

特高压换流站配套调相机施工 技术与应用

研究成果报告

中国电建集团河南工程有限公司

2018 年 03 月

项目名称：特高压换流站配套调相机施工技术与应用

课题承担单位：中国电建集团河南工程有限公司

项目负责人：程 柯

主要完成人：程 柯 朱飞乐 何万泉 刘纪鑫 刘永升

杨超军 张道保 闫志彬 李 萧 修 杰

报告编写人：程 柯

报告审核人：朱飞乐

报告批准人：何万泉

目 录

1 前言.....	1
2 主要用途.....	1
3 技术原理.....	2
3.1 施工工艺流程.....	2
3.2 施工前应具备条件.....	3
3.3 安装工序.....	3
4 关键技术及创新点.....	15
5 推广前景.....	17
6 经济效益及节能减排.....	17
7 必要图标及照片.....	18

特高压换流站配套调相机施工技术与应用

中国电建集团河南工程有限公司

1 前言

调相机工程可为电网的无功电压调节提供有效的技术手段，利用实现电网逆调压；为高比例直流受电的局部电网提供有效的动态无功支撑，从而提高电网的动态电压稳定裕度；提高直流站的短路比，增强直流站接入的交流系统；可减小交流电网故障时直流换相失败的范围和概率，从而简化特高直流送受端电网间的运行制约关系。

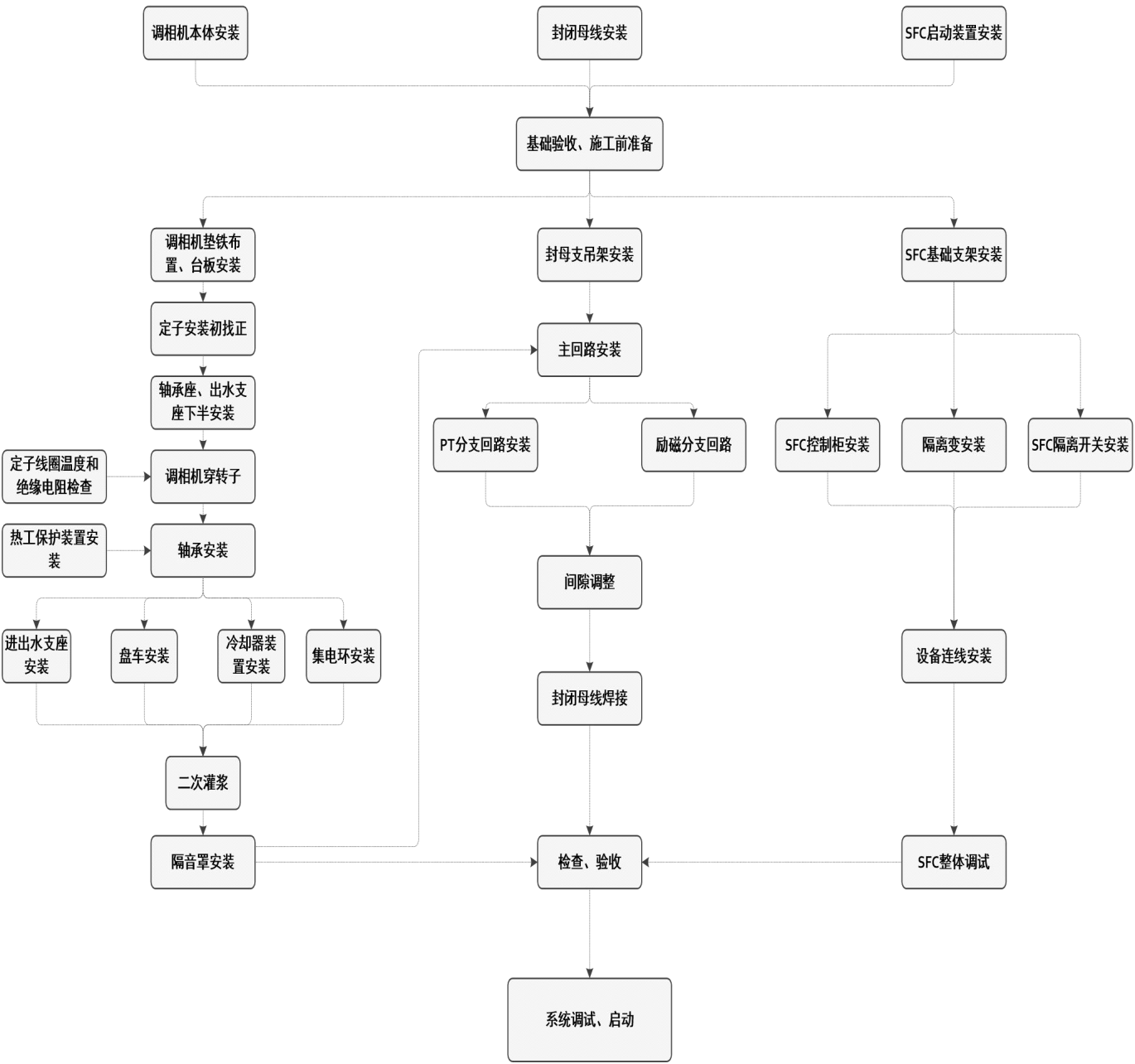
随着近年来，特高压电网的建设及风电、光伏等新能源的大规模开发，为保证电网运行平稳可靠，2016 年，国网公司启动新一代调相机研发，根据特高压交直流混合大电网对调相机的功能需求，借鉴国内外发电机制造的最新技术，组织国内主力发电机厂、控制保护厂和科研、设计、试验及高等院校开展产学研联合攻关，至 2017 年底哈尔滨电机厂研制的额定容量 300 兆乏全空冷新型调相机和上海电机厂研制的额定容量 300 兆乏双水内冷新型调相机已成功通过型式试验。新一代调相机的次暂态、暂态性能和过负荷能力十分突出，是一种全新的、高性能、大容量“无功冲击发电机”，属国际首创。泰州 2×300 兆乏调相机工程是国家电网首批特高压换流站配套调相机工程，新型的调相机安装过程中的质量控制要求和安装工艺均高于常规百万火发电机组的发电机安装标准。调相机安装没有经验可以借鉴，在依据常规火电机组技术规范的要求下结合输变电工程技术标准，在保证安全、质量的前提下形成了成熟有效的调相机施工技术成果。

2 主要用途

在投运的特高压换流站安装调相机，因现场无法存在物资存放场地，所以必须合理安排工序，详细计划物资需求来满足现场连续性施工，降低施工成本，缩短施工周期。通过对常规火电机组和输变工程常规化施工工序和方法进行变革和创新，结合上海电机厂 300 兆乏双水内冷新型调相机安装说明书。总结形成一套合理有效适用于单机额定容量 300 兆乏及以上的调相机安装验收的生产技术措施，以最优化的施工工期和最合理的成本获得优质的工程。可在额定容量 300 兆乏双水内冷新型调相机的安装工作中推广。

3 技术原理

3.1 施工工艺流程



3.2 施工前应具备条件

3.2.1 施工现场道路平整、畅通，便于设备运输。楼梯安全通道已可以使用，孔洞已安装

盖板或安装栏杆。调相机房内照明充足、通道畅通，高空防护栏、安全网等措施已落实。配备有足够的消防设施；

3.2.2 调相机厂房已封闭，并通过验收，无漏雨及其它影响现场施工现象；

3.2.3 调相机图纸及技术文件齐全并且经过业主、监理单位的图纸会审工作；

3.2.4 施工单位对调相机专业图纸已进行专业会检工作；

3.2.5 施工方案和作业指导书已经审批，技术安全措施及交底已准备；

3.2.6 土建基础已通过验收，基础具有清晰准确的中心线和标高基准点，运转层柱子具有清晰准确的标高线；

3.2.7 起重工、操作工、电气工、焊工等特殊工种人员具备相应的资质，资质经审查合格并经上岗考试合格具备上岗条件；

3.2.8 施工所需设备及工具齐全，量具已经校验并处于有效期内；

3.2.9 所有施工人员施工前已经经过施工技术安全交底，并且对交底内容和作业指导书内容

3.2.10 厂家技术指导已到施工现场，并已开始进行技术指导施工。

3.3 安装工序

3.3.1 调相机本体安装

3.3.1.1 基础验收及准备

1) 检查基础混凝土表面应平整，无裂纹、孔洞、蜂窝、麻面和露筋等缺陷。并将基础清理干净，尤其是承力面基础应干净无油污。

2) 检查基础中心线及基准点，并根据纵横中心线核对轴承箱中心与机组中心线的重合度，允许偏差小于 $\pm 3\text{mm}$ 。各预埋件不得歪扭，垂直度偏差应小于 3° 。

3) 按照厂家及设计院图纸检查调相机地脚螺栓布置的位置、数量以及其标高和中心线偏差。

4) 根据机组中心线检查定位板口、基础螺栓孔、电缆孔、通风孔及管路孔的尺寸及分布的正确性。

5) 将伸出基础表面的基础螺杆套管割掉，使之与基础表面平齐。

3.3.1.2 调相机垫铁布置及台板安装

1) 凿毛混凝土基础表面，要求凿出混凝土的真是层，平面平均粗糙度为 $10\sim 20\text{mm}$ ，凿毛后应将表面凿屑、灰尘等去掉，并清理干净。

2) 根据底板垫块布置图（Q5D020F4664）把垫铁位置用墨汁画出。

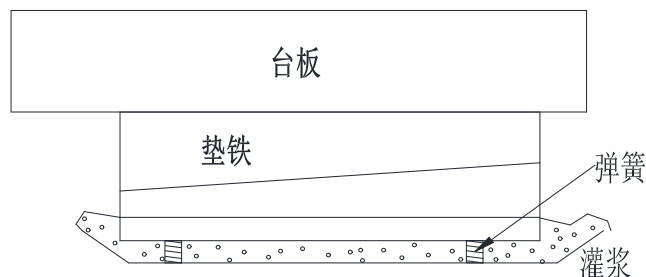
3) 每对垫铁下面放置4个弹簧，弹簧线径 $\Phi 2\text{mm}$ ，直径 20mm ，高度 40mm 。

