

水泥科技

4
2024

SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CEMENT

善用资源 服务建设



主办单位：

合肥水泥研究设计院有限公司

Email: snkj@hcrdi.com

水泥科技

(季刊 1988年创刊)

2024年第4期

主办单位:

合肥水泥研究设计院有限公司

编委会

名誉主任: 朱 兵

主 任: 张永龙

副 主 任: 王虔虔 郑 青

主 编: 陆树标

委 员: (按姓氏笔划排序)

王仕群 王 庆 叶卫东 许 涛

李 宁 李运军 李林桃 沈玉祥

周巧林 单矩程 侯贵斌 徐松波

徐 睿 高 霖 崔洪坤 韩修铭

褚 彪 魏 铸

责任编辑: 解姗姗

编辑出版: 《水泥科技》编辑部

地 址: 合肥市望江东路60号

邮 编: 230051

编辑部电话: (0551) 63439575

广告部电话: (0551) 63439575

传 真: (0551) 63439575

网 址: <http://snkj.hcrdi.com>

投稿邮箱: snkj@hcrdi.com

目 次

激光扫描技术在HRM型立式磨质量检验中的应用

..... 孙大勇/1

基于吸收光谱的高精度NH₃在线监测技术研究

..... 李旻/8

分片式大齿圈在水泥行业中的应用探讨

..... 刘品/16

水泥窑精准脱硝技术的应用

..... 陶巍/21

磁力耦合器在斗式提升机上的应用

..... 明智/27

电化学处理等新技术在工业循环冷却水系统中的应用

..... 王崇昊/33

废旧锂离子电池预处理工艺概述

..... 刘文佳/43

关于企业网络安全防护问题的探讨

..... 袁康乐/49

水泥工厂10kV变压器进线开关的选择

..... 苗俊/53

浅谈工业建筑设备基础预留螺栓孔洞施工方法

..... 姜小虎/57

激光扫描技术在HRM型立式磨 质量检验中的应用

孙大勇

(合肥中亚建材装备有限责任公司, 安徽 合肥 230601)

0 引言

随着高端装备技术水平的不断发展,各装备制造企业对机械零件的几何质量要求越来越高。HRM型立式磨作为一种重要的粉磨装备,具有工艺简洁高效的特点,已广泛应用于水泥、矿山、冶金等多个行业^[1],其装备的几何质量直接关系到产品最终交付质量。因此,如何保证客观准确的对HRM型立式磨零件几何质量状态进行评价,是HRM型立式磨制造企业面临的痛点和亟待解决的问题。当前,传统的HRM型立式磨零件几何质量检验方法存在依靠人工使用传统工量具、测量数据要素不够全面,结果受人为主观因素影响较大等问题,难以满足现代工业生产与评价的需求。现阶段,激光扫描技术作为一种先进的非接触式测量技术,具有精度高、速度快、数据评价完整客观等优点,已经应用于造船,航天等多个工业领域^{[2][3]},因此同样也为HRM立式磨的几何质量检验提供了新的解决方案。

本文主要探讨了激光扫描技术在HRM立式磨几何质量检验中的应用。文章首先介绍了激光扫描技术的原理特点以及数据处理方式,接着分析了HRM立式磨的结构和几何质量检验需求,最后详细阐述了激光扫描结合自动化技术在HRM立式磨尺寸测量的具体应用案例,并通过关键零件的实际案例展示了激光扫描技术在尺寸检测上的优势。最后对激光扫描技术在HRM立式磨零件检测的应用前景进行了展望。

1 激光扫描技术的原理和特点

1.1 激光扫描技术原理

激光扫描技术原理^[4]是将激光发射器的激光束照射在待测物体表面上,然后

通过相机按照一定的路径对待测物体表面进行扫描，获取测量激光束的反射时间和角度，结合三角测距法，计算出物体表面各点的三维坐标值，将这些坐标数据进行去噪处理并重构，最终生成物体的三维点云或网格模型，然后对重构模型进行后续处理。激光扫描数据采集原理如图 1 所示。

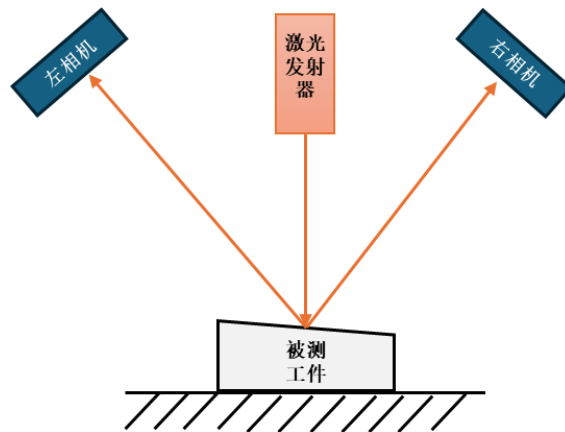


图 1 激光扫描技术原理

1.2 激光扫描技术特点

激光扫描设备基于光学原理进行设计和研发，属于非接触式测量技术领域，其相对于传统的接触式测量方式具有以下几项特点^[5]：(1)在测量时会与工件表面保持一定的工作距离，因此检测工作不会对物体表面造成损伤。(2)测量结果精度高，对于几何尺寸等特征的检测可达到丝级。(3)测量速度快，可以在较短时间内获取待测工件大量的坐标数据。(4)测量数据可视化，能够提供物体表面的完整详细信息并通过点云数据进行展示，方便后续数据处理。

1.3 激光扫描数据处理方法

对于激光扫描的检测过程，其本质上是通过扫描设备获取待测零件表面实际点云数据，然后将点云重构后的模型与参考模型进行偏差分析比对的过程，其步骤主要分为以下几步。

(1) 数据去噪。激光扫描仪在检测执行过程中，由于周围环境的影响，工作阶段会将待测工件附近物体如工装、杂质的数据同样采集到设备中。因此，为了后续检测分析的准确性，首先需要对数据对象进行去噪，提取所需要分析的零件数据。

(2) 数据对齐。对于扫描过程，一般情况下扫描数据会在测量坐标系中，而数模坐标系在设备坐标系中，即同一个对象的两个数据集并不重合，因此无法直接分析。所以在数据分析之前，需要通过最佳拟合等方法将两组数据对齐在同一个坐标系中，为后续的质量分析过程提供数据基础。

(3) 数据重构。对于点云数据来说，在数据分析之前，一般会通过数据重构的方式将点云数据转换为三角网格数据，这样重构后的模型在外形上更加贴近于真实状态。

(4) 数据分析。在完成点云去噪，点云数据对齐以及点云数据重构等步骤之后，可以将处理后的数据与参考模型进行对比分析，通过计算两者之间的偏差就可以获取所需要检测的特征尺寸，特征形状等几何特征参数评价结果。

2 HRM 立式磨的结构和几何质量检验需求

2.1 HRM 立式磨结构

HRM 型立式磨在结构上主要由传动臂、磨辊、磨盘、减速机、电机等部件组成，其工作原理是通过磨辊在磨盘上的滚动，将物料粉碎成细粉。如图 2 所示，为某企业研发生产的 HRM 型立式磨。



图 2 某企业 HRM 型立式磨

2.2 质量检验需求

为了保证 HRM 型立式磨的设备整体质量满足交付要求，设备生产企业通常

在制造过程中,需要对 HRM 型立式磨零件进行几何尺寸的质量检验,尤其是 HRM 型立式磨的关键零件如辊套、磨辊轴、动臂等部件的直径、长度、锥角等尺寸参数,都会对于这些关键零件的关键尺寸进行测量。如图 3 所示 HRM 立式磨的关键零件。



图 3 HRM 立式磨关键零件

2.3 传统的测量方式

对于 HRM 型立式磨中的关键零件几何特征测量过程,传统的零件几何量检测方式以模拟量检测为主,主要依靠人工采用工量具对所关注的零件几何尺寸进行测量,如图 4 所示。这种测量方式虽然具有精度较高,单个几何特征测量速度较快的优点,但是对于零件的整体几何尺寸来说,一方面,测量数据不够完整和全面,能够评价的特征也较为单一。另一方面,测量结果也受到测量人员的主观因素影响也较大,存在较高的不确定性。因此,测量数据的客观性也需要进一步提升。



图 4 传统测量方式

3 自动化激光扫描技术在 HRM 立式磨质量检验中的应用

当前,激光扫描技术结合自动化执行设备的扫描方式已经越来越多应用于零

件的检测过程，整个自动化检测系统包括 AGV，机械臂，激光扫描仪等，本案例将激光扫描自动化的检测过程应用于某企业的 HRM 立式磨的生产制造过程中。其中，选用的测量设备为某品牌跟踪式扫描测量系统，选用辊套作为测量对象，采用数字化测量替代传统的模拟量检测应用于辊套的扫描测量过程。

3.1 测量数据获取

某型号 HRM 立式磨辊套零件的激光扫描自动化检测过程如图 5 所示，整个自动化测量系统包含 AGV，机械臂，转台，扫描仪，跟踪器，笔记本电脑，工件等，并且跟踪式扫描系统免去了传统扫描过程中工件需要贴点的问题。测量人员仅需要在标定工作完成后，将跟踪器摆放在合适位置，然后点击开始按钮开始执行扫描工作即可。



图 5 辊套的扫描过程

3.2 测量数据分析

在辊套的点云数据采集过程中，由于有周围物体的存在，测量设备不仅采集到了辊套零件本身的点云数据，同时也采集到了地面上的一些点云数据，因此，需要对点云数据进行噪点删除，通过质量数据处理软件删除后的辊套点云数据如图 6 所示。

当测量数据去噪处理完成之后，将辊套的数模导入到软件中，如图 7 所示，可以看到，辊套的模型与辊套的点云数据并不在同一个坐标系之中，因此，需要

将其进行最佳拟合对齐，对齐后的数据如图 8 所示。

最后，将辊套点云数据进行重构，一方面可以对数据进行创建特征分析，另一方面与模型进行质量对比分析，如图 9 所示，质量检测的色温图，不同的颜色区域表示了不同的误差水平，可以让用户更加全面和完整的对零件的质量数据进行评价。



图 6 辊套的点云数据

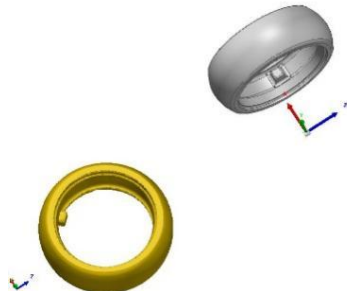


图 7 辊套数模与辊套点云



图 8 辊套数据对齐

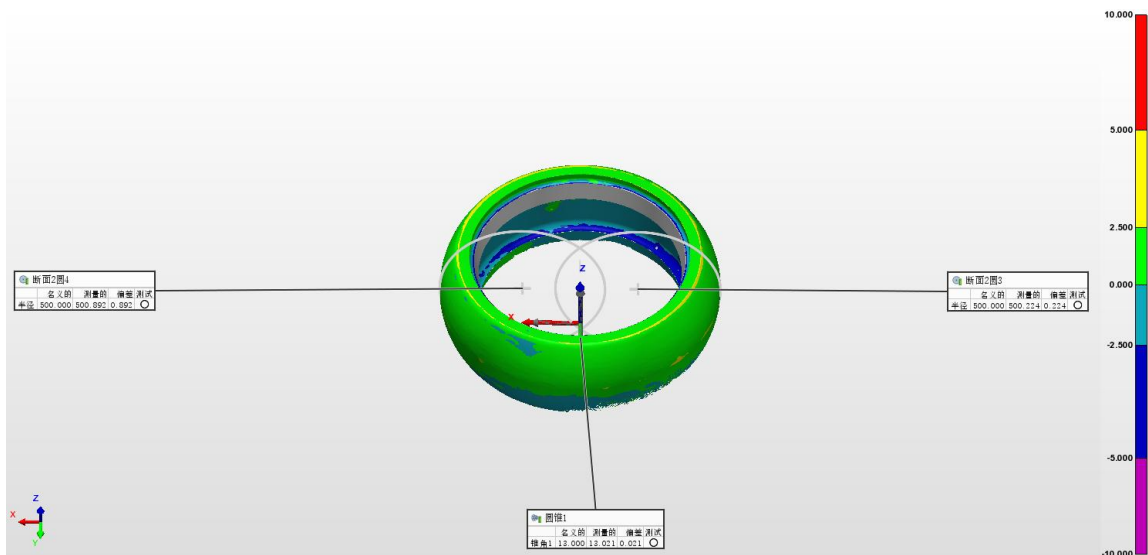


图 9 辊套数据色温分析

从图 9 中可以看到，一方面可以看到通过点云数据分析得到的辊套锥角测量值与名义值的偏差为 0.021 度，而人工测量得到的结果为 0.033 度，因此在锥角的评价上，数字化测量的结果在精度上要高于人工测量结果。对于断面圆弧的评价结果，数字化测量与名义值误差分别为 0.224mm 和 0.892mm，而人工评价结果分别为 1mm 以上，因此，在断面圆弧的评价结果方面，数字化测量精度上也高于人工测量。并且，由于数字化测量结果数据量较为完整，评价结果不受人的主观因素影响，因此，评价结果更为客观。

5 结论与展望

通过上述案例可以看到，相对于传统的模拟量检测方式，激光扫描结合自动化技术在 HRM 立式磨几何质量检验中具有如下显著的优势：首先是提高了零件的测量数据完整性，通过激光扫描获取的零件数据量更大，数据更加全面，能够为后续分析提供丰富的几何特征尺寸类型。其次，激光扫描技术数据评价更加客观，不仅能够完成对大型设备的质量数据的提取，也减少了人为主观因素对检验结果的影响，提高了检验的客观性与可靠性。最后，激光扫描技术生成的三维模型可以方便地进行数据管理和分析，为设备的维护和改进提供了依据。因此，通过实际案例分析，证明了该技术的可行性和有效性。

参考文献：

- [1]. 袁凤宇,崔啸宇,迟源. “立式磨+互联网”在非金属矿行业中的应用[J].中国粉体技术,2016,22(02):108-111.
- [2]. 李生鹏,韦朋余,刘豪,等.船舶板架结构变形场测量技术研究[J].船舶力学,2024,28(10):1599-1610.
- [3]. 任新苗,王玉,李天佑,等.基于三维激光扫描的航天铸件尺寸测量系统[J].铸造工程,2025,49(01):69-74.
- [4]. 刘永治,张周强,郭忠超,等.基于线激光扫描的零件三维表面检测系统研究[J].国外电子测量技术,2021,40(02):67-72.
- [5]. 许梁.基于三维激光扫描技术的结构检测方法研究[D].山东建筑大学,2024

基于吸收光谱的高精度 NH_3 在线监测技术研究

李旻

(合肥固泰自动化有限公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

在我国,大气中氮氧化物(NO_x)主要来源于工业煤粉燃烧产生的废气,约占排放总量的 69%,并呈现逐年递增态势^[1]。有研究表明, NO_x 对人体、动植物、环境均有着较大危害,因此,需采用烟气脱硝工艺降低 NO_x 排放量。目前,烟气脱硝技术主要为选择性催化还原技术 (SCR)、选择性非催化还原技术 (SNCR) 和 SNCR-SCR 混合脱硝法^[2], NH_3 是脱硝工艺中常用的还原剂,可以将锅炉尾部烟气中生成的 NO_x 进行还原,从而使 NO_x 排放量降低^[3]。但是过量的 NH_3 也会造成空气污染,同时逃逸的 NH_3 会与工艺流程中产生的硫酸盐发生反应生成硫酸铵盐,铵盐会对锅炉烟道部件造成严重的腐蚀,带来昂贵的维护费用^[4],因此需要对烟气中逃逸氨的浓度实时监测。

可调谐半导体激光吸收光谱法 (TDLAS) 技术因其高响应速度、高分辨率与选择性等优势,正逐步被应用于氨逃逸在线监测领域中^[5]。然而,由于逃逸氨的浓度较低,在实际应用中仍然存在以下几个方面的问题使仪表反演浓度与实际浓度产生较大差异,造成烟气逃逸氨浓度误判:(1) 分析仪包括发射端和反射端,烟气中粉尘量较大容易附着在镜片上,导致激光透射率不足,无法准确测量;(2) 振动、热膨胀或沉降等原因会造成发射端与反射端不在同一直线上,出现激光对射不准、仪表无读数或数据跳变等情况,增加系统维护工作量;(3) 监测设备成本较高,难以推广。为解决以上问题,本文提出一种低成本、易维护,基于原位取样与 TDLAS 技术结合的氨逃逸在线监测系统,该系统采用模块化设计,优化了光学路径,增强了系统的稳定性和可靠性。同时,通过改进的算法处

理，有效降低了粉尘及环境因素对测量结果的影响。测试结果表明，基于 TDLAS 技术的激光气体分析仪能够满足脱硝工艺中氨逃逸在线监测的使用要求。

1 测量原理

可调谐半导体激光吸收光谱法(TDLAS)技术被广泛应用于气体检测领域中，其理论基础是 Lambert-Beer（朗伯-比尔）定律^[6]。利用可调谐半导体激光器窄线宽和波长随注入电流改变的特性，产生特定波长范围的激光穿过待测气体，入射激光的光强会因气体分子的吸收作用吸收而减小，通过分析激光光强被气体分析吸收前后的变化程度就可得到待测气体的浓度，如图 1 所示。Beer-Lambert 定律所示。

$$\tau(\nu) = \frac{I_t}{I_0} = \exp[-PS(T)XL\phi(\nu)] = \exp[-\alpha(\nu)]$$

式中， $\tau(\nu)$ 为激光的透射率 I_0 和 I_t 分别定义了入射光和衰减激光强度。 P 定义为气体的压强； $S(T)$ 定义为气体吸收谱线的线强，表示该谱线的吸收强度，该值大小只取决于气体温度 T ； X 为气体浓度； $\phi(\nu)$ 为线型函数，表示被测气体吸收谱线的形状，跟温度、总压力和气体中的各组分浓度有关； L 为光程长， $\alpha(\nu)$ 为气体吸收率。

