整合与异化
——米盖尔·费萨克建筑中的预制混凝土结构

Integration and Alienation:
Precast Concrete Structure in Architectures of Miguel Fisac

游航 | YOU Hang

中图分类号：TU208　　文献标志码：A　　文章编号：1001-6740（2022）05-0039-09　　DOI：10.12285/jzs.20210902001

摘要：在预制混凝土结构便于快速建造与节能环保的主要技术特征之外，如何高效组织重复的结构构件，并结合装配式施工与工厂预制的设计条件来营造建筑特征，是当代建筑师需要思考的问题。文章通过分析西班牙建筑师米盖尔·费萨克的三座建筑，指出将预制混凝土横梁作为中介，整合不同工种和时序的设计内容，可以简化构造层次，便于结构在室内外空间中的建构表达；通过异化横梁产生的“细部化结构”可以凸显细部设计所应对的物质环境，进而强化人对自然世界的感知；而针对预制混凝土结构构件的连接、制作与支撑方式的演变则提高了此类结构系统对于不同空间尺度与使用功能的适应性。

关键词：预制混凝土、结构、米盖尔·费萨克、细部、空间体验

Abstract: In addition to the technical features of fast construction and environmentally friendly of precast concrete, how to efficiently arrange reduplicative structural components and, at the same time, explore design opportunity of the factory prefabrication and construction to create features of architecture is a problem that contemporary architects need to concern. Based on the analysis of three buildings of Spanish architect Miguel Fisac, this paper points out that precast concrete structure could be taken as the media to efficiently integrate different types and time sequences of design which simplifies the construction and facilitate the structure tectonically both indoor and outdoor. The “detailed structure”, by way of alienation of beams, highlights the physical environment to which the details are designed, strengthens the aware of natural environment. And the evolution of the connection, method of fabrication and support of precast components has improved the adaptability of such structural systems to different scales and functional spaces.

Keywords: Precast concrete, Structure, Miguel Fisac, Detail, Spatial experience

西班牙建筑师米盖尔·费萨克[①]（Miguel Fisac，1913—2006）从1960年代开始，持续探索了预制混凝土梁平行排布的设计策略在不同建筑中的构件形态与空间特征。他将建筑屋面中的跨度、覆盖、排水、采光、室内装饰和室外立面等分属不同工种、不同建造时序的设计工作高度浓缩地整合在了对预制混凝土梁的剖面设计当中。这一系列如同骨骼一般在形态上十分有机的结构构件展现出了预制混凝土结构塑造空间特征的有效性与多样性（图1）。当下我国正大量建造预制混凝土建筑，面对这种技术逐渐成熟，成本逐渐降低，却很少在设计层面进入建筑师视野的技术条件，我们不禁发问：预制混凝土结构参与建筑设计有何优势？预制混凝土结构能塑造出何种独特的建筑感知？预制混凝土构件重复排布的结构系统如何适应不同尺度和类型的建筑空间？本文将以费萨克的三个建筑实例对上述问题进行讨论。

作者：
游航，同济大学建筑与城市规划学院博士研究生

国家自然科学基金项目批准号（52278035）支持。

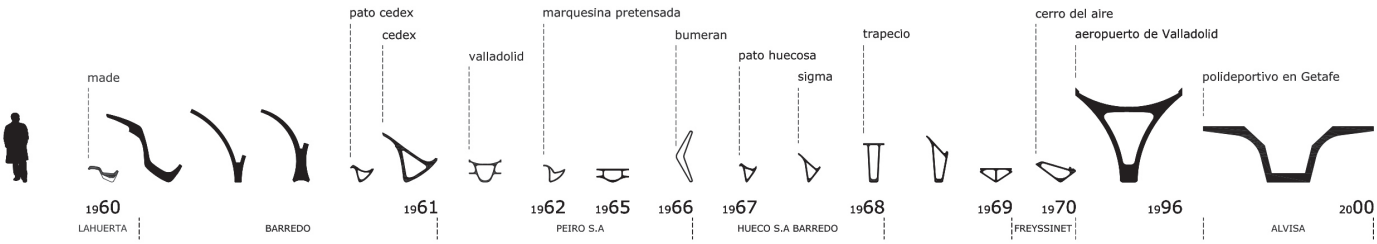

图 1：费萨克设计的预制构件同比例图示

一、三座预制混凝土建筑

水文研究中心（Center for Hydrographic Studies，1963 年建成）由一栋 7 层办公塔楼和一间长达 80m 的单层实验室（长 80m，宽 22m，高 8m）组成（图 2、图 3）。费萨克在实验室 80m 的长边上现浇了两堵 6.6m 高的钢筋混凝土剪力墙，然后将 64 根预制混凝土“骨梁”② 垂直于长边放置在剪力墙顶端。“骨梁”彼此平行地覆盖住了整个实验空间。在实验室面向入口庭院的主立面上，“骨梁”向剪力墙外侧出挑，将预制构件的特殊形式作为唯一的立面元素呈现了出来（图 4）。

