

太阳能采暖概述

1.1 采暖热源及采暖系统分类

1.1.1 采暖供热的能源

采暖供热需要的热量是从某一种能源的能量转换而得到的。目前所使用的能源从性质上可分为三大类：矿物燃料、核能和可再生能源。

(1) 矿物燃料：主要是开采地下的矿产燃料资源，通过矿物质的燃烧释放出热量，是不可再生的能源，如煤炭、石油、天然气等。

(2) 核能：通过原子核的裂变或聚变反应而释放出来的能量，目前多用于核发电。

(3) 可再生能源：通常是指太阳能、风能、生物能（木材、秸秆等）、潮汐能、地热、波浪能、海洋温差等，是不消耗地球上固有资源或消耗之后还可以重新获得的能源。

目前，供热采暖仍是以消耗矿物燃料为主。但随着可再生能源的技术进步，开发利用可再生能源已经逐步形成产业化，应用范围也在不断地扩大。例如，利用太阳能提供家用生活热水，太阳能热水器已经得到了广泛的推广和应用，但太阳能能量密度稀疏且日照时间有限，冬夏能量分配反差，因此在太阳能供热应用上还需要配套技术的研究，来提高太阳能的利用率。

1.1.2 采暖系统分类及特点

1. 采暖系统分类

采暖系统可根据不同的方法进行分类。

1) 按系统热源的不同和系统规模的大小分类

(1) 城市热网采暖系统（热源为天然气锅炉、燃煤锅炉、燃煤或天然气热电联产）；

(2) 小区锅炉房采暖系统(热源为天然气锅炉、燃煤锅炉、燃油锅炉、电热锅炉或地源热泵);

(3) 独立采暖系统(热源为壁挂炉、电源热泵)。

城市热网采暖系统和小区锅炉房采暖系统都比较适合普通住宅(城市内大多数住宅小区)。其优点是技术比较成熟,安全、可靠,使用方便,价格便宜,每天 24h 供暖。但不足的是供暖的时间和温度不能自己控制,供暖期前后无热源,散热片取暖,一般出水温度在 70℃ 以上,但温度达到 80℃ 时就会产生灰尘团,使暖气上方的墙面布满灰尘。

独立采暖系统比较适用别墅类建筑等低密度住宅。其优点是占地面积小、安装简单、操作便利,采暖的同时也能提供生活热水、舒适性高。采暖时间自由设定,可随时开启,每个房间温度能在一定范围内随意调节。不足之处是,前期投入较大,运行费用较高,需要用户自己维护和更新。

2) 按采暖末端分类

(1) 电热膜采暖:以电力为能源,是将特制的导电油墨印刷在两层聚酯薄膜之间制成的纯电阻式发热体,配以独立的温控装置。以低温辐射电热膜为发热体,大多数为天花板式,也有少部分铺设在墙壁中甚至地板下。具有恒温可调、经济舒适、绿色环保、寿命长、免维护等特点。

(2) 低温辐射地板采暖:通过埋设于地板下的加热管——铝塑复合管或导水管,把地板加热到表面温度 18~28℃,均匀地向室内辐射热量而达到采暖效果。同时它可以由分户式燃气采暖炉、市政热力管网、小区锅炉房等各种不同方式提供热源。地面温度均匀,室温自下而上逐渐递减,舒适度高,有较好的空气洁净度。与其他采暖方式相比,节能幅度为 10%~20%,有利于屋内装修,增加 2%~3% 的室内使用面积,有利于隔声和降低楼板撞击声等特点。

(3) 风机盘管采暖:采用市政电或天然气,通过出风口提供热源供暖。有档次高、外形好、舒适度高、温度与时间可预调、适合面积较大的低密度住宅和别墅等特点。

(4) 燃气红外辐射采暖:利用天然气、液化石油气等可燃气体,在特殊的燃烧装置——辐射管(板)内燃烧而辐射出各种波长的红外线进行供暖。适合高大的工业厂房和某些大空间的公共建筑,具有热能消耗少、舒适、采暖热效率高等特点。

2. 太阳能采暖系统特点

太阳能采暖系统与常规能源采暖系统的主要区别,在于它是以太阳能集热器作为热源,替代或部分替代以煤、石油、天然气、电力等作为常规能源的锅炉。太阳能集热器获取太阳辐射能而转换的热量,通过散热系统送至室内进行采暖;过剩热量储存在储热水箱内;当太阳集热器收集的热量小于采暖负荷时,由储存的热量来补充;当储存的热量不足时,由备用的辅助热源提供。

