

部分包覆钢—混凝土组合 构件智能化制作工法

工法文本

目录

1 前言	1
2 工法特点	4
3 适用范围	7
4 工艺原理	8
4.1 产品标准化设计及数字化的传输	8
4.2 H型钢机器人智能焊接	8
4.3 型钢机器人自动化下料切割	9
4.4 PEC 钢框架自动组立焊接	9
4.5 箍筋机器人自动焊机	10
4.6 PEC 构件混凝土自动浇筑	11
5 工艺流程及操作要点	12
5.1 总体工艺流程图	12
5.2 部分包覆钢—混凝土组合构件智能化制作工艺操作要点 ...	13
6 材料与设备	26
6.1 主要材料	26
6.2 机械设备配备表	27
7 质量控制	28
8 安全措施	30
8.2 机械设备必须执行工作接地和重复接地的保护措施。	30
9 环保措施	31
9.1 生产环境	31

9.2 噪声控制措施	31
9.3 粉尘减少措施	31
10 效益分析	32
10.1 社会效益	32
10.2 经济效益	32
11 应用实例	35
11.1 官渡3号住宅项目	35
11.2 世博文化公园(双子山)项目	38

1 前言

随着社会经济的不断发展，国家对建筑结构的要求也越来越高，人们对住房舒适性的要求越来越高；为适应社会经济的发展，装配式结构应运而生。目前，行业中主要的装配式建筑分为装配式混凝土和装配式钢结构建筑。装配式预制混凝土（PC 构件）需逐层安装，节点处仍有较多湿作业，施工周期与钢筋混凝土结构相差不多；钢结构建筑防火、防腐、隔音、防震动等处理费用较高，且易凸梁凸柱，影响建筑感官及房屋使用。且构件多是非标设计、构件品种多、加工工艺比较复杂，难以实现批量一体化的工业加工方式。

当前，现代建筑业开始逐渐向高效率、高性能和智能化方向发展，预制装配式技术高效、环保的特点日益突出；再加上智能编程、智能检测等关键技术的突破，也为智能机器人在建筑钢构行业应用创造了条件。联合国内知名高校开展的部分包覆钢—混凝土组合构件（PEC）产品迅速得到了推广，并在各个项目上进行应用；同时通过自主研发和引入先进的自动化构件生产设备，优化构件生产工序，实现了预制 PEC 钢混构件智能化生产线的应用。部分包覆钢—混凝土组合构件智能化制作工法主要优点：

第一、PEC 钢混构件产品设计标准化程度高，采用自动化流水线生产和机械手智能加工，能够保证产品加工质量，减少返修率，降低产品的制造成本。

第二、钢构件产品采用机器人自动下料、自动焊接，根据产品尺寸自动生产焊接参数，能够降低对焊工技能水平的要求，减少焊工人

数，并能提升焊接质量；且在钢结构制作波峰阶段，机器人可以实现 24 小时连续生产，确保项目交货期。

第三、PEC 构件混凝土浇筑采用自动化流水线生产，构件浇筑时通过识别构件模型信息，实现自动布料、自动振捣、自动磨平、蒸汽养护、构件自动翻身等全过程自动化流水线生产。

第四、产品加工数字化程度高，生产全过程基于 BIM 技术和二维码信息化管理，生产信息接入 MES 管理系统，可查询并追踪各构件完成度与生产节点，有利于及时掌握生产信息控制生产进度。

该工法对装配式建筑中设计比较标准化、制作相对比较复杂的钢—混构件的智能制造做了简要的介绍。对该产品生产过程中智能加工工序、关键参数控制、数字化应用、降本增效和保证产品质量方面做了详细研究。实践证明采用智能化机器人加工，可得到质量稳定、优良的产品；且加工效率高、综合成本低，是装配式建筑制造企业转型升级、实现自动化、智能化制造、提高市场竞争力的有效手段。

本工法相关内容已编制中国工程建设标准化协会的《部分包覆钢—混凝土组合结构技术规程》，T/CECS719-2020。

本工法中的 2 项关键技术《PEC 部分组合结构竖向拼接构造及施工方法》和《PEC 结构构件新型防火构造的研究和应用》获得浙江省科技成果鉴定，鉴定结果为国内领先水平。

本工法以多项专利和工程成功应用为背景进行编写，获得国家专利 6 项：

序号	专利名称	专利号
1	一种腹板开孔浇注式部分组合预制构件的制备方法	ZL2017 1 0309420.1
2	一种带T型加劲板的H型钢-混凝土组合剪力墙	ZL2017 2 0501232.4
3	一种腹板开孔浇注式部分组合预制构件	ZL2017 2 0488229.3
4	一种钢混组合剪力墙	ZL2018 2 0927160.4
5	一种部分包覆型钢混凝土剪力墙竖向拼接钢化节点	ZL2019 2 0736580.9
6	一种部分包覆型钢混凝土柱竖向拼接节点结构	ZL2019 2 0736809.9

