

棒磨机制造安装技术研究综述

白新峰

上海前高实业有限公司, 上海, 201600;

摘要: 棒磨机作为建材、制砂、冶金等行业的核心粉磨设备, 其制造和安装质量直接决定设备运行稳定性、磨矿效率、能耗指标及使用寿命。本文系统阐述棒磨机从前期准备、基础验收、主轴承装配、筒体安装、传动系统对中、润滑系统调试到负荷试车全流程安装技术及实际使用中出现问题, 明确关键工序精度控制标准, 总结常见故障及优化方案。结合工程实践, 提出安装工艺优化、数字化测量应用、质量管控体系完善等技术创新方向, 并通过实际项目验证, 实现设备一次试车成功率提升、运行故障率下降、运行维护成本降低的良好经济效益与社会效益。研究成果可为大型棒磨机安装施工、技术管理及工程验收提供参考依据。

关键词: 棒磨机; 安装技术; 主轴承; 精度控制; 传动对中; 安装优化

DOI: 10.69979/3029-2727.26.05.050

随着国家基建刚性需求、工程品质升级, 天然砂资源枯竭及政策引导替代, 机制砂需求量持续增长。棒磨机制砂对于含二氧化硅比较高的花岗岩、玄武岩制砂有良好的适应性, 棒磨机制砂具有级配合理、粒形优异、过粉碎率低、运行稳定、适应性强、品质可控等, 是生产高品质、高性能、高稳定性机制砂的理想设备, 棒磨机制砂以钢棒为研磨介质, 具有产品粒度均匀、过粉碎率低、运行稳定等特点。随着装备大型化、连续化、智能化发展, 棒磨机体积与重量不断增加, 对安装同轴度、水平度、轴承接触精度、齿轮啮合质量、热膨胀间隙及密封润滑系统提出更高要求。在实际工程中, 因基础处理不当、主轴承刮研精度不足、传动系统对中超差、润滑系统清洁度不达标等问题, 易造成轴承烧瓦、振动超标、齿轮早期点蚀甚至断齿、空气离合器闸瓦频繁更换等故障, 直接影响生产线连续运行, 造成较大经济损失。因此, 开展棒磨机安装全过程技术研究, 优化安装工艺、提升控制精度、完善质量体系, 对保障设备长周期稳定运行、降低生产成本、提高工程效益具有重要现实意义。

1 棒磨机主体结构安装技术

1.1 基础施工与底板安装

棒磨机基础是承载整个设备及其运转动力的关键结构。传统球磨机基础采用现场浇筑混凝土的方式施工, 存在养护周期长、精度控制难等问题。针对这一痛点, 通常采用模块化球磨机基础技术。该技术将基础分解为主轴承底板、小齿轮轴承底板、慢传装置底板、动力源支承等模块化部件, 各部件在工厂预制加工, 现场仅需

进行螺栓连接和二次浇注。

模块化基础的技术优势体现在以下三个方面: 其一, 工厂预制环境有利于保证加工精度, 各支承面的平面度可达 0.1mm/m 以内; 其二, 现场施工周期缩短 40% 以上, 避免了长时间养护对整体工期的影响; 其三, 当设备需要升级改造时, 模块化基础便于拆卸和重复利用。实践表明, 采用模块化基础的球磨机安装后, 其振动幅值较传统基础降低 15% 左右。

1.2 主轴承与筒体安装

主轴承是支撑球磨机筒体回转的核心部件, 其安装精度直接决定设备的运转平稳性。大型球磨机通常采用滑动轴承, 轴瓦与中空轴的配合间隙需要严格控制。安装过程中, 首先需在主底板上划出纵向和横向基准线, 然后以基准线为参照调整轴承座的位置和标高。轴承轴瓦接触率为 75° 夹角范围内, 25mm^2 面积内接触点不少于 2 个, 并刮出相应的导线线, 处理好油路, 清洗就、风吹, 将油管、热电阻等件分别安装就绪, 确保主轴承轴瓦外观清洁干净, 并用划归等工具划出中心线至两端, 可轻微用样冲打出点位。

