

从几何组成分析中找到结构内力分析的方法

鲁彩凤¹, 鲁凤弟²

(1. 中国矿业大学 力学与建筑工程学院, 江苏 徐州 221008; 2. 安徽交通职业技术学院 土木工程系, 合肥 安徽 230051)

摘要:结合结构力学课程教学实践,研究了结构内力分析与其几何组成之间的关系,并通过实例讨论了从几何组成分析中找到结构内力分析方法的几种典型情况,包括主次结构、两刚片联结结构以及三刚片联结结构,以达到结构内力分析时能选择简便合理的计算次序。

关键词:结构力学;几何组成分析;内力分析

中图分类号:TU31-4 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2909(2012)05-0101-04

几何组成分析是结构力学课程重要的基础部分。由于平面杆件体系组成灵活、多变,学生难以很好地掌握几何组成分析的规则及方法,导致在学习课程后续内容时,容易将已学过的几何组成分析与结构内力分析两大部分内容孤立。这也是对稍微复杂的结构型式进行内力分析不知从何下手的原因。几何组成分析的目的,不仅在于判断某一体系是否为几何不变体系,从而确定其能否作为工程结构使用;同时也可以根据体系的几何组成情况,确定该结构为静定形态还是超静定形态,从而选定相应的计算方法;还可以搞清楚结构各部分在几何组成上的相互关系,从而选择简便合理的计算次序。在进行内力分析前,我们可以对体系进行几何组成分析,可以根据体系的几何组成情况找到结构内力分析的思路,这对结构型式比较复杂的结构尤其重要。下面通过实例分别讨论从几何组成分析中找到结构内力分析方法的几种典型情况。

一、两大结构计算方法的选择

结构力学课程涉及静定结构和超静定结构两大类型。这两大结构几何组成及静力特性完全不同,其内力分析思路也截然不同:静定结构的支座反力及内力完全可以通过平衡条件求解,而超静定结构不能完全通过平衡条件解出支反力和截面内力,通常采用力法、位移法、力矩分配法等方法。在内力分析前,学生往往不太注重几何组成分析这一环节,只凭直观感觉判断是静定结构还是超静定结构,导致一开始就找错了大方向。

如图1所示各结构^[1-4],其结构型式看起来较复杂,学生往往想当然地将其看作超静定结构,直接按力法、位移法或力矩分配法进行内力分析。其实,图1中各结构,通过几何组成分析可知,均是无多余约束的几何不变体系,即静定结构,其支座反力及内力完全可以直接通过平衡条件求解。另外,如图2所示各结构,

收稿日期:2011-12-13

作者简介:鲁彩凤(1974-),女,中国矿业大学力学与建筑工程学院副教授,主要从事钢筋混凝土结构耐久性研究,(E-mail)lucaifeng@cumt.edu.cn。

