

# 用刚体理论分析烟囱倒下的断点位置\*

王悦 王庆 李品翔

(铜陵学院电气工程学院 安徽 铜陵 244000)

裴悦

(铜陵学院建筑工程学院 安徽 铜陵 244000)

(收稿日期:2019-07-10)

**摘要:** 烟囱倾倒的过程中将会在某处发生断裂. 通过刚体理论知识, 采用圆台模型分析了烟囱倾倒过程中的动力学过程, 通过理论推导找到极值点, 理论上推断出烟囱断裂的位置.

**关键词:** 刚体 烟囱 断点

## 1 引言

烟囱拆除、水塔拆除、电视塔架拆除等, 因为大多数爆破拆除过程和多种因素相关, 同时具有瞬时性、模糊性, 造成了当前理论指导严重不足, 蓬勃发展的工业速度, 明显超前当前理论研究<sup>[1~3]</sup>. 因此, 亟待发展出实施爆破时烟囱倾倒过程分析的相应理论.

## 2 物理模型

如图1所示, 绝大多数烟囱都是高度远远大于其横向线度结构, 故粗略分析时, 可将其抽象为绕固定轴转动的细杆. 但是由于实际烟囱都是上细下粗, 用细杆的模型过于简化, 所以这里采用圆台模型分析.



图1 倾倒中的烟囱

## 3 倾倒过程中的理论分析

### 3.1 断裂前分析

如图2所示, 把烟囱看成一个下底半径为 $R_1$ , 上

底半径为 $R_2$ , 高为 $l$ 的圆台, 则其体积为

$$V = \frac{1}{3}\pi l(R_1^2 + R_2^2 + R_1R_2) \quad (1)$$

假设烟囱质量分布均匀, 密度为 $\rho$ , 总质量为 $M$ , 那么有关系

$$M = \frac{1}{3}\rho\pi l(R_1^2 + R_2^2 + R_1R_2) \quad (2)$$

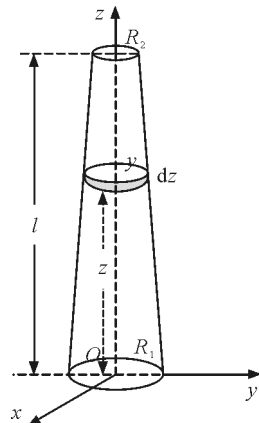


图2 圆台模型

若质心高度为 $z_c$ , 由质心公式可知

$$z_c = \frac{\int z dm}{M}$$

取图2中的质量元 $dm$ 为研究对象

$$dm = \rho dV = \rho \left[ \frac{1}{3}\pi dz (y_1^2 + y_2^2 + y_1 y_2) \right]$$

当 $dz$ 很小,  $y_1 \approx y_2 = y$ , 此时

\* 2018年度安徽高校自然科学基金项目, 项目编号:KJ2018A0482; 2017年铜陵学院大学生创新性训练计划项目, 项目编号: 2017tlxydxs082

通讯作者: 王悦(1980- ), 女, 硕士, 副教授, 研究方向为原子与分子反应动力学、大学物理教学.

$$dm = \rho\pi y^2 dz$$

由几何关系和相似形性质可知

$$y = \frac{R_1 l - R_1 z + R_2 z}{l} \quad (3)$$

所以

$$dm = \rho\pi \left[ \frac{R_1 l - R_1 z + R_2 z}{l} \right]^2 dz \quad (4)$$

$$z_c = \frac{\int z dm}{M} = \frac{\rho\pi}{M} \int_0^l z \left[ \frac{R_1(l-z) + R_2 z}{l} \right]^2 dz =$$

$$\frac{\rho\pi}{Ml^2} \int_0^l \left[ zR_1^2 l^2 + z(R_2 - R_1)^2 z^2 + \right. \\ \left. 2zR_1 l(R_2 - R_1) z \right] dz =$$

$$\frac{\rho\pi l^2}{12M} (R_1^2 + 2R_1 R_2 + 3R_2^2) =$$

$$\frac{l(R_1^2 + 2R_1 R_2 + 3R_2^2)}{4(R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2)} \quad (5)$$

实际中  $R_2 \ll R_1$  为了讨论方便我们假定  $R_1 = R, R_2 = 0$ , 则式(2)、(3)、(4)、(5)变为

$$M = \frac{1}{3} \rho\pi l R^2 \quad (6)$$

$$y = \frac{R(l-z)}{l} \quad (7)$$

$$dm = \rho\pi \left[ \frac{R(l-z)}{l} \right]^2 dz \quad (8)$$

$$z_c = \frac{1}{4} l \quad (9)$$

### 3.2 断裂后分析

当烟囱倾斜时,可以认为是在绕  $Ox$  轴旋转,如图3所示,由垂直轴定理可知

$$dJ_{ox} = dJ_{oy} + dJ_{oz} = \left( \frac{1}{2} y^2 + z^2 \right) dm$$

所以

$$J_{ox} = \int_0^l \left( \frac{1}{2} y^2 + z^2 \right) dm = \\ \int_0^l \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{R(l-z)}{l} \right)^2 + z^2 \right] \rho\pi \left[ \frac{R(l-z)}{l} \right]^2 dz = \\ \frac{3}{10} MR^2 + \frac{1}{10} Ml^2 \quad (10)$$

