

薄层石膏砂浆高精度智能抹灰施工技术研究

王 恒

成都建工第八建筑工程有限公司 四川 成都 610000

【摘 要】：为解决传统建筑薄层石膏砂浆人工抹灰施工精度低、质量不稳定、人工成本高、返工率高的问题，本文研究高精度智能抹灰机器人施工工法。该技术把机器视觉、SLAM 定位、多轴运动控制和智能算法融合起来，可以准确地控制抹灰厚度和墙面平整度，把施工精度从原来的 4 毫米提高到 2 毫米以下。根据实际工程应用数据，对工法原理、施工流程、质量控制和环安全管控等进行论述。通过工程实践可知，该智能施工工法可以很好地避免墙面空鼓、开裂、平整度超标的质量通病，大大减少现场作业人员的配置，缩短施工工期，降低综合施工成本，整体技术达到国内领先水平，适用于各种土木工程抹灰作业，具有很高的工程推广价值。

【关键词】：薄层石膏砂浆；智能抹灰；高精度施工；建筑机器人；施工工法

DOI:10.12417/2705-0998.26.11.061

1 引言

建筑装饰装修工程中，薄层石膏砂浆抹灰由于粘结性好、收缩率小、耐久性好，成为目前墙面找平的主要施工工艺。该工艺对施工厚度、表面平整度和砂浆密实度有较高要求，传统施工方式全部依靠人工完成，施工质量很大程度上取决于操作人员的水平。在复杂的施工现场以及紧张的工期之下，人工批刮很难达到砂浆厚度均匀的效果，墙面找平精度存在较大的波动，很容易造成空鼓、开裂、平整度超差等问题，不但会加大返工成本，还会阻碍建筑装饰工程的提质增效。伴随着建筑智能化技术的不断更新换代，建筑施工中的各种人工智能、高精度传感、自动化控制技术也越来越多。为了克服传统抹灰工艺的不足，项目团队开展了技术攻关，研发出薄层石膏砂浆高精度智能抹灰施工技术，用智能抹灰机器人进行抹灰作业的自动化、精准化施工。经过多项工程实践的优化，形成了成熟的、稳定的标准化施工工法，并且获得了多项国家专利和软件著作权，经科技查新确认，该工法的核心技术在国内没有类似报道，整体水平达到国内领先，可以广泛应用于各种土木工程墙面抹灰施工。

2 智能抹灰施工工法核心特点

2.1 施工精度优异，成型质量稳定

智能抹灰机器人的墙面平整度施工误差比传统人工抹灰 4 毫米的小得多，只有 2 毫米左右。该高精度施工特性很好地满足了薄层石膏砂浆薄涂、高精度找平的施工要求，可以均匀控制砂浆涂抹厚度，有效解决人工施工厚薄不均的问题，从源头上杜绝墙面空鼓、开裂、后期装饰起翘等质量通病，大幅提高墙面抹灰成型整体质量及稳定性。

2.2 全程智能作业，自动化程度高

本工法抛弃了传统的全人工操作方式，用智能化控制系统来完成自动化施工。施工前根据现场工况预设设备行走路线、砂浆供应量、刮抹角度、收面工艺等，设备可以自行完成行走

定位、定量供料、分层刮抹、二次复刮、分段搭接等全过程作业。施工过程不需要人工实时干预，可以很好地避免由于人工操作的熟练程度不同、人为失误造成的质量波动问题，大大提高施工的标准化程度和作业稳定性。

2.3 节约人力成本，降低用工压力

传统的抹灰施工要配置很多熟练的作业人员一起工作，人工成本高、用工不足。使用智能抹灰机器人施工，同等施工工作面可以减少 3 到 5 个现场作业人员，大幅度降低劳务人工成本。有效地解决建筑行业抹灰工种熟练工人短缺、人工成本不断上涨的问题，满足现代化建筑工程降本增效的施工需求。

