

文章编号: 2095-0411 (2012) 04-0048-05

# 槽式太阳能聚光器太阳跟踪液压驱动系统设计\*

谢超<sup>1</sup>, 罗馨茹<sup>2</sup>, 俞竹青<sup>1</sup>

(1. 常州大学机械工程学院, 江苏常州 213016; 2. 常州星宇车灯股份有限公司, 江苏常州 213016)

**摘要:** 槽式太阳能热发电系统中, 其聚光器太阳跟踪性能是太阳能采集率的重要影响因素。设计了一套槽式太阳能聚光器太阳跟踪机构专用的中高压液压驱动控制系统, 并系统采用了比例溢流阀和比例流量阀, 因此具有驱动力矩大、启动平稳、跟踪精度高的特点。实验证明了其设计的正确性和可靠性。

**关键词:** 槽式太阳能聚光器; 太阳跟踪; 液压驱动控制

中图分类号: TK 513.4

文献标识码: A

## The Design of Hydraulic Drive Control System For Parabolic Concentrator Sun-tracking Mechanism

XIE Chao<sup>1</sup>, LUO Xin-ru<sup>2</sup>, YU Zhu-qing<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213016, China; 2. Changzhou Xingyu Automotive Lighting System CO., LTD, Changzhou 213016, China)

**Abstract:** In solar parabolic trough thermal power (SPTTP) system, the parabolic concentrator sun-tracking performance has significant influence on solar collection rate. A set of special-purpose hydraulic drive control system is developed for sun-tracking mechanism of Parabolic Concentrator. It has the features of great driving force, stable starting and accurate positioning. Testing and the actual use have proved the correctness, feasibility and reliability of proposed design.

**Key words:** solar parabolic trough power; sun-tracking; hydraulic drive control system

太阳能热发电技术是一项具有大规模化能力、近期内即可步入商业化的技术, 是能源技术发展的热点。槽式太阳能热发电主要是借助槽形抛物面聚光器将太阳光聚焦反射到接收聚热管上, 通过管内热载体将水加热成蒸汽, 推动汽轮机发电。基于槽式系统的太阳能热电站主要包括: 大面积槽形抛物面聚光器、跟踪装置、热载体、蒸汽产生器、蓄热系统和常规 Rankine 循环蒸气发电系统<sup>[1]</sup>。在太阳光的采集工程中, 为使聚光器时刻都能够最大效率

地采集太阳光, 使集热管发挥最大作用, 要求聚光器始终与太阳保持一个最佳角度, 因此必须采取跟踪控制装置, 使聚光器跟踪太阳<sup>[2]</sup>。由于槽式太阳能聚光器幅面巨大 (6m×150m), 因此其会受到巨大的风压阻力; 又由于聚光器上的集热管直径较小, 因此要求聚光器跟踪太阳的精度高。基于以上特点, 采用中高压双液压缸推挽式驱动作为巨幅聚光器驱动的结构形式, 不仅驱动扭矩大, 且驱动转角范围广, 配以线性比例液压控制系统将使聚光器

\* 收稿日期: 2012-07-20

基金项目: 常州市工业支撑 (重大支撑) 项目 (CE20100053)

作者简介: 谢超 (1988—), 男, 江苏南京人, 硕士生; 通讯联系人: 俞竹青。

具有很高的跟踪精度。

### 1 聚光器太阳跟踪机构形式

根据槽式太阳能热发电系统特性, 其槽形抛物面聚光镜面幅宽 6m, 总长度可达 150m 或更长, 跟踪角度附带操作角度为  $-90^{\circ} - 90^{\circ}$  范围, 跟踪精度  $\pm 0.1^{\circ}$ , 这样的巨幅聚光器太阳跟踪装置要求跟踪角度广、驱动力矩巨大、跟踪精度高, 从可实施性和性价比角度考虑采用单轴中高压双液压缸推挽驱动结构形式, 如图 1 所示<sup>[3]</sup>。它由聚光器、底座、传动板 A、传动板 B 液压缸 A、液压缸 B、液压控制系统组成。

