



# 电机学

刘长红

[liuch@sjtu.edu.cn](mailto:liuch@sjtu.edu.cn)

# 电机

- ❖ 利用电磁感应原理进行机电能量转换的机器。
- ❖ 分类1:
  - ↪ 机械能→电能： 发电机
  - ↪ 电能→机械能： 电动机
  - ↪ 电能→电能： 变压器
- ❖ 分类2:
  - ↪ 静止电机
  - ↪ 旋转电机
  - ↪ 直线电机

# 学习方法及参考书

## 1. 学习方法:

掌握基本原理和基本概念，熟悉电机的内部结构，不断总结思考。

## 2. 参考书:

- ❖ 周顺荣 《电机学》 科学出版社
- ❖ 李发海 《电机学》 科学出版社
- ❖ 孙旭东 《电机学》 清华大学出版社

## 3. 讲义: <ftp://public.sjtu.edu.cn>

**username: liuch**

**pwd: public**

考核方式: 待定

# 大学教材的意义讨论

1. 应采取教师讲学生记的方式。这种方式最能促使学生认真听讲；
2. 学生不能读懂的，否则教师就没有可讲的了，教材是仅供教师备课之用的；
3. 学生能读懂的，但仍应由教师宣读，听教师宣读比学生自己阅读效果好；
4. 写成学生能读懂的，但不应由教师照本宣科，教师应提纲挈领地讲一讲，并着重讲解重点和难点；
5. 教材应是无须再讲的，教师可以在学生自己阅读的基础上以答疑（对话）的方式解决个别学生的问题，并以练习和讨论等手段帮助学生进一步消化教学内容。如有必要讲授，也只应作一些补充新内容性质的讲授。

# 本次课的主要任务

## 认识电机

- ❖ 电机的分类
- ❖ 电机的发展
- ❖ 电机的用途

# 电机分类

- ❖ 变压器
- ❖ 交流电机共同理论
- ❖ 同步电机
  - ↪ 同步发电机
  - ↪ 同步电动机
- ❖ 异步电机
  - ↪ 异步电动机
  - ↪ 异步发电机
- ❖ 直流电机
  - ↪ 直流发电机
  - ↪ 直流电动机



❖ 以下ppt参考了河南理工大学电机学课件，在此表示感谢。

# 0.1 电机学发展简史

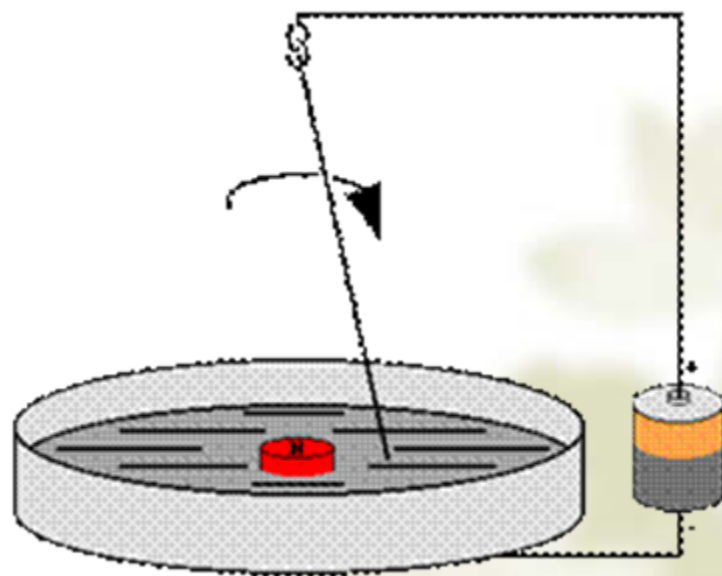
## 一、直流电机的产生与形成

●1820年奥斯特发现了电流磁效应。

●随后安培通过总结电流在磁场中所受机械力的情况建立了安培定律。



●1821年9月，英国物理学家法拉第发现通电的导线能绕永久磁铁旋转以及磁体绕载流导体的运动，第一次实现了电磁运动向机械运动的转换，其原理如下图。



●1822年,法国的阿拉戈.盖.吕萨克发明电磁铁,即用电流通过绕线的方法使其中铁块磁化。

●1826年,德国G.S.欧姆提出电路实验定律--欧姆定律。

●1831年,法拉第利用电磁感应发明了世界上第一台真正意义上的电机--法拉第圆盘发电机。

●1832年，斯特金发明了换向器，据此对亨利的振荡电动机进行改进，并制成世界上第一台能产生连续运动的旋转电动机，其原理如右图4。后来他还制作了一个并励直流电动机。

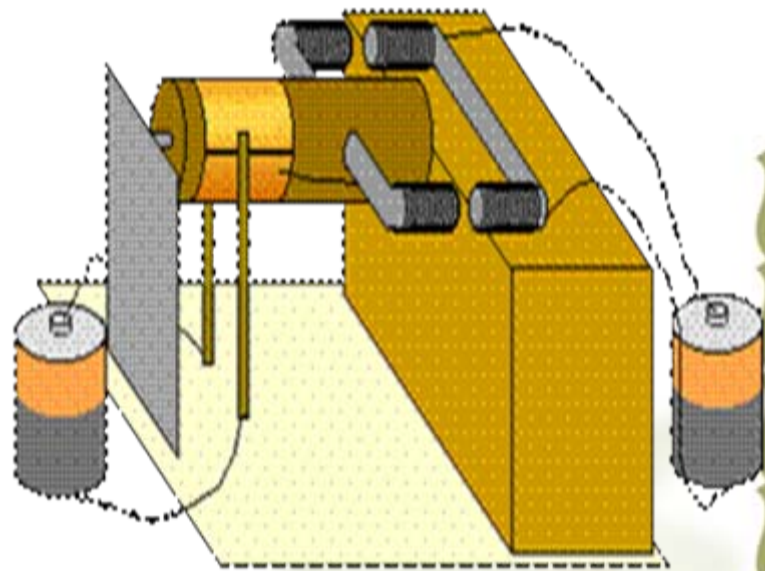


图 4 斯特金的旋转电动机原理示意图

●1832年，法国A.H.皮克西在巴黎公开了一台永久磁铁型旋转式交流发电机，如图5。一年后，他在发电机上安装整流子，将交流电变为直流电。

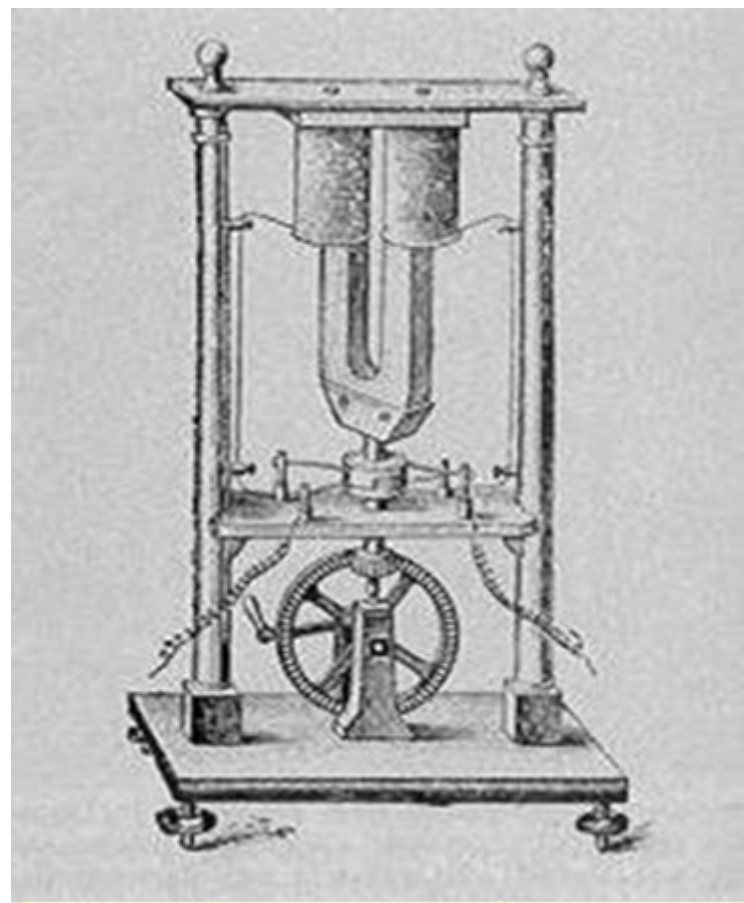


图5 皮克西发明的永久磁铁型旋转式交流发电机

●1832年，俄籍德国人H.F.E.楞次提出“电动机-发电机”原理--楞次定律

●证明发电机和电动机是可逆的

●但1870年以前，直流发电机与电动机一直独立发展着



楞次, Э. X.

●1866年,西门子的创始人维尔纳.冯.西门子制成直流自激、并激式直流发电机。1867年在巴黎世界博览会上展出第一批样机。西门子首次完成把机械能转换为电能的发明,从而开始了19世纪晚期“强电”技术时代。

●与此同时,西门子接着制造更好的发电机,并着手研究由电动机驱动的车辆,于是西门子公司制成了世界电车。

●1879年,在柏林工业展览会上,西门子公司不冒烟的电车赢得观众的一片喝彩。西门子电机车当时只有3马力。

●后来美国发明大王爱迪生试验的电机车已达12-15马力。但当时的电动机全是直流电机,只限于驱动电车。

●1873年,英国的詹·麦克斯韦完成了经典电磁理论基础《电和磁》,提出了著名的麦克斯韦方程。

●1875年,比利时Z.T.格拉姆将改造后的发电机安装在法国巴黎北火车站发电厂,是世界第一座火电厂。

●1880年,爱迪生观察到用叠片铁芯可以减少温升和能耗。

●1880年,霍普金森确立了磁路的欧姆定律。



●1882年，德国将米斯巴哈水电站发出的2千瓦直流电通过57千米 1500 ~ 2000伏电线输送到慕尼黑，证明直流远距离输电的可能性。

●这一方面成为直流电机发展中的大事，促进它们的广泛利用，另一方面暴露出直流电在传输中的缺点：电压越高，电能的传输损失越小，但高压直流发电机困难较大，而且单机容量越大，换向也越困难，换向器上的火花使电机工作不稳定。

●由于那时直流换流技术还未出现，人们把目光投向交流电机。

## 二、交流电机的产生与形成

●1888年,美国发明家特斯拉发明了交流电动机。它是根据电磁感应原理制成,又称感应电动机,其结构简单,使用交流电,无需整流。无火花,因此被广泛应用于工业和家庭电器中。

●1882-1885年,匈牙利工程师代里等3人首创变压器。

●1885年,费拉里斯提出两相交流感应电动机的模型。

●1886年,美国的特斯拉(N.Tesla,1856~1943)也制成两相绕线式交流异步电动机模型,1888年他又在意大利科学院提出《利用交流电产生旋转磁场》的论文。他在爱迪生公司工作,但由于爱迪生坚持只搞直流方式,因此他就把两相交流发电机和电动机的专利权卖给了西屋公司。

● 1889年,多利沃-多布罗沃利斯基提出了三相制并制成鼠笼式交流异步电动机。

● 1890年,德国人米夏埃尔·冯·多里沃-多勃鲁沃尔斯基制成一架三相电流变压器。

●1891年,慕尼黑工程师奥斯卡·冯·米勒在法兰克福世界电气博览会上宣布:他与多里沃合作架设的从劳芬到法兰克福的三相交流输电电路,可把300\*735.5W 55伏三相交流发电机的电流经三相变压器提高到万伏,顺利通电输运175千米,从此三相交流电机很快代替了工业上的直流电机。

●三相制优点十分明显:材料可靠,结构简单,性能好,效率高,用铜省,在电力驱动方面又有重大效益。从此,各种各样的电机迅速发展起来。

- 1902年瑞典工程师丹尼尔森首先提出同步电动机构想。
- 近代交流电机、直流电机迅速发展，种类繁多。

## 0.2 电机在国民经济中的作用

### 一、电机的作用

- 电能是现代最主要的能源，电机是与电能的生产、传输和使用紧密相关的能量转换机械。

## 二、电机的用途

电机的用途很多，可用于动力、发电、检测等。

☆ 能源系统的关键设备

☆ 各领域中有特殊要求的动力装置

☆ 伺服驱动装置

☆ 传感检测装置



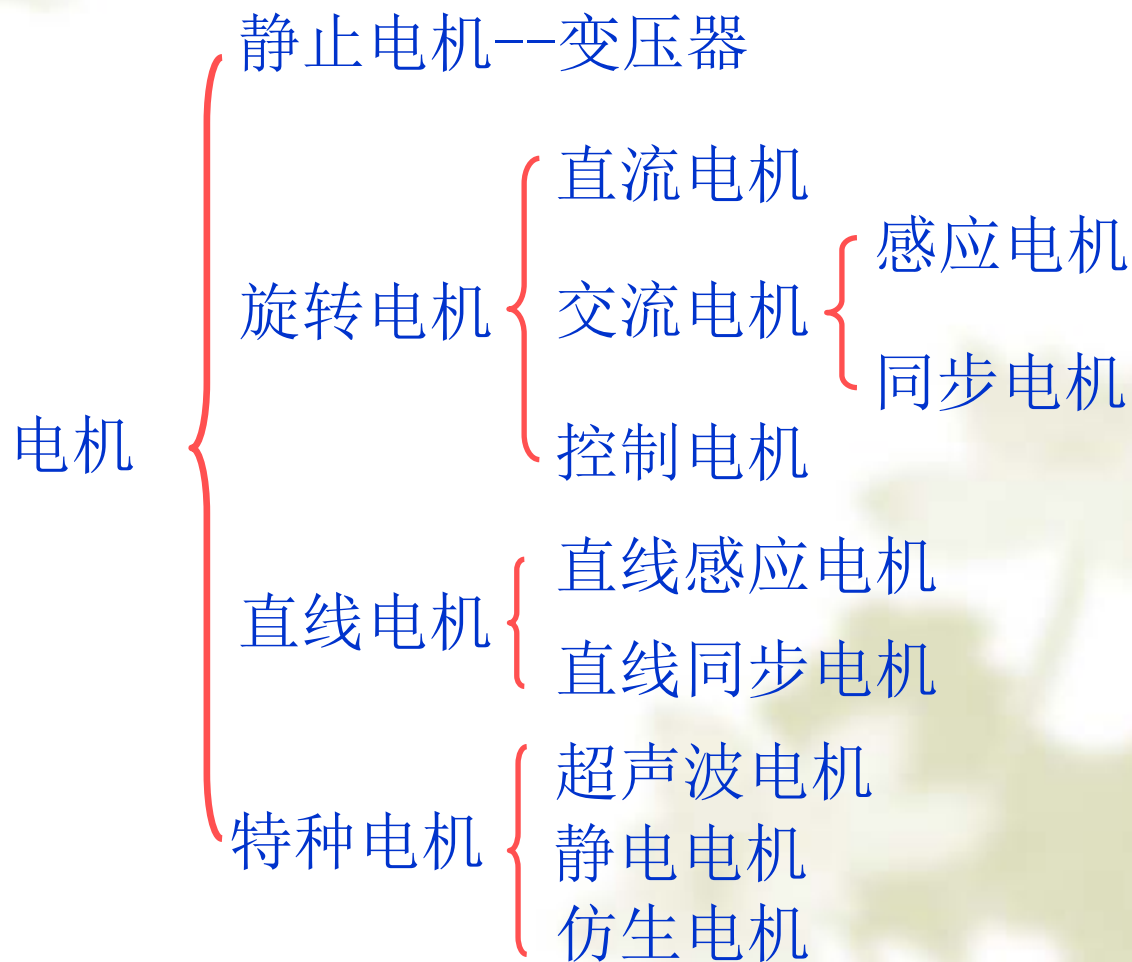
### 三、电机的分类

若按功能进行分类，可分为：发电机，电动机，变压器，控制电机。

- (1) 发电机：将机械能转化为电能；
- (2) 电动机：将电能转化为机械能；
- (3) 变压器：将电能变换为不同电压等级的电能；
- (4) 控制电机：作为控制系统中的元件。如测速发电机、自整角机等。

