

提高建筑拆除材料再利用策略 及适应性分析

- 基于瑞士循环建造经验 -

让我们共同打造气候中和的未来
Building a climate-neutral future together



中华人民共和国
住房和城乡建设部



0



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

intep
skat_ Swiss Resource Centre and
Consultancies for Development

版本说明

编辑信息

2025 年 5 月，版本 2.0

项目发起与指导方

- 中华人民共和国住房和城乡建设部
- 瑞士联邦外交部发展与合作署

主要作者

素朴工作室

- 宋晔皓教授（清华大学）
- 褚英男博士（哈佛大学 清华大学）
- 羊宇翔（清华大学）
- 孙菁芬

合作团队

intep-skat 团队

- 路枫博士
- 朱继龙
- Roland Stulz

封面图片来源：沼山村村民中心，素朴工作室，摄影：褚英男

目录

概述	
1. 中国建筑拆除材料现状	
1.1 中瑞标准里定义的建筑垃圾与建筑拆除材料	
1.1.1 中国标准《建筑垃圾处理技术标准 CJJ/T134—2019》	
1.1.2 瑞士标准《SIA 430: 2023 避免和处置建筑垃圾》	
1.1.3 建筑垃圾与拆除材料	
1.2 中国建筑拆除与建筑垃圾现状	
1.2.1 中国建筑拆除现状	
1.2.2 中国建筑垃圾分类	
1.2.3 中国建筑垃圾处理	
1.3 中国建筑拆除与建筑垃圾现状	
1.3.1 建筑拆除材料的降级利用	
1.3.2 资源化利用生产的再生产品	
1.3.3 设计介入	
2. 瑞士循环建造经验	
2.1 循环建造策略	
2.1.1 循环经济	
2.1.2 循环建造	
2.2 瑞士循环建造实践	
2.2.1 拆除阶段：建筑与材料分离	
2.2.2 过渡阶段：材料处理与信息传递	
2.2.3 设计阶段：材料与建筑的重组	
3. 拆除材料再利用策略的适应性优化	29
3.1 多维度下拆除材料再利用的适应性分析	29
3.1.1 设计实践	29
3.1.2 技术应用	31
3.1.3 政策标准	33
3.2 基于瑞士经验拆除材料再利用的策略建议	35
3.2.1 产业协同	35
3.2.2 技术创新	35
3.2.3 政策标准	35
4. 结论	37
A1 案例集——瑞士	38
A2 案例集——北京	59
A3 缩略词表	70
A4 参考	72

概述

在全球范围内，建筑行业在消耗大量自然资源的同时，也对环境造成了极大的负担。在建材的生产、运输和建筑的建造、运维、拆除等生命期的各个环节，建筑行业的活动产生了大量的碳排放和废弃物排放，其中有很大一部分建筑废弃物，即建筑垃圾会被直接填埋。

这种生产到废弃的线性经济造成了建筑行业的经济损失，加剧了资源浪费和环境污染。而循环经济概念的提出转变了传统的物质单向流动模式，在实现经济价值最大化的同时，也减少了资源的消耗和环境的负担。循环建造是循环经济在建筑行业的应用，旨在实现建筑生命期内的材料、产品和系统的再生和循环，最终实现零污染和零浪费的可持续建造方式。

循环建造是对产品生产、建材选择、设计范式、建造施工、建筑拆除和回收再利用等建筑生命期内所有环节的系统性优化。目前，大量现存的建筑是按照传统设计、施工方式建造的，而随着城市化的快速发展，频繁的建筑拆除和更新活动正在产生大量的建筑垃圾，如何推动这些建筑废弃物的回收再利用是实现循环建造的重要途径。

实现建筑领域内的材料循环主要通过回收（Recycling）和再利用（Reuse）两种途径。前者涉及材料层级的回收再生，需要更高水平的再生技术和更完善的上下游产业，例如再生混凝土、再生钢铁等，这些再生产品在回收生产过程中会消耗一定的资源，并产生污染物的排放。后者主要指产品层级的建筑材料和部件的直接再利用，在建筑领域一般体现为设计建造阶段各种材料的降级回用，通过设计师的设计介入能够提高材料的再利用率。建筑拆除材料和部件的直接再利用相较于回收再生是一种更加节省资源、降低排放的材料循环方式。

目前中国对于建筑行业材料循环这一主题积累了相关的理论研究和建造实践，但前者大都基于材料层级的建筑垃圾回收再生，后者一般依靠设计师的主动性，且在实践中存在诸多限制，再利用方式也较为单一。目前还未形成建筑拆除材料和部件再利用系统化的理论框架和技术路径，也缺少多样化、创造性的案例实践。

瑞士从建筑拆除、材料管理、设计优化等不同角度探索了循环建造，积累了丰富的理论和实践经验，这为中国的建筑拆除和拆除材料再利用提供了新的启示。本报告从拆除材料再利用的三个过程，总结了瑞士实践和研究经验，对比分析两国在这方面的差异，及瑞士经验在国内研究和实践中的适应性，提出了提高拆除材料再利用率的策略建议。

本报告第一章首先对比分析了中瑞两国标准中关于建筑垃圾规定的异同，对报告中的建筑垃圾与建筑拆除材料进行区分。通过对相关文献、政策、标准等资料分析了中国建筑拆除与建筑垃圾处理现状，提出了设计介入提高拆除材料利用率的方式和必要性。第二章研究整理了瑞士在循环建造领域的经验，从拆除材料再利用过程的三个阶段，即拆除阶段、过渡阶段和设计阶段，通过文献研究和案例分析归纳了瑞士提高拆除材料利用率的相关理论、技术手段和设计策略。第三章分析了中瑞两国在拆除材料再利用在设计实践、技术应用和政策标准三个维度下异同，并基于中国实际对瑞士经验进行适应性分析，并提出策略优化建议。第四章对前三章进行简单总结。

目前中国在拆除材料再利用领域的研究和实践与瑞士存在一定差距。从设计实践的角度，瑞士经验提供了更多再利用材料和部件参与设计的可能性，拓展了再利用实际应用的边界。从技术应用的角度，系统化的理论框架和数

字化技术的应用开发，对补充国内现阶段的研究具有借鉴意义，能够作为提高拆除材料再利用在建筑领域实践的理论支撑。从政策标准的角度，再利用相关标准完善和政策专项支持能够解决拆除材料再利用实际应用层面的问题和障碍，推广拆除材料在建筑设计领域的再利用实践。同时，拆除材料再利用与循环建造相关理论转变了原有线性的设计方式，从本质上改变建筑生命期各个环节的理论和实践范式，有助于推动建筑行业的可持续发展。

基于中国建筑行业实际情况和瑞士经验，提高建筑拆除材料再利用率可从产业协同、技术创新、政策标准完善等多个维度入手。通过建筑项目试点和产业链完善，推动建筑拆除材料的实际应用和区域协同发展。通过产学研合作和国内外交流，促进拆除材料再利用的数字化技术研究和应用。完善相关政策和标准，能够推动建筑行业拆除材料再利用朝着标准化、规范化的方向发展。

1. 中国建筑拆除材料现状

1.1 中瑞标准里定义的建筑垃圾与建筑拆除材料

1.1.1 中国标准《建筑垃圾处理技术标准 CJJ/T134—2019》定义的建设拆除废弃物总和

中国标准《建筑垃圾处理技术标准 CJJ/T134—2019》里定义的建筑垃圾指的是建筑行业中各类建设活动中产生的废弃物总和，不包含危险废弃物。建筑垃圾从源头可分为工程渣土、工程泥浆、工程垃圾、拆除垃圾和装修垃圾。工程渣土指的是各类基础开挖过程中产生的弃土，工程泥浆指各类施工过程中产生的泥浆，前者占建筑垃圾的绝大部分。[1]工程垃圾、拆除垃圾和装修垃圾指的是在建设、拆除和装修过程中产生的垃圾。[2]

因此，从相关规范和政策中可知，按照建筑垃圾的源头分类，拆除垃圾属于建筑垃圾的一种，产生于建筑物、构筑物及其他建筑行业设施的拆除工程，是过程中产生的弃料。[2]

1.1.2 瑞士标准《SIA 430: 2023 避免和处置建筑垃圾》定义的拆除后的材料¹

瑞士新修订的《SIA 430: 2023 避免和处置建筑垃圾》(SIA 430:2023 Vermeidung und Entsorgung von Bauabfällen) 取代了1993年《建筑垃圾处置》(SIA 430 Entsorgung von Bauabfällen)，新修订的标准强调循环经济的主题，例如引入“再利用”的概念，强调建筑部件的再利用潜力，不仅需要推动回收部件的重新利用，也强调了应在新设计中考虑部件在建筑拆除后被重新利用的可能性，要求尽可能多的将建筑废弃物回到材料循环中。[3]除

¹ 规范名称和相关术语的中文翻译来源参考[3]

新增关于循环经济的相关内容，新的标准也涉及了一些术语改动，将原本“建筑垃圾”修改为“拆除后的材料”，标题增加了“避免”，强调了避免产生建筑垃圾应优先于处理已经产生的建筑垃圾，延长建筑的生命周期，从源头减少建筑垃圾的产生。[4]

1.1.3 建筑垃圾与拆除材料

对比中瑞关于建筑垃圾的相关规范可以发现，两者都强调了建筑垃圾需要回收利用和妥善处理，以减少对环境的影响。在中国标准《建筑垃圾处理技术标准》中对于建筑垃圾的分类是从源头分类，强调建筑垃圾是无危险性的各类建设活动产生的废弃物，处置方式优先考虑资源化利用。²

在瑞士标准《避免和处置建筑垃圾》的规定中提出“拆除后的材料”，并强调了材料循环，这些同样产生于拆除工程的“材料”与“废弃物”相比，具有更高的价值和更大的“再利用”潜力，这种“再利用”相对于建筑垃圾的资源化利用和处理相对简单，优先考虑更加直接的再利用方式。这样的利用方式不仅能够简化和加快材料和部件的循环进程，延长了材料和部件的生命周期，也能够避免“建筑垃圾”的产生，减少更多“材料”被归为“废弃物”进入建筑垃圾处理流程的可能性，降低了建筑垃圾处理量，降低了资源化利用和其他处置方式过程中产生的资源消耗和环境影响。

在本报告中，第一章第二小节主要介绍了中国建筑拆除和建筑垃圾处理现状，在这部分的相关表述中，按照中国的《建筑垃圾处理技术标准》的规定，描述的对象为“建筑垃圾”。第一章第三小节及之后的内容探讨建筑拆除材料再利用策略，采用瑞士标准《避免和处置建筑垃圾》里的新术语“拆除材料”/“拆除部件”作为描述对象，强调这些材料和部件直接再利用的价值，

² 资源化利用：建筑垃圾经处理转化成为有用物质的方法。参考[2]

研究如何从建筑设计角度推动材料和部件的循环，减少需要资源化处置和消纳的废弃物。

1.2 中国建筑拆除与建筑垃圾现状

1.2.1 中国建筑拆除现状

近年来，随着城市的不断发展，建筑建设面积快速增长。据统计，每年建筑施工面积已超过 150 亿 m^2 ，竣工建筑面积达到每年 40 亿 m^2 左右。[5]由于城市规划、土地价值、经济潜力、城市发展等因素的影响，新建筑的建设一方面需要通过拆除既有建筑获得更多的建设空间，另一方面可以通过对既有建筑的改造将新功能置入存量空间当中。无论是拆除现存建筑、建设新建筑还是更新既有建筑，这些建设活动都会产生大量的建筑垃圾。

至 2020 年，我国建筑面积总量约为 660 亿 m^2 ，2007 年至 2020 年间建筑面积增加超过 200 亿 m^2 ，建筑拆除面积从 2007 年的 7 亿 m^2 快速增加，目前稳定在每年 16 亿 m^2 左右。[6]根据相关研究显示，被拆除的建筑平均寿命仅为 38 年，商业、办公类建筑的平均寿命甚至不到 30 年。[7]而根据相关规范中关于建筑设计使用年限的规定，普通建筑和构筑物的设计使用年限要达到 50 年。[8]因此，被拆除的建筑中很多属于过早拆除。有研究表明，被拆除的建筑中仅有 10%属于因工程质量、违规违建而进行的合理拆除，而 90%的建筑拆除则属于不合理拆除。**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**这些建筑的拆除主要受到外部因素的影响，比如经济利益、政策驱动、城市功能更新、土地稀缺等。[7]

大量过早拆除的建筑除了造成巨大的经济损失，对于资源也是极大的浪费。若按照拆除每平方米旧建筑将产生 1 吨建筑垃圾计算。平均每年仅拆除的建筑将产生 16 亿吨左右的建筑垃圾，而被拆除的建筑中绝大部分建筑并未达到需要拆除的程度。**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**除了大拆大建的施工和大量的建筑垃圾直接对环境产生巨大的负担，在这过程中被浪费的建材在生产、运输和使用阶段对环境的影响

也不容忽视。根据相关研究，建材在生产阶段的碳排放占全国能源相关碳排放比重的 16.0%，占建筑全过程能源排放的 41.8%。**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

建筑的实际使用年限低于其设计寿命成为一种较为普遍的现象之后，建筑中使用的大部分材料与部件也随着建筑的拆除而成为建筑垃圾，并未达到其真正的使用寿命。从可持续的角度出发，一方面需要避免未达到使用年限的建筑过早拆除，从源头上减少建筑垃圾的产生，另一方面可以通过优化建筑拆除管理、建筑垃圾资源化处置和建筑材料部件的回收直接再利用等过程，延长建筑拆除过程中产生的材料和部件的使用寿命，减少对环境的不良影响。

由于大拆大建的城市建设带来建筑垃圾日益增加、资源极度浪费和环境影响持续加剧等问题，近年来，中国城市建设转向更加可持续的更新模式，例如，严格控制大规模拆除、建设和搬迁，保留、利用和提升既有建筑，保护城市特色风貌和肌理等。[11]

与拆除现存建筑为新建筑提供建设空间不同，既有建筑更新通过对存量空间的改造、修缮、功能优化等方式，提高空间品质和价值，延长建筑使用寿命，适应城市和社会的发展需求。一方面部分老旧建筑存在安全质量问题，或其功能无法满足当下城市发展的需求，另一方面由于城市土地资源日趋紧张，很多建设较早的现存建筑周边具有稳定的业态结构、良好的区位优势和较高的土地价值。因此通过更新改造，能够赋予旧建筑新的空间功能，注入新的空间活力，满足新的使用需求，并且能减少因大规模拆除重建带来的环境破坏和资源浪费，同时挖掘城市闲置和消极空间的潜力和价值，推动对城市空间资源的高效整合与利用。

另一方面，随着能源结构的优化和节能技术的提升，部分既有建筑在未来将进行节能改造。根据相关统计，建筑运行阶段碳排放占全国能源排放比

重的 21.6%，占建筑全过程排放的 56.6%。[10]因此，建筑的节能改造是未来城市建设发展和可持续更新的重要趋势。根据相关资料显示，我国在“十三五”期间已完成既有居住建筑节能改造面积 5.14 亿 m²、公共建筑节能改造面积 1.85 亿 m²，目标在 2025 年完成 3.5 亿 m² 的既有建筑节能改造。[12]

与拆除整体建筑不同，在建筑更新改造的过程中，建筑主体不再拆除或进行部分拆除，其他建筑材料和部件的拆除根据更新设计需求确定。因此，若未来城市建设转变为以有机更新为主导的模式，既有建筑在修缮、维护和改造的过程中，相应的拆除方式和拆除材料的种类、性质也将随之发生改变。

1.2.2 中国建筑垃圾分类

建筑垃圾从源头可分为工程渣土、工程泥浆、工程垃圾、拆除垃圾和装修垃圾。根据北京市相关规定，其中工程渣土、工程泥浆为资源类建筑垃圾，工程垃圾、拆除垃圾和装修垃圾属于处置类建筑垃圾。[13]2023 年，北京市产生建筑垃圾 1.07 亿吨，工程渣土占比为 70%，工程泥浆占比较少，工程垃圾占比为 11%，拆除垃圾占比为 18%，装修垃圾占比较少。工程渣土为建筑垃圾主要成分，拆除垃圾占比将近五分之一。[1]

从建筑垃圾的材料成分来看，除渣土、泥浆等土类建筑垃圾，其余建筑垃圾可分为混凝土、砖、砌块、砂浆、瓷砖、石膏、玻璃、石材、各类金属、竹、木、塑料、织物、沥青等。在拆除垃圾中，混凝土、砖石、砂浆等惰性固体废弃物占拆除垃圾的绝大部分，其中混凝土与砂浆占 30%~40%，砖瓦占 35%~45%，陶瓷和玻璃占 5%~8%，其他拆除材料仅占十分之一。[14]

1.2.3 中国建筑垃圾处理

建筑垃圾优先考虑资源化利用，无法资源化利用的需送至建筑垃圾消纳

场所处置。[15]建筑垃圾处理应按照减量化、资源化、无害化和谁生产、谁处置的原则，最大限度减少填埋量。[16]

建筑垃圾减量化

减量化是指通过源头控制建筑垃圾的产生量，实施绿色策划、设计、施工，严格建筑拆除管理程序，从源头上预防和减少建设过程中建筑垃圾的产生。[17]减量化与瑞士新的 SIA 430 标准中避免产生建筑垃圾原则类似，都是从来源的角度减少建设工程中的建筑垃圾排放量，是建筑垃圾处理中需要优先考虑的原则。

建筑垃圾资源化

建筑垃圾资源化是指将建筑垃圾经过处理转化为有用物质的过程，建筑垃圾资源化后的产品将重新利用于建筑业和其他行业的建设活动。这一过程可以减少建筑垃圾对环境的影响，同时生成的各类再生产品也创造了新的经济价值，推动产业升级与经济结构转型。

渣土、泥浆等土类建筑垃圾的资源化利用方式主要为回填，例如工程回填、矿坑修复、堆山造景、低洼填平等。[13]混凝土、砖石、砌块、砂浆等惰性固体废弃物经过破碎、筛分等一系列制造过程制成规格不一的粗细骨料，除用于回填和基础施工外，根据不同规格制成各类再生产品，[18]例如再生混凝土、再生砖、再生砌块、再生砂浆等[19]。石膏、玻璃等除了制成骨料外，还可通过工业生产方式制成石膏、玻璃等产品的原料用于生成再生石膏、再生玻璃等再生产品。品质较好、拆除破坏较小的材料，例如石材、石板等，也存在直接利用的价值。金属类材料，例如钢筋、钢材及其他有色金属可通过回收、清洗、切割、破碎、熔炼等工序转变为原材料用于再生钢材、再生金属产品的生产。[19]

分类		资源化利用方式（不考虑回填）
惰性材料	混凝土	骨料-再生产品
	砖	骨料-再生产品
	砌块	骨料-再生产品
	砂浆	骨料-再生产品
	瓷砖	骨料-再生产品
	石膏	骨料/原料-再生产品
	玻璃	骨料/原料-再生产品
	石材	直接利用； 骨料-再生产品
金属材料	钢材	原料-再生产品
	其他金属	原料-再生产品
其他材料	竹、木	直接利用； 原料-再生产品
	塑料	骨料/原料-再生产品
	织物	直接利用； 原料-再生产品
	沥青	骨料-再生产品

表 1 建筑垃圾分类（按成分）和资源化利用方式表

除了大量土类建筑垃圾用于回填、修复工程外，其他建筑垃圾的主要资源化利用方式为：

- 制成粗细骨料，根据骨料规格制成再生产品，如再生砂浆、再生砖、再生混凝土等；
- 制成原材料制作再生产品，如再生塑料、再生钢材、再生金属，再生板材等；
- 简单处理后直接再利用，如石材、木材、部件、设备等。

根据相关数据，2023 年北京市产生的建筑垃圾有 43%的建筑垃圾得到资源化利用，拆除垃圾实现 100%的资源化利用，实现 0 填量。截至 2023 年，北京市建筑垃圾处理能力达到 1.03 亿吨/年。[1]北京市建筑垃圾管理与服务平台备案信息显示，截至 2024 年 12 月，具有资质的建筑处置点共有 92 家，其中分为建筑垃圾就地资源化处置设施、临时性资源化处置设施、固定式资源化处置设施和临时贮存点。[20]根据相关规定，北京市建筑垃圾再生产品种类主要为粗细骨料、再生砌块、各类再生砖、无机结合料和冗余土等，应用主要为各类工程基础的回填和基层垫层施工，非承重围护结构，道路、景观、停车场和广场等市政工程建设。[21]

建筑垃圾无害化

建筑垃圾在源头上需与生活垃圾、危险废物进行严格分离，并在处置过程中满足相关规范要求，采取合适的管理、技术、设备和措施严格污染物排放，保证建筑垃圾对环境 and 人体健康不产生危害。

