



# 设计文件

名称 2105 电机驱动系统  
防护类试验大纲

编号  

版本  

版权专有 违者必究

湖南中车时代电驱科技有限公司



## 目 录

1 目的和范围 .....	1
1.1 目的 .....	1
1.2 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 参考资料 .....	1
4 术语和缩略语 .....	1
5 试验设备 .....	2
5.1 试验仪器/设备 .....	2
5.2 工具工装 .....	3
6 被试对象 .....	3
7 配试产品 .....	3
8 基本环境条件 .....	3
9 试验注意事项 .....	4
10 试验项目 .....	4
10.1 耐振动试验（随机振动） .....	4
10.2 机械冲击试验 .....	6
10.3 防尘试验(IP6X) .....	7
10.4 防水试验(IPX9) .....	8
10.5 冰水冲击（飞溅）试验 .....	8
10.6 冰水冲击（浸没）试验 .....	9
10.7 盐雾试验 .....	10
11 试验结束 .....	11

## 1 目的和范围

### 1.1 目的

通过试验验证电机控制器、驱动电机或集成驱动电机系统的防护及耐盐雾性能是否满足设计及相关标准要求。

### 1.2 范围

本试验大纲适用于公司开发的单电机控制器、双电机控制器、多合一控制器、驱动电机及集成电机驱动系统。

其它应用到汽车车辆的电气产品可参照执行。

## 2 规范性引用文件

规范性引用文件见表1。

表1 参考标准

序号	标准/文件号	标准/文件名称	备注
1	GB 4208-2017	外壳防护等级 (IP 代码)	防尘 (IP6X)、防水(IPX8)
2	GB/T 18488-2024	电动汽车用驱动电机系统	
3	GB/T 30038-2013	道路车辆 道路车辆 电子电气设备防护等级 (IP 代码)	防尘 (IP6KX)、防水(IPX9K)
4	GB/T 42284.4-2022	道路车辆 道路车辆 电动汽车驱动系统用电气及电子设备的环境条件和试验 第 4 部分：气候负荷	冰水冲击、盐雾试验

## 3 参考资料

被试产品技术规格书。

## 4 术语和缩略语

术语和缩略语见表2。

表2 术语

序号	术语/缩略语	描述
1	IP	Ingress Protection (进入防护)

序号	术语/缩略语	描述
2	DUT	Device under test(被试设备)

## 5 试验设备

### 5.1 试验仪器/设备

试验仪器/设备见表3。

表3 仪器/设备

序号	名称	数量	性能指标 <sup>a</sup>	备注
1	防尘试验设备（竖直流）	1	参照 GB 4208-2017 要求	IP6X
2	防尘试验设备（水平流）	1	参照 GB/T 30038-2013 要求	IP6KX
3	防水试验设备（水箱）	1	参照 GB 4208-2017 要求	IPX8, 冰水浸没
4	防水试验设备（飞溅）	1	参照 GB/T 30038-2013、GB/T 42284.4-2022 要求	IPX9K, 冰水飞溅
5	环境试验箱	1	温度 40~70°C, 湿度 15%~100%, 容积与 DUT 匹配	
6	盐雾试验箱	1	温度：室温~55°C，喷雾方式：气流喷雾式，连续/间隙任意，盐雾沉降率：(1~2)ml/(80cm <sup>2</sup> h)(可调)	
7	数字万用表	2	0.1mV-1000V, ± (1.0%+3 字)	安全检查用
8	兆欧表	1	1000V	复测绝缘电阻
9	气密性测试台	1	性能满足 DUT 液冷回路气密性要求	复测 DUT 气密性
10	测功机系统	1	性能满足 DUT 峰值特性要求	复测 DUT 性能

仪器设备测量误差及操作给定误差要求：

- (1) 高压电源: ±1%;
- (2) 低压直流稳压电源: ±0.1V;
- (3) 电流: ±1%;
- (4) 转速: ±2r/min;
- (5) 转矩: ±2Nm;
- (6) 温度: ±0.5°C;

(7) 流量:  $\pm 0.5\text{L/min}$ ;

(8) 时间: 0.1级

## 5.2 工具工装

工具工装见表4。

表4 工具/工装

序号	名称	数量	性能指标	备注
1	低压试验线束	1 套	线束规格与 DUT 要求一致	与 DUT 配套
2	高压试验线束	1 套	线束规格与 DUT 要求一致; 直流高压线束长度不超过 10m; 驱动电机交流线束长度不超过 6m; DC/DC、DC/AC 输出线束长度不超过 10m。	
3	电机安装工装	1 套		与集成电机驱动系统或陪试电机配套, 复试性能用

