



中国汽车工业协会标准

T/CCAMTB 11—XXXX

燃料电池电动汽车用 DC/DC 变换器

The DC/DC Converter for Fuel Cell Electric Vehicles

XXXX 年 XX 月 XX 日 发布

XXXX 年 XX 月 XX 日 实施

中国汽车工业协会 发布

目 次

前言 II

1 范围..... 3

2 规范性引用文件..... 3

3 术语和定义..... 3

4 要求..... 4

5 试验方法..... 9

6 检验项目..... 13

附录 A （规范性附录） 14

前 言

本是依据GB/T 20004.1-2016《团体标准化 第1部分：良好行为指南》和GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写的有关要求》编写。

本标准由中国汽车动力电池产业创新联盟燃料电池分会提出。

本标准由中国汽车工业协会归口。

本标准起草单位：上海磐动电气科技有限公司、上海重塑能源科技有限公司、株洲南车时代电动汽车股份有限公司、河北科技大学、张家港氢云新能源研究院。

本标准主要起草人：黄兴、侯永平、潘相敏、魏青龙。

燃料电池电动汽车用DC/DC变换器

1 范围

本标准规定了燃料电池汽车用 DC/DC 变换器的要求、试验方法、检验规则等。
本标准适用于燃料电池电动汽车动力系统用 DC/DC 变换器。

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）适用于本文件。

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 3767-2016 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 反射面上方近似自由场的工程法

GB/T 6882-2016 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 消声室和半消声室精密法

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 18488.2-2015 电动汽车用驱动电机系统 第2部分：试验方法

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 30038-2013 道路车辆 电气电子设备防护等级（IP 代码）

3 术语和定义

GB/T 24347 界定的术语及以下术语适用于本标准。

3.1

DC/DC 变换器 DC/DC converter

直流电路中将一个电压值的电能变换为另一个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

额定输出电压 output rated voltage

在规定的环境条件、负载状态和温升限度下，DC/DC 变换器规定的输出工作电压值。

3.4

额定输入电流 input rated current

在规定的条件、负载状态和温升限度下，DC/DC 变换器规定的输入工作电流值。

3.5

额定功率 rated power

在规定的条件、额定输入电流和连续工作情况下 DC/DC 变换器达到温升限度下稳定温度后可输入的最大功率。

3.6

峰值功率 peak power

在规定的条件下和规定时间内，DC/DC 变换器可持续工作的最大输入功率。

3.7

输入电流纹波系数 ripple coefficient of input current

DC/DC 变换器的输入电流纹波峰峰值与电流平均值的比值。

3.8

动态响应恢复时间 dynamic response recovery time

负载突变时，被控量（电压或电流）从突变的时刻起到恢复至稳定精度范围内止的时间。

3.9

电压控制精度 voltage control accuracy

电压实际值与电压目标值的偏差，或电压实际值与电压目标值的偏差占电压目标值的百分比。

3.10

电流控制精度 current control accuracy

电流实际值与电流目标值的偏差，或电流实际值与电流目标值的偏差占电流目标值的百分比。

3.11

待机功耗 standby power

DC/DC 变换器在高压不上电，控制低压上电状态下的功率。

4 要求

4.1 一般性项目

4.1.1 外观

变换器外表面应平整，无明显的划伤、变形等缺陷；表面涂镀层应均匀。铭牌、标志安装端正牢固，字迹清晰。零部件紧固可靠，无锈蚀、毛刺、裂纹等缺陷和损伤。

4.1.2 壳体机械强度

DC/DC 变换器按照 5.2.2 所述的方法试验后，不发生明显的塑性变形。

4.1.3 绝缘性能

在 86kPa~106kPa 气压、环境温度为 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度为 25%~75% 条件下，DC/DC 变换器中带电电路与地（外壳）之间的绝缘电阻应不低于 $20\text{ M}\Omega$ ，冷态、热态及湿热状态下应不低于 $2.5\text{ M}\Omega$ 。

