超低能耗建筑施工要点

中天集团绿色建筑研究所

管乃彦

2023.03.29

超低能耗建筑工程特点

与传统建筑形式相比，施工过程主要差异是：

1、进度及工序的安排；

2、保温构造（薄抹灰、真空绝热板、干挂、硅墨烯、三明治）；

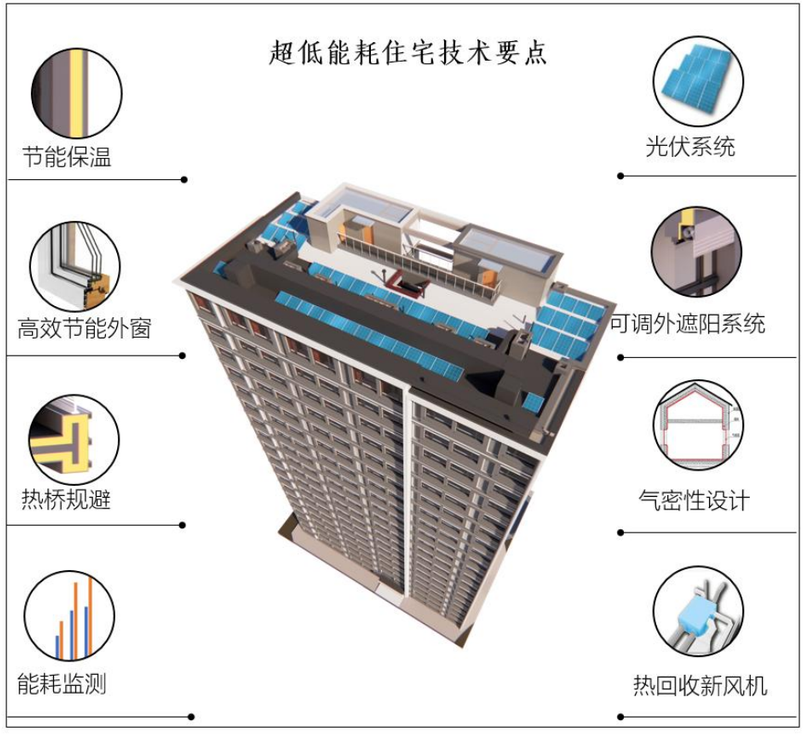
3、断热桥处理；

4、气密性处理（门窗、孔洞、主体施工）；

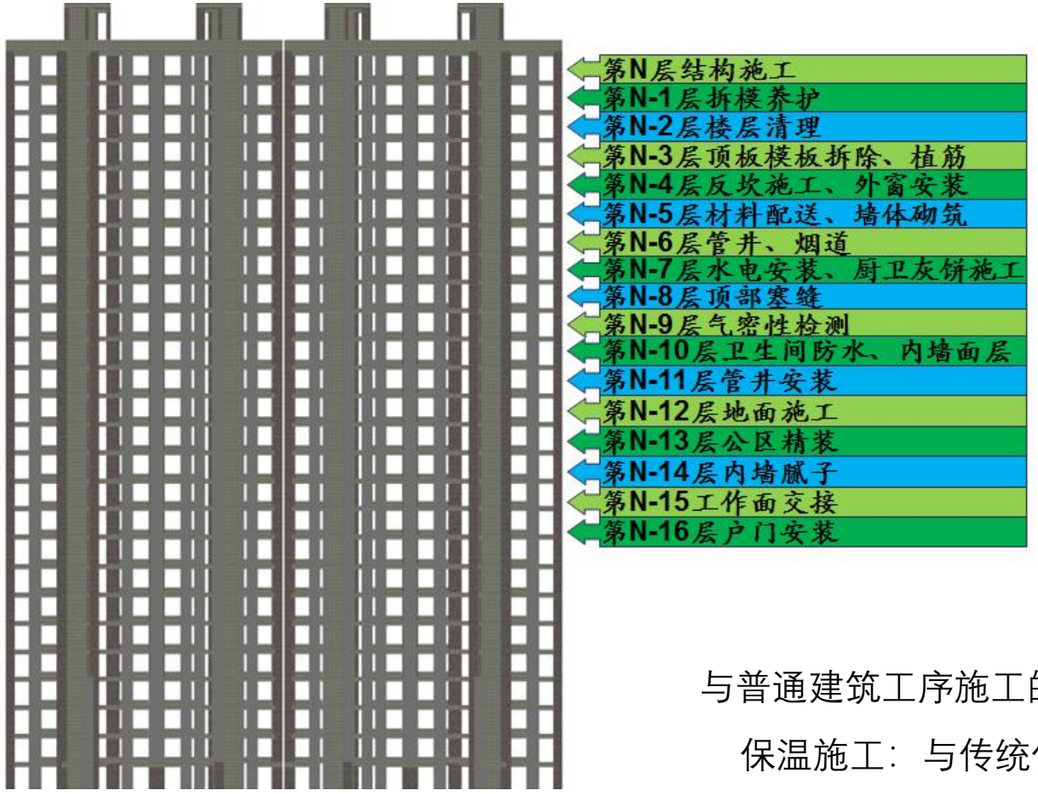
5、气密性检测；

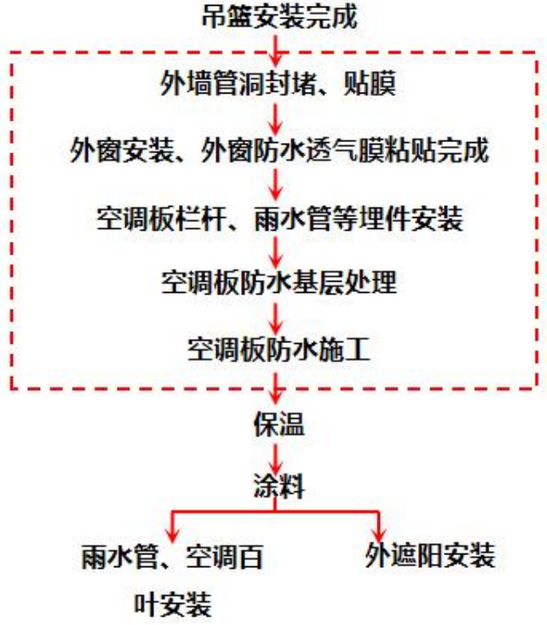
6、防水女儿墙、地下室；

7、空调设备施工；



一、超低能耗建筑工序特点

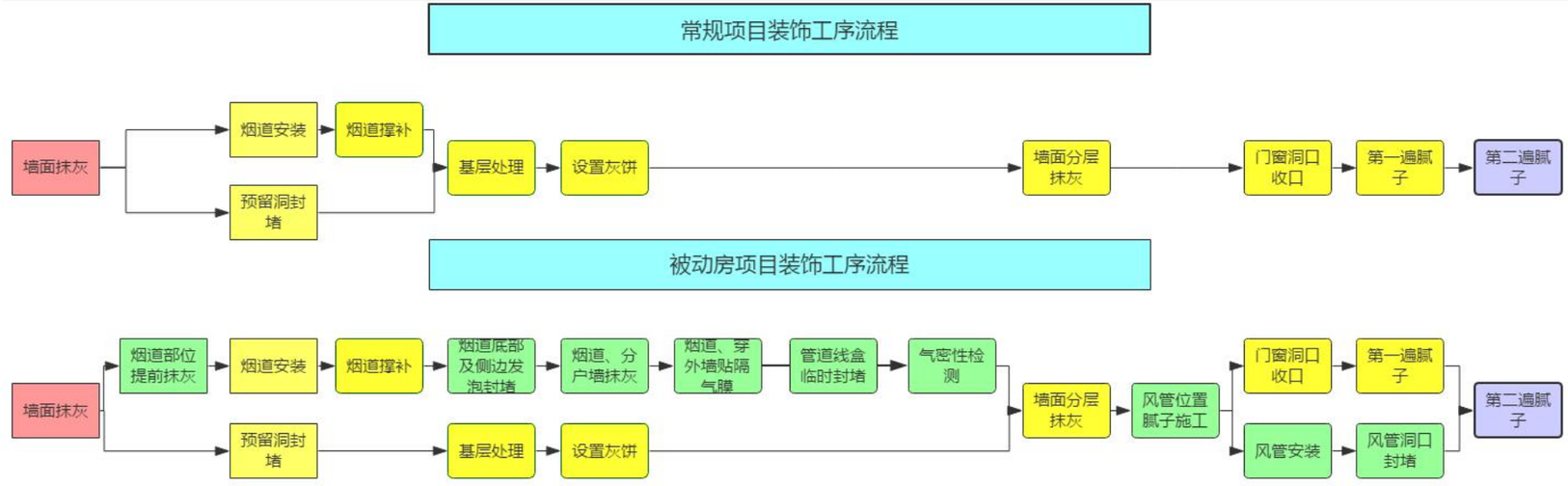




与普通建筑工序施工的不同：

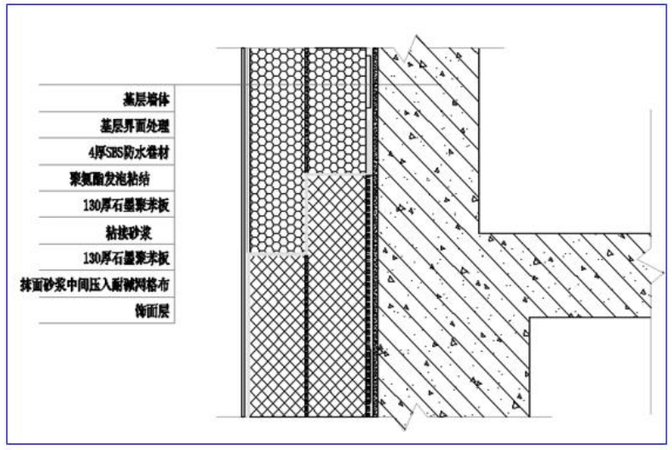
保温施工：与传统住宅建筑工序相比，增加外墙洞口封堵、贴膜工序。

