ICS 43.080.01
T 47

中华人民共和国国家标准

GB/T 24347—XXXX
代替 GB/T 24347—2009

电动汽车 DC/DC 变换器

The DC/DC converter for electric vehicle

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布　　XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会　发布

前　言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本标准由全国汽车标准化技术委员会（SAC/TC114）归口。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

电动汽车 DC/DC 变换器

1 范围

本标准规定了电动汽车DC/DC变换器（下称“DC/DC”）的技术要求、试验方法。

本标准适用于电动汽车用DC/DC。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温

GB/T 2423.17 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾

GB/T 2423.23 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Q：密封

GB/T 30038—2013 道路车辆 电气电子设备防护等级（IP代码）

GB/T 18488.1—2015 电动汽车用驱动电机系统 第1部分：技术条件

GB/T 28046.3—2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第3部分 机械负荷

GB/T 28046.4—2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第4部分 气候负荷

GB/T 18655—2018 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法

GB/T 29259 道路车辆 电磁兼容术语

GB/T 33014.2 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第2部分：电波暗室法

GB/T 33014.4 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第4部分：大电流注入（BCI）法

GB/T 16935.1—2008 低压系统内设备的绝缘配合 第1部分：原理、要求和试验

ISO 7637-2:2011 道路车辆 由传导和耦合引起的电骚扰 第2部分：沿电源线的电瞬态传导（Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling – Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only）

ISO 7637-3: 2016 道路车辆 由传导和耦合引起的电骚扰 第3部分：除电源线外的导线通过容性和感性耦合的电瞬态发射（Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling – Part 3: Electrical transient transmission by capacitive and inductive coupling via lines other than supply lines）

ISO 10605 道路车辆 静电放电产生的电骚扰 试验方法（Road vehicles – Test methods for electrical disturbances from electrostatic discharge）

ISO 11452-8: 2015 道路车辆 窄带辐射电磁能的电骚扰 零部件试验方法 第8部分：磁场抗扰度（Road vehicles – Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy – Part 8: Immunity to magnetic fields）

3 术语与定义

GB/T 19596界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

DC/DC 变换器 DC/DC converter

能够将一个直流电压值的电能变换为另一个直流电压值的电能的装置。

3.2

效率 efficiency

DC/DC变换器的输出功率与其输入功率的比值。

3.3

额定电压 rated voltage

在规定的环境条件、负载状态和温升限度下，DC/DC变换器规定的工作电压值。

3.4

额定电流 rated current

在规定的环境条件、负载状态和温升限度下，DC/DC变换器规定的工作电流值。

3.5

额定功率 rated power

在规定的环境条件、额定电压和连续工作情况下 DC/DC 变换器达到温升限度下稳定温度后可持续工作的最大功率。

3.6

超调量和恢复时间 overshoot and response time

输入或者输出发生跃变时，DC/DC 变换器的被控制量从变化时刻起到恢复至控制误差范围内的过程中，瞬态值偏离稳态值的最大偏离量占稳态值的百分比即为超调量；从输入或者输出发生变化的时刻开始，被控制量达到并保持在允许偏差范围内的时间为恢复时间。