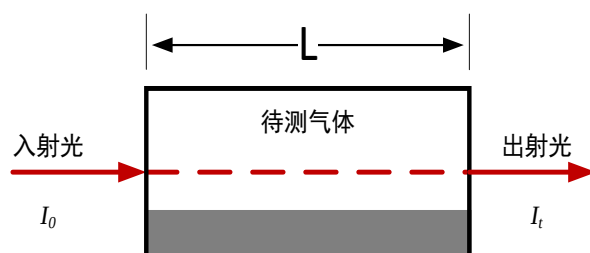


图 1 Lambert-Beer（朗伯-比尔）定律示意图

2 氨逃逸在线监测系统介绍

基于 TDLAS 技术的工作原理，合肥固泰自动化有限公司研究开发的 AMS-200 氨逃逸在线监测系统是用于在线测量管道或烟囱内气体中氨气实时浓度的监测仪器，其系统示意图如图 2 所示。待测气体（以下简称“样气”）由射流

泵从烟道内抽取，首先进入耐高温滤芯，配合高压反吹技术过滤直径 $200\mu\text{m}$ 以上的微粒。样气经过滤芯后进入气室，系统采用同相加法电路，将低频三角波信号与高频正弦波信号叠加后输入到激光器的驱动中产生调制激光，调制后的激光在气室中穿过采样气体被光探测器接收。将经过光电转换后的信号传输给信号处理模块进行解调、滤波等一系列处理后进行光谱数据分析、反演，即可获得氨气浓度测量结果，并通过模拟量或数字量信号输出至上位机展示。

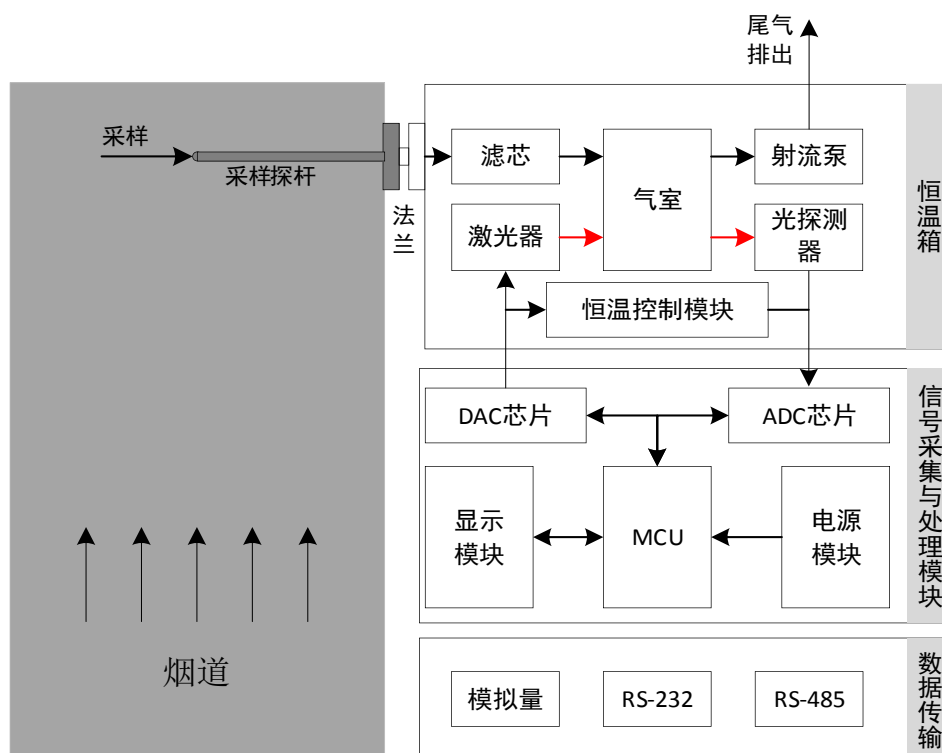


图 2 AMS-200 氨逃逸在线监测系统示意图

2.1 可拆卸式光学模块设计

样气的吸收光谱随被测样品成分浓度和光程长的变化而改变，这两个因素的乘积被称为浓度光程积。当样气的浓度接近仪器的检出限时，对应的浓度光程积几乎不变。因此，可以通过增加光程的方式进一步降低仪器的检出限，以满足工业现场的氨逃逸浓度测量需求。

AMS-200 光学模块由光源、准直透镜、气室、反射镜、光探测器构成，结构如图 3 所示。光源部分是由 TO 封装的 DFB 激光器与调节底座组成，光源与准直透镜在一条直线上。光源发射的激光经过透镜准直入射气室，被反射镜反射回来

后由光探测器接收。

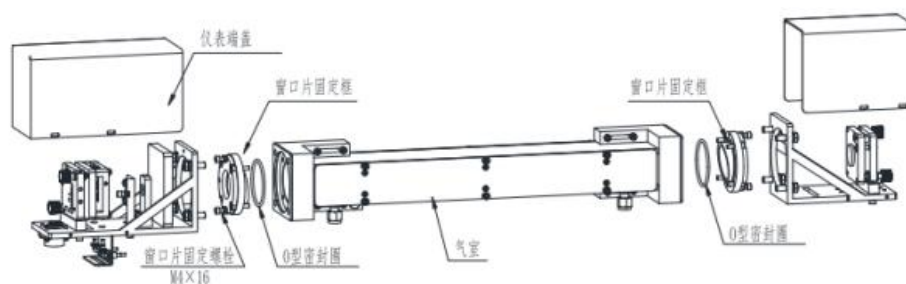


图3 AMS-200 光学模块结构示意图

气室采用光学件与机械封装分离的方式合为一体，可独立地从机械封装壳体内抽出，方便光学元件表面的彻底清洗，以及清洗后光学件复原到机械封装壳体内。气室光路如图4所示，气体池长度为50cm，光源发射的光束经窗口片1进入气室，由窗口片2出射到反射镜，然后被反射镜反射，重新由窗口片2进入气室，再由窗口片1出射到聚焦透镜，聚焦透镜将光束聚焦到接收传感器。有效光程为100cm。激光器、接收器与反射镜片设计固定在仪器外壳上，相互独立，使得光路调整更加便捷，并且得益于相互独立的设计，使清洗、重新安装气室后，光路并未发生改变，因此无需重新对光与标定，大大减少维护工作。



图4 气室光路示意图

2.2 主控电路

AMS-200 氨逃逸在线监测系统的主控电路部分设计需要实现信号调制、激光器温度控制等功能，对激光器进行驱动并实现波长调制，同时在系统信号输出端完成对光电探测器输出模拟信号的采集、处理和传输。

该主控电路自主研发，主控芯片采用 STMicroelectronics(意法半导体)公司的 ARM 架构芯片，基于高速 D/A 转换器芯片设计了信号发生模块电路来生成激光器驱动信号。在温度控制方面，恒温箱与气室采用 PT100 热电阻，激光器采用 NTC 热敏电阻作为温度传感器，采集到的实际温度和目标设置温度的误差值做数

字 PID 处理，处理后的控制量送到加热板或半导体电子制冷（TEC）驱动器，完成对温控部件的精准控温。监测数据传输方面，主控电路设计了 4-20mA、RS232、RS485、以太网等多种通讯方式，方便接入用户 DCS 系统中，实现对 AMS-200 氨逃逸在线监测系统的远程控制与监控。

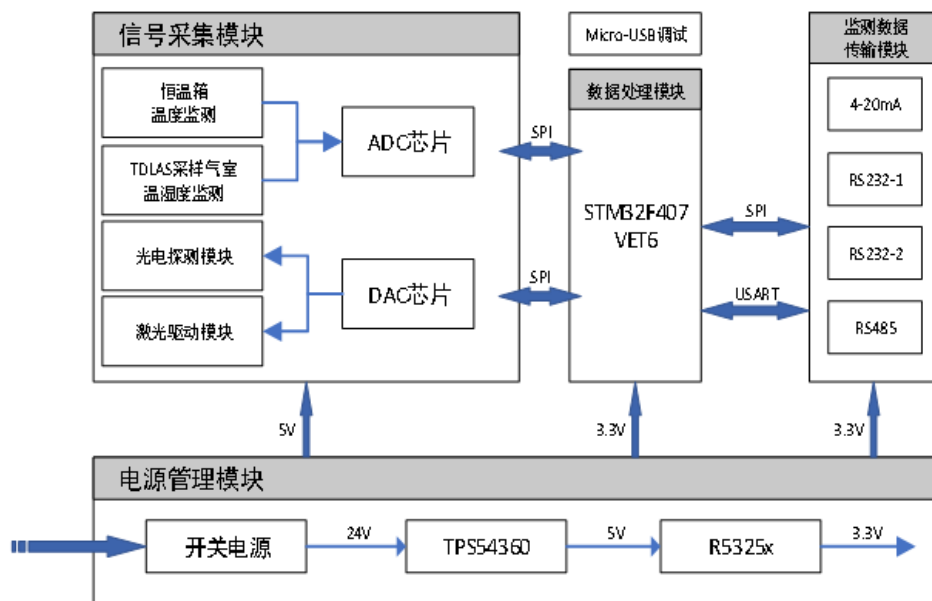


图 5 AMS-200 主控电路部分示意图

2.3 原位抽取式采样探头

原位抽取式采样探头由：采样探杆、固定法兰、滤芯、气室、恒温模块、射流泵及周围电磁阀等构成，如图 6 所示。

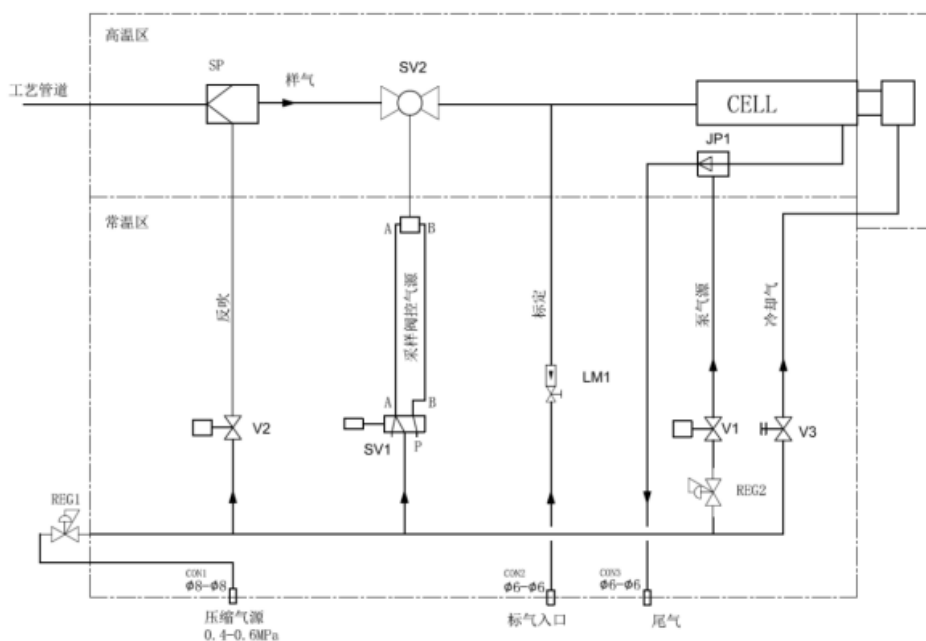


图 6 原位抽取式采样探头气路示意图

样气经探针进入采样探头 SP，探头中装有精密过滤器过滤样气中的粉尘。然后，样气经气动球阀 SV2，气室 CELL，射流泵 JP1，由尾气排放口排出。其中 SV2 阀用于在停止采样及反吹时切断气路，JP1 用于提供样气传输时的动力，系统由控制箱电路控制实现自动周期采样及吹扫。所有样气流经元件及管路均置于恒温加热箱中，防止管路腐蚀，减少样气损失。

3 测量试验

3.1 试验装置

为了完成对 AMS-200 氨逃逸在线监测系统的标定与校准工作，同时进一步验证仪器性能，本研究在实验室搭建了一套校正与试验平台，校正流程图如图 7 所示。先由零气发生器将空气催化过滤，为后续稀释流程提供干燥洁净的零气，再通过动态校准仪内的质量流量控制器将零气与已知浓度的标准气体按照一定的比例混合，就可以得到低浓度的校准气体。将上述仪器产生的低浓度校准气体通过聚四氟乙烯管注入气室进气口，这种材质的管材具有不粘附、耐腐蚀、耐高温的性质，可以防止校准气体附着在管内壁。

试验过程中所使用的计量标准器具如表 1，试验中使用 $20.8 \times 10^{-6} \text{mol/mol}$ 的 NH_3 标气（背景气为 N_2 ）进行不同浓度配比，以验证 AMS-200 系统线性度、重复性与 48h 漂移情况。试验用 AMS-200 氨逃逸在线监测系统定标为 20ppm，线性试验选择 0%、20%F.S、50%F.S、80%F.S 和 100%F.S，重复性试验选择 50%F.S，48h 漂移试验选择 0 和 100%F.S。

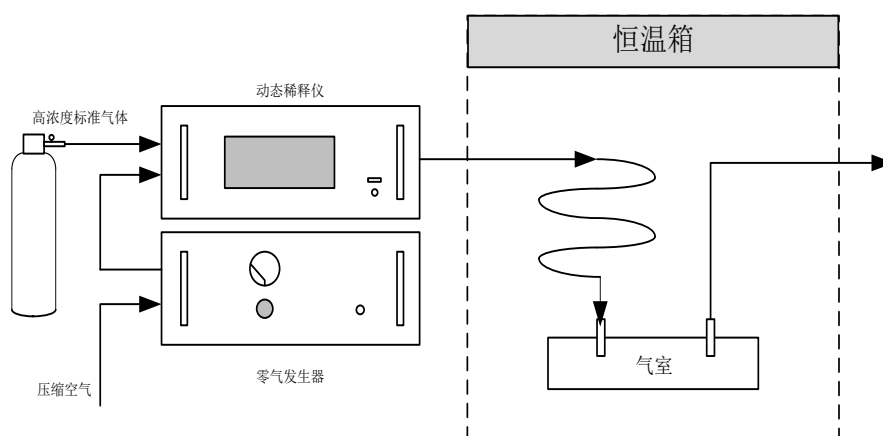


图 7 校正与试验平台示意图

表 1 试验过程中所使用的计量标准器具

名称/型号	编号	不确定度/准确度
电子秒表 PS-538	HF-GX019	MPE: ±0.10s/1h
氨气标准物质 20.8×10 ⁻⁶ mol/mol	21370614	$U_{rel}=2\%$ (k=2)
动态气体配气仪 ZR-5211	5211E22111160	1.0 级

3.2 试验数据

经过一系列上述试验，测试数据表明：在线性度试验中，二次谐波与标气浓度呈现高度线性相关，相关系数 $R^2=0.9998$ ，显著性 F 值均在 0.01 水平上呈现显著性，即可信赖程度达 99% 以上。图 8 展示了 AMS-200 对不同浓度校准气体的输出浓度与时间的关系（恒温箱温度 160℃），AMS-200 响应数值可以在 20s 内到达该气体中 NH₃ 浓度的 90%，且误差满足 $\leq \pm 1\%F.S.$ 。

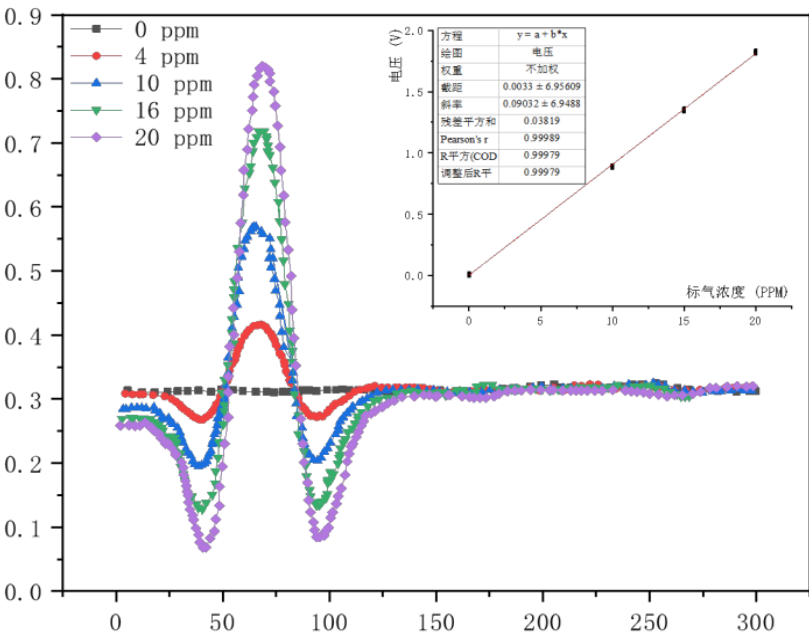


图 8 不同浓度下 AMS-200 响应曲线

在重复性试验中，同一环境条件下，使用 10mg/m³ 的 NH₃ 标准气体连续试验 6 次，测试结果如表 2 所示，重复性结果为 1.29%。

表 2 AMS-200 重复性试验结果

次数	1	2	3	4	5	6
浓度 (mg/m3)	10.02	10.01	10.01	10.02	9.98	10.00
重复性 (%)	1.29%					

同时，我们还测试了 AMS-200 的其他性能指标，如表 3 所示。

表 2 AMS-200 的其他性能指标

性能参数	指标
示值误差	0.8%
响应时间	96.3s
零点漂移	0.5%FS
量程漂移	0.5%FS

4 结论

基于 TDLAS 技术的 AMS-200 氨逃逸在线监测系统将 TDLAS 技术与原位取样技术相结合，结果表明，该系统在实际应用中表现良好，尤其在其准确度和稳定性方面，显示出卓越的性能。在零点漂移和量程漂移测试中，AMS-200 氨逃逸在线监测系统的表现均保持在 0.5%FS 以内，证明了其在长期运行中的可靠性。此外，该系统在复杂环境下的应用潜力得到了进一步验证，在未来的工作中，我们将继续优化系统设计，提升其环境适应性和抗干扰能力，以满足更多工业现场的需求。

参考文献:

- [1] 陈瑞杰. 基于数据驱动的 SCR 烟气脱硝系统 NO_x 软测量模型研究 [D]. 华北电力大学, 2022. DOI:10.27139/d.cnki.ghbdu.2022.000160.
- [2] 闫来清. SCR 烟气脱硝系统数据驱动建模与优化控制研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2020.
- [3] 郭明远, 李磊, 金平, 等. 喷氨调平技术在燃煤锅炉 SCR 法烟气脱硝中的应用 [J]. 现代化工, 2024, 44(11): 228-231+236. DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.11.040.
- [4] 李旭扬. 300MW 燃煤锅炉 SCR 烟气脱硝系统超低排放优化方案研究 [D]. 华北电力大学, 2019.
- [5] 姚顺春, 郭松杰, 杨言, 等. 基于可调谐二极管激光吸收光谱技术的烟气氨逃逸检测研究及应用 (特邀) [J]. 光子学报, 2023, 52(03): 11-24.
- [6] 田晨. 基于吸收光谱的气体检测技术研究 [D]. 西安工业大学, 2023. DOI:10.27391/d.cnki.gxagu.2023.000159.

