

研
究
开
发HX_D1型交流传动机车辅助变压器
通风冷却系统过滤分析与改进邓木生¹, 钟福兵²

(1. 湖南铁道职业技术学院, 湖南 株洲 412001;

2. 南车株洲电机有限公司, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 邓木生 (1967-), 男, 副教授, 研究方向为电气工程。

摘 要: 介绍了HX_D1机车辅助变压器柜及机械间通风冷却系统的构成, 分析了通风冷却系统的过滤原理。通过试验数据说明了通风冷却系统的过滤效率。详细介绍了改进型通风冷却过滤系统的过滤原理及效果。

关键词: 辅助变压器; 通风冷却系统; 侧墙百叶窗; 旋风过滤器; 过滤效率

中图分类号: U264.5⁺5

文献标识码: A

文章编号: 1000-128X(2012)01-0016-05

Filtration Analysis and Improvement of Ventilation and Cooling System
on Auxiliary Transformer for HX_D1 AC-drive LocomotiveDENG Mu-sheng¹, ZHONG Fu-bing²

(1. Hunan Railway Professional Technology College, Zhuzhou, Hunan 412001, China;

2. CSR Zhuzhou Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: The structure of the ventilation and cooling system of HX_D1 locomotive auxiliary transformer was introduced. The filtrating principle of ventilation system was analyzed, the filtration efficiency of which was presented by test data. As comparison, the filtrating principle and effects of the innovated ventilation and cooling system were introduced in detail also.

Key words: auxiliary transformer; ventilation and cooling system; filter grille in the locomotive's side wall; cyclone separator; filtration efficiency

0 引言

HX_D1机车为引进西门子公司技术的国产化大功率交流传动电力机车, 通风系统采用独立通风冷却方式, 其中机车机械间通风冷却采取从车顶侧墙进风, 经两级过滤器除尘过滤的方式。两级过滤器除尘的总效率约95%, 能使进入机械间的空气具有较高的洁净度^[1]。但该型机车按《TB/T 2054—1989 铁路机车漏雨试验方法》进行整车的淋雨试验时, 发现有水从侧墙进风口处第一级过滤器(侧墙百叶窗)进入风道, 再经过辅助变压器、第二级过滤器(旋风过滤器)进入机车机械间。雨水经过第一级过滤器进入辅助变压器, 严重影响辅助变压器的绝缘, 造成辅助变压器绝缘电阻降低; 同时雨水进入机车机械间使机械间的空气湿度增加, 水汽凝结在机械间的电气设备上, 特别是变流器等电子器件上, 将严重影响设备的使用寿命, 为此国产化机车必须采取措施限制雨水的进入。

收稿日期: 2011-05-26

1 HX_D1机车辅助变压器及机车机械间的通风冷却系统

HX_D1机车采用独立通风冷却方式, 各通风回路有各自相对独立的通风支路, 各风路系统之间不相互影响。该型机车的通风系统主要包括牵引电机通风支路、牵引变压器及主变流器的冷却塔通风支路、辅助变压器及机械间通风支路、司机室空调通风支路, 4条通风支路相互独立, 互不影响^[1]。

辅助变压器柜及机械间通风支路示意图见图1。

HX_D1机车辅助变压器柜及机械间通风支路由侧墙百叶窗、风道、连接风筒、离心式风机、辅助变压器、旋风过滤器组成。辅助变压器柜及机械间通风支路冷却空气走向如下^[1]:

一个支路是: 车外环境空气→空气进口侧墙百叶窗→风道→离心式风机→辅助变压器→旋风过滤器→车底大气。另一个支路是: 车外环境空气→空气进口侧墙百叶窗→风道离心式风机→辅助变压器→旋风过

滤器→机车机械间→车内设备→空气制动系统(间歇工作), 空气出口侧墙百叶窗→车外大气。

为了使机械间的空气有较高的洁净度, 一方面采用独立通风方式, 大大减少进入机械间的风量; 另一方面, 需要提高空气的过滤效率, 减少带入机械间内的灰尘。所有进入机械间的空气都经过两级过滤器除尘: 一级是空气进口侧墙百叶窗(惯性除尘器); 二级是辅助变压器柜出风口的旋风过滤器, 具有较高的过滤效率。

