铆接技术在城轨变流器柜体中的应用

谢建良，张连凯

城市轨道交通装备行业竞争愈演愈烈，性能卓越、环保、节能减排是行业发展的方向，重量轻则耗能低，无污染则关乎健康，故环保、轻量化设计是必然趋势。同时，用户对美的需求日益提升，不仅注重产品的基本功能，而且越来越关注产品的外观质量，外观质量提升关乎产品整体档次的提升。

作为轨道车辆装备核心部件的变流器，其柜体传统制作工艺是采用3mm及以下不锈钢板拼装焊接而成，不锈钢密度大，柜体重。此外，部件之间连接采用焊接，柜体内部大量采用焊接螺母、焊接螺柱结构，在焊接过程及冷却后，不均匀的温度场使板件产生焊接应力、焊接变形，这些难以精确调平的焊接变形严重影响产品外观质量。实现轻量化就需要采用轻质材料替代不锈钢。铝合金密度小，强度高，抗冲击性能及耐腐蚀性良好，是理想的轻量化替代材料。目前，铝合金的连接工艺有焊接、铆接等。然而，铝合金焊接易产生气孔、咬边、裂纹、未熔合、未焊透等诸多缺陷，而且焊接接头软化严重及焊接变形大，这些缺陷将引起局部应力集中，严重影响焊接接头的疲劳强度。

铆接相对于焊接，变形小，无需打磨，绿色环保，作业环境要求低，连接强度稳定可靠，能适用于结构复杂的各种金属之间的连接，尤其适合薄板之间的连接。铆接能够满足铝合金连接的需要，同时具有较好的质量及较长的使用寿命。

一、铆接应用性能

铆接有拉铆和压铆。两者对安装空间、设备的要求不同，使用的场合也不同。

1. 拉铆

拉铆是在铆接过程中，铆接件在外界拉力下，发生塑性变形，靠变形部位夹紧基材实现可靠的连接，主要有抽芯铆钉、环槽铆钉、拉铆螺母等连接方式。

（1）抽芯铆钉是一类单面连接用的铆钉，使用专用拉铆枪进行铆接。铆接时，铆钉钉芯由专用铆枪拉动，使铆体膨胀，起到铆接作用（见图1）。这类铆钉特别适用于单面操作的场合，适合于铭牌、标牌、门密封框、盖板等铆接。

（2）环槽铆钉由钉体和套环组成，用于结构连接。铆接时，先将钉体插入被连接件孔中，再从被连接件另一面将套环套在钉体上，然后用专用环槽铆钉枪枪头套在钉体尾部，并抵住套环端面，按下扳机，铆钉枪将套环挤压到钉体凹槽使套环和钉体形成100%的结合，产生永久性紧固力，从而把被连接件铆接紧固（见图2）。用于柜体侧板、顶板等框架及吊耳的铆接。

（3）铆螺母是一种能实现铆接和螺母连接两种功能的铆接形式（见图3），有平头、小头、沉头、六角、半六角等种类，分为有通孔的或者不通孔的；单面铆接，装配可靠，基材无变形，替代焊接螺母用于薄板结构，以避免薄板焊接变形。值

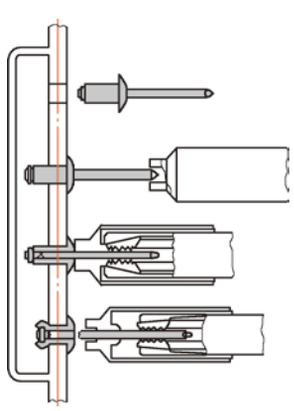


图1　抽芯铆钉铆接过程示意

得一提的是，六角铆螺母因具有良好的防转动功能而被广泛使用。

铆螺母的材料主要有碳素钢、不锈钢、铝合金等。碳素钢材质铆螺母均为优质碳素钢08F，表面采用Fe/Ep.Zn5.c 2C防护层。主要性能对比见表1。

螺母铆接时需使用专用铆枪，依靠铆枪螺杆转动拉动铆螺母，使其发生纵向压缩，在端部薄壁区域发生凸起变形，夹紧被铆接件实现铆接连接（见图4）。

2. 压铆

压铆是在铆接过程中，在外界压力下，压铆件使基材发生塑性变形，基材被挤入螺母（柱）防拉沟槽及防转齿槽，使螺母（柱）具备防转和防拉能力，实现可靠的连接，主要有压铆螺柱、压铆螺母。此种连接方式要求压铆件的强度大于基材的强度，铜合金、铝合金、普通碳素钢等板材适合于压铆螺母（柱）压接，不锈钢板材上不适合压铆螺母（柱）。