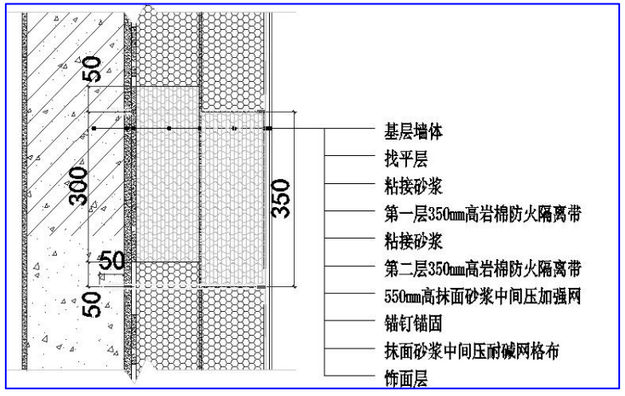
常规项目与被动房项目室内抹灰工序流程对比



除了上述两种工序外，门窗安装同样增加粘贴隔汽膜、透气膜工序。

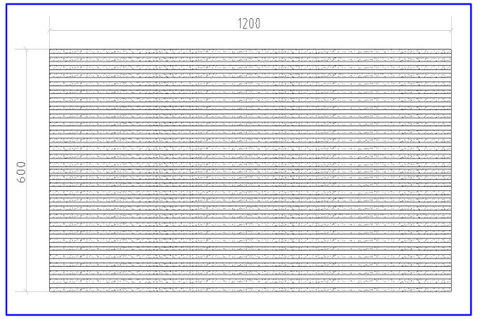
二、超低能耗建筑保温及断桥

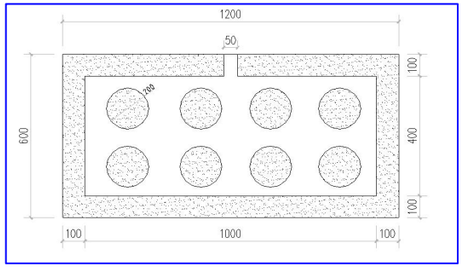




要做到施工无热桥，保温拼接缝隙及内部空腔会形成气流通道，造成显著的对流热损失，连续空腔还会形成环流，使保温大面积失效。（**一体式锁扣保温装置**）。

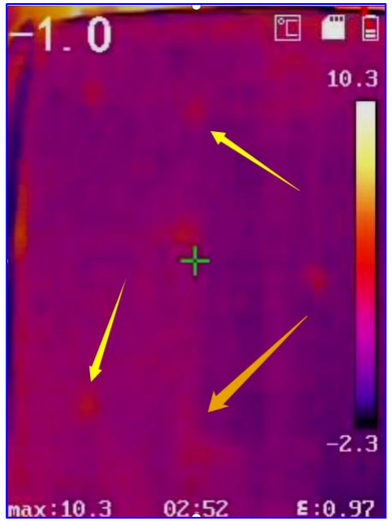
1、保温施工

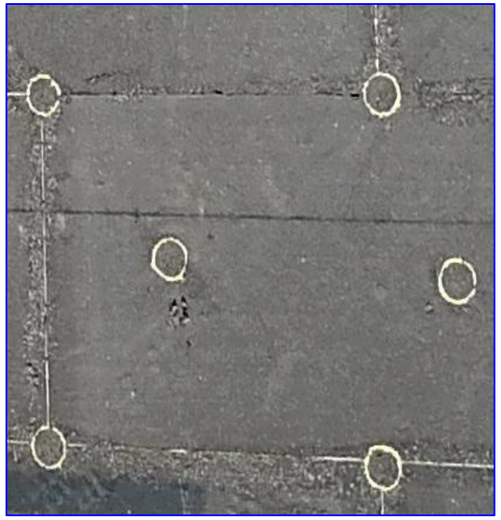




2、无热桥施工

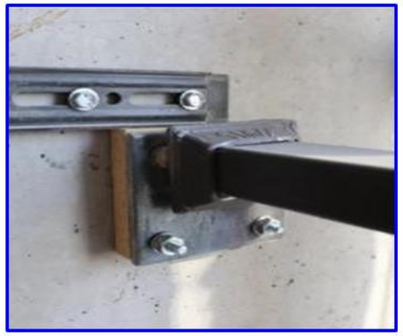
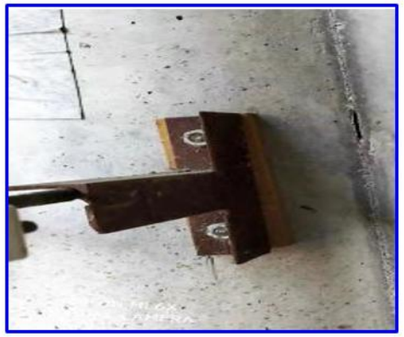