太阳能采暖系统与常规能源采暖系统相比,有如下特点。

(1) 系统运行温度低。由于太阳能集热器的效率随运行温度升高而降低,因此尽可能降低集热器的运行温度,也尽可能降低采暖系统的热水温度。若采用地板辐射采暖,则集热器的运行温度在 $30\sim 38^{\circ}\text{C}$ 之间就可以了;若采用普通散热器采暖系统,则集热器的运行温度必须达到 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ 以上。

(2) 有储存热量的设备。由于辐射到地面的太阳辐射能受气候和时间的支配,不仅有季节之差,即便一天之内的太阳辐射度也是不同的,因此太阳能不能成为连续、稳定的能源。要满足连续采暖的需求,系统中必须有储存热量的设备。

(3) 与辅助热源配套使用。由于太阳能不能满足采暖需要的全部热量,或者在气候变化大而储存热量又很有限时,特别在阴雨雪天和夜晚几乎没有日照,因此太阳能不能成为独立的能源。要满足各种气候条件下采暖的需求,辅助热源是不可缺少的。太阳能采暖系统的辅助热源可采用电力、燃气、燃油和生物质能等。

(4) 适合在节能建筑中应用。由于地面上单位面积能够接收的太阳辐射能有限,因此要满足建筑物采暖的需求,且达到一定的太阳能保证率,就必须安装足够多的太阳能集热器。如果建筑围护结构的保温水平低,门窗的气密性差,那么在有限的建筑围护结构面积上不足以安装所需的太阳能集热器面积。

1.2 太阳能供热采暖技术现状

1.2.1 中国太阳能供热采暖技术现状

随着国民经济的发展,能源需求量日益增加,能源利用情况紧张,而常规能源的大量使用必将对环境造成不利影响。在建筑能耗中,生活热水、供暖能耗占了相当的比例,利用太阳能来满足生活热水、供暖这些低品位能耗的要求具有巨大的节能效益。太阳能作为可再生能源的一种,取之不尽,用之不竭,同时又不会增加环境负荷,而我国又属太阳能资源丰富的国家之一,年辐射总量为 $3300\sim 8300\text{MJ}/\text{m}^2$,全国 $2/3$ 以上面积地区年日照小时数大于 2000h ,具有太阳能利用的良好条件。因此,太阳能采暖技术越来越受到人们的重视。

太阳能采暖是指以太阳能作为采暖系统的热源,利用太阳能集热器将太阳能转换成热能,供给建筑物冬季采暖。太阳能采暖可分为主动式和被动式两种方式。被动式太阳能采暖是通过建筑的朝向、周围环境的合理布置、内部空间和外部形体的合理设计、建筑蓄热材料的运用,使建筑物在冬季能充分收集、存储和分配太阳辐射热,从而提高室内的温度,达到采暖目的。主动式太阳能采暖主要由太阳能集热系统、蓄热系统、末端供热采暖系统、自动控制系统和其他能源辅助加热、换热设备组合构成,通过动力系统将收集的太阳能转化成热量直接用于冬季的建筑采暖或进行热量储存

用于冬季的采暖。

1. 被动式太阳能采暖

与单纯的太阳能热水供应相比,我国用于冬季供暖的太阳能供热、采暖技术和工程应用的技术水平较低。由于经济发展相对落后,从国情出发,采取的政策是优先发展被动太阳能采暖。我国的第一栋被动式采暖太阳房于1977年在甘肃省民勤县建成。经过三十多年的发展,以及引进、消化、吸收国外太阳能建筑技术,我国已形成了具有中国特色的包括理论、设计、施工、试验及评价方法在内的整套被动式太阳能采暖技术,建成了几百万平米建筑面积的被动式采暖太阳房。

现今我国的太阳房建筑,主要是被动式太阳房。被动式太阳房的类型很多,目前从利用太阳能的方式来区分有以下三种。

1) 直接受益式

房屋的南向立面有较大面积的玻璃窗,阳光透过玻璃窗进入房间后,直接照射到房间的地面、墙壁和家具等表面上,使其吸收大部分热量而温度升高。被这些围护结构内表面吸收的太阳能,一部分以辐射和对流的方式在室内空间传递,加热室内空气,一部分传导入围护结构内部,然后逐渐放出热量,使房间在晚上和阴天也能保持一定的温度。窗扇的密封性要好,并且配有保温窗帘或窗扇(板),以防止夜间从窗户向外的热损失。此外,要求外围护结构有良好的保温性能和蓄热性能。目前应用最普遍的蓄热建筑材料包括砖石、混凝土和土坯等。在炎热的夏季,有良好保温性能的热惰性的围护结构也能在白天阻止热量传到室内,并通过合理的组织通风,使夜间的室外冷空气流进室内,冷却围护结构内表面,延缓室内温度的上升。