建筑垃圾处置管理

建筑垃圾的处置管理包含源头的产生和分类，收集、运输和贮存，以及利用和处置等全过程管理环节。以北京市为例，北京明确规定建筑拆除工程实行建筑拆除与建筑垃圾资源化实行一体化管理，通过线上管理平台数据共享严格监控建筑垃圾源头，完善建筑垃圾运输监管，强化建筑垃圾计量管理。北京市将建筑垃圾分类资源类（工程渣土、工程泥浆）和处置类（工程垃圾、拆除垃圾和装修垃圾），对每类建筑垃圾利用和资源化方式进行了详细规定。[13]

根据建筑垃圾管理的相关政策，可以归纳出北京市建筑垃圾处置过程包含以下内容：¹

- 实行绿色拆除和施工，制定建筑垃圾治理方案，明确处置方式和清运措施；
- 现场进行建筑垃圾分类、收集和贮存；
- 对建筑垃圾的种类、数量、流向进行记录，并报送管理平台；
- 优先建筑垃圾就地资源化利用；
- 无法就地处置的建筑垃圾运输至资源化利用处置设施或建筑垃圾消纳场；
- 全过程通过建筑垃圾管理与服务平台进行建筑垃圾备案、运输、处置的监管；
- 推动再生产品生产和应用。

在建筑垃圾处置管理流程中，有部分建筑材料和部件不属于“建筑垃圾”，在拆除初期就不包含在管理流程中，如金属、设备、门窗、板材、管线等。这些材料和部件相对于“废弃物”而言具有更高的价值，更符合瑞士标准 SIA 430 中“拆除后材料”的定义，这些可以直接回收、再利用性较高材料和部件经过专门回收和简单处理（如切割、清洗、维修等）直接进入二手市场，成为除建筑垃圾资源化利用外的第二条循环路径。

建筑垃圾与建筑拆除

建筑的拆除方式分为人工拆除、机械拆除、爆破拆除和静力破碎拆除，[22]不同拆除方式适合不同要求的拆除工程：

- 人工拆除：适合小型或需要部分保留的建筑物；
- 机械拆除：适合大部分尺度、高度不超过一定范围的建筑物和工程；
- 爆破拆除：适用于较大尺度和高度的建筑物；

- 静力破碎拆除：适用于对环境、噪声、振动要求较高的项目。

建筑拆除方式的选择不仅会对工程进度、施工成本、周边环境产生影响，对建筑拆除材料和部件的拆除后的性状和质量产生影响，从而影响这些材料和部件的再利用方式和再利用率。例如，用人工的方式对建筑材料和部件进行合理拆除，能够减少对这些材料和部件的损坏，提高其直接利用的可能性，但可能需要更高的拆除成本和拆除时间；机械拆除拆除适合快速、高效的建筑拆除工程，但其对建筑拆除材料和部件的破坏性高于人工拆除方式。

目前较为粗放的建筑拆除方式造成建筑拆除材料的损坏，很大程度上降低了建筑材料、设备、构件的直接或经简单处理后回收再利用可能性，这使得拆除过程产生了更多的“建筑垃圾”而非具有更高可直接利用价值的“拆除材料”。建筑垃圾重新进入循环使用需要进行资源化利用，尽管与传统材料相比再生材料的具有明显的减碳效益，[23]但在这过程中，骨料和原材料的制备、再生产品的生产依旧将消耗大量资源，并产生较高的碳排放。

若通过优化设计、拆除等环节，提高可进入第二条循环路径中的建筑拆除材料，从而从建筑设计的角度探索更加高效和可持续的拆除材料再利用方式，即本报告所研究的提高建筑拆除材料再利用率的策略，能够减少建筑垃圾资源化利用过程中的资源消耗和碳排放，实现建筑拆除材料更多可持续循环使用的潜力。

¹ 参考[13][15]

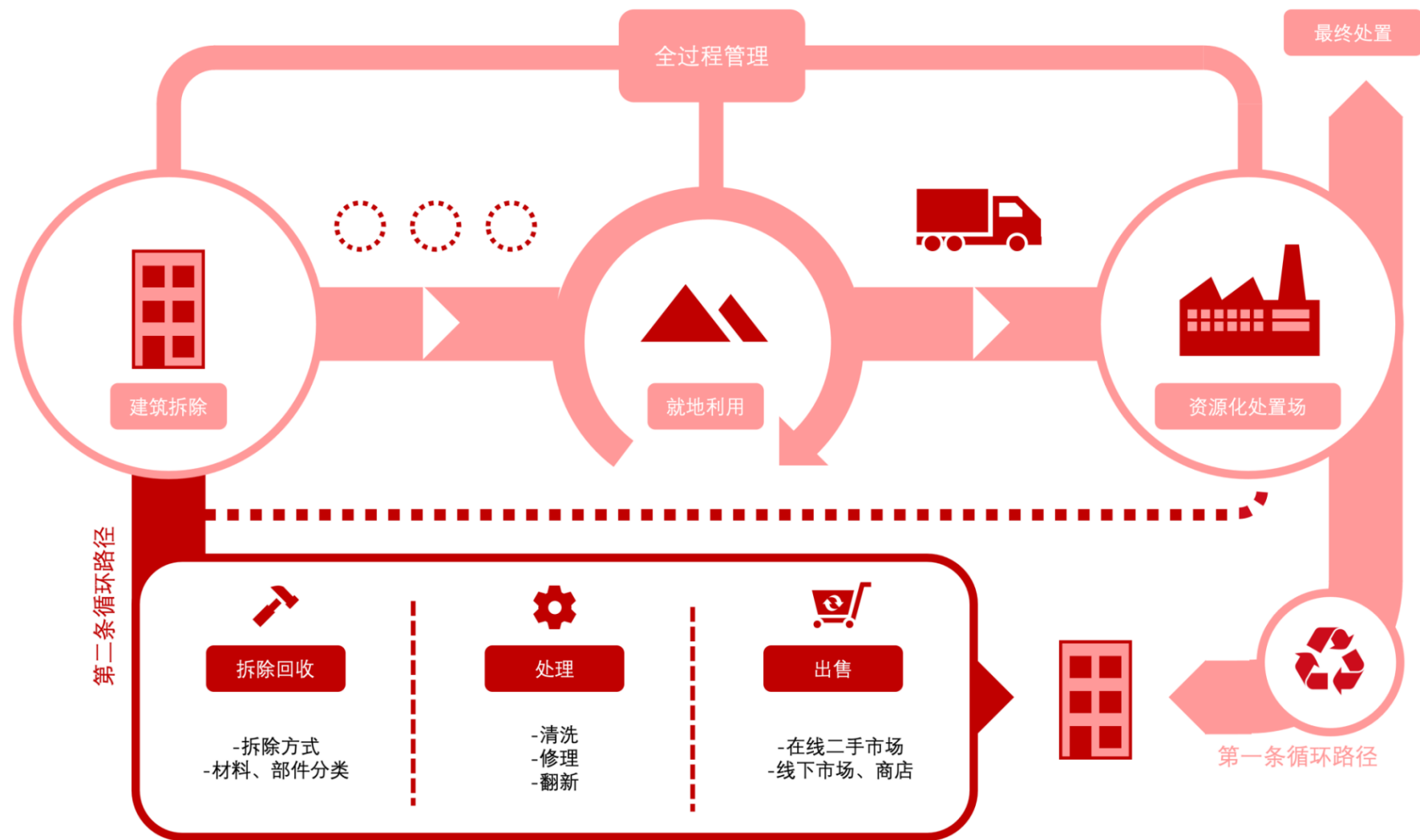


图 1 建筑拆除材料的循环路径 ©素朴工作室

1.3 中国建筑拆除与建筑垃圾现状

1.3.1 建筑拆除材料的降级利用

回收再利用材料通常是一种降级循环（downcycling），这种循环会随着时间降低材料的品质。[24]就建筑拆除材料和部件而言，尽管经过合理的拆除和适当的维修，它们仍然可以在新的建筑中发挥一定的作用，但是在实际设计过程中，受到材料和部件本身质量、拆除损坏、外观陈旧等因素的影响，这些拆除材料和部件可能无法在建筑中发挥和全新材料同等的功能，比如在建筑的结构、围护等性能要求较高的部位。回收的材料更多地被用于“次一级”的部位，例如回收的竹、木、砖、石、玻璃、瓷砖、门窗、设备等材料和部件用于建筑周边景观、立面语言、装置小品、室内设计等。

在以往的设计实践中，素朴工作室探索了物尽其用、就地取材的逆向设计模式，通过材料回用，减少废弃物排放，尝试减碳创新。[25][26]

竹管垅茶青市场项目设计和建设过程中回收了来自村内危房的各类拆除材料和木料、石料加工厂余料，通过设计、试验以及和当地工匠的交流，实现了回收废料的再利用。[26]

在桃里-沼山村村民中心项目中，原始建筑外墙红砖、挡土墙毛石、旧木屋架、厂房设备和周边石刻厂的石材余料实现了拆除和废弃材料的回收再利用。在兼顾建筑设计性能的前提下，减少了材料的消耗和废弃物的产生，形成了独特的乡村设计风貌。[25]

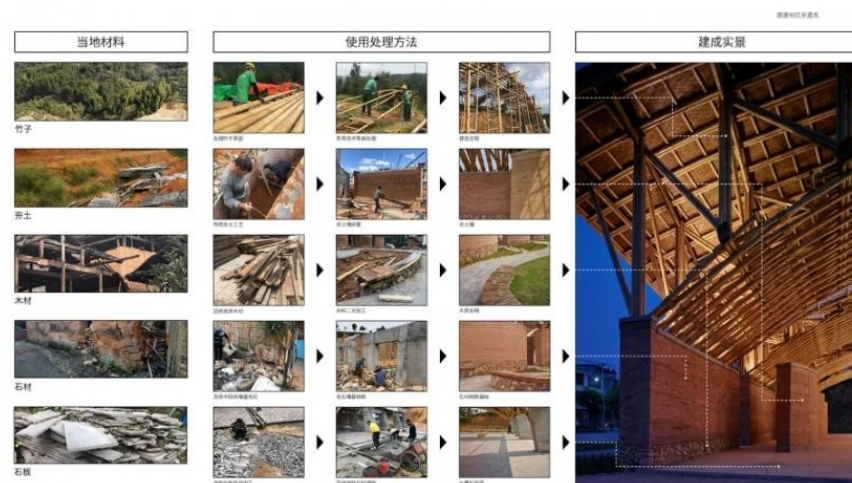


图2 竹管垅材料回收策略 ©素朴工作室

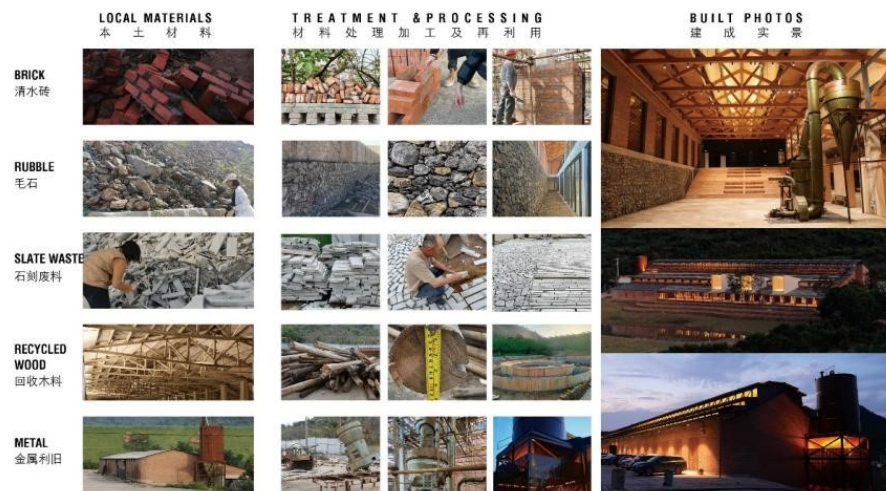


图3 桃里-沼山村村民中心材料回收策略 ©素朴工作室

除了将拆除材料用于景观场地、立面语言、装置小品、室内设计等“装饰”、“美化”建筑的方式外，探索不同类型的建筑拆除材料和部件其他回用方式的可能性，扩大拆除材料和部件在建筑不同位置的应用范围。比如，经过评估，性能良好的钢结构在拆除后可以重新作为新建筑的结构材料；合理拆除后，几乎没有损坏的钢楼梯依旧承担新建筑的垂直交通功能；生命周期内的回收光伏板继续为新建筑服务，提供可再生能源；回收的保温材料在新建筑的围护系统发挥性能；不同样式的旧窗户形成独特的立面语言；回收的金属板可以作为外立面面层材料。[27]回收的实木可以在去除螺丝等其他配件之后，经过加工，制作性能更好的胶合木用于木制立面。[28]不仅回收钢木材料能够作为结构构件，通过结构和节点优化，具有一定强度的回收纸管通过组合也能够作为支撑结构。[29][30]拆除材料回用与新建筑设计是一种由材料特征出发引导设计的逆向设计思维，因此，拆除材料种类和特性的复

杂性决定了其应用方式的多样，需要通过设计实践不断尝试，探索更多拆除材料回用的策略。

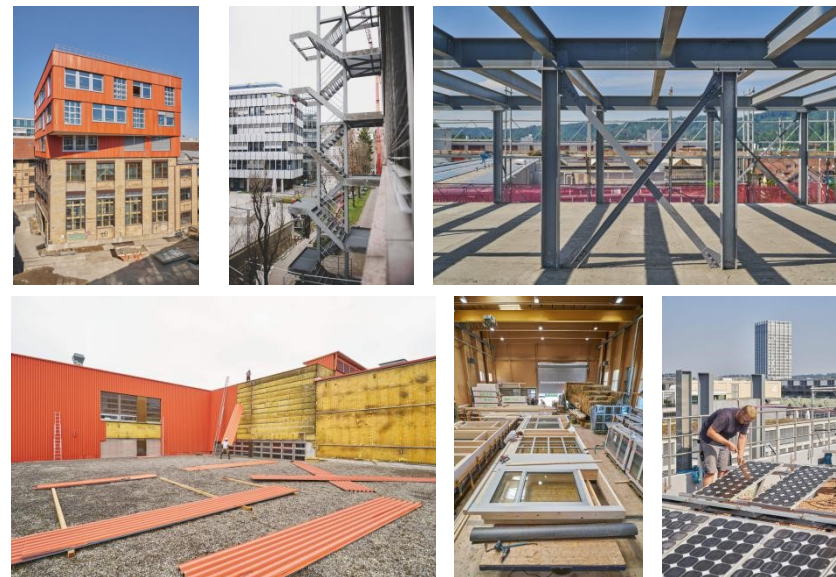
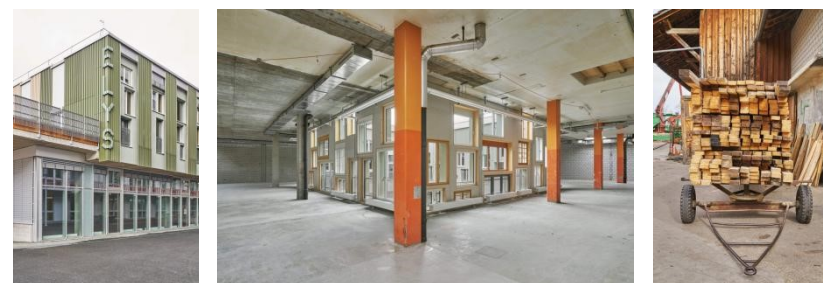


图4 K118 拆除材料再利用策略 ©Martin Zeller



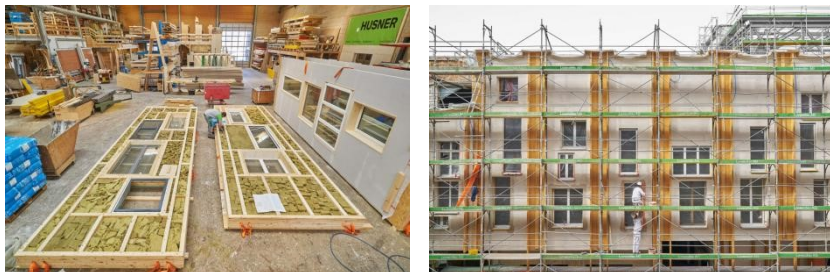


图 5 Elys 文化和商业建筑拆除材料再利用策略 ©Martin Zeller

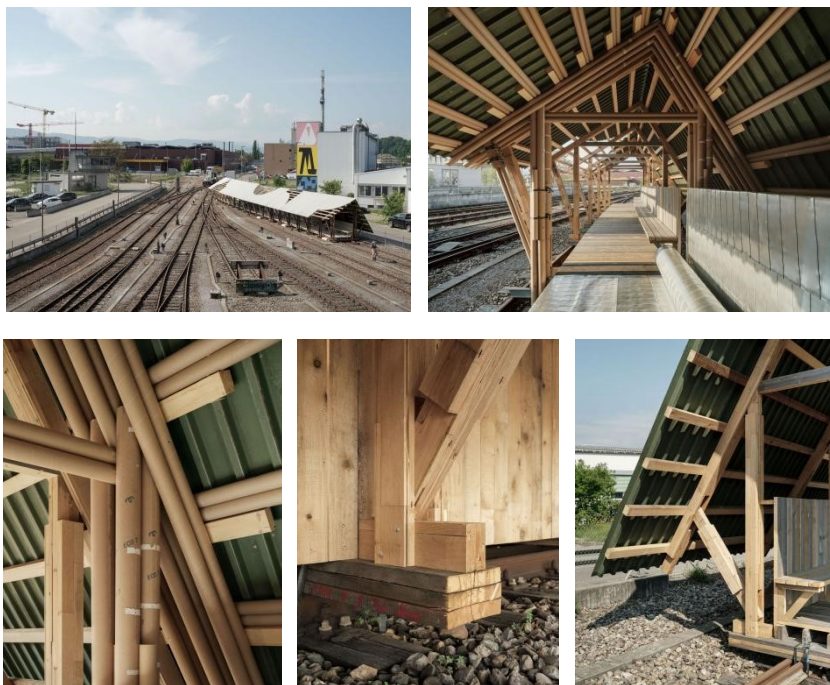


图 6 巴塞尔展亭 2022 拆除材料再利用策略和节点设计 ©Luis Díaz Díaz

1.3.2 资源化利用生产的再生产品

除了拆除材料直接回用于设计外，属于废弃物的那部分材料，通过资源化利用的生产过程制成的再生产品也是一种降级使用，例如将废弃混凝土、砖石等制成规格不同的骨料（表 1），用于垫层、基层和加固，也作为再生产品的原料，例如再生砖。[18]由于技术、经济等因素的影响，建筑垃圾资源化生产出大部分骨料和再生产品的品质较低，性能无法与天然骨料和用天然骨料制成的产品相比，这也是一种建筑垃圾降级使用的方式。[31]而随着建筑垃圾从降级回收转向更高质量的回收，生产制造技术的不断进步，优质再生骨料和再生产品的性能逐渐提升，能够成为天然骨料及其产品的替代品，从“降级资源化”向“原级资源化”转变。[18]

降级回收实际上增加了生物圈的污染。[24]无论是“降级资源化”还是“原级资源化”的利用，这个过程不仅会消耗资源，而且，为了提高性能在原料中添加的各种物质，以及排放的废弃物，都会对环境产生影响。从生命周期评价的角度，直接将建筑垃圾进行填埋对环境的影响是最大的，相对而言，降级回收和回收能够降低三分之一左右的环境影响，而经过选择性拆除的回收对环境的影响降低超过一半。[31]

因此，选择合适的建筑拆除方式和拆除比例，提高拆除材料直接再利用价值，减少需要资源化利用才能进入重新使用的废弃物的产生，是一种对环境的影响更小的循环方式。如何将各类拆除材料再利用于设计，需要建筑师通过实践不断尝试和探索。

1.3.3 设计介入

通过设计提高建筑拆除材料的再利用率从设计的流程来看，可以分为：设计前期获取拆除材料的各类信息，考虑如何将拆除材料应用于新项目的设

计，这些拆除材料可能产生于项目自身场地，可能来源于周边拆除工程或二手交易市场；规划、管理建筑的拆除方式，统计、评估拆除材料的种类、数量等信息；思考回收材料如何与设计进行匹配，也可以按照逆向设计的方式，以回收材料作为灵感对涉及进行调整；选择合适的构造、安装方式和顺序，保证材料在建筑生命周期结束后能够通过一定的拆卸方式减少损耗和破坏，实现材料的再次利用。

拆除材料的循环和再利用目前仍处于通过实践不断积累经验阶段，每实现一种拆除材料的再利用方式，就能减少一种属于建筑拆除“废弃物”的种类，实现更直接、高效、可持续的材料循环。

