

结构与建筑：相遇、同行又分开 ——说一只教学楼

The Interactive Work of Architect and Engineer: About a School Building

撰文 于洋 瑞士意大利语区大学建筑系



图1 Volta Schulhaus, Basel
(建筑师Miller&Maranta, 结构师Juerg Conzett)



图2 建筑立面上下实体墙不对位



图3 建筑处于工业区与住宅区交界

一座外表看起来普普通通的教学楼，5层高，走近了还会看见地下的体育馆。水泥外墙和金属窗框带有强烈的工业感，略显冰冷，但却能类比周边、照顾氛围。这就是Voltra Schulhaus楼，在大Basel北部的工业区，可以说是Miller & Maranta 最为人知的作品。

立面存在着反常之处，上下层的实体墙并不对位。一种可能的解释是立面不承重，另一种是建筑内部有结构转换。这样的情况就需要对建筑进行深入的解读。

城市考虑

Miller & Maranta首先碰到的是建筑体量问题。从城市的角度，建筑要连接东北的工业建筑和西南典型的Basel联排住宅，所以关键是占住基地的东南角，并延续北面工业用房的体量。基地尺寸为40m × 35m。设计师放弃了做一个进深15~20m的普通教学楼，而是做了一个充满基地的体量。为了照顾内部的采光，建筑师在体量中间开了4个采光井。

结构的介入

教室和体育馆的关系是讨论的重点。前者是小空间，可以做小跨度；后者为大空间，一定要做大跨度。简单的解决方法是把两者分开做，成为两栋结构独立的建筑；或者大空间在上，小空间在下，这样可以不需要结构转换，只有体育馆屋顶需要大跨度结构。

但在这个项目中，基地下面有个大坑，原来是存放储油罐的，让人很自然地会想到把体育馆做在这里，但在结构上就意味着大空间在下、小空间在上，增加了技术难度。建筑师可以选择上下全做大跨度结构，上面的教室可以自由布置。但是出于对“空间与结构互动”的坚持，建筑师要给小空间做小跨度结构，大空间结构做大跨度结构。更严格的是，建筑师坚持要“结构限定空间”，这就意味着要使用墙结构而非桁架等常规大跨结构。

建筑与结构互动

由于上面两条苛刻的原则，限定体育馆的两堵墙变成了上面仅有的支撑（即图5中的 R_1 , R_2 ）。上面的教室被一系列墙体限定，这些墙贯穿4层，高15m，长40m，跨度28m，悬挑12m。由于采光井和走廊的存在，楼板和墙要开洞，甚至需通高打断，但建筑师和结构工程师通过讨论采光井的位置，协调楼板里预应力

