

智轨电车淋雨房的设计理念与思路

樊兴锐^{1, 2}, 姚建平^{1, 2}, 肖衡^{1, 2}

1. 湖南中车智行科技有限公司 湖南长沙 410006

2. 湖南省多铰接胶轮运输系统工程技术研究中心 湖南长沙 410006

摘要: 智轨电车作为新型的城市公共交通客运车辆, 在结构和性能方面兼具传统公路客车以及轨道交通客运电车的特点。但在车辆制造和性能检测方面尚缺乏国家标准或行业标准, 尤其是车辆下线出厂前的防雨密封性检验方面暂未形成系统化的作业要求和指导。借鉴客车和城轨车辆在防雨密封性检测方面的成熟做法, 全面介绍了当前智轨电车淋雨系统的探索和建设情况, 对其后续的设计思路进行了展望, 以期为将来智轨电车防雨密封性测试等相关研究提供参考。

关键词: 智轨电车; 淋雨房; 防雨密封性试验

智轨电车车辆制式与现代低地板有轨电车类似, 但从运营场景来看属于公路运输车辆的范畴, 根据交通运输部的标准需要对车辆进行防雨密封性能的检测。然而智轨电车的车辆结构已超出《道路车辆外轮廓尺寸、轴荷及质量限值》国家标准的要求, 因此现行《客车防雨密封性试验方法》标准不适用。同时由于智轨电车与传统轨道交通车辆的运营环境、工况有较大区别, 所以铁路标准相关的标准同样不适合直接指导智轨电车的性能检测。

为验证智轨电车的防雨密封性能, 保障车辆具备良好的品质, 智轨电车车辆制造厂在借鉴汽车和轨交车辆性能检测方面经验的基础上, 开展了大量的模拟

和验证, 逐步建立了智轨电车防雨密封性能检测系统。本文从检测指标的要求、喷淋装置的模式与布局要求、机械结构与设备选型、电气控制系统要求等方面, 重点介绍检测系统核心设施——淋雨房的设计。

智轨电车结构特点与防雨密封试验要求

防雨密封性能是评价车辆品质的关键指标, 关系到车辆的安全性与舒适性。防雨密封性试验是车辆制造的最后环节, 用以检测车辆的整体防水性能。采用人工手段模拟降雨过程, 检查车窗玻璃、组合灯具、门窗、孔口盖及地板等密闭部位的密封性, 试验

开始后在车厢内观察和记录渗漏情况，并按标准进行评分，比对限值评判密封等级。智轨电车车辆结构与客车有较大区别，必须针对智轨电车的特点来设计淋雨部位、淋雨强度以及试验方法。

1.智轨电车车辆结构特点

首先是车辆长度，现有客车的最大长度一般不超过18m，但智轨电车长度为31m以上，且两端均有驾驶室。其次，智轨电车为100%低地板结构，车下不设立行李舱，轮胎外侧由全包围轮罩板封闭。最后，智轨电车底盘为全密封结构，由宽幅铝合金型材焊接而成。总体上来看，智轨电车的结构与现代有轨电车类似，与商用客车区别较大。

另外，客车和城轨车辆的车顶部位大部分区域为全密封结构，设备安装区域相对整个车顶面积占比较少，而智轨电车车顶几乎全部布满部件，除空调外，智轨电车仍有大量设备布置安装在车顶部。淋雨试验时必须考虑车顶部件的IP防护等级以及车顶的排水性能。

2.防雨密封试验要求

客车淋雨时，一般采取地面输送板链或者人工驾驶的方式进出淋雨设施，通常车辆为未激活状态（不带电淋雨）。城轨车辆由于需要外部供电，且电压较高，因此淋雨试验时需要用牵引车进行牵引通过淋雨设施，车辆也为未激活状态（不带电淋雨）。而智轨电车无牵引设备，采用人工驾驶方式进出淋雨设施，淋雨过程车辆处于激活状态（带电淋雨）。客车淋雨

