

二滩水电站座环蜗壳的安装

①
62-65,74

周关炳 汪炳舜

(中国水利水电第九工程局, 贵州贵阳, 550008)

TV547-3

摘要 根据二滩水电站座环蜗壳现场安装的具体情况, 从材料、结构、性能、技术、工艺、标准等方面, 分析了进口设备的结构、性能、安装工艺、方法等特点。

关键词 座环蜗壳 连接板 材料 结构 性能 工艺技术 可焊性

安装, 水电站

1 概述

二滩水电站的6台水轮发电机组制造通过国际招标, 由加拿大通电气公司(GE HYDRO)中标总承包, 并与我国东方电气集团公司, 哈尔滨电机公司分包合作生产。机电安装的Ⅱ标工程由GYBD(葛洲坝集团公司, 水利水电第一工程局, 水利水电第八工程局和东方电气集团公司)联营体承建。其首台(6号)机组于1996年8月1日正式开始安装, 将于1998年6月试运行, 10月投入商业性运转。最后一台机组到2000年投产发电。

2 座环蜗壳的参数及结构性能

2.1 座环

二滩水电站的6号、5号机座环分别由巴西、加拿大生产, 基础环由巴西供货。座环分4瓣解体运输, 基础环为2瓣, 现场栓、销组焊, 中间籍以连接板组焊成整体。基础环、连接板的材质为ASTM·A516MGr55(380), 座环为ASTM·A516M Gr70(485)。其材质的理化性能见表1、表2。

表1 A516·MGr55(380)、70(485)钢材理化性能表

标准	化学成分 /%					机械性能		
	C	Mn	Si	P	S	Y _s	T _s	E ₄
ASTM-90	0.24	0.6	0.15	~	~	~	~	~
A516M Gr55(380)	0.31	~	~	≤0.035	≤0.035	≥205	~	≥27
ASTM-90	0.31	0.65	0.15	~	~	~	~	~
A516M Gr70(485)	0.31	~	~	≤0.035	≤0.035	≥260	~	>21
		1.20	0.40				620	

与常规箱形结构的座环相比较, 其特征如下:

(1) 采用了200 mm厚的钢板组焊成螺旋形平板结构, 与4种不同规格截面形状且略微有负曲率的20只固定导叶相焊接, 以使导叶安放角趋近于导叶在高度方向的水流角分布; 又进水端部呈圆弧形,

表2 A516·MGr70(485)钢材复验表

标准	成份 /%									
	C	Mn	Si	P	S	Cu	Co	Ni	Cr	Mo
A516M Gr70(485)	0.292		0.214		0.005		0.01		0.110	
复验值	1.010		0.015		0.104		0.066		0.08	

注: 复验值为1996年10月14日, 由攀枝花钢铁研究院检验分析。

用以降低损失, 获得传统式座环相同的水力性能。其导叶的平面座标见表3。据介绍, 经模型试验的结果, 约可提高0.01%的效率。

表3 固定导叶平面座标表

项目	点号											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1~10	X 1346	994	750	18	0	18	80	230	529	829	1129	1346
	Y 0	-74	-93	-88	-56	-24	3.5	55	105	101	64	20
11~15	X 1300	960	725	18	0	18	77	222	511	801	1090	1300
	Y 0	-66	-83	-78	-49	-20	4.5	51	96	92	58	18
16~18	X 1200	886	669	16	0	16	71	205	472	739	1006	1200
	Y 0	-54	-69	-64	-40	-15	6	46	85	82	52	18
19	X 950	691	497	26	3	3	30	116	290	530	770	950
	Y 0	-43	-56	-54	-30	-3	22	41	66	75	52	18

(2) 于座环上、下环中部处, 设置多边形(6号为20边形, 5号为25边形)的螺旋形过渡连接板, 用以缩短生产周期, 便于现场与蜗壳组焊。同时, 蜗壳与座环相交点到中心的距离, 随着断面直径的缩小而不断增大, 以使水流通过蜗壳作用在座环上、下螺旋连接板上的力矩与顶盖的反弯矩相匹配平衡, 改善受力条件。又增设24只螺栓钢支墩, 用以稳固座环与基础环。拟设蜗壳导流板, 变铰接为刚性连接, 结构更为合理, 稳定性能好, 又可便于顶盖安装。

