大功率离心泵故障诊断与排除

申化化学有限公司 （江苏 226009） 黄盘明

摘 要： 通过修改泵出口配管，切割消防泵叶轮、更换安全阀型号和增大泵出口旁路自力式调节阀通径等措施，彻底解决了消防泵起动、运行时的振动，管道伸缩器漏水，电动机跳停（电动机功率偏小）等问题，为SBR生产装置消防系统提供可靠的消防水。

关键词： 离心泵 故障 诊断 排除

一、前 言

申化化学有限公司10万t/a丁苯橡胶（SBR）装置，采用美国高质泵公司（GOULDS）两台3415型10×12—22双吸式离心泵和一台SV16型立式多级离心泵作为装置的消防供水泵和稳压泵。消防水系统如图1所示。

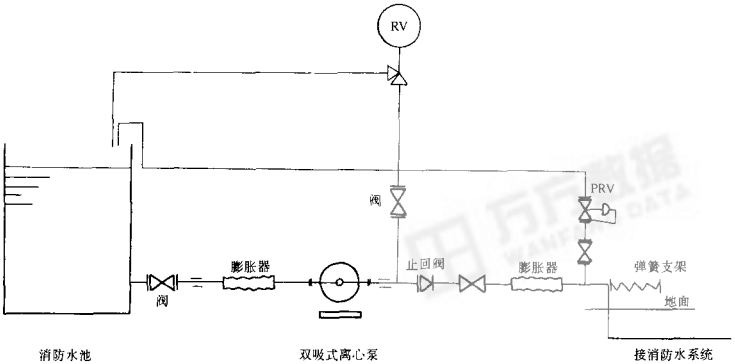

图1 消防水系统图

在工程建设的安装调试阶段，消防泵出现了以下几方面的问题。

（1）泵起动时，出口管道产生较大位移，引起泵体位移变形，危及消防泵运行安全；同时泵前后伸缩器超行程位移，引起伸缩器填料失效喷水。

（2）消防泵扬程、流量超过设计值，易引起消防水系统泄漏和安全阀动作，稳压泵起动频繁，维修工作量大。

（3）消防泵出口安全阀动作时，消防泵、阀门及消防水管网振动严重。

（4）现场大量使用消防水时，消防泵电动机因电流超载而停机，危及生产装置消防安全，成为装置消防系统最大隐患。

由于上述问题的存在，消防泵不能长时间可靠、稳定运行，不能提供连续、可靠的消防水，存在严重消防设施隐患。为此，对消防泵及消防水系统进行充分分析、研究，找到了故障原因，并采取措施排除故障，满足装置的消防需求。

二、故障诊断及排除

1. 工作原理

本公司的消防水系统设有两台消防泵（一台为电驱动泵，一台为电、柴油双驱动泵），一台稳

万方数据

压泵，其工作原理为：当消防水系统压力下降至0.8 MPa，自动起动稳压泵；压力上升至1.05 MPa，自动切停稳压泵；当消防水系统压力下降至0.7 MPa，自动起动电动消防泵；当消防水系统压力下降至0.6 MPa，自动起动电、柴油双驱动泵；当消防泵供电系统发生故障或停电，消防水系统压力又下降至0.6 MPa，自动起动柴油机，驱动消防泵供水。消防泵起动后，均需人工停泵，以确保消防用水。

2. 消防泵概况

本公司消防泵为美国GOULDS公司产品，型号3415，规格10×12—22，叶轮尺寸22in（1in=25.4mm，下同），泵转速1836 r/min，电动机功率597 kW，三相四极电动机，电压6000 V，额定电流70 A。

消防泵设计要求：$Q=1330\ m^3/h$，$H=125\ m$；消防泵实际能力：$Q=1380\ m^3/h$，$H=130\ m$，泵出口阀关断压力1.5～1.7 MPa。