试验时前围、侧围、后围、车顶及底盘均全覆盖，且前围的平均淋雨强度高于其他区域，而轨交车辆淋雨时车底部位不做要求，如图1所示。

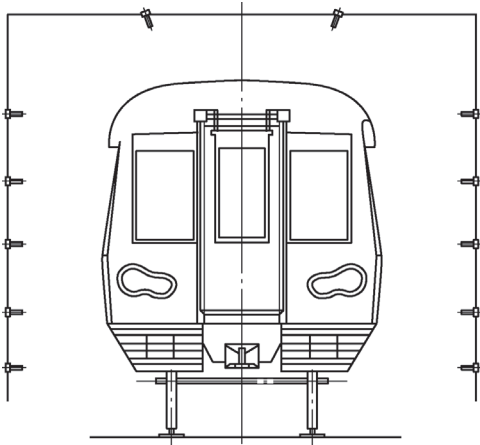


图1 地铁车辆淋雨区域示意

鉴于结构上的差异，而且由于淋雨设施的体积有限，不能完全匹配车辆的长度。客车的淋雨设施可一次性完全覆盖车辆长度，保证所有待检测面同时淋雨，如图2所示。在轨交行业，机车的淋雨同样可一次性覆盖，但如地铁等客运电车由于长度可达数百米，所以淋雨时均为通过式分段淋雨。智轨电车同样由于编组灵活，车辆长度较长，因此也要采用通过式的方法分段进行淋雨。

根据客车防雨密封性限值的国标要求，双层客车、铰接客车、无轨电车限值需≥88分。目前智轨电车生产厂参考的平均淋雨强度为车身前部和顶部为 (12 ± 1) mm/min，淋雨时间为15min，限值是≥91分。

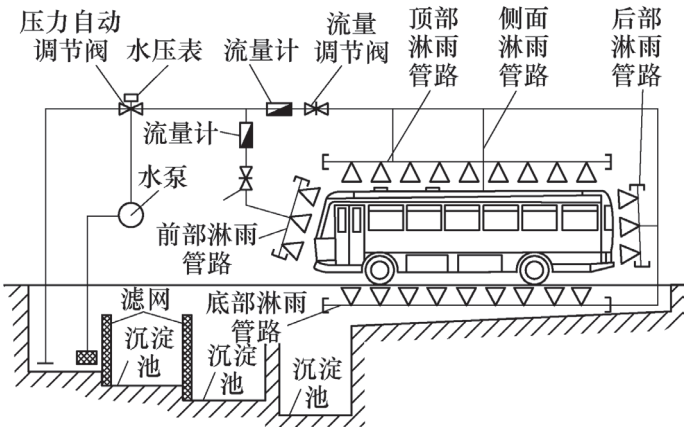


图2 客车淋雨区域示意

淋雨系统的结构组成

淋雨系统虽然是用于模拟自然降雨，但仍然需要根据车辆的特点进行设计。尤其是雨量调节模式要适应如普通降雨、梅雨、暴雨、路面涉水、高速行驶（负压）、坡道、低压流水喷淋、高压洗车及积水等诸多场景，因此要求淋雨设施的雨量和压力可调。根据经验，在系统设计时根据最大降雨量及持续时间设定淋雨强度的下限值，并以下限值的2~3倍为上限值，然后根据该范围展开计算，确定相关边界条件。车顶部位的淋雨强度以不低于IPX6级设计，为便于说明计算过程，本文以全部位平均降雨强度12mm/min为下限值进行计算。

