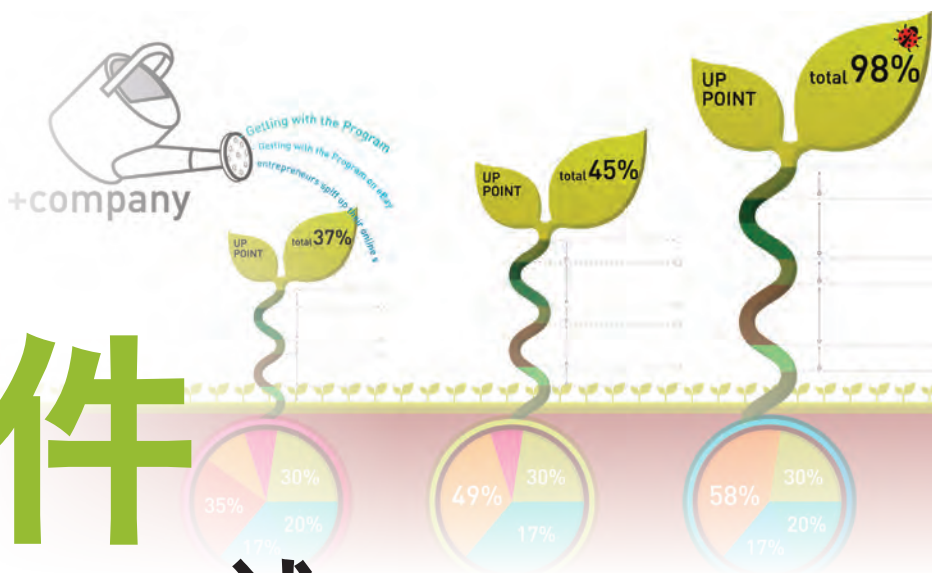


# 谈 紧固件 材料冲击试验



文 / 冯琴

**紧** 固件材料技术的发展趋势，一方面开发应用更高强韧性的新材料，以保证机械产品连接具有更高的耐久性、可靠性；另一方面，通过材料强韧化的提高，提升机械产品的设计应力，实现机械产品零部件的轻量化。富有生命力的紧固件技术发展的主线是：高品质、高效率、低消耗、洁净环保、智能化。

对于8.8级及以上高强度紧固件必须进行调质热处理。调质处理后钢的显微组织为回火索氏体，其中渗碳体呈颗粒状均匀分布。碳素结构钢调质处理后的抗拉强度 $R_m$ 大于 $650\sim 1000\text{N/mm}^2$ 、规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 或下屈服强度 $ReL$ 大于 $500\sim 750\text{N/mm}^2$ ；而合金结构钢调质处理后的抗拉强度 $R_m$ 大于 $900\sim 1250\text{N/mm}^2$ 、规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 大于 $700\sim 1150\text{N/mm}^2$ ，伸长率大于 $9\sim 12\%$ ，强塑积一般应大于 $10^4\text{N/mm}^2\%$ 。

为保证紧固件表面足够深度能够被淬透，从而得到较高的强度，要求钢材应具有足够的淬透性，在钢中添加适量的Cr、Mn、Mo、Ni、V、B等合金元素，可明显提高钢的淬透性和强度。钢中合金元素含量愈高，其淬透性及强度也愈来愈高，但相应的生产成本也明显增加。紧固件大多采用锻成型工艺，分温锻、冷锻和车削加工等，涉及品种多、批量大，为大幅度降低紧固件的能耗，目前及未来采取的主要措施有以下几种。免退火冷锻钢和非调质钢的应用、增加碳硼钢的应用范围等。

## 材料与韧性关系

高强度螺栓、螺钉和螺柱的检测依据为GB/T3098.1-2010标准，产品出厂基本上都应符合新标准中的验收试验专案，但从目前的生产实践和使用来看还不完善。当前，脆性破坏是高强度螺栓、螺钉和螺柱失效的重要方式之一。它是在紧固件卸载过程中，在没有产生明显宏观塑性变形的情况下，突然发生的一种破坏，由于事先没有明显的迹象，所以脆性破坏的危险性很大。冲击韧度用来表征材料的韧性大小，取决于其化学成分和显微组织外，与材料的冶金质量等有关，另还与环境温度及缺口状况密切相关。

