

哈尔滨气化厂（达连河）供水系统应对硝基苯污染的措施与效果

崔福义¹ 李伟光¹ 张悦² 赵志伟¹ 姜殿臣³ 韩雪东³ 吕德全³ 牛玉梅³ 张振宇¹

(1 哈尔滨工业大学 黑龙江 哈尔滨 150090 2.建设部城市建设司 北京 100835 3 哈尔滨气化厂 黑龙江 哈尔滨 154854)

摘要:本文介绍了哈尔滨气化厂（达连河）供水水源受硝基苯污染及应急供水措施的制定与实施情况，评价了应急供水工艺对硝基苯的实际去除效果。实践证明，所采取的原水中投加粉末活性炭、强化混凝沉淀、炭砂滤池等应急措施有效可靠，在硝基苯最高超标倍数达到 14.22 倍的情况下，保证了供水水质，实现了不间断供水的目标。粉末活性炭起到了主要的去除硝基苯作用，在取水口投加、利用 11.9km 长的输水管道保证充分的吸附时间是技术成功的关键。此次成功的应急供水积累了宝贵的经验，可以供进一步研究参考。

关键词: 硝基苯，粉末活性炭，强化混凝，炭砂滤池，应急供水

2005 年 11 月 13 日，吉化公司双苯厂爆炸导致松花江水体受到硝基苯严重污染，给沿江城市和工矿企业用水安全带来严重威胁，位于哈尔滨市城区下游达连河镇的哈尔滨气化厂供水同样面临严峻的考验。11 月 29 日，受建设部和黑龙江省、哈尔滨市政府委托，以张悦为组长、崔福义为技术负责人的专家组急赴达连河，应对松花江水污染。专家组在达连河奋战 9 昼夜，成功地解决了污染带来的问题，确保气化厂供水不中断，从而保证了哈尔滨市人民燃气供应正常。本文拟对此次应对污染的情况进行介绍。

1. 哈尔滨气化厂供水概况

哈尔滨气化厂地处哈尔滨市依兰县达连河镇，位于松花江南岸，距哈尔滨市城区下游 300 多公里，承担着向哈尔滨市 76 万户居民，3000 余户工业企业和商服用户供应燃气的任务。其供水分厂负责气化厂生产用水的供应，生产供水量为 5 万 m³/d，以松花江水为水源。气化厂供水分厂水处理工艺见图 1。松花江原水由江心取水头进入岸边取水泵房，水泵加压后经 11.9km 长、直径 800mm 的输水管送入厂内稳压井；在稳压井投加液体聚合铝混凝剂后进入反应池和沉淀池，然后经煤砂双层滤池过滤、消毒后进入清水池备用。

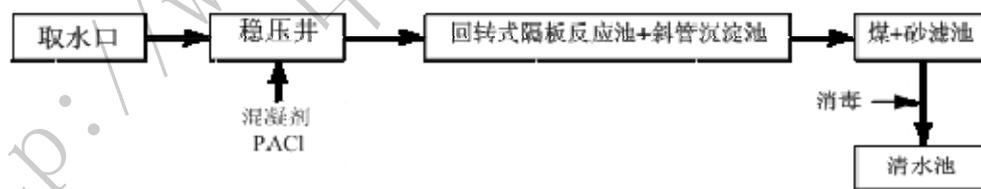


图 1 水厂水处理工艺

2. 应急供水技术方案

松花江是气化厂唯一的供水水源。由于厂内储水能力仅能维持几个小时的供水，一旦硝基苯超标导致水厂停产、供水中断、造成气化厂停产，将给哈尔滨市人民生活与生产带来十分严重的影响和后果。为此，省市府明确提出要求，必须采取有力措施，确保在松花江水受到硝基苯污染的情况下，保证供水水质合格，保证气化厂生产安全和哈尔滨市的燃气供应。因此，确保任何情况下不间断供水，是此次应急供水的目标。

