

灯泡贯流式水轮发电机穿心螺杆损坏分析

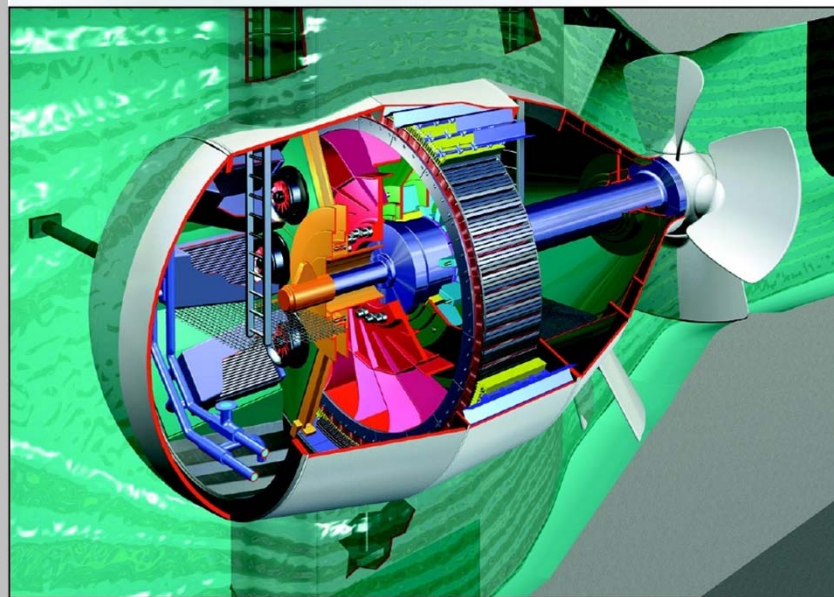
东方电机有限公司

李建富

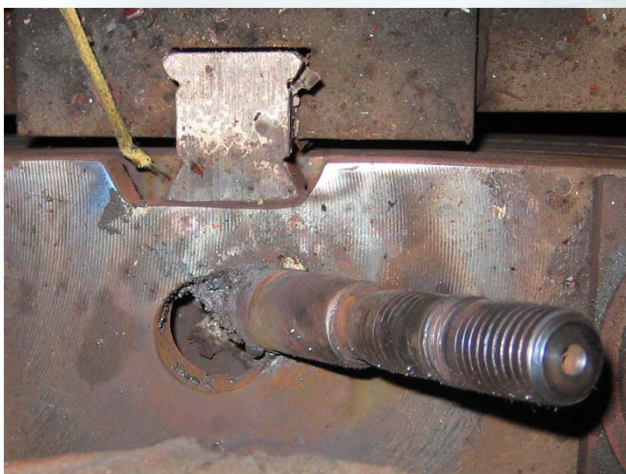
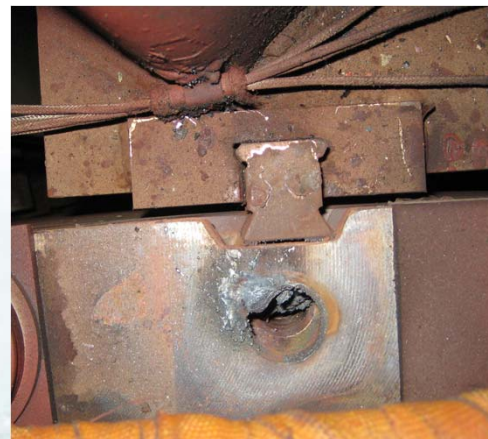
2013年11月13日

1

- 灯泡贯流式水轮发电机组是一种开发利用低水头水力资源和潮汐能源的良好机型，近年来在我国得到了长足发展。
- 贯流式水轮发电机的特点是转速低，空间狭小，又受到灯泡体直径的限制，电磁、结构设计以及运行维护的困难较高。



