doi:10.13301/j.cnki.ct.2015.09.101

采煤机行走轮齿根裂纹缺陷评估技术*

王 灿，魏 升

（天地科技股份有限公司 上海分公司，上海 200030）

摘 要：通过专业裂纹分析软件 Franc3D 和有限元软件 ANSYS，对采煤机行走轮齿根裂纹前缘应力强度因子 K_I 进行分析求解，仿真了不同裂纹尺寸下的 K_I 值，得到了裂纹失稳扩展时最大裂纹尺寸，为实际工程中裂纹缺陷的评估提供了理论依据。

关键词：裂纹；行走轮；应力强度因子；失稳扩展

中图分类号：TD421.6；TH132.41 **文献标志码**：A **文章编号**：1008－8725(2015)09－0265－02

Assessment Techniques of Shearer Travel Wheels Tooth Root Crack Defect

WANG Can，WEI Sheng

（Shanghai Branch，Tiandi Science and Technology Co.，Ltd.，Shanghai 200030，China）

Abstract: The crack stress intensity factor of K_I tooth root of shearer sprocket is analyzed by professional crack analysis software Franc3D and the finite element software ANSYS，where simulated the value of K_I as different crack size，obtaining the maximum crack size of instability extension，which provides a theoretical basis for the evaluation of crack defects in practical engineering.

Key words: crack；travel wheels；stress intensity factor；instability extension

0 引言

行走轮是采煤机行走机构中非常重要的构件，它一旦出现问题，将导致整个采煤机无法正常工作，需要大量的时间进行维修或者更换，将严重影响采煤机的生产效率。行走轮的主要失效形式是齿根断裂，当行走轮的使用寿命达到它的疲劳寿命时，行走轮就会萌生裂纹，裂纹在交变载荷作用下，进一步扩展，直至断裂。如果行走轮材料无裂纹缺陷，那么它的使用寿命就是裂纹萌生寿命和裂纹扩展寿命之和；如果行走轮材料存在裂纹缺陷，那么它的疲劳寿命就仅仅是指裂纹的扩展寿命。目前，对于行走轮的设计和研究大多是基于无缺陷行走轮材料。考虑到实际工程需要，本文是基于有缺陷行走轮材料，对行走轮裂纹缺陷进行研究分析，旨在确定最小裂纹尺寸。

1 裂纹分析理论基础

如图 1 所示，一个平面裂纹，原点 O 为裂纹的尖端，根据线弹性断裂力学理论，距离裂纹尖端某点 $A(r,\theta)$ 的应力应变场公式如式(1)所示。由式(1)可知，当 r 趋向于无穷大时，裂纹尖端应力不管外载荷多大，都将趋于无穷大，出现奇异点，如果按照传统的设计观点，构件就会失效，这显然与事实不相符，因此，在进行构件失效判定时，就不能再利用传统的应力标准。由式(1)可知，裂纹前缘应力与应力强度因子 K_I 成正比关系，K_I 值是定量描述裂纹前缘应力场强弱的一个重要参量。对于裂纹前缘邻域任意固定的一点，坐标 $A(r,\theta)$ 是固定不变的，那么该点的应力强度因子 K_I 就完全决定了该点的应力。因此，对于 K_I 的求解在实际工程中具有重要的意义。

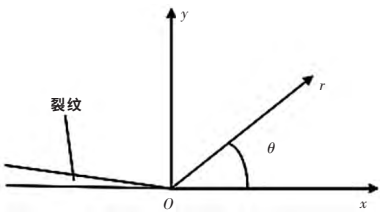

图 1 平面裂纹

$$\begin{cases}\sigma_x=\dfrac{K_I}{\sqrt{2\pi r}}\cos\dfrac{\theta}{2}\left(1-\sin\dfrac{\theta}{2}\sin\dfrac{3\theta}{2}\right)\\ \sigma_y=\dfrac{K_I}{\sqrt{2\pi r}}\cos\dfrac{\theta}{2}\left(1+\sin\dfrac{\theta}{2}\sin\dfrac{3\theta}{2}\right)\\ \tau_{xy}=\dfrac{K_I}{\sqrt{2\pi r}}\cos\dfrac{\theta}{2}\sin\dfrac{\theta}{2}\sin\dfrac{3\theta}{2}\end{cases} \quad (1)$$

2 应力强度因子的计算

首先利用三维软件 Solid Edge 绘制行走轮单齿模型，将模型导入有限元软件 ANSYS 中进行边界条件的施加，保存为.cdb 格式模型，最后将.cdb 格式文件导入到专业裂纹分析软件 Franc3D 中，进行裂纹模型的建立，以及裂纹前缘应力强度因子 K_I 的求解。分析不同裂纹尺寸下的最大 K_I 值，结合材料的断裂韧性 K_{IC}，可以确定材料所允许的最大裂纹尺寸。

2.1 模型绘制

* 国家 863 计划支撑项目(2012AA06A406)

以天地科技股份有限公司上海分公司 MG750/1915-WD 型采煤机为例，正常采煤时的最大牵引力 F=1 142 kN。行走轮模数 m=46.79 mm，材料属性如表 1 所示。

