



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

技术报告

循环建造分析

黑龙江寒地建筑科学研究院办公楼翻修项目

中文版



2025年4月



中华人民共和国
住房和城乡建设部



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC

IBEE 环能科技

intep

skat



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

本报告系在中瑞零碳建筑项目框架下编制。该项目由瑞士发展与合作署资助，并与中华人民共和国住房和城乡建设部合作实施，旨在推动国际合作与交流。

作者:

Basil Rudolf、Kerstin Müller | Zirkular责任有限公司

内容贡献与审阅人员:

路枫博士、Roland Stulz、朱继龙 | 瑞士茵态 (intep) 综合规划咨询有限公司

Dr. André Ulla | 瑞士Skat 咨询公司

张时聪博士、杨芯岩博士 | 中国建筑科学研究院

设计与排版:

Intep-Skat 联合团队



引用格式:

Rudolf, B., Müller, K. 循环建造分析-黑龙江寒地建筑科学研究院办公楼翻修项目:《中瑞零碳建筑项目技术报告》[R]. 苏黎世: Intep-Skat, 2025.

中瑞零碳建筑项目是由瑞士发展与合作署资助，并与中华人民共和国住房和城乡建设部合作开展的国际合作项目。该项目旨在通过分享瑞士在可持续及零碳建筑领域的先进经验，推动减少温室气体排放，助力中国建筑行业实现碳中和发展。

项目实施团队:

瑞士茵态 (intep) 综合规划咨询有限公司

瑞士Skat 咨询公司

中国建筑科学研究院

微信公众号:
SinoSwissZEB



网站:
zeb-china.org



封面图片: 中瑞零碳建筑项目哈尔滨示范工程-黑龙江寒地建筑科学研究院办公楼



目录

1.	中瑞零碳建筑项目背景介绍	2
2.	哈尔滨示范项目的评估与输入材料	9



1. 中瑞零碳建筑项目背景介绍

1.1. 有关中瑞零碳建筑

为了共同应对全球气候变化,加强中瑞两国在建筑行业减排领域的合作,2020年11月24日,中华人民共和国住房和城乡建设部与瑞士联邦外交事务部与签署了在建筑节能领域发展合作的谅解备忘录。在此备忘录框架下,瑞士发展合作署(SDC)发起并资助了中瑞零碳建(ZEB)筑项目,旨在通过引入瑞士的经验和技能,支持中国制定零碳建筑技术标准和建筑行业中长期碳减排路线图,并在不同气候区建设零碳建筑示范工程,同时开展多种形式的能力建设活动,最终推动中国建筑行业的碳中和发展。

项目目标:

- 将现有建筑能效标准升级为零碳技术标准
- 在四个典型气候区实施示范工程(DP),以测试新的零碳技术标准并寻找优化潜力
- 开展零碳建筑能力建设与知识传播

1.2. Zirkular公司简介

在中瑞零碳项目开展期间(2021年3月15日-2025年11月30日),瑞士的许多专家与教育机构有幸参与10个选定示范工程的技术交流与贡献。Zirkular责任有限公司也受邀为哈尔滨示范工程提出技术建议并就翻修主题拟写了此报告。

Zirkular 责任有限公司是瑞士四家兄弟公司以合作形式组成的集团的一部分。该集团公司专门从事可持续建筑项目,尤其注重在既有结构基础上进行建造和改造。集团公司在利用既有结构进行建造方面拥有超过25年的经验,被誉为该领域的先驱,其业务地域范围远远超出了瑞士国界。

该集团四家兄弟公司提供的服务范围包括:

- “Denkstätt sarl”公司:城市与场地发展
- “unterdessen”公司:临时使用
- “baubüro in situ”公司:建筑设计
- “Zirkular”公司:循环建造的专业规划

循环建筑领域特指包括寻找和采购旧建筑的拆卸部件,并将其转用于新用途的所有相关流程,包括

确定和测试部件的性能特征、组织有选择性的拆卸、记录部件特质的文件编制、管理和物流。

集团公司处理的每个项目的总体目标都是通过整体方案从多个层次全面解决可持续发展面临的问题,最终以具有成本效益的方式给出社会和生态上可接受的解决方案。正是从这些技巧出发,本报告探讨了“哈尔滨示范工程”的改造方法。

1.3. 报告目的

本报告目的是在现有文件的基础上分析哈尔滨示范工程,并从瑞士视角对特定技术领域进行评估,并按必要性提出后续发展的解决方案。

1.4. 工作流程

本报告的基础是对最终完成的翻修工程的现有文件进行分析。在此基础上,我们制定了一份可能的研究课题清单,并与项目的主要实施者——Intep-Skat项目瑞方联合实施团队进行了探讨和跟踪。哈尔滨示范工程项目团队提供的项目文件全面概述了在这一复杂翻新项目中采用的策略以及在此过程中做出的决定。

在此报告中,我们只选中了特定的相关议题并对此开展进一步阐释,而并未对翻新进程中的每一个单独部分进行回顾。因每一个议题都取决于许多个参数,所以我们将选定的相关部分单独列出并进行深入分析。在报告最后,我们还补充和讨论了与瑞士相关的其他主题。

哈尔滨示范工程是气候友好型建造领域一个令人兴奋的项目,因为这是10个遴选的中瑞零碳示范工程中唯一一个翻新项目。

迄今为止,此前中瑞在开发低碳建筑时相当关注新建建筑,但是我们已清楚地明白处理既有建筑是同等重要的,并且不可被忽视(这里的关键因素还是因为隐含碳)。

1.5. 总结

正如下文所述,所有被讨论的问题必须在特定的

案例基础上进行分析，因为每一个翻新项目都是独特的。

我们的团队采取一种“原地”做法，每个项目都以特定参数为基础，以实现财务上可行、环境和社会方面最优的目的。

可靠的工业化解决方案与工具是实现最优解决方案的重要基础。如材料的温室气体参数或电器效率的数据的验证是必须的。

需实现的“可持续”目标必须在项目的起始阶段达成一致，因此这些目标是必须可以被测试与评估的（对建筑翻新项目而言，“通用策略”并不存在）。

对于哈尔滨的示范工程而言，其主要的目标是实现运行阶段碳排放最小化，从而实现“低碳建筑”或“近零碳建筑”的目标。

总而言之，我们可以认为哈尔滨示范工程是气候友好型建造方案的标杆，我们能想象，类似的工程解决方案也可以在瑞士实施。

注：正如我们在报告后面部分所指出的那样，各国的实施方案显然有很大差异，且在本报告的工作范围内无法对其进行最终评估。

然而，必须要说明的是，由于此类示范工程通常仅涉及解决降低建筑全生命周期里的部分碳排，如哈尔滨示范工程里仅涉及降低运行阶段的碳排。这里暂时没有从考虑建筑全生命周期的全面整体的视角出发，因为在目前历史阶段中，实际实施全生命周期的零碳目标也确实很有挑战。在瑞士，考虑与建筑建造相关的隐含碳排越来越重要，因为人们已经认识到如果按照能耗原则（范围3排放）来计算 - 建筑物的隐含碳在建筑全生命周期的总碳排中是占了大部分的。由于运行排放在全生命周期总碳排中的占比在逐渐减少，而与建造，翻新和拆除相关的碳排则会一直继续发生，因此建筑全生命周期的整体排放仍呈上升趋势（从瑞士国家层面来考量。）

依据我们的意见，以下几个方面可能在气候友好型建筑翻新领域未来发展中起重要作用：

包含施工和运行的全生命周期评估

- 生命周期评估应当包含一个项目中的整个周期，即当前的建造阶段和 2050 年以后的运营。

生命周期评估的数据

- 生命周期评估数据（生产与废弃，交通，能源）应有合适的机构代表公共部门进行核实，以获得可用于比较的数据基础。

动态限值

- 施工与运行的限值应当同全球气候目标或国家脱碳战略相挂钩，从而为2050年实现净零排放创造必要的减排途径。

无化石燃料

- 在可能的情况下，新设备应尽可能避免使用化石燃料。如果无法避免使用化石燃料，比如化石燃料比当前的电网碳排在整体效率方面提供了更好的解决方案，那么就应当在规划中考虑好一旦情况发生变化时，化石燃料的替代方案。

建筑组件与材料

- 建筑组件与材料应当在生命周期内被评估与优化，这样就可以对拆卸设计（维护、保养、修理）、废物和处理（复合材料、污染物）以及耐用性等主题进行评估。

1.6. 可持续性是一个定义问题

在瑞士，可持续发展已被载入《联邦宪法》：

“它[瑞士联邦]应促进国家的共同福利、可持续发展、内部团结和文化多样性。

（《联邦宪法》第 2 条第 2 款）。

由此，当然必须对可持续发展做出定义并将其对应到建造项目中去。这里，下图所示的三维模型是最常用的“可持续性”定义。

依据这一三维模型，社会、环境和经济三个领域必须在可持续项目中被综合考虑，对于一项有效的可持续行动而言，其中没有哪一个部分是可以被忽视的，但是，其中每个部分的权重却并未被确定。

例如，如果考虑到诸如二氧化碳预算、生物多样性的减弱或社会公正性问题这些领域的科学紧迫性，那么则应将这些领域的各方面都放在更高的优先位置。



不幸的是，在瑞士，正如大多数国家一样，最根本的问题是，可持续性实际上还从未得到必要的考虑。而出于对《宪法》和紧迫性的“精确”解释，这种考虑则是必要的。

尽管一些有趣的试点项目一再得以实现，但整个建筑业向可持续发展的方向迈进的步伐总体仍非常缓慢。

如果考虑到社会方面的因素，很多时候甚至仍在出现偏离社会公正性的趋势（如房价上涨、城市人口趋势、社会责任等）。

遗憾的是，经济发展和由此带来的所谓的繁荣增长总是被放在最优先位置，从而导致其他方面不得始终处于从属地位。

1.7. 项目概述和准则基础

1.7.1. 哈尔滨示范工程

我们从由哈尔滨示范工程团队提供的介绍文件中了解到哈尔滨示范工程是一个处于中国严寒地区（黑龙江省哈尔滨市）的既有公共建筑。该建筑建于1995年，并在随后一度改建为酒店。该建筑包括地上9层，和地下1层，总建筑面积为8610m²。该建筑没有外保温系统，内部装修已经严重损毁并被部分拆除，因此无法继续使用。建筑主体结构经黑龙江省寒地建筑科学研究院检测，结构完整，无重大安全隐患。现有门窗、供热、供水、电梯、保温、消防、电器、强弱电、外

立面等需要更换或改造，内部空间需要重新布置和修缮，部分结构需要翻新。

在翻新中采用的主要技术如下：

具有优秀热性能的外围护结构

- 列出的临街外墙采取了内部隔热措施（VIP：真空隔热板）
- 后侧立面采用岩棉隔热
- 屋顶采用挤塑聚苯乙烯隔热材料
- 热桥问题：尽力减轻热桥问题
- 隔墙、楼板和外墙交界处的问题
- 暖通空调/建筑技术
- 具有热回收功能的机械通风
- 空气源热泵

1.7.2. 中国的技术规范

由于我们之前没有接触过中国的建筑行业，因此工作开展初期，我们Zirkular团队深入钻研了各种与示范工程本地建造相关的背景知识，以便我们对中国的建筑行业有一个总体的了解。下面罗列的是与示范工程以及气候兼容性和可持续性发展相关的部分本地法规。

