



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

示范工程报告

留坝县中华蜜蜂博物馆

中文版



2024年3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:

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

Wesley Wojtas | 瑞士Skat咨询公司

罗智星教授及其团队成员

内容贡献与审阅人员:

张时聪博士、杨芯岩博士 | 中国建筑科学研究院

李寅、吴佳艳、胡亦奇 | 浙江大学建筑设计研究院

设计与排版:

Intep-Skat 联合团队

intep
skat

引用格式:

路枫, Wesley Wojtas, Roland Stulz, 朱继龙. 留坝县中华蜜蜂博物馆:《中瑞零碳建筑项目示范工程报告》[R]. 苏黎世: Intep-Skat, 2024.

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



目录

1.	中瑞零碳建筑项目背景	2
2.	项目初始状态	4
3.	中瑞合作	6
4.	项目成果	8
5.	经验总结	9

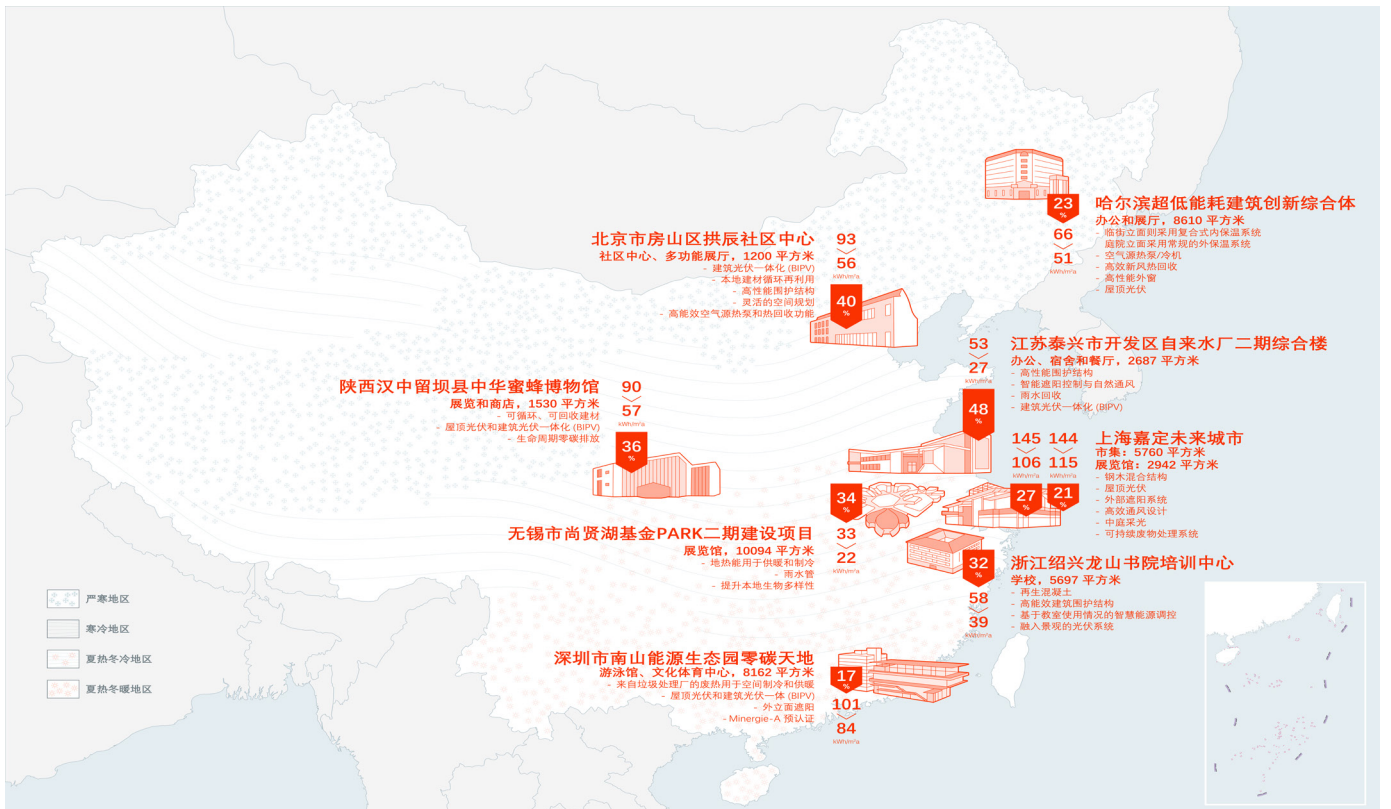


图 零碳建筑示范项目分布图。共八个项目，覆盖四个气候区。(图片来源:瑞士EBP咨询)



1. 中瑞零碳建筑项目背景

1.1. 中瑞零碳建筑项目简介

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筑项目,旨在通过引入瑞士的经验和技 术,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至零碳建筑技术标准
- 在中国四个典型气候区实施示范工程,以测试新的零碳建筑标准并寻找优化潜力
- 开展零碳建筑设计能力建设以及相关的知识传播

