

XXX

中华人民共和国行业标准

HG

HG/T 20672—xxxx

造粒塔设计标准

Standard for Design of Prilling Tower

（征求意见稿）

2023 年 9 月

前 言

本标准根据工业和信息化部《关于印发 2022 年第一批工业行业标准制修订计划的通知》（工信厅科[2022]94 号）的要求，中国石油和化工勘察设计协会为技术归口单位，协会建筑设计专业委员会负责组织，中国五环工程有限公司、中国石油和化工勘察设计协会为主编单位，会同参编单位，在原行业标准《尿素造粒塔设计规定》HG/T 20672-2005 的基础上修订完成。

本标准自实施之日起代替《尿素造粒塔设计规定》HG/T 20672-2005。

本标准在修订过程中，编制组进行了广泛的调查研究，认真总结了我国造粒塔方面的工程结构设计、施工工艺、质量控制、工程质量验收工作的实践经验，同时参考了国内外造粒塔工程技术应用的大量资料，并在广泛征求意见的基础上，修订本标准，最后经审查定稿。

本标准共分八章和四个附录，主要内容包括总则、术语和符号、基本规定、工艺要求、建筑布置、结构设计、防腐蚀设计、施工要求以及相关的附录。

本标准与原《尿素造粒塔设计规定》HG/T 20672-2005 相比，主要变化如下：

- 1、增加了术语和符号；
- 2、工艺要求和建筑布置单独成章；
- 3、细化了结构设计章节，将简化计算放入附录；
- 4、修订了与相关标准不相符合的部分条款。

本标准由工业和信息化部负责管理，由中国石油和化工勘察设计协会技术归口，协会建筑设计专业委员会负责日常管理，由中国五环工程有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请与中国五环工程有限公司联系（联系地址：湖北省武汉市东湖新技术开发区民族大道 1019 号长城科技园，邮编：430223，电话：XXXX）以供今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主编单位：XXXX公司

XXXX公司

参编单位：XXXX公司

XXXX公司

主要起草人：XXX XXX XXX XXX

主要审查人：XXX XXX XXX XXX

目 次

1	总则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	基本规定.....	6
4	工艺要求.....	7
5	建筑布置.....	8
5.1	一般规定	8
5.2	楼梯的设置	8
5.3	电梯的设置	8
5.4	门窗的设置	8
6	结构设计.....	10
6.1	材料	10
6.2	塔体结构选型	10
6.3	荷载与作用	12
6.4	结构计算	18
6.5	构造	21
6.6	地基与基础	24
7	防腐蚀设计.....	30
7.1	塔体内壁	30
7.2	刮料层及钢漏斗.....	30
7.3	喷头层	30
7.4	造粒塔底层	30
7.5	楼梯间、电梯间.....	31
7.6	造粒塔屋面	31
7.7	造粒塔外壁	31

8 施工要求.....	32
8.1 一般规定	30
8.2 基础	30
8.3 塔体	30
附录 A 已建尿素造粒塔的实测自振周期 (T)	35
附录 B 筒体结构风压表面分布系数 μ_s 的推导	36
附录 C 造粒塔内的温度图表.....	39
附录 D 简化计算.....	41
本标准用词说明	43
引用标准名录	44
附：条文说明	45

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	2
3	Basic requirements	6
4	Process requirements	7
5	Architectural layout	8
5.1	General requirements	8
5.2	Stairs layout	8
5.3	Elevator layout	8
5.4	Doors and windows	8
6	Structural design.....	10
6.1	Materials	10
6.2	Structural selection of tower.....	10
6.3	Loads and actions	12
6.4	Structural calculation	18
6.5	Detailing requirements	22
6.6	Ground and foundation	24
7	Anticorrosion design	30
7.1	Inner walls	30
7.2	Scrape layer and steel hoppers	30
7.3	Spray layer	30
7.4	Ground level	30
7.5	Stair well and elevator shaft	31
7.6	Roof	31
7.7	Outer walls	31

8 Construction requirements	32
8.1 General requirements	32
8.2 Foundation	32
8.3 Tower	32
Appendix A Measured natural period of prilling tower (T)	35
Appendix B Wind pressure surface distribution factor of tower (μ_s)	36
Appendix C Temperature chart inside prilling tower	39
Appendix D Simplified calculation	41
Explanation of wording in this standard.....	43
List of quoted standards.....	44
Addition: Explanation of provisions.....	45

1 总则

- 1.0.1 为了在造粒塔设计中做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，制定本标准。
- 1.0.2 造粒塔既是构筑物，也是化工生产中的重要化工设备。造粒塔设计除应满足结构强度和稳定性的要求外，尚应满足工艺生产的要求，以确保化工生产持续正常运转。
- 1.0.3 本标准适用于抗震设防烈度为 9 度和 9 度以下的新建及改扩建钢筋混凝土造粒塔的设计。
- 1.0.4 造粒塔设计除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 造粒塔 prilling tower

尿素、复合肥等生产装置的专用造粒设备，完成物料由液态向固态颗粒转化的钢筋混凝土构筑物。

2.1.2 喷头层 spray layer

造粒塔顶部喷淋管和喷嘴的承力结构，支撑于塔壁上，可采用一字型梁、井字形梁及辐射梁等结构形式。

2.1.3 承水层 bearing water layer

承水层是支撑于喷头层上方的混凝土结构，其上部承接出风口。

2.1.4 刮料层 scrape layer

造粒塔底部收集固态颗粒的刮料机或锥形漏斗，一般为钢筋混凝土结构或钢结构。

2.1.5 塔壁 shell

造粒塔的塔身部位，是整个塔体承重部分。

2.1.6 液压滑模 hydraulic sliding form

以塔壁预埋支撑杆为支点，利用液压千斤顶提升工作平台和滑动模板进行连续施工的施工方法。

2.1.7 尾气处理装置 tail gas treatment device

安装在造粒塔塔顶的工艺装置，用于回收塔顶粉尘和氨，减少环境污染。

2.1.8 有效进风面积 effective air inlet area

通过百叶窗的进风面积。

2.2 符号

2.2.1 几何参数

D ——造粒塔的塔体内直径；

R ——造粒塔的塔体内半径；

h ——塔壁的壁厚；

H ——基础顶面到塔顶总高；

H_0 ——基础顶面到塔体重心处的高度；

I ——支柱或塔壁对整个塔截面形心轴处的惯性矩；

J ——塔壁的惯性矩；

ΣF_i ——全塔柱截面积；

ΣI_i ——与弯矩方向相对应的截面惯性矩；

y ——柱中心到截面形心轴的距离；

A ——柱横截面面积；

H ——柱高；

W ——基础底面的抵抗矩 (m^3)；

A ——基础底面积；

r_1 ——基础底板半径；

r_2 ——环形基础孔洞的半径；

a_c ——基础受压面积宽度；

d ——为沿计算倾斜方向的圆（环）形基础底板外径或其他形状基础的长度；

2.2.2 作用和作用效应

ω_k ——作用 z 高度处的风荷载标准值；

ω_0 ——基本风压；

G_{eq} ——结构等效总重力荷载；

p_c ——塔壁中面单位宽度的温度作用力；

M_z ——塔壁的竖向弯矩；

M_θ ——塔壁的环向弯矩；

S ——荷载组合的效应设计值；

R ——结构构件抗力的设计值；

F_k ——相应于荷载效应标准组合时，上部结构传至基础顶面的竖向力；

G_k ——基础自重及其上部土重；

M_k ——相应于荷载效应标准组合时，作用于基础底面的弯矩值；

Δ ——作用于集中质点上的单位水平力在该点上引起的位移；

$\Delta T_{k,i}$ ——塔壁的中面温差；

$T_{s,max}$ ——结构最高平均温度；

$T_{s,min}$ ——结构最低平均温度；

$T_{0,max}$ ——结构最高初始平均温度；

$T_{0,min}$ ——结构最低初始平均温度；

T_g ——塔壁内侧处的空气温度；

T_a ——塔壁外侧处的空气温度；

T_{i1} 、 T_{o1} ——塔壁内外侧壁面正温差及其作用效应；

T_{i1}^- 、 T_{o1}^+ ——塔壁内外侧壁面正温差及其作用效应；

T_c ——塔壁内外侧壁面平均温差及其作用效应；

S_T ——塔壁温差及其作用效应；

t_φ ——塔壁向阳面任意点的日照温差；

ΔT ——塔壁向阳面 a 点和背阳面 c 点的外表面温度差；

σ_{cwt} ——在荷载标准值和温度共同作用下混凝土的应力值(N/mm^2)；

σ_{swt} ——在荷载标准值和温度共同作用下竖向钢筋的应力值(N/mm^2)；

σ_{st} ——在温度作用下环向和竖向钢筋的应力值(N/mm^2)；

M_z 、 M_θ ——竖向和环向的温度弯矩；

W ——计算截面上的全塔总垂直重力荷载(kN)；

M ——与计算柱所对应的最不利弯矩；

M_f ——风、地震引起的弯矩；

M_2 ——由于全塔总的垂直重力荷载偏离塔重心轴所形成的偏心弯矩。

M_k ——柱端弯矩；

Q ——柱顶剪力；

P ——风、地震引起的总水平力；

G_j ——筒身 j 质点的重力(计算地震作用时应包括竖向地震作用)；

u_i 、 u_j ——筒身 i、j 质点的最终水平位移；

$\frac{1}{\rho_i}$ ——荷载作用下，筒身 i 计算截面处的变形曲率；

M_i ——计算截面弯矩代表值；

F_k ——相应于荷载效应标准组合时，上部结构传至基础顶面的竖向力；

G_k ——基础自重及其上部土重；

M_k ——相应于荷载效应标准组合时，作用于基础底面的弯矩值；

s_1 、 s_2 ——基础倾斜方向两端边缘的最终沉降量；

P_h ——上部结构传至基础底面上的水平力代表值；

N ——上部结构传至基础的竖向力代表值，与 P_h 对应；

G ——基础自重；

2.2.3 材料性能

E ——塔壁的弹性模量；

f_{yk} ——普通钢筋屈服强度标准值；

f_{ctk} ——混凝土在温度作用下的强度标准值；

f_{ytk} ——钢筋在温度作用下的强度标准值；

2.2.4 计算系数及其他

β_z —— z 高度处的风振系数；

μ_s ——风荷载体型系数；

μ_z —— z 高度处的风压高度变化系数；

α_c ——混凝土的线膨胀系数；

λ_h ——混凝土的传热系数；

γ_0 ——结构重要性系数；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；

$\emptyset$ ——表示钢筋直径的符号， $\emptyset 16$ 表示直径为 16mm 的钢筋；

g ——重力加速度；

R_1 ——塔壁的热阻；

R_0 ——总热阻；

a_0 ——筒内壁同塔内空气的对流换热系数；

a_1 ——筒外壁同塔内空气的对流换热系数；

ν_c ——混凝土的泊松比；

α_{Ec} ——筒身刚度折减系数；

μ ——基础底面对地基土的摩擦系数；

3 基本规定

3.0.1 本标准采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以可靠指标度量结构构件的可靠度，采用分项系数的设计表达式进行设计。

3.0.2 造粒塔结构的设计使用年限应为 50 年。

3.0.3 造粒塔结构及其附属构件的极限状态设计应包括：

1 承载能力极限状态：造粒塔结构或附属构件达到最大承载力，如发生强度破坏、局部或整体失稳以及因过度变形而不适于继续承载等。

2 正常使用极限状态：造粒塔结构或附属构件达到正常使用规定的限值，如达到变形、裂缝等规定限值等。

3.0.4 承载能力极限状态设计应根据不同的设计状况分别进行作用效应的基本组合、偶然组合和地震组合设计。正常使用极限状态应分别按作用效应的标准组合、频遇组合和准永久组合进行设计。

3.0.5 造粒塔结构的抗震设防类别按现行国家标准《化学工业建（构）筑物抗震设防分类标准》GB 50914 的有关规定执行。

3.0.6 造粒塔内防腐以塔体混凝土自防腐为主，防腐蚀涂装为辅。

3.0.7 造粒塔的尾气排放应满足环保排放要求。

4 工艺要求

- 4.0.1 造粒塔内径应根据造粒塔生产能力、造粒喷头的类型、产品类型及颗粒尺寸、通风型式的要求计算确定。
- 4.0.2 造粒塔的高度应满足产品出塔温度要求，由出料层高度、进风口高度、产品的有效冷却高度、喷头层高度、出风口高度、尾气处理设施高度等组成。
- 4.0.3 造粒塔内温度分布应根据产品类型、物料进出塔温度、当地环境温度等因素确定。
- 4.0.4 造粒塔可选择自然通风型式或机械通风型式。
- 4.0.5 采用自然通风时，造粒塔的进风口及出风口必须保证足够的通风面积，出风通道最小有效面积不宜低于进风口有效进风面积。
- 4.0.6 采用机械通风时，应确保进出造粒塔通风量以保证产品冷却效果。
- 4.0.7 塔顶出风口型式宜采用内出风型。
- 4.0.8 造粒塔进风口宜均匀布置以便于均匀进风及刮料层或漏斗层的观察与维修。
- 4.0.9 喷头层的型式宜采用塔内封闭式。
- 4.0.10 喷头中心结构梁底标高应不低于楼面底部标高，以避免熔融物料喷洒到梁上而影响造粒。
- 4.0.11 喷头层应设置氨浓度检测仪和通风排放设施，并与通风排风设施实现联锁启停，通风排风设施的吸入口和排出口不应设置同一个方向。
- 4.0.12 造粒塔的出料型式根据塔径确定，塔径大于 16m 时，宜选择刮料机做法；塔径小于或等于 16m 时宜选择漏斗式做法。采用漏斗式时，漏斗的角度应根据塔径的大小和塔高综合考虑，不宜小于物料休止角。
- 4.0.13 工艺管道应集中布置，不得设置在楼梯间和电梯间范围内。
- 4.0.14 造粒塔顶部应设置尾气处理设施，尾气处理可采用干式处理工艺或湿式处理工艺。
- 4.0.15 造粒塔应设置电梯，电梯的额定载荷及停站数量应满足生产操作及检维修的需要。

5 建筑布置

5.1 一般规定

- 5.1.1 造粒塔底部不应设置值班室、配电室等辅助生产用房。
- 5.1.2 造粒塔的楼梯、电梯以及附设的成品转运站等应根据塔径大小合理布置，尽量减小对塔底进风口和塔顶出风口的影响。
- 5.1.3 造粒塔的楼梯与电梯应附靠塔体设置，且宜邻近工艺主框架。

