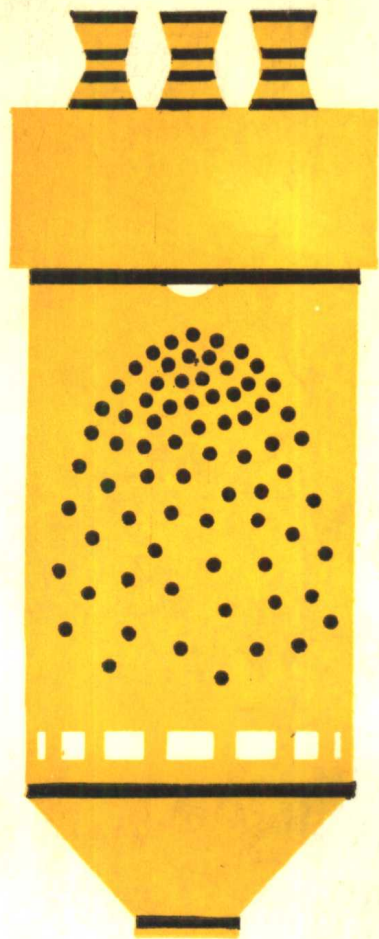




造粒塔与造粒喷头

王 时 珍 著

化 学 工 业 出 版 社

10.5

造粒塔与造粒喷头

王时珍 著

化学工业出版社

内 容 提 要

本书全面分析和讨论了化肥造粒塔造粒过程,首先对造粒塔提出了一系列物理性能方程组,用以计算颗粒降落运动状态和造粒塔自然性能以及塔体热工状态,从而可以进行合理设计,并为解决各种实际问题提供了理论依据;其次对造粒喷头提出了数学模型及合理设计方法,可针对各种条件进行相适宜的喷头设计。此外,还研讨了各项设计参数的选择及塔型设计问题。

书中载有各种实验数据和生产测定结果以及计算实例。

本书可供研究、设计和使用造粒塔的工程技术人员参考。

造粒塔与造粒喷头

王时珍 著

责任编辑:孙世斌

封面设计:任 辉

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 $11 \frac{1}{2}$ 字数283千字印数1—1,170

1987年4月北京第1版1987年4月北京第1次印刷

统一书号15063·3877定价2.70元

前 言

造粒塔虽早有应用,但对于塔内造粒过程的理论与实验还很不够,尤其是自然通风造粒塔,至今还缺少这方面的专门论述。在造粒塔设计与使用中一直存在许多问题。例如由于对喷头的喷洒范围,变工况的工作状态、喷洒密度的分布规律等不清楚,以致不能妥善解决粘塔壁、成粒不佳、温度不均等不正常现象而使造粒塔的管理复杂化和产品质量不合格;对设计参数的选择缺乏合理依据,以及对塔高和塔径确定的不适宜,造成投资和生产上的浪费与生产事故;对塔体热工状态不明瞭,不能有效地防止裂缝避免加剧塔体腐蚀;等等。

本书是依据作者十五年来对造粒塔和造粒喷头的理论研究、实验和工程上应用的经验写成的。

在造粒塔方面叙述了塔的物理性能、塔内温度状态、物料温降率、颗粒降落以及塔体内部温度场等,提出了较完整的工程实用的数学模型,并给出了一些关键物理数据的实验结果和各种生产测定数据。

在造粒喷头方面,对于旋转喷头在研究其工作特性的基础上给出了设计所需的数学模型、各种设计方法及计算步骤。书中提出的等密度喷洒设计法,是从造粒塔冷却过程的实际需要出发,对喷头提出特定喷洒状况和喷量要求而制定的,比较合理。为保证喷头内部具有设计所确定的旋转液层形状,还提出一种新型给料方式——微分横向给料盘,经使用其效果较好。对于固定式造粒喷头也导出了它的各项计算式,给出设计方法和计算步骤。

这些理论应用于各项工程设计,经生产验证,表明是合理的。利用现代计算手段,可以针对各种生产规模 and 不同要求,比较容易地做出相应的喷头设计,查明喷头设计的合理性;可以迅速解算各种物料在任何气温、产量、粒径与塔型结构等条件下,塔内全部自然性能状态参数,合理地确定所需的塔高及塔径;可描绘出空气与物料温度沿塔高的变化线和在任意塔高位置塔壁断面内的温度场图;可以确定合理的造粒冷却系统方案和各项设计参数;也可以通过严格计算来改善造粒塔的工作效果和强化塔的能力。

本书对造粒塔粉尘的成因及危害也做了分析探讨,简要介绍了收尘装置的实验结果。书中还提出了在一定条件下可采用诱导通风方式并简要介绍了作者在这方面的研究成果。

为便于工程应用,根据这些理论、计算方法以及现场实测数据,编制了尿素的与硝酸铵的自然通风造粒塔自然性能和塔高、塔径选择系列图,塔壁断面温度场图及造粒塔设计专用气象统计图等。限于篇幅,本书未一一载入,而只介绍了各种模式的图样。这些资料可查找相应的设计手册。

作者在对许多工程进行研究、实验与测定时曾得到石家庄化肥厂等十几个厂的尿素或硝酸铵车间及仪表车间等同志们的大力支持。在各项计算和工程实用资料的编制工作中还先后有化工部六院、五院及华中工学院等设计研究部门的计算机和工艺专业人员参加与协助。作者谨表示衷心的感谢。

本书初稿完于一九七四年。一九七八年在此基础上重新改写,并由化学工业出版社和化工部化工工艺设计中心站联合组织有大学、研究院、设计院及工厂的同行们参加的审核,此后在篇幅上和写法上又进行过两次大的修改。但由于作者水平不高,经验有限,不当之处和错误地方在所难免,敬希读者不吝指教。对于对本书提出过宝贵意见和促成本书问世的同志们以及编辑同志的辛勤劳动谨致深切谢意!

