

电动汽车直流充电接口端子温升的影响因素研究

周雪林

(南京康尼新能源汽车零部件有限公司 江苏 南京 210046)

摘要: 本文为研究电动汽车直流充电的安全性问题,采用试验的形式对接口端子的升温情况进行分析,指出线缆横截面积及线路搭接方式与直流充电接口端子温度变化的关系。试验表明:直流充电接口温升与线缆横截面积呈反比关系,当流通线缆的电流保持恒定时,横截面积越大温升越小;直流充电接口端子温升与压接情况有显著相关性,压接压缩比与温升幅度呈反比关系,当压接压缩比欠佳时温升明显;高温度及高湿度环境下会加速端子连接处铜丝的氧化,导致连接处连接电阻增大,从而加剧产品端子的温升速率。对此,电动汽车直流充电接口设计中需合理选择线缆横截面积及压接方式,确保端子温升在安全区间内,保证电动汽车充电的安全性及可靠性。

关键词: 电动汽车; 直流充电接口; 端子温升; 压接方式

0 引言

近些年,电动汽车成为解决全球能源危机、缓解环境恶化的主要方式之一。根据电动汽车市场调研情况,发展电动汽车是我国及世界汽车发展的必然趋势,其发展速度取决于充电基础。在目前新能源充电设施还不够完善的情况下,如何在确保安全的前提下提升充电效率,获得更多用户的认可成为新能源电动汽车的迫切考虑的问题,所以应加强电动汽车充电系统的设计,消除因发热问题而引发的安全事故。

直流充电接口是电动汽车充电系统的重要组成部分,在电动汽车的持续普及下,直流充电接口受到广泛关注,确保充电安全成为充电系统研究的核心内容。大量试验表明,直流充电接口与安全性能与温升程度有关,分析直流充电接口端子温升及耐燃问题成为该领域研究的重点。

1 电动汽车直流充电接口工作原理

电动汽车直流充电是有线充电的一种,该充电模式也被称为接触式充电。直充模式(接触式充电)是现阶段选择最多,应用最广的方式^[1]。接触式充电接口按照国标要求,电动汽车直流充电接口包括 9 个触头,直流充电接口构成见表 1。以非车载充电机为例,其在车辆通讯协议的控制下,借助充电接口对电池进行充电。

表 1 直流充电接口的构成

名称	释义
DC+, DC-	直流电源的正、负极
PE	保护接地
S+, S-	充电通讯
CC1, CC2	充电连接确认
A+, A-	低压辅助电源正负极

2 电动汽车直流充电接口端子温升试验的准备工作

2.1 电动汽车直流充电接口端子温升试验的原理

相对直流充电接口而言,端子温升试验主要测量触头和线缆温升情况,依照国家标准,端子温升与电动汽车充电发热相关,是评价电动汽车充电发热程度的关键性指标。温升试验是在(25±5)℃的环境下进行,线缆通过标准要求的交流电源,间隔 10min 读取温度升高的数值,如果连续三次读数均低于 2K,表明端子的温度处于稳定状态,记录各个阶段端子最大的温度升高数值。

2.2 搭建试验平台

根据现有理论可知,温升数值与电流呈正比关系,因此本文重点对直流电源的正负极触头进行试验。具体方式为:把直流充电接口中直流电源的正负极线缆两端与温升试验平台连接,随后,将热电偶与端子连接,利用耐高温的绝缘胶带固定^[2]。在此基础上,控制试验场所的环境问题,如果温度及湿度表显示

的温度及湿度符合试验要求，则开始温升试验；如果温度和湿度不符合要求，则将室温调整到要求内后再打开温升试验台。温升试验台打开后，设置电流值，并将电源启动，待温升变化的幅度达到稳定后，记录整个试验过程中温度值，然后对不同时段采集到的温度数据进行汇总分析。

3 结果分析

温升试验在 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ 环境温度下进行，按照 GB/T 11918.1-2014 中第 22 章规定的方法进行试验，测试电流使用交流电，测试时，在达到温度稳定状态后，读取温升试验测试电流值（见表 2）。

表 2 温升试验测试电流值

导体横截面积 /mm ²		额定电流值 /A	测试电流值 AC/A
供电插头，车辆插头	供电插座，车辆插座		
25	25	80	80
50	50	125	125
70	70	200	200
95	95	250	250

