

善水之道 以利万物

# 高效单级泵设计及应用



- 产品概述
- 单级泵的应用
- 单级泵**高效节能**
- 单级泵的**高可靠性**



# 凯泉单级泵的发展历程

善水之道 以利万物

1989年

SG型管道泵



1993年

ISG型管道泵

依托浙江机  
科院技术



1996年

KQL泵  
全面推向  
工程项目



2004年

市场占有率高达  
约20%

约4万台套/年



2016年

第六代

性能、配置、  
效率的全面升  
级



2020年

立式双吸泵

切向出口卧式泵



**单级单吸离心泵是凯泉公司的主导产品，在国内同行业中已经确立其不可撼动的领袖地位，其产品覆盖率30%以上。**

**高效、节能、可靠是其特质，创新来满足客户的需求是我们永远的承诺。**

**目前，单级单吸离心泵已经发展到了第六代及智慧变频泵，其性能及品质达到国外名牌产品水平。**

# 单级泵-荣誉证书

善水之道 以利万物

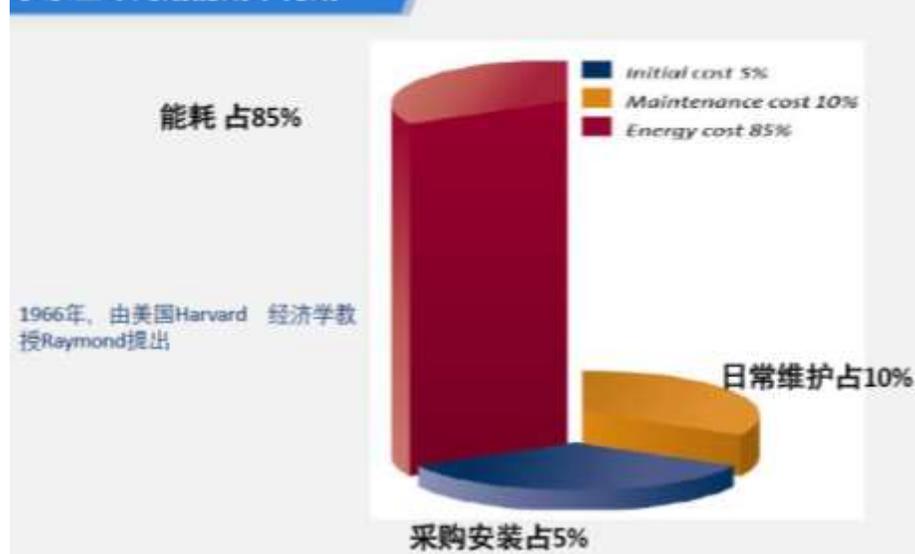


高效单级泵入选《国家工业节能技术装备推荐目录（2020）》

高效单级泵CE证书

根据美国专家对泵运行十年生命周期的分析如下：

水泵生命周期的成本构成

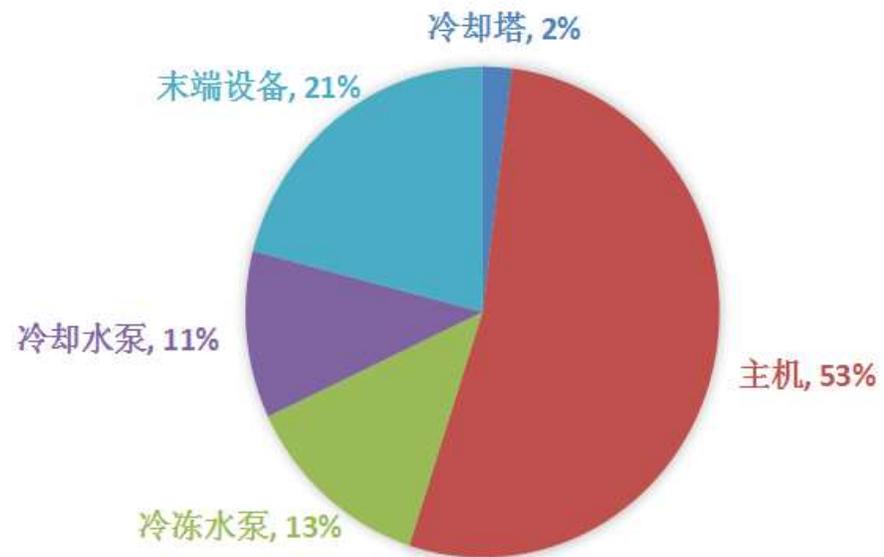
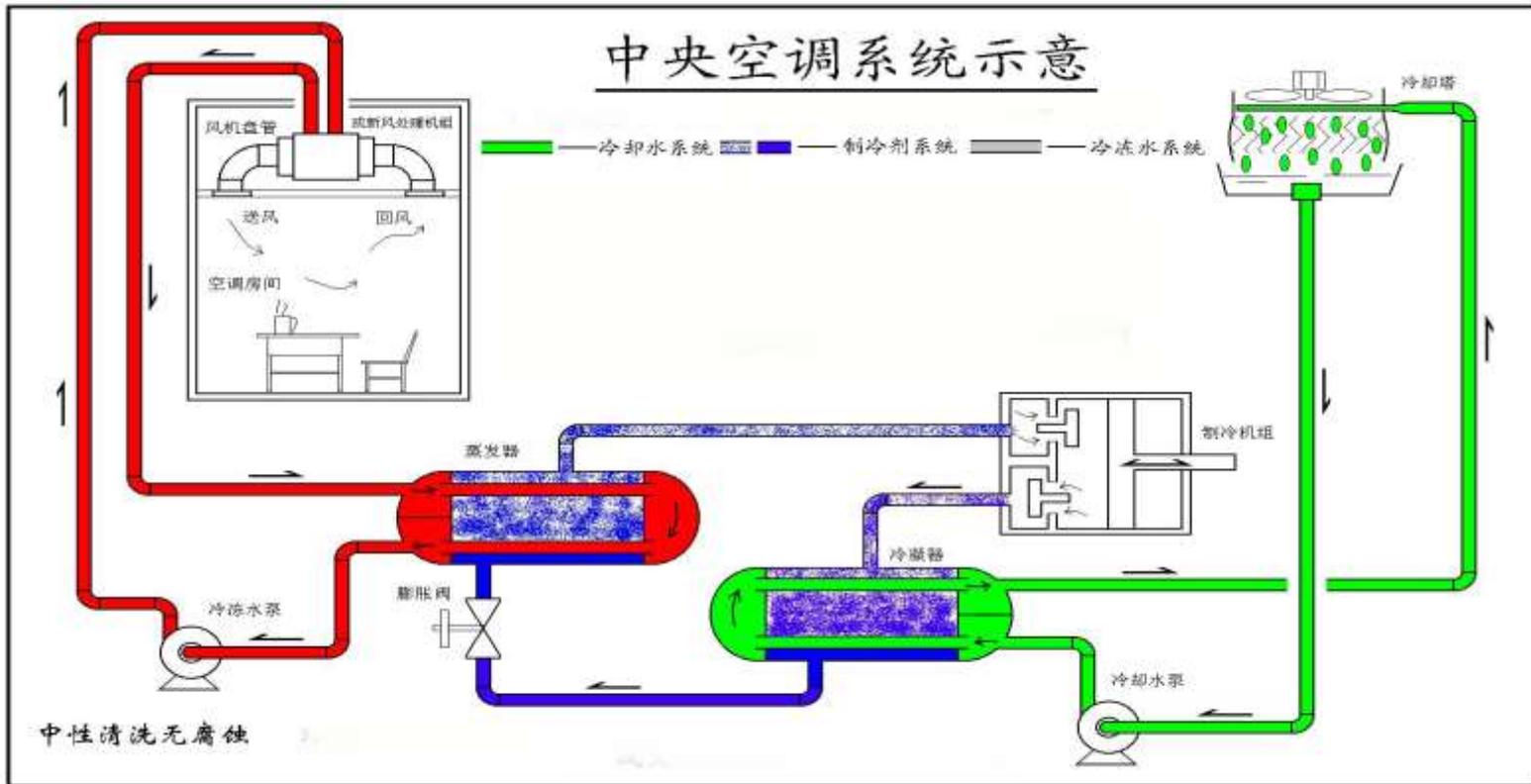