4) 用煤油彻底清洗台板、地脚螺栓，按照底板图（Q5D020F4654）要求放置地脚螺栓和台板，偏差应在 3mm 以内。

5) 在每块台板四角放置临时垫铁，分别就位每一块台板。

6) 用临时垫铁来调整台板水平，采用水准仪测量台板标高，用合像水平对前、后轴承箱台板进行测量，横、纵向水平在 0.03mm/m 范围内，调相机台板水平朝外扬 $0\sim 0.03\text{mm/m}$ 为宜。

7) 采用座浆法浇筑垫铁，见示意图。检查垫铁与垫铁、垫铁与台板之间 0.05mm 塞尺不入。



8) 联系土建用 δ 3-5mm 钢板在调相机台板内侧安装二次灌浆挡板，二次灌浆挡板高度比台板上表面低 10 左右 mm，灌浆挡板与混凝土基础之间的立面缝隙进行敛缝防止漏浆。

9) 每台调相机螺栓共 48 条螺栓，地脚螺栓使用位置见下表：

M64×2000	9 根	非励磁端轴承箱台板前侧 4 根 励磁端轴承箱台板后侧 5 根
M64×2600	26 根	调相机两侧中间台板就位前提放置 14 根 调相机两侧两端就位台板后放置 12 根
M64×2950	13 根	非励磁端轴承箱台板后侧 4 根 励磁端轴承箱台板前侧 5 根

3.3.1.3 调相机定子吊装、初找正

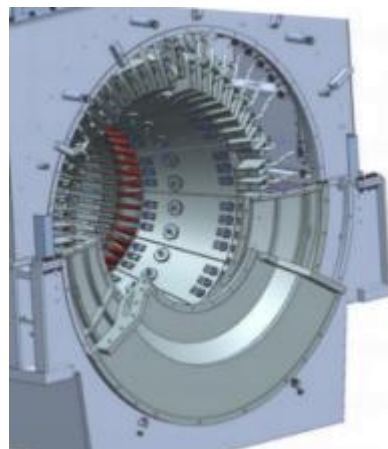
(1) 定子吊装

1) 吊装前先将调相机台板再次检查一遍有无毛刺，垫上 3mm 厚的垫片

2) 定子到达现场后拆除临时堵板。

3) 因调相机安装轴向空间比较小，定子就位后底部外端盖、内端盖无操作空间，无法安装，因此定子就位前需要安装好下半内端盖和外下外端盖，见图。

4) 调相机定子吊装，300Mvar 调相机由上海电气集团上海电机 厂有限公司制造生产，调相机定子起吊重量为 235t，定子运输尺寸 9250×3730×4406.5mm，定子安装在主厂房 4.5m 平台上，在 4.5m 平台上铺设轨道梁，轨道梁上组装 500t 提升门架。



5) 定子吊装分三步进行，第一步安装吊装门架，铺设轨道立柱和轨道梁，因定子运输高度为 3.8 米，板车高度 1 米，检修间土层标高-0.5 米位置铺设 5 米立柱和轨道梁；第二步吊装定子，在轨道梁上布置吊装门架，吊装梁上悬挂两台提升装置进行起吊，由提升装置将定子在地面进行 90° 转向，拆除转向装置（400t 大钩和扁担梁），再重新布置 4 台液压提升装置，用提升装置将定子提升至 4.8m，利用液压推力器推动门架至定子就位基础上方，进行微调找正，操作提升装置下降将定子就位；第三步拆除吊装门架，利用调相机房行车将吊装门架和轨道梁拆除，见图。调相机就位到台板之前 100mm 左右时停下，检查 3mm 厚的多张垫片是否偏斜，同时用白布清扫垫片上的灰尘，调整地脚螺栓全部穿入到调相机支撑板螺栓孔内。



6) 就位后，检查定子内部并用大功率吸尘器对其进行清理，确保无尘土和杂物遗留。

此工作不能用压缩空气代替。

7) 为避免将异物带入定子, 进入定子的工作人员应穿联体工作服及工作鞋。

8) 通知电气专业对定子进行绝缘电阻测量和电气方面的检查, 这些工作由电气专业完成。

9) 检查定子机座各把合面的平面度和粗糙度, 清理毛刺和凸起部分。

10) 拆下定子铁芯保护装置。

(2) 出线盒安装

1) 检查、准备法兰面、密封槽、实验槽、试验孔以及橡皮圈。安装螺栓的螺纹和接触面上稍涂润滑油。

2) 为了安装出线罩方便, 需搭建脚手架。

3) 采用行车缓慢平稳的就位出线罩, 严防杂物落入到定子内。

4) 选入螺栓, 以十字交叉方式均匀扳紧螺栓, 并逐步增加力矩, 一直到规定的最大扳紧力矩。多次检查所有螺栓是否已经达到规定的力矩。

5) 拆除脚手架。

(3) 调相机端盖试装

1) 调相机端盖检查, 清理: 用清洗液将端盖清洗干净, 检查端盖几何尺寸应符合图纸要求, 检查端盖垂直结合面、上下水平接合面及各油口法兰接合面应无毛刺、凹坑和机械损伤, 如有采用油石修复。(注: 严禁用湿布和清洗液清洗绝缘部位)

2) 清理定子与端盖接合面, 试装所有端盖螺栓。

3) 内外端盖与风挡下半在吊装定子的时候就已经安装, 检查上半内外端盖与风挡, 安装调整上半内外端盖与风挡。

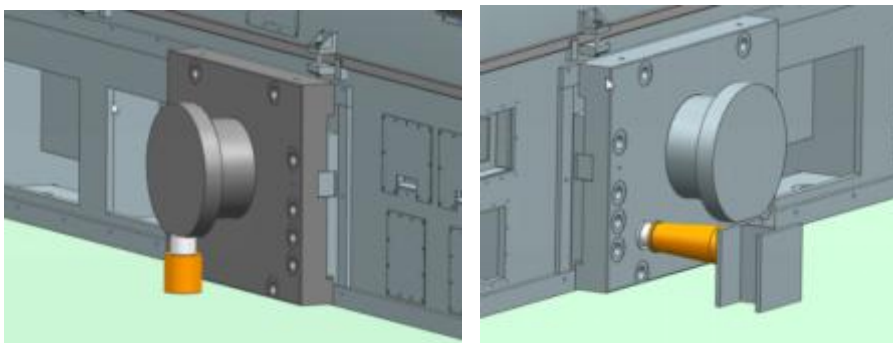
(4) 调相机定子初步找正

1) 在调相机定子前后安装调整支架, 支架中心与基础中心重合。

2) 将一钢丝(直径 0.5mm)穿过调相机平台基准点设置的找中心支架, 使其穿过调相机, 悬挂重物为 20kg。钢丝通过定子铁芯, 通过测量调相机非出线端与出线端定子铁芯来确定调相机定子的调整量, 调整轴承座使得钢丝到轴承瓦枕下、左、右的距离相同, 此时定子与轴承座同轴心。

3) 调相机横向中心可通过调相机两侧四个横向 100t 千斤顶调整, 见下图。

4) 调相机中心标高, 可利用液压千斤顶在调相机两侧抬升定子进行调整, 调整合格后垫铁跟紧, 检查垫铁 0.05mm 塞尺不入, 见下图。



5) 调相机定子初步找正时允许中心偏差 $\leq 1\text{mm}$ 。

6) 调相机定子内冷水管检查, 定子出水口安装盲板, 进水口进行打压, 打压采用洁净水, 试验压力 0.75Mpa, 维持 8h, 检查精密压力表变化, 要求无泄漏, 表压变化不超过 $\pm 0.5\%$, 试验合格后需要用干净的仪用压缩空气吹干。

3.3.1.4 轴承箱和出水支座下半安装

(1) 轴承箱安装

1) 轴承箱就位前进行解体检查, 打开上半, 吊出轴瓦, 拆开的每个零部件都要用字头

进行标识，防止辨识不清楚。

2) 用煤油将轴承、油密封、端盖清洗干净，清洗时将轴承顶轴油口封堵，清洗后用干净的压缩空气吹干净，拆除顶轴油口密封，用干净的压缩空气将顶轴油腔室及润滑油腔室吹干净，检查轴瓦尺寸应符合图纸要求，轴瓦乌金应无划痕、挤压、碰撞等机械损伤。对轴瓦乌金着色探伤（PT）检查，轴瓦钨金应无夹渣、气孔、凹坑、裂纹等缺陷，。

3) 对轴承箱进、回油管道加临时堵板，对轴承箱底部刷白灰，待白灰干后，对轴承箱进行浸煤油试验，灌煤油高度至少为回油管的 2/3 高度，24 小时后检查白灰的颜色无变化，监理予以确认，如果白灰变色说明有漏油现象，及时联系厂代给予处理意见。