由于直接受益式太阳房热效率较高,但室温波动较大,因此,适用于白天要求升温快的房间或只是白天使用的房间,如教室、办公室、住宅的起居室等。如果窗户有较好的保温措施,也可以用于住宅的卧室等房间。

2) 集热蓄热墙式

集热蓄热墙式太阳房是间接式太阳能采暖系统。阳光首先照射到置于太阳与房屋之间的一道玻璃外罩内的深色储热墙体上,然后向室内供热。

采用集热蓄热墙式太阳房室内温度波动小,居住舒适,但热效率较低,常常和其他形式配合使用。如和直接受益式及附加阳光间式组成各种不同用途的房间供暖形式,可以调整集热蓄热墙的面积,满足各种房间对蓄热要求的不同,这种组合可以适用于各种房间的要求。但玻璃夹层中间容易积灰,不好清理,影响集热效果,且立面涂黑不太美观,推广有一定的局限性。

3) 附加阳光间式

在房间南侧附建一个阳光间(或称日光温室),阳光间的围护结构全部或部分由玻璃等透光材料做成,可以将屋顶、南墙和两面侧墙都用透光材料,也可以屋顶不透光或屋顶、侧墙都不透光。阳光间的透光面宜加设保温窗帘、板。阳光间与房间之间

的公共墙上开有门、窗等空洞。阳光间得到阳光照射被加热后,热空气可通过门、窗进入室内,夜间阳光间温度高于外部环境温度,可以减少房间向外的热损失。

针对不同地区和需要,可采用不同型式的被动式太阳房。在实际应用中,以上几种类型往往是结合起来使用,称之组合式或复合式。通过各地实践和测试资料表明:与同类普通房屋相比,被动式太阳能采暖建筑的节能率在60%以上。由于被动式采暖的经济性和实用性,在中国的中西部地区村镇得到广泛的应用,如西藏、甘肃、内蒙古等地区。

2. 主动式太阳能供热采暖

主动式太阳能供暖系统在我国的发展一直比较缓慢,太阳能供热、采暖工程应用仍处于起步阶段,主要是由于经济条件、太阳能能量冬夏的不均衡和配套的蓄能技术还不成熟等原因。因此,国内已有的太阳能供热采暖工程均是示范性质的。国内近几年建筑供暖能耗不断下降,太阳能热利用产品性能日益提高,太阳能供热采暖逐渐受到人们的重视,建成的太阳能供热、采暖工程如北京清华阳光能源开发有限责任公司办公室试点工程、北京平谷新农村建设项目的将军关、玻璃台等乡村的农民住宅、拉萨火车站、中国建筑科学研究院通州研发基地(建研科技园)太阳能供热采暖试点和皇明太阳能集团日月坛微排大厦工程等都具有代表性。但太阳能区域供热、采暖(小区热力站)工程则还没有应用实践。这种太阳能供热采暖系统的推广障碍并不是集热、采暖技术本身,而是投资费用高以及夏季热量过剩,必须有配套的跨季节蓄热技术并实现全年的综合利用,同时要与电、燃气等常规能源与以及地源热泵、生物质能等其他可再生能源辅助来解决。

2006年5月启动的财政部、建设部“可再生能源建筑应用示范推广项目”中包括了较多的太阳能供热、采暖工程,在2006—2007年申报通过的212个项目中,太阳能+热泵综合的项目占25%,待该项目实施完成后,将极大带动我国太阳能供热采暖技术的发展和提高。

1.2.2 国际太阳能供热采暖技术现状

现代化社会中,人们对舒适的建筑热环境的追求越来越高,导致建筑采暖和空调的能耗日益增长。在发达国家,建筑用能已占全国总能耗的30%~40%,对经济发展形成了一定的制约作用。北美、欧洲对太阳能供热(热水、采暖)系统的工程应用已有几十年历史,过去主要用于单体建筑内的小型系统,近十余年来,包括区域供热在内的大型太阳能供热采暖综合系统的工程应用有较快发展。