作者 一九八二年七月于武汉

符 号 表

- A 造粒塔外表面辐射热吸收系数
- a 建筑热损失各项附加系数总和; 造粒塔断面温度场计算网格边长; 颗粒降落运动加速度, 米/秒²
- B 造粒塔内表面辐射热吸收系数
- b 诱导器扩压管扩张度
- C 颗粒垂直降落运动阻力系数
- C_2 积分常数
- C_{m0} 颗粒最大降落速度 (即悬浮速度) 时的阻力系数
- c_a 空气重量比热, 千卡/公斤℃
- c_l 液体物料比热, 千卡/公斤℃
- c_s 固态物料比热, 千卡/公斤℃
- c_v 水蒸汽比热, 千卡/公斤℃
- D_1, D_2 单喷嘴诱导器之喷嘴直径及混合管直径, 米
- D_0 造粒塔内直径, 米
- d_1, d_2 多喷嘴诱导器之喷嘴直径, 米; 假想的小混合管当量直径, 米
- d 颗粒直径, 米
- d_n 平均颗粒直径, 米
- $d_n, \dots, d_{nn}$ 分筛之各级平均粒径, 米
- Δd 进入造粒塔空气之湿增量, 克/公斤
- d_{av} 体积平均颗粒直径, 米
- d_{in}, d_{ex} 造粒塔进、出空气的含湿量, 克/公斤
- F 造粒塔内颗粒总表面积, 米²
- F_s 造粒塔横截面积
- f 颗粒在水平面上的投影面积
- $f_1, \dots, f_n$ 造粒塔各传热区段内颗粒传热表面积, 米²
- f_1, f_2, f_3, f_4 诱导器喷嘴出口、吸入口、混合管末端及扩压管出口面积, 米²
- f_{a-c} 造粒塔凝固区或晶型转换区内自所计算的标高至喷头范围内的颗粒传热表面积, 米²
- $f_{a..}$ 同 f_{a-c} , 在冷却区内, 米²
- f_{b-c} 造粒塔凝固区或晶型转换区下界至所计算的标高之间的颗粒传热表面积, 米²
- $f_{b..}$ 同 f_{b-c} , 自冷却区下界或所选定的下界算起, 米²
- G_1, G_2 诱导器喷嘴与被吸气体的重量流量, 公斤/小时
- G_a 进入造粒塔之空气重量流量 (造粒塔通风量), 公斤/小时
- $G_{a.d}$ 进入造粒塔之干空气重量流量, 公斤/小时
- $G_{a.s}$ 造粒塔排出之湿空气重量流量, 公斤/小时
- G_l 造粒喷头喷洒之重量流量 (喷量), 公斤/小时
- G_v 物料放出之水分, 公斤/小时
- g 重力加速度, 米/秒²
- H 泛指通风阻力, 公斤/米²

- ΔH 造粒塔各部分通风阻力, 公斤/米²
- H_c 凝固区及晶型转换区内的任意标高, 米
- H_{in}, H_{out} 造粒塔进、排风口总阻力, 公斤/米²
- H_1, H_2 由进、排风口高差计算的造粒塔内和外的气柱重, 公斤/米²
- $H_{1..n}, H_{2..n}$ 造粒塔中和界面至排风口高差内塔内和塔外的气柱重, 公斤/米²
- H_s 造粒喷头标高
- H_t 造粒塔冷却区内任意标高, 米
- H_w 造粒塔塔壁蒸汽渗透总阻力, 米²·小时·毫米汞柱/克
- h 塔底集料口标高, 米²
- Δh 塔底集料口至进风口中心线高差, 米
- $\Delta h'$ 计算塔内气柱重量时所用的区段高差, 米
- h_1 有传热过程的变温气道高, 米
- h_2 无传热过程的恒温气道高, 米; 诱导器增压, 公斤/米²
- h'_1 中和界面至恒温气道下界高差, 米
- h'_2 中和界面至进风口中心线高差, 米
- h_{d1} 诱导器喷嘴出口动压头, 公斤/米²
- i 空气中的水蒸汽在离开造粒塔时的热焓, 千卡/公斤
- i_1 水蒸汽在蒸发前的热焓, 千卡/公斤
- i_2 水蒸汽在排风露点时的热焓, 千卡/公斤
- K 颗粒与空气之间的传热系数, 千卡/米²·小时·℃; 泛指传热系数, 自塔壁内表面至塔外空气的传热系数
- K_c 自塔内空气至塔外空气之间的传热系数, 千卡/米²·小时·℃
- K_{n+1}^0 从塔壁第 $n+1$ 层材料至塔外空气的传热系数, 千卡/米²·小时·℃
- K_n 自塔壁内表面至第 n 层材料外界面厚度上的传热系数, 千卡/米²·小时·℃
- K_N 自塔壁内表面至外表面的传热系数, 千卡/米²·小时·℃
- K_3 诱导器混合管长度 (L_3) 与直径 (d_3) 之比
- K_{1-1}, K_{2-2} 同上, 双级吸入式诱导器之第一与第二级混合管
- l_1, L_1 多、单喷嘴诱导器之喷嘴长度, 米
- l_3, L_3 多、单喷嘴诱导器之混合管长度, 米
- m 一个颗粒的质量 (公斤·秒²/米); 诱导器混合管面积与喷嘴出口面积之比
- m_s 一个颗粒所排开的空气质量, 公斤·秒²/米
- m_c 造粒塔任一落程上每单位体积内存留的颗粒平均数, 个
- N 塔壁总层数; 分段累计塔内气柱重之总段数
- n 多喷嘴诱导器之喷嘴个数; 诱导器混合管与吸入口 (喷嘴出口截面上) 面积之比; 旋转喷头转数, 转/分
- P_1, P_2 诱导器喷嘴内外压力, 公斤/米²
- ΔP 自然通风造粒塔之热压头, 公斤/米²
- P_a, P'_a 大气温度下饱和水蒸汽分压力与实际分压力, 毫米汞柱; 工程大气压力 (绝)
- P_s t_s 温度下饱和水蒸汽分压力, 毫米汞柱
- P_b 当地海拔高度上的大气压力, 毫米汞柱 (公斤/米²)
- $P_{b..n}, P'_{b..n}$ 造粒塔进风口高度上外面及里面的大气压力, 毫米汞柱
- $P_{b..n}$ 自然通风造粒塔中和界面高度上塔外的大气压力, 毫米汞柱
- $P'_{b..n}$ 塔内所计算的各高度上之压力, 毫米汞柱
- $P_{b..n}$ t_n 温度区平均高度上的压力, 毫米汞柱

