

「控制系统」

发电机基座弹簧隔振安装技术

文/南瑞集团公司/国网电力科学研究院 万德春 汪海波 洪 深 赵金荣

国家电网公司（常州）电气设备检测中心大容量试验室 $2 \times 6\ 500\ \text{MV} \cdot \text{A}$ 冲击发电机组基座为非常规设计，在 $-6.52\ \text{m}$ 处放置弹簧隔振器，将筏板基础与发电机组基座分开，是国内首次将弹簧支撑隔振技术应用于冲击发电机组基座中。采用弹簧隔振技术可有效缓解冲击发电机每天起停机以及短路试验过程中机组振动对建筑的影响，也有利于发电机组后期调平、消除基础不均匀沉降等作用，同时也解决了地下室的防水处理难的问题。介绍了隔振器上下接触面处理、就位、释放和调整等施工安装过程。

弹簧支承隔振技术至今已被用于世界上500多台核电、火电机组上，而且近30多年来一直运行良好，相比常规基础，采取弹簧基础有助于降低振动与噪声，提高抗震性能。国家电网公司（常州）电气设备检测中心二期大容量试验站工程是国内首次将弹簧隔振技术应用于冲击发电机组基座中，整个设计由德国GERB（隔而固）公司完成，弹簧隔振器由隔而固（青岛）公司组装生产。GERB公司在2013年完成了荷兰KEMA大容量

试验站扩建工程中的2台试验容量为 $2\ 100\ \text{MV} \cdot \text{A}$ 冲击发电机的弹簧隔振基础设计，并已成功投入商业运行。

国家电网公司（常州）电气设备检测中心大容量试验站安装有2台由哈尔滨电机厂生产的TFC6500-2型冲击发电机。该发电机组基座为非常规设计，机组地下室深度大于 $5.5\ \text{m}$ ，整个机组基础结构如图1所示。

冲击发电机试验供电持续时间不超过零点几

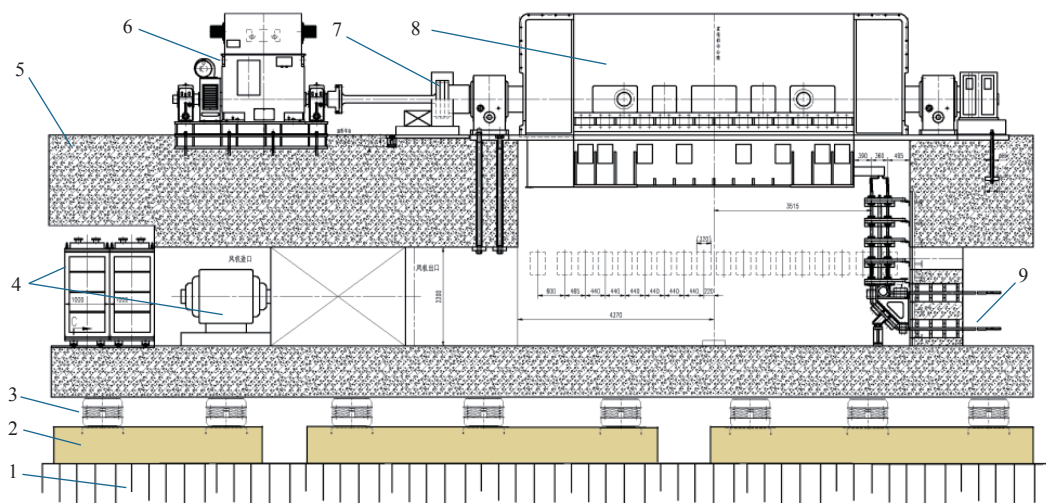


图1 整个试验发电机组隔振基础示意图

1—发电机组筏板基础 2—隔振器支柱 3—弹簧隔振器 4—冲击发电机通风冷却系统 5—发电机组混凝土基座
6—拖动电动机 7—弹性联轴器 8—冲击发电机 9—冲击发电机首尾端引出线