- 应用的当地标准
- “黑龙江省超低能耗公共建筑节能设计标准”
- ZEB-零能耗建筑
- 建筑节能与可再生能源利用通用规范，GB55015-2021
- 近零能耗建筑技术标准，GB/T 51350-2019
- ZCB-零碳建筑
- 建筑碳排放计算标准，GB/T 51366-2019
- 零碳建筑技术标准（征求意见稿），GB/T xxxxx - 202x
- 最后的“零碳建筑技术标准”草案在可持续发展方面是一个全面而领先的标准，它力求从全局出发，不仅“只”解决运行能耗和运行排放问题，还包括其他重要方面，如经济附加值、对空间方案的质疑、环境（微气候）、可能的自然通风、日照量、遮阳、拆除和分解、充分性（减少不必要的建造，如纯粹的装饰构件和表层）、简单的形体、“被动设计”、可回收材料、可拆卸建筑、维护与维修、耐久性、当地建材（运输）、保温材料的生命周期碳排放等。

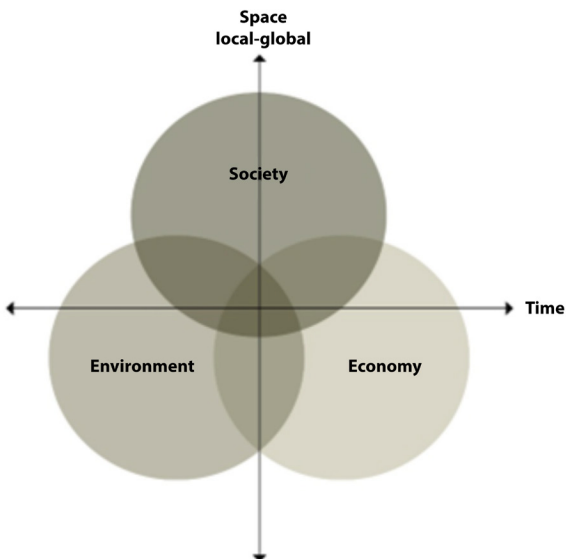


图1 ‘可持续性’ 三维定义模型，来源：‘Lehrplan 21’

- 众所周知,即使只关注温室气体排放,也无法涵盖可持续建筑所需的全部内容。这一标准能够从如此全面的视角出发并处理如此多的相关议题是可喜的。该标准涉及范围与“瑞士可持续建筑标准(SNBS)”所涵盖的主题最为接近。