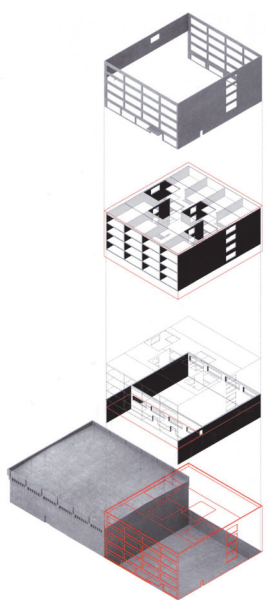


图4 建筑分体轴测图，俯视

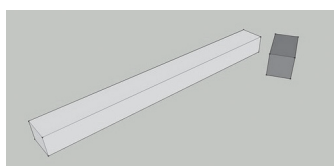


图5 Mario Botta在Chiasso中学中，教室与体育馆是两栋建筑

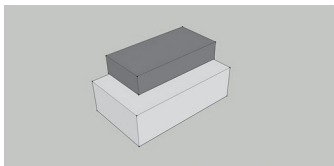


图6 Christian Kerez在Leutschenbach的中学中，体育馆在教室之上

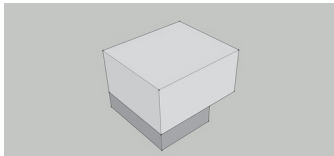


图7 本案中体育馆和教室的关系，体育馆在下，教室在上

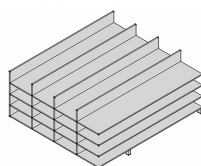


图8 完整的墙与楼板

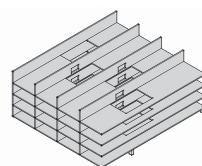


图9 开洞的楼板

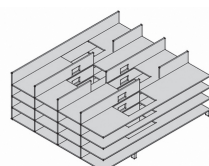


图10 断开的墙

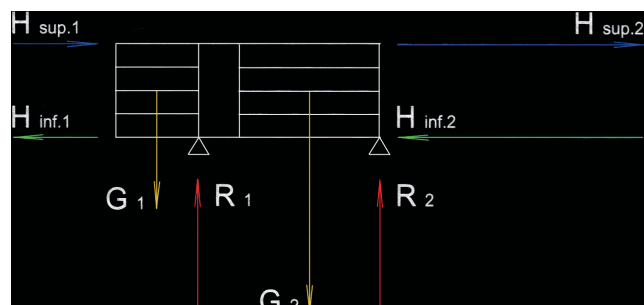


图11 结构工程师Juerg Conzett所绘的墙体间外力分析图

钢筋微妙的通道，最终通过“墙梁体系”实现了双方的构想。由此可见，建筑师和工程师的合作会密切到何种程度。

为了让断开的结构构件共同工作，墙体内部布置了复杂的预应力钢筋系统。比如在底层和顶层的楼板共同工作，提供一个防止建筑悬挑部分倾覆的力偶，即图10中的 $H_{inf.1}$ ， $H_{inf.2}$ 与 $H_{sup.1}$ ， $H_{sup.2}$ 。墙体的预应力钢筋按应力曲线布置，以增大承载能力。

底层楼板中的力 $H_{inf.1}$ ， $H_{inf.2}$ 通过图12~15钢筋实现，顶层楼板中的力 $H_{sup.1}$ ， $H_{sup.2}$ 通过图16~19钢筋实现，墙体中的钢筋布置如图20~24所示。

结构和建筑的独立工作

在这之后，建筑师要考虑建筑内外的氛围，这要通过选用材料、开窗尺寸去实现。接下来要考虑如何在建造上实现上述做法：外挂的混凝土饰面、夹在中间的保温层、窗框和保温的交接，等等。而工程师要考虑的是具体的混凝土强度、配筋的位置和尺寸、预应力钢筋的先张后张等。