项目起止时间

2021年3月15日至2025年11月30日

项目对保护气候的影响

减少建筑领域二氧化碳排放

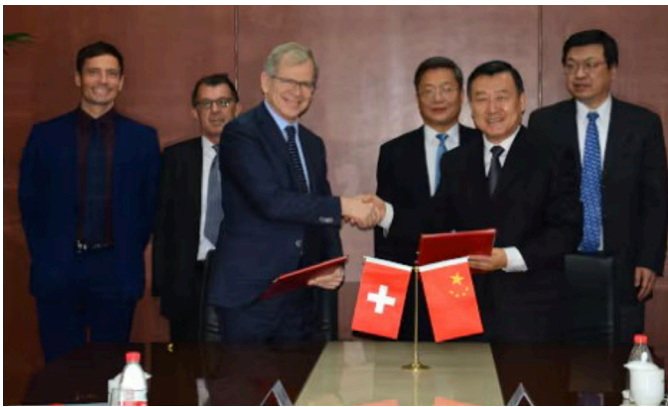


图1 瑞士驻华大使贝尔纳迪诺·雷加佐尼 (Bernardino Regazzoni) 于 2020 年 11 月 24 日会见中国住房和城乡建设部副部长倪虹并签署合作备忘录 (图片来源: 瑞士驻北京大使馆)

1.2. 示范工程的筛选流程

示范工程的目标与作用

- 达到中国国家零碳建筑技术标准的要求
- 示范工程作为案例研究,指导和教育更多项目实施零碳建筑目标

评估委员会和遴选过程

- 中国建筑科学院团队负责公开征集示范工程申请文件
- 启动由中国和瑞士专家参加的项目介绍会,完成答疑以及评估环节
- 由中国和瑞士专家按照评选标准进行项目评审
- 基于中瑞专家联合反馈和推荐,由住建部公布选定的示范工程

评选标准

- 资格标准: 获选项目应具有一定的政治承诺性、资金承诺性、可干预性、可支付性和可复制可推广潜力、可见性和可及性、多样性
- 评级标准(评估权重): 二氧化碳减排潜力和其他环境效益(40%)、受益人数(20%)、示范潜力(20%)、地方政府的激励政策(20%)
- 示范工程适用性(第一批): 是否可快速启动、与零碳建筑技术标准草案的兼容性、示范特性、工程与技术数据的是否容易获取

甄选时间

2023年3月

1.3. 工作流程

中瑞联合团队

中瑞专家团队由中国和瑞士两国的专家共同组成。中国项目设计团队首先提出设计原型和零碳设计方案,在了解了项目的设计特点后,中瑞专家团队为设计团队针对设计原型和设计理念进行反馈,并进一步根据项目的特点提出了更多的建议,以便设计团队后期根据项目的实际情况进行调整和采纳。瑞士团队还根据项目设计团队提出的问题,安排了一系列具体有关零碳设计的网络研讨会进行交流。瑞士专家提供的所有建议和思路均基于他们过去的相关项目经验,这些宝贵的经验不仅来自瑞士和欧洲,而且还来自世界上其他类似气候区。

中瑞合作的目标

此次中瑞合作的目标是共同把控和提高项目质量,推动项目达到零碳建筑标准。通过此次合作,瑞士专家团队不仅将瑞士的经验和专业知识带到中国,同时也从中国同行获得更多信息并学习相关经验,两方互惠合作,寻求在全世界范围内成功建造零碳建筑的最佳解决方案。

工作流程

中瑞两方通过网络研讨会、在线研讨会、快速技术反馈、专家研讨会、微信讨论和实地考察等各种线上线下工作方式,将初期想法转化为建设性建议与措施,在沟通过程中,开诚公布的信息交流对于测试想法的可实施性非常有帮助。

项目持续时间

2022年10月 -

为什么该项目被选为示范工程以及它能成为零碳建筑的潜力

设计和技术改进以及减排的潜力

- 该项目在非常乡村的环境中展现出独特的建筑精神,是展示零碳建筑(ZEB)如何促进生物多样性的优秀案例,项目团队展现出的开放性易于后期沟通,很有潜力成为ZEB零碳建筑。
- 项目设计团队思维开放活跃,愿意积极学习瑞士的经验。
- 项目所处的气候环境和场地条件与瑞士建筑存在相似性,例如建筑物理方面以及自然环境方面——瑞士经验的推广和实施将变得更加容易。
- 屋顶和立面可以轻松配备集成的节能解决方案,如光伏系统、遮阳系统等。
- 建筑使用和建筑运营的时间表可以灵活调整,以便进一步优化能源使用的效率。

瑞士专家可能提供的改进建议

- 建筑屋顶和建筑外立面采用集成式的节能解决方案:特别由 Adrian Altenburger 教授领导的 HSLU 团队提供支持。
- 针对建筑运营方案和物业管理模式提出优化建议,由 Intep 咨询公司的可持续建筑设施管理团队提供支持。

