排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2014 年 1 月 Jan. 2014 | 第 32 卷 第 1 期 Vol. 32 No. 1
doi:10.3969/j.issn.1674-8530.13.0041

最小二乘拟合法在大型水电机组安装中的应用

李林伟，王磊，朱罗平，施国庆
（华电电力科学研究院水电技术研究所，浙江 杭州 310030）


李林伟

摘要：为了分析大型水轮发电机组安装、加工的质量，以及设备吊装、混凝土施工过程中设备的变形情况，提出了基于 VC 编程的最小二乘拟合圆与拟合空间平面算法，并在大型水轮发电机组安装中进行了实际应用. 运用该方法计算出某大型水轮发电机组座环上、下镗口加工后的圆度分别为 1.53，1.74 mm，拟合圆半径分别为 6 340.24，6 335.48 mm，同心度为 0.14 mm，各项指标都达到优良标准. 运用该方法，对另一座水电站在蜗壳混凝土浇筑灌浆后，由水准仪测量得到的座环上环板各测点高程，计算出座环上环板的平面度为 6.44 mm，已超出了质量标准. 在大型定子机座整体吊装时，通过测量定子机座吊起后支腿测点的高程，然后以空间平面拟合方法计算出机架各支腿的不平度，可以快速分析定子机座整体吊装时的变形情况.

关键词：水轮发电机组；座环；定子机座；圆度；最小二乘法；平面度
中图分类号：S277.9　**文献标志码**：A　**文章编号**：1674-8530(2014)01-0045-06
李林伟，王磊，朱罗平，等. 最小二乘拟合法在大型水电机组安装中的应用[J]. 排灌机械工程学报，2014，32(1)：45-50.

水利水电工程

Application of least square fitting method in installation of large hydro generating sets

Li Linwei, *Wang Lei*, *Zhu Luoping*, *Shi Guoqing*
(Institute for Hydroelectric Technology, Huadian Electric Power Reasearch Institute, Hangzhou, Zhejiang 310030, China)

Abstract: In order to analyze the quality of installation and machining, and the deformation of equipment in hoisting and concrete construction for large hydro generating sets, an algorithm of least squares for fitting a circle and plane based on VC programming was presented and applied into installation of large hydro generating sets. In the light of this method, the roundness of bored holes on top and bottom annular plates of the stay ring was 1.53 mm and 1.74 mm, the fitted radius was 6 340.24 mm and 6 335.48 mm, the concentricity was 0.14 mm, all the parameters have arrived at the standard of excellence. In another hydro power station, the altitude of each point on the top annular plate of stay ring was measured by a level after volute concreting and grouting was completed, then the flatness of the plate was fitted by means of this method, showing a 6.44 mm flatness which was better than that in the quality standard for installation. During integral hoisting of a large stator frame, the altitude of each point on the legs of the frame was measured, and then the flatness of every leg was calculated by fitting plane with that method, eventually, the deformation of the frame could be analyzed quickly.

Key words: hydroelectric generating set; stay ring; stator frame; circularity; least squares method; flatness

收稿日期：2013-01-18；**网络出版时间**：2014-01-15
网络出版地址：http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20140115.1430.002.html
作者简介：李林伟(1984—)，男，浙江衢州人，工程师，硕士(llw1251@126.com)，主要从事水电站机组安装、水电站机组性能考核、水电站经济运行研究.
王磊(1983—)，男，江苏宿迁人，工程师，博士(lei-wang@chder.com)，主要从事水电站机组性能考核、水电站经济运行研究.

在水电站机组安装中,经常会遇到空间圆形物体的测量问题,例如座环组装、定子机座组装、叠片以及转子组圆安装等,需要对设备安装的圆度、中心及平面度等技术参数进行测量,确定其是否满足技术标准. 发电机定子、转子的安装圆度关系到水轮发电机的运行稳定性,直接关系到设备的性能和安全. 发电机安装圆度主要取决于这些因素——部件制造质量、安装工艺、测量工具的精度、测量数据的计算分析等.

目前,水电站机电设备的实际安装中,圆度计算大多采用简单的算术平均方法;而平面度的测量计算大多是先把设备调整到水平,然后测量设备上点的高程,最后计算最高点与最低点的高程差作为平面度. 如果设备整体倾斜,则测量的高程差就不能直接反映设备的整体平面度,而利用最小二乘拟合平面法却能很好地解决这个问题. 由于最小二乘法对拟合误差能很好地控制,从而使计算结果精度很高[1-3].

