

中大型水轮发电机组定子叠片工艺及安装进度优化分析

何柄仪

(中国水利水电第十工程局有限公司 四川 成都 611800)

摘要:近年,水电站和抽蓄电站开发建设越来越多的中大型水轮机组进行安装,由于运输条件限制,水轮发电机组的定子大多采用分瓣运输到现场组装和叠片。由于工地环境较工厂差,定子现场组装和叠片施工质量保证存在一定难度,同时定子叠片在机组安装进度上处于关键线路。本文通过介绍定子叠片的工艺及进度优化措施来保证工程的质量和进度。

关键词:水轮发电机组;定子;工艺;进度

0 引言

中大型机组定子一般为可浮动的铁芯结构,下端由大齿压板和下压指支撑,铁芯由上部的上齿压板、下部的下指压通过拉紧螺杆和碟簧进行压紧,并采用可浮动的鸽尾型定位筋经过托板固定在定子机壳上。铁芯由多个小段组成、其中两端分别有一段粘胶段。铁芯叠片时采用错 1/2 或 1/3 个片进行堆叠。通过嵌装在铁芯轭部的感温电阻测量定子铁芯温度,上齿压板装配压指处与下压指处布置有测温电阻。

1 工艺介绍

1.1 安装流程

发电机定子铁芯叠片安装流程为:定位筋托板预装→基准定位筋安装→大等分定位筋安装→大等分区间的各定位筋安装→托板满焊→下压指预装→下压指焊接→下压指测温电阻安装→定子铁芯叠片→上指压板安装→铁损试验。

1.2 定位筋的基准筋安装

将大等分筋的位置标记在定子下部的大环板上,选用扭曲度和垂直度相对较好的鸽尾筋作为大等分筋,标记出大等分筋中心线,选择其中一根鸽尾型定位筋作为基准筋。将托板装入基准筋后放置在机壳环板上。预先调整基准筋托板的弦向与切向位置,并采用专用夹具将基准定位筋托板夹持在定子机壳各层环板上。注意在定位筋与机壳环板之间加入 5mm 的临时垫板以确保定位筋与机壳环板之间有 5mm 的间隙。将基准定位筋进行轻微细致准确地调整,使基准筋中线与设计提出的弦向差值不超过 0.5mm,通过定子测圆架以及悬垂钢琴线的办法测量并调整基准定位筋的半径和垂直度。基准定位筋调整符合标准后,将基准

定位筋固定(利用专用夹具将基准定位筋的托板在定子机壳各层环板上固定牢靠)。将基准定位筋上各层的托板点焊到垫板或者定子机壳环板处,每段焊缝长度约为 12 ~ 16mm^[1]。

1.3 大等分定位筋安装

基准定位筋检查符合标准后,将大等分定位筋及托板分别吊放在相应位置处。大概调整各个大等分定位筋,保持定位筋中线与定子下部大环板上的位置中线相差不得超过 0.5mm,并使用配备的专用夹具将各个大等分定位筋托板夹持在定子机壳的环板上。注意在定位筋与机壳环板之间加入 5mm 的临时垫板以确保定位筋与机壳环板之间 5mm 的间隙。通过定子测圆架以及内径千分尺在中间部位的托板处测量并调整 2 号(2 号表示大等分定位筋编号)位置处大等分定位筋的半径和该定位筋与基准定位筋的弦距。多次调整 2 号位置的大等分定位筋,使其合格。按上述办法,调整后继续位置大等分定位筋。大等分定位筋调整符合标准后,将各大等分定位筋上的托板对称点焊到定子机壳的各层环板上。

1.4 大等分区间的各定位筋安装

大等分筋检查符合标准后,将大等分区间的各定位筋及托板分别吊放在相应位置处。大概调整各大等分筋区间间定位筋,使定位筋中线与定子大齿压板上的划线位置偏差不得超过 0.5mm,并用专用夹具将各定位筋托板夹持在定子机壳环板上。仍要注意在定位筋与机壳环板间加入 5mm 的临时垫板以确保定位筋与机壳环板间有 5mm 的间隙。使用定子测圆架以及定位筋弦距测量工具在托板处测量并调整基准定位筋与 2 号大等分筋间的区间定位筋的半径和弦距。反复调整该区间定位筋,使其合格。符合标准后,利用专用夹具将 2 号区间定位筋的托板夹持在定子机壳环板上。按上述办法,调整 3 号、4 号……大等分筋位置区