其结构型式虽然都很简单,但通过几何组成分析可知,均为有多余约束的几何不变体系,即超静定结构,其支

反力和内力不能完全依靠平衡方程确定,还需考虑变形协调条件,即要采用力法或位移法才能确定。

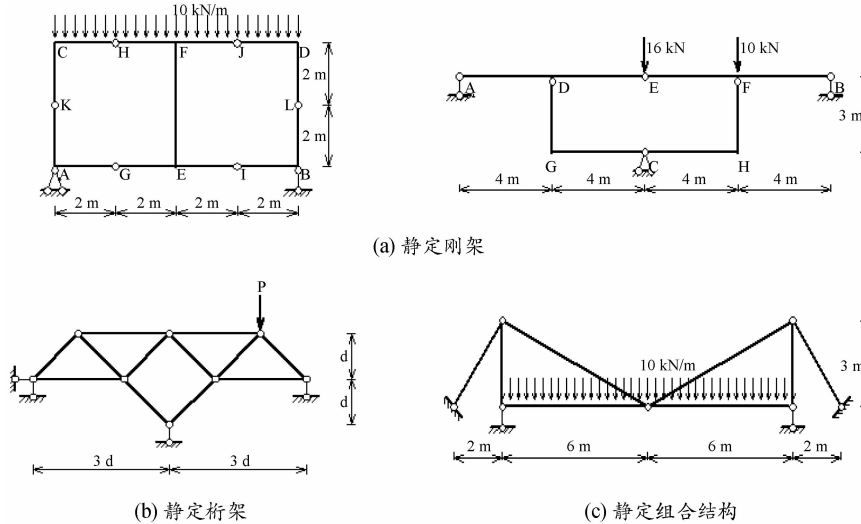


图1 静定结构

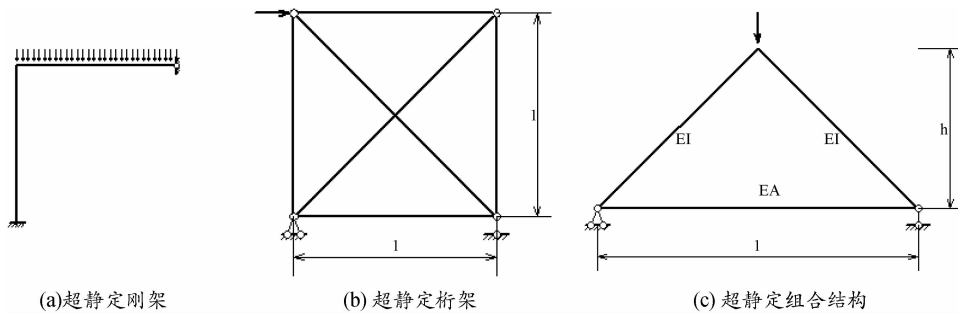


图2 超静定结构

从以上分析可知,在对结构进行内力分析前,必须先进行几何组成分析,确定属于哪类结构,才能采用相应的内力分析思路进行结构内力计算及内力图绘制。

二、主次结构及其内力分析方法

主次结构从几何组成看,包括基本部分和附属部分。基本部分是指不依赖其他部分的存在而能独立地维持其几何不变性。附属部分是指必须依赖基本部分才能维持其几何不变性。这类主次结构的几何组成特点是先固定基本部分,再固定附属部分。根据结构内力分析的顺序与几何组成次序相反这一原则,内力分析时先分析附属部分,再对基本部分进行内力分析^[5]。

结构力学课程中最基本的主次结构型式为多跨静定梁结构,如图3(a)所示,其中梁段ABC为基本部分,梁段CDE为梁段ABC的附属部分,梁段EF为梁段CDE的附属部分。其内力分析思路:先取梁

段EF按单跨静定梁进行分析,求出铰E处的连接力;再取梁段CDE进行分析,求出铰C处的连接力;最后取梁段ABC进行分析。这样多跨静定梁可以拆成多根单跨静定梁分析,使支座反力的计算及内力图的绘制都比较容易。

如图3(b)所示组合刚架,结构型式看起来虽较复杂,但通过几何组成分析可知:中间BCEFG部分为基本部分(三铰刚架),两侧AE、DG部分为附属部分(简支刚架)。其几何组成次序是先固定BCEFG基本部分,再固定两侧AE、DG附属部分。根据结构内力分析的顺序与几何组成次序相反的原则,内力分析时先取两侧AE、DG简支刚架分析,求出铰E、G处的连接力,分别如图4(b)、(c)所示;再取三铰刚架BCEFG进行分析,如图4(c)所示。这样看似结构型式较复杂的组合刚架结构就可以拆成多个简单刚架来计算,使其支座反力的计算及内力图的绘制都得到简化。

