

# 混凝土圆筒仓滑模施工设计

赵鹏<sup>1</sup> 刘汉旺<sup>2</sup> 徐洋<sup>2</sup>

1. 北京国顺昌建筑工程有限公司, 北京 100071

2. 北京志骏腾达建筑工程有限公司, 北京 100071

**摘要:** 本论文对混凝土圆筒仓结构施工采用滑模体系设计及其工作原理进行了详细介绍, 并分别对滑模的五大系统模板系统、操作平台系统、提升系统、精度控制系统、供水供电系统进行了详细设计介绍, 对各部位构件的结构选型、技术参数等进行设计, 并运用了材料力学、混凝土结构力学、钢结构力学、弹性力学、相关设计专业软件以及国家、行业相关规范标准对设计构件进行验证性计算, 对选型中不合理的构件、结构体系进行反复调整验证, 最终形成整体滑模系统设计。通过本论文的介绍, 也为其它混凝土圆筒仓体结构(如水泥圆筒仓、油库圆筒仓等)采用滑模体系施工提供了设计思路, 供其参考。

**关键词:** 混凝土圆筒仓; 滑模设计; 验证计算

某粮库项目, 设计为 15 座内直径 23m、仓壁结构高度 27.75m、壁厚 280mm、仓顶为钢筋混凝土锥形壳体的圆筒仓, 基础为桩筏复合基础, 仓壁混凝土采用 C30P8 抗渗混凝土。经研究, 决定对圆筒仓仓壁混凝土采用滑模施工工艺。

## 1 工程设计图纸

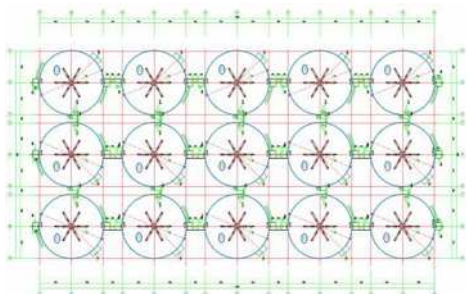


图 1 仓平面布置图

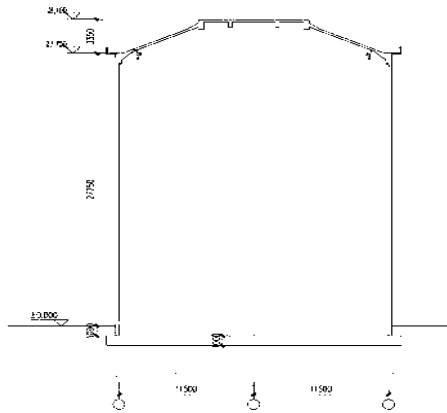


图 2 仓结构纵向剖面图

## 2 滑模设计

### 2.1 滑模装置系统及工作原理

#### 2.1.1 滑模系统组成

滑模体系是以滑模千斤顶、提升机等为提升动力, 带动模板沿着混凝土表面滑动而成型的混凝土结构施工工艺。将模板固定于围圈上, 以保证构件截面尺寸及结构的几何形状, 模板直接与新浇混凝土接触且随着提升架上滑, 承受新浇混凝土的侧压力和模板滑动时的摩擦力。

滑模系统主要由模板系统、操作平台系统、提升系统、施工精度控制系统、供电供水系统共计五大系统组成。

#### 2.1.2 工作原理

(1) 在基础上表面组装滑模设备, 模板高度 1.2m, 绑扎 1.5m 高度的仓壁钢筋, 分三次或四次将 1.2m 高度模板内的混凝土浇筑完成。

(2) 待下层混凝土强度达到 0.2 ~ 0.4MP 后, 千斤顶通过控制柜、油管进行“进油、回油”的反复操作, 使得千斤顶抱住支撑杆上下升降, 千斤顶与提升架横梁通过螺栓连接, 千斤顶向上爬升, 使得提升架横梁受向上的提升力, 从而带动提升架及操作平台向上滑升, 实现模板滑动。千斤顶带动滑模提升 300mm 高度, 完成一个行程的滑模。

