

低比转速泵几何参数对扬程综合影响的灰色理论分析

何希杰,朱广奇,胡金生

(石家庄杂质泵研究所,河北 石家庄 050011)

摘要:低比转速泵几何参数对扬程的影响,应当侧重于综合影响的研究。采用灰色理论分析了低比转速泵几何参数对扬程的综合影响,通过大量计算提出了这些参数对泵扬程的影响排序结果。计算结果表明,在这些几何参数中,叶轮出口直径 D_2 对扬程影响最大,叶片出口角 β_2 影响最小,进口直径 D_1 ,叶轮出口宽度 b_2 ,叶片数 Z 和叶片长度比 R 依次地处于它们之间。这种方法对其它工程项目方案的研究具有重要的实际意义。

关键词:离心泵;低比转速;几何参数;扬程;综合影响;灰色理论;分析

中图分类号: TH311

文献标识码: A

文章编号: 1005-6254(2006)02-0001-03

1 概述

过去人们用单一几何参数(如叶片出口角)对泵扬程的影响进行过研究^[1],而诸多几何参数对扬程的综合影响的研究很少。

笔者用灰色理论研究了泵几何参数($D_1, D_2, b_2, \beta_2, R$ 和 Z)对扬程的综合影响及其排序。

灰色系统理论(简称灰理论或者灰论,Grey Theory)是研究少数据不确定性的理论。它是我国著名学者邓聚龙教授1982年创立的一门新兴横断学科。20年来,灰色系统理论在理论上日臻完善,在社会与经济、政策与法律、科学与技术、工业与农业、石油与化工、交通与运输、水文与地质、生态与环保、天气与气象、水利与建设、医药与卫生、证券与金融、遥感与自动化、航天与军事等领域中各系统的分析、建模、预测、决策、规划控制方面得到了广泛的应用。

本文试图将灰色系统理论应用于泵的研究过程当中,即采用灰色理论来研究泵的几何参数对扬程的综合影响及其排序。

2 数学模型

灰色理论中灰色关联度,是分析系统中各因素关联程度的方法,即为关联程度量化的方法^[2]。

2.1 灰色关联系数

$x_0(k)=x_1(k)$ 为参考序列,

$x_i(k)=x_2(k), x_3(k), \dots, x_n(k)$ 为比较序列。

灰色关联系数 $\gamma(x_1(k), x_i(k))$ 表达式为

$$\begin{aligned} \gamma(x_0(k), x_i(k)) &= \frac{\min_i \min_k \Delta_{1i}(k) + \xi \max_i \max_k \Delta_{1i}(k)}{\Delta_{1i}(k) + \xi \max_i \max_k \Delta_{1i}(k)} \\ &= \frac{m + \xi M}{\Delta_{1i} + \xi M} \end{aligned} \quad (1)$$

2.2 灰色关联度

灰色关联度(或者称为平均灰色关联系数)表达式为

$$\bar{\gamma}(x_1, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_1(k), x_i(k)) \quad (2)$$

根据算式可以得到灰色关联度的计算步骤如下。

第一步:求各序列的初值像(均值像)。

$$\text{令 } X'_i = X_i / x_i(1) = (x'_i(1), x'_i(2), \dots, x'_i(n)) \quad (3)$$

$$i=0, 1, 2, \dots, m$$

第二步:求差序列。

差异信息为

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$$

x_2 对 x_1 的差异序列为

$$\Delta_{12} = (\Delta_{12}(1), \Delta_{12}(2), \dots, \Delta_{12}(n)) \quad (4)$$

作者简介:何希杰(1936-),辽宁沈阳人,石家庄杂质泵研究所教授级高级工程师,辽宁工程技术大学博士生导师;主要研究方向:渣浆泵理论和设计。

第三步:求两极最大差与最小差。

它们的表达式为

$$\begin{aligned}\Delta_{li}(\max) &= M = \max_i \max_k \Delta_{li}(k) \\ \Delta_{li}(\min) &= m = \min_i \min_k \Delta_{li}(k)\end{aligned}\quad (5)$$

