电动汽车传导式大功率充电向前兼容技术研究

孙远，但富中，叶建德，张伟
（南瑞集团有限公司，江苏 南京 211000）

摘　要：为实现传导式大功率充电接口的向前兼容，介绍了一种能够将 GB 2015 充电接口转换为大功率充电接口的转换器。对传导式大功率充电接口端面进行了定义，完成了带转换器的控制导引电路设计，并对使用转换器的连接器组件热性能及结构强度展开试验与仿真研究。结果表明，使用转换器的连接器组件结构强度及正常温升试验中连接器组件的端子温升均能满足标准要求，过热试验中，充电枪内温度传感器能延迟反映插座端的过热故障。该结果验证了转换器的可行性，解决了新旧接口的兼容问题，为大功率充电技术的商业化应用奠定了基础。

关键词：传导式大功率充电；转换器；连接组件；试验

Research of backward compatibility of conductive high power charging（HPC）technology for electric vehicle

SUN Yuan，DAN Fuzhong，YE Jiande，ZHANG Wei
（NARI Group Corporation，Nanjing 211000，China）

Abstract：A new adaptor used to transfer GB 2015 coupler to HPC coupler was introduced in order to solve the backward compatibility of conductive HPC. The structure of HPC coupler and the new control pilot circuit using adaptor were both described in this paper. Meanwhile，tests of thermal and mechanical performance of cable assembly using adaptor were conducted. The results showed that the mechanical strength and the temperature rise of terminals of cable assembly using adaptor can meet the requirements defined in relevant standards. And the temperature sensors installed in GB coupler will reflect the overtemperature signalling of vehicle inlet with a little delay. The paper verified the feasibility of the adaptor and solved the compatibility of old and new couplers and will promote the commercial application of HPC technology.

Key words：conductive high power charging; adaptor; cable assembly; tests

0　引言

随着我国新能源汽车产业的不断发展，电动汽车续航里程成为约束行业发展的症结之一。当前国家不断提高电动汽车续航里程要求，结合电池技术的发展现状，电池能量密度提升有限，提高电池容量是可行方案之一。但随着电池容量的增加，在充电电流一定的情况下，充电时长必然增加。为了缩短充电时间，提升出行效率和用户体验，国内外先后开展了大功率充电技术研究[1]。

国外方面，特斯拉已先后建成了 V2 及 V3 代超级充电桩，将充电时长大幅降低；国内方面，由国家电网公司牵头，已先后在北京、常

州和济南等多地开展了大功率充电站示范工程建设。为了适应大功率充电技术的发展，同时解决 GB/T 20234.1—2015 充电连接装置[2]的相关问题，突破该标准充电电流的限制，国家电网公司会同国内多家主流连接器制造商进行了大功率充电接口设计，解决了大功率充电接口的向前兼容问题，同时为示范工程的建设、大功率充电技术标准制定及后续大功率充电站的商业化运营奠定了基础。

1 HPC 物理接口

1.1 HPC 充电接口定义

当前国际上对大功率充电尚无统一定义，行业内普遍认为超过一定充电倍率[3]的充电方式可称为大功率充电。充电倍率与充电电流成正比，与电池容量成反比，为了提高充电倍率，需提高充电电流或降低电池容量。目前国家不断提高电动汽车续航里程要求，并根据续航里程制定了不同的补贴标准。结合当前电池技术的发展水平，提高电池容量是增加电动汽车续航里程的有效方式之一。因此，在电池容量提高的前提下想要提升充电倍率，势必要提高充电电流。

目前市场上在用传导式直流充电接口满足 GB/T 20234.1—2015 及 GB/T 20234.3—2015 标准要求（以下简称 GB 2015 直流充电接口），GB/T 20234.3—2015 明确规定该接口的适用范围为直流额定电压不超过 1 000 V，额定电流不超过 250 A[4]。为了进一步提高充电电流，提升充电倍率，缩短充电时长，亟需开发满足大功率充电技术的大功率充电接口，设计大功率充电控制导引电路，并在 GB/T 27930—2015 中增加大功率充电相关报文。