## 6 被试对象

DUT 的基本信息及基本参数见型式试验大纲附录 A。

DUT 为通过振动试验后的控制器、驱动电机或驱动电机系统。

## 7 陪试产品

(1) 如果DUT为集成电机驱动系统，则不需陪试产品。

(2) 如果DUT为单电机控制器、双电机控制器、多合一控制器，陪试产品为驱动电机；驱动电机的参数必须与驱动电机控制器匹配或高于驱动电机控制器的输出能力，且数量与DUT驱动电机控制器的数量一致。

(3) 如果DUT为驱动电机，陪试产品为驱动电机控制器，驱动电机控制器的参数必须与驱动电机匹配或高于驱动电机的供电需求能力。

## 8 基本环境条件

试验项目已规定环境条件按规定要求，试验项目未规定环境条件，则试验环境条件按以下要求执行：

(1) 环境温度:  $18^{\circ}\text{C} \sim 28^{\circ}\text{C}$ ;

- (2) 相对湿度：10%~90%；
- (3) 气压：85kPa~106kPa。

## 9 试验注意事项

试验过程中注意用电安全，在进行任何接线连接前，必须使用万用表确认正负母线及电力电容的电压低于36 V，以防发生触电事故。

## 10 试验项目

相关试验项目见表 5，试验按表中顺序进行。

表5 试验项目

序号	试验项目	参考标准
1	道路车辆 电气及电子设备的环境	GB/T 42284.3-2022
2	电动汽车用驱动电机系统	GB/T 18488-2024
3	防尘试验（IP6X）	GB/T 18488-2024, GB/T 4208-2017
4	防尘试验（IP6KX）	GB/T 18488-2024, GB/T 30038-2013
5	防水试验（IPX8）	GB/T 18488-2024, GB/T 4208-2017
6	防水试验（IPX9K）	GB/T 18488-2024, GB/T 30038-2013
7	冰水冲击（飞溅）试验	GB/T 18488-2024, GB/T 42284.4-2022
8	冰水冲击（浸没）试验	GB/T 18488-2024, GB/T 42284.4-2022
9	盐雾试验	GB/T 18488-2024, GB/T 42284.4-2022

### 10.1 耐振动试验（随机振动）

#### 10.1.1 试验目的

模拟 DUT 在车辆上振动环境的适应性。

#### 10.1.2 随机振动条件

- (1) X、Y、Z方向与DUT在车辆上的安装相关联；X方向为车辆水平行进方向，Y方向为水平与X垂直方向，Z方向为车辆垂直方向。
- (2) 独立安装在车身上的电机控制器，随机振动条件按图3和表6设置。

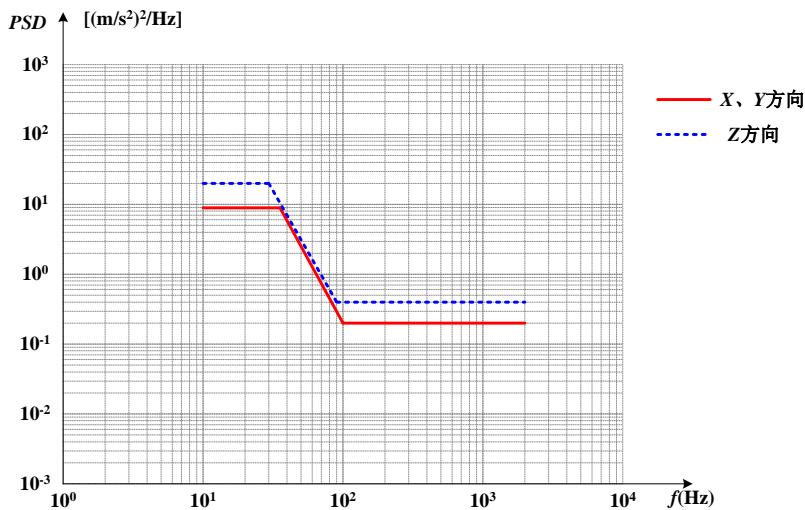


图3 带悬置的电机、集成式驱动电机系统，随机振动条件

表6 带悬置的电机、集成式驱动电机系统随机振动条件

频率 (Hz)	功率谱密度 $PSD [(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}]$		
	X 方向	Y 方向	Z 方向
10	9	9	20
30	—	—	20
35	9	9	—
90	—	—	0.4
100	0.2	0.2	0.4
2000	0.2	0.2	0.4
RMS ( $\text{m/s}^2$ )	26.8	26.8	37.2
试验时长	32h	32h	32h

