

风机主传动链系统实操考核平台

指导书

目 录

1 安全指导	1
1.1 装配现场的安全要求	1
1.2 搬运、起吊的安全要求	2
1.3 人身防护装备	3
1.4 电气安全	5
1.5 防火	6
1.6 责任	7
2 装配准备	7
2.1 文件、零部件准备	7
2.2 工量具准备	8
3 实训指导	14
3.1 概述	14
3.1.1 风轮	14
3.1.2 主轴系统	15
3.1.3 齿轮箱	15
3.1.4 发电机	16
3.2 装配实训	16
3.2.1 风轮装配实训	16

3.2.2 主轴系统装配实训	23
3.2.3 齿轮箱装配实训	34
3.2.4 主传动链装配实训	44
3.2.5 发电机装配实训	53

1 安全指导



全部安装人员必须做好安全防护，熟知以下安全注意事项

1.1 装配现场的安全要求

装配实训装置安装现场的安全要求如下：

- (1) 现场安装人员应经过安全培训，工作区不允许无关人员滞留。
- (2) 现场指挥人员应唯一且始终在场，其他人员应积极配合并服从指挥调度。
- (3) 现场必须指定一名安全员，监督所有人员按照安全规范进行操作，人员每天到场及各工序吊装前，均应由安全员进行安全宣贯。
- (4) 在装配现场，工作人员必须穿戴工作服以及必要的安全保护装置进行相应的作业。必须佩戴安全帽，防止被意外坠落物体砸伤。严禁穿拖鞋、高跟鞋和不利于安全要求的服饰。执行高度超过 2 米的任务，请使用个人防护装备。除此之外，应随身携带移动电话以备在紧急情况时使用。
- (5) 在起重设备工作期间，任何人不得站在吊臂下。
- (6) 使用梯子作业时，应选用足够承载量的梯子，同时必须有人辅助稳固梯子。
- (7) 脚手架、平台、斜道等设施必须坚固和稳定。

(8) 现场安装废弃物或垃圾应集中堆放、统一回收，严禁随意焚烧。

(9) 安装现场噪音较大，当工作噪音为 90 分贝或超过 90 分贝时，安装人员必须戴耳套。

1.2 搬运、起吊的安全要求

装配实训装置搬运、起吊的安全要求如下：

(1) 在任何情况下应首先使用机械方式进行物体的搬运和起吊。除非在别无选择的情况下，才允许采用人工操作。

(2) 在使用吊车等机械设备搬运、起吊物体时，首先应检查设备是否合格，负荷量是否在安全要求范围之内，起吊物体的形状及放置位置，起吊物体落地须轻缓稳放。

(3) 吊车、叉车需安排专人操作，未经允许不得随意操作吊车、叉车。

(4) 人工搬运的物体必须是力所能及的，并应穿安全鞋、戴手套。提升低于臀部高度的物体，应弯曲膝盖而不应弯腰，双脚分开与肩膀等宽，搬运过程中应避免扭曲身体。

(5) 用吊车吊装物体时，禁止人员从吊装物底部通过，不得站在起吊设备上，不得利用吊车臂进行攀爬。

(6) 吊车操作者要专心，禁止低头玩手机、打电话、与旁人闲谈等与工作无关的事情。

(7) 用吊车吊装物体时，应使用导向绳稳定吊装物，以免吊装物与风电机组的设备碰撞，同时确保吊装物体期间无人在风电机组周围，避免吊装物伤人。

1.3 人身防护装备

人身防护装备的要求和使用如下：

(1) 使用人身防护装置主要是减少在工作场所的危险。所有在风电机组装配场所使用的人身防护装备必须符合下列条件：

- 1) 根据 PPE 规则必须有“CE”标志；
- 2) 在有效期内使用；
- 3) 若有损坏，应立即更换；
- 4) 人身防护装备标准应符合现行的标准和规范以及厂家的使用说明书规定。

(2) PPE 人身防护装备包括如下的安全设备：安全帽（见图 1-1）、手套（见图 1-2）、安全鞋（见图 1-3）、工作服（见图 1-4）。并且这些安全设备必须要符合安全设备标准，如表 1-1 所示。在实训装置装配之前，每个人都要能够正确的使用安全设备，认真阅读安全设备的说明书，使用不当则会造成生命危险，尤其重要的是检查所有的安全设备，同时注意其有效期。

表 1-1 安全设备及标准

安全设备名称	标准
安全带	EN 361-2002
安全帽	EN 397-2000
安全鞋	EN 344-1997
连接（绳子，吊钩）	EN 354-2002



图 1-1 安全帽



图 1-2 工业手套



图 1-3 安全鞋



图 1-4 工作服

1.4 电气安全

风机电气安全如下：

(1) 为了保证人员和设备的安全，只有经培训合格的电气工程师或经授权人员才允许对电气设备进行安装、检查、测试和维修。

(2) 安装调试过程中不允许带电作业，在工作之前，断开主控开关以及切断电源，并挂上警告牌。



图 1-5 警示牌

(3) 如果必须带电工作，只能使用绝缘工具，而且要将裸露的导线作绝缘处理。应注意用电安全，防止触电。

(4) 现场需保证有两个以上的工作人员，工作人员进行带电工作时必须正确使用绝缘手套、橡胶垫和绝缘鞋等安全防护措施。

(5) 对超过 1000V 的高压设备进行操作，必须按照工作票制度进行。

(6) 对低于 1000V 的低压设备进行操作时，应将控制设备的开关或保险断开，并由专人负责看管。如果需要带电测试，应确保设备绝缘和工作人员的安全防护。工作完成后必须得到负责人的允许才可重新上电。

(7) 当设备上电时，一定要确保所有人员已经处于安全位置；所有测试用的短接线已经被拆除；所有被拆开的线路已经完全恢复，并可靠连接；确认所有被更换的元器件的接线是正确可靠的，方可给设备合闸供电。

(8) 为水冷系统加注冷却水或排出冷却液时，工作人员必须使用橡胶手套和护目镜，并应防止冷却液喷溅到电器设备和电器回路上。

1.5 防火

有关装配实训装置防火措施和应对火灾措施如下所述：

(1) 预防火灾措施

严禁在工作区内吸烟！在离开工作区的时候必须将所有的包装材料，纸张和易燃物质全部带走。为了保证在紧急情况时实现快速救护，必须保证到现场的道路畅通，而且保证道路可以通行车辆。

(2) 应对火灾措施

若装配实训装置起火，可以使用灭火器进行扑救，同时通知安全人员以寻求更多的帮助。如果发生火灾，所有人员必须远离火灾危险区，及时通知相关人员快速切断风电机组的电源，拨打当地火警电话，讲明着火地点、着火部位、火势大小、外界环

境风速、报警人姓名、手机号，并派人在路口迎接，以便消防人员及时赶到。

1.6 责任

对下列情况引起的损坏或者运行障碍不承担任何责任：

- 不遵照指导书操作
- 未经允许更改驱动器
- 错误操作
- 工具使用不当
- 未经培训擅自装配或拆卸
- 安装不当；
- 环境温度、湿度超标；
- 运行环境中的尘埃；
- 腐蚀性物质造成产品损坏和故障；
- 运行工况超出产品技术指标的额定范围等。

2 装配准备

在进行装配实训之前，所有参与安装的人员必须穿戴好个人防护用品。有组织、有秩序的进行装配，不得打闹，严格遵守装配顺序。现场不用的物件清理干净，各区域间保持安全距离。

2.1 文件、零部件准备

装配过程的一般原则包括以下几点：

1. 按照图纸的要求清点、检查每个装配工序所用零部件、外购件、标准件。
2. 仔细阅读装配流程，明确装配技术要求，考虑好装配方法和顺序。
3. 准备装配所需要的设备与工具。
4. 装配的零部件和装配工具都必须在装配前进行认真的清洁。
5. 整理装配的工作场地，对装配的零件、工具进行清洁，去掉零件上的毛刺、铁锈、切屑、油污，归类并放置好装配用零部件，调整好装配平台基准。
6. 装配前必须对零件的主要配合尺寸，特别是与轴承配合尺寸及相关精度进行复查。
7. 装配时，必须使用符合要求的紧固件进行紧固。拧紧螺栓、螺钉等紧固件时，必须根据产品装配要求使用合适的装配工具。
8. 清洗后的轴承不能直接放在地面或工作台上，应垫以干净的木块和布。

2.2 工量具准备

装配风电机组常用的工器具包括内六角扳手、螺丝刀、开口扳手等。下面介绍常用的工器具。

（1）手动扳手

手动扳手是一种常用的安装与拆卸工具，利用杠杆原理拧转螺栓、螺钉、螺母和其他螺纹紧持螺栓或螺母的开口或套孔固件。使用时，沿螺纹旋转方向在柄部施加外力，就能拧转螺栓或螺母。各类手动扳手如图 2-1 所示，两用扳手见图 2-2，内六角扳手见图 2-3。

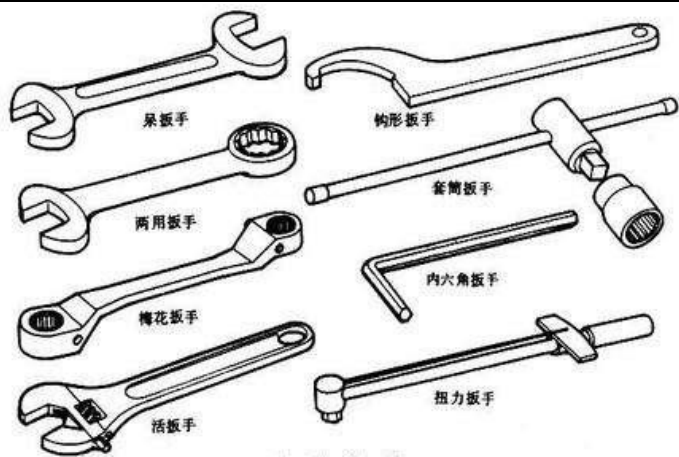


图 2-1 手动扳手



图 2-2 不同型号两用扳手



图 2-3 不同型号内六角扳手

(2) 扭矩扳手

在紧固螺丝、螺栓、螺母等螺纹紧固件时需要控制施加的力矩大小，以保证螺纹紧固且不至于因为力矩过大破坏螺纹，所以用力矩扳手来操作。首先设定好一个需要的扭矩上限值。当施加的扭矩达到这个设定值时，扳手会发出“卡塔”声响或者扳手连接处折弯一点角度，这就代表已经紧固不要再加力了。扭矩扳手适用于对扭矩大小有明确规定的装配。各类力矩扳手见图 2-4 和图 2-5。



