

承压类特种设备水压试验用水水质研究分析

陈锐华

(广东省特种设备检测研究院揭阳检测院, 广东 揭阳 522000)

摘 要 本文根据相关标准规范, 总结承压类特种设备水压试验用水要求, 结合金属材料腐蚀的相关知识, 对水中氯离子含量、pH、电导率、浊度等指标对碳钢和不锈钢的腐蚀性问题进行探讨, 随机抽取揭阳市辖区内各种水源进行检测, 对该地区水源进行水压试验适用性进行讨论分析, 对本地区或其他地区利用各种常见水源进行承压类特种设备水压试验时具有一定的参考借鉴意义。

关键词 承压特种设备 水压试验 金属腐蚀 水质指标

中图分类号: TU991.36

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)12-0052-03

承压类特种设备如锅炉、压力容器、管道等特种设备在制造完成后, 需要通过耐压试验全面综合考核其强度, 以避免正常使用过程中事故的发生, 耐压试验通常以液压试验为主, 即水压试验。在相关标准规范中, 均对水压试验用水质做了规定, 以防止因为水质不良而对设备产生可能的危害。

1 承压类特种设备水压试验用水相关规范

1.1 锅炉

锅炉安全技术规程^[1]中规定对锅炉进行水压试验时应采用洁净水。如果受压元件含奥氏体不锈钢, 则控制水中氯离子含量 $\leq 25\text{mg/L}$, 若不符合要求, 则应在试验完毕后立即将水渍去除干净。

1.2 压力容器

GB/T150 第 4 部分^[2]规定了压力容器采用水压试验时, 试验完毕后无法排净吹干时, 对奥氏体不锈钢制容器应控制试验用水中的氯离子含量 $\leq 25\text{mg/L}$ 。GB/T18442 第 5 部分^[3]规定了固定式真空绝热深冷压力容器在水压试验完毕后应将液体排尽并吹扫, 当无法排净吹干时, 应控制试验用水中的氯离子含量 $\leq 25\text{mg/L}$ 。

1.3 管道

工业金属管道工程施工规范 GB50235^[4]要求应使用洁净水进行液压试验。当对不锈钢、镍及镍合金管道, 或对连有不锈钢、镍及镍合金管道或设备的管道进行试验时, 水中氯离子含量 $\leq 25\text{mg/L}$ 。工业管道规范 GB/T20801 在第五部分的检验与试验^[5]中同样要求采用洁净水进行水压试验。在受压元件为奥氏体不锈钢构件时则要求水中氯离子含量 $\leq 50\text{mg/L}$ 。

综上, 试压用水水质要求主要为洁净水, 如果是试压部件为不锈钢材质则同时要求氯离子含量做出明

确限值。洁净水并无一个明确的标准, 对于金属设备而言, 洁净主要是不能有引起腐蚀或杂质黏附等可能损坏设备或影响设备安全运行的物质存在。水的 pH、电导率、浊度、氯离子含量可以一定程度上表征水的洁净度与腐蚀性。

2 金属设备在介质水中的腐蚀机理与探讨

金属设备直接暴露于水介质中在多重因素作用条件下会发生各种各样的腐蚀。首先, 水介质中的成分、浓度等千差万别。其次, 金属材料如碳钢、不锈钢等的合金成分、结构状态等也各有差异。最后, 由于接触作用条件不同, 也对金属设备腐蚀构成不同影响。本文主要探讨水中氯离子、pH、电导率、浊度等对金属腐蚀速率、状况和程度的影响。

2.1 水中氯离子对金属设备的腐蚀

由于金属设备材质中成分差异和不均一性, 当直接暴露于各种水溶液中时, 在达到一定作用条件时, 极易产生腐蚀, 其中电化学腐蚀是很重要的表现形式。在含氯离子的水中, 不纯的金属较容易产生原电池腐蚀, 铁及其合金作为阳极区失去电子变为离子状态而逐渐析出, 随着溶解加快, 在金属表面逐渐产生点蚀、孔蚀等。即使金属表面有致密钝化膜存在, 但是由于氯离子半径较小, 同时随着氯离子浓度的增加, 产生钝化膜穿透, 破坏金属表面钝化膜生成, 进而加速腐蚀。一方面, 对于碳钢主要表现的是全面腐蚀和局部腐蚀, 吕胜杰等^[6]研究得出, 在水中的 20 号碳钢腐蚀速率随着氯离子含量增大而增大, 当氯离子质量分数达到 950ug/g 时, 腐蚀速率为初始腐蚀速率的 29.9 倍。另一方面, 在不锈钢上会表现为孔蚀或应力腐蚀开裂等。在实际工业生产中, 不锈钢设备在水中的腐蚀以局部

