

Analysis and Improvement of Interpole Connection and Lead Line Fracture of YJ93A Two-feed Wind Turbine

Hua Zhang

Shangcai Shenhua CRRC New Energy Co., Ltd., Zhumadian, Henan, 450046, China

Abstract

For the problem of batch rotor pole connection and lead line fracture of YJ93 type 1.5MW two-fed wind turbine generator after 8 years of operation, the cause of the fault was analyzed from the perspective of design, process and operating conditions, and the improvement plan was formulated based on the similar structure research of generators at home and abroad.

Keywords

inter-pole connection; lead-out line; centrifugal force; bending fillet

YJ93A 双馈风力发电机极间连线、引出线断裂分析及改进

张华

上蔡神华中车新能源有限责任公司, 中国·河南驻马店 450046

摘要

针对YJ93型1.5MW双馈风力发电机运行8年后出现批量转子极间连线、引出线断裂问题,从设计、工艺角度以及运行状况对故障原因进行分析,结合国际发电机相似结构研究,制定改进方案。

关键词

极间连线;引出线;离心力;折弯圆角

1 引言

YJ93A型1.5MW双馈风力发电机是某大型电机制造商于1998年至2015年生产的风力发电机,是当年生产的主机型,属水冷型机组,质保期5年。笔者所在公司也安装了数百台,在机组运行7年左右,开始批量出现故障,拆解后发现故障均为转子极间连线断裂或者转子引出线断裂。单台发电机塔架维修费用较高,由于大多数该型号发电机转子故障均为此类故障,很有必要对极间连线断裂及转子引出线断裂进行原因分析,拿出方案及样机,以便在塔上进行预防性技改。

2 极间连线

该型发电机转子线圈为星形连接,为4极电机,4极均布,极间连线的作用是将同一相的两个线圈组串联起来,转子有三根极间连线,每相一根,极间连线由一根铜扁线折弯而成。

在运行中,该型发电机转子出现故障几乎全是极间连线故障,下面我们把维修中发现的情况描述一下。通常极间连线故障主要分为两类:一是极间连线明显烧断;二是极间连

线外观绝缘结构完好,但内部极间连线铜排已断裂或部分断裂,断裂部位颜色变暗,有明显的氧化现象。

该问题在该型发电机极间连线故障中不是个别现象,而是普遍存在,在同一个风场,当一台发电机的极间连线出现问题,那其余两根也会出现该问题,相邻机组乃至整个风场机组很快都会出现该类型故障。由此我们可以判断极间连线故障不是偶发问题,而是由于设计工艺原因造成的批量质量问题。

2.1 原因分析

2.1.1 震动与疲劳

极间连线是由铜扁线通过模具折弯而成,在转子上仅以两端与端部铜排焊接,跨度大,设计时,支撑点、固定点很少。该型发电机转子额定转速1800rpm,在高速旋转时,会产生较大的离心力,当离心力过大,支撑点、固定点过少,这时极间连线中部会向外部移动,使得极间连线折弯处受力,在发电机转速不断的变化中,极间连线就会出现频繁的伸缩,即产生震动,应力主要集中于根部。在长期的震动下导致其疲劳断裂。由于三根极间连线结构相同,所处环境又完全一样,因此在一根断裂时,另外两根也会相继断裂。此外,由于极间连线跨幅长,固定点少,振动的幅值就会比较大。可以得

【作者简介】张华(1983-),男,中国山西阳高人,本科,工程师,从事新能源建设及安全生产研究。

出结论，极间连线的断裂是由于离心力与振动的双重作用，使得铜排材质发生疲劳导致极间连线断裂。

2.1.2 结构与工艺

该型发电机转子极间连线根部圆角过小，过桥线厚度为 4.9mm，折弯圆角为 R6mm，圆角比较小，仅为铜排厚度的 1.2 倍，如图 1 所示。这样会带来两个问题，一是折弯圆角越小，对铜材的延展率要求越高，极间连线制作时折弯圆弧外圆角容易产生裂纹，根据 GB50149—2010，折弯圆角在铜扁线厚度的 2 倍以上时效果最佳，制作时不容易产生裂纹。二是折弯 R 角过小，振动时应力容易集中，产生疲劳断裂。