- 某贯流式水轮发电机在运行数年后，检修时发现多根穿心螺杆发生熔断、疲劳断裂、绝缘损伤等现象，部分与螺杆接触的铁心烧熔。



- 根据检查情况，总共一百多根螺杆中有8根螺杆出现不同程度的烧熔、断裂现象；未损坏的穿芯螺杆绝缘不合格32根；其中对地绝缘电阻值为零21根。

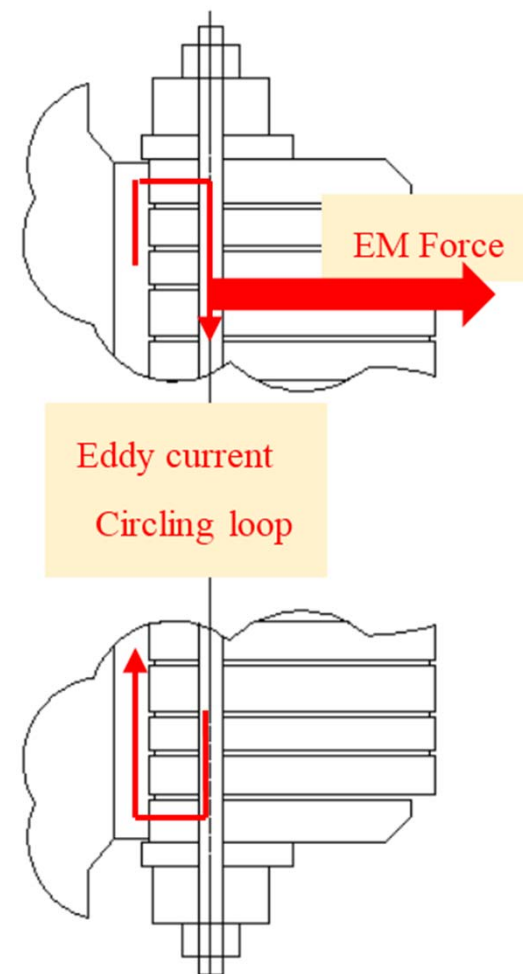
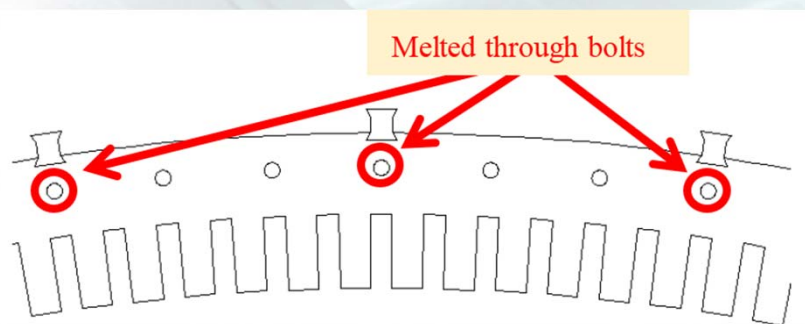
事故表现出以下特点：

- 1)烧熔的螺杆都是正对着定位筋的一根；
- 2)现场检查发现穿心螺杆油污严重；
- 3)部分定位筋也有过热现象；
- 4)穿心螺杆断口为横向疲劳断裂。

受厂里委托，通过JMAG软件分析计算事故原因，并给出解决方案。



根据检查结果，初步推测，损坏的穿心螺杆上存在较大的往复力，长期运行后发生了振动，产生疲劳断裂；同时螺杆上有较大的损耗，长期运行后导致熔断。螺杆上的损耗可能性最大的是绝缘损伤后，通过铁心背部的定位筋，与铁心发生了两点短路。