- 针对材料选择和循环建造理念提供建议,以减低隐含能耗和隐含碳排放,特别是由 Gianrico Settembrini 教授领导的 HSLU 团队提供的专业咨询服务。
- 针对能耗计算和碳排放计算提供支持,特别是通过瑞士 ZEB 零碳建筑标准制定者和能耗模拟计算专家 Martin Ménard,以及本地 ZEB 零碳建筑专家李寅提供的专业咨询服务和全过程追踪服务。
- 优化建筑能源设计方案的设计选型和组合方式。



图2 初期设计阶段的项目效果图 (图片来源:2023年3月17日项目演示,西安建筑科技大学)



2. 项目初始状态

2.1. 项目组织规划

2023 年 3 月,“陕西省汉中市留坝县火烧店镇蜜蜂研究与乡村振兴旅游基地”项目被选中瑞零碳建筑项目第二批示范项目之一。该项目是由中国住房和城乡建设部与瑞士发展与合作署共同发起的部级国际合作项目。项目于 2023 年 5 月启动,预计在中瑞团队大约一年的共同努力下,将于 2024 年正式竣工。

业主

留坝云牧乡村旅游发展有限公司

主导设计团队

西安建筑科技大学建筑设计研究院

中瑞零碳建筑国际联合咨询团队

- 西安建筑科技大学建筑设计研究院, CABR
- Intep-Skat, Low-tech, UAD, HSLU, EMPA 等

2.2. 项目概况

项目地点

陕西省汉中市留坝县(气候区:寒冷地区,太阳能资源区:III)

建筑用途

综合性建筑,集科普研究、互动体验、蜂文化展示和蜂产品销售于一体。

结构体系

钢结构

面积指标

- 用地面积:4674 m²
- 建筑面积:1530 m²
- 建筑用能参考面积:1391 m²

投资成本

2200 万元人民币

建筑概念亮点

(见附录 A.1 图纸)

能源方案亮点

(原理图见附件 A.2)

- 供暖和制冷:高效空气源多联变频机组
- 带有热回收功能的机械通风系统(可灵活选择切换为自然通风)
- 照明系统:选用高效的照明设备

其他可持续设计理念

- 通过合理布置玻璃幕墙开启扇、控制建筑进深等措施,增强建筑的自然通风效果。
- 被动式的结构性外遮阳设计,尤其在设计为六边形的建筑形体中,可以有效降低夏季太阳辐射,降低制冷能耗,同时又能满足冬季日照需求。
- 景观设计的「海绵公园」理念
- 场地内可再生能源的最大化利用:光伏系统的总装机容量为 112.9kWp,分为三部分:
 - 屋顶光伏采用光伏建筑一体化系统(单晶硅模块),总装机容量为 58.32kWp
 - 停车场光伏棚采用光伏附着式系统(单晶硅模块),总装机容量为 40.45kWp
 - 立面竖向遮阳光伏板采用薄膜光伏系统(CdTe碲化镉模块),总装机容量为 14.13kWp



图3 项目位于乡村自然环境中(图片来源:西安建筑科技大学)

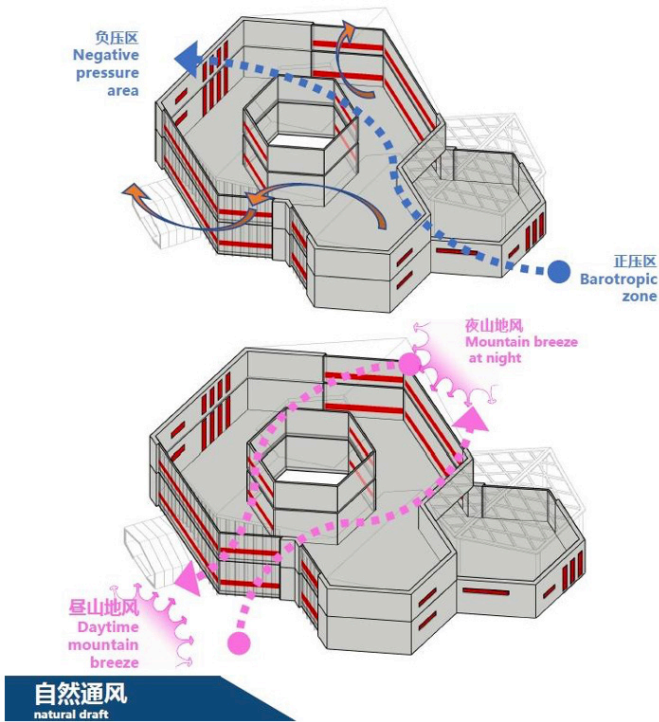


图4 自然通风作为减少能耗的被动措施 (图片来源: 2023年3月17日项目演示, 西安建筑科技大学)

