

文章编号:1007-967X(2010)06-0038-03

电解多功能起重机车轮的疲劳计算*

栾志洁¹, 张云伟¹, 杨立业²

[1. 中国有色(沈阳)冶金机械有限公司, 辽宁 沈阳 110141; 2. 辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000]

摘 要: 本文针对目前铝电解多功能起重机使用的车轮进行计算分析, 建立了车轮踏面最大接触应力与车轮直径、轨道曲率半径及轮压分布等因素的关系, 并确定考虑机构工作级别和车轮材料性能的车轮踏面的疲劳极限许用应力, 进一步完善了车轮踏面的疲劳计算。同时, 对其它类型起重机车轮的疲劳计算也具有指导意义。

关键词: 电解多功能起重机; 车轮; 疲劳计算

中图分类号: TH218 **文献标识码:** A

1 概述

铝电解多功能起重机的车轮作为机组重要的零部件是供起重机运行使用的。它通过轨道在起重机和电解厂房构架之间起连接作用, 是一种运动的、带着变动载荷、振动和冲击的承载元件。它的工作状态直接影响机组的整机性能。

在实际应用中, 车轮的主要失效形式是由于反复交变应力作用下车轮踏面的疲劳破坏和轮缘的过渡磨损。由于重复的冲击、振动、温度变化、轨道变形等所产生的各种应力对于整个车轮也有一定的影响。

目前, 铝电解多功能起重机大车的车轮组采用无轮缘垂直轮加水平轮导向的结构形式, 水平导向轮安装在供电侧, 运行阻力小, 平稳, 水平轮采用轮距可调心机构, 为了安全还加设了防脱轨装置(安装在非供电侧)。车轮采用无轮缘圆柱形结构, 可以增大车轮踏面宽度, 减少车轮和轨道间的磨损, 而且当偏斜运行到一定程度时, 水平导向轮承受水平侧向力, 能阻止其进一步偏斜运行。另外, 水平导向轮与轨道侧面之间是滚动摩擦, 摩擦阻力大大减小, 对运行传动机构承载能力和电动机容量的要求则相应降低。

由于铝电解多功能起重机车轮采用无轮缘结构, 因此车轮的疲劳计算只考虑车轮踏面的疲劳强度校核。本文根据车轮与轨道的实际接触情况, 计算车轮踏面的最大接触应力, 再利用 Palmgren - Miner 线性累积损伤法则估计车轮踏面的疲劳寿命, 综合考虑所受载荷情况、车轮材料性能以及机构件

工作级别, 并最终确定车轮踏面的疲劳极限许用应力, 从而为车轮踏面的疲劳强度计算提供理论依据。

2 车轮踏面接触应力计算

按照车轮踏面与轨道顶部形状不同, 其接触处可能是一直线(实际为矩形面积), 称为线接触, 也可能是一点(实际是椭圆面积), 称为点接触。在理想状态下, 圆柱形踏面车轮与平头轨道接触时为线接触, 圆锥形(或圆柱形)踏面车轮与凸头轨道接触时为点接触。因此, 考虑铝电解多功能机组中车轮踏面形式以及轨道形状其接触形式为点接触(如图1所示)。

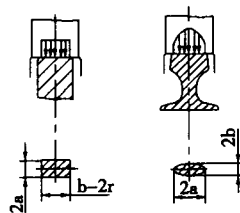


图1 车轮踏面与不同轨道形状接触示意图

(a) 线接触; (b) 点接触

点接触状态下车轮踏面与轨道接触表面呈椭圆形(如图2所示), 根据赫兹公式其接触应力为:

$$\sigma_{\max} = \frac{3P}{2\pi ab} \quad (1)$$

式中 a ——接触椭圆长半轴,

$$a = \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{3(1-\gamma^2) \cdot P}{E \cdot \Sigma \rho}} \text{ (mm)};$$

b ——接触椭圆短半轴,

$$b = \eta \cdot \sqrt{\frac{3(1-\gamma^2) \cdot P}{E \cdot \Sigma \rho}} \text{ (mm)};$$

* 收稿日期: 2010-10-25

作者简介: 栾志洁(1981—), 女, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 助理工程师, 从事铝电解多功能起重机设计研发工作。

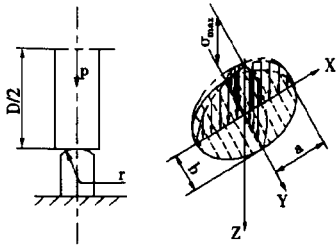


图2 车轮踏面与轨道接触表面接触情况

P ——计算轮压(N);