秒,但冲击电流有效值可达上百千安,每次试验都相当于常规发电机的出线端事故短路,每天要进行数十次的短路试验,每次短路时瞬时强大电力会通过轴承座传到整个结构基础进而引起建筑振动。冲击发电机每天都会经历启动、停机的过程,在这个过程中机组会经历一阶、二阶临界转速,此时振动值相对较大。目前,国内大容量试验站的做法是将发电机房建筑基础与发电机基础分开,常州检测中心项目地质勘测的稳定水位为自然地面下1.00~3.30 m,平均2.00 m,因此设计发电机房与发电机基座共用一个整体浇筑的筏板基础,再用弹簧隔振器将发电机组基座与筏板基础分开,这样可有效缓解冲击发电机组每天起停机以及短路试验过程中机组振动对建筑的影响,同时也有利于发电机组后期调平、消除基础不均匀沉降等作用,也解决了地下室的防水处理难的问题。

准备工作

1. 隔振器支柱施工

每台发电机组基座下部设有两个轴线,每个轴线上设置三个隔振器支柱,共6个柱头。如图1、图2所示,16组隔振器按照2-3-3的数量分布在两个轴线的三个支柱上。

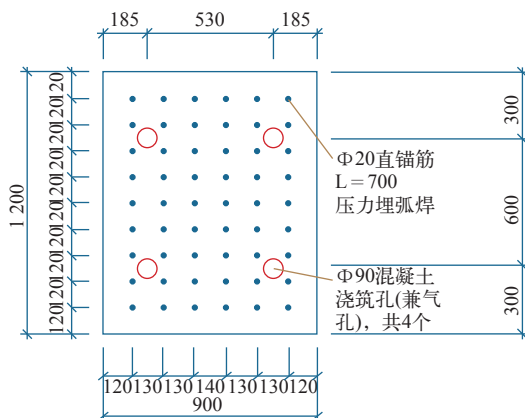


图2 隔振器支柱分布

2. 隔振器下接触面处理

下接触面(即柱顶面)处理直接影响弹簧隔振器安装及最终工作状态。在隔振器支柱柱顶表面放置20 mm厚的1 200 mm×900 mm钢板,这样便于下接触面标高、平整度的控制及处理。钢板

上焊接有相当数量的锚筋以保证基础面的支撑强度。钢板尺寸如图3所示。



MGQ5墙顶预埋钢板MB1

钢板厚20, Q235B
钢板面标高-6.520

平面度及标高误差均不得大于2 mm

图3 柱顶面支撑钢板

考虑到混凝土硬化后会有一定量的收缩,而作为支撑用的预埋钢板下方又不能出现空隙,否则在后期运行中影响整个台板振动,因此支柱钢板周围往下80 mm位置采用二次灌浆,如图4所示。二次灌浆料采用瑞士西的卡无收缩高负荷膨胀剂,具有显著的流动性、自密实,以保证支撑钢板下部的密实度。



图4 支撑钢板局部二次灌浆

完成二次灌浆之后还需要对浇筑完成的支柱面的钢板进行平整度校验,通常需要对钢板的四角以及中心五个位置的水平高度与平整度测量并做好记录,若出现高度误差超过运行的范围,需要对高出部分进行有效的打磨工作,以保证钢板

平整度不超过 $\pm 2\text{ mm}$ 的要求。

3. 支撑盘扣架架设与底模板固定

根据设计经验, 隔振基础顶板质量不宜太小, 建议不小于设备质量的2倍。本项目机组基座的长 21.665 m , 宽 8.0 m , 基座厚 5.885 m , 混凝土方量约为 750 m^3 , 发电机组设备重量约为 460 t , 整个基座重量约为 $1\ 850\text{ t}$, 质量比为4。考虑到整个基座载荷, 采用盘扣架立杆进行支撑, 支撑高度为 1.15 m , 具体如图5所示。盘扣架立杆下方铺设8#槽钢以增大受力面积, 立杆横距和纵距分别为 900 mm 和 600 mm , 步距为 500 mm , 主龙骨采用 $\text{H}150\text{ mm}\times 75\text{ mm}\times 5\text{ mm}\times 7\text{ mm}$ 型钢, 沿长向放置, 次龙骨采用 $40\text{ mm}\times 90\text{ mm}$ 杉木方, 木方间距为 35 mm , 沿横截面方向放置。弹簧隔振器及间隙区域的支撑: 竖向支撑采用 $\text{H}175\text{ mm}\times 90\text{ mm}\times 5\text{ mm}\times 8\text{ mm}$ 型钢, 主龙骨采用 $\text{H}175\text{ mm}\times 90\text{ mm}\times 5\text{ mm}\times 8\text{ mm}$ 型钢, 次龙骨采用6.3号槽钢。

