

水泥砂浆涂衬的 金属元素渗析(下)

长沙市自来水公司 邱振华 浣晓丹 罗岳平

摘要 介绍对饮用水管道水泥砂浆涂衬的金属渗析现象所进行的实验研究结果。

叙词: 管道 水泥砂浆 衬材 渗析 金属

2 结果

2.1 首次充水后, 管道内水的金属含量和其它水质参数的变化

尽管对 24 种金属的 29 种同位素都进行了测定, 但本文只列出了水泥工业界和国家卫生基金会加以控制的有毒金属元素。若某些金属元素有多种同位素, 选择最具代表性的同位素进行监测。表 1 列举了 3 条试验管道在首次充水后几种金属元素的最大净含量。为便于比较, 同时列举了每种金属元素饮用水标准(USEPA)。

2.1.1 管道 1 从检测结果看, 管道 1 中水

的金属含量先增加, 随着时间延长, 含量逐渐减少。其中铅、镍和硒的增减幅度较其他 6 种金属大。

管道 1 内的水与水泥砂浆接触仅 3h 后, pH 值迅速由 7.43 上升到 11.43。水停留 14d 后, pH 进一步上升到 12.11。水样正 SI 值较高。水温在 24.1~25.5℃ 范围内变动。水停留 3d 后, 总氯含量从 2.0 mg/L 下降到 0.15mg/L。

拆卸试验装置时发现, 垫圈完好无损, 而圈孔周围的密封轻微受损, 少量水渗漏后与铸铁端帽接触。可能是管内水压波动导致垫圈与密封轻度分离。水泥砂浆涂衬层的外观没发生变化, 表面光滑, 结构牢固。

2.1.2 管道 2

除铍外, 所有被测金属元素的含量都先增加, 而后缓慢降低。铍在实验初期出现峰值, 此后相当稳定。

在首次通入水后的停留期内, 管道水的硬度、导电率和碱度稳定增加。第 1 天, pH 从 7.03 迅速上升到 11.57。水温在 18.5~24.4℃ 范围内变动。水停留 3d 后, 总氯含量从 1.18 mg/L 下降到 0.07mg/L, 以后保持在低水平。

第 2 次充水试验之前, 排尽管内水。在最后排出的部分水中发现有半透明悬浮胶体物质, 浊度达到 350NTU, 比其它水样(1~2NTU) 高得多, 导电率 1237 μ mhos/cm, pH11.89。

检测了最后排出水的金属含量, 结果见表 2, 比较发现, 排水结束前的砷、铬、铅和镍的含量明显高于管道混合水(表 1)。如果这部分金属也源于渗析过程, 那么表 1 低估了金属元素的渗析量。

出租汽车为代步工具。对这部分乘客来说, 需求对价格变化的敏感度比较小, 即需求弹性较小。临时性乘客是指在某种特殊情况下, 偶尔使用出租汽车的乘客, 由于是特殊情况下使用, 对运价的考虑与特殊需求比较, 价格是第二位的, 即弹性需求也是小的。③ 出租汽车在公共交通系统中是重要的组成部分, 定位在轨道交通和公共汽、电车的补充地位。这是我们考虑运价策略的一个出发点, 就是说不能期望通过实施运价策略使出租汽车在公共交通系统中的地位得以改变, 从而上升为主要地位。同时, 由于出租汽车经营成本比公共汽、电车和轨道交通的经营成本

高好几倍, 单纯以运价策略与公共汽、电车和轨道交通竞争是不明智的。

以上三点理由可以使我们看到, 出租汽车服务的消费特点是不能储存(至于使用 IC 卡与乘车证属另一讨论范畴), 需求的引发依赖于宏观经济的发展和人民收入水平的提高。出租汽车服务对象分析告诉我们, 出租汽车需求弹性小, 利用运价刺激需求敏感性不强, 结果可能是得不偿失。出租汽车的定位及经营成本高又不允许以运价刺激替代。综上所述, 笔者以为出租汽车行业以采取稳定运价的策略为宜。(本文作者系上海市出租汽车管理处处长)

表 1 试验管道首次充水后
金属元素的最大净含量

金属元素	管道 1 μg/L	管道 2 μg/L	管道 3 μg/L	饮用水标准 μg/L
砷	0.27	0.79	1.44*	50
钡	362.77*	169.97	80.20	2000
铍	0.00	1.38*	0.29	4
镉	1.11*	0.95	0.04	5
铬	18.92*	2.01	9.45	100
铅	10.44*	0.00	0.00	15*
镍	34.63*	2.24	0.00	100
硒	16.39*	2.46	1.61	50
铊	0.00	0.62*	0.00	2

