

基座抑或撑脚

——轻型建筑实践中基础设计的策略

Plinth or Footing

The Strategies of Foundation Design in Applied Projects of Lightweight Building

[张东光] Zhang Dongguang

[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

回顾了多个轻型建筑项目中基础的设计与建造工作，梳理基础设计在外部因素和系统自身发展共同作用下的演化；也介绍了密斯·凡·德·罗的轻型结构，并且讨论了基础的关联要素与不同设计策略。

关键词

基础设计；轻型建筑系统；基座；撑脚；密斯·凡·德·罗

ABSTRACT

After introducing the design and construction of several applied projects of lightweight building system, the article reviews the evolution of foundation designs as a collective result of constructional conditions and adaptation of building system. The article also discusses various strategies in foundation design and relevant issues after a comparison with Mies Van Der Rohe's lightweight practice.

KEY WORDS

foundation design; lightweight building system; plinth; footing; Mies Van Der Rohe

1 词语

“基础”的字面具有“根本”和“起始”的双重含义。“根本”表明其在系统中的重要性、决定性作用；“起始”指其在事物发展时序上的源头作用。

就像植物的根，动物和人类的脚一样，基础是建筑物或构筑物不可缺少且极其重要的一个组成部分。作为房屋或者构筑物的结构安全保障，基础的重要性是不言而喻的。从力的传递角度上，基础是与大地相接的节点，是上部所有荷载的汇集处，通过它上部荷载传给大地。在建造阶段，基础往往是一个项目的开始，其完成质量对后续步骤有着重大影响。而从气候角度上，地下水不断地试图冲破基础对上层建筑的保护，带来能源的耗散以及无法彻底清除的腐蚀与霉菌（图1）。

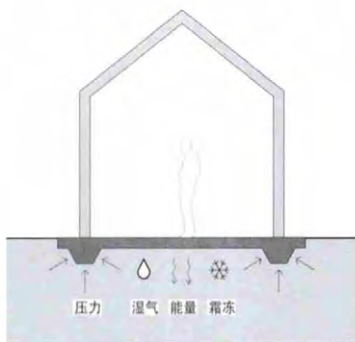
在理论范畴内，基础是构成建筑的一个重要的独立元素。例如在森佩尔（Gottfried Semper）的著作《建筑四要素》（*Four Elements of Architecture and Other Writings*）中，台基（the Plinth）这一基础的扩大与显性表达，是构成建筑物的四个要素之一。而在瑞士当代建筑师赫尔佐格和德梅隆（Herzog & de Meuron）的项目中，基础被看作是

一个设计重要的开始和激发因子：“去建造——也就是海德格尔所说的占据大地——首先必须创造一个全新的，人工的地面、一个平台。这是整个建筑过程的出发点。赫尔佐格和德梅隆在他们对于根源的探索中始终关心这个首要的基本环节，建立基础成为建造过程中最重要的，决定性的一步。”^[1]

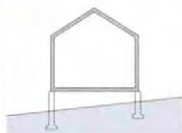
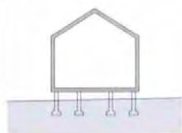
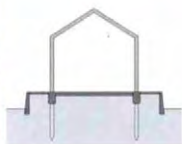
在当代建筑中，基础多数情况下只和结构或者建造技术层面的考量有关。例如，如果地形条件不利于创造一个平坦的基础底面，那么结构的布置就受到了很大约束，有时会产生昂贵的耗费。虽然建筑师与有品味的客户乐于将建筑看成是与艺术相关的物品；但它们还是一样地需要克服永恒存在的重力，并且用与30年前、甚至一个世纪之前大体相同的方法被建造出来。但将建筑当作实用艺术品看待的观点使得建筑师在追求形式表达的过程中，经常会忽视基础处理的原则和场地具体的可能性；并且忘记上层建筑的形态、质量处理常常与基础的设计息息相关。

