

考虑剪切变形对结构计算的影响

当杆件在两相邻的横截面处有一对垂直于杆轴，但方向相反的横向力作用时，其发生的变形为该两截面沿横向力方向发生相对的错动，此变形称为剪切变形。

剪切变形受力特征：杆件受到两个大小相等，方向相反、作用线垂直于杆的轴线并且相互平行且相距很近的力的作用。

剪应力求法：根据构件破坏的可能性，以直接试验为基础，以较为近似的名义应力公式进行构件的强度计算。

名义剪应力：假设剪应力在整个剪切面上均匀分布。

$$\tau = Fs/A$$

剪切强度条件：

$$\tau = Fs/A \leq [\tau]$$

剪切模量G：材料常数,是剪切应力与应变的比值。又称切变模量或刚性模量。材料的力学性能指标之一。是材料在剪切应力作用下，在弹性变形比例极限范围内，切应力与切应变的比值。它表征材料抵抗切应变的能力。模量大，则表示材料的刚性强。剪切模量的倒数称为剪切柔量，是单位剪切力作用下发生切应变的量度，可表示材料剪切变形的难易程度。切变弹性模量G为材料的基本物理特性参数之一，与杨氏弹性模量E、泊松比 ν 并列为材料的三项基本物理特性参数，在材料力学、弹性力学中有广泛的应用。其定义为： $G = \tau / \gamma$ ，其中G(MPa)为切变弹性模量； τ 为剪切应力(MPa)； γ 为剪切应变(弧度)。

剪切模量与弹性模量之间的关系：

$$G = E / (1 + \nu)$$

考虑剪切变形与否对结构计算的影响：通常采用梁段单元法进行结构尤其是大跨度预应力混凝土桥梁的静力分析时，由于考虑剪切变形的计算较为复杂，往往给予忽略，使得计算位移与实测位移相比偏小。这是由于承受弯矩、剪力共同作用的直梁，除了在弯矩作用下产生挠度以外，由于剪力作用会产生一个附加挠度，即两相邻截面彼此之间的垂直相互错动。由于截面上剪应力分布的不均匀性，使得变形前垂直梁中性面的平面受力后不再保持平面而发生挠曲，但在引入剪应力和剪应变在截面上均匀分布的假设之后，仍可以假设原来垂直于中性面的平面变形后仍然保持为平面，但不与中性面垂直，只有竖向弯曲位移平面与中性面垂直。

对于通常的框架结构，框架柱与框架梁均为实腹式截面构件，构件自身的剪切变形相对于弯曲变形而言很小，对于框架整体稳定性的影响可以忽略不计。但是在某些大型结构中，框架柱截面高度高，剪切变形占有相当的比例，如高层建筑中常见的蜂窝梁、短柱梁以及巨型框架中常见的桁架梁，其自身的剪切变形就不能忽略。

ANSYS中梁单元考虑剪切变形的影响：经典梁元基于变形前后垂直于中面的截面

变形后仍保持垂直的Kirchhoff假定，如当剪切系数为零时的BEAM3或BEAM4，但是在考虑剪切变形的梁弯曲理论时，仍假定原来垂直于中面的截面变形后仍保持平面。在ANSYS中，考虑剪切变形影响可采用两种方法，在**经典梁元**基础上引入剪切变形系数（BEAM3/4）和**Timoshenko梁元**（BEAM188/189）。

BEAM188/189单元适合分析从细长到中等粗细的梁结构。但当梁 $h/l \rightarrow 0$ 时，由于两结点Timoshenko单元BEAM188，不象经典梁单元在挠度 ω 的模式中精确的包含了三次函数，因此正应力误差较大。通过增加单元数提高精度，将使自由度相应成倍增加，因此对于**剪切影响可以忽略**的情形，可以采用经典梁单元（BEAM3/4）。对于需要**考虑剪切变形**的影响时，改用高次单元BEAM189可得到非常好的结果。对于中粗梁，剪切变形对位移影响较大，故应考虑采用BEAM188/189。在对剪切的影响不清楚，并且需要得到比较完善的结果时，可以直接使用BEAM189单元。

在ANSYS软件中，在使用BEAM188/189单元时，输入材料属性：弹性模量E和泊松比 ν 时会自动计算剪切模量G，计算公式为： $G=E/(1+\nu)$ 从而考虑剪切变形的影响，简支梁计算结果如下表所示：

表 1 简支梁内力分析对比

模型	跨中弯矩	误差	支座剪力	误差	跨中正应力	误差	跨中位移	误差
	(kN·m)	(%)	(kN)	(%)	(MPa)	(%)	(mm)	(%)
理论计算	155.25	0	103.50	0	8.63	0	3.04	0
BEAM3/4	155.25	0	103.50	0	8.63	0.06	3.04	0
BEAM188/189	158.13	1.85	103.50	0	8.78	1.80	3.11	2.3

当不考虑剪切变形，使用经典梁元BEAM3/4时，简支梁的跨中挠度与理论值完全相同为3.04mm，当考虑剪切变形，使用Timoshenko梁元BEAM188/189时，简支梁的跨中挠度为3.11mm，其中较3.04mm多出的0.07mm为剪力产生的附加挠度值，与上文分析符合一致。

剪切模量对结构位移的影响：在使用Timoshenko梁元BEAM188/189计算此简支梁时，采用直接输入剪切模量的方式考察其对结构跨中位移的影响：

表 2 剪切模量对结构位移的影响

	理论计算	剪切模量放大 10 倍	剪切模量放大 100 倍	剪切模量放大 1000 倍
跨中位移	3.040mm	3.044mm	3.038mm	3.037mm

由上表可以看出，通过直接输入剪切模量，改变其数值大小对此简支梁结构的跨中位移并无明显改变。