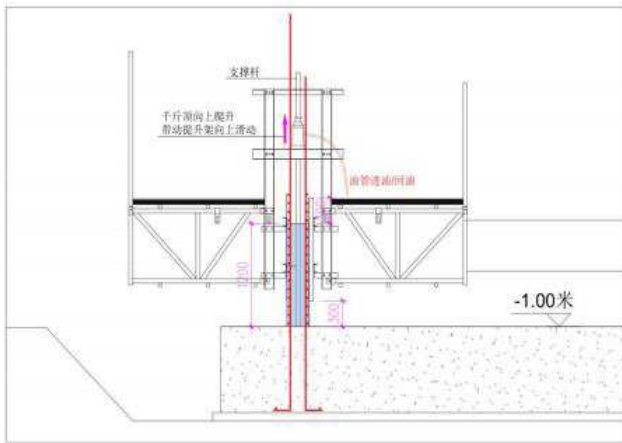


图3 行程提升

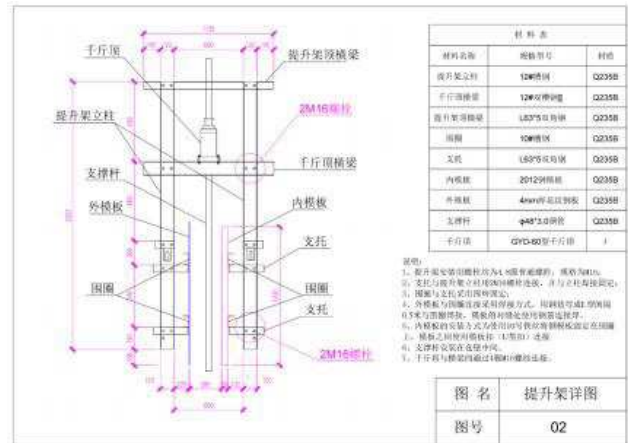


图4 “开”字提升架

(3) 绑扎下一个行程 300mm 高度范围内的仓壁钢筋, 并对底部已出模区域的混凝土进行洒水养护。

## 2.2 五大系统设计

### 2.2.1 模板系统

模板系统包括内外模板、围圈、提升架, 模板直接与新浇混凝土接触且随着提升架上升, 承受新浇混凝土的侧压力和模板滑动时的摩擦力。

#### (1) 仓壁外模板

仓壁外模板采用 4mm 厚花纹钢板, 标准尺寸为 3000mm × 1250mm × 4mm, 局部位置配置非标调节模板, 确保外模板与仓外壁混凝土表面紧紧贴合。

#### (2) 仓壁内模板

仓壁内模板采用 2012 型钢模板, 标准尺寸为 200mm × 1200mm, 局部位置配置非标调节模板, 确保内模板与仓内壁混凝土表面紧紧贴合。

#### (3) 围圈

围圈是保持模板几何形状的支撑构件, 模板的自重、摩擦力、侧压力以及操作平台荷载等均通过围圈传至提升架, 围圈采用内外侧各两道 [100mm × 48mm × 5mm 槽钢 (10#)], 围圈焊接在 L63mm × 10mm 角钢上, L63mm × 10mm 角钢用 M16 螺栓与提升架上固定。

#### (3) 提升架

提升架是固定千斤顶、围圈和保持模板几何形状的主要承重构件, 直接承受模板、围圈和操作平台的全部荷载和混凝土对模板的侧压力。

### 2.2.2 操作平台系统

操作平台系统是用于完成钢筋绑扎、混凝土浇筑等操作及堆放施工机具和材料的工作面, 主体桁架使用 Φ48mm × 3.0mm 钢管焊接而成, 在其上下各使用三道环管用扣件连接方式固定在一起保证其稳定性, 且在每榀桁架之间使用斜撑加固, 然后在上铺方木和多层板, 直接使用 M16 螺栓连接在提升架上。操作平台应有高度不低于 1.5m 的围护栏杆设置, 并在栏杆上挂绳网。

吊脚手架使用 Φ16mm 圆钢制作成吊杆, 直接吊挂在操作平台桁架上预留的钢管内, 并铺跳板, 围护结构使用钢筋穿在吊杆预留的孔洞内并使用绳网整体兜牢, 跳板底部铺设水平安全网。

### 2.2.3 提升系统

提升系统包括液压控制台、油路、千斤顶和支撑杆等, 液压提升系统是液压滑升模板施工装置中的重要组成部分, 是整套滑模施工装置中的提升动力和荷载传递装置, 其工作原理是由控制台的电动机带动高压油泵, 使高压油液通过电磁换向阀、分油器、针型阀和操作平台沿着支撑杆往上爬升。当控制台电磁换向阀换向回油时, 液压油由千斤顶内排出并回入油泵的油箱。如此反复进油和回油, 使液压千斤顶带动提升架、提升架带动模板和操作平台不断地上升。