从通风支路示意图 1 可以看出, 辅助变压器的冷却空气仅经过空气进口侧墙百叶窗过滤除尘, 空气的洁净度大大低于进入机械间内部的空气。

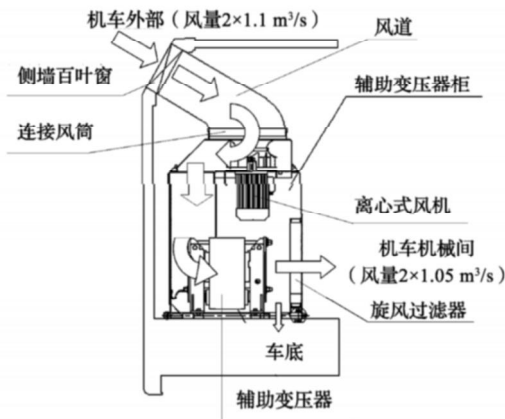


图 1 HXD1 机车辅助变压器柜及机械间通风支路示意图

1.1 侧墙百叶窗

1.1.1 侧墙百叶窗结构及过滤除尘原理

侧墙百叶窗安装在辅助变压器柜通风支路的进风口, 进风口设置在车体侧墙上部的斜面处。侧墙百叶窗能有效阻挡雨水、雪、灰尘的进入, 使进入的空气中粉尘量、雨水大大减少。

侧墙百叶窗包括空气导流管、分离管、灰斗及横梁、侧板。侧墙百叶窗结构示意图见图 2。

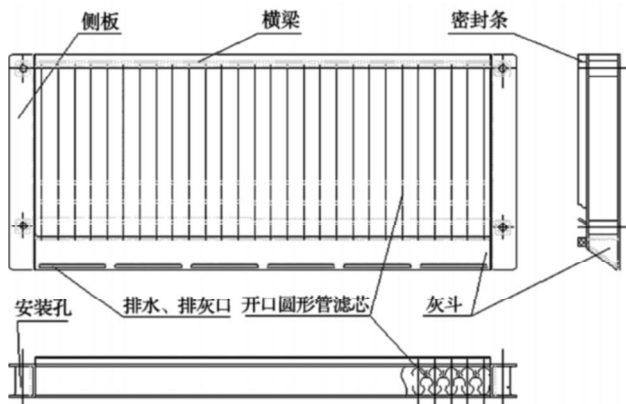


图 2 侧墙百叶窗结构示意图

侧墙百叶窗滤芯过滤管断面示意图见图 3。

侧墙百叶窗滤芯由前排的空气导流管、后两排分离管及灰斗组成。第一排的空气导流管, 对进入过滤器的空气起导向作用; 第二、三排为带尾翼的开口圆管状分离管, 起到捕集夹杂在空气中尘粒或雨滴的作

用。三排滤管相互平行等距离排列。

空气进口侧墙百叶窗为惯性除尘器, 利用夹带于气流中的颗粒或液滴的惯性而实现分离。含尘气流冲击到滤管上, 气流急转, 在过滤器中作回旋运动, 尘粒或液滴在惯性力作用下被抛向除尘器圆管内壁上降落到集尘区, 与气流分离。颗粒密度及直径愈大, 则愈容易分离, 适当减小转折处的曲率半径也有助于提高过滤效率, 惯性除尘器适用于捕集粒径大于 $10\ \mu\text{m}$ 以上的尘粒^[2]。同时适用于较低风速, 具有自动排灰功能, 性能参数不随使用而变化, 但过滤效率较低。

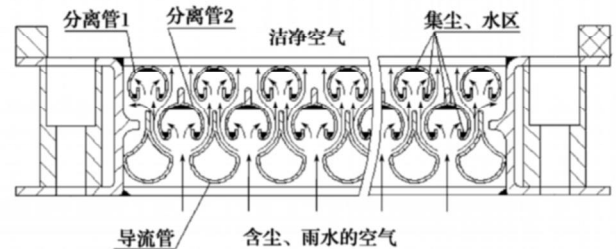


图 3 侧墙百叶窗滤芯过滤管断面示意图

1.1.2 侧墙百叶窗的过滤效率

侧墙百叶窗一般竖直安装, 即侧墙百叶窗滤芯管与水平面成 90° 夹角。侧墙百叶窗滤芯管与水平面的夹角越大, 尘粒或雨滴的重力作用越大, 流动的速度越快, 对尘粒或雨水的过滤效果越好, 夹角为 90° 时, 过滤效果最高。一般情况下侧墙百叶窗的过滤效率是指安装夹角为 90° 时的过滤效率^[4]。

