

# 水环真空泵的故障分析\*

李 凤 王能秀

(华中理工大学;430074)

**摘要:**介绍采用故障树分析法定性分析水环真空泵故障发生的原因和部位的步骤和方法。对调查中了解到的几种主要故障进行了详细分析,并提出相应的处理措施。

**关键词:**水环真空泵 故障树分析法 故障 可靠性 研究

## 1 引 言

武汉水泵厂引进德国西门子技术生产的水环真空泵在全国占有重要地位,它广泛用于发电、选煤、造纸、选矿、卷烟、化工等行业。目前许多电厂、造纸厂、烟厂等都采用它生产的2BE1系列水环真空泵。2BE1系列水环真空泵为单级单作用的结构形式(见图1),工作介质

为常温清水,通常用来抽吸不溶于水、不含固体颗粒、无腐蚀性的气体,使被抽系统形成真空,如真空干燥、真空萃取、真空脱水等。该系列成套装置分为2BE1和2BW4两种,其中2BW4型水环真空泵成套装置用于100MW、200MW、300MW、600MW和1000MW发电机组配套以及化工、卷烟等行业抽吸容器中的气体以形成一定真空度达到提高发电出力或增加蒸发效果的目的。在运行过程中,用户普遍反映

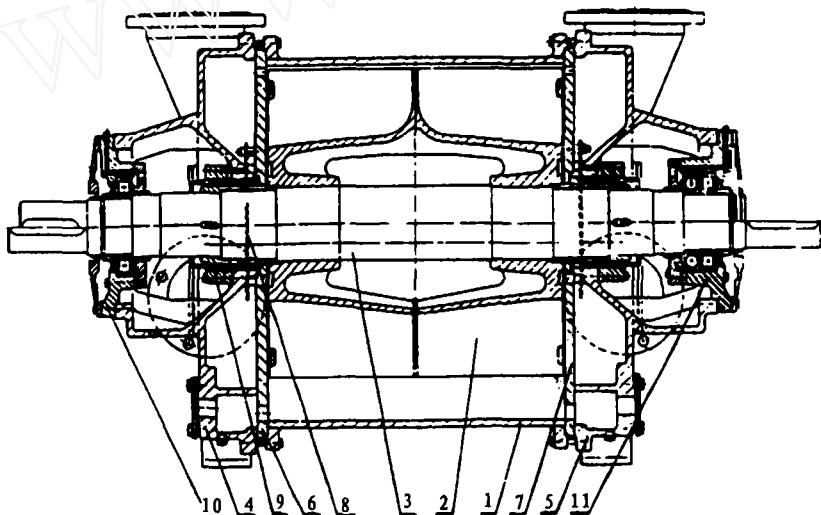


图1 2BE1水环真空泵结构图

- |         |         |         |           |           |         |
|---------|---------|---------|-----------|-----------|---------|
| 1. 泵体   | 2. 叶轮   | 3. 泵轴   | 4. 前侧盖    | 5. 后侧盖    | 6. 前分配器 |
| 7. 后分配器 | 8. 阀片部件 | 9. 轴封部件 | 10. 前轴承部件 | 11. 后轴承部件 |         |

\*本文撰写中得到武汉水泵厂杨志忠工程师和有关人员的帮助,谨表衷心感谢。

该系列泵发生故障时，较难判别故障的发生原因和部位，有时不得不请厂家的维修部门来解决，很不方便。本文以火电厂中汽轮机凝汽器用的2BW4型水环真空泵成套抽真空装置为例，用故障树分析法定性分析水环真空泵产生故障的原因及部位，并对几种主要故障进行详细分析，提出相应的处理措施。