$P_{c,a}, P_{c,b}, P_{c,c}, P_{c,d}, P_{c,e}, P_{c,f}, P_{c,g}, P_{c,h}, P_{c,i}, P_{c,j}, P_{c,k}, P_{c,l}, P_{c,m}, P_{c,n}, P_{c,o}, P_{c,p}, P_{c,q}, P_{c,r}, P_{c,s}, P_{c,t}, P_{c,u}, P_{c,v}, P_{c,w}, P_{c,x}, P_{c,y}, P_{c,z}$
 温度下饱和水蒸汽分压力, 工程大气压力 (绝)
 P'_e 造粒塔排气中实际水蒸汽分压力, 毫米汞柱
 $\Delta P_{a,a}, \Delta P_{n,b}$ 自然通风造粒塔中和界面上部与下部热压头, 公斤/米²
 ΔP_v 通过造粒塔的空气实际水蒸汽分压力增量, 毫米汞柱
 Q 泛指热辐射强度, 千卡/米²小时
 Q_R, Q_i 造粒塔外表面和内表面受到的热辐射强度, 千卡/米²小时
 q, q_0 诱导器重量的和体积的诱导系数
 R_0 造粒塔内半径
 r_c 尿素凝固潜热, 千卡/公斤
 r_{c1}, r_{c2}, r_{c3} 硝酸凝固热及第一、二次晶型转换潜热, 千卡/公斤
 S 任意落程, 米
 S_0 造粒塔 (即颗粒) 全落程, 米
 $S_1 \cdots S_n$ 造粒塔自喷头至各区段下界落程, 米
 $\Delta S_1 \cdots \Delta S_n$ 造粒塔自上向下各区段占据的塔高, 米
 S_R 喷头喷洒的外缘颗粒开始与塔壁接触的落程, 米
 t_a 塔内空气平均气温, $^{\circ}\text{C}$
 $t_{a,u}, t_{a,b}$ 冷却区及其下界气温, $^{\circ}\text{C}$
 $t_{a,c}$ 凝固区 (包括硝酸晶型转换区) 气温, $^{\circ}\text{C}$
 t_{at} 大气温度, $^{\circ}\text{C}$
 $t_{at,w}$ 大气湿球温度, $^{\circ}\text{C}$
 $t_{c1}, t_{c2}, t_{c3}, t_{c4}$ 尿素及硝酸凝固点和硝酸第一、二次晶型转换温度, $^{\circ}\text{C}$; t_c 泛指楼梯间气温, $^{\circ}\text{C}$
 $t_{c,u}, t_{c,b}$ 尿素凝固区上界与下界气温, $^{\circ}\text{C}$
 $t_{c1,u}, t_{c2,u}, t_{c3,u}$ 硝酸凝固区及第一、二次晶型转换区上界气温, $^{\circ}\text{C}$
 $t_{c1,b}, t_{c2,b}, t_{c3,b}$ 同上, 下界气温, $^{\circ}\text{C}$
 $t_{ca1}, t_{ca2}, \cdots t_{can}$ 与造粒塔相靠的楼梯间内, 在靠近塔壁一边的空气平均温度及相应于 $\Delta S_2 \cdots \Delta S_7$ 高上的平均气温, $^{\circ}\text{C}$
 $t_{ex}, t_{ex,w}$ 造粒塔排风干、湿球温度, $^{\circ}\text{C}$
 t_i 泛指塔内气温, $^{\circ}\text{C}$
 t_f 熔融物料温度, $^{\circ}\text{C}$
 t_n 自内向外塔壁第 n 层材料外界面上的温度, $^{\circ}\text{C}$
 t_o 造粒塔出料温度, $^{\circ}\text{C}$
 $t_s, t_{s,b}$ 冷却区及其下界物料温度, $^{\circ}\text{C}$
 $t_{w,i}, t_{w,o}$ 塔壁内、外表面温度, $^{\circ}\text{C}$
 $\Delta t_{w,i}, \Delta t_{w,o}$ 日照后塔壁内、外表面温度升高值, $^{\circ}\text{C}$
 t_{xy} 塔壁断面温度场计算网格之结点温度, $^{\circ}\text{C}$
 t' 泛指塔壁表面温度, $^{\circ}\text{C}$
 u 蒸汽渗透系数, 克/米 $\cdot$ 小时 $\cdot$ 毫米汞柱
 V 体积流量, 米³/小时
 V_a, V_{a1} 进入与排出造粒塔的空气体积流量, 米³/小时
 V_c 造粒塔任意落程上每一颗粒平均占据的塔的空间体积, 米³/个
 v_a 塔内平均风速, 米/秒
 v_l 颗粒在水平方向之运动速度, 米/秒
 v_{01}, v_{01z}, v_{01y} 颗粒在喷孔处之初速度和水平与垂直分速度, 米/秒