根据《地表水环境质量标准》（GB3838—2002）规定，水源水中硝基苯浓度应低于 0.017mg/L，由于

供水水质标准中没有硝基苯指标，研究决定采用 0.017mg/L 作为水厂供水中硝基苯浓度控制限值。对于松花江达连河断面硝基苯超标倍数的预估，要参考上游断面情况确定，可借鉴的主要信息有：上游哈尔滨市区最高超标 33 倍，松花江沿程的超标倍数在下降。据此预计达连河断面最高超标倍数约在 20 倍左右，为求万无一失，配套试验及应急方案按 50 倍考虑。要解决的关键问题是必须采取有效的技术手段，在原水中硝基苯超标达到 50 倍的情况下，使之去除到不超过 0.017mg/L 的标准值。

根据对硝基苯特性的基本认识和初步的试验结果，现有水厂净水工艺去除硝基苯的能力有限，难以满足要求，必须对供水系统进行应急改造。在选择应急方案时，考虑到活性炭对硝基苯有较好的吸附性能，应该将活性炭吸附作为优先考虑的措施，同时还要充分利用现有设施，在有限的时间内以较少的工艺改造工作量满足应急供水的要求。在水厂已经初拟的应急方案基础上，确定的方案如下：在江边取水水泵房水泵吸水管投加粉末活性炭（PAC），由取水泵进行充分混合，利用 11.9km 长的输水管在长达 5 个多小时的原水输送过程中，活性炭与水充分接触吸附硝基苯；在混凝沉淀单元，优化混凝剂投加量，投加活化硅酸助凝，加强沉淀池排泥；将原有的煤砂滤池改造为炭砂滤池，将原无烟煤（500mm）+石英砂（500mm）滤料，更换为颗粒活性炭（1700mm）+石英砂（400mm）。在此方案中，粉末活性炭的吸附作用是关键，水在输水管中的停留时间可以达到 5.7h，能充分发挥吸附作用，从供水安全保障的多级屏障观念出发，应该力求硝基苯在此阶段被吸附去除达标。相应带来的问题是大量投加的粉末活性炭相对密度小、沉淀性能差、不易通过排泥排出，极易从沉淀池流出进入滤池，给过滤增加负担。为此，在混凝沉淀阶段的任务就是要通过强化混凝，提高沉淀对水中胶体颗粒及粉末活性炭的去除率，尽量减少沉淀池表面的浮炭；同时加强排泥，防止活性炭在池底大量堆积。炭砂滤池是保障出水中硝基苯达标的最后屏障，水在颗粒活性炭层中的停留时间短，吸附去除能力有限，不应使其承担过多的去除硝基苯的任务，主要作为储备性环节。

具体的各种药剂的投加量及硝基苯的去除效率，应在随后的试验中解决。

3. 应急供水实施效果

2005 年 12 月 2 日 11 时，松花江达连河断面首次检出硝基苯为 0.01288mg/L，此后硝基苯浓度在波动中增加，至 12 月 5 日 14 时达到最大值，超标 14.22 倍，此后又在波动中下降，至 12 月 8 日 17 时，降至标准值以下。具体情况见图 2。与上游各断面情况比较，达连河断面硝基苯超标倍数进一步下降，超标持续时间延长，浓度波动增强。

