

混凝土拌合设备主要技术发展研究

蒋将

安徽建工新材料科技有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i12.8631

[摘要] 在“双碳”目标和新型城镇化建设的双重驱动下，混凝土拌合设备的技术发展正经历从机械化向智能化、绿色化的战略转型。2020年住房和城乡建设部《绿色建造技术导则（试行）》明确提出推广“低碳混凝土生产技术”，这一政策直接推动了拌合设备在能效提升和资源循环利用领域的技术革新。传统拌合设备的高能耗、高排放问题与当前节能减排要求形成尖锐矛盾，因此，研究混凝土拌合设备的相关技术意义重大。基于此，研究对混凝土拌合工作展开研究，介绍了目前的混凝土拌合设备及主要技术，并从未来的发展出发，分析了混凝土拌合技术的发展趋势，一起进一步提升混凝土拌合质量，为未来混凝土拌合设备的发展提供建议。

[关键词] 混凝土拌合；设备技术；发展趋势

Research on the Main Technological Developments of Concrete Mixing Equipment

Jiang Jiang

Anhui Construction New Materials Technology Co., Ltd.

[Abstract] Driven by the dual goals of "carbon peaking and carbon neutrality" and the construction of new urbanization, the technological development of concrete mixing equipment is undergoing a strategic transformation from mechanization to intelligence and greenization. In 2020, the Ministry of Housing and Urban-Rural Development's "Guidelines for Green Construction Technology (Trial)" explicitly proposed the promotion of "low-carbon concrete production technology, " which directly spurred technological innovations in mixing equipment for energy efficiency improvement and resource recycling. The high energy consumption and emissions of traditional mixing equipment create a sharp contradiction with current energy-saving and emission-reduction requirements, making the study of related concrete mixing technologies highly significant. Based on this, the research explores concrete mixing processes, introduces current mixing equipment and key technologies, and analyzes future development trends in concrete mixing technology. It further aims to enhance concrete mixing quality and provide recommendations for the advancement of concrete mixing equipment in the future.

[Key words] Concrete mixing; Equipment technology; development trend

一、引言

近年来，混凝土拌合设备的技术发展始终与工程建设需求、材料科学进步及环保政策紧密关联。随着全球城市化进程加速，大型基建项目对混凝土性能的要求不断提高，推动拌合设备向高效化、智能化方向发展。工业4.0技术的应用实现了搅拌过程的实时监测与动态优化，而环保法规促使设备升级绿色技术^[1]。混凝土的搅拌均匀程度会直接影响混凝土的质量，因此，在建筑施工中，对混凝土搅拌的技术、设备都有一定的要求，混凝土搅拌是需要运用专用机械来搅拌的；按照混凝土搅拌机的工作性质可以将搅拌机分为“周期性搅拌机”以及“连续作用搅拌机”，按照原理还可以分为“自落式搅拌机”以及“强制式搅拌机”，搅拌机不同，搅拌技术也有所不同。研究针对混凝土搅拌设备及混凝土搅拌技术的发展展开研究。

二、混凝土拌合设备及主要技术

（一）振动搅拌

振动搅拌技术是混凝土拌合设备领域的重要创新，通过引入高频振动能量显著提升混凝土的匀质性和强度性能。该技术采用频率为20-50Hz的激振装置与常规搅拌叶片协同作用，使骨料颗粒在剪切力与振动力复合场中实现微观级混合，可有效破坏水泥颗粒团聚现象，提升水化反应效率^[2]。相较于传统强