分片式大齿圈在水泥行业中的应用探讨

刘品

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

在现代工业生产中,大型回转窑和球磨机作为众多行业的关键设备,如水泥、冶金、化工等,其运行状况直接关乎生产的连续性与产品质量。大齿圈作为大型回转窑和球磨机传动系统的核心部件,肩负着传递巨大扭矩、保障筒体稳定旋转的重任。随着工业规模的不断扩大以及生产工艺的持续升级,大型回转窑及球磨机朝着更大规格、更高效率的方向发展,传统整体或两半式大齿圈在适配大型设备时,诸多问题逐渐凸显,而分片式大齿圈的出现为这一困境提供了创新解决方案。本文旨在探讨分片式大齿圈在水泥行业中的应用,为水泥行业设备升级提供了有益参考。

1 分片式大齿圈的结构形式与优势

1.1 结构形式

见图1所示,分片式大齿圈是将整个齿圈分成若干个相同或相似的扇形片,各扇形片通过高强度螺栓连接组装成完整的齿圈。



(a 单片)



(b 工厂预组装)

图1 分片式齿圈

这种设计使得齿圈的制造、运输和安装更加灵活。通常，分片式大齿圈的扇形片设备长度小于 2m，重量 1100kg 以内，便于搬运和操作。各扇形片之间的连接部位经过特殊设计，确保连接的可靠性和精度，以保证齿圈在运行过程中的整体性和稳定性。

1.2 优势

在制造方面，分片式大齿圈降低了对制造设备的要求，不需要超大型的铸造和加工设备，可采用小型设备分别加工各个扇形片，提高了制造效率，降低了制造成本。同时，由于每个扇形片尺寸较小，铸造质量更易控制，能有效降低缺陷的产生和毛坯次品率。在运输过程中，扇形片体积小、重量轻，可采用普通运输工具，大大降低了运输难度和成本，且减少了运输过程中的损坏风险。安装时，只需依次将扇形片安装到窑磨体上并进行连接和调整，对起重设备的要求较低，安装过程相对简单，能显著缩短安装周期。在维护方面，当齿圈部分出现磨损或损坏时，只需拆卸和更换相应的扇形片，无需拆卸整个齿圈，大大减少了维修工作量和维修时间，降低了维护成本，提高了设备的利用率。

2 分片式大齿圈的制造工艺

2.1 材料

分片式大齿圈通常选用优质合金钢或球墨铸铁等材料。这些材料具有高强度、高韧性和良好的耐磨性，能满足水泥回转窑恶劣的工况条件。

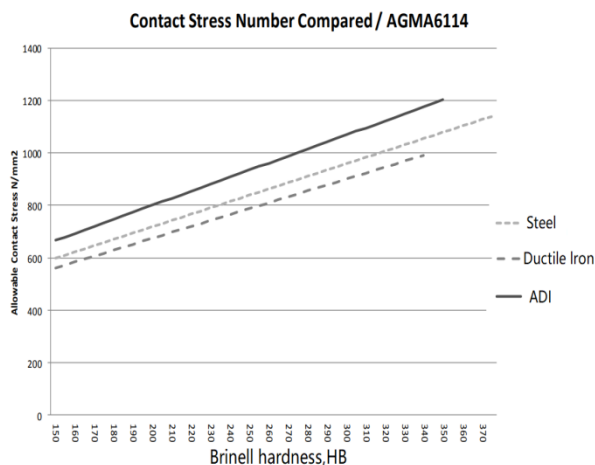


图 2 ADI 材料接触强度数据

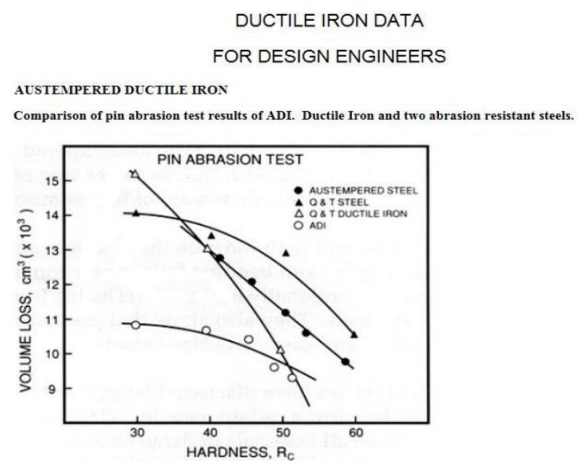


图 3 ADI 材料耐磨数据

例如，采用等温淬火球铁合金材料（ADI）制造的大齿圈，其抗拉强度高，可有效提高齿圈的承载能力和使用寿命。热处理的 ADI 材料硬度可达 HB310—350，由图 2、3 可知，ADI 材料在机械性能和耐磨性上明显高于传统齿圈的铸钢材质。

2.2 加工工艺

各扇形片的加工包括齿形加工、平面加工和连接部位加工等。齿形加工采用高精度的数控中心加工设备，按照设计要求精确加工出齿形，保证齿形精度和表面质量。平面加工确保扇形片的安装平面平整，以保证组装后的齿圈整体精度。连接部位的加工精度直接影响齿圈的连接可靠性，需严格控制尺寸公差和表面粗糙度。加工完成后，对各扇形片进行严格的质量检测，包括尺寸公差检测、齿形精度检测、材料性能检测等，确保每个扇形片都符合技术要求。从图 4 三坐标检测仪检测齿形数据可知，加工精度优于相关标准要求。

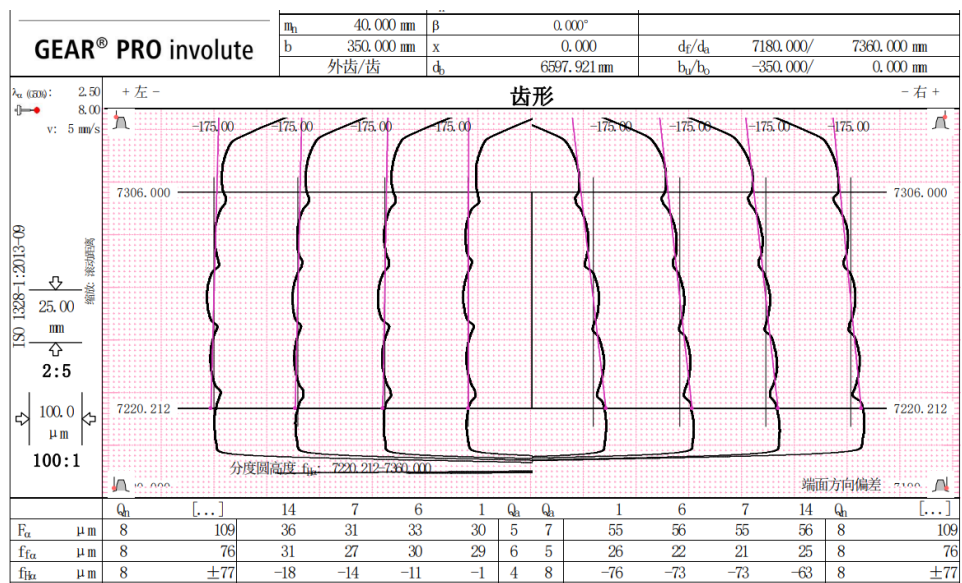


图 4 分片式齿圈齿形检测数据

3 案例应用

巴基斯坦某项目在规划新建一条日产 6500TPD 生产线项目时，充分考虑了设备的先进性和可靠性，从对传统两半式大齿圈和分片式大齿圈的材料、结构、使用维护等综合分析比较，见表 1 所示，最终决定该项目 $\varphi 5\text{m} \times 72\text{m}$ 回转窑选用分片式大齿圈。根据回转窑参数，最终确定大小齿圈的设计参数，大齿圈分为 13 片。详见表 2。

表 1 传统两半式大齿圈和分片式大齿圈参数对比表

分项	参数	齿圈形式	
		传统两半式齿圈	分片式齿圈
材料	材质	ZG42CrMo	等温淬火球铁合金材料(ADI)
	抗拉强度	850MPa	1050MPa
	屈服强度	640MPa	700MPa
	硬度	200-250HB	310-350HB
	材料特点	材料韧性较好，但硬度偏低，使用过程中容易出现齿面疲劳、点蚀、磨损的情况。	ADI 材料韧性适中，硬度较高，在接触载荷作用下具有高耐磨性。
结构	重量	总重 33438Kg/单件重 16719kg	总重 13260Kg/单重 1020kg
	制造期	制造周期约 6 个月	制造周期约 3 个月
	加工制造	铸件尺寸较大(直径φ 7680mm, 齿宽 700mm)，铸件的质量控制难度大。	每分片的长度在 2m 以内，齿宽 350mm，可在高精度加工中心上加工，精度可以得到充分保证。
	安装运输	属大型件，公路运输超限；安装需要大吨位起重设备。	分片式大齿圈运输方便，安装灵活。
	维修维护	更换复杂，成本较高，工期较长。	更换简单，成本低，工期短。
使用维护	润滑用油	齿宽 700mm，耗油量大。	齿宽 350mm，耗油量小。
	能源消耗	精度差，传动效率低，通常在 87%以下。	精度高，传动效率可高达 94%以上。

表 2 大小齿圈设计参数

设备参数	φ 5mX72m 回转窑 配套电机功率 1000KW						
布置形式	单驱						
输出转速	5.2 RPM						
名称	模数	齿数	齿宽 mm	齿根弯曲系数	齿面接触安全系数	材料	重量 kg
大齿圈	40	182	350	2.31	2.85	ADI	13260
小齿轮	40	21	400	2.05	3.28	ADI	1612

在制造质量控制节点上，对大齿圈进行超声波探伤、表面磁粉探伤、齿形、硬度、预组装等检查验收，检验结果全部符合相关技术要求，验收一次通过。最终实现从参数确定到交付产品 93 天,相较于同等规格两半式齿圈货期缩短近 48%。在运输环节，由于构件体积小、重量轻，对装运无需特殊复杂的运输方案，能大幅降低运输成本和时间。安装完成后，对齿圈的整体圆度、径向跳动和轴向窜动等关键参数进行检测，各项参数均符合设备技术要求，安装精度得到有效保障。

图 5 巴基斯坦项目回转窑大齿圈安装现场。



图5 巴基斯坦 $\phi 5\text{m} \times 72\text{m}$ 回转窑的大齿圈现场安装

自该回转窑投入运行以来，在日常巡检中，维护人员未发现齿圈连接部位松动、齿面异常磨损等问题，设备运行稳定使得窑产量有所提升。通过在线检测，大齿圈轴向跳动值 0.44mm、径向跳动 0.52mm，低于《建材行业 JC/T333 水泥工业用回转窑》标准中 4.3.2.4 规定：径向圆跳动公差值为 1.5mm；端面圆跳动公差值 1mm 的要求。此外，分片式齿圈的齿宽仅有传统齿圈的一半，润滑只需 3 个喷油嘴，可实现节油 35%以上。

4 结语

应用表明，分片式大齿圈凭借其在结构设计、制造工艺、安装维护等方面的优势，在水泥回转窑中的应用具有显著的优越性。它有效解决了传统整体或两半式大齿圈存在的制造难度大周期长、运输安装不便、维护成本高等问题，提高了水泥回转窑的运行稳定性和可靠性，有效降低了设备全寿命周期成本。随着水泥工业的不断发展和技术进步，分片式大齿圈能更好地适应大型回转窑不断升级的需求，逐渐成为水泥行业回转窑和球磨机传动系统的理想选择。

参考文献：

- [1] 邓荣娟 回转窑大齿圈铸造质量及热处理工艺的研究 水泥技术 20180325
- [2] 刘丽芳 多段式 ADI 硬齿面大齿圈的应用实践 工程建设 2021-01-15
- [3] 吴一 超大直径高硬度矿用磨机 4 瓣大齿圈的工艺研究 矿山机械 2014-11-10
- [4] 丛晓静 提高回转窑大型铸造齿圈质量的研究 水泥技术 2018-0325

水泥窑精准脱硝技术的应用

陶巍

(合肥中亚环保科技有限公司, 安徽 合肥 230009)

0 引言

2020 年 6 月生态环境部发布《重污染天气重点行业应急减排措施技术指南(2020 年修订版)》，全面推行重点行业差异化减排措施。重点区域各省(市)应按照本指南，持续对重点行业企业开展绩效分级，在重污染天气期间实施差异化管控；A 级和引领性的企业，可自主采取减排措施；B 级企业在橙色预警期间限产 20%；C 级企业在黄色预警期间限产 50%；D 级企业在黄色及以上预警期间停产。为进一步加强水泥工业的污染物控制，强化大气污染防治，促进环境空气质量改善，各省市不断加大环保力度，部分地区陆续出台更加严格的水泥行业大气排放标准，山东、安徽、河北等地已执行新地标 $\text{NO}_x \leq 100 \text{mg/Nm}^3$ ^[1-3]。目前，水泥窑应用最广泛的脱硝技术是 SNCR（非选择性催化还原脱硝）技术，该技术具有投资少、工艺流程简单等优点。

针对国家和地方更为严格的水泥大气污染物排放要求，我司研发的水泥窑精准 SNCR 脱硝技术，对脱硝效果不佳的 SNCR 脱硝系统进行提升改造，取得了非常理想的效果。其中，安徽某水泥有限公司 2500t/d（提产后为 3800t/d）熟料生产线是 SNCR 精准脱硝技术应用成功案例之一。

1 改造前生产现状

该厂的 SNCR 脱硝系统于 2013 年建成投运，配备 1 个氨水储罐、1 台卸氨泵、2 台氨水输送泵等，6 支喷枪均布在分解炉上部鹅颈管入口前，喷枪为双流体形式，管径为 DN40，压缩空气 0.4MPa，雾化效果差。经仪器测量，分解炉出口处 NO_x 浓度约 800-900mg/Nm³。当 NO_x 排放值控制在 100 mg/Nm³ 时，氨水用量约 814L/h，且该系统为操作员手动调节流量大小，经常出现氨水量不足或过量的情况，烟囱

处 CEMS 排放值波动较大，最高波幅可达 170 mg/Nm^3 ，鉴于以上情况该水泥生产线有脱硝技改的必要性。

2 改造措施

2.1 喷枪设置方案

原喷枪的布置点简单固定，经实地勘察、检测和分析后，对喷枪的设置方案进行了重新设计，在原有喷枪的基础上，新增设 C5 筒进口 2 个喷点、C5 筒出口 3 个喷点、C5 筒锥体部分 4 个喷点、鹅颈管出口 3 个喷点，共计 12 个。

针对以上温度合适、适宜布置脱硝喷枪的区间，借助 CFD 模拟手段，开展 SNCR 精准脱硝喷氨位置的流场分析研究，数值模拟几何模型图如下图 1 所示，包括分解炉上端以及与其连接的旋风分离器。采用 FLUENT MESHING 进行网格划分，网格数量约为 20 万，最大偏斜率为 0.7。根据分解炉的运行环境，保证满足要求的前提下，为减少计算时间，可做出如下假设：

- ①本项目中只考虑单相稳态流场，不考虑固态颗粒的影响；
- ②认为烟气各组分是理想气体且不可压缩；
- ③氮氧化物的生成采用燃料型 NO_x ；
- ④分解炉内流场稳定，各变量参数不随时间的变化而变化，流动为粘性。

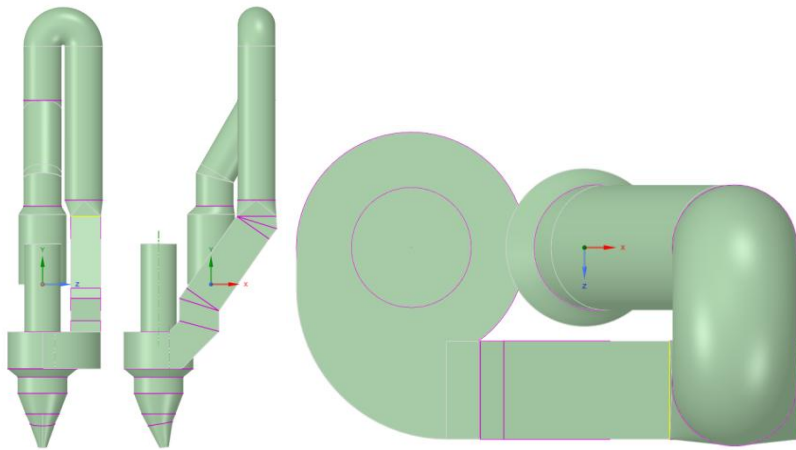


图 1 几何模型图

牛顿流体的湍流流动，气相湍流选用 Standard k- ϵ 模型。各部分边界条件的设置影响着计算结果，此次结合实际工况设置边界条件。入口设置为 mass flow inlet，出口设置为 outlet。由于本模拟未涉及固体颗粒，认为烟气直接从旋风分离器顶部

