

矩形钢煤斗受力性能的双非线性分析

余少乐

(西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 研究认为增加钢煤斗的厚度可以减小钢煤斗的应力, 但是对矩形钢煤斗研究较少。采用有限元软件 ANSYS, 通过添加表面效应单元的方法解决荷载施加的问题, 并在考虑材料几何双非线性情形下研究矩形钢煤斗在不同厚度时的受力性能。研究表明厚度增加不会改变其最大 Mises 应力。

关键词: 矩形钢煤斗; 双非线性分析; 厚度影响; 荷载施加

中图分类号: TG113.25

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)06—0143—04

Double Nonlinear Analysis on Stress Performance of Rectangular Steel Coal Scuttle

YU Shao-le

(College of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China)

Abstract: The research on steel coal scuttle shows that its stress would be reduced as its thickness increasing. But the research on rectangular steel coal scuttle is very little. Through the finite element software ANSYS, the problem of applying loads is solved by adding surface effect element, and the stress performance of the rectangular steel coal scuttle is researched by considering both materials and geometric nonlinearities. The research result shows that the maximal Mises stress would remain the same with the thickness added.

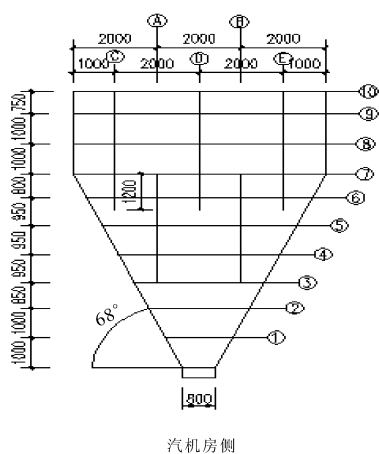
Keywords: rectangular steel coal scuttle; double nonlinear analysis; thickness factor; load application

0 引言

钢煤斗在火力发电厂中日益推广, 由于矩形钢煤斗外形存在突变, 其受力性能较圆形钢煤斗复杂, 目前对矩形钢煤斗的研究分析较少, 所以常见的钢煤斗一般采用圆形和方形, 其应力和变形分布均匀, 受力性能良好^[1-3]。但是受工艺或者布局的限制, 矩形形式的钢煤斗也常常出现。在以前的研究过程中, 设计分析仅仅限于弹性阶段。由于钢材塑性性能良好, 对其进行弹塑性分析是十分必要的。又由于结构产生了大的变形, 使荷载作用的方向发生改变。平衡方程需要建立在变形后的几何位置上。在钢煤斗设计时考虑几何非线性的影响同样重要。本文通过一工程实例用 ANSYS 分析论证矩形钢煤斗厚度和应力变化的关系。

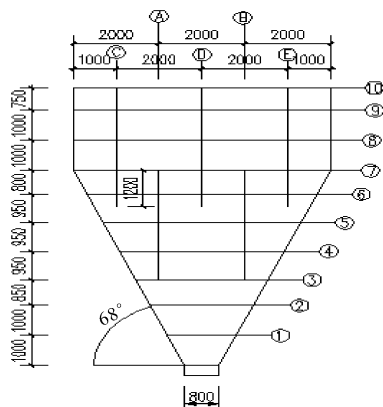
1 钢煤斗结构特征

该矩形钢煤斗采用上部方形下部楔形漏斗的形式, 漏斗与水平面倾角为 68° 如图 1 所示, 上部进煤口边长 6 m 仓壁高 2.75 m, 下部漏斗高 6.85 m, 出煤口采用 0.8 m 的方形口。在仓壁处设置 9 个竖向加劲肋作为支承。钢材采用 Q235 钢材。按照要求在进煤口处添加顶盖以便工人维修, 顶盖厚度取 12 mm。加劲肋采用槽钢、T 型钢、H 型钢三种形式。仓壁水平加劲肋在标高 40.95 m 处采取一圈 20a 槽钢, 在标高 40.20 m 和 39.20 m 处布置两道 T 型钢为 TN200 × 200, 在标高 38.20 m 处布置一道 H 钢为 HW300 × 300; 仓壁竖向加劲肋每边采用距端部 1 m 间隔 2 m 布置三个 H 型钢作为支承, 为 HW350 × 350。下部漏斗水平加劲肋为 TN125 × 125; 漏斗竖向加劲肋每侧布置两道, 间距 2 m, 规格为 TN125 × 125。