制式搅拌，振动搅拌能使混凝土28天抗压强度提高10%-15%，同时缩短搅拌时间约30%，特别适用于高强混凝土和纤维混凝土等特种材料的制备。

振动搅拌示意图见下图1：

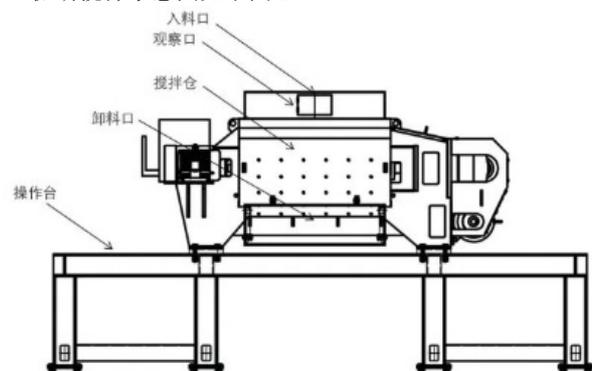


图1 振动搅拌示意图

振动搅拌可以提高混凝土的搅拌效率，主要原因总结见下表1：

表1 振动搅拌优势

优势	原因
破坏水泥颗粒团聚	高频振幅让颗粒处于震颤状态，微观上水泥颗粒被打开并分散，可以改善混凝土的微观均匀性。
提升用水效率	水挥发水化反应和拌合成型两部分作用 ^[3] 。
净化骨料表面	振掉粗骨料石子表面的灰尘，提高石料和浆体的碰撞、摩擦，固液两相之间的界面区得到改善，提高粘结强度。
优化气相生成物	将混凝土中原有的大气泡振成均匀分散的小气泡。
提升混凝土结构的流变特性	降低混凝土拌合物的塑性粘度，材料间内摩擦力大大降低。

该技术对改善混凝土耐久性、抗渗等级和降低水泥用量具有显著效果，现已成为高铁轨道板、核电工程等重大项目的关键技术装备，代表着拌合设备向精细化、高效化发展的重要方向。

(二) 强制搅拌

强制搅拌是混凝土拌合设备的核心技术之一，其工作原理是通过旋转搅拌轴上的叶片对物料施加强制的剪切、挤压和对流作用，实现快速均匀的混合。该技术采用行星式结构，搅拌强度显著高于自落式搅拌，尤其适合高强度 C50 以上、大骨料粒径 $\leq 80\text{mm}$ 混凝土的生产^[4]。

强制搅拌混凝土设备见下图 2：



图2 强制搅拌混凝土设备

在设备中，通过皮带轮将动力传递至二级齿轮变速箱和减速器，最终由两对开式齿轮带动两根水平布置的搅拌轴实现反向等速旋转，确保物料均匀混合。搅拌轴上安装有高强度耐磨叶片，在高速旋转过程中对混凝土施加剪切、挤压和翻动作用，有效提升拌合均匀性和效率^[5]。上料机构采用卷扬机-轨道式设计，由制动电机驱动减速器带动卷筒运转，通过钢丝绳滑轮组牵引料斗沿倾斜轨道爬升。当料斗到达预定高度时，其卸料门滚轮与轨道水平岔道接触，实现自动开锁卸料，物料经导料槽进入搅拌罐内。系统在上料架关键位置设置限位开关，既控制料斗精准定位，又提供过载保护功能。该结构通过机械联锁与电气保护相结合的方式，实现了投料过程的自动化控制与安全防护，显著提高了强制搅拌设备的可靠性和生产效率。

(三) 双卧轴搅拌

双卧轴搅拌是混凝土拌合设备中的高效混合技术，其核心结构由两根平行布置的水平搅拌轴、交错排列的搅拌叶片及密封搅拌槽组成。两根搅拌轴通过齿轮传动实现同步反向旋转，转速通常为 25-35rpm，带动叶片形成复杂的三维物料运动轨迹；一组叶片推动物料沿轴向流动，另一组则实现径向交叉混合，使骨料、水泥和水在短时间内 60-90s，达到高度均匀状态，匀质度变异系数 $\leq 5\%$ 。

双卧轴搅拌机示例图见下图 3。

该技术突破传统单轴搅拌的局限性，尤其适合大骨料、高流动性混凝土的生产，搅拌效率较单卧轴有效提升。现代双卧轴设备如徐工 HZW 系列采用液压驱动和变频控制，可动态调节搅拌强度以适应 C10-C100 不同强度等级混凝土需求，同时配备耐磨合金叶片和轴端气密封装置^[6]。



