[电动汽车]

电动汽车中压接端子的工艺研究

文/许继集团有限公司　何其彪　戴启胜　胡新举　张保增

电动汽车在行驶中，连接处经常出现高温报警。通过对压接端子进行灌锡、封胶等处理，并进行振动、湿热、盐雾等试验研究，得出压接部位的应力释放和氧化是导致接触电阻变大的原因，而接触电阻是端子发热的根本原因。试验证明：压接端子通过灌锡处理，能够保证压接端子接触电阻长期稳定，不会随时间明显升高，提高了压接端子在振动、潮湿环境下工作的可靠性。

电动汽车，特别是电动公交汽车在爬坡过程中需要很大的电流，回路中很小的电阻就能产生很多的热量，局部出现高温，高温导致接触部位金属层氧化加剧，更进一步恶化电联接能力，从而进入恶性循环。高温还造成周围绝缘材料老化、熔化、甚至碳化，最终发生短路、拉弧、失火等严重事故。车辆使用过程中受振动、湿热、盐雾、氧化等环境影响，各导电部件，特别是电连接部件受影响最大，造成接触电阻升高，车辆行驶过程中经常出现高温报警等故障。

问题的提出

电动汽车使用蓄电池模组供电，通过串联各蓄电池模组，并通过变频器对车辆电动机供电，带动汽车前进。原理图如图1所示。

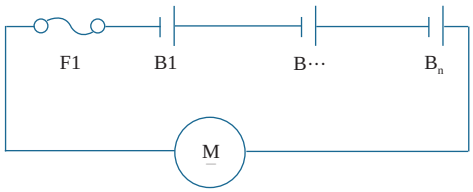


图1　电动汽车原理图

通过并联多个电池单体组成电池模组，实现较高的容量，可以提供更大的输出电流，通过串联多个模组提供较高的电压，满足车辆电气需要。

各电池模组之间以及电池模组与电动机、熔丝之间的连接，目前普遍采用多股铜导线压接OT接线端子的连接方式。通过压接实现导线与接线端子的连接。接线端子与接线柱多采用螺钉拧紧的方式进行固定。如图2所示。

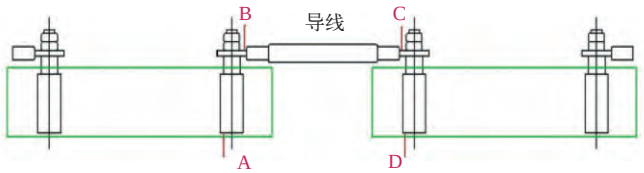


图2　电气联接示意图

注：A、D点为相邻电池模组极柱，B、C点为接线端子

私人电动轿车的工作电流一般在30～150 A之间，电动公交、大巴的工作电流一般在80～350 A之间。由于导线的发热量与电流的平方成正比关系，连接部位的接触电阻成了发热的主要原因。接触部位的接触电阻主要有两个，一是接线端子与铜导线之间压接部位形成的接触电阻，二是接线端子与接线柱之间的接触电阻。后者主要是通过保证接触面积、接触压力，接触件的表面镀层质量予以保证。本文重点研究的是前者，也就是接线端子与接线柱之间压接形成的接触电阻。

车辆大电流工作时对压接端子的接触电阻要求较高。如果压接端子压接部位氧化严重，接触电阻将上升100多倍，发热会很显著。局部温升60℃以上，实际达到85℃以上，远远超过电动汽车安全要求。

在针对电动汽车高温报警的处理过程中发现，出厂时压接良好的接线端子，1至3年后，接线端子连接处高温报警故障普遍发生，已经成为共性故障。为此我们进行了一系列的研究和试验。

问题的分析

导线与压接端子的压接是电缆组装过程中的一种方式，是通过施加一定的机械外力，使两种材料即导线和接线端子间形成一定的塑性变形，从而达到电气导通和牢固接合的目的。压接后的横向剖面如图3所示。

图3　压接剖面图

压接不需要焊料和钎剂，可在高空、井下等无热源和禁用电热工具的特殊环境下采用。可以采用压力机操作，也可以采用压接钳完成，操作方便，人为造成的失效率低，电气连接可靠性高。针对导线压接性能的研究一般是针对压接过程。评定压接质量主要是压接后的接触电阻、耐拉力两个参数以及截面显微观察。只要这三项指标满足要求，就可以认为压接质量得到了保障。这是目前该行业的普遍规范。

