

考虑恶劣天气条件功能的扭振研究

董梦越 周勇祥 孙逊

摘要：为了让船舶在恶劣天气条件下维持足够航速，MAN-ES 推出了恶劣天气条件（AWC）功能，提高了紧急情况下柴油机的可输出功率且没有时间限制，这会对轴系扭振造成影响。本文通过对 AWC 功能的柴油机负荷限制线进行分析，对考虑 AWC 功能的扭振计算进行了研究，并通过案例对常规扭振计算和考虑 AWC 功能的扭振计算结果进行比较。

关键词：恶劣天气条件，系柱螺旋桨负荷曲线，等扭矩线

一、引言

船舶在恶劣天气条件下航行时受到的阻力会增加，为了维持螺旋桨转速，柴油机需要输出更高的功率。通常情况下，柴油机的可输出功率与通过 SMCR 点（额定工况）的重螺旋桨负荷曲线相比还留有一定裕度足以应对这种情况，如图 1 中区域 C 所示。但为了满足 EEDI 的要求，越来越多船舶选用了降低额定功率的柴油机，这也降低了柴油机可用于应急的功率裕度。

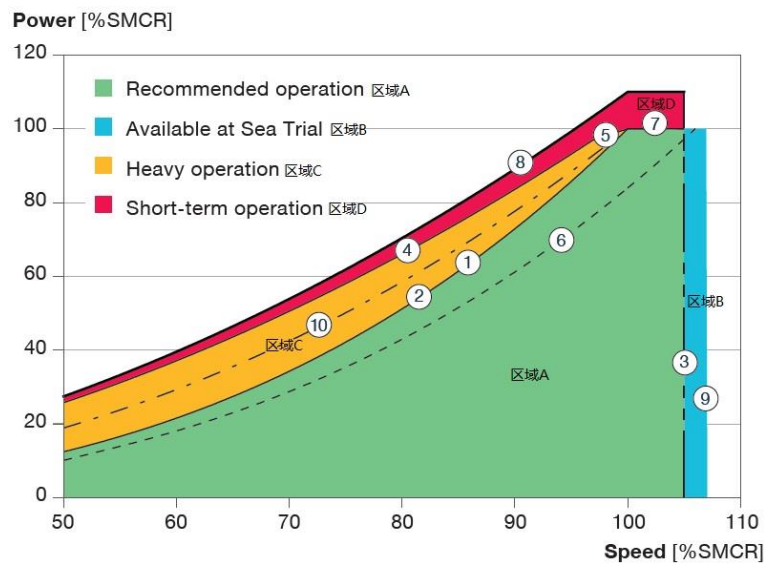


图 1 MAN-ES 柴油机的标准负荷限制线

在恶劣天气条件下，如果不能提高柴油机输出的功率来维持螺旋桨转速，那么就只能降低螺旋桨转速即船舶航速，这会降低船舶的操控性能和安全。为了避免这种情况发生，MAN-ES 推出了恶劣天气条件（Adverse Weather Condition，简称 AWC）功能，在紧急情况下可大幅提高柴油机的输出功率且没有时间限制，以确保船舶在恶劣天气条件下能维持足够航速，保障船舶的操控性能和安全，如图 2 所示。

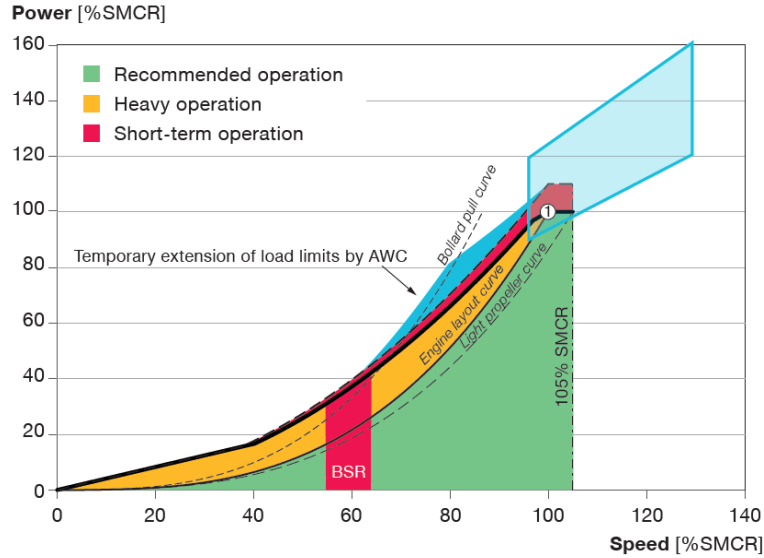


图2 增加 AWC 功能后的 MAN-ES 柴油机负荷限制线

AWC 功能允许柴油机在远高于标准负荷限制线的负荷长期持续运转,此时的螺旋桨负荷曲线与常规扭振计算时考虑的螺旋桨负荷曲线相差较大,因此有必要对这时的扭振状况进行评估,在设计阶段留出足够余量以确保船舶轴系安全。

