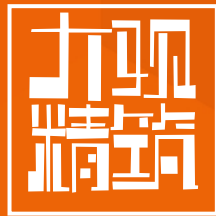


高寒地区基于太阳能的多能互补供暖设计探讨

四川省建筑设计研究院有限公司

人工环控与能源应用中心负责人 王曦 高级工程师



四川省建筑设计研究院有限公司
SICHUAN PROVINCIAL ARCHITECTURAL DESIGN AND RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.

SADI
SADI
SADI

CONTENTS

目

录

- 01 高寒地区典型城镇地理、气候特征（四川、西藏）
- 02 高寒地区典型城镇供暖可利用能源资源评估及适宜性
- 03 既有供暖存在的主要问题
- 04 设计需要注意点

PART

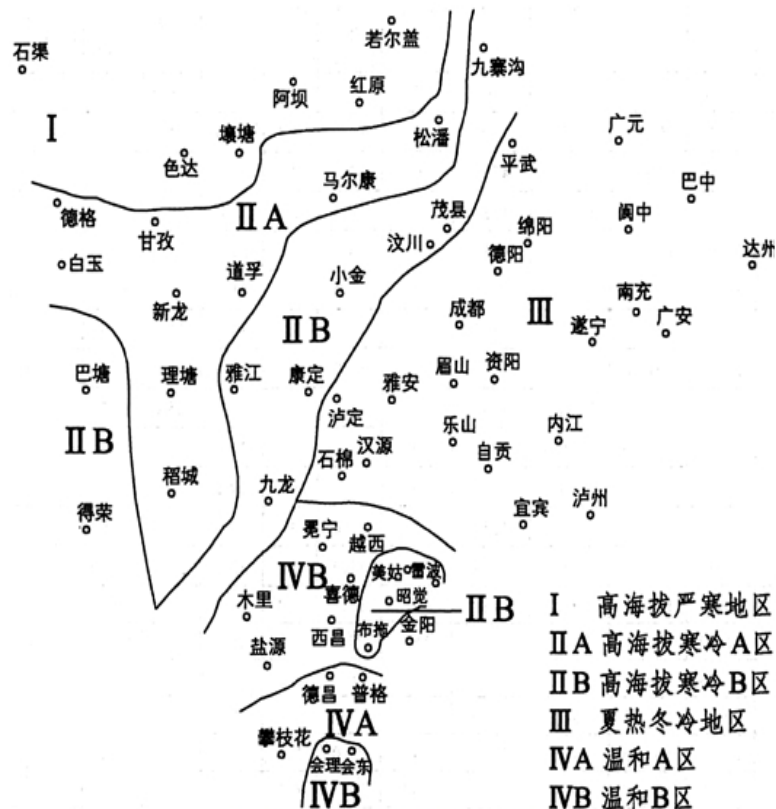
01

高寒地区典型城镇地理、气候特征（四川、西藏）



高寒地区典型城镇——四川

典型城镇	区域位置	地形地貌	气候分区	海拔 (m)
石渠	北部	高山原区	高海拔严寒地区	4520
色达	西北部	丘状高原区	高海拔严寒地区	3896
红原	中部	高山原区	高海拔严寒地区	3492
若尔盖	北部	高山原区	高海拔严寒地区	3441
壤塘	西北部	高山原区	高海拔严寒地区	3285
稻城	南部	高山原区	高海拔寒冷A区	3729
甘孜	中部	丘状高原区	高海拔寒冷A区	3394
理塘	中部	丘状高原区	高海拔寒冷A区	3949
松潘	东南部	高山峡谷区	高海拔寒冷A区	2851
马尔康	中部	高山峡谷区	高海拔寒冷A区	2665
康定	南部	高山峡谷区	高海拔寒冷B区	2617



来源：DB51/5027-2019《四川省居住建筑节能设计标准》



高寒地区典型城镇——西藏

典型城镇	区域位置	地形地貌	气候分区	海拔 (m)
拉萨	中部	高山原区	高海拔寒冷地区	3650
那曲	北部	高山原区	高海拔严寒 (A) 地区	4508
日喀则	南部	高山原区	高海拔寒冷地区	3839
昌都	东部	高山峡谷区	高海拔寒冷地区	3307
林芝	东部	高山原区	高海拔寒冷地区	3001



来源：DBJ540001-2016《西藏自治区民用建筑节能设计标准》

PART

02

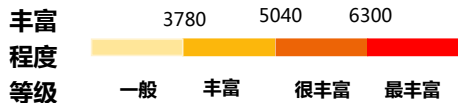
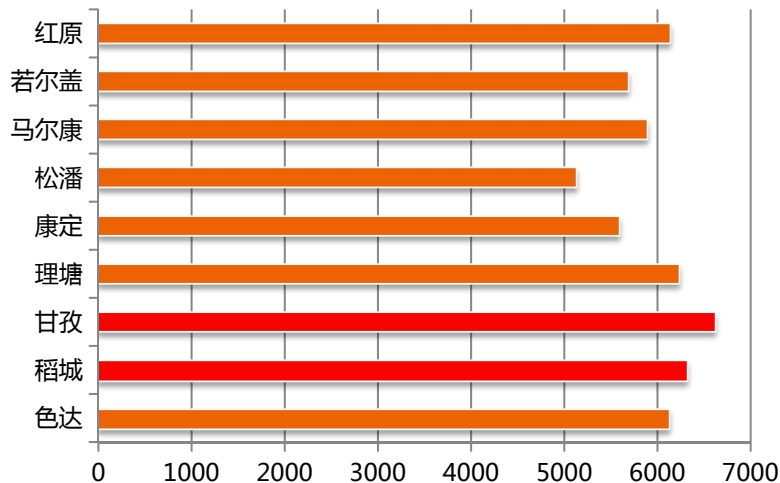
高寒地区典型城镇供暖可利用能源资源评估及适宜性



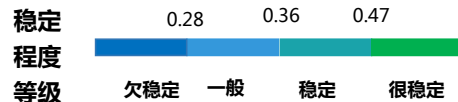
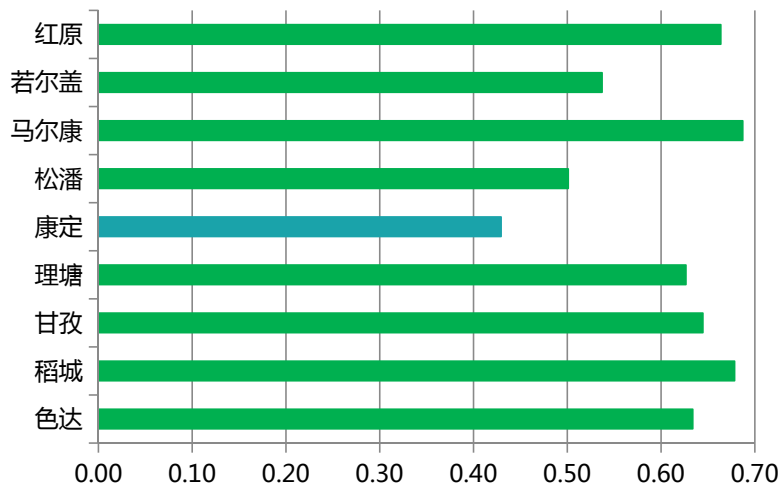
太阳能资源供暖适宜性分析

四川高寒典型地区

四川高寒地区城镇年水平面总辐照量[MJ/(m²·a)]



四川高寒地区水平面总辐射稳定度 (GHRs)



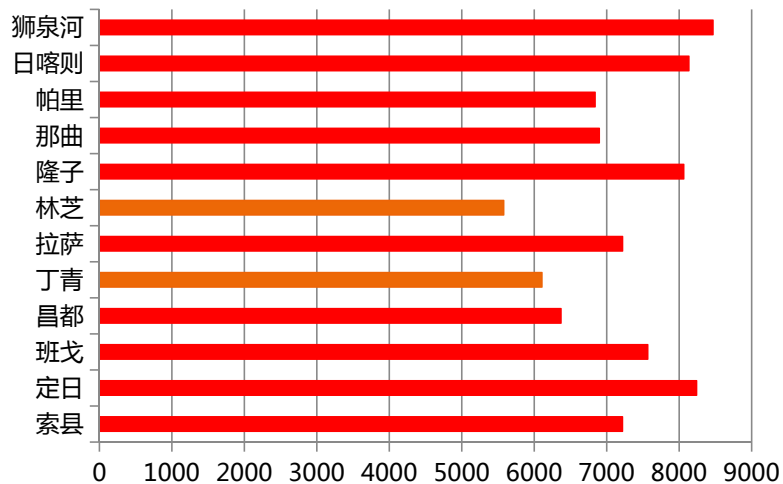
依据：GB/T37526-2019《太阳能资源评估方法》



太阳能资源供暖适宜性分析

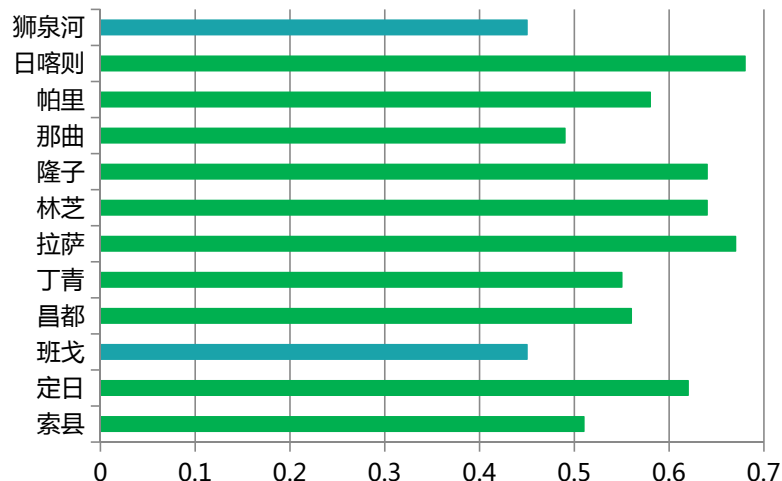
西藏典型地区

西藏部分城镇年水平面总辐照量[MJ/(m²·a)]



丰富程度等级
一般 丰富 很丰富 最丰富
3780 5040 6300

西藏部分城镇水平面总辐射稳定度 (GHRs)

