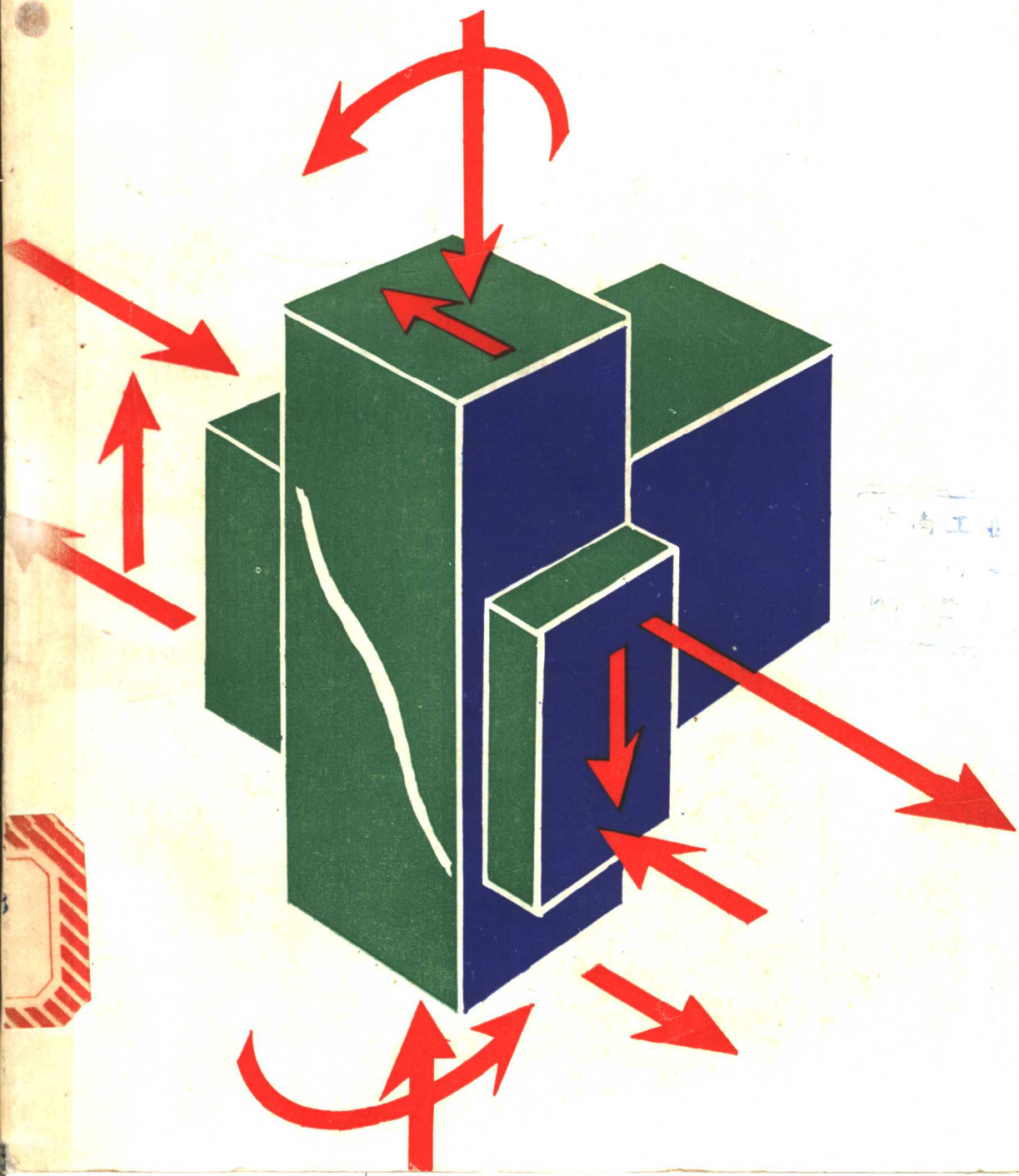


713778

钢筋混凝土框架节点抗震

唐九如 编著
东南大学出版社

Seismic Resistance of
Joints in Reinforced
Concrete Frames
TANG JIURU



钢筋混凝土框架节点抗震

唐 九 如 编著



东南大学出版社

内 容 提 要

国内外的震害表明, 框架节点是结构抗震的一个薄弱环节。本书根据作者多年的研究成果和国内、外资料, 系统地阐述了框架节点的受力机理和抗震性能(强度、延性、能量耗散、粘结锚固等), 详细介绍了各类框架节点的抗震设计方法: 现浇框架节点; 装配式框架节点; 预应力节点; 轻骨料砼节点; 钢纤维砼节点等。最后还介绍了框架节点抗震试验方法。

