

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.12.020

反向翻板滤池在南方某水厂的工程应用

贺光清, 郭文路, 周衍文

(衡阳市水务投资集团有限公司, 湖南 衡阳 421000)

摘要: 针对南方某水厂原水水质变化大和普通快滤池存在的不足,结合建设用地受限的实际情况,经过方案比选,确定通过原位提质改造将普通快滤池改建为反向翻板滤池,同时增加自动控制系统和汽水反冲洗系统,进一步提升滤池出水水质,确保供水水质安全。改造后滤池出水浑浊度波动范围明显收窄,从0.314~0.911 NTU降至0.098~0.351 NTU,平均去除率从78.9%提升至91.5%;滤池改造后有效处置高浊、低温低浊和高藻等异常原水;滤砂使用8年后,滤池出水浑浊度仍能保持在0.2~0.4 NTU。此外,受密封橡胶材料老化和阀门连杆长期使用后伸缩不到位等因素影响,1#滤池排水翻板阀出现漏水情况,需要进行维修。

关键词: 反向翻板滤池; 设计; 反冲洗; 运行经验

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2026)12-0132-06

Engineering Application of Reverse Shutter Filter in a Water Treatment Plant of Southern China

HE Guangqing, GUO Wenlu, ZHOU Yanwen

(Hengyang Water Investment Group Co. Ltd., Hengyang 421000, China)

Abstract: In response to the wide range of raw water quality variations at a water treatment plant in the southern China and the shortcomings of the existing conventional rapid filter, and considering the limited land available for the water treatment plant, after a series of scheme comparisons, the conventional rapid filter was upgraded in situ to a reverse shutter filter. Additionally, an automatic control system and an air-water backwashing system were added to further enhance the water quality of the filter effluent and ensure the safety of the water supply. After the renovation, the fluctuation range of the filter effluent turbidity was significantly narrowed from 0.314–0.911 NTU to 0.098–0.351 NTU, and the average turbidity removal rate increased to 91.5% from 78.9%. After the filter was renovated, it successively withstood the tests of abnormally turbid water, high turbidity water, low temperature and low turbidity water, and high algae water. Even after 8 years of use, the turbidity of the filter effluent could still be maintained at 0.2–0.4 NTU. Additionally, due to the aging of the sealing rubber material and the failure of the valve connecting rod to fully extend after long-term use, the drainage flap valve of the No.1 filter began to leak, it needs to be repaired.

Keywords: reverse shutter filter; design; backwashing; operating experience

随着城市规模不断扩大,城镇化水平不断提高,居民对生活饮用水的需求不断增长,然而大量水厂常规过滤处理工艺仍存在过滤效能偏低,反冲

洗频次、水电耗偏高以及自动化控制水平较低等问题,滤后水水质难以完全保证,制约了饮用水安全保障水平的持续提高^[1-2]。由于翻板滤池和反向翻

板滤池具有截污能力强、结构简单和反冲洗水电消耗较低等优势,因此在新疆、湖南等地得到广泛应用^[3-11]。

以南方某水厂提质改造中的滤池工程为例,介绍反向翻板滤池改造的原则、思路、主要设计参数、关键施工措施以及在多种原水条件下的实际运行效果,可为类似工程提质改造提供参考。

表 1 水厂原水水质

Tab.1 Raw water quality of waterworks

项目	浑浊度/NTU	色度/度	氨氮/(mg/L)	高锰酸盐指数/(mg/L)	藻类/(万个/L)	砷/(μg/L)	铊/(μg/L)
检测值	2~2 000	5~200	0.05~0.50	1.0~4.0	0.5~300.0	5~50	0~0.5

该水厂始建于 1956 年,是当地第一座自来水厂。随着城市快速发展,水厂多次改扩建,供水能力由最初的 1 万 m³/d 增至 18 万 m³/d。一期生产线供水能力为 8 万 m³/d,采用网格絮凝池-平流沉淀池-普通快滤池-清水池加氯消毒的传统处理工艺(见图 1)。该生产线于 2015 年开展深度处理提质改造并于 2017 年正式投产,采用预臭氧处理池-隔板反应池-平流沉淀池-反向翻板滤池-臭氧活性炭滤池-清水池工艺,并在平流沉淀池和清水池后加装水质在线监测设备。改造后工艺流程见图 2。