压接执行的国内标准有：

（《GB/T 18290.2－2000》）无焊连接 第2部分无焊压接连接 一般要求、试验方法和使用导则；（《GJB 2647－1996》）压接端子和接头总规范；（《GJB 5020－2001》）压接连接技术要求；（《QJ 2633－1994》）模压式压接连接通用技术条件标准；（《QJ 3085－1999》）坑压式压接连接通用技术要求。

国际上同类的标准有：

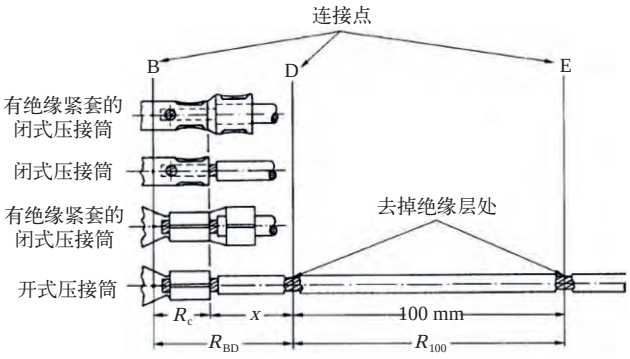
SAE－AS39029，美国军事工业和航空航天标准；DIN EN 60352 T2，国际电工协会标准；DIN EN 2242，欧标端子压接标准。

特殊情况下以设计中确认的指标为执行标准。

目前评定压接质量常用的三项要求：

1．压接后的接触电阻

按照GBT 18290.2－2000《无焊连接第2部分无焊压接连接一般要求、试验方法和使用导则》执行。



$$R_c = R_{BD} - \frac{x}{100} \times R_{100} \qquad (1)$$

注：距离x，推荐为25 mm至100 mm

式中，R_c＝压接连接的接触电阻，Ω；R_{BD}＝连接点B和D之间测得的电阻，Ω；R_{100}＝100 mm导线（D－E）测得的电阻，Ω；x＝压接筒尾端和连接点D之间的距离，mm。

接触电阻由表1规定。

2．压接后的拉脱力

压接完成后测量导线的拉脱力。要求如表1所示。

3．察压接部位显微结构

1）合标准的压接

合格压接端子剖面图如图5所示。

图5　合格压接端子剖面图

接近单股线，几乎没有任何空隙。

2）不符合标准的压接

不合格压接端子剖面图如图6所示。

图6　不合格压接端子剖面图

线芯不能充分靠近，空隙大，存在腐蚀，因为在实际工作中，受振动、潮湿、氧化等因素的影响，接触部位会出现应力释放和氧化现象，造成接触电阻不断提高，最终远远超出标准要求。因此必须跟踪研究压接端子在使用过程中电阻特

表1　拉脱力和接触电阻要求

导线截面积/mm²	电压降试验电流（直流）/A	电压降增量 ΔU（max）/mV				耐拉力（min）/N	电流循环试验		
		初始值		试验值			一个循环内通电时间/min		试验电源 50 Hz/A
		端子	接头	端子	接头		通电	断电	
0.1	2.5	3	5	6	10	25			3
0.2	4.4	2	4	4	8	44			5.5
0.35	9.4					70			11.5
0.5	11					85			13.5
0.75	15					150			18.5
1	18					190			22.5
1.5	25					240			31
2	31					300			38.5
2.5	35					370			43.5
3	39					450			48.5
4	46					560			57.5
5	54					650			67.5
6	59					750			73.5
8	71	1	2	3	6	950			88.5
10	88					1120	30	15	110
16	118					1500			147
20	130					1700			162
25	150					1960			187
30	170					2250			212
35	185					2500			231
40	200					2800			250
45	220					2900			275
50	240					3000			300
55	260					3100			325
60	270					3200			337
65	280					3300			350
70	290					3350			362
75	300					3400			375
80	315					3500			393
85	330	2	4	4	8	3650			412
90	340					3700			425
100	360					3800			450
110	380					3850			487
120	400					3900			500

性的变化，确定接触电阻变化的主要原因，并定量研究不同因素的影响程度。为了深入研究这一问题，我们针对压接端子进行了一系列试验。

试验方法

现场的工作经验已经证明，仅仅采用普通的压接无法保证长期工作的可靠性。针对普通OT端子与电缆的连接有压接和焊接两种方式，我们把两种方式结合起来，通过对压接端子进行灌锡处理来提高接触可靠性。我们设计了灌锡后处理加工方式，并与普通的压接方式进行对比试验。

端子压接是一个金属塑性变形的过程，压接后存在一个应力释放的过程，经过一段时间，金属之间的压力会变小。接触电阻会变大。为了验证这一过程，我们采用振动的方式加快应力释放的进程。