5.2 楼梯的设置

- 5.2.1 造粒塔的楼梯应封闭设置，并能自然采光和通风。楼梯间隔墙宜采用不燃性实体墙。
- 5.2.2 楼梯间的门宜采用乙级防火门。除底层和出屋面的门向外开启外，其余各楼层门均应向楼梯间方向开启。
- 5.2.3 楼梯梯段的最小净宽不应小于 800mm。当采用混凝土楼梯时，踏步的最小宽度不宜小于 250mm，最大高度不得大于 180mm；采用钢楼梯时，倾斜角度不应大于 45°。楼梯平台和踏步均应采用不燃材料制作。
- 5.2.4 造粒塔内检修平台最远点距楼梯间的距离不宜大于 40 米。

5.3 电梯的设置

- 5.3.1 造粒塔电梯应靠近楼梯间布置。电梯井道不应与塔体共用墙体。电梯井墙体的耐火极限不低于 2.00h。
- 5.3.2 造粒塔电梯及电梯机房应设置防尘前室。防尘前室的深度不宜小于 2.4 米，前室的门可采用双向弹簧门。
- 5.3.3 位于爆炸危险区域内的电梯应选择防爆型电梯。
- 5.3.4 电梯层门洞口处应设漫坡。漫坡宜高于楼地面标高 40-50mm，防止污水进入井道。电梯井基坑应有排除积水的措施。

5.4 门窗的设置

- 5.4.1 造粒塔壁应设置观察窗，并应符合以下规定：

1 观察窗设置位置不宜少于 3 处。喷头层下方 15m 范围内和进风口顶部上方 15m 范围内应分别设置一处，在二者中间位置还应至少设置一处。设有观察窗的楼层（平台），楼梯和电梯均应抵达。

2 观察窗不宜小于 600mmX600mm，其底部距离楼面（平台）的高度不低于 1200mm。

3 观察窗的窗框与塔壁之间应采取密封措施。

5.4.2 造粒塔的门窗应选用防腐型门窗，门窗的五金件应具备同等防腐性能。

5.4.3 造粒塔进风口百叶窗宜选用不锈钢百叶窗。百叶窗应靠塔体外壁立樘。百叶窗内侧窗台找 5%坡度，坡向塔体内壁。

5.4.4 进风口顶部的混凝土挑檐外口下沿应做滴水线。

6 结构设计

6.1 材料

6.1.1 混凝土强度等级不应小于 C30，其性能指标除应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 及《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的规定外，尚应符合下列规定：

1 混凝土宜采用普通硅酸盐水泥配制；水泥用量不应少于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ，水胶比不应大于 0.5。

2 混凝土宜采用中粗砂，含泥量不应大于 2.0%。混凝土用石的粒径宜为 5~35mm，含泥量不应大于 1.0%。砂、石质量要求应符合现行国家标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的规定。

3 混凝土的抗渗等级不应低于 P8。

6.1.2 钢筋性能指标除应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定外，纵向受力钢筋宜采用 HRB400、HRB500 级热轧钢筋，箍筋宜采用 HRB400、HPB300 级热轧钢筋。

6.1.3 钢材性能指标除应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 的规定外，尚应符合下列规定：

1 钢材宜采用 Q235 碳素结构钢及 Q355 低合金高强度结构钢，且应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定；

2 结构用不锈钢材料，其质量应符合现行国家标准《不锈钢和耐热钢牌号及化学成分》GB/T 20878、《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237 和《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280 的规定。

6.2 塔体结构选型

6.2.1 喷头层结构的选型

1 一字型梁结构形式；

可采用桁架式型钢混凝土梁、型钢混凝土梁、钢筋混凝土梁、钢结构桁架，见图 6.2.1-1；

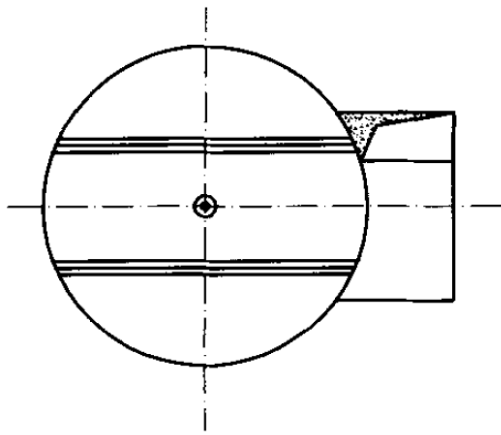


图 6.2.1-1 一字型梁结构形式

2 井字形梁结构形式；

可采用型钢混凝土梁、钢筋混凝土梁、桁架式型钢混凝土梁，见图 6.2.1-2；

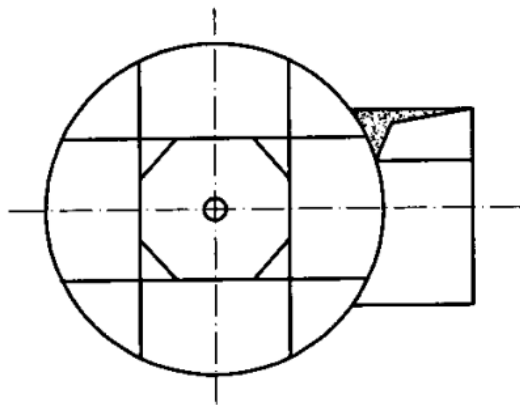


图 6.2.1-2 井字形梁结构形式

3 辐射梁结构形式；

可采用型钢混凝土梁、钢筋混凝土梁，见图 6.2.1-3；

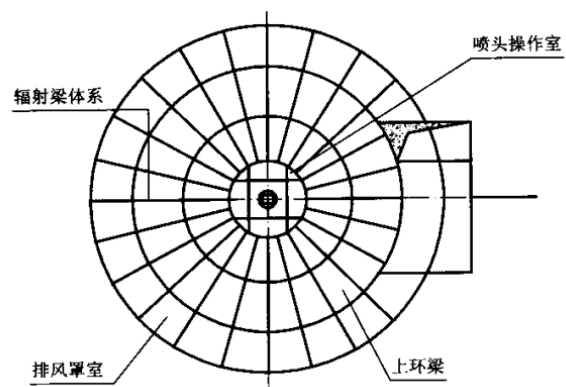


图 6.2.1-3 辐射梁结构形式

6.2.2 塔体支承结构的选型

1 塔体支承结构宜采用筒体结构；对于塔径 $D \leq 16\text{m}$ 的塔体，可采用框支筒体结构。当采用框支筒体结构时，框支柱宜为矩形。

2 筒体结构的进风窗横截面面积应小于塔体横截面面积的 50%。洞口按下述方法进行补强：削弱的混凝土横截面面积应补在窗间墙上，切断的钢筋面积也应补在窗间墙内，洞口两侧应设边缘构件。窗间墙应按偏心受压柱计算其截面及配筋。

3 刮料层宜采用现浇的钢筋混凝土结构，宜与塔壁脱开。

4 进风口结构型式

1) 宜采用钢筋混凝土整体浇筑，或用装配式钢筋混凝土结构；

2) 宜采用钢结构支架外罩金属挡风板。

5 出风口结构型式

1) 宜采用钢筋混凝土整体浇筑，或用装配式钢筋混凝土结构；

2) 宜采用钢结构支架外罩铝合金挡风板，不锈钢螺栓连接。

6.3 荷载与作用

6.3.1 造粒塔的荷载与作用可分为下列三类：

1 永久荷载与作用，包括结构构件、围护构件、面层及装饰、固定设备、长期储物的自重以及土压力等；

2 可变荷载与作用，包括楼面活荷载、屋面活荷载、操作与检修荷载、风荷载、雪荷载、温度作用等；

3 地震作用：多遇地震作用和罕遇地震作用。

6.3.2 造粒塔的操作与检修荷载取值应符合下列规定：

1 塔顶平面可取 3.0 kN/m^2 ；

2 喷头层可取 3.0 kN/m^2 ；

3 承水层可按实际液位取值并应考虑事故工况，荷载值不应小于 6.0 kN/m^2 ；

4 刮料层可取 10.0 kN/m^2 ；

5 进风口的走道可取 2.5 kN/m^2 ；

6 电梯间机房平面可取 8.0 kN/m^2 ；

7 楼梯及楼梯间平台可取 3.5 kN/m^2 。

6.3.3 风荷载

1 风荷载标准值按下式计算：

$$\omega_k = \beta_z \mu_s \mu_z \omega_0 \quad (6.3.3-1)$$

式中： ω_k ——作用 z 高度处的风荷载标准值 (kN/m^2)；

β_z —— z 高度处的风振系数，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定的方法计算；

μ_s ——风荷载体型系数，取值如下；

μ_z —— z 高度处的风压高度变化系数，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定的方法计算；

ω_0 ——基本风压 (kN/m^2)，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定的 50 年重现期的风压采用，且不得小于 0.35 kN/m^2 。

2 整体计算时筒壁表面分布的体型系数取值见图 6.2.3-1，可近似按下式计算：

$$\mu_s = \frac{0.6L_1 + (0.8 + 0.5)L_2}{L_1 + L_2} \quad (6.3.3-2)$$

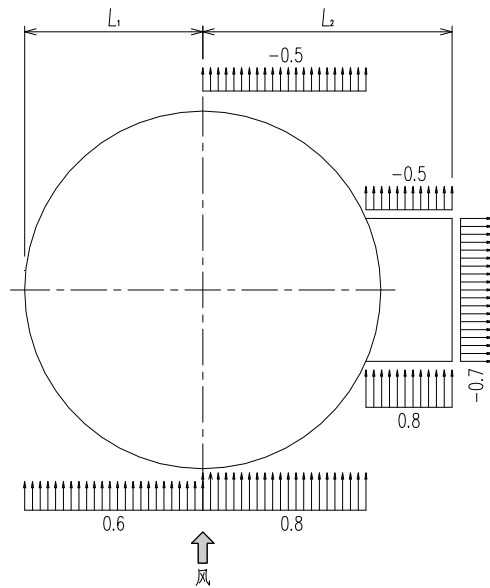


图 6.3.3-1 基础风荷载体型系数

3 局部计算时筒壁表面分布的体型系数见图 6.2.3-2，可近似按下式计算：

$$\mu_s = -0.7 + 0.3 \cos \theta + \cos 2\theta + 0.4 \cos 3\theta \quad (6.3.3-3)$$

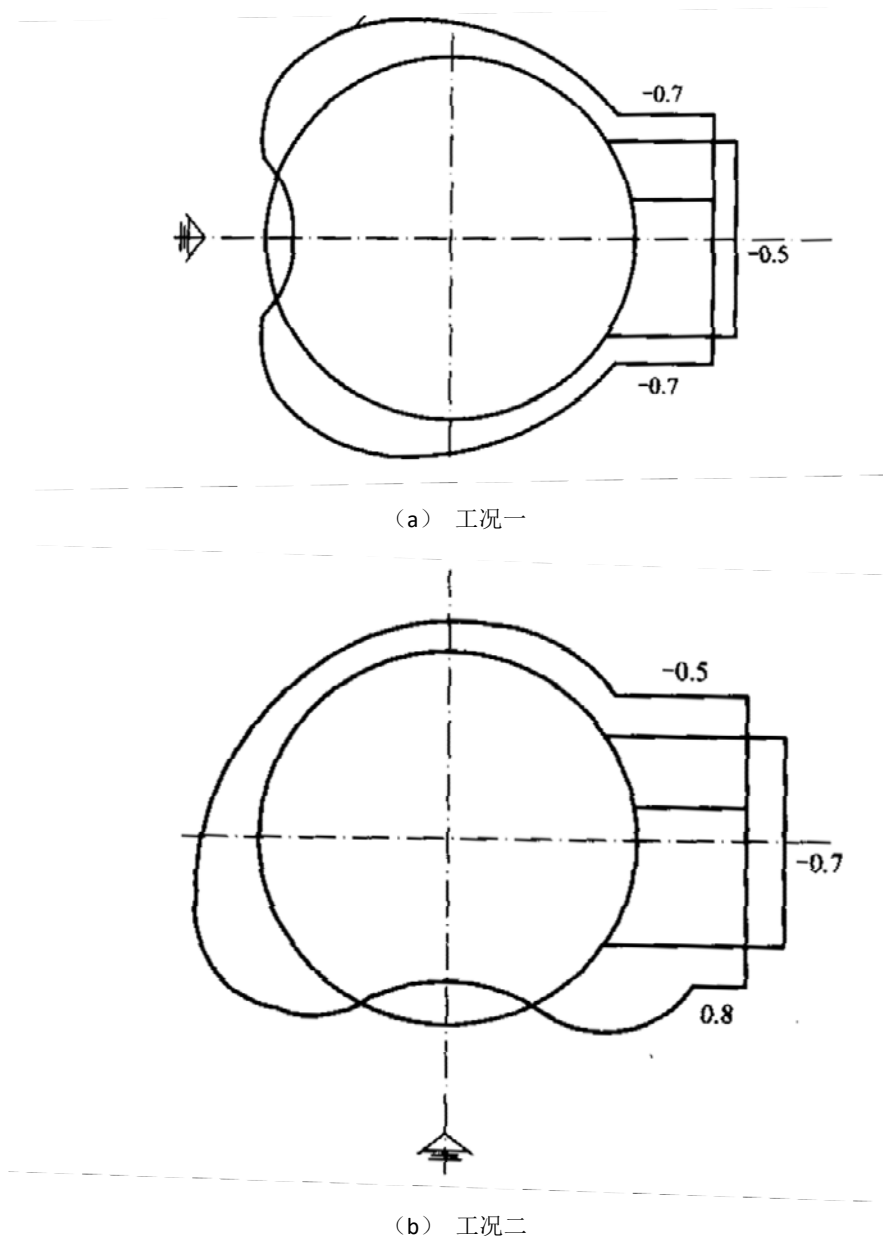


图 6.3.3-2 筒体风荷载体型系数

式(6.3.3-3)的推导见附录 B。

6.3.4 地震作用

1 造粒塔结构的地震作用计算应采用振型分解反应谱法,必要时采用时程分析法做补充验算。简化计算时可采用底部剪力法。

2 对于抗震设防烈度不低于 7 度 ($0.15g$) 的钢筋混凝土造粒塔,应同时考虑竖向地震作用和水平地震作用的不利组合。对于塔内主梁跨度大于 $18m$ 的造粒塔,筒内水平结构构件应考虑竖向地震作用。