图 2-4 手动力矩扳手



图 2-5 液压力矩扳手

(3) 其他工具

在装配过程中，还会用到套筒、螺丝刀等安装工具，见图 2-6 和图 2-7。



图 2-6 各类型螺丝刀



图 2-7 各型号套筒

(4) 塞尺

塞尺是由一组具有不同厚度级差的薄钢片组成的量规，是用于检验间隙的测量器具之一。每把塞尺中的每片具有两个平行的测量平面，且都有厚度标记，以供组合使用，见图 2-8。



图 2-8 塞尺

(5) 游标卡尺

游标卡尺（VERNIER CALLIPER），是一种测量长度、内外径、深度的量具。游标卡尺由主尺和附在主尺上能滑动的游标两部分构成。见图 2-9。

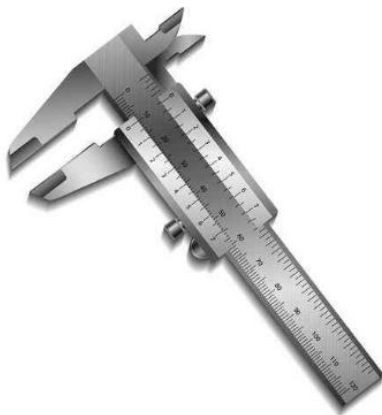


图 2-9 游标卡尺

(6) 卷尺

卷尺是日常生活中常用的工量具，见图 2-10。



图 2-10 卷尺

(7) 小型龙门吊

门式起重机是桥式起重机的一种变形，又叫龙门吊。它的金属结构像门形框架，承载主梁下安装两条支脚，可以直接在地面上行走。

3 实训指导

3.1 概述

传动链拆装实训平台是根据兆瓦级双馈风电机组传动链缩比而成，主要由风轮、主轴系统、齿轮箱、发电机、底座及工装六部分组成。

3.1.1 风轮

风轮由轮毂、变桨轴承、叶片、轮毂盖板等部件组成。风电机组的风轮中还包括变桨驱动、电池柜、电控柜、限位开关、编码器和导流罩等。鉴于本实训装置的风轮内部空间较小，因此风轮内部以及变桨机构等附件在本实训装置上不做具体展示和装配。风轮的组成结构如图 3-2 所示。

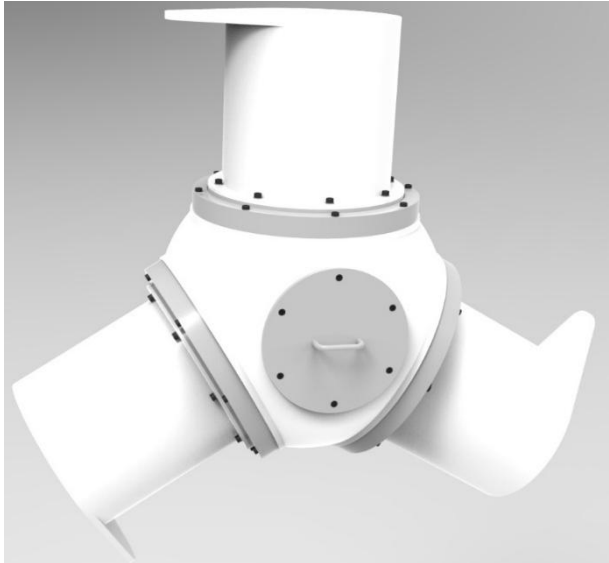


图 3-2 风轮（加导流罩）

3.1.2 主轴系统

风力发电机组主轴系统的功能是将风力发电机风轮的动力传递给齿轮箱。本实训装置的主轴系统采用两点支撑的结构形式。本实训装置主轴系统主要由主轴、前轴承、前轴承座、后轴承、后轴承座及轴承端盖等部件组成。主轴承采用两个调心滚子轴承。主轴系统采用两个独立轴承座的结构形式，轴承座的外形结构参照兆瓦级风电机组的结构形式。

3.1.3 齿轮箱

风力发电机组中齿轮箱的主要功能是将风轮产生的转矩传递给发电机，并使其得到相应的运行转速。风轮的转速很低，远达不到发电机转速的要求，需要通过齿轮箱进行增速。

3.1.4 发电机

发电机是风力发电机组的重要部件，它把风力机主轴输出的机械能转换成电能并输送给电网（或储存在蓄电池中）。发电机的种类、形式繁多。目前在风力发电机组中，大容量的机组多采用双馈异步电机和永磁同步电机作为发电机。发电机如图 3-3 所示。

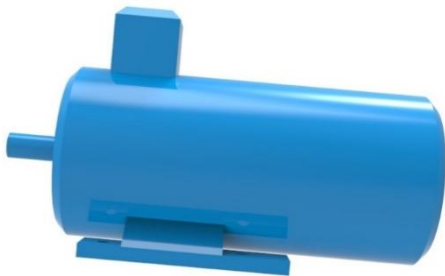


图 3-3 发电机

3.2 装配实训

3.2.1 风轮装配实训

1. 实训目的

- (1) 掌握风轮结构；
- (2) 掌握风轮装配方法；

2. 实训内容

- (1) 导流罩安装；
- (2) 风轮的装配

3. 实训注意事项

- (1) 实训人员应带安全帽，穿安全鞋，戴手套；

(2) 四个脚轮均处于锁紧状态；

4. 实训前准备

(1) 所需零件：叶片 3 件、变桨轴承 3 件、轮毂、轮毂前盖板，见图 3-4~3-7。

(2) 所需工具：内六角扳手。



图 3-4 叶片



图 3-5 变桨轴承

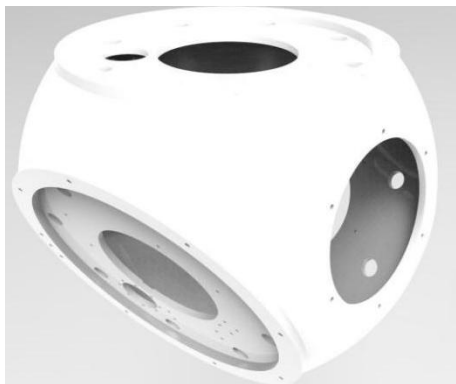


图 3-6 轮毂



图 3-7 轮毂前盖板

5. 实训操作步骤

(1) 清理轮毂

装配轮毂前，应使用适当的工具和清洗剂将轮毂清理干净，对于不合格的防腐层部分需要进行修补。清理后的轮毂不得有毛刺、翻边、氧化皮、铁锈、切屑、油污、着色剂和灰尘等。

(2) 轮毂放置

将轮毂与主轴的安装法兰面朝下放置在风轮工装支架上，如图 3-8 所示：



图 3-8 轮毂放置图

将轮毂放置到安装位置后，使用 10 个 M4×30 螺钉、垫圈及螺母将轮毂与风轮工装支架固定，如图 3-9 所示。

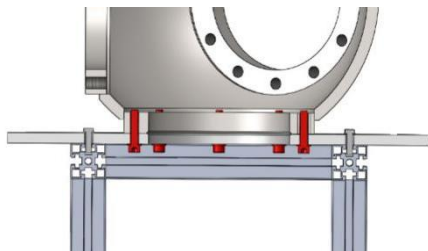


图 3-9 轮毂与工装支架螺栓连接剖面图

(3) 清理变桨轴承

用无毛抹布和清洗剂将变桨轴承各表面清理干净。

(4) 变桨轴承的安装

先将一个变桨轴承垂直吊起，使变桨轴承平靠在轮毂安装轴承的端面，调整变桨轴承和轮毂的相对位置，检查变桨轴承与轮毂安装面是否贴靠良好（例如，间隙 $\leq 0.05\text{mm}$ ，并且间隙均匀分布），如图 3-11 所示。然后使用标准件 8 个 M4 \times 30 螺栓及垫圈连接变桨轴承外圈与轮毂。按顺序分三次使用同样方法将另两个变桨轴承固定于轮毂上。螺栓拧紧顺序如图 3-10 所示。

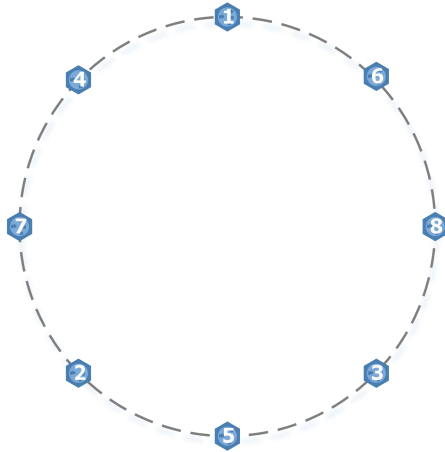


图 3-10 螺栓拧紧顺序图

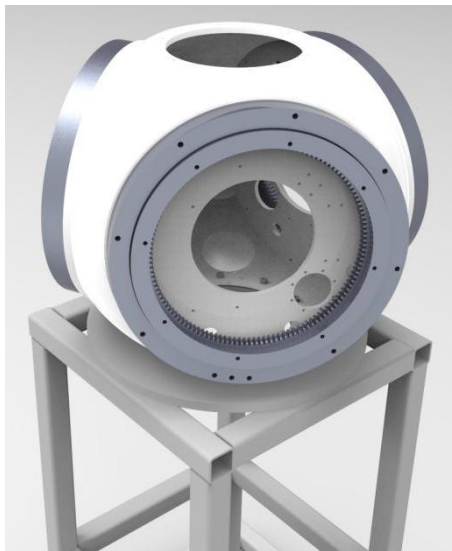


图 3-11 变桨轴承安装

(5) 叶片的安装

先取一个叶片，使叶片安装法兰面平靠在变桨轴承的安装面上，调整叶片和变桨轴承的相对位置，检查叶片和变桨轴承安装面是否贴靠良好，并且间隙均匀分布，如图 3-13 所示。然后使用螺钉 M5×12、螺母、垫圈将叶片固定在变桨轴承内圈上（每个叶片使用 8 组紧固件，共 8×3 组）。按顺序分三次使用同样方法将另两个叶片固定在变桨轴承上，如图 3-12 所示。