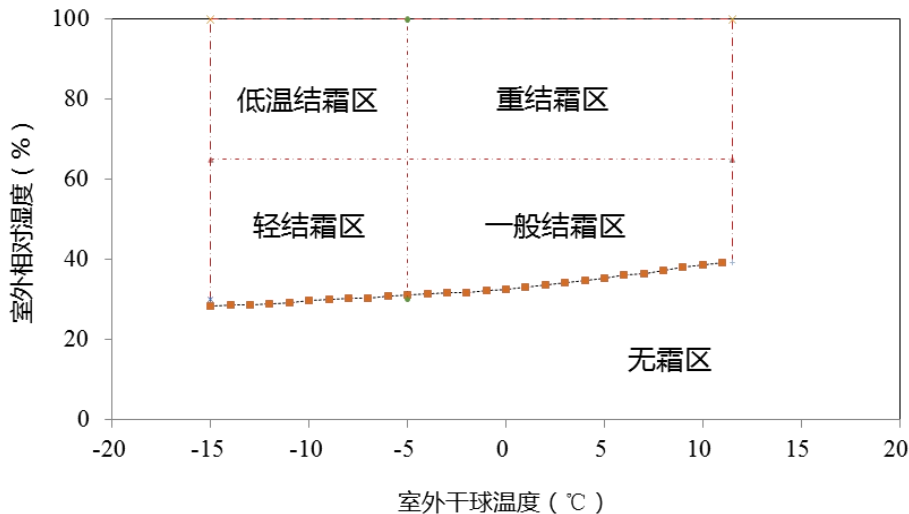


稳定程度等级
欠稳定 一般 稳定 很稳定
0.28 0.36 0.47

依据：GB/T37526-2019《太阳能资源评估方法》



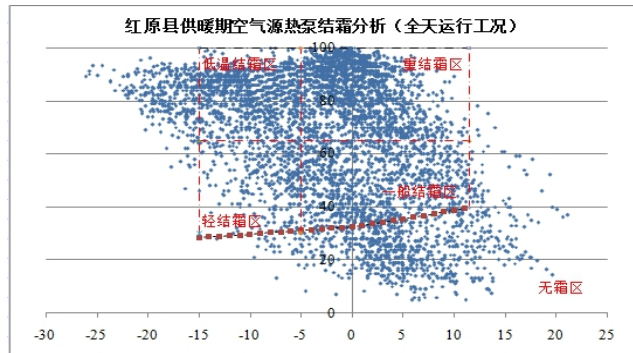
空气源热泵供暖适宜性分析——供暖季节结霜对机组运行能效的影响



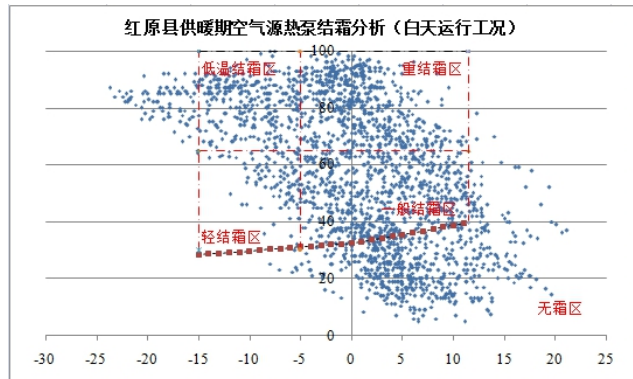
空气源热泵理论结霜区域划分

空气温度在 -15°C ~ 11.5°C 之间，相对湿度在30%~100%之间随着相对湿度的增大和空气温度的降低，结霜速率逐渐加快，当相对湿度增至65%后或温度降至 -5°C 后，结霜速率明显加快。

将 -5°C 和65%分别作为划分结霜区域的干球温度和相对湿度的分界线



红原县结霜特性分析 (全天工况)

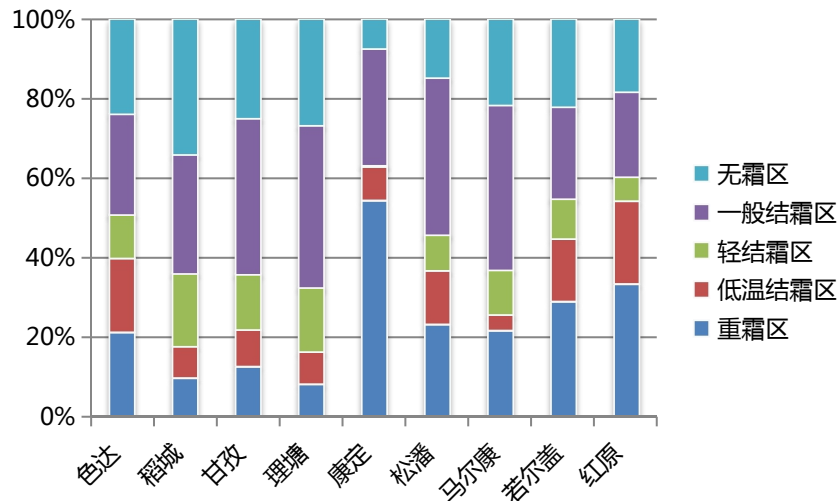


红原县结霜特性分析 (白天工况)

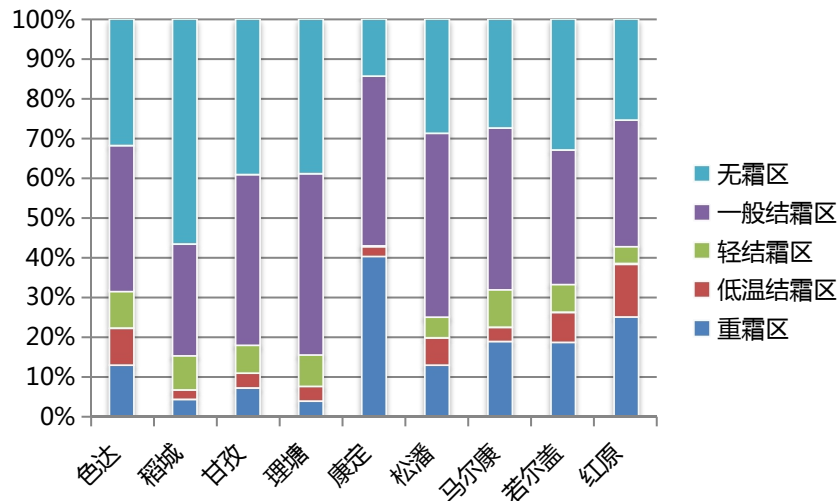


空气源热泵供暖适宜性分析——供暖季节结霜对机组运行能效的影响

四川高寒城镇供暖期空气源热泵结霜分析图（全天工况）



四川高寒城镇供暖期空气源热泵结霜分析图（白天工况）



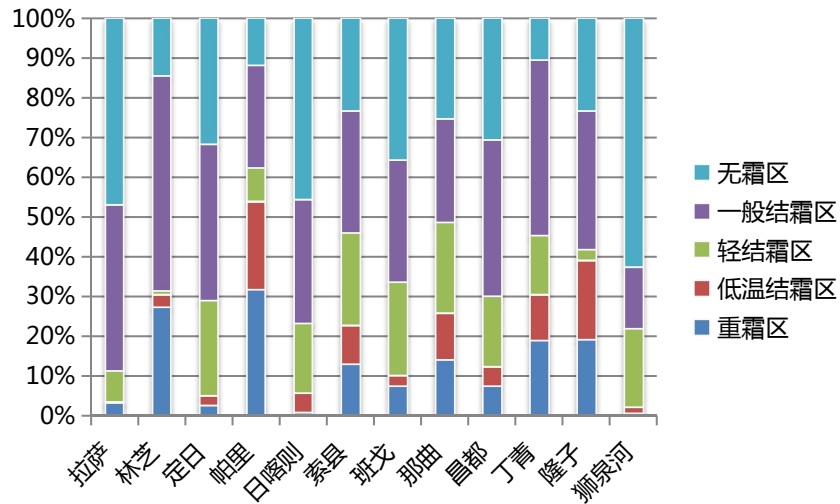
四川高寒典型城镇空气源热泵供暖期结霜特性分析（全天工况）

四川高寒典型城镇空气源热泵供暖期结霜特性分析（白天工况）



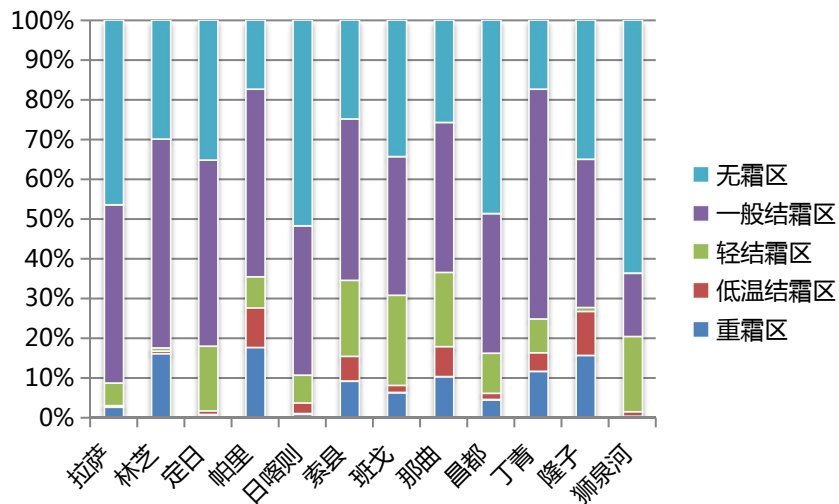
空气源热泵供暖适宜性分析——供暖季节结霜对机组运行能效的影响

西藏部分城镇供暖期空气源热泵结霜分析图（全天工况）



西藏部分城镇供暖期空气源热泵结霜特性分析（全天工况）

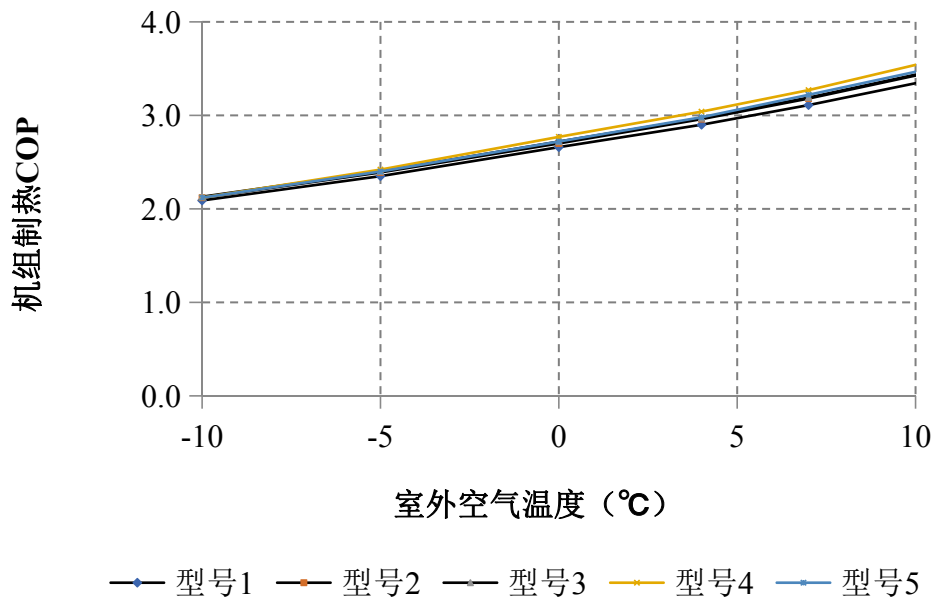
西藏部分城镇供暖期空气源热泵结霜分析图（白天工况）



西藏部分城镇供暖期空气源热泵结霜特性分析（白天工况）



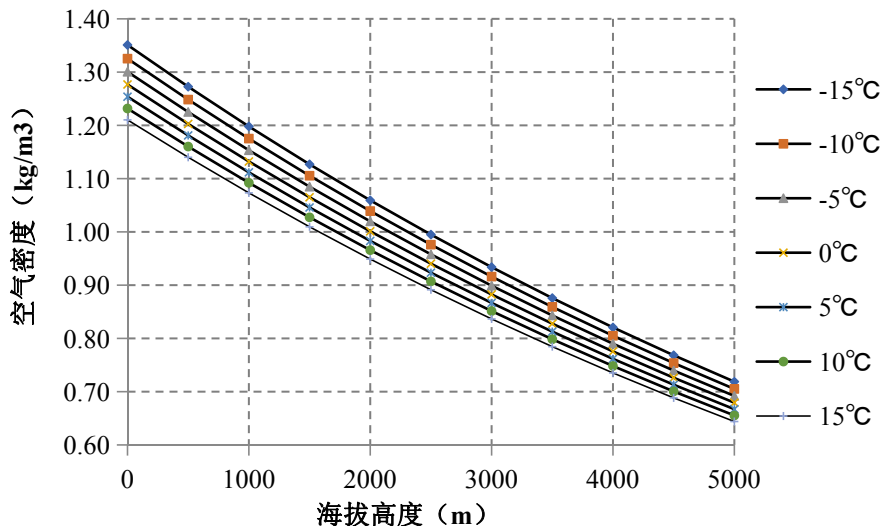
空气源热泵供暖适宜性分析——室外干球温度对机组运行能效的影响



某品牌空气源热泵机组制热COP随室外干球温度变化图 (45°C出水)

