

为研究而生的建筑——苏黎世联邦理工学院建科馆

Built as Research: Arch_Tech_Lab of ETH Zürich



1

苏黎世联邦理工学院（ETH Zürich）建筑系位于距苏黎世市中心半小时车程的 Hönggerberg 校区，建在一片开阔的高地上。建筑系大部分研究所都在一座原有的教学楼中。而在旧系馆的一侧，新建了一座轻盈的木屋顶建筑，通过一段空中连廊与旧系馆相通。这座名为“建科馆”（Arch_Tech_Lab）的建筑供建筑技术研究所使用，是该研究所的成员们从 2010 年起设计，并于 2016 年建成的。它不仅为研究提供空间，其本身也是研究的一部分，是一座为研究而生的建筑。

跨学科的理念

苏黎世联邦理工学院建筑系是欧洲最重要的建筑学院之一，以高水准的教学和研究著称。其建筑教育受益于学术传授和建造实践之间的密切互补。而研究则主要关注广义的建筑环境问题，尤其是未来城市、能源、气候变化以及可持续等课题。

该校建筑系的研究实现了真正的跨学科，他们根据提出的观点和问题，积极调用来自社会科学、人文学科、工程学、材料学、空间科学的独特或互补的方法论。而这些领域的专业知识则分布于建筑系的几个研究所之中，分别是建筑历史与理论研究所、建筑科技研究所、历史建筑保护研究所与网络城市与景观研究所。它们全都通过跨学科的工作与建筑设计工作室紧密联系在一起。

建筑技术研究所涵盖了建筑系所有的工艺技术领域，包括建造流程、数字制造、计算机辅助设计、结构设计、建筑系统、环境系统，以及与能源和数字建造技术相关的一切。这些都与设计密切相关，可以说在很大程度上围绕设计展开。同时，严酷的经济条件引发对生态与可持续建造的呼吁，促使人们提出新的设计和建造方法。因此，在建筑技术研究所，关于建造的产品、技术和方法都被探索，以



2

- 1 西南侧外景，旧系馆与建科馆通过一条空中廊道相连
- 2 总平面（© ITA/Arch-Tec-Lab AG）
- 3 教授层，带有小广场和周边一圈的陈列室
- 4 教授层的会议室
（1,3,4 © Andrea Diglas / ITA/Arch-Tec-Lab AG）

项目信息

业主：苏黎世联邦理工学院

使用者：建筑技术研究所、苏黎世联邦理工学院、国家数字制造研究中心

参与的教授：

建筑、建造流程、协调：Sacha Menz（建筑与建造流程负责人）

木屋顶及机器人建造实验室：Fabio Gramazio, Matthias Kohler（建筑与数字制造负责人）

承重结构：Joseph Schwartz（结构设计负责人）

参数设计：Ludger Hovestadt（计算机辅助设计负责人）

建筑物理及声学：Jan Carmeliet（建筑物理负责人）

零排放概念：Hansjürg Leibundgut（建筑系统负责人）

参与的专家策划者：

协调：Guido Züger, Institute for Technology in Architecture (ITA), Arch_Tec_Lab AG since 2014

木屋顶：Chair of Architecture and Digital Fabrication, Arch_Tec_Lab AG, Dr. Lüchinger+Meyer AG, SJB Kempter Fitze AG, ROB Technologies AG, ERNE AG Holzbau