4) 轴瓦垫铁对瓦枕用涂色法检查接触，要求接触 80% 以上且 0.05mm 塞尺不入上，轴瓦的进油口位置接触连续且均匀，否则进行研磨，合格后通知监理予以确认。

5) 非出线端轴承箱底部放置绝缘垫片，就位轴承箱。

6) 出线端轴承箱试装，无问题后放在旁边待用。

(2) 出水支座下半安装

1) 出水支座做上标记后解体，上半妥善放置。

2) 就位出水支座下半，把紧地脚螺栓，防止穿转子时倾倒。

3.3.1.5 调相机穿转子

(1) 穿转子前热控检测

1) 定子吊装后，会同厂家、监理、业主单位，采用校验合格的万用表和 500V 摇表，对定子线圈温度进行检查。

2) 用万用表检查定子线圈温度电阻值，各温度电阻值应与现场实际温度对应阻值相符，同一只温度计或者同一测量位置的温度计阻值差别应符合制造厂的规定。

3) 用 500V 摇表对定子线圈温度每一接线端子进行检查，绝缘电阻值应符合制造厂家规定。

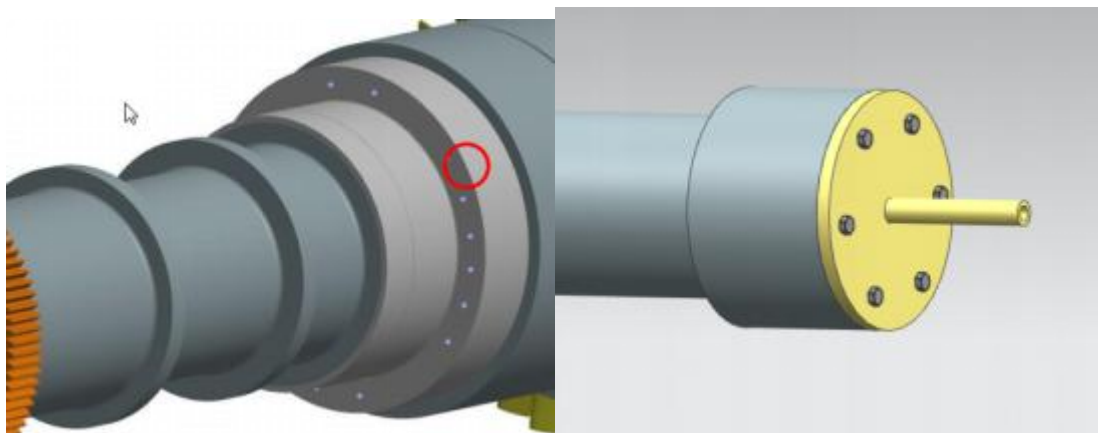
(2) 调相机穿转子

1) 拆开包装后检查：轴径、油档、盘车齿轮有无磕碰以及腐蚀现象，叶片、护环、转子表面漆是否有脱落现象，转子平衡块、平衡螺钉与风扇止动垫片是否已经锁死，并作记录。

2) 调相机转子检查，用外径千分尺测量调相机转子轴颈的椭圆度和不柱度，允许偏差 $\leq 0.02 \text{ mm}$ ，检查转子外部其它尺寸应符合图纸要求。

3) 对转子进行打压试验，试验前测量绝缘电阻。

4) 安装转子出水口与转子进水口：出水口用堵头，进水口安装法兰，见下图：



5) 调相机转子打压试验，打压试验采用洁净水，试验压力 9.5Mpa，维持 8h，检查精密压力表变化，要求无渗水漏水现象，允许压降为试验压力的 5%，试验合格后需要用干净的仪用压缩空气吹干，严防水飞溅到护环以及转子本体上；

6) 试验后复测绝缘电阻，与试验前数值进行比对，应无变化。

- 7) 非出线端轴瓦翻出，进油口用白布临时封堵。
- 8) 穿连体服，穿鞋套或脱鞋进入定子内膛，用干净、干燥的白布和真空吸尘器仔细清理定子铁芯和线圈端部。
- 9) 将吊装用钢丝绳调整至护环之间，两条钢丝绳的间距小于 3.0m，钢丝绳受力位置内侧包裹白布、毛毯与铝板，吊起转子，使转子重心偏向非出线端 155mm 左右，使转子调平后，缓慢走动天车，使转子缓慢从出线端进入定子膛内。
- 10) 缓慢穿装转子直到吊索即将碰到定子出线端板为止，下落转子，使转子两侧分别受力在轴颈托架和转子托架上，转子托架下使用道木和槽钢支撑，脱开吊装用钢丝绳以及转子保护衬垫。（见附图 1）
- 11) 行走天车将吊绳转移至出线端转子托架位置，吊起转子至水平，此时转子重量由轴颈托架和吊绳承重。（见附图 2、3）
- 12) 拉动非出线端手动倒链，当转子轴颈托架将近出弧形滑板时，抬高出线端，将事先准备好的托板塞入非出线端转子下方，距离护环内侧 100mm 位置，放低出线端，拉动手动倒链使转子继续向前行走。（见附图 4）
- 13) 当转子出线端护环内侧距离定子出线端铁芯端部 800mm 位置时停止转子前进，将准备好的道木和槽钢垫于非出线端，抬高出线端，缓慢依次将托板、滑板及保护板抽出，然后转子出线端重心转至转子托架上。
- 14) 安装出线端轴承座，在即将放置轴承座位置台板上平行摆放直径 30mm 的滚杠，移动天车小钩吊起轴承座，吊至出线端轴瓦位置，改用车大钩吊起出线端转子，天车小钩吊起出线端轴瓦，缓慢将轴瓦调整至合适位置，使轴瓦承重转子，将转子托架去掉，出线端轴承座的轴瓦上放置胶片，扣上半轴瓦和箱盖。（见图 5）
- 15) 利用天车小钩去掉非出线端轴颈托架，天车大钩抬起非出线端，继续拉动手动倒链，直至转子行走指定位置，利用天车小钩将出线端轴瓦下半缓慢翻至轴承座内，将转子落下。
- 16) 将天车大钩吊起转子出线端，小钩吊起轴承座，抽出滚棒，穿装转子工作结束。

