

中华人民共和国电力行业标准

DL / T 5070—1997

水 轮 机 金 属 蜗 壳 安 装 焊 接

工 艺 导 则

条 文 说 明

主编部门：中国水利水电第七工程局

中国水利水电工程总公司

批准部门：中华人民共和国电力工业部

中国电力出版社

1997 北京

目 次

- 1 范围
- 2 引用标准
- 3 术语、定义
- 4 一般技术要求
- 5 蜗壳管节的拼装与焊接
- 6 蜗壳安装
- 7 蜗壳焊接
- 8 蜗壳焊接检验
- 9 蜗壳加固与变形监测
- 10 蜗壳水压试验

1 范 围

1. 0. 1~1. 0. 3 明确指出了本导则仅用于以抗拉强度等于或小于 600MPa 级钢材为基本材料的大中型混流式水轮机金属蜗壳现场组合安装焊接及检验工作。
1. 0. 4 明确了本导则编制的依据是现行的有关规程、规范和蜗壳安装实践中行之有效的施工经验和工艺方法。

2 引 用 标 准

本章中列出了本导则引用的国家标准、行业标准。

3 术 语、定 义

本章对导则中出现的常用术语作出了明确的定义。

4 一 般 技 术 要 求

4. 1 蜗 壳 瓦 片 质 量

4. 1. 1 蜗壳瓦片是组成蜗壳的最基本单元。蜗壳瓦片质量的优劣是整台蜗壳安装质量的关键。本条规定必须用一定弦长的样板检查蜗壳瓦片的弧度，并给出了允许的间隙值（详见正文表 4. 1. 1）。
4. 1. 2~4. 1. 3 条文规定了蜗壳安装前在现场对蜗壳瓦片的外观质量及焊接坡口进行检查，只有在检查合格后方可使用。
4. 1. 4 对不能立即组装焊接的蜗壳瓦片坡口涂刷虫胶漆片或坡口漆是保护焊接坡口清洁，防止生锈的行之有效的措施，在龚咀电站、岩滩电站都曾使用过、效果良好。

4. 2 焊 接 材 料

4. 2. 1~4. 2. 2 焊接材料与钢材是否配套，焊接材料性能是否稳定，是直接影响焊缝质量的重要因素，施工单位在使用前应进行核实检查，并通过焊接工艺评定给以确认，无合格证、质保书、性能不稳定、评定不合格的焊接材料严禁使用。
4. 2. 3、4. 2. 5 焊条、焊剂使用前的烘焙处理是焊接质量保证中的重要一环，应设专人管理。未按说明书要求烘焙的焊材不得使用。焊条经两次烘焙没有用完，不能再用于重要焊缝焊接。
4. 2. 4 为了避免焊条吸潮影响焊缝质量，条文规定了焊工一次携带焊条的数量，并规定焊条应存放在焊条保温筒内，随用随取。

4. 3 焊 工

4. 3. 1~4. 3. 2 本条文指出参加蜗壳焊接的焊工，必须按《锅炉压力容器焊工考试规则》或 SL35 的规定考试合格。在新钢种、新焊接材料焊接

前，焊工应作熟练性操作培训并作焊接试板检验，检验合格后方可参加蜗壳正式焊接工作。

4.4 施工技术人员

4.4.1~4.4.2 条文对负责蜗壳安装焊接工作的主要技术负责人提出了资历要求，并明确了技术人员的主要职责。

4.5 焊缝分类

本节根据蜗壳焊缝的受力情况和重要性将焊缝分为三类。

4.6 焊接工艺一般规定

4.6.1 规定了在新钢种蜗壳焊接前应按 DL5017 第 6.1 节的规定进行焊接工艺评定，并应根据评定成果编制用于指导焊接施工的焊接规程。

4.6.2 在蜗壳焊缝焊接中，对诸如焊接层次、焊道宽度、层间接头错开尺寸等作了明文规定。

4.6.3 对蜗壳常用钢种允许不预热焊接的温度及对应板厚范围作出了明文规定。同时提出：①当板厚小于规定不预热板厚时焊前亦应予以适当预热，其目的是去潮湿；②当环境温度高于允许不预热焊接最低环境温度时，焊接前亦应适当加温去潮湿。

4.6.4 条文对常用钢种提出了焊接前预热参考温度，并规定了焊缝每侧的预热宽度和预热焊接时的层间温度不应低于预热温度值，当本条文提出的预热温度与设计有出入时应以设计要求为准。

