

严寒条件下边防营区及哨所点位供暖技术的探索与应用

空军工程设计研究局 罗继杰[☆] 张蔚东 李 靖 王 烽

摘要 针对边防营区及哨所自然环境恶劣,建筑寿命短、保温差、能耗大,采用传统的供暖技术能源供应问题突出,无法有效解决供暖的问题,研究了建筑一体化保温技术、太阳能供暖技术。工程应用表明,点位供暖技术能有效解决边防营区及哨所的冬季供暖问题。

关键词 边防营区 哨所 供暖 节能 太阳能

Exploration and application of spot heating technology for frontier guard barracks and sentry posts in severe cold conditions

By Luo Jijie[★], Zhang Weidong, Li Jing and Wang Feng

Abstract To solve the heating problem resulted from formidable natural conditions, short building life, poor insulation, larger energy consumption, and insufficient energy supply with traditional heating modes, studies the building integrated thermal insulation technique and solar energy heating technique. Two engineering application examples show satisfactory heating effects in winter.

Keywords frontier guard barracks, sentry post, heating, energy saving, solar energy

★ The Air Force Engineering Design & Research Institute, Beijing, China

①

1 点位供暖技术的形成

1.1 边防营区及哨所的供暖现状及难题

我国的边防营区、哨所大多位于气候严寒的高山、海岛、高原等自然环境恶劣的地带,远离中心城市,给后勤保障带来了诸多困难,冬季供暖问题尤其突出,室内温度难以保证,具体表现在以下三个方面。

1) 供暖能源供应问题突出,基本靠当地的牛粪、薪柴或煤、油等不可再生燃料解决供暖问题,或采用高能耗的常规电供暖,运行能耗高、使用效果差,安全难以保证。

2) 受军队营区建造条件所限,建造水平低下,致使建筑全寿命周期短,建筑能耗大,导致供暖成本过高、供暖质量难以保证。

3) 边防人员的主要任务是值勤、站岗,边防营区没有专门的营房维修人员,供暖设施维护、修理困难,致使供暖设施使用寿命短,一旦设施出现问题,供暖即受到极大影响,甚至无法供暖。

1.2 点位供暖概念

为有效解决营区执勤点(主要指主营区外的边

防哨所、分队阵地、边防雷达站等场所)的供暖难题,提出了用于执勤点的供暖保障系统,本文称之为点位供暖系统。

1.3 主要对策分析

根据营区(哨所)所处地区的地域及环境资源特点及各部队执勤点的使用及管理特点,研究符合当地特点及武器、人员保障的能源供给方式。

1) 我国严寒地区太阳能资源普遍较好,特别是新疆、青海、西藏等地区,为太阳能资源丰富的Ⅰ、Ⅱ类地区。这些地区生态环境脆弱,采用矿物燃料对环境破坏极其严重,因此应优先采用太阳能等可再生能源。

2) 结合部队执勤点的使用及管理特点,应尽量使系统简单、运转部件少,采用适用型设备或采

①☆ 罗继杰,男,1951年11月生,硕士,教授级高级工程师,全国工程勘察设计大师
100071 北京市永定门外洋桥 12 号空军工程设计研究局
(010) 66711011
E-mail: Luoijie001@sina.com
收稿日期:2013-01-28

用一体化的成套技术。

3) 研究适应部队特色,低成本、免维护的供暖模式。

2 点位供暖技术的主要研究内容

2.1 建筑一体化保温技术

2.1.1 建筑物围护结构保温的重要性

改善战勤人员的工作、生活环境,提高室内温

度的根本措施之一是改善围护结构的保温性能,降低围护结构的散热损耗。表 1 为华北地区某执勤点围护结构节能改造前后的指标对比,由表 1 可见,改造后可以减少年耗热量 50%左右。通过提高围护结构的保温性能一方面可以提高室温,另一方面可以极大地减小供暖系统规模或简化供暖系统配置。

表 1 华北地区某执勤点围护结构节能改造前后指标对比

	热指标/(W/m ²)	耗热量指标/(W/m ²)	年耗热量/(kW·h/(m ² ·a))	年标准煤量/(kg/(m ² ·a))	备注
改造前	85	31	90	32	370 mm 墙、单层钢窗
改造后	35	20	55	19	保温墙、单框双玻塑钢窗