* 3 条试验管道中最大净含量

+ 可疑数据

参考值

2.1.3 管道 3 所有被测金属元素的含量都先增加,而后缓慢降低。

首次充水后第 1 天,管中水 pH 迅速从 6.91 上升到 11.13,水温在 23.3~28.0℃ 范围内变动。没有测总氯,预计比管道 2 低。

同样对排水结束前的金属含量进行了检测(表 2),结论与管道 2 一致。

2.2 氯化结束后,管道水中金属元素的含量变化

首次充水之前,加氯消毒试验管道 24h.氯化结束后,采集样品分析水中金属元素的

含量。从检测结果(表 2)看,氯化消毒后,水中金属元素含量升高,铬最明显,其他金属的变化趋势不一致。

2.3 再次充龙头水后,管道内水的金属含量和其它水质参数的变化

首先充水试验结束后,再次将龙头水通入管道 2 和 3 内。其中管道 2 再充水 18 次,管道 3 则只再通水 1 次。分别在第 6 次(停留 3d),第 10 次(7d),第 18 次(12d)再充水时采集管道 2 内水样分析金属含量。

试验过程中,管道 2 内水的砷、钡、镉、铬、硒和铊含量略有增加。其中,钡、铬的最高含量出现在第 18 次再充水后,分别为 14.46 μg/L 和 2.45 μg/L。管道 3 内水的砷、钡、铍和铬含量增幅不大,但仍可检出(表 2)。再充水试验结束时(水停留 6d),钡、铬含量分别达到 29.83 μg/L 和 3.49 μg/L。

将水再次通入管道 2 后的头 3d 内, pH 从 7.19 增加到 11.38,总硬度从 99 mg/L 增加到 171.4mg/L(以 CaCO₃ 计),钙硬度从 71.3 mg/L 增加到 162.4mg/L(以 CaCO₃ 计),碱度从 70.8 mg/L 增加到 203mg/L(以 CaCO₃ 计),导电率从 297 mg/L 增加到 797 μ mhos/cm, SI 从 -0.46 增加到 3.35。在其后的换水过程中, pH 进一步增加到 11±0.3, SI 3.0±0.3。但硬度、碱度和导电率的增加速率较首次充水后的增加速率低。管道 3 再充水后水停留了 6d,总硬度和钙硬度或多或少地有些增加,而

表 2 氯化结束和首次充水的排水结束前的金属元素净含量及
再通入龙头水和软水的金属元素最大净含量

金属元素	管道 1	管道 2				管道 3			
	氯化结束 μg/L	氯化结束 μg/L	排水结束前 μg/L	再通入 龙头水 μg/L	再通入 软水 μg/L	氯化结束 μg/L	排水结束前 μg/L	再通入 龙头水 μg/L	再通入 软水 μg/L
砷	0.05	0.00	2.54	0.23	0.13	1.95	3.34	0.27	0.20
钡	209.36	125.60	299.78	14.46	29.11	31.21	98.40	29.83	67.25
铍	0.00	0.00	1.88	0.00	0.00	0.33	0.35	0.35	0.00
镉	0.04	0.06	0.74	0.03	0.00	0.03	0.50	0.00	0.00
铬	28.24	2.83	4.95	2.45	2.11	27.68	20.54	3.49	2.37
铅	0.87	0.00	6.22	0.00	0.08	0.96	43.78	0.00	0.48
镍	0.00	1.97	47.12	0.00	0.00	2.50	46.36	0.00	0.90
硒	14.45	0.00	0.00	2.28	3.57	0.37	1.17	0.00	0.00
铊	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00

pH(6.96 到 11.2)、碱度(58 到 154mg/L, 以 CaCO_3 计)和 SI(-0.7 到 2.84)显著增加。

2.4 通入软水后, 管道内水的金属含量和其它水质参数的变化

将软水通入管道 2 和 3 内。其中, 管道 2 换水 3 次, 管道 3 则只通入 1 次。将软水通入管道 2 后, 在 6h 和 7d 后 2 次采集水样检测金属含量。而在第 1, 3, 7 和 14d 后, 4 次采集管道 3 内水样检测金属含量。与龙头水相比, 管道 2 内软水的砷、钡、铬、铅、镍和硒含量略有增加, 管道 3 内水的金属元素砷、钡、铬、铅、镍和铊的含量也略有增加(表 2)。

