

预防轧钢机联接轴和接手破坏的力矩监控

〔美国〕James.J.Smith等

1972年,美国钢铁公司洛雷因(Lorain)工厂46英寸轧机的传动轴经历了一系列不明原因的机械性断裂事故。这些事故造成了维护、停产和更换设备等方面的巨大损失。

1948年建造的这台轧机,初期使用的是SAE 1035锻钢联接轴。这些轴由4,000马力的电动机单独传动。每根轴长36英尺,直径19英寸,重约25吨,单根费用超过40,000美元。从1948年到1972年只有一根轴断裂,这是一个令人羡慕的记录。尤其可喜的情况是波轧制钢锭的单重从1948年的8吨增加到13吨而传动机组却没有发生重大的问题。突然,1972年开始出现了问题。这一年总共出现了五次事故。每根轴引起的生产中断最少都是16小时。除了停产以外,别的费用还包括:新轴的购制、更换和修复因事故而对周围造成的损伤。1972年末,为了查清这些事故原因、制定行动的步骤防止更多的事故,开始进行了试验。这种试验研究也是为了提供适当的装备,以便能有计划地提高轧机的生产率。

试验过程

这个试验的设备相当复杂,并且步骤冗长。但是,由于这个问题的重要性,美国钢铁公司的厂方应允了这个方案。这种意见后来给了洛雷因工厂以巨大的意外收获。事故分析者研究了轴的破坏特性,目

的是使全体有关人员都懂得预测生产的方法。

将应变传感器安装在轴上曾经损坏过的部位和其它能观察轧钢过程中产生应力(力矩)的地方。设置这些应变传感器是为了比较上轴和下轴的受力状态,并记录系统的力矩放大系数(TAF)。从这些应变器来的信号,经过具有远距离定域发射和接收天线的发送机FM被传送到设置在现场的数据分析设备。这些信号被同时记录下来供以后实验分析。这个实验的精确度证明了FM遥测方法是有效的(它排除了由于使用滑环而引起的机械问题和误差)。

在下轴轧辊端头接手的内部幅条上,曾经作过应变的测量。洛雷因厂的这些下轴有过最坏的记录。同时,其它轧机的现场试验也表明:在下轴上总是测得接近最大的力矩。接手幅条处的应变是用一种能够计算主应力大小和方向的45°应变片花来测量的。选择这种特殊的测定位置是因为预先的分析曾经表明:这个区域通常是一个高应力集中的部位。应变数据由一台PRINST计算机按照程序将它转换成主应力值后作分析处理。同样,在上轴中部和轴端的电机接手上都作过力矩的测定。直流转速计记录了各轴的旋转信号。为保证所记录的全部数据都符合轧机运转过

程，还单独进行了音频记录。

这个遥测系统是试验获得成功的一个关键。

从旋转部件例如转轴、齿轮、转子、叶片等中取得数据有很多种实际的测法。求得这些测量数据的最合适的方法，就是使用FM无线电遥测法。该遥测装置在运动部件上安装有微型发射机，它将转换器的输出转播到自动记录装置。通常，转换器就是应变传感器或桥式应变线路，这样设计的目的是为了测量例如转矩、压力、张力或弯矩等特定参数。这个系统包括四个主要的组成部分：转换器（应变传感器）、信号调节器及发射机、天线装置和接收机。

转换器将机械的参数转换成与它成比例的电信号。信号调节器对这些信号放大并整形，以便调制射频载波供从发射天线向接收天线发射。发射机是一个由电池供电的小圆柱形装置，它的直径约1英寸，长约2英寸。它能在高转速下工作而不受影响，加速度最高可达 $30,000g/s$ ，温度最高可达 $150^{\circ}C$ 。不但静态的而且动态的应变两者都能发射。

发射机与作为发射天线的一根导线相连接。发射天线布置在远离原动轴并且尽量靠近接收天线的部位。接收天线被置于与发射天线的信号成直通线的位置。从接收天线得到的信号都传送到接收机。接收机放大这个射频信号，并将它转换成与发射来的电参数成比例的电力信号。

力矩测量系统的转换器部分通常是一件特制的玫瑰瓣状应变传感片花，它的排列方向与扭转应力所引起的主要应变相对应，并能抵消弯曲力和轴向力的任何影响。这种应变传感花有两个动作支路，它

们的敏感方向是在与转轴轴线成 45° 的位置。这些应变片被粘贴在轴上并防止潮气。应变片的线头与设在夹紧装置内的发射机相连接。发射天线装置通常是一个与转轴同心的卡箍，接收天线是用粗导线作成的圆环。接收机和数据记录仪都安设在与转轴有一段距离的地方。