表 1 2022 年揭阳市辖区内某五家企业单位厂区内自来水随机抽取检测结果

指标 \ 区域	榕城区	揭东区	普宁市	揭西县	惠来县
pH 值（25℃）	7.1	7.0	7.2	7.1	7.0
电导率（25℃）（uS/cm）	175	57	81	72	65
浊度（FTU）	0.7	0.6	0.8	0.7	0.9
氯离子（mg/L）	16.0	3.8	6.1	5.3	4.8

表 2 2022 年揭阳市辖区内某四家企业单位厂区内所用水库或湖泊水随机抽取检测结果

指标 \ 水库或湖泊水	揭东区	普宁市	揭西县	惠来县
pH 值（25℃）	6.8	6.9	6.8	7.3
电导率（25℃）（uS/cm）	123	189	232	83
浊度（FTU）	2.5	3.1	5.4	3.6
氯离子（mg/L）	10.4	16.3	25.8	9.9

腐蚀为主，孔蚀和应力腐蚀等案例较为常见。高浓度的氯离子能够在一定程度上促进不锈钢的电化学腐蚀，形成点状蚀坑。孙翔等^[7]研究表明：在氯离子含量为 25~400mg/L 时，氯离子明显加剧两种不锈钢的腐蚀，将其浓度从 200mg/L 降至 25mg/L 以下时，腐蚀力度会被大大削弱。

2.2 pH 对金属设备的腐蚀

pH 越低，金属在水中越易产生腐蚀，当 pH 小于 6.0 时，水对金属的腐蚀明显加快，当 pH 小于 5.5 时，腐蚀速度进一步加快。水中氢离子的浓度升高，也就是 pH 降低，氢离子的阴极极化反应增强，加速了阳极金属的溶解。

刘国荣等^[8]研究分析在不同 pH 的水中 20 号碳钢的腐蚀行为和机理，得出：在 pH 等于 6.4 时，金属表面腐蚀最为严重，同时存在点蚀和均匀腐蚀；当 pH 在 7.2~8.4 范围内时，水的 pH 对腐蚀影响较小；当 pH 等于 9.5 时，金属表面形成的腐蚀产物膜降低了腐蚀的速率，腐蚀影响最轻。冉斗^[9]等研究分析了含氯溶液中 pH 的变化对钢 14Cr12Ni3WMoV 电化学腐蚀行为的影响，得出：随着含氯溶液 pH 变小，材料表面阻抗减小，腐蚀速率和点蚀敏感性均增大，随着点蚀发生，不锈钢钝化膜中铁逐渐溶解，钝化膜稳定性下降，材料耐腐蚀性也随着下降。

2.3 水的电导率对金属设备的影响

电导率反映水中的离子含量，电导率越高，水中

的导电离子含量越高，溶液体系电阻越小，电化学反应中阴阳极的极化阻力就越小，电化学腐蚀得到加剧，从而加速腐蚀。伊帆等^[10]通过模拟实验得出，腐蚀速率在不添加缓蚀剂的条件下会随着循环水中电导率的提高而略有增大，最高达 0.1129mm/a。

2.4 水的浊度对金属设备的影响

水的浊度往往与水中悬浮物质、微生物或胶体类物质的含量成正比，当这些悬浮胶体物质达到一定含量，就可能黏附于金属设备表面，增加淤泥堵塞的概率，并可能对泥垢下的金属表面产生腐蚀，其中的微生物通过多种形式影响钢铁的腐蚀，水中生物活性的作用是比较复杂的，但总体对金属腐蚀是有害的。

伊帆等^[11]在 0 到 200 mg/L 的浊度范围内，进行挂片腐蚀试验，当浊度大于 20mg/L 时，腐蚀速率随着浊度的升高而加大，最高达 0.1179 mm/a。

3 各项指标所采用的检测方法和对揭阳市辖区内各地的各种水源进行随机取样检测分析

3.1 氯离子、pH、电导率、浊度水质各项指标采用的检测方法

（1）氯离子：GB/T15453-2018 工业循环冷却水和锅炉用水中氯离子的测定，摩尔法，硝酸银容量滴定法。（2）pH：GB/T6920-1986 水质 pH 值的测定，玻璃电极法，实验室用 pH 计。（3）电导率：GB/T6908-2018 锅炉用水和冷却水分析方法，电导率的测定，电导率仪。（4）浊度：GB/T 12151-2005 锅炉用水和冷却水分析方法，

