

# CP-VS6/LOP 系列液氧泵

执行标准：API610-2010



流 量：  $Q \sim 4000\text{L}/\text{min}$

扬 程：  $H \sim 1200\text{m}$

工作压力：  $P=15\text{MPa}$

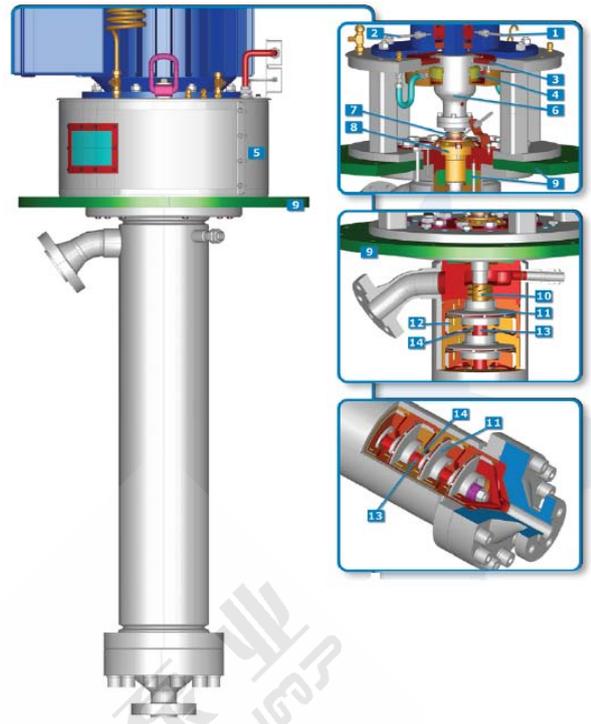
工作温度：  $-200^{\circ}\text{C}$

用 途：应用于石油化工、钢厂、煤化工、化肥、工业制氧等行业空分装置（即空气分离装置）液氧的增压与输送；输送介质液氧的温度为 $-183^{\circ}\text{C}$ ，介质易燃、易爆、超低温深冷、户外安装。

## 产品概述：

CP-VS6/LOP 系列液氧泵设计、制造执行 API610-2010 第 11 版《石油、重化学及天然气工业用离心泵》标准，是我公司德国工程泵研究院结合国际先进技术，由多名德国专家设计，我公司进行生产替代进口产品的新一代低温液氧泵。

CP-VS6/LOP 系列液氧泵总体结构为 API610 标准第 11 版 VS6 结构，即为立式悬吊双筒体（双层壳体结构）、内壳为多级节段式、外壳为承压筒体（辅助承压和安全保护）、吸



入口位于泵的上端、叶轮从上至下由首级、末级顺序排布，出口在泵的下端、轴向排出，转子为悬吊式、由电机轴承轴向定位并承担残余轴向力。

水力部件包括叶轮、导流壳、泵体等。叶轮为单吸闭式叶轮，首级叶轮耐汽蚀性能优良；导流壳为轴向导叶、反导叶与承压中段组合整体流道结构，兼顾高效率及径向尺寸小的特点。整体泵轴结构，中间不接轴，以保证刚度及精度。轴端密封采用充气迷宫密封。

由于液氧泵液氧介质性质、绝热保冷的方便性、防爆性、过程蒸发气化等要求，轴向力平衡不宜采用平衡盘（平衡鼓）、叶轮背对背布置及电机完全承担的特征。通过双密封环+平衡孔的方式叶轮自身平衡轴向力，即叶轮采用双密封环+平衡孔的水力结构。残余轴向力及转子重量（含输送介质）、动反力、轴向排除轴端压力由电机成对角接触轴承承担。

泵由交流感应式电动机驱动，通过法兰式刚性联轴器进行连接。泵进出口管路相对固定，可以在不移动管路的情况下，取出承压泵体以外的其余零部件（整体泵芯）进行检修。为确保机组运行平稳、可靠，泵组支撑接近泵体。为方便测试，将泵机组安装在一个立式筒式焊接结构支架上，从电机顶部向下看，泵以顺时针方向旋转。

## 型号说明：

CP-VS6/LOP1041—445/4

CP：长志泵业

VS6：API610 标准泵型式型号编号“立式悬吊泵”

LOP：液氧泵

1041：额定点流量（L/min）

445：额定点扬程（m）

4：泵级数

## 应用领域：

应用于石油化工、钢厂、煤化工、化肥、工业制氧等行业空分装置（即空气分离装置）液氧的增压与输送

## 曲线特性：

- ★ 泵的流量—扬程关系曲线为无驼峰的稳定曲线，具有陡降特性，即从设计流量到零流量的扬程是稳定上升的，且上升量为设计扬程的 1.1~1.2 倍。
- ★ 泵具有一个优先选用的工作区，此工作区在最佳效率点流量的 70%~120% 范围内，额定流量点在最佳效率点流量的 80%~100% 范围内。
- ★ 泵在更换较大直径叶轮或调速后，在额定工况下，泵的扬程至少应能提高 5%。

## 性能要求：

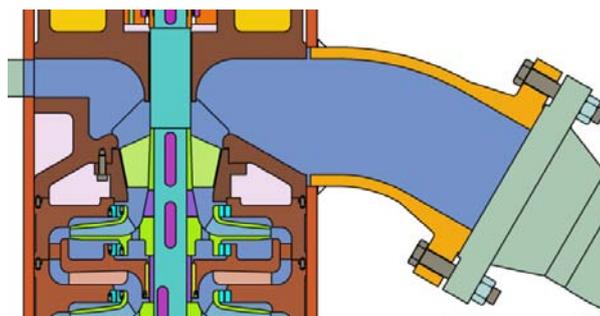
- ★ 防止汽化（汽蚀）造成气堵，有效汽蚀余量（净吸入压头）仅为 1m，必须汽蚀余量要求 $\leq 0.58\text{m}$ ，超汽蚀性能设计技术；
- ★ 泵的流量、扬程、效率不允许出现负偏差，泵兼顾高效率和高汽蚀性能的要求。

