# 构造整体

# - 湿地轻型工作站设计中的结构与建造整合

# Constituting the Whole

Integrating Structure with Construction in a Lightweight Wetland Work Station Design

[吴程辉] Wu Chenghui [朱竞翔] Zhu Jingxiang

作者单位 香港中文大学建筑学院

收稿日期 2013/12/30

### 摘要

通过介绍一个湿地工作站建造的过程与成果,呈现轻型结构与构造设计如何吸收影响具体形态的各种力量,以实现一个在物质与知觉层面上都新颖的整体;强调轻型建筑中结构与构造设计的更多相互牵制,可经由特定的局部构成来发展出独特的整体特性。

#### 关键词

轻型建筑系统;整体构成;结构机制;构造设计; 上海南汇东滩湿地工作站

#### **ABSTRACT**

By introducing process and product of a lightweight wetland work station, the article summarizes how designer team integrated structure with construction by absorbing forces behind a forming and consequently led to an innovative whole on physical and perceptual level. The article also indicates that the new feature or meaning of a whole may be generated from interdependent composition of parts, after a deeper understanding on the mutual interference of structure and construction aspects in lightweight building system.

#### **KEY WORDS**

lightweight building system; constitution of whole; structure design; construction design; Shanghai Nanhui Dongtan Wetland Work Station

# 1 来自艺术和科学的观察

第一组图片展示了当代艺术家徐冰的一项工作:让只懂英文的人创作书法作品。因为英文是表音文字,不太注重形。怎么把英文单词转化成书法字体?可以想象难度是比较大的。为此,徐冰首先做了一项基础的工作,把26个英文字母转化为形态近似的"字母偏旁"(图1),进而用这些"字母偏旁"依照特定规则组合为字形;字形的组合结构有几种,包括单一,上下,左右和包围4种基本结构,也包括这4种结构的复合,比如单词"king"可以转化成一个左右上下包围复合结构来分配正方形空间的字形(图2)。每一个英文单词转化成字形是另一项基础工作,需要研究每个字形排布的美观和书写的便利,而每个人书写字形时又加入了个人的笔法和理解,最终得以把英文语句变成书法作品(图3)。

第二组图片反映了一个物理领域的发现:非牛顿流体带来的可能性,它既像流体又像固体<sup>11</sup>。如果人站在非牛顿流体上不动就会下沉,如果在上面不停地快速踏步,就能"水上漂"(图 4)。如何解释非牛顿流体会表现这个特性?流体力学的解释是非牛顿流体的剪应力与剪应变不成正比,这似乎不容易一下子理解,但如果尝试换一

种观察方式,把非牛顿流体放大到800倍(图5),可以发现里面有很多粒子组成,这些粒子在无外力作用下是离散的分布,因此呈现出宏观流体的特性,但是当流体遇到冲击力后粒子的排布会瞬时变得规则,导致它表现出固体一样的宏观特性(图6)。

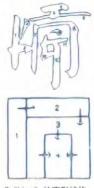
两组不同的图片都反映着局部与整体的有趣关系。事物可以被如何组织?物质如何构造?物质的构造如何影响性能?事物对观者的意义在何处产生,以及如何产生?

人们知道偏旁部首可以组合成书法字形,但以字母形成偏旁闻所未闻。以字母形成偏旁构造的字型(或者单词)产生了新的整体。这一整体既让人安心又让人纠结:中国人看到了熟悉的方块字,却完全不了解其意义;西方人知道这一作品包含的句子和意义,但需要重新学习它的构造方式和表达形式。这一熟悉与陌生的交叠迫使人不得不重新审视局部与总体的关系,构造与含义的复杂关系,甚至思考被文字所分割的两个思想世界。

非牛顿流体的整体承载能力非常古怪,它具备奇异的适应性: 能抵抗瞬时冲击,却不应对静态载荷,即遇强不弱及遇弱不强。在 日常尺度的世界中,可能只有汽车的安全带能让我们体会到这一特