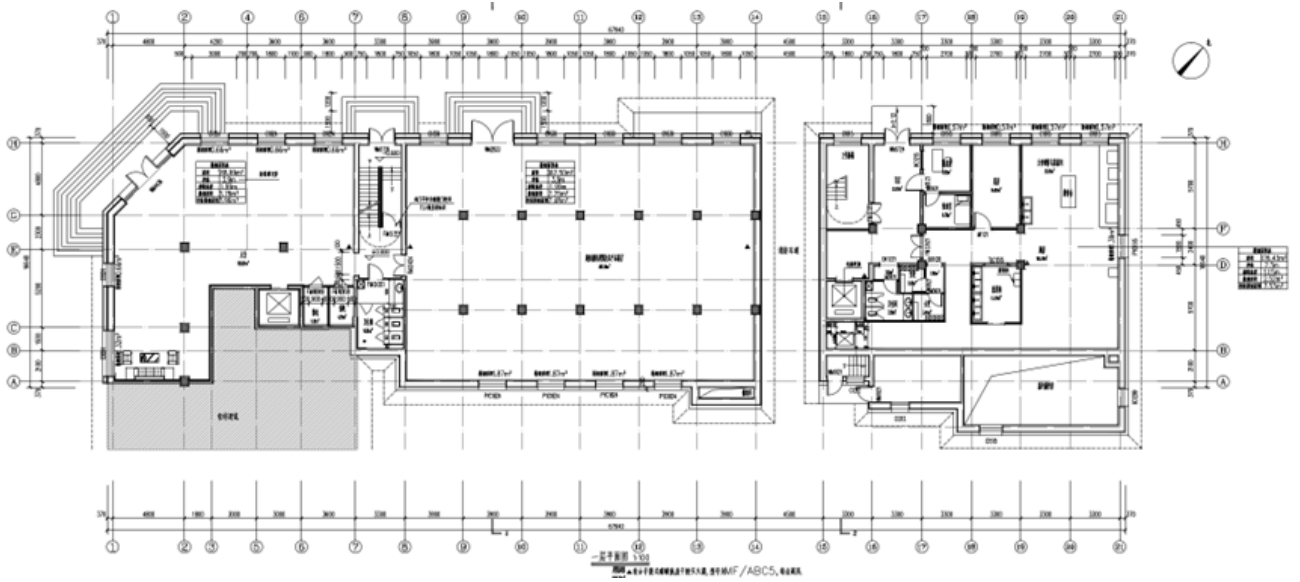


图2 主要楼层平面, 图片来源:黑龙江寒地建筑科学研究院



图3 入口视角(效果图), 图片来源:黑龙江寒地建筑科学研究院

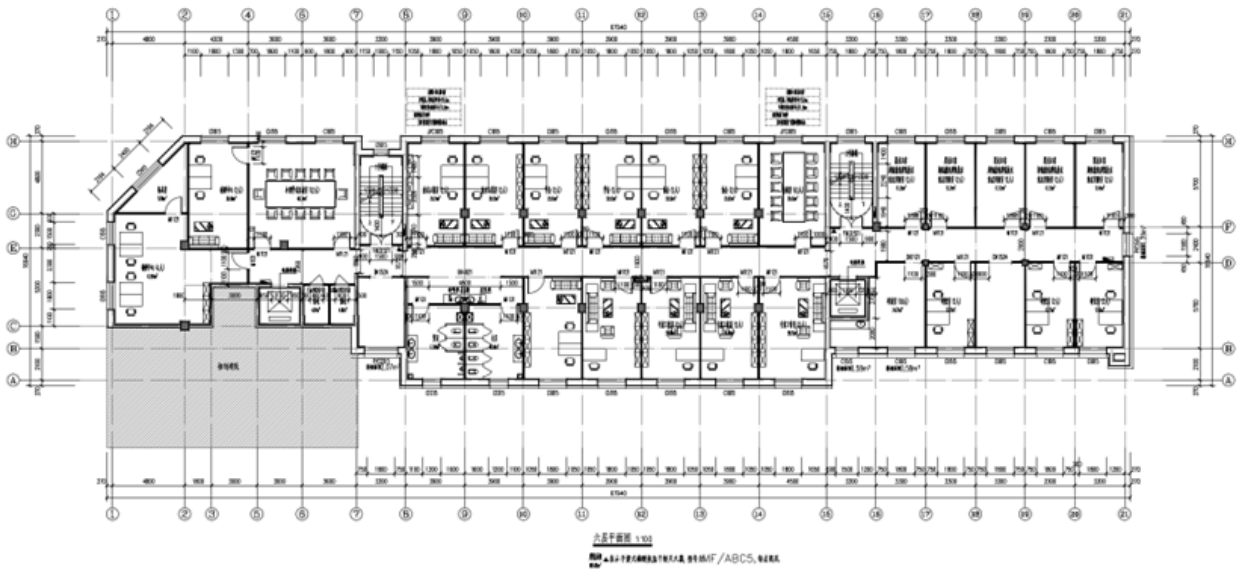


Figure 4: 顶层平面图, 图片来源: 黑龙江寒地建筑科学研究院

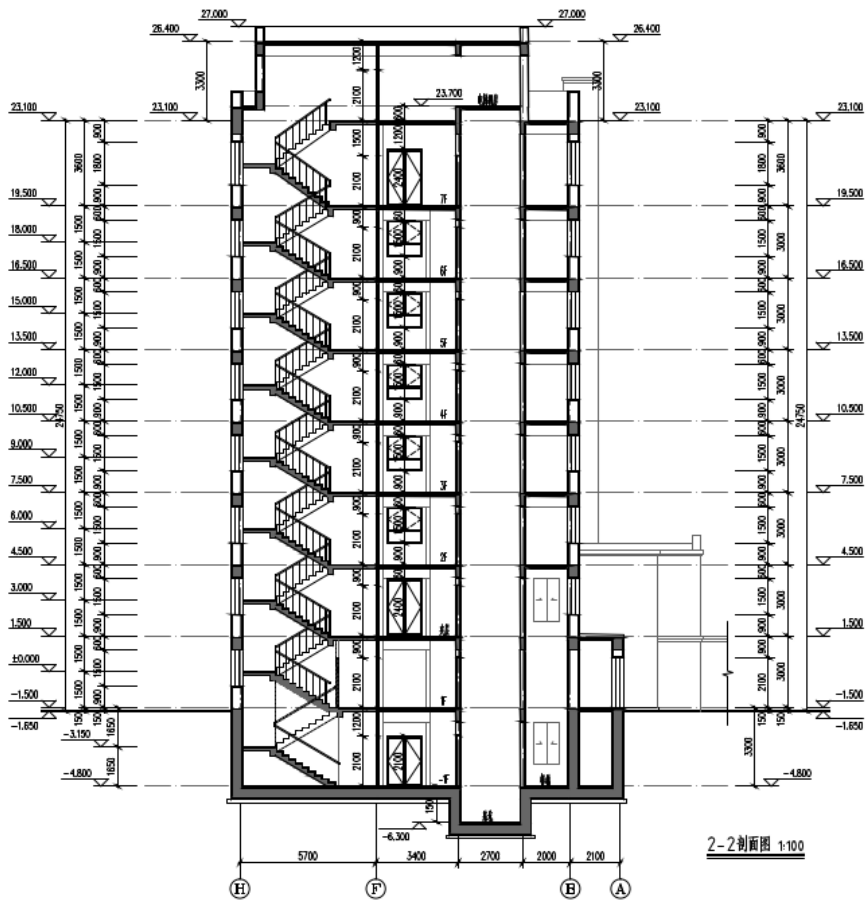


图5 剖面图, 来源: 黑龙江寒地建筑科学研究院



图6 顶层 (效果图), 图片来源:黑龙江寒地建筑科学研究院^{4F}



图7 街道视角立面图, 来源:黑龙江寒地建筑科学研究院

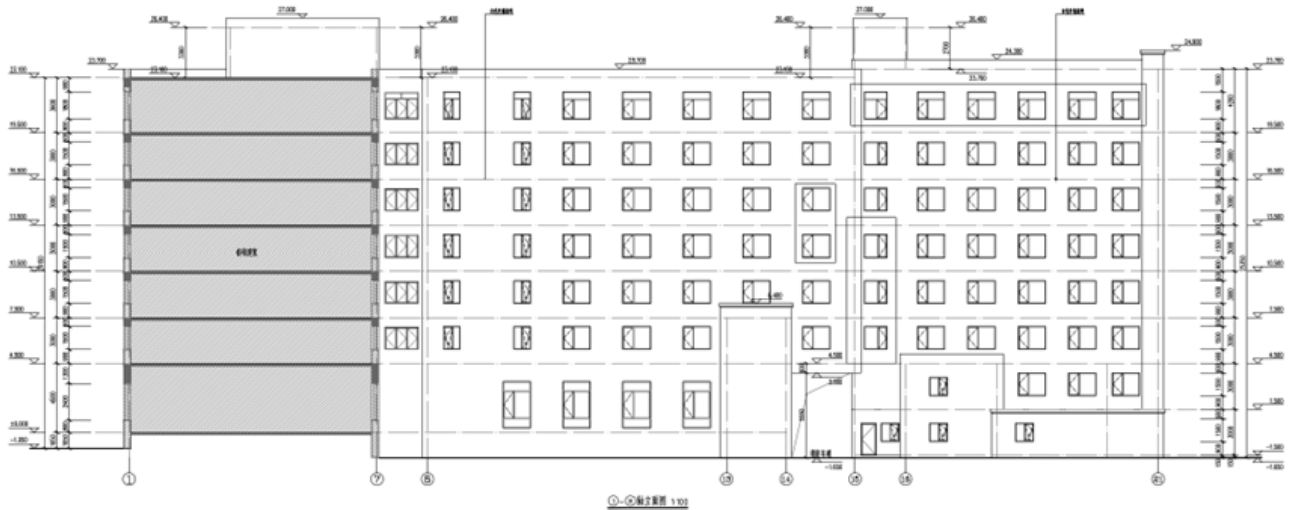


图8 后侧视角立面图, 来源:黑龙江寒地建筑科学研究院



1.7.3. 瑞士的技术规范

在瑞士，自从20世纪60年代起就开始制定建筑业的相关标准，早期的重点在于无结构性损坏和舒适性。

自20世纪70年代起由于能源危机，对运行阶段的能耗做出了限制并在90年代进行了统一的规定，且从2014年起对化石能源的消耗进行了补充限制。

目前，瑞士的法规在气候保护和其他的生态方面已经不再符合最新的技术水平，因此瑞士法规正在进行相应修订。

MuKEn 2014 à 能源法律与规定

瑞士的法律法规由各州制定。各州已对其法规进行了统一；当前的版本为2014年版 (MuKEn=各州能源行业法规范本)。

从定量的角度来看，只有运行阶段能源是受限的，因为这一阶段对于不可再生能源有最大的需求比例 (热能生产必须主要来自可再生能源，即不是化石能源)。

然而，自2014年开始的协调工作尚未在全国范围内实施，新的化石供暖系统仍有可能投入使用。

因此，在科学紧迫性、政治目标和实际执行之间尚存在重大差异。

目前正在修订的法规范本 (MuKEn 2025)，其中规定了建筑隐含排放的上限。在目前的草案中，新建“办公”建筑的隐含排放量为 780 kg/m^2 ，从而与瑞士新建“普通”建筑的平均排放量大致相当。这样做的主要目的是提高建筑行业的敏感度，从而在未来降低限值。

SIA 380/1 供暖需求

这一标准阐释了现行的MuKEn要求的细节 (用于核查和强制执行)。

可以通过规定单个建筑组件 (每个组件的U值限值) 或系统验证 (类似于《近零能耗建筑技术标准》[GB/T51350-2019]的建筑供热能耗) 来使其达到要求。

SIA 2040 能效路径

除了运行能耗和排放，瑞士建筑师和工程师协会

(SIA) 的说明文件里还涉及到与建筑相关的和建筑内部的交通，并为此制定了严格的限值和目标值。

这些规定还并未写入法律 (这里不涉及市政要求，比如针对场地设计图纸的一些市政要求)。

2017年的限值和目标值目前也已不再适用。

该说明文件目前正在修订，并将成为 SIA 390/1 “气候路径”标准。SIA 390/1 规定了未来将指定的限值和目标值，按 1.5°C 目标 (《巴黎协定》) 的温室气体减排路径，这些限值和目标值是必需的，并将在未来还会被定期收紧。

Minergie - Ecobau - SNBS

- 瑞士有三个统一的建筑认证标签和 SIA 标准，其方法和范围与“零碳建筑技术标准”相当：
- GEAK 是带有为翻新建筑能效认证的“Plus”选项的“州建筑能源性能认证”
- Minergie(-P)/(-A) 认证体系是通过增设无污染材料将Minergie ECO作为对建筑能达到舒适，高能效和气候保护高标准的认可。
- SNBS则是一项综合可持续建筑的评价体系。
- SIA MB 2040 ‘能效路径’和SIA 390/1 ‘气候路径’则将引领瑞士建筑业通过对建筑进行全生命周期的评估来全力实现减少二氧化碳排放量。

2. 哈尔滨示范项目的评估与输入材料

2.1. 介绍

哈尔滨示范工程是对一栋列入建筑遗产保护名录的建筑进行的翻新。该建筑的翻新程序大体上可用于其他的翻新工程,包括非保护建筑的翻新(这通常会更容易)。

2.2. 初步建议

2.2.1. 项目阶段

根据中方合作伙伴的介绍,中国翻新项目的工期阶段同瑞士基本相似的,但相对而言中国的实施过程更加严格。

中国:

- 方案设计
- 初步设计
- 施工图设计

瑞士:

- 战略规划
- 初步调研

阶段	子阶段	目标
1 战略规划	11 需求制定 解决策略	确定需求, 目标与框架条件, 提出解决方案。
2 初步调研	21 可行性研究	提出过程与组织, 确定项目规划原则, 论证可行性。
3 项目规划	31 初步项目 32 施工项目 33 授权程序	优化概念和盈利能力, 优化项目和成本, 批准项目, 核定成本和期限, 批准施工贷款。
4 招标	41 招标, 签订合同	完成授标准备工作
5 实现	51 实施规划 52 实施 53 试运行, 完工	准备实施 按计划建造建筑物 建筑物验收合格并投入使用, 接收最终财务发票, 纠正缺陷
6 运行	61 运行	确保并优化运行

图9 SIA 112:2014 “施工规划模型”



- 初步与施工项目, 授权
- 招标规划和招标
- 实施规划和实现

根据相关文件, 哈尔滨示范工程的翻新在2年零2个月的期间内完成。在瑞士, 相似项目从可行性研究到竣工可能需要花费5年左右的时间。

2.2.2. 建筑项目中的可持续性内容

至今, 在瑞士尚无如二氧化碳限额等可持续目标, 除非这些目标被协定为“通常”法规的附加要求。

除定义项目各个阶段的瑞士工程师与建筑师协会标准SIA 112外, SIA 112/1:2017, 即“可持续施工 - 建筑施工”标准还为将可持续性各个方面融入建筑项目提供了帮助。这一标准并不包含限值规定或相似内容, 但是提供了有关可持续性的信息以供规划团队了解并促进整体规划。

这一标准基于此前提到的可持续性三维模型定义了如下的结构:

社会方面	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 基础设施 ▪ 团结互助 ▪ 社会联系 ▪ 可用性 ▪ 设计 ▪ 福祉 ▪ 参与
经济方面	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 地点 ▪ 均衡性 ▪ 压实 ▪ 市场化 ▪ 创新 ▪ 行动能力 ▪ 生命周期支出
环境方面	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 交通 ▪ 充分性 ▪ 生物多样性 ▪ 耐久性 ▪ 材料循环 ▪ 生产 ▪ 运行

2.3. 建筑围护结构/供暖

计算所得, 哈尔滨示范工程翻新后的供暖需求非常之低 – 尤其是作为一个被列入建筑遗产保护名单的建筑的翻新项目, 其供暖的需求显著低于瑞士相似项目必须满足的相关划范要求:

对于瑞士的相似试点项目, 可以应用的最严格的建筑围护结构的认证标签是 ‘Minergie-P’ (被动房)。这就要求在翻新时最多达到法定限值的 90%, 即在这种情况下约为 59 kWh/m²。

供暖需求比较“Q_h”

哈尔滨示范工程的“供暖需求”
(依据 2023 年 10 月 23 日的“低能耗建筑能源效率评估报告”)

瑞士“限制值”
(MuKEn2014 / SIA 380/1 对翻新建筑的规定)

33.7 kWh/m²

65.7 kWh/m²

假设:
热能与电能的比例 $A_{th}/A_E = 1.4$, 全年平均温度 = 4.6°C

翻新	新建
$U \leq 0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$

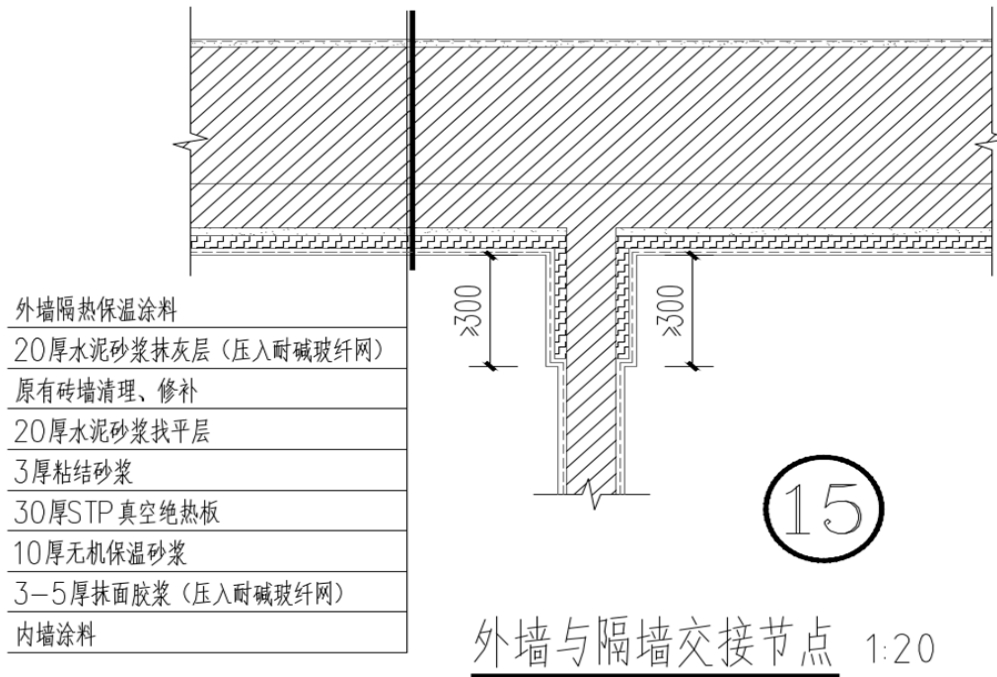
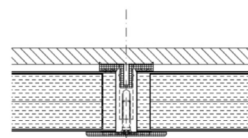


图10 带内部VIP保温层的外墙和带侧面保温层的隔墙交接节点, 来源:黑龙江寒地建筑科学研究院

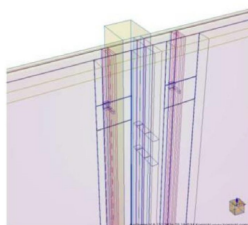
在瑞士同样使用相似的传热系数值。最低的外围护结构组件传热系数限制如下所示:

在试点项目中, 可以将U值设定为 0.11 W/m²K, 尽管这可能只适用于“简单”的表面, 如平屋顶。

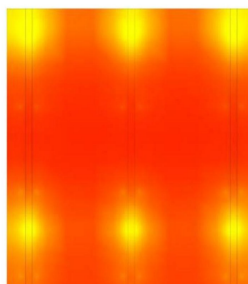
从以往应用VIP保温材料的实践经验中得知, 在建筑中使用VIP保温材料时, 诸多方面都会对其有效保温性能产生不利影响, 例如小部件/边缘效应、链接、标准格式/补充普通隔热材料或缺乏可加工性。



- VIP 夹层元件安装（夹紧）在不锈钢板之间，以对其进行保护。
- 1.5mm 不锈钢板
- 20mm 真空保温板 VIP
- 20mm 真空保温板 VIP
- 1.5mm 不锈钢板



导热系数是通过幕墙的代表性部分进行三维建模计算得出的



夹具和支架（用于幕墙下部结构）的影响区域清晰可见。

甚至对于在如哈尔滨这样的年平均气温为 4.6°C 的气候区的同样体量的符合Minergie-P认证的新建建筑，也同样有大约 $46\text{kWh}/\text{m}^2$ 的供暖需求（达到MuKEn2014中70%的法定值）。

因此，哈尔滨示范工程的供暖需求远低于我们的预想。

由于符合Minergie-P的建筑围护结构同时受到技术和经济可行性的限制，如此同哈尔滨示范工程相当水平的低传热系数在瑞士是难以实现的。我们认为这里的偏差在于计算模型和边界条件的不同，如考虑了其他能源消耗（例如，“哈尔滨示范工程总结报告里的数据是优化后建筑总能耗为 $50.7\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ ），因此不具有直接可比性。

还必须考虑所谓的“性能差距”，并应在本项目中提及（另见 2.6 性能差距）。

2.3.1. 保温

哈尔滨示范工程的低供暖需求首先是得益于保温层的低传热系数值（“低能耗建筑能效评估报告”）：

屋面 $U = 0.11\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (30 cm XPS)

外墙1 $U = 0.16\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (20 cm 岩棉)

外墙2 $U = 0.11\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (2 或 3 cm VIP和进一步保温).

