



设计文件

名称	2105 电机驱动系统耐久性试验大纲
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

1

目 次

1 目的和范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 试验设备及工装.....	1
4.1 试验仪器/设备.....	1
4.2 工装.....	2
5 被试对象.....	2
6 陪试产品.....	2
7 基本环境条件.....	2
8 试验系统连接图.....	3
9 试验注意事项.....	3
10 试验项目.....	3
11 试验条件.....	3
12 试验方法.....	4
12.1 转速升降循环.....	4
12.2 转矩负荷循环.....	5
12.3 试验过程检查和维护.....	7
12.4 试验要求.....	7
12.5 可靠性评定.....	8
13 试验结束.....	8
附录 A 耐久性试验用表格.....	9

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耐久性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 2105 驱动电机及集成电机驱动系统。

2 规范性引用文件

规范性引用文件见表 1。

表1 规范性引用文件

序号	标准/文件号	标准/文件名称	备注
1	GB/T 18488-2024	电动汽车用驱动电机系统	
2	GB/T 29307-2022	电动汽车用驱动电机系统可靠性试验方法	

3 术语和定义

GB/T 18488-2024、GB/T 29307-2022 界定的术语和定义适用于本文件。

4 试验设备及工装

4.1 试验仪器/设备

试验仪器/设备见表 2。

表2 试验仪器/设备

序号	名称	性能指标	备注
1	耐久性试验台 (含电源)	高压电源电压: DC24~1000 V 液冷系统流量: 5~50L/min 温度调节范围: -40°C~85°C 转矩转速转矩、转速测量范围与DUT配套	包括高低压直流电源、液冷系统、转矩转速仪、测控系统及辅助系统。
2	万用表	测量电压: $\geq 1000V$	

仪器设备测量误差及操作给定误差要求:

- (1) 高压电源: $\pm 1\%$;
- (2) 低压直流稳压电源: $\pm 0.1V$;

- (3) 电流: $\pm 1\%$;
- (4) 转速: $\pm 2\text{r/min}$;
- (5) 转矩: $\pm 2\text{Nm}$;
- (6) 温度: $\pm 0.5^\circ\text{C}$;
- (7) 流量: $\pm 0.5\text{L/min}$;
- (8) 时间: 0.1级。

4.2 工装

工装见表 4。

表3 工装

序号	名称	数量	性能指标	备注
1	低压试验线束	2套	线束规格与DUT要求一致	与DUT配套
2	高压试验线束	2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;	
3	电机安装工装	2套		与集成电机驱动系统或 陪试电机配套

5 被试对象

- (1) DUT的基本信息及基本参数见型式试验大纲附录A。
- (2) DUT的数量为2套。
- (3) DUT已通过绝缘、耐压测试, 并通过额定转速、最高工作转速下峰值转矩测试。

6 陪试产品

- (1) 被试品: MD2105电机*2。
- (2) 陪试品: DE10双1000A控制器*2。

7 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：86kPa~106kPa。

8 试验系统连接图

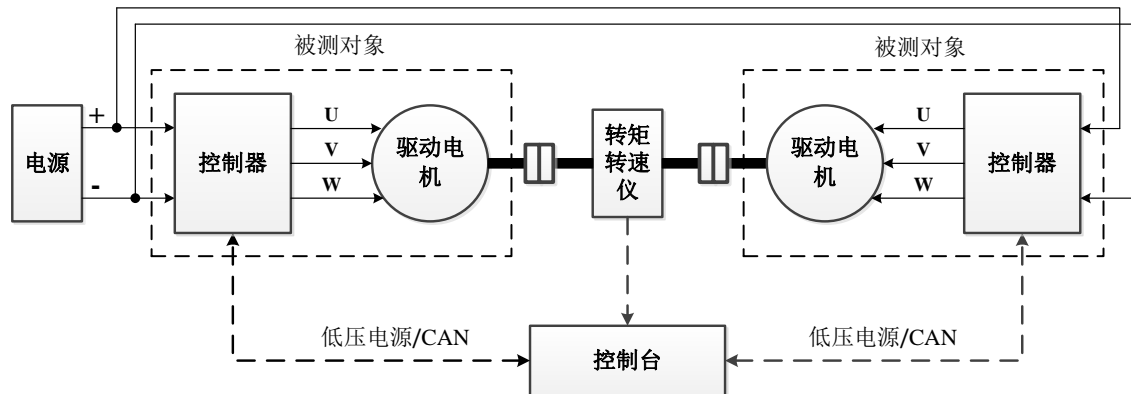


图1 试验连接示意图

9 试验注意事项

(1) 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36V，以防发生触电事故。

(2) 试验过程中注意机械安全，在进行任何机械连接或分离前，必须确认旋转机械（含电机）转速已降到0且已切断动力电源。

10 试验项目

试验项目见表 4。

表4 试验项目

序号	试验项目	参考标准
1	转速升降循环	GB/T 29307-2022 (6.2)
2	转矩负荷循环	GB/T 29307-2022 (6.3)