3.1 端子温升与线缆横截面积的关系

选取电动汽车充电接口端子常见的线缆，其横截面积分别为 25mm^2 、 35mm^2 、 70mm^2 、 95mm^2 ，对不同横截面积的线缆通电流进行温升试验。结论表明，线缆横截面积对端子温升与时间的关系影响不大，但是相同横截面积的线缆中，测试电流越小，端子温升情况越早趋于稳定^[3]。与此同时，在测试电流数值加大时，端子温升持续加大，意味着电动汽车直流充电时，端子温升和电流相关，电流越小，温度稳定时间越短，温升程度越低。为了深入了解端子温升和线缆界面的关系，对电流变化下端子温升与截面积的变化进行研究。

当电流相同时，线缆横截面积增大时，端子温升幅度减小，并且下降的幅度随着时间的推移更加明显^[4]。线缆截面积越小，直流充电接口端子温升会随时间变化温升幅度越大。这意味着线缆横截面积和端子温升之间呈反比关系。

针对不同横截面积和端子温升与测试电流的关系，采用同样的方式进行监测。结论表明，当横截面积相同时，测试电流持续增大，直流充电系统的端子温升情况表现为非线性增大的趋势，并且上升的幅度加大。当测试电流相同时，如果线缆横截面积增大，温升的幅度反而减小。表明横截面积不同的线缆的温升数值与测试电流呈正比关系，这意味着测试电流和直流充电接口端子温升情况呈正比关系。

3.2 高温及高湿的环境对不同材料线缆温升情况的影响

按照标准要求，高温设置 $(55 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，湿度设置为 85%，将试验样品在高温与高湿的环境下通额定电流运行 48h 后进行温升测试，通过试验对高温湿度环境与不同材料线缆温升情况的关系进行研究。数据显示，端子连接处的温度呈现出上升趋势，温升试验开展 2h 以上，待温升趋于稳定，此时插针温度变化幅度较大，距离连接端子较远处线缆表面温度变化不明显^[5]。

结论表明，高温高湿的环境会对电缆裸露的铜丝有影响，长时间的载流、冷热交变会加剧电缆内部铜丝（裸露情况下）的氧化，氧化的铜丝导致端子连接处的连接电阻增大从而加剧产品的温升，因此产品充电接口端子与电缆连接处需要有防护 [满足 IP67 要求（防水，防尘）]，避免裸露铜丝在高温高湿环境下的氧化。同时，对电缆护套为 TPE 与 TPU 两种材