图 1

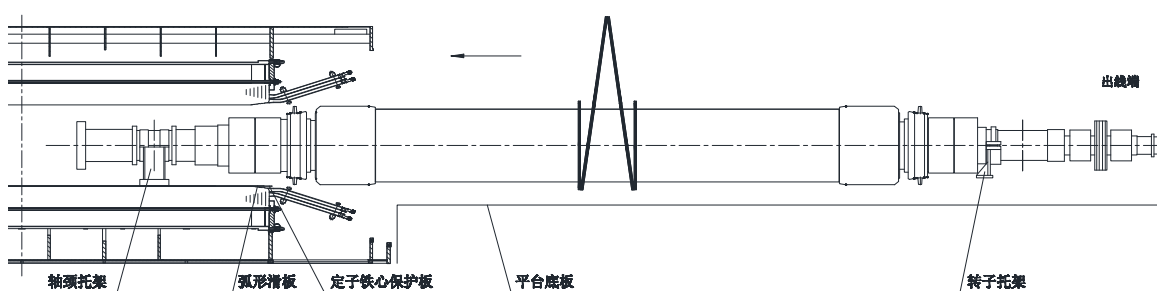


图 2

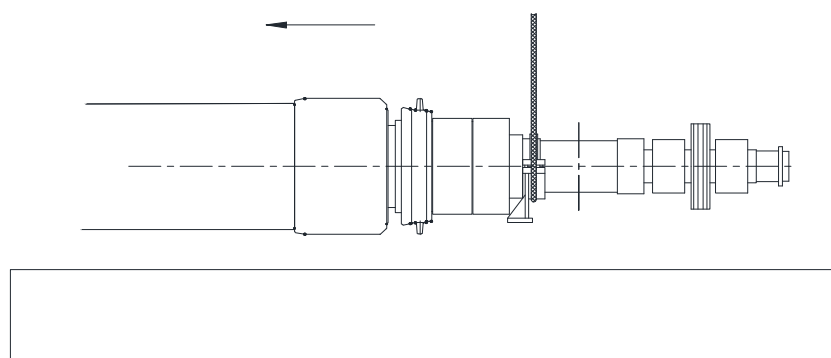


图 3

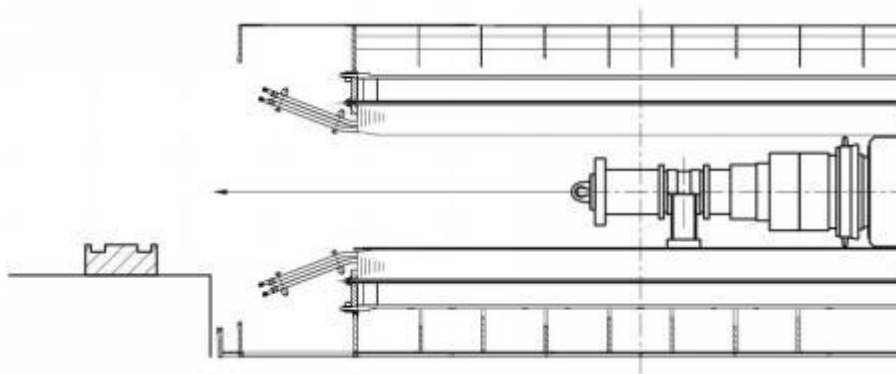


图 4

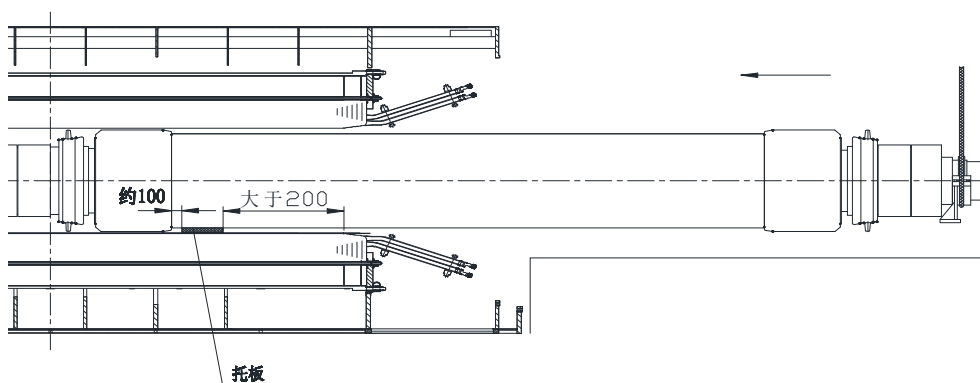
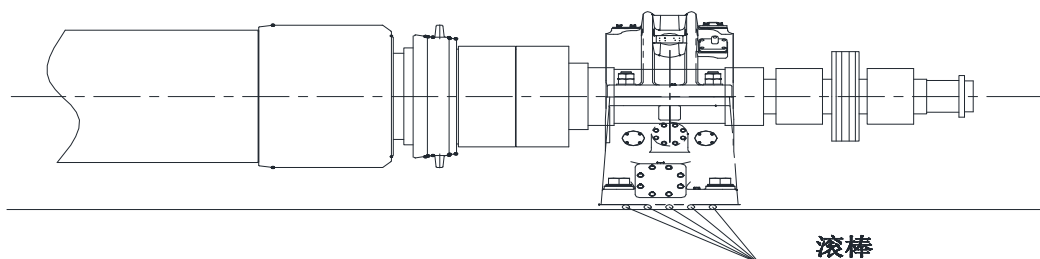


图 5



出线端轴承下放置滚棒示意图

(3) 穿转子后热控检查

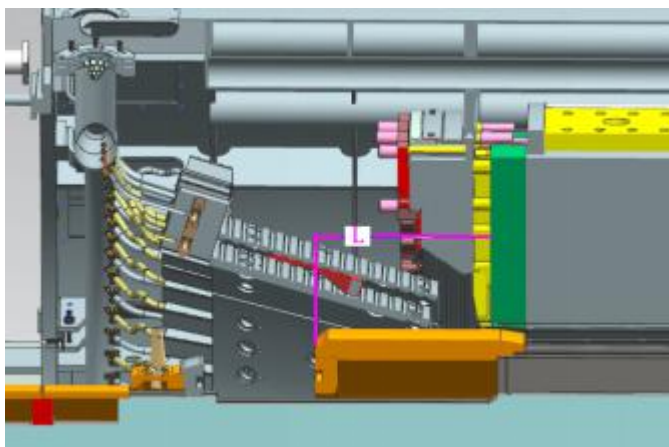
1) 转子穿装结束后，会同厂家、监理、业主单位，采用校验合格的万用表和 500V 摇表，对定子线圈温度进行检查。

2) 用万用表检查定子线圈温度电阻值，各温度电阻值应与现场实际温度对应阻值相符，同一只温度计或者同一测量位置的温度计阻值差别应符合制造厂的规定。

3) 用 500V 摇表对定子线圈温度每一接线端子进行检查，绝缘电阻值应符合制造厂家规定。

(4) 调相机转子、定子中心调整

1) 磁力中心调整（如图所示）



确定定子和转子位置后分别测量非出线端和出线端护环端面到对应侧铁心第一档端面（包括阶梯挡铁心）的轴向距离 L_1 、 L_2 ，差值 $\leq 1\text{mm}$ 。

2) 调相机空气间隙测量调整：用气隙测量工具分别从前、后两端上、下、左、右四个位置测量，应满足下列要求：要求每端四点测量值与该端气隙平均值相差 \leq 平均值的 2%。

3.3.1.6 轴承安装

1) 轴瓦安装前清理顶轴油管和顶轴油孔，测量顶轴油囊的面积，顶轴油囊为 $90 \times 40\text{mm}$ ，深度 $0.15\text{--}0.20\text{mm}$ 。

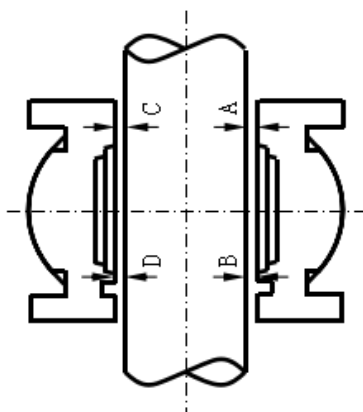
2) 穿转子后，用行车将非出线端下半轴瓦翻转到位。用塞尺检查下半轴瓦座与端盖接触应符合制造厂要求。具体方法是用葫芦将下半轴瓦吊放在轴颈上，对准瓦槽；转动轴瓦，使轴瓦在轴颈上缓慢滑动，缓慢松葫芦，防止轴瓦滑动太快损坏轴颈及轴瓦乌金；当轴瓦接近水平中分面时，在轴瓦水平中分面两侧装两只吊攀，拆除兜轴瓦钢丝绳，用两只葫芦调整轴瓦，使轴瓦中分面两侧水平；拆除葫芦及钢丝绳；调整转子支撑专用千斤顶，使转子支撑在轴瓦上。非出线端为推力联合轴承，间隙偏小，因此翻瓦工作缓慢进行。

3) 松开转子支撑工具，使转子完全落在轴承上。

4) 拆除滑板及其它穿转子工具，用行车兜住出线端转子，抽出转子下面的滑块、滑板、保护板确保定子内没有存留物，出线端轴承箱调整到位置。

5) 调整轴瓦与轴颈间隙，使轴颈与轴承相平行，用相同厚度塞尺插入四个位置（右前、右后、左前、左后），插入深度为 25mm 。

6) 调相机轴瓦间隙调整、测量：见下图



用塞尺测量下轴瓦瓦口四角与轴颈的间隙，间隙应均匀；出线端与非出线端轴瓦瓦口两侧总间隙为 $1.17\text{--}1.29\text{mm}$ ，A、B、C、D 四个值得差值 $< 0.05\text{mm}$ ；用压铅丝法测量轴径与轴瓦之间的间隙（顶隙），要求间隙为： $0.57\text{--}0.69\text{mm}$ ；测量轴瓦球面瓦与球面瓦座配合面的间隙，要求间隙过盈 $0.03\text{--}0.05\text{mm}$ 。

7) 将定子机座所有基础螺栓把紧并做放松措施

8) 转子对定子的轴向间隙与径向间隙的调整，与轴承箱定位同时进行，轴承箱定位

后，在轴承箱底座上打孔，铰孔安装定位销。

9) 开始润滑油油冲洗，油质合格后 ($NAS \leq 6$ 级)，开始翻瓦，进行热工保护装置安装。

10) 所有探头必须经有资质的单位校验，校验合格的方可进行安装。

11) 轴承振动测量装置，安装在轴承座内。

12) 转速、超速、键相测量装置安装在调相机出线端的转速齿轮及支架处，在出线端的转速齿轮及支架调整完毕后，联系 TSI 厂家、调试、监理和业主单位进行安装。安装时应准备校验合格的塞尺一把，万用表一台。TSI 机柜对前置器供电，万用表连接在前置器的电源端子上，通过万用表上显示的电压值，调整探头与齿轮的间距，将电压值调整到制造厂要求，然后将探头背帽背紧。用塞尺检查探头与齿轮的距离，距离不能过小，防止运行时将探头损坏。

3.3.1.7 进出水支座的安装

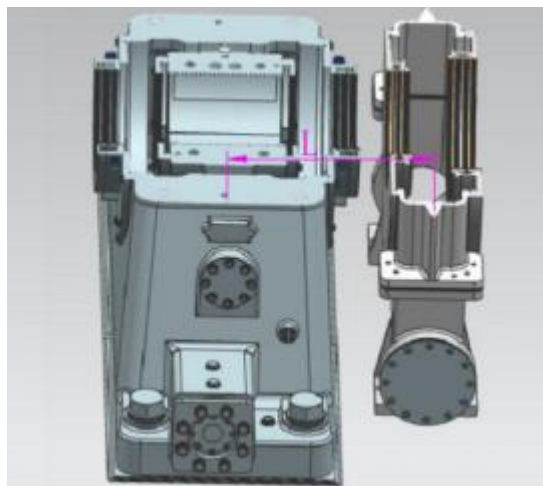
1) 出水支座下半在穿装转子的时候已经就位，调整出水支座下半，出水支座与推力联合轴承中心距离为 $L=720\text{mm}$ ，见图。

2) 出水支座底部有顶丝，顶起出水支座后加调整垫片到合适高度。

3) 出水支座与台板之间钻孔配销子。

4) 进水支座与出水支座调整方法相同，进水支座进水管与转子中心同心，与转子进水法兰距离 92mm 。

5) 安装进出水管道，进水支座安装盘根及漏斗等。



3.3.1.8 盘车安装

1) 按照图纸与说明书安装盘车装置底座。

2) 盘车靠近推力联合轴承，因此调整盘车装置大齿轮与转子盘车齿轮轴向中心线重合。

3) 检查并调整盘车装置大齿轮与转子盘车齿轮的侧隙、啮合面积都应满足设计要求。

4) 盘车装置钻孔、攻丝，装入定位销，把紧联接螺栓。

3.3.1.9 冷却器安装

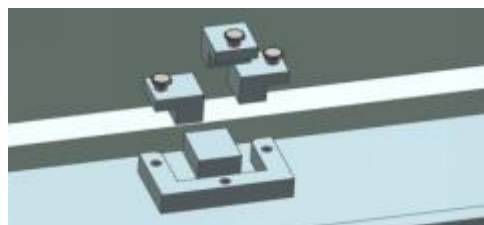
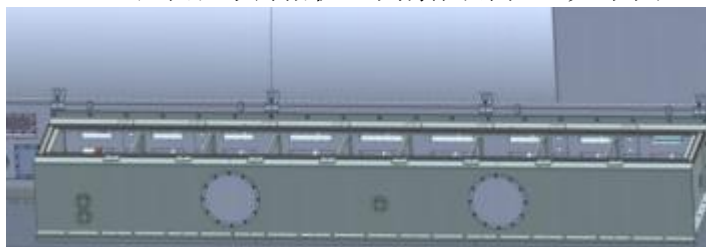
1) 冷却器支座就位