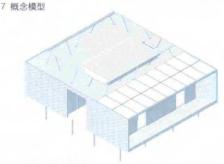




2 "king" 的字形结构



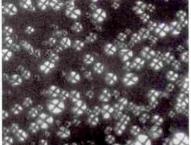
3 新英文书法 - 毛主席语录 徐冰 水黑纸木



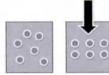
8 工作站建筑整体轴测



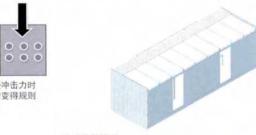
4 既像流体又像固体的非牛顿流体



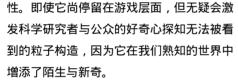
5 淀粉浆 (放大 800 倍, 在极化光下)



6 非牛顿流体受冲击力时 粒子排布瞬时变得规则



9 主箱体轴测



由元素构成的整体不是各元素的简单累 加,特定的构成机制可以使之具备单一元素 所不具备的特性,而重组构成机制无疑会带 来整体的新鲜特性:物理层面的以及感知觉 层面的。但以上这些理解与轻型建筑的设计 有何种关联呢?

混凝土的重型结构通过浇筑将材料连续 起来, 砌体重型结构虽有灰浆接点, 但普遍 是面接触。两者都易于获得天然的结构整体 性与结构强度。而轻型结构通常由小型的、适 于搬运的材料通过相互联合而获得整体强度, 又大量采用预制作业与现场机械接点,这带来 拆分构件便利运输的好处,但结构整体特性 也受到构成机制的很大影响。在这种构成机制 中结构与构造互为扰动的特性既是轻型结构 的设计难题, 也是新品性的可能来源。

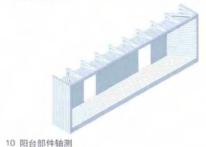
# 2 湿地轻型建筑的设计

## 2.1 系统构成

在回顾香港中文大学的研究设计团队 2013 年完成的上海南汇东滩湿地工作站[2] 的部件设计与整体目标时,笔者梳理出不同 层级与条件下构造与结构的合作。这一工作 站地处上海东南角广袤平坦的滨海湿地,建 筑呈现为一个悬浮于地平线上的方盒子,这 个方盒子的结构由 5 种不同的部件组成,最 核心是两个主箱体,它有大开口,箱体之间 由顶面和底面大板连接,箱体长边一侧连接 阳台部件。方盒子顶面提供一个观鸟平台并 设置有极简的栏杆。箱体底部由基础桩顶起 (图 7~12)。

# 2.2 主箱体

作为整个房屋系统的基础,箱体的设计 直接来自于 2011 年开始的原型试制。它是几 何尺寸为 $3m \times 3m \times 9m$ (宽 × 高 × 长)的标 准单元。在结构层级,它如同一个强劲的空 心管形大梁;而从构造的角度,可以比拟它为





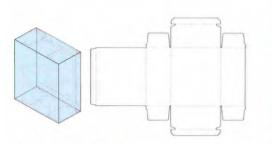
11 平台栏杆部件轴测



一张卡纸经过裁切折叠变成的纸箱(图 13),在折叠完成时获得一种整体强度,这种强度的产生来自于一系列空间形态的获得,比如两面交接的"空间棱"和三面交接的"空间角"。箱体获得的整体强度是多方向的,不只可以单一应对重力产生的荷载,也可应对水平向的风荷载乃至地震力,甚至在4个水平方向上还有继续扩展悬挂结构的潜力。在充分相信这种整体强度的前提下,结构设计的重点转变为

如何恰当地做减法,在箱体表面挖出开口,以得到尽可能大的空间效益。

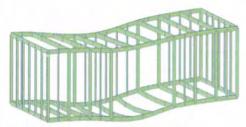
在 2011 年的原型箱体设计中,富挑战性地挖出了一个 3m 宽的中央大开口,随后的试制安排了一系列工作以验证这一箱体结构的性能,当中包括观察、计算、测量 3 个步骤。最开始是感觉性的观察,第一个原型箱体刚刚完成时,就被吊带承托箱体底面模拟箱体中部跨越 4m 跨度的情形,在最薄弱



