

不同堆煤工况下的落煤塔结构静力特性研究

吴春野^{1,2}

(1 辽宁工程技术大学, 辽宁 阜新 123000; 2. 天地科技股份有限公司, 北京 100013)

摘要: 针对 GB50583-2010 国标出台之前, 落煤塔结构的布置规则、设计标准无参考依据可循以及结构的赋存条件在时空域的复杂多变性等因素, 从而导致结构的设计施工通常以工程经验值为参考、常规理论计算无法反映结构真实受力状态等现象。本文以山西阳泉某矿 3[#] 落煤塔为工程背景, 利用 ANSYS 软件对结构在 25.0 m 最大堆煤高度下 360°、270°、180°、90° 扇形堆煤角和无堆煤的 5 种作用荷载工况进行了有限元计算, 通过对结构的径向位移和应力等参数的对比分析, 得出了静力特性的变化规律、最不利荷载工况、最大应力区域、皮带机水平拉力导致结构产生最大位移等重要结论, 希望对该结构的理论研究和工程设计工作起到理论指导作用。

关键词: 落煤塔; 煤堆荷载; 静力特性; 有限元; 不同工况

中图分类号: TD82 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2016)05-0185-04

Static characteristics of structure of coal drop tower in different conditions of coal pile loading

WU Chunye^{1,2}

(1. Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 2. Tiandi Science and Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: Due to no reference to follow for the layout rule and design standard coal of drop tower structure and the complicated variety of structure occurrence condition in temporal spatial domain before GB50583-2010 enforced, which resulted in the design and construction of structure to take engineering experience value as reference and the conventional theoretical calculation can not reflect the real force state of structure. The paper took 3[#] coal tower of Yangquan mine in Shanxi province as the engineering background, and used ANSYS software to calculate the working load conditions for 360°, 270°, 180°, 90° sector reactor coal angle and no reactor coal under the maximum reactor coal height of 25m. Based on the comparative analysis of vertical and ring direction displacement and stress parameters, it got the change law of static feature, the biggest unfavorable load condition, the maximum stress region and the maximum displacement of structure induced by horizontal tensile force of belt conveyer. The result can provide the role of theoretical guidance for theoretical research and engineering design.

Key words: coal drop tower; coal pile loading; static characteristics; finite element; different conditions

随着国家对环境污染及雾霾治理力度的进一步加大, 近 20 a 来许多矿区采用封闭式的储装运系统来完成区域内的煤炭存储和运输。该系统中的主要结构包括带式输送机栈桥、储煤棚、落煤塔(图 1)、输煤暗道、装车站等, 其中落煤塔为该系统中最关键的, 其在使用中的稳定性和可靠性将直接影响全矿井的煤炭运出, 因此被行业内称之为储装运系统生命线工程^[1]。

但是由于该结构的不规则性和赋存条件在时空域的复杂多变性, 目前, 现有设计中通常是

根据经验进行估算, 无法对落煤窗周围的受力状态进行精确计算, 由此导致结构出现配筋严重浪费或使用中由于应力集中而出现开裂等情况。尤其是在 GB50583-2010 国标规范出台之前, 国内没有任何标准和规范对该结构的设计标准、布置规则做出解释, 导致结构的设计出现随意性和多变性无规律可循^[2]。本文结合钢筋混凝土深仓、浅仓的相关计算理论^[3-6], 以较为早期的山西阳泉某煤矿的落煤塔工程实例为研究背景, 利用 ANSYS 有限元软件对结构在 360°、270°、180°、90° 扇形堆煤荷载和无堆煤的 5 种工况

下的静力特性进行对比分析,希望对该结构的研究和设计工作起到理论指导作用。



图1 落煤塔结构工程实例

1 工程实例

1.1 工程概况

本文选取阳泉煤业有限公司某矿3#落煤塔为研究对象,该结构外径7.0 m,内径6.5 m,壁厚0.25 m,主体结构高28.0 m,落煤口高2 m,水平宽度夹角为30°,竖向间距2.0 m,水平间距30°,底部落煤口距地面为5.0 m,顶部落煤口距塔上建筑为3.0 m,顶部中间为2根0.4 m×1.0 m横梁用于固定运煤皮带机机头驱动部。

