

新型充气式空心楼盖芯模的生产设备、芯模结构功能及其特色

印 剑¹, 李寅生², 陈锦祥²

¹苏州博观约取智能装备有限公司 江苏苏州

²东南大学 江苏南京

【摘要】为了加快推广已经开始产业化的新型模盒在混凝土空心楼盖中的应用, 本文阐述了自行研发并领跑于世界的充气式模盒--第五代芯模的研发背景、拥有自主知识产权的现场制备技术和第五代芯模系列新产品特色; 第五代芯模是针对同类产品存在的缺点进行创新优化后形成的先进产品, 拥有独特的结构与功能。文中在给出了其配套制备装置的基础上, 阐述了第五代芯模系列产品结构类型、功能, 及其在产品质量、施工劳动量、成本和便利性上的优势。第五代芯模为多年创新研究的成果, 产品种类丰富, 制备体系成熟, 具备多方面突出的综合优势, 应用前景诱人。本文将为推广第五代芯模在建造节能绿色环保现代建筑中的应用起到积极的推进作用, 也为后续在空心楼盖领域的深入研究抛砖引玉。

【关键词】空心楼盖; 空心模盒; 充气式; 轻质建材

【收稿日期】2025 年 11 月 25 日

【出刊日期】2025 年 12 月 20 日

【DOI】10.12208/j.ijms.20250003

New type of air-filled hollow floor void former, production equipment and structure characteristics

Jian Yin¹, Yinsheng Li², Jinxiang Chen²

¹Suzhou Boguan Yuequ Intelligent Equipment Co., Suzhou, Jiangsu

²Southeast University, Nanjing, Jiangsu

【Abstract】 In order to accelerate the promotion of the void former that has started industrialization in hollow floor areas, this paper describes the R&D background of the fifth-generation inflatable void former, field preparation technology and its mechanical characteristics, which is developed by ourselves and leading the world. The fifth-generation of void former is an advanced product with a unique structure and functions, which has been innovated and optimized to overcome the shortcomings of similar products. In this paper, based on its supporting preparation device, the structure type and function of the fifth-generation void former series products are described, and their advantages in terms of product quality, construction labor, cost and convenience. The fifth-generation void former is the result of many years of innovative research, with a series of products and a mature preparation technique, which has many outstanding comprehensive advantages and attractive application prospects. This paper will play a positive role in promoting the application of the fifth-generation void former in the construction of energy-saving, green and environment-friendly modern buildings, and will also contribute to the subsequent in-depth research in the field of hollow core building cover.

【Keywords】 Hollow floor; Void former; Inflatable; Lightweight building materials

引言

随着国民经济的快速发展, 建筑业已成为我国的基础产业和社会经济发展的支柱^[1], 我国建材的用量巨大。据统计, 主要用作楼盖和墙板材料的水

泥, 在 2020 年产量就已高达 23.76 亿吨^[2]; 与此同时, 我国正在大力发展装配式和被动房类建筑。通常装配式建材的部件有一个运输和吊装过程, 因此, 减少部件的重量, 如何达到轻质高强是一个关键指

作者简介: 印剑(1982-)男, 本科, 企业法人, 主要从事空心楼盖芯模研发工作; 陈锦祥(1963-)男, 博士, 教授, 主要从事甲虫仿生结构方面的研究, 邮箱地址: chenpaper@yahoo.co.jp; 李寅生(1998-)男, 硕士, 主要从事秸秆填充甲虫板和空心楼盖方面研究。

标；而被动房的关键就是建筑物能够达到自保温的目标，即拥有足够好的节能保温性能。为了减少建材的用量和研发轻质、节能的建材，学者和工程专家们在进行不懈的努力、已经取得了巨大的成果。例如，空心楼盖就不失为是一个代表性的事例。它属于一种新型楼盖体系，是通过在混凝土楼板中布置永久或半永久性预制薄壁箱体（本文称为“芯模”）后浇筑成型。箱体间混凝土密肋代替梁，与楼面板形成竖向空间分割以及竖向荷载承载构件，不仅具有节省水泥，自重轻、保温效果好的优势、而且还拥有跨度大、施工成本低、抗震性能强等优势。其中，轻质和保温的优势受芯模的形状和大小及其在楼盖中排布方式和排布密度等影响较大。因此，如何研发既优质，拥有建材所需的各种芯模形状，又具有成本低（包括运输成本），生产和安装等方便的芯模就成为当务之急。有鉴于此，本公司从 2014 年开始生产了大众化的拼装式芯模，并在 2020 年首次研发了无需拼装，又可以在现场生产的新型充气芯模，并已经作为轻质经济型节能建材的新秀，于 2021 年开始成功

