

主轴扭转对高压断路器超程影响分析及优化

宗清森 李传强

(南瑞集团有限公司(国网电力科学研究院) 江苏 南京 211106)

摘要: 超程作为断路器设计中的一个关键指标,对断路器的性能指标有着非常大的影响。实际超程能否满足设计要求,与断路器轴系结构设计息息相关。文章针对断路器产品试制中出现的超程减小问题,从设计角度研究了绝缘主轴所受扭矩、切变模量、截面尺寸等参数与断路器超程之间的关系,并在此基础上,对主轴及传动结构进行了优化改进。该方案有效消除了超程损失,为相关设计研究提供了参考依据。

关键词: 高压断路器;超程;主轴扭转

0 引言

针对断路器试制中超程减小问题,本文从设计角度分析了主轴扭转对超程的影响,研究了主轴所受扭矩、切变模量、截面尺寸等参数与超程损失之间的关系,并提出了相应优化改进方案。

1 断路器主轴工况及特性参数

1.1 主轴工况

断路器处于合闸状态时, **表 1 断路器技术参数**

主轴及凸轮在断路器机构(安装在图 1P 位置)保持下处于平衡状态,承载情况如下, $M_R=M_A+M_B+M_C$;理想情况下,断路器三相超程一致, $M_A=M_B=MC=31.68Nm$ 。

技术参数	单位	数值
设计行程	mm	12.5
设计超程	mm	3.5
主轴设计转角(分闸-合闸)	deg	28

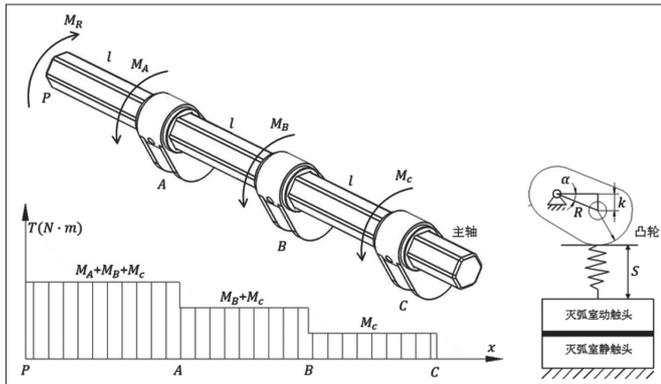


图 1 断路器合闸状态下主轴承载情况及几何关系示意图

1.2 主轴参数

断路器通过主轴转动驱动传动部件实现断路器的合分闸动作,因而主轴扭转特性断路器动作有着关键性的影响。决定主轴扭转特性好坏的因素包括:主轴结构、承载工况、主轴材质等。在结构紧凑的封闭式开关设备中,为兼顾电气及机械性能,常采用以环氧玻纤棒作为断路器主轴。环氧玻纤引拔棒是一种非常典型的各向异性材料,其弹性材料参数的大小取决于环氧树脂以及玻纤基础弹性数据、混合比例、纤维方向等,通常结合玻璃纤维以及环氧树脂基材参数,通过理论计算方式得到。

表 2 环氧引拔棒参数指标(纤维率 70%)

参数	长度 L/mm	截面形状	截面尺寸 D/mm	截面切变模量 G/GPa
参数值	550	六方形	32(对边)	6.495

2 主轴扭转分析

基于上述工况及参数分析,得到主轴整体扭转如图 2 所示,三相凸轮因主轴扭转,转动角度均出现了不同程度的减少,导致超程未达到设计值要求(见表 3)。

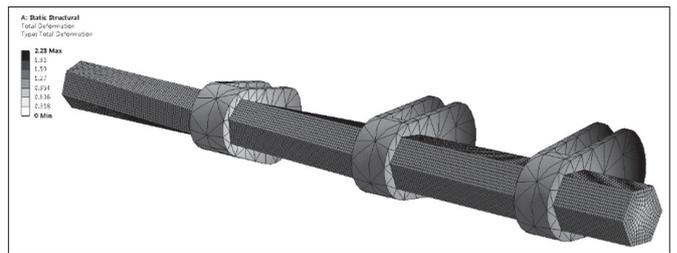


图 2 主轴扭转形变云图

表 3 超程损失情况

	A	B	C
计算超程损失 $\Delta s/mm$	0.38	0.66	0.79
计算超程损失率	10.9%	18.9%	22.6%
实测超程/mm	3.01	2.72	2.58

可以看出, A、B、C 三相凸轮转角以及超程相对于设计值均出现了

明显的下降,离断路器机构越远,主轴扭转变形越大,转角损失越大,超程下降越显著,这与实际试验数据对比,基本一致。说明主轴扭转变形是造成超程减小的主要原因。为改善主轴扭转状况,分别分析结构尺寸及材料特性参数对断路器各相超程损失影响。由于六方截面主轴扭转非常复杂,本文将六方截面简化为直径为 D 的圆截面进行分析,并假设断路器合闸状态下各相凸轮对主轴作用的扭矩始终相同。根据轴扭转变形及图 1 几何关系,相对截面 P,各相扭转损失角度分别为: $\Delta\alpha_A=3\Delta\alpha$; $\Delta\alpha_B=5\Delta\alpha$; $\Delta\alpha_C=6\Delta\alpha$ 。

$$\text{其中, } \Delta\alpha = \frac{Tl}{G \frac{\pi}{32} D^4}$$

$$\text{超程损失 } \Delta s_i = R \sin \alpha - R \sin(\alpha - \Delta\alpha_i) \quad [i=A,B,C]$$

基于上述假设及公式,分别得到各相主轴 $\Delta\alpha_i$ 、 Δs_i 与 T、G、D 关系曲线如图 3 所示。

由上图各变化趋势,可以看出:

- (1) 主轴扭矩 T 将导致超程损失,随着扭矩 T 的增加,

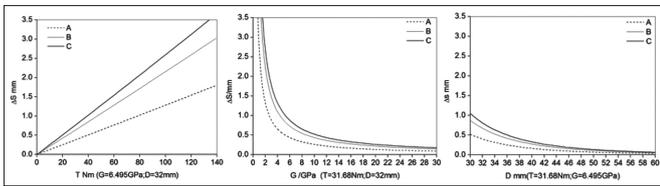


图 3 超程损失随 T、G、D 变动曲线

各相超程损失呈现明显的上升趋势。扭矩对超程的影响非常显著，对各相超程损失影响：C 相 > B 相 > A 相。为控制超程损失，扭矩越小越好。理想状态是合闸状态时主轴不承受扭矩，此时超程损失为 0。

(2) 随着主轴切变模量 G 的增加，各相超程损失逐渐降低，呈现出先急后缓的趋势。切变模量较小时 (1 ~ 8GPa) 时，随着模量减小，各相超程损失差异将急剧增加。切变模量较大时，各相超程损失变化趋于平缓，B、C 相超程损失也趋于一致。对于环氧玻纤引拔棒，切变模量介于玻纤与环氧树脂切变模量之间 (1 ~ 30GPa) 且玻纤含量越高，切变模量越大。从减少超程损失的角度来讲，在保证工艺可行的基础上，主轴材质玻纤含量越大越好。

(3) 随着主轴尺寸增加，各相超程损失逐渐减小，且变化趋势也呈现逐渐饱和的态势。单纯的增加主轴尺寸不能完全消除超程损失。

3 主轴及传动结构优化

根据前述分析结论，为减少合闸时断路器的超程损失，理论上可以从减小主轴扭矩；增加主轴切变模量；增加主轴尺寸三方面入手。而在实际应用中，受限于基材特性及加工工艺，环氧玻纤引拔棒的切变模量通常无法做的很大，批量生产中该参数也较难开展原材料进厂检验，为达到所需的切变模量，需要耗费大量的时间、资金试验、试制，大大增加产品开发周期。柱上断路器安装在高处，产品小型化、轻量化是客户非常关注的点，增加主轴尺寸必然带来产品体积、重量的增加和成本的上升，不利于产品推广。上述两种手段，都无法完全消除超程损失。

比较可行的是通过减少甚至消除主轴扭矩的方式来降低、避免超程损失。缩小扭矩可以降低产品对主轴抗扭性能的要求，缩小主轴尺寸，进一步缩小产品体积、降低生产成本。

主轴及传动结构优化如图 4 所示：原偏心式外凸轮结

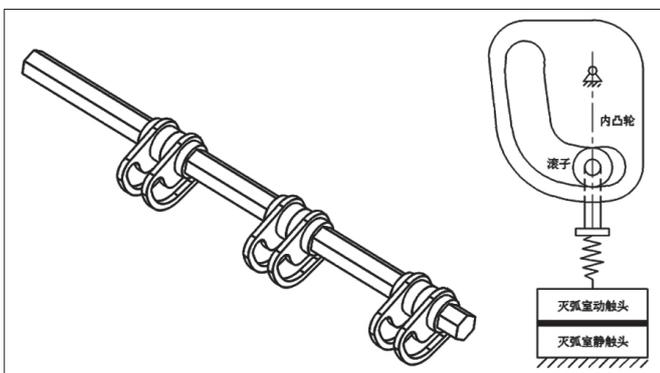


图 4 优化后断路器主轴传动结构

构更改非偏心内凸轮结构，灭弧室触头反力作用线过内凸轮支撑点；主轴设计转角由 28° 更改为 90° ；由于合闸状态时，主轴不承受反力矩，主轴尺寸可缩小，优化后 D 减小为 25mm。其中主轴设计转角增加，主要是为降低超程对转角变动的敏感性，有效降低断路器各传动环节间隙对超程影响。优化后，试制产品超程损失实测数据见表 4。可以看出：三相超程损失基本相同，超程显著差异情况得到改善；各相超程损失率较优化前有了非常大的降低，优化效果显著。

表 4 断路器超程损失情况 (优化后, 实测)

	A	B	C	
实测超程损失 Δs /mm		0.05mm	0.08mm	0.09mm
实测超程损失率		1.4%	2.3%	2.6%

4 结语

本文针对样机试制时暴露的超程减小问题，对断路器主轴扭转变形进行研究，分析了主轴扭矩、主轴切变模量、主轴截面尺寸三个方面因素对扭转变形的影响，得出以下结论：

(1) 实测数据与计算分析对比验证了主轴扭转，会对断路器超程产生非常大的影响。

(2) 当断路器主轴承受扭矩时，超程损失会随着切变模量、主轴截面尺寸的增加快速下降；提高主轴切变模量和主轴截面尺寸，有利于减少超程损失。

(3) 断路器扭矩对超程损失有着决定性的影响，设计时避免主轴承受扭矩。

参考文献：

[1] 王晓军, 许文良, 陈正馨. 万能式断路器结构强度对超程影响的仿真研究及优化 [J]. 电器与能效管理技术, 2017(21):44-47.
 [2] 晋艳娟, 张柱, 崔小朝, 刘利亭. 均匀化方法对单向碳/铝复合材料弹性性能预测 [J]. 太原科技大学学报, 2013,34(06):456-460.
 [3] 刘鸿文. 材料力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004:73-89.
 [4] 陈梦露. 纤维树脂复合材料的正向设计及其性能研究 [D]. 吉林大学, 2017.