# 三、电机的分类

按结构及励磁分类：



## 四、电机发展趋势

### ☆ 超大型电机

- 单台电动机功率1600千瓦； 向家坝水电站单台发电机80万千瓦

### ☆ 超微型电机

- 直径比头发还细，仅有70微米，主要用于医疗

### ☆ 超高速电机

- 超高速离心机一般都采用先进的无刷电机，转速高达3万转每分钟

### ☆ 特低速电机

- 中科院国家天文台研制的大型天文望远镜驱动电机75天才转一周

## 五、当前研究热点

☆ 精确模型研究

☆ 新能源技术（核电，太阳能发电、风力发电，波浪发电，高速“电、热、冷”三联供机组）

☆ 机电一体化（电机、电力电子与微电子结合）

☆ 特殊新用途（电磁发射，纳米电机）

☆ 永磁无刷电动机

☆ 电机系统节能技术

## ● 新能源技术----核能发电



- ◆ 浙江嘉兴的秦山核电站
- ◆ 广东深圳的大亚湾核电站
- ◆ 江苏连云港的田湾核电站
- ◆ 广东大亚湾的岭澳核电站

在建和规划中的：

- ◆ 广东阳江核电站，
- ◆ 浙江南部的三门核电站
- ◆ 辽宁红沿河核电站



# ● 新能源技术----太阳能发电



# ● 新能源技术----风力发电

江苏如东风力发电场

湖北九宫山风电场



## ● 新能源技术----波浪发电



波浪能电站外景



波浪能电站内景



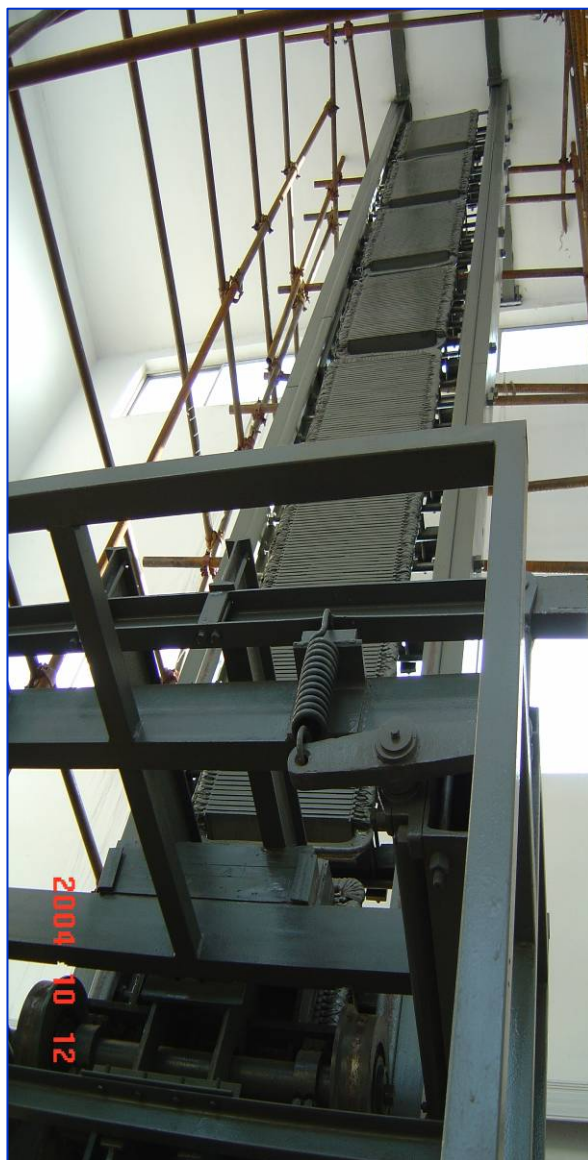
## ● 特种电机技术



上海磁悬浮（直线电机驱动）



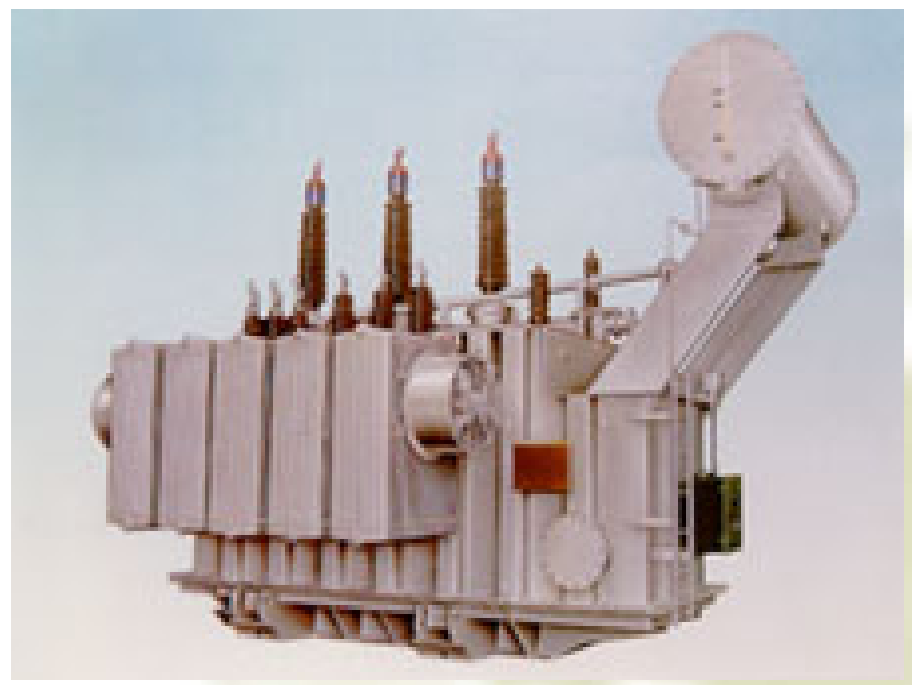
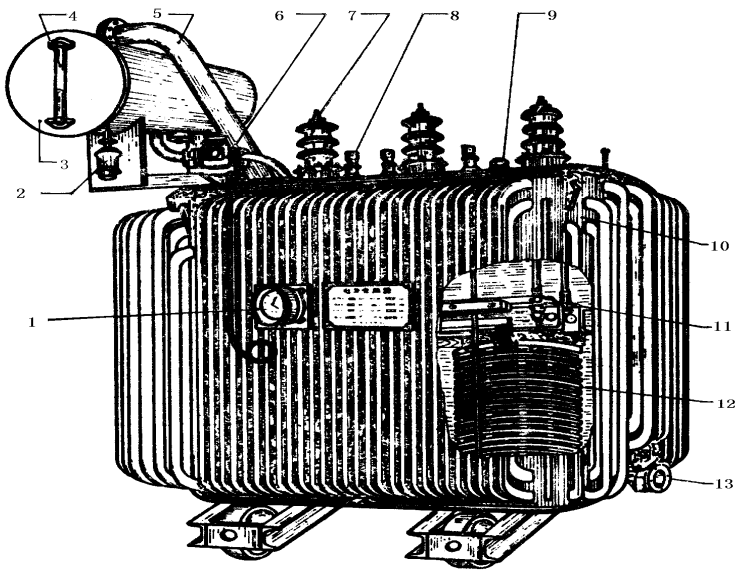
直线同步电机



直线同步电机  
驱动  
的  
无  
绳  
提  
升  
系  
统

## 0.3 电机的大致结构

# 变压器



## 变压器

●输配电环节。为把发电厂的电力输送到四面八方用户，需将发电机输出的 20 kV 左右的电压升高。在我国，一般升高到220kV或500kV。为了输送一定大小的功率，采用高电压，甚至特高压。

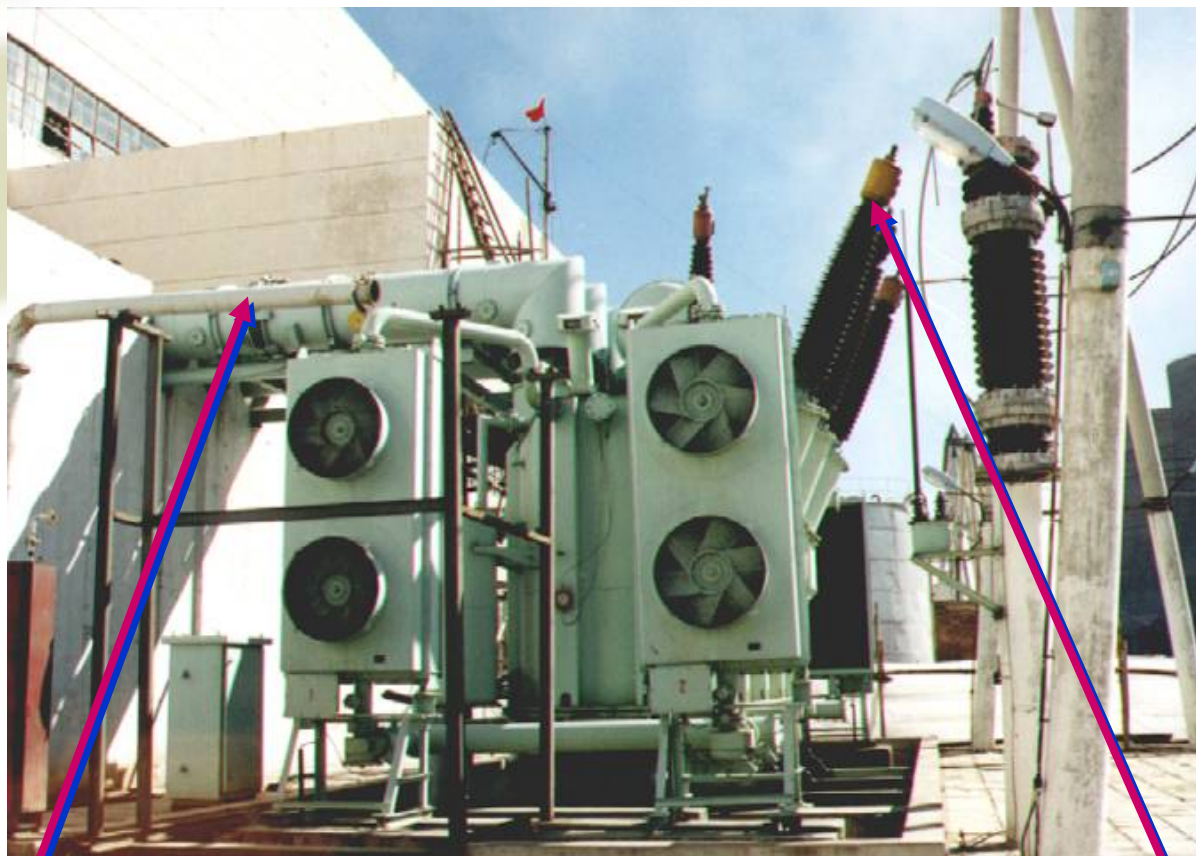
20kV/500kV (220kV)