#### (1) 千斤顶和液压控制柜

本项目共计使用了 48 个 GDY60 型滚珠式中空千斤顶 (承载力 6t/个), 以承受全部组合重量, 千斤顶具有防滑移自锁装置, 只能沿支撑杆向上爬升, 不会自动向下滑落。并对每个千斤顶编号管理。控制柜采用 YTK72 型控制柜。

#### (2) 支撑杆

支撑杆采用 Q235B 焊接  $\Phi 48\text{mm} \times 3.0\text{mm}$  的钢管, 符合现行国家标准《直缝电焊钢管》GB/T 13793 中的规定, 支撑杆既是千斤顶的运动轨道又是滑模系统的承重支杆, 滑模装置的自重、混凝土对模板的摩阻力及操作平台上的全部施工荷载, 均由千斤顶传至支撑杆承担, 支撑杆采用承插式安装。

### (3) 油路

油路布置原则管路最短、总控制台至每个千斤顶的管路长短尽量一致, 布置形式为串并联结合的混合布置油路。设 1 个控制柜, 将 48 个千斤顶分为 2 组, 每组 24 个千斤顶, 分别从控制柜布置 2 条主管管 (内径为  $\Phi 16\text{mm}$  高压橡胶管), 再分别从主管管上布置分油管 (内径为  $\Phi 8\text{mm}$  高压橡胶管) 到各个千斤顶。

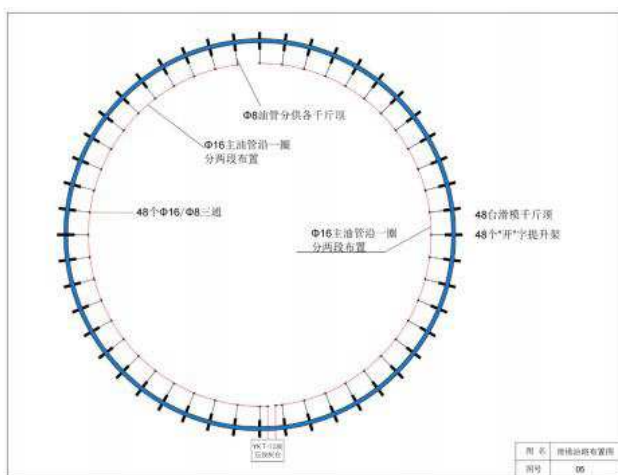


图 5 油路布置

### 2.2.4 施工精度控制系统

在中心盘的中心设一套对中大线坠来检测垂直度, 在仓壁的内侧设一套线坠用来检测滑模架的旋转状况, 使之及时加以调整。

### 2.2.5 供电供水系统

供电系统由设置在操作平台上的—台二级配电箱控制, 二级配电箱与一级配电箱连接电缆长度大于滑升高度并随滑模平台提升; 供水系统包含一个水箱、扬程为 60m 的一台潜水泵以及大于滑升高度的聚氯乙烯硬质塑料管一根及相应配件。内外吊架靠筒壁—侧周围各布置—圈直径为  $\Phi 25\text{mm}$  的硬质塑料管道, 并在管道上设置 4 个眼孔, 由养护人员用软管接周围水管, 保证混凝土养护不少于 14 天。

### 2.3 滑升高度确定

从筏板顶  $-1.0\text{m}$  处开始滑模, 滑升至仓顶锥壳环梁底部标高  $26.510\text{m}$  处, 滑模高度为  $27.51\text{m}$ 。

## 3 验证计算

### 3.1 仓壁滑模施工安全性计算 (按单仓计算)

#### 3.1.1 滑模总荷载

仓壁滑模时的总荷载为  $1059.01\text{KN}$ , 其中, 滑模操作平台及铺板的实际总重量  $381.31\text{KN}$ , 混凝土对模板的摩阻力  $447.85\text{KN}$ , 操作平台施工活载  $156.25\text{KN}$ , 平台冲击荷载  $11.5\text{KN}$ , 风荷载  $62.1\text{KN}$ 。

#### 3.1.2 支撑杆承载力

根据国家滑模工程技术标准 (GB/T50113-2019) 附录 A(A.0.1)

$$P_0 = (a/k) \times (99.6 - 0.22L_0) \quad (\text{公式 3.1.2})$$

$P_0$ ——钢管支撑杆承载力 (KN)