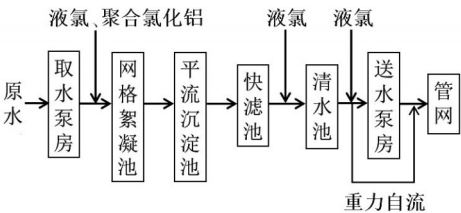


图 1 一期生产线原工艺流程

Fig.1 Original flow chart of the first-phase production line

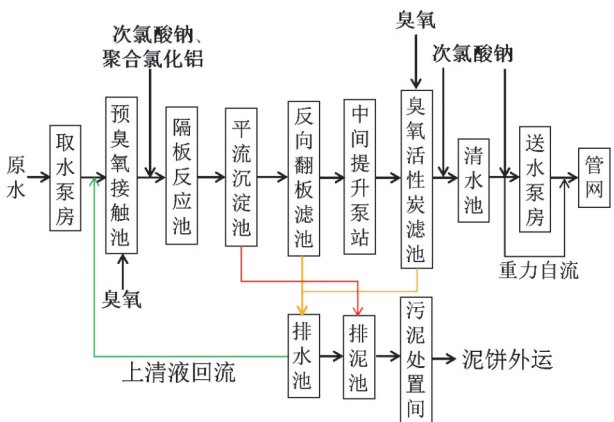


图 2 一期生产线提质改造后工艺流程

Fig.2 Flow chart of the first-phase production line after quality improvement and renovation

1 工程概况

1.1 原水水质及工艺流程

该水厂水源地为河流,原水水质符合《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅱ~Ⅲ类标准,每年 3 月—6 月汛期原水浑浊度最高达 2 000 NTU,夏季 7 月—9 月存在水华风险,其他污染物包括氨氮和砷、铊等重金属。原水水质见表 1。

1.2 原普通快滤池存在的问题

- ① 过滤效果较差,滤后水浑浊度为 0.3~0.7 NTU,最高达 0.9 NTU,出厂水水质难以完全保障;
- ② 采用单水反冲洗,冲洗水耗和电耗均较高;
- ③ 反冲洗效果较差,运行周期短,反冲洗频率高,一般 12~18 h 反冲洗一次,跑砂严重;
- ④ 滤池的过滤、反冲洗控制完全依靠人工操作,管理难度较大。

1.3 滤池改造原则及思路

各种常见滤池的性能比较见表 2。

表 2 各种常见滤池的性能比较

Tab.2 Performance comparison of various common filters

项目	普通快滤池	V 型滤池	翻板滤池	反向翻板滤池
滤料	石英砂	石英砂、陶瓷砂	石英砂或炭砂	石英砂或炭砂
滤速/(m/h)	8~10	7~20	8~20	8~20
反冲洗方式	水冲	气冲-气水冲-水冲	气冲-气水冲-水冲	气冲-气水冲-水冲
反冲洗时间/min	5~8	10~15	8~10	10~13
反冲洗水电耗	高	较高	较低	较低
过滤周期/h	12~24	24~36	24~60	36~72
自动化程度	低	较高	高	高
建设成本	低	较高	较高	较高
运行成本	较高	较低	低	低
出水水质	较好	好	好	最佳

滤池改造方案应科学高效、运行可靠,跑砂少,近期保证滤后水满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)(2016 年—2017 年改造,浑浊度<1 NTU)和企业内控指标要求(浑浊度<0.5 NTU),具备满足现代化水厂出厂水水质要求能力(浑浊度<

0.2 NTU)。

针对水厂原水水质变化范围和原普通快滤池存在的不足,结合建设用地受限的实际情况,通过对 V 型滤池、翻板滤池和反向翻板滤池等方案进行比较(见表 2),确定将普通快滤池原位改建为反向翻板滤池,增加自动控制系统和汽水反冲洗系统,进一步提升滤池出水水质,减少跑砂的发生。

