

偏航实训平台

实训指导书

目 录

1 安全指导	1
1.1 危险	1
1.2 警示	1
1.3 注意	2
1.4 运行	2
1.5 责任	3
2 装配准备	4
2.1 文件、零部件准备	4
2.2 工量具准备	4
3 机械装配实训	10
3.1 概述	10
3.1.1 电控柜	10
3.1.2 偏航实训台执行机构	12
3.2 装配实训	13
3.2.1 螺栓力矩检查实训	13
3.2.2 偏航减速机电机装配实训	15
3.2.3 安装液压制动器实训	20
3.2.4 安装侧面轴承装配实训	23

3.2.5 安装解缆开关安装及调整实训	28
3.2.6 安装接近开关安装和调整实训	31
3.2.7 防雷碳刷安装与调整实训	33
3.2.8 测风系统装配实训	35
3.2.9 润滑系统安装和调整实训	42
3.2.10 液压系统安装实训	48
3.2.11 液压制动系统实训	52
3.3 维护实训	64
3.3.1 偏航小齿轮齿侧间隙调整实训	64
3.3.2 偏航制动器摩擦片更换实训	67
3.3.3 偏航制动器更换实训	72
3.3.4 滑动式偏航系统实训	75
3.3.5 偏航轴承手动注油实训	77
3.4 偏航及制动系统定检维护模拟实训	79
3.4.1 知识点	79
3.4.2 实训内容	82
3.4.3 实训注意事项	83
3.4.4 实训前准备	83
3.4.5 实训步骤	83
3.5 电气接线实训	85
3.5.1 偏航电机线缆连接实训	85
3.5.2 偏航扭缆开关线缆连接实训	87

3.5.3 偏航接近开关线缆连接实训	89
3.6 变桨系统调试实训	92
3.6.1 手动偏航控制实验	92
3.6.2 偏航方向校对实验	93
3.6.3 偏航速度控制实验&变频器驱动偏航电机实验	95
3.6.4 偏航扭缆开关调整实验	96
3.6.5 偏航系统自动偏航正偏/反偏实验	98
3.6.6 偏航系统位置检测实验	100
3.6.7 偏航系统解缆实验	103
3.6.8 偏航系统风向跟踪实验	105
3.6.9 传统接触器驱动偏航电机实验	108
3.6.10 偏航系统刹车实验	110

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 危险

	1	在偏航实训平台通电前，确保电气控制柜柜门已关闭，且所有电气接线盒已盖好，避免带电部分暴露在外。
	2	当偏航实训平台通电后，所有功率单元都有可能带电，接触该电压将及其危险，甚至会造成人身伤亡。
	3	当偏航实训平台通电后，即便电机没有运行，电机接线端子U、V、W也有可能带电。
	4	当偏航实训平台主电源断电后，至少需要等待5min之后，方可对电机接线进行操作，以免系统残压对人身造成伤害。
	5	虽然控制I/O端子与电源电压隔离，但依然可能存在危险电压，切勿用手直接接触。

1.2 警示

	1	在偏航实训平台交付用户使用后，不得再进行任何性能测试，如耐压测试等，以免造成设备损坏。
--	---	---

	2	在偏航实训平台未固定安装之前，禁止使用。
	3	重量超过30公斤的装置必须采用合适的机械设备进行搬运，这些装置必须由经过培训的人员操作。
	4	装配方法及操作流程必须严格按照本指导书执行。
	5	在偏航实训平台运行期间，避免人员进入安全隔离带范围之内，以免造成人身伤害。
	6	在偏航实训平台旋转运行时，禁止人员用手触碰任何机械部件，以免造成人身伤害。
	7	在偏航实训平台通电后，禁止人员用手触摸齿圈及偏航电机齿轮。
	8	除专业维修调试人员外，禁止攀爬实验平台。

1.3 注意

	1	只能使用沈阳华纳科技科技有限公司提供或指定的备件。
	2	不得使用偏航实训平台做任何试验指导书以外的试验。
	3	在未得到沈阳华纳科技科技有限公司许可时，不得私自修改任何电气连接。

1.4 运行

在偏航实训平台运行之前，需要确认以下事项：

- (1) 在实验台运行前，检查所有外六角螺栓、接头等连接是否牢固；
- (2) 确保偏航实训平台上没有其他异物，如维修工具等；
- (3) 检查电机相序是否正确，避免偏航电机旋转方向错误；

(4) 检查偏航实训平台周边已按照安全距离设置安全隔离带。

1.5 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

1. 准备并识读实训指导书；
2. 根据偏航实训平台实训指导书准备所需要的零部件、消耗品；
3. 能检查零部件、配套件表面的防腐情况及表面污染物质和污染程度，并能进行防护和清洁处理；
4. 能清理装配面。

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、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，利用杠杆原理拧转外六角螺栓、内六角螺钉、螺母和其他螺纹紧持外六角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，就能拧转外六角螺栓或螺母。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。

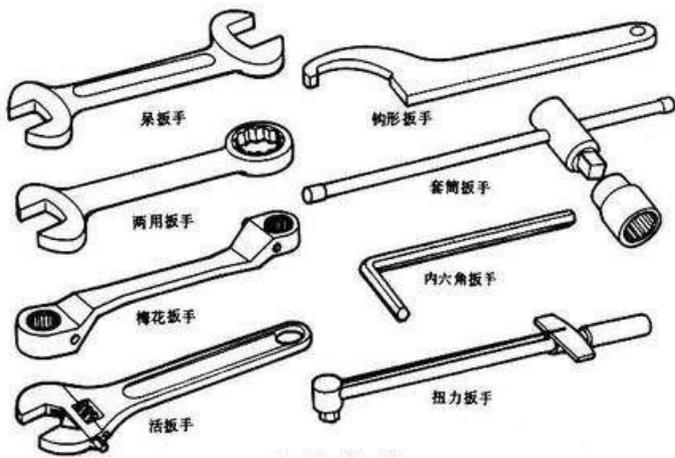


图 2-1 手动扳手



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、外六角螺栓、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。

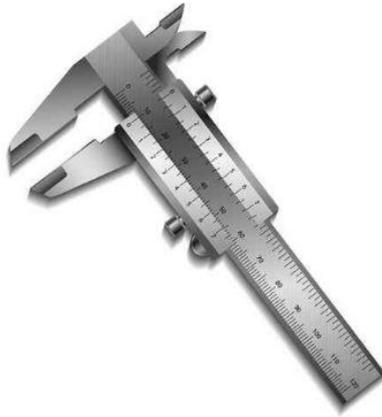


图 2-9 游标卡尺

(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 机械装配实训

3.1 概述

偏航实训平台主要由小型龙门吊、电气柜、偏航实训台执行机构三部分组成，整体组成图 3-1 所示。

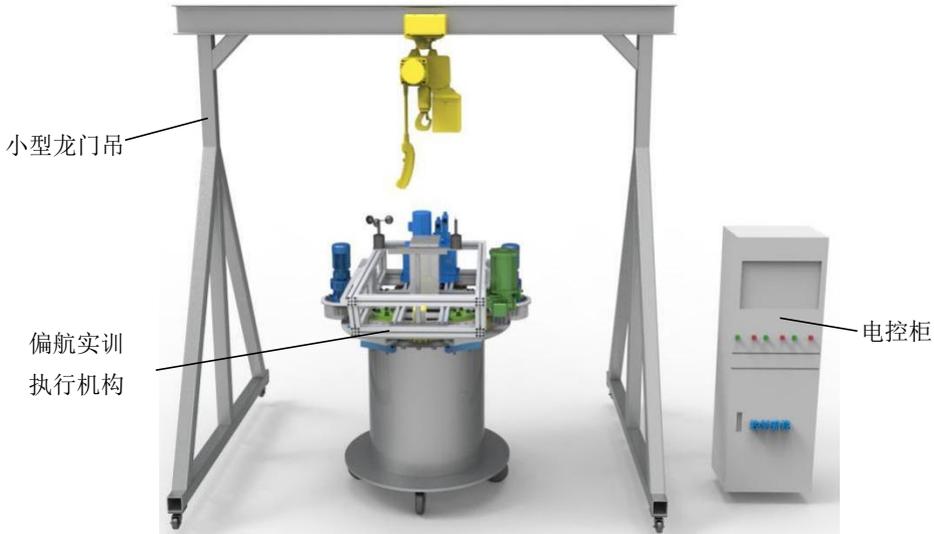


图 3-1 偏航实训平台组成

3.1.1 电控柜

电控柜作为偏航实训平台的人机交互平台，如图 3-2 所示，能够监视、操作偏航实训台的执行机构。



图 3-2 操作台外观

操作台面板上端为显示区域人机界面（HMI）；面板下端为操作区域，包括急停按钮、运行/维护、启动、停机、复位、直启/变频、左偏航、右偏航等按钮。用户可以通过 HMI 查看偏航实训平台的基本状态，并进行简单操作。其中，HMI 通过以太网与

控制器通讯，操作人员使用输入单元（如触摸屏、旋转开关、按钮等设备）输入设备参数或操作指令，同时利用 HMI 反馈信息，实现人与设备之间的信息交互。本实验台的 HMI 具备中参数设置、状态监测等功能。

3.1.2 偏航实训台执行机构

偏航实训台执行机构如图 3-3、3-4 所示。偏航实训台执行机构由塔筒、摩擦盘、偏航轴承、制动器、主机架底板、连接件、主机架、液压站、润滑系统、偏航驱动系统、电控柜、风向仪等组成。偏航实训台的整体设计布局依托大型风电机组结构缩比而成。

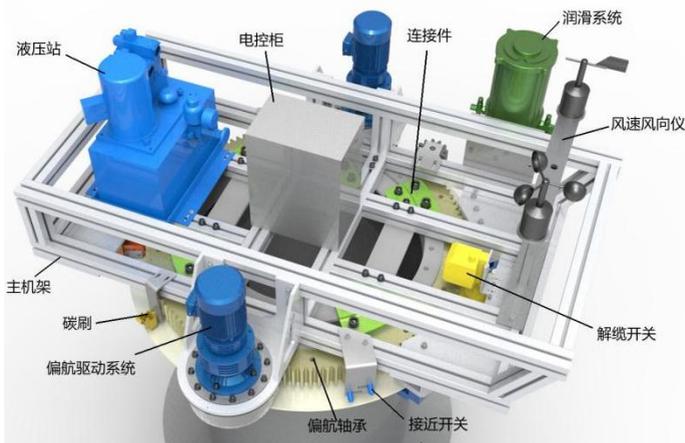


图 3-3 偏航实训执行机构结构图



图 3-4 偏航实训执行机构结构图

3.2 装配实训

3.2.1 螺栓力矩检查实训

1. 实训目的

- (1) 掌握螺栓紧固方法。
- (2) 熟练掌握力矩扳手的使用。

2. 知识点

对紧固力矩的检测是整机或部件组装后可靠性能检查的**极为**重要的一道工序。检测的目的是为了避免螺纹连接件在紧固过程和紧固后发生超拧、漏拧和拧不足的现象，确保每个外六角螺栓紧固后能正常工作。拧紧后的检测方法大致分四类：

- (1) 拧紧法-也称增拧法。适用于重要紧固后的检验。

检验方法：用扭力扳手平稳用力逐渐增加力矩（切忌冲击），当螺母或螺栓刚开始产生微小转动时他的瞬时扭矩值最大，继续转动，扭矩值会回落到短暂稳定状态，这时扭矩值为检查所得的扭矩。

(2) 标记法-也称复位法、划线法、转角法。

检验方法：检验前先在被检螺栓或螺母头部与被连接体上划一道线，确认相互的原始位置。然后将螺栓或螺母松开些，在用扭矩扳手将螺栓或螺母拧紧到原始位置（划线处要线对准），这时的最大扭矩值再乘以 0.9-1.1 所得的值即为检查所得的扭矩。

(3) 直觉法-拧紧后凭直觉判断

检验方法：对有弹性垫圈类则观察时候压平来判断；对无弹性垫圈类或有弹性垫圈但观察困难，则可采用扭力扳手进行拧紧凭直觉来判断拧紧程度；若到扭矩值，扳手不转动或微小转动，判为已拧紧；若转动超过半圈为没有拧紧，不合格。

(4) 松开法-也称拧松法

检验方法：用扭矩扳手慢慢的向被检螺栓或螺母施加扭矩，使其松开，读取开始转动时的瞬时扭矩值，并根据试验和经验乘以一个系数：1.1-1.2 即为检验扭矩值。

3. 实训内容

检查塔筒与偏航轴承外圈连接螺栓的力矩值；

4. 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) 设备出厂时，已经将塔筒、脚轮、摩擦盘及偏航轴承安装完毕；安全起见，不建议拆卸偏航轴承和摩擦盘。

5. 实训前准备

偏航轴承的安装螺栓力矩检查所需工具为：内六角扳手。

6. 实训操作步骤

偏航轴承安装螺栓处均已划线，根据标记法，检查螺栓是否有松动；

- (1) 确认螺栓上的线与塔筒壁上的线是否一致；
- (2) 若有不一致的螺栓，用内六角扳手将螺栓拧紧直至划线对齐。



图 3-5 偏航轴承安装螺栓划线图

3.2.2 偏航减速机电机装配实训

1. 实训目的

- (1) 掌握偏航电机减速机结构；
- (2) 掌握偏航电机减速机的装配方法；
- (3) 掌握齿侧间隙的调整方法。

2. 知识点

偏航电机、减速机、偏心盘及偏航小齿轮组成了偏航驱动系统。偏航驱动装置共有 2 组，每一个偏航驱动装置与电机支架连接处都是偏心的，以达到通过旋转整个驱动装置调整小齿轮与齿圈啮合侧隙的目的。

3. 实训内容

- (1) 偏航电机与减速机的装配实训；
- (2) 偏航小齿轮的装配实训；
- (3) 偏航小齿轮与齿圈间隙调整实训；

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) 电机减速机在吊装过程中，要避免刮碰，移动速度不宜过快，吊装工件时，移动范围内禁止站人。

5. 实训前准备

- (1) 所需零件：偏航电机减速机 2 件（一体机，不要进行拆卸）、偏心盘 2 件、偏航小齿轮 2 件、挡圈 2 件、防护罩 2 件及标准件若干。见图 3-6~3-8。



图 3-6 偏航电机

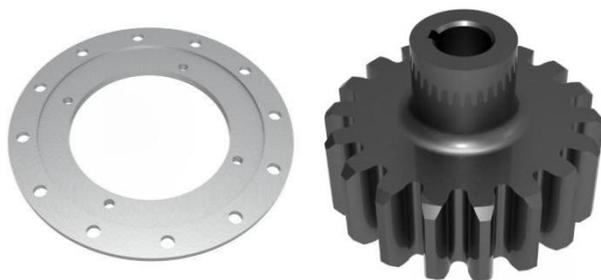


图 3-7 偏心盘（左） 偏航小齿轮（右）



图 3-8 防护罩



图 3-9 电机支架

(2) 所需工具：内六角扳手、塞尺、卸扣及吊带。

6. 实训操作步骤：

(1) 偏航减速机与偏心法兰固定。分别用 4 个垫片 10 和内六角螺钉 M10x25 将偏航电机减速机与偏心法兰固定；如图 3-10 所示。

(2) 调整尺侧间隙。将偏航电机减速机与偏心套用小吊车吊至电机支架安装位置后缓慢落下，一人扶住电机减速机，一人安装小齿轮，分别用 1 个内六角螺钉 M10x50 和挡圈将偏航小齿轮固定到偏航减速机输出轴上；如图 3-11 所示。

(3) 调整尺侧间隙方法。用塞尺检查偏航小齿轮与偏航轴承外齿侧间隙，记录数据，检查方法如图 3-12 所示。



图 3-10 偏航减速机与偏心法兰固定



图 3-11 安装小齿轮



图 3-12 齿侧间隙测量方法

(4) 顺时针或逆时针旋转偏航电机减速机，重新用用塞尺检查偏航小齿轮与偏航轴承外齿齿侧间隙并记录数据，每次停止旋转时确保偏心法兰上孔与主机架螺纹孔对齐。

(5) 重复第(4)步，直到齿侧间隙最接近 0.5mm 则满足要求。

(6) 用内六角扳手紧固偏心法兰与主机架安装螺栓，然后对偏航小齿轮与偏航轴承外齿齿侧间隙进行重新检查校核，并记录数据。

(7) 安装偏航驱动系统。调整好尺侧间隙后，分别用 24 个内六角螺钉 M10x16 及平垫圈 10 将两套偏航驱动系统固定到偏航电机支架上。见图 3-13 所示。

(8) 安装防护罩。分别用 3 个内六角螺钉 M10x16 及平垫圈 10 将防护罩与偏航电机支架固定。另一侧步骤同上。

3.2.3 安装液压制动器实训

1. 实训目的

- (1) 掌握液压制动器的基本组成；
- (2) 掌握液压元件的装配方法；

2. 知识点

液压制动器是上下两半制动器由螺栓将其固定到制动器垫块上，在每半制动器均有 2 个对称的进油口（G1/4）。串连接油路。结构见图 3-10 及 3-12。

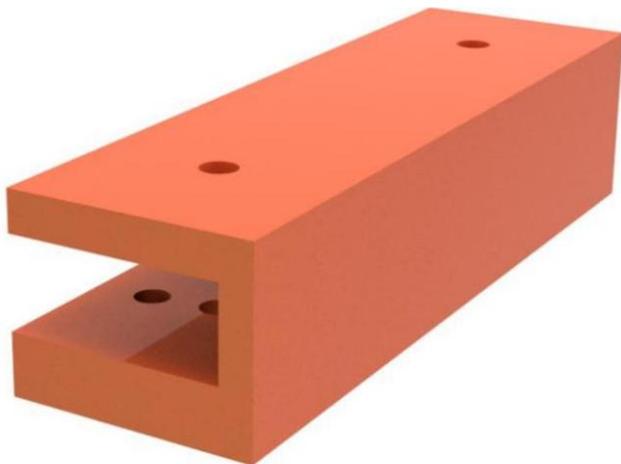


图 3-10 液压制动器垫块

3. 实训内容

- (1) 液压制动器的组装；
- (2) 液压制动器与主机架的安装。

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) 安装前注意清洁制动器摩擦片及安装面，确保其表面清洁无污物。