3. 配管修改

（1）为减少消防泵起动时的水冲击力影响，原设计在泵进出口管道均设置填料函式伸缩器。但在消防泵试车时发现：泵起动时，泵出口管道受水力作用产生很大轴向力，而伸缩器后管道支架为弹簧推力管架，允许管道轴向位移；令伸缩器前的管道支架为滑动导向管架，也允许管道轴向位移。因此，伸缩器受轴向拉力作用而伸长。由于伸缩器超行程伸长，使其填料密封失效漏水。同时，受泵出口管道轴向推力之反作用力影响，使消防泵产生较大位移变形，泵的位移变形危及设备运行安全；受泵位移影响，泵入口伸缩器也产生轴向伸缩，易引起伸缩器填料漏水。

（2）根据上述情况，在泵出口选用有位移限制拉杆的波纹管膨胀器（25TBSK450×4—F），限制泵出口管线的位移量；同时，在泵出口（膨胀器前）增加可靠的固定管架，解决起动时消防泵受水力作用产生的位移问题，并解决了膨胀器超行程伸长漏水问题。

4. 叶轮切割

（1）为解决消防泵扬程、流量偏大，电动机功率偏小问题，经研究、计算，决定通过切割叶轮方式来解决。

根据国家相关消防设计法规，经原设计单位计算，请示省消防主管部门同意，消防泵运行参数按SBR装置消防最大需水量进行调整：泵额定流量仍为1330 m^3/h，扬程由125 m调整为105 m。

根据离心泵的相似理论，离心泵的流量、扬程、转速、功率和叶轮直径之间的关系如下：

$$Q_2/Q_1=(n_2/n_1)(D_2/D_1)^3$$

$$H_2/H_1=(n_2/n_1)^2(D_2/D_1)^2$$

$$P_2/P_1=(n_2/n_1)^3(D_2/D_1)^5(\rho_2/\rho_1)$$

由于 $n_1=n_2=1836\ r/min$，$\rho_1=\rho_2=1000\ kg/m^3$，$Q_1=1380\ m^3/h$，$Q_2=1330\ m^3/h$，$H_1=130\ m$，$H_2=105\ m$，按泵扬程计算 $D_2=19.77''$、按泵流量计算 $D_2=21.73''$，根据原泵性能曲线，再考虑一定的水力损失和其他因素，取新叶轮尺寸为20″（为保护柴油机，将电、柴油机双驱动泵转速设定为1780 r/min，因此该泵叶轮直径定为21″），以降低消防泵运行时的流量、扬程和电动机负荷，确保消防设备运行安全。

叶轮切割后的两台消防泵性能测试数据如表1、表2所示，叶轮切割前，因电动机常超载跳车，无法进行泵性能测试。测量用流量计为超声波流量计，扬程未计泵吸入口压力，泵转速用红外线测速仪测量，测压元件为普通弹簧管压力表（1.5级）。

表1 电动消防泵性能测试数据表（20in）

泵转速/(r/min)	泵入口压力/MPa	泵出口压力/MPa	扬程/m	流量/(m^3/h)	泵有效功率/kW	电压/V	电流/A	电动机输出功率/kW
1844	0.01	1.15	117.27	1060	338.7	6200	52	474.7
1844	0.08	1.10	112.17	1170	357.6	6200	54	492.9
1844	0.002	1.05	107.07	1265	369.1	6200	55	502.0
1844	-0.001	1.00	101.97	1280	355.7	6200	56	511.2
1844	-0.003	0.90	91.77	1430	357.6	6200	58	529.4
1844	-0.005	0.80	81.58	1530	340.1	6200	58	529.4
1844	-0.005	0.75	76.48	1570	327.2	6200	59	538.5
1844	-0.005	0.70	71.38	1550	301.7	6200	58	529.4

（2）根据性能测试数据，绘制两台泵新的性能曲线图，如图2所示，推算电动泵在 $n=1844$

万方数据

r/min，H = 105 m 条件下的流量为 1280 m^3/h，电、柴油机双驱动泵在 n = 1780 r/min，H = 105 m 条件下的流量为 1270 m^3/h（柴油引擎额定转速为 1750 r/min，额定最高转速为 1900 r/min，常设转速 1790 r/min）。叶轮切割后的消防泵基本达到预定目标（按离心泵之比例定律理论，双驱动泵在叶轮尺寸为 210mm，转速为 1844 r/min 扬程为 105 m 时流量为 1315.7 m^3/h）。