$a$ ——工作条件系数, 取 0.7;

$K$ ——安全系数, 取 2.0;

$L_0$ ——支撑杆脱空长度 (cm),

$$L_0 = 300 + 448 + 120 = 868\text{mm} = 86.8\text{cm};$$

$$P_0 = (0.7/2) \times (99.6 - 0.22 \times 86.8) = 28.17(\text{KN})$$

3.1.3 单个提升架支撑杆承载力和千斤顶允许承载力的比较选取

根据国家滑模工程技术标准 (GB/T50113-2019)(5.2.3) 中的规定, 当选取支撑杆或千斤顶的承载力时, 千斤顶的允许承载力应为其额定承载力的 1/2。两者相比取最小值。

$$\text{即: } HQ-60 \text{ 滑模千斤顶的允许承载力} = 6 \text{ 吨} \times 1/2 = 3 \text{ 吨} = 29.42(\text{KN})$$

因:  $28.17\text{KN}$  支撑杆承载力  $<$   $29.42\text{KN}$  千斤顶承载力

所以本工程单提升架的承载力选取值应为支撑杆的承载力  $28.17\text{KN}$

#### 3.1.4 液压提升系统所需千斤顶和支撑杆的最小数量

根据国家滑模工程技术标准 (GB/T50113-2019)(5.2.3)

$$n = N/P_0 \quad (\text{公式 3.1.4})$$

$n$ ——所需千斤顶和支撑杆的最小数量 (台)

$N$ ——总垂直荷载 (KN)

$P_0$ ——单个千斤顶或支撑杆的允许承载力 (KN)

$$n = 1059.01/28.17 = 37.59 (\text{台 / 根})$$

根据对称性、安全性以及“软滑”等经验, 本工程的

提升架间距选择在 1.3m ~ 1.6m 之间, 故特选提升架 48 个, 支撑杆 =48 根, 千斤顶 =48 台, 满足要求。

### 3.1.5 48 根支撑杆滑模安全性验算

总荷载 1059.01KN

总承载力 =48 根 × 28.17KN/ 根 =1352.16(KN)

1352.16KN > 1059.01KN 满足要求

### 3.2 吊脚手架安全性计算

吊架圆钢抗拉强度  $f_t = A_s \cdot f_y = 3.14 \times 8 \times 8 \times 215 = 43206.4N$

(公式 3.2)

单根圆钢承载力 =  $43206.4N / (1.2 \times 1.2 \times 1.4 \times 1.5 \times 1.4) = 10.21KN$  (自重荷载分项系数取 1.2, 吸附作用超载系数取 1.2, 应力集中折减系数取 1.4, 动力系数取 1.5, 角度承载力系数取 1.4) 48 个吊架承载力 =  $10.2 \times 2 \times 48 = 979.2KN > 31K$ , 满足要求。

吊架总荷载: 安全维护 600kg; 脚手板 1700kg; 人员 800kg

### 3.3 滑模系统整体验算

#### 3.3.1 模板侧压力计算

混凝土作用于模板的侧压力, 随混凝土的浇筑高度而增加, 当浇筑高度达到某一临界时, 侧压力就不再增加, 此时的侧压力即为新浇筑混凝土的最大侧压力。侧压力达到最大值的浇筑高度称为混凝土的有效压头。

根据 GB50666-2011《混凝土结构工程施工规范》和《建筑施工计算手册》, 采用插入式振动器且浇筑速度不大于 10m/h、混凝土坍落度不大于 180mm 时, 新浇筑混凝土对模板的侧压力标准值可按下列两式计算, 并取二式中的较小值。

$$F_{max} = 0.28 \gamma_c t_0 \beta \sqrt{V} \quad (\text{公式 3.3.1-1})$$

$$F_{max} = \gamma_c H \quad (\text{公式 3.3.1-2}) \text{ 式中:}$$

F—新浇筑混凝土对模板的最大侧压力 (KN/m<sup>2</sup>);

$\gamma_c$ —混凝土重力密度 25KN/m<sup>3</sup>;

$t_0$ —新浇混凝土初凝时间 (h), 取 6 h;

$\beta$ —混凝土坍落度影响修正系数

当坍落度大于 50mm 且不大于 90mm 时, 取 0.85;

