

UDC
P

LS

中华人民共和国粮食工程建设行业标准

LS 8001—2007

粮食立筒库设计规范

Code for design of grain silos

2007-11-01 发布

2008-02-01 实施

国家粮食局 发布

目 次

前言	III
1 总则	1
2 术语和符号	1
2.1 术语	1
2.2 符号	3
3 基本设计规定	4
3.1 一般规定	4
3.2 材料	4
3.3 施工要求	4
3.4 布置原则	5
3.5 筒仓结构体系	5
4 工艺设计	7
4.1 一般规定	7
4.2 工艺流程	8
4.3 设备选择和布置	8
4.4 安全储粮工艺	9
4.5 环境保护与安全生产	10
5 建筑设计	10
5.1 一般规定	10
5.2 筒仓直径及装粮高度	11
5.3 仓群与工作塔相互关系	11
5.4 筒仓设计	11
5.5 工作塔设计	12
5.6 泄压设计	12
5.7 气密性	13
5.8 建筑构造	13
6 结构设计	13
6.1 一般规定	13
6.2 荷载计算和荷载效应组合	14
6.3 仓壁设计	17
6.4 仓底设计	20
6.5 仓下支承结构	22
6.6 基础设计	22
6.7 仓顶及仓上建筑	24
6.8 筒仓抗震设计	24
6.9 构造规定	24
7 电气设计	29
7.1 一般规定	29

7.2 配电线路.....	29
7.3 照明系统.....	30
7.4 电气控制系统.....	30
7.5 粮情测控系统.....	30
7.6 防雷及接地.....	30
8 消防给水与相关设施.....	31
8.1 消防给水.....	31
8.2 相关设施.....	31
附录 A 筒仓沉降观测及初始装粮	32
附录 B 主要粮食物料物理特性参数	34
附录 C $\lambda = (1 - e^{-\lambda x/\rho})$ 值表	35
附录 D 旋转壳体在对称荷载下的薄膜内力	36
附录 E 照度推荐值	37
附录 F 本规范用词用语说明	38
条文说明	39

前 言

本规范根据国家粮食局办公室关于下达《粮库管理信息系统建设标准》等4项粮食工程建设标准编制任务的通知(国粮办展[2005]186号)的要求,由国家粮食储备局郑州科学研究设计院会同有关设计、施工单位组成修订编制小组,对原中华人民共和国国内贸易部行业标准《粮食立筒库设计规范》(试行) SBJ 10—97 进行全面修订。

本规范共分八章六个附录,主要内容有:粮食立筒库的建筑、结构、工艺、电气等专业的设计原则和方法。修订内容主要涉及:对原规范章节安排、粮食立筒库的使用功能、仓壁裂缝控制验算规定、水平压力修正系数等内容进行了适当调整。

在修订过程中,编制组进行了广泛深入的调查,认真总结了1997年以来利用世界银行贷款改善中国粮食流通项目和500亿公斤国家储备粮库建设期间的经验,参考了美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313:97以及其他国家的相关标准,进行了大量的计算和论证,并多次征求国内粮食行业有关设计单位和专家的意见,最后经审查定稿。

本规范中,黑体字标识的条文:3.1.5、3.1.6、3.2.1、4.1.10、4.5.18、4.5.19、4.5.20、4.5.21、4.5.23、4.5.24、4.5.25、5.5.5、6.1.1(1)、6.1.9、6.6.3、6.9.1(1)、7.3.3、7.6.3、8.1.5为强制性条文,必须严格执行。原行业标准《粮食立筒库设计规范》(SBJ 10—97)同时废止。

本规范归国家粮食局管理。为提高规范质量,请各单位在执行本规范过程中,结合工程实践,认真总结经验,并将意见和建议寄交郑州市南阳路153号国家粮食储备局郑州科学研究设计院《粮食立筒库设计规范》管理组(邮编:450053)。

主编单位:国家粮食储备局郑州科学研究设计院。

参编单位:郑州粮油食品工程建筑设计院、国贸工程设计院、国家粮食储备局无锡科学研究设计院、大连北良有限公司、镇江四建集团、大连金广建设集团、中储粮新沙港直属库。

主要起草人:梁传珍、吴素霞、刘勇献、王振清、杨松山、汤守春、申好武、韩楚良、张成武、程四相、陈华定、侯业茂、徐玉斌、郝卫红、马永强。

粮食立筒库设计规范

1 总 则

- 1.0.1 为总结我国近年来粮食立筒库建设经验、满足粮食物流设施建设现代化的要求,使粮食立筒库设计做到储粮安全、结构可靠、技术先进、经济合理并符合节约土地、节约能源、保护环境的建设方针,特制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于采用钢筋混凝土深仓及砌块深仓的粮食立筒库设计,不适用于采用浅圆仓和钢板仓的粮食立筒库设计。
- 1.0.3 粮食立筒库的安全等级为二级,抗震设防类别为丙类,地基基础设计等级为乙级,其设计使用年限不低于50年。
- 1.0.4 火灾危险性类别及耐火等级
- 1 粮食火灾危险性类别属于丙类。
 - 2 粮食钢筋混凝土筒仓、砌块筒仓及工作塔的耐火等级为二级。
- 1.0.5 粮食立筒库的设计除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1

粮食立筒库 grain silos

粮食筒仓、配套工作塔及其连廊、输粮地沟的总称。

2.1.2

筒仓 silo

平面为圆形、方形、矩形、多角形及其他几何外形的储存散粮的直立容器,其容纳储粮的部分为仓体。

2.1.3

仓顶 top of silo

封闭仓体顶面的结构。

2.1.4

仓壁 wall of silo

筒仓与粮食直接接触且承受储粮侧压力的仓体竖壁。

2.1.5

仓下支承结构 supporting structure of silo bottom

筒仓基础以上仓体以下的支承结构。有筒壁、筒壁与扶壁柱、柱子及筒壁与内柱共同支承等结构形式。

2.1.6

筒壁 supporting wall

平面与仓体相同支承仓体的立壁。

2.1.7

仓上层、仓下层 silo upper floor/silo lower floor

分别为仓顶以上、仓底以下的建筑空间。

2.1.8

仓底 silo bottom

筒仓底部承受上部粮食压力的构件。有锥斗、半钢锥斗和钢筋混凝土平板等结构形式。

2.1.9

滑动模板施工 slipforming construction

以提升动力带动模板沿所浇筑混凝土两侧面滑升而成型现浇混凝土结构的施工方法。

2.1.10

锥斗 hopper

筒仓下部用于卸出粮食的锥形漏斗。

2.1.11

单仓 single silo

不与其他建筑物、构筑物联成整体的单体筒仓。

2.1.12

仓群 silo group

若干个单仓组成的筒仓群。

2.1.13

群仓 group silos

三个或多于三个非单线排列且联为整体的仓群。

2.1.14

工作塔 workhouse

与筒仓配套,设置提升、计量、清理等设备,完成工艺作业的构筑物。

2.1.15

上连廊、下连廊 upper gallery/lower gallery

将群仓之间或群仓与工作塔之间的上部、下部连接起来的廊道。

2.1.16

储粮压力 stored grain pressure

储粮作用于仓壁或仓底上的压力。

2.1.17

装料压力 filling pressure

筒仓装粮时,储粮作用于仓壁上的压力。

2.1.18

卸料压力 emptying pressure

筒仓卸粮时,储粮作用于仓壁上的压力。

2.1.19

整体流动 mass flow

在卸料过程中仓内储粮的水平截面呈平面状态整体向下的流动。

2.1.20

管状流动 funnel flow

在卸料过程中仓内储粮的表面呈漏斗状态向下的流动。

2.1.21

中心卸料 concentric discharge

在卸料过程中储粮相对于仓体几何中心对称向下的流动。

2.1.22

偏心卸料 eccentric discharge

在卸料过程中储粮相对于仓体几何中心不对称向下的流动。

2.2 符号

2.2.1 几何参数

- h ——仓壁高度；
- h_h ——锥斗垂直高度；
- h_s ——仓顶储粮锥体高度；
- h_n ——储粮结构计算高度(储粮顶面或储粮锥体重心至仓底的高度)；
- s ——储粮结构计算深度,由储粮顶面或储粮锥体重心至计算截面的距离；
- d_n ——圆形筒仓内径；
- r ——圆形筒仓半径；
- a ——正方形筒仓边长,矩形筒仓短边的边长, a_0 为净长；
- b ——矩形筒仓长边的边长, b_0 为净长；
- t ——仓壁或筒壁厚度；
- ρ ——筒仓水平净截面水力半径；
- e ——自然对数的底；
- α ——锥斗壁与水平面的夹角。

2.2.2 计算系数

- k ——粮食侧压力系数；
- C_h ——仓壁水平压力修正系数；
- C_v ——仓壁竖向压力修正系数；
- C_f ——仓壁摩擦力修正系数。

2.2.3 粮食物料的物理特性参数

- γ ——储粮的重力密度；
- μ ——储粮对仓壁的摩擦系数；
- φ ——储粮的内摩擦角。

2.2.4 材料力学性能

- E_s ——钢筋弹性模量；
- E_c ——混凝土弹性模量。

2.2.5 作用和作用效应

- $P_{h,k}$ ——储粮作用于仓壁单位面积上的静态水平压力标准值；
- P_h ——卸料时储粮作用于仓壁单位面积上的水平压力标准值；
- $P_{v,k}$ ——储粮作用于单位水平面上的静态竖向压力标准值；
- P_v ——卸料时储粮作用于单位水平面上的竖向压力标准值；
- P_f ——计算截面以上,储粮作用于仓壁单位周长上的总竖向摩擦力标准值；
- $P_{n,k}$ ——储粮作用于仓底斜面上的静态法向压力标准值；
- P_n ——卸料时储粮作用于仓底斜面上的法向压力标准值；
- S ——作用于仓壁单位周长上的竖向压力基本组合设计值；
- S_{Gk} ——永久荷载产生的、作用于仓壁单位周长上的竖向压力标准值；
- $S_{Q_{i,k}}$ ——第 i 个可变荷载产生的、作用于仓壁单位周长上的竖向压力标准值；
- S_{Ehk} ——水平地震作用产生的、作用于仓壁单位周长上的竖向压力标准值；
- S_{GE} ——筒仓总重力荷载标准值产生的、作用于仓壁单位周长上的竖向压力；
- N_k ——轴向力标准值；
- γ_G ——永久荷载分项系数,当有地震参与组合时为重力荷载分项系数；
- γ_Q ——可变荷载分项系数；
- $\gamma_{Q_{i,1}}$ ——储粮荷载分项系数；
- ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合系数；

γ_{eh} ——水平地震作用分项系数。

2.2.6 工艺

V ——筒仓单仓装粮体积；

γ ——粮食的容重；

Q ——单位通风量，每小时每吨粮食的通风量；

$V_{\text{表}}$ ——空气分配器(孔板)的表观风速；

F ——空气分配器总面积；

E_z ——立筒库总容量；

E_d ——筒仓单仓容量；

Q ——年中转量；

K_y ——粮食入库系数；

K_b ——来粮不平衡系数；

K_k ——筒仓利用系数；

n ——筒仓年周转次数。

3 基本设计规定

3.1 一般规定

3.1.1 粮食立筒库设计应结合库区粮物流和自然条件的实际情况，并应符合我国有关节约土地、节约能源、环境保护的基本建设方针。

3.1.2 按照使用功能，粮食立筒库可分为港口立筒库、内陆中转立筒库、粮油加工厂原料立筒库等。

3.1.3 当筒仓与工作塔(转接塔或计量塔)及与其相联接的建、构筑物(上、下连廊及地下通廊等)为一个完整工艺体系构成的组群时，其组群内各建(构)筑物间距可不受防火间距的限制。

3.1.4 图纸、设计说明及计算书。

粮食立筒库图纸及设计说明应能表明工程的全部特性，注明设计中储存粮食物料种类及其物理特性。

3.1.5 不应在仓内设置通长检修钢梯。

3.1.6 当确因特殊要求必须对筒仓进行气密性处理时，应采用无毒、环保的涂料。严禁在筒仓混凝土中掺入有害人体健康的外加剂。

3.2 材料

3.2.1 水泥应采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥。

3.2.2 混凝土骨料应连续级配，其最大粒径尺寸不应超过仓壁厚度的 1/8、也不应大于最小钢筋间距的 3/8。

3.2.3 应采用热轧带肋钢筋和热轧光圆钢筋。圆形钢筋应采用机械冷弯加工。

3.3 施工要求

3.3.1 模板

筒仓宜采用滑模施工。滑模施工应符合《滑动模板工程技术规范》GB 50113 的规定，此外尚应遵守以下要求：

1 模板接缝要严密，同时模板应具有保证仓壁正确尺寸的刚度。

2 应控制模板的提升速度，保证出模的混凝土能支持模板自重、施工荷载和上部新浇筑混凝土的重量，并应注意天气预报，必要时采取抵抗暴风雨的措施。

3.3.2 混凝土浇注

滑模部分应连续施工，不应留水平施工缝。

3.3.3 仓壁施工允许偏差

1 垂直度允许偏差

垂直度允许偏差为筒身高度的 2‰,且不应超过 75 mm。

2 圆度允许偏差

圆度允许偏差为+40 mm 或-20 mm。

3 壁厚允许偏差

壁厚允许偏差为+20 mm 或-10 mm。

3.3.4 砌块筒仓

1 砌筑前应充分湿润,砌筑时应注意灰缝饱满,不得在砂浆初凝后再加敲动,且不得在仓壁砌体中留脚手架孔。

2 砂浆强度等级不应低于 M5。自然地面以上砌体宜用混合砂浆砌筑。每 2 m 高度或每两道圈梁之间应作一组不少于 6 块的砂浆试块。

3 砌体内所配钢筋,应有专人检查钢筋安放情况,不得错放、漏放。钢筋应平直,不得有死弯,钢筋接头应符合设计要求。

4 砌块筒仓的施工误差应符合本规范 3.3.3 的要求。

3.4 布置原则

3.4.1 粮食立筒库的平面布置应结合筒仓规模、功能、工艺要求及场地等实际情况。

3.4.2 筒仓的平面形式宜选用圆形或正方形。

3.4.3 粮食立筒库以工作塔为基准,布置成单翼式或双翼式,仓群可为单排或多排。

1 粮食立筒库单翼式双排布置如图 3.4.3(a)所示。

2 粮食立筒库双翼式双排布置如图 3.4.3(b)所示。

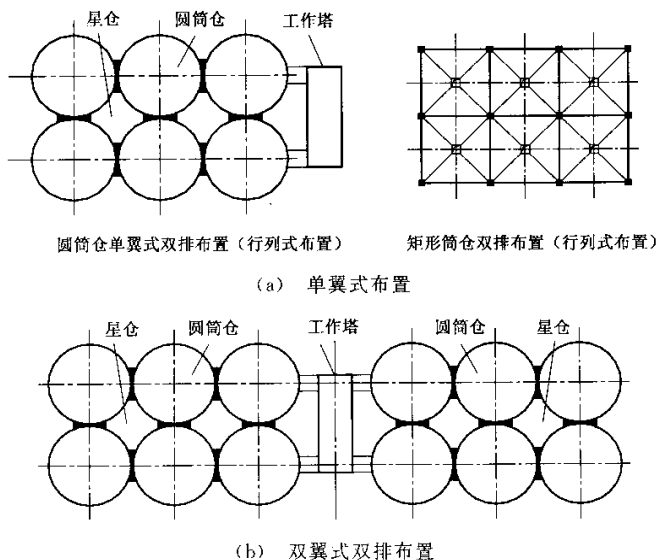


图 3.4.3 粮食立筒库的布置形式

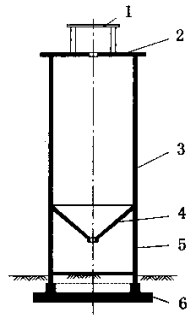
3.4.4 当圆筒仓直径大于 15 m 时,宜采用独立布置形式。其间距应满足工艺作业及基础设计的要求。仓群可采用单排或多排、布置成单翼式或双翼式。

3.4.5 圆筒仓组合成群仓时,宜采用行列式布置,不应在圆筒仓之间嵌入直线墙。

3.4.6 一组刚性相连的圆筒仓的长度不宜超过 62 m,一组方形筒仓长度不宜超过 42 m,多排群仓的长宽比不宜大于 3。岩石地基场地可适当放宽以上要求。

3.5 筒仓结构体系

3.5.1 筒仓的垂直剖面如图 3.5.1 所示。



- 1——仓上建筑；
- 2——仓顶；
- 3——仓壁；
- 4——仓底；
- 5——仓下支承结构(筒壁或柱)；
- 6——基础。

图 3.5.1 筒仓垂直剖面

3.5.2 筒仓的结构体系应结合工艺作业、筒仓功能、抗震要求等条件确定

3.5.3 筒仓结构体系

粮食筒仓常用的结构体系如图 3.5.3 所示。

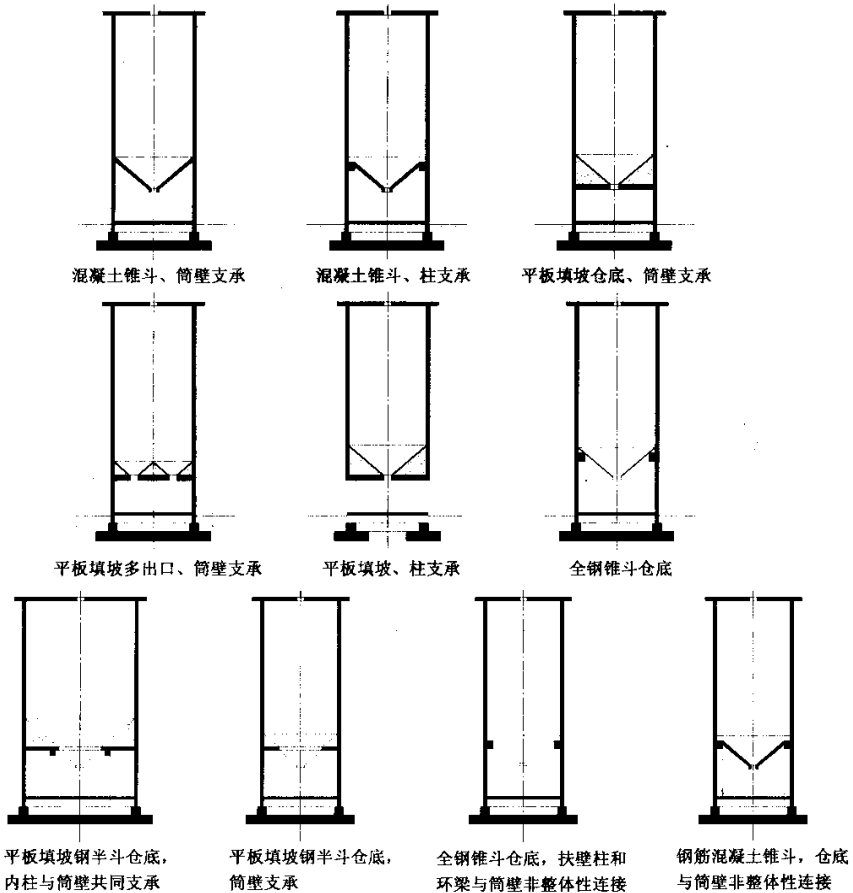


图 3.5.3 筒仓结构体系

4 工艺设计

4.1 一般规定

4.1.1 根据使用功能,工艺设计内容包括物流分析计算、工艺布置、工艺流程、设备选用、机械通风、环流熏蒸、环境保护、劳动安全、检化验等。

4.1.2 各类立筒库的工艺设计均应满足粮物流的要求,根据使用功能、进出粮方式、运输工具等通过物流分析计算和技术经济比较后确定整体方案。并应满足储粮安全、节能、环保等要求。工艺设计应达到实用、安全、经济、先进、美观。

4.1.3 港口立筒库主要为粮食的集港或疏港暂存服务,主要功能为粮食装卸、输送、磁选、清理、计量、取制样、除尘、通风、熏蒸等。在港口立筒库设计中,尚应满足港口工程相应技术规范的要求。

4.1.4 内陆中转立筒库主要为粮食的中转暂存服务,主要功能为粮食装卸、输送、磁选、清理、计量、取制样、除尘、通风、熏蒸等。

4.1.5 粮油加工厂原料立筒库,主要功能为粮食卸车(或船)、输送、磁选、清理、计量、除尘等。

4.1.6 根据物流分析分别计算确定立筒库总容量和系统作业能力等。立筒库总容量按照下式计算:

$$E_z = \frac{Q \times K_r \times K_b}{n \times K_k} \quad \dots\dots\dots(4.1.6)$$

式中:

E_z ——立筒库总容量;

Q ——一年中转量;

K_r ——粮食入库系数(0.8~0.9);

K_b ——来粮不平衡系数(1.1~1.35);

K_k ——筒仓利用系数(0.7~0.9);

n ——筒仓年周转次数。

4.1.7 筒仓单仓容量按下式计算。

$$E_d = V \cdot \gamma \quad \dots\dots\dots(4.1.7)$$

式中:

E_d ——筒仓单仓容量;

V ——筒仓单仓装粮体积;

γ ——粮食的容重:

储存小麦, γ 取 0.75 t/m³;

储存稻谷, γ 取 0.55 t/m³;

储存玉米, γ 取 0.73 t/m³;

储存大豆, γ 取 0.71 t/m³。

4.1.8 筒仓年周转次数(n)的确定

港口立筒库宜取 10~30 次;

内陆中转立筒库宜取 4~10 次;

粮油加工厂原料立筒库宜取 15~40 次。

4.1.9 当筒仓用于储备时,粮食的杂质、水分等含量应满足储粮技术规程的要求。

4.1.10 卸粮坑(或接粮斗)进粮口应设格栅及活页蔽尘装置,避免大杂混入粮流。粮食进提升机或计量秤之前,应经磁选,去除金属杂质。

4.1.11 当筒仓的仓上层敞开时,仓顶输送机及管道应考虑防风雨措施。

4.1.12 工作塔各层设吊物洞,顶部设吊物梁。

4.1.13 仓顶进料口可设防止粮食自动分级的装置,根据粮食种类选择合适的型号规格。如果进仓的粮食容易破碎,还应设置降碎装置。

4.2 工艺流程

4.2.1 根据立筒库的功能要求,设计相应的工艺流程,港口立筒库的工艺流程有:卸车入仓、卸船入仓、卸车直接装船、卸船直接装车、卸船直接装船、出仓装船、出仓装车、倒仓等工艺作业。

4.2.2 内陆中转立筒库的主要工艺流程有:卸车(或船)入仓、卸车(或船)直接装车(或船)、出仓装车(或船)、倒仓等工艺作业。

4.2.3 粮油加工厂原料立筒库的主要工艺流程有:卸车(或船)入仓、卸车(或船)直接发放、出仓发放、倒仓等工艺作业。

4.2.4 工艺流程设计应具有灵活性,在满足多种作业的前提下尽量减少作业线的数量。应根据确定的系统作业功能要求配置相应的装卸、输送、磁选、清理、计量、取制样、除尘、通风、熏蒸、谷物冷却等作业设备。当连续生产设备工作时间不一致,或连续生产设备与间歇生产设备不匹配时,应设置作业料仓来保证粮流平衡和生产安全。

4.3 设备选择和布置

4.3.1 应根据粮食品种和作业要求的不同选择输送设备、计量设备、清理设备的型号和规格等参数。选择的作业设备应具备性能可靠、技术先进、高效低耗、操作方便、密封性好、破碎率低、噪声低、体积小、对粮食无污染等特点。当储存易破碎的原料时,不宜采用刮板输送机 and 高速提升机。

4.3.2 确定的设备生产能力应符合模数,模数系列是按小麦容重(0.75 t/m^3)计算的,由 50、100、200、300、400、600、800、1 000、1 200、1 600、2 000 t/h 等组成系列。

4.3.3 设备的布置应满足正常安装、操作及维修空间的要求。

4.3.4 避免出现主通道被设备阻挡的现象。当设备阻挡通道时,应设置过梯、平台及扶手。

4.3.5 输送设备和溜管的观察窗及操作位置,离楼面高度宜为 1.0 m~1.4 m。

4.3.6 对于熏蒸筒仓,仓顶进粮口及仓底出粮口处应设手动气密闸门,保证熏蒸气密效果。

4.3.7 仓底出粮口处除设置自动(气动或电动)闸门外,同时应设手动闸门用于调节和控制流量。

4.3.8 自动秤的秤下斗出口处应设手动闸门,用于控制流量。卸粮坑下应设手动闸门和自动(气动或电动)闸门,用于控制流量和闸门的自动启闭。

4.3.9 灰仓下应设置手动闸门,闸门距地面应有足够空间便于灰杂的运送。灰仓锥斗的角度不应小于 60° 。

4.3.10 溜管宜采用法兰连接,每节长度不宜超过 2 m。对于较长的溜管,每隔 3 m~6 m 时宜设置缓冲装置,制作溜管的钢板厚度以 3 mm~4 mm 为宜。一般情况下,应在溜管内壁受到粮流冲击的表面设置可拆换的耐磨衬板,耐磨衬板的材料应符合卫生要求。在弯管处设缓冲器,以减少对弯管的磨损。