机器人制造实验室：Chair of Architecture and Digital Fabrication, Güdel AG, ABB Schweiz AG

承重结构：Dr. Lüchinger+Meyer AG

HVAC设计：Amstein+Walthert AG

BIM合作：Arch_Tec_Lab AG, Guido Züger and Odilo Schoch

承建方：HRS Real Estate AG

功能：机器人制造实验室、办公室、共享合作空间、研讨会教室、公共区域

能源标准：零排放

建筑等级：配有实验室的研究机构

建筑体积（SIA 416）：37,900m³

总建筑面积：6900m²

室内净面积：4850m²

层数：4

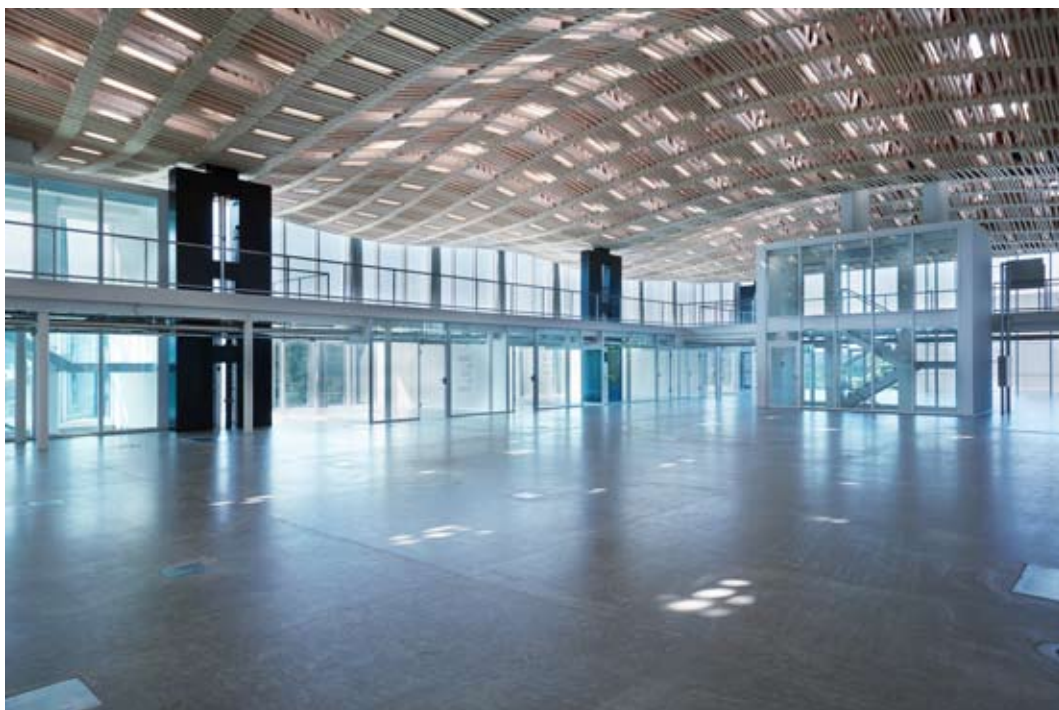
初步设计：2010

开工时间：2014.7

竣工时间：2016.7

搬入时间：2016.9

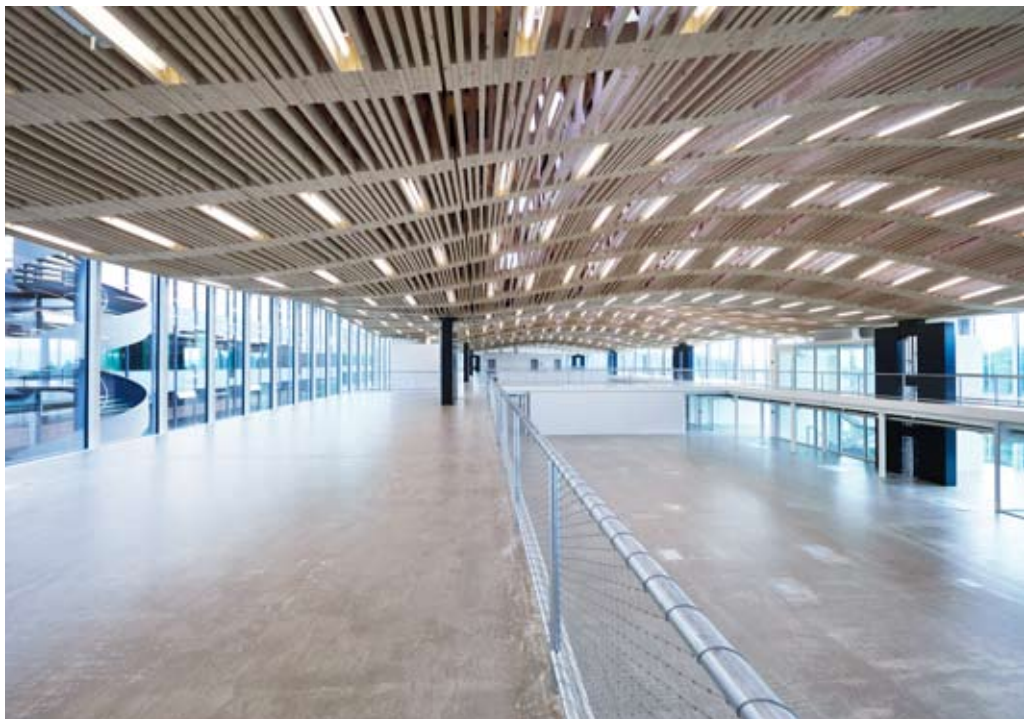
设计与建造费用：CHF 38,000,000



3



4



5

在能源和材料的应用上实现可持续。

关于建造的研究

建筑技术研究所的负责人们认为，研究的内容也需要通过建筑来展示，而建科技馆就是其中的成果之一。因此这座建筑十分特殊，它代表了建筑技术研究所的研究方向，展现出数字化是如何帮助实现一种高效、集约、零排放的建造。