1.4 改造方案及成果

1.4.1 滤池设计与施工

滤池平面、剖面示意图见图 3。

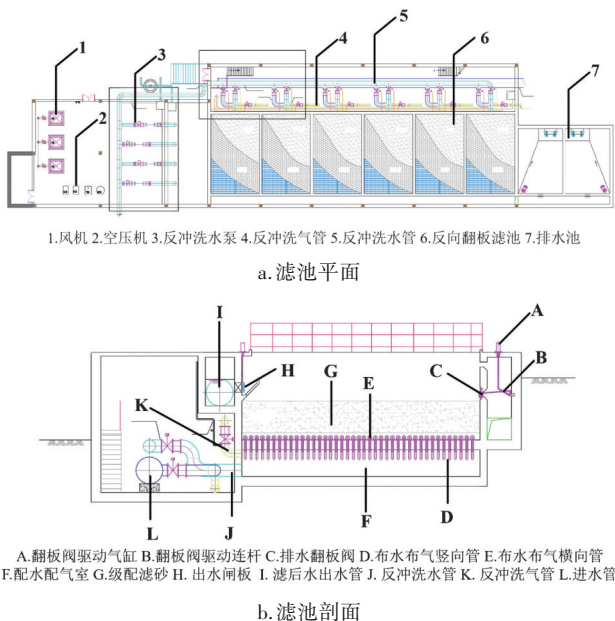


图 3 滤池的平面和剖面示意

Fig.3 Schematic diagram of plane and cross-section of filter

滤池构筑物主要包括反向翻板滤池和排水池两部分,反向翻板滤池来水为沉淀池出水,出水送至中间提升泵站,排水池主要接收反向翻板滤池和炭滤池的排水。

反向翻板滤池及排水池设计规模为 8 万 m³/d。反向翻板滤池设 1 座,分 6 格,主要设计参数见表 3。

① 采用反向过滤,开启滤池过滤进水,待翻板阀排放完初滤水后,打开进水气动闸板,开始进行过滤。滤池反冲洗采用 6 步式气水联合冲洗,第 1 步为滤池排空,通过放空阀将池内液位降至一定高度;第 2 步进行空气冲洗,时间约 3 min,气洗强度为 14 L/(s·m²);第 3 步为气水联合约 4 min,气洗强度不变,水洗强度为 3 L/(s·m²);第 4 步为单水洗约 3 min,水洗强度为 9 L/(s·m²);第 5 步停止冲洗进水,

静置一段时间后,打开排水翻板阀排放冲洗水;第 6 步仍保持翻板打开状态,开启滤池过滤进水,用翻板阀排放初滤水。经过以上 6 个步骤,将滤料清洗干净,保证出水水质符合要求。

表 3 反向翻板滤池主要设计参数

Tab.3 Main design parameters of reverse shutter filter

项目	参数	项目	参数
处理水量/(万 m ³ /d)	8	承托层粒径/mm	2~32
滤池数/格	6	承托层厚度/mm	300
单格过滤面积/m ²	58.8	气洗强度/[L/(s·m ²)]	14
单格平面尺寸/(m×m)	9.6×6.0	气水反冲水洗强度/[L/(s·m ²)]	3
正常滤速/(m/h)	9.9	水反冲强度/[L/(s·m ²)]	9
滤料粒径/mm	级配海砂 0.8~2.0, 有效粒径 0.9~1.2	反冲洗时间/min	气洗 3, 气水洗 4, 水洗 3
均匀系数 k ₆₀	<1.6	过滤周期/h	24
滤层厚度/mm	1 300	强制滤速/(m/h)	11.9

② 反冲洗鼓风机房及反冲洗泵房设在反向翻板滤池的北侧,反冲洗泵房内设 3 台空压机、3 台罗茨鼓风机及 4 台水泵,反洗阶段根据气洗和水洗强度的不同调整风机和水泵的开启台数。

③ 在反向翻板滤池的南侧设置排水池,分 2 格,单格尺寸为 8.0 m×5.5 m×4.8 m,有效水深为 4.0 m,单格有效容积为 176.0 m³。

④ 每格滤池内设置超声波液位计各 1 套,共 6 套;反向翻板滤池出水设浊度计,共 2 套。反洗泵房内的反洗鼓风机和反洗水泵出口每台均自带压力计。

⑤ 在滤池出水渠设计取样点,水样采集后送至化验室检测水质。

⑥ 滤池进水闸阀和排水翻板阀均为气动设计。

⑦ 工艺管道均为钢管,焊接或法兰连接;滤池底部布水布气管道为 304 不锈钢管,焊接;排水管道为硬聚氯乙烯(UPVC)排水管,热熔连接;空气管道为镀锌钢管,螺纹或法兰连接。