二、考虑 AWC 功能的扭振计算

根据 MAN-ES 对 AWC 功能的介绍,AWC 功能可以提高柴油机从 60%额定转速到 100%额定转速的负荷限制线,允许柴油机按照系柱螺旋桨负荷曲线在 80%额定转速运行到 80%额定功率,此时的扭矩可以达到 100%额定扭矩,如图 3 所示。

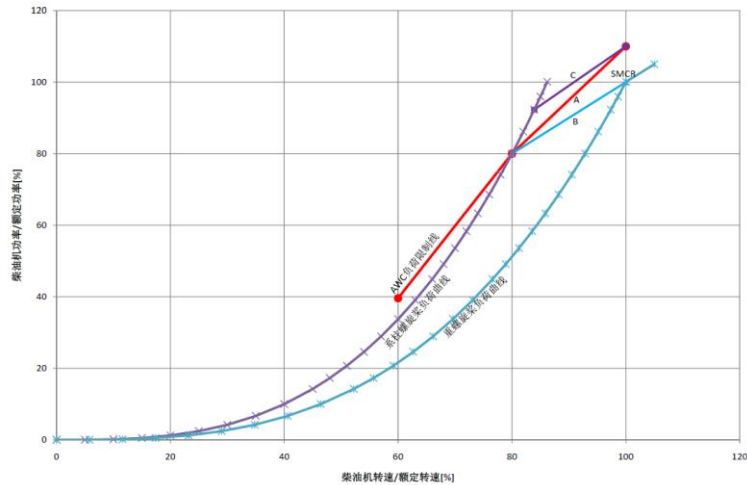


图3 AWC 负荷限制线及螺旋桨负荷曲线

常规的扭振计算是基于通过 SMCR 点的重螺旋桨负荷曲线进行计算(带 PTO 的项目情况比较复杂,不在本文讨论的范畴),在转速高于 SMCR 转速时扭矩不再继续增加。结合实际情况,系柱螺旋桨负荷曲线可以看作螺旋桨负荷最重时的状态,因此 AWC 负荷限制线位于系柱螺旋桨负荷曲线左侧的部分实际上是无法达到的。如此一来,考虑 AWC 功能的扭振计算理论上应基于系柱螺旋桨负荷曲线进行计算,在高于 80%额定转速时受限于 AWC 负荷

限制线，应基于 AWC 负荷限制线（即图 3 中 A 线）进行计算。

图 3 中 B 线和 C 线分别为 100%额定扭矩和 110%额定扭矩的等扭矩线，A 线的扭矩随着转速上升逐渐从 100%额定扭矩提高到 110%额定扭矩。考虑到沿 A 线的负荷曲线难以在 MAN-ES 的扭振计算软件中体现，而沿 B 线或者 C 线的负荷曲线都比较容易实现，且相比 A 线，B 线的扭矩存在低估，C 线的扭矩存在高估，本文从更安全的角度，考虑 AWC 功能的扭振计算采用基于系柱螺旋桨负荷曲线以及 C 线进行计算的方式，在高于 80%额定转速时按本文计算方式得到的结果比理论情况略大。

三、案例分析

根据 MAN-ES 对 AWC 功能的介绍，该功能可应用在 MAN-ES 的 ME-C10.5 和 ME-C9.7 及更新型的柴油机上。考虑到 8 缸及以上柴油机的船舶轴系扭振主要体现为节点位于曲轴的 2 节扭振，7 缸及以下柴油机的船舶轴系扭振主要体现为节点位于中间轴的 1 节扭振，为了更全面地评估 AWC 功能对轴系扭振的影响，本文从不同节点位置的扭振类型以及 ME-C10.5 和 ME-C9.7 两类不同机型的角度选择了两个案例，对考虑 AWC 功能的扭振进行评估并与常规扭振计算结果进行比较。