3 造粒塔的基本周期可近似按下列公式计算:

$$T = 2\pi \sqrt{\Delta \cdot G_{eq} / g} \quad (6.3.4-1)$$

$$\Delta = H_0^3 / 3\Sigma EI \quad (6.3.4-2)$$

式中：

G_{eq} ——结构等效总重力荷载，取总重力荷载代表值；

g ——重力加速度，取 $9.81 (m/s^2)$ ；

Δ ——作用于集中质点上的单位水平力在该点上引起的位移 (m/kN) ；

H_0 ——基础顶面到塔体重心处的高度，或取基础顶面到塔顶总高的 $2/3$ (即 $2H/3$)；

E ——支撑结构材料的弹性模量 (kPa) ；

I ——支柱或塔壁对整个塔截面形心轴处的惯性矩 (m^4) ；

4 突出塔顶的小型结构，其地震作用效应宜乘以增大系数 3，此增大部分不应往下传递，但与该突出部分相连的构件应予计入。

6.3.5 温度作用

1 作用在造粒塔结构上的温度作用应采用其温度的变化来表示，主要包括季节温差、塔壁内外温差及日照温差等。造粒塔筒体上下温差值变化较大时，应按具体情况分段计算。

2 钢筋混凝土塔壁温度应力的计算结果应乘以刚度折减系数。折减系数的取值应符合下列规定：

(1) 季节温差产生的温度应力，刚度折减系数宜为 0.20~0.50；

(2) 塔壁内外温差产生的温度应力，刚度折减系数宜为 0.55。

3 与造粒塔内壁对流传热的空气温度应根据工艺要求确定；当无准确的工艺数据时，可参照附录 C 确定。与造粒塔外壁对流传热的空气温度应取月平均最低气温 $T_{a,min}$ 。

4 造粒塔外部的环境温度应采用 50 年重现期的月平均最高气温 $T_{a,max}$ 和月平均最低气温 $T_{a,min}$ 。

5 塔壁壁面的内外季节温差相同时，塔壁中面单位宽度的温度作用力 p_c (kN/m) 应按下式计算：

$$p_c = \alpha_c \cdot \Delta T_{k,i} \cdot E \cdot h \quad (6.3.5-1)$$

$$\Delta T_{k,1} = T_{s,max} - T_{0,min} \quad (6.3.5-2)$$

$$\Delta T_{k,2} = T_{s,min} - T_{0,max} \quad (6.3.5-3)$$

式中：

α_c ——混凝土的线膨胀系数，取 $1.0 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ；

$\Delta T_{k,i}$ ——塔壁的中面温差， $\Delta T_{k,1}$ 为结构最大温升工况的中面温差， $\Delta T_{k,2}$ 为结构最大温降工况的中面温差 ($^\circ\text{C}$)；

E ——塔壁的弹性模量；

h ——塔壁的壁厚；

$T_{s,max}$ ——结构最高平均温度，根据月平均最高气温 $T_{a,max}$ 按热工学原理确定 ($^\circ\text{C}$)；

$T_{s,min}$ ——结构最低平均温度，根据月平均最高气温 $T_{a,min}$ 按热工学原理确定 ($^\circ\text{C}$)；

$T_{0,max}$ ——结构最高初始平均温度，取结构合拢形成约束时间的温度和施工时结构可能出现的温度的较大值 ($^\circ\text{C}$)；

$T_{0,min}$ ——结构最低初始平均温度，取结构合拢形成约束时间的温度和施工时结构可能出现的温度的较小值 ($^\circ\text{C}$)。

6 塔壁内外表面的温差可按式计算：

$$\Delta T = (T_g - T_a) \cdot \frac{R_1}{R_0} \quad (6.3.5-4)$$

$$R_1 = \frac{h}{\lambda_h} \quad (6.3.5-5)$$

$$R_0 = \frac{1}{a_0} + \frac{h}{\lambda_h} + \frac{1}{a_i} \quad (6.3.5-6)$$

式中：

T_g ——塔壁内侧处的空气温度($^\circ\text{C}$)；

T_a ——塔壁外侧处的空气温度($^\circ\text{C}$)；

R_1 ——塔壁的热阻($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)；

R_0 ——总热阻($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)；

a_0 ——塔内壁同塔内空气的传热系数，可取 $33 (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ；

λ_h ——混凝土的导热系数，可取 $1.74 (\text{W}/\text{m} \cdot \text{K})$ ；

a_1 ——塔外壁同塔内空气的传热系数，可取 $12 \sim 23 (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ；

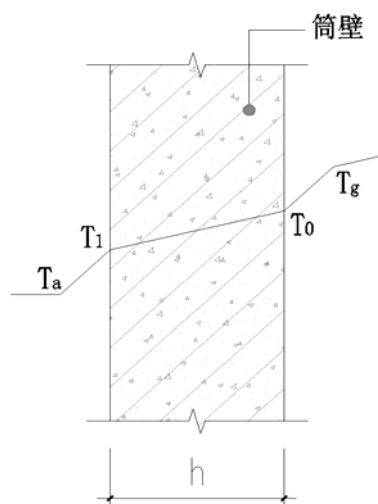


图 6.3.5-1 塔壁传热计算

7 温度作用效应的计算应符合下列规定：

1) 当塔壁的内、外侧壁面同时具有不同的温度作用时，可按工况分别计算温差及平均温差作用的温度效应（图 6.2.5-2）；

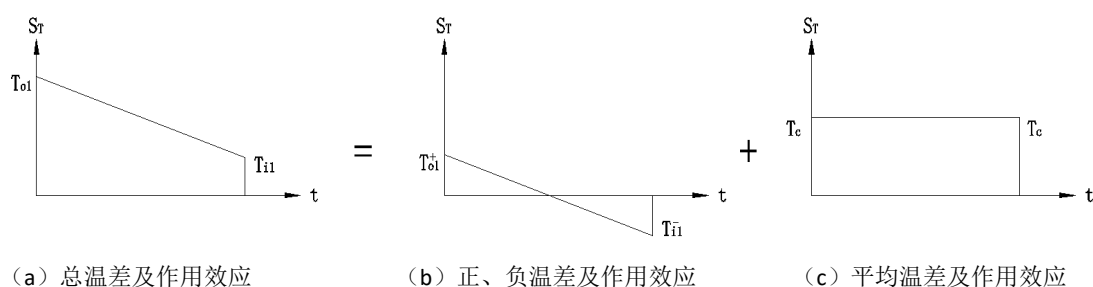


图 6.3.5-2 塔壁的温差及其温差作用效应

T_{i1} 、 T_{o1} ——塔壁内外侧壁面正温差及其作用效应；

T_{i1}^- 、 T_{o1}^+ ——塔壁内外侧壁面正温差及其作用效应；

T_c ——塔壁内外侧壁面平均温差及其作用效应；

S_T ——塔壁温差及其作用效应；

t ——塔壁的壁厚坐标；

2) 不同温差共同作用的总效应应为各温差作用效应的叠加值；

3) 塔壁应按温度作用的总效应验算塔壁的承载力，钢筋配置也应符合温度作用的要求。

8 造粒塔的日照温差可按下列公式计算：

$$t_{\varphi} = \frac{\Delta T}{2} \cdot (1 + \cos \varphi) \quad (6.3.5-7)$$

式中： t_{φ} ——塔壁向阳面任意点的日照温差；

ΔT ——塔壁向阳面 a 点和背阳面 c 点的外表面温度差。

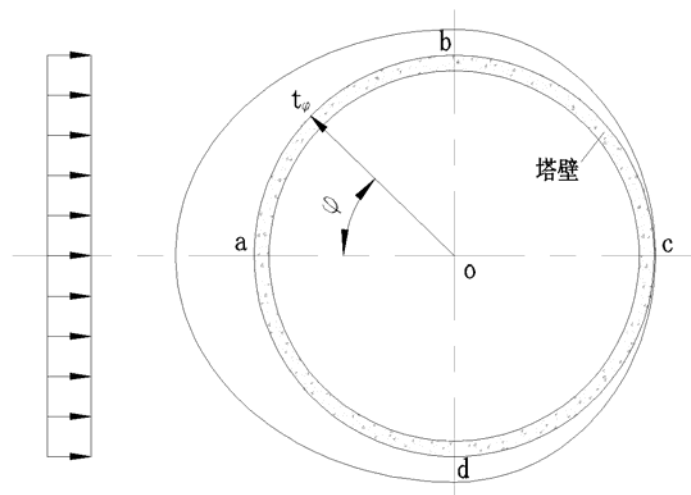


图 6.3.5-3 塔壁外表面的日照温差

6.4 结构计算

6.4.1 一般规定

- 1 本章适用于高度不大于 150m，直径不大于 34m 的混凝土造粒塔设计。
- 2 内力分析应按照《工程结构通用规范》GB 55001 执行，应采用有限单元法。根据有限元分析的内力结果进行设计。
- 3 本标准采用的设计基准期为 50 年。
- 4 造粒塔结构的安全等级不低于二级。
- 5 荷载效应组合应按照《工程结构通用规范》GB 55001 与《建筑结构荷载规范》GB 50009 确定，并应符合有关结构设计规范的规定。
- 6 型钢混凝土结构（构件）应按照《组合结构设计规范》（JGJ 138）和《型钢混凝土结构技术规程》（YB 9082）相关要求计算分析并满足其构造要求。
- 7 框支柱配筋，由内力组合取一组最不利的内力进行计算。按双向偏心受压柱计算配筋。
- 8 刮料层进行机座部分的计算时应乘以 1.5 的动力系数。

6.4.2 荷载效应组合

- 1 对于承载能力极限状态，应采用下列设计表达式进行设计：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (6.4.2-1)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数；

S ——荷载组合的效应设计值；

R——结构构件抗力的设计值。

2 荷载组合的效应设计值应按下列公式确定：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_W S_{Wk} + \gamma_t \psi_t S_{tk} + \gamma_Q \psi_Q S_{Qk} \quad (6.4.2-2)$$

式中： γ_G ——重力(永久)荷载的分项系数，按《工程结构通用规范》GB 55001 采用；

S_{Gk} ——永久荷载标准值的效应；

γ_W 、 γ_t 、 γ_Q ——分别为风荷载、温度作用、可变荷载的分项系数，按《工程结构通用规范》GB 55001、《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《建筑结构荷载规范》GB 50009 采用；

S_{Wk} 、 S_{tk} 、 S_{Qk} ——分别为按风荷载、温度作用、可变荷载标准值计算的荷载效应值；

ψ_t 、 ψ_Q ——分别为温度作用、可变荷载的组合值系数。

3 造粒塔抗震设计时，荷载组合应采用下列极限状态表达式：

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_E S_{Ek} + \gamma_W \psi_W S_{Wk} + \gamma_t \psi_t S_{tk} \quad (6.4.2-3)$$

$$S \leq R/\gamma_{RE} \quad (6.4.2-4)$$

式中： γ_E ——地震作用的分项系数，按《工程结构通用规范》GB 55001、《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《建筑结构荷载规范》GB 50009 采用；

S_{Ek} ——地震作用标准值计算的荷载效应值；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；

ψ_W ——风荷载的组合值系数；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数。

6.4.3 承载能力极限状态计算

1 正截面承载力计算：

1) 正截面承载力计算应采用符合工程需求的混凝土应力-应变本构关系，并应满足变形协调和静力平衡条件。

2) 混凝土构件的正截面承载力计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的有关规定。

3) 塔壁任意截面钢筋混凝土正截面承载力可按下列方法计算：

将截面划分为有限多个混凝土单元、纵向钢筋单元，并近似取单元内应变和应力为均匀分布，其合力点在单元重心处。

4) 混凝土单元的压应力和普通钢筋单元的应力应按现行国家标准《混凝土结构设

计规范》GB50010 的基本假定确定。

2 斜截面承载力计算：

矩形截面受弯构件的受剪截面、钢筋混凝土剪力墙的受剪截面、钢筋混凝土剪力墙在偏心受压时的斜截面受剪承载力和钢筋混凝土剪力墙在偏心受拉时的斜截面受剪承载力应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的有关规定。

6.4.4 正常使用极限状态计算

1 正常使用极限状态计算应包括下列内容：

1) 计算在荷载标准值和温度共同作用下的混凝土与钢筋应力，以及温度单独作用下的钢筋应力，并应符合下列公式的规定：

$$\sigma_{cwt} \leq 0.4f_{ctk} \quad (6.4.4-1)$$

$$\sigma_{swt} \leq 0.5f_{ytk} \quad (6.4.4-2)$$

$$\sigma_{st} \leq 0.5f_{ytk} \quad (6.4.4-3)$$

式中： σ_{cwt} ——在荷载标准值和温度共同作用下混凝土的应力值(N/mm^2)；

σ_{swt} ——在荷载标准值和温度共同作用下竖向钢筋的应力值(N/mm^2)；

σ_{st} ——在温度作用下环向和竖向钢筋的应力值(N/mm^2)；

f_{ctk} ——混凝土在温度作用下的强度标准值(N/mm^2)，按本标准表 6.4.4 的规定取值；

f_{ytk} ——钢筋在温度作用下的强度标准值(N/mm^2)，当计算处温度 $T \leq 100^\circ\text{C}$ 时，

$$f_{ytk} = 1.0f_{yk}。$$

表 6.4.4 混凝土在温度作用下的强度标准值(N/mm^2)

符号	温度 ($^\circ\text{C}$)	混凝土强度等级				
		C30	C35	C40	C45	C50
f_{ctk}	20	20.10	23.40	26.80	29.60	32.40
	60	16.60	19.40	22.20	26.00	29.50
	100	15.60	18.30	20.90	24.30	27.50

2) 塔壁最大裂缝宽度不应大于 0.2mm。

2 在荷载准永久组合或标准组合下，钢筋混凝土构件开裂截面处受压边缘混凝土压应力、不同位置处钢筋的拉应力宜按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010

