污水提升装置干转故障及优化

胡凯[1] 于洋[2]

1. 赛莱默（中国）有限公司；2. 赛莱默（中国）有限公司沈阳分公司

摘要：通过工程现场污水提升产品故障反馈，客户端的产品出现干转故障报警，经调查分析发现产品使用现场的工况超出当初设计规划，使用时偏离产品许用范围。结合故障报警机制及原理，找出故障发生的根本原因并为用户提供最优的解决方案。事后针对故障原因，调整产品结构设计，通过数值模拟、样机测试等手段，优化产品设计，扩大产品适用性。

关键词：污水提升装置；干转故障；空载；堵塞集气；排气；优化设计

1 工作原理

污水提升装置是一种用于收集和提升污水的小型泵站设备，适用于民宅、公共建筑和商业综合体等，在一些无法依靠重力自流排水的场景中发挥着重要作用。当污水从各个排水器具流入污水提升水箱后，水箱内设有液位传感器来监测水位，水位上升到设定的上限值时，传感器会发出信号，起动污水提升泵。

2 干转故障报警机制

污水提升设备在工厂组装完成后，测试部门会将产品在测试台进行一系列数据检测。其中一项测试内容为空载测试，也就是在无水环境下将水泵通电，使水泵短时间运行并记录相应功率 P_0，在污水提升控制器 PLC 程序里设置有输出功率 P_1 作为干转故障的判定依据，其中 $P_1=P_0+C$，C 是一个常数（kW），是工厂通过大量试验确定的一个功率余量，不同配置的污水提升产品，C 数值不一样。正常运行时当控制器检测到污水提升装置的输入功率值小于 P_1 时，控制器发出干转故障报警。根据经验总结，一般是污水提升装置在应用中出现如下情况时，可能出现干转故障报警：1）电源问题，电源线受损，电压波动 / 绕组短路，转速降低 / 接线错误；2）设置问题，P_1 值设置错误，导致干转功率设置过高；3）堵塞，水泵吸入端堵塞导致吸水不足 / 叶轮流道堵塞导致不出水；4）机械故障，磨损环脱落，密封间隙加大 / 叶轮脱落 / 泵体损坏等；5）液位计故障，导致实际运转水位低，水泵干转；6）水泵空载：手动排空，没有介质输送。

3 故障案例

3.1 案例背景

西部某大型景点广场开业前进行试运行，广场入口附近设有地铁出口以及地上停车场。广场内部公共设施已经建设完善，试运营时集中开放了部分广场设施，中午 11 点左右广场人流量激增，随后地下安置的一台污水提升器发生故障报警。污水提升程序跳转至自检状态，尝试重启失败后，发出故障报警并跳转切换到备用泵，起动装置上另一台水泵运行。触发报警后管理方收到报警信息，值班人员紧急联系当地售后服务部门，售后人员到现场时在备用装置运行 1 h 后，也触发同样的故障报警——干转。为了不影响广场正常运行，与广场管理方协商，将发生故障的支线管路阀门关闭，引流至其他管路，并对发生故障的设备管路进行排查。分管路配置的是另外一个型号的污水提升，期间其他支线管路并未发生故障，能正常运行。

3.2 故障排查及分析

技术研发部接收到售后现场反馈及采取的紧急措施，通过手机视频，远程对现场进行进一步排查。故障代号为干转，根据经验及常规故障检修手册，以此对现场进行排查：现场电源没有问题，备用泵能正常启用并运行一段时间，排除液位计故障及 P_1 的设置问题。现场检修从水箱上拆卸出污水泵，叶轮没有发生脱落，拆卸出泵内的叶轮，检查结果表明：叶轮内部流道有少量的杂物存留但是没有堵塞，泵体及叶轮间隙正常，基本排除机械故障。重新把水泵组装回去并检查气密，检查并清理出口阀门，进行新一轮试运行并全程记录各项参数。调取控制器上的上午时间段的起停参数，发现白天故障发生前，水泵起停非常频繁，粗略估算约 10 s 间隔就进行了一次循环起停，起停次数远远超出设备允许，白天的运行水量远远超出了规划时的选型参数。傍晚景点人流减少后，重新安装完成调试后，打开进水阀门，等水位达到起泵液位后水泵正常运行，持续运转约 2 h，没有故障发生，而夜间检测时运转的起停间隔大概 3 min 一次循环。