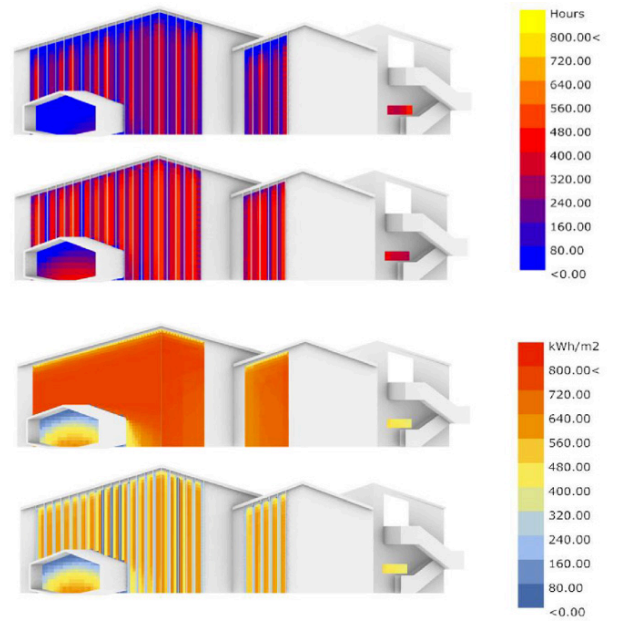


图5 幕墙的日照分析与热辐射分析 (图片来源: 2023年3月17日项目演示, 西安建筑科技大学)

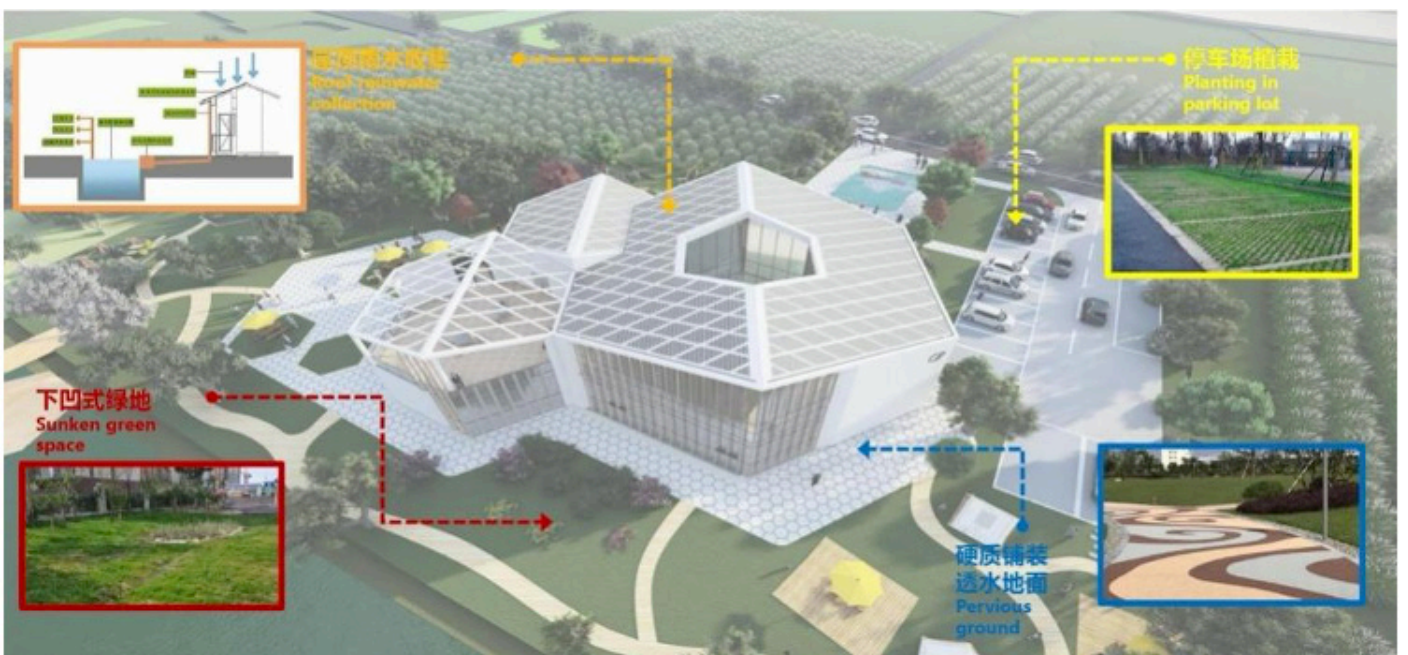


图6 「海绵公园」景观设计的实施方法 (图片来源: 2023年3月17日项目演示, 西安建筑科技大学)



