

全玻璃真空管太阳集热器尾架和框架的改进

徐秉业 沈新普 殷志强

(清华大学, 北京 100084)

邱纯一

(国家地震局, 北京 100036)

文 摘: 讨论了原有全玻璃真空管太阳集热器尾架和框架的不足, 对新设计尾架和框架的刚度及强度进行了分析, 并作了加载试验, 表明它能承受 0.45MPa 的压力。

关键词: 玻璃真空管, 太阳集热器, 力学分析, 尾架

全玻璃真空管太阳集热器主要由全玻璃真空集热管、联集管、反射器、尾架和框架等组成。通常, 它在运行时不承受压力或承受很小的压力^[1]。一种新型的全玻璃真空管太阳集热器, 其设计压力极限为 0.45MPa , 工作时对尾架和框架的力学性能有较高的要求, 有必要进行严格的力学分析, 以保证集热器的正常工作。

1 尾架与框架的改进

全玻璃真空管太阳集热器的结构如图 1 所示, 其中尾架和框架为主要受力部件, 集热管内的水压将集热管紧压在两侧尾架上, 使两侧尾架成为在一系列集中力作用下的梁。对于双排东—西向具有 50 支全玻璃真空集热管的太阳集热器, 当水压为 0.45MPa 时尾架约承受 1700kg 力。尾架在水压力的作用下产生弯曲变形, 尾架两端及中部连接槽钢, 形成封闭结构的框架, 由于工作时尾架受力后产生的应力与变形较大, 故本文以两侧尾架为主要分析对象。

集热器两侧尾架最初设计为薄板制成的未封闭的箱式结构, 如图 2a 所示, 改进后为封闭的箱式结构, 如图 2b 所示。由于尾架主要承受绕 AA 轴的弯曲作用, 而按照固体力学的原理, 弯曲载荷主要由与 AA 轴线相平行的侧面承受, 所以图 2b 所示结构的抗弯曲性能较图 2a 所示结构要好得多。

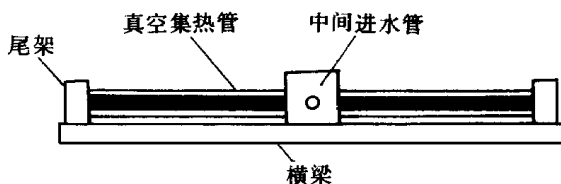


图 1 具有联集管的全玻璃真空管集热器结构示意图

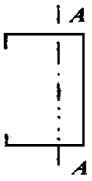


图 2a 原尾架设计截面



图 2b 改进后的尾架设计截面

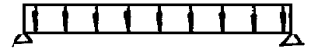


图 3 尾架简化成的受等效均布载荷的简支梁

2 力学计算

2.1 力学模型

考虑工作状态下的受力情形,将尾架简化成为受等效均布载荷的简支梁,如图 3 所示。

尾架为带孔板组成的箱形梁结构,为计算方便,将其简化为具有整体面积等效的开口板箱形梁,如图 4 所示。

2.2 弹性力学计算

对于简支梁结构受均载作用的问题,弹性力学的位移及应力解答^[2]为:沿轴向任一横截面上的弯矩 M 为

$$M = \frac{1}{2} q \left(\frac{l^2}{4} - x^2 \right) \quad (1)$$

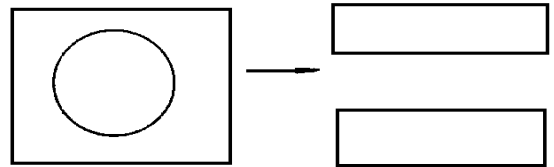


图 4 带孔箱形梁简化为具有整体面积等效的开口板箱形梁示意图

任一截面上各点的应力 σ 为

$$\sigma_x = \frac{q}{J} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{l^2}{4} - x^2 \right) y - \frac{h^2}{2b} + \frac{y^3}{3} \right] \quad (2)$$

$$\sigma_y = - \frac{q}{2J} \left(\frac{y^3}{3} - \frac{h^2}{4} + \frac{h^3}{12} \right) \quad (3)$$

$$\sigma_z = - \frac{qx}{2J} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right) \quad (4)$$

梁轴线中点的挠度 δ 为

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EJ} \left[1 + \frac{12h^2}{5l^4} \left(\frac{4}{5} + \frac{\nu}{2} \right) \right] \quad (5)$$

式中, q 为等效均布载荷值, h 为截面高度, l 为梁的跨度, J 为截面抗弯模量, E 为材料的弹性模量, ν 为泊松比, x 、 y 为应力点的坐标。

对应给定的设计极限管道压力 0.45 MPa, 按照以上公式, 对不同板厚的尾架的应力及位移作了计算, 结果列于表 1。

表 1 不同板厚对应的最危险点的应力及位移值

板厚(mm)	1	1.5	2
应力值(MPa)	375	255.5	196.3
位移值(mm)	1.4E-4	9.6E-5	7.36E-5

手册^[3]中查得的材料强度特性为: 不锈钢板 $\sigma_{0.2} \geq 205$ MPa, $\sigma_b \geq 500$ MPa; 镀锌钢板 $\sigma_{0.2} \geq 240$ MPa, $\sigma_b \geq 370$ MPa。

综合以上结果可知: 在给定工况下, 选用 1.5mm 厚的钢板制造两侧尾架是安全的, 结构能满足强度及刚度的要求。

3 试验研究

为了确保热水器框架的安全工作和正常使用, 在计算的基础上, 采用电阻应变片测量技术对尾架实体进一步作力学分析, 研究了在不同的管道压力下尾架的刚度及刚度特性。

试验采用的电桥为半桥接线方式^[4], 共设置 18 个测点, 如图 5a 所示, 未标出测点在横梁上的点。测量的重点为尾架危险截面上开孔上下边沿的应力, 横梁上下翼的应力及变形。由于尾架为薄壁箱形结构, 工作状态下有一定的局部变形, 为此采用千分表测量尾架危险截面的顶面和底面的水平变形。