- $v_s, v_{s,\max}$ 颗粒降落速度及其最大值, 米/秒
 W_{en}, W_{ex} 进塔和出塔的空气含有之总水分量, 公斤/小时
 x 颗粒抛物线降落运动之水平路程, 米
 Z_{en}, Z_{ex} 造粒塔进、排风口总阻力系数
 $\alpha_c, \alpha_1, \alpha_0$ 楼梯间内的壁表面和塔壁内、外表面的散(感)热系数, 千卡/米²·小时·℃
 β_1, β_2 塔壁内、外表面的状态系数
 $\gamma_a, \gamma_{at}, \gamma_{at,e}$ 塔内(平均), 塔外海拔高度及进风口高度上的空气重率, 公斤/米³
 $\gamma_{c..a}, \gamma_{c..b}, \gamma_{c_1,a}, \gamma_{c_1,b}, \gamma_{c_2,a}, \gamma_{c_2,b}, \gamma_{c_3,a}, \gamma_{c_3,b}$ 尿素凝固区及硝铵凝固区和第一、二次晶型转换区上、下界处空气重率, 公斤/米³ (a—上界, b—下界)
 $\gamma_{ex..a}, \gamma_{ex..b}, \bar{\gamma}_{ex}$ 造粒塔恒温热气道、下部及平均的空气重率, 公斤/米³
 γ_n 自然通风塔中和界面上塔外空气重率, 公斤/米³
 γ_s 颗粒真比重, 公斤/米³
 γ_t 泛指 t ℃之下的空气重率, 公斤/米³
 γ', γ'' 计算 H_1 取用的各区段上下两边界上的空气重率, 公斤/米³
 $\gamma_{1,2}, \gamma_{1,3}$ 诱导器工作气体在喷嘴出口截面上与混合管末端截面处的重率, 后者用全压计算, 公斤/米³
 $\gamma_{2,2}, \gamma_{2,3}$ 同上, 系被吸气体的, 公斤/米³
 $\Delta = \gamma_{2,2}/\gamma_{1,2}; \Delta' = \gamma_{2,2}/\gamma_{1,3}; \Delta'' = \gamma_{2,2}/\gamma_{2,3}$
 δ 塔壁各层材料厚度, 米; 喷头壁厚, 米
 e 物料在塔内放出或吸入之水分, 公斤(水)/公斤(料); 旋转喷头下料管出口流股收缩系数
 $\varepsilon_1, \varepsilon_0, \varepsilon_n$ 塔内表、塔外表及塔壁内的水蒸汽分压力, 毫米汞柱
 η_0 诱导器扩压管扩压效率
 θ 诱导器扩压管扩张全角, 度
 λ 材料导热系数, 千卡/米·小时·℃
 μ 颗粒与空气之间的最大相对速度, 米/秒
 ζ 造粒塔各部位的通风局部阻力系数
 ζ_0 诱导器吸入口的局部阻力系数
 π 圆周率
 ρ_0 造粒塔任一落程上每单位体积内平均含有的物料重量, 公斤/米³
 σ 颗粒在喷孔出口处的运动方向与铅直线的夹角, 度
 τ_{en}, τ_{ex} 进、排风的露点, ℃
 τ_n 颗粒降落至中和界面的时间, 秒
 τ_0 颗粒降落至塔底(全落程)的时间, 秒
 $\tau_{0..n}$ 同上, 指分筛的每级粒径 d_n 所需的不同 τ_0 值, 秒
 φ 计算楼梯间气温用的温降系数
 $\varphi_1 \dots \varphi_n$ 分筛的每级颗粒重量百分比
 $\varphi_{at}, \varphi_a, \varphi_{ex}$ 大气的, 塔内平均的及排风的相对湿度
 $\varphi_{c..a}, \varphi_{c..b}, \varphi_{c_1,a}, \varphi_{c_1,b}, \varphi_{c_2,a}, \varphi_{c_2,b}, \varphi_{c_3,a}, \varphi_{c_3,b}$ 尿素凝固区及硝铵凝固区和第一、二次晶型转换区上、下界处空气相对湿度 (a—上界, b—下界)
 ψ 颗粒冷却率, ℃/米或千卡/米
 D 旋转喷头任意横截面直径, 米
 d_0 下料管出口直径, 米
 E 喷洒环带宽, 米

- e 每排喷孔的排距, 米
- f_e 喷孔有效面积, 米²
- G_i 每排喷孔喷量, 公斤/小时
- H_i 旋转喷头下料管内液位高, 米
- h_b 旋转喷头下底至锥体极点高差, 米
- $h_{c,v}$ $h_{c,v}$ 旋转喷头最小离心力与最小孔口初速度位置与锥体极点高差, 米
- h_i 旋转喷头每排喷孔至锥体极点高差, 米
- h_f 固定喷头液位高, 米
- h_0 旋转喷头抛物面顶点至锥体极点高差, 米
- J_i 喷洒环内喷洒线在圆周上的弧线距离, 米
- j_i 每排喷孔上的孔中心弧线距, 米
- M 喷头总孔数, 个
- P_0 大气压力, 公斤/米²
- $P_c, P_{c,min}$ 旋转喷头的离心压力及其最小值, 公斤/米²
- P'_0 旋转液体内任意点上之静压力, 公斤/米²
- R 旋转喷头锥体任意截面上的半径, 米; 固定喷头球面弧半径, 米; 空气对颗粒的阻力
- R_1, R_{max}, R_{min} 各喷洒环半径及其最外缘与最里缘半径, 米
- r_b 旋转喷头锥底半径, 米
- r_i 固定喷头每排喷孔在弧面展开图上的圆半径, 米
- s_D 最外缘喷洒线碰塔壁时的落程, 米
- t_{ex} 造粒塔排气温度, °C
- $v_{0i}, v_{0,i}, v_{c,i}$ 旋转喷头喷孔离心初速度及其水平与垂直分速度, 米/秒
- Z 固定喷头数目, 个
- α_i 固定喷头第 i 排孔对应的球心角, 度
- γ 物料重率, 公斤/米³
- ζ 孔口流量系数
- η_i 孔口效率系数
- ζ_0 旋转喷头下料管出口阻力系数
- ζ_f 固定喷头下料管底口突扩局部阻力系数
- ρ 喷洒环带重量密度, 公斤/米²
- ϕ 喷孔直径, 米
- φ_n 微分横向供料盘每盘分量与总喷量之比
- ω 旋转喷头回转角速度, 弧度/秒

