

东方红-60推土机车架强度分析

中国科学院力学研究所 曾春华 伍义生等
洛阳拖拉机厂设计处 殷匡中 郝兰琪等

一、问题的提出

推土机车架是按装推土机各部件（发动机、减速器、后桥和驾驶座等）的基础。车架除承受这些部件的重量以及由此引起的动负荷外，还承受相当大的履带工作张力以及地面作用于车轮正向和侧向的阻力。因此在实际工作中，车架各杆件均处于拉、扭、弯、压同时作用的这一复杂而又繁重的工作载荷条件下。由于车架是推土机的基础，不管车架是变形还是损坏都会直接影响到推土机的正常使用。因此，必须保证车架有足够的强度和刚度。

在国防工程和农田基本建设中，由于推土机的负荷和作业量的大大增加，常常发生车架一些主要承力构件的损坏，比如车架前梁断裂，纵梁变形与弯曲，侧支架处铆钉松动以及后轴弯曲等。

为了搞清推土机车架在实际工作中的应力分布，摸清车架各部件的外载情况和内在联系，寻找车架的损坏规律，解决车架的破坏问题，并为改进结构设计提供依据，必须对车架进行推土作业试验和强度分析。

二、试验方案的选取

推土机车架的强度试验包括两个内容：一

是对推土机进行作业时应力实测，另一是对铸铁前梁试棒进行疲劳试验。

推土机车架的推土作业试验采用电阻应变片测量方法，试验选取两车对比方案，一台是现在成批生产的东方红-60推土机，另一台是作了局部改进（前梁由灰口铸铁改为铸钢，缓冲弹簧加长加粗，导向轮改为带齿导向轮；后轴局部加粗）的推土机。作业试验选取的载荷规范为推土机工作中对车架强度最不利的工况，这些工况是：

1. 正推土——推土机刀片以Ⅰ档大油门强制入土，满载运土，在运土过程中使其左右转向若干次，保持直线推土，最后提升刀片。推土机在约30米长的平坦土地上把表土松软层推掉后，在比较硬的土质上进行。

2. 偏载推土——推土机以Ⅰ档大油门，推土机刀片的左边或右边分别对硬土路基进行偏载推土，刀片切入角约为 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。

3. 快速越障——推土机刀片在提升位置，以Ⅲ档大油门通过在平坦硬路面上人为铺设的矩形枕木障碍物，各枕木间距及形状见图1所示。

4. 慢速越障——推土机以Ⅰ档小油门缓慢通过上述的矩形枕木，情况与快速越障相同。

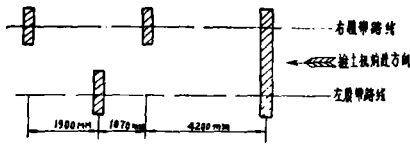


图1 越障枕木放置图

5. 急转弯——推土机以Ⅲ档大油门左、右急转弯180°，这时推土机刀片在提升位置上。

6. 模拟卡石子——推土机以Ⅰ档小油门前进或后退，这时分别以几种不同直径的园钢棒料头塞入推土机履带板与驱动轮牙齿之间来模拟卡石子工况，此时推土机刀片放在提升的位置。

铸铁前梁试棒的疲劳试验选取常规试验方案，即选取五个不同的应力水平，每个应力水平下试验7~10件试棒，然后求取试验结果的平均值，并用逐点描述法将试验结果画在坐标纸上，得到铸铁前梁试棒的疲劳曲线，从而确定它的疲劳极限。

三、试验装置及测量仪器

前梁试棒的疲劳试验在瑞士制阿姆斯特(Amsler)高频疲劳试验机上进行，机器属电磁共振式原理，试验频率为8000次/分。

车架推土作业试验，采用二台Y6D-2动态应变仪，一台LM-6六线笔记录仪，一台光线示波器(SC-16紫外线记录仪)，二台FY75型逆变器。上述测量仪器均放在专用电测车上，总电源用蓄电池，测量车与推土机之间用20米屏蔽线相连，在试验时测量车与推土机尽量做到同步行驶。

为了测量车架受力部位的外载，还要对车架一些部件进行静态标定：张紧螺栓在广州制30吨万能材料试验机上标定，配用日本PS7/LT型静态应变仪；推杆横梁、后轴、台车轴、油缸活塞杆用BLR-1~5吨拉压传感器标定。