本书为我国有关框架节点抗震设计与研究的首部专著。可供建筑结构抗震的设计、科研、施工技术人员和大专院校研究生、教师参考使用。

ABSTRACT

The earthquake damages have shown that the reinforced concrete frame joints can become the weakest links in the chain of earthquake resistance. Based on the informations obtained from auther's investigations and from other relevant literature, this book discusses mechanisms of shear resistance and seismic behaviors (strength, stiffness, ductility, energy dissipation capacity and bond characteristics,...) of beam-column joints, then it introduces systematically the seismic design of RC joints, including monolithic, precast, prestressed, light-weight and steel fiber concrete. Finally, an experimental method of beam-column joints subjected to reversed cyclic loading is described. This book is a first text in seismic design and researches of RC joint in our country.

Readership: Building Structural Engineers, Researchers, teachers, postgraduate students.

钢筋混凝土框架节点抗震

唐九如 编著

东南大学出版社出版

南京四牌楼2号

江苏省新华书店发行 南京人民印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16 印张21.25 字数544千字

1989年10月第1版 1989年10月第1次印刷

印数: 1—3000册

ISBN 7—81023—230—4

TU·16

定价: 4.30元

责任编辑: 张新建

序 言

早在50年代,对框架结构分析只是按计算简图考虑框架节点为刚性节点。此后,提出了节点的刚域和非刚性问题,但对节点区的受力性能则很少探讨。

60年代以来,世界上一些大城市不断发生强烈地震。钢筋混凝土框架节点震害的严重后果引起了人们的重视。美国、日本、新西兰、苏联等国家对框架节点的抗震性能相继开展研究。我国在70年代初期特别是唐山大地震后,在中国建筑科学研究院的组织领导下开展了全国范围的研究工作。其中东南大学(原南京工学院)作为框架节点专题研究组主要参加单位在唐九如副教授的具体参加和领导下,进行了大量试验研究,取得了丰硕的成果,为制订我国新规范中的节点设计条款提供了科学依据。

我国对框架节点抗震性能的研究虽然起步较晚,但成绩显著,在国际上受到普遍重视。

本书以震害调查及我国的试验研究为基础,结合节点抗震基本原理,对框架节点的抗震性能、构造做法进行深入分析,并综合了国外研究成果,对各类节点提出了具体的设计计算方法和构造要求。无疑,它对读者理解和应用我国新规范的节点抗震设计方法将有很大的帮助。

由于框架节点在地震及竖向荷载的共同作用下受力情况非常复杂,目前在国际上仍属于热门的研究课题。此外由于各种新节点构造不断提出,也需要通过试验进行鉴定。著者根据多年实践经验提出比较完整和合理的试验分析方法,为今后试验研究提供了宝贵的资料。

本书的问世是一件令人高兴的事。它既反映了我国近十余年来在框架节点抗震性能方面的研究成果,也比较全面地反映了国际上的研究水平,内容十分丰富,是一部理论结合实际,可供设计者应用并能推动科研进展的优秀著作。

胡 庆 昌

北京市建筑设计研究院

1988年7月

前 言

本书为系统介绍钢筋砼框架节点研究成果和抗震设计方法的一本专著。

国内外大地震的震害表明,框架节点是钢筋砼结构抗震的一个薄弱环节。国际上自60年代起即进行研究和探索。1976年我国唐山大地震后,引起了国内同行对这一领域的重视并开展了不少研究工作。由北京市建筑设计院和东南大学等单位组成的全国性框架节点专题研究组开展了系统的试验研究和工程实践,取得了良好的成果。