4.1.4 介电强度

接线端子对地（外壳）和彼此无电连接的电路之间的介电强度。耐电压试验持续时间为 1 min，无击穿现象。

表1 DC/DC变换器接线端子对地（外壳）的耐电压要求

单位：V

最高工作电压 U_{dmax}	试验电压（均方根值）
$U_{\text{dmax}} \leq 60$	500
$60 < U_{\text{dmax}} \leq 125$	1000
$125 < U_{\text{dmax}} \leq 250$	1500
$250 < U_{\text{dmax}} \leq 500$	2000
$U_{\text{dmax}} > 500$	$1000 + 2 \times U_{\text{dmax}}$
注：试验电压可采用上表中对应电压值的等效直流电压。	

4.2 输入输出特性

4.2.1 效率

额定输入功率下 DC/DC 变换器的效率应 $\geq 95\%$ 。

4.2.2 额定功率

在规定的条件、标称输入电压、额定输出电压和连续工作情况下，DC/DC 变换器达到热稳定后可输入的最大功率应大于或等于铭牌中标出的输入功率值。

4.2.3 峰值功率及持续时间

DC/DC 变换器的峰值输入功率及持续时间应符合供需双方的技术要求文件。

4.2.4 控制精度

4.2.4.1 电流控制精度

对于恒流特性 DC/DC 变换器在设定输入/输出电流下，相对误差不大于 2% 或 3A。

4.2.4.2 电压控制精度

对于恒压输出特性的 DC/DC 变换器设定输出电压下，相对误差不大于 2% 或 3V。

4.2.5 动态响应时间

当负载变化从 30% 阶跃到 80% 时，或从 80% 阶跃到 30% 时，被控量的动态响应时间不大于 400ms。

4.2.6 动态响应恢复时间

动态响应恢复时间 $\leq 20\text{ms}$ 。

4.2.7 输入电流纹波系数

额定输入功率时，输入电流纹波系数 $\leq 5\%$ 。

4.2.8 待机功耗

DC/DC 变换器在待机状态下的功耗 $\leq 4\text{W}$ 。

4.3 环境适应性

4.3.1 低温

4.3.1.1 低温贮存

若无特殊规定，DC/DC 变换器应能承受 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、持续时间 24h 的低温贮存试验。贮存期间，DC/DC 变换器处于非通电状态。低温贮存 24h 后，箱内复测绝缘电阻应符合 4.1.3 的规定。恢复到室温后，DC/DC 变换器应进行外观、效率、额定功率和控制精度的复测，并符合技术要求。

4.3.1.2 低温工作

若无特殊规定，DC/DC 变换器在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下热浸透后，能以额定功率启动并运行 2h，无异常。恢复到室温后，DC/DC 变换器应进行外观、效率、额定功率和控制精度检查，符合技术要求。

4.3.2 高温

4.3.2.1 高温贮存

若无特殊规定，DC/DC 变换器应能承受技术要求最高环境温度、持续时间 24h 的高温贮存试验。贮存期间，DC/DC 变换器处于非通电状态。高温贮存 24h 后，箱内复测绝缘电阻应符合 5.1.3 的规定。恢复到室温后，DC/DC 变换器应进行外观、效率、额定功率和控制精度检查，符合技术要求。

4.3.2.2 高温工作

若无特殊规定，DC/DC 变换器应能在额定功率对应的最高操作温度下，持续工作 2 h。恢复到室温后，DC/DC 变换器应进行外观、效率、额定功率和控制精度检查，符合技术要求。

按技术要求进行试验，若无要求，按上限工作温度为 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行。

4.3.3 湿热

DC/DC 变换器应能承受 $(40\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 90%~95%，48 h 的恒定湿热试验，DC/DC 变换器应无明显的外表质量变坏及影响正常工作的锈蚀现象。试验后，箱内复测绝缘电阻应符合 4.1.3 的规定。恢复常态后，DC/DC 变换器应能在额定功率下正常工作。