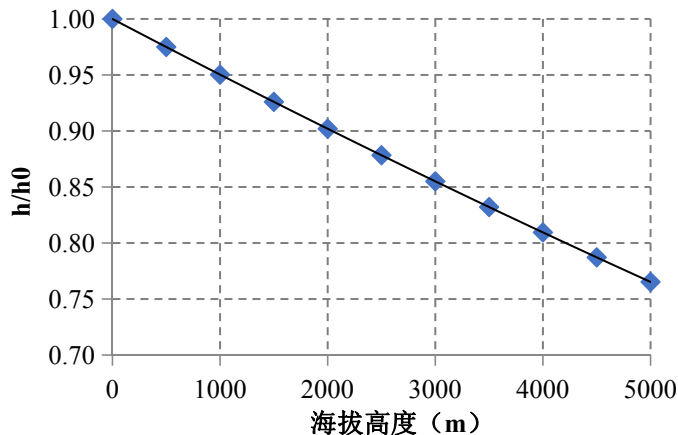


空气源热泵供暖适宜性分析——海拔高度引起的空气密度变化对机组换热的影响



不同温度下空气密度随海拔高度的变化关系图

空气密度随着海拔高的升高和温度的上升而逐渐减小，且海拔高度的影响大于空气温度的影响。此外，空气温度越高，密度受海拔高度影响的变化越大。

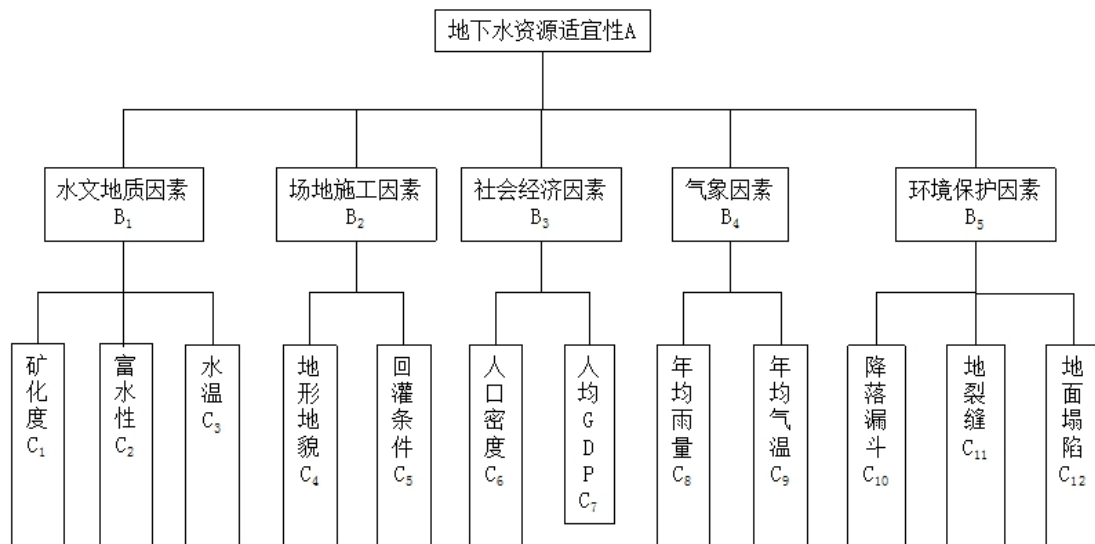


蒸发器空气侧表面换热系数随海拔高度的下降百分比
(室外温度=0°C时)

换热系数之比随海拔升高近似呈线性减小，每升高1000m，换热系数下降约5%。对于海拔3000m以上，其下降率达到15%以上。



地下水源热泵供暖适宜性分析



地下水资源适宜性评价的层次体系图

依据《地源热泵技术手册》中的地下水资源评价方法对典型城镇地下水资源用于供热的适宜性进行评估

数据来源：

①地下水水文地质数据来源于中国地质科学研编制的“中国地下水化学图”、“中国水文地质图”、“中国地下热水分布图”和四川省川建勘察设计院、西藏自治区勘察设计院研究成果；

②社会经济因素数据来源于地方政府网站统计成果；

③气象数据来源于中国气象数据库。。



地下水源热泵供暖适宜性分析

四川高寒典型城镇地下水资源适宜性评价结果

城镇名称	地下水资源适宜性综合指数值A	地下水资源适宜性评价结果
甘孜	0.509	勉强适宜区
理塘	0.503	勉强适宜区
红原	0.494	勉强适宜区
松潘	0.557	较适宜区
西昌	0.589	较适宜区
稻城	0.539	勉强适宜区
康定	0.554	较适宜区
马尔康	0.533	勉强适宜区
色达	0.503	勉强适宜区
若尔盖	0.520	勉强适宜区

西藏典型城镇地下水资源适宜性评价结果

城镇名称	地下水资源适宜性综合指数值A	地下水资源适宜性评价结果
拉萨市	0.461	勉强适宜区
林芝（巴宜区）	0.554	较适宜区
昌都（卡若区）	0.518	勉强适宜区
日喀则（桑珠孜区）	0.455	勉强适宜区
山南（乃东区）	0.445	勉强适宜区
那曲（那曲镇）	0.355	不适宜区
阿里（噶尔县）	0.329	不适宜区



高寒地区典型城镇推荐基于太阳能的多能互补供热形式

地区	县/市	多能互补利用方案推荐
甘孜	甘孜	太阳能+低温空气源热泵
	理塘	太阳能+低温空气源热泵
	稻城	太阳能+低温空气源热泵/地下水源热泵
	色达	太阳能+低温空气源热泵
	康定	——
阿坝	红原	太阳能+低温空气源热泵
	松潘	——
	马尔康	——
	若尔盖	太阳能+低温空气源热泵/地下水源热泵

地区	县/市	多能互补利用方案推荐
西藏	拉萨市	太阳能+低温空气源热泵
	林芝（巴宜区）	太阳能+低温空气源热泵/地下水源热泵
	昌都（卡若区）	太阳能+低温空气源热泵
	日喀则（桑珠孜区）	太阳能+低温空气源热泵
	山南（乃东区）	太阳能+低温空气源热泵
	那曲（那曲镇）	太阳能+直接电热水机组
	阿里（噶尔县）	太阳能+直接电热水机组

除考虑太阳能、空气源及地下水源的适宜性以外，仍需结合实际地理地形、建筑布置条件、电力条件、地方政策（尤为地下水源）、经济条件补充确定。

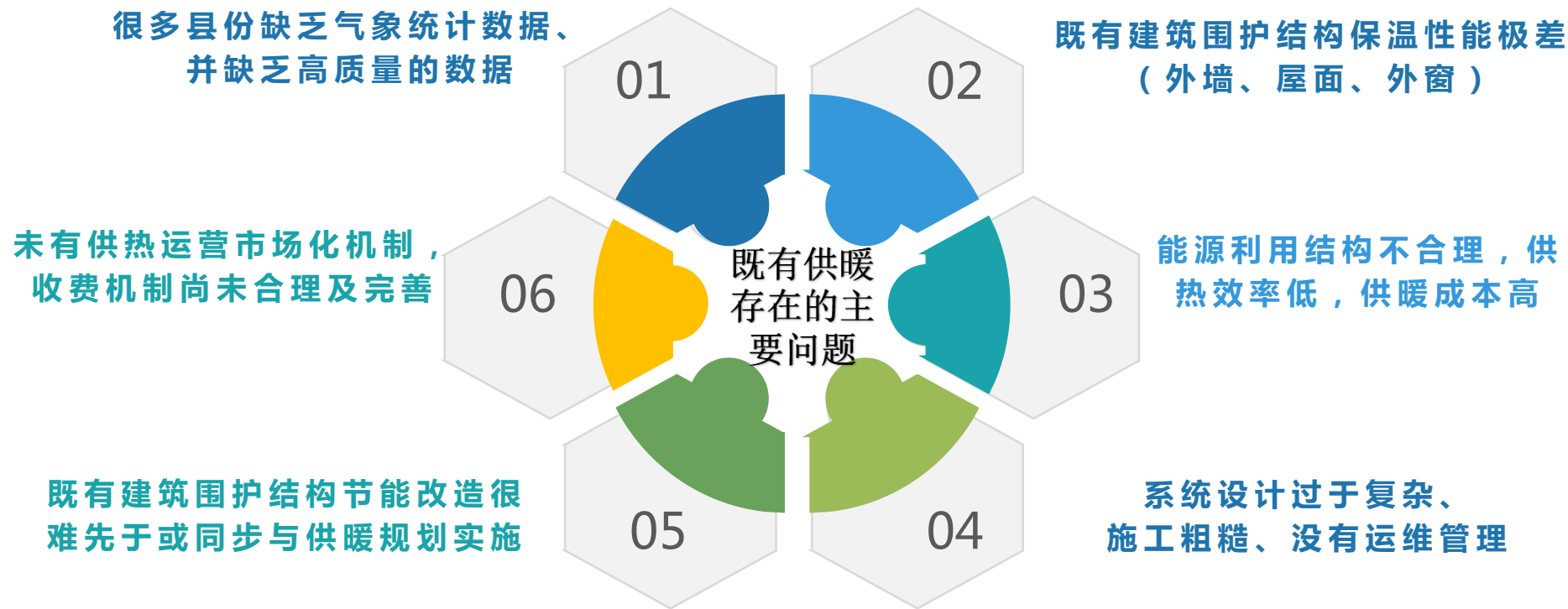
PART

03

既有供暖存在的主要问题



既有供暖存在的主要问题





既有建筑供暖热负荷单位面积指标较大

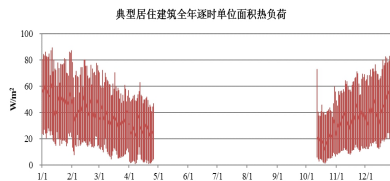
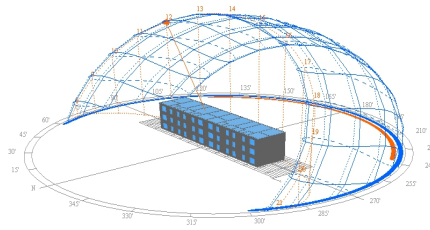
以某县城常见的**1层典型办公建筑**及**3层典型居住建筑**为参照建筑。根据其所在地区气象条件、依据《公共建筑节能设计标准》GB50189-2015、《西藏自治区民用建筑供暖通风设计标准》DB540002-2016及《西藏自治区民用建筑节能设计标准》DBJ540001-2016的相关要求计算。