间内各定位筋。区间各定位筋全部调整符合标准后,将各区间定位筋上的托板对称点焊到定子机壳每层环板上。

1.5 托板满焊

托板进行焊接之前,应利用特制双头螺杆弦向顶住定位筋侧面凹槽,将定位筋弦向顶牢,同时应利用专用夹具将定位筋的各层托板向圆心方向固定,以免焊接过程中造成定位筋半径变化太大;然后进行施焊;定位筋托板各层的焊缝焊接完成需后冷却到室温时才可拆除双头螺杆。焊接时,焊接人员应在对称的几个工作面上同步焊接,施焊人员彼此间的焊接速度要保持一致。

1.6 定子下压指安装

复查机壳大齿压板高程应满足定、转子磁力中心线高程要求,检查处理定子机壳大齿压板全圆波浪度不超过3mm。将下压指装焊工具以定位筋定位摆放在机壳大齿压板上(外圆应紧靠定位筋),将下压指摆放、楔紧在下压指装焊工具中,压指楔紧后应满足以下要求:(1)在外圆端打入楔子,确保压指内圆端部与装焊工具间无间隙;(2)在内圆端侧面打入楔子,确保压指与装焊工具齿部无间隙。

叠一层定子铁芯硅钢片检查压指,要求定子铁芯压指中心线与定子铁芯硅钢片前端齿部各中心线之间应重合错位不超过 $\pm 1.2\text{mm}$ 。检查大齿压板和各压指之间应没有间隙,测量各压指的上翘量和圆周波浪度。根据测量结果,打磨机壳大齿压板,使下压指焊接完成后满足规范要求。通过上述调整,下压指全部水平度不超过3.0mm,相邻压下压指高度差不超过0.50mm,全部下压指在同一半径上的断面的内圆要比外圆高出1.0~1.5mm。下压指预装符合标准后,将压指点焊在大齿压板上。拆除压指装焊工具,利用测圆架测量压指内圆半径,与设计值的偏差不超过 $\pm 0.5\text{mm}$,否则应予以处理。复测各压指的上翘量和圆周波浪度应满足要求。施焊后复测各压指的高程满足叠片要求,上翘量和圆周波浪度应满足以下要求:(1)下压指圆周水平度不超过3.0mm,相邻下压指高度差不超过0.50mm;(2)各压指截面的指尖要比外圆高出1.0~1.5mm。

1.7 铁芯叠片准备

开始正式进行定子叠片前,应校定定子测圆架的准确性。正式叠装前,应仔细用通槽棒检查所有定子刷胶片的错牙情况,通槽棒应能顺利通过,且槽底应无明显错牙。检查定子铁芯硅钢片制作质量,对于折弯、有缺损、铁芯片根部或齿部断裂、卷曲的和绝缘漆脱落和生锈的定子冲片,应不予使用。抽查测量定子铁芯硅钢片厚度,并根据设计图纸上标注的每一小段定子铁芯高度,计算出每一小段定子铁芯硅钢片的所需叠放的层数,并按设计要求分列出测温片、绝缘片定子铁芯片的具体使用位置,编制叠装表。根据图纸要求,测温电阻安装位置使用测温电阻专用定子铁芯硅钢片。在定位筋上进行叠片检查安装槽的错牙情况,不得影响定子铁芯温度计的安装。检查并确认所有

温度计可以在叠片完成后,从铁芯背部进行安装,否则应挪移位置或在叠片时安装铁芯温度计。清扫、整理拉紧螺杆、拉紧螺杆套管、蝶形弹簧、调整螺栓等铁芯叠片配件以及槽样棒、整形棒、通槽棒、铁芯预压工具等铁芯叠片工具。预叠装一层冲片,根据主引出线与中性点的中心线位置确定定子铁芯槽号,并与定子机壳缝合线位置槽号相互检验,确认无误后并在下压指上标记出定子铁芯槽号。