(3) 现场组焊总成座环基础环的连接板与密封圈, 其组焊工艺质量十分重要, 不仅能控制直线工期, 且将直接影响水压试验的成果。拟进一步完善其结构及工艺。

(4) 进口鼻端的舌板, 妥善地组焊总成了座环的上、下环、固定导叶与蜗壳, 结构合理, 稳定性能好, 施工方便, 效果良好。但交变处座环外缘突出部分易

产生逆流,与主流发生干扰,产生水力损失。

2.2 金属蜗壳

无弹性层、光面 345°不对称、不封闭和压力埋设的圆形断面蜗壳,进口直径 7.2 m。6号蜗壳由巴西模压供货,板厚 22.5~67 mm,由 23 节组成,平面尺寸(X·Y向)20.15 m×22.65 m,材质 ASTM·A543 MB₃,焊材 AWS·E11018-M,重 312 t。5号至 1号蜗壳,由东方电气集团公司,哈尔滨电机公司

数控下料,辊压供货,板厚 30~65 mm,由 28 节组成,材质 WEL-TEN610CF,匹配国产 CHE62(610) CFLH 焊条,设单节奏合节,总重 304 t。蜗壳又设排水管,方形液压操作人孔装置,10 只,φ16 mm 的测压孔。蜗壳容积 1 520 m³,腐蚀控制面积 724 m²(单面计)。蜗壳封头材质 DIN·17155·19Mn6,其理化性能见表 4、5、6 和 7。

表 4 A543B3 钢材理化性能表

代 号	项 目											机 械 性 能		
	化 学 成 份 /%											Y _s	T _s	E ₄
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Co			
A543·MB3 标准值	0.20	0.40	0.15	0.020	0.020	2.25	1.00	0.20	0.030	—	—	≥690	795	≥14
			~ 0.40			~ 4.00	~ 1.90	~ 0.65					~ 930	
A543·MB3 复验值	0.161	0.301	0.22	0.010	0.006	2.48	1.41	0.381	—	0.103	0.01	—	—	—

注,复验值系于 1996-10-14 由攀枝花钢铁研究院检验分析。

表 5 610CF 钢材化学成份表

序 号	项 目	成 份 /%									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Ti
1 标准值		0.09	0.03	1.00	0.030	0.025	0.60	0.30	0.30	0.10	—
				~ 1.60							
2	一般值	0.08	0.25	1.37	0.016	0.006	0.02	0.24	0.21	0.04	—
3	复验值	0.054	0.196	1.25	0.014	0.005	0.015	0.221	0.199	0.051	0.01

注,复验值系于 1996-07-12 日,由攀枝花钢铁研究院检验分析。

表 6 610CF 钢机械性能表

序 号	项 目	指 标					
		Y _s	T _s (t>25)	E _s (t>16)	冷弯 4a	AKV (J, -15℃)	
1	标准值	≥490	610~710	≥27	d(180°), t>32	47(t>32)	
2	一般值	607~637	676~705	24~27	180°	137~205	

表 7 19Mn6 钢理化性能表

代 号	项 目										
	化 学 成 份 /%										
	C	Mn	Si	P	S	Y _s	T _s	E ₅	AKV(J)		
DIN·17155-83 19Mn6	0.15	1.00	0.30	0.035	0.035	335	510	20	≥31(t)		
	~ 0.22	~ 1.60	~ 0.60							~ 650	

与常规蜗壳相比较,特点如下:

(1)6号蜗壳不设凑合节,即均系为定位节,每节包角为 18°(18°×19+3°=345°);5号蜗壳设单节凑合节,余则均为定位节,包角分别为 12.85714°, 15°和 13.5°三种。

(2)蜗壳的水力设计,自进口端起的 200°包角范围内,按等速矩为常数进行计算,余则 100°范围内,按 10%递减流速矩进行设计。

(3)蜗壳为光面蜗壳,不设置弹性层,需压力埋设,覆盖层厚限 2 m,即蜗壳能承受最大静水头加压力升值形成的最大内水压力,但发生超过最大静水头的压力升值时,混凝土将分担部分压力升值形成钢板与混凝土联合受力结构。