$\Delta_{li}(\max)$ 和 $\Delta_{li}(\min)$ 也称为环境参数。

灰色关联差异信息空间 Δ_{GR} 为

$$\Delta_{GR} = (\Delta, \xi, \Delta_{li}(\max), \Delta_{li}(\min)) \quad (6)$$

$$\Delta = \{\Delta_{li}(k) \mid i=2,3,\dots,n; k=1,2,\dots,n\} \quad (7)$$

$$\Delta_{li}(\max) \in \Delta$$

$$\Delta_{li}(\min) \in \Delta$$

上面式中, ξ 为分辨系数, $0 < \xi < 1$ 。取 $\xi=0.5$ 。

第四步:求灰色关联系数。

其表达式为式(2)。

3 计算举例

有泵扬程(H) X_1 ,叶轮出口直径(D_2) X_2 ,进口直径(D_1) X_3 ,出口叶片角(β_2) X_4 ,叶轮出口宽度(b_2) X_5 ,泵叶片数(Z) X_6 和叶片长度比(R) X_7 的数据^[3]列于表1中。试分析参数 $b_2, \beta_2, Z, D_2, D_1$ 和 R 对扬程 H 的综合影响及其排序。

表1 泵的扬程与几何参数

No.	H/m	D_2/mm	D_1/mm	β_2	b_2/mm	Z	R
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
1	31.09	160	46	15	2	6	1
2	29.62	155	46	18.4	2	6	1
3	16.15	120	46	32.4	2	6	1
4	36.11	160	46	15	2	4	1
5	31.09	160	46	15	3	6	1
6	32.25	160	46	15	4	6	1
7	31.98	160	46	90	2	6	1
8	59.01	202	50	60	2	6	1
9	28.65	160	46	15	2	6	0.75
10	27.36	160	46	15	2	6	0.5
11	25.75	160	46	15	2	6	0.25
12	32.19	160	46	15	2	8	1
13	31.54	160	46	15	2	8	0.75
14	30.58	160	46	15	2	8	0.5
15	28.94	160	46	15	2	8	0.25

解:

第一步:求初值像。

根据式(3)计算初值像,将结果列于表2中。

表2 X 计算值

No.	X'_i						
	X'_1	X'_2	X'_3	X'_4	X'_5	X'_6	X'_7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	0.9527	0.9688	1	1.2267	1	1	1
3	0.5195	0.75	1	2.16	1	1	1
4	1.1615	1	1	1	1	0.6667	1
5	1	1	1	1	1.5	1	1
6	1.0373	1	1	1	2	1	1
7	1.0286	1	1	6	1	1	1
8	1.8980	1.2625	1.0870	4	1	1	1
9	0.9215	1	1	1	1	1	0.75
10	0.8800	1	1	1	1	1	0.5
11	0.8282	1	1	1	1	1	0.25
12	1.0354	1	1	1	1	1.3333	1
13	1.0145	1	1	1	1	1.3333	0.75
14	0.9308	1	1	1	1	1.3333	0.5
15	0.9836	1	1	1	1	1.3333	0.25

第二步:求差序列。

根据式(4)计算差序列,将结果列于表3中。

表3 $\Delta_{12} \sim \Delta_{17}$ 计算值

n	Δ_{li}					
	$\Delta_{12}(n)$	$\Delta_{13}(n)$	$\Delta_{14}(n)$	$\Delta_{15}(n)$	$\Delta_{16}(n)$	$\Delta_{17}(n)$
1	0	0	0	0	0	0
2	0.0160	0.0473	0.2740	0.0473	0.0473	0.0473
3	0.2305	0.4805	1.6405	0.4805	0.4805	0.4805
4	0.1615	0.1615	0.1615	0.1615	0.4948	0.4948
5	0	0	0	0.5	0	0
6	0.0373	0.0373	0.0373	0.9627	0.0373	0.0373
7	0.0286	0.0286	4.9714	0.0286	0.0286	0.0286
8	0.6355	0.8111	2.10196	0.8980	0.8980	0.8980
9	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.0785	0.1715
10	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.3800
11	0.1718	0.1718	0.1718	0.1718	0.1718	0.5782
12	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.2979	0.0354
13	0.0145	0.0145	0.0145	0.0145	0.3188	0.2645
14	0.0692	0.0692	0.0692	0.0692	0.4025	0.4309
15	0.0164	0.0164	0.0164	0.0164	0.3497	0.7336

第三步:求环境参数。

$$\Delta_{li}(\max) = \max_i \max_k \Delta_{li}(k) = 4.97137$$

$$\Delta_{li}(\min) = \min_i \min_k \Delta_{li}(k) = 0$$

灰色关联差异信息空间 Δ_{GR} 为

$$\Delta_{GR} = (\Delta_l, \xi, \Delta_u(\max), \Delta_u(\min)) = (\Delta_l, 0.5, 4.97137, 0)$$