5. 实训前准备

(1) 所需零件：液压制动器2件、制动器垫块2件。见图3-11、3-12。

(2) 所需工具：开口扳手、游标卡尺、吊具。

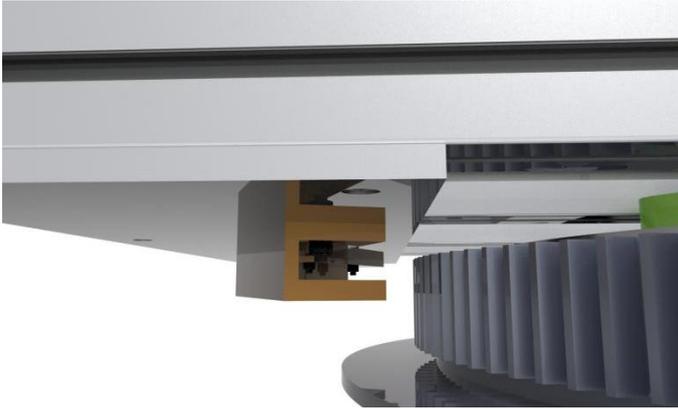


图 3-11 安装液压制动器垫块

6. 实训操作步骤：

(1) 分别用内六角螺钉M8x35、平垫圈8及螺母M8将液压制动器垫块与主机架底板一固定；

(2) 用小吊车将液压制动器吊至安装位置附近，在制动器的一个安装孔由底向上安装一组双头螺柱M10x160、平垫圈10及螺母M10；

(3) 旋转制动器直至所有安装孔对齐，安装其他螺栓、垫片及螺母；用游标卡尺测量摩擦盘与制动器间距均为3mm1-4mm即为合格，拧紧所有螺母。若间距超过5mm，则需要更换制动器摩擦片。结构如图3-12所示。



图 3-12 液压制动器安装示意图

3.2.4 安装侧面轴承装配实训

1. 实训目的

- (1) 了解滑动式偏航系统的结构组成和各部分的功能特点。
- (2) 掌握滑动式偏航系统偏航阻尼调节方法。
- (3) 掌握滑动式偏航系统运行维护操作。

2. 知识点

采用滑动式偏航轴承的偏航系统由偏航驱动装置、偏航小齿轮、偏航大齿圈、侧面轴承以及滑垫保持装置等组成。

本设备的滑动式偏航轴承结构设计参照 1.5MW 风电机组的偏航轴承结构。滑动摩擦式偏航轴承由偏航卡钳、顶部摩擦片、底部摩擦片、侧面摩擦片、摩擦片保持装置、碟簧、导杆销、偏航阻尼调整螺栓等组成。结构如图 3-14 所示。

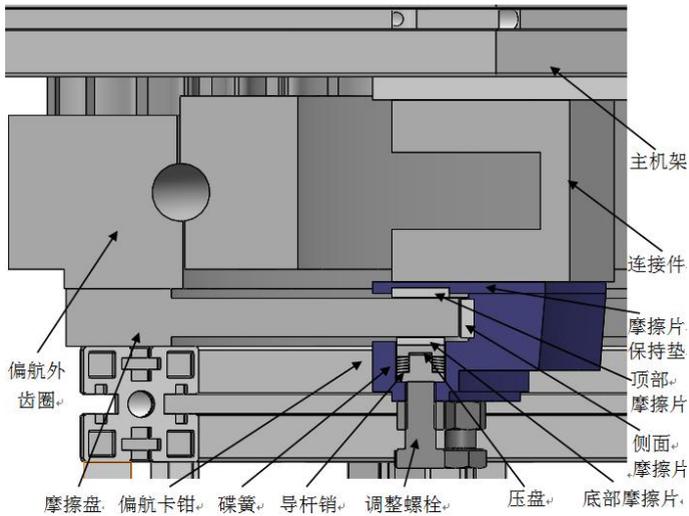


图 3-14 滑动式偏航轴承结构

3. 实训内容

- (1) 掌握侧面轴承结构；
- (2) 掌握侧面轴承的装配和更换方法。

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) 更换侧面轴承时，必须先安装好滑动式偏航轴承，才能拆去主机架与偏航轴承连接件。

5. 实训前准备

- (1) 所需零件：侧面轴承2件、导向销4件、碟簧若干、压盘4件、圆形摩擦片4件、滑垫保持装置2件、顶部摩擦片6件、连接件2件及侧面摩擦片2件。见图3-15~3-19。
- (2) 所需工具：开口扳手、内六角扳手、游标卡尺、吊具。

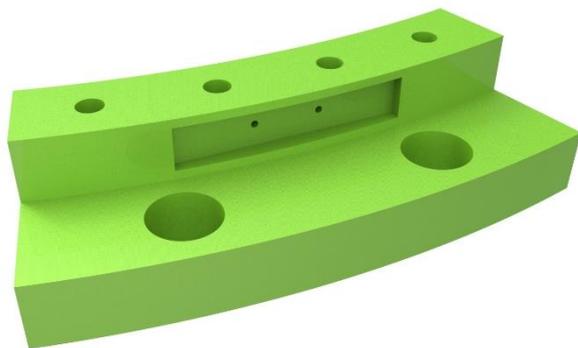


图 3-15 侧面轴承

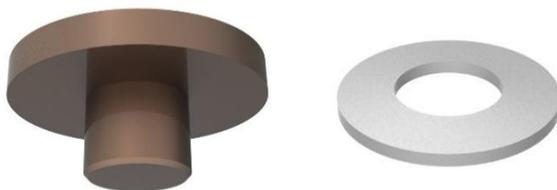


图 3-16 导向销（左） 碟簧（右）

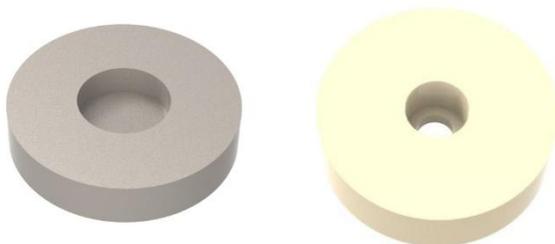


图 3-17 压盘（左）圆形摩擦片（右）

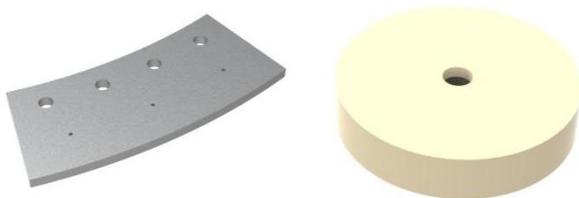


图 3-18 滑垫保持装置（左） 顶部摩擦片（右）

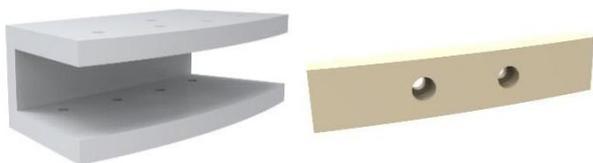


图 3-19 连接件（左） 侧面摩擦片（右）

6. 实训操作步骤:

安装侧面轴承

(1) 将滑垫保持装置放置到滑动轴承连接件上，分别用3个内六角螺钉M4x8将顶部摩擦片固定到滑垫保持装置的沉孔内。如图3-20所示。

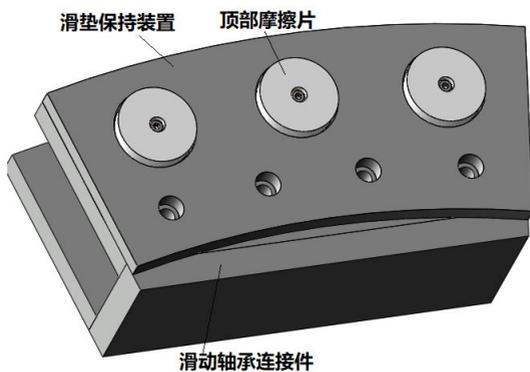
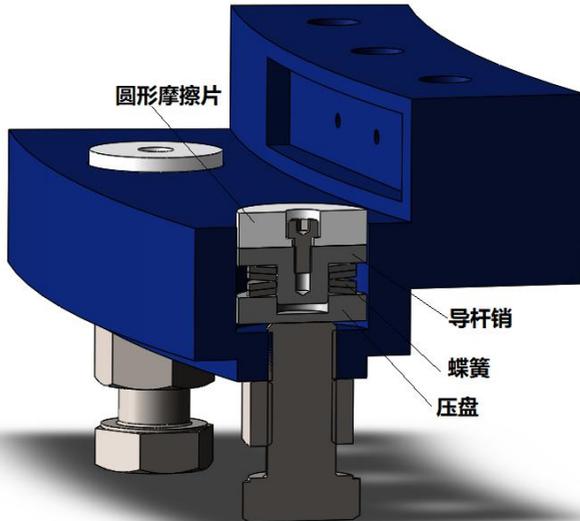


图 3-20 侧面轴承安装示意图

(2) 将压盘、四片蝶簧、导杆销、圆形摩擦片依次放入安装孔内，用内六角螺钉

2个M4x8固定；

(3) 从侧面轴承底部螺纹孔处，分别安装2个螺母M16和外六角螺栓M16×35用同样的顺序将另一侧安装孔内。如图3-21所示。



3-21 侧面轴承安装示意图

(4) 用2个内六角螺钉M4x8将侧面摩擦片固定到侧面轴承上；将已经装配好的连接件与主机架底板的安装孔对齐，分别用4个内六角螺钉M10x25及平垫圈12将其与主机架底板固定；用塞尺检查顶部摩擦片与摩擦盘的间距为3mm。

(5) 用4个内六角螺钉M10x55将侧面轴承的下半部与连接件安装。用游标卡尺检查圆形摩擦片与摩擦盘的间距为3mm。如图3-22所示。

拆卸侧面轴承

(1) 拆卸侧面轴承的下半部与连接件的安装外六角螺栓；一人用手托住轴承，一人拆卸。

(2) 外六角螺栓拆卸后，将侧面轴承平移拆除，不要刮碰摩擦盘。



3-22 侧面轴承安装示意图

3.2.5 安装解缆开关安装及调整实训

1. 实训目的：

- (1) 掌握解缆开关结构及功能；
- (2) 掌握解缆开关安装方法；
- (3) 掌握解缆开关调整方法。

2. 知识点

自然界中的风是一种不稳定的资源，它的速度与风向是不定的，由于风向的不确定性，风力发电机就需要经常偏航对风，而且偏航的方向也是不确定的，由此引起的后果是电缆会随风力发电机的转动而扭动，如果风力发电机多次向同一方向转动，就会造成电缆缠绕、绞死，甚至绞断，因此必须设法解缆，不同的风力发电机需要解缆时的缠绕圈数都有其规定。当达到其规定的解缆圈数时，系统应自动解缆，此时启动

偏航电机向相反方向转动缠绕圈数解缆，将机舱返回电缆无缠绕位置。若因故障，自动解缆未起作用，风力发电机也规定了一个极值圈数，在扭缆达到极值圈数左右时，扭缆开关动作，报扭缆故障，停机等待人工解缆。

3. 实训内容：

- (1) 解缆开关的安装；
- (2) 解缆开关的调整；

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) 安装及调整过程中，必须关闭电机，设备电源，严禁带电工作！
- (3) 解缆开关的安装空间较小，在安装过程中，一人负责主要安装，一人在旁边为安装人员提供工具及标准件等，并辅助提醒安全注意事项，安装人员在移动或安装过程中一定要注意周围的工件等物品，避免磕碰。

5. 实训前准备

所需零件：解缆开关1件和解缆开关支架1件。见图3-23所示。

所需工具：内六角扳手、扳手和塞尺。

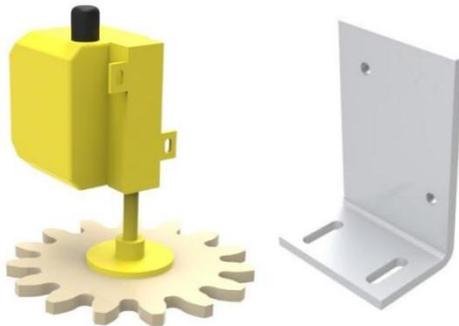


图 3-23 解缆开关（左） 解缆开关支架（右）

6. 实训步骤:

(1) 分别用2个垫片5、外六角螺栓M5x16及螺母M5将解缆开关与支架固定;

(2) 分别用2个垫片6、内六角螺钉M6x30及螺母M6将解缆开关与主机架底板二安装, 通过改变解缆开关的安装位置调整齿侧间隙, 直到齿侧间隙最接近0.5mm则满足要求。见图3-24, 3-25所示。



图 3-24 安装解缆开关支架



图 3-25 解缆开关安装示意图

3.2.6 安装接近开关安装和调整实训

1. 实训目的：

- (1) 了解接近开关的工作原理；
- (2) 掌握接近开关安装方法；
- (3) 掌握接近开关调整方法。

2. 知识点：

接近传感器可以在不与目标物实际接触的情况下检测靠近传感器的金属目标物。其特点为：非接触检测，避免了对传感器自身和目标物的损坏；无触点输出，操作寿命长；即使在有水或油喷溅的苛刻环境中也能稳定检测；反应速度快；小型感测头，安装灵活；在自动控制系统中可作为限位、计数、定位控制和自动保护环节。

两个接近传感器安装在偏航轴承大齿圈外侧，调整背紧螺母可以调整接近传感器和偏航齿圈顶之间的距离。安装时应使接近传感器感应面与齿轮平面相垂直。

被测量齿圈的金属齿轮、齿槽等运动部件经过接近传感器的前端，引起磁场的相应变化而使得接近传感器输出脉冲信号不同，主控系统通过采集脉冲信号计算偏航角度并控制机组偏航不超过 720 度，防止电缆过度缠绕。通过一左一右两个接近传感器发出的信号，主控系统可以判定偏航系统的偏航旋转方向。

接近传感器上面有一个指示灯，当有信号输出时，这个指示灯就会亮，当接近到一定距离时，观察指示灯是否亮，如果指示灯亮，说明此传感器能正常工作。

3. 实训内容：

- (1) 接近开关的安装；
- (2) 接近开关的调整。

4. 实训注意事项

实训人员应带安全帽，穿安全鞋，戴手套；

5. 实训前准备

- (1) 所需零件：接近开关2件和接近开关支架1件。见图3-26所示。
- (2) 所需工具：内六角扳手、开口扳手和塞尺。

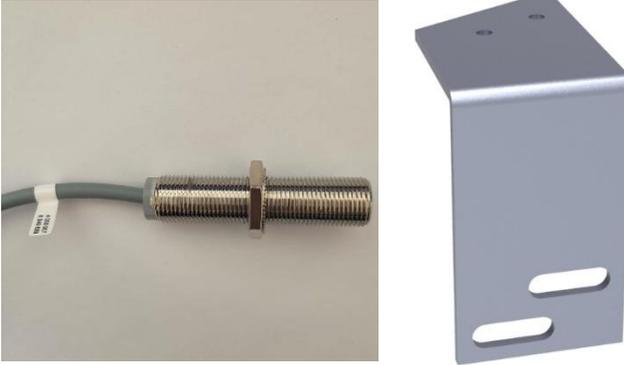


图 3-26 接近开关（左）接近开关支架（右）

6. 实训操作步骤：

- (1) 将接近开关固定到接近开关支架的安装孔内；
- (2) 分别用2个垫片8和内六角螺钉M8x20将接近开关装配安装到主机架上，通过调整接近开关在支架上的位置来调整接近开关与轴承齿面的距离，用塞尺检查距离为1-3mm即可。如图3-27所示。



图 3-27 接近开关安装示意图

3.2.7 防雷碳刷安装与调整实训

1. 实训目的:

- (1) 掌握防雷碳刷的安装;
- (2) 掌握防雷碳刷的调整。

2. 知识点

从风电机组的结构来看,风电机组在运行过程中,叶尖经常处于动态的最高点,时最易受到雷击的部位。从风轮到塔筒均采取了防雷措施,其中,机舱底盘与塔筒的连接,机舱与塔架之间靠偏航轴承连接,在偏航轴承的刹车盘上放置多组碳刷将旋转机架与塔架进行可靠连接。一个碳刷和平行的有间隙的放电导板联合使雷电电流从主机架传导到安装于塔筒的偏航制动盘上。

3. 实训内容

防雷碳刷的安装与调整；

4. 实训注意事项

实训人员应带安全帽，穿安全鞋，戴手套；

5. 实训前准备

- (1) 所需零件：碳刷2件和碳刷支架2件。见图3-28所示。
- (2) 所需工具：内六角扳手和开口扳手。

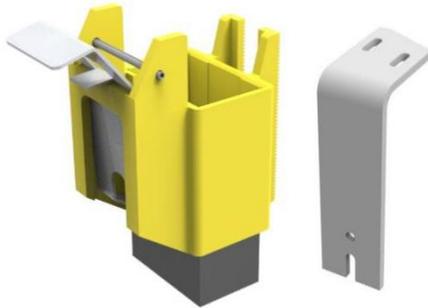


图 3-28 碳刷（左）碳刷支架（右）

6. 实训操作步骤：

- (1) 用2个内六角螺钉M6x16和螺母M6将碳刷固定到碳刷支架上。
- (2) 分别用4个内六角螺钉M8x20和垫片8将两个碳刷装配安装到主机架两侧，调整碳刷底面与摩擦盘上表面间距为1mm，对称安装。见图3-29。



图 3-29 碳刷装配安装示意图

3.2.8 测风系统装配实训

1. 实训目的

- (1) 掌握测风系统结构组成；
- (2) 掌握测风系统工作原理；
- (3) 掌握测风系统工作原理。

2. 知识点

风向标安装在机舱顶部两侧，主要测量风向与机舱中心线的偏差角。一般采用两个风向标，以便相互校验，排除可能产生的误信号，控制器根据风向信号，起动偏航系统。当两个风向标不一致时，偏航会自动中断。当风速低于 3m/s 时，偏航系统不会起动。