窗 $U = 1.0\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

在瑞士同样使用相似的传热系数值。最低的外围护结构组件传热系数限制如下所示：

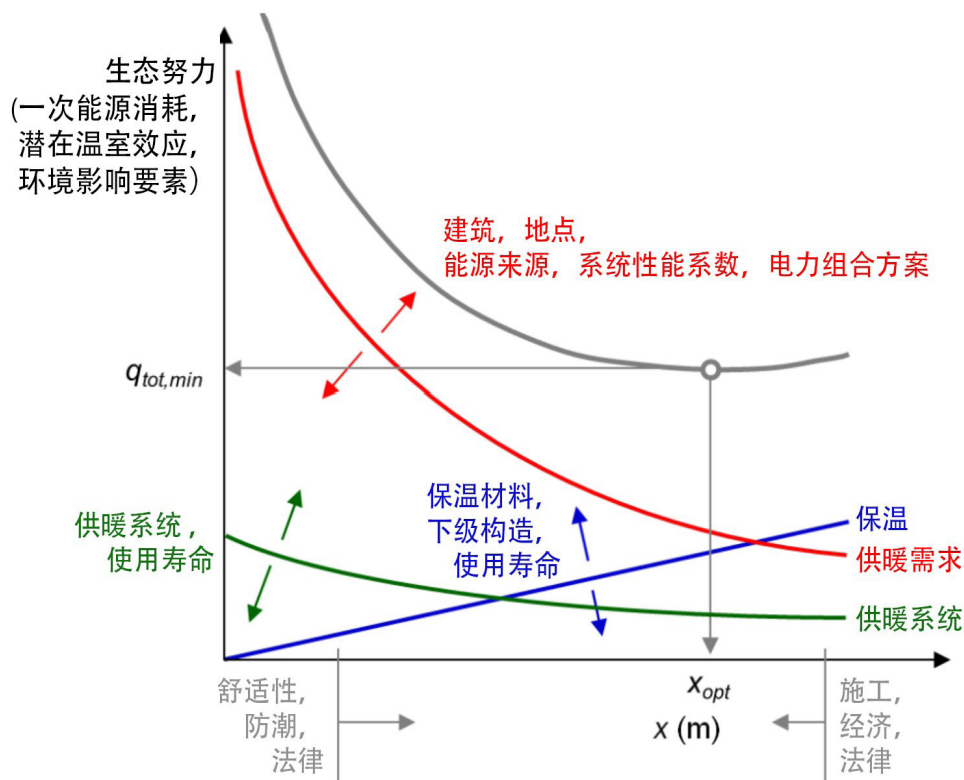






图12 保温材料厚度的生态性优化，来源：联邦能源办公室，来源：<https://www.hslu.ch/-/media/campus/common/files/dokumente/ta/ta-forschung/zip/zip-berichte/schlussbericht-optimale-daemmstaerken.pdf?la=de-ch>

	<p>整体矿物隔热材料（如硅酸钙） [可扩散、毛细管活性、耐用/坚固、中等隔热性能]</p>		<p>带防潮层的有机或矿物纤维隔热材料（如纤维素、木纤维、岩棉/玻璃棉等） [选择范围广，保温性能好，对湿气敏感]</p>
<p>图 1: 硅酸钙保温材料, 图片来源 Xella Multipor</p>		<p>图 3: 带防潮层的玻璃棉, 图片来源: Isover</p>	
	<p>泡沫玻璃 [对湿气绝对不敏感、耐用/坚固、中等至良好的保温性能]</p>		<p>高性能保温材料（例如：真空保温板 VIP，气凝胶，聚氨酯夹芯板 PIR） [高成本，超高的保温性能，视产品而定，在加工、耐久性、防潮或灰尘排放等方面的处理都很棘手]</p>
<p>图 2: 泡沫玻璃, 图片来源: Baufachzeitung</p>		<p>图 4: 气凝胶毡布, 图片来源 Agitec Spaceloft</p>	

在试点项目中, 可以将 U 值设定为 0.11 W/m²K, 尽管这可能只适用于“简单”的表面, 如平屋顶。

从以往应用VIP保温材料的实践经验中得知, 在建筑中使用VIP保温材料时, 诸多方面都会对其有效保温性能产生不利影响, 例如小部件/边缘效应、链接、标准格式/补充普通隔热材料或缺乏可加工性。

从以往应用VIP保温材料的实践经验中得知, 在建筑中使用VIP保温材料时, 诸多方面都会对其有效保温性能产生不利影响, 例如小部件/边缘效应、链接、标准格式/补充普通隔热材料或缺乏可加工性。

例如, 在苏黎世一项已经完工的项目中使用的40mmVIP(导热系数 $\lambda = 0.007$ [W/mK])理论上应当达到0.15[W/m²K]的传热系数, 但是将所有影响因素纳入考虑后实际上只达到了0.38[W/m²K]的有效传热系数。因此, 实际上计算出的传热系数比理想状态下的理论值可能高出250%之多。

所以, 我们在该项目中应当有一个清醒的认知, 即采取VIP的墙体构造成本显著高于常规的墙体构造, 且在不采取其他措施的情况下其传热系数可能难以达到限值的要求。

为了验证哈尔滨示范工程中VIP保温材料的传热系数U值的计算结果, 在运行阶段对翻新建筑进行传热系数U值的测量是非常有意义的(另见2.6性能差距)。

最优生态保温材料

作为一种与能源和排放相关的部件, 保温材料在施工和运行过程中具有生态和经济优化的潜力。生产所需的额外支出可以与运行期间可能节省的费用进行比较:

生产和处理保温材料的生态成本随着保温材料厚度的增加而直线上升。与此同时, 随着保温层厚度的增加, 制造和处理供暖系统的生态成本也会降低。

随着隔热层厚度的增加, 为满足供暖要求而在运行过程中付出的生态努力也呈双曲线下降。由此, 最具生态效益的保温层厚度取决于具体情况。



对于在瑞士的需要内保温层的“净零”翻新试点项目，需要对多种保温材料进行评估，例如：为了确定最适宜的方案，需要对多个参数进行对比，分析与权衡：

建筑物理性能

- 隔热与防潮(也包括热桥)
- 热质量

占地

- 保温层厚度/传热系数

生命周期评价

- 施工与运行阶段排放的比较
- 环境影响(例如,生态稀缺法)

成本

- 材料成本 – 空间损失 – 节能能源

耐久性和可用性

- 预期寿命
- 坚固性
- 用户损坏的风险(螺丝或类似物)

在大多数情况下，环境影响权重较高的分析得出的结论是，从生态角度来看，在生产过程中排放尽可能少的隔热材料是最好的。例如，可以使用再生纸或稻草制成的纤维材料。

尽可能低的 U 值通常不利于总体平衡，因为使用可再生能源(例如使用经认证的绿色电力的热泵)供暖所产生的温室气体非常低(目前的瑞士电力组合为 0.125 kg CO₂/kWhEl, 而经认证的可再生能源电力产品组合为 0.0016 kg CO₂/kWhEl.)，如果保温层较厚，生产保温材料的碳排放可能会超过这些排放。

根据哈尔冰示范工程团队提供的信息，由于空间有限，真空隔热板是内部保温材料的唯一可能的选择。这当然是一个苛刻的标准，因为所需的导热系数极低，很难找到具有可比性的其他保温材料。气凝胶产品($\lambda = 0.016$ W/mK)或聚氨酯夹芯板($\lambda = 0.018$ W/mK)最接近要求，但它们的导热系数比真空隔热板VIP 高出一倍多。

2.3.2. 热桥

在节能建筑中，热桥会造成很大比例的传热损失，而在翻新项目中，并非所有细节都能得到优化。

在外保温的情况下，如果能实现封闭的保温边界，就能解决很大一部分潜在的热桥问题。然而，外墙保温无疑会对建筑外观产生重大影响。

在内保温中，保温层必须中断的情况是难以避免的，例如在楼板和内墙连接处。这些位置一方面是热流的薄弱环节，另一方面也是湿气破坏的关键点，因为墙体内表面温度可能会降到露点以下。

