

## 漫谈热胀冷缩的“功”与“过”

吴雁平 张淑贤 刘朝英

(郑州铁路职业技术学院力学教研室, 郑州 450052)

**摘要** 热胀冷缩现象在我们周围随处可见, 只有更好地掌握它的规律, 才能避免或减小它的危害, 利用它为人类造福.

**关键词** 热胀冷缩, 线膨胀系数, 温度应力

根据金庸小说改编的 40 集电视剧《天龙八部》, 前一段在几家电视台先后热播, 真令武侠迷们过足了“瘾”.

打打杀杀中, 外貌漂亮但心狠手辣的阿紫姑娘竟给曾迷恋过她的游坦之铸上铁面具, 并趁热给他套上, 把个游坦之折磨的死去活来的惨景, 真令人发指! 庆幸编剧后来还是安排让武林高手利用“神功”为他去掉了铁面具, 不然游坦之一定要终生成为“铁面人”无疑.

历史上是否真有过如此来利用热胀冷缩的“劣行”? 的确也不便考证. 但是, 在我国古代, 对自然界中许多物体都具有热胀冷缩的性质, 早已有所认识和利用, 还真有记载. 据《华阳国志》记载, 两千多年前李冰修都江堰时, 要开山凿石, 扩大水道. 因手工凿山进展缓慢, 他们就想出一个好办法: 沿天然石缝扩大缝道, 向里面填入干柴, 点火燃烧后, 再浇水于岩石上, 就容易凿开山石<sup>[1]</sup>. 这种利用岩石热胀冷缩不均匀易于崩裂的施工经验, 在我国历代水利工程中不断为人们所采用.

时至今日, 热胀冷缩的应用在我们日常生活中也随处可见: 刚煮好的茶鸡蛋, 放进冷水里浸一下, 鸡蛋皮就容易剥下来; 乒乓球瘪了, 放进开水中烫一下, 瘪的地方就会重新鼓起来; 夏天, 自行车内胎气可不能打得太足, 否则会给你一个大大的惊吓……

在工程中, 人们更是在不懈地探索, 利用热胀冷缩的性质为我们更好地服务.

最常见的轴与轴承之间的装配, 更是将热胀冷缩应用得如此完美. 将配合过盈量较大的轴承放入油槽中加热后, 迅速套在轴颈上, 冷却后轴承内圈就按要求牢固地与轴配合在一起. 与此类似, 轮盘与主轴之间, 套筒与轴之间或互相套装的环之间, 大凡需产生紧配合的场合, 总少不了看见应用热胀冷缩的身影. 就连在铁道上飞奔的列车车轮, 也是常用这种方法紧套在车轴上的.

在机械维修中, 金属热扣合法技术也是利用扣合件的热胀冷缩性质将损坏的零件连接起来, 以达到修复零件裂纹或断裂的目的<sup>[2]</sup>.

将选定的具有一定形状的扣合件, 经加热后放入机架损坏处已加工好的与扣合件形状相同的凹槽中, 扣合件在冷却过程产生收缩, 将破裂的机件重新密合, 如图 1 所示. 这种技术常用于不易焊接的钢件, 不允许有较大变形的铸件, 如机床床身、轧机机架等基础件的修复, 简便且又实用.

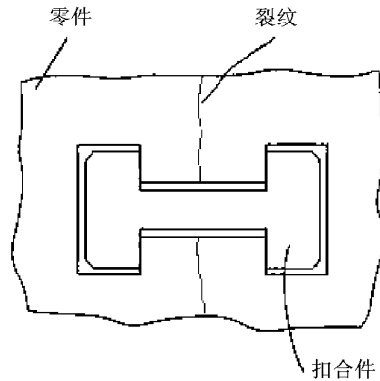


图 1

在工程中, 经常见到几种材料配合在一起共同工作的情况.

如在房屋建筑、桥梁、地下结构中广泛应用的钢筋混凝土结构, 它是由钢筋和混凝土两种材料组成共同受力的结构. 混凝土是一种抗压性能较强而抗拉能力很弱的材料. 如在它中间合理配置钢筋, 使混凝土在结构中主要承受压力, 而让钢筋来承受拉力, 这样就可使结构的承载能力大大增强. 所以钢筋混凝土结构不愧是合理利用材料力学性能的典范.