2 轻型建筑的基础

上层建筑的核心改善是减少自重和荷载，这能够极大程度上提



1 基础应对各种挑战



2 7个项目及基础图示

升整体的结构抗震性能，进而减轻基础准备及其对大地的扰动。这对轻型建筑来说不是难事，并会带来两方面的设计可能：先是减少基础的工作量，从而节约时间与金钱。或者在不减省时间与金钱的情况下，可以使用资源提升基础的多项性能，乃至利用基础创造空间。

自2008年以来，香港中文大学的研究团队设计建造的一系列慈善学校、保护区建筑以及工业级别原型产品，都应用了自主开发的轻型建筑系统。虽然轻型建筑主要构件为工厂预制，重量轻，施工快捷，但落成的项目还需要面对差异极大的各种场地条件：从阴郁潮湿的山林坡地到新填土方未经夯实的平地，从咸水漫过的湿地斜坡到简单铺装的停车场地坪。针对这些特性，轻型建筑的基础有哪些策略选择、施工材料和实施组织的好方法呢？

回顾图2中所列的研究团队的7个项目实践和相应的基础简图，可以看出有两类基础策略：3个早期的慈善小学项目采用的是环绕周边的条形基础，并且呈现不同程度的墙身基座；而在自然保护区建成的4座工作站采用的都是点桩式独立基础。这2类基础既与项目功能有关，也前后明显地呈现为2个发展阶段。

2.1 第一阶段——来自于地方工艺的墙身基座

3个慈善小学项目建成于2009-2011年，它们都位于村庄内部或边缘，基地相对平坦，没有复杂的土方工程，运输条件便利，重质材料的获得也比较便捷，劳动力组织容易。而作为新型建筑体系的初期实践，系统的上部结构已消耗了很多研究设计管理精力，故而直接采用较为稳妥的、可由当地工人实施的条形基础。

条形基础的尺寸由香港出图，钢框架制造商复核，之后团队派出施工经理前往当地组织实施，通常比上部结构提前3~4周进行。此阶段系统的上部结构相当于桌子，将会座落于地坪之上，因而基础的处理不止与

钢框架衔接的承重部分，还包括室内外地坪以及表面外观处置。

在2009年的四川广元的下寺小学，为了系统增进基础的绝热保温、储热稳定、防潮防结露性能，室内地坪采用了多层构造。救灾板房废弃的泡沫夹芯钢板被埋在地下成为绝热防潮层，价格低廉的农用薄膜层用来控制缝隙中的水分入侵，原有校舍拆卸下来的预制混凝土楼板放置于其上成为热容垫层，表面采用回收的旧砖、瓦、石料结合水磨工艺创造出美观的表面^[2](图3)。这些措施吸收了灾后拆除旧建筑时产生的建筑垃圾。经过4年以上的使用，基础的保温、防潮设计性能优越，室内卫生舒适。而下寺村当地房屋使用很高的基座以试图克服潮湿气候，却是收效甚微。原因在于地基本身没有防潮构造，混凝土本身具有吸水的毛细作用，当地墙、地面在雨季极易出现返潮现象。现在，这些新的构造、工艺已逐步被当地工匠采用或模仿。

2010年落成的四川盐源达祖小学新芽学堂，基础的分层处置类似于下寺小学，但分别采用了泡沫、废弃木板、农用薄膜以及干砌砖块构造保温、隔潮与储热层，席纹干砌砖块地坪施工留下未来加装太阳能地板辐射热系统的可能(图4)。而在室外，由于建筑场地与活动场地有高差，团队邀请当地纳西工匠用乱石砌筑了基座，它所形成的高差适合儿童倚靠或者悬坐，也使得新芽学堂简洁的体量有了神圣的气息。

2011年团队为云南大理州美水小学建造了两层的教学楼，包括6间教室和1间活动室。房屋主体结构施工3周，基础施工也达到3周。基础施工与主体施工的时间几乎相当。建筑主体的基础周长有80m。分为基础开挖、地基处理、垫层、到“放脚”的砌筑，最后是地梁的支模浇筑。得益于当地村民和小学在人力上的支持和帮助。当时采用了人海战术，消耗了人力、材料与时间。