## 2 水环真空泵的故障树分析

建立故障树的方法有两大类，即人工建树法（演绎法）和计算机辅助建树法（决策表法和合成法）。本文采用演绎法，从选定的系统故障形式（顶事件）分析起，分层次逐步追查引起事件发生的各种直接原因（称为中间事件），一直查到可能引起顶事件发生的最基本原因（称为底事件），并用各事件符号及反映事件之间逻辑关系的逻辑门符号画出故障树。由此，我们可以建立以水环真空泵“系统不能正常运行”为顶事件的故障树。（见图2）

对故障树进行定性分析，研究故障树中所有导致顶事件发生的最小割集（一个最小割集代表系统的一种故障模式），可使我们发现系统的最薄弱环节，也就是系统发生故障的最可能原因或部位。本文采用下行法从故障树的顶事件出发自上而下地寻找最小割集。由于水环真空泵系统属串联模型，因此最小割集很多且都是由一个底事件构成的一阶割集。首先我们研究“水环真空泵性能下降”这一分支，对水环真空泵系统而言，正常运行时的轴功率与启动时的轴功率相比通常略有下降，而且在整个运行过程中它基本上保持不变，因此一旦出现轴功率增大的现象，我们就可以判定水环真空泵性能下降。真空度与气量是衡量水环真空泵性能的两个最重要指标，所以“真空度下降”、“气量不够”、“轴功率增大”三个中的任意一个出现都表示泵性能下降、系统发生了故障，它们之间是逻辑或的关系。分析这一支的最小割集，有近三十个之多，因此需要分析割集的重要性以确定系统的最薄弱环节。

- 28 -

由于运行现场对水环真空泵出现的故障很少做文字记载，也就难以给出每种故障的概率重要度值，但我们可以这样认为，导致真空度下降、气量下降和轴功率增大这三方面同时发生的故障，其重要度最大；其次是导致其中任意两方面发生的故障；最后是导致任意一方面发生的故障。这样我们可以得出“阀片破损”、“叶轮与分配器偏磨”、“水环量过少”是水环真空泵性能下降的最重要的原因。再分析产生振动和噪声的最小割集，我们可以得出水力冲击、叶轮、轴承是三个重要的振动和噪声来源。在电厂运行中，水量是可以控制的，汽蚀对于水环真空泵也很少发生，也可以避免在小流量区运行，这样来自水力冲击的振动和噪声就可以减至最小。而叶轮内有异物堵塞以及它和分配器的磨损、轴承的生锈和润滑不足等就显得相当重要了。总之，分析“系统不能正常运行”故障树的最小割集，可以得到系统发生故障的最可能原因在于叶轮和分配器的磨损、叶轮有异物堵塞（比如试车时叶轮与分配器端面跑进焊渣）、阀片破损和轴承故障等等。

## 3 主要故障分析

本文作者调查了青山热电厂、阳逻电厂等用户的水环真空泵在运行过程中出现的问题，并到武汉水泵设计处、维修部门进行深入了解，这两个部门积累了用户反映的主要问题，而且维修部门具有故障诊断和现场解决问题的经验。作者总结调查到的情况，得出水环真空泵的主要故障分析情况。下面对阀片破损、轴承发热、进口蝶阀开关失灵和结垢四种具有代表性也较复杂的故障进行详细分析。

### 3.1 阀片破损

为了避免由于过压缩现象而导致的泵消耗能量的额外增加及泵效率的下降，引进的水环真空泵采用了阀片结构。阀片的作用是消除水环真空泵在运转中所产生的过压缩和压缩不足。阀片通常采用塑性材料聚四氟乙烯做成，