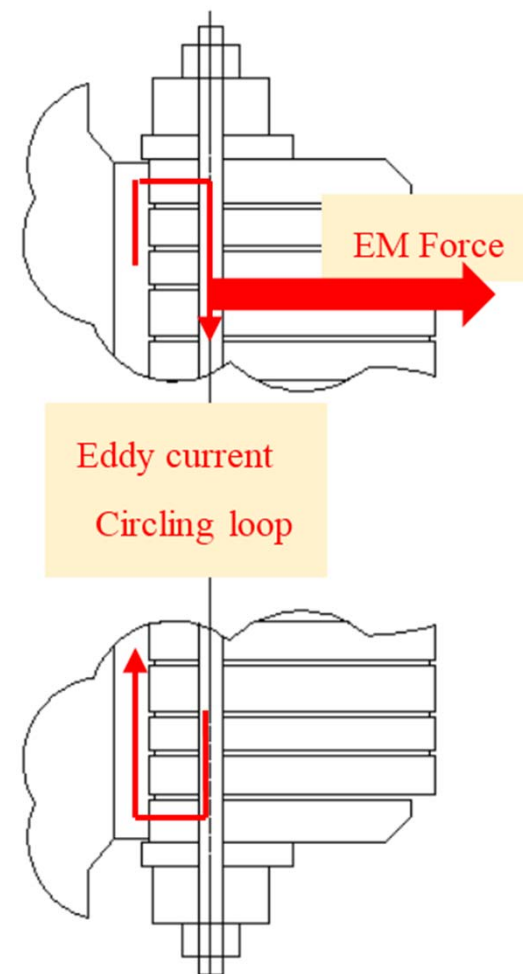
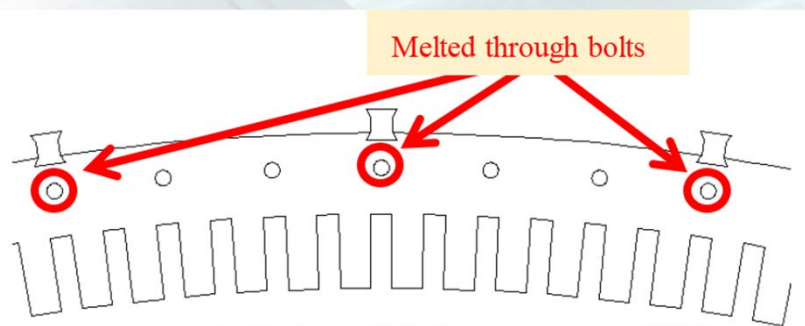


分析思路:

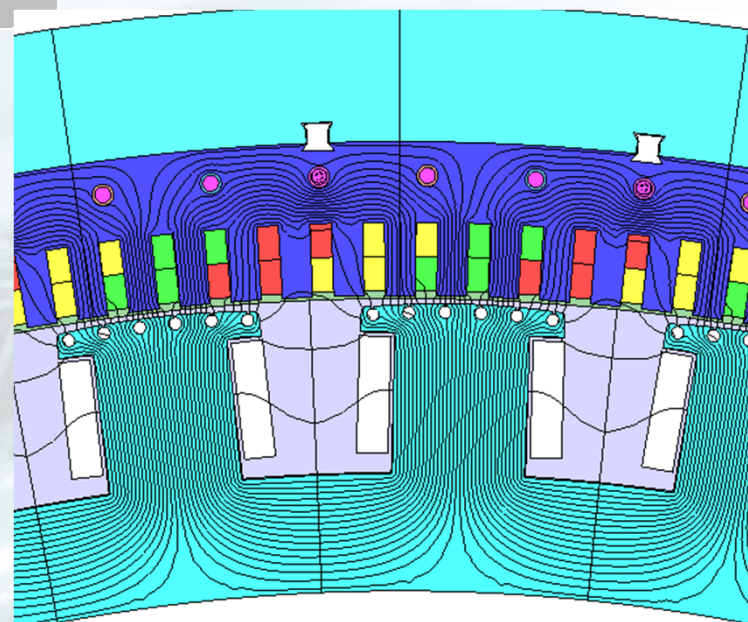
