罗罗公司整体叶盘表面强化新工艺

New Process of Rolls-Royce for Blisk Surface Strengthening

■ 戴淑波 刘雄飞 张岩/中国航发西航

罗罗公司的几种整体叶盘表面强化新工艺，有针对性地解决了常规整体叶盘喷丸时表面粗糙度增大、残余压应力不均匀等缺点。

作为盘和叶片的整体结构的整体叶盘，与传统的叶片与叶盘组装的结构相比，提升了发动机效率，降低了燃油消耗与污染物排放。表面强化技术作为制造整体叶盘的关键技术之一，受到航空发动机制造厂商的高度关注。近年来，罗罗公司披露了几种整体叶盘表面强化新工艺，包括：采用卡钳式喷射器的喷丸强化工艺[1]、高压空化水射流喷丸强化工艺[2]、深滚碾压强化工艺[3]。这些工艺有针对性地解决了常规整体叶盘喷丸表面粗糙度增大、残余压应力不均匀等缺点。其中，采用卡钳式喷射器的喷丸强化工艺自2010年左右开始应用，取得了良好效果，其他两种工艺未见公开的工程应用报道。

采用卡钳式喷射器的喷丸强化工艺

卡钳式喷射器的喷丸强化工艺的原理是利用特殊设计的喷口控制弹丸流方向（如图1所示），使弹丸以直角冲击整体叶盘叶片，并且使用卡钳式的喷管在叶片的叶盆和叶背采用相同的工作参数相对冲击，使叶片的叶盆和叶背受到相同的作用力，保证叶片不发生变形，也能使叶片的叶盆和叶背同时获得均匀的喷丸强度和覆盖率。在进、排气边和叶根转角处采用较小的弹丸冲击，也可取得很好的喷丸强化效果（如图2所示）。

高压空化水射流喷丸强化工艺

高压空化水射流喷丸强化工艺的原理是利用高压水射流周围空化气泡溃灭产生的冲击力对叶片表面进行强化。将整体叶盘待强化叶片放置在两个喷管之间，喷管紧邻叶片一侧均布有喷口（如图3所示）。当高速水射流从喷口喷出时，与周围静态水发生剪切作用，在射流附近局部区域产生低压区，从而产生许多空化气泡，沿着高压水射流逐渐被压缩，在叶片表面或接近表面处向内破裂，空化气泡溃灭产生的冲击波和微射流在叶片材料表面引起一