偏航系统是一个随动系统，风向仪将采集的信号传送给机舱柜的PLC的I/O板，计

算10分钟平均风向，与偏航角度绝对值编码器比较，输出指令驱动偏航电机，将机头朝正对风的方向调整，并记录当前调整的角度，调整完毕电机停转并启动偏航制动。

3. 实训内容

测风系统的装配实训

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) 系统拆装之前，设备应处于断电状态；严禁带电作业。

5. 实训前准备

- (1) 所需工具：内六角扳手。
- (2) 所需零件：管道风机、风向仪、风机支架、固定支架、底部支架、伺服电机减速机、齿圈、小齿轮、风向仪支架及标准件。如图3-30~3-23所示。

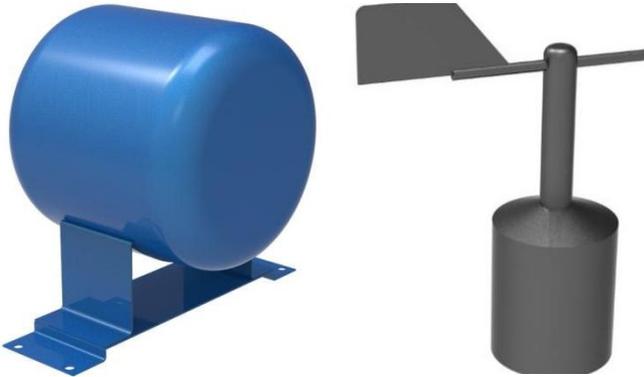


图 3-30 管道风机（左） 风向仪（右）



图 3-31 固定支架（左）风机支架（中）底部支架（右）

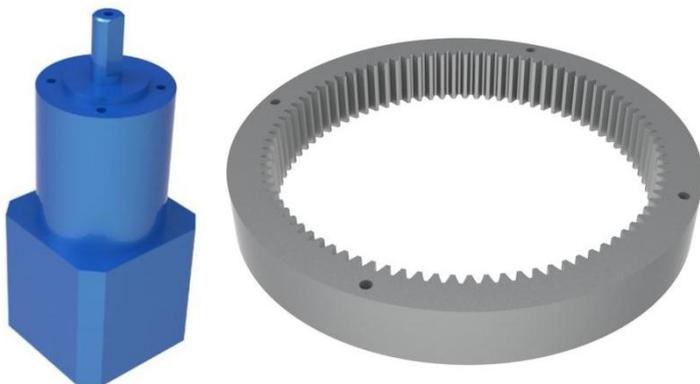


图 3-32 伺服电机减速机（左）齿圈（右）



图 3-33 小齿轮（左）风向仪支架（右）

6. 实训操作步骤:

(1) 安装伺服电机减速机。分别用4个内六角螺钉M3x10将伺服电机减速机从安装板底面安装到固定支架。如图3-34所示。



图3-34 安装伺服电机减速机

(2) 安装小齿轮。将小齿轮安装到伺服电机减速机的输出轴上，并用M3的顶丝将小齿轮固定。如图3-35所示。

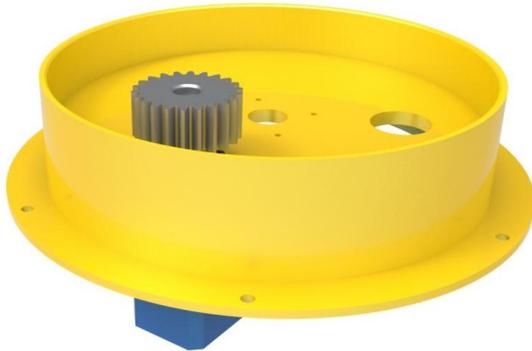


图3-35 安装小齿轮

(3) 安装大齿圈。在固定支架与齿圈安装底面和侧面放入滑动摩擦片，然后将大齿圈装入到固定支架；如图3-36所示。



图3-36 安装大齿圈

(4) 安装风向仪支架。用4个内六角螺钉M4x16将风向仪支架安装到固定支架上；
如图3-37所示。



图3-37 安装风向仪支架

(5) 安装风机支架。将风机支架用4个内六角螺钉M5x12通过沉孔与齿圈固定；
如图3-38所示。



图3-38 安装风机支架

(6) 安装风向仪。分别用4个内六角螺钉M3x10及平垫圈3将风向仪与风向仪支架进行固定。如图3-39所示。



图3-39 安装风向仪

(7) 安装管道风机。将管道风机用4个内六角螺钉M4x12及平垫圈4固定到风机支架端部。如图3-40所示。



图 3-40 安装管道风机

(8) 安装底部支架。分别用6个内六角螺钉M5x12及平垫圈5将底部支架与已经装配好的部分安装固定。如图3-41所示。

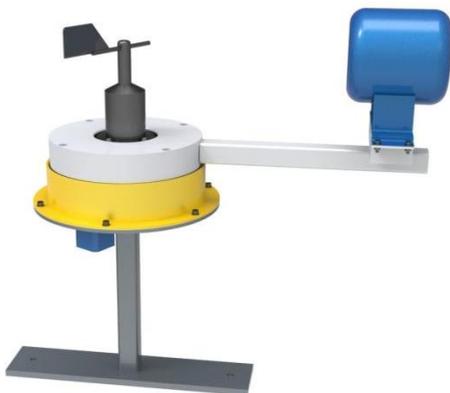


图3-41 安装底部支架

(9) 将已装配好的测风系统用2个内六角螺钉M8x20及平垫圈8固定到主机架上，位置如图3-42。

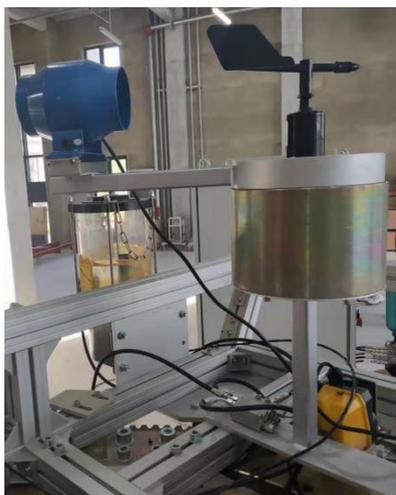


图 3-42 测风系统装配示意图

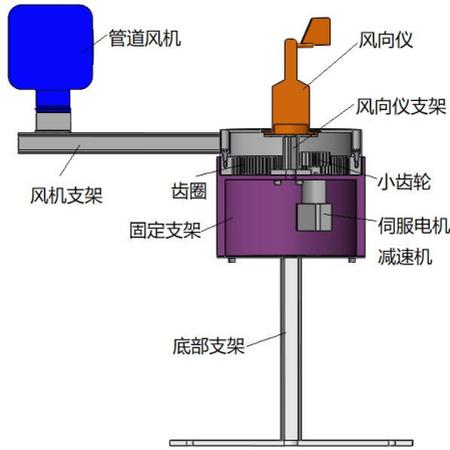


图 3-43 测风系统结构

3.2.9 润滑系统安装和调整实训

1. 实训目的

- (1) 了解润滑系统的工作原理；
- (2) 掌握润滑系统的组成；
- (3) 掌握润滑系统的装配方法。

2. 知识点

偏航系统的润滑特点：偏航系统可以使风轮扫掠面积总是垂直于主风向，虽然速度不高，但偏转轴承和齿轮承受的负荷较大，而且偏转齿轮一般为开式结构，由于不像发电机轴承运转速度快，自身产生热量相对少，因而受气候环境影响大。

由于风机润滑部位分散，如变桨及齿轮、偏航系统及齿轮、齿轮箱和主轴轴承等，如果这些部位采用人工注油来润滑，不仅劳动强度大，而且非常不经济。大量试验证明：不连续但周期的对各润滑点定量供油，使运动副保持适当的润滑幽默，是一种非常好的润滑方式。

风机采用多线式集中润滑系统主要由润滑泵、递进式分配器、控制装置、管线及管接头等组成，如图3-44。系统向各个润滑点泵注是通过润滑泵提供泵压给各个分配器而实现的。当机械运行时，自动控制器按预先设定的的时间周期输出24V的直流电，时润滑泵间歇式往复运动，完成吸脂、泵脂过程，从而使高压油脂通过每个分配器按预先调好的比例定量进入各个润滑点。

系统电源接通，程控器根据被润滑设备的需要，定时开启或关闭润滑泵。润滑油脂通过管路被压送到分配器，分配器按各润滑点油脂用量不同进行分配后，通过分管路分别输送到各润滑点。同时，程控器监测分配器工作状态，确保系统的正常工作。

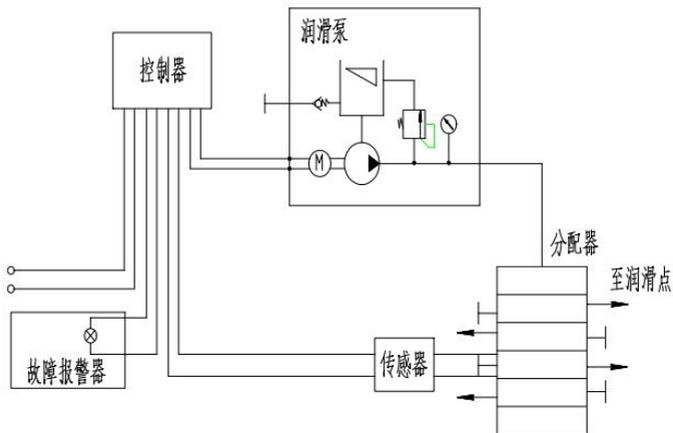


图 3-44 自动润滑系统结构

1、电动润滑泵 2、全阀 3、油管 4、分配器报警装置 5、一级分配器 6、二级分配器 7、接头

3. 实训内容

- (1) 润滑泵及分配器的安装；
- (2) 润滑小齿轮的安装；
- (3) 润滑小齿轮的调整；

(4) 润滑油管的安装。

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) 系统拆装之前，设备应处于断电状态；严禁带电作业。

(3) 系统为封闭式供油系统，故在安装和调试时必须注意各元件的清洁。异物和杂质将影响和损坏润滑泵及分配器。

5. 实训前准备

(1) 所需零件：润滑泵1套、润滑泵支架1件、润滑小齿轮1套、分配器一个、油管若干和标准件若干。见图3-45~3-47所示。

(2) 所需工具：内六角扳手、开口扳手、塞尺和吊具。

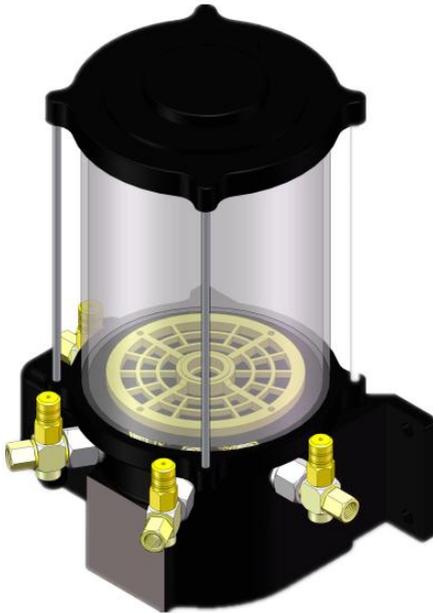


图 3-45 润滑泵

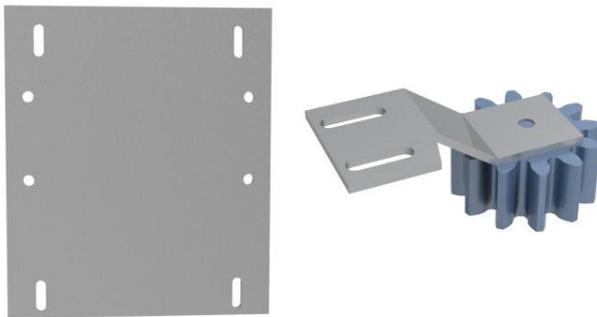


图 3-46 润滑泵支架（左） 润滑小齿轮（右）



图 3-47 分配器

6. 实训操作步骤

- (1) 分别用3个内六角螺钉M8x30（GB/T70.1）、垫片8（GB/T97.1）和螺母M8（GB/T6170）将润滑泵安装到润滑泵支架上，如图3-48所示。



图3-48 润滑泵与润滑泵支架安装:

(2) 利用小吊车将润滑泵装配吊至主机架的安装位置，分别用4个内六角螺钉M8x20、垫片8将润滑泵支架固定到主机架上；见图3-43所示。

(3) 分别用2个内六角螺钉M8x20、垫片8将润滑齿轮安装到润滑泵右侧，与偏航轴承外齿啮合，通过调整润滑齿轮在主机架上的安装位置调整尺侧间隙。见图3-49所示。

(4) 将分配器用2个内六角螺钉固定到风速仪支架上，见图3-49所示。

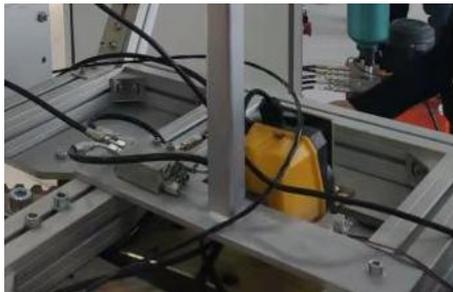


图3-49 安装分配器

(5) 接油管。油管连接：润滑泵-分配器（主油路接头）；分配器-润滑小齿轮；分配器-偏航轴承内侧三个润滑接头；

软管连接方法：

1) 将接头外套逆时针方向旋转，套在软管上，并尽力旋到底。为便于安装，可先在接头外套内螺纹或软管表面涂抹一层油或脂。如图3-50所示。



图3-50 接头外套的安装

2) 把直通接头芯从接头外套的另一端顺时针旋入，二者之间留有 1mm 左右间隔，如图 3-51 所示。为便于安装，可在接头芯前段表面沾一点油或脂。如图3-51所示。

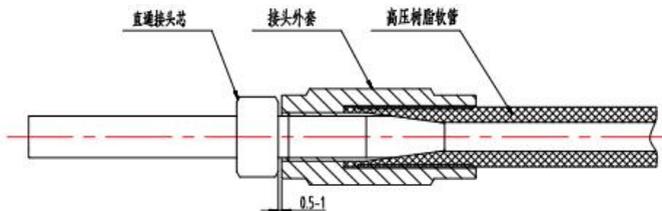


图3-51 管接头连接

3) 软管两端接头装好后，确认软管未发生扭曲变形。如发现软管有变形，请切除变形部分的软管，并重复以上步骤正确安装。否则，当系统正常工作，油压升高时，软管会在变形处首先爆裂，即使系统压力远未到达软管标定的爆破压力值。

3.2.10 液压系统安装实训

1. 实训目的

- (1) 掌握液压系统的基本组成。
- (2) 掌握液压元件的结构特点及工作原理。
- (3) 掌握液压偏航制动系统安装方法。

2. 知识点

本系统由电机（7）、齿轮泵（5）、溢流阀（4、9）、电磁阀（15、16、20）、备压阀（14）、单向阀（18）、蓄能器（10）、压力传感器（11、25）、液位控制器（2）等元件构成。

系统工作时，由电机（7）带动齿轮泵（5）顺时针方向旋转，由溢流阀（4）调整系统主回路工作压力，压力经电磁阀（20）输出到偏航制动器进行偏航制动，压力经电磁阀（15）、备压阀（14）输出到偏航进行偏航阻尼制动。由压力表（13）和压力传感器（11）检测系统主回路工作压力，压力传感器（25）检测偏航回路工作压力。系统电机断续工作，电机不工作时，系统压力由主蓄能器（10）保持。液位控制器（2）监测油箱液位。溢流阀（9）为系统安全阀。测压接头（17）为输出压力检测口。

偏航制动系统液压原理图如图 3-52 所示。

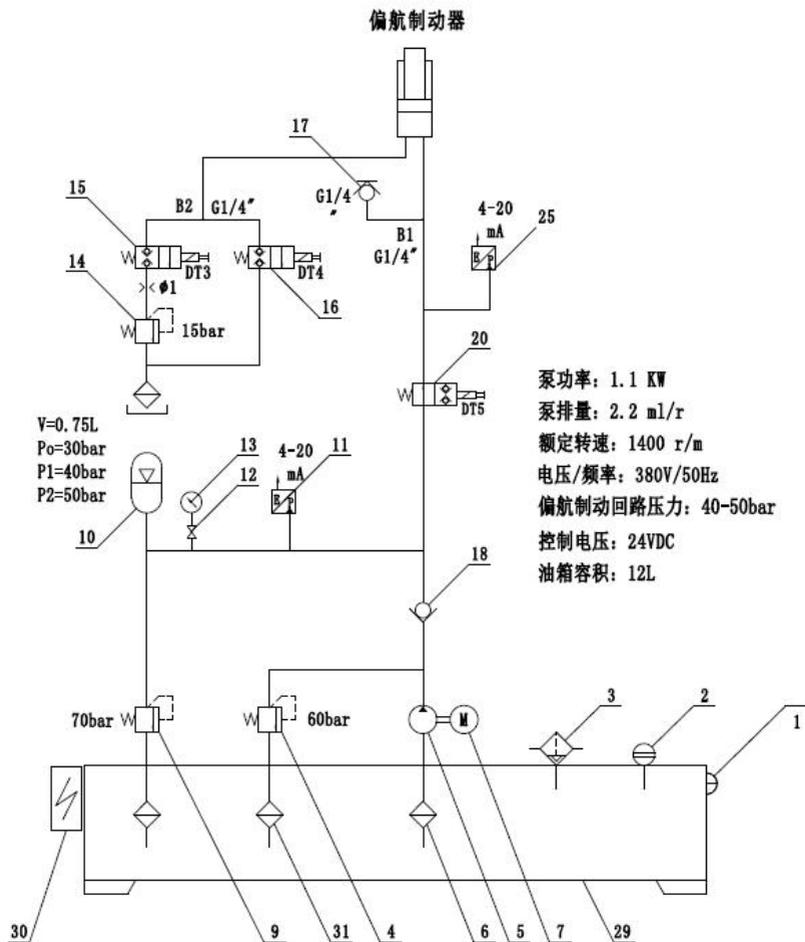


图 3-52 液压制动系统实验装置液压原理图

1—油标 2—液位计 3—空气滤清器 4—溢流阀 5—齿轮泵 6—过滤器 7—电动机 9—溢流阀 10—蓄能器 11—压力传感器 12—压力表接头 13—压力表 14—溢流阀 15—二位二通阀 16—二位二通阀 17—测压接头 20—二位二通阀 25—压力传感器 29—油箱 30—接线盒 31—过滤器