本工法已经在多个工程项目中成功运用，其中包括：梅山江市政府办公楼、海盐吾悦广场、上海双子山项目、官渡3号住宅项目、拔茅职工之家工程、天圣大越府住宅项目等工程。

2 工法特点

该部分包覆钢—混凝土组合构件（图 2-1、图 2-2、图 2-3）智能化制作工法在国外和国内已经达到领先水平。该产品主要运用于装配式住宅建筑中，此工法主要特点为：H 型钢采用智能焊接流水生产线生产、三维等离子切割机自动下料、PEC 钢构件采用自动设备组焊、PEC 箍筋机器人自动焊接、钢—混构件自动浇筑生产线进行整体浇筑、养护。该工法生产过程中能够达到机器人替代人的作用，有效提高焊接效率、焊接质量和混凝土的浇筑、养护质量。在推广装配式建筑、绿色建筑施工工程和低能耗建筑中具有较大的应用前景。

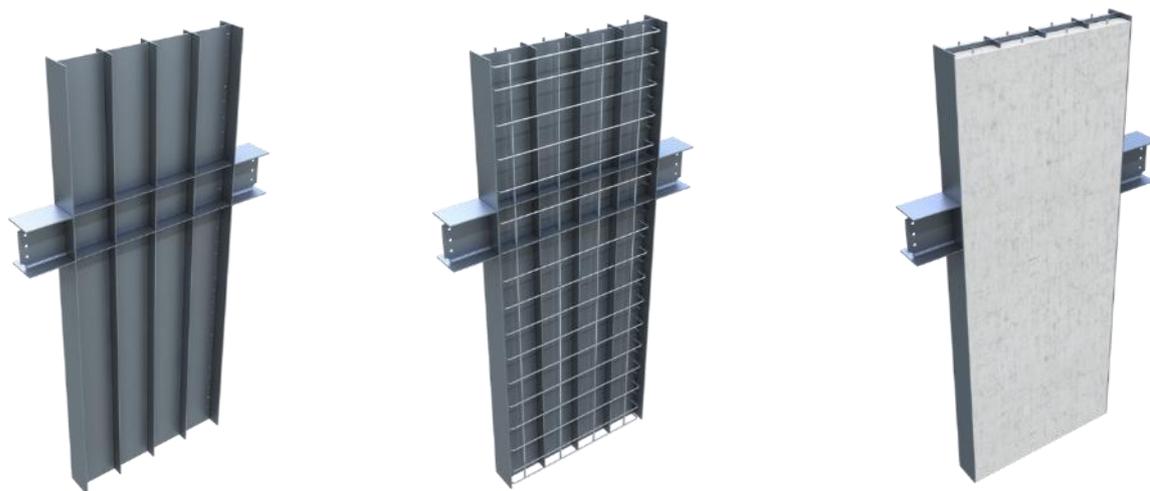


图 2-1：PEC 钢构件 图 2-2：PEC 钢构件（含箍筋） 图 2-3：PEC 钢混构件

2.1 本工法产品下料采用型钢三维等离子切割机下料，通过飞赛普 STEEL PROJECTS 提供的项目管理软件对构件下料进行全面的的管理。可将需下料产品 CAD 图导入 PLM 项目管理模块软件（图 2-4）；从内置图库中找到匹配的图形，并转化为数控加工程序；利用套料软件（图 2-5），将同一规格的不同工件编排到同一支材料上，进行套料加工，可最大限度提高材料利用率。

