

延续了简单的设计，预制和施工

槽纹空心砖：简单，却能大幅减少混凝土消耗，提高利润率

Sanabra-Loewe, Marc, Polytechnic University of Catalonia (UPC - Barcelona Tech), Barcelona, Spain

位于西班牙巴塞罗那的工程公司 **Elastic Potential** 开发了一种方法，可以使楼板两端固定，从而将混凝土深度和消耗降低近 **20%**。该方法经过了完整的测试，并受到专利保护，且包括了在空心单元的表面制造出深深的凹槽。一旦用于现场，便可在沟槽板的正上方放置抗负弯矩钢筋，并可以传统方法浇筑至少 **50 毫米** 厚的混凝土。在生产运输板材方面显著降低了成本，使得预制件可以快速摊销生产带槽板材所需的新机器。目前，领先的机械供应商 (**Prensoland**、**Echo** 预制工程、**Ultra-Span**、**Elematic**、**Nordimpianti**、**Spancrete**) 已经拥有生产槽型空心板的设备，或正在开发并计划，并很快将投入使用。

在日常实践中的许多情况下，当地板的两端固定住而不是简单钉子固定时，地板的结构性能会更好。对于空心单元结构楼板，人们在 20 年前就提出了一种固定方案：打开一些空心单元的末端，用混凝土填充它们。然而，目前绝大多数的空心地板都是用钉子固定的，这是因为开孔芯的解决方案更复杂，而且并不像传统的钉子固定解决方案一样便宜。

核心理念：改进结构性能，简化结构

现在，一种被称为沟槽空心地板的简化解决方案已经被开发出来，使得空心地板的固定几乎和传统的钉子固定地板一样简单，但比钉固地板便宜得多。

成品地板可以更为便宜，因为板的深度（和混凝土的消耗）减少了 20%。因此，厚板重量轻了 20%，更容易运输和处理。固定是通过对两种常规固定方式的修改来实现的。一方面，所有的表面上都有深深的凹槽，这一过程需要一个合适的机器（见下面“机器的可用性”一节）。另一方面，当板在现场放置时，考虑负弯矩的钢筋放在板的正上方（不需要垫片），并按惯例浇筑结构平顶（至少为 50mm）（见图 1）。一些相关细节图：钢筋放置在板；将板与梁方便地分

开，让混凝土填满缝隙，负弯矩适当发挥作用；可能需要塞子来防止板上的孔洞被混凝土填满。

即使考虑到需要浇头，使用带槽空心板的地板也比传统的无浇头钉固地板便宜得多。

凹槽空心板的受益者

价值链上的所有参与者都可以从使用凹槽空心技术中获得相关的优势和利润。预制件可以产生更薄的板，通常也需要更少的钢筋。平均而言，与带顶的当前溶液相比，厚板可比常规溶液薄 20%，与不带顶的当前溶液相比，厚板可比常规溶液薄 25%。预应力钢的消耗量平均也下降了 15%。另外，由于平板可以轻 20% 到 25%，它们的运输成本也更低。

