

可持续建筑：设计师的可能选择

How to Achieve the Sustain? --
Inspiration from Modern Swiss Pioneers

[朱竞翔] Zhu Jingxiang

作者单位

香港中文大学建筑学院

收稿日期

2013/06/01

摘要

辨析了可持续建筑议题包含的诸多内涵，强调了建筑师主体的伦理逻辑以及由此带来诸多职业选择的可能；通过历史事实来支持此一论点：通过回顾现代主义运动时期瑞士工程师罗伯特·马亚尔 (Robert Maillart) 的结构发明与应用，比较他和涉足广泛的瑞士设计师马克斯·比尔 (Max Bill) 的工作差异，再联络两人设计工作领域的历史交汇点，探讨了他们内在设计追求的一致性。而此种个体选择与社会演变的协调正是他们的影响力绵延至今的原因。

关键词

可持续建筑 罗伯特·马亚尔 马克斯·比尔 桥梁 产品 社区 绵延

ABSTRACT

This essay focuses on the relation between words, and what they stand for, in the issue of sustainable architecture. It highlights the logic and ethic of the profession resulting career possibilities. Historic facts are referenced to support the argument presented in the essay. The structural exploration by Robert Maillart, a pioneer Swiss engineer in the Modernism period, is reviewed and compared to the scope of work done by another renowned Swiss designer Max Bill. Their interaction in history shows how they seek for a common goal as a designer. The essay concludes with how personal choice and willingness to adapt to social changes keep the two designers influential till contemporary society.

KEY WORDS

sustainable architecture; Robert Maillart; Max Bill; bridge design; product design; community; sustain

美国政治家与律师威廉·詹宁斯·布莱恩 (William Jennings Bryan, 1860-1925) 和本文中介绍的瑞士工程师罗伯特·马亚尔 (Robert Maillart, 1872-1940) 同一时代，他说过一句常被引用的名言：“命运不是一个机遇的问题，而是一个选择的问题；它不是我们要等待的，而是我们要实现的。” (Destiny is not a matter of chance; it is a matter of choice. It is not a thing to be waited for, it is a thing to be achieved.) 今天如果设计师用“可持续” (sustainability) 替换“命运” (destiny)，我们就不会再被动地等待社会、环境的好转了！

“可持续”是“可能持续”还是“可以持续”？“建筑”这里是名词，还是动词？这一个复合词至少产生 4 个可能的组合。这些组合也具有不同的含义：如果建筑是名词，它指的是一幢建筑，还是建筑类型 (代表许多次建造)？一幢实验房屋代表了设计的假设有了实现的机会，而一类房屋的建造则真的创造了某种被接受的事实。

如果“建筑”是动词，“可持续建筑”前面的主语可能有谁？它是一群人中谁的“可持续”：发展商还是用户，建筑师还是工匠，机构还是个体？当材料、工具、技术更新时，工匠会获得新的技术能力，

还是会走向失业？当新的建筑加入时，社区会变得更充满活力与希望，还是会被撕裂，导致人与人的不信任？

可持续性议题的热门意味着现实中的危机。在中国，扩张的大城市如同魔怪吞噬郊区、乡镇、村落以及附着其上的多样生活。制造业、外贸行业人们辛苦劳作挣来的微薄利润，被冻结成钢筋混凝土森林；高楼大厦之间人们看到了越来越多的雾霾、拥堵与逼仄。房价上涨产生的纸上财富使人遗忘了心灵，远离自然、健康、知性、多样的生活。

建筑师本职应该是提供基本、舒适的住房，却被迫成为资本机器和国家意志的部件，帮助强大的政府与发展商打造欲望都市。作为建筑架构的孕育主体，如果设计师的意愿反复被外部势力牵扯与撕裂，工作技艺不能自然地呈现与发展，个体势必分裂与痛苦，造物的品质也就可想而知。所有关联的使用者未来都会受到负面的影响。