图 3-12 叶片放置图

(6) 轮毂盖板的安装

取出轮毂盖板,将盖板与轮毂前端面贴合并调整位置,使用 8 个 M4×10 螺钉(GB/T 70.1)将轮毂盖板固定于轮毂上,使用工具为内六角扳手 M4,如图 3-13 所示。螺栓的拧紧顺序如图 3-10 所示。

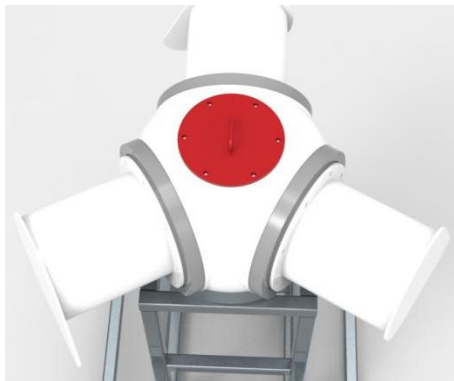


图 3-13 轮毂端盖安装

3.2.2 主轴系统装配实训

1. 实训目的

- (1) 掌握主轴系统的装配方法；
- (2) 了解各零部件在风电机组中的作用及结构形式

2. 知识点

(1) 主轴系统布局

主轴系统的布局即为风电主轴承的布置和选型,在选择风电主轴承的布置方案时,需要根据各种轴承类型和布局的优缺点,综合考虑整机传动系设计的要求、轴系重量和成本、轮毂定位方式、轴承可靠性、润滑、密封、装配工艺等复杂因素。主轴系统的布局主要有以下三种。

1) 三点支撑轴承方案：主轴轴承+齿轮箱中的轴承

采用三点支撑，一点是固定端轴承而另外两点是齿轮箱内的转矩支撑轴承。这是双馈式风电机组的常用布置形式，其结构形式见图 3-14。

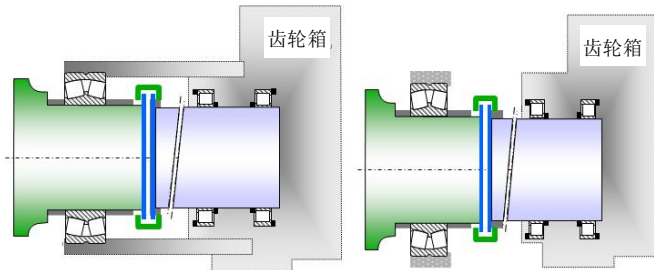


图 3-14 三点支承式主轴布局结构示意图

这种轴承布置形式通常在轮毂端使用调心滚子轴承，其优点是可以承受齿轮箱所要求的较大偏转角，轴承本身的设计和制造的难度低于圆锥轴承；其缺点如下：

a) 轴向游隙比较大，轮毂在轴向的定位不好，其轴向位移可能超出联轴器等部件的限制；

b) 轴向力较大时，双列的球面滚子轴承变为只有单列受载，使受载列的载荷大大增加；

c) 所有的载荷均通过齿轮箱，影响齿轮箱的寿命；

d) 轴的尺寸小，载荷对轴的影响大。

2) 两点支承轴承方案：双列调心滚子轴承+双列调心滚子轴承

在主轴上，采取双轴承的配置是比较传统且比较常见的形式，采用的轴承类型根据设计要求的不同而有所不同。下面主要介绍两个双列调心滚子轴承的结构形式，其结构如图 3-15 所示。双轴承配置的好处在于主轴轴承承受了大部分复杂的风力载荷，除扭矩外，基本上没有其他载荷会传递到传动链的齿轮箱里，给齿轮箱的设计带来了极大便利。缺点与前述的调心滚子轴承相同。

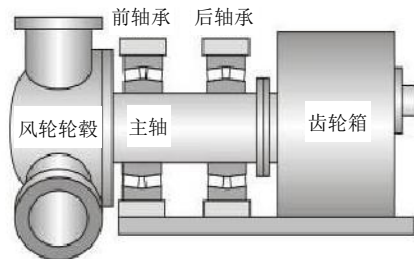


图 3-15 两个调心滚子轴承结构形式

3) 单轴承方案：双列圆锥滚子轴承

使用单个轴承来承受径向载荷、轴向载荷以及力矩载荷需要轴承制造商和风力发电机电机制造商共同的全面专业的技术水平。最初使用单个轴承的风力发电机采用来自回

转支承领域的多列圆柱滚子轴承。近年来，单轴承多采用双列圆锥滚子轴承，且在全球风电主轴承中的比例呈上升趋势，其优点是易于安装，可以降低轴系重量和零部件数量，其缺点是两列轴承的跨距小，要承受大的弯矩就需要大幅增加轴承尺寸，相应带来的问题包括：周策划那个的成本会大大增加、轴承的尺寸上限受到热处理和加工设备的限制、随着轴承直径的增大，滚子线速度也随着增大，会带来发热温升的问题。

分析比较了各种风电主轴承布置和选型的特点和优缺点，所以在设计风机主轴系统的主轴承布置形式时，应综合考虑受力状况、可靠性、工艺复杂性、可装配性、重量、成本等因素。每一种轴承布置形式都有其优势和劣势，应结合整机结构布局，全面评估各方面因素，扬长避短，充分考虑设计、制造、装配、运维等风机全寿命周期的可靠性和经济性。

（2）主轴系统结构和组成

风力发电机组主轴系统的功能是将风力发电机风轮的动力传递给齿轮箱。本实训装置的主轴系统采用两点支撑的结构形式。本实训装置主轴系统主要由主轴、前轴承、前轴承座、后轴承、后轴承座及轴承端盖等部件组成。主轴承采用两个调心滚子轴承。主轴系统采用两个独立轴承座的结构形式，轴承座的外形结构参照兆瓦级风电机组的结构形式。主轴系统的结构如图 3-16 所示。

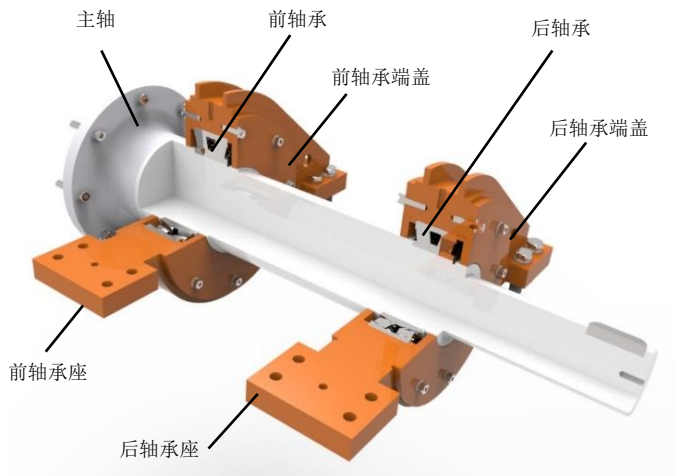


图 3-16 主轴系统结构图

(3) 主轴

在风力发电机组中，主轴承担了支撑轮毂处传递过来的各种负载的作用，并将扭矩传递给增速齿轮箱，将轴向推力、气动弯矩传递给机舱、塔架。主轴的一端与轮毂连接，另一端与齿轮箱连接。绝大多数情况下采用合金钢做为主轴的材料，这一方面是因为合金钢有较高的强度，另一方面是其具有较好的防腐性能，除此之外，主轴材料还要求具有较好的抗低温性能。常用材料有 40Cr、42CrMnTi、34CrNiMo6 等，毛坯通常采用锻造工艺。合金钢材料的缺点是对应力集中较为敏感，结构设计时应注意减小应力集中，必要时可设计卸载槽，并对表面质量有严格要求。主轴结构如图 3-17 所示。



图 3-17 主轴

(4) 主轴承

主轴承是风机所有运动部位的枢纽，作为风机的核心部件，风力发电机的受力和振动情况复杂，必须能够承受巨大的冲击负荷，在腐蚀、风沙、潮湿、和低温环境下工作，同时要满足 20 年使用寿命和高可靠性的要求，这些对轴承设计制造提出了巨大的挑战。轴承是风电机组中的薄弱部位，是风电机组的主要故障点之一，随着风电机组尺寸的增加，对轴承质量要求变得更加严格。

本装配实训装置采用两点支撑的主轴承布局方式。轴承选用前、后两个调心滚子轴承，其结构如图 3-18 所示。



图 3-18 调心滚子轴承

(5) 轴承座

轴承座是风力发电机组中的一个重要部件，主要用于支撑传动系统，承受主轴的大部分载荷，其性能和可靠性非常关键。它要有足够的强度和刚度，以保证机组在各种载荷情况下能正常运行。而且还要保证机组在遭受一些恶劣外部条件时的安全性。本装配实训装置采用两个独立的轴承座支撑方式，其结构如图 3-19 所示