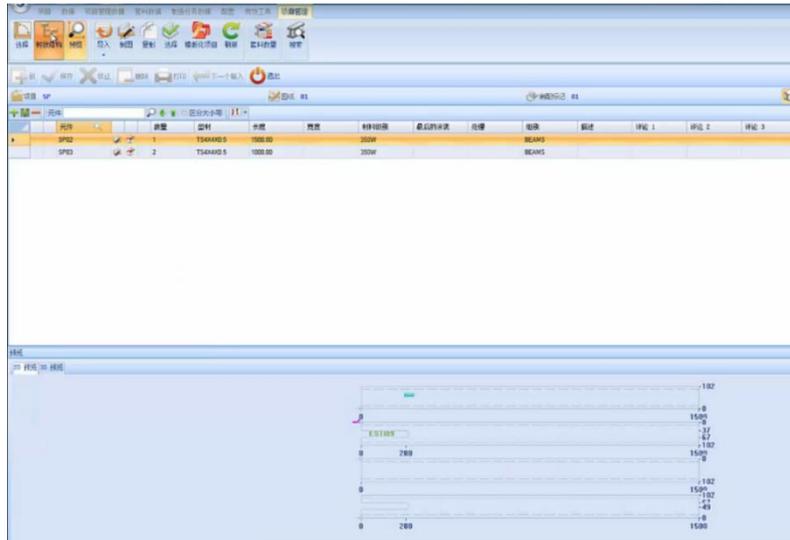


图 2-4：加工图纸导入 PLM 项目管理模块软件

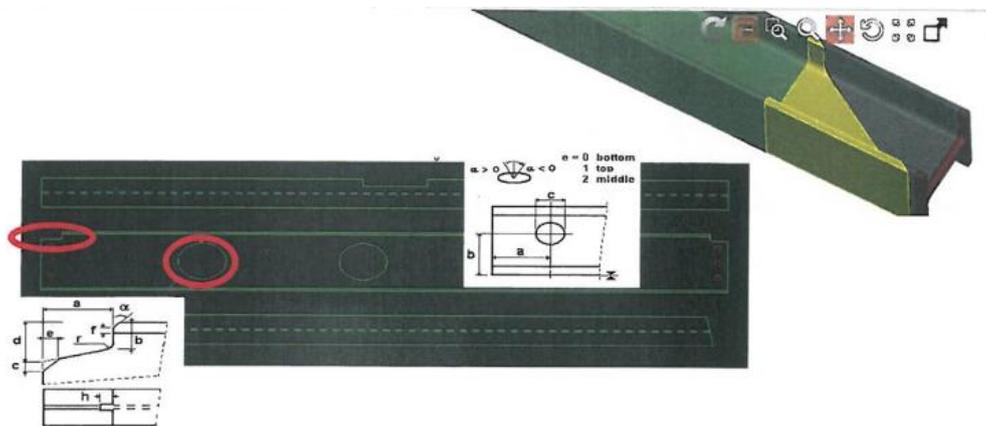


图 2-5：自动套料生成加工程序

2.2 PEC 钢混构件中 H 型钢采用全自动流水生产线进行加工，配置 5 个机器人，实现组立、焊接和矫正一体化加工。PEC 钢构件箍筋焊接采用智能箍筋焊接生产线加工，配置 7 个机器人，实现钢筋自动下料、自动点焊和自动满焊的功能。

2.3 PEC 钢混构件采用全新的自动化浇筑生产线加工完成。该浇筑生产线主要特点为：能够实现 PEC 混凝土自动浇筑、自动振捣、恒温恒湿智能养护、构件自动翻身等智能化加工过程；能够实现 PEC 梁产

品的单面浇筑双面成型技术,明显减少产线加工工人,提高生产效率,保证加工产品品质,满足绿色、低碳施工标准。

2.4 该工法采用数字化的传输和控制方法,生产全过程基于 BIM 技术和二维码信息化管理,通过二维码可查询并追踪各构件完成度与生产节点,有利于及时掌握生产信息控制生产进度;能够降低对工人的技术水平要求,能够减少工人的劳动强度;提升产品的焊接质量,保证产品焊接质量的统一性,是实现制作过程自动化、信息化、智能化的有效手段。

3 适用范围

本工法适用于装配式建筑钢混组合结构的 PEC 梁、PEC 柱和 PEC 剪力墙构件的批量智能化生产加工，能够应用于装配式住宅、办公、公寓等钢混框架结构的多高层建筑，施工方便简单、施工智能化程度较高。

4 工艺原理

4.1 产品标准化设计及数字化的传输

部分包覆钢—混凝土组合构件（图 4-1 和图 4-2）采用标准化结构设计（H 型钢、连接腹板、箍筋等配件设计零件库，可根据组合构件整体设计要求进行选型），产品图纸或加工参数采用 U 盘或网络传输导入，实现无纸化操作。利用设备自带套料、焊接软件，结合设备内置图库，读取输入加工的文件，自动生成切割、焊接、浇筑的加工程序。

