

农村高氟水处理现状典型调查与分析

李 斌^{1 2} 杨继富^{1 2} 赵 翠^{1 2} 纪雪梅^{1 3}

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100048; 2. 国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 北京 100048;

3. 济南大学, 济南 250022)

摘 要: 为了解农村高氟水处理现状, 深入河北、河南、安徽、山西、天津 5 省(市) 进行调研与水质检测, 共调研了 39 处工程。从实际运行情况看正常运行工程只有 21 处, 而其中处理效果达标的仅 14 处, 占全部调研工程的 35.9%, 说明目前高氟水处理情况并不乐观。其原因主要是水质不稳定、技术选择不合理、分质供水可操作性差、制水成本高等。目前采取的降氟措施, 更新水源措施相对安全、可靠、方便, 更容易得到群众认可, 但是不具备换水源条件时可通过建设规模工程集中降氟、提高分质供水管理水平、提高认识加强宣传、严把工程设计和审查关、继续开展科技攻关等措施, 逐步提高高氟水处理水平, 改善高氟水处理现状。

关键词: 农村高氟水; 高氟水处理现状; 问题与对策

中图分类号: TU991.2

文献标识码: B

氟化物通过岩石矿物的风化和溶解在火山喷发和海洋气溶胶过程中释放到环境中, 中国是地下水受氟污染最严重的国家之一, 氟污染的主要来源是自然风化过程。由于特殊的水文地质条件、不合理的地下水开采以及采矿、选矿等生产污染造成的农村饮用水中氟超标问题十分突出。氟是人体必需的一种微量元素之一, 人体维持健康需要摄入一定量的氟, 但如果长期过量摄入, 超过人体正常生理需要就会引起慢性蓄积中毒, 表现为氟斑牙、骨膜增生、骨质疏松、骨骼变形等氟骨病^[1-2]。根据《全国农村饮水安全工程“十二五”规划》, 拟解决农村饮水不安全人口 2.98 亿人, 其中高氟水人口 3 240 万人, 占 10.9%, 主要分布在华北、西北、华中地区。根据中国饮用水卫生标准, 氟化物的最大允许浓度是 1 mg/L^[3]。解决高氟水问题的首选方案是寻找替代水源, 其次是采取特殊水处理措施。由于农村供水水源条件有限, 因此农村供水是除氟技术的主要应用领域, 尽管氟化物可以通过许多种技术^[4-5]去除, 但只有适合农村特点和操作简便的除氟技术, 才可能获得更广泛的应用^[6]。由于以往缺乏适宜的高氟水处理技术和设备, 或现有降氟技术及设备运行成本高、使用操作复杂, 造成设备失效或闲置。由于缺乏适宜处理技术和设备, 或已有处理设施不能正常运行, 使部分已经解决的高氟水人口又重新饮用高氟水, 部分人口高氟水问题没有真正解决。

为掌握农村高氟水处理现状, 本文深入存在高氟水问题的典型代表省(市) 河北、河南、安徽、山西、天津 5 省(市) 进行调研与水质检测, 以期了解真实的高氟水处理现状, 分析存在问题及成因, 为解决农村高氟水问题提供参考。

1 调研工程基本情况

在调研时, 先与省厅座谈, 了解全省高氟水处理情况; 其次, 深入各县了解典型工程运行与管理情况, 包括查阅设计文件、掌握处理工艺; 再次, 对工程水源和出水水质进行检测, 判断处理效果; 最后, 与相关人员交换意见, 分析问题原因, 提出对策建议。本文共调研了 5 个省(市) 17 个县 39 处农村高氟水处理工程, 工程基本情况见表 1。

2 农村高氟水处理存在问题分析

2.1 高氟水处理现状分析

(1) 水源氟超标状况。氟含量 1.0~2.0 mg/L 工程 12 处, 占 30.8%; 氟含量 2.0 mg/L 以上工程 27 处, 占 69.2%。

(2) 供水规模状况。规模以上工程 30 处, 占 76.9%; 单村工程 9 处, 占 23.1%。

(3) 处理技术类型。如图 1 所示, 在调研工程中采用反渗透处理的 15 处, 占 38.5%; 羟基或碳基磷灰石吸附的 14 处, 占 35.9%; 分子筛处理的 5 处, 占 12.8%; 电渗析处理的 2 处, 占 5.1%; 活性氧化铝吸附的 2 处, 占 5.1%; 纳米复合滤料吸附的 1 处, 占 2.6%。