当坍落度大于 90mm 且不大于 130mm 时, 取 0.9;

当坍落度大于 130mm 且不大于 180mm 时, 取 1;

V—混凝土的浇筑速度 (m/h)

H—混凝土侧压力计算位置处至新浇混凝土顶面的总高

度 (m)

$h = F / \gamma_c$ , h 为有效压头高度

$$F_{max} = 0.28 \gamma_c t_0 \beta \sqrt{V} = 0.28 \times 25 \times 6 \times 1 \times 1 = 42KN/m^2$$

$$F_{max} = \gamma_c H = 25 \times 1.2 = 30 KN/m^2$$

故, 浇筑混凝土时的最大水平侧压力为  $F = 30KN/m^2$ , 有效压头高度  $h = F / \gamma_c = 30 / 25 = 1.2m$

$F_{max} = 30kN/m^2$  作为模板侧压力的标准值, 并考虑倾侧混凝土产生的水平荷载标准值。用溜槽、串筒或导管输出时倾侧混凝土时产生的水平荷载取  $2KN/m^2$ 。

则模板的荷载设计值 (q) 为:

$$q = 1.2 \times 30 + 1.4 \times 2 = 38.8 KN/m^2$$

### 3.3.2 面板验算结果

最大正应力  $145.5MPa < [\sigma] = 215MPa$ , 满足要求。

### 3.3.3 围圈验算结果

最大正应力为  $162.3MPa < [\sigma] = 215 MPa$ , 最大剪应力  $3.9MPa < [\tau] = 136MPa$ , 均满足要求。

### 3.4 滑模架体验算

#### 3.4.1 荷载计算

(1) 自重

按 3.1.1 条计算值 1059.01KN 计取

(2) 施工荷载

根据《滑动模板工程技术标准》第 5.1.3 要求, 滑模操作平台均布施工荷载标准值不应小于  $2.5 KN/m^2$ , 取  $2.5KN/m^2$ 。

(3) 风荷载

圆筒仓施工至顶时风荷载最大, 取该状态进行计算, 滑模离地面高度约 30m, 按照《滑动模板工程技术标准》(GB/T50113-2019) 第 5.1.5 条, 作用于滑模装置的水平均布风荷载标准值按下式计算:

$$W_k = \mu_s \mu_z \omega_0 \quad (\text{公式 3.4.1.3})$$

$W_k$ —风荷载标准值 (KN/m<sup>2</sup>)

$\mu_s$ —风荷载局部体型系数取 1.0

$\mu_z$ —风压高度变化系数, B 类地形, 高 30 米取 1.39

$\omega_0$ —基本风压 (KN/m<sup>2</sup>)

按 7 级风最大风  $V = 13.9 m/s$ , 基本风压为  $\omega_0 = V^2 / 1600 = 0.12 KN/m^2$

按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 的规定采用, 可取重现期  $n = 10$  对应的风荷载, 但不宜小于  $0.3kN/m^2$ , 因此风荷载取值为  $0.3 KN/m^2$ 。

风荷载:  $W_k=1 \times 1.39 \times 0.3=0.42 \text{ kN/m}^2$

风荷载计算时, 考虑到仓混凝土对滑模的遮挡及其支撑作用, 且密目网充实率按 0.6 考虑, 固风荷载折减系数取值 0.4。

风荷载:  $W_k=0.42 \times (1-0.4)=0.25 \text{ kN/m}^2$

### 3.4.2 荷载组合

根据《滑动模板工程技术标准》表 5.1.6, 滑模装置的荷载标准值及荷载分项系数应符合表 5-1 和 5-2, 荷载组合如下:

荷载效应组合为:  $1.35 \times \text{结构自重} + 1.4 \times \text{施工荷载} \times 0.7 + 1.4 \times \text{风荷载} \times 0.6$ 。

### 3.4.3 荷载施加

施工荷载施加至跳板上, 施工及机具荷载:  $1.4 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 \times 0.7 = 2.45 \text{ kN/m}^2$ 。

将风荷载施加到密目网上, 风荷载:  $W_k=1.4 \times 0.25 \times 0.6 = 0.21 \text{ kN/m}^2$

### 3.4.4 验算结果

最大正应力  $156.8 \text{ MPa} < [\sigma]=215 \text{ MPa}$ , 最大剪应力  $21.4 \text{ MPa} < [\tau]=136 \text{ MPa}$ , 均满足要求。其中, 支撑杆计算最大竖向反力为 12.5KN。

