

冬季水冲洗车排水防寒措施试验研究

鹿祥^{1*}, 魏孔河², 李攀²

¹中国铁路乌鲁木齐局集团有限公司乌鲁木齐供电段, 新疆 乌鲁木齐

²成都新一驱动技术有限责任公司, 四川 成都

收稿日期: 2024年9月21日; 录用日期: 2024年10月14日; 发布日期: 2024年10月21日

摘要

为了解决接触网绝缘子水冲洗车排水时间长, 冬季排水困难, 且排水过程中容易结冻的问题, 文章提出采用电伴热保温措施和一种高压气流辅助快速排水的方案, 在水冲洗车作业完毕后, 通过“一键排水”的自动化控制方式, 打开系统排水阀门, 利用高压风机约260 mbar的压力对整个水冲洗系统管道内进行加压, 实现快速排水。经过设计试验方案验证: 通常自然排水时间长达30分钟左右; 而经过高压气流辅助排水, 排水时间只需要5分钟时间。试验证明水冲洗系统排水时引入高压气流可使排水效率大幅提高, 且高压风机产生的热风高达64°C, 更有利于冬季排水时防止结冻现象产生。

关键词

接触网, 绝缘子, 水冲洗车, 快速排水, 防冻

Experimental Study on Winter Water Washing Vehicle Drainage and Cold Prevention Measures

Xiang Lu^{1*}, Konghe Wei², Pan Li²

¹Urumqi Power Supply Company, China Railway Urumqi Bureau Group Co., Ltd, Urumqi Xinjiang

²Chengdu Xinyi Drive Technology Co., Ltd, Chengdu Sichuan

Received: Sep. 21st, 2024; accepted: Sep. 14th, 2024; published: Oct. 21st, 2024

Abstract

In order to solve the problems of long drainage time, difficult drainage in winter, and easy freezing during the drainage process of the contact network insulator water flushing vehicle, it is proposed

*通讯作者。

文章引用: 鹿祥, 魏孔河, 李攀. 冬季水冲洗车排水防寒措施试验研究[J]. 机械工程与技术, 2024, 13(5): 446-453.

DOI: 10.12677/met.2024.135052

to adopt electric heat tracing insulation measures and a high-pressure airflow assisted rapid drainage scheme. After the water flushing vehicle operation is completed, the system drainage valve is opened through the automatic control method of “one click drainage”, and the entire water flushing system pipeline is pressurized using a high-pressure fan with a pressure of about 260 mbar to achieve rapid drainage. After verification of the design test plan, it was found that the natural drainage time is usually up to about 30 minutes. After high-pressure airflow assisted drainage, the drainage time only takes 5 minutes. Experiments have shown that introducing high-pressure airflow during water flushing system drainage can significantly improve drainage efficiency, and the high-pressure fan generates hot air up to 64°C, which is more conducive to preventing freezing during winter drainage.

Keywords

Contact Network, Insulator, Water Washing Car, Rapid Drainage, Antifreeze

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

触网绝缘子水冲洗车是用来解决铁路接触网绝缘子污闪事故发生的有效装备[1], 由于其可带电作业特点, 相比于传统机器人、机械臂及人工的静态作业具有较大的优势, 是目前为止国内最为高效的防止污闪事故发生的装备[2]。

由于水冲洗车作业完毕后需要将水冲洗系统管路中的余水及时排尽[3], 否则时间久了会出现管路浮锈、水质变化等情况, 影响带电水冲洗作业; 冬季严寒时也会造成管路系统结冰结冻, 影响下次快速出车作业, 严重时会造成系统设备的损坏, 管路涨裂, 从而无法再正常使用。

