

◆设备、控制与安全生产◆

22 m悬臂式尿素刮料机选型与设计

刘要兵

(南京河大机械有限责任公司, 江苏 南京 210000)

[摘要] 详细阐述22 m悬臂式尿素刮料机的选型与设计过程。通过对尿素物料特性、生产工艺要求及工作环境的综合分析, 确定了刮料机的主要参数和结构形式。重点介绍悬臂结构的选型、驱动系统的设计计算、整机设备的安装以及常见故障的分析与处理。经过合理选型与精心设计, 该刮料机能够满足尿素生产的高效刮料需求。

[关键词] 悬臂式; 尿素刮料机; 选型; 设计

[中图分类号] TQ051 [文献标志码] A [文章编号] 2097-4566 (2025) 11-0125-04

Selection and design of 22 m cantilever urea scraper

LIU Yaobing

(Nanjing Heda Machinery Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract: The selection and design process of a 22 meters cantilever urea scraper is described. Through comprehensive analysis of the characteristics of urea materials, production process requirements and working environment, the main parameters and structural form of the scraper have been determined. The article focuses on the selection of cantilever structures, the design and calculation of the drive system, the installation of the entire equipment, and the analysis and handling of common faults. After reasonable selection and careful design, this scraper can meet the efficient scraping needs of urea production.

Key words: cantilever; urea scraper; selection; design

刮料机作为尿素生产过程中的重要设备, 其在尿素生产和储存环节中发挥着重要作用, 其选用的合理性和安装的正确性直接影响到尿素生产的效率、质量和成本^[1]。在众多用于尿素刮料的设备当中, 悬臂式尿素刮料机以其独特的结构设计和卓越的性能表现脱颖而出, 在尿素生产中得到了广泛应用。

深入探究悬臂式尿素刮料机, 不仅能够推动尿素生产技术的革新与进步, 还能够从根本上提升尿素生产的自动化水平, 显著降低人工操作的强度和频次, 从而极大地提高生产效率。同时, 有助于进一步优化刮料的精细程度和均匀度, 严格保障尿素产品的纯净度和均一性, 为其在市场上树立良好的口碑和强大的竞争力奠定坚实基础。此外, 对其展开深入研究还能够促使设备更好地适应多样化的生产规模和复杂多变的工况条件, 增强设备的通用性和灵活性, 从而为企业控制成本、拓展利润空间创造有利条件。

1 悬臂式尿素刮料机的选用

对于采用二氧化碳气提法生产尿素装置而言,

目前较为常见的收集底部尿素颗粒的刮料机结构有螺旋式、转臂式和悬臂式3种。

螺旋式刮料机是由驱动系统驱动大齿轮旋转, 从而带动整个收料圆盘转动, 使尿素颗粒汇聚到螺旋刮料的中心以达到收集的目的。由于尿素造粒塔的直径越做越大, 螺旋式收料机本身的结构弊端导致其对于16 m以上的中大型尿素造粒塔, 制作难度大幅度增加, 并且随着收集圆盘增大, 要求的大齿轮传递力矩也很大, 为满足强度要求, 整机外形庞大, 制造成本相对偏高。

转臂式刮料机的旋转主轴管两端分别各设有一个旋转机构来维持收料机构的转动。在转轮的运动轨迹处, 还需要设置一个专门的转轮运动轨道。由于转轮机结构复杂, 运动轨道的直径较大, 增加了制造难度。该结构在使用过程中需维护转轮运动轨道, 增加维护成本。