针对被动房可能涉及到冷桥的不同部位、不同材质采用不同的无热桥措施，涉及多种断热桥材料，多种施工工艺流程。如在实验检测过程中发现保温钉的热桥作用比较强烈，为了改良外墙保温锚固件，通过供应商设计了断热桥锚栓，这种保温钉内部是镀锌螺丝钉，外部是端帽与涨管为一体的聚苯乙烯高分子化合物塑料，能够有效阻断热桥。



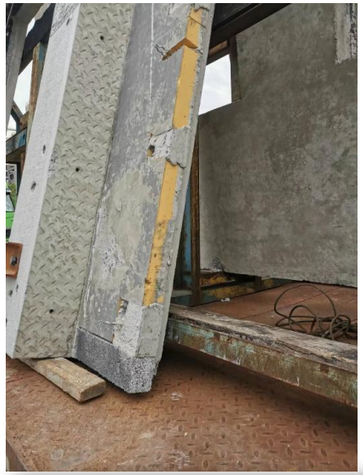


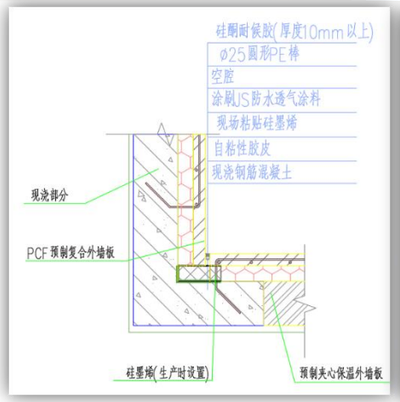
3、--无热桥施工

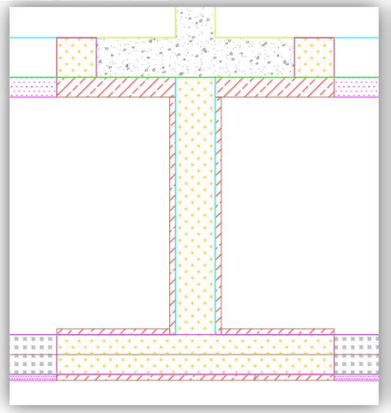
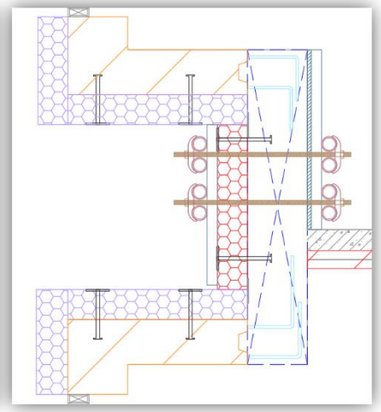
呼和浩特中海项目作为我国首个严寒地区的被动房，无热桥施工体系和方案的选用对被动房建设的成败具有决定性作用。项目需要做热桥处理的部位：门窗洞口、连廊、设备平台（新风空调室外机）、钢结构（出屋面楼梯、雨棚、屋面造型、洋房坡屋面（钢梁）、设备平台栏杆、连廊栏杆）、高出屋面女儿墙、烟风道、透气管等。