2. 瑞士循环建造经验

2.1 循环建造策略

2.1.1 循环经济

与线性经济不同，循环经济下，产品和原材料能够尽可能地被重新使用，延长其生命周期内的使用寿命。因此，在循环经济的原则下可以减少资源浪费和废弃物排放，最大限度地保护环境。循环经济涉及原材料提取与加工、产品设计与生产、配送和运输、消费和使用、再利用或回收作为二次原材料的整个过程。[32]在瑞士，建筑相关工程产生的废物超过总量的 80%，其中拆除材料占总量的五分之一。在循环经济的指导下，提高建筑材料和部件循环利用的潜力，能够实现循环建造，进一步减少建筑对环境的影响。Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

- 建立有关建筑部件和材料的可回收性的政策、标准
- 限制可回收废弃物的简单处置
- 建立材料护照
- 提高循环建筑材料美学
- 提高当地可再生建筑材料的使用
- 将可回收性和可持续性纳入公共采购标准
- 提高各环节参与者的循环意识
-[34]

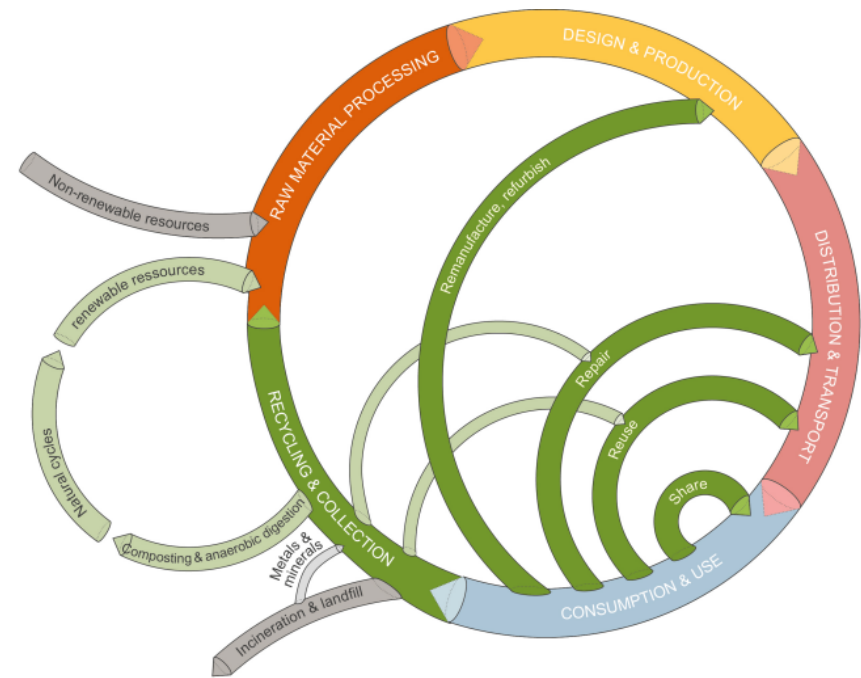


图 7 循环经济图 ©FOEN

循环经济策略 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

(1) 最大限度减少材料流 (Minimising material flows)

- 经济地使用材料和能源
- 资源节约型的使用模式

(2) 减缓材料周期 (Slowing down the material cycle)

- 在供应端延长产品寿命
- 延长产品使用寿命

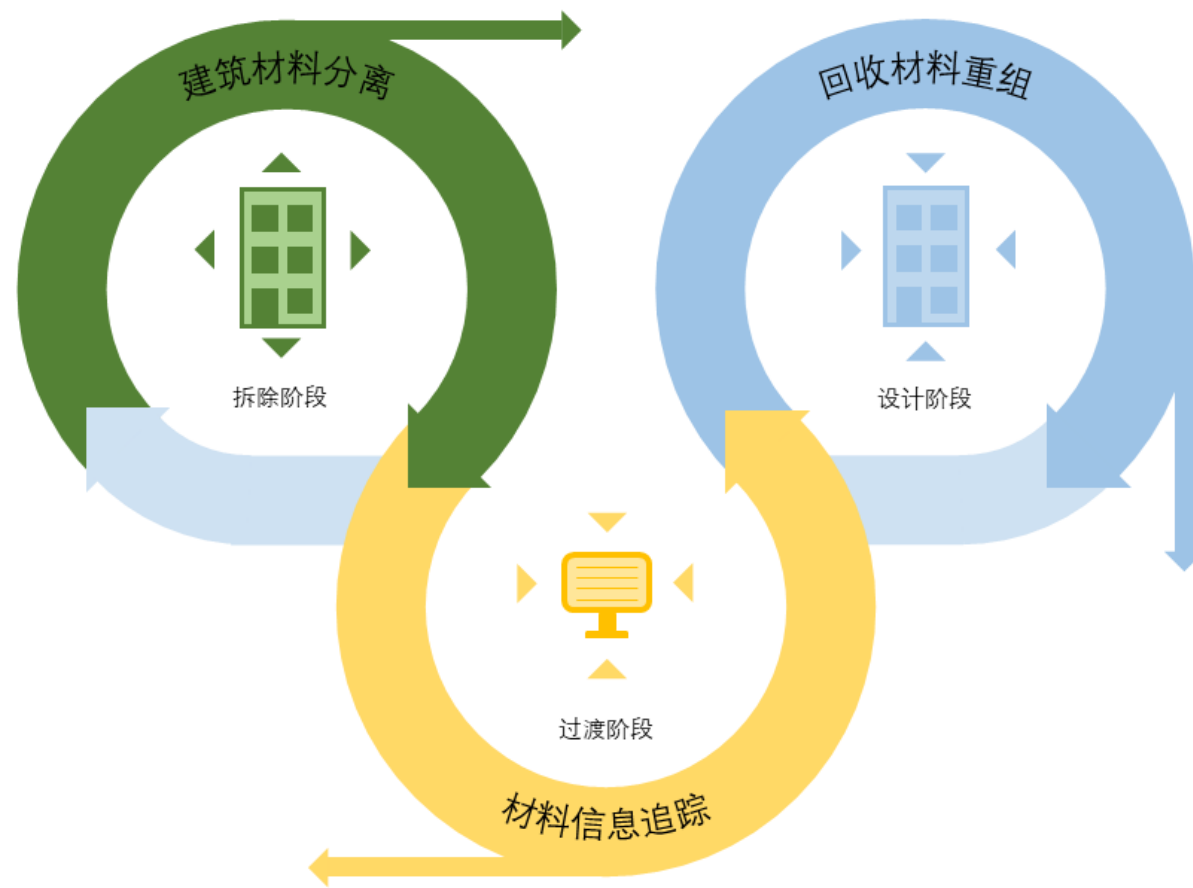


图9 拆除再利用的三个阶段 ©素朴工作室

2.2 瑞士循环建造实践

2.2.1 拆除阶段：建筑与材料分离

材料进入再利用循环是从与建筑分离，即从建筑拆除开始的。选择合适的拆除方式，有利于减少拆除过程中建筑材料的损坏，最大程度保留其性能，提高拆除后的材料回收再利用价值。

普遍情况下，将材料从建筑上分离出来，有较为粗放、破坏较大的拆除方式，也有根据材料特性、连接方式进行的、更为精细化的拆除，前者属于较为常见的常规性拆除方式（CD），后者是将有再利用价值的建筑材料和部件先进行分离的选择性拆除（SD）。[35]常规性拆除通常采用机械拆除，对材料的破坏性较大，在建筑拆除过程中产生了更多无法再利用（Reuse）的废弃物，只能进行回收（Recycling）循环。选择性拆除更加依赖人工拆除，能够减少对拆除材料的破坏，易于回收再利用，但拆除的过程需要更多的时间和人工成本。

若需要更好地保证材料拆除后的完整性，拆卸设计（Design for Disassembly, DfD）是一种有效的设计策略。拆卸设计以提高建筑系统、部件和材料的可分离性和可拆卸性等内容为原则，充分考虑到未来建筑拆除或更换部分建筑构件便捷性、安全性和高效性，提高建筑中未达到其使用寿命的材料和部件的再利用，最大限度地减少废弃物的产生，实现材料的循环利用。因此，拆卸（Disassembly）相对拆除（Demolition）是一种“可逆的”的设计和建造方式，更有利于材料的再利用循环。[36]

拆卸设计中关于系统可分离、节点可拆卸、构件模块化等设计原则将在本节第三部分进行案例分析。在拆除阶段，将根据案例分析有关拆除方式、拆除管理和材料评估的相关内容，即如何以较小的损伤为代价将材料从建筑

上分离以及如何评价回收材料的再利用价值。

拆除过程与拆除材料再利用：以 Huber Pavilions 为例[37]

Huber Pavilions 的拆除与再利用探索了如何通过选择性拆除和材料再利用，为未来的可持续建筑和学习空间设计提供实践案例。Huber Pavilions 是苏黎世联邦理工学院（ETH Zurich）校园内的临时建筑，建于 1989 年，在使用期间作为建筑设计工作室。原展馆是三座临时性的轻型木结构建筑，用较为简单的构件连接方式建造。由于其结构简单且易于拆除，这些建筑在 2022 年被拆除，其材料被重新利用，用于支持校园内新的学习空间建设。

Huber Pavilions 的拆除过程强调了精细化拆除的重要性，在拆除过程中要尽量减少拆除对材料的破坏，最大限度地保留拆除材料的价值，而不是简单地进行破坏性拆除。因此，拆除现场需要对每种材料进行识别、分类和量化，并根据材料特性、所在部位以及构件连接方式等要素选择合适的拆除方式，这需要花费大量的时间和精力。最终，在项目拆除后，大约有 30% 的材料适合在其他建设中进行再利用，剩下的材料则被丢弃或者回收。更加精细化的拆除固然能够增加拆除材料直接再利用的可能性，但在实际拆除项目中，时间限制、拆除难度、拆除成本等问题都一定程度上限制了这种拆除方式的开展。

合适的拆除方式保留了拆除材料的价值，而对这些材料的评估和记录可以更好地管理拆除后的材料，材料信息的分类统计和去向管理是衔接拆除过程和再利用过程的重要环节。在 Huber Pavilions 现场拆除的过程中，建筑师对不同拆除材料进行识别和分类，评估可再利用材料的价值和数量。通过 Excel 表格对建筑主体结构、围护结构、其他构件等材料、设备进行整理，统计了拆除过程中可再利用材料的类型及数量。

材料从现场拆除到购买方再利用的过程中，拆除材料还需经过储存、运输、销售等环节，这将关系到材料的质量和对环境的影响。在项目拆除过程中，可再利用的拆除材料被暂时存储在一个 8x20 米的户外空间中，并用塑料布覆盖以防止风雨侵蚀。之后，选择与材料类型、体积、重量相适配的运输工具，将拆除材料运送给购买方或材料再利用项目现场。拆除材料的信息被发布在 useagain.ch 网站大约有 30 位材料接收者在两周内领取了所有可再利用的拆除材料。根据最终的统计，约 8 吨材料被分配给 ETH 内部的 20 个不同项目，约 25 吨材料被分配给私人接收者。

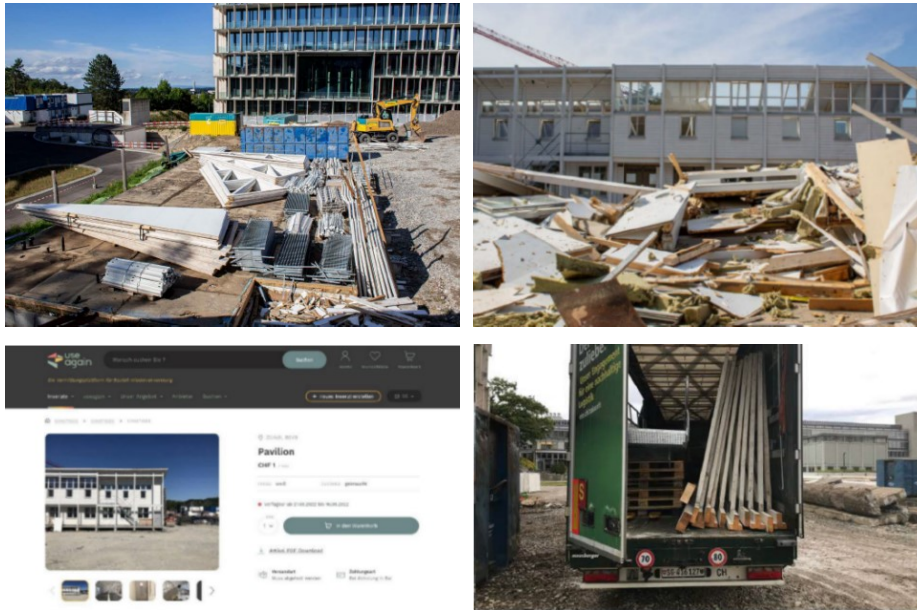


图 10 Huber Pavilions 的拆除过程与拆除材料 ©Elias Knecht

Huber Pavilions 精细化的拆除和材料管理，探索了从建筑拆除过程管理到拆除材料信息记录，再到材料去向管理和再利用方式的全过程，通过实践

证明了合理的拆除方式能够避免建筑垃圾产生，提高拆除材料再利用。拆除过程中对材料的科学管理（如分类、记录和存储）和信息发布是实现再利用的关键，通过这种方式，可以最大化拆除材料的价值并减少浪费。

此外，Huber Pavilions 项目展示了实践和教育的结合，通过将拆除和再利用过程转化为教育实践，让学生直接参与建筑生命周期的各个环节，从拆除材料再利用的视角加深了对可持续建筑设计的理解。通过参与项目的拆除过程，学习了如何识别、保留有价值的建筑拆除材料，如何管理拆除材料的重要信息；通过设计和建造课程，将拆除材料重新应用于实际项目中，实现了从拆除到利用材料循环的实践。这种教育与实践相结合的方式为未来的建筑教育提供了新的方向和一个成功案例。

拆除材料评估：理论和实践

对比一般建筑，利用拆卸设计原理设计建造的项目，其构件的可拆卸性很高，回收材料的完整性和再利用性要高于一般建筑拆除材料。对于拆除材料的评估可以借助拆卸设计的评价框架进行量化。除材料本身的物理特性、耐久性、现状质量外，可拆卸性（Disassemblability）是材料再利用性（Reuseability）的一个重要指标，可拆卸性下包含结构连接（Structural Connections）、拆卸中的损坏（Damages during disassembly）和构件的可达性和独立性（Accessibility/Independence）等评价指标。[38]

而在实际项目中回收的建筑拆除材料和构件质量较新产品而言质量较差，缺乏专业评估，性能和安全性难以保证，一般通过性能上的降级使用和结构尺寸冗余确保安全性。[3]由此产生了一种专门收集、专业评估建筑拆除构件和材料的职业：构件猎头（Component Hunter）。¹K118 项目的设计和建设过程中，在不同的项目场地、市场寻找和收集可以利用的拆除材料是设计

¹ 职业名称中文翻译来源参考[3]

的第一步，“城市变成了再利用材料的矿场”¹。寻找、评估拆除材料的质量和适用性，管理拆除、运输和储存流程对于项目设计建设和拆除材料的再利用非常重要。构件猎头通过对拆除现场走访、与业主沟通、现场记录等环节收集潜在再利用材料和部件的详细信息，评估其各项性能指标，形成数据库供设计师参考。当确定了设计中需要用到的拆除材料，下一步就是组织对目标材料的拆卸，每样再利用材料都会拥有特定编码和组件护照（Component Passport）。这些材料在项目现场进行妥善拆除之后，需要重新对其性能进行评估，以保证拆除材料能够满足相应的设计需求。[27]

对于材料的评估不仅是为设计寻找合适的拆除材料，让更多拆除材料能够参与新建筑的设计和建造，也是对材料性能和安全性的保证，是后续进行维修翻新和重新安装的前提。一方面，按照不同材料的特性进行分析，筛选影响其可再利用性的指标，从理论角度建立拆除材料评价框架，并对指标进行量化，为评价拆除材料的可再利用性提供一个标准。另一方面，和经过专业化生产的、具有统一标准的新材料不同，拆除材料的使用历史和拆除方式等因素增加了评价拆除材料是否适合再利用、如何进行再利用的复杂性，很难仅通过相关标准进行判断，需要更加有经验的专家对不同拆除材料进行逐一甄别、评估，比如构件猎头。这使得拆除材料的评估变得专门化，催生了拆除材料再利用市场中新兴产业，为循环建造提供新的保障。

2.2.2 过渡阶段：材料处理与信息传递

过渡阶段是指拆除材料从目标建筑上拆除后到被再利用于新设计的中间过程。在这个阶段中，材料独立存在于循环体系中，对材料本身的处理和对应数字信息的管理以及两者之间的互相链接都将影响到拆除材料再利用的循环过程。

过渡阶段是与拆除阶段紧密衔接的，从拆除开始就为材料建立信息档案，记录材料的各项详细信息，有助于材料的整合和管理。回收材料经过处理、运输、储存等环节，附加在回收材料上的信息发生了动态变化，对材料信息的及时更新和传递，有助于设计师及时掌握。通过对材料信息的传递能够更高效的将材料与设计结合，辅助拆除材料再利用在设计阶段的应用，提高材料的再利用率。

构件平台：材料回收与信息发布

构件平台通过材料信息收集、处理维修、储存管理、信息发布、运输销售等环节帮助拆除后的建筑材料和部件重新进入使用周期，延长其使用寿命，实现循环经济，减少资源浪费和环境污染。[39]一些家具公司也可以提供维修、翻新、设计等服务，对陈旧、废弃的家具进行改善、设计和升级，制造定制化的新产品。[40]

早在 20 世纪 90 年代，Bauteilboerse-basel 已经成为人们寻找可回收使用的建筑部件的主要场所，[3]现在已经发展成专业、全面的二手建筑部件和材料的信息获取和交易平台。客户可以通过在线网站提交相关材料拆除信息，平台对现场组件进行评估、拆卸和收集，对使用寿命周期内的建筑部件和材料进行清洁、维修、翻新和储存，并通过线上平台和线下商店的方式进行销售和重新安装，使其重新进入使用周期。对于已经达到使用寿命的材料和部件进行回收并合理处置其产生的废弃物。平台根据建筑部件和材料类型建立了详细的组件目录，包括各类建筑材料、墙面和地面面层材料、门窗、家用电器、厨卫设备、照明设备等，以便于用户快速寻找回收材料的相关信息。[39]

Useagain 是 Bauteilboerse-basel 的在线交易平台，帮助建筑生命周期

¹ 参考[27] P35

结束后拆除部件和材料的信息收集和二次销售，统一平的台能够关联参与建筑部件和材料回收再利用过程的所有参与者。用户可以通过在线平台查询建筑部件和材料，每件产品都具有包含详细信息的网页链接和可供下载的产品信息文件，包含名称、编号、特性、价格、付款方式、运输方式和商店地址等基本信息。[41]

Girsberger 家具公司提供旧家具的翻新和升级改造服务，这不仅能降低购置新家具的成本，实现家具的循环利用，通过对外观的翻新，也使陈旧的家具产生了新的附加值。Girsberger 提供的家具升级改造服务从客户需求出发，通过设计、样品制作、产品测试等环节，创造满足客户需求的定制化家具，改造升级后的产品再经过生产、运输、交付环节实现旧家具的升级改造和再利用。[40]

前身为瑞士建筑构件网协会（Bauteilnetz）的 Cirkla[3]是一个倡导建筑部件循环，实现建筑行业回收材料再利用的倡议协会，目的是将瑞士建筑构件再利用领域的参与者联合起来，形成合作交流网络，分享相关专业的理念和实践，让公众看到建筑构件再利用的价值，改善建筑施工流程，提升建筑工艺水平，重视既有建筑的改善，挖掘再利用材料的历史和艺术潜力，提高建筑拆除构件和材料的再利用率，推动支撑循环建造发展的文化、技术和法律的变革，从而减少资源浪费、废弃物产生和碳排放，推进可持续发展。[42]Cirkla 通过发布使用建筑回收部件和材料的设计项目，举办各种交流活动，向公众展示这些材料的再利用价值，传达构件循环利用的设计理念和可持续前景。Cirkla 网站发布了由瑞士创新促进机构（Innosuisse）资助的“构件的再利用：法律框架”项目的研究成果，研究团队由循环公司（Zirkular GmbH）、现场建造事务所（baubüro in situ）和苏黎世应用科技大学（ZHAW）管理与法律学院组成，向公众提供了构件重复使用的说明书[43]

和法律框架[44]下的相关法律文件。¹

材料护照：材料与数字信息的链接

将拆除材料与其数字信息相链接，通过对数字信息的整合，有助于拆除材料在过渡阶段的管理，并辅助建筑师优化拆除材料与新设计的匹配，提高拆除材料的再利用率。K.118 项目之初，构件猎头对每样与设计匹配的再利用材料赋予特定编码并建立组件护照，以便后续生成再利用材料清单和拆卸后的评估。材料护照是将材料、产品、组件的数据信息集合，包含物理、化学、生物特性、各环节过程和健康安全等，[45][46]可通过一定的方式进行访问，如在线的材料护照平台、实体材料标签等。材料护照可追踪、管理材料生产、使用、再利用和处理的整个生命周期的过程，能够将材料信息标准化、透明化，促进材料的回收和循环利用，减少资源浪费，推动循环经济和可持续发展。[46]

