



箱沿螺栓焊缝裂纹原因分析及解决对策

俞高波 戴军 楼致远 俞建城

【摘要】介绍了箱沿螺栓与8mm×50mm扁钢材料焊接后焊缝发生延迟裂纹，对其进行原因分析并提出解决措施，满足了焊接质量要求。

关键词：焊缝；裂纹；修复

1. 概述

我公司生产的组合式变压器及箱式变压器油箱，长度方向的箱沿法兰与变压器油接触的洞孔需栽入M12×55mm螺栓，并对螺栓六角端部进行单面焊。因螺栓数量较多，加上是油箱盖板是平板结构且处于油箱最高处，在进行油箱气压和密封试验时，该螺栓端部焊缝成了检查的盲区。自从箱盖带储油柜的结构投入使用后，箱沿螺栓渗漏油的问题也得以暴露。下面就该结构油箱在生产过程中出现的焊接质量问题及解决对策进行详述。

2. 裂纹的产生

按使用螺栓材质不同区分，可分两种情形，一种是Q235扁钢与普通螺栓的焊接，另一种为Q235扁钢与M12×55mm不锈钢螺栓的焊接。由于该裂纹在工件冷却后产生，因此属于冷裂纹。

(1) Q235扁钢与普通螺栓的焊接 普通螺栓分M12×35mm和M12×55mm两种，Q235扁钢

与普通螺栓焊接时，对照焊接接头形式应为角接头，具体形式如图1所示。

这两种材料焊接后产生冷裂纹的现象虽然属于一次偶然的意外发现，但或许在较早时间就已存在。针对产生的问题，我们通过排查，发现是操作工错用螺栓造成的。目前在用的螺栓有4.8级和8.8级两种，图样规定的是4.8级，但操作工领用的是8.8级。我们知道扁钢材料抗拉强度为375~460MPa，8.8级螺栓抗拉强度为800MPa，而采用的E4303焊条熔敷金属抗拉强度为430MPa，按照焊条等强匹配选

用的原则，焊条抗拉强度明显低于螺栓母材的抗拉强度，因此不可避免地产生焊缝的冷裂纹。该裂纹并不是只产生于焊缝表面，而是贯穿于整层焊道，从荧光紫外线探伤试验中可得以证实。具体操作方法是：将箱沿法兰螺栓朝上平放，从六角螺栓端部角焊缝背面孔洞中用小毛刷涂刷荧光液，注意分多次涂，一次不可过多，不要让荧光液流入焊缝表面，待液体自行渗透15min后，翻转箱沿法兰，用紫外外灯具照射焊缝表面，如呈绿色光点表示焊缝有缺陷，试验效果如图2~图4所示。

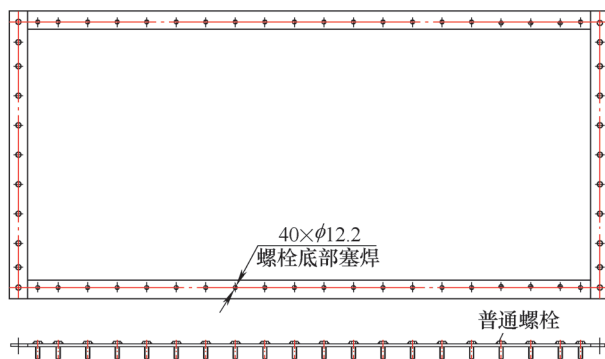


图 1



图 2



图 3



图 4

从上图可看出，箱沿法兰螺栓焊缝质量较差，有的产品合格率不到10%，为保证焊接质量，我们从螺栓进料、贮存及领用等容易出错的环节进行了重点的关注。通过改进，螺栓焊接质量得到了保证。

但这种状况延续不到两周时间，新的问题又产生了。据车间反馈，即使螺栓使用了4.8级，但焊缝出现冷裂纹现象依然存在。此时使用的焊条仍为J422焊条（即E4303型号焊条），焊接冷裂纹如图5～图6所示。

我们最先不知使用该型号的螺栓与上次批号不同，因此在分



图 5



图 6

析问题时没有从螺栓入手，而是从焊接材料、扁钢材料及焊接工艺设备等方面入手，现将这几方面试验结果汇总如下。

首先，焊接材料试验。焊材试验可分酸性焊条和碱性焊条两种。一种是采用同一牌号的E4303型号酸性焊条，但选用的厂家却不同；另一种是采

用E5016型号（即J506）碱性焊条。采用E5016型号碱性焊条焊接螺栓后，无发现螺栓根部有裂纹产生，原因是该型号焊条熔敷金属抗拉强度为500MPa，大于母材螺栓及扁钢材料的抗拉强度，且为低氢型焊条，抗裂性良好。采用E4303型号酸性焊条试验结果如表1所示。