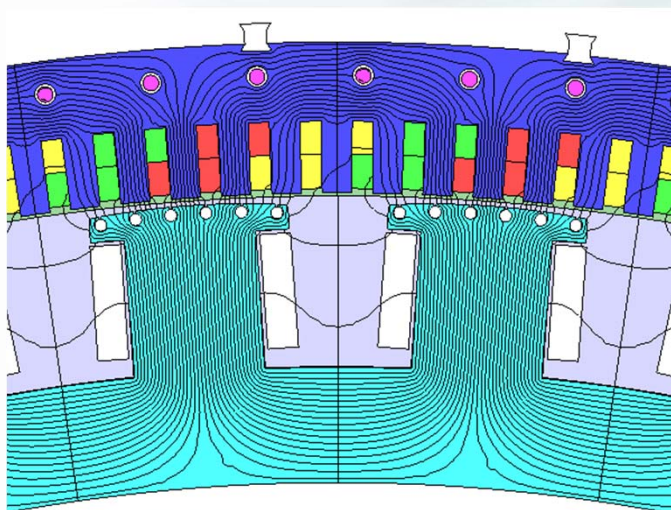
- 1.找出电磁力产生的机理;
- 2.找出螺杆大量损耗产生的机理;
- 3.分析螺杆是否存在接近于电磁激振力的固有频率