筒体安装是球磨机组装的关键工序。对于小型球磨机, 可采用整体吊装方式; 对于分段式大型筒体, 则需要现场组对螺栓把和销钉定位。大齿轮轴向跳动 0.30mm/m 节圆、径向跳动 0.25mm/m 节圆; 大小齿轮啮合间隙 $0.76\sim 1.15\text{mm}$ 范围以内、齿顶间隙保证 $4.5\sim 8.4\text{mm}$ 以内) 装配后两中空轴轴心线的同轴度与倾斜度使主轴承衬端面振摆不得超过 1mm , 同时检测一下进

出料两端水平差。保证进料端略高于出料端 0.25mm/m 以内。

2 传动系统安装与对中技术

传动系统包括大齿圈、小齿轮部、气动离合器、主电机及联轴器，其安装精度直接影响传动效率与设备寿命。该技术的核心要点包括：首先，以已安装就位的大齿圈为基准，通过测量大齿圈端面跳动和径向跳动确定其实际回转中心；其次，采用专用工装将小齿轮轴调整至设计中心高，并确保小齿轮轴轴线与大齿圈轴线平行；最后，通过涂色法检查齿面接触斑点，要求沿齿高方向接触不少于 45%，沿齿长方向接触不少于 50%。实践表明，采用该技术可将小齿轮轴的安装误差控制在 0.1mm 以内，有效避免运转过程中出现的偏载和振动问题。

2.1 大齿圈安装精度控制

两半齿轮接合面必须牢固，两半齿轮结合面要求 0.05mm 塞尺不入；大齿圈径向跳动 $\leq 0.5\%$ 齿圈直径；端面跳动 $\leq 0.3\%$ 齿圈直径；确保齿圈运转平稳、无偏摆。

2.2 大小齿轮啮合调整

齿轮啮合齿侧间隙控制在 0.5~1.2mm，齿面接触斑点沿齿高方向不低于 40%，沿齿宽方向不低于 50%，保证啮合平稳、冲击小、磨损均匀，避免出现点蚀、断齿等故障。

2.3 联轴器及气动离合器对中

采用激光对中仪安装起动离合器，进行高精度对中，从根源消除因对中超差引起的振动、气动离合器闸瓦过度磨损等问题。

3 液压润滑与冷却系统安装调试

液压润滑系统是棒磨机安全运行的保障。管路安装前必须进行酸洗，安装完成空载试车前进行循环冲洗，不得有残留物在润滑设备，管路或轴承箱中；润滑油采用 N100-N150 工业润滑油。

低压润滑油泵供油压力控制在 0.15~0.4MPa，工作油温 35~45℃，超温报警值设定为 55℃，紧急停车温度 60℃。

高压润滑泵通过调整溢流阀是压力达到 31.5MPa，运转 5 分钟后检查各连接部位不得有渗漏现象。

检查全静压润滑油站水冷系统和主轴承瓦冷却水系统，应无渗漏现象。

4 试车调试与验收标准

4.1 空负荷试运转

首先起动高低压油站，浮升回转部，高低压油站运行 3 分钟，确保钨金瓦与轴径间形成静压油膜。起动主电机，进行空负荷连续运转 8 小时，并满足下列要求：

- a. 主电动机电流无显著变化；
- b. 主轴承进回油温升不高于 15℃，最高回油温度不应高于 60℃。
- c. 磨机空负荷运转时的噪声声压值不应超过 90dB(A)
- d. 各润滑点的润滑应正常，无漏油现象。

4.2 负荷试运转

空负荷运转合格后，可进行负荷试运转，运转前磨机筒体内装入规定最大负荷量的 20%-30% 的钢棒和物料，按规定程序起动，运转无异常所见后，每 30 分钟加入 10%，直至满负荷后连续运转 24h 达到：

- a. 磨机应工作平稳，并无异常现象；
- b. 主轴承进回油温升符合要求，最高回油温度不超过 60°；
- c. 筒体各螺钉孔处、人孔和法兰结合面无渗漏现象；
- d. 连接点如法兰、人孔、衬板螺栓不得松动；