二、力学性能试验

铆接结构中的铆接件主要承受横向剪力、纵向拉力，通过试验验证抽芯铆钉的拉伸、剪切、钉头保持、钉芯断裂能力，环槽铆钉的剪切、拉脱力及铆螺母的剪切、保持载荷、抗转动、抗破坏的能力。

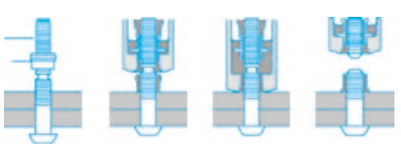


图2　环槽铆钉铆接过程示意

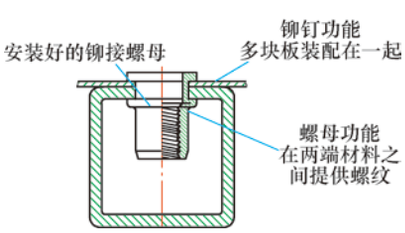


图3　铆螺母的两种功能

1. 拉铆强度试验

（1）试验方法　根据铆接强度试验方法，开展铆接强度试验。试验步骤如下：①铆接操作人员将铆钉铆接在试验工装上（见图5）。②试验人员将铆接好的试验工装安装在液压压力试验机上。③试验人员在液压压力试验机计算机输入相关参数，设定试验速度、铆钉参数等信息。④起动液压压力试验机进行试验，试验完成保存试验数据。

（2）试验结果　抽芯铆钉试验见图6，结果见表2。环槽铆钉试验见图7，结果见表3。

六角铆螺母试验见图8，结果见表4。

表1　铆螺母性能对比　（mm）

名称	平头铆螺母	平头六角铆螺母	小沉头铆螺母	沉头铆螺母	120°小沉头铆螺母
不锈钢	✓	✓	✓	✓	✓
碳素钢	✓	✓	✓	✓	✓
铝合金	✓	✓	✓	✓	✓
防水	一般	一般	一般	一般	一般
防转	一般	优	一般	一般	一般
可维护性	差	良好	良好	良好	良好
安装后间隙	有台阶	有台阶	无台阶	无台阶	无台阶

注：1. 铆螺母选用的主要原则是根据头部形状、螺纹规格、板厚、力学性能等方面综合选定。
2. 平头六角铆螺母，防转功能最好；铆接后出现质量问题不方便返工。
3. 沉头铆螺母，需要对铆接零件加工沉孔，多增加一道工序。
4. 不通孔铆螺母具有防水密封特性的功能。

表2　抽芯铆钉试验结果

铆钉型号	试验类型	试验平均值/kN
上海飞可斯—开口抽芯铆钉	剪切试验	8.08
上海飞可斯ASF4.8	剪切试验	3.41
	拉力试验	3.44
	钉头保持能力试验	1.30
	钉钉芯拆卸力试验	2.67
	钉芯断裂载荷试验	4.90
上海飞可斯ASF3.2	拉力试验	1.48
	钉钉芯拆卸力试验	1.76
	钉芯断裂载荷试验	2.92
POP AD64	剪切试验	3.84
	拉力试验	3.82
	钉头保持能力试验	0.97
	钉钉芯拆卸力试验	2.78
	钉芯断裂载荷试验	4.18
POP AD43	拉力试验	1.63
	钉芯拆卸力试验	1.67
上海安字（3.2）	钉芯拆卸力试验	1.65
	钉芯断裂载荷试验	2.94

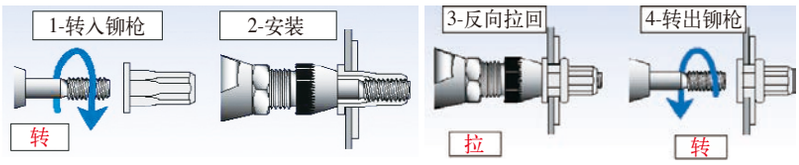


图4　铆螺母安装过程示意

图5　抽芯铆钉铆接在试验工装上

图6　抽芯铆钉拉力试验

表3　环槽铆钉试验结果

型号	试验类型	试验平均值/kN
眉山LMY-T5-5-G	剪切试验	13.21
	拉脱力试验	3.43
眉山LMY-T5-6-G	剪切试验	12.80
	拉脱力试验	4.54
眉山LMY-T5-9-G	剪切试验	14.19
	拉脱力试验	5.44
AVDEL 02611-0603	剪切试验	11.95
	拉脱力试验	5.88
AVDEL 02611-0604	剪切试验	11.78
	拉脱力试验	4.29
AVDEL 02611-0605	剪切试验	12.36
	拉脱力试验	4.70

