

# 机车转向架弹簧的磁粉探伤

杨 田, 韩永生, 吕林川, 庞团利

(宝鸡机车检修厂, 宝鸡 721004)

**摘 要:** 机车转向架弹簧是机车走行部关键部件之一。在机车检修过程中, 使用弹簧荧光磁粉探伤机可以有效地检测出弹簧表面存在的缺陷和裂纹, 从而保证弹簧的可靠性。主要介绍弹簧荧光磁粉探伤机的特点和探伤过程, 并总结了弹簧的裂损特点。

**关键词:** 转向架弹簧; 磁粉探伤; 淬火裂纹

中图分类号: TG115.28

文献标志码: B

文章编号: 1000-6656(2013)04-0021-04

## Magnetic Particle Testing for Bogie Spring of Locomotive

YANG Tian, HAN Yong-Sheng, LV Lin-Chuan, PANG Tuan-Li

(Baoji Locomotive Overhaul Factory, Baoji 721004, China)

**Abstract:** Bogie spring is one of the key components of the locomotive running gear. In the process of locomotive overhaul, using a spring fluorescent magnetic particle testing machine can effectively detect defects and cracks in the spring surface, so as to ensure the reliability of spring. This paper described the cautions of spring fluorescent magnetic particle testing machine, and summed up the spring breakage characteristics.

**Keywords:** Bogie spring of locomotive; Magnetic particle testing; Quenching cracks

机车转向架弹簧的主要作用是减少来自钢轨对车体的冲击而产生的振动, 转向架弹簧一旦发生断裂, 便会影响到车体安装设备的可靠性和机车运行的平稳性。引起转向架弹簧断裂的因素有很多, 其中弹簧表面存在的缺陷及裂纹是一个重要原因。大部分车型的转向架弹簧投入运用后, 就再进行过探伤或是只对局部进行探伤, 存在的问题无法暴露出来, 这增加了弹簧在使用中断裂的可能性。在机车检修过程中, 合理地选择弹簧探伤方法, 掌握弹簧的裂损特点, 可以有效避免弹簧断裂。笔者使用弹簧荧光磁粉探伤机可以有效检测弹簧表面的缺陷和裂纹, 从而保证弹簧的可靠性。

### 1 弹簧的探伤方法

机车转向架弹簧属于热卷弹簧, TB/T 1025—2000《机车车辆用热卷螺旋压缩弹簧供货技术条件》

中规定对转向架弹簧可采用渗透检测或磁粉检测。各机务检修段常用的渗透探伤方法为溶剂清洗型着色法, 渗透剂、清洗剂和显象剂都为罐装。磁粉探伤方法一般都是干法探伤, 仪器为便携式马蹄形磁粉探伤仪。对于弹簧探伤, 这两种检测手段都有不足之处。

#### 1.1 渗透探伤

渗透检测是一种以毛细管作用原理为基础的检查表面开口缺陷的无损探伤方法, 其优点是可检查各种表面缺陷, 例如裂纹、折叠、气孔、疏松和冷隔等, 可对整个弹簧表面进行检测。但对弹簧簧条上埋藏或闭合型的表面缺陷无法检出。转向架弹簧检修的主要工序为喷丸——探伤检查——压力试验——涂漆。探伤之前必须对弹簧表面进行喷丸除漆, 簧条表面上一些开口的缺陷或裂纹经喷丸后有可能闭合, 所以不能保证探伤效果。

#### 1.2 干法磁粉探伤

磁粉检测是通过检测铁磁性材料表面和近表面不连续性产生的漏磁场的一种无损检测方法, 其优点是能直观显示缺陷的形状、位置、大小。便携式马蹄

收稿日期: 2012-03-22

作者简介: 杨 田(1982—), 男, 工程师, 学士, 主要从事铁路机车零部件的无损检测工作。

型磁粉探伤仪一般与干用磁粉配合使用,可满足机车检修时场地多变的需求,并可对机车上绝大多数需要探伤的零部件进行探伤检查。但受弹簧形状的影响,用马蹄型探伤仪只可以检查与簧条中心线几乎平行的“纵向缺陷”,对于其他方向的缺陷检测灵敏度并不高。在实际应用中,便携式马蹄型探伤仪只能用来探伤弹簧的两个端面,无法对弹簧内圈进行检测,尤其是对易发生疲劳断裂的第一个有效圈靠近端圈侧的部分无法进行检测。