11 试验条件

(1) 试验采用**2105**电机互拖的方式进行。

(2) 被试样件**2105a**工作在转矩控制模式，被试样件**2105b**工作在转速控制模式。

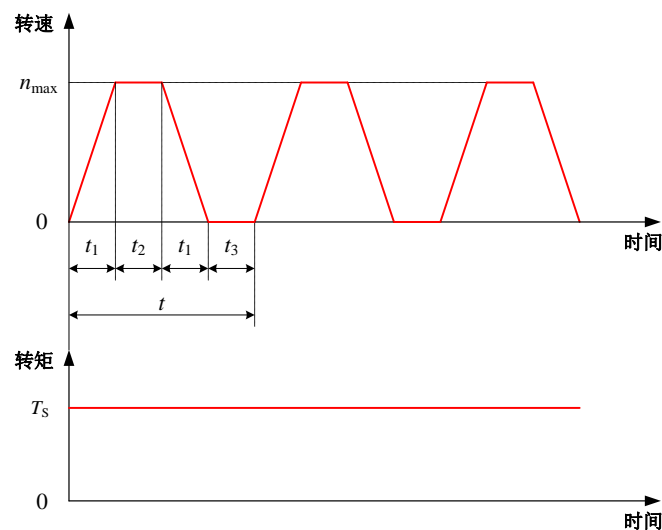
(3) 液冷流量按控制器和电机按额定流量30L/min设置，冷却液温度电机按65℃，控制器按60℃。

12 试验方法

12.1 转速升降循环

转速升降循环按图 2 和表 5 进行，试验电压为额定电压 630V。按照表 6 和 DUT 的设计寿命确定试验总循环数为 60000 循环。(133H)

- (1) 将试验转矩 T_s 设置为 DUT 的 5%~10% 额定转矩，即 180Nm。
- (2) 在试验转矩下，转速由 0 匀速上升至 DUT 最高工作转速 3500rpm。
- (3) 在最高工作转速 3500rpm 保持 t_2 ，之后转速匀速下降到 0，要求下降时间与升速时间相同。
- (4) 转速降至 0 后，保持 t_1 ，完成一次循环。
- (5) 重复以上 (2)、(3)、(4) 步，直到完成全部循环次数。



说明： n_{\max} —最高工作转速； t —单次循环总时间； T_s —试验转矩。

试验时，允许转速变化引起的试验转矩波动。

图 2 转速升降循环

表5 转速升降循环试验工况参数（单次循环）

序号	试验转速	负载转矩	运行时间
1	0 过渡到 n_{\max}	试验转矩 180Nm	17.5s
2	最高工作转速 n_{\max}		$t_2 \leq 1s$
3	n_{\max} 过渡到 0		17.5s
4	0		$t_3 \leq 1s$

1. 转速变化速率宜与实车一致。若技术文件对转速上升率有明确规定，则按规定数值设定。否则可根据推荐数值进行试验。若 $n_{\max} \leq 6000 \text{ rpm}$ ，转速上升率推荐 200 rpm/s；若 $6000 < n_{\max} \leq 15000 \text{ rpm}$ ，转速上升率推荐 500 rpm/s。
2. t_2 和 t_3 的设定参考测试设备的响应时间，在设备响应足够快的情况下可以尽量小。

表6 转速升降循环次数

设计寿命	等级	总循环次数
60 万 km 等级	B	60 000

12.2 转矩负荷循环

转矩负荷循环按图 3 和表 7 进行，试验总循环数及其所包含的各电压下的试验循环次数根据表 8 确定，循环中要求转矩转速同时变化，单次循环共分为四阶段。

(1) 在第一阶段，转速由 0 升至额定转速 2122rpm，在该时间段内，转矩发生变化。

- a. 转矩由 0 升至峰值转矩 3200Nm，所用时间 $t_1=3 \text{ s}$ ；
- b. 保持峰值转矩 3200Nm，所用时间 $t_2=1 \text{ s}$ ；
- c. 峰值转矩降至持续转矩 1800Nm，所用时间 $t_3=2 \text{ s}$