屋面边缘是另一个可能产生热桥效应的典型构造节点。从图纸中可以看出，哈尔滨示范工程团队已很好地解决了这一问题。

在保温材料方面，可以进一步使用生物材料或再生材料。

采用外保温时，保温层的边缘是连续的，可以避免形成热桥。

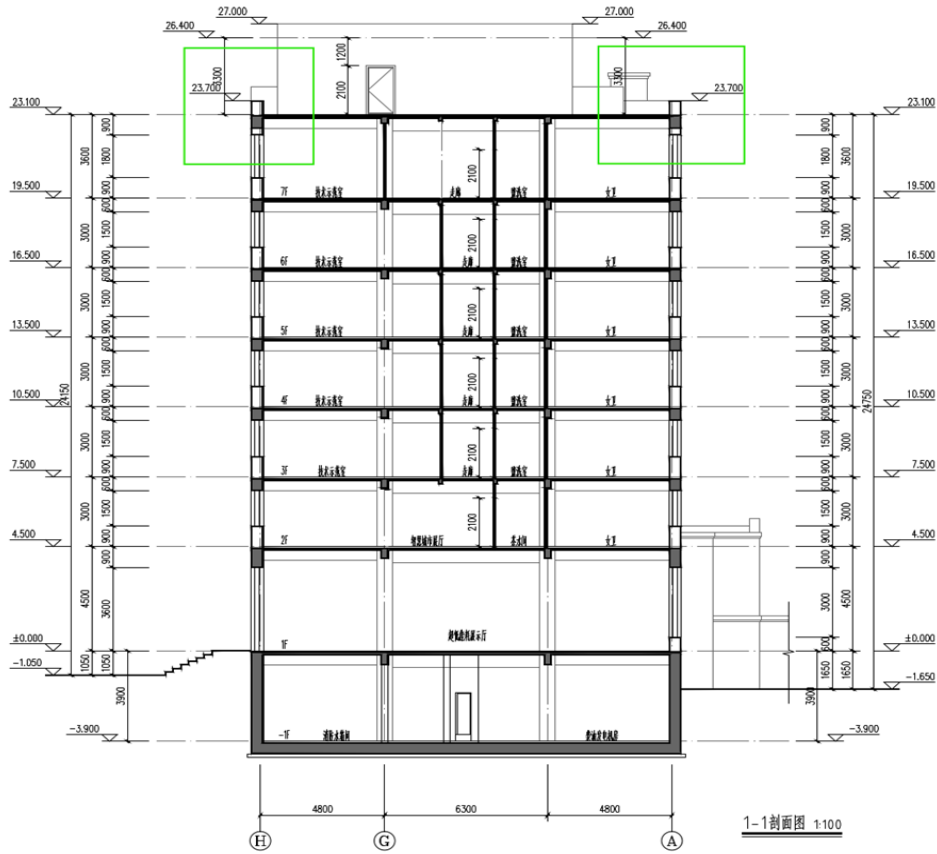
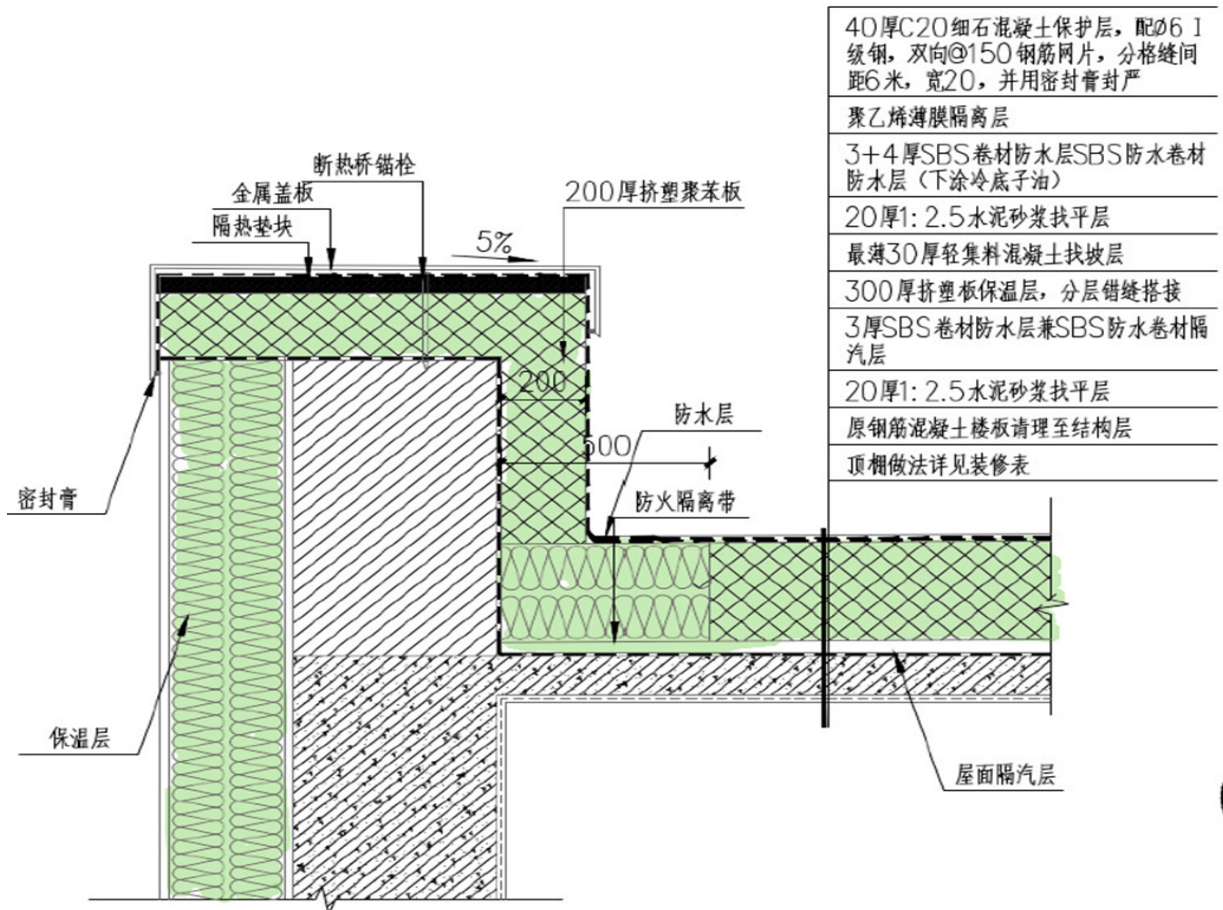


图17 带屋面边缘情况的剖面图, 图片来源: 黑龙江寒地建筑科学研究院, 颜色标记: Zirkular



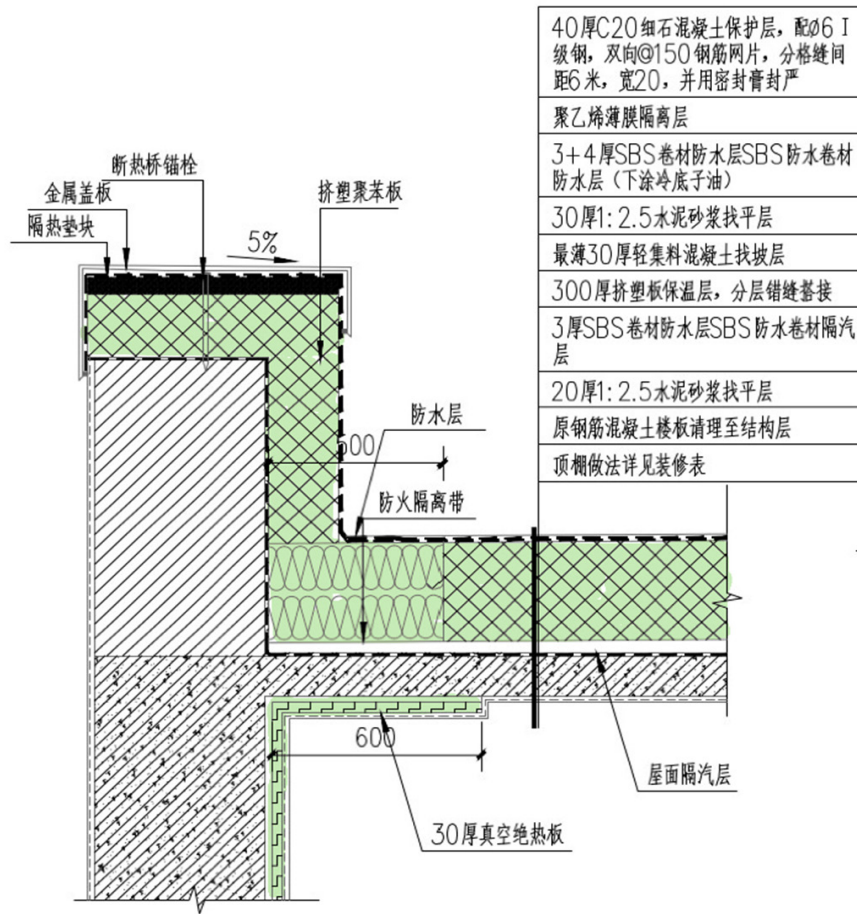


图19 屋面边缘内保温细部，图片来源：黑龙江寒地建筑科学研究院，颜色标记：Zirkular

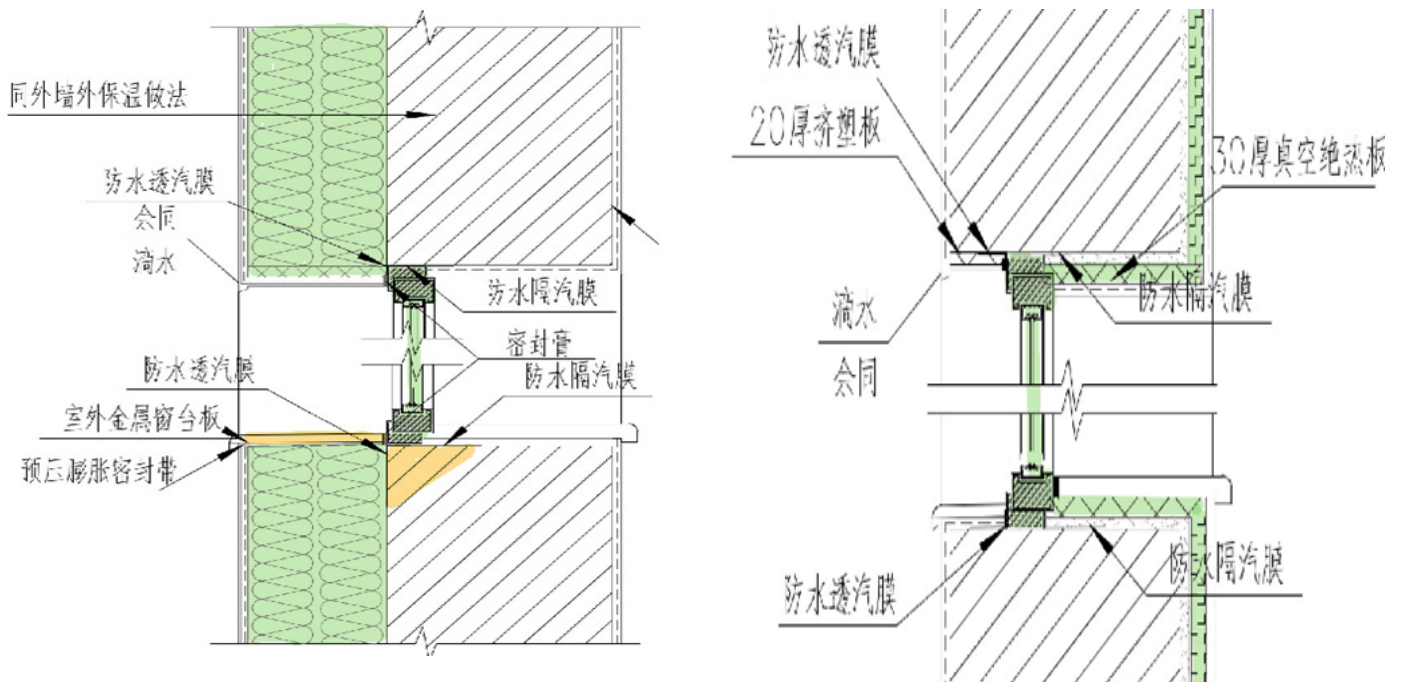


图20 窗户安装示例，来源：黑龙江寒地建筑科学研究院，颜色标记：Zirkular

外墙的内保温层不能扩大保温层范围。在瑞士，天花板上的墙体内部保温层将作为天花板侧面的保温层进行扩展。DP 哈尔滨工程正是这样实施的：

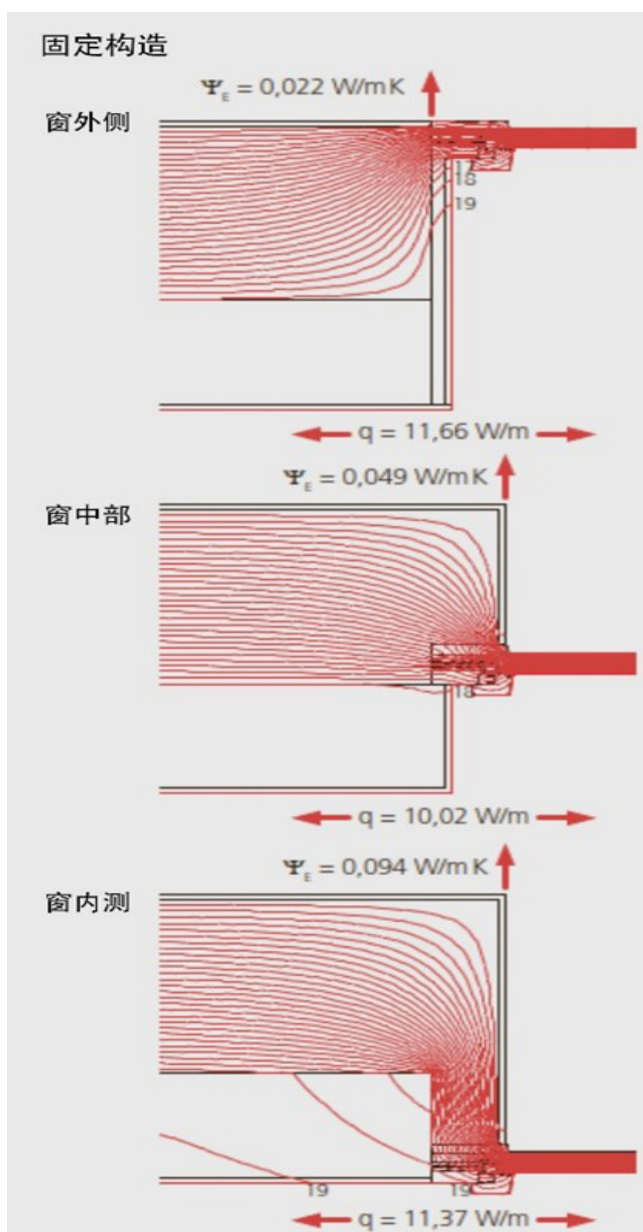
从内保温层(墙体)到外保温层(屋顶)的保温层边界变化时，构造热桥无法避免，但 600 毫米的侧面保温层可有效减少通过热桥的热流。