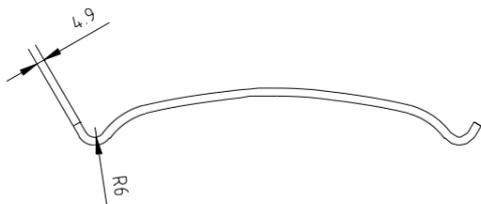


图 1 原极间连线结构

2.2 改进方案

通过以上原因分析，我们制定的改进方案主要从两方面入手：一是从极间连线本身结构入手，增大极间连线厚度及折弯 R 角，减少应力集中；二是增加极间连线支撑点，减小振动。

可以看出改进方案在极间连线的制作前期对其结构进行了改变，明显加大了转弯角度，达到了 R40，且在使用时，还在转弯处加焊了银焊料，这样既保证了圆滑过渡，也保证了转弯处的强度。在安装时增加了多处固定与绑扎，用涤玻绳将极间连线绑在端部铜排上，绑成一个整体，最后进行真空压力浸漆，使其与端部一体化程度进一步提高，如图 2 所示。



图 2 改进前后极间连线自体对比图

此方案简便易施工，完全可以在塔上对现有该机型发电机进行批量技改^[1]。

3 转子引出线

3.1 故障现象

发电机引出线为三根硅橡胶电缆线，连到转子线圈上。电缆线从轴孔伸出来后，用绝缘压块压紧。引出线故障主要在两个部位：一是电缆从绝缘压块出来交界的地方受离心力

剪切断裂；二是轴孔里面。三根电缆橡胶外皮在轴孔里斜孔处磨破接地。

3.2 原因分析

3.2.1 第一种故障原因

目前 93A 型发电机有两种接线方式，其一为铁圈压板式，其二为层压板压柱式。这两种方式，第一种为早期产品，在轴上热套锥形电缆架，并用线夹固定电缆线；第二种为绝缘线夹，明显所夹持电缆长度有限。第二种方式虽然比较好，但需要在塔上技改过程中在轴上钻 6 个螺纹孔用来安装线夹，由于轴料是经过热处理的，因此加工难度较大。这就需要我们找出一种便捷有效的技改方案。

此外，出现故障的大部分是第一种结构，引线端与铁圈压板距离较长，且铁圈与压板均为铁制品，引线端与铁圈压板距离较长，在长期的震动中，往往会发生铜排与电缆延展与扭曲，产生震荡空间，导致压板根部电缆断裂，或由于摩擦导致电缆绝缘破裂以至于发生转子接地，究其原因主要为产生震荡空间。

根据现有设备情况，引出线端部铜排已倒伏，致使电缆处绝缘破裂导致对地击穿。说明由于转子运行时的变速、震动都会导致铜排与电缆受力变形、震颤，最终导致绝缘破裂和电缆及引线头疲劳老化断裂，继而发生事故。

3.2.2 第二种故障原因

第二种故障表现在电缆出斜口处，引出线在轴孔内绝缘外皮磨破接地。转子引出线在轴孔内装有固定支架，从斜孔引出来，由于电缆与轴孔存在空隙，发电机高速旋转时电缆在离心力作用下甩出，与斜孔拐角处不断摩擦，橡胶外皮磨损接地，如图 3 所示。

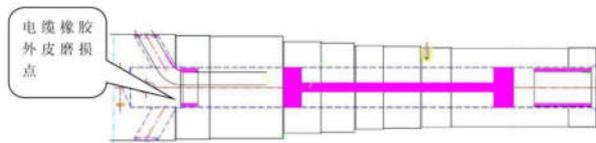


图 3 橡胶外皮磨损

目前市场上出现断裂与接地的引出线这两种原因都有，但主要是第一种。

针对以上原因分析，我们制定了相应的技术措施。

3.3 方案措施

针对第一种故障，我们采取了以下措施，防止端部铜排与电缆震动。通过轻型角钢利用原结构上的紧固结构完成了对电缆及引出线铜排的固定。为了更好地保证长期运行中电气部分的稳定，防止震动中角钢与绝缘结构的摩擦。在实施过程中，在角钢与电缆结构间加入了 NOMEX 纸与适型毡，其中 NOMEX 纸提高了电气性能；适型毡填充空间起到了防震作用，最后刷环氧胶，增强其整体性^[2]。

