

# 拉萨火车站采暖系统对太阳能的利用



中国建筑设计院有限公司  
潘云钢

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 一、概况

地 点：西藏自治区，  
拉萨市，

设计时间：2004年10月  
~2005年5月

建筑面积：19504m<sup>2</sup>

建筑性质：交通建筑，  
2006年7月正式使用。



设计单位：中国建筑设计研究院

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 一、概况

### 建筑情况：

- ◆地上共2层，建筑总高度21.4m。
- ◆地上一层：旅客进站大厅、候车厅、售票大厅、出站大厅、贵宾候车厅、行包托取厅、办公用房等房间，除大堂外，房间层高为4.5m；
- ◆地上二层：综合商业、餐厅、办公用房、行包库等房间，层高4.5m。
- ◆地下一层主要房间：机电用房、平战结合的人防工程等。

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 一、概况

### 建筑热工：

- ◆外玻璃：Low-E玻璃，传热系数为 $2.5\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ；
- ◆外墙：传热系数 $0.50\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ；
- ◆屋面：传热系数 $0.65\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ；
- ◆架空楼板：传热系数： $0.50\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 二、采暖设计参数及热负荷

### 主要房间室内温度及热负荷

序号	房间名称	计算温度 (°C)	热负荷 (W)	体感温度 (°C)	备注
1	会议室	12°C	2474	15°C	略长时间停留场所
2	售票大厅	10°C	58111	12°C	短时间停留场所
3	普通候车厅	12°C	63441	14°C	略长时间停留场所
4	商店、咖啡间	12°C	48222	15°C	略长时间停留场所
5	游客进站广场	12°C	63438	13°C	短时间停留场所
6	母婴候车厅	14°C	4690	16°C	使用标准相对较高
7	贵宾候车厅	14°C	4123	16°C	使用标准相对较高
8	出站大厅	8°C	46496	10°C	非人员停留场所

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 二、采暖设计参数及热负荷

### 室内设计温度的取值：

- 1.室外空气非常干燥，相对湿度只有28%。如果设计室温较高，室内相对湿度非常低，影响人员舒适性（从当地的实际情况调研也反映出同样的问题）。
- 2.本建筑的一些主要房间都是人员的临时停留场所，设计温度可以适当降低。
- 3.本工程考虑以地板辐射采暖为主的方式，人员的“体感温度”必然高于室温。根据《北京市低温地板辐射采暖应用规程》规定，计算室温可以比规定值低2℃。

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 二、采暖设计参数及热负荷

典型设计日采暖热负荷逐时计算结果 (单位: kW)

时刻	0 : 00	1 : 00	2 : 00	3 : 00	4 : 00	5 : 00	6 : 00	7 : 00
热负荷	762	806	839	861	880	884	880	847
时刻	8 : 00	9 : 00	10 : 00	11 : 00	12 : 00	13 : 00	14 : 00	15 : 00
热负荷	788	707	618	534	461	418	399	392
时刻	16 : 00	17 : 00	18 : 00	19 : 00	20 : 00	21 : 00	22 : 00	23 : 00
热负荷	396	403	421	439	465	494	520	549

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 三、室内采暖系统设计

### 地板辐射供热：

- 太阳能集热水为“低位”热源；
- 地板辐射只需要低温热水，二者正好“吻合”。

### 采暖热水温度：41/36℃：

- 塑料管间距按照150mm计算，得出每个房间所要求的供/回水温度；计算结果：仅3个房间的水温需求超过41/36℃。
- 此方式尽可能降低了地板采暖供水温度，有利于更好的利用太阳能的设计原则。



# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 四、太阳能与供热系统设计

### (一) 条件与需求

- 拉萨对环保的要求；
- 建筑节能是国家能源战略的一个关键措施之一；
- 拉萨地区能源状况：能源短缺，所有能源都需要通过外界输送，主要以外运燃油为主；
- 太阳辐射量大：总辐射有时甚至超过太阳常数（由于云对太阳辐射的双重影响），冬季日照率77%，冬季太阳总辐射平均通量密度约 $197\text{W}/\text{m}^2$ （北京仅为 $110\text{W}/\text{m}^2$ ），冬季典型设计日的太阳总辐射强度： $21740\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。