以 Madaster 为例，材料护照在线平台根据特定的数据库和评估方式对导入的建筑材料基础信息进行分析和计算，在材料护照中提供碳排放等相关环境影响的量化数据，评估其可分离性和可重复利用性，为业主、设计师、施工团队等多利益主体提供优化策略，使其选择更加低碳的材料和更少碳足迹的建筑设计方案。材料护照信息可接入相关数据库，以便后续信息的更新和追踪。[47]Madaster 开发了循环性指标（CI）用于评估每栋建筑的循环程度，包含施工、使用和寿命结束三个阶段指标评估，通过加权计算得到建筑最终的循环性指标。[48]

材料护照在建筑全过程中为项目提供数据支撑和优化方向：在建筑设计阶段，设计师根据材料护照提供的材料信息，优先选择满足设计需求且低碳、

¹ 瑞士创新促进机构（Innosuisse）为国家和国际层面的公司和研究机构的创新项目提供支持。 <https://www.innosuisse.admin.ch>

可拆卸回收、重复利用性高的材料，从最初的设计阶段降低建筑对环境的影响；在施工阶段，施工团队可参照材料护照中的信息，安排材料的采购、运输和安装，保证材料满足项目施工要求的同时，选择对环境影响更小的施工方案，对于有特殊施工需求的材料，例如可拆卸的材料，施工团队选择合适的施工工具和方式；在建筑运行阶段，通过对材料使用情况的实时监测和更新，及时发现潜在材料问题并采取相应的解决策略；在建筑最终拆除阶段，施工团队根据材料护照中的信息制定合适的拆除方案，最大限度地回收可循环利用的建筑材料，减少建筑垃圾的产生，拆除过程中产生的变化将更新成为材料护照的数据，跟随回收材料重新进入数据库。

在线材料护照可以收集和整合来自不同项目、不同地区较为全面的材料信息，通过统一的在线平台参与材料全生命周期内的数据储存、管理、分析、追踪、更新等环节。数字化的方式提升了材料数据获取和管理的高效性和便捷性。材料护照作为一种建筑材料信息的新载体，存储每一种材料详细的数据信息，而建筑成为众多材料护照的集合。在建筑更新或拆除之后，这些材料的信息更容易被获取。在线平台的材料护照数据库为后续材料的追踪和更新提供接口，保证材料护照信息的时效性和准确性，推动拆除材料的回收和再利用和建筑行业的循环建造。

材料护照信息也可以通过材料上的实体信息编码快速获取，比如二维码，将材料护照的数据集通过数字平台进行存储，并链接到材料上的唯一物理标识中，实现信息与材料的一一对应，这种方式相对在线平台更方便获取材料护照的相关信息。材料在全生命期中信息的收集和追踪需要链接到统一的数字平台进行管理和分析，以便后续的材料护照信息更新。[49]

苏黎世联邦理工学院（ETH Zurich）建筑与基础设施管理研究所（Institute of Construction and Infrastructure Management）建筑循环工

程（Circular Engineering for Architecture CEA）团队研究了二维码作为材料护照标识在小尺度建造中的应用。[49]Dome1 采用激光雕刻的方式，直接将二维码刻进木材表面，Dome1.2 是 Dome1 拆除后重新利用原有的材料重建的版本；Dome2 采用塑料标签，将二维码制作在标签上再附着到木材上。

链接到实体标签的材料护照的建立过程，包含数字信息与材料标签链接生成、数据库与数字平台构建、材料信息更新及材料护照辅助再利用等环节。标签的方式与技术需考虑可读性和耐用性，兼顾经济性和适应性，根据材料特性、项目规模、读取方式等选取合适的信息载体和附着方式。

Dome1 采用的激光雕刻二维码具有一定的耐用性，但激光雕刻的标签会随着木材表面的磨损造成信息读取困难，油漆等其他涂层的覆盖也会造成二维码标签信息不全，对读取材料的数据信息造成困难。Dome2 采用塑料标签二维码，这种方式提高了标签生产的便捷性，增加标签替换的灵活性，便于更新二维码信息。虽然塑料标签相较于雕刻标签损坏的可能性较小，但也存在丢失的风险，并且需要额外的生产和安装成本。

除二维码外，射频识别（RFID）也是一种将信息链接到物理标签技术，可用于建立材料护照。RFID 通过非接触的方式识别目标对象的频射信号，与二维码标签类似，RFID 系统包含用于储存被识别物体信息的标签，通过读取器可快速接收识别距离内的多个标签信号并获取对象信息，用于材料的定位与跟踪。[50]

复杂的材料信息需要选择、设计合适的材料信息数据库进行搭载：支持不同格式的材料信息上传并进行标准化处理，建立材料数据分级管理框架和生命周期内材料信息的追踪、更新机制，依托数据库选择或设计合适的用户

界面，支持数据上传、查询、下载、管理和更新等功能，确保材料信息的可获取性、可管理性和有效性。Dome1 数字平台的构建选择了静态网页储存材料数据信息，数据更新依赖手动修改，其更新、管理和查询能力较差。但静态网页的构建成本较低、速度相对较快，适用于小规模项目和项目初期。Dome2 的材料护照通过基于 MERN 堆栈的全栈数据库进行管理，能够对材料信息进行实时更新，提升材料护照的准确性和时效性。但这样的数据库需要专业开发和维护团队，开发运营成本较高。

Dome1.2 是在 Dome1 拆卸后，使用相同的材料和方式建造的新构筑物，二维码链接的材料信息贯穿 Dome1 建造、使用到拆卸、运输以及 Dome1.2 建造的过程。Dome1.2 的建造过程与 Dome1 类似，通过二维码快速获得材料的安装位置及顺序，但由于经过拆卸、运输和再建造过程，出现了部分材料丢失、二维码标签不清晰、安装位置错误等问题。Dome1 至 Dome1.2 的建造过程展现了二维码作为材料护照在材料生产、建造、拆卸和再建造过程中应用，但标签设计和数据储存方式，使得标签与数据的链接存在不稳定性，在信息更新与动态管理方面也存在局限性。

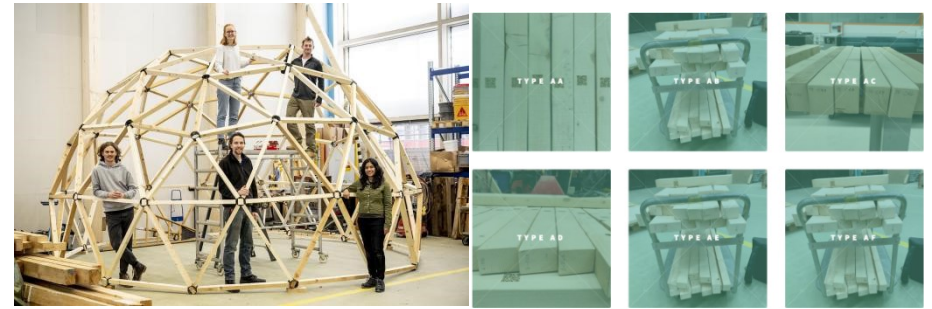


图 11 二维码材料护照 ©CEA ETH Zurich

材料护照用于材料信息的收集、储存和共享，[51]改变了资源的管理方式，推动了建筑业的循环建造。从经济效益的角度，材料护照作为设计优化工具，能够评估材料回收和再利用潜力，[52]通过与新材料信息进行对比，选择成本更低的采购和施工方式。[53]但是，收集信息，建立和维护数据库会增加项目前期的成本投入，因此需要根据项目特征和需求评估材料护照的价值，选择材料护照介入的阶段，利用合适的方式和技术建立材料护照，从而提高回收材料再利用的整体经济效益。从环境效益的角度来看，材料护照提高了材料的回收再利用率，相较于新材料而言，减少了材料生产阶段的资源消耗和碳排放，也减少了建筑废弃物的产生量，降低了环境负担。

然而，材料护照在实际应用层面仍存在诸多挑战。材料护照依赖于信息技术进行识别和管理，这些技术的稳定性和可靠性对材料护照的应用至关重要，无法正确读取材料护照信息将影响到材料管理和各项决策，可能增加过程中的时间、经济成本，乃至环境影响。材料护照的应用和推广需要各利益相关者之间的合作，若各方对材料护照的认识和重视程度不足，无法投入足够的资源建立和使用材料护照，这会限制材料护照在实际项目中的应用。另一方面，不同参与方之间的数据可能存在差异，如何协调和共享数据将影响材料护照的建立和使用效率。[54]

2.2.3 设计阶段：材料与建筑的重组¹

逆向设计

与传统建筑设计先确定建筑功能和形式再选择材料和构件的设计方式不同，将回收材料与新的建筑设计进行重组，采用一种“逆向”的设计思维，根据拆除材料的特性、尺寸、数量等信息辅助和优化建筑空间和形式的设计，提高拆除材料的再利用率，减少设计、建造过程中的材料浪费，实现对现有资源的最大化利用。通过调研获取回收材料的详细信息，发挥建筑师的主动性和灵活性，能够优化回收材料在新建筑中的应用与表达。

K.118 的扩建采用来自不同地区的回收构件，包括钢结构、外墙材料、窗户、地板、金属板等。与采用新材料和新部件相比，回收材料节省了约60%的温室气体排放。[27]用于扩建的主体钢结构回收自巴塞尔地区的配送中心，影响了建筑的结构形式和空间构成；从苏黎世地区办公楼回收的钢结构楼梯平台决定了建筑层高；立面鲜明的橙红色金属面层回收自温特图尔地区的印刷厂，其尺寸大于建筑层高，但设计中并未进行剪裁拼接，而是通过层叠的方式进行组合，减少了材料的浪费和废弃物的产生；不同尺寸和分隔的回收窗户组合使用在新立面上，满足室内采光、通风需求的同时，也与橙红色金属梯形板形成了独特的立面表达；其他回收使用的板材、地板、橱柜等材料和部件都采用较小干预的方式，在空间中发挥新的功能，影响了室内风格表达和空间氛围。

逆向设计是一种提高回收材料再利用率的创新设计思维，强调从回收材料的特性出发，优化建筑空间和形式的设计。项目初期建筑师需要根据调研收集的回收材料详细信息来规划建筑的形式和空间，在 K.118 项

目中由专门的构件猎头寻找和评估回收材料并汇总提供给建筑师，主动调研与信息整合是回收材料再利用的基础工作。在设计过程中建筑师充分考虑回收材料的特性，将其作为设计的重要依据，辅助优化建筑的空间布局和形式，提高回收材料设计表达的潜力及其与空间设计的适配性，实现独特的材料回用的美学表达。同时，在材料回用过程中建筑师需要与业主、供应商、施工方等多方参与者围绕拆除材料再利用展开合作，与结构、材料、环境等方向的工程师和科学家进行跨专业的合作，提高回收材料再利用潜力和效率。

拆卸设计

拆卸设计是一种可逆的设计和建造方式，能够提高建筑材料和部件的可分离性和可拆卸性，便于建筑使用过程中材料和部件的替换和翻新，减少建筑寿命结束后拆除产生的破坏，提高拆除材料和部件的回收再利用潜力。

设计阶段可选择重复利用潜力较高的材料，例如木材、钢材等。木材作为一种碳足迹较低的可再生材料，可作为装饰材料，也可作为结构材料，通过合理的节点连接，能够实现木材的循环利用。钢材自身强度高、耐久性好，且钢材的类型、尺寸多样，可以满足不同尺度和功能的建筑空间设计。钢材可采用螺栓等物理方式进行组合，通过合理的方式进行拆除，简单处理之后可重新组装，实现钢材的循环利用。

在 Transa 总部改造项目中，室内隔墙利用回收的木龙骨与切割后的回收板材组成三层墙体结构，所有板材通过螺钉等方式固定在一起，便于再次拆卸和重新利用。EMPA Nest 大楼 Sprint 模块化项目的室内隔墙使用了巴塞尔地区办公楼中拆卸的木材，按照拆卸设计的原则利用螺钉固定，形成隔断的木质框架。2022 年巴塞尔展馆项目采用回收的木材、钢材和纸管，通过螺栓、扎带等固定方式组装构件，创造独特公共空间形式的同时，也便于

¹ 案例来源参考附录 A1

后期材料的拆卸。Manegg 幼儿园室外遮阳棚架和部分室内钢结构采用回收钢材组件构成，并采用可拆卸的螺栓连接方式进行固定。



图 12 Transa 室内隔墙 © baubüro in situ/ Martin Zeller



图 13 Manegg 幼儿园室外遮阳钢棚架 ©Bischof Föhn Architekten/ Theodor Stalder

依照拆卸设计原则的材料连接节点尽量避免采用湿性连接[55]，例如焊接、化学胶水等，这类不可逆的连接方式会造成建筑拆卸阶段的施工困难，拆卸后对材料的破坏性较大，降低了回收再利用的潜力。与之相对的干性连接，利用机械连接件的方式将材料进行组装，例如螺栓、卡扣等以及特殊设计的连接节点，能够简化施工和拆卸过程，方便后期维修、替换和拆除，最

大限度地保护材料拆除后的性能，提高其回收再利用率。

创新的节点设计与开发能够实现满足拆卸设计要求的复杂结构，苏黎世联邦理工学院（ETH Zurich）数字建筑技术（Digital Building Technologies dbt）团队探索了竹子与定制连接构件的创新结合，数字竹子展亭通过 380 个定制连接件将 900 余个竹构件、钢缆及 3D 打印的遮阳板进行组合，形成几何形态复杂且能够快速拆卸安装的临时性构筑物。[56]展亭中心采用 3D 打印的不锈钢连接件采用金属激光烧结技术，为节点提供了高强度的结构性能。特殊设计的连接构件根据竹竿的受力特性采用卡扣的方式与之固定，能够在不损坏竹材的前提下进行完全拆卸。[57]

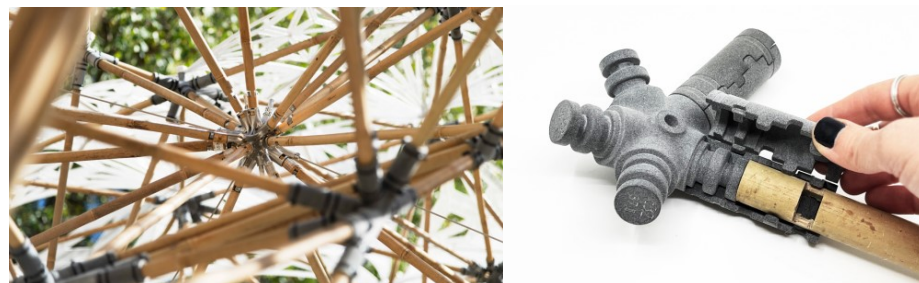


图 14 数字竹子展亭连接构件 ©dbt/ Marirena Kladeftira

拆卸设计的原则不仅体现在建筑材料和构件的连接上，也应用在建筑整体设计中。按照不同使用寿命将建筑整体视为分层系统进行设计，层间及层内部构件的组织方式遵循可拆卸原则，保证各部分的分离性，便于后期建筑拆卸或组件的替换、维修，有效提高建筑的适应性。

拆卸设计也常与模块化设计结合在一起，通过模块化的建筑构件组织有助于提高建筑组件的生产效率，减少生成和施工过程中的材料损耗，优化设计和建造过程。[58]拆卸设计原则结合模块化设计的应用，便于建筑使用中

组件的维修和替换，提高建筑寿命结束后材料和组件的拆卸效率，降低拆卸材料的损坏程度，提高拆卸材料的再利用率。

苏黎世 Wiedikon 临时学校项目采用了拆卸设计原则与模块化组织：整体建筑采用木制模块化结构组成，结构、墙体、楼板等建筑构件及卫生间、楼梯等空间模块采用工厂预制的生产方式，能够实现现场的快速搭建；建筑构件与空间模块采用可拆卸的方式进行组合，梁柱之间采用钢构件及螺栓固定，混凝土地基分段建造，可按照一定的尺寸拆卸；部分卫生设施和实验设备重复利用了回收的组价。

NEST 是瑞士联邦材料科学与技术研究所（Empa）与瑞士联邦水科学与技术研究所（Eawag）的模块化研究和创新大楼，该建筑由一个中央主干及三个开放式平台组成，按照“即插即用”的原则快速安装用于实验的空间模块化单元（“units”），在真实的建筑环境中研究新的技术与建造方式，在研发工作完成后，旧单元能够快速拆卸为新单元的实验提供空间。[59] Sprint 单元旨在利用尽可能多的回收材料和建筑组件，按照可拆卸的原则进行设计和组装。模块化的单元采用回收的木材作为主要结构，办公室隔墙采用木质板材、学校黑板、块状地毯、书籍杂志、砖等回收材料建造，所有材料采用可拆卸的方式进行连接，包括砖墙，采用黏土作为粘合剂，便于后续砖块的分离。

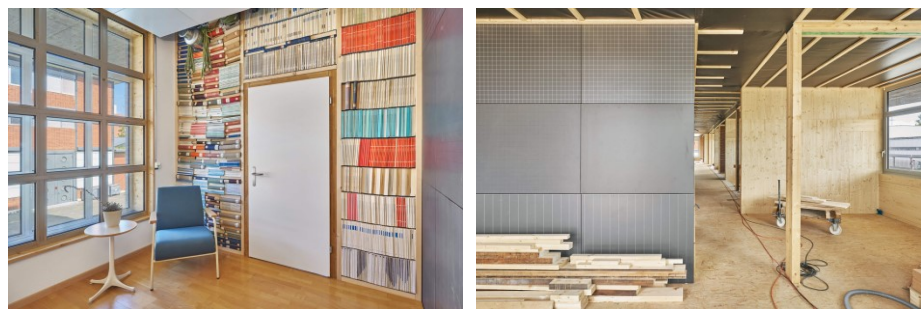
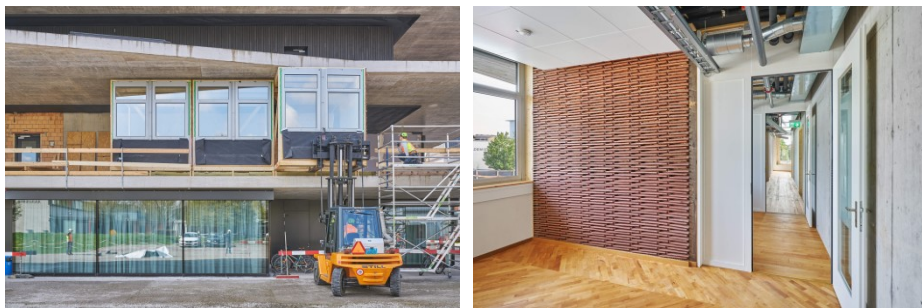


图 15 Sprint 单元 ©Martin Zeller

拆卸设计关注建筑部件与材料的可分离性和可拆卸性，不仅便于建筑使用过程中的维护和更新，也有助于提高建筑拆卸部件与材料的回收再利用效率，减少建筑寿命结束后废弃物的产生和环境破坏。在建筑实践中运用拆卸设计原则，建筑师可将建筑整体视为分层系统，按照不同使用寿命对空间进行分离设计。在设计之初优先选择重复利用潜力较高的材料，尽可能采用机械连接方式进行组织，探索创新的节点设计与开发用于解决复杂结构的拆卸问题。拆卸设计与模块化设计的结合，能够优化设计和建造过程，预制化、标准化的建筑部件提高了生产、施工和拆卸效率，也有效促进拆卸部件的回收再利用。

案例集（附录 A1）

附录收集了瑞士在建筑拆除材料重新利用主题下的 20 个建筑实践案例，分布多个城市，时间跨度近十年，涉及商业、办公、文化、展览、教育、住宅及教学、研究等建筑类型，涵盖多种建筑尺度。在回收材料再利用领域中，木材（木结构及其构件、各类板材、木条、地板等）、钢材（钢结构及其构件、钢楼梯）、其他金属材料（各类金属板、金属构件等）、砖瓦石等材料应用相对较广，重新利用的回收组件类型多样，包含各类门窗、卫生设备、厨

房组件、照明灯具及其他家具、设备等。这些建筑案例从实践的角度探索不同类型的回收材料和组件在实际应用场景中的适应性，不断拓展材料回用在建筑领域的边界。

从可持续的角度，回收材料再利用对于减少资源消耗和废弃物产生是毋庸置疑的。

从美学的角度，如何处理回收材料的时间痕迹，使其融入到新的设计空间中，需要设计师平衡历史记忆与使用者当下需求两者之间的关系，对回收材料进行简单或精细化的处理。如何处理回收材料尺寸与建筑空间表达的适配性也是设计师需要平衡的另一方面。重新利用的回收材料与新材料相比，在多数情况下并非是标准件，类型尺寸多样，存在无法满足设计要求的可能性。因此根据实际需求和材料特性灵活调整优化设计，协调设计与旧材料、旧材料之间及新旧材料的关系，能够充分发挥旧材料的美学价值，提高公众对回收材料再利用的接受度与认可度。

