

无缩口纤维缠绕制品的连接技术

王远东 朱 涛 厉 宁 张 辉

(中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)

摘要 介绍无缩口纤维缠绕制品的连接技术,包括桩挂缠绕、针式桩挂缠绕、端挂缠绕和胶接连接,指出了对存在的问题所应采取的技术措施。

关键词 无缩口 纤维缠绕制品 连接技术 桩挂缠绕 端挂缠绕 胶接

纤维缠绕制品的连接在复合材料制品结构设计中占有重要地位。大量事实表明,合理的连接设计不但能够满足使用要求,减轻结构质量,而且可以延长结构的使用寿命。因此,在某些场合连接甚至还成为产品设计的关键^[1]。纤维缠绕成型是在控制纤维张力和预定线型的条件下,将连续的纤维粗纱或布带浸渍树脂胶液,再按照一定的规律缠绕到芯模上,然后经过固化、脱模获得制品的工艺过程^[2]。纤维缠绕法是生产纤维增强复合材料火箭发动机壳体及航空航天压力容器理想的工艺方法。这类制品一般为两端带有球、椭球或等张力平衡型封头的圆柱壳体^[3],不仅适于纤维缠绕成型也有利于金属接头的包缠连接。而无缩口并承受高内压管状制品的纤维缠绕与连接,则是产品结构设计和成型工艺的瓶颈技术。该类构件在承受内压和附加外力弯矩等载荷作用下,通常会使缠绕壳体与金属接头连接部位这一薄弱环节首先产生破坏而失效。

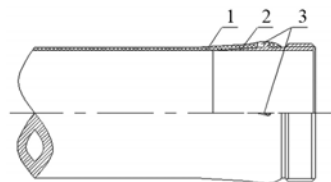
纤维缠绕制品之所以强度高,是由于缠绕时通过改变缠绕角即可实现连续增强纤维在制品主应力方向上的纤维优化分量,这一技术特点既适用于有封头压力容器的缠绕成型,也可通过采取适当的技术措施进行带金属连接件的无缩口管状制品的缠绕成型。笔者主要分析了无缩口管状制品的纤维缠绕壳体与金属接头挂线连接和锥面胶接结构的不同连接方式,并指出了所存在的问题和应采取的技术措施。

1 无缩口纤维缠绕制品连接技术

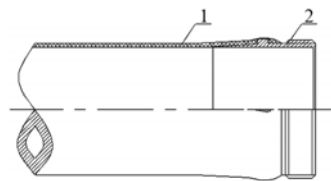
1.1 桩挂缠绕

纤维缠绕成型工艺经常会遇到滑线较严重的情况,特别是采用小角度缠绕无封头制品时,若采用测地线稳定缠绕是无法实现的,桩挂缠绕是阻止滑线的强制措施和有效技术途径。带金属螺纹连接件的无缩口管状制品桩挂缠绕,既可实现连续纤维的小角度缠绕成型而不滑线,又可对金属螺纹连接件进

行有效连接。但是,在进行缠绕线型设计时纱线条数必须与挂桩数量相匹配,同时对挂桩的几何形状要进行优化设计,以利于在缠绕过程中引导每条纱线的准确入位和提高挂桩的刚度、强度及制品连接强度。例如,采用圆柱形挂桩会使两挂桩内侧根部形成空白区(如图 1 所示),使该区域缠绕纤维失去相互约束力而影响增强纤维强度的充分发挥;若按已确定的缠绕角度,将挂桩设计成外端圆滑过渡的菱形结构,既可弥补纤维缠绕空白区,避免缠绕纤维在受力状态下产生位移失效,同时也提高了挂桩的刚度、强度和缠绕壳体的连接强度。图 2 所示即为无空白区桩挂缠绕。



1—缠绕壳体; 2—金属接头; 3—空白区
图 1 有空白区圆柱形桩挂缠绕示意图



1—缠绕壳体; 2—金属接头
图 2 无空白区菱形桩挂缠绕示意图

桩挂缠绕也有明显的不足之处,如: ①金属连接件的挂桩结构加工工艺复杂。②缠绕纱线的起始和纵向缠绕过程中须准确对位于挂桩,其缠绕线型设计和成型工艺略有不便。③挂桩区域缠绕纤维架空严重,这种架空现象是由挂桩占位所形成的固有缺陷,而且无法消除。这不仅造成壳体局部厚度的增加,又使该部位架空严重的缠绕纤维不能同时承载,