这项庞大的数字设计方案和建造过程一共花费了6年时间。而建筑技术研究所的6位负责人全都参与到其中，集合了他们各自的研究方法，包括建筑、土木工程、设备工程、建造物理等学科，共同发展出一个全新的建筑原型。

在设计建科技馆时，建筑科技研究所的教授们受到了以下假设的启发：

- 建造过程中的数字化和对机器人的使用，意味着未来建筑行业改革的基础；
- “零排放建筑”可以通过隔间化的、去中心化的系统得以实现；
- 没有中心支撑结构的建筑不仅能提供自由的使用空间，还可以灵活应对未来的使用变化；
- 对原有建筑的维护和空间上的叠加/扩增，使得已使用资源得以保留，并且会带来长远的附加值；

5 曲面木屋顶覆盖在整个建筑上

6 从主入口通往教授层的主楼梯

(5,6 © Andrea Diglas / ITA/Arch-Tec-Lab AG)



6

· 由于他们的研究是跨学科的，所以用于某个特定功能的最小空间也可以为自由组合的研究小组和内部交流创造场地。

这座新的建筑将在数字化的、以过程为导向的建造体系下，在建筑工业的革新过程中，作为一种可能的新型建筑系统被导入。它提高了Hönggerberg校区的原有建筑密度，并且保护它们不被拆除，也不使用额外的土地资源。而其特殊结构的、数字化制造的木屋顶设计，以及开放而自由的平面布局，都将使其从传统大学建筑中脱颖而出。

轻量的木和钢

建科技馆建在Hönggerberg校区的一个1970年代停车场的屋顶上。这是建科技馆的整体结构、钢架和所有构件都尽可能轻的原因。

为了能在原有结构上建造，科学家们集中力量研究轻量建造技术，以及有意识地使用较少的体量。和材料重达 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 的传统高层建筑不同，建科技馆平均重量仅有 $240\text{kg}/\text{m}^3$ 。他们选用木材来建屋顶，用钢作为建筑的承重体系，是因为这些材料具有理想的刚度重量比。此外，钢结构意味着不需要结构核心筒或通风井，既能灵活应用，也使室内设计可以自由适应需求的变化。

一个复杂屋顶结构的数字装配

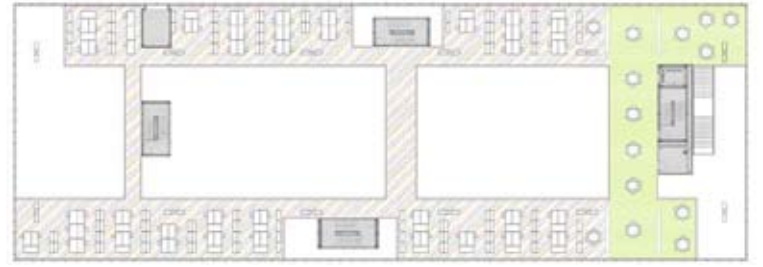
建科技馆由一种新的木结构屋顶覆盖。其本身就是一项研究，仅由一个台架式机器人制作，由建筑与数字制造学科的主席设计和策划，并且由专业策划师和负责执行这个项目的ERNE AG Holzbau公司共同监督和制造。这个全数字策划方案与设计、结构分析和整体制造数据都相关联。基于这个数据库，机器人将48,624根木条一根一根组装成桁架的装配过程，使得一个复杂的屋顶几何体可以被高效地制造出来。

屋顶结构由168根独立的桁架组成，它们被编织入一个自由形式的屋顶中。木条最长达3.1m，而屋顶结构具有长达15m的跨度。连续相接的、由机器人装配的固定桁架将荷载传到钢梁上的5块板上，并且将防火和照明都整合于其中。这个桁架具有优美的结构，没有任何覆层，以一个独立的形象出现。它支撑起面积约 2300m^2 的屋顶，伴随着优雅的波动，以及变幻的透射光线，在建科技馆开敞的上层轻轻拱起。

