

无缝钢轨应力的自动测量

美国联邦铁路局研究成果 RR10-16 2010年12月

摘要:大多数现代化铁路使用无缝钢轨。无缝钢轨的一个主要问题是几乎不使用季节性温度变化所需的伸缩接头。由于夏季产生的扭曲,即胀轨(如图1)及冬季产生的断裂,即拉离,不使用伸缩接头会导致脱轨。一个关键的相关参数是中和轨温,即在没有纵向张力或压力时的温度。确保无缝钢轨的安全运行,可靠的钢轨应力水平信息是关键。遗憾的是,目前对无缝钢轨应力测量可行的方法因效率低,可靠性差,不能满足要求。静态钢轨刚性测量方法要求拆松很长一段距离的钢轨扣件,D'stresen技术受扣件/支撑条件变化的影响较大,而声电技术的缺点是对应力水平的反应灵敏度低。

2008年6月,圣迭戈加利福尼亚大学(UCSD),在联邦铁路管理局研究与发展办公室的资助下,开始研究无缝钢轨应力测量技术。该技术可以提供可靠的数据,并克服上述缺点。第一阶段的任务(已完成)是完成荷载钢轨中数字波的传播分析。通过分析确定超声导波的一些特性,超声导波对钢轨荷载的大小敏感,受钢轨支撑的影响非常小。第二阶段任务(正在进行),在一根工字钢梁上进行概念验证试验,使其承受各种压载直到发生初期胀轨。试验证明,超声波对荷载水平很敏感。第二阶段任务还包括在UCSD的POWELL结构实验室架设整根重型钢轨(长70英尺)。该实验室是国家结构测量方面最大的实验室之一。轨道的实物材料由柏林顿北部圣菲铁路捐赠,在实验室放置至少1年,通过中和温度及胀轨情况进行一系列包括加热

循环在内的试验。在这些试验中,进行了几次动态测量,对此前发现的超声波的主要特性进行验证,利用这些特性对中和温度及初期胀轨进行监测。期望大规模测试的结果能开发出一套监测中和温度/初期胀轨的样机,可在移动或固定条件下使用。



图1 发生胀轨的无缝钢轨

背景

对无缝钢轨(CWR)应力水平或中和温度(NT)的了解,主要是避免冬季断裂及夏季胀轨。根据联邦铁路管理局(FRA)安全统计数据,

胀轨导致48起脱轨,仅2006年,美国的直接损失将近0.3亿美元。如今正在讨论的测量适用的钢轨应力(或中和温度)的方法包括:

1 静态钢轨刚性测量。这种方法尽管有效,但因需要拆松100英尺长的扣件,不方便,不实用。

2 扭振状态动态谐振测量(D'stresen方法)。D'stresen技术是在90Hz以下,对钢轨扭振状态的动态谐振(加速幅度)测量。D'stresen技术由于不需要松扣件,因此很有可能被采用。但遗憾的是,D'stresen技术对钢轨扣件/支撑条件非常敏感,采用此方法,轨枕间的变化可能造成应力或中和温度测量不准确。

3 超声波速度测量(声电方法)。声电应力测量主要利用纵波,剪力波,或表面波,频率在MHz范围。遗憾的是,声电波速随应力变化很小(每千兆帕斯卡应力,速度

变化仅为 0.1%)，以致于应力经常用其它因素来表示(各种温度变量及钢的微结构变量)。

铁路行业将采用非侵入技术测量运动钢轨中的应力,这种技术灵敏度极高,可以克服轨枕间、温度及微结构变化的影响。

中心频率动态范围因其对钢轨支撑(扣件,轨枕,道砟)的灵敏度较低,尤其引人关注。

由于研究委托给圣迭戈加利福尼亚大学 (UCSD),2008 年 6 月开始项目,最终开发出一套可测定无缝钢轨中和轨温及初期胀轨的系统。目前正进行的第二阶段任务是:(1)完成数字分析。(2)进行工字钢梁上概念验证试验。(3)在 UCSD 的 POWELL 结构实验室建造一个大型的轨道试验台,进行受控加热及胀轨试验。

数字分析

半分析有限元(SAFE)方法被用于模拟荷载钢轨超声导波的特性。SAFE 仅需要钢轨断面离散化,以预测强制波及非强制波方案。

该算法由 Bartoli e tal 与

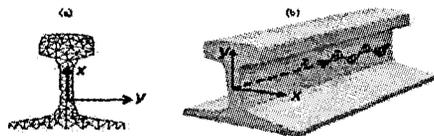


图 2 钢轨中波传播模型:(a) 断面离散化;(b)传播方向谐波运动

Loveday 开发,可以模拟特殊导波模式速度变化,作为适用于钢轨荷载的函数。图 3 所示的是无荷载钢轨及荷载钢轨(0.1%受拉应变)3 种振荡中频基波的波传播速度离散曲线。能观察垂直弯曲、水平弯曲及扭转波模式下,无荷载钢轨与荷