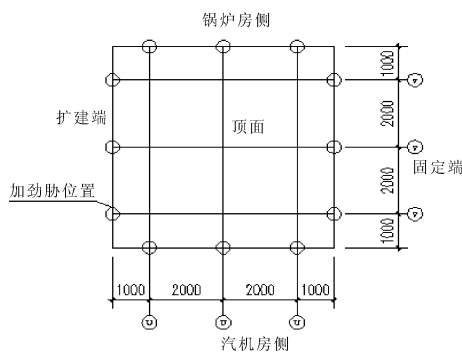
汽机房侧

(a) 汽机房侧加劲肋布置图



固定端

(b) 固定端加劲肋布置图



(c) 顶面加劲肋布置图

加劲肋编号	加劲肋型号	加劲肋位置
1	槽钢 20a	10 轴线
2	TN200 × 200 × 8 × 13	8 - 9 轴线
3	HW350 × 350 × 12 × 19	C B D 轴线
4	HW300 × 300 × 15 × 15	7 轴线
5	TN125 × 125 × 6 × 9	1 - 6/A/B 轴线
6	槽钢 14a	V 轴线
7	槽钢 25a	U 轴线

(d) 加劲肋对应的型号

图 1 钢煤斗整体结构简图(mm)

2 荷载参数取值及约束布置

2.1 有限元模型分析

钢煤斗的设计包括两部分:煤斗壁和加劲肋,在采用 ANSYS 模拟时,理论上在有限元计算中有 2 种模拟方法:

(1) 采用三维实体建模,用实体 solid45 单元模拟。这种方法虽然在理论上与实际情况符合,但是由于网格剖分后单元较多,一般计算机无法满足要求,并且实体模型的建立比较复杂,而且,会给模型几何和物理参数的修改带来不便。

(2) 采用板壳单元 shell63 模拟煤斗壁,用 beam188 单元模拟加劲肋。这种方法建模比较方便,网格剖分后单元数量少,计算速度比较快,而且一些模型信息可以在实常数中更改,对设计优化比较方便。根据工程实际将选取第 2 种方法进行钢煤斗的有限元分析。有限元模型如图 2 所示。

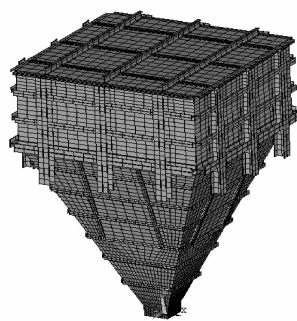


图 2 煤斗有限元模型

2.2 荷载参数取值及约束布置

仓内的储料为无烟煤,最不利荷载情况按满载考虑。由于煤斗 $H/b < 1.5$,根据《钢筋混凝土筒仓设计规范》^[4]和《贮仓结构设计手册》^[5]可以划分为浅仓。对于堆煤荷载,根据《钢筋混凝土筒仓规范》仓壁处将其简化为水平侧压力,漏斗处将其简化为切向压力和法向压力加载到模型上面, r 为储料煤

的重力密度, $r = 13 \text{ kN/m}^3$ 。内摩擦角为 40° , 摩擦系数为 0.35 , 冲击影响系数为 $C = 1.0$ 。应力计算时荷载取设计值, 即考虑活荷载分项系数 $\gamma_q = 1.3$ 。

根据《粮食钢板筒仓设计规范》^[6] 钢煤斗的储料压力分布见图 3 所示, 可见作用于煤斗内壁上的荷载有如下三类:

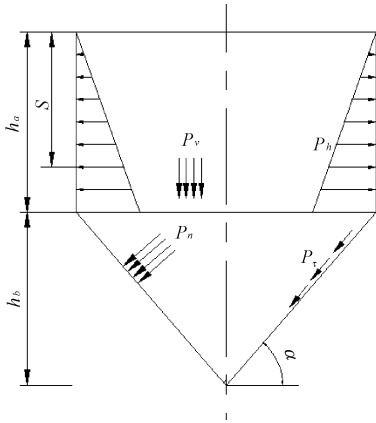


图 3 储料压力分布简图

(1) 作用于仓筒内壁单位面积上的水平侧压力:

$$P_h = \gamma_q \cdot K \cdot r \cdot s \quad (1)$$

其中: K 为侧压力系数。

$$K = \tan^2(45 - 40/2)$$

(2) 作用于仓筒内壁单位面积上的切向压力:

$$P_t = \gamma_q \cdot r \cdot s \cdot (1 - K) \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha \quad (2)$$