1. 某 8S60ME-C10.5 项目

某 8S60ME-C10.5 项目的额定功率和额定转速分别是 18200 kW 和 103 rpm，根据常规的船舶轴系扭振计算，配有扭振减振器 SPN048184（惯性环转动惯量为 8451 kgm^2 ，外壳转动惯量为 7374 kgm^2 ）和转动惯量为 4791 kgm^2 的飞轮。

考虑 AWC 功能进行扭振计算，在低于 80%额定转速时采用在 80%额定转速运行 80%额定功率的系柱螺旋桨负荷曲线，即螺旋桨的功率和转速分别为 14560 kW 和 82.4 rpm，在高于 80%额定转速时采用 110%额定扭矩的等扭矩线，即柴油机的功率和转速分别为 20020 kW 和 103 rpm。采用这种方式计算得到如图 4，图 6 和图 8 的扭振计算结果，分别对应曲轴，中间轴和螺旋桨轴的扭振应力，图 5，图 7 和图 9 则分别为常规扭振计算得到的曲轴，中间轴和螺旋桨轴的扭振应力。

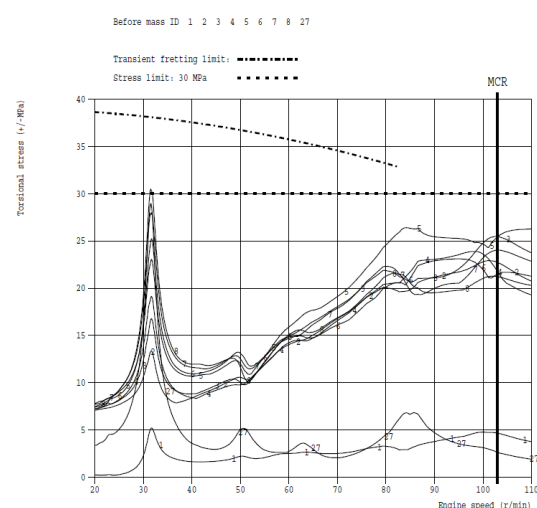


图 4 曲轴扭振应力（考虑 AWC 功能）

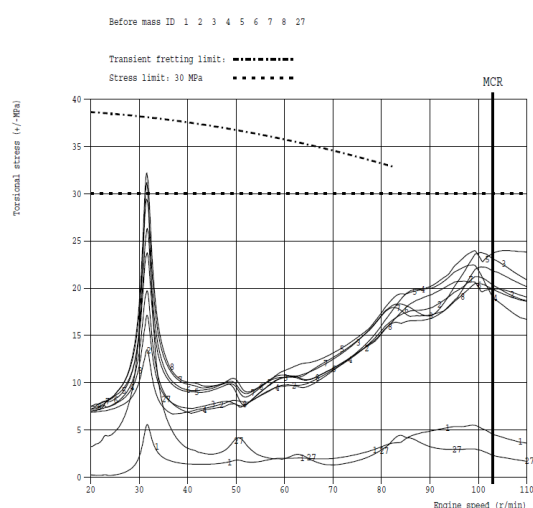


图 5 曲轴扭振应力（常规扭振计算）

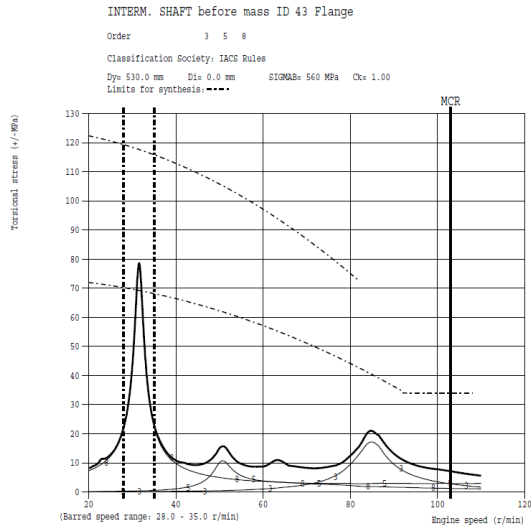