聚光器跟踪太阳的运动包括右极限位到左极限位的逆时针旋转及对应的顺时针旋转, 设定从零位逆时针方向为正, 顺时针方向为负, 跟踪极限角度取  $\pm 75^{\circ}$ 。聚光器跟踪机构的工作过程可如图 2 所示图解, 当聚光器位于某个角度  $\Phi$  时液压缸 A 提供的液压力即传动板 A 所受力通过旋转中心轴轴心, 此时液压缸 A 提供的液压力不会产生扭矩,

也就不可能驱动旋转中心轴转动, 这个位置即为缸 A 的死点位置; 此时缸 A 放空, 缸 B 继续动作, 缸 A 在缸 B 的带动下继续运动, 若没有缸 B 的作用, 缸 A 将无法继续动作; 同理,  $-\Phi$  为缸 B 的死点位置, 此时缸 B 放空, 缸 A 带动缸 B 继续动作。由此可知, 双液压缸构成的推挽式驱动方式可以能够大幅增加聚光器的工作角度范围, 并且避免了死点问题, 提高太阳能利用率。

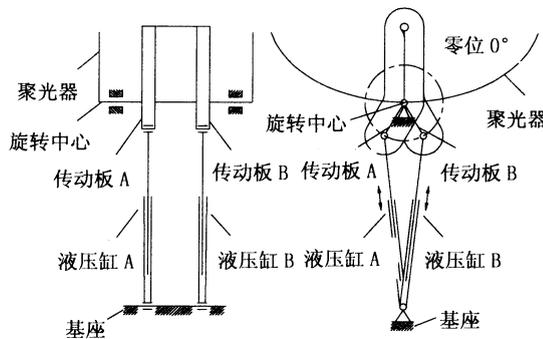


图 1 聚光器跟踪机构结构示意图

Fig. 1 Schematic representation of the structure of parabolic concentrator tracking mechanism

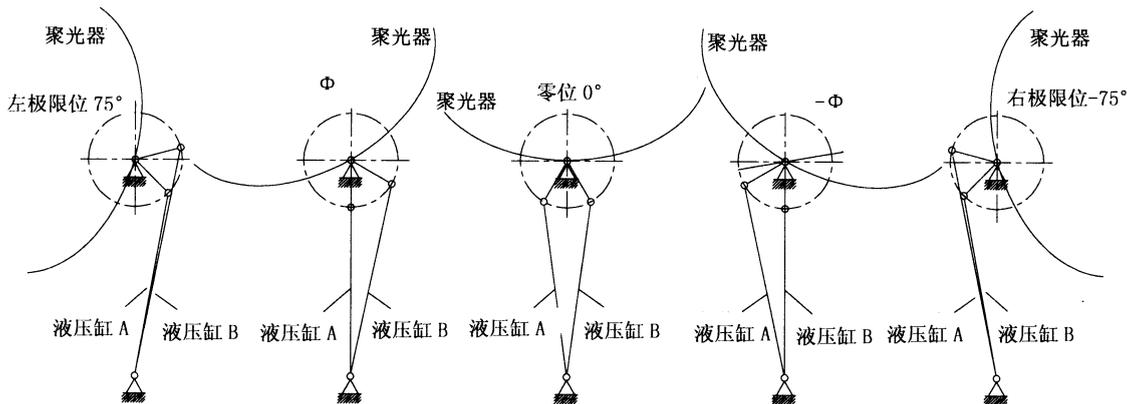


图 2 聚光器运动过程图解

Fig. 2 The motion of parabolic concentrator

### 2 聚光器太阳跟踪液压驱动控制系统

由于聚光器跟踪太阳精度高达  $\pm 0.1^{\circ}$ , 因此采用比例流量阀精确控制液压缸的进给量。太阳运动角度约  $0.2^{\circ}/\text{min}$ , 液压缸每隔 30s 驱动一次, 驱动聚光器转动角度约  $0.1^{\circ}$ , 为了降低电机持续大负载工作带来的损耗, 液压控制系统每隔 30s 控制启动驱动聚光器跟踪太阳一次, 跟踪到位后停止运行液压缸处于自锁状态。为避免每次启动时产生冲击现象, 采用比例溢流阀由小到大平稳增压, 实现系统平稳运行。