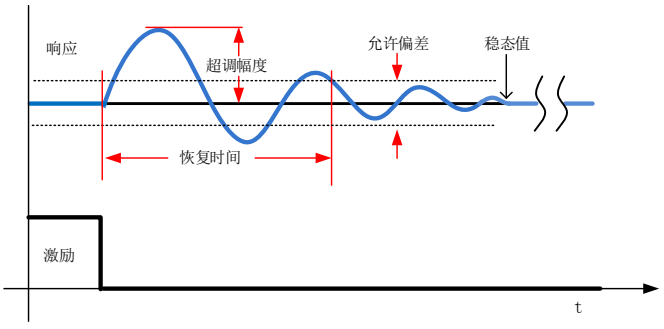


图1 超调和恢复时间示意图

3.7

静态电流 Quiescent current

DC/DC变换器在休眠或者停机状态下消耗低压蓄电池的电流。

3.8

加权效率

加权效率是DC/DC变换器对应的负载谱各个效率的加权平均值。

3.9

高压输出 DC/DC

额定输出电压等级大于60V不大于1500V的DC/DC变换器。

3.10

低压输出 DC/DC

额定输出电压等级不大于60V的DC/DC变换器。

4 技术要求

4.1 外观要求

4.1.1 DC/DC 外表面应平整，无明显的划伤、变形等缺陷。

4.1.2 DC/DC 易触及的表面应无锈蚀、毛刺、飞边及类似尖锐边缘。

4.1.3 包含有产品信息的标志安装应端正牢固，字迹清晰。

4.2 输入输出特性

4.2.1 效率

DC/DC应进行加权效率的测量，如无特殊要求，加权效率应满足表1要求。

表1 加权效率

变换器类型	加权效率
低压输出 DC/DC	90%
高压输出 DC/DC	95%

4.2.2 额定功率

在规定的环境条件、额定输入电压、额定输出电压下，DC/DC达到热稳定后可工作的最大功率应大于或等于标称的额定功率值。

4.2.3 控制误差

4.2.3.1 电压控制误差

DC/DC在恒压状态下运行，其电压控制误差应不超过2%。

4.2.3.2 电流控制误差

DC/DC在恒流状态下运行，当被控电流大于等于额定电流的20%时，其电流控制误差应不超过2%；当被控电流小于额定电流的20%时，其电流控制误差应符合产品技术文件的规定。

4.2.4 超调量和恢复时间

DC/DC在负载发生跃变时，输出电压的超调量应不大于10%，恢复时间应不大于5 ms。

燃料电池动力系统用DC/DC在输出负载发生跃变时，输入电流超调应不大于10%，恢复时间应不大于20 ms。

4.2.5 静态电流

DC/DC无输出状态下，与低压蓄电池有固定电气连接关系（无法控制断开）的端口，静态电流应不大于3 mA。

4.2.6 输出电压纹波系数

DC/DC输出电压纹波系数应不大于5%。

4.3 保护功能

4.3.1 输入过、欠压保护

当DC/DC输入电压大于等于过压保护值，或小于等于欠压保护值时，应关闭或者限制输出。故障排除后，可自动恢复输出或经过必要的人为干预后恢复输出。

输入过压保护值和输入欠压保护值应符合产品技术文件规定。

4.3.2 输出过、欠压保护

当DC/DC输出电压大于等于过压保护值，或小于等于欠压保护值时，应关闭或者限制输出。故障排除后，可自动恢复输出或经过必要的人为干预后恢复输出。

输出过压保护值和输出欠压保护值应符合产品技术文件规定。

4.3.3 输出短路保护

当DC/DC输出端发生短路，应停止功率输出。故障排除后，可自动恢复输出或经过必要的人为干预后恢复输出。

4.3.4 过温保护

当DC/DC温度采样点的温度超过过温保护设定值时，应关闭或者限制输出。故障排除后，可自动恢复输出或经过必要的人为干预后恢复输出。

过温保护值应符合产品技术文件规定。

4.4 环境适应性

4.4.1 环境条件

4.4.1.1 环境温度

若无特殊要求，应按表2规定的温度限值。

表2 环境温度

低温贮存环境温度	低温工作环境温度	高温贮存环境温度	高温工作环境温度
-40 ℃	-40 ℃	85 ℃	根据DC/DC安装位置不同，参照GB/T 28046.4—2011中表1选定

注：冷却液参数的要求应符合产品技术文件规定。

4.4.1.2 相对湿度范围

相对湿度5%～95%。

4.4.1.3 海拔

海拔高度不高于2000 m。

海拔超过2000 m，DC/DC的电气间隙和爬电距离应符合GB/T 16935.1—2008的要求。

4.4.2 低温

4.4.2.1 低温贮存

若无特殊规定，DC/DC应能承受-40 ℃、持续时间24 h的低温贮存试验。贮存期间，DC/DC处于非通电状态，绝缘电阻应满足4.6.1的要求。恢复到标准环境条件后，DC/DC应进行小参数检查（检测项参见表A.1），检测结果应符合技术要求。

4.4.2.2 低温工作

若无特殊规定，DC/DC在-40 ℃环境下温度稳定后。

DC/DC的输出功率为其在-40 ℃环境下的最大持续运行功率，DC/DC应能正常启动并持续运行2 h，无异常，液冷产品冷却液温度应为-40 ℃，并同步开启冷却系统。恢复到标准环境条件后，DC/DC应进行小参数检查（检测项参见表A.1），检测结果应符合技术需求。

4.4.3 高温

4.4.3.1 高温贮存

若无特殊规定，DC/DC应能承受85 ℃、持续时间24 h的高温贮存试验。贮存期间，DC/DC处于非通电状态，绝缘电阻应满足4.6.1的要求。恢复到标准环境条件后，DC/DC应进行小参数检查（检测项参见表A.1），检测结果应符合技术要求。

4.4.3.2 高温工作

若无特殊规定，DC/DC应能在额定功率及对应的最高工作环境温度和最高冷却液温度下（冷却液的技术参数应符合产品技术文件规定），持续工作2 h。保持DC/DC在高温环境下，其绝缘电阻应满足4.6.1的要求。恢复到标准环境条件后，DC/DC应进行小参数检查（检测项参见表A.1），检测结果应符合技术要求。