(2) 在第二阶段，转速保持额定转速 2122rpm，在该时间段内，转矩发生变化。

- a. 保持持续转矩 1800Nm，时间 $t_4=12 \text{ s}$ ；
- b. 转矩由持续转矩匀速下降至 0，所用时间 $t_5=1.5 \text{ s}$ 。

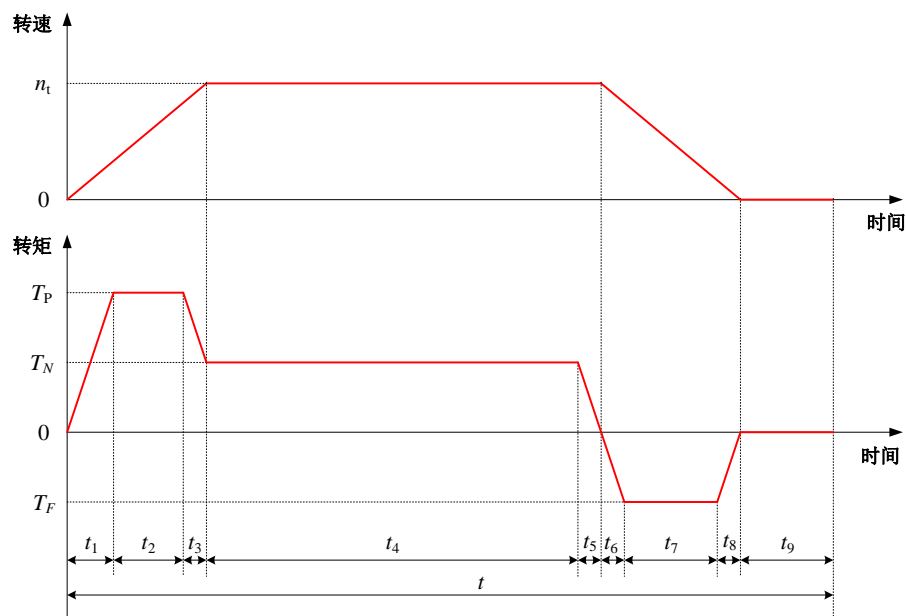
(3) 在第三阶段，转速由额定转速 2122rpm 下降至 0，在该时间段内，转矩发生变化。

- a. 转矩由 0 继续下降至馈电状态下的持续转矩-1800Nm，所用时间为 $t_6=1.5 \text{ s}$ ；
- b. 保持馈电状态下持续转矩-1800Nm，所用时间 $t_7=3 \text{ s}$ ；
- c. 转矩由馈电状态下持续转矩-1800Nm 变为 0，所用时间 $t_8=2 \text{ s}$ 。

(4) 在第四阶段，转速、转矩均为 0，所用时间 $t_9=4 \text{ s}$ 。

(5) 至此完成一个循环。

(6) 重复以上 4 个阶段，直到完成全部循环次数。



说明：\$n_t\$—额定转速；\$T_p\$—峰值转矩；\$T_N\$—持续转矩；\$T_F\$—馈电状态下的持续转矩；\$t\$—单次循环时间

图 3 转矩负荷循环

表7 转矩负荷循环试验工况参数（单次循环）

序号	试验转速	负载转矩	运行时间
1	0 过渡到 \$n_t\$	0 过渡到 \$T_p\$	\$t_1=3s\$
2		峰值转矩 \$T_p\$	\$t_2=1s\$
3		\$T_p\$ 过渡到 \$T_N\$	\$t_3=2s\$
4	额定转速 \$n_t\$	持续转矩 \$T_N\$	\$t_4\$
5		\$T_N\$ 过渡到 0	\$t_5=1.5s\$
6	\$n_t\$ 过渡到 0	0 过渡到 \$T_F\$	\$t_6=1.5s\$
7		馈电持续转矩 \$T_F\$	\$t_7=3s\$
8		\$T_F\$ 过渡到 0	\$t_8=2s\$
9	0	0	\$t_9=16-t_4\$

- 选择合适的时长 \$t_9\$，保证电机温度维持在持续转矩规定的温升限值 5℃ 以内，推荐 \$t_9=4s\$，如果试验过程电机过温，可适当延长 \$t_9\$。
- 被中断的负荷循环不计入耐久试验可靠性工作时间。如停机时间超过 1h，则重新开始循环的 1h 不计入耐久性试验的可靠性工作时间。

表8 转矩负荷循环次数

等级	额定电压循环次数	最高工作电压循环次数	最低工作电压循环次数	总循环次数
----	----------	------------	------------	-------