根据湖南大学建筑环境与设备实验室的试验结果, HXD1 机车侧墙百叶窗粉尘过滤效率与体积流量关系如表 1 和图 4。试验时采用的粉尘为碳酸钙, 粉尘颗粒直径 $60\ \mu\text{m}$, 粉尘含量为 $333\ \text{mg}/\text{m}^3$ 。

表 1 HXD1 机车侧墙百叶窗粉尘过滤效率与体积流量关系测试数据表

体积流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	初风阻/ Pa	终风阻/ Pa	发尘量/ G	滤尘量/ G	发尘时间/ min	过滤效率/%
0.3	1	13.85	13.85	120	111.76	60	93.13
0.5	1.67	46.19	46.19	200	155.54	60	77.77
0.6	2	62.21	62.21	240	169.22	60	70.51
0.7	2.33	78.63	78.63	210	133.50	45	63.57
0.8	2.67	91.12	91.12	240	136.32	45	56.80
0.9	3.0	118.65	118.65	180	94.54	30	52.52
1.0	3.33	137.69	137.69	200	100.44	30	50.22
1.1	3.67	165.13	165.13	220	105.62	30	48.01

从测试结果可以看出, 通过的含尘空气体积流量越大, 即进风的风速越高, 侧墙百叶窗对粉尘的过滤效率越低, 达到侧墙百叶窗设定体积流量 $1.1\ \text{m}^3/\text{s}$ (相应的进风风速为 $3.67\ \text{m/s}$) 时, 粉尘的

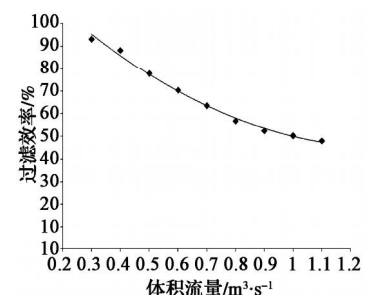


图 4 HXD1 机车侧墙百叶窗粉尘过滤效率与体积流量特性曲线

过滤效率为48.01%。

侧墙百叶窗除了要考虑对外部空气中的粉尘进行过滤外,还要考虑对机车外部雨水的过滤能力。根据湖南大学建筑环境与设备实验室的试验结果,HXD1 机车侧墙百叶窗在水雾量6 L/min条件下雨水过滤效率与体积流量关系如表2和图5。

表2 HX_{D1} 机车侧墙百叶窗雨水过滤效率与体积流量关系数据表

体积流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	初风阻/Pa	终风阻/Pa	水雾量/L	滤水量/L	喷水时间/min	过滤效率/%
0	0	0	0	90	89.10	15	99.00
0.65	3.17	70.42	70.42	90	88.24	15	98.04
0.7	3.42	78.63	78.63	90	86.99	15	96.65
0.8	3.90	91.12	91.12	90	85.73	15	95.25
0.9	4.39	118.65	118.65	90	84.54	15	93.93
1.0	4.88	137.69	137.69	90	82.81	15	92.01
1.1	5.37	165.13	165.13	90	81.47	15	90.52

从测试结果可以看出,通过的空气体积流量越大,即进风的风速越高,侧墙百叶窗对雨水的过滤效率越低,达到侧墙百叶窗设定体积流量 $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (相应的进风风速为 5.37 m/s)时,雨水的过滤效率为90.5%。

但HX_{D1} 机车侧墙百叶窗与水平面成 54° 夹角,安装示意图如图6。

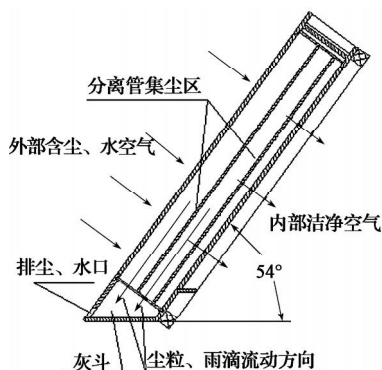


图6 侧墙百叶窗安装角度示意图

第二、三排分离管捕集到的尘粒或雨滴在重力和随后气流的推动下,沿分离管内壁下行至管排最下端设置的集尘灰斗,然后由灰斗下端的排尘、水口自动排出。侧墙百叶窗能有效阻挡雨水、雪、灰尘进入,侧墙百叶窗具有自动排灰、水的功能,无需清洗和维护。