作者自70年代初开始,即从事钢筋砼框架节点的研究工作。15年来,在历届研究生的配合下,先后进行了多种框架节点受力性能的试验研究,包括现浇砼框架节点,装配式齿槽梁柱节点,齿槽-槽钢暗牛腿梁柱节点,升梁升板节点,预应力节点,轻骨料砼框架节点,劲性砼梁柱节点和钢纤维砼节点等,试验试件达143个。除试验研究外,作者曾专程去唐山作过震害调查,做了4个试点工程和现场试验,有的工程还经受了唐山地震的考验,积累了较丰富的第一手资料。钢筋砼现浇框架节点的研究成果已为我国新规范《建筑抗震设计规范》(GBJ 11-89)和《砼结构设计规范》(GBJ 10-89)所采纳,其它节点的设计建议亦为部级规范和教材中所引用。作者有关节点的研究论文有15篇曾在国内刊物上发表,有6篇已在国际学术会议上宣读。研究成果曾于1978年获全国科学大会奖,于1987年获江苏省科技进步二等奖。

为了给设计和研究人员提供较系统的学习资料,从1984年起作者在综合概括大量文献的基础上整理有关资料编成讲义。由于框架节点是一个新的学术领域,可供参考的书籍极少,编写时章节体系无所借鉴。经过几年的教学实践和补充修改,著成此书。本书共分五章,先从框架节点受力分析和破坏特征入手(第一章),全面阐述节点抗震的基本原理和要求(强度、变形、延性、耗散能量、粘结锚固……等)(第二章),使读者有个总的概念。然后在第三、四章中分别介绍各种现浇节点和装配式框架节点的受力性能和设计方法。其中,对我国新规范中第一次所列入的节点设计条款作了详细介绍,也对国外的一些计算方法作了简介以作对比和参考。为使读者对框架节点试验方法有所了解,还专门写了节点抗震试验方法一章,以供在检验和研究节点性能时加以应用。全书内容注意理论与实际并重,既对节点受力性能加以介绍,也提供设计和构造方法,并附有例题以便参考。

在编写本书的过程中,得到我国框架节点专题研究组各成员单位有关同志的大力协助。北京市建筑设计院胡庆昌、徐云崖二位高级工程师,西安冶金建筑学院姜维山教授,北京有色冶金设计研究总院周起敬高级工程师,冶金建筑研究总院束继华高级工程师,中国建筑科学研究院陈永春高级工程师,同济大学陈裕周老师等均提供了许多最新的研究资料,提出了不少宝贵的意见,在此谨向他们表示衷心的感谢。此外,在试验中得到东南大学结构试验室尤凤初、庞同和工程师等的协助。本书的底图由刘洪、李猗穉同志帮助描绘,陈雪红同志协助整理部分图稿,在此一并致谢。

本书是作者为反映框架节点研究成果的初次尝试,期望它对我国工程和学术界能起到抛砖引玉的作用。限于本人水平,书中必定存在不少问题乃至错误,敬希各位专家和读者不吝批评指正,幸甚!

唐九如 于东南大学土木工程系

1988年6月

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1—1 框架节点分类	(1)
§ 1—2 框架受荷后节点的受力	(5)
§ 1—3 节点的震害	(9)
§ 1—4 节点研究概况	(19)
§ 1—5 框架节点的设计准则	(22)
第二章 框架节点抗震基本原理	(23)
§ 2—1 节点的强度要求	(23)
§ 2—2 影响梁柱节点抗剪强度的因素	(29)
§ 2—3 节点的变形	(36)
§ 2—4 节点的延性	(49)
§ 2—5 节点的粘结-锚固性能	(66)
第三章 现浇框架节点	(76)
§ 3—1 节点受力机理	(76)
§ 3—2 外节点	(80)
§ 3—3 内节点	(101)
§ 3—4 顶层拐角节点	(120)
§ 3—5 空间框架节点	(131)
§ 3—6 改善节点性能的构造措施	(138)
§ 3—7 轻骨料砼节点	(144)
§ 3—8 钢纤维砼节点	(150)
§ 3—9 现浇框架节点抗震设计方法	(157)
第四章 装配式框架节点	(197)
§ 4—1 一般原则	(197)
§ 4—2 明牛腿梁柱刚性节点	(198)
§ 4—3 暗牛腿梁柱刚性节点	(205)
§ 4—4 齿槽梁柱刚性节点	(215)
§ 4—5 齿槽-槽钢暗牛腿梁柱刚性节点	(227)
§ 4—6 整浇装配式梁柱节点	(236)
§ 4—7 迭压浆锚式梁柱节点	(244)
§ 4—8 预应力框架节点	(251)
§ 4—9 升梁升板结构节点	(259)
§ 4—10 柱与柱刚性接头	(267)