### 10.1.3 试验方法

- (1) 将DUT按正常上下位置固定在振动台上；
- (2) DUT高低压线束及接插件、液冷管道模拟整车实际状态，将DUT连接的软管、接插件或其他附件安装并固定；
- (3) 试验过程中连接DUT监控系统，DUT接通工作所需低压电源，高压电源不通电，冷却回路不通冷却液；
- (4) 根据DUT在车辆上的安装状态，按照10.2.2的要求设置振动条件，启动随机振动试验；
- (5) 试验过程中，通过DUT监控系统观测DUT工作状态；
- (6) X、Y、Z三个方向随机振动完成后，进行外观检查和开盖检查DUT的零部件和紧固件，并复测绝缘电阻和液冷回路的密封性；

(7) 恢复常态后, DUT在额定高、低压电源供电, 按额定冷却液流量通冷却液, 冷却液温度设置为 $23\pm5^{\circ}\text{C}$ ;

(8) 启动测功机, 调节测功机至DUT峰值转矩对应的最高转速; 启动DUT的DC/DC、DC/AC并PDU的所有输出接触器或继电器闭合; 启动DUT的电机控制器并调节输出至峰值转矩, 持续运行30 s。

#### 10.1.4 判定标准

(1) 检查外观, 无异常;

(2) 试验结束后, 绝缘电阻检查: 三相线对机壳(1000Vdc) $>20\text{M}\Omega$ , 三相线对温度传感器(1000Vdc) $>100\text{M}\Omega$ , 温度传感器对机壳(500Vdc) $>100\text{M}\Omega$ ;

(3) 试验结束后, 整机气密性检查满足规格要求, 水道密封性满足规格要求;

(4) 全转速范围内, NVH检查无问题; 恢复常态下, 电机满足: 630V, 2122RPM-1800Nm (效率及全转速范围内反电势下降 $<5\%$ )。

### 10.2 机械冲击试验

#### 10.2.1 试验目的

模拟DUT在车辆上受到车身或车架冲击的适应性。

#### 10.2.2 机械冲击条件

如果DUT技术条件已规定冲击试验条件, 则按技术条件执行, 但冲击加速度最低不能小于 $500\text{m/s}^2$ ; 如果DUT技术条件未做规定, 按以下条件执行。

(1) 冲击波形: 半正弦波;

(2) 加速度:  $500\text{m/s}^2$ ;

(3) 脉冲时间: 6ms;

(4) 测试方向: Z方向 (DUT在车上安装的上下方向)

(5) 冲击次数: 正、负方向各10次。

#### 10.2.3 试验方法

(1) 将DUT按正常上下位置固定在冲击振动台上;

(2) DUT高低压线束及接插件、液冷管道模拟整车实际状态, 将DUT连接的软管、接插件或其他附件安装并固定;

(3) 试验过程中连接DUT监控系统, DUT接通工作所需低压电源, 高压电源不通电, 冷却回路不通冷却液;

- (4) 根据DUT在车辆上的安装状态，按照10.3.2的要求设置机械冲击条件，启动冲击试验；
- (5) 试验过程中，通过DUT监控系统观测DUT工作状态；
- (6) 正、负方向各10次冲击试验完成后，进行外观检查和开盖检查DUT的零部件和紧固件，并复测绝缘电阻和液冷回路的密封性；
- (7) 恢复常态后，DUT在额定高、低压电源供电，按额定冷却液流量通冷却液，冷却液温度设置为 $23\pm5^{\circ}\text{C}$ ；
- (8) 启动测功机，调节测功机至DUT峰值转矩峰值功率；启动DUT的电机控制器并调节至1790rpm，扭矩设定值3200N，持续运行30 s。

#### 10.2.4 判定标准

- (1) 试验过程中，通过DUT监控系统观测DUT应无传输信号中断等异常现象；
- (2) 无中断
- (3) 无机械损伤，无高压安全问题
- (4) 绝缘满足200兆欧
- (5) 峰值转矩，峰值功率持续时间30s