按照一年4000小时运行时间，泵效率提高5%，电费1元/度进行计算：

额定工况下节省电费= $P(\eta_2-\eta_1) \times 4000 \times 1$ ，分别约节省：

泵功率	节省电费	泵效率差值%	泵售价	占单泵成本%
30	6000	5	9737	61.6%
45	9000	5	14800	60.8%

泵效率每提高1%，一年运行4000小时节省的电费约占泵成本12-15%。



据统计，2018年全国数据中心总用电量1608.89亿千瓦时，超过上海市全年用电(1567亿千瓦时)，预计今年突破2000亿千瓦时。

水泵的投资占系统**5%**以下  
水泵的能耗占系统**20-30%**

# 单级泵的高效性能

善水之道 以利万物

性能主要决定点

## 水力模型

- ① 技术联合研发：清华、浙大、华科、农大、武大、江大、兰理工、西华，150多人水力研究：技术中心、产品线、兰州技术中心、镇江水力中心
- ② 宽高效区设计
- ③ 各竞争对手泵效率情况
- ④ 锈蚀及口环磨损性能对比

## 模具

木模：普通设备加工，成本低，误差大，用于粘土砂  
铝木模：普通设备加工，成本低，误差大，用于粘土砂  
铝模：加工中心加工，尺寸精度高，用于树脂砂，消失模，熔模  
**铁模**：加工中心加工，尺寸精度高，变形小，用于覆膜砂，成本高

## 铸件

### 铸造工艺

6元 粘土砂

树脂砂

8元

6.5元 消失模

**覆膜砂**

熔模铸造

10.5元

低温蜡

**中温蜡**

尺寸精度  
 $\pm 2-3\text{mm}$

形位变形  
 $\pm 1-2\text{mm}$

尺寸精度  
 $\pm 0.5\text{mm}$

尺寸精度  
 $\pm 0.25\text{mm}$

泵体、泵盖、叶轮

不锈钢叶轮

## 表面处理工艺

# 水力模型研发团队及投入

善水之道 以利万物



工程技术人员约989人，占13%

研发人员500名

研发人员中水力研究专注 **150余人**

**15名**

知名水泵专家

**5名**

享受政府津贴的专家

**55名**

硕士

**45名**

高级工程师

**8名**

博士

**12名**

高级工艺师

**300名**

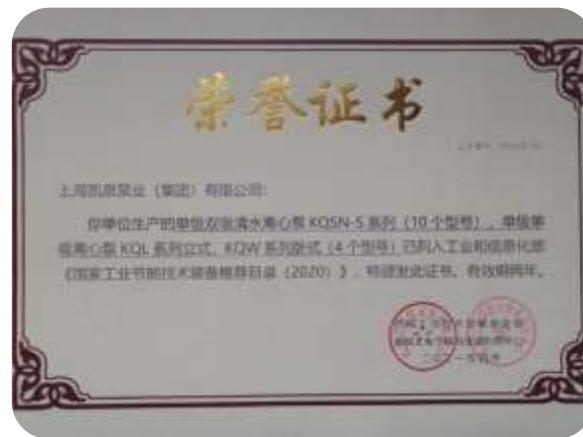
工程师

研发人员层级构成



凯泉通过研发投入，产品效率平均比对手高 **+5%**

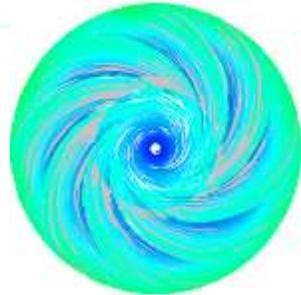
- 三个研究中心
- 四个基础研究室
- 集团每年研发投入约1.8亿元，在水力研发、可靠性研究、新产品、智能与应用等方面，



# 水力模型研发

善水之道 以利万物

结合核电用泵研发成果及研发经验，近五年单级泵研发每年投入**2000多万**进行水力攻关。



心脏零件叶轮水力优化  
效率平均提升**2-6%**

46	KQL	100/150S-11/2	100	28	2960	148	4.5	80	否	高二玲	乔玉兰
47	KQL	300/200S-45/4	700	18	1490	273	6	84	是		

注：原设计责任人继续承担表格中所列的课题任务。  
编制：张俊翔 校对：王超 审核：王超 批准：王超

61	KQL	200/200S-18.5/4-VI	400	12.5	18.5	1480	271	82.1			
62	KQL	150/100-37/4(Z)-VI	160	30	37	1480	61	74.8			
63	KQL	100/160-11/2(Z)-VI	75	32	11	2960	116	81.5		朱艳萍	冯明兴
64	KQL	200/250S-22/4(Z)-VI	300	20	22	1480	165	87.0			
65	KQL	100/125S-7.5/2-VI	95	20	7.5	2960	186	82.8			
66	KQL	125/100-11/2-VI	100	12.5	11	2960	343	77.5			

共66个型号，其中目标一有28个型号，目标二有38个型号。

编制：施勇 审核：王超 2017.2.22 批准：王超 2017.2.22

~2014

侧重于Q,H参数及结构改进

2016.9

集团第二批统筹47个型号，分16个课题组，共计209个方案，合格28个

2015.9

侧重于 $\eta$ 改进  
集团第一批统筹68个型号，分6个课题组，共计198个方案，合格28个。

52	200/245S-45/4	300	26	1490	35	45	83				
63	200/250-55/4	370	40	1490	109	35	83				
64	250/235S-30/4	490	17	1490	37	30	83.3		王青文、乔玉兰等	楼梓	楼梓
65	250/250S-37/4	520	26	1490	217	45	37	84.5	2016-01-20	2016-03-15	2016-03-26
66	250/290-45/4	500	25	1490	180	45	84.7				
67	250/280-35/4	500	41	1490	174	79	84.7		滕涛、赵志才等	楼梓	楼梓
68	250/400S-90/4	500	50	1490	107	110	84.1		2016-01-20	2016-03-15	2016-03-26

