

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2020.06.005

输水干渠智能化拦藻设备设计及应用

Design and application of intelligent algae-blocking equipment
for water conveyance main canal

尚力阳¹, 范素香², 张智勇¹, 于鹏辉¹, 何勇³, 季艳茹¹
SHANG Liyang¹, FAN Suxiang², ZHANG Zhiyong¹,
YU Penghui¹, HE Yong³, JI Yanru¹

(1. 黄河水利委员会黄河机械厂, 郑州 450006; 2. 华北水利水电大学 机械学院,
郑州 450045; 3. 南水北调中线干线工程建设管理局北京分局, 北京 100089)

(1. Yellow River Machinery Factory, Zhengzhou 450006, China; 2. North China University of Water Resources
and Electric Power, Zhengzhou 450045, China; 3. Beijing Branch, Construction and Administration Bureau
of South-to-North Water Diversion Middle Route Project, Beijing 100089, China)

摘要:为解决南水北调输水干渠中藻类污染问题,在第1代拦藻设备的基础上设计了新一代输水干渠智能化拦藻设备,包括滤网驱动装置、提升装置、控制系统等,实现了干渠全断面连续拦藻和拦藻深度可调。由于该装置在水体中受较大且不规则的水流力作用,对滤网安装架进行了静力学有限元分析,分析结果表明,该装置满足强度和刚度要求。该智能化拦藻设备在南水北调中线郑州段投入运行后,拦藻效果良好,优化了水质,具有良好的应用前景。

关键词:南水北调;智能化拦藻设备;输水干渠;藻类

中图分类号:TV 68;TV 311 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2020)06-0022-03

Abstract:To solve the algae pollution in the main canal of South-to-North Water Diversion Middle Route Project, a new intelligent algae-blocking equipment for the main canal was designed based on the first generation algae-blocking equipment, which included filter driving device, lifting device and control system. This equipment realized full-section continuous algae-blocking with adjustable depth. Considering the large and irregular current force impacted on the equipment in water, a static finite element analysis was carried out on the filter installation frame. The results showed that the equipped met the requirements of strength and stiffness. After the running of the intelligent algae-blocking equipment in Zhengzhou section of South-to-North Water Diversion Middle Route Project, the algae-blocking effect has been good, the water quality has been improved. The equipment is of good application prospects.

Keywords:South-to-North Water Diversion; intelligent algae-blocking equipment; main canal; filter installation frame; algae

0 引言

南水北调中线工程中,由于输水干渠水体富营养化,在适宜条件下水体易滋生大量浮游藻类,不仅影响干渠沿线水处理厂的正常生产运行,而且导致

水质下降,影响居民用水安全。刘增进等^[1]对南水北调中线工程水源地河南段水质状况进行了数据调查和定量分析,为保护水质安全和控制污染源提供了理论依据。黄河水利委员会黄河机械厂于2016年研发了第1代输水渠道浮游藻类用机械除藻装置,可以清除水体上层部分的藻类及部分污染物,在浮游藻类清除工作中起到了良好作用^[2-3]。但近几年的运行中发现该装置存在一些缺陷:由于南水北调输水渠道止水闸门长期处于开闸状态,因此将拦藻机构固定在检修闸门门槽位置,一旦发生紧急情况,检修闸门无法入槽,不能检修,影响工程的正常

收稿日期:2019-08-23;修回日期:2019-10-10

基金项目:水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07108-001);河南省高等学校重点科研项目资助项目(19A460026);华北水利水电大学高层次人才科研启动项目(201413)

运行维护,严重时将会造成不可估量的后果;拦截滤网入水深度固定(水下2.5 m左右),无法根据藻类滋生情况实现入水深度调节,无法对3.0 m以下的藻类和悬浮物进行拦截、清除;没有实现全网覆盖,为两截间断片状,冲洗拦网时会出现拦藻空缺期。