图 3-19 轴承座

3. 实训内容

- (1) 主轴系统装配；

4. 实训注意事项

- (1) 实训人员应带安全帽，穿安全鞋，戴手套；
- (2) 四个脚轮均处于锁紧状态；

5. 实训前准备

- (1) 所需零件：主轴一、主轴二、锁紧销、轴承座一前端盖、轴承座一、调心

滚子轴承 22316、调心滚子轴承 22311、轴承座一后端盖、圆螺母 M48x1.5 两件、轴承座二、轴承座二前端盖、轴承座二后端盖、锁紧盘、PT100、油杯。见图 3-20~3-25。

(2) 所需工具：内六角扳手。



图 3-20 主轴一



图 3-21 主轴二

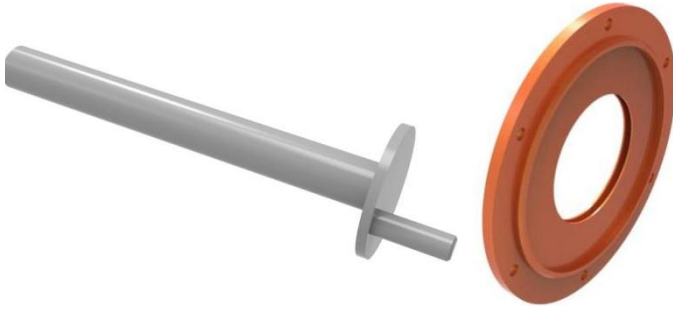


图 3-22 锁紧销（左） 轴承座一前端盖（右）



图 3-23 轴承座一（左） 调心滚子轴承（右）



图 3-24 轴承座一后端盖（左） 圆螺母 M48x1.5（右）



图 3-25 锁紧盘（左）轴承座二（右）

6. 实训操作步骤

(1) 安装主轴一、主轴二。清理主轴及其零部件，将主轴一固定到主轴系统工装支架，将键 16x10 装入主轴二顶部键槽内后，将主轴一装入主轴二的轴孔内；用两个圆螺母 M48x1.5 从主轴一顶端拧入直至拧紧。如图 3-26 所示。

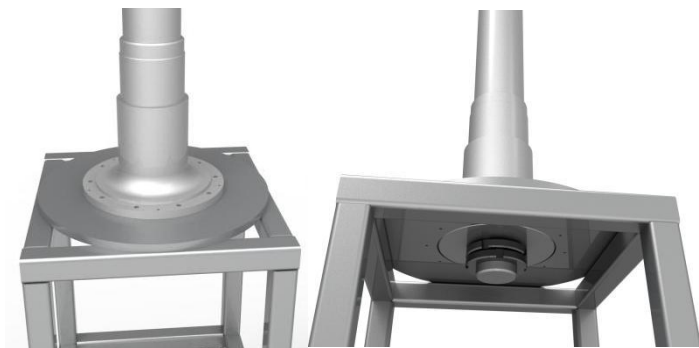


图 3-26 安装主轴一、主轴二

(2) 安装锁紧盘。吊装锁紧盘，将锁紧盘与主轴一用 5 螺钉 M4x16 及垫圈拧紧，暂时将锁紧盘固定。如图 3-27 所示。



图 3-27 安装锁紧盘

(3) 安装前轴承、轴承座及端盖。吊装轴承座一前端盖，将前轴承装入主轴，前轴承内圈与轴肩贴合后，装入轴承座一；将轴承内圈与轴承座一贴近后，用螺钉 M6x20 及平垫圈 6 将轴承座一前端盖与轴承座一安装；用圆螺母 M76x2 锁紧轴承内圈；最后，安装轴承一后端盖。如图 3-28~3-30 所示。

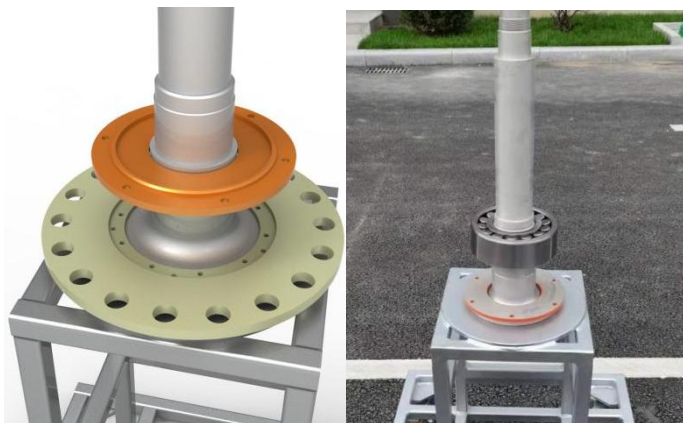


图 3-28 安装承座一前端盖（左） 安装前轴承（右）



图 3-29 安装承座一（左） 安装圆螺母 M76x2（右）



图 3-30 安装轴承一后端盖

(4) 用同样方法安装轴承座二前端盖、后轴承、轴承座二、轴承座二后端盖。

主轴系统安装完成。如图 3-31 所示。



图 3-31 主轴系统

3.2.3 齿轮箱装配实训

1. 实训目的

- (1) 了解风电中齿轮箱的种类；
- (2) 了解风电中齿轮箱的结构；
- (3) 掌握齿轮箱装配。

2. 知识点

风力发电机组中齿轮箱的主要功能是将风轮产生的转矩传递给发电机，并使其得到相应的运行转速。风轮的转速很低，远达不到发电机转速的要求，需要通过齿轮箱进行增速。

风力发电机组齿轮箱的种类很多，按其传动形式大致可分为平行轴定轴传动、行星传动及它们的组合传动齿轮箱；按传动的级数可分为单级和多级齿轮箱；按布置形

式可分为展开式、分流式和同轴式齿轮箱。兆瓦级齿轮箱由于增速比较大，通常采用行星与平行轴组合形式的齿轮传动。

齿轮箱承受来自风轮的作用力和齿轮传动过程中的各种反力，必须具有足够的强度和刚度，保证传动质量。齿轮箱箱体要满足风力发电机组动力传动的布局、加工和装配、检查以及维护等要求。箱体上设有吊装孔，供起吊整台齿轮箱用。齿轮箱两侧的扭矩臂起固定齿轮箱的作用，是用来平衡主轴传动到齿轮箱的扭矩，使齿轮箱的受力情况更加平稳、合理。为了减小齿轮箱传到机舱主机架的振动，齿轮箱通常通过扭矩臂安装在弹性减震支撑上，箱体两侧的扭矩臂结构应具有足够的刚度。齿轮箱的外形结构如图 3-32 所示。

