

ETABS 常见警告及对策

筑信达 吴文博

为得到准确的计算结果，首先需要有一个准确模型。ETABS 的模型检查功能可以帮助用户进行一些建模检查，并给出警告；在分析过程中，程序也会弹出警告提示有限元模型可能存在的一些问题。用户应重视这些警告，并进行针对性的修改。本文将分析 ETABS 模型检查、分析过程中出现的常见警告，并介绍应对方法。

1. 模型检查

用户可在分析之前，通过【分析>检查模型】命令进行模型检查，具体设置见图 1，其中建议“用于检查的长度容差”不小于“长度容差”，否则可能造成本该合并的节点提示距离太近。其他选项可依据实际情况酌情勾选。检查完成后，程序将会显示一个信息框，说明没有检查到错误，或者给出相关的警告信息，如图 2 所示。



图 1 检查模型设置

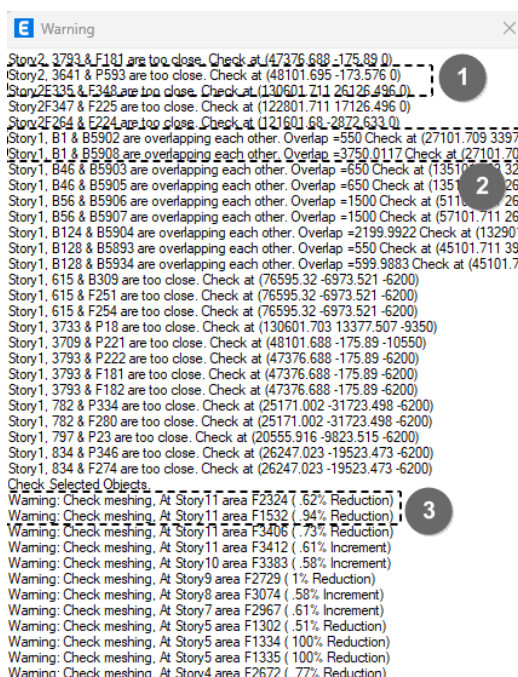


图 2 检查模型的警告信息

模型检查会给出两大类警告：第一类是针对对象连接信息的警告，这类警告一般会写成：“某楼层的***&***太近（如图 2 中区域 1）或***&***重叠（如图 2 中区域 2）”，其中字母代表构件类型，数字代表标签号，不同字母的含义分别是：B 代表梁；C 代表柱；F 代表楼板；W 代表墙；P 代表墙肢；如果不包含字母代表节点。同时警告还会给出相关的坐标，以供检查使用。第二类是针对楼板剖分的警告，这类警告一般会写成：“检查剖分，在某楼层的面 F***（***减少或增加）”（如图 2 中区域 3）。

现通过一些典型的案例剖析上述警告。

案例一：某模型检查后，出现图 3 中所示警告，即板（F2486）与梁（B5857）太近。



图 3 警告信息板与梁太近

依据警告提供的坐标，可定位到相关的楼板与梁，如图 4，可以看出，板 F2486 为四节点面单元，但是左侧的边与三个梁 B5877、B5857 和 B5854 相连，其中梁 B5877 和 B5854 与面的一个节点相连，程序未给出警告，但 B5857 与面的左侧边重合，但不共节点，程序给出了警告信息。处理类似的警告可通过合并框架 B5857 和 B5854 解决。

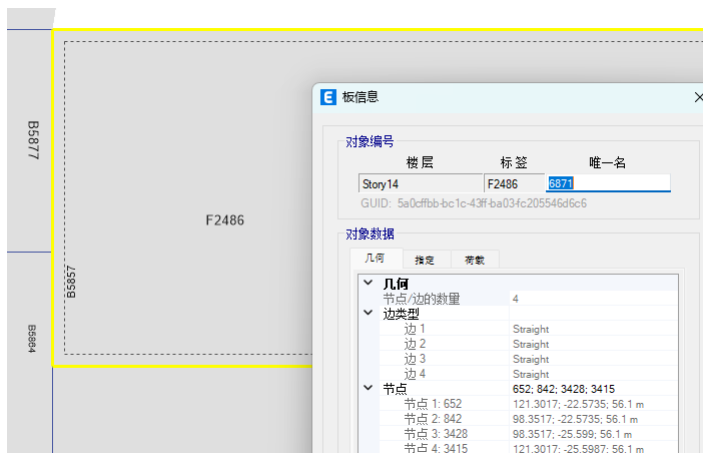


图 4 板与梁的连接关系

案例二：某模型检查后，出现图 5 中所示警告，梁 3547 与梁 4174 重叠。依据警告提供的坐标，可定位到相关的梁，如图 5，可以看出 B3547（通长的梁）与 B4174（内部的梁）重叠，将 B4174 删除即可解决。