的相关假定计算。

3 塔壁裂缝宽度的计算及要求应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的有关规定。

6.4.5 附加弯矩计算

1 承载力极限状态和正常使用极限状态计算时，筒身重力荷载对塔壁水平截面 i 产生的附加弯矩。可按下式计算（图 5.3.）：

$$M_{ai} = \sum_{j=i+1}^n G_j(u_j - u_i) \quad (6.4.5-1)$$

式中： G_j ——筒身 j 质点的重力（计算地震作用时应包括竖向地震作用）（kN）；

u_i 、 u_j ——筒身 i 、 j 质点的最终水平位移（m），计算时包括日照温差和基础倾斜的影响。

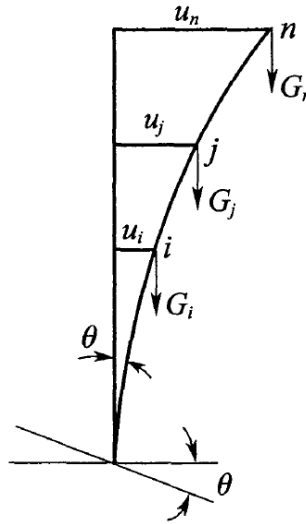


图 6.4.4.3 附加弯矩计算

2 塔壁变形计算应包括下列因素的影响：

- 1) 附加弯矩效应。
- 2) 地震状况时的竖向地震效应。
- 3) 日照温差效应。

4) 基础倾斜效应，可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定的地基允许倾斜值采用。

6.5 构造

6.5.1 塔壁厚度的确定

1 塔壁厚度选用范围可按下式确定：

$$h/R = 1/30 \sim 1/50 \quad (6.5.1-1)$$

式中： h ——塔壁厚度（mm）；

R ——塔体内半径（mm）。

2 为了保证塔壁施工质量，塔壁厚度不宜小于下列数值：

塔直径 $D \leq 14\text{m}$ 时，壁厚不宜小于 160mm；

塔直径 $14\text{m} < D \leq 20\text{m}$ 时，壁厚不宜小于 200mm；

塔直径 $20\text{m} < D \leq 26\text{m}$ 时，壁厚不宜小于 350mm；

塔直径 $26\text{m} < D \leq 34\text{m}$ 时，壁厚不宜小于 400mm；

楼电梯间壁厚不宜小于 160mm。

6.5.2 进风窗窗间墙长度不宜小于 $8h$ ，窗间墙轴压比不宜大于 0.4。

6.5.3 框支柱：框支柱轴压比不宜大于 0.6。

6.5.4 钢筋的配置

1 塔壁的配筋为内外两层，环向钢筋应配置在竖向钢筋的外侧，并绑扎或点焊在竖筋上；内外层钢筋之间应采用拉筋连接，拉筋直径不小于 6mm，拉筋的纵横间距可取 400mm～600mm。拉筋应交错布置，并应于纵向钢筋连接牢固。

2 当采用绑扎接头时，竖向钢筋宜按模板倍数分组，接头位置应均匀错开，每处钢筋接头面积不宜超过 25%。

3 当采用绑扎接头时，水平方向每处钢筋接头不宜超过 25%。

4 当竖向和水平钢筋采用焊接接头及机械接头时，接头类型及质量应符合国家现行有关标准的规定。接头截面积不应超过钢筋总截面积的 50%，且接头位置应均匀错开。

5 钢筋的锚固长度、连接长度、弯钩和机械锚固的技术要求应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

6 塔壁和楼电梯间的配筋应根据计算确定，竖向和横向每一侧配筋率不宜小于 0.3%。

7 进风口窗间墙的配筋，竖向和横向每一侧配筋率不宜小于 0.4%。

6.5.5 塔壁孔洞处的补强钢筋应按下列要求配置：

1 补强钢筋应布置在孔洞边缘 3 倍塔壁厚度范围内，其每侧面积可取同方向被孔洞切断钢筋截面积的 0.6 倍。

2 孔洞每个角处附加斜向钢筋面积(cm^2)不应小于 $1/5$ 塔壁的厚度，并不少于 $2\phi 16$ 。

3 所有补强钢筋伸过孔洞边缘的长度不应小于 45 倍钢筋直径。

6.5.6 墙体的边缘构件应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 中有关剪力墙约

束边缘构件、构造边缘构件的规定设置。

6.5.7 框支柱纵向钢筋配筋率不宜小于 1.5%，箍筋加密区体积配箍率不应小于 1.5%。

6.5.8 塔壁钢筋保护层

- 1 塔壁保护层厚度不应小于 35mm；
- 2 楼电梯间墙保护层厚度不应小于 25mm；
- 3 其他梁柱钢筋保护层为 40mm。

6.5.9 塔体局部应在以下位置配置补强钢筋，钢筋由局部应力计算确定。

- 1 喷头层底面下 2m 至喷头层板顶面上 1m 范围内，塔壁纵向、环向钢筋的直径均应加大，塔壁钢筋每一侧配筋率不应小于 0.4%；
- 2 距塔顶环梁底下 1~2m 范围内，塔壁纵向、环向钢筋的直径均应加大，塔壁钢筋每一侧配筋率不应小于 0.4%。

6.5.10 楼电梯间墙与塔壁交接处的构造

楼电梯间墙与塔壁交接处的构造见图 6.5.10

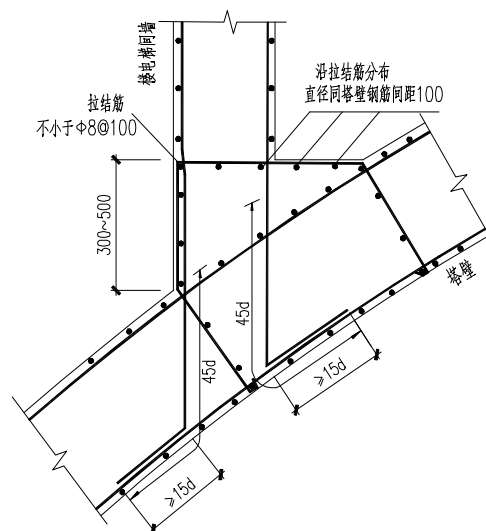


图 6.5.10 楼电梯间墙与塔壁交接处的构造

6.5.11 刮料层现浇楼盖与塔体的联结构造

- 1 刮料层宜待整个塔体施工完毕后再施工；
- 2 刮料层平面内大梁与塔壁壁柱联结，宜做成铰接形式，梁在长度方向应可以自由胀缩，与塔壁四周有 20mm 的空隙，见图 6.5.11；

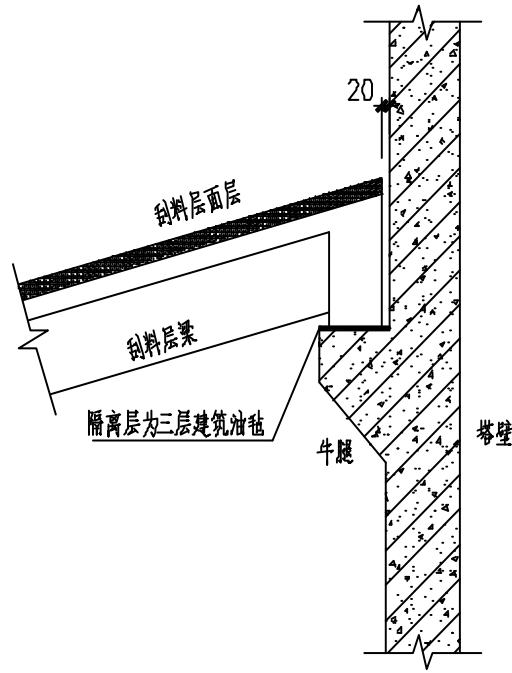


图 6.5.11 刮料层平面大梁与塔壁壁柱的联结

3 刮料层平面内的梁侧面应增加抵抗温度应力的纵向钢筋，间距为 200mm，直径不宜小于 $\phi 12$ 。

6.5.12 环形基础的构造

对于直径 $D \geq 20\text{m}$ 的环形基础，为防止混凝土的收缩，宜在其圆周长 1/3 位置上设置后浇施工缝，宽度为 800~1000mm，基础内的钢筋应连续不断开，待 28 天后缝内冲洗干净用强度等级高一级的混凝土浇灌于缝内。

6.5.13 避雷

避雷的引下接地线可用滑模爬杆代替。爬杆的接头应满焊，爬杆滑模出塔顶与塔顶的避雷环焊牢。作为避雷引下线的滑模爬杆应该有明显标志。

6.6 地基与基础

6.6.1 一般规定

1 造粒塔的基础设计，应综合考虑建筑场地的工程地质和水文地质状况、造粒塔的结构类型、高度和直径、施工技术、经济性、周边环境等因素，使其满足正常生产使用要求。

2 应采用整体性能好、能满足地基承载力和容许变形要求并能调节不均匀沉降的基础形式，可根据荷载大小、地质条件选用环形扩展基础、筏板基础。建在中、高压压缩性土层上的造粒塔，宜采用复合地基或桩基础。当建设场地岩层外露且基础埋深较浅时，可采用岩石锚

杆基础。

3 基础的埋置深度应满足地基承载力、变形和稳定性要求。在确定埋置深度时，应综合考虑造粒塔的高度、岩土特性、地震烈度、风荷载等因素。除岩石地基外，基础埋深不宜小于 3m。

4 造粒塔基础应进行承载力计算、地基变形验算。基础埋深较浅时还需要进行抗滑移验算。

5 地基基础设计时，所采用的作用效应与相应的抗力限值应符合下列规定：

1) 按地基承载力确定基础底面积及埋深或按单桩承载力确定桩数时，传至基础或承台底面上的作用效应采用正常使用极限状态下作用的标准组合，相应的抗力应采用地基承载力特征值或单桩承载力特征值；

2) 计算地基变形时，传至基础底面上的作用效应按正常使用极限状态下作用的准永久组合，不应计入风荷载和地震作用；相应的限值应为地基变形允许值；

3) 在确定基础或桩基承台高度、计算基础内力、确定配筋和验算材料强度时，上部结构传来的作用效应和相应的基底反力应按承载力极限状态下作用的基本组合，采用相应的分项系数；当需要验算基础裂缝宽度时，作用效应按正常使用极限状态下作用的标准组合。

6 造粒塔的地基基础均应进行天然地基、基础、桩基的抗震承载力验算，按照《建筑抗震设计规范》(GB 50011) 和《建筑桩基技术规范》(JGJ 94) 的有关规定执行。

7 正常使用极限状态下，浅基础底面不宜出现零应力区；在地震作用工况下可出现零应力区，但零应力区的面积不应大于基础底面积的 15%。

8 地下水、土对基础、桩、桩承台有腐蚀性时，应按照《工业建筑防腐蚀设计标准》(GB/T 50046) 相关规定采取防腐蚀措施。

6.6.2 地基承载力计算

1 天然地基承载力应满足下式要求：

1) 当轴心荷载作用时：

$$P_k \leq f_a \quad (6.6.2-1)$$

2) 当偏心荷载作用时，除符合上式外，尚应按下式验算：

$$P_{k,max} \leq 1.2f_a \quad (6.6.2-2)$$

式中： P_k ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面的平均压力值(kPa)；

$P_{k,max}$ ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面边缘的最大压力值(kPa)；

f_a ——修正后的天然地基承载力特征值(kPa)，按《地基基础设计规范》(GB 50007)的规定采用。

当考虑地震作用时，式(6.5.2.1-1)、(6.5.2.1-2)中应采用调整后的地基抗震承载力特征值 f_{aE} 代替 f_a ，地基抗震承载力特征值 f_{aE} 应按《建筑抗震设计规范》(GB 50011)的有关规定确定。

2 当基础承受轴心荷载和偏心荷载时，验算地基承载力的基础底面压力可按下列公式计算：

1) 基础承受轴心荷载时：

$$P_k = \frac{F_K + G_K}{A} \quad (6.6.2-3)$$

2) 基础承受偏心荷载时：

$$P_{k,\max} = \frac{F_K + G_K}{A} + \frac{M_K}{W} \quad (6.6.2-4)$$

$$P_{k,\min} = \frac{F_K + G_K}{A} - \frac{M_K}{W} \quad (6.6.2-5)$$

式中： F_K ——相应于荷载效应标准组合时，上部结构传至基础顶面的竖向力(kN)；

G_K ——基础自重及其上部土重(kN)；

M_K ——相应于荷载效应标准组合时，作用于基础底面的弯矩值(kN·m)；

W ——基础底面的抵抗矩(m^3)，圆形基础 $W = \frac{\pi r_1^3}{4}$ ，圆环形基础 $W = \frac{\pi}{4} \left(\frac{r_1^4 - r_2^4}{r_1} \right)$ ，

A ——基础底面积(m^2)

$P_{k,\min}$ ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面边缘的最小压力值(kPa)。

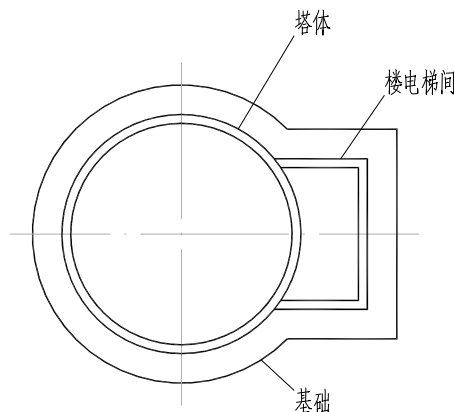


图 6.5.2.2 典型的基础平面图

3) 塔体和楼电梯间可分别进行基础底面压力和承载力验算。

3 当圆(环)形基础承受偏心荷载，且基底零应力区面积不大于基础底面积的 15%时，

计算基础底面边缘的最大压力值 P_{kmax} 按照塔体的圆（环）形基础和楼电梯间部分的方形基础进行整体分析。简化计算可按等效圆（环）形基础，按下式计算 P_{kmax} ，如图 6.5.2.3 所示：

1) 圆（环）形基础承受偏心荷载时：

$$P_{kmax} = \frac{F_K + G_K}{\xi r_1^2} \quad (6.6.2-6)$$

$$a_c = \tau r_1 \quad (6.6.2-7)$$

式中： r_1 ——基础底板半径(m)；

r_2 ——环形基础孔洞的半径(m)，当 $r_2=0$ 时即为圆形基础；

a_c ——基础受压面积宽度(m)；

ξ 、 τ ——系数，根据比值 r_2/r_1 及 e/r_1 按《高耸结构设计标准》(GB 50135-2019)附录 H 确定。

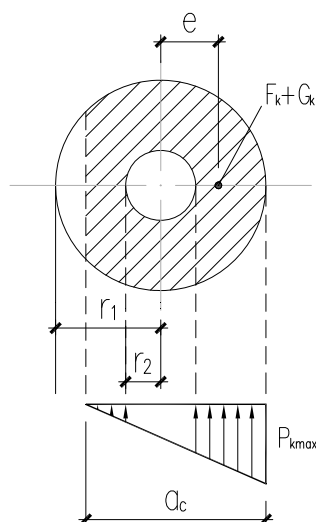


图 6.6.2.3 偏心荷载作用下，等效圆（环）形基础底面部分脱开时的基底压力

4 地基基础设计等级为甲、乙级时应作地基变形验算，地基基础设计等级为丙级且有以下情况之一时应作地基变形验算：

- 1) 在基础上及其附近有地面堆载或相邻基础荷载差异较大，可能引起地基产生过大的不均匀沉降时；
- 2) 软弱地基上相邻建筑距离近，可能发生倾斜时；
- 3) 地基内有厚度较大或厚薄不均的填土或地基土，其自重固结未完成时；
- 4) 地基承载力特征值小于 200kPa 时；
- 5) 采用地基处理消除湿陷性黄土地基的部分湿陷量时，下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量应符合现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025) 的规定。