新设计24个，降功率改进设计44个，共68个，六分厂设计25个，外部厂设计43个。

编制：施勇 审核：王超 批准：王超

2017

集团第三、四批统筹66、26个型号，分20个课题组，共计267个方案，合格24个。

2018

集团第五统筹30个型号，分12个课题组，第六批58个型号，共计201个方案，合格16个。

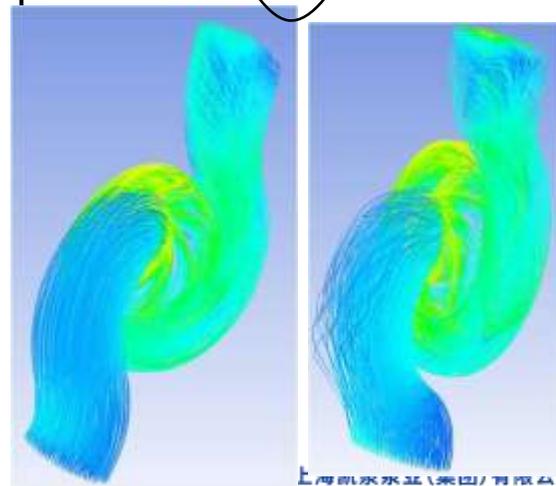
增加**宽高效**要求

2019

集团第七批统筹24个型号，分24个课题组，共计207个方案，合格10个。

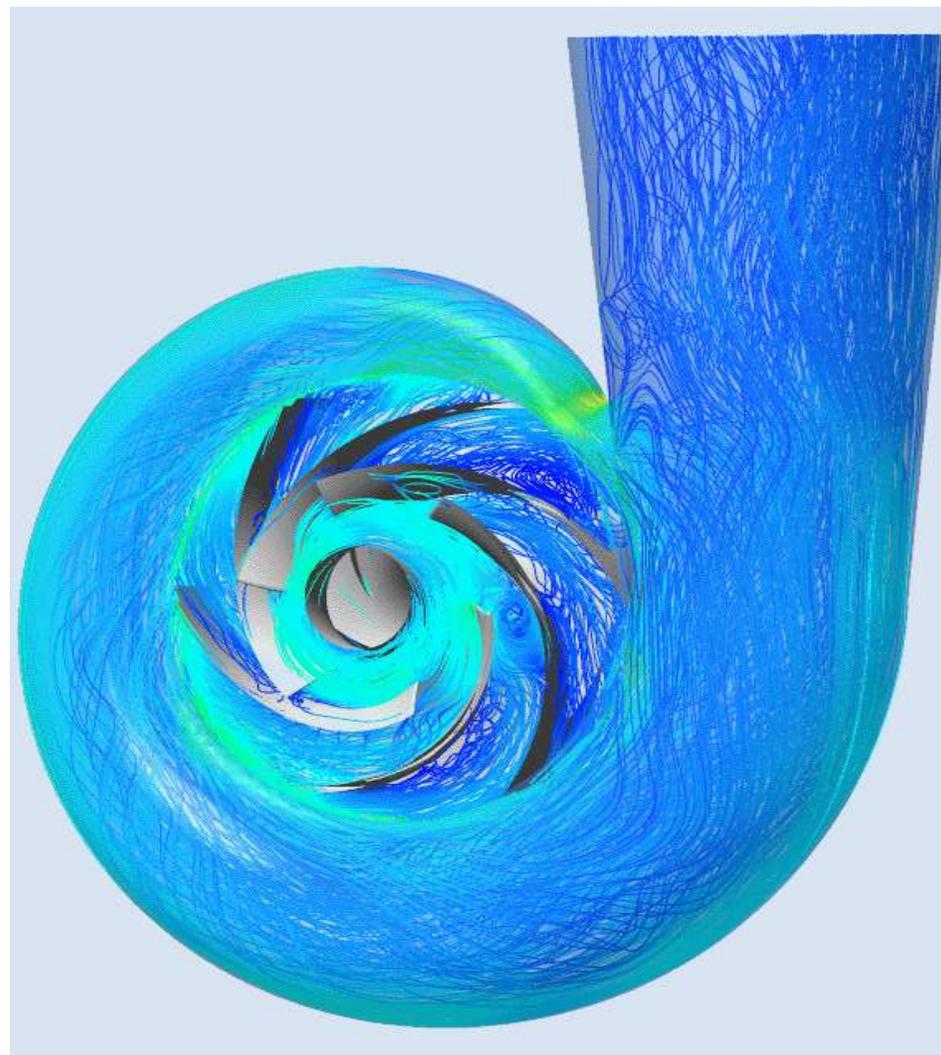
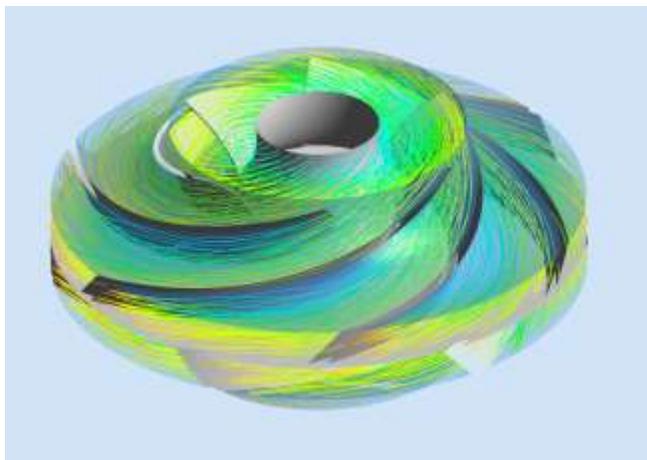
2020