## 水力设计特点：

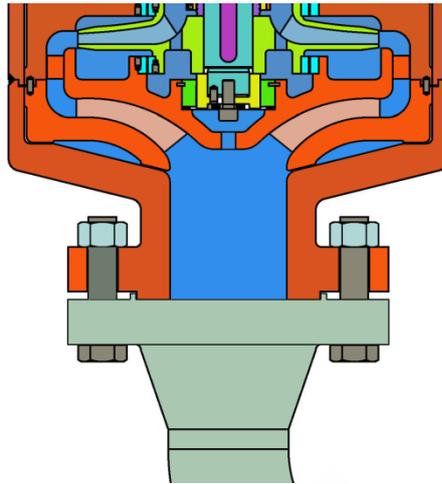
- ★ **高效节能设计：**水力设计采用多种方案及设计软件进行优化设计，并采用 CFD 流场仿真分析软件进行内部流动状态分析，产品效率高，高效区宽，最大程度的保证高效节能。
- ★ **低汽蚀设计：**首级叶轮前采用圆锥增螺距诱导轮以满足对液氧泵高汽蚀性能的要求，诱导轮的设计可使汽蚀比转数  $C$  值达到 5000~30000。良好的诱导轮设计可以允许液体在较低的压力和液位下运转，并可以消除“死穴”，减少吸入口的流体阻力，保持其运转的稳定性。



- ★ **两相流设计：**液氧泵输送的介质是低温液化气体，为减少低温介质损耗，泵的质量应尽可能小而且有适当的保温绝热措施。众所周知，用泵输送液体，液体的温度随效率降低而升高，在一定情况下有可能发生两相流。为此在泵和管路设计上考虑形成两相流时的气体排放问题。
- ★ **自排气设计：**泵采用立式结构，且液氧自上方进入泵体，这样有利于排气，从而使泵后保持稳定的压力。
- ★ **泵吸水室设计：**采用环形流道，以保持结构对称性并适合筒袋立式结构，入口设置分流、稳流板，在入口相对位置设置分流导向、转向锥体。



- ★ **泵出水水道设计：**采用轴向向下出水方向：圆柱直管结构。

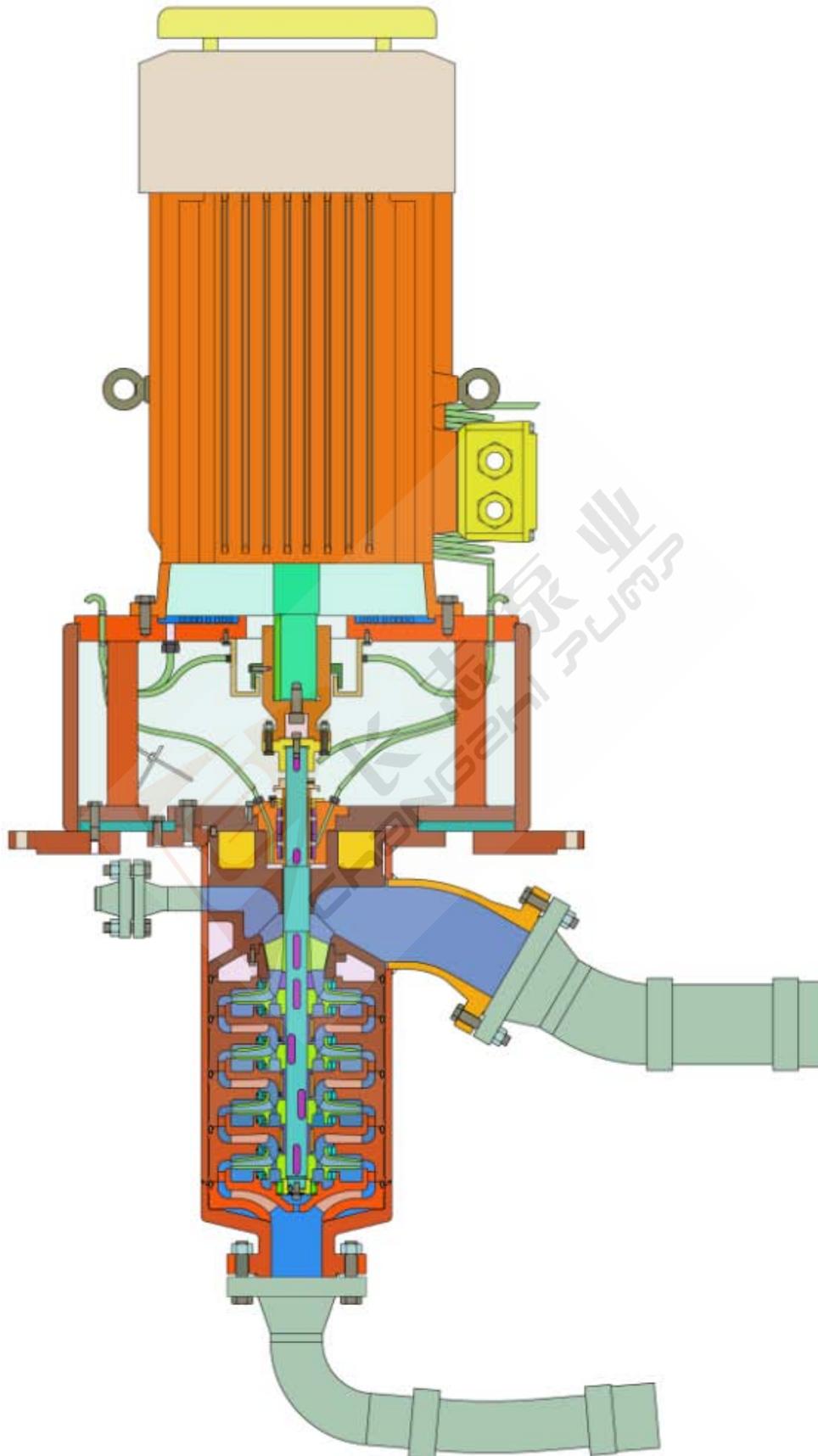


- ★ **导流壳设计：**采用导流壳结构，即轴向导叶、反导叶与承压中段组合整体流道的流道导叶结构，适合低温膨胀、径向尺寸尽量小减小尺寸效应的影响、轴向尺寸尽量小、减少零件数量规避累计误差与精度影响的要求；