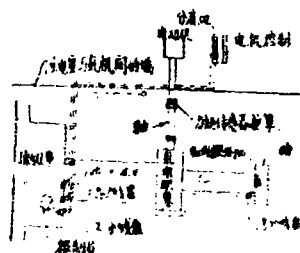


图1 46英寸轧机和力矩监控部件的配置示意图

应变传感器遥测系统典型应用于包括对转轴力矩的测量、风机叶片应力的确定以及高速齿轮推力的测量等。由于必须准确地知道传动机组的运转荷载，一般就需要这种类型的力矩测量。要使主电机的电功率容量也满足因整个传动机组综合动态作用而产生的荷载那常常是不够的。共振条件、扭转荷载、失灵的联接部分等所引起的荷载，只能用这类应变传感遥测系统直接在转轴上进行测量。

这种型式的测量装置所测得的典型结果，包括对这个系统中的静力矩、碰衡所引起的荷载和机械传动系统共振条件所引起的振动力矩等所作的测定。从接收机出来的信号可以用记录纸带或磁带记录下来，也可以用频率分析器加工处理。

使用应变遥测装置的过程一般包含几个步骤。首先，给系统连接导线，并加以检查核对，以便能正常运行。然后再将测

量设备衔接起来标定数值。这一点,依靠采用系统中的一个等于已知给定应变量的不平衡电桥就可以顺利完成。转轴的等效应力能被计算和换算成一个等效力矩,从而在记录仪上给出一个直接的读数。

全部标定数值工作完成以后,就可以开始试验。在特殊情况下,除了力矩以外,被测量的还有另外的一些参数。然后,应建立一定的工作条件,并开动机。速度、力矩和电气参数的相关性使鉴别问题方便,从而合理地进行校正。

虽然,测得的轴及接手应变的力矩信号是所取得的最重要的测定值。但是,其它的数据也增强了这个主要数据的价值。为了探查电机控制系统可能出现的一切问题,电机的转速也与力矩数据一道同时被记录下来。

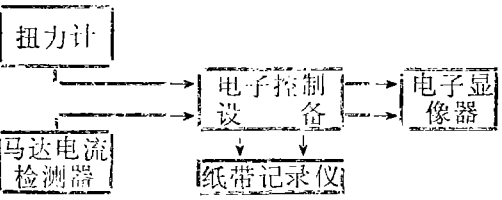


图2 力矩监控系统方框图

要收集的最后一个重要信号是电机的电流。按照惯例,它也是一个必须测量的

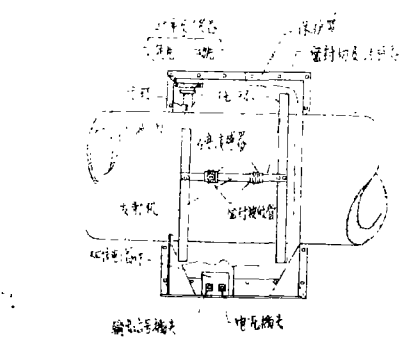


图3 用于传动轴上的力矩传感器
轧机载荷。然而,这个试验表明:电机电

流和作用力矩之间的关系只是对于决定静力矩的额定负荷才有效用,也就是说,电机电流对于由冲击所引起的瞬时力矩峰值并不产生感应。这一点与其它类似研究项目是一样的。

在整个轧机试验过程中的一般因素就是控制程序本身。很多参数都是由数据收集系统测量而确定下来的。在轧机的工作过程中,总共进行了近二十个不同的测试。这些测试包括:钢锭的几何形状、钢锭种类及端头方向、压下量、合金含量、轧制道次、孔型方位、加热时间、轧制速度、轧辊加速度和钢锭位置。这些数据提供了从整个轧制过程来比较并分析效果的一个主要梗概。

根据试验和试验以后的分析,许多条件和参数都表明了引起事故的原因。最大的力矩和应变通常发生在轧制的第一、第三和第十五道次的过程中,其部位在穿过轧辊的钢锭端头上的“凸耳”或不规则扩大的地方。这些轧制道次全都是平面孔型或扁平孔型,而且,在洛雷因厂的轧机上都是远离操纵室进行的。在孔型随着轧制程序的延续而渐次地和有意地减小之后,力矩和应变值都逐个地作了记录。由于钢锭进入时的动态作用并不存在有效的力矩放大,因而钢锭在开始时的冲击并不像原来所估计的那么重要。最大的力矩和应变位置通常是一个明显的峰值。但电机电流并不随之而成比例地形成峰值。在上述的端头“凸耳”部位,电机电流不升高,不达到像力矩和应变那样的峰值。而且,电机电流受到轴的加速度和减速度的强烈影响,因而电机的总电流既是轧制过程强制负荷的函数,也是轴和传动装置所施惯性负载的函数。