一般建筑与满足相关标准建筑的热负荷指标

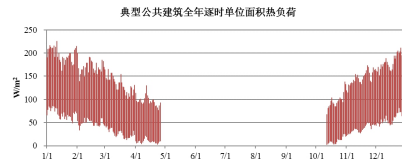
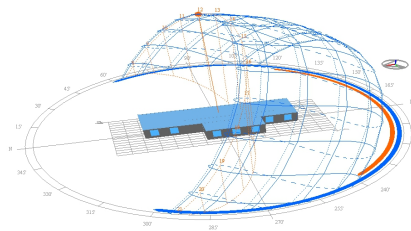
围护结构做法	无保温措施的实际建筑	满足西藏自治区地方标准 (DBJ540001-2016) 要求的建筑
	240mm砖墙+水泥砂浆, 单层6mm窗	240mm砖墙+30mm厚保温+水泥砂浆, 双层6mm窗
办公建筑供暖热负荷 (W/m ²)	130	75
居住建筑供暖热负荷 (W/m ²)	90	65

如不实行建筑围护结构节能改造, 供暖系统的设备容量将增大接近1.5倍左右, 后期运行费用也将大幅增长。

既有建筑节能改造从可实施度、费效比来看, 可优先考虑外窗节能改造。



定结县典型居住建筑模型及建筑全年逐时单位面积热负荷



定结县典型公共建筑模型及建筑全年逐时单位面积热负荷



能源利用结构不合理，供热效率低，供暖成本高

A

部分地区仍然大面积采用燃煤集中供暖（松潘、若尔盖及红原）

松潘县：

热源——燃煤锅炉一期工程于2012年投入使用，锅炉房设置3台链条炉，单台锅炉7MW，

供暖区域面积——设计供暖面积为35万平米。

供热水系统及末端换热设备——由一次网和二次网（80°C/60）组成，其中，一共有5个换热站。末端为散热器或者地暖

存在问题——**费用较高（使用者及政府财政负担均大，供暖期11月1日至次年3月31日）**

1）2012年至2015年期间，集中供热全部实行政府补贴（初期成本监审价格为37.4元/（ $\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ））。

2）2015年至2019年期间开始收费，所有都按12元/（ $\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ），其它由政府承担。

3）现有实收费用为37.4元/（ $\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ），取费居民为25元/（ $\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ）（差额政府补贴12.4元/（ $\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ）），行政企事业及商业用户为37.4元/（ $\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ），财政不再补贴。

建议——在一些建筑密度较小且具备条件设置楼栋式供暖的区域，利用太阳能热水供暖不失为一种选择。





能源利用结构不合理，供热效率低，供暖成本高

B

部分地区仍然采用电锅炉供暖



林芝第二高级中学：

热源——采用两台额定热功率为1.2MW的常压电热水锅炉，额定出水温度85℃，回水温度60℃

水系统形式——通过板式换热器与用户侧水换热后，由分水器供应至末端散热器，试运行末端供回水温度为50/45℃

供暖面积——约3.3万m²

存在问题：

- 1) 费用较高，日运行费用约8000元
- 2) 当地海拔为2900m左右，可考虑采用微压相变热水机组（内置板换）或真空热水机组（带低温供热末端），减少中间换热过程损耗，同时可低品位供热，节约费用。



系统设计、施工及运维管理问题——案例1：红原机场（海拔3535m）



建筑形式——航站楼、机场办公楼、航管楼、职工执勤用房、综合服务用房等附属建筑

供暖面积及系统形式——12500m²；**太阳能与地下水源热泵复合式系统**

末端形式——机场航站楼售票大厅为高大空间设置射流送风与热水地面辐射供暖系统；航站楼卫生间及其它办公房供暖系统末端设备采用的是散热器

太阳能集热系统过热处理——在地下水循环系统和太阳能集热系统之间设置了板式换热器，当集热系统过热时，可将热量转移至地下，有效防止系统过热问题



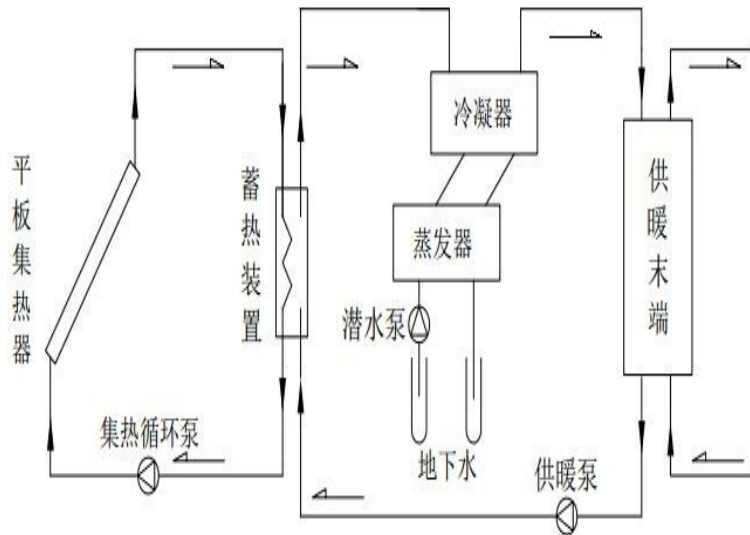
系统设计、施工及运维管理问题——案例1：红原机场（海拔3535m）

供暖系统形式问题：

①蓄热系统与水源热泵之间无旁通装置、循环泵设置存在问题：

本系统为间歇式供暖系统，容积式换热器、地下水源热泵机组的进出口均没有设置旁通装置：当容积式换热器内蓄热温度较低时，开启的热泵机组仍会进入到容积式换热器内，加热蓄热装置内的介质，造成热量损失；当容积式换热器内蓄热温度可用于单独供暖时，末端循环流体仍会进入到未运行的热泵机组，热泵机组阻力一般为5~10m，将造成较大的循环泵能耗损失。

因此，建议两个热源装置进出口均设置旁通装置，且热泵机组环路上单独设置循环泵，负担热泵机组支路的阻力，可减少供暖系统循环泵的功率和运行能耗。



供暖系统主要设备由3台容积式换热器和2台地下水源热泵构成，为用户侧串联形式，水源热泵位于用户侧容积式换热器的下游



系统设计、施工及运维管理问题——案例1：红原机场（海拔3535m）

供暖系统形式问题

②未充分利用太阳能资源：

太阳能集热系统均将热量传给供暖系统用户侧，当太阳辐照量较低时，集热系统内循环介质温度会低于 40°C ，不能直接用于供暖，供暖系统仅能采用地下水源热泵进行供暖。

太阳能集热系统可有一个环路间接接入（集热系统介质是防冻液，不能直接接触）地下水源热泵的水源侧，可加热地下环路出水，提高热泵机组水源侧进口水温，可提高热泵机组运行效率（**注意进入热泵机组蒸发器热水温度过高，压缩机过载**）、提升太阳能集热量的品质、充分利用太阳能资源、提高太阳能资源利用率。但会增加系统构成和运行操作的复杂性，需要进一步权衡。

蓄热设备选型问题：

采用换热和蓄热为一体的容积式换热器，容积式换热器总容积仅为 $8.5 \times 3 = 25.5\text{m}^3$ ，还未除去换热器内换热盘管所占的体积，蓄热容积太小，蓄热量较少，水箱内温度波动较大，会造成辅助热源系统频繁启停，减少设备使用寿命、浪费电能。

板式换热器传热系统较高，体积小，不占用蓄热装置容积，可采用太阳能换热和蓄能设备采用板式换热器（传热）+闭式承压水箱（蓄热）的方式。



系统设计、施工及运维管理问题——案例1：红原机场（海拔3535m）

太阳能蓄热系统与集热系统之间矛盾：

①蓄热容积与采光面积：根据现场调研，太阳能集热系统蓄热装置总容积为 25.5m^3 ，即使按照 $50\text{L}/(\text{m}^2\text{采光面积})$ 来估算蓄热容积，采光面积约为 510m^2 。

②集热系统循环流量与采光面积：根据现场调研，太阳能集热系统单台泵循环流量为 $120\text{m}^3/\text{h}$ ，即使循环泵为两用一备、且单位集热器采光面积循环流量为 $0.03\text{m}^3/\text{h}$ 来估算，采光面积约为 8000m^2 。

太阳能集热系统安装问题：

①系统排气阀设置不合理：系统最高点为各个集热器出口处，但排气阀门安装在高度较低的主管上。

②系统未设安全阀：调研过程中并未看到集热系统中设有安全阀。



系统设计、施工及运维管理问题——案例1：红原机场（海拔3535m）

系统保温的问题：

系统中循环泵泵体、水系统的阀门及附件、防冻液系统的阀门及附件均未保温。

水源热泵机组进口只设置普通手动阀门：

系统并未在热泵机组出口设置电动阀门，运行中会造成机组流量旁通过不运行的机组，与经过运行的机组后的水混合，降低了热泵机组整体的出口水温，影响制热及供暖效果，同时也降低了机组运行能效。

末端选择问题：

为了充分利用太阳能的热量（节能）以及符合热泵机组运行工况要求，末端设计供回水温度一般为45/40℃，对于散热器来说水温太低，散热器片数较多。

在间歇供暖的公建中：

①末端设备可以选用风机盘管，强制循环，室内空气循环加热快，不供暖时风机不运行，水管设置保温措施，可以减少不供暖时的系统热损失。

②应考虑末端各个功能房间的室温调节功能。





系统设计、施工及运维管理问题——案例2：西藏建设厅办公楼

建筑概况：

多层办公建筑，建筑面积7500，

供热系统形式：

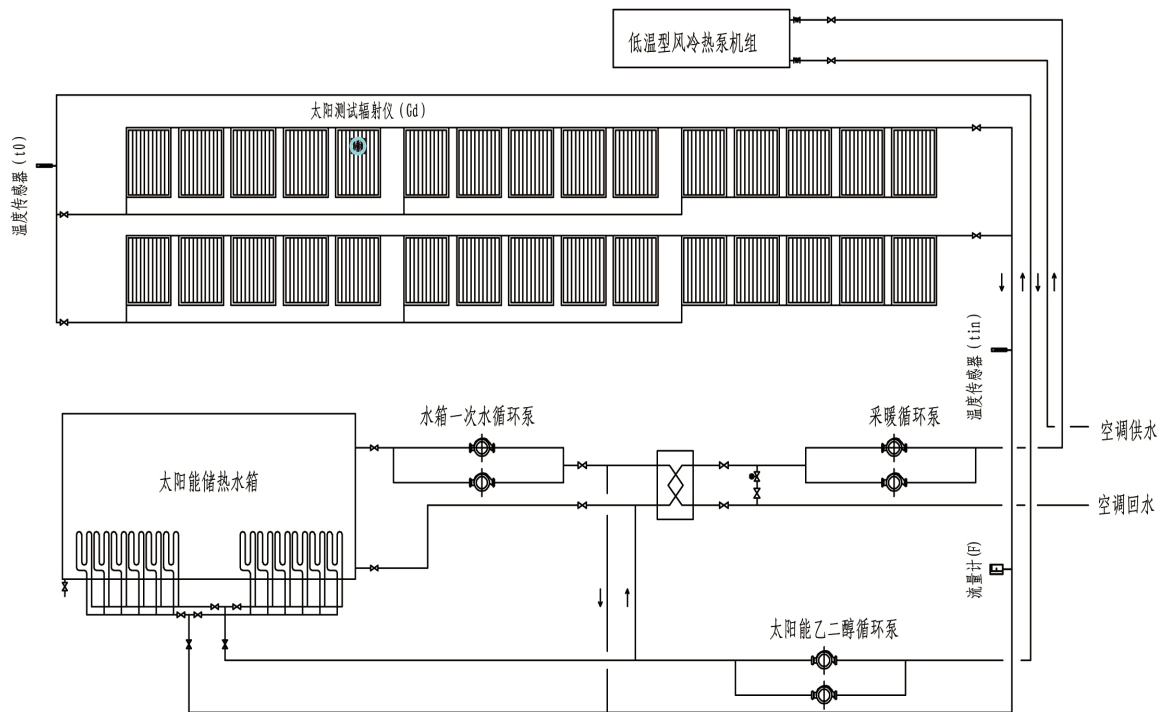
太阳能与风冷热泵复合式供热系统

供热系统设计运行模式：

水-乙二醇混合介质经过平板太阳能集热器加热后通过太阳能乙二醇循环泵进入太阳能蓄热水箱，通过板式换热器与空调末端回路进行换热

1) 换热后供水温度小于 45°C 时，低温型风冷热泵机组继续将空调供水温度加热至设定值供向末端风机盘管

2) 当空调回水温度经过板换换热后供水温度达到 45°C 时可不开启低温型风冷热泵机组。





系统设计、施工及运维管理问题——案例2：西藏建设厅办公楼

测试期间不同运行模式区别：

- 1) 采用水箱供暖的模式，在早晨供暖刚开始的时候由于水箱温度没有达到末端供水温度，需要持续开启风冷热泵，至中午12:40蓄热水箱被加热后，不再开启风冷热泵直至下午6点；
- 2) 采用集热器直接供暖的模式，在12:40之前风冷热泵开启台数不断变化，且在下午16:30之后由于太阳辐射减弱，不足以满足室内负荷，需要开启风冷热泵供暖。