水泵技术 1998.3

在结构上它可以在分配器和挡板之间沿轴向小范围移动。当水环真空泵内被压缩气体的压力小于泵出口压力时，阀片向叶轮方向移动，紧贴在分配器上，保证气体继续压缩；当被压缩气体的压力等于泵出口压力时，尽管这个压力小于临界压力，气体也能通过临界角前的排气口冲开阀片，使阀片上部摆动一个角度，从而及时地将气体排放出去。这样阀片经常下部紧贴在分配器上，上部摆动一个角度，扭曲成“S”形，长时间扭曲，导致阀片中间应力集中，疲劳破坏，最后从中间断裂。2BE1系列水环真空泵采用双吸形式，因此在叶轮两端的分配器处各自装有阀片。当阀片断裂一片时，真空调度下降，轴功率上升，且机组振动厉害，噪声很大，发出吹气鸣叫声，由于叶轮两侧受力不平衡，电流升高；而当两边的阀片都断裂时，受力反而又得到了平衡，电流几乎不变，但真空调度急剧下降，噪声、振动加剧。通常，阀片先后断裂时，较易准确判断此类故障，而当两片同时断裂时，由于其不可预见，则较难判断。阀片破损在水环真空泵故障中发生几率较大，据估计，有20~30%的可能发生此类故障。解决此类故障只有更换阀片。

### 3.2 轴承发热

轴承发热是水环真空泵比较常见的一种故障，严重时甚至会破坏支承架。发生这种故障的主要原因在于轴承部件不同心，一方面轴承部件装配不同心，有关零件精度不高；另一方面前、后侧盖处的填料装配不对称或松紧不当都会导致轴与轴承的配合不当，加剧摩擦从而发热。轴承发热的另一个重要原因在于轴承润滑油脂。轴承内油脂加得过多，增加阻力，会导致轴承温升；油脂过少，轴承发生干摩擦，不仅会导致轴承发热，磨损严重，轴承还会发出尖叫声，产生很大的噪声；润滑油脏，污染了轴承，轴承也会发热。所以关键是要控制润滑油脂的加油量，使油量适中，如果能监测到任何时候的油量，在适当时候添加润滑油脂，那当然最理想；不过，目前还很难实现油量的监控。一般可采用冲击脉冲法，根据地毡值  $dBe$ （主要反映滚动

轴承的润滑状况和安装质量）的大小和标准值  $dB_n$ （主要反映滚动轴承的技术状态）的大小以及两者之间的关系来分析轴承的润滑状况，或对滚动轴承采用测振动加速度信号的方法，也可以通过监测滚动轴承的温度来判断轴承是否需要加油，但这些都只能做到定性分析，粗略地进行定量分析，甚至根本无法做到定量分析。

### 3.3 进口蝶阀开关失灵

当一台真空泵向另一台备用真空泵切换时，常常会发现真空调度急剧下降，且不可恢复。此时很可能是真空泵进口蝶阀关闭不严，甚至根本无法动作，致使两台泵窜气，真空调度下降。发生进口蝶阀关闭不严这种故障的原因一方面在于蝶阀的电气控制开关反应不够灵活，使蝶阀延时关闭或关闭不严；另一方面蝶阀本身制造质量有问题，达不到预定的制造精度，使蝶阀关闭不到位。蝶阀容易发生的另一故障是蝶阀打不开，这是因为2BE1系列水环真空泵所用蝶阀只有在前后压差达30mbar时，才能打开，因此在低真空中可以动作，而在高真空中则动作不了。遇到这种故障，调小关阀压力即可。此外，蝶阀锈蚀也是蝶阀开关失灵的一个原因。

### 3.4 结垢

结垢主要发生在造纸厂和烟厂，而电厂中水环真空泵使用的是冷凝水，水质较好，不易结垢，因此在图2所示的故障树中没有列出结垢这一底事件。水环真空泵过流通道结垢时，其电流、气量、真空调度都受到影响，整个机组的性能下降。通常，采用锅炉除垢剂或者稀盐酸进行清洗，必要时可拆下真空泵，软化工作液，都可解决此问题。