造物有不同层级：先是宇宙创造的无机物——星球、大地、海洋与山川，最终是大自然创造的有机体。一旦离开母体，生命会为了生存努力地成长。介于两者间的则是人类发明的建筑、机械、工具，保护着生命，服务着生命。这 3 种造物很不相同，能量维持、演化方式不尽相同。有机体创造最为困难，却是造物的最高阶段。它是



1 罗伯特·马亚尔肖像

人类在其创造性工作中最想接近的目标，也经常是建筑师描述其工作的美妙词语。

每一次、每一种造物不可避免地受制于原有的生态——自然的或者社会的，也会影响到原有的生态——正面的以及负面的。亚马逊的热带雨林中大约每一千颗种子中才会有一颗存活下来，成长为树苗。火山的突然爆发会造成岛屿生态系统的灭绝。建筑物的发明、建造也不免如此。这些造物的复杂、艰难与风险是否在初期的教育中被传递给设计者？又是否能被实践者承接、预料与解决呢？

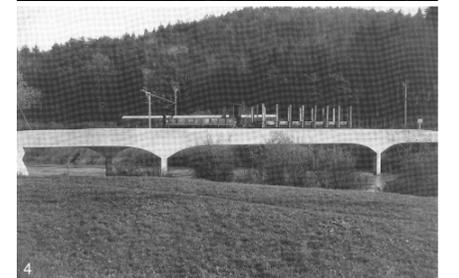
可持续性议题，而不是问题，因为它很可能无解：无解来自于我们面对问题时的没有准备、幼稚反应或者个体经验；无解来自于其内在的复杂性，牵涉因素纷繁多样；无解也常常来自于问题的笼统与含混，还有负责主体的不明确。一篇短文不可能理清“可持续性”议题所牵涉的所有内涵。但既然建筑的造物由建筑师负责，自然的或者社会生态的限制由他/她来突破，对自然的或者社会生态的改变由他/她来执行，那就存在一个简明的伦理逻辑：就是没有母体愿意通过毁灭后代的生存环境来延续后代。这一逻辑如果未来存在，现在存在，过去也存在，那么有关未来的启示可能存在于历史中——那些先驱们的工作中。

瑞士工程师罗伯特·马亚尔 (Robert Maillart, 1872-1940) 便是这样一位先驱 (图 1)。他 1890-1894 年受教于苏黎世瑞士联邦理工学院。职业初期的几年间，他为一家伯尔尼工程公司做铁路设计，也为苏黎世市公

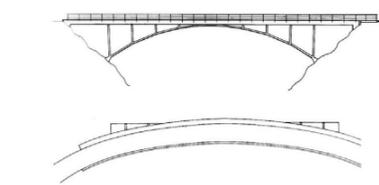
共工程局设计道路和桥梁。1902 年马亚尔创办自己的公司，并在随后的 10 年内发展了西班牙和俄国的分公司。1912 年马亚尔将全家搬到俄国，此时俄国正在瑞士投资公司的帮助下进行工业化。马亚尔在俄国圣彼得堡和里加负责工厂和仓库的建造。1914 年第一次世界大战爆发，切断了度假的一家人的归家之路。之后他妻子在滞留期间去世，1919 年初马亚尔和他的 3 个孩子才重返瑞士，在那以后他开始为别的公司工作以清偿债务。从这时开始马亚尔最好的结构设计开始系统地呈现。1920-1940 年间马亚尔的事业获得扩展，在日内瓦、伯尔尼和苏黎世都成立了事务所。他在一生中的最后 10 年，独自一人住在办公室里，设计出许多重要的工程，这些设计使他至今仍广为人知，并被学术界反复研究^{[1]76}。