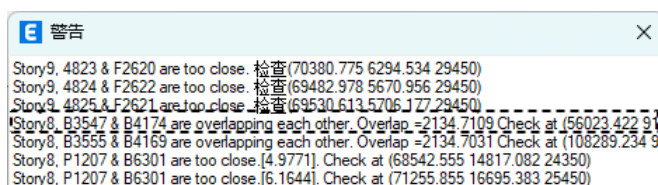


图 5 警告信息框架重叠

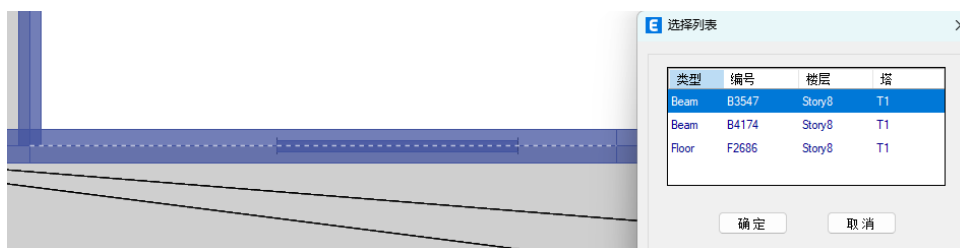


图 6 梁与梁的重叠

案例三：某模型检查后，出现图 7 中所示警告，楼板 F1335 丢失（100% Reduction）。这是由于面剖分不合理，造成分析模型中单元全部丢失或部分丢失，如图 8 所示，在右侧的分析模型中有大量楼板丢失，主要由于楼板形状畸异导致。建议用户在绘制面对象时，优先采用三角形或四边形，并且尽量避免出现面对象长宽比大于 10，角度接近 0 度，或内角大于 180 度等易造成形状畸异的情况；在剖分时，选择与单元类型和对象节点数相匹配的剖分选项。