1 智能化拦藻设备结构设计

在第1代输水渠道机械除藻装置的基础上研发的新型自动拦藻设备可实现渠道全断面拦藻,且拦藻入水深度可调,可智能化操作,并增加了藻水分离和藻类打包成型等附属系统。

在检修门槽下游至倒虹吸管身段进口位置增设钢结构工艺门槽,对自动拦藻设备进行上下游位置定位;采用提升装置,通过设备两侧的8对复合支撑导向滚轮实现拦截网架的升降。智能化拦藻设备布设避开了原检修闸门门槽,不影响检修闸门的正常运行。增设的钢结构工艺门槽适用于水底到地面间距为9.69 m的场合,门槽高出地面部分1.70 m。工作面宽度约6.10 m,拦藻滤网连续覆盖,距渠底0.50 m以上的整个水下部分均在除藻范围内。自动拦藻设备主要由固定架、提升架、滤网安装架、滤网、用于驱动滤网安装架升降的提升装置、用于驱动滤网循环运行的滤网驱动装置和用于清洁滤网的冲洗装置等组成,如图1所示。头架和提升架固定在固定架上;工艺门槽两侧安装由土工结构固定的钢结构轨道,滤网安装架可沿轨道上下运动,以调整拦藻深度。

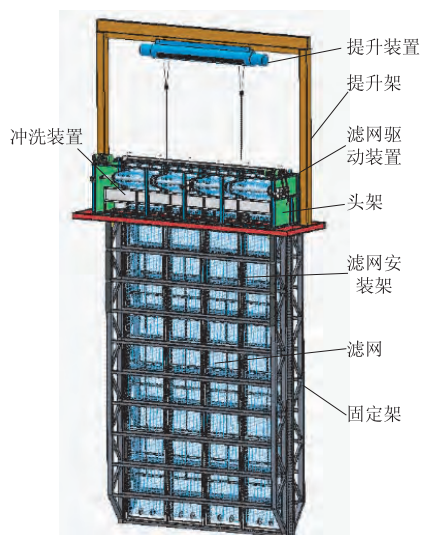


图1 智能化拦藻设备总体结构

Fig.1 Overall structure of the intelligent algae-blocking equipment

1.1 滤网驱动装置

滤网驱动装置包括头架、电机、驱动链组和传动链组,如图2所示。头架上安装有电机、驱动链组、

牵引轴、牵引链轮、辅助轮轴及张紧装置。为了保证驱动功率,滤网驱动装置采用双电机同步驱动,驱动链组由左右两侧平行对称设置的驱动链组成。传动链组由并排平行设置的8套传动链组组成。传动链组由牵引轴、牵引链轮、上从动轴、上从动链轮、下从动轴、下从动链轮及传动链条组成。2台电机同步转动,通过驱动链组将动力传递到传动链组,带动链条循环运转。滤网分布在滤网安装架外周,固定并覆盖在传动链条上,随传动链条的运动而循环运转,实现拦藻功能。为了保证滤网运转的平稳性,在上下从动轴上固定有尼龙导向轮。

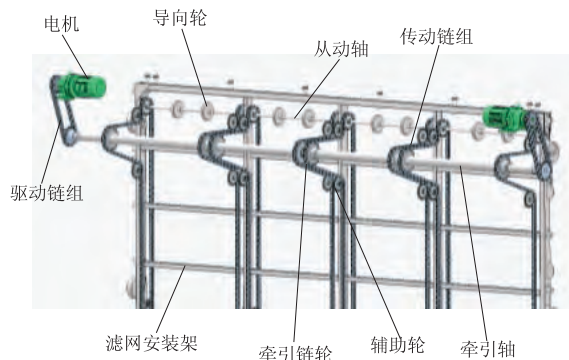


图2 滤网驱动装置

Fig.2 Structure of the filter driving device

1.2 提升装置

提升装置由提升架、电动葫芦、钢丝绳和滤网安装架组成(如图3所示),设计提升行程为2 m。滤网安装架上安装有上传动轴、下传动轴、尼龙导向轮。电动葫芦安装在提升架的横梁上,通过钢丝绳牵引,滤网安装架可沿门槽轨道升降,同时带动上从动轴、下从动轴、上从动链轮、下从动链轮一起升降,上下从动链轮在链条拉力作用下自由转动,以适应链条松边和紧边的变化,从而实现滤网升降,适应不同拦藻深度的需要。多次试验证明,滤网升降时上下从动链轮转动,而牵引链轮、辅助链轮几乎不转动,或有微小角位移。滤网安装架两侧安装有复合支撑导向滚轮,以减小摩擦。