2.4 绿色低碳施工，环保效益突出

智能抹灰设备运行平稳、振动小，能有效地降低施工噪音污染，改善施工现场的作业环境。同时设备具有精确定量供料功能，可以准确地匹配施工用量，大大减少砂浆浪费，降低废浆、建筑垃圾产生量。机械化封闭式作业可以有效地抑制施工扬尘，全面满足建筑工程绿色施工、文明施工的环保要求以及行业发展的需要。

3 薄层石膏砂浆高精度智能抹灰施工工法工艺原理

3.1 整体作业原理

薄层石膏砂浆高精度智能抹灰施工主要依靠集成高精度传感器、机器视觉模块、多轴运动控制系统、智能调控算法的抹灰机器人设备。利用多系统协同联动的方式，满足薄层石膏砂浆的材料特点和薄层施工工艺的要求，代替传统的手工批刮找平。整体施工按照定位校准、固定机身、定量供料、压力调节、分层刮抹、复刮成型的标准化逻辑进行，使抹灰作业达到自动化、精准化、规范化施工，保证薄层砂浆粘结牢固、厚度一致、表面平整。

3.2 核心作业流程原理

设备作业全过程智能化闭环控制，主要包含五个方面。一

是自主行走校准，设备按照预先设定的路径自行移动，适应现场复杂的地形来实现位置粗略的定位；二是视觉精准定位，利用高清摄像识别现场的激光放线基准，自主微调机身位置，配合顶撑结构完成设备的固定，避免施工偏移；三是智能定量供料，系统根据墙面施工面积自动计算砂浆用量，控制泵车均匀送料，保证供料均匀、无缺料积料；四是动态参数刮抹，根据现场温湿度环境动态调节刮抹机构下压力和推进推力，适应砂浆流动性，保证粘结效果；五是二次复刮收面，采用双模式刮涂工艺改善墙面平整度，消除施工接缝瑕疵。

3.3 砂浆施工参数耦合原理

3.3.1 下压力与砂浆表观流动性成型模型

施工下压力是影响薄层砂浆成型质量的主要参数，主要起到克服砂浆颗粒间摩擦、排出浆体内部空气的作用，保证砂浆与基层紧密粘结。试验结果表明，砂浆表观流动度随着设备下压力的增大而先稳定后急剧下降。下压力不够的时候，砂浆颗粒的摩擦阻力不能被消除，容易产生粘结不牢、墙面空鼓的现象。下压力过大就会挤出浆体内部的游离水，造成砂浆快速失水、流动性失效，产生墙面开裂、起砂等缺陷。施工时通过系统匹配适中的下压力，保证砂浆的流动性以及粘结的密实度，满足薄层抹灰施工标准。

3.3.2 推力与砂浆粘度触变模型

根据施工现场不同的湿度工况，建立施工推力和砂浆粘度的触变关系式。

$$\eta = m + ki$$

式中， η 是砂浆的粘度， m 是基础粘度系数， k 是环境修正系数， i 是设备施工推力。

环境湿度影响推力对砂浆性能的调节效果。低湿度环境里空气干燥、水分蒸发快，施工推力加大就会加快砂浆表面失水速度，使浆体内聚力迅速回升、粘度急剧上升，容易造成墙面刮抹不平整。高湿度环境下水分蒸发速度慢，推力对砂浆流动性改善的效果更持久，砂浆成型更加稳定。智能控制系统可以对现场的环境数据进行实时采集，并且根据这些数据来调整施工推力，从而达到在不同的工况下抹灰质量的稳定控制。

4 施工工艺流程及核心操作要点

4.1 施工工艺流程

本工法标准化施工流程为施工准备、设备行走调节、视觉识别定位、执行机构倾斜调试、砂浆定量供料、机构提升初抹、二次补料、供料头翻转调试、顶距压实抹灰、反倾下刮成型、二次复刮收面、分段搭接收尾施工。各工序衔接紧密，全程机械化、智能化作业，没有多余的工人干预环节。