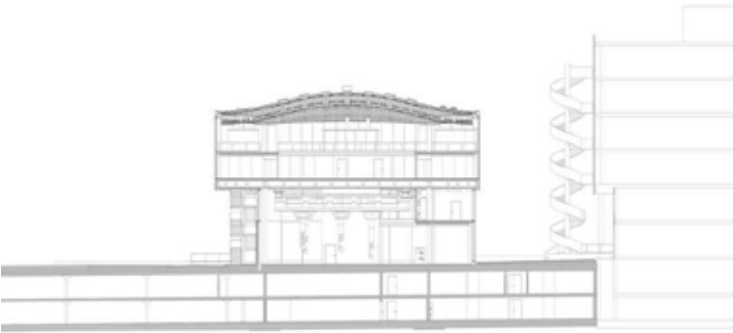
“约5万个小木构件带来了大量的接头，这很难由手工完成。谁也不可能坐在那里，钉10万个接头，将5万个木构件连成一体。”建筑技术研究所所长阿



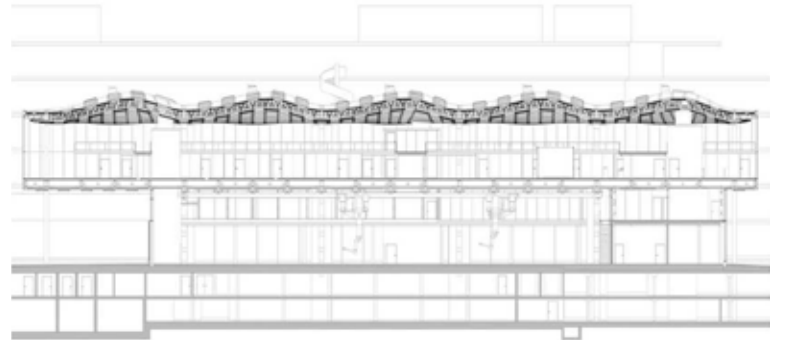
7



8



9



10

尔诺·施吕特 (Arno Schlüter) 认为, 这座建筑体现了他们的理念——如何将机器人用于建筑。

瑞士有着独特而出色的建造工业。与建筑技术研究所一起合作的 ERNE AG Holzbau 公司就是瑞士的一家木建筑公司。他们拥有巨大的机器人系统, 能够自行组装构件, 同时还有完整的数字模型, 为组装提供依据。负责制造的机器人有不同的工具组合——锯、锤、钉, 还能进行安装。这就为制造接头提供了多种方法。如果人们以手工制造接头, 是无法算出要在哪里下钉的——依赖的条件过多。但

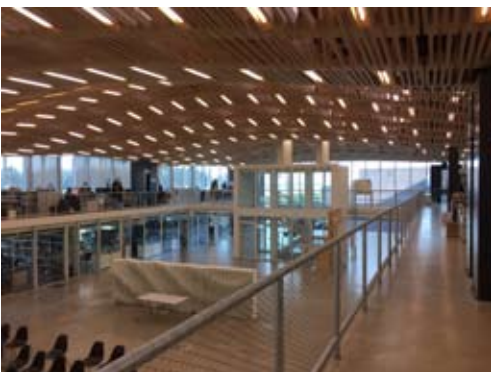
可以采用算法, 用计算机编程辅助来决定最佳的下钉位置, 然后机器人就能自动执行——在这里的车床上按边缘切割、按构件切割……对机器人来说构件之间没有区别, 无论是直线形还是异型。构件制成之后会被带到工地, 在现场组装。

这个项目展现出将数字制造技术与一种本地的可持续建筑材料木材相结合的潜力。通过与学术专家以及实践工程师合作, 教授们在数字木材建造领域的研究成果得以获得提炼, 并应用于完全的建筑尺度。

能源与可持续

苏黎世联邦理工学院的科学家们试图尽可能少地使用资源, 不仅仅在设计和建造阶段——建科馆还应该在使用者搬进去并开始工作后, 以零排放的方式运转。在苏黎世联邦理工学院, 零排放技术是从 2010 年起开始发展的, 并被建筑设备技术专业引入和应用。

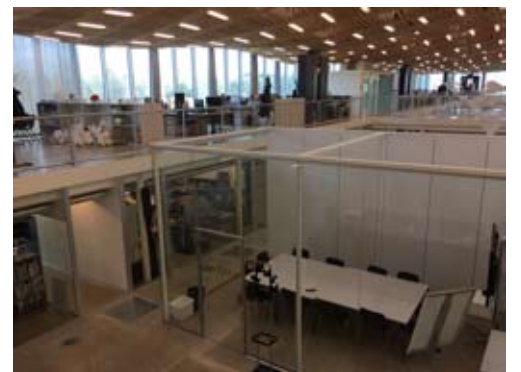
由苏黎世联邦理工学院研发的零排放技术的理念是采用外部储热。因此, 建科馆没有外部遮阳系统。施吕特教授解释道, “有人说这是一个玻璃盒子,



