

水轮机蜗壳的结构设计问题探究

戚孟镇 任尚洁

浙江富春江水电设备有限公司 浙江 杭州 311121

摘要: 在中国市场经济的建设步伐越来越加快的情况下,中国水力发电工程也取得了相当的进展,在水电站中,水轮机作为驱动电能提供所必需的重要装置,其利用效益直接关系到水电站工作的安全稳定。为水轮机可顺利运行,调速器是其中调整发电机速度的主要元件之一,它可以确保水轮机在工作期间更加安全、平稳,对保障整个水电站顺利运转具有积极意义。

关键词: 水轮机;蜗壳;焊接安装工艺

引言:在水电站厂房中,蜗壳构造属于水轮机的主要内容,有很大的导流功能,其结构设计的合理性将直接关系到发电机运行效果。目前,对大中型水电站来说大多使用金属蜗壳,但近年来由于软垫层金属蜗壳技术的获得广泛应用,能有效减少内部金属蜗壳与外部钢筋之间的应力的相互传导,使钢筋效率和配筋量都得以显著提高。

1 蜗壳的结构设计

1.1 钢蜗壳的外层

钢蜗壳的外层面包有预应力材料混凝土,两者之间或填以弹性垫层构成,或预留空间,形成不同复合材料构成的共同支撑结构,这样才能保证重量分配比的实现,比较安全。

1.2 钢蜗壳的支撑方式

钢蜗壳为大型的薄壁结构,因此需要进行吊装、焊接、(水压试验)、(充压)混凝土浇筑充水、放空等各种运行情况,这应对蜗壳采取了什么样的支撑方法。

1.3 压力容器补强问题

在水轮机运行中,蜗壳是指一种外形如蜗、内部开口大的引水管;当水轮机静止而压水不放空之后,蜗壳上即成为了一个大开口式钢制压力容器。检查蜗壳上的进人门、排水阀、测量表计等孔内,是否应按压力容器要求补强。

1.4 防水措施

不管是设弹性垫板、还是充压钢筋砼,在操作中钢筋蜗壳与砼间的空隙中都不允许充有水分,采取什么办法来保护。

1.5 焊接残余应力

随着机组水头和容量的不断增大,蜗壳钢板的厚度已经达到70mm以上,如何考虑和解决焊接残余应力及其影响。

2 设弹性垫层和充压浇筑混凝土

2.1 充压混凝土工艺。充压后蜗壳自然下沉,此时浇注混凝土,在孔隙水压力撤布时蜗壳和钢筋之间可以产生设计好的空隙。它也提供了给定的压力分配比例。充水压力之下的中水压力完全由钢蜗壳所承受,充水压力之上部分的压力则由钢蜗壳与外包混凝土共同承受。

2.2 垫层法。①在蜗壳上零点五圆铺设弹性垫板时,情况就要不利一些基础垫层材料必须具备弹性模量低、吸水性差、抗老化、抗腐蚀、徐变小而平稳、费用便宜、施工简单等特性。②水力发电站的寿命很长,如国内丰满水力发电厂有六十余年历史,世界上还能发现年过百岁仍在服役的水力发电厂。

2.3 蜗壳开口处的加固、支撑设计和排水

蜗壳上一般包括进人门、蜗壳泄水阀、试压计接口等配件。目前对这些附件的孔口设计方式还不明确,有补强的,也有不补强的,所以笔者主张必须要更严格地按照ASME"锅炉与压力容器规程"的要求进行补充设计。

2.4 蜗壳焊接残余应力和疲劳强度

2.4.1 随发电机使用水头和能力的日益增加,大型中、高水头混流式水轮机的蜗壳钢板也愈来愈大。

2.4.2 由于蜗壳的残余应力非常高,现场也不能够合理地进行去残余应力处理。这些接近屈服强度的残余应力,再乘以工作应力,即可使壳体某些小"裂纹"所在区域实际上达到全面屈服。

2.4.3 蜗壳在服役期中会经过几次充水和放空过程,从受力角度看,就有多次内部应力循环。

2.4.4 模型试验和电站运行行业已证实,蜗壳内亦存在压力脉动,其量值一般不超过运行水头的5%~7%。

3 蜗壳的拼装和焊接方式

对于蜗壳的拼装和焊接要慎之又慎,粗心大意的安装,不仅会造成材料浪费,增加建造成本,严重还会使

瑕疵品作用于实际使用中,造成后续大损失。蜗壳拼装中关于蜗壳各断面搁置的平台平面度误差应该控制在2mm左右。为了保证不损坏蜗壳零件,可以采用汽车吊杆将所需的蜗壳瓦片移动至拼装平台上,用专业性的用具调整瓦片进行拼接。将施工位置调整准确后,按照焊接施工图,进行蜗壳焊接,焊接的主要部分是蜗壳纵缝,应该先考查角度变形值,然后从一侧进行焊接打底,两次焊接纵缝对称焊接。在焊接过程中,必须仔细检查,以免连接错误。蜗壳焊缝检测合格后,要继续在蜗壳细节方面进行焊接。