## 3.5 主要节点验算

### 3.5.1 千斤顶安装螺栓抗拉验算

千斤顶通过四颗 4.8 级 M16 普通螺栓与支架固定, 螺栓所受拉力由支架对千斤顶产生的竖向荷载及爬升时混凝土对模板的摩阻力两部分组成。

#### (1) 混凝土对模板的摩阻力

根据《滑动模板工程技术标准》(GB/T50113-2019) 中 5.1.5, 摩阻力参数取  $2.5 \text{ kN/m}^2$ ; 外模板总面积  $=23.56 \text{ m} \times 3.14 \times 1.25 \text{ m} = 92.47 \text{ m}^2$ ;

内表面总面积  $=23 \text{ m} \times 3.14 \times 1.2 \text{ m} = 86.67 \text{ m}^2$ ;

分配到单个千斤顶的摩阻力  $=(92.47+86.67) \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 / 4 = 9.3 \text{ KN}$ 。

#### (2) 支架竖向力

由 4.4.4 验算结果可知, 支架对单个千斤顶的最大竖向荷载为 12.5 KN。

#### (3) 验算结果

单个千斤顶所承受的最大竖向荷载为  $12.5+9.3=21.8 \text{ KN}$ ; 则单颗螺栓的所受最大拉力为  $21.8/4=5.45 \text{ KN}$ ; 螺栓材料

35CrMo。

根据《钢结构设计标准》GB50017-2017 第 11.4.1 条关于普通螺栓连接受拉承载力的计算规定如下:

在普通螺栓、锚栓或铆钉杆轴向方向受拉的连接中, 每个普通螺栓、锚栓或铆钉的承载力设计值按下列公式计算:

$$\text{普通螺栓: } N_t^b = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^b \quad (\text{公式 3.5.1.3-1})$$

$$\text{锚栓: } N_t^a = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^a \quad (\text{公式 3.5.1.3-2})$$

$$\text{铆钉: } N_t^t = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^t \quad (\text{公式 3.5.1.3-3})$$

$d_e$ —螺栓或锚栓在螺纹处的有效直径 (mm);

$f_t^b$ 、 $f_t^a$ 、 $f_t^t$ —普通螺栓、锚栓和铆钉的抗拉强度设计值 ( $\text{N/mm}^2$ )

4.8 级普通螺栓抗拉强度设计值  $f_t^b$  为  $170 \text{ N/mm}^2$

螺栓拉力:  $N_t^b = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^b = \frac{3.14 \times 12 \times 12}{4} \times 170 = 19.21 \text{ KN} > 5.45 \text{ KN}$   
满足要求

### 3.5.2 桁架连接节点螺栓抗剪验算

钢管桁架通过 4.8 级普通螺栓与提升架立柱连接, 上弦钢管为 2 颗 M16, 下弦钢管为 1 颗 M16。

由桁架轴力图可知下弦杆螺栓所受剪力为 12.7KN, 对单颗螺栓位置进行验算。

根据《钢结构设计标准》GB50017-2017 第 11.4.1 条关于普通螺栓连接抗剪承载力的计算规定如下:

$$\text{普通螺栓: } N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b \quad (\text{公式 3.5.2})$$

$n_v$ —受剪面数

$d$ —螺杆直径 (mm);

$f_v^b$ —螺栓抗剪和承压强度设计值 ( $\text{N/mm}^2$ )

受剪承载力:  $N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b = 1 \times \frac{3.14 \times 16 \times 16}{4} \times 140 = 18.1 \text{ KN} > 12.7 \text{ KN}$  满足要求

### 3.5.3 支撑杆承载力验算

依据公式第 4.1.2 条计算结果,  $P_0=28.17 \text{ KN} > 21.8 \text{ KN}$ , 满足要求。

### 3.5.4 支撑杆稳定性验算

依据第 4.4.4 条计算结果, 支撑杆最大轴力为 12.5KN, 外加摩阻力对支撑杆的影响, 支撑杆所受压力为 21.8kN。

欧拉临界力:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = \frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^5 \times \frac{3.14 \times (48^4 - 42^4)}{64}}{868^2} = 29.6 \text{ KN} > 21.8 \text{ KN}$$

(公式 3.5.4) E—弹性模量;

l—截面计算长度;