3. 中瑞合作

3.1. 示范工程设计团队简介

西安示范项目的建筑设计团队由西安建筑科技大学建筑学院的研究生导师罗智星教授、周岷教授和校外导师刘月超(中国建筑西北设计研究院有限公司)带领研究生共同设计完成,形成了一支“产学研用”的设计团队,在设计的全过程就贯彻建筑设计与零碳技术相融合的理念。本设计团队基于“在地性、小尺度、可变性”的设计思想完成了这座位于秦岭腹地的乡村零碳公共建筑。“在地性”的设计营造了村民的文化认同和价值认同,从村民的角度潜在延深其归属感;“小尺度”的设计策略,在降低碳排放的前提下更加注重轻质高强的结构,采用低碳材料,塑造简约精致的空间;“可变性”思维在设计阶段就确立了零碳目标,对于可能导致大量碳排放的设计手段进行规避,精确地控制设计阶段碳排放量。

项目的景观设计由西安建筑科技大学艺术学院关伟锋副教授团队完成。结构与机电设计由西安建筑科技大学设计总院的多位工程师完成。

3.2. 项目总体初评

总体印象

- 这一成熟的建筑设计方案采用了整合设计的设计方法,建筑使用寿命为50年,由多学科交叉的综合性设计团队主导设计完成,并且有相关学生参与设计过程。
- 该项目在周边乡村自然环境展现出其独特性,是展示零碳建筑(ZEB)对生物多样性贡献的良好示范,易于传播,完全有潜力实现ZEB零碳建筑目标。
- 项目所处的气候环境和场地条件与瑞士建筑存在相似性,例如建筑物理方面以及自然环境方面——瑞士经验的推广和实施将变得更加容易。
- 屋顶和立面可以轻松实现一体化集成式的节能设计方案,例如光伏系统、遮阳系统等。
- 高层高的内部空间灵活易用,未来无需拆除即可轻松满足其他建筑功能的需求,这是对可持续性的重要贡献。
- 建筑设计呈蜂巢形态,与矩形相比,这种形状提供了更多的建筑表面面积,同时庭院、良好朝向的玻璃幕墙和多层开放空间帮助大进深的建筑体量获得充足的自然光。
- 结构设计上提供了高度的灵活性,可以轻松调整

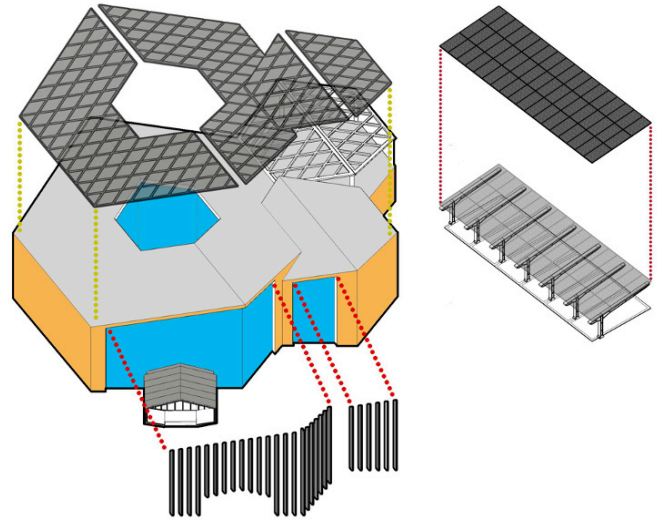


图7 通过合理利用可再生能源抵消建筑能耗(图片来源:2023年3月17日项目演示,西安建筑科技大学)

平面布局,以满足不同规模的展览需求或其他建筑功能的需求。

- 根据当地风向调整布置建筑体量,有效避免中庭热岛效应。

瑞士团队重点关注的设计难点:

- 可拆卸设计(Design for Disassembly, DfD)

3.3. 初步讨论与优化方案

- 遮阳设计:建议进一步详细论证遮阳方案,特别是采用半透明薄膜光伏面板作为遮阳时,必须考虑室内空间的采光影响和颜色变化。
- 用能监测系统:应考虑设置储电设备或向当地电网输电的可能性,进一步优化系统效率。
- 门窗性能:建议采用U值为 $0.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 的玻璃,门窗总体性能U值应为 $0.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (中国K值约为 $1.0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)。
- 露台设计:2楼露台的开放式屋顶可集成光伏模块。
- 景观建筑:景观设计仍处于早期概念设计阶段,建议景观设计与建筑设计相结合,尤其是室内和室外、自然与建筑的转换和联系。
- 生物多样性:在景观设计中,可以考虑为鸟类和昆虫设计生态友好设施,并以这种有趣的方式增强其科普功能和教育意义。
- 可拆卸设计:尽管通过精确设计减少了承重钢结构的用钢量,但钢材生产阶段的碳排放仍然相对较高,且其使用寿命超过50年的建筑使用寿命,因此应当考虑50年后的拆卸和回收。建议将可拆卸设计作为设计目标之一,并在具体的案例研究中进一步研究并检验中国建筑材料的再利用情况和