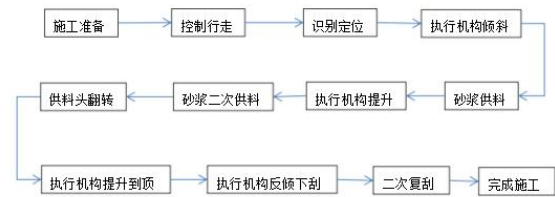


图1 工艺流程图

4.2 核心操作要点

4.2.1 施工准备

施工前做好现场技术、安全交底工作，明确施工标准和安全控制要求。规范储存预拌薄层石膏砂浆，严格控制材料的有效期使用。提前对施工墙面做甩浆、洒水润湿处理，改善基层粘结条件，防止墙面干燥后吸收砂浆水分造成空鼓、开裂。

4.2.2 设备行走控制

按照施工墙面尺寸，在设备控制面板上设置行走路线，使机器人到达作业区。设备具有很好的场地适应性，可以自行翻越1厘米以上的台阶，越过2厘米以上的沟渠，最大爬坡角度为10度，导航定位精度达到1厘米以内，保证作业位置准确。



图2 机器人控制行走



图3 控制面板图

4.2.3 视觉识别定位

提前做好施工现场放线定位，机器人用高清摄像设备自动识别红外线定位基准，自主完成机身位置的精细微调，准确对接抹灰作业面。定位完成后启动顶撑装置，固定机身结构，防止施工中设备偏移，保证抹灰平整度。

4.2.4 执行机构倾斜调试

将抹灰执行机构刮抹面上沿向内倾斜30度，留出砂浆储存空间，保证初抹阶段砂浆储量充足，防止抹灰断层、薄厚不均的问题，为一体化抹灰成型打下基础。

4.2.5 砂浆定量供料

将薄层石膏砂浆装入泵车，用泵管输送至设备储料结构，出料管来回移动实现均匀布料。设备智能计算施工砂浆用量符合要求时，自动停止供应，前端监控装置复核布料均匀度，防止缺料、积料。

4.2.6 分层抹灰与收面施工

设备按照预先设定的程序提升执行机构，距墙顶 30 厘米处开始初抹工作，并且不断补充砂浆保证砂浆连续。初抹完成后进行二次供料补浆，调整供料头向下翻转，避开结构干涉，实现墙面从底部到顶部一次抹灰作业。然后调整执行机构反向倾斜，贴合墙面匀速下刮，完成砂浆找平成型。最后启动二次复刮模式，上行用下沿刮涂，下行用上沿刮涂，改善墙面收面情况，提高表面平整度。

4.2.7 分段搭接施工

单区域抹灰完毕后，操作设备移动到下一个作业面，相邻施工区域搭接宽度控制在 2-3 厘米之间，防止出现抹灰接缝瑕疵，保证整个墙面的完整性、平整度。

4.3 施工材料与设备配置

本工法施工材料及设备配置简单，主要设备智能化程度高，材料符合薄层石膏砂浆施工标准，具体配置见表。

表 1 具体配置

序号	材料设备名称	规格型号	用途备注
1	智能抹灰机器人	通用型	核心抹灰作业设备，实现精准自动化施工
2	砂浆泵车	通用型	砂浆输送、定量供料
3	智能操作器	通用型	参数设置、设备操控、状态监测
4	薄层石膏砂浆	工程专用	墙面抹灰核心施工材料
5	配套浆料	适配型	辅助粘结、找平施工

5 薄层石膏砂浆高精度智能抹灰施工质量控制措施

5.1 质量控制依据与标准

本工法抹灰施工质量验收和管控工作严格按照国家及行业现行规范标准执行，主要包括建筑装饰装修工程质量验收规范、建筑装饰装修工程施工质量验收规范等有关标准条文。根据智能抹灰机械化、自动化施工的特点，在传统的手工抹灰质量控制的基础上，增加设备精度校准、智能参数调节、自动化成型质量等专项控制标准，形成适应智能施工工艺的标准化质量控制体系，保证施工全过程的合规可控。