4、其它保温类型





节点位置需在PC构件吊装完成后，在构件接缝处后补保温条，保证保温连续，施工较为复杂。

为保证保温连续，避免冷热桥，阳台、凸窗等部位支模较为困难，阳台部位需在二次结构进行保温施工，易发生遗漏或涨模现象。

5、深化设计--内嵌式被动窗（中置窗）的深化

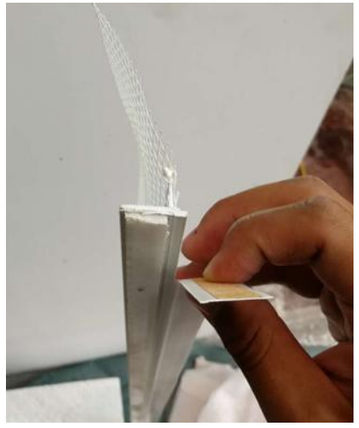
聚氨酯副框固定前先引孔，采用副框配套的锚栓透过副框与墙体连接，聚氨酯副框置于墙体与窗体之间，没有直接接触，减小热损失，起到了断桥隔热的作用。采用专用的节能副框粘接剂，保证副框与结构墙体间的密封，同时辅助副框与墙体间的固定。窗体与附框间10mm的缝隙采用聚氨酯发泡剂填充，室内外两道气密膜的使用，保障门窗的气密性。