3. 实训内容

- (1) 液压站安装实训；
- (2) 管路安装实训；

4. 实训注意事项

- (1) 从事任何操作都需要至少两人相互配合。
- (2) 从事液压系统上的相关工作，必须戴防护手套，因为液压油对皮肤有刺激作用；必须戴护目镜，确保有油溅出时保护眼睛。
- (3) 实验之前一定要了解液压实验准则，了解本实验系统的操作规程，在实验老师的指导下进行，切勿盲目进行实验。
- (4) 实验过程中，发现液压系统任何一处有问题，此时应立即关闭泵，故障排除后才能重新进行实验。

5. 实训前准备

- (1) 所需零件：液压站及接油槽1套和液压管件若干。见图3-53所示。
- (2) 所需工具：内六角扳手、开口扳手和吊具。
- (3) 认真学习液压制动系统原理图。

6. 实训操作步骤：

- (1) 分别用4个垫片8和内六角螺钉M8x20将接油槽固定到主机架一侧，然后用小吊车将液压站缓慢放入接油槽。如图3-54所示。
- (2) 接油管。液压站进油口-液压制动器1的P口；液压制动器1的A口-液压制动器1的B口；液压制动器1的T口-液压制动器2的P口；液压制动器2的A口-液压制动器2的B口；液压制动器2的T口-液压站回油口。

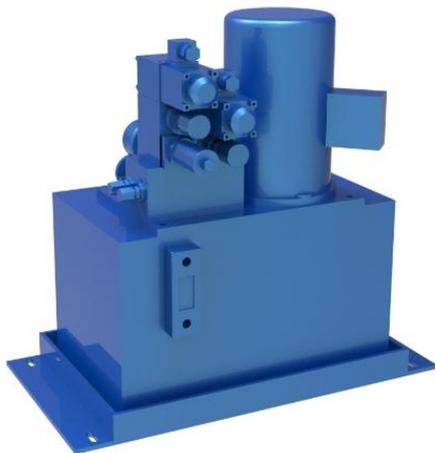


图 3-53 液压站



图 3-54 液压站装配示意图



图 3-55 液压接管

3.2.11 液压制动系统实训

1. 知识点

(1) 结构组成

本系统由电机（7）、齿轮泵（5）、溢流阀（4、9）、电磁阀（15、16、20）、备压阀（14）、单向阀（18）、蓄能器（10）、压力传感器（11、25）、液位控制器（2）等元件构成。

系统工作时，由电机（7）带动齿轮泵（5）顺时针方向旋转，由溢流阀（4）调整系统主回路工作压力，压力经电磁阀（20）输出到偏航制动器进行偏航制动，压力经电磁阀（15）、备压阀（14）输出到偏航进行偏航阻尼制动。由压力表（13）和压力传感器（11）检测系统主回路工作压力，压力传感器（25）检测偏航回路工作压力。

系统电机断续工作，电机不工作时，系统压力由主蓄能器（10）保持。液位控制器（2）监测油箱液位。溢流阀（9）为系统安全阀。测压接头（17）为输出压力检测口。

偏航制动系统液压原理图如图 3-56 所示。

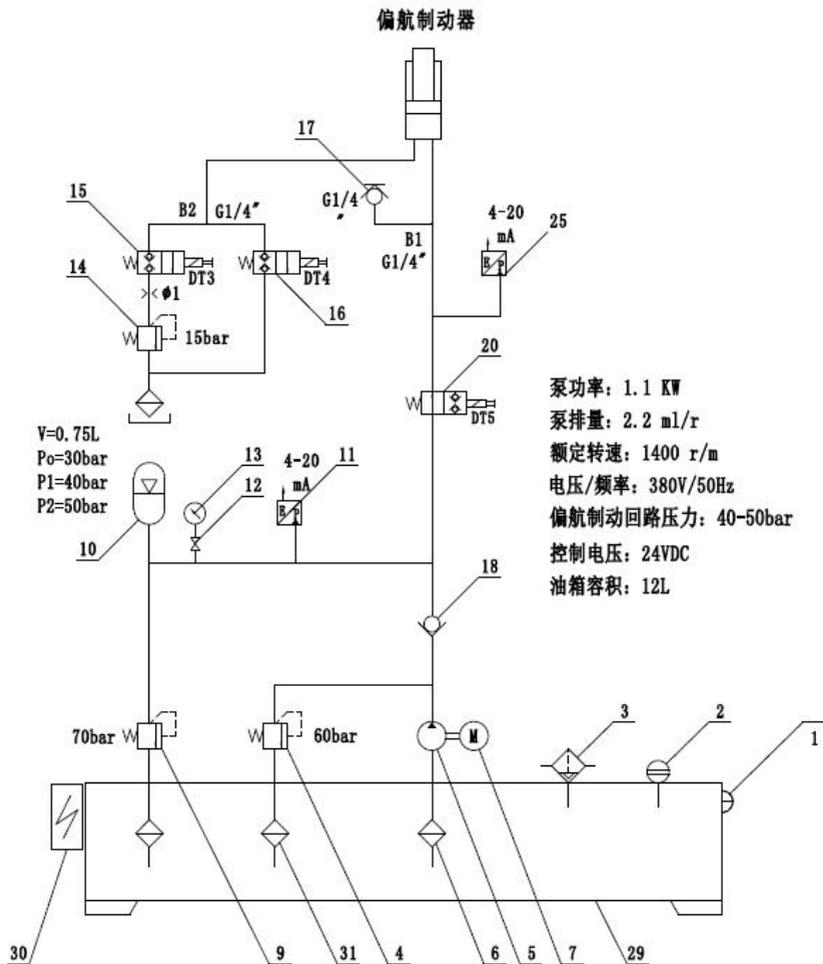


图 3-56 液压制动系统实验装置液压原理图

1—油标 2—液位计 3—空气滤清器 4—溢流阀 5—齿轮泵 6—过滤器 7—电动机 9—溢流阀 10—蓄能器 11—压力传感器 12—压力表接头 13—压力表 14—溢流

阀 15—二位三通阀 16—二位三通阀 17—测压接头 20—二位三通阀 25—压力传感器 29—油箱 30—接线盒 31—过滤器

(2) 系统工作原理

在机组偏航时，安装在机舱上的偏航制动器加载有主液压站 10% 的刹车载荷（25bar-15bar 的冗余压力），使得偏航过程中始终有阻尼存在，保证机舱平稳转动。偏航制动器采用常闭式结构的液压驱动方式，即静止时偏航制动器将机舱制动锁定，在需要偏航时，偏航制动器打开且保持一定的冗余压力，使机舱在阻尼作用下平稳偏航。

表 3-1 为制动动作与控制元件的逻辑关系表，系统是由偏航制动回路构成，偏航制动器为主动式，即靠液压力抱闸，由弹簧力或其它外力松闸。

表 3-1 制动动作与控制元件逻辑关系表

偏航制动	齿轮泵	电磁阀 15	电磁阀 20	电磁阀 16	备注
抱闸	O→X	X	X	X	(1)
偏航调节	X	O	O	X	(2)
解缆	X	O	O	O	
松闸	X	O	O	O	

O——给电 X——断电

1) 升压至压力传感器 11 设定的上限压力 70bar 时，压力传感器 11 发出信号，指令电机停转，偏航制动回路保压。

2) 电磁阀 15 和 20 同时给电，当压力降到溢流阀 14 设定的压力 15bar，机舱进行偏航调节。

当控制系统发出偏航制动指令时，电磁阀（15、16 和 20）都断电，齿轮泵输出

的液压油经电磁阀（20）输入到偏航制动回路，偏航制动回路逐渐升压，当达到压力传感器（11）设定的压力值时，压力传感器（11）发出信号，指令电机停转，此时偏航制动器处于抱闸状态，偏航制动回路处于保压状态；如果由于回路泄漏，使偏航制动回路压力下降，当压力降到设定值时，压力传感器（11）指令电机重新起动，再使偏航制动回路升压，当达到压力传感器（11）设定的压力 P_0 时，再指令电机停转，如此反复，从而保证偏航制动器处于抱闸状态。

当电机失电的情况下，由蓄能器（10）进行偏航制动回路补压。

当控制系统发出偏航调节指令时，电磁阀（15、20）同时给电，偏航制动器处于低压运行（备压溢流阀（14）出厂设定压力值为 5bar）。

当控制系统发出解缆指令时，电磁阀（15、16、20）给电，偏航制动回路中的液压油通过电磁阀（16）卸压，偏航制动器松闸，实验台开始偏航解缆。

（3） 技术说明

- 1) 溢流阀（4）作为调节系统主回路压力使用，出厂设定压力为 60bar。
- 2) 溢流阀（9）作为安全阀使用，也可作为蓄能器（10）的放油阀，出厂设定压力为 120bar。
- 3) 溢流阀（14）作为偏航调节备压阀使用，出厂设定压力为 5bar。
- 4) 压力传感器（11）控制电机的启动和停止，压力传感器模拟信号输出 4-20mA，标准量程 0-250bar。
- 5) 压力传感器（25）检测偏航油路压力状态，压力传感器模拟信号输出 4-20mA，标准量程 0-250bar。
- 6) 电磁阀（15）为常闭式，作为偏航调节换向阀使用，工作电压为 24VDC。
- 7) 电磁阀（16）为常闭式，作为偏航制动回路泄压阀使用，工作电压为 24VDC。

8) 蓄能器（10）用于补充系统主回路泄漏补压，出厂充氮气的压力 30bar，蓄能器容积选为 2L。

9) 液位控制器（2）为常闭式，用于油箱液位下限位置的发讯，工作电压为 24VDC。

10) 油箱容积约为 12L。

（4）推荐液压油规格

如果需要液压系统的工作性能更高，取决于液压油的级别。请不要使用不同种类的液压油混合的油液。

除了液压油的质量，还要考虑液压油的粘度。系统温度越高，粘度就需要更高。粘度太低的油液可能会导致系统性能（油泵容量）下降和元件的过早磨损。如果粘度太高，会导致在低温情况下，齿轮泵启动后产生空穴现象，这会使系统产生很大的压降，增加系统的响应时间。如果系统的温度变化太大，应使用粘度较高的油液。

系统推荐使用的液压油液为ISO-VG-32抗磨液压油。

（5）运行指南

1) 注油

先将空气过滤器（3）的上盖打开，注入液压油到目视油标较高液位（大约 12L），检测液位控制器（2）的通断（液压油没注到位为断开状态），油液到位后，盖上空气过滤器上盖。

注意：应采用注油机注油，切不可用油桶直接注油，以防止杂质进入油箱。

2) 启动

在启动电机（7）之前，必须对电磁阀（16）给电或手动换向后进行；

检查电机（7）旋转方向：启动电机，检查电机旋转方向是否是顺时针旋转（俯视电机）。

注意：必须保证电机的旋转方向为顺时针旋转。

3) 排气

反复通断电磁阀（16）数次，进行排气，直到没有气体从偏航制动器排出为止。

4) 检查

检查所有连接处是否存在泄漏。

5) 压力重调

系统压力：当系统压力小于设定值时，顺时针旋动溢流阀（4）调节旋钮可调高压力到设定值；当系统压力大于设定值时，逆时针旋动溢流阀（4）调节旋钮可调低压力到设定值。

注意：调节溢流阀（4）前要先松开锁定螺母，调节后要拧紧锁定螺母。

偏航阻尼制动压力：当需要修改偏航阻尼制动压力时，顺时针旋动背压溢流阀（14）调节旋钮可调高偏航阻尼制动输出压力，逆时针旋动背压溢流阀（14）调节旋钮可调低偏航阻尼制动输出压力。压力值通过测压装置在偏航制动器排气口检测，检测时，电磁阀（15）和电磁阀（20）要处于给电状态。

注意：偏航阻尼制动压力出厂设定值为 5bar，由于温度和油质的影响，压力会有所变化，因此可作部分微调。也可根据用户需要在可调范围内调整，如果用户有特殊要求则另作处理。

6) 手动操作

电磁阀（15、16、20）均可利用手动操作实现电磁阀得电功能。

（6）溢流阀结构型式及工作原理

1) 溢流阀是直接作用式溢流阀，有锥阀结构（压力到 400 bar）和球阀结构（压力到 630 bar）。

2) 为保证良好的流量特性,压力范围分为 7 个压力级,每个压力级对应一种弹簧,溢流阀的最大调整压力与压力级相同。7 种压力级为: 2.5、5、10、20、31.5、40、630 bar。

3) 溢流阀有三种压力调节方式: 调节手柄、带锁调节手柄、带保护罩的调节外六角螺栓。三种连接方式: 板式、管式、插入式,如图 3-57 所示。板式和管式结构是将插入式阀装上相应的阀体即可。

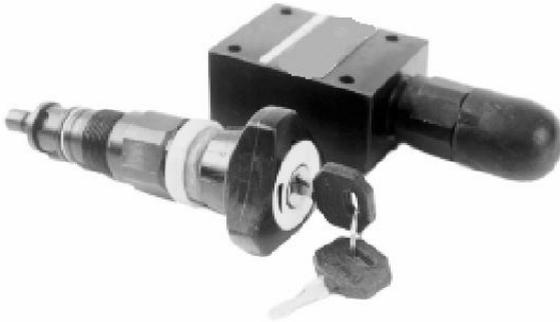


图 3-57 溢流阀结构型式

该阀体积小,结构紧凑,流量特性好,噪声小,压力稳定,广泛应用在小流量系统中,作为安全阀、遥控阀。

插入式结构如图 3-58 所示,该阀由阀体(1)、弹簧(2)、调节机构(3)、具有减震活塞的锥阀/球阀(4)及弹簧座(5)组成。锥阀靠弹簧力固定在弹簧座上,通过调节机构调整弹簧来无极调整压力,压力油从 P 口进入阀内,作用在锥阀和减震活塞上,当达到调定压力时,压力油克服弹簧力将锥阀抬起,压力油流向 T 口。

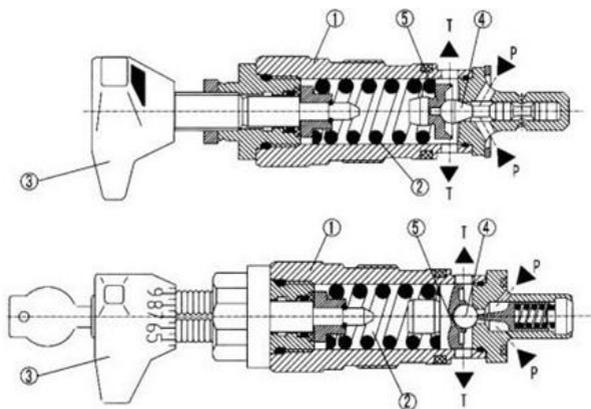


图 3-58 溢流阀-插入式锥阀结构图

(7) 电磁换向阀结构型式及工作原理

电磁换向阀结构如图 3-59 所示,其主要特征为导磁套螺纹与阀体上螺纹直接旋合,靠电磁铁通电吸合时产生的推力直接驱动换向滑阀作换向运动,控制油液流向开始、停止和换向。

该阀主要由阀体 (1)、一个或两个电磁铁 (2)、阀芯 (3) 及一个或两个复位弹簧 (4) 组成。

当电磁铁未通电时,阀芯 (3) 被复位弹簧 (4) 保持在中位或起始位置。阀芯 (3) 的动作由湿式电磁铁 (2) 实现,当电磁铁 (2) 通电时,电磁铁的力经推杆 (5) 作用在阀芯 (3) 上,将其由静止位置推到所需的工作位置。使油液由 P 到 A、B 到 T 通,或由 P 到 B、A 到 T 通。当电磁铁断电时,阀芯 (3) 被复位弹簧 (4) 推回到原始位置,此时可以推动手动按钮 (6) 使阀芯运动。

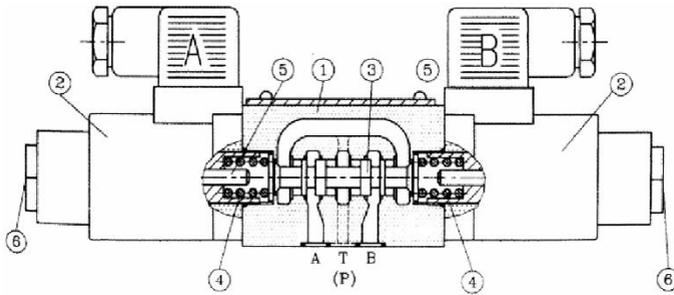


图 3-59 电磁换向阀结构图

(8) 蓄能器结构及工作原理

1) 蓄能器在液压系统中的作用

a) 储存液压能。当液压系统的一个工作循环中不同阶段所需流量变化很大时，常采用蓄能器和一个流量较小的泵组成油源。若系统需要小流量，蓄能器将液压泵多余的流量储存起来；若系统短时间需要大流量，蓄能器将储存的油液释放出来和液压泵一起向系统供油。另外，在液压泵停止向系统供油时，蓄能器把储存的压力油供给系统，补充系统泄漏或保持系统恒定压力，还有在液压泵源发生故障时作应急能源使用。

b) 吸收压力冲击和压力脉动。在液压系统中，蓄能器用于吸收由于液流速度急剧变化（如换向阀突然换向，外负载突然停止运动等）时产生的冲击压力，使压力冲击的峰值降低；液压泵的流量脉动会引起负载运动速度的不均匀，还会引起压力脉动，故负载速度要求较均匀的系统要在泵的出口处安装相应的蓄能器。提高系统工作的平稳性。

c) 获得动态稳定性。在液压伺服系统中，蓄能器用于降低系统的固有频率，增大阻尼系数和增高稳定裕度。从而提高了系统的动态稳定性。

2) 蓄能器的结构

实验台采用 NXQ 型囊式蓄能器作为辅助动力源，结构如图 3-60 所示。

蓄能器壳体由胶囊将其分为两个腔室，胶囊内的腔室充氮气，胶囊外的腔室充油液。当液压泵将高压的液压油充入时，胶囊发生变形，胶囊内气体体积随压力增加而缩小，这样液压油储存在油液室。当液压系统需要压力油补充时，系统压力低于蓄能器所存储液压油的压力，液压油在气体膨胀压力推动下，经进油阀排到液压系统中，直到压力降到与系统内压力相等为止。