溜管的有效截面尺寸,根据流量计算确定,可按照表 4.3.10 选用(按小麦容重 0.75 t/m^3 计)。

表 4.3.10 溜管有效截面尺寸选用表

流量/(t/h)	50	100	200	300	400	600
截面尺寸/mm	200×200	250×250	350×350	400×400	450×450	500×500
流量/(t/h)	800	1 000	1 200	1 600	2 000	--
截面尺寸/mm	600×600	700×700	800×800	900×900	1 000×1 000	

注:截面尺寸为管内净尺寸;圆截面溜管可按相等截面积参照使用。

4.3.11 溜管的倾角 β 可按照下列要求选取:

小麦、玉米、大豆不小于 36° ;

稻谷不小于 45°；

粉尘和杂质不小于 60°。

- 4.3.12 根据工艺要求,在需要取样检验的溜管上设置取样口,取样口的位置应易于操作。
- 4.3.13 普通带式输送机的倾角不宜超过 14°,装粮点的倾角不宜超过 10°。
- 4.3.14 根据立筒库的类型和使用需求配置检化验设备。

4.4 安全储粮工艺

- 4.4.1 根据需要,粮食立筒库可设机械通风装置。
- 4.4.2 机械通风设计要求:风道布置合理,向粮堆送风均匀,风量能满足通风降温的需要,风网阻力小,设备安全可靠,操作简便。
- 4.4.3 主要技术参数的选择和确定

1 通风量($Q_{\text{总}}$)按下式计算:

$$Q_{\text{总}} = V \cdot \gamma \cdot q (\text{m}^3/\text{h}) \quad \dots\dots\dots (4.4.3-1)$$

式中:

q ——单位通风量($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{t}$),每小时每吨粮食的通风体积量,立筒库降温通风一般取 $4 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{t} \sim 10 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{t}$ 。

2 主风道风速宜为 $7 \text{ m/s} \sim 15 \text{ m/s}$,支风道风速宜为 $4 \text{ m/s} \sim 9 \text{ m/s}$ 。

3 空气分配器(孔板)的表观风速($V_{\text{表}}$)按下式计算,建议在 $0.2 \text{ m/s} \sim 0.5 \text{ m/s}$ 的范围内。

$$V_{\text{表}} = Q_{\text{总}} / 3600 \cdot F (\text{m/s}) \quad \dots\dots\dots (4.4.3-2)$$

式中:

F ——空气分配器总面积。

4 空气途径比小于 1.3。

5 空气分配器(孔板)上的通风孔尺寸以不漏粮为限,孔板开孔率宜取 25%~35%。

- 4.4.4 通风机宜选用移动式。通风机与电动机采用带式传动时,其传动系统应设防护罩。
- 4.4.5 筒仓的进风口配置应尽量与机械通风、熏蒸、冷却共用风道系统相匹配。
- 4.4.6 筒仓可选用放射形、环形等风道布置形式。风道的布置应通顺,避免阻挡粮食出仓。
- 4.4.7 通风风道为全开孔时,通风孔板应分段制造,每段长度 1 m 左右,便于安装维护。通风风道应有足够的强度,能承受粮食荷载。
- 4.4.8 仓顶可设置排风轴流风机。当轴流风机露天设置时,应配置防雨、防雀、防空气回流装置。
- 4.4.9 粮食立筒库的熏蒸系统主要用于杀虫和灭菌,适宜在港口及气温高的地区设置。熏蒸系统宜按照环流形式设置。应符合《磷化氢环流熏蒸技术规程》LS/T 1201 的规定。寒冷地区可不设置。
- 4.4.10 用于熏蒸的筒仓应具有有良好的密闭性能,进出粮口、通风口、仓顶轴流风机及自然排风口应设置密封装置,以保证环流熏蒸时仓体的气密性要求。仓内气压从 1 000 Pa 降至 500 Pa 时的半衰期不少于 1 min。
- 4.4.11 应在环流熏蒸系统中设置气体取样点。必要时可在粮堆内设取样点。
- 4.4.12 环流风机应选用防爆、防腐型。
- 4.4.13 熏蒸管道应防腐蚀、耐老化、有良好的密封性能。移动式管道应拆装方便。
- 4.4.14 位于仓内的环流熏蒸管道的进气口处,应安装“防护网”。
- 4.4.15 应根据实际需要配置谷物冷却机。一般只适用于高温地区且保温效果好的粮仓配置。根据立筒库规模、粮食品种、水分、温度、粮堆高度、降温幅度、自然环境条件等因素,选择谷物冷却机的型号和数量。
- 4.4.16 谷物冷却系统应与粮温检测系统配合使用。谷物冷却的供风应使用通风系统的风道。通风口应用保温软管连接。
- 4.4.17 谷物冷却机的作业场地,应有足够的承载能力,方便机器的移动。

4.5 环境保护与安全生产

- 4.5.1 粮食立筒库的环境保护设计包括粉尘浓度控制、噪声控制等内容。噪声和粉尘控制应满足《工业企业噪声控制设计规范》GBJ 87、《工业企业设计卫生标准》GBZ 1、《大气污染物综合排放标准》GB 16297等标准的要求。
- 4.5.2 立筒库的除尘风网应进行详细计算,合理布置网路。
- 4.5.3 卸粮坑的除尘宜采用独立除尘风网。
- 4.5.4 除尘设备宜设置在室外。当在室内布置时,应设置通向室外的泄压管道,管道长度不宜超过3 m。
- 4.5.5 带式输送机的进料口、抛料口等易扬尘的位置均应设吸风口。
- 4.5.6 风网中的吸口风速宜控制在3 m/s~5 m/s,风管风速宜控制在14 m/s~18 m/s,尽量避免出现过长的水平风管。必要时,可适当提高水平风管的风速。
- 4.5.7 较长的水平风管应分段设置密闭的观察孔及清灰孔,清灰孔的孔盖应易启闭。水平风管的末端需装补风门。
- 4.5.8 风网中弯头的曲率半径取风管直径的1~2倍,大管径取小值,小管径取大值。
- 4.5.9 风管宜选用预制管,保证密闭性,直径大于200 mm的风管宜采用法兰加密封材料连接,防止因漏风而影响除尘效果。
- 4.5.10 在各吸口处应装蝶阀,用于调节风量及平衡系统压力。
- 4.5.11 计量设备与仓斗之间宜设气流平衡管,但应注意不影响计量设备的精确度。
- 4.5.12 风机宜设置减震装置及消声装置。风机进风口与管道连接处应采用软连接。
- 4.5.13 所有排气口应装风帽或防风雨装置。
- 4.5.14 应选用简捷高效的工艺,配置密闭性能好、噪声小的新设备,采取有效措施以保证环境卫生。
- 4.5.15 震动及噪声较大的设备宜集中布置,并作隔音处理,采取消声和减震措施。空压机房的设计应符合《空气压缩站设计规范》GB 50029的规定。
- 4.5.16 为了清除地面、设备和管道上的集尘,可设置真空清扫系统。
- 4.5.17 粮食立筒库的安全生产设计包括预防粉尘爆炸、工人作业场所安全等内容。
- 4.5.18 工艺设计应符合《粮食加工、储运系统粉尘防爆安全规程》GB 17440的规定。
- 4.5.19 在粮食接收流程的前端应设置清除磁性金属物的设备。
- 4.5.20 垂直和水平输送设备,应设防止跑偏和打滑等检测报警装置。
- 4.5.21 对于全封闭的设备,其制造和安装应达到密封要求,并设泄压口。
- 4.5.22 每个筒仓的顶部宜设通向大气的排气口,使仓内保持常压。
- 4.5.23 除尘系统应与有关设备电气连锁:作业设备启动前,除尘系统提前5 min启动;作业设备停机后,除尘系统延后10 min停机。
- 4.5.24 室内的斗式提升机及除尘器的泄压管应直通室外。
- 4.5.25 设备上外露的传动件,应加设安全防护罩。
- 4.5.26 设备的操作平台应按照国家标准的要求进行制作。
- 4.5.27 临时吊物洞的四周应设置活动的防护栏杆。
- 4.5.28 设计说明中,应对安全生产、技术管理和技术培训等有关方面提出要求。

5 建筑设计

5.1 一般规定

5.1.1 选址要求

- 1 库址附近应具有公路、铁路或水路交通条件。交通设施(如铁路专用线、码头、公路引入线等)费

用应尽可能低。

2 应有必要的电力、给排水及通讯条件。

3 优先选择有较好工程地质条件的场地,如:地层均匀、有较高的地基承载力、地下水位较低、无洪涝之患等。

4 库址与周围企业、建筑物及场地的关系,应符合如下要求:

1) 库址应远离有害物质的堆放地及排放源。

2) 宜位于住宅和公共建筑的下风向。

3) 与生产、储存易燃物质的企业和库房的距离,应符合《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定;

4) 机场附近的粮食立筒库,其高度应符合当地规划和航空管理部门的规定。

5.1.2 总平面布置

1 应满足粮食工艺流程要求,线路简捷、流畅、灵活、方便和安全。

2 库区内外交通组织合理、顺畅,避免迂回运输和相互干扰以及人流与货流、铁路与公路的交叉。

3 应做到功能分区明确,保证良好的生产联系和工作环境。同时各种动力设施要尽量靠近负荷中心。

4 应结合库区地形地貌、工程地质及工艺流程,因地制宜、合理布置。

5 库区给排水、供热、消防、电力等管线之间及其与建筑物、道路、铁路、绿化设施之间在平面和竖向应相互协调,满足使用、检修、安全及施工等要求。

6 筒仓距办公楼、住宅、食堂等人群密集的建筑物的距离应符合有关规范的要求。

5.1.3 仓壁滑模过程中,仓壁表面缺陷应用与仓壁相同的材料(水泥、砂及水)搅拌成的砂浆进行修补。不宜在滑模完成后的仓壁上再作任何粉刷。

5.2 筒仓直径及装粮高度

5.2.1 圆形群仓的直径,当直径小于 15 m 时,宜采用 2 m 的模数,直径可选为 6 m、8 m、10 m、12 m 等;当直径为 15 m 以上时,宜采用 3 m 的模数,直径可选为 18 m、21 m、24 m 等并应独立布置。当有特殊需要时,也可采用 1 m 的模数。

5.2.2 方形筒仓边长宜取为 3 m~6 m,并宜以 0.3 m 为模数。当有特殊需要时,也可采用其他的模数。

5.2.3 当工程地质条件允许时,应尽量提高筒仓的装粮高度。现浇钢筋混凝土筒仓装粮高度不宜低于 25 m,一般可取为 25 m~35 m,同时高径比(h_n/d_n)不宜小于 2;砌体筒仓仓壁高度不宜低于 12 m,一般可取为 12 m~18 m,同时高径比(h_n/d_n)不宜小于 1.5。

5.3 仓群与工作塔相互关系

5.3.1 每组筒仓及工作塔应各自独立设置基础,彼此之间宜拉开一定距离。基础之间的距离,一般宜大于两者基础底面埋深高差的两倍。当地基可靠(如位于基岩上或有可靠的支承桩等)、经过计算、沉降和倾斜均满足要求时,可不受上述距离的限制。

5.3.2 沉降缝宜与温度缝、抗震缝合并设置,缝宽按沉降和倾斜值控制,跨越变形缝的水平输送设备亦应作相应处理。

5.3.3 仓群与工作塔之间,每组筒仓之间,按本规范 5.3.1 拉开距离时,需设置上、下连廊,上下连廊支座一端设为固定端,另一端设为滑动端。

5.4 筒仓设计

5.4.1 应根据使用功能、投资指标和场地、材料、施工等条件作方案比较,合理选择筒仓直径和装粮高度,做到适用、安全、经济、合理。

- 5.4.2 采用筒壁落地支承、确定仓下层各种洞口宽度和数量时,应综合考虑仓下作业、采光、疏散、筒壁强度、地震作用等因素的影响。
- 5.4.3 采用柱支承时,柱上端宜设环梁或柱帽。仓壁相切位置应设置公用柱。柱截面一般采用方形或矩形。
- 5.4.4 应根据粮食品种、锥斗材料和工艺要求确定筒仓锥斗与水平面所成角度,但不应小于粮食物料的休止角加 5° 。
- 5.4.5 仓底可设计为全锥斗、平板填坡或钢筋混凝土环板挂钢半斗。当为环板挂钢半斗时,环板内圆直径可在 $d_n/3\sim d_n/2$ 之间选用。仓底宜设人孔,人孔内外分别设仓内挡粮门和仓外密封门。
- 5.4.6 卸粮孔直径应满足工艺要求。一般取为600 mm~1 000 mm。
- 5.4.7 群仓仓壁之间不宜有相互连通的孔洞及缝隙。
- 5.4.8 仓顶应采用现浇钢筋混凝土板,仓顶板上应设700 mm×700 mm人孔。
- 5.4.9 仓上建筑可根据工艺要求采用敞开式、半封闭式或封闭式。当采用封闭式时,应按《建筑设计防火规范》GB 50016的要求设置泄压面积。
- 5.4.10 仓上层屋面防水等级为二级且宜采用有组织排水。当为无组织排水时应设挑檐,其净宽不应小于500 mm。
- 5.4.11 仓上层、仓下层宜采用自然采光。当采用平开窗时,仓上层窗台高度不应低于1 200 mm。
- 5.4.12 仓上层最远端距工作塔楼梯的距离超过60 m时,应设一个能直达室外地面的疏散梯。

5.5 工作塔设计

- 5.5.1 工作塔层高及柱网尺寸应符合我国现行建筑模数;层高、开间、跨度宜为300 mm的倍数,开间可采用2.4 m、2.7 m及3 m等,柱距可采用开间的两倍,跨度可根据工艺要求采用6.0 m、6.6 m及7.2 m等。
- 5.5.2 工作塔楼梯宽度不宜小于1.1 m,当工作塔高度超过24 m时,宜设一台载重量不小于500 kg的客货电梯。
- 5.5.3 工作塔内宜设工人休息间。当设有电梯时,工作塔内可不设卫生间。
- 5.5.4 工作塔门窗面积应根据自然采光、泄爆面积和建筑节能等因素确定。
- 5.5.5 工作塔内吊物洞应采用活动盖板封闭,吊物作业时应采取临时安全措施;当采用敞开式吊物洞时,四周应设高度不小于1.2 m的安全栏杆。
- 5.5.6 工作塔内的配电间应布置在底层,并设置直接对外的出口;配电间通向工作塔的门应为乙级防火门;配电间与工作塔之间设防火隔墙。
- 5.5.7 当工作塔有地下室且室内地面标高低于地下水位时,其外墙应采用强度等级不低于C30的自防水钢筋混凝土结构,且应设置一道外防水。地下室还应设一个平面尺寸不小于500 mm×500 mm、深度不小于500 mm的集水坑。

5.6 泄压设计

- 5.6.1 工作塔各层和仓上建筑泄压面积(窗及可泄压的轻质墙)与该层房间体积之比(m^2/m^3)不宜小于0.05。当仓上层体积超过1 000 m^3 时,可适当降低,但不宜小于0.03。
- 5.6.2 仓顶板可结合人孔、通风孔等设置必要的泄压面积。
- 5.6.3 泄压板设计
- 1 感应压力(开启最小压力)按1.2 kPa设计。此时建筑物的壁、盖、底板的最小极限抗压强度不小于7 kPa。
 - 2 泄压板在与内压反向的设计荷载(风荷载、使用荷载等)作用下,应能正常工作。
 - 3 泄压板在泄压时,不应碎裂、飞出。

泄压板应用阻燃材料制作。

5.7 气密性

5.7.1 有熏蒸功能的筒仓,可从以下几个方面之一或综合考虑满足筒仓的气密性要求:

- 1 控制仓壁裂缝开展宽度。根据使用要求,可采取适当提高混凝土强度等级、降低钢筋应力、减小水平钢筋间距、增加仓壁厚度等措施。
- 2 提高仓壁混凝土的密实性。可通过改善混凝土的级配或掺入外加剂等方法实现。
- 3 仓壁与仓底、仓壁与仓顶板连接处以及人孔、观察孔、通风孔或进、出粮孔等处,均应采取可靠的密封措施。必要时,也可采用密封涂料对筒仓内壁进行气密性处理。

5.8 建筑构造

- 5.8.1 筒仓周边外围,宜做不小于 1.5 m 宽的散水。
- 5.8.2 筒仓地面应根据使用荷载确定。当基层土较软弱时,输送机下地面应采取有效加强措施。
- 5.8.3 工作塔内各层楼面,当为现浇钢筋混凝土板、电气管线预埋于板内时,可采用厚 20 mm 的水泥砂浆面层。当电气管线埋于面层内时,面层厚度不应小于 40 mm。
- 5.8.4 在严寒地区,当筒仓基础埋深较大、板面需复填时,填料宜用非冻胀性土并分层夯实至设计标高,然后再按施工图纸要求进行室内地面施工。
- 5.8.5 当仓底结构为钢筋混凝土平板时,应采用轻质耐压材料填坡,其面层厚度不应小于 100 mm,宜采用 C25 细石混凝土浇筑、内放 $\phi 6@150$ 钢筋网,并应考虑耐磨面层。

6 结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 应根据使用要求,对筒仓的构件进行承载能力和正常使用状态下的结构计算。

- 1 所有构件均应进行承载能力极限状态计算,采用多项系数设计表达式:

$$\gamma_0 S \leq R \quad \dots\dots\dots (6.1.1)$$

式中:

- γ_0 ——结构重要性系数,应取 1;
- S ——荷载效应组合的设计值;
- R ——结构构件抗力的设计值。

2 在正常使用极限状态下,对仓壁进行裂缝宽度验算时应采用荷载标准值,筒仓仓壁正截面裂缝控制等级为三级,当仓壁水平环筋混凝土保护层厚度为 25 mm、50 mm 时,其最大裂缝宽度限值分别为 0.2 mm、0.25 mm;当仓壁水平环筋混凝土保护层厚度为 25 mm~50 mm 之间的其他值时,可按本条规定采用直线插入法求得其最大裂缝宽度限值。

3 对使用上需控制变形值的构件,应按《混凝土结构设计规范》GB 50010 进行变形验算。当筒仓仓壁及锥斗的厚度满足本规范 6.1.3 条的构造要求时,可不进行变形验算。

6.1.2 仓壁和筒壁混凝土强度等级不应低于 C30。仓壁水平环筋混凝土保护层不应小于 25 mm,并且水平环筋截面形心距较近一侧仓壁外皮的距离不应小于水平环筋直径的 2.5 倍。

6.1.3 仓壁厚度应符合以下规定:

- 1 对于钢筋混凝土圆形筒仓,当采用滑模施工时,壁厚不宜小于 180 mm。当直径等于或小于 15 m 时,壁厚可按式确定:

$$t = \frac{d_0}{100} + 100 \quad \dots\dots\dots (6.1.3)$$

式中:

t ——仓壁厚度(mm);

d_n ——圆形筒仓内径(mm)。

当筒仓直径大于 15 m 时,仓壁厚度可根据结构计算及配筋构造确定。

2 矩形筒仓仓壁厚度可采用短边跨度的 1/20~1/30。

3 砌块筒仓仓壁厚度应满足抗剪、抗弯、抗压强度要求,砌块筒仓壁厚不应小于 240 mm。

6.1.4 结构计算应考虑以下荷载:

1 永久荷载:结构自重及其附属物对其施加的作用。其中,结构附属物施加的作用包括支承在筒仓上的设备重量;

2 可变荷载:储粮荷载、测温电缆荷载、仓下层及仓上层活荷载、雪荷载、风荷载等;

3 温度作用;

4 地震作用。

6.1.5 对于粮食筒仓,一般入仓粮温不高,当烘干缓苏仓粮温不超过 75℃时,在引入动态压力修正系数后,可不考虑粮温变化对仓壁的影响。

6.1.6 工作塔和仓上层楼面活荷载应按设备配置的实际情况考虑;当按等效均布活荷载考虑时,不应小于 4 kN/m²。

6.1.7 当仓上层屋面有设备荷载时,活荷载宜按实际考虑。

6.1.8 材料强度计算指标、构件截面强度计算方法应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定;对于配筋砌块筒仓,砌块内配筋宜采用 HPB235 级钢筋,且钢筋抗拉强度设计值应取 190 N/mm²。

6.1.9 设计文件中应注明对筒仓使用的技术要求,以保证筒仓的工作条件不超出设计允许范围。

6.1.10 当设计要求对筒仓进行初始装粮时,设计文件应对筒仓初始装粮和沉降观测的技术要求,具体做法可参照按本规范附录 A 进行。

6.2 荷载计算和荷载效应组合

6.2.1 储粮压力

1 计算规定

1) 因储粮荷载产生的压力采用杨森公式计算。包括:作用于仓壁的水平压力、作用于仓壁的竖向摩擦力和作用于仓底的竖向压力。

2) 结构计算时采用卸料时的动态压力标准值。动态压力标准值等于装料时的静态压力标准值 $P_{h,k}(P_{v,k})$ 乘以动态压力修正系数 $C_b(C_v)$ 。

2 计算深度 s 处,储粮作用于仓壁单位面积上的静态水平压力标准值按下式计算:

$$P_{h,k} = \frac{\gamma\rho}{\mu} (1 - e^{-\mu s/\rho}) \dots\dots\dots(6.2.1-1)$$

3 计算深度 s 处,储粮作用于单位水平面上的静态竖向压力标准值按下式计算:

$$P_{v,k} = \frac{\gamma\rho}{\mu k} (1 - e^{-\mu s/\rho}) \dots\dots\dots(6.2.1-2)$$

4 计算深度 s 处,储粮作用于仓壁单位周长上的静态总摩擦力标准值按下式计算:

$$P_{f,k} = \rho(\gamma s - P_{v,k}) \dots\dots\dots(6.2.1-3)$$

5 储粮作用于仓底斜面上的静态法向压力标准值 $P_{n,k}$ 按下式计算:

$$P_{n,k} = P_{v,k}(\cos^2\alpha + k\sin^2\alpha) \dots\dots\dots(6.2.1-4)$$

式中:

γ ——储粮的重力密度,其值可按本规范附录 B 采用;

ρ ——筒仓净截面的水力半径,对于内径为 d_n 的圆筒仓和内切圆直径为 d_n 的正多边形筒仓,

$\rho = d_n/4$; 对于星仓, 可按其面积折算成正方形计算; 对于边长为 a 的正方形筒仓, $\rho = a_0/4$; 对于边长为 b 、短边为 a 的矩形筒仓, $\rho = a_0 b_0 / 2(a_0 + b_0)$;

μ ——储粮对仓壁的摩擦系数, 其值可按本规范附录 B 采用;

e ——自然对数的底, 其指数按本规范附录 C 计算;

α ——仓底斜壁对水平面的倾斜角;

k ——储粮侧压力系数, $k = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi}$

6 筒仓结构计算尺寸和动态压力修正系数: 筒仓结构计算尺寸如图 6.2.1 所示。

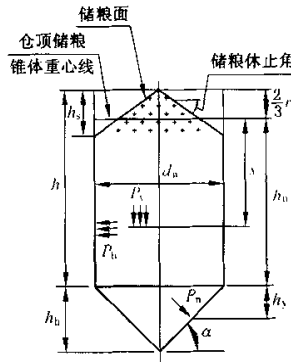


图 6.2.1 筒仓结构计算尺寸

粮食筒仓动态压力修正系数按照表 6.2.1 采用。

表 6.2.1 动态压力修正系数

筒仓部位	系数名称	修正系数	附注
仓壁	水平压力修正系数 C_h		(1) 当 $h_n/d_n > 3$ 时, C_h 值应乘以系数 1.1。 (2) 边长不大于 4 m 的方仓及直径不大于 6 m 的圆筒群仓的内仓、星仓取 C_h 等于 1。 (3) 仅适用于管状流动条件。
仓底	竖向压力修正系数 C_v		(1) 钢筋混凝土仓底板、仓底梁、钢筋混凝土锥斗取 C_v 等于 1 (地震设防区取 1.2)。 (2) 钢锥斗及仓底钢梁取 C_v 等于 1.3。 (3) 当贮料为面粉和麸皮时取 C_v 等于 1.56。 (4) 用于所有流动条件。