表 1　行走轮材料属性

行走轮材料	18Cr2Ni4WE
抗拉强度/MPa	1 270
屈服强度/MPa	970
弹性模量/Pa	2.02×10^{11}
泊松比	0.273
断裂韧性 K_{IC}/Pa$\sqrt{m}$	1.17×10^{8}

利用 Solid Edge 软件绘制行走轮单齿模型，如图 2 所示，保存为 Parasolid 格式，作为三维软件和有限元软件的接口文件。

图 2　轮齿模型

2.2　轮齿边界条件施加

2 个行走轮共同承担牵引力，每个行走轮所承担的最大牵引力 571 kN。对轮齿的齿顶施加与齿顶圆相切的载荷，大小 571 kN。轮齿底部圆弧和两侧面施加全约束. 将该模型保存为.cdb 格式的有限元文件，作为与 Franc3D 软件的接口文件。仿真结果如图 3 所示，忽略掉齿顶应力集中现象，最大 VonMise 应力 667 MPa，位于齿根节点 667 处。

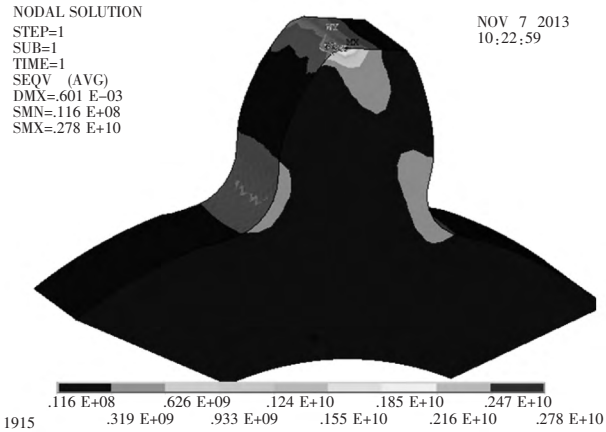

图 3　行走轮轮齿等效应力云图

2.3　应力强度因子 K_I 求解

将施加好边界条件的有限元模型导入 Franc3D 中，本文选取裂纹模型为半圆型裂纹，半径 a 分别取 1、3、5、7、9 mm，用来仿真分析不同裂纹下的应力强度因子 K_I。a=5 mm 时的裂纹模型如图 4 所示。不同裂纹半径下的 K_I 曲线如图 5 所示。

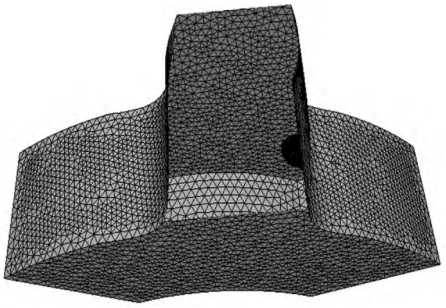

图 4　引入裂纹的轮齿

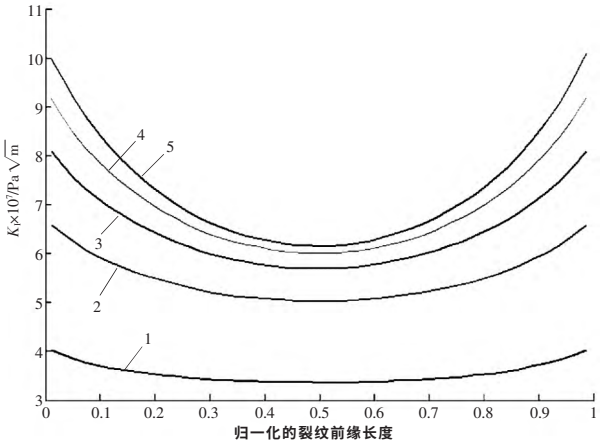

图 5　不同裂纹半径时的 K_I 曲线

1. a=1 mm　2. a=3 mm　3. a=5 mm　4. a=7 mm　5. a=9 mm

3　结语

由图 5 可知，当裂纹半径分别是 1、3、5、7、9 mm 时，K_I 最大值分别是 4.03×10^7、6.59×10^7、8.09×10^7、9.19×10^7、1.1×10^8 Pa$\sqrt{m}$。随着裂纹半径的增加，K_I 值逐渐增加，当 a=9 mm 时，基本接近材料的断裂韧性 K_{IC}，当 a>9 mm 时，裂纹会失稳扩展，瞬间断裂。所以，对于半圆型裂纹缺陷，所能允许的最大裂纹尺寸 a=9 mm。这将对以后实际工程材料的裂纹缺陷评估提供巨大的参考价值。

参考文献：

[1]魏升. 采煤机行走轮齿根断裂特性分析[D]. 北京：煤炭科学研究总院，2014.

[2]姜年朝，谢勤伟，戴勇，等. 基于 ANSYS/FE-SAFE 的无人机复合材料机翼疲劳分析[J]. 玻璃钢/复合材料，2009(6)：3-4，11.

[3]于世光，朱如鹏. 三维齿轮轮齿断裂数值分析与扩展模拟[J]. 机械制造与自动化，2008(6)：75-78.

作者简介：王灿（1988- ），安徽宿州人，机械工程师，主要从事采煤机的设计与研发工作，电子信箱：502982853@qq.com.

责任编辑：郑万才　收稿日期：2014-12-23