HXD₁ 机车的车顶侧墙过滤器与水平面成 54° 夹角安装,分离管前段捕集到的尘粒或雨滴要经过分离管后段排出,这样越靠近排尘、水口的分离管中尘粒和水量就越多,下大雨时分离管后段中的水达到一定的水量后就会从分离管中溢出,透过相互平行排列的分离管缝隙,进入风道内。分离管捕集到的尘粒或雨滴

大部分在重力和随后气流推动下进入灰斗,经灰斗的排灰、水口排到车体外。侧墙百叶窗与水平面成 54° 夹角时过滤情况如图7。

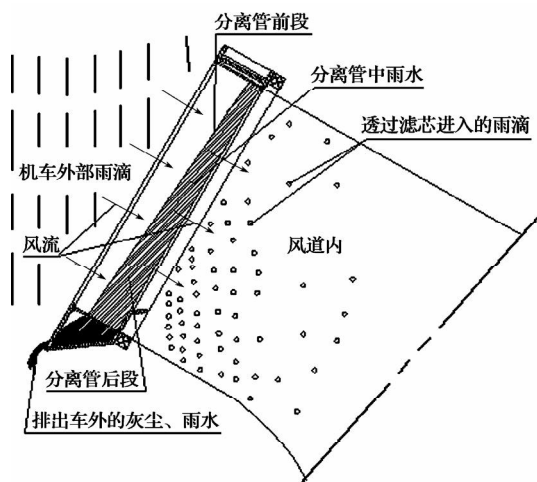


图7 侧墙百叶窗与水平面成 54° 夹角时过滤情况示意图

经试验测试,侧墙过滤器与水平面成 54° 夹角安装时对雨水的过滤效果测试结果如表3。

表3 54° 夹角安装时滤水效果测量数据表

体积流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	喷水量/ $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	喷水时间/min	总喷水量/L	滤水量/L	过滤效率/%
0.9	3.0	3.6	5	18	11.6	58.9

从表3可以看出,在相同体积流量($0.9 \text{ m}^3/\text{s}$)的情况下,因安装方式的不同,侧墙过滤器对雨水的过滤效率由93.9%下降到58.9%。

1.2 旋风过滤器

1.2.1 旋风过滤器结构及过滤原理

旋风过滤器主要包括旋风单元、框架。HX_{D1} 机车辅助变压器柜旋风过滤器结构示意图见图8。

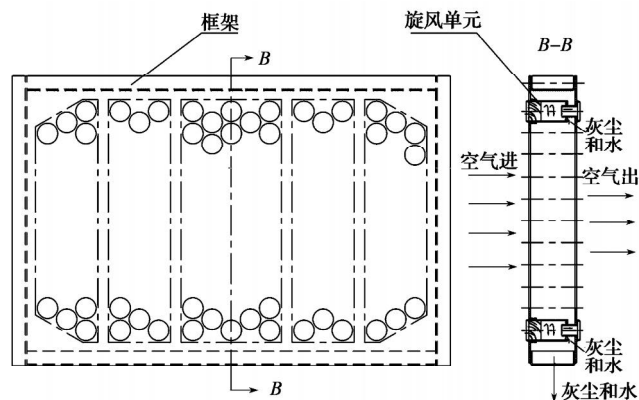


图8 旋风过滤器结构示意图

旋风单元采用轴向旋风结构,旋风单元结构示意图见图9。

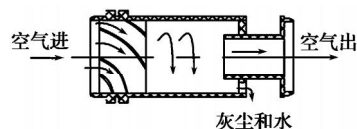


图9 轴向旋风单元结构示意图

轴向旋风单元的进气和排气方向相同,气流通常为水平、轴向。含尘气体轴向进入旋风单元,在稳流体

与筒体之间的环形区域做向前的旋转运动, 气流中的尘粒在离心力作用下被甩向筒体壁面, 在气流推动和重力作用下下滑, 进入框架的箱体^[2-3], 少量气体带着灰尘进入框架的箱体中, 将箱体中的灰尘从过滤器底部的排尘口吹到车外, 而中心的洁净气流直接进入排气芯管排到机车机械间内^[2]。