鉴于智轨电车采用动态淋雨的方式，因此淋雨系统为通过式结构，该系统由房体、管网、储水池和控制系统等几大部分组成，具体如图3所示。

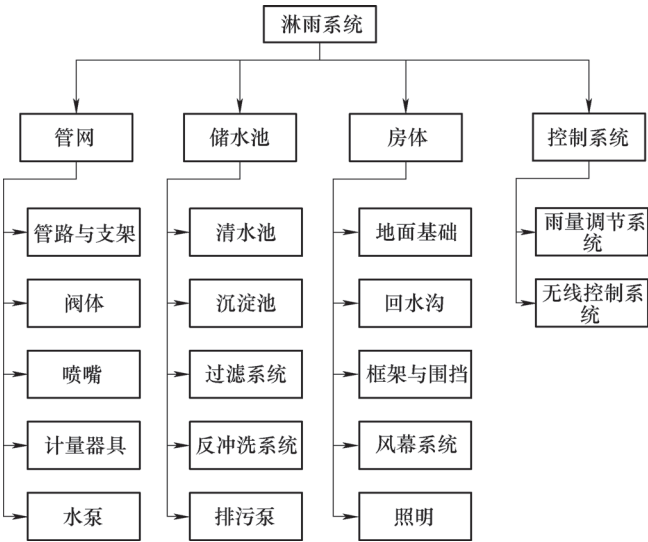


图3 智轨电车淋雨系统结构组成

淋雨系统设施参数的计算

淋雨系统的建设需要大量参数，包括管网的规格、水池的容量以及设备技术指标等。需先确定车身受雨面积，然后确定喷嘴数量，接下来计算管网直径和用水量。通过用水量指标确定储水池容量和水泵型号，最后计算出房体尺寸。

1.智轨电车车身受雨面积

智轨电车前后两端均为车头驾驶室，轮廓结构完

全一致；车侧外轮廓弧度为R18000mm，近似于平面；以三节编组为标准模式计算，整车长度约为32m，车宽2.65m，车辆高度为3.1m，由此可计算得：

车顶受雨面积： $S_1=L_{\text{车}} \times M=[A+(0.5 \sim 1.0)] \times [B+(0.4 \sim 0.8)]$ (1)

单侧受雨面积： $S_2=L_{\text{车}} \times N=[A+(0.5 \sim 1.0)] \times [H-C+(0.4 \sim 0.6)]$ (2)

前端受雨面积： $S_3=M \times P=[B+(0.4 \sim 0.8)] \times [H-D+(0.4 \sim 0.6)]$ (3)

整车受雨面积： $S=S_1+2S_2+2S_3$ (4)

式中 $L_{\text{车}}$ ——修正后的车身长度，单位为m；
 M ——修正后的车身宽度，单位为m；
 A ——车身实际长度，单位为m；
 B ——车身实际宽度，单位为m；
 N ——修正后的车身高度，单位为m；
 H ——车身高度，单位为m；
 C ——地面至地板面的高度，单位为m；
 P ——前挡受雨面高度，单位为m；
 D ——地面至下密封条高度，单位为m。

将车身数据带入计算可得：车顶受雨面积 $S_1 \approx 80.6\text{m}^2$ ；车侧受雨面积 $S_2 \approx 99.2\text{m}^2$ ；前端受雨面积 $S_3 \approx 5.7\text{m}^2$ ；整车受雨面积 $S \approx 290.5\text{m}^2$ 。

实际上，由于生产场地、车辆生产下线的节拍、装备成本等因素的限制，不建议喷淋区一次性完全覆盖整车的受雨面积。根据总装厂的产能规划，智轨电车防雨密封试验的节拍为45min/列，因此试验时可分段进行，淋雨区域覆盖整车受雨面积的一半（相当于半个车身长度）。

2.喷淋区域喷嘴数量

喷嘴数量的计算一般有两种方式，一种是流量法，即根据平均淋雨强度的要求，计算出总雨量即单次淋雨所需的总流量，然后根据单个喷嘴的流量计算出所需的喷嘴数量。

根据GB/T12480的推荐，喷嘴的总数量K：

$K=Q/q$ (5)

式中 Q ——受雨部位所需的总淋雨量，单位为 m^3/h ；
 q ——单个喷嘴的流量，单位为 m^3/h 。

而总淋雨量

$Q=3FS/50$ (6)

式中 F ——各部位的平均淋雨强度，单位为mm/min。

本文中对喷嘴数量的计算采用另一种方法——面积法，该方法在确定喷嘴类型的前提下，可设置单个喷嘴的有效喷淋覆盖范围，然后通过计算得出最少喷嘴数量，再通过修正计算出最终所需的喷嘴数

$$K_{\min}=S/S_{\text{单}} \tag{7}$$

式中 $S_{\text{单}}$ ——单个喷嘴的有效喷淋覆盖范围，单位为 m^2 。

喷嘴数的修正方式一般采用 $(N+1)$ 的原则，即在保证覆盖范围的前提下在计算量的基础上增加1排喷嘴。

随着电控技术的进步，淋雨强度可以通过控制水泵电动机的转速和管路上阀体的开闭轻松实现，基于此可以先确定喷嘴的型号。为便于计算说明，拟选用孔径为3mm、喷射角度为 60° 、出口水压0.1~0.3MPa的不锈钢涡流圆锥形雾化喷嘴，如图4和图5所示。