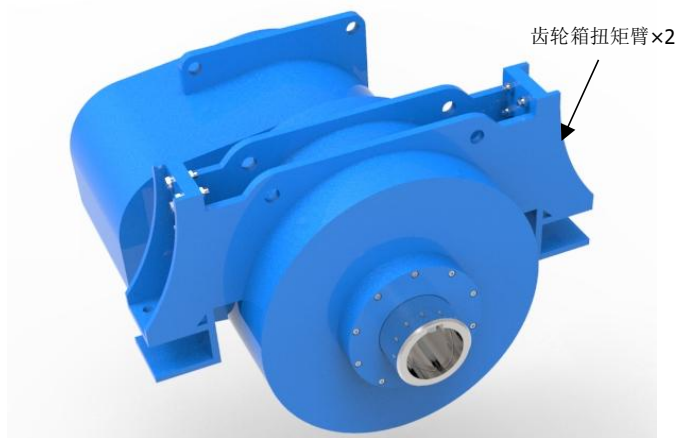


图 3-32 齿轮箱

3.实训内容

- (1) 齿轮箱扭矩臂的安装；
- (2) 齿轮箱冷却与润滑系统的安装；
- (3) 加热器安装；

4.实训注意事项

- (1) 实训人员应带安全帽，穿安全鞋，戴手套；
- (2) 四个脚轮均处于锁紧状态；
- (3) 吊装齿轮箱时，应注意避让其他设备及人员。

5. 实训前准备

(1) 所需零件：齿轮箱、扭矩臂 2 件、扭矩臂桥块 2 件、减震垫 4 件、锁紧盘、锁紧盘压盖、冷却器、润滑泵、加热器及油管。见图 3-33~3-37。

(2) 所需工具：内六角扳手、开口扳手。



图3-33 齿轮箱

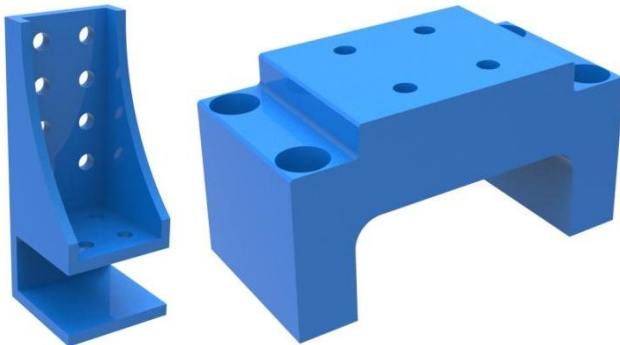


图3-34 扭矩臂（左） 桥块（右）

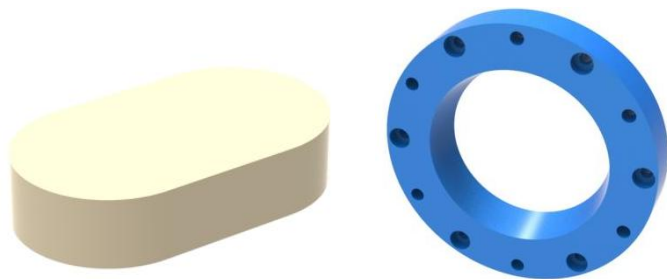


图3-35 减震垫（左） 锁紧盘（右）

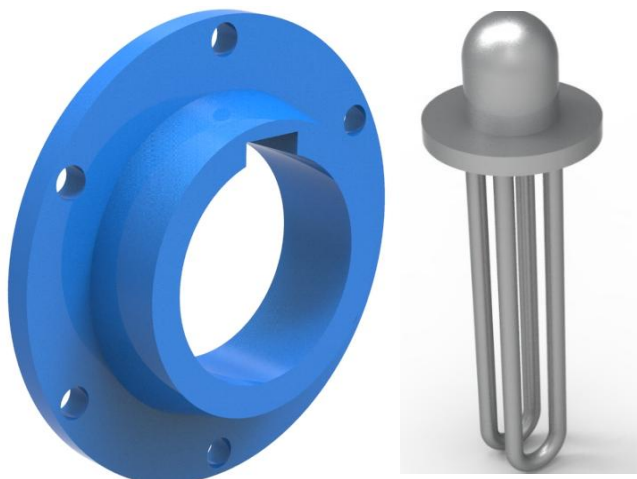


图3-36 锁紧盘压盖（左） 加热器（右）



图3-37 润滑泵（左） 冷却器（右）

6. 装配流程

（1）清理

使用适当的工具和清洗剂将齿轮箱及其它需要装配的零件配合表面上的残余油污及杂物清理干净。

（2）齿轮箱放置

在齿轮箱上端吊耳处安装 4 个卸扣，将齿轮箱吊起，放置在齿轮箱工装支架上，如图 3-38 所示。



图 3-38 放置齿轮箱

(3) 安装齿轮箱扭矩臂

取一侧的齿轮箱扭矩臂，使扭矩臂的安装面平靠在齿轮箱的安装面，调整扭矩臂和齿轮箱的相对位置，检查扭矩臂和齿轮箱安装面是否贴靠良好，并且间隙均匀分布。然后使用 8 个 M10×25 螺栓、垫圈及螺母将扭矩臂固定在齿轮箱上，如图 3-39 所示。螺栓的拧紧顺序如图 3-40 所示。

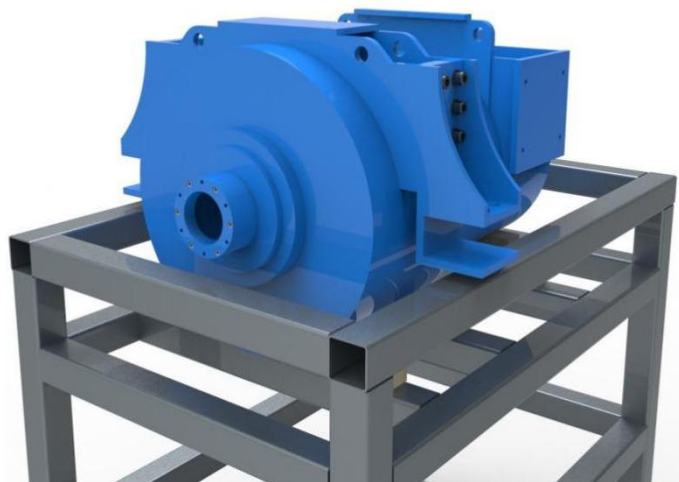


图 3-39 安装齿轮箱扭矩臂

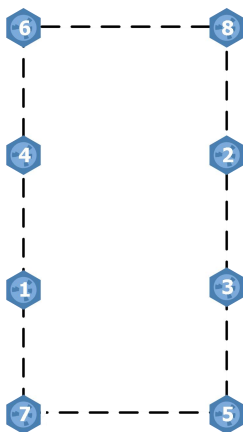


图 3-40 螺栓拧紧顺序图

用 4 个 M10x30 螺钉及垫片将扭矩臂桥块及减震垫与扭矩臂固定,如图 3-41 所示。

使用同样方法将另一侧的扭矩臂及桥块固定安装在齿轮箱上。

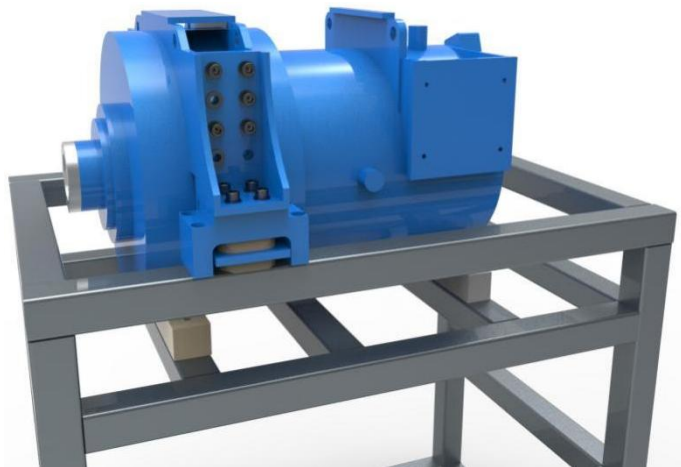


图 3-41 扭矩臂桥块安装图

(4) 安装锁紧盘

将锁紧盘用 6 个 M4x16 的螺钉通过沉孔安装到齿轮箱输入轴端；将锁紧盘压盖用 6 个 M6x20 的螺钉及垫片安装到锁紧盘上，压盖安装螺钉不要拧紧，待装入主轴后锁紧。如图 3-42 所示。

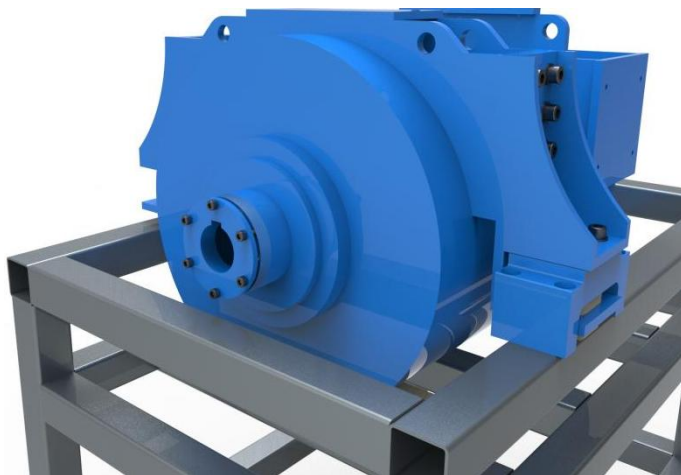


图 3-42 锁紧盘及压盖安装图

(5) 齿轮箱冷却及润滑系统安装

齿轮箱冷却及润滑系统包含风冷却器、润滑泵及润滑管路，风冷却器安装在齿轮箱顶部，用 4 个螺钉 M6x16 的螺钉及垫片固定，如图 3-43 所示，润滑泵安装在齿轮箱侧面，由于润滑泵较大，待齿轮箱安装到主机架后再安装润滑泵及管路。



图 3-43 风冷却器的安装

(6) 加热器安装

将加热器拧入齿轮箱相应的安装孔内，如图 3-44 所示。

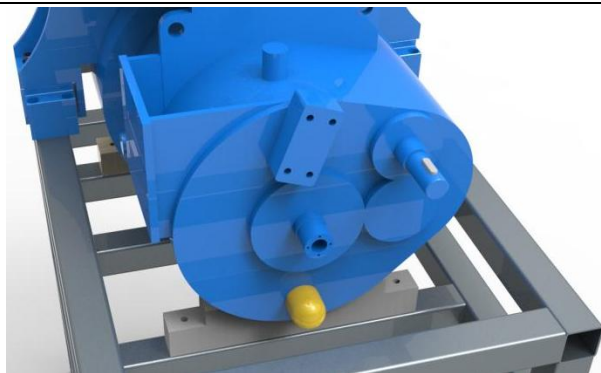


图 3-44 加热器安装图

齿轮箱安装完成，如图 3-45 所示。

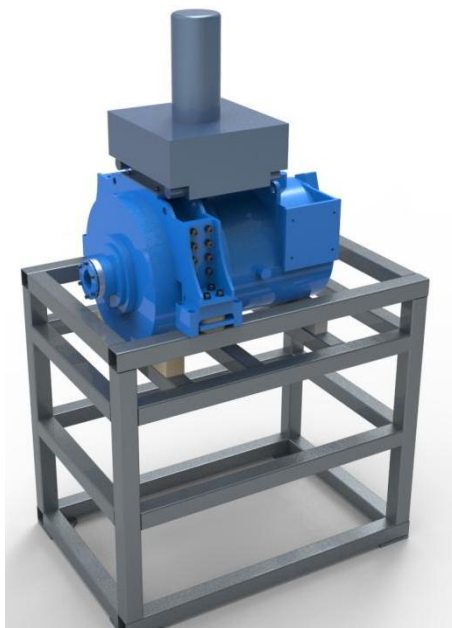


图 3-45 齿轮箱安装完成图

3.2.4 主传动链装配实训

1. 实训目的

- (1) 掌握风电机组传动链的组成；
- (2) 掌握风电机组传动链的装配顺序与方法；

2. 知识点

风力发电机组中的齿轮箱作为传递动力的部件，在运行期间同时承受动态和静态载荷。而利用齿轮箱弹性减震支撑可以减少从齿轮箱传递到机舱结构和塔架的振动，从而将齿轮箱的机械振动控制在规定的范围之内。齿轮箱正常工作时，会产生噪音，其主要噪声来自于齿圈齿轮的啮合，安装弹性减震支撑是解决噪音问题的好方法。

目前根据风力发电机传动链的布局不同，有 3 种不同的弹性减震支撑应用在风电机组上。

(1) 轴瓦式齿轮箱减震支撑

轴瓦式齿轮箱减震支撑由上、下两瓣弹性体组成，根据橡胶层数的不同，结构有所差异，如图 3-46 所示。弹性体采用偏心式设计，在一定的温度和压力下，硫化成型。安装时利用产品的偏心量，通过预压缩的方式将其固定于齿轮箱支撑座中。这种结构的齿轮箱减震支撑的承载能力强，能够承受来自径向和轴向的冲击载荷，有着良好的阻尼及减震性能。