回收机制, 为未来中国的可拆卸设计打下相应基础。

- 室内设计: 建议示范项目团队提供现实可行的方法, 更多使用回收建材或再利用材料。

3.4. 示范项目团队的反馈与方案优化

- 门窗选择: 将考虑采用上述 RTIS (快速技术反馈建议) 中建议的门窗和折叠门。
- 设计团队将采用以下原则来尽量降低建筑材料的碳排放: 少建、轻建、绿色建造、智慧建造、整体建造、长期耐久。
- 进一步挖掘「循环建造 Circular Construction」的潜力: 在建筑设计中纳入可拆卸设计理念和重复利用回收建筑构件的理念。室内设计中也将考虑使用更多再生材料或重复使用的材料。
- 将考虑采取相应措施, 增加项目场地的生物多样性

3.5. 瑞方专家进一步意见和建议

- 采用K值更好的高性能窗门 (包括玻璃、窗框和门框)
- 绿色植物与光伏系统的设计结合
- 在景观设计中体现生物多样性和邻里互动
- 建议采用复合通风系统
- 当前蜜蜂博物馆的施工图细部设计与可拆卸设计 (DfD) 和循环建筑经济的原则不符。建议在项目深化过程中采用符合可拆卸设计和可持续建筑的设计方案, 例如可拆卸的预制混凝土楼板、可拆卸的复合式梁等。

3.6. 基于中瑞交流的深化改进

由于该项目位于农村地区且规模较小, 因此施工团队主要由没有经过专业培训的工人组成, 这与其他示范项目有所不同。基于这一条件, 示范项目团队选择采用传统施工方法, 以降低施工过程中的风险。

3.7. 能耗计算

方案改进后的能耗计算结果

- 基准建筑: 89.92 kWh/(m²·a)
- 设计建筑: 57.33 kWh/(m²·a)
- 能源需求总量: 79' 700 kWh
- 光伏系统发电量: 153' 700 kWh 或 110.49 kWh/(m²·a)
- 碳排放强度指标 (运营阶段): 0 kg/(m²·a)

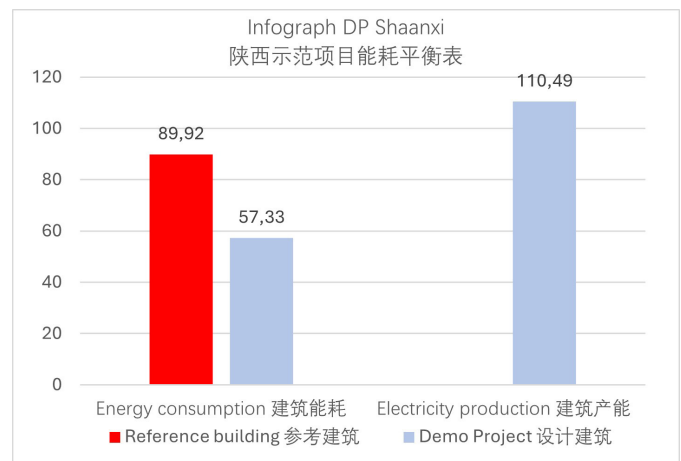


图8 项目能耗比较 (图片来源: 中瑞零碳建筑项目)



4. 项目成果

4.1. 项目成果的总体评价

建筑总师 吕成, 中国建筑大师、中国建筑西北设计研究院有限公司总建筑师

陕西汉中留坝火烧店乡村振兴蜜蜂研学旅游基地项目的设计融合了地域文化、生态保护和互动体验, 为游客提供了全面深入了解蜜蜂文化和生态保护的平台, 为社会的可持续发展和双碳事业作出了积极的贡献。

主创建筑师 罗智星, 西安建筑科技大学建筑学院

我们探讨村镇公共建筑的小尺度、在地性与可变性, 用气候建筑的手法尝试建筑生命周期碳中和的可能性, 通过全专业协同、全过程碳评估实现零碳排放的目标。

建设方 李冬, 留坝县云牧乡村旅游发展有限公司总经理

陕西汉中留坝火烧店乡村振兴蜜蜂研学旅游基地项目是领先的零碳建筑项目, 在结合秦岭祖脉、中华蜂百花蜜两大 IP 的同时, 将乡村振兴、研学旅游和零碳理念共同体现, 也是留坝县实现零碳高质量发展目标的躬行实践。

使用方 陆彤, 黑龙江省寒地建筑科学研究院总规划师

高性能的保温系统与高效率的清洁能源利用, 为我们提供了健康舒适的环境与经济合理的运行成本, 创新综合体不仅是零碳建筑示范项目, 同时也是低碳建筑研究的综合实验平台, 为持续研发与创新提供了有力的技术支撑。

4.2. 确认该项目成为零碳建筑示范

工程

我们确认该项目达到零碳建筑标准中对于零碳建筑的相关规定和目标, 特别是在运营阶段能实现碳排放为零的目标。

确认该项目在整个生命周期内考虑了碳排放, 并尽最大努力减少了建筑隐含碳排放。

5. 经验总结

5.1. 管理与组织

中国建筑项目短暂的设计周期对于瑞士专家团队来说是非常具有挑战性的,因此,瑞士专家团队与中国示范建筑项目团队之间密切、持续的沟通在项目设计和施工过程中至关重要。在合作过程中,瑞方团队需要在极短的时间内回应中国团队的诉求,并快速投入相关技术支持,以便在短时间内将想法与概念迅速融入到项目中。