图4 不锈钢雾化喷嘴



图5 圆锥形喷嘴喷射示意

根据试验要求，喷淋区域全覆盖，无死区且单位面积内淋雨强度均匀性不超过10%，可计算出喷嘴间距，进而得出喷嘴数量。如图6所示，当喷嘴间距 $L = \sqrt{2}R$ 时无死区，且此时单位面积内淋雨强度的均

匀性最高， R 由喷嘴与车身距离 L_s 决定， α 为喷嘴的喷射角度。

$$R=L_s\tan (\alpha/2) \tag{8}$$

$$L=\sqrt{2}L_s\cdot \tan \frac{\alpha}{2} \tag{9}$$

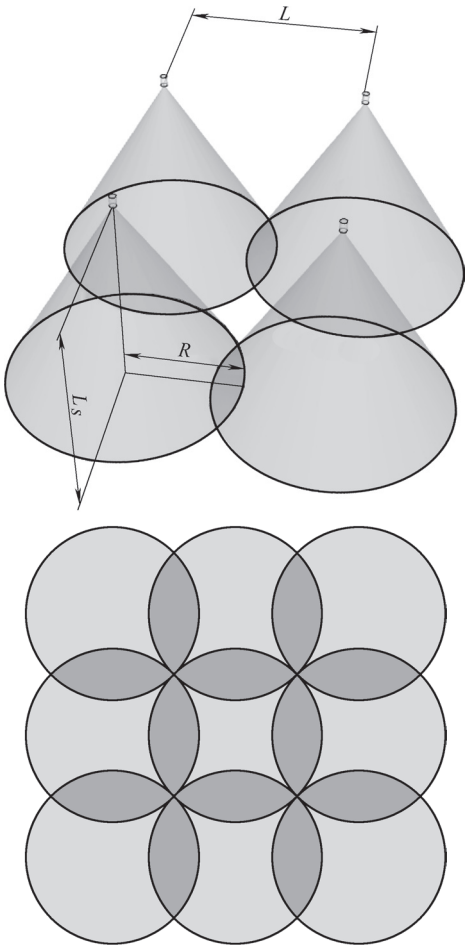


图6 喷淋覆盖区域示意

喷嘴与车身的距离理论上越远、喷嘴有效面积越大喷淋越均匀。根据国标推荐，该距离可在300~1300mm。智轨电车进出淋雨区域采用人工驾驶的方式，允许的车身直线度偏差为4%，约100mm，暂定喷嘴与车身的距离为800mm，可计算出喷嘴间距为653mm。综上，智轨电车淋雨区域喷嘴布置如图7所示。从上图可计算出侧面喷嘴数量为250个，顶部喷嘴数量为120个，两端部喷嘴数量为24个，总喷嘴数为



图7 智轨电车淋雨区域喷嘴布局示意

394个。

3.喷淋系统管道直径

喷淋系统的管道主要分为进水管、排污管、上水主管、干管和支管，其中进水管直径取自厂区供水管直径，排污管直径根据储水池容量以及排污时间要求来确定。支管与喷嘴相连，其直径由喷嘴安装要求确定，根据喷嘴的型号与其相连的取源段为DN20管，取源段直接焊接在支管上，因此支管可选用不锈钢寸管即DN25管。上水主管直径可通过试验总用水量计算，与支管相连的干管直径可通过管道流量要求进行计算。

$$\text{管道总流量: } Q=60\lambda FS'/1000 \quad (10)$$

式中 F ——平均淋雨强度，单位为mm/min；

S' ——淋雨区域总面积，单位为 m^2 ；

λ ——设计流量系数。

此处 F 取12mm/min， S' 取150 m^2 （约为车身受雨面积的一半）， λ 取1.15，通过计算可得总流量 $Q=124.2\text{m}^3/\text{h}$ 。