出口流出，因此对进出口以外的其他面按照壁面条件进行处理。

下图 2（左）是三个喷氨点位置。分解炉内 NH_3 含量分布如图 2（中）所示，可以看出，喷氨点 1 处（分解炉出口）的氨水喷出后经过鹅颈管后已充分分散均匀。喷氨点 2（C5 旋风筒锥部）喷出的氨水在旋风筒锥部聚集并随着气流旋转迅速充满整个锥体。喷氨点 3（C5 旋风筒至 C4 筒上升烟道）喷出的氨水扩散速度快，混合均匀，并未出现局部浓度高的现象。

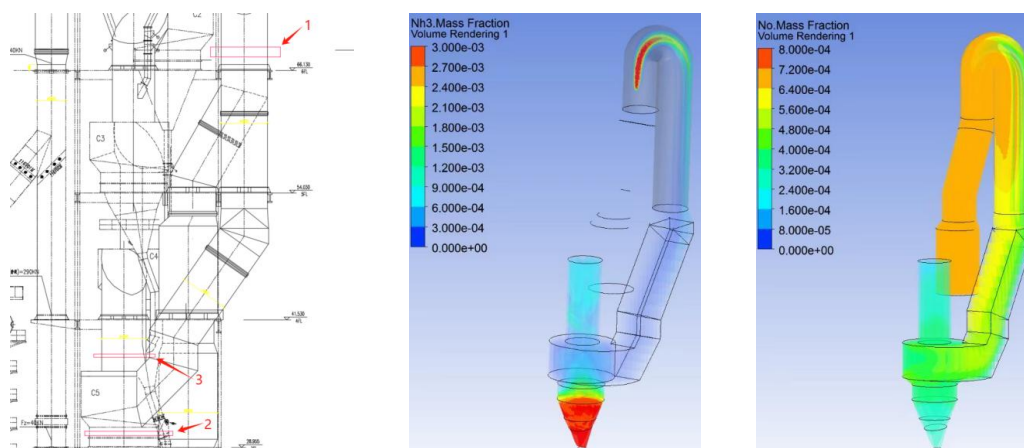


图 2 氨水喷点位置（左）、 NH_3 含量分布云图（中）、 NO 含量分布云图（右）

NO_x 主要有燃料型、热力型和瞬时型三种，在分解炉内瞬时型和热力型 NO_x 生成量很少，因此本次研究只考虑燃料型 NO_x ；分解炉内 NO_x 主要以 NO 为主， NO_2 含量很少，因此分解炉内 NO_x 的研究只考虑燃料型 NO 。由图 2（右）可以看出，当氨水喷入后， NO 在分解炉内的浓度呈阶段性递减的状态，在分解炉烟气进气口位置 NO 含量最高，这部分的含量主要来自回转窑的窑尾烟气，此时未经过喷氨点；随着烟气运动往旋风筒位置运动，依次经过喷氨点后， NO 含量明显降低，说明本次喷氨位置的选取以及喷氨量控制的合理性。



图 3 改造后现场照片（左一：喷射模块； 右一：C5 锥部喷枪布置）



图 4 改造后现场照片（左一：输送+分配模块； 右一：压缩空气模块）

改造过程保留了原氨水输送泵至预热器的氨水管道，在预热器 5 层处，将原管道引至新增的氨水分配模块箱中，再由 12 支细管道引至各喷点前，最后用金属软管连接氨水管道至喷枪上。同时，采用单独的空压机，并配备 1 台 1m^3 储气罐，分 4 根主管，将压缩空气引至喷点前，保证每支喷枪都有足够的压缩空气。

2.2 喷枪的选型

厂里使用的原喷枪喷嘴均为扇形，喷出的氨水最远处仅 1m ，且穿透性差，氨水无法喷射到流场的中部区域，即无法实现与更多的烟气混合。此次技改更换为我司自主研发的新型雾化喷枪，空心锥喷嘴，喷枪的雾化效果更好，喷射距离可达 2.5m ，氨水可以更好的捕捉烟气中的氮氧化物，提高了氨水的反应效率，从而减少氨水用量。



图 5 改造后的喷枪

2.3 智能控制系统

为了实现精准控制，我司研发的智能控制系统，以烟囱出口 NO_x 浓度为输出量，基于 LSTM 的预测模型（下图 6 为不同模型间的拟合效果对比，LSTM 的拟合度最高，为 0.9933），并设计 GPC 预测控制系统（见下图 7），结合预测模型输出值与实际值之间的偏差进行反馈校正，对脱硝系统进行调节，使烟囱出口 NO_x 浓

度稳定在设定值附近。烟囱出口 NO_x 浓度实时预测程序通过 Python 进行编写并在 SCADA 控制软件中进行显示,基于 LSTM 模型的烟囱出口 NO_x 浓度预测效果显示界面如下图 8 所示:黄色为预测 NO_x 浓度,粉色为实际 NO_x 浓度,预测值与实际值偏差较小,满足用户使用。下图 9 为搭建的 NO_x 智能控制界面,经过长时间运行,烟囱处 NO_x 小时均值可控制在“设定值 $\pm 5\text{mg}/\text{Nm}^3$ ”,实现了精准控制。

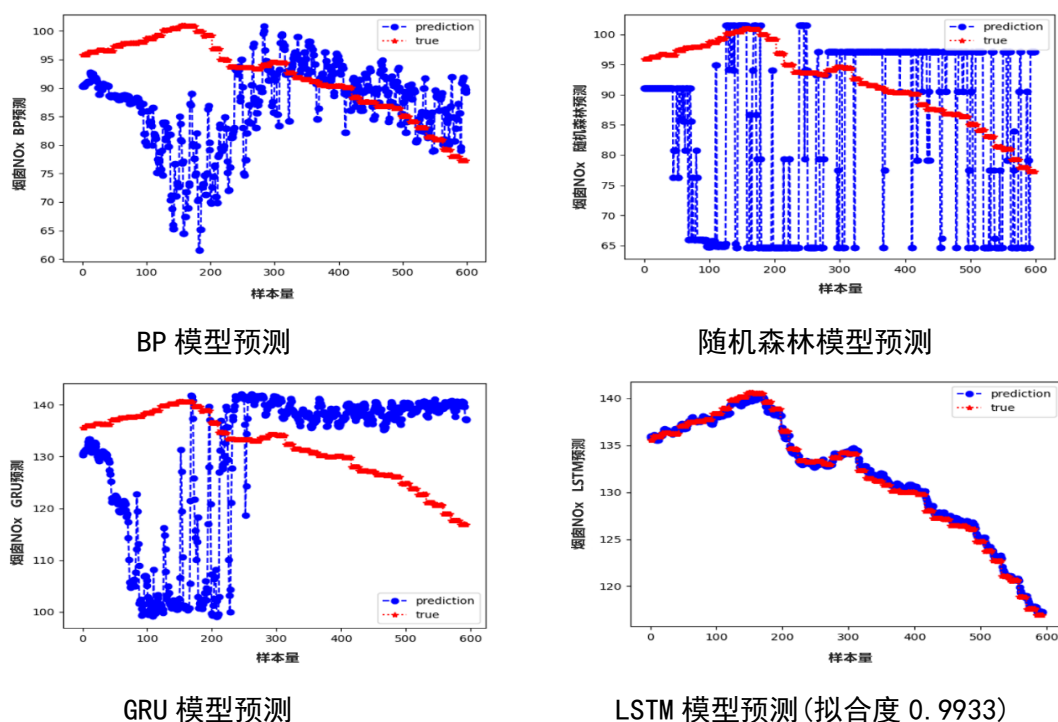


图 6 BP、随机森林、GRU 和 LSTM 模型预测烟囱出口 NO_x 浓度效果

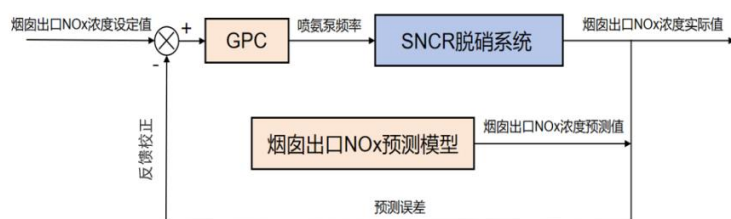
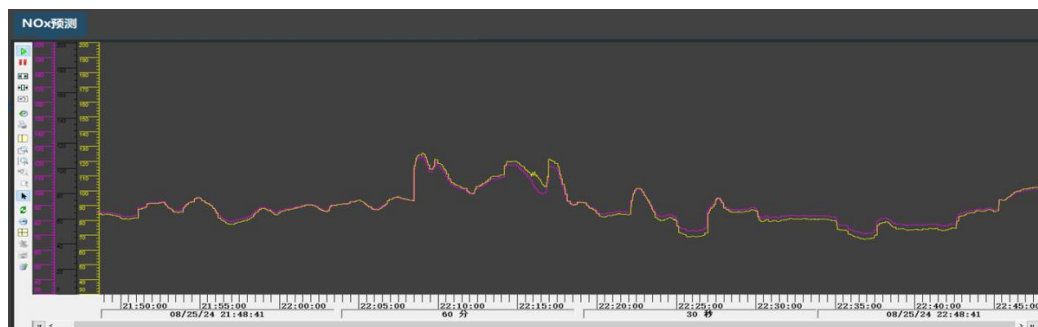
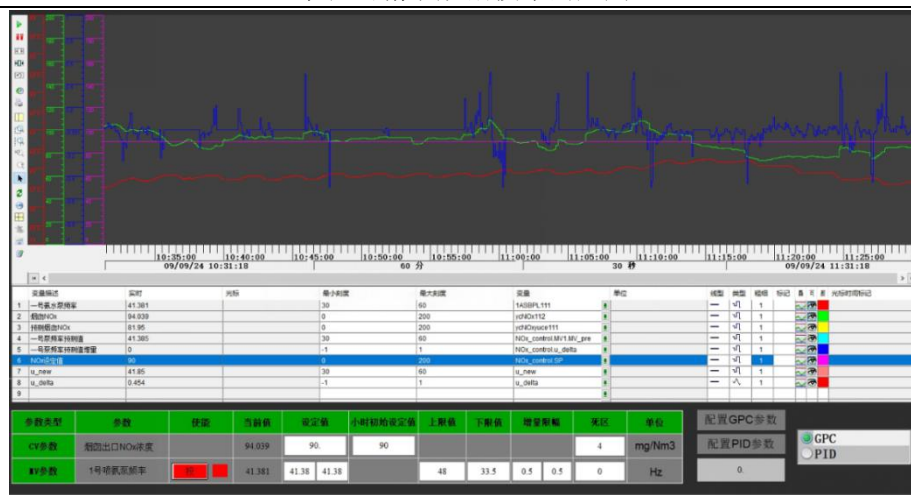


图 7 SNCR 脱硝智能优化控制系统控制逻辑



粉色—烟囱出口 NO_x 浓度实际值 黄色—烟囱出口 NO_x 浓度预测值

图 8 烟囱出口 NO_x 预测效果显示界面



红色-1号泵频率 蓝色-1号泵频率增量 粉色-烟囱出口 NO_x 设定值 绿色—烟囱出口 NO_x 浓度实际值

图9 烟囱出口 NO_x 浓度优化控制界面（离线模式）

3 技改结果

连续运行 1 个月后, NO_x 排放日平均值为 85mg/Nm³, 脱硝效率可达 90%以上, 且氨水耗量平均值为 611 L/h。

4 结论

(1) 通过 LSTM 预测模型和 GPC 控制反馈优化功能, 基本达到“实时预测+实时调整”的效果, 并结合精准 SNCR 改造后, 烟囱 NO_x 排放可稳定控制在设定值以内, 提升了脱硝效率且节约了氨水, 按年生产 7200h、氨水 850 元/t 计, 一年半即可收回成本。

(2) 智能控制系统为自动计算、下发指令和实时动作, 可有效降低操作员劳动强度。企业放心生产的同时, 又降低了生产成本, 最终达到了节能减排的目的。

参考文献:

- [1] 建材工业大气污染物排放标准: DB37/2373-2018[S].山东: 山东省环境保护厅, 2018.
- [2] 水泥工业大气污染物排放标准: DB34/3576-2020[S].安徽: 安徽省生态环境厅, 2020.
- [3] 水泥工业大气污染物超低排放标准: DB13/2167-2020[S].河北: 河北省生态环境厅, 2020

磁力耦合器在斗式提升机上的应用

明智

(中建材机电工程技术有限公司, 安徽 合肥 230051)

1 前言

斗式提升机作为物料垂直输送的核心设备,其驱动系统的稳定性与能效直接影响生产效率和运营成本。传统液力耦合器因结构简单、成本低廉曾广泛应用,但其存在效率低、维护频繁、漏油污染等问题,工业应用上逐渐被磁力耦合器替代。磁力耦合器可实现电机与负载间的无接触动力传递,相比传统的液力耦合器,具有效率高、免维护、允许对中误差大、柔性传动、大幅降低振动、环保等优点,已广泛配套用于各类提升机驱动系统。本文突出介绍磁力耦合器在斗式提升上应用相比液力耦合器的优势,并围绕斗式提升机配套的各种型式磁力耦合器特点和使用注意事项做出分析和总结,为客户和主机厂商选型提供依据。

2 磁力耦合器与液力耦合器对比分析

为更全面评估磁力耦合器在斗式提升机中的应用价值,本节将系统对比磁力耦合器与传统液力耦合器的性能差异,涵盖传动原理、效率、维护成本、环保性等关键维度。

2.1 原理及特点对比

液力耦合器由泵轮和涡轮组成,通过工作油液传递扭矩。电机驱动泵轮旋转,油液在离心力作用下冲击涡轮,实现动力传递。其特点包括:

(1) 通过调节油液充液量控制启动扭矩,软启动效果好;

(2) 超载时涡轮与泵轮滑差增大,限制传递扭矩,以达到过载保护功能;(3) 效率低、油液易泄漏污染环境、需定期更换油封和油液。

磁力耦合器通过永磁体与导体盘的磁场耦合传递扭矩,无需物理接触,主要类型包括限矩型盘式、筒式和标准型盘式(详见本文第3章)。其核心优势为:

(1) 高效率：无机械摩擦损耗，传动效率达 98%–99%；

(2) 免维护：无润滑油需求，减少停机维护时间；(3)环保性：无漏油风险，符合绿色生产要求。

2.2 综合性能对比

表 1 磁力耦合器与液力耦合器的综合对比分析表

序号	项目	液力耦合器	磁力耦合器
1	传动效率	85%–92%	98%–99%
2	启动电流峰值	高（100%额定电流）	低（60%–80%额定电流）
3	寿命与可靠性	寿命 2–3 年，易因液体老化、部件磨损导致故障。	设计寿命 30 年，无磨损部件，故障率极低。
4	安装与维护	需定期更换工作液，维护复杂，对中精度要求高。	免维护，无润滑需求，允许较大对中误差。
5	振动与噪音	振动较大，需额外减振措施，噪音污染明显。	振动减少 80%以上，无机械接触降低噪音。
6	过载保护	依赖易熔塞喷油泄压，需停机更换液体和部件，恢复时间长。	过载时自动解除耦合，复位简便，保护设备无损伤。
7	成本	初期低，累计成本高	初期高，综合成本低

2.3 使用效果对比分析

以某水泥厂斗式提升机改造项目为例，原 Y0X500 规格液力耦合器替换为 COX-110 规格限矩型盘式磁力耦合器后：a、电机运行电流下降 8%–10%，年节电量约 3.6 万 kWh；b、年维护费用减少 2.8 万元（无需油液更换及密封件维修）；c、因漏油导致的停机次数由年均 6 次降为 0。投资回收期<2 年。

3 三种不同型式磁力耦合器分析

由于需要软启动和过载保护，目前在斗式提升机应用最多的三种类型磁耦分别为限矩型盘式磁力耦合器、筒式磁力耦合器、标准型盘式磁力耦合器，各有其优缺点。

3.1 限矩型盘式磁力耦合器

限矩型盘式磁力耦合器，也称半磁耦合器、涡流永磁耦合器，采用盘式对称结构，利用相对运动导体切割磁力线，在导体中产生涡电流，涡电流进而产生反

感磁场，与永磁体产生的磁场交互作用，从而实现两者之间的扭矩传递传动，有机械限矩保护装置。

其显著特点有：(1)软启动效果好；(2) 有效调节双驱斗提平衡驱动问题；(3) 剖分一体式轮毂，与减速机、电机出轴间隙配合，方便拆装；(4) 因为滑差现象，铜盘上伴有 0-10℃ 小幅发热。

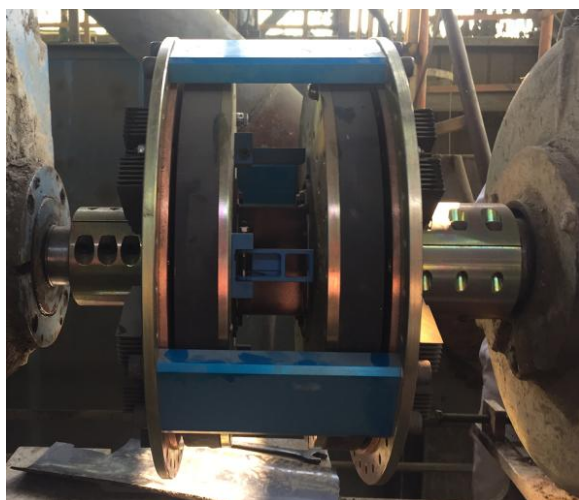


图 1 限矩型盘式磁力耦合器



图 2 筒式磁力耦合器

3.2 筒式磁力耦合器

筒式磁力耦合器，也称全磁耦合器、同步磁力耦合器，采用双永磁筒式结构，利用稀土永磁纯物理吸力产生的磁场进行磁悬浮隔空柔性传动，没有滑差的同步传动，产生较大弹性位移避免冲击振动。