试验采用逐级加载方式, 以 0.1MPa (1 个大气压力) 为加载步长。首先, 对横梁尺寸为厚 5mm 的镀锌钢板制成的高 50mm 的槽钢的框架加载, 管道内压从 0 逐步加到 0.4MPa, 相应的变形测量结果列于表 2。

其次, 变换横梁结构尺寸, 采用高 50mm 标准槽钢为横梁进行加载试验。由于标准槽钢的刚度较之原有的横梁有所提高, 故框架的变形有所减少。新的布片如图 5b 所示。管道内压载荷从 0 加至 0.45MPa (4.5 个大气压), 结构各处的变形测量结果列于表 3。

表 2 变形测量结构 1

(单位: μs)

测点号	0.1MPa	0.2MPa	0.3MPa	0.4MPa
1	8	12	24	55
2	- 9	- 40	- 65	- 103
3	1	6	15	36
4	20	44	77	125
5	27	62	104	164
6	- 19	- 36	- 61	- 104
7	9	19	25	- 9
8	21	33	48	9
9	19	41	65	90
10	- 20	- 42	- 77	- 143
11	50	119	209	337
12	4	9	14	9
13	31	70	123	184
14	- 4	- 10	- 22	- 45
15	3	6	6	- 2
16	25	52	89	119
17	30	68	111	158
18	3	17	38	92

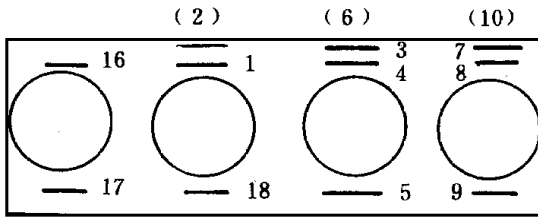


图 5a 电阻片布置图

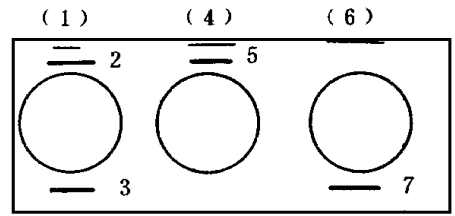


图 5b 新的电阻片布置图

表 3 变形测量结果 2

测点号	0.1MPa	0.2MPa	0.3MPa	0.4MPa	0.45MPa
1	- 9	- 16	- 62	- 115	- 150
2	14	12	10	25	37
3	20	60	105	162	199
4	- 20	- 60	- 102	- 102	- 103
5	26	67	105	139	165
6	- 25	- 62	- 115	- 175	- 205
7	26	76	148	215	249
8	13	45	93	150	180
9	5	12	20	27	32
10	20	45	69	100	118
11	0	- 5	- 9	- 11	- 12

图 6 给出了相应的尾架危险截面上下底随水压增加而发生水平位移的情况。

4 结 论

改进后真空管集热器的尾架和框架具有较好的力学性能。尾架中心线在工作载荷下位移值很小,应力值在安全范围内。在 0.45 MPa 工作压力下尾架上底面发生一定程度的弯曲变形,而下底的弯曲变形很小,表明尾架的变形主要是由截面形状改变引起的局部变形。提高截面刚度(如改进隔板的性能等)和横梁刚度有利于减小变形和位移。

改进后的尾架和框架能承受 0.45 MPa 的传热流体压强。

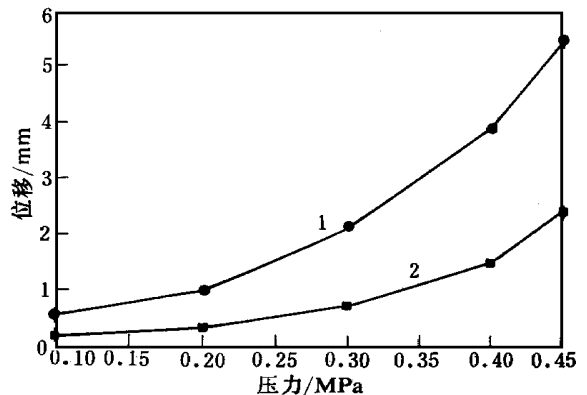


图 6 压力—位移曲线

1. 位移上, 2. 位移下

参 考 文 献

- 1 Yin Zhiqiang, G L Harding and B W indow. Water-in-Glass Manifolds for Heat Extraction from Evacuated Solar Collector Tubes, SOLAR ENERGY, 1984, 32(2): 223-230
- 2 徐秉业, 刘信声. 应用弹塑性力学. 北京: 清华大学出版社, 1995
- 3 机械设计手册编写组编写. 机械师手册. 北京: 机械工业出版社, 1989
- 4 张如一, 陆耀帧. 实验应力分析. 北京: 机械工业出版社, 1981

IMPROVEMENTS ON THE FRAME FOR "WATER-IN-GLASS" MANIFOLD OF ALL-GLASS EVACUATED TUBULAR COLLECTORS

Xu Bingye Shen Xinpu Yin Zhiqiang Qiu Chunyi

(Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract: The new end-supports for "water-in-glass" manifold of the all-glass evacuated tubular collectors have been designed and tested on the basis of the calculation and experiments of the mechanical behavior of the original end-supports and frame. The new end-supports and frame with better stiffness and strength are able to withstand the water pressure of 0.4 MPa.

Keywords: all-glass evacuated tubular collectors, mechanical analysis, end-supports