⑧ 采用砾石承托层,厚 300 mm,上层粒径 2~4 mm,中间粒径 4~16 mm,下层粒径 16~32 mm。

1.4.2 电气设计与改造

滤池设备总装机容量为334.32 kW,其中3台反冲洗鼓风机为135 kW,45 kW/台,2用1备;动力配电箱01AP为146.52 kW,计算电流为207.1 A;动力配电箱02AP为13.5 kW,计算电流为25.6 A;动力配电箱03AP为19.5 kW,计算电流为22 A;照明配电箱(AL)为19.8 kW,计算电流为30.1 A,负荷等级为二级。

1.4.3 自动反冲洗控制

滤池自动反冲洗控制主要设备包括就地控制柜和公共控制柜,各单格滤池旁设1个就地控制柜,实现滤池监控功能;滤池设1个公共柜,各柜、站通过分布式外设(DP)通信总线连接,共同实现分散控制、集中管理,协调各格滤池反冲洗控制以及设备内部之间的网络通信。各控制站相对独立,任何一个站发生故障,均不影响其他监控站和通信网络及上位机监控管理系统,集中体现“分散控制,集中管理”的优势和特点。

滤池自动反冲洗及工艺主要设备均可按照3种方式控制,同时实现联锁,主要参数可通过上位机和触摸屏进行设定和修改,实现优化控制和科学管理。

方式①:半自动就地手动控制,在滤池就地柜上操作即可。

方式②:全手动就地控制,阀门控制和操作顺序与半自动就地控制方式相同,不同之处在于反冲风机和反冲水泵的控制方法。当需要启动反冲风机或反冲水泵时,需在设备的配电控制柜和变频控制柜上启动和停止反冲风机或反冲水泵。

方式③:可编程逻辑控制器(PLC)自动控制,控制柜各转换开关均处在自动位置,PLC按预先设定的程序自动控制。

2 运行效果及分析

2.1 过滤效果

为对比改造前后滤池对浑浊度的去除效能,2017年滤池稳定运行后分别对改造前后滤池出水浑浊度进行连续30 d测定,改造前过滤周期为12~18 h,改造后因滤池截污能力较强,过滤周期由设计值24 h增至36~48 h,根据设置的过滤水头损失值自动启动反冲洗动作。具体对比结果见表4。

由表4可知,改造前沉淀池和滤池出水浑浊度

变化范围大,沉淀池出水浑浊度为1.650~4.110 NTU,滤后水浑浊度为0.314~0.911 NTU,浑浊度去除率仅为78.9%;改造后沉淀池和滤池管理效果明显提升,出水浑浊度变化范围明显收窄,沉淀池出水浑浊度为1.880~2.560 NTU,滤后水浑浊度为0.098~0.351 NTU,浑浊度平均去除率增至91.5%。与改造前相比,滤池出水浑浊度最高值降低0.560 NTU,最低值降低0.216 NTU,平均浑浊度降低0.247 NTU,去除率提高12.6个百分点。

表4 滤池改造前后进、出水浑浊度对比

Tab.4 Turbidity comparison of influent and effluent before and after filter modification

项目		浑浊度最高值/NTU	浑浊度最低值/NTU	浑浊度平均值/NTU	浑浊度平均去除率/%
改造前	滤前	4.110	1.650	2.470	78.9
	滤后	0.911	0.314	0.422	
改造后	滤前	2.560	1.880	2.070	91.5
	滤后	0.351	0.098	0.175	

此外,改造后滤池的滤速、截污能力和抗冲击负荷能力明显提高,夏季供水高峰期一期生产线最高产能达10万 m³/d,滤后水浑浊度仍能保持在0.3 NTU以下。同时,承托层厚度适中,粒径、级配和分层合理,在运行中未出现大量颗粒物进入面包管内的情况,过滤和反冲洗时均未出现明显堵塞。