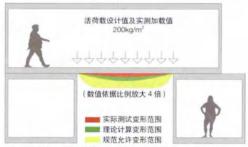
13 卡纸经裁切折叠成为纸箱



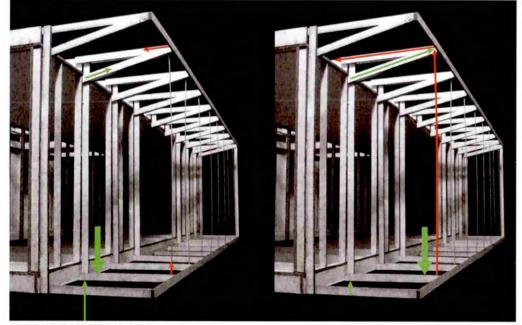
14 原型箱体的加载测试



15 软件模拟计算的变形情况(幅度按比例放大)



16 规范允许、模拟计算、加载测量三者的变形范围关系 (幅度按比例放大)



17 阳台结构传力模式图(绿色表示压力,红色表示拉力)

的位置上,通过20个人密集的站立产生接 近 1.4t 的集中荷载,观察到箱体没有出现 明显的变形(图 14),这时已经定性地判断 出箱体满足使用的要求。为了进一步定量地 了解性能,团队与华南理工大学结构咨询小 组合作,进行了软件模拟计算,模拟仅由木 肋组合成箱体骨架的情形,在内部施加均布 荷载后产生的挠变 (图 15)。模拟中没有考 虑蒙板,是因为还没有理论计算模型能够精 确评价蒙皮效应参与受力机制以后的结构表 现,所以计算出的结果可以看做是一种最不 利的估算,但得到的数值仍然在规范允许范 围之内。最后是使用仪器的测量,通过在原 型箱内施加 200kg/m² 的重物荷载后,定量 测量箱体底面的挠变和材料应变,一系列结 果比模拟计算估值更优良(图 16),进一步 验证了箱体的结构性能。

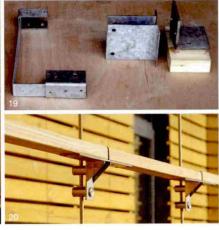
9m 长的箱体的制作是从全部不超过 3m 长的材料开始;先由木肋联合成平面骨架,再进一步通过把板材蒙在骨架上形成大板,小尺度的材料是通过错缝连接的方式协同受力组成整体。9m 长的大板在刚刚制作完成后,还会发生可见的明显屈曲,然而这却未必是缺陷,按照构想,箱体6面的大板是联合在一起工作的,板与板之间通过连接后产生了高强度的"空间棱"和"空间角"。当所有板都相互连接后,箱体整体的结构表现是非常强的。

由于箱体结构能力强大,在原型设计中,采用了"弱化结构"的策略,在中央形成3m宽的大开口,以引入光线和空间流通的效果。在上海南汇东滩湿地工作站中,由于跨度较早先的原型测试有所缩减,箱体也被赋予更多承载其它扩展部件的结构功能<sup>2</sup>。

### 2.3 阳台部件

阳台部件是悬挂在箱体侧面、对箱体进行扩展的部分,空间形态上它们加强了方盒子的悬浮感。阳台部件在几何上是箱体沿长向剖开得到的5面盒子,侧向开放的面产生了一个水平向展开的观景面。在小断面的轻型结构上如何实现这一构想?设想由阳台使







- 18 阳台结构试样的 加载测试
- 19 阳台结构顶部和 底部连接件
- 阳台不锈钢拉杆与 水平扶手的构造连接

用者产生的荷载,不是通过加大阳台底面结 构高度,以一条最短路径传递给箱体,而是 走一条迂回的线,由开口面上的垂直细杆与 顶面悬臂梁末端拉在一起,悬臂梁具有接近 弯矩图的三角形态,承接荷载后通过紧贴箱 体侧面的立杆传递给箱体(图 17)。