500kV (220kV) /110kV

110kV/35kV

35kV/10kV

10kV/380V



连接发电机与电网的升压变压器

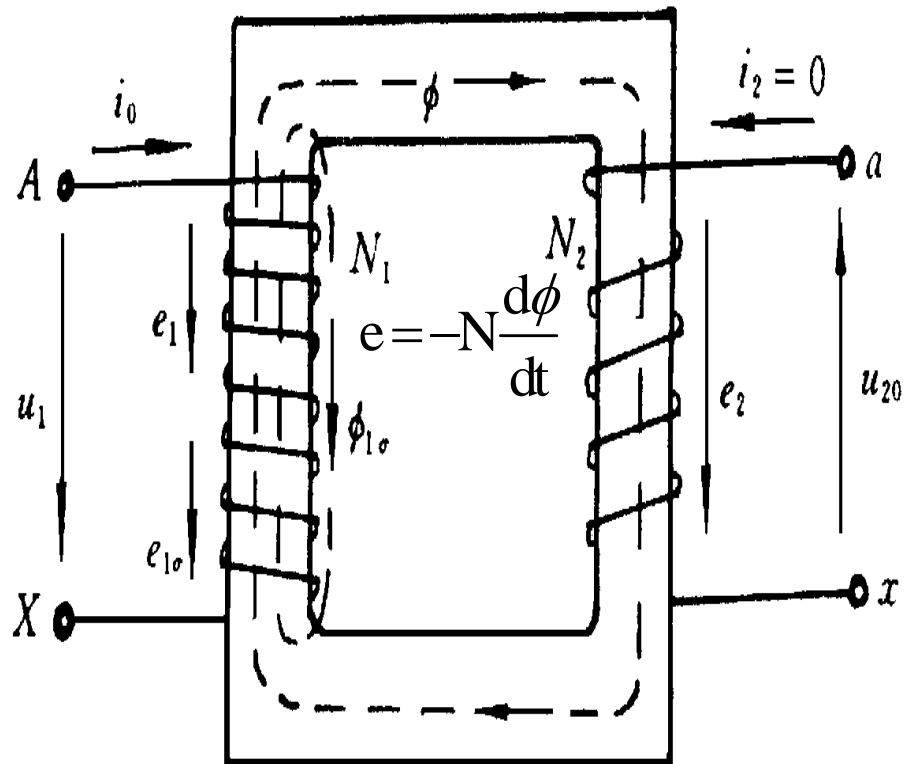
连接发电机的封闭母线

与电网相连的高压出线端



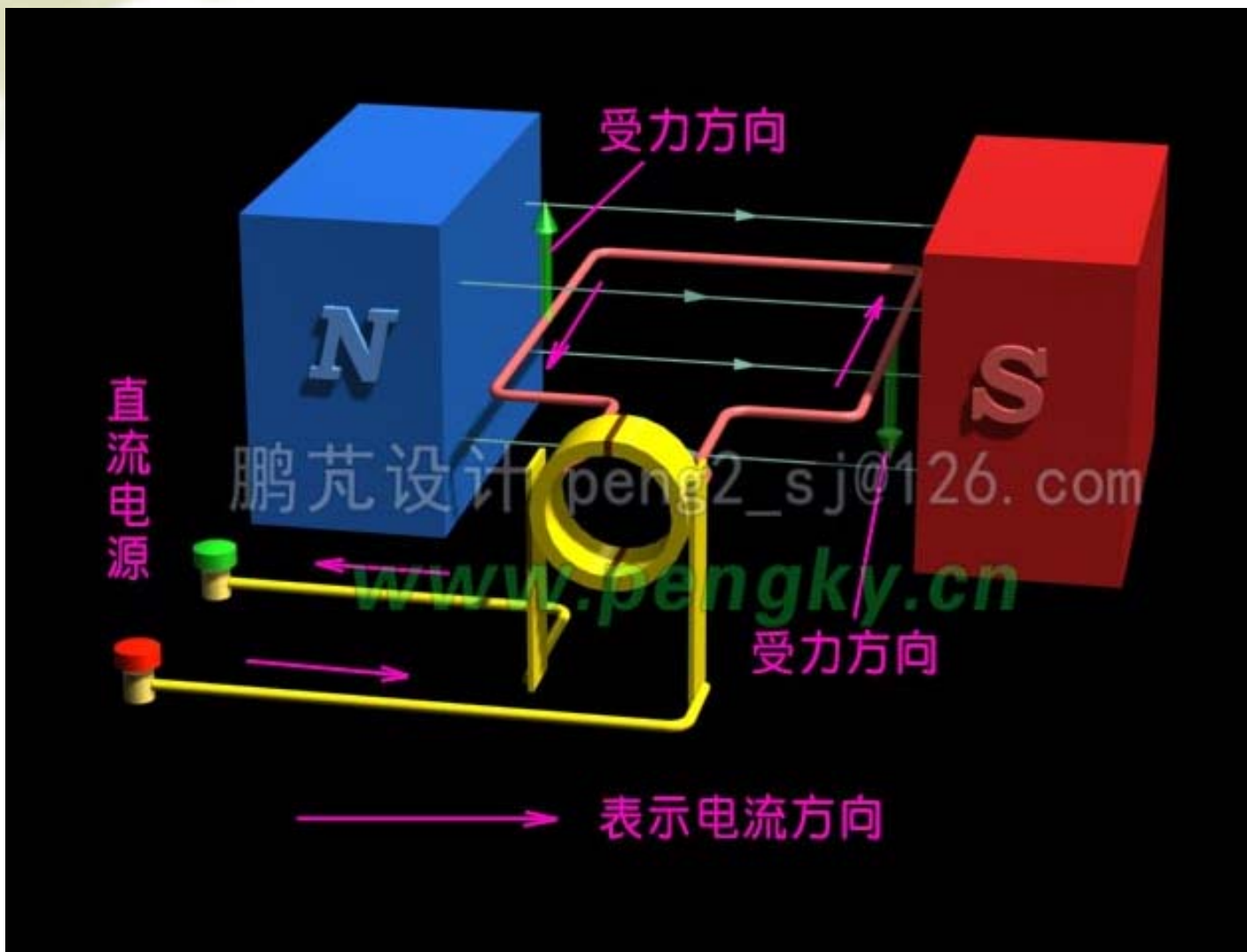
电力变压器

# 单相双绕组变压器的工作原理图





# 直流电动机原理

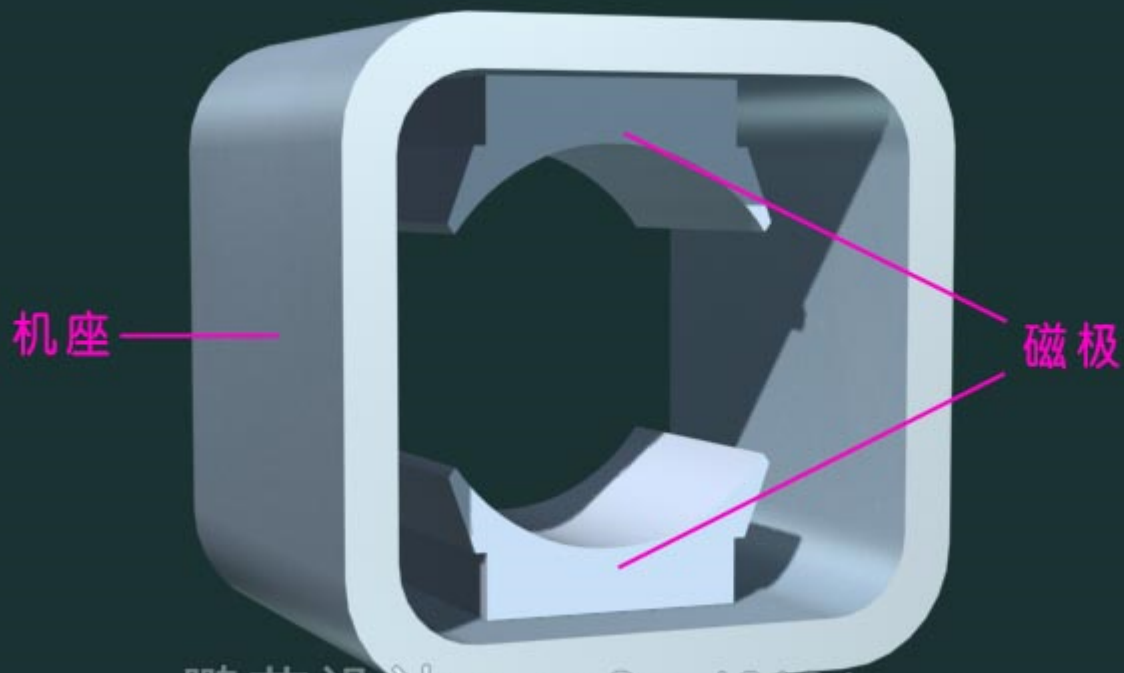


# 直流电机结构

<http://www.pengky.cn/dianjixilie022/3-kjdh-zhiliujijiegou/kjdh-zhiliujijiegou.html>

动画观看直流电动机剖面模型的运转

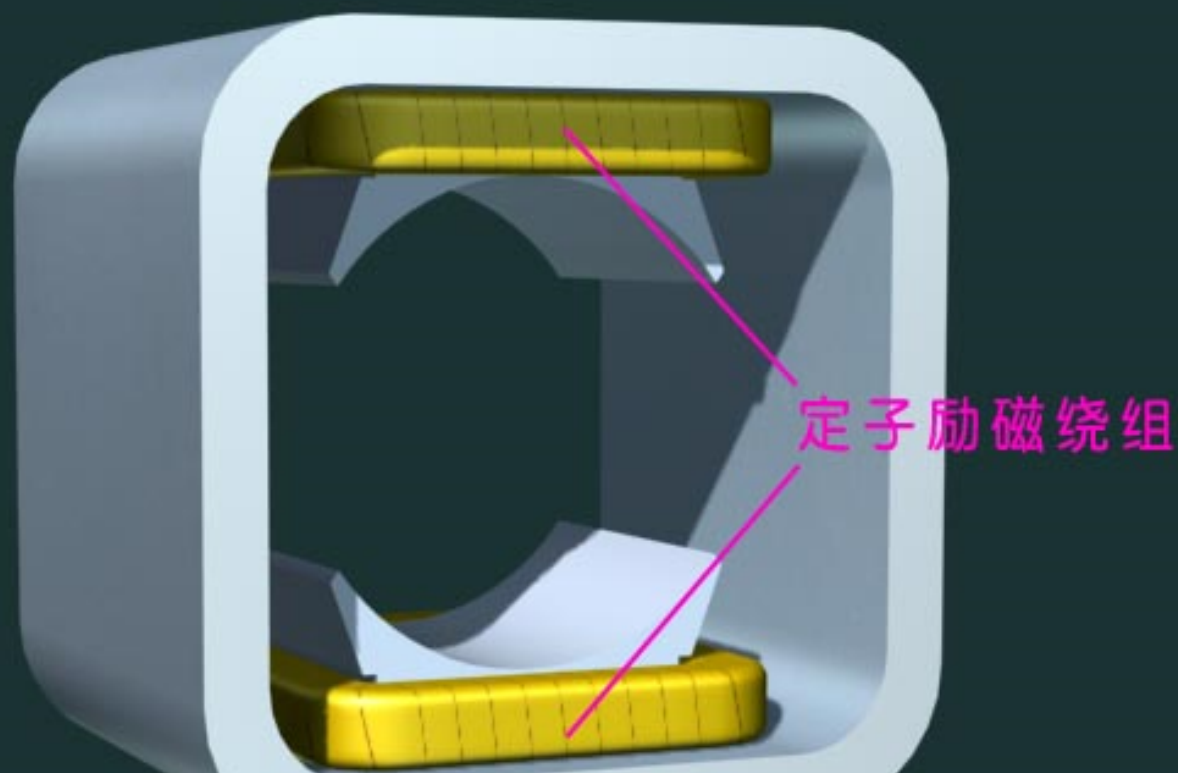
该直流电动机模型定子有一对主磁极，安装在机座上，机座也叫磁轭，是主磁极磁力线的通路。磁极与磁轭都是用导磁良好的钢铁制成。



鹏芑设计 peng2\_sj@126.com

[www.pengky.cn](http://www.pengky.cn)

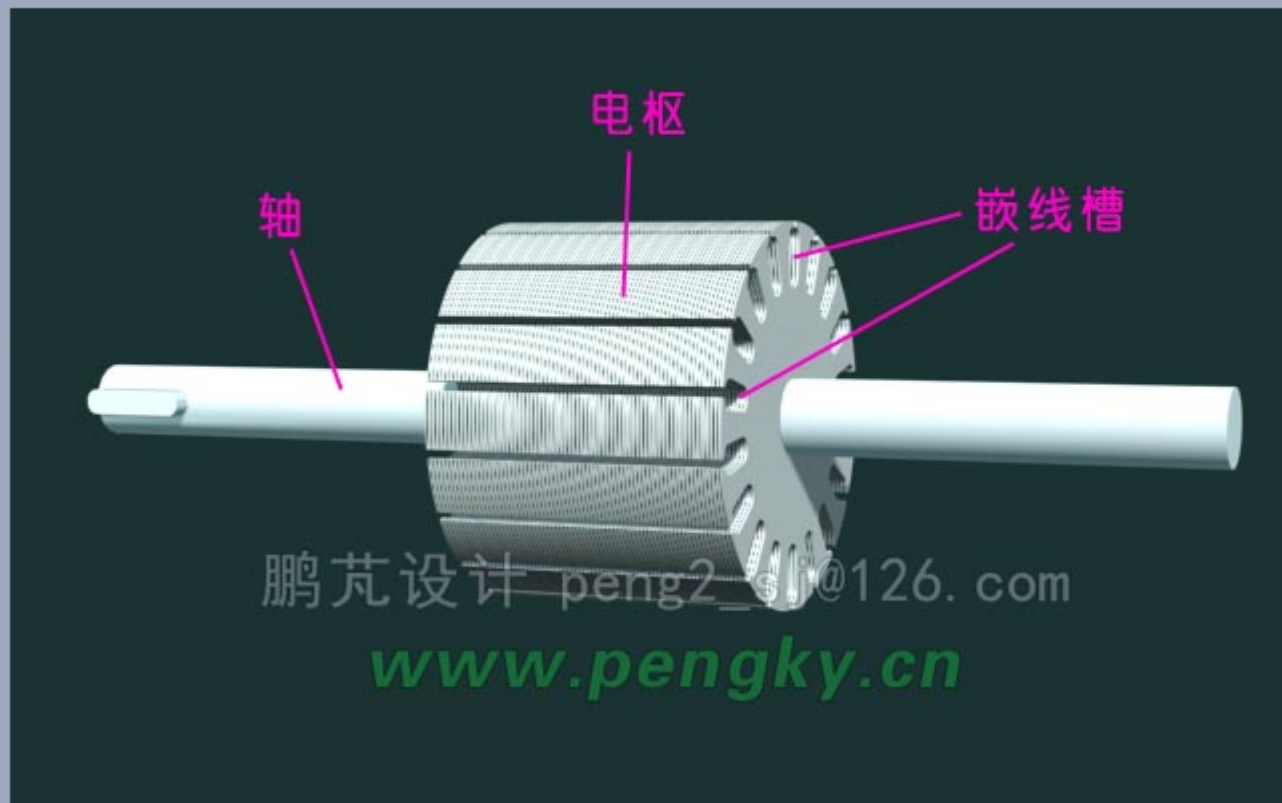
在主磁极上有励磁绕组，绕组通电后就会在两个主磁极间产生主磁场。



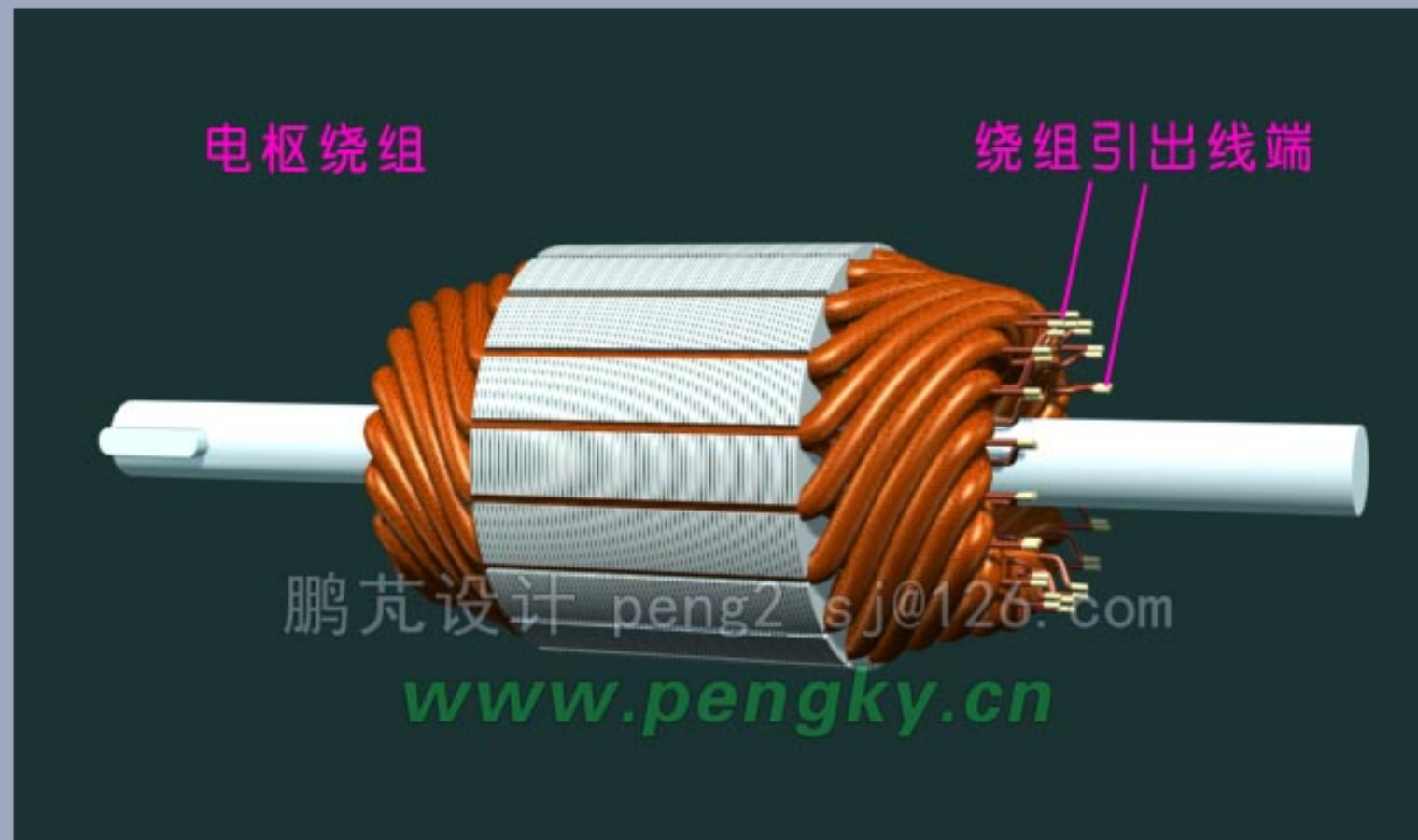
鹏芘设计 peng2\_sj@126.com

[www.pengky.cn](http://www.pengky.cn)

