

论“结点”与“节点”的区别和联系

陈水福/浙江大学建筑工程学院土木工程学系, 杭州 310058

0 引言

几年前, 笔者作为编审人员之一参加某出版社约稿的一本有关建筑结构方面的书籍的编写, 并负责建筑力学部分的编撰。该书还有钢筋混凝土结构、钢结构、木结构等方面的内容。编写过程中, 笔者根据建筑力学和结构力学的惯用表述, 对杆件连接点和需要计入自由度的特征点均用“结点”进行表述。在出版社第二稿校稿时, 编辑要求将建筑力学这部分的“结点”全部改为“节点”, 理由是与后面的专业部分(混凝土结构、钢结构等)不一致。当时虽然据理力争, 和他们说明在结构计算简图的分析中惯用的是“结点”, 但最终仍未说服对方, 只得将所有的“结点”改为“节点”。近几年, 结构领域的部分网络论坛对此问题也有一些涉及, 但还存在不少概念混淆、相互矛盾甚至错误之处, 尚未看到较完整的或较有说服力的陈述和论证。

最近笔者正准备主编另外一本专业书籍, 里面还要涉及不少“结点”和“节点”。因此, 专门对此进行研究、分析和对比、论证, 并获得了一些较为明确的、新的结论, 特撰写此文, 希望对结构工程专业的规范用词, 特别是对相关概念的梳理和理解有所帮助。

本文的分析论证主要从三个方面出发: 结构工程专业的常用或习惯表述、汉语的词语本意以及与国外(英文)相关表述的对比。在给出“结点”与“节点”的内在或本质的区别和联系之后, 还分析了容易引起混淆的原因。

1 结构专业的惯用表述

在我国高等学校普遍使用的结构力学教科书中^[1-4], 一般会首先讨论杆件结构的力学模型或计算简图。在计算简图中, 杆件之间的连接通常可简化为两种基本形式: 铰结点和刚结点。在对计算简图作内力分析时, 如果截取结构中的一个铰结点或刚结点进行分析, 这种分析方法称为结点法。在杆件结构的位移法计算中, 基本未知量取为结点位移, 而这里的结点可以是杆件连接点, 即刚结点、铰结点等, 也可以是支座结点, 如连续梁的中间支承点, 或杆末端点、杆件截面突变点等。

由此可见, 在结构力学教科书中^[1-3], 针对计算简图的杆件连接点, 以及结构分析与计算的标识点, 用的都是“结点”, 而非“节点”。当然, 不同教科书

对“结点”的引入或定义还是存在一些不同, 这些引入或定义是否恰当, 将在下一节分析汉语的词语本意后再做论证。

在连续结构的有限元分析中^[5, 6], 首先需要将连续体划分为一系列离散单元的集合体, 再对集合体中的各个单元定义有限数目的计算点, 从而将无限自由度体系简化为有限自由度体系, 这些所定义的计算点就称为“结点”。显然, 这里的结点很大一部分是虚拟的网格(或单元)划分点, 并不一定是结构内部的物理连接点, 尽管在实际分析中, 一般需要对结构的连接处、形状突变处、转角处等部位布置结点。因此, 在结构有限元分析中, 针对离散单元所定义的计算点, 用的都是“结点”, 而非“节点”。

下面再看实际工程结构(如混凝土结构、钢结构)设计与分析时的惯用表述。在钢筋混凝土结构、钢结构的通用教科书^[7, 8], 以及国家通行的《混凝土结构设计规范》^[9]、《钢结构设计规范》^[10]中, 会大量提到诸如梁柱连接节点、桁架节点、节点板、节点构造等术语。虽然这些教科书及规范一般都没有直接给出关于“节点”的明确定义, 但是从所涉及的讨论对象可以推断, 其中所指的“节点”就是实际构件相互连接后对连接区域的一个统称。例如, 混凝土结构中的梁柱节点便是梁与柱的连接部位的统称, 它多数情况下是现浇的, 故除了需满足承载力要求外, 还需符合相关的钢筋锚固和搭接要求。又如, 钢结构中的梁柱节点可以采用焊缝连接、螺栓连接、端板连接等形式, 并可根据需要设计成铰接、刚接或半刚性连接等力学模型。

由此可见, 针对实际工程结构的构件物理连接区, 用的都是“节点”, 而非“结点”。“节点”不光要满足承载力要求, 还需符合构造要求。设计中对一些较复杂的节点, 一般还需给出节点详图, 以便施工人员准确地进行加工制作。显然, “节点”中的点只是一个习惯称法, 是相对整体结构而言的, 并不是真正的“点”, 而是一个区域或部位。

目前, 在一些综合性的专业书籍、论文(即既涉及实际结构, 又涉及计算模型、计算简图的书刊)中, 对“结点”和“节点”存在着较多的混用、互用等现象, 但是在多数研究对象较单一、用词要求更高的通用教科书、国家标准规范、行业规程中, 这两者的使用对象、使用方法还是有较明显区别的。