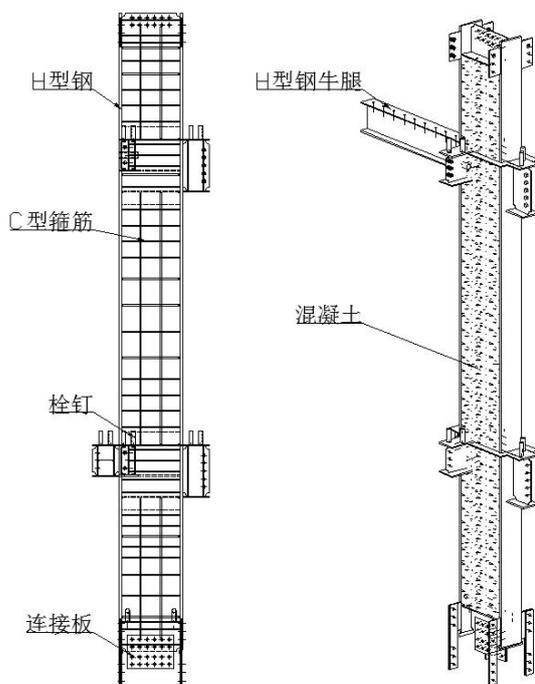


图 4-1：PEC 混凝土柱

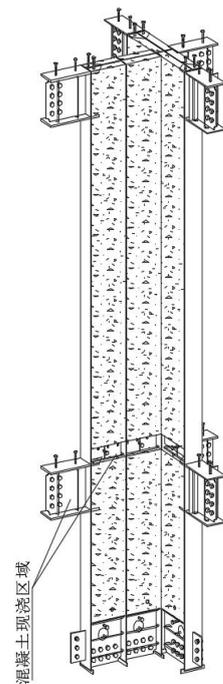


图 4-2：PEC 混凝土剪力墙

4.2 H 型钢机器人智能焊接

首先将切割好的翼板和腹板平吊至上料辊道后启动翼板焊道打磨系统，随后送入 H 型钢预拼装区。腹板通过升降托辊自动升起到翼板中心位置，两侧翼板自动翻转 90 度并夹紧腹板，完成 H 型钢预拼

装。然后，启动上侧机器人手臂定位点焊，下侧两条焊缝采用气动跟踪机构进行定位点焊。

定位点焊完成后，H 型钢通过 RGV 智能控制小车分别送到第一和第二焊接工位的双向翻转机上，由 H 型钢机器人埋弧焊接机进行 H 型钢正面双边埋弧焊接。随后原地 180 度翻转，H 型钢机器人埋弧焊接机再进行 H 型钢反面双边埋弧焊接。焊接完毕后，将 H 型钢送到矫正机区进行双边翼缘矫正并吊离转运。

4.3 型钢机器人自动化下料切割

型钢采用起重机调运至上料胎架上，移缸小车自动将型钢运输至上料辊道，然后夹持机械手将型钢尾部夹紧，将型钢推送至切割机器人处，切割机器人识别套料完成的图形及程序，并对型钢实际外形尺寸进行激光探测扫描（图 4-3），所得的实际构件尺寸与程序相计算相对比，尺寸确认完毕后对产品进行自动切割。切割完的产品通过辊道和移缸小车自动出料。

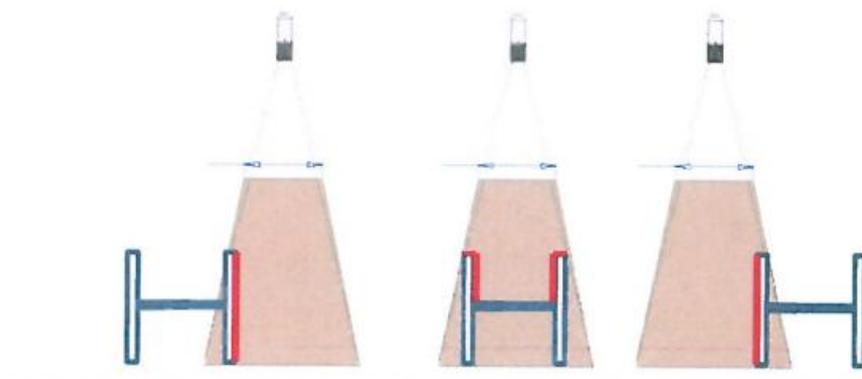


图 4-3：激光探测扫描

4.4 PEC 钢框架自动组立焊接

PEC 钢框架组立主要是将 H 型钢、连接腹板等按照图纸要求进行组立，将 H 型钢、连接腹板和翼板等进行组合，组立成多区格 PEC 钢框架结构。组立完成后自动流转至满焊工位对组立焊缝进行满焊焊接；满焊结束后流转至矫正设备进行构件矫正。

4.5 箍筋机器人自动焊机

PEC 箍筋焊接采用自动焊接生产线，钢筋按照输入的加工程序自动弯箍成型后，机械手臂按大小规格分拣至输送辊道上，随后通过自动上料机将箍筋按固定姿态放置等待上料机械手抓取。

