

集成一体式自动制浆装置的应用与实践

王睿恒¹ 王 凯²

1. 中国南水北调集团中线有限公司河南分公司 河南 郑州 450016

2. 中国南水北调集团中线有限公司北京分公司 北京 100089

摘要：在建筑行业领域高速发展的今天，建筑材料的制备技术逐步迭代发展，水泥浆液作为一种常见的施工材料，高效、环保的制备技术需求日益增加。本文介绍了一种卧式散装水泥罐集成一体式自动制浆装置^[1]，该装置结合了现代自动化技术，实现了水泥浆的快速、均匀制备，通过南水北调中线干线防护加固工程中进行实际应用与实践，证明该装置具有安全环保、功效高和成本低等特点，为水利建设行业提供了一种新型的环保、高效解决方案与思路。

关键词：集成一体式；自动制浆系统；自动化；水利行业

引言

水泥浆液是一种常见的注浆材料，广泛应用于各行业建设工程中，在注浆施工中，水泥浆液成品质量及效率对注浆施工的质量有着至关重要的影响，其制备工艺对质量优劣、效率高低占据举足轻重的一环，传统集中制浆站具有占地面积大、成本投入高、制备效率低、质量控制不稳定等缺点，卧式散装水泥罐集成一体式自动制浆装置相比较具有自动化程度高、成本低、功效高等优势，更能适应新形势下的注浆施工作业。

1 集成一体式自动制浆装置的主要技术内容

1.1 主要结构及特点

1.1.1 结构组成

集成一体式自动制浆装置由储料仓、双送料螺旋机、电子称重系统、双轴高速制浆机、输浆泵、储浆桶、管道增压泵、水箱、震动电机、电气控制室等组成。

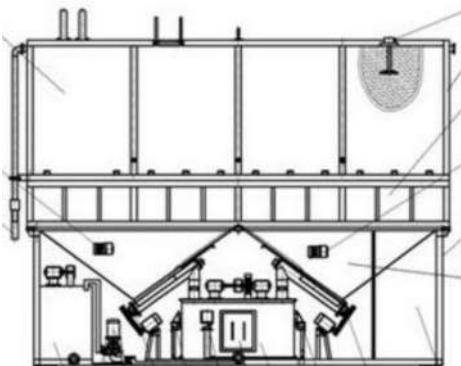


图1 卧式散装水泥罐集成一体式自动制浆装置示意图

1.1.2 系统组成

制浆系统是整个系统中核心，它能把浆料制成要求的稠度和强度。混合器是整个制浆系统的关键，它能将散装水泥与水混合成均匀的浆液。其中，双轴高速制浆机的搅拌叶片采用特殊角度设计，可形成强烈的剪切和

对流作用，使水泥颗粒与水充分接触，避免出现结块现象，确保浆液匀质性。相关研究表明，双轴搅拌结构在浆液匀质性控制上的表现显著优于传统单轴结构，能有效降低浆液离析风险^[2]。

管道系统是整个系统的血管骨架，它负责将水泥、水、外添加剂等送入混合器内搅拌，将成品浆液运输到储浆桶中备用。管道系统由高强度材料制成，能有效提高管道的强度及耐用性。管道连接处采用密封性能优异的法兰连接，配备专用密封垫圈，可有效防止浆液泄漏；同时，管道内壁经过特殊处理，光滑度高，减少浆液流动阻力，降低管道堵塞风险。

控制系统是整个系统的大脑，它可以实现对混合料的制备速度、温度、湿度等参数的自动控制，通过人工输入水灰比，自动计算灰与水的使用量，控制管道系统精确加水、加灰，从而保证浆料的质量与稳定性。控制系统内置多种常用水灰比参数模板，操作人员可根据施工需求直接调用或进行微调，极大提高操作便捷性；同时，系统具备数据记录功能，可实时存储制浆过程中的各项参数，包括加灰量、加水量、搅拌时间等，便于后期质量追溯与数据分析。该控制系统的参数控制精度符合《水利工程水泥灌浆施工技术规范》对自动化制浆设备的要求^[3]。

1.1.3 结构特点

(1) 储料仓结构特点

储料仓顶端装有两根除尘管，含粉尘颗粒气流通过管内雾化水降尘排除，减轻对周围环境的污染。储料仓内壁采用防粘涂层处理，减少水泥粉料在仓壁的附着，降低残留量；仓体外部设有液位观察窗，可直观查看仓内水泥余量，便于及时补料。

(2) 供水、供料结构特点

采用震动下料，双层螺旋输料结构，保证快速供料。供水采用液位计，保证水箱水源充足，增压泵保证供水及时。采用高速轴搅拌系统，保证迅速制浆。双层螺旋输料机的螺旋叶片转速可根据制浆需求进行调节，实现供料量的精准控制；水箱配备自动补水装置，当液位低于设定值时，可自动启动外部水源进行补水，无需人工值守。