经中国电力企业联合会与日本 CHAdeMO 协会商议，大功率充电接口统一命名为 ChaoJi。通过 ChaoJi 接口，可以连接大功率充电机与支持大功率充电的电动汽车，起到电气线路的连接和断开作用[5]。图 1 展示了 ChaoJi 充电接口的端面及各接触对的定义，与 GB 2015 直流充电接口相比，ChaoJi 充电接口取消了原先的 A+及 A-辅助电源触头，由原先的 9 触头减少至 7 触头，同时调整了 CC1、CC2、S+及 S-触头布置方位，整体尺寸更小。ChaoJi 充电接口的设计目标是额定电压不超过直流 1 500 V，额定电流不超过 800 A。

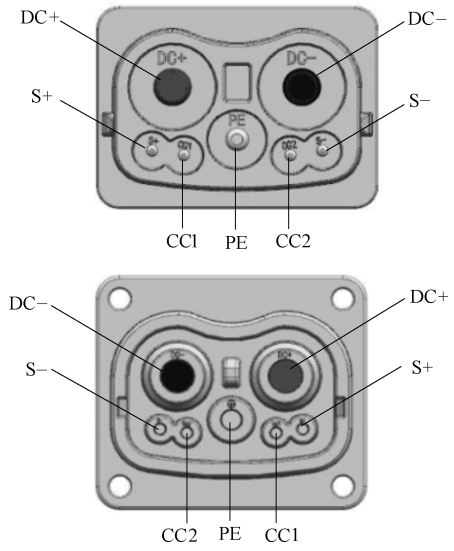

图 1 ChaoJi 充电接口端面

Fig. 1 Boundary of ChaoJi coupler

1.2 充电连接方式

目前市场上在运直流充电设备大部分为普通充电机，配备 GB 2015 直流充电接口。随着支持大功率充电技术电动汽车及大功率充电机的出现，市场上将出现普通充电机（Normal Power Charger，NPC）、普通电动汽车（NPC Vehicle）、大功率充电机（High Power Charger，HPC）和支持大功率充电的电动汽车（HPC Vehicle）四者并存的现象。鉴于目前普通充电机与普通电动汽车的保有量，四者势必会在一段时间内共存，如图 2 所示。如何相互兼容，提高充电机利用率和充电效率值得研究。

针对图 2 出现的组合模式，新建 HPC 充电机配备 ChaoJi 与 GB 2015 两种充电接口能够兼容 HPC Vehicle 与 NPC Vehicle。对于已建成的 NPC 充电机，HPC Vehicle 如何与 GB 2015 充电枪进行连接成为亟需解决的问题。本文介绍了一种将 GB 2015 充电接口转换为 ChaoJi 充电接口的转换器，并对连接组件的温升、结构强度进行了试验和仿真，解决了 HPC Vehicle 与 NPC 之间的兼容问题。

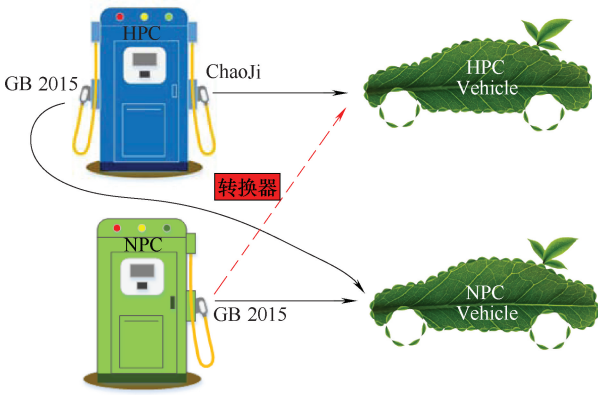

图 2　大功率充电与普通充电的兼容

Fig. 2　Compatibility of HPC and NPC

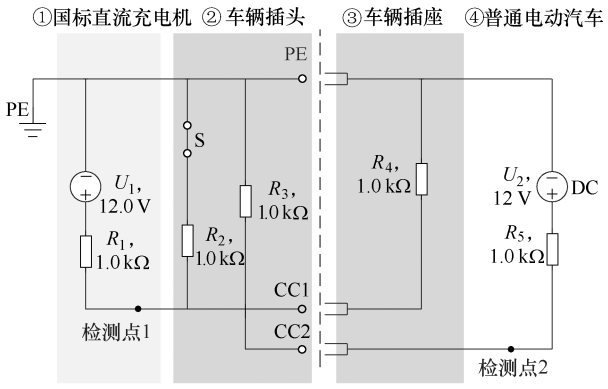

图 3　GB 2015 控制导引电路图

Fig. 3　GB 2015 control pilot circuit

1.3　控制导引电路功能及原理

图 3 为 GB 2015 控制导引电路图[6]，图 4 为使用转换器连接 GB 2015 充电接口和 HPC Vehicle 的控制导引电路图。图 4 与图 3 相比，支持大功率充电电动汽车的控制导引电路在车辆侧进行了以下改进，在图 4 中用点画线框标示。