从技术的角度，回收材料在使用和拆除阶段的破坏导致其性能降低，这些材料通常通过降级回用的方式重新应用于新环境中。而对于性能要求较高的结构、围护等建筑部位，需要在使用前对回收材料进行专业评估，基于建造实践测试和研究回收材料重新利用后的性能表现，为增加回收材料在建筑设计中的应用范围提供经验和支撑。

3. 拆除材料再利用策略的适应性优化

3.1 多维度下拆除材料再利用的适应性分析

3.1.1 设计实践

建筑设计和建成环境领域的再利用和回收等级的研究以工业生态学中的再利用（Reuse）、修复（Repair）、翻新（Reconditioning）和回收材料（Recycling of Materials）四种再利用场景为基础，Fletcher、Popovic 和 Plank 将前三者简化为产品层级（Product Level），将回收材料归为材料层级（Material Level），并增加系统层级（System Level）代表能够进行适应性改造的建筑。Kibert 和 Chini 的研究划分了填埋（Landfill）、焚烧（Burning）、堆肥（Composting）、回收（Recycling）、再利用（Reuse）和减少（Reduction）的废物管理层次，回收分为降级回收（Downcycling）、平级回收（Recycling）和升级回收（Upcycling），将再利用分为材料再利用（Reuse of Materials）和组件或产品的再利用（Reuse of Components or Products）。[60]

目前国内对于材料层级的回收已有了丰富的研究成果与实践经验，例如各类再生材料，但对于产品层级的材料和组件直接再利用的研究相对较少，[61]还未形成系统化的研究。而从设计实践的角度，后者是建筑师可以从实际项目中探索建筑拆除材料再利用方式并积累研究基础的领域。拆除材料有别于新材料，除了使用和拆除过程中的性能下降，其外观改变、尺寸损耗等不标准性会加大再利用的难度，降级使用是较为普遍的再利用方式，在实际建筑项目中使用回收的材料和组件参与设计和建造需要相关专家鉴定并获取业主的认可，[3]在实际应用中存在诸多限制。

报告从建筑拆除材料再利用的实践出发，对目前北京地区建筑及相关领域的材料回用现状进行归纳总结。案例集（附录 A2）收集了北京地区 20 个

相关项目，包含建筑、景观、室内、装置等多个设计领域，分布多个行政区，涉及多种项目类型及回用材料种类，从设计实践的角度分析拆除材料再利用的应用方式。

北京拆除材料再利用建筑实践分析¹

案例集中的项目涉及回收和再利用两个层级的材料循环：在回收层级，各类废弃物经过专业处理和生产，制成不同再生产品，重新进入建筑材料的供应链，例如建筑废料制成的再生混凝土、回收塑料生产的再生聚碳酸酯瓦片、废弃布料压制的再生家具等；在拆除材料再利用的层级，不同项目广泛回用了多种建筑材料和组件，包括混凝土、钢材、金属制品、木材及木制品、砖瓦石、织物等材料，以及窗户、家具、工业设备等成品组件或产品。

这些材料大多采用降级回用的方式重新应用于设计中，拆除材料在新的建成环境中替代新材料，减少经济和环境成本的同时，在部分项目中也发挥了旧材料独特的美学价值，其中混凝土、木材及砖类的回收利用应用较广，展现了其在不同场景下的适应性和创造性。混凝土及其制品经过破碎处理后，用于基础、地形建造，或利用其不规则形状设计铺地；各类木质材料用于室内外立面及地面铺设，或用于家具设计；砖类材料多回收用于铺地，在部分项目中也用于围护结构的建造。

除此之外，部分项目也积极探索了其他类型的材料回用方式，进一步拓展了拆除材料再利用的边界。例如，回收旧车棚构造柱和钢材用于新建筑前廊的建造，重新发挥其在结构承载方面的性能；将石材厂的废弃石料经过精细化处理后，巧妙应用于建筑内外界面的设计，为建筑增加独特的文化属性和纹理质感；旧窗户通过创意拼贴，形成特殊的室内界面，甚至经过组合形

¹ 参考附录 A2

成外窗作为围护结构的一部分；废弃工业设备经过设计和处理，转化为室内外装置，保留了建筑空间的工业美学元素。

从材料的回用位置来看，再利用的拆除材料在项目起到不同的功能作用，贯穿了建筑设计的多个层面，从室外场地的景观设计和铺地设计到建筑结构的关键部位，从立面外观的整体造型到室内装饰的特殊处理。其中，室外场地和室内装饰是其应用最为广泛的领域。在室外场地，拆除材料参与公共空间的创造，例如建设景观、铺装场地、构建设施等；在室内装饰方面，这些旧材料被用于墙面装饰、地面铺设、家具制作等，不仅保留了历史痕迹，提升了空间美学，还传递了一种环保、可持续的生活理念。

从项目类型来看，拆除材料的再利用在设计实践中呈现出多样化的应用场景，涵盖了景观、商业、办公、文旅、住宅、设施、装置等多个领域，展现了其在不同功能空间中的广泛适用性。从项目分布地点分析，拆除材料不仅应用于中心城区的商业、办公类项目，保留了区域特色和时间记忆，也参与到周边行政区的文旅、住宅等类型的项目设计中，此外，在城市边缘山区的设施类建筑中，其独特价值也得到了充分体现，为这些地区提供了兼具功能性与美观性的建筑解决方案。从时间维度区分，拆除材料的再利用既体现在用于展览示范的临时性设计中，为材料循环和建筑可持续提供展示空间和设计策略，也应用于适应性的室内设计和改造，实现空间的优化与功能升级，同时，还有作为永久性建筑的项目，发挥拆除材料的再利用价值，融入新的建筑环境之中。

然而，在实际项目中，可重复利用的回收材料种类有限，通常集中在常见的建筑拆除材料，如混凝土、木材、砖石、金属等，且受到使用和拆除的影响，这些拆除材料的质量参差不齐、尺寸型号不一，大多情况下出于安全考虑，会采用性能要求较低的降级回用方式，这限制了设计师对拆除材料再

利用方式的创新性和多样性的设计构想。而对于较为特殊的拆除材料和组件，其回用方式很大程度上取决于设计师创意性的想法和积累的设计经验，存在推广难度，由此导致这些材料和组件缺乏普遍认可的再利用潜力和经济价值，市场需求不断减小，在现阶段被归为建筑废弃物，仅作为材料层级回收利用的原材料进入循环。

即使在一些以可持续为主题的项目中，同一项目中回收材料的占比也相对较低，且类型单一，多数仅采用一两类拆除材料重新利用于项目设计中，这不仅限制了对回收材料经济价值的挖掘，也降低了拆除材料再利用的环境效益。此外，拆除材料的回收来源有限，主要来源于项目自身或周边的拆除现场，在拆除材料的种类和数量上受到限制，可能导致无法获得足够满足要求的拆除材料而减少甚至放弃使用回收材料，进一步限制了拆除材料的再利用实践。

对于对性能要求较高的建筑部位，如主要承重结构、围护结构等，拆除材料的再利用探索相对有限。这是因为拆除材料在强度、耐久性等方面的性能可能无法完全满足这些部位的设计要求。与具有固定标准的新材料相比，这些旧材料的性能评估需要针对性的专业鉴定，且再利用技术和方式尚不成熟，缺乏广泛的应用案例和实践经验，这导致其在经济方面存在较大的应用障碍，在技术上也面临一定的设计建造风险。

从拆除材料再利用的三个阶段来看，北京的实践目前集中于拆除材料的设计阶段，即实践不同类型拆除材料在项目中的重新利用。尽管已有一部分展览、室内等临时性项目在设计过程中采用了模块化或拆卸设计的方式，并考虑了项目拆除后材料回收的可能性，但对于建筑拆除阶段和拆除材料过渡阶段的实践和研究仍与瑞士存在一定差距。由于缺少对不同阶段拆除材料的

研究，材料循环利用市场的上下游产业并未贯通，使得拆除材料的回收和再利用之间存在信息差，限制了回收材料的重复利用。

瑞士拆除材料再利用建筑实践分析

在设计实践层面，瑞士在拆除材料再利用方面展现了更广泛的材料类型和多样的回用方式。除了常规的混凝土、木材、砖石、金属等建筑材料以及门窗、家具等常见组件外，瑞士的项目还回用了保温材料、复合板材、楼梯、照明设备、厨房组件、卫生模块等更为复杂的建筑材料和部件。此外，一些特殊材料也被纳入再利用的范畴，如集装箱、临时铁路木板、黑板、地毯、纸质产品、高压桅杆等。在回用方式上，拆除材料的重新利用除了常规的降级回用或平级回用外，瑞士也探索了创新的回用方式。例如将板材、地毯、纸类等进行切割，通过堆叠的方式形成隔墙，突破了材料回用的常规设计和建造方式，还对这些回收材料的隔声性能、舒适度等性能进行了深入探索。这些多样化的材料回用实践，推动了对拆除材料资源的深度挖掘和创新利用，拓展了可重复利用材料的类型边界和回用潜力。

在瑞士拆除材料再利用的实践中，材料的类型和回用方式展现出了多样性和创新性，这不仅丰富了材料回用的可持续性设计方法，还显著提高了回收材料在新项目中的使用比例。多数案例都充分强调了尽可能多地重复利用回收材料和组件，甚至在一些项目中，拆除材料作为主要材料深度参与了设计与建造过程。这种做法不仅有效减少了新材料的消耗，还充分发挥了回收材料的环境效益，实现了资源的高效利用和环境的可持续发展。例如 K.118 改造项目基于回收材料进行设计，减少了 60% 的温室气体排放，节约了 500 吨初级材料的使用[27]；苏黎世 Manegg 幼儿园项目中，回收材料和组件的重复利用减少了约 30% 的温室气体排放[62]；乌斯特临时学校项目中重复使用的组件将减少 488 吨二氧化碳排放[63]。

回收材料的来源不局限于被拆除的项目和周边场地，建筑及其他行业生产链上产生的废弃物、建造过程中废弃的副产品等也可以作为回收材料，这在瑞士和北京的项目中都已有实际应用的经验。例如，工业加工过程中产生的弃料被用作水磨石地面的骨料，石材厂的边角料打磨处理后重新投入使用，用于浇筑混凝土的模板在废弃后经过设计被赋予新的功能。除此之外，瑞士实践进一步拓展了材料的来源，打开了材料回收的视野，将城市视为一座矿山，在城市环境中充分挖掘和回收可重复利用的建筑材料和组件，并且通过不同项目之间回收材料的流通以及跨区域的回收材料运输，实现材料层面的整合管理，提高了拆除材料的重复利用率。例如，H.141 办公室改造项目中重复利用的材料和组件来源于温特图尔储藏区中 K.118 改造项目剩余的回收材料和组件；2022 年巴塞尔展馆重复利用的材料和组件来源于改造和拆除项目，这些回收材料和组件被汇编成组件目录，作为展馆设计的基础；乌斯特临时学校教学空间重复利用的主要构件来自于温特图尔的一所学校的临时校舍。

从拆除材料再利用的全过程来看，瑞士通过实践研究了建筑的精细化、选择性分解对拆除后材料回用潜力的影响，搭建了专业的回收材料交易平台，诞生了专门的研究团队和新兴职业，形成了较为完整的拆除材料循环利用产业链和相对完善的市场机制。专业的评估和稳定的供应链在一定程度上保证了回收材料的品质，让回收材料能够满足更高的建筑性能要求，为设计师提供了更多回收材料重复利用的可能性。

3.1.2 技术应用

由于案例集中的北京项目涉及的拆除材料再利用目前大多停留在实践层面，未体现除系统性的设计方法和技术手段。本报告对于技术应用层面的分析，将研究目前国内对于拆除材料再利用的理论研究和技术路径，主要集中在资源化的再生利用和完整构件的再利用，分别对应材料层级和产品层级的

再利用。然而，目前后者关于整个拆除构件的再利用研究相对较少，通常与拆卸设计理论相结合进行研究。[61]

与中国目前的技术研究相比，瑞士对于建筑拆除和拆除材料再利用的研究与数字技术和人工智能工具深度融合，基于拆除材料再利用的实际设计问题优化理论框架和技术手段，缩小技术研究与实际应用之间的差距，衔接学术领域与建造实践，推动拆除材料的再利用和循环建造的发展。

中国拆除材料再利用技术现状分析

目前国内对建筑拆除材料的研究已形成了系统化的分层体系，结合国内外的研究和实践，认识到建筑拆除材料和构件的优先循环方式是整体再利用，其次是转化为原材料的再生利用，[61]对于拆除构件及材料的再利用技术领域已形成了多维度的发展体系。同济大学团队提出了系统性的建筑拆解设计和施工方法，研究了建筑拆解后不同层次的构件及材料的再利用，建立了拆解工程学理论框架，从源头减少废弃物的产生，提高建筑拆除构件和材料的再利用率。[64]哈尔滨工业大学团队研究了国内外砌体结构技术拆除方法，提出了墙片裁分至重新拼装的砌体结构工业化拆除和再利用的技术方法。[65]

拆卸设计理论和装配式技术的发展也改变了传统建筑设计和拆除方式，以木结构为例，装配式木结构具有典型的可拆卸特征，通过结构体系选择、构件标准化设计及节点优化，提升木结构建筑装配化程度和未来可拆卸性，促进建筑生命期结束后木材及木构件的循环利用。[66]

数字技术的应用研究推动了建筑拆除朝智能化方向发展：基于 BIM 建立钢结构[67]、混凝土结构[68]建筑的拆除管理、信息储存和构件再利用的理论框架和技术方法，优化不同结构体系建筑的拆除过程，评估拆除构件的

性能和再利用价值，提高建筑拆除施工效率和结构构件的循环利用潜力；三维扫描辅助现状建筑逆向建模，结合混合现实技术（Mixed Reality，MR），优化建筑拆除方案，提升建筑拆除安全和施工效率。[69]国内团队与国外多所高校联合研发的基于向量图解静力学的计算机辅助工具(Vector-based Graphic Statics tool，VGS tool)支持建筑再利用构件适配与找形的计算和优化，减少构件再利用的材料损耗。[70]

对于建筑拆除材料的管理，目前国内的研究集中在较为宏观的建筑垃圾管理：从物质流的角度分析建筑垃圾产生与去向，建立建筑垃圾全过程管理框架，提升建筑垃圾的资源化再利用；[71]利用 BIM、GIS 技术对建筑垃圾进行实时监测并建立智能管理平台，实现对建筑垃圾的数字化管理。[72]而对于较为微观的建筑拆除材料及构件的管理技术，例如，材料护照等，与国外研究相比，还存在研究差距。

瑞士拆除材料再利用技术现状分析

在技术应用层面，瑞士在建筑拆除和拆除材料再利用领域的探索为国内未来的研究提供了新的思路和技术路径。苏黎世联邦理工学院（ETH Zurich）和滑铁卢大学研究团队系统分析了建筑材料再利用学术研究与行业实践的信息和技术差距，提出整合信息属性、来源和再利用的分类标准化框架，揭示数字技术推动建筑材料再利用的潜力和实际应用的挑战，强调通过技术创新、政策支持和标准化缩小研究与实践的差距，提供循环建造的理论和实践范式。[73]

实景捕捉技术已广泛应用于建筑领域，如摄影测量、激光雷达扫描，结合 BIM 和计算机视觉技术可实现拆除现场的数字化建模，辅助规划建筑材料的拆除和再利用。[74]利用 BIM-GIS 框架有效分析评估城市尺度的建筑存量和材料数据，支持城市发展向循环经济转型。[75]

随着人工智能技术的发展，建筑拆除和拆除材料的研究具有了更高效的分析方法和技术路径。通过机器学习分析城市建筑存量，以谷歌街景图像为数据库，识别建筑立面材料和可重复利用的建筑部件，辅助城市尺度的建筑材料及组件的重复利用。[76]360°图像与机器学习结合的研究实现了建筑内可重复利用组件的高效检测，帮助建立建筑组件存量的自动化识别方法和技术路径。[77]机器学习还能对城市内不同材料的存量进行分析和计算，支持城市级别的材料存量的动态预测。[78]在拆除材料再利用阶段，ETH Zurich 团队针对拆除材料的非标准化特性，提出了多目标优化的材料匹配算法，结合施工过程中的动态需求，通过优化设计与拆除组件的匹配率提升材料利用率，建立循环建造中材料高效利用的理论框架和技术手段。[79]

3.1.3 政策标准

目前国内对建筑拆除材料再利用的相关政策及标准主要表现为建筑垃圾的管理与建筑垃圾资源化利用，对于拆除材料及构件的直接的、完整的再利用的政策支持和标准规范相对较少。对于材料循环与构件再利用，虽在相关规范中强调了设计阶段构件的可拆卸性和可替换性，其目的主要是为了延长建筑寿命，并未对如何延长材料和构件拆除后的使用寿命做出相关规定。

瑞士政府在政策标准层面对拆除材料和构件再利用的支持，除了新修订的《SIA 430: 2023 避免和处置建筑垃圾》外，还推动了多项材料再利用项目的研究和应用，逐步建立了跨学科研究到具体技术层面的建筑拆除材料再利用的理论和应用框架。

北京拆除材料再利用政策现状分析

根据本报告第一章关于中国和北京建筑拆除及拆除材料再利用的政策分析，目前国内在这一领域政策重点集中在宏观的建筑垃圾全过程管理和材

料层面的建筑垃圾资源化再利用，对于拆除材料和完整构件的直接再利用的相关规定较少。类比其他产品的回收政策，例如废旧电池、家电、汽车等商品，相关政策旨在建立完善的社会回收体系，探索“互联网+回收”的新模式，利用数字技术实现融合线上线下回收路径，搭建高效的逆向物流体系。[80]

目前国内关于拆除材料再利用的相关国家和行业标准也集中在建筑垃圾资源化领域，关注建筑废弃物的再生技术，例如再生骨料、再生混凝土、再生砖等，[81]对于拆除材料直接再利用标准的制定存在空白。在一些绿色建筑评价标准中对可循环、可再利用材料的使用做出了相关规定，[58]设计需提升建筑的适变性，以便空间的功能转化和改造再利用，考虑不同寿命的部品组合，采用便于拆分的构造方式。[82]建筑的适应性和可变性有助于系统层级的再利用，构件及设备的可拆分设计有助于产品层级的再利用，但对于如何在拆除后再利用拆除的材料和构件，目前还未形成统一的标准规定。

瑞士拆除材料再利用政策现状分析

瑞士政府对建筑拆除材料及构件再利用的理论研究和应用技术领域提供了政策和资金支持，从多个方面提高了拆除材料再利用率，进一步实现了建筑行业的循环建造。

瑞士联邦环境办公室（Federal Office for the Environment, FOEN）委托 Salza.ch 等组织对瑞士的建筑构件再利用进行研究，其成果《再利用建筑—现状与展望：一张时间表》分析了瑞士建筑行业再利用现状、挑战与潜力，提出了建筑设计、再利用行业、建筑教育、公众意识和政策支持多维度的行动建议，为促进建筑材料和构件再利用的提供了理论框架。¹[83]由瑞士创新促进机构（Innosuisse）资助的“构件的再利用：法律框架”项目为公众参与建筑构件重复利用提供了使用说明书和法律框架。

¹ 《再利用建筑—现状与展望：一张时间表》中文翻译来源参考[3]

瑞士联邦能源办公室（Swiss Federal Office of Energy, SFOE）支持的“Reuse-LCA：通过材料再利用降低瑞士建筑环境影响”项目通过材料再利用策略结合低碳设计方法，采用自上而下的物质流分析方法（Mass Flow Analysis, MFA）和自下而上的生命周期评价方法（Life Cycle Analysis, LCA）相结合的方式，分析瑞士在新建和翻新建筑项目中的环境效益。**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**[84]同样受到 SFOE 支持的“FenSanReuse 窗户的改造方法与再利用——材料护照及指南”项目旨在系统性研究窗户节能改造和再利用潜力，从技术层面开发窗户标准化分析方法和改造工艺，从全生命周期角度分析其环境与经济效益，从政策层面指定窗户材料护照框架，提升窗户的可修复性与材料回收率。**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**[86]

3.2 基于瑞士经验拆除材料再利用的策略建议

3.2.1 产业协同

构建产业协同机制

推动建筑拆除到材料回收、处理、储存、运输、再利用等环节的产业链协同机制的构建。尤其是材料回收环节，通过政府支持或民间发起逐步建立专门的建筑拆除材料和构件交易平台，提供一体化的拆除管理、材料评估处理、储存运输等服务。结合互联网信息技术，整合拆除材料信息，发展线上线下结合的回收再利用新模式，推动拆除材料和构件的循环利用。

开展建筑项目试点

政府和建筑行业组织开展拆除材料再利用示范项目，对于示范项目在设计和建造过程中给予特殊评估，以提高拆除材料再利用为主要目标，研究材料和构件直接再利用在实际项目中的应用，展示循环建造的设计方法和技术手段，从设计的角度推动材料的循环利用。