聚光器太阳跟踪液压控制系统原理图如图 3 所示, 液压控制系统主要包括液压缸 A、B, 电磁球

阀 5、15, 节流阀 16, 电磁换向阀 13、14, 溢流阀 3、18, 齿轮泵 4 和电机 5。由电磁换向阀 14 及电磁球阀 15 来控制液压缸活塞杆的移动方向。在液压系统的工作过程中, 要求系统压力与液压缸的速度设定值不断改变, 以满足跟踪系统精确跟踪及稳定工作的要求, 因此选择比例溢流阀 3 对系统压力进行控制, 选择电气比例节流阀 16 调节系统流量以控制液压缸运动速度, 实现自动控制。当一液压缸运动到其死点位置时即  $\pm \Phi$  (跟踪机构设计时取  $\Phi = 30^{\circ}$ ), 将其放空处于自由状态, 可跟随另一缸做相应的动作; 此时若直接将放空缸两腔与油箱接通, 在其随动过程中从油箱补油, 会出现吸油不畅的问题, 导致另一缸不能连续平稳的动作, 因此

需采用另一组能源装置提供液压油, 给放空缸补油; 即采用双泵工作, 一个泵给系统提供液压力, 如图中装置 4-1, 另一个泵给放空的液压缸补油, 如图中装置 4-2。齿轮泵 4-2 通过电磁换向阀 13

与两液压缸回路相连接。若接通电磁球阀 2, 齿轮泵出口处的压力将为零, 电机、泵空转, 系统停止工作。

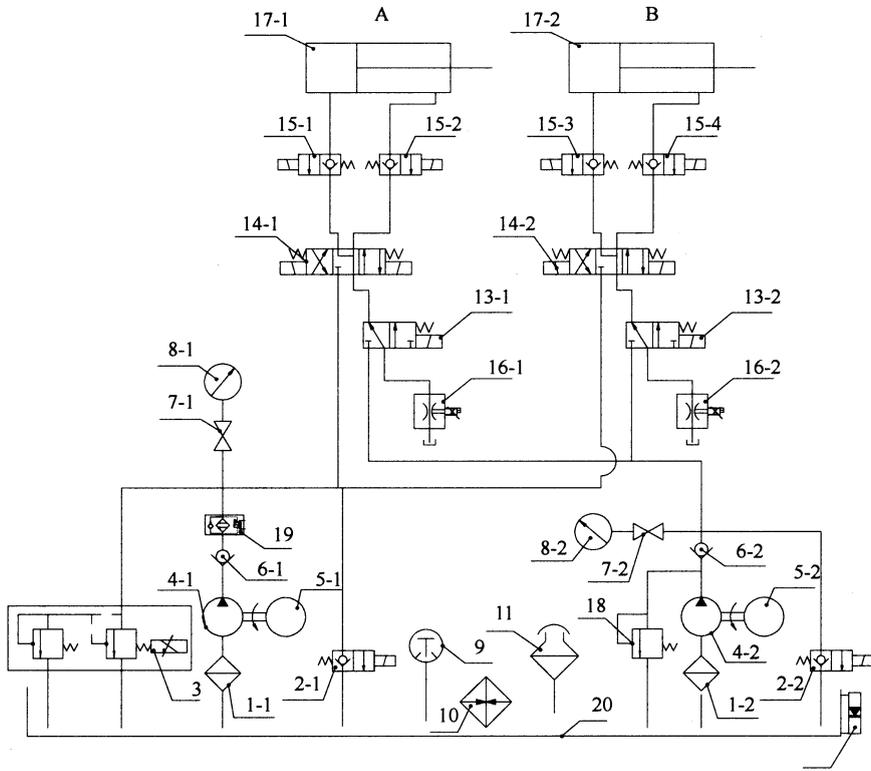


图 3 聚光器太阳跟踪液压系统原理图

Fig. 3 The schematic of parabolic concentrator sun-tracking hydraulic system

在安装聚光器及集热管时, 需要将聚光器支撑架转动到更大角度以便于安装, 安装工作角度取 $\pm 130^\circ$ 。聚光器旋转过程中双液压缸的运动有推、拉、放空和保持 4 种状态。通过液压控制阀不同的通/断电组合实现双液压缸的不同运动状态。为了避免一液压缸运动到死点位置时与另一缸干涉, 在死点位置附近  $\delta$  角度内使该液压缸放空处于自由状态, 本文取  $\delta$  角度为  $15^\circ$ 。聚光器处于不同位置角度时聚光器驱动系统的工作控制状态见表 1。

