

基于环境因子分析的拦截网受力状态研究

韩王畴¹, 杨 嘉², 刘 禹¹, 张志柳², 彭士健³

(1. 海南核电有限公司, 海南 昌江 572733;

2. 中国核电工程有限公司, 北京 100080;

3. 中国船舶集团有限公司第七一九研究所, 湖北 武汉 430205)

摘 要 本文对核电站冷源取水口的拦污网相关监测数据进行分析, 研究不同环境因素对拦污网拉力值产生的影响。通过 2024 年 2 月到 8 月的监测数据, 统计并分析了潮位、流速、流向、风速及拦污网堵塞率对拦污网拉力的影响效果, 以期应对极端天气条件下可能产生的风险提供有益参考。数据相关性分析结果表明, 拉力值与潮汐之间存在负相关关系, 潮位变低时拉力变大, 潮位变高时拉力减小。而拦污网的堵塞率与拉力值呈正相关, 堵塞率变大时拉力值也逐渐上升。拉力值上升到一定程度时, 拦污网网面绷紧, 容易造成网兜断裂或撕裂, 导致其不能发挥拦截作用。

关键词 拦污网; 拉力监测; 潮汐周期; 堵塞率

中图分类号: TM62

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.02.003

0 引言

拦污网主要用于拦截水面的海生物、漂浮杂物等来保障核电站冷源系统的取水安全。拦污网受到潮汐^[1]、水流、风力、网孔的堵塞的影响。当拦污网受到的拉力超出其设计承载能力时, 网兜容易变形产生撕裂, 不能发挥其拦截作用, 容易对核电站冷源取水安全造成严重影响。本研究通过分析拦污网周围的潮位、水流流速等因素对拦污网拉力值的影响, 为拦污网设计、制定维护及清理工作频率提供科学参考, 进而为设计冷源系统的安全预警机制奠定基础。

本研究中数据监测时间范围为 2024 年 2 月 20 日到 2024 年 8 月 16 日, 包含拦污网附近的潮位、流速、流向、风速以及拦污网受到的拉力值。

1 拉力数据变化与极值分析

1.1 拉力值变化趋势

拉力值受潮汐变化和天气条件的影响, 在不同时间段出现了明显的起伏。在潮汐高峰期和低谷期拉力值对应发生波动, 表明潮汐周期对拉力的主导作用。如图 1 所示, 在 6 月 13 日至 6 月 20 日、7 月 10 日至 7 月 14 日这两个时段内, 拉力值显著增加且波动幅度较大, 则受到拦污网的堵塞影响。

1.2 极端拉力值的环境因素分析

拦污网拉力受水流冲击、潮汐变化等因素共同作用^[2]。依据流体力学原理, 水流冲击力与流速、流向、水位相关^[3]; 潮汐使流速流向周期性波动, 进而导致拉力呈周期性变化。根据伯努利方程, 流速越大冲击

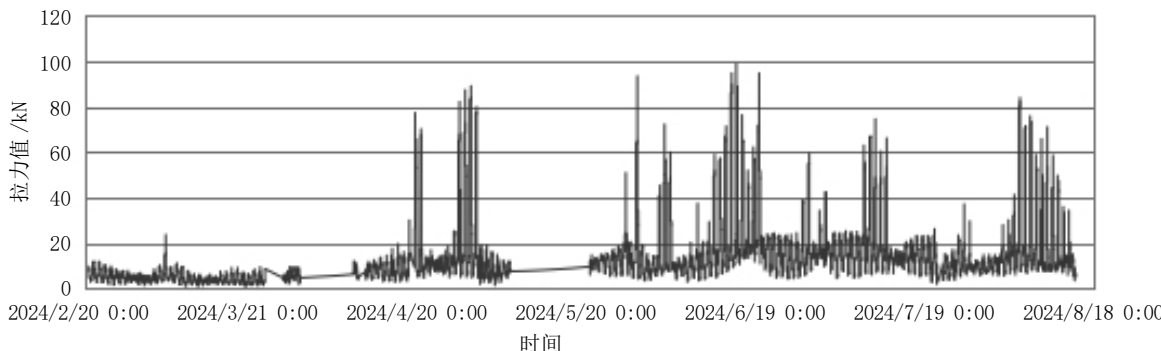


图 1 拉力变化曲线

作者简介: 韩王畴 (1997-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 核电厂取水明渠拦污网主缆拉力监测。