美国是世界上能量消耗最大的国家,国会先后通过了“太阳能供暖降温房屋的建筑条例”和“节约能源房屋建筑法规”等鼓励新能源利用的法律文件。在经济上也采取有效措施,不仅在太阳能利用研究方面投入大量经费,而且由国会通过一项对太阳能系统买主减税的优惠办法。因此,美国太阳能建筑的发展极为迅速,无论是对太阳

能建筑的研究、设计优化,还是材料、房屋部件结构的产品开发、应用,以及真正形成商业运作的房地产开发,美国均处于世界领先地位,并在国内形成了完整的太阳能建筑产业化体系。

在被动式太阳房研究领域,美国于20世纪80年代初就由新墨西哥州的洛杉矶拉莫斯科学实验室编制出版了被动式太阳房设计手册。此外,美国还出版了许多实用的被动太阳房建筑图集,既介绍成功的设计实例,也有对太阳房原理、构造的详细说明。这些工具书的发行和一些样板示范房屋的建立对美国公众接受太阳房起到了很好的促进作用。比较著名的示范建筑有位于新泽西州普林斯顿的凯尔布住宅(采用窗、附加阳光间和集热蓄热墙的组合式太阳房)、位于新墨西哥州科拉尔斯的贝尔住宅(主要采用水墙集取太阳能)、位于新墨西哥州斯塔菲的斯塔菲太阳房(由附加阳光间和岩石仓储热的组合系统供热)、位于加利福尼亚州阿塔斯卡德洛的阿塔斯卡德洛住宅(冬季供暖,夏季降温)以及位于新墨西哥州科拉尔斯的戴维斯住宅(空气集热器和岩石仓储热的自然对流环路系统)。这些建筑采用壁炉或电散热器作为辅助热源,但太阳能供暖率均在75%以上,有的已达到100%。

早在20世纪40年代,美国麻省理工学院就开始进行了利用太阳能集热器作为热源的供暖、空调系统研究,先后建成了一些实验太阳房。这些实验太阳房即是最早的主动式太阳房。到20世纪70年代以后,又有华盛顿近郊的托马森太阳房和科罗拉多州丹佛市的洛夫太阳房等主动式太阳房的示范建筑建成。这些太阳房的成功运行,说明太阳能供热、空调系统在技术上是完全可行的,但由于投资较大,推广普及程度不及被动式太阳房。直到进入20世纪90年代,由于开发出更加高效的太阳集热器和吸收式制冷机、热泵机组,应用范围才得以扩大。世界最大的太阳能采暖建筑于2008年4月初在美国纽约州Fort Drum军事基地建成。该系统(总计超过11万平方英尺)设置在27幢军用建筑物上,集聚太阳能峰值超过4MW。通过利用太阳能替代化石燃料用于采暖,相当于每年减排CO₂超过2000t。该基地预计年节约燃料440亿Btu(46000GJ)。

日本在主动式太阳房的研究应用领域也处于世界前列。1974年日本通产省制定了“阳光计划”,并按此计划建造了数幢典型太阳能采暖空调试验建筑,如矢崎实验太阳房、号草加太阳房等。而且多年来日本的太阳能采暖、空调建筑一直稳步发展,并已应用于大型建筑物上。

此外,法国、德国、澳大利亚、英国等发达国家也拥有相当先进的太阳能建筑应用技术。著名的集热蓄热墙采暖方式即是法国人菲利克斯·特朗勃(Felix Trombe)的专利,法国的奥代洛太阳房是该采暖理论转化为实际应用的第一个样板房。英国利物浦附近的沃拉西的圣乔治郡中学,是直接受益式太阳房最大和最早的样板之一。尽管英国的太阳能资源并不丰富,该所中学安装的常规采暖系统却从未使用过。

德国是应用太阳能供热技术较早的国家,太阳能采暖技术已经在德国居住区供

热设置改造和配套建设中得到广泛推广和应用。欧洲大多数国家都积极鼓励支持利用太阳能,对安装太阳能装置的家庭实行补贴政策,一般补贴为系统造价的20%~50%;以色列80%住宅装有太阳能热水器,政府以立法形式规定高度27m以下新建住宅必须安装太阳能热水器。丹麦 Marstal 太阳能供热采暖工程是世界上最大的太阳能供热采暖系统,太阳能集热器设置在大面积空地上,集热器面积为1.83万平方米,与社区热力网连接,1996年建成运行,年热负荷 $28\text{GW}\cdot\text{h}$,同时使用 2100m^3 水箱、 4000m^3 水容量砂砾层及 10000m^3 地下水池蓄热。