§ 4—11 国外装配式框架节点举例	(274)
--------------------------	---------

第五章 框架节点抗震试验方法.....(279)

§ 5—1 试验目的与范围	(279)
§ 5—2 试件的选择	(279)
§ 5—3 加载装置	(282)
§ 5—4 加荷程序	(288)
§ 5—5 屈服与破坏的确定	(302)
§ 5—6 量测内容与要求	(304)
§ 5—7 试验结果分析与评定	(311)

附 录.....(317)

附录一 基本符号	(317)
附录二 单位换算	(319)
附录三 钢筋直径、面积和理论质量	(320)
附录四 混凝土与钢筋强度	(321)
附录五 文献目录	(322)

第一章 绪 论

§ 1—1 框架节点分类

一、定义和范围

框架节点是框架结构中不可分割的一部分。

本书所谓的“框架节点”，主要是指承重框架中的梁柱节点。具体地说，主要是指框架梁与框架柱相交的节点核心区与邻近核心区的梁端和柱端。

框架节点与英文“joint”、俄文“узлы”、日文“はり・柱接合部”的含义相当。节点核心区在英文中常用“joint core”或“joint block”表达，也有单用“joint”表达的。“连接”、“接头”所指的范围较广，与英文“Connection”、俄文“стыки”、日文“接合部”相当。为了明确含义，本书对梁柱交会的那一段范围一律称为“节点”。其他部位乃采用“接头”、“连接”、“接缝”等名词。

为什么要将节点包括邻近核心区的一段梁端和柱端呢？这是因为框架受力后，各种内力是通过梁端和柱端传到节点核心上去的，梁柱的截面尺寸和梁端及柱端的配筋构造对节点核心的受力性能有直接的影响，而节点核心区的构造也影响到邻近的梁端和柱端的强度、刚度和锚固性能。因此，节点核心区与邻近的梁端和柱端是有紧密联系的一个结构单元。在试验研究和设计时都要统一考虑这个范围的情况，加以研究。

大家知道，在工业与民用建筑中，钢筋砼框架结构获得广泛应用。常用的框架结构有三种体系。即：内框架、纯框架和框架-剪力墙结构体系。不论何种框架结构，都有框架节点。节点是一个重要的结构部位，它在框架中起着传递和分配内力、保证结构整体性的作用。纯框架结构的节点受力大，要求严。框-剪结构中由于水平力主要由剪力墙承担，节点的受力比纯框架中的略小，要求可适当放宽。至于装配式框架，节点更是一个薄弱环节。

实践表明，节点的受力状况比梁、柱构件更为复杂，有专门研究的必要。

二、按节点所在位置分类

节点是框架中的一个结构部位。梁和柱相交的地方就形成一个节点。一个平面框架，就有四种基本型式的节点(见图 1-1)。即：顶层边柱节点(r型)；顶层中柱节点(T型)；边柱节点(T型)；中柱节点(+型)。

实际工程中，多为空间框架，与框架平面相垂直的一侧或二侧还有纵向直交梁。这样组合起来，就有10种不同形状의节点。

上述四种基本型式的节点，由于节点处梁柱数目的比例不同，节点的受力状况也是不一样的。例如：顶层边柱r型节点是一个拐角节点，受荷后节点受到张开或闭合的弯矩，而梁柱的钢筋都要在核心区锚固，受力比较复杂，节点核心容易发生破坏。T型节点是顶层的中柱节点，梁筋可以直通锚固。在水平荷载下，柱子的抗弯能力要比梁的抗弯能力弱，因