表 1

序号	焊条产地	焊条直径/mm	外型比较	性能比较	备注
1	杭州三潭	3.2~4.0	焊条表面标识不清，末端倒角尚可，同心度可以，但表面药皮有沿轴向开裂缺陷，药皮颜色呈浅灰色，焊条外径6.4mm，焊芯直径3.85mm	起弧差、烟雾较大，有黄烟，Q235钢角焊时局部焊缝疑似裂纹缺陷，成形焊缝呈褐色，末端70mm焊条头发红	沿用多年，不是行业品牌焊材
2	天津金桥	3.2~4.0	焊条表面标识不清，末端倒角尚可，同心度可以，但末端平面有锈迹缺陷，表面药皮局部有沿轴向开裂缺陷，药皮颜色呈暗灰色，表面有浮白现象产生，焊条外径>6.4mm，焊芯直径3.7mm	起弧好、烟雾大，有少量黄烟，焊缝成形好，呈白色，与大西洋同规格焊条比电流稍大，末端70mm焊条头发红，电弧有偏吹现象，脱渣良好	属行业十大品牌焊材
3	四川大西洋	3.2~4.0	焊条表面标识清楚，末端倒角尚可，同心度可以，药皮颜色呈灰色，焊条外径6.1mm，焊芯直径3.8mm	起弧好、烟雾较前者小，弧光清纯，焊缝成形较金桥类似，成形焊缝呈白色，末端70mm焊条头两端发红，中间不明显，脱渣较金桥略差	属行业十大品牌焊材

注：1.本试验仅对市场上随机选购的天津金桥、四川大西洋两种品牌进行试用。

2.通过试验对比，建议优先选用四川大西洋品牌E4303焊条。

3.通过目测及荧光试漏，经大西洋焊材试焊的螺栓，焊接裂纹明显减少，焊接不合格品降到2.5%以下。

其次，扁钢母材试验。由于担心扁钢材料有可能是回炉料加工，因此就用Q235钢板按8mm×50mm扁钢规格进行下料，螺栓选用的是4.8级，焊接材料选用E4303型号酸性焊条。通过试验，螺栓根部无裂纹产生，实物图形如图7~图8所示。



图 7



图 8

表 2

序号	名称	物理性能	化学性能
1	M12×40五彩螺栓	螺栓电镀处理，外部呈彩色，掷地均有清脆的响声	熔池焊缝冷却后有冷裂纹出现，裂纹发生率5%左右
2	M12×40本色螺栓	螺栓未经表面处理，外部附有机加工切削液，掷地有闷声	熔池焊缝冷却后无冷裂纹出现

注：箱沿螺栓采用本色螺栓后焊缝无裂纹产生。

上述酸性焊条采用交流焊机焊接，碱性焊条采用直流焊机焊接，焊接参数均按规定要求实施。从两项试验结果看，尚未找到螺栓根部裂纹产生的真正原因，但至少有一点能说明两项试验都没有从螺栓母材选用方面进行考虑。

为此，我们及时调整了试验方案，重新从螺栓材质选用入手。由于供方提供的4.8级M12×40mm螺栓样品常用的分为五彩和本色两种，通过外观检查该两种规格螺栓物理性能差异见表2所示。

原因分析：由于箱沿螺栓采用的是本色产品，未经表面电镀处理，螺栓表面未有电镀锌层过厚或电镀化学液渗透的现象出现，因而在进行焊接时对熔池金属的化学成分没有产生不良的影响，所以不会产生焊接冷裂纹。

自箱沿焊接螺栓采用4.8级本色螺栓以来，焊缝产生冷裂纹的现象也得到彻底解决。

(2) Q235扁钢与不锈钢螺栓的焊接 不锈钢螺栓也分M12×35mm和M12×55mm两种，焊接接头结构形式与图1相同，焊接母材分不锈钢螺栓和扁钢材料两种，属于异种钢焊接。

因Q235扁钢与不锈钢螺栓为异种钢焊接，且两种母材与变压

器油箱高低压套管部位的异种钢焊接工艺类同，我们也选用了天泰焊材（昆山）有限公司生产的A302不锈钢焊条。考虑到A302焊条以抗裂性能好、成形美观及脱渣方便等优点被广为应用，但用在扁钢与不锈钢螺栓焊接上却产生了焊接裂纹缺陷，焊接冷裂纹如图9~图11所示。