与原型箱试制时的完备条件相比,在有 种种限制的现实制作中,极少能定量测定结 构强度,反而更为常见的是要在不确定性中 做决定。此时设计一个恰当的小规模试验用 身体感知来预测结构表现,并做出决定是更 有效的工作方法。阳台的制作就得益于此。 阳台的结构试验,是先用木方按照设计构想 连接为角部的两榀 C 型构架,并以木料做 临时节点固定在箱体侧面而进行的,构架的 底梁和顶部三角梁的出挑端用钢丝线临时拉 接。通过4个人所施加的荷载进行的测试, 可以顺利地完成,并没有感觉到明显的形变 (图 18)。

然而整体稳定还需要可靠的构造节点来 确保,由于与本地材料供应和加工工艺高度 关联,节点设计实际上是在制作过程中完成 的,并且主要是通过金属来制作。金属加工 工艺的发展在历史上相比木材是更为晚近 的,精度更高也更要求专业化,它同时推动 了木结构在现代由真木节点向钢木装配式节 点的转变,在简化加工工艺的同时也减少了 节点加工对材料强度的折损。

节点设计的原则是遵循传力原理,简明 与隐蔽。阳台部件作为一个整体只需要在底 部和顶部与主箱体连接,就可以实现荷载的 传递,底部节点承托阳台荷载,顶部节点拉 接抵抗阳台向外倾。材料上分别利用铸钢抗 弯和锻铁抗拉的特性来实现,底部托件是铸 造的镀锌角钢,来自于拆除的报废电线铁 塔,镀锌表面经过十几年的使用依然保持光 洁,顶部拉接件用镀锌钢板通过切割折弯制 成 (图 19)。阳台开口面的垂直拉杆采用了 不锈钢圆钢,两端车螺牙后通过 M 和 N 字 形的镀锌钢板加工件与阳台构架挑出端相 连,所有不锈钢拉杆中段再由水平扶手拉接 (图 20), 阳台被人使用时,使用者的荷载使 站立位置附近拉杆绷得更紧,进而使相拉接 的扶手也更稳固。

阳台部件被主箱体支撑,因而自身的整 体强度无需太大, 甚至可以用"柔软"来形 容, 起吊时的变形通过增加临时支撑就可克 服(图 21), 一旦和主体相连, 它就"依附" 于强大的主箱体上了。台风季时,阳台部件 顶与两侧的侧向风载通过细密的板条间隙得 以"释放"。由于阳台部件主要供人们站立 眺望,活荷载条件非常明确,因此栏杆使用 了具备适应性的"聪明"结构:跟随实际荷 载调整栏杆挂件的松紧度来抵抗施加在栏杆 上的侧推力。即遇弱不强,但遇强更强。

# 2.4 平台栏杆部件

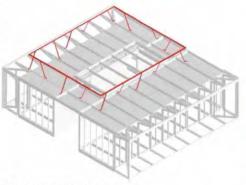
屋顶平台上的栏杆是出于使用功能的要 求,除了承担自身重量外,还需要抵抗来自 使用者的侧推力,但如使用密实的栏板,又 可能和建筑体量的悬浮感形成冲突。团队希 望制造出一种纤细轻盈的视觉品质,同时又 具有可靠稳定的抗侧力能力。设想每一侧栏 杆可以使用纤细的立杆来支撑,但要将立杆 撑脚向 4 个水平方向平移, 变成 4 个方向的 斜撑,任一方向的侧力将能被至少两条斜撑 通过拉压方式应对。水平扶手的转角也能将 推力传递至相邻的两根扶手(图 22)。

这是一个有挑战的部分,因为杆状构件 已被减至最少。在建筑师完成设计构想后, 现场助理也不能确信这个结构机制在真实材 料条件下是否能有效地工作。于是先在一家 小型金属加工作坊里,按照最长段7m的长 度设计制作了一个试样,以真实的工艺条件