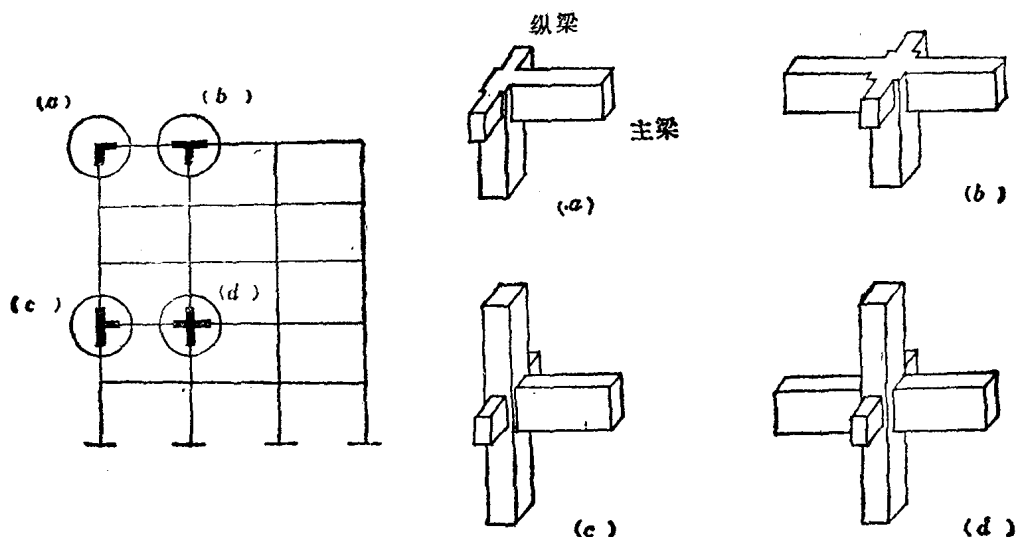


图1-1 框架节点类型

(a)顶层边柱节点; (b)顶层中柱节点; (c)边柱节点; (d)中柱节点

此,柱端容易出现塑性铰。对于L型的边节点,柱子抗弯能力较大,强柱弱梁比较容易满足,但梁筋的锚固是一个问题,常常容易发生梁筋和柱筋的粘结滑移。框架四角的角柱节点受力最为不利。而十字形的中柱节点由于四周有梁的约束,比较安全,但是在强烈地震作用下,节点两侧梁端可能均达到屈服,这样节点会受到很大的剪力,容易发生核心区剪切破坏,如此等等。

目前,国内外对中柱节点和边节点研究得较多,而对顶层拐角节点和顶层中节点研究得很少。

三、按所用材料和施工方法分类

1. 现浇节点: 这是目前广泛采用的普通钢筋混凝土节点。使用的是重混凝土,强度等级一般为C20~C40,钢筋I~II级。即使是这样的节点,也还有许多问题要进行研究,例如节点的强度计算、锚固、刚度降低对结构的影响等,这是目前国际上研究得最多的一种节点,本书将在第三章详细介绍。

2. 装配式节点: 随着装配式框架的采用,出现了大量的装配式节点型式。在国内外,装配式的梁柱节点就有二三十种之多,采用的构造和连接方法也多种多样。与现浇节点相比,装配式节点的整体性较差,为了形成刚节点,往往要通过预埋件焊接、灌浆等措施。构件制作上的误差给节点装配带来困难,焊接质量不良又影响节点的强度和延性。特别是抗震性能如何已成为迫切需要研究的问题。本书将在第四章介绍和讨论这些问题。

3. 预应力节点: 在采用预应力框架之后,就出现了预应力梁柱节点。或者为了提高现浇或装配式节点的强度而专门对节点施加预应力。但是预应力对节点的作用是否有利?在什么情况下采用?在什么部位加预应力比较合理?预应力对节点强度和延性的影响如何?采用无粘结预应力筋的效果如何?这些问题都未得到完全解决。据国内外的初步研究证明:采用合适的预应力可以提高节点的抗剪强度,但是在我国尚没有提出相应的计算方法和构造规定。

4.轻砼节点:采用轻骨料后,节点的性能将如何变化?这已成为工程实际中提出的课题。国内外只做过少量试验,认为在强度上要比普通砼节点低些;钢筋与混凝土的粘结性能也差一些。在我国,轻混凝土骨料多用陶粒、矿渣、浮石等,我们正在积极地从事轻砼节点性能的研究,以适应生产建设的需要。

5.钢纤维砼节点:试验和工程实践已经证明,采用钢纤维砼可以大大提高砼的抗拉强度,增加延性,提高粘结强度。在节点中应用钢纤维砼可以发挥其优点,从而减少节点内的钢筋用量,这项研究工作也在进行中。