旋风过滤器适用于较高风速, 也具有自动排灰功能, 无需维护, 过滤效率较高。

1.2.2 旋风过滤器的过滤效率

旋风过滤器的过滤效率与进口风速、旋风单元筒体的直径和长度、粉尘粒径和密度等因素有关^[4], 经铁道部产品质量监督检验中心机车车辆检验站的测试, HXD1 机车辅助变压器柜旋风过滤器对大颗粒灰尘 A4 和细小粉尘 A2 (ISO 12103—1997) 的过滤效率如表 4 和图 10。

表 4 HXD1 机车旋风过滤器粉尘原始滤清效率与体积流量关系数据表

体积流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	原始风阻 / Pa	原始滤清效率 / %	
		大颗粒灰尘	细小粉尘
1.0	94.5	87.3	66.0
1.5	191.0	89.5	68.5
2.1	341.7	91.2	72.3
2.5	462.0	91.5	74.5

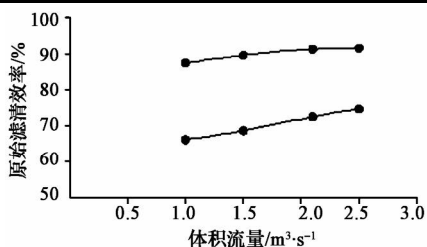


图 10 HXD1 机车旋风过滤器原始滤清效率与体积流量特性曲线

从试验数据可以看出, 旋风过滤器对大颗粒灰尘 (A4) 的过滤效率比较高, 而对细小粉尘 (A2) 的过滤效率较低, 过滤效率随体积流量的增大而增加, 达到设定的体积流量 ($2.1 \text{ m}^3/\text{s}$) 时, 大颗粒灰尘的过滤效率为 91.2%, 细小粉尘的过滤效率为 72.3%。

2 辅助变压器及机车机械间的通风冷却系统总过滤效率

额定体积流量时, HXD1 机车的车顶侧墙过滤器对大颗粒粉尘的过滤率为 48.01%, 旋风过滤器对大颗粒灰尘的过滤效率为 91.2%, 对细小粉尘的过滤效率为 72.3%。

通风系统对大颗粒粉尘总过滤率为^[4]

$$\eta_{t1} = \eta_1 + (1 - \eta_1) \times \eta_2 = 0.4801 + (1 - 0.4801) \times 0.912 = 0.954 = 95.4\%$$

对细小粉尘总过滤率为

$$\eta_{t2} = 0.4801 + (1 - 0.4801) \times 0.723 = 0.856 = 85.6\%$$

额定体积流量时, HXD1 机车的车顶侧墙过滤器对雨水的过滤率为 90.52%, 旋风过滤器对雨水的过滤效率按大颗粒粉尘过滤率计算, 取 91.2%, 通风系统雨水总过滤率为

$$\eta_{y1} = 0.9052 + (1 - 0.9052) \times 0.912 = 0.9916 = 99.16\%$$

旋风过滤器对雨水的过滤效率按细小粉尘过滤率计算, 取 72.3%, 通风系统雨水总过滤率为

$$\eta_{y2} = 0.9052 + (1 - 0.9052) \times 0.723 = 0.9737 = 97.37\%$$

实际情况下, 侧墙过滤器与水平面成 54° 夹角安装, 侧墙过滤器对雨水的过滤率为 58.9%, 此时通风系统对雨水的过滤率为

$$\eta_{y3} = 0.589 + (1 - 0.589) \times 0.723 = 0.886 = 88.6\%$$

从以上分析可以看出, 侧墙过滤器与水平面成 54° 夹角安装时有 41% 的外部雨水经过第一级过滤器进入辅助变压器, 严重影响辅助变压器的绝缘, 将造成辅助变压器绝缘电阻降低; 同时最多有约 12% 的外部雨水会经过第二级过滤器进入机车机械间, 将使机械间的空气湿度增加, 水汽凝结在机械间内的变流器等电子器件上, 将严重影响设备的工作寿命, 造成不良后果, 不符合《TB/T 2054—1989 铁路机车漏雨试验方法》的试验要求。