4.3.4 盐雾

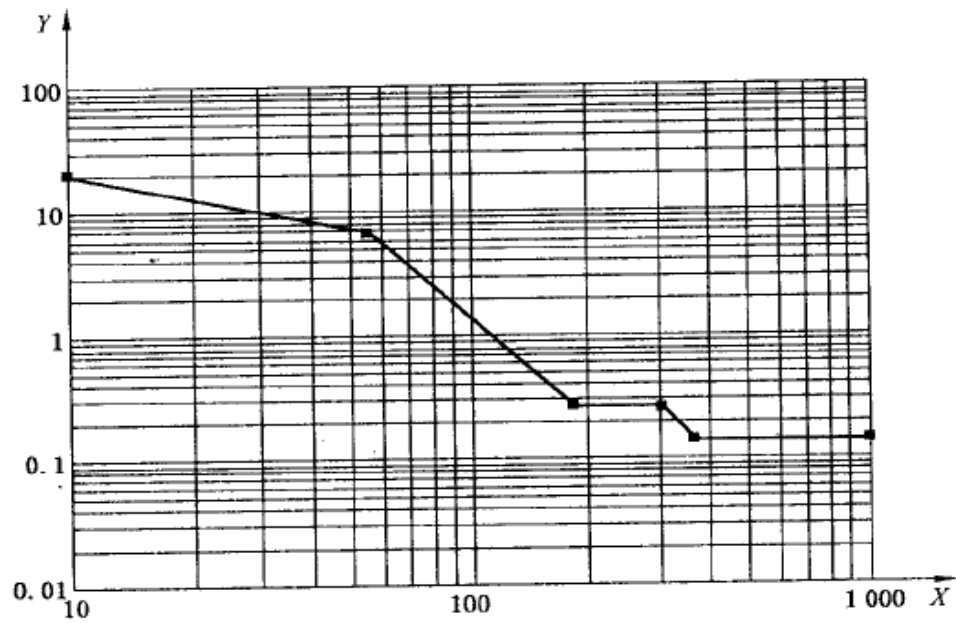
DC/DC 变换器的抗盐雾能力，应能满足 GB/T 28046.4-2011 中 5.5.2 的要求。试验后，DC/DC 变换器恢复 1h~2h 后，应能正常工作。