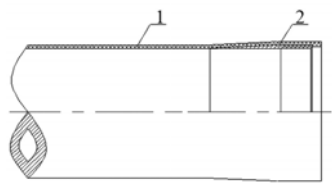
而影响其强度的充分发挥。因此,在产品设计时应根据使用工况条件酌情选用。

1.2 针式桩挂缠绕

针式桩挂缠绕与桩挂缠绕类似。但针式桩比较细、投影面积较小,故针式桩的占位面积也比较小。在纤维缠绕过程中纱片在两桩之间通过时可实现钩挂,遇到针式桩时可穿透纱片进行缠绕,不需要准确对桩。由于针式桩比较细,承载能力相对较低,其主要功能是限制缠绕纱片在两端不滑线。而缠绕壳体与金属接头的连接强度主要依靠纤维缠绕复合材料与金属接头的胶接连接。另外,针式挂桩金属连接件与桩挂结构都存在加工工艺复杂的问题,但针式挂桩金属连接件质量轻,在缠绕制品的金属连接件部位处的增径和纤维架空现象比桩挂缠绕要小。

1.3 端挂缠绕

端挂缠绕是将纱片挂在金属连接件的端部以实现金属连接件与缠绕壳体的连接,如图3所示。这种缠绕连接结构在缠绕线型设计时应选择接近等强度缠绕角。如果缠绕角过小,会使缠绕纤维在通过低凹的端部时容易滑线。端挂缠绕连接方法适合内螺纹金属连接件的制品缠绕成型。其优点是:①金属连接件加工方便;②金属连接件质量轻;③在缠绕制品的金属连接件部位纱片展平性好,且局部增径较小。



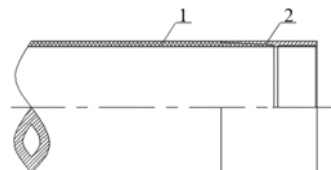
1—缠绕壳体; 2—金属接头

图3 端挂缠绕示意图

1.4 胶接连接

纤维缠绕壳体与金属连接件的胶接如图4所示。其连接方法是将缠绕壳体与金属接头通过锥面配合进行胶接组合而成。这种锥面胶接组合接头应力集中较小,在承受内压时,由于弹性模量较高、变形较小的金属接头设置在缠绕壳体的外部,在径向力的作用下使胶层承受压应力,在轴向力的作用下使胶层承受剪切应力,而且无弯矩产生。同时,锥面胶接不仅可以提高胶接头的有效胶接面积,而且可使胶层分布均匀、提高两个胶接件的对中性和同轴度要求。管状制品锥面胶接组合的另一个优点是可使纤维缠绕壳体的多层纤维同时受力,提高制品的胶接连接强度。为了使整个交界面上的胶层厚度均

匀,保证胶层的密实度,首先应控制好两个胶接头的配合间隙,对胶接件的两个胶合面要进行双面涂胶,并将胶层厚度控制在0.05~0.15 mm范围内。在两个胶接头的胶合过程中,要进行相对旋转并施加轴向推力,在施加一定轴向力的作用下完成定位后即可进行胶接固化。图4所示的胶接制品需要二次成型。



1—缠绕壳体; 2—金属接头

图4 胶接连接示意图

2 胶接头构型及设计原则

纤维缠绕制品的连接是制约使用的关键,而合理的结构设计是保证接头质量的一个主要条件,只有解决了连接强度和可靠性问题,才具有实用性^[4]。各种连接结构的形式均由相应的连接方法和本身的特点所决定。胶接连接中拉伸强度和剪切强度比较高,不均匀扯离强度较低,而剥离强度更低,不能简单地把其它连接(如焊接、铆接和螺钉连接)结构直接用来作为胶接结构。要根据不同情况,充分发挥胶接的优点,避开其弱点。实践证明,若要获得优良的胶接接头,除了选择优良的胶粘剂和采用适当的胶接工艺外,接头的设计也是关键的一环。通过对多种胶粘剂做标准强度测试,剪切接头所承受的剪切力为拉力的1/2~1/6,为不均匀扯离力的3~20倍,为剥离力的30倍以上。因此,要尽量避免设计不均匀扯离和剥离接头^[1]。

3 提高连接强度的措施

无缩口异形制品的无端头螺旋缠绕属于不均匀缠绕,即缠绕角和厚度都存在不均匀性。纤维缠绕成型工艺可以通过缠绕张力施加压力,实现制品的低压缠绕成型;而环向缠绕可以压实纵向架空和不密实的纤维。因此,纵、环向纤维缠绕层恰当地交替分布是防止或减少纤维架空、降低孔隙率和提高缠绕制品致密性的重要工艺措施。从图1~图3可以看出,缠绕壳体与金属接头的连接是属于缠绕与胶接的组合连接方式,若从制品作为内压容器的角度来讲,其胶接方式则为反向胶接。反向胶接在承受外压和外力弯矩等载荷作用下具有较好的承载能力,但是在承受较高内压力的情况下,由于弹性模量

比较高的金属接头径向变形比较小, 弹性模量比较低的纤维缠绕壳体径向变形比较大, 致使缠绕壳体与金属接头的胶接界面会先于轴向拉力而产生剥离破坏。采用弹性模量相对较低的铝合金接头或小直径端壁厚减薄的钢质金属接头, 使其在内压力的作用下与纤维缠绕壳体的径向变形趋于同步, 以避免胶接界面产生剥离破坏。