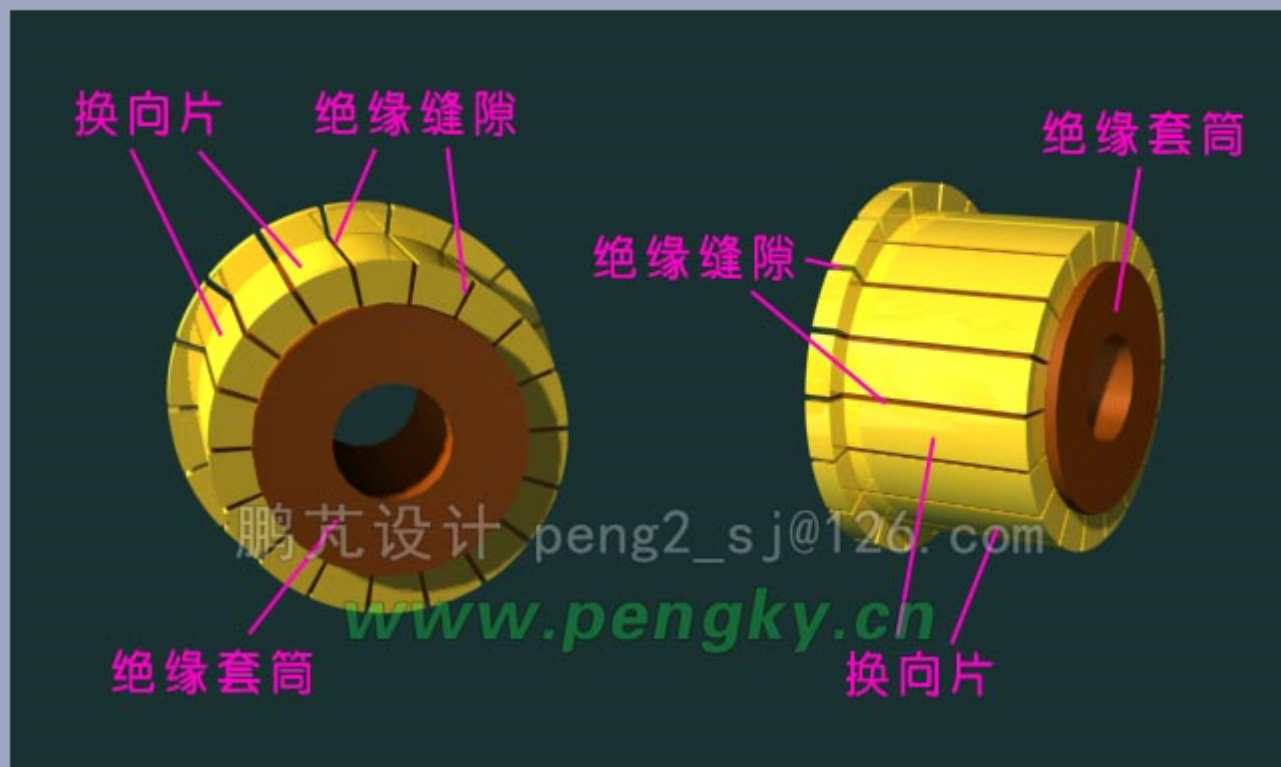
直流电机转子也称为电枢，电枢铁芯由导磁良好的硅钢片叠成，铁芯圆周均匀分布18个槽，用来嵌放电枢绕组。电枢铁芯直径比主磁极间距离略小点。



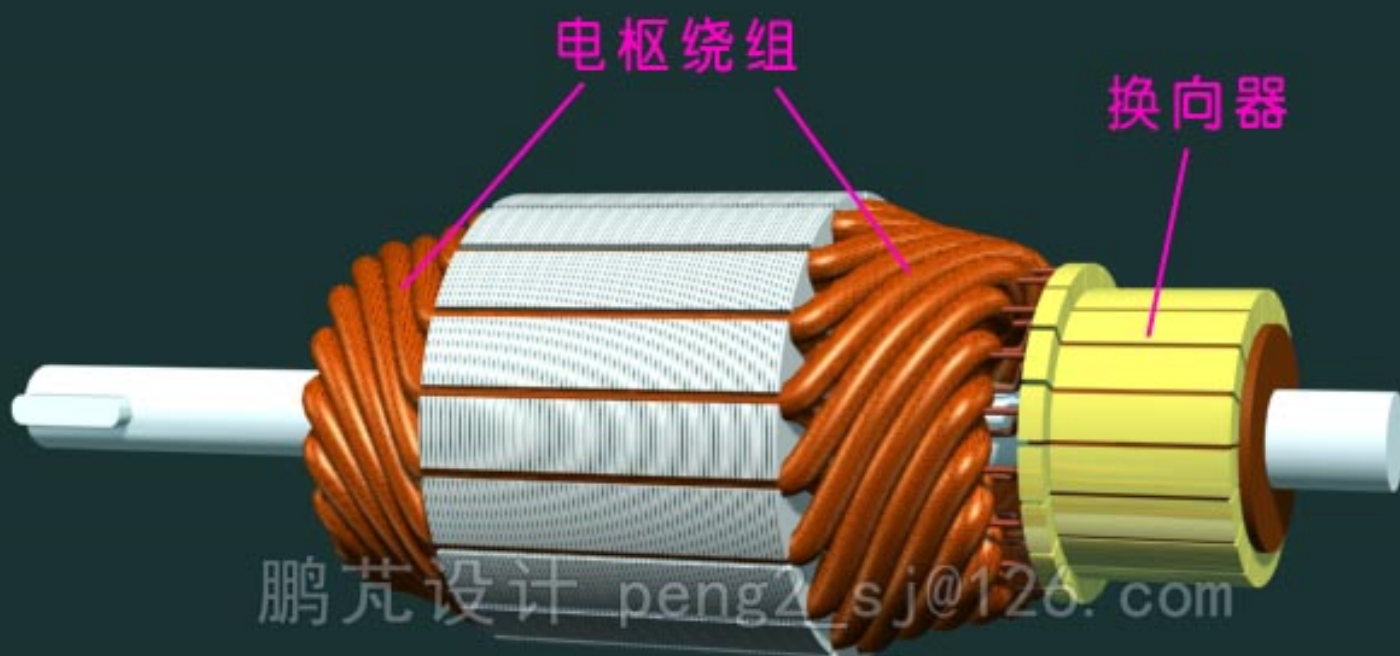
把绕制好的电枢绕组嵌入电枢槽内，每个绕组都有一对引出线。



换向器有18个铜制换向片，排成圆筒形，固定在一个绝缘套筒上，换向片间留有缝隙，相互绝缘。图上用两个角度展示换向器的外观。



把换向器安装在电枢转轴上，把电枢绕组的引出线按规律焊接在换向片上。



[www.pengky.cn](http://www.pengky.cn)

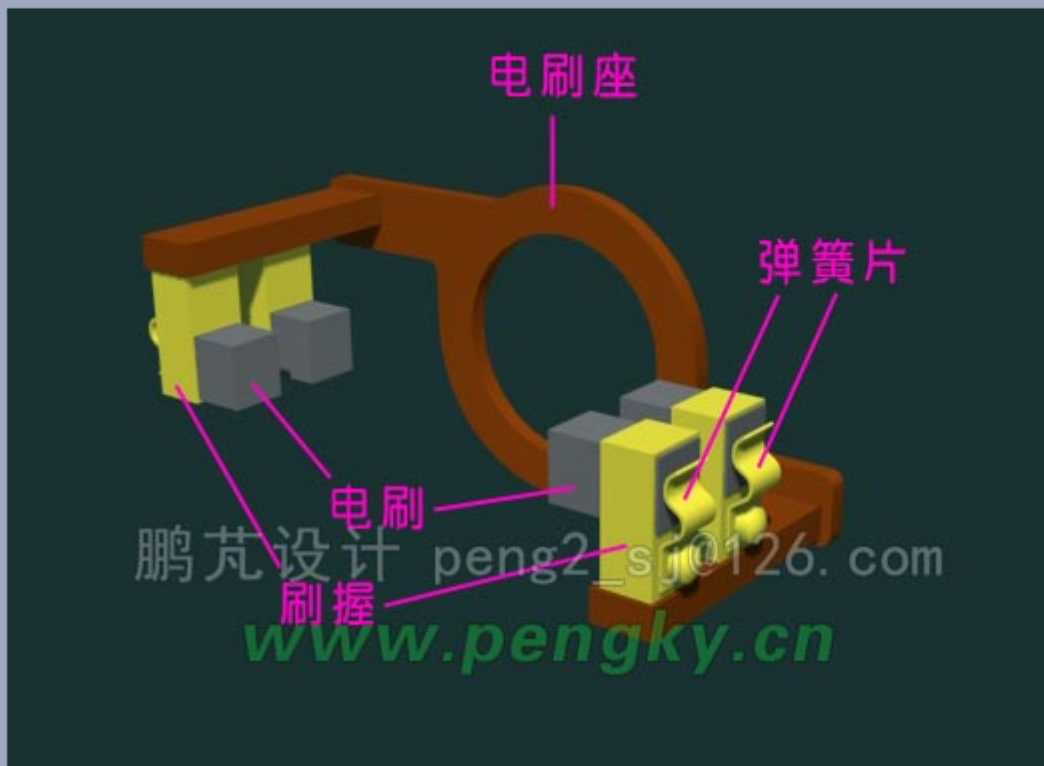


为散去电机发出的热量，还要在电枢转轴上安装风扇。



电枢绕组通过电刷供电，电刷的主要成份是石墨，导电良好又润滑。电刷固定在刷握内，由弹簧片压向换向器。

本模型有两个主磁极，故有两个电刷组，每个电刷组由两个电刷构成。电刷组固定在电刷座上，构成电刷装置。



把电枢插入定子主磁极间

定子

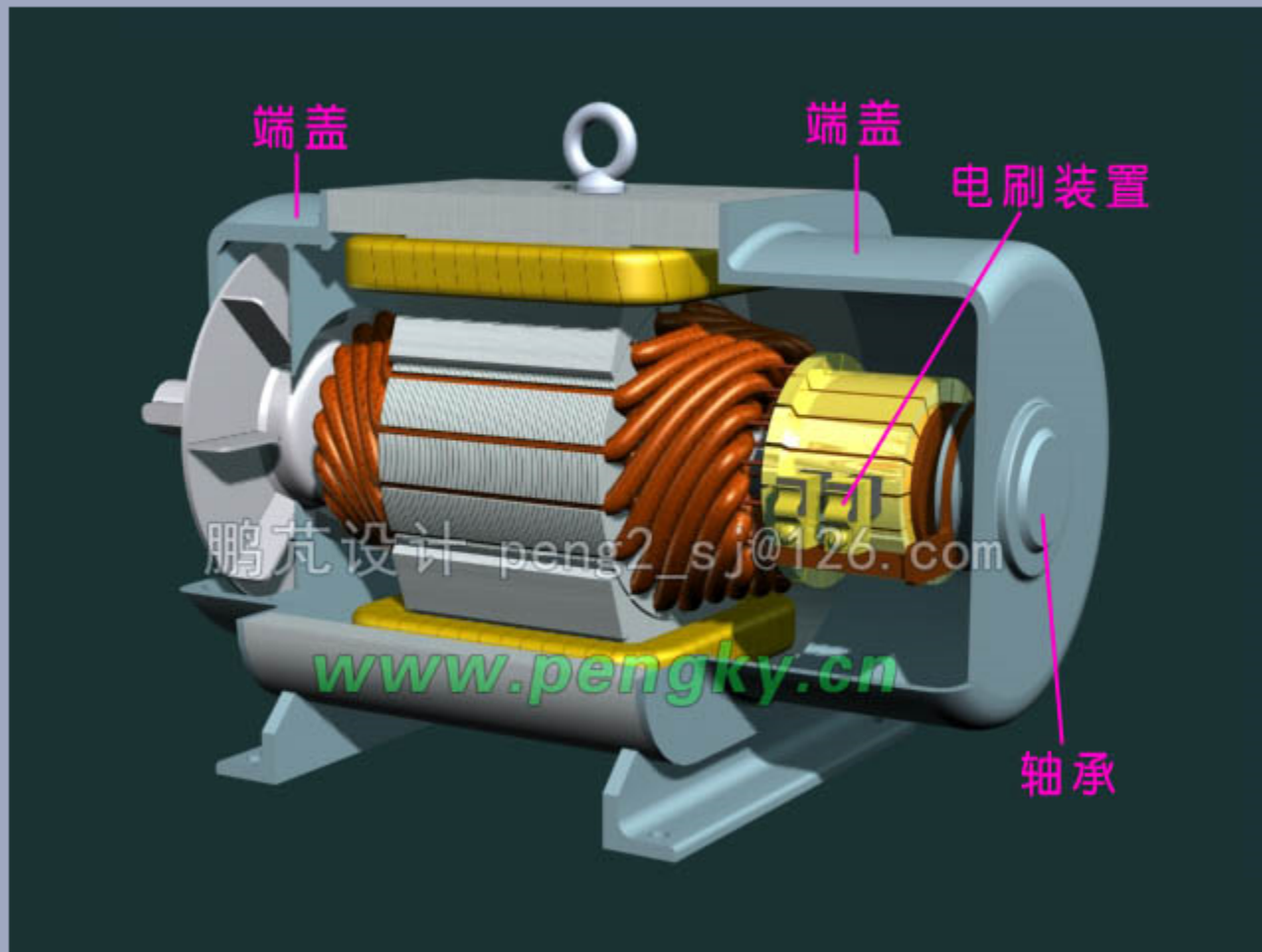
电枢

鹏芘设计 peng2\_sj@126.com

www.pengky.cn



在电机两侧装上端盖（剖面），端盖上有轴承，支持电枢的旋转。电刷装置也固定在端盖上。



在电机端盖上有散热通风孔，在机座上有出线盒。



# 感应电机



定子铁芯

三相绕组



鹏芑设计 peng2\_s@126.com



[www.pengky.cn](http://www.pengky.cn)



鹏苑设计 peng2\_sj@126.com



www.pengky.cn



## 转子铁芯



鹏梵设计 peng2\_sj@126.com

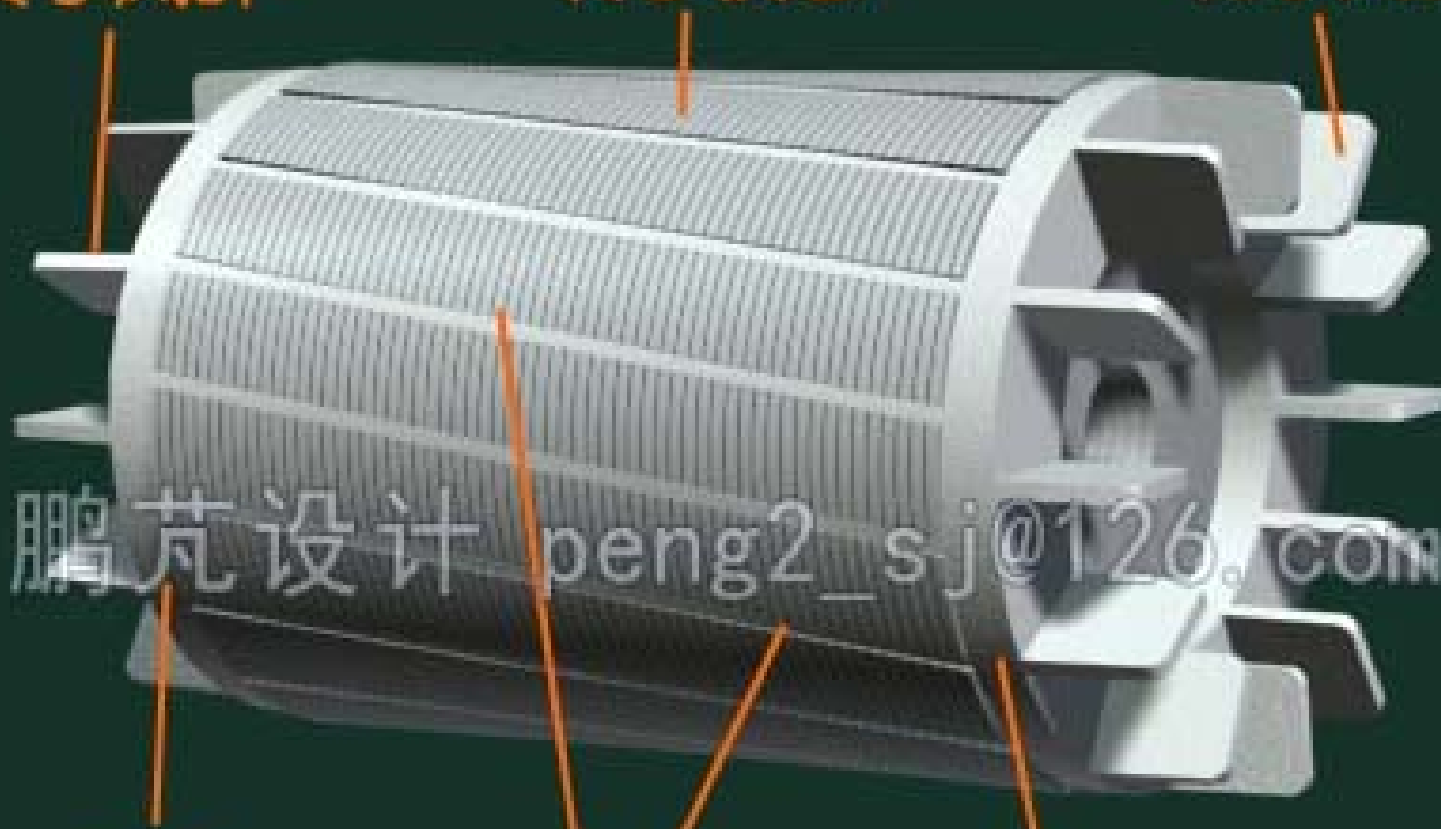


[www.pengky.cn](http://www.pengky.cn)