1）由于使用转换器，为保证确认连接后，CC1 电压仍为 4 V，改变了 R_4 电阻值，并增加电阻 R'_4。

2）为与 CCS 充电方式兼容，增加二极管 VD_1。

3）增加可选开关 S_2。

转换器在物理上实现了将 GB 2015 充电接口转换为 ChaoJi 接口，内置的电阻 R' 与 R'_c 解决了旧版导引电路与 HPC Vehicle 的兼容问题。针对不同类型充电机（CHAdeMO 或 CCS），只需改变转换器内 R' 与 R'_c 的电阻值，即可实现充电兼容。

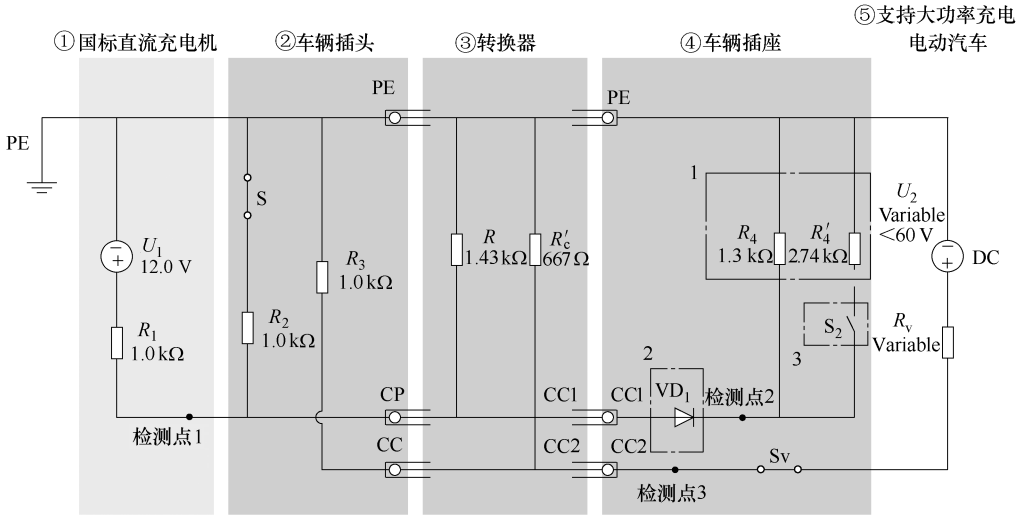

图 4　使用转换器的控制导引电路图

Fig. 4　Control pilot circuit adapted for GB 2015 using adaptor

使用转换器的充电流程如图 5 所示。充电机端的充电流程遵守 2015 版国标，支持大功率充电的电动汽车由于增加了充电预约功能，流程上增加了睡眠/待机及唤醒过程。同时，由于该电路在设计时兼容考虑了 CHAdeMO 及 CCS 充电方式，因此在判别检测点 3 的电压后，会对通信协议类型进行判断，以识别充电机的类型。

在充电阶段，各检测点参数及开关状态如表 1 所示。

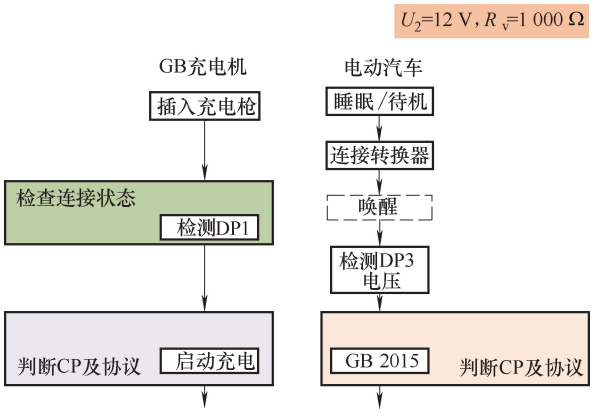

图 5　充电流程图

Fig. 5　Charging procedure

表 1　各检测点参数及开关状态

Tab. 1　Parameters of detecting points and switches

参数	额定值	最小值	最大值
DP_1/V	5.99	5.47	6.55
DP_2/V	5.29	4.79	5.85
DP_3/V	12.00	11.40	12.60
开关 S_2	闭合		
开关 S_v	分开		