4.3.5 振动

4.3.5.1 乘用车弹性体（车身）

应用于乘用车的 DC/DC 变换器应满足 GB/T 28046.3-2011 中 4.1.2.4 的要求，待测设备每个轴

向的试验持续 8h，加速度均方根（r. m. s）值应为 27.8m/s^2 。PSD 与频率按图 1 和表 2 规定。



其中：
X——频率，Hz；
Y——PSD， $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ 。

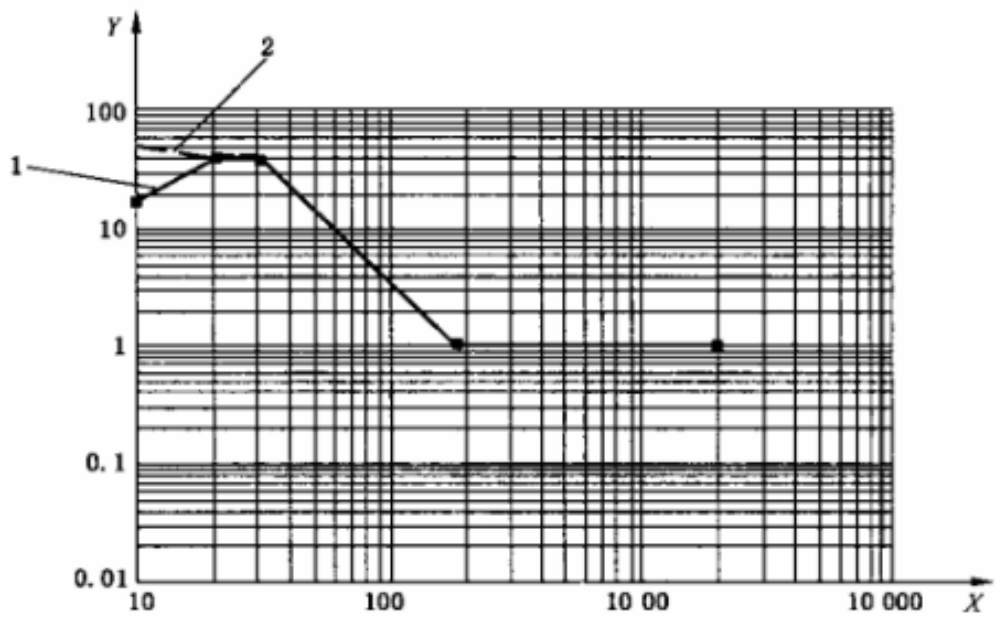
图1 PSD与频率

表2 PSD与频率

频率（Hz）	PSD ((m/s²)²/Hz)
10	20
55	6.5
180	0.25
300	0.25
360	0.14
1000	0.14

4.3.5.2 商用车弹性体

应用于商用车的 DC/DC 变换器应满足 GB/T 28046.3-2011 中 4.1.2.7 要求，待测设备每个轴向的试验持续 32h。PSD 与频率按图 2 和表 3、表 4 规定。fn 代表系统固有频率。



其中：

X——频率，Hz；

Y——PSD，(m/s²)²/Hz；

1—— 一般情况下的随机试验曲线；

2—— $f_n < 30\text{Hz}$ 的附加试验曲线。

图2 PSD与频率

表3 PSD与频率

频率（Hz）	PSD（(m/s ²) ² /Hz）
10	18
20	36
30	36
180	1
2000	1

注：加速度均方根（r.m.s）值为57.9m/s²。

表4 PSD与频率（ $f_n < 30\text{Hz}$ 的附加试验）

频率（Hz）	PSD（(m/s ²) ² /Hz）
10	50
20	36
30	36
45	16

注：加速度均方根（r.m.s）值为33.7m/s²

4.3.6 机械冲击

DC/DC 变换器的耐机械冲击能力，应能满足 GBT 28046.3-2011 4.2.2 节的要求，待测设备每个

方向加速度 250m/s^2 ，持续时间 6ms 且试验 10 次。试验后，DC/DC 变换器应进行外观、效率、额定功率和控制精度检查，符合技术要求。

4.3.7 电磁兼容

满足 GB 34660-2017 的要求。

4.3.8 噪音

DC/DC 工作噪音小于 70dBA 。

4.4 安全性

4.4.1 防护等级

对于独立带防护壳体的 DC/DC 变换器，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 IP67，防护等级定义依据 GB/T 30038 标准。

4.4.2 接地

DC/DC 变换器中能触及的最远处可导电部分与外壳接地点的电阻应不大于 $0.1\ \Omega$ 。接地点应有明显的接地标志。

4.4.3 放电功能

DC/DC 变换器应具备主动/被动放电功能。在断开高压连接端后，应满足在 5 分钟内将高压端口电压降低至 60V 以下。

4.4.4 残压泄放

在标准环境温度下，燃料电池进入关闭状态后，DC/DC 变换器应能在 3 分钟内将燃料电池接线端残压降低至 60V 以下。

4.4.5 保护功能

DC/DC 变换器应具备输入过压保护、输入欠压保护、输出过压保护、输出欠压保护、输出过流保护、过载保护、过温保护等功能，具体保护策略应符合产品技术文件规定。

4.5 耐久性

4.5.1 高温耐久

DC/DC 变换器的耐久性要求，应符合生产商和用户签订的供货文件。如无要求，对于水冷待测样品，环境温度 65°C ，冷却水温度 65°C ，额定功率应持续运行不小于 1000h ；对于自然冷却待测样品，应在其最高允许工作温度，额定功率持续运行不小于 1000h 。