## 4 小 结

通过对火电厂中汽轮机凝汽器用2BW4型水环真空泵成套抽真空装置建立故障树并做定性分析，得出叶轮和分配器的偏磨、叶轮有异物堵塞、阀片破损和轴承故障是系统不能正常

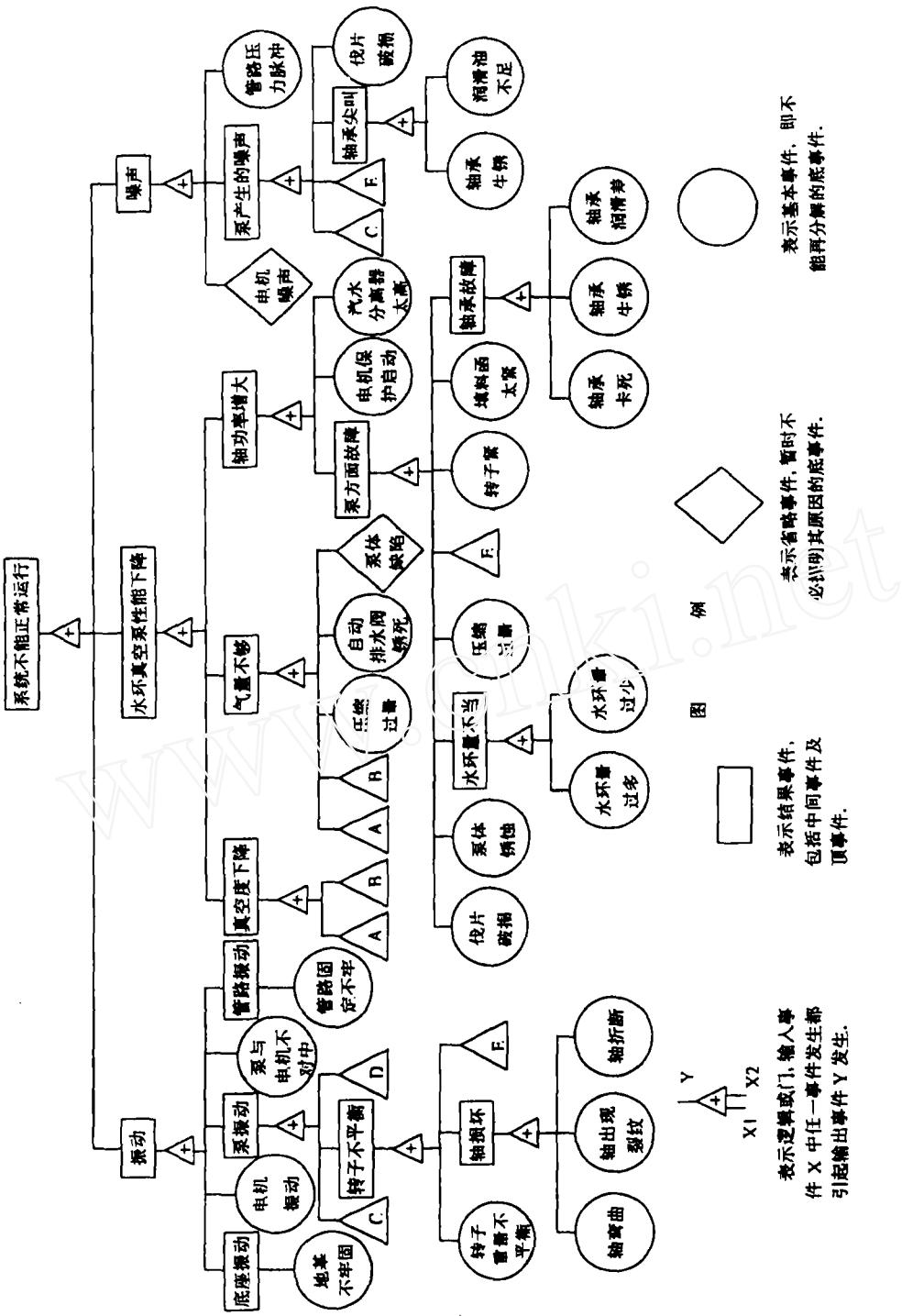


图 2 2BW4 型水环真空泵装置故障树(之一)