2　热性能分析研究

2.1　试验对象及仪器

为了评估使用转换器后连接组件的热性能，搭建图 6 的试验环境对连接组件进行温升试验。

图 6　连接器组件温升试验台

Fig. 6　Temperature rise test platform for cable assembly using adaptor

试验仪器如表 2 所示。

表 2　试验仪器

Tab. 2　Experiment instruments

序号	名称	规格型号	参数
1	直流温升测试系统	Ametek 电源	输出 0~10 V 0~800 A
2	Omega 热电偶	K 型	500 ℃ f. s.
3	加热器	朗歌 STG-2 000 W	输出 0~300 V 0~2 000 W
4	温度采集单元	HIOKI LR8510	–
5	无线数据记录仪	HIOKI LR8410-30	–

目前 ChaoJi 充电接口及转换器处于设计验证阶段，示范工程使用的测试样品及实验室试样均为 3D 打印件。本次试验的试验对象如表 3 所示。

表 3　试验对象

Tab. 3　Test objects

序号	仪器名称	电气参数	备注
1	GB 2015 连接器组件	DC+/DC-截面积 70 mm^2，长度 5 m	–
2	转换器	ChaoJi 侧 DC+/DC−接触对截面积 10 mm^2	3D 打印件
3	ChaoJi 插座	–	3D 打印件
4	ChaoJi 测试工装	–	–
5	车端电缆	长度 2.5 m 截面积 95 mm^2	–

2.2　试验环境及准备

依据 IEC 62196-3-1 标准[7] 中对大功率连接器组件的试验要求，试验分两组进行，分别为 GB 2015 充电枪、转换器和 ChaoJi 充电插座连接组合的正常温升试验；以及 GB 2015 充电枪、转换器和 ChaoJi 测试工装连接组合在过热故障下的异常温升试验。正常温升试验目的在于验证使用转换器后，在规定试验电流下，充电枪、转换器及充电插座内端子温升是否不超过 50 K[8]，且各测点最高温度不超过 95 ℃。异常温升试验目的在于验证当车辆插座侧发生局部过热故障，同时车辆插座内温度传感器失效时，充电枪内的温度传感器应能探测到插座端的温度变化，及时降低充电电流或停止充电，防止意外情况发生，具备为车辆提供后备保护的能力。两种连接方式温度传感器