收稿日期: 2018-03-26

基金项目: 建设部重大水专项“农村饮用水安全保障技术标准化研究及规模化应用示范”(2015ZX07402003)。

作者简介: 李 斌(1982-), 女, 高级工程师, 主要从事农村饮水安全相关工作。E-mail: libin@iwhr.com。

表 1 调研工程情况

工程 编号	处理规模/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	井深/ m	投入 运行 时间	供水方式	技术类型	设备运行状况	处理成本/ ($\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$)	维护保养要求及成本	氟化物/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	
									原水	出厂水
1	1 500	300	2013	集中供水	碳基磷灰石	安装初期达标 ,之后基本不运行	0.3	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 6 000 元/t	2.3	2.2
2	1 900	300	2014	集中供水	碳基磷灰石	安装后基本不运行 ,本次检测效 果基本达标 ,但需长期观测验证	0.3	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 6 000 元/t	1.9	1.2
3	370	300	2015	集中供水	羟基磷灰石	正常运行 ,但滤料长时间未再生 , 基本失去吸附能力	0.4	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 10 000 元/t	2.0	1.7
4	2 400	350	2015	集中供水	纳米复合滤料	处理效果好 ,但基本不运行	0.9	再生周期约为 10 d 左右 ,每次 再生时间为 24 h ,设备需要一 用一备	2.3	0.3
5	1 200	350	2009	集中供水	羟基磷灰石	正常运行 ,但已失效	0.4	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 10 000 元/t	1.6	1.6
6	2 400	370	2013	集中供水	羟基磷灰石	正常运行 ,但已失效	0.4	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 6 000 元/t	2.0	1.9
7	2 000	350	2014	集中供水	羟基磷灰石	正常运行	0.4	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 10 000 元/t	2.1	1.2
8	3 800	360	2015	集中供水	羟基磷灰石	不运行	0.4	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 6 000 元/t	1.9	1.7
9	300	350	2013	集中供水	羟基磷灰石	不运行	0.4	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 10 000 元/t	1.9	1.8
10	3 000	400~550	2014	集中供水	碳基磷灰石	正常运行 ,但已失效	0.3	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 6 000 元/t	2.1	1.8
11	3 000	500	2011	集中供水	活性氧化铝	不运行	0.4	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 4 000 元/t	2.1	1.9
12	1 800	400	2014	集中供水	碳基磷灰石(勾兑)	设备处理效果好 ,但基本不运行 或运行时间短导致勾兑后不达标	0.3	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 6 000 元/t	1.5	0.1(勾 兑后 1.4)
13	1 700	400	2015	集中供水	碳基磷灰石(勾兑)	设备处理效果好 ,但基本不运行 或运行时间短导致勾兑后不达标	0.3	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 6 000 元/t	1.8	0.1(勾 兑后 1.4)
14	670~1 400	135	2015	集中供水	碳基磷灰石(勾兑)	基本不运行 ,调查时设备运行、处 理效果达标	0.3	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 6 000 元/t	1.5	0.7(勾 兑后 0.9)
15	800~1 200	135	2015	集中供水	碳基磷灰石	基本不运行 ,调查时设备运行、处 理效果达标	0.3	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 6 000 元/t	1.3	0.3
16	144	350	2014	集中分质供水	反渗透	正常运行 ,生产桶装水未覆盖全 部供水人口	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一 次 20 元/支; 反渗透膜 3~5 a 更换一次 4 000 元/支	1.9	0
17	960	500~600	2014	集中供水	反渗透(勾兑)	基本不运行	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一 次 20 元/支; 反渗透膜 3~5 a 更换一次 4 000 元/支	2.4	0.1(勾 兑后 1.0)
18	1 000	300~600	2014	集中供水	反渗透(勾兑)	基本不运行	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一 次 20 元/支; 反渗透膜 3~5 a 更换一次 4 000 元/支	2.3	0.2(勾 兑后 1.0)
19	1 000	300~430	2010	集中供水	反渗透(勾兑)	基本不运行	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一 次 20 元/支; 反渗透膜 3~5 a 更换一次 4 000 元/支	2.7	0.1(勾 兑后 0.9)
20	1 000	350	2011	集中供水	分子筛	正常运行 ,但滤料基本失效	0.4	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 8 000 元/t	2.6	2.4
21	1 000	480	2010	集中供水	分子筛	基本不运行	0.4	半年或吸附容量下降 50%时更 换滤料 8 000 元/t	2.5	2.1