图3 双卧轴搅拌机

三、混凝土拌合技术发展趋势分析

(一) 应用智能控制技术，降低能耗损失

应用智能控制技术，降低能耗损失可以围绕设备运行全流程的参数优化与精准调控展开，通过集成传感器检测、自动反馈调节和工况自适应匹配等实用技术，实现能耗的精细化管理。在搅拌作业环节，通过在搅拌仓、骨料仓、供水系统等关键部位布置温度、湿度、物料重量及流量传感器，实时采集骨料含水率、水泥用量、搅拌负载等核心数据，结合预设的混凝土强度等级适配参数，自动调整加水比例、搅拌转速和作业时长，避免因人工操作偏差导致的过度搅拌或搅拌不充分问题，既保证拌合质量，又减少无效能耗。系统可以采集大量的生产数据，并根据智能算法进行分析，为生产效率提供关键数据，帮助生产人员了解生产状况，作出决策，思路见下图 4：



图4 智能控制算法思路

针对设备动力系统，采用变频调速技术与负载反馈机制，根据物料混合阻力动态调节电机运行频率，在空载启动、物料混合初期等低负载场景下自动降低转速，在高标号混凝土生产等重载工况下精准提升动力输出，使电机始终运行在高效能耗区间，相较于传统恒速运行模式可降低电能消耗。同时，构建设备运行状态监测体系，通过对搅拌轴磨损程度、润滑油液位、密封性能等关键指标的实时追踪，提前预警故障隐患，避免因设备带病运行导致的能耗激增和效率下降，结合生产任务量智能调度设备启停时间，减少待机能耗，进一步提升整体能效水平，推动拌合设备在节能降耗领域实现实质性突破。

(二) 发展绿色环保技术，应用绿色能源

发展绿色环保技术,应用绿色能源方面,将从污染物源头控制、资源循环利用及清洁能源替代三方面协同发力,推动混凝土拌合设备向低耗、减排、循环的生产模式转型。在污染物治理环节,针对水泥仓、粉煤灰仓等粉尘高发部位,全面配置高效袋式除尘器,通过高精度滤袋拦截粉尘,使排放浓度控制在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下;在骨料输送皮带机、卸料口等易产生无组织扬尘的区域,加装密封罩与高压喷淋降尘装置,减少粉尘扩散。对于柴油动力的移动拌合设备,升级尾气后处理系统,加装颗粒捕提器与选择性催化还原装置,降低氮氧化物与颗粒物排

放,契合环保政策要求。

资源循环利用领域,重点突破建筑垃圾再生骨料适配技术,在拌合设备中增设再生骨料预处理模块,通过振动筛分去除杂质、破碎整形优化颗粒级配,使再生骨料在混凝土中的掺量有效提升;同时构建洗罐废水、砂石分离废水回收系统,经沉淀、过滤、调质处理后回用于拌合用水,水资源重复利用率提升,减少新鲜水消耗与污水外排。

清洁能源应用上,通过多元能源替代降低化石能源依赖,具体适用类型及应用方式见下表2:

表2 具体适用类型及应用方式

清洁能源类型	应用场景	技术实现方式	核心优势
太阳能	固定拌合站	在厂房屋顶、料场顶棚铺设光伏发电组件,配套储能电池	满足照明、控制系统及部分动力设备用电,剩余电能存储供高峰时段使用,降低电网供电依赖
锂电池	中小型拌合设备	以大容量锂电池组替代传统柴油发电机,配套快速充电系统	实现作业过程零排放、低噪音,维护成本低于燃油设备
生物质燃料	大型拌合设备加热系统	将生物质颗粒、生物柴油等替代煤炭、柴油,改造燃烧器	燃料可再生,燃烧过程氮氧化物排放较化石燃料降低

通过上述技术整合,构建起覆盖生产全流程的绿色环保体系,既降低拌合设备对环境的影响,又为行业绿色发展提供可落地的技术路径。

(三) 提升设备模块适配,满足多元需求

提升设备模块适配,满足多元需求方面,将以模块化设计为核心,通过标准化接口、可替换组件及灵活组合架构,打破传统拌合设备功能单一、适配性差的局限,实现对不同工程场景与生产需求的高效响应。

在核心搅拌模块设计上,采用统一规格的搅拌仓壳体与可快速更换的搅拌叶片组件,针对C10-C100不同强度等级混凝土、纤维混凝土、透水混凝土等特殊物料,仅需更换专用叶片,如高强度耐磨叶片适配大骨料、梳齿式叶片适配纤维物料并调整搅拌轴转速参数,即可完成生产切换,无需整体更换设备,切换时间缩短至30分钟以内。