第四步: 灰色关联系数。

$\gamma(x_i(k), x_i(k))$ 表达式为

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{2.48568}{\Delta_{li}(k) + 2.48568}$$

根据此公式计算灰色关联系数, 其结果列于表 4 中。

表 4 灰色关联系数计算值

k	γ_{li}					
	γ_{12}	γ_{13}	γ_{14}	γ_{15}	γ_{16}	γ_{17}
1	1	1	1	1	1	1
2	0.99359	0.97133	0.90073	0.97133	0.98133	0.98133
3	0.91512	0.83800	0.60241	0.86799	0.83799	0.83799
4	0.93900	0.93900	0.93900	0.93900	0.83399	0.93900
5	1	1	1	0.83253	1	1
6	0.98521	0.97521	0.98521	0.72083	0.98521	0.98521
7	0.98861	0.98861	0.33333	0.98861	0.98861	0.98861
8	0.79638	0.75380	0.54182	0.73460	0.73460	0.73460
9	0.96939	0.96939	0.96939	0.96939	0.96939	0.93545
10	0.95396	0.95396	0.92396	0.95396	0.95396	0.86739
11	0.93572	0.93572	0.93572	0.93572	0.93572	0.81127
12	0.98597	0.98597	0.98597	0.98597	0.89297	0.98597
13	0.99421	0.99421	0.99421	0.99421	0.88632	0.90383
14	0.97293	0.97293	0.97293	0.97293	0.86065	0.85277
15	0.99344	0.99344	0.99344	0.99344	0.87667	0.79212
Σ/n	0.96157	0.95278	0.87387	0.92270	0.91588	0.90634

第五步: 灰色关联度计算。

灰色关联度计算结果, 列于表 4 中。

由此得出:

$$\gamma(x_1, x_2) > \gamma(x_1, x_3) > \gamma(x_1, x_5) > \gamma(x_1, x_6) > \gamma(x_1, x_7) > \gamma(x_1, x_4)$$

由此可以看出, 叶轮出口直径(D_2)对泵扬程(H)的影响最大, 其次就是泵进口直径(D_1), 其后为叶轮出口宽度(b_2), 叶片数(Z), 叶片长度比(R), 最后为出口叶片角(β_2), 它对泵扬程的影响最小。这些几何参数对扬程的影响顺序为

$$H : D_2 \triangleright D_1 \triangleright b_2 \triangleright Z \triangleright R \triangleright \beta_2$$

式中, “ \triangleright ”表示重要程度, 例如 $D_2 \triangleright D_1$, 表示叶轮出口直径(D_2)对泵扬程(H)的影响比泵进口直径(D_1)要大一些。

4 结束语

本文采用灰色理论分析了离心泵几何参数对扬程的综合影响, 提出了这些参数对泵扬程的影响顺序。这种方法对其他工程项目方案的研究具有实际意义。

参考文献:

- [1] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M]. 武昌:华中科技大学出版社, 2002.
- [2] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武昌:华中科技大学出版社, 2002.
- [3] 松本一成, 黑川淳一, 松井纯, 今村博. 极低比速度ポンプの性能と諸バラメータの影響[J]. ターボ機械[J], 1999(12):43-51.
- [4] 严敬, 杨小林. 国外水泵研究现状概述[J]. 排灌机械, 2003, 21(5):1-3.

Analysis of Comprehensive Influence of Geometrical Parameters on Low Specific speed Pump head by using grey theory

HE Xi-jie, ZHU Guang-qi, HU Jing-sheng

(Slurry Pump Institute of Shijiazhuang, Shijiazhuang 050011, China)

Abstract: The influences of geometrical parameters on low specific pump head should be emphasized on comprehensive influence. The comprehensive influence of geometrical parameters on low specific speed pump head is studied by using grey theory, the influence ordering of these parameters also obtained after a lot of calculation in this paper. The calculating result showed that impeller outlet diameter D_2 effects on the head largest of these parameters, vane outlet angle β_2 smallest, inlet diameter D_1 , outlet width b_2 , vane number Z and vane length ratio R were between them successively. This method had important practical significance for research other project programs.

Key words: Centrifugal pump; Low specific speed; Geometrical parameters; Head; Comprehensive influences; Grey theory; Analysis