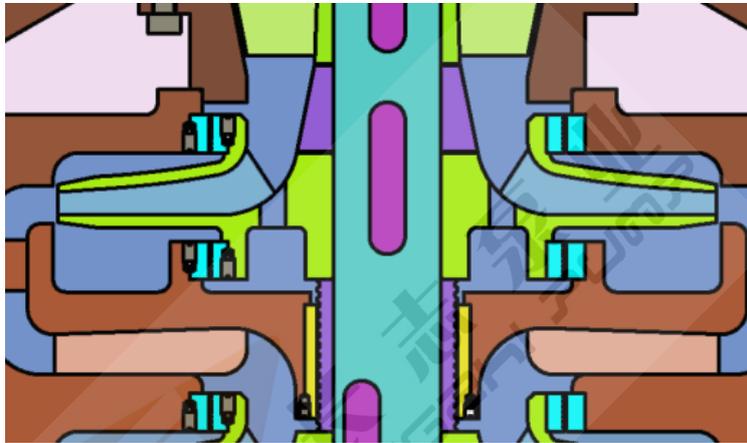
## 结构特点：

- 泵为立式结构，液氧泵采用立式结构，且液氧自上方进入泵体，这样有利于排气，从而使泵后保持稳定的压力。
- 电机前轴承加热系统可以使电机轴承防冻，温度探头协助调节加热器开停，并且提供温度指示及报警。
- 泵采用保温箱结构，并用干燥氮气吹扫，能防止潮气侵入空隙，以确保最佳密封效果（特别是液氧介质）。
- 泵电机下部设有集油装置及氮气吹扫装置，保证设备用氧安全。
- 泵的高处设有排气法兰，便于设备的预冷及解冻。
- 泵中段之间设有辅助连接结构，不拆卸冷箱的情况下可以直接将转子抽出，维修方便。

结构特征：

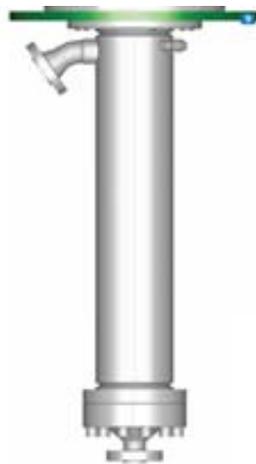


- 1) **叶轮型式：**叶轮整体铸造，带有前后密封环及平衡孔，平衡轴向力，残余轴向力由背对背安装的角接触球轴承平衡。叶轮要求做静平衡试验，并与转子部件一起做动平衡试验。叶轮外径与泵体最小直径有足够间隙保证泵扬程增加 5%不用更改泵型号。
- 2) **叶轮定位：**叶轮通过键（不采用过盈配合）传递扭矩，相邻叶轮键布置相错  $120^\circ$ ，改变应力状态，减小细长轴应力分布不均、轴易弯曲的特征。叶轮轴向采用级间轴套定位方式。级间轴套与衬套配合组成滑动轴承起支撑作用，增加支撑刚度提高湿临界转速。轴处于受拉稳定状态，受温度影响易弯曲或转子上零件出现间隙串动的可能，通过轴端弹性补偿避免。

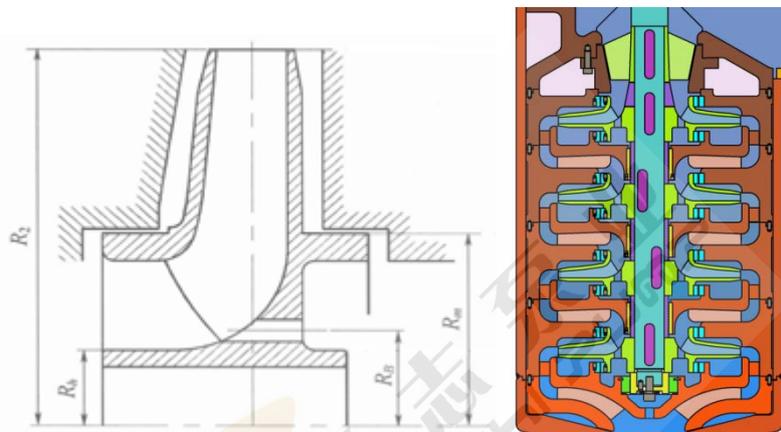


兼顾数据。

- 3) **外筒体：**外壳（外筒体）采用标准的奥氏体不锈钢管材；封头锻造成型。冷箱支板、封头、进出口管、旁通管（再循环管、排放管）与其焊接并探伤与试压。进口管、旁通管（再循环管、排放管）在上端，对称布置，径向西排出；出水口在下端轴向排出。



- 4) **轴向力平衡**: 由于液氧泵液氧介质性质、绝热保冷的方便性、防爆性、过程蒸发气化等要求, 轴向力平衡不宜采用平衡盘(平衡鼓)、叶轮背对背布置及电机完全承担的特征。通过双密封环+平衡孔的方式叶轮自身平衡轴向力, 即叶轮采用双密封环+平衡孔的水力结构。残余轴向力及转子重量(含输送介质)、动反力、轴向排除轴端压力由电机成对角接触轴承承担。在进行轴向力、转子重量(含输送介质)、吸入动反力计算时, 调整叶轮两侧密封环密封间隙不等来定向平衡一部分该类力, 以保证所有残余力向下使得轴处于受拉状态(轴处于受拉状态是稳定的)。

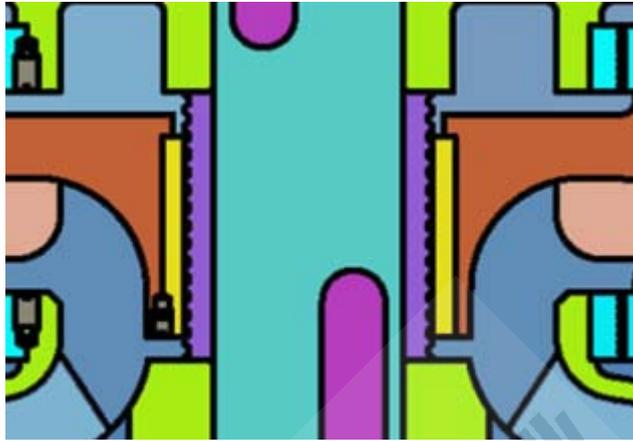


- 5) **径向力平衡**: 导叶式结构完全平衡径向力。

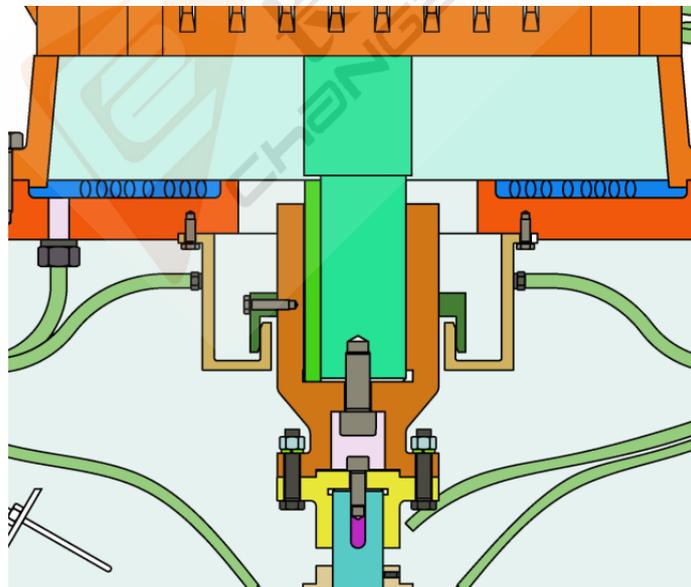
径向力的不平衡会缩短轴承的寿命, 因此, 在设计液氧泵时考虑流体和机械方面由于力的不平衡所产生的负面影响, 尽可能地消除非平衡力。低温下的液氧从叶轮中流出后进入轴向的扩散器, 扩散器在其流量范围下具有良好的水力对称性。液氧泵作用于叶轮上的径向力理论上为零。

