 5 组水样分别进行试验,同时,还直接取用北京市自来水九厂泵吸水池中氯的质量浓度为 $1.12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的实际水样进行试验。

1.5 空化压力的计算

初生空化压力 p_s 的计算:

$$p_s = p_a - (F_s - G - f) / S \quad (3)$$

饱和蒸汽压力的计算:

$$p_r = p_a - (F_r - G - f) / S \quad (4)$$

式中: p_a 为大气压力; G 为活塞与连杆的重力; S 为活塞截面积, $S = \pi d^2 / 4$, d 为活塞直径。

2 试验结果^[3]

表 1 列出不同氯质量浓度水样的初生空化压力实测结果。每种质量浓度下分别做 6 次试验测定,而后取其平均值。将初生空化压力平均值与水样中氯质量浓度 $\rho(\text{Cl})$ 的关系绘成曲线,如图 2 所示。

表 1 不同氯质量浓度水样的初生空化压头实测结果

试验次序	氯的质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)					
	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.12
1	5.68	5.84	5.94	6.20	6.20	6.42
2	5.74	5.83	5.96	6.17	6.23	6.43
3	5.72	5.80	5.93	6.19	6.25	6.41
4	5.76	5.86	5.93	6.18	6.22	6.43
5	5.66	5.84	5.94	6.20	6.23	6.42
6	5.70	5.82	5.95	6.18	6.21	6.40
平均	5.71	5.83	5.94	6.19	6.22	6.42

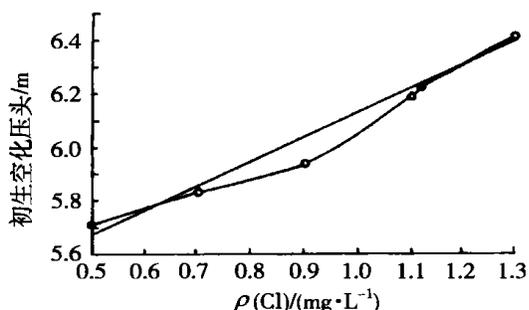


图 2 初生空化压力与水样中氯的质量浓度的关系

表 2 列出不同氯质量浓度水样的充分空化压力实测结果即汽化压力结果。图 3 示出充分空化压力与水样中氯质量浓度的关系。

表 2 不同氯质量浓度水样的充分空化压头实测结果

试验次序	氯的质量浓度/(mg·L ⁻¹)					
	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.12
1	0.59	0.63	0.65	0.67	0.67	0.69
2	0.60	0.61	0.63	0.66	0.68	0.68
3	0.61	0.62	0.64	0.65	0.67	0.68
4	0.62	0.63	0.63	0.66	0.68	0.69
5	0.58	0.62	0.65	0.65	0.67	0.68
6	0.59	0.62	0.62	0.67	0.67	0.67
平均	0.598	0.622	0.637	0.660	0.672	0.680

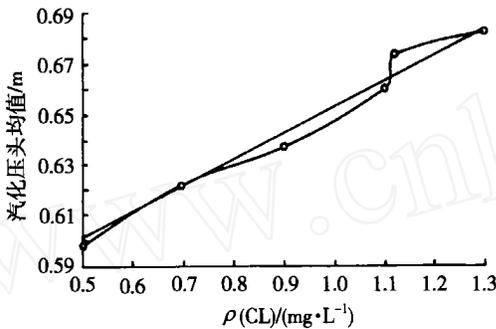


图 3 汽化压力与水样中氯的质量浓度的关系

3 结 论

1) 试验测定结果表明, 在室温为 20 ℃ 时, 氯的质量浓度为 0.5~ 1.3 mg·L⁻¹ 的自来水样的初生空化压头为 5.71~ 6.41 m, 充分空化压头为 0.60~ 0.68 m。

2) 空化压头同水样中氯的质量浓度几近成线性关系。

3) 由于北京市水源九厂泵吸水池的实际自来水水样中除含有一定数量的氯外, 还含有一定数量的氨, 故其空化压力略高于实验室水样实测结果。

4) 自来水厂工程上通常将清水的饱和蒸汽压力 p_a 代入水泵空化裕量公式进行计算^[4], 即

$$\Delta h = p_a / (\rho g) \pm H_y - \sum h_s - p_a / (\rho g) \quad (5)$$

式中: ρ 为水的密度; g 为重力加速度; H_y 为水泵的淹没深度; $\sum h_s$ 为泵吸水管的水力损失; p_a 为 20 ℃ 时清水的饱和蒸汽压力, $p_a / (\rho g) = 0.24$ m。

如果考虑水泵抽送含氯的水, 并以发生初生空化作为限制条件, 在其他情况不变时, 则水泵空化裕量表示为:

$$\Delta h_s = p_a / (\rho g) \pm H_y - \sum h_s - p_s / (\rho g) \quad (6)$$

由式(5)和(6)得

$$\Delta h_s = \Delta h - \left(\frac{p_s - p_a}{\rho g} \right) = \Delta h - \Delta \quad (7)$$

即考虑到水中含氯, 则水泵初生空化裕量将比抽送清水时小 $\Delta = (p_s - p_a) / (\rho g)$ 。在本文中讨论的含氯量的范围内, Δ 值可达 5.47~ 6.17 m。这一结果在工程上确定泵的安装高度时, 必须

加以考虑。

5) 试验结果表明, 水样从初生空化到充分空化的过程, 是空泡数量随着压力的降低逐渐增多, 增大, 直至水样沸腾的过程。理论上讲, 只要有空泡产生, 例如初生少量气泡, 就能使水泵叶片发生空蚀破坏, 但事实上, 空蚀破坏的过程是空泡无数次崩解、微观冲击造成材料疲劳破坏的过程。因此, 在确定自来水供水泵的吸上高度时, 只要考虑水中氯的影响, 适当降低其高度例如取 $\Delta/2$ 就可显著改善自来水厂供水泵的空化与空蚀特性。

6) 本文中采用的空化压力测定装置是自行设计的, 实用结果表明, 它结构简单, 使用方便, 并有足够精度^[4]。

参 考 文 献

- 1 常近时, 寿梅华, 于希哲 水轮机运行. 北京: 水利电力出版社, 1983 102~ 103
- 2 Knapp R T, Daily J W, Hammitt F G Cavitation. New York: Mc GRAW -HILL Book Company, 1970 1~ 9
- 3 李连超 大型自来水系统供水泵空化性质的改善: [学位论文]. 北京: 中国农业大学, 1999
- 4 关醒凡 泵的理论与设计. 北京: 机械工业出版社, 1987 91~ 93