应用于实际工程。以下将在阐述国内外空心楼盖和芯模的发展历程后，重点阐述拥有自主知识产权的轻质经济型节能建材--新型充气芯模的制备装置、芯模的结构、功能及其特色和工程应用事例。

1 空心楼盖和芯模的发展历程

现浇混凝土空心楼盖的概念源于 60 年代的前联邦德国海德堡工程师 LooPokl, 当初业内称之为 B-Z (德文 Beton-Zellen Platte) 体系^[3], 最早应用于桥梁工程中。到了 1982 年, G. Elliott^[4]利用环氧树脂分别制作了实心板和圆孔空心板, 并通过对两种板材模型进行弹性试验, 提出了刚度系数的近似计算公式。2005 年美国规范 (ACI318-05/IBC2006) 通过对有关空心楼盖的弹性理论分析和试验验证^[5], 对楼板提出了直接设计和等代框架的内力分析法。目前国外企业已形成较为完整的空心楼盖产业, 特别是德国 Cobiax 公司开发的系列轻质空心楼盖芯模产品^[6], 不仅拥有知识产权, 而且已经得到广泛应用, 图 1 为其芯模款式及工程应用事例^[6]。其芯模均为拼装式的, 并以球形或扁平的圆柱形为主 (图 1a)。

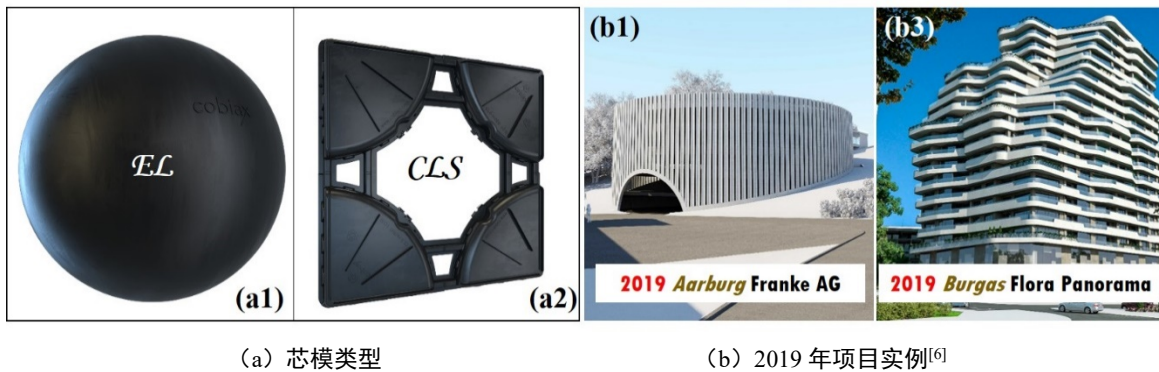


图 1 德国 Cobiax 公司空心楼盖建筑示例

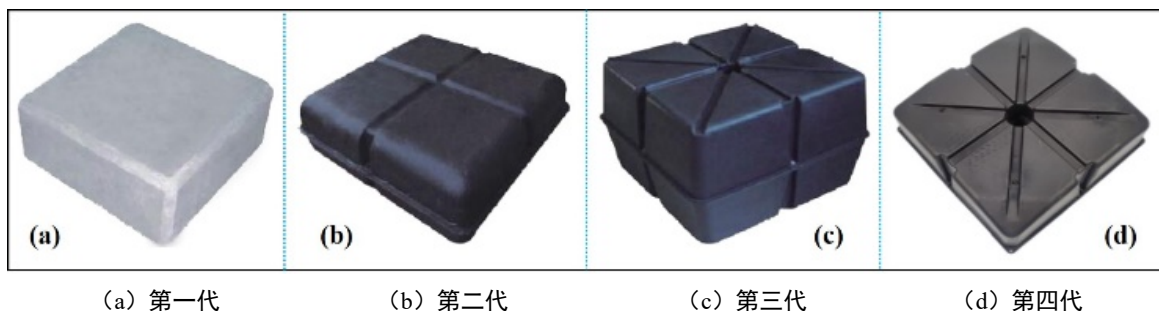


图 2 四代薄壁芯模

我国自 90 年代初期才开始将空心楼盖技术引入实际工程应用，最早研发的芯模是长沙巨星公司开发的 GBF 高强薄壁管^[7]。如今我国已经有不少生

产芯模的企业^[8,9]及其实际工程应用^[10,11]。出现了各种材质和形状的芯模。如以芯模所使用的材料为特征，可将其先后推出的拼装式芯模粗分为如下四代

