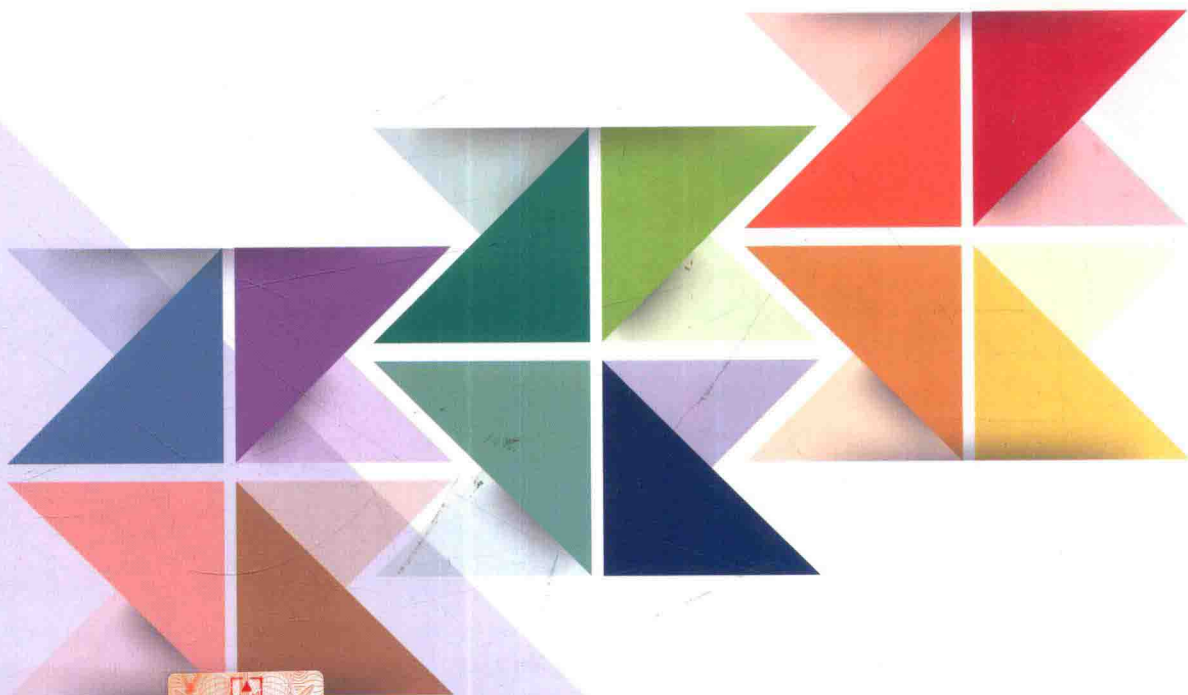


混凝土夹心秸秆砌块 抗震节能 生态宜居村镇建筑

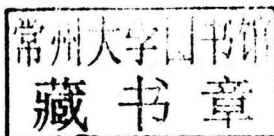
刘福胜 王少杰 著



中国建材工业出版社

混凝土夹心秸秆砌块抗震 节能生态宜居村镇建筑

刘福胜 王少杰 著



中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土夹心秸秆砌块抗震节能生态宜居村镇建筑 /
刘福胜等著. --北京: 中国建材工业出版社, 2018. 4
ISBN 978-7-5160-2200-9

I. ①混… II. ①刘… III. ①农业建筑—混凝土结构—砌块结构—防震设计 IV. ①TU352. 104

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 062710 号

混凝土夹心秸秆砌块抗震节能生态宜居村镇建筑

刘福胜 王少杰 著

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 12.5

字 数: 300 千字

版 次: 2018 年 4 月第 1 版

印 次: 2018 年 4 月第 1 次

定 价: 48.00 元

本社网址: www.jcbs.com 微信公众号: [zgjcgychs](https://www.jcbs.com)

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

混凝土夹心秸秆砌块课题组 核心成员

骨干成员:

刘福胜 王少杰

主要研究、撰写人员:

段绪胜	岳 强	任淑霞	范 军	张玉稳	张坤强
徐宗美	路则光	刘 永	马 飞	邱淑军	张顺轲
王宏斌	张 琳	孙 雷	崔兆彦	宋计勇	张慧瑾
吴 聪	武义馨	封凌竹	温福胜	侯少丹	周 涛
史凤凯	岳艺博	孙国彪	刘 康	侯 凯	