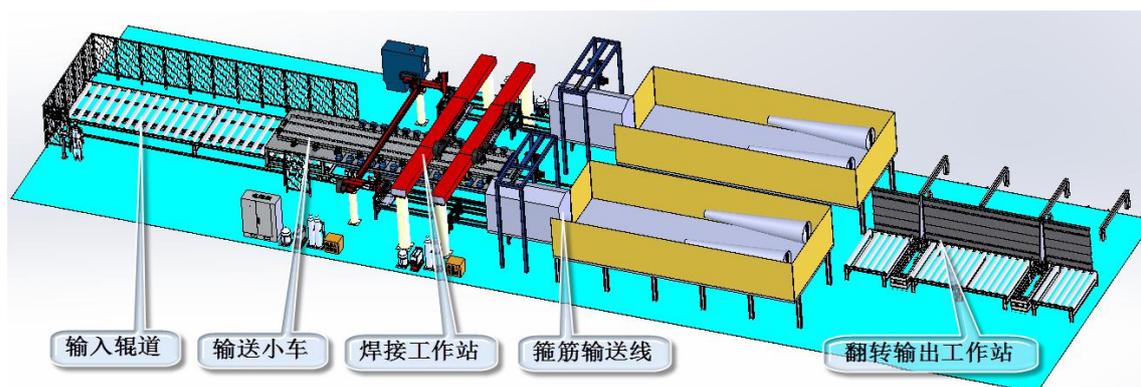


图 4-4：PEC 箍筋自动焊接生产线

将 PEC 钢构件定位并固定在输送工作台上，C 型箍筋上料机械手抓取箍筋，移动至 PEC 钢构件上方，自动启动点焊机器人焊接固定(图 4-5)，随后再进行 C 型箍筋满焊。当 PEC 钢构件正面箍筋焊接完毕，输送辊道将构件运送至自动翻转工作台完成构件翻转，然后完成构件反面 C 型箍筋的焊接。