表 1 中, “A+”表示液压缸 A 推, 即其活塞杆伸出, “A-”表示液压缸 A 拉, 即其活塞杆缩回, “A”表示液压缸 A 放空, 即其活塞杆可自由伸缩; 液压缸 B 同理。电磁阀状态栏 “1”表示通电, “0”表示断电。双液压缸停止运动时, 电磁阀 V1-V12 均断电, PP、PV 降到 0V, 此时液压缸处于保持状态。a、b、c、d 表示通电先后时间顺

序, 依次相差 0.5s。4 个换缸角度位置为  $-45^\circ$ 、 $-15^\circ$ 、 $15^\circ$ 和  $45^\circ$ 。

PP 是由 0-6.5V 电压调节液压系统压力, 其对应压力为 0-16MPa 连续调节。PV1 是液压缸 A 比例流量调节阀 (时间 a 级), PV2 是液压缸 B 比例流量调节阀 (时间 a 级), 由 0-10V 电压调节液压系统流量, 以控制液压缸运动速度; 系统工作时提供 3V 电压 (控制电压 1.0V, 液压缸缩入速度 0.023mm/s)。每次启动和停止, PP 和 PV 电压调节分别用时 2s 和 1s。

任何一种工作状态完成后立即回到保持状态, 等待下次动作, 防止液压缸运动状态错乱。双液压缸每次更换工作状态时, 液压控制阀的通/断电要按照时间先后顺序进行, 使驱动过程更加平稳可靠, 聚光器跟踪太阳更准确。

表 1 聚光器驱动系统工作控制状态

Table 1 The work control state of parabolic concentrator driving system

旋转方向	聚光器位 置角度	液压缸状态	液压控制阀状态														PP	PV1	PV2	
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12						
逆时针	[-130°, -45°]	启动	A- B-	0	0	0	0	1a	0	1a	0	1c	0	1c	0	0	V→6.5 V <sub>b</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>	
		停止	保持	0	0	0	0	0c	0	0c	0	0b	0	0b	0	6.5 V→0 V <sub>d</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>		
	[-45°, -15°]	启动	A- B	0	0	0	1a	1a	0	0	0	1c	0	1c	1c	0	V→6.5 V <sub>b</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>		
		停止	保持	0	0	0	0c	0c	0	0	0	0b	0	0b	0b	6.5 V→0 V <sub>d</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>			
	[-15°, 15°]	启动	A- B+	0	0	0	0	1a	0	0	1a	1c	0	0	1c	0	V→6.5 V <sub>b</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>	
		停止	保持	0	0	0	0	0c	0	0	0c	0b	0	0	0b	6.5 V→0 V <sub>d</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>		
	[15°, 45°]	启动	A B+	0	0	1a	0	0	0	0	1a	1c	1c	0	1c	0	V→6.5 V <sub>b</sub>		0 V→3 V <sub>d</sub>	
		停止	保持	0	0	0c	0	0	0	0	0c	0b	0b	0	0b	6.5 V→0 V <sub>d</sub>		3 V→0 V <sub>a</sub>		
	[45°, 130°]	启动	A+ B+	0	0	0	0	0	1a	0	1a	0	1c	0	1c	0	V→6.5 V <sub>b</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>	
		停止	保持	0	0	0	0	0	0c	0	0c	0	0b	0	0b	6.5 V→0 V <sub>d</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>		
	顺时针	[130°, 45°]	启动	A- B-	0	0	0	0	1a	0	1a	0	1c	0	1c	0	0	V→6.5 V <sub>b</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>
			停止	保持	0	0	0	0	0c	0	0c	0	0b	0	0b	0	6.5 V→0 V <sub>d</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>	
[45°, 15°]		启动	A B-	0	0	1a	0	0	0	1a	0	1c	1c	1c	0	0	V→6.5 V <sub>b</sub>		0 V→3 V <sub>d</sub>	
		停止	保持	0	0	0c	0	0	0c	0	0b	0b	0b	0	0	6.5 V→0 V <sub>d</sub>		3 V→0 V <sub>a</sub>		
[15°, -15°]		启动	A+ B-	0	0	0	0	0	1a	1a	0	0	1c	1c	0	0	V→6.5 V <sub>b</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>	
		停止	保持	0	0	0	0	0	0c	0c	0	0	0b	0b	0	6.5 V→0 V <sub>d</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>		
[-15°, -45°]		启动	A+ B	0	0	0	1a	0	1a	0	0	0	1c	1c	1c	0	V→6.5 V <sub>b</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>		
		停止	保持	0	0	0	0c	0	0c	0	0	0	0b	0b	0b	6.5 V→0 V <sub>d</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>			
[-45°, -130°]		启动	A+ B+	0	0	0	0	0	1a	0	1a	0	1c	0	1c	0	V→6.5 V <sub>b</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>	0 V→3 V <sub>d</sub>	
		停止	保持	0	0	0	0	0	0c	0	0c	0	0b	0	0b	6.5 V→0 V <sub>d</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>	3 V→0 V <sub>a</sub>		