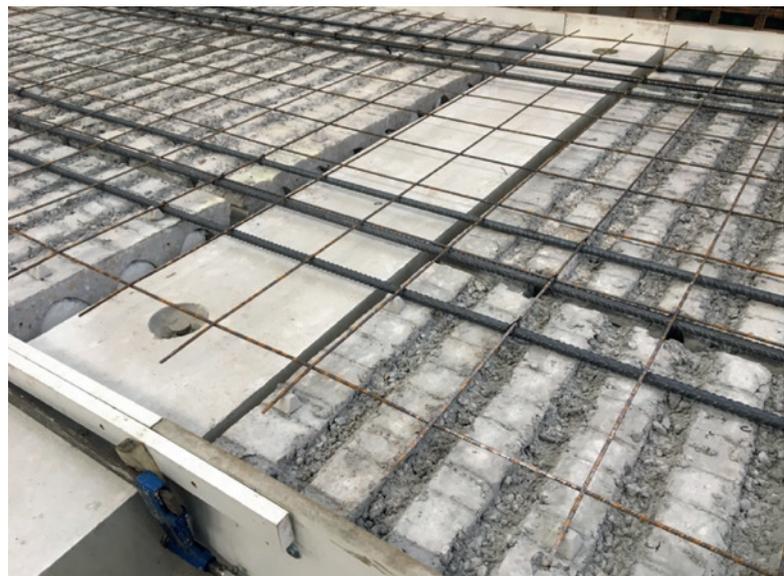


图 1: 混凝土浇头浇筑前开槽空心地板

混凝土预制件生产技术和自动化生产流水线



Marc Sanabra-Loewe, 西班牙巴塞罗那加泰罗尼亚理工大学结构工程学教授 11 年, 2018 年兼任伊利诺伊大学厄巴纳 - 香槟分校教授。15 年来, 一直为巴塞罗那设计公司 MASA+Arquitectura 提供指导, 并拥有优化预制地板系统多项专利, 目前为西班牙公司 Elastic-potential 所持有。

msanabra@elastic-potential.com

如果将较薄的厚板以相同或较低的价格出售 (考虑到两者提供相同的性能), 则预制件可能获得相应的额外利润, 从而显著提高利润率。这些增加的利润已经考虑到这样一个事实: 凹槽空心板 (薄得多) 可以以略低于用销钉固定的等价物 (厚得多) 的价格出售, 以平衡承包商在工作中因放置负强化钢而可能产生的额外成本。

反过来讲, 承包商将不仅受益于较低的楼板价格; 但将受益于这样一个事实, 即楼板更轻: 梁、柱和地基可以减少。此外, 由于楼板较薄 (梁也可能较浅), 结构楼板整体可能较薄 5 厘米 (2") 至 15 厘米 (6")。因此, 建筑的每一层的高度可能会减少相同的量, 这样可以减少立面面积, 从而降低额外成本。据研究, 在欧洲, 综合所有这些成本削减, 并考虑建筑成本 500 欧元 / 平方米到 1000 欧元 / 平方米, 承包商可将成本降低 2 欧元 / 平方米到 6 欧元 / 平方米 (约为整个工作成本的 0.5%)。承包商实际成本的降低取决于地板深度的减少, 地基的类型 (桩或地基) 和每平方米立面的价格。

开发人员和建筑设计师 (建筑师、工程师) 也可以从中得益。与传统的销钉固定相比, 空心板相同深度的沟槽空心板能够承受高达 25% 的额外载荷 (见图 2), 或将跨度增加多达 25%。此外, 设计的自由度可以增加: 由于在跨中切割的板可能从其端轴承悬臂, 因此悬臂梁是可行的, 大开口的板也很容易实现。在图 2 所示的实验工作中, 传统的空心芯测试在浇头剥落后不久就结束了, 此时厚板变成了钉固板。

较轻的楼板在地震条件下也将凸显优势, 因为它们的质量减少了, 梁 - 板节点的延性增加了, 因此渐进倒塌的风险也随之降低。此外, 连续地板也有助于改善防火性能, 因为大部分钢筋 (15% 至 50%) 位于地板的顶面, 这个顶部的钢筋很少暴露于来自底部的热量, 通常是由火 [1] 造成的。