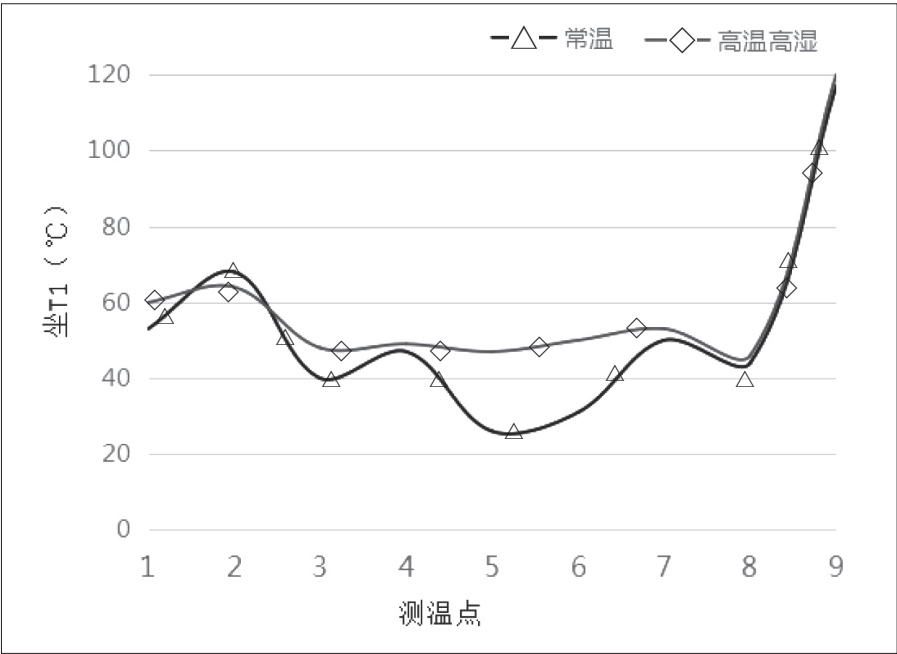


图 1 TPE 充电枪电缆高温高湿及常温试验 1h 温升对比图

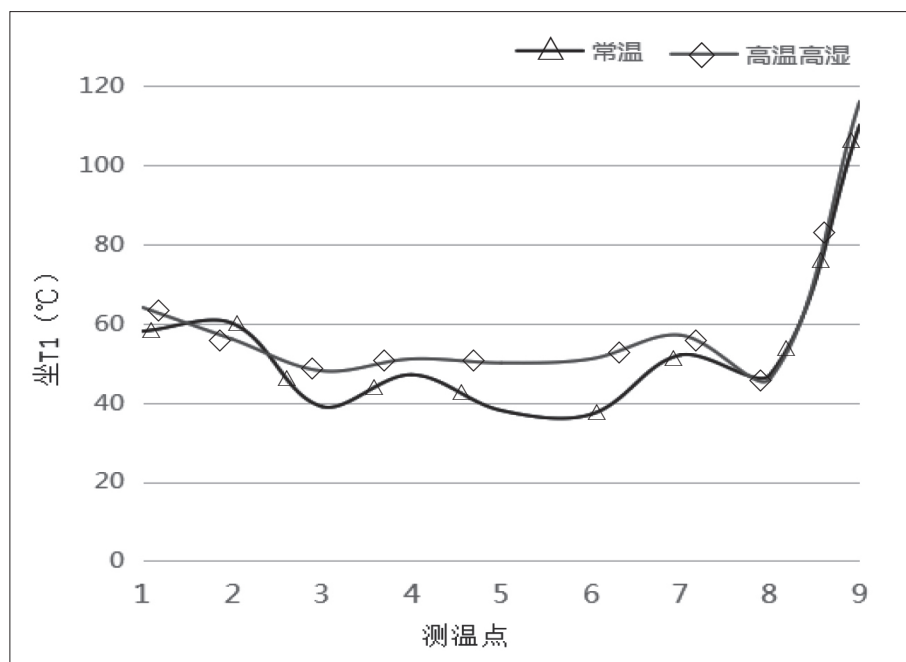


图2 TPU 充电枪电缆高温高湿及常温试验 1h 温升对比图

料进行研究, 分别对 TPU 材质和 TPE 材质线缆进行温升试验。TPE 充电枪、TPU 充电枪电缆高温高湿及常温试验 1h 温升对比图如图 1 和图 2 所示。

根据图 1 和图 2, 高温高湿环境对充电接口端子线缆和线缆表面的温度影响表现为促进作用, 但对内部发热没有显著影响。

3.3 端子压接与温升的关系

试验数据表明, 线缆横截面积相同且测试电流相同时, 端子压接方式不同, 端子温升也存在一定差异。本文选取三类压接方式不同但横截面积相同 (均为 95mm^2) 的样本进行测试。在三个样本中, 第一个样本压接最为紧密 (压缩比 80%), 第二个样本压接相对紧密 (压缩比 60%), 第三个样本压接缝隙最大 (压缩比 40%)。将这三个样本均在电流为 250A 的环境下进行温升试验。三个样本表现出的温升趋势与时间之间表现为非线性增加的关系, 样本的温度在升温 1h 左右趋于稳定。而第一个样本温升数值低于第二个样本和第三个样本, 意味着压接方式也会影响端子温升, 压接位置压缩比 (金相) 越大, 此时温升越低。压接质量影响端子与电缆之间的连接电阻, 连接电阻越大, 温升越高, 因此降低温升通过降低端子与电缆的连接电阻来实现。

3.4 端子温升和机械寿命之间的关系

电动汽车直流充电接口正常使用时会因频繁操作导致触头和壳体位置之间产生摩擦, 让触头支持

磨损产生的灰尘进入触头表面, 从而加大了接触电阻, 让端子温度变高。对此, 对电动汽车端子温升和机械寿命的关系进行分析, 即在相同电动汽车上进行机械寿命前的温升及端子两端接触电阻的温升测试。具体方法为: 先测量端子机械寿命前的温升及两端接触电阻, 随后将充电接口进行 10000 次机械寿命, 再次测量端子温升情况及接触电阻阻值。结论表明, 经过 10000 次机械寿命后, 端子触头电阻增大大约 100 倍, 温升均值比机械寿命前高出 41K。为了避免机械寿命对电动汽车端子温升造成影响, 可在触头工作面增加压纹或更换触头材料。为了得出最优的改善方案, 设计

了四种方案并对比四种方案的效果。

方案一: 采用普通 PMC 材料, 触头直径控制在 10mm, 表面不做压纹处理;

方案二: 采用普通 PMC 材料, 触头直径控制在 8mm, 表面做压纹处理;

方案三: 采用 PT205 材料, 触头直径控制在 8mm, 表面做压纹处理;

方案四: 采用加硬 PMC 材料, 触头直径控制在 8mm, 表面做压纹处理。

对电动汽车充电接口触头位置分别施加四种方案, 结论表明:

(1) 方案一和方案二对端子温升的影响不大, 平均温升改善约为 4.8K;