DC/DC最高工作环境温度应符合表2的要求，最高冷却液温度限值建议优选55 ℃、60 ℃、65 ℃、70 ℃、75 ℃。

4.4.4 湿热

4.4.4.1 湿热循环

DC/DC的耐湿热循环能力，应能满足GB/T 28046.4—2011中5.6的要求。

4.4.4.2 稳态湿热

DC/DC的耐稳态湿热能力，应能满足GB/T 28046.4—2011中5.7的要求。

4.4.5 盐雾

DC/DC的抗盐雾能力，应能满足GB/T 28046.4-2011中5.5的要求。

4.4.6 耐振性

DC/DC的耐振性，应能满足GB/T 28046.3—2011中4.1的要求。

4.4.7 机械冲击

DC/DC的耐机械冲击能力，应能满足GB/T 28046.3—2011中4.2的要求。

4.5 电磁兼容

4.5.1 工作模式划分

DC/DC根据工作条件的不同可分为工作模式1和工作模式2，具体见表3。

表3 DC/DC 工作模式定义

工作模式	工作条件
工作模式1	DC/DC额定输入、输出电压，功率达到30%额定功率
工作模式2	LV和HV均不上电，DC/DC不工作

4.5.2 功能等级划分

将DC/DC的电磁抗扰功能等级分为4个状态：

状态A：试验中和试验后能够完成设计功能；

状态B：试验中不能完成设计功能，但试验后能够自动恢复到常态；

状态C：试验中不能完成设计功能，但试验后在没有驾驶员/乘客的简单操作下，无法恢复到常态；

状态D：试验中不能完成设计功能，试验后需要较复杂的操作才能恢复到常态，对DC/DC的功能不应造成任何永久性损坏。

注：此处的：“功能”是指电气电子执行的功能。

4.5.3 DC/DC 端口示意图

DC/DC端口示意图如图2所示。

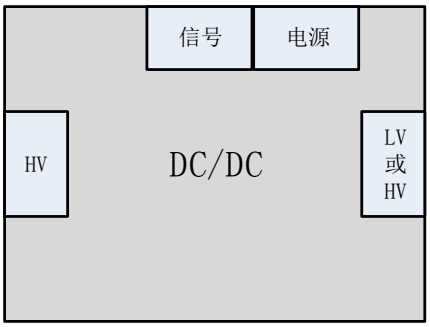


图2 DC/DC 端口示意图

4.5.4 电磁抗扰度

4.5.4.1 静电放电抗扰度

4.5.4.1.1 工作模式1下，直接接触放电的试验严酷等级为±8 kV，空气放电的试验严酷等级为±15 kV，间接放电的试验严酷等级为±25 kV。

4.5.4.1.2 工作模式2下，直接接触放电的试验严酷等级为±8 kV,空气放电的试验严酷等级为±15 kV。功能等级要求应为等级A。

4.5.4.2 低压沿电源线的电瞬态传导抗扰度

沿电源线（图2中的“电源”）的电瞬态传导抗扰使用的试验等级及功能状态要求见表4、表5。

表4 12V 系统使用的试验等级及功能等级要求

试验脉冲	试验等级/V	最少脉冲数或试验时间	短脉冲循环时间或脉冲重复时间		功能等级要求
			最小	最大	
1	-112	500个脉冲	0.5 s	5 s	C
2a	+55	500个脉冲	0.2 s	5 s	A
2b	+10	10个脉冲	0.5 s	5 s	C
3a	-165	1 h	90 ms	100 ms	A
3b	+112	1 h	90 ms	100 ms	A

表5 24V 系统使用的试验等级及功能等级要求

试验脉冲	试验等级/V	最少脉冲数或试验时间	短脉冲循环时间或脉冲重复时间		功能等级要求
			最小	最大	
1	-450	500个脉冲	0.5 s	5 s	C
2a	+55	500个脉冲	0.2 s	5 s	A
2b	+20	10个脉冲	0.5 s	5 s	C
3a	-220	1 h	90 ms	100 ms	A
3b	+220	1 h	90 ms	100 ms	A

4.5.4.3 低压沿非电源线的传导抗扰度

对于含有低压非电源线（图2中的“信号”）的DC/DC，其低压沿非电源线的传导抗扰度应满足ISO 7637-3:2016附录B中试验等级III的要求。

功能状态要求应为A类。

4.5.4.4 电波暗室法抗扰度

在80 MHz到2 000 MHz频段内，电波暗室法抗扰试验严酷等级为75 V/m。

功能状态要求应为A类。

4.5.4.5 大电流注入（BCI）法抗扰度

在1 MHz到400 MHz的频段内，大电流注入（BCI）法抗扰试验严酷等级为100 mA。

功能状态要求应为A类。

4.5.4.6 磁场抗扰度

磁场抗扰度试验应满足ISO 11452-8:2015附录A中表A.1中试验等级III的要求。

功能状态要求应为A类。

4.5.5 电磁发射骚扰

4.5.5.1 传导发射骚扰

4.5.5.1.1传导发射电压法对于非屏蔽系统及低压-人工网络射频端口的测量（图2中的“HV” 、“LV”以及“电源”），限值应符合GB/T 18655—2018中6.3中表5等级3的限值要求，或者符合产品技术文件规定。