四、车架各部分电阻片的布置

车架各部分电阻片位置基本贴在危险部位

上，见图2和图3，具体布片如下：

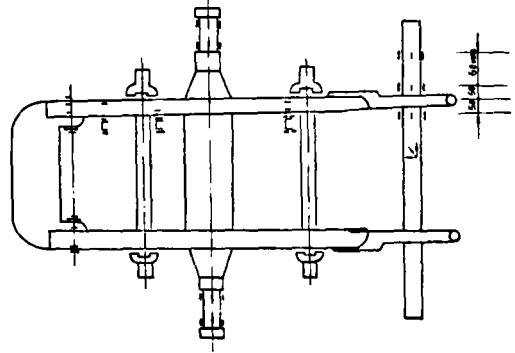


图2 原型机电阻片布置图

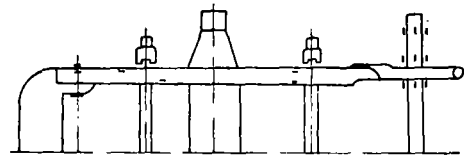


图3 改进机电阻片布置图

前梁——最容易出现裂纹的大拐轴孔上部，下部各一片，小拐轴孔上部，下部各一片，大拐轴孔中部上下位置各一片，前梁左右孔都同样贴片。

纵梁——槽钢拐轴孔上部，下部各一片，球支座托架后铆钉槽钢上下翼缘各一片，车架前横梁后铆钉槽钢上下翼缘各一片，车架后横梁前铆钉槽钢里边上下点，外边上下二点各一片。

后轴——考虑到后轴需要加粗多大才不会弯曲，在后轴上选四个截面贴片，离定位销左右50毫米处上下左右对称贴四片，定为后轴第二三截面处，离定位销110毫米处上下左右贴四片，定为第一截面处，离后轴中间不远处贴应变花，测定其主应力的方向和大小。

台车轴——台车轴离根部不远选二截面，上下左右对称贴四片测弯矩，另贴两片测内力。

缓冲弹簧——在张紧螺栓螺纹根部选二截面，一截面上下各贴一片测弯矩，另一截面左右各贴一片测轴力。

拐轴——在密封弹簧截面上下左右各贴一

片，测水平和垂直外载荷。

三角架——左右三角架危险截面处，上下左右各贴四片，共十六片。

推土杆件——油缸活塞杆左右杆上下左右各贴四片测量外载。

补偿片均贴在同构件的不受力部位。改进车的布片方案与原型车基本相同，只测主要部位进行两车对比。

推土作业试验之前，在室内先进行静力测量，即测定推土杆件的装配应力以及前梁的装配应力。

五、试验结果和强度分析

前梁试棒疲劳试验结果见图4，这条疲劳曲线是按随机抽样进行试验，将结果取平均值用逐点描述法画出的，它是按循环比 $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ = 0.1作出的，我们可利用 Goodman 图

将它换算为对称循环 ($R = -1$) 下的疲劳极限 $\sigma_{-1} = 13\text{kg/mm}^2 = 1300\text{kg/cm}^2$ ，见图5。