力越强、拉力越大；潮位也直接影响拉力，低潮位时流速快导致拉力大，高潮位流速缓、浮力强导致拉力小。

拉力值的急速变化与环境因素的大幅波动紧密关联，如图2所示。拉力值的最大值为98.55 kN，出现在2024年6月16日13:50，此时，对应的潮位为34 cm，风速达到了3~4级，这时低潮位加剧了水流的冲击作用，导致拦污网受到的拉力大幅上升；拉力值的最小值出现在2024年7月21日19:12，为1.78 kN。此时，潮位达到175 cm，当时天气情况为中暴雨，降雨量导致潮位上升。潮位上涨导致水流对拦污网冲击变小，拉力值降低。总结这种情况可以发现，低潮位、高流速容易导致拦污网拉力的上升，而潮位高时水流压力得到缓解，拦污网受到的拉力变小。

2 周期性波动与异常情况分析

2.1 潮汐周期与拉力波动的关系

监测数据表明，拉力值受潮汐周期影响呈正弦曲线式周期性波动，与潮汐变化高度一致。2024年6月13日至20日、7月10日至14日，拦污网网孔堵塞率高致拉力负荷上升，既验证了潮汐对拉力的影响，也体现了潮汐周期内网孔堵塞的叠加效应。

2.2 异常波动原因及环境因素的影响

在数据监测过程中观察到突发的拉力值变化。7月28日风速较大为0.6左右，风向几乎垂直于拦污网，风速对水的流速也产生一定影响，网面受到的冲击力剧增，引发异常拉力值峰值（见图3）。风速、风向等属于难以预测的因素，容易导致拉力发生突变，对拦污网的安全构成存在潜在威胁，监测此类环境因素至关重要^[4]。

3 拉力与潮汐、流速的相关性

3.1 拉力与潮位、流速的关联

拦污网拉力与潮位、流速之间存在显著关联性。拉力值整体上与潮位呈负相关关系，在2024年2月20日至2月29日，二者相关性系数达到-0.839，表明潮位对拉力变化的重要影响。随着时间推移潮位对拉力的影响逐渐减弱，5月之后相关性系数约-0.2，潮位影响减弱，拦污网堵塞率增加使得流速、流向的作用变大。

3.2 不同潮位条件下的拉力特征

在不同潮位条件下，拉力表现出不同的特征。低潮位时水流速度与拉力值呈正相关。当潮位低至-100 cm

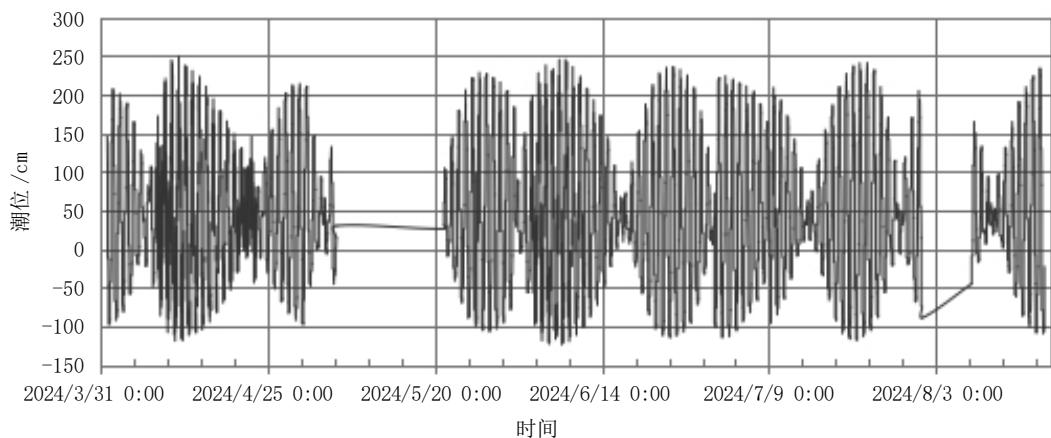


图2 潮位变化曲线

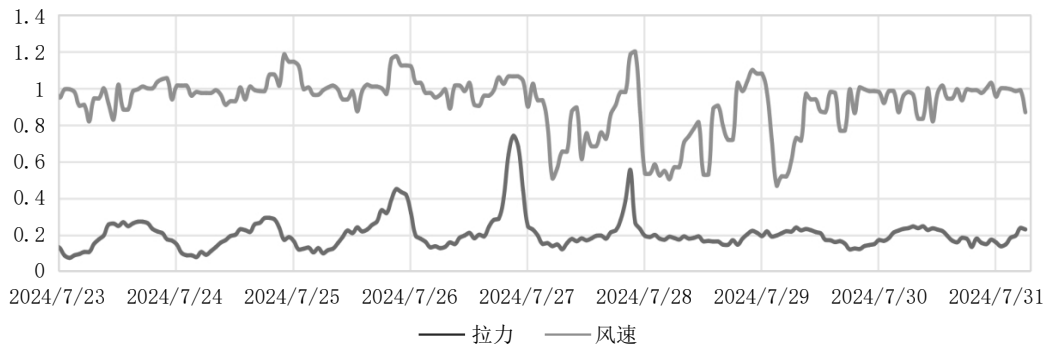


图3 拉力与风速变化曲线

以下时, 拉力值较高。随着流速增大, 拉力值明显上升(见表 1)。高潮位条件下浮力增强, 对拦污网的冲击力减弱, 拉力值相对较小^[5]。在潮位接近 175 cm 时, 拉力为 1.78 kN(见表 2)。