对于窗户而言，窗户在外露部分的位置和外露部分的保温性能对热桥起着决定性作用：

在可能的情况下，从能源的角度来看，用外墙保温材料对窗户底部进行隔热会比较有利。

但这样做有可能增加窗框的比例，从而降低玻璃的比例。

在内保温的情况下，保温层的边界可以连续。



关于窗户在外墙中的位置，在图中可以看出，在热流方面，最佳位置(外侧)的传输热损失是最差位置(内侧)的4倍。

图21 示例：窗户的热桥，图片来源：‘节能建筑’，州能源局长会议



图22 翻新后的空气源热泵, 图片来源: 黑龙江寒地建筑科学研究院

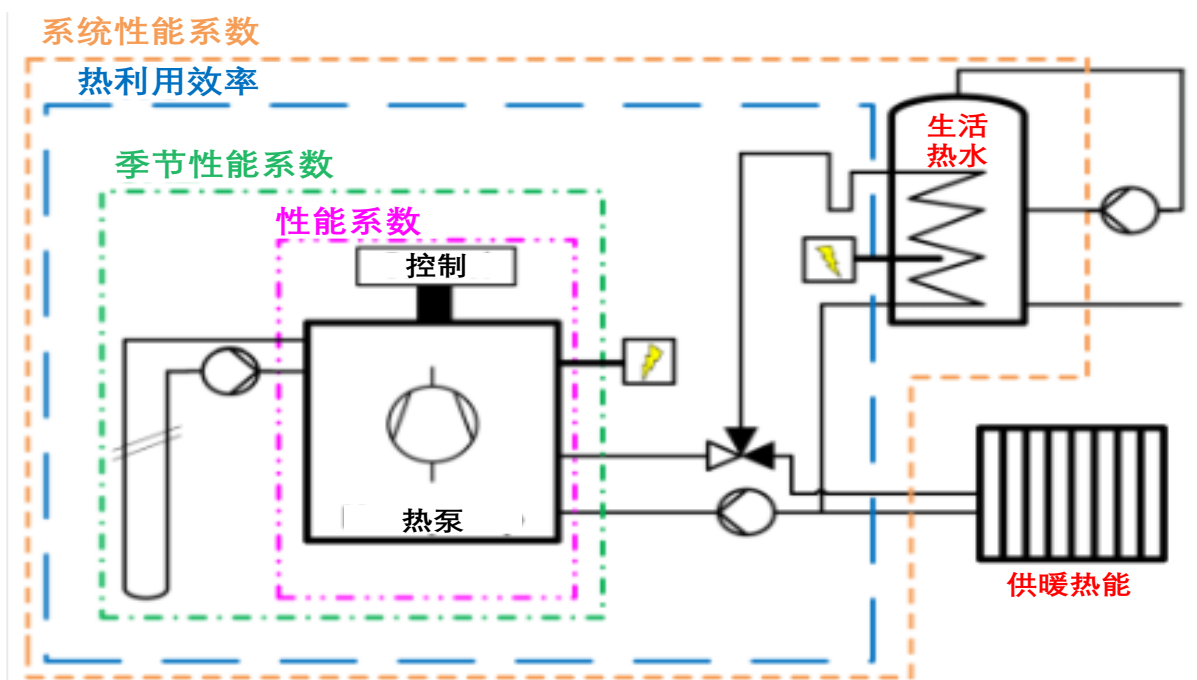


图23 热泵系统的多个系统边界, 图片来源: “供暖季热泵系统实地测量报告2021/22”, 瑞士联邦能源办公室

COP: 性能系数

JAZ=SPF: 季节性能系数 (JAZ: 年性能系数)

WNG=HUE: 热利用效率 (WNG: 热利用效率)

SNG=SE: 系统效率 (SNG: 系统效率)

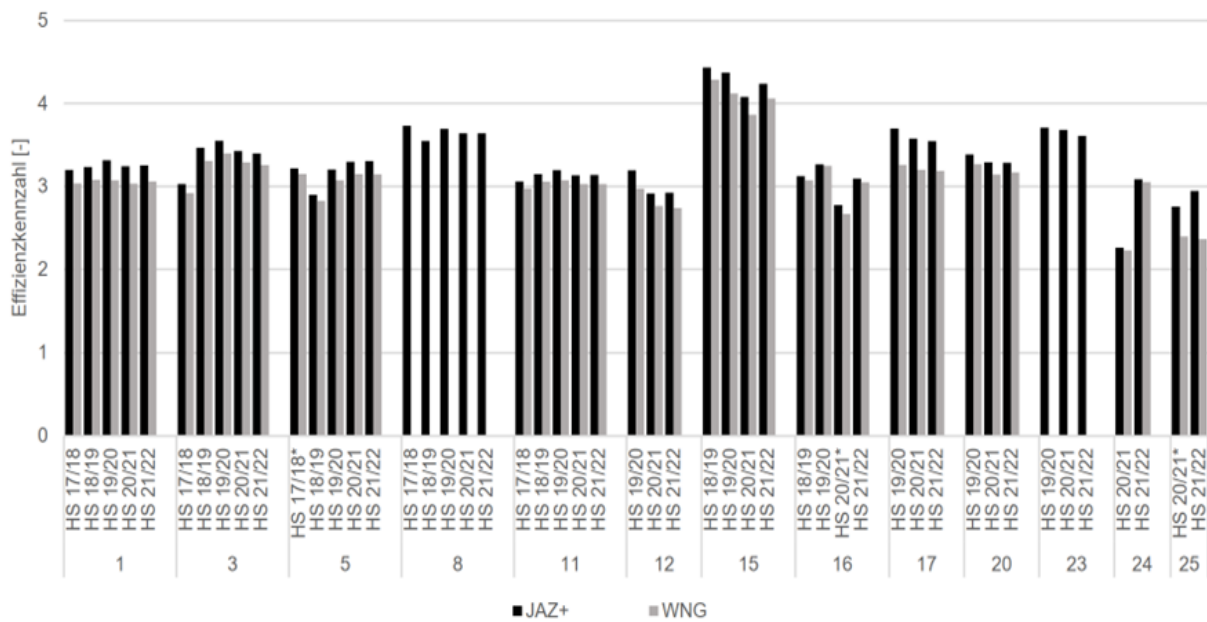


图24 空气/水热泵系统的年季节性性能系数 (SPF) 和热利用效率 (HUE), 图片来源:“供暖季热泵系统实地测量报告

2.4. 建筑技术

2.4.1. 供暖

在翻新后,该建筑将通过安装在屋顶的1个17kWth, 1个20kWth, 1个16kWth (总计53kWth) 的空气-水热泵进行供暖(根据《中瑞零碳建筑中国哈尔滨示范工程能源计算报告英文版》)。

在瑞士,这也是一种“标准解决方案”,但需要考虑使用的地点。由于室外气温较低,预计冬季热泵的 COP 或系统利用系数也会相应较低。据此,将会对地热探针热泵、木材和/或经调整的覆盖峰值负荷的解决方案进行研究。

使用区域供暖也是一种解决方案。根据项目信息,这种做法在中国北方也很普遍,但能源费用是根据供暖面积收取的(不考虑单个建筑的具体效率),因此,建筑围护结构良好的物业在经济上会受到损失。

基于能源需求计算的特定物业消费计费可能是未来项目的一个最佳解决方案。

通过散热器散热

散热器需要较高的热工质温度(哈尔滨示范项目为 50°C),这在技术上可以通过低温直热式热泵实现,但在效率方面存在缺点,特别是考虑到冬季室外空气温度较低的情况。

地暖可以缓解热工质温度过高的问题。然而,地板高度和翻新时相应改造工程的高昂费用通常会限制地暖系统的应用。不过,市场上已经出现了安装高度仅为 25 毫米的地暖系统。如果无法在地板安装供暖系统,墙壁或天花板供暖系统也是一种可行的解决方案。

电热水锅炉

直接电供暖系统是低效的且在瑞士已经不被允许使用。作为替代,可以通过淡水站(分散式热交换器)或热泵锅炉与供热系统集成。

热泵锅炉是一种无害生态的解决方案,尤其适用于较小的热水需求,特别是在一年中较温暖的月份,热泵锅炉可以更有效地提供热水。

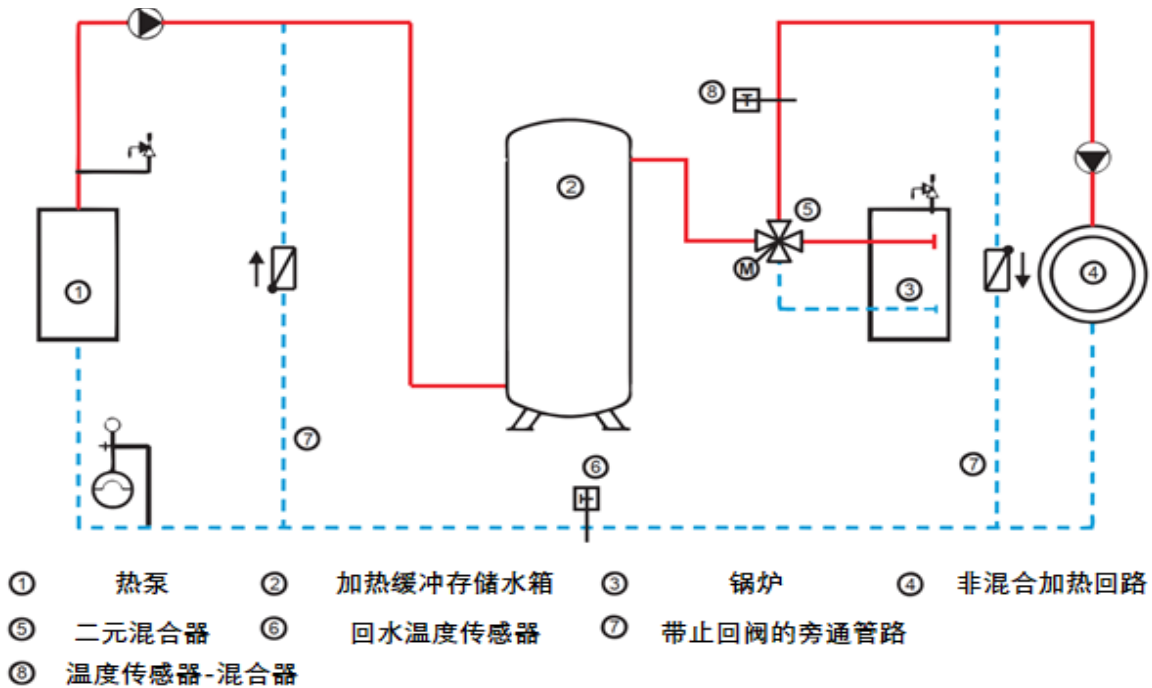


图25 用于大水量锅炉、串联缓冲水箱和带有止回阀的旁通管路的二元模式 (德国供热工业联邦协会), 图片来源:德国供热工业联邦协会

2.4.2. 瑞士的空气-水热泵系统研究

热泵的效率在多个项目进行了分析。不仅仅是性能系数COP被进行评估, 同样还有延展的系统边界限值。在 2021/22 采暖季, 所有建筑的平均室外温度为 12.2°C (因此与哈尔滨的室外温度无法进行 1:1 的比较)。评估结果表明, 大多数系统效率高, 运行稳健。很少发现重大缺陷。最大的优化潜力在于控制技术。