(图2): 第一代为纤维混凝土材料(图2a), 其虽能够在楼板内形成空腔, 但自重高, 易摔碎, 运输损耗和运输成本过高, 节约混凝土用量和降低碳排放的效果有限; 第二代为PPE材料(图2b), 其PPE抗火性不佳; 第三代为高注合金材料(图2c), 仍然无法解决自重增加、成本飙升的问题。第四代PP芯模是目前市场上流行的芯模种类(图2d)。可见, 尽管每次更新换代克服了前一代的一些缺点, 但又出现了新的问题。特别是都还存在运输成本高, 需

要拼装和壁厚较厚等共性问题。

为了解决这些共性问题, 本公司利用吹塑技术以改性高密度聚乙烯(HDPE)为材料, 首创了领跑世界的吹制一体化多功能充气芯模(我们统之为第五代芯模)及其可在现场生产的便携式模块化吹塑机; 至今已在芯模制备、产品结构、施工安装等领域开发系列专利产品或施工方法, 并已应用于多个项目(图3)。以下阐述便携式模块化吹塑机和第五代空心模盒的结构与特色, 及其在施工和经济上的优势。

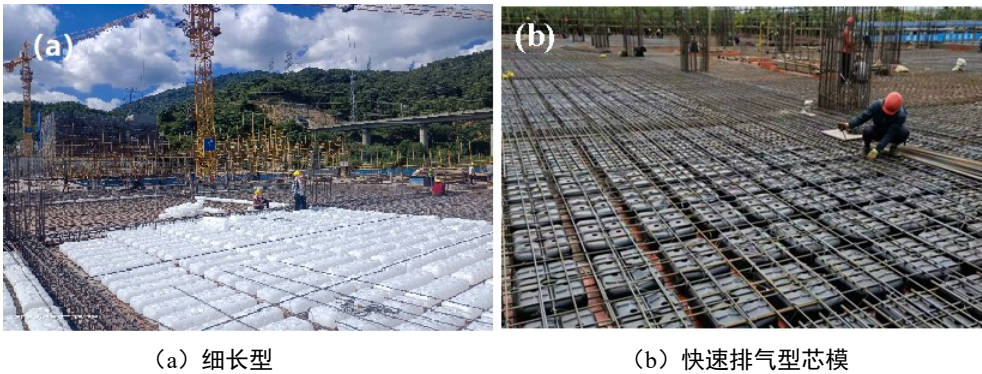


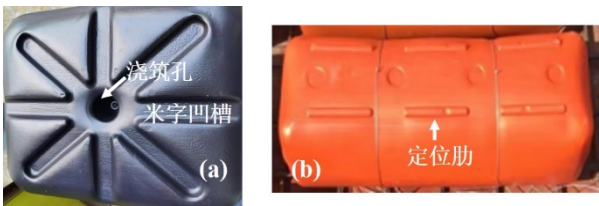
图3 第五代芯模应用项目实例

2 第五代芯模的结构和制备装置及其特色

第五代芯模早期的产品为如图4所示的宽型和长型两类。与前四代上下分成两半的芯模不同, 其最大的特色为充气(约为2个大气压)和一体成型, 而且其生产设备可运至到现场, 在现场直接制备。在此将简述自行研发的第五代芯模的生产设备--便携式模块化吹塑机^[12], 并阐述第五代芯模--经过不断改良的宽型、和细长型系列充气芯模的结构功能、特性及其综合优势。