他一生的成就在于发明了 3 种不同的桥梁类型。它们分别是箱型截面三铰拱桥 (Box-section three-hinge arch bridge, 图 2)，桥面加劲拱桥 (arched-rib bridge, 图 3) 以及连续梁桥 (continuous beam bridge, 图 4)。这几种桥型互为关联，性能不同，他在一生中大小不一的工程项目中反复改进它们，从而获得效能、材料建造以及空间造型方面的高度协调。马亚尔代表了历史转折时期承前启后的人物，在工程领域就如同密斯、柯布西耶之于现代建筑师的地位。其时钢筋混凝土这一新材料刚刚出现，没有人了解这意味着什么，马亚尔独自在瑞士的偏远地区探询钢筋混凝土的可能形式与适合形式。摸索着砖石叠加构造的桥梁向钢筋混凝土整体桥梁的稳妥转换。3 种不同的桥梁类型代表了其间差别微妙的几种可能^{[1]76}。

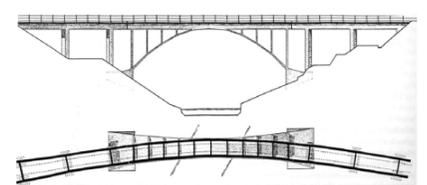
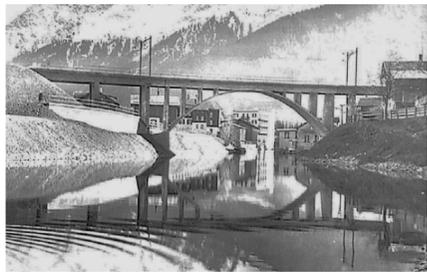
1901 年罗伯特·马亚尔发现他独立设计建造的第一个结构物——横跨瑞士境内因河 (Inn River) 的箱型截面拱桥佐兹桥 (Zuoz Bridge, 图 5) 有轻微的扭曲，在桥台处产生了裂缝，任何普通的工程师都会被这种情况吓着，并决定下次将加强桥台，以使失误不再发生。马亚尔则改换了自己的视角，用



2 箱型截面三铰拱桥—塔瓦纳萨桥 (塔瓦纳萨, 1905)
3 桥面加劲拱桥—施万德巴赫桥 (施万德巴赫, 1933)
4 连续梁桥—利斯堡水泥厂铁路桥 (利斯堡, 1935)
5 佐兹桥 (佐兹, 1901)



6 施万德巴赫桥 (施万德巴赫, 1933)



7 朗夸特铁路桥 (克劳斯特斯, 1930)



8 西墨河桥 (格拉斯塔特, 1940)



9 萨尔基那山谷桥 (萨尔基那, 1930)

相反的方式来解决, 他认为既然桥梁没有垮掉, 那些产生了裂缝还留在原位的部分已不再承受荷载, 它们一定是多余的。因而当他在 1905 年设计下一座, 塔瓦纳萨桥 (Tavanasa Bridge, 图 2) 时, 他除去多余的部分, 从而创造了一个崭新的桥梁类型——箱型截面三铰拱桥。这类的转换在他的一生中从未停顿过^[2]。

这些桥梁消减了笨重的砖石桥梁形态。它们优雅地跨越河流、飞跃峡谷, 重量越来越轻, 最终拱券可以被减至极薄, 已经不容易分清是拱券支撑着桥面, 还是桥面下悬挂着拱券 (图 6)。结构的所有部分都参与了受力, 也塑造着新形态与新式的空间。马亚尔的桥梁可以斜向或者弯曲地跨越河流, 甚至可以自然地使行进中的火车在河面上空转弯 (图 7)。这些不仅是传统砖石桥梁难以做到的, 也反映了桥梁设计如何可以适应新式交通工具以及它们所带来的流速变化^{[2]110}。