转子风叶

转子铁芯

转子风叶



鹏苑设计 peng2\_sj@126.com

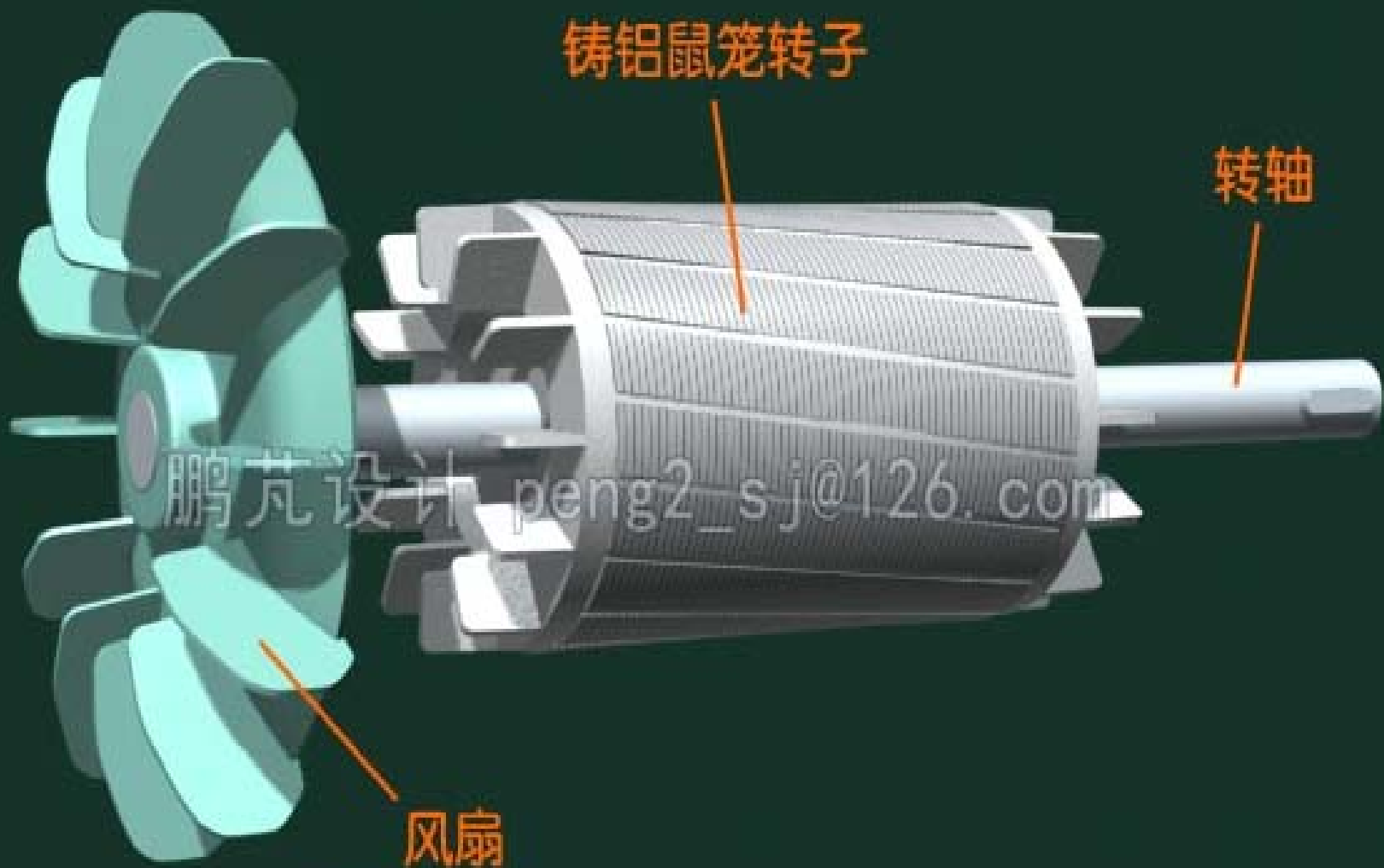
端环

铝条

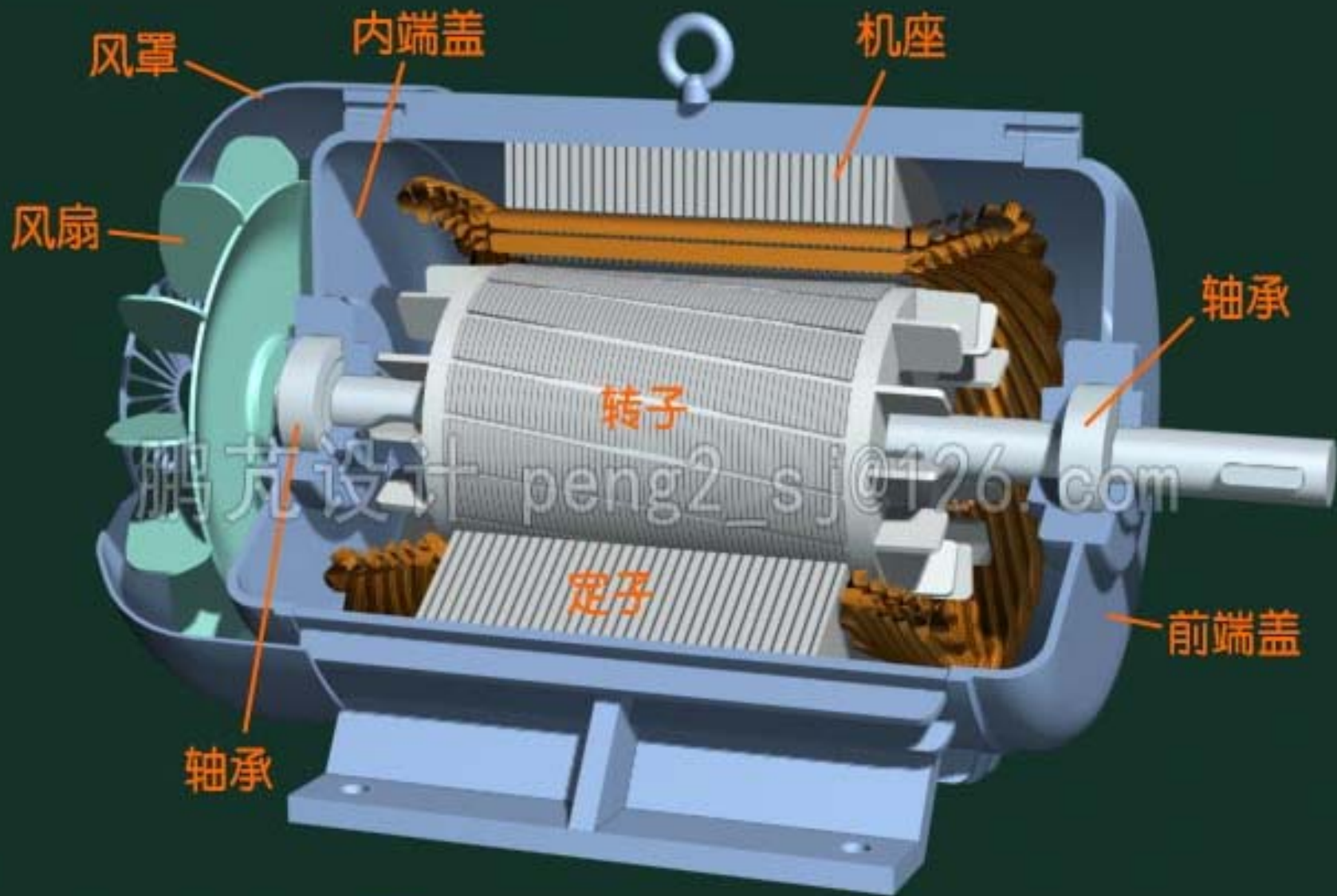
端环



[www.pengky.cn](http://www.pengky.cn)



[www.pengky.cn](http://www.pengky.cn)



[www.pengky.cn](http://www.pengky.cn)