5 技术优化创新点

5.1 高精度安装工艺优化

棒磨机传统安装工艺依靠常规测量机具（如框式水平仪、水准仪、0.5mm 钢丝或鱼线及工业吊线坠、百分表、塞尺等），依靠安装工人测量与经验技术，易产生积累误差，安装精度有限。随着设备大型化及安装精度需要，放弃传统的拉线吊线锤等粗放方式，改用全站仪、精密水准仪建立统一基准，将定位安装定位误差控制在 0.1mm。

联轴器及气动离合器采用激光对中仪精密找正，同轴度控制在 $\leq 0.05\text{mm}$ ，棒磨机大小齿轮采用激光平行找正，通过测量垂直面和水平面角向偏差及中心距，可以精确调整小齿轮座的水平高低与位置，两轴平行度控制在 $\leq 0.05\text{mm}$ 。

5.2 二次灌浆工艺优化

二次灌浆是设备安装精度最大的“后发破坏点”，优化采用高强度无收缩的自流平专用灌浆料，施工前对

基础进行凿毛、清洗、湿润，灌浆要求一次性完成，不得中断，灌浆后充分养护（至少3天）后复测激光对中。设备二次灌浆的质量（密实度、收缩性、强度），直接决定设备的受力均匀性和稳定性。是棒磨机运行可靠性的关键工序。复测数据不合格必须返工处理。

5.3 润滑系统优化

棒磨机运行过程中烧瓦是重大设备事故，常因润滑系统故障：润滑缺油断油；高压油膜失效；油脂不合格等，导致油温骤升合金熔化、冒烟、抱死、电机过载跳闸。针对棒磨机烧瓦的问题对润滑系统优化：采用全静压润滑油站替代传统的高低压润滑油站，全静压油站采用一用一备两台高压螺杆泵，一改传统高低压油站仅启动时工作顶起中空轴，形成静压油膜，回转部转动形成动压油膜后，高压泵停止，低压泵运行。全静压油站在磨机运行过程中高压油全程供油，始终维持强制静压油膜，不依赖动压。优化采用全静压油站安全冗余高、巴氏合金轴瓦寿命长、防烧瓦更彻底。

5.4 棒磨机轴承的优化

随着大型轴承制造能力的提升，近年来，滚动轴承已逐步替代传统的滑动轴承（轴瓦），滚动轴承无静摩擦力，运行阻力远低于滑动轴承，磨机运行功耗降低5%-15%；完全不存在烧瓦问题，适应性更强；润滑系统不需要复杂的高低压油站或者全静压油站，只需要油脂润滑或简单稀油润滑，大大减小故障率，降低维护工作量。

5.5 大小齿轮润滑优化

棒磨机大小齿轮传统润滑采用齿轮罩油池润滑或定期人工涂抹甘油润滑，传统人工涂抹甘油脂人工涂抹不均匀且维护劳动强度大，时间长了旧润滑脂清理困难；齿轮罩油池润滑容易泄露污染，且润滑油粘度低，低速润滑效果不好。大小齿轮润滑优化采用喷射润滑装置，定期向大小齿轮咬合部位喷射高粘度油雾，润滑间隔时间、油量全程可控，喷射精准、均匀、润滑更充分，减少齿面磨损，大大提高齿轮使用寿命。

6 应用成果及经济效益

6.1 高精度安装工艺优化效果

棒磨机高精密仪器安装，采用激光对中仪、全站仪、振动分析仪等精密检测仪器，能够实现高精度的全过

程质量控制，保证主轴承对中、齿轮咬合、联轴器同心度、气动离合器对中等关键指标。

经济效益：降低棒磨机设备发生故障概率，延长设备使用寿命，降低能耗及运行维护成本，实现长期、安全、高效率、经济运行。

6.2 二次灌浆工艺优化效果

棒磨机安装二次灌浆采用高强度无收缩的自流平专用灌浆料后，抗压强度远高于普通混凝土，浇筑后1天就可以承重，3天便可以进行设备精确找正；流动性强可以自动填充底座下方、死角等各复杂空间，无需振捣自密实，施工质量可靠；二次灌浆硬化过程中无收缩、不开裂，保证底座与基础紧密贴合，保证磨机精度稳定；