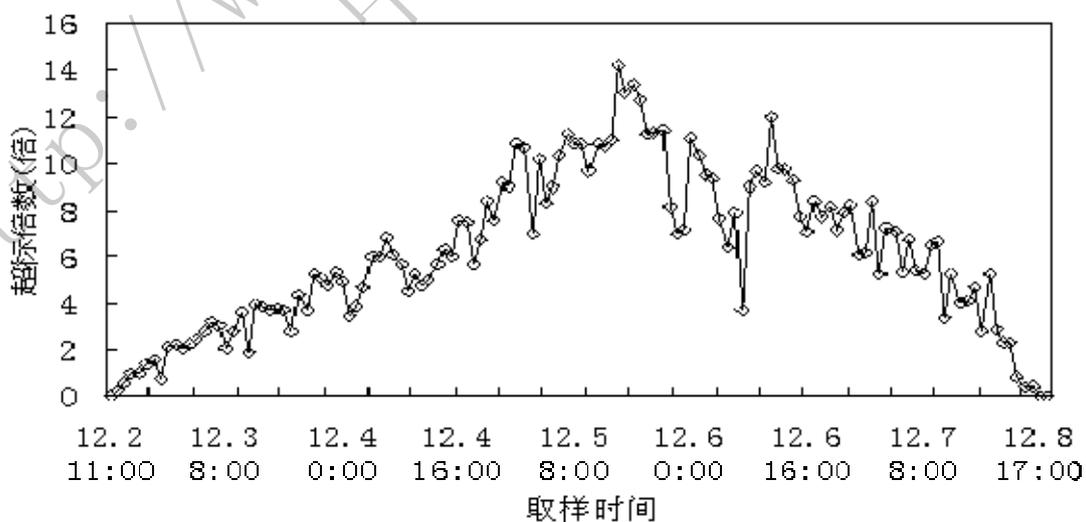


图 2 达连河断面硝基苯浓度变化

3.1 粉末活性炭对硝基苯的吸附效果

粉末活性炭炭种为唐山生产的木质炭，主要性能指标见表 1。

表 1 应急供水用粉末活性炭主要性能指标

碘吸附值 (mg/g)	亚甲基兰吸附值 (mg/g)	粒度(过 200 目,%)	水分(%)	灰分 (%)
935	160	91	10.3	12.1

在污染团到达前，通过模拟试验确定了不同硝基苯超标倍数下的最佳粉末活性炭投加量,得到的结论是吸附时间应保证在 2h 以上，对应不同超标倍数下的投炭量见表 2，可以将硝基苯吸附去除到标准值以内。

表 2 不同超标倍数下的投炭量

超标倍数(倍)	1	2	5	10	15	20	25	30	40	50
PAC 投加量 (mg/L)	10	15	20	30	30	40	50	50	80	80

在应急供水生产上，考虑到水样检测存在滞后，以及水质的波动因素，为了确保安全可靠，在试验数据基础上，适当提高炭投加量。获得的实际吸附去除效果按炭投加量区分，见图 3、4、5 所示。