5 地基变形计算应符合国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007) 的规定，地基

变形计算值不应大于地基变形允许值。

6 基础倾斜应按式计算：

$$\tan \theta = \frac{s_1 - s_2}{d} \quad (6.6.2-8)$$

式中： d ——为沿计算倾斜方向的圆（环）形基础底板外径或其他形状基础的长度（mm）；

s_1 、 s_2 ——基础倾斜方向两端边缘的最终沉降量（mm）。对圆（环）形基础可按现行国家标准《烟囱工程技术标准》（GB/T 50051）计算。

7 地基变形允许值应满足工艺要求，并应符合表 6.5.2.7 的规定。

表 6.5.2.7 地基变形允许值

造粒塔总高度 H (m)	沉降量允许值 (mm)	倾斜 $\tan \theta$ 允许值
20<H≤50	400	0.006
50<H≤100		0.005
100<H≤150	300	0.004

6.6.3 天然地基基础设计

1 基础设计按照《建筑地基基础设计规范》（GB 50007）相关规定执行。

2 基础底面出现零应力区时，应计算基础底板顶面负弯矩并在基础顶面配置受力钢筋。负弯矩的计算按《高耸结构设计标准》（GB 50135）相关规定执行，顶部配筋的计算按《建筑地基基础设计规范》（GB 50007）相关规定执行。

3 验算基础的抗滑移稳定性时，应满足下式要求：

$$\frac{(N+G)\mu}{P_h} \geq 1.5 \quad (6.6.3-1)$$

式中： P_h ——上部结构传至基础底面上的水平力代表值（kN），作用效应按承载能力极限状态下作用的基本组合，分项系数为 1.0；

N ——上部结构传至基础的竖向力代表值（kN），与 P_h 对应；

G ——基础自重（kN）；

μ ——基础底面对地基土的摩擦系数，按《建筑地基基础设计规范》（GB 50007-2011）

表 6.7.5-2 选用。

4 当基础底面零应力区面积不大于全部面积的 15%时，可不进行基础的倾覆验算。

6.6.4 桩基础设计

1 桩基础设计应按《建筑地基基础设计规范》（GB 50007）和《建筑桩基技术规范》（JGJ

94) 的规定执行。

2 单桩竖向极限承载力标准值应通过单桩静载荷试验确定。承受水平力较大的桩基应进行水平承载力验算，单桩水平承载力特征值应通过单桩水平静载荷试验确定。

6.6.5 基础构造

1 基础底板受力钢筋的最小配筋率不应小于 0.15%。

2 筏板基础应采用双向钢筋网片分别配置在板的顶面和底面。受力钢筋直径不宜小于 14mm，钢筋间距不宜小于 150mm，也不宜大于 300mm。当筏板厚度大于 2m 时，宜在板厚中间部位设置直径不小于 12mm、间距不大于 300mm 的双向钢筋网片。

3 平板式筏基的厚度可根据受冲切承载力计算确定，板厚不宜小于 400mm。

4 塔内地坪采用结构架空楼板时，宜采用现浇混凝土板，板厚不应小于 100mm，受力钢筋的最小配筋率不应小于 0.20%。

7 防腐设计

7.1 塔体内壁

- 7.1.1 塔体内壁应采用耐热温度不低于 80°C 的整体式防腐涂层。涂层厚度不小于 160 μ m。
- 7.1.2 塔体顶棚宜在结构板底衬 304 不锈钢板并与楼板整浇。不锈钢板厚度不应小于 3mm。

7.2 刮料层及钢漏斗

- 7.2.1 刮料层楼盖应采用耐冲击、耐磨蚀、耐热温度不低于 60°C 的防腐材料。
- 7.2.2 刮料层楼盖周边应做防腐踢脚。踢脚高度不应小于 300mm，防腐做法同楼盖。
- 7.2.3 刮料层楼盖应设置厚度不小于 1mm 的树脂玻璃钢隔离层，隔离层上翻高度不应小于 300mm。
- 7.2.4 钢漏斗表面宜选用耐干湿交替、耐磨蚀且与钢铁基层附着力强的防腐涂料。

7.3 喷头层

- 7.3.1 喷头层喷头孔周围的楼面应设置围堰，围堰高度不应低于 200mm。围堰外的楼面应设置地漏并向地漏找坡，坡度不小于 1%；地漏应采用防腐型地漏。
- 7.3.2 围堰内的楼面应采用具有耐冲击、耐磨蚀、耐热温度不低于 100°C 的防腐材料，围堰外的楼面宜选用整体式防腐面层。
- 7.3.3 喷头层楼面均应设置厚度不小于 1mm 的树脂玻璃钢隔离层。在楼面与围堰交接处，隔离层应上翻至围堰顶部交圈；在楼面与塔体内墙面交接处，隔离层上翻高度不应小于 300mm。
- 7.3.4 喷头层的内墙面应设置防腐墙裙。墙裙高度不宜小于 1500mm，防腐做法同楼面。墙裙以上内墙及顶棚的防腐做法同造粒塔内壁。

7.4 造粒塔底层

- 7.4.1 造粒塔底部地面宜采用整体式防腐面层，地面坡度不应小于 2%。有冲洗要求的地面应设置地沟。地面与地沟均应设置厚度不小于 1mm 的树脂玻璃钢隔离层，并应连成整体。
- 7.4.2 造粒塔地面混凝土强度等级不应低于 C25，抗渗等级不应低于 P6，厚度不应小于

100mm。

7.4.3 底层内墙面应设置防腐墙裙。墙裙高度不宜小于 1000mm，防腐蚀做法同地面。墙裙以上的内墙面及顶棚可采用防腐蚀涂料面层。

7.5 楼梯间、电梯间

7.5.1 楼梯间、电梯间、防尘前室以及连接塔体的通道的楼地面宜采用整体式防腐蚀面层。

7.5.2 楼地面四周应设置防腐踢脚。踢脚高度不应小于 300mm，防腐蚀做法同地面。踢脚以上的内墙面及顶棚可采用防腐蚀涂料面层。

7.6 造粒塔屋面

7.6.1 造粒塔屋面应采用有组织排水。雨水管宜与工艺管道集中布置。

7.6.2 屋面的地漏、雨水口及雨水管均应采用防腐型构配件。

7.6.3 屋面防腐宜采用防腐块材面层，并设置隔离层。在屋面与设备基座交接处，隔离层应上翻至基座顶部；在屋面与女儿墙内墙面交接处，隔离层上翻高度不小于 600mm。

7.6.4 女儿墙内侧应设置防腐墙裙。墙裙高度不应小于 600mm，防腐蚀做法同屋面。墙裙以上女儿墙也应采取防腐措施，做法可同造粒塔外壁。

7.6.5 女儿墙压顶应向内找坡，坡度不小于 5%。

7.7 造粒塔外壁

7.7.1 造粒塔外壁防腐涂层应采用附着力强、耐久性优良的防腐涂料。进风口顶部挑檐以上的外壁涂层厚度不应小于 120 μ m，挑檐及以下的外壁涂层厚度不应小于 160 μ m。

7.7.2 造粒塔室外散水宜采用厚度为 20~30mm 的聚合物水泥砂浆面层。

7.7.3 进风口的防雨罩棚及钢龙骨檩条、进风口底部的钢篦子板及钢梁、女儿墙上的避雷带、室外钢爬梯等钢构件均应采取有效的防腐措施。预埋件和连接螺栓宜采用不锈钢。

7.7.4 造粒塔总高度应符合航空部门的相关规定。造粒塔顶部宜涂刷航空障碍物标志，涂装高度宜为造粒塔高度的 1/7。

8 施工要求

8.1 一般规定

8.1.1 造粒塔设计文件中应注明涉及危险性较大分部分项工程的重点部位和环节，提出保障工程周边环境安全和工程施工安全的意见，必要时进行专项设计。

8.1.2 造粒塔施工前应编制施工组织设计。基坑支护与开挖、基础大体积混凝土、塔体滑模、喷头层、刮料层、安装工程、内外壁防腐蚀等分部分项工程施工应编制专项方案。

8.1.3 造粒塔施工与验收应符合现行相关标准规定。

8.2 基础

8.2.1 基槽（坑）开挖到底后，应进行基槽（坑）检验。当发现地质条件与勘察报告和设计文件不一致、或遇到异常情况时，应结合地质条件提出处理意见。基础施工完成后，应及时组织基础验收和基坑回填。

8.2.2 造粒塔基础混凝土工程施工应符合下列规定：

1 基础大体积混凝土应连续浇筑，并应符合现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB50496 的规定。

2 当基础设置膨胀加强带时，加强带处混凝土施工应符合现行标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T 178 的相关要求。

8.3 塔体

8.3.1 造粒塔塔壁宜采用滑模工艺进行施工。采用滑模工艺时，塔壁厚度不宜小于 160mm。

8.3.2 塔体结构施工应满足下列规定：

1 喷头层施工时，宜在喷头层下方设置钢结构转换施工平台，施工平台应经专项设计，喷头层专项施工方案应经专家论证后实施。

2 喷头层结构采用滑模空滑施工时，应有相应的防失稳安全技术措施，并对滑模装置支撑系统进行复核算，停滑位置塔壁混凝土强度应满足滑模系统支撑要求。

3 刮料层宜在塔体主体结构施工完成后进行，塔体内部不应垂直交叉作业。

4 造粒塔刮料层混凝土施工应待刮料机底座定位盘安装后方可进行。

8.3.3 塔体钢筋工程施工应满足下列规定：

1 水平环向钢筋下料加工与连接应符合下列规定：

1) 水平环向钢筋下料长度不宜超过 9m。

2) 水平环向钢筋加工宜采用机械加工成型，钢筋的弧度应均匀符合设计要求。

3) 水平环向钢筋宜优先采用绑扎搭接接头、同一连接区段内钢筋接头面积百分率不宜大于 25%；采用焊接接头时，同一连接区段内钢筋接头面积百分率不宜大于 50%，搭接长度应符合设计文件规定。

2 竖向钢筋下料加工与连接应符合下列规定：

1) 竖向钢筋下料长度宜为 4m~6m。

2) 竖向钢筋直径小于或等于 20mm 时，宜优先采用绑扎搭接连接；直径大于 20mm 时宜采用机械连接或绑扎搭接；同一连接区段内钢筋接头面积百分率不宜大于 25%，搭接长度应符合设计文件规定。

8.3.4 塔体混凝土工程应符合下列规定：

1 造粒塔工程冬期施工应符合现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T104 的规定。

2 塔体混凝土浇筑顺序可根据天气温度、日照等因素综合确定；混凝土浇筑应整体分层、对称、交圈、连续浇筑，分层厚度宜为 200mm~300mm。分层浇筑间隔时间不宜超过混凝土初凝时间。

3 塔体采用滑模施工时，滑升速度及出模混凝土强度应符合《滑动模板工程技术标准》GB/T50113 的规定。

4 塔壁滑模施工时，混凝土出模后表面宜采用塔体混凝土同配比的水泥砂浆或加有减水剂成分的水泥砂浆进行抹平、压实、抹光修饰。

5 塔壁混凝土出模后宜采用养护液养护。

8.3.5 塔体施工偏差应符合塔体施工允许偏差表 8.3.5 的规定。

表 8.3.5 塔体施工允许偏差

序号	项 目	允许偏差 (mm)
1	定位中心线	0, 15
2	任意截面的半径	≤20

3	表面平整度		8
	塔壁、柱、梁、板截面尺寸		+10, -5
4	塔体垂直度		$\leq 0.1\%$ 塔体高度；且不大于 50mm
5	标 高	层高（每 10m）	± 10
		全高	± 30
6	门窗洞口及预留洞口中心位置		15
7	预埋件中心位置		10
8	电梯井	中心位置	10
		长、宽尺寸	+25, 0
9	主体结构的扭转量		圆形筒体 $\leq h/1000$ ，且不得大于 100；多边形或方形筒体不得大于 50

8.3.6 塔体应沿四周设置不少于 4 个沉降观测点，并编制沉降观测成果资料。

附录 A 已建尿素造粒塔的实测自振周期 (T)

厂名	结构简况				自振周期 T (s)		实测单位
	塔体 高度 (m)	内径 (m)	壁厚 (cm) 刮料层以上	支承 方式	沿 楼 电 梯 间 方 向	垂 直 于 楼 电 梯 间 方 向	
			刮料层以下				
四川化工厂	56	14	25	筒支承	0.68	0.67	原一机部第一设计院 化工部第四设计院
邯郸化肥厂	58.3	11.84	16	柱支承	0.61	0.68	
大庆化肥厂	60	20	$\frac{20}{50}$	筒支承	0.67	0.67	
北京化工实验厂	46	8	16	柱支承	0.56	0.71	化工部抗震办公室
石家庄化肥厂	64	9	15	柱支承	1.25	1.3	化工部抗震办公室
辽河化肥厂	60	20	$\frac{20}{40}$	筒支承	0.55	0.68	化工部原工程抗震 设计研究室
湖北省化肥厂	60	20	$\frac{20}{40}$	筒支承	0.54	0.62	化工部原工程抗震 设计研究室
湖南洞庭化肥厂	60	20	$\frac{20}{40}$	筒支承	0.56	0.66	化工部原工程抗震 设计研究室
安庆化肥厂	63.45	20	$\frac{22}{35}$	筒支承	0.54	0.66	化工部原工程抗震 设计研究室
广州石油化工厂	64.35	20	$\frac{22}{35}$	筒支承	0.704	0.667	化工部原工程抗震 设计研究室