其显著特点有：(1)结构简单，与普通弹性联轴器类似，占用空间小；(2) 因为是同步传动，几乎没有滑差，其效率相较其他永磁耦合器要略高 1%-2%；(3) 与减速机、电机出轴过盈配合，需要热装，拆装难度相对较高；(4) 自身无限矩保护功能，须配套速度传感器等电气辅助保护装置，否则长时间滑差运行发热量大，容易烧坏。

3.3 标准型盘式磁力耦合器

标准型盘式磁力耦合器，相较限矩型盘式磁力耦合器，传动原理一致，也有软启动效果，但其只有单层永磁体，且无机械限位装置。其在斗式提升机上应用较少，在皮带机上应用比较常见，有的配合制动轮使用。一般出现故障时，比如

卡料，或过载时，与筒式磁力耦合器类似，通过监测电流来控制电机的方法来停机，由于启动需要时间，一般中控都会增加延时保护，所以磁耦会在此期间会发热，如果超过一定的温度，会给磁耦带来致命损伤。故障排出后，必须清料后，才能启动，无法带载启动。

一般不建议选择此类型耦合器，如果需要配套，从技术角度来考虑，应该要加大选型的安全系数，比如跨 1-2 挡配套，110kw 电机配套 132-160kw 磁耦。否则在相关安全设施配套不全的话，会导致磁耦或电机烧坏。其显著特点为性价比较高。

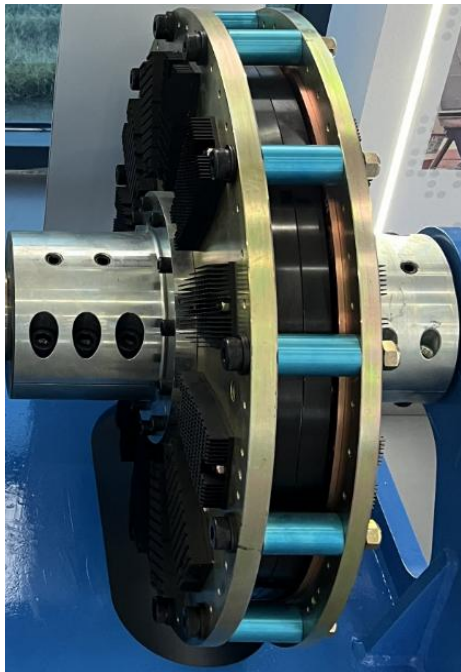


图 3 标准型盘式磁合器

表 2 三种磁力耦合器关键性能对比表

序号	项目	限矩型盘式磁力耦合器	筒式磁力耦合器	标准型盘式磁力耦合器
1	传动效率	98%左右	99%左右	98%左右
2	软启动	效果好	效果差	效果好
3	过载保护	机械限矩保护	配套电气保护	配套电气保护
4	轮毂安装	螺栓紧固，冷装	过盈配合，热装	螺栓紧固，冷装
5	平衡电流	调整气隙大小	无法调节	无法调节

4 选型使用及注意事项

上述三种磁力耦合器在配套设施到位的情况下，均可发挥较好的使用效果，节能效果基本一致，并无明显差别。下文从磁力耦合器选型设计、使用注意事项、巡检要点等方面做一些说明，以供参考。

4.1 选型设计

(1) 在替代液力耦合器时，需根据原系统扭矩需求放大 10%-15% 选型，避免因启动惯性导致的瞬时过载。

(2) 如主机设备控制系统配套变频器，磁力耦合器选型要加大一档，且变频启动时间设置在 20 秒内。

(3) 由于辊压机可能存在下料不均现象，出辊压机斗式提升机配套的磁力耦合器设计时要加大服务系数，应对可能存在的较高负荷。

(4) 双驱动斗式提升机配套的磁力耦合器出厂前要做配对实验，保证双驱电流的平衡。

4.2 使用注意事项

磁力耦合器在斗式提升机应用中要注意安装调试、配套、控制等方面内容：

(1) 减速机和电机地脚螺栓一定要紧固，否则容易造成贴盘摩擦消磁，损坏磁力耦合器。

(2) 轮毂连接螺栓必须确保紧固，否则引起轴向窜动，也会造成永磁盘和导体盘的贴合摩擦，产生高温，永磁体消磁。

(3) 安全防护罩要镂空设计，不能是密闭的，良好的通风可避免热量积聚，避免对永磁体性能的影响；高温车间需加装散热风扇或风道，确保磁耦温度低于 65℃。

(4) 禁止设备电机低速拖动负载，避免负载起不来。

(5) 要确保主机设备各类连锁信号安全可靠，比如提升机尾轮测速信号与驱动电动机之间的连锁保护，与上层工艺设备之间的连锁跳停等保护。磁力耦合器

过载保护后，主机设备会停止运转，若上级工艺设备不能连锁跳停，会造成提升机压料、下料溜子堵料等情况。

4.3 巡检要点

磁力耦合器在巡检时需要关注的几点：

(1) 如果是剖分一体式轮毂，要注意螺栓是否松动。

(2) 电机和减速机螺栓紧固情况。

(3) 磁耦环境温度及磁耦本体温度，磁耦使用环境温度应小于 65℃，一般磁耦永磁体 120℃开始消磁。

5 结语

综上所述，磁力耦合器凭借其高效率、低维护和环保优势，已成为斗式提升机驱动系统的理想选择，尤其在严苛工业环境中表现更为突出。通过与传统液力耦合器的对比可知，磁力耦合器在长期运营成本、环境适应性及可靠性方面表现更优。建议企业在设备改造或新建项目中优先选用磁力耦合器，并结合实际工况选择适配类型，以实现降本增效与绿色生产双重目标。

参考文献：

- [1] 董国梁，屈汉军，吴超星. 磁力耦合器在提升机上的应用探讨[J]. 水泥技术，2020(5)：45-49.
- [2] 刘志强，王海涛. 液力耦合器与磁力耦合器的性能对比研究[J]. 机械工程学报，2019，55(12)：112-118.

电化学处理等新技术在工业循环冷却水系统中的应用

王崇昊

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

根据国家《“十四五”节水型社会建设规划》，到 2025 年，我国将基本补齐节约用水基础设施短板和监管能力弱项，万元工业增加值用水量比 2020 年下降 16.0%，强化水资源管理考核和取用水管理，严格责任追究。而用水工厂工业循环水系统的设计和运行管理的好坏直接影响工厂是否达到的节水规划要求。

工厂循环水系统的设计和运行管理实际上是维持循环水系统水量平衡和水质平衡的过程，如下所示：

水量平衡：补充水量=蒸发水量+排污水量+飘损；

水质平衡：(排污水量+循环水量+飘损) × 循环水离子浓度=补充水量 × 补充水离子浓度。

一个好的循环冷却系统水处理方式无疑是有效节约水资源、减少运行费用和便于生产管理的保证。

1 循环水系统存在的主要问题

1.1 结垢

循环水系统最大的问题是结垢，结垢会降低换热器的传热效率（水垢导热率约为钢材的 1%左右，循环冷却水系统结垢会使换热设备热交换效率严重下降，仅 0.30mm 的结垢，即可以带来 21%的热损失），影响生产甚至停产；引起垢下腐蚀；降低过水流量，管道或换热器容易被结垢堵塞，增加能耗甚至系统瘫痪；增加维护检修及清洗频次，导致运行成本增加。

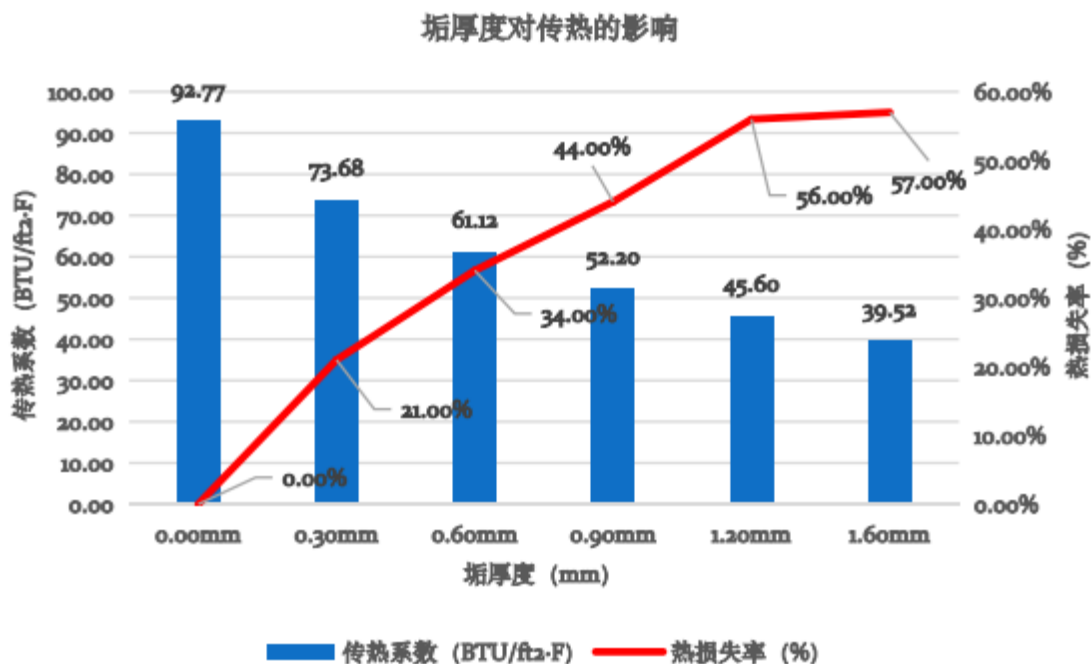


图 1 结垢厚度对传热的影响

1.2 黏泥沉积

黏泥沉积类似于结垢，但与盐垢相比，其隔热能力更强，更大程度地影响换热效率；黏泥沉积为结垢提供晶核、为微生物生长提供条件，加剧黏泥的产生；减少管路及换热管束的过流面，造成水阻能耗增加；阻止缓蚀剂和阻垢剂到达金属表面发挥其效果，加剧腐蚀和结垢。



图 2 管道黏泥沉积现象

1.3 腐蚀危害

管道腐蚀是循环水系统常见的问题之一，管道腐蚀不仅缩短设备使用寿命，严重时设备穿孔导致介质泄漏，出现非计划停机及减产，影响系统的安全稳定运行；另外腐蚀产物沉积在系统管道或换热器内，影响热交换效率和设备过流能力。

1.4 菌藻危害

循环水系统一般通过投加化学药剂来抑制菌藻滋生，但化学药剂法对菌藻控制一直也是一个难题，投加的杀菌剂有效周期过后菌藻又会滋生，并且细菌会对杀菌剂产生抗药性，需要经常更换药剂计量和类型。同时，一些含磷阻垢剂在一定温度条件下会转变为正磷酸盐，成为营养物质使菌藻迅速增长繁殖，导致水质恶化，菌藻黏泥附着于换热器金属内壁，又极易发生垢下腐蚀等不利影响。

2 循环水处理的常用方法

2.1 常用的循环水处理措施

化学加药法，主要是投加阻垢剂和加酸。投加阻垢剂可以提高循环水的极限碳酸盐硬度，使碳酸钙晶体畸变，并起分散螯合作用，从而达到阻垢目的；加酸可以降低碱度，将难溶的碳酸钙转变为溶解度高的盐类（非碳酸盐硬度）。

补充水的控制，尽量选用处理过的水，补充水的水质需要满足《工业循环冷却水处理设计规范》GB/T50050-2017 中表 3.1.7 要求。

另外比如为防止藻类滋生，可以水池加盖，减少阳光照射等。

2.2 存在的问题

化学加药法虽然是常用的循环水处理方法，但有自身的缺点和局限性：

（1）阻垢效果有限，只能提高循环水的临界碳酸盐硬度，成垢离子仍然存在于循环水中，故浓缩倍数一般控制在较低水平（2~4 倍）；

（2）残余药剂随排污水排放容易造成二次污染，增加排污成本；

（3）药剂的投加量和投加浓度不易确定和控制；

（4）不易实现全自动控制，需要频繁人为干预、配制、调整加药量和加药浓度、水中药剂保持的浓度；

(5) 药剂为持续性消耗，成本较高，国内的药剂供应商普遍水平不高，无法提供全方位的药剂解决方案。

3 循环水处理的新方法

3.1 电化学技术在循环水系统中的应用

电化学法是利用水及水中离子在电场作用下的化学特性改变、阴阳极板发生的电化学反应来实现水质稳定的。通常阳极采用钛合金材料，阴极采用不锈钢材料，两极之间通入低压直流电，极板间水溶液中正、负离子分别向极性相反处迁移，在阴极反应生成 OH^- ，形成碱性区域，为钙镁离子的沉淀提供条件，使钙镁在阴极表面成垢，从而减少换热器及管线内壁的结垢，达到除垢的目的。与此同时，在阳极反应产生 H_2O_2 、 OH 、次氯酸根等物质，具有强氧化性和渗透性，一方面使铁离子完全氧化，在设备和管线内壁形成一层氧化膜 (Fe_3O_4)，起到缓蚀的作用，另一方面可使水中菌藻细胞渗透、分裂，起到杀菌的作用。

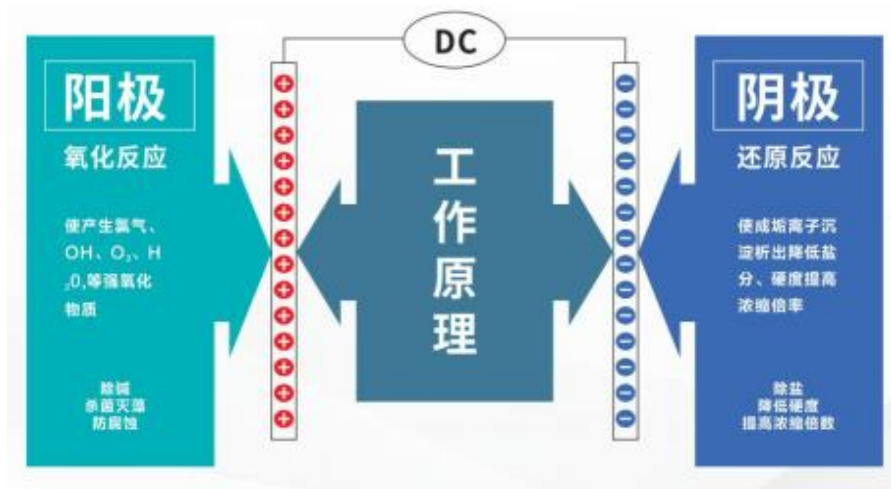


图3 电化学法工作原理

电化学装置处理量一般为循环水循环总量的 3%~5%作为旁路处理量，可安装在回水总线的旁路上，装置同时配备监测控制、自动刮垢等配套设备。循环水进入电化学装置，根据水质情况调整到适宜的电流值，在电解反应室内循环水完成了缓蚀、阻垢、杀菌等过程后，回流至冷水池进入循环系统，电化学装置产生的盐垢等废渣定期自动刮除清理，保持反应室极板间清洁畅通，废渣混合液排入水、垢分离器，滤出水返回系统，废渣排出系统外。

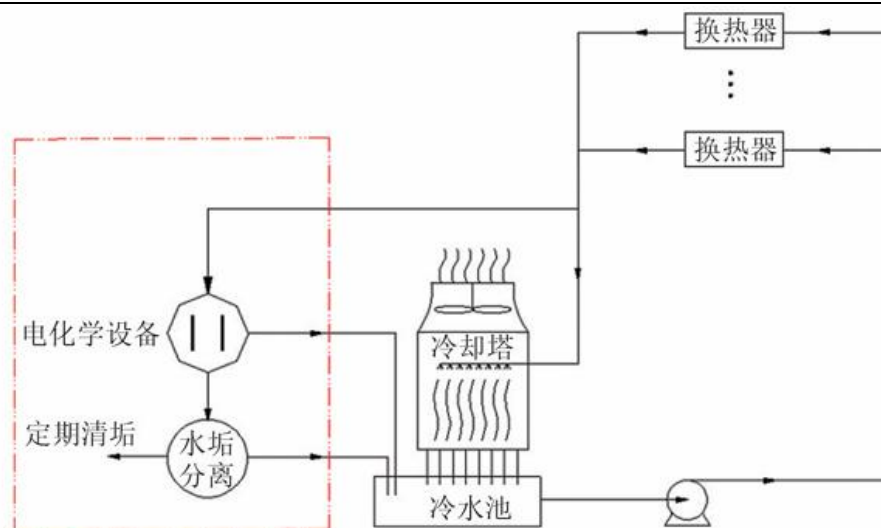


图4 电化学处理工艺流程

电化学设备的技术特点：

- （1）明显提高浓缩倍数，大幅减少排污量和补水量，节省水费和原水处理费用；
- （2）无需投加阻垢剂、杀菌灭藻剂及缓蚀剂；
- （3）处理过程本身不产生任何污染物，排出的垢渣属于一般固废，运行成本低；运行仅耗电能，吨水处理电耗低至 0.1 元；
- （4）旁流安装，仅需在系统回水母管开设旁路取水即可，设备安装以及自身的短时间停机检修不影响系统的运行；
- （5）水质适应性强，高、低硬度和碱度的水质同样适用；
- （6）PLC 控制，可实现全自动运行，操作维护简单，除了常规保养，基本无需人工干预。