(4)为与上下蝶形多边形过渡连接板的组焊,采用了不等厚度又等效蝶形多边形连接板厚度的蜗壳,而每节蜗壳又采用上下对称等厚而中间稍簿些的钢板组成,中心纵缝错开不小于 3~4 倍的最大板厚,实际错缝量:6号 400 mm,5号 320 mm。上蝶形边为单面外坡口,下蝶形边为内侧直口,因此,量测弧长时需计以板厚的当量,其开口尺寸应以上内下外侧为控制有效尺寸。环缝为上下内外对称的不对称形 X 型坡口。

(5)为最终 4 条环缝和蝶形边的施焊,在座环上下环组合缝面法兰蝶形边处,现场加工 8 只 φ32.7 mm 的止裂孔,并采用刚柔性封堵,施工效果良好。

(6)与进口段舌板相组焊的 03 号环缝处,结构整体完整,但欠安装工艺设计。也就是说,没有考虑其纵、环缝的错位,致使产生舌板的堆焊工艺。5号蜗壳,虽环缝往向上游移动错开,但没有错开纵缝。为此,拟进一步完善安装工艺设计,以使结构更为合理,提高工效。

(7)本蜗壳采用了液压操作方形人孔装置,锥形排水装置,操作安装灵活方便,效果良好。

(8)为与 20 号固定导叶,上、下环组焊的进口鼻舌尾形板,厚 100 mm,纵向(往向上游)伸长 3 m 余,其椭圆形的相贯线分别与鼻端、进口段管节逐渐演变相切的角接与对接(均为双面坡口)缝,呈现空间曲线,且略带有微凹曲率(位于鼻端),致使进口段断面不成为完整的圆形断面,这样,不仅结构紧凑合理,稳定性能好,改善受力条件,又改善流态,匹配水流。但是,鼻端舌板与上下环组焊连接的突变部位坡口不太合理,不易施焊。拟增设导流板,以使结构更

为合理,既改善流态,又减小水力损失。

3 座环连接板的焊接

3.1 座环的焊接

4瓣座环,以销、栓定位,组焊成整体。其16只M90×6×580的连接螺栓,内设有φ20的轴孔,采用筒式加热器进行预热,使其伸长值达1.5 mm。其不对称的双U型坡口,先下环、后上环,先平焊后仰焊,窄焊道,对称、分段、退步、多层多道,以逐步缩小坡口的宽度,控制焊道宽度尺寸为12.5 mm,焊道高度相当于焊条之直径,输入线能量为30 kJ/cm,预热温度110~150℃,最大层间温度为250℃,焊后保温缓冷24 h,以消氢免裂。同时,层间砂磨清理,锤击消应。随时监测温度及形变,及时跟踪,控制调整温差、温度场和输入线能量,以获得最佳的冲击韧性和综合机械性能指标。

属中低温压力容器用的碳钢板 A516MGr70 (485),材质与16Mn相当,焊材为GB·E5015 (AWS·E7018)。

3.2 连接板(环)的焊接与研磨

3.2.1 连接板(环)的焊接

与座环、基础环相组焊的连接板,由4条相等的环形板组焊而成,见图。其4条角缝的施焊程序为:①→②→③→④,5号机改为①→③→①;②→④→④。施焊时,两班制连续作业,上下内外对称、自连接板中心向两端左右对称、分段(15×4=60段,每段约400 mm)交替地进行施焊。先焊①缝的50%,②缝满焊,③缝的50%,④缝满焊,再次为③、①缝的满焊,最后为端部接头U型坡口的对接立焊。

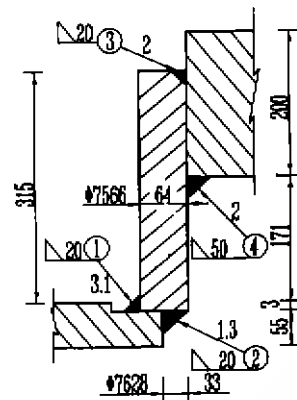
6号连接板,当④缝焊接到10 mm时,发现②、④角缝整圆全部贯穿开裂。为确保焊接质量和座环的整体结构性能,经100%PT的检验,气刨清根,彻底砂磨清理裂纹等缺陷,又经100%PT的全面复验后,按新制订的焊接工艺进行施焊,质量符合设计规范要求,其要点如下:

(1)提高预热温度为115~140℃,层间温度150℃,100~125℃×24 h的后热,石棉被保温缓冷,用以消氢迟裂,防止再热裂纹。

(2)监控温差和温度场(一定的面积范围、时间和速率等)。经验估算,当φ=8 m,温差100℃时,焊接应力达200 MPa,径向变形量3~4 mm。

(3)控制输入线能量,控制焊道的几何尺寸,采用多层多道窄焊道施焊,以获得较好的接头韧性。

(4)两班制连续作业,上下、内外对称、分段左右



连接板结构图

对称交替满焊,即是扩大的定位满焊。除底、面层之外,余均焊道锤击消应(需一定的力度、频率和面积)。

(5)切开连接板端头,预留间隙3~8 mm,以化径向变形为周(切)向变形,以减少拘束应力。5号连接板,预留安装间隙3~5 mm。

连接板端头部,由于焊接引起的翘曲变形增加了研磨切削量,拟进一步完善焊接工艺技术。

3.2.2 连接板的研磨

为确保水压试验的成果,必需对连接板,密封环的立端平面进行研削,以控制其形位尺寸、平面度等。自制专用桁架式研磨机,经济实用,发挥其应有的功能效用。但需进一步完善。

3.3 锥管与肘管基础环的焊接

不锈钢锥管与尾水肘管、基础环的焊接,采用E0-18-12Mo2V-15型不锈钢焊条。这种焊条,不仅适用于不锈钢之间的焊接,而且,也适用于碳钢与不锈钢之间异种钢材焊接,施工性能效果良好。

4 蜗壳的焊接

在蜗壳组焊的整个工艺过程中,座环的动态变形始终处于宏微观的监控之中,以使形位形变为常数。

4.1 蜗壳焊接

与常规蜗壳施焊相比较,焊接特点如下:

(1)预留X、Y向的4条环缝(与止裂孔相对应的位置),待其他所有环缝交替施焊完毕后,再行焊接。

(2)首先是上下内外对称分段扩大的定位满焊,长度约为400 mm,然后,上下内外对称地连续多层多道,窄道施焊,以逐步缩小坡口的宽度,控制线能量,以获得较好的接头冲击性能。

(3) 蝶形边环缝分为 4 个区域,首先是扩大定位满焊,然后沿圆周上下内外对称地、连续多层多道、窄道施焊。由于板厚不等,需及时调整平衡熔敷金属量,平衡输入线能量,减少梯度,用以减少应力应变。

(4) 鼻舌尾板的施焊,首先与尾节的上下内外对称地扩大定位满焊,然后是连续程序性地施焊,最后为固定导叶的立、横对口间隙施焊。进口段舌板的顶端处,为错开 03 号环缝及施焊的方便,进行了预先 450 mm×80 mm×60 mm 的堆焊工艺(6 号蜗壳)。拟进行安装施焊工艺和结构设计,以便施工。

4.2 焊缝检验

二滩电站的 6 号蜗壳,其焊缝质量按“ASME·

8”的有关条款,进行了 100%UT,100%RT(40 mm 以下)检验,又进行了 PT、MT 检验,检查焊缝总长度 545.164 m,一次合格率达 90.6%,符合规范设计的要求。

水压试验后,作了 PT、MT 检验,焊缝质量良好。

4.3 低碳调质高强钢可焊性浅析

二滩水电站,其 6 号、5 号蜗壳的焊材为 AWS.E11018-M 和 CHE62CFLH 型焊条,其理化性能指标见表 8、9、10。

碳当量法(C_{eq})是以化学成份来估评焊接热影响区淬硬脆化和冷裂纹产生倾向,是可焊性的一种

表 8 E11018-M 型焊条化学成份表

代号	成份 / %									T_s /N·mm ⁻²
	C	Mn	S	Si	Cr	Ni	Mo	V		
E11018-M	0.10	1.30~1.80	0.03	0.60	0.40	1.25~2.50	0.30~0.55	0.05		860.805.805.795

