

建设面临两大挑战：承重材料的难题、双螺旋曲面的修筑。

成看来，上海大歌剧院的设计语言旨在捕捉发生在舞台上的动态，并将其延展至舞台之外，把歌剧院与天空相连，也将观众的情绪和记忆与浦江的景观相连。

如今公众见到的“中国扇”，1.2 万平方米的扇面向外轻轻扬起，最大悬挑 32 米，市民可漫步的扇面平台悬挑达 15 米。肉眼看上去轻薄飘逸的屋面，梁体最薄处仅 725 毫米。

然而将“中国扇”由设计概念变为建筑实体，可谓一场极限挑战。从竞赛中标到正式落成，整个过程历时将近十年。从概念设计的深化，到结构、声学、舞台几个复杂系统的精密调准，施工过程就长达 6 年时间。

谈及施工难度，施工方上海建工四建集团项目技术负责人赵宇超向记者打了一个比方——让人在 A4 纸上行走。

2019 年，当赵宇超第一次见到“中国扇”的设计图纸，直觉告诉他：这似乎是一个无法实现的任务。“以一块悬挑平台为例，常规悬挑结构跨高比一般只有 4 ： 1 到 6 ： 1，我们大歌剧院上人区域悬挑 15 米，梁高被严格限制在 725 毫米以内，跨高比达到惊人的 21 ： 1。结合当年的结构理论和材料使用情况来看，很难去实现。”

为了实现看似不可能的突破，施工方决定从材料入手。传统混凝土很难同时满足强度、尺度与造型需求，设计和工程团队最终把目光投向了一个当时在房屋建筑中极少被大规模使用的材料——165 兆帕超高性能混凝土 (UHPC)。这是一种强度超高、性能超强的特种建材，强度是普通混凝土的 3 到 5 倍。用它做的构件，就算承受巨大压力也不容易开裂变形。

由于这种材料当年还停留在实验室阶段，没有前人经验可借鉴，团队自主研发了全套施工工艺和测试方法。2022 年初，上海寒冷的冬夜里，一场足尺破坏性试验在同济大学嘉定校区实验室进行。两根 15 米长的 UHPC 悬挑梁，被不断加压，直至压溃。经过严谨的推算和试验，上海大歌剧院最终在施工中实现了全球范围内首次大规模使用 165 兆帕超高性能混凝土，并将其作为承重结构材料。

承重材料的难题之外，“中国扇”在施工中还克服了另一个巨大的挑战——双螺旋曲面的修筑。据赵宇超介绍，曲面比平面的施工难度高很多。对于双螺旋曲面结构的支撑体系，施工方前期研究了十几套方案后才得以确定。具体施工过程中，为了达到“大道至简”的效果，团队不断优化图纸，力求让现场施工的工人“感觉不到自己其实在造一个很特殊的建筑”。

如今，随着上海大歌剧院正式投入使用，“中国扇”的建筑故事进入到新阶段。即使运营团队没有参与设计和建造过程，但在真正使用时仍发现了不少细节。比如申厅的音罩、红厅的字幕屏及观众席坡度，都是在实际使用中发现尺寸需要调整，随后与设计、施工方沟通完成优化。在张笑丁看来，上海大歌剧院的建筑设计和功能定位构成了一种相互成就、相互检验的关系。

“在地性”与“国际性”

上海大歌剧院启幕，再度引发了公众将上海与纽约、巴黎和伦敦等国际知名的文化都市放在一起讨论。如何将“在地性”与“国际性”进行更深度的融合？这是上海大歌剧院在当下和未来必须要面对的挑战。