图 6 中间轴扭振应力（考虑 AWC 功能）

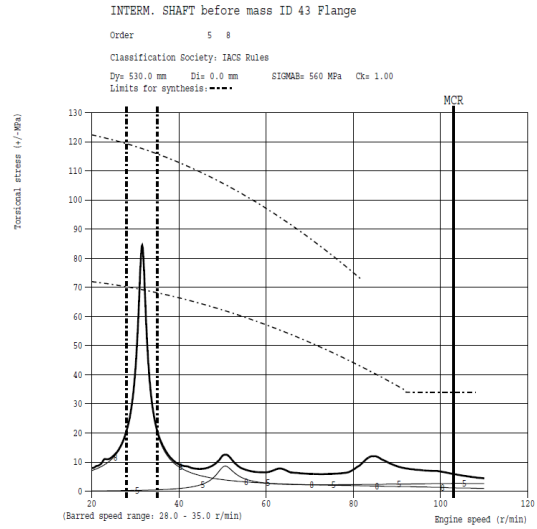


图 7 中间轴扭振应力（常规扭振计算）

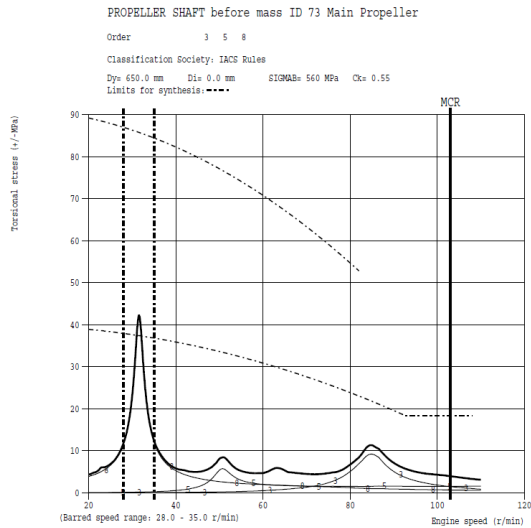


图 8 螺旋桨轴扭振应力（考虑 AWC 功能）

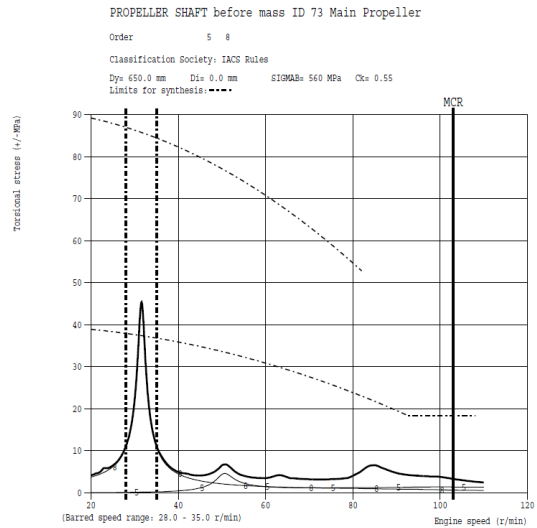


图 9 螺旋桨轴扭振应力（常规扭振计算）

对比以上结果可以看出，在高负荷区域，考虑 AWC 功能时的各轴段扭振应力都要高于常规扭振计算结果，不过本项目安装有扭振减振器，各轴段扭振应力都存在较大余量，即便考虑 AWC 功能，各轴段扭振应力仍然有足够大的余量。

同时，在转速禁区对应的低负荷区域，考虑 AWC 功能时的各轴段扭振应力低于常规扭振计算结果，而对比图 3 的系柱螺旋桨负荷曲线和重螺旋桨负荷曲线，可以明显看出考虑 AWC 功能对应的系柱螺旋桨负荷更高，这是由于考虑 AWC 功能时的螺旋桨阻尼也增加了。根据 MAN-ES 的螺旋桨标准阻尼模型，螺旋桨阻尼是与螺旋桨转速有关的，常规扭振计算时在 50%SMCR 转速时螺旋桨阻尼为 5.5%，而考虑 AWC 功能时在 40%SMCR 转速时螺旋桨阻尼为 5.5%，如图 10 所示。