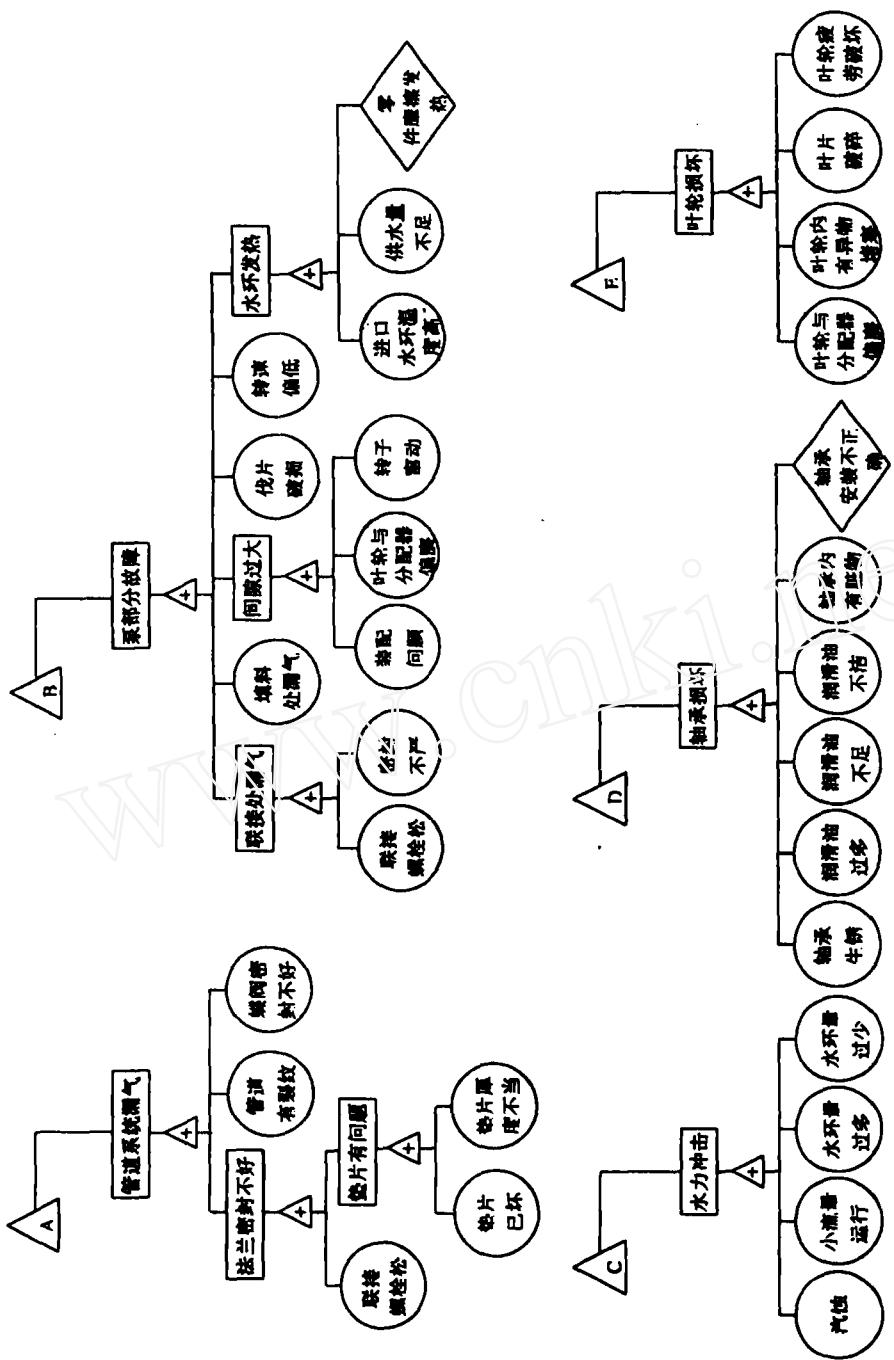


图 2 2BW4 型水环真空泵装置故障树(之二)