6.2.2 测温电缆荷载

吊挂于仓顶楼板下的测温电缆产生的吊挂荷载, 应包括电缆自重及粮食对电缆的摩擦力。储粮对电缆的摩擦力标准值可按下式计算:

$$T = K_d \pi d_d \rho \mu_1 (\gamma_s - P_{v,k}) / \mu \dots\dots\dots (6.2.2-1)$$

式中:

d_d ——电缆直径;

μ_1 ——粮食对电缆的摩擦系数；

$P_{v,k}$ ——深度 s 处水平面上的静态垂直压力标准值；

γ_s ——粮食重力密度；

μ ——粮食对仓壁的摩擦系数；

ρ ——筒仓截面水力半径；

K_d ——电缆荷载动态修正系数，取 2。

6.2.3 地震作用

1 计算规定：

1) 取储粮总重标准值的 80% 作为储粮的总重力荷载代表值，但重心仍取储粮总重的重心处。

2) 可不考虑储粮对仓壁的局部作用。

2 对于筒壁支承体系的筒仓，筒仓底部的水平地震作用标准值可采用底部剪力法按下式计算：

$$F_{ek} = \alpha_{max}(G_{sk} + G_{mk}) \quad \dots\dots\dots(6.2.3-1)$$

水平地震作用对筒仓底部产生的整体弯矩标准值，可按下式计算：

$$M_{ek} = \alpha_{max}(G_{sk}H_s + G_{mk}H_m) \quad \dots\dots\dots(6.2.3-2)$$

式中：

G_{sk} ——仓自重(包括仓上层)标准值和可变荷载组合值之和；

G_{mk} ——储粮的总重力标准值；

H_s ——仓自重的重心高度；

H_m ——储粮总重的重心高度；

α_{max} ——地震影响系数最大值。对地震烈度为 6,7,8,9 度时分别取 0.04,0.08,0.16,0.32。

6.2.4 荷载效应组合

1 结构设计应根据使用过程中在结构上可能出现的荷载，按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行荷载组合，并取各自最不利组合进行计算。

2 结构按承载能力极限状态设计时，应采用荷载效应的基本组合。

1) 作用于仓壁单位面积上的水平压力基本组合设计值按下式计算：

$$P_h = \gamma_{Q,1}C_hP_{h,k} \quad \dots\dots\dots(6.2.4-1)$$

式中：

P_h ——储粮作用于仓壁单位面积上的水平压力基本组合设计值；

$\gamma_{Q,1}$ ——储粮荷载分项系数；

C_h ——水平压力修正系数，按本规范表 6.2.1 采用；

$P_{h,k}$ ——储粮作用于仓壁单位面积上的静态水平压力标准值。

2) 作用于仓壁单位周长上的竖向压力基本组合设计值按下式计算：

$$S = \gamma_G S_{GK} + \gamma_{Q,1} C_f P_{f,k} + \sum \gamma_{Q_i} \psi_{ci} S_{Q_i,k} \quad \dots\dots\dots(6.2.4-2)$$

式中：

S ——作用于仓壁或筒壁单位周长上的竖向压力基本组合设计值；

γ_G ——永久荷载分项系数；

S_{GK} ——由永久荷载产生的作用于仓壁或筒壁单位周长上的竖向压力标准值；

$\gamma_{Q,1}$ ——粮食荷载分项系数；

C_f ——储粮与仓壁摩擦力修正系数，对于钢筋混凝土筒仓和砌体筒仓取 $C_f = 1$ ；

$P_{f,k}$ ——储粮作用于仓壁单位周长上的竖向摩擦力标准值；

γ_{Q_i} ——第 i 个可变荷载的分项系数；

$S_{Q_i,k}$ ——第 i 个可变荷载产生的作用于仓壁或筒壁单位周长上的竖向压力标准值；

ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合系数。

3) 当地震作用参与组合时,作用于筒壁单位周长上的竖向压力基本组合设计值按下式计算:

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} \dots\dots\dots (6.2.4-3)$$

式中:

S_{GE} ——重力荷载代表值产生的、作用于筒壁单位周长上的竖向压力标准值;

γ_G ——重力荷载分项系数;

γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数;

S_{Ehk} ——由水平地震作用标准值产生的、作用于筒壁单位周长上的竖向压力值。

3 结构按正常使用极限状态设计时应采用荷载的短期效应组合,荷载采用标准值。

4 荷载分项系数按下列规定取值:

1) 永久荷载分项系数:

对结构不利时,取 1.2;

对结构有利时,取 1.0;

2) 可变荷载分项系数:

粮食荷载,取 1.3;

地震作用,取 1.3;

温度作用,取 1.2;

其他可变荷载,取 1.4;

3) 地震参与组合时,重力荷载分项系数均取为 1.2;

4) 结构按正常使用极限状态设计时,荷载分项系数均取 1.0。

5 结构进行荷载组合时,可变荷载组合系数可按下列规定取用:

1) 无风荷载参与组合时:取 1.0;

2) 有风荷载参与组合时:

粮食荷载取 1.0;

其他可变荷载取 0.6。

3) 计算地震作用时,筒仓的总重力荷载代表值为结构和构配件自重标准值和各可变荷载组合值之和。各可变荷载的组合值系数为:

粮食荷载总重力荷载代表值应符合本规范 6.2.3 的规定;

雪荷载取 0.5;

风荷载取 0.0;

楼面活荷载,按等效均布时取 0.6,按实际考虑时取 1.0。

4) 温度作用组合系数取 1.0。

6.3 仓壁设计

6.3.1 外圆相切的圆筒仓群仓的仓壁,可按单仓进行计算。

6.3.2 钢筋混凝土圆筒仓

1 钢筋混凝土圆筒仓仓壁在水平压力作用下,仓壁可按轴心受拉构件计算。强度验算时,轴向拉力由钢筋承担,不考虑混凝土的作用。仓壁单位长度上的轴向拉力设计值 N 按下式计算:

$$N = \frac{\gamma_{Q,1} C_h P_{h,k} d_n}{2} \dots\dots\dots (6.3.2-1)$$

式中:

$\gamma_{Q,1}$ ——粮食荷载分项系数;

C_h ——水平压力修正系数,按本规范表 6.2.1 采用;

$P_{h,k}$ ——粮食作用于仓壁单位面积上的静态水平压力标准值,按本规范公式 6.2.1-1 计算;

d_n ——仓内径。

2 仓壁在垂直方向上,除按薄壳理论进行分析外,尚应考虑约束效应对仓壁的影响。仓壁单位周长竖向压力设计值按本规范公式 6.2.4-2 计算,按轴心受压构件考虑。强度验算应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

3 当考虑地震作用时,仓壁单位周长上的竖向压力设计值按本规范公式 6.2.4-3 计算,仓壁竖向按轴心受压构件计算;承载力抗震调整系数为 0.85,截面强度验算应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

4 仓壁裂缝宽度验算

按荷载效应的标准组合并考虑裂缝宽度分布不均匀性及荷载长期作用影响后的裂缝最大宽度的验算应按现行《混凝土结构设计规范》GB 50010 进行计算。计算的仓壁裂缝最大宽度不应大于本规范第 6.1.1 条规定的仓壁最大裂缝宽度限值。

6.3.3 钢筋混凝土方形、矩形和多边形筒仓仓壁,在储粮水平压力作用下,可在垂直方向上取单位长度,按水平封闭框架进行受力分析,强度按偏心受拉构件计算。群仓内壁,除按空满仓不利组合验算偏心受拉外,尚应考虑内壁两侧筒仓均满载的情况,此时仓壁无弯矩,但拉力比单侧有荷载时的外仓壁大一倍,按轴心受拉构件计算,配筋时选用上述两种情况之较大者。

1 方形筒仓,水平压力分布如图 6.3.3(a)所示

1) 外仓壁单位长度上的水平拉力设计值按下式计算:

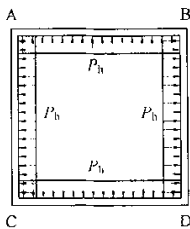
$$T = \frac{1}{2} \gamma_{Q,1} C_h P_{h,k} a_0 \quad \dots\dots\dots (6.3.3-1)$$

2) 仓壁单位长度上角点弯矩设计值按下式计算:

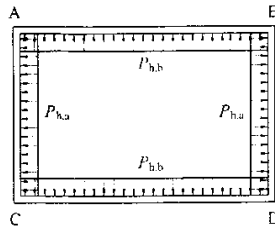
$$M_A = \frac{1}{12} \gamma_{Q,1} C_h P_{h,k} a_0^2 \quad \dots\dots\dots (6.3.3-2)$$

3) 仓壁单位长度上跨中弯矩设计值按下式计算:

$$M_{AB} = \frac{1}{24} \gamma_{Q,1} C_h P_{h,k} a_0^2 \quad \dots\dots\dots (6.3.3-3)$$



(a) 方形筒仓水平压力分布



(b) 矩形筒仓水平压力分布

图 6.3.3 方形筒仓、矩形筒仓水平压力分布

2 矩形筒仓,水平压力分布如图 6.3.3(b)所示

1) 外仓壁短边 a 单位长度上水平拉力设计值按下式计算:

$$T_{AC} = \frac{1}{2} \gamma_{Q,1} C_h P_{h,k,a} b_0 \quad \dots\dots\dots (6.3.3-4)$$

2) 外仓壁长边 b 单位长度上水平拉力设计值按下式计算:

$$T_{AB} = \frac{1}{2} \gamma_{Q,1} C_h P_{h,k,a} a_0 \quad \dots\dots\dots (6.3.3-5)$$

式中:

a_0 、 b_0 ——分别为短边 a 和长边 b 的净距;

$P_{h,k,a}$ 、 $P_{h,k,b}$ ——分别为作用于仓壁短边和长边单位面积上的静态水平压力标准值;

$\gamma_{Q,1}$ ——粮食荷载分项系数。

3) 仓壁单位长度上角点弯矩设计值按下式计算:

$$M_A = \frac{\gamma_{Q,1} C_h}{12(K+1)} (P_{h,k,a} a_0^2 K + P_{h,k,b} b_0^2) \dots\dots\dots (6.3.3-6)$$

式中:

K ——长、短边之线刚度比,即

$$K = (I_b/b) : (I_a/a) = K_b/K_a \dots\dots\dots (6.3.3-7)$$

4) 仓壁短边单位长度跨中弯矩设计值按下式计算:

$$M_b = \frac{1}{8} \gamma_{Q,1} C_h P_{h,k,a} a_0^2 - |M_A| \dots\dots\dots (6.3.3-8)$$

5) 仓壁长边单位长度跨中弯矩设计值按下式计算:

$$M_b = \frac{1}{8} \gamma_{Q,1} C_h P_{h,k,b} b_0^2 - |M_A| \dots\dots\dots (6.3.3-9)$$

式中:

$|M_A|$ ——角点弯矩设计值 M_A 的绝对值。

I_a, I_b ——分别为 a, b 边单位仓壁高度的惯性矩

3 钢筋混凝土正六边形及正八边形筒仓,在储粮水平压力作用下的内力计算:

1) 仓壁垂直截面上单位长度水平拉力设计值按下列公式计算:

$$\text{正六边形 } T = 0.865 \gamma_{Q,1} C_h P_{h,k} a_0 \dots\dots\dots (6.3.3-10)$$

$$\text{正八边形 } T = 1.205 \gamma_{Q,1} C_h P_{h,k} a_0 \dots\dots\dots (6.3.3-11)$$

式中:

$P_{h,k}$ ——仓壁单位面积上储粮静态水平压力标准值;

a_0 ——正多边形之边长净长;

$\gamma_{Q,1}$ ——粮食荷载分项系数。

2) 仓壁垂直截面上单位长度角点弯矩设计值按下式计算:

$$M_A = \frac{1}{12} \gamma_{Q,1} C_h P_{h,k} a_0^2 \dots\dots\dots (6.3.3-12)$$

3) 仓壁垂直截面上单位长度跨中弯矩设计值按下式计算:

$$M_{AB} = \frac{1}{24} \gamma_{Q,1} C_h P_{h,k} a_0^2 \dots\dots\dots (6.3.3-13)$$

4 仓壁单位周长上竖向压力设计值按本规范公式 6.2.4-2 和 6.2.4-3 计算,按轴心受压构件考虑。强度验算应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

6.3.4 砌块圆筒仓仓壁的设计

由储粮水平压力所产生的仓壁轴向拉力可由在砌块内分层配置的水平环向钢筋承担,也可由在垂直方向上按一定间距设置的钢筋混凝土圈梁承担。当在砌块内分层配置水平钢筋时,强度计算应符合本规范 6.1.8 的规定;当设计为钢筋混凝土圈梁时,上、下两道圈梁之间的仓壁可视为上、下端弹性嵌固的垂直条带,该条带除承受储粮的水平压力外(跨中弯矩系数可取 1/10),尚承受验算截面以上的垂直荷载引起的轴向力,此时该垂直条带可按偏心受压构件计算。

圈梁计算时,首先应验算圈梁之间砌体在储粮水平压力作用下的剪切强度,然后,可视每道圈梁承受上下圈梁之间各半段仓壁传来的及圈梁自身高度范围内的储粮水平压力,并按本规范公式(6.3.2-1)计算由这些荷载所产生的轴向环拉力并配置圈梁中的水平受拉环筋。

6.3.5 矩形砌块筒仓仓壁设计

矩形砌块筒仓宜采用沿仓壁高度按一定间距设置钢筋混凝土圈梁的结构方案。

设置钢筋混凝土圈梁时,两道圈梁之间的仓壁区格根据支承情况按双向板或单向板考虑,并符合以

下规定：

1 仓壁计算

当假定为单向板时，两圈梁之间的仓壁计算与砌块圆筒仓相同；当假定为双向板时，两圈梁之间的仓壁上、下端简支于圈梁，左、右端仓壁互为嵌固，板上水平压力可近似地按三角形荷载和均布荷载两部分叠加而成，以此求得该双向板的弯矩值。然后分别按三角形荷载和均布荷载将荷载分配到四边支座，以便求得分配到圈梁的荷载和对相邻仓壁产生的水平拉力。

在强度计算时，竖向上将 M_y 和垂直荷载组合按偏心受压构件计算；横向上 M_x 和轴向水平拉力组合按偏心受拉构件计算。同时，尚应考虑两侧均是满仓的受荷情况，此时，垂直荷载中包括仓壁两个侧面储粮在仓壁上所产生的摩擦力，水平轴向拉力也较单侧满仓时增大一倍；强度计算时，垂直方向按轴心受压计算，而水平方向按轴心受拉计算。当水平方向砌体不能满足强度要求时，可配置水平受拉钢筋。

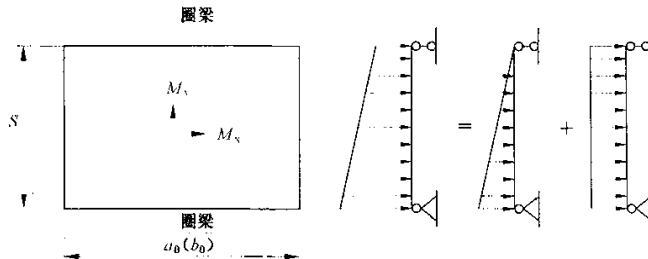


图 6.3.5 仓壁按双向板考虑时的计算简图

2 钢筋混凝土圈梁计算

圈梁在水平方向上作用有上、下两圈梁之间仓壁及该圈梁高度范围内传来的储粮水平压力，在此压力作用下，圈梁的内力分析模式和强度计算与钢筋混凝土矩形筒仓相同。

6.3.6 如果卸粮孔平面位置不位于筒仓中心，还应考虑偏心卸粮对仓壁的影响。

6.3.7 当筒仓直径大于 10 m 时，尚应考虑空仓与满仓的不利组合对仓壁内力的影响。

6.4 仓底设计

6.4.1 筒仓的仓底应根据工艺作业要求、筒仓直径大小、技术经济分析等条件确定。一般设计为钢筋混凝土锥斗、全钢锥斗、钢筋混凝土平板或钢筋混凝土环板挂钢半斗等四种仓底结构形式。

6.4.2 圆筒仓仓底锥斗是最常用的仓底结构形式。其内力计算如图 6.4.2 所示。

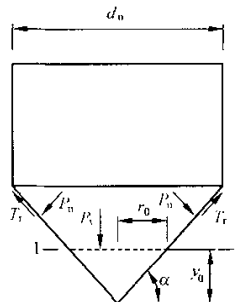


图 6.4.2 圆锥斗计算简图

1 截面 I-I 处锥斗的径向拉力设计值按下式计算：

$$T_r = \frac{\sum W}{2\pi r_0 \sin\alpha} \dots\dots\dots (6.4.2-1)$$

式中:

T_r ——截面 I-I 处锥斗单位长度的径向拉力设计值;

r_0 ——计算截面处锥斗的水平半径;

α ——锥斗斜面与水平面倾角;

$$\sum W = W_1 + W_2 + \gamma_{Q,1} C_v P_{v,k} \pi r_0^2$$

W_1 ——截面以下锥斗内储粮重;

$$W_1 = \frac{1}{3} \pi \gamma_{Q,1} r_0^2 y_0 \gamma$$

W_2 ——截面以下锥斗自重;

$$W_2 = \frac{\pi \gamma_G r_0 y_0 t \gamma_m}{\sin \alpha}$$

式中:

$\gamma_{Q,1}$ ——粮食荷载分项系数;

t ——锥斗壁平均厚度;

γ_G ——永久荷载分项系数;

γ ——储粮重力密度;

γ_m ——锥斗壁材料的重力密度;

y_0 ——计算截面至锥斗下口的距离;

$P_{v,k}$ ——储粮的垂直静态压力标准值,按本规范公式(6.2.1-2)计算。

2 截面 I-I 处锥斗的水平环向拉力设计值为:

$$T_c = \frac{\gamma_{Q,1} C_v P_{n,k} r_0}{\sin \alpha} \dots\dots\dots (6.4.2-2)$$

式中:

T_c ——截面 I-I 处锥斗单位长度的水平环向拉力设计值;

$P_{n,k}$ ——储粮在锥斗斜面单位面积上产生的法向静态压力标准值,按本规范公式(6.2.1-4)计算。

6.4.3 当仓底采用钢筋混凝土锥斗方案时,应在锥斗的上部设置环梁。当环梁与筒壁整体连接时,环梁按构造配筋;当环梁与筒壁分离而支承于扶壁柱上时,钢筋混凝土环梁应按受压、受弯及受扭构件进行强度计算;钢筋混凝土锥斗的径向和环向拉力按本规范 6.4.2 计算。

1 作用于环梁上的环向压力计算值按下式计算:

$$N = \frac{1}{2} P_c d_n \dots\dots\dots (6.4.3-1)$$

式中:

P_c ——锥斗的径向拉力计算值 T_r 的水平分力减去储粮在环梁处的水平侧压力后求得的作用于环梁的线荷载计算值。

d_n ——环梁顶面的内径。

2 柱支承的环梁截面弯矩及扭矩

1) 支座处最大负弯距标准值

$$M_A = \frac{1}{2} (K_1 W_i d_n) \dots\dots\dots (6.4.3-2)$$

2) 两支座间跨中最大正弯距标准值

$$M_{AB} = \frac{1}{2} (K_2 W_i d_n) \dots\dots\dots (6.4.3-3)$$

3) 最大扭矩标准值

$$M_t = \frac{1}{2} (K_3 W_i d_n) \dots\dots\dots (6.4.3-4)$$

式中：

W_i ——锥斗及储粮传给仓底的总重力荷载标准值；

K_1 、 K_2 、 K_3 ——弯矩及扭矩系数，按本规范表 6.4.3 采用。

表 6.4.3 柱支环梁弯矩及扭矩系数

柱数	柱荷载	最大剪力	柱顶负弯矩系数 K_1	柱间跨中正弯矩系数 K_2	最大扭矩系数 K_3	最大扭矩点对柱的夹角
4	$W_i/4$	$W_i/8$	0.034 15	0.017 6	0.005 3	19°12'
6	$W_i/6$	$W_i/12$	0.014 82	0.007 5	0.001 51	12°44'
8	$W_i/8$	$W_i/16$	0.008 27	0.004 16	0.000 63	9°33'
12	$W_i/12$	$W_i/24$	0.003 65	0.001 90	0.000 185	6°21'

6.4.4 钢筋混凝土平板和环板仓底

钢筋混凝土平板仓底和环板仓底承受板自重、板上填坡重量及储粮作用于仓底板上的垂直压力 P_v 。

- 1 当仓底设大圆孔并吊挂半钢斗时，应将半钢斗上的粮食垂直压力 P_v 乘以孔洞面积加上钢斗自重及斗内储粮重，按孔口周长平均分布于圆周的线荷载考虑，仓底板按环板计算；
- 2 梁板式仓底和平板式仓底计算方法与普通楼盖计算方法相同；
- 3 圆仓单仓底板可按简支圆板（环板）考虑。当为群仓时，仓底圆板（环板）仍按简支考虑，板面尚应配置构造负筋。
- 4 确定仓底板厚度时，其全部剪力均由混凝土承担。

6.4.5 钢筋混凝土角锥形漏斗

钢筋混凝土角锥形漏斗斜面除承受径向拉力外，在水平截条上还承受有弯矩和拉力，水平截条可作为在法向压力 P_n 作用下的水平闭合框架分析内力。

6.5 仓下支承结构

6.5.1 筒仓仓下层支承结构方案应根据工艺要求、筒仓直径、场区工程地质条件、抗震要求、技术经济等因素确定。一般可设计为柱子支承、筒壁支承或筒壁与内柱共同支承等结构形式。

6.5.2 当考虑到施工工期、避免二次组装模板，也可采用仓底与支承筒壁非整体连接的形式。此时，筒壁需增设扶壁柱，待筒体一次滑模施工完成后，再进行扶壁柱及仓底的施工。

6.5.3 当圆筒仓仓底选用锥斗方案时，仓底应设环梁。环梁的设计应符合本规范 6.4.3 的要求。

6.5.4 当仓下层采用柱子支承时，对于仓体中部辅助支柱可按以下两种方法确定柱子所承受的垂直荷载，并取其较大值进行柱截面强度验算。

- 1 按每根柱子所占的基础面积，由地基反力计算柱子承受的纵向力；
- 2 按每根柱子所占仓底板的面积计算柱子承担筒仓上部的垂直荷载。

6.5.5 当矩形钢筋混凝土筒仓仓下支承结构采用柱子支承时，可采用力学分析程序对结构进行空间整体受力分析。也可假定上部仓体刚度为无穷大，对支承结构体系进行近似受力分析。

6.6 基础设计

6.6.1 筒仓的基础结构形式应根据场区工程地质条件、工艺要求、筒仓直径、装粮高度、经济技术分析等因素确定。应优先选用传力直捷、经济合理、安全可靠的条形基础方案。当采用桩基时，宜优先选用持力层可靠的长桩，并将桩集中布置在筒壁下。

6.6.2 验算地基强度时，应考虑不对称装粮对地基的影响，但可忽略储粮超载的影响。

6.6.3 筒仓平均沉降量不应大于 200 mm，其倾斜率不应大于 0.004。筒仓基础设计尚应符合《钢筋混

凝土筒仓设计规范》GB 50077 的规定。当不能满足其要求时,初始装粮应满足本规范附录 A 的要求。

6.6.4 确定筒仓钢筋混凝土基础板的厚度时,其全部剪力应由混凝土承担。

1 当采用筒壁落地支承时,基础板传给筒壁每延米的冲切荷载按下式计算:

$$F_L = \frac{\sigma(d_n - h_0)}{4} \dots\dots\dots(6.6.4-1)$$

式中:

F_L ——相应于荷载效应基本组合时作用于基础板支座单位长度上的地基土净反力设计值;

σ ——基础板下地基土净反力设计值,即基础板下地基土反力设计值减去基础自重设计值和基础上土重标准值后的压应力;

h_0 ——基础板的有效厚度;

d_n ——筒壁内径。

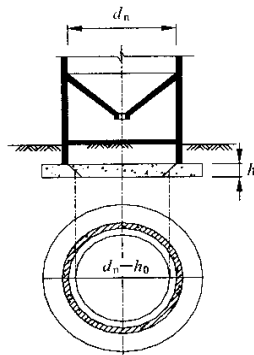


图 6.6.4(a) 筒壁支承时计算基础板受冲切承载力截面位置

2 当荷载是通过具有正方形柱脚的柱子传至基础板时,则基础板每延米的冲切荷载按下式计算:

$$F_L = \frac{\sigma[A - (b + h_0)^2]}{4(b + h_0)} \dots\dots\dots(6.6.4-2)$$

式中:

A ——所考虑的柱子对于基础板的受荷面积;

b ——与基础面相交处的柱脚宽度;

h_0 ——基础板的有效厚度;

F_L ——相应于荷载效应基本组合时基础板受冲切承载力验算截面单位长度上的地基土净反力设计值。

3 按以上求得每延米的冲切荷载应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

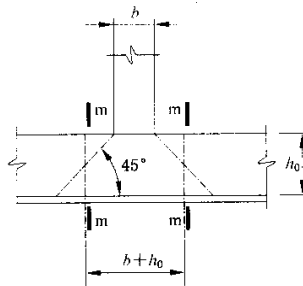


图 6.6.4(b) 柱子支承时计算基础板受冲切承载力截面位置

6.7 仓顶及仓上建筑

- 6.7.1 仓顶板应采用现浇钢筋混凝土梁板式结构,并与仓壁顶端可靠连接。当仓顶板面积过大时,应采取避免混凝土收缩裂缝的设计和施工措施。
- 6.7.2 当仓顶板下设有测温电缆等吊挂构件时,应考虑卸料压力对埋入储粮内构件的动力影响,并验算吊挂处梁板构件的强度。
- 6.7.3 当筒仓为直径大于 15 m 的独立仓时,仓顶宜采用正截锥壳等旋转壳体结构,其内力可按本规范附录 D 计算。
- 6.7.4 仓上建筑宜采用轻钢结构,并验算在风载作用下屋架下弦内力可能反号后的强度和刚度。

6.8 筒仓抗震设计

- 6.8.1 在 8 度、9 度区,应选用筒壁支承或筒壁与内柱共同支承的钢筋混凝土筒仓。在 6 度、7 度区,宜选用筒壁支承或筒壁与内柱共同支承的钢筋混凝土筒仓或砌块筒仓。
- 6.8.2 筒仓的仓壁和仓底可不进行抗震验算,但应满足抗震构造措施要求。
- 6.8.3 对于采用筒壁支承的筒仓,可采用底部剪力法近似计算或采用振型分解反应谱法计算水平地震作用。对于仓上建筑的地震效应,需将仓上建筑质点地震力乘以增大系数 4,但增大部分不应往下传递。
- 6.8.4 对于采用筒壁与柱共同支承的筒仓,可采用底部剪力法近似计算或采用振型分解反应谱法计算水平地震作用。筒壁和柱的地震剪力可按其刚度进行分配,但支柱的剪力应乘以 1.5,且不应小于仓底总地震剪力的 10%;为简化计算,也可以假定地震剪力全部由筒壁承担,但支柱承担的地震剪力不宜小于总地震剪力的 10%。
- 6.8.5 当采用钢筋混凝土柱支承时,抗震作用计算方法应符合《构筑物抗震规范》GB 50191 的规定。

6.9 构造规定

6.9.1 仓壁配筋细则

1 对于筒壁支承的筒仓,当仓壁与仓底采用非整体连接方案时,应将仓壁底部的水平钢筋向下延续配置到仓底结构顶面以下,向下配置的最小长度不应小于仓壁厚度的 4 倍。

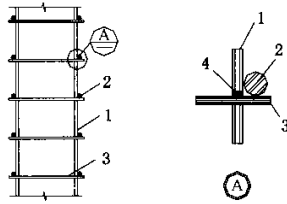
2 仓壁水平环筋宜采用 HRB335(20MnSi)级钢筋。水平钢筋的接头宜采用焊接。当采用绑扎接头时,搭接长度不应小于 60 倍钢筋直径。接头位置应错开布置,水平方向不应小于一个搭接长度,也不应小于 1m;在同一竖向截面上每隔三根钢筋允许一个接头,内外层钢筋接头亦应均匀错开。

垂直钢筋的搭接长度:HPB235(Q235)级钢筋不应小于 40 倍钢筋直径,不做弯钩;HRB335(20MnSi)级钢筋不应小于 35 倍钢筋直径。接头位置亦应错开布置。任意水平截面(搭接长度范围为同一截面)上,接头钢筋截面面积不得超过全部钢筋截面面积的 25%。

3 仓壁水平钢筋总的最小配筋率为 0.3%。对于外仓仓壁底部以上 1/6 仓壁高度范围内垂直钢筋总的最小配筋率应为 0.4%,其以上为 0.3%;对于群仓内仓仓壁垂直钢筋总的最小配筋率应为 0.2%。仓壁顶端应设置高度不小于 500 mm、全断面配筋率不小于 1.2%的暗梁,暗梁主筋与仓顶梁交接处不得中断。

4 仓壁水平钢筋的间距不应大于 200 mm 且不宜小于 70 mm。垂直钢筋的间距对于外仓不应大于 300 mm,对于群仓的内仓不应大于 450 mm。

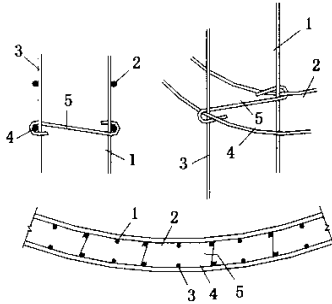
5 为了保证水平环筋的设计位置,应将部分竖向钢筋做成焊接骨架,每隔 2 m 左右设置一道,如图 6.9.1(a)所示。



- 1—骨架竖筋；
- 2—水平环筋；
- 3—骨架水平筋；
- 4—焊缝。

图 6.9.1(a) 焊接骨架示意图

6 在所有水平与垂直钢筋的交接处,应用铁丝绑扎。此外,在仓底以上六分之一仓壁高度范围内,内外排钢筋应用横向连系筋(直径不小于 4 mm 的钢筋),将其互相连接,横向连系筋的间距不大于 700 mm,如图 6.9.1(b)所示。



- 1—内侧竖筋；
- 2—内侧水平筋；
- 3—外侧竖筋；
- 4—外侧水平筋；
- 5—连系筋。

图 6.9.1(b) 连系筋示意图

7 在群仓的仓壁与仓壁、筒壁与筒壁的连接处,应配置附加钢筋,其直径不宜小于 10 mm,间距与水平筋相同。附加水平钢筋的构造可参照图 6.9.1(c)配置。

单位为毫米

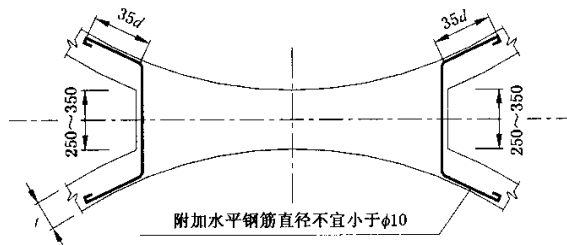


图 6.9.1(c) 群仓连接处水平拉接筋配置示意图

8 在仓壁上设置洞口时,要尽量限制洞口尺寸且不宜大于 1 000 mm,并按以下要求在洞口四周配置相应的加强钢筋且配置在洞口边的第一排钢筋数量不应少于 3 根:

1) 洞口水平加强钢筋

加强钢筋的数量至少为洞口被截断的水平钢筋数量的 1.2 倍,其中一半的数量配置在洞口上边,另

外的一半数量配置在洞口下边;其锚固长度最小为伸出洞口边缘 60 倍钢筋直径且不小于洞口高度;水平加强钢筋宜配置在洞口上下各 1~2 倍仓壁厚度范围内(图 6.9.1(d))。

2) 垂直加强钢筋

应将洞口左右两侧各 2~3 倍仓壁厚度范围内的垂直墙,作为上下嵌固的独立柱进行计算,其荷载为该宽度应承受的垂直荷载再加上洞口宽度范围内仓壁荷载的一半。按此计算的钢筋数量,不应少于被洞口截断的垂直钢筋数量的一半,其锚固长度最小为伸出洞口边缘 50 倍钢筋直径且不小于洞口宽度的一半(图 6.9.1(d))。

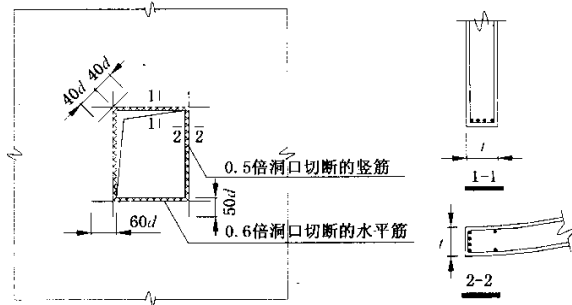


图 6.9.1(d) 仓壁洞口加强筋构造示意图

3) 在洞口四角,仓壁内外各配置一根直径不小于 $\phi 16$ mm 的斜向钢筋,其锚固长度为两边各为 40 倍钢筋直径(图 6.9.1(d))。

9 在矩形筒仓和多边形筒仓等仓壁转角处,应按图 6.9.1(e)所示对仓壁转角处进行加强。

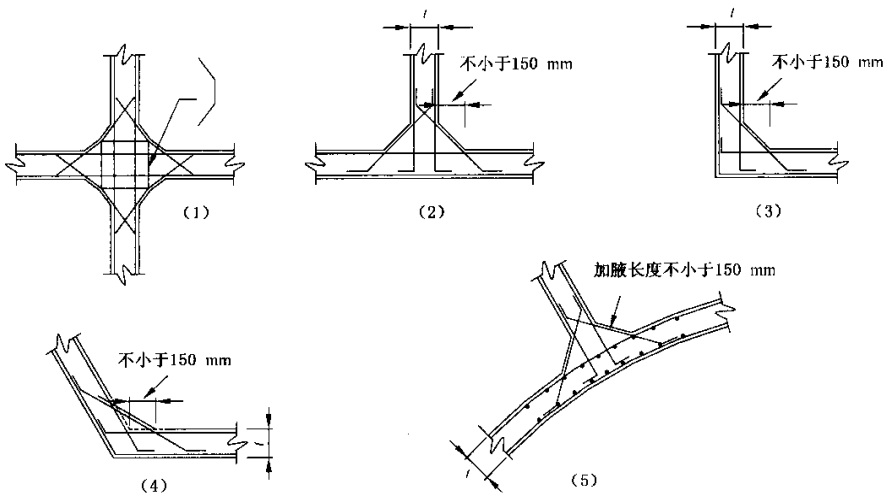


图 6.9.1(e) 矩形筒仓和多边形筒仓等仓壁转角处配筋构造

10 砌块筒仓

1) 砌块强度等级不宜小于 MU10,砂浆强度等级不宜小于 M5;

2) 群仓仓体总长不宜超过 48m。

3) 采用砌块内配置水平环筋方案时,其水平环筋的接头必须按受拉采用焊接接头,每层钢筋不得多于 4 根,环筋直径不宜大于 10 mm,并用直径 2 mm~4 mm、间距 300 mm~500 mm 的钢筋拉结,灰缝厚度 15 mm~20 mm。环形钢筋砂浆保护层应符合以下要求:

距砌体边宜为 40 mm~60 mm;

距上层砌体宜为 3 mm~4 mm;
距下层砌体宜为 7 mm。

群仓的连接处,应按图 6.9.1(f)对仓壁连接处进行加强。

4) 当采用钢筋混凝土圈梁方案时,圈梁主筋宜按受拉采用焊接接头。当采用绑扎接头时,钢筋搭接长度不应小于 60 倍钢筋直径,且接头应错开置放,沿水平方向错开的距离不宜小于 1 m,在同一竖向截面上,各圈梁钢筋接头的面积占受力筋总截面面积的百分率不应大于 25%。

对于群仓,钢筋混凝土圈梁连接处应按图 6.9.1(g)设置附加箍筋进行加强。

单位为毫米

单位为毫米

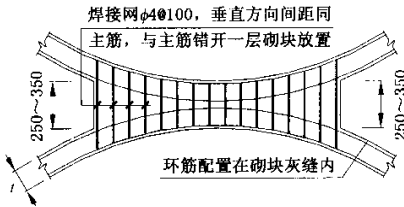


图 6.9.1(f) 仓壁相交处配筋加强示意图

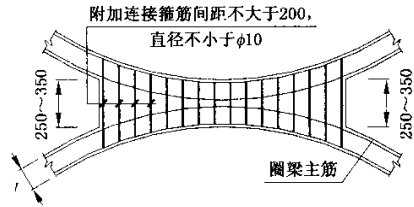


图 6.9.1(g) 圈梁相交处配筋加强示意图

6.9.2 仓底构造要求

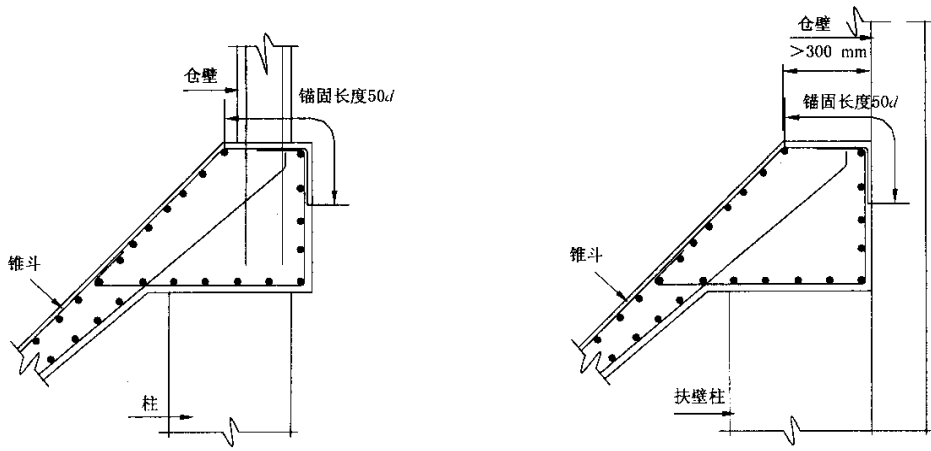
1 钢筋混凝土圆锥斗

锥斗混凝土强度等级不宜低于 C30,混凝土保护层不应小于 25 mm。锥斗壁厚由计算确定,最小厚度不得小于 120 mm。受力钢筋直径不宜小于 8 mm,间距不应大于 200 mm,也不应小于 70 mm。当壁厚大于或等于 120 mm 时,宜配置内外双层钢筋。锥斗下口边梁最小尺寸不宜小于 200 mm×200 mm、配筋不宜小于 4φ12,其搭接长度不宜小于 35 倍钢筋直径。

钢筋混凝土锥斗径向钢筋应整根制作,径向钢筋伸入到顶部环梁或仓壁内的锚固长度不应小于 50 倍钢筋直径。当锥斗环向钢筋采用绑扎接头时,搭接长度应符合本规范 6.9.1 的规定。水平环筋、径向钢筋总的最小配筋率均不应小于 0.3%。

2 钢筋混凝土环梁

环梁高度宜取 $0.08d_n \sim 0.1d_n$ 。当环梁下为筒壁支承时,其最小配筋率为环梁截面面积的 0.4%;当环梁下为柱支承时,环梁配筋由计算确定,且配筋率不小于环梁截面面积的 0.8%。群仓的环梁交接处尚应另外设置直径不小于 φ10 的加强箍筋。图 6.9.2 为几种常用的锥斗和环梁节点构造。



(a) 柱支承混凝土锥斗

(b) 仓壁与锥斗非整体连接

图 6.9.2 锥斗和圈梁节点构造

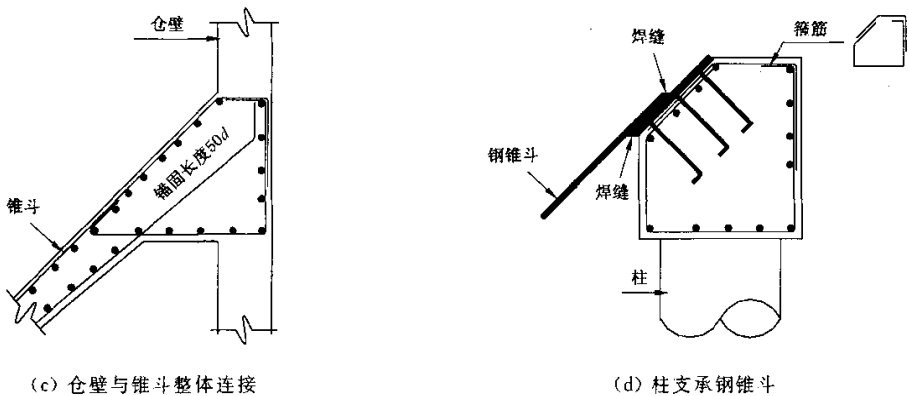


图 6.9.2(续)

3 钢筋混凝土角锥斗

钢筋混凝土角锥斗四角的吊挂骨架钢筋,其直径不宜小于 16 mm,钢筋上端伸入到角锥斗支承构件内的锚固长度不应小于 50 倍钢筋直径。其余应符合本规范 6.9.2 中钢筋混凝土圆锥斗的规定。

6.9.3 仓下层支承结构构造要求

1 钢筋混凝土柱支承

钢筋混凝土柱的全截面配筋率不应大于 2%；

2 筒壁支承

1) 筒壁的厚度不应小于仓壁的厚度,筒壁的混凝土强度等级不应小于仓壁的混凝土强度等级

2) 筒壁水平环筋总的配筋率不宜小于 0.25%,钢筋间距不应大于 200 mm,钢筋直径不小于 8 mm;垂直筋总的配筋率不宜小于 0.4%,钢筋间距不宜大于 250 mm,钢筋直径不小于 10 mm。

3 筒壁洞口配筋细则

1) 支承筒壁开洞时,相邻两洞口之间的筒壁宽度不应小于 3 倍筒壁厚度,亦不应小于 500 mm。如这段筒壁宽度小于或等于 8 倍筒壁厚度时,应将这段筒壁视作独立柱,柱计算长度为洞口高度的 1.25 倍,按计算配置纵筋和箍筋。

2) 如洞口宽度小于 1 m 时,洞口四周应按构造配置附加钢筋,洞口每边附加钢筋的数量不少于 2 根,直径不小于 16 mm;如洞口宽度小于 3 m、大于 1 m 时,应按计算配置附加钢筋,并且洞口上、下边 1~2 倍筒壁厚度范围按梁的构造配筋、洞口两侧 2~3 倍筒壁厚度范围按柱的构造配筋;洞口两侧竖向附加钢筋锚固长度应不少于 35 倍钢筋直径,且不小于洞口宽度的一半,洞口水平附加钢筋锚固长度不应小于 50 倍钢筋直径,且不小于洞口高度的一半。配置在洞口边沿的竖向钢筋,其最大配筋率不应大于 2%。

3) 当洞口宽度大于 3 m 时,除满足本条第 2 款的要求外尚应在洞口两侧设扶壁柱,其截面不宜小于 400 mm×600 mm,柱上端宜伸到洞口以上的仓底板。

4) 洞口每角筒壁内外各配置一根直径不小于 16 mm 的斜向钢筋,其锚固长度为 40 倍钢筋直径。

4 砌块筒壁

1) 砌块强度等级不宜小于 MU10,砂浆强度等级不宜小于 M5;

2) 筒壁最小厚度

砖石砌体不宜小于 490 mm;

毛石砌体不宜小于 600 mm;

混凝土砌块不宜小于 200 mm。

3) 门、窗洞口应采用钢筋混凝土框进行加强,加强框的配筋由计算确定并与筒壁砌块可靠锚拉。

6.9.4 筒仓抗震构造要求应符合《构筑物抗震规范》GB 50191 的规定。

7 电气设计

7.1 一般规定

7.1.1 电气设计应与工艺、土建设计密切结合,做到技术先进、安全可靠、经济适用、造型美观。以近期为主,兼顾发展。

7.1.2 立筒库电力负荷应为三级负荷。对于中转任务繁重的港口库和重要的中转、储备库,可按二级负荷设计。

7.1.3 立筒库粮食粉尘爆炸性环境危险区域划分见表 7.1.3。配电线路设计、电气设备选择,要根据具体情况考虑粉尘防爆要求。

表 7.1.3 立筒库粮食粉尘爆炸性危险区域的划分

粉尘环境		20 区	21 区	22 区	电器防爆标志
筒仓内		√			DIPA20
仓下层			√		DIPA20
仓上层			√		DIPA20
工作塔			√		DIPA20
溜管层				√	IP5X
灰间		√			DIPA20
封闭式设备内部		√			DIPA20
控制室	有墙、防火门与 20 区、21 区隔离		√		DIPA20
	独立建筑		√		DIPA20
楼梯间	有墙、防火门与 20 区、21 区隔离		√		DIPA20
* 墙指砖、轻质材料墙体等					

7.1.4 设有熏蒸系统的筒仓内使用的电气设备均应防熏蒸气体腐蚀。

7.1.5 电气设备、配电线路均应有防尘、防鼠害及防人身伤害等保护措施。

7.1.6 检修电源与工作电源应设置电气联锁。

7.2 配电线路

7.2.1 导线的选择:

1 配电线路的导线应采用铜芯绝缘导线或铜芯电缆,其额定电压不应低于线路的额定电压,且不得低于 500 V;

2 导线的允许载流量应大于用电设备的额定电流或计算电流值,且不应小于熔断器熔体额定电流的 1.25 倍;

3 电力、照明、控制线截面均不应小于 1.5 mm²;

4 移动式 and 携带式电气设备的线路,应采用移动电缆或橡套软线。

7.2.2 线路敷设:

1 绝缘导线应穿金属管明敷或暗敷。护套电缆宜采用汇线桥架敷设;

2 敷设电气管线的沟道、电缆、钢管或电缆桥架,在穿过不同爆炸危险区域或楼板隔墙的孔洞时,

应采用非燃性填料严密堵塞。粮食粉尘爆炸性环境危险区域内电缆线路不应有中间接头；

3 仓内不应敷设电气管线。当必须配置时，应符合《粮食加工、储运系统粉尘防爆安全规程》GB 17440 的要求。

7.3 照明系统

7.3.1 立筒库的照明设计应符合现行国家标准《建筑照明设计标准》GB 50034 的有关规定。立筒库及辅助设施的照度推荐值见本规范附录 E。

7.3.2 仓上层、仓下层、工作塔各层及楼梯间等照明宜采用集中控制方式，并按使用条件和天然采光状况采取分区、分组控制措施。

7.3.3 爆炸危险区应采用粉尘防爆型照明装置，其他区域采用 IP5X 防尘型照明装置；应采用高效、节能的冷光源，严禁使用高温灯具。

7.3.4 仓上层、仓下层、工作塔及控制室等确保人员安全疏散的出口和通道，应设应急疏散指示照明。

7.3.5 可能影响航行安全的立筒库，应根据航空管理部门要求设置障碍照明。

7.4 电气控制系统

7.4.1 立筒库可根据作业需要设置电气控制系统，并宜设置独立控制室。

7.4.2 电气控制系统的设计应充分满足工艺作业的要求，根据作业特点确定技术方案及设备选型。

7.4.3 电气控制系统应具备以下基本功能：

- 1 对用电设备提供安全保护；
- 2 用电设备及生产作业线的连锁；
- 3 显示工艺流程状况、设备运行状态及运行参数；
- 4 故障时生产作业线的安全停车及报警；
- 5 现场手动操作；
- 6 方便灵活的操作界面。

7.4.4 立筒库应设料位传感器；工艺设备应设安全检测传感器件。

7.5 粮情测控系统

7.5.1 立筒库应根据需要设粮情测控系统。

7.5.2 粮情测控系统应具备以下基本功能：

- 1 工作环境温度： $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ；测温范围： $-10^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ；测温精度不大于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；
- 2 自动巡回检测、手动定仓定点检测并具有中文打印、制表功能；
- 3 当运行参数超过规定的极限数值时，应有超限报警；
- 4 能有效防雷击。

7.5.3 测温电缆宜对称布置，测温电缆水平间距不宜大于 5.0 m；测温点宜沿垂直方向等距布置，间距宜为 1.5 m~3.0 m。测温电缆与仓壁间距不宜大于 1.5 m。

7.5.4 仓内吊装的电缆应能承受粮食流动时产生的拉力。

7.6 防雷及接地

7.6.1 立筒库防雷设计应符合现行国家标准中第二类防雷建筑物的防雷要求。

7.6.2 筒仓、工作塔应在屋顶设置避雷网(带)、针或利用金属构件作为接闪器。钢结构工作塔可利用钢构件自身作防雷引下线。接地装置可利用基础钢筋。接地极、引下线、接闪器由下至上应有可靠的焊接，形成良好的电气通路。