的分布及连接组合实物图分别如图 7、图 8 所示。

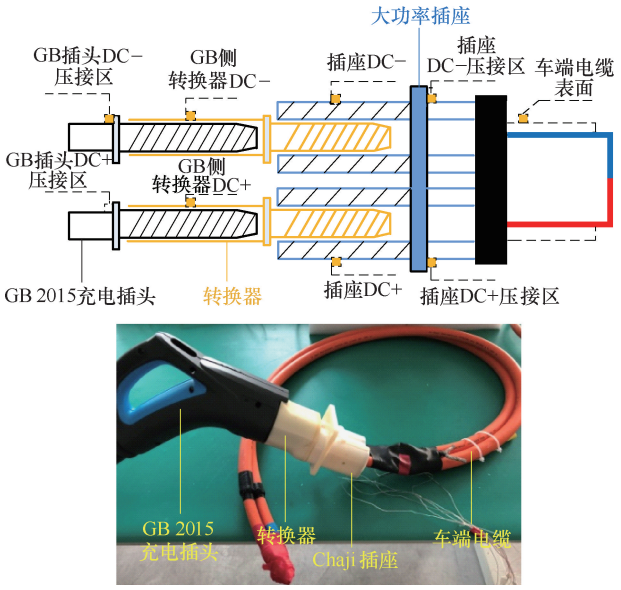

图 7　充电插头、转换器和 ChaoJi 插座连接组合测试

Fig. 7　Cable assembly using GB connector, adaptor and ChaoJi inlet

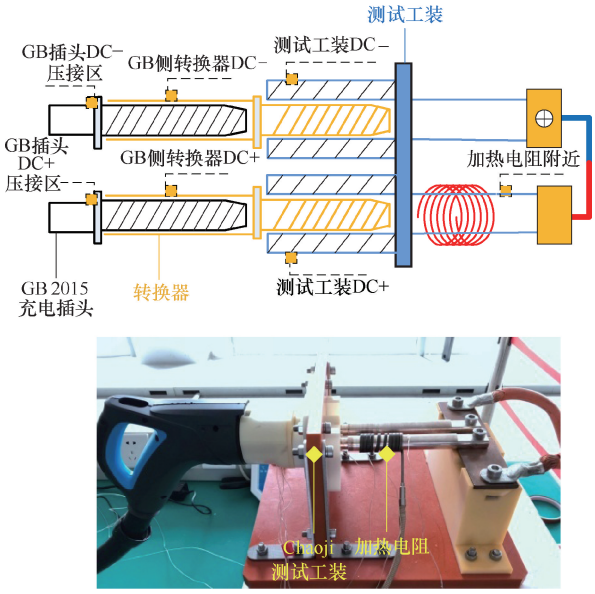

图 8　GB 充电插头,转换器，ChaoJi 测试工装连接组合测试

Fig. 8　Test gauge for cable assembly using GB connector and adaptor

试验在环境温度为 21.5 ℃的室内进行，设置温度采集单元的采样间隔为 10 s。鉴于国家电网公司当前在运充电设备以 60 kW 一体式充电机、120 kW 双枪分体式充电机居多，输出电压范围为 200~500 V，额定输出电流分别为 120 A 和 240 A，而 120 kW 双枪分体式充电机在两辆车同时充电时最大输出电流仍为 120 A。结合以上工程实际，选用直流 125 A 作为试验电流，设置直流温升测试系统输出电流为 125 A，启动试验。

2.3　试验结果分析

正常温升试验如图 9 所示。由图 9 可见，

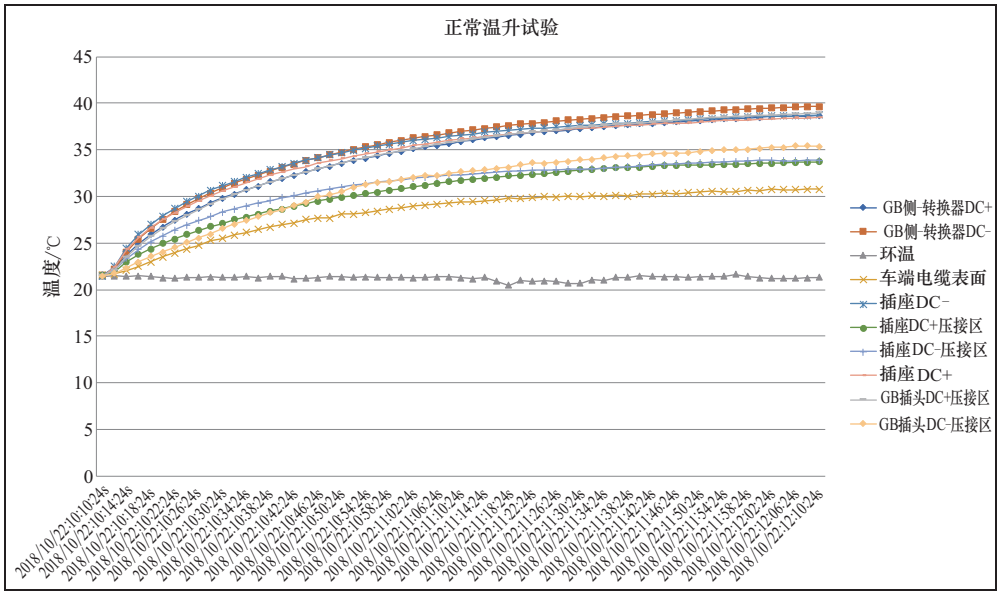

图 9　正常温升试验

Fig. 9　Temperature rise test

在 125 A 测试电流下，2 h 后各测点均已达到热平衡（连续 3 次，间隔 10 min 测得温度变化小于 0.1 ℃）。GB 侧转换器 DC+/DC−上的测点温度较其他部位温度高。温度最高点为 GB 侧转换器 DC−位置，温度为 39.65 ℃，低于标准要求的 95 ℃，温升为 18.15 K，小于标准要求的 50 K。由此可以得出：使用转换器后，在直流 125 A 充电电流下，连接器的端子温升能够符合标准要求。