对于上料与配料模块,通过标准化轨道接口与电气控制协议,实现不同规格的骨料仓50t-200t、粉料仓30t-100t及外加剂计量系统的自由组合,例如公路施工可配置3仓骨料+1仓粉料模块满足常规混凝土生产,核电工程则可扩展为5仓骨料+2仓特种粉料模块适配高性能混凝土需求,模块增减无需重构设备基础框架。

同时,开发移动式与固定式通用模块,移动拌合设备的搅拌主机、计量系统可通过快速拆卸结构与固定拌合站的配料模块、控制系统对接,实现移动、固定”两用切换,适应桥梁临时拌合、城市工地固定生产等不同场景。

此外,在辅助功能模块上,预留除尘、降噪、加热保温等接口,北方冬季施工可加装骨料加热模块,市政工程可配套低噪音围挡模块,通过模块按需选配,使单台设备能覆盖房建、基建、特种工程等领域,大幅提升设备利用率,降低工程方多场景作业的设备投入成本,推动拌合设备转型。

(四) 融合数字管理技术,实现周期管理

通过数据整合与流程数字化,构建覆盖设备运行、维护、资源调配的一体化管理体系,打破传统管理中信息孤岛问题,提升设备全周期运行效率与经济性。

在生产过程管理中,为拌合设备加装数据采集终端,实时记录搅拌参数,包括转速、时长、物料消耗骨料、水泥用量、产品质量混凝土匀质度、强度检测数据,并将数据同步至云端管理平台,平台可自动生成生产报表,直观呈现单批次、单日或单月的生产效率与物料损耗情况,方便管理人员追溯质量问题根源,同时根据历史数据优化生产计划,例如依据不同季节混凝土初凝时间变化调整搅拌用水比例,减少因参数偏差导致

的废料产生。

在设备运维管理环节,通过传感器实时监测搅拌轴磨损程度、润滑油液位、电机温度等关键指标,平台基于预设阈值自动发出维护预警,如当搅拌叶片磨损量达到2mm时推送更换提醒,当润滑油液位低于标准值时触发补油通知,避免设备因过度使用或维护不及时引发故障;同时建立设备维护档案,记录每次保养、维修的时间、内容及更换部件信息,形成设备健康状态曲线,为后续预防性维护提供数据支撑,延长设备使用寿命。

在设备报废与资源循环环节,通过数字平台记录设备各核心部件的使用年限、性能衰减数据,评估部件可回收利用价值,例如将未严重磨损的搅拌轴、电机等拆解后经检测修复重新投入使用,对无法修复的部件分类标记材质信息,便于后续资源化处理后,减少固废产生,实现周期管理。

四、总结

综上所述,混凝土拌合设备的稳定运行是保障拌合站高效生产混凝土的关键,其性能优劣直接影响公路工程的施工效率、质量控制和工期进度。随着我国工业智能化转型战略的推进,建筑行业领域正加速向智能化、集成化方向发展,先进拌合设备和自动化技术的广泛应用为工程建设的成本控制、质量管理和施工安全提供了有力支撑。本文通过系统分析混凝土拌合设备在国内建筑工程领域的应用现状,探讨其技术发展趋势,研究成果对提升工程实践水平具有重要参考价值。

【参考文献】

[1]律松.混凝土拌合站机械设备日常维护与故障诊断处理[J].四川水泥,2025(9).

[2]郭健.混凝土拌合站设备的日常维护与故障分析[J].中国科技期刊数据库 工业A,2023.

[3]拉存琪.铁路混凝土拌合问题分析及混凝土质量控制措施研究[C]//教育驱动建筑工程企业文化创新可持续发展研讨会论文集.2025.

[4]陈林,王涛,王华静,等.混凝土拌合站骨料上料管控系统的开发与应用[J].四川水泥,2024(8):8-10.

[5]王磊.混凝土拌合站生产效率提升的技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(4):4.

[6]付博音,刘锦成,张荣华,等.超高性能混凝土室内实验拌合设备性能研究[J].土木工程,2024,13(5):784-791.DOI:10.12677/hjce.2024.135084.

作者简介:蒋将,1980.4,男,安徽,汉族,本科,中级机械工程师,研究方向:机械设备。