目 录

符号表

概述.....	1
---------	---

第一篇 造粒塔

第一章 颗粒降落运动方程.....	5
第一节 颗粒在向上气流中垂直降落诸方程.....	5
第二节 颗粒在水平方向上的运动方程.....	9
第三节 颗粒按抛物线降落运动的轨迹方程.....	10
第四节 颗粒在塔内的密度分布.....	11
第五节 颗粒运动情况计算实例.....	12
1. 最大降落速度计算.....	12
2. 降落速度随降落时间的变化关系计算.....	12
3. 降落速度随落程的变化关系计算.....	13
4. 降落时间与落程的变化关系计算.....	13
5. 颗粒在水平方向上的最大运动路程计算.....	13
6. 水平分速度随运动时间的变化关系计算.....	13
7. 水平分速度随水平运动路程的变化关系计算.....	13
8. 水平运动路程与运动时间的变化关系计算.....	14
9. 颗粒按抛物线降落运动的轨迹坐标计算.....	14
10. 塔内纵向密度分布计算.....	15
第二章 自然通风造粒塔物理性能方程.....	16
第一节 自然通风造粒塔自然性能方程组.....	16
第二节 塔内空气和物料温度方程及各落程上物料温降率方程.....	29
第三节 自然通风造粒塔物理性能计算实例.....	34
1. 关于塔高及性能计算.....	34
2. 各传热区段占据的塔高计算.....	34
3. 塔内空气及物料温度沿塔高的变化计算.....	36
4. 固-气传热区内物料温降率 ψ 变化计算.....	37
5. 造粒塔进、出风口通风阻力系数 Z_{en} 及 Z_{ex} 计算.....	38
第三章 自然通风造粒塔物理数据及性能的测定.....	40
第一节 颗粒直径分析.....	40
第二节 颗粒垂直降落阻力系数 C 值测定.....	40
第三节 颗粒水平运动阻力系数 B 值测定.....	43
第四节 颗粒传热系数 K 值测定.....	44
第五节 物料在塔内放出或吸入水分值 e 的测定.....	45

第六节	造粒塔进、出风口总阻力系数 Z_{en} 及 Z_{ex} 测定 (风量、塔内温度变化及热压头测定)	46
第七节	颗粒碰塔壁粘结落程的测定	52
第八节	自然通风尿素造粒塔性能计算的实测检验	53
第四章	自然通风造粒塔工艺设计参数选择及塔高、塔径、塔型设计	57
第一节	颗粒冷却方法及造粒塔出料温度的选择	57
第二节	散装仓库防止物料吸湿对造粒塔出料温度的要求	58
第三节	大气计算温度的选择	62
第四节	塔壁位置的确定	62
第五节	自然通风造粒塔塔高及塔径选择图表	64
第六节	降低塔高和缩小塔径途径的探讨	70
第七节	自然通风造粒塔塔型设计要点	74
第五章	机械通风造粒塔工艺计算与设计	78
第一节	机械通风造粒塔的物理性能计算	78
第二节	通风机设备的选择	84
第三节	诱导通风造粒塔	85
第四节	多喷嘴大型诱导器设计	88
第五节	新型两级吸入式高效水-气喷射诱导器	91
第六章	造粒塔排放的粉尘及其回收装置	93
第一节	造粒塔排放粉尘情况及危害	94
第二节	造粒塔粉尘产生的原因	96
第三节	收尘装置	98
第四节	湿式除尘系统排放气冷雾的分析及其防止措施	101
第七章	造粒塔的建筑热工计算	104
第一节	径向热流塔壁温度计算	104
第二节	平面热流塔壁内部温度场计算	111
第三节	造粒塔的湿状态计算	124

第二篇 造粒喷头

第八章	旋转造粒喷头工作原理及其性能方程	133
第一节	工作原理	133
第二节	旋转液层的表面形状	134
第三节	离心力方程	134
第四节	孔口速度方程	136
第五节	颗粒形成的过程	138
第六节	喷洒线和颗粒运动的轨迹	138
第九章	旋转造粒喷头的设计与计算	140
第一节	等重量密度的设计计算法	141
一、	确定设计原始条件及要求	141
二、	选择设计参数	142

1. 大气计算温度选择	142
2. 中空地带范围的确定	142
3. 设计喷量的选择	142
4. 喷头转数 n 的选择	142
5. 喷头锥角的选择	143
6. 旋转液层顶点至喷头锥体极点的设计距离 h_0 的选择	143
三、设计计算步骤	144
1. 造粒塔内喷洒环带的计算	144
2. 喷至计算断面上每环带所需的喷孔出口水平初速度 v_{0x} 计算	145
3. 选配孔径	145
4. 喷头上各排喷孔位置计算	145
5. 各排孔的每孔喷量及孔数的计算	147
第二节 等密度法例题	149
第三节 等孔距的设计计算法及例题	152
第四节 预先布置喷孔的设计计算法	158
第五节 旋转造粒喷头性能计算	159
第六节 旋转造粒喷头的合理供料方式	160
第十章 固定造粒喷头设计与计算	163
第一节 固定造粒喷头的设计计算	163
第二节 固定造粒喷头的性能计算	166
参考文献	168
附录	170