目前,最小二乘拟合法在精密仪器制造[4-5]、铁路[6]、隧道[7]等工程中得到广泛应用. 在水电站方面的应用主要集中在水轮机特性曲线拟合[8]、水轮机故障诊断[9]等,在水轮发电机组安装中的应用也只涉及圆的拟合[10-11],而通过平面拟合计算以判断水电机组设备安装的平面度以及快速分析设备吊装变形情况,国内还极少见相关文献.

文中通过 VC 编程,使最小二乘法在应用的时候更具灵活性,提出最小二乘拟合圆与拟合空间平面算法,并在大型水轮发电机组安装中进行实际应用.

1 最小二乘拟合圆算法推导

最小二乘法是一种数学优化技术,通过最小化误差的平方和找到一组数据的最佳函数匹配. 最小二乘法是用最简单的方法求得一些绝对不可知的真值,而令误差平方之和为最小.

最小二乘法通常用于曲线拟合[4]. 图 1 为测点示意图. 拟合圆曲线的公式推导过程如下.

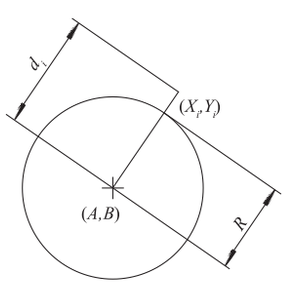


图 1 测点示意图

Fig. 1 Schematic of measuring point positions

假设圆曲线方程为

$$R^2=(x-A)^2+(y-B)^2, \tag{1}$$

令 $a=-2A$,$b=-2B$,$c=A^2+B^2-R^2$,可得圆曲线方程的另一形式:

$$x^2+y^2+ax+by+c=0. \tag{2}$$

求得圆心、半径的参数为

$$A=-\frac{a}{2},B=-\frac{b}{2},R=\frac{1}{2}\sqrt{a^2+b^2-4c}.$$

假设(X_i,Y_i),$i\in\{1,2,\cdots,N\}$为测量点的坐标,测量点到理想圆心的距离为 d_i,则测量点距圆的代数方程为

$$\delta_i=d_i-R=\sqrt{(X_i-A)^2+(Y_i-B)^2}-R. \tag{3}$$

由于式(3)有根号,不便于求解,所以需要变换形式. 引用文献[4]中的方法(经过实际算例验证对比,两种形式对圆的几何特征参数的估计是一致的,计算误差完全能够满足水电机组安装测量精度的要求),将式(3)变换为

$$\begin{aligned}\delta_i=d_i^2-R^2=&\\(X_i-A)^2+(Y_i-B)^2-R^2=&\\X_i^2+Y_i^2+aX_i+bY_i+c.&\end{aligned} \tag{4}$$

令 $Q(a,b,c)$ 为 δ_i 的平方和,则

$$\begin{aligned}Q(a,b,c)=\sum\delta_i^2=&\\\sum(X_i^2+Y_i^2+aX_i+bY_i+c)^2.&\end{aligned} \tag{5}$$

由于 $Q(a,b,c)\geqslant 0$,因此函数存在大于或等于 0 的极小值. 对 a,b,c 求偏导数,令其等于 0,得到极值点;比较所有极值点的函数值,即可得到最小值.

$$\frac{\partial Q(a,b,c)}{\partial a}=\sum 2(X_i^2+Y_i^2+aX_i+bY_i+c)X_i=0, \tag{6}$$

$$\frac{\partial Q(a,b,c)}{\partial b}=\sum 2(X_i^2+Y_i^2+aX_i+bY_i+c)Y_i=0, \tag{7}$$

$$\frac{\partial Q(a,b,c)}{\partial c}=\sum 2(X_i^2+Y_i^2+aX_i+bY_i+c)=0. \tag{8}$$

解方程组(6)-(8)得

$$\begin{cases}a=\dfrac{HD-EG}{CG-D^2},\\[2ex] b=\dfrac{HC-ED}{D^2-GC},\\[2ex] c=-\dfrac{\sum(X_i^2+Y_i^2)+a\sum X_i+b\sum Y_i}{N},\end{cases}$$

式中:

$$\begin{cases} C = N\sum X_i^2 - \sum X_i \sum X_i, \\ D = N\sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i, \\ E = N\sum X_i^3 + N\sum X_i Y_i^2 - \sum (X_i^2 + Y_i^2)\sum X_i, \\ G = N\sum Y_i^2 - \sum Y_i \sum Y_i, \\ H = N\sum X_i^2 Y_i + N\sum Y_i^3 - \sum (X_i^2 + Y_i^2)\sum Y_i. \end{cases}$$

