AP1000 汽轮机特殊静叶隔板汽封槽堆焊缺陷问题的探讨

山东核电有限公司 （烟台 265116） 李卫华

【摘要】介绍了 AP1000 汽轮机特殊静叶隔板汽封槽堆焊缺陷问题的发现、成因及处理过程，提出了解决缺陷问题的主要措施，为核电工程上类似问题的处理提供借鉴和参考。

1. 概述

海阳核电一期工程 AP1000 项目是国家三代核电自主化依托项目之一，其常规岛汽轮发电机组（俗称 TG 包）由哈动－三菱组成的联合体负责供货，1 号机组汽轮发电机组本体几乎全部由三菱重工高砂制作所承担生产任务。由于 AP1000 核电汽轮机设计制造的创新，三菱在一些结构设计上做了不少改进，其中就包括特殊静叶隔板汽封槽堆焊不锈钢，国内尚没有制造厂采用该种形式。

海阳 AP1000 汽轮机特殊静叶主要技术特点如下：

（1）低压缸末三级静叶为精密铸造，单支静叶片加工完成后，与内、外环进行焊接，称为特殊静叶。特殊静叶材料牌号：10715BA；特殊静叶数量：L－0C，76 支；L－1C，86 支；L－2C1，16 支。

（2）末级特殊静叶 L－0C 采用空心结构（电火花加工），外环采用空心结构并与凝汽器相通。外环上设置有与静叶片空腔相通的腔室，在运行时吸附在静叶片上的水滴由于压差的作用通过静叶片上的缝隙进入静叶片空腔，经外环进入凝汽器。该结构能有效去除末级水分，减少对末级动叶片的侵蚀。

（3）汽封片由高质量易磨损的合金钢环片制成。几段汽封组合形成汽封槽，汽封槽固定在静子部件上。汽封槽是弹性退让型的，当与叶片或转子相碰时可向后退让，可避免损坏汽轮机旋转部件（叶片或转子）。

如图 1 为特殊静叶内外环焊接的过程。我们在对海阳 AP1000 汽轮机制造质量监督过程中，发现了部分特殊静叶汽封槽堆焊不锈钢层存在质量缺陷。回顾该事件的始末，有助于我们加深对这一特殊结构形式出现堆焊超标缺陷问题的理解，为我们在今后的工作中处理此类问题提供借鉴和参考。

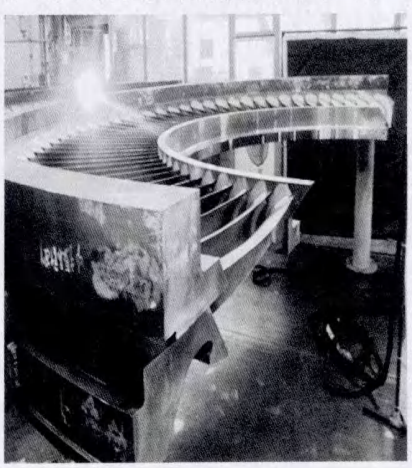

图 1 特殊静叶内外环焊接

2. 缺陷的发现

2010 年 9 月，制造厂对某批特殊静叶环 PT 检查时，发现了超标缺陷：特殊静叶 L－1C RH 下半静叶堆焊密封环凹槽 PT 缺陷，存在凹坑（最大尺寸 4mm ×7mm ×2mm），违反 MHI 内部 PT 要领书（MSF6—1006 R7）的规定，监造人员督促其开启了内部 NCR。

依据 ASME 标准，制造厂内部 PT 要领书，该要领书规定 PT 后以下缺陷不能接受：①裂纹、线性显示。②5mm 以上圆形缺陷。③4 个以上相连圆形缺

陷，间距1.5mm及以下。故制造厂PT检查人员在PT检查发现问题后做出了标识。

对于制造厂来说，这类缺陷已在同类项目相同设备上曾经出现，于是在2010年5月，制造厂相关部门召开了所在国国内某核电站特殊静叶环补修相关问题的会议。根据该会议记录，中国AP1000依托项目若出现该部件堆焊密封环凹槽缺陷，则缺陷之处不作补修，作为不符合项处理，即不作改进的照用。