图 10 为连接方式 2 的异常温升试验，试验在各测温点达到热平衡后进行。手动设置加热器的输出为 45 V/300 W，11：25：34 位于测试工装 DC+上的加热电阻开始工作，模拟局部过热故障。从图 10 各测点的温度变化趋势明显可见：在该加热功率下，各测点约在 50 min 后，温度再次达到稳定，且最高温度点未超出允许温度 95 ℃。12：15：14，设置加热器的输出为 60 V/400 W，在 12：19：14，插座处测点的温度已达到 94.55 ℃，达到标准最高允许温度，试验终止。

经分析图 10 的温度变化趋势，可以得出以下结论：

1）使用转换器，发生局部过热故障时，车辆插座及充电枪内的温度传感器均会发生温度突变，且两者变化趋势相同。由于距离局部过热点较远，充电枪内测温点温度的突变幅度小于车辆插座内测温点的温度变化，且两者的温度差 ΔT 并不呈线性关系。

2）由于距离局部过热点较远，充电枪内测温点温度的突变略滞后于车辆插座内的测温点，但因为铜导体的良好导热性，该滞后 Δt 并不明显。

3）使用转换器后，若局部过热的程度较小，连接组件仍能在一定的环境温度下达到热平衡，同时端子的温度及温升并不会超出标准要求。

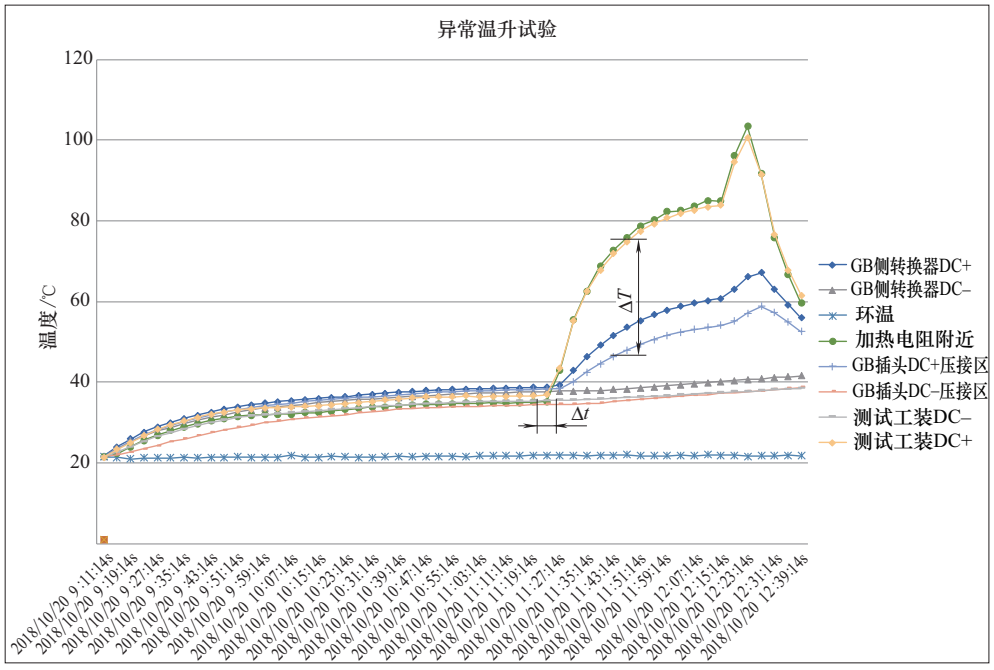

图 10　异常温升试验

Fig. 10　Over temperature signaling test

3　结构强度分析

3.1　连接组件模型建立

考虑试验对象的材质，采用仿真的方法进行结构强度验证。当使用转换器时，充电插头与插座由直接连接变为间接连接，连接形态如图 11 所示，插头侧物理连接长度增加。若在插头侧相同位置施加相同的力，使用转换器后