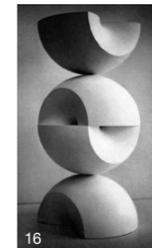
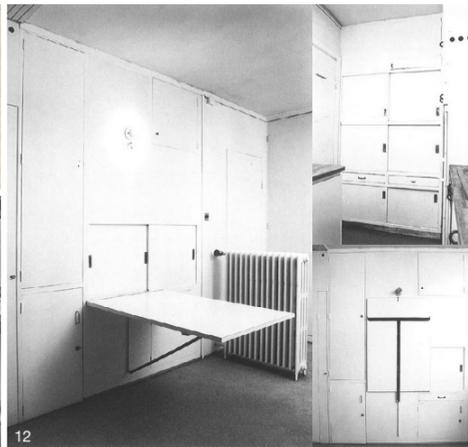
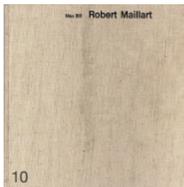
马亚尔的不断改良也包括施工组织: 支模、钢筋分布以及实施程序都是他的工作范畴。这些桥梁很多地处偏远社区, 项目也主要从设计竞赛中赢得。这意味着创新非但不必牺牲经济性, 反而会带来巨大的经济性。在他晚年完成的戈施达特的西墨河桥 (the bridge over Simme in Garstatt) 照片中 (图 8), 这座崭新的钢筋混凝土桥梁完全融入了社区建筑群和大地景观之中。它的形式既非来自于先验形式, 也没有历史借鉴的痕迹, 它是由工程师自觉选择的人工形式, 非常特别又深具普遍意义^[3]。

马亚尔设计的 47 座主要桥梁中, 除 3 座之外其余仍然在使用, 许多桥梁已经连续使用了 75 年以上。他参与的主要建筑物也几乎都完好无损, 只有两个大型的钢筋混凝土薄壳建筑物在工业展会结束或者使用用途变化之后被拆除。即使这些建筑作品不多, 也受到合作建筑师落后设计观念的羁绊, 但

他仍然设法在钢筋混凝土薄壳、屋架以及无梁楼盖方面作出了启发性的创新。马亚尔著作大多数以德文发表在《瑞士建筑学报》(Schweizerische Bauzeitung) 上, 这些文章表达了他在结构艺术上的观点, 但并未给他带来德语区之外的什么影响力。马亚尔的桥梁设计远远领先常规的结构设计观念, 也超越了当时的计算能力。纵然在现实中他使用了直观结构、图解静力计算、模型研究以及足尺度测试的综合方法保证了桥梁安全, 并由此获得了新方法 with 形式观念, 但他在当时并不被学院的理论家和研究者重视, 并且因为设计无法用计算加以证明而受到批评^{[1]99}。

马亚尔个人极为谦逊, 生前寂寂无名, 但工作超越了时代, 影响了战后乃至当今诸多杰出工程师与建筑师。1936 年在去世前 4 年, 马亚尔当选为英国皇家建筑师协会 (RIBA) 会员, 这体现着结构工作被建筑师群体认可。1947 年他去世后 7 年, 纽约现代艺术博物馆 (Museum of Modern Art) 展出了马亚尔的桥梁和设计工作, 为期 4 个月。这是历史上的第一次——独立结构工程师的工作被纳入到现代艺术的范畴加以讨论。萨尔基那山谷桥 (Salginatobel Bridge, 图 9) 入选为瑞士国家遗产; 1991 年, 美国土木工程师协会宣布这座桥为国际土木工程历史古迹; 2001 年英国专业刊物 (Bridge—design and Engineering) 又将它评为世纪最美桥梁^[4]。

和物质遗产相比, 更重要的是思想的延续。瑞士二战后的一位桥梁设计大师克里斯琴·梅恩 (Christian Menn) 说到他职业生涯早期受到马亚尔工作的鼓舞: “在建造了 50 年之后 (的 1957 年), 塔瓦纳萨桥所用到的建造原则仍是最为先进的”。西班牙杰出的现代薄壳工程师菲利克斯·坎代拉 (Félix Candela, 1910-1997) 在墨西哥读到马亚尔的设计后, 写道: “马亚尔的思想令人愉快而鼓舞, ……阐述观点与意见是在别的工程文章中难以找到的。……如果一名叛逆能造出如此漂亮而又坚固的结构, 那么当一名叛逆也没有什么错, 而且叛逆才是我揭开