拉萨河景色

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 四、太阳能与供热系统设计

### (二) 集热器

**聚光太阳集热器**——实时跟踪型

**非聚光太阳集热器：**

——闷晒型：造价低、效率低；

——平板型：全铜板芯和铜铝板芯的平板集热器，全封闭型、承压高；

——真空管型：效率较高、承压值较低。



某营房采用的平板型集热器

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 四、太阳能与供热系统设计

### (三) 太阳能系统

#### 集热系统与集热器布置

- 集热量与安装角度关系密切；
- 根据楼面高度，分高、低区布置：降低承压要求，减少高、低区的水阻力不平衡。
- 集热系统为开式系统，夜间可全部泄水。
- 集热器进/出水温要求40/50°C。
- 由于招投标的原因，不对集热器型式做出规定。

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



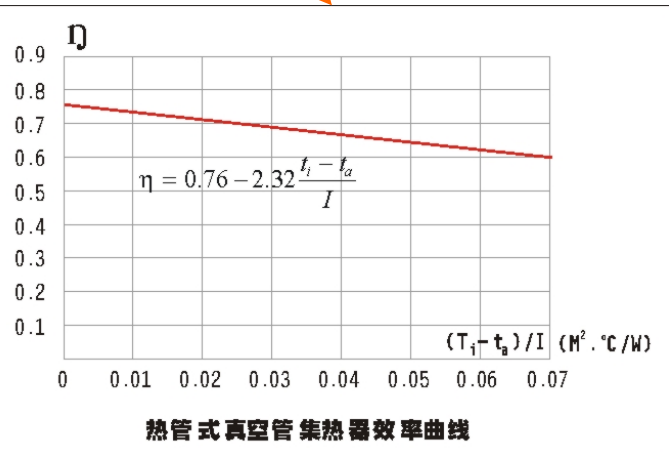
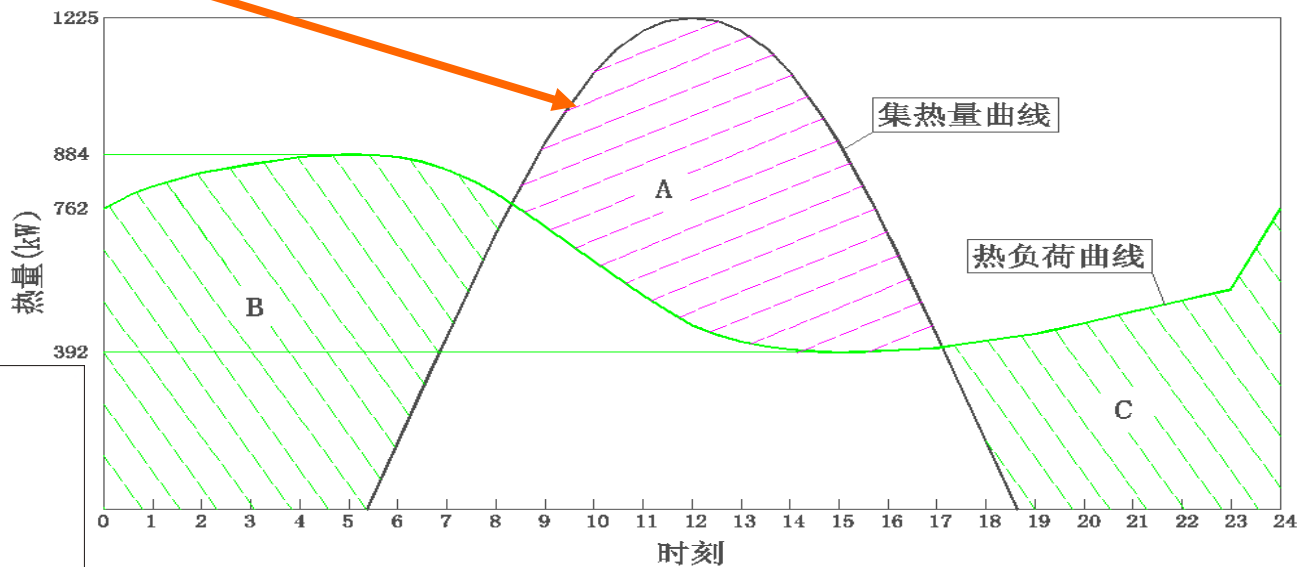
## 四、太阳能与供热系统设计