前 言

伴随新型城镇化、农业现代化、农村经济快速发展,居民改善性住房需求增长,结构抗震安全性与居住舒适性是现代村镇建筑发展的必然要求。我国作为农业大国,每年产生约7亿吨农作物秸秆,大量秸秆被焚烧、堆弃,造成严重环境污染和资源浪费;我国同时也处于工业化快速发展进程中,各种工业废料产量存量巨大。如何拓展工农业固体废弃物资源化利用的新途径,是本书撰写的基本出发点;组建跨学科研究团队、解决抗震宜居村镇建筑关键技术、产学研用结合推动研究成果应用为本书的最终落脚点。

砌块材、建筑节能、结构抗震是抗震宜居村镇建筑的三个决定性因素。为此,本书首先论述了利用工农业固体废弃物生产制作系列节能砌块的关键技术,包括利用农作物秸秆冷压制备节能且具有吸放湿特性的夹心秸秆压缩砖、利用小麦秸秆研制生物质基复合保温砂浆等;其次,从节能承重一体化、降低热桥效应、免模板施工等角度开展了砌块块型优化与新型砌块研发,提出了多种类型的新型利废节能砌块;伴随研究工作的深入开展,以利废节能砌块为基础,提出了自保温暗骨架承重墙新型抗震村镇建筑结构体系,该种结构体系具有保温隔热性能好、抗震性能优越、施工工艺简单、造价低等优点。

本书是作者和团队成员近十余年来在新型建筑材料与抗震节能村镇建筑结构领域研究成果的总结,全书共分为三篇10章。第一篇是混凝土夹心秸秆砌块的研究与开发,包括:第1章是关于夹心秸秆块的制备工艺、生产装备、水分挥发规律及质量控制标准研究;第2章是关于新型混凝土空心砌块的研发,简要介绍了肋对齐咬合式混凝土空心砌块、保温型混凝土空心转角砌块和保温隔热型混凝土圈梁模板砌块的基本构造和特征;第3章介绍了混凝土夹心秸秆砌块的构造与块型优化。第二篇是混凝土夹心秸秆砌块墙保温与节能;第4章是关于混凝土夹心秸秆砌块墙体的热工试验、数值模拟与对比分析;第5章是关于玻化微珠-小麦秸秆复合保温砂浆、小麦秸秆-镁水泥复合保温砂浆的研制与性能研究;第6章是混凝土夹心秸秆砌块墙体热湿传递的试验研究与数值分析。第三篇是混凝土夹心秸秆砌块砌体结构,包括:第7章是保温承重型砌块砌体轴压性能研究;第8章是节能承重砌块砌体偏压性能研究;第9章是节能承重砌块砌体抗剪性能研究;第10章是以示范工程为背景,开展自保温暗骨架承重墙结构体系的抗震与节能性能研究。

本书可作为高等院校土木类专业师生研发新材料、新结构的参考书,可应用

于村镇建设与设计及性能评价,为新型建材、建筑节能、结构静力性能及抗震性能研究提供有益参考。本书还作为新农村建设过程中的技术参考书,为村镇建筑新型建材与结构体系的研发推广提供直接借鉴。

本书的研究工作得到了住房城乡建设部科研计划项目(2010-K1-27)、山东省科技发展计划项目(2009GG10009060、2012GNC11401、2013GNC11403)、山东省自然科学基金项目(ZR2013EEM002、ZR2017BEE022)、山东省农业重大应用科技创新项目(SDNYCX1531963)、山东省农业科技成果转化资金项目等的资助,作者表示衷心的感谢!

本书成稿得到了很多师长、朋友和同仁的鼓励与支持,他们是:同济大学肖建庄教授、法国里尔大学卞汉兵教授、北京交通大学朱尔玉教授、山东省建筑科学研究院崔士起研究员、青岛理工大学于德湖教授、山东大学王有志教授、山东建筑大学周学军教授、山东科技大学孙跃东教授、山东省工程咨询院李铁增高工等,在此向他们表示衷心感谢!感谢山东路达试验仪器有限公司在设备研发与示范工程建设方面提供的支持!感谢山东农业大学和水利土木工程学院领导和同事的帮助与支持!团队成员段绪胜、岳强、任淑霞、范军、张玉稳、张坤强、徐宗美、路则光等老师直接参与了部分课题研究,在此表示衷心感谢!研究生刘永、马飞、王少杰、邱淑军、张顺轲、王宏斌、张琳、孙雷、崔兆彦、宋计勇、张慧瑾、吴聪、武义馨、封凌竹、温福胜、侯少丹、周涛、史凤凯、岳艺博、孙国彪、刘康、侯凯等先后直接参与了本书的有关研究工作和资料整理,在此一并感谢!本书撰写期间,作者引用或参考了很多国内外同行发表的专著、论文等科研成果与资料,限于篇幅,不能逐一列出,作者特借此机会向各位作者表示由衷感谢!感谢中国建材工业出版社提供出版机会,感谢编辑老师刘京梁的辛勤付出和努力工作!