6.劲性砼节点:随着高层、超高层建筑的发展,为了减小底部构件尺寸和改善结构的抗震性能,除采用高强砼和高强钢筋外,还采用劲性钢材(型钢)。当柱子中采用了劲性钢材之后,节点的性能将发生较大的变化。在我国,近年来还研究和推广钢管砼结构和外包钢结构,产生了钢管砼节点和外包钢梁柱节点。这些组合结构的节点性能均需进行研究。

四、按构造型式分类

框架节点是柱子的一部分,又是梁的支座。由于采用不同的框架结构型式,梁支座的型式也有不同,而产生各种构造不同的节点。在我国使用较多的有以下8种(图1-2):

1.现浇无牛腿节点

2.现浇加腋梁节点:由于增加了梁腋,对节点核心的约束加强了,也改善了梁端的受力性能,对抗震是有利的。

3.预应力节点:可用于现浇结构,也可用于装配式结构。预应力筋采用后张法施工。

4.明牛腿节点:多用于装配式或装配-整体式厂房,具有承载能力大,受力可靠,节点刚性好,施工安装方便等优点。通过梁顶钢筋与柱中预埋钢筋的焊接、梁底与牛腿预埋钢板的焊接以及二次灌注混凝土形成刚性节点。

5.暗牛腿节点:用于不希望牛腿外露于室内的轻工业厂房和民用房屋中。暗牛腿可以是混凝土的,也可以是预埋型钢制成的。暗牛腿强度至少要能够承受施工阶段的各种荷载。梁端缺口处要进行强度验算和构造处理。施工过程与明牛腿节点类似。

6.齿槽节点:也是一种无牛腿的装配-整体式框架节点,其特点是利用混凝土的齿槽传递梁端荷载。其施工过程是:制作构件时先在梁端和柱侧留下齿状凹槽,结构安装时梁临时搁在支托上,焊接好纵向受力钢筋,在梁柱接缝处设置箍筋,然后浇注细石混凝土。待后浇混凝土达到设计强度后,可拆除临时支托,由节点承受设计荷载。由于节点刚度较弱,可用于设防烈度为7度的中等荷载的工业与民用框架结构中。

7.迭压浆锚式节点:用于民用房屋的一种装配-整体式梁柱节点。预制梁搁在下柱上,上柱和下柱的柱筋一般不多于4根,皆穿过梁端的预留孔,然后将柱筋少量搭接焊,由预留孔灌入水泥砂浆,最后浇注迭合层混凝土。这种节点的柱子预留钢筋位置及长度必须正确,施工要求较严格。

8.整浇装配式节点:可用于设防烈度7~8度地震区的多层框架结构。特点是节点核心区与后浇迭合层一起浇成整体。梁上部钢筋可以不必焊接。当迭合层混凝土达到一定强度后,再安装上柱,并把上、下柱的柱筋焊接,绑上柱端箍筋,最后将上柱的小柱头处灌浆。