第 1 次通入软水后 7d, 管道 2 内水的钡、铬含量分别达到最高值 $29.11 \mu\text{g/L}$ (饮用水标准的 1.5%)和 $2.11 \mu\text{g/L}$ (饮用水标准的 2%)。而在水停留 14d 后, 管道 3 内水的钡含量最高达 $67.25 \mu\text{g/L}$ (饮用水标准的 3%)。铬的最高含量 $2.37 \mu\text{g/L}$ (饮用水标准的 2.5%)出现在水停留 7d 后。

在第 3 次将软水通入管道 2 的过程中, pH 在 2~3h 内增加到 9 左右, 总硬度、碱度和导电率则在水停留 7d 后分别由 $22 \pm 1 \text{mg/L}$ (以 CaCO_3 计), $20.5 \pm 2 \text{mg/L}$ (以 CaCO_3 计), $70 \pm 6 \mu\text{mhos/cm}$ 逐渐增加到 $150 \pm 30 \text{mg/L}$, $160 \pm 30 \text{mg/L}$, $650 \pm 6 \mu\text{mhos/cm}$, SI 也从 -1.9 ± 0.1 增加到 3 ± 0.3 。虽然起初通入管内的是软水, 但水停留结束后, 软水变成了硬水。管道 3 内的水与涂衬层接触 3h 后, pH 从 7 快速增加到 9.6, 最后逐步增加到 11.5, 总硬度、碱度、导电率和 SI 也分别从 35.5mg/L (以 CaCO_3 计), 14.7mg/L (以 CaCO_3 计), $74 \mu\text{mhos/cm}$, -1.8 逐步增加到 158.4mg/L , 264.0mg/L , $1085 \mu\text{mhos/cm}$ 和 3.16。

3 讨论

3.1 检测金属元素含量的可靠性

检测过程中采取了严格的质量控制措施, 因而检测结果可靠。但钡、铅等 5 种金属元素的检测结果很难解释, 只对砷、钡、镉和铬的检测数据进行讨论。

3.2 水中金属元素的含量与现行饮用水水质标准比较

在水停留的前 14~18d, 2 条试验管道内水的钡、镉和铬含量明显增加, 最高增加量分别为各自饮用水标准的 20%左右。即使在换水和通入软水后, 钡和铬的含量仍有所增加, 约为饮用水标准的几个百分点。试验期内, 可检出水中砷的含量略有增加, 但增加量微不足道, 还不及饮用水标准的 3%。

水泥砂浆涂衬层的渗析使水中金属含量的增加可能性并不是最大的。首先, 试验选用的 3 袋水泥的金属含量较大多数商业销售的水泥低。如果使用金属含量更高的水泥涂衬管道, 则金属渗析量会进一步增加。其次, 管道 2 和 3 最后排出水中含有的金属元素(表 2)未计入表 1 的含量中。若将最后排出水中的金属元素含量计算在内, 则实际增加含量更高。第三, 在整个试验期间, 水体 CaCO_3 SI 值始终较高。因此, 可能在管壁形成 CaCO_3 膜并抑制金属渗析。最后, 水的 pH 值较高, 降低一些金属的可溶性。但随着使用时间延长, 水的 pH 和 CaCO_3 SI 值将逐步下降。

将水中金属元素的含量与饮用水水质标准比较时, 必须将净渗析量与水的本底值加在一起。在缓流区, 如死水端渗析可能带来较为显著的影响。但在水流速度快的区域, 如配水系统的中心部分, 由于稀释作用, 尽管渗析量大且速度快, 水中金属元素的含量也不会大幅度增加。

3.3 对水工业界的建议

由于有较大量有毒金属元素从水泥砂浆涂衬层内渗析出来, 建议涂衬饮用水管道时, 水工业界应精心选择水泥种类。

有限资料表明, 燃烧 HWF 会使水泥中铬的含量增加。用这种水泥涂衬管道, 必然导致渗入水中的铬量也增加。

进一步开展研究, 形成指导水工业界选择涂衬饮用水管道用水泥的标准是必要的。为确保饮用水安全卫生, 用富含金属元素的 HWF 作燃料生产出来的水泥不应当用于现场涂衬饮用水管道。工厂涂衬管道时, 一般在表面涂上密封层, 因而在一定程度上抑制金属发生渗析, 较现场涂衬安全些。

(本文作者中, 邱振华系长沙市自来水公司经理、高级工程师)