该水厂2017年滤池改造完成后,先后有效应对了高浊、浑浊、低温低浊和高藻等异常原水的考验,确保出厂水水质符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)。相关处理情况见表5。由表5可知,在高浊、浑浊和常规原水情况下,由于沉淀池去除悬浮物效果较好,滤池反冲洗周期保持在30 h以上,滤池对浑浊度的平均去除率≥90%,其中,滤池投运时间较短,2019年—2020年高浊水和浑浊水期间滤池反冲洗周期为48~60 h。经过8年的持续运行,反向翻板滤池过滤效果有所下降,为确保滤后水水质,2025年将反冲洗周期调整至30~40 h;在低温低浊原水情况下,由于沉淀池出水浑浊度较低,矾花颗粒较小,滤池存在穿透风险,因此反冲洗周期降至30 h左右,浑浊度平均去除率≥70%;当藻类达到(100~500)万个/L时,过滤效果明显降低,为确保供水量,减少藻类对滤池的堵塞,将反冲洗周期降至18~24 h,浑浊度平均去除率≥70%。

表5 不同原水水质的滤池过滤效能

Tab.5 Filtration efficiency of filter under different raw water quality

时间	原水水质	沉后水浑 浊度/NTU	滤后水浑 浊度/NTU	出厂水浑 浊度/NTU	反冲洗 周期/h	浑浊度平均 去除率/%
2019年3月	高浊(649~1 321 NTU),水温10℃	1.0~3.0	0.2~0.5	0.2~0.5	48~60	≥90
2020年4月	浑浊(89~235 NTU),水温12℃	1.0~1.9	0.1~0.2	0.2~0.3	48~60	≥90
2020年12月	低温低浊(2~3 NTU),水温10℃	0.7~1.0	0.2~0.3	0.1~0.2	30~40	≥70
2021年8月	高藻(100~500)万个/L,浑浊度5~10 NTU,水温32℃	2.2~3.0	0.3~1.4	0.3~0.8	18~24	≥70
2025年3月	常规(5~10 NTU),水温14℃	1.2~2.4	0.2~0.4	0.2~0.3	30~40	≥90

反向翻板滤池稳定运行8年后,在产能为(6~10)万m³/d、反冲洗周期为30~40 h情况下,出水浑浊度保持在0.2~0.4 NTU。

2.2 经济分析

反向翻板滤池改造后于2017年3月正式投入运行,过滤效果良好,反冲洗水耗、电耗成本降低,取得了较好的经济效益。

① 水费:滤池改造前过滤周期为12~18 h,改造后过滤周期为36~48 h,反冲洗水量降低约75%,原水成本节约78.84万元/a。

② 新增设备维护成本:改造前反冲洗机组维修费用约1万元/a;改造后新增2台空压机、3台风机、4台水泵机组、6套气动翻板阀、6套气动闸阀、6套超声波液位计和2套浑浊度在线监测设备,预计维修费用为5万元/a,较改造前增加4万元/a。

③ 电费:主要来自空压机、风机、水泵机组的运行,按照每天运行1 h计算,改造前电费约2.6万元/a,改造后电费约4.0万元/a,增加电费约1.4万元/a。

④ 投资回收期:反向翻板滤池改造费用约1 200万元,投资回收期为16.3年,考虑到滤砂更换等费用,预计18年回收全部投资。

3 滤池运行期间出现的问题

稳定运行8年后,1#滤池排水翻板阀出现漏水现象,且泄漏量较大,主要原因:①密封橡胶材料老化,橡胶和墙面之间出现空隙,影响密封效果;②阀门连杆长期使用后伸缩不到位,排水翻板阀采用压缩空气为动力,通过气缸活塞杆带动驱动曲臂阀门连杆使阀板呈0°~90°翻转启闭,当连杆伸缩不到位时,翻板阀门和阀门框密封不严,引起泄漏。在后续工程实践中考虑到翻板阀需频繁启动,建议高精度安装,避免翻板阀不到位引起的泄漏。

4 结论

① 针对原普通快滤池存在的反冲洗不彻底、过滤周期短、过滤效果差、自动化水平不足等问题,结合水厂实际情况开展了反向翻板滤池改造,改造后滤池出水浑浊度波动范围明显收窄,浑浊度平均去除率从78.9%升至91.5%,并有效处置了高浊、低温低浊和高藻等异常原水,确保了出厂水水质安全。