4.5.2 工况循环耐久

DC/DC 变换器的工况耐久性要求，在额定负载或按照设定的循环工况运行条件下，DC/DC 变换器无故障工作时间应不小于 $3\ 000\ \text{h}$ 。试验方法可参考附录 A 进行。

5 试验方法

5.1 试验要求

5.1.1 标准试验环境要求

环境温度范围：23℃±5℃；

环境相对湿度范围：25% ~ 75%；

环境气压范围：86kPa ~ 106kPa。

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。除另外规定外，应满足下列要求：

一般使用的仪表精度应根据被测量的误差等级按照表 6 进行选择；

测量温度用仪表误差不超过±1℃；

测量时间用仪表：当测量时间大于 1s 时，相对误差不大于 0.5%；测量时间小于 1s，相对误差不大于 0.1%；

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5 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 一般试验要求

5.2.1 外观

目测检查。

5.2.2 壳体机械强度

试验时，分别在 DC/DC 变换器壳体的 3 个方向上按照 4.1.2 的规定，壳体应能承受不低于 10 kPa 的压强，缓慢施加相应压强的砝码，其中砝码与 DC/DC 变换器的接触面积最少不应低于 5 cm×5 cm，检查壳体是否有明显的塑性变形。

5.2.3 绝缘性能

5.2.3.1 兆欧表的选用

应根据 DC/DC 变换器的最高工作电压选择兆欧表。具体应根据表 8 的标准进行选择。

表6 兆欧表选择

单位：V

最高工作电压 U_{dmax}	兆欧表档位
$U_{dmax} \leq 250$	500
$250 < U_{dmax} \leq 1000$	1000

5.2.3.2 绝缘电阻测量

在标准试验环境，DC/DC 变换器未工作情况下，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 变换器中带电电路与地(外壳)之间的绝缘电阻进行测量。

5.2.4 耐电压性能

根据 GB18488.1-2015 中表 2 的耐压值，将试验电压加载于接线端子和地(外壳)之间。加载过程中，施加的电压应在 5s 或 5s 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 1min。

记录试验过程中漏电流的值。

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。

5.3 输入输出特性

5.3.1 效率

测试额定功率下的效率。

5.3.2 额定功率

使 DC/DC 变换器的输入电压值等于铭牌上的额定输入电压值，调整输入电流，使其与额定输入电压的乘积等于额定输入功率，在温度达到平衡后，要求持续工作时间应不小于 2 h。

5.3.3 峰值功率

使 DC/DC 变换器的输入电压值等于铭牌上的额定输入电压值，调整输入电流，使其与额定输入电压的乘积等于产品技术文件要求的峰值输入功率，并在规定的测量时间内可正常工作。

5.3.4 控制精度

在 86KPa~106KPa 气压、环境温度为 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度为 25%~75%条件下，分别按额定功率的 20%、50%、80%和 100%来测量输出电压和输入/输出电流。

5.3.5 动态响应时间

在额定输入电压和输出电压下，测量负荷率从 30%阶跃到 80%，或从 80%阶跃到 30%的响应时间。

5.4 环境适应性

5.4.1 温度试验

5.4.1.1 低温试验

DC/DC 变换器进行低温贮存试验时，按照 GB/T 2423.1-2008 的规定，放入低温箱内，使箱内温度降至 -40°C ，低温贮存 24h 后，在低温箱内复测绝缘电阻。复测绝缘电阻期间，低温箱内的温度应保持在 -40°C 。