- 6) **内壳体静止承压件——导流壳的联接**: 逐个导流壳配合采用膨胀补偿器整体联接, 此种结构一方面对热膨胀不敏感; 另二方面泵体积小、热容量相对较小, 绝热保冷效果好。此种结构较穿杠连接结构简单、整体尺寸小, 而且穿杠连接结构对材料、对穿杠螺栓及螺母预紧力、穿杠螺栓与导流壳材料选择膨胀系数匹配等有诸多优点。
- 7) **导流壳间密封**: 采用柔性石墨垫片。此种结构对导流壳密封断面精度要求不高、密封容易、操作方便。如果采用金属面密封, 则对加工精度要求很高。
- 8) **转子刚性设计**: 泵轴通过计算和结构设计, 考虑到泵的运转稳定性, 加大轴径, 为刚性轴结构。第一临界转速不低于 5000r/min。为提高转子刚性、第一

湿临界转速和降低转子的摆动量，泵的级间（导流壳内孔处）设置辅助支撑（相当于滑动轴承）即级间轴套+衬套组合实现。同时定转子磨损时可作为易损件更换级间轴套、衬套组合，降低运行维护成本，保证机组整体寿命达到目标值。



- 9) **联轴器**：CP-VS6/LOP 泵因输送介质液态氧的性质、安全性决定了泵的结构为立式悬吊结构，联轴器作用起到了调整抬量保证叶轮与流道对中、传递电机扭矩、泵轴与电机轴接轴保持同心的三重作用，采用法兰连接刚性联轴器，此种结构对中性好、可保证抬量、保证叶轮与流道对中。



- 10) **液氧泵电机**：由于电动机浸没在 LNG 中，被其所输送的低温流体直接冷却，因此冷却效果好，电动机效率高，也没有潮湿和腐蚀的影响，其绝缘不会因温度升高而恶化。潜液式 LNG 泵的电动机转矩与普通泵的电动机有所

不同，在低温状态下，其转矩会有较大降低。同样功率的电动机从起动到加速至全速运转，由于电阻和磁力特性的变化使得低温下电动机的电力特性发生改变，因而在低温环境下转矩有较大的降低。若电压降低，起动转矩也会随之大幅降低。

为此，我公司 LNGP 泵采用超导防爆屏蔽潜液电机，具体配置为：

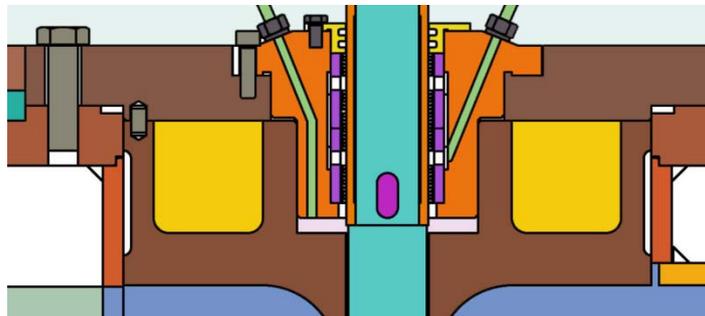
- ◆ 绕组超导材料；
- ◆ 防爆等级 dICT3；
- ◆ 防护等级 IP68；
- ◆ 绝缘等级 F 级、B 级温升考核；
- ◆ 变频调节（升频、降频）。

该种电机较普通电机具有如下优点：

- ◆ 该类电机不发热，不影响 LNG 的气化和对轴承的润滑；
- ◆ 电磁特性不受温度影响，启动转矩不受温度影响可直接启动，启动时间短，无需因启动另配设施；
- ◆ 不产生磁电流环路。

## 安全防护设计：

- 1) **隔离室（隔热屏）：**为保证本系列泵绝热保冷，冷源尽量少的向轴端传密封、保护罩（笼罩）、轴传递，减少在上端出现结冰可能，有利于密封汽的工作环境。泵吸入段上端设置隔离室（隔热屏），其内安装绝热充填物（聚异氰脲酸酯 PIR 泡沫塑料）。



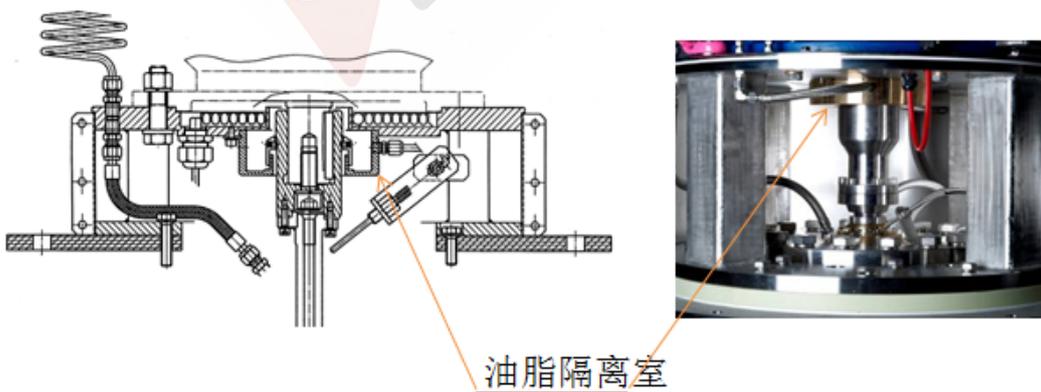
- 2) **轴端密封：**因输送介质温度低-176~-183℃、液气比 1:799.5、摩擦打火易爆炸、与油脂易爆炸、泄漏遇大气结冰、与明火爆炸、泄漏周围体积含量达到 40%会引起氧中毒等特点，因此液氧泵的密封最好为非接触式且应可靠，即