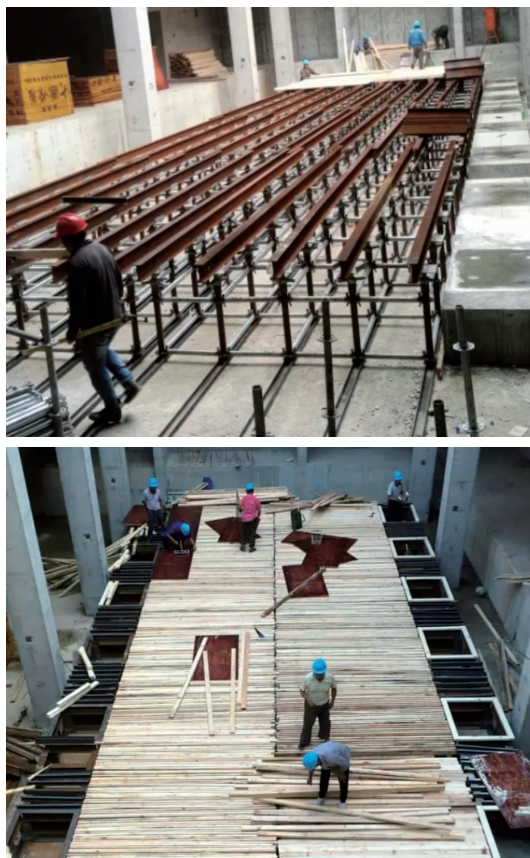


图5 支撑盘扣架与底模板

隔振器就位安装

隔振器的整个工序可以概括为以下顺序: 隔振器检查→柱顶面标高、平整度检查→隔振器放

置位置标记→隔振器位置标高、平整度实测并记录→放置防滑垫板→安放隔振器→放置调平钢板及防滑垫板、隔振器保护→覆盖钢板就位→台板结构施工→设备就位后的隔振器释放→隔振器调整, 直至满足设备要求。

1) 弹簧隔振器检查。根据图样设计及到货清单对隔振器到货情况进行仔细检查。检查内容包括隔振器型号、数量; 调平钢板与防滑垫板型号、数量; 隔振器实际高度。

2) 柱顶面标高、平整度检查及处理。用普通水准仪初步检查柱顶面标高、平整度, 如果超出设计要求范围, 用砂轮打磨处理, 直至满足要求。

3) 隔振器放置位置标记。柱顶面清理完后, 按照设计要求, 用墨线清楚地标识出隔振器的放置方框, 方框内标识好隔振器型号, 同时要求方框大小、位置均应符合设计要求, 以便隔振器就位。

4) 隔振器位置标高、平整度实测并记录。在所标识的隔振器放置位置范围, 标记出5个测点并依次编号, 5个点分别布置在4个角及中心。依据测量结果来对隔振器放置位置标高、平整度偏差进行控制。控制标准: 标高偏差不得超过 $+2.0\text{ mm}$, 平整度控制在 $\pm 2.0\text{ mm}$ 内, 同时要求相邻柱头标高偏差不大于 3.0 mm 。

5) 放置防滑垫板: 隔振器与基础接触面之间放置一张高摩擦因数的防滑垫板, 以此方法固定隔振器。防滑垫板应与隔振器底面尺寸匹配, 且应平整无折皱, 厚度应均匀。

6) 放置隔振器。按照安装顺序要求依次用起重机械将隔振器吊装就位、找平、找正, 要求其中心轴线安装偏差不大于 5 mm 。根据图样要求将不同型号的隔振器吊装到对应位置, 隔振器吊装前吊环安装必须牢固。

7) 放置调平钢板及防滑垫板。隔振器就位后, 仔细检查其型号、位置和铭牌朝向是否符合设计、产品要求, 以及上下是否颠倒。检查合格后, 按照产品要求, 在隔振器上依次放置防滑垫板1层、调平钢板若干、防滑垫板1层。防滑垫板要放平放正, 且与调平钢板、隔振器顶面尺寸应匹配。调平钢板有 1 mm 、 2 mm 、 3 mm 等3种规格, 可根据隔振器基底的标高偏差适当调整。为了便于今后调整, 调平钢板总厚度应在 $20\sim 30\text{ mm}$ 之间, 且薄钢板尽量放在上面。