### 10.3 防尘试验(IP6X)

#### 10.3.1 试验目的

模拟DUT暴露在灰尘环境的适应性。

#### 10.3.2 试验方法

- (1) 将DUT按正常上下位置置于带有空气/粉尘混合物竖直流的集尘器的防尘试验设备中；
- (2) DUT高低压线束及接插件模拟整车实际状态，液冷口封闭处理或引出到试验设备外；
- (3) 试验过程中DUT处于非通电状态，冷却回路不通冷却液；按GB/T4208-2017规定的试验方法进行防尘试验；防尘试验完成后测试绝缘性能，并在台架进行外特性测试；
- (4) 禁止擦拭，24h后再次测试绝缘性能，并在台架进行外特性测试。

#### 10.3.3 判定标准

- (1) 复测绝缘电阻不应小于DUT技术条件规定的绝缘电阻值，但最低不能小于 $1\text{ M}\Omega$ ；
- (2) 试验后拆解电机盖板进行检查，无滑石粉进入电机壳体和接插件内部；
- (3) 试验结束后，满足绝缘要求：三相线对机壳( $1000\text{Vdc}$ ) $>20\text{M}\Omega$ ，三相线对温度传感器( $1000\text{Vdc}$ ) $>100\text{M}\Omega$ ，温度传感器对机壳( $500\text{Vdc}$ ) $>100\text{M}\Omega$ 。

## 10.4 防水试验(IPX9)

### 10.4.1 试验目的

模拟 DUT 受到水流冲击的适应性。

### 10.4.2 试验方法

- (1) DUT高低压线束及接插件模拟整车实际状态，液冷口封闭处理或引出到试验设备外；
- (2) 试验过程中DUT处于非通电状态，冷却回路不通冷却液；
- (3) 水与DUT的温差不大于 $5^{\circ}\text{C}$ ，将DUT按正常上下位置置于飞溅试验箱中；测试装置的转速为( $5\pm 1$ ) r/min，喷射角度为 $0^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ ，喷嘴与测设备间的距离为100~150mm，每个位置测试时间为30s。测试时喷射水压约为8~10MPa，流量为14~16L/min；
- (4) 水流冲击完成后复测绝缘电阻和液冷回路的密封性；
- (5) 恢复常态后，DUT在额定高、低压电源供电，按额定冷却液流量通冷却液，冷却液温度设置为 $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ ；
- (6) 启动测功机，调节测功机至DUT峰值转矩对应的最高转速；启动DUT的电机控制器并调节输出1790rpm/600kw，持续运行30 s。

### 10.4.3 判定标准

- (1) 复测绝缘电阻不应小于DUT技术条件规定的绝缘电阻值，但最低不能小于 $1 \text{ M}\Omega$ ；
- (2) 复测液冷回路的密封性不应小于DUT技术条件规定的要求；
- (3) 恢复到常态后，DUT能正常启动，DUT的PDU、DC/DC、DC/AC、电机驱动系统工作正常；
- (4) 开盖检查，DUT内部应无明显的水沉积（非带电体允许少量水珠）。

## 10.5 冰水冲击（飞溅）试验

模拟 DUT 在冬季受到水流冲击的适应性。

### 10.5.1 试验方法

- (1) DUT高低压线束及接插件、液冷口模拟整车实际状态，引出到试验设备外；
- (2) DUT处于非通电状态，冷却回路不通冷却液，烘箱中加热DUT到 $85^{\circ}\text{C}$ 保持1h；
- (3) 在20s内将加热后的DUT按正常上下位置置于飞溅试验箱中，DUT的放置方向与在车上安装方向一致（前进方向为喷嘴方向）；
- (4) 喷嘴与测设备间的距离为 $325\pm 25\text{mm}$ ，流量 $3\sim 4\text{L}/3\text{s}$ ；按图1控制DUT工作并使用 $0^{\circ}\text{C}\sim +4^{\circ}\text{C}$ 去离子水喷水；

- (5) 重复(2)、(3)、(4)步共进行10次循环，工作过程中不通电；
- (6) 完成10次循环后复测绝缘电阻和液冷回路的密封性；
- (7) 恢复常态后，DUT在额定高、低压电源供电，按额定冷却液流量通冷却液，冷却液温度设置为 $23\pm5^{\circ}\text{C}$ ；
- (8) 启动测功机，调节测功机至DUT峰值转矩对应的最高转速；启动DUT的电机控制器并调节输出至峰值转矩，持续运行30 s。