在墙体布置完成的瞬间，结构和建筑的工作其实就分开了。这之后当然还会有尺寸上的协调以及伴随而来的各种反复，但“建筑方案设计”和“结构概念设计”上的互动已经结束了。

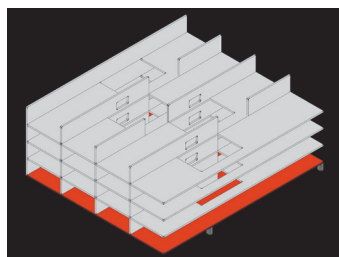


图12 底层楼板位置

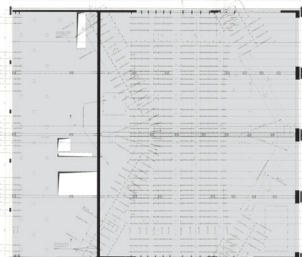


图13 底层楼板平面图

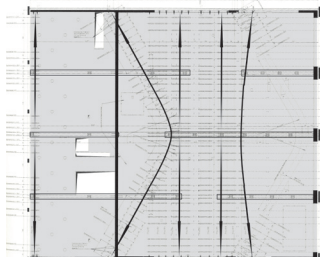


图14 底层楼板力流



图15 底层楼板预应力钢筋布置

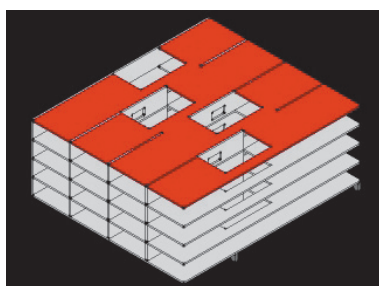


图16 顶层楼板位置

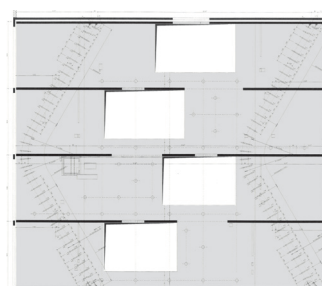


图17 顶层楼板平面图

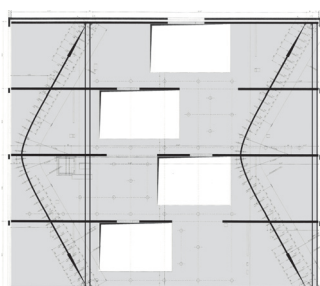


图18 顶层楼板力流

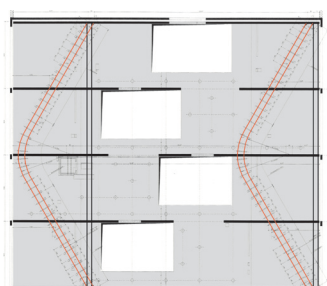


图19 顶层楼板预应力钢筋布置

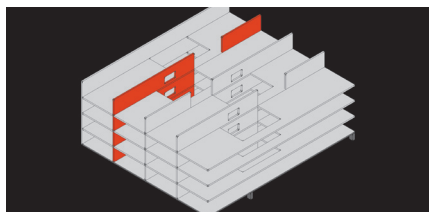


图20 墙体在建筑中位置

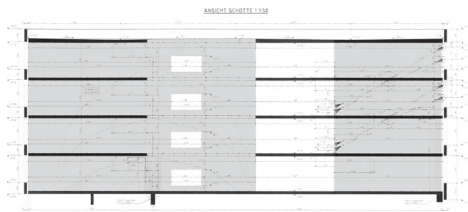


图21 墙体立面图



图22 墙体内力流

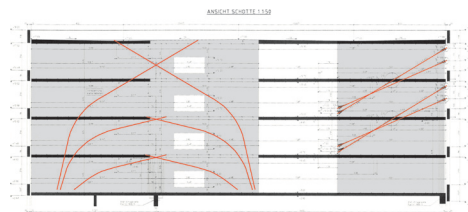


图23 墙体内预应力钢筋布置

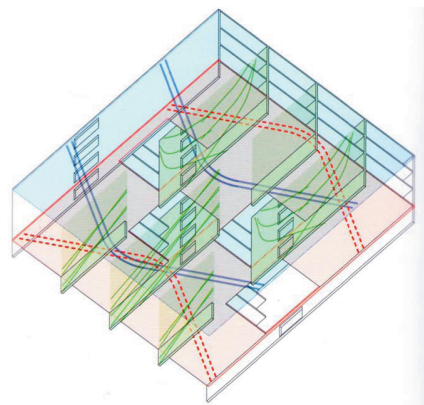


图24 墙体和楼板中预应力钢筋的布置，仰视

知识上在何处分开

实现这种高水准的合作，无疑需要建筑结构双方都互懂对方的知识，但问题是懂到何处，如何确定知识分开的临界点？从建筑专业的角度，弄清“结构的布置”离不开“构件间外力”，以及“构件内力”的分析，这一切的最终目的是清楚力流，然后“设计力流”，和结构方面的思考方式挂钩。有了力流就可以“划分构件”，比如做墙就知道预应力筋的走向，做桁架就可以知道拉压杆的布置。