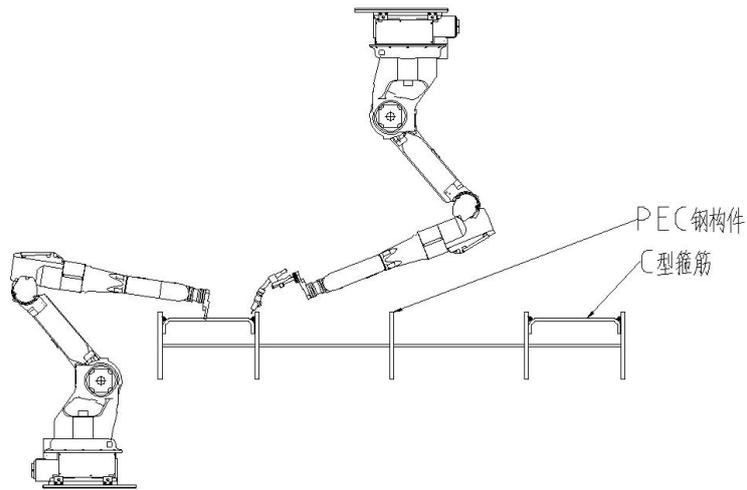


图 4-5：PEC 箍筋自动搬运和点焊

4.6 PEC 构件混凝土自动浇筑

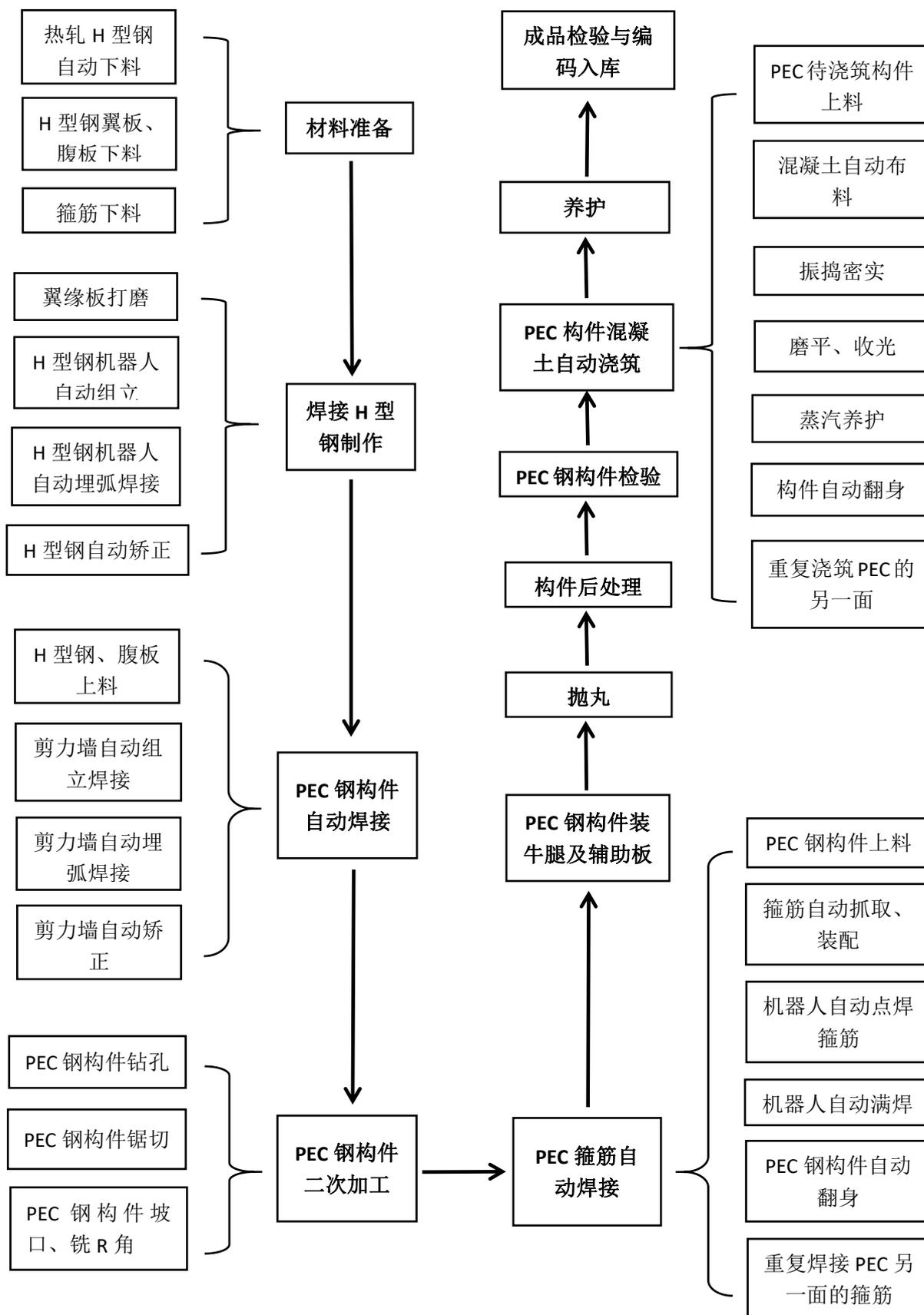
PEC 钢混构件采用自动化浇筑生产线加工完成（图 4-6）。该浇筑生产线主要能够实现 PEC 混凝土自动浇筑、自动振捣、智能恒温恒湿养护、构件自动翻身等智能化加工过程；整个浇筑过程中，均有设备进行移动作业，PEC 构件无需进行工位间的传输，能够减少 PEC 构件混凝土的开裂等问题，浇筑结束后产品信息录入二维码中，转运至专用堆场进行自然养护。



图 4-6：PEC 自动浇筑生产线

5 工艺流程及操作要点

5.1 总体工艺流程图



5.2 部分包覆钢—混凝土组合构件智能化制作工艺操作要点

5.2.1 材料准备阶段

1) 热轧 H 型钢自动下料:采用型钢用数控三维等离子机器人切割设备(图 5-1 和图 5-2),将图纸通过网络或者 U 盘传输至切割设备,设备套料软件对产品进行自动套料并生成对应图纸的切割程序;

切割前对 H 型钢构件外形进行快速激光扫描,自动探测型钢位置,使切割机械手准确定位。能够自动补偿因材料不规整或者变形而产生的位置误差,切割参数会根据扫描的数据进行实际跟踪修正调整。切割后 H 型钢锁口、翼板坡口满足加工图纸的要求。



图 5-1: H 型钢三维等离子切割 图 5-2: H 型钢三维等离子切割

2) H 型钢翼板、腹板下料:采用数控直条火焰切割机将钢板按照图纸要求将整块钢板切割成条板状。

3) 箍筋自动下料:箍筋自动加工输送线(图 5-3)由自动弯箍机、分拣机械手、自动上料机组成。将盘料钢筋按程序设定自动弯箍成型;分拣机械手按大小规格分拣至箍筋输送线上;通过自动上料机将箍筋按固定姿态放置等待机械手抓取。