3 改进型通风冷却系统

国产化机车辅助变压器柜及机械间通风冷却系统改进图如图 11。

如图 11 所示, 为减少进入机车内部的雨水, 第一措施是在侧墙过滤器的进风口周围增加围挡, 使侧墙过滤器附近区域车顶和侧墙上集聚的雨水不再流入进风口, 减少雨水的流入量; 其次, 根据图 7 所示的分析及实际观察结果, 发现分离管后段处有比较多的雨水透入, 为此在分离管后段处增加一个接水盘, 接住透入的雨水并将接到的雨水排到车外; 第三, 增加接水盘后, 通过观察发现透入的雨水大部分虽被接住, 但分离管前段仍有少量雨水未落入接水盘, 而是随气流进入通风道内, 为此在连接风筒处增加一个挡水风筒, 利用水滴的惯性分离随气流进入通风内的雨水, 并将挡水风筒捕集的雨水通过排水管排到车外。

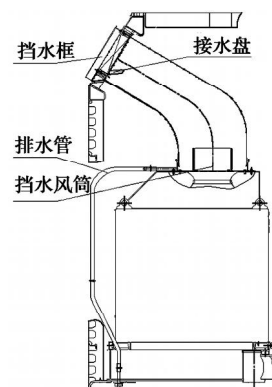


图 11 国产化机车辅助变压器柜及机械间通风冷却系统改进示意图

3.1 侧墙百叶窗进风口外围增加挡水框
挡水框向外凸出高度 50 mm, 挡水框结构如图 12。

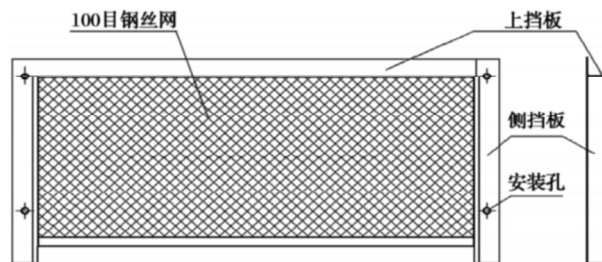


图 12 挡水框结构示意图

挡水框安装示意图如图 13。

安装挡水框后,雨天落在车顶的雨水被凸出的上挡板阻挡,侧墙百叶窗附近区域侧墙上的雨水被凸出的侧挡板阻挡,不再流落到侧墙百叶窗的进风口。根据侧墙百叶窗受风面积与车顶面积的比值,安装挡水框后可使侧墙百叶窗减少60%的受雨量,大大减少进入辅助变压器柜风道的雨量。