图 3-46 轴瓦式齿轮箱减震支撑

(2) 叠簧式齿轮箱减震支撑

叠簧式齿轮箱减震支撑采用的是金属框架是结构，如图 3-47 所示。在扭矩臂上、下各设置有一个橡胶垫。齿轮箱支撑安装时使上、下橡胶垫各产生一定的预压缩量，齿轮箱工作时的振动就在预压缩量的范围内进行。

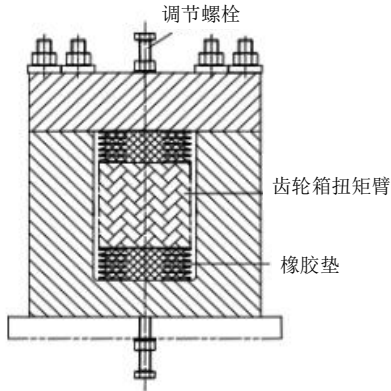


图 3-47 叠簧式齿轮箱减震支撑

在齿轮箱支撑两端各有一个调节装置，通过调整螺栓可实现对齿轮箱安装高度的微调，以避免系统出现过约束，使齿轮箱与主轴连接处受附加弯矩的作用；同时也可以调整减震支撑体的刚度性能以实现产品的变刚性设计。这种齿轮箱弹性减震支撑具有出色的阻尼及减震性能，可大大减少结构噪声的传递，承载大，且安装方法简单，更换方便。

(3) 液体复合齿轮箱减震支撑

液压减震支撑是在叠簧式减震支撑的基础上，并结合液体流动时优良的阻尼特性而发展起来的。这种减震支撑的橡胶弹性体的外形结构和叠簧式减震支撑类似，皆采用金属橡胶复合结构，内部设有压力膜（橡胶），腔体，密封机构，液压管路等，如图

3-48 所示。

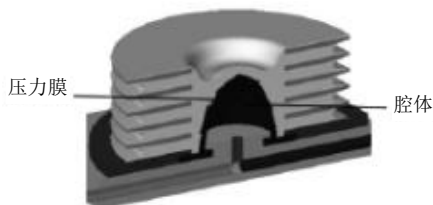


图 3-48 液体复合齿轮箱减震支撑

齿轮箱一侧的减震支撑上弹性体与另一侧减震支撑的下弹性体通过液压油管连接在一起，如图 3-49 所示。当齿轮箱发生振动，齿轮箱支撑受载其腔体的体积发生变化，液体在上、下腔体之间流动产生阻尼，消耗振动能量，达到衰减振动的目的。与叠簧式齿轮箱减振支撑的性能相比，在获得相同的扭转刚度的情况下，液体复合减振支撑的垂向刚度小，从而可以大大减少由于安装所产生的过约束对系统的影响，这种减振支撑也是齿轮箱减振系统的发展方向，具有非常广阔的前景。

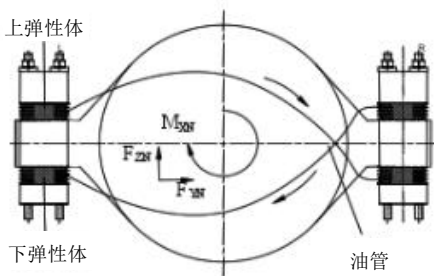


图 3-49 液体复合减震支撑的工作示意图

3. 实训内容

- (1) 齿轮箱装配的安装；
- (2) 主轴系统安装；

(3) 风轮的安装。

4. 实训注意事项

- (1) 实训人员应带安全帽，穿安全鞋，戴手套；
- (2) 四个脚轮均处于锁紧状态；
- (3) 吊装零部件时，应注意避让其他设备及人员。

5. 实训前准备

- (1) 所需零件：风轮装配、主轴系统、齿轮箱装配、齿轮箱润滑泵、主机架。
- (2) 所需工具：吊带、卸扣、内六角扳手。

6. 实训步骤：

(1) 清理

装配前，应使用适当的工具和清洗剂将轮毂、主轴及其它需要装配的零部件配合表面上的残余油污及杂物清理干净。

(2) 安装齿轮箱吊具

齿轮箱放置在齿轮箱工装支架上，清理干净齿轮箱低速轴内外表面，并检查齿轮箱内孔与主轴配合面的尺寸是否符合图纸要求。在齿轮箱上部吊耳处，安装齿轮箱专用吊具（四个卸扣），将齿轮箱水平吊起，调整齿轮箱位置，使前端比后端高出规定角度（ 5° ）。如图 3-50 所示。

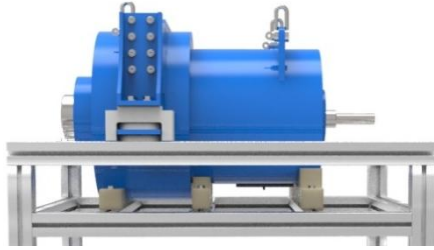


图 3-50 安装齿轮箱吊具

(3) 安装齿轮箱

将齿轮箱吊起，平稳吊到设计规定的位置，如图 3-51 所示。

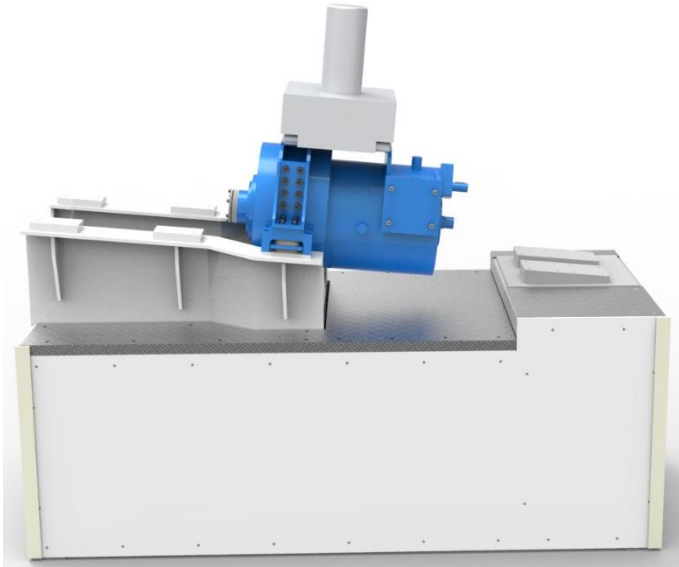


图 3-51 安装齿轮箱

(4) 安装齿轮箱减震支撑

齿轮箱安装到位置后，在齿轮箱扭矩臂的两侧各推入一个齿轮箱支撑座，然后将

上、下两个减震垫安装在支撑座与扭矩臂之间，共四个，调整减震垫的位置和高度。先使用 4 个 M10×65 螺栓及垫圈安装在支撑座与主机架之间的螺纹孔中，按照“交叉法”拧紧螺栓，按照相同的方法固定另一侧的支撑座。然后再使用 4 个 M10×65 螺栓及垫圈安装在支撑座与齿轮箱扭矩臂之间的螺纹孔中，按照“交叉法”拧紧螺栓。按照同样的方法安装另一侧的齿轮箱减震支撑。如图 3-52、图 3-53、图 3-54 所示。