秋、冬季是污闪事件发生的高峰期, 经统计有 92% 的污闪事故发生在秋季的后期和冬季[4], 因此秋季和冬季是绝缘子水冲洗作业的频繁期。然而大多时候水冲洗车作业后便停放在露天线路上, 冬季得不到入库保温条件。由于目前水冲洗系统的排水是靠人工打开排水阀门, 其系统内部闭塞, 排水靠水自身重力实现, 水流的流动性差, 使得排水时间长达 30 多分钟; 再者各个排水阀门分布较散, 时常会出现人为忘记个别阀门未开。因此冬季水冲洗车排水会显得更加困难, 特别在严寒时会出现排水过程中排水口迅速结冰现象, 导致整个系统都无法排水。

因此水冲洗车在冬季严寒条件下的局限性日益显露, 排水不畅导致的系统结冻或损坏故障, 使得冬季发生污闪时无法及时快速出车抢险作业, 这种情况便是目前水冲洗车的一大安全隐患。

由于触网绝缘子水冲洗车在我国发展历程较短, 行业社会面较窄, 针对水冲洗车冲洗系统的防寒保温, 目前研究甚少。但在建筑给排水领域的冬季管道保温已有较成熟的方案和研究[5]-[8], 目前大致可分为管内介质流动和不流动两种情况在研究, 主要以生活给水管道和消防给水管道为例。值得借鉴。在研究管道快速排水方面, 赵雪华[9]通过数值模拟的方法研究了管道中瞬态变化时的影响, 通过建立模型对比阐述了管道快速排水过程中水流参数的影响。

2. 水冲洗车防寒措施

综上所述, 为使水冲洗车更加高效的使用, 冬季依然发挥其性能作用, 借鉴建筑和消防给排水管道的冬季保温措施, 提出在系统管道上增加电伴热加外层保温的防寒措施, 来解决水冲洗系统在冬季正常

使用的问题。进而在排水过程中采用高压气流引入水冲洗系统管道，辅助快速排水的措施，来进一步解决水冲洗车冬季排水困难的问题。

2.1. 伴热保温措施

常见的伴热按介质分有四种：蒸汽伴热、热水伴热、导热油伴热、电伴热。从文献[5]-[8]中总结，电伴热无论从节能效果还是伴热损耗方面都是最佳选择。由于电伴热保温操作施工安装简单方便，温度控制容易。在实际应用中，电伴热不需要直接提升介质流体温度，主要应用于防冻、防凝和管道保温。

电伴热带是一种由两根平行铜导线、外覆高分子 PTC 材料和单层阻燃护套或金属网和氟材料护套所组成的加热电缆。通过使发热电缆通电将电能转化为热能，传递给金属管道表面，并通过外层隔热材料的保护，以达到系统需要的供暖、保温效果。

由于作业时管道内水流速度快，电伴热产生温度基本都通过钢管导热被水流带走，外保温层与空气环境之间的热量损失可忽略不计。电伴热带功率可根据管道散热量公式(1)计算，根据《工业设备及管道绝热工程设计规范》(GB50264)中延迟管道内介质冻结、凝固、结晶的保温层厚度计算[10]，使保温棉外径符合公式(2)的要求。

$$Q = \Delta T \times \lambda \times A \quad (1)$$

$$\ln \frac{D_1}{D_0} = \frac{7200 \cdot K_r \cdot \pi \lambda \cdot t_{fr}}{(V \cdot \rho \cdot c + V_p \cdot \rho_p \cdot c_p) \cdot \ln \frac{T_0 - T_a}{T_{fr} - T_a}} - \frac{2\lambda}{D_1 \alpha_s} \quad (2)$$