1.8 铁芯叠片

定子铁芯叠片过程中,应注意以下几点:

(1)相邻两层定子铁芯硅钢片之间按要求错开1/2或1/3个槽距进行叠放,可顺时针错开或逆时针错开。一旦开始叠片时确定错开方向,所有的粘胶片、冲片、通风槽专用片全部按此顺序进行错开叠放。

(2)所叠装冲片应无油渍,干净,无灰尘;有漆膜不均、裂纹等缺陷的冲片不得使用。

(3)定子铁芯叠片时,定子铁芯硅钢片应靠紧定位筋。

(4)定子铁芯片叠装过程中,及时测量定子铁芯的半径、圆周水平度、齿涨以及各小段的高度,对不符合要求的进行必要调整。

(5)定子铁芯片叠装过程中,可根据现场情况,采用定子补偿片(绝缘片)来平衡定子铁芯齿涨;利用普通铁芯片,调整定子铁芯圆周的水平度。

(6)每叠完一小段铁芯时,沿定子铁芯圆周测量铁芯的段长,铁芯的每张硅钢片1个点,其偏差需小于设计值的0.50mm。

(7)定子铁芯在叠片中要及时用整形棒对铁芯进行整形,但严禁使用铁锤敲打铁芯和整形棒(采用紫铜锤);当叠完一小段,需要对铁芯全部整形一次。

(8)槽样棒随叠片高度增加同步上移,以保证定子槽形的符合要求。

(9)通风槽片的小工字钢在竖直方向应对齐,通风槽片边缘不得侵入定子铁芯槽内。

(10)每一小段定子铁芯叠装完成后,应按设计要求叠放一层通风槽片。

(11)尽量在定子铁芯全部叠装完成后再拔出定位筋和托板之间的楔形垫,如果经现场试验,部分垫块在铁芯全部叠装完成后无法拔出,可在叠至该垫块时拔出,否则均应在铁芯全部叠装完成后拔出。

(12)在铁芯在叠装时,应将所叠装硅钢片种类、重量和数量进行一一记录,以便最后计算定子铁芯实际叠片的质量。

(13)叠片完成后,将定位筋与机壳环板之间加入的5mm厚临时垫板取出,对于叠片完成后不方便取出的垫板,应在堆叠一定高度后取出^[1]。

定子铁芯下端部粘接段叠完后,在每张片交接处塞入槽样棒,用来固定定子铁芯硅钢片,每张硅钢片不少于2

根。叠放过程中使用整形棒进行定子铁芯整形,并用通槽棒进行检查。并适当布置槽楔槽样棒,应注意铁芯槽底的错牙情况。定子铁芯片一般分2~3次预压和一次终压,第一次预压高度约在叠片高度在500mm左右。在预压前、后都要测量,记录铁芯的半径、圆周向水平度和高度。首次预压结束再次进行冲片叠装时,应根据以上测量记录,进行定子铁芯圆周向水平度调整,使定子铁芯终压后的高度和圆周向水平度有所保证^[2]。

铁芯分段预压时应注意以下事项:预压前将铁芯全部整形一次。定子铁芯第一、二次预压时,使用工具螺栓、套筒及压板进行压紧,压板放置在铁芯表面,注意采用两层废冲片保护铁芯。预压过程中,应以定子铁芯圆周方向上最高点为起点,采用顺时针、逆时针相结合的把紧方式进行多次对称压紧。在预压过程中槽样棒与槽楔槽样棒不得露出铁芯。在每次铁芯预压的时候,应使用液压拉伸器,按25%、50%、75%、100%的比例逐渐加大拉紧螺杆扭力,使其最终符合要求。螺杆螺纹应涂上二硫化钼。在叠放过程中,完成一大段定子铁芯叠装后,在压紧状态下,应测量定子铁芯的半径、定子铁芯轭部背部、槽底及槽口铁芯高度、铁芯圆度以及圆周波浪度。叠装最后一段定子铁芯硅钢片时,按先后顺序应分别叠装粘胶片,并应全部插入槽样棒,使槽样棒靠紧铁芯槽底。