8) 隔振器保护。以上工序验收合格后,用较厚的塑料布从上到下连同防滑垫板、调平钢板和隔振器进行包裹,避免隔振器在施工过程中污染。

9) 覆盖钢板就位。覆盖钢板放置在隔振器顶部,尺寸为1 200 mm×900 mm,厚度20 mm。为消除焊接锚筋产生的变形,需对覆盖钢板进行校正、整平,满足平整度不大于±2.0 mm的要求。在隔振器位置处开孔,开孔尺寸每侧均大于隔振器边缘50 mm,孔洞四周的模板必须调平并采取加固措施。同时要注意的是覆盖钢板底模与台板底模相对独立,以确保覆盖钢板底模不发生沉降,因此在隔振器四周开孔部分采用槽钢框支撑,钢框采用H175 mm×90 mm×5 mm×8 mm型钢焊接,上面用高平整度的木枋进行调平,如图6所示。本工程采用的方案为基座模板与弹簧隔振器之间无间隙施工方案。



图6 隔振器四周支撑钢框架

隔振器就位过程的注意事项如下。

1) 隔振器上下接触面钢板表面应洁净、无油污等,标高、平整度偏差必须满足设备要求标准。

2) 隔振器安装时应注意不能上下颠倒,且铭牌应朝外,便于施工人员检查。

3) 放置调平钢板时应注意保证钢板表面洁净无污染物,钢板边缘应平整,不能有卷边和毛边,否则应进行处理;防滑垫板应平整、洁净,严禁折叠放置。同时要求隔振器接触面尺寸必须与防滑垫板、调平钢板大小对应。

4) 隔振器覆盖钢板的支撑应该采取加固,以确保覆盖钢板底模不发生沉降。

基座施工

在上述工序验收合格后,进行基座结构钢筋、模板和混凝土的施工。由于整个试验发电机组基座为非常规设计,在基座内部有发电机空气冷却循环通道、发电机首尾端引线孔洞、发电机组的油水管沟、预留件和二次灌浆孔洞等设施,因此整个基座结构浇筑分底板、墙板和顶板3次进行。在底板上部设置施工缝,第一次浇筑从-5.885 m至底板面-4.685 m,底板浇筑完毕并达到设计强度以后,第二次再浇筑墙板,墙板浇至-2.485 m,第三次再浇筑标高-2.485 m至+0.0 m部分。

发电机的首尾端三相引线均为下出线方式,需要穿过1.2 m厚墙板,工艺设计要求穿引线用的6个墙洞采用12 mm厚的铝屏蔽板翻边包裹,具体

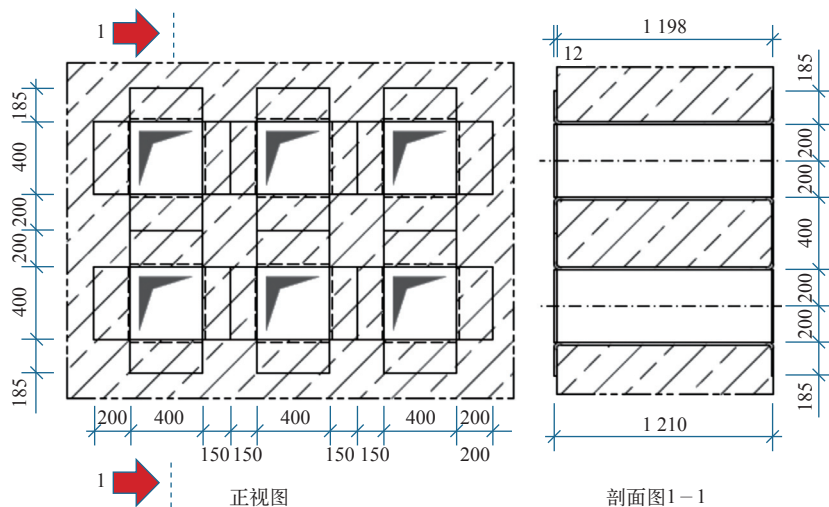


图7 发电机三相引线铝屏蔽板示意图

如图7所示。6个铝屏蔽件在工厂按照尺寸定制加工，在现场固定好之后对各屏蔽件的连接处缝隙全部用铝满焊；同时要求所有铝屏蔽件周围墙板一圈的钢筋不能形成闭合回路，因此墙板的钢筋与钢筋之间采用塑料绝缘卡隔开，采用塑料扎带绑扎，严禁采用金属丝绑扎，以确保该区域内钢筋不能形成闭合回路。