使泄漏应集中隔离和排放、禁止进入电机否则由于油脂及线圈可能的电火花会造成爆炸、燃爆。CP-VS6/LOP 液氧泵采用充气迷宫密封。充气迷宫密封是非接触气体动力密封，密封面与轴之间存在锯齿型的间隙，不打火安全可靠；由于没有密封部位的直接接触，只要有充足的密封气来维持密封内的压力平衡，密封的寿命在理论上就是无限的。双级迷宫式密封主要用于危险性较高的液氧输送场合，混合气出口在密封的中间，完全避免了氧沿轴向电机端的渗漏。

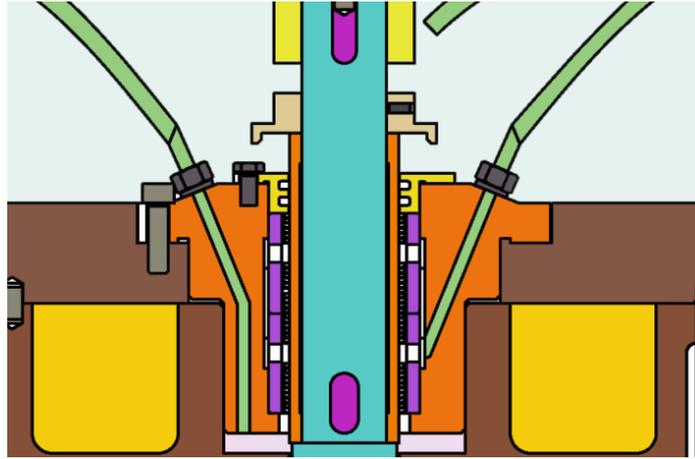
- 3) **保护罩（笼罩）**：保护罩与电机架组合构成密闭耐压暖箱，内充保护氮气，接缝处需设密封垫，并设透明耐压密闭观察窗。



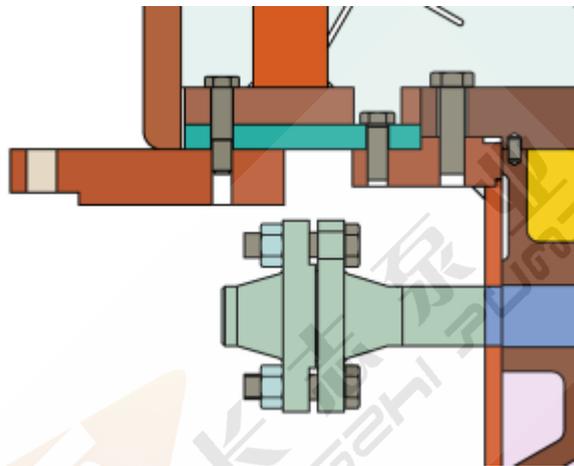
- 4) **油脂隔离室**：油脂隔离室设置保证电机轴承的润滑油脂不进入暖箱、泄漏的液氧气化后的氧气或混合气不进入电机轴承油脂内或不进入电机定转子内，以防液氧泵燃爆或爆炸。具有集污、具有密闭性（联接与旋转的密封及形式），内充相对暖箱压力稍高的氮气保护，设有氮气进出口接口。



- 5) **泄漏液限制设计——挡液盘**：迷宫密封上端部设置挡液盘，防止泄漏液氧（或气）爬轴进入轴承油室或电机内。

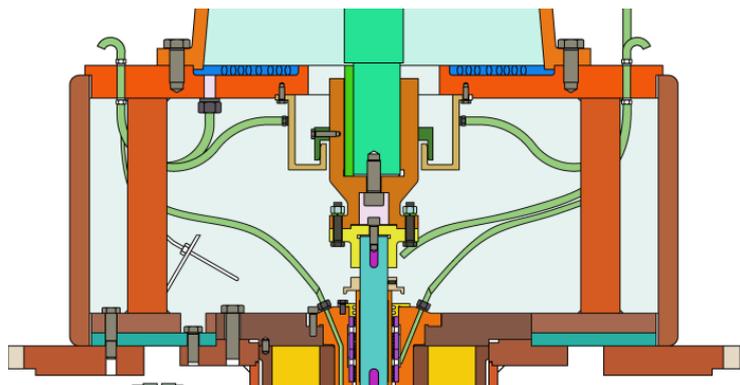


6) **冷箱支板**: 冷箱支板与外壳（外筒体）焊接一体，与冷箱联接。

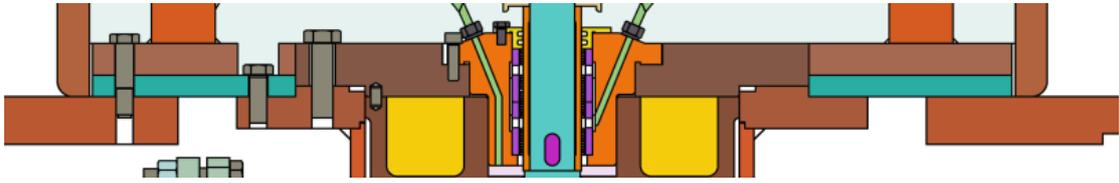


7) **电机架**: 电机架主要由下端法兰板（底板）、支柱和上端法兰板（托板）组成。

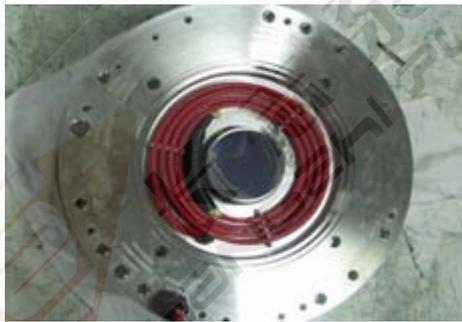
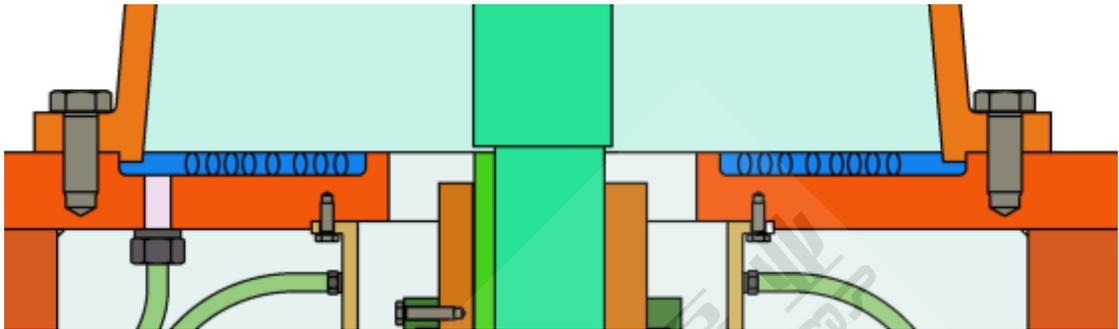
- ◆ 底板: 设置与外壳（外筒体）的联接止口、各联接孔；
- ◆ 托板: 设置与电机的联接止口，螺栓连接口；
- ◆ 设有加热的出、入口，迷宫密封进气、混合气、参考气压力接口，暖箱温度探头、油脂隔离室温度探头，油脂隔离室保护氮气进出口等。
- ◆ 设有电机顶起螺钉凹槽、吊环。