载钢轨之间波速的明显变化。需注意的是速度的变化比使用 MHz 波频的传统声电法得到的要大得多。

图 4 所示的是两个主要弯曲型

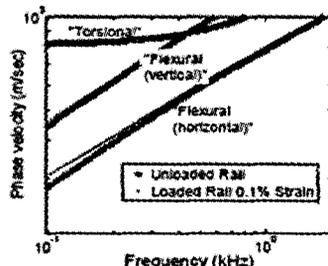


图 3 无荷载钢轨及 0.1%受拉应变荷载钢轨的 3 种振荡中频基波的波速变化

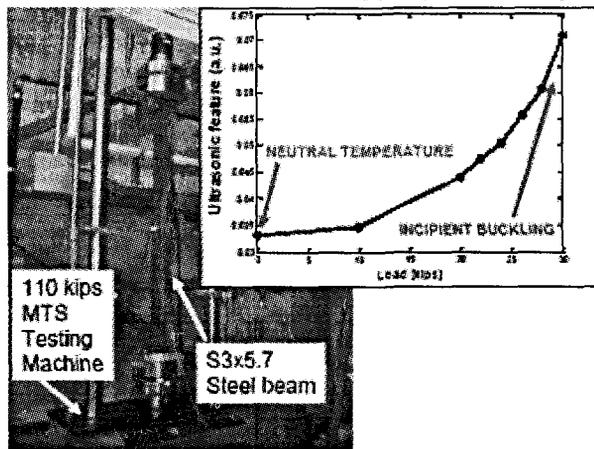


图 5 利用超声波对荷载及初期胀轨敏感的特性,对工字钢梁进行抗压试验

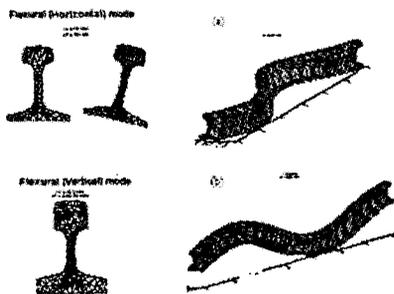


图 4 (a)水平弯曲波型 (b)垂直弯曲波型

的,水平弯曲型有大的横向位移量,然而垂直弯曲型主要为垂直运动。

扭转型是另一种导向型,传播

速度受施加轴载的影响。

研究一台利用选择波形收集的信息,监测无缝钢轨应力水平的样机,必须首先获得这些分析数据。

工字钢梁概念验证荷载试验

概念验证试验在长 2m,S3x5.7 工字钢梁上进行,不断提高工字梁承受压载,直到发生初期胀轨(如图 5)。通过安装在梁法兰上的一排压电传感器,用超声导波测量不同的荷载水平。

导波的一个特殊性能是对荷载水平特别敏感。如图 5 所示,该

特性用作梁荷载函数。该特性完全符合梁的荷载水平,也对初期胀轨条件十分敏感。

如果对荷载非常敏感这一特性在钢轨结构中得到验证,完全可以在中和温度/初期胀轨监测系统中采用。

在 UCSD 的 POWELL 结构实验室的大型轨道试验台。

在 POWELL 结构实验室建造的特殊试验台,是为了确定一根实际使用的无缝钢轨轨道先前各阶段的结果。试验台装备了 70 英尺长整根轨道,经预拉伸并通过两端

的后张混凝土块固定。试验台的材料由柏林顿北部圣菲(BNSF)铁路捐赠。通过特殊设计的开关控制钢轨加热线,该轨道将进行一系列的加热实验。除此之外,利用液压传动装置,使轨道出现胀轨。在这些实验中,全部轨道静态及动态特性将通过排列的应变片、线性可变差动转换器、加速计及超声波转换器记录。已计划记录包括在低频(~100sHz)及高频(~MHz)范围内轨道的全部动态特性。

试验台将在实验室放置至少1年,保证在多种加热循环中完成所需的测量。按照UCSD与FRA的要求,对无缝钢轨中和温度及胀轨有兴趣的研究人员也可使用该试验台。

这些实验通过使用中和温度/初期胀轨探测系统,揭示钢轨特殊的动态/波特特性。这些特性主要的要求包括:(1)对荷载水平高灵敏度;

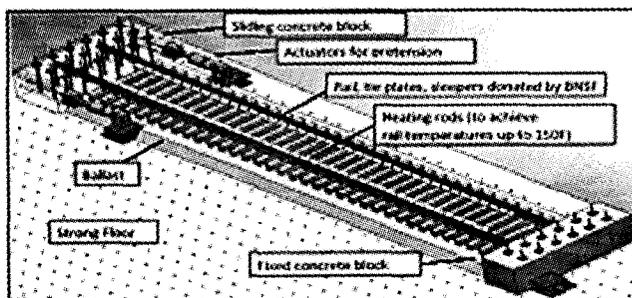


图6在UCSD的POWELL结构实验室的大型轨道试验台研究无缝钢轨中和温度/胀轨探测系统

(2)对钢轨支撑或轨间变化的低灵敏度。

结 论

UCSD研发一套能测量中和温度及探测无缝钢轨初期胀轨状态的系统。系统将使用对钢轨支撑灵

敏度极低的超声波特性。在POWELL结构实验室建造一个独特的大型轨道试验台,长70英尺,用于研究无缝钢轨在加热循环及胀轨条件下的动力学特征。

(翻译:陆红吉)