以下的是几种范例：

- 优化供暖水流温度 (优化加热特性)
- 避免在夏天的加热 (同样在平均温度 $T_{AVG} > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时)
- 避免在同一天供暖和制冷
- 水处理: 热泵预热军团菌回路
- 水处理: 最高环境温度下的带电时间

注意：

在高寒地区 (冬季气温相对较低) 使用热泵无需任何特殊要求。但是, 如果您希望获得财政补贴, 则必须提供具体项目的证明, 证明使用二元系统可实现 $COP > 3.1$ 。

二元系统对哈尔滨示范工程也很有意义。事实证明, 在非常寒冷的地区, 将空气源热泵和峰值负荷锅炉相结合的系统可以特别经济, 在控制系统特别适合二元运行的情况下, 热泵和锅炉对峰值负荷的覆盖率分别为 80% 和 20%。

2.4.3. 通风

正如其他翻新工程中常见的情况一样，哈尔滨示范工程的空间不足以容纳配备齐全的机械通风系统（包括送风和回风管道）。在2024年2月5日的“瑞士技术专家意见”中提出了复合通风系统的建议。尽管复合通风系统存在一定的不足，例如主动通风设备组件的安装与维护（可动溢流单元）和走廊潜在的送风与回风混合问题。

然而，考虑到对可用空间的要求不高以及材料用量少（可明显减少建筑碳排放）的优势，这是一种很好的定制解决方案。

2.4.4. 空气调节

“1/3的面积仅需要供暖，2/3的面积同时需要供暖与制冷。”

在办公建筑中，由于内部负荷使得安装机械调节设备可能是必需的。考虑到通过热泵进行制冷，以及通过光伏发电进行内部发电，可以在夏季制冷中实现较低的运行碳排放。

自动外遮阳和房间自身的热惯性对夏季隔热起到了促进作用。

优化热质量，结合夜间自然冷却，有助于降低制冷量要求。在重质结构建筑中，墙壁、天花板和地板的嵌板尤其重要（暴露钢筋混凝土结构）。

我们认为制冷的需求已经在数值上通过动态模拟的方法得到了印证，这也同时是舒适性的证明（过热）。

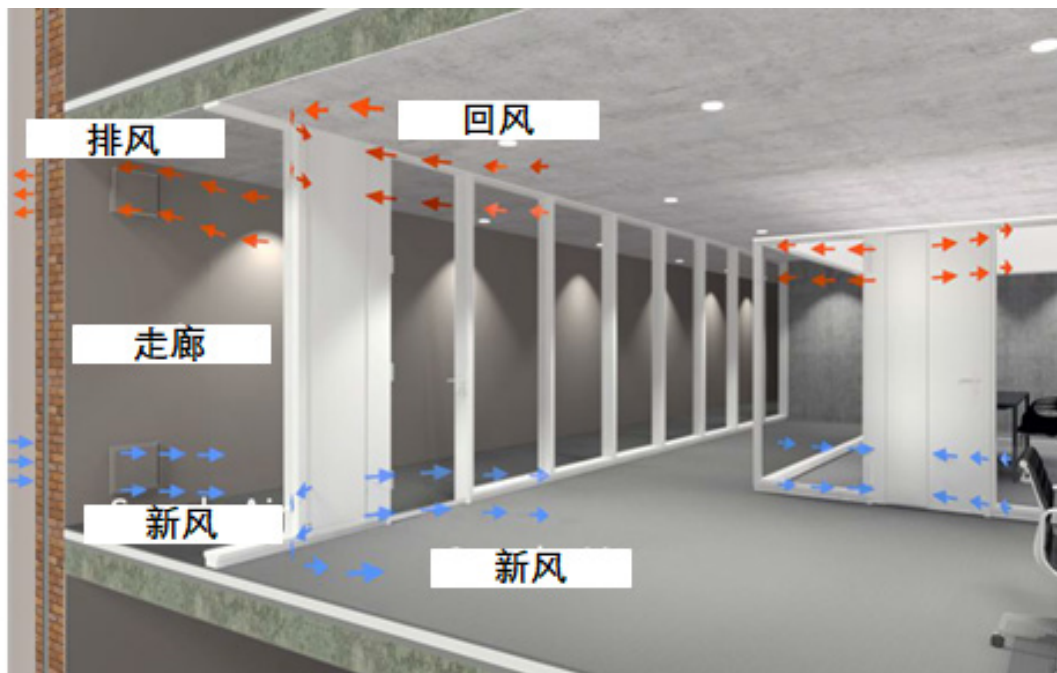


图26 装有复合通风元件的办公室气流组织图示，(瑞士技术专家意见，2024年2月5日)，图片来源：“示范项目瑞士技术专家建议：哈尔滨翻新工程”，2024年2月5日



2.5. 生命周期评估

来自于运行-生产的温室气体排放

正如此前提到的,在近几年中规范与技术发展已经显著降低了运行阶段的碳排放,然而,建材生产过程的碳排放并未得到显著改善(“隐含排放”)。

在瑞士,根据消耗原则(考虑到整个生命周期,即建造和运营),目前每年因建造和处置建筑物而产生的温室气体排放量与建筑物运营产生的排放量大致相同。



图27 报告厅(效果图),图片来源:黑龙江寒地建筑科学研究院

分布情况表明,就建筑排放而言,最有效的措施是保留原有的建筑物,因为与新建建筑物相比,保留支撑结构可“避免”约三分之一的排放。

这意味着,减少温室气体排放的最大可能存在于保护既有建筑并通常从生态视角而言是更加可取的。

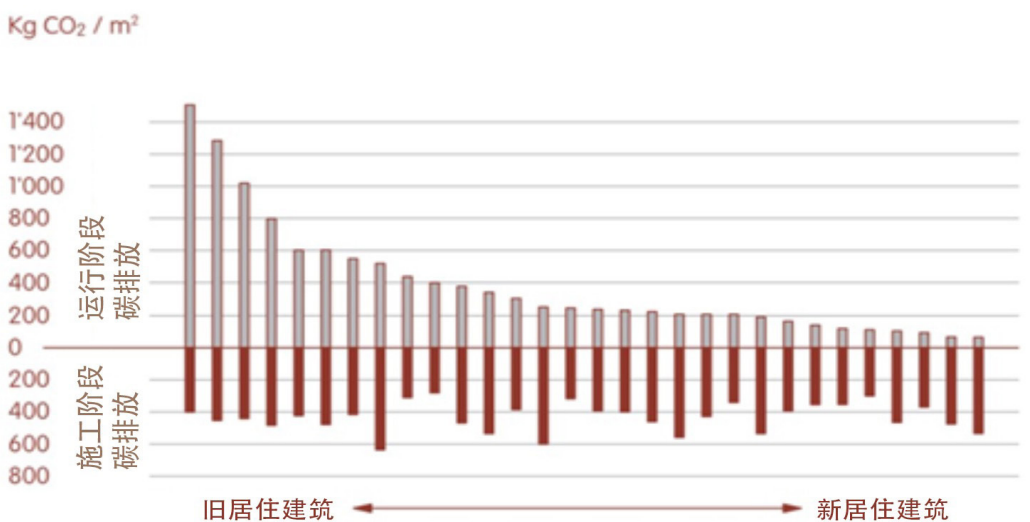


图28 运行于施工,来源:“施工中的再利用”,萨尔扎 2020,代表联邦环境办公室编写的报告

2.5.1. 温室气体排放限值

运行阶段的排放与热载体的碳强度密切相关。在比较电力时，这一差异显而易见。当前，中国的电力碳排放强度仍比欧洲高出约4倍，但预计在未来几十年内这一情况将发生显著变化。

由此可见，需要采用动态的限值来适应不断变化的情况，并能够跟踪实现净零排放的路径。

认证之外的建筑排放将被赋予限值并具有法律约束力，这一事实仍在发展之中，瑞士可能在 5-10 年内不会实施。

标准化的计算方法和经过验证的标准化材料数据为认证工作提供了重要启示。

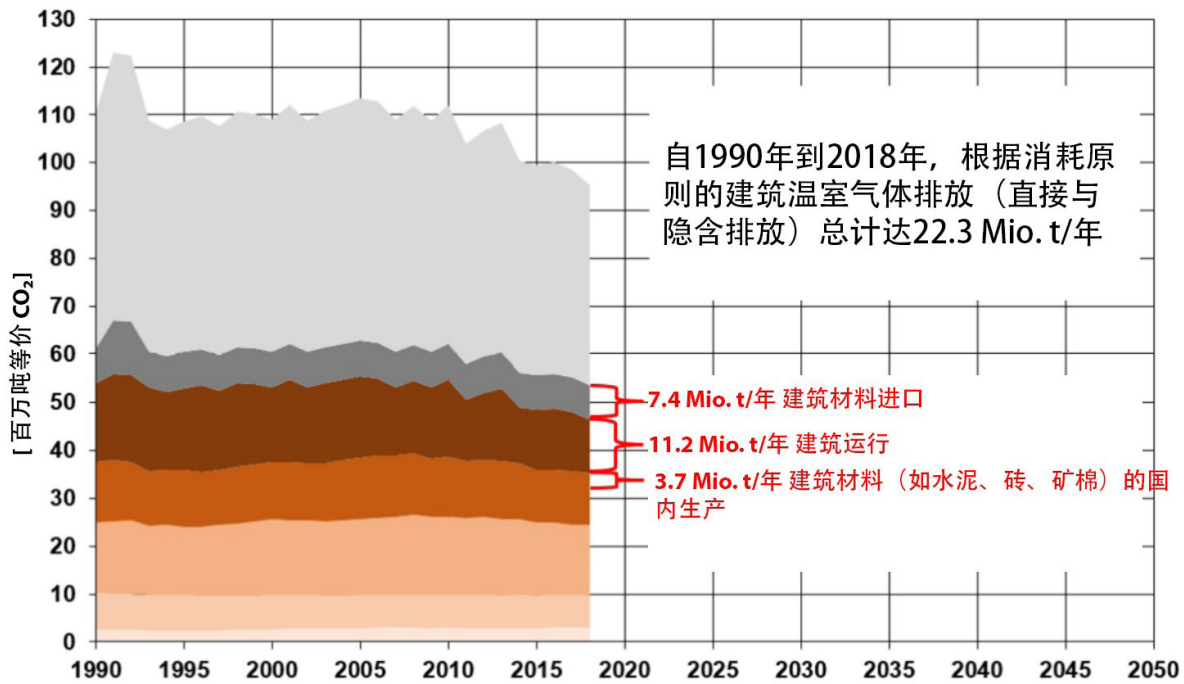


图29 图片来源: 建筑办公室, 苏黎世市

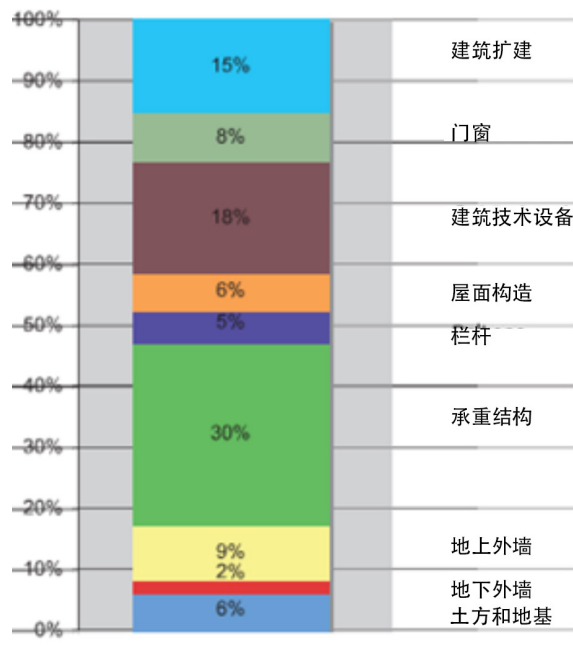


图30 一般瑞士建筑施工温室气体排放, 图片来源: SIA 2032: 2010 “建筑的灰色能耗” GHGE



2.6. 能源性能差距 (EPG)