4.6.5 明确了不得进行焊接工作的环境条件，这是一项强制性规定，在施工中应严格遵守执行。

4.6.6 规定在一般情况下蜗壳的焊缝焊接应采用分段退步焊，其分段长度为 200mm~400mm。

4.6.7 提出了焊接接头装配间隙控制值及大间隙补焊要求。

4.6.8 严禁在钢板表面随意引弧，是焊接工艺方面的要求，这一点在碎硬性的高强钢焊接中尤为重要，是参加蜗壳焊接工作的焊工必须遵守的工艺导则之一。

4.6.9~4.6.10 定位焊缝的质量，会直接影响正式焊缝的质量。在蜗壳焊接时，应对定位焊缝质量进行外观检查，发现裂纹、气孔等缺陷应清除重焊，如焊缝要求预热焊接，则定位焊缝亦必须由合格焊工，使用与正式焊缝焊接相同的焊条、焊接规范作预热焊接，高强钢蜗壳正式焊接时一般应将定位焊缝全部刨掉如用碳弧气刨作背缝清根，则应用砂轮机将渗碳层磨掉，方可作背缝焊接；对封底焊后无法作背缝清根的焊缝，应采用软质焊条或小直径焊条和单面焊双面成型工艺进行焊接，其目的是保证焊缝质量，提高根部焊缝的塑韧性，防止产生裂纹。因此在这部分板件装配时应注意提高装配尺寸精度和焊接坡口制备装配精度，以提高和保证单面焊

双面成型工艺的效果。

4. 6. 11~4. 6. 16 对蜗壳焊接过程中的一些具体问题提出了具体的要求和规定。

5 蜗壳管节的拼装与焊接

5. 1 单节蜗壳拼装与焊接

单节：即指一个 C 形段，它由几块瓦片组焊而成。

5. 1. 1~5. 1. 3 条文规定了单节蜗壳的拼装应在钢平台上进行，并提出了拼装具体要求，对焊接反变形控制提出了推荐数值，供施工单位参考。

5. 1. 4~5. 1. 5 对 X 形坡口和 V 形坡口纵缝的焊接变形控制提出了具体焊接工艺措施。

5. 1. 6 规定单节蜗壳圆度和开口尺寸的调整及支撑安装应在拼装焊缝质量检验合格后进行。在高强钢蜗壳上装焊支撑时，其焊接工艺应与主缝焊接相同。

5. 2 蜗壳对装与焊接

5. 2. 1~5. 2. 3 当蜗壳安装现场吊装运输条件允许时，为更好地调配劳动力，加快安装进度，应尽可能先将两单节蜗壳在钢平台上对装焊接成一大节，本条文中对对装质量提出了具体规定。

5. 2. 4 对蜗壳对装后的焊接工作提出了具体要求，并且从减小蜗壳与座环蝶形边对装时的刚度，降低装配应力的角度，提出在对装蜗壳环缝两开口段先留出 300mm~500mm 长度不焊，或只作封底清根的具体措施，这一措施在大厚度蜗壳的对装时更显得重要。

6 蜗壳安装

6. 1 蜗壳安装应具备的条件

本节对蜗壳安装前必须具备的条件作出了明文规定。

6. 2 蜗壳安装顺序

6. 2. 1 由目前国内已建的五强溪、隔河岩、漫湾、天生桥、岩滩等大型电站来看，蜗壳的凑合节及定位节的数量无一定规律。

本条以两个凑合节、两个定位节结构为例，对蜗壳安装顺序作了规定。

6. 2. 2 提出了“安装环缝条数不应超过正在焊接的环缝两条，尾部单节安装允许增加一条”的规定。如果安装环缝条数超过过多则会因管节自重影响，造成正在焊接环缝的焊接应力增大，这显然是不利的。

6. 3 蜗壳安装方法及要求

6. 3. 1 定位节安装

6. 3. 1. 1~6. 3. 1. 6 定位节是蜗壳安装的首节，也是以后各节安装

的基准节,定位节的安装质量对整台蜗壳的安装质量有着至关重要的影响,条文中指出定位节安装时应重点控制其上游进口断面的几何中心偏差、高程、管口倾斜及最远点半径的安装误差。定位节调整好以后,必须进行牢固的加固,加固不但应有足够的强度还应保证有足够的刚度,以免在其它管节安装焊接时造成定位节“跑位”。加固后去除吊具应对定位节的安装误差作出全面检测记录,在确认无误后方可安装其它管节。条文中对定位节的安装程序、方法作了阐述,对安装允许偏差提出了明确规定。