表 3 2022 年揭阳市辖区内随机抽取水样检测结果

指标 \ 水样	某河水	某厂内循环冷却水	某厂内地下水
pH 值 (25℃)	6.0	5.8	5.6
电导率 (25℃) (uS/cm)	1385	1850	2105
浊度 (FTU)	8.6	6.7	3.2
氯离子 (mg/L)	153.3	148.5	269.8

浊度的测定 (福马肼浊度), 浊度仪法。

3.2 揭阳市辖区内各个地区的各种水源随机取样检测结果分析

1. 结果讨论。由表 1 可见, 该地区自来水各项指标都比较适合作为水压试验用水, 可以判断为纯净水, 对于碳钢而言, 可以直接进行水压试验。表 2 中水库或湖泊水浊度相对高些, 若经过过滤降低浊度再使用更佳。如果是不锈钢, 则都需先检测水源氯离子含量确保不超过 25mg/L。

2. 由表 3 可见, 随机抽取的河水、厂内循环水、地下水各项指标均逊色不少, pH 较低, 小于 6.0, 已经构成腐蚀可能。电导率高, 表明水中杂质离子较多, 导电离子含量越多, 导电能力得到增强, 加速电化学腐蚀, 浊度高则容易积聚胶体物质, 产生金属壁黏泥附着等, 如果进行试压后得不到彻底清洗, 而残留金属表面, 则容易对金属产生腐蚀, 进而影响设备后续正常使用。氯离子含量相对较高均超出 25mg/L 限值, 明显已不适合作为不锈钢等设备的试压用水, 需进行处理, 降低氯离子含量或更换合适的水源。对于碳钢, 须慎重选择其作为试压用水, 或于进行试验后, 立即排尽, 并将水渍擦干, 防止液体残留腐蚀设备内金属构件, 考虑到现实中大型承压类设备进行内壁水渍擦干的可行性, 建议选择更换合适水源。因此对于不明水质的水源, 在进行承压类特种设备水压试验时, 应先进行水质检测分析, 以判断水源的可用性和如何进行后续处理防护。

4 结论

首先, 当水中氯离子含量、pH 达到一定量时, 会对碳钢和不锈钢产生较为严重的腐蚀, 氯离子含量越高, pH 越低, 腐蚀进展越快, 同时电导率和浊度对腐蚀也起到一定的促进作用。其次, 承压类特种设备进行水压试验时, 应选择合适的方法, 如先进行试压用水取样检测分析, 可测定 pH、电导率、浊度、氯离子

等水质指标, 以判断水源的合用性。最后, 对于试压部件材质为碳钢或不锈钢, 由于金属材质不同, 试压用水水源选择应进行严格区分选用, 特别不锈钢, 应重点控制氯离子含量, 防止腐蚀, 造成设备损坏。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家市场监督管理总局 .TSG11-2020, 锅炉安全技术规程 [S].2020-10-29.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会 .GB/T150.4-2011, 压力容器 第 4 部分: 制造、检验和验收 [S].2011-11-21.
- [3] GB/T18442.5-2019, 固定式真空绝热深冷压力容器 第 5 部分: 检验与试验 [S].2019-12-31.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 .GB 50235-2010, 工业金属管道工程施工规范 [S].2010-08-18.
- [5] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会 .GB/T20801.5-2020, 压力管道规范 工业管道第五部分: 检验与试验 [S].2020-11-19.
- [6] 吕胜杰, 程学群, 段振国, 等. 循环水中氯离子含量对碳钢腐蚀行为影响规律的研究 [J]. 石油炼制与化工, 2011,42(03):84-87.
- [7] 孙翔. 再生水水质对两种材质的不锈钢供热管网的腐蚀影响研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2021.
- [8] 刘国荣, 伯士成, 屈定荣, 等. 石化循环冷却水 pH 值 20 碳钢腐蚀行为的影响 [J]. 材料保护, 2019,52(11):51-55.
- [9] 冉斗, 孟惠民, 刘星, 等. pH 对 14Cr12Ni3WMoV 不锈钢在含氯溶液中腐蚀行为的影响 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 2021,41(01):51-59.
- [10] 伊帆, 李德豪, 郎春燕, 等. 模拟循环冷却水中几种因素对碳钢腐蚀的影响 [J]. 工业水处理, 2012,32(08):45-49.
- [11] 同 [10].