- 8) **隔离板**: 在电机架底板与冷箱支板之间设置绝热功能的非金属隔离板, 起到冷箱与暖箱隔之间温度隔离作用。



- 9) **加热带**: 电机架上法兰板上端面设加热带 (盘绕带), 隔离低温区与电机, 保证电机在其允许的工作温度范围内。



- 10) **暖箱**: 电机架与保护罩 (笼罩) 组合构成液氧泵密闭暖箱, (设计时保护罩与电机之间需严格静态密封保证密闭), 暖箱内需充满保护、隔离氮气。

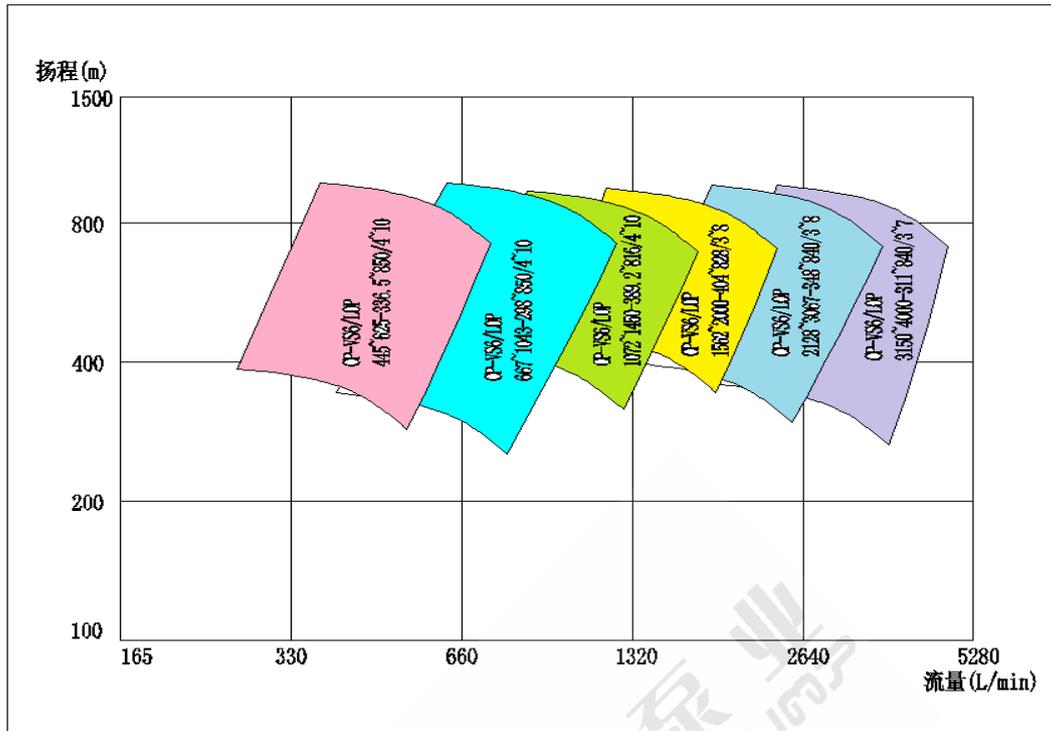


## 材料配置：

序号	零件名称	材料	膨胀系数 $10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-2}$	备注
1	轴	17-4PH	10.8	20~100°C
2	挡液盘	青铜 (ZCuSn10Z2)	17.1	20~100°C
3	充气迷宫密封	青铜 (ZCuSn10Z2)	17.1	20~100°C
4	密封轴套	青铜 (ZCuSn10Z2)	17.1	20~100°C
5	吸入段	青铜 (ZCuSn10Z2)	17.1	20~100°C
6	诱导轮	青铜 (ZCuSn10Z2)	17.1	20~100°C
7	叶轮	青铜 (ZCuSn10Z2)	17.1	20~100°C
8	叶轮密封环	青铜 (ZCuSn10Z2)	17.1	20~100°C
9	级间轴套	316L 离子淡化	16	
10	衬套 (滑动轴承)	青铜 (ZCuSn10Z2)	17.1	20~100°C
11	端盖轴套	316L 离子淡化	16	
12	端盖衬套 (底部滑动轴承)	青铜 (ZCuSn10Z2)	17.1	20~100°C
13	首级导流壳	青铜 (ZCuSn10Z2)	17.1	20~100°C
14	导流壳	青铜 (ZCuSn10Z2)	17.1	20~100°C
15	外壳 (外筒体)	316L	16	20~100°C
16	吐出段	青铜 (ZCuSn10Z2)	17.1	20~100°C
17	膨胀补偿器	316L+石墨 (含挡片 316L)	16	20~100°C
18	冷板支架	316L	16	20~100°C
19	隔离板	聚异氰脲酸脂 PIR 泡沫朔 料		
20	泵盖	青铜 (ZCuSn10Z2)	17.1	20~100°C
21	泵联轴器	316L	16	20~100°C
22	电机联轴器	316L	16	20~100°C
23	电机架	316L	16	20~100°C

24	油脂隔离室	青铜		20~100℃
25	保护罩	316L	16	20~100℃
26	法兰	316L	16	20~100℃
27	绝热保冷填充物	聚异氰脲酸脂 PIR 泡沫朔料		
28	密封垫	柔性石墨		保护罩与电机架
29	密封垫	316L+石墨		管路与法兰
30	密封垫	柔性石墨		导流壳之间
31	键（冷端）	316L	16	20~100℃
32	键（联轴器端）	3Cr13	10.5	
33	螺栓/螺母（冷端）	316L 离子淡化/316L	16	20~100℃
34	螺栓/螺母（电机端）	40Cr/35CrMo	12/12.3	
35	销	316L	16	20~100℃
36	管路	316L	16	20~100℃
37	阀	316L	16	20~100℃