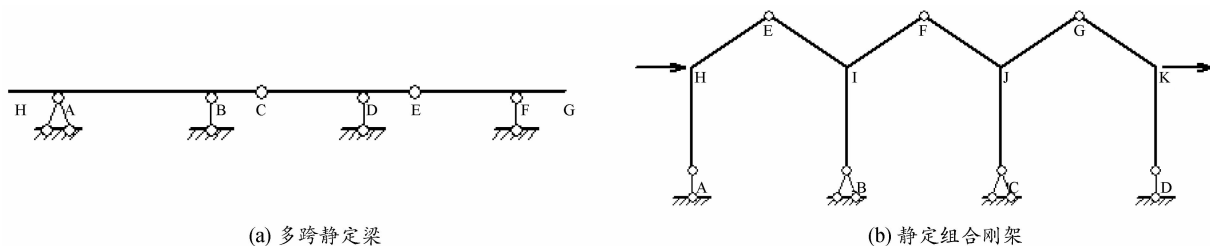


图3 主次结构 I

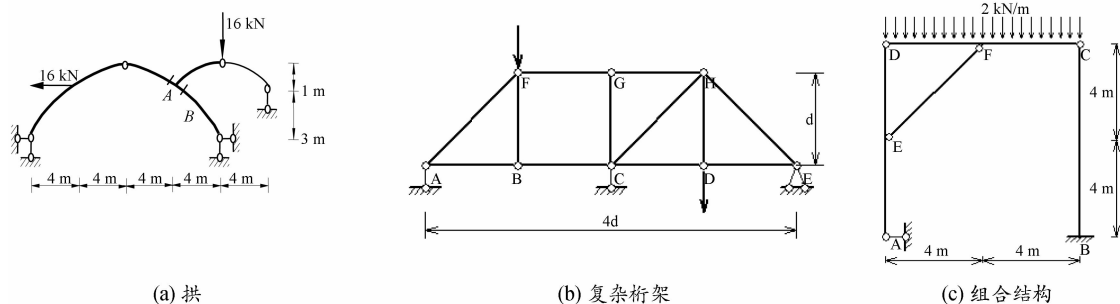


图4 主次结构 II [3]

如图4所示分别为拱结构、桁架结构和组合结构,通过几何组成分析可知,均为几何组成上具有基本部分和附属部分的主次结构。同理,这类结构进行内力分析前,应先进行几何组成分析,区别出基本部分和附属部分,按先附属部分后基本部分的计算次序依次进行内力分析,从而简化复杂结构体系的计算。

三、两刚片联结结构及其内力分析

两刚片联结结构指几何组成上是按两刚片组成规则联结形成的结构体系。其求解方法,一般先找一截面,截断两刚片之间的三个约束(三根链杆或一铰一链杆),将原结构拆成两刚片,只要通过其中任一刚片作为隔离体的平衡方程,求解出两刚片之间的三个联结力,就可将原结构拆成两个刚片分别进行分析。如图5(a)所示结构,在进行几何组成分析前,一般很难发现较好的求解思路,其几何组成情况

为由两个简单桁架(刚片 AEG、刚片 BCD),通过三根链杆(链杆 1、2、3),根据两刚片几何组成规则联结形成的联合桁架结构。据此,求解时先通过一截面(这里指空间存在的不连续截面)截断两简单桁架间的三个约束,将原结构分为两部分(两个简单桁架),此时可以取其中任一简单桁架作为隔离体来研究,如图5(b),求出三根联结链杆的联结力 F_{N1} 、 F_{N2} 、 F_{N3} ,这样原联合桁架结构就可转化为两个简单桁架结构的求解。

如图6所示的组合结构,其几何组成由两刚片规则联结而成。分析时,可考虑通过截面法沿两刚片联结处将原结构截开,如图中虚线所示,取一部分通过平衡条件求出两刚片联结处的三个约束力后,就可以将原结构拆成两个较简单的结构分别进行内力分析。

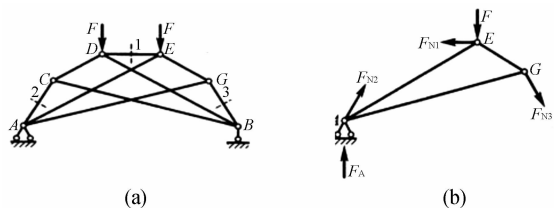


图5 联合桁架

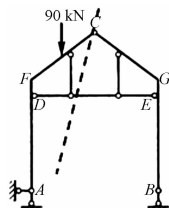


图6 两刚片联结结构 [1]

