

火电厂汽轮机

故障诊断分析处理与技术改造手册

HUODIANCHANG QILUNJI GUZHANG ZHENDUAN FENXI CHULI YU JISHU GAIZAO SHOUCHE

银声音像出版社

火电厂汽轮机故障诊断分析处理 与技术改造手册

(第三卷)

银声音像出版社

名 称:火电厂汽轮机故障诊断分析处理与技术改造手册

出版时间:2005年6月

出 版 社:银声音像出版社

类 别:1CD+配套手册四卷

ISBN 7-88362-428-8

定 价:998.00元

目 录

第一篇 汽轮机故障诊断分析基本知识

第一章 概 述	(3)
第一节 汽轮机故障诊断技术的发展历史	(3)
第二节 设备故障诊断技术产生的影响	(10)
第三节 汽轮机组故障诊断技术的特点	(12)
第四节 汽轮机组故障诊断的目的、任务和方法	(13)
第二章 汽轮机组故障诊断的技术基础	(18)
第一节 设备故障的定义和分类	(18)
第二节 设备故障诊断技术的内容和类型	(20)
第三节 故障信息的获取方法与故障特征信号的选取	(21)
第四节 传感器的选取	(25)
第五节 信号分析与处理	(27)
第六节 基于特征提取的故障分类模型	(36)
第七节 汽轮机组常用故障诊断技术	(44)
第三章 汽轮机事故预防	(52)
第一节 事故预防的基本要求	(52)
第二节 防止汽轮机超速	(53)
第三节 防止汽轮发电机组轴瓦损坏	(54)
第四节 防止汽轮机大轴弯曲	(56)
第五节 防止汽轮机水冲击	(58)
第六节 防止机组轴承出现过大振动	(59)
第七节 防止汽轮机真空下降	(61)
第八节 防止通流部分动静磨损	(63)
第九节 防止汽轮机叶片损坏	(64)
第十节 防止调节控制系统异常	(69)

第十一节	防止厂用电中断	(70)
第十二节	防止给水泵故障	(73)
第十三节	防止汽水管道故障	(76)
第十四节	防止油系统着火	(78)
第十五节	防止主、再热蒸汽参数异常	(80)
第十六节	防止负荷骤变	(80)
第十七节	防止发电机甩负荷	(81)
第十八节	防止轴向位移增大	(82)

第二篇 汽轮机本体故障诊断分析处理技术

第一章	转子故障诊断分析处理	(85)
第一节	叶片故障诊断分析处理	(85)
第二节	汽轮机主轴弯曲及处理	(113)
第三节	转子的低速平衡	(147)
第四节	叶轮的故障诊断分析处理	(163)
第五节	轴颈与轴封的故障诊断分析处理	(184)
第六节	联轴器的故障诊断分析处理	(197)
第二章	汽缸故障诊断分析处理	(210)
第一节	汽缸过大正负胀差的排除	(210)
第二节	汽缸结合面栽丝底扣损坏后的处理	(218)
第三节	汽缸内部的异常状态分析处理	(221)
第四节	汽缸结合面泄漏的处理	(223)

第三篇 汽轮发电机故障诊断分析处理技术

第一章	定子绕组故障诊断分析处理	(243)
第一节	定子绕组绝缘故障	(243)
第二节	定子绕组导线的断股	(258)
第三节	定子绕组的接头事故	(273)
第四节	水冷定子绕组堵塞和断水	(281)
第五节	定子绕组漏水	(293)

第二章 定子铁芯故障诊断分析处理	(307)
第一节 片间绝缘的损坏	(307)
第二节 有效铁芯压装的变松	(308)
第三节 铁芯端部压指压偏	(310)
第四节 电阻温度计损坏引起有效铁芯的故障	(314)
第五节 绕组接地引起的定子铁芯损坏	(315)
第六节 定子铁芯试验	(316)
第七节 ELCID—定子铁芯故障探测仪的应用	(322)
第三章 转子绕组的常见故障诊断分析处理	(328)
第一节 转子绕组的对地绝缘故障	(328)
第二节 转子绕组匝间短路	(340)
第三节 不拔护环诊断大型汽轮发电机转子绕组匝间短路 位置的方法	(353)
第四节 转子绕组热变形	(363)
第五节 集电环—电刷装置的烧损	(372)
第四章 直接冷却转子绕组的故障诊断分析处理	(379)
第一节 直接氢冷转子绕组通风道的局部堵塞与转子 温度场的计算	(379)
第二节 直接冷却转子绕组的通风检验	(396)
第三节 直接水冷转子绕组漏水	(400)
第四节 直接不冷转子绕组局部堵塞	(411)
第五章 负序电流引起的转子损坏诊断分析处理	(422)
第一节 不对称运行对发电机的影响	(422)
第二节 负序电流烧损转子的实例及特征	(425)
第三节 发电机承受负序电流的能力	(431)
第四节 发电机不对称运行后的检查及处理	(437)
第六章 转子护环损坏及强度计算	(439)
第一节 转子护环事故概述	(439)
第二节 护环裂纹的性质、成因和机理	(440)
第三节 防止护环开裂的技术措施	(447)
第四节 汽轮发电机护环强度的计算	(453)
第五节 转子护环的检查和更换问题	(462)

第七章 转子的超速损坏和扭振损坏	(469)
第一节 有明显超速特征的转子损坏实例及原因分析.....	(469)
第二节 扭振导致的转子损坏.....	(477)
第三节 其他原因引起的转子损坏.....	(481)
第八章 机组磁化与退磁、轴电压及转轴的合理接地方式	(485)
第一节 汽轮发电机组的磁化与退磁技术.....	(485)
第二节 汽轮发电机组的轴电压及转轴的合理接地方式.....	(509)
第九章 发电机的振动诊断分析处理	(514)
第一节 振动的原因和类型.....	(514)
第二节 转子匝间短路引起的振动.....	(517)
第三节 气隙不均匀和电磁谐振引起的电磁振动.....	(521)
第四节 转子中心位置偏移引起的振动增大.....	(522)
第五节 不对称负荷引起的电磁振动及转子热不平衡引起 的振动.....	(524)
第六节 大型汽轮发电机转子异常振动实例分析及清除.....	(525)

第四篇 汽轮机组故障诊断分析处理技术

第一章 汽轮机组的工作特性与故障现象分析	(535)
第一节 汽轮机组的结构特性.....	(535)
第二节 汽轮机组的工作特性分析.....	(543)
第三节 汽轮机组的故障与结构因素之间的关系.....	(546)
第四节 汽轮机组的故障与运行因素之间的关系.....	(549)
第二章 汽轮机组故障特征的提取	(553)
第一节 故障特征的不确定性描述.....	(553)
第二节 从机组输出参数中提取故障特征.....	(554)
第三节 从振动信号的时域波形中提取故障特征.....	(563)
第四节 轨迹型征兆的自动获取.....	(566)
第五节 从振动信号的频谱中提取故障特征.....	(577)
第六节 故障信号的奇异特征提取.....	(583)
第三章 汽轮机组常见横向振动故障的诊断分析处理	(591)
第一节 转子不平衡故障的诊断.....	(591)
第二节 转子动静碰磨故障的诊断.....	(594)

第三节	转子不对中故障的诊断	(601)
第四节	转子裂纹故障的诊断	(602)
第五节	油膜涡动与油膜振荡故障的诊断	(605)
第六节	蒸汽振荡故障的诊断	(609)
第七节	非转动部件松动故障的诊断	(612)
第八节	转子中心孔异物吸附故障的诊断	(613)
第四章	汽轮发电机组轴系扭转振动故障分析处理	(619)
第一节	汽轮发电机组轴系扭振概述	(619)
第二节	单元机组轴系扭振特性分析与计算	(625)
第三节	并列运行机组的扭振特性分析与计算	(630)
第四节	防止轴系扭振的对策	(637)
第五章	汽轮机组通流部分故障的诊断分析处理	(640)
第一节	根据监视段压力变化	(640)
第二节	汽轮机组通流部分故障诊断的热力判据	(643)
第六章	汽轮机组辅助设备及系统的故障诊断分析处理	(647)
第一节	回热系统的故障特性分析	(647)
第二节	高压加热器的故障原因分析	(651)
第三节	高压加热器管系泄漏的故障机理分析	(652)
第四节	汽轮机组凝汽系统的故障分析	(658)
第五节	高压加热器与凝汽系统故障的模糊诊断	(660)
第七章	汽轮机组状态监测与故障诊断分析系统	(665)
第一节	汽轮机组状态监测与故障诊断的任务特点	(665)
第二节	系统的总体结构、功能及特点	(666)
第三节	监测子系统的设计与实现	(670)
第四节	故障诊断子系统的设计与实现	(671)
第五节	汽轮机组远程在线监测与诊断系统	(673)

第五篇 汽轮机调试中常见的故障诊断与分析处理

第一章	事故处理原则和预防对策	(679)
第一节	汽轮机重大事故的处理原则	(679)
第二节	事故预防对策	(680)
第二章	汽轮机调试中常见故障与处理实例	(682)

第一节	机组振动故障	(682)
第二节	主机存在的故障	(689)
第三节	调节系统及油系统出现的故障	(692)
第四节	给水泵及系统出现的故障	(701)
第五节	加热器出现的故障	(712)
第六节	给水泵汽轮机出现的故障	(715)
第七节	汽轮机叶片出现的故障	(716)
第八节	辅助设备及系统出现的故障	(724)
第九节	其他故障与预防	(726)

第六篇 汽轮机故障诊断分析处理实例

第一章	定子绕组相间短路事故处理实例	(735)
第一节	概 述	(735)
第二节	国产 200MW 发电机相间短路	(735)
第三节	国产 200MW 发电机相间短路	(742)
第四节	国产 200MW 发电机相间短路	(758)
第二章	被遗留在机内的异物造成的故障处理实例	(766)
第一节	概 述	(766)
第二节	国产 200MW 发电机被遗留在机内的锯条造成相间短路	(766)
第三节	国产 200MW 发电机被遗留在机内的工具刀刮伤 定子线棒绝缘	(768)
第三章	定子绕组接地事故处理实例	(773)
第一节	概 述	(773)
第二节	国产 600MW 发电机定子绕组接地事故	(774)
第四章	定子绕组漏水故障处理实例	(780)
第一节	概 述	(780)
第二节	一台国产 200MW 发电机定子绕组多次漏水	(781)
第三节	国产 200MW 发电机定子绕组鼻部泄漏电流大及 过渡引线漏水	(787)
第四节	ALSTHOM 产 620MW 发电机定子绕组鼻部水盒漏水	(793)
第五章	定子绕组电晕腐蚀的危害处理实例	(796)
第一节	概 述	(796)

第二节	国产 25MW 发电机定子线棒被电晕严重腐蚀	(796)
第六章	转子绕组接地故障处理实例	(804)
第一节	概 述	(804)
第二节	日本产 15MW 老式发电机两次转子一点接地	(805)
第三节	国产 300MW 发电机两次转子一点接地	(816)
第七章	转子绕组匝间短路故障处理实例	(826)
第一节	概 述	(826)
第二节	前苏联产 TB-50-2 型发电机转子绕组匝间短路	(827)
第三节	前苏联产 TTB-2003 型发电机转子绕组匝间短路	(830)
第四节	法国 CEM 产 313MW 发电机两次转子绕组匝间短路	(834)
第八章	集电环—电刷装置烧损故障处理实例	(844)
第一节	概 述	(844)
第二节	国产 200MW 发电机集电环及刷架烧损	(845)
附录一	国产 200MW 汽轮发电机检修工艺规程	(850)
附录二	350MW 汽轮机检修规程	(909)
附录三	火力发电厂汽轮机防进水和冷蒸汽导则	(1109)

第七篇 汽轮机技术改造

第一章	汽轮机通流部分技术改造	(1139)
第一节	范 围	(1139)
第二节	专业术语	(1139)
第三节	概况	(1140)
第四节	改造目的和原则	(1142)
第五节	技术措施和方案	(1142)
第六节	改造效果试验验证	(1145)
第二章	汽轮机辅助系统和设备技术改造	(1154)
第一节	回热系统	(1154)
第二节	真空系统	(1156)
第三节	给水泵	(1158)
第四节	胶球清洗	(1162)
第三章	汽轮机调节系统改造	(1165)
第一节	范 围	(1165)

第二节	概况	(1165)
第三节	术语、定义、符号、单位和缩略语	(1167)
第四节	电液调节系统分类	(1172)
第五节	电液调节系统功能要求	(1173)
第六节	电液调节系统性能要求	(1175)
第七节	调节系统改造方案	(1177)
第八节	主要设备、系统功能选用要求	(1179)
第九节	对实施电液调节系统改造的要求	(1183)
第四章	汽轮发电机及附属电气设备技术改造	(1190)
第一节	范围	(1190)
第二节	概况	(1190)
第三节	发电机技术改造原则	(1192)
第四节	发电机增容改造	(1193)
第五节	电网与发电机组协调关系涉及的改造	(1196)
第六节	为消除设备缺陷和事故隐患的改造	(1205)
第七节	电厂节能降耗的改造	(1212)
第五章	交流发电机励磁系统技术改造	(1219)
第一节	范围	(1219)
第二节	概况	(1219)
第三节	励磁方式与性能的改进	(1219)
第四节	励磁设备的选择	(1220)
第五节	励磁改造管理工作的建议	(1222)
第六章	热工自动化技术改造	(1224)
第一节	范 围	(1224)
第二节	专业术语	(1224)
第三节	热工自动化技术改造目的和要求	(1225)
第四节	分散控制系统(DCS)改造技术要求	(1227)
第五节	汽轮机控制系统改造技术要求	(1236)
第六节	辅助车间监控网络化和集中控制改造技术要求	(1238)
第七节	试验和验收	(1242)
第七章	火电机组技术改造项目可行性研究财务评价	(1248)
第一节	总 则	(1248)
第二节	火电技术改造项目类型及评价特点	(1249)

第三节	火电技术改造项目财务评价报告的主要内容	(1258)
第四节	火电技术改造项目财务评价主要报表及辅助报表	(1260)
第五节	关于敏感性分析	(1260)
附录一	电站汽轮机技术条件	(1278)
附录二	汽轮机电液调节系统性能验收导则	(1349)

第八篇 汽轮机控制系统技术改造

第一章	国内汽轮机控制系统情况	(1373)
第一节	概 述	(1373)
第二节	汽轮机控制系统分类	(1376)
第三节	汽轮机控制系统现状	(1386)
第四节	汽轮机控制系统的发展	(1389)
第五节	小 结	(1390)
第二章	汽轮机控制系统改造模式	(1392)
第一节	汽轮机控制系统的改造	(1392)
第二节	同步器控制改造模式	(1396)
第三节	电液并存改造模式	(1399)
第四节	低压透平油数字电调改造模式	(1410)
第五节	抗燃油纯电调控制改造模式	(1421)
第六节	各种改造方案综合比较	(1468)
第三章	高压抗燃油纯电调系统改造安装调试	(1472)
第一节	系统安装	(1472)
第二节	抗燃油油系统冲洗	(1478)
第三节	系统调试	(1482)
第四节	再生装置	(1492)
第四章	汽轮机控制系统技术改造实例	(1494)
第一节	目前国内改造情况	(1494)
第二节	100MW 机组	(1501)
第三节	125MW 机组	(1509)
第四节	200MW 机组	(1521)
第五节	300MW 机组	(1566)

第三章 定子绕组接地事故处理实例

第一节 概 述

定子绕组接地表明发电机载流导体的主绝缘出现破损，危及发电机的正常运行。这是发电机最主要的一种绝缘事故。它的危害虽然没有相间短路那么严重，但是它可能发展成相间短路，而且首先对铁心造成巨大威胁。对大型机组来说，容量大，电压高，结构复杂。定子绝缘的任何损害，后果都是很难预料的。

汽轮发电机定子绕组接地事故发生的部位，一般多在定子线棒的槽部，尤其是在槽口。因为定子线棒由槽内伸向槽外的过渡区，即槽口附近，是定子线棒最容易受到机械损伤的部位，也是运行条件比较恶劣的部位。也有的接地事故发生在定子线棒的端部或引线上（对端部的结构件、护板、引线固定件、机壳等放电）。那主要是因为该处绝缘存在局部缺陷或绝缘受到其他异物损伤的缘故。

从历年来发生接地事故的事例中看出，原因主要来自下列几方面：

- (1) 由于在制造过程中遗留的绝缘缺陷或异物所引发；
- (2) 运行中冷却条件恶化或运行温度失控而使绝缘过热；
- (3) 铁心压装质量差，运行中叠片松弛，或边端的铁心压指偏斜而使叠片松动，致使绝缘受到磨损；
- (4) 运行年限过长，绝缘已老化。

中性点不接地的发电机的单相接地电流等于三相定子绕组对地电容电流值。而与主变压器成单元连接的大型发电机，发生单相接地时的故障接地电流，则是指包括定于绕组、出线封闭母线、变压器低压绕组在内的整个发电机电压系统的三相对地的电容电流值。此电流的数值并不大。虽然如此，如果这一电流超过允许的安全电流值（13.8~15.75kV 级为 2~2.5A；18kV 及以上级为 1A），接地电流的电弧将会烧伤铁心叠片层，甚至把铁心烧出熔坑，扩大损坏范围。对此，发电机的中性点必须采用消弧线圈接地方式加以补偿，以减小接地电流。同时还应使定子接地保护的保护区达到 100%，而

且动作于跳闸。

近年来,在新投入运行的大型发电机上,已陆续发生一些危及定子绝缘的接地事故。下面介绍的这一实例,原因虽比较单一,也不涉及绝缘本身问题,但因为损失巨大,教训却极为深刻,值得借鉴。

第二节 国产 600MW 发电机定子绕组接地事故^①

HS 电厂 3 号机系哈电产 600MW 汽轮发电机,是引进美国 WH 公司技术,优化设计制造的首台 QFSN-600-2YH 型发电机。额定电压 20kV,额定电流 19245A,转速 3000r/min。1996 年 1 月投入运行。至发生本次事故前已并网运行两年。

1998 年 3 月 16 日凌晨该机起动。4 时 58 分并网,6 时 40 分带负荷 120MW。事故前已带负荷 460MW,运行参数正常,无任何异状。

3 月 16 日 8 时 18 分,发电机变压器组出口断路器事故跳闸。经检查,“发电机定于 95% 接地保护”动作,“发电机定于 100% 接地保护”信号显示。经检验,发变组保护装置及二次回路正常,保护定值正确。用 ZC-37 型专用兆欧表测定于绕组整体绝缘电阻,结果为零。拆开出线端及中性点连接点,测外部绝缘电阻为 1250M Ω /850M Ω ;测机内各相绝缘电阻:A、B 相均在 1000M Ω 以上,C 相为零。

1. 发电机损坏情况

氢置换后,从人孔进入机内,闻到浓烈的绝缘烧焦气味;在定子槽口发现不少铝合金碎块和一块 4mm \times 4mm \times 6mm 的三角形四面体的钢块。

抽出转子后详细检查,看清定于及转子均已受到严重损伤。

(1) 在解体过程中,刚一拆开端盖,即检到一钢质碎块。转于抽出后,定于膛内除有大量铝合金碎块外,又先后捡到扁圆形、长条形及不规则形状的钢块多块,前后合计共达 8 块。最大块约为 63mm \times 32mm \times 25mm,最小块约为 10mm \times 10mm \times 20mm。此外,还发现几个扭曲变形的铜垫圈。上述碎块中有 3 块扁圆件系固定转子绕组引线夹板的螺钉头部,有 5 块系夹板破裂的碎块。这些认定已被后来扒下护环后的检查核对结果所证实。

(2) 定子铁心膛内表面遍布撞击伤痕。伤痕形态多种多样:有的是三角

^① 本例内容编写时,曾参考哈尔滨电机有限责任公司的《哈尔滨第三发电厂 3 号发电机〈3.16〉事故分析报告》。

形坑,有的是圆形坑,有的已把通风沟砸伤而闭合。砸伤处面积在 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 以上者达 340 多处,励侧比汽侧严重。详细统计如表 3-1 所示。

(3) 定子膛内 1~9 号气隙隔环已严重损坏。定子槽楔也大多被撞击损坏。

表 3-1 定子铁心膛内表面伤痕统计

风区编号	伤痕数量	砸伤面积 (mm^2)	砸伤深度 (mm)
1	17	15×15	4~10
	87	5×5	3~5
2	30	15×10	2~7
3	35	15×10	2~8
4	68	15×10	2~10
5	38	15×10	3~6
6	61	15×10	3~6
7	26	15×10	3~12
8	18	15×10	3~10
9	43	$10 \times 10, 5 \times 5$	3~9
10	4	5×10	1~2
11	2	2×2	1

(4) 定子铁心齿顶,在励侧数起的第 1 风区内,有 3 处已烧熔,详情列入表 3-2。在烧熔最重的 36 号槽与 37 号槽之间的齿顶,堆积的烧熔块状物高达 20mm ,面积 $30\text{mm} \times 20\text{mm}$ 。与此处相邻的上层线棒的绝缘已烧焦脱落,成为 C 相定子绕组的接地点。

表 3-2 铁心齿顶被烧熔处

齿顶位置		烧熔程序	
切向	轴向	面积 (mm^2)	最深处 (mm)
36~37 号槽之间	第 6、7、8 铁心段	160×50	150
39~40 号槽之间	第 3、4、5 铁心段	130×12	4
42~1 号槽之间	第 5、6 铁心段	45×30	3.5

(5) 转子槽楔上的风斗,除位子靠近汽侧的第 10、11 风区内的损伤较轻外,其余 9 个风区内的风斗都无一幸免地被撞击损坏,铝合金碎块大量脱落。转子槽楔总共失去质量达 37.8kg 。掉落的风斗的碎块、屑末已进入转子

进风区的楔下垫条的缝隙及转子绕组的通风孔道。

(6) 转子运回制造厂后，扒下励侧护环检查。查清 1 号大齿上转子绕组引线的轴向夹板的两个固定螺钉中，有一个螺钉已失去螺钉头，只剩螺杆；夹板仅被另一个尚属完好的螺钉固定在转轴上。2 号大齿上转子绕组引线的轴向夹板，则因两个螺钉均已失去螺钉头而脱落。总之，共有 3 个螺钉头和 1 个夹板均已和转子脱离而被甩出。这些，正好和解体过程中捡到的碎钢块完全吻合。

2. 事故原因分析

(1) 转子绕组引线的固定结构。国产 600MW 发电机转子绕组采用氢内冷方式，转子绕组的引线采用氢内冷的硬铜引线。引线从第 1 套线圈（最小套）引出后的固定方式是，在圆弧部分使用一个径向夹板和一个轴向夹板加以固定，每个夹板再用两个螺钉将其固定于转轴；在直线部分则使用槽楔将其固定于引线槽内，如图 3-1 所示。

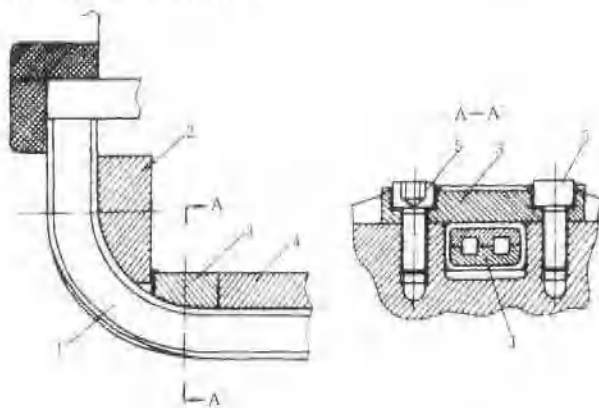


图 3-1 转子绕组引线的固定方式

1- 转子绕组引线；2- 径向夹板；3- 轴向夹板；4- 引线槽楔；5- 轴向夹板固定用的螺钉

上述夹板及其固定螺钉位于转子绕组端部的出风区。

(2) 定子绕组接地的原因。这台机定子绕组 C 相接地是由于固定转子绕组引线的轴向夹板及其螺钉头断裂脱落后，甩入气隙，撞击定子铁心，致使铁齿短路熔化，烧损定子绕组的主绝缘而造成。

固定转子引线的轴向夹板的材质为 30Cr，其上的螺钉为 M16×40 的内六角特殊螺钉，材质为 35CrMo，采用铜垫圈翻边方式锁紧。在 2 号大齿上引线的轴向夹板的螺钉（共两个）均已在头部与螺杆断裂，致使两个螺钉头、两个锁紧垫圈及该处的夹板与转轴分离。在 1 号大齿上，引线的轴向夹板的螺钉也有一个头部断裂，即有一个螺钉头及其锁紧垫圈与转轴分离。这

样,共有3个螺钉头、3个垫圈、1个脱落的夹板,在离心力和转子出风的推动下,沿转子端部的出风槽甩出,进入发电机气隙。

在气隙内,这些高强度的零件被高速旋转的转子吸附、甩落、撞击定子铁心。随即又弹回,撞击转子表面。同时,从转子槽楔风斗上损坏掉落的铝合金碎块又参与了这种定转子之间往返撞击的过程,致使定子铁心膛内表面、转子风斗上出现大面积的砸伤痕迹。

定子铁心齿顶受到严重砸伤后,叠片间绝缘漆受损而被短路。铁心严重过热使齿顶熔化。相邻的定子线棒因其主绝缘被烧焦损伤面接地。

(3) 螺钉断裂的原因。从螺钉材质看,经调质处理后,其机械性能完全满足设计要求,详见表3-3。

表3-3 35CrMo 经调质处理后的性能

	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	δ (%)	Ψ (%)
本机所用材质	1065	976	17	60.0
设计要求	980	835	12	45.0

从螺钉承受的应力值比较,这台机在超速 $1.2n_N$ 时的实际安全系数并不低于原型机,见表3-4。

表3-4 螺钉应力值及其安全系数

	WH 原型机 (60Hz)	优化型 (50Hz)	本台机(按空 刀槽 $\phi 12$ 计)	说 明
$1.2n_N$	4320r/min	3600r/min	3600r/min	—
$\sigma_{1.2n_N}$	756MPa	744.8MPa	763MPa	$1.2n_N$ 时的应力计算值
安全系数	1.10	1.12	1.09	$\sigma_s/\sigma_{1.2n_N}$, $\sigma_s = 835\text{MPa}$
实际安全系数	—	—	1.279	$\sigma_b/\sigma_{1.2n_N}$, $\sigma_b = 976\text{MPa}$

由上可见,在结构设计及材质选用上,均未发现有何问题。唯独在螺钉内六方及螺钉根部的加工上与原设计偏差较大。

该螺钉(如图3-2所示)内六方深度设计为10mm。而断裂的3个螺钉头的六方深度都超过13mm,超差3mm以上,其不同的内六方深度见表3-5。