图 2：水文研究中心鸟瞰

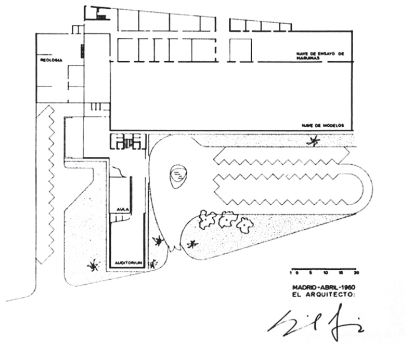

图 3：水文研究中心一层平面

图 4：从入口庭院看向塔楼与实验室

圣安娜教堂（Santa Ana Parish Church，1971 年建成）由一个异形主礼拜堂（长 32m，宽 20m，高 5.5m）和两侧的矩形办公空间组成（图 5、图 6）。主礼拜堂的屋面被 39 根“骨梁”紧密覆盖。“骨梁”一端放置在礼拜堂四周的弧形清水混凝土墙顶，另一端搁置在礼拜堂梭形天窗前的现浇横梁上。断面相同的“骨梁”也同时覆盖了平面规整的办公区域，并在外立面的各个方向上展示着“骨梁”奇特的剖面形态（图 7）。

赫塔菲体育馆（Sports Pavilion in Getafe，2003 年建成）由一个矩形大跨场馆（长 51m，宽 40m，高 8m）和锯齿状的紧贴场馆一侧的辅助空间组成（图 8、图 9）。6 根剖面呈海鸥形的“骨梁”被放置在 8m 高的现浇混凝土柱上（图 10）。“骨梁”之间 2.66m 宽的区域覆盖着拱形聚碳酸酯材料，为体育馆内部提供了充足的自然采光。

图 5：圣安娜教堂鸟瞰

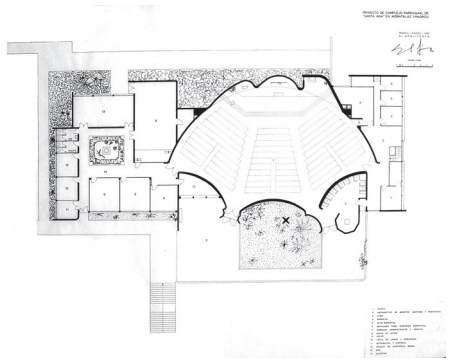

图 6：圣安娜教堂一层平面

二、整合设计的结构

无论是耳熟能详的“建构”③ 思潮，还是最近在国内被广泛提及的“强结构”④[1] 设计理念，结构参与当代建筑设计的有效性正受到越来越多的关注。但盲目暴露的结构会被错综复杂的构造和设备所湮没，或者最终被装饰性吊顶一盖了之，丧失了表达的机会。因此想要妥善地利用结构塑造空间，如何处理可能干扰结构表达的功能要求就显得尤为重要了。在上述费萨克

的三座建筑中，由于设备要求相对简单，表达结构的设计难度主要集中在如何处理屋面覆盖、采光、排水，室内声学、饰面等技术要求对结构形象可能造成的影响之上（图 11）。

费萨克的个别教堂建筑也曾通过钢结构屋架来实现大跨。但钢结构相对繁复的构架系统与结构之上必不可少的围护层往往弱化了结构与空间的表现力（图 12）。与之相对，进入三座预制混凝土建筑室内，平行排布的“骨梁”成了屋面仅有的表现要素（图 13~ 图 15）。这种视觉上的简明首先得益于费萨克对屋面“受力”结构与“围护”结构的整合。具体而言，以圣安娜教堂为例，布满屋面的“骨梁”剖面呈倒梯形，左右对称。梯形的两腰分别伸出一段水平翼缘，构件的顶面在两端微微上翘。这样的剖面设计使水平密排的构件两两对接，形成完整且连续的屋面系统。构件上翘的部分相互拼接，在屋面形成间断隆起，而凹陷的部分则成了排水通路，通过覆盖一层薄薄的防水材料即可做到屋面的排水与防水（图 16）。由于光滑的平面混凝土天花会造成一定的回声问题，因此费萨克特意将“骨梁”下凸，在室内形成了凹凸不平的天花顶面，降低了后期使用中因为不良的声音效果，屋面结构被吸声材料包裹的风险。[2] 与此同时，“骨梁”屋面的空腔也为教堂室内提供了一定的保温性能 [3]74。“骨梁”在这个设计中不仅承担了结构性的跨度作用，也通过构件剖面上的细微形态变化将屋面覆盖、排水、声学和保温的考虑整合在了一起，省去了次级结构和构造的介入，从而保证了结构本身的清晰表达。此外，由于预应力技术的使用，教堂中实现 17m 跨度的空腹“骨梁”高度仅为 0.58m，一定程度上平衡了密梁系统可能带来混凝土用量增加。

在水文中心实验室与赫塔菲体育馆的大跨空间中，费萨克则进一步将建筑对均匀自然采光的要求整合设计进了“骨梁”的剖面之中。在建造于 1963 年的水文实验室中，费萨克采用了常见的北向高窗引入自然光。观察构件剖面，近似三角形的“骨梁”向左上方伸出一段弧形挑檐用来遮挡南侧的直射光；挑檐下侧是通向构件底部的连续曲线，并在室内外分界处形成一个微小的凸起，与前一个构件右侧上翘处的缺口一起用来固定天窗玻璃；挑檐外侧则是向下的连续斜面，在构件最右端上