对车辆插座的作用力矩更大，为评估使用转换器后对连接端面及车辆插座的影响，利用 Solidworks[9] 建立了充电插头、转换器和车辆插座的三维模型，采用 ANSYS[10] 对充电接口的受力进行分析，验证使用转换器的充电连接组件能否满足强度设计要求。

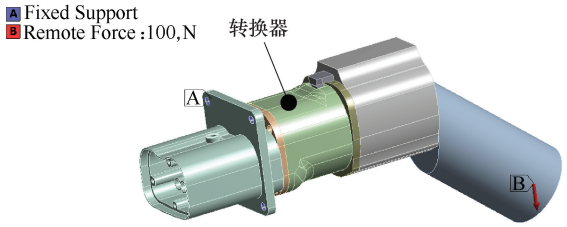

图 11　充电接口简化模型

Fig. 11　Simplified model of charging coupler

为了减少有限元分析的工作量，对充电接口模型进行合理简化，去除模型中的细小特征。

3.2　连接组件的静态分析模型

将简化好的三维模型导入到 ANSYS 软件中，定义充电接口材料为尼龙，并作以下假设：①材料方向为各向同性；②考虑模型重力；③变形为小变形。材料主要参数如表 4 所示。

表 4　材料参数表

Tab. 4　Parameter table of material

序号	材料	弹性模量 E /Pa	泊松比 μ	密度 ρ /(g/cm^3)	屈服强度 R_e/MPa
1	尼龙	8.5E9	0.4	1 540	148

对装配体进行分析，采用以六面体单元为主的自动网格划分方法，最大单元尺寸为 3 mm，单元总数为 120 980 个。对于单个零件分析，采用四面体网格自动划分方法，最大单元尺寸 1.5 mm，局部细节 0.5 mm，转换器壳体单元总数 114 776 个，车辆插座壳体单元总数 63 758 个，装配体网格划分如图 12 所示。

对 ChaoJi 插座的 4 个安装螺栓孔进行 *XYZ* 方向全约束（见图 11 位置 A），在 GB 充电枪尾部位置（见图 11 位置 B）施加 100 N 垂直向下的作用力，分析转换器及 ChaoJi 插座的受力情况。

