水泥砂浆涂衬的金属元素渗析(上)

长沙市自来水公司
邱振华 浣晓丹 罗岳平译编

摘要 实验室研究表明，水泥砂浆涂衬析出的金属量促使供水人员对管道涂衬所用的水泥应有所选择。

叙词：管道 水泥砂浆 衬砌 渗析 金属

越来越多的水泥窑使用从有害废物中提炼出来的燃料(hazardous waste-derived fuel, 简称 HWF)作为主要或替代能源。据调查，美国目前有 20%以上(23/111)的水泥窑燃烧有害废物。一些 HWF 中不仅含有有害有机物，也含有有毒金属。与产生相同能量的煤相比，所查窑中的 HWF 含有 30 倍以上的镉，11 倍以上的铬和 28 倍以上的铅。

HWF 中的金属不会发生降解，最终进入了排放物、水泥窑灰或水泥熟料中。水泥由水泥熟料和石膏混合物粉碎制得，而用水泥、砂和适当比例的水制成的水泥砂浆广泛用于新饮用水管道内涂衬，还有些单位用水泥砂浆现场涂衬发生了腐蚀的旧铸铁干管，使之恢复通水能力。当用含有各种金属的水泥涂衬饮用水管道时，威胁健康的金属可能从水泥砂浆涂衬层内渗析出来。尽管存在金属渗析危险，但没有条文针对这种现象规定生产厂使用的水泥类型。此外，现场涂衬旧铸铁管道时，承包商可选用任何品种水泥。

迄今为止，还没有人对饮用水管道内壁水泥砂浆涂衬层的有害金属元素渗析问题进行定量分析。由于缺少对水泥砂浆涂衬层内重金属元素的去向的信息，促使人们加速对现场涂衬管道金属渗析过程进行实验室研究。目的包括：

① 确定水泥砂浆涂衬层内的金属元素是否在静压下渗析到第 1 次通入管道的静水中。监测的金属元素包括砷、钡、铍、镉、铬、铅、镍、硒和铊。

② 水泥砂浆涂衬层内金属元素在不同环境条件下的渗析状况，如使涂衬层与加氯水、重新通入的龙头水、软水接触。

③ 研究那些环境因素促进金属发生渗析，如 pH、总硬度、钙硬度、碱度、导电率、碳酸钙饱和指数($CaCO_3$ SI)和含氯水。

④ 就实验管道内停留水的金属含量与现行饮用水质标准进行比较，提出水工业界应注意的问题。

站压力没有要求；从泵体的安全角度看，若进站压力大于 0.35MPa 时，应复核泵体进水部分的强度、轴封密封性能和其他部件是否能承受。

4 小结

本文探讨了应用管道增压泵站的条件。关于 A 值与进站压力之间是相互关联的，有着密切的关系。当进站压力高时，可采用较大的 A 值；当进站压力低时，应采用较小的 A 值。

本文提到管网区域性调蓄泵站和区域性管道增压泵站，这是个新概念。对现代化的大中型城市来说，城市管网不再是各种规模、各种功能管道的组合，而是由管网和具有调峰、消防功能的区域性水库增压泵站、区域性管道增压泵三大部分组成。前文提到的居住小区增压泵站由于本身服务对象的局限性和弊病，从长远规划角度看，实属于暂时性的、过渡的、补充性质的管网增压设施，最终大部分将被区域性泵站所替代。由于现阶段居住小区泵站还有积极作用，应改造成管道增压泵站但可保留一段时期。**(本文作者系武汉市自来水公司副总工程师、高级工程师)**

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 材料、试验程序和分析方法

1.1 试验装置

取由生产厂家提供的直径 152mm，长 5.49m 的未涂衬球墨铸铁管一根，截成 3 节，每节长 1.52m. 一节安装到图 1(A)所示实验装置中，进行第 1 个试验室实验。另外两节用于制作图 1(B)所示实验装置。装置 B 与 A 的差别在于试件直接与管道连接而不是安装在端帽上。管道端垫没有承接孔，从而避免在承接孔附近出现因密封不严而引起漏水现象，同时防止水与铸铁管端帽材料接触。

1.2 用作涂衬的水泥的性质

从用废物提炼燃料作为主要替代能源的生产厂家取普通硅酸盐水泥样品。共从 11 个厂家取得样品 16 袋，取样时并不清楚厂家是否使用或使用了多少 HWF. 根据美国环境保护局(USEPA)制订的 SW-846 程序，对所有水泥样品进行毒性特征渗析程序(toxicity characteristic leaching procedure, TCLP)标准试验，测定从水泥中渗析出来的有毒的金属元素含量。制得 TCLP 萃取液后，按 SW-846 介绍的 3015 法进行微波酸消化处理(microwave-assisted acid digestion)，用感应耦合等离子谱分析法(inductively coupled plasms-mass spectrometry, ICP-MS)检测消化萃取液中金属元素的含量(USEPA 200.8 标准方法)。另外，所有水泥样品也直接进行微波酸消化(SW-846 中的 3051 法)，测水泥中溶于酸的金属元素的含量，消化液同样采用 ICP-MS 法分析金属含量。消化液中测得的金属含量按质量单位换算成水泥中溶于酸的含量。此外，再通过 X 射线荧光(X-ray fluorescence, XRF)分析，测定水泥样品的金属总量。