11



12



13

7 教授层平面

- 1-NCCR行政办公室
- 2-数字建造技术
- 3-机器人系统
- 4-建筑技术研究所行政办公室
- 5-计算机辅助设计
- 6-建筑与建造系统
- 7-结构设计
- 8-建筑与建造流程
- 9-建筑物理
- 10-建筑与数字制造
- 11-建筑与结构

8 学生层平面

- 9 横剖面
- 10 纵剖面 (7-10 © ITA/Arch-Tec-Lab AG)
- 11-13 搬入后内景 (11-13 摄影: 辛梦瑶)

在夏天会很热，让人不舒服。然而，我们在这座建筑中应用了地下储热。在夏季，我们提取出空间内的热量并储存于地下，等到了冬季再通过高效的机器将其取出用于供暖。因此，这是一种热量与建筑之间的平衡。”

Hönggerberg 校区拥有一个允许所有建筑排掉废热的网络，这是一种分配热量的独特方式。施吕特教授说，“想象一个物理实验室里有巨大的机器，产生了大量废热。然后这些废热会进行循环，我们就再去找对这些废热有兴趣的人。”在不同的季节之间储热，需要组合各种储热点，而每个储热点都有200个地下热交换器。这种新的储热方式使人们能平衡各个建筑以及不同季节之间的热量和能源。

这种分配热量的方式还有另一个独特之处，就是它的装置。这个优美的屋顶下面假如布满了通风管道和换气系统，那情形大概令人难以容忍。这就是建科馆选择截然不同的建筑换气方式的理由。设置在这座建筑的双层结构中的是200个通风单元，叫“空气盒”，环绕着整座建筑，并与Hönggerberg校区的能源网相连。从室外打开立面上的抽匣就可以看到这些通风单元。“空气盒”能确保整座建筑拥有适宜的通风，也能制冷制热。所有的新风都在一个地板系统中循环，并通过在地板通风口上形成微小的正压而将空气引入室内。因此，这座建筑里没有巨大的终端装置和管道，它非常简约、轻巧。然而同时，建筑内的一切都暴露在外。两层的空间容纳了整个管道系统，所有管道都可以被看到，没有掩盖在任何假吊顶的下面。每种介质，水、电、气，都在那些电缆和管道中，一切都一目了然。

这些设备需要具有一定水平的工程技术才能进行精细施工，从而实现设计。这也展现出建筑科

技研究所在基础设施方面所做的工作。对人类资源及基础设施学院副院长乌尔里希·魏德曼 (Ulrich Weidmann) 而言，建科馆是一次重大的前进。他说：“苏黎世联邦理工学院的科学家们正通过不断革新来解决基础设施难题。以建科馆为例，他们证明了集约的建筑设计 and 精致的建筑文化之间并不彼此排斥。他们也因此致力于可持续的土地利用，处于苏黎世联邦理工学院校园中的我们正从中获益。”

共享与合作空间

苏黎世联邦理工学院的科学家们热衷于追求合作的方法，他们因此也为建科馆选择了这种空间——没有独立的办公室，这意味着会有更多公共区域被用于各种规模的小组。建筑的上部共两层，大部分教授都在下层的室内玻璃墙区域工作，还有博士后、高级研究人员，以及各个教授的学生，上层则是用于博士生和硕士生。在这个新馆里，每个人的空间都比之前要小，但却可以使用一个更大的共享空间。这里可以举办讲座，进行评图和展示，所以是名副其实地同在一个屋檐下。

机器人制造实验室

位于地面层上的机器人制造实验室 (Robotic Fabrication Laboratory, RFl) 由建筑与数字制造的负责人和 Gramazio Kohler 研发公司共同发起和策划，这再次证明了建科馆的空间方式如何为跨学科的建造实验创造新空间。机器人制造实验室是一个全球化的独特的数字建造环境，供国际上机器人制造及建造领域最前沿的研究使用；并且这里拥有真实世界的条件，能够以1:1的比例进行实验。它是建科馆的一个不可或缺的部分，从2016年10月开始全面运行。