式中： Q ——管道散热量(W)；

ΔT ——加热温差(°C)；

λ ——管道或保温层导热系数(W/m·K)；

A ——管道散热表面积(m²)；

D_0 ——管道或设备外径(m)；

D_1 ——保温层外径(m)；

K_r ——管道支架处热损失附加系数；

T_{fr} ——介质凝固点(°C)；

T_a ——环境温度(°C)；

t_{fr} ——介质在管道内不出现冻结的停留时间(h)；

α_s ——冬季最多风向平均风速下绝热层外表面与周围空气的换热系数；

V, V_p ——分别为介质单位长度体积和管壁单位长度体积(m³, m)；

P, ρ_p ——分别为介质单位密度和管壁密度(kg, m³)；

C, C_p ——分别为介质热容和管壁热容[J/(kg·K)]。

2.2. 快速排水措施

由于水冲洗系统在打开排水阀后，系统前端处于封闭状态，排水阀口径较小，水流靠自身重力和外界空气压力的双重作用下，导致排水困难。当水流沿管壁流出，空气不断从排水管进入后打破内外气压差，排水速度才会加快。因此，快速排水方案思路是在水冲洗系统进水主管道开关阀门后端，通过三通引入高压空气流，使水冲洗系统管道内部产生正压力，增加内外压差，从而达到快速排水的目的。而且高压气流还可以将部分 U 型管道低位余水强力排出；高速的气流也可以快速使管道内部干燥。

方案中所有排水阀和系统进水主管道阀门都采用电动阀门，通过逻辑控制，其控制流程如图 1 所示，

采用“一键排水”的方式，打开所有排水阀和系统水炮控制电磁同轴阀，同时关闭系统进水管道阀门。打开风吹管路阀门，启动高压风机。系统管路余水可快速从排水阀和水炮口吹出。

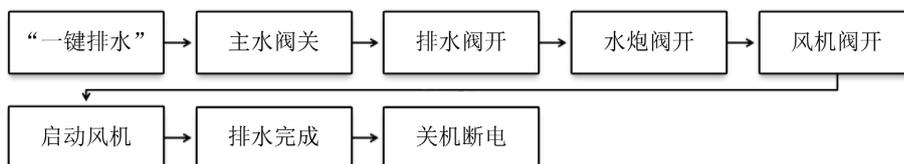


Figure 1. “One click drainage” logic control flowchart
图 1. “一键排水”逻辑控制流程图

为了可直观反映高压气流对管道排水的效果，同时在系统管道最低水平点安装液体检测传感器，系统通过“一键排水”后，当管道最低点水位液面低于探测点时，传感器反馈信号，表示排水完成。此时便可直接关机断电。断电后所有电动阀处于排水时状态，待下次开机后进行“作业复位”。“作业复位”时，首先会关闭风机管道阀门，然后所有排水阀关闭，系统进水主管道阀门打开，系统管道充满水准备作业。其控制流程如图 2 所示。



Figure 2. Logic control flowchart for “homework reset” during secondary homework
图 2. 二次作业时“作业复位”逻辑控制流程图

3. 方案设计与参数

3.1. 伴热保温方案设计

电伴热保温系统主要是选用自控温伴热带按工艺要求缠绕或贴覆在管道和阀门部件表面，外覆保温棉要求 BI 级阻燃橡塑保温棉，并在保温棉上裹覆铝箔。由于铝箔较薄，容易破损，一般需在外表再裹覆一层薄钢板，外覆薄钢板选用 0.3 mm 左右易卷曲操作的不锈钢板或镀锌板，再用铁丝或抱箍捆扎。其操作工艺如图 3 所示。

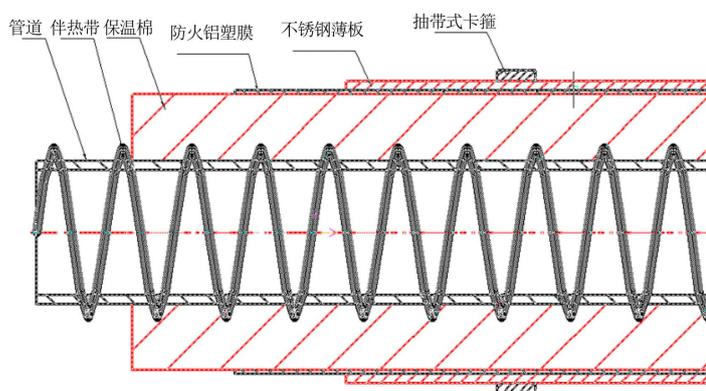


Figure 3. Tracing and holding operation process diagram
图 3. 伴热保温操作工艺示意图

电伴热系统工作原理：管道保温防冻的目的就是补充由于管道外壳内外温差引起的热散失。要达到管道防冻保温的目的，只需要提供给管路损失的热量，保持管道内流体的热量平衡，就可维持其温度基