4.5.5.1.2屏蔽电源装置传导（图2中的 “HV”）电压测量应符合GB/T 18655—2018附录I中表I.1等级3的限值要求，或者符合产品技术文件规定。

4.5.5.1.3 DC/DC传导发射电流探头法的限值应符合GB/T 18655—2018中表6等级3的限值要求，或者符合产品技术文件规定。

4.5.5.2 辐射发射骚扰

DC/DC的辐射发射骚扰应满足GB/T 18655—2018中表7等级3的限值要求，或者符合产品技术文件规定。

4.5.5.3 沿电源线的电瞬态传导骚扰

DC/DC的沿电源线（图2中的“电源”）的电瞬态传导骚扰应满足ISO 7637-2:2011附录B中等级Ⅲ的要求。

4.6 电气安全

4.6.1 绝缘电阻

DC/DC的绝缘电阻应满足以下要求，或者符合产品技术文件规定。

a) 各独立带电电路与地（外壳）之间的绝缘电阻不小于10 MΩ；

b) 无电气联系的各电路之间的绝缘电阻不小于10 MΩ。

4.6.2 耐电压性能

各独立电路对地（外壳）之间、彼此无电气连接的各电路之间的耐电压性能应满足表6要求。耐电压试验持续时间为1 min，无击穿和电弧现象，漏电流限值应符合产品技术文件规定。

表6 DC/DC 接线端子对地（外壳）的耐电压要求

单位：伏

最高工作电压U_{dmax}	试验电压（均方根值）
$U_{dmax}\leqslant 60$	500
$60<U_{dmax}\leqslant 125$	1000
$125<U_{dmax}\leqslant 250$	1500
$250<U_{dmax}\leqslant 500$	2000
$U_{dmax}>500$	$1000+2\times U_{dmax}$

