

汽轮机的故障

捷克斯洛伐克 M. 利符卡著

黃紹元 王文俊 招熾尧譯

水利电力出版社

前 言

在目前工业生产巨大高涨的情况~~下~~，~~国家~~经济最重要和最复杂的部门之一——汽轮机制造和运行~~部~~中，捷克的技术人员感到非常缺乏本国的技术文献。捷克的汽轮机结构和设计人员除了有一些基本的外文书籍外，仅有工学院内的临时性的讲义。关于汽轮机机组的运行、维护、故障、检查和检修方面的捷克文献，目前还是不多的。近年来除了有几本陈旧的、十分简单的基础书籍出版外，仅翻译了一本很有价值的苏联布达什柯夫所著的“汽轮机的故障及其防止”一书。

为了使有经验的制造厂能够尽量地提高自己产品的运行可靠性，必须使自己的人员有系统地研究机组的各种故障和运行缺陷，以便分析其原因，修复有缺陷和损坏了的部件，消除故障，及时供应备品，根据获得的经验修改运行规程，并提出今后产品构造的改进意见。

为了缓和布尔诺国营克利门特·哥特瓦尔德第一机器制造厂技术人员缺乏合适的学习资料的情况，本书作者根据了某些外国的，特别是苏联的资料，将汽轮机制造厂和运行人员关于汽轮机的故障、其原因、结果、消除和预防的技术通报加以修正。

作者以在布尔诺国营克利门特·哥特瓦尔德第一机器制造厂对本厂汽轮机所获得的经验，补充到这些技术资料里去，因此，如与现有的国外文献相比，本书内容非常丰富。在本书内，同时还分析了汽轮机所有重要部件和作用系统的故障情况。

本书的第一部分是供运行人员用的，特别在机组产生故

障时的条文式的导則和規程。在第二部分，也就是本書的主要部分，則根据布尔諾第一机器制造厂慣用的汽輪机制造、安装和作用部件的系统分类法，逐一叙述了在这些部件上通常发生的故障。

本書將每种故障分成四組說明，这种編写方法合理而明确的。这四組是：

- 1)故障說明和它的象征；
- 2)故障的可能原因；
- 3)消除故障的措施；
- 4)預防类似故障的建議或意見。

特別对关于叶片、傳动主油泵的蝸母輪組、調速器以及潤滑油和調速油系統的故障作了較詳尽的研究。一般为运行和維護人員所疏忽的凝汽系統故障，也作了較詳細的叙述。除了凝汽器本体上的故障外，还論及了凝汽系統附屬設備的各种故障。同时，对往往可能成为其他机組一系列故障发生原因的机組振动，特別在造成故障的原因一栏內作了充分的說明。在机組本体以外，由于运行上的缺陷而造成的許多足以影响机組运行的故障，在“运行”一节內都加以叙述了。

本書的附录，是从布尔諾国营克利門特·哥特瓦尔德第一机器制造厂凝汽式汽輪机各种不同运行条件的运行規程中摘录的精华部分。

本書將是汽輪机設計人員、运行和試驗技術人員、同样亦是安装人員以及其他有关汽輪机运行、檢修、維護工作人員的一本很好的参考書。也是发电厂汽輪机运行和維護人員关于运行規程和导則的极有价值的資料。我們預期它会达到編写本書的目的。

工程师 Fr. 米海萊于布尔諾

目 录

序言	5
确定和消除汽轮机故障的原则	6
一、应立即停机的故障	8
二、在故障时停机的步骤	9
三、必须立即通知汽机房值班长的故障	10
故障	11
1. 汽轮机汽缸	11
2. 隔板	14
3. 汽封	20
4. 轴承	25
5. 轴承座	34
6. 转子	35
7. 工作叶轮	42
8. 工作叶片	47
9. 蜗母传动装置	55
10. 主油泵	60
11. 调速系统	63
12. 危急保安器	66
13. 轴向位移保安器	69
14. 阀门	69
15. 油泵	72
16. 油	75
17. 冷油器	88
18. 凝汽器	89
19. 疏水器	103
20. 凝结水泵	106
21. 抽气器	112