1.3 控制系统

系统控制电源为380 V,在控制柜上设有操作面板,面板上装有电源控制模块、滤网驱动控制模块、冲洗运行控制模块及排水控制模块等。

该控制系统设置了自动/手动/远控旋钮,可以实现现场手动操作、自动运行以及远程控制,使得拦藻设备更加符合实际需要,提高了劳动效率,降低了操作人员劳动强度。为适合恶劣环境,采用可编程逻辑控制器(PLC)+触摸屏控制,减少布线,提高了设备的自动化程度,维修简单、故障率低。滤网链条驱动电机采用矢量变频器驱动,不仅可对驱动电机

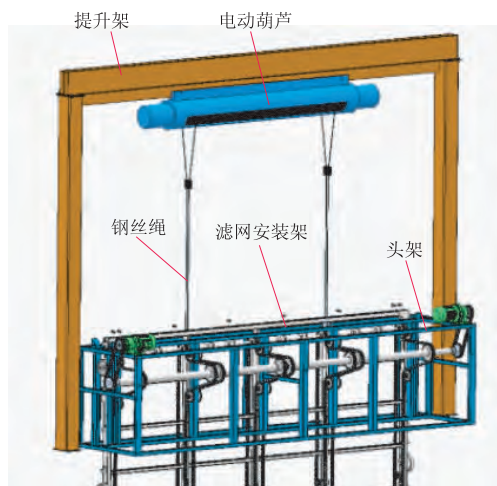


图 3 提升装置

Fig. 3 Lifting device

进行全方面保护,而且有效削减了设备启停的冲击和振动。为了更好地保护电机及拦藻设备,防止过载,控制回路中设有电机过载保护。

2 滤网安装架的静力学分析

滤网安装架为框架结构,运行工况比较复杂,其上安装有链条传动组、滤网,在垂直方向受拉力、浮力和重力作用,在水平方向上受水流力作用。水流力大小随水流速度和滤网上挂藻量的变化波动较大,由于构件尺寸较大,与滤网一起占据渠道一定的过水面积,因此,当水流流速较大时,作用于滤网安装架的水流力有可能成为主导力,不可忽略。按照水流力的计算公式,滤网安装架所受水流力的最大值为^[4]

$$F_w = c_w \frac{\rho}{2} v^2 A, \quad (1)$$

式中: F_w 为水流力, kN; c_w 为水流阻力系数; ρ 为水的密度, t/m^3 ; v 为水流设计流速, m/s ; A 为构件在与流向垂直平面上的投影面积, m^2 。

根据实际情况,水流阻力系数取 1.99,水密度取 $1 t/m^3$,水流设计流速为 $1 m/s$,经精确计算,构件、滤网、链条组件在与流向垂直平面上的投影面积为 $26.225 m^2$ 。因此,算得水流力为 $26.094 kN$ 。

将滤网安装架三维模型导入有限元分析软件,框架模型上端和下端设置约束,考虑装置所受的重力、浮力及水流力,对框架进行运行工况下的结构静力学分析,有限元分析结果如图 4 所示。图中最大变形量为 $9.0418 mm$,最大应力值为 $23.52 MPa$,远小于 201 不锈钢的屈服强度 $275.00 MPa$,满足刚度和强度要求。

