

# 石油化工料仓框架设计

赵红晓

旭阳工程天津分公司 天津市 300091

**摘要:** 石油化工装置中料仓常用于储存、调节和转运松散颗粒物料。根据工艺特点、输送设备安装和操作空间的要求,料仓通常支承于高度为12m以上的框架上,具有支承位置及重心高、荷载大和排列紧凑等特点。支承料仓的结构框架除了应能承受料仓的静力荷载外,还必须承受较大的附加地震以及风荷载,因此,需要通过合理的结构选型、准确的结构设计和构造措施来保证结构框架的强度和稳定。本文结合某石化装置中成品料仓框架结构设计,浅析料仓框架结构计算模型的选定、结构设计方法和构造要求。

**关键词:** 成品料仓框架; 结构设计

## 1 工程概况

### 1.1 工程名称

本工程为某成品包装厂房料仓框架。

### 1.2 自然条件

### 1.3 工艺布置

基本风压: $0.40\text{kN/m}^2$  ( $R = 50$ ), 地面粗糙类别:B类; 抗震设防烈度:6度( $0.05g$ );设计地震分组为第二组;场地类别为II类,根据项目地震安全性评价报告设计特征周期: $0.35s$ ,水平地震影响系数 $\alpha_{\max} = 0.073$ 。

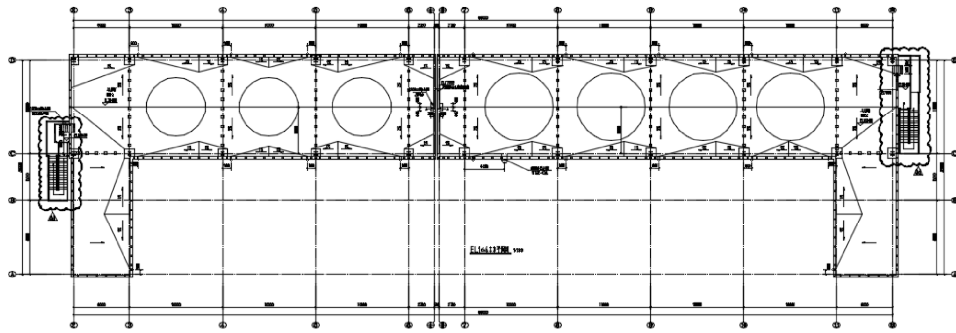


图1-1 料仓支撑层平面布置图

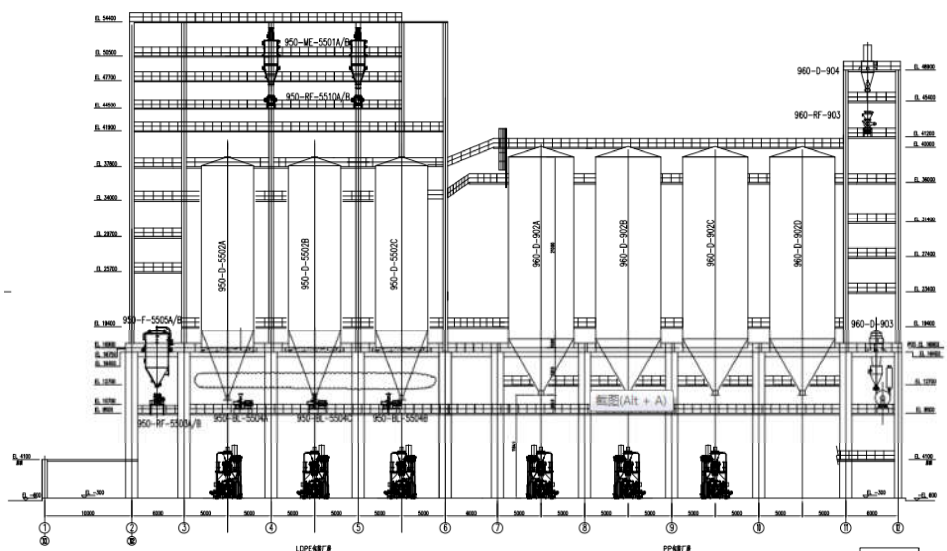


图1-2 料仓设备立面布置图

成品料仓框架为两层，料仓下部混凝土框架高16.4m，支承7个成品料仓，一字型排列，混凝土框架在中间设沉降缝。成品料仓直径为6m，操作重为4100KN，支座以上仓体高度为19m；包装料仓直径为7m，操作重为6650KN，支座以上仓体高度为21m。