新系列切向出口单级泵，21个型号分21个课题组



核心零件泵体进行CFD水力优化设计，尤其泵体进水段加长（成本增加5%）设计，效率提升**1.5-2%**

- 工作过程：**能量转换、传递**
- 理论基础：**流体力学**
- 核心部件：**叶轮**



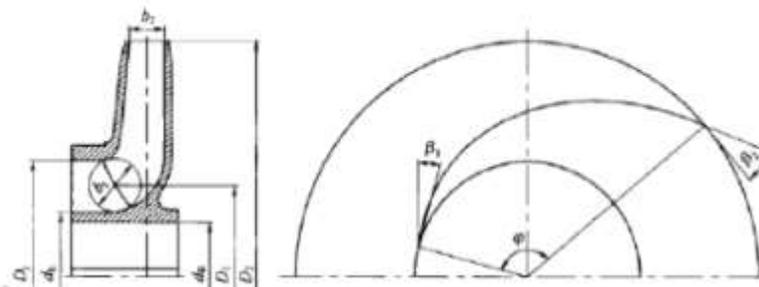


## 水力设计：参数的控制与调整

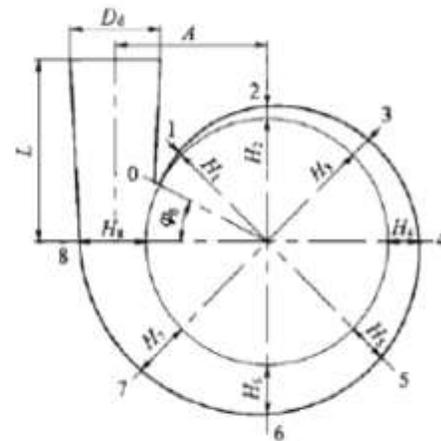
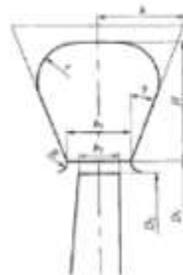
- 性能 **高**
- 效率 **高**
- 汽蚀 **低**
- 多工况 **优**
- 稳定性 **高**

约 **100** 个以上的参数

- 叶片数  $Z$
- 轮毂直径  $d_H$
- 叶轮进口直径  $D_j$
- 叶轮出口宽度  $b_2$
- 叶轮出口直径  $D_2$
- 子午流道轴向长度  $L$
- 叶片进口安放角  $\beta_1$  (与进口冲角等价)
- 叶片出口安放角  $\beta_2$
- 叶片包角  $\varphi$
- 叶片厚度  $s$
- 蜗壳基圆直径
- 蜗壳进口宽度
- 隔舌安放角
- 蜗壳第八断面面积
- 蜗壳中心到出口距离
- 蜗壳出口直径