正式吊装并调整上齿压板,使齿压板上螺孔与定子下环板的螺孔上下同心,上齿压板压指中心与铁芯硅钢片齿部中心线偏差不超过2.0mm,上压板的圆周方向水平度不超过3mm。根据图纸要求,安装拉紧螺杆、碟簧、套管以及螺母等相关部件,应保证这些零部件与铁芯拉紧螺杆同心且摆放整齐。按要求,通过拉紧螺杆和上齿压板压紧定子铁芯。定子铁芯整体压紧后,整体测量定子铁芯的内径、圆周方向个点高度及水平度,需要符合以下标准:至少测量上、中、下3圈,每圈不少于48个点,各点半径应在偏差范围内,且定子圆柱度(最大值与最小值之差,下同)不超过规范要求。测量铁芯槽底、槽口齿尖的铁芯高度,其压紧后高度应符合要求。计算定子铁芯的叠压系数需大于等于0.96。在拔出全部槽样棒后,用通槽棒对定子铁芯槽形进行逐槽检查,应全部通过。

2 进度优化措施

2.1 施工人力资源优化

定子叠片阶段是施工人员数量要求较多的阶段,应提前做好人员准备和精细化分工,还应根据现场情况对所有施工人员进行培训。

(1) 人员分工。定子叠片施工中(如一圈48张片)每个班可分为:带班人员1人、检查人员2人、整形人员4人、叠片人员12人、开箱人员1人、起重及司索2人,若现场根据进度需要倒班每个班按以上人员进行配置。人

员数量可根据一圈定子铁芯硅钢片的多少进行增减。

(2) 人员培训。正式叠片开始前应根据各工种进行系统的培训,明确每一个施工人员负责的范围。特别是叠排人员叠开始的几小时时一定要慢,减少出错率,熟悉后可逐渐提高速度。施工中可以通过以下措施来减少出错率:①制作数字卡片1~n号分发给叠片人员;②叠片人员在自己起始叠片处的上一张片末端写下自己卡片的数字;③将卡片放在下一张叠片的位置然后对当前位置叠入定子铁芯硅钢片;④移动卡片一张片位置叠入定子铁芯硅钢片循环至叠完一圈;⑤检查最后一张片是否刚好盖住自己写的数字无误后即可重复上述步骤进行叠片;⑥后续人员开在前一位叠片人员叠下第1~2张片后开始上述步骤叠片。

2.2 充分的施工准备

(1) 工器具准备。提前准备好所需要的全部工器具,根据施工需要略有冗余。

(2) 技术准备。仔细研究图纸和工艺要求提炼出施工要点和重点,如测温片位置、每下段厚度和张数、第一次预压高度、第二次预压高度、预压流程和拉紧螺杆扳紧顺序等。

2.3 分解工序精细化管理

通过分解出每个工序的施工时间精选化管理每一个施工步骤,出现偏差查找原因及时纠偏。可细化出以下工序的施工时间:叠片1小段1h,预压工装安装3h,紧拉紧螺杆、验收3h,拆预压工装2h等。

2.4 其他工期优化措施

结合现场情况还能对工期优化措施有:提前拆除定子铁芯硅钢片包装箱铁皮护角,减少叠片时开箱时间。利用叠片行车空挡时间将预压工装吊至定子顶部环板上平面均匀分布,缩短预压时吊工装时间。第一次预压后工装吊至定子顶部环板上平面均匀分布。第一次预压前连接撑管并装箱便于吊装。第二次预压前拆开撑管并装箱便于吊装。

3 结语

本文通过对中大型水轮发电机组定子叠片工艺的介绍和施工进度优化措施的分析,希望能够抛砖引玉,与同行共同提高水轮发电机组的安装工艺和进度。

参考文献:

- [1] 徐磊. 缅甸道耶坎II级水电站水轮发电机定子铁芯装配工艺[J]. 科学技术创新, 2020(35):156-158.
- [2] 周若愚. 丰宁抽水蓄能电站定子组装技术[J]. 水利建设与管理, 2021(8):22-26.

作者简介: 何柄仪(1987.02-),男,四川都江堰人,本科,工程师,研究方向:水电站机电设备。