# 同步发电机：凸极水轮发电机

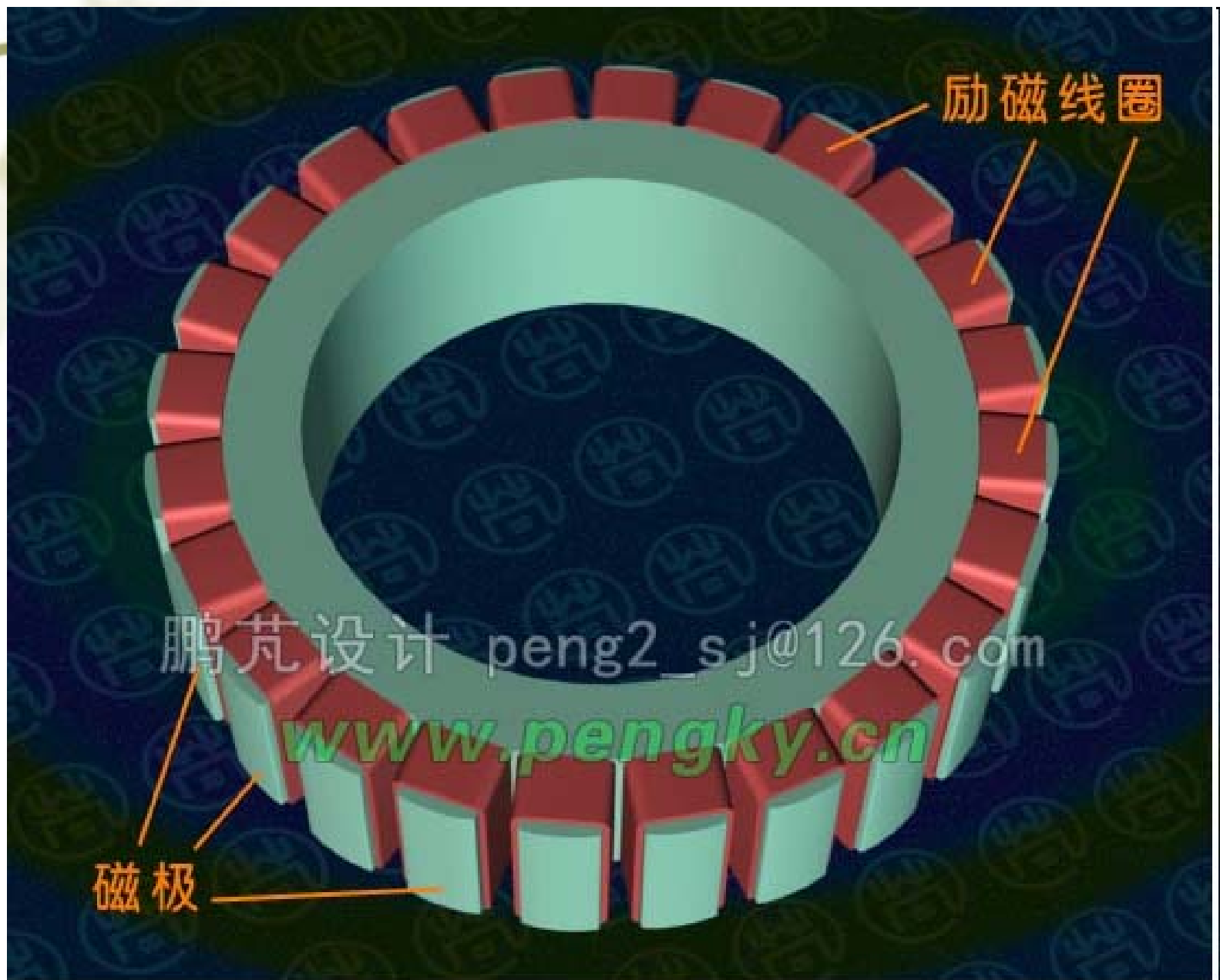


图1 水轮发电机转子铁芯与励磁线圈

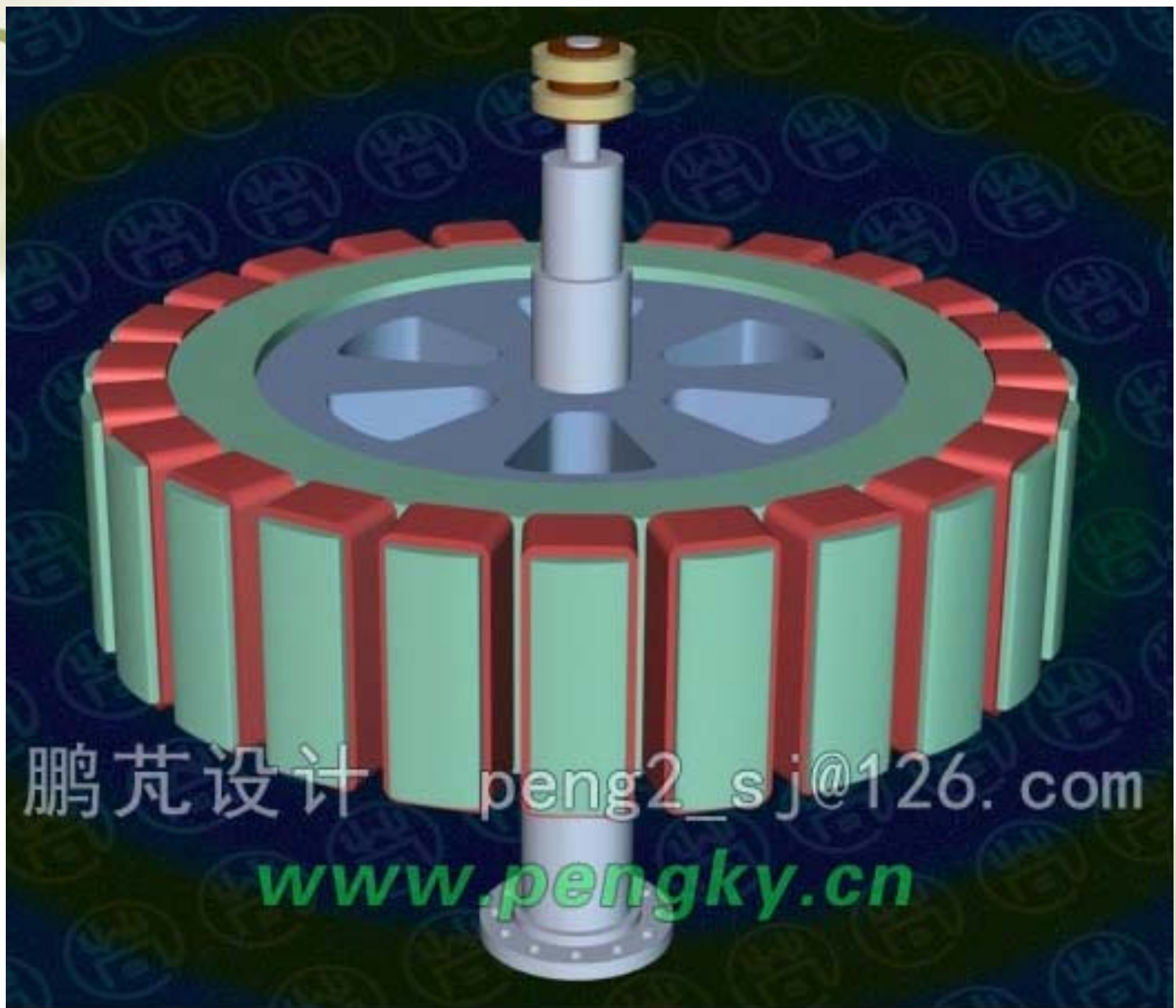


图2 水轮机转子

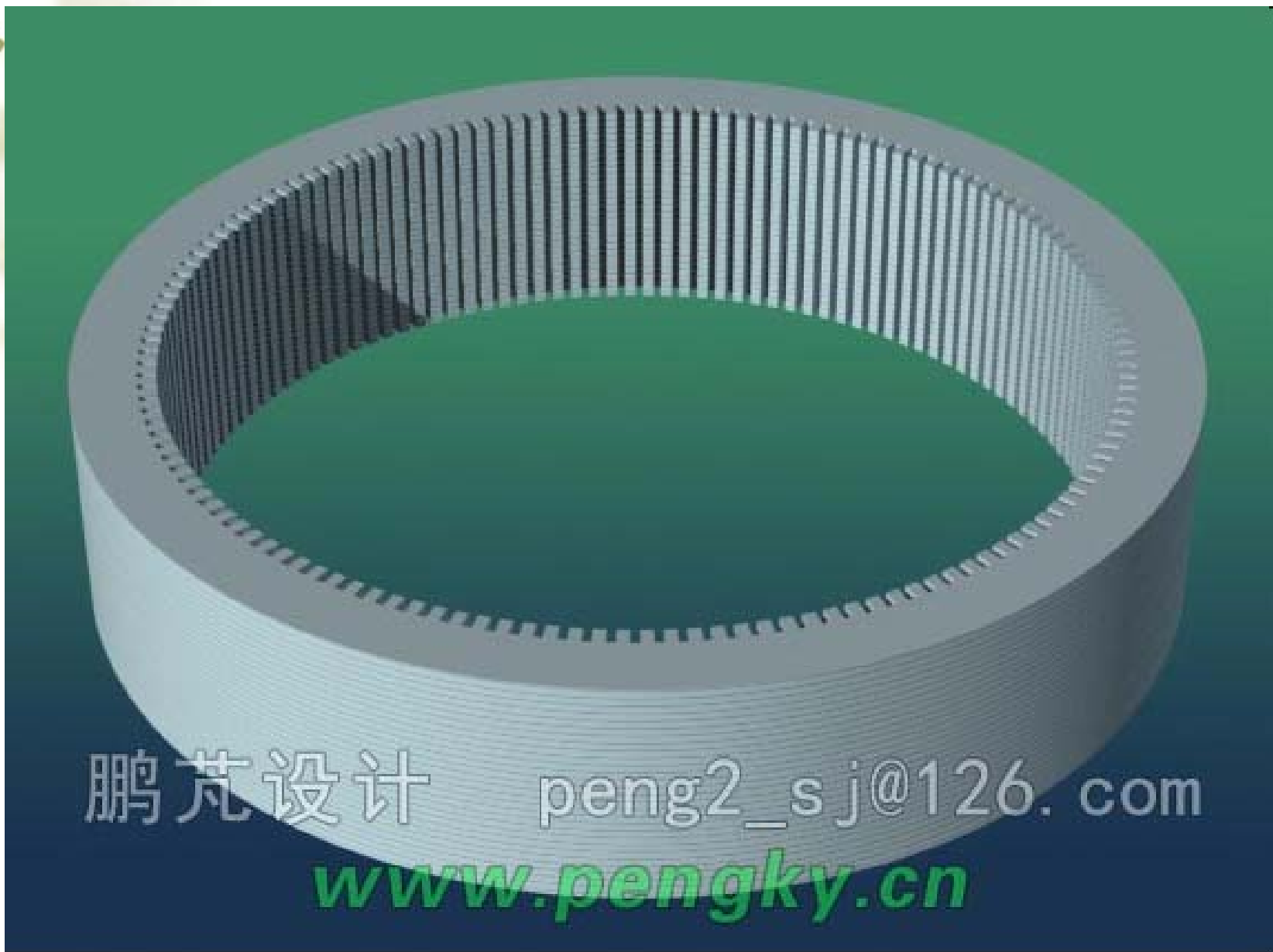


图3 定子铁芯



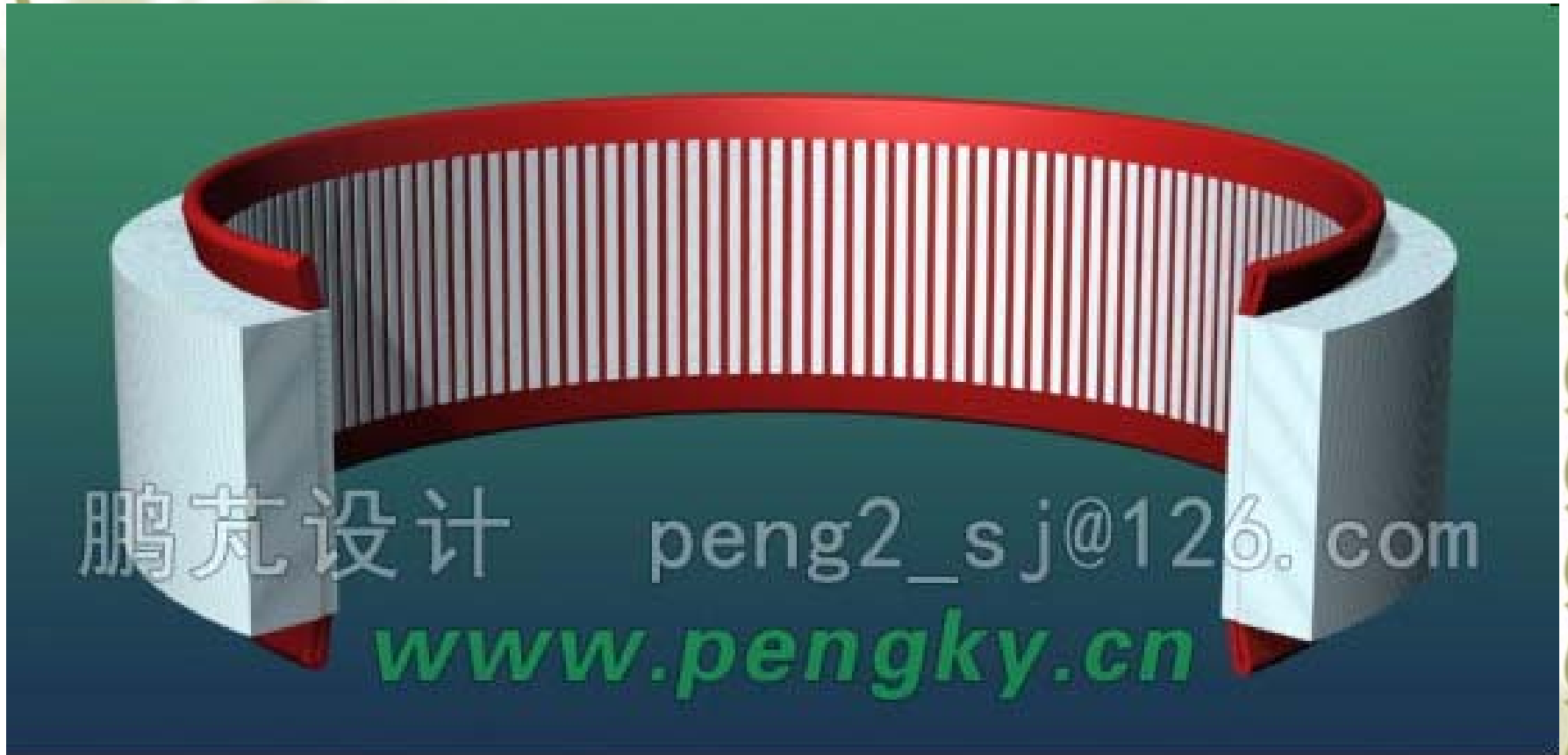


图4 定子铁芯与线圈

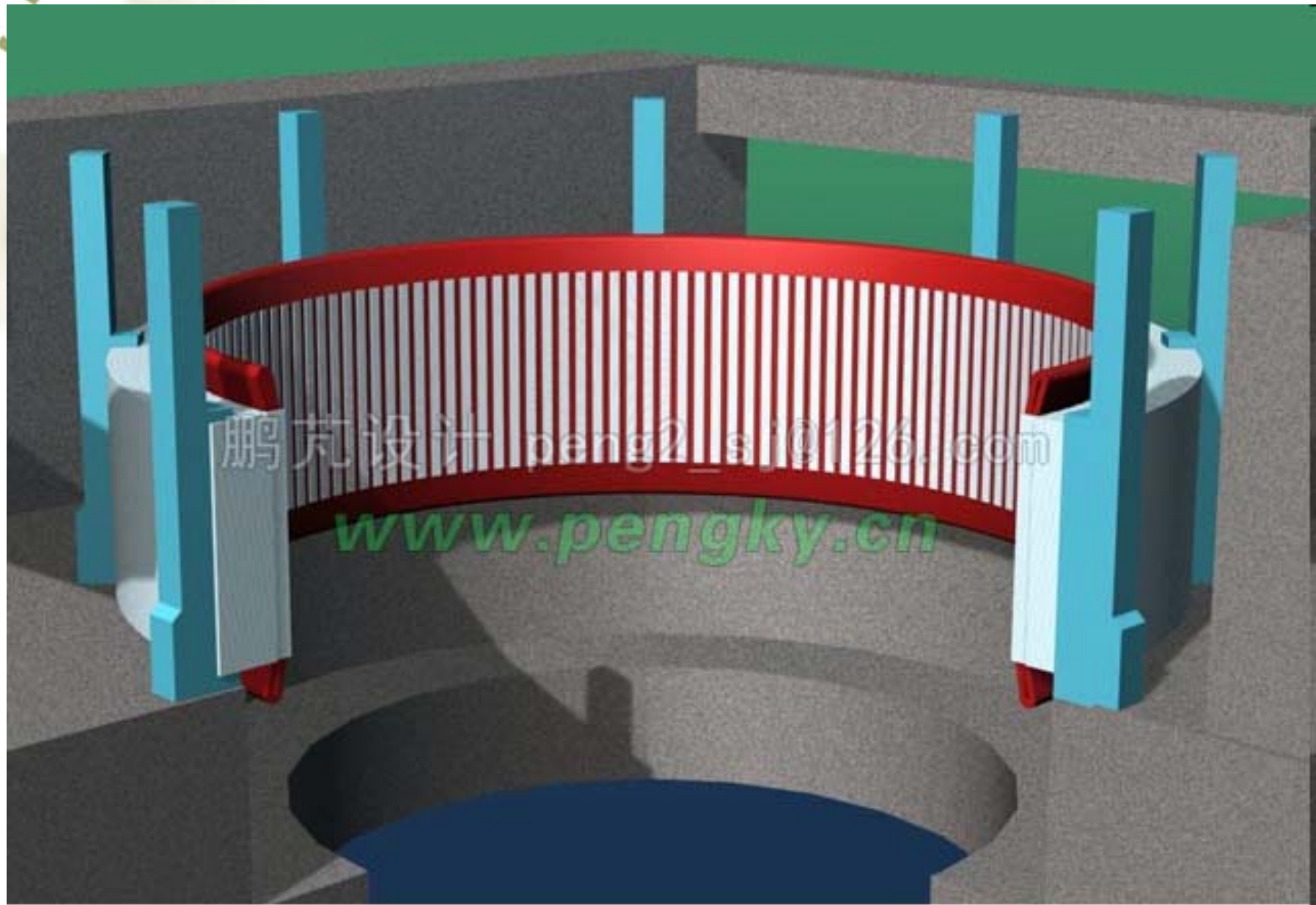


图5 安装在水泥基础上的定子

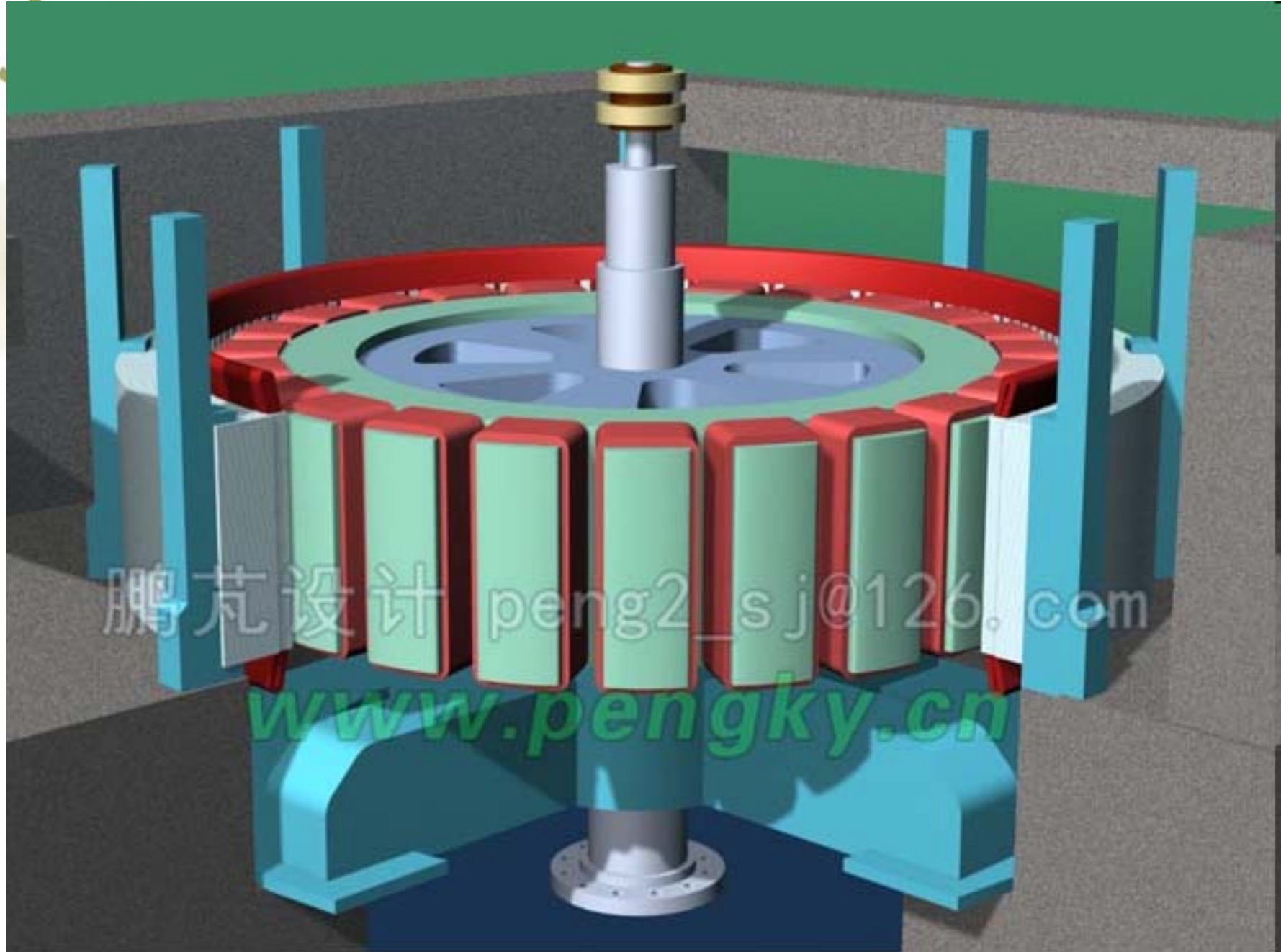


图6 定子与转子就位







云河水電  
YUNHE HYDRO











alibaba.com.cn

# 同步发电机： 隐极发电机

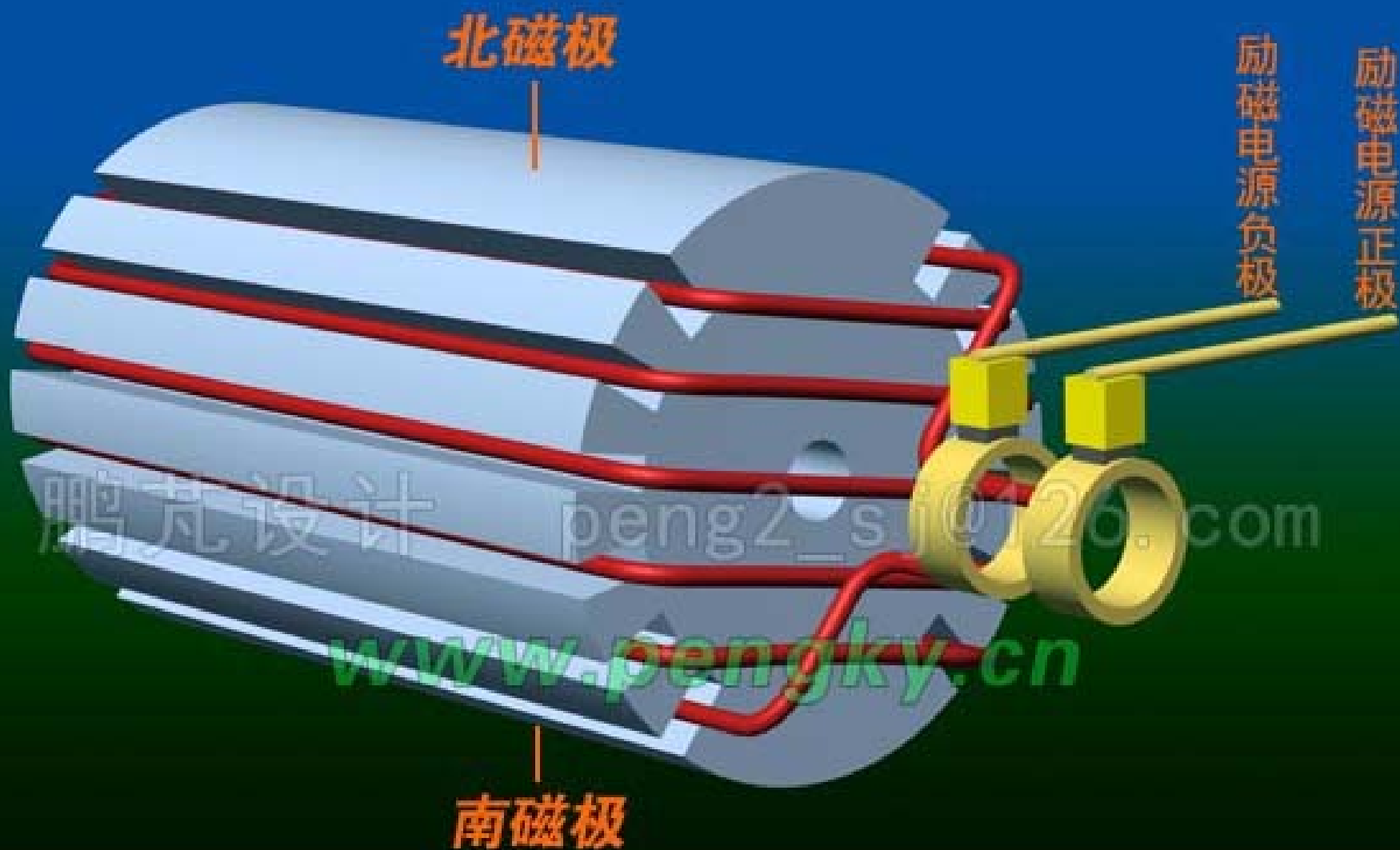


图1 转子结构示意图



图2 安装了线圈与风扇的转子



13 feet center core length

2.5 feet wide



zhulong.com

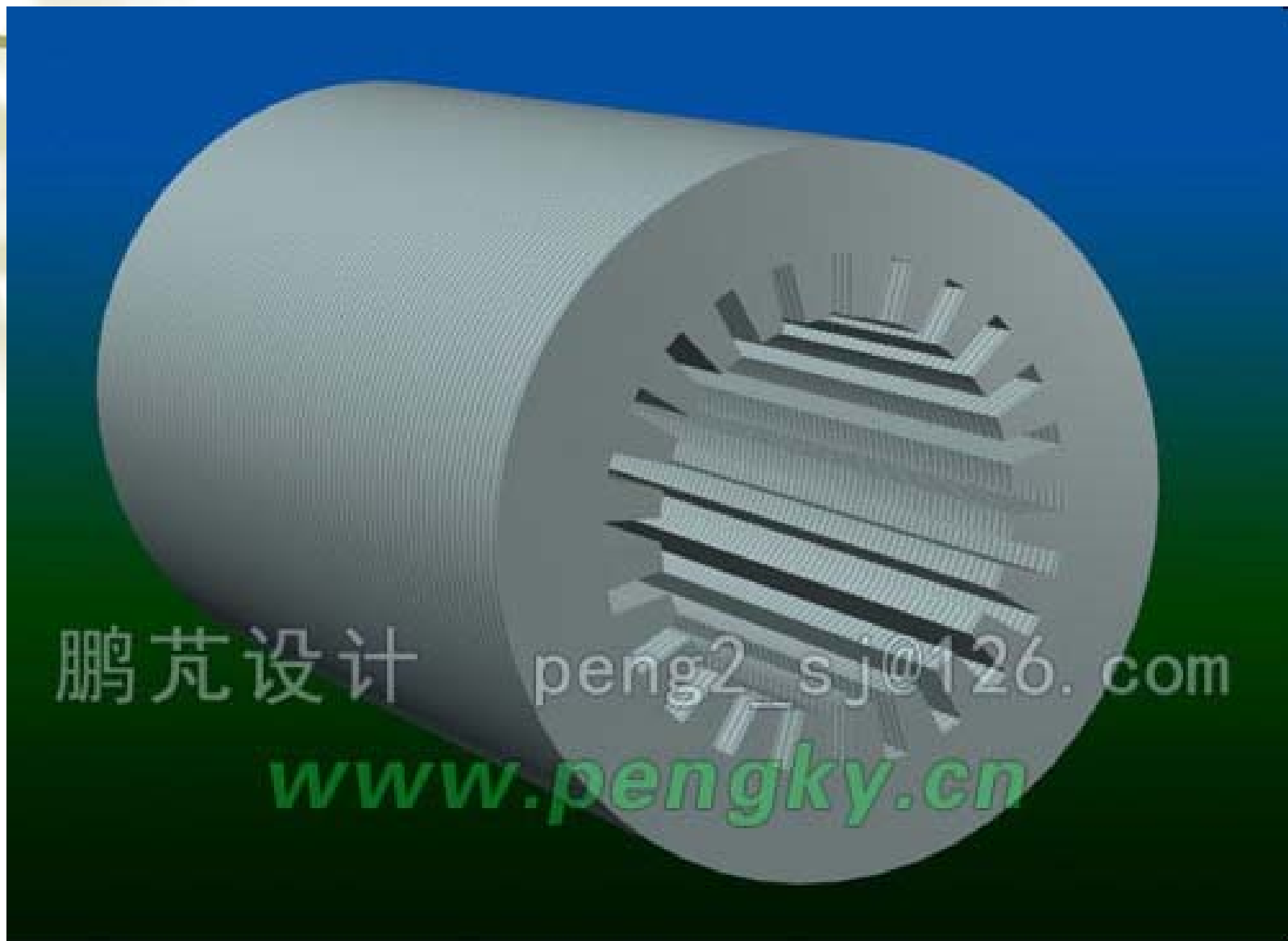


图3 定子铁芯