如果警告中出现楼板增加（即***Increment），则表示楼板之间有重叠的现象，这需要用户重新绘制。

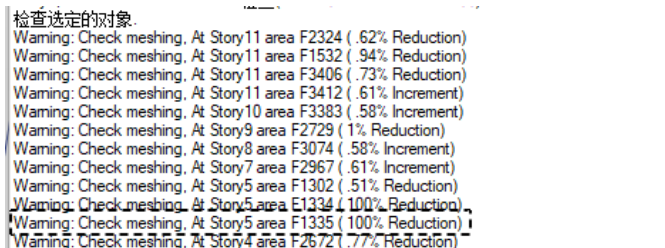


图 7 面丢失

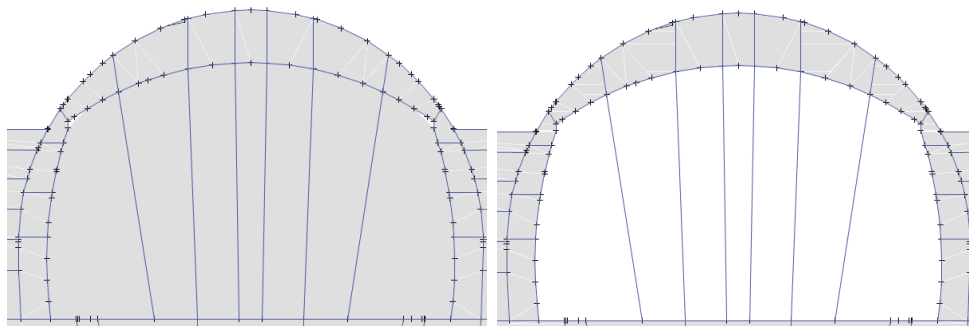


图8 楼板几何模型与分析模型对比

2. 分析警告

用户在运行分析模型时，程序会给出一些数值求解的相关警告，较为常见的警告可分为两大类：一种是结构稳定性警告、另一种是工况运行警告。

2.1 结构稳定性警告

用户可通过【分析>显示运行日志】或【分析>显示分析信息】命令查看结构稳定性警告，如图9所示。

<pre> *** WARNING *** THE STRUCTURE IS UNSTABLE OR ILL-CONDITIONED !! CHECK THE STRUCTURE CAREFULLY FOR: - INADEQUATE SUPPORT CONDITIONS, OR - ONE OR MORE INTERNAL MECHANISMS, OR - ZERO OR NEGATIVE STIFFNESS PROPERTIES, OR - EXTREMELY LARGE STIFFNESS PROPERTIES, OR - BUCKLING DUE TO P-DELTA OR GEOMETRIC NONLINEARITY, OR - A FREQUENCY SHIFT (IF ANY) ONTO A NATURAL FREQUENCY TO OBTAIN FURTHER INFORMATION: - USE THE STANDARD SOLVER, OR - RUN AN EIGEN ANALYSIS USING AUTO FREQUENCY SHIFTING (WITH ADDITIONAL MASS IF NEEDED) AND INVESTIGATE THE MODE SHAPES ----- BASIC STABILITY CHECK FOR LINEAR LOAD CASES: NUMBER OF NEGATIVE STIFFNESS EIGENVALUES SHOULD BE ZERO FOR STABILITY. (NOTE: FURTHER CHECKS SHOULD BE CONSIDERED AS DEEMED NECESSARY, SUCH AS REVIEWING EIGEN MODES FOR MECHANISMS AND RIGID-BODY MOTION) NUMBER OF NEGATIVE EIGENVALUES = 1 </pre>	<p>结构是不稳定的或者是病态的!!</p> <p>请仔细检查以下结构信息：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 不适当的支座条件 2) 一个或多个内部机构 3) 零刚度或负刚度的结构属性 4) 过大的刚度属性 5) P-delta 或几何非线性造成的屈曲 6) 频率偏移接近一个固有频率 <p>获取进一步的信息：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 使用标准求解器 2) 运行一个自动频率偏移的特征值向量模态，并研究模态形状 <p>-----</p> <p>对于线性工况的基本稳定性校核：</p> <p>对于稳定的结构，负刚度特征值必须为0</p> <p>(注：进一步的检查是非常必要的，例如通过检查特征值模态，寻找机构和刚体运动)</p> <p>负特征值的数量=1</p>
--	--

图9 结构稳定性警告信息截图及译文

结构稳定性警告主要是建模不当导致的，例如：使用刚度很大的刚性杆、过度释放造成的机构、构件之间未能有效连接、使用错误的单元和错误的剖分等等。一旦出现类似的警告，用户可通过【分析>SAPFire 高级选项】设置采用标准求解器进行特征值向量法的模态分析。此时程序会给出详细的警告信息，这些警告大致有两大类：“精度丢失”和“对角线小于0”，分别如图10和图11所示。

```

*** WARNING ***
NUMERICAL PROBLEMS ENCOUNTERED DURING EQUATION SOLUTION:

```

TYPE	LABEL	DOF	X-COORD	Y-COORD	Z-COORD	PROBLEM	VALUE
Joint		2 RZ	8300.000	16000.000	12000.000	Lost accuracy	15.4 digits

图10 节点精度丢失

```

*** WARNING ***
NUMERICAL PROBLEMS ENCOUNTERED DURING EQUATION SOLUTION:

```

TYPE	LABEL	DOF	X-COORD	Y-COORD	Z-COORD	PROBLEM	VALUE
Joint	~8	RY	4000.000	24000.000	12000.000	Lost accuracy	13.8 digits
Joint	~8	RZ	4000.000	24000.000	12000.000	Lost accuracy	13.8 digits
Joint	~8	RZ	4000.000	24000.000	12000.000	Diagonal < 0	-0.077637

图 11 对角线小于 0

(1) 精度丢失

ETABS 在方程求解过程采用双精度算法，提供 15（有时为 16）位有效数字。当模型中存在刚度差异巨大的构件时，为与高阶数值（对应较刚构件）进行运算，程序可能忽略某些低阶数值（对应较柔构件），这样就会造成数值精度丢失，也可参考文献 1 中 7.3 节的内容。

以下情况可能导致数值精度丢失：

- 1) 刚度相差很大的框架构件通过公共节点相连，特别是一些人为的“刚性杆”的使用容易造成此类问题，例如网架的支座，常常会被模拟成“刚性杆”，这类刚性杆并不是真实存在的，而是人为的假定。CSI 建议使用截面尺寸为 1m×1m 的混凝土截面来模拟刚性杆，这时杆件已有足够大的刚度，而不至于造成显著的精度丢失。
- 2) 出现零刚度。当检测到零刚度时，为使数值计算正常进行，程序将对该刚度赋一个小值，并给出相关警告。这常见于杆件被过度释放或膜单元被剖分，出现在这种情况下，应对模型进行修改，移除产生零刚度的根源。
- 3) 指定有刚性隔板的楼板与柔性构件相连接。
- 4) 对节点指定了多个释放，导致节点自由度孤立（没有刚度），应该予以修正。

根据精度丢失的数量大小，可以采取不同的措施：

- 1) 少于 6 个数值精度——对结果没有大的影响，求解足够精确。
- 2) 在 6 到 11 个数值精度之间——当预估的数值精度丢失大于 6 时，程序将给出警告信息。分析结果可能是可接受的，也可能是不可接受的。用户应当仔细检查结果，特别是荷载总和。
- 3) 大于 11 个数值精度——当预估的数值精度丢失大于 11 时，程序将给出结构病态的警告。分析结果可能不够准确（ETABS 会报告发生数值问题的位置坐标）。在这种情况下，用户需要检查并修改模型。