2.1.2 建筑一体化保温技术适用性研究

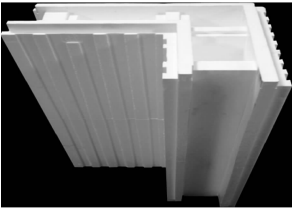
执勤点通常地域偏远,交通运输不便。调研发现,目前执勤点新建营房采用常规的轻集料砌块砖、空心砌块砖以及聚苯板、岩棉材料保温,但往往由于当地施工技术力量薄弱,或由于新型建材难以购买,导致保温标准降低甚至保温被取消,一定程度上影响了保温节能技术的推广使用。

根据使用需求,项目组开展了以边防哨所为代表的偏远执勤点建筑保温适用性技术研究,采用工厂预制的小型化、模块化的主要针对拼装式围护结

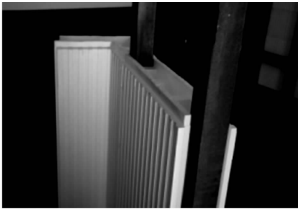
构的外保温构件,在提高保温效果的同时,降低了施工难度,可以有效保证施工质量。

1) 小型建筑保温节能技术研究

研发了适用于边防哨所、武器存放间等单层小型建筑保温一体化建造及施工工艺做法,即采用 EPS 模块的钢结构(轻钢)建筑保温技术及施工工艺。该做法以 EPS 模块为建筑主体,腔体内置的型钢作为支撑,内外表面采用 EPS 薄抹灰面层,提高了普通夹芯板彩板房墙面板的抗冲击及耐腐蚀性能,增强了房间的蓄热性能,小型建筑保温模块见图 1。



a EPS模块



b EPS模块钢结构安装图



c EPS模块整体安装图

图 1 小型建筑保温模块

保温后测试结果:复合墙体传热系数 $K=0.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;复合屋面传热系数 $K=0.18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

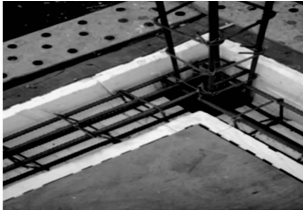
2) 中型建筑保温节能技术研究

研发了适用于分队阵地、雷达站、边防哨所等多层(2,3 层)中型建筑保温一体化建造及施工工艺做法,即采用 EPS 模块框架结构建筑保温技

术及施工工艺。该做法以 EPS 模块为建筑主体,内置钢筋混凝土支撑,内外表面采用 EPS 薄抹灰面层,提高了房屋的整体强度,实现了采用 EPS 模块及钢筋混凝土构件建造多层(2,3 层)保温建筑的施工做法,建筑模块均在工厂制造完成,有利于保证现场的施工质量,中型建筑保温模块见图 2。



a EPS模块



b EPS模块钢结构安装图



c EPS模块整体安装图

图 2 中型建筑保温模块

保温后测试结果:复合墙体传热系数 $K=0.25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;复合屋面传热系数 $K=0.18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

3) 新型门窗保温及气密性技术研究

门窗耗热量占建筑物耗热量的比例在 20% 以上,有效改善外窗保温性能和气密性对节能贡献率很大。项目组与合作单位联合研制了低成本、高效的保温节能窗(单框双扇四(六)玻塑料窗),其传热系数 $K=1.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,节能效果显著。同时根据地域、气候以及太阳能资源特点,研制了不同透光面积的保温窗,新型保温窗见图 3。



图 3 新型保温窗

4) 部队供暖保障管理及节能技术研究

一方面在建筑热工上深入挖潜,比如控制建筑物体形系数,选择合适的窗墙面积比等;另一方面根据部队特点,采用白天拆除、夜晚安装保温窗帘、保温窗板的做法,既能在白天日照较好的情况下吸热,又避免了夜晚散热加剧的不利因素。