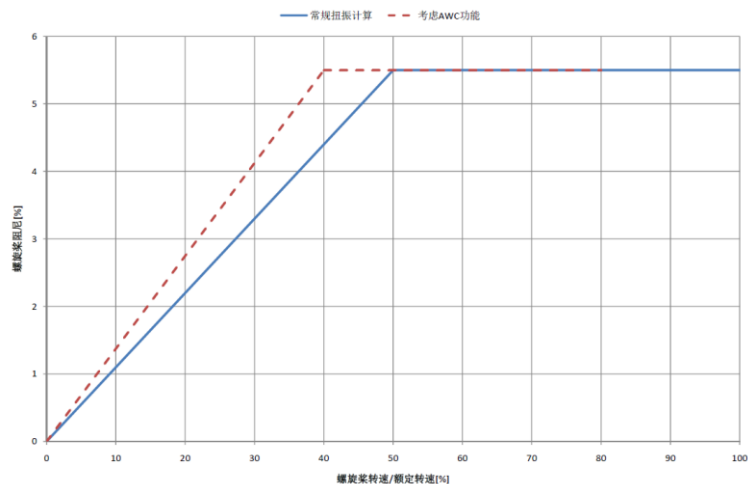


图 10 MAN-ES 的螺旋桨标准阻尼模型

2. 某 7S50ME-C9.7 项目

某 7S50ME-C9.7 项目的额定功率和额定转速分别是 8330 kW 和 98 rpm，根据常规的船舶轴系扭振计算，配有转动惯量为 5000 kgm^2 的飞轮。

考虑 AWC 功能进行扭振计算，在低于 80%额定转速时采用在 80%额定转速运行 80%额定功率的系柱螺旋桨负荷曲线，即螺旋桨的功率和转速分别为 6664 kW 和 78.4 rpm，在高于 80%额定转速时采用 110%额定扭矩的等扭矩线，即柴油机的功率和转速分别为 9163 kW 和 98 rpm。采用这种方式计算得到如图 11，图 13 和图 15 的扭振计算结果，分别对应曲轴，中间轴和螺旋桨轴的扭振应力，图 12，图 14 和图 16 则分别为常规扭振计算得到的曲轴，中间轴和螺旋桨轴的扭振应力。