(3) 电气控制与软件系统特点

电子称重，保证配比准确无误，各传感器采集数据，软件处理数据，保证数据处理完整有效；软件采用人机交互工程，操作简单方便，生动形象。电气控制系统具备过载、短路、漏电等保护功能，可有效保障设备及操作人员安全；软件界面采用图形化设计，各设备运行状态以动态图标显示，故障时会自动报警并显示故障点，便于快速排查维修。

1.2 工作原理

工作原理是系统通过上层储料仓完成水泥储存，储料仓底部2台送料螺旋机给双轴高速制浆机加灰，水箱通过增压泵给水，电子称重系统与电子传感器采集传输数据，配料计算在软件系统中进行，触摸控制器智能启停控制灰水比，全过程实现自动制浆，最终通过输浆泵将成品水泥浆注入储浆桶备用。整套系统实现智能自动化控制，保确保供浆持续不间断^[1]。

集成一体式自动制浆装置是一种集散装水泥储藏与自动化制浆技术于一体的系统，可实现散装水泥制浆自动加水、自动下灰、自动称重、自动出浆，提高生产效率与质量。

2 应用案例

南水北调中线干线防护加固工程现场灌浆施工采用集成一体式自动制浆装置，灌浆部位处于两排由灌注桩形成的防冲墙之间，整体施工作业面范围大、呈斜坡状，灌浆项目任务重、工期紧，且现场现有作业区域不具备架设集中制浆站的条件，故本项目选取集成一体式自动制浆装置进行散装水泥储藏与水泥浆液制备。

制浆装置在施工现场选址搭建，应满足搭建部位地基稳定、周边施工无干扰、送灰输浆方便快捷等条件，周边设置警示围挡进行场地划分，由专业技术工人进行操作、检修等工作。现场搭设输浆管道与集成一体式自动制浆装置储浆桶连接，通过增压泵和输浆管道，将制浆装置制备出的水泥浆液于储浆桶内，输送至灌浆部位的立式平口搅拌机内，根据水泥浆液固化情况在立式平口搅拌机中适当添加缓凝剂，避免水泥浆液进一步固化，从而达到临时转储与使用的目的。

制浆期间，应安排专人负责集成一体式自动制浆装置的安全与使用，每日启动前应检查储料仓、管道和电气设备等，确保设备仪器的安全正常运转。在该工程中，单台集成一体式自动制浆装置每日可连续制浆约80m³，满足了现场多个灌浆点的同时施工需求，相比传统制浆方式，缩短了灌浆工序的总工期约15天，有效保障了工程的按时完成。同时，由于该装置占地面积小，仅需约20m²的场地即可安装使用，很好地适应了施工现场狭窄、地形复杂的环境，避免了因场地问题导致的施工延误。类似工程实践表明，集成化制浆设备在复杂地形条件下的适应性是传统设备的3-5倍^[4]。

3 应用效果对比分析

3.1 实用性能对比

集成一体式自动制浆装置具有储灰和自动制浆两大功能，普通水泥集中制浆装置还需要增加制浆机、储浆桶、输浆泵等配套设备使用，相对来说集成一体式自动制浆装置更适用于河道等地形复杂的施工部位。

表1 实用性能对比分析表

集成一体式自动制浆装置	普通水泥集中制浆装置
移动方便；	移动困难；
安装简单，地基简单硬化即可；	安装复杂，地基加固处理严格；
集成储灰和自动制浆功能；	配套输灰装置、制浆机等设备；
智能化，操作简单，维修方便；	自动化低，操作复杂，维修困难；
适用范围广。	只适用于场地宽广施工场所，受高度限制。

在实际施工中，集成一体式自动制浆装置的移动仅需一台中型吊车配合即可完成，从拆卸到重新安装调试完毕不超过4小时；而普通水泥集中制浆装置由于设备分散，移动时需要分别吊装运输，重新安装调试至少需要2天时间，大大影响了施工的灵活性和进度。

3.2 安全性能对比

集成一体式自动制浆装置总高度5m左右，普通水泥集中制浆装置水泥罐总高度接近10m，甚至更高，安全隐患大。

表2 安全性能对比分析表

集成一体式自动制浆装置	普通水泥集中制浆装置
高度低，底部与地面接触面积大，对地基承载力要求高，安全可靠；	罐身过高，底部立柱与地面接触，必须混泥土浇筑埋深，安全性得不到保障；
设备集成紧凑，电器及线路有序，用电安全可靠；	储灰、制浆和储浆机构分散，电器线路难以有序布置，用电安全隐患大；
操作人员在专门的控制室内工作，作业环境安全。	操作人员在室外工作，作业环境恶劣，安全得不到保障。

在南水北调工程的应用过程中，遭遇过3次短时大风天气（风力6-7级），集成一体式自动制浆装置未出现任何晃动或位移；而附近施工场地使用的普通水泥集中制浆装置出现了水泥罐轻微晃动的情况，不得不暂停施工进行加固处理，存在较大安全风险。