图 7：城市中的圣安娜教堂

图 8：赫塔菲体育馆鸟瞰

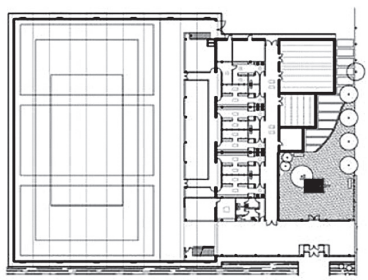

图 9：赫塔菲体育馆一层平面

图 10：城市中的赫塔菲体育馆

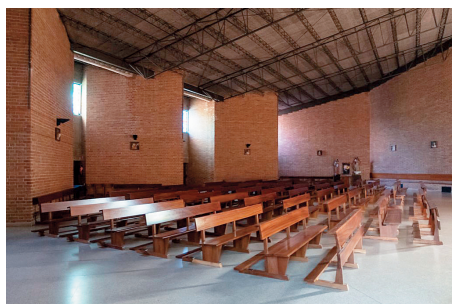

图 12：圣玛丽亚·马格达莱纳教堂室内

图 13：水文中心实验室室内

图 14：圣安娜教堂室内

图 15：赫塔菲体育馆室内

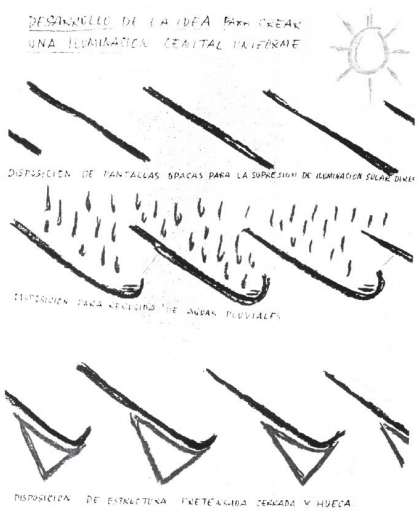

图 11：“骨梁”整合采光、排水和预应力的草图

翘形成了屋面的排水凹槽（图 17）。而在 2003 完成的体育馆中，借助聚碳酸酯材料的半透光及结构弯曲性能，费萨克在“骨梁”间直接设置了宽 2.66m 的水平拱形天窗。“骨梁”左右高起用以承托天窗材料，中间压低作为屋面排水通道。天窗的拱形弧线延续至混凝土构件表面，形成了 5 个完整的拱形屋面并置的形态。仅仅 1.4m 高的先张法预应力⑤混凝土“骨梁”就实现了体育馆需要的 51m 跨度（图 18）。

阿尔伯蒂将结构作用归纳为力学属性、空间属性和象征属性[4]，随着结构技术的复杂化与专业化，必然出现的专业分工则一定程度使建筑师在设计前期失去了将结构作为设计要素的机会意识。与此同时，建筑设计之后的室内设计专项在普遍的分包模式下也存在错解建筑方案的原初意图，甚至建筑与室内相互冲突的情况发生。诚然分工可以促成各专业的精细化，但这同时也增加了不同专业间来回协调的时间和人力成本，降低了设计效率。而上述工作模式则往往导向一种层层覆盖的构造作法，从而造成更多的材料消耗和更长的建造周期，与之对应的建筑空间则往往呈现出一种饰面材料包裹下的抽象状态。

在我国倡导建筑工业化与低碳环保的政策指引下，近年来预制混凝土结构重新展开了大规模地应用[5]。但需要注意的是，预制混凝土结构的优势绝对不仅仅局限在加快施工进度与节能环保的技术层面，就建筑师关心的设计表达而言，其构件形态的多样性与精确性可以将原本需要龙骨、压型钢板、石膏板、砂浆等室内外构造材料在高密度手工作业下完成的修饰和构造工作通过构件形态的设计，高度整合进结构体，并最终以简明精细的结构本身参与到空间塑造之中。在费萨克的建筑案例中，预制混凝土既是一种经济措施，在设计过程中以结构梁为线索高效地统合各专业设计，进而提高效率，减少施工用料与人工，同时也为希望利用结构参与表达的建筑项目提供了一种清晰地展现结构和控制最终室内完成效果的设计策略，这也正是预制混凝土结构参与建筑设计的一种独特优势。

三、异化横梁：唤起感知的“细部化结构”

“当今过分强化的建筑思维与概念导致了它的物质性、感官性与实体本性的消失。”[6]

三座建筑中的“骨梁”均不加修饰地表现着混凝土材料。水平排布的“骨梁”与下方现浇结构的简支关系也清晰地展现着受力逻辑。因此我们很容易将这样的空间效果归入“粗野主义⑥”和“建构⑦”的范畴之中。但在这种笼统的描述之外，费萨克近乎极端地利用预制混凝土结构整合设计的做法到底产生了什么样独特的效果呢？也许我们可以按照肯尼思·弗兰姆普敦的提示⑧将其与乌拉圭建筑师埃拉蒂奥·迪埃斯特⑨（Eladio Dieste）进行对比来展开分析。

他们两者都“从材料的天性及结构的有效性出发来设计建筑形态”。他们建筑中的结构都具有“多义性”，并能“将空间、建造、材料、细节等要素统合起来”[7]。这种“多义性”结构的运用使得两位建筑师的室内空间都呈现出了以纯粹结构表现为主导的简明性与力量感（图 19、图 20）。但来到建筑外部，我们很容易察觉这两种“多义性”结构给人感受上的差别。在迪埃斯特的建筑中，砖块是整合设计的基本材料，设计要素被整合在了由砖块双向拼接而成的配筋拱壳和筒壳等大尺度结构形态中。两个拱形之间的低处缝隙虽然也作为屋面排水，但建筑外部的体验依然聚焦在表现受力特征和空间形态的结构形式中，被整合的排水细部并不传递明显的感知（图 21、图 22⑩）。与之相对，费萨克的建筑外部特征主要由立面上展现的“骨梁”剖面形态来塑造。由于对采光和排水的整合，常规方方正正的“梁”变为了轮廓凹凸的有机形态。这种结构形态上的异化减弱了其力学意义的传递，反而让人感觉这些混凝土构件的主要作用是用以应对自然采光的遮阳百叶与屋面雨水的泄水口（图 23、图 24）。屋面横梁因此