上水主管管径

$$D=2\pi q/v \quad (11)$$

式中 D ——待计算管径，单位为m；

q ——待计算段的设计秒流量，单位为 m^3/s ；

v ——管段流速，单位为m/s（查设计手册可知推荐值为1.5~2m/s）。

将之前计算出的总流量进行换算，计算出秒流量 q ，管段流速取下限值，通过计算得主管管径 $D=0.145\text{m}$ ，可选用6寸不锈钢管即DN150管作为上水主管。

管路越长则末端压力越小，为保证末端雾化喷嘴的压力要求，需要控制管路的长度，因此将总喷淋管网进行分段，上部和左右两侧各分为两段，总共6段。则干管管径

$$d=1.13 (w/v')^{0.5} \quad (12)$$

式中 d ——干管内径，单位为m；

w ——管段的体积流量，单位为 m^3/s ；

v' ——常用流速，单位为m/s。

根据喷嘴型号可知该类型喷嘴压力为0.1~0.3MPa，对应的流速范围是0.5~3m/s。取 $v'=2\text{m/s}$ ，将总流量 Q 分配到6个管段计算出 w ，然后带入上式可得干管内径 $d=0.061\text{m}$ ，可选用DN65管作为各段干管。

4.储水池水量

出于环保和经济指标的要求，防雨密封性试验一般不直接采用公共管网的供水而采用循环水，因此需要设立储水池，水池内采用多级过滤、沉淀、净化的方式保证水质，水池内设过滤网、反冲洗装置、排污口以及检修通道。智轨电车淋雨用的储水池分为一级池（清水池）和二级池（过滤/沉淀池），一级池的储水量为智轨电车一次试验用水量的130%~150%，二级池的储水量为一级池的1~2倍。

经过之前的计算可知，管道总流量为124.2 m^3/h ，智轨电车整车淋雨试验时间为30min，即单列淋雨总用水量约为62.1 m^3 。则一级池（清水池）所需的储水量为80.73~93.15 m^3 ，二级池的储水量为80.73~186.3 m^3 。实际使用时需考虑尽量缩短过滤循环时间，本文对二级池的储水量选用1倍一级池的上限储水量即93.15 m^3 开展后续计算，即水池的总储水量约为186.3 m^3 。

5.水泵选型

水泵的选型需要的主数据为流量、扬程、功率及转速等，流量需要满足淋雨所需总流量的要求以及排污的要求，扬程需要保证管网末端的压力。

总水量已经通过计算得出，而水泵扬程 H 根据经验公式计算

$$H=H_1+H_2+\Sigma h+H_k \quad (13)$$

式中 H_1 ——保证最远点压力所需的临界距离，单位为m；

H_2 ——管段最高点与抽水点的高差，单位为m；

Σh ——水头损失，单位为m；

H_k ——安全水头，单位为m。

根据经验计算 $H=20\text{m}+8\text{m}+2.5\text{m}+1.5\text{m}=32\text{m}$ 。由此再结合各厂家所提供的水泵特性曲线进行选型，本文中清水泵和污水泵均选择流量为200 m^3/h ，扬程为50m的单级卧室离心泵进行配套。清水泵的数量配置为一用一备，污水泵只配置一台，不设备用，不满足排污需求时可用潜水泵辅助。

淋雨系统设施的建设与布局

在该部分所述的淋雨设施专指智轨电车总装厂所用的淋雨房，并且按自动化设施的要求进行设计，淋雨房内各干管上均安装流量计、节流阀，主管上设压力表、控制阀，清水泵电机设时间继电器、变频调速