图4 定子铁芯与线圈

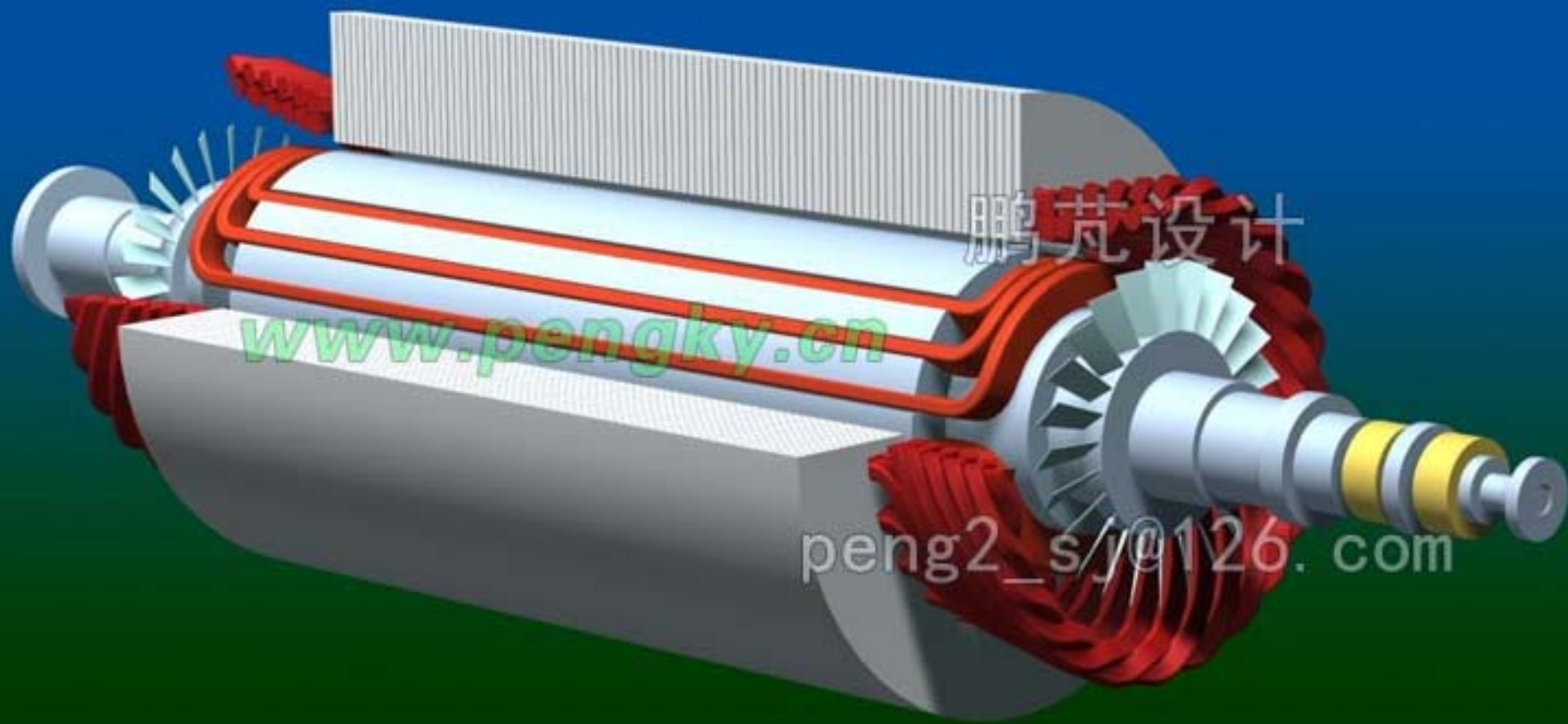


图5 定子与转子的相对位置

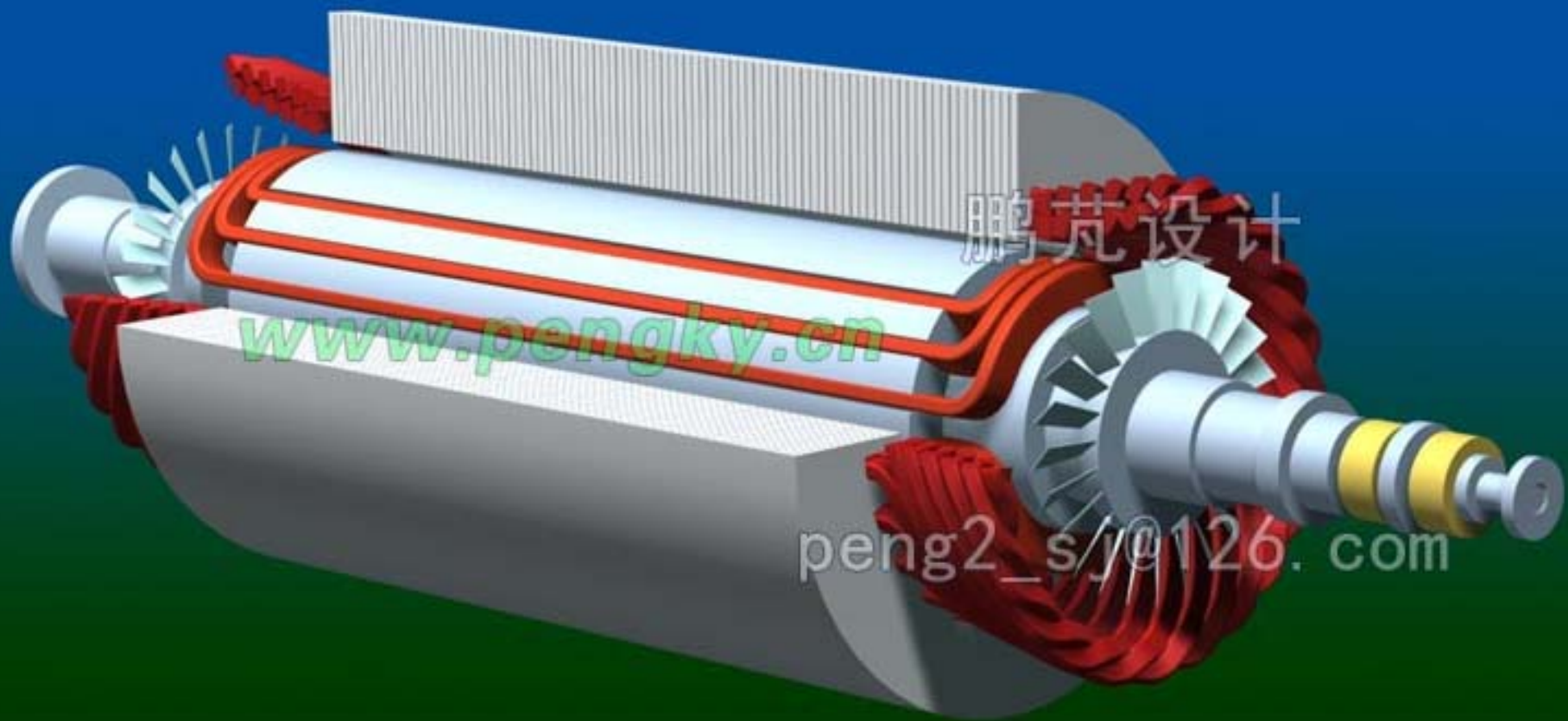


图5 定子与转子的相对位置

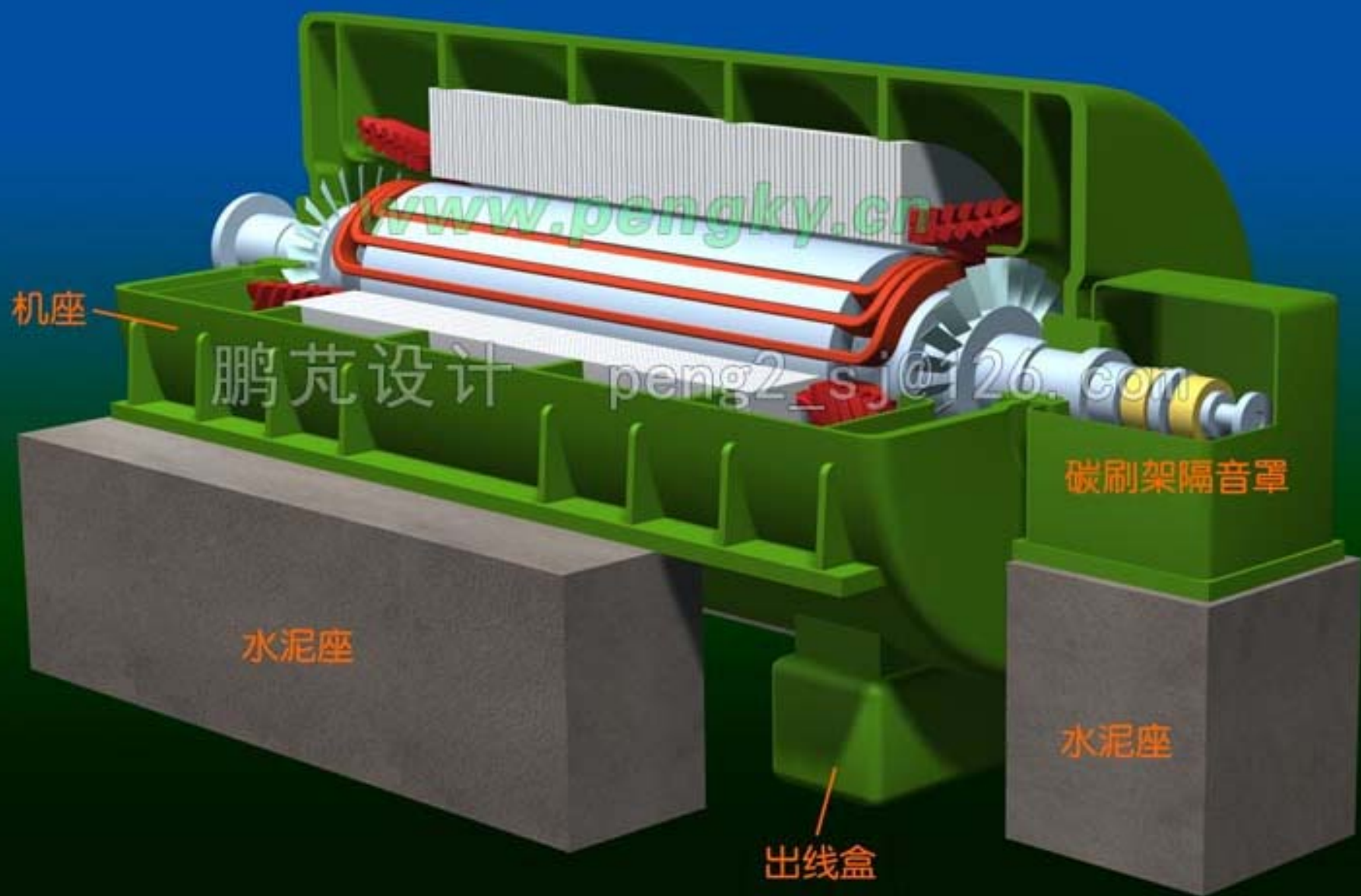


图6 发电机结构图



图7 汽轮发电机外观图











# 永磁风力发电机



行星齿轮增速箱

发电机

发电机轴

风轮轴

轮毂

鹏芘设计 peng2\_sj@126.com

叶片

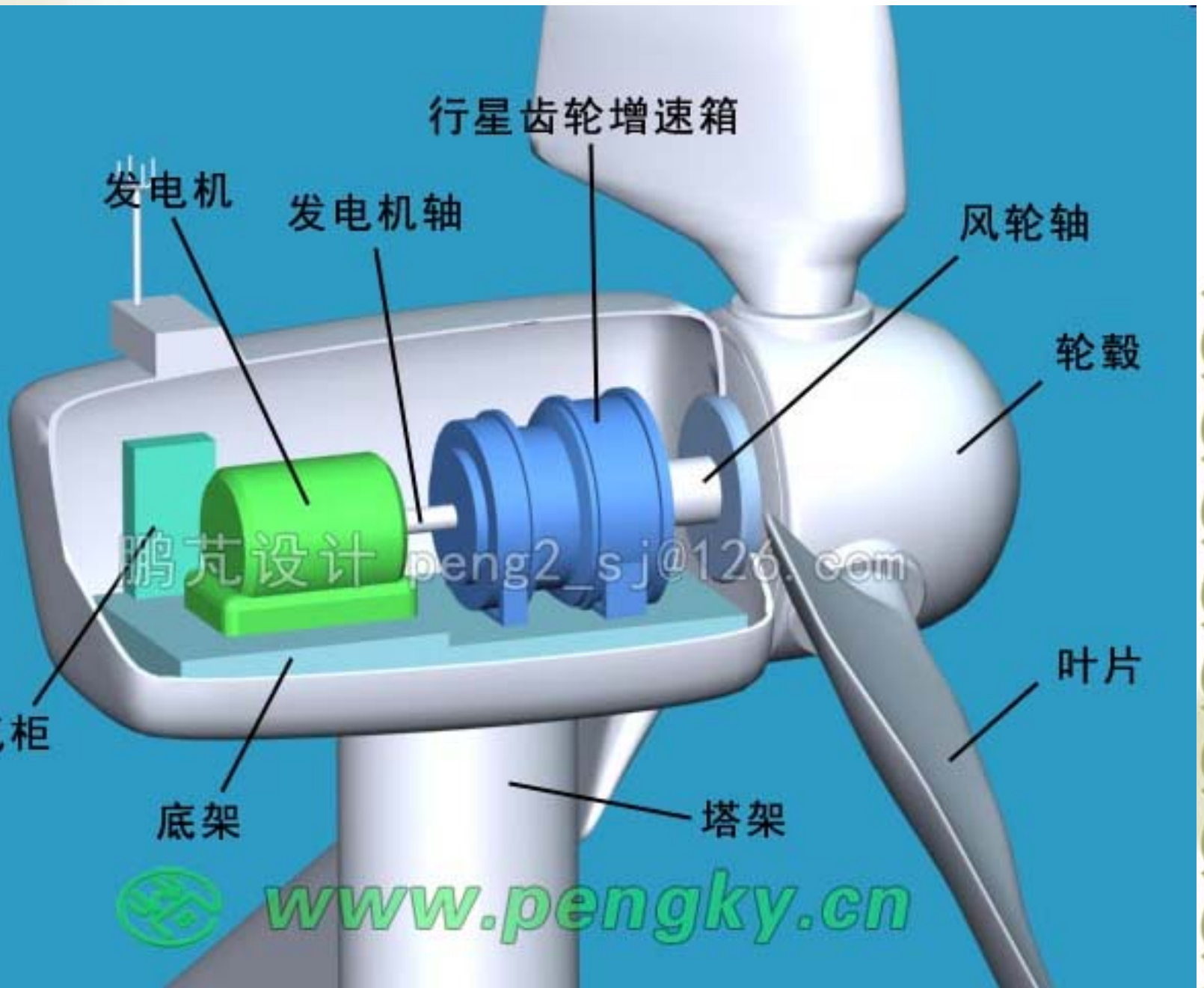
电气柜

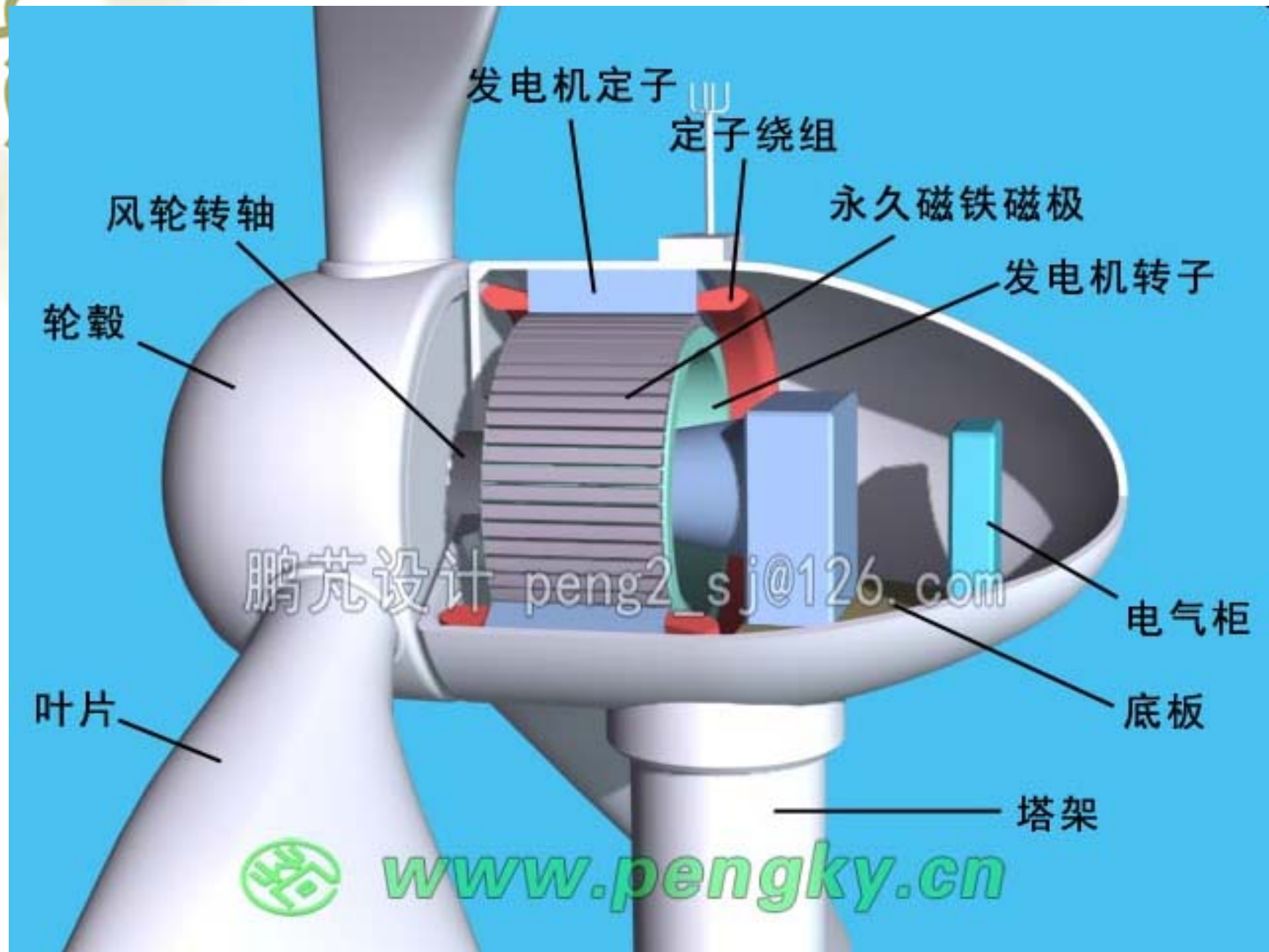
底架

塔架



[www.pengky.cn](http://www.pengky.cn)





发电机外转子磁轭

发电机内定子

外转子永久磁铁

内定子绕组

轮毂

电器柜

鹏苑设计 peng2\_sj@126.com

轮毂外罩

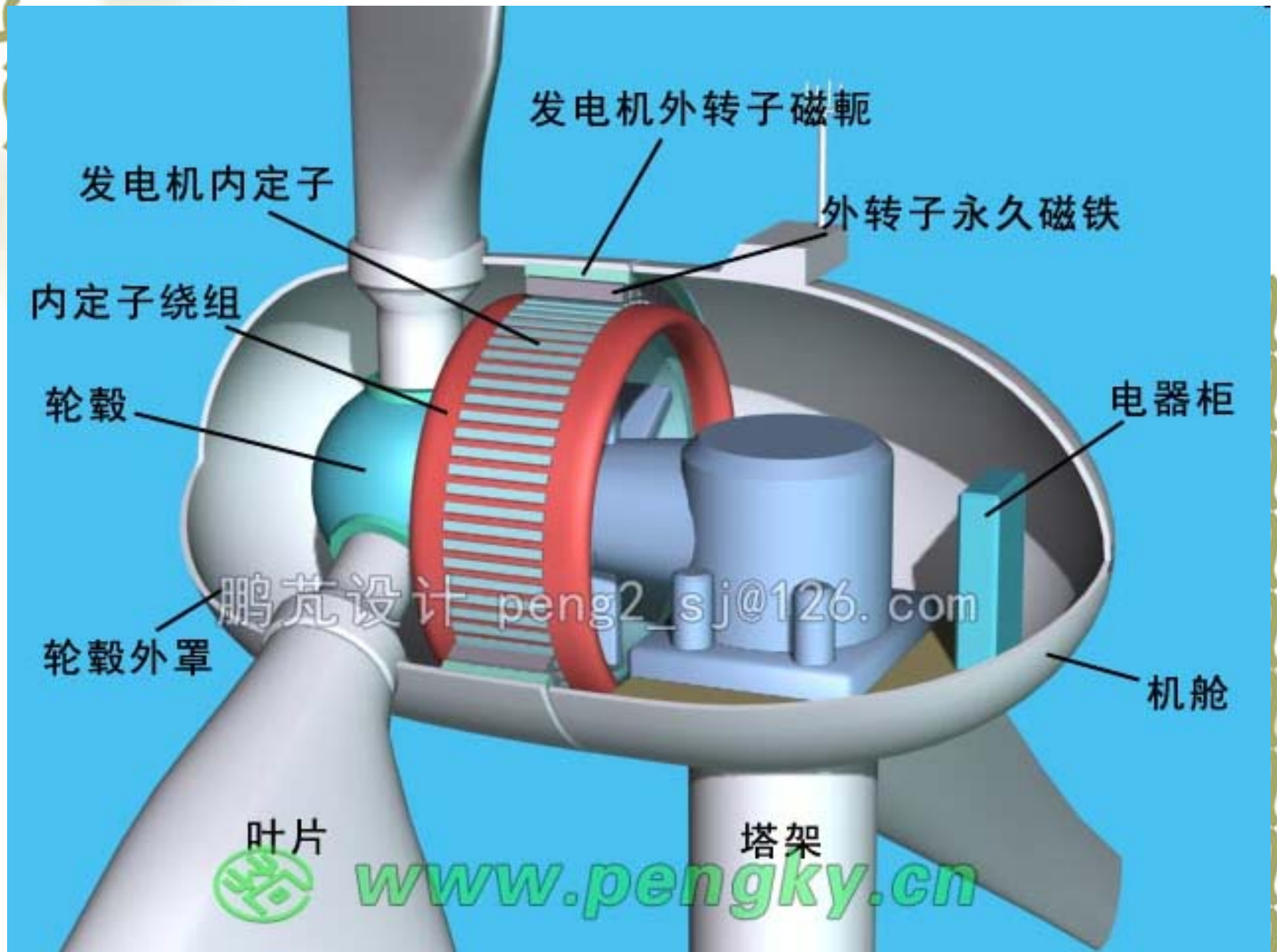
机舱

叶片

塔架



www.pengky.cn



## 我国电力工业的几个之最：

目前我国最大的汽轮发电机组容量为**90万kW**，安装在外高桥第二发电厂(最大**135万kW**)；