3.3 环保性能对比

集成一体式自动制浆装置全过程密封作业，最大限度减小噪音和粉尘污染，对环境影响非常小；普通水泥集中制浆装置制浆设备各机构分体链接，链接部位多，密封性差，泄露隐患太大，对环境影响大。

表3 环保性能对比分析表

集成一体式自动制浆装置	普通水泥集中制浆装置
集成一体，全过程密封作业，泄露风险小；	各单元分散，体积庞大，存在更大泄露隐患；
配备吸尘除尘装置，喷淋稀释，及时吸尘除尘；	无吸尘除尘装置，排污管道将废弃浆液注入排污池；

经现场检测，集成一体式自动制浆装置工作时的粉尘排放浓度仅为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，远低于国家规定的 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 排放标准；噪音值约为65分贝，符合施工场界环境噪声排放标准。而普通水泥集中制浆装置由于缺乏有效的除尘措施，粉尘排放浓度高达 $80\text{mg}/\text{m}^3$ ，操作人员需佩戴防尘面具才能工作；噪音值超过90分贝，对周边环境造成了较大影响。

3.4 工效对比

集成一体式自动制浆装置全过程自动化控制，智能化操作运行，制浆效率非常高，工人效率高。

表4 工效对比分析表

集成一体式自动制浆装置	普通水泥集中制浆装置
双螺旋输灰结构，短距离送灰，快速高效；	只能单螺旋输灰结构，长距离送灰，慢速低效；
逆向双轴搅拌机，制浆效率高，一桶浆液1到2分钟左右；	普通制浆机，制浆效率低，一桶浆液5到6分钟左右完成；
全自动智能化控制，自动加水、自动加灰、智能配浆，自动输浆，可实现无人化连续制浆；	难以实现全过程自动化制浆过程，配浆过程复杂，无法实现连续制浆；
移动效率高，整体吊装，随用，省时省工。	移动特困难，再做地基，分别移动，费时费工。
集成一体式自动制浆装置容量约为1200L，效率约为普通制浆机的3~5倍。	立式搅拌机容量多为150~500L。

在南水北调工程中，集成一体式自动制浆装置平均每小时可制备合格浆液 $8\text{-}10\text{m}^3$ ，且浆液匀质性好，经检测其密度偏差不超过 $\pm 0.02\text{g}/\text{cm}^3$ ；普通制浆装置每小时仅能制备 $2\text{-}3\text{m}^3$ 浆液，且由于人工操作误差，浆液密度偏差有时可达 $\pm 0.1\text{g}/\text{cm}^3$ ，需要多次调整才能满足施工要求，严重影响了灌浆质量和效率。

3.5 经济性能评价

集成一体式自动制浆装置采用箱式结构，套装运输，安装简单，运输成本、安装成本和移动成本低，普通水泥集中制浆装置需要配套制浆机等设备，成本高。

表5 经济性能对比分析表

集成一体式自动制浆装置	普通水泥集中制浆装置
安装成本低，安装地基简单硬化处理，直接接好电源线、水管和加灰后就可以使用；	安装成本高，安装立罐地基必须做特殊处理，还必须安装连接输灰装置、制浆机、储浆装置等；
节省水泥用量，水灰比配比精准控制，数据可保存备查可追溯；	容易造成水泥浪费，水灰比配比不精准，可操作性很大，数据不能查；
节省用水用电量，整个设备功率35KW，用水智能化控制。	各个设备连接起来，功率共计50KW以上，用水量难以精准控制。

从经济成本核算来看，集成一体式自动制浆装置的安装地基处理费用仅需约2000元，而普通制浆装置的地基加固处理费用超过1万元；在材料消耗方面，集成一体式自动制浆装置由于配比精准，每吨水泥可多制备合格浆液约 0.3m^3 ，在南水北调工程的应用中累计节省水泥约20吨，折合成本约1.2万元；水电费方面，按每天工作10小时计算，集成一体式自动制浆装置每月可节省水电费约3000元。综合计算，使用集成一体式自动制浆装置相比普通制浆装置，在该工程中累计节约成本超过5万元。

从实用、安全、环保、工效及经济性能等5个方面对比，集成一体式自动制浆装置均优于普通水泥集中制浆装置。

结论

集成一体式自动制浆装置是一种高效、稳定、环保的水泥浆制备系统。该系统结合了现代自动化技术，于南水北调中线干线防护加固工程实际应用，实现了水泥浆的快速、均匀制备，效果显著，保证了灌浆工程的施工质量。

参考文献

- [1]江西大地岩土工程有限公司. 一种卧式散装水泥罐集成一体式自动制浆装置:CN201922010116.4[P]. 2020-09-01.
- [2]李红卫, 张建军. 双轴搅拌制浆设备在水利灌浆工程中的应用研究[J]. 水利水电技术, 2021, 52(8):145-151.
- [3]中华人民共和国水利部. SL 62-2014 水利工程水泥灌浆施工技术规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- [4]赵志强, 王艳. 集成化制浆系统在复杂地形工程中的适应性研究[J]. 施工技术, 2022, 51(12):89-93.