在刚才所有描述结构的关键词中，没提到的恰恰是最常见的“结构体系”：梁柱、拱、悬索，这些是“面向计算方法”的分类。而如果“面向解决问题”，需要的是知道力如何走，如何在力流上给材料，最后的解决方案并不一定属于某种纯粹的“结构体系”。

这种讨论问题话语的不同，背后是结构观念的不同；而结构观念的不同，背后是教学系统的不同。

面向设计的结构教学

以两所瑞士大学为例，其相关的建筑学课程由工程师开设：ETH¹的研究生结构设计课1和2由Prof. Joseph Schwartz主讲，USI²的研究生结构课5和6由Prof. Mario Monotti主讲。值得注意的是，这都是“设计课”，要“设计”，要“分析案例”，而不是计算课，学简支梁配筋计算或是砖柱的失稳验算。在这种教学体系下走出的瑞士明星建筑师多半都有良好的结构素养，能进行简单的结构设计。

以库尔应用技术大学为例，瑞士著名的结构工程师Juerg Conzett, Patrick Gartmann等都在HTW3教书，其工程师的培养与国内并无本质区别，重点仍是结构的设计、计算及施工。但对于结构专业的同学，学校强调与建筑师的配合，希望培养有建筑素养的结构工程师。正如建筑师Valerio Olgiati评价与他配合的工程师Patrick Gartmann：“普通的工程师告诉你构件的尺寸和形式，告诉你这个解决方案不可行，但Patrick总是告诉我不同的结构系统，我可以选择与建筑概念最匹配的一个。”