图 16：圣安娜教堂的“骨梁”组合

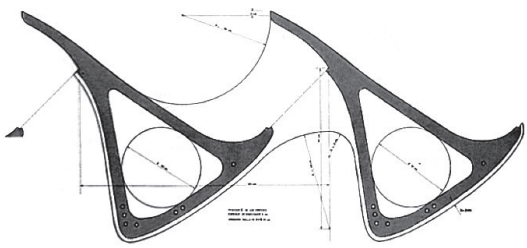

图 17：水文实验室的“骨梁”组合

图 18：赫塔菲体育馆的“骨梁”组合

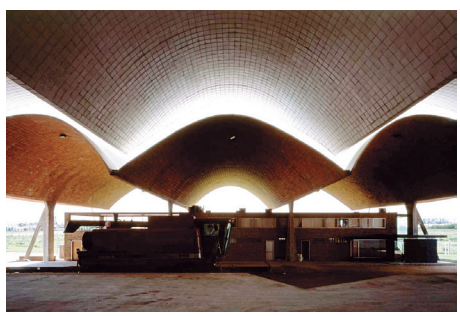

图 19：从内部看马萨诺农产品仓库的砖筒壳

图 20：从内部看实验室的“骨梁”

被异化为了一种"细部化结构"。换句话说，费萨克的建筑外部虽然表现了结构，但给人带来的体验却并不像室内那样以结构的支撑和受力关系为主，整合在结构上的细部特征反而被凸显了出来。

爱德华·R·福特（Edward Ford）认为具有维护性能的细部可以"改变我们对环境因素作用于建筑的感知"[8]。并以拉尔夫·厄斯金（Ralph Erskine）在剑桥大学克莱尔学堂旅社的设计作为例证，指出其每个阳台地面上向外出挑独立泄水口的做法凸显了排水细部在建筑外部的形象，进而达成了通过细部产生感知的作用[8]（图 25）。有着类似想法的还有西班牙建筑师胡安·纳瓦罗·巴尔德维格（Juan Navarro Baldeweg）。他在"雨屋"的设计中特意将檐沟凸出山墙进行表现，并强调"雨是这个住宅所在场地环境的一种暗示。住宅像雕塑一样通过和'雨'这一自然现象建立关联而确立了自身的存在"[9]（图 26）。但我们不得不承认，虽然细部的形象在上述案例中被刻意凸显和放大，但细部的尺度相对建筑整体依然是渺小的。即便概念上通过"细部"与自然建立关联的诉求得以成立，但在现实中产生的体验效果却往往十分的微弱。

相比被迪埃斯特"隐藏"在筒壳形态中的排水细部，工厂预制对小尺度复杂形态的加工条件让费萨克整合进"骨梁"结构的排水通道与遮阳挑板都具备了作为细部被独立识别的形态（图 27、图 28）。而预制混凝土结构所适应的密排横梁体系形成的建筑屋面，则让这些细部形态随着结构的重复在建筑的整体而非局部上进行着强烈的表达（图 29）。通过上述的案例对比，我们或许可以总结出通过细部产生体验的两个条件：其一，细部具有独立且可识别的形态；其二，细部在视觉中占据主导地位。无论费萨克自己是否怀有这样的愿望，他的预制混凝土"骨梁"都实现了这种将建筑中起到维护性能的细部转化为直观感受的设计目标，进而"提供我们对于'联系''外力''组件''材料'的认知，不断提醒我们身处何处、周围环境，