本书是建立在课题组十余年研究工作基础上的总结,很多成果仅限于作者当前的研究和认知水平,未必成熟;此外,限于作者的水平和能力,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正!

刘福胜 王少杰

2018年1月于泰山脚下

目 录

第一篇 混凝土夹心秸秆砌块的研究与开发

第 1 章 夹心秸秆压缩块	3
1.1 夹心秸秆压缩块制备工艺	3
1.1.1 原材料	3
1.1.2 加工工艺流程	3
1.1.3 冷压成型变形	3
1.2 夹心秸秆压缩块生产装备	4
1.2.1 原理	4
1.2.2 结构	4
1.2.3 使用方法	6
1.2.4 示范推广	6
1.3 夹心秸秆压缩块干燥过程中水分挥发规律研究	6
1.3.1 小麦秸秆压缩块水分挥发规律研究	6
1.3.2 间距对小麦秸秆压缩块水分挥发规律的影响	9
1.4 夹心秸秆压缩块质量控制标准研究	13
1.4.1 变形量研究	14
1.4.2 小麦秸秆压缩块蠕变特性研究	15
1.4.3 小麦秸秆压缩块霉变过程试验研究	16
1.4.4 秸秆压缩块耐火性能研究	19
第 2 章 混凝土空心砌块	21
2.1 肋对齐咬合式混凝土空心砌块	21
2.2 保温型混凝土空心转角砌块	22
2.3 保温隔热型混凝土圈梁模板砌块	23
第 3 章 保温承重型混凝土夹心秸秆砌块	25
3.1 混凝土夹心秸秆砌块的构造	25
3.2 混凝土夹心秸秆砌块块型优化	25
3.2.1 热桥的传热形式及传热机理	25
3.2.2 优化思路	26
3.2.3 优化设计考虑的因素	26

3.2.4 材料选用及技术性能	27
3.2.5 混凝土夹心秸秆砌块的制作	28

第二篇 混凝土夹心秸秆砌块墙及建筑节能

第4章 混凝土夹心秸秆砌块墙体热工性能	31
4.1 混凝土夹心秸秆砌块墙体热工试验	31
4.1.1 试验装置	31
4.1.2 试验原理	32
4.1.3 测试仪器	33
4.1.4 测点布置	35
4.1.5 墙体砌筑与系统运行	36
4.1.6 结果分析	37
4.2 混凝土夹心秸秆砌块/墙体稳态传热数值分析	38
4.2.1 基本理论	38
4.2.2 混凝土夹心秸秆砌块/墙体的有限元模型	40
4.2.3 混凝土夹心秸秆砌块/墙体温度场分析	41
4.3 结果与分析	44
4.3.1 模拟结果与试验数据的对比	44
4.3.2 混凝土夹心秸秆砌块内部温度分析	45
4.3.3 砌块表面热流分析	50
4.3.4 砌块热工性能影响因素分析	51
第5章 复合保温砂浆研制及性能研究	54
5.1 玻化微珠-小麦秸秆复合保温砂浆	54
5.1.1 试验原材料	54
5.1.2 试验方法	56
5.1.3 小麦秸秆碱处理	58
5.1.4 小麦秸秆对水泥砂浆性能的影响	61
5.1.5 玻化微珠-小麦秸秆复合保温砂浆正交试验	63
5.1.6 玻化微珠-小麦秸秆复合保温砂浆配合比优化	67
5.2 小麦秸秆-镁水泥复合保温砂浆	72
5.2.1 试验原材料	72
5.2.2 小麦秸秆-镁水泥复合保温砂浆各因素掺量范围的确定	73
5.2.3 小麦秸秆-镁水泥复合保温砂浆正交试验	79
5.2.4 小麦秸秆-镁水泥复合保温砂浆基础配合比优化	83
5.2.5 镁水泥原材料来源分析	85