### 典型设计日的集热量与热负荷

实际上，这是典型设计日的辐照量直接按照固定效率换算的，没有考虑“有效辐照量”的概念。

并不完全正确，只是反映了设计者当时的思维和想法。

实际集热效率是变化的！  
不是所有的辐射，都能转换为集热



# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 四、太阳能与供热系统设计

### (三) 太阳能系统

#### 蓄热系统方案比较：

——采用部分负荷蓄热方案；

——**土壤蓄热**：热损失较大、投资高；

——**水蓄热**：占用一定的室内面积、投资少、运行管理方便（本工程采用的方式）：

(1) 蓄热水池容量 $1500\text{m}^3$ （考虑蓄热水需求和夜间放空的水容量要求）；

(2) 蓄热水温差为 $5^{\circ}\text{C}$ 。

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 四、太阳能与供热系统设计

### (四) 太阳能集热与供热系统

#### 取热与供热系统

——闭式系统；

——板式换热器；

——设置辅助人工热源（880kW）：太阳能利用所必须考虑的。

——夏季太阳能利用方式：

(1) 考虑到火车站的工作需要以及将来的周围环境（商业需求等等），在夏季可以为生活热水提供热源。此点目前还属于前期市场研究之中。

(2) 利用集热水对竖风道中的空气进行加热，提高建筑室内自然通风的能力。

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 四、太阳能与供热系统设计

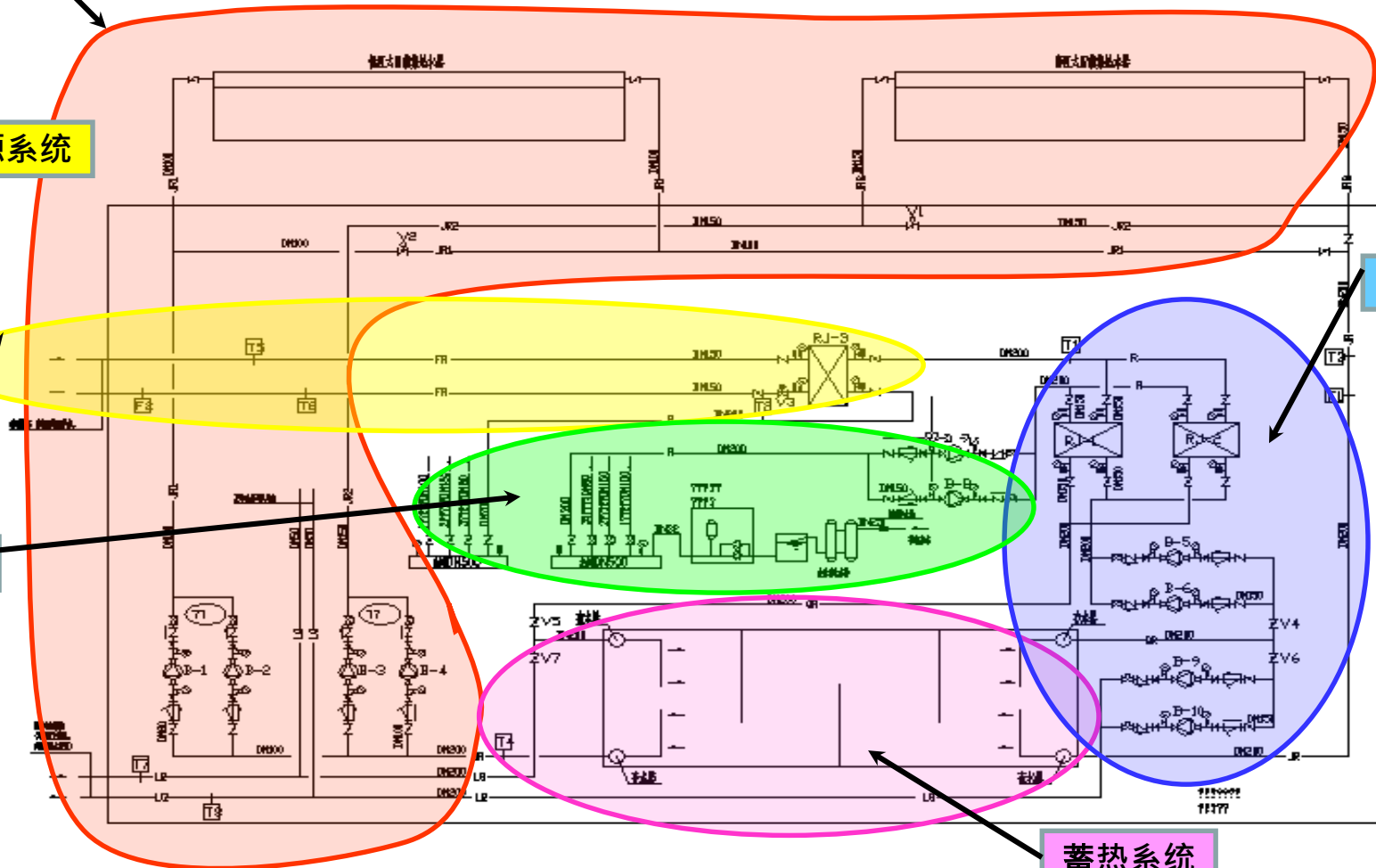
集热系统

辅助热源系统

取热系统

供热系统

蓄热系统



# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 五、现场实测

### 测试团队

**中国建筑  
设计研究院**  
许海松、徐稳龙  
宋孝春、韦航  
金健、潘云钢

**中国建筑西南  
设计研究院**  
戎向阳、王磊





# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 五、现场实测



测试小组工作情况

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 五、现场实测



太阳能集热器安装情况



系统故障情况（漏水）

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 五、现场实测

### 测试仪器

太阳辐射仪

声波水流量测试仪

手持式激光壁面温度测试仪

手持式空气温湿度测试仪

自动记录式空气温湿度测试仪

手持式激光测距仪等

### 测试时间

2006年

12月9日

——

12月16日

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 五、现场实测 (12月12日室温数据)

测试房间	一层候车厅	一层大贵宾室	二层候车厅	母婴候车室	副站长办公室	天气情况
8 : 00	14.5	20.0	14.5	17.5	19.5	薄云阴天
9 : 00	14.5	20.0	14.5	17.0	19.5	薄云阴天
10 : 00	14.0	19.5	14.0	17	19.5	浓云阴天
11 : 00	14.0	20.0	14.0	16.5	19.5	浓云阴天
12 : 00	13.5	20.0	13.5	16.5	19.5	浓云阴天