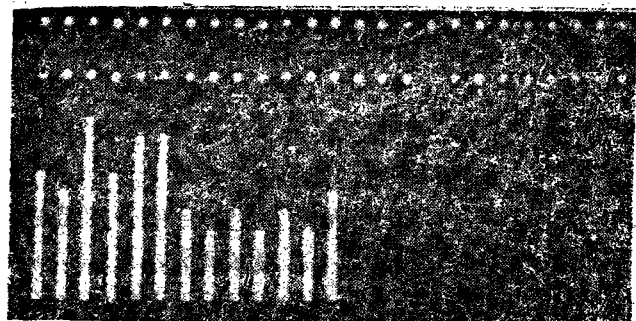


图4 轧过13道次后的力矩监视器实际显象

最大的力矩和应变量受钢锭几何形状及其在真实压缩量方面的作用之影响，比其它任何一种测得的变量都更大。真实压缩量的定义就是凸耳或异常钢锭外形所引起的实际缩减值。另一个被普遍承认的基本观点是：临时性的加热对于减小力矩并不重要。

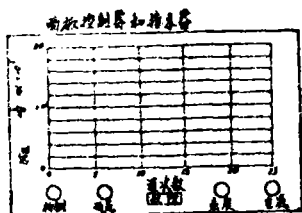


图5 力矩监控显示荧光屏和控制盘

从这些研究分析中得到了许多明确的结论。首先，就超负荷这个问题来说，过载指的不是由于力矩放大所产生的系统动态冲击力，而是由钢锭形状的不规则性所引起的。第二，过载也能以其它因素（例如合金含量、压入力、输入速度等）综合结果的形式而出现。第三，对于第十七道以后的几乎所有轧制道次，力矩都是大大地低于规定值的。在这些道次中，就是增加压下量也不会发生事故。第四、鉴于这些轴并非总是同步运转的，电机控制系统存在一些应该予以修正的不协调状况。第

五，也是最重要的一点，就是发现了最高的力矩是由钢锭的特殊几何形状所引起的。这个因素被确定为最重要的因素。但是，综合其它因素表明：要使传动系统能得到保护，需要有一个系统或一种方法，这就导致了力矩监控的发展。



图6 从轴的轧机端观看洛雷因厂的力矩监控装置

力矩监控系统

洛雷因厂研制的力矩监视器，基本上是一个力矩传感器（应变测量传感器）。它能及时地将信号传送到轧钢工操纵室的光亮显示装置上（图1和图2）。传感器被轴的旋转带动，所得到的结果信号由遥测装置传送给一台接收机。在那儿，信号经受整理并被转送到显示器（图3）。显示器显示并保持各个轧制道次（直到25道次）的尖峰力矩，直到钢锭离开轧机区域为止。然后，显示器又恢复到自己的原始状态，以备下一根钢锭的到来。各个道次的力矩都一齐被录制在记录纸带上，以供将来查阅或校对使用。监视器被分度为两级。第一级是在1.2百万磅—英尺。对于轧机的连续安全性说来，这是最大的允许值。第二级是在1.5百万磅—英尺。这是系统中事故可能发生的极限水平。图4中具

有的图像是由图5中的显示荧光屏上得来的。图6表示丁安在轴上的实际装置。图7是力矩监视器录制的一段典型过程的记录纸带。

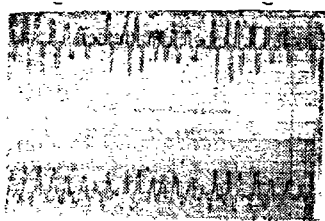


图7 从力矩监视器常设记录仪上得到的一段典型记录纸带。上面的轨迹是轴的力矩，下面是电机电流

这项研究的最重要方面是已经消除了轴的断裂。此外，经过洛雷因厂管理部门对力矩监视器的富有想像力的使用，还产生了别的重要的好处。经过重新调整压下量和轧制道次以后，力矩的量级已被调整到了很多种等级和大小。对于某些产品，在不损坏轧机的条件下，省去了一些轧制道次。这两点改变，已有助于帮助轧机设备的生产记录和控制水平大大超过预期中的运行参数。两个最近的例子是：对于轧13道次的钢锭，平均时间为80秒/每锭；按月计算小时产量为411.7吨/小时。

凭着单纯地观察力矩监视器的显示图像，轧钢工就能快速地下定轧制的决心。在任一个道次或任一根钢锭上看到高或低的力矩时，就对其后的道次或轧制后面的钢锭提供关于最佳压下量的信息。其方式是有效的使用动能，使轧机不致受到损坏。当比较运行试验的数据或记录纸带上的记录参数时，从一些异常的力矩值上也能发现生产过程中的一些未知的变化，例如错误的加热或压延指令。这些参数中各种等级和大小的记录，对于比较力矩变化给轴的影响都能有用处。因此，任何运行参数将会发生的改变，都能在轧机实际使它完成之前很快地在试验场所加以判断。这不仅防止着严重的事故，而且能消除那些会减少疲劳寿命的力矩水平。

总起来说，力矩监控是一种预防轧机联接轴和接手破坏的有效方法。这种技术有很大的潜力，并能应用于其它的一些轧钢机上。

陈伯勤 译自《IRON AND
STEEL ENGINEER》

1976.Vol.53 NO.11.37—39页

李澄渠 校