经统计，采用水箱供热的模式，9小时共耗能541，采用太阳能集热器直接供热的模式，9小时共耗能873，可见蓄热水箱对于系统节能作用必不可少。

现有实际运行情况——只开启低温风冷热泵运行

问题出现的原因——1) 系统保养差，集热系统无法正常开启（补液未采用防冻液，集热器冻裂），运维追求简单；2) 本身楼栋式供暖方式下，太阳能保证率过低，需要一定的控制措施来加以保证互补系统的正常运行（未实施）。



系统设计、施工及运维管理问题——案例3：西藏大学新校区

案例2——西藏大学新校区

1~6#教学楼：

槽式太阳能吸收式热泵系统与低温型空气源热泵复合式系统（末端风机盘管）

医疗保健中心：

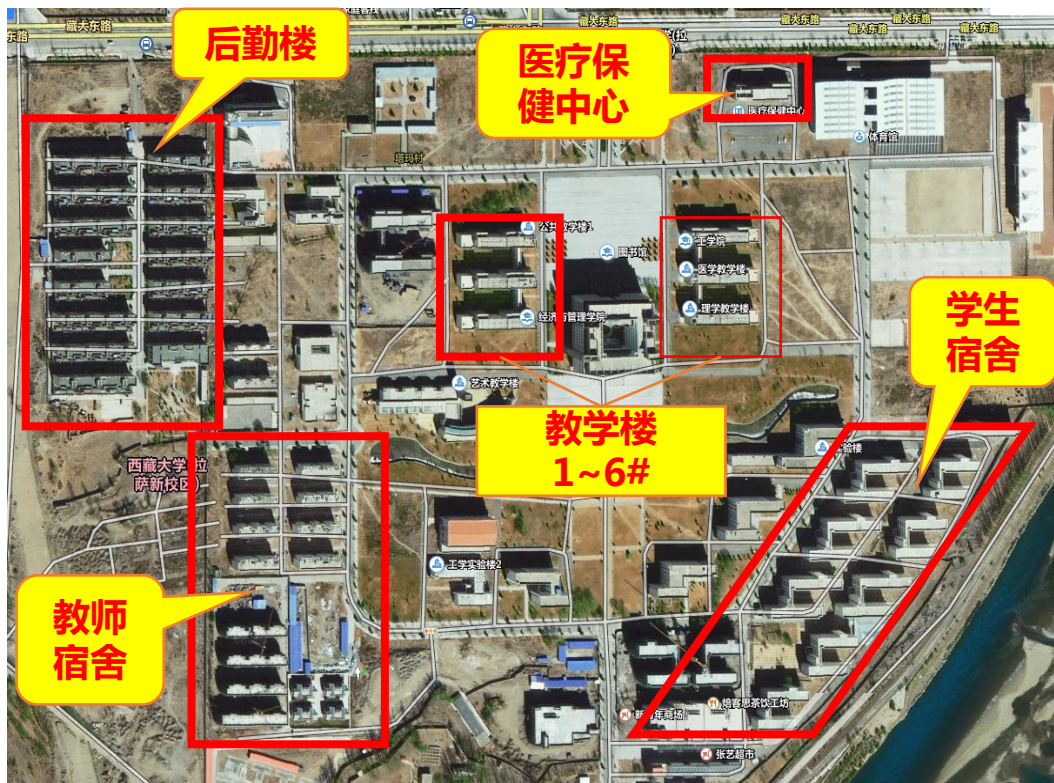
平板型太阳能与空气源热泵复合式系统（末端风机盘管）

教师宿舍：

户式燃气壁挂炉（末端散热片）

后勤楼、学生宿舍：

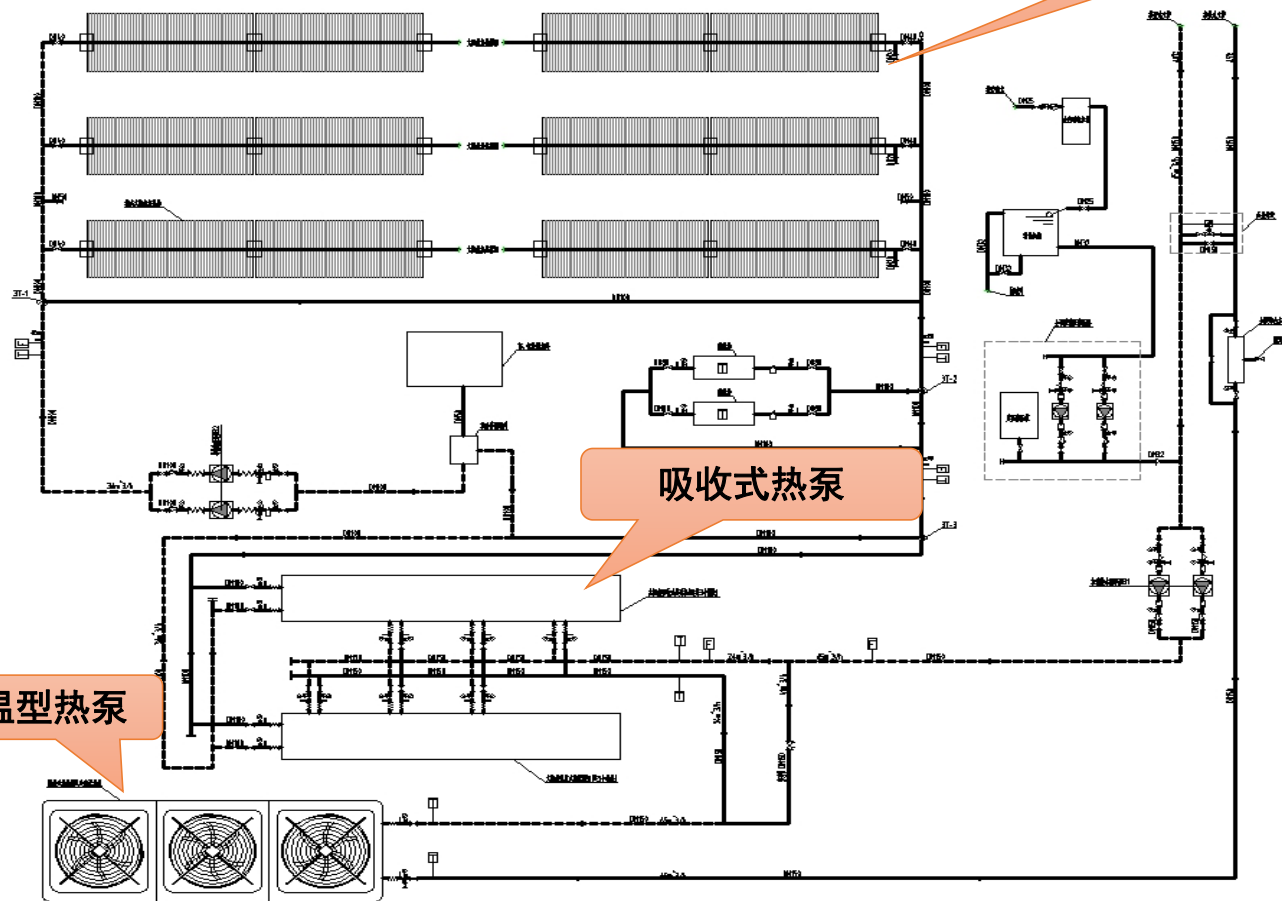
燃气热水机组（末端散热片）





系统设计、施工及运维管理问题——案例3：西藏大学新校区

槽式集热器



通过太阳能槽式集热器收集太阳能，并将太阳能转化为热能，将导热油加热，形成高温的导热油介质，高温导热油介质经导热油循环泵强制循环至太阳能热泵主机，并驱动吸收式热泵工作产生热水，并能够把多余的太阳能储存起来，以供太阳能不足时使用的采暖系统；它包括集热系统、油路系统、太阳能热泵主机、蓄能装置、辅助能源部分、水路系统（包括室内末端换热部分）和控制系统。



系统设计、施工及运维管理问题——案例3：西藏大学新校区

一、系统供热设计运行模式

模式 1——太阳能采暖+蓄热器蓄热

- 1) 辐射强度超过 $70\text{W}/\text{m}^2$ ，风速正常
- 2) 系统油温（氨机进口处油温）达到 200°C （可以设定值），系统油温（取机组进油温度）比蓄能器自身温度（取蓄能器外壳处磁铁式温度探头数值）高 5°C 以上

模式 2 太阳能+蓄热器供暖

- 1) 阳光辐射强度大于 $70\text{W}/\text{m}^2$ ，风速正常
- 2) 蓄热装置满足放热条件（蓄热器高于设定温度，一般为 130°C ），且蓄能器本身温度高于系统油温（氨机进口处油温） 5°C 以上

模式 3 太阳能+风冷模块采暖

- 1) 蓄热装置不满足使用条件（蓄热器低于设定温度，一般为 130°C ），
- 2) 氨机出水与旁通管出水混合后水温，即进入风冷热泵的水温**低于风冷热泵自身设定进水温度**，则风冷热泵启动，系统自动进入太阳能+风冷模块采暖模式。



槽式太阳能集热器



太阳能吸收式热泵



系统设计、施工及运维管理问题——案例3：西藏大学新校区



机房内蓄能器



热源机房及低温型风冷热泵

模式 4 蓄热器释放采暖

当在蓄热装置符合放热条件(蓄热器自身温度高于设定温度，一般为 130°C)时，且蓄能器温度高于系统温度 5°C 以上，且有采暖指令时，此时，系统进入蓄能器采暖模式运行。