4 蜗壳吊装方法

4.1 蜗壳运输和吊装

在拼装环节完成后,用承载力在五十吨左右的吊车和承载力在二十吨左右的拖车将蜗壳从拼装施工现场运输到蜗壳实际安装平台上,随后利用专业厂房的专业桥机将蜗壳运送到机坑进行吊装。在挂装时,要注意零件装配的顺序,第一步,应该将蜗壳尾部安装焊接在座环上,作为之后施工安装的定位处,为了保障座环安装焊接时的承受力均衡。在安装过程中,需要严格按照施工图进行安装,要在座环上,严格测量定位节位置,挂装时,要调整进水口和出水口的垂直平面度,否则会影响水电发动机的使用效果。

4.2 其它环节和凑合节的安装

在进行其它环挂安装活动时,还应注意定位节的设置,以其为基准,并根据蜗壳的安装书要求依次安装其它环。为使座环水平位移维持平稳,在蜗壳环节挂装后,注意各部分受力均匀进行中心对称装配,同时在整个装配过程中,使蜗壳的载荷,在最大水平上传递到整个蜗壳表面,与此同时,在蜗壳的调整及运动中,要时时关注座环位移,至于蜗壳其余部分的装配方式与要求,与定位节的方式基本相同^[2]。为避免蜗壳的接缝出现情况,施工人员必须对准一个接缝以后,再马上完成安装,当缝隙的作业完成以后,才能完成下一道缝隙的施工连接作业。

在凑合节布置的过程中,施工方应等其它部分布置完毕后,才能进行凑合节布置,严格检查零件装配情况,准确判断凑合节的装配完成的情况。用凑合节瓦片安装后,再使用蜗壳凑合节瓦片,然后移动覆盖到适当地方,并用专门方法将瓦片绷紧,以避免在未来应用工程中发生零件破裂的损失,以便延长其使用寿命。

5 焊接工艺和附件安装

在进行蜗壳安装拼接过程中,纵缝焊接应该利用分段退步焊的焊接方式。通过蜗壳上、下过渡板之间与壳

节之间的缝隙进行同步焊接安装,需要从多个方面进行焊接,降低错误发生率。进行蜗壳环缝焊接时,蜗壳环缝需要由多名焊结施工者完成,将焊接部分分为多个焊接区域,保证蜗壳焊接的精准度。

在蜗壳拼装和焊接步骤完成后,需要对其气管路和导流板等附件进行组装,还要对蜗壳外部防护部分进行加固处理,延长使用寿命,进行结尾工作时,焊接工应该将蜗壳上的焊疤进行打磨,使其变得平整干净,排除暗伤,使用防腐涂漆对蜗壳进行外部防护。

6 蜗壳水压试验

蜗壳是一种开口的特殊钢制压力容器,其工作条件比一般意义的钢制压力容器要好。蜗壳设计。上取水锤升压为工作压力.对高强度钢材许用内部应力取材料屈服抗拉强度的1/3。实际蜗壳又和外围混凝土共同受力,工作应力也更低。

虽然蜗壳焊缝中存在着较大的残余应力,但如果设计.时对蜗壳的临界裂纹宽度和低周疲劳考虑,则蜗壳的稳定性完全能够提高。水压测试虽然能够减少部分残余应力,但量值有限。蜗壳制造工艺非常完善,选料严谨,生产过程平稳^[3]。

7 保证水轮机水力的稳定性的对策

7.1 加强水轮机避振运行,保证水力的稳定性

加强对水轮机组的避震措施是指在大流域的水电站群体中,可以使水轮机组能够有效减少对受震动区的冲击。而且还能够提高水轮机水力的可靠性,在发现转叶存在裂纹后及时加以纠正,加之采用了避震措施,水轮机组的安全性就将很大限度的得到了提高。

7.2 控制水轮机组的转速

随着科技水平的日益发达,水轮机组转轮的设计在大趋势上是追求高比转速水轮机。在上世纪八十年代,在大型混流式水轮机高比转速试验时出现了一种中等频率的压脉动现象,将它称为高部分负荷压脉动带,其具有脉动频率和转动频率成正比,针对不同的工况产生各种压脉动。这些压力脉动随时都可以感受到装置空化系数,以及下游尾水的改变等。在许多试验活动中,当压力脉动突然的上升至一定值的情况往往产生在尾水管的肘水管上,不过这种情况仅存在于试验流程中,在大功率的混流式水轮机真机上不会发生,并且对其发生原因也并没有详尽说明,不过在较低转速的水轮机上也是不会这种情况发生的,所以,仅仅一味的要求最高转速来保持水力的稳定性是很不明智的做法,在选择转速的时候,还要综合考评水质条件,以及水头的变化范围和水轮机的负荷程度等各种情况因素的结合^[4]。

7.3 对转轮叶片出水部分进行修复

许多国内外的实践例子可以证实,对转轮叶片出水部分进行修理有助于增加卡门涡的频率并减小震动。根据科学研究表明,通过降低转轮叶片的厚度以及改变出水边的形态,改善水流与边界上转轮叶片脱离的情况,并且还要降低产生脱流旋涡的频率与力度。