复合电吸附装置是电化学与物理相结合的全自动处理系统。循环水经过设备时，在阴极附近形成强碱环境，使循环水中的钙镁离子从水中析出，并沉积在设备的阴极表面，通过定期清理排出系统。而阳极附近氯离子、水中的溶解氧等被变成自由基和次氯酸，使水中的细菌、藻类被直接杀死。电解电流将水中的部分氯离子转化成游离氯，同时产生臭氧、氧自由基、氢氧根自由基和双氧水等强氧化剂，实现杀菌灭藻功能。同时阴极高 pH 环境和阳极低 pH 环境，进一步增强杀菌灭藻能力。

3.2 电磁激励技术在循环水系统中的应用

循环冷却水在强磁场极端条件的重复激励下，原子核的电子不断的释放，释放的电子在水中成为自由电子，有的和其他离子结合，这些离子被动的获得或失去电子后发生了性变。发生变化的这些离子虽然还在水中，但已经不是以原来的形式存在了。电磁激励设备的特点：

（1）阻垢：软垢交变磁场作用下溶质水和溶剂离子极化、偏转，振动，阻止结垢离子聚合，沉淀和吸附；

（2）除垢：高频交变磁场作用下单个极性水分子增多，使原来形成的水垢分解，形成溶于水的物质和更松散的文解石结构（软垢）；

（3）杀菌灭藻：高频电磁场可以使微生物细胞内的“补酶”失去新陈代谢功能。高频电磁场激励后增加的活性氧能破坏生物细胞的离子通道以及加速细胞膜的老化；

（4）防腐除锈：具有磁性的铁氧化物（铁锈）在磁场作用下脱落，电磁激励使铁锈、活性水和氧发生一系列反应，在管壁内表面形成一层致密的黑色氧化膜，阻止管壁的腐蚀。高频交变磁场对铁细菌、硫化菌等细菌有较强的杀灭力，防止细菌对设备的腐蚀。

3.3 蒸发式凝汽器在循环水系统中的应用

蒸发式凝汽器是采用蒸发冷凝为主体换热方式的高效、节能、节水、环保的凝汽设备。蒸发式凝汽器集凝汽器、冷却塔、循环水泵及泵房于一体，结构紧凑，可将庞大的水冷凝汽系统设备化；是一种高效、节能、节水、环保型凝汽设备，可推广用于水泥工厂余热发电项目。

蒸发式冷却器中被冷却介质通过换热管与管外的喷淋水蒸发的潜热和喷淋水与空气的显热进行热交换，利用轴流风机，将空气从进风格栅吸入，向上横掠过换热管束把热量排出机体，在风机下部安装有高效收水器，防止水滴随空气被带走。蒸发式冷凝器顶部的喷淋水在下落到水箱内，经喷淋水泵循环使用，喷淋水在下落过程中一方面吸收管内热量，一方面蒸发降温，蒸发掉的部分喷淋水通过

补水阀自动补充。蒸发式凝汽器在余热发电应用的技术特点：

蒸发式凝汽器主要利用水的蒸发潜热换热，换热机理先进、高效，其换热效果取决于当地的湿球温度，冷凝温度（背压）低，由于水的蒸发潜热大，故较少的用水即可满足换热需要。

（1）节水：与湿冷方案相比，可节约用水 40%~50%；

（2）节电：与湿冷方案相比，可节电 10%~20%；与空冷方案相比，可节电 30%~50%。 节地：占地仅为空冷 40%~60%；为湿冷 80%左右；

（3）环保：循环水在设备内自循环蒸发换热，不会造成环境污染；

（4）运行背压低：冷凝温度只与当地湿球温度相关，冷凝温度低，运行背压低，发电效率高；

（5）投资成本低：成本约为空冷投资的 60%~70%；



图 5 蒸发式凝汽器

4 应用案例

4.1 项目现状

宜昌某化工有限公司有一套开式循环冷却水系统，循环水量为 $7600\text{m}^3/\text{h}$ ，下表为技改之前循环水和补充水主要水质指标平均值：

表 1 循环水及补充水水质

序号	名称	单位	循环水	补充水
1	PH	—	8.49	7.65
2	浊度	NTU	2.93	1.34
3	电导率	Us/cm	802	261
4	镁硬度	Mg/L, CaCO ₃ 计	124	18
5	钙硬度	Mg/L, CaCO ₃ 计	195.6	133
6	总碱度	Mg/L, CaCO ₃ 计	423.4	239.4
7	总硬度	Mg/L, CaCO ₃ 计	319.6	151
8	总铁	Mg/L	0.49	0.19
9	Cl ⁻	Mg/L	36	18
10	Na ⁺	ug/L	16430	1810

根据对收集到的循环冷却水、补充水水质报告进行统计分析，本工程补充水水质较好，可以在满足相关国家标准的前提下，通过投加阻垢缓蚀剂及杀生剂以较高的浓缩倍数运行。但随着浓缩倍数提高，在运行过程中，存在以下问题：

（1）随着浓缩倍数提高，循环水系统水侧存在结垢问题，结垢倾向明显。

（2）循环水系统水侧结垢及泥垢、冷却塔填料黏泥堵塞，导致系统换热效率降低，能耗上升趋势明显，能耗较设计值上升约 5%。

（3）挂片腐蚀测试显示，系统水侧存在一定程度的腐蚀，总铁浓度超过国标标准限值。

（4）菌藻滋生较严重，尤其是夏季，水质泛绿，肉眼可见悬浮物，水体浑浊，菌藻形成的黏泥正在对系统造成水侧腐蚀、换热效率下降、淤堵等各种影响。

（5）浓缩倍数可维持在 3-4 倍左右，会存在大量的排污水来平衡循环水的离子浓度，含大量药剂和离子的排污水处理存在问题，会对环境造成一定的负面影响，造成严重的水资源浪费。

4.2 解决方案

（1）采用 1 套型号为 QS-DXF8000 的复合电吸附装置，按照循环水量的 5% 进行旁流处理，从根本上吸附去除循环水中的钙离子、氯离子等有害离子，同时对旁流水进行辅助性地杀菌灭藻，防止系统水侧结垢和垢下腐蚀、抑制杀灭水中的细菌和藻类。

(2) 采用 1 套型号为 QS-SL1 的浅层砂过滤器，按照循环水量的 3%进行旁滤处理，去除水中的悬浮物及藻类，降低浊度。

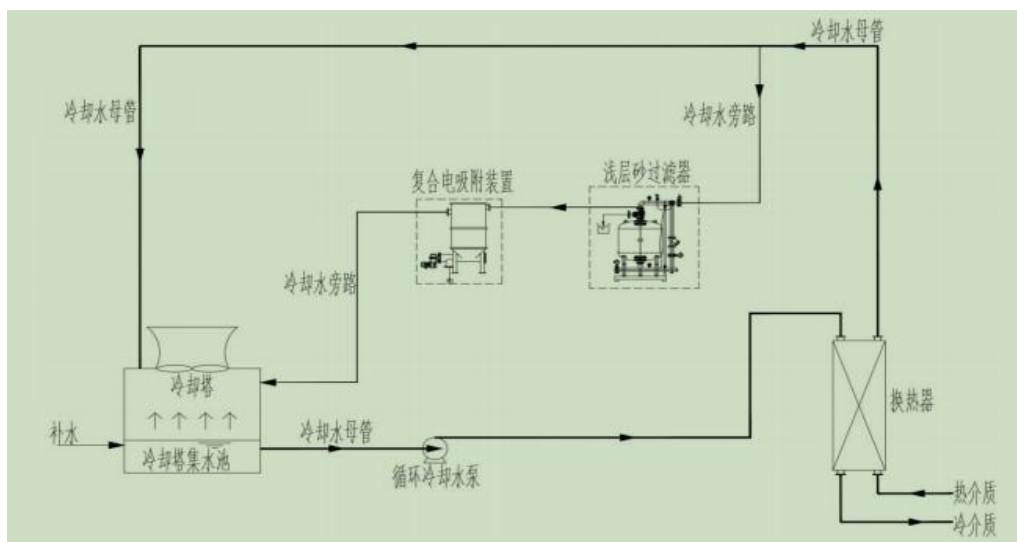


图 6 循环水系统配置图

4.3 运行情况

目前循环水处理设备已稳定运行 1 年，循环水各项主要水质指标实现了动态平衡,系统水侧结垢倾向得到明显改善，黏泥及菌藻问题得到彻底控制，传热面水侧腐蚀速率得到明显下降，换热器效率提升明显，综合能耗利用率提高。

(1) 节水：在复合电吸附设备的加持下，去除了大量本应通过排污去除的钙离子，节省了大量补充水，排污量做到了准“零排放”，在不投加药剂的情况下，实际浓缩倍数约相当于 12 倍。浓缩倍数在原来的投加药剂维持的约 3 倍的前提下得到大幅提升。年可节省补水量近 30 万 m^3 ，减少污水排放量 30 万 m^3 。

(2) 控菌藻：循环水外观澄清，无杂质，无肉眼可见藻类，浊度提高效果非常明显，菌藻得到有效控制。

(3) 控制水垢：系统水侧无结垢现象，复合电吸附装置对钙离子去除的实际贡献占到 81%，将本来需要通过排污去除的钙离子以电吸附的方式排出，单位小时的钙硬度去除量达到 10kg 以上。

(4) 控制腐蚀：循环水中总铁浓度低于 1mg/L，符合国标控制标准，腐蚀现象得到有效控制。

(5) 节省运行成本：补水水费年可节约 104.47 万元，年可减少药剂投加费

用约 24.32 万元，扣除设备新增能耗，直接运行成本年可节省 122.63 万元。

表 2 设备使用前后循环冷却水系统运行参数

序号	项目	设备设置前	设备设置后	备注
1	循环水量 (m^3/h)	7600		
2	年运行小时 (h)	8000		
3	蒸发损失 (m^3/h)	91.2		损失率按 1.2%
4	风吹损失 (m^3/h)	7.6		损失率按 0.1%
5	浓缩倍数	3	12	
6	排污量 (m^3/h)	38	0.69	
7	补水量 (m^3/h)	136.8	99.5	
8	年排污量 (m^3/a)	304000	5527	
9	年补水量 (m^3/a)	1094400	795927	
10	年减少排污量 (m^3/a)	/	298473	
11	年减少补水量 (m^3/a)	/	298473	
12	排污水回收率	/	98.2%	

5 结论与展望

循环冷却水系统的安全稳定运行对水泥企业的重要性不言而喻。电化学处理等新技术以其独特的技术特点，在维持循环水质稳定、节水减排、减少化学药剂使用量方面显示出巨大的优势。为了更好地解决循环水系统的结垢和菌藻问题，应该打开思路、拓展思维，围绕提高技术效果和降低应用成本两个核心问题开展研究和实践。同时应寻找多种不同技术的联用途径，充分发挥多种技术联用所带来的扬长避短效应，进一步助力电化学处理等新技术应用于工程实践，解决循环冷却水系统的实际问题。

参考文献：

- [1] 于海水，刘光华，徐美江，张峰，循环水系统夏季杀菌灭藻黏泥剥离处理实践总结[J].工业水处理，2005，(08)：65-66.
- [2] 连艳娥，冷却循环水系统节能优化及应用[J].石化技术，2018，25 (02)：188.
- [3] 车凯，张天琪，杨玉坤，电化学技术在炼化循环水系统中的应用[J]. 石油石化节能，2020，10 (06)：14-17.
- [4] 王秋菊，提高循环水浓缩倍数的研究[J]. 山东化工，2025，54 (01)：257-268.
- [5] 苏艳，杨阳，古克亚等，循环冷却水系统的电化学除垢技术研究进展[J].工业水处理，2023，43 (08)：30-37.

废旧锂离子电池预处理工艺概述

刘文佳

(合肥中亚环保科技有限公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

锂离子电池具有高能量和长循环寿命的特性, 凭借这两个特性锂离子电池已广泛应用于生活的各领域。近年来, 能源和环境压力的加剧推动了新能源行业的蓬勃发展。数据显示, 2023 年全球储能电池装机容量已达 46GWh, 同比增长 130%。

中国作为新能源产业的重要推动者, 相关支持政策的落地为锂离子电池行业提供了强有力的支撑。同时, 刺激消费政策的出台进一步激发了市场的活力, 为锂离子电池行业的持续扩张注入了新的动力。

锂离子电池寿命一般在 5 至 8 年之间, 随着这一时间节点的临近, 我们即将迎来第一批电动汽车锂离子电池的退役潮^[1]。这一趋势对新能源汽车产业和环境安全都带来了重要影响,

自 2025 年起, 电动汽车报废电池量将超过便携式锂离子电池, 这一趋势带来了巨大的社会压力、市场机遇和行业挑战^[2-3], 废旧电池中的重金属离子, 比如汞、镉、铅等, 进入土壤、水体后, 会被植物吸收, 然后通过食物链不断富集, 最终影响到人体健康, 引发各种疾病; 氟化物电解质如果随意丢弃会污染土壤和水源, 破坏生态平衡^[4]。随着电动汽车等新能源产业的快速发展, 废旧电池的处理量将急剧增加, 寻找高效、环保的回收技术成为了当务之急^[5]。

综上所述, 锂离子电池的广泛应用和持续增长的需求, 让我们未来对其产量有了更高的期待。而加强锂电池回收技术的研发与应用, 构建完善的回收体系, 已经成为缓解资源压力、促进循环经济的关键。

1 废旧锂电池正极材料预处理工艺

不同的锂电池废旧正极材料, 虽然组成元素有点差别, 但主要都是由 Li、Ni、

Co、Mn、Al、Cu 这些有价金属元素组成的。这些元素都有很好的回收潜力，但是在回收之前，一般都需要进行预处理，如此才能更好地提取和利用这些金属元素。

1.1 放电

废旧电池放电有物理放电、化学放电和其他放电方式。

物理放电的方式有诸多优势，如选用铜粉、石墨这类导电介质来进行短路放电，巧妙地利用它们良好的导电性，能有效地把废旧锂电池内部剩余电能慢慢转化掉。但是，现在仍未找到找到合适的导电材料，既能实现电能到热能的平稳转化，又可以较好地散热，避免因热量聚集可能引发的一些安全隐患^[6]。

化学放电也是一种可行的途径，却存在明显的弊端。需要将废旧电池长时间浸泡在饱和盐溶液里 12 小时甚至更久，时间成本高，在实际的大规模回收处理流程中，会拖延整体进度。而且高浓度的饱和盐溶液容易腐蚀电池外壳，一旦出现电解液泄漏，后续产生的废气、废液就会造成二次污染，违背了环保回收的初衷。但是可以通过采用一定浓度的盐溶液来进行改进，如此就能避免对电池外壳的腐蚀，在一定程度上优化了化学放电的方法^[7-8]。

其他放电方式是像利用逆变器把废旧电池剩余能量传输回电网实现能量回收，既完成了电池放电，又能把剩余能量合理利用起来。又像利用液氮低温冷冻技术使电解液失效，电解液失效后再拆解废旧电池时就能降低诸多风险，减少意外情况的发生^[9]。

放电方式	方法	优点	缺点
物理放电	强制短路	污染少	对设备要求高、成本高
化学放电	导电熔盐放电	成本低、处理量大、高放电效率	容易造成二次污染
其他放电	利用逆变器放电	把剩余能量传输回电网实现能量回收	/
	液氮低温冷冻	降低安全风险	/

1.2 破碎与拆解

1.2.1 整体破碎

废旧锂离子电池放电完成后，通常采用机械分离法对锂离子电池各组分进行

筛分。机械分离法中传统的整体破碎方式，成为国内外很多学者研究的热点。T.Zhang 等^[10]采用直接粉碎再筛分的方式确实是废旧锂离子电池回收处理过程中很关键的一个环节。从研究结果能看出来，粒度级的影响不容小觑，不同的粒度大小直接关系到回收电极材料的质量和纯度，而像 0.25mm 粒度分数下能让回收的电极材料在锂离子电池里保持原始晶体形式以及良好化学状态，为后续这些回收材料能更好地被再利用提供了很好的基础条件。

王泽峰^[11]则采用多个破碎机组组合破碎的做法，通过这种组合式操作，既提升了破碎的效率，又保障了破碎的质量，能让电池更充分地被破碎开，便于后续进一步提取里面有价值的成分。破碎后物料的筛分也必不可少，只有经过筛分，才能把不同粒度级别的物料区分开来，按照合适的标准去筛选出符合要求、质量达标的电极材料。

1.2.2 精细化拆解

G.Dorella 等^[12]采取人工拆解废旧锂离子电池有它的两面性。一方面而言，它确实效率比较低，需要依靠人力一个个去分离各组分，速度肯定比不上一些自动化拆解设备。而且还存在潜在的安全隐患，因为锂离子电池内部可能还残留有电能，一旦操作不当会引发短路之类的情况，容易出现危险。另一个方面而言，这也算是一种对精细化拆解方式的积极探索了。人工拆解能够更加细致、精准地把电池的各个组分区分开来，对于一些结构相对复杂或者需要特殊处理的部分，人工可以凭借经验和细致的操作更好地完成分离，这也有助于后续回收过程中更精准地提取有价值的材料以及妥善处理有害的部分。由于效率和安全方面的局限，如果在人工拆解的精细基础上，结合先进的自动化、智能化技术，打造出既高效又安全还能保证精细化程度的拆解方案就更好了。

M.Choux 等^[13]通过自主任务规划器，借助计算机视觉系统，让机器人能够完成电池箱体螺栓、螺钉这些零件的拆解，进而把废旧锂离子电池组拆解到模块级别，大大地提高了拆解的自动化和精准程度。而且它还有进一步拓展应用的潜力，延伸到更深层次的拆卸，像到电池单元水平甚至拆解到电池组件层面，有利于后