2) 冷却器支座调整，冷却器支座用顶丝或者垫铁调整到与调相机台板相同高度。

3) 冷却器打压，向氢气冷却器内通入纯净无杂质的自来水，放掉水路中的气泡后，冷却器打水要求缓慢升压至 0.8Mpa ，稳定 30min 无泄漏。

4) 临时就位冷却器，调整冷却器的位置符合图纸要求。

5) 冷却器与调相机之间紧固螺栓，见下图。



6) 冷却器安装 L 型键，冷却器中间位置有 L 型键，配合间隙 0.05mm ，间隙合格后紧固螺栓，并做防松措施，见图。

7) 冷却器与冷却器支座之间进行配钻并安装螺栓与销子。

3.3.1.10 集电环安装

1) 碳刷架就位前应先清理集电环表面，除去表面的防锈油脂，用保护板缠绕在集电

环上以免损伤集电环。

2) 集电环、底板、引线厂内组装好, 现场清扫集电环底板后整体吊装就位。

3) 集电环轴向和径向位置的调整应通过底架的调整垫片来实现, 轴向位置应考虑转子轴向膨胀量的影响。将集电环侧后偏移 4mm, 紧固螺栓, 销子为现场配钻

3.3.1.11 二次灌浆

1) 对台板进行二次灌浆。先通过喷洒水使混凝土表面保持湿润, 时间为 24 小时, 中途不得干燥; 开始浇注前应使用压缩空气或抹布等除去混凝土基础表面的游离态水, 并清理掉粘附在基础框架四周和螺栓孔套管垫圈上的油脂和其它杂物。

2) 为了防止灌浆料外溢, 要在基础框架灌浆部位四周安装灌浆模板。模板缝隙处用海绵填实。

3) 基础框架的二次灌浆应该由土建专业灌浆队伍完成。灌浆时严格按照灌浆料厂家的说明书要求进行, 灌浆从一侧灌入, 从另一侧流出, 灌浆高度高于台板上边平齐或者略低于台板上表面 20mm。

4) 灌浆完成 24 小时内灌浆层严禁受到振动与撞击, 二次灌浆水泥进行养护一周。

3.3.1.12 调相机内部清理检查

1) 打开所有位于机座下部的人孔盖板, 进行检查; 清除所有掉落在调相机内部的垃圾或物件。

2) 检查导风圈、气隙隔板、端盖的各部分是否安装正确。

3) 检查出线盒, 定子主引线装配、以及软管是否安装正确。

4) 安装人孔门盖板。安装时一定要把“O”型密封圈放在凹槽内。

3.3.1.13 隔音罩安装

隔音罩安装遵循原则是: 安装隔音罩时防止变形; 隔音罩与调相机之间留 5mm 膨胀间隙; 隔音罩与设备和基础连接部分垫厂供 6mm 胶皮; 隔音罩与槽型轨道垫厂供 10mm 垫片。

3.3.2 封闭母线安装

3.3.2.1 基础验收及准备

1) 熟悉掌握设计院 封闭母线安装图, 厂家提供的封闭母线安装图, 已批准执行的施工方案等技术资料, 掌握封闭母线安装时需要注意的安全事项。

2) 根据图纸测量土建盘柜基础预埋件位置、高度是否满足安装条件。

3) 准备垫铁备用, 用于基础槽钢和支吊架安装时调整其水平。

4) 封母运到安装地点后, 应根据厂家提供封母总装配图、分段装配图及装箱单、产品合格证书, 详细核对包装箱产品部件、数量。

5) 产品拆箱后, 应全面检查箱内产品是否有运输及其他原因发生的明显碰撞损坏等情况。吊运时应使用软质绳具或外套有橡皮护套的钢丝绳, 严禁撞击和在地面上滚动、拖拉。

6) 根据厂家装箱清单, 核对母线应齐全, 检查母线到货规格尺寸是否符合设计。检查封闭母线应光洁平整, 不应有裂纹褶皱夹杂物及变形和扭曲现象。成套供应的母线各段应标志清晰, 附件齐全、外壳无变形, 内部无损坏。螺栓固定的母线搭截面应平整, 其镀银层不应有麻面、起皮及未覆盖部分, 检查母线外壳内表面, 导体的外边面涂漆是否合格, 有无漏涂、脱落等情况, 检查支持绝缘子有无损坏、破裂, 表面是否够清洁、绝缘子与母线外壳连接底座螺栓是否紧固, 该处密封是否够完好。

7) 母线内部件(绝缘子除外)如密封装置、穿墙结构等, 应在进入安装位置前组装完毕。

3.3.2.2 封闭母线支吊架及母线的安装

1) 对基础标高核对, 根据图纸画出调相机封闭母线的中心线, 根据设计图纸显示, 调相机中心线和主变压器中心线相差 15mm, 且#1 调相机中心线在主变压器中心线西侧,

并校核准确后，将支吊架焊接在土建的预埋铁上，需自备支座槽钢的应焊接好支座，顶部用水平仪找平，误差符合要求后在上面焊接支架，母线支持钢横梁应预先在安装前焊接到母线走廊的钢构件上，同时找好水平标高以便母线安放。根据总装配图，逐段校对母线部件及相序、顺序编号，然后逐段进行组装定位。安装顺序从主变压器侧逐段往调相机侧方向安装，安装时头尾顺序不能放置颠倒。

2) 校对段与段间相对位置距离及轴向同心位置尺寸，将两段母线对接处调整平直封母安装必须做到横平竖直，调整母线和外壳的同心度，同时校对段与段间相对位置距离及轴向同心位置尺寸。对于非标准母线、外壳转角段，应在安装调整的同时，根据实际需要截取所需要的角度和尺寸。

3) 清理母线和外壳现场焊接部位的表面污物、漆膜、氧化膜以便焊接。

4) 清扫母线及外壳内外表面的积尘和污物，清扫母线支持绝缘子。

5) 将外壳密封用橡胶密封圈及环、紧箍等套到外壳上，以便密封时使用。

6) 母线耐压合格、与之所连接的设备各项性能试验合格后，拆下母线金具端子上的护板螺丝，清洁端子镀银表面、铜编织线接头的镀银表面，然后在全部端子镀银表面上薄涂一层电力复合脂，装上铜编织线接头，上紧螺钉和螺母板。

7) 靠近各设备连接处的封闭母线套上外壳用密封活动套筒及密封橡胶件，

并用紧箍带箍紧，以实现外壳的密封，端部瓷密封结构最好在母线就位前先将螺栓检查一遍并紧固，缝隙处均匀涂密封胶晾干晾透。

8) 检查并安装外壳接地装置（外壳接地点位置在端部的外壳短路板上），并根据总装配图纸检查母线及外壳固定和活动支点。

9) 全部安装完毕后，清理母线、外壳及安装现场，并对由于运输、安装、吊运时碰划的漆膜表面进行补涂底漆和面漆。

10) 支吊架必须安装牢固，每相外壳的纵向间隙应分配均匀。

11) 穿墙处的连接法兰、外壳与底座之间，外壳各连接部位的螺栓应用力矩扳手紧固，各接触面应密封良好。

3.3.2.3 配套装置安装、母线检漏

1) PT 柜电气设备安装，中性点接地柜，空气干燥装置安装，参考封闭母线厂家图纸。进入空气干燥装置的压缩空气应经除水、除油、除尘处理。

2) 母线检漏；离相封闭母线全部安装焊接完、端部密封完毕后按厂家要求启动热风保养装置，检查封闭母线的密封情况应符合要求。投封闭母线电加热装置检查应符合要求。

3.3.2.4 投运前应进行下列例行试验

1) 根据母线总布置图纸及电气接线图，检查和确认安装接线无误。

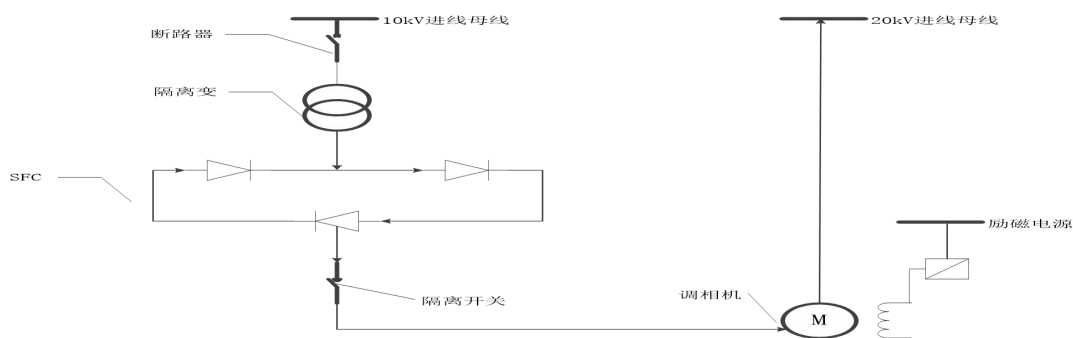
2) 母线、外壳、支吊架、绝缘子、密封结构应完整、清洁，无积尘、污物。其上及母线走廊无有碍于母线运行、检查、维护的杂物。