22. 管道	115
23. 基础	119
24. 振动	121
25. 运行	133
附录: 凝汽式汽轮机的起动、运行和停机的操作规程	148
一、起动前的准备工作	148
二、暖管和吹管	150
三、排汽起动	150
四、汽轮机与凝汽系统投入运行	153
五、应用辅助电源时凝汽系统的起动	155
六、汽轮机在运行中的维护	156
七、汽轮机停机	158
汽轮机各种典型故障图片	161

序 言

由于汽轮机不断的发展，在构造上和运行上已达到高度的完整性和可靠性。但在运行时，象其他别种机器一样，汽轮机也受着各种程度的严重故障的威胁。发生这些故障的程度和故障的范围，主要决定于机组的操作情况。关于机组的运行规程、可能发生的故障及其原因，以及预防和消除故障的措施的完备知识，是与正确的設計，可靠的材料以及完善的生产同样重要的因素。本书收集了各种重要的經驗，对于扩大汽轮机运行知识方面是有一定的帮助的。

本书的图片部分，是表示汽轮机的各种典型性的故障，是与燃料和动力部共同編訂的。

確定和消除汽輪機故障的原則

所謂故障，我們理解為機組脫離正常運行的各種不正常情況，但這些不正常的情况不一定給機組帶來損害。

一、汽輪機發生故障或事故的可能原因：

(1) 缺陷：

1. 結構缺陷；
2. 材料缺陷；
3. 製造缺陷；
4. 安裝缺陷；
5. 設備檢修缺陷。

(2) 機組的不正常運行，是由於：

1. 運行人員在機組起動、停機或單位機組併入系統而直接造成的錯誤；

2. 運行人員缺乏應有的熟練程度；

3. 運行人員操作不注意；

4. 在機組運轉中，當發現不正常象徵時，運行人員沒有及時處理或處理不當。

二、汽輪機運行人員應做到：

(1) 無條件地通曉製造廠機組的運行規程、機組可能發生故障的象徵及其後果，應該熟悉如何快速消除及防止故障擴大或產生的措施；

(2) 應明確地了解所進行的操作的意義、作用和正確的聯繫。

三、發現任何一種故障時，運行人員有責任立刻用事先

約定的信号或由运行輔助人員通知汽机房值班长，并要求指示如何消除故障。假如由于某种原因不可能請示，則运行人員必須自己很快地处理，但應該正确和熟慮地知道消除故障的方法，不允許机組即使在很短的時間內不加監視。

四、在确定消除故障的方法时，运行人員必須首先明确十分重要的如下几点：

- (1) 消除故障要快，要保障安全，不使故障扩大；
- (2) 消除汽机房內可能发生的人身危險事故；
- (3) 防止設備损坏，保証設備的运行能力。

五、运行人員在着手消除故障前，应做到：

(1) 作出关于故障的种类、严重程度、范围、原因以及可能后果的判断；

(2) 迅速确定是否需要停机，或立即着手进行恢复正常运行；

(3) 随即肯定故障地点和明确损坏或故障的特性。

六、确定各种必須的情况后，运行人員必須迅速而熟慮地采取修复措施。运行人員或檢修人員必須正确和沉着地将設備修好，恢复正常状态。任何惊慌現象和輕率的、未經全面考虑的措施，都只能使事故程度加深。在消除故障的过程中，除有关人員外，不允許任何人走近机組。当遇到故障或事故时，只有当故障或故障扩大的可能性完全消除，以及将所有的情況正确地告知接班人員后才可交班。

七、在消除故障的过程中，不允許遺忘对基本工作参数的監視：

- (1) 負荷；
- (2) 轉速；
- (3) 其他情况；

1. 油箱油位；2. 軸承油压；3. 調速油压；4. 軸承出口油温；5. 新蒸汽压力；6. 新蒸汽温度；7. 排汽压力及真空度；8. 排汽温度；9. 調整級的蒸汽压力。

八、在拖延消除故障必須进行的措施会使事故扩大或损坏設備时，运行人員在通知前来的汽机房值班长来到之前，必須立即独立地試行消除危害，并进行必要的工作。

九、将确定故障的原因，故障的发展，损坏的范围，恢复正常运行的一些必要措施，防止类似故障发生的方法和故障发生时監視的过程，以及运行人員采取的措施的文字說明，連同机組的主要技术数据，必須記錄在事故記錄单上。