3) 检查蓄能器充气压力的方法

在蓄能器的进油口和油箱间的油路上设置一截止阀，并在截至阀前装上一个压力表。用液压泵向蓄能器注满油液，然后停止泵工作，慢慢打开截止阀使压力油慢慢从蓄能器中流出。在排油过程中观察安装在蓄能器油口附近的压力表。压力表指针显示压力慢慢下降，当达到充气压力时，压力表指针迅速下降到零，压力迅速下降前的压力即为充气压力。也可利用充气工具直接检查充气压力，但由于每次检查都要放掉一点气体，故不适用于容量很小的蓄能器。

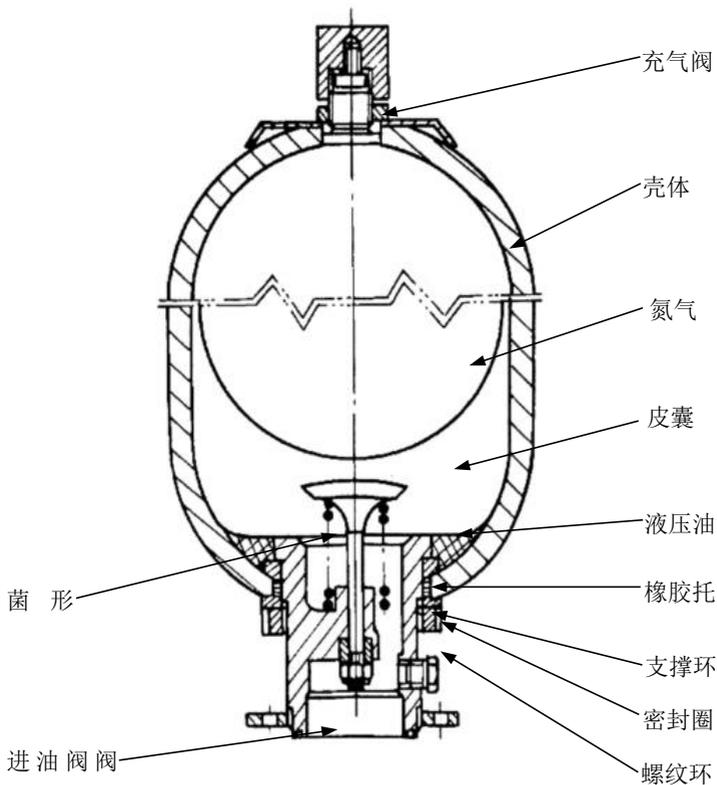


图 3-60 NXQ 囊式蓄能器结构图

2. 实训内容

- (1) 偏航阻尼力矩实训。
- (2) 偏航制动力矩实训。
- (3) 偏航余压调节实训。
- (4) 系统压力调节实训。

3. 注意事项

- (1) 从事任何操作都需要至少两人相互配合。
- (2) 从事液压系统上的相关工作，必须戴防护手套，因为液压油对皮肤有刺激

作用；必须戴护目镜，确保有油溅出时保护眼睛。

(3) 学生做实验时不应将压力调的太高（大于 60bar）。

(4) 实验之前一定要了解液压实验准则，了解本实验系统的操作规程，在实验老师的指导下进行，切勿盲目进行实验。

(5) 实验过程中，发现液压系统任何一处有问题，此时应立即关闭泵，故障排除后才能重新进行实验。

4. 实训步骤

(1) 偏航余压调节实训

实训准备：指导教师将偏航余压调节溢流阀压力调节手柄逆时针旋转至最小。

1) 在操作台面板上将偏航模式“手动/自动”切换开关选择“手动”，手动偏航，记录偏航过程中偏航制动器压力。

2) 用扳手松开溢流阀（14）前端锁紧螺母，用内六角扳手顺时针调节溢流阀手柄约 1/4 圈，然后用扳手拧紧锁紧螺母。

3) 手动偏航，记录偏航过程中偏航制动器压力。

4) 重复上述步骤，直到偏航余压为 1bar。

5) 在操作台面板上将偏航模式“手动/自动”切换开关选择“自动”，在实验监控界面使机组持续顺时针方向偏航，当触发偏航系统顺时针方向自动解缆时，记录解缆过程中偏航制动器压力。

(1) 系统压力调节实训

1) 在操作台面板上将偏航模式“手动/自动”切换开关选择“手动”，手动偏航，记录偏航过程中偏航制动器压力。

2) 用扳手松开溢流阀（4）前端锁紧螺母，用内六角扳手顺时针或逆时针调

节溢流阀手柄约 1/4 圈，然后用扳手拧紧锁紧螺母。

- 3) 手动偏航，记录偏航过程中系统压力。
- 4) 重复上述步骤，最后将系统压力调回 30bar。

3.3 维护实训

3.3.1 偏航小齿轮齿侧间隙调整实训

1. 实训目的

掌握偏航小齿轮齿侧间隙调整方法。

2. 知识点

在一对装配好的齿轮副中，侧隙是相啮合齿轮齿间的间隙，它是在节圆上齿槽宽度超过相啮合的齿齿厚的量。侧隙可以在法向平面上或沿啮合线测量，如图 3-61 所示。

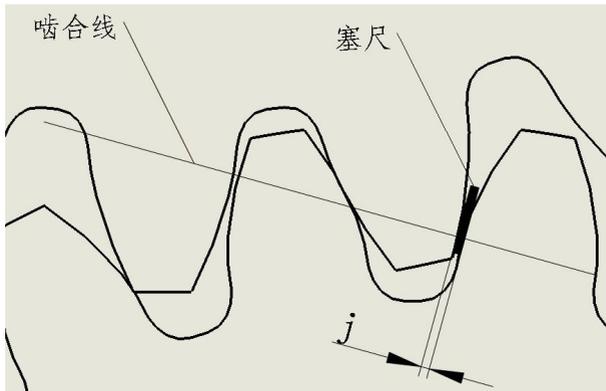


图 3-61 用塞尺测量侧隙

所有相啮合的齿轮必定要有些侧隙，以保证非工作齿面不会相互接触。在一个已定的啮合中，侧隙在运行中受速度、温度、负载等的变动而变化。在静态可测量的条

件下，必须有足够的侧隙，以保证在负载运行于最不利的工作条件下仍有足够的侧隙。侧隙需要的量与齿轮的大小、精度、安装和应用情况有关，齿侧间隙不能过大，否则影响传动的平稳性，产生振动，加速齿面磨损。表 3-2 列出了工业传动装置推荐的最小侧隙。

表 3-2 中大模数齿轮最小侧隙的推荐数据

m_n/mm	最小中心距 a/mm					
	50	100	200	400	800	1600
1.5	0.09	0.11	—	—	—	—
2	0.10	0.12	0.15	—	—	—
3	0.12	0.14	0.17	0.24	—	—
5	—	0.18	0.21	0.28	—	—
8	—	0.24	0.27	0.34	0.47	—
12	—	—	0.35	0.42	0.55	—
18	—	—	—	0.54	0.67	0.94

表 3-2 中的数值，也可用下列公式进行计算。

$$j_{\min} = \frac{2}{3} \times (0.06 + 0.0005a + 0.03m_n) \quad (3-1)$$

3. 实训内容

- (1) 偏航小齿轮齿侧间隙检测
- (2) 偏航小齿轮齿侧间隙调整。

4. 实训注意事项

- (1) 禁止拆去偏心法兰与偏航电机减速机安装外六角螺栓。
- (2) 关闭设备所有电源。

5. 实训前准备

关闭设备电源，拆去偏心法兰与主机架安装螺栓，旋转偏航电机减速机至任意位置。

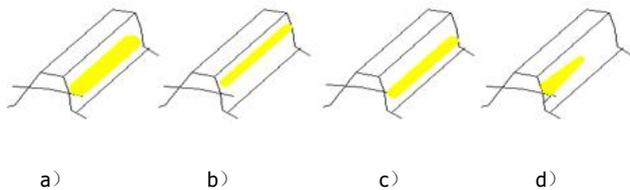
6. 实训步骤

(1) 用塞尺检查偏航小齿轮与偏航轴承外齿齿侧间隙，记录数据，检查方法如图 3-62 所示。



图 3-62 齿侧间隙测量方法

轮齿接触斑点检验，可用涂色法进行。将轮齿涂红丹后转动主动轮，使被动轮微制动，轮齿上印痕分布面积应该是：在轮齿高度上将接触斑点不少于 30%~50%，在宽度上不少于 40%~70%（随轮齿的精度而定）。其分布的位置是自节圆处对称分布。通过涂色法检查，还可以判断产生误差的原因。直齿圆柱齿轮接触斑点如图 3-63 所示。



圆柱齿轮接触

a) 正确的 b)中心距太大 c) 中心距太小 d) 中心线歪斜

图 3-63 圆柱齿轮接触印痕

(2) 顺时针或逆时针旋转偏航电机减速机，重新用塞尺检查偏航小齿轮与偏航轴承外齿齿侧间隙并记录数据，每次停止旋转时确保偏心法兰上孔与主机架螺纹孔对齐。

(3) 重复第 2 步，直到齿侧间隙最接近 0.5mm 则满足要求。

(4) 用内六角扳手紧固偏心法兰与主机架安装螺栓，然后对偏航小齿轮与偏航轴承外齿齿侧间隙进行重新检查校核，并记录数据。

3.3.2 偏航制动器摩擦片更换实训

1. 实训目的

- (1) 掌握偏航制动器摩擦片更换方法。
- (2) 掌握偏航制动器螺栓紧固方法。
- (3) 熟练掌握力矩扳手的使用。

2. 知识点

风机通过自动偏航找到主风向，在运行过程中偏航制动比较频繁，如果偏航制动盘损伤和摩擦片磨损会造成偏航过程中发生振动异响，并引发机舱旋转超速或偏航、

液压站故障，不但降低了机组可利用率和摩擦片的使用寿命，而且造成了偏航刹车盘结构件疲劳从而影响了机组整体的使用寿命。

偏航制动盘损伤和摩擦片磨损原因分析

风机在偏航过程中因偏航制动盘损伤和摩擦片磨损造成塔筒振动峰值较高且偏航运动产生噪声，不利于风机安全运行，结合偏航工作原理及实际工作中对故障的处理，从以下几个方面分析。

(1) 偏航制动器摩擦片安装问题

偏航摩擦片在安装过程中在制动器与基座之间加装有间隙调整装置（调整垫片），目的是调整摩擦片与偏航盘之间的间隙，但是当装配间隙发生变化后，导致制动器摩擦片与制动盘安装不平行，或者钳体与摩擦片贴合紧密，使得局部摩擦力增大。在更换安装摩擦片后未进行间隙调整，导致上下摩擦片卡涩或者窜动，偏航时摩擦片对制动盘的轴向压力不相等。由于每台机组上制动器的数量有多个，如果每个摩擦片与制动盘的间距不一致，摩擦力矩不均匀，偏航运动摩擦过程中制动盘上的多个受力点受力情况不一致，每个接触点的摩擦都是不连续的，而是点与点之间相互交替的过程，这种交替运动使摩擦过程中伴有振动，也是造成偏航制动盘损伤和摩擦片磨损最明显的摩擦运动。

(2) 摩擦材料的性能及摩擦过程分析

风机偏航制动器技术参数里规定摩擦材料的摩擦系数为 0.4，如果摩擦系数大于 0.4，对制动盘的磨损量会增大，进而导致偏航过程中热量增大，热量将导致摩擦材料表面烧结，表面材质变硬，摩擦系数降低。如果摩擦系数小于 0.4，偏航时阻尼力矩与制动力矩减小，将影响机组偏航过程中的准确定位。那么在多次摩擦后的压力和温度双重作用下，制动盘和摩擦片比比较高的接触面出现硬化、碳化等异化现象，摩擦

系数下降过快，但是此时偏航制动器因液压系统压力未明显变化，偏航时会产生制动打滑引起偏航摩擦片磨损，加之制动盘接触面受压不同产生共振，共振产生的作用力加剧偏航制动盘磨损。

摩擦材料对载荷、滑动速度及环境温度等因素有较高要求。由于偏航系统处于非封闭的环境里，气候条件的变化以及环境因素的变化（摩擦热量增加）会引起摩擦副的摩擦系数发生波动，摩擦的不稳定性导致偏航时制动盘在摩擦力的作用下产生振动，从而造成制动盘损伤和摩擦片磨损。

偏航制动器应保证在较宽的制动初速度及较小的制动比压下，获得足够的制动力矩稳定性。但实际上往往制动盘，摩擦材料的平面度，平行度控制并不能达到标准要求，造成摩擦面结合不均匀。偏航制动器摩擦片材料均采用树脂聚合物为主的复合材料，该材质的刹车片热衰减温度，承受比压相对较低，机组在长期运行过程中，摩擦片与制动盘相互摩擦产生摩擦残留物（碳粉），碳粉会附着在制动盘和制动器刹车片之间。随着碳粉的积累量较多，碳粉在摩擦片与制动盘之间受到压力和摩擦热的作用，当制动产生的热量超过了刹车片的热衰减温度，这些残留物就会在刹车片表面形成一层烧蚀层（即脆化光亮的釉光层），釉层是摩擦片和制动盘之间的作用效果发生变化，当釉层积累越厚，摩擦系数波动，在阻尼作用下产生的振动频率与与机组的固有频率发生共振时，导致偏航过程中摩擦片不均匀磨损。

分析制动盘损伤和摩擦片磨损的原因：

1) 摩擦片达到磨损极限后没有及时更换，摩擦力对制动器背板及制动盘造成损伤。

2) 偏航冗余压力较大，摩擦片受力不均匀或配合间隙变化，在偏航时较大的压力作用下磨损加剧进而导致制动盘受损。在制动盘表面产生大小不一的划伤和拉伤，

并且偏航时受到瞬时的动力冲击，从而加剧摩擦片磨损。

3) 摩擦材料配料不均或内部材质较硬，对偏航制动盘造成损伤。

机组偏航制动盘损伤和摩擦片磨损的处理方法

在风力发电机组偏航时，阻尼力矩不平衡是造成偏航制动盘损伤和摩擦片磨损的主要原因。为避免在偏航过程中产生峰值较高振动和阻尼噪音，偏航系统必须满足在设定的低转速条件下具有合适的阻尼力矩和之匹配的摩擦材料，其中偏航转速应根据风电机组的功率大小通过偏航系统力学分析来确定。为了有效减小摩擦片磨损并消除偏航制动盘损伤，可以采取以下处理措施：

(1) 提高配合精度

安装偏航制动器时要保证每个制动器与制动盘的装配关系，并调整好摩擦片周边与钳体的配合间隙。提高偏航制动器与制动盘的配合精度，尽量降低制动盘制动时工作面跳动量，选用高质量的制动器，采取合理的安装工艺，可以有效解决因制动器安装问题导致的偏航制动盘损伤和摩擦片磨损。

(2) 预防性检查维护

由于对偶材料磨损、液压系统漏油、留存气体和余压设定问题对阻尼力矩造成影响，因此需要做好定期检查维护工作。当发现摩擦材料的厚度小于 7mm 并对制动盘造成磨损时，必须更换新的摩擦片。及时清理制动盘表面的油污和磨屑，因为很少的油污都将导致磨损加剧，因此要采取防渗漏措施更换液压密封件，保证摩擦片在正常工况条件下工作。定期检查偏航制动盘是否损伤，偏航余压是否稳定，是否在制动器的额定压力范围内，及时调节压力。

(3) 技术创新与材料优化

为了有效清除偏航制动器在制动过程中产生的摩擦材料残留物，避免残留物在压力和温度双重作用下产生的釉光层，可以在偏航装置上安装除屑除尘刮板（毛刷），同时在摩擦片上设计排泄槽，减少磨屑和沙尘对阻尼力矩的影响。由于摩擦片更换不及时会伤及对偶材料，可以再制动器上安装摩擦片过量磨损预警保护装置（磨损传感器），对摩擦片的磨损量达到临界值时，发出报警。另外，在摩擦片与背板之间粘接隔热层，以此消除摩擦热量对液压密封件的损害。采用新型复合摩擦材料，使摩擦片具有稳定的性能且合适的摩擦系数。

3. 实训内容

- （1） 更换偏航制动器摩擦片。
- （2） 偏航制动器外六角螺栓打力矩实训。

4. 实训注意事项

在进行试车跑合中，应随时检查如下情况。

- （1） 制动衬垫温度（不应超过 110℃）。
- （2） 螺纹连接件是否松动。
- （3） 制动、运转声音是否正常；
- （4） 制动衬垫磨损是否正常。

5. 实训前准备

关闭设备电源，手动控制电磁阀（15、16、20），即手动旋钮全部处于伸出位置，偏航制动回路中的液压油通过电磁阀（16）卸压，偏航制动器松闸。用撬棍将上下摩擦片压到底，使制动器摩擦片脱离摩擦盘。