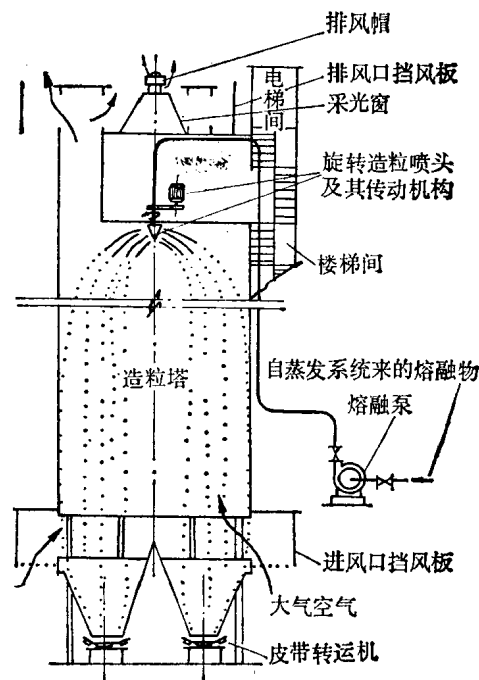
概 述

造粒塔是用以把熔融状态的化学肥料或其它盐类经冷却制造成直径0.8~2.5毫米的粒状固体产品的设备。目前我国大、中型化肥生产装置所生产的尿素、硝酸铵（简称硝铵）以及氮磷复合肥料都是使用造粒塔制成粒状产品的。小型化肥厂也正开始使用。

造粒塔一般为圆柱形（高40~80米、直径8~22米）的或呈矩形的高大混凝土或金属构筑物，总投资约70万~180万（元），造价较高。但使用造粒塔稳定可靠，管理方便，这也是近年来被广泛采用的主要原因之一。图示为造粒塔工作原理图。由蒸发系统过来的被浓缩的尿素或硝铵熔融物料（其含水分仅有0.3%），自造粒塔顶的喷头小孔喷出，高温射流（尿素为140℃左右，硝铵为170℃左右）从固定喷孔喷出时其形成的颗粒是沿同一条抛物线降落、从旋转喷孔喷出时则各个颗粒沿着同一个抛物面并构成螺旋线形降落。射流在降落运动中是很快断裂成滴的，并被逆流的冷空气（也有顺流的）所冷凝和降温。造粒过程分成三个阶段。开始是液态的颗粒冷却阶段，由于喷出的温度只比凝固点高几度且与空气的温差较大，故该阶段所需落程极短。而后液滴释放凝固热，由液态变为固态进入第二阶段。依物料凝固热多寡所需此落程有很大差别，如夏季硝铵随产量不同只需5~10米而尿素25~45米。第三阶段是固态颗粒冷却过程该阶段需较长的落程，尤其硝铵在塔内尚需释放两次晶型转换潜热。塔底由刮料机或漏斗集料于底部的运输皮带上，运往散装仓库或包装车间。

冷却段散热强度因温差变小而下降较大，因此也有采用沸腾床冷却的。在塔内或塔外单独设置一套沸腾冷却系统。颗粒在进入沸腾冷却之前从理论上说必先完成凝固阶段，但实际上颗粒在固化过程中，当芯里尚呈液态时其表面却已结硬并且温度已开始下降，就是为防止颗粒粘结并不需要将凝固热全部释放完，因而允许的最低塔高可以比凝固段落程为低。例如尿素随粒径、产量、气温和通风量等条件的不同可降至20~36米。

硝铵颗粒一般加设沸腾床冷却，但所需塔高则多从全年运转的经济效果上来确定，一般仍保持有35米左右的落程。这样在夏季硝铵从塔内出来的温度可达100~110℃或更高再进入沸腾床冷却，但在较低气温时颗粒在塔内就已经达到了要求的冷却温度，无需再开启沸腾冷却系统以节约电力和减少管理。硝铵造粒一般都要采用沸腾冷却，主要原因是蒸发系统设置在塔顶从而增加了塔高。若蒸发系统设在下部亦可只用50~60米的高塔，即使在夏季也能一次冷却到允许储放或直接包装的温度上。由于沸腾冷却的管理操作比较麻烦，且增加设备



造粒塔工作原理图

及电耗，所以在尿素造粒中使用沸腾床代替冷却段的极少，只是当塔顶设置其它过程的装置从而增加了塔高时，例如改良C法制造尿素因其结晶尿素再熔融系统设于塔顶，才采用沸腾冷却。

造粒塔的通风方式有机械与自然通风两类，因此也构成了两种不同结构的塔型。早期的造粒塔均采用机械通风，其每个进风洞口开设的不足半平方米，绕塔壁一周约十余个，因而阻力很大。整个通风阻力在40~50毫米水柱，一般采用2~4台轴流风扇在塔顶排风。目前在设有除尘装置的造粒塔上以及为增加通风量以图降低塔高而仍在采用机械通风。机械通风增加了维修工作和能耗。由于进风口阻力完全可以减小，故现有国产排风机的压头均较造粒塔实际需要为大。可以利用过剩的压头通过诱导器再排出1~2倍的通风量，当然最宜针对造粒塔具体条件制造低压头大风量的专用轴流风机。