最后值得一提的是近几年来在发达国家已有相当发展水平的“零能房屋”,即完全由太阳能光电转换装置提供建筑物所需要的全部能源消耗,真正做到清洁、无污染,它代表了21世纪太阳能建筑的发展趋势。新的欧洲可再生能源指标要在2020年实现占总能源消耗的20%,而供热和制冷就占了这个指标的50%,到现在为止已有27个地区实现了这个目标。

1.3 中国太阳能供热采暖条件分析

1.3.1 中国冬季采暖基本情况

我国政府规定,秦岭、淮河以北地区居住和工作房间冬季必需配备采暖设施,一般自南至北采暖周期在2~6个月,东北高纬度地区及青藏高原高海拔地区(3000m以上)采暖周期甚至长达8个月以上。近年来,随着经济上的日益富裕,人们生活水平的提高,事实上除岭南地区及福建沿海地区外,大部分地区都产生了冬季采暖的大量需求。

我国2007年全年总能耗约30亿tce(吨标准煤),其中建筑物能耗占三分之一(约10亿tce),在建筑物能耗中采暖能耗占三分之一,即每年我国采暖能耗3亿tce以上,而且呈逐年迅速上升趋势。2010年,城镇建筑节能率达到50%,其中各特大城市和部分大城市率先实施节能65%的标准。开展城市既有住房和公共建筑的节能改造,大城市完成改造面积25%,中等城市完成15%,小城市完成10%。在此基础上,到2020年实现大部分既有建筑的节能改造,新建建筑东部地区要实现节能率75%,中部和西部也要争取实现节能率65%。如果推行建筑节能,到2020年,我国可以把能耗控制在7.54亿tce,能节约3亿tce以上,这相当于英国或者是法国的全年能耗。

从传统意义上来说,采暖主要以燃煤锅炉供热。近年来,由于环保要求的提高,在一些城市,燃气、电加热锅炉也在快速发展。然而,从经济角度衡量,燃煤锅炉供热仍是成本最低的。在广大农村地区,冬季采暖还主要是用农作物秸秆等薪柴作燃料(产煤地区以燃煤为主)。

1.3.2 太阳能热源采暖的技术条件

1. 气象

太阳能集热主要的气象条件是要有足够的太阳辐照量。若以德国汉堡为参照,则我国几乎所有的地区都可满足。我国属太阳能资源丰富的国家,主要采暖区全年日照时数在 2200h 以上,年太阳能辐照量为 $5000\sim 8370\text{MJ}/\text{m}^2$,气象条件十分优越。

根据我国的地理条件,太阳能资源有着明显的地域性,分布的主要特点是太阳能的高值中心和低值中心都在北纬 $22^\circ\sim 35^\circ$ 这一带,青藏高原为高值中心,四川盆地为低值中心。从全国来看,除西藏和新疆外,南部太阳辐照低于北部,东部太阳辐照低于西部。这有利于北部地区和西部地区利用太阳能采暖的实施。根据接受太阳总辐照量的大小,可将我国划分为五类地区,如表 1.1 所示。

表 1.1 太阳能资源区域划分

类型	地区	年日照时数/h	年辐射总量/(MJ/m^2)
1	西藏西部、新疆东南部、青海西部、甘肃西部	3200~3300	6696~8370
2	西藏东南部、新疆南部、青海东部、宁夏南部、甘肃中部、内蒙古、山西北部、河北西北部	3000~3200	5859~6696
3	新疆北部、甘肃东南部、山西南部、陕西北部、河北东南部、山东、河南、吉林、辽宁、云南、广东南部、福建南部、江苏北部、安徽北部	2200~3000	5022~5859
4	湖南、广西、江西、浙江、湖北、福建北部、广东北部、陕西南部、江苏南部、安徽南部、黑龙江	1400~2200	4185~5022
5	四川、贵州、重庆	1000~1400	3348~4185

一类地区:

全年日照时数为 3200~3300h,辐射量为 $6696\sim 8370\text{MJ}/\text{m}^2$,相当于 225~285kg 标准煤燃烧所发出的热量。主要包括青藏高原、甘肃北部、宁夏北部和新疆南部等地。这是我国太阳能资源最丰富的地区,与印度和巴基斯坦北部的太阳能资源相当。特别是西藏,地势高,太阳光的透明度也好,太阳辐射总量最高值达 $9210\text{MJ}/\text{m}^2$,仅次于撒哈拉大沙漠,居世界第二位,其中拉萨是世界著名的阳光城。