I—截面惯性矩

支撑杆稳定性满足要求

### 3.6 仓顶挑檐模架平台验算

#### 3.6.1 普通仓顶挑檐外平台验算

##### (1) 外挑架

外挑架设置前后拉结受力点, 前拉结点每个架体均设置, 前端用  $\Phi 14\text{mm}$  圆钢 (计算采用  $\Phi 14\text{mm}$ , 实际采用  $\Phi 16\text{mm}$ ) 于仓壁混凝土中提前弯钩预埋; 后端拉结点用  $\Phi 12\text{mm}$  圆钢 (计算采用  $\Phi 12\text{mm}$ , 实际采用  $\Phi 16\text{mm}$ ) 拉挂在提升架支撑杆上, 并在外挑桁架处弯钩焊接。

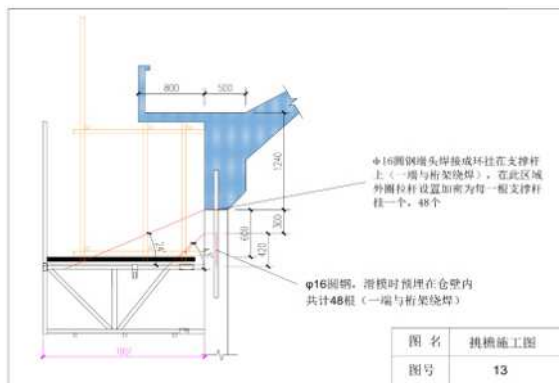


图 6 外挑架连接

##### (2) 荷载计算

施工标准值按  $2.5\text{kN/m}^2$  计算, 混凝土及支架自重取 1.35 荷载系数。

##### (3) 外挑檐架体验算

###### ①架体验算

最大正应力  $172.8\text{MPa} < [\sigma] = 215\text{MPa}$ , 满足要求。

最大剪应力  $40.7\text{MPa} < [\tau] = 136\text{MPa}$ , 满足要求。

###### ②斜拉杆验算

最大正应力为  $175.9\text{MPa} < 215\text{MPa}$ , 满足要求。

前斜拉、后斜拉单根拉杆最大承受拉力满足要求

#### 3.6.2 外挑檐特殊位置验算

501# 仓增设电缆挑板, 增加宽度为  $500\text{mm}$ , 此仓前斜拉杆采用直径为  $\Phi 16\text{mm}$  圆钢, 后斜拉杆采用直径  $\Phi 12\text{mm}$  的圆钢 (计算按  $\Phi 12\text{mm}$ , 实际采用  $\Phi 16\text{mm}$ )。

经验算:

最大正应力  $188.1\text{MPa} < [\sigma] = 215\text{MPa}$ , 满足要求。

最大剪应力  $53.9\text{MPa} < [\tau] = 136\text{MPa}$ , 满足要求。

斜拉杆最大正应力为  $183.6\text{MPa} < 215\text{MPa}$ , 满足要求。

前斜拉、后斜拉单根拉杆最大承受拉力满足要求

## 4 实施及效果

依据现场情况, 将 15 个圆筒仓划分为如下 8 组分别进行施工, 每两个圆筒仓为一组同步滑升, 最后 601# 仓单独滑升。

第 1 组: 404# 圆筒仓、405# 圆筒仓; 第 2 组: 604# 圆筒仓、605# 圆筒仓;

第 3 组: 402# 圆筒仓、502# 圆筒仓; 第 4 组: 401# 圆筒仓、501# 圆筒仓;

第 5 组: 504# 圆筒仓、505# 圆筒仓; 第 6 组: 403# 圆筒仓、503# 圆筒仓;

第 7 组: 602# 圆筒仓、603# 圆筒仓; 第 8 组: 601# 圆筒仓;

按上述滑模设计方案及施工顺序, 最终项目取得圆满成功。

## 参考文献:

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构设计规范: (GB 50010-2010)(2015 版)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑结构荷载规范: (GB50009-2012) (2015 版) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢结构设计标准: (GB50017-2017)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 滑动模板工程技术标准: (GB/T50113-2019)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.

[5] 江正荣. 建筑施工计算手册 (第四版)[G]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.

[6] 建筑施工手册 (第四版)[G]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.

作者简介: 赵鹏 (1975—), 男, 汉族, 四川南充人, 清华大学硕士研究生, 就职于北京国顺昌建筑工程有限公司, 国家注册一级建造师, 高级工程师, 研究方向混凝土结构。