钢筋与混凝土这两种物理力学性能很不相同的材料, 能很好的结合在一起共同工作, 除了因为它们之间有良好粘结力, 能牢固粘结成整体来共同承受载荷外, 另一个很主要的原因是钢筋与混凝土的线膨胀系数接近相等, 钢为  $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ , 混凝土为  $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ , 当温度变化, 这两种材料不致产生相对温度变形而破坏它们之间的结合.

但如果两种材料的线膨胀系数相差较远, 就要格外重视这个问题, 否则就会带来麻烦. 例如汽车发动机活塞是由铝合金制造但汽缸材料是铸铁. 这两种材料线膨胀系数有较大差别, 所以配缸间隙就很重要. 如间隙留的太小, 就会使活塞裙部没有膨胀余地, 严重时可引起拉缸等故障.

热胀冷缩引起的温度应力也是工程设计中必须要考虑的重要因素.

仅有温度变化, 不一定在物体内产生应力. 当温度变化所引起物体的膨胀或收缩受到约束时, 就会在物体内产生应力. 这种由于温度变化引起的热变形受到约束而产生的应力, 称为温度应力或热应力.

例如一根长为  $l$ , 横截面积为  $A$  的金属杆, 初始温度为  $t_0$ , 使其均匀受热后, 温度升到  $t_1$ , 则杆的伸长量为

$$\Delta l_1 = \alpha(t_1 - t_0)l = \alpha \Delta t l$$

式中,  $\alpha$  为材料的线膨胀系数.

如金属杆的膨胀是自由的, 即不受约束的, 则杆内不会产生温度应力. 但如果金属杆两端被固定在两个刚性壁之间, 如图 2 所示, 则在金属杆受热时, 因受到刚性壁阻力, 无法膨胀, 就在杆内产生压缩温度应力. 杆件在由于温度引起的约束阻力下好像又被压短了  $\Delta l_2$ . 由材料力学  $\Delta l_2 = \frac{F_T l}{EA}$ , 由于杆夹在刚性壁之间, 总长度不会变化, 即  $\Delta l_1 = \Delta l_2$ , 所以

$$\text{温度力 } F_T = EA\alpha\Delta t \quad (1)$$

$$\text{温度应力 } \sigma = E\alpha\Delta t \quad (2)$$

式中:  $E$  为材料拉压弹性模量.

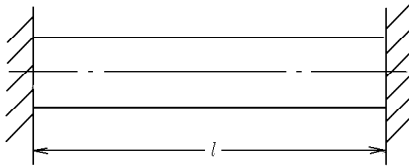


图 2

上两式对杆受冷缩短也是适用的, 只是杆件受到拉伸温度应力.

大家都知道, 过去铁路线路总在钢轨两端留下一道缝隙, 以利于它在温度变化时自由伸缩. 然而正是这个缝隙, 使列车通过钢轨接头时不仅要发出很大的“咣当”声, 而且要产生巨大的冲击力. 使钢轨和机车磨损严重, 降低使用寿命.

伴随着近几年我国铁路一次次大范围提速, 无缝线路已成为高速铁路的重要特征之一. 例如上海至南京 300 多公里的高速铁路, 采用无缝焊接新技术, 将原来钢轨间几万个接头全部焊接起来, 如同用一根完整的钢轨将两座城市联接在一起. 无缝线路消灭了钢轨接头, 能明显提高轨道平顺性, 减少列车的冲击与振动, 从而提高列车的运行速度, 增强旅客乘车的舒适度, 为确保我国铁路提速战略的实施提供了安全保证.

人们的头脑中不禁会萦绕这样的问题, 钢轨接长以后, 它的热胀冷缩问题怎样解决呢? 主要有两种方法, 一种是让长轨道自身承受全部温度应力, 它适用于一年四季温度相差不太大的地区. 将钢轨牢牢固定在轨枕上不让其自由伸缩, 其受力如图 2 所示. 其温度力可由公式 (1) 来计算

$$F_T = EA\alpha\Delta t$$

其中,  $\Delta t$  为相对于零应力轨温的轨温变化幅度.

因为 60 kg/m 钢轨横断面积  $A = 7745 \text{ mm}^2$ , 钢弹性模量  $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ , 可算出温度力  $F_T = 19192.11\Delta t(\text{N})$ .