13 : 00	14.0	20.0	13.5	16.5	19.5	浓云阴天
14 : 00	14.0	20.0	13.5	16.5	19.5	浓云阴天
15 : 00	14.0	20.0	13.5	16.0	19.5	浓云阴天
16 : 00	13.5	20.0	13.0	16.0	19.5	浓云阴天
17 : 00	13.0	19.5	12.5	16.0	19.5	下雪
18 : 00	12.5	19.5	12.5	16.0	19.5	下雪
19 : 00	12.5	19.5	12.5	16.0	19.5	下雪
全天最低温 /时刻	12.0/23 : 30	19.0/23 : 30	12/23 : 00	15.5/23 : 30	19/21 : 00	

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 五、现场实测（12月12日热水系统数据）

08:30— 太阳能集热系统开机, 9:00~11:30水箱补水 (12月12日)

时刻	室外温度	室外相对湿度	太阳辐射强度	集热水系统供水温度(去集热器)	集热回水温度(来自集热器)		采暖系统			太阳能集热系统取热水温		天气情况
					高区	低区	太阳能供水温度	补热后供水温度	采暖回水温度	取热水供水温度	取热水回水温度	
单位	℃	%	W/m <sup>2</sup>	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	
11:00	3	30.7	497.5	28.6	31.6	32	28.6	29.8	24.9	30	27.3	薄云阴天
11:30	3	28.7	618.4	28	32.2	33.1	28.3	29.9	24.9	29.3	27.3	薄云阴天
12:00	6.7	25.8	465.5	27.7	35.2	37.2	28.8	30.4	24.7	29.8	27.4	薄云阴天
12:30	4.4	25.4	522.4	28.2	34.4	33.8	29.3	29.7	24.8	30.7	28.2	浓云阴天
13:00	4.9	21.6	255.5	28.4	33	33.4	29.4	29.8	24.6	30.6	28.2	浓云阴天
13:30	8.4	15.8	1013	28.4	32.8	32.8	29.7	30.1	24.6	30.8	28.2	薄云阴天
14:00	8.2	16.3	269.7	28.6	35.9	37.6	30	30.2	24.7	31.2	28.2	浓云阴天
14:30	7	16	163	29.3	35.1	34.8	30.1	30.6	24.8	31.9	28.4	浓云阴天
15:00	4.1	12	17.1	29.2	33.1	32.6	30.3	30.8	25.1	31.1	28.2	浓云阴天
15:30	2.9	15	13.6	29.1	31.9	30.9	29.6	30.6	24.9	30.3	28.2	浓云阴天
16:00	2.5	14.6	145.2	28.9	31.4	30.1	29.2	29.6	24.5	29.9	27.5	浓云阴天
16:30	0.5	31.5	27.8	28.8	31.1	30.2	29.3	29.4	24.5	29.7	27.5	下雪
17:00				28.6	30.7	29.7	29.1	29.6	24.5	29.4	27.3	下雪
17:30				28.9	30.3	29.3	28.6	29.4	24.6	29.4	27.1	下雪
计算流量m <sup>3</sup> /h	集热系统热水流量			高区	81.35	取热系统热水流量			采暖系统热水流量			
				低区	27.36	82.26			40.08			