第 6 章 混凝土夹心秸秆砌块墙体热湿传递	87
6.1 混凝土夹心秸秆砌块墙体热湿传递试验研究	87
6.1.1 研究对象	87
6.1.2 试验设备	88
6.1.3 传感器的安装	90
6.1.4 试验墙体的砌筑	91
6.1.5 试验方法	92
6.1.6 数据采集	93
6.2 试验结果与分析	93
6.2.1 墙体两侧温度不同湿度相同	93
6.2.2 墙体两侧温度相同湿度不同	100
6.2.3 墙体两侧温(湿)度均不同	102
6.2.4 迁移特性分析	106
6.2.5 小结	109
6.3 数值模拟	110
6.3.1 复合墙体热湿性能模拟软件 HMCT1.0	110
6.3.2 试验组 1 模拟与试验结果对比分析	111
6.3.3 试验组 2 模拟与试验结果对比分析	112

第三篇 混凝土夹心秸秆砌块砌体结构

第 7 章 保温承重型砌块砌体轴压性能研究	117
7.1 试验设计	117
7.1.1 试验目的	117
7.1.2 试验方案	117
7.2 试验现象与结果	120
7.2.1 试验现象	120
7.2.2 试验结果	123
7.3 试验结果分析	124
7.3.1 保温承重型砌块砌体抗压强度影响因素分析	124
7.3.2 砌体抗压强度分析	124
7.3.3 砌体弹性模量分析	126
7.3.4 芯柱插筋与砌块变形分析	128
第 8 章 节能承重砌块砌体偏压性能研究	130
8.1 H 型节能砌块砌体偏心受压性能试验研究	130
8.1.1 试验概况	130

8.1.2	试验装置与加载	133
8.1.3	试验结果及分析	134
8.2	H 型节能砌块砌体偏心受压强度计算及工作过程	142
8.2.1	影响砌体偏心受压强度的因素	142
8.2.2	砌块砌体抗压强度工作机理分析	143
8.2.3	砌块砌体抗压承载力计算	144
8.3	H 型砌块砌体偏心受压有限元分析	147
8.3.1	建模基本理论	147
8.3.2	计算结果与分析	151
8.3.3	公式验证与高宽比	157
第 9 章	节能承重砌块砌体抗剪性能研究	159
9.1	试验设计	159
9.1.1	试验方案	159
9.1.2	试件制作与加载	159
9.2	试验结果与分析	160
9.2.1	试件破坏形态	160
9.2.2	破坏过程分析	162
9.3	影响因素与工作机理分析	162
9.3.1	砌块砌体抗剪强度的影响因素	162
9.3.2	砌块砌体抗剪机理分析	163
9.4	抗剪强度计算	164
9.4.1	砌块砌体抗剪强度理论模型与公式	164
9.4.2	抗剪强度计算公式分析及修正	166
第 10 章	村镇建筑结构抗震与节能	168
10.1	工程概况	168
10.2	振动特性测试	170
10.2.1	振动测试方案	170
10.2.2	振动测试结果分析	171
10.3	有限元模型建立	172
10.3.1	材料本构关系的选取	172
10.3.2	单元选取与模型建立	173
10.4	模态分析	173
10.5	反应谱分析	174
10.6	动力弹塑性分析	175
10.6.1	地震荷载施加与算法选择	175
10.6.2	地震作用下结构拉压损伤分析	175
10.6.3	地震作用下结构应力分析	177
10.6.4	地震作用下结构应变分析	179

10.7 保温节能性能测试与评价	179
10.7.1 试验概况	179
10.7.2 试验结果与分析	180
10.7.3 DeST 能耗模拟分析	183
参考文献	185

第一篇

混凝土夹心秸秆砌块的研究与开发

第 1 章 夹心秸秆压缩块

1.1 夹心秸秆压缩块制备工艺

1.1.1 原材料

夹心秸秆压缩块以小麦秸秆、玉米秸秆等农作物秸秆为主要原材料，以石灰浆作为胶粘剂，采用冷压技术制备而成。该种材料可以利用大量农作物秸秆，属生物质基节能建筑材料，具有保温隔热和吸（放）湿等特性，作为夹心材料内置于混凝土空心砌块的孔腔内，可以从根本上解决普通混凝土空心砌块墙体易开裂、保温隔热性能差、不宜居等突出问题。