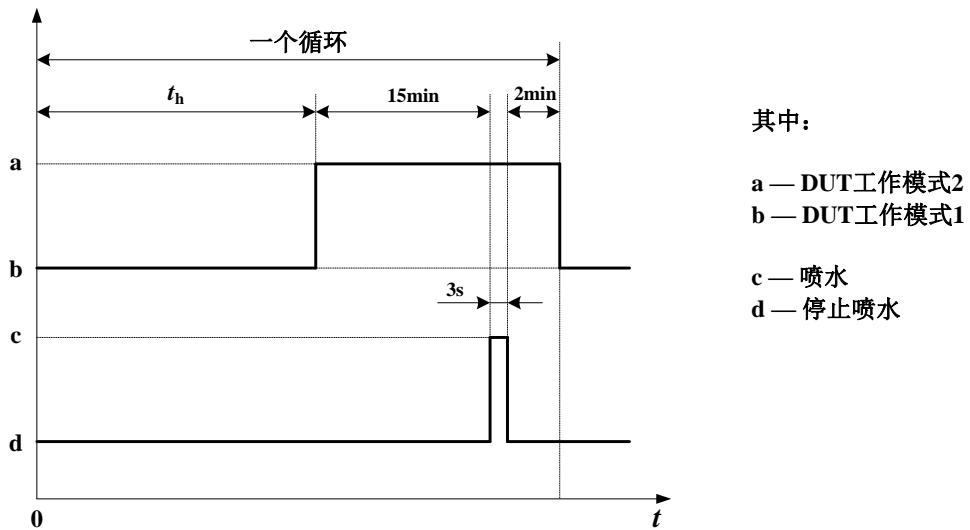


图 1 冰水飞溅循环

#### 10.5.2 判定标准

- (1) 复测绝缘电阻不应小于DUT技术条件规定的绝缘电阻值，但最低不能小于 $1\text{ M}\Omega$ ；
- (2) 复测液冷回路的密封性不应小于DUT技术条件规定的要求；
- (3) 恢复到常态后，DUT能正常启动，电机驱动系统工作正常；

### 10.6 冰水冲击（浸没）试验

模拟DUT在冬季涉水的适应性。

#### 10.6.1 试验方法

- (1) DUT高低压线束及接插件、液冷口模拟整车实际状态，引出到试验设备外；
- (2) DUT处于非通电状态，冷却回路不通冷却液，烘箱中加热DUT到 $85^{\circ}\text{C}$ 保持1h；
- (3) 在20s内将加热后的DUT按正常上下位置置于水温 $0^{\circ}\text{C}\sim+4^{\circ}\text{C}$ 冰水容器中，浸没深度不小于10mm，浸没及工作时间5min，工作过程中不通电；

- (4) 完成1次循环后复测绝缘电阻和液冷回路的密封性;
- (5) 恢复常态后, DUT在额定高、低压电源供电, 按额定冷却液流量通冷却液, 冷却液温度设置为 $23\pm5^{\circ}\text{C}$ ;
- (6) 启动测功机, 调节测功机至DUT峰值转矩对应的最高转速; ; 启动DUT的电机控制器并调节输出至峰值转矩, 持续运行30 s。

#### 10.6.2 判定标准

- (1) 复测绝缘电阻不应小于DUT技术条件规定的绝缘电阻值, 但最低不能小于 $1 \text{ M}\Omega$ ;
- (2) 复测液冷回路的密封性不应小于DUT技术条件规定的要求;
- (3) 恢复到常态后, DUT能正常启动电机驱动系统工作正常;

