

撒多水电站#3 机组轴线出现折线的原因分析及处理

万连彬

(四川凉山水洛河电力开发有限公司,四川 凉山 615000)

摘要:根据撒多水电站#3 水轮发电机组轴线折线数据,结合多年积累的安装经验,分步采取处理措施,调整了机组轴线,满足了机电安装规范要求。分析了立式水轮发电机组轴线出现折线的原因,采取了相应的处理措施。

关键词:撒多水电站;轴线;折线;处理

中图分类号:TV7;TV737

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2017)04-0094-04

1 概述

撒多水电站为四川凉山水洛河电力开发有限公司投资建设的水洛河流域梯级开发中的第十级电站,位于四川省凉山州木里县宁朗乡,经右岸引水至撒多沟口下游 1 km 建地下厂房,作为该公司流域滚动开发的第一批次项目发电。撒多水电站水轮发电机组由杭州力源发电设备有限公司制造,水轮机组型号为 HLY151-LJ-260,发电机型号为 SF-J70-20/5400,单机引用流量为 51.47 m³/s,工作水头为 152 m,额定转速为 300 r/min,装机容量为 210 MW。该水电站的开发任务主要为发电。

2013 年 12 月,撒多水电站在#3 水轮发电机组设备安装过程中、发电机单盘各项数据合格后进行了连接水轮机轴盘车,发现水轮机轴的水导摆度值、法兰摆度值不在规定范围之内,无法进行正常盘车和转动部件旋转。若不进行处理,将会导致以后机组运行产生水轮机轴的振动和转动部件梳齿密封摩擦等严重后果。技术人员通过对盘

车数据进行分析、计算与汇总,组织厂家、专家、安装、监理代表共同分析了撒多水电站#3 水轮发电机组水轮机轴折线产生的原因,制定了详细的处理方案并予以实施,使水轮机水导处的摆度值在规范规定的范围之内。

2 机组轴线摆度的调整规范及方法

根据撒多水电站悬吊式水轮发电机组安装使用维护说明书和水轮发电机组安装技术规范 8564-2003 的技术要求,对撒多水电站#3 水轮发电机组进行了机械盘车,其机组轴线应符合下列要求:

(1)一般采用盘车方法检查并调整轴线。盘车前,机组转动部分处于中心位置,大轴处于自由状态并垂直。

(2)推力轴承刚性盘车,各瓦受力应初调均匀,镜板水平符合(GB/T8564—2003 9.5.5 a)要求。调整靠近推力头的导轴瓦或临时导轴瓦的单侧间隙,一般为 0.02 ~ 0.03 mm。轴线调整完毕,机组各部摆度值应不超过表 1 中的要求。

表 1 机组轴线的允许摆度值(双振幅)表

轴名	测量部位	摆度类别	轴转速 n /r · min ⁻¹				
			<150	150 ≤ n < 300	300 ≤ n < 500	500 ≤ n < 750	≥750
发电机轴	上、下轴承处轴颈及法兰	相对摆度 mm/m	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
水轮机轴	导轴承处轴颈	相对摆度 mm/m	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02
发电机轴	集电环	绝对摆度 /mm	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1

注:水轮发电机组安装技术规范 8564-2003。

(3)分段轴结构的机组盘车时应检查各段

轴线的折弯情况,其偏差一般不宜大于 0.04 mm/m。机组盘车前,应查阅轴线在厂内的加工记录

收稿日期:2017-01-10

以及热打键(或热加垫)后转子与上、下轴止口的间隙变化情况,以便在盘车时检查轴线的变化。

(4)在转子处于中心位置时,宜用空气间隙监测装置配合盘车方式核对定子圆度、转子圆度分别符合 GB/T8564—9.3.10 a 和 GB/T8564—9.4.13 的要求。

撒多水电站水轮发电机组测量轴线的办法:

根据撒多水电站水轮发电机组的装机容量、设备制造单位提供的盘车工具,安装单位通过电站桥式起重机悬挂钢绳对机组采取机械盘车的方法使水轮发电机组转动部件旋转,规避了人为的盲目给力、强制约束、电磁干扰等其它方式影响转动部件测量数据的不准确,节约了一定的人力投入,效率得以提高。技术人员根据立式机组轴线