1.1.2 加工工艺流程

夹心秸秆压缩块采用冷压技术制作，加工工艺流程包括以下步骤：

第一步：量取

量取水和石灰浆，将水加入到石灰浆中充分搅拌成石灰水，再称量粉碎的小麦秸秆。

第二步：拌料

将拌匀的石灰水少量多次地加入到小麦秸秆中，充分拌匀。

第三步：称料

称取拌制均匀的混合料，装入模具，启动秸秆压缩成型机冷压制作夹心秸秆块。

第四步：脱模养护

秸秆压缩成型机保压一段时间后（通常保压 1min），脱模得到夹心秸秆压缩块；随后进入干燥养护环节，自然通风条件下 14d 可达到内置封装条件。

1.1.3 冷压成型变形

冷压成型的原理是借助冷压机对农作物秸秆和石灰浆的混合料施压，混合料内部的空隙随压力的增大而减小，当混合料变形达到一定程度时，大颗粒在压力作用下破裂变成更小的粒子，并发生变形或塑性流动，颗粒开始充填空隙，粒子间更加紧密地接触而互相啮合，使石灰浆与相邻颗粒粘结，经压缩成型得到具有一定形状的压缩块，即夹心秸秆压缩块。

从农作物秸秆纤维与石灰浆的拌合料到具有稳定尺寸的夹心秸秆压缩块，主要包括冷压和干燥工序。其间，压缩块会发生一系列的物理和化学变化，并伴随着一系列的外形尺寸变化。主要的冷压成型变形类型是：

（1）压缩变形

石灰浆和小麦秸秆纤维均匀搅拌后装进模具内，在压机上冷压成型。由于原料是比较均匀一致的，所以在压缩变形中长、宽、高在各自方向上的压缩是均匀的。只是加压方向是垂直向下的，高度方向受到的压力比较大；而长度、宽度方向受到的是侧压力，压力比较小，纤维在三个方向上的压缩比是不同的。在冷压时间内，石灰浆和秸秆纤维主要是机械力混合，

伴随有石灰浆的固化带来两者之间的胶合。

(2) 弹性恢复变形

弹性恢复变形开始的时间是卸压后的瞬间，持续时间短。在卸压脱模后，由于外加压力的消失，冷压成型的压缩块会发生弹性变形，外形尺寸会增大。这是压缩块发生变形的主要原因之一。相关研究表明，弹性恢复变形在压缩块变形量中占的比重比较大。

(3) 固化变形

石灰浆是胶结材料，固化时把小麦秸秆纤维粘结在一起。在固化过程中石灰浆中的氢氧化钙与空气中的二氧化碳发生化学反应生成碳酸钙和水，压缩块尺寸会增加。

(4) 蠕变变形

由于压缩块是黏弹性材料，在压力恒定（压力为零）的前提下，随着时间的推移产生蠕变变形。

(5) 干缩变形

在干燥过程中，水分蒸发，压缩块尺寸变小。

在不同的时间段内，各种变形影响的比重不同；在同一时间段内，有些变形是同时存在的，有些只有一种变形。前面时间段内发生的变形对后面发生的变形有直接或间接的影响。在冷压时间内，主要是压缩变形；如果冷压时间较长，则伴随有固化变形。在卸压时，主要是弹性恢复变形。在脱模后干燥时，则伴随有固化变形、蠕变变形、干缩变形，三者之间同步发生，共同影响压缩块的变形。

压缩变形会影响到后续的弹性恢复变形、固化变形、蠕变变形、干缩变形。尽管从理论上分析，压力、温度、时间对压缩变形都有影响，但是冷压时间是主要因素。压力使石灰浆分子、水分子和秸秆纤维紧密接触，增大三者的界面面积，促进它们的胶结。但在模具和砌块尺寸一定的前提下，压力主要使小麦秸秆混合料压缩成一定的形状，或者说压力对砌块成型的作用是固定的。温度会影响分子的运动速度从而影响到固化速度。但冷压成型时，温度为大气环境温度，温度从绝对量来说是非常低的，不会使混合料的成分发生质的改变，温度对压缩块最初的成型影响是很小的。而冷压时间对成型的影响较大，时间直接影响到压缩块的塑性变形，而塑性变形是压缩块最终成型的决定因素。所以，对冷压时间与压缩块变形量之间的关系进行研究具有重要意义。