一、应立即停机的故障

在下列情况下，汽輪机必須立即停机：

1. 突然发现汽輪机、发电机或整个机組发生振动，或者清楚地听到金屬噪音；
2. 从汽封冒汽管、汽缸法兰盘接合面或蒸汽管法兰盘噴出湿蒸汽（白蒸汽）或水滴；
3. 主蒸汽管破裂；
4. 新蒸汽参数（汽压，汽温）較运行規程的允許数值有巨大变化时；
5. 汽輪机空負荷运行，而真空跌至允許极限以下；
6. 各軸承进口油压跌至允許值以下，而启用汽动輔助油泵不能恢复正常压力；
7. 机組軸向推力軸承或其他支持軸承的油温超过允許极限；
8. 发现汽輪机組各軸承向外冒烟；
9. 調速系統中的連杆折断或脫接；

10. 油系統內着火不能立即熄滅;
11. 發現發電機或勵磁機內冒煙;
12. 油箱漏油, 油位下降不能立即將油位提高到最低極限以上(根據油位表);
13. 轉速降低且汽輪機發生不能很快消除的振動;
14. 汽輪機轉速比額定轉速增高 10% 以上而危急保安器不跳閘;
15. 軸向位移在一定負荷內超過允許值。

二、在故障時停機的步驟

當汽輪機故障停機時, 一般的步驟是:

1. 用手合上危急保安器;
2. 關閉抽汽截門(如系帶抽汽的汽輪機);
3. 通知控制室, 汽輪機有故障;
4. 起動汽動輔助油泵;
5. 值班長通知汽機房運行人員有關停機事宜;
6. 以後所有關於汽輪機停機事項, 應根據運行規程中有關停機的規定;
7. 如需迅速停機, 則在起動汽動輔助油泵後; 關閉抽氣器的蒸汽進口, 並開啟真空截門或通至大氣的閘門, 以破壞真空;
8. 如因水進入汽輪機而停機時, 必須將汽輪機的全部疏水門以及新蒸汽管道上的疏水門全部開啟;
9. 如由於發現從發電機或勵磁機內冒煙而停機者, 應:
 - (1) 關閉發電機冷風系統中的風門;
 - (2) 當轉速減低至每分鐘 150~200 轉時, 起動第二級抽氣器;

(3) 將危急保安器拉開；

(4) 供給蒸汽，以維持上述的轉速，直到火被撲滅為止，
機組僅在汽機房值班長的命令下，才可完全停下。

三、必須立即通知汽機房值班長的故障

必須立即通知汽機房值班長的故障有：

1. 真空度下降至低於正常數值50公厘水銀柱以上；
2. 軸承內的油溫超過製造廠規定的最高容許數值（製造廠規定最高油溫為 $65\sim 70^{\circ}\text{C}$ ）；
3. 油箱油位突然下降；
4. 發現機組有噪音；
5. 機組振動；
6. 調速汽門卡澀；
7. 油系統的任何地方漏油；
8. 油系統內油壓不正常下降；
9. 蒸汽壓力比平常下跌10%，或上升5%；
10. 蒸汽溫度低於額定值，或低於製造廠的運行規程中規定的數值 20°C ，或者高出 10°C ；
11. 汽輪機與其他機組并列運行時，負荷下降或汽輪機運行時轉數下降，不但調速器不能自動調節，而且手動調速器也不能拉高負荷或增加轉速；
12. 汽輪機與其他機組并列運行時負荷增高，或汽輪機單獨運行時轉數增加，不但調速器不能自動調節，而且手動調速器也不能降低負荷或轉速；
13. 在汽輪機運行過程中存在着不正常的或運行人員所不了解的各種現象；
14. 發電機不正常的溫升；

15. 励磁机的整流子上或发电机的滑环上起火花。

故 障

1. 汽轮机汽缸

第1条

故障及其象征

由于汽轮机汽缸的变形，致使水平法兰接合面和垂直接合面不紧密，这种情况通常是靠近高压侧及低压侧汽封附近。如高压部分不紧密，蒸汽漏进轴承使油质劣化；低压部不紧密，空气漏入能使真空恶化。汽缸变形，破坏汽缸重量在底座的均匀分布。变形的范围较大时，将引起汽封或汽缸内部其他地方的不正常碰触，并能产生有害的局部振动。