项目施工的过程中遇到了一个特殊的情况，地基刚刚堆土至指定标高，期间遇到雨

水,大部分土质含水量过高,且一次回填的厚度过大,夯实不到位,场地上出现“橡皮”土(图5):它含水量比较大,呈软塑状,踩上去会有颤动,它也很难被机器夯实,常会出现夯打某处,临近土壤鼓起的现象。如不采取应对措施,将会带来严重后果,其上部的连续地梁有可能自行断裂。

基础设计进行了现场调整,团队采纳了“万年桩”的当地传统做法:即砍伐当地大量生长的松树,将140多棵上部削尖的松木桩用挖掘机打入条形基础的下方土壤,上部的基础承托于木桩尾部。松木由于油脂和树皮的保护,在湿度相对稳定的土壤中不会腐烂。松木桩在条形基坑内均匀、交错布置,深度达至3m,提供了良好的承载力,从而解决了土质带来的问题(图6)。影响外观的基座由当地工匠砌筑,材料来自当地矿山废料,坡道与台阶表面则使用了当地新购的石板^[3]。

教学楼的建造中还包含有两组通路,它们分别与建筑体量中两个全高度门型洞口相接。一侧通路使用坡状台阶步道,另一个则使用单跑楼梯。它们的修筑和基础同时,早于上部轻型结构,并为二层结构组装提供了施工通道。由于校园高差的缘故,坡状台阶步道在校园方向看如同地面基座,而在新建建筑方向看又如同挡土墙身。长坡道下面被设计成有着大小错落开口的空间,内外表面分别呈铁红色与铁黄色,如同光影有致的洞穴,为孩子们提供了百玩不厌的课间空间体验(图7)。而楼梯台阶下方则成为放置卫生杂物、运动器材的储物空间。

2.2 第二阶段——自主演化的撑脚基础

条形基础的方式需要使用砖石或者混凝土,现场工程量巨大,耗时巨大,同时施工中也会产生建筑垃圾——例如丢弃的模板。项目带来的经验也让团队反思,建筑本身的重量很轻,轻型的钢框架要么是点荷载,要么是梁式的荷载传递,条形基础太长,可承重上部连续墙体,亦可用于砖混结构,这种选择是否合理呢?

2010年开始,团队接获邀请,重建震



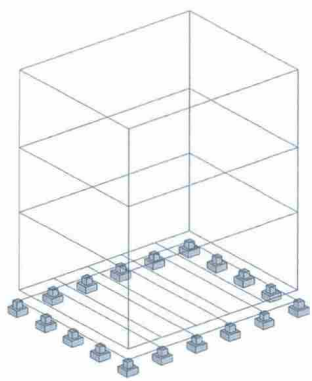
3 下寺小学基础和地面做法(上:蓄热;下:水磨石)
4 利用废旧木板和农用薄膜做地面保温、防潮
5 橡皮土断面
6 打木桩
7 美水小学坡道外观及其下部空间



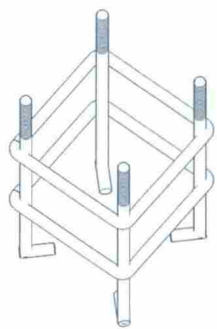
后损毁的四川自然保护区的工作站用房。它们普遍地处偏远,运输条件恶劣,现场人力和材料都十分匮乏,这些客观因素都不适宜采用工程量大的基础设计。加之项目地处的四川自然保护区内或者边缘,地形起伏不定,平地匮乏,生态环境本身也反对项目建设时

对土地、植被带来的破坏。由此几个工作站项目全都采用点式独立基础的设计,建筑主体被凌空架起脱离地面。它不仅减少了土地开挖,缩小了工程周期与耗费,同时也为地面的水流以及动植物留出了空间或通道。