续表 1 调研工程情况

工程 编号	处理规模/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	井深/ m	投入 运行 时间	供水方式	技术类型	设备运行状况	处理成本/ (元 $\cdot \text{m}^{-3}$)	维护保养要求及成本	氟化物/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	
									原水	出厂水
22	1 000	350	2011	集中供水	分子筛	基本不运行	0.4	半年或吸附容量下降 50% 时更换滤料 8 000 元/t	2.3	2.0
23	192	350	2011	集中分质供水	反渗透	正常运行,生产桶装水未覆盖全部供水人口	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一次,20 元/支;反渗透膜 3~5 a 更换一次,4 000 元/支	2.1	0.2
24	24	350	2009	单村分质供水	反渗透	正常运行	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一次,20 元/支;反渗透膜 3~5 a 更换一次,4 000 元/支	2.2	0.2
25	192	350	2011	集中分质供水	反渗透	正常运行,生产桶装水未覆盖全部供水人口	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一次,20 元/支;反渗透膜 3~5 a 更换一次,4 000 元/支	1.7	0.1
26	24	350	2009	单村分质供水	反渗透	正常运行	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一次,20 元/支;反渗透膜 3~5 a 更换一次,4 000 元/支	2.3	0.5
27	960	350	2009	集中供水	活性氧化铝	不运行	0.4	半年或吸附容量下降 50% 时更换滤料 4 000 元/t	2.6	2.6
28	24	300	2009	单村分质供水	反渗透	正常运行	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一次,20 元/支;反渗透膜 3~5 a 更换一次,4 000 元/支	2.7	0.1
29	24	280	2010	单村分质供水	电渗析	正常运行	1.8	离子交换膜 2~3 a 更换一次,2 500 元/支	2.7	0.3
30	24	300	2011	单村分质供水	电渗析	基本不运行	1.8	离子交换膜 2~3 a 更换一次,2 500 元/支	2.5	1.6
31	24	350	2010	单村分质供水	反渗透	正常运行	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一次,20 元/支;反渗透膜 3~5 a 更换一次,4 000 元/支	2.5	0.2
32	24	300	2013	单村分质供水	反渗透	正常运行	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一次,20 元/支;反渗透膜 3~5 a 更换一次,4 000 元/支	4.3	0.15
33	24	300	2010	单村分质供水	反渗透	基本不运行	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一次,20 元/支;反渗透膜 3~5 a 更换一次,4 000 元/支	3.8	0.2
34	24	350	2014	单村分质供水	反渗透	正常运行	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一次,20 元/支;反渗透膜 3~5 a 更换一次,4 000 元/支	4.1	0.1
35	1 000	400	2007	集中供水	分子筛	正常运行,但滤料已失效	0.4	半年或吸附容量下降 50% 时更换滤料 8 000 元/t	5.6	4.7
36	1 000	450	2011	集中供水	分子筛	正常运行	0.4	半年或吸附容量下降 50% 时更换滤料 8 000 元/t	5.6	2.6
37	960	300	2013	集中供水	混凝沉淀与吸附组合处理技术	正常运行	0.8	半年或吸附容量下降 50% 时更换滤料 8 000 元/t	2.6	0.26
38	144	350	2011	集中分质供水	反渗透	正常运行,生产桶装水	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一次,20 元/支;反渗透膜 3~5 a 更换一次,4 000 元/支	2.4	0.1
39	200	400	2008	集中分质供水	反渗透	正常运行,生产桶装水	1.5	过滤器滤芯 3~6 个月更换一次,20 元/支;反渗透膜 3~5 a 更换一次,4 000 元/支	2.6	0.1