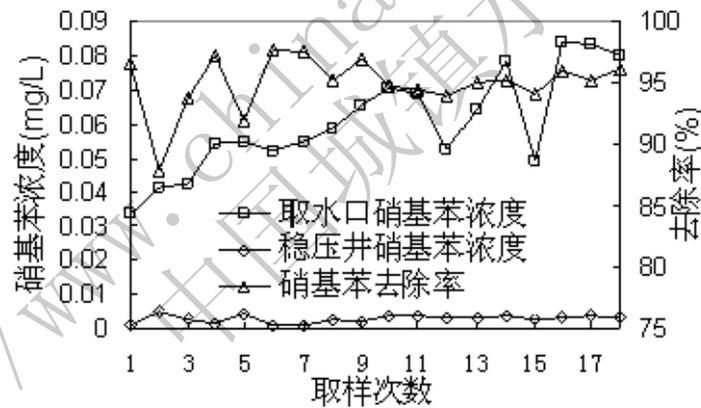


图 3 PAC 投加量为 30mg/L 时硝基苯的去除效果

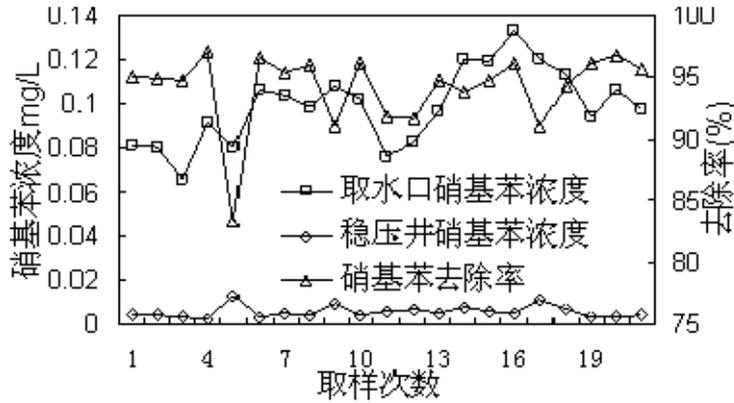


图 4 PAC 投加量为 40mg/L 时硝基苯的去除效果

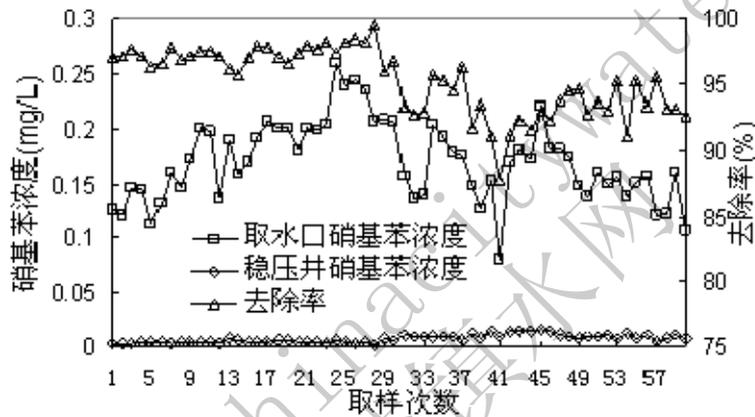


图 5 PAC 投加量为 50mg/L 时硝基苯的去除效果

由图 3、4、5 可见，在各种原水硝基苯浓度超标倍数下，通过调整 PAC 投量，可以保证硝基苯的平均去除率达到 95% 左右，一般不低于 90%。这些生产性数据和实验室烧杯试验的结果相近，但是去除率要低 2~3 个百分点，这是由于操作条件不同造成的。数据说明以烧杯试验模拟生产情况、指导生产运行是可行的。

从以上数据还可以看出，虽然原水的硝基苯浓度波动较大，但在投加 PAC 之后水中残留硝基苯浓度均低于 0.017mg/L 的限值，证明 PAC 对水中硝基苯的去除具有很好的效果和很高的稳定性，这为最终出水达标提供了可靠的保证。

3.2 混凝沉淀的强化及对硝基苯的协同去除作用

投加粉末活性炭后，会影响絮体的结构、形态，以及沉淀性能。在沉淀池中大量粉末活性炭形成泥炭层，影响排泥；出水浊度值可能偏高，会缩短滤池的运行周期、增加反冲洗频率，严重情况下大量漂浮粉末活性炭进入滤池会导致滤池堵塞。为解决上述问题，对混凝沉淀进行强化。

通过小试确定了在投加活性炭的情况下，混凝剂的投加量与出水浊度之间的关系。当粉末活性炭投加量在 50mg/L 以下时，混凝剂聚合铝 (PACl) 投加量为 0.11mL/L，助凝剂活化硅酸投加量为 0.01mL/L，沉淀池出水浊度可控制在 3.0NTU 以下，满足浊度控制要求。当粉末活性炭投量更高时，沉淀池出水浊度会有升高。实践表明，加强排泥是非常重要的，否则可能由于粉末活性炭沉降性能不好而上浮，沉淀池出水漏炭增加。

烧杯试验证明，在不投加粉末活性炭的条件下，混凝沉淀对硝基苯的去除作用微弱。但是从图 6 可以看出，在投加粉末活性炭后，混凝沉淀对硝基苯有 40%~90% 的去除率，出水硝基苯含量基本在 0.005mg/L 以下。该去除率是预先投加 PAC 的吸附和混凝沉淀的共同作用来实现的。在混凝沉淀的过程中，没有达到