从图9~图11可看出，不锈钢螺栓选用的材料标记为A2-70，是由不锈钢组别和性能等级两部分组成，其释义是“奥氏体钢、冷加工、最小抗拉强度为700MPa”。

我们知道，Q235扁钢的抗拉强度为375~460MPa，A302不锈

钢焊条的抗拉强度为550MPa，但不锈钢螺栓的抗拉强度为700MPa。从上述三种数据可看出，焊接材料的抗拉强度明显低于焊接母材的抗拉强度，不符合焊材等强匹配选用原则，因此也不可避免地导致焊缝冷裂纹缺陷的产生。

从不锈钢螺栓焊接性角度考虑出发，在不降低不锈钢螺栓防锈性能的条件下，为提高不锈钢螺栓的焊接性，避免焊缝焊接冷裂纹的产生，建议选用A2-50规格的不锈钢螺栓。A2-50规格的不锈钢螺栓抗拉强度为500MPa，与A302不锈钢焊条力学性能强度匹配。



图 9



图 10



图 11



硬质合金送丝嘴

何焕洪 荣森

【摘要】设计了一种硬质合金制造的机器人自动火焰钎焊的送丝嘴，提高了送丝准确性和使用寿命，安装可靠。

关键词：硬质合金；送丝嘴；导向孔

我司部分产品的火焰钎焊已批量应用机器人自动焊接，在自动送丝过程中，最前端的送丝嘴是一个非常重要的执行件。火焰钎焊，焊枪喷射出的火焰温度高达1400℃，送丝嘴必须在火焰中穿梭完成送丝；焊丝与送丝嘴内孔不断摩擦，同时，送丝嘴受到助焊剂的强力腐蚀。

送丝嘴作业温度高，腐蚀明显，磨损严重到一定程度就需要更换。因此，送丝嘴的材料性



3. 结语

自箱沿螺栓将A2-50不锈钢螺栓取代A2-70不锈钢螺栓后，在进行异种钢焊接时，箱沿不锈钢螺栓角焊缝产生冷裂纹现象的缺陷也得以消除。

作者简介：俞高波，戴军，三变科技股份有限公司；楼致远，丽水水电局检修公司；俞建城，中国水利水电第十二局有限公司。

MW 20161024

能、制造精度、更换安装在机器人自动火焰钎焊中，就显得十分重要。原来机器人配备的送丝嘴如图1所示，焊丝 $\phi 1\text{mm}$ ，每天送丝量25万mm左右。

此送丝嘴材料为纯铜，耐磨性较差，前端的送丝导向孔 $\phi 1.2\text{mm}$ 、孔长10mm，使用一段时间后，导向孔逐渐磨损。由于圆盘式焊丝本身具有一定的曲率，焊丝一露出送丝嘴，就会出现图2所示的弯曲现象，因而会直接导致送丝点不够准确，焊接质量下降，产生焊接区断焊、缺焊，非焊接区反而堆焊、多焊。

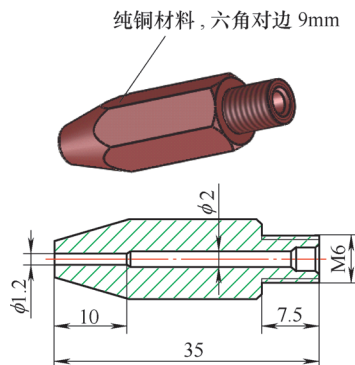


图 1

另外，送丝嘴安装端为M6外螺纹，每次拆卸、安装时，由于拧紧的扭矩、方向不一定完全相同，使得轴向、径向的安装位置存在一定的差异，直接导致送丝点的改变；且M6螺纹内部有 $\phi 2\text{mm}$ 过丝孔，壁薄强度低，非常容易拧断，带来一系列的后续麻烦。

针对此种送丝嘴的缺陷，我们设计了图3所示的送丝嘴。

此特制送丝嘴材料为YG8硬质合金，硬度高、耐磨性良好，耐高温、耐腐蚀。送丝导向孔孔径更加精细、适宜，导向孔长

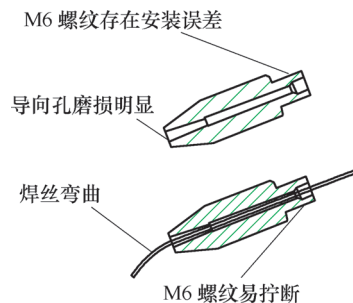


图 2