6.3.2 其它管节安装

6.3.2.1~6.3.2.2 其它管节安装的程序方法与定位节相同,应注意的是在蜗壳上、下蝶形边与座环对装调整时应特别注意管节环缝的对装间隙,一般控制在5mm左右为宜,如间隙过大,会造成压缝时拉不拢,从而增加坡口补焊工作量,间隙过小则导致焊接困难,增加背缝清根工作量。

6.3.2.3 环缝对装压缝,应由上、下蝶边开始逐渐向腰线部位进行,在压缝前应测量对口上、下游两节管口的外周长,并估算可能产生的错牙数值。压缝时,使错牙均匀分布在整条环缝上,并保证其错牙值不大于板厚的10%。

6.3.2.4~6.3.2.5 在其它管节安装时应测量控制其出口断面的高程和最远点半径尺寸偏差在表6.3.1规定的允许偏差范围内,以保证下一节安装的精度,如果出现超差应分析原因,调整处理,并认真作出记录。

6.3.3 带过渡板管节的安装

6.3.3.1~6.3.3.3 带过渡板管节一般均在制造厂进行过预装配,因此现场安装时应特别注意厂家的组装标记。这种管节的安装应从腰线处开始,逐渐向开口处压缝,并认真检测调整断面的几何中心和高程,调整合格后作可靠加固。

6.3.3.4 小块过渡板(即耳板、舌板)在第一定位节和带过渡板管节安装调整并加固后安装,属于封闭性板块。其装配精度对焊缝的应力水平有很大影响。另外,其与蜗壳管节的组合焊缝的背缝,焊接条件较差,有些焊缝需采用单面焊双面成型工艺进行焊接。因此对焊接坡口的制备要求较高,所以,本条规定应先进行试装,在确认板块位置尺寸无误后再修磨坡口。

6.3.4 尾节安装

蜗壳尾部在制造厂一般均作过预装,安装时应注意其标记,尾节安装时,应综合考虑其与固定导叶的对接和进口断面最远点半径及座环上的蜗壳分度点对位。

6.3.5 凑合节安装

6.3.5.1~6.3.5.3 凑合节安装应在其它管节装完且全部环缝焊接结束后进行。其安装方法是:将凑合节的瓦片盖在蜗壳的凑合段位置上,并用压缝器压紧,然后进行切割并压缝。切割、压缝应从蝶形边开始,切

割一段压一段缝，切割中应注意控制割枪的倾斜角度，避免对口间隙过大。为防止凑合节瓦片沿圆周方向窜位，应用拉紧器将凑合节瓦片与座环拉紧。

6.3.5.4~6.3.5.5 蜗壳与钢管联接的凑合节安装方法与蜗壳凑合节相同。为保证凑合节安装后与蜗壳进口段和钢管平滑过渡，在安装蜗壳与钢管过渡段时就应充分考虑钢管的安装偏差以逐渐调正过渡。

6.3.6 加强板安装

6.3.6.1~6.3.6.3 座环与蜗壳蝶形边处的连接加强板应在蝶形边焊接并检验合格后按实际状态取样下料，边修正边装配点焊。

7 蜗壳焊接

7.1 蜗壳环缝焊接

7.1.1 蜗壳只有一个凑合节时，蜗壳环缝焊接自定位节开始按顺时针方向进行，尾部则由导板向逆时针方向进行，当蜗壳有两个凑合节时，两凑合节之间的环缝则根据安装顺序方向进行焊接。

7.1.2~7.1.3 蜗壳焊接方法采用多层多道、对称分段、退焊，焊工人数根据蜗壳环缝周长确定，一般每位焊工施焊长度不宜超过 3m，当环缝为 X 形坡口时一般先焊仰焊一面，然后再背缝清根焊接，焊接要求与蜗壳的对装焊接相同。

7.1.4 条文对蜗壳环缝焊接，尤其是高强钢蜗壳环缝的焊接提出了严格的规定。

7.2 耳板、舌板焊接

7.2.1~7.2.4 耳板、舌板与座环固定导叶连接焊缝的焊接由于空间位置限制有一定难度，条文中对焊工、焊接坡口清理和焊接变形控制及焊接工艺作出了规定。

7.3 凑合节焊接

7.3.2~7.3.3 凑合节第二条环缝是整台蜗壳安装的最后一条环缝，即封闭环缝，焊接时必须采取以降低焊接应力为目的工艺措施。条文中规定该焊缝应连续焊完，且从第二层焊道开始到盖面前最后一层焊接止，应配合锤击以消除、减小焊接应力，并推荐在封底焊时采用叠焊工艺（这些措施是被实践证明的行之有效的消应措施），另外对高强钢蜗壳，该焊缝焊后应按设计要求认真作好后热消氢处理。