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 五、现场实测——现场问卷调查

人员所处位置		值班员办公室	安全技术科	计划室
总体情况	热舒适感	适中 (实测18.5℃)	热 (实测20℃)	适中 (实测18℃)
	满意度	不满意 (候车区温度较低)	满意	满意
温度	满意度	不满意 (同上)	满意	——
	希望温度	22~24℃	——	22~24℃
湿度	满意度	基本满意 (实测16%)	不满意 (实测23%)	—— (实测15%)
	希望湿度	50%~60%	——	50%~60%
空气新鲜度	夏季	基本满意	不满意 (通风不好)	满意
	冬季	基本满意	不满意 (通风不好)	基本满意
	洁净度	基本满意	满意	基本满意
使用经济性		基本满意	满意	——
使用可靠性		基本满意	满意	——
使用灵活性		基本满意	基本满意	——

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 五、现场实测 ——现场问卷调查的评价

- (1) 值班员办公室人员对温度不满意的主要原因是因为候车区的温度较低而不是其办公室本身的温度较低；
- (2) 由于没有冬季加湿措施，室内湿度较低导致部分人员感到空气干燥；
- (3) 窗户密闭性较好，通风窗的自然通风量比较小，使得部分人员感觉新风量不足；

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 六、总结——设计与实测数据的对照

- (1) 办公室、贵宾候车室、母婴候车室等房间达到甚至超过了设计要求的室温，说明太阳能供暖系统是可以发挥较大的作用的。
- (2) 候车室（包括测试的进、出站大厅及售票厅）在全天内存在一些时间不满足设计室温的状况。
- (3) 尽管现场调查反映人员对温度的数值要求在 $22\sim 24^{\circ}\text{C}$ 左右，但实际上 $18^{\circ}\text{C}$ 已经足以满足人员的舒适性要求，如果在提高，由于空气干燥必然使人员对舒适度的不良反映增加（例如，在调查过程中发现，个别房间的人员提出了 $22\sim 24^{\circ}\text{C}$ 的室温要求，但对目前的环境已经表示出过热的感觉，而实测当时的室温不到 $20^{\circ}\text{C}$ ）。因此，有针对性的考虑设计室内参数而不是完全按照“规定”来设计，是更符合实际情况的。



# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 六、总结——对存在问题的分析

- (1) 据了解，在施工过程中，由于赶工等原因，候车室、进出站大厅及售票厅等部位在敷设地埋管的过程中存在敷设不均匀甚至个别管道损坏后没有更换（直接在分级水器上将此支路的阀门关闭）的情况，对地面温度的实测中也可以看到，在这些房间的地面温度不均匀，实测最高温度在 $25\sim 26^{\circ}\text{C}$ 而最低温度只有 $8\sim 9^{\circ}\text{C}$ ！
- (2) 上述这些房间由于人员进出频繁，外门经常处于开启状态，冷风大量侵入，也是导致室温偏低的原因之一。
- (3) 目前几个主要区域的温度差值较大，一方面与上述地埋管的布置不均匀有关，另一方面也与系统的水流量不均匀有直接关系。
- (4) 测试过程是在关闭辅助热源供热的基础上进行的，如果运行辅助热源，上述室温都会得到较大的提高。

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 六、总结——改进措施

- (1) 地埋管已经无法更改，因此对采暖水系统进行再调试是很有必要的，这样可以减少区域温差。在此基础上，如果普遍室温偏低，则说明太阳能系统供热已经不够，可通过运行辅助热源系统来自动补热提高室温。
- (2) 采用自动门（原设计自动门，施工中变更）并辅以热风空气幕，有助于房间室温的保持。