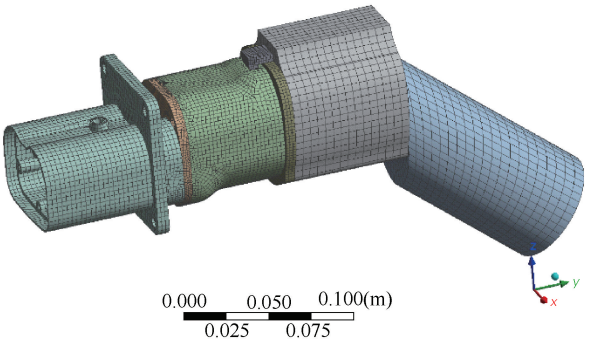

图 12　装配体网格划分图

Fig. 12　Meshing diagram of the model

3.3　仿真结果分析

转换器的应力分布如图 13 所示。最大应力约为 51 MPa，发生在 GB 插座沟槽位置，材料为尼龙，安全系数 $S=148/51=2.90$。

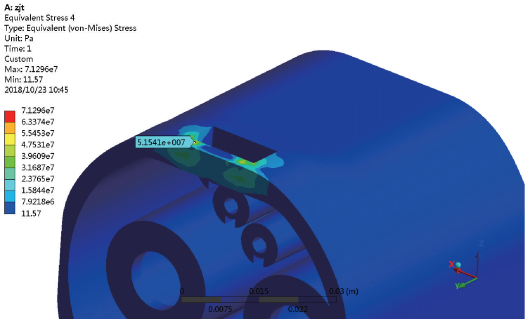

图 13　转换器应力分布图

Fig. 13　Stress distribution of adaptor

ChaoJi 插座的应力分布如图 14 所示。最大应力约为 25 MPa，发生在安装螺栓孔位置，材料为尼龙，安全系数 $S=148/25=5.92$。

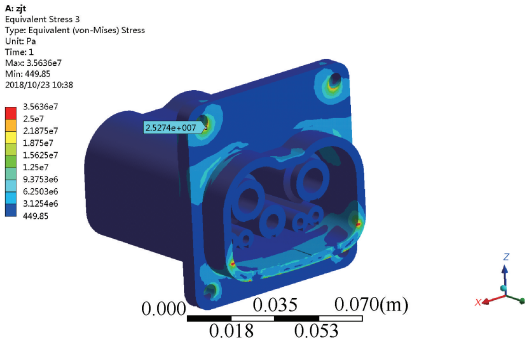

图 14　HPC 插座应力分布图

Fig. 14　Stress distribution of Chaoji inlet

从以上仿真结果分析可得出：使用转换器时，转换器及 ChaoJi 插座的最大应力为 51 MPa 和

25 MPa 左右，分别发生在转换器 GB 插座沟槽位置和 HPC 车辆插座安装螺栓孔位置，安全系数均大于 1，能够满足强度设计要求。

4 结束语

本文介绍了大功率充电接口的端面，并对使用转换器的连接组合，从控制导引电路设计、热性能以及结构强度方面展开了研究，结果表明：

1）在直流 125 A 测试电流下，使用转换器连接组件的端子温升能够满足标准要求。

2）使用转换器，在发生局部过热故障时，车辆插座及充电枪内的温度传感器均会发生温度突变，且两者变化趋势相同。由于距离局部过热点较远，充电枪内测温点温度的突变幅度小于车辆插座内测温点的温度变化，但两者的温度差 ΔT 并不呈线性关系，同时充电枪内测温点温度的突变略滞后于车辆插座内的测温点。

3）使用转换器，若局部过热的程度较小，连接组件仍能在一定的环境温度下达到热平衡，同时最高温度点的温度和温升并不会超出标准要求。

4）使用转换器的连接组件，当在 GB 充电枪尾部施加 100 N 作用力时，转换器及 ChaoJi 插座承受的最大应力为 51 MPa 和 25 MPa 左右，分别发生在转换器 GB 插座沟槽位置和 ChaoJi 插座安装螺栓孔位置，安全系数均大于 1，能够满足强度设计要求。

文本主要对转换器在初态下的热性能、结构强度进行了分析，考虑到转换器的特殊结构，在任何状态下保障充电安全尤其重要。如经过一段使用时间后，在磨损状态下的热性能以及考虑在高温、低温环境下的性能值得进一步研究。**EA**

参 考 文 献

[1] 李杨，李川，黄炘，等. 我国发展电动汽车大功率充电技术前景研究与分析［J］. 电工电气，2018（5）：1-6.

[2] 电动汽车传导充电用连接装置第 1 部分：通用要求：GB/T 20234. 1—2015［S］.

[3] 宋怀河，杨树斌，陈晓红. 影响锂离子电池高倍率充放电性能的因素［J］. 电源技术，2009，133（6）：443-447.

[4] 电动汽车传导充电用连接装置第 3 部分：直流充电接口：GB/T 20234. 3—2015［S］.

[5] 桑林，徐洪海，管翔. 电动汽车交流充电接口控制导引电路试验设计［J］. 电测与仪表，2013（2）：119-122，127.

[6] 电动汽车传导充电系统第 1 部分：通用要求：GB/T 18487. 1—2015［S］.

[7] Plugs，socket-outlets，Vehicle connectors and vehicle inlets- conductive charging of electric vehicles part 3-1：vehicle connector，vehicle inlet and cable assembly intended to be used with a thermal management system for DC charging：IEC 62196-3-1［S］.

[8] 工业用插头插座和耦合器第 1 部分：通用要求：GB/T 11918. 1—2014［S］.

[9] 赵罘，杨晓晋，赵楠. SolidWorks 2018 中文版机械设计从入门到精通［M］. 北京：人民邮电出版社，2018.

[10] SAEED MOAVENI. 有限元分析—ANSYS 理论与应用［M］. 4 版. 北京：电子工业出版社，2015.

作者简介

孙 远

孙远（1987—），男，硕士，工程师，从事电动汽车充换电设施检测技术研究。

（收稿日期：2020-01-17）