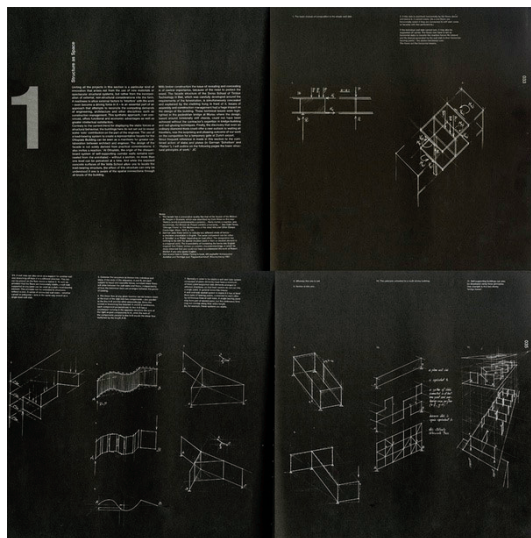


图25 juerg Conzett 在 Structure as Space一书 中对该原理解释

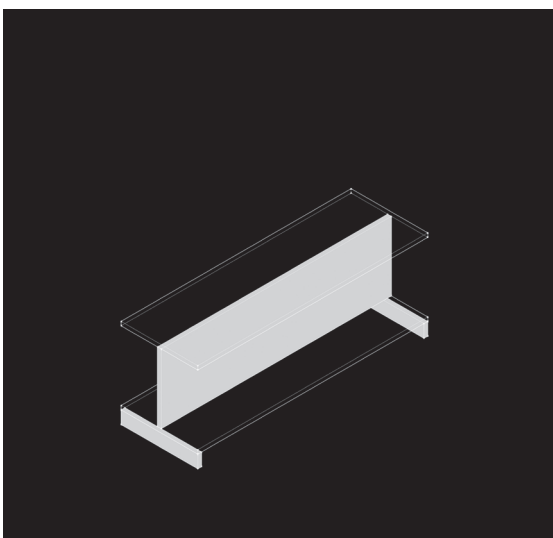


图26 该原理最简单的情况——一面作为梁使用的墙

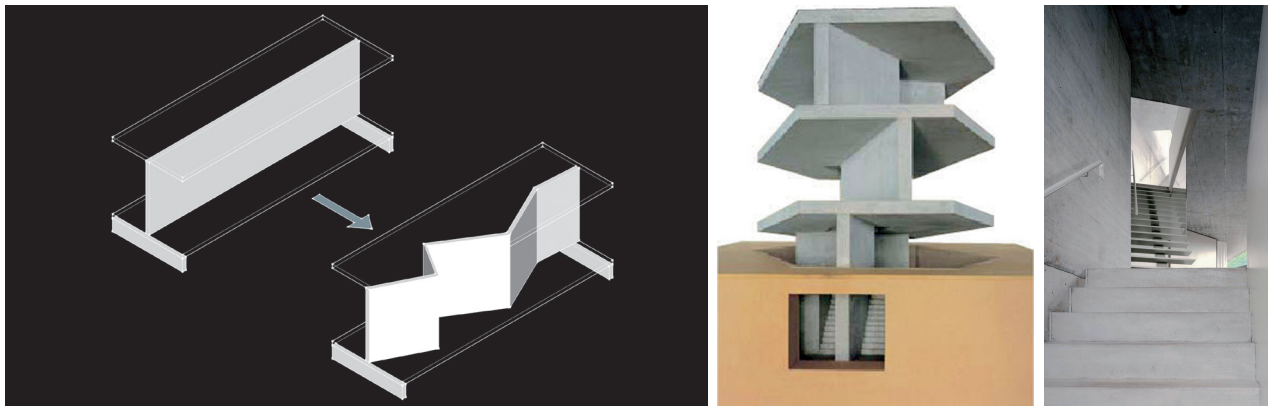


图27 原理变形一及应用实例House of one wall, Zurich (建筑师Christian Kerez, 结构工程师Joseph Schwartz)

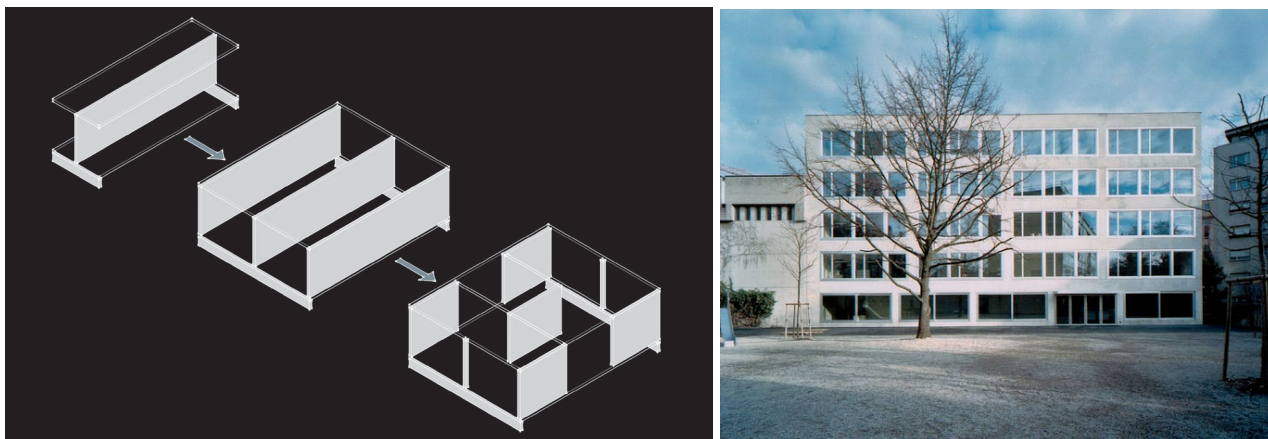


图28 原理变形二及应用实例Volta Schulhaus, Basel (建筑师Miller&Maranta, 结构工程师Juerg Conzett)