7.6.3 建筑物内系统接地形式应采用 TN-S 系统；建筑物内所有电气装置外露导电部分均应做保护接

地；粉尘爆炸危险区域内所有设备、构架、管道均应做防静电接地，并应单独与接地体或接地干线相连，不得相互串联后再接地。

7.6.4 当系统电源接地点距建筑物距离超过 50 m 时，低压电缆在引入建筑物处，保护线(PE)或保护中性线(PEN)应重复接地。

7.6.5 电气重复接地、电气装置外露导电部分的保护接地、防静电接地、电子装置的接地均做总等电位联结，并宜与建筑物雷电保护接地共用接地装置，共用接地装置的接地电阻应满足其中最小值的要求。

8 消防给水与相关设施

8.1 消防给水

8.1.1 立筒库应设室内、外消火栓给水系统。

8.1.2 立筒库消防用水量应为室内、外消防用水量的总和。

8.1.3 立筒库火灾延续时间宜按 2 h。

8.1.4 立筒库室内宜采用临时高压消防给水系统。

8.1.5 筒仓内不得设置任何形式的消防给水系统。

8.1.6 寒冷地区立筒库室内可设干式消防给水系统，但在进水管上应设电动快开阀，管道最高处应设置自动排气阀。

8.1.7 立筒库消防设计除应符合本规范的规定外，尚应符合《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定。

8.2 相关设施

8.2.1 工作塔各层、仓上层、仓下层应配置灭火器。

8.2.2 工作塔地下室适当位置应设置排水设施。

附录 A 筒仓沉降观测及初始装粮

A.1 压仓前的准备

- A.1.1 仓壁、锥斗必须干燥,其最后一项混凝土工程完工日期距装粮时间不少于 90 d。
A.1.2 用于压仓粮食的水分含量应符合安全储藏标准,质量应符合国标中等以上要求。

A.2 水准基点的设置

- A.2.1 仓群周围应设置三个永久性水准基点,使其自成体系,便于观测。
A.2.2 当需要新设或增设水准基点时,应选择地基可靠、透视良好的地点,按图 A.2.2 所示设置。

单位为毫米

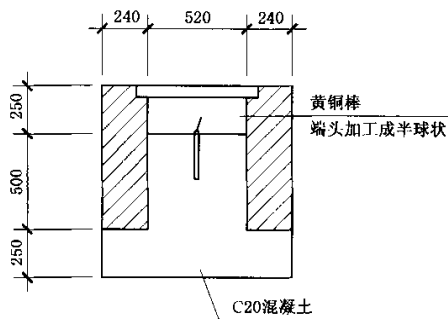


图 A.2.2 水准基点做法

A.3 沉降观测点的设置

- A.3.1 沉降观测点应沿群仓周边和内仓门洞处设置,群仓中每个仓具有的沉降观测点不应少于一个;独立仓组成的仓群中,每个仓设置沉降观测点不应少于 2 个。

A.3.2 沉降观测点的做法:

仓壁沉降观测点可用不小于 $\phi 16$ mm 的钢筋头埋设在仓壁观测点位置,观测点应设在比地坪高约 500 mm 处,钢筋头外端呈圆球状,外露 50 mm。

A.4 初始装粮压仓要求

- A.4.1 初始装粮压仓应分阶段、按对称均匀的原则进行。

A.4.2 第一阶段和最后一个阶段的装粮数量宜分别控制在仓容量的 50%~60% 和 10%、一般可分为三个阶段进行。

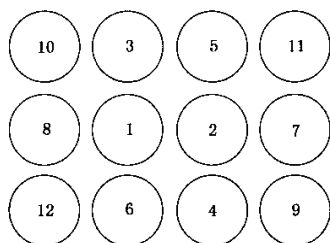
A.4.3 初始装粮顺序

- 1 当仓群是由独立仓组成时,每个阶段可参照图 A.4.3(a)所示顺序依次装粮。
- 2 当仓群是由两行或两行以上排列组成的仓群时,每个阶段可参照图 A.4.3(b)所示顺序依次装粮。

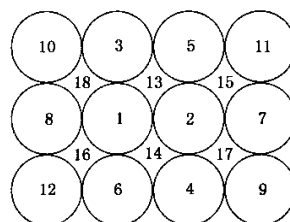
A.4.4 每阶段装粮完成后,应根据场地工程地质情况静置一定时间。每个阶段装粮后,静置时间不宜少于 15 d。每阶段装粮完成后的静置期内,宜每隔 5 d 进行一次沉降观测;当观测结果符合下列要求时,方可进行下一阶段操作:

- 1 最后 10 d 沉降量不应大于 3 mm,否则应延长静置时间至满足要求为止;
- 2 观测筒仓仓体沉降是否均匀,门窗洞口、仓壁处有无异常变形、开裂等情况,并作详细记录。

3 满载后的压仓时间不宜少于 15 d。



(a) 独立式筒仓装粮顺序



(b) 群仓装粮顺序

图 A. 4. 3 初次装粮顺序

A. 4. 5 设计单位可根据场区工程地质条件及使用单位的生产运营要求,合理调整每个阶段的压仓时间。

A. 5 沉降观测记录

A. 5. 1 将所有沉降观测点统一编号,并标注在仓群平面图上。将每次观测结果按统一编号登记在“沉降观测记录表”上。

A. 5. 2 基础板施工完成后和工程竣工验收后,应将各沉降观测点全部观测一次并记录,作为竣工前的静载荷沉降量。

A. 5. 3 在第一次装粮前,再将各沉降观测点全部观测一次并记录,作为装粮前的静载荷沉降量。

A. 5. 4 每阶段按 A. 4 的要求对粮食活荷载进行沉降观测并记录。

A. 5. 5 沉降观测记录表的格式可参照表 A. 5. 5。

表 A. 5. 5 沉降观测记录表

日期	观测点 编号	竣工验收 收标高	原始 标高	前期 标高	本次沉降/ mm	累计沉降/ mm	与上次相 距天数	装卸粮变 化记录	观测人 签名

A. 5. 6 试装粮完成后,应将全部观测记录(包括土建工程竣工时,施工单位向业主提供的施工过程中的沉降观测记录)汇总、整理、存档。当有异常情况时,应及时与设计等有关单位联系,以确定是否继续进行沉降观测和能否正式投入生产运营。

A. 6 初始卸粮

初始装粮压仓完成后,允许进行初始卸粮,初始卸粮应按与初始装粮相反的顺序进行。

A. 7 正式投产后注意事项

A. 7. 1 初始卸粮完成后,筒仓正式投产运营。正式投产后的三年内,应每隔 3 至 6 个月进行一次沉降观测。

A. 7. 2 正式投产后的三年期间内,仍应按照对称、均匀的原则进行装粮与卸粮作业;正式投产三年以后,宜按照对称、均匀的原则进行装粮与卸粮作业。

附录 B 主要粮食物料物理特性参数

表 B.1 主要粮食物料物理特性参数

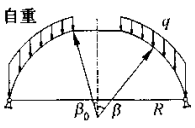
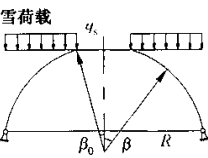
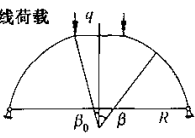
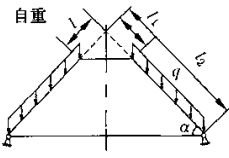
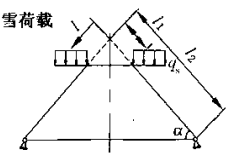
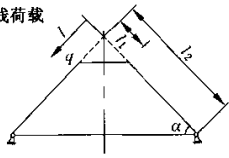
物料名称	重力密度 γ / (kN/m^3)	内摩擦角 φ / ($^\circ$)	摩擦系数 μ	
			对混凝土板	对钢板
稻谷	6.0	35	0.50	0.35
大米	8.5	30	0.42	0.30
玉米	7.8	28	0.42	0.32
小麦	8.0	25	0.4	0.30
大豆	7.5	25	0.4	0.30
葵花子	5.5	30	0.4	0.30
面粉	6.5	40	0.3	0.30
麸皮	4.0	40	0.3	0.30
大麦	6.5	27	0.4	0.40

附录 C $\lambda = (1 - e^{-\mu ks/\rho})$ 值表表 C.1 $\lambda = (1 - e^{-\mu ks/\rho})$ 值表

$\mu ks/\rho$	λ	$\mu ks/\rho$	λ	$\mu ks/\rho$	λ	$\mu ks/\rho$	λ	$\mu ks/\rho$	λ	$\mu ks/\rho$	λ
0.01	0.010	0.37	0.309	0.73	0.518	1.09	0.664	1.66	0.810	2.95	0.948
0.02	0.020	0.38	0.316	0.74	0.523	1.10	0.667	1.68	0.814	3.00	0.950
0.03	0.030	0.39	0.323	0.75	0.528	1.11	0.670	1.70	0.817	3.10	0.955
0.04	0.039	0.40	0.330	0.76	0.532	1.12	0.674	1.72	0.821	3.20	0.959
0.05	0.049	0.41	0.336	0.77	0.537	1.13	0.677	1.74	0.824	3.30	0.963
0.06	0.058	0.42	0.343	0.78	0.542	1.14	0.680	1.76	0.828	3.40	0.967
0.07	0.068	0.43	0.349	0.79	0.546	1.15	0.683	1.78	0.831	3.50	0.970
0.08	0.077	0.44	0.356	0.80	0.551	1.16	0.687	1.80	0.835	3.60	0.973
0.09	0.086	0.45	0.362	0.81	0.555	1.17	0.690	1.82	0.838	3.70	0.975
0.10	0.095	0.46	0.369	0.82	0.560	1.18	0.693	1.84	0.841	3.80	0.978
0.11	0.104	0.47	0.375	0.83	0.564	1.19	0.696	1.86	0.844	3.90	0.980
0.12	0.113	0.48	0.381	0.84	0.568	1.20	0.699	1.88	0.847	4.00	0.982
0.13	0.122	0.49	0.387	0.85	0.573	1.21	0.702	1.90	0.850	4.20	0.985
0.14	0.131	0.50	0.393	0.86	0.577	1.22	0.705	1.92	0.853	4.40	0.988
0.15	0.139	0.51	0.400	0.87	0.581	1.23	0.708	1.94	0.856	4.60	0.990
0.16	0.148	0.52	0.405	0.88	0.585	1.24	0.711	1.96	0.859	4.80	0.992
0.17	0.156	0.53	0.411	0.89	0.589	1.26	0.716	1.98	0.862	5.00	0.993
0.18	0.165	0.54	0.417	0.90	0.593	1.28	0.722	2.00	0.865	5.20	0.994
0.19	0.173	0.55	0.423	0.91	0.597	1.30	0.727	2.05	0.871	5.40	0.995
0.20	0.181	0.56	0.429	0.92	0.601	1.32	0.733	2.10	0.878	5.60	0.996
0.21	0.189	0.57	0.434	0.93	0.605	1.34	0.738	2.15	0.884	5.80	0.997
0.22	0.197	0.58	0.440	0.94	0.609	1.36	0.743	2.20	0.889	6.00	0.998
0.23	0.205	0.59	0.446	0.95	0.613	1.38	0.748	2.25	0.895	7.00	0.999
0.24	0.213	0.60	0.451	0.96	0.617	1.40	0.753	2.30	0.900	8.00	1.000
0.25	0.221	0.61	0.457	0.97	0.621	1.42	0.758	2.35	0.905	—	—
0.26	0.229	0.62	0.462	0.98	0.625	1.44	0.763	2.40	0.909	—	—
0.27	0.237	0.63	0.467	0.99	0.628	1.46	0.768	2.45	0.914	—	—
0.28	0.244	0.64	0.473	1.00	0.632	1.48	0.772	2.50	0.918	—	—
0.29	0.252	0.65	0.478	1.01	0.636	1.50	0.777	2.55	0.922	—	—
0.30	0.259	0.66	0.483	1.02	0.639	1.52	0.781	2.60	0.926	—	—
0.31	0.267	0.67	0.488	1.03	0.643	1.54	0.786	2.65	0.929	—	—
0.32	0.274	0.68	0.493	1.04	0.647	1.56	0.790	2.70	0.933	—	—
0.33	0.281	0.69	0.498	1.05	0.650	1.58	0.794	2.75	0.936	—	—
0.34	0.288	0.70	0.503	1.06	0.654	1.60	0.798	2.80	0.939	—	—
0.35	0.295	0.71	0.508	1.07	0.657	1.62	0.802	2.85	0.942	—	—
0.36	0.302	0.72	0.513	1.08	0.660	1.64	0.806	2.90	0.945	—	—

附录 D 旋转壳体在对称荷载下的薄膜内力

表 D.1 旋转壳体在对称荷载下的薄膜内力

荷载类型	环向力 N_θ (受拉为正)	径向力 N_m (受拉为正)
 <p>自重</p>	$qR \left(\frac{\cos\beta_0 - \cos\beta}{\sin^2\beta} - \cos\beta \right)$	$-qR \left(\frac{\cos\beta_0 - \cos\beta}{\sin^2\beta} \right)$
 <p>雪荷载</p>	$\frac{q_s R}{2} \left(1 - \frac{\sin\beta_0}{\sin^2\beta} - 2\cos^2\beta \right)$	$-\frac{q_s R}{2} \left(1 - \frac{\sin^2\beta_0}{\sin^2\beta} \right)$
 <p>线荷载</p>	$q \frac{\sin\beta_0}{\sin^2\beta}$	$-q \frac{\sin\beta_0}{\sin^2\beta}$
 <p>自重</p>	$-ql \cos\alpha \cot\alpha$	$-\frac{ql}{2\sin\alpha} \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2} \right)$
 <p>雪荷载</p>	$-q_s l \cos^2\alpha \cot\alpha$	$-\frac{1}{2} q_s l \left(1 - \frac{l_1^2}{l^2} \right) \cot\alpha$
 <p>线荷载</p>	0	$-\frac{ql_1}{l}$

注: 1 符号

γ_c ——仓壁材料重力密度(kN/m³);

ζ ——系数, $\zeta = \cos^2\alpha + k\sin^2\alpha$

n ——系数, $n = l_1/l_2$

t ——旋转壳的厚度。

2 各项荷载均以图示方向为正。

附录 E 照度推荐值

表 E.1 照度推荐值

场所名称	参考平面及其高度	推荐照度标准/lx
仓下层	地面	30~75
仓上层	地面	30~75
工作塔	地面	30~75
控制室	0.75 m 水平面	300~500
楼梯间	地面	30~50
道路	地面	15~30

附录 F 本规范用词用语说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词,说明如下:

1) 表示很严格,非这样作不可的用词:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”。

2) 表示严格,在正常情况下均应这样作的用词:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样作的用词:

正面词采用“宜”或“可”;反面词采用“不宜”。

2 条文中指明必须按其他有关标准和规范执行时的写法为“应该…… 执行”或“应符合…… 的要求(或规定)”;非必须按指定的标准和规范执行的写法为“可参照…… 的要求(或规定)”。

中华人民共和国粮食工程建设行业标准

粮食立筒库设计规范

LS 8001—2007

条 文 说 明

目 次

1 总则	42
2 术语和符号	42
3 基本设计规定	42
3.1 一般规定	42
3.2 材料	42
3.3 施工要求	43
3.4 布置原则	43
3.5 筒仓结构体系	43
4 工艺设计	43
4.1 一般规定	43
4.2 工艺流程	44
4.3 设备选择和布置	44
4.4 安全储粮工艺	44
4.5 环境保护与安全卫生	45
5 建筑设计	46
5.1 一般规定	46
5.2 筒仓直径及装粮高度	46
5.3 仓群与工作塔相互关系	46
5.4 筒仓建筑设计	47
5.5 工作塔建筑设计	47
5.6 泄压设计	48
5.7 气密性	48
5.8 建筑构造	48
6 结构设计	48
6.1 一般规定	48
6.2 荷载计算和荷载效应组合	59
6.3 仓壁设计	60
6.4 仓底设计	62
6.5 仓下支承结构	62
6.6 基础设计	62
6.8 筒仓抗震设计	62
6.9 构造规定	62
7 电气设计	64
7.1 一般规定	64
7.2 配电线路	64
7.3 照明系统	64
7.4 电气控制系统	65
7.5 粮情测控系统	65

7.6 防雷及接地.....	65
8 消防给水与相关设施.....	66
8.1 消防给水.....	66
8.2 相关设施.....	66
附录 A 筒仓沉降观测及初始装粮	67

1 总 则

1.0.1 在“利用世界银行贷款、改善中国粮食流通”项目和 900 亿斤国家储备粮库工程建设期间,我国建造了一大批钢筋混凝土粮食立筒库。其中,最具代表性的工程是大连北良港已建成的 150 万 t 钢筋混凝土立筒库。我国的粮食立筒库建设取得了令世界瞩目的成就。为总结近年来粮食立筒库的建设经验,使粮食立筒库建设更加符合技术先进、经济可靠、节约土地、节约能源的建设方针,对《粮食立筒库设计规范》SBJ 10—97 进行修订。

1.0.2 筒仓分为深仓和浅仓,当筒仓内储粮计算高度 h_0 与圆形筒仓内径 d_0 或与矩形筒仓的短边 a_0 之比大于或等于 1.5 时为深仓,小于 1.5 时为浅仓。本规范适用于采用钢筋混凝土筒仓(深仓)和砌块筒仓的粮食立筒库设计。

1.0.3 筒仓结构的设计使用年限是根据《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 中普通房屋和构筑物的设计使用年限为 50 年确定的。参照国内外钢筋混凝土筒仓的使用年限 80 年左右,本规范将筒仓的设计使用年限规定为不低于 50 年。

筒仓的安全等级是根据《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 中对于一般的房屋为二级。

1.0.4 根据《建筑结构防火规范》GB 50016,粮食的火灾危险性类别属于丙类。粮食立筒库属钢筋混凝土结构或砌体结构,其主体部分均能满足二级耐火等级的要求。

2 术语和符号

本规范术语和符号采用原则是与国家规范保持一致,并尽量与国际标准接轨。

3 基本设计规定

3.1 一般规定

3.1.1 随着我国改革开放形势的不断发展,保护环境、节约土地、节约能源已是我国工程建设的基本方针。随着现代物流理论的发展,粮食物流分析已成为我国建设粮库的前期重要工作。因此,粮食立筒库设计应能充分体现这些基本方针,做到可持续发展。

3.1.2 不同使用功能的粮食立筒库的工艺设计变化较大,应根据不同使用功能进行设计。此外,还有港口和储备、中转和储备、中转和收纳等相结合的多功能粮食立筒库。

3.1.3 本条考虑有固定输送设备的栈桥、输粮地沟、连廊将筒仓、工作塔、卸粮坑、装粮站、打包间等建、构筑物联系在一起,成为一组完整的生产体系或一组完整的生产建筑,这组建筑之间不受防火距离的限制,以保证生产作业高效完成。但要求建筑物耐火等级不应低于二级,以确保安全生产。

3.1.4 粮食物料的物理特性直接影响立筒库的设计。近年来由于生物技术的飞速发展,粮食物料的物理特性变化幅度较大。进行粮食立筒库设计时,应认真调查所存粮食物料的物理特性,以使筒仓设计更加安全、合理。当缺乏有关资料时,可参照本规范附录 B 采用。

3.1.5 近来已发现多起粮食筒仓内检修钢梯的钢构件在卸料时破坏的现象,直接影响出粮设备的安全,并且对进仓人员的安全也构成隐患。从粮食储存的角度考虑,仓内也尽量不设多余的构件,因此本条规定不应在仓内设置通长检修钢梯。根据最近的调查资料,设置不长于 6 m 的钢梯、以安全带和吊篮辅助可以满足从仓顶入仓进行粮情检查的要求。当必须设置仓内通长钢梯时,应考虑卸料压力、锈蚀、仓内熏蒸等对仓内构件的不利影响。

3.2 材料

3.2.1 美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》规定滑模施工宜采用硅酸盐水泥(即波特兰水泥)和普通硅酸

盐水泥。因采用这些水泥配制的混凝土具有较好的早期强度,适于滑模施工。我国《滑动模板工程技术规范》GB 50113 规定薄壁结构的混凝土宜用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥配制。如果业主要求滑模外观质量、混凝土色泽均匀一致,那么在滑模施工中就必须采用同一厂家的同一型号的水泥产品。

3.2.2 滑模施工混凝土中骨料的最大粒径系根据美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313 及我国《滑动模板工程技术规范》GB 50113 确定的。为避免工程竣工后外观不一致,滑模施工采用的骨料也应为同一产地同一类型的材料。

3.3 施工要求

本节主要是根据我国近年来粮食立筒库的施工情况,并参照美国《钢筋混凝土设计规范》ACI 313 中对施工的设计要求编写的。其中,在对筒仓施工允许偏差中,采用的标准较美国规范中严格,这是我国的筒仓施工能达到的水平。取消原规范中的附录 A 土建施工要求,将其主要内容归并到本节中。

3.4 布置原则

3.4.1 粮食立筒库的平面布置应根据筒仓规模、功能、工艺要求及场地情况等因素确定。本节主要是根据我国近年来粮食立筒库的建设实践,给出了粮食立筒库布置的几种主要形式。

3.4.5 根据我国和世界多数国家粮食群仓的布置形式,最多的仍为行列式正交方案。但也有加拿大等少数国家采用斜交不利用星仓或在圆仓间嵌入直线墙的形式。根据我国筒仓工程建设实践,还没有发现群仓斜交排列或嵌入直线墙具有更多优点。相反,会给设计、施工在仓上层带来很多麻烦。所以本条仍建议采用行列式排列方案。但不排除对于特殊的地形或功能要求采用斜交式布置。

3.4.6 每组群仓的建造长度也是多年来不能统一的问题。原规范中的限值来自于苏联规范。根据我国多年来粮食立筒库的建设经验,多数大型粮食立筒库工程,每组群仓的长度均超出规范规定,有些工程每组长度甚至超过 80 m,但都运营正常。本规范仍沿用了原规范中的规定,以对筒仓每组建设长度进行必要的限制。但这是建议性的,不作强制规定,设计人员可根据工程具体情况进行适当调整。

3.5 筒仓结构体系

本节主要是根据我国近年来粮食立筒库的建设实践,给出了几种常用的筒仓结构体系,供设计人员选用。

4 工艺设计

4.1 一般规定

4.1.2 工艺设计方案不仅直接影响工程投资,还决定着项目运行效果和经济效益的优劣。设计时,应综合考虑粮食流通体系的整体要求、物流分析计算结果、总仓容、使用功能、作业要求、进出粮方式等各方面的因素。对不同方案进行经济技术比较后确定最佳的工艺整体方案。尤其对大、中型建设工程,方案的比选是设计前期的必要步骤。实用性、技术先进性、经济性及安全可靠性是评价方案优劣的主要方面。

4.1.3 在港口立筒库设计中,应满足港口工程相应技术规范的要求,主要是泊位通过能力、系统作业能力等。一般港口工程的设备作业能力较大,应注意除尘、环保、预防粉爆等方面的问题。

4.1.6 应根据建设单位提供的粮食品种、流量、交通条件、运输工具、机械化及自动化要求、装卸作业的时间限制等条件进行计算,确定仓容量、系统作业能力等。港口库的容量应满足最大船型或最高日接收火车来粮的 1.5 倍。

4.1.8 立筒库的年周转次数为年入仓量与仓容量之比。确定仓容时,还需考虑粮食品种和等级,来粮周期和方式。应满足不同粮食的分仓储存。

4.1.10 为保证生产安全,粮食进入斗式提升机或计量秤之前应清除金属杂物及其他大杂,防止设备运行中因摩擦产生火花和堵塞现象。格栅的结构要求牢固,能承受冲击荷载。一情况下,格栅的孔格尺寸为 20 mm×20 mm。

4.1.12 吊物洞大小根据建筑尺寸和最大吊装设备的外形尺寸来确定。在吊装设备时要注意对吊物洞采取临时保护措施。

4.1.13 粮食降碎装置的种类很多,应根据粮食品种、品质要求、仓体结构和尺寸等因素选择。

4.2 工艺流程

4.2.1 本条对立筒库工艺流程的设计内容作一般性论述,应根据具体的情况和要求调整,选择合理的作业系统。粮食熏蒸系统根据需要设置。小型立筒库可不设自动取样。如果接收的是湿粮,应配置烘干系统。配置设备产量时,不能单从某一个作业要求来确定,应根据多种因素和条件综合考虑后确定。当进、出粮流量相差较大时,应采取辅助设施或由多组作业线的不同组合来平衡。

4.2.4 设计中首先在满足工艺要求的前提下,协调各作业环节,确定灵活的流程,避免多种生产能力,多条独立作业线的组合。尽可能以较少品种和数量的设备,完成多种作业的要求。间歇作业设备的前后应设缓冲仓,平衡粮流。如自动秤设上、下料斗,斗容量一般取称重量的 1.5~2.5 倍。进出粮装卸系统,按作业方式经计算确定缓冲仓的大小,其容量需满足粮流平衡和作业安全的要求。