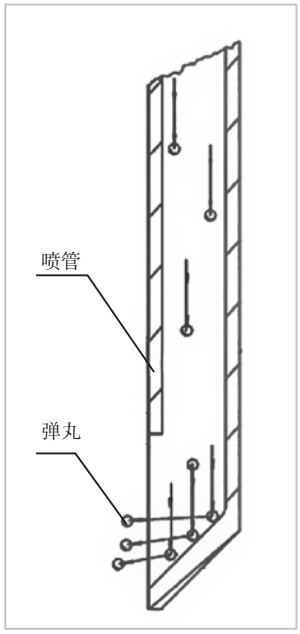

图1 弹丸流方向示意图

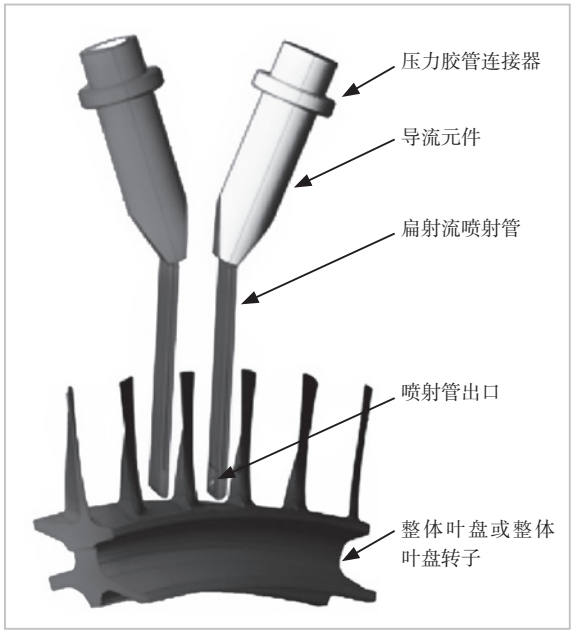

图2 卡钳主体结构图

系列的微观塑性变形，从而在其表面形成了残余压应力层（如图4所示）。

此工艺可在一次加工操作中均匀柔和地完成对叶片的叶盆和叶背的强化，能保证残余压应力在叶片表面均一分布，同时能规避常规喷丸强化引起的表面糙度增大。

深滚碾压强化工艺

深滚碾压强化工艺是通过弹簧或静液压系统将压力传递给滚动元件，滚动元件在零件表面施压，使表面层发生塑性形变，产生冷作硬化和残余压应力增加的效果（如图5所示）。

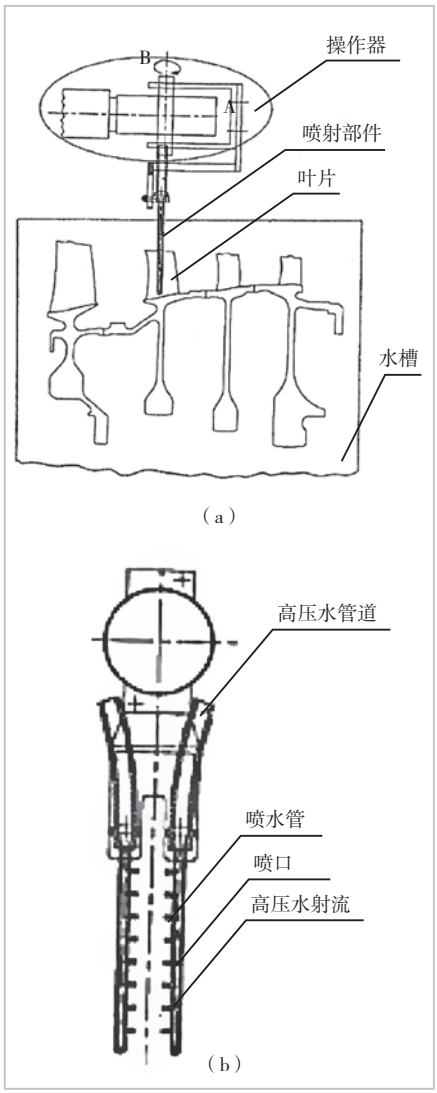

图3 高压空化水射流喷丸强化装置

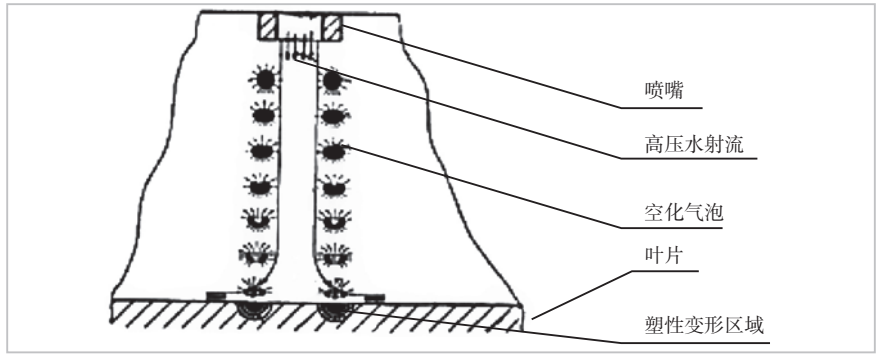

图4 高压空化水射流喷丸强化原理

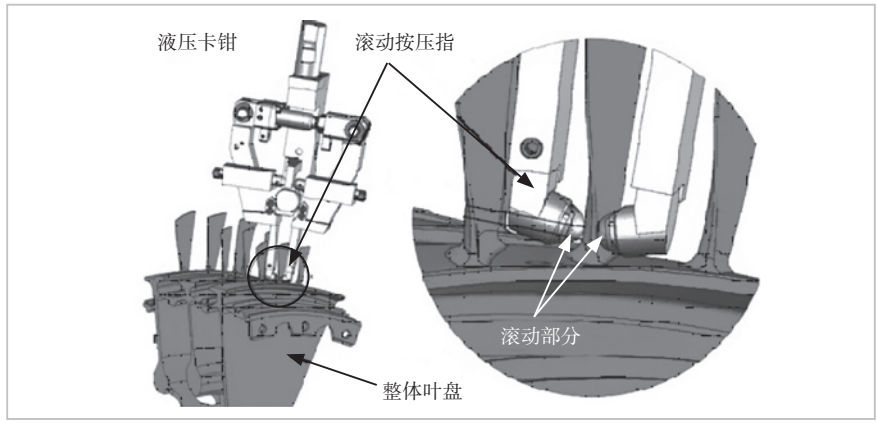

图5 深滚碾压强化示意图

该工艺获得的残余压应力深度要大于传统的喷丸工艺，还有降低表面粗糙度的效果。工艺中的关键参数是滚动元件的材料特性（尺寸、刚度、表面状况），处理压力取决于材料、厚度以及滚压方向和滚压的重叠度。

结束语

整体叶盆经过精确成形加工后，表面质量尚无法满足技术要求，经过表面强化及光饰处理，能够降低其表面粗糙度，提高叶盆疲劳强度及使用寿命。激光冲击强化及常规喷丸是发动机制造厂商采用的主流工艺，罗罗公司在完善常规喷丸工艺的基础上，探索了高压空化水射流、深滚碾压等强化工艺，为不断拓展整体叶盆表面强化途径提供了新思路。 航空动力

（戴淑波，中国航发西航，技术员，从事科技情报研究）

参考文献

[1] Simmen W H. Method and Apparatus for Controlled Shot-Peening Blisk Blade:US20100212157A1[P]. 2010-08-26 .

[2] Simmen W H. Method and Apparatus for Surface Strengthening of Blisk Blades:US20110179844A1[P]. 2011-01-14.

[3] Feldmann G G, Roettger K, Zenk S. Deep-Rolling Tool Device for Deep-Rooling Especially Blade Elements of a Rotor Portion of a Jet Engine : EP20120715669[P]. 2014-02-19.