则完全克服这些缺点, 可运输至建筑工地现场现制备。

本吹塑机由三大模块组成(图5a)。第一模块包括气压液压站、二三模块收纳和工作台(图5b1); 第二模块为挤出装置(图5b2); 第三模块则包括合模装置和取料装置(图5b3)^[12]。只需将第二、三模块固定于第一模块的收纳台(图5b4), 即可将其装载到6.2米长的货车上, 运送至施工现场; 然后, 通过预留拆卸接头将第二、三模块组装至位于第一模块的工作台。整个过程仅需要工人简单的拆分和连接操作, 即可搭建集真空上料、液压挤出、合模吹制、水口(料头)切除、成品取出等工序为一体的吹塑机自动化生产线。本吹塑机不仅显著降低芯模的运输压力和交通成本, 而且也减少吹塑机的运送和安装成本; 同时即便在固定厂房内使用, 因其占地面积小, 也比业内常见的吹塑机节约厂房空间, 可有效提高企业的生产效益。



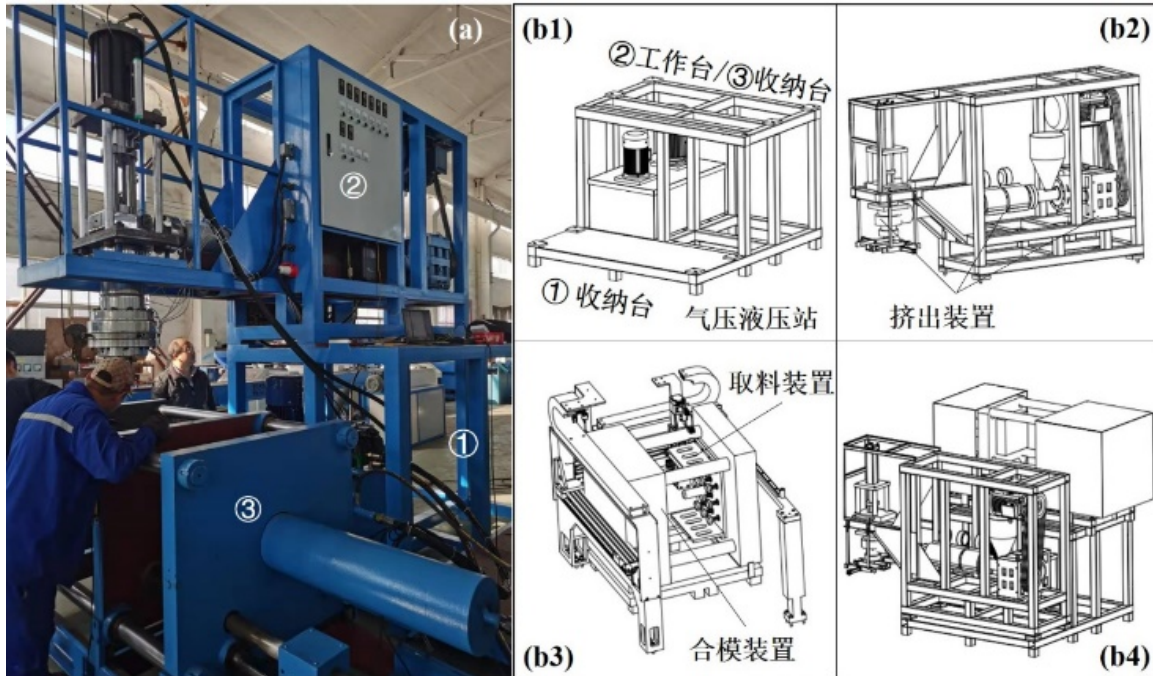
(a) 宽型 (b) 长型

图4 两类初期的芯模结构

2.1 便携式模块化吹塑机

尽管吹塑机本身是业内十分流行和成熟的设备, 但通常存在体积和占地面积大, 运输不便等缺点。而拥有自主知识产权^[12]的便携式模块化吹塑机

值得一提的是, 针对市场上各式各样的空心楼盖体系, 对芯模的要求也是不断变化的。对此, 我们随着时间的推移, 研发了系列拥有自主知识产权的, 尺寸灵活、形状多变的多功能芯模。下面阐述系列芯模结构、功能及其特色。



(a) 整体示意图 (b1) 第一模块 (b2) 第二模块 (b3) 第三模块 (b4) 收纳示意图

图 5 便携式模块化吹塑机^[12]