促进区域协同发展

结合产业协同机制推动建筑拆除材料再利用的区域协同，利用线上线下融合模式，与周边地区建立建筑拆除材料再利用的管理和运输机制，优化资源配置，提高拆除材料的再利用率，从整体上提升区域内拆除材料再利用的环境效益和经济效益。

3.2.2 技术创新

促进产学研合作

通过建立产学研平台、设立专项科研基金等方式，开展多方建筑拆除材料再利用的理论研究和技术开发，缩小学术研究与实际应用之间的差距，加

速研究成果的转化。通过学校教育和行业培训，推动建筑行业拆除材料再利用的设计实践。

推动数字技术和人工智能的应用

加强数字技术在建筑拆除与拆除材料再利用领域的应用，例如 BIM、GIS、现实捕捉、混合现实等技术实现拆除现场的精确管理和拆除材料的高效回收，探索人工智能辅助拆除材料再利用的多环节研究路径和技术方法，例如拆除材料的预测与评估，拆除材料再利用的设计优化算法等。

加强技术交流与合作

积极开展国内外拆除材料再利用的技术交流与合作活动，促进国外先进技术引进，结合我国当前的政策导向、经济发展水平、社会环境以及建筑行业和拆除材料再利用的实际情况，对国际先进技术进行本土化应用和适应性改善，是确保技术落地并发挥最大效益的关键。

3.2.3 政策标准

资助专项研究项目

政府制定针对拆除材料再利用的专项政策，设立专项基金支持相关技术研发和示范项目建设，推动拆除材料再利用在建筑设计中的实践。通过政策引导和资金支持，解决当前拆除材料再利用领域存在的技术瓶颈和市场障碍，为材料循环发展提供保障。

政策支持和标准完善

建立健全拆除材料再利用的政策和标准体系，弥补在产品层级的建筑材料和构件直接再利用的规范空白，完善材料循环体系。对非标准化的拆除材料和构件制定有据可依的评价标准，提升材料再利用在实际应用层面的可行性和可推广性。

加强市场准入与监管

对建筑拆除和拆除材料回收再利用的全过程进行监管，涵盖从拆除工程的审批、施工过程的监督到拆除材料的运输、处理和再利用的各个环节。政府建立严格的准入机制，对产业链上的相关企业进行监督。拆除材料和构件作为非全新产品，对其质量的管理和规范是推动再利用的基础，需确保在再利用过程中的材料和构件的安全性和可靠性。

4. 结论

本报告第一部分研究了目前中国建筑拆除及拆除材料再利用现状，第二部分总结了瑞士在循环建造领域的策略和实践，第三部分对比分析中瑞两国在拆除材料再利用主题下设计实践、技术应用和政策标准方面的异同，并提出适应国内语境的建筑拆除材料再利用的策略建议。

目前国内对于建筑拆除材料再利用的政策导向、标准制定和学术研究集中在材料层级的循环利用，及建筑垃圾的资源化策略和再生材料的生产，对于产品层级的建筑材料和构件的直接再利用存在空白。此外，并未形成专业的拆除材料再利用循环市场和上下游产业，无法推广拆除材料在建筑实践领域的大规模再利用，大多依靠建筑师的设计理念对拆除材料进行回收再利用，回收方法、材料种类及技术手段较为有限。且建筑实践与学术研究存在差距，虽然在研究领域形成了体系化的理论框架和多种技术路径，但在技术落地方面仍缺少实践经验的支撑。

瑞士通过实践积累了丰富的拆除材料再利用经验，探索了材料回用的类型边界，从混凝土、钢、木等结构构件，到保温、门窗等围护结构性能组件，到各类板材、木地板、地砖、地毯等装饰性材料，再到照明、卫生、厨房等设备模块。形成了成熟的材料循环市场和构件交易平台，并推动了相关职业的诞生和产业的发展。拆除材料再利用技术一方面基于拆卸设计、逆向设计、材料护照等理论的深入研究不断发展，数字技术和人工智能辅助优化了建筑拆除和材料再利用的设计过程，另一方面针对性的政府支持和专项研究解决了拆除材料落地问题，推动了拆除材料再利用技术在实际项目中的应用。

结合瑞士经验与中国建筑行业的基本现状，推动拆除材料再利用可以从建立建筑项目试点入手，推广建筑拆除材料市场应用，逐步形成完整的上下

游产业链和线上线下结合的回收再利用平台。积极推动相关领域的学术研究与技术落地，建立拆除材料再利用相关标准，保证拆除材料再利用各个环节的高效性、安全性和可持续性。

A1 案例集——瑞士

案例集收集了瑞士在建筑材料和组件重新利用领域的部分建筑实践案例：

序号	项目名称	项目地区	建筑师	竣工时间
1	Kleine Freiheit 集装箱改造	苏黎世	baubüro in situ	2016
2	Binz 工作室	苏黎世	baubüro in situ	2016
3	Im Lee 自然科学临时校舍	温特图尔	baubüro in situ	2019
4	ImpactHUB 办公空间	巴塞尔	baubüro in situ	2019
5	Einfach Wohnen 办公室	苏黎世	baubüro in situ, denkstatt sàrl	2020
6	K.118 改造扩建	温特图尔	baubüro in situ	2021
7	ELYS 文化和商业中心	巴塞尔	baubüro in situ	2021
8	四个艺术家工作室	施利伦	baubüro in situ	2021
9	ETHZ 再利用设计工作室	苏黎世	baubüro in situ, 学生 (ETHZ)	2021、 2022
10	NEST 大楼 Sprint 单元	杜本多夫	baubüro in situ	2022
11	Transa 总部改造	苏黎世	baubüro in situ	2022
12	H.141 办公室改造	温特图尔	baubüro in situ	2022
13	Werkstadt 地区 A 号楼翻新	苏黎世	baubüro in situ	2022
14	Primeo Energie 科学中心	明兴施泰因	Rapp AG	2022
15	2022 年巴塞尔展馆	巴塞尔	Isla Architects	2022
16	Manegg 幼儿园	苏黎世	Bischof Föhn Architekten	2023

17	Hohlstrasse 418 办公室改造	苏黎世	baubüro in situ	2024
18	Wiedikon 临时学校	苏黎世	baubüro in situ, pool Architekten	2024
19	乌斯特临时学校	乌斯特	baubüro in situ	2024
20	Lysp8 住宅	苏黎世	Loeliger Strub Architektur	进行中

Kleine Freiheit 集装箱改造



©baubüro in situ

项目信息

建筑类型	商业	项目地区	苏黎世
建筑师	baubüro in situ	项目国家	瑞士
竣工时间	2016	建筑面积	40 m²
信息来源	https://www.insitu.ch/projekte/195-kleine-freiheit		
项目简介	项目通过对旧集装箱改造创造了小型邻里餐饮空间，回收的木地板重新作为铺地材料，旧推拉门、旧窗户与红色的集装箱立面形成了独特的视觉效果，室外花园中长椅、桌子也来自于回收的旧组件。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	木地板、推拉门、窗户、桌椅等。		

Binz 工作室



©baubüro in situ

项目信息

建筑类型	办公	项目地区	苏黎世
建筑师	baubüro in situ	项目国家	瑞士
竣工时间	2016	建筑面积	
信息来源	https://www.insitu.ch/projekte/200-werkhof-binz		
项目简介	项目保留和扩建了现有建筑，重新修建入口和室外楼梯，新的木质模块化组件创造了 35 个工作室、办公室和车间，并配备公用厨房和卫生间，为使用者提供了灵活使用的空间，新空间打造了用于会议、室外工作和储存的庭院，新旧建筑的视觉碰撞体现了与历史空间的对话。		
循环建造策略	材料回用，模块化		
再利用材料	金属梁、木质构件、梯形金属板、木材等。		

Im Lee 自然科学临时校舍

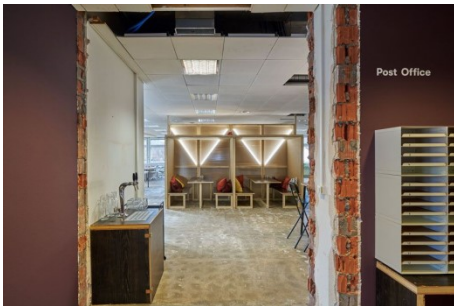
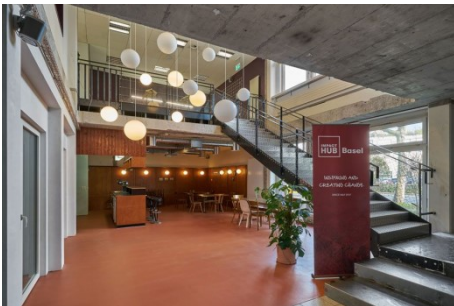


©baubüro in situ

项目信息

建筑类型	教育	项目地区	温特图尔
建筑师	baubüro in situ	项目国家	瑞士
竣工时间	2019	建筑面积	1500 m²
信息来源	https://www.insitu.ch/projekte/309-kantonsschule-im-lee-provisorium-naturwissenschaften		
项目简介	项目在 Im Lee 学校的运动场地建立自然科学临时校舍以应对为期三年的学校翻新，设计团队采用从乌斯特购买的集装箱，以模块化的方式组织空间，特别关注建筑材料和组件的可拆卸性和可重复利用性。		
循环建造策略	模块化，材料回用，拆卸设计		
再利用材料	集装箱、木箱、托盘箱、照明设备等。		

ImpactHUB 办公空间



©baubüro in situ

项目信息

建筑类型	办公	项目地区	巴塞尔
建筑师	baubüro in situ	项目国家	瑞士
竣工时间	2019	建筑面积	2500 m ²
信息来源	https://www.insitu.ch/projekte/298-impact-hub		
项目简介	ImpactHUB Basel 协会租用了 Christoph Merian 基金会作为新的办公场所。项目在改造中创造了满足办公需求的大型工作空间，一层的活动室和咖啡馆向公众开放，并设有地下储存空间。项目旨在减小对现有空间的干预，重新使用回收的建筑材料及部件，保证组件安装方式的可拆卸性和可重复利用性。		
循环建造策略	材料回用，拆卸设计		
再利用材料	窗户、钢楼梯、餐饮厨房、餐厅设施（吧台和家具）、木地板、工作间、灯具、桌子、椅子、外墙覆层等。		

Einfach Wohnen 办公室



©baubüro in situ

项目信息

建筑类型	办公	项目地区	苏黎世
建筑师	baubüro in situ, denkstatt sàrl	项目国家	瑞士
竣工时间	2020	建筑面积	250 m ²
信息来源	https://www.insitu.ch/projekte/315-geschaeftsstelle-einfach-wohnen		
项目简介	项目为 Einfach Wohnen 基金会新的办公空间，采用尽可能开放的结构空间和可移动的家具，以适应不同空间功能的场景转化，满足长期的使用需求和低成本改造。室内设计重复利用旧的建筑材料和组件，家具通过回收材料升级改造制成。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	作为模板的石棉水泥板和胶合板、窗户、水槽、模板、门、洗碗机等。		

K.118 改造扩建



©baubüro in situ/ Martin Zeller

项目信息

建筑类型	办公	项目地区	温特图尔
建筑师	baubüro in situ	项目国家	瑞士
竣工时间	2021	建筑面积	1266 m²
信息来源	https://zirkular.net/en/project/building-k-118/ https://www.insitu.ch/projekte/196-k118-kopfbau-halle-118 https://cirkla.ch/en/home/projektliste/projektetails/?topic=91		
项目简介	项目现有的下部工厂为 19 世纪的砖瓦建筑，经过改造增加了三层办公空间。项目采用逆向的设计流程，从寻找可回收的材料开始，经过拆卸、评估、处理和重组等环节将回收材料再利用于项目的翻新和扩建中。		
循环建造策略	材料回用，拆卸设计		
再利用材料	钢结构、钢楼梯、门窗、保温填充材料、外立面金属梯形板、木板、地板、光伏、瓦片、花岗岩板、厨房、卫生组件、金属柜等。		

ELYS 文化和商业中心

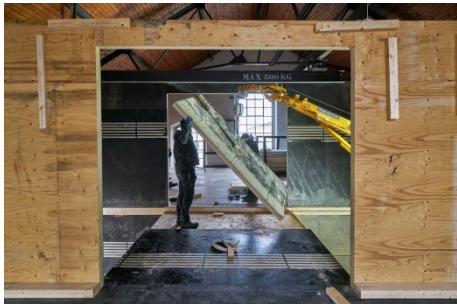


©baubüro in situ/ Martin Zeller

项目信息

建筑类型	商业、文化	项目地区	巴塞尔
建筑师	baubüro in situ	项目国家	瑞士
竣工时间	2021	建筑面积	
信息来源	https://zirkular.net/en/project/culture-commercial-center-elys/ https://www.insitu.ch/projekte/229-umnutzung-elys-kultur-amp-gewerbehaus-lysbuechelareal https://cirkla.ch/en/home/projektliste/projektdetails/?topic=66		
项目简介	项目采用 200 扇回收窗户，通过木框架组织成新的立面，兼顾立面效果与室内采光。木框架回收自拆除建筑的胶合梁，满足外墙的结构要求，外墙木框架内填充回收的隔热材料，保证围护结构保温性能。原有建筑屋顶的绿色梯形金属板拆除后与回收的金属板组成新的建筑立面。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	窗户、胶合木、保温材料、梯形金属板等。		

四个艺术家工作室



©baubüro in situ/ Martin Zeller

项目信息

建筑类型	办公	项目地区	施利伦
建筑师	baubüro in situ	项目国家	瑞士
竣工时间	2021	建筑面积	360 m²
信息来源	https://www.insitu.ch/projekte/321-vier-kuenstlerateliers https://cirkla.ch/en/home/projektliste/projektetails/?topic=2 https://prixlignum.ch/0/279/projektarchiv/projektarchiv-prixlignum/2376/kuenstlerateliers-turmstrasse-schlieren/		
项目简介	该项目将一座 19 世纪末的煤气厂厂房改造为四位艺术家共享的创作空间，重复利用的建筑构件来自各地的拆除项目，具有独特的历史痕迹和风格特征。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	带有手工铰链的木制窗、来自临时铁路的木板、作为立交桥栏杆的木条		

ETHZ 再利用设计工作室



©Martin Zeller/ Clément Estreicher

项目信息

建筑类型	教学	项目地区	苏黎世
建筑师	baubüro in situ 学生（ETHZ）	项目国家	瑞士
竣工时间	2021、2022	建筑面积	
信息来源	https://www.insitu.ch/projekte/380-ethz-studio-reuse-herbstsemester https://www.insitu.ch/projekte/379-ethz-studio-re-use-fruehlingssemester		
项目简介	苏黎世联邦理工学院的再利用工作室旨在帮助学生如何寻找和有效利用回收组件进行设计，使学生在实践过程中熟悉建筑中的再利用。2021 年秋季学期学生们利用回收的组件设计和建造了 1:1 的模型，2022 年春季学期则利用组件建造了再利用展馆。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	木结构构件、钢结构构件、门窗、木板条、地砖、金属构件等。		

NEST 大楼 Sprint 单元



©baubüro in situ/ Martin Zeller

项目信息

建筑类型	办公	项目地区	杜本多夫
建筑师	baubüro in situ	项目国家	瑞士
竣工时间	2022	建筑面积	200 m²
信息来源	https://zirkular.net/en/project/empa-sprint-unit/ https://www.insitu.ch/projekte/320-unit-sprint-im-nest-empa		
项目简介	项目在 NEST 大楼的二层创造了新的办公单元，采用模块化的方式设计和建造，尽可能使用回收材料，创造了 12 个独立办公室。为满足空间合并的需求，室内隔墙材料可拆卸的方式组装。单元在运行期间为测试房间舒适度、隔声性能等研究提供真实环境，在结束使用后可进行拆卸和回收利用。		
循环建造策略	材料回用，拆卸设计，模块化		
再利用材料	木结构、木制隔墙、砖、块状地毯、黑板、书籍杂志等。		

Transa 总部改造

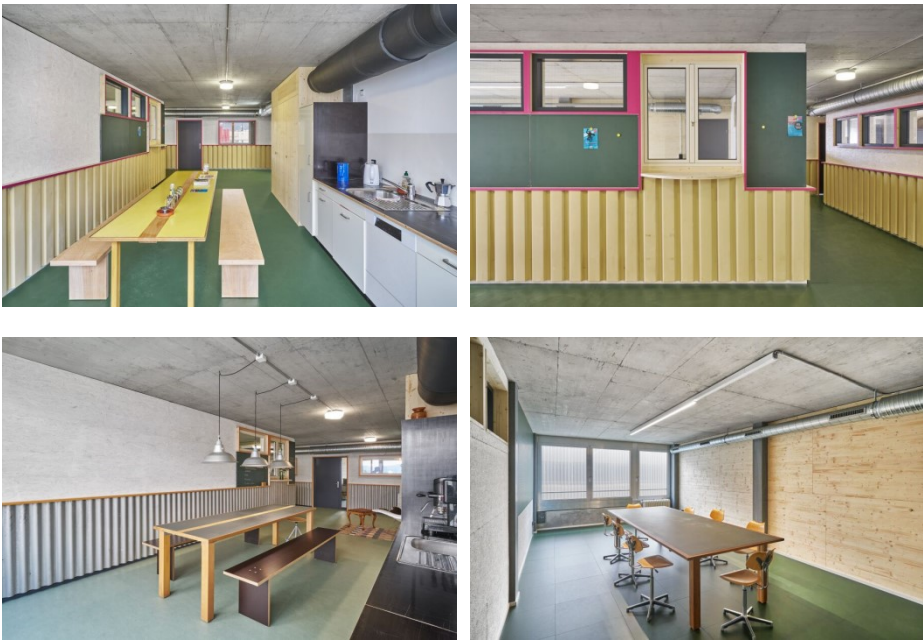


©baubüro in situ/ Martin Zeller

项目信息

建筑类型	办公	项目地区	苏黎世
建筑师	baubüro in situ	项目国家	瑞士
竣工时间	2022	建筑面积	1500 m²
信息来源	https://www.insitu.ch/projekte/328-zero-waste-umbau-transa https://cirkla.ch/en/home/projektliste/projektdetails/?topic=65		
项目简介	Transa 总部的改造是基于回收材料再利用的设计原则，对现有空间进行最小干预，保留原始结构和材料质感，释放更多室内空间，利用拆卸设计的原则安装隔墙与组件，以便材料的再次拆卸与回收。		
循环建造策略	材料回用，拆卸设计		
再利用材料	LED 灯导轨、吊灯组件、壁灯等照明设备；吸音天花板；木制、金属、玻璃门窗；地板、地毯；各类板材（木板、木纤维板、木纤维穿孔板、多层木板等）；金属厨房、橱柜、洗脸盆等家具；会议设备；钢筋混凝土钻芯等。		

H.141 办公室改造

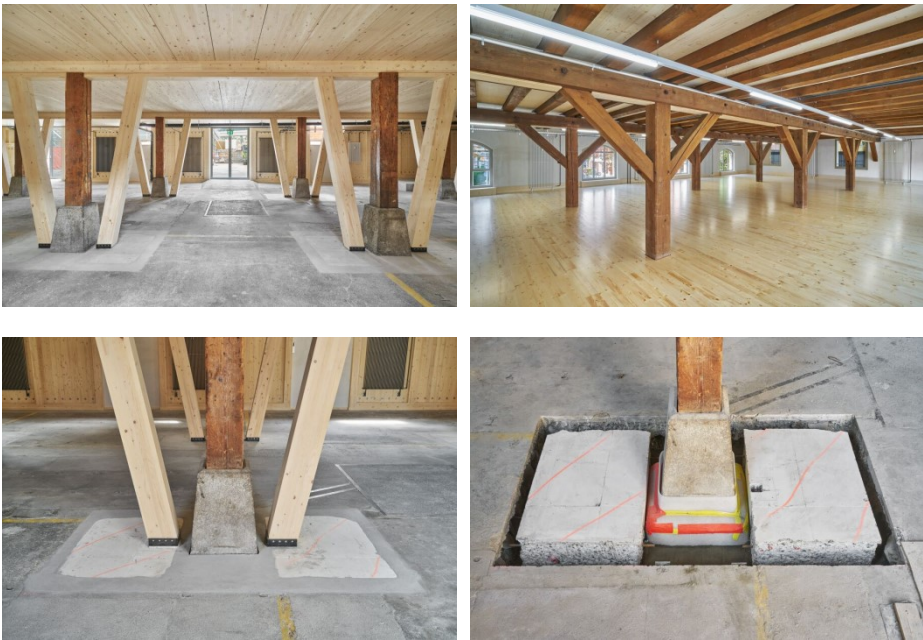


©baubüro in situ

项目信息

建筑类型	办公	项目地区	温特图尔
建筑师	baubüro in situ	项目国家	瑞士
竣工时间	2022	建筑面积	290 m²
信息来源	https://www.insitu.ch/projekte/336-bueroausbau-h141-lagerplatz		
项目简介	Abendrot 基金会在温特图尔存储区的南侧建造了一座新建筑，设计团队将原有的空间划分为较小的办公单位，在设计中尽可能多地使用回收材料。两层楼的办公空间被划分为 5 个独立办公室、1 个会议室和 1 个公共厨房，灵活的布局使得空间结构能够适应不同用户需求和场景应用。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	木板、Heraklith 板、木门、波纹和梯形金属板、黑板、抽屉柜、榉木等。		