图 21：马萨诺农产品仓库砖筒壳的外部姿态

图 23：水文实验室外立面上的"骨梁"姿态

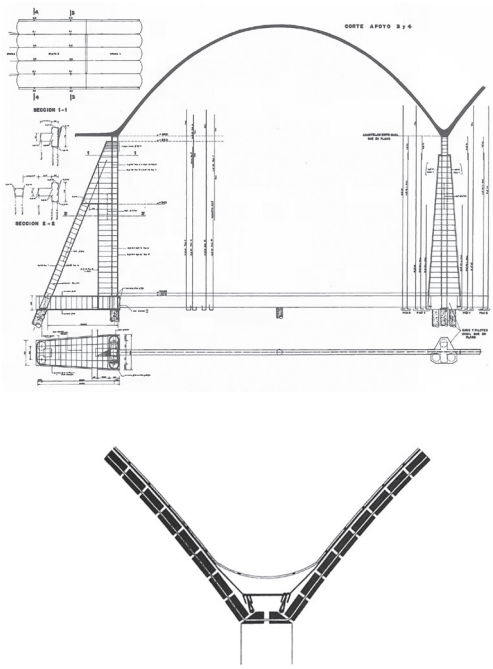

图 22：马萨诺仓库筒壳剖面及最低处参考大样图

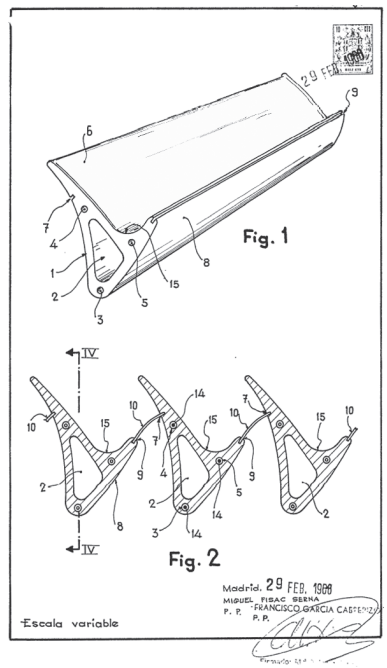

图 24：水文实验室"骨梁"专利图

图 25：克莱尔学堂旅社阳台上凸出的泄水口

图 26：雨屋中从山墙向外出挑的檐沟

图 27：预制中的"骨梁"单元

图 28：费萨克与制作完成的"骨梁"单元

以及我们所处的状态”[9]。而这也体现了预制混凝土区别于其他材料参与建筑感知塑造的一种可能。

四、结构系统的演化

从实验室到教堂及体育馆，三座建筑在空间尺度、功能要求和空间氛围上的诉求都是截然不同的。“骨梁”之所以能够适应这些变化，原因之一是预制混凝土构件形态的可塑性与多样性；与此同时，费萨克对针对不同项目中的限制与特征，对水平“骨梁”结构系统的演化设计也是十分重要的。具体而言，针对项目中面临的实际问题（吊装、运输、氛围……），通过调整结构系统中预制构件的组合模式、制作方式和支撑方式，基于近似结构系统的建筑空间就能够获得一定的多样性。

设计时间稍早于水文中心的梅德医药实验大楼（Made Pharmaceutical Laboratories，1967 年建成）入口雨篷是费萨克利用预制混凝土结构整合多种功能的第一次尝试。其雨篷跨度仅 3.9m，预制构件剖面呈 S 形。组合中的左右两个构件相互搭接形成物理防水，下凹部分作为排水通路，水平排布的预制构件以单臂悬挑的方式和剪力墙现浇在一起（图 30、图 31）。费萨克试图在紧随其后的水文实验室中延续该雨棚的剖面设计。他在雨棚构件 S 形剖面的基础上加入了对自然采光的考虑，设计了一根 22m 长的先张拉预应力大梁。但这一方案却遭到了结构工程师的反对，其理由是当年的技术条件根本无法吊装如此长度和重量的预制混凝土构件。[3]

经过反复推敲，费萨克提出将 22m 长的大梁分散为 1m 宽的小尺寸构件（长 1.3m，宽 1m，高 1.15m），并在构件的剖面上加入一个空腔，使得分散的预制构件可以通过后张拉预应力⑪的方式被稳定地锚固为一根完整的大梁，以化整为零的方式简化建造过程中的吊装问题（图 32）。最终，在结构工程师里卡多·巴雷多（Ricardo Barredo）的后张拉专利帮助下，实验室的屋面“骨梁”被拆分为四种剖面相近的预制构件（图 33）。建造时，工人先在两堵现浇的钢筋混凝剪力墙之间搭建木支架，并按照顺序将 26 个构件码放在木构架上。随后将预应力筋穿过构件上预留的孔位，在一端用锚栓锚固，在另一端施加预应力将分散的构件张紧，最后移除下方支架，即可完成一根“骨梁”的施工（图 34）。从雨棚到大跨屋面，通过进一步细分结构系统中预制构件的组合模式，水文实验室的预制混凝土屋面才得以在 1960 年代西班牙并不发达的建造条件下顺利地完成。随着施工技术和器械的进步，2003 年施工的赫塔菲体育馆已经具备对长达 51m 的预制大梁进行直接吊装的能力。

在赫塔菲体育馆项目中，虽然 51m 的巨形构件还是通过工厂预制和汽车运输的方式到达了施工现场，但其长度已远远超过了常见民用建筑中的预制构件尺寸（图 35、图 36）。对于更加普遍的建筑项目，运输卡车的装载规格，项目工地与预制厂之间的道路转弯半径和限高等条件也会对构件的尺寸和形式提出要求，进而限制建筑设计的表达（表 1）。我国建筑师刘克成在设计汉阳陵帝陵外葬坑保护展示厅中，长达 31m 的预制预应力大梁采用了一种在施工现场就地制作的“游牧式”⑫预制构件制作措施，从而避免了道路运输条件给构件尺寸带来的限制[10]。这种区别于传统工厂生产的制作方式提高了预制混凝土结构对大尺度构件的兼容性，进而拓宽了此系统在设计层面能够形成的空间类型和空间效果。