## 2 结构计算模型的选定

### 2.1 结构形式

料仓结构框架常采用钢结构和钢筋混凝土两种结构形式。

#### 2.1.1 钢结构

钢结构的主要特点是受力明确，施工简便且周期短，不受季节影响。但对于料仓设备支承框架，由于料仓体积和自重较大，地震作用和风荷载也较大，导致框架的水平位移大，若采用钢结构则需要布置众多的支撑体系，费用较高。对非抗震地区或工期紧的项目，可以考虑采用钢结构形式。

#### 2.1.2 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构的侧向刚度大，施工方法成熟，材料费用低，相关研究与规范比较完善，工业建筑中较重要的结构多采用此形式，也是料仓框架常用的结构形式。综合比较两种结构的优缺点，并考虑工期、施工单位施工能力等多方面因素，本工程选用钢筋混凝土框架结构。

### 2.2 计算模型

从料仓框架布置图可以看出，料仓支撑在混凝土框架上，为框架式设备基础。从结构体系上可分为梁板式顶板框架和厚板式顶板框架。

2.2.1 梁式平台是指平台由设备梁和板共同组成，料仓荷载由设备梁承担，板仅承担一般性荷载(板面活荷载、检修荷载)。设备梁呈八字型布置，与主框架梁呈45度角，荷载最终通过设备梁传至主框架。事实上料仓底部的螺栓都是环形布置，它与设备梁之间还需要有一道暗环梁做为连接过渡，暗环梁起到环形支座的作用，暗环梁的构造及配筋可以参考《石油化工塔型设备基础设计规范》SH/T3030-2009中相关公式进行设计。这种结构形式最显著的特点就是力的传递明确，设计方法简单且易于接受，设备梁计算通过手算即可完成。

2.2.2 板式平台是指平台全部由混凝土现浇板构成，全部荷载由板来承担，并通过板将荷载传至框架，最终传至基础。具体做法是在板内预埋定距地脚螺栓，料仓荷载产生的支座反力将通过这些螺栓传至混凝土板内部。由于板内传力比较复杂，计算板的受力须通过有限元理论和相关软件才能得到合理的结果。因此，板式平

台的计算模型首先是有限元的模型，通过有限元分析得到的板端内力。板式平台的主要特点在于施上简便，不存在大量的受力纵筋影响混凝土浇筑的情况，但由于荷载较大，完全按照板式配筋会使板的厚度增大，一般情况下会达到1米左右，经济性稍差。

板式平台的计算模型通常也被简化成梁的体系，也就是在板内通过构造措施设置暗梁，以加强螺栓所在区域的局部刚度，提高板的抗剪、抗冲切能力。事实上，通过有限元软件分析就可以看出，在料仓荷载的作用下，板内应力都集中在受荷螺栓附近，完全按照板式配筋是无法满足实际需要的，在荷载较大的情况下，为了保证板的裂缝宽度，实际配筋与梁式平台配筋基本相同。下表为本上程两种平台结构形式的对比：

表2-1 两种平台结构形式的对比

	受力构件	板厚	梁(暗梁)高	配筋方式
梁式平台	梁	180mm	1400mm	按简支梁计算
板式平台	板	1000mm	1000mm	按板配筋并加暗梁

根据以上的对比分析，采用梁式平台做为承重体系，在计算、构造上都具极大的优越性与合理性，符合工业建筑设计要求。所以，本工程采用梁式平台做为实际计算模型。

## 3 结构计算

### 3.1 荷载及荷载组合

依照现行《建筑结构荷载规范》GB50009料仓框架结构的荷载主要可分为下列两类：

3.1.1 永久荷载:框架结构自重、料仓仓体的自重、料仓内储存的物料重等。

3.1.2 可变荷载:楼面或平台活荷载、楼面或平台安装检修荷载、风荷载、雪荷载等。

这些荷载的标准值可根据荷载规范和相关工艺专业条件确定。

荷载组合应满足荷载规范的要求，本工程处于抗震设防地区，须满足抗震规范的要求。料仓附加地震力应按附加地震工况参与荷载组合。

### 3.2 地震作用和结构抗震验算

抗震规范规定了三种抗震计算方法:底部剪力法、振型分解反应谱法和时程分析法。其中底部剪力法、振型分解反应谱法是基本方法，时程分析法只是一种补充计算方法，对那些特别不规则、特别重要的甲类建筑和高层建筑才要求采用。对高度不超过40m以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀的结构，以及近似单质点体系的结构，可以简化使用底部剪力法，否则宜采用