最后, 使用凹槽空心板可以减少 10% 到 15% 的二氧化碳排放来建造地板。这是由于减少了 20% 的混凝土消耗, 并稍微增加了钢材的需求量。这一增长是由于预制单元的一

| 稳定的生产线

| 侧翻站

| 托模循环式生产工厂

| 运输和处理系统

| 多功能制模机械手

| 满足各种要求的混凝土配料系统

| 夯实系统

| 修整设备

| 布模系统

| 特殊要求构件制模

| 车库模块/房屋模块/特殊要求构件模板系统

| 框架建筑系统制模

| 柱模块/桁架模块/TT板模块系统



SOMMER Anlagentechnik GmbH

Benzstraße 1 | D-84051 Altheim/Germany

Tel: +49 (0) 87 03 / 98 91-0 | Fax: +49 (0) 87 03 / 98 91-25

info@sommer-precast.de | www.sommer-precast.de

SOMMER Precast Technology | China Office

Room 510, SOHO-2#, Wanda Plaza, No.1018 Longhao Road,

Jinshan District | 201508 Shanghai | CHINA

Tel: +86 21 50808955

SPTC@sommer-precast.de | www.sommer-precast.de

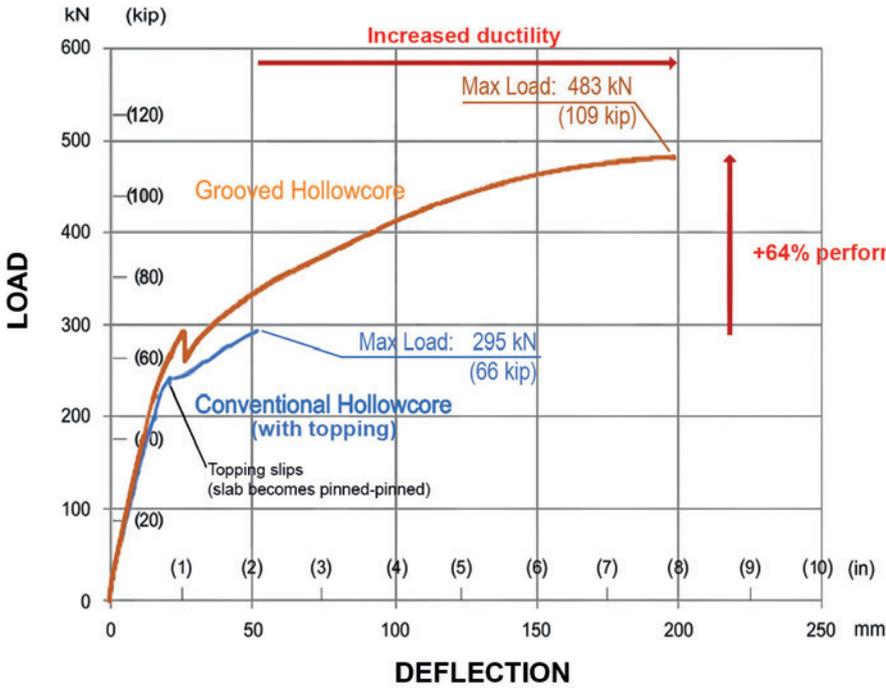


图 2: 加载两个相同楼层时得到的荷载挠度图, 一个使用槽型空心单元, 另一个使用传统空心单元

些预应力钢被现场放置的钢筋所取代, 这些钢筋的强度通常低于预应力钢。

与当前设计规范兼容

大多数设计规范, 包括欧洲规范 (EC-2)[2] 和美国 PCI 手册的空心芯 [1] 的设计, 接受空心地板可以建成固定。这是因为上述通过开孔获得固定性的解决方案已经存在很长时间了。因此, 槽型空心管的新解决方案通常与现行规范兼容。

开槽空心板的原理是混凝土与混凝土连接处 (板与顶面) 的水平抗剪强度。同样, 一些代码 (EC-2 [2]; 美国 ACI-318[3]) 有与这些原则相一致的规定: 混凝土 - 混凝土连接处界面水平剪切强度的规定。

凹槽空心板正在成为现实

经过广泛测试程序的开发技术

这里提出的解决方案是在西班牙瓦伦西亚大学 (UPV)2016 年和 2017 年间的 18 个月里通过一个完整的测试程序后开发出的 (见图 3)。这些测试是由土木工程教授 Pedro Miguel 索萨博士, 土木工程的副教授 Luis Pallares Rubio 博士, 在 Elastic Potential (该公司拥有专利) 的管理下完成的。

