

小样本疲劳试验评估及工程判断

濮进

本文介绍一种极具技术价值及经济价值的最小样本量疲劳强度试验评估及工程判断的方法。

疲劳强度试验是指通过试验检测指定“疲劳循环基数”条件下的疲劳强度分布。通常使用等间距“升降法”，在选定的应力水平下开展试验。如果在“疲劳循环基数”前发生失效，试验应力降一级，继续试验下一件样品；如果到达“疲劳循环基数”未失效，该试样停止试验，应力升一级，继续试验下一件样品，直到所有试样都按照这种方式完成试验。由此得到的疲劳强度分布，等同于试样所代表的零件，在疲劳寿命等于“疲劳循环基数”的强度分布。

通常假设一个试样，在某个应力载荷作用下，如果循环周次超过“疲劳循环基数”，未发生破坏，则继续增加循环周次也不会破坏。对于结构钢材料，“疲劳循环基数”通常取 1 千万周次。在这种条件下，疲劳强度试验可以评估零件无限寿命条件下的失效概率。

最小样本量的定义如下:通过试验证明，样本所代表母体的可靠性指标达标，所需要的最小试验样本量。这里的可靠性指标是，服役的失效概率小于特定值，得出该结论的置信度大于给定值。国标 GB/T24176 用失效概率 P 、置信度 $1-\alpha$ 的疲劳强度下限作为可靠性指标，两者的含义是相通的。本文介绍的疲劳强度试验评估方法与国标 GB/T24176 方法最大的区别是样本量的变化。国标 GB/T24176 方法

对于解释性研究最少需要 15 件试样, 对于可靠性分析最少需要 30 件试样。本文介绍的疲劳强度试验评估方法最少只需要 6-8 件试样。下面给出一个实例, 说明减少样本量在实际应用中是可行的。

试验载荷用载荷系数表示, 服役载荷的载荷系数为 1。在载荷 1.632 安排 3 件试样, 全部失效。在载荷 1.568 安排 3 件试样, 全部超越。服役载荷失效概率 $\leq 1\%$ 的置信度为 93.6%; 服役载荷失效概率 $\leq 0.01\%$ 的置信度为 91.3%。以失效概率 $\leq 0.01\%$ 、置信度 $\geq 90\%$ 为合格限, 可以判定可靠性指标达标。详细的统计分析方法需要专文论述, 简略的说明如下:用极大似然法统计分布参数的点估计。并假设点估计的标准差服从“正态分布”, 由此可以计算失效概率 P 、置信度 $1-\alpha$ 的疲劳强度下限。

零件的中值疲劳强度安全系数设计值通常为 1.6, 疲劳变异系数通常为 0.03-0.05。这种状态下零件的强度余量具有最佳的竞争力, 典型的零件如内燃机曲轴、连杆等。可见本文的方法可以节约大量的资源和时间, 推广应用有巨大的技术、经济价值。