E ——弹性模量, $E = 2.1 \times 10^6$;

γ ——泊松比, $\gamma = 0.3$;

$\Sigma \rho$ ——曲率半径之和, $\Sigma \rho = \frac{2}{D} + \frac{1}{r}$

[其中 D ——车轮直径(mm), r ——轨面曲率半径(mm)]

经计算,在起重机电轮直径与轨道曲率半径范围内, $\varepsilon \cdot \eta \approx 1$,故最大接触应力可以表示为:

$$\sigma_{\max} = \frac{3P}{2\pi ab} = 1371\alpha \cdot \sqrt{\frac{P}{D^2}} \quad (2)$$

式中 α ——系数, $\alpha = \sqrt[3]{\left(1 + \frac{1}{2r/D}\right)^2}$, 选定轨道型号和车轮直径后即可求得。

另外,根据起重机设计规范,计算轮压 P 可以由最大轮压 $P_{\max}$ 和最小轮压 $P_{\min}$ 确定为: $p = \frac{2P_{\max} + P_{\min}}{3}$ 。因此,通过计算得到车轮的轮压分布(即各个车轮的轮压值),将其代入上式可得计算轮压 P ,最后代入式(2)中便可得到车轮踏面的最大接触应力 $\sigma_{\max}$ 。

3 车轮疲劳强度计算

由于起重机承受载荷以及车轮转速的不稳定性,使得车轮反复承受不稳定的接触应力,这些应力将对车轮造成疲劳损伤累积。因此,应用 Palmgren - Miner 线性累积损伤法则估计车轮踏面的疲劳寿命。

由 Miner 法则可得车轮不产生疲劳破坏的条件是:

$$\Sigma \left(\frac{n_i}{N_i} \right) \leq 1 \quad (3)$$

式中 n_i ——应力 σ_i 在车轮踏面上的实际循环次数;

N_i ——车轮踏面应力为 σ_i 时对应的疲劳破坏时的循环次数。

而材料的疲劳曲线方程为:

$$\sigma_i^m N_i = \sigma_{-1}^m N_0 \quad (4)$$

式中 σ_{-1} ——车轮踏面对称循环疲劳极限;

N_0 ——循环基数;

m ——疲劳曲线指数。

$$\text{式(3)可以变为: } \Sigma \frac{n_i \sigma_i^m}{N_i \sigma_i^m} \leq 1 \quad (5)$$

将式(4)代入式(5)可得:

$$\Sigma \frac{n_i \sigma_i^m}{N_i \sigma_i^m} = \Sigma \frac{n_i \sigma_i^m}{N_0 \sigma_{-1}^m} \leq 1 \quad (6)$$

$$\text{令 } \sigma_d = \Sigma \frac{n_i \sigma_i^m}{N_0} \quad (7)$$

式中 σ_d ——等效应力。

由式(6)、(7)可得疲劳强度校核公式:

$$\sigma_d \leq \sigma_{-1} \quad (8)$$

对式(7)作如下变换

$$\sigma_d = \sqrt[m]{\Sigma \frac{n_i \sigma_i^m}{N_0}} = \sqrt[m]{\frac{N}{N_0} \Sigma \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}} \right)^m \left(\frac{n_i}{N} \right)} \cdot \sigma_{\max} \quad (9)$$

式中 $\sigma_{\max}$ ——所有应力循环中车轮踏面最大接触应力值;

N ——车轮踏面设计寿命期限内总的应力循环次数, $N = 60Tn$, n 为车轮转速(r/min), T 为设计寿命(h)。

令循环系数 $\varphi = N/N_0$

$$\text{则有 } \sigma_d = \sqrt[m]{\varphi \cdot K_s} \cdot \sigma_{\max} \leq \sigma_{-1} \quad (10)$$

由式(2)可知,对于点接触,应力与轮压的立方成正比,故对于点接触可得机构载荷谱系数表达式:

$$K_s = \Sigma \left[\left(\frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}} \right)^m \left(\frac{n_i}{N} \right) \right] = \Sigma \left[\left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^3 \left(\frac{n_i}{N} \right) \right] \quad (11)$$

式(10)中的等效应力 σ_d 是应用等效载荷计算得到的,已经综合考虑了结构件的受力情况、载荷变化情况、材料因素和疲劳累积损伤效应等。但在铝电解多功能机组设计过程中,为了方便计算,将等效应力 σ_d 原先需要考虑的诸多因素都放入疲劳许用应力中考虑,这样处理对于确定疲劳许用应力时有较大的工作量,但实际设计工作是方便的。