Werkstadt 地区 A 号楼翻新



©baubüro in situ

项目信息

建筑类型	商业	项目地区	苏黎世
建筑师	baubüro in situ	项目国家	瑞士
竣工时间	2022	建筑面积	
信息来源	https://www.insitu.ch/projekte/339-gebaeude-a-werkstadt-areal-gesamtsanierung-2-etappe https://www.insitu.ch/projekte/285-werkstadt-areal		
项目简介	项目作为 Werkstadt 地区工业厂房改造的一部分，通过对原有空间的翻新升级将其转化为商业场所，作为未来创意工作和休闲娱乐的城市空间。新增高性能的木质结构，能够保护历史建筑现状，采用拆除回收的混凝土作为新结构基础。减少水泥、抹灰等材料的使用，按照简单高效的原则减少不必要的技术处理。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	混凝土、散热器、门、卫浴设备、灯具、天然石窗台等。		

Primeo Energie 科学中心



©Rapp AG/ Beat Ernst

项目信息

建筑类型	文化	项目地区	明兴施泰因
建筑师	Rapp AG	项目国家	瑞士
竣工时间	2022	建筑面积	
信息来源	https://cirkla.ch/en/home/projektliste/projektdetails/?topic=104 https://www.primeo-energie.ch/en/ueber-uns/kosmos/science.html https://www.rapp.ch/de/referenzen/lernen-vom-energie-kosmos		
项目简介	项目按照循环建造的原则翻新改造原有车间作为 Primeo Energie 的科学博物馆，建筑整体采用木结构，立面采用其它项目工地的回收材料建造，内部空间设计尽可能利用其他项目或原有建筑的旧组件，项目整体 70%的组件由重复使用、回收再生和可再生原材料建造。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	船屋、卫生设施（洗脸盆、隔断和配件）、瓷砖、灯具、旧高压桅杆、栏杆、立面构件等。		

2022 年巴塞尔展馆



© Luis Díaz Díaz

项目信息

建筑类型	展览	项目地区	巴塞尔
建筑师	Isla Architects	项目国家	瑞士
竣工时间	2022	建筑面积	100 m²
信息来源	https://zirkular.net/en/project/basel-pavillion-2022/ https://www.archdaily.com/982645/loggia-baseliana-pavilion-isl-a-architects https://baselpavillon.store		
项目简介	项目旨在讨论和探索循环建造和建筑组件的重复利用实践，研究和跟踪相关拆除组件，并为编写组件目录。建筑师利用组件目录中的回收材料设计了五个开放式单元，这些模块沿着铁轨组合在一起，延伸超过 50m，形成开放、线性的城市公共空间。		
循环建造策略	材料回用，模块化		
再利用材料	钢结构构件、梯形金属板、木板条、木质板材、木结构构件、金属格栅、纸筒等。		

Manegg 幼儿园



©Theodor Stalder

项目信息

建筑类型	教育	项目地区	苏黎世
建筑师	Bischof Föhn Architekten	项目国家	瑞士
竣工时间	2023	建筑面积	271 m ²
信息来源	https://zirkular.net/en/project/kindergarten-moeoeslistrasse/ https://www.espazium.ch/de/aktuelles/re-use-kindergarten-moeoesliweg-zuerich https://www.bf-architekten.ch/projects/kindergarten-manegg		
项目简介	项目将前工人宿舍改造为幼儿园，为 Manegg 小学提供日托服务，设计团队保留现有空间元素，尽可能多的使用重复利用组件。原有小房间隔墙被拆除，改造后的钢结构开放空间为多功能使用提供了灵活的选择。室内采用鲜明的彩色概念，突出幼儿园活泼的空间氛围。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	钢结构组件、木结构组件、天花面板、室外楼梯、栏杆、种植槽、防火门、声学原件、卫生和厨房设备等。		

Hohlstrasse 418 办公室改造



©baubüro in situ

项目信息

建筑类型	办公	项目地区	苏黎世
建筑师	baubüro in situ	项目国家	瑞士
竣工时间	2024	建筑面积	490 m²
信息来源	https://www.insitu.ch/projekte/364-bueroausbau-hohlstrasse-418		
项目简介	Halle Q 空间改造为三家子公司 Denkstatt Sàrl、Zirkular 和 baubüro in situ 的办公空间，设计团队通过回收材料再利用，实现了建筑空间的适应性改造与材料的循环利用。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	玻璃隔断、cemspan 板、厨房、金属板、榉木板、灯具、胶合板、电气轨道等。		

Wiedikon 临时学校



©baubüro in situ

项目信息

建筑类型	教育	项目地区	苏黎世
建筑师	baubüro in situ, pool Architekten	项目国家	瑞士
竣工时间	2024	建筑面积	8350 m ²
信息来源	https://www.insitu.ch/projekte/349-provisorium-kantonsschule-wiedikon https://www.poolarch.ch/projekte/2020/0423-hohlstrasse.html		
项目简介	项目由临时校舍和体育馆组成，预期使用寿命为 30 年，整体为预制的模块化建筑，木制梁柱、墙体、地板和天花、卫生间及楼梯等标准化建筑组件等经过工厂生产加工，实现项目现场的快速建造。施工过程按照拆卸设计的原则对建筑材料和组件进行安装，保证后期建筑拆卸部件的重复利用性。部分卫生设施和实验设备重复利用了回收组件。		
循环建造策略	模块化，拆卸设计，材料回用		
再利用材料	卫生设施、实验设备等。		

乌斯特临时学校



©Martin Zeller

项目信息

建筑类型	教育	项目地区	乌斯特
建筑师	baubüro in situ	项目国家	瑞士
竣工时间	2024	建筑面积	1911.9 m²
信息来源	https://zirkular.net/en/project/provisional-school/ https://www.espazium.ch/de/aktuelles/kantonsschule-uster-erweiterung-fassade-kreislauf https://www.insitu.ch/projekte/354-provisorium-kantonsschule-uster		
项目简介	项目对 Im Lee 学校的临时学校进行重新利用，改造为两栋两层楼的建筑，包含 13 间教室和 1 间教师办公室和休息室。设计团队通过立面翻新、使用回收组件建造室外缓冲区、升级改造集装箱等方式对现有校舍进行改造翻新。室外缓冲区、保温性能升级的外墙及促进自然采光通风的坡屋顶外窗有助于室内气候的调节和改善。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	门窗、防火门、栏杆、彩色梯形金属板、屋顶板、混凝土板、玻璃、灯具等。		

Lysp8 住宅



© Loeliger Strub Architektur/ Martin Zeller

项目信息

建筑类型	住宅	项目地区	苏黎世
建筑师	Loeliger Strub Architektur	项目国家	瑞士
竣工时间	进行中	建筑面积	
信息来源	https://loeligerstrub.ch/nproject/lysp8-neubau-wohnhaus-mit-gewerbe/ https://zirkular.net/en/project/lysp8/		
项目简介	项目创造了“小镇”公共空间氛围，立体的木质通风长廊贯穿室外楼梯和花园，串联露台和拱廊，组织不同楼层的住宅，为住户们提供停留和交流的社交空间，灵活使用的室内外空间满足不同功能和时段的使用需求。模块化的建筑组件、开放的楼梯与通道、高性能的围护结构和合理的遮阳设施满足了项目可持续的设计要求。		
循环建造策略	材料回用，模块化		
再利用材料	屋顶瓦片、百叶窗、纤维水泥板、栏杆、木质板材、雨棚、景观铺地、厨房组件、散热器等。		

A2 案例集——北京

案例集收集了北京在建筑材料和组件重新利用领域的部分建筑实践案例：

序号	项目名称	项目地区	设计师	竣工时间
1	CHI 餐厅	北京东城	odd	2013
2	绿色和平北京办公室	北京东城	活泼泼地	2015
3	树屋	北京密云	微建筑工作室	2016
4	英良石材档案馆及餐厅	北京朝阳	时境建筑	2016
5	北京首钢晾水池东路景观	北京石景山	戈建事务所	2017
6	砬器	北京朝阳	非常建筑	2018
7	北京西店梵石 iTOWN 文创小镇	北京朝阳	承迹景观	2019
8	北京市永兴河绿道	北京大兴	土人设计	2019
9	创意工厂-A 庭院城市更新	北京朝阳	非静止建筑设计	2020
10	记忆之屋 2020	北京海淀	袁野建筑工作室	2020
11	少年儿童活动中心	北京密云	REDe Architects 未广建筑	2020
12	裸颉 ENKORE	北京朝阳	ATLAS	2021
13	混合宅	北京通州	建筑营设计工作室	2022
14	拱辰零碳社区中心	北京房山	清华大学建筑设计研究院有限公司 素朴工作室	2023
15	郎园 station.买手店	北京朝阳	KAI 建筑工作室， LAVA	2023

			Structural Engineers	
16	ARC'TERYX 始祖鸟 (北京三里屯店)	北京朝阳	尚洋艺术	2023
17	沙沙冷萃园	北京东城	屋已设计工作室	2023
18	%VOL 海子庇护所	北京密云	mint+ studio	2023
19	théATRE 山居茶境概念店	北京朝阳	小大建筑设计事务所	2023
20	北京尼康 Nikon 直营店	北京朝阳	芝作室	2024

CHI 餐厅



©广松美佐江/宋昱明

项目类型	商业	项目地区	北京东城
设计团队	odd	项目国家	中国
竣工时间	2013	项目面积	60 m²
信息来源	https://www.gooood.cn/chi-restaurant-china-by-odd.htm		
项目简介	项目为胡同中一家 60 平米的创意餐厅，以废旧窗框和老木头等胡同元素打造独特用餐空间，开放式厨房与可活动墙体设计，使空间灵活多变，为食客带来别样体验。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	废旧门窗、老木头		

绿色和平北京办公室



©王洪跃/ 鲁雯洁/ 吴文迪

项目类型	办公	项目地区	北京东城
设计团队	活泼泼地	项目国家	中国
竣工时间	2015	项目面积	1700 m²
信息来源	https://www.gooood.cn/greenpeace-beijing-office.htm		
项目简介	项目位于东二环一个安静的庭院内，通过融合新旧元素与回收材料，将历史痕迹与现代设计相结合，营造出独特多样的办公空间。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	木质物流托盘、各种木质家具、室外木地板、建筑用木模材、枕木等回收木料。		

树屋



©孙海霏/ RoadsideAlien Studio

项目类型	设施	项目地区	北京密云
设计团队	微建筑工作室	项目国家	中国
竣工时间	2016	项目面积	8 m²
信息来源	https://www.gooood.cn/the-treehouse-by-wee-studio.htm		
项目简介	项目位于京郊密云雾灵山脚下，由设计团队通过网络众筹建造，包含茶室与洗浴间，采用钢结构与回收旧木板，依山而建，透过落地窗与天窗引入自然景色，使室内空间舒适且亲近自然。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	回收旧木板铺设外立面。		

英良石材档案馆及餐厅



©时境建筑

项目类型	商业	项目地区	北京朝阳
设计团队	时境建筑	项目国家	中国
竣工时间	2016	项目面积	472 m²
信息来源	https://www.gooood.cn/yingliang-stone-archive-between-stonework-and-architecture-by-atelier-alter.htm		
项目简介	项目将废旧厂房改建为石材展示馆和餐厅，通过回收石材与钢材的结合，展现材料的真实感与工艺表达，为设计师和公众提供交流空间。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	回收石材厂的废弃石料经过处理制成建筑界面。		

北京首钢晾水池东路景观



©戈建事务所

项目类型	景观	项目地区	北京石景山
设计团队	戈建事务所	项目国家	中国
竣工时间	2017	项目规模	1800m
信息来源	https://www.gooood.cn/liangshuichi-east-road-shougang-beijing-by-nicolas-godelet-architects-engineers.htm		
项目简介	北京首钢晾水池东路项目，通过智能设计将 1.8 公里道路与工业遗产相连，融合彩带式慢行系统、本地植物、回收透水铺装、节能照明及工业风小品，打造兼具生态、文化和美学价值的创新空间。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	回收透水材料作为铺地。		

砣器——“China House Vision 探索家——未来生活大展”1 号展馆



©田方方

项目类型	展览（实验住宅）	项目地区	北京朝阳
设计团队	非常建筑	项目国家	中国
竣工时间	2018	项目面积	184 m ²
信息来源	https://www.gooood.cn/concrete-vessel-pavilion-1-in-china-house-vision-by-fcjz-haier.htm		
项目简介	项目作为展览性质的实验住宅，以北京四合院为灵感，通过中庭将自然引入住宅中心，采用可回收材料，融合隐私与自然元素，为未来生活提供新的居住模式。		
循环建造策略	再生材料		
再利用材料	回收建筑废料制成玻璃纤维混凝土（GRC）		

北京西店梵石 iTOWN 文创小镇



©王宁

项目类型	景观	项目地区	北京朝阳
设计团队	承迹景观	项目国家	中国
竣工时间	2019	项目面积	3 公顷
信息来源	https://www.gooood.cn/beijing-xidian-funs-itown-by-change-studio.htm		
项目简介	项目将老厂房改造成融合商业、办公、休闲和创意空间的“生长的街区”，保留厂房肌理并持续更新，街巷是景观核心，融合公共与私属区域，采用预制轻质模块化铺装，搭配树木、藤蔓等植物，营造出绿意盎然的生态社区氛围。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	不规则混凝土块及碎石组合成景观铺地。		

北京市永兴河绿道



©土人设计

项目类型	景观	项目地区	北京大兴
设计团队	土人设计	项目国家	中国
竣工时间	2019	项目面积	150 公顷
信息来源	https://www.gooood.cn/the-beijing-yongxing-river-greenway-china-by-turenscape.htm		
项目简介	北京永兴河绿道项目创新性地将城市排水通道转化为绿色海绵，通过湿地建设和地形改造等手段，实现水文调节、生物多样性支持和社区活力创造等综合生态系统服务。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	拆除混凝土用于小岛和地形的基础建造。		

“织物构建” Fashion Factory 创意工厂 -A 庭院城市更新



©夏至

项目类型	办公	项目地区	北京朝阳
设计团队	非静止建筑设计	项目国家	中国
竣工时间	2020	项目面积	18000 m ²
信息来源	https://www.gooood.cn/beijing-fashion-factory-courtyard-a-by-antistatics-architecture.htm		
项目简介	项目将废旧工业场地转化为时尚创意工作空间，以纺织艺术为灵感，运用纺织技术与材料，结合现代建筑元素，为时尚和文创行业打造了多功能的创意园区。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	回收的工业油罐制成公共座椅，管道和阀门重新组装成结构部件和植物爬架。		

记忆之屋 2020



©吕博

项目类型	装置	项目地区	北京海淀
设计团队	袁野建筑工作室	项目国家	中国
竣工时间	2020	项目面积	9 m ²
信息来源	https://www.gooood.cn/memory-house-2020-yuan-ye-architects.htm		
项目简介	项目用最简单的材料和方式，快速建造拆除一个3m×3m×3m的空间装置，采用轻型装配式建造，具有强大的适应性和灵活性，可建在任何地点并容纳多种功能。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	回收木垫板；所有材料与构件均可以重复利用，能够实现快速建造、拆除和再建造。		

少年儿童活动中心—北京服装厂改造项目



©夏至

项目类型	教育，文化	项目地区	北京密云
设计团队	REDe Architects，末广建筑	项目国家	中国
竣工时间	2020	项目面积	6300 m ²
信息来源	https://www.gooood.cn/youth-activity-center-renovated-from-old-garment-plant-china-by-rede-architects-moguang-studio.htm		
项目简介	项目将废弃厂房转型为集儿童科技馆、酒店、亲子教育等多功能于一体的少年儿童活动中心，融合新旧元素与多样化空间体验。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	回收红砖和水泥砖作为硬质铺地，室外庭院院墙采用附近回收老砖；废弃车棚的构造柱和钢料改造成主入口前廊。		

裸颗 ENKORE



©Boris Shiu

项目类型	商业	项目地区	北京朝阳
设计团队	ATLAS	项目国家	中国
竣工时间	2021	项目面积	370 m ²
信息来源	https://www.gooood.cn/enkore-a-space-return-to-nature-beijing-by-atlas.htm		
项目简介	项目位于北京三里屯 Soho 商圈的可持续时尚空间，以“种子和循环”为主题，通过环保材料和艺术装置，打造融合展示、交易与社交的多功能场所，实践可持续零售体验。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	纽扣工业废弃贝壳边角料嵌入水洗石地面，旧木地板重新使用，回收布料压制成展台，淘汰布料支撑更衣间拼布门帘，回收旧家具作为活动展柜。		

混合宅



©金伟琦

项目类型	住宅	项目地区	北京通州
设计团队	建筑营设计工作室	项目国家	中国
竣工时间	2022	项目面积	373 m²
信息来源	https://www.gooood.cn/mixed-house-china-by-archstudio.htm		
项目简介	项目位于北京郊外乡村中，将新旧融合的木屋住宅融入村庄肌理，通过保留与改造旧屋、采用环保材料与传统结构、营造多庭院布局，实现功能丰富且自然的乡村度假空间，探索乡村建筑更新的可持续策略。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	当地回收的旧红砖和青砖砌筑成新围护墙体。		

拱辰零碳社区中心



©夏至

项目类型	社区	项目地区	北京房山
设计团队	清华大学建筑设计研究院有限公司 素朴工作室	项目国家	中国
竣工时间	2023	项目面积	1500 m²
信息来源	https://link.cnki.net/doi/10.19953/j.at.2024.08.003		
项目简介	项目通过空间优化、光伏一体化和低碳材料应用，在建造和运营中实现健康与能源目标，将可持续理念和建筑环境融入社区生活中。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	回收附近工地金属管组成东立面。		

郎园 station.买手店



©邢睿

项目类型	商业	项目地区	北京朝阳
设计团队	KAI 建筑工作室, LAVA Structural Engineers	项目国家	中国
竣工时间	2023	项目面积	400 m ²
信息来源	https://www.gooood.cn/langyuan-station-by-atelier-kai-architects-and-lava-structural-engineers.htm		
项目简介	项目由 20 世纪 60、70 年代纺织仓库改造而来，设计保留周边旧红砖墙体，内部采用无柱桁架体系，打造蛇形曲线动线，创造迷思空间，延长游览体验，形成独特的商业空间氛围。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	回收场地旧砖用于砌筑。		

ARC'TERYX 始祖鸟（北京三里屯店）



©云眠摄影工作室

项目类型	商业	项目地区	北京朝阳
设计团队	尚洋艺术	项目国家	中国
竣工时间	2023	项目面积	885 m ²
信息来源	https://www.gooood.cn/arcteryx-flagship-store-in-beijing-by-still-young.htm		
项目简介	项目以温哥华山脉森林为灵感，融合自然与艺术元素，运用可持续材料打造沉浸式空间，彰显户外精神与品牌文化，为消费者带来独特体验。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	工厂回收的废弃锈板制成松果艺术装置，废木切片作为装饰立柱。		

沙沙冷萃园



©方立明

项目类型	商业	项目地区	北京东城
设计团队	屋已设计工作室	项目国家	中国
竣工时间	2023 年	项目面积	115 m²
信息来源	https://www.gooood.cn/shasha-coffee-by-wue-studio.htm		
项目简介	项目以创意冷萃咖啡为特色，通过“鱼骨”式动线设计和回收材料，营造自然质朴的慢生活空间，保留原始结构并融入现代功能，打造独特咖啡体验。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	回收砖瓦和老榆木板为主要材料。		

%VOL 海子庇护所



©mint+studio

项目类型	设施	项目地区	北京密云
设计团队	mint+ studio	项目国家	中国
竣工时间	2023	项目面积	60 m²
信息来源	https://www.gooood.cn/vol-bar-china-by-mint-studio.htm		
项目简介	项目位于京郊茶叶山间，旨在通过灵活设计与可持续材料，打造集游客休憩与本地村民活动于一体的山野庇护所，助力活化当地经济。		
循环建造策略	材料回用，拆卸设计，模块化		
再利用材料	杉木、杨树废枝构建三叠木平台，回收碎木制成的木屑压实作为铺地，回收塑料制作聚碳酸酯瓦片；南北立面按照模数拼接成可拆卸滑轨插接板。		

théATRE 山居茶境概念店



©堀越圭晋

项目类型	商业	项目地区	北京朝阳
设计团队	小大建筑设计事务所	项目国家	中国
竣工时间	2023	项目面积	175 m²
信息来源	https://www.goood.cn/theatre-shanjuchajing-concept-store-by-kooo-architects.htm		
项目简介	项目以茶串联饮、食、艺术，为都市白领打造舒缓身心的“山居”空间，通过区域划分、茶土砖等材质运用、道具设计及外立面木格栅，营造沉浸式茶文化体验。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	回收陶土砖		