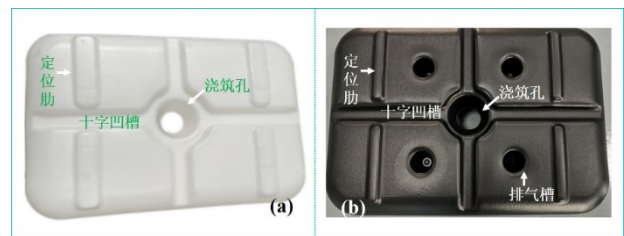
2.2 第五代芯模的结构、功能与特色

第五代芯模可以根据其外形, 方便地进行分类。除了前述宽型和长型芯模外, 还有方形和球形。同时根据工程中的实际需求, 又研发了如快速排气, 耐高温等特定功能的改良型芯模。以下分别进行阐述。

2.2.1 宽型芯模

就宽型芯模而言, 在前期米字凹槽型(图 4a)基础上, 又研发了拥有更大长宽比的宽长型系列芯模, 其代表结构为图 6 所示的宽长基础型^[13]和快速排气型^[14]。在它们光滑的上下表面均开设十字凹槽及均匀分布起到垫块作用的定位肋, 十字中心开设贯穿的浇筑孔槽。其中十字凹槽通过与上下板钢筋的限位卡接将芯模固定在钢筋桁架中的预留位置, 在方便安装的同时起抗沉浮的作用。同图中的定位肋即与芯模形成天然一体化的垫块, 在第四代芯模施工中则为独立的垫块、以起到限制芯模与底板钢筋距离、保证混凝土底板厚度的作用。因此, 这一小小的改进, 起到简化施工步骤, 减少施工周期和施工成本的功效。而浇筑孔既为混凝土向底部灌输提供额外途径, 又为底部混凝土收拢聚集而挤压的空气提供排送通道。由此可保证混凝土浇筑均匀、密实, 并提高增强空心楼盖的可靠性。至于快速排

气型芯模, 则是在芯模的四等分区间内, 又各增设了一个排气孔槽, 拥有了快速排气的功能(图 6b)^[14]。它用孔槽或用带排气孔的隔片将上下气柱槽隔开, 形成横截面为漏斗形的排气孔槽; 或不设隔片, 形成类似于浇筑槽上下贯通的排气孔槽。可根据现场要求灵活应变。



(a) 单孔基础型 (b) 快速排气型

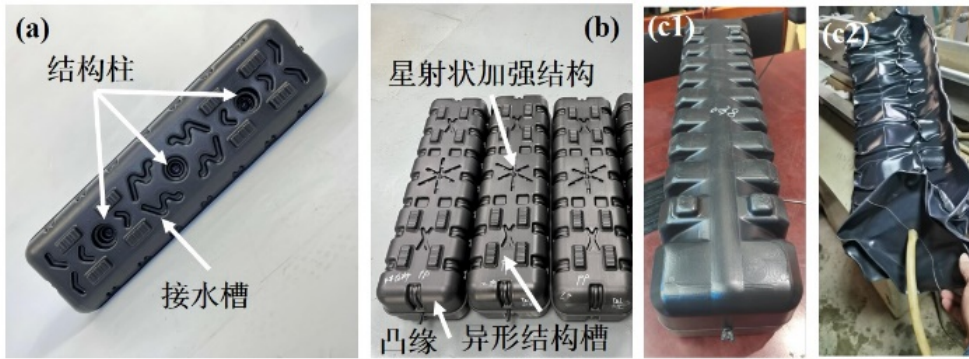
图 6 宽长型系列芯模^[13,14]

2.2.2 长型芯模

就长型芯模而言, 在前期初期上下表面各有多对定位肋的(图 4b)基础上, 又研发了拥有特殊结构的长型系列芯模。其代表结构为图 7 所示的抗高温型^[15]、结构加强型芯模^[16]及可压缩型。前两种芯模(图 7a, b)主要是针对初期芯模表面平坦、且其在长度较长, 其中间位置的顶面支撑较弱, 施工及

浇筑过程中受压或受热易变形的缺点而研发的。所采取的主要对策为在其表面开设多种功能槽(图7)。其中,抗高温型芯模表面内凹形成若干接水槽,以及长度方向阵列的结构柱(图7a)。施工时积水槽向上并保持水平,向芯模表面喷水使水在积水槽内聚集,以起到降温效果,保护芯模不容易因高温变形^[15]。至于结构加强型芯模,是在其表面增加异形结构槽(图7b),从而可以起到分散由不均匀温度分布引起的温度应力的作用。这样在高温环境下可作为积水槽使用,通过喷水和积水起到降温 and 防止表面软化的效果;同时,加强结构芯模中位于顶部