1.3 水泥砂浆涂衬方法

由专业公司按 ANSI/AWWA C602-89 标准现场涂衬试验管道。

管道涂衬结束后，用塑料片密封两端管口，静置养护 1d (天)，待水泥砂浆凝结后送往实验室。管道 1 再密封养护 4d，管道 2 和 3 则只再密封养护 2d. ANSI/AWWA C602-89 规定，水泥砂浆凝结和养护时间一般不应超过 7d，从而缩短因施工所引起的停水持续的时间。

1.4 装置运行

试验管道经过养护后，用必要的配件安装好装置。所有接头用聚四氟乙烯带缠绕，防止出现漏水现象。在通入试验水之前，对管道进行消毒处理。试验水从标准龙头放出。

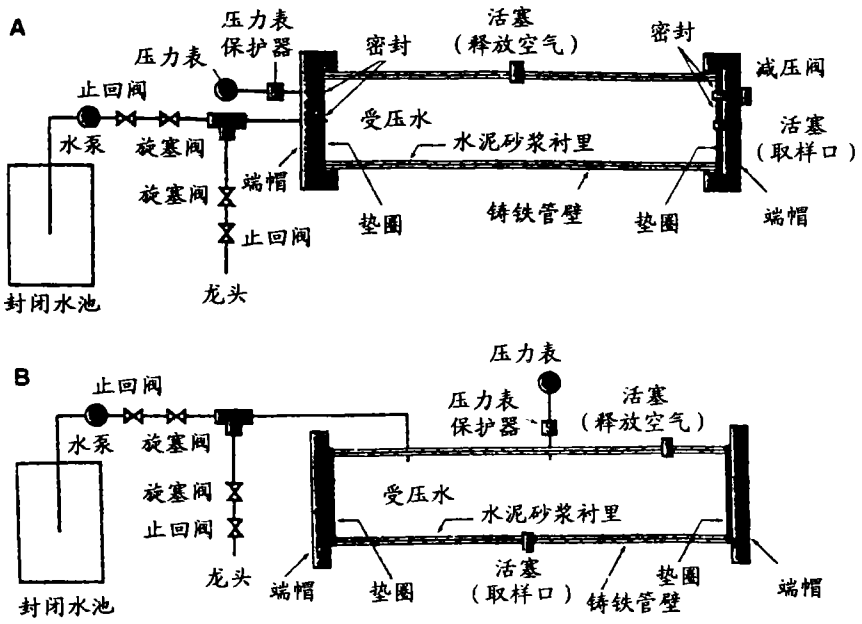

图 1 管道 1(A)和管道 2，3(B)试验装置示意图

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

放水之前，打开龙头空放 2min，使水停留期内发生沉积的金属元素冲洗干净。

管道消毒按 AWWA 标准(ANSI/AWWA C651-92，适用于被修复干管)进行。选择普通家用漂白剂(有效成分为 5.25%的次氯酸钠)作消毒剂，测得漂白剂中氯含量 59 000mg/L. 将 12mL 左右的漂白剂放入试验管，使水管中氯的含量达到消毒所需的 25mg/L. 为防止漂白剂与管壁直接接触，先使试验管道充满一半水，通入漂白剂后再放水，最终使水充满管道内并静置。24h 后，管道 1，2 和 3 的总氯浓度分别维持在 10.2，18 和 14mg/L，均高于 10mg/L，达到 ANSI/AWWA C602-89 标准要求。

24h 氯化消毒处理后，排尽管道 1 内的水，再两次通入龙头水以降低管内氯的残余量。由于管道 1 的取样口位于管底上方(图 1A)，管内的水不能完全放干。采取放水连续冲洗措施，使管道内水的氯含量下降到 2.0mg/L. 管道 2 和 3 的取样口位于管底，加氯消毒 24h 后彻底放干管道内积水。将水再通入管道 2 后，氯含量控制在 1.2mg/L. 由于缺少所需仪表未测再通水后管道 3 内氯的含量，根据氯残余量分析，可能较管道 2 低。

用水泵将管道内水的压力提升到 483kPa 并长时期保持静止状态(管道 1 为 14d，管道 2 为 18d，管道 3 为 14d)。第 1 次通入新鲜水后，排尽管道 2 和 3 内的水并再通入新鲜水。排、通水次数和每个周期持续时间各不相同。通入软水前，同样先用新鲜水充灌并排空。软水由龙头水与去离子水混合制得。排、通水次数和每个周期持续时间也各不相同。

1.5 试验管道水的取样和分析

1.5.1 样品采集

氯化处理后和加压试验过程中定期采集样品(135mL 用于金属元素分析，65mL 用于其它水质指标分析)。每次取样后，补充等量的新鲜龙头水。将用于金属元素分析的 135mL 水样酸化至 pH<2 后保存、分析。用另外 65mL 水样检测 pH、温度、总硬度、钙硬度、碱度和导电率。经常监测管道内水的压力，使其保持在 207~621kPa 范围内，与一般输配水系统的压力值相当。