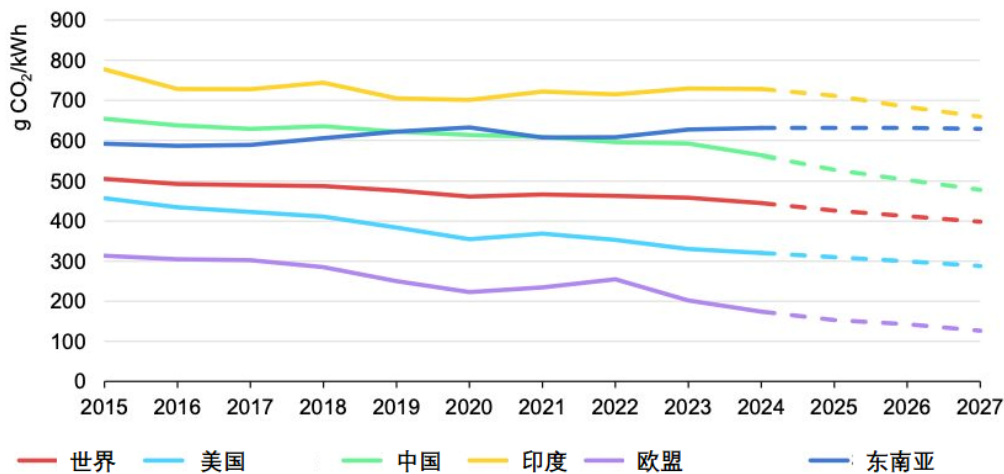
在瑞士,人们越来越明显地发现,计算得出的热需求量与实际测量的热消耗量之间可能存在巨大差异。

一项研究分析了 35000 栋住宅楼。根据这项研究,低能耗标准 (G级) 建筑的采暖和热水加权能耗比计算值低约-40% (负EPG),而高效建筑 (B级) 的能耗比计算值高+12% (正EPG)。

我们已经了解到在哈尔滨示范项目中能源效率是受到监管的。能够看到实际的温度和能源流动的变化同规划的差距是令人兴奋的。

	中国	瑞士
运行阶段	«低碳» 25 [kg/m ² a] «近零碳» 18 [kg/m ² a]	SIA 2040: 6 [kg/m ² a] SIA 3910/1: 5 [kg/m ² a]
施工	«全过程零碳» 350 [kg/m ²]	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MuKEn2025 新建的 «办公建筑» 780 [kg/m²] (13 [kg/m²a]) ▪ ▪ Minergie-Eco 翻新的«办公建筑» 480 [kg/m²] (8 [kg/m²a]) (“相似”建筑物的特定物业限值) ▪ ▪ SIA 2040 & SIA 390/1 翻新的«办公建筑» 300 [kg/m²] (5 [kg/m²a])

部分选定区域的电力碳排放强度, 2015-2027



IEA. CC BY 4.0.

图31 部分选定区域的电力碳排放强度, 2015-2027, 图片来源: 国际能源署

2.7. 可拆卸/适应性设计

影响生命周期评估的一个关键因素是各组成部分的耐久性 or 预期寿命, 以及灵活使用的潜力。

每座建筑都会进行维修、改造和扩建。

由此可知, 从整个生命周期来看, 运营成本总是超过建造成本。

作为一项基本原则, 在ISO 20887“建筑与土木工程工作可持续性 – 可拆卸与适应性的设计 – 原则, 需求与导引”中提到的内容可以被应用:

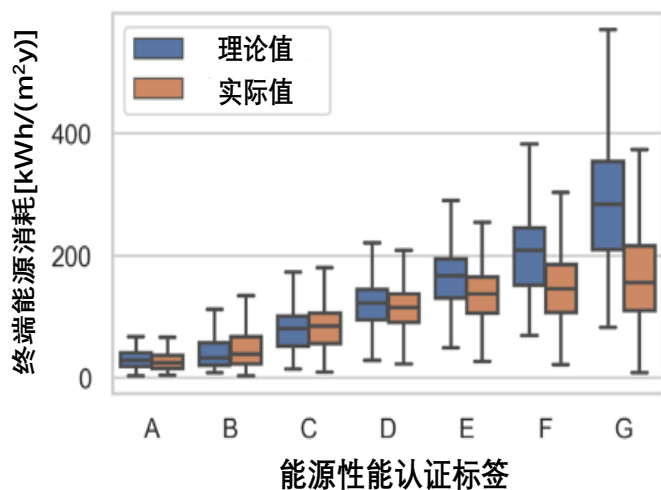


图32 翻新的建筑能源性能差距, 来源: 文献研究最终报告, 苏黎世市, 2022 <https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/web/de/aktuell/publikationen/2022/studien-netto-null/energy-performance-gap-instandsetzungen-studie.pdf>

总则

这些原则适用于可在使用寿命结束时拆卸或翻新的既有建筑内的组件和系统, 这些组件有可能用于其他目的。

易于获取的组件和服务

设计中的易获取性可以使组件中的材料、部件或连接装置, 尤其是预期寿命周期最短的材料、部件或连接装置易于更换, 并将对其和相邻组件的损害和影响降至最低。

独立性

独立性是指在不影响相连或相邻系统性能的情况下, 允许拆卸或升级部件、组件、模块和系统的质

量。在这里, 可逆连接是非常重要的点。

避免不必要的处理和装饰

饰面的选择会限制基材的再利用或回收, 尤其是在含有潜在危险物质的情况下。为便于拆卸, 应避免使用会妨碍基材再利用或回收的饰面。

支持再利用(循环经济)商业模式

这一原则涉及支持现在和未来的再利用、翻新、再制造和再循环材料和产品市场, 以支持循环经济商业模式。为未来建筑工程提供资源的设计方法应有助于在建筑和基础设施中使用回收材料和资源。

循环经济模式可以是这样的: 可再利用性, 可修复性, 可再制造性, 提高回收率。

简单化

简单是指组件或系统的设计简单明了, 易于理解, 并能满足性能要求, 定制化程度最低。

标准化

标准化涉及使用通用组件、产品或流程来满足多种要求。

可以支持这些原则的做法有:

- 在可能的情况下, 应使用可以方便、安全和更具成本效益地更换或拆卸和运输的材料和部件。
- 应提供在拆卸过程中搬运部件的工具。拆卸时的搬运可能需要起重设备或临时支撑装置的连接点。
- 应使用尺寸适合预定搬运方式的组件。应考虑组装、拆卸、运输、后处理和重新组装等各个阶段的各种可能的搬运方案。
- 应提供备件并在现场存放备件, 特别是定制设计的部件, 以便于拆卸和更换破损或损坏的部件, 并方便对设计进行小的改动。

应用

如今, 随着对缩短施工时间的不断优化, 遗憾的是, 以上的议题并没有得到足够的应用。

在Zirkular的项目中, 例如, 我们尽可能不在结构中安装电缆, 以方便进行替换。



2.8. 起草翻新的标准程序

除以上提到的几点外，我们在开头提到的公司集团也在努力将使用类型和用户纳入其中，以实现建筑翻新的可持续解决方案。

为了制定翻新表列建筑和其他现有建筑的标准程序，我们建议采取以下步骤：

第一步：总体目标：建立气候减排路径并从中推导出跨项目目标。(例如SIA 2040)

第二步：基于项目的解决方案：

a. 技术/结构竣工分析以及由此得出的改建/进一步使用/翻新建筑的方案。

b. 分析大楼目前的用途，以及由此得出的关于大楼可能用途和用户的设想。

c. 阶段性可行性研究和变量研究。(参见2.2.1)

d. 理想情况下，解决方案的干预程度较低，使用方式尽可能接近原始使用方式。

e. 理想情况下，解决方案应当使用户可以接受

接受或欣赏建筑中的某些不完美之处。

第三步：结构解决方案：

a. 考虑到总体的空间效率，对施工和运行进行生命周期分析。

b. 考虑材料的最优排放选择以及结构的可修复性和可拆卸性

第四步：监管和使用后评估。

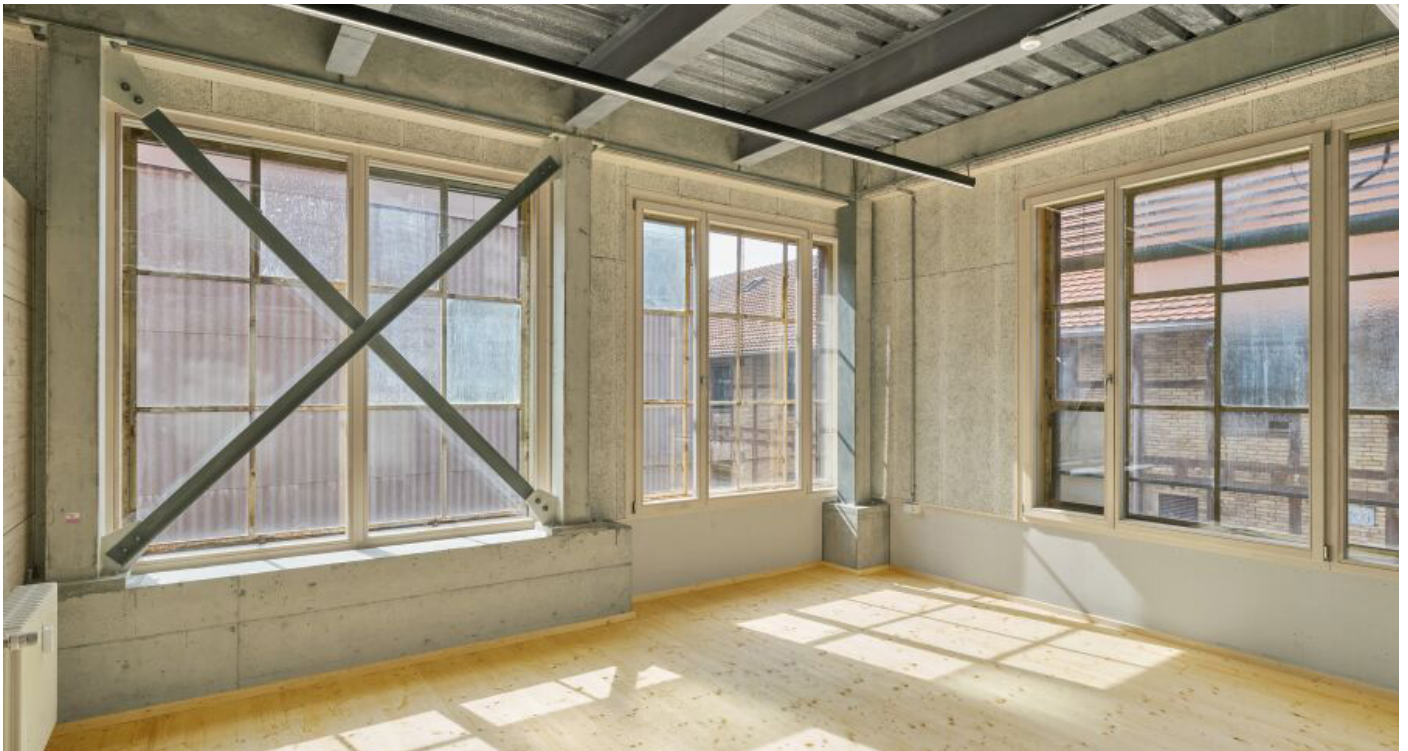


图33 表面安装电气设备示例，来源：baubüro in situ «K118»



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



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC

IBEE 环能科技

intep

skat