10 《罗伯特·马亚尔——桥梁和建筑》封面
11 马克斯·比尔肖像
12 乌尔姆学生宿舍洗脸台
13 荣汉斯公司的厨房钟
14 荣汉斯公司的不锈钢自动手表
15 马克斯·比尔的几何绘画
16 马克斯·比尔的大理石雕塑
17 马克斯·比尔的金属雕塑

薄壳结构分析秘密的唯一途径。”^[5] 两位大师所读到的信息是 1949 年出版的《罗伯特·马亚尔——桥梁和建筑》(Robert Maillart - Bridge and Construction)。

这本 8.5 英寸见方的精装书包含有 180 幅黑白照片和 250 张插图, 提供法语、德语和英语并行的文本, 收录了罗伯特·马亚尔的所有主要桥梁项目设计。这本书采用了多种纸材, 由 Girsberger 出版社出版于苏黎世。它也是瑞士书的经典范例, 由瑞士艺术家马克斯·比尔 (Max Bill, 1908 ~ 1994) 设计和排版 (图 10)。

在设计这本图书的同时, 马克斯·比尔 (图 11) 正作为乌尔姆设计学院 (Ulm School of Design) 第一任校长工作 (1953-1957)。1949 年, 他穿越了被战火毁坏和处在重建阶段的德国和奥地利, 其后比尔参与了乌尔姆学校筹建, 并对奠基人奥托·艾舍 (Otl Aicher) 和英格·艾舍·绍尔 (Inge Aicher Scholl) 女士建议, 要把学校办成一所艺术、建筑和设计学院。而重建时期是一个契机, 可以重振比尔作为学生参加的包豪斯跨学科、理念前卫的教学。课程不仅将融合风格和内容两个方面, 也将融入新生产技术的影响。乌尔姆设计学院一开始就设立社会学、传媒和政治学等专业, 从而将课程主干的工业设计与社会、政治责任紧密联系在一起, 而与其他主要考虑商业利润影响的其他高校

课程区别开来。这种教育理念力图以和平和自由的精神来倡导一种反法西斯的欧洲文化, 消除被英格·艾舍·绍尔称为灾难性的、引发世界大战的“技术文明”和德国文化之间长久以来的对抗^[6]。

马克斯·比尔认为对城市规划、建筑和日常生活用品等的设计改善, 可以逐步改变人们对社会的固有看法。设计师们应努力追求赋予产品以更多的人文性和艺术性, 而不是以一种纯商业目的来提高设计的价值。因此, 比尔为设计师们确立的主要任务就是把日常生活用品设计当成一种“文化产品”。他说道: “每天都要解决的设计问题和绘画、雕塑作品之间的区别仅仅是在某种程度上的, 而非某种原则。”

马克斯·比尔也把自己当作一个为公众服务的产品设计师。微不足道的日常生活对象因而同大型家具设计一样重要。他的作品在这一阶段涉及广泛门类: 帕特里亚打字机 (Patria typewriter, 1944), 剃须刷 (1945), 镜子和发刷 (1946 年), 乌尔姆学生宿舍洗脸台 (1955, 图 12), 铝手柄厨房家具 (1956), 陶器 (Hutschenreuther, 1956), 直到荣汉斯公司的厨房钟 (Junghans kitchen clock, 1956/57, 图 13)。通过这些产品他传递了产品设计的形式标准: 要创建“实用、精美的谦虚”。这一标准致力于满足节约物质资源、获得恰当功能以及长久的使用寿命。这