二类地区:

全年日照时数为 3000~3200h,辐射量为 $5859\sim 6696\text{MJ}/\text{m}^2$,相当于 200~225kg 标准煤燃烧所发出的热量。主要包括河北西北部、山西北部、内蒙古南部、宁

夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部和新疆南部等地。此区为我国太阳能资源较丰富区。

三类地区：

全年日照时数为 2200~3000h, 辐射量为 5022~5859MJ/m², 相当于 170~200kg 标准煤燃烧所发出的热量。主要包括山东、河南、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南、陕西北部、甘肃东南部、广东南部、福建南部、江苏北部和安徽北部等地。

四类地区：

全年日照时数为 1400~2200h, 辐射量为 4185~5022MJ/m², 相当于 140~170kg 标准煤燃烧所发出的热量。主要是长江中下游、福建、浙江和广东的一部分地区, 春夏多阴雨, 秋冬季太阳能资源还可以。

五类地区：

全年日照时数为 1000~1400h, 辐射量为 3348~4185MJ/m², 相当于 115~140kg 标准煤燃烧所发出的热量。主要包括四川、贵州及重庆。此区是我国太阳能资源最少的地区。

一、二、三类地区, 年日照时数大于 2000h, 年辐射总量高于 5000MJ/m², 是我国太阳能资源丰富或较丰富的地区, 面积较大, 约占全国总面积的 2/3 以上, 具有利用太阳能的良好条件。四、五类地区虽然太阳能资源条件较差, 但仍有一定的利用价值。

2. 工程条件

由于太阳能能源密度小、辐照不稳定(阴、晴、昼、夜), 因此, 需要建设较大规模的采光集热场地及蓄热水池。以北京市的气象条件测算, 若全部依靠太阳能供热, 无遮阳采光集热场地应不小于采暖面积的 1/4, 蓄热水池有效容积配备应不小于 200L/m² 采暖面积(可保证 10 天连续阴天供暖后, 地下蓄热水池水温 $\geq 50^{\circ}\text{C}$)。如果配备燃气或电加热辅助锅炉, 则采光集热场地及蓄热水池可视施工条件配置。

太阳能利用基本理论

2.1 太阳在空间的位置

我们肉眼看见的太阳,高悬在蔚蓝的天空,金光灿烂,绚丽多姿,轮廓清晰,表面十分平静。但是,实际上太阳却是一个巨大的球状炙热气团,整个表面是一片沸腾的火海,极不平静,每时每刻都在不停地进行着热核反应。

太阳是由大气和内部两大部分组成的。太阳的大气自里向外分为光球层、色球层和日冕层三个层次。内部自外向内则是对流层、中阶层和核心三个层次。太阳核心温度为 $8 \times 10^6 \sim 40 \times 10^6 \text{ K}$, 表面温度为 6000 K 左右。太阳内部通过核聚变把氢转变为氦,在反应过程中,产生巨大的热量,并向四周辐射。太阳一刻不停地向四周空间放射出巨大的能量,其总量平均每秒钟达 $3.865 \times 10^{26} \text{ J}$, 相当于每秒烧掉 $1.321 \times 10^{26} \text{ tce}$ 所释放出来的能量。而地球大气层所能接收的能量仅为其中的二十二亿分之一。尽管如此,每秒也有 $1.757 \times 10^{17} \text{ J}$, 折合标准煤约 $6.6 \times 10^6 \text{ t}$ 。地球上的风能、水能、海洋温差能、波浪能和生物质能以及部分潮汐能都是来源于太阳。即使是地球上的化石燃料(如煤、石油、天然气等)从根本上说也是远古以来储存下来的太阳能。据估算太阳还将有 100 亿年的寿命,相对于人类的有限生存时间而言,太阳能可以说是取之不尽、用之不竭的。

地球上某处所接收的太阳能辐射能量与太阳相对地球的位置有关,因此在太阳能应用的工程计算中要用到一些几何关系来描述所处位置与太阳能的关系,并可计算出太阳能集热器接收面所接收的太阳能辐射量。

2.1.1 太阳角度定义

(1) 纬度 ϕ : 赤道北或南从地球中心到观察者的位置连线与赤道平面间的夹角,北半球为正,南半球为负, $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ 。

(2) 太阳赤纬 δ : 通过地日中心的连线与通过赤道的平面间的夹角,北半球为