2.2 太阳能供暖技术研究

2.2.1 太阳能应用现状

目前各执勤点的太阳能热利用以真空管集热器和平板集热器加热生活热水为主,应用太阳能供暖的实例较少,各类集热器在太阳能供暖系统中使用存在如下问题。

1) 供暖保证率低,由于太阳能资源具有间断特点,即使在太阳能资源丰富的 I, II 类地区,其保证率一般也不超过 50%。

2) 真空管集热器存在破碎、泄漏的危险,运行不够稳定。

3) 平板集热器用于严寒地区,需采用排空或

防冻技术,管理相对复杂。

2.2.2 槽式太阳能热泵供暖系统

2.2.2.1 系统组成

针对上述问题,项目组与合作单位联合研制了以槽式集热器(见图 4)为集热单元的新型热泵供暖装置及其应用技术,提高了太阳能供暖系统的保证率,可以应用于雷达站、边防哨所等多层建筑的供暖系统中。

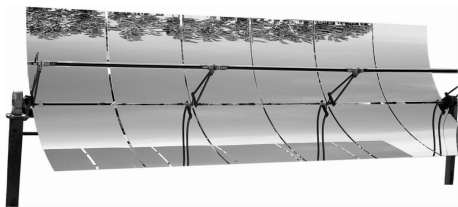


图 4 槽式集热器

槽式中高温太阳能热泵供暖系统由四大核心部件组成(见图 5):1) 热源收集设备——中高温太阳能集热器;2) 产热设备——高效吸收式空气源热泵;3) 储热设备——中高温相变蓄热器;4) 用热设备——末端用热装置(地板供暖装置、风机盘管等)。

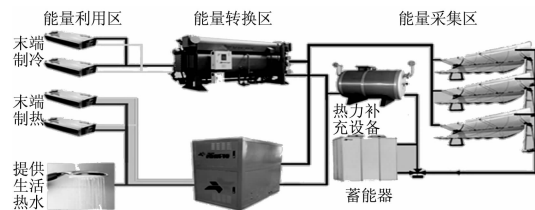


图 5 槽式太阳能热泵供暖系统组成

2.2.2.2 基本原理

槽式太阳能热泵供暖系统是通过太阳能槽式集热器加热导热油,通过高温油驱动热泵主机产热的系统,它包括油路系统、水路系统和蓄热系统。热能采集在油系统内完成,导热油在太阳能集热器内吸热,在热泵主机内放热,完成油系统的热传递;水在热泵热水主机内吸热成为高温热水,通过末端设备向室内供暖,完成水路系统的供暖循环;设置高效相变蓄热装置,将多余热量收集储存,当太阳能辐照度较低时,由蓄热器提供稳定的能量,驱动热泵机组制热。

2.2.3 太阳能热风供暖技术研究

2.2.3.1 系统特点及适应范围

项目组研制了以空气集热器、太阳能热风墙为集热装置的热风供暖系统,提高了常规太阳能供暖

系统的可靠性,降低了系统维护难度,可以应用于边防哨所、武器存放间等单层小型建筑的供暖系统中。

与太阳能热水供暖相比,该系统存在空气载体密度低、热容量小、导热系数低、换热效率低等明显缺点,同时也具备优于太阳能热水集热器的特点:

1) 集热系统简单,运行维护方便,且工作温度范围广,不存在冬季冻结问题,特别适用于高寒地区使用。

2) 热载体为空气,不腐蚀集热板和管路,设备使用寿命长。

3) 空气集热器的承压、密封等要求不高,即使有少量泄漏,对系统的运行和效率影响也较小。

4) 空气集热器的反应快,能延长太阳能利用时间。

5) 太阳能热风供暖系统只有一级换热系统,换热损耗少。

2.2.3.2 系统组成

太阳能热风供暖系统由太阳能空气集热器、管道、风机、蓄热装置、送风末端组成,以空气为载体。太阳能热风供暖的基本原理是将低温空气送入太阳能空气集热器,利用太阳能加热空气,然后将热空气送入室内供暖,其核心设备为太阳能空气集热器。