初步认为是繁忙时间段现场用水量超出预期，水箱进水太急，冲击的水流进入水箱后产生大量气泡且水箱会有一定的振动，部分空气在振动中从水里排出，部分气泡短时间无法完全自我消除，夹杂在进入泵腔的水流中，气泡逐渐积聚在泵腔里，随着水箱液位逐渐升高，当压力达到一定数值后，出口管路上的橡胶止回阀能排出一部分空气，水流进入泵腔水泵正常运行。但是装置输送的水里含有不同的杂质、纸巾、塑料袋等各种杂物会导致止回阀逐渐被糊住，所以在短时间内泵腔的空气不能完全排出积聚在泵里，导致水泵处于类似无水起动，无法提供有效的吸入负压，不能实现吸水从而触发报警。为了进一步验证猜想，第二天上午调高了装置的起泵液位，从原来 15 cm 调节到 23 cm，在人流量逐渐增加后，进水管水流明显急促，水箱在急速水流冲击下，现场人员能感受到一定振动。调高起泵液位，机组运行 1 天没有出现故障。后续工作人员反馈，试运行的 7 天内，此故障一共发生 2 次，比之前的故障率大大降低。

3.3 解决方案及结果

鉴于分析结果，巅峰用水量超出规划设计数值，决定对装置进行扩容处理，从现场空间以及参考客户的意愿后，不改变现有配置，在装置旁边增加一个扩容水箱，解决流量巅峰时装置频繁起动问题，避免水泵电动机损坏，同时将进水管引入扩容水箱，这样可以保障进水冲击产生的气泡有充分的时间去消除，原水箱里基本不会有气泡进入泵腔。扩容解决方案如图 1 所示，扩容方案安装后，至今没有再出现干转故障报警。

图 1　扩容解决方案

4 优化改进

4.1 改进方向

虽然上述问题已经通过扩容水箱解决，但是也暴露出当前产品的一个不足之处，大量气泡进入后的排气能力需要提高。初步方案是补充一个排气装置，考虑产品的运行环境，介质里含有各种生活杂质，排气装置的设计不仅需要满足通过能力，保证不堵塞，而且不能影响污水提升装置的提升效果，要保证足够的输出压力。问题变成排气孔放在哪里，排气孔大小定多少，为了提高优化设计效率，通过 CFD 软件模拟正常运行时泵腔及出水管道内的流体分布情况，稳定运行后的速度分布如图 2 所示，从图上的彩虹条分布可以看出流体在泵腔及管道中的运行轨迹及速度分布，主要观测流体的流速分布以及是否会有漩涡，排气口的位置优先选择流速高，且排气孔处不能有漩涡，漩涡处容易引起一定的杂物积聚。

排气口必须保证高于泵腔液位，主要观测叶轮顶部以上空间的分布情况，还要考虑实际生产中，排气接口必须有一定的拆卸空间。综合考虑后确定在出口处的流速稳定且高速，有利于介质中的杂物冲刷，不容易产生淤积堵塞。初步确定排气孔的位置后，开始计算排气孔大小。排气孔的尺寸关乎 2 个参数，一方面会影响管路出口的压力，排气孔太大会导致出口压力降低，无法满足提升污水的功能；另一方面，太小的排气孔，有可能导致被杂物堵塞，起不到排气的功能。由于软件限制，暂时无法准确地模拟出杂物的堵塞，因此通过样机进行实测，确定排气孔的大小

4.2 测试及结果

对现有的零件进行修模，重新设计图样并生产组装进行样机试制。试制内容分两个，测试安装排气孔后的出口压力和模拟杂物对排气孔的影响。样机测试目的是测试排气管抗堵塞能力及排气效果；排气管对装置提升的性能影响。

工厂试验台搭建测试的试验装置，排气管设置为直径 8 mm，改进后的污水提升装置连接有透明 PVC 管，方便观察出口水流以及杂物的通过情况，进水管路垂直插入水箱，模拟故障现场的进水方式，利用落差使进入水箱的水流夹杂大量气泡，同时在出口处加装了压力表用于记录出口压力，不定时记录运行时出口管路上的压力数值 P。根据公司售后及各个现场提供的提供装置的杂物资料，试验准备了湿纸巾、塑料袋、卫生纸、布条以及手套等杂物。由于试

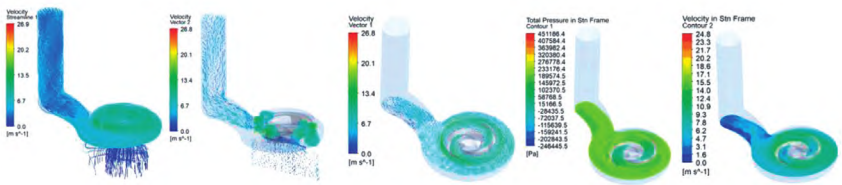

图 2　速度分布图

（下转 106 页）

安全稳定运行，避免了事故的发生。

5 结语

原设计采用的文丘里抽引式在节能方面表现优异，但由于现场实际工况波动较大，导致原预处理系统难以适应现场需求。在开展各类相关改造工作时，需先明确原设计的各项细节，进行重点分析与全面把握，再在此基础上实施针对性改进，方能达到事半功倍的效果。