本不变。水冲洗系统的保温管道以 DN65 口径的不锈钢管每米覆设相同长度的电伴热带，加热维持钢管温度 1~2℃来计算电伴热功率，其他大于 DN65 口径尺寸的管道只需根据其尺寸增加缠绕系数进行加密缠绕即可，以提供平衡热量。按照公式(1)计算选用伴热带功率为 25 W/m。

管道电伴热系统由发热电缆、供电电源系统、管道保温层和防护层组成。温控器根据事先设定好的温度，与温度传感器测出的温度比较，通过伴热电缆控制箱内的空气开关与交流电流超限报警隔离变速器，及时切断与接通电源，以达到加热防冻目的。伴热保温系统部件参数见表 1。

Table 1. Parameter table for component selection of electric heat tracing system

表 1. 电伴热系统部件选用参数表

序号	项目内容	规格/参数	备注
1	伴热带功率	25 W/m	10℃时输出功率
2	工作电压	220 V	
3	保温棉	20 mm 厚 BI 级阻燃橡塑	外覆自粘铝箔

3.2. 快速排水方案设计

高压气流辅助快速排水方案是在水冲洗车原有系统管道上增加高压风机、电动球阀、液体检测传感器、风吹管路等部件组成，主要通过水冲洗控制核心 PLC 上开发并增加控制逻辑功能而实现。高压风机提供高压快速气流，电动球阀实现顺序逻辑自动化，液体检测传感器反馈信号，实现监测判断功能。高压气流辅助排水系统部件参数见表 2。

Table 2. High pressure airflow assisted rapid drainage system component parameter table

表 2. 高压气流辅助快速排水系统部件参数表

序号	项目内容	规格/参数	备注
1	风机功率	3 kW	
2	风机风压	260 mbar	
3	风机流量	320 - 380 m ³ /h	
4	风机阀口径	DN50	
5	排水阀口径	DN15	6 个
6	液体检测传感器	0 - 24 V	