4.3 设备选择和布置

4.3.1 根据工艺需要配置相应的设备,各设备间生产能力必须相匹配,选用时还应考虑不同设备的生产效率因素。

如果立筒库储存的是易破碎的粮食,选择作业设备时应特别小心,尽量选用破碎率低的设备。带式输送机具有结构简单、使用安全,维修量少,价格低等优点,尤其是长距离输送应优先选用。埋刮板输送机具有体积小、密闭性能好和可实现多点卸料的特点,建议在需要多出料口,流程调节和粉尘较集中的部位选用。

“易破碎的粮食”主要是指东北地区采用热风快速干燥后裂纹率较高的玉米。

“高速提升机”是指速度大于 2.5 m/s 的斗式提升机。

4.3.2 设备的额定生产能力,统一以小麦容重(0.75 t/m³)为标准来确定,其他粮种按不同容重换算实际产量。条文中列出的产量系列应优先选用。

4.3.3 工艺布置除保证合理的流程外,应考虑设备的吊装、安装、操作和维修的要求。同类设备应尽量相对集中(如除尘设备)。

一般情况下,非操作通道宽度取 400 mm~600 mm;操作通道取 800 mm~1 200 mm,主要通道可取 1 200 mm~1 500 mm。

通道宽度与设备的作业能力有关,一般情况下,200 t/h 以下的设备取小值,300 t/h 以上的设备取大值。主通道上方 2 m 范围内,不应布置任何设备和管件。

4.3.4 设备布置时尽量保证主通道的畅通,不要使设备横穿通道。必要时应设置过梯、平台及围护设施。严禁直接跨越设备。

4.3.10 溜管是各作业设备之间粮食连续输送的有效手段。粮食溜管除直管外还包括收缩管、扩张管、弯头和闸阀门等。

溜管一般采用法兰联接,严禁相互焊接。制作粮食溜管的钢板厚度一般为 3 mm~4 mm,灰管 1 mm~3 mm。一般情况下,应在溜管内壁受到粮流冲击的表面设置可拆换的耐磨衬板。

不同生产能力溜管的有效截面可按参考表选用。

4.4 安全储粮工艺

4.4.1 粮食立筒库机械通风是在一定外界空气条件下,调节仓内粮堆中的温度和气体介质,以利于粮

食安全储存。高水分粮不宜在立筒库中贮存,机械通风不能作降水用。

4.4.2 本条是立筒库机械通风设计的基本要求,仓内风道的布置和结构形式应满足粮食贮藏和结构安全。方便设备的安装维修和建筑施工。

4.4.3 主要技术参数和技术要求是在《储粮机械通风技术规程》LS/T 1202 的基础上,结合立筒库的特点及实际作业经验确定的。

4.4.9 环流熏蒸系统主要用于防治粮仓内的虫害,设计环流熏蒸系统时应根据虫害的具体情况和环境条件选择熏蒸剂和施药装置。

4.4.10 筒仓的气密性指标的高低直接影响到熏蒸效果的优劣,本条文规定的立筒库气密性指标是最低标准,在经济可行的条件下,应尽量提高气密性。

4.4.15 谷物冷却机不是立筒库必备设备。应根据各方面的条件经综合比较后确定是否配备。对于气温较低的地区,不推荐使用。对于气密性和保温性较差的立筒库,通过谷物冷却机冷却的粮食会很快回升到原来的温度,达不到低温储藏的目的。因此,当需要配置谷物冷却机时,应注意提高立筒库的气密性和隔热保温功能。

4.4.16 谷物冷却系统与通风系统风道配合使用,根据每个仓通风机的数量选定冷却机的数量,必须保证筒仓中各部位的粮温均匀。

4.5 环境保护与安全卫生

4.5.1 根据国家标准规定,车间空气中最高允许粉尘浓度为 $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。粉尘排放浓度不大于 $120 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。工人每天连续接触噪声 8 h 的生产车间及作业场所,噪声限制值 90 dB;不足 8 h,按接触时间减半时噪声限制值增加 3 dB 的原则,确定其噪声限制值。

4.5.2 风网设计的关键是网路的组合和设计参数的确定。可按流程或同类型尘杂组合成集中风网,必要时可设单机独立风网。根据粉尘浓度、扬尘点和设备特点确定吸口位置、吸风量和阻力,通过计算确定网路总风量、总阻力和风机的技术参数。

4.5.3 汽车和火车卸料时瞬间扬起的粉尘很大,因此,卸粮坑是除尘的重点部位,应引起重视,既要保证除尘效果,又要避免把粮食吸走。

4.5.4 除尘设备体积大,噪声大,粉尘浓度高,易引发第二次粉爆。宜尽量布置在室外。

4.5.6 吸口风速的确定:在扬尘点粮食流速较高时,吸口风速选用小值,较低时选用大值。垂直风管的风速选用小值,水平风管选用大值。风管风速随主风道逐步增大。

4.5.7 水平管道容易产生粉尘的沉积,从而影响除尘效果。所以设观察窗和清扫孔,以便检查和清扫。清扫时,关闭各吸口闸门,打开清扫孔,启动风机作清扫处理。

4.5.8 风管弯头的曲率半径按风管直径的倍数选取。选取时,除考虑阻力损失因素外还要适应建筑条件和管道布置情况。

4.5.9 风管宜选用预制管,用法兰连接,各种连接均应考虑密封措施,防止漏风。

4.5.10 各管件参数确定时,虽对各支管作了平衡计算,但往往因生产变化而影响平衡。根据物料含杂情况和流量的变化,通过蝶阀的调节来达到系统平衡。

4.5.11 计量设备排料时瞬间粉尘很大,靠吸风不能完全控制粉尘,可通过设置气流平衡管来缓冲气流。计量设备的吸风量过高会影响计量精度,应慎重选择。

4.5.12 当风机的功率较大、转速较高时,宜设置减振装置及消声装置。

4.5.13 通向屋顶的排风管应设垂直段和风帽,防止风雨倒灌。水平排向室外的风管应设防风雨装置。

4.5.14 粮食立筒库影响环境保护的主要因素是粉尘和噪声,所以在工艺布置、设备选用中必须引起高度重视,采取有效措施,保证噪声达到有关规定的要求。

4.5.15 按各设备的使用要求,加强设备的维护保养,以保持正常运行,对振动和噪声较大的设备,须考虑减振和消声措施。

- 4.5.19 为了防止火源的产生。粮食进入第一道斗式提升机前应清除大块杂质和金属杂质,以免设备运行中因摩擦产生火花。
- 4.5.20 对垂直和水平输送设备设跑偏和温度检测装置,防止由于设备不正常运转而造成温升和燃烧。
- 4.5.21 对设备采取泄压措施是必要的,各主要设备均应设泄压口,提升机头和除尘器设直通室外泄压管。
- 4.5.23 除尘设备应提前开启、延后关闭,防止作业设备在启动和停止时粮食粉尘的外扬。
- 4.5.28 粮食立筒库的环境保护,尤其是防止粉爆,除正常的设备操作、维护保养等技术措施外,与技术管理有密切关系。在设计中应提出有关的技术管理和技术培训要求。

5 建筑设计

5.1 一般规定

5.1.1 选址主要考虑以下几个方面

1 选择库址,必须具备路通(如公路、铁路、水路)、水通(给排水)、电通(电力)、通讯通的条件,以保证工程项目的实施和将来的正常投产运营。由于交通设施的费用直接影响工程总投资,所以应充分利用现有公路、铁路、水路的设施,这样可以大大节约投资,缩短建设周期。

2 筒仓是特种结构,活荷载一般占总荷载的50%以上,所以对工程地质条件要求较高。有资料表明,有的立筒库的基础费用占土建总费用的30%~40%。可见工程地质条件好坏,对工程造价的影响。这里特别强调岩溶、滑坡、发育中的冲沟或采空区等不利地段不宜选作库址,是因为在这里建造筒仓将付出昂贵的基础建设费用。

3 库址与周围环境的关系。

1) 有害气体吸附于粮食表面会造成粮食污染。因此,选择库址时,应注意周围环境,远离有害物质的排放源,且库址应位于其上风向。

2) 粮食在输送过程中造成粉尘污染,尽管除尘后,排放到大气中的粉尘虽然能达到国家允许的排放标准,但从长远角度看对居民毕竟是不利的,为此本条规定库址宜位于住宅、公共建筑下风向。

5.1.2 本条是根据近年来粮食立筒库的设计经验,强调了设计中应考虑的问题。以使粮食立筒库设计更加符合我国的节约土地、节约能源、保护环境的基本建设方针,并能体现粮食现代物流的设计思想。

5.1.3 近年来,我国粮食筒仓的建设实践证明:在外面不作任何粉刷的筒仓,运营情况一般较好(施工质量不好的除外);有些粮食筒仓为了追求外观,掩盖缺陷,在筒仓施工完成后对筒仓外壁又进行一次打底、粉刷,几年后,由于涂料的质量、老化等问题,难免表面开裂和剥落,效果非常不好。因此为保证外观施工质量,本条要求不再进行另外的粉刷和装饰。

5.2 筒仓直径及装粮高度

5.2.1 我国现有粮食立筒库直径多为8 m、10 m及12 m等。设计人员可根据工程实际情况确定内径尺寸。

5.2.2 方形筒仓多用于粮食加工厂的麦仓、粉仓或工作塔的暂存仓、发放仓等,本条给出的尺寸也是以往经常采用的,进行设计时可根据工程实际情况确定。

5.2.3 根据以往对筒仓经济指标的比较以及已建成的筒库高度情况,钢筋混凝土筒库装粮高度不宜低于25 m,否则吨粮占地面积及经济指标将不合理。当地基承载力允许时,应尽量提高装粮高度,以便取得更好的经济指标。

5.3 仓群与工作塔相互关系

5.3.1 以往粮食立筒库设计,筒群与工作塔距离习惯采用6 m,使用情况良好。但经计算,工作塔的倾

斜在允许范围内时,该距离也可以小于6 m。

5.3.2 工作塔与筒群之间宜将温度缝、沉降缝及抗震缝统一考虑设置。根据工作塔允许倾斜值的要求,当筒仓高为30 m、在设计上连廊支座时,应考虑到在水平方向上工作塔对于仓群的相对位移值有不小于150 mm的变化。

5.3.3 由于筒仓粮食荷重一般占总荷重的50%以上,所以筒仓装粮后会引引起筒仓与工作塔之间的沉降差异,除非仓群是建造在岩石等刚性地基上。因此筒仓与工作塔之间的上、下连廊宜采用钢结构,且一端铰结、一端自由,以便适应产生沉降差异的工况。

5.4 筒仓建筑设计

5.4.2 筒壁是仓体的支承结构。通常由于筒下层输送机通道、门窗洞口等使筒下层刚度较以上仓壁刚度有较大削弱,不利抗震并削弱了筒壁垂直承载能力。因此,本条建议在设置仓下层窗洞时,应综合考虑采光、泄爆、抗震及承载能力等多种因素的影响。

5.4.4 粮食筒仓锥斗母线与水平面夹角不应小于粮食物料的休止角加 5° 。例如对小麦而言,当为钢筋混凝土锥斗时通常取 40° ;当为钢锥斗时,通常取 42° 等。实践证明,锥角控制在该范围内,能使粮食基本上按管状流动规律正常卸料。过小的角度会使粮食流动受阻,甚至拱结,过大的角度易形成整体流动,影响仓壁安全。

5.4.5 粮食筒仓在我国采用的仓底形式主要有全锥斗,平板填坡及环板挂钢半斗。全锥斗又有钢筋混凝土锥斗和钢锥斗之分。根据对调查资料,在仓底留人孔是非常必要的,这样可以方便操作人员入仓清理仓底。

5.4.6 以往的粮食筒仓卸粮孔直径多取为600 mm,基本能满足粮食行业的作业要求。近年来工艺设计产量有时达到1 000 t/h~2 000 t/h,卸粮孔直径一般取800 mm~1 100 mm,以满足大产量作业要求。

5.4.7 为了便于熏蒸及防止各筒仓在有虫害的情况下相互污染,各个筒仓之间不应有相通的孔洞及缝隙。但有些面粉厂的原料库,由于粮食在筒仓内贮存时间较短,也有两两筒仓通过在仓壁上设孔相互连通的情况。

5.4.8 目前我国粮食立筒库仓顶板多采用钢筋混凝土结构。并在仓顶板均设有700 mm×700 mm人孔,以方便检修并可作为泄爆孔使用。

5.4.9 当仓上层为埋刮板输送机时,可采用敞开式;当采用皮带输送机时,应设计成半封闭或全封闭式,此时仓上层应设置必要的泄压面积。

5.4.12 当由多组筒仓组合时,一般每组筒仓设一个能直达室外地面的疏散梯,并使两个相邻的疏散梯之间的距离均不超过60 m。

5.5 工作塔建筑设计

5.5.1 本条是为了尽量符合我国工业与民用建筑现行模数制而考虑,以方便选用建筑、结构配件、加快建设速度。设计人员经方案比选后,工作塔层高和柱网尺寸也可不受本条限制。

5.5.2~5.5.3 目前国内立筒库配套工作塔内的功能设施情况,基本上能满足日常管理的要求。

5.5.4 我国对建筑节能要求较高,在进行立面设计时,建筑人员要考虑自然采光、墙体保温隔热等要求,以便满足当地建筑的节能要求。

5.5.5 本条为保护工作人员的人身安全而制定。

5.5.6 本条是依据《建筑设计防火规范》GB 50016中的有关规定。

5.5.7 一般工作塔均具有地下室,以作为斗式提升机下箱,并且也同时满足了工作塔的埋深要求。由于地下室有工艺设备并且进行输送粮食作业,所以对地下室防水、防潮有较高要求。本条建议采用双道设防,一方面采用自防水混凝土,希望做到一不漏而永远不漏,另一方面设置一道外防水,增加了防水可靠性。

5.6 泄压设计

由于近年来在机械设备和电器方面采取了诸多预防粉爆安全措施,加之人们对粉爆认识的提高、从而加强了筒仓操作安全管理,使得近来国内外恶性筒仓粉爆事故很少发生。尽管如此,预防筒仓粉爆发生仍是筒仓设计、经营管理方面必须认真对待的重大问题之一。

根据《建筑设计防火规范》GB 50016,泄压面积与厂房体积的比值(m^2/m^3)宜采用 0.05~0.22。爆炸介质威力较强或爆炸压力上升速度较快的厂房,应尽量加大比值。体积超过 1 000 m^3 的建筑,如采用上述比值有困难时,可适当降低,但不宜小于 0.03。

对泄压板的技术要求仍沿用原规范的规定。

5.7 气密性

本节主要提出在气密性方面应采取的措施。应当注意的是,施工质量及滑模混凝土的级配对仓壁气密性影响很大。气密性和混凝土裂缝宽度控制是两个概念。即使仓壁裂缝宽度控制限制为零,也不能保证气密性无问题。气密性是一个综合治理的问题。

5.8 建筑构造

本节是根据近年来的粮食立筒库建设实践提出些常用的建筑做法。

6 结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 本条第二款是对仓壁最大裂缝宽度限值的规定,主要基于以下几个方面的原因。

1) 粮食筒仓仓壁裂缝控制的实际大小仍然与未修订前保持一致。而原规范裂缝开展验算方法实际上是按《钢筋混凝土结构设计规范》TJ 10—74 的计算公式。

多年来按以上方法计算的粮食筒仓均使用正常,所以对于粮食筒仓没有必要再进一步提高对仓壁裂缝宽度的要求。

2) 计算筒仓仓壁等轴心受拉构件的裂缝宽度时,当仓壁水平环筋混凝土保护层厚度为 30 mm~50 mm 时,《混凝土结构设计规范》GB 50010 较《钢筋混凝土结构设计规范》TJ 10—74 的裂缝计算宽度将增大 10%~40%左右。

3) 美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313—97 中 4.5.8 的规定:在初始装料的情况下,设计裂缝限制值为 0.25 mm,对美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313—91 规定的在卸料压力作用下的仓壁裂缝限值为 0.2 mm 进行了修改。

4) 本规范规定的仓壁裂缝限值标准,相当于以往按《钢筋混凝土结构设计规范》TJ 10—74 进行筒仓仓壁裂缝宽度验算时的限值 0.2 mm。当混凝土保护层大于 25 mm 的情况,对裂缝限制进行了适当放宽。但也没有超出美国现行《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313—97 对仓壁裂缝宽度限值为 0.25 mm 的限定。

5) 《混凝土结构设计规范》GB 50010 条文说明中指出:“当混凝土保护层较大时,虽然裂缝宽度计算值也较大,但较大的混凝土保护层厚度对防止钢筋的锈蚀是有利的。因此对混凝土保护层厚度较大构件,当在外观要求上允许时,可根据实践经验,对本规范表 3.3.4 中所规定的裂缝宽度允许值作适当放大。”

6) 有关仓壁裂缝宽度验算的几种方法比较:

① 当按《钢筋混凝土结构设计规范》TJ 10—74 中第五章第二节“变形、抗裂度和裂缝宽度验算”的

方法计算仓壁裂缝宽度时:

“在轴心受拉构件中,考虑裂缝宽度分布不均匀性及荷载长期作用影响后的最大裂缝宽度 δ_{\max} (cm),可按下列公式计算:

$$\delta_{\max} = 2.2\psi \frac{\sigma_g}{E_g} L_f$$

$$\psi = 1 - 0.56 A_h \frac{R_f}{N_k}$$

$$L_f = \left(7 + 0.16 \frac{d}{\mu}\right) \nu$$

式中:

ψ ——裂缝间纵向钢筋应变不均匀系数,当 $\psi < 0.3$ 时,取 $\psi = 0.3$;

σ_g ——纵向受拉钢筋应力标准值; $\sigma_g = N_k / A_g$

A_h ——混凝土截面面积;

L_f ——平均裂缝间距(cm);

d ——钢筋直径(cm);

R_f ——混凝土抗裂设计强度;

N_k ——拉力标准值;

当用不同直径的钢筋时,公式中 d 改为换算直径: $4A_g/s$ (s 为钢筋总周长);

μ ——纵向钢筋配筋率, $\mu = \frac{A_g}{A}$ (A 为构件截面面积);

ν ——与纵向钢筋表面形状有关的系数。

对螺纹钢 取 $\nu = 0.7$;

对光面钢筋 取 $\nu = 1.0$ 。”

以仓壁最大环拉力标准值 $N_k = 2560 \text{ kN/m}$ 、最大配筋面积 $A_g = 140.3 \text{ cm}^2$ 为例,采用《钢筋混凝土结构设计规范》TJ 10—74 进行裂缝宽度验算如下:

$$A_h = 40.5 \times 100 - 140.3 = 3909.7 \text{ cm}^2$$

$$E_g = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$d = 2.5 \text{ cm}$$

$$R_f = 23.25/\text{cm}^2$$

$$\mu = \frac{A_g}{A} = \frac{140.3}{4050} = 0.035$$

$$\sigma = \frac{256000}{140.3} = 1824.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_f = \left(7 + 0.16 \frac{2.5}{0.035}\right) \times 0.7 = 12.9$$

$$\psi = 1 - 0.56 \frac{A_h R_f}{N_k} = 1 - 0.56 \times \frac{3909.7 \times 23.25}{256000} = 0.801$$

$$\delta_{\max} = 2.2 \times 0.801 \times \frac{1824.7}{2 \times 10^6} \times 12.9 = 0.0205 \text{ cm}$$

多年来我国采用该方法进行钢筋混凝土筒仓仓壁裂缝宽度验算的工程设计实践证明,该验算方法能客观反映筒仓仓壁受力变形情况,是一种经济、可靠的计算方法,能很好描述筒仓的正常使用极限状态,能较好满足生产使用要求。

② 当按《混凝土结构设计规范》GBJ 10—89 验算仓壁裂缝宽度。

据《混凝土结构设计规范》GBJ 10—89 中 3.3.4,在最大裂缝宽度允许值表 3.3.4 中,找不到筒仓的有关允许值。但在该表下附注第(5)条,有这样的说明:

“烟囱、筒仓及处于液体压力下的结构构件，其裂缝控制要求应符合现行专门规范的有关规定。”

《混凝土结构设计规范》GBJ 10—89 是取代《钢筋混凝土结构设计规范》TJ 10—74 的混凝土结构设计规范，下面我们采用《混凝土结构设计规范》GBJ 10—89 中有关公式计算一下筒仓仓壁裂缝宽度：

据《混凝土结构设计规范》GBJ 10—89 第 5.2.2 条钢筋混凝土构件最大裂缝宽度验算公式：

$$W_{\max} = 2.7\psi \frac{\sigma_{ss}}{E_s} \left(2.7c + 0.1 \frac{d}{\rho_{te}} \right) \nu$$

式中：

ψ ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数：

$$\psi = 1.1 - \frac{0.65 f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{ss}}$$

当 $\psi < 0.4$ 时按 0.4 考虑，当 $\psi > 1.0$ 时，取 $\psi = 1.0$ ；

ρ_{te} ——受拉钢筋配筋率。

仍采用同样实例计算：

$$\rho_{te} = \frac{140.3}{4050} = 0.035$$

σ_{ss} ——按荷载短期效应组合计算的钢筋混凝土构件受拉钢筋的应力，取使用阶段最大拉力标准值为： $N_k = 2560 \text{ kN/m}$ 。

$$\sigma_{ss} = \frac{2560000 \text{ N}}{14025 \text{ mm}^2} = 182.5 \text{ N/mm}^2$$

C ——混凝土保护层厚度，这里取 $C = 50 \text{ mm}$ ；

d ——钢筋直径，这里取 $d = 25 \text{ mm}$ ；

ν ——钢筋表面特征系数，这里取 $\nu = 0.7$ ；

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值： $f_{tk} = 2.25 \text{ N/mm}^2$

$$\psi = 1.1 - \frac{0.65 f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{ss}} = 1.1 - \frac{0.65 \times 2.25}{0.035 \times 182.5} = 0.87$$

$$E_s = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$W_{\max} = 2.7 \times 0.87 \times \frac{182.5}{2 \times 10^5} \times \left(2.7 \times 50 + 0.1 \times \frac{25}{0.035} \right) \times 0.7 = 0.31 \text{ mm}$$

显然不能满足设计要求。为什么两个规范计算的结果有这么大误差？

在《混凝土结构设计规范》GBJ 10—89 条文说明中，第二节裂缝宽度验算(P45)中说明：“按照公式(6.2.2-1)计算，在一般的砼保护层 $C = 20 \text{ mm} \sim 25 \text{ mm}$ 情况下，对钢筋砼受弯构件，裂缝宽度计算值与原规范大致相当；对钢筋砼轴心受拉构件，裂缝宽度比原规范大 10%~20% 左右，当砼保护层较大时，不论是受弯构件或轴心受拉构件，裂缝宽度计算结果均比原规范大，这能更好的符合试验结构。”

③ 当采用《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 对同样的实例进行比较计算时，将得到 $W_{\max} = 0.31 \text{ mm}$ 的同样结果。这是因为《混凝土结构设计规范》GB 50010 对裂缝宽度验算的公式同《混凝土结构设计规范》GBJ 10—89 采用相同的公式是相同的。

7) 本规范采用的仓壁裂缝控制验算方法的特点

① 本规范采用《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算仓壁裂缝宽度。该规范在表 3.3.4 裂缝宽度限值中规定：“对于烟囱、筒仓和处于液体压力下的结构构件，其裂缝控制要求应符合专门标准的要求”。

本规范规定粮食筒仓仓壁在工作压力下，当仓壁水平环筋的混凝土保护层厚度为 $25 \text{ mm} \sim 50 \text{ mm}$ 时，仓壁裂缝宽度限值为 $0.20 \text{ mm} \sim 0.25 \text{ mm}$ 。此时，仓壁裂缝宽度验算控制的标准与《钢筋混凝土结构设计规范》TJ 10—74 基本一致，可满足经济、安全的要求。

仓壁裂缝宽度限值也没有超出美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313—97 对仓壁裂缝宽度限值

为 0.25 mm 的规定。

② 与《钢筋混凝土筒仓设计规范》GB 50077—2003 基本保持一致。该规范规定仓壁裂缝宽度的计算应按《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算。并规定“对于干旱少雨、年降水量少于蒸发量及相对湿度小于 10% 的地区,贮料含水量小于 10% 的筒仓最大裂缝宽度 W_{\max} 允许值为 0.3 mm。其他条件的筒仓,最大裂缝宽度 W_{\max} 的允许值为 0.2 mm”。