DC/DC 变换器低温贮存 24h 后，低温箱内的温度继续保持在 -40°C ，在低温箱内为 DC/DC 变换器通电，检查 DC/DC 能否正常工作。对于液冷式 DC/DC 变换器，若要求在启动过程中通入冷却液，冷却液的成分、温度和流量按照产品技术文件规定。

试验结束后，按照 GB/T 2423.1-2008 的规定恢复到室温，按照表 8 对 DC/DC 变换器进行外观、效率、额定功率和控制精度测试，检测 DC/DC 变换器是否满足技术要求。

5.4.1.2 高温试验

DC/DC 变换器进行高温贮存试验时，按照 GB/T 2423.1-2008 的规定，放入高温箱内，使箱内温度升至 85℃。试验过程中，DC/DC 为非通电状态，对于液冷式的 DC/DC 变换器，不通冷却液。高温贮存 24h 后，在高温箱内复测绝缘电阻。复测绝缘电阻期间，高温箱内的温度应保持在技术需求中最高环境温度。

高温贮存结束后，按照 GB/T 2423.2-2008 的规定恢复到室温，按照表 8 对 DC/DC 变换器进行外观、效率、额定功率和控制精度测试，检测 DC/DC 变换器是否满足技术要求。

DC/DC 变换器的高温工作试验时，按 GB/T 2423.2-2008 相关要求进行，按照 5.3.2.2 的要求设置操作温度，DC/DC 变换器输出电压设定为额定输出电压，DC/DC 工作在额定功率条件下，检查 DC/DC 变换器能否正常工作 2 h。对于液冷 DC/DC 变换器，应在试验过程中通入冷却液，冷却液的成分、温度及流量按照产品技术文件规定。高温工作 2 h 后，按照 6.1.3 的方法在高温箱内复测绝缘电阻，复测绝缘电阻期间，高温箱内及冷却回路的温度应继续保持不变。

5.4.2 湿热试验

将 DC/DC 变换器放入温度为 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 90%~95% 的试验环境条件下，保持 48h。试验过程中，DC/DC 为非通电状态，对于液冷式的 DC/DC 变换器，不通冷却液。试验结束后，复测绝缘电阻，期间试验环境应保持不变。

恢复室温后，按照表 8 对 DC/DC 变换器进行外观、效率、额定功率和控制精度测试，检测 DC/DC 变换器是否满足技术要求。

5.4.3 盐雾试验

盐雾试验应按 GB/T 2423.17-2008 中的有关规定进行。DC/DC 变换器在盐雾箱内应处于正常安装状态。试验周期应满足 4.3.4 的要求。试验结束，DC/DC 变换器恢复 1h~2h 后，按照表 8 对 DC/DC 变换器进行外观、效率、额定功率和控制精度测试，检测 DC/DC 变换器是否满足技术要求。

5.4.4 振动试验

DC/DC 变换器非工作状态下振动试验，乘用车按照 GB/T 28046.3—2011 4.1.2.4 节进行；商用车按照 GB/T 28046.3—2011 4.1.2.7 节进行。振动完以后按照表 8 进行外观、效率、额定功率和控制精度检查。

5.4.5 机械冲击试验

DC/DC 变换器的机械冲击试验，按照 GB/T 28046.3—2011 4.2.2.2 节进行。机械冲击完以后按照表 8 进行外观、效率、额定功率和控制精度检查。

5.4.6 电磁干扰试验

试验方法参考 GB 34660。

5.5 噪声

DC/DC 变换器工作噪声试验按 GB/T 6882-2016（其中传感器布置方法参照附录 E）或 GB/T 3767-2016（其中传感器布置方法参照附录 B）的规定进行。

5.6 安全性

5.6.1 防护等级

根据供需双方确定的技术要求，按照 GB/T 4208 相应防护等级测试方法进行试验。

5.6.2 接地检查

用精度为 $1/1000\Omega$ 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 变换器中能触及的金属部件与外壳接地点处的电阻。