模式 5 蓄热器放热+风冷模块采暖

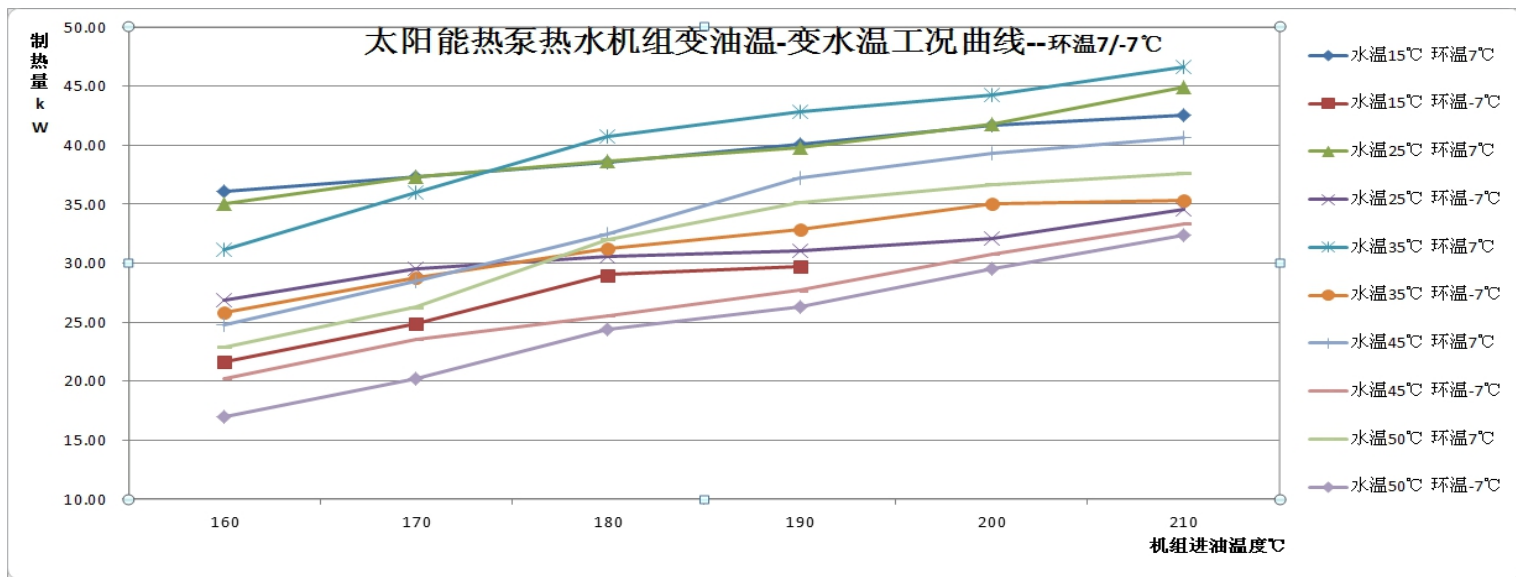
在蓄热装置符合放热条件(蓄热器自身温度高于设定温度，一般为 130°C)时，且蓄能器温度高于系统温度 5°C 以上，有采暖指令时，并且进入**风冷热泵的水温低于风冷热泵自身设定**进水温度，则风冷热泵启动，系统进入蓄热器放热+风冷模块采暖模式运行。

模式 6 风冷模块采暖

蓄热装置不具备放热条件时(蓄热器小于设定温度，一般为 130°C)，风冷热泵启动运行。



系统设计、施工及运维管理问题——案例3：西藏大学新校区



实际运行工况：

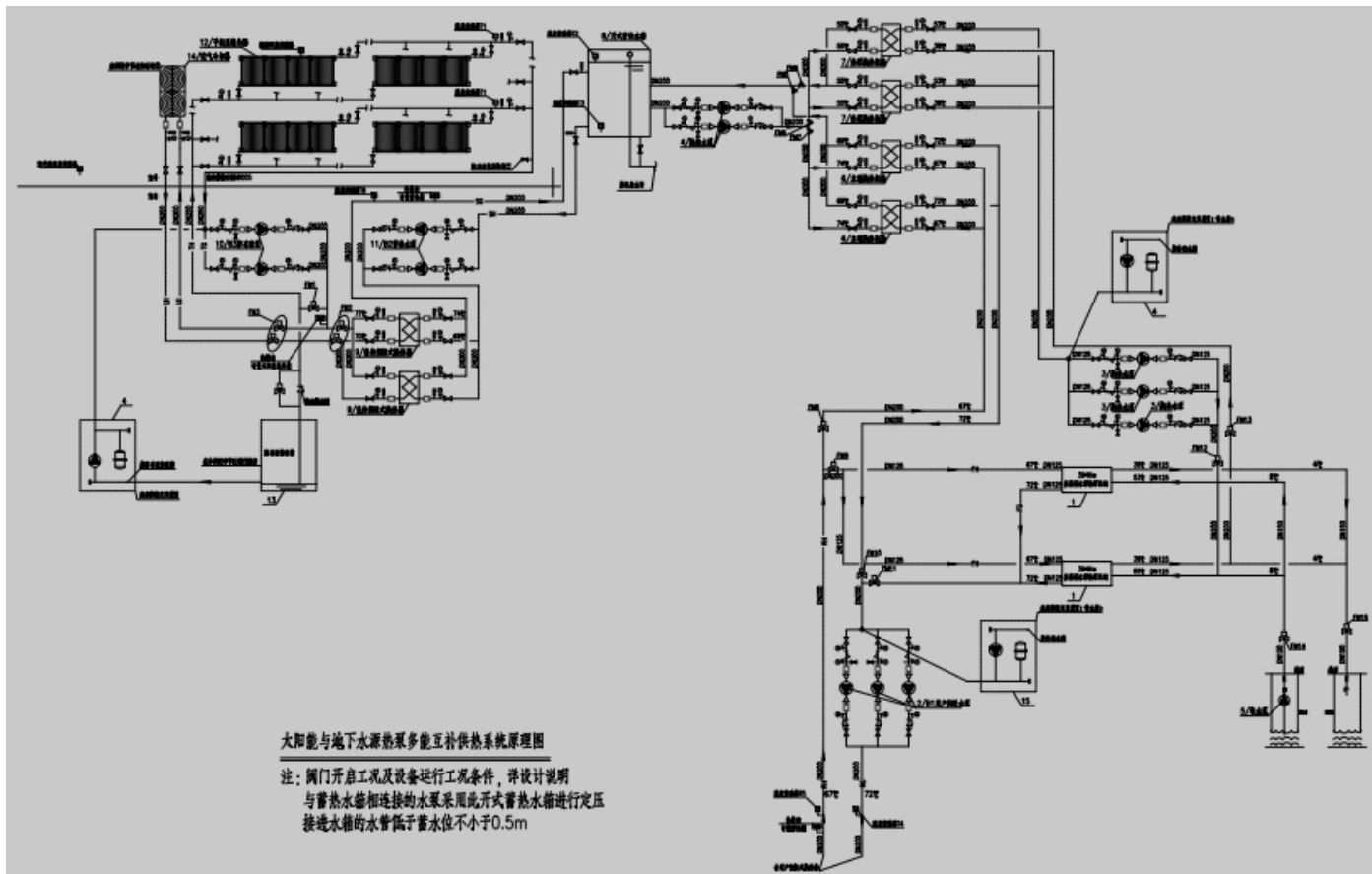
- 1) 关闭吸收式风冷热泵机组；
- 2) 单独增加集热侧板式换热器及蓄热水箱，太阳能充足，满足供热温度品位需求时，采用此种方式运行；当不满足时，风冷热泵独立运行。

反思：

- 1) 虽然解决了防冻及防过热的问题，但系统过于复杂，同时由于驱动热源温度变化速率及幅度均较大，吸收式风冷热泵机组运行极为不稳定
- 2) 低温型风冷热泵机组的控制方式未与系统互相联动，无法根据进水温度判断机组关停及调控



系统设计、施工及运维管理问题——案例4：西藏定结县日屋镇（海拔4600m）



案例4——西藏定结县日屋镇

采用**太阳能与地下水源热泵（太阳能热水源热泵机组）复合式供热系统**。该项目所在地，地下水温为 9°C ，为充分利用太阳能，该系统可实现太阳能蓄热系统及地下水源热泵单独供暖、蓄热水箱不满足供热末端温度需求时，蓄热水箱进出水作为水源热泵蒸发器进出水，由水源热泵单独供热。



系统设计、施工及运维管理问题——案例4：西藏定结县日屋镇（海拔4600m）

设计与实际的偏差（调试阶段）

1、太阳集热系统侧

（一）太阳辐射量集热时间（气象数据取值及前期调研出现问题）

运行工况——在每日上午10点30左右开始，太阳能才开始有集热量（主要受周边高山的影响），在下午17点30左右开始，太阳能就基本没有集热量（主要受周边高山的影响），也即每日可利用的太阳能集热时间为7个小时。

设计工况——由于当地无法提供相关数据，在设计中只能参考那曲的相关数据进行测算，测算时间为早上9点至下午19点，总计可利用的太阳能集热时间为10个小时。

偏差分析——总的集热时间偏差为3个小时（时间段为早上8点~10点及下午6点~7点，集热量偏差量为这两个时段的集热量）。



系统设计、施工及运维管理问题——案例4：西藏定结县日屋镇（海拔4600m）

2、蓄热侧（蓄热水箱及集热侧板式换热器）

（一）蓄热侧水箱集热量及温度（换热温差过大，换热器选型修正出现问题）

运行工况——在调试阶段采用末端一边用热（实际现场总供暖面积只有2500m²（基本为公共建筑），远小于总的建筑面积9000m²，总有效集热面积2600m²，实际利用80%），太阳能侧一边集热的方式运行。集热器出口水温为65℃的工况下，水箱蓄热水温为55℃。

设计工况——集热器板式换热器二次侧进水温度小于集热器板式换热器一次侧（集热器出口水温）2℃。

偏差分析——①板式换热器热损较大或不在设计工况点；②蓄热侧水流量过大。



系统设计、施工及运维管理问题——案例4：西藏定结县日屋镇（海拔4600m）

3、用户供暖侧（含用户侧板式换热器及末端）

（一）用户侧板式换热器（换热温差过大）

运行工况——蓄热水箱温度为 55°C ，通过用户侧板式换热器进行换热后，用户侧供暖水温为 45°C 左右，温差为 10°C 。

设计工况——用户侧板式换热器二次侧进水温度小于用户侧板式换热器一次侧（集热器出口水温） 2°C 。

偏差分析——①板式换热器热损较大或者未达到其设计工况点；②用户侧水流量过大。

（二）末端用户（施工取消末端二次换热站，无法对公共建筑进行间歇运行，与需求负荷相比集热蓄热负荷偏小）

运行工况——在正常晴朗天气情况下，早上12点~18点可利用太阳能供热，下午18点开始采用水源热泵与蓄热水箱换热进行供暖，但到第二天12点钟左右，整个水箱的水温下降到 10°C 左右。对此可知，蓄热水箱的有效蓄热量是不足的。

②目前所供暖面积中有一部分为公共建筑，均采用24小时供暖，且室温随时都为 18°C 左右。

设计工况——设计采用的室外设计温度为 -17.8°C （参考那曲）；末端换热采用板式换热器二次换热，有利于负荷调节，且公共建筑在夜间为保证值班温度运行。

偏差分析——1）供暖室外计算温度有可能在 -20°C 以下；2）施工时自行取消了二次换热站，对此根本没有末端负荷的调节功能；且所有建筑类型均保证在 18°C 的工况下运行（公共建筑采用间歇供暖，保证值班负荷即可），造成集热及蓄热负荷偏小。

PART

04

设计需要注意点



设计计算参数的选取

供暖室外计算参数的确定

除按相关标准要求执行以外，建议未有典型气象年数据的地方，以实际调研为主。

供暖室内计算参数的确定

- 基于节能的原则，同时本着提高生活质量，满足室温可调的要求，**室内设计温度按18℃进行计算。**
- 确定主动式太阳能供暖系统的辅助热源容量时，对于**医院、老人院及幼儿园等室内温度要求较高的建筑**，辅助热源的选择应按照保证室内设计参数来确定其容量，**其计算温度仍然按18℃选取。**
- **对于办公等允许室内环境温度出现较大波动的建筑**，从经济性角度考虑，宜适当减小辅助热源容量，**其计算温度拟按15℃取值。**
- **用低温热水辐射供暖方式时**，室内设计温度宜降低2℃，取值**按16℃取值。**