最后得到 A,B,R 的拟合值:

$$A = -\frac{a}{2}, \quad B = -\frac{b}{2}, \quad R = \frac{1}{2}\sqrt{a^2 + b^2 - 4c}.$$

2　最小二乘拟合平面算法推导

假设(X_i,Y_i,Z_i)为测量点坐标,设平面方程为

$$z = Jx + Uy + V. \tag{9}$$

令 $\Delta_i^2 = [Z_i - (JX_i + UY_i + V)]^2$,

则 $f(J,U,V) = \sum \Delta_i^2 = \sum [Z_i - (JX_i + UY_i + V)]^2$, (10)

令 $-J = a, -U = b, -V = c$,则有

$$\frac{\partial f(a,b,c)}{\partial a} = \sum 2(Z_i + aX_i + bY_i + c)X_i = 0, \tag{11}$$

$$\frac{\partial f(a,b,c)}{\partial b} = \sum 2(Z_i + aX_i + bY_i + c)Y_i = 0, \tag{12}$$

$$\frac{\partial f(a,b,c)}{\partial c} = \sum 2(Z_i + aX_i + bY_i + c) = 0. \tag{13}$$

解方程组(11)-(13)得

$$\begin{cases} a = \dfrac{HE - FG}{FD - E^2}, \\ b = \dfrac{HD - EG}{E^2 - DF}, \\ c = -\dfrac{\sum Z_i + a\sum X_i + b\sum Y_i}{N}, \end{cases}$$

式中:

$$\begin{cases} D = N\sum X_i^2 - \sum X_i \sum X_i, \\ E = N\sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i, \\ F = N\sum Y_i^2 - \sum Y_i \sum Y_i, \\ G = N\sum X_i Z_i - \sum X_i \sum Z_i, \\ H = N\sum Y_i Z_i - \sum Y_i \sum Z_i. \end{cases}$$

各点的平整度计算式为

$$d_i = \frac{JX_i + UY_i - Z_i + V}{\sqrt{J^2 + U^2 + (-1)^2}}, i = 1,2,\cdots,N. \tag{14}$$

由以上公式可知,根据最小二乘法拟合圆,推出圆心坐标和半径的算法以及平面拟合算法的计算均较为复杂,推导过程较为烦琐,但在 VC 中实现代码简单,因此整个算法的计算速度很快.

3　算法的执行代码

程序采用 C 语言编写,计算执行代码主程序如下:

```
#include <stdio.h>
#include "MyArrays.h"
#include "Circle_fitting.h"
int main()
{
Read_Data();//读入测量数据
Circle_fitting_Tool();//拟合计算
Write_Data();//数据输出
printf("圆心 X0 = %f, Y0 = %f, 半径 R = %f, 圆度误差 e = %f\n",A, B, R, e);
if(points_X) Free1DArray((void *)points_X);
if(points_Y) Free1DArray((void *)points_Y);
if(r) Free1DArray((void *)r);
return 0;
}
```

4　座环上、下镗口圆的拟合计算

机坑测定是水电站水轮发电机组可拆卸部件安装的第一步工作. 测量时,事先对座环上、下镗口进行若干等分并标记. 采用电测法,用内径千分尺分别测量座环上、下镗口各标记点的半径,分别求取上、下镗口各自的理论中心,并计算出座环整体的最佳中心,其传统计算方法是取上、下镗口理论中心的算术平均值. 然而,通过上述方法进行计算的加工量有可能造成切割圆的偏心,增多了切割量;而利用拟合后的半径确定加工设备的中心就可有效避免偏心情况的产生,并使加工量减少.

下面是某大型水电站 7#机座环上、下镗口切割打磨后半径测量的数据 R_i 及拟合后半径数据 R,如表 1,2 所示,表 2 中 E 为圆度,G 为上下镗口同心度. 由于工程实际中,座环圆度测量及找中心是利

用钢琴线和内径千分尺通过等分圆测量半径的方式进行,所以在程序计算中,需要先把极坐标转换为直角坐标再进行计算.