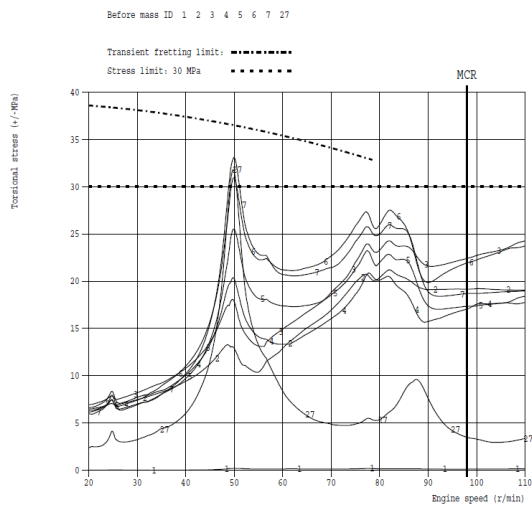


图 11 曲轴扭振应力（考虑 AWC 功能）

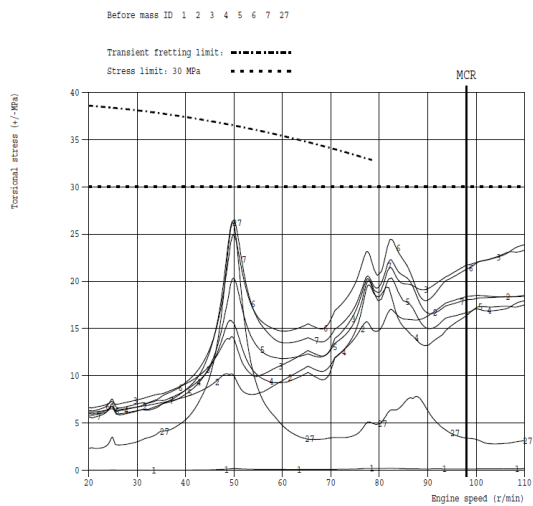


图 12 曲轴扭振应力（常规扭振计算）

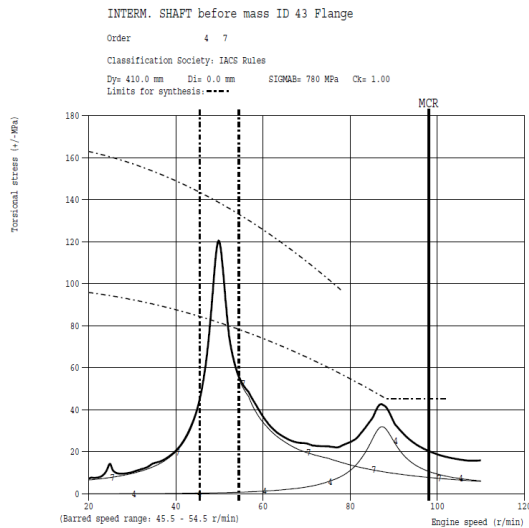


图 13 中间轴扭振应力（考虑 AWC 功能）

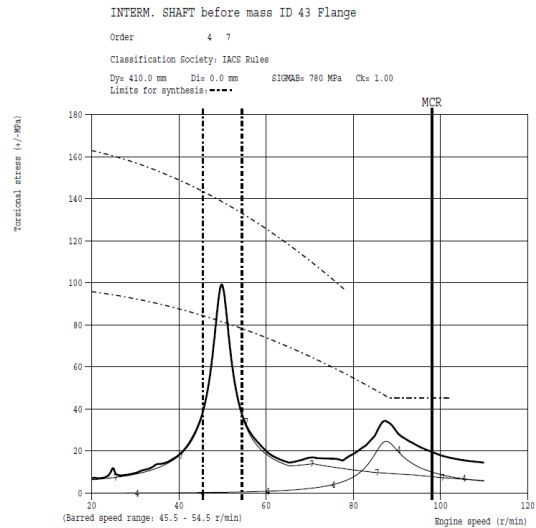


图 14 中间轴扭振应力（常规扭振计算）

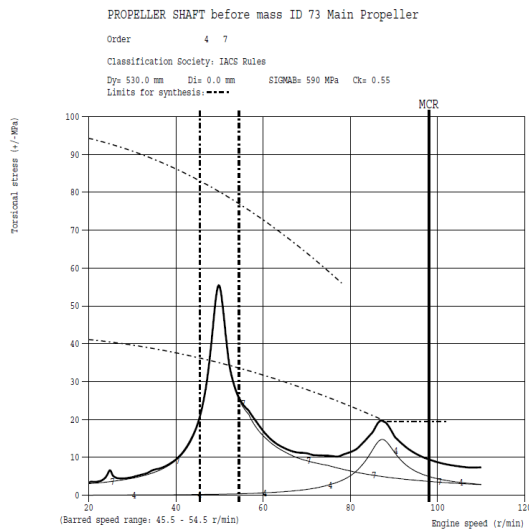


图 15 螺旋桨轴扭振应力（考虑 AWC 功能）

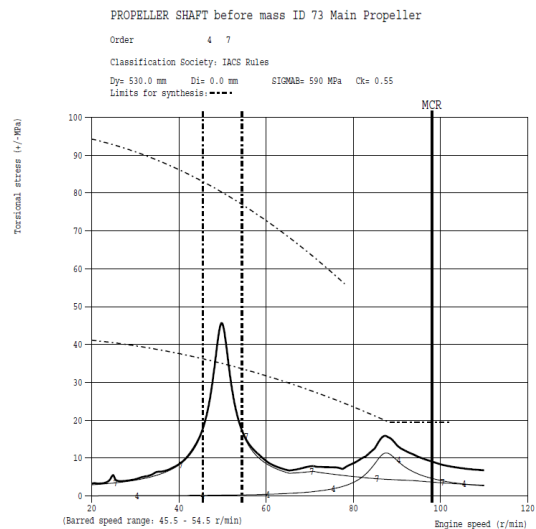


图 16 螺旋桨轴扭振应力（常规扭振计算）

对比以上结果可以看出，不论是在高负荷区域，还是转速禁区对应的低负荷区域，各轴段考虑 AWC 功能时的扭振应力都要高于常规扭振计算结果。图 15 中的螺旋桨轴扭振应力非常接近许可值，但由于在高于 80%SMCR 转速的区域，计算时实际考虑的 110%额定扭矩等扭矩线相比 AWC 负荷限制线存在一定高估，该处实际存在一定安全裕度。

四、结论

本文通过对不同扭振类型和不同机型的两个案例分别按考虑 AWC 功能进行扭振计算，并将计算结果与常规扭振计算结果进行比较，可以看出 MAN-ES 推出的 AWC 功能将增大轴系承受的扭振，尤其是在高负荷区域。在对轴系配置进行设计时，应考虑到 AWC 功能的影响，适度增大轴系扭振应力的安全裕度，本文提供的计算方法存在一定局限性，但还是足够帮助对考虑 AWC 功能时轴系的安全裕度进行评估。