续电池的回收。这种做法一方面，提高了活性材料的含量，在后续提取有价值材料的时候能获取更多的量，提升资源的回收利用率，减少资源浪费。另一方面，降低火法冶金和湿法冶金过程的复杂性和能源消耗，不仅能降低成本，还能让整个回收流程更加绿色、可持续发展。

1.2.3 分选

废旧锂离子电池拆解后形成的多组分混合物情况比较复杂。外壳一般是起到保护作用的结构部件，电极片包含着有价值的活性金属材料等关键成分，隔膜又有它自身独特的功能和化学特性。如果不进行有效的分选，把它们混在一起进行后续回收处理的话，一方面会影响到回收材料的纯度，比如想要提取电极片中的锂、钴、镍等金属时，混入的外壳、隔膜等杂质会干扰提取过程，导致最终得到的金属纯度不达标，进而影响再利用的效果。另一方面，也会增加回收流程的复杂程度和成本，不同的组分后续适合的回收工艺是不一样的，不分选就没办法针对性地采取合适的方法，可能使得整个回收环节效率变低，能源消耗和物料损耗都会增大。所以针对这些不同的组分进行精准分选，是提高后续回收利用率必不可少的重要一步。

利用气流场中运动行为差异进行分选的方式，充分考虑到了外壳和隔膜在密度、质量方面的不同特点，通过气流场让它们产生不同的运动轨迹从而实现分选，而且这种方式最大的优势就是既不会产生二次污染，成本又低，设备结构也简单，对于大规模的实际分选操作来说，可操作性很强，符合高效且环保的回收理念^[14]。而磁选法^[15]和静电分离法^[16]是基于隔膜和钢壳在导磁性、导电性上的差异来操作的，虽然存在成本较高、设备结构复杂这些不足，但同样不会造成二次污染，从环保角度而言是值得考虑的。

2 水泥窑协同处理废旧锂电池

传统锂电池回收技术中，废旧锂电池处理需要消耗能源，造成资源浪费，同时锂电池回收过程中，产生的有毒有害废气处理工艺复杂。因此，出现了利用水泥窑废气余热高温蒸发废旧锂电池电解液进行放电，同时利用水泥窑分解炉及窑

尾烟气处理设施来处理锂电池回收过程中产生的有毒有害废气，实现自动化、连续、大批量废旧锂电池放电，且无需人工拆解的水泥窑协同处理废旧锂电池装置。

2021年12月28日，安徽海螺川崎节能设备制造有限公司建成了中国首台套CKB锂电池回收生产线，规划处理废旧锂电池5000吨/年，总投资2000万元。主体工艺技术通过对废旧锂电池进行预热分解电解液、破碎筛选、焙烧、溶解、压滤、蒸发结晶等工序处理，提取有价金属锂，同时通过充分利用水泥窑的高温低氧热源来减少能耗，热解有毒废气，是中国首台套利用水泥窑协同处理废旧锂电池项目。

3 总结和展望

随着各类电子产品以及新能源汽车等对锂离子电池需求的迅猛增长，资源供应方面的压力确实越来越大，废旧锂离子电池回收技术的发展已然成为破局的关键所在。从目前介绍的预处理技术发展现状来看，虽然已经取得了一些成果，但距离达到理想的资源化、环保化目标还有不小的距离。精细的拆解技术和创新的分离技术非常重要，只有把这些做好，才能精准地从废旧电池里提取出高纯度的活性材料用于后续再利用，这不仅关乎资源回收利用的效率，也和环境保护息息相关。在锂电行业的发展趋势的基础上，一方面，科研层面持续深入研究和创新回收技术是核心驱动力，开发新型绿色环保的回收工艺和设备，降低能耗和排放，让整个回收流程更加高效、可持续，使得回收的产品质量更有保障，真正实现资源循环利用的良性发展。另一方面，政府发挥的作用也不可小觑。通过加强政策引导和支持，制定法规、标准来规范回收行为和市场秩序，避免一些乱象的出现，同时提供优惠政策鼓励企业参与，充分调动各方力量，形成全社会共同推进废旧锂离子电池回收的良好局面。

参考文献:

- [1] LI P, LIU Q, MØLLER M, et al. Direct regeneration of spent lithium-ion batteries: A mini-review [J]. *aterials Letters*, 2024, 357: 135724.
- [2] HARPER G, SOMMERVILLE R, KENDRICK E, et al. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles[J].*Nature*, 2019, 575(7781): 75-86.
- [3] YU W, GUO Y, XU S, et al. Comprehensive recycling of lithium-ion batteries: Fundamentals, pretreatment, and per - spectives [J]. *Energy Storage Materials*, 2023, 54: 172-220.
- [4] JU Z, JIN C, YUAN H, et al. A fast-ion conducting inter - face enabled by aluminum silicate fibers for stable Li metal batteries [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2021, 408: 128016.
- [5] DOOSE S, MAYER J K, MICHALOWSKI P, et al. Chal - lenges in ecofriendly battery recycling and closed material cycles: A perspective on future lithium battery generations [J]. *Metals*, 2021, 11(291): 1-17.
- [6] WANG H, LIU J, BAI X, et al. Separation of the cathode materials from the Al foil in spent lithium-ion batteries by cryogenic grinding [J]. *Waste Management*, 2019, 91: 89- 98.
- [7] FANG Z, DUAN Q, PENG Q, et al. Comparative study of chemical discharge strategy to pretreat spent lithium-ion batteries for safe, efficient, and environmentally friendly recycling[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 359: 132116.
- [8] MILIAN Y E, JAMETT N, CRUZ C, et al. A comprehen - sive review of emerging technologies for recycling spent lithium-ion batteries [J]. *Science of the Total Environment*, 2024, 910: 168543.
- [9] GRANDJEAN T R B, GROENEWALD J, MARCO J. The experimental evaluation of lithium ion batteries after flash cryogenic freezing [J]. *Journal of Energy Storage*, 2019,21: 202-215.
- [10]ZHANG T, HE Y Q, WANG F F, et al. Chemical and process mineralogical characterizations of spent lithium-ion batteries: an approach by multi-analytical techniques[J]. *Waste Manage*, 2014, 34 (6):1051-1058.
- [11] 王泽峰.废锂离子电池中钴的回收技术研究[D]. 北京:清华大学, 2008. WANG Z F. Research on recovery technology of cobalt from waste lithium-ion batteries[D]. Beijing:Tsinghua University, 2008.
- [12] DORELLA G, MANSUR M B. A study of the separation of cobalt from spent Li-ion battery residues[J] . *J Power Sources*, 2007, 170 (1):210-215.
- [13] CHOUX M, BIGORRA E M, TYAPIN I. Task planner for robotic disassembly of electric vehicle battery pack[J] . *Metals*, 2021, 11 (3):387.
- [14] SILVEIRA A V M, SANTANA M P, TANABE E H, et al. Recovery of valuable materials from spent lithium-ion batteries using electrostatic separation[J]. *Int J Mine Process*, 2017, 169:91-98.
- [15] SHIN S M, KIM N H, SOHN J S, et al. Development of a metal recovery process from Li-ion battery wastes [J] . *Hydrometallurgy*, 2005, 79(3 / 4):172-181.
- [16] MARINOS D, MISHRA B. An approach to processing of lithium-ion batteries for the zero-waste recovery of materials[J]. *J Sustain Metall*, 2015, 1(4):263-274.

关于企业网络安全防护问题的探讨

袁康乐

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

随着信息技术的飞速发展,企业网络作为企业运营和管理的核心基础设施面临着越来越严峻的安全威胁。这些威胁可能来自内部员工的误操作、恶意软件的攻击,也可能来自外部黑客的入侵和恶意攻击。因此,加强企业网络安全防护,确保企业网络的安全稳定运行,已经成为企业信息化建设的首要任务。

1 企业网络安全现状与挑战

1.1 企业网络安全现状

当前,企业网络安全环境日益复杂,网络安全威胁呈现出多样化、隐蔽化和智能化的特点。一方面,传统的病毒、木马等恶意软件在不断演变和升级,利用漏洞攻击、钓鱼攻击等手段,试图突破企业的网络安全防线。另一方面,随着云计算、大数据、物联网等新技术的广泛应用,企业网络面临着更多新的安全挑战,如数据泄露、隐私侵犯、供应链攻击等。

1.2 企业网络安全面临的挑战

内部威胁:企业员工可能因误操作、安全意识不足或恶意行为,导致企业网络面临内部威胁。例如,员工泄露敏感信息、使用弱密码、访问不安全网站等行为,都可能给企业网络带来安全隐患。

外部攻击:黑客利用漏洞扫描、暴力破解、钓鱼攻击等手段,试图突破企业网络安全防线,窃取敏感数据、破坏系统或进行勒索攻击。

新技术应用带来的风险:随着云计算、大数据、物联网等新技术的广泛应用,企业网络面临着更多新的安全挑战。例如,云计算平台的数据安全、大数据处理的隐私保护、物联网设备的接入安全等问题,都需要企业加强安全防护。

2 企业网络安全防护策略

2.1 加强网络安全意识教育

提高员工网络安全意识是企业网络安全防护的基础。企业应加强网络安全意识教育，定期组织员工参加网络安全培训，普及网络安全知识和技能，提高员工对网络安全威胁的识别和防范能力。同时，企业应建立网络安全管理制度，明确员工在网络安全方面的责任和义务，确保员工在使用网络时遵守相关规定。

2.2 完善网络安全防护体系

部署防火墙和入侵检测系统：企业应部署防火墙和入侵检测系统，对进出企业网络的数据进行实时监控和过滤，及时发现并阻止恶意攻击和非法访问。安全防护系统软件应定期更新病毒库，拦截规则以保证对新型病毒和蠕虫攻击等网络攻击行为的有效防护。

加强数据加密和访问控制：企业应对敏感数据进行加密处理，确保数据在传输和存储过程中的安全性。同时，企业应建立完善的访问控制机制，限制对敏感数据的访问权限，防止数据泄露和滥用。

定期更新和打补丁：企业应定期更新操作系统、业务系统、安全防护系统软件，及时修复已知漏洞，防止黑客利用漏洞进行攻击。同时，企业应建立漏洞管理机制，对发现的漏洞进行及时评估和修复。

2.3 加强安全设备供应链管理

安全设备供应链是企业网络安全的重要组成部分。企业应与供应商建立紧密的合作关系，共同制定和执行适合自身需求的安全标准和规范。同时，企业应对供应商进行定期的安全评估和审计，确保其产品和服务符合安全要求。在采购过程中，企业应优先选择具有良好安全记录和信誉的供应商，降低供应链安全风险。

2.4 建立应急响应机制

建立应急响应机制是企业网络安全防护的重要保障。企业应制定详细的应急预案和流程，明确应急响应的组织架构、职责分工和处置措施。同时，企业应定期组织应急演练和培训，提高员工的应急响应能力和协同应对能力。在发生网络安全事件时，企业应迅速启动应急预案，采取有效措施进行处置和恢复工作，确保企业网络的安全稳定运行。

3 企业网络安全防护实践案例

3.1 某大型企业网络安全防护实践

某大型企业采用边界防护、数据加密、访问控制及安全设备供应链管理策略，加强了对企业网络的全面保护。

在边界防护上，部署高性能防火墙与入侵防御系统（IPS）。防火墙依据预设规则，严格过滤进出网络的数据包，阻止非法访问；IPS 实时监测网络流量，主动拦截可疑攻击行为，为网络边界筑牢第一道防线。

数据安全方面，采用先进加密技术。对敏感数据，如客户信息、财务数据等，在传输和存储时进行加密处理，确保即使数据被窃取，攻击者也无法解读其内容。同时，建立数据备份机制，定期将重要数据备份至异地数据中心，防止因意外事件导致数据丢失。

访问控制层面，实施严格的身份认证与权限管理。员工登录系统需通过多因素认证，如密码、动态令牌等。依据岗位需求，分配不同级别的数据访问权限，确保员工只能访问其工作所需的数据，降低数据泄露风险。

此外，加强安全设备供应链管理。与供应商签订安全协议，明确安全责任。定期对安全厂商进行安全评估与审计，确保其产品和服务符合企业自身安全需求，从源头保障网络安全。通过这些措施，全方位提升企业网络安全防护能力。

3.2 某中小企业网络安全防护实践

某中小企业由于资源有限，采用了简约而有效的网络安全防护策略。该企业首先加强了员工的网络安全意识教育，定期组织员工参加网络安全培训，提高员工对网络安全威胁的识别和防范能力。同时，该企业部署了基本的网络安全设备，如防火墙和杀毒软件，对进出企业网络的数据进行实时监控和过滤。在数据管理方面，该企业采用了数据备份和恢复策略，确保数据的完整性和可用性。虽然该企业的网络安全防护策略相对简单，但通过加强员工安全意识教育和部署基本的网络安全设备，该企业成功地降低了网络安全风险。

4 企业网络安全防护未来发展趋势

4.1 智能化安全防护技术的发展

随着人工智能技术的不断发展，智能化安全防护技术将成为企业网络安全防护的重要发展方向。通过利用机器学习和深度学习等技术，智能化安全防护系统能够自动识别和分析网络流量中的数据特征和行为模式，及时发现并阻止恶意攻击和非法访问。这将大大提高企业网络安全防护的效率和准确性。

4.2 云安全 and 大数据安全技术的融合应用

随着云计算和大数据技术的广泛应用，云安全和大数据安全技术将成为企业网络安全防护的重要领域。通过融合应用云安全和大数据安全技术，企业可以实现对海量数据的实时监控和分析，及时发现并处置潜在的安全威胁。同时，企业还可以利用云计算的弹性扩展能力，快速应对网络安全事件，确保企业网络的安全稳定运行。

4.3 物联网安全技术的创新与发展

随着物联网技术的不断发展，物联网设备的安全问题日益凸显。未来，物联网安全技术将成为企业网络安全防护的重要创新方向。通过加强物联网设备的安全认证、数据加密和访问控制等技术手段，企业可以确保物联网设备的安全接入和稳定运行。同时，企业还可以利用物联网安全技术实现对物联网设备的远程监控和管理，及时发现并处置潜在的安全隐患。

5 结论

企业网络安全防护是企业信息化建设的重要组成部分。面对日益复杂的网络安全环境和多样化的安全威胁，企业需要加强网络安全意识教育、完善网络安全防护体系、加强供应链安全管理、建立应急响应机制等措施的实施。同时，企业还需要关注智能化安全防护技术、云安全和大数据安全技术以及物联网安全技术的创新与发展趋势，不断提高自身的网络安全防护能力。只有这样，企业才能确保网络的安全稳定运行，为企业的可持续发展提供有力保障。

参考文献：

- [1] 王炳翔. 中小企业网络安全管理模型研究网络安全技术与应用[M]. 网络安全技术与应用, 2024.
- [2] 王鑫. 企业信息网络安全管理系统设计与实现[M]. 计算机软件及计算机应用, 2024.
- [3] 贺腾飞. 探究企业网络安全管理存在的问题与对策[M]. 智慧中国, 2024.

水泥工厂10kV变压器进线开关的选择

苗俊

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

在水泥工厂中, 10kV 变压器所在的变配电室我们习惯称做车间变电所。由于电压降的原因, 低压(380V/220V)电源的供电距离应尽可能的短, 否则需要加大低压电缆的截面, 这会大大增加电缆成本, 因此车间变电所一般设在其供电范围内的低压负荷中心, 很多都附设在生产车间旁。而总降压站和 10kV 开关站位置要考虑负荷中心和电源进线的方便, 可能与部分车间变电所相距较远。

尽管在总降压站内 10kV 变压器的上级开关柜上有保护断路器, 但为了安全和检修方便, 在车间变电所内有明显的断点和保护是必要的。下面就几种 10kV 变压器的进线开关的选择作简单比较。

1 水泥工厂 10kV 变压器进线开关的方案对比

1.1 隔离开关

隔离开关主要用于隔离电源, 确保检修安全。隔离开关的结构相对简单, 通常由绝缘底座、导电触头和操作机构组成, 这使得其安装、更换和维护都非常方便。此外, 隔离开关的制造成本较低, 价格相对便宜。

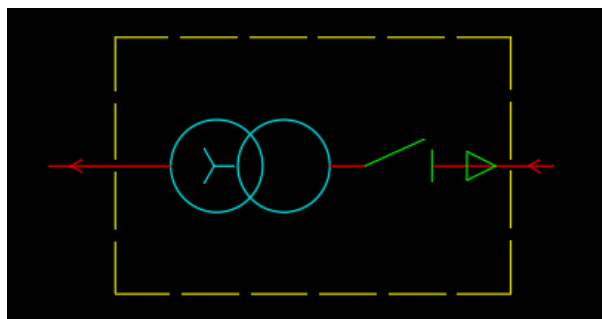


图 1 10kV 变压器进线开关采用隔离开关的主接线方案

然而, 隔离开关的功能较为单一, 它仅能在变压器检修时作为电源断开点使用, 由于其本身不具备灭弧能力, 因此它不能用于切断负载电流或短路电流, 也

不能带电操作。这就意味着隔离开关无法用于需要频繁开关操作的场合，而且其操作较为复杂，通常需要经过专业培训的维护人员才能熟练操作。隔离开关通常适用于变压器容量较小（630kVA 及以下）及短路电流水平较低的场合，但是由于水泥工厂具有负荷波动大与短路电流水平高的特性，因此在现代水泥工厂的设计中，10kV 变压器的进线开关一般不采用隔离开关。

1.2 断路器

断路器是一种广泛应用于电力系统中的多功能电气开关设备，能够在正常和异常回路条件下在规定的时间内关合、承载和开断电流。在现代水泥工厂中，最常用的断路器类型是真空断路器，其核心优势在于强大的灭弧能力、完善的保护功能以及较高的自动化水平。