该测试程序的主要目的是找到一个可靠的解决方案, 以保证空心板和顶部之间的良好连接。该项目包括小规模试验、中型试验和全尺寸试验。研究的主要变量为: 界面几何形状; 两种混凝土的龄期 (预制和浇筑) 和样本的大小。研究的主要结论之一是空心单元混凝土和浇筑混凝土的不同收缩速度和收缩幅度, 即差异收缩, 显著降低了连接处的水平抗剪强度。这种影响可能导致在非常低的负荷下, 顶部提前脱落。特别是当楼板的收缩率很高时 (例如, 浇筑平时时楼板已经几个月了), 或者平顶混凝土的收缩率很高时 (例如, 平顶的高水灰比, 现场的高温等), 这种情况会发生。这些结果与其他作者的研究结果和结论一致 [4,5,6]。

由国际混凝土联合会 (fib) 编写的规范 [7] 还提到, 在某些结构中, 可能必须考虑差别收缩, 以保证混凝土对混凝土接缝的强度。根据结果, 对板坯上表面进行了各种表面处理: 适度光滑 (由压铸机生产)、拉丝、在板坯表面提供隔离的深孔, 最后在板坯表面提供不同深度的凹槽。只有一种解决方案能够完全克服差别收缩的影响, 并提供可靠和可预测的强度。在板坯的上表面上有深深的凹槽 (20 毫米) 的溶液。该解决方案使浇筑混凝土与预制单元混凝土之间实现了可靠的连锁。当浇筑层的混凝土或预制板的混凝土在剪切作用下断裂时 (这是一种可预测的失效类型, 取决于较少的变量: 混凝土的几何形状和强度), 这一事实证明了这种可靠性。然而, 在任何其他研究的接缝, 浇头的混凝土只是从板的混凝土分离。这是界面上的一个失败, 它的可靠性要低得多, 因为它更难以预测, 因为它取决于更多的因素 (湿度、