北京尼康 Nikon 直营店



©Wen Studio

项目类型	商业	项目地区	北京朝阳
设计团队	芝作室	项目国家	中国
竣工时间	2024	项目面积	377 m²
信息来源	https://www.goood.cn/nikon-beijing-flagship-by-lukstudio.htm		
项目简介	项目以相机美学与自然、工业元素融合，设计独特的外立面和八米高室内空间，采用环保材料和再利用结构，创造具有品牌识别度和地域文化的空间，其中心挑高中庭、自然采光及展示设计增强顾客体验。		
循环建造策略	材料回用		
再利用材料	北京古旧建筑拆迁回收的老青砖作为铺地。		

A3 缩略词表

SDC

Swiss Agency for Development and Coordination
瑞士发展与合作署

Mohurd

Ministry of Housing and Urban-Rural Development
住房和城乡建设部

SUP

SUP Atelier of THAD (The Architecture Design and Research
Institute of Tsinghua University Co., Ltd.)
素朴工作室（清华大学建筑设计研究院有限公司）

C&DW

Construction and Demolition Waste
建筑垃圾

CD

Conventional Demolition
常规性拆除

SD

Selective Demolition
选择性拆除

DfD

Design for Disassembly
拆卸设计

ETH Zurich

Swiss Federal Institute of Technology Zurich
苏黎世联邦理工学院

ZHAW

Zurich University of Applied Sciences
苏黎世应用科技大学

MPs

Material Passports
材料护照

CI

Circularity Indicator
循环指数

QR code

Quick Response code
快速响应码/二维码

RFID

Radio Frequency Identification
射频识别

Empa
Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology
瑞士联邦材料科学与技术研究所

Eawag
Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology
瑞士联邦水科学与技术研究所

MR
Mixed Reality
混合现实

VGS
Vector Graphic Statics
向量图解静力学

AI
Artificial Intelligence
人工智能

FOEN
Federal Office for the Environment
瑞士联邦环境办公室

SFOE
Swiss Federal Office of Energy
瑞士联邦能源办公室

A4 参考

- [1] 北京市生态环境局. 关于发布北京市 2023 年固体废物污染环境防治信息的通告[EB/OL]. (2024-06-06)[2024-11-28].
<https://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/sthjlyzwg/1718880/1718881/1718883/436464376/index.html>.
- [2] 住房和城乡建设部. 建筑垃圾处理技术标准: CJJ/T134—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [3] 吴佳维, 皮亚·西门丁格. 面向循环经济的建筑更新模式——芭芭拉·布瑟的先锋实践[J/OL]. 时代建筑, 2024(4): 22-29.
DOI:10.13717/j.cnki.ta.2024.04.022.
- [4] Kommission SIA 430. Vermeidung und Entsorgung von Bauabfällen: SIA 430:2023[S]. Zurich: SIA Zurich, 2023.
- [5] 国家统计局. 中国统计年鉴: 14 建筑业[M]. 北京: 中国统计出版社, 2024.
- [6] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2022 (公共建筑专题) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.
- [7] 刘贵文, 徐可西, 张梦俐, 等. 被拆除建筑的寿命研究——基于重庆市的实地调查分析[J]. 城市发展研究, 2012, 19(10): 109-112.
- [8] 住房和城乡建设部. 民用建筑设计统一标准 GB50352-2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [9] 中国建筑科学研究院. 建筑拆除管理政策研究[R/OL]. 能源基金会, 2014[2024-11-28]. <https://www.efchina.org/Reports-zh/reports-20140715-zh>.
- [10] 中国建筑节能协会, 重庆大学城乡建设与发展研究院. 中国建筑能耗与碳排放研究报告 (2023 年) [J]. 建筑, 2024(2): 46-59.
- [11] 住房和城乡建设部. 关于在实施城市更新行动中防止大拆大建问题的通知[EB/OL]. (2021.8.30)[2024-11-28].
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-08/31/content_5634560.htm.
- [12] 住房和城乡建设部.“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划[EB/OL]. (2022.3.1)[2024-11-28].
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-03/12/content_5678698.htm.
- [13] 北京市城市管理委员会等. 关于进一步加强建筑垃圾分类处置和资源化综合利用工作的意见[EB/OL]. (2022.11.2)[2024-11-28].
https://csglw.beijing.gov.cn/zwxx/2024zcwj/202405/t20240510_3670784.html.
- [14] 肖绪文, 冯大阔, 田伟. 我国建筑垃圾回收利用现状及建议[J]. 施工技术, 2015, 44(10): 6-8.
- [15] 北京市人民政府. 北京市建筑垃圾处置管理规定[EB/OL]. (2020.7.29)[2024-11-28].
https://www.beijing.gov.cn/zhengce/zhengcefagui/202008/t20200807_1976931.html.
- [16] 住房和城乡建设部. 城市建筑垃圾管理规定[EB/OL]. (2005.3.23)[2024-12-30].
https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/gzk/art/2022/art_17337_763862.html.
- [17] 住房和城乡建设部. 关于推进建筑垃圾减量化的指导意见[EB/OL]. (2020.5.15)[2024-11-28].
https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zc/wjk/art/2020/art_17339_245456.html.
- [18] 骆艳杰, 赵薇. 建筑垃圾资源化利用及其生命周期评价的研究进展[J/OL]. 环境污染与防治, 2024, 46(6): 901-907.

- DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.202307170.
- [19] 郭昊, 李英子. 北京市建筑垃圾资源化研究[J]. 经济师, 2014(1): 21-22.
- [20] 北京市建筑垃圾管理与服务平台. [2024-12-30].
<http://ztxn.capcloud.com.cn:8080/dist/index.html>.
- [21] 北京市住建委等. 关于调整建筑废弃物再生产品种类及应用工程部位的通知[EB/OL]. (2019.3.21)[2024-11-28].
<https://zjw.beijing.gov.cn/bjjs/xxgk/zcwj2024/qtzwcw/xxyx13/543338904/index.shtml>.
- [22] 住房和城乡建设部. 建筑拆除工程安全技术规范 JGJ 147-2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [23] 江静, 李飞, 张政, 等. 建筑垃圾资源化利用的减碳效益分析[J]. 新型建筑材料, 2023, 50(11): 6-10+43.
- [24] MCDONOUGH W, BRAUNGART M. Cradle to cradle : Remaking the way we make things[M]. New York: North Point Press, 2002.
- [25] 孙菁芬, 褚英男, 高唯芷, 等. 沿山实验: 一种乡村公共建筑可持续原型探索[J/OL]. 建筑学报, 2024(8): 72-77. DOI:10.19819/j.cnki.ISSN0529-1399.202408014.
- [26] 孙菁芬, 宋晔皓, 褚英男, 等. 竹管垅茶青市场可持续设计建造实录[J/OL]. 建筑学报, 2023(5): 46-52. DOI:10.19819/j.cnki.ISSN0529-1399.202305009.
- [27] JSTRICKER E, BRANDI G, ANGST M, et al. Reuse in Construction: A Compendium of Circular Architecture[M]. trans.KORALEK D, et al. Zurich: Park Books, 2022.
- [28] BARBARA ZETTEL. Elys Cultural and Commercial Building by Baubüro In Situ[Z/OL]. (2022-0-11-02)[2025-02-10].
https://www.detail.de/de_en/kultur-und-gewerbehaus-elys-von-bauburo-in-situ.
- [29] ZIRKULAR. Basel Pavilion 2022[Z/OL]. [2025-02-10].
<https://zirkular.net/en/project/basel-pavillion-2022/>.
- [30] AGUSTINA COULLERI. Loggia Baseliiana Pavilion / Isla Architects[Z/OL]. (2022-05-27)[2025-02-10]. <https://www.archdaily.com/982645/loggia-baseliana-pavilion-isla-architects>.
- [31] DI MARIA A, EYCKMANS J, VAN ACKER K. Downcycling versus recycling of construction and demolition waste: Combining LCA and LCC to support sustainable policy making[J/OL]. Waste Management, 2018, 75: 3-21. DOI:10.1016/j.wasman.2018.01.028.
- [32] FOEN. Circular economy[R/OL]. (2024-11-20)[2024-12-30].
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/economy-consumption/ressourcenschonung-und-kreislaufwirtschaft/circular-economy.html>.
- [33] ERZINGER F, GLOGGER B, GRAF O, 等. Environmental report 2022[R/OL]. Swiss Federal Council, 2022 (2022-12-16)[2024-12-30].
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/documentation/reports/environmental-report.html>.
- [34] FOEN. Housing and environment: Levers and approaches[R/OL]. (2024-12-16)[2024-12-30].
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/nutrition-housing-mobility/housing/housing-levers-and-approaches.html>.
- [35] GHISELLINI P, RIPA M, ULGIATI S. Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review[J/OL]. Journal of Cleaner Production, 2018, 178: 618-643.
 DOI:10.1016/j.jclepro.2017.11.207.
- [36] RIOS F C, CHONG W K, GRAU D. Design for disassembly and

- deconstruction - challenges and opportunities[J/OL]. Procedia Engineering, 2015, 118: 1296-1304[2025-03-31]. DOI:10.1016/j.proeng.2015.08.485.
- [37] KNECHT, E. Future Learning Spaces—Re-Used[D/OL]. Zurich: Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 2022. DOI:10.3929/ethz-b-000639448.
- [38] GRÜTER C, GORDON M, MUSTER M, et al. Design for and from disassembly with timber elements: Strategies based on two case studies from switzerland[J/OL]. Frontiers in Built Environment, 2023, 9: 1307632[2025-03-31]. DOI:10.3389/fbuil.2023.1307632.
- [39] Bauteilboerse-basel[Z/OL].[2024-12-30]. <https://bauteilboerse-basel.ch>.
- [40] GIRSBERGER. Girsberger remanufacturing[R/OL]. [2024-12-30]. https://girsberger.com/fileadmin/user_upload/girsberger/PDF/50_Allgemein/remanufacturing_girsberger_magazin_2021_de.pdf.
- [41] Useagain[Z/OL].[2024-12-30]. <https://www.useagain.ch/de/>.
- [42] CIRKLA. Manifesto[Z/OL]. [2025-02-10]. <https://cirkla.ch/en/manifest/>.
- [43] ANGST M, FERI V, OEFNER A, et al. Wiederverwendung von Bauteilen: Rechtlicher Rahmen Merkblatt Wiederverwendung von Bauteilen[Z/OL]. (2024-03)[2025-02-15]. https://cirkla.ch/wp-content/uploads/2024/05/01_Merkblatt_Wiederverwendung.pdf.
- [44] ANGST M, OEFNER A, Ott C, et al. Wiederverwendung von Bauteilen: Rechtlicher Rahmenn 02 Leistungsuübersicht[Z/OL]. (2024-03)[2025-02-15] https://cirkla.ch/wp-content/uploads/2024/05/02_Leistunguebersicht-1.pdf.
- [45] HEINRICH M, LANG W. Materials Passports – Best Practices[EB/OL]. (2019)[2024-12-30]. https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/02/BAMB_MaterialsPassports_BestPractice.pdf.
- [46] BAMB. Material Passports[Z/OL]. [2024-12-30]. <https://www.bamb2020.eu/topics/materials-passports/>.
- [47] Madaster[Z/OL]. [2024-12-30]. <https://madaster.ch/en/platform/>.
- [48] HEISEL F, RAU-OBERHUBER S. Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and madaster[J/OL]. Journal of Cleaner Production, 2020, 243: 118482. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.118482.
- [49] BYERS B S, DE WOLF C. QR Code-Based Material Passports for Component Reuse Across Life Cycle Stages in Small-Scale Construction[J/OL]. Circular Economy, 2023, 1(2): 1-16. DOI:10.55845/IWEB6031.
- [50] MONTASER A, MOSELHI O. RFID indoor location identification for construction projects[J/OL]. Automation in Construction, 2014, 39: 167-179. DOI:10.1016/j.autcon.2013.06.012.
- [51] SOMAN R K, KEDIR F N, HALL D M. Towards circular cities: directions for a material passport ontology[C/OL]//2022 European Conference on Computing in Construction. 2022. DOI:10.35490/EC3.2022.212.
- [52] HONIC M, KOVACIC I, RECHBERGER H. Improving the recycling potential of buildings through material passports (MP): An austrian case study[J/OL]. Journal of Cleaner Production, 2019, 217: 787-797. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.01.212.
- [53] HONIC M, KOVACIC I, ASCHENBRENNER P, et al. Material passports for the end-of-life stage of buildings: Challenges and potentials[J/OL]. Journal of Cleaner Production, 2021, 319: 128702. DOI:10.1016/j.jclepro.2021.128702.
- [54] HONIC M, KOVACIC I, SIBENIK G, et al. Data- and stakeholder management framework for the implementation of BIM-based material

- passports[J/OL]. Journal of Building Engineering, 2019, 23: 341-350. DOI:10.1016/j.jobee.2019.01.017.
- [55] SUSTAINABILITY FORUM. Wet versus Dry[Z/OL].[2024-12-30]. <https://sustainable-digital-construction.ethz.ch/en/wet-vs-dry>.
- [56] DBT. Digital Bamboo[Z/OL]. [2024-12-30]. <https://dbt.arch.ethz.ch/project/digital-bamboo/>.
- [57] SUSTAINABILITY FORUM. Digital Bamboo[Z/OL]. [2024-12-30]. <https://sustainable-digital-construction.ethz.ch/en/digital-bamboo>.
- [58] 陈玉珊, 吴佳维. 构件循环: 从产品到思维的建筑可拆装设计[J]. 建筑学报, 2024(S1): 172-177.
- [59] EMPA, EAWAG. NEST- Explore the Future of Buildings[Z/OL]. [2025-02-15]. https://www.empa.ch/documents/56024/11666357/NEST_Booklet_2020_EN.pdf/c1f5f123-6ef9-4432-a9eb-408c2df03890.
- [60] CROWTHER P. Developing an inclusive model for design for deconstruction[C]//CIB Task Group 39 meeting. wellington, 2001.
- [61] 丁衍然, 谢剑. 废旧建筑材料再利用与建筑的拆解[J/OL]. 建筑结构, 2016, 46(9): 100-104. DOI:10.19701/j.jzjg.2016.09.019.
- [62] ZIRKULAR. Kindergarten Moeoeslistrasse[Z/OL]. [2025-03-12]. <https://zirkular.net/en/project/kindergarten-moeoeslistrasse/>.
- [63] BAUBÜRO IN SITU. Provisorium Kantonsschule Uster[Z/OL]. [2025-03-12]. <https://www.insitu.ch/projekte/354-provisorium-kantonsschule-uster>.
- [64] 肖建庄, 曾亮, 夏冰, 等. 拆解工程学理论架构与基本方法[J/OL]. 建筑结构学报, 2022, 43(2): 197-206. DOI:10.14006/j.jzjgxb.2020.0578.
- [65] 郑文忠, 苏志明, 周威. 砌体结构房屋拆除技术进展与展望[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2019, 51(12): 13-19.
- [66] 刘丽萍, 吴健梅, 李静, 等. 拆解理念下的装配化木构建筑设计关键环节研究[J/OL]. 建设科技, 2017(5): 27-30. DOI:10.16116/j.cnki.jskj.2017.05.005.
- [67] 杨彬, 刘伯达, 肖建庄. 基于 BIM 的钢框架结构的拆解分析及其实现[J/OL]. 建筑结构学报, 2022, 43(S1): 305-314. DOI:10.14006/j.jzjgxb.2022.S1.0033.
- [68] 肖建庄, 胡茂昂, 王婉. 基于 BIM 的混凝土结构构件再利用构架[J/OL]. 结构工程师, 2017, 33(3): 8-15. DOI:10.15935/j.cnki.jggcs.2017.03.002.
- [69] 徐巍, 王玉泽, 童晶, 等. 3D 扫描逆向建模技术与 MR 设备在既有建筑球形钢网架拆除中的应用[J]. 施工技术, 2017, 46(22): 133-136.
- [70] 沈宇驰, 王帅中. 因材施教: 数字图解静力学辅助下的建筑结构再利用设计研究[J/OL]. 世界建筑, 2025(2): 55-61. DOI:10.16414/j.wa.2025.02.011.
- [71] 贺娟, 钟伟, 张永辉, 等. 基于物质流和全过程管理的中国建筑垃圾资源化分析[J/OL]. 环境工程, 2018, 36(10): 102-107. DOI:10.13205/j.hjgc.201810020.
- [72] 王宁, 楼岱, 陈大庆, 等. 基于“BIM+GIS”技术的建筑垃圾精准管控信息管理平台研究初探[J/OL]. 环境工程, 2020, 38(3): 46-50. DOI:10.13205/j.hjgc.202003008.
- [73] BYERS B S, RAGHU D, OLUMO A, et al. From research to practice: A review on technologies for addressing the information gap for building material reuse in circular construction[J/OL]. Sustainable Production and Consumption, 2024, 45: 177-191. DOI:10.1016/j.spc.2023.12.017.
- [74] GORDON M, BATALLÉ A, DE WOLF C, et al. Automating building element detection for deconstruction planning and material reuse: A case study[J/OL]. Automation in Construction, 2023, 146: 104697. DOI:10.1016/j.autcon.2022.104697.

- [75] HONIC M, FERSCHIN P, BREITFUSS D, et al. Framework for the assessment of the existing building stock through BIM and GIS[J/OL]. *Developments in the Built Environment*, 2023, 13: 100110. DOI:10.1016/j.dibe.2022.100110.
- [76] RAGHU D, MARKOPOULOU A, MARENGO M, et al. Enabling component reuse from existing buildings through machine learning, using google street view to enhance building databases[C/OL]//CAADRIA 2022: Post-Carbon. Sydney, Australia, 2022: 577-586. DOI:10.52842/conf.caadria.2022.2.577.
- [77] LARANJO A B, HUNHEVICZ J J, MENZEL K, et al. Equirectangular 360° image dataset for detecting reusable construction components[C/OL]//2024 European Conference on Computing in Construction. 2024. DOI:10.35490/EC3.2024.266.
- [78] KOBYLINSKA N E, RAGHU D, GORDON M, et al. Predicting Recoverable Material Stock in Buildings: Using Machine Learning with Pre-demolition Audit Data as a Case Study[C/OL]//2023 European Conference on Computing in Construction. 2023. DOI:10.35490/EC3.2023.184.
- [79] GORDON M, DE WOLF C. Optimisation goals for efficient construction from reused materials towards a circular built environment[J/OL]. *Developments in the Built Environment*, 2024, 19: 100509. DOI:10.1016/j.dibe.2024.100509.
- [80] 国家发展与改革委员会. 2015 年循环经济推进计划[EB/OL]. (2015-04-14)[2024-11-28]. <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201504/W020190905507416373104.pdf>.
- [81] 张烨. 建筑垃圾资源化标准现状[J]. *中国资源综合利用*, 2020, 38(9): 141-144.
- [82] 住房和城乡建设部. 绿色建筑评价标准 GB/T 50378-2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [83] SALZA. Wiederverwendung Bauen- Aktuelle Situation und Perspektiven: Der Fahrplan[R/OL]. (2020-03)[2025-03-20]. <https://eriwi.ch/wp-content/uploads/2021/02/Wiederverwendung-Bauen-2020-4.pdf>.
- [84] Reuse-LCA: Identification of the reduction potential of the environmental impacts of Swiss buildings, through the material reuse[EB/OL]. (2024-12-24)[2025-03-12]. <https://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=48238>.
- [85] LASVAUX S, FROSSARD M, MÜLLER K, et al. Reuse-LCA: Identification of the reduction potential of the environmental impacts of Swiss buildings, through the material reuse[R/OL]. (2022-12-31)[2025-03-12]. <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=70258&Load=true>.
- [86] FenSanReuse: Sanierungsverfahren und ReUse von Fenstern – Materialpass und Wegleitung[EB/OL]. (2024-12-24)[2025-03-12]. <https://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=51620>.
- [87] Barbara Sintzel, Gregor Steinke, Kerstin Müller, 等. FenSanReuse: Sanierungsverfahren und ReUse von Fenstern – Materialpass und Wegleitung[R/OL]. (2025-03-31)[2025-04-30]. <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=73127&Load=true>.



让我们共同打造气候中和的未来
Building a climate-neutral future together

中瑞零碳建筑项目是由瑞士联邦发展合作署和中华人民共和国住房和城乡建设部共同发起并在其全面指导与支持下，由瑞士 intep-skat 联合团队与中国建筑科学研究院共同实施完成的中瑞国家级合作项目。



中华人民共和国
住房和城乡建设部



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

intep
skat_ Swiss Resource Centre and
Consultancies for Development