### 1.3 湿法磁粉探伤

以上两种检测手段在转向架弹簧探伤过程中存在不足,很难保证弹簧探伤的可靠性,采用湿法荧光磁粉探伤机进行探伤很好地解决了这些问题。宝鸡机车检修厂是铁路机务检修系统内率先使用荧光磁粉探伤机对转向架弹簧探伤的单位之一,其使用的 CXW-6000 型弹簧荧光磁粉探伤机是专门为弹簧探伤设计的探伤设备,对比以上两种方法,有两方面的优点:

(1) 可对弹簧进行周向、纵向、复合磁化和退磁,灵敏度高,一次磁化,可对工件表面进行全方位的检测,且不受裂纹取向的影响。

(2) 使用荧光磁悬液,在暗室的环境下,紫外线灯照射下磁痕显示非常明显,方便观察,防止漏探。

使用荧光磁粉探伤机对机车转向架弹簧进行检测,可有效地发现弹簧上存在的缺陷及裂纹,减少弹簧断裂问题的出现。

从弹簧裂损率来看,用便携式马蹄形探伤仪对 SS7 系列机车的转向架弹簧探伤,裂损率不到 0.6%,采用荧光磁粉探伤机后,裂损率达到了 3% 左右。从运用效果来看,宝鸡至广元之间运行的 SS4 型机车在 2009 年之前曾多次出现转向架弹簧断裂问题,2009 年后凡经荧光磁粉探伤机探伤的弹簧,均未出现过断裂现象。

## 2 弹簧荧光磁粉探伤步骤

### 2.1 系统参数和灵敏度测试

CXW-6000 型弹簧荧光磁粉探伤机(图 1)为交流床式半自动探伤机,探伤过程的控制和磁痕的观察都在暗室内进行。

系统的参数设置如下:

磁化方式:直接通电法与穿棒法同时进行的复合磁化。



(a) 操作台及观察工位

(b) 暗室及料架

图 1 弹簧探伤机

磁化电流:周向磁化电流和纵向磁化电流分别设置为 1 500 A 和 3 000 A 即可,过大的磁化电流会导致一些非相关磁痕出现。

磁化时间:不小于 2 s。

退磁方式及时间:根据磁化方法来选择对应的退磁方法,退磁时间一般为 5~10 s。

磁悬液:水剂荧光磁悬液或油剂荧光磁悬液,在保证探伤效果的前提下,首选水剂荧光磁悬液,因为水剂荧光磁悬液相对油剂磁悬液更经济。

水剂磁悬液的浓度:1.2~2.4 g/L。探伤过程中要经常测定磁悬液浓度,及时更换不合格的磁悬液。

以上的参数设置,可保证弹簧探伤的综合灵敏度,综合灵敏度的测试采用 A 型 15/50 标准试片进行检验。以被检测弹簧任意一部位所贴 A 型试片人工缺陷能清晰显示为探伤灵敏度,开工前和收工前各需校验、检查一次探伤灵敏度。

### 2.2 弹簧预处理

弹簧探伤前必须经过喷丸处理,以除去弹簧表面的油漆、油垢、毛刺、铁锈、氧化皮及其它覆盖物。使用 QD3710 吊钩式抛丸清理机,钢丸直径约为 0.8 mm,所需的喷丸时间一般为 2~5 min。喷丸后弹簧表面呈金属色即可,如效果不佳则需要进行补喷。