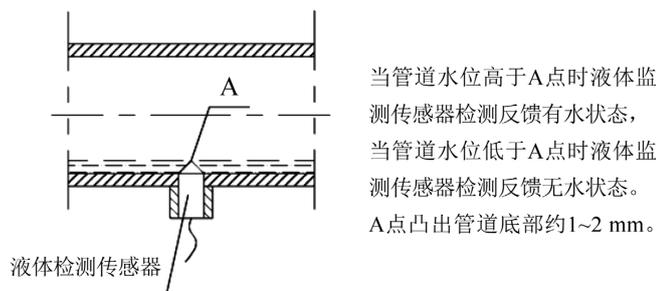


Figure 4. Drainage monitoring schematic diagram

图 4. 排水监测原理图

风机特点：风压高、流量大。风机选用高压风机主要用来抵消水冲洗系统管道内的风压损失，避免

排水口口径小而吹排无力；大流量是为了气流充满整个水冲洗系统管道，从多个排水口同时排出，避免远端排水口排水困难。管道排水水位监测及监测原理图如图 4 所示。

4. 快速排水试验

试验采用现有成熟的 KJ-C 型水冲洗设备，在进水主管道采用三通增加高压风吹系统。试验原理及试验过程与装备如图 5 和图 6 所示。

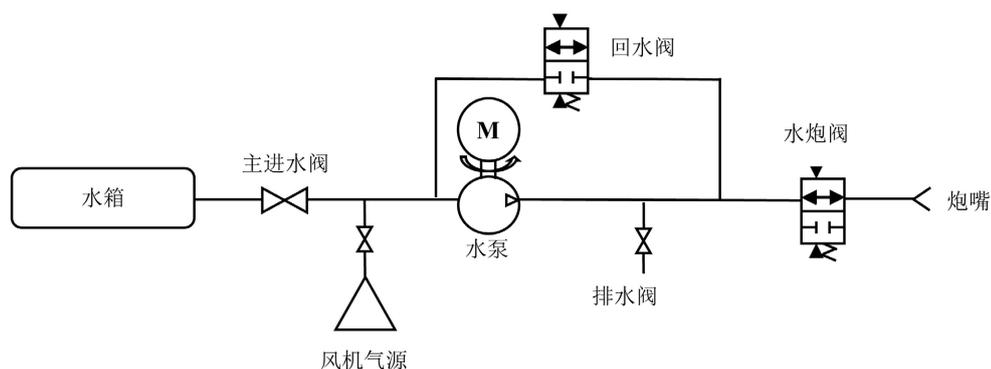


Figure 5. Experimental schematic diagram
图 5. 试验原理图

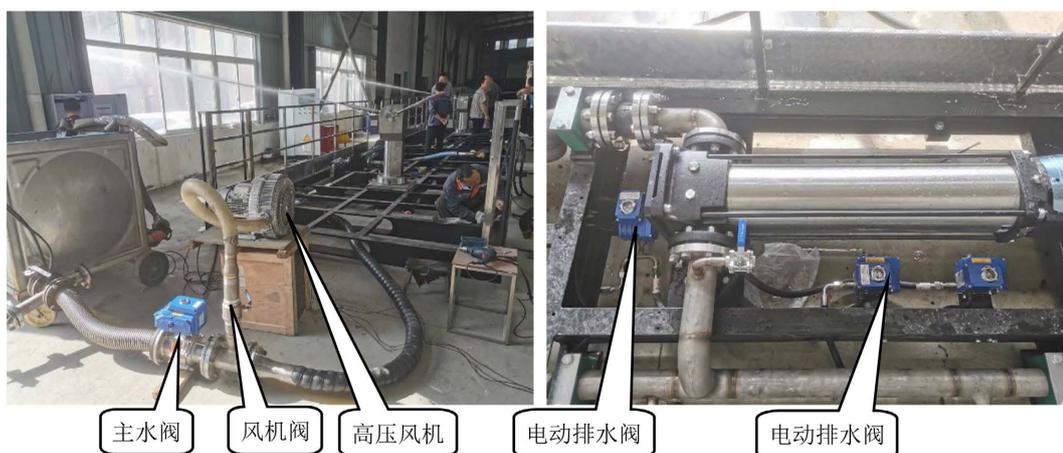


Figure 6. Photos of equipment at the test site
图 6. 试验现场装备照片

4.1. 试验方法与过程

1) 常规排水试验

冲洗装备正常打水后，停止水泵，打开电动排水阀，同时关闭主水阀，等主水电动阀关闭完全后，开始计时；等到最后一个排水阀处于滴水状态时结束计时。

2) 风吹排水试验

冲洗装备正常打水后，停止水泵，打开电动排水阀，同时关闭主水阀，等主水电动阀关闭完全后，打开风机阀，启动风机并开始计时，等到液体检测传感器反馈信号报警时计时结束。

启动风机时，通过变频器调整频率来调节风机转速，从而产生不同风压，通过风机不同风压下来测试系统管道的排水时间。传感器安装位置如图 7 所示。



Figure 7. Detection sensor installation position diagram

图 7. 检测传感器安装位置图

4.2. 试验结果

通过常规排水操作，测得系统排水时间约 35 分钟左右，并在刚开始排水约 20 秒后会出现 8~10 秒左右的断流现象。在之后的排水过程中还有 1~2 秒的时断时续的现象出现。