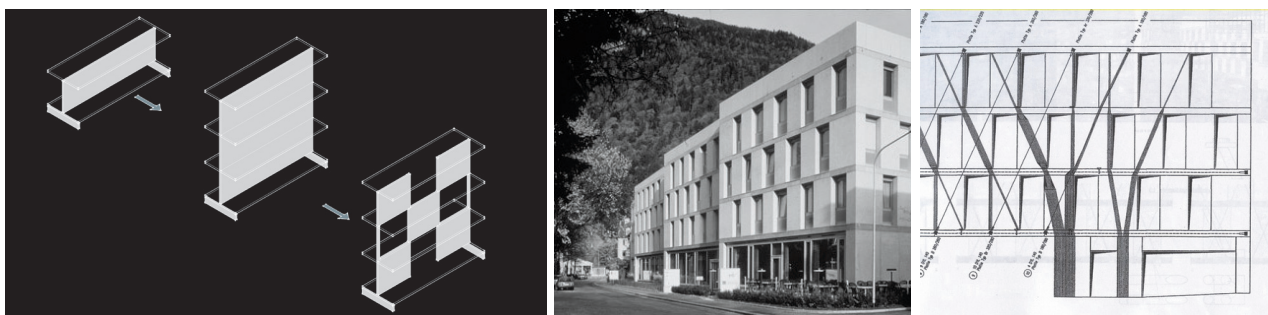


图29 原理变形三及应用实例中作为桁架整体工作的混凝土立面及应用实例Ottoplatz, Chur (建筑师Juengling & Hagmann, 结构工程师Juerg Conzett)

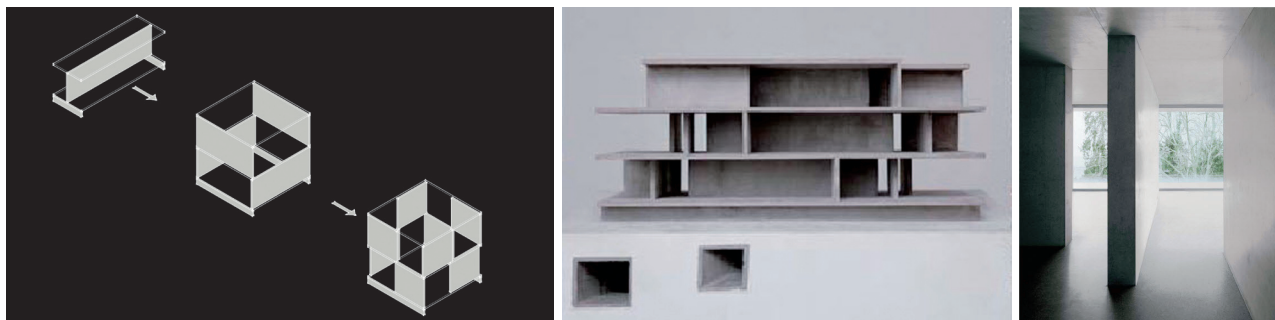


图30 原理变形四及应用实例House on Forsterstrasse, Zurich (建筑师Christian Kerez, 结构工程师Joseph Schwartz)

建筑师的结构意识

显然，建筑师的结构意识不等于掌握一些简化版的结构知识，因为建筑师的主要任务不是为了确保建筑的坚固，而是为了找到一个与空间匹配的结构方案。本文显然无法给出这个问题的答案，但从一系列瑞士建筑的结构体系中我们可以找到线索。比如Juerg Conzett在Structure as Space一书中提到墙受弯原理及墙梁体系，瑞士若干著名建筑都使用了这一体系。

结语

列举这4个案例并非为了说明其设计细节，而是为了找出其共同的特点——案例都由一个基本的结构原理出发，通过一个系统设计完成，这其中需要建筑师与工程师的密切合作。从中可以看出，建筑师的结构素养也可以体现在灵活运用一种结构体系，并与工程师讨论并修改结构方案。这是体现建筑师与工程师素养的体系，但更体现了一种不同的合作方式——在方案初始阶段即展开双方的合作，并且通过合作帮助设计，而非尽量避免合作。