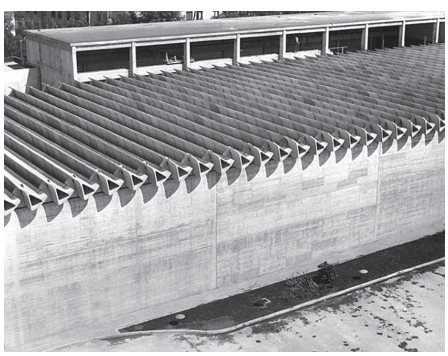

图 29：水文实验室屋面鸟瞰

图 30：梅德医药实验大楼入口雨棚

图 31：雨棚正立面

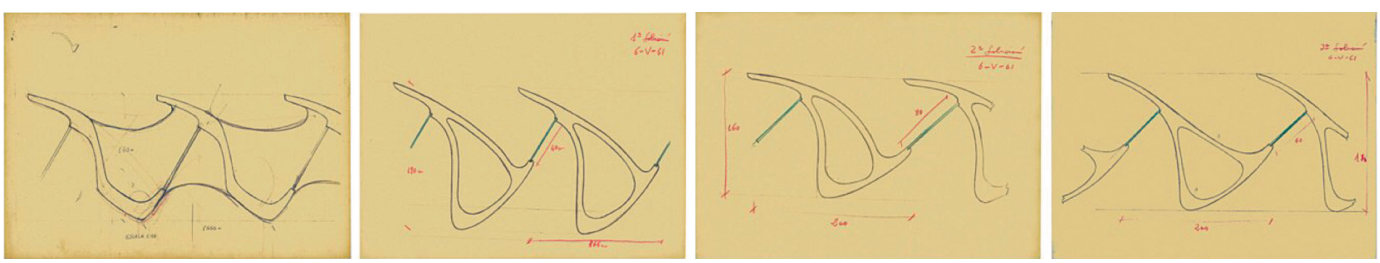

图 32：“骨梁”剖面的演变草图

装配式部品部件运输限制 **表 1**

情况	限制项目	限制值	部品部件最大尺寸与质量			说明
			普通车	低底盘车	加长车	
正常情况	高度	4m	2.8m	3m	3m	
	宽度	2.5m	2.5m	2.5m	2.5m	
	长度	13m	9.6m	13m	17.5m	
	重量	40t	8t	25t	30t	
特殊审批情况	高度	4.5m	3.2m	3.5m	3.5m	高度 4.5m 是从地面算起总高度
	宽度	3.75m	3.75m	3.75m	3.75m	总宽度是指货物总宽度
	长度	28m	9.6m	13m	28m	总长度是指货物总长度
	重量	100t	8t	46t	100t	重量是指货物总重量

注：本表未考虑桥梁、隧洞、人行天桥、道路转弯半径等条件对运输的限值。

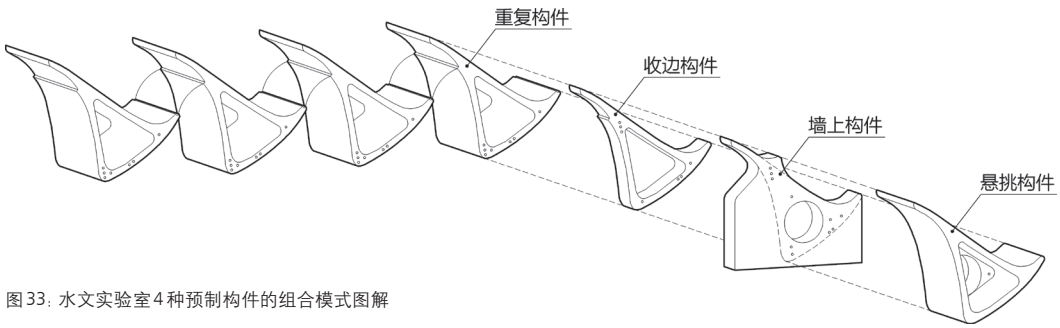

图 33：水文实验室 4 种预制构件的组合模式图解

图 34：水文实验室的"骨梁"及下方木支架

图 35：赫特菲体育馆的"骨梁"与现浇柱

图 36：费萨克（正中）在吊装现场

图 37：圣安娜教堂屋面施工

圣安娜教堂中的"骨梁"尺寸（最长 19m，宽 0.8m，高 0.54m）相对较小，经过工厂预制，被车辆运输到现场后，通过起重机吊装放置在现浇墙体和梁顶留出的凹槽中即可完成屋面施工（图 37）。因此上述吊装和运输问题并没有给教堂的结构系统造成直接影响。不难看出三座大跨建筑中平行排布的"骨梁"都在构件的两端获得竖向支撑。然而具体到每一个项目：实验

室两侧的支撑是完整的 2 堵平行剪力墙（图 38）；体育馆中的支撑则是 2 根立柱（图 39）；教堂中的支撑是 5 堵弧形剪力墙与一根横梁。这种基于近似结构逻辑的支撑形式改变增强了该结构系统对不同尺度和功能空间的适应性，也给建筑师塑造多样的空间特征提供了保证。这一点在圣安娜教堂的设计中显得尤为凸出。

在 1962 年梵蒂冈第二届大公会议之后，神父被要求面对信众发言并保证声音传递的清晰无误[3]。在与圣安娜教堂同时期设计建造的圣母升天教会学校教堂中（Colegio de Nuestra Senora de la Asuncion，1965 年建成），“骨梁”的两端被分别支撑在一面连续弧墙和多面分段弧墙顶部。这使得从祭坛发出的声音被远处的分段弧墙散射，减弱了混响效果对发言者的干扰，也同时塑造了相比水文研究中心矩形平面更具特征的室内空间效果。但受限于“骨梁”在剪力墙顶端放置的结构形式，祭坛区域的局部天光设计则受到了一定的限制。在这个案例中，费萨克的做法是将“骨梁”的局部切除形成镂空，从而在圣殿区域营造出斑驳且具有神圣感的光线氛围（图 40）。