表1 座环上、下镗口切割打磨后的测量结果

Tab.1 Measured results for bored holes on top and bottom annular plates of stay ring after cut and polished mm

座环上镗口				座环下镗口			
序号	R_t	序号	R_t	序号	R_t	序号	R_t
1	6 340.72	17	6 340.32	1	6 335.95	17	6 335.95
2	6 340.60	18	6 340.35	2	6 335.74	18	6 335.70
3	6 340.25	19	6 340.55	3	6 335.25	19	6 335.89
4	6 340.75	20	6 339.90	4	6 335.70	20	6 335.25
5	6 339.20	21	6 339.70	5	6 335.51	21	6 335.00
6	6 339.82	22	6 340.12	6	6 335.20	22	6 334.31
7	6 339.70	23	6 340.38	7	6 335.10	23	6 334.91
8	6 340.50	24	6 340.55	8	6 335.90	24	6 335.22
9	6 340.65	25	6 339.67	9	6 335.75	25	6 335.68
10	6 339.96	26	6 340.40	10	6 335.65	26	6 335.85
11	6 339.95	27	6 340.65	11	6 335.40	27	6 335.80
12	6 340.18	28	6 340.60	12	6 335.35	28	6 335.70
13	6 339.90	29	6 340.63	13	6 334.25	29	6 335.60
14	6 340.25	30	6 340.50	14	6 335.60	30	6 335.68
15	6 340.50	31	6 340.32	15	6 335.93	31	6 335.58
16	6 340.60	32	6 339.35	16	6 335.93	32	6 334.90

表2 最小二乘拟合圆计算结果

Tab.2 Fitted results for circle with least square method mm

部位	圆心坐标		R	E	G
	X_0	Y_0			
座环上镗口	0.10	0.01	6 340.24	1.53	0.14
座环下镗口	-0.03	0.06	6 335.48	1.74	

表2中,圆心坐标值是相对于钢琴线坐标系(钢琴线所在位置为点(0,0))下的值,是引用公式(5)-(8)计算得到的.由表可知,该机组座环切割打磨后上、下镗口的圆度和同心度均达到安装标准的优良值(圆度小于2 mm,同心度小于2 mm).

5 座环上环板平面拟合计算

座环吊装就位后,通过水平仪测量上环板各点的高程,然后通过楔子板和千斤顶调整座环各支墩的高度.然而,水准仪测量的是座环上下环板的高程,不能反映其上下环板的波浪度.而运用平面拟合的方法能有效计算出座环上下环板的波浪度,对座环的现场进一步加工有着重要作用.

例如西部另一建设中的水电站,在混凝土浇筑过程中发生了座环抬动事故,座环向上抬了几十mm,而且发生微小倾斜,已经不符合安装要求.由于座环发生倾斜,测量的座环环板各点的高程数据不能直观地反映出座环环板的平面度.为了分析研究座环的变形情况,对座环上下环板、导叶中心高程进行了测量;这里只对座环上环板数据进行分析,测量、计算数据见表3,表中 H_r 为相对高程,L_n 为各点到拟合平面的距离.

表3 座环上环板平面度计算结果

Tab.3 Calculated flatness of top annular plate of stay ring mm

序号	坐标		H_r	L_n
	X	Y		
1	0	4 978.00	199.00	0.66
2	1 904.04	4 596.76	196.90	0.37
3	3 516.09	3 516.09	196.50	-0.45
4	4 589.37	1 900.98	199.50	-3.33
5	4 967.00	0	199.00	-1.39
6	4 589.37	-1 900.98	200.00	0.16
7	3 520.33	-3 520.33	200.30	3.12
8	1 905.00	-4 599.07	204.30	2.61
9	0	-4 978.00	211.00	-0.91
10	-1 904.04	-4 596.76	213.00	-0.52
11	-3 516.09	-3 516.09	215.00	-1.30
12	-4 589.37	-1 900.98	215.00	-1.42
13	-4 967.00	0	213.00	-0.86
14	-4 589.37	1 900.98	209.00	0.59
15	-3 520.33	3 520.33	205.00	1.33
16	-1 905.00	4 599.07	201.50	1.34

通过上述计算得座环上环板的平面度为6.44 mm,已经不符合厂家设计的上环板平面度在5 mm以内的要求.在蜗壳发生抬动后,施工单位组织实施了事故抢救处理工作,最后把座环调整到原设计高程,通过各项技术措施,最终把座环上环板的平面度恢复到5 mm以内,达到了设计要求.