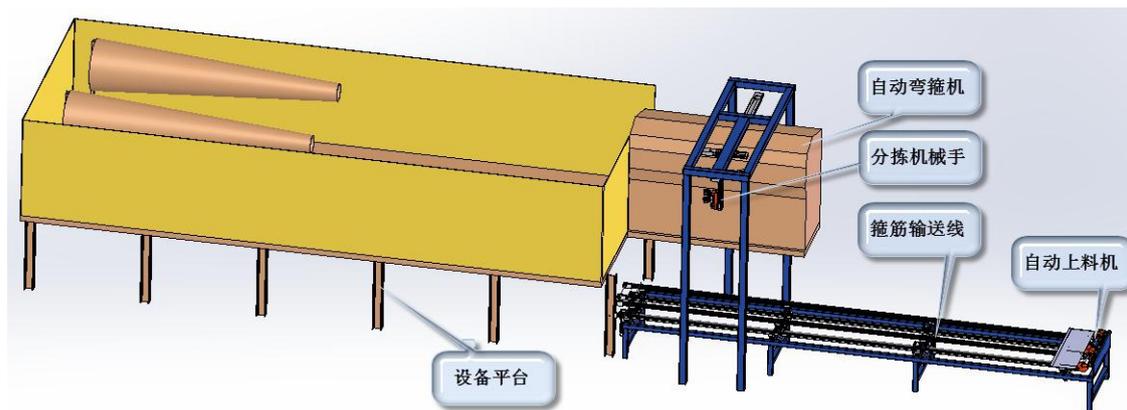


图 5-3：箍筋自动加工输送线

5.2.2 焊接 H 型钢制作

1) 翼缘板打磨： 为保证焊接质量，需要将腹板与翼缘板拼接处的焊道进行打磨。砂带打磨系统在电机的驱动下，通过气缸浮动压紧在翼缘板中心钢板表面上，当翼板通过时，砂带在高速旋转下将翼板表面漆膜清除掉，露出金属光泽。

2) H 型钢机器人自动组立： 采用 H 型钢自动组立装置，将两翼缘板进行自动翻转 90°（图 5-4），然后将腹板自动托升至翼缘板中心位置，自动定位夹紧；启动组焊机器人将 H 型钢腹板和翼板进行点焊组立（图 5-5 和图 5-6）。

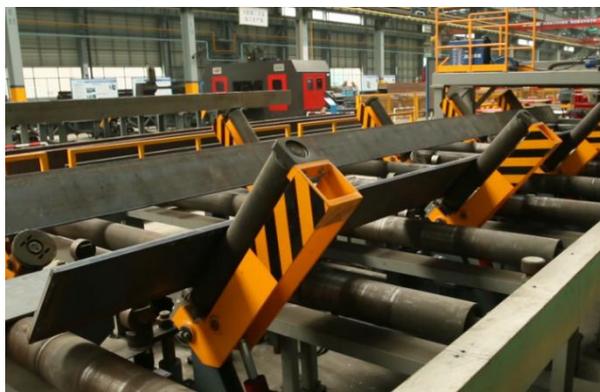


图 5-4：翼板自动翻转



图 5-5：机器人自动点焊



图 5-6：机器人自动点焊

3) H 型钢机器人自动埋弧焊接：完成组立的 H 型钢构件通过 RGV 智能运输小车输送至埋弧焊接工位处；启动埋弧焊接机器人进行焊接（图 5-7 和图 5-8），焊接采用激光跟踪装置，能够快速找准焊缝位置实现埋弧焊焊缝的自动跟踪焊接，完成 H 型钢一侧双边同时焊接；一侧焊接完成后通过自动翻转装置翻转构件，完成另一侧的焊接。



图 5-7：机器人自动埋弧焊接

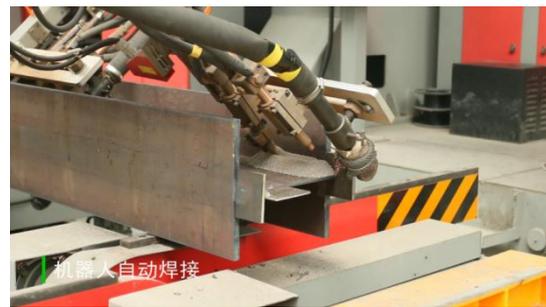


图 5-8：机器人自动埋弧焊接

4) H 型钢自动矫正：H 型钢完成焊接后被转移至 H 型钢矫正机进行焊接变形矫正（图 5-9）。翼板矫正系统的主传动辊作用在翼板中心位置，与翼板上下两侧压轮一起形成 T 形腔体，实现翼板焊接变形的矫

正；腹板导向系统前后分为两组，分别在压轮两侧，随压轮左右分离，工作时，作用在 H 型钢腹板两侧，保持 H 型钢对中不走偏。矫正值通过磁栅尺数字控制，准确无误。



图 5-9：H 型钢自动矫正设备

5.2.3 PEC 钢构件自动焊接

- 1) H 型钢、腹板上料：将待组立的 H 型钢、连接腹板吊装至 PEC 钢构件自动组立设备处，并按要求对产品进行定位。
- 2) 剪力墙自动组立焊接（图 5-10）：将 H 型钢 1 自动向上提升，连接腹板移动至 H 型钢 1 下翼缘处贴合定位，然后启动自动点焊设备将连接腹板与 H 型钢 1 进行点焊组立；连接腹板组立完成后，再将 H 型钢 2 移动至连接腹板下端进行定位点焊，焊接完成后自动流转至埋弧焊接工位。