能耗和碳排放模拟计算的设计参数和模拟能耗数据比任何文字或理论都更有说服力。例如,利用瑞士专家开发的计算工具得出的数据与中方团队提供的数据进行比较和分析,瑞士团队可以与中国团队进行更有建设性的沟通并顺利推进项目实施。由此可见,该项目的成功得益于中瑞双方团队密切合作。

5.2. 技术解决方案

目前光伏建筑一体化 (BIPV) 正在发展中,并且非常适合未来的零碳建筑 (ZEB)。北京示范项目与本地光伏生产商合作,开发了一种具有高技术水准和美学品质的BIPV产品。该产品应在中国乃至全球广泛推广。

在中国,木结构的实施非常困难,因为木结构的防火标准规定非常严格。中国木材资源的短缺可能是导致这些不利于木结构的法规存在的原因之一。

5.3. 交流合作

项目推进过程中,中瑞两方积极使用了以下沟通方式:

设计工作坊及技术反馈:

- 专家启动研讨会
- 专家项目更新研讨会
- 线下研讨会及现场参观
- 楼宇自动化/智能控制启动会议

中瑞零碳建筑项目首批示范工程联合专家研讨会

- 零碳建筑责任手册
- 循环建造
- 木结构建筑的消防安全

- 设施管理和零碳建筑运营
- 零碳社区
- 流体动力学 (CFD) 模拟计算
- 绿化与光伏
- 瑞士技术和产品

有关以下内容的快速技术反馈 (RITS)

- BIPV 建筑光伏一体化解决方案,包括外墙光伏和光伏瓦,本地产品制造商推荐 KBOB 瑞士建材隐含碳数据库介绍
- 低碳水泥 LC3
- 高性能门窗
- 设施管理
- 遮阳系统和产品
- 绿化和光伏