### 10.7 盐雾试验

模拟 DUT 在对盐雾条件的适应性。

#### 10.7.1 试验方法

- (1) DUT高低压线束及接插件模拟整车实际状态, 引出到试验设备外, 冷却回路不通冷却液, 液冷口封闭处理;
- (2) DUT保持清洁, 表面必须干净、无油污、无临时性的保护层, DUT处于非通电状态, 按照图2的循环进行试验;
- (3) 将DUT放置在盐雾箱中, 在 $35^{\circ}\text{C}\pm1^{\circ}\text{C}$ 条件下喷盐雾2h;
- (4) 喷雾阶段结束后, 将DUT转移至干燥的环境箱中, 在 $60^{\circ}\text{C}\pm1^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度20%-30%条件下保持4h。
- (5) 干燥阶段结束后, 将DUT转移至高湿的环境箱中, 在 $50^{\circ}\text{C}\pm1^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度超过95%条件下保持2h。
- (6) 一个循环8小时, 共进行8个循环;
- (7) 8个循环完成后, 用流动的自来水中清洗5min, 再用蒸馏水或去离子水漂洗, 用气流吹去水珠, 然后在 $55^{\circ}\text{C}\pm2^{\circ}\text{C}$ (相对湿度小于20%)的条件下干燥1-4小时(取决于DUT的尺寸和质量), 接着在常温下冷却1-2小时;
- (8) 恢复常态后, 进行目视检查, 并复测DUT绝缘电阻;

(9) 恢复常态后, DUT在额定高、低压电源供电, 按额定冷却液流量通冷却液, 冷却液温度设置为 $23\pm5^{\circ}\text{C}$ ; 启动测功机, 调节测功机至DUT峰值转矩对应的最高转速; 启动DUT的电机控制器并调节输出至峰值转矩, 持续运行30 s。

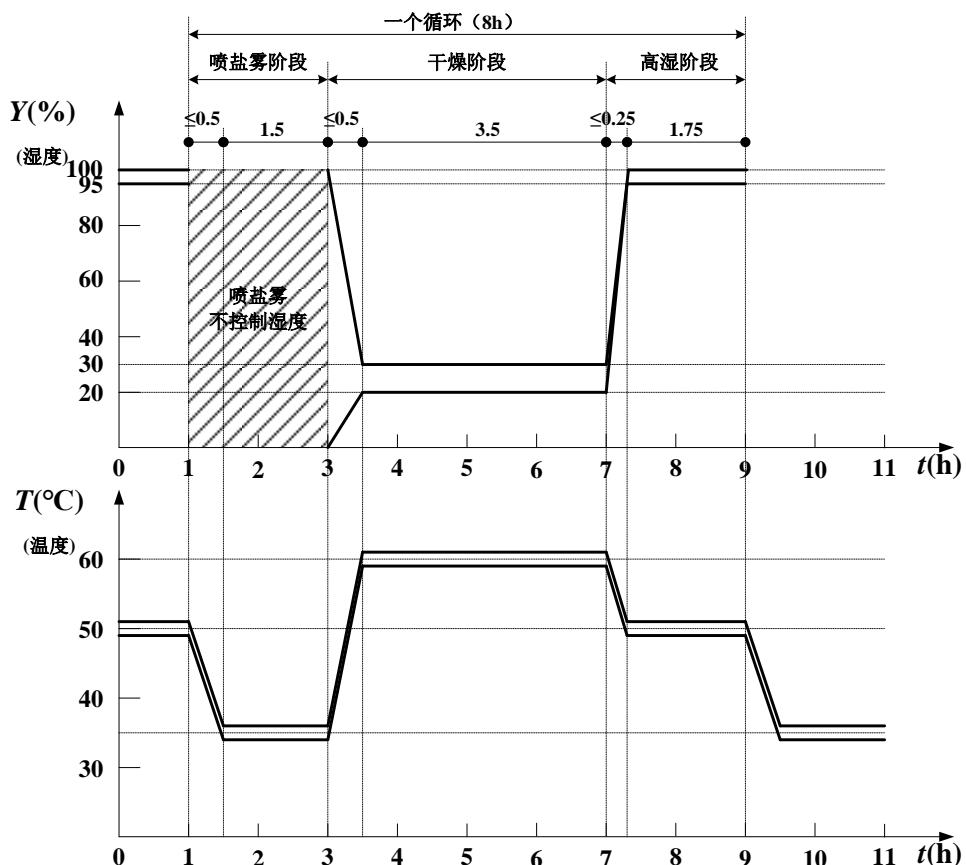


图 2 循环盐雾循环条件

#### 10.7.2 判定标准

- (1) 目视检查, 标识和标签应清晰可见, 且表面无较大面积的明显腐蚀;
- (2) 复测绝缘电阻不应小于DUT技术条件规定的绝缘电阻值, 但最低不能小于 $1 \text{ M}\Omega$ ;
- (3) 恢复到常态后, DUT能正常启动, 电机驱动系统工作正常;

#### 11 试验结束

试验完毕后, 恢复试验平台, 整理好试验设备和对象; 整理试验数据, 完成试验报告。