利用空气的热压头进行自然通风是六十年代初开始应用的。其在同样的颗粒落程之下，通风量比原有的机械通风大约少20~30%，因而传热温差减小，出料温度增高。为达到同样冷却效果增加了塔高，一般比机械通风的高10米左右。但从传热角度看，由于增加的是传热面积而不是风量，故使风速下降减少粉尘的排放量。这种塔由于不设排风机，管理方便又减少运行费用，工作稳定可靠，因而得到较快发展。目前我国除设有除尘装置的造粒塔外几乎全部采用自然通风方式。其热压头一般为2~6毫米水柱，在尽可能开设进、排风口面积的条件下，足可以克服20万~60万 m^3/h 的风量流通阻力。风口面积的开设从以往的很小的洞口改变为敞开的形式是造粒塔通风设计上的一个发展，从而导致了自然通风型式的造粒塔的诞生。近二十年来根据自然通风进排风口的设计原则及多年生产实践经验，在顶部和底部结构上不断出现新的型式使在防风、防雨、调节风量和利用热压通风中存在的中和界面来改善顶部操作室的卫生环境方面都有很大的改进。现在与机械通风的相比也都满足了生产的各方面要求。

造粒塔所用的造粒喷头有两种型式，即旋转式和固定式，后者自六十年代初开始应用。旋转喷头为倒锥体，其母线系直线以利制作。不论造粒塔的规模大小，旋转喷头仅设一个，位于塔顶中央。溶液依靠旋转而产生离心力从喷口喷出。对应不同的喷孔初速度和喷量配以不同的喷孔直径（目前多为1.0~1.7毫米）以达到各部位上的喷孔都能造出大体一致的颗粒来。固定喷头喷孔面为一球面弧，呈莲蓬形，一般使用6~12个，但也有使用很小的固定喷头而其数目达到二、三十个的。一般一个喷头上大约有1000~3000个等直径的孔眼，由于每孔受到相同压力的作用故溶液产生相同的喷射初速度。

关于颗粒大小的生成，除了初速度和孔径是其主要的影响因素之外，喷孔的喷量也起着比较明显的作用。喷量大时，则形成的颗粒也大。因此，即使大的旋转喷头喷孔初速虽大，但因其内部旋转液层较厚，喷孔喷量增大，其所配用的孔眼并不大。就旋转喷头而言，当其喷量变动时则将引起粒径的改变。因在旋转喷头内喷量只引起喷孔离心速度的改变，而离心速度在喷孔合成速度中仅占较小的比例，故合成速度随产量正变的程度比较弱，不能抵消喷量对粒径的影响。但对于固定喷头来说，喷量大时则其初速度也随之增大，因此产量的变动对其粒径变化的影响就不很大。

在塔底集料转运方式上目前有两种方法：回转刮料和锥形漏斗。刮料机最常用的型式是转轴在塔中心，两个对称悬臂下按一定角度安装数块刮料板。料板回转时将颗粒不断地推至开在直径方向上的长条形洞口再漏至下面转运皮带上被运走。这种靠机械推动集料易于破碎颗粒从而在包装过程中产生较多的粉尘，但是它及时刮掉一些冷却不佳而粘结起来的块

料,以避免结块长大停车清塔。锥斗集料多为两个半圆形锥斗,这样可使锥斗高度降低一半。下部溜口形状是沿裤裆口直线方向呈长条形开设的以保证各方位上的锥角都能大于最小值。这种自然导向集料方式对颗粒不会起破碎作用,也无回转机械,无须维修。但是在操作不正常时冷却不佳的颗粒和粉尘会粘结于其表面上,不得不常常去清理。

造粒塔的排放气中带有不可忽视的粉尘量,大约喷洒每吨物料会产生1~2公斤的粉尘,随着生产规模的不断扩大,其损失价值和环境的污染愈益严重。一个日产1500吨化肥的大型造粒塔每日将向大气排放2~3吨的粉尘。排放的粉尘量很大一部分降落在造粒塔周围和厂区附近,大大加剧了厂区及其附近的大气腐蚀强度。金属设施被腐蚀、混凝土地坪腐蚀碎裂以及农作物减产、植物枯黄。近来在环境保护的呼声愈来愈高的情况下,世界各国环保机构对造粒塔排放粉尘的数量都重视起来并着手制订允许排放的卫生标准。自七十年代初工业方面即开始实验研究粉尘回收系统,近些年来许多国家的大型生产厂都装设了不同的收尘装置。由于这种装置能在两年内收回投资,因此这项废气处理系统目前得到较快的发展,但另一方面根据作者的经验,通过对喷头设计与加工的改进可以达到不一定需要收尘的程度,例如一个800吨/日尿素厂的造粒塔排放粉尘浓度只有几十毫克/米³。

造粒塔目前在生产中主要的操作参数一般是:在炎热季的出料温度保持50~80℃,排风温度随产量不同比大气温度高20~40℃,自然通风造粒塔的通风量依规模不同可达20万~60万米³/时。造粒塔在冬季的冷却强度比夏季有很大增长。严寒地区其出料温度常可降低到近于大气的温度。为保持出料温度不致过低,常在冬季关闭部份进风口或部分排风机。在上述通风量之下,在夏季自然通风的气固比为7.5~12米³空气/公斤物料,机械通风的为9~15米³/公斤。能力大的造粒塔为低值。

塔内平均风速对自然通风的为0.4~0.8米/秒,机械通风的为0.6~1.2米/秒。

颗粒在塔内的降落时间一般为5~10秒。

对于造粒塔设计参数,如大气计算温度,造粒塔出料温度以及颗粒直径等等的合理选用是十分重要的。提出这些原始条件应有足够的实践与理论上的依据。因为这些数据从根本上决定着造粒塔的塔高和塔径。例如对于设计的颗粒直径的确定除符合标准外,更要做出详细的计算比较而定,因直径增加0.1毫米会引起塔高增加5~6米。大约每增加1米塔径就会增加6~7万元的投资,而每增加1米塔高也要增加近万元的投资。由于缺少可靠的理论做指导,以往一些降低了有效高度的和缩小了直径(或矩形断面尺寸)的造粒塔都发生了粘塔现象,造成各种重大事故和浪费,乃至最终被废除。