隔振器释放、调整

弹簧隔振器一定要在发电机组安装就位后进行释放，弹簧隔振器释放即解除预压缩锁定螺栓，使弹簧隔振器自由受力。弹簧隔振器的释放由1个小的液压系统完成，这个液压系统包括1个液压泵和2个液压千斤顶，液压千斤顶的型号和尺寸按弹簧隔振器的型号确定。在释放预压缩的弹簧隔振器之前，要重新测量一遍所有基准点处的高度并记录，这些记录是后期发电机组调整、找正的基础。

在每个隔振器的覆盖钢板和支柱钢板上各设1个测量基准点，上下两点应在同一铅垂线上。用千分尺在此基点上测量隔振器上下接触面的距

离，在结合原设计压缩值的基础上，计算出每个隔振器应调整的数值。用支撑在隔振器弹簧上钢板的电动液压千斤顶将基础台板微微顶起，使基础台板与弹簧隔振器之间形成间隙，按照计算好的调整数值加、减调整钢板实现抬高或者降低基础台板的标高。在发电机组确认已经对中、找平并连接以后，所有基准点处弹簧隔振器的高度都要重新测量一遍并作记录。弹簧隔振器内部的弹簧高度也要测量并作记录并放入安装记录中。最后，要检查所有预压缩螺母必须松开30 mm以上。

结束语

弹簧隔振技术有着诸多优势，汽轮发电机弹性基础在国内也得到越来越广泛的应用，国家电网公司（常州）电气设备检测中心二期大容量试验站工程项目是国内首次将冲击发电机基座采用弹簧基础设计。本文介绍了冲击发电机弹性基础施工的整个过程，希望可以为今后类似工程的施工提供参考。EA

（收稿日期：2017.05.27）

（编辑：刘群彦）

（上接第87页）

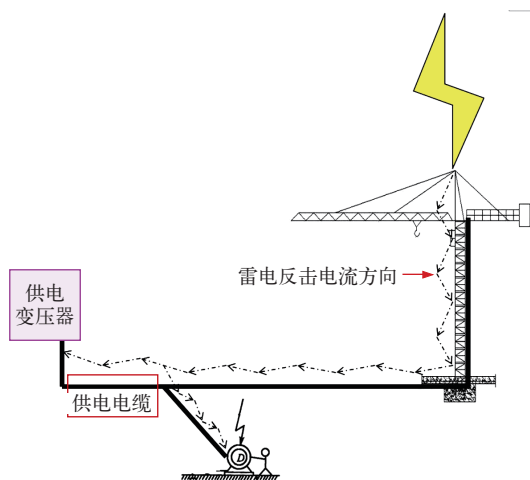


图3 雷电反击电流示意

经分析，对于第一种方法，在塔机本体日常工作中，由于工作负荷大、作业范围大、塔臂360°旋转、作业环境恶劣，不容易设置与塔机本体严格绝缘的单独的防雷接闪体和防雷引下线；对于第二种方法，虽然能彻底解决防雷防护与漏电防护的问题，但是经济成本较大。

经过对比，认为第三种方法较为可行，但是需要注意以下几点。

- 1) 防雷接地体的接地电阻应限制在较低范围，尤其是在雷电高发区域。
- 2) 在雷电发生概率较高的天气状况下，如雷雨天气、多云天气，需停止塔机施工，并撤离现场人员，以避免事故发生。
- 3) 塔机供电不宜采用TN-C或TN-C-S系统，起重机轨道应与地线紧密相连，尤其是当起重机在作业高度较高、作业区域雷击概率较高的区域工作时。EA

（收稿日期：2017.03.01）

（编辑：刘群彦）

2) 在塔机工作的区域，做严格的防雷防护，如设置高于塔机的防雷网或者防雷塔以实现防雷。

3) 塔机采取TT系统并加装漏电保护器以实现漏电防护，塔机本体作为防雷接闪体和防雷接地的引下线，并和电力系统之间保持严格的绝缘。