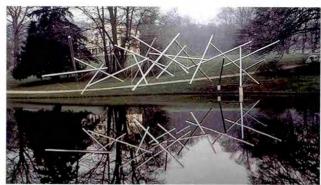








24 平台栏杆与箱体的结构连接分布



25 Easy-K (1970 年 铝与不锈钢 6.5m×6.5m×32m)

用不锈钢分段制作斜撑杆和水平扶手,并且 考虑到运输和安装要求,扶手还进一步分拆 为 4 段金属件和 3 段木材分别制作,所有 构件最后用螺丝连接到一起,接缝相互分散 以形成整体连续的栏杆。试验时把各个斜撑 杆支座用脚踩住,在扶手上尝试施加各个方 向的推力(图 23),虽然仍然可以产生晃动, 但也感知到这些晃动同时被有效地传递到用 脚踩住的支座上。此时我们做出判断,如果 所有支座能够被稳固地固定,并且4个方向 的扶手在结构上实现连续,栏杆将可以获得 整体的稳定。

栏杆的节点则同时考虑了木材会随外界 气候变形的潜在影响,将与木材与螺丝的连 接设于隐蔽位置避免节点破坏,并且节点的 隐蔽也有利于强化结构的整体知觉。栏杆结 构作为独立的附件,是通过螺丝紧固的支座 与箱体结构相连。从外观上看斜撑杆仿佛是 随机的分布,但实际上所有支座节点已经通 过结构分布设计准确落到到箱体顶部的结构 肋上(图 24)。

平台栏杆的预制部件在结构上是无法独 立工作的,甚至连站立的稳定性都成问题。 当它们自我交圈时,它们才能获得"站立" 的能力;当它们被逐一连接并被"约束"在 木箱这一"大地"上时,它们"突然"间强 大到能够保护观众,并且界定、影响了上部 的空间。这正如肯尼斯·斯耐尔森 (Kenneth Snelson) 张拉整体(tensegrity) 雕塑作品的启 示(图 25),纤细杆件和柔弱的索将力精确 地分散到空间中去,从而获得了自身的刚度 和稳定形态。

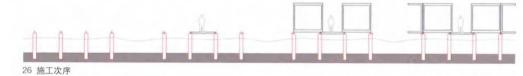
# 2.5 基础部件

支撑箱体的基础是由 16 根桩与其顶部 的拉接梁构成的,结构的稳定性来自于桩底 部有足够的长度插入土层里,将上部结构总

重 20t 的荷载传递给土层。基础的形态已经 考虑了整个施工次序(图 26),为了避免湿 地水体对建造的影响,先通过中间两排桩的 牵拉梁搭建一个施工平台,作为箱体定位时 的落脚点,再把阳台挂接在箱体侧面。由于 需要与湿地软弱的土层连接,基础的制作实 际上是在现场进行的。

基础桩采用 28cm 径级的花旗松原木, 质地坚实、富含松脂、耐盐碱腐蚀,选用原 木做桩还与桩基的施工工艺高度相关。木桩 在现场定位好后,是用挖土机的挖斗压入土 层中(图 27)3。但这种工艺难以控制木桩到 位后的定位精度,于是在将桩头锯断找平后 架设的牵拉梁(图 28),实际上还起到了精 度调整的作用,使得箱体底部的支脚能够与 基础对位连接。

基础部分的结构比较常规,采用了九宫 格的组织形态,很容易通过杆件之间简单的 拉结实现整体的组合与分解。这为轻型建筑 实现现场快速搭建,乃至应对未来整体拆卸 搬迁的潜在可能奠定了基础。这在工作站的 建造过程中已经得到实际验证,由于土地使









28 架梁 29 基础拆除









用权限出乎意料的临时变更,在一周之内, 已经在湿地泥滩中落成的的基础和箱体被完 全拆除 (图 29), 后移到 15m 外的道路护坡 上再重新建造了一次,整个过程既没有发生 结构材料的损耗,也未对原有湿地环境产生 任何影响。

# 2.6 部件联合

当真实制作发生时,会发现所有与物质 相关联的因素都开始塑造形态,包括预算、 材料、工具、工艺以及工匠。此时资源的 总体调配显得极为重要。由于预算苛刻,并 且在江浙沪没有曾经合作过的大型制造商提 供总装支持,团队将制作场所选在江苏盐城 的一个偏远的海滨集镇,在当地聘请了4位 熟悉木工的工匠,购置了必需的木工机械并 临时租用了一个 1000m² 的空置厂房。生产 条件上虽然不足,却可以从材料、工具以及 方法上获得补偿。