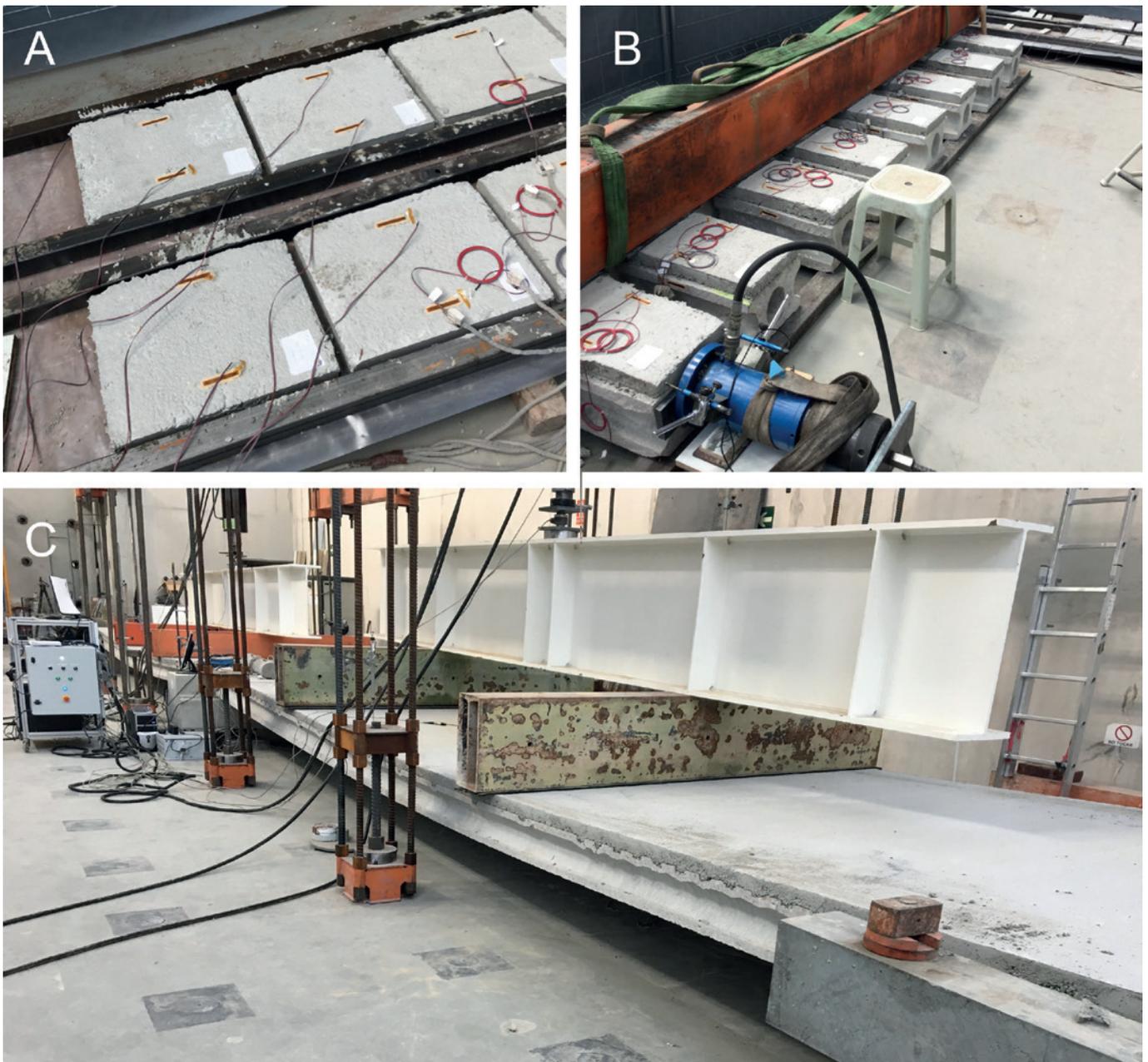


图3：A. 不同配比浇筑料试样的自由收缩试验；B. 小试件水平抗剪强度试验；C. 用槽型空心板在两跨地板上全尺寸试验（高强度负载）

接缝上的水或污垢、差别收缩、硬化速度等)。这些测试的结果目前正在准备发表在科学论文上。

预制件的反作用

近几个月来，Elastic Potential 公司分别向欧洲（西班牙、意大利、法国、比利时）和美国的约 20 家预制装配厂介绍了这项技术。绝大多数听取了演示的预制件都对这项技术表现出了真正的兴趣，因为他们知道这项技术看起来很容易使用，而且可能会大幅提高他们的利润率。其中，约 2/3 的人决定详细检查上述成本削减是否在他们具体情况下是现实的。为了做到这一点，他们挑选了一些最近设计和建造的项目，并要求 Elastic Potential 用凹槽镂空的方式重新设计这些项目，看看有什么不同。到目前为止，所有重新设计的项目都显示出了如上所述的降低成本的效果。例如，对于在欧洲研究的实际项目，考虑 25 - 40 欧元 /m² 厚板的平均销售价格；在实际研究中，成本削减幅度从 3 欧元 /m²（适用于短跨和低负荷）到 10 欧元 /m²（适用于长跨和高

易使用，而且可能会大幅提高他们的利润率。其中，约 2/3 的人决定详细检查上述成本削减是否在他们具体情况下是现实的。为了做到这一点，他们挑选了一些最近设计和建造的项目，并要求 Elastic Potential 用凹槽镂空的方式重新设计这些项目，看看有什么不同。到目前为止，所有重新设计的项目都显示出了如上所述的降低成本的效果。例如，对于在欧洲研究的实际项目，考虑 25 - 40 欧元 /m² 厚板的平均销售价格；在实际研究中，成本削减幅度从 3 欧元 /m²（适用于短跨和低负荷）到 10 欧元 /m²（适用于长跨和高