注：试验电压可采用上表中对应电压值的等效直流电压。

4.6.3 防护等级

对于独立带防护壳体的DC/DC，采用风冷防护等级应不低于IP5K5，采用水冷防护等级应不低于IP6K7，防护等级定义按照GB/T 30038的规定。

4.6.4 安全接地检查

DC/DC中能触及的可导电部分与外壳接地点处的电阻应不大于0.1 Ω。接地点应有明显的接地标志。若无特定的接地点，应在有代表性的位置设置接地标志。

4.6.5 支撑电容放电时间

当DC/DC有被动放电要求时，DC/DC支撑电容放电时间应不大于5 min；当DC/DC有主动放电要求时，DC/DC支撑电容放电时间应不大于3 s。

5 试验方法

5.1 试验要求

5.1.1 标准试验环境要求

如无特殊规定，所有试验应在下列环境条件下进行：

a） 环境温度范围：23 ℃ ±5 ℃；

b） 环境相对湿度范围：25%～75%；

c） 环境气压范围：86 kPa～106 kPa；

d） 液冷DC/DC的冷却液温度应符合产品技术文件规定。

5.1.2 仪器设备要求

试验用仪器仪表设备应采用比受试设备技术指标至少高一个等级，且具有足够的分辨率、准确度和稳定度。除另有规定外，应满足下列要求：

a）一般使用的仪表精度应根据被测量的误差等级按照表7进行选择；

b）测量温度用仪表误差不超过 ±1 ℃；

c）测量时间用仪表相对误差不大于 1%；

d）恒温、恒湿试验箱：温度误差：±2 ℃，湿度误差：±3%RH，容积不小于5倍被测样品的体积；

e）其他测试仪器仪表的精度应符合有关标准的要求，并在计量认证的有效期内。

表7 测试仪表精度的选择

误差	≤0.5%	0.5%~1.5%	1.5%~5%	7.5%
仪表精度	0.1级	0.2级	0.5级	1.0级
数字仪表精度	6位半	5位半	4位半	4位半

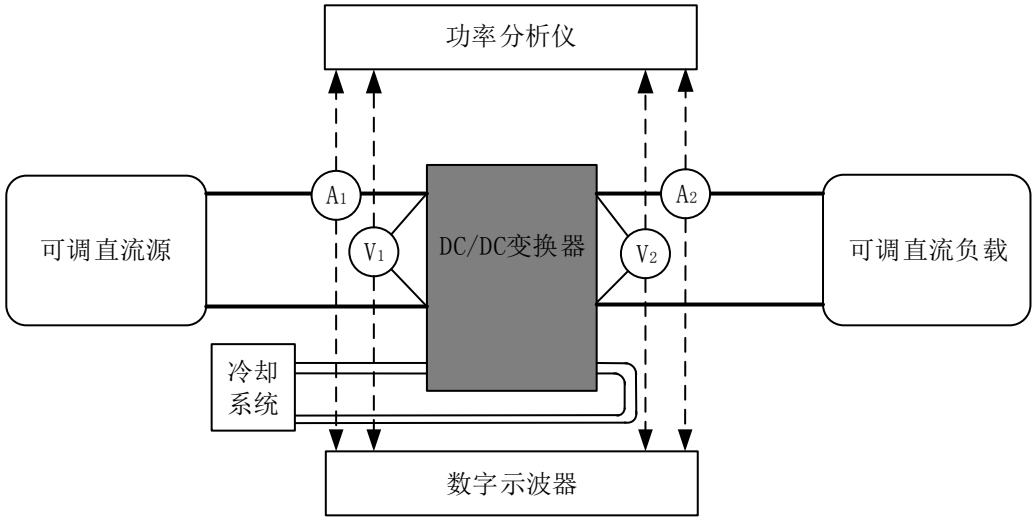
5.2 外观试验

目测检查。

5.3 输入输出特性试验

5.3.1 输入输出性能试验线路示意图

输入输出性能试验线路示意图如下图3所示：



A1 输入电流采样装置

A2 输出电流采样装置

V1 输入电压采样装置

V2 输出电压采样装置

图3　输入输出性能试验线路示意图

5.3.2　效率

试验方法及步骤：

a）按照图3接好试验电路，电子负载设置为恒流（或者恒阻）负载模式。

b）在额定输入和额定输出的条件下开启DC/DC，工作30 min后开始测量效率。

c）保持输入电压为额定电压，根据表8（高压DC/DC依据表9）所示的负载谱，调节输出电流，分别记录各负载工况条件下的输入功率和输出功率，计算得到各工况条件下的效率η_i。

d）根据公式（1）及表8（高压DC/DC依据表9）中的权重系数，计算加权效率。

注1：DC/DC 的输入功率用其输入端的电压和电流的测量值的乘积来计算。

注2：DC/DC 的输出功率用其输出端的电压和电流的测量值的乘积来计算。

注3：效率测试数据采样有必要确保输入输出数据同步，电压采样点选取 DC/DC 的端口（或接线电缆头部）。

注4：效率测试不包含辅助源。

注5：若产品技术文件另有规定，效率测试根据产品技术文件执行。

表8　低压 DC/DC 负载谱及其权重

工况序号	功率（%，相对于额定功率的百分比）	权重
1	5	5%
2	15	25%
3	25	30%
4	35	24%

5	50	14%
6	100	2%

表9　高压 DC/DC 负载谱及其权重

工况序号	功率（%，相对于额定功率的百分比）	权重
1	20	10%
2	40	15%
3	60	20%
4	80	25%
5	100	30%

DC/DC加权效率按式（1）计算：

$$\bar{\eta} = \sum_{i=1}^{n} \eta_i * w_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{P_{out_i}}{P_{in_i}} * w_i \quad \text{……（1）}$$

式中：

$\bar{\eta}$ —— DC/DC加权效率（%）；

i —— 工况序号；

n —— 工况总数；

η_i —— DC/DC变换器i工况的效率（%）；

P_{out_i} —— DC/DC变换器i工况的输出功率；

P_{in_i} —— DC/DC变换器i工况的输入功率；

w_i —— DC/DC变换器i工况的负载权重；

5.3.3　额定功率

试验方法及步骤：

a）按照图3接好试验电路，使DC/DC的工作电压值等于额定电压值，电子负载设置为恒流（或者恒阻）负载模式。

b）调整负载电流，使其与额定电压的乘积不小于额定功率。

c）在温度达到平衡后，持续工作不小于2 h，每半小时记录一次输出电压和输出电流值。

5.3.4　控制误差

5.3.4.1　电压控制误差

试验方法及步骤：

a）按照图3接好试验电路，电子负载设置为恒流（或者恒阻）负载模式。

b）在额定输入和额定输出条件下开启DC/DC，使其工作在恒压输出状态下，电压为DC/DC受控范围内的某设定值U_{zo}。

c）调节输入电压分别为最低输入电压、额定输入电压、最高输入电压；调节输出负载分别为额定负载的20%（或者技术文件给定的最小负载）、50%、100%时，分别测量DC/DC的实际电压U_z，按公式（2）计算输出电压误差。