叶轮几何形状和主要尺寸参数



### 路径：三大研究方法：理论、试验、数值模拟

# 3D打印技术

善水之道 以利万物

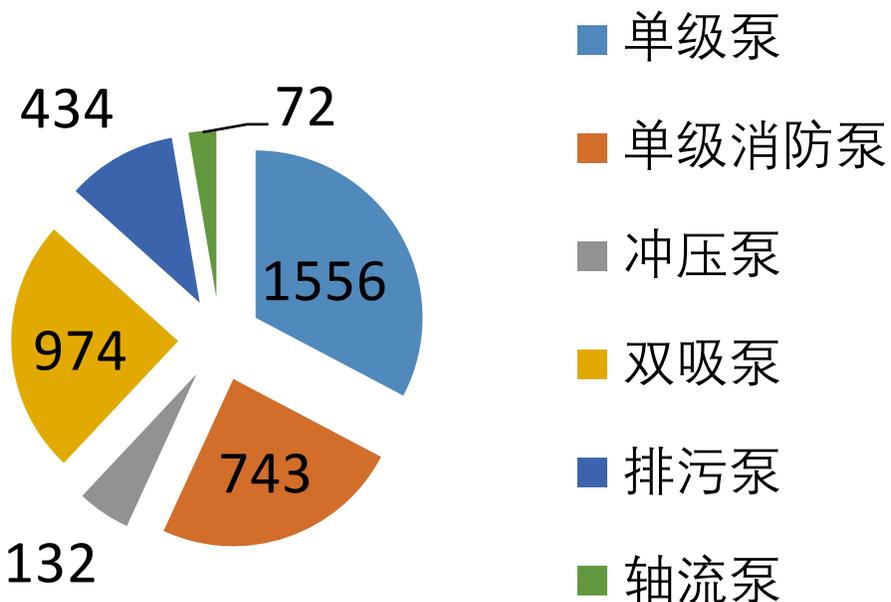
3D  
打  
印  
模  
型  
快  
速  
试  
制





## 六年，性能提升成果

水力研发样机：**3911台**



单级泵

平均提高：**5%**

最高提高：**9.0%**

300KQW720-32



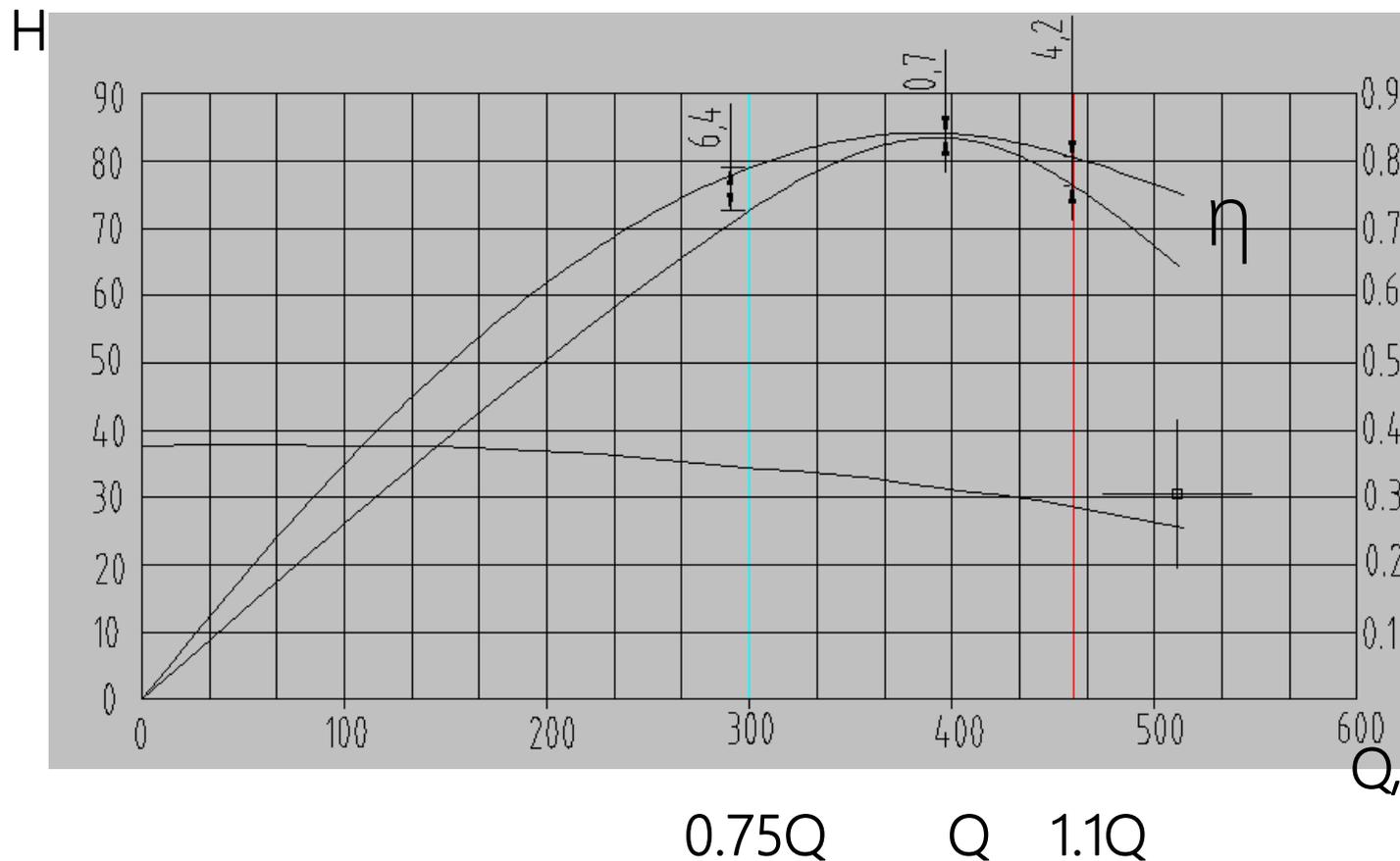
双吸泵

平均提高：**5.3%**

最高提高：**8.7%**

KQSN400-N19W (1700, 31)

单级泵和双吸泵分别有**78.6%**、**77.8%**型号达到或超过能效标准



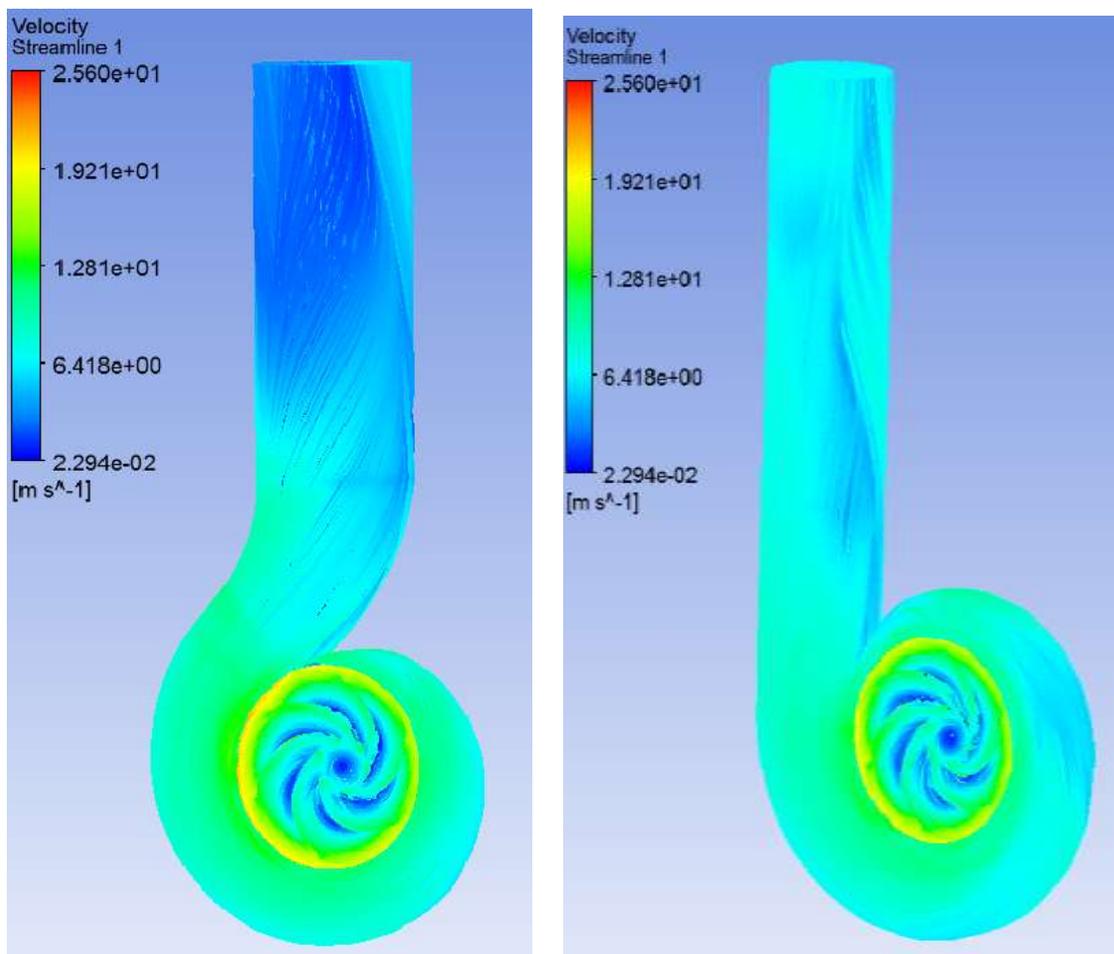
欧盟泵能效MEI标准中有三个流量点  $Q_{BEP}$ ,  $0.75Q_{BEP}$ ,  $1.1Q_{BEP}$  的效率要求，高效区宽

我司2018年起按宽高效研发水力模型

宽高效单级泵节电如下：

泵工况	节省电费	泵效率 差值%	泵售价	占单泵成 本%
0.75Q	11520	6.4	14800	77.8%
1.1Q	7560	4.2	14800	51%

卧式（切向出口）高效单级泵 进一步减少出口损失，部分研发效率实测达88%



# SGW系列高效卧式单级泵-实测报告

善水之道 以利万物

改进设计案例

卧式切向出口SGW单级泵 部分研发效率实测达88%

规定转速下的值 Value at Rated Speed

流量 Flow-rate	扬程 Head	轴功率 Axial Power	泵效率 Pump Efficiency
m <sup>3</sup> /h	m	kW	%
0.00	36.60	17.02	0.00
40.65	37.01	19.22	21.26
80.04	37.06	21.49	37.49
120.34	37.06	23.96	50.57
161.68	36.93	26.73	60.68
201.20	36.57	29.02	68.88
240.49	35.94	31.52	74.48
241.07	35.92	31.55	74.57
279.66	35.25	34.13	78.46
300.53	34.74	35.52	79.86
320.99	34.45	36.65	81.96
361.06	33.57	39.00	84.43
400.67	32.47	41.08	86.04
440.74	31.07	43.25	86.01
480.56	29.29	44.98	85.02

流量 Flow-rate	扬程 Head	轴功率 Axial Power	泵效率 Pump Efficiency
m <sup>3</sup> /h	m	kW	%
0.09	39.42	76.21	0.01
121.02	40.67	79.58	16.83
242.58	40.11	82.90	31.94
361.51	39.79	88.43	44.26
482.85	39.36	94.18	54.91
605.81	38.84	95.27	67.20
724.58	37.99	104.78	71.48
843.67	36.84	109.30	77.36
900.25	36.06	111.09	79.50
960.54	35.02	112.27	81.52
1079.81	34.31	114.68	87.88
1200.00	32.10	118.37	88.52
1318.75	29.43	120.45	87.66
1440.58	26.05	121.47	84.06
1578.28	22.26	121.53	78.67