供热换热末端的选择

- 公共建筑宜优先采用低噪声型的卧式明装风机盘管（自带回风箱）供热末端，当层高不够时，可采用立式风机盘管（安装于外窗侧），可充分利用低温热源。
- 在无法利用高温热源时，既有居住建筑宜优先选用立式风机盘管（安装于外窗侧）作为供热末端；新建居住建筑宜优先选用低温热水辐射供暖方式
- 可利用高温热源时（多能互补系统往往采用太阳能+直接电锅炉方式），既有居住建筑在具备安装条件时，可利用散热片（低温型）、低温热水辐射供暖、其次选用立式风机盘管（安装于外窗侧）作为供热末端方式；





非典型多能互补供暖形式注意问题

太阳能与地下水源热泵（太阳能热水源高温热泵）的多能互补供暖系统形式——末端为散热器（需高温热源）

目前市场上常规的高温型水源热泵机组产品性能工况尚不能满足要求：目前常规的高温型水源热泵机组在高温制热工况下，热水（冷凝器侧）进出水温度为70/75℃，热源水（蒸发器侧）进出水温度为38/30℃。但高寒地区地下水源温度（8~12℃）均不能满足要求，则不能直接采用地下水源作为热源侧使用，机组将无法正常运行。

如采用地下水源热泵机组作为太阳能的互补热源，其应具备如下几点要求：

● 采用常规的高温型水源热泵机组

- 利用太阳能蓄热水箱的水（进水温度低于40℃）作为高温型水源热泵机组的蒸发器进水。
- 当太阳能蓄热水箱的水温介于40~55℃（假设55℃供水通过板式换热器换热给末端供热仍然能保证室内温度的前提下）时，需在高温水源热泵机组蒸发器侧水路上设置混水旁通，保证蒸发器进水温度不高于35℃。但此方式有相应的热量及温度品位损失，不经济。

● 采用特殊型高温型水源热泵机组

采用复叠式制冷系统（低温级的冷凝器作为高温级的蒸发器吸热），满足太阳能蓄热水箱的进水温度在10℃~60℃时作为高温型水源热泵机组的蒸发器进水。低于10℃时，可直接利用地下水源。



太阳能集热器选型

太阳能集热器选型

平板型集热器：以往的平板集热器在冬季运行时，由于环境温度较低，热损失很大。随着平板集热器的相关生产技术进步，保温效果较好的平板型集热器热损系数已降低至 $4.0\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，可以应用于寒冷地区。

真空管集热器：

- 全玻璃真空管集热器：这种集热器在非承压状态下运行，对系统要求不高，安装方便，但是系统抗冻性能差，对冬季防冻要求比较高，一旦发生真空管破裂，整个系统将停止运行。
- U形管式真空管集热器：能承受高温、承压等很多优点，但运行工质为防冻液，对太阳能集热器的质量要求很高，否则在运行过程中会产生较大的安全隐患（漏液、腐蚀、开焊、炸管等）。防冻液为乙二醇水溶液，具有一定挥发性，如果长期在高温状态下运行，容易脱水为固状胶体，堵塞集热器支管，导致集热器堵塞进而造成损坏。

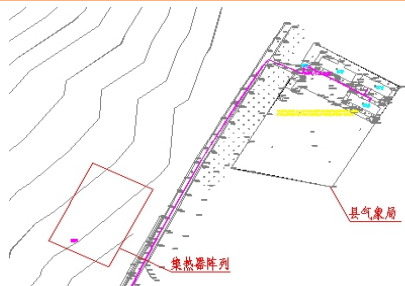
建议使用**效率较高的大面积双盖板平板型太阳集热器**，其承压运行，更换方便，热性能好，运行安全，成本低。同时，由于金属流道管径较小，其内部传热工质容量也较全玻璃真空集热管小，冬季需要的防冻液更少。



周边山体或建筑遮挡对太阳能集热的影响

太阳能集热量修正

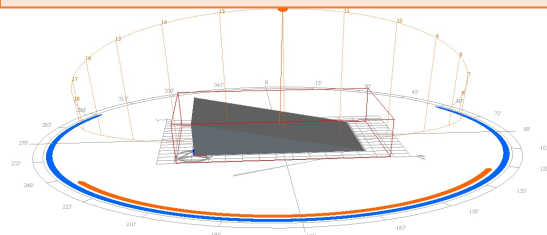
采用集中布置太阳能集热器的方式，结合当前土地控制性详细规划及现场调研情况可知，可选择利用的场地位于**县气象局对面山坡**（集热器布置点绝对标高为4217米，山顶最高点绝对标高为5250米，集热器布置顶端据西侧山顶的水平距离为2800m，集热器布置顶端据县道路基200米，坡度为8%）；根据模拟修正结果，在冬季供暖季节早上10点左右开始太阳能才有得热量，下午17~18点以后没有集热量，每天**可利用集热时间为早上10点~下午16~17点，总共7~8小时**的集热时间。



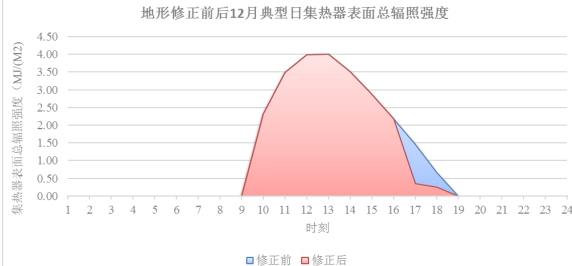
集热器阵列选址示意及现场图片



太阳能集热器集热量修正模拟（DEST软件）



地形修正前后12月典型日集热器表面总辐射强度对比（DEST软件）

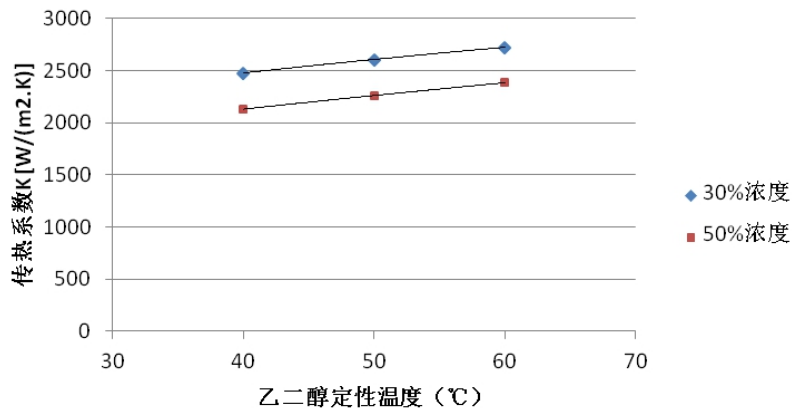




太阳能集热换热器的选择

板式换热器随着乙二醇和循环水定性温度的降低呈近似线性下降趋势，定性温度每下降 1°C ，传热系数约下降0.5%；随着乙二醇浓度的增加，传热系数随定性温度降低而下降的比例略微增大。

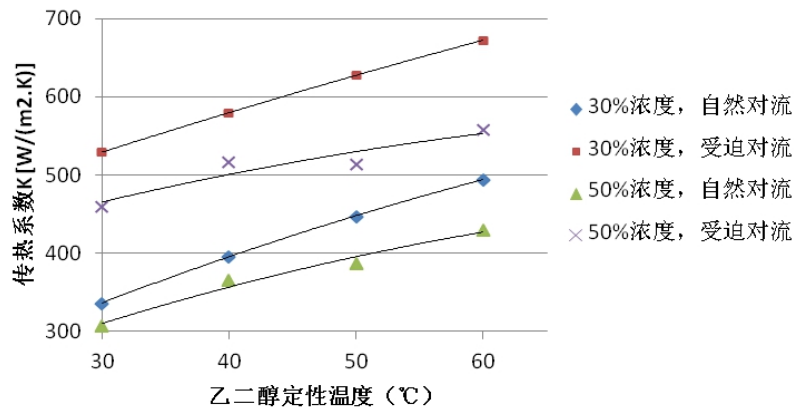
不同乙二醇定性温度下板式换热器总传热系数



防冻液侧进出口温度为 $59^{\circ}\text{C}/41^{\circ}\text{C}$ （防冻液定性温度 50°C ），循环水侧进出口温度为 $40/45^{\circ}\text{C}$ （循环水定性温度 42.5°C ）

浮动盘管换热器传热性能也随着介质定性温度的降低呈近似线性下降趋势。相同乙二醇浓度条件下，自然对流较受迫对流随着定性温度的降低传热系数下降得更快一些；随着乙二醇浓度的升高下降比例略微减小。定性温度每下降 1°C ，管外为自然对流的换热器传热系数约下降1%，管外为受迫对流的换热器传热系数约下降0.8%

不同乙二醇定性温度下浮动盘管换热器总传热系数

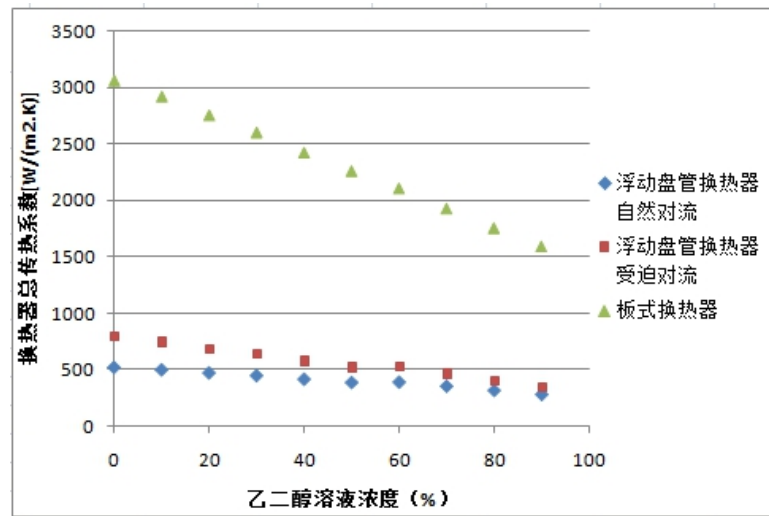




太阳能集热换热器的选择

随着乙二醇浓度的增加，板式换热器总传热系数下降速率高于浮动盘管换热器，浓度越大，二者之间的差异越小。可见，当乙二醇浓度溶液过高时，板式换热器传热效果下降较快，为获得相同的换热量，投资也会越高。

对于浮动盘管换热器，理论上可以依靠增大传热面积增加换热量或更换传热材质提高传热系数，但材质的总传热系数的影响仅占5-10%，因此，改变传热材质对总传热系数的提高作用较小；靠传热面积的增大会使设备体积庞大，维修困难。



建议：

1) 采用板式换热器的间接式系统较适宜用于高寒地区的大中型太阳能供暖系统中，当换热器一次侧与二次侧流量相差较大时，为保证换热器两侧流速接近，宜选用不等流道截面的板式换热器；