2.2.3.3 空气集热器的基本原理

空气集热器按照使用结构可以分为非渗透性和渗透性两类。

1) 非渗透性空气集热器结构如图6所示。

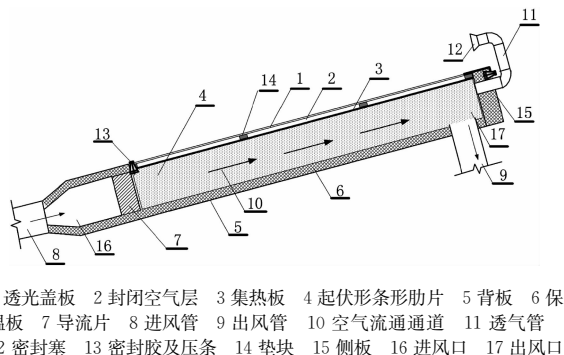


图6 非渗透性太阳能空气集热器结构

该类集热器又称无孔吸热板型空气集热器,特点是集热器中空气不穿过吸热板,而是在吸热板的正面或背面流动,并与被太阳能加热的吸热板进行

换热。太阳能集热装置包括透光盖板、吸热板、密封的上空气层和下空气层、空气流通通道、设置在空气流通通道中的强化传热肋片、进风管、出风管、透气管、保温板以及框架。

2) 渗透性空气集热器。该类型集热器又称多孔吸热板型空气集热器,俗称太阳能墙(见图7)。冲压成形的多孔吸热板在太阳辐射作用下升到较高温度,吸热板与墙体之间的空气间层在风机作用下形成负压,室外空气(室内空气)在负压作用下通过吸热板上的气孔进入空气间层,同时被加热,在上升过程中不断被吸热板加热,到达吸热板顶部的热空气被风机送至房间。与非渗透性空气集热器不同的是,吸热板对空气的加热主要是在空气通过吸热板表面的小孔(直径1~3 mm)的时候,而不是空气在间层中上升的时候。吸热板外表面为深色(吸收太阳辐射热),内表面为浅色(减少热损失)。在太阳能辐照度较大时,太阳能墙可以把空气温度提高30℃左右。

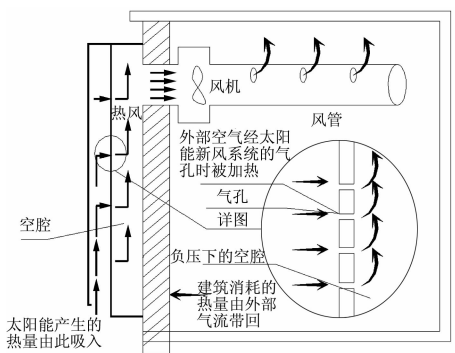


图7 太阳能墙原理图

2.2.4 供暖蓄热技术研究

高原执勤点多处于太阳能资源较丰富的Ⅰ、Ⅱ类地区,合理利用太阳能减少室内负荷是改善室内热环境、节约能源的有效途径。但由于太阳辐射能量密度较低,而且受地理、昼夜和季节等的影响,其辐射强度也不断发生变化,具有显著的稀薄性、间断性和不稳定性。为了保持太阳能供暖系统稳定、不间断地运行,就需要蓄热转换储存技术。

结合前文所述的太阳能被动式供暖以及太阳能主动供暖技术(槽式聚光太阳能热水供暖系统、太阳能热风供暖系统)采用适合的蓄热技术,实现太阳能的储存和转移,还需要满足以下的相关技术要求。