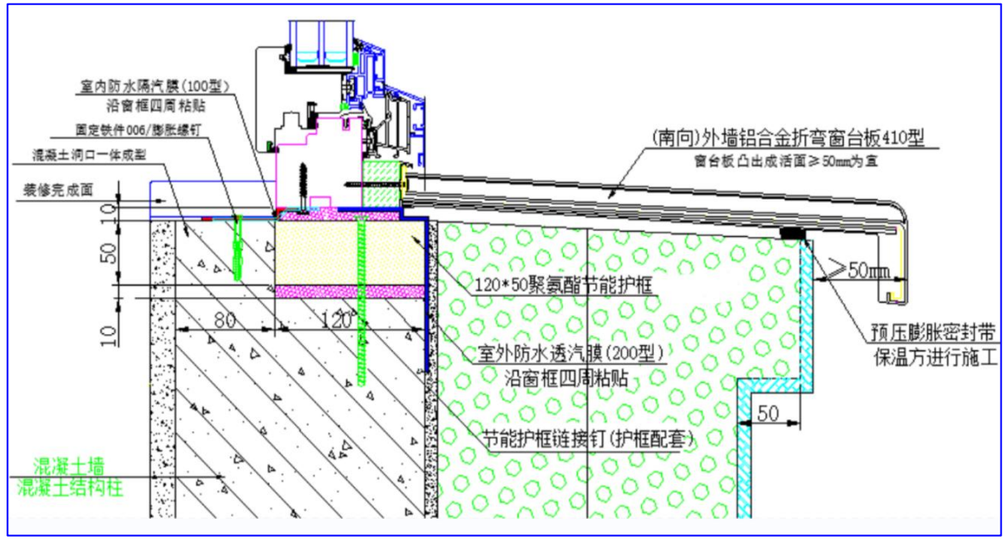
中置窗与聚氨酯副框固定

防水透汽膜外挂式效果图

专用锚栓

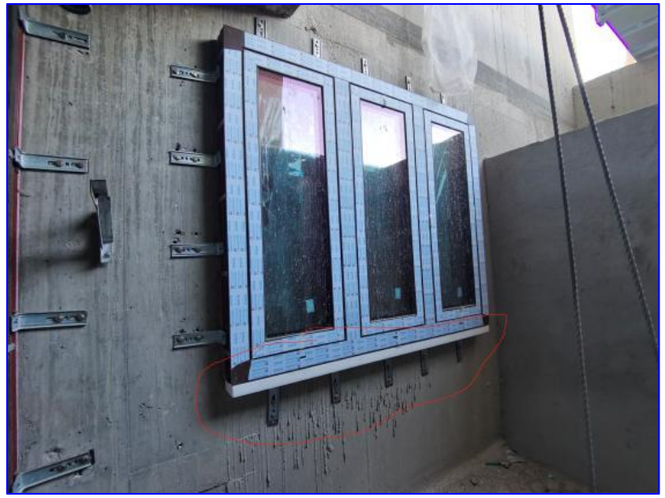
6、深化设计--内嵌式被动窗（中置窗）的深化



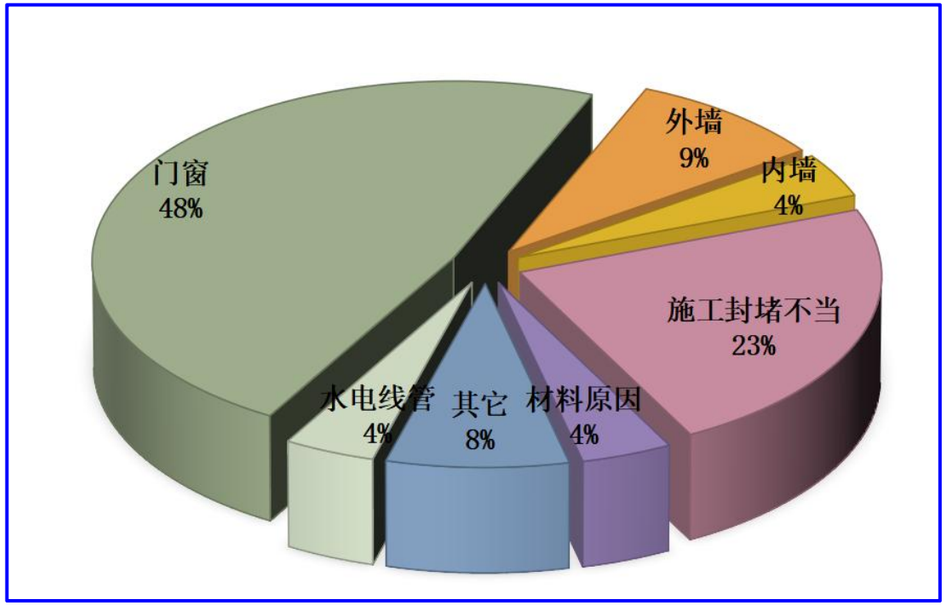


7、深化设计--内嵌式被动窗（外挂窗）的优化

对于被动房部分公共区域等不能满足中置窗的施工条件时，需要设置外挂窗，当动式房屋建筑外窗采用外壁式安装时，为了保持窗框的稳定性，常常需要利用托架对其进行支撑。



三、气密性过程控制及数据分析

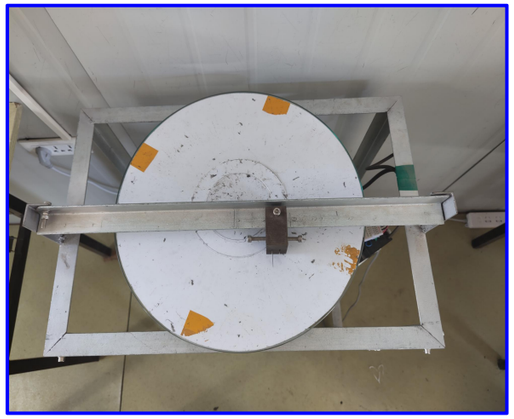


一次设计图纸并未对如何解决或提高施工质量的方案给出详细说明，所以如何在施工准备阶段将气密性影响因素提前识别，提前预控，提前深化也是影响气密性指标的一项重要因素。因前期预留预埋碰撞导致的主体结构成型质量差、裂缝漏气、管线破坏四处串气等均会影响气密性指标，所以需要在结构施工前，通过前期的优化设计，提前对施工的各部位管线、预埋进行识别，有效避让对施工工艺提前进行策划，才能根本解决以上施工痛点。

总户数	已检测	剩余	检测不合格	检测合格率
820户	570户	250户	11户	98.1%

1、气密性现场施工控制--隔汽膜、透气膜施工

在被动房建筑的节能保温中，如何改进改进窗、墙、保温的节点施工工艺、保证建筑维护体系的整体热传导性能、气密性是房屋建筑施工的关键所在。



涂胶 压平

防水隔汽膜粘贴完成

2、精细化管理控制—尺寸偏差控制

（1）门窗洞口偏差控制

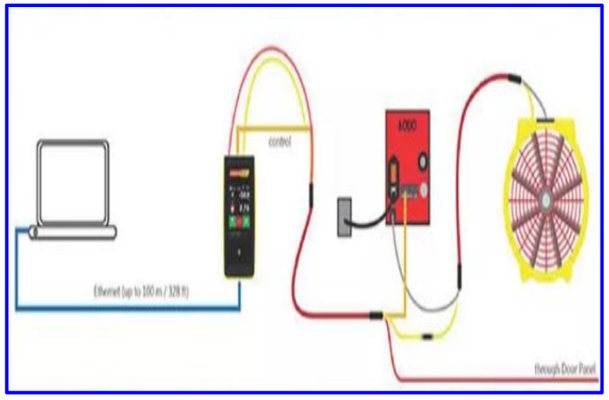
通过BIM模型的搭建，对主体结构与建筑进行图纸审查，实现门洞过梁及二次结构一次优化。如：当门窗洞口上部过梁距离结构梁梁底小于400mm时，可将过梁和上部砌体结构通过使用铝模板，由结构一次深化带出，原过梁与结构梁板之间的砌体改混凝土后需设计进行重新配筋验算。

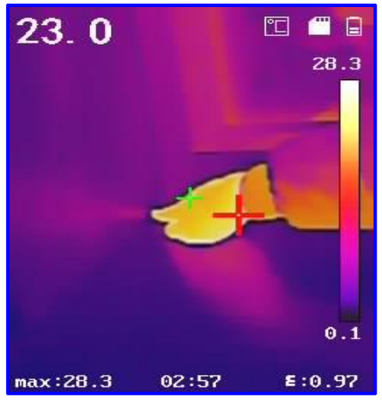
（2）建筑隔墙、构造柱及墙垛偏差控制

根据施工一次成活的原则，调整结构设计。在满足建筑抗震设计前提下，尽可能将外墙设置为结构受力全现浇混凝土墙体，避免结构二次开洞，尽量结合建筑设置窗洞，窗下墙部分宜设计为整体连梁（无需设缝），或双连梁。取消与主体结构连接的小尺度砌体，如墙垛等，减少二次浇筑构件，尽量做到主体结构施工期间一次成型，减少二次浇筑，二次抹灰或封堵出现的冷缝或缝隙，增强主体围护结构的气密性能。