5.6.3 保护功能

根据 5.6 节具体保护策略进行相应的试验。(根据具体技术文件)。

5.7 耐久性

DC/DC 变换器的耐久性试验，分别按照 4.5.1 节 4.5.2 节要求进行。

6 检验项目

DC/DC 变换器推荐出厂检验及型式试验项目见表 8。

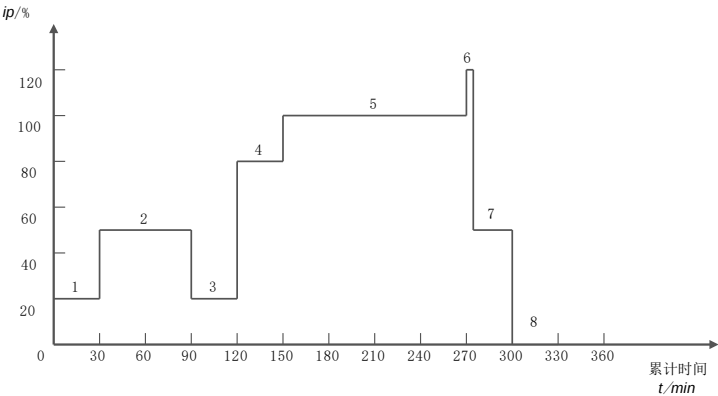
表7 出厂检验和形式检验项目

项目名称		检验要求	检验方法	型式检验	出厂检验
一般性项目	外观	5.1.1	6.1.1	●	●
	壳体机械强度	5.1.2	6.1.2	●	
	绝缘性能	5.1.3	6.1.3	●	●
	耐电压性能	5.1.4	6.1.4	●	●
输入输出特性	效率	5.2.1	6.2.1	●	●
	额定功率	5.2.2	6.2.2	●	
	峰值输出功率	5.2.3	6.2.3	●	●
	控制精度	5.2.4	6.2.4	●	●
环境适应性	低温	5.3.1	6.3.1	●	
	高温	5.3.2	6.3.2	●	
	湿热	5.3.3	6.3.3	●	
	盐雾	5.3.4	6.3.4	●	
	耐振性	5.3.5	6.3.5	●	
	电磁兼容	5.3.6	6.3.6	●	
	噪声	5.3.7	6.3.7	●	
安全性	防护等级	5.4.1	6.4.1	●	备注 1
	接地检查	5.4.2	6.4.2	●	●
可靠性		5.5	6.5	●	
耐久性		4.5.2	附录 A	●	
备注1：IP67以上做气密性检测。					

附录 A
(规范性附录)
可靠性试验方法

1 可靠性试验方法

1) 在标准试验环境下，按照推荐的可靠性试验循环工况曲线（燃料电池大客车）示例见图A. 1，P表示输出功率(P)与额定功率(Pe)的比值，试验循环数据见表A. 1。



图A. 1 试验循环工况曲线

表A. 1 试验循环数据

工况序号	$i_p/\%$	工况时间 t/min	累计时间 t/min
1	20	30	30
2	50	60	90
3	20	30	120
4	80	30	150
5	100	120	270
6	120	6	276
7	50	24	300
8	0	30	330

注：低压DC/DC变换器工况6，负载条件为最大载。
每个循环试验时间为5.5 h。

其他车型应用的DC/DC变换器可靠性试验循环工况由制造商和用户协商确定。

2) 可参考标准IEC 62506 《产品测试加速方法》进行加速试验，满足3000h可靠性要求。

参考方案：依据IEC 62506 《产品测试加速方法》5.6.1.2章节方案，基于阿伦纽斯温度加速模型及可靠性验证的定时结尾试验方法，利用假设检验中的卡方分布函数，反推出2个样品0失效的条件下无故障时间3000小时加速条件，即在高温（60度）环境下，额定输入电压条件，交变负载（按照表7循环工况曲线运行），加速试验等效时间不低于165小时。电磁兼容可列为附录B。