6. 实训操作步骤

- （1） 确保制动器没有油压。

(2) 拆下 8 个双头螺柱 M10x150 中的 7 个，利用剩下的一个螺栓作为支点，把制动器旋转一个角度，使摩擦片露出制动盘。

(3) 用新摩擦片换下磨损的摩擦片。再用手把摩擦片往里压到底，使活塞处于最上位。

(4) 重新用吊车将制动器安装在主机架底盘上，用扳手将安装螺栓预紧。

(5) 确定偏航制动器刹车片与摩擦盘之间的上下间隙一致，间隙值为 2.5mm。

按图 3-64 标示在螺栓头部标出的拧紧顺序号，将螺栓逐个拧紧。

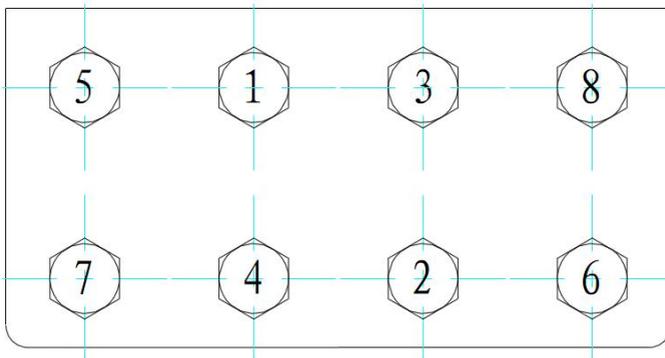


图 3-64 螺栓拧紧顺序

(6) 液压油路加压，使制动器制动，其摩擦片压紧再制动盘上。

(7) 新摩擦片更换完毕，需进行摩擦片磨合。进行 10-15 次的偏航跑合：给制动器施加 1.5MPa 的油压，启动偏航电机使制动盘低速旋转，制动盘的角速度约为 $0.3^{\circ}/s$ ，制动盘旋转 180° 为一次跑合。跑合完后，制动力矩达到设计值时，如果有效制动面达到 70% 则制动器完成偏航跑合，否则继续跑合直至符合要求为止。

3.3.3 偏航制动器更换实训

1. 知识点

(1) 偏航制动器工作原理

如图 3-65、图 3-66 所示，偏航制动装置由制动盘和偏航制动器组成，制动盘固定在塔架上，偏航制动器固定在机舱主机架上。



图 3-65 风电机组偏航制动器位置

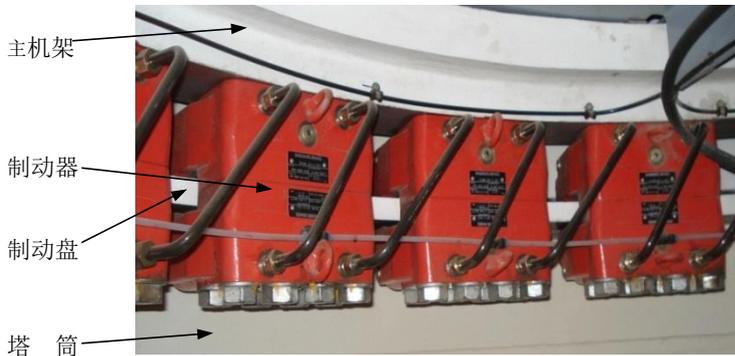


图 3-66 风电机组偏航制动器

偏航制动由作用在塔筒顶部刹车盘上的若干个液压制动器来实现。液压制动器由两个半钳体组成，对称地安装在制动盘上。每个半钳体由一个缸体构成，缸体内有两个活塞和一个制动衬垫。制动衬垫放在缸体的沟槽里，两边使用可移式衬垫挡板。偏航制动器在工作时，液压油进入缸体，在油压的作用下两个缸体内的柱塞推动摩擦片做相向运

动，摩擦片在制动力矩下卡住刹车盘，使机舱的偏转运动停止，从而实现制动作用。

液压制动器为机舱提供必要的制动扭矩，以保障机组的安全运行，在机组偏航时制动器提供的阻尼力矩应保持平稳，制动摩擦片与制动盘的贴合面积应不小于设计面积的 50%，闭合时摩擦片周边与制动钳体的配合间隙任一处应不大于 0.5mm。

2. 实训内容

- (1) 拆卸偏航制动器。
- (2) 安装偏航制动器。

3. 实训注意事项

- (1) 在对制动器开始进行任何操作之前，请确保驱动机构在此制动器处于打开状态下也不会意外转动。
- (2) 安装维修的过程中机构突然的启动有可能会危及到安装维修人员的生命。
- (3) 请不要使用任何机械装置锁住制动器。
- (4) 请确认驱动机构电机处于断电状态，并悬挂警示牌。
- (5) 实训人员应戴安全帽，穿安全鞋，戴手套，避免意外伤人。

4. 实训前准备

实训情景模拟：偏航制动器出现活塞密封件损坏等严重故障，需要将制动器从主机架上拆卸下来进行维修或更换。

5. 实训操作步骤

- (1) 确保制动器内没有油压，拆卸连接油管，断开其与液压系统的连接。
- (2) 吊车吊住制动器上吊环螺钉，拧松并拆去安装螺栓（8xM27-12.9）。
- (3) 将制动器从安装底座上取下，查看制动器摩擦片磨损情况。
- (4) 依照制动器产品说明书对其密封结构及更换方法进行学习。

(5) 检查制动器的清洁度特别要检查制动衬垫表面清洁度。不可让水或油脂类物质附着在制动器和制动衬垫上。必须清洁制动盘污垢和防腐蚀保护附层面。可先用干净布擦拭,再用清洗剂(工业酒精)清洗。(注意:任何残余油脂或防腐蚀保护层都会大大降低摩擦系数)。清洁制动器安装面、安装支架表面之间的污垢和防腐蚀保护层,使其保持清洁,干燥。

(6) 参考实训 3.2.4 步骤重新安装制动器。

3.3.4 滑动式偏航系统实训

1. 知识点

(1) 滑动式偏航轴承结构

采用滑动式偏航轴承的偏航系统由偏航驱动装置、偏航小齿轮、偏航大齿圈、侧面轴承以及滑垫保持装置等组成。

本设备的滑动式偏航轴承结构设计参照 1.5MW 风电机组的偏航轴承结构。滑动摩擦式偏航轴承由偏航卡钳、顶部摩擦片、底部摩擦片、侧面摩擦片、摩擦片保持装置、碟簧、导杆销、偏航阻尼调整螺栓等组成。

(2) 滑动式偏航轴承和滚动轴承的优缺点

采用齿轮驱动的偏航,风向变化带来的震荡效应会导致偏航轴承轮齿上的载荷变化。所以偏航系统要装载偏航制动器用以吸收交变载荷产生的微小振动,减小交变应力造成的偏航轴承轮齿疲劳损伤。传统的偏航轴承多采用四点接触球轴承,转动平稳,能承受较高的静载荷。大型兆瓦级风电机组的发展,增加了机舱重量和塔架顶端载荷,要求偏航轴承能承受更大的载荷,对偏航轴承的设计和制造要求越来越高。滚动轴承制造困难,承载力矩小,容易损坏,维护费用高,另外还需安装刹车盘、制动器来实

现锁紧，制动器需要液压装置，存在液压油泄露危险，不仅增加了整机制造和维护成本，还降低了工作期内的可靠性。

滑动式偏航轴承为面接触结构形式，相对滚动轴承结构简单且承载能力强。滑动摩擦片用自润滑耐磨工程塑料制做而成，通过摩擦产生足够的润滑剂，无需加注润滑脂。风机在偏航过程中，滑动轴承持续提供稳定的阻尼力矩，并可根据实际工况，通过阻尼调整装置调节阻尼力矩大小。无需单独提供液压制动系统，不仅降低了成本，同时避免了液压油泄露。

滑动式偏航轴承相对滚动轴承噪音要大些，没有良好密封，容易造成磨损等故障。因为滑动式偏航轴承的润滑是干摩擦下的自润滑，需要偏航齿圈摩擦接触面有一定的粗糙度，可以保证滑动摩擦片的固体摩擦材料能摩擦出来实现自润滑，但同时要控制摩擦材料磨损速度不能过快而造成滑动摩擦片寿命减少，所以对偏航齿圈摩擦接触面表面粗糙度有更高的技术要求。

2. 实训内容

- (1) 使用滑动式偏航轴承进行偏航实训。
- (2) 滑动式偏航系统弹簧加载压力调整。
- (3) 滑动式偏航系统摩擦片更换。

3. 实训注意事项

关闭设备电源，手动控制电磁阀，即手动旋钮全部处于伸出位置，偏航制动回路中的液压油通过电磁阀卸压，偏航制动器松闸。必须先安装好滑动式偏航轴承，才能拆去主机架与偏航轴承连接件。

4. 实训前准备

实验台包含两种类型偏航支撑方式，在安装滑动式偏航轴承前，需将所有偏航制

动器拆。

5. 实训操作步骤

- (1) 将 2 个滑动式偏航轴承安装在主机架底板上，紧固安装螺栓。
- (2) 拆去 2 个主机架与偏航轴承连接件。
- (3) 手动偏航操作。
- (4) 按对角顺序用力矩扳手调节滑动式偏航轴承的弹簧压力调节螺栓，调节完成后拧紧锁紧螺母。
- (5) 进行手动偏航，记录力矩扳手加载力矩。偏航运行不平顺则调高力矩值，偏航运行阻力较大则将所有螺栓松开，重新调整力矩。力矩调整完成后拧紧锁紧螺母。

3.3.5 偏航轴承手动注油实训

1. 实训内容

偏航轴承手动注油

2. 知识点

偏航轴承的滚道及齿面必须保持足够的润滑，润滑油品具体型号参考轴承铭牌上的标记（滚道润滑脂通常为 Mobil SHC 460WT，齿面润滑脂要求使用 Voler 2000S 润滑脂）。

滚道注脂前必须将加油口油嘴及附近区域清理干净，并拆开注油嘴油杯。

滚道注脂每往一个油嘴注入时，要把相邻两边的油嘴拧下作为排油口，让旧油从油孔里溢出，观察溢出来的油脂颜色，变成亮红色就将油嘴装上。然后间隔一个油嘴选对角油嘴作为下一个注油点，依次注油，注油时要转动偏航轴承，这样能将轴承所有废油脂更换掉且避免局部油脂过多，每次注脂量为 1000g 左右，定检周期为 6 个月。

同时检查回收的废油脂，查看里面是否有过多的杂质或金属颗粒，以此来判断轴承滚道磨损情况。加脂工作完成后，应立即清理所有泄露的滚道润滑脂，并封闭油口。

齿面涂抹润滑脂前必须先将废脂、杂物清理干净。润滑脂每 3 个月涂抹一次，用量为 1000g 左右（包括减速机小齿轮），其余时间根据实际需要补充添加。

带集中润滑的机组，要定期对润滑泵储脂罐补充润滑脂，遇到油脂变质的，要打开罐，将废油清理干净。

3. 实训注意事项

- （1）所有实训人员做好安全防护；
- （2）关闭设备电源。

4. 实训前准备

准备注油枪一把，如图 3-67 所示，润滑油脂一桶。



图 3-67 油枪

5. 实训操作步骤

- （1）将加油口油嘴及附近区域清理干净，并拆开注油嘴油杯。

(2) 间隔一个油嘴选对角油嘴作为下一个注油点，依次注油，注油时要转动偏航轴承。

3.4 偏航及制动系统定检维护模拟实训

3.4.1 知识点

1. 偏航系统零部件的维护

(1) 偏航制动器

需要注意的问题：

- 1) 液压制动器的额定工作压力；
- 2) 每个月检查摩擦片的磨损情况和裂纹。

必须进行的检查：

- 1) 检查制动器壳体和制动摩擦片的磨损情况，如有必要，进行更换；
- 2) 根据机组的相关技术文件进行调整；
- 3) 清洁制动器摩擦片；
- 4) 检查是否有漏油现象；
- 5) 当摩擦片的最小厚度不足 2mm，必须进行更换；
- 6) 检查制动器联接螺栓的紧固力矩是否正确。

(2) 偏航轴承

需要注意的问题：

- 1) 检查轴承齿圈的啮合齿轮副是否需要喷润滑油，如需要，喷规定型号的润滑油；
- 2) 检查是否有非正常的噪声；

3) 检查联接螺栓的紧固力矩是否正确;

4) 检查是否有非正常的噪声。

(3) 必须进行的检查:

1) 检查轮齿齿面的腐蚀情况;

2) 检查啮合齿轮副的侧隙;

3) 检查轴承是否需要加注润滑脂, 如需要, 加注规定型号的润滑脂。

(4) 偏航驱动装置

必须进行的检查:

1) 检查油位, 如低于正常油位应补充规定型号的润滑油到正常油位;

2) 检查是否有漏油现象;

3) 检查是否有非正常的机械和电气噪声;

4) 检查偏航驱动紧固螺栓的紧固力矩是否正确。

2. 偏航系统的维修和保养

应进行的检查:

(1) 每月检查油位, 如有必要, 补充规定型号的油到正常油位;

(2) 2000 小时运行后, 需用清洗剂清洗后, 更换机油;

(3) 每月检查以确保没有噪声和漏油现象;

(4) 检查偏航驱动与机架的联接外六角螺栓, 保证其紧固力矩为规定值;

(5) 检查齿轮副的啮合间隙;

(6) 制动器的额定压力是否正常, 最大工作压力是否为机组的设计值;

(7) 制动器压力释放、制动的有效性;

(8) 偏航时偏航制动器的阻尼压力是否正常。

(9) 维护和保养:

(10) 每月检查摩擦片的磨损情况, 检查摩擦片是否有裂缝存在;

(11) 当摩擦片的最低点的厚度不足 2mm 时, 必须更换;

(12) 每月检查制动器壳体和机架联接螺栓的紧固情况;

(13) 制动器的工作压力是否在正常的工作压力范围之内;

(14) 每月对液压回路进行检查, 确保液压油路无泄漏;

(15) 每月检查制动盘和摩擦片的清洁度、有无机油和润滑油, 以防制动失效;

(16) 每月或每 500 小时, 应向齿轮副喷洒润滑油, 保证齿轮副润滑正常;

(17) 每两个月或每 1000 小时, 检查齿面的腐蚀情况, 轴承是否需要加注润滑脂, 如需要, 加注规定型号的润滑脂;

(18) 每三个月或每 1500 小时, 检查轴承是否需要加注润滑脂, 如需要, 加注规定型号的润滑脂, 检查齿面是否有非正常的磨损与裂纹;

(19) 每六个月或每 3000 小时, 检查偏航轴承连接螺栓的紧固力矩, 确保紧固力矩为机组设计文件的规定值, 全面检查齿轮副的啮合侧隙是否在允许的范围之内。

3. 偏航系统常见故障及处理方法

偏航系统常见故障及处理方法如表 3-3 所示。

表 3-3 常见故障及处理方法

序号	常见故障	故障现象	处理方法
1	齿圈齿面磨损	齿轮副的长期啮合运转; 相互啮合的齿轮副齿侧间隙中 渗入杂质; 润滑油或润滑脂严重缺失使齿 轮副处于干摩擦状态。	检查是否有漏油现象, 加注规定型号 润滑脂; 清除齿间杂质。

序号	常见故障	故障现象	处理方法
2	液压制动器工作压力低	有漏油现象。	检查管路接头是否松动、损坏； 检查密封件是否损坏。
3	异常噪声	偏航驱动装置中润滑油油位过低； 偏航阻尼力矩过大； 摩擦片磨损超过规定值； 摩擦盘有油污； 齿轮副齿轮损坏或侧隙太大； 连接螺栓松动或损坏。	偏航减速机加注润滑油/润滑脂； 偏航阻尼力矩调到额定值； 更换摩擦片； 检查泄露，清理摩擦盘； 更换齿轮或调整齿侧隙； 紧固制动器、偏航驱动、偏航轴承连接螺栓。
4	偏航压力不稳	液压管路出现渗漏； 液压蓄能器的保压装置出现故障； 液压系统元件损坏。	排除液压管路渗漏； 排除蓄能器故障； 更换损坏的液压元件。
5	偏航定位不准	风向标信号不准确； 偏航系统的阻尼力矩过大或过小； 偏航制动力矩达不到机组的设计值； 偏航齿圈与偏航驱动齿轮的齿侧隙过大。	校正调准风向标信号； 偏航阻尼力矩调到额定值； 偏航制动力矩调到额定值； 调整齿轮副的齿侧隙。
6	偏航计数器故障	连接螺栓松动； 异物侵入； 连接电缆损坏。	紧固松动的螺栓； 清除异物； 更换连接电缆。

3.4.2 实训内容

- (1) 连接螺栓定检。
- (2) 偏航装置定检。
- (3) 液压装置定检。

3.4.3 实训注意事项

- (1) 请确认驱动机构电机处于断电状态，并悬挂警示牌。
- (2) 实训人员应戴安全帽，穿安全鞋，戴手套，避免意外伤人。

3.4.4 实训前准备

- (1) 准备好定检维护所需工具。
- (2) 穿戴好防护护具。
- (3) 阅读实训注意事项。

3.4.5 实训步骤

按照运行维护清单内容进行定检维护，并记录工作内容。运行维护清单内容如表 3-4 所示。

表 3-4 定检维护项目

项目	内容	标准
偏航轴承/塔筒连接螺栓	检查全部	M20, T=290 N·m
偏航制动器/主机架连接螺栓	检查全部	M10, 无松动
偏航齿面磨损	检查齿面	无裂纹、点蚀、磨损及塑性变形
滑动衬套	检查间隙	间隙 1-3mm
偏航齿面润滑	检查齿面	0.3mm 均匀涂层
偏航轴承润滑	手动注入润滑脂	有旧油脂打出即可
变速箱油位	手动注入润滑油	以油窗、油位传感器为准
液压油	检查油位	以油窗、油位传感器为准

项目	内容	标准
	检查液压油油况	无变色、异味
液压管路	检查泄露	无泄露
液压油过滤器	检查	无堵塞报警信号
偏航计数器	检查	功能正常
接近开关	检查	与轴承外圈齿面 1-4mm
电缆接线端子	检查全部	无松动

3.5 电气接线实训

3.5.1 偏航电机线缆连接实训

1. 实训目的：

- (1) 了解偏航电机组成以及工作原理
- (2) 掌握偏航电机接线步骤

2. 知识点

- (1) 偏航电机在偏航系统中的作用：风力发电机组偏航是通过偏航电机控制偏航齿轮带动风机机舱转动的，使风力发电机组的风轮始终处于迎风状态，充分利用风能，提高风力发电机组的发电效率。

- (2) 偏航电机的参数：

三相异步电动机

额定功率：0.37KW；

额定电压：380VAC；

额定转速：1330r/min；

额定电流：1.12A.