3、精细化管理控制—气密性检测

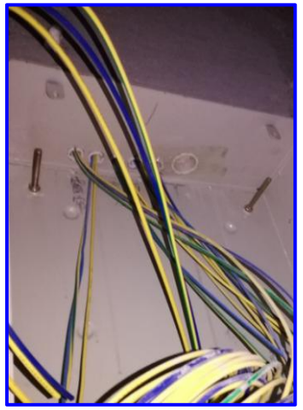
目前，我国虽已有针对围护结构部品气密性的测试标准，但均为引用国外标准，针对于我国的建筑形式、建筑结构及施工工艺存在一定差异，例如门窗、保温等。建筑整体气密性检测在我国的受重视程度还较低，技术标准、验收指标、测试方法等许多方面的工作亟待改进，检测设备也均为外国进口。





4、检测临时封堵控制措施

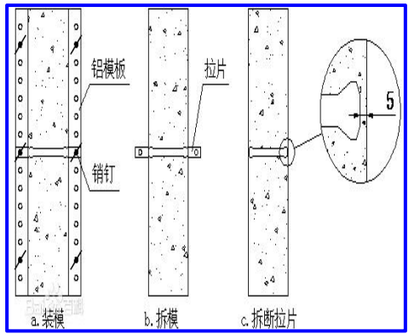
被动房的气密性除了在施工前后过程需要控制外，在检测环节的封堵措施也尤为重要，此环节关系到房屋气密性能否达标。受施工过程的影响，在检测环节往往存在各类孔洞影响检测，如何识别孔洞并对孔洞采取可行的封堵措施也是超低能耗建筑重要研究的一项，为排除因孔洞封堵问题导致的不利因素，项目团队制定了详细的关于检测前的封堵内容与措施，以满足检测需要。



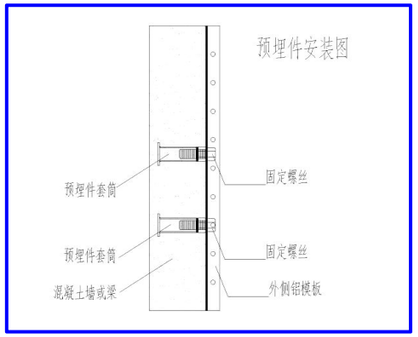
5、深化设计--支模体系深化

铝模板加固拉片设计：

为了提升建筑结构整体气密性，剪力墙模板支设过程中墙体不作穿墙开孔。呼和浩特项目采用铝模板拉片体系，围护墙体采用一次性拉片加固在保证外墙气密性的同时也提高了混凝土工程成型质量，保证了门窗洞口的尺寸精度。但是拉片与预埋线盒等容易产生冲突，因此，需要对铝模体系进行深化，对线管线盒、爬架支座、电梯附墙等进行深化调整，以保证后续施工顺利进行。



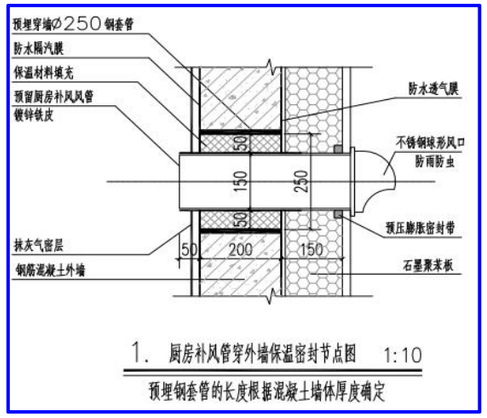
被动房穿外墙孔洞一体化预埋装置，采用套管不穿墙的预埋方式，按附着式升降脚手架支座、塔吊附墙、施工升降机的附墙深化图的平面预埋定位尺寸及立面预埋定位尺寸进行逐点放线预埋。



6、深化设计--穿墙、穿楼面管道深化

穿墙、穿楼面管道深化做法：

图纸设计明确的气密性封堵部位：门窗洞口、厨房补风阀、燃气出墙管道、新风进、回风管、穿外墙电气管线、新风机冷媒管、太阳能热媒管、太阳能出屋面热媒管、外墙入户水管、消防管道、强、弱电电缆入户、入楼处电缆与套管间封堵、卫生间透气管出屋面气密性封堵、烟风道在每层楼板、墙面及屋面交界位置气密性封堵等**可能影响气密性能的近100个点位进行了优化，对不合理处借鉴其它被动房施工实践经验进行了重新深化并通过了设计院确认。**