自然通风的造粒塔与机械通风的有很大不同,前者其各种参数之间的作用关系是比较复杂的,因而计算较繁。如它的通风量由于受塔内自然热压头决定,而热压头不仅取决于塔高、喷洒量等这类比较固定性的因素,同时也取决于大气温度、湿度等这些多变性的因素,因此风量不仅取决于各项设计数据,而且使用中又是多变的。此外风量变化对传热过程影响的最终结果又是使热压头朝反向改变。可见各种参数之间是互为因果互相制约的。至于机械通风造粒塔因其通风量是固定的,所以它的工艺计算事实上只需用自然通风造粒塔的一小部分方程就可以完成了。

在造粒塔的物理性能计算中,喷头的喷洒状况和塔的结构状况是前提条件。它们的优劣可在其各自范围内探讨。但是,虽然喷头和塔型所提供的参与造粒塔物理过程的主要因素——颗粒直径、产量和塔的进出风口阻力系数等——对于造粒塔任意一个自然状态来说是已定的条件,反过来为要达到某种生产效果去寻找所必需的喷头条件或塔的结构型式时,也可通过

塔的性能计算去求解。例如，为了适应小塔径或低塔高的造粒塔的生产要求而去求知所必需的粒径等等。

在研究造粒塔这个大型热交换设备时应这样看待它，即传热面积是以运动着的颗粒表面积形式而存在的，在稳定工作情况下，塔内空间上任一点的传热条件也是恒定的，其传热面积只不过由每个颗粒连续加以替换而已。因此，欲了解传热面积大小和分布以及详细计算造粒塔性能和塔内状态或确定必需的塔高等都必须先明瞭颗粒降落运动规律才可。

近年来由于确认混凝土造粒塔塔体热应力占结构总应力约三分之二，因此在土建设计中已开始对热应力进行计算，为此需提供准确的塔体温度场的状况。后者是取决于塔内空气与物料温度沿塔高的变化状况的，故必须依赖于造粒塔整体性能解算的结果。所以，没有详细的工艺计算就不可能获得正确的塔体内部的温度场图。关于塔体内部的热流状态和温度场计算也是一个比较复杂的课题。

在造粒喷头方面由于缺少可供设计使用的计算方法和实验数据，以往的设计常是带有试验性的，不能按照设计要求进行严格计算。目前在造粒塔的使用上许多工厂对解决造粒喷头存在的问题最为迫切。实际上造粒塔的各种问题如塔径确定、塔高不足、强化生产、防止粘塔等等，也必须多从喷头上着手加以解决。在掌握了喷头工作的内在规律性以后即可针对造粒塔的不同要求设计适宜喷头。至于在扩大装置能力时只要换用个新喷头可免除再建新的造粒塔。

喷头设计除了满足确定的喷洒能力与喷洒要求以外还必须使其喷洒密度分布得均匀。目前使用的喷头其喷洒密度断面分布图都是呈现高高的驼峰形状，因而颗粒冷却的不均匀，即使20米落程上温差也高达40~60℃。在南方引进的大型化肥厂造粒塔内多因此发生塔底刮料机臂在短期内粘结1~2米高的现象，而被迫停产清理，这是缺少合理设计方法所致。

第一篇 造粒塔

第一章 颗粒降落运动方程

第一节 颗粒在向上气流中垂直降落诸方程

研究颗粒降落的主要目的在于得到落差与时间的函数关系。落差或降落时间是对造粒塔性能影响较大的三个主要设计因素（粒径、落差、流动阻力）之一，它是由塔高所提供的。可见该函数式是设计计算塔高的重要的物理方程。

颗粒的抛物线运动可分解为垂直与水平两个方向的运动。在垂直方向的加速运动中由于受到空气阻力的作用使其加速度逐渐减小，并当阻力与重力相等时达于零。颗粒与气流之间的相对速度即达到一个确定的最大值，而后恒速降落。

垂直方向的降落运动方程根据牛顿第二定律及阿基米得原理应为：

$$m \cdot g - m_a \cdot g - R = m \cdot a \quad (1-1)$$

式中 m, m_a ——颗粒及其所排开的空气的质量，公斤·秒²/米；

g, a ——重力加速度及颗粒降落运动的加速度，米/秒；

R ——空气阻力，对球形颗粒可按照牛顿阻力定律的形式写为：

$$R = C \cdot f \cdot \frac{\gamma_a}{2g} (v_s + v_a)^2 \quad (1-2)$$

式中 v_s ——颗粒降落速度，米/秒；

v_a ——造粒塔内的平均气流速度，米/秒；

γ_a ——颗粒周围的空气比重，在颗粒全落程上是逐渐变化的。工程设计中可取平均值；

f ——颗粒在水平面上的投影面， $f = \frac{\pi}{4} d^2$ ；

d ——粒径；

C ——颗粒垂直降落阻力系数。

应指出，气流给予颗粒的阻力有三方面，即正面气流压力、颗粒背面产生的负压力以及与颗粒表面间的摩擦力。三种阻力均可用相对速度的速度能表示。但前两者常以颗粒最小中断面与实验的阻力系数的乘积作为速度能的系数。对球形颗粒实际可忽略第三项阻力。在

(1-2) 式中没有写出该项摩擦阻力并非忽略它，我们将在 C 值中增加一个当量数值将其计入在内。

已知当 $v_s + v_a = (v_s + v_a)_{\max} = v_{s,\max} + v_a$ 时颗粒受到最大阻力并等于颗粒在空气介质中的重力，亦即

$$C_{su} \cdot f \cdot \frac{\gamma_a}{2g} (v_{s,\max} + v_a)^2 = (m - m_a)g \quad (1-3)$$