跟踪观察和测试证明，在脱模后的 48h 内，压缩块外形尺寸会持续发生变化，在干燥 48h 后，压缩块的外形趋于稳定。并且，脱模后干燥 48h 时的压缩块尺寸对夹心秸秆压缩块填充具有十分重要的意义，直接影响到秸秆压缩块对混凝土空心砌块的填充效果和保温效果。

1.2 夹心秸秆压缩块生产装备

1.2.1 原理

将粉碎的农作物秸秆、石灰浆和水搅拌均匀，按照一定的压缩比在冷压状态下进行模压成型。其中石灰浆作为胶凝剂具有环保、取材方便、价格低廉的优势，同时由于石灰浆为强碱性又对抑制小麦秸秆压缩块霉变起到了积极效应。

1.2.2 结构

图 1-1 为半自动秸秆压缩成型机，其结构如图 1-2 和图 1-3 所示。

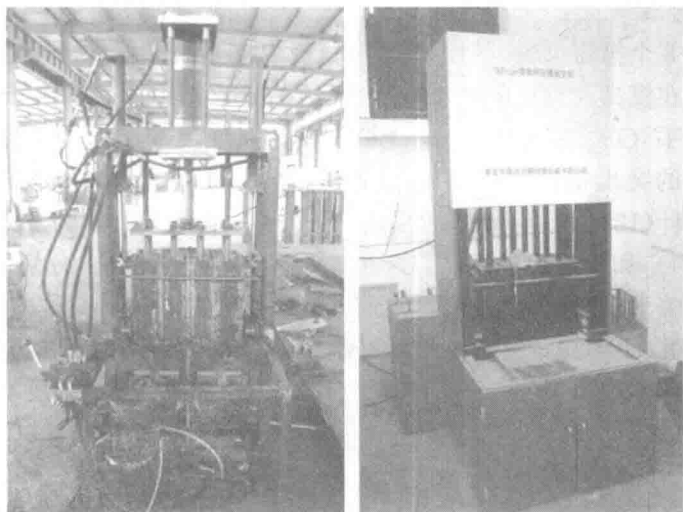


图 1-1 秸秆压缩成型机实物图

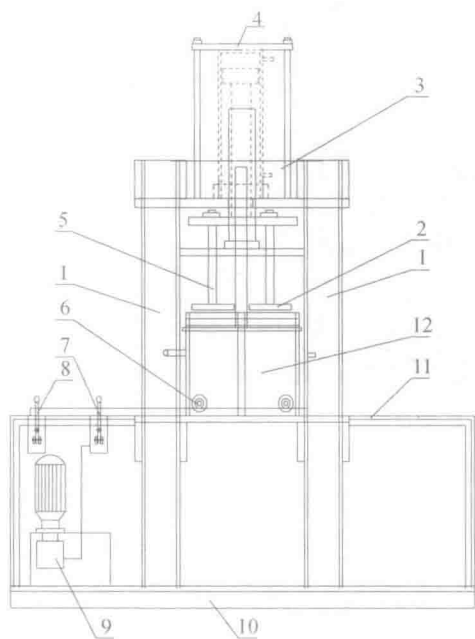


图 1-2 秸秆压缩成型机侧立面图

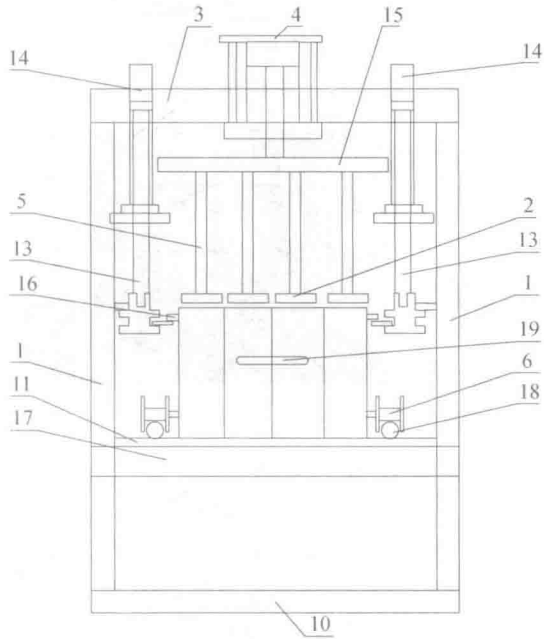


图 1-3 秸秆压缩成型机正立面图

秸秆压缩成型机由立柱（1）、压头（2）、上横梁（3）、压缩用油缸（4）、压杆（5）、滚轮（6）、脱模用油阀开关（7）、加载用油阀开关（8）、油泵（9）、底座（10）、底板（11）、模具（12）、油缸伸缩杆（13）、脱模用油缸（14）、分配梁（15）、模具两侧的突出钢板（16）、中间横梁（17）、导轨（18）、把手（19）等部分组成。