五、按抗震要求分类

1.非抗震节点:是指建造在非地震区的框架节点,或在地震区但不是承重框架中的节

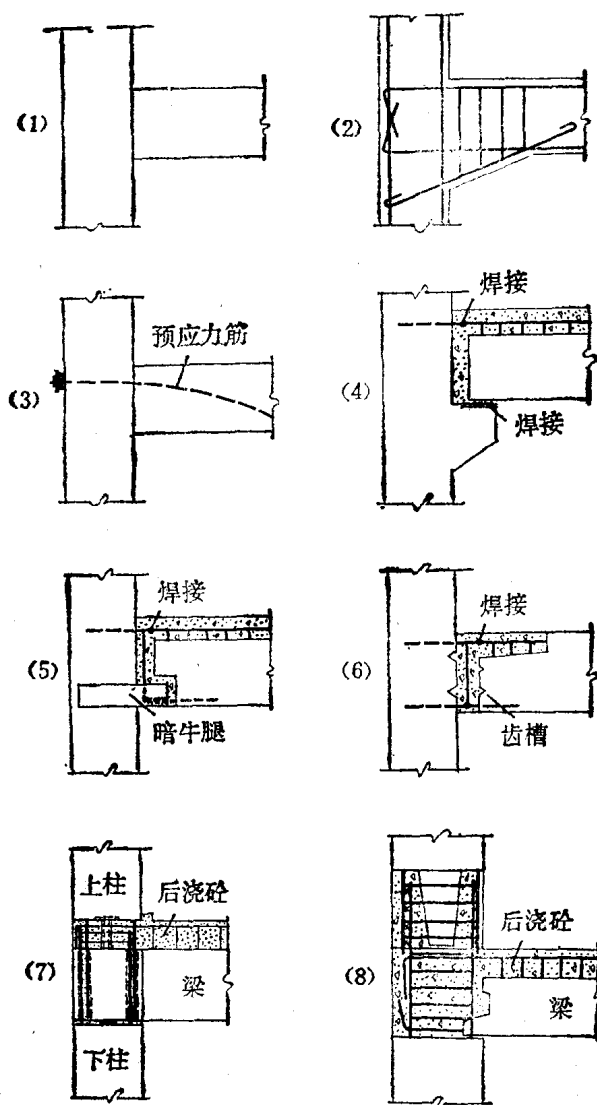


图 1-2

- | | |
|--------------|--------------|
| (1) 现浇节点; | (2) 现浇加腋梁节点; |
| (3) 预应力节点; | (4) 明牛腿节点; |
| (5) 暗牛腿节点; | (6) 齿槽节点; |
| (7) 迭压浆锚式节点; | (8) 整浇装配式节点 |

点, 这种节点主要承受竖向荷载, 而不承受大的反复作用的水平荷载。这样, 节点只要满足强度上要求而没有明显的非弹性变形, 节点内的钢筋一般不会屈服, 不致发生过大的滑移。

2. 抗震节点: 是指那些抗震框架中的节点, 它不仅满足使用阶段的荷载要求, 而且能在预定的地震袭击下, 当节点所连接的梁柱构件, 在反复变形进入非弹性阶段, 即进入弹塑性阶段后仍能维持传递竖向荷载的能力。也就是说, 在框架进入弹塑性阶段后, 节点也发生较大的变形(开裂)时, 仍能维持传递压力、剪力和弯矩。这就要求研究在节点钢筋屈服以后强度和刚度的降低以及粘结退化等问题, 从而保证结构的安全。这是目前国际上主要的研究对象。

本书将着重介绍节点的抗震性能及其设计与构造方法。

§ 1—2 框架受荷后节点的受力

一个梁柱节点在外荷载作用下，由构件传来的力是很复杂的。一般包括：柱子传来的轴向力、弯矩和剪力，梁传来的弯矩和剪力，当梁轴线对柱子有偏心时，对节点还产生扭矩。此外，由于收缩、徐变、温度变化及地基沉陷的影响，也会在节点中产生相应的力。

现以刚接框架为例，分别介绍在竖向荷载和水平荷载作用下，框架节点所受到的力。

一、框架受竖向荷载时

竖向荷载包括：恒载、活荷载和雪荷载等，可根据《建筑结构荷载规范》确定其大小并进行荷载组合。

竖向荷载下框架内力的近似计算可采用分层法或弯矩二次分配法。对复杂框架，采用电子计算机计算内力。具体计算方法见有关结构力学教材。

图1-3为竖向荷载下框架内力的一个示例。其中，图1-3a为框架尺寸及外荷载。图1-3b为一层的梁柱弯矩图。由梁端弯矩和本跨荷载可求出跨中弯矩和梁端剪力（图1-3c）。由柱的竖向荷载、柱自重和梁端剪力，可求得柱子的轴力（图1-3d）。由柱子弯矩图可求出柱子剪力。

