

大型预应力混凝土贮煤筒仓的设计与研究

张力强

(华北电力设计院,北京,100011)

摘要:介绍了北京石景山热电厂二期扩建工程3座30 000 t大型贮煤筒仓的设计研究情况,重点介绍了筒仓结构的选型及组成,特别是仓底结构型式的确定、筒仓计算原则的确定、有限元法计算的结果、筒仓的构造及技术经济指标等,为今后火力发电厂大型筒仓的设计提供了工程实践经验和有价值的设计参考数据。

关键词:储煤;筒仓;设计;预应力;有限元法

中图分类号:TU 271.1

1 工程概况

北京石景山热电厂二期扩建工程包括一台200 MW抽汽供热机组和一台670 t/h的燃煤锅炉,施工图设计分主厂房和运煤系统两部分。其中运煤系统包括3座容积为30 000 t的贮煤筒仓、5座运煤栈桥、2个转运站、1个驱动间。贮煤筒仓的施工从1996年6月30日开始,至1998年3月31日3个筒仓全部施工完成,共计21个月。

2 筒仓的总体设计构想

该工程为老厂扩建,一期已建有5座容积为10 000 t的筒仓,机组扩建后,50 000 t的贮煤量明显不能满足要求,必须再建90 000 t贮量的筒仓,才能满足14 d贮煤量的要求。由于厂区面积有限,为了满足较大的贮煤量,只能选择占地面积小而容量大的贮煤筒仓。为此,我们提出了每座贮量为30 000 t的筒仓的设计构想。

3 筒仓的结构选型及其组成

筒仓由仓顶建筑物、筒仓仓体和基础三大部分组成。

仓顶建筑物是一条钢结构的运煤廊道,贯穿3个筒仓,其作用为给筒仓上煤。

筒仓仓体由仓顶、仓壁、筒壁、中心柱、斗壁、环形锥和2.65 m及3.00 m平台组成,参见图1。其中,仓壁、斗壁和仓顶大梁为预应力混凝土结构,其余均为现浇普通钢筋混凝土结构。

确定筒仓仓底结构的型式是大型筒仓设计的关键。它的选型必须保证卸料通畅、均匀、连续,荷载传递明确,结构受力合理。由于筒仓直径较大,若用单环式卸料口,既容易发生堵煤现象,又浪费了贮煤空间。因此,考虑到大型筒仓自身的特点和为最大限度地满足工艺要求,我们在仓底选择了双环式卸料口的型式,即利用斗壁式和环形锥托煤盘组成一个环形卸料口,利用环形锥内侧悬伸部分和中心柱托煤盘组成另一个环形卸料口。这样,两个卸料口同时工作,可以有效地减少堵煤现象的发生,而且结构上也更安全、合理。

筒仓基础埋深-7.00 m,持力层为卵石层,相邻筒仓之间用橡胶止水带分隔,以避免因筒仓不均匀沉降而造成对基础的破坏。基础顶面为地下廊道,沿3个筒仓通长设置,廊道内设两条运煤皮带,将仓内煤运出。

4 筒仓的设计计算要点

筒仓的计算以《钢筋混凝土筒仓设计规范》(GBJ77-85)和《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)为依据,但按旋转壳在轴对称荷载作用下的薄膜内力计算公式,仅能算出环向力和径向力,而无法算出弯矩,也无法知道弯矩对结构的影响有多大,而且在洞口附近结构受力复杂,很难准确地计算出其实际受力情况。因此,我们采用有限元法对筒仓结构进行了变形和受力分析。

4.1 计算模型的建立

根据结构的对称性,筒仓的计算模型只取1/4

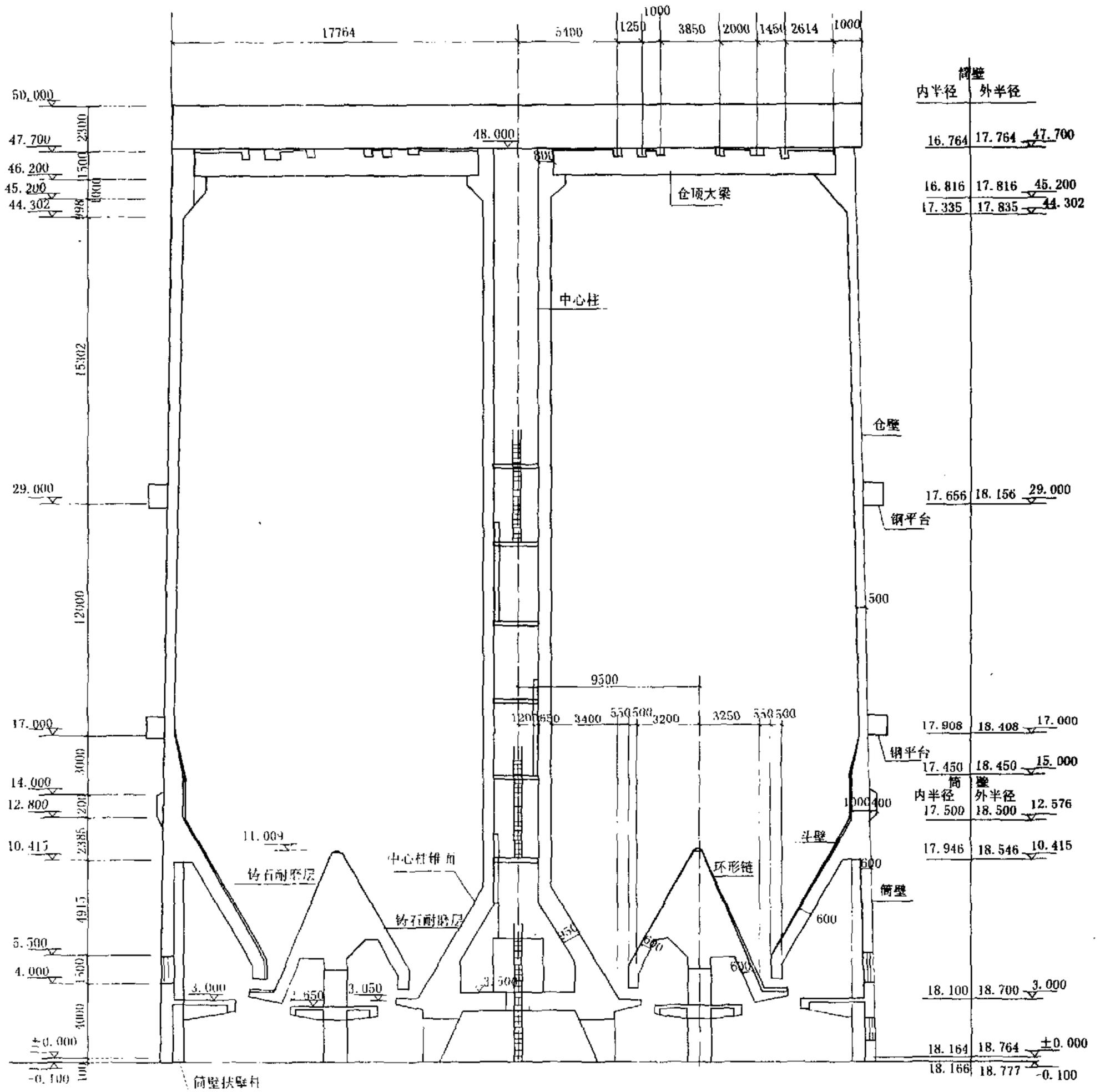


图1 筒仓剖面图

结构进行计算. 由于环形锥无法按梁或壳处理, 为了简化模型, 将中心挖空, 周边厚度定为 1.2 m, 这

样环形锥就可以按壳单元处理.

4.2 设计工况

载荷共分为6种工况,具体如下:

第一种工况:恒载+活载,其中,恒载包括结构自重、摩擦力、部分结构表面铸石重量、仓顶建筑物重量,活载包括煤的压力、运煤车的载荷;

第二种工况:恒载+活载+风载;

第三种工况:恒载+活载+温度载荷(温差 30°C);

第四种工况:地震作用,包括水平方向和竖直方向作用;

第五种工况:地震静力载荷作用,即第一种工况的恒载引起的地震作用;

第六种工况:地震静力载荷和地震作用(水平方向)组合。

4.3 电算结果

有限元计算结果给出了在各种工况下结构各个部位的内力,包括环向力 $N_1(\text{kN})$ 、径向力 $N_2(\text{kN})$ 、绕 N_2 轴力矩 $M_1(\text{kN}\cdot\text{m})$,绕 N_1 轴力矩 $M_2(\text{kN}\cdot\text{m})$ 。为计算方便,先将有限元计算结果进行归纳整理,选出起控制作用的3种工况,即“恒载+活载”、“恒载+活载+温度荷载”、“地震静力荷载+地震作用(水平作用)”,再将结构构件在某一工况下的内力按不同标高找出可能的最大值,排列成表,然后通过计算比较,按最大内力配筋。

除此之外,有限元计算还给出了相应工况下结构各部位的变形,即沿半径方向的变位 $DR(\text{mm})$ 和沿竖直方向的变位 $DZ(\text{mm})$ 。据此可以确定 DR_{\max} 和 DZ_{\max} 的大小和位置。本结构在“静载+活载”工况下, $DR_{\max}=6.9\text{ mm}$, $DZ_{\max}=13.53\text{ mm}$;在“静载+活载+温度荷载”工况下, $DR_{\max}=7.31\text{ mm}$, $DZ_{\max}=11.92\text{ mm}$;在“地震静力荷载+地震作用(水平方向)”工况下, $DR_{\max}=6.28\text{ mm}$, $DZ_{\max}=12.29\text{ mm}$ 。在这3种工况下, DR_{\max} 均出现于标高 18.66 m 处, DZ_{\max} 均出现于标高 47.70 m 处。

4.4 结构设计

4.4.1 普通钢筋混凝土构件的设计

筒仓的基础、仓顶梁板(主梁除外)、筒壁、中心柱、环形锥、仓内悬挑平台均按《混凝土结构设计规范》进行设计。

4.4.2 预应力混凝土构件的设计

筒仓共有3处采用预应力混凝土结构,仓顶大梁为预应力混凝土预制梁,仓壁和斗壁为现浇预应

力混凝土结构,均采用后张无粘结预应力混凝土技术。

由于有限元计算的点位较多较密,为方便配筋,将仓壁沿垂直方向分为4段,将斗壁沿垂直方向分为3段,在每一段内选出最大内力值进行计算,每一段的配筋相同。

由于仓壁、斗壁均为环形,且直径较大,因此可近似将它作为轴心受拉构件。为了更充分、合理利用预应力钢筋,同时满足构造要求,在设计中将外力的70%由预应力钢筋承担,30%由非预应力钢筋承担,由此可以初算出所需的预应力钢筋和非预应力钢筋的面积。

在初步确定了钢筋面积后,即可进行正截面抗裂验算。

根据《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)中有关抗裂验算的规定,将筒仓作为一般要求不出现裂缝的构件考虑。

在预应力构件的计算中,各部位的设计均由裂缝控制,在斗壁的个别部位,由于环向拉力较大,所以环向的抗裂验算不能满足《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)的要求。《无粘结预应力混凝土结构技术规程》(JGJ/T92-93)第3.1.1条规定,当有可靠工程经验时,对接二级裂缝控制的无粘结预应力混凝土梁,其抗裂设计要求可适当放宽。依据此项规定,并参考山西大同矿务局云岗矿选煤厂的 40 m 直径原煤贮存仓工程(该工程仓壁抗裂验算时 α_{ct} 取1.0,1991年施工完毕,正常运行至今,未出现较大裂缝),根据该工程实践经验和规程的规定,并考虑到在预应力钢筋损失上所留的裕度,取 α_{ct} 为0.9。

4.5 内力计算结果分析

根据计算结果可知,筒仓的筒壁、中心柱、环形锥主要以混凝土受压为主,或混凝土受拉,但拉力满足裂缝要求,因此按普通钢筋混凝土构件计算即可。

斗壁和仓壁的内力较大,此次计算虽然考虑了弯矩,但起控制作用的仍然是轴力。斗壁环向受力最大处在斗口附近,径向受力最大处在斗壁根部。仓壁的环向内力从上至下逐渐加大,因此在仓壁环向、斗壁环向、径向均布置了预应力钢筋。

筒壁上主要受压力,除洞口外取最大内力作为控制内力计算配筋。洞口附近内力较大,径向内力最大处 $N_2=-14\ 565\text{ kN}$, $M_2=-273\text{ kN}\cdot\text{m}$,

因此在洞口周围设附加钢筋。

5 筒仓的构造

筒仓的构造首先要满足《钢筋混凝土筒仓设计规范》(GBJ77-85)的规定。混凝土的选用为筒仓内 2.65、3.00 m 层,顶层梁板采用 C30,其他部位均采用 C40。