以2011年建成的四川鞍子河自然保护



8 鞍子河保护站宣教中心基础布置



9 基础形态与预埋件



10 栗子坪保护区工作站基础

区宣教中心为例。到达基地的道路曲折且有较大坡度,基地本身 15° 的斜坡。建筑的总荷载为 75t, 由 18 个独立的方墩基础承托, 分摊到每个基础上的荷载只有 4.17t(图 8)。加上放大的座脚, 地面稍微下挖就能够找到具备足够承载力的土层。设计采用了方形的混凝土独立基础, 利于支模, 基础同时预置出头螺杆, 可将基础与上部结构的底部桁架连为一体(图 9)。基础的简化也与上部结构的重新调整有关。所有工作站的设计不再是“桌子”, 而更象“鸟笼”——下部使用不同强度的组件将上部框架联合为一体。采取点状分布的撑脚式独立基础大大缩短了工时, 节约了成本。整个基础施工大概耗费 30~35 个工时, 材料仅花费 2600 元, 施工费 5000 多元。

不足之处在于建筑师不希望基础的体量过大, 基础因而被分为上下两层立方体, 它在视觉上会显得比较轻盈, 但为施工造成了相当的麻烦: 两层立方体需要分两次浇筑,

需要分别进行水平定位、垂直定位、支模、浇筑与养护, 重复流程增加了工作量, 模具制作耗费工时, 同时也会加大基础的误差。

为了改进这一点并且杜绝哪怕很少量的垃圾, 团队采购了大直径的 PVC 管作为混凝土浇筑的模具来施工 2012 年的四川栗子坪自然保护区移动监测站。这一工作站地理位置更加偏僻, 运输存在巨大困难, 甚至基地没有供工人休息的房屋, 工人生活靠临时帐篷和户外野炊。48 个独立式圆柱基础在 3.5 天内全部完成(图 10), 施工队为此也配合采用人海战术, 减低反复山区运输的成本: 例如 3m³ 的砂石费用在 200 元左右, 运费却高达 900 元, 这次工作进一步省却了模板上所耗费的时间和人力。

使用 PVC 管作为模具有些小问题: 主要是材料重量轻, 轻触、浇筑都容易发生偏移, 这给准确定位带来了麻烦。另外, PVC 材料本身强度较弱, 容易发生破裂, 施工过程中需要工人小心操作。

2013 年春季完成的四川白水河自然保护区工作站项目, 吸取栗子坪项目的经验, 这次利用的是附近工厂生产的水泥涵管, 外径 30cm。水泥涵管定位后十分稳定(图 11), 表面品质很好。问题是切割稍微吃力, 重量大, 人力运输比较难。由于施工开始之前已在坡地上架设了电动轨道车作为场地内的运输, 这些问题没有形成障碍^[4]。整个的基础施工周期 4.5 天, 消耗 24 个工时, 基础开支花费不到 7000 元。除此之外, 由于场地前后高差很大, 撑脚基础所托起的建筑下部还成为半开放的储物或者设备空间。

3 类比密斯·凡·德·罗的选择

借助当地资源、采用传统工艺做法来施工基础, 将设计师的精力从“看不见的”地下部分解脱出来, 这一做法非常自然。1929 年完成的巴塞罗那德国馆是密斯·凡·德·罗 43 岁盛年的设计, 它上部采用轻型预制结构, 全部由德国公司施工, 而基础则采用了加泰兰拱券(Catalan Vault), 直接利用了加泰罗尼亚地区的熟练工人, 尽管他们手工操作, 但施工很快, 也无需支模^[5](图 12)。这不同于原有德方的基础设计, 但无疑是设计师在期限内完成任务的必然选择与正确决定。

21 年后的 1950 年, 范斯沃斯住宅落成, 它的上部结构完全由玻璃和钢铁构造, 基础为直接座落于混凝土承台上的 H 型钢柱。房子四周是一片平坦的、夹杂着茂密树林的



11 水泥涵管作为基础施工模具



12 巴塞罗那德国馆基础施工照片
 13 范斯沃斯住宅矗立在洪水中
 14 打渔者居住的小屋从地形中分离出去
 15 深圳低碳城媒体中心“放置”于停车场上
 16 鄱阳湖工作站方案
 17 白水河保护区“树屋”方案
 18 轻型建筑加建于重型结构之上