负荷)。荷载和跨度对结果有相关影响：跨度和荷载越大，可以实现的成本降低越大。最后，在详细研究过项目的人中，有 90% 的人要求提供机械设备的报价，以评估他们是否愿意投资。根据实际的机械价格，目前所有的摊销研究得出的摊销期都在 1 年以内。

机器的可用性

Elastic Potential 的考虑是非常重要的，并已给予优先，有机器用来生产的系列板。这就是为什么到目前为止，Elastic Potential 一直与全球领先的机械供应商合作，他们都认为沟槽空心可能是客户感兴趣的选择。目前，机械供应商 Prensoland 可以提供新机器，也可以对现有的机器进行改造，生产符合弹性电势要求的槽型空心板。

Echo 预制工程和 Ultra-Span (Progress Group) 目前是原型机，预计将在 2020 年的头几个月准备就绪。

Elematic 公司已经有了在空心板上刻槽的开槽机，目前正在根据槽型空心板的要求进行调整（预计在 2020 年初完成）。此外，Elematic 将考虑开发一种能（同时）挤出带有凹槽的平板的机器，如果有委托的话。

Nordimpianti 有一种开槽机，可以在空心板上刻槽，这些空心板以前是由挤出机、滑模成型机或流成型机（湿铸）生产的。Nordimpianti 计划对他们的开槽机进行必要的调整，一旦他们有了委托生产的机会。

Spancrete 目前正在评估凹槽空心可能有兴趣的客户，并将肯定提供适当的客户感兴趣的机器。

对于每一个声称已经准备好生产槽形空心的机械供应商，Elastic Potential 要求通过他们的机械验证过程。这是用他们的机器生产的平板进行的一系列实验室测试。这些试验检查板有一定的最低要求，以接受作为沟槽空心板。

如何将凹槽空心板投入使用

首先，浇筑人员要检查本文中所述的节省是否适用于他的情况。检查的方法是接触弹性电位，选择 2 - 3 个样本工程进行研究。Elastic Potential 将重新设计样例项目（免费），并将其发回，让他评估在生产和运输中可以实现的成本降低，从而评估潜在的额外利润。此外，为了进行摊销研究，预制件应要求机械供应商提供报价。

一旦一个预制件决定开始使用沟槽空心，只需要做到 3 件事：

a) 学习如何设计（计算）和用新板建造（按照 Elastic Potential 给出的手册）；b) 就使用该技术（包括专利 [8]）达成具有弹性潜力的协议；c) 从首选供应商处购买经过验证的机器。

参考文献

- [1] Precast/Prestressed Concrete Institute: PCI Manual for the Design of Hollow Core Slabs and Walls (MNL-126-15E), Third Edition, 2015, Edited by S. K. Ghosh, ISBN 978-0-9968021-0-9.
- [2] European Committee for Standardization (CEN): Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2004.
- [3] ACI Committee 318: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary, 2014, Farmington Hills: American Concrete Institute.
- [4] Beushausen, Hans-Dieter: Long-term performance of bonded concrete overlays subjected to differential shrinkage, PhD Thesis, 2006.
- [5] Beuhausen, H.; Alexander, M.G.: Localized strain and stress in bonded concrete overlays subjected to differential shrinkage, Materials and Structures, March 2007, Volume 40, Issue 2; pp. 189-199.
- [6] Santos, Pedro M. D.; Júlio, Eduardo N. B. S.: Interface Shear Transfer on Composite Members, ACI Structural Journal, January-February, 2014; 113-121.
- [7] Fédération internationale du béton (fib): Model Code 2010, final draft. fib Bulletin Nos. 65/66, Lausanne, 2012.
- [8] Sanabra, Marc: Prefabricated floor element, structure comprising prefabricated floor elements and installation for obtaining the prefabricated floor element, EP 3486392, Filed: 12.03.2018, Published: 22.05.2019.