3. 实训内容

偏航电机线缆连接

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) 设备处于断电状态；
- (3) 在本设备中，偏航电机的接线采用普通端子的形式。偏航电机供电为

380VAC；偏航电机内置电磁刹车，需要220VAC供电。接线时保证交流电断开!!!

(4) 保证偏航电机1和偏航电机2的相序一致。

5. 实训前准备

(1) 所需零件：偏航电机电源供电线2条（ $4 \times 2.5\text{mm}^2$ ）；

偏航电机电磁刹车线2条（ $2 \times 0.5\text{mm}^2$ ）；

偏航电机温度检测线2条（ $2 \times 0.5\text{mm}^2$ ）；

(2) 所需工具：万用表 一字螺丝刀 十字螺丝刀 剪线钳子 拔线钳子 压线钳子 线号管 打号机 等电工作业工具

6. 实训操作步骤

1) 偏航电机供电线：

偏航电机 1 接线盒出来的线 U1-1、 V1-1、 W1-1 分别接到端子箱的 X36-1、 X36-2、 X36-3 的左侧端子上；端子箱的 X36-1、 X36-2、 X36-3 的右侧端子接到偏航控制柜的 X36.1-1、 X36.1-2、 X36.1-3 的端子上。

偏航电机 2 接线盒出来的线 U1-2、 V1-2、 W1-2 分别接到端子箱的 X36-4、 X36-5、 X36-6 的左侧端子上；端子箱的 X36-4、 X36-5、 X36-6 的右侧端子接到偏航控制柜的 X36.1-4、 X36.1-5、 X36.1-6 的端子上。

2) 偏航电机的电磁刹车接线：

偏航电机 1 电磁刹车接线盒出来的线（线号 316）、（线号 317）分别接到端子箱的 X37-1、 X37-2 的左侧端子上；端子箱的 X37-1、 X37-2 的右侧端子接到偏航控制柜的 X37.1-1、 X37.1-2 的端子上。

偏航电机 2 电磁刹车接线盒出来的线（线号 318）、（线号 319）分别接到端子

箱的 X37-3 、X37-4 的左侧端子上； 端子箱的 X37-3 、X37-4 的右侧端子接到偏航控制柜的 X37.1-3 、X37.1-4 的端子上。

3) 偏航电机温度检测接线:

将偏航电机 1 的 PT100 出线端 (线号 309)、(线号 310) 分别接到端子箱的 X42-1、X42-2 的左侧端子上, X42-1、X42-2 的右侧端子接到偏航控制柜的 X42.1-1、X42.1-2 的端子上;

将偏航电机 2 的 PT100 出线端 (线号 311)、(线号 312) 分别接到端子箱的 X42-3、X42-4 的左侧端子上, X42-3、X42-4 的右侧端子接到偏航控制柜的 X42.1-3、X42.1-4 的端子上。

3.5.2 偏航扭缆开关线缆连接实训

1. 实训目的:

- (1) 了解偏航扭缆开关的作用
- (2) 掌握扭缆开关接线步骤

2. 知识点

- (1) 偏航扭缆开关的作用: 由于风向的不稳定性, 风机需要经常偏航对风, 如果风机多次向同一方向转动, 会造成机舱和塔架之间的连接电缆发生扭绞, 需要设法偏航解缆。

3. 实训内容

偏航扭缆开关接线

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) 设备处于断电状态。

5. 实训前准备

- (1) 所需零件：扭缆开关线缆1条（ $4\times 0.5\text{mm}^2$ ）；
- (2) 所需工具：万用表 一字螺丝刀 十字螺丝刀 剪线钳子 拔线钳子 压线钳子 线号管 打号机 等电工作业工具

6. 实训操作步骤

- a) 扭缆开关（黄盒）内接线：如图 3-68

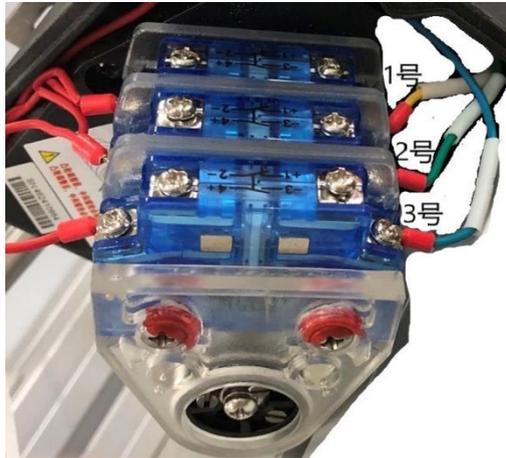


图 3-68 黄盒内接线示意图

- 1 号：1 号处的常闭触点接（线号 351），为左限位扭缆信号反馈点；
 - 2 号：2 号处的常闭触点接（线号 352），为右限位扭缆信号反馈点；
 - 3 号：3 号处的常闭触点接（线号 353），为中心信号反馈点；
 - 公共点接（线号 350）；
- b) 扭缆开关外部接线：

扭缆开关盒出来的线缆（线号 350）、（线号 351）、（线号 352）、（线号 353）分别接到端子箱的 X33-1、X33-2、X33-3、X33-4 的端子的左侧上。端子箱的 X33-1、X33-2、X33-3、X33-4 的端子的右侧接到偏航控制柜的 X33.1-1、X33.1-2、X33.1-3、X33.1-4 的端子上。

3.5.3 偏航接近开关线缆连接实训

1、实训目的：

- （1）了解偏航接近开关的作用
- （2）掌握偏航接近开关的接线步骤

2、知识点

- （1）偏航接近开关的作用：检测机舱的实时位置。
- （2）接近开关的工作原理：

接近开关是一种无需与运动部件进行机械直接接触而可以操作的位置开关，当物体接近开关的感应面到动作距离时，不需要机械接触及施加任何压力即可使开关动作，从而向 plc 提供反馈信号。接近开关是种开关型传感器（即无触点开关），它既有行程开关、微动开关的特性，同时具有传感性能，且动作可靠，性能稳定，频率响应快，应用寿命长，抗干扰能力强等、并具有防水、防震、耐腐蚀等特点。

接近开关又称无触点接近开关，是理想的电子开关量传感器。当金属检测体接近开关的感应区域，开关就能无接触，无压力、无火花、迅速发出电气指令，准确反应出运动机构的位置

- （3）接近开关的参数：

工作电压：DC24V；

检测距离：2-4mm；如图3-69



图3-69 接近开关示意图

1、实训内容

偏航接近开关接线

2、实训注意事项

- (1) 实训人员应带安全帽，穿安全鞋，戴手套；
- (2) 设备处于断电状态。
- (3) 注意接近开关24VDC供电的正负，防止反接。

3、实训前准备

- (1) 所需零件： $3 \times 0.3\text{mm}^2$ 线（接近开关自带），2根；
- (2) 所需工具：万用表 一字螺丝刀 十字螺丝刀 剪线钳子 拔线钳子 压线钳子 线号管 打号机 等电工作业工具

4、实训操作步骤

- (1) 接近开关自带线缆颜色说明：

棕色：电源正24VDC（线号360）；

蓝色：电源负0VDC（线号361）；

黑色：信号（线号362）。

（2）接近开关A接线：

接近开关A出线（线号360）、（线号361）、（线号362）接到端子箱的X34-1、X34-2、X34-3的左侧端子处；端子箱的X34-1、X34-2、X34-3的右侧出线接到偏航控制柜的X34.4-1、X34.4-2、X34.4-3端子上；

（3）接近开关B接线：

接近开关B出线（线号363）、（线号364）、（线号365）接到端子箱的X34-4、X34-5、X34-6的左侧端子处；端子箱的X34-4、X34-5、X34-6的右侧出线接到偏航控制柜的X34.4-4、X34.4-5、X34.4-6端子上。

3.6 变桨系统调试实训

3.6.1 手动偏航控制实验

1、实训目的：

掌握手动偏航调试的基本方法

2、知识点：

偏航系统工作原理

兆瓦级风力发电机组多采用主动偏航对风方式，机组在运行时根据风向仪检测的风向与机舱方向的夹角决定风机是否偏航。当风向持续发生变化时，主控 PLC 根据风向仪传递的信号控制偏航驱动装置使机舱旋转对准主风向。

3、偏航系统作用

- 1) 风向发生变化时，机组主动寻找主风向而自动偏航对风。
- 2) 机组朝着一个方向偏航到设定角度以后，为了使机组悬垂部分的电缆不至于过度扭绞而自动反方向偏航解缆。
- 3) 强制偏航，当电缆的扭绞程度威胁到机组安全运行时会触发扭缆保护装置，使机组停止旋转或保持设备停车状态，此时若恢复机组运行，必须手动强制偏航使其解缆。

4、实训内容

手动偏航控制

5、实训注意事项

- (1) 实训人员应带安全帽，穿安全鞋，戴手套；
- (2) 设备处于断电状态。

6、实训操作步骤

(1) 手动偏航

- 1) 在控制柜面板上将偏航模式“运行/维护”切换开关选择“维护”；
- 2) 查看 HMI 中“系统报警”里面的故障列表，消除所有故障，按一下“复位”按钮；
- 3) 使用“左偏航”/“右偏航”按钮启动偏航电机左偏航/右偏航运行。
- 4) 观察机舱偏航方向，若方向错误，调整实验台供电相序，修正偏航电机运行方向。

(2) 硬件解缆触发

- 1) 在控制柜面板上将偏航模式“运行/维护”切换开关选择“维护”，使用“左偏航”/“右偏航”按钮控制偏航左偏航/右偏航，直至偏航电机停止且无法继续该方向偏航。
- 2) 查看 HMI 的“整机调试”界面的“左偏航限位点”/“右偏航限位点”是否触发。
- 3) 查看“左偏航限位点”和“右偏航限位点”触发的角度的绝对值都否相近，若差值大于 50° ，请重新调整扭缆开关盒内凸轮的位置，调整方法详见章节 3.6.4。

3.6.2 偏航方向校对实验

1、实训目的：

掌握偏航方向校对的基本方法

2、知识点

- (1) 校对偏航系统实际运行方向是否和操作员给定的方向一致。
- (2) 校对两个偏航电机的运转方向是否一致。

3、实训内容

偏航方向校对

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) 检查两个偏航电机的相序是否一致，保证两个偏航电机运行方向一致。

5、实训操作步骤

偏航方向校对

- 1) 在控制柜面板上将偏航模式“运行/维护”切换开关选择“维护”；
- 2) 按下“左偏航”按钮启动使偏航电机带动机舱执行顺时针方向偏航。如果

按下“左偏航”按钮，机舱不动作，下面原因造成的，请一一排查：

- 系统故障等级大于 1，请消除相应故障；
- 请检查偏航电机 1 和偏航电机 2 的旋转方向是否一致，若不一致的话，请将任一个电机的 U/V/W 任意两相对调，直到两个电机方向运行一致，且顺时针运行

- 3) 按下“右偏航”按钮启动使偏航电机带动机舱执行逆时针方向偏航。如果

按下“右偏航”按钮，机舱不动作，下面原因造成的，请一一排查：

- 系统故障等级大于 1，请消除相应故障；
- 请检查偏航电机 1 和偏航电机 2 的旋转方向是否一致，若不一致的话，请将任一个电机的 U/V/W 任意两相对调，直到两个电机方向运行一致，且逆时针运行。

3.6.3 偏航速度控制实验&变频器驱动偏航电机实验

1、实训目的：

了解变频器驱动偏航电机的意义；

掌握变频器控制偏航系统的基本操作方法。

2、知识点

- (1) 变频器调速的原理：变频器变频后可以调速，是因为变频器是利用改变电机的运行频率，从而减少输出电流。达到调速的功能，它能够完美与电机协调。电机的运转是通过电流来实现的，而变频器就是通过改变频率，控制电流的大小从而完成对电机的调速功能。
- (2) 变频器驱动偏航电机的意义：采用变频调速起动，其起动电流一般不会超过额定电流的1.5倍，减少启动电流对电机的冲击，而且起动平滑稳定无冲击，实现异步电动机真正意义上软起动，并使风机运行平稳，延长电机寿命，减少风机振动带来的损害；变频器驱动偏航系统还可以实现偏航的调速运行。

3、实训内容

- (1) 变频器驱动偏航电机
- (2) 变频器调速运行偏航系统

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) 变频器调速时，断开 Q35.1。

5、实训操作步骤

变频器驱动偏航电机操作步骤：

1) 闭合断路器 Q30.4、Q31.1、Q31.2、Q31.4、Q32.4、Q32.4、Q35.5、Q37.1、Q37.3，注意 Q35.1、Q44.3 保持断开状态。

2) “直启/变频”切换至“变频”，变频器供电，显示器亮；

3) 若 HMI 中“系统报警”界面中有故障报警，请按照故障排查列表，进行排故；

4) “运行/维护”切换至“维护”模式，按一下复位按钮；

持续按“左偏航”/“右偏航”按钮；通过 HMI 中的“整机调试”界面，进行变

频调速实验，，调速范围为 0-50Hz。

5) 切换至自动模式，“运行/维护”切换至“运行”模式，按一下复位按钮；

按“启动”按钮 2s；通过 HMI 中的“整机运行”界面，进行变频调速实验，

，调速范围为 0-50Hz。

3.6.4 偏航扭缆开关调整实验

1、实训目的：

了解扭缆开关的工作原理

掌握偏航扭缆开关的设置方法

2、知识点

扭缆开关工作原理：扭缆开关内置 3 对常开触点、3 对常闭触点。采用凸轮计数器，该装置底层机械内部构造是由一个蜗轮转动装置和一根螺旋齿轮轴并结合一对或多对直齿轮组合而成，其驱动轴通过齿轮与风力发电机的偏航齿轮啮合，并经输入轴和输出轴之间不同的齿轮组合，以特定的转数比进行转换，当达到设置转数后，该装

置上层凸轮旋转驱使微动开关运转，由此开始预定的动作。

3、实训内容

偏航扭缆开关调整

4、实训注意事项

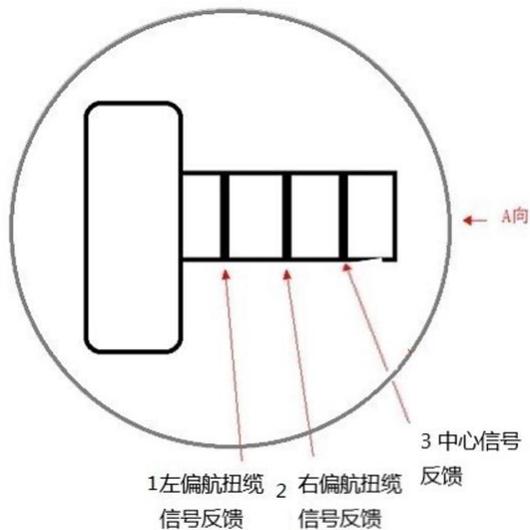
- (1) 实训人员应带安全帽，穿安全鞋，戴手套；
- (2) 偏航系统运行时，手远离各种齿轮，以防被夹伤。

5、实训操作步骤

1 号为左限位扭缆信号反馈点（线号 351）；

2 号为右限位扭缆信号反馈点（线号 352）；

3 号为中心信号反馈点（线号 353）；



1. 左边为“左限位扭缆信号”反馈，接模块 U100.2 #DIb.0, 1=左限位扭缆触发
2. 中间为“右限位扭缆信号”反馈，接模块 U100.2 #DIb.1, 1=右限位扭缆触发
3. 右边为“中心信号反馈”，接模块 U100.1 # DIb.0, 1=左偏航 0=右偏航

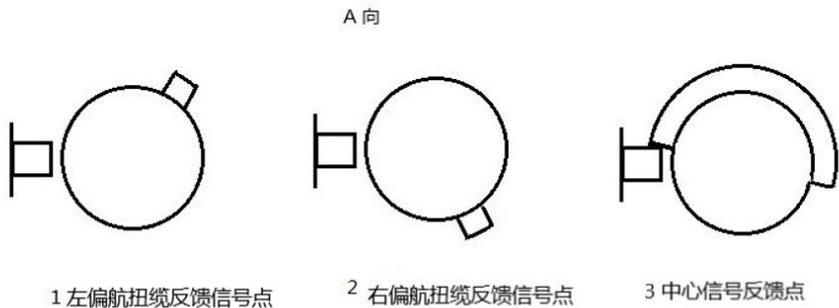
调试时，先通过手动偏航，把偏航系统的电缆回归到完全顺缆的状态，电缆为无扭且垂顺状态，然后点击 HMI 的“整机调试”中的 **偏航角度清零**，将偏航角度清零。

当扭缆角度为 0° 时，右边“中心点”应该调整为即将出发的状态。

左偏航扭缆至 700° ，左边为“左偏航扭缆信号反馈”凸轮应该被触发。

右偏航扭缆至 -700° ，中间为“右偏航扭缆信号反馈”凸轮应该被触发。

从上图 A 向位置看，调整完成后的大致位置如下：



3.6.5 偏航系统自动偏航正偏/反偏实验

1. 实训目的

掌握自动偏航跟踪风向的控制流程。

2. 知识点：

(1) 偏航角度偏差

由于风向的不确定性，风向可能会在小范围内变化。为了避免风机偏航系统的频

频繁启动，对偏航角度偏差设置一个阈值（最大偏航角度差）加以限制，当偏差角小于这个阈值时，偏航系统停止动作，以避免频繁启动偏航给系统带来不稳定性，减少了机械损耗，风向在小范围内的变化很大，桨叶和偏航轴承承受的载荷较大，若在此时频繁启动偏航，极可能造成风机损坏。