4 胶粘剂的选择及胶接头的表面处理

4.1 胶粘剂的选择

无缩口纤维缠绕制品的连接是通过浸胶纤维纱缠绕和与胶粘剂组合而共同完成的, 胶粘剂选择是否合理, 直接关系到制品的胶接与连接性能。涉及胶接所选择胶粘剂的基本原则是^[1,4]: ①要考虑被胶接件的材料、大小和刚硬程度; ②根据被胶接件的形状、结构和胶接工艺选择胶粘剂; ③要考虑被胶接件所承受的负荷特点及应用的具体工况条件; ④胶粘剂中气泡少, 粘度适宜, 胶接和固化反应过程中不产生挥发性气体, 以避免固化后的胶接层内产生气孔和气泡; ⑤胶粘剂固化收缩率低, 避免由于收缩而造成胶层破坏; ⑥要有适宜的延伸率。

胶粘剂是一类具有优良胶接性能, 能将两种材料紧密粘接起来的物质。按胶接强度分类, 可分为结构型、次结构型和非结构型胶粘剂。结构胶粘剂有较高的粘接强度, 其胶接接头能够承受较大的载荷, 可用来胶接各种承力构件。复合材料的胶接中主要用结构胶粘剂^[1], 无溶剂、粘度低、耐高温、粘接强度高和韧性好的环氧胶粘剂是首选。另外, 胶粘剂的选择还应考虑到两个胶接头材料弹性模量的差异。对两个胶接头材料弹性模量差异较大时, 应选择弹性模量相对低的结构胶粘剂, 反之则应选择弹性模量相对高的结构胶粘剂, 使胶接头与胶粘剂具有良好的粘接匹配性能, 以提高缠绕壳体与金属

接头的胶接强度。

4.2 胶接头的表面处理

胶接头的表面处理对胶接强度影响较大, 如果处理不当, 往往会造成胶层开裂。对金属接头所用材料可以进行调质热处理, 但胶接表面不能进行电镀, 电镀后的金属胶接表面活性降低, 而且不容易处理, 会大幅度降低胶接强度。金属表面经过热处理, 机械加工、运输和保管过程中, 不可避免地产生氧化层和油类的污染。对金属接头的机加工胶接表面, 采用丙酮清洗和喷砂处理, 既能除油、除去较薄的氧化层, 还能根据需要将被胶接表面适当粗化, 以利于提高金属接头的胶接强度。对纤维缠绕复合材料的机加工胶接表面, 经过除尘后用丙酮清洗, 并在 100℃ 下烘 30 ~ 60 min, 即可进行胶接。

5 结论

(1) 无缩口纤维缠绕制品连接技术和连接方式具有实用性, 特别适合用于不同结构和性能要求的中小型固体火箭壳体的设计与制造, 同时也适用于工业和民用纤维缠绕制品的设计与制造。

(2) 锥面胶接组合接头应力集中较小, 在承受内压时, 由于弹性模量较高、变形较小的金属接头设置在缠绕壳体的外部, 在径向力的作用下使胶层承受压应力, 在轴向力的作用下使胶层承受剪切应力, 而且无弯矩产生, 可以避免胶接界面产生剥离破坏。

参考文献

- [1] 刘雄亚, 谢怀勤. 复合材料工艺及设备[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1994.
- [2] 王增加, 李辅安, 喻俊伟. 纤维缠绕成型的 CAD/CAM 技术研究[J]. 纤维复合材料, 2004, 35(2): 35 - 38.
- [3] 吴耀楚, 张吉法, 田会方. FRP 固体火箭发动机壳体的非线性 FW 线型分析[J]. 宇航学报, 2002, 23(4): 85 - 87.
- [4] 宋庆杰, 李树峰. 预防纤维缠绕玻璃钢管接头渗漏的措施[J]. 油气田地面工程, 2006, 25(4): 42 - 43.

CONNECTION TECHNOLOGY OF NO NECKING FIBRE WINDING PRODUCTS

Wang Yuandong, Zhu Tao, Li Ning, Zhang Hui

(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

ABSTRACT The different characteristics of the connection technologies of no necking fibre winding products were analyzed and discussed. The corresponding technical measures were pointed out for the existence problem.

KEYWORDS no necking, fibre winding product, connection technology, pile hangs winding, end hangs winding, bonding

美国聚氨酯产商拟生产聚合物板弹簧新材

据报道, 美国聚氨酯生产商 Renosol 公司计划在 Bay County 投资 310 万美元新建生产玻纤增强聚合物板弹簧的设备。

板弹簧是指由不少于 1 片的弹簧钢叠加组合而成的板状弹簧, 广泛应用于汽车、拖拉机和铁道车辆的悬架系统。公司相关人员表示, 新型聚合物板弹簧将为板弹簧行业带来变革, 有助于汽车轻量化和节能降耗。(慧网)