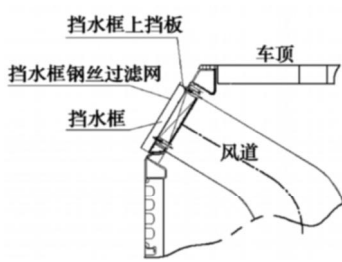


图 13 挡水框安装示意图

3.2 侧墙百叶窗内侧增加接水盒

加装接水盒后的侧墙百叶窗如图 14。

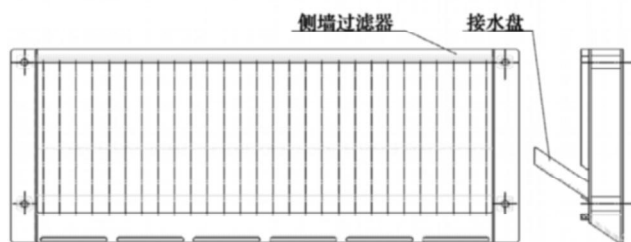


图 14 加装接水盒后侧墙百叶窗

加装接水盒后,透过侧墙百叶窗滤芯的雨水有大部分被接水盒捕集,排入到侧墙百叶窗下端的灰斗,从灰斗的排灰、水口排到车外,接水盒的功能示意图如图 15。

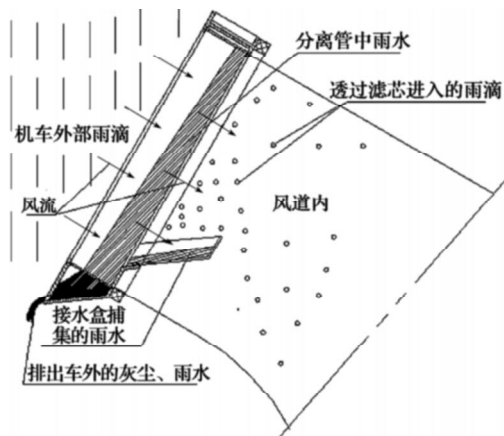


图 15 接水盒的功能示意图

加装接水盒后,经试验测试,侧墙过滤器与水平面成 54° 夹角安装时对雨水的过滤效果测试结果如表 5。

表 5 改进型侧墙百叶窗 54° 夹角时滤水效果测量数据表

体积流 量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	喷水量/ $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	喷水时 间/min	总喷水 量/L	滤水 量/L	过滤效 率/%
0.9	3.0	3.6	5	18	17.4	96.7

从表 5 可以看出,在相同体积流量 ($0.9 \text{ m}^3/\text{s}$) 的情况下,加装接水盒后,侧墙过滤器对雨水的过滤效率由 58.9% 提高到 96.7%,对雨水的过滤率大大提高。

3.3 增加挡水风筒及排水管

侧墙百叶窗外侧四周增加挡水框和内侧增加接水盒后,仍有部分的雨水可透过侧墙百叶窗滤芯进入到风道内,对此采取在连接风道处再增加一个挡水风筒及排水管的措施捕集这部分雨水,并将捕集到的雨水通过排水管排到车外。

挡水风筒与连接风筒焊接后结构示意图如图 16。

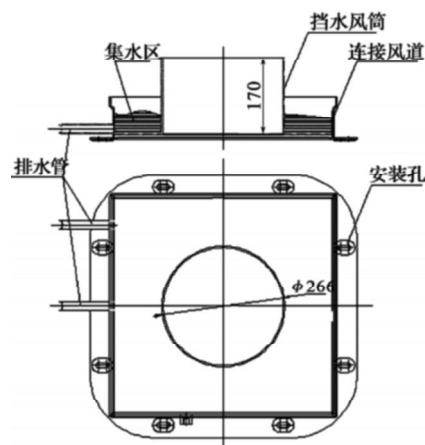


图 16 挡水风筒与连接风筒焊接后结构示意图

加装挡水风筒和排水管后,透过侧墙百叶窗滤芯的尘粒和雨水由于重力的惯性作用降落到风道的内壁上,最终被挡水风筒捕集,通过排水管被排到车底外。挡水风筒功能示意图如图 17。

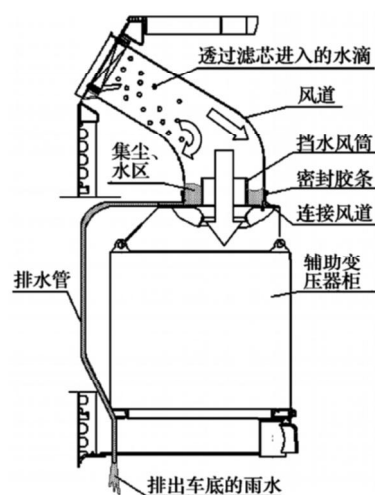


图 17 挡水风筒功能示意图

4 试验验证

HXD1 机车辅助变压器柜及机械间

通风支路采取上述改进措施后,安装于 HXD100220 号机车,在株洲电力机车有限公司的淋雨试验架下按《TB/T 2054—1989 铁路机车漏雨试验方法》进行了淋雨试验。

试验时采用外接变频变压电源 (60 Hz, 440 V) 给机车供电,启动辅助变压器柜风机,将进风口百叶窗平均分成 2×8 共 16 个小区,分别测量各小区的风速,通过平均风速计算进风口风量。然后打开试雨架按照淋雨试验规程控制降水量为 6 mm/min ,测量辅助变压器柜车底排水口水流量。淋雨的同时,测量辅助变压器一次侧绕组、二次侧绕组的绝缘电阻。试验结果如表 6。

表 6 辅助变压器柜及机械间通风支路改进后电力机车各相关参数

项 点	测量值
机械间正压 (压缩机开启)	60 Pa
机械间正压 (压缩机关停)	150 Pa
进风口平均风速	4.82 m/s
进风口风量	2.83 m^3/s
风机功率	6.1 kW
车底排风口水量	4 h 后未见水滴
辅助变压器表面	干燥
辅助变压器绝缘电阻	一次侧 $\geq 73 \text{ M}\Omega$, 二次侧 $\geq 128 \text{ M}\Omega$