表4　六角铆螺母试验结果

型号	试验类型	试验平均值/kN
上海锐拓FH-SHB-0420 M4	剪切试验	3.71
	破坏试验	2.00
	转动试验	0.95
上海锐拓FH-IHB-0525 M5	剪切试验	5.05
	保证载荷	11.44
上海锐拓FH-IBH-0630 M6	保证载荷	9.20
上海锐拓FH-IHB-0835 M8	剪切试验	6.98
	保证载荷	9.56
	头部结合力	5.46
	破坏试验	60
	转动试验	7.75
TUBTARA \M6\HUT/ROFG3	剪切试验	9.24
上海飞可斯SFM4hL8	剪切试验	5.74
	破坏试验	2.60
	转动试验	1.65

根据试验标准GB/T 3098.18—2004、GJB382、GB/T17880.6—1999对所选抽芯铆钉、环槽铆钉、六角铆螺母进行了拉力、脱力、剪切等试验验证，符合标准要求。

2. 压铆强度试验

把压铆螺母压铆在铝合金5052-O上，按照试验要求，进行抗推力和扭出力矩试验。

（1）抗推力试验方法　如图9所示，先在螺母下方垫上一套筒，将螺母悬空，再将螺栓套在螺母上用油压机在螺母轴线方向垂直反向施加压力，直至螺母从钢板表面脱离，进行破坏性试验。

（2）扭出力矩试验方法　如图10所示，将螺栓拧入螺

图7　环槽铆钉剪切试验

图8　六角铆螺母接在剪切工装上

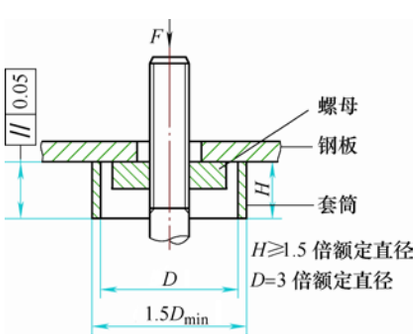


图9　推出力试验

母中，然后用扭力扳手进行破坏性试验。

（3）试验结果　试验数据见表5。

试验结果符合产品标准要求。

三、柜体外观质量对比

焊接需要输入热量，不均匀的冷却会引起零件变形，焊接作业对工人技能要求较高。柜体在焊接时会产生焊渣、飞溅，需进行打磨处理，表面常出现凹凸不平和打磨痕。而采用铆接的产品无焊点，无需打磨，表面质量一致。采用拉铆螺母、压铆螺母代替焊螺母，工件无变形，美观度清晰可见，同时铆接解决了焊接方法不容易实现对异种材料间（如铝与钢,金属与非金属间）的连接，因此，采用铆接、压铆工艺的产品外观质量要高于焊接。焊接柜体和铆接柜体外观对比如图11所示。

四、铆接技术在变流器柜体中的应用

如图12、图13所示，阿尔斯通、庞巴迪等公司在城轨领域产品中广泛应用了铆接技术。我司高压箱产品在顶板蒙皮上采用抽芯铆钉进行铆接，在下一代高频辅变中采用环槽铆钉铆接模块安装架，在上海17号线主变中采用六角铆螺母，这些产品都通过了相关试验，积累了铆接应用的成功经验。