器，并将照明、风幕、水池液位计及反冲洗系统的控制集成至控制室。通过数据的采集和反馈以实现管网的分段控制和淋雨系统的离线控制，同时系统数据支持交互上传。

1.淋雨设施的基本配置

淋雨房内四周和淋雨区域内设回水沟，直接通往沉淀池，沉淀池上部设溢流口。管网分段设置与分段控制，前后两段设活动式喷淋架，通过电动机带动前挡喷淋架的收放。喷淋架两端外侧的上部设风幕系统，用压缩空气进行封闭，防止房体内的水汽外溢，同时也有助于车身迅速排水。房体内的照明设置在顶部边缘，均匀布置，采用安全电压，选用防水灯具照度不低于50lx。房体围挡外侧设观察口，便于人员观察内部情况以及监控压力和流量，若围挡材料采用透明材质，可不设观察口。房体根据所布置的区域要求，可在围挡处补充降噪措施。此外，由于采用人工驾驶的方式进出淋雨房，无外部牵引措施，如遇故障，车辆失去动力无法开出淋雨房，则需要就地进行排障和维修。因此在房体内需设置车辆登顶设施（楼梯），可布置在房体入口处一侧，同时不干涉喷淋区域。设备间和控制室可集成至水池上方，紧邻房体。

房体内部地坪需有利于回水，与房体外的地面设置必要的坡度。同时鉴于智轨电车的轴重要求，房体内的地坪载荷需满足JTG D40《公路水泥混凝土路面设计规范》的要求，若淋雨房布置在厂外，则地坪需满

足JTG D50《公路沥青路面设计规范》的要求。

2.房体外轮廓尺寸

房体长度

$$l=l_1+l_2+l_3=21.7\text{m} \tag{14}$$

式中 l_1 ——管网总长度（含前档淋雨架翻转所需半径），单位为m；

l_2 ——其余设施所需的空间长度，单位为m；

l_3 ——必要的设备安装预留空间长度，单位为m。

房体宽度

$$W=B+2L_s+2b_1+2b_2=6.3\text{m} \tag{15}$$

式中 B ——车辆宽度，单位为m；
 L_s ——喷嘴距车身的尺寸，单位为m；
 b_1 ——单侧管网和支架安装所需的尺寸，单位为m；
 b_2 ——两侧预留的维修通道尺寸，单位为m。

房体高度

$$H=h_1+L_s+h_2+h_3=4.9\text{m} \tag{16}$$

式中 h_1 ——车身高度，单位为m；
 h_2 ——上部管路和支架所占尺寸，单位为m；
 h_3 ——安装预留空间尺寸，单位为m。

为便于工程建设，可将上述值进行修正，即房体的外轮廓尺寸 $l \times W \times H=22.5\text{m} \times 6.5\text{m} \times 5\text{m}$ ，房体占地面积约为146m²。

综上所述，智轨电车总装厂的防雨密封性试验设施的主要参数见表1，总体结构如图8所示。

表1 智轨电车防雨密封性试验设施主要配置参数

项目	指标	备注
平均淋雨强度	12mm/min	
淋雨时间	15min	分段淋雨，单列用时30min，节拍45min/列
单列总用水量	62.1m³	指30min总用水量
喷嘴类型	φ3.0mm	喷射角度60°，不锈钢雾化喷嘴
喷嘴数量	394	喷嘴间隔653mm
支管类型	DN25	不锈钢管
干管类型	DN65	不锈钢管
上水主管类型	DN150	不锈钢管
水泵类型	流量200m³/h，扬程50m，功率45kW	单级卧式离心泵，1用1备
储水池容积	200m³	清水池90m³，沉淀池110m³
控制方式	手动/遥控/离线	支持数据交互与上传，可单人操作
房体尺寸	长×宽×高=22.5m×6.5m×5m	占地面积约146m²