7.3.4 连接钢管段凑合节最后一条封闭缝的焊接关系到座环的变形，且与混凝土浇筑方案有关，焊接前应根据具体情况组织有关方面负责人作专题研究，制订切实可行的方案。

7.4 蝶形边焊接

7.4.1~7.4.3 蝶形边焊缝为圆周封闭环形焊缝，如焊接工艺不当，

不仅会在焊缝上出现问题，还会影响座环的水平度，条文对其焊接工艺作了具体规定，主要有以下两点：

- 1)沿圆周均分长度，由多名焊工同时对称施焊且应保持焊接速度一致。
- 2)焊接顺序为先上（蝶形）边，后下（蝶形）边；先外侧（非过水面），后内（过水面）侧，且连续焊完。

7.5 加强板焊接

7.1.1~7.5.3 提出了加强板的焊接顺序及焊接工艺要点。

8 蜗壳焊接检验

8.0.1 规定蜗壳焊缝应做无损探伤检查，检查方法可任选 X 射线探伤或超声波探伤中的一种，对重要焊缝可根据设计要求做磁粉或着色探伤。

8.0.2~8.0.3 规定了 X 射线探伤和超声波探伤检查的长度。质量检验标准和相应验收级别，并要求在对缺陷进行判断产生怀疑时利用两种探伤方法做互补检查，其主要目的是提高缺陷判断的准确性，以减少焊缝返修次数，这在高强钢焊接接头检查时更显得重要。

8.0.5~8.0.6 规定了无损探伤人员的资格等级和蜗壳焊缝探伤检查的时间。当焊缝不作热处理时，应在 24h 即焊缝完全冷却后进行探伤。如焊缝作焊后热处理则应在热处理结束 24h 后进行探伤。由于延迟裂缝，有延时开裂的规律，所以条文要求在 72h 后再进行复探。

8.0.7 焊缝缺陷的返修工作不能忽视，尤其是高强钢焊缝更应重视。在焊缝缺陷返修中往往会在处理段两端产生新的焊接缺陷，所以在返修后复探时，应特别注意返修段两端头及热影响范围内的质量情况。

9 蜗壳加固与变形监测

9.0.1~9.0.2 蜗壳安装如果加固不牢或加固不当，都会在混凝土浇筑时产生变形，给机组的安装造成麻烦，这一工作应引起重视。蜗壳的加固应同时满足加固强度和加固刚度的要求，而从变形的角度来看，后者更显得重要，一般应先作出加固方案，然后实施。在方案中应确定蜗壳变形监测点和监测方法，以保证混凝土浇筑前后点位不变、方法统一、结果可靠。

10 蜗壳水压试验

蜗壳水压试验在国内进行的不多。水压试验一般是在蜗壳与外包混凝土按联合受力的方式设计时，施工中以水压试验向蜗壳内充水，寻找混凝土与蜗壳联合受力的临界点，在此临界点上保持水压不变，浇筑二期混凝土。机组运行时，当蜗壳内水压超过此临界压力点时，则混凝土开始受力，如二滩电站蜗壳，在充水为相当于最大水头静压力下（即 1.91MPa）浇筑混凝土，水压试验的最高压力为静水压力加水击压力（即 2.31MPa）的 1.5

倍，即 3.465MPa。本导则中指的设计有特殊要求，即指混凝土与蜗壳为联合受力情况。既然要向蜗壳内充压力水，寻找临界压力点，则可以借此做水压试验。

当蜗壳上半部铺有弹性垫层时，蜗壳在任何工况下均为单独受力，不存在充水寻找联合受力的临界点的问题。所以对于这种情况，当仅仅以检验钢板材料性能或安装焊接质量为主要目的而要求做水压试验时，对多台机组可仅做一台的试验，或不做水压试验而用其它方式来检验安装、焊接质量。按照国内水电施工企业对高强钢或低合金结构钢蜗壳的安装、焊接施工经验或工艺水平，能做到不做水压试验而保证安装焊接的质量。

水压试验的另一个主要目的，是消除材料中的和安装焊接而造成的内应力。若设计按此原则选择蜗壳的材料和结构尺寸，则应按设计要求做水压试验。

例題 10.10.1 (continued) 今、第 10.10.1 節の自由粒子の波動関数 $\psi(x)$ は、0.01 nm の幅の箱に閉じ込められており、箱の両端に $x = 0$ と $x = 0.01$ nm である。箱の両端で $\psi(x) = 0$ である。箱の両端で $\psi(x) = 0$ である。箱の両端で $\psi(x) = 0$ である。

[illegible]