通过将风机频率从 20 Hz 到 50 Hz，每隔 5 Hz 测定一次管道风压与排水时间，排水时间以安装的液体检测传感器反馈信号报警为准，测试风机参数见表 2。测试结果见表 3。

Table 3. The drainage schedule of the system pipeline is measured under different wind pressure

表 3. 不同风压下测得系统管道排水时间表

序号	风机频率	管道风压	排水时间
1	20 Hz	7.22 KPa	13 min
2	25 Hz	8.05 KPa	12 min
3	30 Hz	9.13 KPa	10 min
4	35 Hz	10.32 KPa	9 min
5	40 Hz	12.15 KPa	7 min
6	45 Hz	14.33 KPa	6 min
7	50 Hz	16.87 KPa	5 min



Figure 8. Comparison of drainage status of drainage valves

图 8. 排水阀排水状态对比

试验结果说明:

- 1) 测得常规排水时间为 35 分钟, 50 Hz 风吹排水最短时间为 5 分钟。
- 2) 在水冲洗系统中增加气压, 并随着气压增大, 排水时间越短, 越有利于系统排水。
- 3) 在 50 Hz 下风吹排水在约 2 分钟后已无明显水流, 表现为高速的水气混合状态, 4 分钟后液体检测传感器开始间断地反馈报警提示信号, 5 分钟后为连续报警提示音, 表示排水完成。
- 4) 由于高压风机为涡旋风机, 高速运行时产生的气流温度高达 64℃, 这更有利于冬季时的系统排水, 防止严寒天气排水过程中的结冻风险。

通过排水阀水流状态可直观看出, 风吹排水的效率很高, 其排水状态对比如图 8 所示。

5. 结论

经过多年的水冲洗车使用经验, 分析了目前水冲洗车在冬季使用的重要性和局限性, 并提出设计了一套合理的解决其冬季水冲洗系统防寒措施与排水困难问题的解决方案。

通过试验验证, 采用高压气流辅助快速排水的方案可以有效实现快速排水的目的, 可将原来常规的排水时间从 35 分钟加快到 5 分钟左右, 缩短 7 倍以上, 且高压风机产生的热风能够进一步防止排水过程中的结冻问题。

参考文献

- [1] 关志成, 王绍武, 梁曦东, 等. 我国电力系统绝缘子污闪事故及其对策[J]. 高压电技术, 2000(6): 37-39.
- [2] 卫永刚. KJ-D 接触网绝缘子水冲洗车在朔黄铁路的应用及改进建议[J]. 黑龙江科技信息, 2017(20): 143-145.
- [3] 张巍. 绝缘子带电水冲洗车浅析[J]. 机械管理开发, 2012(1): 95-97.
- [4] 王正旺, 白绍烈, 庞转棠, 等. 电力污闪事故的气象条件分析[J]. 自然灾害学报, 2005(5): 136-140.
- [5] 马军卫. 低温环境供水管道防冻解决方案[J]. 设备管理与维修, 2021(5): 142-144.
- [6] 林立彬, 廉海浔, 刘胜军, 等. 公路隧道消防管道保温措施研究[J]. 隧道建设, 2022, 42(z2): 548-555.
- [7] 张伟, 王汉林. 设备管道保温伴热方式分析及选择[J]. 大氮肥, 2022, 45(6): 410-413.
- [8] 周洋洋, 刘焱. 电伴热技术在建筑给排水管道保温系统中的应用[J]. 给水排水, 2009, 45(S1): 358-360.
- [9] 赵雪华. 管道快速排水瞬变流数值模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2019.
- [10] 陈文玺, 夏建飞. 冬季给水管防冻保温公式应用研究[C]//中国建筑学会建筑给水排水研究分会. 中国建筑学会建筑给水排水研究分会第三届第二次全体会员大会暨学术交流会议论文集. 2018: 1169-1175.