5.2 施工前期质量管控

正式施工前，组织现场管理人员、设备操作人员、辅助作业人员进行专项技术培训及安全质量交底。确定薄层石膏砂浆抹灰的施工参数、精度要求、验收标准和质量通病防控要点，统一施工和验收尺度。以现场样板墙施工成果为质量评定的主

要依据，规范全员施工操作行为，杜绝人为操作偏差造成的质量问题。

实行材料进场全数质检制度，专人对薄层石膏砂浆、配套粘结浆料等主要施工材料逐个检验。严格查验材料出厂合格证、检测报告、有效期等主要指标，不得使用过期、受潮、性能达不到要求的材料。同时规范材料存放管理，分类规整堆放，做好防潮、防尘保护，保证原材料性能稳定，从源头上控制施工基础质量。

5.3 施工过程质量管控

施工全过程动态控制主要施工参数，根据现场温湿度情况及时调节设备刮抹下压力、推进推力、砂浆供料量等参数，使薄层石膏砂浆的流动性、触变性相适应。严格控制砂浆配比均匀性，保证抹灰层厚度均匀、粘结牢固，防止砂浆配比失衡、参数不匹配造成的空鼓、开裂、起砂等质量缺陷。创建现场动态质量巡查制度，指定专人对设备运行状况及施工成型情况实施全方位的监督。重点检查设备定位准确、砂浆布料均匀、分层抹灰厚度、搭接施工平整度等主要工序，及时纠正设备偏移、供料不均、刮抹不平整等现场问题，保证每一道施工工序都符合规范和设计要求。

5.4 施工后期质量验收管控

单区域或整体抹灰施工完毕后，用专业检测工具对墙面平整度、垂直度、抹灰厚度、粘结密实度等进行检测，保证各项指标符合国家验收规范和项目设计要求。对细微的质量瑕疵及时做精细的修整工作，使墙面形成的一致性、稳定性好。严格落实隐蔽工程验收制度，抹灰基层处理、砂浆底层施工、薄层找平施工等隐蔽工序完成后，必须经过监理和建设单位验收合格后才能进入下一道工序。完整保留施工影像、检测数据和验收记录，保证施工质量全过程可追溯，全面保证抹灰工程整体施工质量。

6 结论

本文所研究的薄层石膏砂浆高精度智能抹灰施工工法，依靠建筑机器人、机器视觉和智能调控算法，完全克服了传统人工抹灰工艺的技术难题。该工法施工精度高、质量稳定，能较好地解决墙面空鼓、开裂、平整度超标的常见问题，大大降低工程返工率。智能化全自动作业模式大大提高了施工速度，减少现场作业人员，解决了行业用工难问题，降低施工材料消耗和人工成本，经济效益较好。同时设备低噪、低扬尘、低废料的施工特点符合建筑绿色施工的发展方向，社会效益明显。经过工程实践的检验，该工法技术成熟、安全可靠、适用范围广，可以用于各种民用建筑、土木工程内墙抹灰施工，整体技术达到国内领先水平。在建筑行业智能化、数字化转型升级的大环境下，该工法有很强的推广应用价值，可以给同类装饰装修工程施工提供可靠的参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 刘远杰,潘晨,王善超,等.建筑装修中石膏砂浆抹灰抗裂施工技术研究[J].中国建筑装饰装修,2024,(21):189-191.
- [2] 张涛,李杰,陈伟,等.磷石膏制备防霉抹灰石膏基建材研究[J].建材发展导向,2024,22(17):6-8.
- [3] 杜飞.装饰装修工程中的粉刷石膏砂浆抹灰技术[J].北方建筑,2024,9(4):47-50.
- [4] 郝宇.轻质石膏抹灰在现代建筑中的实践与效益探讨[J].佛山陶瓷,2024,34(5):45-47.
- [5] 孙浩,龚辉,王首翔,等.墙体建设中石膏砂浆抹灰技术研究[J].中国建筑装饰装修,2024,(1):119-121.