分析方法：

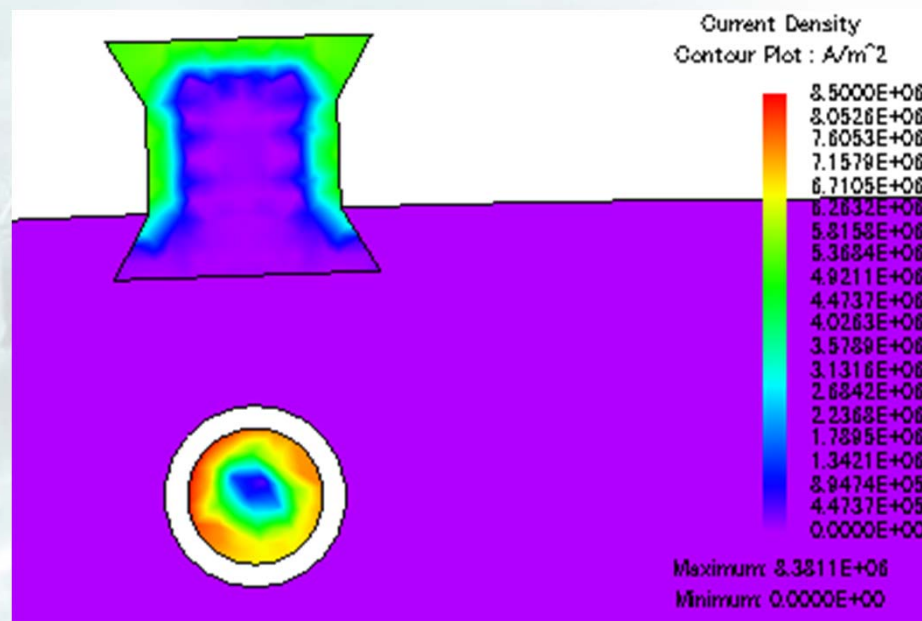
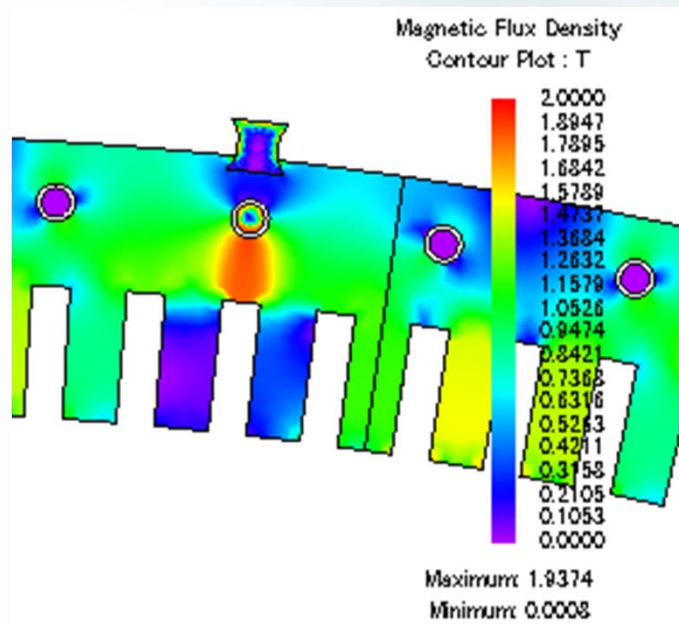
1. 进行穿心螺杆的固有频率分析；
2. 分析两种情况的电磁力和损耗对比
 - 螺杆绝缘正常，未发生短路；
 - 螺杆端部绝缘破坏，通过边段铁心与定位筋发生短路。