(下转第 42 页)

统的骨干网和编组网可以同时支持多个VLAN。

3) 再生能馈式供电技术

目前,我国仍采用二极管整流或相控整流方式供电,对电网的谐波污染大;车辆制动时的能量不能回馈电网,而以热能的形式在制动电阻上消耗,造成能量的巨大浪费,而且使得隧道以及站内温度升高、环境恶化。近来,直流储能(超级电容)方式也在初步应用,但所利用的再生能量非常有限。而能馈式牵引供电系统则将再生能量回馈回高压交流电网,最大地利用车辆再生电能,并使隧道以及站内温度升高等环境问题得以有效缓解改善等。另外,可使整流器网侧电流正弦化且可运行于接近于1的单位功率因数,对电网谐波污染小;而且,还能节约牵引列车或地面吸收设备成本、简化列车牵引系统、实现车体轻量化,提高车地一体电气系统的稳定性和可靠性。因此,采用再生能馈式供电技术,可做到节能、高效、绿色环保和车—地系统优化。

南车时代电气已掌握可逆三相四象限PWM脉冲整流器及控制等关键技术,相关轨道交通牵引系统实现了PWM整流技术具有网侧电流为正弦波、网侧功率因数为±1、输出电压可控、快速动态控制响应、能量双向传输等优良性能。目前,额定容量为2.4 MVA(DC 1 500 V)的PWM中高压回馈系统装置已完成样机试制,即将进行现场挂网试验考核。

4) 列车状态监视及无线维保技术

城轨地铁列车运营过程中,现有地铁公司的运营

维保现状基本为当值司机通过电话联系维保调度中心,指派现场维保人员赶赴现场处理故障的被动式维保方式。采用被动维保方式具有诸多的不稳定性 and 不可靠性,与城轨地铁列车运营的高可靠性高稳定性要求相距甚远。为弥补被动维保过程中的缺点,探索主动维保手段,研究城轨地铁列车主动维保系统模式逐渐成为该领域的热门研究方向之一。城轨地铁列车主动维保系统模式包括远程指导司机现场处理在途列车故障、地铁列车可运营状态评估、地铁列车故障影响推演及预警等,形成不同层面维保模式下的主动维保系统,以达到主动维保目标。

南车时代电气已与相关院校和地铁公司一起,开展以太网、可信传输、快速切换、软件开发、环境及故障因果链数据分析、专家系统、数据处理及数据库等多项关键技术的研究,其中《地铁列车运行状态监视系统》经过1年多的努力,在上海1号线直改交113号列车上实施,并且于2010年4月通过国家863专家评审团的评审。

6 结语

南车时代电气的电气牵引系统是城市轨道交通车辆的核心装备,南车时代电气具有现代管理理念、先进企业文化和核心竞争优势,愿为中国大陆城市轨道交通体系建设及持续发展提供核心装备和技术保障。

(上接第20页)

试验数据表明,机车机械间正压为60 Pa,能保证机械间的恒正压,机车外部的脏空气不会从车体的不严密处渗入;同时4 h后车底排风口未见水滴、辅助变压器表面干燥,表明外部雨水基本不会进入辅助变压器,通风系统的过滤效率大大提高,接近100%,完全没有雨水透过旋风过滤器再进入机车机械间,辅助变压器及机械间内电气设备的工作环境大大地得到了改善。

5 结语

通过在侧墙百叶窗外侧四周增加挡水框、内侧增加接水盒,同时增加挡水风筒,大大提高了通风冷却

系统对雨水、尘粒的过滤能力,改善了辅助变压器及机车机械间设备的工作环境。

参考文献:

- [1] 张曙光. HXD1型电力机车[M]. 北京:中国铁道出版社, 2009.
- [2] 郭浩兵. 电力机车除尘器应用探讨[J]. 电力机车与城轨车辆, 2010(4).
- [3] 孙一坚. 简明通风设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1997.
- [4] 陈明绍, 吴光兴, 张大中. 除尘技术的基本理论与应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1981.
- [5] TB/T 2054—1989, 铁路机车漏雨试验方法[S].