③ 以下几个工程实例的裂缝宽度验算比较可以作为本规范仓壁裂缝宽度验算方法的验证。

6.1.2 关于筒仓混凝土强度等级,以往的筒仓标准均规定为不低于 C20。近年来粮食立筒库的工程一般采用的多为 C30。《钢筋混凝土筒仓设计规范》GB 50077—2003 规定为 C30,美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313—97 规定为 C28。因此本规范规定为 C30。这样更有利于保证施工进度和质量,有利于提高仓壁混凝土的品质。关于仓壁环筋混凝土保护层:美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313—97 规定:“在钢筋搭接处的混凝土保护层不小于 25 mm,并且从水平筋中心到仓壁边的水平距离不小于钢筋直径的 2.5 倍。”有关的实验证明:钢筋搭接接头的强度是钢筋间距、混凝土保护层厚度、钢筋搭接长度、钢筋直径、钢筋及混凝土强度的函数。对于建在沿海地区的粮食筒仓,宜具有更大的混凝土保护层厚度。

6.1.3 仓壁厚度确定一般采用经验公式。多年来筒仓建设实践证明,该经验方式是成熟可靠的。有经验的工程师还应针对工程的具体情况进行适当的调整,使仓壁厚度更趋合理。大直径筒仓的仓壁厚度应根据结构计算和配筋情况确定。

6.1.4~6.1.7 本条为设计筒仓应考虑荷载类型。其中,对于温度应力,粮食筒仓一般不需考虑。当需要考虑时,可参照有关资料进行。

在美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313—97 中规定:

仓壁单位长度的温差弯矩标准值 M_t 为:

$$M_t = E_c h^2 a_c \Delta T / 12(1 - \nu)$$

式中:

M_t ——因温差产生的弯矩标准值;

E_c ——混凝土强性模量;

h ——仓壁厚度;

ΔT ——仓壁内外温差,45℃ 以下的温差可忽略不计;

ν ——泊松比;

a_c ——混凝土线膨胀系数。

而在《钢筋混凝土筒仓设计规范》GB 50077—2003 中,是根据有关文献资料给出因仓壁内外温差引起仓壁收缩的水平压力 P_{te} 为:

$$P_{te} = \frac{a_c E_m \Delta T}{(n r / t) + 1 - \nu_m}$$

各符号的意义见《钢筋混凝土筒仓设计规范》GB 50077—2003 中 4.2.12。

对于粮食筒仓(含储存经缓苏处理后的烘干粮筒仓):在考虑了水平压力修正系数后,一般不另外再考虑温度应力。

6.1.8 材料强度计算指标与《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《砌体结构设计规范》GB 50003 一致。对于砌块筒仓,当采用在仓壁砌块中,配置水平筋的方案时,宜采用 HPB235(Q235)级钢筋,且计算强度应降低使用,这是考虑到砌块中的钢筋锚固效果较差,不能使受力钢筋充分发挥作用。HPB235(Q235)级钢筋抗拉设计强度 $f_y = 190 \text{ N/mm}^2$ 是根据《砌体结构设计规范》原规范确定的,也符合现行《砌体结构设计规范》GB 50003 的要求。

表 6.1.1-1 $d_n = 12\text{ m}$ 按 TJ 10—74, HRB335 级钢筋, C30 混凝土

区段	1	2	3	4	5	6	7	8	9
钢筋直径 d/cm	1.2	1.2	1.2	1.4	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6
配筋面积 A_g/cm^2	11.3	15.07	22.6	30.8	30.8	33.5	40.2	40.2	40.2
轴拉力标准值 N/t	10.51	23.41	37.84	45.89	52.38	57.60	61.80	65.19	67.92
钢筋应力 $\sigma_{sk} = \frac{N}{A_s} / (\text{kg}/\text{cm}^2)$	930.398	1553.3	1674.2	1489.951	1700.51	1719.3	1537.41	1621.663	1689.5115
截面面积 A/cm^2	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
混凝土截面面积 A_b/cm^2	2188.7	2185	2177	2169.2	2169.2	2166.5	2159.8	2159.8	2159.8
C30 $R_t = 21\text{ kg}/\text{cm}^2$	21	21	21	21	21	21	21	21	21
$\mu = A_g/A$	0.0051	0.007	0.01	0.014	0.014	0.0152	0.0183	0.01827	0.018273
$E_g / (\text{kg}/\text{cm}^2)$	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000
$I_t = (7 + 0.16 \times \frac{d}{\mu} \nu)$	31.07	24.52	17.98	16.10	16.10	16.67	14.71	14.71	14.71
$\psi = 1 - 0.56 \frac{A_n \cdot R_t}{N}$	(-1.448)	(-0.098)	0.323	0.444	0.513	0.558	0.589	0.610	0.626
当 $\psi < 0.3$ 时取 0.3	0.300	0.300							
$\delta_{\text{max}} = 2.2\psi \frac{\sigma_g}{E_g} I_t$	0.0095	0.0126	0.0107	0.0117	0.0154	0.0176	0.0147	0.0160	0.0171

表 6.1.1-2 $d_n = 12\text{ m}$ 按 GB 50010—2002, HRB335 级钢筋, C30 混凝土, 混凝土保护层 30 mm

区段	1	2	3	4	5	6	7	8	9
钢筋直径 d_{eq}/mm	12	12	12	14	14	16	16	16	16
配筋面积 A_s/mm^2	1130	1507	2260	3080	3080	3350	4020	4020	4020
轴拉力标准值 N	105135	234088	378374	458905	523757	575982	618040	651909	679184
钢筋应力 $\sigma_{sk} = \frac{N}{A_s} / (\text{N}/\text{mm}^2)$	93.040	155.333	167.42	149.00	170.05	171.93	153.7	162.166	168.951
截面面积 A_{te}/mm^2	220000	220000	220000	220000	220000	220000	220000	220000	220000
混凝土保护层厚度 c/mm	30	30	30	30	30	30	30	30	30

表 6.1.1-2(续)

区段	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C30 $f_{ik}=2.01 \text{ N/mm}^2$	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01
$\rho_{te} = A_s/A_{te}$	(0.005 136)	(0.00 685)	0.010 272 7	0.014	0.014	0.015 227	0.018 273	0.018 272 73	0.018 272 73
$\rho_{te} < 0.01$ 取 0.01	0.01	0.01							
$E_s/(N/mm^2)$	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000
α_{cr}	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
$\psi = 1.1 - 0.65 \frac{f_{ik}}{\rho_{te} \sigma_{sk}}$	(-0.304)	(0.259)	(0.340)	0.474	0.551	0.601	0.635	0.659	0.677
当 $\psi < 0.4$ 时取 0.4	0.400	0.400	0.400						
$\omega_{max} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} \left(1.9c + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}} \right)$	0.076 9	0.128 3	0.136 0	0.130 5	0.173 4	0.196 8	0.167 4	0.183 3	0.196 1
与 TJ 10-74 比较的增量	-19%	1.80%	27%	11.50%	12.60%	11.80%	13.90%	14.60%	14.70%

表 6.1.1-3 $d_n = 12 \text{ m}$ 按 GB 50010—2002, HRB335 级钢筋, C30 混凝土, 混凝土保护层 35 mm

区段	1	2	3	4	5	6	7	8	9
钢筋直径 d_{eq}/mm	12	12	12	14	14	16	16	16	16
配筋面积 A_s/mm^2	1 130	1 507	2 260	3 080	3 080	3 350	4 020	4 020	4 020
轴拉力标准值/N	105 135	234 088	378 374	458 905	523 757	575 982	618 040	651 909	679 184
钢筋应力 $\sigma_{sk} = \frac{N}{A_s}/(N/mm^2)$	93.040	155.333	167.42	149.00	170.05	171.93	153.7	162.166	168.951
截面面积 A_{te}/mm^2	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000
混凝土保护层厚度 c/mm	35	35	35	35	35	35	35	35	35
C30 $f_{ik}=2.01 \text{ N/mm}^2$	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01
$\rho_{te} = A_s/A_{te}$	(0.005 136)	(0.006 85)	0.010 272 7	0.014	0.014	0.015 227	0.018 273	0.018 272 73	0.018 272 73
$\rho_{te} < 0.01$ 取 0.01	0.01	0.01							
$E_s/(N/mm^2)$	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000
α_{cr}	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70

表 6. 1. 1-3(续)

区段	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\psi = 1.1 - 0.65 \frac{f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{sk}}$	(-0.304)	(0.259)	(0.340)	0.474	0.551	0.601	0.635	0.639	0.677
当 $\psi < 0.4$ 时取 0.4	0.400	0.400	0.400						
$\omega_{max} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} \left(1.9c + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}} \right)$	0.081 6	0.136 3	0.144 6	0.139 6	0.185 4	0.210 0	0.179 9	0.197 0	0.210 8
与 TJ 10-74 比较的增量	-14%	8.20%	35%	19.30%	20.40%	19.30%	22.40%	23%	23.30%

表 6. 1. 1-4 $d_n = 12$ m 按 GB 50010—2002, HRB335 级钢筋, C30 混凝土, 混凝土保护层 40 mm

区段	1	2	3	4	5	6	7	8	9
钢筋直径 d_{eq}/mm	12	12	12	14	14	16	16	16	16
配筋面积 A_s/mm^2	1 130	1 507	2 260	3 080	3 080	3 350	4 020	4 020	4 020
轴拉力标准值/N	105 135	234 088	378 374	458 905	523 757	575 982	618 040	651 909	679 184
钢筋应力 $\sigma_{sk} = \frac{N}{A_s} / (\text{N}/\text{mm}^2)$	93.040	155.333	167.42	149.00	170.05	171.93	153.7	162.166	168.951
截面面积 A_{te}/mm^2	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000
混凝土保护层厚度 c/mm	40	40	40	40	40	40	40	40	40
C30 $f_{tk} = 2.01 \text{ N}/\text{mm}^2$	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01
$\rho_{te} = A_s/A_{te}$	(0.005 136)	(0.006 85)	0.010 272 7	0.014	0.014	0.015 227	0.018 273	0.018 272 73	0.018 272 73
$\rho_{te} < 0.01$ 取 0.01	0.01	0.01							
E_s	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000
α_{cr}	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
$\psi = 1.1 - 0.65 \frac{f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{sk}}$	(-0.304)	(0.259)	(0.340)	0.474	0.551	0.601	0.635	0.659	0.677
当 $\psi < 0.4$ 时取 0.4	0.400	0.400	0.400						
$\omega_{max} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} \left(1.9c + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}} \right)$	0.086 4	0.144 3	0.153 2	0.148 6	0.197 4	0.223 3	0.192 5	0.210 7	0.225 5
与 TJ 10-74 比较的增量	-9%	14.50%	43.00%	27.00%	28.20%	26.90%	30.10%	31.70%	31.90%

表 6.1.1-5 $d_n = 12\text{ m}$ 按 GB 50010—2002, HRB335 级钢筋, C30 混凝土, 混凝土保护层 50 mm

区段	1	2	3	4	5	6	7	8	9
钢筋直径 d_{eq}/mm	12	12	12	14	14	16	16	16	16
配筋面积 A_s/mm^2	1130	1 507	2 260	3 080	3 080	3 350	4 020	4 020	4 020
轴拉力标准值/N	105 135	234 088	378 374	458 905	523 757	575 982	618 040	651 909	679 184
钢筋应力 $\sigma_{sk} = \frac{N}{A_s} / (\text{N}/\text{mm}^2)$	93.040	155.333	167.42	149.00	170.05	171.93	153.7	162.166	168.951
截面面积 A_{te}/mm^2	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000	220 000
混凝土保护层厚度 c/mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50
C30 $f_{tk} = 2.01\text{ N}/\text{mm}^2$	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01
$\rho_{te} = A_s/A_{te}$	(0.005 136)	(0.006 85)	0.010 272 7	0.014	0.014	0.015 227	0.018 273	0.018 272 73	0.018 272 73
$\rho_{te} < 0.01$ 取 0.01	0.01	0.01							
E_s	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000
α_{cr}	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
$\psi = 1.1 - 0.65 \frac{f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{sk}}$	(-0.304)	(0.259)	(0.340)	0.474	0.551	0.601	0.635	0.659	0.677
当 $\psi < 0.4$ 时取 0.4	0.400	0.400	0.400						
$\omega_{max} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} (1.9c + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}})$	0.096 0	0.160 2	0.170 4	0.166 7	0.221 4	0.249 8	0.217 5	0.238 2	0.254 8
与 TJ 10 74 比较的增量	0.0%	27.14%	59.25%	42.48%	43.77%	41.93%	48.00%	48.90%	49.00%

表 6.1.1-6 $d_n = 15\text{ m}$ 按 TJ 10—74, HRB335 级钢筋, C35 混凝土

区段	1	2	3	4	5	6	7
钢筋直径 d/cm	1.6	1.6	1.8	2	2	2	2
配筋面积 A_g/cm^2	26.8	40.2	50.8	57.09	62.8	69.78	69.78
轴拉力标准值 N/t	26.04	37.37	59.12	71.70	81.84	96.57	106.12
钢筋应力 $\sigma_{sk} = \frac{N}{A_s} / (\text{kg}/\text{cm}^2)$	971.511 6	929.527 59	1 163.799	1 255.979 85	1 303.136 5	1 383.902	1 520.815

表 6.1.1-6(续)

区段	1	2	3	4	5	6	7
截面面积 A/cm^2	2 600	2 600	2 600	2 600	2 600	2 600	2 600
混凝土截面面积 A_h/cm^2	2 573.2	2 559.8	2 549.2	2 542.91	2 537.2	2 530.22	2 530.22
C35 $R_t=23.25 \text{ kg/cm}^2$	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25
$\mu = A_g/A$	0.010 308	0.015 461 5	0.019 538 5	0.021 957 69	0.024 153 8	0.026 838	0.026 838
E_g	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000
$L_t = (7 + 0.16 \times \frac{d}{\mu})^0$	22.29	16.49	15.22	15.10	14.17	13.25	13.25
$\phi = 1 - 0.56 \frac{A_h \cdot R_t}{N}$	(-0.287)	(0.108)	0.439	0.538	0.596	0.659	0.690
当 $\phi < 0.3$ 时取 0.3	0.300	0.300					
$\delta_{\text{max}} = 2.2\phi \frac{\sigma_s}{F_k} L_t$	0.007 1	0.005 1	0.008 5	0.011 2	0.012 1	0.013 3	0.015 3

表 6.1.1-7 $d_n = 15 \text{ m}$ 按 GB 50010—2002, HRB335 级钢筋, C35 混凝土, 混凝土保护层 40 mm

区段	1	2	3	4	5	6	7
钢筋直径 d_{eq}/mm	16	16	18	20	20	20	20
配筋面积 A_s/mm^2	2 680	4 020	5 080	5 709	6 280	6 978	6 978
轴拉力标准值/N	260 365.1	373 670	591 210	717 039	818 370	965 687	1 061 224.43
钢筋应力 $\sigma_s = \frac{N}{A_s} / (\text{N}/\text{mm}^2)$	97.151	92.953	116.38	125.598	130.31	138.390	152.081
截面面积 A_{ic}/mm^2	260 000	260 000	260 000	260 000	260 000	260 000	260 000
混凝土保护层厚度 c/mm	40	40	40	40	40	40	40
C35 $f_{tk} = 2.20 \text{ N}/\text{mm}^2$	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
$\rho_{ic} = A_s/A_{ic}$	0.010 307 692	0.015 461 5	0.019 538	0.021 957 7	0.024 154	0.026 838 462	0.026 838 462
E_s	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000
α_{cr}	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70

表 6.1.1-7(续)

区段	1	2	3	4	5	6	7
$\psi = 1.1 - 0.65 \frac{f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{sk}}$	(-0.328)	(0.105)	0.471	0.581	0.646	0.715	0.750
当 $\psi < 0.4$ 时取 0.4	0.400	0.400					
$\omega_{max} = \alpha_c \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} (1.9c + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}})$	0.105 0	0.079 7	0.110 8	0.146 8	0.161 6	0.181 2	0.208 7
与 TJ 10-74 比较的增量	47.88%	56.27%	30.35%	31.07%	33.55%	36.24%	36.40%

表 6.1.1-8 $d_n = 32 \text{ m}$ 按 TJ 10-74, HRB335 级钢筋, C35 混凝土

区段	1	2	3	4	5	6	7	8	9
配筋	$\Phi 18@200$	$\Phi 25@200$	$\Phi 25@160$	$\Phi 25@130$	$\Phi 25@110$	$\Phi 25@90$	$\Phi 25@80$	$\Phi 25@75$	$\Phi 25@70$
钢筋直径/cm	1.8	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
配筋面积/cm ²	25.4	49.1	61.38	75.54	89.27	109.1	122.75	130.93	140.29
轴拉力标准值/t	32.86	62.55	89.38	128.84	162.73	180.98	219.00	238.64	256.37
钢筋应力 $\sigma_{sk} = \frac{N}{A_s}$ /(kg/cm ²)	1 293.808	1 274.003 8	1 456.153 7	1 705.532 62	1 822.864 9	1 658.87	1 784.15	1 822.622	1 827.447 552
截面面积 A/cm ²	4 050	4 050	4 050	4 050	4 050	4 050	4 050	4 050	4 050
混凝土截面面积 A _h /cm ²	4 024.6	4 000.9	3 988.62	3 974.46	3 960.73	3 940.9	3 927.25	3 919.07	3 909.71
C35 $R_t = 23.25 \text{ kg/cm}^2$	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25	23.25
$\mu = A_s/A$	0.006 272	0.012 123 5	0.015 155 6	0.018 651 85	0.022 042	0.026 938	0.030 309	0.032 328	0.034 639 506
E_s	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 000 000
$I_{t1} = (7 + 0.16 \times \frac{d}{\mu}) \nu$	37.04	28.00	23.38	19.91	17.60	15.29	14.14	13.56	12.98
$\psi = 1 - 0.56 \frac{A_h \cdot R_t}{N}$	(-0.595)	(0.167)	0.419	0.598	0.683	0.716	0.767	0.786	0.801
当 $\psi < 0.3$ 时取 0.3	0.300	0.300							
$\delta_{fmax} = 2.2 \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} I_{t1}$	0.015 8	0.011 8	0.015 7	0.022 4	0.024 1	0.020 0	0.021 3	0.021 4	0.020 9

表 6.1.1-9 $d_n=32\text{ m}$ 按 GB 50010—2002, HRB335 级钢筋, C35 混凝土, 混凝土保护层 50 mm

区段	1	2	3	4	5	6	7	8	9
配筋	$\Phi 18@200$	$\Phi 25@200$	$\Phi 25@160$	$\Phi 25@130$	$\Phi 25@110$	$\Phi 25@90$	$\Phi 25@80$	$\Phi 25@75$	$\Phi 25@70$
钢筋直径 d_{es}/mm	18	25	25	25	25	25	25	25	25
配筋面积 A_s/mm^2	2 540	4 910	6 138	7 554	8 927	10 910	12 275	13 093	14 029
轴拉力标准值/N	328 627.28	625 536	893 787	1 288 359	1 627 272	1 809 827	2 190 044	2 386 359	2 563 726
钢筋应力 $\sigma_{sk} = \frac{N}{A_s} / (\text{kg}/\text{cm}^2)$	129.380 82	127.400 4	145.615 4	170.553 26	182.286 49	165.886 95	178.415	182.262 22	182.744 76
截面面积 A_c	405 000	405 000	405 000	405 000	405 000	405 000	405 000	405 000	405 000
混凝土保护层厚度 c/mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50
C35 $f_{ik}=2.2\text{ N}/\text{mm}^2$	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
$\rho_{te} = A_{te}/A_s$	(0.006 271 6)	0.012 123	0.015 156	0.018 651 9	0.022 042	0.026 938 3	0.030 309	0.032 328 4	0.034 639 5
$\rho_{te} < 0.01$ 取 0.01	0.01								
E_s	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000
α_{cr}	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
$\psi = 1.1 - 0.65 \frac{f_{ik}}{\rho_{te} \sigma_{sk}}$	(-0.005)	(0.174)	0.452	0.650	0.744	0.780	0.836	0.857	0.874
当 $\psi < 0.4$ 时取 0.4	0.400	0.400							
$\omega_{\max} = \alpha_{cr} \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} \left(1.9c + 0.08 \frac{d_{es}}{\rho_{te}} \right)$	0.167 0	0.178 8	0.201 7	0.302 9	0.340 1	0.295 6	0.324 0	0.330 9	0.329 4
与 TJ 10—74 比较的增量	5.7%	51.52%	28.47%	35.22%	41.12%	47.80%	52.11%	54.63%	57.61%

6.2 荷载计算和荷载效应组合

6.2.1 对于储粮压力,目前各国规范均采用杨森公式计算。本规范主要对以下几方面进行调整。

1 仓壁计算截面以上每单位周长的摩擦力计算公式,原美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313—91 中为:

$$P_f = \rho(\gamma_s - 0.8P_{v,k})$$

而在修订后的《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313—97 中将该公式改为:

$$P_f = \rho(\gamma_s - P_{v,k})$$

即取消系数 0.8,本规范采用《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313—97 规定。这也与修订后的《钢筋混凝土筒仓设计规范》GB 50077 一致。

2 对筒仓水平压力修正系数进行适当调整

我国筒仓水平压力修正系数的取值来源于原苏联筒仓设计规范《散粒体筒仓设计技术条件》TY 124—56。筒仓水平压力修正系数沿结构计算高度分为上部 1/3 和下部 2/3 两部分,水平压力修正系数分别采用 1 和 2。后来,又参照有关国外标准将上部 1/3 的水平压力系数 1 改为 1 到 2 之间的斜线过渡。《钢筋混凝土筒仓设计规范》GBJ 77—85 和《粮食立筒库设计规范》SBJ 10—97 都是按此采用的。根据粮食筒仓多年的设计实践,本规范将上部 1/3 部分的水平压力修正系数从 1 到 2 的斜线过渡改成阶梯形,将上部 $d_n \text{tg}\phi$ 部分设为 1.5,其余均按 2 取值。这样做有以下优点:

1) 与结构计算过程更加符合,使上部水平压力修正系数取值更加简捷、明确。

2) $d_n \text{tg}\phi$ 范围为不产生超压的范围,水平压力修正系数取为 1.5,其余均取 2。这样做既避免了装粮高度超过 30 m 时,上部超过 10 m 的仓壁取值可能低于 2 的缺陷,其设计思路又与美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313—97 的思路相符合。因该规范中已将筒仓的水平压力修正系数统一取值为 1.5。

6.2.2 测温电缆荷载仍采用原规范中公式。

$$T = K_{ks} \pi d_s \rho u_1 (s\gamma - P_{v,k}) / u$$

K_{ks} 的取值为 2。

6.2.3 地震荷载

1 计算的主要依据

1) 美国《钢筋混凝土筒仓规范》ACI 313—97 规定“对储料有效重量应取实际重量的 80%,有效重量的重心与实际储粮体积的重心应一致”;

2) 我国《钢筋混凝土筒仓设计规范》GB 50077 也有类似的规定;

3) 《构筑物抗震设计规范》GB 50191;

4) 《建筑物抗震设计规范》GB 50011。

2 筒仓仓壁上下质量及刚度均匀分布,又具有很大的抗侧移刚度,并且在装满粮食的情况下,实际的刚度要比仅考虑仓壁计算的刚度大得多。因此,地震作用中可把筒仓仓壁近似看作刚度无穷大,不考虑地震过程中储粮对仓壁的局部作用;按《建筑抗震设计规范》GB 50011,采用底部剪力法计算筒仓的水平地震作用,并且比较偏于安全的直接引用《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定的水平地震作用影响系数最大值(装满粮食的筒仓就象装满液体的容器一样,应该具有较小的地震作用)。

3 对于筒仓抗震,本规范仅概括的对粮食筒仓抗震进行说明和强调一些自身特点,具体的计算和构造仍应符合《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的规定。

6.2.4 荷载效应组合

1 按承载能力极限状态设计时,对于仓壁主要验算在粮食荷载作用下仓壁截面水平抗拉强度以及在竖向荷载作用下的抗压强度。

2 依据《建筑抗震设计规范》GB 50011“结构构件的地震作用效应和其他荷载效应的基本组合按下式计算:

$$S = \gamma_G S_{CE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \phi_w \gamma_w S_{wk}$$

3 按正常使用极限状态设计时,对于仓壁主要验算仓壁裂缝开展宽度是否满足裂缝宽度限值的要求。

4 筒仓是以承受粮食荷载为主的特种结构。粮食荷载同一般可变荷载相比,数值较大,但变异系数一般较小。长期储粮时,其荷载性质更接近于永久荷载。粮食荷载分项系数仍按《粮食立筒库设计规范》SBJ 10—97 取值。温度作用分项系数根据美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》与永久荷载相同,其他荷载的分项系数仍按《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定取用。