吸附饱和的 PAC 会继续进行硝基苯的吸附，同时混凝剂的水解产物也会与活性炭微粒及水中的有机物、胶体等发生聚集，产生某种协同作用，提高了对水中硝基苯的去除能力。这一现象是值得关注的。同时，从图中还可以看出，在进水硝基苯浓度较高时，混凝沉淀对硝基苯的去除率也在较高的水平。

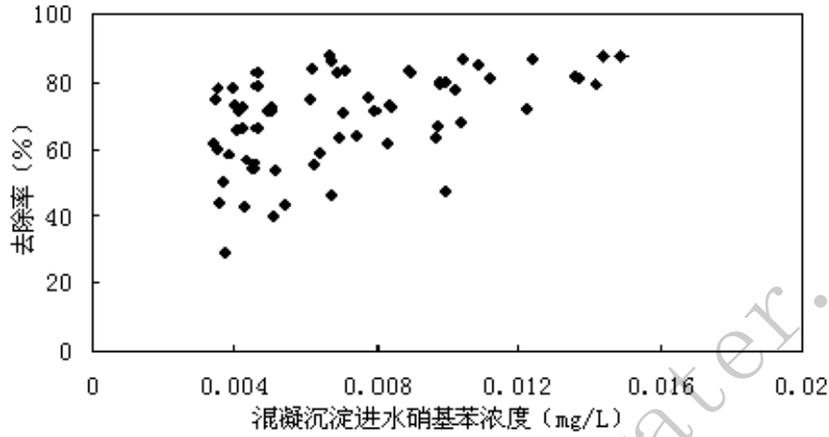


图 6 混凝沉淀对硝基苯的去除效果

3.3 炭砂滤池的运行及对硝基苯的去除作用

少量粉末活性炭会从沉淀池泄漏进入滤池。炭砂滤池是截留这些漏炭的唯一环节。对滤池 20min 内初滤水进行连续监测，未发现滤池有明显漏炭。

图 7 的实测生产数据表明，炭砂滤池对低浓度硝基苯的去除率在 20%~80% 之间，滤前水硝基苯浓度越高，去除率越高。过滤出水中硝基苯的含量均在 0.002mg/L 以下远低于规定的限值，为水质安全提供了可靠的保证。

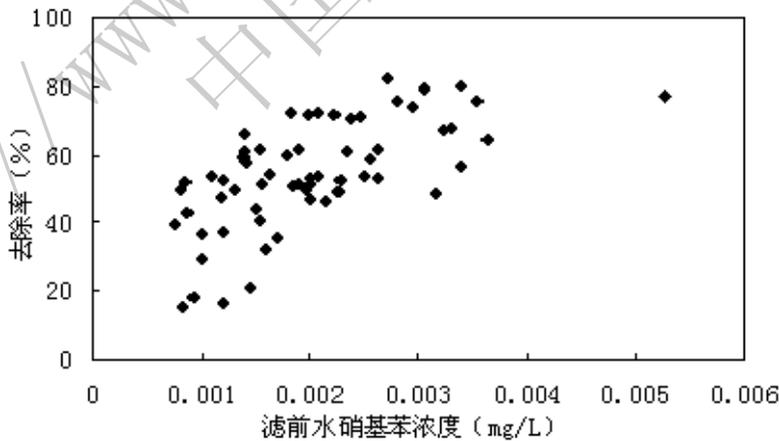


图 7 炭砂过滤对硝基苯的去除效果

3.4 硝基苯总体去除情况

投加粉末活性炭、强化混凝沉淀和炭砂滤池，从不同层次共同保障了对硝基苯的去除效果和水厂的正常运行，为在硝基苯污染期间的应急供水构筑了多级安全屏障。

在原水硝基苯超标最高达 14.22 倍的情况下，上述工艺组合对硝基苯的总去除率平均达到 99.4%，最终过滤出水中硝基苯的含量均在 0.002mg/L 以下，效果优异。在对原水中硝基苯去除的贡献份额中，粉末