## 标准水力型谱：



此类图表适用于 CP-VS6/LOP 标准泵系列，超出此型谱范围可以进行特殊设计。

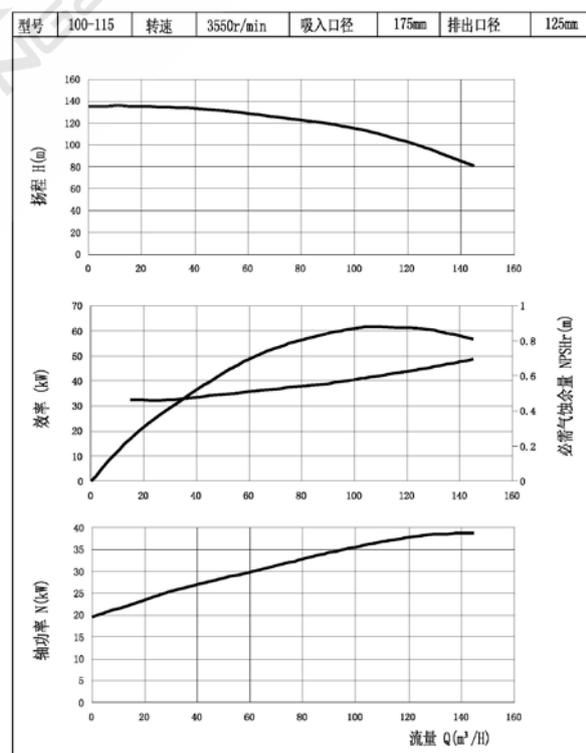
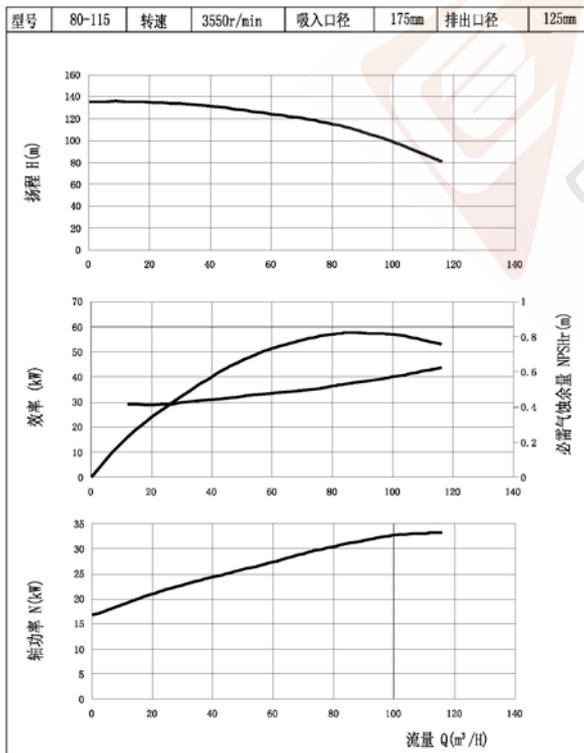
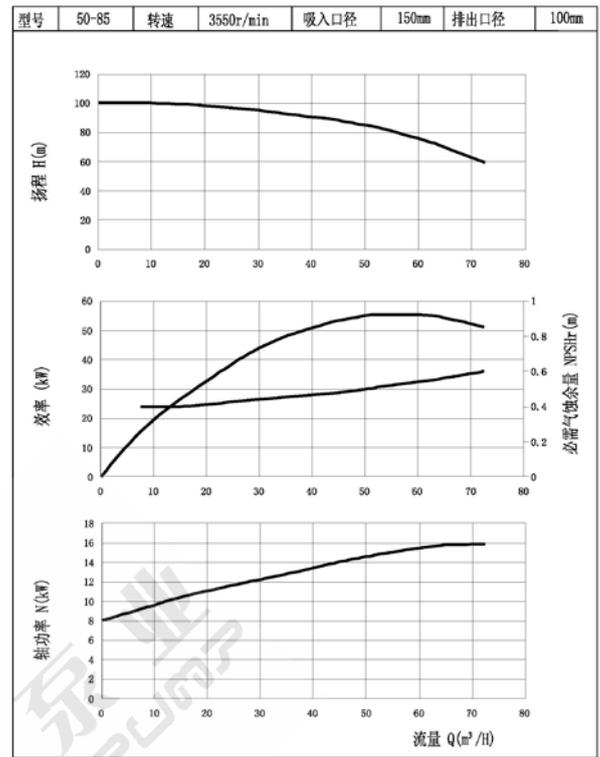
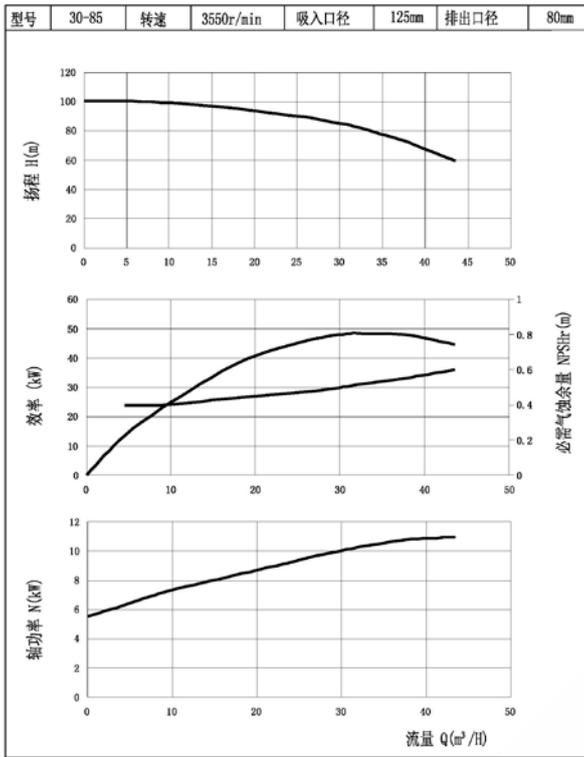