3 设备应用

2018 年 4 月,该智能化拦藻设备在南水北调中线郑州管理处十八里河倒虹吸进口闸进行安装调试及试运行,随后投入正式运行。设备主体采用全不锈钢制造,增强了设备的耐蚀性且有利于保护水质,设备采用 PLC 控制,拦截的藻类经自动化输送、挤压、包装处理,方便废物的二次利用。电机带动滤网随链条运转。滤网在水面下迎水面开始拦藻,到达背面水牵引轴下方时,高压喷淋机构的高压扇形喷嘴喷射高压水柱,将黏结在网栅上的藻类及污物冲洗到设备下方的大容量污水收集箱内,然后通过大功率排污泵排放到指定位置,进行下一步的藻水分离和藻类打包成型处理。智能化除藻设备现场运行情况如图 5 所示。

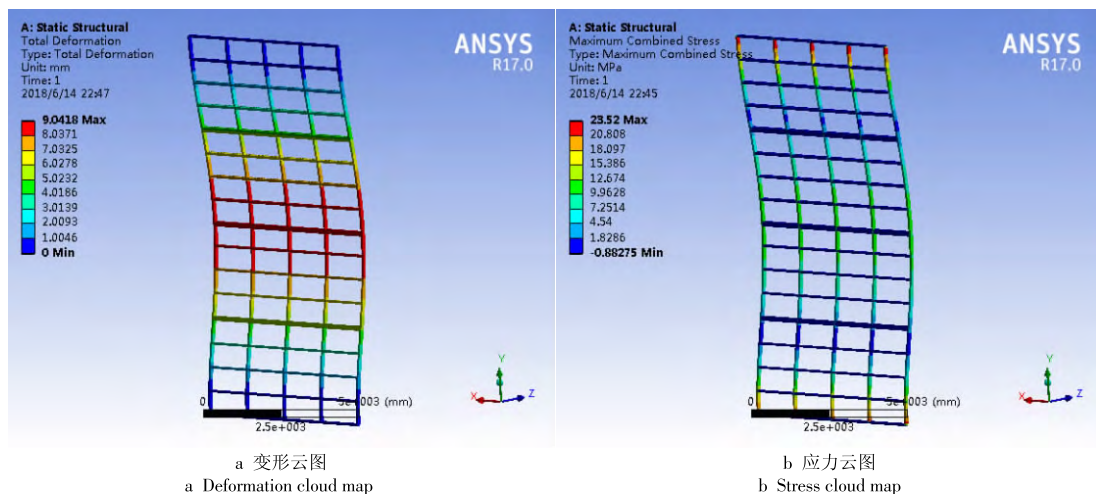


图 4 滤网安装架变形和应力云图

Fig. 4 Deformation cloud map and stress cloud map of the filter installation frame

(下转第 42 页)