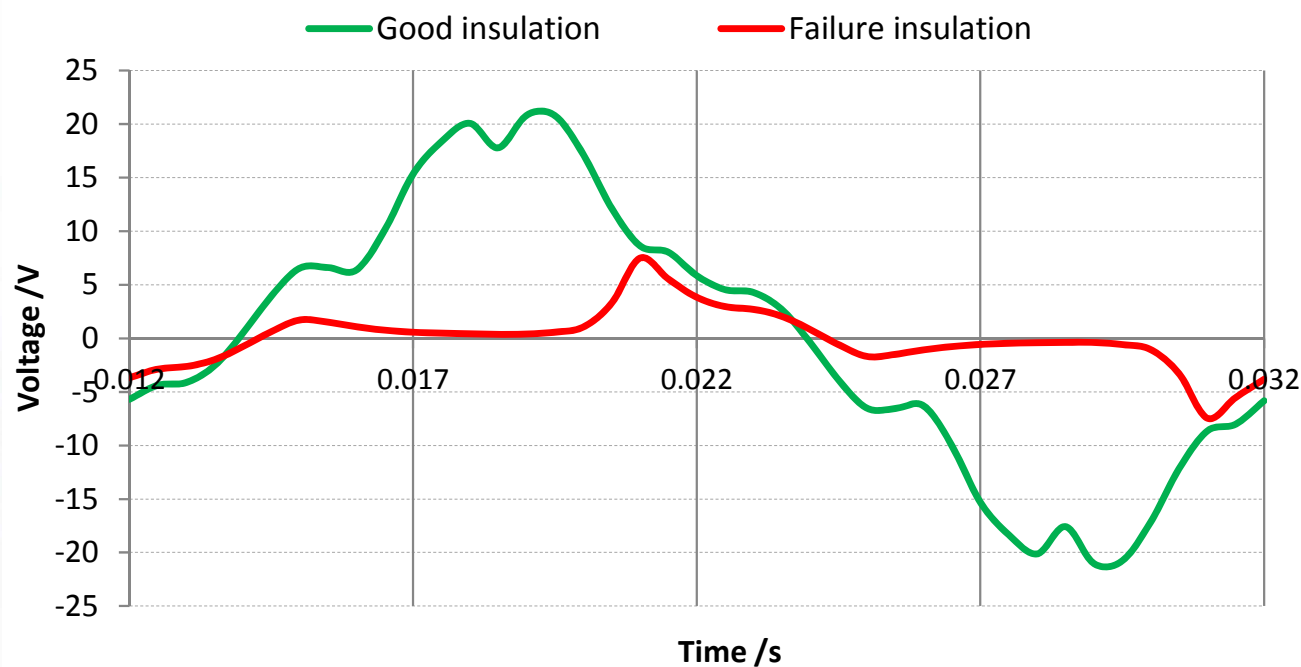
电磁场分析计算：
螺杆短路前后的磁力线分布



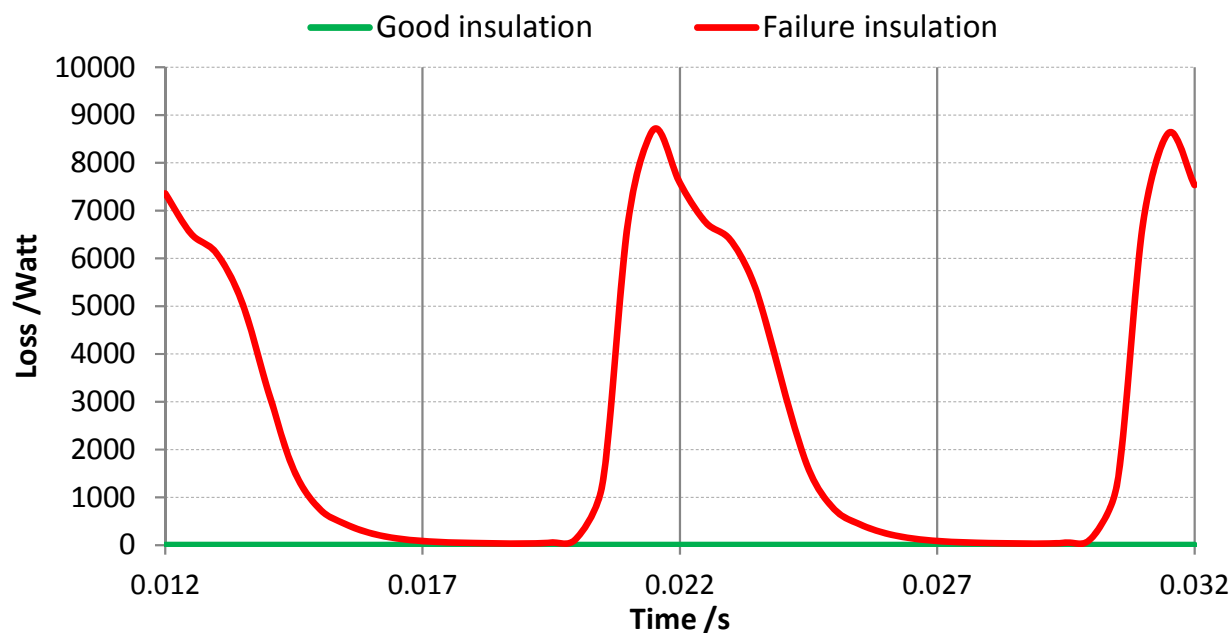
电磁场分析计算：
短路后的磁密、电密分布



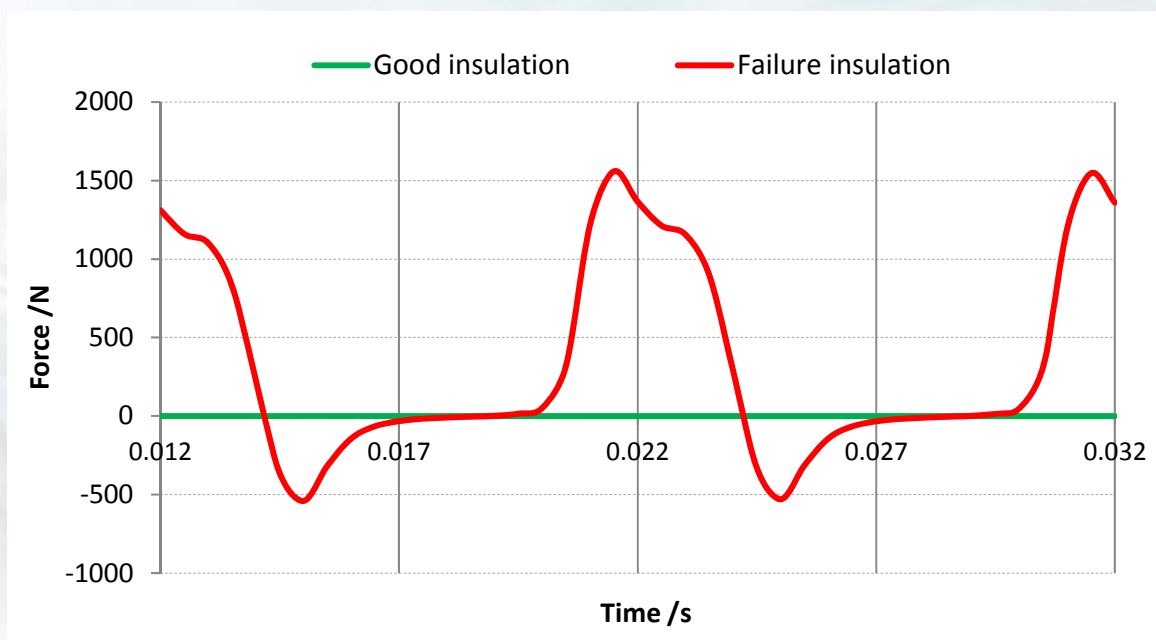
电磁场分析计算：
额定负载下，螺杆电压情况（单根）



电磁场分析计算：
额定负载下，螺杆损耗情况（单根）



电磁场分析计算：
额定负载下，螺杆径向电磁力情况（单根）



电磁场分析计算汇总：

Condition	No load		Rated load	
Insulation Condition	Good	Bad	Good	Bad
Voltage /V	13.20	2.71	12.37	2.64
Loss /W	1.43	3097.87	0.58	2457.61
Loss Density/ W/m ³	2.95E+03	6.39E+06	1.19E+03	5.07E+06
Loss Density proportion to coil	0.01	23.39	0.00	18.55
Electromagnetic Force /N	0.67	2514.48	0.24	2099.10

电磁场分析计算结论

1. 螺杆绝缘未发生破损时，螺杆中涡流都很小，损耗及电磁力均可忽略；
2. 短路螺杆损耗最高达2-3kW/根，必将使螺杆发生过热熔断；
3. 短路螺杆电磁力为2倍工频100Hz；方向向心；峰峰值为2kN以上；结合后面模态计算结果，在螺杆紧力不够的情况下（固有频率接近100Hz），螺杆将产生强烈共振；
4. 与定位筋距离较短的那根穿心螺杆，更容易发生短路，绝缘磨损更加严重，更易熔断。