推土机车架的推土作业试验结果按最大峰值加以整理。整理数据过程包括从实测记录→

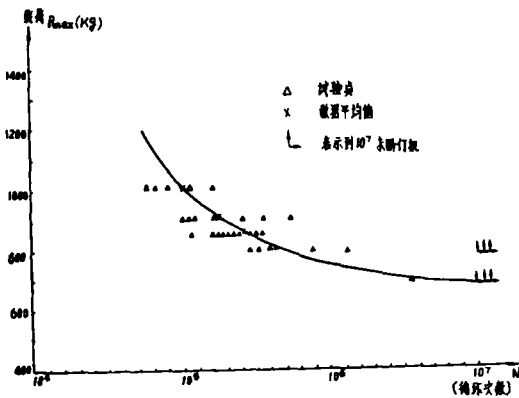


图4 灰口铸铁前梁试棒疲劳曲线

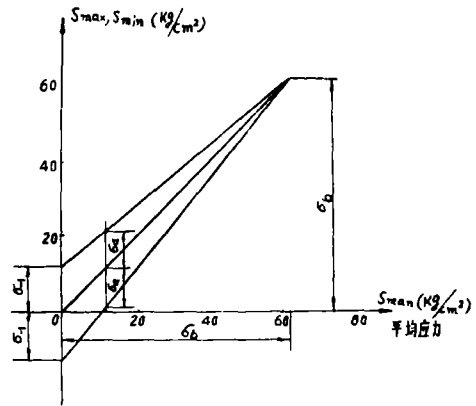


图5 Goodman图

读出最大微应变(按定标比例)→桥路折算→灵敏系数K修正→电阻片阻值 Ω 的修正→得出相当应力或相当外载。

从推土作业试验和强度分析初步得到下面的结果：

1. 前梁部分

(1) 铸钢前梁在各种危险工况下的应力都比灰口铸铁前梁应力小得多。(见下表)

(2) 前梁大拐轴孔端应力明显大于中段和小拐轴孔处的应力，而且大拐轴孔下部应力又比上部应力大，所以前梁最危险的部位是在大拐轴孔的下部，破坏首先从这里开始。

(3) 对前梁，危险工况是卡石子，其次是越障，再次是急转弯，大拐轴孔下部应力：
 $\sigma_{\text{卡石子}} > \sigma_{\text{越障}} > \sigma_{\text{急转弯}}$
 $4280\text{kg/cm}^2 \quad 1185\text{kg/cm}^2 \quad 950\text{kg/cm}^2$

正常推土作业如不附加卡石子，越障和急转弯情况，应力不大，不会引起破坏。

2. 纵梁部分

(1) 对于纵梁，危险工况是越障，其次是急转弯，再次是推土：

铸钢前梁与灰口铸铁前梁应力比较表

	偏推土 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$	正推土 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$	卡石子 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$	越障 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$	急转弯 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$
铸钢前梁(大拐轴孔上部)	65.5	40.8	385	596	515
灰口铸铁前梁(大拐轴孔上部)	189.5	211	770	892	326

$\sigma_{越障} > \sigma_{急转弯} > \sigma_{推土}$
 1845kg/cm² 1456kg/cm² 1170kg/cm²

因为越障时，车架整体扭转，所以对槽钢影响最大。

(2) 在正推土工况中，改进后样机的纵梁应力和原型样机差不多，对卡石子工况，原型机纵梁的应力比改进机纵梁应力稍高一些。

3. 后轴部分

	左右偏推	正 推	越 障	急 转 弯	卡 石 子
原型机应力(kg/cm ²)	936	504	2184	1750	384
改进机应力(kg/cm ²)	368	320	1126	508	134

(3) 后轴三个截面应力比较：

原型机越障：

$\sigma_I > \sigma_{II} > \sigma_{III}$
 2184kg/cm² 1354kg/cm² 702kg/cm²

改进机越障：

$\sigma_I > \sigma_{III} > \sigma_{II}$
 1106kg/cm² 728kg/cm² 610kg/cm²

(4) 履带下垂对后轴影响较大：

下垂55毫米 $\sigma_{水平I} = 54\text{kg/cm}^2$

下垂30毫米 $\sigma_{水平I} = 274\text{kg/cm}^2$

4. 推土杆件部分

(1) 推土杆件装配误差引起的内应力不很大，油缸活塞上的力不超过1吨时，前梁内应力 69kg/cm²左右，活塞杆伸长相差10毫米时：

左活塞杆作用力在下止点时为450公斤，上止点时为620公斤。

右活塞杆作用力在下止点为900公斤，上止点为340公斤。

前进卡石子(φ70)	大孔端上部应力	$\sigma = 1765\text{kg/cm}^2$
倒退卡石子(φ70)	大孔下部应力	$\sigma = 3970\text{kg/cm}^2$
慢速越障	大孔下部应力	$\sigma = 1680\text{kg/cm}^2$
快速越障	大孔下部应力	$\sigma = 1340\text{kg/cm}^2$
急转弯	大孔下部应力	$\sigma = 1100\text{kg/cm}^2$
快速越障	大孔上部应力	$\sigma = 1420\text{kg/cm}^2$