附录 B 筒体结构风压表面分布系数 μ_s 的推导

现行造粒塔的塔径越做越大，根据统计，主流造粒塔的高径比 H/d 一般在 4~5 之间，取 $H/d = 4.5$ ，查《建筑结构荷载规范》表 8.3.1 圆截面构筑物一栏的风荷载体型系数，插值计算如下：

α	$H/d = 7.0$	$H/d = 1.0$	$H/d = 4.5$
0°	+1.0	+1.0	+1.00
15°	+0.8	+0.8	+0.80
30°	+0.1	+0.1	+0.10
45°	-0.8	-0.7	-0.76
60°	-1.7	-1.2	-1.49
75°	-2.2	-1.5	-1.91
90°	-2.2	-1.7	-1.99
105°	-1.7	-1.2	-1.49
120°	-0.8	-0.7	-0.76
135°	-0.6	-0.5	-0.56
150°	-0.5	-0.4	-0.46
165°	-0.5	-0.4	-0.46
180°	-0.5	-0.4	-0.46

采用傅里叶级数变换公式 $y = f(\theta) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^3 a_n \cos(n\theta)$ ， n 取 1、2、3。

取 $m = 24$ 等分圆 $m\alpha = 24 \times 15^\circ = 360^\circ$

系数：

$$a_0 = \frac{2}{m} \sum_{i=0}^{m-1} y$$

$$a_1 = \frac{2}{m} \sum_{i=0}^{m-1} y \cos \theta$$

$$a_2 = \frac{2}{m} \sum_{i=0}^{m-1} y \cos 2\theta$$

$$a_3 = \frac{2}{m} \sum_{i=0}^{m-1} y \cos 3\theta$$

表 B 傅里叶级数变换系数表

θ	$y = f(\theta)$	$y \cos \theta$	$y \cos 2\theta$	$y \cos 3\theta$	$\mu_s = -0.7 + 0.3 \cos \theta + \cos 2\theta + 0.4 \cos 3\theta$
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
15°	0.80	0.77	0.69	0.57	0.74
30°	0.10	0.09	0.05	0.00	0.06
45°	-0.76	-0.54	0.00	0.54	-0.77
60°	-1.49	-0.75	0.75	1.49	-1.45
75°	-1.91	-0.49	1.65	1.35	-1.77
90°	-1.99	0.00	1.99	0.00	-1.70
105°	-1.49	0.39	1.29	-1.05	-1.36
120°	-0.76	0.38	0.38	-0.76	-0.95
135°	-0.56	0.39	0.00	-0.39	-0.63
150°	-0.46	0.40	-0.23	0.00	-0.46
165°	-0.46	0.44	-0.40	0.32	-0.41
180°	-0.46	0.46	-0.46	0.46	-0.40
195°	-0.46	0.44	-0.40	0.32	-0.41
210°	-0.46	0.40	-0.23	0.00	-0.46
225°	-0.56	0.39	0.00	-0.39	-0.63
240°	-0.76	0.38	0.38	-0.76	-0.95
255°	-1.49	0.39	1.29	-1.05	-1.36
270°	-1.99	0.00	1.99	0.00	-1.70
285°	-1.91	-0.49	1.65	1.35	-1.77
300°	-1.49	-0.75	0.75	1.49	-1.45
315°	-0.76	-0.54	0.00	0.54	-0.77
330°	0.10	0.09	0.05	0.00	0.06
345°	0.80	0.77	0.69	0.57	0.74
Σ	-17.41	3.62	12.90	5.58	-

则系数:

$$a_0 = \frac{2}{m} \sum_{i=0}^{m-1} y = \frac{2}{24} \times (-17.41) = -1.45$$

$$a_1 = \frac{2}{m} \sum_{i=0}^{m-1} y \cos \theta = \frac{2}{24} \times 3.62 = 0.30$$

$$a_2 = \frac{2}{m} \sum_{i=0}^{m-1} y \cos 2\theta = \frac{2}{24} \times 12.90 = 1.07$$

$$a_3 = \frac{2}{m} \sum_{i=0}^{m-1} y \cos 3\theta = \frac{2}{24} \times 5.58 = 0.46$$

得出体型系数公式为:

$$\mu_s = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos \theta + a_2 \cos 2\theta + a_3 \cos 3\theta \approx -0.7 + 0.3 \cos \theta + \cos 2\theta + 0.4 \cos 3\theta$$

通过表 B 的对比, 本规定采用的体型系数公式与《建筑结构荷载规范》给的值极其接近。

附录 C 造粒塔内的温度图表

C. 0. 1 造粒塔内的温度分布图见图 C. 0. 1。

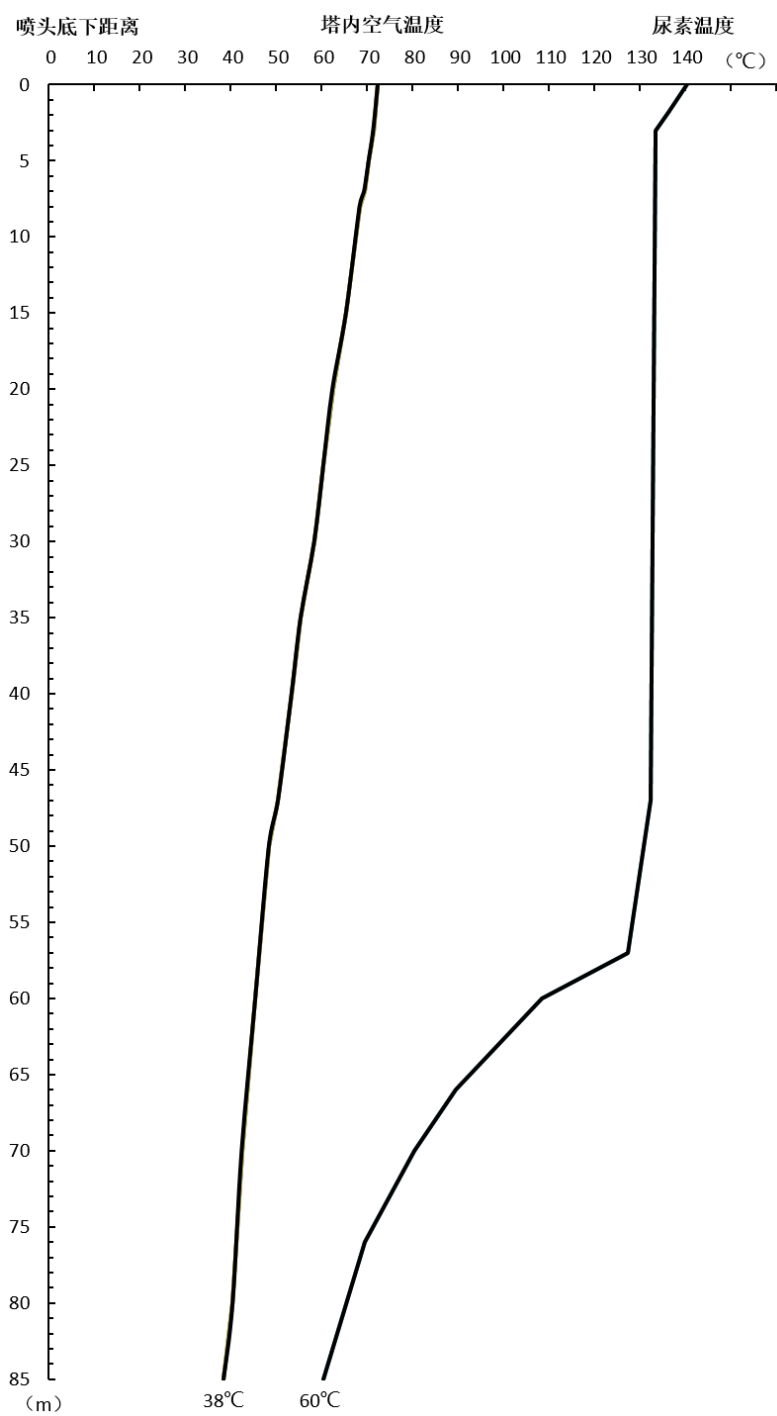


图 C. 0. 1 造粒塔内的温度分布图

C. 0. 2 造粒塔内的气流分布图见图 C. 0. 2。

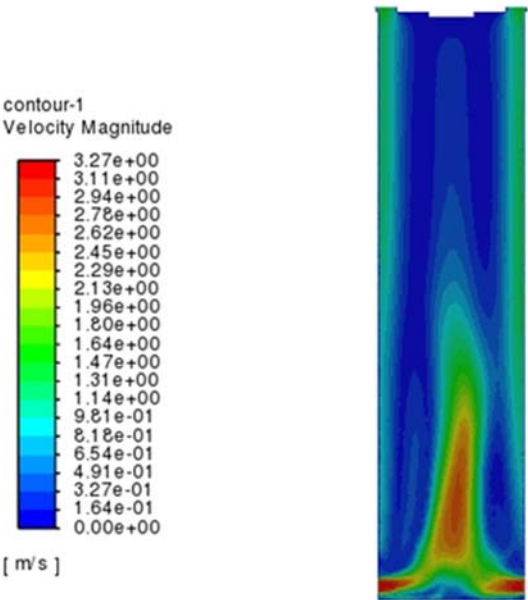


图 C. 0. 2 造粒塔内的气流分布图

C. 0. 3 造粒塔内不同粒径的尿素颗粒竖直下落运动规律见图 C. 0. 3。

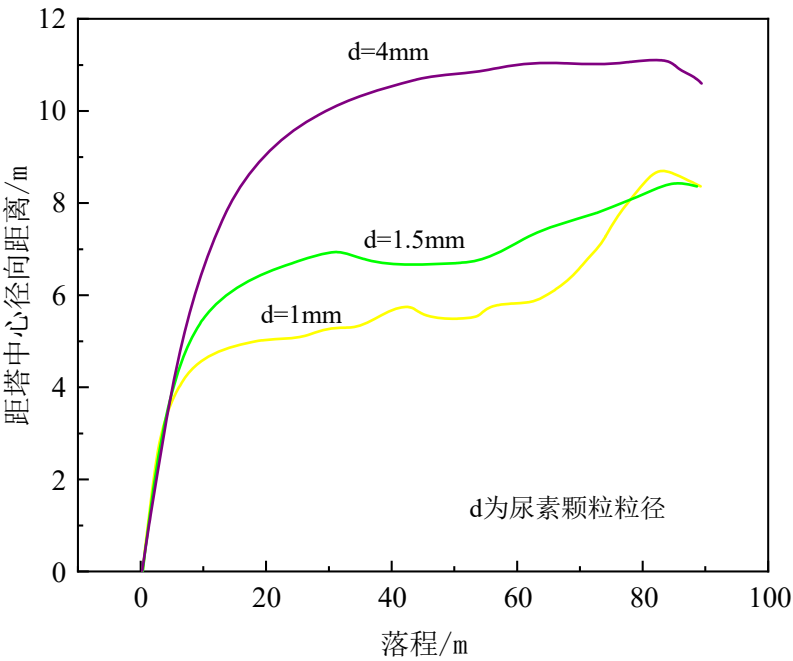


图 C. 0. 3 造粒塔内不同粒径的尿素颗粒竖直下落运动规律

附录 D 简化计算

D.0.1 在初步设计阶段或初期评估阶段,为了快速、方便地估算造粒塔的主要尺寸、载荷和性能指标,以提供初步的设计参考和评估,指导后续的详细设计和优化时,可采用本标准的简化计算。

D.0.2 当造粒塔的高宽比满足 $3.0 \leq H/D < 3.5$ 时,属长圆柱壳,可采用梁理论分析壳体内力。当造粒塔的高宽比 $H/D \geq 3.5$ 时,可将造粒塔作为一个悬壁管柱进行分析。

D.0.3 塔壁内外壁面温差 ΔT 所产生的弯矩,可按下列公式计算:

$$M_z = M_\theta = \frac{-0.55 E_c J \alpha_c \Delta T}{h(1 - \nu_c)} \quad (D.0.3-1)$$

式中: M_z 、 M_θ ——竖向和环向的温度弯矩($\text{kN} \cdot \text{m} / \text{m}$);

E_c ——混凝土的弹性模量(kPa);

α_c ——混凝土的线膨胀系数,取 $1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$;

J ——塔壁的惯性矩, $J = \frac{1}{12} h^3$ (m^4);

ν_c ——混凝土的泊松比,取 0.2。

代入 ν_c 值上式简化为:

$$M_z = M_\theta = -0.06 E_c h^2 \alpha_c \Delta T \quad (D.0.3-2)$$

D.0.4 支承式的柱计算

1) 柱轴力计算:

$$\sigma = \frac{W}{\sum F_i} \pm \frac{My}{\sum I_i} \quad (D.0.3-3)$$

$$N = \sigma \cdot A \quad (\text{kN}) \quad (D.0.3-4)$$

式中: W ——计算截面上的全塔总垂直重力荷载(kN);

$\sum F_i$ ——全塔柱截面积(m^2);

$\sum I_i$ ——与弯矩方向相对应的截面惯性矩(m^4);

y ——柱中心到截面形心轴的距离(m);

M ——与计算柱所对应的最不利弯矩($\text{kN} \cdot \text{m}$), $M = M_1 + M_2$;

M_1 ——风、地震引起的组合弯矩($\text{kN} \cdot \text{m}$);

M_2 ——由于全塔总的垂直重力荷载偏离塔重心轴所形成的偏心弯矩($\text{kN} \cdot \text{m}$)。

A ——柱横截面面积(m^2)。

2) 柱弯矩计算:

$$M_k = QH/2 \quad (D.0.3-5)$$

$$Q = \frac{1.5P}{\sum F_i} A \quad (\text{D.0.3-6})$$

式中: M_k ——柱端弯矩 ($kN \cdot m$);

Q——柱顶剪力 (kN);

H——柱高 (m);

P——风、地震引起的总水平力 (kN)。

D. 0. 5 筒支承式进风口窗间墙计算

窗间墙可简化为一偏心受压柱来考虑, 计算方法同支承式的柱计算。

D. 0. 6 简化计算中薄弱环节的处理

对塔壁、梯壁刚度突变之处, 应在构造上作适当补强, 见正文 6. 5. 6 条和 6. 5. 7 条。

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：

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做的：

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做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《工程结构通用规范》GB 55001
- 《混凝土结构通用规范》GB 55008
- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 《高耸结构设计标准》GB 50135
- 《烟囱工程技术标准》GB/T 50051
- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046
- 《滑动模板工程技术标准》GB/T 50113
- 《尿素造粒塔工程施工及质量验收规范》GB 51138
- 《化学工业建(构)筑物抗震设防分类标准》GB 50914
- 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202
- 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 《大体积混凝土施工标准》GB 50496