式(10)中 $\varphi \cdot K_s$ 的乘积体现了车轮踏面实际工作的循环次数和实际的工作载荷,起重机设计规范中结构件或零件的工作级别划分正是以 φ 和 K_s 为依据,将其划分为 E1 ~ E8 共 8 个工作级别。

设车轮踏面对称弯曲疲劳下的疲劳极限许用应力为 $[\sigma_{-1}]$, 令

$$[\sigma_{-1}] = \frac{\sigma_{-1}}{\sqrt[m]{\varphi \cdot K_s}} \quad (12)$$

因此,由式(10)得到车轮踏面对称弯曲疲劳下的疲劳校核公式为:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma_{-1}] \quad (13)$$

式中 $\sigma_{\max}$ ——所有应力循环中车轮踏面最大接触应力值;

$[\sigma_{-1}]$ ——对称弯曲循环试验中得到的材料疲劳极限,除以安全系数(1.34),并考虑车轮的工作级别($\varphi \cdot K_s$)。

综上,根据式(2)计算可得车轮踏面的最大接触应力 $\sigma_{\max}$,将其代入式(13)即可对车轮踏面对称弯曲疲劳下的疲劳强度进行校核。

以实际使用的电解起重机大车车轮为例,按以上方法对车轮踏面进行疲劳强度校核,计算结果表明车轮踏面的疲劳强度满足使用寿命要求(如表1所示)。

表1 疲劳计算结果表

车轮直径 D(mm)	车轮材料	轨道型号	轨道曲率 半径 r(mm)	计算轮压 P(KN)	车轮 工作级别
550	65Mn	QU120	500	300	E8
σ_s	$\sigma_{\max}$	N(h)	$N_0(h)$	$\varphi \cdot K_s$	$[\sigma_{-1}]$
(N/mm ²)	(N/mm ²)				
430	183.12	8×10^6	10^7	0.4	507.9

4 结 论

本文针对目前铝电解多功能起重机使用的车轮

进行计算分析,建立了车轮踏面最大接触应力与车轮直径、轨道曲率半径及轮压分布等因素的关系,并确定考虑机构工作级别和车轮材料性能的车轮踏面的疲劳极限许用应力,进一步完善了车轮踏面的疲劳计算。应用本文所提供的计算方法,对目前铝电解多功能起重机车轮进行计算,结果显示车轮踏面的疲劳强度满足使用寿命要求。本文的计算方法不仅仅适用于电解多功能起重机,对其它行业应用的起重机车轮的疲劳计算也具有指导性作用。

总之,车轮选用设计的合理与否,直接关系到电解起重机的实际运行性能。国内对起重机车轮的研究还不够充分,为提高机组整体运行性能,我们应该对车轮材料、热处理工艺等方面加深研究,并及时将研究成果应用到实际生产中,这是提高机组整体技术性能的重要途径之一。

参考文献

- [1] 张质文,虞和谦. 起重机设计手册[M]. 北京:中国铁道出版社,1998.
- [2] 大连起重机器厂. 起重机设计手册[M]. 沈阳:辽宁人民出版社,1979.
- [3] GB/T3811-2008,起重机设计规范[S].

Fatigue Calculation of the Wheels of Pot Tending Machine

LUAN Zhi-jie¹, ZHANG Yun-wei¹, YANG Li-ye²

[1] NFC (Shenyang) Metallurgical Machinery Co., Ltd., Shenyang 110141, China;

2 Liaoning Technical University mechanical engineerin., Fuxin 123000, China]

Abstract: The analysis carrying out calculation specifically for the wheels that the pot tending machine uses at present, has built a wheel on a maximum contacting stress relation with factors such as the diameter of a wheel, radius of a track and pressure distribution of the wheels, has conformed the limit fatigue stress that consider the work level and material properties of the wheel, and further improved the fatigue calculation on the face of the wheels. Meanwhile, it also can make a guidance to calculate the wheels of other type cranes.

Key words: pot tending machine; wheels; fatigue calculation

(上接第37页)

Basic Research of Separation of Low Grade Ascharite

CHENG Ren-ju, DENG Shan-zhi, LI Yan-jun, Bao Shi-lei

(The North East University, Shenyang 110004, China)

Abstract: The distribution and characteristic of the boron ores at home and broad were mainly introduced in this paper. The research situation of separation of the low grade ascharite conducted by experts and scholars of the domestic research institutions, was emphatically reviewed. Moreover, the suggestion of processing the low-grade boron mine was put forward.

Key words: boron ore; ascharite; flotation technology