最大的水轮发电机组容量为**70万kW**，安装在三峡水力发电厂(最大**80万kW**)；

最大的核电发电机组容量为**100万kW**，安装在岭澳核电站(最大**145万kW**)。

最高交流输电电压为**750kV**，如全长**146km**的青海官亭—兰州东**750kV**输电示范工程。

(世界上最高为**1150kV**)。

最高直流输电电压为**±500kV**，如湖北宜昌葛洲坝到上海南桥的**±500kV**直流输电线路。

(世界上最高为**±750kV**)。

目前我国最大的水力发电厂，也是世界上最大的水力发电厂是三峡水力发电厂，装有**26**台单机容量为**70万kW**的水轮发电机组，总装机容量**1820万kW**，年均发电量**847亿kW·h**。三峡大坝采用**混凝重力坝**，坝高**185m**，坝长(轴线长)**2309m**，坝顶总长**3035m**，总投资约**2039亿**。

我国最大的火力发电厂是北仓港电厂，装机容量**300万kW**，单机容量**60万kW**。

我国最大的核能发电厂是岭澳核电厂，装机容量**200万kW**，单机容量**100万kW**。

这些都说明我国电力工业已进入大机组、大电厂、大电网、超高压、高度自动化的发展时期和向跨大区联网、推进全国联网的新阶段。