(下转第 44 页)

表 3 悬浮剂加入量对涂料悬浮性的影响

	Na-P	有机-P	PVB	A
a	50	85	70	90
b	54	88	76	92
c	61	90	77	94
d	70	92	83	97

(注: 静置时间为 24 小时)

相同的情况下, 其涂料的悬浮性是不同的, 而尤以悬浮剂 A 的效果最好, 其加入量在 2.5% ~ 3% 为宜, 以保持较低成本。

## 2.2 涂层强度

对涂层的强度我们采用了测试涂料抗剪强度的方法来试验, 而影响其强度的因素主要是树脂。

通过测定, 随树脂加入量的增多, 涂层强度增高, 考虑到经济性和适用性, 我们选定树脂的加入量在 4% ~ 6% 之间。

## 2.3 涂料的可点燃性

涂层可点燃性的好坏, 直接影响涂料的强度和耐磨损及抗金属液冲刷性能的好坏。可点燃性好, 燃烧值适中, 可使涂层获得较好的强度。试验表明, 单独用乙醇做溶剂的涂料, 刷涂完 10 分钟以后, 刷涂层已难以点燃, 使用自制混合溶剂后在刷涂完后 15 分钟仍有较好的燃烧效果, 涂料层固化正常, 且无死点。

(上接第 31 页)

运行的最重要原因, 对用户和生产厂家的调查也表明以上四种故障是水环真空泵的主要故障; 随后本文分析了阀片破损、轴承发热、进口蝶阀开关失灵和结垢几种较复杂的故障的具体发生机理、征兆表现以及处理措施。

水环真空泵系统故障树的建立和主要故障分析给现场运行人员和维修人员进行故障诊断和维修提供了方便; 同时, 在电厂主机和辅机的监控朝集成、自动和智能方向发展, 主机和辅机的检修变计划检修为状态检修这种发展趋势

	Na-P	有机-P	PVB	A
a		1	0.05	1.0
b	6	2	0.12	2.5
c	7	3	0.19	3
d	8	4	0.35	4.5

## 3 涂料的配比、性能和使用

涂料的配比见表 4。

表 4 涂料的配比

基料	悬浮剂	树脂	混合溶剂A
100 %	2% ~ 4%	4% ~ 6%	适量

涂料的性能见表 5。

表 5 涂料的性能

密度 (g/cm <sup>3</sup> )	粘度 (6~9S)	悬浮性 (%)	发气量 (840℃)	渗入深度 (砂粒)	涂层 强度 >9×10 MPa	涂刷性
190	6~9S	90	27	2~3	>9×10 MPa	好

使用上述涂料在浇注普通 ZG25 和不锈钢 1Cr18Ni9Ti 泵铸件后获得了较好表面光洁度的铸件, 棱角清晰, 未发现粘砂现象。

## 4 结 论

该涂料系列具有良好的悬浮性, 涂层强度较高, 可点燃性较好, 实际应用于泵产品铸件, 可获得较好的外在质量, 对解决泵铸钢件的粘砂起到有效的防止作用。

(本文编辑 王振华)

下, 对水环真空泵这种辅机进行故障分析, 为今后电厂要建立的集成、智能系统中有关系的工作做一点理论上的探索, 无疑具有重要作用。

## 参考文献

- 任德高编. 水环泵. 机械工业出版社, 1982
- 贾宗谋等编. 旋涡泵、液环泵、射流泵. 机械工业出版社, 1993
- 陈继平等主编. 可靠性工程基础. 东北工学院出版社, 1991
- 史殿魁. 流程泵的故障树分析. 水泵技术, 1992, (3)
- 易良策. 离心泵故障诊断. 水泵技术, 1994, (1)
- 沈阳水泵厂设计科. 液环泵的设计. 水泵技术, 1976, (3)

(本文编辑 王振华)