6 定子机架整体吊装变形分析

某大型水电站首台机组由于现场条件限制,定子机座组装是在安装间完成的.组装完成后,通过厂房桥机把定子机架整体吊入机坑,然后在机坑内进行定子铁芯叠装.定子机架直径将近20 m,整体吊装时,由于起吊架各支撑受力不均,定子机架起吊过程中可能发生设备倾斜、扭曲变形等状况,会对发电机的安装质量造成影响,影响设备的性能和安全.为了分析定子机座在整体吊装过程中可能发生的变形情况,特对定子机座开始起吊时20个机座支腿的相对高程进行了测量,从而分析定子机座在整体吊装过程中的变形量,测量、计算数据见表4,表中 H_{r0},H_{rt} 分别为相对高程的起吊前初始值、提升后测量值,H_v 为高程变化量,其他同表3.

表 4　定子机架支腿测点空间平面拟合计算结果

Tab. 4　Fitted results for a plane constructed by measuring points on frame legs　　mm

序号	支腿坐标 X	支腿坐标 Y	H_{t0}	H_{rt}	H_v	L_n
1	0	19 500.00	401.50	297.80	103.70	-0.12
2	6 025.83	18 545.60	398.50	283.50	115.00	0.03
3	11 461.81	15 775.83	401.00	277.70	123.30	0.26
4	15 775.83	11 461.81	398.80	273.40	125.40	2.93
5	18 545.60	6 025.83	400.20	270.60	129.60	-0.72
6	19 500.00	0	397.20	269.00	128.20	-3.05
7	18 545.60	-6 025.83	400.20	282.10	118.10	-0.59
8	15 775.83	-11 461.81	401.00	294.40	106.60	0.10
9	11 461.81	-15 775.83	403.00	310.20	92.80	0.98
10	6 025.83	-18 545.60	399.00	321.20	77.80	2.23
11	0	-19 500.00	397.20	330.50	66.70	0.07
12	-6 025.83	-18 545.60	397.00	340.40	56.60	-1.28
13	-11 461.81	-15 775.83	398.50	351.20	47.30	-0.51
14	-15 775.83	-11 461.81	392.10	350.00	42.10	-0.08
15	-18 545.60	-6 025.83	396.20	354.30	41.90	-0.43
16	-19 500.00	0	395.50	349.40	46.10	-0.90
17	-18 545.60	6 025.82	395.80	346.20	49.60	3.24
18	-15 775.83	11 461.81	401.00	336.50	64.50	-0.85
19	-11 461.81	15 775.83	395.20	317.40	77.80	-1.23
20	-6 025.83	18 545.60	398.20	307.80	90.40	-0.08

通过最小二乘法拟合计算，得出各测量点到拟合平面的距离. 由表 4 中的 L_n 列数据可以看出，虽然测点的水平高度相差比较大，但是测点拟合平面的最大不平度只有 6.29 mm；而如果不采用最小二乘拟合法计算分析，仅依靠测量高程的数据，则无法判断定子机架在整体吊装过程中发生变形的严重程度. 因此，以上案例可以明显体现出最小二乘拟合平面计算方法在工程实际应用的优势.

把测量、计算结果导入到 Origin Pro 数据绘图软件，得到图 2，3. 由图可知，虽然定子机座在整体吊装时发生了倾斜（如图 2 所示），但定子机座整体吊装发生的变形不大（如图 3 所示）. 这为后续施工过程中，定子机座整体吊装方案的继续实施提供了理论依据.

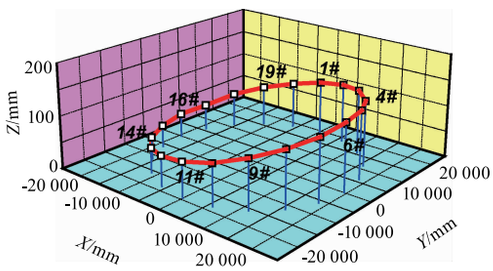


图 2　定子机座完全吊起后支腿相对高程测量值

Fig. 2　Measured relative elevations of legs after stator frame was lifted

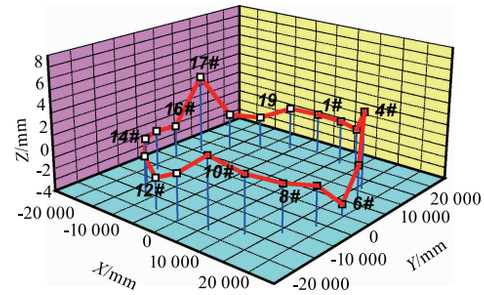


图 3　定子机座完全吊起后变形情况

Fig. 3　Deformation of stator frame after lifted

7　结　论

从工程实际出发，通过采用最小二乘法拟合设备上的离散测量点，虽然拟合后的圆或平面不一定经过轮廓上的每一个样点，但是与这些测量点的绝对误差平方和为最小，对原曲线或平面有很高的逼近精度，通过 VC 编程计算，在工程实践中得到了很好的验证. 该方法能够快速准确地确定水电站机组理论中心位置，准确地计算设备安装调整的平面度，具有计算速度快、精度高的特点.