2 汉语的词语本意分析

根据《现代汉语词典》^[11]，“结”作动词用的含义是“在条状物上打疙瘩或用这种方式制成物品”；作名词用时是“条状物打成的疙瘩”，如绳子打个结，蝴蝶结等。显然，这个“结”可以是具有某种功能的疙瘩，如“死结”、“活结”，也可以是并无明显功能而只是做个记号的“结”。可见，汉语中“结”的本意是在原本为一个整体，或者并无明确分割特征的条状物上打疙瘩或做记号，它与将几个分离的东西连接起来并无直接关联。

从“结”的本意可以推断，工程中的“结点”可以认为是在已经连成整体的结构上所设置的特征点或标识点，它与结构原本是如何连接的，即连接的过程或细节并无直接关系。当然，对于杆件结构，在计算简图中杆件已简化为轴线，而杆件连接点显然是结构中最重要特征点，故直接将其定义为“结点”也是适当的。

再看“节”的汉语本意。在《现代汉语词典》^[11]中，与客观事物描述相关的“节”的含义有两条：一是“物体各段之间相连的地方”，如“关节”、“竹节”等；二是“用于分段的事物或文章”，如“两节火车”、“第三章第八节”等。显然，汉语本意的“节”都是物理或客观存在的，而且有较明确的形状或功能。

据此容易推断，工程中的“节点”就是上述第一条含义在工程结构中的具体应用。也就是说，实际结构中的“节点”就是“结构各段之间相连的地方”。这也进一步验证，“节点”中的点只是一个习惯称法，并不一定是真正的“点”，而是一个“地方”，是区域或部位。

由此可见，“结点”与“节点”的概念和用途是有本质区别的。“结点”是一个力学概念，是在力学模型上根据分析需要所设置的标识点或计算点；而“节点”是一个物理概念，是对实际结构中一个“节段”与另一个“节段”物理连接区的统称。那么，为什么工程实际中的很多专业人士、专业书刊等都对这两者存在不同程度的混淆或互用呢？笔者认为，其主要原因是两者读音完全相同，且使用范围或对象存在较大重叠。因为在计算模型中，与物理“节点”对应的部位一般都要布置“结点”，或者说在计算简图中“节点”是一种自然的“结点”。

再回过头来讨论结构力学通用教科书对“结点”的引入或定义是否恰当的问题。例如，文献[1]对“结点”是这样定义的：“在杆件结构中，几根杆件相互联结处称为结点。确定结构的计算简图时，其结点通

常可简化为……”；文献[2]、[3]也有类似的表述。而文献[4]则是这样引入的：“杆件间的连接区简化为结点。结点通常可简化为……”。容易看到，前者对“结点”的定义似乎也适用于“节点”，尽管相关书籍中一般并不涉及到具体形式的“节点”，但该定义仍存在不够明确或混淆之嫌。相比之下，文献[4]的提法更为恰当，因为计算简图中的杆件连接点已简化为线与线的交点，是自然的标识点，即为“结点”。

3 与英文表述的对比

英语中与“结点”、“节点”、“连接”等对应的词汇有“joint”、“node”、“connection”等。那么，它们之间有什么区别和联系呢？我们可以从一些经典英文原版教科书及英语词典^[12-15]中得到较为明确的答案。

例如，美国学者 R. C. Hibbeler 在其撰写的《Structural Analysis》^[12]一书中，在讲到位移法分析的自由度概念时提到：“When a structure is loaded, specified points on it, called **nodes**, will undergo displacements.”在如何确定结构的自由度数目时又提到：“To determine the number of degrees of freedom we can imagine the structure to consist of a series of members connected to **nodes**, which are usually located at **joints**, supports, at the ends of a member, or where the members have a sudden change in cross section.”

可见，专业英语中的“node”与“joint”还是有明显区别的。“node”主要用于结构分析时对计算简图中的计算点或特征点进行标识，它可以是不同构件的连接点（joint），也可以是支承点、杆端点或其他需要计算的特征点（如截面突变处）。与汉语表述作对比，这里的“node”和汉语中的“结点”很接近，而“joint”和“节点”基本对应。

根据《牛津高阶英汉双语词典》^[13]，“node”作为技术术语时可表示“a point at which two lines or systems meet or cross”。可见，“node”仅表示“相遇”或“相交”、“交叉”，并不一定“相连”，即其本身没有“连接”或“联结”的含义。但正如前面所述，在汉语中，结构计算简图上的杆件连接点也可直接称为“结点”，而此时英文中的对应词汇一般仍用“joint”而非“node”。例如桁架计算中的“结点法”，在英文中的对应表述为“method of **joints**”，一般不用“method of **nodes**”。

再看美国学者 L. Spiegel 和 G. F. Limbrunner 所著的《Applied structural steel design》^[14]一书中，在讲到钢结构构件的连接时提到：“It is generally agreed among designers that the design of the basic structural

members is simple in comparison with the design of the **connections** between those members. The most common types of structural steel **connections** currently being used are **bolted connections** and **welded connections**.”在讲到焊缝连接的类型时又提到：“In any given welded structure, the adjoining members may be situated with respect to each other in several ways. These **joints** may be categorized as butt, tee, corner, lap, and edge.”