1) 用于太阳能被动式供暖系统及太阳能热风

供暖系统的低温相变蓄热材料、用于槽式聚光太阳能供暖导热油蓄热的高温相变材料具有合适的相变温度。

2) 相变材料具有较大的相变潜热量,以减小储热容积。

3) 相变材料化学性质稳定,无毒、无污染,价

格相对便宜。

4) 相变蓄热板材、蓄热砖等材质满足简化执勤点施工的要求。

针对上述要求,项目组对中低温相变蓄热材料进行了研究,并取得了相应成果(见图8),目前已经应用到相关项目,效果良好。

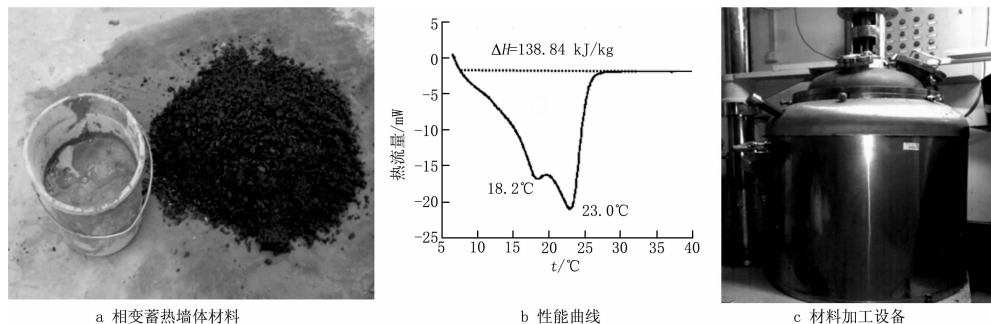


图8 相变蓄热材料

3 工程实践——点位供暖技术的应用

针对严寒地区军队营房建筑的特点及其供暖需求,因地制宜,采用不同的节能技术提高冬季供暖效果,延长建筑的全寿命周期。

3.1 阿尔山某雷达站太阳能供暖系统

3.1.1 工程概况及设计参数

工程建设地点内蒙古阿尔山属严寒地区,太阳能资源属太阳能热利用Ⅲ类地区。工程总建筑面积 150 m^2 ,建筑高度 3.5 m ,站房功能为光伏发电设备用房(见图9)。当地最冷月平均温度 -25°C ,冬季供暖室外计算温度 -22.5°C ,冬季供暖室内设计温度 18°C 。

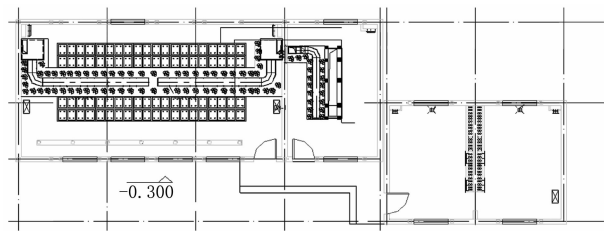


图9 设备用房平面图

3.1.2 供暖方案

为有效减少建筑围护结构热损失,结合当地资源条件,采用了复合建筑保温体系。

3.1.2.1 围护结构保温

1) 对围护结构进行保温。外墙采用 EPS 挤塑聚苯板保温框架式墙(传热系数 $0.2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$),内墙采用苯板保温框架式墙体(传热

系数 $0.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$),外窗采用四框玻塑钢窗(传热系数 $1.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$),屋顶采用彩钢板屋顶(传热系数 $0.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$)。

2) 采用直接受益的外窗。利用被动式太阳能住宅直接受益窗,既可将白天收集的太阳能在夜晚释放,减少室内温度波动,又可用太阳能代替部分常规能源,节约能源。直接受益窗的原理是利用地板和侧墙蓄热,房间本身作为一个集热储热体,在日照阶段,太阳光透过南向玻璃窗进入室内,地面和墙体吸收热量,表面温度升高,所吸收的热量一部分以对流的方式供给室内空气,一部分以辐射的方式与其他围护结构内表面换热,第三部分由地板和墙体的导热作用传入内部储存起来。当没有日照时,储存的热量释放出来,大部分用于加热室内空气,维持室温,其余传递到室外。

3) 减少南向窗墙面积比。一方面通过控制建筑物体形系数,减小开窗面积,控制窗墙面积比等措施减少散热负荷;另一方面充分发挥部队特色,采用白天拆卸、夜晚安装保温窗帘、保温窗板的做法,既能在白天日照较好的情况下吸热,又避免了夜晚散热加剧的不利因素。

4) 构造集热蓄热墙。该工程夜间耗热量占全天负荷的 70%,其蓄热量为 615 MJ 。按稳态工况下蓄热体温升 15°C 计算,混凝土地面厚度为 250 mm ,内砌砖墙面积为 18 m^2 。设计采用围护结构蓄热和相变材料蓄热相结合的做法,满足蓄热量的

要求。

5) 采用建筑能耗模拟计算软件对该建筑进行全年能耗模拟计算,经计算可知,采用该保温做法后,其设计热负荷可降至 30 W/m^2 ,最冷月平均耗热量约 17 W/m^2 ,比原围护结构节能 50% 以上。

3.1.2.2 太阳能供暖系统设计(见图 10)