### 2.3 探伤作业

由于 CXW-6000 型弹簧荧光磁粉探伤机为半自动化探伤设备,操作过程比较简单。设置好探伤机的系统参数,进行综合灵敏度测试后,再进行探伤作业。

把预处理后的弹簧放置在料架上,便可在控制台上按相应的按钮完成探伤作业过程和退磁过程,需要注意的是,一旦发现有磁痕显示,应把磁痕显示擦去重新进行磁化确认,避免误判。

### 3 转向架弹簧的裂损特点

#### 3.1 各车型弹簧的裂损率

表 1 中列出了 2011 年和 2012 年宝鸡机车检修厂各型机车转向架弹簧的裂损情况。

表 1 各车型弹簧探伤范围及裂损率

车型	探伤数量	裂损数量	裂损率/%
SS3	696	66	9.48
SS4	4 288	444	10.35
SS6B	456	51	11.18
SS7C	882	33	3.74
SS7D	1 050	30	2.57
SS7E	972	25	2.57

转向架弹簧根据安装位置不同,通常分为两种,把连接轴箱与转向架的弹簧称为一系弹簧,把连接转向架与车体的弹簧称为二系弹簧。表 1 中 SS3、SS4、SS6B 等型机车的弹簧指一系弹簧外簧,SS7C、SS7D、SS7E 等型机车指一、二系弹簧。从裂损率来看,相差很大,SS3、SS4、SS6B 型车型的裂损率在 10% 左右,而 SS7C、SS7D、SS7E 的等车型的裂损率只有 3% 左右。造成此现象的原因下文会具体叙述。

#### 3.2 裂损位置和性质

对 2011 年 SS4 型电力机车一系悬挂外簧探伤情况进行统计(图 2)。图中端圈上端面指端圈与第一个有效圈接近的平面,端面指端圈远离第一有效圈的平面。有效圈指除端圈外的部分。

在 258 个裂损弹簧中有 244 个(端圈端面与端圈上端面之和)弹簧的裂损位置都集中在端圈,裂损原因



图 2 弹簧的结构

全部是由裂纹引起的。其余 14 个弹簧的裂损位置在有效圈上,以缺陷为主,具体如表 2 所示。

表 2 2011 年 SS4 型机车一系弹簧外簧裂损情况分布

位置	裂损数量	裂损比例/%	裂损性质
端圈端面	108	41.86	淬火裂纹
端圈上端面	136	52.71	淬火裂纹
有效圈	14	5.43	12 个线状缺陷,2 个裂纹

从以上的数据可以看出,弹簧端圈部位问题最多,占弹簧裂损总数的 94.57%,其它几种车型也是同样情况。

#### 3.3 磁痕特征

弹簧上可能存在由疲劳裂纹、线状缺陷、锻造裂纹和淬火裂纹等引起的相关磁痕,这些在弹簧上是不允许存在的。还有由金属流线、划伤刀痕、加工硬化引起的非相关磁痕,这些是允许存在的,探伤过程中应注意分辨,防止误判。最常见的磁痕有三种,分别是由淬火裂纹、线状缺陷和金属流线引起的磁痕,各自特点如下文所述。

##### 3.3.1 淬火裂纹

图 3、4 所示为淬火裂纹的磁痕特征,它们主要集中在端圈端面和端圈上端面,磁痕显示的特征为尾端尖,呈直线或弯曲状,浓密清晰,长度大多都在 80 mm 以上,在弹簧条上呈纵向延伸。用渗透探伤方法复探这些磁痕可以发现,证明其表面为开口裂纹。