即温度每上升一度就要产生 19.2 kN 的温度力. 温度力的大小仅与轨温变化幅度成正比, 而与钢轨长度无关. 也就是说, 只要钢轨的稳定性、强度能够得到保证, 无缝线路的钢轨长度可以不受任何限制<sup>[3]</sup>.

如此巨大的钢轨温度力完全以弹性势能的形态贮存在钢轨之中. 所以钢轨所受的约束反力也必须足够大, 才能与它

相抗衡. 目前我国已建成的高速铁路均采用 60 kg/m 重型钢轨, 并同时更换上稳定性更好、摩擦力更大的轨枕和道渣. 采用强度大的中间连接零件和防爬设备将钢轨紧扣在钢筋混凝土轨枕之上, 使钢轨和轨枕组成强劲轨道框架, 具有足够的道床阻力, 以抵御如此复杂、严峻的受力情况.

对于四季温差特别大的地区, 就要采用放散温度应力式无缝线路. 最常采用的形式就是在长轨之间铺设 2~4 根缓冲轨. 根据当地气候条件, 把钢轨内部的温度应力每年调整放散 1~2 次. 调整时, 将无缝线路全长的扣件、防爬器等全部松开, 通过更换不同长度的缓冲轨, 使长钢轨尽可能地伸缩, 放散内部存在的温度应力. 然后在设计轨温的范围内, 重新锁定线路. 通过这种方法减小温度应力, 提高线路的强度和稳定性.

除了外部约束可引起温度应力外, 在同一物体内部, 如果温度分布是不均匀的, 虽然物体不受外界约束, 但每一部分因受不同温度的相邻部分的影响, 不能自由伸缩, 也会在内部产生温度应力.

对此, 很多人有过亲身体会. 严冬时节, 手中的玻璃杯因倒进开水而“啪”的一声炸裂, 回想起来仍令人心悸! 这是因为杯的内表面热, 外表面冷, 内表面因热而膨胀, 但内侧的膨胀却被温度较低的外侧所约束, 使完全膨胀受到妨碍以致使内壁产生压应力, 外壁则产生拉应力. 而对于像玻璃这一类的脆性材料, 抗拉强度很弱, 正是温度应力的作用使外层胀破.

在工程上, 这种温度应力给机械零件造成的影响更是不可低估. 例如在电力工程中, 汽轮机在启动过程中, 转子外表面首先被温度高、流速大的蒸气气流急剧加热, 而转子中心孔受热却较慢, 转子内外温度不均匀, 产生径向温度梯度. 转子各部分互相约束, 不能自由膨胀和收缩, 故在外表面产生压缩温度应力, 而中心孔产生拉伸温度应力. 特别是对电网中承担调峰运行的汽轮机组, 由于启停频繁, 负荷变化大, 伴随蒸气参数发生较强烈变化, 从而在转子内产生巨大的交变温度应力, 导致转子因低周疲劳损伤而出现裂纹, 所以温度应力成了影响机组寿命的关键因素之一<sup>[4]</sup>.

如同我们在往玻璃杯中倒开水前, 先倒少许温水涮一下, 杯子就不会被开水炸裂一样, 如能在汽轮机带负荷前, 先对转子进行预热, 显然就可大大减小温度应力对零件的伤害, 这当然是电力工程师为提高转子寿命首先要考虑的措施之一.

在航空航天领域, 物体的热胀冷缩问题更是备受关注. 因金属的热胀冷缩是金属表面产生裂纹的主要原因, 直接威胁到飞机的飞行安全, 所以科学家一直在致力于研制不会热胀冷缩的新型材料.

总之, 热胀冷缩现象在我们周围随处可见. 只有更好地掌握它的规律, 才能避免或减小它的危害. 扬长避短, 利用它为人类造福.

## 参 考 文 献

1 朱长超. 中国古代科技百问. 上海: 上海古籍出版社, 2002  
2 李士军. 机械维护修理与安装. 北京: 化学工业出版社, 2004

3 广钟岩等. 铁路无缝线路. 北京: 中国铁道出版社, 1989  
4 李维特. 热应力理论分析及应用. 北京: 中国电力出版社, 2004