管道 2 和 3 的取样口稍微偏离垂直轴，防止采集样品时取到底部沉淀物。另外，取样前 1h 内、取样后 1h 内、重新通入新鲜水后 1h 内都要交替抬高管道两端并使之在抬高位置停留 15min，以使管道内水混合均匀。有时，也可握住管端摇动而使水充分混合。

1.5.2 水样处理和保存

用清洗过的聚乙烯瓶采集并保存水样。样瓶基本按 USEPA SW-846 规定的程序进行清洗，但初清洗未按规定使用洗涤剂，从而避免洗涤剂带来金属污染，只是增加了用龙头水清洗过程。清洗程序如下：用龙头水清洗 3 次，1∶1 的硝酸清洗 1 次，再用龙头水清洗 3 次，1∶1 的盐酸清洗 1 次，用龙头水清洗 3 次，最后用去离子水清洗 1 次。所用 HNO_3 和 HCl 均为浓试剂级。

用 1.5mL 痕量金属级的硝酸调水样 pH<2. 酸化后的水样在 4℃下保存直至进行分析。

1.5.3 金属元素分析前的微波酸消化

将 45mL 酸化水样移入聚四氟乙烯消化皿中，加 5mL 超纯硝酸，然后在微波仪内进行消化。消化处理后的水样移入已用去离子水清洗的 125mL 的干净聚乙烯新瓶中。分析之前，加去离子水进一步稀释，使水样的酸浓度降到 4%，防止损害 ICP-MS 仪器。消化期间和分析之前将酸加到水样中都会导致水样中金属浓度进一步稀释。报告结果时需用适当的稀释系数校正。

1.5.4 用 ICP-MS 分析金属

按 USEPA 200.8 法，用 ICP-MS 分析酸消化水样中 24 种金属的 29 种同位素。将多元素标准贮备液稀释至 1，3，5，7，10，15 和 50μg/L，以之为校正标准。做空白对照，看是否有潜在的基质干扰和标准液被污染现象。校正标准、校准空白和管道水样的硝酸含量相同(4%)，以降低基质的影响。为防止仪器漂移，每次最多测 8 个未知水样后标准液重新校正，将痕量金属质控样混在未知样中测量。

1.5.5 其它水质参数的分析

根据标准方法分析 pH、温度、总硬度、钙硬度、碱度、导电率和氯含量等水质参数。$CaCO_3$ SI 用来评估水垢的生成和溶解趋势。SI 正值表示管壁水垢生成，负表示溶解。(未完，待续)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

PUBLIC UTILITIES (Bimonthly) Vol. 13 No.5 Oct. 1999

Abstracts of Main Contents

(3)Product Quality of Today Ensures Tomorrow's Market **Chen Zhiqing**

Work done for the implementation of product quality control and ISO 9001 Standards at Ningbo Zhiqing Valves Co. Ltd. is briefed.

(5)Green Vehicles' Progress in China **Guo Xiguang**

Air pollution due to the exhaust emissions of automobiles and motorcycles is analyzed and the countermeasures to cope with them are put forward. The essentials of green transport plans and their development in several Chinese cities are also narrated.

(8)Three Big Problems Lying ahead of Xi'an's Taxi Service and Their Solutions **Yan Xiangyang**

Three big problems facing Xi'an's taxi service, namely high taxes, expenditure for the refitment into dual-fuel taxis and service quality improvement are enummerated, and corresponding solutions put forward.

(20)Workable Conditions for Urban Pipeline Network Booster Stations **Xiang Zongyao**

Two types of booster stations are stated, 2 necessary conditions for pipeline network booster stations are put forward and their entrance pressure is determined.

(22)Leachability of Metals from Cement-mortar Linings(Ⅰ) **Qiu Zhenhua** *et al.*

In a lab study, metals leached out from cement-mortar linings at levels that impel water suppliers to be selective when choosing cement for lining pipes.

(29)Anticorrosion Treatment of LPG Cylinders **Li Chunhua**

LPG cylinders' outer surface cleaning, proper coating technology and correct manipulation as well as maintenance are introduced.

(32)A Survey of Japan's Asphalt-base Carbon Fibre Technology **Wang Yuchu**

The general situation of asphalt-base carbon fibre development, its R & D at Osaka Gas and in China, a production plant of isotropic weavable asphalt in Shanghai, new progress of carbon fibre technology, etc. are briefed.

(35) Qiangsheng SAM Card Taximeter **Li Chuanke**

The constitution and features of the Qiangsheng SAM card taximeter and the design of POS device are stated.

(37)Nereis and Its Influence on Water Treatment **Jiang Zenghui**

The morphology, ecology, reproduction, influence on water purification, etc. of rag worms (Neanthes japonica) are introduced.

(42)Pennsylvania's PU Rate Setting *redacted by* **Yang Liandi** *et al.*

The whole process of PU rate increase in Pennsylvania, USA is indicated.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net