(3) 作用于仓筒内壁单位面积上的法向压力:

$$P_n = \gamma_q (\cos^2\alpha + \sin^2\alpha) \cdot r \cdot s \quad (3)$$

由上可见, 仓筒内壁水平侧压力 P_h 的大小是随高度 s 呈线性变化的, 漏斗内壁切向压力 P_t 、法向压力 P_n 的大小不仅和高度 s 呈线性关系, 而且与漏斗壁板的倾角 α 的三角函数密切相关。为了荷载施加的模拟与实际更为符合, 采用添加表面效应单元(如 surf153 或者 surf154 单元), 把这些单元覆盖在 SHELL63 单元之上, 通过对表面效应单元施加荷载来达到施加随高度和角度变化的荷载的目的。

3 有限元结果分析

进行双非线性分析, 以便深入了解钢煤斗 mises 应力和位移分布规律。根据《火力发电厂土建结构设计技术规定》^[7] 要求, 煤斗壁厚取值应较计算值加 2 mm , 并不得小于 10 mm 。选取 10 mm 、 12 mm 、 14 mm 、 16 mm 四种不同的厚度 Q235 钢材, 采用理想弹塑性本构关系。弹性模量为 $2.06 \times 10 \text{ MPa}$, 泊松比为 0.3 。由于受力后产生变形, 荷载作用的方向产生变化, 因此考虑几何非线性同样重要。打开 Ansys 中大变形以考虑几何非线性。分析钢煤斗在不同厚度下最大 Mises 应力与位移。其位移指 x 、 y 、 z 三向的位移矢量和。现将计算结果列于表 1 中。

表 1 材料非线性和几何非线性分析结果

厚度 /mm	加劲肋应力 /($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)	煤斗壁应力 /($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)	加劲肋变形 /mm	煤斗壁变形 /mm
10	235	216.410	10.301	13.555
	汽机房侧靠近扩建端下部漏斗第四根加劲肋处	锅炉房侧和扩建端下部漏斗第四根加劲肋相交的壁板	汽机房侧下部漏斗第五根加劲肋	汽机房侧下部漏斗第四根第五根加劲肋之间的壁板
12	235	187.698	9.508	11.388
	汽机房侧靠近扩建端下部漏斗第四根加劲肋处	锅炉房侧和扩建端下部漏斗第四根加劲肋相交的壁板	汽机房侧下部漏斗第五根加劲肋	汽机房侧下部漏斗第四根第五根加劲肋之间的壁板
14	235	165.815	8.855	9.981
	汽机房侧靠近扩建端下部漏斗第四根加劲肋处	锅炉房侧和扩建端下部漏斗第四根加劲肋相交的壁板	汽机房侧下部漏斗第五根加劲肋	汽机房侧下部漏斗第四根第五根加劲肋之间的壁板
16	235	148.253	8.290	8.987
	汽机房侧靠近扩建端下部漏斗第四根加劲肋处	锅炉房侧和扩建端下部漏斗第四根加劲肋相交的壁板	汽机房侧下部漏斗第五根加劲肋	汽机房侧下部漏斗第四根第五根加劲肋之间的壁板

由表 1 数据可见, 最大 mises 应力始终位于加劲肋上。随着厚度的增加煤斗最大 mises 应力并未改变。最大 mises 应力的位置保持不变, 位于汽机房侧靠近扩建端的下部漏斗第四根加劲肋上。煤斗壁的最大 mises 应力随着厚度增加而逐渐减小, 位于锅炉

房侧和扩建端下部漏斗第四根加劲肋相交的壁板。随着厚度每增加 2 mm 煤斗壁的最大 mises 应力减小 10% 左右。最大位移出现在煤斗壁上, 位于汽机房侧下部漏斗第四根和第五根加劲肋之间的壁板。随着厚度的增加, 最大位移减小的趋势逐渐变小。

10 mm 增大到 12 mm 时最大位移减小幅度达 16%; 14 mm 增大到 16 mm 时最大位移减小幅度为 9%。此时,加劲肋的最大位移呈递减趋势,厚度每增加 2 mm 其最大位移减小幅度为 7% 左右。

沿着汽机房侧下部漏斗提取应力路径点以反映漏斗段的 *mises* 应力和位移的变化规律,路径点分布如图 4 所示。

沿路径提取的 *mises* 应力数据经整理绘制如图 5 所示。由图 5 可见,10 mm 时 *mises* 应力沿高度变化幅度大,随着厚度的增加 *mises* 应力变化幅度减小。在路径高度 4 000 mm 以下,漏斗的 *mises* 应力变动大,在加劲肋处 *mises* 应力较小而在加劲肋之间 *mises* 应力较大。因为随着高度的增加漏斗处的切向压力和法向压力逐渐增大而下部漏斗的加劲肋布置间距较大。因此,可以考虑在漏斗的下部增大加劲肋的型号或者加密加劲肋的布置。