1. 厨房补风管穿外墙保温密封节点图 1:10

预埋钢套管的长度根据混凝土墙体厚度确定

			次成型	
17		穿外墙新风管、排风管、补风管、燃气壁挂炉排风管		（1）基层及孔洞清理：先将孔洞内留存的杂物进行清理，待清理干净用钢丝刷刻孔洞周边刷毛，用吹风机吹干净。 （2）洒水湿润：用喷壶进行喷水润湿，在施工前一小时进行喷水，施工时再进行小量喷水，以便施工。 （3）填塞发泡聚氨酯：将提前深化制作的定型化发泡聚氨酯填在预留套管与洞口之间的间隙之中，保证两端聚氨酯平面与墙面基本齐平。 （4）发泡封堵：封堵后在两端聚氨酯与预留套管之间的缝隙进行发泡，以保障发泡密实度，待发泡完全干透后，对表面进行平整处理。
18		燃气入户管、防水穿墙电缆管、防水穿墙水管		（1）基层及孔洞清理：先将孔洞内留存的杂物进行清理，待清理干净用钢丝刷刻孔洞周边刷毛，用吹风机吹干净。 （2）洒水湿润：用喷壶进行喷水润湿，在施工前一小时进行喷水，施工时再进行小量喷水，以便施工。 （3）填塞岩棉：将套管与管道之间的缝隙用岩棉填塞密实。 （4）砂浆封堵：待岩棉稳定后，管道两端用砂浆进行封堵，抹实，养护。 （5）隔气膜（室内）透气膜（室外）粘贴：粘贴方法同上。
19		冷媒管、热媒管		操作步骤：基层处理→洒水湿润→管道两端与混凝土之间的缝隙用PVC管专用胶填塞密实→隔气膜（室内）透气膜（室外）粘贴（粘贴方法同上）
20		出户电箱、穿外墙线盒封堵		穿墙开关线盒亦需要做气密性处理，处理流程： 基层处理：孔洞内留存的杂物进行清理，待清理干净用钢丝刷刻孔洞周边刷毛，用吹风机吹干净。 洒水润湿：用湿毛巾将孔洞周边混凝土进行润湿 封堵：预留管与电线之间缝隙发泡剂2公分填塞密实饱满，外侧用玻璃胶进行封口。 隔气膜（室内）透气膜（室外）粘贴：粘贴方法同上。
21	特殊注意项	外墙变形缝		以厚度尺寸吻合的挤塑聚苯板塞入变形缝中伸入墙内1200mm，外侧按透气膜粘贴工艺

7、深化设计--穿墙、穿楼面管道深化

穿墙管道技术创新深化：

为了能有效降低因穿墙管道预埋导致的气密渗漏，提高穿墙管道预埋的一次成活率，免去管道与预埋套管之间的发泡胶隔热封堵施工和隔汽膜透气膜粘贴施工环节，开发了系列装置。如：一种设置在被动房穿外墙的多功能一体化装置，该装置可一次预埋成型，后期可与管道直接相连接，无需发泡封堵，也无需二次管道施工和隔气透气膜的粘贴。

实用新型专利证书

实用新型名称：一种设置在被动房外墙上的多功能一体化装置

发 明 人：郝蓉,李大伟,郝茂亭

专 利 号：ZL 2021 2 2924702.X

专利申请日：2021 年 11 月 26 日

专 利 权 人：中天建设集团有限公司,呼和浩特市海枫地产有限公司

地 址：322100 浙江省东阳市吴宁东路 65 号

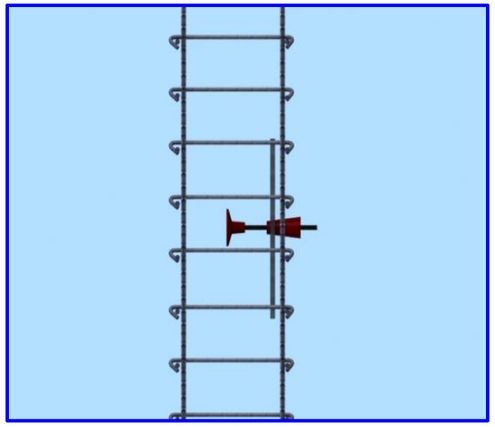
授权公告日：2022 年 08 月 16 日 授权公告号：CN 217204089 U

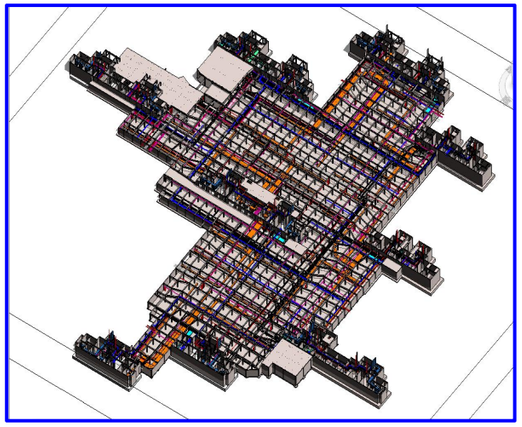
局长
申长雨

8、深化设计--BIM技术应用

BIM技术应用：

由于被动房工艺复杂，在课题正式实施前，项目部设立了BIM工作站，区域设计中心协作支撑。项目部应用Revir、Fuzor、Lumion等软件，创建了大量用于分析气密性控制方案的模型和户型，通过运用BIM技术虚拟施工进行项目气密质量的提前预控，也可实现工程设计及施工方案零差错，项目交底可视化，制定施工各阶段详细材料计划，避免材料浪费，提升项目及企业精细化管理水平。