轴瓦工作面百分表记录的摆度值,分析了轴线产生摆度的原因、大小和方位。通过刮削有关组合面或在有关组合面之间加垫的方法,使卡环表面与轴线以及法兰组合面与轴线的不垂直度获得纠正,使其摆度减小到允许的范围内。机械盘车采取的一般步骤如下。

3 机组轴线的测量与处理

3.1 机组轴线的测量

发电机单盘合格后连水轮机大轴,对机组整体进行盘车轴线测量,分别在发电机上导、下导轴承及水轮机大轴法兰、水导轴承位置架设百分表,利用桥式起重机对机组进行盘车,测量各部位的摆度值。连轴后第一次盘车数据见表 2。

3.2 机组轴线的分析与处理

表 2 连轴后第一次盘车数据表

/10⁻² mm

测点	上导	下导	法兰	水导	方向	全摆度计算			
						上导	下导	主轴法兰	水导
1	0	7.5	32	1	1-5	0	7.5	31	2
2	0	6	11	17					
3	0	3	-8	24	2-6	0	4	-10	32
4	0	0.5	-13	17					
5	0	0	1	-1	3-7	0.5	0.5	-47	47
6	0	2	21	-15					
7	0	3.5	39	-23	4-8	0	5	-55	33
8	0	5.5	42	-16					

根据对连轴后得到的盘车数据进行分析得知发电机上导、下导轴承处摆度值满足规范要求,主轴法兰与水导轴承摆度值超标且全摆度方向相反,与下导全摆度值最大点不在同一方位,若采取处理卡环的方式保证水导摆度,下导及法兰将不合格,因此无法通过采取处理卡环的方式同步减小下导、法兰、水导的摆度。根据数据分析得知:下导、法兰与水导轴承将出现折线。为使轴承各部摆度值合格,只有对大轴法兰进行刮削处理。

3.2.1 采取刮削法兰面的方式取得的处理结果

(1)准备 20 mm 厚的铁板若干,在制动器上加铁板,利用机组制动器将转子顶起 400 mm,打磨下法兰面。

(2)主轴法兰直径为 1.29 m,法兰至水导测点距离为 3 m,法兰的刮削量需根据盘车数据计算得到,其计算公式为:

$$\delta_1 = \frac{\varphi_1 D_1}{2L} \quad (1)$$

式中 δ_1 为法兰最大刮削量,mm; φ_1 为水导处的

全摆度值,mm; D_1 为卡环底面直径,m; L 为水导测点至法兰的垂直距离,m。

将水轮机连轴法兰面等分为 9 段,根据相应公式计算出法兰各区域段的刮削量(图 1)。

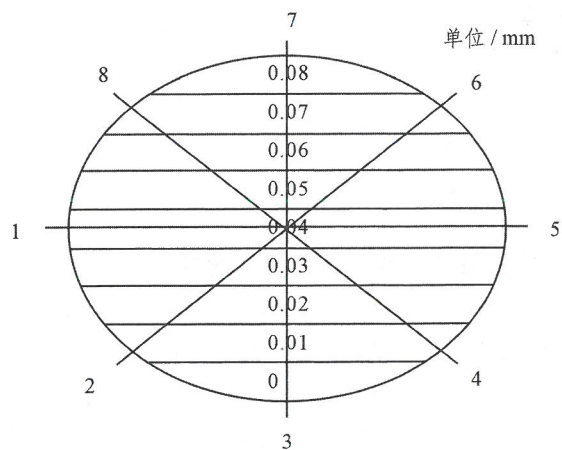


图 1 法兰面各方位刮削量示意图

法兰刮削处理完成后连接发电机轴和水轮机轴,再次盘车取得的测量结果见表 3。

3.2.2 机组刮削卡环后得到的处理结果

根据表3中的数据分析得知上导、下导、水导轴承处的全摆度已满足规范要求,但主轴法兰仍超标。为减小法兰摆度,采取对发电机卡环进行

刮削处理的方式,调整法兰的摆渡值在规范值内,卡环刮削处理后得到的连轴盘车数据见表4。

由于#3主机主轴设备出现折线,在对卡环进

表3 研磨刮削法兰后得到的盘车数据表

/10⁻² m

测点	上导	下导	主轴法兰	水导	方向	全摆度计算			
						上导	下导	主轴法兰	水导
1	0	-1.5	2	-20	1-5	0	-1.5	17	-16
2	0	-1	-16	-24					
3	0.5	-1	-30	-21	-21	0	-1	-16	-21
4	0	0	-29	-13					
5	0	0	-15	-4	3-7	0.5	0	-42	-18
6	0	0	0	0					
7	0	-1	12	12	4-8	0	2	-42	-1
8	0	-2	13	13					

表4 刮削卡环后得到的盘车数据表

/10⁻² m

测点	上导	下导	主轴法兰	水导	方向	全摆度计算			
						上导	下导	主轴法兰	水导
1	0	1.5	-9	-6	1-5	0	0.5	17	-18
2	0	2	-25	-7					
3	0	2	-39	-3	-21	0	1	-13	-21
4	0	1	-39	4.5					
5	0	1	-26	12	3-7	0	2	-39	-12
6	0	1	-12	14					
7	0	0	0	9	4-8	0	1	-39	4.5
8	0	0	0	0					

行处理后主轴法兰处的摆度仍超出规范要求,根据笔者对处理前后的数据进行分析得知,再对卡环进行处理将会影响下导和水导摆度,因此,不再对轴线进行调整。

3.3 通过机组动平衡试验优化#3主机转动部件

的振动摆度

在机组启动时,由于法兰摆度数据超标,对下导摆度影响较大,通过转子动平衡试验,采用计算数据重新配重,对机组转动轴线摆度进行合理调整,有效地减小了机组轴线轴承摆度值(表5)。

表5 #3机组配重前后各部位振动摆度数据表

/μm

项目	上导 X	上导 Y	下导 X	下导 Y	水导 X	水导 Y	上机 X	上机 Z	下机 X	顶盖 X	顶盖 Z
配重前空转	70	83	273	291	96	107	90	15	23	13	22
一配后空转	54	58	203	210	86	92	55	14	14	12	25
一配后空载	47	48	328	352	71	63	65	21	14	12	18
三配后空转	35	36	195	190	91	88	29	16	9	12	20
三配后空载	34	35	193	187	89	87	28	14	8	12	17

注:上述空转工况为100%额定转速,空载工况为100%空载额定电压。配重前后振摆数据均为通频幅值,单位为μm。

4 机组轴线出现折线的原因分析

立式水轮发电机组转动部分由水轮机转轮、水轮机轴、发电机轴、推力头、转子、上段轴构成,不同容量、型式的机组构成整个转动部分的分解部分不同。为满足加工、运输、安装要求,水轮发电机轴采取分段加工制造的方式,在加工过程中影响轴线部位的主要因素有:水轮机轴与发电机轴的法兰结合面、转子与发电机大轴的法兰结合面,设备在加工结合面过程中的加工误差和安装

等造成轴线误差叠加,通过轴线综合转移到各结合轴面形成较大的折点,进而对转动轴线的同轴度产生影响;另外,现场组装所采用的安装工艺也会对轴线产生较大的影响。结合撒多水电站#3机组轴线线性折线调整,笔者分析产生轴线变化的因素有以下几点。

4.1 发电机与水轮机轴连接法兰对轴线的影

发电机、水轮机主轴部件结构尺寸大,材质要求强度较高,随着国内数控加工工艺的提高,单部

件加工产生的偏差相对较小,在装卸、运输、安装过程中,对外部因数应综合考虑,在满足轴的综合性能的前提下,选择合理的主轴尺寸、长度、材质,使其构成轴线的直线度可以得到良好的保证,合理减少因轴线过长对轴线直线度带来的综合影响、危害机组安全运行。