需要特别注意的是，对于原设计内容不可轻易下结论，必须通过充分的分析与论证，明确原设计的理念、思路以及其对规范标准的符合性。切忌在未完全理解原设计的情况下草率定论，否则极易在实际工作中产生错误观点。因此，应秉持“尊重原设计、理解原设计、优化原设计”的理念，确保现场各类问题得到有序解决。

结合现场实际情况，对于类似烧嘴冷却水的检测，为预防因烧嘴泄漏引发事故、保障安全运行，相关分析仪表在现场安装条件允许的前提下，取样点应尽量靠近检测点，以确保检测的及时性与准确性，从而避免安全事故的发生。同时，分析仪表的“四定”工作必须严格依照管理制度执行，以此保障检测设备的可靠稳定运行，为装置实现安稳长满优运行提供有力支撑。

参考文献：

[1] 王芳．化工自动化及仪表 [J]. 天华化工机械及自动化研究设计院主办，2012, 7(39)18-19.

[2] 乐嘉谦．仪表工手册 [M]. 2 版．北京：化学工业出版社，1998.

（上接103页）

验可能出现故障报警，所有试验操作及数据采集均在工作时间完成。

首先采用清水进行试验，起动装置后，水流冲进水箱产生大量气泡，持续运转了 2 h，设备循环启停约 80 次，期间没有故障发生，可以看到排气管内有气泡流通。第二阶段测试，陆续往水箱里投放测试准备的杂物，直至全部进入循环运转后，观测整个装置的运转情况。本身污水提升装置的水泵配置就含带了切割功能，所以从出口处用纱布承接打出的水，发现杂物已经在水泵的切割作用下打成碎片。目测到透明排气管道里积聚了一定量的絮状杂物但是可以看到依然有部分絮状物呈现流动趋向，期间还能看到气泡通过。随着试验时间加长，测试的水源逐渐变浑浊，透明管内的堵塞状况开始无法准确判断，在大约 3 个多小时基本看不到气泡流动，一小时后故障报警。拆卸冲洗管并清理管子里面杂物后再次运行。运转了 3 个工作日后没有故障。随后停止测试，重新换了一个泵体，其中排气孔加工为 12 mm。安装调试后在同样的环境中进行运转试验，持续 7 个工作日，没有故障报警。运行测试期间不定时数据采集，记录了水泵出口压力数值结果见表格，测试现场和压力数值如图 3 所示。

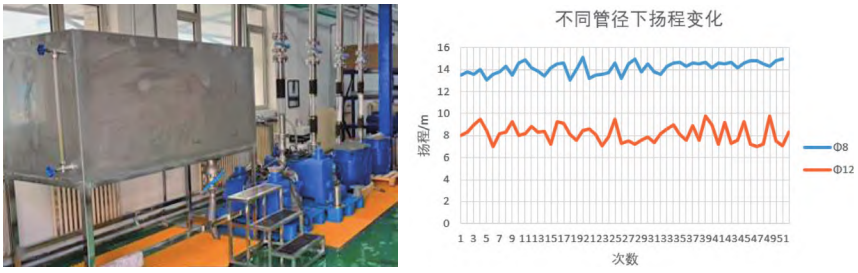

图 3 测试现场和压力数值

数据显示，排气孔会对出口压力有一定的影响，随着排气孔直径加大，泵出口压力降低。大排气孔有利于杂物的通过，能减少故障发生率。在 12 mm 的泵体上加载 10 mm 排气孔装置并重复之前测试，测试结果表明 10 mm 的排气孔能够满足抗堵塞及排气功能。综合试验数据以及大量订单参数，最终决定修改产品结构设计，使用 10 mm 排气口并进行小批量生产及测试，每一个型号批量生产 15 套，其中一套留在工厂测试台验证，其余 14 套由代理商寻找资源，在不同的客户现场进行验证。耗时 3 个月的验证结束后搜集各方反馈，改进后的污水提升装置解决了集气问题。

5 总结

产品在客户端的使用场景是不确定的，标准产品时刻面对着各种各样的挑战，发生故障不可怕，只需从故障中找出新的挑战点，及时更新优化产品。