注: T_s 系为 1996-07-14 日攀钢研究院之复验值。

表 9 E11018-M 焊条药皮成份复验值表

代号	成份 / %												
	F	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Mo ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
E11018-M	2.9	2.7	0.7	0.3	15	4.9	51	2.8	2.6	15	1.5	0.33	0.29

表 10 CHE62CFLH 焊条理化性能表

成份 / %	C	Mn	Si	Mo	S	P	Ni	$\sigma_{0.2}$ /N·mm ⁻²	σ_t /N·mm ⁻²	E L _{5d}	AKV(J)		H ml/100g	含水量 / %	
											-20℃	-50℃			
代号	一般结果	0.06	1.20	0.30	0.25	0.01	0.02	0.80	550	660	24	100	50	≤1.0	≤0.10
	保证值	0.08	1.00~1.60	0.40	0.15~0.40	0.03	0.03	1.00	≥490	≥590	≥15	≥47	≥27	0.8	-

简易传统方法,以便确定是否需要采取预(后)热工艺措施,但它忽视了拘束度(板厚)及焊缝中含氢量等重要影响因素,因而不可能直接用于判断是否可能产生冷裂纹倾向。因此,根据冷裂机理,旨以钢材焊接冷裂纹敏感性系(指)数 P_c 的实际焊接件综合裂纹敏感系数 P_w 来补充和取代碳当量法,用以确定防止裂纹发生所要求的预(后)热温度等因素。经估算,610CF、A543、A516 和 19Mn6 的可焊性指标见表 11。

表 11 610CF、A543、A516 与 19Mn6 可焊性能指标表

钢种	项目				
	$C_{eq}/%$	$P_{cm}/%$	$P_c/%$	$T_p/℃$	H_{max}
标准值	0.519 60	0.226 00	0.325 96	77.38	386
610CF 一般值	0.421 80	0.187 00	0.286 96	21.22	320
复验值	0.368 00	0.152 90	0.252 86	-	285
A543 标准值	0.894 10	0.412 90	0.512 86	342.50	635
(B3) 复验值	0.659 40	0.321 50	0.421 46	210.00	479
A516 标准值	0.526 67	0.383 33	0.483 32	304.00	390
(485) 复验值	0.512 86	0.366 76	0.466 75	280.00	381
19Mn6 标准值	0.511 80	0.320 00	0.419 99	212.00	380

注:表中以板厚 50 mm,含氢量以 1 ml/100g 估算而得,供参考。

610CF 钢材 C_{eq} 、 P_{cm} 、 P_c 、 T_p 和 H , 指数均比较低,系为正火、淬火及回火热处理状态下供货的低龟裂感受性(亦谓低无裂纹)低碳调质型高强度钢材,

其少量的钒含量(0.04%~0.10%)能细化金属的铸态组织和防止近缝区晶粒过份长大,降低热裂倾向,因此,具有良好的可焊性和较好的接头冲击韧性。通过漫湾、广蓄、龙羊峡、二滩等工程,已积累了较为成功的经验。

610CF 钢,匹配于国产的 CHE62(610)CFLH 型超低氢型焊条,虽有成功的工程经验,但鉴于工地现场的焊接,随着厚板的不断增厚,力学性能的下降,结构形态的复杂、拘束刚度应力的增大以及焊缝金属中扩散氢含量的增加,预热温度的不断增长,为确保施焊质量,根据实际情况,还应进行材料的可焊性试验,用以作为制订一些相应的焊接工艺措施,以保证焊接接头的机械性能,从而获得优质的工程结构。

由表 11 可知,A543 钢材的 $C_{eq}>0.6%$,淬硬倾向性较强,属较难焊接的材料,需采取较高的预热温度和严格的焊接工艺措施。而且,Cr 的含量为 1.00%~1.90%,复验值为 1.41%,远大于 0.5%;含 Ni 量为 2.25%~4.00%,复验值为 2.48%,易诱发

(下转第 74 页)