规定转速下的值 Value at Rated Speed

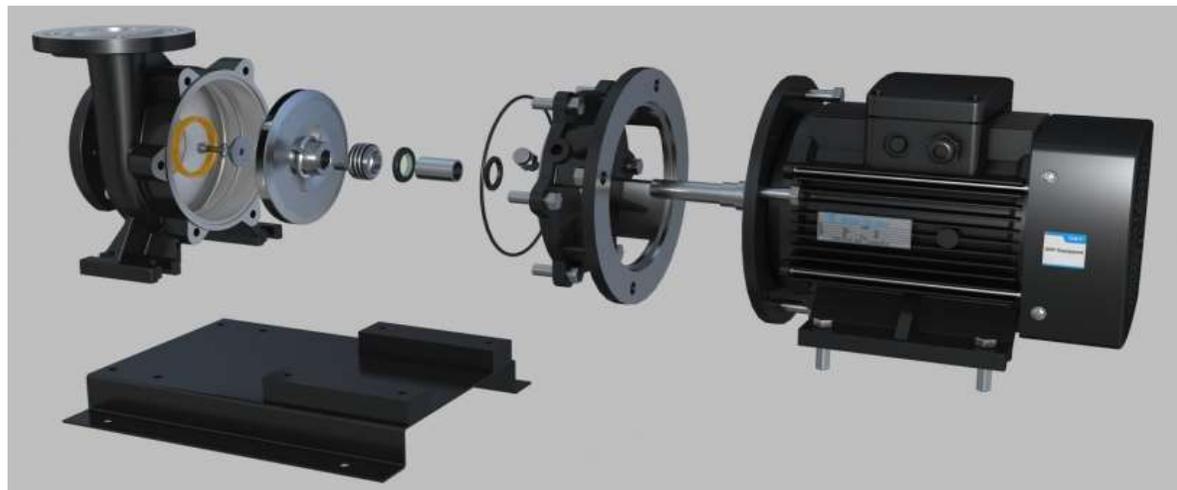
流量 Flow-rate	扬程 Head	轴功率 Axial Power	泵效率 Pump Efficiency
m <sup>3</sup> /h	m	kW	%
0.14	52.28	44.61	0.04
72.91	52.72	48.21	21.63
145.07	52.82	53.89	38.56
215.35	52.90	59.82	51.64
289.55	52.62	66.36	62.26
360.74	52.21	72.84	70.12
435.28	51.30	79.16	76.50
505.05	50.62	85.18	81.39
542.30	50.12	88.40	83.39
576.86	49.62	91.17	85.15
647.97	47.80	97.52	86.12
721.10	46.03	102.34	87.96
792.42	43.67	107.45	87.34
864.14	40.49	112.53	84.32
900.58	38.39	114.51	81.86

流量 Flow-rate	扬程 Head	轴功率 Axial Power	泵效率 Pump Efficiency
m <sup>3</sup> /h	m	kW	%
0.00	44.24	16.13	0.00
30.23	44.53	18.03	20.32
60.16	44.41	19.87	36.58
89.92	44.49	22.32	48.76
120.68	44.48	25.00	58.42
152.09	44.20	27.72	65.98
180.58	43.83	29.97	71.85
210.95	43.07	32.30	76.54
225.45	42.67	33.26	78.69
240.03	42.05	34.39	79.85
271.12	40.84	36.82	81.82
300.07	39.64	39.10	82.75
330.22	38.15	41.23	83.13
360.20	36.42	42.84	83.32
390.12	34.67	44.52	82.64
390.89	34.63	44.56	82.67
420.18	32.53	46.12	80.62

# SGW系列高效卧式单级泵

善水之道 以利万物

**SGW**系列高效卧式单级单吸离心泵集公司先进水力模型研究成果，全面采用宽高效水力模型，泵体出口为切向出口，泵的水力效率获得升级；泵的效率高于国内外厂家**3-5%**，达到国家节能评估标准，**最高效率达88%**，高效区宽，满足欧盟对最小能效指数（ $MEI > 0.4$ ）的要求；配套IE3高效电机，满足用户节能环保要求。



- 流量：126~1400m<sup>3</sup>/h
- 扬程：16~50m
- 额定转速：1480rpm
- 口径：DN150~300

泵体增加可更换铜密封环，标配不锈钢叶轮，解决长期使用带来的锈蚀、磨损导致效率降低问题，全生命周期价值最大化。

底座重新设计，外形更美观，安装更方便。



# 铸铁叶轮长期使用效率下降实例2

## 10年以上铸铁生锈叶轮测试对比

效率% 流量m <sup>3</sup> /h	08年叶轮	2Cr13新叶轮	2Cr13新叶轮
	HT200	口环车到磨损叶轮尺寸	
370	72.46	79.69	81.22



10年以上部分铸铁叶轮生锈严重、口环磨损间隙加大后效率**大幅下降7-8%**，每年增加**75%以上**的运行成本，采用不锈钢叶轮配合耐磨口环后全生命周期成本改善优势明显。

我司已推出**不锈钢叶轮配铜耐磨口环配置系列**。

## 铸造升级

:



原粘土砂铸造水力部件表面粗糙度**25**以上，通过铸造工艺升级，覆膜砂铸造水力部件，表面粗糙度**6.3-12.5**。

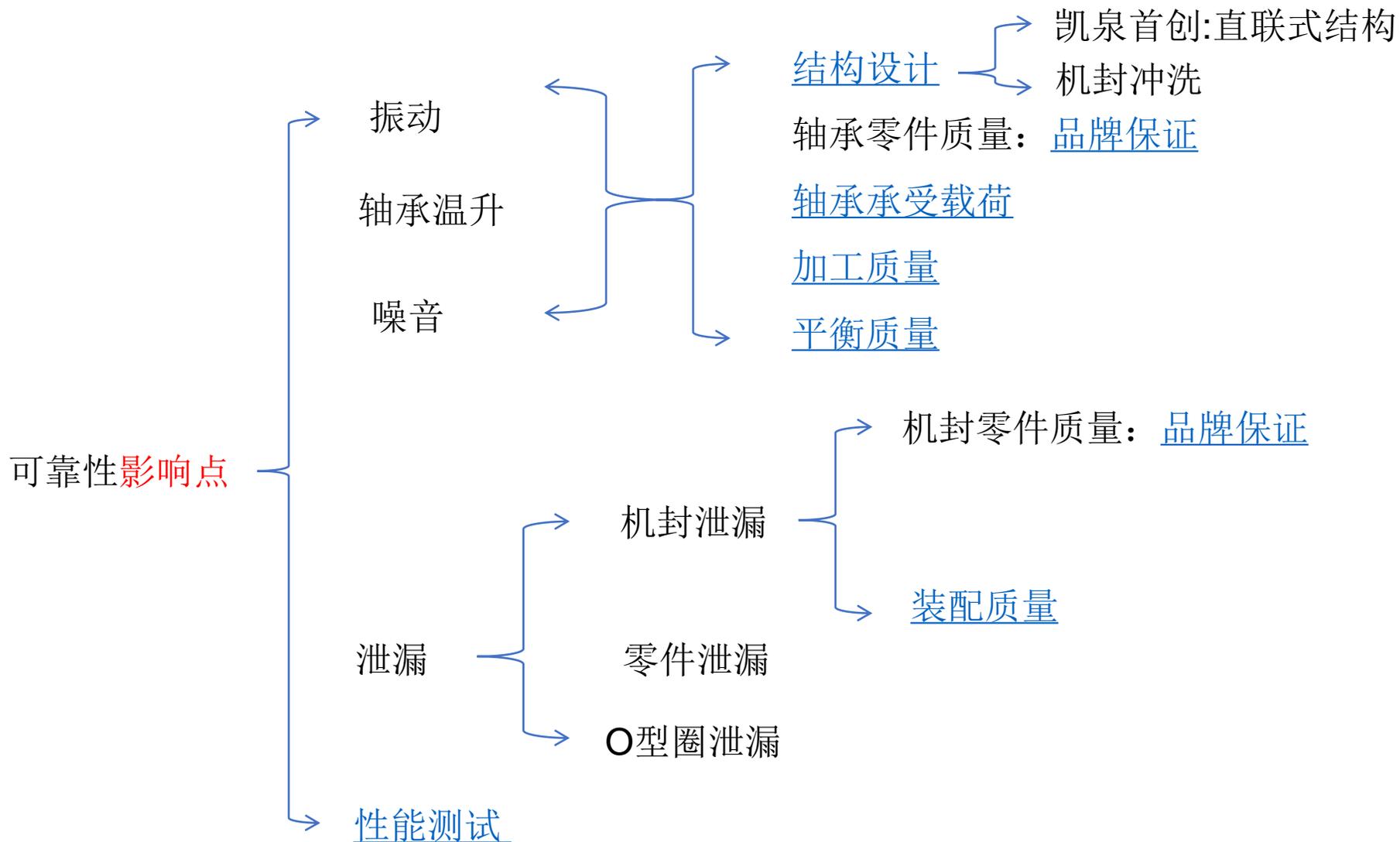


## 表面处理工艺升级:



铸铁部件均采用特殊的阴极电泳处理，多达22道工序，完全覆盖且经久耐磨，附着力强，减小摩擦力，提高泵整体效率1-2%，可避免喷漆的不均匀性，同时电泳处理的泵消除了锈蚀。盐雾试验Ri0级 120小时，确保5年不掉漆。





# 单级泵可靠性提升

高可靠源于易损件品牌升级



EagleBurgmann.



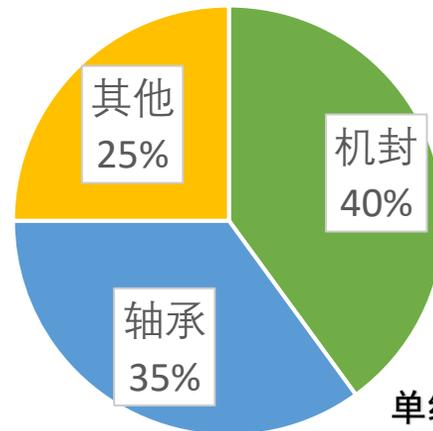
机封改用博格曼、约翰克  
兰、伏尔肯等进口或合资品牌  
，密封位不锈钢轴套与机封配  
合永不生锈，机封故障率由**2%**  
下降到**0.9%**



凯泉与SKF战略合作

轴承采用SKF品牌，噪音低，使用寿命长。  
单级泵轴向力进行实测，轴承计算寿命与SKF  
共同核算，部分型号理论可达**10万**小时。  
轴承更换后，轴承故障率由**1.6%**下降到  
**0.7%**

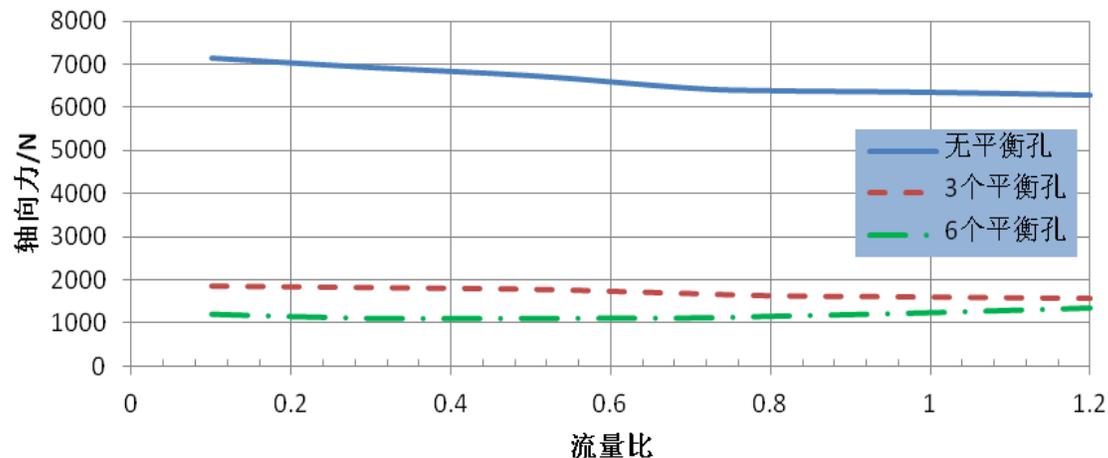
2018-2019年单级泵  
售后故障零件占比



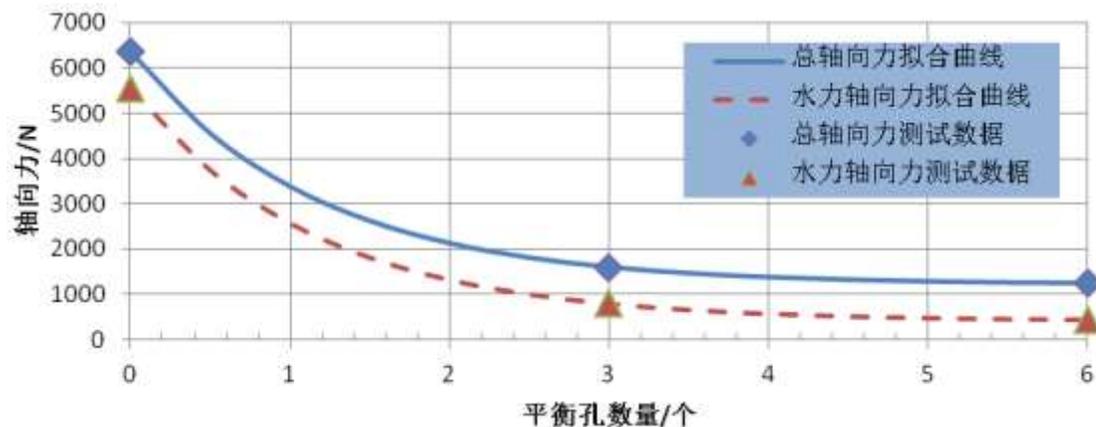
单级泵售后故障TOP2  
1、机封占**40%**  
2、轴承占**35%**  
两者合计占**75%**