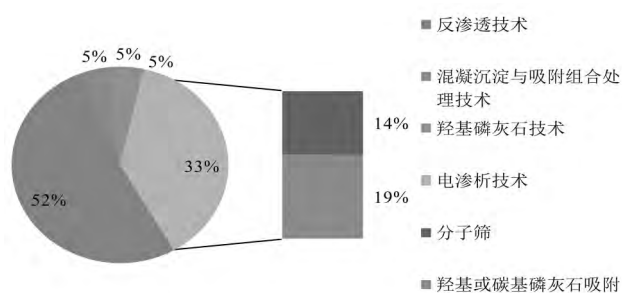


图1 调研工程处理技术类型

(4) 技术模式类型。采用分质供水模式的 14 处,占 35.9%,其中单村膜处理+常规供水 9 处,规模化膜处理+常规供水 5 处,占 12.8%;低超标高氟水处理混合供水 5 处,占 12.8%;吸附法处理 19 处,占 48.7%;混凝沉淀与吸附组合处理 1 处,占 2.6%。

(5) 工程运行状况。正常运行的 21 处,占 53.8%;不运行或基本不运行的 18 处,占 46.2%。

(6) 处理效果。如图 2 所示,在正常运行的 21 处工程中,处理效果达标的 14 处(反渗透处理 11 处,混凝沉淀与吸附组合处理 1 处,羟基磷灰石吸附 1 处,电渗析 1 处),占 66.7%;不达标的 7 处(分子筛 3 处,羟基或碳基磷灰石吸附 4 处),占 33.3%。也就是,在现场调查的 39 工程中,处理效果达标的 14 处,占 35.9% 不合格的 25 处,占 64.1%。

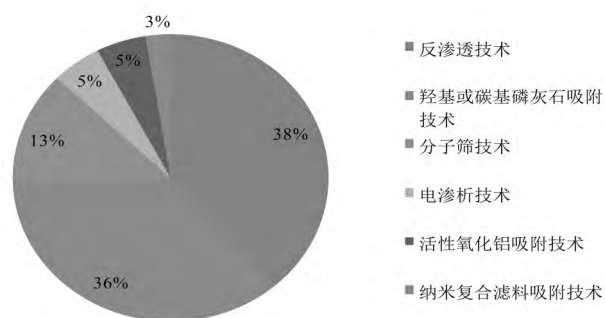


图2 不同处理技术的运行效果

2.2 存在的主要问题和原因

(1) 水质不稳定。采用新打机井更新水源的措施,运行初期,水量稳定,水质达标。但由于当地农业灌溉深井多层取水,且分布范围广、密度大、取水量多,造成了不同含水层串流,导致原有饮用水源含氟量超标。

(1) 技术选择不合理。我国农村高氟水水质条件复杂,同时存在悬浮物、有机物、胶质、色度、硬度、碱度、磷酸盐等多指标超标问题,直接影响除氟技术及设备的正常运行。在技术选择时如果没有对高氟水的水质情况进行综合分析,很难选择适宜的技术,如分子筛、活性氧化铝等吸附滤料持续除氟效果差;反渗透设备能耗高、弃水量大,达到 40%,且含氟量高,无法回收利用,弃水排放造成水资源的浪费和地下水污染。

(2) 分质供水可操作性差。分质供水本来应该是解决高氟水问题的有利措施,但是由于农村居民居住分散,距离水厂较远,桶装水取用不便,供水不及时,加之部分群众安全饮水意识不强,仍在饮用未经处理的高氟水。同时由于降氟处理工艺不够成熟,经常出现滤料失效、滤膜堵塞、动力水头不足等问题,

在出水、储存和运输过程中极易发生水质不达标问题,导致居民取水积极性不高,工程利用率低。

(3) 制水成本高。降氟设备运行耗电量大,滤料更换频繁且材料价格较贵,提高了供水成本。由于农民承受能力较低,农村供水水价达不到供水成本,水厂收益无法保障,不能及时维修、更换设施设备,影响水厂可持续性运行。

