风电场CFD仿真的控制方程和边界条件

风电场CFD仿真属于计算风工程（Computational Wind Engineering, CWE）的领域，主要关注大气边界层内的流动特性。其控制方程和传统的CFD计算并没有本质的差别。CFD领域中的雷诺平均，大涡模拟等方法均可用于风电场CFD的仿真。但从工程的角度来说，RANS方法由于计算量小且容易收敛，是目前主要采用的数值模拟方法。风电场仿真中，最重要的属于风电场发电量的计算，尤其是20年的年平均发电量的大小。对应到CFD计算中则为统计平均意义下的风速分布。假设大气为不可压缩流动。忽略大气热力效应，即假设大气处于中性层结状态。其控制方程如下：

 （1）

同时，前人的研究发现：两方程湍流模型在风工程领域运用最多，能够准确的求解风电场内风速、湍流的分布情况。并成为仿真中首选的湍流模型，其方程如下：

 （2）

其中，常用的湍流模型常数为：，，，，

风电场仿真或者计算风工程中最重要一个的假设是，在确定的流体模型中，风廓线在遇到建筑物或者障碍物之前能够保持。即，在理想的平坦地形下，风廓线的形状能够很好的保持而不会衰减。这已经成为风资源计算软件开发时，需要验证的第一个模型算例。同时，风资源CFD计算已经超出传统CFD计算的范畴，需要考虑大气边界层的一些特性，如地转风，大气的温度变化等等。在计算中，通常通过固定顶部速度边界条件来实现。而大气温度的变化影响则需要通过热稳定度仿真来实现。目前，风资源仿真多采用简化的中性大气边界层假设，即忽略温度变化的影响。更进一步，在实际的风资源计算中，由于地表的植被、建筑物、湖泊等信息过于复杂，常常需要通过采用地表粗糙度的方式进行模型化处理。

鉴于此，风资源的CFD计算就有必要做一些特殊处理，尤其在CFD的边界条件上。这里最有名的当属1993年由Richards&Hoxey提出的RH关系式，他们是基于如下假设提出的：

1. 假设大气近地面为二维不可压缩稳态流动。
2. 垂直方向风速为零。
3. 模型区域内，压力为常数。
4. 模型区域为，剪切应力为常数（即为近地面边界层，surfacelayer）

则，基于k-Epsilon模型的RANS方程的一个特解是：

 （3）

其中，为壁面摩擦速度，可以通过给定参考高度处的参考风速和入口处的粗糙度值来确定。为湍流模型常数，通常取为0.09。为von Karman常数，通常取为0.41。同时，为了满足Epsilon的输运方程，模型常数需要满足如下公式：

 （4）

以上，就确定了基于k-Epsilon模型的RANS入口边界条件。出口边界条件则多采用零压力梯度。地面边界条件对于风速U采用定值，p采用零压力梯度；而对于k、epsilon则需要引入壁面函数进行处理。详见下回。

参考文献：

1. Richards, P. J., and R. P. Hoxey. "Appropriate boundary conditions for computational wind engineering models using the k-ε turbulence model." *Computational Wind Engineering 1*. 1993. 145-153.
2. Hargreaves, D. M., and Nigel G. Wright. "On the use of the k–ε model in commercial CFD software to model the neutral atmospheric boundary layer." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 95.5 (2007): 355-369.