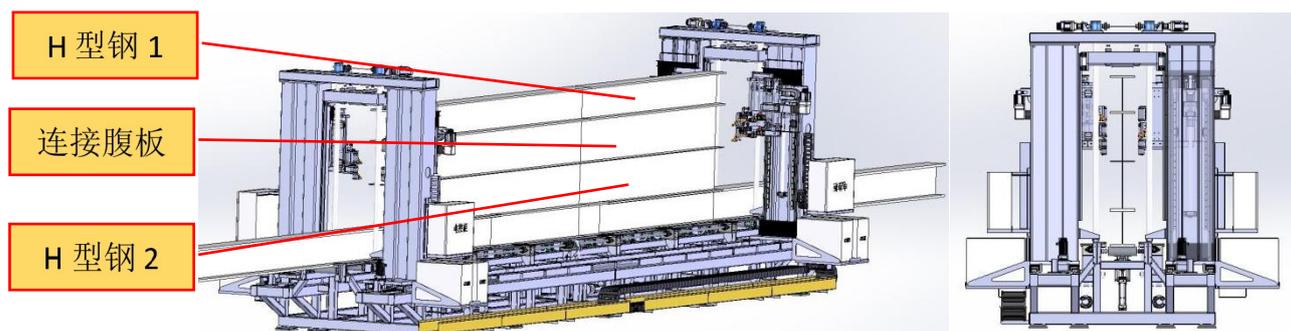


图 5-10：PEC 钢框架自动组立焊接

3) 剪力墙自动埋弧焊接：组立完成的钢框架，自动流转至钢框架埋弧焊接工位，采用自动埋弧焊接设备，依次对点焊处的焊缝进行满焊焊接；一侧焊接完成后，自动翻身完成另一侧的焊接。

4) 剪力墙自动矫正：满焊完成的 PEC 钢框架产品自动流转至矫正设备处，采用专用矫正设备对焊接完的钢框架产品进行腹板、翼板的焊接变形矫正。

5.2.4 PEC 钢构件二次加工

1) PEC 钢构件钻孔：PEC 钢构件主体焊接完成后，需对其腹板、翼板连接端处钻孔加工，采用高速三维钻床（图 5-11），加工数据（NC 文件）通过网络传输至三维钻床，设备通过加工控制软件自动识别加工数据，执行自动加工；加工构件采用机械手夹持、具有自动更换切割刀具的功能，能够实现在 450mm 长度范围内通过多向移动钻孔技术保证钻孔精度。



图 5-11：高速三维钻床

2) PEC 钢构件锯切：根据钻孔时的切割标记定位点，采用激光跟踪技术识别定位点后对构件进行锯切加工。

3) PEC 钢构件坡口、铣 R 角：PEC 钢构件坡口和铣 R 角主要为了保证构件的焊接，加工采用锁口机设备（图 5-12 和图 5-13），加工时采用三个刀具同步加工，保证加工的良好精度。



图 5-12：锁口加工设备

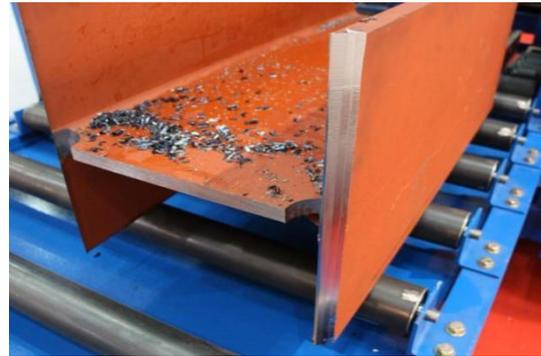


图 5-13：锁口加工构件

5.2.5 PEC 箍筋自动焊接

1) PEC 钢构件上料：PEC 钢构件通过吊装放置辊道上，通过辊道将构件运输至移动工作平台上面，平台上设有定位感应器，能将 PEC 钢构件自动夹紧。

2) 箍筋自动抓取、装配：通过机械手臂自动将分拣库中的 C 型钢筋抓取至 PEC 钢构件上面，并完成与钢构件的自动装配（图 5-14 和图 5-15）；机械手通过左右两个测距传感器和上下测距传感器对 H 型钢两侧翼缘和腹板进行检测，从而自动移动到 H 型钢中心位置；通过旋转电机的旋转，带动 C 型箍筋与 H 型钢翼板接触，达到一定扭矩后停止，完成装配定位。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/767023024044006033>