中心的星射状加强结构,可以在人员踩踏、机械撞击和混凝土浇筑的冲击下保护薄弱处;位于转角处的加强筋则可以提高芯模几何稳定性;芯模中的凸缘,将芯模分为上下两个受力单元,并起到分散混凝土挤压应力的作用^[16]。至于第三种可压缩型芯模(图7c),则是为了提高芯模的运输效率而研发的。它拥有可压缩及充气功能,即运输前将压缩,到现场后再进行充气。同时,其两侧拥有成排的倒角式(三角断面,图7c1,三角号)凸缘,由此根据实际需要,也可以通过凸缘间的空隙处将两个芯模捆绑在一起使用。



(a) 抗高温型^[15] (b) 结构加强型^[16] (c) 可压缩型, 其中 c2 为充气情况

图7 长型芯模

2.2.3 其他第五代芯模

本节主要介绍球型和方型等第五代芯模系列产品(图8)。其中,方形多用于作为长型芯模的拆分件使用,即在需要填充空间的长度比长型芯模长度更短时使用。因此,以下阐述球形芯模的结构与特性。

尽管球形芯模是一类业界早已在工程中应用的芯模,但本球形芯模开发的最初动机是为了减缓混合楼盖(仅部分区域使用空心楼盖)中实心区与空心区交界处的刚度、强度等力学性能的突变而开发的。而且,针对球形芯模在安装、浇筑、抗沉浮等方面可能遇到的问题和工程中实际需求,它已经并非是完全球形的芯模,而是一款带有底座、双脚和定位装置的平底球形芯模(图8a)。如图8(a2)所示,其外形近似于一端被削成平面的球体,底座上开有钢筋或钢肋槽和限位卡,并辅以平衡槽和平衡垫脚等稳定部件。限位卡用于接固定于钢网、钢筋笼或底部模板。显而易见,平底和稳定部件远比完全球形芯模稳定、使芯模在安装过程中很容易保持平衡,大幅降低安装操作难度。不仅如此,平衡双脚

和两条凹槽的存在,也非常方便对球形芯模的提取和安置。同时为今后用机器人代替人工操作,实现机械化安装,提供了给机械臂抓取和固定的具体结构。即为实现自动化安装奠定了基础。

在力学和保温性能上,由于球形本身的空隙率(自身的体积)比同尺寸方型(即边长与球直径相同)或长型(指长型宽度与球直径相同)要小,使用球形芯模的空心楼盖将在内部形成三维网状结构,相比于由宽型、细长型和方型等规则六面体芯模作为内模形成的交叉肋,其空心楼盖的空隙率更小,因此,其应力分布更加均匀,应力集中得到大幅缓解,同厚度下楼盖刚度更高,但保温性能也会有所下降。它除了用于作为楼盖中实心区和方型芯模区之间的过渡区之外,也可以作为传统的球形芯模的更新换代的新产品,广泛用于各种装配式空心楼盖体系。在这人口减少、人工紧缺和人工费越来越贵的时代,本平底球形芯模的前述方便安装和有利于机械化安装的优点,有望带来较好的经济效益和社会意义。



(a1) 球形芯模正视

(a2) 球形芯模仰视

(b) 方型

图 8 球型和方型芯模

除了芯模之外,我们还研发了与其配套使用的紧固件及其施工技术^[17,18],包括最新研发的充气式周转芯模,将另作报道。

综上,第五代芯模系列产品是针对同类产品存在的缺点进行创新优化后形成的先进产品,拥有独特的结构与功能及其制备装置。除此之外,相比于现行芯模,在施工工序、劳动量,和节省建材、工程造价等上也有明显优势,并于下节阐述。