问答表和进一步的相关主题支持

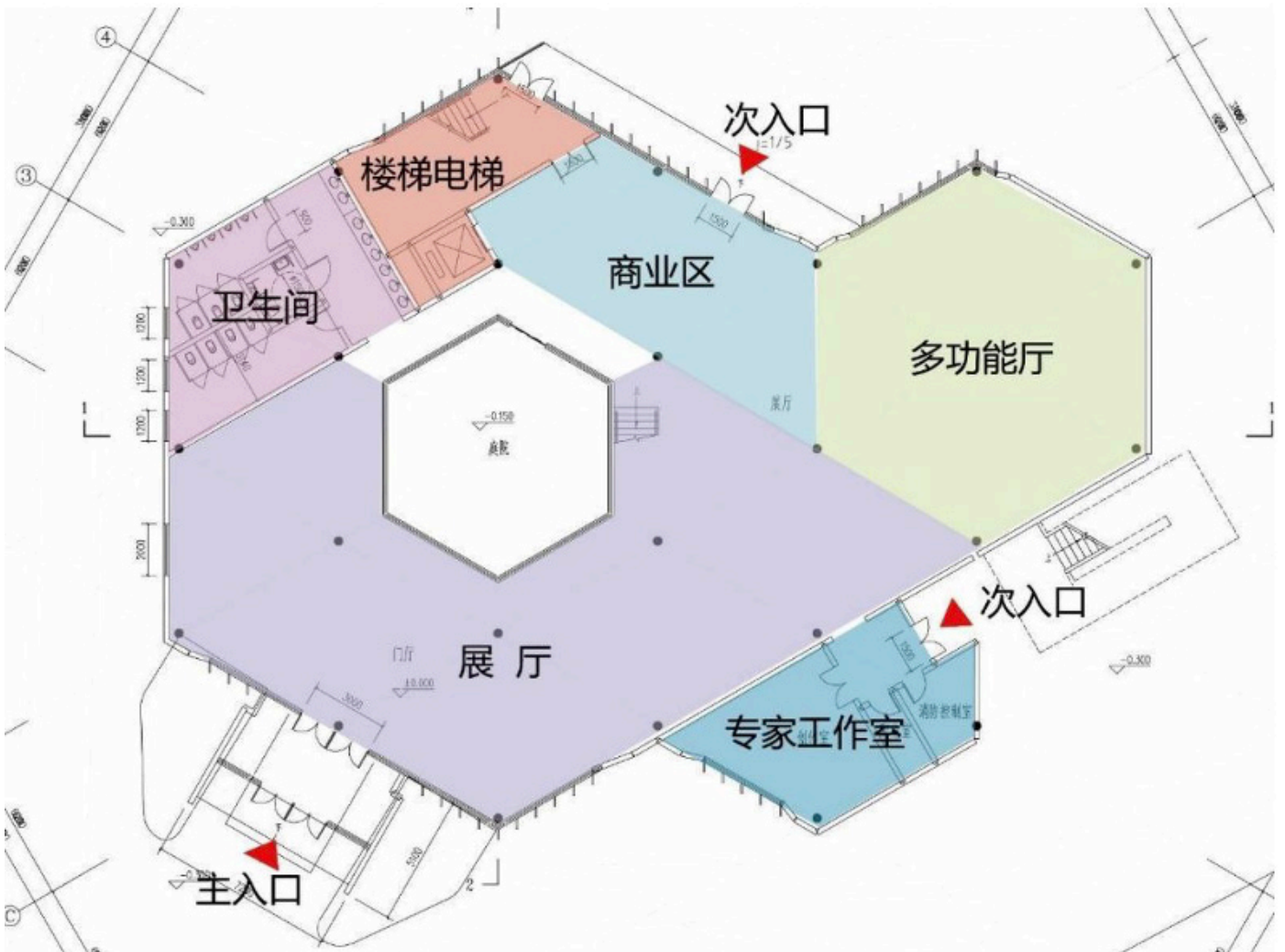
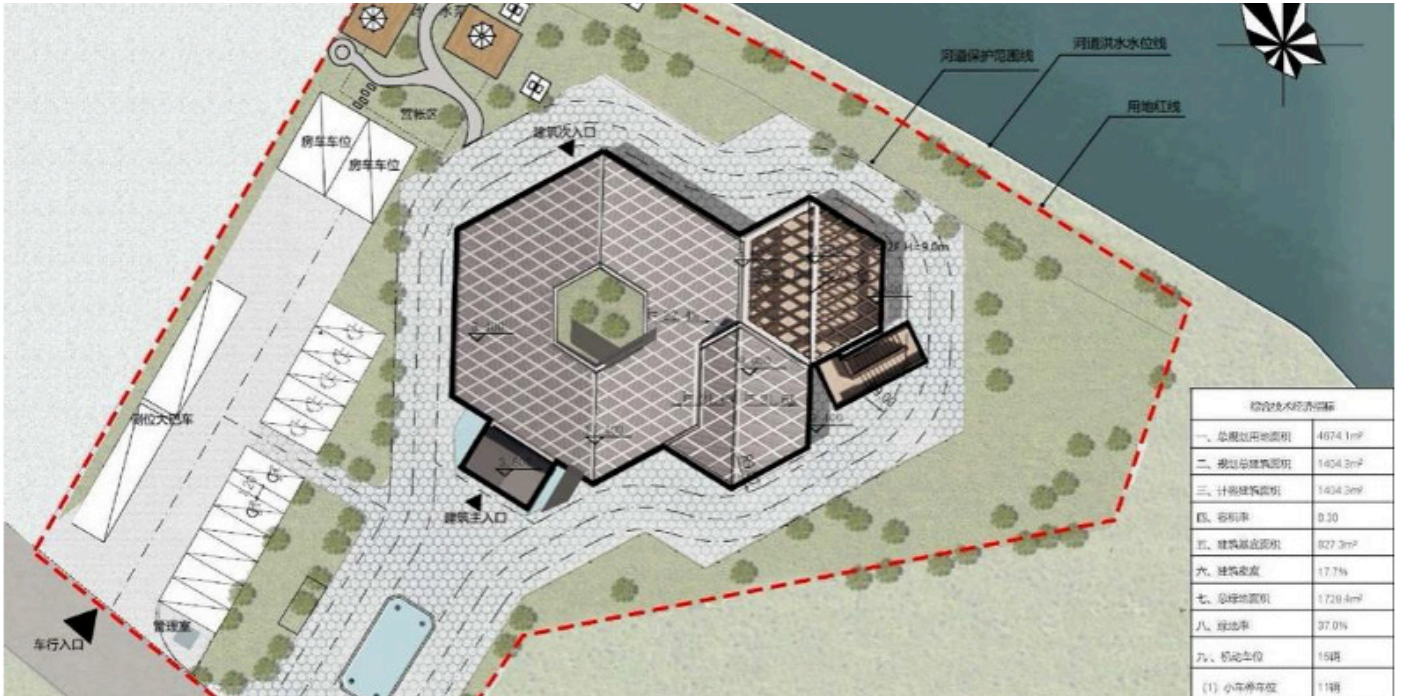
- ISO 规范和 瑞士工程师建筑师协会标准 SIA2040
- U 值/可见光透射率 (VLT)
- 热回收/空气处理机组/AC
- 地热通风系统 Earth Tube System

其他更多合作:

- 制定、共享和展示零碳建筑责任手册
- 通过微信、电话、邮件定期交流讨论
- 施工现场实地考察及技术交流
- 关于各种零碳建筑主题的公开和内部讲座
- 有关零碳建筑政策、法规、标准、概念和技术等的宣传册
- 年度近零能耗全国大会、中瑞零碳建筑产学研合作论坛等活动交流研讨



附录 1. 方案





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