## 标准性能参数:

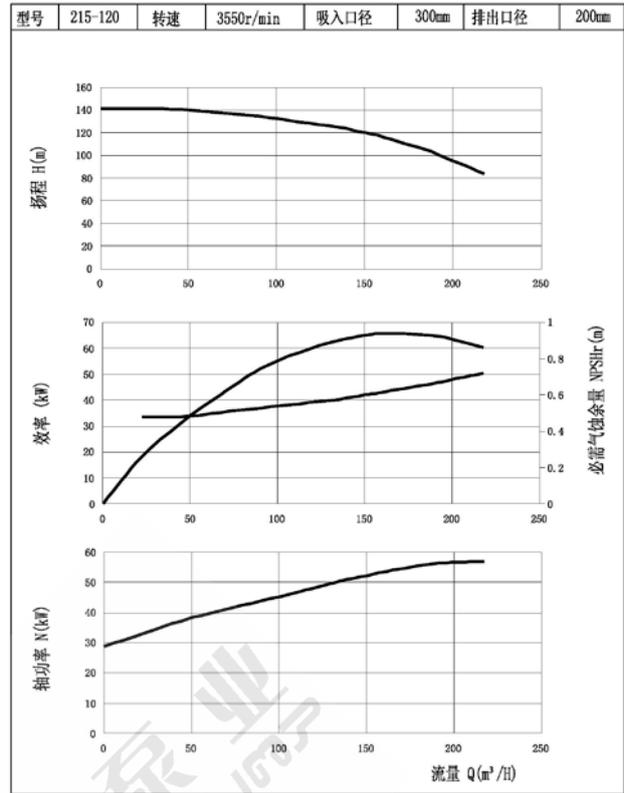
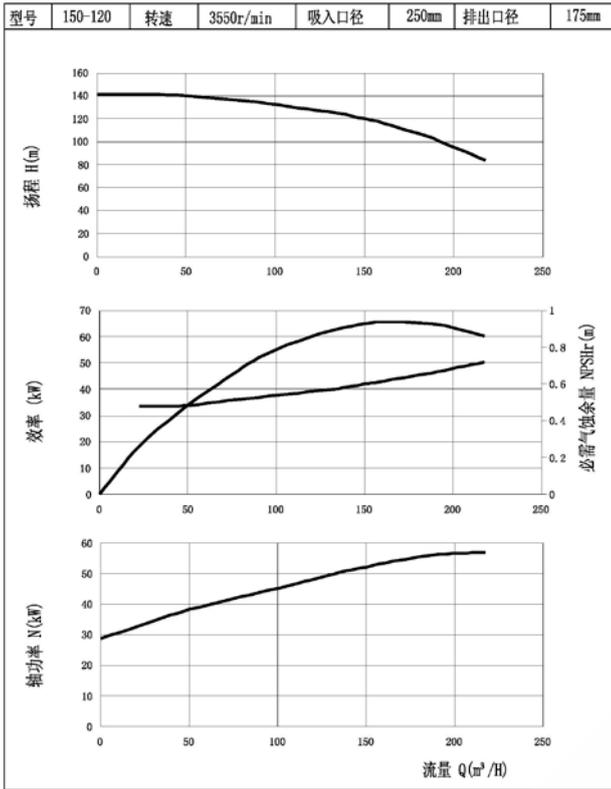
序号	泵吸入型式	流量 m <sup>3</sup> /h	流量 L/min	单级扬程 m	泵级数	总扬程 m	频率 Hz	转速 rpm	NPSHr m	效率 %
1	单吸	30	500	85	4~10	340~850	60.0	3550	0.5	48
	单吸	26.7	445	67.3	5~10	336.5~673	53.4	3160	0.45	47
	单吸	32.1	535	97.3	4~8	389.2~778.4	64.2	3798	0.5	48
	单吸	37.5	625	132.8	4~6	531.2~796.8	75.0	4437	0.5	48.5
2	单吸	50	833	85	4~10	340~850	60.0	3550	0.5	55
	单吸	40	667	54.4	6~10	327~545	48.0	2840	0.45	54
	单吸	46.8	780	74.5	4~10	298~745	51.3	3323	0.48	54
	单吸	48.4	807	79.7	4~10	319~797	58.0	3436	0.48	55
	单吸	51.3	855	89.5	4~9	358~805.5	61.6	3642	0.5	55
	单吸	54	900	99.1	4~8	396.4~792.8	64.8	3834	0.5	55
	单吸	58.2	970	115	4~7	460~805	69.8	4132	0.5	55
	单吸	62.6	1043	133.2	4~6	532.8~799.2	75.1	4445	0.58	56
3	单吸	80	1333	115	4~7	460~805	60.0	3550	0.52	57
	单吸	64.3	1072	74.3	5~10	371.5~743	48.2	2853	0.48	56
	单吸	67	1117	80.7	5~10	400~807	50.3	2973	0.48	56
	单吸	73.6	1227	97.3	4~8	389.2~778.4	55.2	3266	0.48	56.5
	单吸	77.04	1284	106.6	4~7	426.4~746.2	57.8	3418	0.5	56.5
	单吸	84.3	1405	127.7	4~6	540~766	63.2	3741	0.56	57
	单吸	87	1450	136	4~6	544~816	65.3	3860	0.58	58

4	单吸	100	1667	115	4~7	460~805	60.0	3550	0.58	61
	单吸	93.7	1562	101.0	4~8	404~808	56.2	3326.35	0.55	60
	单吸	97.7	1628	109.8	4~7	439~768.6	58.6	3468.35	0.58	60
	单吸	114	1900	149.5	3~5	447~747.5	68.4	4047	0.65	61
	单吸	115	1917	152.1	3~5	456.3~760.5	69.0	4082.5	0.65	61
	单吸	118	1967	160.1	3~5	480.3~800	70.8	4189	0.65	61.5
	单吸	120	2000	165.6	3~5	496.8~828	72.0	4260	0.7	61.5
5	单吸	150	2500	120	4~7	480~840	60.0	3550	0.6	65
	单吸	127.7	2128	87.0	4~8	348~696	51.1	3022	0.58	63
	单吸	133	2217	94.3	4~8	377~754	53.2	3148	0.58	64
	单吸	140	2333	104.5	4~7	418~731.5	56.0	3313	0.6	64
	单吸	159	2650	134.8	4~6	539~808	63.6	3763	0.68	65.5
	单吸	164	2733	143.4	3~5	430~717	65.6	3881	0.72	65.5
	单吸	175	2917	163.3	3~5	495~826	70.0	4142	0.85	66
6	单吸	184	3067	180.6	3~4	542~722	73.6	4355	0.9	66.5
	单吸	215	3583	120	3~7	360~840	60.0	3550	0.8	69
	单吸	189	3150	92.7	4~7	370~649	52.7	3121	0.75	67
	单吸	200	3333	103.8	4~7	311~723	55.8	3302	0.75	68
	单吸	207	3450	111.2	4~7	445~775	57.8	3418	0.75	68
	单吸	222	3700	127.9	3~6	384~767	62.0	3666	0.85	69.5
	单吸	230	3833	137.3	3~6	412~824	64.2	3798	0.9	70
	单吸	240	4000	149.5	3~5	448.5~747.5	67.0	3963	0.95	71

## 性能曲线:



上表中曲线为单级性能曲线



上表中曲线为单级性能曲线