振型分解反应谱法计算。从料仓框架的结构布置不难看出,其质量和刚度沿高度分布均匀,可近似看成单质点体系,可以采用底部剪力法。如果采用底部剪力法只能对底部框架进行抗震计算,上部料仓荷载除参与框架地震作用计算外,还应对设备支承梁考虑附加荷载作用。通常有两种主要计算方法:

### 3.2.1 推导荷载计算料仓附加地震计算简图见图3-1。

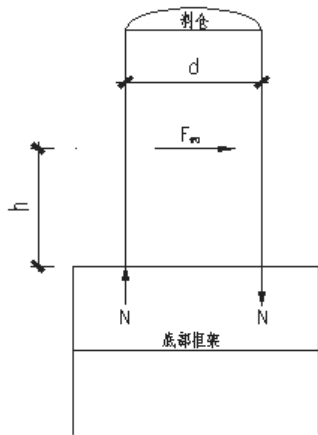


图3-1 料仓地震附加荷载计算简图

附加荷载采用以下公式计算:

$$F_{eq} = \alpha G_{eq} \quad \text{公式3-1}$$

$$N = F_{eq} h / d \quad \text{公式3-2}$$

式中,  $F_{eq}$ 为料仓受到的地震荷载;  $\alpha$ 为相应于基本自振周期的水平地震影响系数值;  $G_{eq}$ 为料仓重力荷载代表值;  $N$ 为底部框架支点反力(附加荷载);  $h$ 为料仓重心到底部支撑点的垂直距离;  $d$ 为支撑点最大间距,近似取料仓直径。

### 3.2.2 等代模拟料仓刚度参与整体建模计算

料仓储存物料时,物料多为均匀分布在料仓内,等代料仓的钢筋混凝土墙可3m一层输入,每层板厚设为零,这样在计算地震作用时,每层的质量集中在楼层处,更能真实的反应实际料仓的情况。根据等刚度、等直径、等高度的原则可推算等代混凝土墙的厚度:

$$E_s I_s = E_c I_c \quad \text{公式3-3}$$

$$I_c = E_s I_s / E_c \quad \text{公式3-4}$$

$$I_s = \pi (D_1^4 - D_2^4) / 64 \quad \text{公式3-5}$$

$$I_c = \pi (d_1^4 - d_2^4) / 64 \quad \text{公式3-6}$$

式中:  $E_s$ —料仓设备筒体的弹性模量,  $N/mm^2$

$I_s$ —料仓的转动惯量,  $m^4$

$E_c$ —混凝土的弹性模量,  $N/mm^2$

$I_c$ —混凝土环墙的转动惯量,  $m^4$

$D_1$ 、 $D_2$ —分别为钢仓外径、内径,  $m$

$d_1$ 、 $d_2$ —分别为混凝土环墙外径、内径,  $m$

由于料仓通过地脚螺栓与支撑梁相连,因此在混凝土环墙下设小短柱的形式模拟墙梁连接,可使得料仓荷载通过小短柱传递给支撑梁。

本工程在多个模型对比后偏于安全的取按推导荷载方法进行框架计算。

在进行截面抗震验算的同时,还要进行抗震变形验算,校核结构是否满足弹性(或弹塑性)层间位移角限值。多数情况下只需验算多遇地震作用下的抗震变形,即要求结构满足弹性层间位移角限值。