(4) 运行管理不到位。由于除氟工程的实际操作过程较为复杂,如吸附法需要加药、调节 pH 值、滤料再生,反渗透对前期过滤要求高等,农村水厂缺乏专业人员的维护导致工程不可持续。

3 对策与建议

(1) 推进水源置换。目前采取的降氟措施,更新水源措施相对安全、可靠、方便,更容易得到群众认可,采取新打机井的措施,避开高氟含水层,更新水源,初步解决了饮用高氟水问题。沧州市东部地区通过将黄河水引入大浪淀、杨堤水库,新建输配水管网和加压泵站,解决了孟村、海兴、南皮、盐山等县农村饮水高氟问题值得借鉴。

(2) 集中降氟。对于无法采取水源置换的地区,由于除氟工艺操作复杂,小型工程管理能力差,因此需建设规模化水厂,安装大型除氟设备,实行专业化管理,集中降氟后送入管网,供水入户。

(3) 提高分质供水管理水平。不具备集中处理或规模较小供水工程更多的是采用分质供水。即将未经降氟处理的地下水,通过管网输送入户,用于日常洗漱和卫生清洁;将降氟处理后的水灌装入桶,用于日常饮用。但这种方式要提高桶装水的取水方便程度,不能采取定时供水,桶装水价格不能过高,工程要有专业人员进行定期维护。

(4) 提高认识加强宣传。农村供水行业主管部门和工程单位要深刻认识高氟水处理的复杂性,组织有关专家,深入调查分析影响高氟水处理的主要问题和原因,提出系统解决方案。在此基础上,全面排查农村高氟水处理工程使用情况,对没有处理或处理不达标的工程进行调整和更新,对不能正常运行或处理不达标的工程,及时查找原因,进行整改。同时加强宣传,使广大用水户认识高氟水处理的必要性,争取理解和支持。

(5) 严把工程设计和审查关。省、市、县级农村供水主管部门应严格高氟水处理工程设计审查和工程验收,严格高氟水处理工艺设计与设备选型审查和复核。对设计不规范、缺乏原水全面分析和选购设备不合格、对运营成本无核算的工程不予审批和验收。

(6) 继续开展科技攻关。突破高氟水处理技术、材料等难题。建议科技部、水利部、卫生部联合组织国内一流的产学研单位联合攻关,开发高氟水处理新技术、设备、材料,形成先进实用、成熟配套的工艺技术及设备。

(7) 开展高氟水处理水质标准研究。随着农村居民生活水平提高和社会进步,人们对饮用高氟水的耐受能力将有所提高,建议通过对比世界各国标准,广泛开展流行病学调查、试验研究等方法,对现有高氟水含量 1.0、1.2、1.5 mg/L 等条件下发

病情况进行深入系统调研,提出适合我国国情和不同区域特点的高氟水水质标准。

4 结 语

本文基于5个省(市)17个县39处农村高氟水处理工程现状及运行管理情况的调研分析与水质检测结果,对于全国的现状不一定有代表性。同时看到,这些问题的存在有其客观必然性,是高氟水的复杂性和农村供水工程运行管理现状水平决定了这些问题的存在。

从实际运行情况看正常运行处工程只有21处,而其中处理效果达标的仅14处,占全部调研工程的35.9%,说明目前高氟水处理情况并不乐观。其原因主要是水质不稳定、技术选择不合理、分质供水可操作性差、制水成本高等。目前采取的降氟措施,更换水源是能够从根本上解决饮用高氟水问题的有效措施,但是不具备换水源条件时可通过建设具有管理能力的规模化工程集中降氟,根据当地原水氟含量选用可靠、可持续的除氟技术,并确保后期工程的运行管理到位,避免出现工程运

行一段时间后不可持续的问题,才能解决实际问题。 □

参考文献:

- [1] Charles Y C Pak, Joseph E Zerwekh, Peter Antich. Anabolic effects of fluoride on bone[J]. Trends in Endocrinology and Metabolism, 1995, 6(7): 229-234.
- [2] Florian L Cerklewski. Fluoride bioavailability—nutritional and clinical aspects[J]. Nutrition Research, 1997, 17(5): 907-929.
- [3] GB5749-2006, 生活饮用水卫生标准[S].
- [4] Mohapatra M, Anand S, Mishra B K, et al. Review of fluoride removal from drinking water[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 91(1): 67-77.
- [5] Li Z J, Deng S B, Zhang X Y, et al. Removal of fluoride from water using titanium-based adsorbents[J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering in China, 2010, 4(4): 414-420.
- [6] Ayoob S, Gupta A K. A conceptual overview on sustainable technologies for the defluoridation of drinking water[J]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2008, 38: 401-470.

(上接第105页)

```
res_node_10_pressure_max = res_node_10_pressure(1, i)
End If
If res_node_10_pressure(1, i) < res_node_10_pressure_min
Then
    res_node_10_pressure_min = res_node_10_pressure(1, i)
End If
Next
```

3 现场测试与计算案例对比

为了分析仿真软件的计算精度是否满足要求,以某提灌站管路系统为计算对象,提灌站基本参数见表1。首先在提灌站稳态运行情况下,进行现场测试,然后在仿真软件上进行稳态仿真计算,最后将现场测试数据和仿真软件计算数据进行对比。对比结果见表2。

表1 提灌站基本参数 m

Tab.1 Basic parameters of the pump station

名称	参数	名称	参数
提灌站净扬程	27.5	出水管道总长度	140
进水管总长度	6.5	出水管道管径	0.25
进水管管径	0.3	水泵型号	300S58B

表2 现场测试数据与仿真软件计算数据对比

Tab.2 The simulation data Compared with the test data

项 目	水泵实际工作 流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	水泵实际工作 扬程/m
现场测试数据	682.17	32.48
仿真计算数据	672.84	33.86
仿真计算误差/%	-1.37	+4.24

由表2可知,该提灌站管路系统在稳态运行情况下,现场

测试的水泵实际工作流量为 $682.17 \text{ m}^3/\text{h}$,仿真软件计算的水泵实际工作流量为 $672.84 \text{ m}^3/\text{h}$,仿真软件计算的流量结果比现场测试的流量小了 $9.33 \text{ m}^3/\text{h}$,仿真计算误差为-1.37%;现场测试的水泵实际工作扬程为32.48 m,仿真软件计算的水泵实际工作扬程为33.86 m,仿真软件计算的扬程比现场测试的扬程高了1.38 m,仿真计算误差为+4.24%。水泵实际工作流量和实际工作扬程的仿真计算误差较小,仿真计算结果具有实际参考价值。

4 结 语

基于flowmaster的提灌站稳态和过渡过程运行仿真软件界面设计简单、友好。该软件专业性强、计算速度快、计算精度高,设计人员只需输入水泵、管道、阀门等设备的关键参数以及边界条件和计算条件即可进行运行仿真计算,根据计算结果设计人员即可判断设计方案的合理性,若设计方案不合理,便可快速地进一步对设计方案进行修改完善。可作为提灌站工程设计人员在设计选型时参考。 □

参考文献:

- [1] 姚青云,李志敏.事故停泵水锤对压力管道的影响[J].排灌机械, 2006, 24(6): 117-120.
- [2] 张亚莉,宋世露,陈 勇,等.泵站侧向进水前池整流措施数值模拟[J].中国农村水利水电, 2015, (5): 117-120.
- [3] 谭淋露,冯建刚,陈毓陵,等.泵站虹吸式出水管数值模拟及水力优化[J].中国农村水利水电, 2014, (3): 126-129, 133.
- [4] 卢 珍,周小波,李光辉,等.基于Flowmaster的高扬程长管道提灌站止回阀关闭规律研究[J].现代农业科技, 2017, (1): 173-175.
- [5] 许志刚.停泵水锤数值模拟及其可视化技术的研究[D].长沙:湖南大学, 2009.
- [6] 北京海基科技发展有限公司.Flowmaster 热流体系统设计仿真平台[EB/OL]. <http://www.hikeytech.com/index.php?m=Page&a=index&id=40>.