1.2 材料性能

塔壁及顶部纵梁均采用C30混凝土浇筑而成,弹性模量为 3.45×10^{10} Pa,泊松比为0.2,密度为 24.0 kN/m^3 ;钢筋的弹性模量为 2.1×10^{11} Pa,泊松比为0.3,密度为 78.0 kN/m^3 ,结构的体积配筋率按1.0%计算;四周原煤堆煤高度为25.0 m,容重为 10.0 kN/m^3 ,内摩擦角 φ 为35°,原煤参数以实验室化验指标为准。

1.3 不同堆煤工况示意

在卸煤过程中,原煤是从落煤窗中自然外流,然后在落煤塔外部形成360°煤堆,煤堆对塔壁产生水平压力和竖向摩擦力。在GB50583-2010规范中规定270°堆煤角为结构最不利状态,但现实使用中不可能出现理想的堆煤状态,因此本文将在外部煤堆的不断外运直至全部运输完的全过程中选取360°、270°、180°、90°、0°的不同堆煤角进行研究,分别为工况1:360°堆煤角、工况2:270°堆煤角、工况3:180°堆煤角、工况4:90°堆煤角、工况5:无堆煤(图2)。

2 有限元模型的建立

2.1 单元采用^[7-8]

塔壁选用Solid45单元进行模拟,该单元用于构

造三维实体结构,由8个节点组成,每个节点具有3个分别沿着 x 、 y 、 z 方向平移的自由度,具有模拟塑性、蠕变、膨胀、应力强化、大变形和大应变的能力。

上部横梁采用Beam188单元进行模拟,该单元是基于铁木辛哥梁结构理论,适合于从细长到中等粗短的梁结构的分析,并且可以考虑剪切变形的影响。

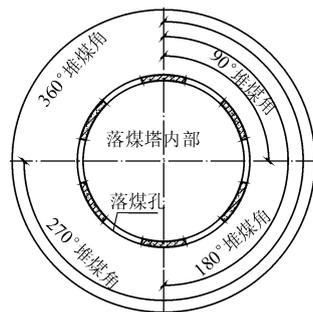


图2 不同堆煤荷载工况示意图

2.2 计算假定及简图^[9]

在分析计算中假定结构处于线弹性阶段;未考虑塔壁钢筋在结构受力中的贡献作用;底部塔壁与地基接触处为固接即对底部节点施加 u_x 、 u_y 、 u_z 3个方向的线位移约束(见图3)。



图3 模型计算简图

2.3 荷载选取^[10-11]

本文主要针对结构处于顶部皮带机驱动拉力和煤堆侧压力的状态下进行受力分析。其中皮带机机头重100 kN,沿来煤方向拉力70 kN,水平夹角为25°,煤堆的侧压力和竖向摩擦力经计算可知,如表1所示。

3 不同工况下计算结果对比分析

3.1 不同工况下位移对比分析

针对工况1、2、3、4、5堆煤荷载作用下进行有限元模型计算,得出5种工况下结构外壁相同位置节点的径向位移随煤堆高度的变化曲线,如图4所示,通过对比分析可知:

表 1 煤堆压力计算结果

堆煤高度/m	水平压力/ 10^3 Pa	竖向摩擦力/ 10^3 Pa
25	2.438910	1.097510
24	4.877821	2.195019
23	7.316731	3.292529
22	9.755642	4.390039
21	12.194552	5.487549
20	14.633463	6.585058
19	17.072373	7.682568
18	19.511284	8.780078
17	21.950194	9.877587
16	24.389105	10.975097
15	26.828015	12.072607
14	29.266926	13.170117
13	31.705836	14.267626
12	34.144747	15.365136
11	36.583657	16.462646
10	39.022568	17.560156
9	41.461478	18.657665
8	43.900389	19.755175
7	46.339299	20.852685
6	48.778210	21.950194
5	51.217120	23.047704
4	53.656031	24.145214
3	56.094941	25.242724
2	58.533852	26.340233
1	60.972762	27.437743

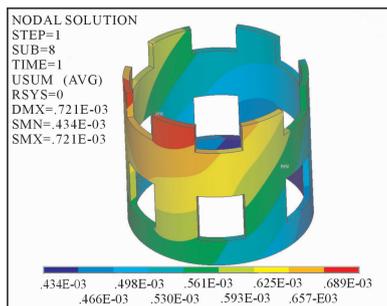


图 5 工况 3 作用下顶部窗口位移图

3.2 不同工况下应力对比分析

图 6 为 5 种工况下结构相同位置单元的第一主应力随堆煤高度的变化曲线,通过结合图 3 对比分析可知:结构的整体应力随着塔壁高度的增加呈下降趋势,说明煤堆埋深高度与塔壁受力成正比;工况 3 为结构最不利工况,在该工况作用下结构处于最不利受力状态。结构在堆煤高度为 5.0 ~ 7.0 m 处,也是第一落煤窗口上下框口边缘处出现最大应力(如图 7 所示),分别为 2.105 和 2.491 MPa,已经超过结构的最大抗力强度,与结构在实际使用中出现的裂缝相吻合。另外,结构的应力从底部至顶部与位移曲线变化相同,亦呈现出波浪起伏状,说明落煤窗的预留导致其所在水平塔壁整体强度和刚度降低,抵御荷载能力均不如未留窗口处。

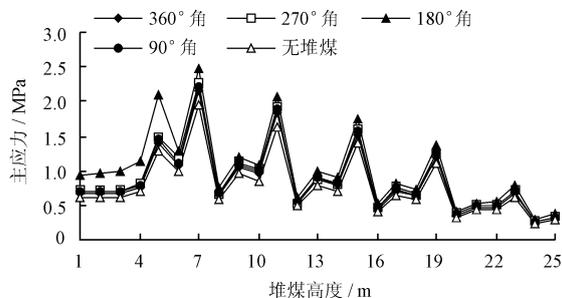


图 6 不同工况单元第一主应力对比图

4 最不利工况下计算结果对比分析

通过第 3 部分的分析可知,工况 3 为结构的最不利工况,图 8 所示为结构在该工况下,4、8、12、16、20、24 m 处 360° 环向所有节点的径向位移对比图(图中横坐标为环向节点编号),如图 8 所示,随着高度的增加及结构位移的增大,在不同高度处位移和应力均呈对称状,煤堆作用处结构的位移和应力均大于未作用处,例如,在 8.0 m 高煤堆作用处塔壁的主应力为 1.17 MPa,最大径向位移为 0.259 mm(如图 9)。

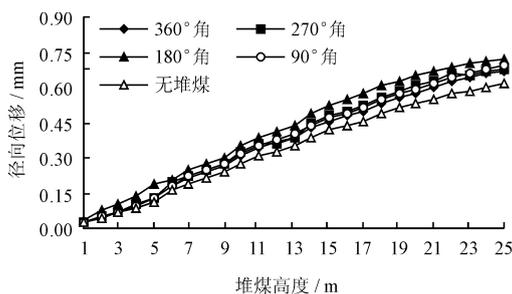


图 4 不同工况节点位移对比图

工况 3 荷载作用下结构的径向位移最大,工况 5 作用时位移最小,两种工况下相同位置的位移差约为 1.2 倍左右;结构的径向位移随着塔壁高度的增加而加大,工况 3 下结构的最大径向位移出现在距离地面 25.0 m 高的落煤窗口处,最大位移为 0.721 mm(如图 5 所示),这主要是由于结构顶部皮带机水平荷载作用的结果;另外,通过变化曲线的波浪起伏可以说明结构落煤窗口所在水平的节点径向位移均大于未开窗口处。

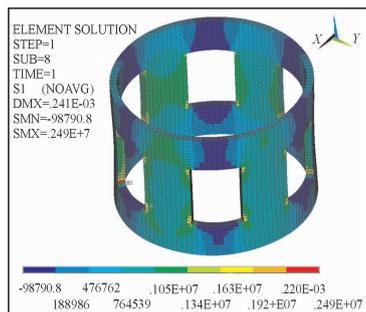


图7 工况3作用下第一窗口主应力图(单位:Pa)

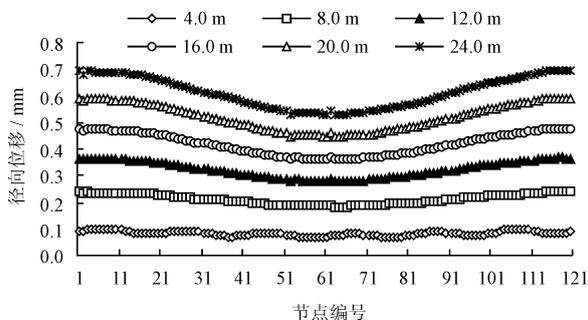


图8 工况3作用下不同高度径向位移对比图

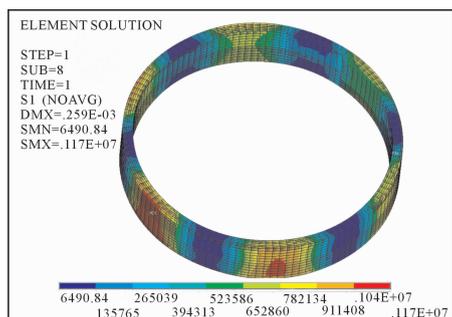


图9 8.0 m高单元主应力云图(单位:Pa)

5 结论

本文通过对比分析可以得出以下结论:

(1)在5种工况下结构的应力和位移均与结构的高度成正比关系,且变化曲线均随着高度的增加呈波浪状,说明落煤窗的预留导致其所在水平塔壁整体强度和刚度降低。

(2)各种工况下结构第一落煤窗口上下框口边缘处为最大应力区域,最大值分别为2.105和2.491 MPa,已经超过结构的最大抗力强度。

(3)工况3即180°堆煤角为结构最不利荷载。在该工况下结构在不同高度处位移和应力均呈对称状,煤堆作用处结构的位移和应力均大于未作用处。

(4)皮带机水平拉力是导致结构产生最大径向位移的主要因素,但满足设计规范要求。

(5)以结构在最不利荷载作用下的受力状态做为结构设计参考即可,比理论假设下设计更为节省材料。

参考文献:

- [1] 崔元瑞.我国贮料构筑物建设的发展与回顾[J].特种结构,2000,17(1):8+68.
- [2] 贮仓结构设计手册编写组.贮仓结构设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1999,80-83.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中华人民共和国住房和城乡建设部.GB50077-2003.钢筋混凝土筒仓设计规范[S].北京:中国计划出版社,2004.
- [4] 陈长冰.筒仓内散体侧压力沿仓壁分布研究[D].合肥:合肥工业大学,2006.
- [5] 刘定华,郝际平.钢筋混凝土筒仓仓壁侧压力的研究[J].建筑结构学报,1995,16(5):57-63.
- [6] 原方,邵兴,崔元瑞.大直径浅圆仓贮料侧压力实用计算方法[J].特种结构,2003,20(2):16-19.
- [7] 张冬.圆形贮煤场结构内力分析[D].沈阳:沈阳建筑大学,2013.
- [8] 李围.ANSYS土木工程应用实例[M].北京:中国水利水电出版社,2007.
- [9] 周长冬,侯平阳.环向预应力加固圆形混凝土仓的静力性能[J].哈尔滨工业大学学报,2014,46(6):93-99.
- [10] 张少坤.大直径钢筋混凝土筒仓温度荷载和贮料荷载作用有限元分析[D].武汉:武汉理工大学,2008.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中华人民共和国住房和城乡建设部.GB5007-2001 建筑结构荷载规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中华人民共和国住房和城乡建设部.GB50583-2010 选煤厂建筑结构设计规范[S].北京:中国计划出版社,2010.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中华人民共和国住房和城乡建设部联合发布.GB50010-2010 混凝土结构设计规范[S].北京:中国计划出版社,2010.