（2）自动偏航

偏航系统是一随动系统，当风向与叶轮轴线偏离一个角度时，控制系统经过一段时间的确认后，会控制偏航电机将叶轮调整到与风向一致的方位。在风轮前部或机舱一侧，装有风向仪（风标），当风电机组的方向（风轮主轴的方向）与风标指向偏离时，机组的主控系统开始计时，时间达到一定值时，即认为风向已改变，机组的主控系统发出向左或向右偏航指令，直到偏差消除。

3. 实训内容

- （1）扭缆角度校准
- （2）自动对风偏航启、停条件测定

4. 实训注意事项

- （1）电源的工作电压是 **380V**，在做实验的过程当中请务必注意人身安全；
- （2）“偏航实验”时请勿靠近机体；
- （3）检查电气控制系统及液压站系统工作是否正常；
- （4）对实验设备进行偏航零点校准（指导教师操作）。

5. 实训操作步骤

- （1）扭缆角度校准

扭缆角度校准实验应由指导教师监督下完成。

- 1) 在操作台面板上将偏航模式“运维/维护”切换开关选择“维护”。

2) 偏航操作调整机舱方向（视觉观察，如有电缆扭曲状态，请手动解缆，直到电缆无缠绕），作为扭缆角度零点位置。

3) 登录 HMI 监控界面，进入“整机调试”，按“偏航角度清零”，一秒后“偏航角度”数值为零。

4) 调整扭缆限位开关（黄盒），使零点开关调整到触发沿位置。

5) 手动偏航到左扭缆极限位置，调整左扭缆开关到凸轮突起触发位置。

6) 手动偏航到右扭缆极限位置，调整右扭缆开关到凸轮突起触发位置。

(2) 自动对风偏航启停条件测定

1) 将偏航模式“运行/维护”选择开关切换到“运行”。

2) 在“整机运行”界面，操作区域“风向选择”中选择给定“手动给定风向”，

在  蓝色框输入模拟风向，在逐渐调整风向角度值，当 

风向(手动)  与 偏航实际角度  的偏差大于设定的“允许偏差值”

时观察偏航是否运行。

3.6.6 偏航系统位置检测实验

1. 实训目的

(1) 掌握接近开关安装方法

(2) 掌握偏航位置检测原理

2. 知识点:

(1) 偏航接近开关安装方法

偏航扭缆限位开关固定在机舱底座上，靠近偏航轴承外齿圈。

偏航系统采用电感式接近开关作为计数器，可以无损不接触地检测金属物体的转速、位移等参数。将两个接近开关 A 和 B 固定在偏航齿圈附近，传感器的探头距离齿圈齿顶面的距离保持在 2~4mm 左右，两个传感器之间的水平中心距保持在 1.5 倍的齿顶宽度。

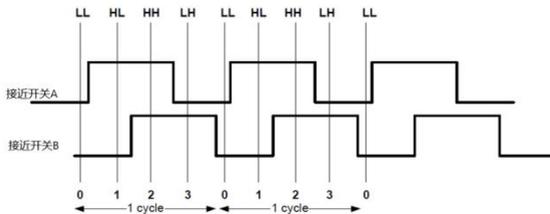
(2) 偏航接近开关位置检测原理

两个接近开关用于测量偏航角度。偏航偏航齿轮侧挡板上安装有两个接近开关(定义为接近开关 A、接近开关 B)。

偏航系统左偏航时，接近开关 A 先触发，接近开关 B 后触发；

偏航系统右偏航时，接近开关 B 先触发，接近开关 A 后触发。

偏航时，接近开关 A 和接近开关 B 会有规律的跳变，形成一个完整的循环。跳变信号是固定的。如下图



1. LL (0 0).
2. HL (1 0).
3. HH (1 1).
4. LH (0 1).

3. 实训内容

偏航系统位置检测实验

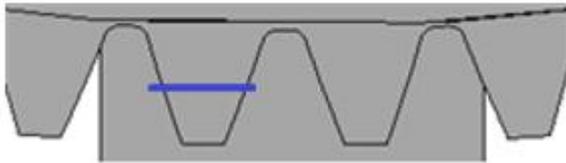
4. 实训注意事项

(1) 电源的工作电压是 380V，在做实验的过程当中请务必注意人身安全；

(2) “偏航实验”时请勿靠近机体；

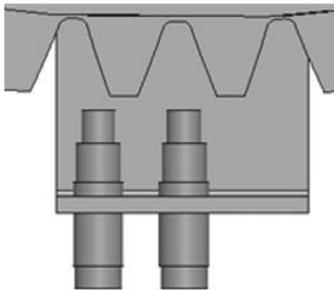
5. 实训操作步骤

- 1) 登录 HMI，进入“整机调试”界面；
- 2) “运行/维护”旋钮切换到“维护”状态；
- 3) 调整接近开关的触发位置：横线以下的位置，接近开关触发（接近开关的红灯亮）；横线以上的位置，接近开关不触发（接近开关的红灯不亮）。如下图



- 4) 调整接近开关 A 和接近开关 B 的水平距离，相差约为 1.5 倍齿顶宽。如下图

图



- 5) 校对“左偏航”/“右偏航”时，“偏航实际角度”是否增加/减少：

启动“左偏航”，观察“整机调试”界面上  偏航计数器A  偏航计数器B  的

“偏航计数器 A”、“偏航计数器 B”是否规律的变化，接近开关 A 和接近开关 B 显示应该如下：LLHLHLHL，同时偏航角度值增加。如果偏航角度值减少，请对调接近

开关 A 和接近开关 B 的水平左右位置。

启动“右偏航”，观察“整机调试”界面上  的“偏航计数器 A”、“偏航计数器 B”是否规律的变化，接近开关 A 和接近开关 B 显示应该如下：LL LHHHLLL，同时偏航角度值减小。如果偏航角度值增加，请对调接近开关 A 和接近开关 B 的水平左右位置。正确安装位置如下图所示：



3.6.7 偏航系统解缆实验

1. 实训目的

- (1) 掌握手动解缆的控制流程
- (2) 掌握自动解缆的控制流程

2. 知识点：

当风力发电机组由于自动偏航引起的向某一方向偏转圈数过大，将会造成电缆的缠

绕，甚至绞断，给机组造成严重损失。

(1) 自动解缆

当线缆缠绕圈数达到软件解缆圈数时，系统应该自动解缆，此时偏航电机向相反方向转动缠绕圈数解缆，将机舱返回电缆无缠绕位置。在自动解缆过程中，必须屏蔽自动偏航动作。偏航解缆激活后，会产生停机信号，等待解缆结束，才能启机。逻辑如下：

①偏航扭缆角度大于软件解缆角度值（ $\overset{\text{解缆角度给定}}{0^\circ}$ 给定软件解缆角度值），风机逆时针解缆信号激活，启动逆时针解缆运行，将机舱返回电缆无缠绕位置。

②偏航扭缆角度小于负软件解缆角度值（ $\overset{\text{解缆角度给定}}{0^\circ}$ 给定软件解缆角度值），风机顺时针解缆信号激活，启动顺时针解缆运行，将机舱返回电缆无缠绕位置。

(2) 手动解缆

硬件解缆限位触发：扭缆保护装置（黄盒），它是出于失效保护的目的地而安装在偏航系统中的，当电缆的扭绞达到威胁机组安全运行的程度而触发该装置，使机组进行紧急停机。此装置是独立于控制系统的，一旦触发，必须停机。若因故障，当某个方向达到扭缆硬件限位开关触发（一般为 $\pm 700^\circ$ ）时，发出紧急停机命令和不可自恢复信号，等待执行人工手动解缆操作。

3. 实训内容

(1) 自动解缆

(2) 手动解缆

4. 实训注意事项

(1) 电源的工作电压是 380V，在做实验的过程当中请务必注意人身安全；

(2) “偏航实验”时请勿靠近机体;

5. 实训操作步骤

(1) 自动解缆角度验证。

1) “运行/维护”旋钮切换到“维护”;

2) 启动“左偏航”/“右偏航”按钮,保持系统左偏航/右偏航运行,“偏航实际角度”值达到软件解缆角度值,此时“偏航解缆状态”显示为“解缆触发”,即软件解缆限位点触发;

3) “运行/维护”旋钮切换到“运行”;

4) 按下“启动”按钮,保持2s,偏航系统执行自动解缆操作,“偏航解缆状态”显示为“解缆中”;

(2) 偏航系统手动解缆极限值角度验证(硬件扭缆开关触发)

1) “运行/维护”旋钮切换到“维护”;

2) 启动“左偏航”按钮,保持系统左偏航运行,直到  点触发,此时继续按“左偏航”按钮,系统无法继续向左偏航。按下“右偏航”按钮,系统向右偏航,执行向右手动解缆操作;

3) 启动“右偏航”按钮,保持系统右偏航运行,直到  点触发,此时继续按“右偏航”按钮,系统无法继续向右偏航。按下“左偏航”按钮,系统向左偏航,执行向左手动解缆操作;

3.6.8 偏航系统风向跟踪实验

1. 实训目的

- (1) 了解偏航系统风向跟踪的意义
- (2) 掌握偏航系统跟风的控制流程

2. 知识点:

(1) 偏航系统跟风的意义: 通过风向和机舱位置进行分析控制偏航的方向和角度, 使风机能够快速平稳的对准风向, 以便风轮获得最大风能。

(2) 掌握偏航系统跟风的控制逻辑:

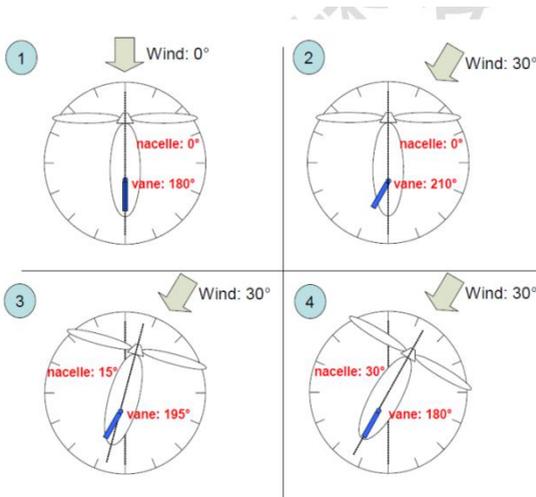
当风向值大于偏航实际角度值时:

- 1) “手动给定风向” - “偏航实际角度” $< 180^\circ$, 执行右偏航指令;
- 2) “手动给定风向” - “偏航实际角度” $\geq 180^\circ$, 执行左偏航指令;

当风向值小于偏航实际角度值时:

- 1) “手动给定风向” - “偏航实际角度” $< 180^\circ$, 执行左偏航指令;
- 2) “手动给定风向” - “偏航实际角度” $\geq 180^\circ$, 执行右偏航指令;

风向与偏航实际角度关系如下图:



3. 实训内容

偏航自动跟风运行

4. 实训注意事项

- (1) 电源的工作电压是 380V，在做实验的过程当中请务必注意人身安全；
- (2) “偏航实验”时请勿靠近机体；

5. 实训操作步骤

自动跟风偏航（模拟风向）

- 1) “运行/维护”旋钮切换到“运行”；

- 2) 登录 HMI，进入“整机运行”界面，点击一下 ，出现 ，

手动给定风向

实际风向

0

切换风向为模拟风向。手动给定风向范围 0-360°；

- 3) 请按照以下 4 种情况，进行不同风向下的自动对风实验：

➤ “手动给定风向” \geq “偏航实际角度”

- “手动给定风向” - “偏航实际角度” $< 180^\circ$ ，请观察偏航的实际运行方向（应为右偏航）；
- “手动给定风向” - “偏航实际角度” $\geq 180^\circ$ ，请观察偏航的实际运行方向（应为左偏航）。

➤ “手动给定风向” $<$ “偏航实际角度”

- “偏航实际角度” - “手动给定风向” $< 180^\circ$ ，请观察偏航的实际运行方向（应为左偏航）；
- “偏航实际角度” - “手动给定风向” $\geq 180^\circ$ ，请观察偏航的实际运行方向（应为右偏航）。

3.6.9 传统接触器驱动偏航电机实验

1、实训目的：

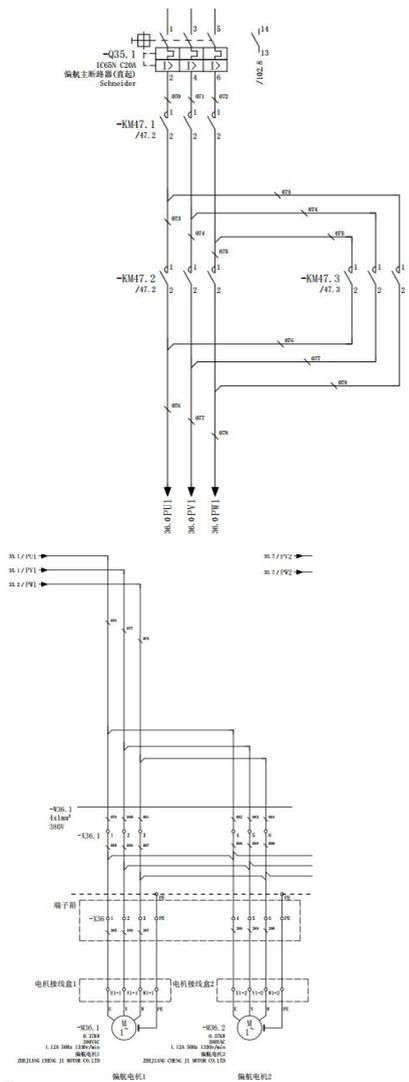
了解接触器驱动偏航电机的方法

2、知识点

- (1) 接触器驱动偏航电机逻辑：下图是传统的偏航系统中风力发电机组偏航电动机的驱动控制装置的电路结构图，图中以两台偏航电动机为例，实际依需要对多台偏航电动机进行控制。其中，传统偏航电动机驱动大部分使用如图1所示，该装置包括与偏航电动机相连接的接触器和偏航电动机保护开关。KM47.1为主接触器、KM47.2为左接触器、KM47.3为右接触器。

进行左偏航时，是通过Q35.1KM47.1KM47.2这条回路，给电机供电，实现电机正转，机舱左偏航；

进行右偏航时，是通过Q35.1KM47.1KM47.3这条回路，给电机供电，实现电机反转，机舱右偏航。



3、实训内容

接触器驱动偏航电机

4、实训注意事项

- (1) 电源的工作电压是 380V，在做实验的过程当中请务必注意人身安全；

(2) “偏航实验”时请勿靠近机体；

5、实训操作步骤

接触器驱动偏航电机操作步骤：

1) 闭合断路器 Q30.4、Q31.1、Q31.2、Q31.4、Q32.4、Q32.4、Q35.1、Q37.1、Q37.3，注意 Q35.5、Q44.3 保持断开状态。

2) “直启/变频”切换至“直启”；

3) 若 HMI 中“系统报警”界面中有故障报警，请按照故障排查列表，进行排故；

4) 进行手动模式，“运行/维护”切换至“维护”模式，按一下复位按钮；

持续按“左偏航”/“右偏航”按钮；偏航系统进行左偏航/右偏航。

5) 切换至自动模式，“运行/维护”切换至“运行”模式，按一下复位按钮；

按“启动”按钮 2s，进行自动偏航操作。

3.6.10 偏航系统刹车实验

1. 实训目的

了解偏航刹车的原理

2. 知识点：

(1) 偏航系统刹车的原理：偏航制动器采用常闭式结构的液压驱动方式，即静止时偏航制动器将机舱制动锁定，在需要偏航时，偏航制动器打开且保持一定的冗余压力，使机舱在阻尼作用下平稳偏航。

(2) 液压刹车的控制逻辑：不偏航时，偏航减压刹车阀，偏航压力释放阀失电，保持机舱稳定。偏航时，偏航减压刹车阀得电，压力经过偏航减压刹车阀和减压阀，机舱带压偏航。解缆时，偏航减压刹车阀，偏航压力释放阀都得电，

压力由偏航压力释放阀泄至 0，同时偏航减压刹车阀得电，使得解缆偏航过程中偏航制动器内没有压力，减少对偏航刹车片的磨损。

3. 实训内容

偏航系统刹车逻辑

4. 实训注意事项

- (1) 电源的工作电压是 380V，在做实验的过程当中请务必注意人身安全；
- (2) “偏航实验”时请勿靠近机体；

5. 实训操作步骤

- (1) 解缆时刹车系统的压力：“运行/维护”切换开关选择“维护”，使机组持续左偏航，直至到达自己解缆的偏航角度时，切换开关选择“运行”，此时“自动解缆”触发，记录解缆过程中偏航制动器压力。
- (2) 机舱偏航时刹车系统的压力：
 - 1) “运行/维护”切换开关选择“运行”，按下“启动”按钮；
 - 2) 偏航电机的电磁刹车阀得电，电机刹车打开（可以听到刹车打开的声音）
 - 3) 观察液压刹车钳的状态（逐渐打开），液压站电磁阀 DT3,DT4,DT5 皆得电；
 - 4) 偏航电机电磁刹车打开，同时液压刹车打开后，偏航电机运行；
 - 5) 观察 HMI 界面上，“液压系统压力值”，记录下偏航制动器的压力值。
- (3) 机舱停止偏航时刹车系统的压力：
 - 1) “运行/维护”切换开关选择“运行”，按下“停止”按钮；
 - 2) 偏航电机停止运行；

- 3) 偏航电机停止运行 5s 后，电机的电磁刹车阀失电，电机刹车抱闸；
- 4) 偏航电机停止运行 5s 后，观察液压刹车钳的状态（逐渐关闭），液压站电磁阀 DT3,DT4,DT5 皆失电；
- 5) 观察 HMI 界面上，“液压系统压力值”，记录下偏航制动器的压力值。