旷野。由于座落在福克斯河畔，抬升的平台在洪水季节显示了它的意义：房屋此时如同水面上的方舟（图 13）。撑脚式独立基础既实现了物质之轻，也呈现了从未有过的视觉之轻。今天的人们还会惊诧于它对于生态环境影响极小的特征。

4 设计策略与基础议题

由此人们可以看到基础所指示的两种地形与结构的关系类型：从地形中伸出，或者从地形中分离出去（图 14）。从建筑技术的角度来说，前者问题最多，因为连续而一致的维护面在地面受到各种力量的挑战：不良气候，使用中的机械损害，水汽入侵或凝结，地下土压力，乃至昆虫植物。虽然使用连续

材料，如现浇混凝土和抹灰（防水抹灰 / 防水汽基层）会减少这些问题的出现，但和上部的轻结构材料相比，材料与实施都变得麻烦，同时闭合施工接缝还会遇到更多的困难^[6]。

从地形中分离出去的建筑能够缩减这些困难，但需要更为一体化的结构观念和稍微增加的材料预算。虽然建筑仍然是锚固在地面上，但只要建筑的连续表面在此被打断，传力构件也足够细小，建筑就给人一种从地面飞离出去的印象。

由于自重的缘故，重型建筑与大地脱离需要不菲的代价，倒不如融入大地。轻型建筑会提供多一些的选择：它们可以如前述的学校项目座落于重型基座之上，也可以如同保护区工作站从土地上凌空跃起。当它与大地之间的距离有着精确的预计时，它带来对技术新的要求，也产生对功能乃至知觉都有影响的空间：例如可以直接放置于停车场地坪上的深圳媒体中心（2013 年，图 15）。撑脚空间放大到形成会被洪水淹没的首层空间的鄱阳湖湿地工作站方案（2013 年，图 16），以及利用挺拔的杉树作为撑脚的白水河保护区入口“树屋”（2012 年，图 17）。而轻型建筑也适合房屋的加建，此时重型建筑将转变为轻型建筑的基座（图 18）。

因而，讨论基础的处理实际是在讨论空

间的延伸。一旦研究者改变了上层建筑物的组织，这不仅仅引发了重量的变化，它促使设计者思考曾经理所当然地认为是匀质的土地，追问它的存在、事实、信息乃至和建筑物的联接；并将我们习以为常的可视世界与因为“看不见”而反感的“地下”空间联络在了一起。[A]

参考文献

- [1] Rafael Moneo. 刘宏伟 译. In Celebration of Matter 赞美物质.
- [2] 朱竞翔. 新芽在四川 [J]. Domus China. 2010(5):92-99.
- [3] 朱竞翔, 夏珩, 张东光, 孔德钟. 轻型建筑塑造的教育场所, 云南大理陈碧霞美水小学新芽教学楼 [J]. 时代建筑, 2013(6):68-75.
- [4] 张东光, 韩国日, 朱竞翔. 轻型建筑系统的山地营造——四川白水河自然保护区宣教中心 [J]. 建筑学报, 2013(9): 20-21.
- [5] 朱竞翔, 王一锋, 周超. 空间是怎样炼成的? ——巴塞罗那德国馆的再分析 [J]. 建筑师, 2003(10): 90-99.
- [6] Andrea Deplazes. Constructing Architecture: materials, processes, structures, a handbook [M]. Basel, Boston: Birkh user, 2005.

图片来源

- 图 12 :Ignasi de Sola-Morales, Cristian Cirici, Fernando Ramos: MIES VAN DER ROHE BARCELONA PAVILION, Editorial Gustavo Gili, 1998
 图 13 :Centre Georges Pompidou: Mies Van Der Rohe. Paris, 1987
 图 18 :Marianne Burkhalter & Christian Sumi. The Timber Buildings. Zürich: GTA, 1996
 其余均由作者或团队绘制、拍摄