由于该会议纪录仅是制造厂内部处理意见，既未邀请买方参会，也未将会议记录提交买方认可，故业主可以对该缺陷的处理进行质疑，要求监造服务商督促制造厂认真履行合同职责，对该不符合项的处理进行充分论证。

后来，同类缺陷在2010年11月、12月，2011年1月又陆续出现，更为关键的是缺陷尺寸和量级不断扩大，仅2011年11月，在LP－1：L－1C（RH、LH）、L－0C（RH）低压特殊静叶上就发现三个明显超标的缺陷，如附表所示。

缺陷检测表

序号	部件	发现日期	情况描述
1	LP－1：L－1C（RH）特殊静叶隔板	2010－11－25	汽封槽内表面堆焊层焊接凹坑缺陷，最大尺寸9mm×8mm
2	LP－1：L－1C（LH）特殊静叶隔板	2010－11－25	汽封槽内表面堆焊层焊接凹坑缺陷，最大尺寸13mm×10mm
3	LP－1：L－0C（RH）特殊静叶隔板	2010－11－25	汽封槽内表面堆焊层焊接凹坑缺陷，最大尺寸10mm×4mm

上述不符合项采用的处理方案均为照用，理由是基于制造厂所在国内核电机组经验，由于汽封槽内表面不受外力作用，故缺陷的存在不会影响强度、性能和质量。当再次遇到此类问题时（见图2），纠正措施如下：①对汽封槽内表面不必进行返修处理。②对可修理部位，若出现PT不合格的情况，进行返修处理。③当PT发现不可接受缺陷时，开启内部不符合项。

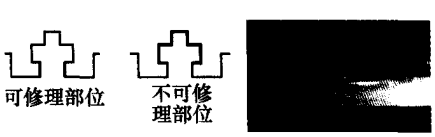

图2　特殊静叶缺陷及处理

该缺陷在特殊静叶制造过程中出现的新情况引起了我们的高度关注，我们立即要求厂家进行根本原因分析。

（1）直接原因　在特殊静叶隔板汽封槽上堆焊不锈钢是设计制造新工艺，是基于制造厂所在国国内用户反馈，大约2000年开始，制造厂使用该设计，然而该工艺过程的设计不成熟。

（2）根本原因　制造厂基于生产成本的考虑，在焊接或机加工过程，疏于管理。

制造厂基于2010年5月10日内部会议记录，认为此缺陷应该记录，但全部采取不作改进的照用，并强调这符合内部质保惯例，而并不违反标准。我们认为，不加识别和纠正措施的统一照用既给设备制造质量带来潜在影响，也违反了制造厂内部要领书，并提出，若要领书的验收标准有误，为何不升级内部要领书版本，通过改变厂内标准的方式，确立此类缺陷的处理方案就是照用或不受影响。

在我们的积极要求下，制造厂进一步提交相关评估文件（属升级版补充），详细从性能、腐蚀、强度、寿期内的维修等角度加以评估论证，并且针对缺陷补充一个适用的厂内验收标准。

至此，特殊静叶汽封槽堆焊不锈钢层存在超标缺陷的问题得到了各方的一致意见，即对于该类超标缺陷进行记录，当缺陷位置在可修理部位时采取挖补修理；当缺陷位置在不可修理部位时，开启内部不符合项，记录缺陷大小，甄别缺陷是否属于制造缺陷，并作不作改进的照用。

3. 缺陷问题的解决

超标缺陷问题发现后，我们立即对监造服务商采取如下要求：①驻厂监造人员收集与不符合项相关的报告、记录及其他参考文件，收集与此相关的监督活动材料，进行审查并提交项目业主。②针对此缺陷，专题组织评审会进行充分论证，评估厂家对不符合项的处理方案。

制造厂在我们的要求下，提交了评估文件，针对业主关心的问题进行了如下回复：①对汽封槽内不能修补的区域进行PT的目的，是为了记录这些缺陷，以便在以后能甄别其为制造缺陷。②根据对汽封槽部位蒸汽参数及承受应力的计算结果，即便汽封槽表面存在缺陷，在寿期内也几乎不能扩张，因此，制造厂判断该处任何缺陷都是允许的。