当有风荷载参与组合时,粮食荷载是荷载效应最大的一个可变荷载,根据《建筑结构荷载规范》GB 50009,其组合系数取为 1.0,而其他可变荷载,按荷载组合的原则取组合系数为 0.6;当地震参与组合时,考虑地震时满仓概率较小以及地震影响系数取值偏于安全等因素,取粮食荷载的组合系数为 0.9,其他可变荷载的组合系数按《建筑抗震设计规范》GB 50011 取用。

5 可变荷载组合系数

系根据《建筑抗震设计规范》GB 50011 有关重力荷载代表值和可变荷载组合值系数的规定。

6.3 仓壁设计

对于 6.3.1~6.3.5 条

1 建国以来,国家规范进行几次大的修订,从多系数法、安全系数法到目前正在采用的以概率论为基础的极限状态设计方法(采用分项系数设计表达式)等。这样,粮食行业标准也相应跟着变化,以便与国家规范保持一致。

粮食筒仓作为特种结构,由于我国缺乏更多科学实验和研究成果。设计人员最初基本上是照搬原苏联的《散粒体筒仓设计规范》TY 124—56;以后逐渐总结经验组织工程技术人员参照原苏联标准编制了《贮仓结构设计手册》;直至 1986 年制定了我国《钢筋混凝土筒仓设计规范》GBJ 77—85。《粮食立筒库设计规范》SBJ 10—97 总结了我国建国以来粮食筒仓建设经验,更多吸取了美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313 中合理部分,并利用校准法,采用分项系数设计表达式,与国家标准保持一致。本规范是在总结近年来粮食立筒库建设经验的基础上对原规范进行修订的。力图反映近年来我国粮食立筒库建设的最新技术成就。

2 《钢筋混凝土结构设计规范》TJ 10—74 明确规定了“烟囱、用以贮存松散体的筒仓”的裂缝宽度允许值及裂缝宽度验算方法。多年来设计人员均以此作为筒仓仓壁裂缝宽度验算依据,目前看来该计算方法对于粮食筒仓较为经济合理。

现行《混凝土结构设计规范》GB 50010 对裂缝宽度验算进行了较大的改动,采用了新的计算公式,并将对筒仓的仓壁裂缝宽度规定纳入专用规范。本规范采用校准法,采用《混凝土结构设计规范》GB 50010 的公式,适当调整裂缝宽度限值,使计算结果与《钢筋混凝土结构设计规范》TJ 10—74 的计算结果一致,作为该特种结构仓壁裂缝宽度验算的依据。

6.3.6 偏心卸料

储粮通过偏心卸粮孔卸料,能引起侧压力的不均匀变化,从而使仓壁产生弯矩。即使进粮孔、卸粮孔在仓的中心位置,如果卸粮时在贮料顶面出现不对称状态,则仓壁周边仍会有不均匀的压力,由此产生水平弯矩和垂直弯矩。一些资料证明,计算这些弯矩是相当困难的,然而它是存在的。因此仓壁应具有足够抗弯刚度和强度,抵抗因不均匀压力引起的弯矩。筒仓设计的工程师应充分考虑偏心卸料对压力的影响。

1 近年来,偏心卸料在粮食筒仓应用较多。主要是在钢筋混凝土筒仓仓群的一侧或两侧设置汽车装粮孔。

各国规范对偏心卸料产生的水平压力增量采用不同的方法,并且一般是在规范条文说明里给出建议的公式。例如,美国在《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313—83 中,给出以下公式:

$$\Delta P_h = 0.25 \frac{e_0}{r} P_{h,k} \frac{s}{h_n}$$

并规定底部最大设计压力增加至少是静态水平压力的 25%，且从锥斗顶部至仓顶按直线减少，此增量不乘以超压系数。如果出粮口的偏心距小于半径 r ，侧压力增加至少是：

$$\Delta P_h = 0.25 \frac{e_0}{r} P_{h,k}$$

但该规范在以后的修订中，在 ACI 313—91 及 ACI 313—97 中再没有出现建议的偏心卸料计算公式。而仅给出相关的文献。我们只能认为，计算公式并不成熟。

2 在《粮食立筒库设计规范》SBJ 10—97 中，是参照了相关国外标准。采用以下公式控制偏心卸料的压力变化：

1) 假设偏心卸料口中心对筒仓中心的偏心为 e_0 ，筒仓内径为 d_n ，中心卸粮时的动态水平压力标准值为 P_h ，则偏心卸粮时水平压力增量的标准值表达式为：

$$\Delta P_h = P_h \left(\frac{e_0}{d_n} - 0.1 \right) \geq 0$$

显然，当 $\frac{e_0}{d_n} \leq 0.1$ 时，可不考虑偏心卸料的影响；

2) 水平压力增量，从锥斗顶面至仓顶按直线递减为零；

3) 假设水平压力增量，沿筒仓周边均匀分布，这样很容易求得圆筒仓仓壁环拉力增量为：

$$\Delta T = 1/2 d_n \cdot \Delta P_h$$

4) 考虑弯矩影响，筒仓下部垂直钢筋宜适当加强，这样也有利于过大水平方向弯矩沿垂直方向分布。

5) 为节约投资，应尽量减小卸粮孔的偏心率。

国内几个符合本规范计算要求的大型粮食筒仓，一般 $\frac{e_0}{d_n}$ 的值在 0.2~0.4 之间，使用正常。

3 《钢筋混凝土筒仓设计规范》GB 50077—2003 根据有关文献，采用如下公式计算圆筒仓仓壁偏心卸料压力：

$$P_{ec} = E_c P_h$$

$$E_c = (d_n + 4e)/(d_n + 2e)$$

式中符号的意义见《钢筋混凝土筒仓设计规范》GB 50077—2003。

4 由于偏心卸料压力计算公式不成熟，本规范未将其纳入正式条文。

6.3.7 一般情况下，群仓仓壁按单仓计算。但近年来各国筒仓规范均有“应考虑仓格满载和卸空时的不利组合及仓壁相互连接的连续性的影响”的条文。但美国、日本等国的筒仓设计规范中未给出相应的计算公式。

《粮食立筒库设计规范》SBJ 10—97 和最近修订的《钢筋混凝土筒仓设计规范》GB 50077 中均参照有关资料采用下面的方法进行计算。

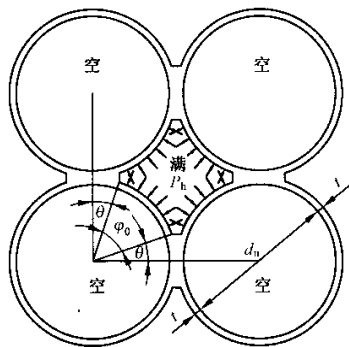


图 6.3.7 星仓满载、大仓空载平面

将星仓看作由四个拱组成,其拱顶、拱脚弯矩分别按下式计算:

$$M_{拱顶} = \frac{P_h}{4}(d_n + t)(d_n + 2t)\sin\beta\left(1 - \frac{\sin\beta}{\beta}\right) \dots\dots\dots(6.3.7-1)$$

$$M_{拱脚} = \frac{P_h}{4}(d_n + t)(d_n + 2t)\sin\beta\left(\cos\beta - \frac{\sin\beta}{\beta}\right) \dots\dots\dots(6.3.7-2)$$

式中: $\beta = \frac{\varphi_0}{2}$ 。

可根据以上弯矩按双筋断面验算仓壁截面强度。

粮食筒仓以群仓为主,以往筒仓直径也较小,大部分在 10 m 以下,还未发现过星仓破坏事故。但随着筒仓直径越建越大,装粮高度也在提高的情况下,对星仓的验算就显得必要了。

随着科学的进步,计算机处理数据能力不断加强。日本、美国以及我国已开始用大型力学程序来处理这些计算课题。例如 ANSYS、DDJ-W 以及 SAP84 等都是可采用的大型力学空间分析程序。

6.4 仓底设计

本节结合粮食立筒库的特点,介绍了几种常用的仓底结构形式的设计方法。如果对仓壁的水平压力 P_h 和对仓底的垂直压力 P_v 已确定,不难采用一般静力学的公式求得仓底的内力,并结合现行规范对结构构件的截面进行选择。

6.5 仓下支承结构

6.5.2 仓底和支承筒壁非整体连接的形式在粮食筒仓的设计中非常多。这种方案给施工带来便利,可大大缩短施工工期。

6.5.5 采用柱子支承的矩形筒仓在粮食立筒库设计中非常普遍。可采用大型力学分析程序对仓体及支承体系进行空间有限元分析。也可采用近似方法对支承体系进行结构受力分析。

6.6 基础设计

6.6.3 应考虑粮食荷载不利组合对地基的影响,控制沉降量。根据近年来建成的一批粮食筒仓沉降资料,最大实测沉降量一般在 200 mm 以内,使用正常。当最大实测沉降量超出 200 mm 后,较容易产生过大沉降差异,开始在筒下层门窗洞口产生细小裂缝。

由于初始装粮压仓会影响建设单位正常经营,所以《钢筋混凝土筒仓设计规范》GB 50077 以强制性条文规定不应采用初始装粮压仓的方法予压地基。但由于粮食筒仓多为群仓形式,且筒仓粮食荷载占总荷载 50% 以上,工程实践证明:当筒仓建设在可压缩地基上时,很难将地基处理到既能满足偏载装粮又能满足初次装粮就能适应加载速率较快的情况。在这种情况下应按本规范附录 A 的要求进行初始装粮。

6.8 筒仓抗震设计

主要参照《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《构筑物抗震设计规范》GB 50191 的一些规定,结合粮食筒仓的特点编制。

6.9 构造规定

6.9.1 仓壁配筋细则

本条主要是针对仓壁配筋的构造细则。这些构造指南是以往工程的经验总结。其做法与原规范和《钢筋混凝土筒仓设计规范》GB 50077 基本一致,本次修订还参照了美国《钢筋混凝土筒仓设计规范》ACI 313—97 的相关规定。这些构造要求并不是强制性的。只是示范,筒仓设计的工程师应根据工程具体情况编制施工图。这些构造要求可从以下几方面理解。

1) 任何形状的筒仓(圆仓、星仓、方仓等),仓壁都可能出现弯矩,这是因为卸料时,仓壁四周压力分布不均匀,特别是在偏心卸料时,更是如此。此外,温差及环向钢筋配置不对称也会引起这种弯矩。

2) 当群仓中某些仓格为满仓,某些仓格为空仓时,将会使群仓产生互相分离的力。热膨胀和地震作用以及地基沉降不均匀都会引起这种力。

3) 水平环拉力不会在仓壁底部突然消失,对于仓底和筒壁采用非整体连接的方案,参照美国 ACI 313—97 标准,将原规范中的 6 倍仓壁厚度修改为 4 倍。

4) 仓壁中配置垂直钢筋具有重要作用,可以将不均匀的侧压力沿竖向扩散至上下水平环筋上。此外,这种钢筋还用于承受以下任何原因产生的垂直拉力。

① 由于仓壁环向变形受到约束而产生竖向弯矩;

② 由于偏心荷载等而产生竖向弯矩;

③ 仓壁内外表面或群仓内外仓之间的温差使仓壁产生垂直拉力等。

5) 外仓壁通常经受较大范围的温度变化,因此对外仓壁规定的垂直钢筋最小配筋率较大。

6) 滑模施工的圆筒仓,仓壁环筋容易沿环向移动,致使钢筋一头搭接过多,而另一头搭接过少,因此规定环向钢筋增加搭接长度。然而对矩形、多边形仓,因水平钢筋的弯折使它不容易沿水平方向移动,从而可以保证搭接长度。当直筋和弯筋搭接时,直筋容易走动,因此这一类的钢筋也应增加搭接长度。

7) 在仓壁温度较低一侧,将出现水平和垂直温度拉应力。在温度应力和贮料引起应力相迭加的部位应增加钢筋用量。

8) 在接头处很可能出现锚固不足,接头错开可增大接头的平均间距,如接头过近,可能引起当一个接头失效而连接引起另一个接头失效。

9) 当在仓壁开设洞口时,其强度不得在洞口处减弱,通常认为,洞口两侧附近会产生应力集中,配筋量应相应加大 20%。

10) 对于直径大、装粮高度高的筒仓,宜考虑仓壁、筒壁及锥斗连接部位的嵌固影响。

11) 仓顶板对于仓壁顶端有约束作用,加之仓顶温度应力的影响,仓壁顶部受力较为复杂,所以仓壁顶部应设置构造暗梁。

6.9.2 仓底

1 仓底从材料来分有钢筋混凝土仓底和钢板仓底,从形状来分有锥斗的和平板填坡加挂钢半斗仓底。

从仓底与仓壁关系来分,有与仓壁整体连接和与仓壁非整体连接的仓底。

2 全钢锥斗有施工方便,缩短工期的优点,锥斗与仓壁分离做法可使施工单位合理安排工序,从而能加快施工进度。

3 在进行仓底内力计算时,在地区应考虑地震作用对仓底的影响。美国 ACI 313—97 中对仓底竖向压力修正系数 C_v 采用 1.35。

4 当采用锥斗时,锥斗与仓壁连接处应设置环梁。环梁高度采用 $0.08d_n \sim 0.1d_n$ 。

当环梁下为柱支承时,环梁配筋应按计算确定,其配筋率不宜小于 0.8%;当环梁下为筒壁支承时,其配筋不宜小于环梁截面积的 0.4%。

6.9.3 仓下层支承结构

1 在长期压力荷载作用下,钢筋混凝土柱徐变,造成混凝土应力降低,钢筋负担额外荷载。当卸载时,混凝土又可能受拉,造成水平裂缝,这种情况在柱子配筋率高的情况下更为明显。这种情况很少会在普通建筑结构中发生,因为其静载总要大于垂直活荷载,也不会出现极端卸载情况。但在筒仓中,粮食重量占总重量的 50% 以上,而且可全部卸载。在装粮、卸粮的频繁作业条件下,配筋量大的筒仓支柱就会出现严重的水平裂缝。如果柱中钢筋与混凝土有较强的粘结力时,还将伴随着竖向裂缝。在这种情况下,可以采取提高混凝土强度等级,加大柱子断面,使柱子全断面的钢筋截面与柱子面积之比在

2%以下。门洞旁边钢筋加强部位的仓壁也有同样情况。

2 仓下层可按承受垂直荷载和各种可能的水平荷载的承重构件设计。

3 仓下层的门窗洞孔均应加强。水平钢筋的加强范围通常按 1.5 倍壁厚,在这个范围内按梁的构造配置钢筋;垂直附加钢筋通常配置在洞口两边宽度不大于 500 mm(苏联规范)或 3 倍壁厚(美国规范)的范围内,在这个范围内按柱子构造配置钢筋。

在对于两洞口之间狭窄筒壁的计算规定中,以往规范均规定为大于 500 mm 和 3 倍筒壁厚度且小于 5 倍筒壁厚度的该部分狭窄筒壁按柱子设计,但美国 ACI 313—97 中将 5 倍改为 8 倍。本规范采用了该规定。

7 电气设计

7.1 一般规定

7.1.2 立筒库供电负荷等级与其重要性和使用要求有关,一般为三级负荷。对于中转任务繁重的港口库和重要的中转、储备库,可列为二级负荷设计,以保证生产及紧急调运,减少压船、压港时间。

7.1.3 立筒库粮食粉尘爆炸性环境危险区域是按 2001 年 7 月 1 日颁布实施的国家标准《可燃性粉尘环境用电气设备》GB 12476.1 的要求进行划分的。

7.1.4 目前粮食仓库内主要采用 PH_3 气体熏蒸来达到杀虫目的,但 PH_3 气体对铜具有较强的腐蚀性。为防止此类情况发生,特列出此条文。

7.1.5 立筒库作业现场经常处于多尘环境,且粮食仓库内易发生鼠害,所以,电气设备、配电线路应有防尘、防鼠害的保护措施。

7.1.6 检修电源是指设备自身携带的检修装置的电源,如斗式提升机的检修电机。

7.2 配电线路

7.2.1 导线的选择

1 对粉尘爆炸危险区域的电气线路来说,选用铜芯导线或电缆,在机械强度上较铝芯高,不易造成断线,亦即减少产生电火花的可能性;在电气火花的点燃能力上铜芯线缆比铝芯低。故从安全角度出发,选择铜芯导线或电缆是合适的。另外,从可靠性来讲,也是必要的。

3 在小电机(3 kW 以下)供电回路及照明支线具体施工中,用 2.5 mm^2 导线或电缆难以接线。在满足负载电流要求且有一定余量的前提下,根据现行国家标准《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》GB 50058、《粮食加工、储运系统粉尘防爆安全规程》GB 17440 的规定,室内铜芯导线及电缆的最小截面可为 1.5 mm^2 。

7.2.2 线路敷设

由于立筒库设备多,控制系统的检测执行元件多,电力、控制用护套电缆推荐采用电缆桥架敷设,方便施工和检修,便于管理和维护。

7.3 照明系统

7.3.1 根据现行国家标准《建筑照明设计标准》GB 50034 的有关规定,人们随着社会发展和物质条件的改善,对照度的要求相应也要提高,所以,照度推荐值比以往粮库照明设计中照度值有所提高,供选择时参考。

7.3.2 在白天自然光较强,或在深夜人员很少时,可以方便地用手动或自动方式关闭一部分或大部分照明,有利于节能。分组控制的目的是,为了将天然采光充足或不充足的场所分别开关。

7.3.4 应急疏散照明是在正常照明发生故障时,为了避免发生意外事故、需要对人员进行安全疏散时,在出口和通道设置的指示出口位置及方向的疏散标志灯和照亮疏散通道而设置的照明。

7.3.5 筒仓、工作塔的高度对飞机的安全起降可能构成威胁时,应按国家民航标准规定装设障碍灯。

7.4 电气控制系统

7.4.1 电气控制系统的具体组成要根据立筒库的性质、规模、投资、技术要求等因素综合考虑确定。对位于交通枢纽的仓群,其控制系统应采用 PLC 技术及上位机操作界面,实现系统作业的自动控制。筒仓数量少,或技术支持条件薄弱时,应以可靠实用为原则设计控制系统,宜采用输送设备集中手动控制方式及主要输送设备间连锁为基本的控制要求。

设独立控制室与工作塔隔离,可降低对控制电器设备的防爆要求,保证了系统安全和节省工程投资。如控制室设在工作塔内,应有符合粉尘防爆要求的隔断。

7.4.4 筒仓的料位器的设置,可参考表 1。对于重要工艺设备的安全检测传感器的设置,可参考表 2 选择。除此之外尚应满足工艺设备的要求。

表 1 立筒库料位器设置表

料位	数量	安装位置	备注
上料位器	1	进料口附近	
下料位器	1	出粮口附近	

表 2 重要工艺设备安全检测传感器配置一览表

设备名称	跑偏开关	失速开关	拉绳开关	防堵开关	断链开关	轴温开关
斗式提升机	√	√	—	√	—	√
埋刮板输送机	—	√	—	√	√	√
气垫、带式输送机	√	√	√	√	—	—
备注	—	—	40 m 以上	出料口	—	400 t 以上

7.5 粮情测控系统

7.5.1 立筒库是否设粮情测控系统,应根据其使用要求及储粮时间长短确定。

7.5.3 随着电子技术的发展,粮温测控技术日益完善。测温传感器的合理布点、更加方便、适用地进行系统安装,始终是倍受关注的问题。本规范根据国内外使用经验,参照相应成果,本着实用、安全、经济、适度、先进的原则,制定了布点规则。

7.5.4 筒仓出粮时,通过测温电缆对仓顶所产生的拉力不容忽视。为此,除测温电缆必须满足拉力要求外,其下端应该用重锤或采取其他措施相对固定其位置,以防进粮时粮流将其冲离设计位置。

7.6 防雷及接地

7.6.1 立筒库属粉尘爆炸危险场所,根据现行国家标准应为第二类防雷建筑物。

7.6.2 仓上层输送机及斗式提升机筒内为粉尘爆炸危险场所,当其露天设置或高出工作塔屋顶时,其本身机架不得作为接闪器,需另立避雷针保护,避雷针高度用滚球法确定。

接地装置应利用基础钢筋,使纵横钢筋可靠连接成闭合电气通路。有桩基础时,桩基础主钢筋也应与接地装置连接,以增大接地面积,减少接地电阻。

7.6.3 工作塔每层室内均应预留有与引下线相连的等电位连接箱,供工艺设备接地。

7.6.6 立筒库电气工程中的接地系统类型较多,且比较集中。分别设置接地系统比较困难,其间距不易保证,因此,宜将各接地系统共用接地装置。

8 消防给水与相关设施

8.1 消防给水

8.1.1 立筒库应设置室内外消防给水系统,系指功能完善的粮食立筒库。对于简易粮食立筒库则根据实际情况,可设置必要的消防给水系统。

所谓功能完善的粮食立筒库即指筒仓、封闭式工作塔、筒上层、筒下层。

根据调查,目前国内立筒库大多数立筒库仅设室内外消火栓给水系统,可满足消防要求。故规定立筒库仅设消火栓给水系统。

因敞开式立筒库火灾荷载很小,即使发生爆炸引起火灾的可能性很小(目前国内外还没有这方面的案例),故仅规定封闭式立筒库室内设消火栓给水系统,简易不封闭的工作塔、上通廊、筒下层不设消火栓给水系统。

本规范未作出规定的内容,遵照现行的国家有关规范。

8.1.2 立筒库是由工作塔、筒仓等组成的,由工艺连成的有机整体。根据《建筑设计防火规范》GB 50016,封闭式工作塔生产火灾类别为乙类,室内应设消防给水系统。筒仓为储存类,火灾危险性为丙类。筒上层、筒下层为生产类,火灾危险性为丙类。从国外筒仓火灾案例表明,由于筒仓装有测温系统及入仓时必须为安全粮,筒仓发生阴燃可能性很小。即使发生阴燃,也不宜用水扑救,且《建筑设计防火规范》GB 50016 规定的立筒库室外消防用水量较大,均比工作塔室外消防用水量大得多,故立筒库消防用水量为工作塔室内外消火栓用水量和筒仓室外消火栓用水量及仓上层、仓下层室内消火栓用水量两者的最大值。

8.1.3 火灾延续时间:

从国内外筒库火灾案例看,工作塔火灾延续时间小于 2 h。筒仓发生火灾(火灾特性为阴燃),阴燃时间较长,但不宜用水扑救,故立筒库火灾延续时间宜为 2 h。

8.1.4 据调查,由于粮食立筒仓火灾危险性较小,目前大多数粮库的工作塔室内均采用临时高压给水系统,室外消防给水有低压、临时高压消防给水系统,故室内消防给水系统宜采用临时高压消防给水系统,室外可根据库区供水具体情况由设计人员决定。

8.1.5 因粮食固有的特性,为了保证安全储粮,本条规定筒仓内不得设置任何形式的消防给水系统。

8.1.6 室内干式消防给水系统,是国内粮食工作塔多年来行之有效的一种比较经济的给水系统,在严寒、寒冷地区得到广泛使用。

立筒库一般规定为不采暖房间,当冬季室内温度较低时,消防水管可能冻裂,既影响消防使用,又会造成其他损害,故寒冷地区可采用干式消防给水系统。

为确保火灾时消火栓能及时出水,所以规定在进水管上设置快速开启阀,管道最高处设置自动排气阀。

8.2 相关设施

8.2.1 为有效地扑救立筒库的初期火灾,故规定根据《灭火器配置设计规范》在下仓层、仓上层和工作塔内配置灭火器。

8.2.2 由于工作塔地下室设有粮食工艺设备,不允许长期存水,故本条规定在工作塔地下室设集水坑,并宜设置通往室外的排水管,以便利用移动式潜水泵排除可能产生的消防及其他积水。

附录 A 筒仓沉降观测及初始装粮

A.7 正式投产后注意事项

A.7.2 根据我国多年来钢筋混凝土筒仓使用情况,对于建造在岩石地基上的筒仓(多为港口筒仓),设计单位对筒仓沉降观测及初始装粮的要求可以放宽,初始装粮阶段基本没有影响使用单位的生产经营,投入正常运营后对于装卸粮也不再另有要求;而对于建造在可压缩地基上的筒仓,即使投入正常运营后仍应注意装卸粮不应形成过大偏载。我国建国后建造的第一座钢筋混凝土筒仓——北京东郊面粉厂立筒库在正常运营多年后,由于不慎偏心装粮仍发生了严重的筒仓倾斜、输送机扭曲事故。