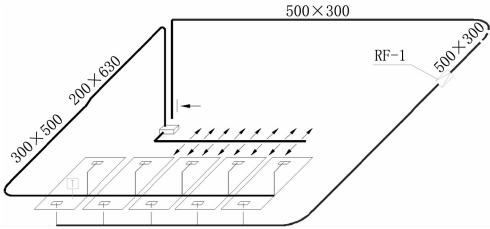


图 10 太阳能供暖系统

根据房间布置图,太阳能系统模块组合及系统形式如图 11 所示。模块采用“6+6+4”组合形式,3 个小型系统可以单独运行,方便在不同的季节调节供暖量。

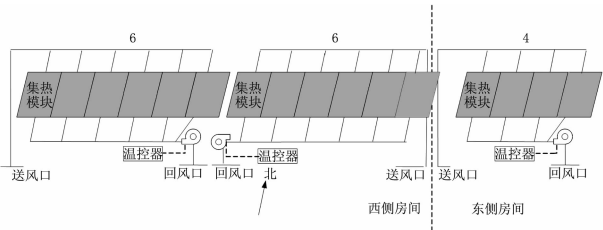


图 11 模块组合及系统形式

由 6 个模块组成的小型空气集热系统运行风量为 $1\,200\text{ m}^3/\text{h}$,由 4 个模块组成的小型空气集热系统运行风量为 $800\text{ m}^3/\text{h}$ 。散流器布置示意图如图 12 所示。

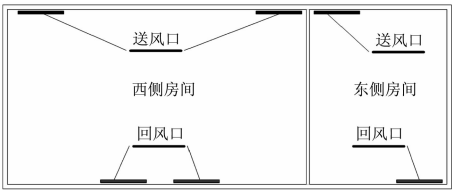


图 12 散流器布置示意

3.1.2.3 热风蓄热设计

1) 围护结构蓄热

该工程夜间耗热量占全天负荷的 70%,考虑安全系数取总热量的 100% 为储热量。最冷月日均耗热量为 $3\,806\text{ MJ}/31\text{ d}=123\text{ MJ/d}$,按连续 5 天阴天考虑,其储热量为 615 MJ 。按稳态工况下蓄热体温升 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 计算,需 250 mm 厚混凝土地面,

内砌砖墙面积 18 m^2 。

2) 光伏电冗余量蓄能电加热器的供暖设计

采用内置氧化铁系蓄热材料的蓄热电加热器,通过光伏发电冗余电量使蓄热材料升温至 $600\sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$,并采用高效保温材料减少非工作时间的散热量,实现低负荷时的放热功能。

蓄热式点位供暖电加热器选型参数见表 2。

	表 2 蓄热电加热器参数、规格	
	设备型号	
	JK200	JK300
功率/kW	2.0	3.2
设备电压/V	220(380)	220(380)
蓄热时间/h	8	8
规格/mm	670×270×620	670×270×810
有效蓄热量/kJ	54 340	79 420

根据计算结果,选择 JK200 型电加热器 2 台、JK300 型电加热器 1 台。

3.2 西藏地区某空勤紧凑型综合体建筑

3.2.1 工程概况及设计参数

建设地点拉萨位于青藏高原,属寒冷地区,海拔 $3\,700\text{ m}$,供暖设计温度 $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。该地区属太阳能热利用 I 类地区。

冬季供暖室外计算温度 $-5.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,冬季日照率 77%,冬季供暖室内设计温度 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

该建筑总建筑面积 $5\,279.5\text{ m}^2$,建筑高度 11 m ,建筑功能为飞行团轮训时的工作、居住、体训综合建筑(见图 13)。建筑平面采用模块化布局,通过生态中庭串联成一个有机整体。

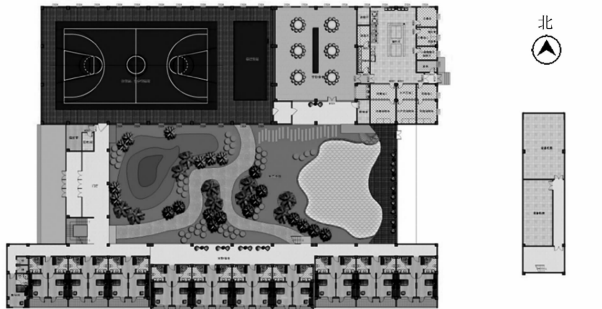


图 13 某飞行团空勤综合楼

3.2.2 供暖方案

采用被动式太阳能集热技术为供暖系统提供主要热源,根据西藏地区太阳能资源和地下水资源比较丰富的特点,采用水源热泵系统作为太阳能供暖系统的辅助热源。

在太阳能资源充足时,利用白天储存的太阳能