显然，圣母升天教会学校教堂中的天光设计并没让费萨克完全满意，在圣安娜教堂的设计中，费萨克索性将祭坛上方的“骨梁”与剪力墙脱开，祭坛背后的弧形剪力墙进一步向上升高，以形成一个开口巨大的梭形天窗（图 41）。费萨克借着光线从梭形天窗洒向弧形墙面的动势，在弧墙面上内凹形成了三个壁龛区域。这个操作通过内凹部分形成的阴影强化了祭坛区域被光线包裹的神圣感，也同时塑造出了不同仪式和雕塑区域的空间领域感。祭坛上方脱开墙体的“骨梁”则被一根横跨室内空间的现浇混凝土梁所承托。如果不是特别提醒，这根横梁 0.5m 见方的尺寸并不引人注意，也不会对祭坛区域的空间效果造成干扰。但值得注意的是，这跟看似轻巧的横梁不仅跨越了将近 22m⑬ 的距离，还承托了 20 根“骨梁”一半的荷载。这种视觉上的纤细轻巧与结构上的强壮存在着显著的矛盾，而这个疑问在横梁的上方的室外得到了解答（图 42）。

为了让室内横梁做到极限小，费萨克在横梁上方的室外设计了一根宽 1.2m 的拱形梁，并通过 6 根细柱在竖直方向上吊挂住室内横梁。为了平衡拱梁形成的侧推力，拱底两侧还增加了如同哥特教堂中飞扶壁柱墩一般的加强混凝土柱。因此圣安娜教堂中的“骨梁”实际上一端放置在分段的弧形剪力墙顶，一端放置在不被体验的拱梁所吊挂着的纤细室内横梁之上（图 43）。这种针对教堂空间中“骨梁”支撑系统的进一步设计，使得圣安娜教堂巨大的梭形天窗得以成立，从而塑造出了建筑内部充满表现力的天光氛围。

“骨梁”的命名与有机形态让人不免联想到脊椎动物的骨骼，值得注意的是，脊椎动物的形态多样性往往就来自于重复骨骼所构成骨架上的某些细微改变。[11] 与之类似，费萨克通过“骨梁”剖面形态与竖向支撑结构的协同设计，以同一套“骨架（结构系统）”为基础，演化出了尺度与氛围各异的建筑空间，为预制混凝土结构的空间多样性提供了一种有效的设计路径。

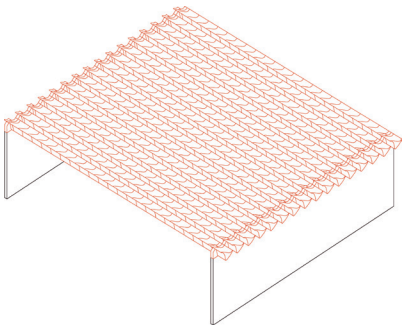

图 38：水文实验室结构关系图解（红色为预制部分）

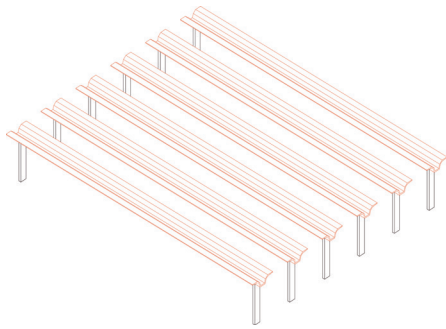

图 39：赫塔菲体育馆结构关系图解（红色为预制部分）

图 40：圣母升天教会学校教堂的祭坛天光

图 41：圣安娜教堂的祭坛天光

图 42：圣安娜教堂室外的拱形梁

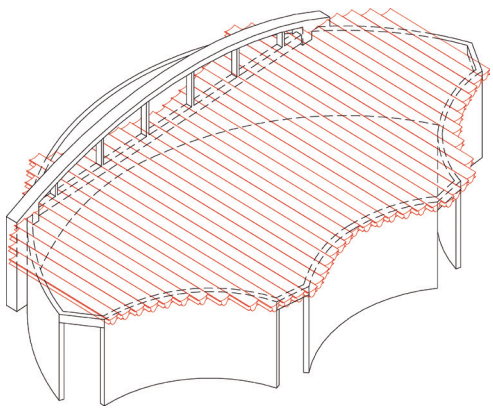

图 43：圣安娜教堂结构关系图解（红色为预制部分）

五、结语

伍重（Jorn Utzon）在悉尼歌剧院施工现场的高级助手比尔·惠特兰（Bill Wheatland）曾经说过，“在他（伍重）看来，预制方法未必能够降低造价或者加快建造速度，但却不失为一种获取一流工艺结果的手段”[12]。这段评价伍重对预制混凝土技术的看法也同样可以用来描述费萨克的建筑。“骨梁”的使用或许降低了造价，加快了建造速度，但个别特殊的处理方式也有可能让一些建造过程反过来变得更加困难。但狭义的经济因素或许不应该成为是否利用一项技术的唯一考量。在尊重预制混凝土技术特性的前提下努力发掘它的设计机会，就可能在经济与高效的范围内创造出独具特征的建筑空间，从而提高应用该技术所获得的总体收益（经济或效果上）。费萨克的建筑实践就沿着这样的道路展现了预制混凝土结构参与建筑设计的一种可能，其建筑空间塑造的独特性与有效性或许可以为我国当下的预制混凝土建筑发展，以及建筑、结构、室内一体化等相关议题提供一些启发。

注释

① 米盖尔·费萨克（Miguel Fisac），西班牙建筑师，1913年生于西班牙代米耶尔（Daimiel），1942年毕业于马德里高等建筑技术学院（ETSAM），2006年于马德里去世。

② 骨梁（bone-beams，西班牙语为vigas-hueso）是费萨克为了同时解决结构、覆盖、采光和排水而设计并申请专利的一种形似“牛骨”的预制混凝土结构构件。

③ 爱德华·F·塞克勒认为“建构”是某一结构概念经由建造所表现出的某种超越结构与建造本身的视觉效果。详见爱德华·F·塞克勒，凌琳，王骏阳．结构，建造，建构[J]. 时代建筑，2009（2）：101.