[收稿日期] 2024-12-27

[作者简介] 刘要兵(1995-), 男, 江苏睢宁人, 助理工程师, 从事机械设计工作。

悬臂式刮料机为电机减速机驱动小齿轮带动回转支承旋转^[2]，刮臂与回转支承连接并同步旋转，刮臂上装有带角度的不锈钢刮刀，将塔顶喷淋下来的尿素溶液凝结成的颗粒及时地刮入地槽，落在塔下的带式输送机上，转送到散装仓库或包装场。其结构相对简单，制造和维护成本较低，操作方便，悬臂可以自由伸展和旋转，能够到达料仓的各个角落，实现全面刮料，适应不同规模的尿素装置生产需求。刮料装置的刮板和刮刀可以根据尿素的状态（如粉状、颗粒状）和堆积情况进行灵活配置和调整。例如，对于黏性较大的尿素物料，可以采用特殊形状和材质的刮板，增加刮料力度和效果。通过精确的运动控制和合理的刮料部件设计，能够实现尿素物料的统一刮取，保证产品质量的一致性。悬臂式刮料机也有缺点，例如刮臂驼峰问题，主要是由于造粒塔超负荷运行或者存在过冷现象导致熔融尿液还没有完全固化就掉落至塔底，在各刮臂上形成环形“驼峰”。为抑制尿素造粒塔刮料机“驼峰”的形成，消除生产中的安全隐患，可采取超声波振动技术或纳米级不粘涂层来改善，使刮料机刮臂无尿素粘结或加速脱落。

每种尿素刮料机都有其独特的优点和局限性，在实际选择时，应综合考虑生产规模、料仓特点、维护成本以及工作效率等多方面因素。针对直径为22 m的尿素造粒塔，选用悬臂式刮料机较为合适，其运行稳定、效率高、噪声小、后期维护成本低，完全满足尿素造粒塔需求^[3]。

2 选型考虑因素

1) 物料特性与工作环境

生产物料为尿素颗粒，粒度为0.85~2.80 mm（平均2.30 mm）占比≥93%，堆积密度为750 kg/m³，物料温度≤75℃，物料 $w(\text{H}_2\text{O}) \leq 0.5\%$ ，安息角为27°。尿素颗粒具有较强的腐蚀性和吸湿性，稍弱的磨琢性和黏附性，整体呈碱性特性，粉尘多，易飞扬^[4]。

环境大气压为常压状态，环境温度最高42.5℃；空气年平均相对湿度65%，最大80%。安装位置在造粒塔内部，粉尘、潮湿、弱腐蚀环境。

2) 设计需求

生产要求尿素刮料机为连续操作和连续出料的运行方式，且满足全年工作时间≥330 d；设计的最大生产能力为90 t/h。

3 整机设计

悬臂式尿素刮料机的刮臂及全部传动部分与机

架组成一个整体，悬挂在预先浇注于混凝土塔底的基础座（预埋件）上。在刮臂底面安装有硬质合金耐磨层刮板，当刮臂旋转时，刮板随时把塔底的尿素颗粒刮入中心收料斗内，并经过底部的带式输送机送至散装库或包装场。

22 m造粒塔用的悬臂式尿素刮料机采用双刮臂结构，刮臂总长度为21.7 m，刮臂转速为1.6 r/min，动载系数按1.5倍设计^[5]。刮料机的整体结构外形如图1所示。

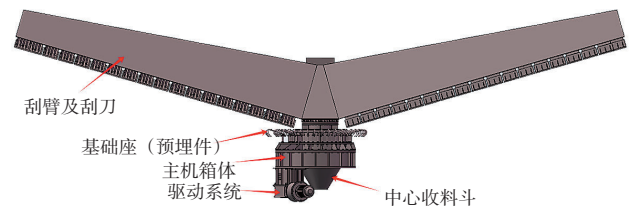


图1 刮料机结构外形图

Fig. 1 Outline drawing of scraper structure

随着尿素颗粒不断从造粒塔顶部飘落至塔底，刮料机的两个刮臂周期性地物料刮至中心收料斗内。每经过半个周期，2个刮臂合计刮扫塔底一圈。忽略刮臂与造粒塔内壁面之间的微小间隙以及旋转中心收集斗上方无刮板的部分，设22 m刮料机单个刮臂长度 L 为11 m。

在半个周期内，两个刮臂所受摩擦阻力矩为：

$$\Sigma M_1 = 2 \times \int_0^L \pi h f \rho g x^2 dx = \frac{2}{3} \pi L^3 h \rho g t g a \quad (1)$$