故障的可能原因

1. 汽缸各部分因不规则的动作而产生的应力使汽缸变形，应力的产生是由于：

(1) 温度太高，铁的碳化物分裂而使铸铁膨胀（铸铁汽缸），有时由于在边缘层内含矽铁素体的氧化作用；

(2) 由于隔板在辐向间隙不够的情况下膨胀和扩大。

2. 汽轮机进汽口选择不正确，在各种不同负荷时，由于汽轮机各部分受热不够而造成汽缸变形。

3. 在不同截面间过渡部件尺寸选择不正确，例如法兰的加强部分，在各部件的突出部分和加强肋上受到较大的内应力。

4. 制造时，汽缸热处理没有达到要求。

5. 选择不适合或有缺陷的保温材料。

6. 冲洗汽輪机时不注意，很快地冷却。

7. 汽机房內温度突然变化或不均匀，例如室外温度較低时开启汽机房的一边窗戶。

消除故障的方法

消除汽缸的变形应：

1. 将汽缸接合面銼平或刮平；
2. 将隔板及汽封找正；
3. 保証隔板具有足够的幅向間隙。

預防类似故障的措施

1. 鑄鉄內含少量的碳与砂，結構必須紧密，且妥善决定运行极限温度。

2. 必須提高鑄鉄的比例稳定度，例如加入可以防止碳化物分解的鉻，錳。

3. 汽缸的鑄造和加工，必須在 $500 \sim 550^{\circ}\text{C}$ 的温度中进行退火約两小时。在退火炉中，必須掌握好正确的加热和冷却过程。

4. 含鋁、鉻、錳等合金鑄鋼汽缸，必須在最高运行温度条件下进行永久强度試驗。

5. 必須詳細考虑汽缸結構的各种截面的突然过渡，并正确地选择蒸汽进口。

6. 必須有正确的汽缸保温材料并应妥加维护。

7. 在冲洗汽輪机时，应遵照制造厂的規定。

8. 必須避免汽机房温度的突然变化。

第2条

故障及其象征

遇有看得見的漏汽或汽缸的保温材料受潮，則表明汽缸內有裂縫或汽缸开裂。但这种情况通常在檢修时才可以确

定。

故障的可能原因

1. 汽缸材料所受的应力超过其强度时，这是由于：

- (1) 汽轮机各部件不规则的动作；
- (2) 新蒸汽进口选择不当；
- (3) 在不同截面之间，过渡尺寸不正确。

2. 汽缸热处理不当。

3. 汽缸材料质量不好。

4. 由于动叶轮损伤或叶片折断，或转子发生事故。

5. 汽缸材料好，但有严重的缺陷。

消除故障的方法

用电磁铁屑确定细微的裂缝范围，找出裂缝后用凿子将裂缝凿开，在裂缝的根部镶上钢铆钉，然后将裂缝用电焊焊上几层，焊好后将焊缝进行必要的热处理。焊条应根据汽缸材料加以选择。铸钢的汽缸可根据裂缝的大小和开裂的性质进行相类似的电焊接。不论对铸铁或铸钢的汽缸进行电焊时，必须将汽缸预先加热。在焊接前必须将汽缸材料的变形程度作详细的试验。在此试验中，应确定材料是否有严重的机械强度损失或材料上有其他缺陷，以便确定要否将整个汽缸更换。焊好的焊缝必须经过电磁波或 α 射线试验。

预防类似故障的措施

1. 在设计 and 制造时，隔板的辐向间隙必须遵照规定。
2. 必须合理地进行保温，使汽缸正确均匀地受热，最大限度地防止汽缸的变形。
3. 在运行5~8年后，应将汽缸的情况、材料结构变化以及材料的机械强度作定期检验，方法是取汽缸的材料试样作全相试验，如发现材料性能变化超过极限，则必须更换汽缸。

2. 隔 板

第3条

故障及其象征

如在汽流方向发生隔板弯曲，汽机运行时汽缸内发生間歇声响，軸承振动增剧，有时在接近額定負荷时，推力軸承温度升高；当負荷降低时，上述現象也随之消失；如停机不及时可发现叶輪和隔板有較大的碰触，局部的振动可能变成整个机的振动，这样，通常会损坏部件和推力軸承組。