由定轴转动定律可知

$$J_{ox} \alpha = Mgz_c \sin \theta \\ \alpha = \frac{Mgz_c \sin \theta}{J_{ox}} = \frac{5gl \sin \theta}{6R^2 + 2l^2} \quad (11)$$

对  $dm$  合力矩分析可知是由重力和烟囱切向应力共同产生,  $\tau = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$

$$\mathbf{r} \times \mathbf{F} - \mathbf{r} \times (dm)\mathbf{g} = (dm)r^2 \boldsymbol{\alpha}$$

$$\tau = (dm)r^2 \frac{5gl \sin \theta}{6R^2 + 2l^2} - (dm)gr \sin \theta =$$

$$(dm)g \sin \theta \left( \frac{5lr^2}{6R^2 + 2l^2} - r \right)$$

此式中:当  $r = \frac{3R^2 + l^2}{5l}$  时力矩最大,考虑实际

情况  $R \ll l$ , 取  $R = 0$  可知

$$r = \frac{l}{5}$$

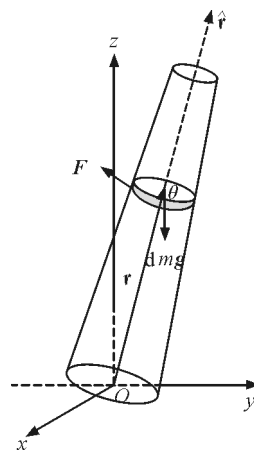


图3 烟囱倾斜时力矩分析

### 4 总结

可见,在距  $O$  点  $\frac{l}{5}$  处,力矩最大,所以最容易断裂.此结论与细杆模型和圆锥模型是吻合的<sup>[4-6]</sup>.通过本文的讨论,发现烟囱定向爆破后倾倒是一个复杂的力学过程,发生断裂的现象主要是由于组成烟囱的每个质元切向加速度不一样,通过计算知道,一般会在靠近爆破点位置  $\frac{1}{5}$  烟囱长度的位置发生断裂.文中的力学参数讨论主要针对质量分布均匀的烟囱,而实际烟囱除了有从上到下粗细区别以外,烟囱的切面质量分布随空间也是变化的,所以烟囱密度是一个不仅仅与高度变化有关的量.但由于烟囱倾倒时间很短,这种偏差对断裂位置的影响并不大,所以本文对倾倒过程中易发生断裂位置的讨论,有助于理论上指导烟囱的爆破拆除,具有一定的实际意义.

### 参考文献

- 唐海. 烟囱爆破倾倒折断的力学浅析[J]. 爆破, 2003, 20(1): 10 ~ 11
- 赵凯华, 罗蔚茵. 新概念物理学教程: 力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996. 209

# 大学生对麦克斯韦方程组的理解研究

刘文莉 包 芯 章 越 申亚琴

(北京师范大学物理学系 北京 100875)

(收稿日期:2019-08-20)

**摘 要:**本研究通过收集麦克斯韦方程组概念测试题的课堂讨论录音及书面回答,获得物理专业大学生对麦克斯韦方程组的错误理解,总结出学生常见的错误概念为不清楚方程式来源、对电场和磁场的相互关系理解有误、将电场和磁场进行不恰当类比、不能正确理解平行板间电磁场的来源、对感生电场和位移电流理解不到位等,对此提出有针对性的教学建议,为电磁学教学提供参考。

**关键词:**电磁学 麦克斯韦方程组 错误概念

麦克斯韦方程组完整地概括了电磁场的基本规律,其在电磁学中的地位如同牛顿运动定律在力学中的地位,以麦克斯韦方程组为核心的电磁理论,是经典物理学最引以自豪的成就之一,它所揭示出电磁相互作用的完美统一,并被广泛地应用于技术领域.物理与日常生活息息相关,从日常生活中学生能够得到对物理现象或问题的理解,其中有些理解

是正确的,而有些理解则是片面的、不完整的,有些甚至是完全违背科学观念的,研究者把这些完全违背科学知识的理解称为错误概念,而错误概念具有广泛性、自发性、顽固性和负迁移性,在传统课堂教学下,无论物理专业还是非物理专业,都有部分学生对麦克斯韦方程组存在误解,可能导致对其应用的困难,教师在教学过程中应采取有针对性的教学措

- 3 侯吉旋,李志昂,郭兴,等.质量非均匀分布的烟囱在倾倒过程中的力学分析[J].大学物理,2017,36(6):50~55
- 4 肖庆华.烟囱倾倒时最容易断裂的位置[J].重庆职业技术学院学报(综合版),2004,13(1):99~100

- 5 曹春梅.烟囱倾倒过程的简化力学分析[J].天中学刊,2007,22(2):20
- 6 胡国忠,王宏图,林大能,等.烟囱定向爆破触地冲击力估算[J].矿冶工程,2005,25(6):14~20

## Analysis on the Position of the Broken Point of Chimney Falling Using Rigid Body Theory

Wang Yue Wang Qing Li Pinxiang

(Department of Electrical Engineering, Tong Ling University, Tongling, Anhui 244000)

Pei Yue

(Department of Construction Engineering, Tong Ling University, Tongling, Anhui 244000)

**Abstract:** When the chimney dump, usually breaking will happen somewhere. Based on the rigid body theory knowledge, we analyzes the stress of each parts in the process of a chimney dumping. Through force analysis we find the extreme value point and it is the breakpoint location of the chimney.

**Key words:** rigid body; chimney; breakpoint