四、三刚片联结结构及其内力分析方法

三刚片联结结构是指:几何组成上由三个刚片间通过三刚片组成规则两两联结而成,三刚片间共有六个约束存在,这类结构也可称为三铰结构。如图7(a)所示三铰拱结构是三刚片联结结构(其中一刚片为大地)中最常见的结构型式,其常规求解思路

是先通过三个整体平衡方程及中间联结铰处弯矩为零的力矩平衡方程(如图中虚线所示)将这三个刚片间的六个约束力求解出来(这里其中四个约束力为支座反力)。

同理,图7(b)所示的三铰刚架结构、图7(c)所示的三铰桁架结构、图7(d)所示的三铰组合结构,其几

何组成与上述三铰拱结构相似,都是由三刚片间通过三刚片组成规则两两联结而形成的结构。这类结构,不管结构形式简单或复杂,内力分析思路均有相同之处:都是通过三个整体平衡方程和中间联结铰处弯矩

等于零力矩平衡方程(如各图中虚线所示),求出三个刚片间的六个约束力(其中四个为支座反力,二个为中间铰处联结力),从而将原结构分解为两个相对较简单的独立部分分别进行内力分析。

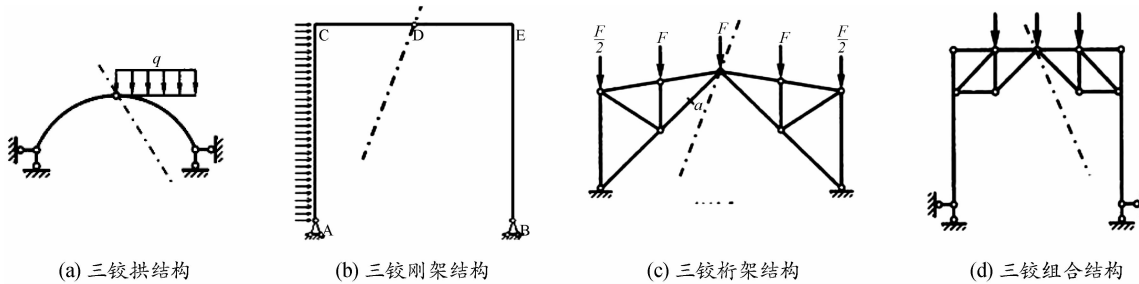


图7 三刚片联结结构^[1]

综上所述,对于结构力学课程,无论教材编写还是课堂讲授,一般都应将几何组成规则放在单独的章节进行编写或讲解,但从课程内容整体上来讲,与课程后续内容息息相关,紧密联系。因此,在学习过程中,进行内力分析前,一般情况先进行几何组成分析,一方面判断静定结构还是超静定结构,从而采用相应的计算方法求解;另一方面,根据各部分在几何组成的相互关系,找到简便合理的计算顺序,这对结构型式较复杂的结构体系尤其重要。

参考文献:

- [1] 李廉钐. 结构力学[M]. 4版. 北京:高等教育出版社, 2004.
- [2] 吕恒林. 结构力学[M]. 上册. 徐州:中国矿业大学出版社, 2010.
- [3] 吕恒林. 结构力学习题集[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2010.
- [4] 赵更新. 结构力学辅导—概念、方法、题解[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2001.
- [5] 鲁彩凤. “归纳、对比”教学法在结构力学课程中的应用[J]. 高等建筑教育, 2009, 18(3): 115-117.

Methods of internal force analysis found from geometric composition

LU Caifeng¹, LU Fengdi²

- (1. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, Jiangsu Province, P. R. China;
2. Department of Civil Engineering, Anhui Communication Vocational and Technical College, Hefei 230051, Anhui Province, P. R. China)

Abstract: To achieve a simple and reasonable order of internal force analysis, several typical internal force analyses from geometric composition analysis were discussed from some examples, including the structure with primary and secondary parts, the structure with two rigid bodies, and the structure with three rigid bodies.

Keywords: structural mechanics; geometric composition analysis; force analysis

(编辑 梁远华)