按照规范,应将主轴法兰与发电机、水轮机轴线的垂直度偏差严格控制在 0.02 mm 内。主轴在加工过程中,单轴加工精度检测数据完全满足要求,但在安装完成、对轴线进行校核时,在轴的关键控制点处常会出现折点,此乃累积叠加误差所致。

为此,水轮发电机组主轴的同轴度在大轴加工过程中,应避免水轮机大轴与发电机大轴法兰偏差方向一致。目前各大型设备制造厂均配有大型数控机床,针对多段轴结构应采取在连轴整体上机床测量、配装等工作以减少主轴在安装过程中累积的叠加误差,同时对水轮机、发电机主轴法兰加工精度提出较高的数控要求和出厂前对装配法兰组合面的精度进行检测,造成设备在现场无法处理及处理困难较大,进而影响到设备的安装进度。

4.2 上段轴和推力头对轴线的影晌

立式水轮发电机组推力头安装方式有两种,分别是现场热套和法兰螺栓连接。法兰螺栓紧固的推力头结构又分推力头与发电机大轴连接和推力头与转子下法兰连接。不同结构、不同安装方式的推力头对机组轴线的影晌不同,应具体分析。热套结构的推力头在中小型水轮发电机组中应用较广泛,同时,现场安装便于提供合理的安装条件,推力头与发电机大轴、转子轴颈呈过渡配合,受热套工艺或转子轴颈与推力头加工的配合偏差对轴线同心度和直线度的影晌较大;大型机组采用法兰连接方式,推力头的上下平行度对轴线影晌较大,如果该部位出现折点,会使其上下同轴度偏差增大。

4.3 发电机组转子的安装对轴线性影晌较大

对于中型以上的水轮发电机组转子,在现场完成组装、叠片、磁极挂装等工作,转子的重量平衡对转轴及整个机组转动部分的法兰面的平行度和同心度影晌突出,如不加以严格控制,将会对整台机组轴线带来较大影晌,严重时将危害机组的

安全运行。所以,在现场组装发电机组转子时,应对转子轮毂加工、焊接、转子的磁片分类清洗、重量分配和圆度偏差、磁极挂装过程磁轭热打键严格控制。同时,在现场焊接过程中亦产生了新的焊接应力,应力变化可使转子上下法兰的平行度和同心度产生变化。

4.4 通过水轮发电机组动平衡试验对机组轴线进行检验及转动部件的调整

水轮发电机组的振动和摆度在机组旋转过程中很多是由于转子质量不平衡和磁拉力分布不均匀造成的,按照相关规范,水轮发电机组在安装完成试运行前应完成机组的动平衡试验,对转子进行有限元动力特性计算,分析试重块加在转子不同端面对平衡效果的影响,通过转动部件在不同转速、不同磁场、不同运行工况的特征对转子动平衡采取适合的配重方案并对后期运行特性进行综合分析,有效地改善了机组轴线、转子重量、转子磁场分布不均带来的振动和摆度过大的问题并予以合理的弥补调整,恢复了机组转动部件在最优工况下运行。

4.5 设备的运输、保管对轴线的影晌

大、中型水轮发电机组之水轮机轴、发电机轴设备在制造厂生产完毕均需要储存和运输到电站,在设备进行储存过程中应做好设备受外界气候变化对金属结构应力的影晌;在设备运输过程中应充分论证装卸过程中的吊装、道路、车辆运输中因轴偏长而导致轴线受力的变化,采取合理的运输方案和设备加固校正等措施减小对轴线的影晌。

5 结 语

通过对撒多水电站#3 发电机与水轮机轴连接法兰出现的机组轴线折线进行调整及原因分析,综合分析了影晌水轮发电机组轴线的因数有连轴法兰、推力头与轴颈加工精度及热套工艺、转子安装工艺及设备在吊装、运输、储存保管过程等,针对分段轴存在的影晌轴线线性的偶然性,在其安装过程中,应根据实际测量数据进行综合分析,结合安装步骤和经验制定可靠、成熟的处理措施,确保机组安全稳定运行。

作者简介:

万连彬(1982-),男,四川攀枝花人,工程师,学士,从事水电站机电技术与设备管理工作。

(责任编辑:李燕辉)