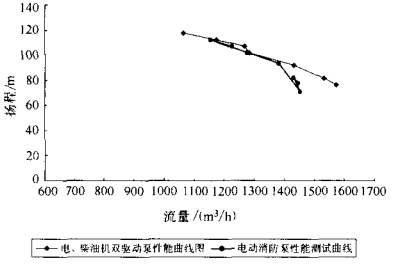

图 2　消防泵性能测试曲线（叶轮切割后）

表 2　电、柴油引擎双驱动泵性能测试数据表（21in）

泵转速/(r/min)	泵入口压力/MPa	泵出口压力/MPa	扬程/m	流量/(m^3/h)	泵有效功率/kW
1780	0.003	1.05	107.07	1225	357.40
1780	0.005	1.10	112.17	1150	351.51
1780	0.001	1.00	101.97	1276	354.60
1780	-0.002	0.92	93.81	1380	352.80
1780	-0.005	0.70	71.38	1450	282.00
1780	-0.005	0.81	82.60	1430	321.90
1780	-0.005	0.76	77.50	1446	305.40

根据性能测试数据，在泵额定扬程 105 m，转速不变的情况下，电动泵叶轮尺寸由 22in 切割为 20in（泵转速为 1844 r/min）后，泵实际流量比额定流量（1330 m^3/h）少 50 m^3/h，减少量为额定流量的 3.8%；电、柴油机双驱动泵叶轮由 22in 切割为 21in（泵转速为 1780 r/min）后，泵实际流量比额定流量（1330 m^3/h）少 60 m^3/h，减少量为额定流量的 4.5%。再考虑压力和流量测量误差，消防泵出水量在误差允许范围内。

通过消防泵叶轮切割，调低消防水系统压力后，系统内的消防器材故障明显减少，提高了消防系统设施的可靠性。

另消防泵叶轮切割后，明显降低了泵运行时的电动机载荷，解决了电动机功率配置偏小的问题（叶轮未切割前，泵实际扬程为 130 m，流量为 1380 m^3/h，电动机电压为 6000 V，额定电流为 70 A，负荷已略超过电动机额定功率 597 kW（实测电流约为 69 ~ 72 A））。叶轮切割后，在极端条件下，消防泵需求功率也达不到电动机的额定功率，可以长时间连续、稳定运行（根据测试数据计算泵在扬程为 76.48 m，流量为 1570 m^3/h 情况下，需求功率也只有为 538.5 kW（已含各种损耗）。

5. 安全阀换型

（1）在消防泵叶轮切割前，消防泵出口安全阀设定压力为 1.35 MPa。当时，消防泵运行时消防水系统压力常常超过 1.35 MPa，引起泵出口安全阀频繁动作，且安全阀动作时，消防泵及出口管道产生剧烈振动，严重威胁消防泵运行。针对此现象，查找安全阀有关资料，发现安全阀设计选型错误（原设计选用了全启式安全阀）。将安全阀型式更换为渐启式安全阀，并结合叶轮切割，将安全阀设定压力调整为 1.20 MPa。安全阀换型后，当消防水系统超压时，安全阀动作平稳，消防泵及出口管线不再振动。

（2）为防止消防泵长时间小流量运行，将泵出口旁路自力式调节阀（PRV）尺寸由 3in 增大到 6in，流量由 125 m^3/h 增加到 900 m^3/h，调节阀设定压力由 1.3 MPa 调整为 1.1 MPa。当消防水系统压力超过 1.1 MPa 时，自力式调节阀动作排水，使泵维持一定的流量，保护消防泵运行。

三、结　论

消防泵经叶轮切割、配管修改、安全阀改型、自力式调节阀增大等方面改善后，设备投入正常运行三年以来，消防泵及消防水系统运行平稳，再没有发生装置试车时出现的问题，彻底消除了消防隐患，为 SBR 装置运行提供了可靠的消防保障。

（收稿日期：2003/06/29）

万方数据