建筑与结构尽量避免合作是一种选择，一方压制一方是一种选择，而积极互动合作也是一种选择。Juerg Conzett说过的一段话可以更好地解释工程师的态度：“我的目标更加适度，但同时又雄心勃勃：工程师的工作应是建筑的一部分，不论他是有形的还是无形的，也就是说，它应该属于建筑。要接近建筑设计，需要工程师对工作方法做出相应的改变。他不应该像数学上的算法一样展开他的思路，即按部就班地按照一种分层次的确定顺序来进行，就像所有人在大学司空见惯的教法一样。他的思路更应建立在正在进行过程中的结果和讨论上。工程师必须随时准备好对其思考的原点重新提出质疑。这意味着他必须准备好根据新条件一次又一次地进行思考。通过准确的工作，他可以在大大小小的决定上建构出相互联系的逻辑。这样，工程师的工作就变成和建筑师工作类似或相同的‘设计过程’。”^[4]

Christian Kerez在给其业主写的私人信件中说过的一段话可以更好地解释建筑师的态度：“我们对这样的建筑非常感兴趣，它需要通过工程师、专家、建筑师的共同思考而产生，有丰富多变的空间，并以此充分体现创造力……各个专业的工程师在方案的初始阶段就参与进来，这使得整个设计成为一个互动的过程。”

图片来源

图1, 3, 25, 31, 33, 34摘自《Structure as Space》；
图2为作者在《Structure as Space》插图基础上修改完成；
图4, 11, 13, 17, 21, 24摘自《Form of Structure》，
其中图11颜色标识为作者自绘；
图5~10, 12, 16, 20, 26, 27, 30, 32, 35为作者自绘；
图14, 15为作者在图13基础上自绘；
图18, 19为作者在图17基础上自绘；
图22, 23为作者在图21基础上自绘；
图28, 29, 36, 37摘自EL Croquis 145 Christian Kerez。

注释

1 ETH建筑系主页：<http://www.arch.ethz.ch/darch/index.php?lang=en>

2 USI建筑系主页：<http://www.arc.usi.ch/>

3 HTW学校主页：<http://www.fh-htwchur.ch/cn/>

参考文献

[1] Mohsen Mostafavi. Structure as Space, London, AA Publication, 2006.

[2] M. Carlan, L. Mezzalana. Forms of structures, Milan, Mondadori Electa, 2001.

[3] Andrea Deplazes. Constructing Architecture, Basel, Birkhäuser, 2005.

[4] Juerg Conzett. 工程师眼中的建筑. 世界建筑, 2005 (1) : 彼得卒母拖.



Miller & Maranta

在瑞士学术界，Miller & Maranta是自称“类比建筑师”团体中的重要一员，其成员还有beareth & deplazes, Valerio Olgiati等。这批建筑师都是1960年前后出生，共同在ETH学习，师从Miroslav Sik，并实践其类比建筑理论。该理论由Sik在Aldo Rossi理论基础上发展而来，是瑞士德语区重要的实践基础。

在学术上，Miller & Maranta另外一个关注的方向是空间、结构、材料三者的互动，这体现在其一系列混凝土建筑中，比如Volta Schulhaus, Villa garbald, Wohnhaus Schwarzpark等。本文提到的Volta Schulhaus即是一例。

在实践上，Miller&Maranta主张建筑的风格和特点不应来自于建筑师本人，而应来自于使用建筑的人和当地居民，所以他们关注建筑师与甲方的互动，并且发展了一条将甲方要求转化成建筑语言的设计方法。相对于其他明星建筑师，他们在商业上更为成功。Quintus Miller & Paola Maranta, 事务所主页：<http://www.millermaranta.ch/>。



作者简介

于洋，本科就读于上海交通大学建筑学系，现为瑞士意大利语区大学建筑系在读硕士，其间曾跟随Miller学习设计。曾在上海印西河事务所（<http://www.exhdesign.com/>）和瑞士Christian Kerez事务所（<http://www.kerez.ch/>）实习，目前在苏黎世Pool建筑事务所（<http://www.poolarch.ch>）实习。本文修改自作者的同名博文<http://www.douban.com/note/148032786/>。