3.3.2.5 技术记录要求

认真做好封母安装时的原始记录，每段封母安装前都要用 2500V 摇表测量其绝缘，并做好记录；空气干燥装置投运后，应定期做好检查记录。

3.3.3 SFC 启动系统安装

SFC 启动原理图



调相机出线与SFC启动装置连接导体采用全连式离相封闭母线,因此在施工阶段SFC启动装置与调相机本体安装无交叉作业情况。可同时进行施工作业。

3.3.3.1 基础验收施工准备

- 1) 根据图纸测量土建盘柜基础预埋件位置、高度是否满足安装条件。
- 2) 开箱检查时,甲、乙双方、监理及相关人员应到场。
- 3) 首先检查包装是否完整无损,开箱检查清点,变压器、盘柜规格、型号、数量应符合设计要求,附件、备件齐全,备品备件应做好标识,产品技术文件、合格证应齐全,开箱检查应做好记录,有质量问题及时提出,并做好开箱检查记录。

3.3.3.2 基础支架安装

- 1) 因盘柜及变压器需要离地面 600mm,为了稳固所以干式变压器基础和盘柜基础支架采用#16 工字钢。
- 2) 工字钢下料应先校正,依据设计长度进行切割,使用切割机下料时,切割机应先校正,以保证槽钢切断面平直。
- 3) 基础支架安装时,应依据设计间隔布置,按设计尺寸埋设。敷设时应找出土建标高,基础安装后其顶部依据设计高出静电地板 5~10mm,采用垫铁找平基础,先点焊,经核对尺寸后,再与预埋铁焊接牢固,应注意相互间工字钢间距、平行度;基础支架安装应符合规定。
- 4) 支架与主接地网至少两点相连,连接采用搭接焊,焊接长度为扁钢宽度的 2 倍(且至少 3 个棱边焊接)。

3.3.3.3 设备就位

- 1) 变压器、盘柜就位前应核对其规格、型号是否符合设计要求。
- 2) 就位前应先将基础支架表面清理干净。
- 3) 把盘柜用行车吊到事先准备好的支架上,拖到基础支架上,将其移到应安装位置的盘支架上,首先调整盘柜位置尺寸使其符合要求,再用线坠、钢板尺测量垂直度、水平度是否符合要求,不符合时应先调整。然后按设计位置依次安装其它盘。待所有盘柜就位完毕后,用点焊在盘底四角固定,焊点长度为 30-40mm,焊点应刷防锈漆。
- 4) 盘柜安装完成后,把变压器吊到事先准备好的支架上,拖到基础支架上,取下滚杠,并调整对准纵、横中心线,使变压器就位。

3.3.3.4 设备间连线

- 1) 敷设电缆时,电缆盘应架设牢固平稳,盘边缘与地面的距离不得小于 100mm,同时应指定专人看护电缆盘,防止倾倒或摩擦,并交底调盘顺序。
- 2) 电缆头应指派有经验的电缆工牵引,电缆应从盘的上方引出,引出端头的铠装如有松动,则应绑紧。
- 3) 敷设时,必须听从统一信号、统一指挥,指挥信号要明确。
- 4) 指定专人在电缆起止点处负责书写并固定临时电缆牌。电缆牌一定要书写清晰、绑扎牢固,并按规定装设在首末端。
- 5) 指定有实际经验的电缆工站在重要的转弯处,转弯处人员应注意电缆转弯弧度,使电

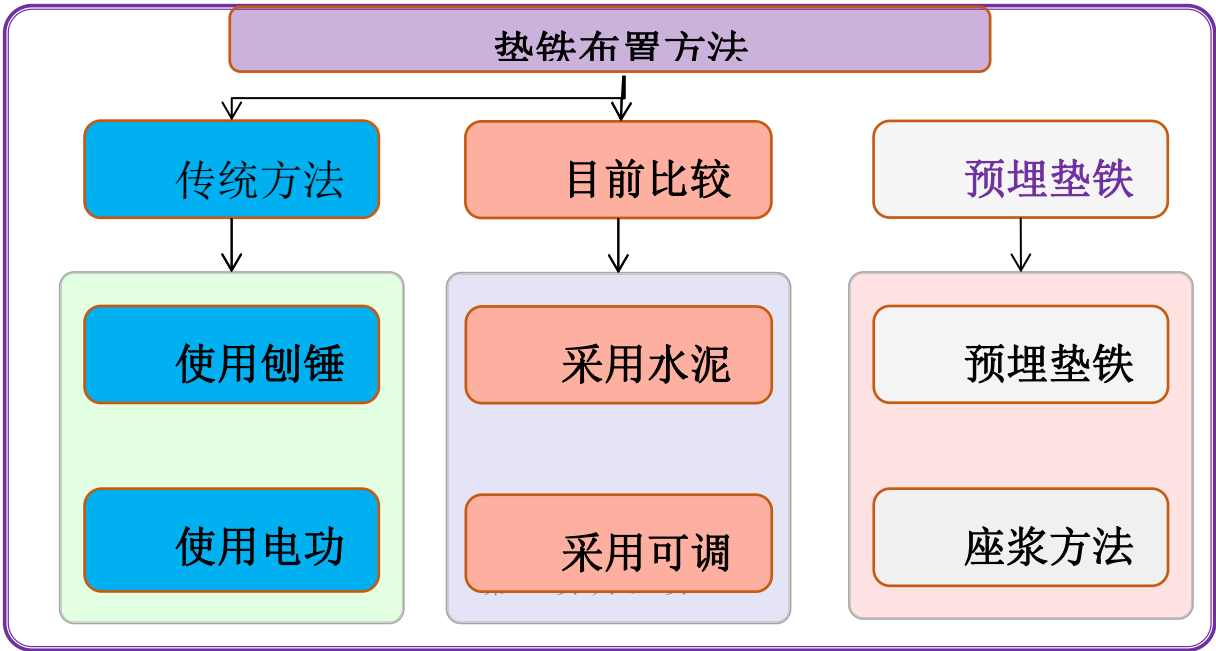
缆弯曲半径符合下列要求，并排列一致。
电缆最小弯曲半径要求如下：

电 缆 形 式	多 芯	单 芯
无钢铠护套	10D	10D
有钢铠护套	20D	20D
聚氯乙烯绝缘力缆	10D	20D
交联聚乙烯绝缘力缆	15D	20D
控制电缆	10D	

- 6) 单芯高压电缆敷设时 3 相扎一起按照“品”字型排列，防止电缆产生涡流；
- 7) 高压电缆与控制电缆要分开敷设，禁止在一个桥架内敷设；
- 8) 电缆到位后，再次确认始终端位置是否正确，看备用长度是否留够，确认无误后，方可专人锯断。
- 9) 电缆锯断后，应从电缆尾端向首端进行绑扎，控制电缆统一采用黑绑线绑扎，动力电缆采用尼龙扎带绑扎，绑扎缠绕方向应一顺。对于直径大的电缆在拐弯处可先用铁丝垫电缆皮绑扎，待应力消除后，再用尼龙扎带统一绑扎。
- 10) 对于潮湿场所，排列完毕后，将电缆做临时封堵。
- 11) 全部电缆敷设完毕，应回收剩余电缆，做好文明施工。

4. 关键技术及创新点

4.1 调相机定子就位后，下端盖无法拆除，而调相机台板下面就是垫铁，台板与调相机定子只有 50mm 的间隙，采用传统布置垫铁法和预埋垫铁法施工非常困难，安装时间过长，同时施工质量无法 100%保证，因此必须改进新的施工工艺。用弹簧的弹力自动消除垫铁与垫铁之间，垫铁与台板之间的间隙，完全避免了传统方法布置垫铁和预埋垫铁法在施工中存在的缺陷。具有施工快捷，节省材料，避免污染，同时具有普通技术工人都能高质量的完成此项工作等特点，降低企业的施工成本，大幅提高安装质量，适用于所有大型高精密设备的安装，值得推广。



4.2 调相机定子吊装在调相机厂房内只设计安装 1 台 75/10t 行车的情况下，我们一般采用液压顶升塔厂房吊物间内转向后重新布置顶升油顶塔和轨道梁或者用型钢配备提升框架，从厂房外将调相机定子转向后托运至吊物间然后起升提升机构，运用拖运轨道将发电机托运就位配合劳辛格装置来完成。公司租用顶升油顶塔代价太大。本工程是专门设计制作强度更大的钢梁，取代型钢，用螺栓把合成框架，只需变换劳辛格安装位置即可完成定子转向、就位工作，有效降低了工程成本，缩短了吊装时间，制作好的钢梁可以重复应用于别工程，节省了常规型钢拆除时间和材料的浪费通过泰州 2×300MMvar 调相机工程#1 机、#2 机定子吊装的成果实践证明，是科学的，技术先进的，该技术可在 300Mvar 调相机定子吊装中推广使用。

