

# 双馈发电机转子线圈与集电环连接方式

王 黎 周 亮

西安辰安电气有限公司 陕西 西安 710000

**【摘要】**风力发电机大多采用双馈式异步风力发电机，其结构类似于绕线转子异步电机，转子绕组上加有集电环和电刷。为了将转子线圈和集电环连接起来，需要用转子相导线或转子相引出线来进行连接。而转子作为一个旋转部件，如果转子相导线连接不够牢靠，在转子的离心力作用下经常会出现故障，影响机组运行。

**【关键词】**双馈发电机；转子相导线；转子相引出线；集电环

## 1.引言

风力发电作为一种新型清洁能源已经在我国多地广泛应用。而双馈异步风力发电机因其变频装置体积小、成本低、投资少，并且可以实现有功、无功功率的独立调节在风力发电机组上广泛应用。双馈发电机的结构类似于绕线转子异步电机，只是转子绕组上加有集电环和电刷，从而实现转子连接变频器实现变频调速。转子相导线一端和转子线圈连接，另一端连接在集电环的接线柱上，通过碳刷与集电环的接触实现转子旋转部件与碳刷固定结构的电的导通。而转子作为旋转部件，所有的零部件必须满足电机在超速情况下的正常运行。根据风场运行情况来看，转子相导线的故障占了转子故障的很大一部分。如果其出现问题，机组只能停机待修复后才能正常运行，造成一定的经济损失。本文根据不同结构在风场的运行情况并结合 ANSYS 分析软件对不同结构的转子相导线结构进行分析比较，确保其能够满足电机在风场的可靠运行。

## 2.转子线圈与集电环的不同连接结构

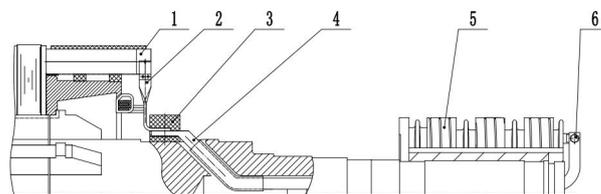
连接转子线圈和集电环的的零部件，需要满足三方面要求

- (1) 满足转子电流密度的要求；
- (2) 满足转子在机组超速的情况下结构强度的要求；
- (3) 满足工艺性要求。

根据其连接要求，主要有以下几种连接方式。

### 2.1.用相导线和转子相引出线进行连接

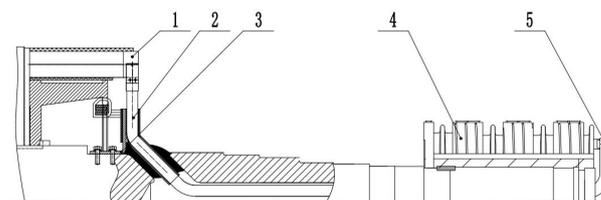
转子相导线一端有 U 形接头，套在转子线圈上，与转子线圈焊接为一体。转子相导线另一端折弯部分与转子相引出线直接焊接，焊接部分进行绝缘处理后，用上、下压板（绝缘材料）将其夹在中间，用螺栓固定在转轴上，外部再用无纬带在转轴上进行缠绕固定。转子相引出线另外一端与集电环上的接线柱用螺栓垫圈进行连接，具体结构见下图。



转子线圈，2—转子相导线，3—上、下压板，4—转子相引出线，5—集电环，6—螺栓和垫圈

### 2.2.用转子相导线直接连接

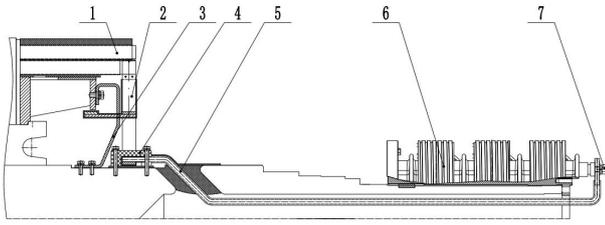
转子相导线用耐高温的硅橡胶电缆线制作，一端去掉绝缘层后用铜管进行压接，头部铆接 U 形接头，U 形接头套在转子线圈上进行焊接，另一端压铜端子后用螺栓与集电环接线柱连接。转轴上有固的 L 形支撑架，用来固定转子相引出线，用无纬带在支撑架和转轴上进行缠绕紧固。具体结构件下图：



转子线圈；2—转子相引出线；3—支撑架；4—集电环；5—螺栓和垫圈

### 2.3.用铜箔焊接成相导线进行连接

转子相导线是用 0.5mm 厚的铜箔叠放在一起，使之成为和转子线圈相同截面积的一体，两端连接部分进行铜焊一体成型方便连接，中间部分还是一层层的铜箔方便折弯成型。在转子相导线一端铆接 U 形接头，U 形接头套在转子线圈上进行焊接。转子相导线的另一端与转子相引出线进行焊接。转子相引出线也是用相同规格的铜箔进行焊接成型，一端与转子相导线直接焊接在一起，另一端折弯后连接在集电环的接线柱上。转轴上固定的有支撑架，用于固定转子相导线部分，转子相导线与转子相引出线连接部分绝缘处理后用上、下压块（绝缘材料）固定再用螺栓紧固在转轴上，外面再用无纬带进行缠绕固定。