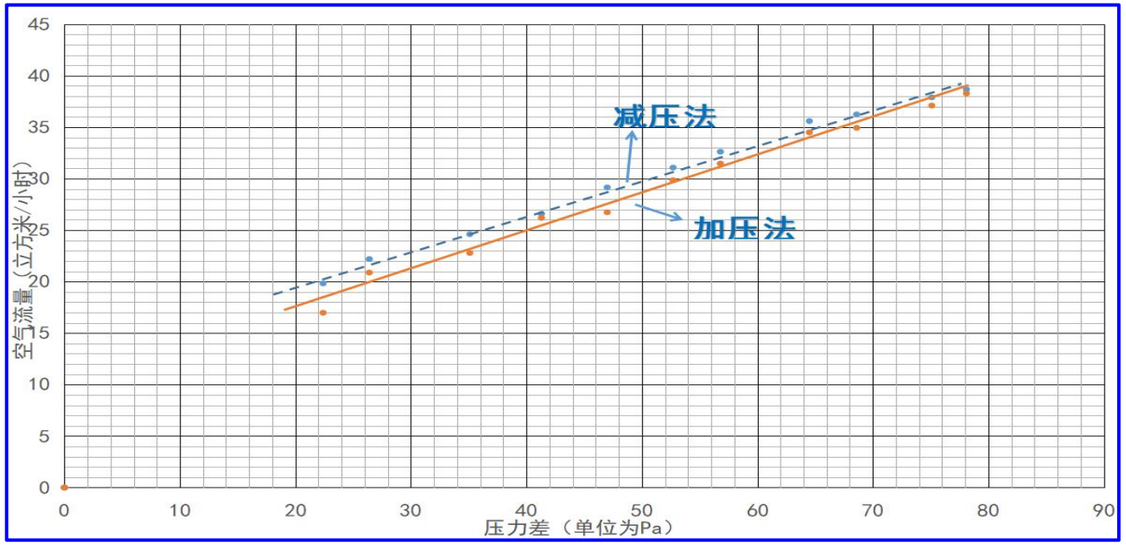




9、检测数据分析

呼和浩特对检测完成后的数据进行了汇总，通过重叠后的减压和加压测试曲线，测试所得离散点与曲线基本重合，可以明显看出加压曲线和减压曲线的相关性分别达到99.890、98.526以上，理论上可以判定本次测试的数据是准确的，由图也可以得知减压法所测得数值整体略大于加压法所测出的的数值也验证了与《建筑物气密性测定方法风扇压力法》GB/T34010-2017规范描述相符，本次检测的结果n50=0.28≤0.6/h满足规范要求。

工程一线人员组对同一单元同一户型46户进行检测实验分析，得出综合平均数据：加压测试换气率平均值n50=0.218，减压测试换气率平均值n50=0.206。**通过以上气密性最终检测数据统计分析，可以满足验收标准，本项目气密性控制措施研究达到了预期效果。**



加压法减压法压力差与流量关系图

测试项目	结果	95% 置信区间		不确定性
空气流量在 50 帕斯卡，V_{50} [L/s]	29.670	29.420	29.920	+/-0.8%
空气变化在 50 帕斯卡，n_{50} [/h]	0.27	0.2695	0.2740	+/-0.8%
可渗透率在 50 帕斯卡，q_{50} [L/s/m²]	0.199	0.197	0.201	+/-0.8%
明确渗漏在 50 帕斯卡，w_{50} [L/s/m²]	0.215	0.214	0.217	+/-0.8%
有效渗漏面积在 50 帕斯卡，A_L [cm²]	32.55	32.30	32.85	+/-0.8%
等量渗漏面积在 50 帕斯卡，A_L [cm²]	53.35	52.90	53.80	+/-0.8%
标准渗漏面积在 50 帕斯卡 [cm²/m²]	0.21820	0.216	0.220	+/-0.8%

测试项目	结果	95% 置信区间		不确定性
空气流量在 50 帕斯卡，V_{50} [L/s]	31.430	29.125	33.915	+/-7.6%
空气变化在 50 帕斯卡，n_{50} [/h]	0.29	0.2661	0.3100	+/-7.6%
可渗透率在 50 帕斯卡，q_{50} [L/s/m²]	0.211	0.195	0.227	+/-7.6%
明确渗漏在 50 帕斯卡，w_{50} [L/s/m²]	0.228	0.211	0.245	+/-7.6%
有效渗漏面积在 50 帕斯卡，A_L [cm²]	34.50	31.95	37.21	+/-7.9%
等量渗漏面积在 50 帕斯卡，A_L [cm²]	56.55	52.40	61.01	+/-7.6%
标准渗漏面积在 50 帕斯卡 [cm²/m²]	0.23115	0.214	0.249	+/-7.6%

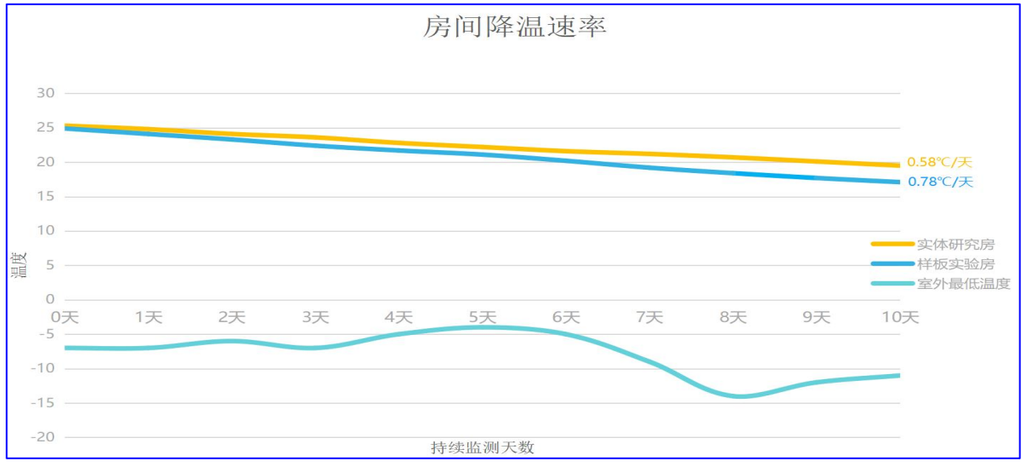
正压测试结果

10、数据分析总结

通过样板实验房与现场实体检测用房内置的温度传感器，两间房间均为143平米，对房间内同样位置每天同一时间连续监测10天汇总了两个房间的降温速率。为排除人为进出因素影响，本次实验全部通过室内温湿度传感器采用远程app进行检测记录，同时关闭所有门窗及新风一体机，房间采取密闭状态进行管理。

分析发现在同样室外环境下，样板实验间的降温速率为0.78℃/天，实体房的降温速率为0.58℃/天，在保温设计同样满足要求的前提下，通过连续10天的气温检测发现，经过采取控制措施的房间要比未采取控制措施的房间降温速率降低近26%，即**采取本课题研究措施的实体房间气密性能明显优于未采取任何措施的样板房，充分验证了本次课题的气密性能控制措施的可行性**。

温度监测设备



降温速率曲线图

Thanks

13940390306