我公司生产的四方新型下

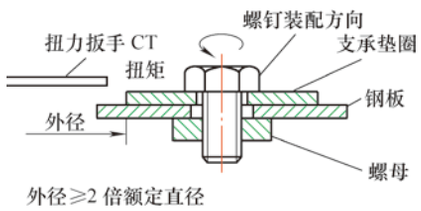
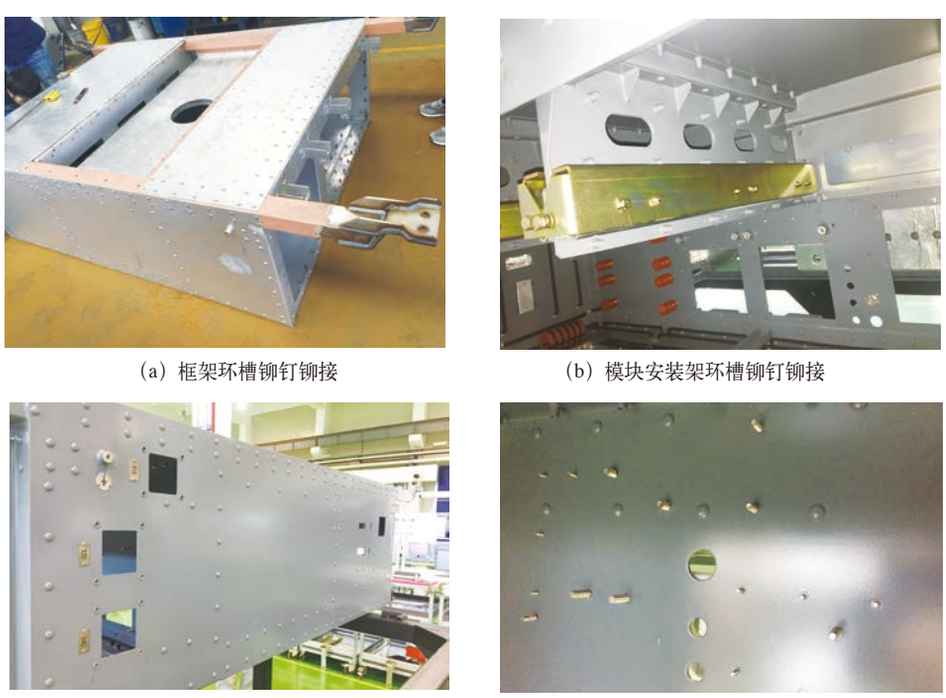


图10　扭出力矩试验

(a)　(b)

图11　焊接柜体和铆接柜体外观对比



（a）框架环槽铆钉铆接　（b）模块安装架环槽铆钉铆接

（c）矩形插头安装用六角铆螺母铆接　（d）扎线杆安装用压铆螺柱

图　12

一代逆变器、辅助逆变器柜体采用铝合金铆接结构，框架之间的加强梁连接以及门搭扣均采用环槽铆钉连接，门框边采用抽芯铆钉连接；矩形插头、顶盖板、MVB盖板安装部位采用六角铆螺母连接；柜体内部扎线杆、扎线排、器件板安装部位采用压铆螺母（柱）、环槽铆钉连接。不锈钢焊接的辅助变流器柜重量265kg，而采用铝合金铆接技术的新型下一代平台辅助变流器柜体，重量为200kg，减重24.5%，轻量化效果明显。同时，新型下一代平台辅助变流器柜体无焊接变形，柜体平整美观，保证了器件的装配精度；矩形插头、顶盖板、MVB盖板采用平头六角铆螺母解决了螺栓紧固导致密封条逸出及过压缩的问题，保证了产品品质。柜体内部扎线杆、扎线排、器件板安装部位采用压铆螺母（柱）、环槽铆钉连接，有效减少了柜体焊缝，保证了柜体侧板的平整度。

(a) 接地螺柱环槽铆钉铆接

(b) 扎线排采用环槽铆钉铆接

(c) 门搭扣环槽铆钉铆接

(d) 加强梁环槽铆钉铆接

图 13

表5 压铆螺母推出力、扭出力矩试验结果

型号	推出力平均值 /N	扭出力矩平均值 /N·m
CLS-M3-2	788	1.61
CLS-M4-0	317	3.12
CLS-M4-1	483	2.76
CLS-M4-2	984	4.28
CLS-M5-0	322	3.16
CLS-M5-1	492	3.81
CLS-M5-2	867	5.95
CLS-M6-0	986	8.28
CLS-M6-1	1586	10.66
CLS-M6-2	1588	14.24
CLS-M8-1	1583	14.12
CLS-M8-2	1594	18.54

五、结语

通过强度试验验证铆接工艺在柜体上应用的可行性及优越性，完全符合设计要求，为后续项目的应用提供借鉴。采用铝合金铆接技术，城轨变流器柜体实现轻量化需求，外观质量显著提升，为铝合金柜体铆接奠定基础。通过项目实施可见，城轨变流器柜体生产中使用拉铆、压铆技术，有效提高生产效率、提高产品质量、改善工作环境、降低生产成本，铆接技术必将在后续的柜体设计生产中得到广泛的应用。

参考文献

[1] 陈民. 薄板连接新工艺——拉铆螺母[J]. 电磁兼容与结构工艺，2007（05）：1.

[2] 葛振杰，谭本旭. 铆螺母在机车上的应用技术[J]. 电力机车与城轨车辆，2007，30（3）：42-43.

[3] 肖贵. 哈克拉铆钉技术在车辆中的应用[J]. 科技经济市场，2010.

作者简介：谢建良，张连凯，株洲中车时代电气股份有限公司。

MW 20170815