种旨在塑造耐用性的产品设计伦理, 在战后产品短缺、贸易恢复的年代有意义。在更晚近的消费社会和由此带来的不断丢弃产品的行为面前, 也不断受到人们的追随^[7]。

作为一个工业设计师, 马克斯·比尔的作品特点是清晰的设计和精确的比例。例如传奇的、不断再版的荣汉斯公司的不锈钢自动手表 (1960 年, 图 14)。他对数学与艺术之间的关系进行过深刻研究, 他坚持把康定斯基和马列维奇的精神作为具体艺术的根源。他认为无论是有意识或无意识的安排, 绘画或雕塑都与数学有着密切的联系, 他甚至要求艺术的创作原则应该处于一定的数学规律之下, 这样, 才能确保其创作原则的可操控性。他认为数学规律是艺术的一种必需的协助, 只有通过数学规律, 艺术家纯粹的心理世界才能最终获得其艺术语言的形式外衣^[8]。由此他做了许多几何绘画 (图 15)、球形雕塑以及一些基于莫比乌斯带的空间雕塑, 采用过石材、木材、金属和石膏等多样材料 (图 16、17)。

作为一个设计师和艺术家, 他力图构建能直观地表达 20 世纪初新物理知识的形式。他提出所谓具体的艺术 (concrete art), 以使新知识成为通过感官可以理解的形式。他定义具体艺术是“努力用可感觉和可触知的形式再现抽象的思想”, 即具体艺术的终极表达在于具体呈现。为此人们应该通



18 乌尔姆凳
19 《罗伯特·马亚尔——桥梁和建筑》一书中马克斯·比尔的曲面雕塑与罗伯特·马亚尔弯曲桥梁的类比
20 艾未未作品——“永久自行车”
21 张永和作品——“葫芦”餐具设计
22 柏庭卫的研究专著《杠作：一个原理、多种形式》
23 柏庭卫的杠梁结构
24 板式半预制轻型建筑系统：四川栗子坪自然保护区工作站
25 箱式全预制轻型建筑系统：上海东滩鸟类禁猎区工作站

过事物内在的本质和规律创作，追求所谓的“良好设计”(good design)。而1957年他筹办的名为“良好形式”(Die Gute Form / The Good form)的展览为这一时期的欧洲工业、产品与艺术设计带来了重要的信号。在1950年代他也阐释了“产品形式”这一用词，特指那些由人体工学及功能本身决定的、同时又受到生产驱使的工业设计形式。

他最出名的产品设计之一乌尔姆凳(Ulm HÖCKER, 1954)，不仅是一张凳子，还可以成为书架部件，也可以当作茶几、侧桌来使用(图18)。这一简洁的家具产品也呈现了这样一种思维：设计对象不再被看成是孤立的东西，而是把它放在系统中看待，功能设计不局限于单一的设计对象，而且要考虑它与其他环境因素之间的互动关系^[7]。

马克斯·比尔1957年离开乌尔姆设计学院后，这一理性、系统的设计观念与教育思想又被推到新的高度。学校虽然于1968年关闭，但其系统设计的思想方法对许多国家产生影响。毕业生们参与了技术日趋复杂的工业产品设计，推动了德语区国家的战后产品制造能力，提升了参与全球贸易时的产品竞争力。

马克斯·比尔专精于许多领域：美术、

排版、产品设计、前卫建筑、新闻、研究与教育，甚至是政治。他的建筑作品包括在苏黎世的工作室(1933)、德国的办公楼、苏黎世的无线电工作室以及瑞士东部的一座桥梁。他也是1937年成立的瑞士“苏黎世具体艺术”团体的创始人之一，晚年曾服务于苏黎世政府委员会^[7]。

通过这些跨度很大的工作，马克斯·比尔一直保持着创作上的活跃度和思想影响力。他对不同时期的文化、政治风向非常敏感。通过不同尺度的设计工作，他反复阐述“具体艺术”、“产品形式”的内涵，又通过展览与出版推动现实议题的群体讨论，再经由学校的课程设计向新一代传递价值观与技艺。对科学知识的热爱、对技艺的精进以及和工业界的深度合作，不仅使他自己的设计产品历久弥新，德语区也在战后重建期找到了清晰的地区发展方向。