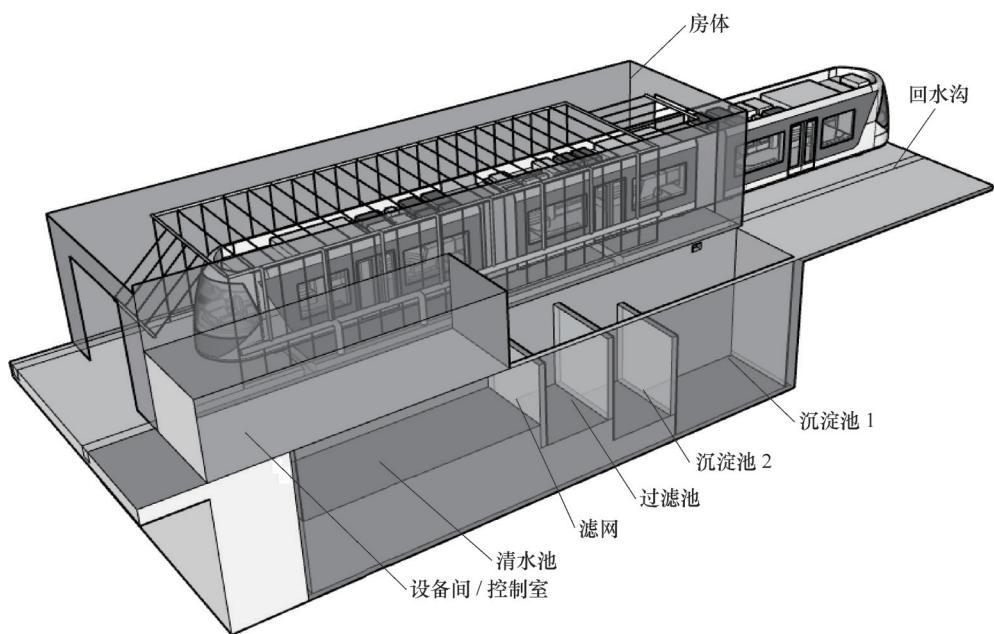


图8 智轨电车淋雨设施总体结构示意图

3.淋雨设施的布局与使用

通过上述计算可知，智轨电车防雨密封检测所占场地宽度约9m（含房体和设备间），长度约50m（含房体和车辆进出所占区域长度），所占面积较大，如

图9和图10所示，可采用尽端式布置，减少区域长度。或是采用厂外布置，虽然不利于储水池的管理，但能有效利用厂房面积，降低厂内噪声，也便于厂内湿度和环境卫生的控制。

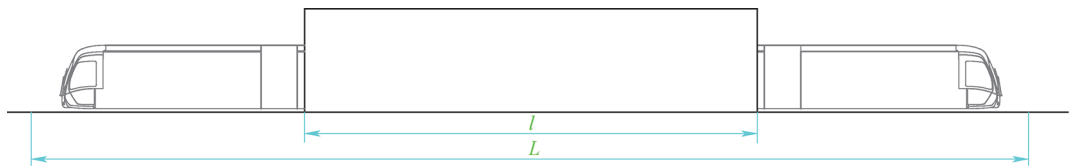


图9 智轨电车淋雨区域作业场地长度示意



图10 智轨电车防雨密封性试验示意

淋雨设施需要在4~50℃使用，日常管理重点首先是水质的控制，试验用水推荐采用新鲜水或化学处理水，并定期对储水池进行清洁，同时用药物对微生物进行控制，防止池内、管道内滋生微生物堵塞喷嘴，影响流量。其次是计量器具的校准与使用，需按照检

定周期要求对流量计、压力表等装置进行送检。最后是设备设施的日常维护，水泵、喷嘴、管路、压缩空气出口、支架的连接等，需按维护手册进行点检和保养。

结语

除总装厂外，智轨电车的车辆段或者是维保基地这类涉及车辆解编与连挂的场所，也需要在车辆连挂或大修后进行防雨密封性试验。但由于车辆数量不多，对检测节拍要求不严，因此淋雨设施可不采用车辆厂的方式。可尝试与洗车线兼容的模式，也可采用移动式淋雨架，宽度覆盖贯通道区域、车门区域即可，若自来水管网压力满足试验要求，可不设蓄水池。

（下转第43页）

电池壳体施加恒定压力，并保压预设的冷却时间。

(4) 步骤S4 到达预设冷却时间后，触发测量装置动作，并读取测量装置传输的电池壳体尺寸变化的变形量数据。

(5) 步骤S5 判断步骤S4中的变形量数据是否超过预设误差阈值。

(6) 步骤S6 如果步骤S5的判断结果为“是”，则调用步骤S2中存储的焊接过程参数，并根据所述焊接过程参数、加工时间、冷却时间及变形量数据等计算焊接热量；如果步骤S5中的判断结果为“否”，则返回到步骤S1执行下一电池壳体工件的焊接过程。其中，焊接热量计算方法为：