② 经过8年实践检验,反向翻板滤池运行效果稳定,滤池出水浑浊度保持在0.2~0.4 NTU。

③ 经过8年的运行,受密封橡胶材料老化和阀门连杆长期使用后伸缩不到位等因素影响,1#滤池排水翻板阀出现漏水情况,需要进行维修。

参考文献:

- [1] 吴艳华,杨墨,杨江华,等. 给水厂絮凝气浮+V型滤池工艺运行中的问题分析与研究[J]. 净水技术,2018,37(增刊1):57-60.
WU Y H, YANG M, YANG J H, et al. Analysis and research on problems in process operation of flocculation and floatation +V-shaped filter in water supply plant[J]. Water Purification Technology, 2018,37(S1):57-60(in Chinese).
- [2] 李旭. 提高净水厂虹吸滤池反冲洗强度的技改新措施[J]. 中国给水排水,2014,30(20):136-139.
LI X. A new method of improving backwashing intensity of siphon filter in waterworks [J]. China Water & Wastewater,2014,30(20):136-139(in Chinese).
- [3] 董志锋,刘倩,薛文,等. 虹吸滤池改造为翻板滤池的应用[J]. 净水技术,2020,39(10):24-28.
DONG Z F, LIU Q, XUE W, et al. Application of siphon filter renovation in shutter filter [J]. Water Purification Technology, 2020, 39 (10) : 24-28 (in Chinese).
- [4] 毕爱军. 双层滤料翻板滤池在闽南地区净水厂中的设

- 计实践[J]. 给水排水, 2019, 45(2): 25-30.
- BI A J. Design and practice of double-layer filter media flap-type filter in water purification plant of South Fujian [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(2): 25-30(in Chinese).
- [5] 杨永志, 张鹏, 张德跃. 翻板滤池在设计和施工中的注意事项[J]. 中国给水排水, 2015, 31(10): 61-63.
- YANG Y Z, ZHANG P, ZHANG D Y. Considerations in design and construction of shutter filter [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(10): 61-63 (in Chinese).
- [6] 李忠亮, 殷小桃. 给水厂滤池的优化改造与运行效果[J]. 中国给水排水, 2011, 27(8): 74-76.
- LI Z L, YIN X T. Optimized reconstruction and operation effect of filter in water supply plant [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(8): 74-76(in Chinese).
- [7] 唐仲民, 戴文权. 湖南怀化梅子湾水厂过滤系统的技术改造[J]. 中国给水排水, 2017, 33(12): 79-82.
- TANG Z M, DAI W Q. Renovation of filtration system in Meiziwan waterworks in Huaihua City of Hunan Province [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(12): 79-82(in Chinese).
- [8] 叶昌明, 戴文权. 新疆石墩子山水厂的技术改造[J]. 中国给水排水, 2006, 22(4): 26-30.
- YE C M, DAI W Q. Technical renovation of Shidunzishan waterworks in Xinjiang [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(4): 26-30(in Chinese).
- [9] 王涛, 张俊, 王坪, 等. 基于高效絮凝沉淀池与翻板滤池组合工艺的工程案例[J]. 环境工程学报, 2023, 17(3): 1043-1050.
- WANG T, ZHANG J, WANG P, et al. Engineering case based on the combination process of high-efficiency flocculation sedimentation tank and shutter filter [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(3): 1043-1050(in Chinese).
- [10] 廉鹏. 反向翻板滤池在某净水厂改扩建工程中的应用[J]. 中国给水排水, 2016, 32(24): 87-89.
- LIAN P. Application of reverse shutter filter to reconstruction and expansion project of a water treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(24): 87-89(in Chinese).
- [11] 叶昌明, 戴文权. 反向过滤气水冲洗滤池工艺探讨[J]. 中国给水排水, 2006, 22(10): 1-4.
- YE C M, DAI W Q. Discussion on the upflow filtration and air-water washing filter [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(10): 1-4(in Chinese).
-
- 作者简介: 贺光清(1975—), 男, 湖南耒阳人, 在职研究生, 主要从事供排水生产管理工作。
E-mail: 605620067@qq.com
收稿日期: 2025-04-15
修回日期: 2025-06-06

(编辑: 衣春敏)

综合运用自然恢复和人工修复,
持之以恒推进生态建设