立柱（1）与上横梁（3）、中间横梁（17）、底座（10）焊接在一起，组成整个结构的支撑体系，放置在坚硬且平整的地面上；上横梁（3）上部安装有压缩用油缸（4），压缩用油缸（4）通过分配梁（15）和压杆（5）把荷载作用在 8 个压头（2）上，压缩用油缸（4）由加载用油阀开关（8）控制；压杆（5）的长度可以通过压杆上端的螺母调节，压头（2）也可根据

实际需要灵活更换。

模具(12)由8个箱筒组成,用10mm厚钢板焊接而成,模具(12)的尺寸根据加工秸秆砖的尺寸确定;在模具(12)运动方向的侧面上安装有把手(19),模具(12)下方安装有滚轮(6),通过把手(19)完成模具(12)在导轨(18)上的运动;在模具(12)另外两个侧面上安装有对称的突出钢板(16),油缸伸缩杆(13)通过端部的C形口带动突出钢板(16)所连接的模具(12)上下运动,脱模用油缸(14)由脱模用油阀开关(7)控制。

压缩用油缸(4)和脱模用油缸(14)由油泵(9)提供动力,分别由油阀开关(8)和(7)控制;油阀开关(8)和(7)安装在机器的控制区,与控制区对称的区域为操作区。

立柱(1)、底座(10)由槽钢制作,上横梁(3)、中间横梁(17)由方钢制作,压杆(5)、导轨(18)由实心圆钢制作,压头(2)、模具(12)、分配梁(15)由厚度不等的钢板制作。

1.2.3 使用方法

将模具(12)从导轨上拉出,然后将拌和好的夹心秸秆压缩块原料倒入模具箱桶中,再将装满原料的模具推回原位,使8个压头和箱筒的口径重合。拉动加载用油阀开关(8),由油泵提供动力使压头慢慢下压加载,达到加载要求后关闭油阀开关,对材料保压一段时间(1min)后,拉动脱模用油阀开关(7),由油泵提供动力使模具缓慢上升,由于压头的阻力,秸秆压缩块无法上升,脱模成功,如图1-4所示。

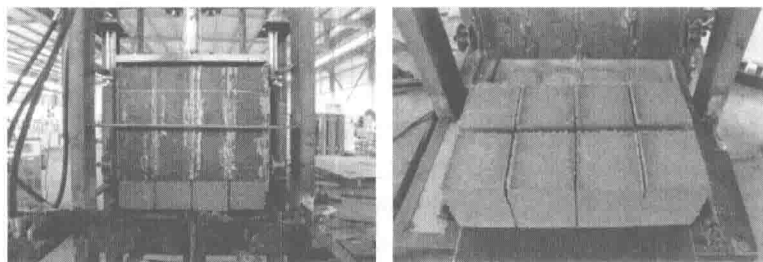


图 1-4 夹心秸秆压缩块脱模过程

1.2.4 示范推广

秸秆压缩成型机提高了砌块的生产质量和效率,解决了工业化推广与应用的设备障碍。为进一步提高秸秆压缩成型机生产效率,在第一代生产机具研发基础上,研发了第二代生产机具,即全自动秸秆压缩成型机,如图1-5所示。经过生产检验发现,研发的两代秸秆压缩成型机,不仅结构简单、使用方便,而且稳定性好、生产效率高、造价低,已取得一定的市场。

1.3 夹心秸秆压缩块干燥过程中水分挥发规律研究

1.3.1 小麦秸秆压缩块水分挥发规律研究

(1) 方法与目的

在具体施工过程中,小麦秸秆压缩块的含水率对墙体的保温隔热性能有显著影响,如果压缩块不经干燥就用于建筑墙体中,会因与混凝土砌块的水分挥发不同步而造成干缩裂缝,