(2) 方案三更换触头材料后相比方案一温升改善效果明显, 极限约改善 44.8K, 平均温升改善为 24.6K;

(3) 方案四相比方案一温升效果改善的极限值为 35.1K, 平均改善为 22K。

由此可见, 方案三对电动汽车充电接口端子的改善效果最明显。

上述数据表明: 机械寿命对温升影响较大, 采用耐磨的触头材料可减少机械寿命对温升的影响, 同时在端子触头位置增加压纹可在一定程度上降低机械寿命对温升的影响。因此, 建议在增加压纹的同时采取耐磨的材料作为端子触头的设计方案。

4 直流充电接口端子温升的控制

上述问题大部分为质量问题, 此处仅探讨构件未出现故障时如何控制端子温升。在电动汽车产业快速发展的背景下, 电动汽车的充电问题成为重要的研究课题。电动汽车通常采用直流充电模式较多, 该充电模式在充电过程中会让端口产生大量的无功热, 产生的热量与电功率成正比关系, 功率越大热损耗越明显, 热损耗越大^[6]。依照能量守恒定律, 热量需向外释放, 当车辆处于大功率充电条件时, 充电桩及车辆接口连接设施的热量将转移到插口位置, 易引发端子过热的问题, 严重时甚至会引发火灾。

目前, 针对高压连接器及充电连接 400V 的系统下, 充电电路需控制在 250A 以内, 因此无需配置降温的充电冷却装置。与传统直流充电枪相比, 搭配液冷的充电枪可在充电过程中增加冷却管道, 让线缆在充电过程中具备冷却功能, 可解决车辆充电时温度过高的问题, 消除安全隐患。利用冷却液对端子进行散热, 可降低端子温升控制对线缆横截面面积的需求, 保证充电桩到充电枪之间的温度可通过冷却管道释放。冷却接口示意图如图 3 所示。

5 结语

综上, 电动汽车直流充电接口端子的温升和线缆横截面面积相关, 横截面面积越大, 通过电流相同时, 温升幅度越小; 线缆压缩比大小也会影响直流充电接口端子的温升幅度, 压接压缩比越大, 温升数值越低; 高温高湿环境下会加速端子连接处的温升, 但对线缆其他位置的温升影响不大, 且温升受线缆材质的影响较小。因此, 电动汽车直流充电接口设计中需合理选

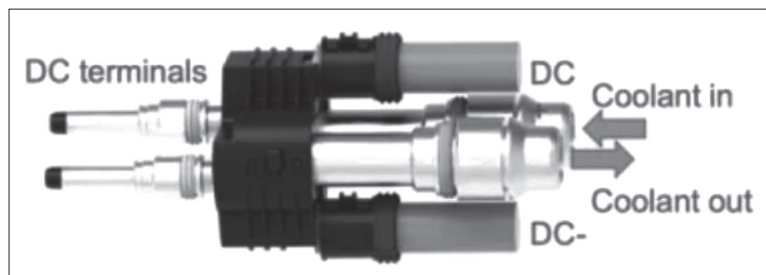


图 3 冷却接口示意图

择线缆横截面积及压接方式, 确保端子温升在安全区间内。此外, 需了解直流充电接口端子发热的原因, 并结合液冷的方式控制端子温升, 在设计方面与原理方面保证电动汽车充电的安全性及可靠性。

参考文献:

- [1] 雷旭, 陈潇阳, 于明加, 等. 基于 SOC 自适应分阶的动力锂电池两步优化快速充电策略 [J]. 中国公路学报, 2022, 35 (08): 65-78.
- [2] 王义, 刘欣, 高德欣. 电动汽车大功率充电设备的多段恒流充电方法 [J]. 电子测量技术, 2021, 44 (24): 20-25.
- [3] 张志刚, 张涛, 汤爱华, 等. 车用锂电池健康状态下快充方法研究综述 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2022, 44 (02): 194-206.
- [4] 高燕万, 王娇娇, 李晓, 等. 老化对电动汽车用充电连接装置性能影响研究 [J]. 汽车电器, 2021 (09): 26-28.
- [5] 孙远, 但富中, 叶建德, 等. 电动汽车传导式大功率充电向前兼容技术研究 [J]. 电气应用, 2021, 40 (09): 50-57.
- [6] 苑景春, 陈加成, 韩振, 等. 电动汽车蓄电池充电制度的研究 [J]. 蓄电池, 2021, 58 (04): 162-166.

作者简介: 周雪林 (1988.02-), 男, 汉族, 山西忻州人, 本科, 工程师, 研究方向: 新能源充电系统。