4.3 调相机厂房只设计安装一台 75t/10t 行车，厂家提供的转子穿装方法主要针对两台行车穿转子，现场经过与厂家和设计院的沟通制定出一套切合实际的施工方案，该方案在厂家提供的方法基础之上增加一次在非出线端出水支座位置对转子的支撑和过程中对定转子间隙保护等措施，利用该技术四个小时将转子穿装到位，比起传统两台行车穿转子、在出线端转子上安装临时小轴或在出线端提前装上轴承座利用特定轨道等穿转子方法该工序更加简单，减少准备工作投入成本，为工程带来经济和社会效益。该技术可在 300 兆乏调相机组（双水内冷落地式轴承）及小型汽轮发电机组在因厂房空间小支设置单台行车进行转子穿装工作中推广。

4.4 在国内传统大容量发电机引出线系统的组成部分中，封闭母线的安装为下出线，调相机引出线系统设置为上出线，部门封闭母线支吊架安装在调相机隔音罩的骨架上，而隔音罩的安装通常是在整个工程安装工作接近尾声时，整个封闭母线安装过程中，使用三相同时起吊方式和分段式安装，增加安装速度，节约资源，创造经济效益，该技术可在发电机或调相机等引出线系统为上引线的封闭母线安装中推广。

4.5 #1 机的 SFC 启动系统施工完毕后，我方对 SFC 的安装流程进行细致认真的梳理、分析。因此在#2 机的施工中采取了“三步同时进行法”，即盘柜、隔离变压器、机端隔离开关同时安装方法。大大提高施工效率，节约人工及材料成本。该技术可在 300 兆乏调相机启动系统安装中推广。

5 推广前景

5.1 泰州 2×300 兆乏调相机工程由上海电机厂研制的额定容量 300 兆乏双水内冷新型调相机，是国家电网首批特高压换流站配套调相机工程，调相机安装市场前景很大，而调相机受到安装场地和设计条件制约，且新型的调相机安装过程中的质量控制要求和安装工艺均高于常规百万火发电机组的发电机安装标准。在泰州调相机安装中的各项革新技术，工艺简介，工序合理，比传统方法缩短了施工工期，降低工程成本，减少安装质量通病，节约人工及材料成本，提高了工作效率，为工程带来了经济和社会效益，该技术成果在额定容量 300 兆乏双水内冷新型调相机的安装工作中有借鉴和推广意义。

6 经济效益及节能减排

6.1 采用传统办法的刨锤、角磨机、焊接顶丝等预埋垫铁方法四人施工约 30 天时间，采用弹簧式预埋垫铁方法仅用时 14 天，节约 16 天人工费用为 400 元/天，两台机共计节约费用为： $4 \times 16 \times 2 \times 400 = 51200$ 元；厂供图纸设计的是“传统方法布置垫铁”施工，用灌浆料代替平垫铁，平垫铁费用： $2.4 \text{ 吨} \times 0.6 \text{ 万元/吨} = 1.44 \text{ 万元}$ ，灌浆料费用： $0.7 \text{ 吨} \times 0.68 \text{ 万元/吨} = 0.476 \text{ 万元}$ ，弹簧 1 元 4 个，采购弹簧 140 元，采用新工艺后，两台机节约材料

成本 16000 元。

在节能减排上常规的用角磨机研磨混凝土基础，极其污染环境，粉尘 与噪声对人体伤害极大，运用弹簧灌浆法，减少了工艺粉尘和噪声等危害。

6.2 泰州调相机定子方案运用公司已有的门架和轨道梁，整个系统全为高强螺栓把合，省去大量材料费用和焊接施工和检测，整个吊装时间只需 7 天的时间，比常规液压劳辛格装置吊装 300MW 发电机定子缩短了 10 天吊装时间，人工费用为 400 元/天，两台机节省了人工成本费用 $10 \times 10 \times 2 \times 400 = 80000$ 元，两台机节省焊材、氧气、乙炔、型钢等材料费用约 40000 元，在节能减排上大量省去了焊接和气割等工作，减小了废气对环境的污染。

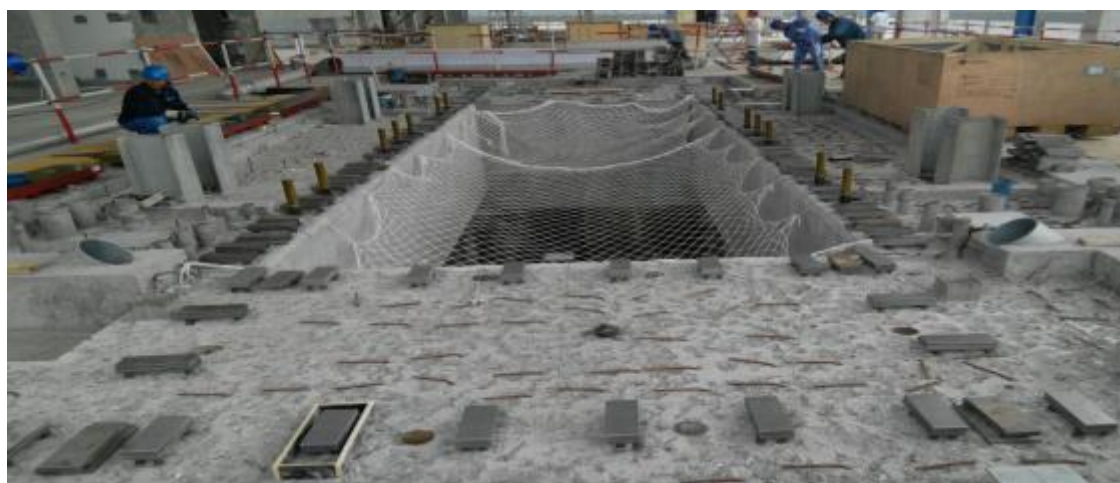
6.3 通过#1 机 SFC 启动系统的安装流程进行细致认真的梳理、分析。在#2 机 SFC 启动系统的施工中采取了“三步同时进行法”。在#2 机组施工中大大提高施工效率，施工时间相比#1 机组缩短 5 天，人工费用为 400 元/天，节约人工成本 $15 \times 5 \times 400 = 30000$ 元。

6.4 整个封闭母线安装过程中，使用三相同时起吊方式和分段式安装，提高了安装速度，比常规安装缩短了 5 天工期，人工费用为 400 元/天，两台机机节约节约人工成本 $6 \times 5 \times 2 \times 400 = 24000$ 元。