最终选择的结构材料,既有来自北美人 工经济林,尺寸精准且价格合理的锯材,也 有来自江浙本地,质轻且高效抗剪的多层胶

合板。这些材料只需经过简单的裁切加工, 便可获得相当的精度。方法步骤也是设计统 筹的议题,例如箱体先加工完成,之后阳台 部件直接依附在箱体上制作完成后再整体取 下,由此保证了两者在现场拼装的严丝合缝。

制作大尺度箱体需要起重机械帮助转运 与调整。在现场曾灵活利用了 4 台简易手推 叉车实现箱体的整体平移,还使用过由本地 铁匠铺以拖拉机改装成的吊车(图 30)4,帮 助箱体制作过程中大板的翻转移位。

在设计预制做了周密的计划后,现场把 所有构件组装起来的工作实际上是在一天之 内完成的(图31)。当所有部件联合为一体 的时候,每个单一部件在知觉上消失了,整 座建筑以期待中的方盒子的整体形态悬浮在 湿地上,而栏杆则仿佛一道几乎没有重量的 细环漂浮在方盒子上方(图 32)。

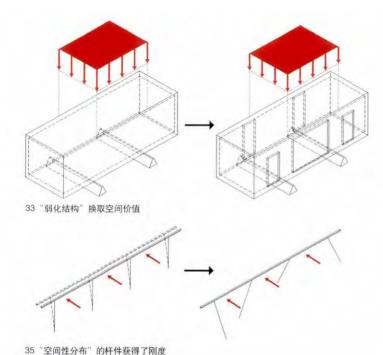
## 3 结语

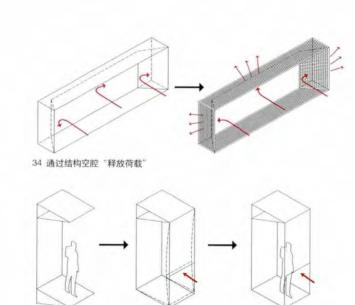
以上案例可以看出,轻型建筑的结构设 计并非仅针对"完成结构"进行设计。和重

型结构相比,轻型建筑的结构设计有不同的 层次:首先是由材料直接组合成的大小不一 的部件,大至箱体的部件自身已是房屋的充 足结构,而由线性材料构成的小型部件自身 非常柔弱。部件之间的基本结构关系也需要 在设计中不断澄清:支撑与被支撑,稳定还 是被稳定。然后是预制、运输以及组装时的 结构设计:是否需要保护,是否需要临时加 强,采用怎样的安装次序?再是使用中的具 体响应机制:强风来临时结构如何传力?荷 载能否被用干稳定结构刚度?由干构件拆分 以及机械接点的缘故,结构机制与构造设计 的相辅相成会减省材料消耗,并且极大提高 建筑整体效能,而机制与设计实施的冲突除 了会明显增加系统冗余,还可能由于内部的 不兼容为建筑物的长期使用埋下隐患。

在这个具体项目上,团队对基础采用了 相对常规的组织架构,主要箱体采用了"弱 化结构"换取空间价值的策略(图 33),阳 台部件作为依附体出现,通过结构中的空腔 "释放载荷"(图 34)。平台栏杆则通过"空 间性分布"杆件而获得了必要的刚度(图 35);阳台栏杆则选择"适应性应对":经由 人体施加应力抽紧拉杆来抵抗施加在水平栏 杆上的侧推力(图 36)。