活性炭的平均去除率达到 94.8%，是去除硝基苯的主要环节；混凝沉淀的平均去除率为 3.8%，其主要作用是保证粉末活性炭从水中被有效去除；过滤是保证水质的最后屏障，对硝基苯也有 0.8% 的平均去除率（见图 8）。

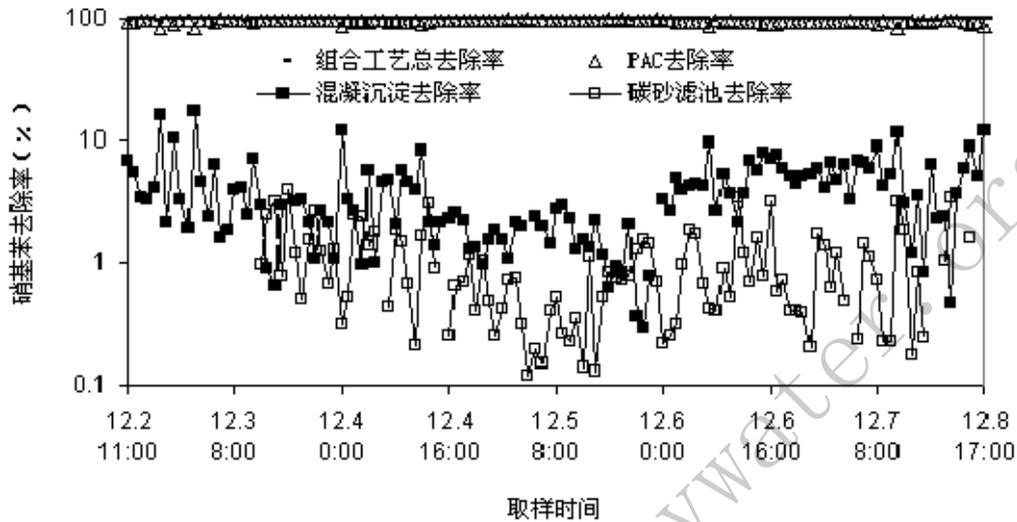


图 8 各单元环节对硝基苯的去除率

4. 结论

(1) 实践证明，所采用的应急技术方案是完全正确的，粉末活性炭、强化混凝沉淀、炭砂滤池构成了应急供水的多级处理环节，各自发挥着特定的作用。上述应急工艺保证了在硝基苯最大超标 14.22 倍的情况下，供水中残留硝基苯始终未超标，实现了不中断供水的目标。

(2) 粉末活性炭承担了去除硝基苯的主要任务，在取水口部投加，使之有充足的吸附时间是保证充分发挥作用的基本条件，是十分重要的措施。

(3) 将应对污染的技术措施尽量前移，将问题解决在较前段的水处理单元环节中，后续环节起缓冲与安全余量的作用，“关口前移”是确保供水水质安全的重要经验。

(4) 水厂应根据特定的水源水体情况，研究可能发生的污染问题及应对措施。在水厂有针对性地设置应对水质突发事件的备用设施是很有必要的，尤其在水厂设计中应引起重视。包括投加粉末活性炭在内的各种药剂投加设施投资少、用途广、启动迅速，可作为应急备用设施的首选。

本次在哈尔滨气化厂（达连河）的应对硝基苯污染工作，积累了水厂应对突发性水污染事件的宝贵经验。在随后的研究工作中，笔者又专门对粉末活性炭吸附和强化混凝沉淀去除硝基苯的技术进行了较为系统的研究，相关研究文章将陆续发表。

本次应急供水技术工作是专家组会同哈尔滨气化厂、黑龙江省及哈尔滨市有关部门、以及一批水质分析、试验人员在 9 昼夜的连续奋战中共同进行的，正是上述单位与人员的辛勤工作与密切合作取得了应对水污染的成功，本文是对这一工作成果的初步总结，笔者对所有有关人员表示衷心的感谢。