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用

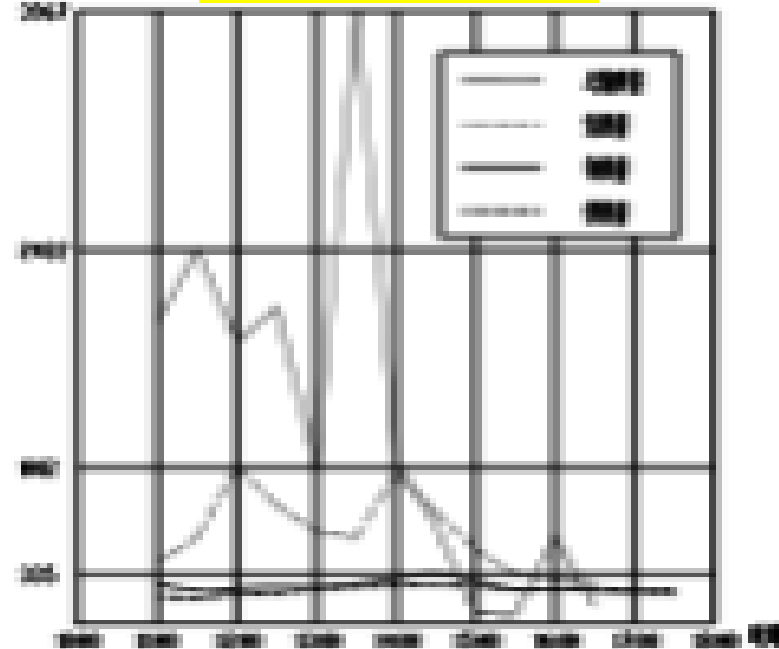


## 六、总结——初步结论

(1) 12月12日测试时的太阳辐射情况并不理想（以多云天气为主甚至下雪），仍然可以使得室温保持在一个基本合理的水平——如果再经过适当的水系统调试，可以认为即使是这样的多云天气，也可以基本不采用或者很少量的采用辅助热源，即可以满足房间的温度需求。

12月12日，热量和集热效率计算 (11: 00~16: 30)									
以集热系统侧计算 (集热器总面积3916m <sup>2</sup> )					按照厂家公式计算的瞬时集热效率 (%)		以取热侧计算取热量 (W)	以采暖侧计算供热量	
集热量 (W)			总辐照量 (W)	按照实测数据计算的集热效率 (%)				采暖热 (W)	热损失 (W)
时刻	高区	低区	热量合计						
11:00	283.78	108.17	391.95	1948.21	0.201	0.416	258.26	172.44	85.82
11:30	397.29	162.25	559.54	2421.65	0.231	0.427	191.30	158.46	32.85
12:00	709.45	302.23	1011.68	1822.90	0.555	0.417	229.56	191.08	38.48
12:30	586.48	178.16	764.63	2045.72	0.374	0.419	239.13	209.72	29.41
13:00	435.13	159.07	594.20	1000.54	0.594	0.365	229.56	223.70	5.86
13:30	416.21	139.98	556.19	3966.91	0.140	0.451	248.69	237.68	11.01
14:00	690.53	286.33	976.85	1056.15	0.925	0.378	286.95	247.00	39.95
14:30	548.64	174.98	723.62	638.31	1.134	0.307	334.78	247.00	87.77
15:00	368.91	108.17	477.08	66.96	7.124	-1.315	277.39	242.34	35.04
15:30	264.86	57.27	322.13	53.26	6.048	-1.848	200.87	219.04	-18.17
16:00	236.48	38.18	274.66	568.60	0.483	0.267	229.56	219.04	10.52
16:30	217.56	44.54	262.10	108.86	2.408	-0.707	210.43	223.70	-13.27
17:00							200.87	214.38	-13.51
17:30							220.00	186.42	33.58
全天合计 (kWh)	2577.66	879.66	3457.32	7849.03	全天平均集热效率: 0.44	--	1678.68	1496.01	182.67

逐时热量测试数据



# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



## 六、总结——初步结论

- (2) 据现场了解，拉萨火车站太阳能集热系统从2006年11月中开始运行，在天气情况良好时，集热水温曾经达到 $55^{\circ}\text{C}$ 以上。如果考虑进行适当的跨季节性蓄热（本工程设置了较大容量的蓄热水池，可以进行部分跨季节性蓄热——例如从10月份开始运行太阳能集热系统），对于太阳能供暖的贡献率还将得到进一步的提高。
- (3) 根据目前的测试结果并按照拉萨地区冬季日照率77%推算，本工程采暖系统中，太阳能在整个冬季采暖期间的贡献率大约能够达到60%~70%左右。由于太阳能是一个取之不尽、用之不绝、并且利用过程中不会造成环境污染的清洁能源，在我国能源紧张和国家大力推行建设“节约型社会”、“四节一环保”的形势下，积极推动太阳能的利用有着积极的意义。

# 拉萨火车站供暖系统对太阳能的利用



谢谢！