$$\varepsilon_u = \frac{|U_z - U_{zo}|}{U_{zo}} \times 100\% \quad \text{（2）}$$

式中：

ε_u —— 电压控制误差；

U_z —— 实际电压值（V）；

U_{zo} —— 电压设定值（V）。

5.3.4.2 电流控制误差

试验方法及步骤：

a）按照图3接好试验电路，电子负载设置为恒压负载模式。

b）在额定输入和额定输出的条件下开启DC/DC，使其工作在恒流状态下，电流为DC/DC受控范围内的某设定值I_{zo}。

c）调节输入电压分别为最低输入电压、额定输入电压、最高输入电压；调节输出电压分别为输出电压范围的下限值、额定值、上限值，分别测量DC/DC的实际电流I_z，按公式（3）计算电流误差。

$$\varepsilon_i = \frac{|I_z - I_{zo}|}{I_{zo}} \times 100\% \quad \text{（3）}$$

式中：

ε_i —— 电流控制误差；

I_z —— 实际电流值（A）；

I_{zo}—— 电流设定值（A）。

5.3.5 超调量和恢复时间

试验方法及步骤：

a）按照图3接好试验电路，电子负载设置为恒流负载模式。

b）调节输入输出电压分别为额定电压，设置负载变化率0.1 A/us（负载变化率如有特殊要求，根产品技术文件执行），负载变化范围30%～80%～30%，变化周期20 ms。

c）用数字示波器测量输出电压的超调量和恢复时间。

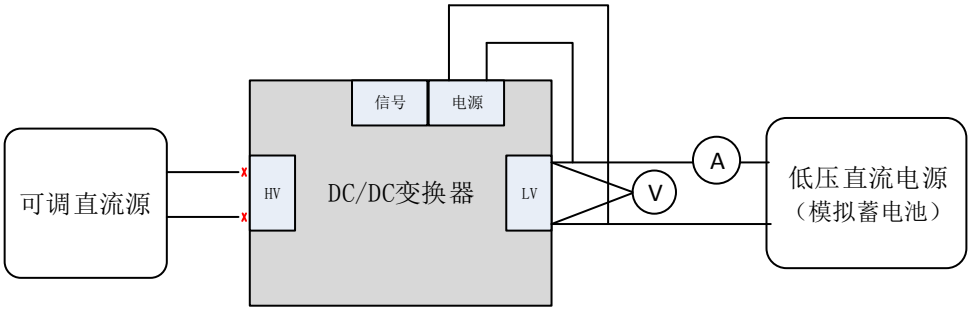
5.3.6 静态电流

试验方法及步骤：

a）按照图4接好试验电路，HV端子悬空，电源端子和LV端子都接到低压直流电源，高压DC/DC只需要将电源端子接到低压直流电源。

b）调节可调直流电源的输出电压为低压电池的额定输出电压（12V或24V）。

c）记录电流表读数即为静态电流。



Ⓥ 直流电压表，用于测量输出电压

Ⓐ 直流电流表，用于测量输出电流

图4　静态电流试验线路示意图

5.3.7　输出电压纹波系数

试验方法及步骤：

a）按照图3接好试验电路，电子负载设置为恒流负载模式。

b）调节DC/DC输入侧电流，使DC/DC运行在20%（或者最小负载）、50%、80%及100%额定功率，并用示波器记录不同功率下的输入端电流的纹波峰峰值U_{pp}与平均值U_{dc}