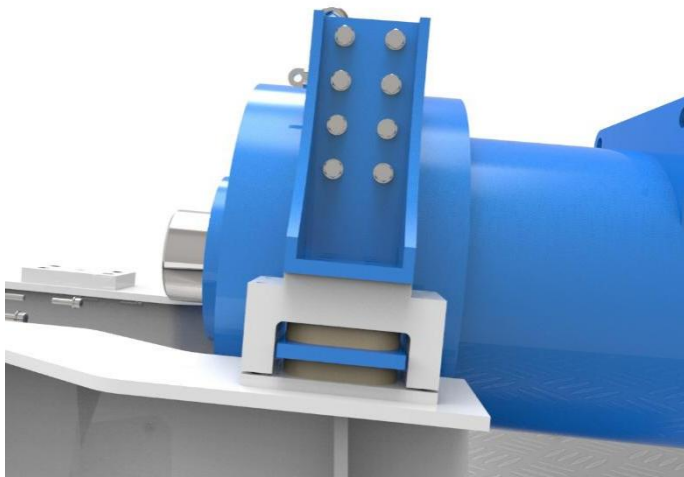


图 3-52 放置齿轮箱减震支撑座

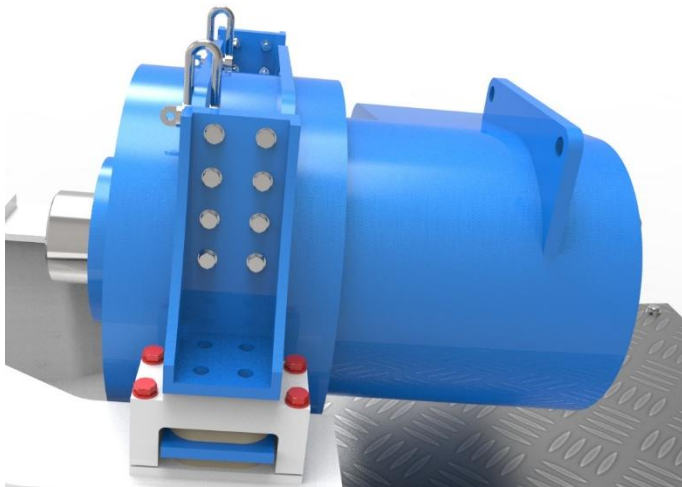


图 3-53 固定齿轮箱减震支撑座

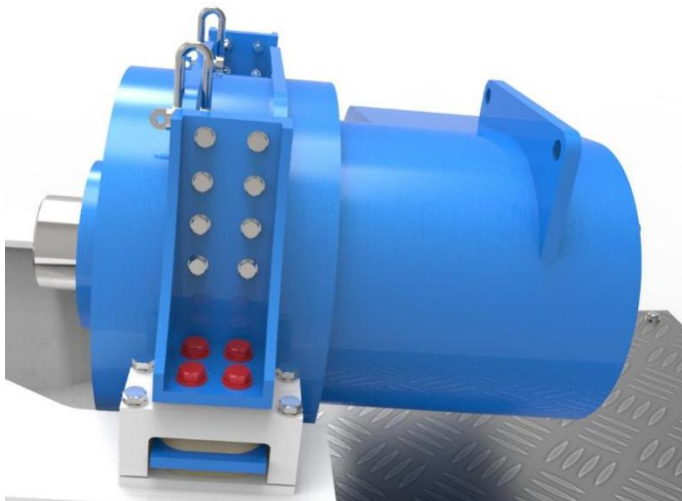


图 3-54 固定齿轮箱扭矩臂与减震支撑座

(5) 安装润滑泵

用 4 个 M8x20 螺钉将润滑泵安装到齿轮箱侧面，如图 3-55 所示。

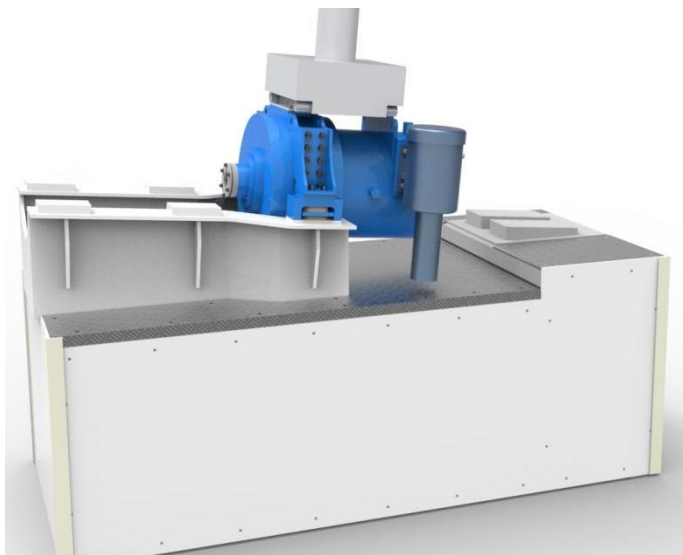


图 3-55 润滑泵安装

(6) 主轴系统的吊装

先将轴承座与主轴系统工装支架之间的 10 个 M4×30 螺栓拧下，然后再使用专用吊具（吊环螺栓 M10 或卸扣），将主轴系统水平吊起，再调整角度，使主轴前端比后端高出规定角度（5°），平稳吊到主机架规定位置处，并调整位置，使主轴对准齿轮箱的低速轴轴孔。如图 3-56 所示。

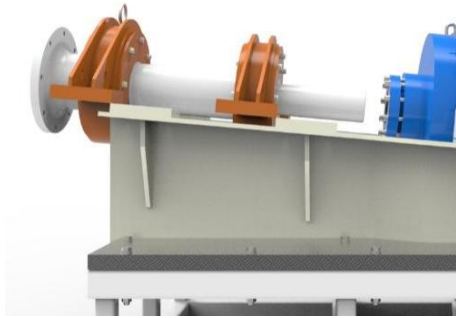


图 3-56 主轴系统的吊装

(6) 安装主轴系统

主轴系统放置到规定位置后，使用标准件 $M12\times40$ 螺栓及垫圈，按“交叉法”拧紧螺栓。如图 3-57 所示。

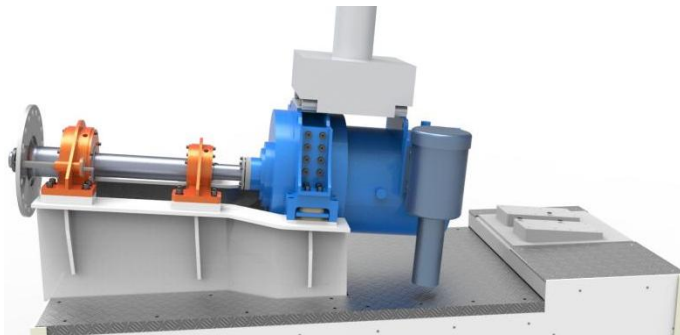


图 3-57 安装主轴系统

(7) 轮毂与主轴的对接

将风轮吊起，调整风轮和主轴系统的相对位置，使轮毂安装面靠近主轴法兰面，检查轮毂安装面与主轴法兰面是否贴靠良好（例如，间隙 $\leq 0.05\text{mm}$ ，并且间隙均匀分布）。然后使用 10 个螺钉 $M4\times30$ 及垫圈将风轮与主轴系统固定连接，拧紧齿轮锁紧盘的安装螺栓，直至主轴与齿轮箱低速轴完全锁紧。如图 3-58 所示。

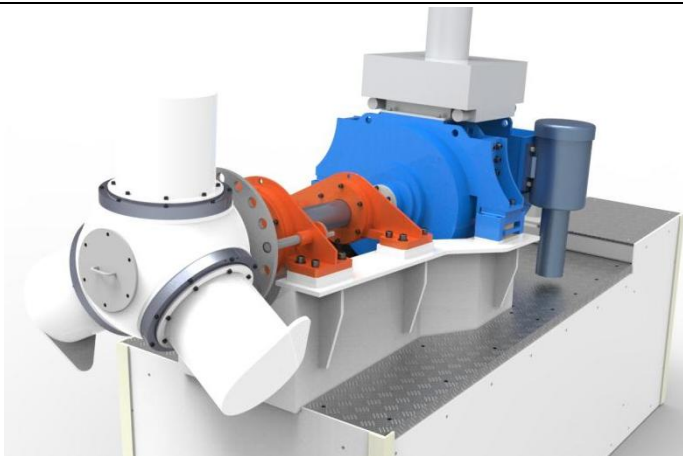


图 3-58 轮毂与主轴的对接

3.2.5 发电机装配实训

1. 实训目的

- (1) 掌握发电机的装配方法；
- (2) 掌握发电机的调节方法；
- (3) 掌握联轴器的安装方法。

2. 知识点

发电机是风力发电机组的重要部件，它把风力机主轴输出的机械能转换成电能并输送给电网（或储存在蓄电池中）。发电机的种类、形式繁多。目前在风力发电机组中，大容量的机组多采用双馈异步电机和永磁同步电机作为发电机。发电机如图 3-59 所示。

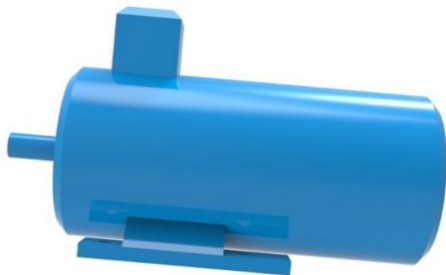


图3-59发电机

发电机弹性支撑:

随着风力发电机功率的不断增大，对机组的振动、噪声、安全稳定性能等方面也带来了众多的不利因素。目前采取的措施是在发电机和基座之间安装减震支撑。发电机的减震支撑采用了四组弹性支撑，按照特定的方式排列，具有一定刚度和阻尼匹配特性的减振组件，同时还具有垂向的高度调节与横向的位置调整功能，能很好地实现发电机与联轴器的对中，且安装方便、更换简单。发电机和发电机弹性支撑的结构如图 3-60 所示。



图3-60 发电机弹性支撑

联轴器:

在风力发电机组中，常采用刚性联轴器、挠性联轴器两种方式。在高速轴端（发电机与齿轮箱高速轴连接处）选用挠性联轴器，例如膜片式联轴器，以弥补机组运行

过程轴系的安装误差，解决主传动链轴系的不对中问题。同时，挠性联轴器还可以增加传动链的系统阻尼，减少震动的传递。

（1）刚性胀套式联轴器

胀套式联轴器依靠拧紧螺栓使外锥套楔入刚性较大的内锥套，压迫行星架空心轴套收缩，使轴套和主轴间产生压力及相伴产生的摩擦力来传递负载的一种无键连接方式，可传递转矩、轴向力或两者的复合载荷。

（2）弹性膜片式联轴器

膜片式联轴器采用一种厚度很小的弹簧钢片制成各种形状，用螺栓分别于主、从动轴上的两个半联轴器连接。其弹性元件为若干多边形的膜片，在膜片的圆周上有若干个螺栓孔。为了获得相对位移，常采用中间为轴，其两端各有一组膜片组成两个膜片联轴器，分别与主、从动轴连接，其结构如图 3-61 所示。

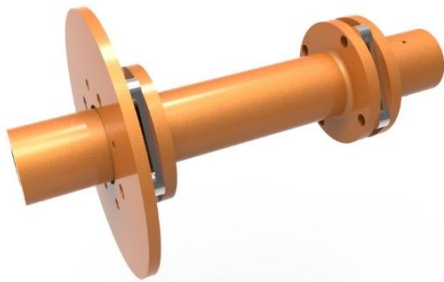


图 3-61 弹性膜片式联轴器结构图

膜片式联轴器结构比较简单，弹性元件的连接没有间隙，一般不需润滑，维护方便，平衡容易，重量轻，对环境适应性较强。因此本实训装置中采用与真实风电机组一致的弹性膜片联轴器进行拆装实训。

制动器

液压制动器是两台制动器由螺栓将其固定到制动器垫块上，在每半台制动器均有 2 个对称的进出油口（G1/4）。串连接油路。结构见图 3-62。



图 3-62 制动器

3. 实训内容

- (1) 发电机的装配；
- (2) 联轴器的安装；
- (3) 制动器安装。

4. 实训注意事项

- (1) 实训人员应带安全帽，穿安全鞋，戴手套；
- (2) 四个脚轮均处于锁紧状态；
- (3) 吊装零部件时，应注意避让其他设备及人员。

5. 实训前准备

(1) 所需零件：发电机、发电机减震底座、发电机减震支座、减震垫、电机减震螺纹环、联轴器、制动器。见图 3-63~3-65，联轴器见图 3-61，制动器见图 3-62。