如果人们穿越回50年代初，会发现马克斯·比尔并非仅仅接受出版社的委托来设计罗伯特·马亚尔的专集。罗伯特·马亚尔是一个活生生的例子，代表着马克斯·比尔追求的设计理念：一个真正清晰的时刻与一个完美融合的形式和内容。他们又都来自瑞士(图19)。

虽然罗伯特·马亚尔的工作在专业工程领域，需要深入的技术训练方能理解。但他的方法是马克斯·比尔所推崇和希望达到的：工程师所采用的科学方法、工匠的精确性、艺术家的直观领悟能力加上发明家所使用的逆向思维。马亚尔在有限的工作领域非常专注与执着，在一系列桥梁项目中持续地创造了崭新的桥梁类型，还通过绝妙的设计达成了提升场所的特性。这结果突破了战前物质的匮乏、观念的陈旧与社区的保守，指示了新的发展方向 and 获得自由的路径。这正是具体艺术所表达的“努力用可感觉和可触知的形式再现抽象的思想”。

这两位瑞士人的工作合在一起回答了这样一个设计师普遍关心的问题：当微观个体的技艺上的“可能持续”与宏观层次的(社会的或者自然的)发展的“可以持续”互为依存，专业影响力能发挥至何种良性程度？答案显然是正面的：设计工作充满了无穷可能性，无论是在专门化的结构工程技术领域，还是在跨度虽大、却有所联系的领域：平面、产品、建筑、规划等，设计工作都能开发创造力、引领变化、提供好的产品，强化场所并联络社区。而当两个层次的工作高度协调、分头并进时，专业影响力就能够超越时间与



空间，延续职业精神与技艺至人类的后代。

中国目前所处的时代的确非常复杂：经济表面一片繁荣——货币与劳动力增加带来的繁荣；工业在缓慢地向信息时代转型；文化开始重拾与重建；公民意识、民主意识亟待启蒙，社会整体的价值观远未达到共识；政治的统治手段经常基于本能，时常透支环境和民间信用。这些矛盾的纠缠可能是投机者的短暂机会，但更应该成为改良者独善其身的时代背景——毕竟现在已没有了世界大战、也没有了普遍的饥谨、资讯可以自由流动、人们对环境的关注与日俱增、公共管理有了缓慢、逐步的改善。建筑实体虽然起始于分离人类与大自然的遮蔽所或者财富的有形化，但塑造它的方法、思维和普适的价值观将会作为职业遗产延续至后代。

中国近年有许多值得深入探讨的现象：艾未未切中时弊、形态多样的艺术工作(图20)；张永和在产品与工业设计上的跨界探索与尝试(图21)；而在建筑领域，人们可以看到都市实践、李虎等强调社区营造的作品；黄印武的乡村与古建筑保护复兴工作；王澍、刘家琨、标准营造、童明、华黎对于民间工艺的当代诠释；郝琳、任卫中对天然材料的研究；还有谢英俊、维思平、穆威的

轻型建筑实践；结构领域则有深具启发性的柏庭卫(Vito Bertin)教授的杠梁研究(图22、23)；作者自己和团队在过去4年中开发了一系列轻型建筑系统(图24、25)。这些可以被看作设计师与研究者们分散的探索——既是个体在探索职业的可持续性，也有关建筑与设计创新的途径与方向，还反映了建筑与自然、社区、都市及其他广大领域的理想关系。