##### 3.3.2 线状缺陷

线状缺陷主要分布在有效圈上,分布位置和取向没有规律性。长度相比端圈上的淬火裂纹较短,一般不超过 30 mm,用渗透探伤方法进行复探,不能发现缺陷。

##### 3.3.3 金属流线

图 5 所示为金属流线的磁痕显示,这种磁痕的特征是长度较长,有的达到两圈以上,成群出现,呈



图 3 端圈端面淬火裂纹的磁痕显示



图 4 端圈上端面淬火裂纹的磁痕显示

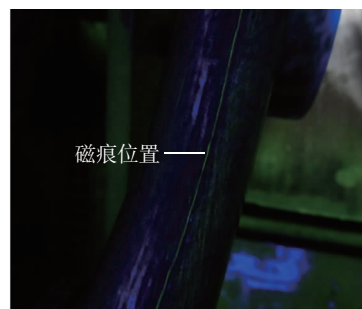


图 5 金属流线的磁痕显示

平行状态分布,与弹簧簧条的延伸方向一致。

金属流线是弹簧原材料上的低熔点成分和带状组织偏析在轧制过程中在被拉长形成的,在较大的磁化电流下会显示出来,属于非相关显示,退磁后降低磁化电流重新磁化一般不再出现。金属流线一般出现在 SS3、SS4、SS6B 等车型转向架弹簧的有效圈上。

### 3.3.4 转向架弹簧裂损原因分析

《机车车辆用热卷螺旋弹簧供货技术条件》规定对部分弹簧的热轧毛坯表面要进行处理,处理的方式有磨光或抛光等,处理后簧条表面的粗糙度数值应较小,既保证材料的表面质量,同时又可消除一些表面缺陷。还有一部分弹簧的原材料在生产前未进行处理,使原材料的热轧毛坯表面最终保留在产品上。这样做提高了工作效率,但弹簧表面粗糙度数值相对较大,原材料一些表面缺陷也留在弹簧成品上。弹簧的加工过程主要包括以下工序:切料——两端制扁——卷制弹簧——热处理(淬火和回火)——端面磨平——喷丸处理——检验——涂漆等环节。制扁就是把弹簧料坯两端通过锤锻或轧辊机加工成从圆形截面逐渐过渡到矩形截面的形状,加工时会使端部发生纵向变形,如果材料表面存在如气孔、偏析、非金属夹杂物、伤痕、细微裂纹等缺陷,制扁时会被拉长,缺陷位置在随后淬火过程中会受热应力的作用产生应力集中,促使这些缺陷扩大,形成明显的纵向淬火裂纹<sup>[1]</sup>。

SS7C、SS7D、SS7E 等车型的弹簧热轧毛坯表面进行了抛光处理,遗留在表面的原材料缺陷很少,所以在随后的加工过程中形成淬火裂纹的机率很低,图 6 为 SS7E 型机车的转向架弹簧表面状态。而 SS3、SS4、SS6B 等车型的弹簧热轧毛坯表面未经任何处理,所以遗留的原材料表面缺陷较多,在加工过程产生淬火裂纹的机率很高,图 7 为 SS4 型机车的转向架弹簧表面状态。这就是造成弹簧裂损及裂



图 6 SS7E 型机车转向架弹簧的表面状态



图 7 SS4 型机车转向架弹簧的表面状态  
损率差异的原因。

## 4 结论

从转向架弹簧的裂损原因来看,绝大多数都是在制造时遗留的问题。对转向架弹簧开展磁粉探伤检查已有三年,部分机车已经返厂进行第二次维修,这部分机车的弹簧前一次已经进行了探伤检查,再次进行探伤检查均未发现有裂损,这就证明了荧光磁粉探伤的有效性。所以建议有条件的单位对新品弹簧进行荧光磁粉探伤,防止带问题的弹簧投入运用。

### 参考文献:

- [1] 邹志勇. DJ4 热卷弹簧纵向裂纹的原因分析和解决措施[J]. 理化检验—物理分册, 2008, 44(9): 494—497.

## 摘 要 撰 写

摘要是以提供文献内容梗概为目的,不加评论和补充解释,简明、确切地论述文献重要内容的短文,因此,必须符合拥有与论文同等的主要信息的原则。摘要可包括研究工作的主要对象和范围,以及具有情报价值的其它重要信息,内容不应

空洞、过简,应具备四个要素,即研究目的、方法、结果和结论,其中,后两个是最重要的。中文摘要一般为 200 字左右,如需要可以略多;英文摘要内容应与中文摘要一致。