在这个实验室，一个综合的机器人系统使得大

规模的建造项目得以执行。它的独特之处在于机器人轨道，即一个装在天花板上的可在空中移动的台架系统，以及4台机器人。每个机器人有两个机器臂，能建造和组装实际大小的原型和建筑构件，4台一起可以在一个最大体积为43m×16m×8m的空间内，在6根轴线方向上同时工作并互相配合。该实验室的灵活且可扩展的配置使得不同类型的建筑以及建造实验能在各种尺度下进行。同时，它还能够模拟机器人制造和人机结合在现场的合作，以及基于工厂的自动化数字制造过程。除了建筑领域的核心研究，机器人制造实验室还面向其他学科提供实验平台，可以进行依赖数字控制的空间应用研究项目。

建筑技术研究所在这个实验室中进行许多的测试，例如对薄壳屋顶结构的测试等。同时，这座建筑也为国家数字制造研究中心 (National Centre of Competence in Research, NCCR) 提供服务，有大约50~60名研究者在研究建筑的数字制造，从结构到现场机器人，从自动化挖掘到结构设计。例如，一种能在现场填充混凝土墙的机器人系统使机器人可以旋转、抓取不同的构件，并根据定位系统在现场进行组装。此外，研究人员还在下方脚手架上进行结构应用的测试。一旦脚手架搭好，就可以制作既轻且薄的混凝土结构，用极少的混凝土实现很大的跨度。实验室内还设有3D打印设施，在数字制造方面，建筑师本亚明·迪伦贝格尔 (Benjamin Dillenburger) 的研究达到了前所未有的精度，能用大型打印设备以极高的精度打印实际大小的建筑物。它为建筑构件的细节和造型带来了无限可能，并提供了空前的功能特性。在蓬皮杜中心的一次展览中，建筑技术研究所首次以实际大小展示了这项技术——一种带机器人的可调节立面，能通过调节



14

14 屋顶现场安装

15-16 屋顶在ERNE公司的制作

(14-16 © Gramazio Kohler Research, ETH Zurich)



15



16



17



18

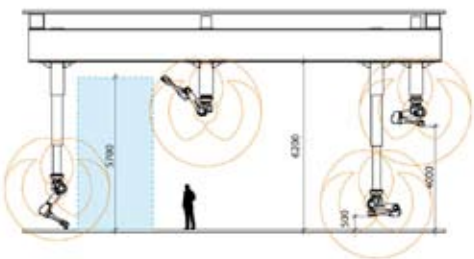
控制日照，从而在供暖和制冷时节约能源，同时也满足用户的舒适度。

从2010年起，建筑技术研究所在新加坡建立了“未来城市实验室”，研究热带地区的零排放、零能耗高层建筑等内容，并提出了关于适应气候、建筑降温、产生能源等截然不同的理念。同时，他们也通过这个实验室在城市尺度上思考如何给未来的城市提供能源系统，如何实现建筑与城市设计之间的互动等问题。

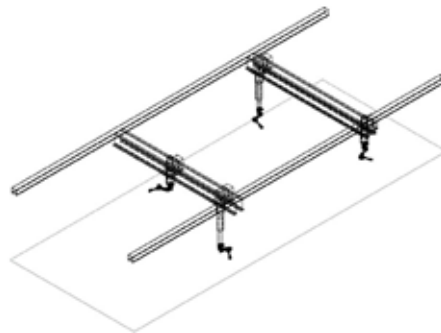
建筑技术研究所前任所长沙哈·门茨（Sacha Menz）促成了建科技馆的诞生，在他看来，这座建筑实现了未来高科技建造和新型合作的双重图景。他说：“建科技馆是用于研究建造的，而这不能在封闭的环境下进行。我们试图打破学科间的壁垒，转而在建筑科技研究所内进行紧密的跨学科合作。”

建科技馆里还有很多问题在等着被解决，它可以被视为一间拥有真实世界条件的实验室，研究者和他们的学生可以在其中持续不断地尝试新的课题，并在现场测试解决策略。他们的发现将直接使建造领域受益，以及从根本上造福于整个社会。□（本文根据阿尔诺·施吕特教授于2018年2月26日在建科技馆的讲座，以及ETH官方网站的资料整理而成；讲座内容由尚晋翻译。）

20



19



21



22

17 机器人制作实验室内景
18 带有两个机械臂的机器人

(17,18 © Andrea Diglas / ITA/Arch-Tec-Lab AG)

19 机器人实验室剖面

20 机器人实验室内的台架轴测示意图

(19,20 © Gramazio Kohler Research, ETH Zurich)

21-22 机器人制造的结构模型 (21,22 摄影: 辛梦瑶)