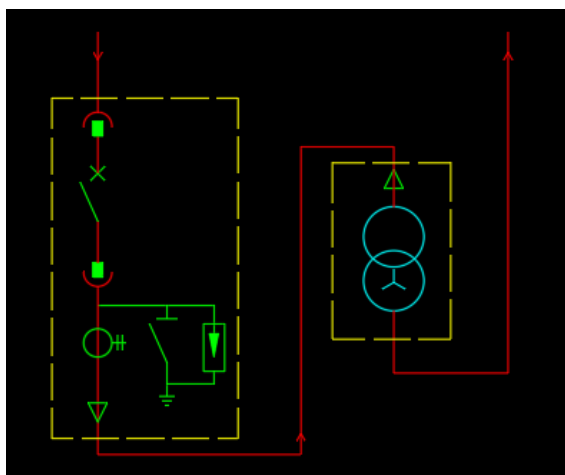


图 2 10kV 变压器进线开关采用断路器的主接线方案

然而，断路器也存在一些不足之处。首先，其设备成本较高，尤其是真空断路器和 SF6 断路器，其制造和维护成本远高于隔离开关和负荷开关。其次，断路器的结构较为复杂，通常由触头系统、灭弧室、操作机构和保护装置等多个部分组成，这使得其安装和维护工作量较大，需要专业的技术人员进行操作和维护。而且从继电保护的配合来讲，在大多数情况下，也没有必要在水泥工厂 10kV 变压器的进线采用断路器，这是因为在总降压站（或 10kV 开关站）的中压馈出线已装设有断路器，保护设置一般为：速断保护的时间为 0 s，过流保护的时间为 0.5 s，零序保护的时间为 0.5 s。若变压器进线采用断路器，即使整定时间为 0 s 动作，由于断路器固有动作时间分散，也很难保证故障情况下是哪一级断路器首先动作。

因此，在现代水泥工厂的设计中，10kV 变压器的进线开关采用断路器的性价比较低。

1.3 负荷开关

负荷开关是一种介于断路器和隔离开关之间的电气开关设备，主要用于在正常工况条件下接通、承载和断开负载电流。它具备一定的灭弧能力，能够切断一定范围内的过载电流，但无法开断短路电流。负荷开关的结构较为简单，通常由触头系统、灭弧装置和操作机构组成，这使得其安装和维护非常方便，极其适用于空间有限的场合。此外，负荷开关的成本较低，价格相对便宜。

尽管负荷开关具有上述优点，但是其保护功能相对有限。它无法提供过流保护和短路保护，这意味着在发生短路故障时，负荷开关无法切断故障电流，这可能导致设备损坏或事故进一步扩大。然而，在现代水泥工厂的设计中，通常在总降压站（或 10kV 开关站）的中压馈出线中会装设断路器，断路器具有强大的灭弧能力和完善的保护功能，能够在故障情况下快速切断电流，从而弥补了负荷开关在保护功能上的不足。这种配置方式不仅确保了电力系统的保护完整性，还显著提高了系统的可靠性和安全性。因此，在现代水泥工厂的设计中，10kV 变压器进线开关采用负荷开关是一种较为常见和经济实用的选择。

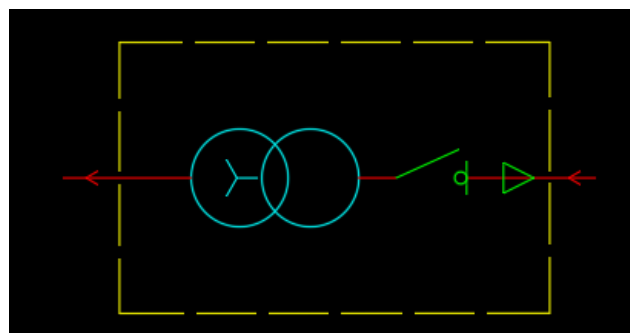


图 3 10kV 变压器进线开关采用负荷开关的主接线方案

1.4 负荷开关加高遮断容量后备式熔断器组合

这种组合方式结合了负荷开关的操作灵活性和熔断器的短路保护能力，从经济性角度来说，成本要远低于断路器，略高于负荷开关。其具有短路保护能力强、开合空载变压器性能好、保护范围广、结构简单等优点。

尽管负荷开关与熔断器的组合方式有上述优点，但是其也存在一定的局限性。

熔断器只能提供一次性的短路保护，动作后需要人工更换，增加了停电时间和维护工作量，这无疑会影响整个电力系统的供电连续性。而且在发生三相短路故障时，熔断器可能无法同时熔断三相，导致负荷开关在非全相状态下运行，这可能引发缺相运行问题，导致变压器或电动机损坏，甚至引发更严重的故障。除此之外，对于容量较大的变压器（1250kVA 及以上），熔断器的实际转移电流可能超过额定转移电流，这会导致负荷开关无法安全开断剩余电流。因此，对于现代水泥工厂这种负荷较大以及对供电连续性要求较高的场合，10kV 变压器进线开关采用负荷开关与熔断器的组合并不是一个好的选择。

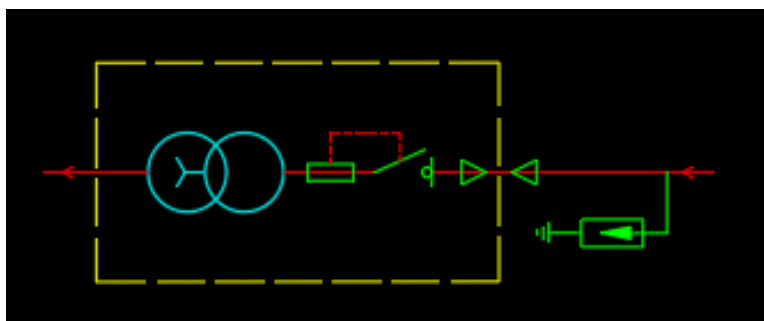


图 4 10kV 变压器进线开关采用负荷开关-熔断器组合电器的主接线方案

2 结论

水泥工厂 10kV 变压器进线开关的选择应综合考虑负荷特性、技术性能、可靠性和经济性。负荷开关具有结构简单、价格便宜等特点，虽然其保护功能相对有限，但是通过与中压馈出线所装设的断路器相互配合，不仅确保了电力系统的保护完整性，还显著提高了系统的可靠性和安全性。因此，现代水泥工厂 10kV 变压器进线开关采用负荷开关是一种较为经济实用的选择。对于变压器与 10kV 开关站设置在同一建筑物内时，可以取消负荷开关。

参考文献：

- [1] 中国机械工业联合会. 20kV 及以下变电所设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2013，12，19
- [2] 谢顺. 电力工程常见的 10kV 供配电设计相关问题探讨[J]. 建材与装饰，2017，（10）：219-220
- [3] 宁芹，杨义杰. 10kV 变电站继电器保护中的问题研究[J]. 中国盐业，2015，（12）：27-30
- [4] 张望. 10kV 变配电站一、二次电气设备的选择[J]. 机电信息，2014，（06）：09-10

浅谈工业建筑设备基础预留螺栓孔洞施工方法

娄小虎

(合肥水泥研究设计院有限公司, 安徽 合肥 230051)

0 引言

工业建筑设备基础预留螺栓孔洞实际施工过程中存在偏位倾斜、涨缩模变形、标高错误、深度不足,孔洞成型后拆模导致混凝土破损、预留盒损坏甚至无法拆除等一系列问题。因此预留螺栓孔洞的成孔方案需要结合图纸设计并满足机电设备安装进行综合考虑。

1 施工工艺流程

预留螺栓孔洞的施工工艺流程一般是:(1)施工准备;(2)定位放线;(3)预留盒制作;(4)钢筋绑扎;(5)模板安装;(6)预留盒固定;(7)混凝土浇筑(过程中纠偏);(8)预留盒拆除及混凝土修复。

2 施工准备

在施工之前,一般的施工准备工作有如下内容:

- (1) 核对设计图纸与设备工艺要求;
- (2) 分别对不同的预留螺栓孔洞按照尺寸、形状、标高,位置进行分类编号;
- (3) 制定成孔方案。明确预留螺栓孔洞成孔盒采用的材质、深度、标高及固定方式;
- (4) 编制下料图并对作业人员做技术交底。

3 预留螺栓孔洞成孔盒制作

预留螺栓孔洞成孔盒通常对于深度较浅或尺寸较小较为简单的孔洞可采用方案一及方案四,深度较大或上小下大的预留孔洞可采用方案二及方案三。施工现场根据预留孔洞的深度、尺寸、形状及布局的不同一般采用以下四种方案。

(1) 胶合板木模盒

可用 20mm-50mm 厚挤塑板包裹四周，便于拆模二次利用，整体利用率较高，下料高度大于设计深度 100-150mm。对于需要拆除的且上下尺寸一致的木模成孔盒，制作前需要在内侧顶部设置钢筋吊环，钢筋十字状固定在侧面，伸出长度不可超过外围挤塑板（见图 1）。

(2) 花纹钢板钢模盒

采用 3mm 厚花纹钢板焊接而成，花纹面朝内布置。整体刚度高，有效避免涨缩，确保有效成孔尺寸。尤其适用于深度大于 1000mm，平面尺寸小于 200mm*200mm 且截面呈下大上小的孔洞形状。如设计图纸孔洞上下尺寸相同，制作预留盒截面尺寸每边可稍微大于原设计尺寸 15mm-20mm。钢模盒内部四面方向水平双面焊接 6mm 或 8mm 短钢筋头并伸出预留盒外 50mm-100mm，高度方向 150mm-200mm 间距设置一圈，此法不仅可满足二次灌浆后螺栓抗拔力，同时也可以满足预留盒与一次浇筑混凝土的粘结力（见图 2）。

(3) 钢筋骨架盒

类似于砌筑工程中的构造柱造型。可根据孔洞的尺寸采用 8mm-12mm 的纵向钢筋及 6mm@150mm-250mm 箍筋构成骨架，箍筋与纵向钢筋进行点焊，确保牢固不变形。外围四周采用双层钢丝网，孔径不大于 5mm，采用 22 号扎丝将钢丝网与骨架固定，不得有明显褶皱。该方法更加适用于截面尺寸较大如 400mm*400mm 且深度较深的预留孔洞。

(4) 成品管预留盒

适用于整体数量较少，深度较小的预留洞（一般不大于 1000mm）。分两种情况，第一种：设计图纸及设备工艺要求荷载值较低的预留洞，可以采用 PVC 管，待混凝土浇筑数日后，人工凿毛孔洞面并清理 PVC 材料。第二种：其余情况可采用金属管，选用较设计图纸尺寸更大的金属管，该尺寸要考虑加强钢筋的直径，适当等距钻孔内贴管壁焊接钢筋垂直对穿并弯折钢筋贴管壁外围，此法可满足二次灌浆后螺栓抗拔力。

还有一种情况是预留螺栓直接在第一次混凝土浇筑过程中就先行进行了预埋，不涉及成孔盒的预埋，本文就不再论述了。



图 1



图 2

表 1 四种不同的预留螺栓孔洞成孔盒优缺点

方案	方案一 胶合板木模盒	方案二 花纹钢板钢模盒	方案三 钢筋骨架盒	方案四 成品管预留盒
优点	适当重复利用，制作灵活，适用于异形洞口，通长洞口，可适当利用旧料或边角料。	尺寸精确，便于定位，不易变形，无需拆除。	便于定位，制作灵活，浇筑后内部形成竹节状，利于螺栓锚固，无需拆除。	安装灵活，尺寸精确，便于定位，无需拆除。
缺点	拆除量大，定位加固量较大，现场不美观，不环保。	需要人工焊接并加焊锚筋，材料一次性投入。	制作量大，容易变形，会有少量水泥浆沉底挂壁，材料一次性投入。	金属管需要二次加工锚筋，非金属管需要人工凿毛，异形洞口不适用，材料一次性投入。
适用情况	上下尺寸一样且深度相对较浅（一般不超过 600mm），通长孔或异形孔。	深度较深，下大上小，成孔盒之间间距很小。	尺寸相对较小，深浅均可。	数量较少，且出现临时增补的情况下，通常作为备用方案。
结论	如预留螺栓孔洞要求下大上小，首选方案二；如预留螺栓孔洞通长布置或者异形，可选方案一。方案三几乎等同于方案二，但是某些情况制作难度大，精确度稍差。方案四通常仅作为备用，一般不作为常规措施。			

4 预留螺栓孔洞成孔盒固定

成孔盒的安装固定通常要等钢筋绑扎完成、模板安装完成后再进行安装固定，某些小型设备基础可以等待钢筋绑扎完毕就可以安装固定，通常利用设备基础本

身的钢筋通过木方、钢管或者钢筋焊接等加固。根据深度不同至少采用两道固定点进行四个方向的固定。大体积混凝土的设备基础，还要采用顶部下压抗浮措施，通常成孔盒的深度要略大于图纸设计深度，这样能确保混凝土浇筑面低于成孔盒顶部，但是成孔盒顶部超出混凝土浇筑面高度要低于设备安装的底面，否则会导致返工切除超高成孔盒导致工期费用增加。

5 施工要点

(1) 审核图纸中钢筋与预留孔洞的避让关系

某些大型设备的预留螺栓孔洞设计的尺寸较大，且设备基础钢筋较粗，为了避免安装成孔盒切断钢筋导致影响设备基础整体结构受力，需要在图纸会审中提前明确钢筋断开及成孔盒处的钢筋构造（见图 3、图 4）。

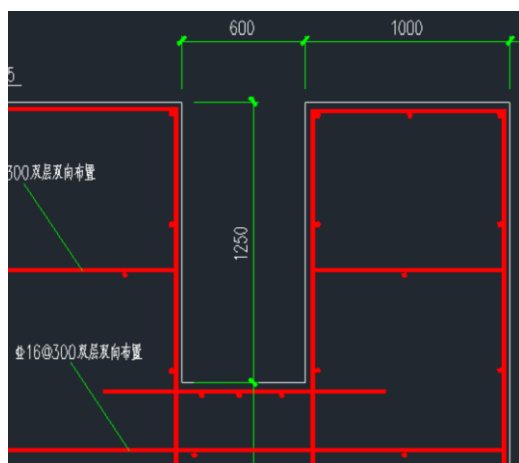


图 3

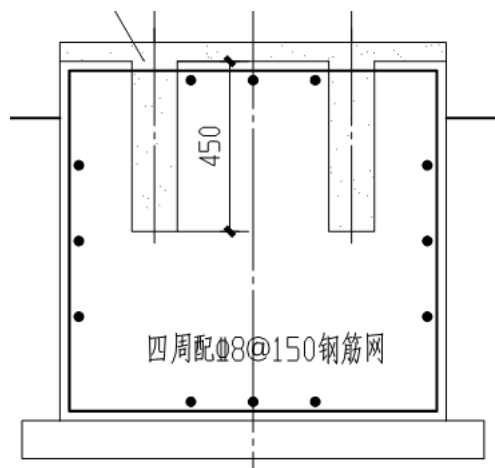


图 4

(2) 成孔盒的实际尺寸要略大于图纸设计的预留洞尺寸

制作的成孔盒平面尺寸要比原设计图纸单边大 20-30mm，深度大 100-150mm，这样可以避免因安装或者混凝土浇筑过程中的偏移产生误差影响设备预埋螺栓的安装精度。

(3) 根据成孔盒尺寸布置不同数量的加固点。

深度大于 500mm 的按照中间不大于 300mm 间距增加一道加固点位。该点位可以利用原基础钢筋或者增加额外的钢筋结合方木或者钢管进行加固，大体积混凝土浇筑还要考虑成孔盒的上浮问题，做好相关下压措施。

(4) 做好混凝土浇筑前后的动态纠偏措施。

混凝土浇筑之前复验点位的埋设深度、位置、加固效果及标高并做好上口的封堵工作。混凝土的浇筑过程中,注意振捣棒避开成孔盒及加固点位,同时不得踩踏成孔盒,设专人监管,如有偏移及时调整。大体积混凝土要控制浇筑速度,尤其是深度较大的成孔盒,最好是先浇筑至成孔盒底部以上 100mm 处适当停歇。即使连续浇筑,也要对称分层浇筑,避免一侧受力过大导致偏移。

(5) 及时做好成孔盒的拆除及混凝土的修复工作。

如采用可拆除的胶合板木模盒,尺寸较小预留盒可采用撬棍沿盒顶四周撬动,松动后拔出。较大预留盒采用支架挂倒链勾住圆环整体拔出后修复或者更换周边挤塑板进行二次利用。通常预留盒周边的混凝土因空间等因素不易收平,可能存在混凝土标高超过设计值,后期如影响设备安装则需要人工破除。另外预留盒的拆除过程中也会不同程度的损坏或者盒体整体松散,二次利用之前必须检查修复加固。

6 结束语

预留螺栓孔洞成孔盒的施工从开始的方案选择、制作、安装、拆除,二次灌浆等一系列工序都会对后期机电设备的安装、校正,运行起到至关重要的作用,某个工序的错误可能都会导致严重的损失。因此为了确保预留螺栓孔洞成孔盒的施工质量,每一道工序都需要慎重对待,要求做好方案的审批,工序的技术交底,过程中的随时监控纠偏,以及事后的总结归纳。

参考文献:

- [1] 周林峰,曹玲.工业建筑设备预留螺栓孔施工技术研究[C]//土木建筑学术文库(第15卷).河南省第五建筑安装工程(集团)有限公司;,2011:2.
- [2] 杨鹏宇.设备基础预留螺栓孔洞的模板施工[J].山西建筑,2003,(02):65-66.
- [3] 黄珏.试析工业建筑设备预留螺栓孔施工[J].城市建筑,2013,(10):81. DOI:10.19892/j.cnki.csjz.2013.10.071.
- [4] 马骥.电厂设备基础预留孔洞施工工艺研究[J].住宅与房地产,2019,(18):264.