参考文献（References）

[1] Fitzgibbon A, Pilu M, Fisher R B. Direct least square fitting of ellipses[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(5): 476-480.

[2] Gander W, Golub G H, Strebel R. Least-squares fitting of circles and ellipses[J]. BIT Numerical Mathematics, 1994, 34(4): 558-578.

[3] Lukacs G, Martin R, Marshall D. Faithful least-squares fitting of spheres, cylinders, cones and tori for reliable segmentation[J]. Lecture Notes in Computer Science, 1998, 1406: 671-686.

[4] 刘志刚，鲍加贞，汤时虎. 基于 VC 的最小二乘拟合圆在 LAMOST 中的应用[J]. 现代制造工程, 2008(1): 94-96.
Liu Zhigang, Bao Jiazhen, Tang Shihu. Application of least square fitting circle based on VC LAMOST[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2008(1): 94-96. (in Chinese)

[5] 朱嘉，李醒飞，谭文斌，等. 基于圆心约束最小二乘圆拟合的短圆弧测量[J]. 光学精密工程, 2009, 17(10): 2486-2492.
Zhu Jia, Li Xingfei, Tan Wenbin, et al. Measurement of short arc based on centre constraint least square circle

fitting[J]. Optics and Precision Engineering, 2009,17(10):2486 - 2492. (in Chinese)

[6] 刘珂,周富强,张广军. 半径约束最小二乘圆拟合方法及其误差分析[J]. 光电子·激光, 2006,17(5):604 - 607.
Liu Ke, Zhou Fuqiang, Zhang Guangjun. Radius constraint least-square circle fitting method and error analysis[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2006,17(5):604 - 607. (in Chinese)

[7] 潘国荣,李怀锋. 基于空间向量的空间圆形拟合检测新方法[J]. 大地测量与地球动力学, 2010,30(4):106 - 108.
Pan Guorong, Li Huaifeng. A new test method based on space vector in 3D circle fitting[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2010, 30(4):106 - 108. (in Chinese)

[8] 邵卫云,张雄. 水泵水轮机全特性曲线的拟合——移动最小二乘近似[J]. 水力发电学报, 2004,23(5):102 - 106.
Shao Weiyun, Zhang Xiong. A new simulation method of complete characteristic curves of reversible pump turbine—moving least square approximation[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2004,23(5):102 - 106. (in Chinese)

[9] 彭文季, 郭鹏程, 罗兴锜. 基于最小二乘支持向量机和信息融合技术的水电机组振动故障诊断研究[J]. 水力发电学报, 2007,26(6):137 - 142.
Peng Wenji, Guo Pengcheng, Luo Xingqi. Research on vibration fault diagnosis of hydro-turbine generating unit based on LS - SVM and information fusion technology [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2007, 26(6):137 - 142. (in Chinese)

[10] 彭玉成,郑莉媛,曹艳, 等. 水电机组发电机转子圆度分析方法研究[J]. 水力发电, 2010,36(10):56 - 58,75.
Peng Yucheng, Zheng Liyuan, Cao Yan, et al. Analysis on the roundness of hydroelectric generator rotor[J]. Water Power, 2010,36(10):56 - 58,75. (in Chinese)

[11] 刘晋. 关于最小二乘法求圆的拟合中心计算[J]. 建材与装饰, 2007(11):137 - 138.
Liu Jin. The calculation on fitting center of circle using least square method[J]. Construction Materials & Decoration, 2007(11):137 - 138. (in Chinese)

(责任编辑 张文涛)

热烈祝贺本刊编委会康绍忠副主任委员、蔡焕杰委员荣获2013年度国家科技进步二等奖

2013年度国家科学技术奖励大会于2014年1月10日在人民大会堂隆重召开,党和国家领导人出席大会并为2013年度国家科学技术奖励获奖代表颁奖. 由中国农业大学、西北农林科技大学、武汉大学等单位联合完成的"干旱内陆河流域考虑生态的水资源配置理论与调控技术及其应用"荣获2013年度国家科技进步二等奖,主要完成人为康绍忠、杜太生、粟晓玲、杨东、冯绍元、蔡焕杰、石培泽、彭治云、霍再林、刘树波.

(徐云峰)