经济效益：大幅缩短安装工期（普通混凝土养护28天才可以精确找正），磨机提前投产，降低投资成本；降低设备故障率，延长传动部件（轴承、气动离合器、小齿轮等）使用寿命20%-50%；磨机运行电流小、波动小、运行更平稳，综合单耗降低。

6.3 润滑系统优化效果

巴氏合金轴瓦棒磨机采用全静压油站后，运行过程中全程静压油膜，瓦温低且均匀，轴瓦几乎不磨损，几乎杜绝烧瓦，寿命极长。

经济效益：通过工程实测，采用传统高低压油站磨机的轴瓦寿命为1-3年，更换全静压油站后寿命延长至5-10年，使用寿命可提升3-5倍，基本免烧瓦。采用全静压油站虽然油站投资成本和油站运行维护成本略有上升，但轴瓦寿命延长及停机检修损失成本降低，综合经济效益显著，是大型棒磨机的最优选择。

6.4 磨机轴承优化效果

棒磨机主轴承采用滚动轴承后，完全杜绝烧瓦事故，日常维护更简单，功耗低，可靠性高，可显著降低设备故障率。

经济效益：可以降低磨机5%-15%的功耗，节约能源降低运行成本；完全杜绝烧瓦设备事故；无高低压润滑站维护更简单；减少润滑系统投入，取消高低压润滑油站或全静压油站投入，节约前期投资5-10万元。

6.5 大小齿轮喷射润滑优化效果

棒磨机喷油雾润滑在润滑精度、油液清洁度、大小齿轮保护等方面均由于传统润滑方式。

经济效益：虽然喷射润滑系统前期投资较高，但显著降低齿面磨损、延长齿轮使用寿命、降低长期运行维护成本。吉林夹皮沟金矿3台MQY2736球磨机原采用传统甘油润滑存在给油不均、齿面磨损严重、维护成本高、自动化程度低等问题，设备技改升级为智能油气混合喷射润滑系统，齿轮油膜均匀稳定，设备故障率与维护工作量大幅减少，齿轮使用寿命延长2-3倍，具有较高的推广应用价值。

为了降低业主升级改造成本，本人设计的一拖三喷射润滑方案（即一套喷射润滑装置为3台磨机大小齿轮润滑供油），改造成本由原来的10.5万元，降为4.5万元，升级改造成本大幅度降低，通过本次改造为设备润滑升级提供了成功案例，具有广泛的行业推广价值。

7 结论与展望

棒磨机制造安装质量应符合JB/T 1406-2002《球磨机和棒磨机》及GB 50276-2010《破碎、粉磨设备安装工程施工及验收规范》，采用高强度材料，满足设计寿命要求，同轴度、齿轮咬合等核心指标满足规范要求。工程实践表明，通过技术革新优化，在材料、传动系统、

控制、工艺安装方面升级，可以进一步提升棒磨机性能、降低成本，提升生产线运行效率，具有显著的经济效益和推广价值。未来，随着高效节能化技术、材料升级、BIM模拟、智能运维、绿色低碳等技术不断发展，棒磨机制造和安装将向高精度、智能化、绿色化、标准化方向持续升级。

参考文献

- [1] 中国机械工业联合会. JB/T1406-2002 球磨机和棒磨机[S]. 北京：机械工业出版社，2002.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50276-2010, 破碎、粉磨设备安装工程施工及验收规范[S]. 北京：机械工业出版社，2010.
- [3] 中国安装协会. 重型机械安装工程施工手册[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2020.
- [4] 王守信. 重型设备精密安装与找正技术手册[M]. 北京：机械工业出版社，2019.
- [5] 中国水利水电第七工程局有限公司. 大型磨机安装与调试技术手册[Z]. 成都：中国水利水电第七工程局有限公司，2021.