(下转第 122 页)

- [6] 潘国营,王素娜,范书凯.环境同位素技术在矿井水防治中的应用[J].能源技术与管理,2008(1):7-10.
- [7] 孙洪星,王兰健,邹人和.环境同位素示踪技术在矿井水防治中的应用[J].水文地质工程地质,2000(5):34-38.
- [8] 田秀荣,魏芳,魏甜.水环境同位素测试分析对判别矿井水文地质条件的意义[J].中国煤炭地质,2015(3):53-57.
- [9] Zhou J, Zhang Q, Kang F, et al. Using multi-isotopes (34S, 18O, 2H) to track local contamination of the groundwater from Hongshan-Zhaili abandoned coal mine, Zibo city, Shandong province[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2016.
- [10] 李小倩,张彬,周爱国,等.酸性矿山废水对合山地下水污染的硫氧同位素示踪[J].水文地质工程地质, 2014(6):103-110.
- [11] Yao M, Liu P, Shang M, et al. Determining sources of mine water based on hydraulic characteristics analysis of a fault system[J]. Environmental Earth Sciences, 2016,75(10):858.

(上接第 114 页)

针对第二种故障,我们在斜口处增加了硅胶封口与轴内孔灌胶,使电缆与轴成为一个整体,从而避免了电缆震动与轴的摩擦,也就对电缆起到了保护作用。

在加注灌封胶时,将轴头孔堵死,将朝下的两个电缆斜出口也用硅胶封死后,在最上端电缆斜口处将液体灌密封胶注入,待固化后电缆与轴体将成为一个整体。

通过以上的方案实施,我们成功解决了该型发电机引出线批量故障的问题,对未发生故障的机组采取了预防性的技改,避免了批量下塔维修,产生了较好经济效益。

3.4 预防措施

通过以上的方案实施,我们成功解决了该型发电机引出线批量故障的问题,但对未发生故障的机组采取预防性的技改毕竟是要产生较大的维护费用,因此为了保证在预防性技改前设备的安全运行,我们可以采取以下措施减缓故障的发生,相对延长其使用寿命。

①对震动较大的机组实行深度维检,打开发电机端盖检查引出线及极间连线是否有断前迹象,如发现极间连线有裂纹或引出线铜排变形严重者,可在塔上进行技改,防止事态扩大。

②对于振动大的发电机机组排除震动因素,诸如轴承磨

损、电蚀,对中等问题。

③日常维护需加强对轴承缺油的追责以及加强对轴承温度的监控^[9]。

4 结语

通过对比分析、工艺改进及相应计算,可以得知转子高速旋转时,铜导线受到的离心力非常大,在铜导线内部产生应力集中,如果不采取消除离心力带来的应力集中,时间一长铜导线就会疲劳断裂。无论是铜扁线还是电缆线,折弯的地方容易断裂失效。所以,今后的发电机设计和工艺中,要充分考虑到离心力造成的应力集中,对发电机软体结构造成的损害。截至论文发表前,此技改已在该型发电机的结构中进行了应用,得到了好的验证。

参考文献

- [1] 张瑞洋,潘文林,郑加取,等.基于SMES协同去磁的双馈风力发电机高电压穿越控制策略[J].水电能源科学,2021,39(8):185-189+152.
- [2] 乔丽娜.高压电机定子绕组接线方式及线路固定分析[J].防爆电机,2017,52(4):52-54.
- [3] 王朝东,徐奉友,李春阳,等.风电机组自适应控制策略研究[J].工业仪表与自动化装置,2021(3):122-125.