3 第五代芯模在施工成本等方面的特色

第五代芯模作为空心楼盖一种,不用说也具备各种同类产品芯模在建筑施工中的优势。如与传统楼盖体系相比,不仅空心楼盖只有扁平梁和暗梁,顶板整齐平整,不需要吊顶遮挡结构、建筑效果好,而且楼盖芯模内部空腔的存在,可起到隔声隔热^[19]。同时还有施工工序简单、劳动量低^[20],和节省混凝土和钢材消耗量、工程造价低的优点。而正如前面已经提及的那样,第五代芯模与前四代上下分成两半的芯模不同,其最大的特色为充气(约为2个大气压)和一体成型,而且其生产设备可运至到现场,在现场直接制备。由此形成了在施工成本等方面其独特的优势与特色。下面重点阐述第五代芯模在产品质量、施工劳动量和成本上比现行芯模的优势与特色。

首先,在产品质量上,第五代芯模完美通过了江苏省建筑工程质量检测中心和苏州市产品质量监督检验院的承载与烟气毒性检测,符合《现浇混凝土空心楼盖结构技术规程》CECS175^[21]的技术要求,烟气毒性满足AQ₁级规定,运输破损率几乎为0。其外表光滑美观,无毒无害,颜色和形状可依据项目要求灵活多变。

其次,在施工劳动量上,第五代芯模彻底摒弃

了历代芯模需要在现场拼装的施工步骤,利用吹塑技术吹制一体化充气芯模,突破了传统生产方式。通过精细设计芯模表面结构,开发配套紧固件,大幅度简化了芯模施工步骤,形成安装方便、效果突出的新型产品。

第三,在成本上,新型一体成型式生产技术所需要的生产成本和运输成本都显著降低。第五代芯模中空腔体保持两个大气压强,以保证方箱饱满不内陷,并可起到辅助箱体承受外部荷载的作用,使箱壁只承担少量荷载。从而箱壁厚度可低至1-1.5mm(现行芯模厚度一般为3-5mm)。相较于第四代产品每立方米自重从48kg,减轻至16kg,即减少三分之二。运输方面,可利用前述的移动式一体芯模成型机,在工地现场生产,从而节约大量的运输成本,可谓是该领域革命性的创新。以生产一万套产品运送至1000公里外的施工现场为例,使用一体成型技术可节约2万度电,节省11车次17.5米卡车的运输工作,约减少4120L燃油燃烧的碳排放。由于工作量和相关成本降低,在实际工程中第五代方箱的综合成本仅为第四代方箱的1/3。

第四,便利性。第五代芯模可将生产线搬运至施工现场、随产随用的生产模式对于预制空心楼盖行业产生较大的影响。流动式生产线相当于移动预制工厂,可随生产项目的变化灵活移动。因此这种临时预制工厂可以免除基础设施建设,缩短预制厂与现场间的距离,依据项目位置合理选址。同时它也解决了预制工厂寿命依赖于周围项目的现状,仅一台模块化可组装式塑制机便可供给一片区域的产品需求。这种离散化生产线也确保了第五代方箱深入乡村,遍布城市和畅销海外的可能。

最后,顺便提一下与同样有充气功能的充式芯

模相比的优势。经过检索,目前市场上很少有同类产品。目前只检索到董等提出的可周转充气式芯模^[22](下文简称为“可周转式”)。它是一种由橡胶和纤维织物结合的双面硫化胶布冷粘而成,充气后如其他芯模一样作为空心楼盖芯模使用。在完成安装、绑扎、浇筑等流程后,泄气并从预留孔洞中回收。相比于现行产品,可周转式具有成本低、外形灵活等特点。但相应的对安全控制和质量控制提出了新要求,如:预留孔洞封口前需进行排水和无水检查;孔洞封堵需密实无缝隙,一旦出现渗漏需重新施工;钢丝接头和绑扎头不能朝内径方向弯曲,以免扎伤芯模;振捣棒需从两侧同时振捣,且不可触碰芯模,以免造成漏气。为满足以上要求需要增加可观的人工成本、监查成本和施工成本。相比于第五代芯模,对施工人员素质、检查频率和力度有更高要求。即可周转式具有成本低、外形灵活等特点,但施工和质量方面,付出更大的代价。而第五代则有拥有如前所述,在产品质量、施工劳动量和成本上的综合优势。特别是经过近几年的工程实际应用和不断改良后,目前已经研发出拥有 7 项自主知识产权的功能性芯模,形成了可以灵活应对不同项目错综复杂的现场情况,形成施工方便、一系列芯模,为建造空心楼盖体系提供了性能优异、领跑于世界的芯模。