预应力施工采用后张无粘结预应力混凝土技术,为了对预应力筋进行张拉,需对斗壁和仓壁从结构上予以考虑,留出足够的空间放置锚具和进行张拉。

仓壁在标高 12.576~44.302 m 范围内配置预应力钢筋,预应力钢筋位于仓壁的外缘。考虑到张拉的要求,在仓壁外侧标高 15.000~44.302 m 范围内竖向均匀布置了 4 个扶壁柱,用于张拉预应力筋。而在标高 12.576~15.000 m 范围内,由于仓壁外侧设置了一圈用于张拉斗壁径向预应力筋的环梁,因此,在仓壁内侧开凹槽作为内扶壁柱,用来张拉预应力筋。斗壁内环向外缘设有预应力筋,与仓壁相同,在斗壁外侧也设置了 4 个扶壁柱。又因为斗壁径向拉力较大,在径向内外两侧均布置了预应力筋,在标高 12.576 m 处做了一高 1.20 m 的用于张拉钢筋的环梁。斗壁和仓壁内既有预应力筋,又有非预应力筋,钢筋较密。为了尽可能有效地利用空间,方便施工,受力合理,我们先初步确定了钢筋的位置,施工时,再根据现场的实际情况,与预应力施工单位合作,共同确定钢筋的具体位置。

由于筒仓直径大,环向预应力钢筋较长,因此,所有的环向预应力筋均按 180°包角放置。环向预应力筋均采用两端张拉,斗壁内的径向预应力筋采用一端张拉。

6 技术经济指标

30 000 t 贮煤筒仓概算的单仓造价为 19 411 640 元/座,实际发生额为 18 309 627 元/座。一个仓的材料用量如表 1 所示(不包括仓顶通廊)。

表 1 一个仓的材料用量

构件名称	普通钢筋/t	钢材/t	混凝土(m ³)	预应力钢筋/t	含筋率(kg/m ³)
筒仓基础	474	3	5 696	—	83.22
筒仓筒体	882	105	6 627	115	150.45
合计	1 356	108	12 323	115	—

由于以往其他工程贮煤筒仓单仓容量均为 10 000 t,因此,可将石电二期 30 000 t 筒仓换算为 10 000 t 贮量的材料用量,与其他电厂的比较如表 2、3、4 所示。

表 2 北京石电二期扩建工程贮煤筒仓 10 000 t 贮量的材料用量

构件名称	普通钢筋/t	钢材/t	混凝土(m ³)	预应力钢筋/t	含筋率(kg/m ³)
筒仓基础	158	1	1 899	—	83.20
筒仓筒体	294	35	2 209	38	150.29
合计	452	36	4 108	38	—

表 3 北京第一热电厂“以大代小”技改工程 10 000 t 贮煤筒仓的材料用量

构件名称	普通钢筋/t	钢材/t	混凝土(m ³)	预应力钢筋/t	含筋率(kg/m ³)
筒仓基础	155	1	1 710	—	90.64
筒仓筒体	221	8	1 418	31	177.72
合计	376	9	3 128	31	—

表 4 北京第三热电厂“以大代小”技改工程 10 000 t 贮煤筒仓的材料用量

构件名称	普通钢筋/t	钢材/t	混凝土(m ³)	预应力钢筋/t	含筋率(kg/m ³)
筒仓基础	193	1	2 145	—	89.98
筒仓筒体	298	14	1 508	38	222.81
合计	491	15	3 653	38	—

通过比较可以看出,此次设计的筒仓,虽然其材料用量与 10 000 t 筒仓相差不多,但 30 000 t 筒仓充分利用了空间,节省了用地,这在寸土如金的北京是非常重要的。

7 结束语

30 000 t 大型贮煤筒仓作为特种结构,受力复杂,尽管采用了有限元的计算程序,计算结果相对准确一些,但毕竟是首次设计,没有可以参考借鉴的工程,因此无法判断计算结果与实际受力情况是否符合。此次由于研究经费有限,并且施工工期紧迫,未能在筒仓上做应力测试。若以后还有类似工程,应尽量进行实测,掌握第一手资料,以便更好地总结和改进设计。

本工程的大型筒仓的结构型式是否合理,存在哪些问题,还有待筒仓投入运行后再做进一步的总

结,并根据实际问题进行具体的研究及探讨.

了大力支持,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

在本文写作过程中,俞振安、王长海、程绍武同志给予

Design and research of large-scale coal silo

ZHANG Liqiang

(North China Design Institute of Electric Power, Beijing, 100011 China)

Abstract: The design and research about the three large-scale coal silos for the extension project of the Shijing-shan Power Plant in Beijing, are described. Each silo can store coal of 30000 t. Their structural type selection and composition are described emphatically, such as the determination of type of the bottom structure, the determination of calculating principle, the calculating result of finite element method, and the construction and economic norms of the silo etc. . The results provide the practical experience and valuable reference data for designing large-scale silos of thermal power plants in future.

key words: large-scale coal silo; design; prestressing; finite element method