中华人民共和国化工行业标准

造粒塔设计标准

HG/T 20672—xxxx

条文说明

修 订 说 明

本标准《造粒塔设计标准》HG/T 20672—2023，经中华人民共和国工业和信息化部于 2023 年 x 月 xx 日以第 xx 号公告批准发布。

本标准是在《尿素造粒塔设计规定》HG/T 20672—2005 的基础上修订而成。上一版标准的主编单位是五环科技股份有限公司（现为中国五环工程有限公司），主要起草人是方连发、刘广智、高伟、张葵阳、黄建忠、何进源、杨文君。

依据 2022 年修编计划，本标准编制组经调查研究、收集资料、会议研讨、反复修改后，于 2023 年 8 月完成了“征求意见稿”，发往 xx 个单位征求意见。

本次标准修订过程中，修订组进行了广泛的调查研究，特别是对近年来造粒塔的腐蚀情况进行了大量调研，总结了造粒塔腐蚀与防护经验，对造粒塔防腐蚀作出了更为详细的规定；并对塔内温度情况做了大量实地测量，对造粒塔的温度计算分析提供了切实依据；根据最新的行业标准，传统的自然通风已无法满足日益严格的环保排放标准，标准新增了环保除尘要求。

在本标准修订中收集了近十几年来我国工程建设的实践经验，同时参考了国内外工程公司的标准做法，体现了目前国内国际先进的技术水平。标准实施后将极大提高设计效率，保证设计质量。

为了准确理解和执行本标准的条文规定，按照《工程建设标准编写规定》的要求，标准编制组编写了《造粒塔设计标准》条文说明。本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	48
3	基本规定	49
4	工艺要求	50
5	建筑布置	51
5.2	楼梯的设置	51
5.3	电梯的设置	51
6	结构设计	52
6.1	材料	52
6.2	塔体结构选型	52
6.3	荷载与作用	52
6.4	结构计算	54
6.5	构造	54
6.6	地基与基础	55
7	防腐蚀设计	57
7.1	塔体内壁	57
7.2	刮料层及钢漏斗	57
7.3	喷头层	57
7.7	造粒塔外壁	57
8	施工要求	58
8.1	一般规定	58
8.2	基础	58
8.3	塔体	59

1 总则

1.0.3 设计钢筋混凝土硝铵造粒塔时亦可参考本标准，意指结构设计是可以参考的，塔内壁的防腐处理则不能参考。尿素对塔壁的腐蚀是渗透、结晶、膨胀，纯属于一种物理破坏。硝铵对塔壁腐蚀不同于尿素，因此采取的防腐措施亦不同。硝铵造粒塔的设计尚应满足相关标准规定的要求。

3 基本规定

3.0.6 造粒过程中物料溶液渗入混凝土基体内，会发生渗入-结晶（膨胀）-潮解渗入-再结晶（膨胀）的物理及化学变化，这种变化足以破坏混凝土基体强度，影响塔体结构安全。

造粒塔内温度分布不均、介质状态相异，塔内壁的腐蚀工况比较复杂。防腐蚀涂层受其本身的材料性能、施工质量、耐久年限等诸多因素影响，存在失效风险，修复起来也比较费工费时。根据多年的经验，我们认为造粒塔内壁的防腐蚀以塔体混凝土自防腐为主、防腐蚀涂装作为加强措施为宜。

在塔壁混凝土中添加减水剂、密实剂、阻锈剂等外加剂，可提高混凝土的密实度和自防腐性能。

4 工艺要求

4.0.1 根据经验，尿素造粒塔内径与生产能力关系如下表：

生产能力 t/d	<300	370~440	440~560	600~900	1000~1500	1600~1900	2000~2400	2500~4000	约 5500
塔内径, m	9~11	12~13	14	16	18	20~22	24	26~32	约 34

机械通风型式的造粒塔内径可由设计单位根据造粒塔生产能力、喷头型式、产品粒径和通风量的要求计算确定。

复合肥造粒塔内径宜根据复合肥配方种类、生产能力和产品粒径等因素确定。

4.0.5 造粒塔的进风口设计应遵循如下原则：

1 根据造粒塔生产能力、产品类型、颗粒尺寸、出塔产品温度等要求计算确定有效进风面积，并提出最小要求；

2 造粒塔的进风口宜沿塔周均匀布置，避免产生死角；

3 造粒塔的进风口底部宽度的计算和篦子板的位置，应考虑到篦子板对空气流动的阻力和有效进风面积，在结构许可条件下，尽量降低进风口高度；

4 造粒塔的进风口外面应设有防护罩，用于防雨、防沙、防尘，走道板开孔率大于 60%，净开孔面积应不低于进风口的有效进风面积；

5 为调节进风量和防止“穿堂风”影响，进风口设置可调节百叶窗，可在 90° 范围内有效调节，宜采用下风式可调百叶窗。

4.0.7 内出风型造粒塔的生产不受大风，暴雨等天气因素影响，另外内出风型式的造粒塔也便于安装造粒塔尾气处理设施。

4.0.14 造粒塔在生产运行时，出风口排出的尾气中含有粉尘和氨，不加处理直接排入大气，可能带来一定程度的环境污染，新建造粒塔宜设置尾气处理设施。

造粒塔的尾气处理设施当由专业的造粒塔尾气处理厂家提供设计和（或）供货服务时，造粒塔的设计单位在设计造粒塔时要和尾气处理设施的设计和（或）供货厂家加强沟通，以确保造粒塔载荷、尾气处理单元的安裝和检修满足实际生产需求。

5 建筑布置

5.2 楼梯的设置

5.2.1 造粒塔的楼梯及电梯一般邻近塔体布置。当生产运行中机械风压不足以保证塔内负压时，开启观察窗等洞口会造成造粒颗粒涌出，聚集在楼梯电梯附近的地面、窗台、内墙等处，形成腐蚀性环境。为保证楼梯及电梯的使用安全，故规定楼梯间应封闭设置且隔墙采用不燃性实体墙。

5.2.3 造粒塔大多只有 1-2 名巡检人员进入，垂直交通以电梯为主，楼梯仅作相邻楼层联系或紧急疏散使用，故适当放宽了梯段净宽的要求。楼梯梯段宽度及钢梯倾斜角度的规定参照现行国家标准《建筑防火通用规范》GB 55037 中相关室外疏散楼梯的规定。

5.3 电梯的设置

5.3.2 出于防尘、防腐蚀要求，为保证电梯使用安全，故做此规定。

6 结构设计

6.1 材料

6.1.1 混凝土用砂、石的含泥量对混凝土质量和耐久性影响大，是控制混凝土质量的关键指标之一，本规范对此指标的要求系结合《混凝土结构通用规范》GB 55008 和《尿素造粒塔工程施工及质量验收规范》GB 51138 综合确定。

6.2 塔体结构选型

6.2.1 喷头层结构的选型

根据造粒塔工艺的要求，喷头层的位置有设置在造粒塔的塔顶或造粒塔的塔内两种情况，塔体喷头层的结构选型，应根据塔径大小、喷头层的具体位置等因素，采用一字型梁结构形式、井字形梁结构形式、辐射梁结构形式。

由于现行设计中造粒塔的直径越来越大，大多超过了 24 米，对喷头层结构的设计、施工均提出了较大的挑战。除了上述喷头层结构的常见形式，一些工程公司还在探索一些新的结构形式，如中国五环工程有限公司就提出了一种双层叠合桁架式结构形式（专利号：ZL 2016 2 0748401.X），与喷头层结构设计紧密结合，形成新型的受力结构。该技术采用钢桁架分层施工法，利用单层钢桁架重量轻、跨度大的特点，作为临时结构支撑兼做施工平台，首次实现高空双层钢桁架结构设计和现场组装，然后完成大跨度多层桁架式型钢混凝土组合深梁的混凝土浇筑，保证了大跨度结构钢桁架高空安装阶段和钢筋混凝土施工阶段的结构安全性，同时为工程项目节省了工期和费用。此结构形式已在实际造粒塔工程设计施工中应用。

6.3 荷载与作用

6.3.3 本节系根据《建筑结构荷载规范》（GB 50009-2012）修订。随着造粒塔的塔径越做越大，原规范采用 $H/d=7$ 的高径比推导体型系数已不再合适，本次修订采用 $H/d=4.5$ 的高径比重新推导了公式（详见附录 B），并且修正了原规范中的一些数值错误。

6.3.4 造粒塔是典型的构筑物，对于抗震设防烈度为 9 度的造粒塔及建筑场地为 III、IV 类时抗震设防烈度不低于 8 度（ $0.30g$ ）的复合肥造粒塔，除应按规定采用振型分解反应谱法外，尚应采用时程分析法或经专门研究的方法进行补充计算。计算结果可取时程分析法的平

均值和振型分解反应谱法的较大值。

采用底部剪力法计算时，质点宜按下列方式确定：

- (1) 对有楼面的部位设为质点（如刮料层、喷头层、屋面）；
- (2) 变截面处设为质点；
- (3) 结构刚度突变处设为质点；
- (4) 楼电梯间实际楼层，等截面的塔体可按每 8m~10m 设一质点。

实际工程中造粒塔的基本周期采用电算确定，该条的基本周期近似计算公式用于手算复核用。附录 A 给出了部分已建造粒塔的实测周期值。

突出塔顶的小型结构，指重力荷载代表值小于塔顶层 1/3 的情况。

6.3.5 温度作用

2 温度作用会使构件产生伸长或压缩变形，当这些变形不受任何约束时，构件不会产生温度应力，而造粒塔结构不可能是理想的无约束体，又因其几何特性，对温度变形总是存在约束条件，但又不可能将变形完全约束。因此，可能出现一些微裂缝。在环境温度变化的条件下，只要出现裂缝甚至是很小的裂缝变形，都会改变其约束条件，从而使温度变化产生的温度应力变小。为此在实际工程计算时，应根据具体工况，将计算结果乘以本条提供的刚度折减系数，对计算结果进行近似修正。参考《烟囱工程技术标准》GB/T 50051 将壁面温差应力的刚度折减系数取为 0.55。

4 50 年重现期的月平均最高气温 $T_{a,max}$ 和月平均最低气温 $T_{a,min}$ 可根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 附录 E 规定的方法确定。

5 塔壁中面最大作用力 p_c 应根据每个部位的几何尺寸及约束条件按式(6.3.5-1)计算。

6 钢筋混凝土的导热系数参考 GB 50176-2016《民用建筑热工设计规范》附录 B 取为 $1.74 W/m \cdot K$ 。

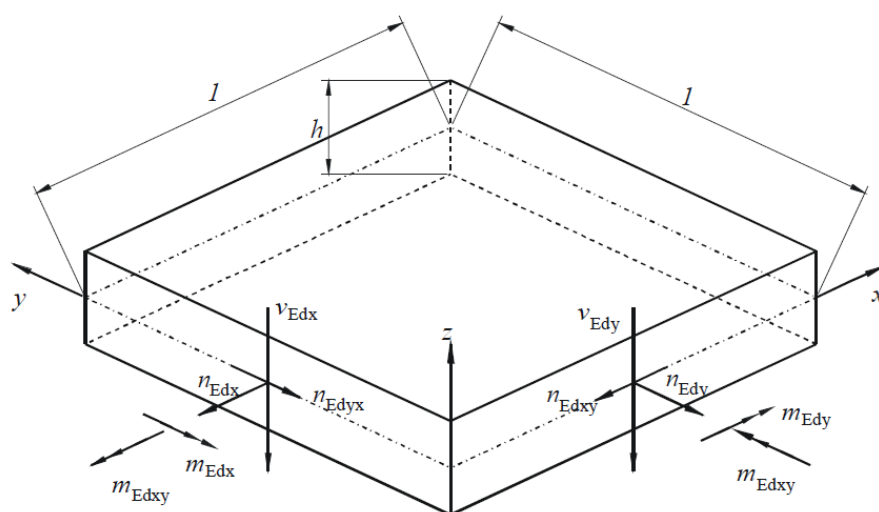
传热系数与风速等因素相关，塔壁外表面为混凝土表面与空气的对流传热，参考《烟囱工程技术标准》、《民用建筑热工设计规范》、《给水排水工程结构设计手册》等取为 $12 \sim 23 W/m^2 \cdot K$ ，其中冬季取大值，夏季取小值。塔壁内表面为防腐层表面与塔内被加热的空气间的对流传热，参考《烟囱工程技术标准》取为 $33 W/m^2 \cdot K$ 。当具体项目的工艺提资可以更为准确的确定塔壁内外表面的传热系数时，可按工艺提资数据计算。

8 高纬度地区的造粒塔，阳面与阴面的日照及辐射温差较大，对筒体温度作用的影响应依据当地气象资料进行设计。当无实测数据时可取不低于 $20^\circ C$ 。

6.4 结构计算

6.4.1 在化工、石油化工等流程工业中，造粒塔既是构筑物，也是重要的化工设备。因工艺要求，造粒塔的设计出现了一些新的变化，直径越来越大（目前在建的尿素造粒塔直径已达 30 米）；塔高越来越高，塔高已经达到 120 米。以前造粒塔的设计多采用有一定局限性的简化计算模型计算，随着通用有限元软件在各设计单位的普及和应用，越来越多的设计单位采用 SAP2000 等软件进行有限元计算分析。有限元计算分析软件具有适用范围广，计算分析功能强等优点，因此造粒塔的内力分析宜采用有限单元法。

在实际工程操作中，造粒塔的筒壁和楼、电梯间可采用壳单元建模，经有限元程序分析后，一般会得到壳单元的 8 个应力结果（如下），这 8 个应力结果不能直接用于设计。为了设计便利，可将混凝土壁板视为两层以钢筋为中心面的外层和一层无开裂混凝土核心层组成的板单元，将应力结果转换为等效膜特性平面内力，外层的内力由钢筋承担，等效内力除以钢筋的面积即得钢筋的应力，壳单元的配筋应以控制钢筋在承载能力极限状态下的应力为目的。关于应力如何转换为等效膜的平面内力，可参考 BS EN 1992-2: 2005 的附录 LL，在此不再赘述。