除节点精度丢失，程序还会给出约束精度丢失和边约束精度丢失等情况，约束精度丢失的警告类型（TYPE）为“Constr”，边约束精度丢失为“ConstrLine”。当出现类似警告时，需检查刚性隔板的指定，或尝试移除面对象的自动边约束。

(2) 对角线小于 0

当警告中出现对角线小于 0 时，用户应引起重视，这表示结构刚度矩阵非正定，刚度矩阵对角线上出现负值，结构出现负刚度，会造成某些计算结果异常。这类警告产生的原因也较多，程序也给出了负特征值的检查提示，前文已有解释。用户可采用以下方法进行模型检查。

- 1) 通过警告信息中的节点标签（其中带有“~”的节点标签为剖分节点，无法直接进行选择）以及位置信息确定出现问题的节点或构件，检查构件之间是否出现连接问题或者剖分问题。需要注意的是，警告通常给出的是刚度矩阵出现异常的节点信息，但有可能并不是真正出现问题的所在，还需进行后续的检查。
- 2) 运行特征值模态工况，并观察结构模态形状。当结构中存在内部机构、不合适的支座、零刚度或负刚度结构属性时，结构刚度通常较小，往往会出现周期较大的局部振型。可通过这些局部振型定位异常构件，并进行检查。这种方法也可能因为出现异常的构件没有质量（或无竖向质量、转动惯量），无法检测出异常构件。
- 3) 运行包含自重的恒载工况，并观察结构的变形形状，通过位移云图或位移数据表格定位较大的异常变形，这可检测结构出现的一些异常剖分或内部的机构等。
- 4) 当可能存在 P-delta 或几何非线性造成的屈曲时，例如运行预设 P-delta 工况不收敛而出现警告。可运行一个 buckling 工况，该工况中的荷载与预设 P-delta 工况相同，并观察屈曲因子和屈曲模态，观察最小的正值屈曲因子（通常屈曲因子小于 1）对应的屈曲模态，可帮助定位异常构件。

- 5) 检查模型中是否出现“刚性杆”，检查构件的端部释放是否合理。

以上方法可帮助用户排除大部分警告信息，但由于结构的复杂性，和用户建模的随机性，仍需要用户对警告信息进行甄

别，多尝试各种方法，逐步积累使用经验。

2.2 工况运行警告

程序在运行各个工况时，可能会给出各类针对当前工况的警告。本小节整理了部分警告信息，详见表 1。

表 1 常见工况运行警告

工况类型	警告信息	说明
特征值模态	Eigenvalue ** was found out of sequence	这只是警告而不是错误，通常出现于较敏感的结构，并且该周期与临近模态周期非常接近。可不做处理。
RITZ 向量法模态	NO RITZ MODES WERE FOUND	Ritz 向量法要求结构刚度矩阵正定，因此不允许出现对角线小于 0 的警告。应检查模型，排除此类警告。
RITZ 向量法模态	**LOAD IS APPLIED TO ONE OR MORE MASSLESS DEGREES OF FREEDOM	**荷载作用于无质量自由度处，可能导致程序生成错误 RITZ 向量。多种可能导致此警告出现，具体可查看 下方链接 ： 质量源定义与阻尼器布置 里兹向量法与非节点荷载 节点质量与无质量自由度
屈曲工况	NO BUCKLING MODES WERE FOUND	屈曲工况仅进行 40 次迭代，如果迭代无法收敛将给出该警告。通常出现于较敏感的结构，如果分析日志中没有警告信息，可适当放大收敛容差。
时程工况	NON-ZERO TIME HISTORICAL FUNCTION VALUE	线性/非线性时程工况开始于零初始条件时或非线性静力工况时，相应的时程函数值必须从零值开始。否则将出现警告，将时程函数的初始值改为 (0, 0) 即可消除该警告。
所有工况	程序一次只运行部分工况，无法运行全部工况	这通常是工况命名时，工况名过长或存在非法字符。推荐使用英文字符，且不超过 25 个字符。
所有工况	COULD NOT SOLVE ** THE PREREQUISITE CASE DID NOT COMPLETE SUCCESSFULLY	前置工况未完成，导致后续工况无法运行，例如模态工况未完成导致反应谱工况无法运行，预设 P-delta 工况未完成，导致所有线性工况无法完成。
自动风荷载工况	COULD NOT SOLVE **	请检查隔板设置是否合理，隔板宽度不可为 0（例如隔板中的所有点共线）

除以上警告信息，用户可能还会在软件安装、建模、结果显示、报告输出等情况下，遇到各类警告，用户可在[下方链接](#)中做进一步的查询。

<https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Error+codes+and+descriptions>

参考文献：

[1] Wilson E L. Static and Dynamic Analysis of Structures [M], Fourth Edition (Revised June 2010). Computers and Structures Inc., Berkeley USA, 2010.