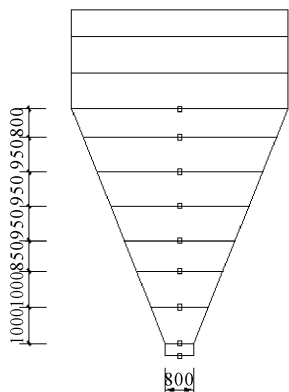


图 4 汽机房侧应力路径分布图 (mm)

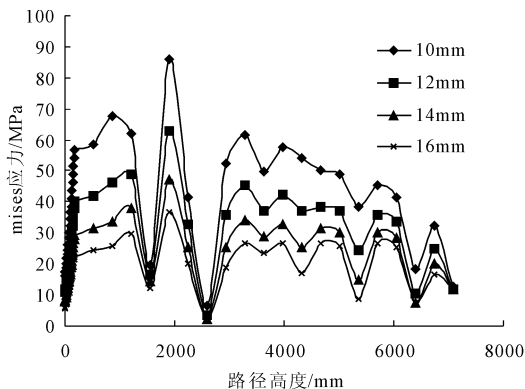


图 5 沿路径点不同厚度漏斗 *mises* 应力变化

沿路径提取的位移数据经整理绘制如图 6 所示。由图 6 可见,沿着漏斗高度位移先逐渐增大,在 5 000 mm 左右达到最大值。然后迅速下降。10 mm 时的位移变化幅度大于 12 mm、14 mm、16 mm 时的

位移变化幅度。因为 4 000 mm 以上加劲肋的布置间距先小后大接着间距又减小。

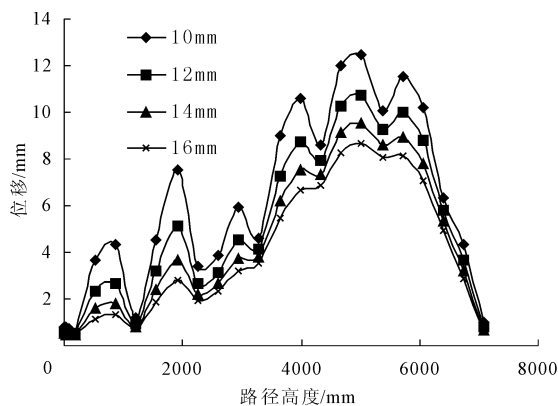


图 6 沿路径点不同厚度漏斗位移变化

4 结论

对矩形钢煤斗进行双非线性分析可知:

(1) 随着厚度的增加矩形钢煤斗的最大 *mises* 应力值没有减小,其值保持不变。

(2) 矩形钢煤斗的最大 *mises* 应力和最大位移出现的位置不同。最大 *mises* 应力位于加劲肋上而最大位移位于煤斗的壁板。

(3) 矩形钢煤斗沿漏斗路径高度 *mises* 应力和位移变化规律不同,其 *mises* 应力沿漏斗高度变化幅度大,在 2 000 mm ~ 4 000 mm 之间变化幅度比其他地方明显。位移的变化沿漏斗高度先增后减。

(4) 矩形钢煤斗的最大变形值为 13.555 mm,小于《火力发电厂土建结构设计技术》规定的板跨度的 1/150。加劲肋的最大变形为 10.301 mm,小于规定的板跨度的 1/250。

参考文献:

- [1] 杜新喜,施 浩,范振中,等.钢煤斗有限元结构分析的探讨[J].武汉大学学报,2003,36(4):88-91.
- [2] 关富玲,翁雁麟,王小丽,等.钢煤斗结构的有限元分析[J].工程设计学报,2006,13(3):170-174.
- [3] 滕锦光,赵 阳.大型钢筒仓的结构行为与设计[J].土木工程学报,2001,34(4):46-55.
- [4] 中国煤炭建设协会.GB50077-2003.钢筋混凝土筒仓设计规范[S].北京:中国计划出版社,2004.
- [5] 贮仓结构设计编写组.贮仓结构设计手册[S].北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [6] 国家粮食局.GB50322-2001.粮食钢板筒仓设计规范[S].北京:中国计划出版社,2001.
- [7] 西北电力设计院.DL5022-2012.火力发电厂土建结构设计技术规定[S].北京:中国电力出版社,2012.