④ “‘强结构’所描述的是一种不仅关注结构的物理承重性能，同时还关注结构的视觉表现、空间氛围甚至社会属性的结构概念，它代表了一种‘从根本上塑造建筑的特征——空间和外观’的结构类型。”详见[1]王帅中，曹婷．“强结构”——结构的复魅[J]. 建筑师，2021（3）：6.

⑤ 即先张法预应力，在浇筑混凝土前张拉钢筋，当混凝土强度达到一定标准时切断钢筋与锚具的连接，通过钢筋的回缩施加预应力。

⑥ 雷纳·班纳姆（Reyner Banham）在1955年发表的《新粗野主义》（*The New Brutalism*）一文中将粗野主义建筑的特征描述为：1.形式易读的平面；2.清晰地展现结构；3.重视材料原初的品质。

⑦ 在“建构”理论中有着重要地位的“结构理性主义”强调对结构受力逻辑清晰明了的表达。

⑧ 肯尼思·弗兰姆普敦（Kenneth Frampton）认为费萨克未能获得充分的国际认可是因为他的建筑游离在工程师与建筑师的作品之间，且很难进行分类。详见[3]AV: Monografías Editorial. Miguel Fisac[J]. AV: Monografías, 2003（101）：5.

⑨ 埃拉蒂奥·迪埃斯特（Eladio Dieste），乌拉圭工程师，1917年生于乌拉圭阿蒂加斯省（Artigas Department），2000年于乌拉圭蒙得维的亚（Montevideo）去世。其建筑作品多为以配筋砖拱壳、筒壳作为主要结构的大跨度仓储空间和教堂。

⑩ 图中剖面为马萨诺仓库，大样图为迪埃斯特另一筒壳结构近似处详图，其砖块布置方式与马萨诺仓库相近，仅供理解参考。

⑪ 即后张法预应力，一种情况是通过预制构件上预留的孔位将分散的构件通过预应力筋串联，在端头用锚具固定加压使之连为一体。费萨克常用此方法将多段预制“骨梁”串联为一个整体。

⑫ “游牧式”预制即将预制设备运输至建筑场地生产预制构件，此方法可节约运输成本和解决超尺寸构件的运输问题。

⑬ 按12的常用跨高比计算，一般22m跨度的现浇混凝土梁高将达到1.8m。

参考文献

[1] 王帅中，曹婷．“强结构”——结构的复魅[J]. 建筑师，2021（3）：9.

[2] Aroca R. En memoria de Miguel Fisac[J]. Informes de la Construcción, 2006, 58（503）：33-39.

[3] AV: Monografías Editorial. Miguel Fisac[J]. AV: Monografías, 2003（101）.

[4]（意）莱昂·巴蒂斯塔·阿尔伯蒂．建筑论：阿尔伯蒂建筑十书[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2010.

[5] 王俊，赵基达，胡宗羽．我国建筑工业化发展现状与思考[J]. 土木工程学报，2016，49（5）：1-8.

[6]（芬）尤哈尼·帕拉斯玛著．肌肤之目：建筑与感官[M]. 刘星，任丛丛译．北京：中国建筑工业出版社，2016.

[7] 王方戟，游航．多义与错位——西班牙韦斯卡尔城堡主塔及谷仓遗迹改造设计中的结构思路[J]. 建筑遗产，2020（2）：106-115.

[8]（美）爱德华·R·福特．建筑细部[M]. 南京：江苏凤凰科学技术出版社，2015.

[9] El croquis Editorial. Juan Navarro Baldeweg 1982-1992[J].Madrid：Elcroquis, 1992（54）.

[10] 刘克成，肖莉．汉阳陵帝陵外藏坑保护展示厅[J]. 建筑学报，2006（7）：3.

[11]（法）让·巴普蒂斯特·德·帕纳菲厄．演化[M]. 北京：北京美术摄影出版社，2016.

[12]（美）肯尼思·弗兰姆普敦．建构文化研究[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2007.

图表来源

图1、图24、图34、图35：González F. Los huesos de fisac; la búsqueda pieza ideal[D].Universidad Politécnica de Madrid, 2010.de Madrid, 2010.

图2、图5、图8、图10：Google地图

图3、图4、图6、图9、图17、图27、图28、图30、图31、图32、图37、图42：参考文献[3]

图7、图13、图23、图41：Simon Garcia摄

图11：Besa Díaz, Eneko. Miguel Fisac, una metodología proyectual[J]. Espacio Tiempo Y Forma Serie VII Historia Del Arte, 2007（20-21）.

图14、图15、图18：Vicente Martín Hernán摄

图12、图16、图40：Ximo Michavila摄

图19、图21：Facultad de Arquitectura Universidad de la República

图20：Andrea Portillo摄

图22：Torrecillas A J, Perez M D P R. Eladio Dieste, 1943-1996[M].Junta de Andalucia, 1997.

图25：Steve Cadman摄

图26：Hisao Suzuki摄

图29、图36：Fundación Miguel Fisac

图33、图38、图39、图43：作者自绘

表1：郭学明 编．装配式混凝土建筑制作与施工[D]. 北京：机械工业出版社，2018：208.