7 必要图标及照片



垫块式样



水泥垫块支模板



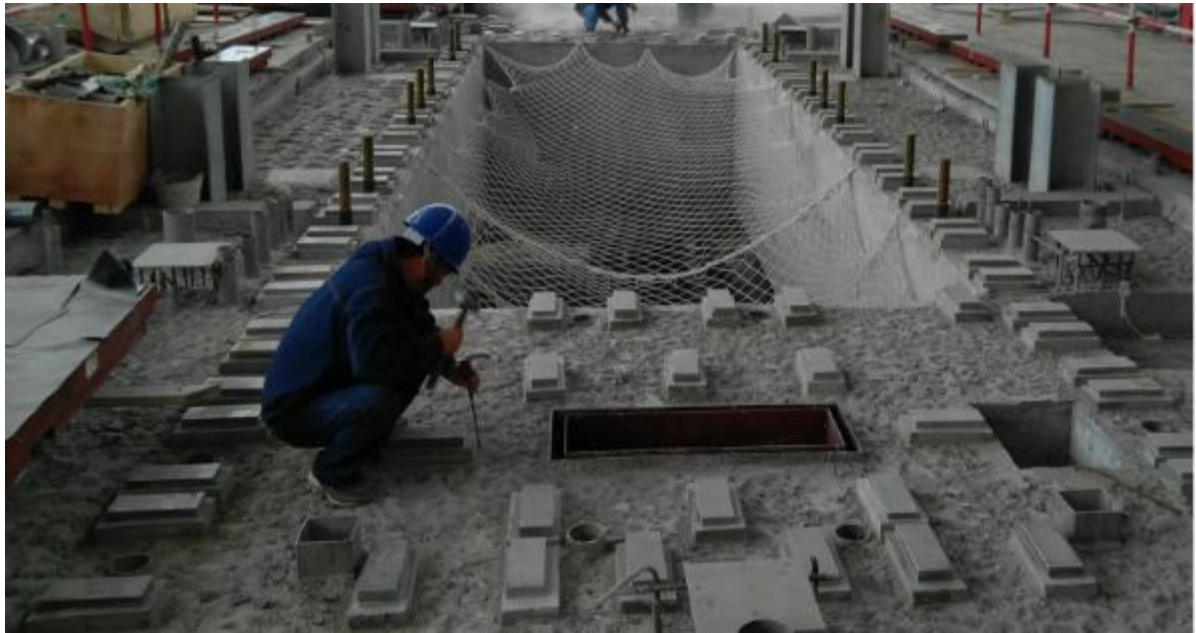
垫块位置调整



台板标高水平调整



垫块灌浆



垫块拆模



成型垫块养护



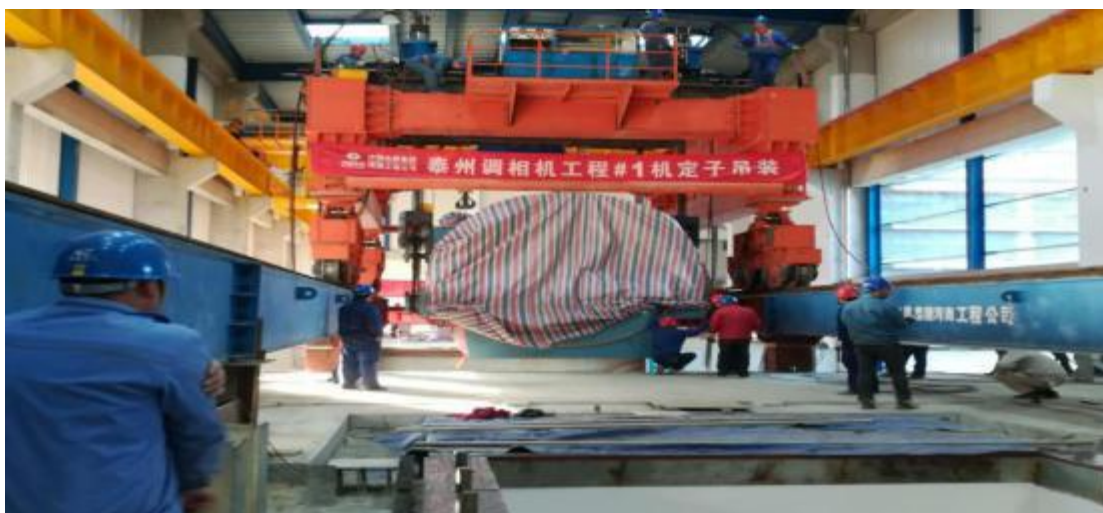
垫块调整完后台板



定子吊装前



定子垂直提升过程中



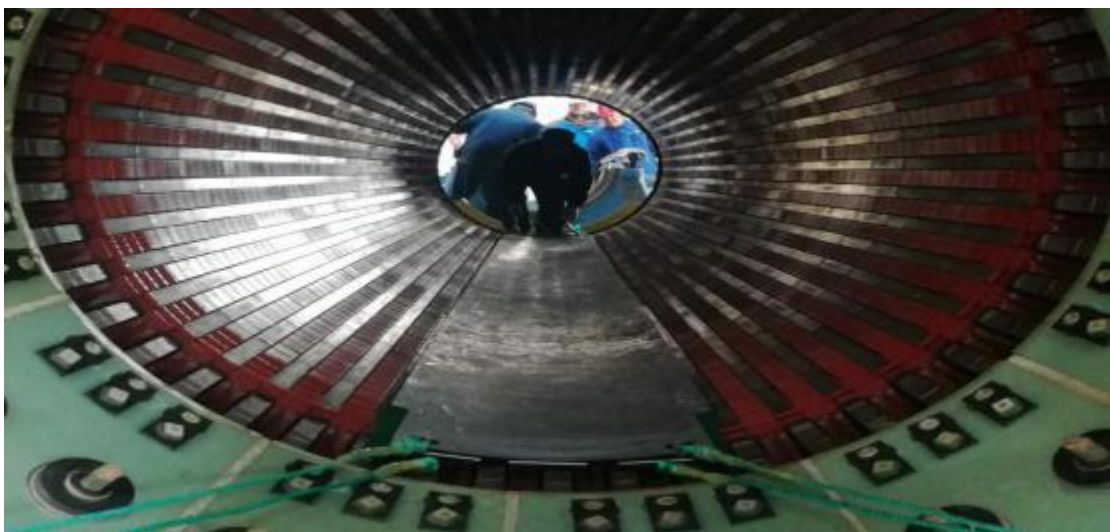
定子水平行走过程中



转子吊点保护



转子调平



定子膛内弧形滑板铺设



转子提升转向



穿转子前安全技术交底



转子穿入过程中定转子间隙监护



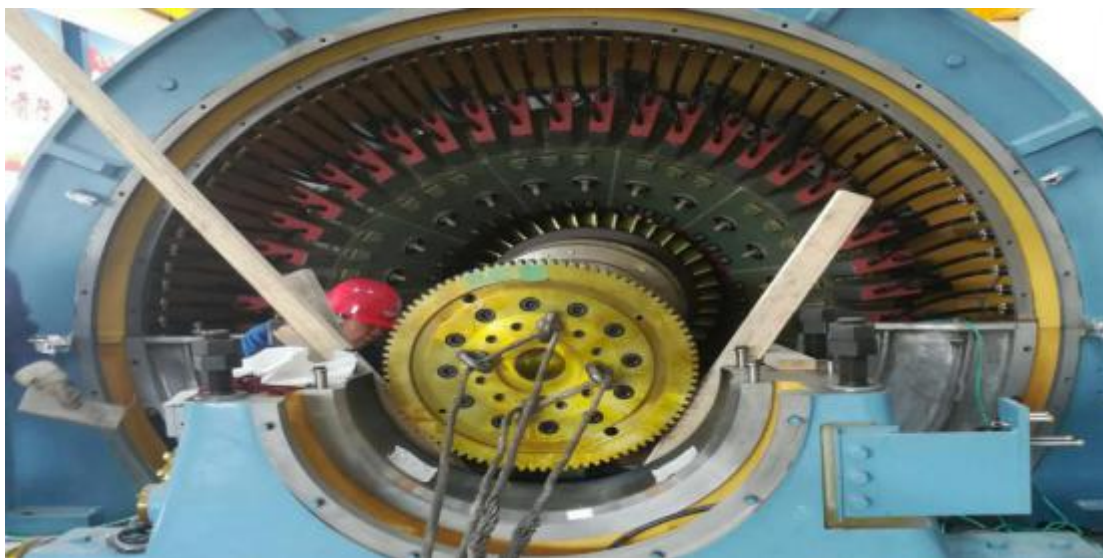
转子开始穿入



转子穿入过程中定转子间隙监护



转子弧形滑板抽出



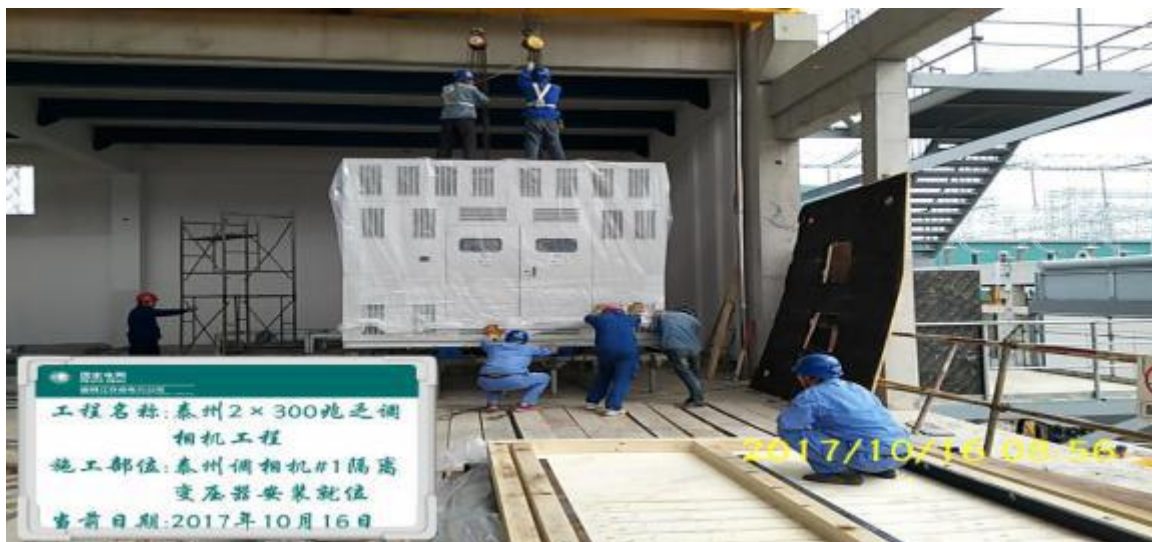
转子穿装到位轴颈托架翻转



转子出线端放在轴承座上



转子非出线端轴瓦翻入



调相机隔离变压器安装就位



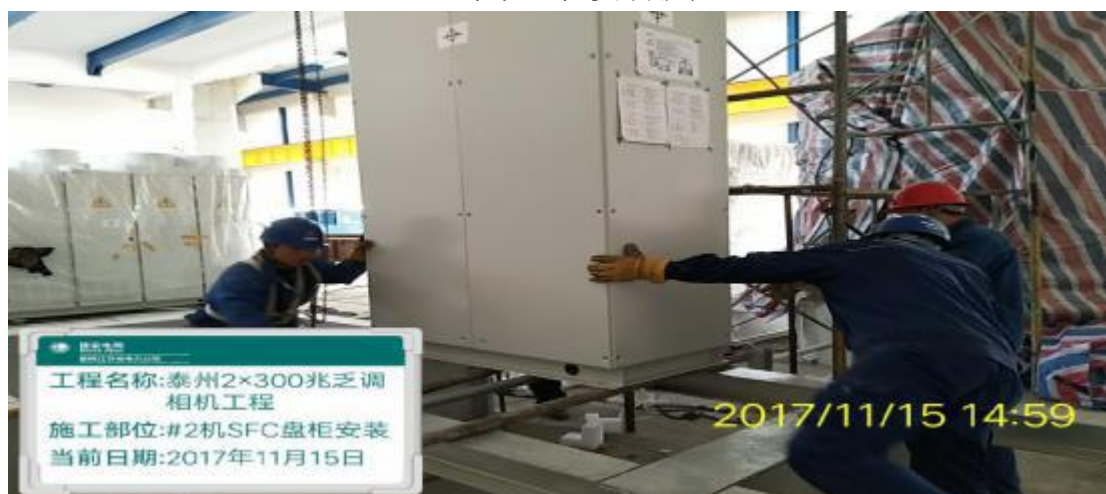
调相机隔离变压器安装就位



调相机隔离变压器安装就位



SFC 系统盘柜安装就位



SFC 系统盘柜安装就位



离相封闭母线三相同时起吊方式安装



调相机封闭母线上出线



调相机离相封闭母线安装



调相机离相封闭母线安装



调相机分支回路封闭母线安装