### 3 聚光器太阳跟踪控制

#### 3.1 太阳运行轨迹计算方法

太阳运行轨迹是指计算在地球某一点上观看空中的太阳相对地球的位置。这时,太阳相对地球的位置是相对地面而言的,用高度角和方位角两个坐标表示。太阳高度角是指从太阳中心直射到当地的光线与当地水平面的夹角;太阳方位角是指太阳光线在地平面上的投影与当地子午线的夹角。子午线是指通过当地的经线,即正南方和正北方的连线<sup>[4]</sup>。由于跟踪系统采用单轴跟踪方式,故只需考虑太阳高度角。

太阳高度角的值在 0°-90°之间变化,日出日落时为零,太阳在正天顶上为 90°。正午时(指当地真太阳时的正午。不是北京时间的中午 12 点,也不是地方平时的 12 点,而是太阳中心正好在子午线上的时间)太阳高度角是一天中太阳高度角的最大值(除极地部分地区外),夏季这个值较大,冬季较小,夏至时最大,冬至时最小。太阳高度角( $h_{\odot}$ )的计算公式为<sup>[5]</sup>:

$$\sin h_{\odot} = \sin \psi \sin \delta + \cos \psi \cos \delta \cos \omega \quad (1)$$

式中, $\psi$  为地理纬度; $\delta$  为太阳赤纬; $\omega$  为时角;其单位均为度。 $\omega$ :以当地真太阳时正午为零度,下午为正,上午为负,每小时 15°。

一年内第  $n$  天的  $\delta$  计算公式为:

$$\delta = 23.45 \sin \frac{360(284+n)}{365} \quad (2)$$

#### 3.2 控制方式

跟踪控制系统(以下简称:控制系统)主要由倾角传感器、控制计算机、总控计算机、手动操作面板、液压控制阀及执行机构组成,其中执行机构由双液压缸与传动机构组成。

聚光器实现对太阳的自动跟踪是通过传感系统与程控系统相结合实现控制的。倾角传感器测得槽式聚光器角度位置,通过 RS485 串口通讯将数据传输给控制计算机,控制计算机经过数据计算处理,发出控制指令,控制液压控制阀的通断电,驱动液压缸动作,从而带动集热器跟踪太阳。

总控计算机负责对整个发电站进行控制,发送风速信号给控制计算机,同时控制计算机对总控计算机进行信息反馈,便于管理。手动操作面板是控制聚光镜面与集热管的安装。

控制系统控制流程说明如下:

将驱动控制系统固定在传动机构上,通过手动键盘输入经纬度和时间参数实现整套集热装置的追踪太阳的动作。在一次输入经纬度和时间后可实现全年 365d 自动追踪,不需要人工每天实时操作。

追踪动作内容包括每天早上在某一定确定时间(随季节可调整)自动启动系统并驱动集热装置开始追踪太阳,到下午某一确定时间停止动作。动作停止后系统自动发出指令使集热装置沿白天运动轨迹逆向运行到受风面积最小的状态(即聚光器的零位)停止动作,液压站自锁使整套集热装置锁定在此状态。第二天早上提前一定的时间启动系统,使整套集热装置动作到指定角度待命。

为了降低电机持续大负载工作带来的损耗,控制系统每隔 30s 发出控制信号驱动集热器跟踪太阳。程序通过当前时间、季节、当地经纬度计算太阳的高度角,并通过倾角传感器测得聚光器当前角度值,控制计算机发出控制信号驱动液压缸运动,再通过传动机构带动聚光器转动,使聚光器转动到太阳的高度角位置;在聚光器达到目标角度时,控制计算机发出停止动作指令,液压站自锁使整套集热装置锁定在此状态,等待下一个 30s 开始时刻,这样周而