A	160 000	20 000	20 000	200 000
B	80 000	10 000	10 000	100 000
C	40 000	5 000	5 000	50 000
最低工作电压下，DUT输出最大转矩允许根据产品设计要求降低。				

12.3 试验过程检查和维护

12.3.1 随时检查

通过试验平台中上位机监测软件随时监测系统运行状态，超过限值范围时，发出警报或紧急停车，根据故障严重程度进行处理。若属于被测驱动电机系统故障，则算为故障停机。将故障停机时间、原因及处理情况记录至附表1中。

监听被测驱动系统的运行声响，当出现明显异常噪声时，应停机检查紧固件、机械连接件以及被测驱动电机系统状态，排查确认噪声源，并根据具体情况判断是否继续进行试验。

12.3.2 每 1 h 的检查

查看电机的转矩、转速和温度，被测电机控制器的直流母线电压和电流、功率开关模块温度，冷却液的进出口温度和流量，是否符合限定范围。

上位机软件应自动保存试验过程中的数据，若无法保存，则手动记录数据至附表2中。

12.3.3 每 24 h 的检查

允许停机1次，巡视试验设备，并检查紧固件、机械连接件及管路，尤其是软管，检查连接电缆及接口。

检查冷却液液面高度，冷却系统回路是否存在渗漏等状况，缺液时可补充冷却液。

停机检查时间最多不超过1 h。

12.4 试验要求

- 1) 测试过程中，无故障发生；
- 2) 测试完成后，对电机及电机控制器进行绝缘电阻测量，三相线对机壳（1000Vdc） $>20\text{M}\Omega$ ，三相线对温度传感器（1000Vdc） $100\text{M}\Omega$ ；
- 3) 电机系统外特性曲线及功率曲线，各项性能指标衰减度小于5%；
- 4) 气密性检查，满足泄漏量 $<15\text{ml/min}$ ；
- 5) 目视检查无异常。

12.5 可靠性评定

根据试验要求和试验记录选择平均首次失效时间、故障停机次数、平均失效间隔工作时间及平均失效间隔工作时间的置信下限进行可靠性评定。

计算公式详见附录。

13 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。

附表 耐久性试验用表格

附表1 故障停机记录表

时间	故障原因	处理情况

附表2 试验过程数据记录表

时间	转矩	转速	电机温度	直流母线电压	电流	功率开关模块温度	冷却液进口温度	冷却液出口温度	流量

附录 可靠性评定

试验人员可根据产品技术文件要求或与用户协议, 选择使用平均首次失效前时间 ($MTTFF$)、故障停机次数、平均失效间隔工作时间 ($MTBF$) 及平均失效间隔工作时间的置信下限 (θ_L) 来进行可靠性评定。

平均首次失效前时间 ($MTTFF$) 可通过公式 (1) 和公式 (2) 进行计算。

$$MTTFF = \frac{T'}{n'} \quad (1)$$

$$T' = \sum_{j=1}^{n'} T'_j + (n - n')T_e \quad (2)$$

式中:

$MTTFF$ ——平均首次失效前时间点估计值, 单位为小时 (h);

T' ——无故障工作总时间;

n' ——发生故障驱动电机系统数量;

T'_j ——第 j 个电机系统首次故障时间, 单位为小时 (h), 不计轻微故障;

n ——试验的系统总数;

T_e ——定时截尾时间。

平均失效间隔工作时间 ($MTBF$) 可通过公式 (3) 和公式 (4) 进行计算。

$$MTBF = \frac{T}{r} \quad (3)$$

$$T = \sum_{j=1}^k T_j + (n - k)T_e \quad (4)$$

式中:

$MTBF$ ——平均失效间隔工作时间的点估计值, 单位为小时 (h);

r —— T 时间内发生的故障总数, 不含轻微故障;

k ——中止试验系统数;

T ——工作总时间, 单位为小时 (h);

T_j ——第 j 个电机系统中止试验时间, 单位为小时 (h), 不计轻微故障。

平均失效间隔工作时间的置信下限 (θ_L) 可通过公式 (5) 进行计算。

$$\theta_L = \frac{2T}{\chi^2[2(r+1), a]} \quad (5)$$

式中：

θ_L ——平均失效间隔工作时间置信下限值，单位为小时（h）；

$\chi^2[2(r+1), a]$ ——平均自由度为 $2(r+1)$ ，置信水平为 $1-a$ 的 χ^2 分布值，建议 a 为 0.1。