6.4.4 本标准表 6.4.4 关于混凝土在温度作用下的强度标准值 f_{ctk} 的取值系根据现行国家标准《烟囱工程技术标准》GB/T 50051 表 4.2.3 的相关规定。

6.5 构造

6.5.9 塔体局部配置补强钢筋

在顶环梁下约 1~2 m、在喷头层上下各约 1~2 m 的范围内，由于塔体在这些部位的

刚度发生突变，应力集中，从而产生弯曲效应，故在这些部位的配筋，应较上下截面内钢筋截面加大一个档次。

6.5.11 刮料层现浇楼盖与塔体的联结构造

关于刮料层现浇肋形楼盖和塔体联结构造，过去的工程实践发现直径 20m 造粒塔的刮料层梁板均有裂缝，数量还不少。裂缝宽度大多在 0.2~0.3mm，虽然不影响使用，但会导致钢筋的锈蚀，最终会影响正常使用。所以，从构造上采取一些措施。裂缝产生的原因及处理的方法可参阅“尿素造粒塔刮料层大梁裂缝原因的探讨”一文（由中国武汉化工工程公司编写）。

6.6 地基与基础

6.6.1 一般规定

2 造粒塔宜采用整体性好的基础，如墙（柱）下条形基础、联合基础、筏板基础等，对于荷载不大、地质情况较好的柱承式造粒塔，也可采用柱下独立基础。

7 造粒塔体型较规则、整体性较好、抗侧刚度较大，且基础的整体性较好，故允许基础底面出现不超过 15% 的零应力区。正常使用极限状态下原则上基础底面不宜出现零应力区，这样基础的建造成本提高较多，因此设计可按零应力区不超过 15% 控制。另外《高耸结构设计标准》（GB 50135）等标准有零应力区不超过基础底面积 1/4 的要求，考虑到造粒塔的高径比一般在 3.5 以上，允许零应力区到 1/4 的要求偏低，故未参考该规定。

6.6.3 天然地基基础设计

4 扩展基础、筏板基础在偏心荷载作用下，基础的抗倾覆稳定系数为：

$$K_F = \frac{N(e+a)}{M} = \frac{N(e+a)}{N \cdot e} = \frac{e+a}{e} = \frac{b}{2e}$$

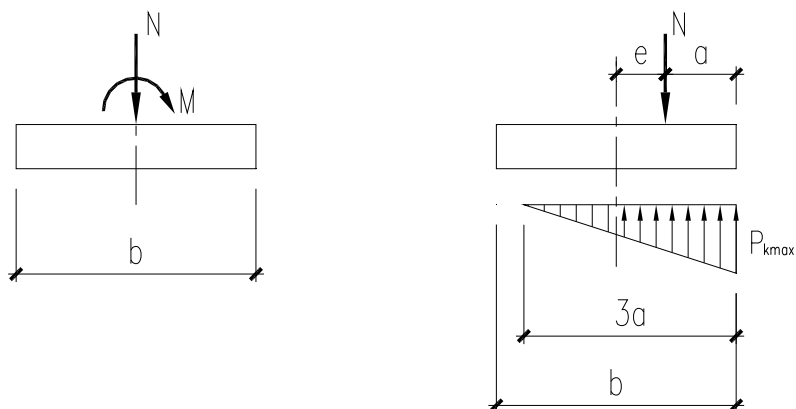


图 1 作用在基础底面的荷载

图 2 基底反力示意

当基础底面零应力区面积为 15%时，由图 2 知 $3a = b \cdot 0.85$ ，则 $e = \frac{b}{2} - a = 0.217b$ ，此时 $K_F = 2.30$ 。依次类似计算，当基础底面零应力区面积为 25%时，抗倾覆稳定系数为 2.0。当基础底面零应力区面积最大为 90%时，抗倾覆稳定系数仍为 1.07。由此得出即基底零应力区控制在 15%以内时已保证了基础有较高的抗倾覆稳定性，故本条规定可不再进行基础的倾覆验算。

7 防腐蚀设计

7.1 塔体内壁

7.1.1 从本标准《附录 C：造粒塔内温度分布图表》可知，造粒塔塔体内壁的空气温度在 38°C–80°C 之间。造粒塔内壁的防腐蚀材料应选用耐高温的防腐蚀涂料，如乙烯基酯玻璃鳞片涂料、聚氯乙烯含氟萤丹涂料、聚脲涂料、改性聚氨酯涂料等。

7.1.2 大面积高空顶棚的防腐蚀涂层施工和维修均不方便，推荐采用混凝土板底设置不锈钢衬板的整体防腐构造做法。

7.2 刮料层及钢漏斗

7.2.1 刮料层处的温度大约在 60°C 左右，混凝土刮料板应选用耐磨蚀、耐高温的防腐蚀材料，如花岗岩、耐酸砖等块材，块材厚度不小于 60mm，采用树脂砂浆或胶泥砌筑；有经验的地方，也可采用抗冲击、耐高温的整体面层如聚脲、树脂砂浆等。

刮料层楼盖大梁与塔壁间留有伸缩空隙，此处易聚集造粒颗粒形成腐蚀，故空隙处应做好嵌缝处理。嵌缝材料应采用耐腐蚀、有弹性且黏结性能好的密封材料，如聚氨酯密封膏等。

7.2.4 刮料层采用钢漏斗时，其表面防腐材料可选用乙烯基酯玻璃鳞片涂料、聚氯乙烯含氟萤丹涂料、聚脲涂料、聚氨酯涂料等。

7.3 喷头层

7.3.1~7.3.3 喷头层喷嘴附近的楼面偶有 100°C 左右的喷液滴漏形成结晶，需要铲除清理，围堰内楼面宜采用耐冲击、耐磨蚀、耐高温的防腐蚀材料，如花岗岩、耐酸砖等块材，块材厚度不小于 60mm，采用树脂胶泥砌筑。

围堰外的楼面上多为散落的固态颗粒，通常干扫清理，宜采用整体式防腐蚀材料，如聚脲、树脂砂浆、树脂自流平等整体面层。

以水冲洗喷头层楼面时，会形成干湿交替的腐蚀环境，故强调在该层楼面设置隔离层。

7.7 造粒塔外壁

7.7.1~7.7.2 造粒塔外壁处于氨气弱腐蚀环境，外壁的防腐蚀涂层可采用脂肪族聚氨酯、聚氯乙烯含氟萤丹等室外型涂层。进风口逸出的造粒对进风口以下的塔体外壁以及室外地面有腐蚀作用，故对这些部位的防腐采取加强措施。

8 施工要求

8.1 一般规定

8.1.1 造粒塔设计文件中应注明涉及危险性较大分部分项工程的重点部位和环节，并应在设计文件中提出保障工程周边环境安全和工程施工安全的意见，必要时进行专项设计。

8.1.2 造粒塔施工前应编制施工组织设计。施工组织设计应经审查合格后方可实施。基坑支护与开挖、基础大体积混凝土、塔体滑模、喷头层、刮料层、安装工程、内外壁防腐蚀等分部分项工程施工应编制专项方案。对于符合《危险性较大的分部分项工程管理办法》且超过一定规模危险性较大的分部分项工程应由施工单位组织专项方案专家论证，审查合格后实施。

8.1.3 本条规定了造粒塔施工与验收应符合现行相关标准规定。如现行的《尿素造粒塔工程施工及质量验收规范》GB51138 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204，《滑动模板工程技术标准》GB/T50113 等标准的相关规定。

8.2 基础

8.2.1 造粒塔基槽（坑）开挖到底后，应进行基槽（坑）检验。当发现地质条件与勘察报告和设计文件不一致、或遇到异常情况时，应结合地质条件提出处理意见。即：在基坑开挖完成后，达到设计标高时，应由建设单位组织勘察单位、设计单位、监理单位、施工单位进行地基验槽。当基坑情况与勘察设计不符合时，应由建设单位组织勘察、设计提出处理方案。基础施工完成后，应及时组织基础验收和基坑回填。其目的是为了避免基坑长时间暴露、造成基坑内积水与坍塌。避免基坑工程安全事故的发生的时，及时回填施工应为上部结构施工提供施工场地。

8.2.2 本条规定造粒塔基础混凝土工程施工应符合下列规定：

1 造粒塔基础混凝土应连续浇筑施工，且应符合《大体积混凝土施工标准》GB50496 的相关要求，浇筑前应编制专项施工方案，明确混凝土浇筑施工的顺序，浇筑方法，大体积温

度监测，测温点的布设，养护方式、养护时间等相关内容要求。

2 当造粒塔基础留置膨胀加强带施工时，其膨胀加强带部位的混凝土强度等级应采取比相邻部位的混凝土高一个强度等级进行浇筑。膨胀加强带施工应符合现行标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T178 的相关规定。设置后浇带施工时，后加带处混凝土强度及间隔时间要求应满足设计要求。

8.3 塔体

8.3.1 造粒塔体塔壁一般宜采用滑模工艺进行施工。因为滑模工艺具有连续作业的特点，混凝土结构整体性较好。有利于加强造粒塔塔壁结构对尿素溶液侵蚀的能力。因此，规定宜采用滑模工艺施工。同时规定了当采用滑模工艺时，塔壁厚度不宜小于 160mm。

8.3.2 造粒塔塔体结构施工应满足下列规定。

1 本条规定造粒塔喷头层施工时，在喷头层下方设置转换钢结构施工平台。造粒塔施工通常情况下，先施工完塔壁结构，再进行塔内喷头层结构部分施工。施工喷头层结构时，为提供人员施工操作而设置作业的转换钢结构转换施工平台。施工平台应经专项设计确认，喷头层结构的施工应编制专项施工方案，并应经过专家审查及论证后方可进行实施。

2 对于滑空施工喷头层时，规定对滑模装置滑空时的支撑稳定性做出要求，以及对滑空后支撑杆稳定性应经验算后并采取相应的加固措施。

3 本条规定了刮料层施工宜在塔体主体结构施工完成后进行施工，并对可能存在上部喷头层同步施工时的安全防护及垂直交叉作业做了规定要求。

4 本条规定了刮料层混凝土浇筑前，应待刮料机的底座定位盘到场安装完成后方可进行混凝土浇筑。因刮料机一般通过预埋地脚螺栓与定位盘固定在刮料层板底处。因此本条规定，应在混凝土浇筑前完成底座及定位盘的安装。

8.3.3 本条规定了造粒塔环向水平钢筋与竖向钢筋的下料加工长度、绑扎搭接长度、搭接接头率的要求。目前，成品原材热轧带肋钢筋长度一般为 9m 与 12m。考虑加工及原料利用效率，防止材料浪费，达到节材环保，因此规定了立筋下料长度为 4~6m。环向水平钢筋长度不宜超过 9m，主要考虑水平钢筋超过 9m，在施工过程中，吊运及施工操作的难度大，增大安全风险。

8.3.4 本条规定造粒塔塔体混凝土工程施工规定。

1 造粒塔工程冬期施工时，应符合现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T104 的

规定。

造粒塔塔壁不宜在冬期进行滑模工艺施工。造粒塔塔体直径大，冬期施工混凝土强度增长较慢，采取滑模工艺施工时，混凝土易受冻，造成出模强度低，发生混凝土坍塌与滑模装置整体失稳的风险加大。

2 本条规定造粒塔塔体混凝土浇筑可根据天气、气温及日照等因素综合确定，由于造粒塔直径一般较大，混凝土强度因天气、气温、日照的不同，塔体强度增长速度不一致。筒身混凝土强度的应同步增长才有利于保证施工质量、安全。故做此条内容规定。

造粒塔筒身塔壁混凝土浇筑应整体分层、对称、交圈、连续浇筑，分层厚度宜为 200mm~300mm。分层浇筑间隔时间不宜超过混凝土初凝时间。做浇筑顺序的规定、主要是考虑混凝土的强度增长应同步，分层厚度 200mm~300mm 有利于滑模施工。如果浇筑太厚，造成交圈时间过长，混凝土凝固时间不一致，容易造成混凝土拉裂与模板粘结。因此、规定了分层的厚度。

混凝土的分层间隔浇筑时间应控制在初凝时间内，如超过初凝时间浇筑。分层面应按《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的施工缝的处理规定进行处理。

3 本条规定了造粒塔塔壁采用滑模工艺施工时，混凝土出模时的强度要求。因为滑模工艺施工时的滑升速度与出模时混凝土的强度不仅影响施工的外观成型质量，而且影响滑模施工的安全，同时也是造成滑模装置失稳的主要原因之一，因此制定本规定。

4 本条内容规定了造粒塔塔体塔壁混凝土采用滑模施工时，在混凝土出模后应进行表面修饰。一般采用筒身混凝土同配比的水泥砂浆或掺有减水剂的水泥砂浆进行抹平、压实、压光。确保塔壁整体外观与观感。不同天气、温度与滑升速度的影响，滑模时模板对混凝土表面会形成摩擦痕迹，为消除其对外观影响、故做本条规定。

5 本条规定造粒塔的养护形式宜采用养护液进行养护。混凝土养护方式一般包括覆盖浇水养护、薄膜布养护和养护液养护等。因造粒塔塔体筒身结构特点，施工时一般采取养护液进行养护。采用养护液施工时，应按产品技术要求及说明书进行施工。一般生产厂家推荐的最低原液用量，可参考原液用量在 $0.2\text{Kg}/\text{m}^2 \sim 0.25\text{Kg}/\text{m}^2$ 用量范围内，环境温度在 $5^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 。冬期施工时，应编制冬季专项施工方案并进行保温热工验算，造粒塔的混凝土养护及施工按专项方案实施。

8.3.5 本条对塔体施工偏差提出规定，施工单位应采用符合测量精度要求仪器进行科学施测，对造粒塔垂直度，半径、中心位置偏差值应符合本条要求。

电梯井道尺寸偏差应符合《电梯工程施工质量验收规范》GB50310 的相关规定，表中的

电梯尺寸是指垂直于电梯设计运行方向的井道截面沿电梯设计运行方向投影所测定的井道最小净空尺寸,该尺寸应和土建布置图所要求的一致。电梯间垂直偏差只允许正偏差 25mm ,不允许产生负偏差, 如果小于允许偏差值, 电梯与井道尺寸不符, 会影响电梯安装。

8.3.6 造粒塔为重要高耸构筑物、自重大、使用年限长。为保证其使用功能,施工及运营期间应对其进行定期沉降观测。沉降观测应由建设单位委托具有相应资质的第三方单位进行观测,并根据《建筑变形测量规范》JGJ8 的规定做好测量成果编制与归档。