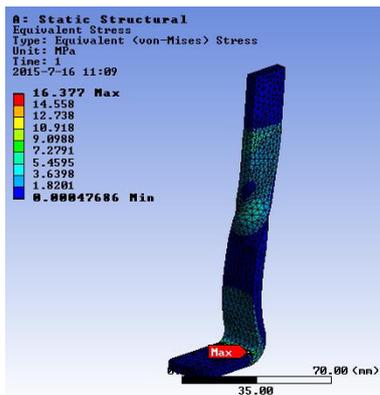


1—转子线圈；2—转子相导线；3—支撑架；4—上、下压板；5—转子相引出线；6—集电环；7—锁紧螺母

### 3.不同连接结构的优缺点分析

这几种不同的连接方式，各有优缺点，可以根据电机的运行工况、电机的容量大小、电机及不同结构要求来选择连接方式。

(1) 第一种连接方式优点是如果出现转子相引出线故障时，容易进行更换，不用拆除很多的零部件就可以方便更换。其缺点是转子相导线的折弯部分容易出现开裂情况，影响机组运行。根据风场运行情况来看，转子相导线的薄弱点主要在相导线 90 度折弯部分，出现故障点也是在折弯处，与 ANSYS 软件分析的结果一致，见下图。



虽然计算的应力和变形远远小于铜的许用应力，但是由于材料、加工工艺、安装方法等原因会将应力放大，还是会在此处出现故障。主要有以下几方面：

(a) 相导线的工艺性不好

相导线的材质为 TMR 铜母线，根据 GB/T 5585.1-2005《电工用铜、铝及其合金铜母线，第一部分：铜和铜合金母线》中 4.8.2 条规定了铜导线的弯曲性能，弯曲特性规定要求如下：铜和铜合金母线的宽边弯曲 90°，表面应不出现裂纹，弯曲圆柱的直径应按厚度 a 的尺寸选定，应符合表 1 规定。

表 1

$a \leq 2.80$	4
$2.80 < a \leq 4.75$	8
$4.75 < a \leq 10.00$	16
$10.00 < a \leq 25.00$	32
$25.00 < a$	64

根据上表要求，相导线折弯半径要根据铜排厚度来选取，不能小于上表所要求的值，以防止出现初始裂纹，影响相导线的强度。如果折弯半径太小，或者接近直棱直角更容易在折弯处断裂。

(b) 相导线没有固定牢靠。相导线主要是一端与转子线圈连接另一端在转轴上压紧，中间部分为悬空，没有进行固定，如果安装倾斜不垂直，会产生向外的分力，加速相导线的破坏。

(c) 相导线底下固定的压块离折弯处太近。上、下压板将相导线和转子相引出线连接部分进行固定，压块的边离相导线折弯部分有一定的距离。根据分析结果可知，压板的边离相导线折弯处越远产生的应力越小。如果在安装时压板边离相导线折弯部分太近会产生大的应力，使其无法释放，造成折弯处加速损坏。

(2) 第二种连接方式主要问题为后期维修更换困难。转子相引出线从转轴中间的孔穿过，转轴外部安装轴承装置，如果轴承出现故障，高温抱死产生的热量将电缆线的绝缘层烧坏就必须更换。转子相引出线一端直接与转子线圈连接，如果要更换转子相引出线就必须将其焊接处打开，此处操作中间小，转子线圈外圆还有无纬带，如果操作不当容易对转子线圈的绝缘造成损伤，出现更大的故障。

(3) 第三种连接方式主要适用于转子电流大的大功率电机。在轴孔内穿过的转子相引出线，因电机转轴轴孔大小的限制，不能选用很大线径的电缆线，当电缆线的线规满足不了载流量要求时可选用相应的铜排来进行连接。直接用铜排的话在折弯比较费劲，而且在折弯处容易产生应力集中，而用铜箔结构来连接一方面可以防止铜排折弯产生的应力集中问题，成型也很方便。另外一方面由于铜箔比较薄软，在运行时可以有效的对应力进行释放，防止疲劳应力的产生。

### 3.结束语

转子线圈与集电环有不同的连接方式，可以根据不同的工况及结构来进行选择。虽然连接的部分是转子容易出故障的地方，但是如果从材料选择，结构的合理布

厚度 a/mm	弯曲直径/mm
---------	---------

置,合理的固定装夹等方面来考虑,是可以降低其故障风险的。

**【参考文献】**

[1]姚兴佳,宋俊.《风力发电机组原理与应用》[M]—

—北京机械工业出版社,2009.6

[2]孙旭东,王善铭.《电机学》[M]——清华大学出版社,2006.9

[3]赵美茹,王鑫.《1.5MW 双馈风力发电机转子过桥线和引出线的断裂》[J]——电机技术,2017(6)43-46+48