从该书的表述中容易看出，“connection”表示实际构件（如钢构件、钢筋混凝土构件）的相互连接，当然也可用来表示连接部位，例如一个梁柱连接的构造图可标注为“Beam to column connection”，一个连接的详图可标为“Connection detail”；而“joint”与汉语中的“节点”类似，是对连接部位的一个统称。

在经典的英文有限元分析教材^[5]中，单元的计算点一般称为“node”或“nodal point”，当然也可称为“grid point”（网格点），而结点位移、结点荷载就表述为“nodal displacement”、“nodal load”。因此有限元分析中，与“结点”对应的名词和形容词一般用“node”和“nodal”，而基本未见用其他表述。

4 结论

(1) “结点”是一个力学概念，是在结构的简化力学模型上根据分析需要所设置的特征点或计算点，它可以是构件的连接点，也可以是构件的支承点、末端点或者人为的网格划分点、自由度布置点等；此时“结点”对应于英文中的“node”或“nodal point”。结构计算简图中的杆件连接点一般也可直接称为“结点”，此时对应于“joint”。

(2) “节点”是一个物理概念，是对实际结构中一个“节段”与另一个“节段”的物理连接区的统称，如混凝土结构中的梁柱节点、钢结构中的焊接节点等。节点有其具体形状或功能，需要连接构造或节点详图。“节点”在英文中一般用“joint”或直接用“connection”表述。

(3) 结构分析中，在简化的计算模型上与物理“节点”对应的部位一般都要布置“结点”，或者说“节点”在计算简图中是一种自然的“结点”，故两者的使用范围存在较大重叠。

(4) “结点”与“节点”的概念和用途是有本质区别的，在英文中因词汇不同，不易混淆；但在汉语中，因两者读音完全相同，且使用范围存在重叠，故很容易混淆。

致谢：本文初稿完成后，与香港理工大学滕锦光教授进行了多个回合的邮件交流和讨论，并得到了他的诸多指点和帮助，在此表示诚挚的感谢。

参 考 文 献

- [1] 杨弗康, 李家宝. 结构力学(上册) [M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [2] 李廉锟. 结构力学(上册) [M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [3] 李家宝. 建筑力学(第三分册: 结构力学) [M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [4] 龙驭球, 包世华. 结构力学 I——基本教程 [M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [5] 徐芝纶. 弹性力学简明教程[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [6] 王勖成. 有限单元法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [7] 舒士霖. 钢筋混凝土结构 [M]. 2版. 杭州: 浙江大学出版社, 2003.
- [8] 姚谏, 夏志斌. 钢结构: 原理与设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [9] GB 50010—2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [10] GB 50017—2003 钢结构设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [11] 中国社会科学院语言研究所词典编辑室. 现代汉语词典[M]. 6版. 北京: 商务印书馆, 2012.
- [12] HIBBELER R C. Structural analysis [M]. 5th ed. Prentice Hall, 2001.
- [13] HORNBY A S. 牛津高阶英汉双语词典 [M]. 7版. 北京: 商务印书馆, 2009.
- [14] SPIEGEL L, LIMBRUNNER G F. Applied structural steel design [M]. 4th ed. Prentice Hall, 2002.
- [15] ZIENKIEWICZ O C. The finite element method[M]. 5th ed. McGraw Hill, 2001.

作者简介：陈水福，博士，教授，博士生导师，Email: csf@zju.edu.cn.

(上接第 13 页)

度小于300mm、墙肢截面的高厚比 h_w/b_w 不大于4”的界定不一定准确，宜根据工程的具体情况、墙肢的抗侧力刚度、承载能力的大小分析判定。

还需要说明的是：无论这两种情况中的哪一种情况，剪力墙结构中有这样的“柱”，对结构受力、抗震都是不利的，应尽可能避免。特别是不应在结构的底层角部布置此类“柱”，不宜在结构角部或底层布置此类“柱”。若无法避免且结构中这样的“柱”极少时，除框架柱应考虑地震作用组合的弯矩、剪力设计值的调整外，根据实际工程的具体情况，剪力墙的地震剪力标准值宜适当增大，抗震构造措施的抗震等级宜适当提高。

参 考 文 献

- [1] 张维斌. 混凝土结构设计相关规范综合应用及疑难问题分析处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.