式中 h —— 在半个周期内，物料堆起的自然高度（无刮板作用），初步算得 $h = 1.76 \times 10^{-3} \text{ m}$ ；

ρ —— 物料密度， kg/m^3 ；

g —— 重力加速度，取 9.8 m/s^2 ；

f —— 摩擦系数， $f = t g a$ ；

a —— 物料安息角，°；

x —— 物料至收料斗中心处的刮板径向距离坐标。

两个刮臂所受静压阻力矩 ΣM_2 为：

$$\Sigma M_2 = \frac{1}{2} \rho g L^2 H^2 \quad (2)$$

式中 H 为每个刮臂的刮板所受的物料静压力高度，这里取 $H = 260 \text{ mm}$ 。

尿素总阻力矩 M_{Σ} 为：

$$M_{\Sigma} = M_1 + M_2 \quad (3)$$

输出功率 W 为：

$$W = K \omega M_{\Sigma} = K \omega \left(\frac{2}{3} \pi L^3 h \rho g t g a + \frac{1}{2} \rho g L^2 H^2 \right) \quad (4)$$

式中 ω —— 刮臂角速度， $\omega = 2\pi n \text{ rad/s}$ ；

n —— 刮臂转速，初步算得 $\omega = 0.17 \text{ rad/s}$ ；

K —— 动载系数，1.5。

代入各数据，求得22 m双臂尿素刮料机需要

的输出功率 $W=12\ 206\ W$ 。根据南京河大机械有限责任公司实际生产并投入使用的同型号产品表明,以上计算方法是可行的,部分用户实际使用数据详见表1。

表1 尿素刮料机部分用户实际使用数据

Table 1 Actual usage data of some users of urea scraper

用户	造粒塔直径/m	刮臂外径/m	实际使用功率/kW
新疆某公司	22	21.8	10.2
山东某公司	22	21.8	10.6
山东某公司	22	21.8	11.5
河北某公司	22	21.8	10.9

由计算和以往经验可得,该刮料机装机选用单台 18.5 kW 的防爆电机较为合适。电机采用全封闭式电机,采用风扇冷却方式,电机防爆等级 Exd II BT4.GB,防护等级 IP55,绝缘等级采用 F 级,温升 B 级,防腐等级为 WF1,能效等级不低于 GB 18613—2020 中 2 级能效要求。

减速机选用硬齿面工业齿轮箱,为坚固的焊接钢结构,三级齿轮传动中第一级为格里森齿轮圆锥齿轮,其余两级为斜齿柱齿轮,箱内充有齿轮油供润滑及冷却用^[6]。保证稳定传输正常工作力矩的同时亦可以抵抗因刮刀破冰而需要的短暂过载力矩。减速器的输出轴,靠弹性柱销联轴器与主动轴下端相连。电机与减速机之间采用液力耦合器连接,以便随时方便而平稳地启动电机,而且不需其他补偿启动设施;在耦合器支架内装有速度传感器,若回转部分因受阻而超载时,其被动端将自动滞速;此时速度传感器将会发出信号使电机停机;若滞速时间过长且速度传感器失灵时,其易熔塞,因内部油温升高(140℃)而自动熔化,漏出油液使转动失效,从而避免机械损伤事故发生^[7]。传感器技术的广泛应用使得刮料机能够实时感知工作状态和物料特性,通过大数据分析和人工智能算法,实现了故障的预测性维护和自适应调整。

刮臂及全部传动部分与机架组成一体,悬挂在预先浇注于混凝土塔底的基础座上。刮料机 AISI 304 不锈钢活动刮板堆焊有合金耐磨层,刮板与刮臂采用螺栓连接,其高度可调,以保证刮板与造粒塔的刮料层锥面保持合适的净高。所有与尿素颗粒接触的部件如刮臂、料斗、螺栓、螺母均采用 AISI 304 不锈钢,所有碳钢部件表面需涂氯磺化聚乙烯防腐涂料。旋转部件全部密封,防止尿素颗粒与内部接触。所有部件包括润滑设施均设置在便于