残余不平衡重量的计算:

$$P_0 R_0 = GHh/R_0$$

$$P_0 = GHh/R_0^2$$

$$H = \sqrt{(\delta_x R_0)^2 + (\delta_y R_0)^2} = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} \cdot R_0$$

式中 P_0 —— 残留不平衡重量(kg);

G —— 平衡系统重量(kg)(包括转轮、引水板、平衡工具);

h —— 灵敏度(mm);

R_0 —— 方型水平仪放置位半径(mm 或 m);

H —— 下沉值(mm);

δ_x, δ_y —— 方型水平仪读数(mm/m)。

作者简介

贾振兴 男 宝珠寺水电建设管理局工程管理部 副部长 高级工程师

(收稿日期:1997-07-03)

(上接第 17 页)

成果,这些成果已成为全国各地推求无资料地区中小河流工程设计洪水的依据。因该成果均系采用实测资料分析而得,故更能满足改进方法的计算要求,且更能简捷地对 80 年代以后发生的较大的暴雨与洪水进行检验修正。

4 结 论

经过以上分析,可以认为:设计暴雨与设计洪水

同频率的定义缺乏依据,由设计暴雨推求设计洪水存在着一些难以克服的困难。应尽可能地将实测暴雨系列转换成洪水系列,直接采用洪水系列进行洪水频率计算,并充分利用可调查到的历史洪水资料,降低设计洪水的抽样误差。

作者简介

熊 明 男 长江水利委员会水文局 高级工程师
涂荣玲 女 长江水利委员会水文局 高级工程师

(收稿日期:1997-03-17)

(上接第 65 页)

Cr-Ni 共晶、晶粒长大的现象、增大热裂倾向,致使接头塑性降低和增大淬硬的倾向性。

A516·MGr.70(485)和 19Mn6 钢材淬硬倾向性也逐渐明显。

由工程可知,异种金属的焊接,国外按强度等级高一级的焊材选用,而在我国,拟用强度等级低一级的焊材相焊接,但是,焊接工艺需按强度等级高的选用执行。

5 结 语

二滩水电站的 6 号、5 号机蜗壳,于 1997 年 1

月 14 日,4 月 25~26 日,分别进行了 0.5 h×2.54 MPa 和 2 h×3.46 MPa 的水压试验,并作了 1.94 MPa 的压力埋设工艺,无异常工况发生,说明座环蜗壳整体结构的强度、刚度和稳定性能良好,符合设计和规范要求,并取得了一些成功的经验。二滩水电站将是我国在 20 世纪建成投产发电运行的、最大单机容量的机组,其成功的经验,将为我国的水电建设事业发展起到积极的推动作用。

作者简介

周关炳 男 中国水利水电第九工程局机电安装处 主任工程师
教授级高级工程师

汪炳舜 男 中国水利水电第九工程局机电安装处 质检科 科长
工程师

(收稿日期:1997-07-15)

水电水利规划设计总院改制

3 月 19 日,电力部同意水电水利规划设计总院改组为中国水电水利及新能源发电工程顾问有限公司并批准其章程。

此次改制,是将属于事业体制的水规总院逐步组建为水电顾问公司,作为国家电力公司的全资子公司。将部属水电设计院逐步组建为以从事水电水利工程勘测、设计和咨询为主的工程公司。作为水电顾问公司的全资子公司或控股、参股公司,建立资产纽带关系和法人治理结构。

水电顾问公司和各工程公司均为自主经营、自负盈亏、自我发展、自我约束的法人实体和市场竞争主体,形成水电和新能源发电工

程的中介体系。水电顾问公司采取国有独资形式,由国家电力公司出资设立,作为国家电力公司的全资子公司注册。注册资本为 800 万人民币。公司的主要职责是经营和管理国家电力公司界定的国有资产,负有保值增值责任。对公司以国有法人资本出资设立子公司、控股公司和参股公司,依法享有出资权利。公司将按照国务院国发[1995]48 号文的规定,由国家有关部门批准取得进行项目评估的资格,审查评估结果作为国家批准项目可研报告的依据。公司作为独立的中介机构,参与市场竞争,为政府部门、投资主体和项目业主服务。

(成勘院 李燕辉)