可持续性的英文是 sustainability。作为动词的 sustain 有着支撑、维持、供养、承受、承担、支援的含义，此时它表达的主要是一种对外部压力的被动应对。而作为名词的 sustain 则指示了声音持续的时间长度。它不是回响，也不是混响，更接近“绵延”的意思。这是一种自身的能力，常由乐器本身决定。例如打击乐器的声音绵延的能力不如管乐器，也不及弦乐器^[9]。如此人们可以发现中文词语“持”是维持，“续”则暗指绵延。绵延不会来自简单地、大力气地敲响乐器，而是来自一系列因素：乐器的设计、乐器的选择、乐手的技艺以及演奏时的情境，如果我们努力并且也幸运，最终会看到它们如何一起和谐地工作，激发出人类的情感与永恒的希望。^[1]

参考文献

- [1] 朱竞翔·约束与自由——来自现代结构先驱的启示[D]，南京：东南大学建筑研究所，1999.
- [2] 汤姆·彼得斯·营造文化与技术思维[J]，建筑与设计，第三期，雷尼出版有限公司与南京大学建筑研究所，2001:79.
- [3] Max Bill. Robert Maillart-Bridge and Construction[M]，Erlenbach-Zurich, Verlag fur Architektur AG,1949.
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Maillart
- [5] David P. Billington. Robert Maillart: builder, designer, and artist[M]，Cambridge: Cambridge University Press, 1997: 40.
- [6] <http://www.lorenzelliarte.com/index.html?pg=2&lang=en&id=38&pos=8&step=12>
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Max_Bill
- [8] Max Bill, Eduard Hüttinger Albright-Knox Art Gallery[M]，New York: Rizzoli, 1978:10.
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/Sustain>

图片来源

- 图1：http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e0/Robert_Maillart_01_11.jpg
图2(上图)，4，5；参考文献[3]
图3：<http://www.ce.jhu.edu/perspectives/protected/ds/Buildings/Schwandbach%20Bridge/main.jpg>
图2(下图)，7；参考文献[5]
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f8/Innbruoecke_Zuoz_05_11.jpg
图6：http://4.bp.blogspot.com/-S4IKRkdZROY/T_8J78B69aI/AAAAAABNI/a4Ds00QmIW0/s640/800px-Salginatobelbruecke_suedost_untent%255B1%255D.jpg
图8：http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bb/Simmebruecke_Garstatt_04_11.jpg
图9：http://2.bp.blogspot.com/-Gsvm5NlvpI4/T_8JuqZe5-I/AAAAAABMI/4jjeo3wyBeo/s1600/2zz39%255B1%255D.jpg
图10：http://ecx.images-amazon.com/images/I/91pkCzZda9L_SL1500.jpg
图11：http://www.bill-stiftung.ch/max_bill.JPG
图12：http://blog-soki.blogspot.hk/2010_06_01_archive.html
图13：http://66.235.112.162/ts?u=wikipedia/commons/thumb/5/53/Max_Bill_Junghans.jpg/83px-Max_Bill_Junghans.jpg
图14：<http://www.skandium.com/max-bill-027-3700-watch>
图15：http://adbrio.files.wordpress.com/2010/04/3584532311_bef48b0f6b_b.jpg
图16：http://25.media.tumblr.com/tumblr_lv90uxiYoZ1qeOnvo1_1280.jpg
图17：http://4.bp.blogspot.com/-Mjuc1DTJEIs/T9et8yu-GDI/AAAAAARRE/sRayom2A9lg/s1600/Max_Bill_Unendliche_Flaeche_1974-75.jpg
图18：<http://www.nova68.com/Merchant2/graphics/0000001/maxbillumB.jpg>
图19：Robert Maillart - Bridge and Construction, Max Bill, Erlenbach-Zurich, Verlag fur Architektur AG,1949,
图20：http://i.huffpost.com/gadgets/slideshows/195179/slide_195179_441621_huge.jpg
图21：<http://blog.archpaper.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/09/>
图22，23：http://b.vimeocdn.com/ts/262/349/262349196_640.jpg
图24，25：作者研究团队图片，摄影者张东光与吴程辉