4 结论

本文阐述了轻质经济型节能建材--新型充气模盒第五代芯模结构、制备装置、芯模的功能及其优势与特色:

第五代芯模是在历代产品基础上努力改良、大胆创新的产物。无需拼装,为一款可充气(约为 2 个大气压)的一体成型式芯模;自行研发的便携式模块化吹塑机,并可以在现场生产;已经形成了包括宽型、长型、方型、球形等拥有自主知识产权的系列产品。相比于同类产品有产品质量高、施工劳动量少,以及生产和运输成本低的优势。其成熟的充气式一体成型制备技术是其相较历代产品更薄、更轻、更强的重要保障。作为轻质经济型节能建材空心模盒的新秀,为建造空心楼盖体系提供了性能优异、领跑于世界的芯模。相信第五代芯模将在建造节能环保绿色建筑现代建筑中发挥重要的作用。

参考文献

[1] 吴光远:建筑行业对中国社会经济发展贡献突出.

http://www.xinhuanet.com/energy/2019-04/08/c_1124339350.html.

- [2] 百玫. 中国水泥工业碳达峰、碳中和实现路径研究[J]. 价格理论与实践, 2021, 04:4-11.(Bai Mei. Research on the path of achieving carbon peak and carbon neutrality in China's cement industry, Price:Theory & Practice, 2021(04):4-11. (in Chinese))
- [3] Mannheim F V G. B-Z Reinforced Concrete Cellular Plate for One-Way and Two-Way Stress Directions for High Loads and Large Spans[J]. Engineering Design Brochure,1965, 15(3): 89-96.
- [4] Elliot G, Clark L A. Circular voided concrete slab stiffness[J]. Journal of the Structural Division, ASCE, 1982, 108(11):2379-2393.
- [5] ACI Committee. Building Code Requirements for Structural Concrete[S]. American Concrete Institute, 2005, 318-05.
- [6] COBIAX International. <https://www.cobias.com/int/>.
- [7] GBF 高强薄壁管(加劲肋管)及其在现浇砼空心楼盖中的应用. 湖南省,长沙巨星轻质建材股份有限公司,2007-01-01.
- [8] 空心楼盖-长沙巨星轻质建材股份有限公司官方网站(zgjxgf.com).
- [9] 联智科技
<http://www.hnlzqs.com/index.php?m=content&c=index&a=lists&catid=8>.
- [10] 朱金坤,刘斌,贺星新.重竞技体育馆大跨钢筋混凝土结构设计[J].四川水泥,2022, 02:95-97.
- [11] 武亮.空心楼盖技术在施工项目中的应用研究——以甘肃林业职业技术学院综合实训大楼为例[J].四川水泥,2021, 07:334-335.
- [12] 盛灿军. 一种便携式模块化吹塑机: 中国, CN113895018A[P], 20220107.
- [13] 盛灿军. 一种便于施工的混凝土空心楼盖用薄壁方箱: 中国, CN216766440U[P], 20220617.
- [14] 盛灿军.一种便于排气的芯模(在审).
- [15] 盛灿军. 适用于高温环境下的空心楼盖用芯模: 中国, CN218205141U[P], 20230103.
- [16] 盛灿军. 一种用于空心楼盖的结构加强型芯模: 中国,

- CN218205140U[P], 20230103.
- [17] 盛灿军. 一种便于安装的空心楼盖抗浮紧固件: 中国, CN215829746U[P], 20220215.
- [18] 盛灿军. 一种用于空心楼盖薄壁方箱的抗浮紧固装置: 中国, CN215829744U[P], 20220215.
- [19] 汪弼良. 现浇混凝土空心楼盖工艺的技术经济分析[J]. 上海建设科技, 2011, 05:63-65.
- [20] 赵天传. 无梁空心楼盖在某现代化大跨度工业厂房中的应用[J]. 安徽建筑, 2020, 27(1):130-132.
- [21] 《现浇混凝土空心楼盖结构技术规程》CECS175, 2004.
- [22] 董万多, 郭华荣, 刘川, 石林山, 代盟. 可周转充气式芯模在某大型公共建筑施工技术研究[C]. 见: 2022年工业建筑学术交流论文集(上册). 中国北京: 工业建筑杂志社, 2022: 432-434.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS