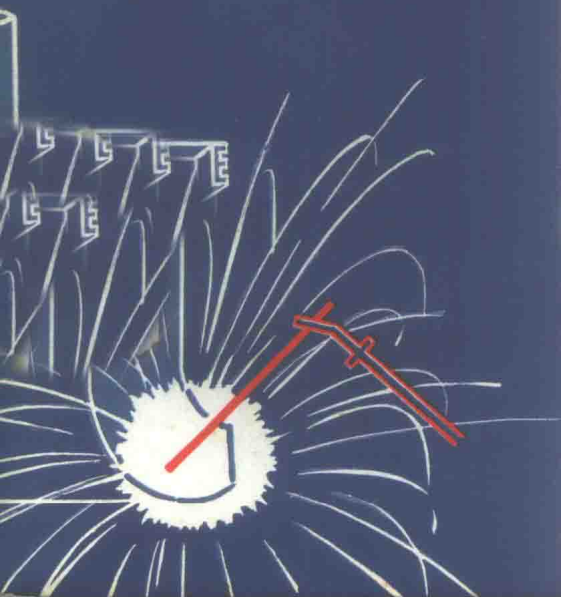


水轮机转轮 汽蚀与裂纹的补焊



水利电力出版社

水轮机转轮 汽蚀与裂纹的补焊

新安江水力发电厂

水利电力出版社

内 容 提 要

本书介绍了混流式水轮机转轮汽蚀及裂纹的补焊方法、补焊工艺，其中包括转轮汽蚀和裂纹的检查、裂纹的补焊、汽蚀的堆焊、变形控制及整形、叶片的修型和翻型等。可供水电厂检修工人和从事水力机械方面工作的技术人员阅读。

水轮机转轮汽蚀与裂纹的补焊 新安江水力发电厂

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

1974年9月北京第一版

1974年9月北京第一次印刷

印数 00001—9850 册 每册 0.15 元

书号 15143·3110

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

工业学大庆

在生产斗争和科学实验范围内，
人类总是不断发展的，自然界也总是
不断发展的，永远不会停止在一个水
平上。因此，人类总得不断地总结经
验，有所发现，有所发明，有所创造，
有所前进。

前 言

解放后，特别是无产阶级文化大革命以来，在毛主席的革命路线指引下，我国的水电建设事业迅猛发展。水电战线广大职工，高举“鞍钢宪法”，深入开展“工业学大庆”的群众运动，独立自主、自力更生，走自己工业发展的道路，在水电站的建设和运行方面积累了丰富的经验。水轮机转轮汽蚀及裂纹的补焊，就是对一些已建水电站的水轮机运行维修的经验总结。

早在一九六六年，水电部生产司组织了新安江、新丰江、丰满、长寿等水力发电厂和原水电部水利水电科学研究院等单位，总结交流了国内若干水电厂在水轮机汽蚀和裂纹处理方面的经验，并编写了“水轮机转轮汽蚀与裂纹补焊工艺”一稿。经过无产阶级文化大革命，各水电厂广大革命职工，抓革命、促生产，大胆创新，大搞科学试验，在实践中进一步发展了水轮机汽蚀与裂纹补焊处理技术，取得了新的成果。为此，在原有书稿的基础上，经我厂的工人、技术人员和领导干部共同讨论，作了修改和补充，重新编写成此书。

在此，我们对编写过程中给予大力支持、帮助的各水电厂和有关部门，表示衷心的感谢！

由于我们实践经验不足，搜集的资料不全面，业务水平有限，书中缺点、错误在所难免，热诚地希望读者给予批评、指正。

编 者

1974.4

目 录

前 言

一、检修前技术资料的记录和统计	1
1. 运行资料	1
2. 汽蚀资料	2
3. 设计制造方面的资料	4
二、汽蚀和裂纹修补的准备	5
1. 工具材料的准备	5
2. 焊接材料的准备	6
3. 对焊工的要求	7
三、汽蚀和裂纹的检查	8
1. 汽蚀面积、深度和失重的测量方法	8
2. 裂纹的检查方法	9
四、裂纹的补焊	16
1. 裂纹补焊前的要求	16
2. 对坡口的要求	16
3. 预热和预热方法	18
4. 裂纹的补焊工艺	20
五、汽蚀的堆焊工艺	24
1. 汽蚀处理区域的决定	24
2. 汽蚀处理区域的铲削	25

3. 炭弧气刨与工艺.....	26
4. 汽蚀的堆焊工艺.....	31
5. 堆焊的注意事项.....	34
六、补焊的变形	39
1. 转轮变形的分析.....	39
2. 转轮变形的监视.....	40
3. 对转轮变形的几种抑制方法.....	43
七、转轮的修型与整形工艺	45
1. 转轮的局部整形.....	46
2. 叶片的修型.....	47
3. 叶片的测型与绘型.....	49
八、质量要求和检查	58
1. 对转轮变形的要求.....	58
2. 对转轮补焊的要求.....	59

一、检修前技术资料的记录和统计

为了对水轮机汽蚀情况作全面了解，分析水轮机在设计、制造、运行等方面的因素对汽蚀的影响，抓住主要矛盾，找出汽蚀的发生、发展规律，以便采取有效措施防止和减轻汽蚀破坏，在运行中必须积累、统计有关资料，并在检修前，对有关技术资料进行研究分析。

1. 运 行 资 料

运行资料包括：运行工况（水头、负荷、吸出高程等）及运行时间，这些对汽蚀发展有着直接影响。

在一般情况下，吸出高度 H_s 愈安全，汽蚀愈轻。偏离设计工况愈远，汽蚀愈严重。运行水头的变化，使汽蚀的程度与部位也发生相应的变化。因此，积累必要的运行资料，有助于我们具体的分析每台机组的汽蚀规律。

在一个检修周期内，实际运行的负荷、水头、吸出高度等各种运行参数的组合比较复杂，过去各水电厂都按自己的运行特点进行分档统计。一般可根据水轮机主要综合特性曲线，将混流式水轮机运行区分成九块：即横向分成（1）50%额定负荷以下；（2）50~80%额定负荷之间；（3）80%额定负荷以上。纵向分成（1）设计水头的75%以下；（2）设计水头的75~100%；（3）设计水头以上。吸出高度可用厂家所给的吸出高度与实际运行进行比较。

在一般情况下可参考上述原则进行统计，其中影响重要的工况应详细进行统计，如运行工况变化不大，也可以只统计总运行小时（不包括调相运行小时）和总发电量。

2. 汽 蚀 资 料

汽蚀资料包括：汽蚀的位置、面积、深度，用以判别各台机组汽蚀的严重程度、汽蚀的特点，估算检修工作量。

混流式水轮机汽蚀，一般发生在转轮、导水叶、尾水管壁三个部件上，而以转轮的叶片、上冠、下环为严重。如：叶片背面的中部靠出水边，叶片背面靠近上冠、下环的附近，下环内侧，上冠叶道间，上冠减压孔附近，以及叶片背面过流时的低压区后面，都是常见的汽蚀区域，有的因为叶片型线和运行工况不好，也曾引起叶片正面的局部汽蚀。

在轴流式水轮机中，除转轮和导水叶发生汽蚀外，转轮室内壁也是常见的汽蚀区域。

转轮型号不同，汽蚀区域也有所不同，即使是同一台水轮机，各叶片的汽蚀位置和程度也有所不同。为了简化叶片

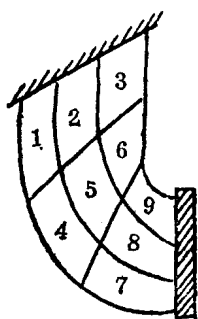


图 1 叶片分区图

汽蚀区位置的表达方法，混流式水轮机转轮可以将叶片的背面分成九个区，如图 1 所示。以“Y”表示叶片，“Y”前的数字表示叶片序号，“Y”后的数字表示汽蚀区域，如 3 号叶片背面靠上冠泄水边，可表示为：3Y1，5 号叶片背面靠下环处，可表示为：5Y7、

8、9，4号叶片背面泄水边4区和5区的交界部位可表示为：4Y4~5等等。

为了在下一检修时，便于查对汽蚀区的变化，对于汽蚀面积较大或汽蚀较深的区域，必须以叶片进水头部或尾部为固定坐标定出它在叶片上的确切位置。每个汽蚀区要测形状、面积、深度（平均深度，最大深度）、特点等。

汽蚀发展程度，可用以下四个特征来表示：

（1）金属变色：这是汽蚀破坏的初始阶段，失去了金属光泽，表面灰暗。

（2）针孔状：也称麻点状，深度一般在1~2毫米以内。

（3）海绵状：也称蜂窝状，金属已受严重破坏，表面十分疏松，深度在3毫米到几十毫米，如图2所示。

（4）孔洞：通常发生在叶片泄水边厚度较薄的地方，穿孔或整块脱落，如图3所示。



图2 汽蚀呈海绵状



图3 出水边汽蚀呈孔洞状

为了说明转轮汽蚀的严重程度，目前，我国一些单位提出，用一个平均概念表示：

$$K = \frac{\nabla}{FT}$$

式中 K ——汽蚀指数（毫米/小时），

∇ ——汽蚀的体积（米³×毫米），一般粗略用汽蚀面积乘汽蚀平均深度，

F ——叶片背面总面积（米²），

T ——运行时间（不包括调相运行，小时）。

汽蚀指数 K 给出了叶片在单位时间、单位面积上的平均金属汽蚀量。有的把 K 值的分子换算成汽蚀掉的金属重量（克），把分母换算成总发电量（万度），则 K 值表示每发一万度电转轮汽蚀的失重。

3. 设计制造方面的资料

在有条件的电站，应了解该型号转轮的设计、制造和模型试验的历史情况。制造上的缺陷，是水轮机产生局部汽蚀的重要原因之一。在制造厂已堆焊或敷焊的转轮，应了解处理的部位和使用的原材料。有的转轮，在出厂前发现有制造裂纹或开口超差等情况，制造厂应提供处理记录和有关资料。在第一次检修前，应测出叶片的厚度、开口、翼型和光洁度等方面数据，记录叶片局部的棱角、凹陷、鼓包、裂纹等情况。对于典型的叶片，如汽蚀最严重或最轻的叶片，应测绘出通过汽蚀区的叶型曲线，以便分析产生局部汽蚀的原因。

二、汽蚀和裂纹修补的准备

为了使转轮汽蚀和裂纹处理工作能顺利进行，在补焊前应作好如下准备工作：

1. 工具材料的准备

工具材料一般应经过试验鉴定，工具设备必须符合安全规程及有关技术文件的要求。

1. 焊接设备

焊接设备包括300型（如AX3-300-1型、AX4-300，AX9-300等）和500型（如AX1-500型，AX7-500型，AX8-500型，AX9-500型）直流电焊机，以及焊把、电焊线、烘箱等。

2. 铲磨设备

（1）风铲与风铲头，铲头应用弹簧钢或优质工具钢制作。

（2）炭弧气刨工具与炭精棒（片）。

（3）砂轮机与砂轮片：砂轮机一般用风动砂轮和软轴电动砂轮；砂轮片一般用直径 $\phi 100\sim 150$ 毫米、磨料粒度在30~45的中硬（代号ZY₁、ZY₂、ZY₃）普通氧化铝（代号G）的砂轮片。

3. 探伤设备

探伤设备包括超声波探伤设备，着色探伤用具与溶液，

电磁探伤设备与磁粉。

4. 加温与保温设备

这种设备包括乙炔发生器、氧气瓶、割枪、电炉、电缆线、石棉板、石棉布等。

5. 测量工具与仪器

(1) 自制的汽蚀深度测量器、钢卷尺、钢板尺、内外卡钳、千分表、塞尺等。

(2) 转轮叶片测型工具，铅条与退火的紫铜条。

(3) 测温设备，如水银温度计、半导体点温度计。

6. 其他设备

如行灯变压器与行灯、放大镜、消灭设备等。

2. 焊接材料的准备

1. 抗汽蚀补焊材料的选择

转轮汽蚀破坏的机理，一般认为主要是机械和腐蚀的联合作用。

用国产的奥102、奥107、奥112、奥132（相当于18~8系列奥氏体不锈钢焊条），以及进口的18~8系列和25~20系列不锈钢焊条进行堆焊，都具有较高的抗汽蚀性能。这类焊条中含有较高的铬和镍，尤其是镍，如用进口的，价格高昂，所以，近几年来，一些研究单位，坚持党的“独立自主，自力更生”的方针，走科研与生产实践相结合的道路，研究出很多抗汽蚀电焊条，其中堆277、堆276两种高铬锰耐汽蚀堆焊电焊条，通过实际运行考验表明，具有高于18~8、25~20系列不锈钢电焊条的抗汽蚀性能，并且生产原料丰富，价格低廉。

堆277是低氢型药皮的堆焊电焊条，采用直流电源，焊条接正极，焊缝金属能加工硬化，富有韧性，并且具有良好的抗裂性能。堆焊层硬度 $RC \geq 20$ ，堆焊金属主要成分为：碳小于或等于0.3%，锰10~14%，铬12~15%。堆276可交直流两用（交流时空载电压大于70伏），其他与堆277相同。

我国西北的一些电站，水中含有大量泥沙，转轮与过流部件不但有汽蚀的破坏，而且有泥沙的磨损。所以堆焊的焊条不但应具有良好的抗汽蚀性能，而且应具有一定的抗泥沙磨损的能力。国产的堆217是一种铬钼钒型堆焊电焊条，低氢型药皮，铬钼合金钢芯，采用直流电源，焊条接正极，用于堆焊受泥沙磨损和汽蚀破坏的水力机械上，取得了较好的效果。堆焊层硬度 $RC \geq 50$ ，堆焊金属主要成分为：碳约0.35%，铬约9%，钼约2.5%，钒约0.6%。

在堆焊处理中，为节省抗汽蚀电焊条，底层可用优质低碳钢焊条，如结426、结427、结506、结507等电焊条。在表面堆焊1~2层抗汽蚀电焊条。

2. 裂纹焊补材料的选择

由于裂纹焊补时的局部应力集中，极易引起焊缝本身裂纹或转轮其他部分开裂。除采取适当的预热和保温等措施外，必须选用具有良好的塑性、韧性及抗裂性能的电焊条，如结426、结427、结506、结507等优质电焊条。

3. 对焊工的要求

因转轮汽蚀和裂纹的补焊技术比较复杂，工艺要求较高，焊工应能较好地掌握立焊和仰焊技术，熟悉工艺措施，并符合以下要求：

(1) 按焊接规程要求, 在施焊前应进行试焊, 以摸索焊接的规律和经验。

(2) 要求焊波表面平整、光滑, 焊缝内一般应无气孔、夹渣和未焊透现象。

(3) 熟悉所使用焊条的工艺性能, 并能熟练地进行操作。

(4) 焊工应基本熟悉转轮叶片形状, 抗汽蚀层应按叶型曲线进行堆焊。

三、汽蚀和裂纹的检查

1. 汽蚀面积、深度和失重的测量方法

汽蚀面积可用涂色翻印法测量。在汽蚀破坏区周边涂刷墨汁、油墨或其他颜料, 在涂料干燥前用纸印下, 再将纸放在刻有 10×10 毫米方格的玻璃板下, 用数方格或求积仪求其面积, 将每块汽蚀区面积相加, 即得整个转轮的汽蚀面积。形状简单的汽蚀区域, 可以直接用几何的方法求得。

汽蚀深度可用自制的汽蚀深度测量器测定。汽蚀深度测量器如图4所示。曲线弓1可用厚8~10毫米、宽25~30毫米的铝板制成。要求轻便实用, 有一定的刚度和塑性, 可以在不大的范围内变动其曲线形状; 曲线弓的长度依汽蚀区域的大小而定, 带有刻度的测针5连同紧固零件可在曲线弓的槽内滑动, 测定沿曲线弓曲线上的各点深度。测量时先将曲线弓1弯至与被测部位曲线相同, 轻轻靠紧叶片, 防止曲线弓

变形，将测针5插入被测点，再旋紧紧固螺丝帽2，使测针固定于曲线弓上，曲线弓下缘测针的读数即为该点汽蚀深度。

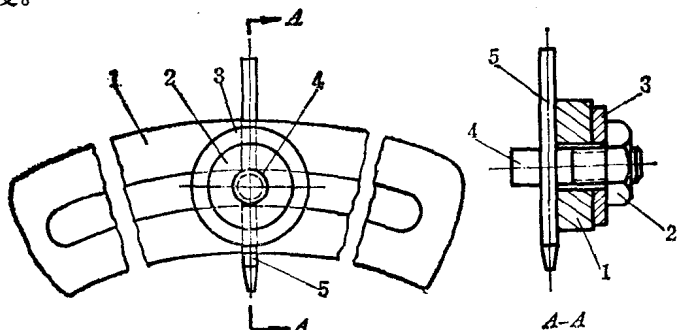


图4 汽蚀深度测量器

1—曲线弓；2—紧固用滚花螺帽；3—垫片；4—紧固螺栓；5—带刻度的测针

测量精度要求不高时，可用目测或在汽蚀区域插入大头针，再用钢板尺量取。

为了较精确的求取转轮的汽蚀失重，可以用面粉或腻子，按叶片的曲线形状涂抹在转轮汽蚀区上，然后取下进行称重，按其比重换算转轮的汽蚀失重量。

2. 裂纹的检查方法

由于混流式水轮机形状复杂，上冠、下环的刚度较大，叶片刚度较小，叶片与上冠和叶片与下环的交角处是转轮的应力集中区，容易产生裂纹、气孔、夹渣等铸造缺陷，尤其是裂纹，它使转轮强度大大降低。有一些转轮投入运行以后，由于振动、超负荷等原因，再加铸造的缺陷，使转轮产

生疲劳裂纹，这给机组的安全运行造成严重威胁，因此及早发现，及时进行处理是很重要的。

仅凭肉眼和放大镜检查裂纹等缺陷，远远不能满足要求，必须进行探伤检查。金属探伤检查的方法很多，一般有着色探伤法，荧光探伤法，电磁探伤法，超声波探伤法，X射线探伤法和 γ 射线探伤法等。其中着色探伤法、电磁探伤法、超声波探伤法应用得比较普遍，尤其是前两种方法，需要的设备简单。现简单介绍如下：

1. 电磁探伤法

电磁探伤，是利用电磁原理来检查金属缺陷的。它利用电流产生磁力，使工作物磁化，而具有磁性，然后在工作物上撒上铁粉，或者铁粉与油的混合液。在有裂纹的地方由于磁力线外泄，形成局部磁极，磁力就特别强，铁粉便集中在此处，并沿着裂纹的形状，形成一条由铁粉组成的黑线。因此观察转轮上有无集中的铁粉黑线，便可以确定转轮是否有裂纹。

由于裂纹或缺陷的长度和深浅不同，所以在裂纹各处的磁力线泄漏也有所不同，铁粉聚集时各处的粗细也不一样，因此按聚集的铁粉形象便可以大致判断裂纹的深度和长度。但对于内部的裂纹和缺陷，由于磁力线不大可能泄漏到外表面，因而采用电磁探伤是不大容易发现的。

电磁探伤只适用于具有磁化性能的物质，因此只适用于铸钢或钢铁合金的转轮，对于不锈钢转轮或转轮表面堆焊、敷焊不锈钢的区域是不能应用的。

转轮的电磁探伤一般都是用直接磁化法进行。电源用普通的大直流电焊机，如AX7-500型直流电焊机。工作前将电焊机的两条电线（地线和火线）安装上两个特制铜触头作为