操作人员接近的地方。

采用 PLC 电气控制系统,配备简洁直观的操作界面,方便操作人员进行控制和监控。刮料机具备远程监控和操作功能,操作人员可以在控制中心对多台设备进行集中管理,进一步提高了生产效率和管理水平。此外,绿色环保理念在设计中得到重视,选用 1 级能效电机,刮料机的能耗降低,噪声和粉尘排放减少,符合可持续发展的要求。

4 基础座安装及塔内土建要求

基础座应用二次灌浆的方法预先浇注在钢筋混凝土的塔底内,经充分保养后才能进行刮料机其他零部件的安装。基础座的位置如图 2 所示。

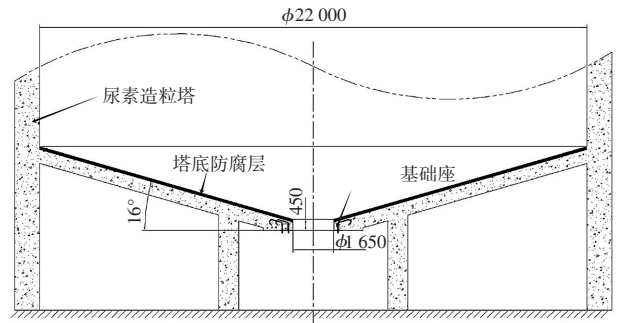


图2 塔底基础座图

Fig. 2 Tower base diagram

基础座安装水平误差应 $\leq 0.001\ mm$ 。土建应考虑设备动载荷和安全系数。塔内尺寸只允许正偏差;塔内径与基础座中心孔的同轴度 $\leq 30\ mm$ 。塔底层面应待刮料机安装结束后,按刮板找平,并保证 $(35 \pm 5)\ mm$ 的间隙,以免积料厚薄不均。地脚螺栓的外漏螺纹部分须与基础座下平面垂直。预埋基础座时须注意方向,应避免减速机电机与皮带输送机干涉。严格保证塔底高度为 450 mm (含防腐层)及槽底角度为 16°,防止槽底过高导致刮臂与槽底擦碰。

5 刮料机安装与调试

基础座浇注完工后,清理安装场地,保证场地平整、无障碍,为设备安装提供足够的操作空间。查看刮料机货物清单,清点货物及紧固件、备件等数量是否与清单一致。同时做好货物的保管工作。对设备在运输过程中的变形及损坏要进行全面检查和修复,并对配合面进行清洗、去污、除油等工作。准备好安装时必要的设备及工具,如:指定吨位的起吊用起重装备、起道器、水平仪及标尺、焊机以及其他必要的安装工具和检测工具。安装质量应由制造厂、安装部门和用户派员主持监督。

驱动装置和回转装置在出厂前已经安装成为一

个整体。现场安装将两者吊起并逐步靠近基础座直至穿入所有的地脚螺栓为止，再安装所有的螺母、垫片，并对称紧固螺栓。要求回转装置的上法兰与刮臂连接面水平误差 ≤ 0.0005 mm。检查安装在机架上的通气管是否畅通，并在下部边缘处接通压缩空气管道。

刮臂共分为多节，先将刮臂中节吊起并逐步靠近回转装置里的十字回转支架上端法兰面。待刮臂中节与十字回转支架安装就位后用螺栓固定并对称均匀地拧紧；再将其余两节刮臂用起道器抬起，待两节刮臂完全装入中节刮臂后，在接合处施焊，使三节刮臂连成一个整体。撤去起道器，检查刮臂两端对安装基面的高度差（应不大于10 mm）。将堆焊有耐磨层的刮板用螺栓装在刮臂底面上，要让刮板堆焊层的一面与刮臂回转前进方向一致；人工转动整个刮臂，同时检查并调整刮板下缘至塔底平面的距离。新铺或修补造粒塔底地坪，并按刮臂回转校平，以免积料厚薄不匀。