常见防止螺栓发生脆性破坏的传统方法：①要求选用材料具有一定的

塑性指标（断后伸长率 $A$ 和断面收缩率 $Z$ ），且具有一定的冲击韧度（冲击吸收能量 $KV$ 、 $KU$ ）值；②采用转变温度的方法，对材料韧脆转变温度提出一定的要求。确定脆性断口转变温度，常用是以 $FATT_n$ 表示。以上两种方法都还是经验性的，它们无法找到实验室中的转变温度与实际紧固件转变温度之间的转移关系。

### 材料与冲击韧度的关系

碳含量对冲击韧度的影响很大。低碳合金钢与中碳合金钢处理成相同强度水平时，前者的断裂韧性明显比后者高。20MnTiB和40CrNiMo两种钢处理成10.9级螺栓时，强度相近时断裂韧性分别为113和78MN/m<sup>3/2</sup>，而冲击韧度（冲击吸收能量 $KV$ 、 $KU$ ）值，前者比后者低20~45J。Ni是最有效的韧化元素，它不但可以改善钢的断裂韧性，还能有效降低钢的韧脆转变温度。因此，Ni是低温用钢中重要的合金元素；Mo的作用与Ni类似；Cr对冲击韧度的影响较小，而加入少量的B，能改善低温回火时的断裂韧性。

螺栓工作环境中带有某种腐蚀性介质等，这些特点正是使螺栓产生破坏的外在条件之一。为了改善这类钢材的断裂韧性，合金化的原则仍是着眼于改善钢的淬透性，提高组织稳定性，细化晶粒、细化碳化物，并使其均匀分布，防止回火脆性及降低韧脆转变温度。在以35CrMo钢为代表的低合金钢中，加入适量的V能细化晶粒，改善断裂韧性。35CrMoV钢是适用于12.9级的高强度螺栓之材料。

### 组织对冲击韧度的影响

钢中马氏体的组织形态对冲击韧度有重要的影响，马氏体的组织形态有两种：含有大量位错的板条状马氏体和含有孪晶的片状马氏体，孪晶的出现使滑移系数减少为原来的1/4，孪晶又能感生微裂纹，因此，片状马氏体的断裂韧性较板条状马氏体的断裂韧性低。如果能通过合金化（如降低碳含量等）、热处理手段降低钢中孪晶马氏体量而增加位错马氏体量，则可提高钢的强韧性。无论是正火、退火、淬火和回火，奥氏体实际晶粒小的钢，最终性能均优于奥氏体实际晶粒大的钢。

根据生产实践，钢的奥氏体实际晶粒度粗于1~4级，对螺栓冲击韧度（冲击吸收能量 $KV$ 、 $KU$ ）值呈逐渐下降趋势，严重影响螺栓力学性能指标。随着晶粒度级别的提高（晶粒度愈细小），低温冲击吸收能量 $KV$ 、 $KU$ 愈高。这是由于晶粒愈细、愈多，晶界也就愈多，裂纹扩展阻力就愈大，冲击吸收能量值就愈高。晶粒尺寸对材料屈服强度的影响已有定量的运算式。晶粒愈细，屈服比愈高，而且裂纹扩展时所消耗的能量也愈多。细化晶粒是使材料强度和韧性同时提高的有效手段，对高强度螺栓原材料的实际晶粒度应控制在6~8级。

### 热处理对冲击韧度的影响

淬火温度对屈服极限和抗拉强度的影响不大。但在临界区淬火（即加热到 $Ac_1$ ~ $Ac_3$ 两相区内淬火）也可提高低温韧性和抑制回火脆性。回火温度的影响，总的趋势是随着回火温度升高，冲击韧度值增大，而强度降低。有些材料在某个回火温度范围内其断裂韧性值降低。

### 断裂韧性与冲击韧度的联系

断裂韧性 $K_{IC}$ 和缺口冲击韧度（冲击吸收能量 $KV$ 、 $KU$ ）都是材料的韧性指标，因此，很多提高断裂韧性有效的措施均能提高冲击韧度。但是两者之间也有明显区别，因为一个是裂纹；一个是缺口，两者应力集中程度不同，两者即有联系，又有区别的两个力学性能指标。