为了试验环境对压接质量的长期影响，我们设计了交变湿热试验和盐雾试验，以加快端子压接部位的氧化进程。

试验程序：

1）加工4根导线，两端压接普通OT端子，然后将2个导线的压接端子进行灌锡处理。

2）测量接触电阻并记录。

3）进行振动试验。

4）测量接触电阻并记录。

5）进行交变湿热试验

6）测量接触电阻并记录。

7）进行盐雾试验。

8）测量接触电阻并记录。

试验样品制作：

1）采用50 mm^{2}多股线缆，OT－50端子，压接4根导线，8个端子。

2）对8个端子测量接触电阻。

3）对2根导线的4个端子，进行灌锡。理。

灌锡处理的过程如下：

加热端子至200℃，涂松香焊剂，然后用电烙铁操作，缓慢向端子内部灌锡。

经过灌锡处理后的压接端子如图7所示。

图7　经过灌锡处理的压接端子

灌锡后，将压接端子沿纵向剖开，如图8所示。

图8　灌锡处理的端子剖面图

从图中可以看出，焊锡渗入良好，端子内部灌锡比例超过80%。

试验过程：

1）测量四根导线压接端子的接触电阻。使用微欧计测量压接端子的接触电阻。

2）然后将四根导线固定在振动台上进行最大3G的扫频振动试验8 h，试验条件如表2所示。

表2　功率频谱密度（PSD）值

频率/Hz	PSD（g^2/Hz）	PSD[（m/s^2）^{2}/Hz]
5	0.05	4.18
10	0.06	5.77
20	0.06	5.77
200	0.0008	0.08

3）再次测量四根导线压接端子的接触电阻。

4）将四根导线放置在湿热箱内进行交变湿热试验。－20～＋55℃之间进行10次温度、湿度组合循环，每次循环为24 h。

5）再次测量四根导线压接端子的接触电阻。

6）将四根导线放置在盐雾试验箱内进行盐雾试验72 h。

7）再次测量四根导线压接端子的接触电阻。

得到数据如表3所示。

从表中可以看出，未进行灌锡处理的压接端子的接触电阻有较大变化。振动之后，由于应力释放，接触电阻提高为原来的约2～5倍。湿热试验是影响接触电阻变化的最大因素，接触电阻提高为原来的约3～20倍，盐雾试验后，接触电阻反而有所下降，这可以解释为由于盐雾腐蚀而消耗了铜表面的氧化层的原因。因为氧化铜的电阻率较高，氧化是导致接触电阻升高的主要原因。而经过灌锡处理的压接端子无论是经过振动试验、湿热试验还是盐雾试验，压接端子的接触电阻都保持稳定。

表3　经过灌锡处理和未经灌锡处理的压接端子的接触电阻值　（μΩ）

		导线1	导线2	导线3	导线4
初始	端子正	5	6	2	3
电阻	端子负	8	9	3	3
振动	端子正	21	13	2	4
试验	端子负	29	47	3	3
湿热	端子正	103	18	2	4
试验48 h	端子负	46	84	3	3
盐雾	端子正	15	10	3	3
试验48 h	端子负	14	15	3	4

注：表1中导线1和导线2两端是没有经过灌锡的压接端子，导线3和导线4为经过灌锡的压接端子

通过灌锡处理，铜导线与端子之间的接触面积变大，减小了接触电阻；同时接触也更牢固，防止因振动和后期应力释放造成的内部松动；灌锡处理可以消除压接端子内部多股铜导线间的微小气隙，彻底杜绝空气中水汽、氧气的腐蚀。

在300 A的电流条件下，当接触电阻为100 μΩ时，产生的热量为9 W，足以让端子压接处产生较大的温升。在实际工作中，我们发现有些使用2年后端子的接触电阻最大可以增加到300多μΩ，使连接处产生85℃以上的高温。我们曾经遇到两次大面积的压接端子高温报警现象，通过对压接端子进行灌锡处理后，在随后的使用过程中运行稳定，未发现压接端子再次出现发热现象。

结束语

电动汽车主回路大电流压接端子压接应保证以下几点要求：端子材料为纯铜，端子孔缝用银钎焊焊接（管型端子不必焊接），不能用开口端子。表面处理要求为镀锡或镀银。压接时采用专用压力机和专用模具进行压接，压接力满足要求，压接后焊缝不能开裂，并进行拉拔力测试检验、接触电阻检验。

压接部位灌锡。样品剖开检查，要求压接部位内部至少80%充满锡而不是仅仅端部有锡。现场没有条件灌锡的可以用锡炉进行蘸锡处理，蘸锡时间6 s秒即能满足要求。EA

（收稿日期：2015.01.27）

（编辑：白文亭）