安装润滑油泵和电气控制柜。待整机连锁功能设置完成后，清理场地等待调试运行工作。

调试运行之前，应检查电气接线是否正确可靠，各润滑点是否已注入足量的润滑油脂；检查无误后启动电机投入试运转^[8]。运转时，刮臂的转动应平稳、无卡涩现象；两端部在垂直平面内的跳动量不应大于5 mm；各电气控制应有效，各保险装置应可靠，电机的温升应正常。减速机运转时，各密封和接合处不得有漏油和渗油现象；其运转应平稳正常，不得有冲击、振动及异常声响；油池温升应不超过35℃，轴承温升不超过40℃；噪声不超过85 dB。空载运转时间不应少于2 h，生产负荷试运转，连续时间不少于24 h。运转中应进行全面检查，其检查内容与在空、负荷运行时基本相同，并应符合要求。

6 常见故障分析与处理

1) 电机启动后不久即自动停车

故障原因：①速度传感器额定信号数太大；②刮臂回转受阻；③液力耦合器的充油量太少。

处理方法：①检查速度传感器的额定信号是否匹配并调整；②检查塔底有无积料结块阻挡或其他转动部位的机械原因，并设法消除；③检查液力耦合器的充油量是否合适。

2) 机器运行中自动停车

故障原因：①刮臂回转受阻；②液力耦合器漏油，减少了充油量。

处理方法：①检查塔底有无积料结块阻挡或其他转动部位的机械原因，并设法消除；②更换液力耦合器的密封环。

3) 电机过载电流过大

故障原因：①刮臂回转受阻；②液力耦合器充油过多。

处理方法：①检查塔底有无积料结块阻挡或其他转动部位的机械原因，并设法消除；②检查液力耦合器的充油量是否合适。

7 结论

通过对22 m悬臂式尿素刮料机的选型与设计，充分考虑了尿素生产的各种要求和条件。经过精心设计和计算，该刮料机能够实现高效、稳定的刮料作业，为尿素生产提供有力保障。在实际应用中，还需根据生产情况进行优化和改进，以进一步提高设备的性能和使用寿命。

悬臂式尿素刮料机的选型与设计是一个综合性的工作，需要充分考虑生产实际需求、物料特性、设备性能以及工作环境等多方面因素。只有在选用过程中做出科学合理的决策，并在安装过程中严格按照规范操作，精心调试，才能确保悬臂式尿素刮料机在尿素生产中发挥出最佳性能，为企业创造更大的价值。

[参考文献]

- [1] 李海洋.刮板式取料机取料臂的结构形式分析[D].北京:清华大学,2013.
LI H Y. Structural analysis of scraper reclaimer boom [D]. Beijing: Tsinghua University, 2013.
- [2] 王力强.尿素刮料机故障分析及对策[J].大氮肥,2005,28(6):395-396.
- [3] 刘嘉珉.板式给料机的改造设计[J].有色冶金设计与研究,1996,17(3):8-10,13.
- [4] 袁一.化肥工业丛书-尿素[M].北京:化学工业出版社,1997.
- [5] 曹成刚,欧勇.刮料机故障分析及处理方法[J].大氮肥,2015,38(1):19-21.
CAO C G, OU Y. Analysis and treatment of scraper failure[J]. Large Scale Nitrogenous Fertilizer Industry, 2015, 38(1):19-21.
- [6] 王秀成.尿素刮料机故障原因分析及处理[J].中氮肥,2019(2):53-55.
- [7] 朱彬,王东波.GL26Z型双臂双传动锥形刮料机故障分析及处理[J].大氮肥,2018,41(6):399-402.
ZHU B, WANG D B. Fault Analysis and Treatment of GL26Z Double arm Dual transmission Cone Scraper [J]. Large Scale Nitrogenous Fertilizer Industry, 2018, 41(6):399-402.
- [8] 刘淑青,张万和.尿素刮料机启动联锁改造设计[J].化肥工业,2005,32(6):50-51.
LIU S Q, ZHANG W H. Interlocking Transformation Design for Startup of Urea Scraper [J]. Chemical Fertilizer Industry, 2005, 32(6):50-51.