- [14] 李志强. 1021 t/h 锅炉低氮燃烧器改造后性能影响分析[J]. 东北电力技术, 2018, 39(9): 27-28.
LI Zhiqiang. Analysis of low NO_x burner performance effect in 1021 t/h boiler reform[J]. Northeast Electric Power Technology, 2018, 39(9): 27-28.
- [15] 高爱华. 低氮燃烧器在齐鲁热电厂 #3 锅炉上的应用[J]. 齐鲁石油化工, 2013, 41(1): 22-24, 34.
GAO Aihua. Application of burner with low oxynitride emission on NO₃ boiler of Qilu Thermal Power Plant[J]. Qilu Petrochemical Technology, 2013, 41(1): 22-24, 34.
- [16] 吴云强. 珠海发电厂锅炉新型低氮燃烧器燃烧调整分析[J]. 锅炉制造, 2015, 250(2): 1-3.
WU Yunqiang. The combustion adjustment analysis of Zhu-hai Power Station's boiler new low nitrogen power plant burner[J]. Boiler Manufacturing, 2015, 250(2): 1-3.
- [17] 高鹏, 高明, 张建文, 等. 600 MW 机组锅炉低氮燃烧器改造试验研究[J]. 热力发电, 2013, 42(4): 43-46.
GAO Peng, GAO Ming, ZHANG Jiangwen, et al. Experimental study on low NO_x combustion transformation on a 600 MW unit boiler[J]. 2013, 42(4): 43-46.
- [18] 李德波, 曾庭华, 廖永进, 等. 广东省首台超洁净排放燃煤机组现场测试分析[J]. 广东电力, 2016, 29(4): 16-21.
LI Debo, ZENG Tinghua, LIAO Yongjin, et al. Analysis on the test for first set of ultra-clean emission coal-fired unit in Guangdong Province[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(4): 16-21.
- [19] 李德波, 曾庭华, 廖永进, 等. 火电厂超低排放技术路线关键技术与工程应用[J]. 广东电力, 2018, 31(1): 17-24.
LI Debo, ZENG Tinghua, LIAO Yongjin, et al. Numerical simulation on combustion characteristics with variable CCOFA and SOFA of tangentially fired boiler[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(1): 1-7, 16.
- [20] 崔修强. 低氮燃烧器改造对锅炉运行影响探析[J]. 华电技术, 2018, 40(11): 59-61.
CUI Xiuqiang. Safety analysis of boilers taken low-nitrogen burner reformation[J]. Huadian Technology, 2018, 40(11): 59-61.
- [21] 杨海勇, 熊显巍, 冉桂林. 中间仓储式热风送粉贫煤锅炉低氮燃烧器改造[J]. 华电技术, 2019, 41(9): 56-58, 62.
YANG Haiyong, XIONG Xianwei, RAN Guilin. Retrofit of low-nitrogen burner in lean coal boiler with storage-type hot air pulverized coal feeding system[J]. Huadian Technology, 2019, 41(9): 56-58, 62.

(本文责编: 陆华)

作者简介:

王云鹏(1972—), 男, 四川渠县人, 工程师, 从事火力发电厂运行管理方面的工作(E-mail: wangyp@gdg.com.cn)。

段小云(1972—), 男, 四川广安人, 高级工程师, 注册安全工程师, 从事火力发电厂运行技术管理方面的工作(E-mail: 18922367378@163.com)。

(上接第 24 页)



图 5 智能化除藻设备现场运行
Fig. 5 Site scene of the running of intelligent algae-blocking equipment

4 结束语

该自动化拦藻设备具有全断面连续拦藻、拦藻深度可调、拦藻效率高、智能化程度高等优点, 适用于南水北调输水渠道, 可清除全断面水体藻类及部分污物, 节省人力、连续性好、操作简单。

该设备已在南水北调工程中成功应用, 为防止输送水体中藻类滋生、改善水体质量发挥了重要作用, 在我国水利建设领域起到了示范推广作用, 具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 刘增进, 祁秉宇, 张关超. 南水北调中线工程水源地河南段水质现状及污染分析[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2017, 38(2): 77-81.
LIU Zengjin, QI Bingyu, ZHANG Guanchao. Present situation of water quality and analysis about pollution fountain of water source area in Henan in the Middle Route of South to North Water Transfer Project[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power(Natural Science Edition), 2017, 38(2): 77-81.
- [2] 黄河水利委员会黄河机械厂. 输水渠道浮游藻类用机械除藻装置: 20162037455. 5[P]. 2016-08-17[2019-08-10].
- [3] 马梦华, 郭术义, 司琪. 链网式南水北调输水渠道清藻机构设计[J]. 河南科技, 2017(12): 66-67.
MA Menghua, GUO Shuyi, SI Qi. Design of Chain net typealgae removal mechanism for the channel of South to North Water Diversion Project[J]. Journal of Henan Science and Technology, 2017(12): 66-67.
- [4] 港口工程荷载规范: JTS 144-1—2010[S].

(本文责编: 刘芳)

作者简介:

尚力阳(1973—), 男, 河南开封人, 高级工程师, 从事水工金属结构及机电设备施工、运行维护及水质保护方面的研究工作(E-mail: 1163066697@qq.com)。