故障的可能原因

1. 隔板的机械强度不够。这个缺陷完全可在新机滿負荷試运转以后的第一次檢查时发现。

2. 隔板材料有缺陷。

3. 制造上的缺陷，例如靜叶片固定不良，在这种情况下，隔板的弯曲曲綫在叶片根部折断。

4. 隔板的靜叶片上积有大量盐垢，使流通截面縮小而增加隔板的压力降。

5. 由于水进入汽輪机而发生水冲击，弯曲的程度根据温度变化的快慢和进入汽輪机蒸汽的湿度而不同，可从很輕微开始，直至可使隔板完全损坏为止。

消除故障的方法

1. 隔板膨胀增大或成为永久性弯曲时，則不可能修复，需換新的。

2. 向蒸汽流动方向弯曲的隔板，只可暂时应用，即只有当隔板弯曲系由不会再重复的突然过負載而造成(例如，由于水冲击)或由于改善运行(如去除积盐)，而不会再弯曲时，但不論何种情况，只能在永久性弯曲并不很大时才允許。恢

复的方法是，将弯曲的隔板位置移正，将弯出部分锉平，并将該隔板用水压試驗加以校驗。

預防类似故障的措施

1. 必須細致考慮隔板的膨脹值，并保證隔板在汽缸內的安全輻向間隙。

2. 当汽机檢修时，必須經常檢查隔板的情况。

3. 改装隔板。

4. 隔板因永久性弯曲需更換新的时，应考虑适合的材
料，特別是这种弯曲发生在正常运行而沒有碰触（也就是說；
是由于隔板的强度不够）时。

5. 隔板膨脹成永久性弯曲需換新隔板时，材料內应改进
錳化物并减低矽的含量。

第4条

故障及其象征

隔板反汽流方向的弯曲，其象征与順汽流方向弯曲的相同。但在反汽流方向时，轉子也向反汽流方向移动。这种情况，汽輪机不論在何种負荷状态时都可能发生，一般是在隔板的溫度高于汽缸的溫度时发生。如汽輪机停得迟緩，則局部振动轉变为全机振动，随之叶輪、隔板和推力軸承的反面都遭損坏。隔板显著的弯曲，可在檢修时从輪上的痕迹加以判定。往往随着弯曲而来的是靜叶片的进汽邊緣上发生压扁和变形現象。

故障的可能原因

1. 隔板与汽缸固定点間的輻向間隙不够。

2. 鑄鉄隔板增大使至通常的間隙不够时，在汽缸內自由移动。随之往往使汽缸变形和汽缸接合面不严密。在这种情况下，隔板的弯曲还由于靜叶片在軸向的截面强度不均匀

(这是隔板不均匀变形的原因)，或由于其进汽侧温度较高(当辐向间隙不够时，会造成不均匀的膨胀和热应力)所造成。如隔板温度高于汽缸的温度时，则已松动了的隔板弯曲度势必增大，这是由于不同的热膨胀所致。这种温差可在汽轮机各种不同的运行条件下发现。同样在低负荷时也有存在。鑄鉄隔板通常在运行30,000~40,000小时后增大，如鑄鉄質量較低时，可能开始得更早。增大的数值在連續运行一年，根据隔板的直径从十分之几公厘直到1公厘。增大的原因，是由于温度的变化使鑄鉄內的碳化物分解成純鉄体和碳。这种鉄的碳化物的分解，造成容积增大和細微的裂縫。

消除故障的方法見第3条1、2。預防类似故障的措施見第3条1、2、3、4、5。

第5条

故障及其象征

由于材料开裂和剝蝕而造成隔板故障。材料的剝蝕或靜叶片的折断，一般在汽轮机檢修时可发现。只有当运行情况逐漸恶化，汽封被破坏，以及叶輪和隔板有显著的碰触，(此时轉子振动)时，才可在运行中发现。

故障的可能原因

1. 由于叶片振动而造成隔板的材料疲乏，这可从裂縫的分布和折断的情况来表示其特征，通常在叶片的出汽侧有折裂現象。这种現象主要发生在靜叶片的断面較薄又較高的叶輪。

2. 叶片和隔板根部接合不良。

3. 經长期連續运行后(50,000~80,000运行小时)，隔板材料的結構起了变化。

消除故障的方法