c）按公式（4）计算输出电压纹波因数。

$$U_{\delta}=\frac{U_{pp}}{2*U_{dc}}\times 100\% \quad \text{.....（4）}$$

式中：

U_{δ}—— 电压纹波系数；

U_{pp} —— 输出电压交流分量峰-峰值；

U_{dc} —— 直流输出电压平均值。

5.4　保护功能

5.4.1　输入过、欠压保护

试验方法及步骤：

a）按照图3接好试验电路，电子负载设置为恒流负载模式，调节输出负载电流为额定值。

b）在额定的输入条件下开启DC/DC，使其工作在额定功率状态下。

c）逐步调节直流输入电压至过压保护值或欠压保护值，至DC/DC停止功率输出。

d）逐步调节直流输入电压从过压保护值或欠压保护值恢复至正常工作电压范围内，DC/DC可自动恢复输出或经过必要的人为干预后恢复输出。

5.4.2　输出过、欠压保护

5.4.2.1 输出过压保护试验

试验方法及步骤：

a) 按照图3接好试验电路，输出端接直流电压源。

b) 在额定的输入条件下开启DC/DC，设定输出电压为额定输出电压值。

c) 开启输出端直流源，调节输出端电压源至输出过压保护值，关闭输出端直流源，观察DC/DC的输出状态。

5.4.2.2 直流输出欠压保护试验

试验方法及步骤：

a) 按照图3接好试验电路，电子负载设置为恒阻负载模式。

b) 在额定的输入条件下开启DC/DC，使其工作在输出限流状态。

c) 减小电子负载电阻，使输出电压逐步达到欠压保护值，观察DC/DC的输出状态。

5.4.3 输出短路保护

5.4.3.1 启动前的短路保护试验

a) 按照图3接好试验电路，将DC/DC输出直流正负极进行短接，

b) 在额定的输入条件下开启DC/DC，检查DC/DC的状态。

5.4.3.2 工作过程中的短路保护试验

a) 按照图3接好试验电路。

b) 在额定输入条件下开启DC/DC，使其处于额定工作状态。

c) 将输出直流正负极进行短接，检查DC/DC的工作状态。

5.4.4 过温保护

若无特殊规定，DC/DC的过温保护试验按以下进行：

——对于风冷DC/DC，在高温工作试验后，继续逐步升高温箱温度至过温保护值，观察并记录DC/DC的工作状态。将温箱恢复到DC/DC可额定工作的温度范围内，DC/DC可自动恢复输出或经过必要的人为干预后恢复输出。

——对于液冷DC/DC，在高温工作试验后，逐步提升冷却液的温度至过温保护值，观察并记录DC/DC的工作状态。将冷却液温度恢复到DC/DC可额定工作的温度范围内，DC/DC可自动恢复输出或经过必要的人为干预后恢复输出。

5.5 环境适应性

5.5.1 低温

5.5.1.1 低温贮存

DC/DC在-40 ℃下按GB/T 2423.1进行试验，应满足4.4.2.1的要求。

5.5.1.2 低温工作

DC/DC在-40 ℃下按GB/T 2423.1进行试验，应满足4.4.2.2的要求。

5.5.2 高温

5.5.2.1 高温贮存

DC/DC在85 ℃高温干热下按GB/T 2423.2进行试验，应满足4.4.3.1的要求。

5.5.2.2 高温工作

DC/DC在规定的最高工作温度下，按照GB/T 2423.2进行试验，应满足4.4.3.2的要求。

5.5.3 湿热试验

5.5.3.1 湿热循环

DC/DC的湿热循环试验，按照GB/T 28046.4—2011中5.6的规定执行，应满足4.4.4.1的要求。

5.5.3.2 稳态湿热

DC/DC的湿热循环试验，按照GB/T 28046.4—2011中5.7的规定执行，应满足4.4.4.2的要求。

5.5.4 盐雾试验

DC/DC的盐雾试验，按照GB/T 28046.4—2011中5.5的规定进行，应满足4.4.5的要求。

5.5.5 振动试验

根据安装部位，DC/DC振动试验按照GB/T 28046.3—2011中4.1的规定进行，应满足4.4.6的要求。

5.5.6 机械冲击试验

DC/DC非工作状态下机械冲击试验，按照GB/T 28046.3—2011中4.2进行，应满足4.4.7的要求。

5.6 电磁兼容

5.6.1 电磁抗扰试验

5.6.1.1 静电放电抗扰度

测试布置及试验方法依照标准ISO 10605。
DC/DC在工作模式1时，进行通电ESD试验。
DC/DC在工作模式2时，进行不通电ESD试验。

5.6.1.2 低压沿电源线的电瞬态传导抗扰度

按照ISO 7637-2:2011第4章中对不同脉冲测试要求进行试验。
DC/DC处于工作模式1下进行试验。

5.6.1.3 低压沿非电源线的传导抗扰度

按照ISO 7637-3:2016的要求进行试验。
DC/DC处于工作模式1下进行试验。

5.6.1.4 电波暗室法抗扰度

按照GB/T 33014.2使用“替代法”建立试验场，分别在天线水平（频率范围400MHz到2000MHz）和垂直极化下（频率范围80 MHz到2 000 MHz）将DC/DC暴露于天线产生的电磁辐射场中进行抗扰度试验。
试验按照GB/T 18655-2018附录I.4中ALSE法的试验布置进行。
DC/DC处于工作模式1下进行试验。