# 单级泵可靠性提升

高可靠源于轴向载荷测试及SKF提供轴承寿命核算



不同平衡孔面积下总的轴向力与流量比的关系曲线图



设计点工况下轴向力与平衡孔数量的关系曲线图

对全系列口径泵轴向力做了测试，改进后部分型号轴向力减小82%，大大提高了轴承的可靠性。



部分型号轴承寿命计算

型号	轴承	最小流量		设计流量	
		轴向力 (N)	轴承寿命hrs	轴向力 (N)	轴承寿命hrs
125KQL160-50-37/2	6312	2200	68000	1760	75670
200KQL400-50-75/4	6317	3217	108000	3277	108000
250KQL550-32-75/4	6317	3405	106000	3725	95000



MAZAK MEGA TURN600ML (马扎克) 加工中心

实现单级泵泵盖、化工泵连接架的自动装夹、自动车钻攻全部尺寸的一次加工  
生产稳定、质量稳定。



DMG MORI (德马吉) 卧式加工中心

满足年产20500台150口径以上泵体的加工需求, 设备自动加工、人员参与  
度低、生产稳定、产品精度高、质量稳定。



## 叶轮加工制造升级

:



叶轮原普车加工，多次装夹，同轴度**0.1mm**，泵装配后发生偏磨等质量隐患。

现采用德国进口CLX550双主轴车削中心加工。工件同轴度可达**0.01mm**。一次装夹完成整个零件的加工，保证了各加工部位精度及形位公差要求。

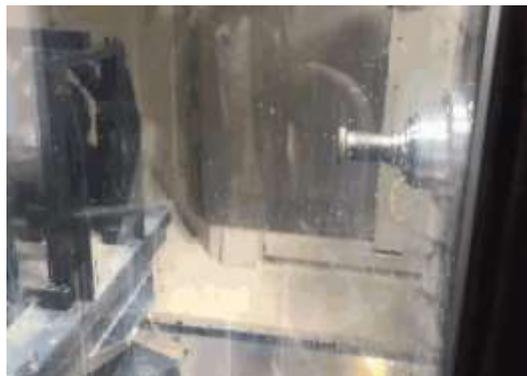


## 泵体加工制造升级:



泵体原普车加工，多个工序，多次装夹找正，关键尺寸同轴度无法保证，导致装配后发生偏磨、卡死等现象。

现采用德马吉等进口双工作台四轴机床加工中心加工，加工精度为**2μm**、加工质量稳定，一次装夹完成整个零件的加工，有效保证加工精度和装配质量。



## 传统：手动式静平衡架（平衡精度G6.3）

第一道工序：  
用静平衡架估算叶轮不平衡量



第二道工序：  
用机床车削去除不平衡量

原粘土砂叶轮铸件偏重大。  
采用手动式静平衡，估算及人工反复去重，平衡质量取决于工人技能

- 平衡效率慢，
- 平衡精度存在不可控因素，G6.3级保证困难。

G6.3	商船、海轮的主涡轮机的平衡机齿轮；高速分离机的鼓轮；风扇；航空燃气涡轮机的转子部件；泵的叶轮；机床及一般机器零件；普通电机转子；特殊要求的发动机的个别零件
G2.5	燃气和蒸汽涡轮；机床驱动件；特殊要求的中型和大型电机转子；小电机转子；涡轮泵
G1	磁带录音机及电唱机、CD、DVD 的驱动件；磨床驱动件；特殊要求的小型电机

## 凯泉：CEMB立式自动平衡机（平衡精度G1）



装夹叶轮

运行设备

自动计算

自动铣削

精密铸造的叶轮水力中心与零件中心几乎重合，偏重少。  
叶轮采用意大利进口自动平衡机平衡：机械人操作，消除人工因素，动平衡机自动检测，自动去重，自动复测，确保叶轮平衡精度G6.3以内，最大可达G1，转子平衡好，可靠性高

# 出厂台台测试，保证100%合格出厂

善水之道 以利万物

## 现场性能试验



## 电子档性能测试报告

上海凯泉		水泵测试报告						
1. 性能试验参数 Test parameters								
2 测试日期	2018/7/21	用户单位						
3 名称	半潜式泵	型号	KQ80-300-1-4	产品型号	180803488			
4 流量	27.0m <sup>3</sup> /h	扬程	27.5m	额定功率	0.68			
5 电机功率	4.0KW	电压	380V	电流	8.74			
6 电机厂家	开平三威	转速	1480r/min	电机效率	86.0%			
2. 试验数据 Test data								
序号 No.	转速 n r/min	流量 Q m <sup>3</sup> /h	进口压力	出口压力	电压	电流	电机功率	水温
			P <sub>1</sub> kPa	P <sub>2</sub> kPa	U V	I A	P <sub>1</sub> kW	T ℃
1	1480	0.07	22.37	200.45	271.00	5.73	2.20	
2	1480	10.37	22.30	296.63	271.00	6.22	2.94	
3	1480	17.45	22.05	294.42	271.00	7.04	3.40	
4	1480	23.27	21.76	294.44	271.00	7.79	3.80	
5	1480	28.02	21.70	276.84	269.00	8.49	4.12	
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
23. 计算数据 Calculating data				换算到额定转速下数据 Conversion data under the regulation speed				
序号 No.	扬程	轴功率	输出功率	效率	流量	扬程	轴功率	效率
	H m	P <sub>1</sub> kW	P <sub>2</sub> kW	η %	Q m <sup>3</sup> /h	H m	P <sub>1</sub> kW	η %
1	25.15	1.84	0.01	0.20	0.07	79.18	1.84	0.20
2	26.80	2.43	0.80	32.89	10.37	28.80	2.43	32.89
3	28.30	2.94	1.32	44.94	17.45	28.30	2.94	44.94
4	27.15	3.20	1.70	53.11	23.27	27.15	3.20	53.11
5	25.78	3.58	2.00	56.00	28.02	25.78	3.58	56.00

## 现场静压试验



严格按照标准进行100%静压（密封）试验，确保整泵无泄漏、冒汗现象。

现场12个工位在线检测平台快速测试，按照GB3216二级精度要求，确保每台产品性能合格。在线检测自动采集5点流量、扬程、功率、效率等参数点包含：0Q、0.75Q、Q、1.1Q、1.2Q

善水之道 以利万物

**THANK YOU**  
**谢谢**