## 螺栓试样冲击试验

### 冲击试验通则

根据GB/T3098.1-2010标准冲击试验，用于检验在规定低温条件下，紧固件材料的韧性如在产品标准或供需双方协商中有要求时，方可实施试验。试验仪器与装备应符合GB/T229-2007。材料的V型缺口试样和U型缺口试样的冲击能量分别表示为 $KV$ 和 $KU$ ，并用下标数位2表示摆锤刀刃半径，如 $KV_2$ ，其单位为J（焦耳）。冲

击吸收能量的大小直接由试验机的刻度盘上读出。而用试样缺口处的截面积 $S$ 去除KV或KU,可得到材料的冲击韧度指标,用符号 $aK=K/S$ ,其单位为 $KJ/m^2$ 或 $J/cm^2$ 。与 $k$ 相比, $aK$ 没有明确的物理意义,只是一种数学表达方法,所以,现在大多数冲击吸收能量以 $K$ 作为材料韧性的判据。

### 冲击试验适用范围

螺栓、螺钉和螺柱制取的机械加工试样,规格 $d \geq 16mm$ ;螺栓、螺钉的总长(包括头部) $\geq 55mm$ ;螺柱的总长 $l \geq 55mm$ ,适用8.8级及以上高强度螺栓。

夏比冲击试验因其试样加工简便,试验时间短,试验资料对材料组织结构、冶金缺陷等敏感,而成为评价螺栓、螺钉和螺柱冲击韧性应用最广泛的一种常用试验方法。

### 机械加工试样

应从尺寸等检验合格的螺栓、螺钉和螺柱成品上制取试样。机械加工试样应符合GB/T229-2007的规定。试样应沿螺杆部纵向,尽量靠近螺栓表面,并尽可能远离螺纹部分。另外,试样无刻槽的一边应靠近螺栓的表面。标准规定冲击试样的尺寸为 $55mm \times 10mm \times 10mm$ ,在试样中间有V型或U型缺口,并使其对称面垂直于试样纵向轴线,保证根部处没有影响吸收能量的加工痕迹,如试样料不够制备标准尺寸试样时,可使用宽度 $7.5mm$ 、 $5mm$ 或 $2.5mm$ 的小试样。

### 技术要求

对于螺栓、螺钉和螺柱机械加工试样应置于(零下) $-20^\circ C$ 条件下,用 $2mm$ 摆锤刀刃半径,按GB/T229-2007规定进行试验,对于8.8级及以上高强度螺栓试样在(零下) $-20^\circ C$ 温度下的吸收能量 $\geq 27J$ 。<sup>注1</sup>读取每个试样的冲击吸收能量,应至少估读到 $0.5J$ 或 $0.5$ 标度单位(或两者之间取最小值)。试验结果至少应保留两位有效数字,修约方法按GB/T8170-2008执行。

### 后语

夏比冲击试验因其试样加工简便,试验时间短,试验资料对材料组织结构、冶金缺陷等敏感,而成为评价螺栓、螺钉和螺柱冲击韧性应用最广泛的一种常用试验方法。主要用途如下:

- ① 评价材料对大能量一次冲击载荷下破坏的缺口敏感性
- ② 检查和控制材料的冶金质量和热加工质量
- ③ 评定材料在高、低温条件下的韧脆转变特性

近年来,中国在冷镀锌的开发与应用方面取得了较大进展。冷镀锌材料在物理、化学特性等方面都存在显著差异,难以完全照搬原有的设计理念和传统的制造技术。螺栓、螺钉和螺柱的制造是一个涉及到技术经济安全环境等诸多方面的复杂系统工程,需要解决从冷镀锌材料到紧固件,直至使用、维修的全过程中所出现的各种问题,也就是说还离不开一系列相应的技术支援,包括材料试验与紧固件检测技术、关键紧固件材料与紧固件冲击试验和紧固件设计技术、相关的辅助制造技术等。

注1:其他试验温度与吸收能量值,可在有关产品标准中或由供需双方协定规定