无论是设计者有意为之抑或出于下意 识,结构与构造作为一种内部的构成机制, 在多方面影响着轻型建筑的品质。瑞士建筑 师安德烈·德普拉泽斯 (Andrea Deplazes) 曾 用一个同心圆图式表达这种关系 [3], 位于圆 心的每一个具体建筑形态都是由环绕在其周 围的建构、场所和功能这3个象限的力量共 同塑造。在本文主要讨论的建构象限,这种 力量又被分为 4 个层次,每个层次都会有具 体的力量形式,包括初始的设计意图影响的 结构机制和材料,到制作时的造价、技术和 工艺,再向外扩展涉及到建造组织、方法步 骤以及产品制造。最外围是一系列议题,涉 及到科学议题、能量议题与可持续议题。这 些议题与层次归结在一起共同构成了建构维 度的品质。这个图式的解读可以是由内而





36 利用人体施加应力"适应性应对"水平栏杆上的侧推力



37 小学生的中国馆模型

外,在具体建筑项目及其形态的设计中响应不同层次的力量,又可以是由外而内,经由多种不同层次的力量共同塑造生成一个具体的建筑项目及其形态。但德普拉泽斯在图式的命名——形态的发现或生成(Form-finding or form-developing processes)——中已经阐明,所有层次的力量无论来自内部还是外部都是先于具体建筑形态而存在的。建筑形态的获得不是一场"先射箭后画靶"的简单游戏,它可以是目的,但更应是结果!

再看一张来自大众传媒的图片:山东一所小学的学生表达了他们理解的上海世博会中国馆(图37)。他们收集了一些旧报纸,把旧报纸卷成卷,再一层层交叉叠放起来,从而得到了与世博会中国馆相类似的形态。小学生的表达,诚实地反映了受力、建造顺

#### 注释

- 1) 这种结构的原则在轻质材料中也有着广泛的应用,比如瓦楞板和蜂窝板,它们用很轻薄的材料获得相对高的强度,并且蜂窝板的强度会进一步高过瓦楞板,因为板材内部具有更密集且各向连续的空间性交线与交角。
- 2) 比较值得一提的是,箱体的结构与一般建筑结构相比需要承担更多动态荷载,在运输过程, 吊装过程,跟承受稳定荷载不同,箱体的受力状况也是动态的,因此吊装完成后,接近开口的角部观察到了微小涂料的裂缝,虽然没有发生安全问题,却为箱体结构系统的持续探索提供了一些线索。
- 3) 出于控制预算的考量,使用的是小型挖土机, 能够产生的直接压力不大,但是可以利用锤子 打钉的原理,在挖斗里装满大石提供惯性,然 后敲击木桩,瞬间产生的巨大冲力使得木桩底 端穿透软弱土层嵌入到持力层。

4)是由柴油拖拉机改装而成,机械的结构逻辑十分清晰,吊机部分由各种型钢组合搭建而成,有独立的驾驶舱来操作吊臂,吊臂利用相对简单的省力滑轮而非液压杆来起吊重物,吊机驾驶舱底部的齿轮转盘使得吊臂可以360 自由旋转。

#### 参考文献

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Non-Newtonian\_fluid
- [2] 吴程辉,朱竞翔.湿地中的庇护所——上海浦东新区南汇东滩禁猎区工作站[J].建筑学报,2013(9):25-28
- [3]Christoph Elsener, Andrea Deplazes.
  Constructing Architecture: Materials,
  Processes, Structures, 2005:11.

## 图片来源

图 1~3:徐冰官方网站,网址 http://www. xubing.com/index.php/chinese/projects/ year/1994/square\_calligraphy\_classroom\_chinese 图 04:http://www.wimp.com/poolfluid/

图 05:http://zh.wikipedia.org/wiki/File:St%C3%A4rkemehl\_800\_fach\_Polfilter.jpg图 06:BAE Systems and the Army Developing Non-Newtonian Fluid Body Armor 网址 http://www.guns.com/2012/04/06/bae-systems-army-research-lab-university-delaware-stf-shearthickening-fluid-body-armor/

图 15:华南理工大学雅致-I-house 单箱静载测试报告

图 23:乐康拍摄

图 25 :http://kennethsnelson.net/sculpture/ outdoor/images/easy\_ksonsbk71.jpg

图 28:严巨川拍摄

图 37:山东小学生用废旧报纸搭出"中国馆", 网址http://unn.people.com.cn/GB/11385125.html 其他图片均为笔者拍摄与绘制