4 堵塞率对拉力的影响

4.1 拦污网堵塞率变化对拉力的影响

拦污网堵塞率也是影响拉力的关键因素。根据流动阻力理论, 网孔堵塞会削减水流通过, 水流在网面

集聚。当网孔被大量堵塞时, 水流冲击更为集中。堵塞率增加导致主缆绳拉力负荷增加, 形成结构安全隐患, 同时使得通过拦污网的流量降低, 网面上压力增大, 使拦污网受到的拉力增加。尤其在 6-7 月漂浮物增多, 这类现象更明显。

4.2 影响堵塞率的主要因素及安全性分析

拦污网的堵塞率受到漂浮物和海洋生物数量、潮流的影响。夏季、雨季由于降水增加, 河流、湖泊中的漂浮物更多, 使得堵塞率上升。当水温较高时海洋

表 1 低潮位拉力及流速流向信息

序号	时间	拉力 /kN	潮位 /cm	流速 / (cm/s)	流向 (°)
1	2024/3/91 6:00	5.55	-109	17.25	229
2	2024/6/14 8:00	11.25	-105	6.21	33
3	2024/5/28 7:00	19.70	-106	9.45	45
4	2024/6/8 4:00	14.15	-122	7.43	27
5	2024/7/6 3:00	23.75	-116	10.05	45

表 2 高潮位拉力、流速流向数据

序号	时间	拉力 /kN	潮位 /cm	流速 / (cm/s)	流向 (°)
1	2024/7/21 19:12	1.78	175	2.37	5.34
2	2024/9/6 19:00	3.76	171	2.75	12.57
3	2024/11/17 4:00	3.91	288	0.87	3.04
4	2024/11/17 5:00	3.83	252	0.89	2.55

生物生长繁殖活跃, 拦污网上附着生物数量增多也会加剧堵塞。高堵塞率增加了拦污网的负荷, 使得主缆绳和网体面临断裂风险^[6]。因此, 定期监测清理拦污网至关重要。

5 结论

本研究通过分析拦污网监测数据中的潮位、流速、流向、风速、网面的堵塞率, 以及拦污网主缆绳受到的拉力值等, 对引发拦污网拉力产生变化的因素进行了分析。研究表明, 拉力值与潮汐周期之间存在关联, 潮位较低时水流产生的冲击大, 拉力值较大, 而潮位较高时拉力值相对较低。水流流向与拉力值间也存在明显关联, 当水流的流向垂直于拦污网网面时会显著增大冲击带来的压力, 导致拉力上升。拦污网的堵塞率影响更突出, 网面上附着物的增加使得水流无法快速通过, 拉力显著上升。这些分析结果能够为拦污网日常维护、清理频率的确定及结构性安全评估提供科学依据。后续研究可以围绕提高监测数据的采集频率, 量化各因素的影响效果, 还可以基于这些影

响因素建立拉力预测模型, 避免拦污网在极端条件下产生安全风险, 为核电站冷源监测的安全预警预测和应急预案的编制提供支持。

参考文献:

- [1] 杨沪, 盛文强, 李强, 等. 波流作用下核电拦污网水动力特性分析 [J]. 水电与新能源, 2023, 37(08): 30-33, 57.
- [2] 沐雨, 解鸣晓, 王辉, 等. 波流联合作用下平面拦污网衣系泊动力响应特性研究 [J]. 水道港口, 2022, 43(04): 421-429.
- [3] 黄宣军, 郭朝禹, 孙运佳, 等. 某核电厂取水拦污设施波浪力试验研究 [J]. 中国港湾建设, 2018, 38(03): 34-37.
- [4] 康君峰, 范敦敦. 核电站拦污网主绳拉力监测与分析 [J]. 低温建筑技术, 2017, 39(05): 57-59, 71.
- [5] 冯其科, 尚丰青. 基于潮流潮汐规律的稳泊管理 [J]. 中国水运, 2017(04): 50-52.
- [6] 邓楠, 王毅. 国内某电厂取水明渠拦污网工程设计 [J]. 港工技术, 2017, 54(02): 67-71.