螺杆模态分析计算——有无预紧力的影响：

螺杆装配好后，按照设计要求，应具备约3.8tN的预紧力，但经长期振动、冷热循环导致铁心漆膜收缩后，预紧力会下降。在有无预紧力的情况下，螺杆的模态计算对比：

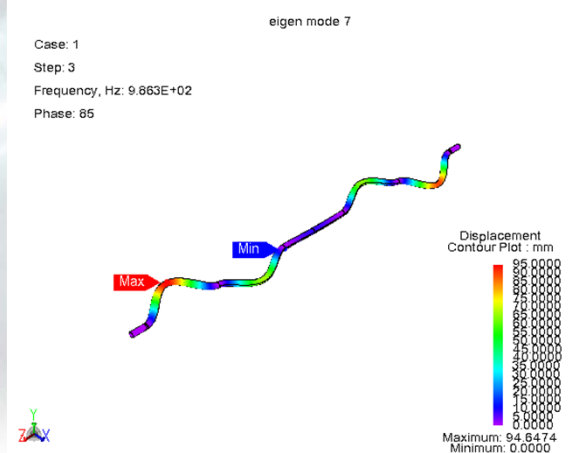
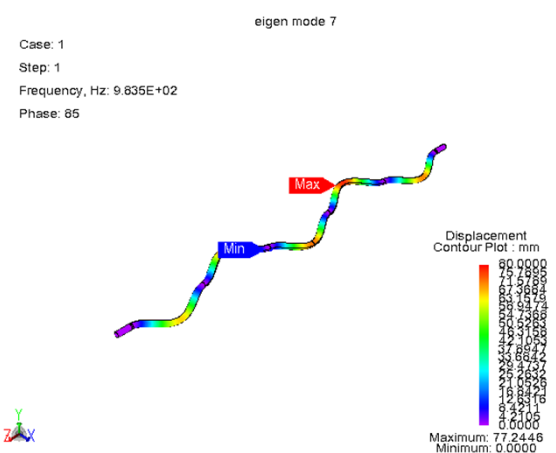
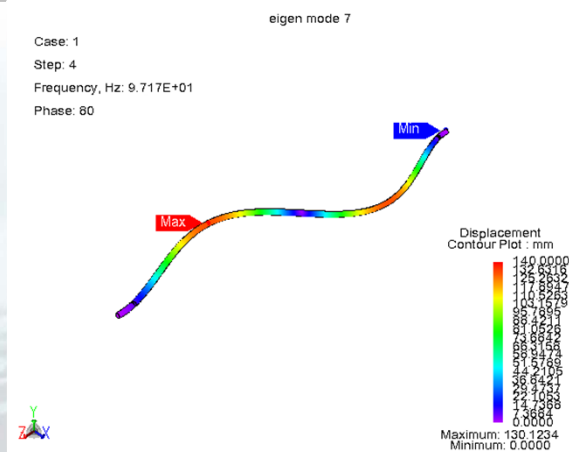
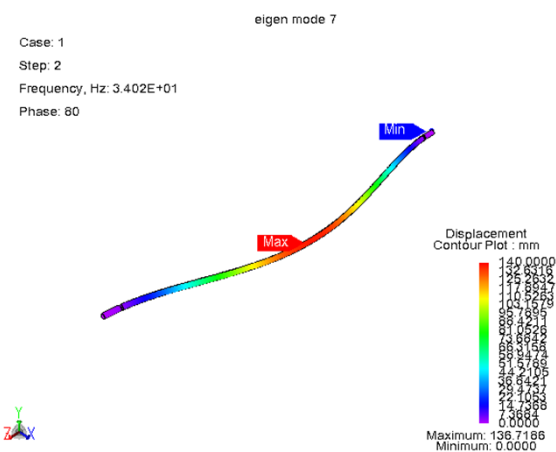
方案	第1阶频率	第2阶频率	第3阶频率	第4阶频率
无拉紧力	34.0	97.2	185.1	306.5
有拉紧力	55.15	138. 21	224.99	351.32

螺杆模态分析计算——固定方法的影响：

1. 原来方案中，螺杆与铁心之间存在较大空间，固有频率较低，易发生受迫振动；
2. 若改进螺杆固定方式，减小其与铁心之间的空间，则表现为：

Scheme\order	1	2	3	4
2支撑	34.0	97.2	185.1	306.5
7 支撑	983.5	986.3	993.5	1001

螺杆模态分析计算——固定方法的影响：



原因总结:

1. 长期运行后，预紧力下降，固有频率下降至100Hz附近，在铁心自激作用下，螺杆产生振动，长期运行绝缘受到损伤；
2. 螺杆位置长期油污得不到清理，绝缘损伤；
3. 绝缘损耗到一定程度，将发生对地短路，造成绝缘电阻下降；当绝缘继续破坏到更严重程度，发生多点短路，将产生大量损耗及电磁力；
4. 振动和绝缘损伤相互作用，振动加剧绝缘损伤，绝缘损伤产生的100Hz激振力使加强振动，最终导致螺杆损坏。

处理及预防措施：

- 1.改进螺杆的固定结构，避开100Hz的固有频率；
- 2.增强螺杆的绝缘；
- 3.在铁心与螺杆之间填充柔性物质，尽量减少螺杆振动空间；
- 4.增强密封，减少油污，定期清理。

➤ 谢谢！