$$H = \sum_{i=1}^j a_i b_i c_i d_i e_i \sigma。$$

(7) 步骤S7 根据步骤S6计算的焊接热量计算需要调整的焊接参数，并根据计算出的焊接参数调整焊接设备的焊接参数，所述焊接参数包括焊接电流。

(8) 步骤S8 按照步骤S7计算的焊接参数作为设定的焊接参数返回执行步骤S1，依次循环往复。

为了更好地理解校形方法，总结如下：当第一个电池壳体完成焊接后，机器人将其自动抓取到校形装置，校形装置夹紧电池壳体并保压1min，随后读取测

量表上的尺寸值，根据尺寸结果判定是否需要调整下一个电池壳体的尺寸。如果判定后需要调整电池壳体的尺寸，则根据公式计算出下一个电池壳体的焊接电流，相应更改焊接参数。如此循环上述作业，开展下一轮校形。

例如，其中一组调整数据如下，连续3个电池壳体测量表上的数值分别为0.42mm、0.45mm和0.48mm，平均值为0.45mm，根据标准判定为变形量不稳定需要及时调整。原参数对应的变形量 H_1 为-0.435mm，根据公式将部分焊缝电流从40A调整到38A，调整后对应的变形量 H_2 为0.012，变化量 $H=H_2-H_1=0.447\text{mm}\approx 0.45\text{mm}$ 。

实施后，下一个电池壳体测量表上的数值为0.14mm，尺寸满足要求。因此调整焊接电流后热变形量得到控制，电池壳体尺寸满足技术要求。

结语

一汽—大众公司在电池壳体铝焊接工艺上，使用热变形校形工装，是生产过程质量控制上的一次全新的探索和实践，有助于保证产品质量，增强车型产品的竞争力。 **AUTO1950**

(上接第40页)

智轨电车产业尚处于起步阶段，其生产配套设施的选型与设计有待持续研究。本文仅是一种针对智轨电车车辆生产厂所需的防雨密封性试验装置的设计方案，重点是介绍设计理念和思路，文中所用数据仅为说明计算过程，不代表真实的试验数据，不可直接作为设计依据，仅供参考使用。

参考文献：

- [1] 魏国旗.汽车车身淋雨试验的作用与实践[J]. 重型汽车, 2000 (4) : 14-15.
- [2] 张坚城.车身防雨密封性检测与喷淋装置[J]. 汽车技术, 1998 (8) : 38-40.
- [3] 成志刚.机车淋雨试验系统指标的确定[J]. 电力机车与城轨车辆, 2004, 27 (1) : 42-43.
- [4] 谢庆想, 王新权.机车淋雨架系统设计及改造[J]. 城市建设理论研究, 2018, 32: 127-128.
- [5] 刘硕伦.客车淋雨室淋雨方案分析[J]. 天津汽车, 1995 (3) : 36-39.

- [6] 杨康和.整车下线淋雨工艺技术及应用[J]. 机械制造, 2015 (6) : 67-70.
- [7] 徐叶军.汽车淋雨检测线及其检测标准[J]. 现代零部件, 2012 (8) : 82-83.
- [8] 陈琳.新型机车淋雨试验台的设计[J]. 机车车辆工艺, 2010 (6) : 37-38.
- [9] 严植宁, 周化哲.客车防雨密封性试验设备的设计[J]. 公路与汽运, 2006 (12) : 7-9.
- [10] 郝少维.淋雨试验台的设计[C].第六届中国航空学会青年科技论坛文集, 2004: 468-471.
- [11] 宁寒, 李伟聪, 贺斌斌.Q/CF 4—2018 智能轨道快运电车防雨密封性限值及试验方法[S]. 株洲: 中车株洲电力机车研究所有限公司, 2018.
- [12] 占俊, 朱丹, 缪东, 等. 一种有轨电车智能淋雨试验装置: 中国, 201820599882.1[P]. 2018-12-11.
- [13] 刘勇, 陶建平, 王建华, 等. 机车淋雨试验装置: 中国, 201020247519.7[P]. 2011-01-12. **AUTO1950**