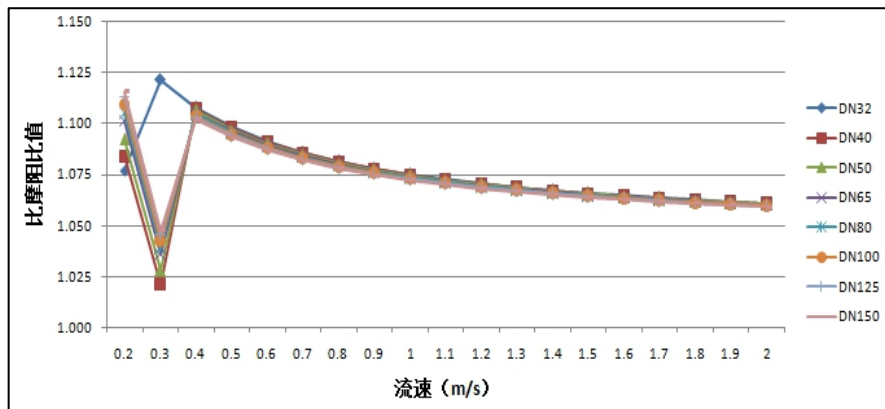
2) 采用浮动式盘管换热器的间接式系统较适用于小型太阳能供暖系统，系统简单，容易操控，故对于小型太阳能供暖系统，也可采用流动阻力小的管壳式换热器



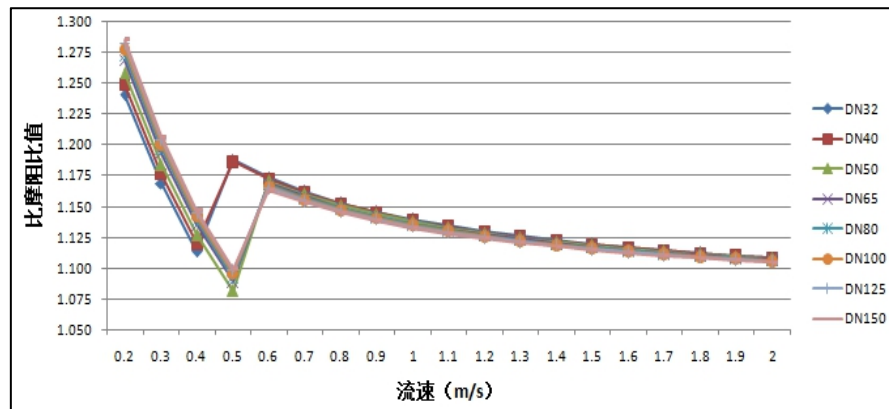
防冻液对集热系统阻力的影响——乙二醇阻力修正系数分析

乙二醇阻力修正系数分析

- (1) 当温度、浓度、管径一定时，乙二醇阻力修正系数随流速的增大，总体呈下降趋势，且随着流速增加，各管径的阻力修正系数趋于收敛；
- (2) 当温度、浓度、流速一定时，在“拐点”前乙二醇阻力修正系数随管径的增大而增大，在“拐点”后乙二醇阻力修正系数随管径的增大而减小；
- (3) 当温度、流速、管径一定时，乙二醇阻力修正系数随浓度的增大而增大；



30%乙二醇溶液比摩阻与水比值
(定性温度取50°C)



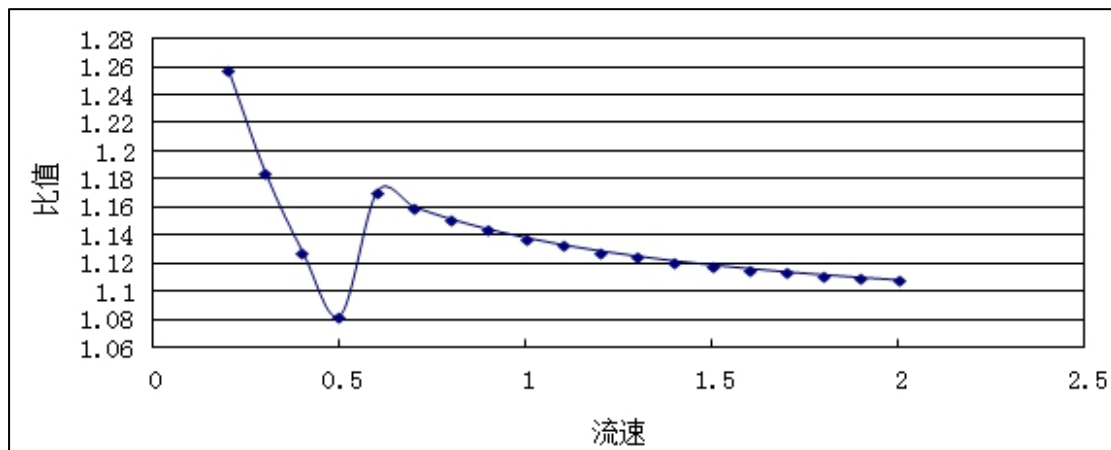
50%乙二醇溶液比摩阻与水比值
(定性温度取50°C)



防冻液对集热系统阻力的影响——乙二醇阻力修正系数分析

乙二醇阻力修正系数“拐点”解析

出现拐点的原因是由于乙二醇和水物理性质的不同，在相同流速下位于不同的阻力区。本工况下，紊流光滑区的雷诺数 Re 范围是 $4000 < Re < 15183.56$ 。在流速 $0.2 \sim 0.5 \text{ m/s}$ 范围内，乙二醇溶液处于紊流光滑区，而水溶液处于紊流过渡区，不同的阻力区有不同的流体力学性质，因而有不同的比摩阻变化率，最终造成了阻力修正系数的拐点

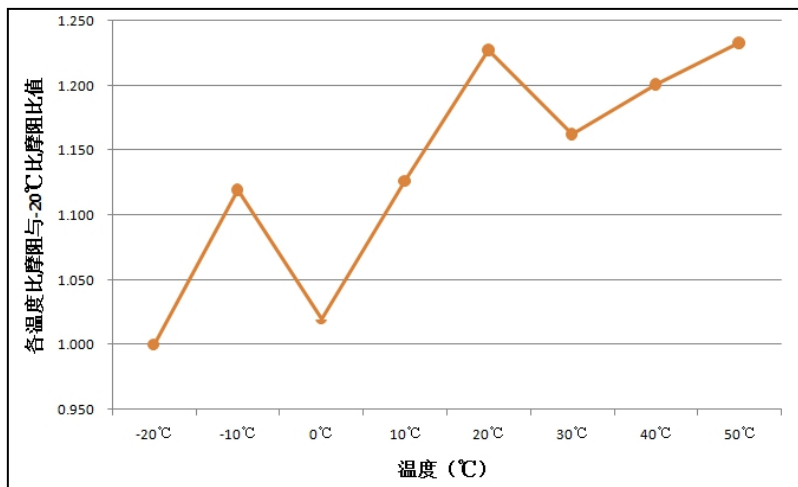


DN50-50°C-50%乙二醇溶液比摩阻与水比值



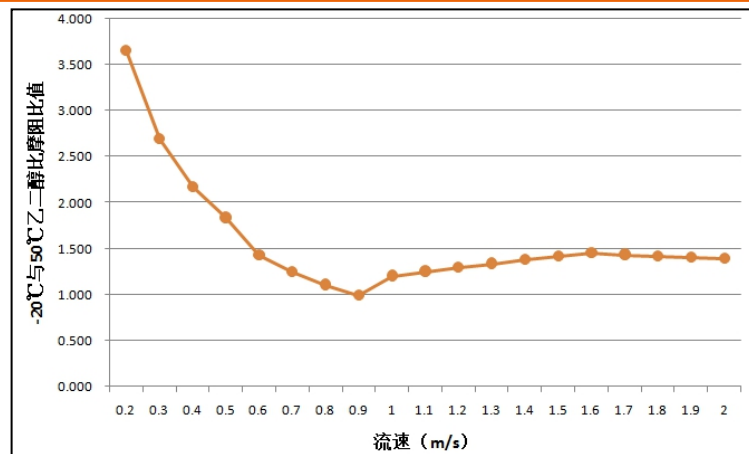
防冻液对集热系统阻力的影响——乙二醇阻力修正系数分析

用于分析太阳能供暖系统低温启动，并逐渐达到运行温度时，系统阻力对乙二醇循环泵的影响。图中曲线取值是在DN50、50%、1m/s工况下，各温度的乙二醇溶液比摩阻与-20℃时的比摩阻的比值。可以看出，随着温度上升，乙二醇溶液比摩阻总体呈下降趋势，其中有两个拐点，0℃的拐点是由过渡区进入紊流光滑区，30℃的拐点是紊流光滑区进入紊流过渡区。



-20℃乙二醇与各温度乙二醇溶液比摩阻比值
(DN50、50%浓度、1m/s)

用于分析太阳能供暖系统低温启动时，高阻力状态对乙二醇循环泵的影响。图中曲线取值在DN50、50%浓度工况下，可以看到各流速下，最不利的-20℃与设计工况50℃时，比摩阻的变化情况。可以看出，当流速在0.9m/s以上时，温度变化对比摩阻的影响是较小的，这时可以适当考虑对阻力的修正；而当流速低于0.9m/s时，-20℃比摩阻是设计工况的2倍到5倍，将会导致循环泵故障甚至损坏。



-20℃乙二醇与各温度乙二醇溶液比摩阻比值
(DN50、50%浓度)



太阳能集热系统防过热措施

非供暖时段防过热措施：

采用高反射低透光型遮阳装置对太阳能集热器进行遮光，阻断热量来源。

供暖时段防过热措施：

1) 辅助散热

在集热环路中加散热装置，供暖时段系统温度过高时开启散热装置，以降低系统温度；**但散热装置容量如何选择？？**

2) 热量转移

太阳能与地下水源热泵互补系统，在集热环路和水源侧环路之间加设换热器，将多余热量转移至地下。

在间歇供暖运行的系统中，在系统温度过高时，也可开启处于间歇的末端供暖设备来进行散热。

集热系统防过热**自控措施**：

1) 防冻液温度应根据防冻液物理性质设定温度上限，过高时应启动散热装置排除过多热量，防止防冻液裂解；

2) 在系统中应安装安全阀等泄压装置，其设定开启压力，应与系统可耐受的最高工作温度对应的饱和蒸汽压力相一致，在系统压力过高时开启泄压，防止系统遭到破坏。



互补供暖系统监控设计

平台架构：底层传感监测+PLC控制器+上层平台组态控制+数据处理（自适应调控修改相关设定值）

监控点位及功能要求：主要针对太阳能集热及蓄热系统运行参数进行监测，同时对互补热源系统主要设备进行监控。

太阳能集热系统——监测部分

监测对象	监测工艺参数	功能用途
太阳能集热器	太阳能辐射量	用于分析太阳能集热效率
每排并联太阳能集热器组	进出液温度（防冻液）	用于分析各并联集热器组的换热情况
板式换热器	一次侧进出液温度（防冻液）	用于分析板式换热器效率及集热量
太阳能集热器总管	水流量	用于分析板式换热器效率及集热量

太阳能蓄热系统——监测部分

监测对象	监测工艺参数	功能用途
板式换热器	二次侧进出水温度	用于分析板式换热器效率及蓄热量
板式换热器二次侧管路	水流量	用于分析板式换热器效率及蓄热量
蓄热水箱水温	分层水温	分析水箱蓄热情况

互补热源——监控部分

监测对象	监测工艺参数	功能用途
互补热源设备	进出水温度、电流百分比、冷凝蒸发温度压力等	用于分析设备运行效率，并可调节出水温度

室内环境温度——监测部分

监测对象	监测工艺参数	功能用途
室内环境	干球温度	用于分析供需平衡，调控系统供水温度

THANKS



四川省建筑设计研究院有限公司
SICHUAN PROVINCIAL ARCHITECTURAL DESIGN AND RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.