(1) 对于后轴危险工况是越障，其次是转弯，再次是推土；

$\sigma_{越障} > \sigma_{急转弯} > \sigma_{堆土}$
 2184kg/cm² 1750kg/cm² 1440kg/cm²

越障时履带过分张紧，对后轴最不利。

(2) 对于后轴总趋势表明改进机的应力小于原型机的应力；

(2) 左右三角架上的应力不大，不会引起破坏。

5. 张紧螺栓部分

(1) 改进机张紧螺栓应力比原型机小，卡石子工况 改进机应力 $\sigma\text{kg/cm}^2$

前进卡石子 φ70(弯矩)	154.8
倒退卡石子 φ70(压力)	213
原型机应力 $\sigma\text{kg/cm}^2$	
	800
	436

(2) 倒退急转弯比前进急转弯应力大；

倒退急转弯右外载 2200kg/cm²

前进急转弯右外载 1650kg/cm²

所以，倒退急转弯比较危险。

(3) 正常推土时张紧螺栓外载较小。

6. 铸铁前梁试棒试验测出疲劳极限 $\sigma_{-1} = 1300\text{kg/cm}^2$ ，但是从实测结果表明，在各种工况下前梁的应力都接近或超过它的疲劳极限；

从疲劳安全寿命设计观点看,灰口铸铁前梁的疲劳强度是不够的,这是造成前梁常断裂的主要因素。

六、结 论

1. 通过作业试验和疲劳试验结果表明,前梁大拐轴孔下部受力最大,是前梁的最危险部位,在各种工况下此处的应力都接近和超过它的疲劳极限,所以灰口铸铁前梁必须更换材料,比如换成球墨铸铁或铸钢。

2. 实测结果还表明,越障时纵梁槽钢受整体扭转,这时应力最大,槽钢的刚度不够,易在铆钉处产生裂纹,必须增加槽钢的刚度,如加厚槽钢腹板,增加抵抗整体扭转能力,对车架是很有好处的。

3. 两机对比试验表明,张紧弹簧加长加粗后,应力显著小于原来的应力,建议采用改进后的张紧弹簧。

4. 通过作业实测表明,后轴局部加粗的方案可取,提高抗弯强度,加粗到第二截面处即可。

5. 从室内静力试验表明,前梁的装配预应力很大,车架两纵梁稍微不平,就会造成很大的装配应力,这应力甚至比推土工况应力还大:

前梁大孔下端装配应力为 $475\text{kg}/\text{cm}^2$

前梁大孔下端正推土应力为 $211\text{kg}/\text{cm}^2$

这点应特别注意,在按装和检修时,一定要检查,发现两纵梁一高一低时,千万别硬性装配,一定要校正,否则容易造成前梁断裂。

工程机械载荷谱及其测定方法

高月华 高振方 秦淑华

一、引 言

工程机械的可靠性和寿命,在过去相当长的一段时间里,大多通过现场实际作业进行考核,不但浪费了大量的人力,物力,并使产品的研制和定型周期很长。近十几年以来,由于电子计算机,电子—液压伺服技术,随机函数理论和统计仪器的发展,在可靠性和寿命试验方面国外已广泛采用一种新的试验方法—室内模拟试验,这种方法是通过在实际作业的条件下,测取适当数量的数据,并把这些数据整理成程序载荷谱或功率谱密度等形式,然后在实验室里进行模拟,复现与合成。它的优点是快速、准确、周期短,可以对整机和零部件进行耐久性考核,结合零部件疲劳特性的S—N曲线并应用有关疲劳累积损伤理论估算疲劳寿命;因此载荷谱是建立室内室外当量关系、实

现室内模拟试验方法的基础、是计算整机和零部件强度的重要依据。

二、载 荷 谱

工程机械的工作载荷可以是力(挖掘力,推压力,提升力,牵引力,……)力矩、压力,应力等。由于工程机械的工作对象是土石方,工况恶劣繁杂,在工作过程中工作载荷的频率,大小,是复杂多变、不可预测的。例如,单斗挖掘机在进行土方作业时,作用在斗尖上的挖掘阻力有多大?频率是多少?推土机作业时在某一个作业段,作用在推土板上的土壤阻力有多大?频率是多少?等等这些都不能用简单的,确切的数字来表达,我们把工程机械工作载荷的这种复杂多变不可预测的性质称为随机性,并把工程机械实际工况工作载荷的变化过程看成随机过程。