5.6.1.5 大电流注入（BCI）法抗扰度

按照GB/T 33014.4使用“替代法”建立试验场，使用电流注入探头将电流直接感应到连接线束上进行抗扰度试验。频率范围1 MHz到400 MHz。

试验按照GB/T 18655—2018附录I中图I.5试验布置进行。

除非另有规定，否则注入探头仅置于LV线束上进行试验。注入探头与DC/DC连接器距离应为150 mm、450 mm、750 mm。

5.6.1.6 磁场抗扰度试验

按照ISO 11452-8: 2015的要求进行试验。

DC/DC处于工作模式1下进行试验。

5.6.2 电磁发射骚扰

5.6.2.1 传导发射骚扰

按照GB/T 18655—2018的要求进行试验。

电压法用于考核沿低压电源线和高压线束传播的骚扰信号的特性。

电流探头法用于考核沿低压线束和高压线束上的传播的骚扰信号的特性。

DC/DC处于工作模式1下，在低压端和高压端分别进行试验。

5.6.2.2 辐射发射骚扰

按照GB/T 18655—2018的要求进行试验。

DC/DC处于工作模式1下进行试验。

5.6.2.3 低压沿电源线的电瞬态传导骚扰

按照ISO 7637-2:2011的要求进行试验。

DC/DC处于工作模式1下进行试验。

5.7 电气安全

5.7.1 绝缘电阻

在DC/DC未工作情况下，用相应量程兆欧表（或其他具有相同功能和精度等级的仪器）对DC/DC的绝缘电阻进行测量，A级电压电路施加电压500 Vdc并维持稳态值60 s后确定绝缘电阻；B级电压电路施加1000 Vdc并维持稳态值60 s后确定绝缘电阻。

5.7.2 耐电压性能

试验过程中，DC/DC中同一独立电路回路的端子应短接。根据表6的耐压值，将试验电压加载于：

a)接线端子和地（外壳）之间；

b)无电气联系的各电路之间。

加载过程中，施加的电压应在5 s或5 s以内逐渐升高到规定值，使电压不出现明显的跳变。全值试验电压应持续1 min。

记录试验过程中漏电流的大小。

注：对有些因电磁场感应等情况而导致高电压进入低压电路的部件（如脉冲变压器、互感器等），可在实验前予以隔离或拔除。

5.7.3 防护等级

根据供需双方的技术要求，按照GB/T 30038相应防护等级测试方法进行试验。

5.7.4 安全接地检查

用精度为1/1000 Ω的万用表（或其他具有相同功能和精度等级的仪器）测量DC/DC中能触及的金属部件与外壳接地点处的电阻。

5.7.5 支撑电容放电时间

5.7.5.1 被动放电时间

DC/DC直流母线设定为最高工作电压，电压稳定后立即切断直流供电电源，同时利用电气测量仪表测取DC/DC支撑电容两端的开路电压。试验期间，DC/DC不参与任何工作。记录支撑电容开路电压从切断时刻直至下降到60 V经过的时间，此数值即作为DC/DC被动放电时间。

5.7.5.2 主动放电时间

对于具有主动放电功能的DC/DC，试验时，直流母线电压设定为最高工作电压，电压稳定后，立即切断外部输入直流源，并且启动主动放电工作模式，利用电气测量仪表测取DC/DC支撑电容两端的电压从切断时刻直至下降到60 V经过的时间，此数值即作为DC/DC主动放电时间。

附 录 A
（资料性附录）
检验项目

A.1 检验项目

DC/DC出厂检验、型式试验及测试过程中小参数检查项目参见表A.1。

表A.1 出厂检验、型式检验和小参数检查项目

序号	项目名称	检验要求	检验方法	型式检验	出厂检验	小参数检查
1.	外观	4.1	5.2	○	○	○
2.	效率	4.2.1	5.3.2	○		
3.	额定功率	4.2.2	5.3.3	○	○	
4.	控制误差	4.2.3	5.3.4	○	○	○
5.	超调量和恢复时间	4.2.4	5.3.5	○		○
6.	静态电流	4.2.5	5.3.7	○		○
7.	输出电压纹波系数	4.2.6	5.3.7	○		○
8.	输入过、欠压保护	4.3.1	5.4.1	○	○	○
9.	输出过、欠压保护	4.3.2	5.4.2	○		○
10.	输出短路保护	4.3.3	5.4.3	○	○	○
11.	过温保护	4.3.4	5.4.4	○		
12.	低温	4.4.2	5.5.1	○		
13.	高温	4.4.3	5.5.2	○		
14.	湿热	4.4.4	5.5.3	○		
15.	盐雾	4.4.5	5.5.4	○		
16.	耐振性	4.4.6	5.5.5	○		
17.	机械冲击	4.4.7	5.5.6	○		
18.	电磁抗扰度	4.5.4	5.6.1	○		
19.	电磁发射骚扰	4.5.5	5.6.2	○		
20.	绝缘电阻	4.6.1	5.7.1	○	○	○
21.	耐电压性能	4.6.2	5.7.2	○	○	○
22.	防护等级	4.6.3	5.7.3	○		
23.	安全接地检查	4.6.4	5.7.4	○	○	○
24.	支撑电容放电时间	4.6.5	5.7.5	○		

注1：小参数检查在标准测试环境下进行。

注2：IP6k7 及以上做密封试验，试验方法参考 GB/T 2423.23。