复始的工作,达到跟踪太阳的目的。太阳运动角度约  $0.2^\circ/\text{min}$ ,液压缸每隔 30s 驱动一次,驱动聚光器转动角度约  $0.1^\circ$ 。

当控制计算机收到总控计算机发出的七级风信号时,立即发出规避信号,驱动液压缸动作使集热装置迅速转动到迎风面积最小的角度位置,同时液压站自锁使集热装置锁定在该角度位置。当控制计算机收到风速处于安全范围内的信号时,控制计算机计算出太阳实时高度角并发出指令驱动集热器迅速转动到指定角度并继续自动运行跟踪太阳。

在实现如上自动追踪太阳的前提下还可通过手动操作面板使集热装置转动到  $\pm 130^\circ$  以方便电站初期镜面和集热管的安装。

## 4 实 验

该系统应用在江苏常州龙腾太阳能热设备有限公司槽式聚光集热系统中(如图 4 所示),其中巨幅槽式聚光器采用对称驱动方式阵列,幅宽 5.8m,总长度 96m(8 单元)。通过实验证实,该系统机械结构、液压驱动控制系统和跟踪控制系统均能正常工作,跟踪精度为  $\pm 0.1^\circ$ ,在 7 级风压下运转正常平稳,驱动旋转角度最大为  $\pm 110^\circ$ 。

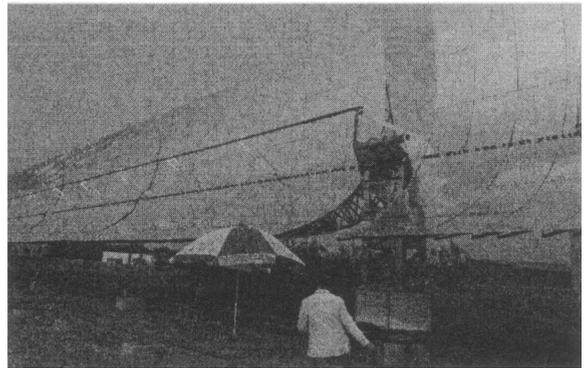
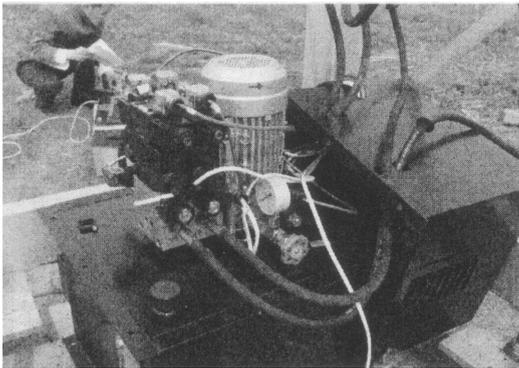


图 4 实用中的液压驱动控制系统和聚光器太阳跟踪系统

Fig. 4 The hydraulic drive control system and sun-tracking system of parabolic concentrator

## 5 结 论

设计的液压驱动控制系统具有驱动扭矩大、驱动平稳、跟踪准确可靠、成本低、易于实现规模化生产等特点。目前,该太阳跟踪系统已投入使用,经过约 8 个月的运行,至今运转正常平稳,跟踪准确,证实了其设计的正确性和实用性。

### 参考文献:

- [1]罗智慧,龙新峰.槽式太阳能热发电技术研究现状与发展[J].电力设备,2006,7(11):29-32.
- [2]张先勇,舒杰,吴昌宏,等.槽式太阳能热发电中的控制技术及相关研究进展[J].华东电力,2008,36(02):135-138.
- [3]罗馨茹,于勇,俞竹青.槽式太阳能聚光器太阳跟踪机构设计[J].常州大学学报:自然科学版,2012,24(3):57-60.
- [4]郑小年,黄巧燕.太阳能跟踪方法及应用[J].能源技术,2003,24(4):149-151.
- [5]徐丽霜,李明,魏生贤,等.太阳能槽式聚光反射镜自动跟踪装置[J].云南师范大学学报,2006,26(1):30-33.