(2) 所需工具：内六角扳手、开口扳手。

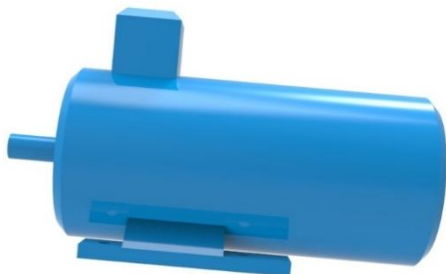


图3-63 发电机

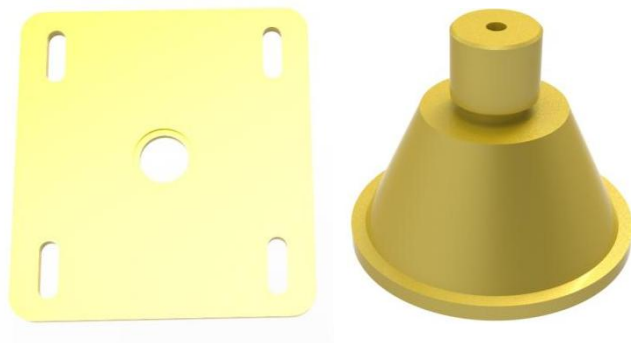


图3-64 发电机减震底座（左）发电机减震支座（右）

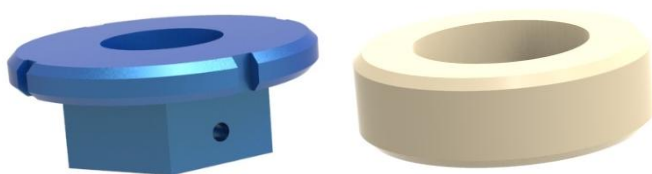


图3-65 电机减震螺纹环（左）减震垫（右）

6. 实训安装步骤:

(1) 清理弹性支撑

装配前，应使用适当的工具和清洗剂清理发电机弹性支撑安装面及螺纹孔。

(2) 发电机弹性支撑装配

首先将发电机减震垫（两个）套在减震器底座上，再将减震器支座安装在减震垫上，使用螺钉 $M8\times30$ 将减震器底座和减震器支座固定。然后将减震器螺纹环安装在减震器支座上，将螺纹旋到极限位置为止。其它三个发电机减震器按照上述方法安装。如图 3-66 所示。

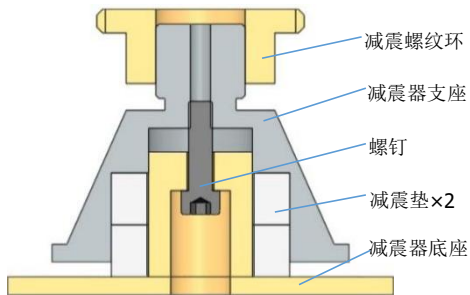


图 3-66 发电机减震器装配

(3) 安装发电机弹性支撑

将刚安装好的发电机减震器安装于发电机的四个地脚上，使用的标准件为 4 个 $M8\times25$ 螺栓及垫圈，共 4 组。发电机减震器长圆孔方向要与发电机轴向垂直（长圆孔是用来调节发电机径向位置）。螺栓不用紧固，用手带上即可。待发电机调中完成后，再紧固螺栓。如图 3-67 所示。



图 3-67 发电机弹性支撑安装

(4) 清理发电机

使用适当的工具将发电机相关零部件清理干净。

(5) 吊装发电机

使用发电机专用吊具，将发电机吊起，调整发电机角度，使发电机安装面与底座安装面平行，将发电机平稳放置在发电机弹性支撑上。固定发电机使用的标准件为 4 个垫圈和 4 个螺栓 M8×35。如图 3-68 所示。

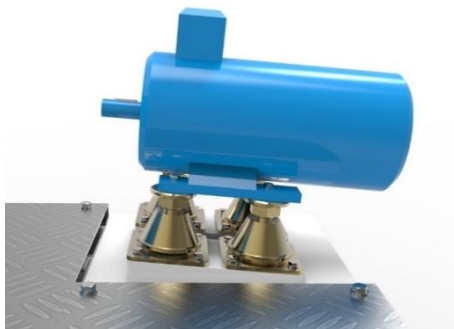


图 3-68 吊装发电机

(6) 清理

检查发电机键槽和齿轮箱高速轴键槽。清理干净发电机轴头、齿轮箱高速轴、轴套法兰和膜片联轴器。

(7) 安装联轴器

将联轴器齿轮箱端与齿轮箱高速轴配合安装（法兰盘较大的一端为齿轮箱端），再将联轴器的另一端与发电机轴配合安装，如图 3-69 所示；

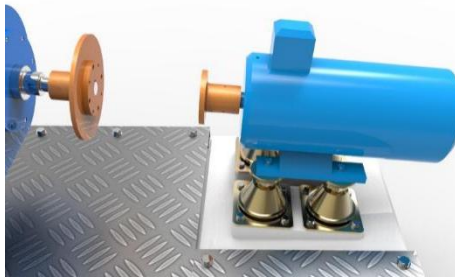


图3-69 安装联轴器

(8) 机械对中

安装完成齿轮箱端和发电机端联轴器法兰后，用千分表进行测量找正时，用螺栓将测量工具架固定在发电机轴套上。在未连接成一体的两个半联轴器外圈，沿轴向划一轴线，做上记号，并用径向千分表和端面千分表分别对好位置。径向千分表对准齿轮箱轴套外圆记号处，端面千分表对准齿轮箱轴套侧面记号处。将两轴套记号处于垂直或水平位置作为零位，再依次同时转动两根转轴，回转 0° 、 90° 、 180° 、 270° ，并始终保证两轴套记号对准。分别记下两个千分表在相应 4 个位置上指针相对零位处的变化值，从而测出径向圆跳动量 a 和端面圆跳动量 b ，根据这些值的情况可判断两轴的不对中情况，并进行调整。高度方向通过发电机 4 个减震器螺纹环进行调整，左右方向通过减震器上长圆孔来调整 4 个弹性支撑的位置，实现上、下、左、右移动发

电机。最终使发电机与齿轮箱达到同轴。调中完成后，拆下发电机调中全部工装。如图 3-70 所示。

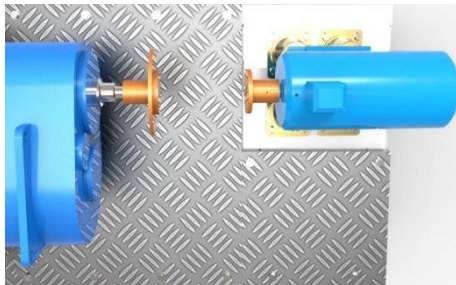


图 3-70 发电机对中

(9) 固定发电机

发电机和齿轮箱对中调整合格后，用 4 个垫圈 $\phi 8$ 和 4 个螺栓 M8 \times 35 将发电机固定在弹性支撑上。用 4 个垫圈 $\phi 8$ 和 4 个螺栓 M8 \times 25，共 4 组，将弹性支撑固定在底座上。如图 3-71 所示。

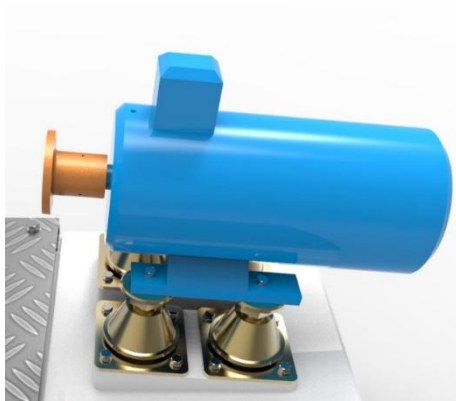


图 3-71 固定发电机

(10) 拆卸吊具

拆卸发电机吊装工具。

(11) 安装联轴器总成

将膜片及联轴器中间体，按图位置安装，螺栓的螺纹端朝向中间体的方向（中间位置），旋紧螺母，紧固联轴器与发电机轴和齿轮箱轴。中间体上的大小连接孔与两端的轴套法兰上大小孔错开安装。如图 3-72 所示。

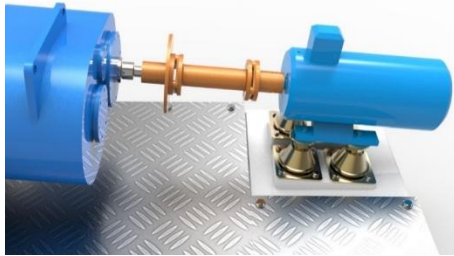


图 3-72 安装联轴器

(12) 安装制动器

用 4 个 M10x90 的螺钉将制动器固定到齿轮箱的安装面上，如图 3-73 所示。

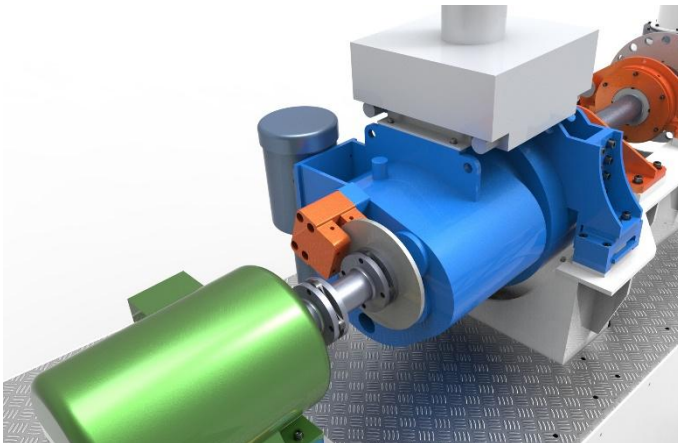


图 3-73 安装制动器

(13) 安装导流罩

(14) 后处理

清理各个安装零部件，清理安装台面，整理安装工具。

至此，双馈式风电机组整体安装全部完成。