### 3.3 风荷载的计算

由于料仓属于高耸结构,应考虑风压脉动对发生顺风向风振的影响。根据荷载规范,对于料仓仅考虑第一风振振型的影响,可通过引入风振系数来计算。

此外,上部料仓所受风荷载对支座产生的弯矩同样需要转化为附加拉压荷载,方法同上述地震附加荷载的计算。即在验算设备支撑梁时还需计入附加风荷载参与工况组合。

### 3.4 料仓荷载最不利布置

对于该工程的群仓结构,由于存在不同时满仓工况,按楼面活荷载不利布置的方法来考虑梁弯矩的增大。料仓自重对设备支承梁来说仅仅是竖向荷载的平均分配,但对于框架梁的内力分布影响还是很大的。作为储物设备,每个料仓里物料的存储量会根据生产要求分为满罐、空罐和半满罐三种工况,如果多台料仓并排排列,随着料仓储物量的改变,框架梁各点(跨中、支座)的内力会出现相应的峰位,这类似于连续梁在不同荷载工况作用下内力的分布,跨中的峰值工况出现在本跨和隔跨满罐时,支座的峰值工况出现在相邻两跨和隔跨满罐时。

从以上分析可以看出,在对支承框架进行结构计算时,必须全面考虑各种可能的工况,最终选择最不利工况下的内力进行设计。本工程通过不同工况下模型对比采用料仓物料荷载按活荷载输入考虑活荷载不利布置对框架做整体分析。

### 3.5 设计结果

通过调整梁柱弯矩分配和整个框架的自振周期,最终柱截面为1100mmX1100mm;成品料仓支承梁控制截面为700mmX1600mm;结构基本自振周期为1.02s,最大弹性层间位移角为1/1230,柱轴压比为0.48符合规范要求。

### 4 构造措施

料仓框架不仅要从设计上保证结构的强度、稳定性,还必须采取抗震和构造措施,以加强结构的整体稳

定性,保证整个结构的可靠度。

(1)梁和柱的配筋要遵守《建筑抗震设计规范》满足二级抗震要求,整体结构保证强柱弱梁、强剪弱弯、强节点弱构件,通过控制柱轴压比、剪跨比来保证结构的整体延性。

(2)设备环梁与支撑八字梁在施工时钢筋比较密集,地脚螺栓在定位比较困难,由于环梁顶标高一般很难改变,结构设计中可同过降低八字梁梁顶标高的方式、采用高强度钢筋等方式为施工提供便利。

(3)梁的裂缝宽度要保证小于0.2mm,在结构设计的时候,这一要求基本控制了梁的配筋率。

## 5 结构设计中有待探讨的问题

### 5.1 地震扭转效应问题

在实际运行中,对群仓可能出现部分料仓空仓和部分料仓满仓的工况,造成群仓的质心和支承结构的刚心不重合,此时若又发生设防烈度地震,在水平地震作用下支承结构可能会产生地震扭转效应。由于对实际操作料仓过程无法控制,分析时考虑此类特殊极端工况引起的偏心扭转效应较困难。

### 5.2 框架与料仓的协同抗震问题

本文前面已经就抗震问题做过论述,并提出采用底部剪力法对底部框架结构进行抗震设计,由料仓操作荷载引起的地震力仅仅看成是框架的附加荷载。事实上,料仓、物料、底部框架是三个独立体也就是三个质点,在地震荷载作用下,地震力通过基础传至底部框架,再通过框架与料仓之间的地脚螺栓把地震力传至料仓和物料,在这个过

程中,三个质点按照各自的振型发生振动,产生振幅,显然,采用振型分解法更能反应出结构的特点,而采用底部剪力法得出的结果是保守的。所以,若能模拟出一个实际模型,把三个质点的三种振动形式通过计算求解出来,最终获得各质点所受的地震荷载,那么按照这种方法得出的计算结果才是比较精确的。

## 结束语

近年来石化行业的快速发展,陕西、内蒙、新疆等一系列投资大、产量高的项目接连开展,随着装置产量的增加引起对储料设施的需求增加,单体容量更大规模的化工料仓及其支承结构在工程实际中得到广泛的应用,其设计要针对项目特点选择适合的结构方案。本文试图通过成品料仓框架的结构设计,说明概念设计在结构设计中的重要性,并从中发现设计中存在的问题,为今后的料仓框架设计找出一个合理的设计方法,提高结构的稳定性与经济性。

## 参考文献

- [1]《混凝土结构设计规范》GB50010-2010
- [2]《建筑抗震设计规范》GB50011-2010
- [3]《石油化工建(构)筑物抗震设防分类标准》GB50453-2008
- [4]《石油化工构筑物抗震设计规范》(SH3147-2014)
- [5]《石油化工建(构)筑物结构荷载规范》(GB51006-2014)