8 蜗壳焊接质量的控制及控制措施

8.1 焊材使用前均需按生产厂家规定的烘焙规范进行烘焙与保温

从烤箱拿出焊条后应立即放进保温桶里。焊材烤成后贮存于100~150℃的恒温箱内,药皮应无剥落和明显的裂缝。现场使用时应将焊丝放入通电的保温筒,焊丝在保温筒内停留时间不得大于四小时,超过后应进行烘烤,但重复烘烤次数不宜超过两次。烘烤焊条,禁止突然将焊条放入高温炉内,或从高温炉内突然取出冷却,防止焊条骤冷骤热而产生药皮开裂脱落现象。

8.2 焊前采用电加热垫根据相应焊接评定预热

(预热区的宽度应为焊缝中心线两侧各三倍板厚且不小于一百mm,预热测量要求:当 $50\text{mm} \geq \text{板厚} > 12\text{mm}$ 时,测点位置为距坡口边缘五十mm处,当 $\text{板厚} > 50\text{mm}$ 时,测点位置为距坡口边缘七十五mm处),检测时紧贴斜坡处中心线检测,焊接、清根施工过程中均保持不小于预热温度。单节蜗壳焊时要求整体同时对称进行施工,待打底层焊焊接约三至五层后背缝气刨清根,并在保证高温(不低于六十℃)的情况下清根,清根后打磨(层间清理,在施焊下一道焊缝之前,应清除焊道表面的所有熔渣或飞溅物。应将背缝渗碳层用砂轮磨掉,检验合格要求为完全的金属光泽,在打磨合格后使用放大镜检测焊缝合格后展开背缝焊,在整个焊缝处理过程中应注意变形控制,应依据变形状况适当的改变焊缝方向,以确保互层高温不小于预热的温度(且不大于一百七十℃),整个过程中保温焊接(用接触式测温仪进行温度测量,测温笔与工件距离为十mm,每条焊缝测量点不应少于3点)。纵缝焊缝还未焊接完毕时,或暂停焊缝时,均应保温温度在八十℃以上^[5]。

8.3 焊接变形与质量控制

焊缝焊接之前对焊缝倾斜部进行抛光至露出金属光泽,待焊缝倾斜部和周围至少二十mm范围内消除氧化皮、钢锈、油性物、探伤检查液及其他有害污物。焊材保温隔热及工器具准备,焊接预热温度满足要求。

纵缝焊接时应采用无拘束的条件下进行,在焊前就

应将焊接的支座与拉杆全部拆除,在进行纵缝焊接之后,将二个焊接件相对纵缝一起进行焊接,而在焊接二层时必须先通过弧度样板测试纵缝焊接的弧度,若出现了变化,就应采取正反跳焊的方式,并使用反应变来抵消变化的影响^[1]。

焊前对拼装间隙进行检测,符合标准后方可实施焊接,焊接过程中,严格控制焊缝的速度,每根焊条的焊接都必须由技术质检员(或班组管理人员)或检测员现场负责监控线能量,准确检测变形状况,并进行记录,通过记录提供的数值,准确调节焊缝的顺序及焊缝的参数,实现焊缝变化最小化。同时对引起整体变化很大的焊接必须实行最小规范,多层、多道跳焊接,最大程度的降低了畸变,而多层多道焊接时,应把各道熔渣、溅落物料都清洗了一遍,并注意层之间地头错开在三十mm以上。当风速过大、雨雪天气或环境相对湿度在90%以上时,焊接处应设立可靠的防护措施,保证焊接处不受风力、雨水的影响和焊接处有所需的足够的温度。

结语

水轮发电机是由多个复杂的元件构成,蜗壳为引水均水的主要元件,它承载了各种水压且受力方面复杂,对工人焊接能力的要求较高,主要表现在水压所产生的薄壁后果、蜗壳和座环连接处坚硬程度不同的局部受压等方面^[2]。蜗壳作为大中型水电站的工程主要构件,所以对其装配和焊接能力要求较高,在安装过程中时刻关注蜗壳环节,保证装配质量,同时要在装配完毕以后,必须采用防锈涂漆做好外壳保护,投入使用初期应该对其进行监察,以便及时发现问题并对其采取补救措施。

参考文献

- [1]郁惟昌,陆城军,龚兴龙.无蜗壳风机空气动力性能解读及其应用[J].暖通空调,2018,48(6):69-73,12.
- [2]孙政,许敏,顾晓卫,等.无蜗壳与有蜗壳离心式风机在空调系统中的流场对比分析[J].制冷与空调,2016,16(5):37-39.
- [3]王维,李轩,卢金玲,等.叶轮弧盘及锥盘型线对高比转速离心通风机性能的影响[J].农业工程学报,2018,34(24):52-59.
- [4]王顶东,张卫军,丁勇.无蜗壳离心风机性能及测试方法的探讨[J].制冷与空调,2012,12(3):77-78.
- [5]廖明仕,卢隼.无蜗壳离心通风机特性及其在空调领域的应用[J].四川建材,2013,39(2):261-263.