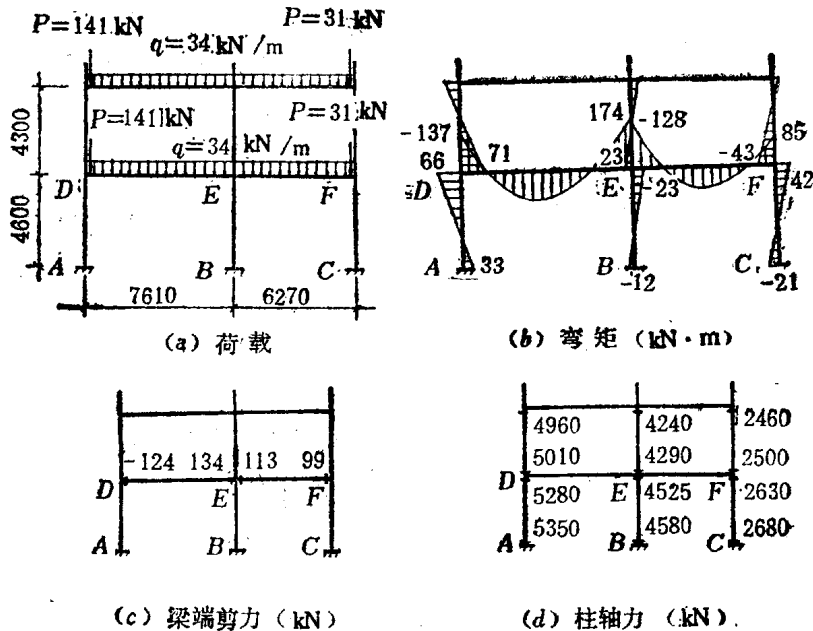


图 1-3

节点受力如下：

1. 中柱节点

取框架中柱节点E为例，节点所受到的轴力、弯矩和剪力如图1-4。

由图1-4可见，在竖向荷载作用下中柱节点两侧横梁的梁端都是负弯矩，柱端弯矩较小。柱子主要承受轴向力，接近中心受压或小偏心受压。由于节点两侧梁端的钢筋拉力方

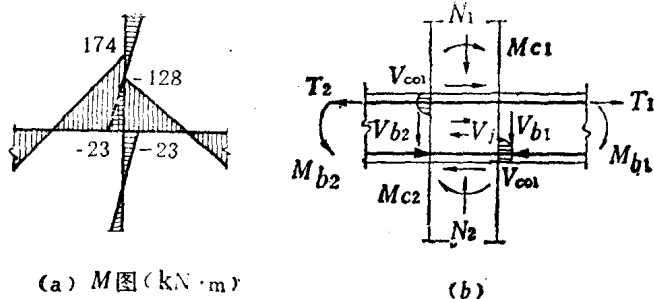


图1-4

向相反, 因此柱端和节点核心的剪力都比较小。由此, 可得节点受到的力为:

柱轴向力 $N_1 = 4290 \text{ kN}$

$$N_2 = N_1 + V_{b1} + V_{b2} = 4290 + 34 \times \frac{7.61 + 6.27}{2} = 4525 \text{ kN}$$

柱端剪力 $V_{col} = M_{c1} / 0.5h = 23 / (0.5 \times 4.3) = 10.7 \text{ kN}$

节点剪力 $V_j = T_1 + V_{col} - T_2$

$$= (M_{b1} - M_{b2}) / (0.85h_b) + V_{col} \quad (\text{其中 } h_b = 0.7 \text{ m})$$

$$= -46 / (0.85 \times 0.7) + 10.7 = -66.6 \text{ kN}$$

2. 边柱节点

取图1-3节点D为例, 同样可以画出节点受到的轴力、弯矩和剪力图。如图1-5。

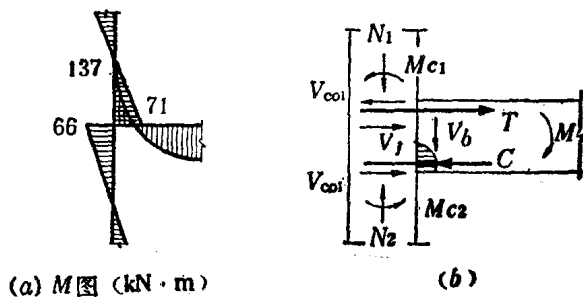


图 1-5

由图1-3和图1-5可得:

柱轴向力 $N_1 = 5010 \text{ kN}$

$$N_2 = N_1 + V_b = 5010 + 141 + 34 \times \frac{7.61}{2} = 5280 \text{ kN}$$

柱端剪力 $V_{col} = M_{c1} / (0.5h) = 71 / (0.5 \times 4.3) = 33 \text{ kN}$

$$\text{节点剪力} \quad V_1 = T_1 - V_{col} = 137 / (0.85 \times 0.7) - 33$$

$$= 197.3 \text{ kN}$$

由此可见,边柱梁端的负弯矩较大,因而柱端的弯矩也较大。对于节点,核心区受到的剪力也比较大。

二、框架受水平荷载时

水平荷载有风荷载和地震水平作用等,分别由荷载规范和抗震设计规范加以规定。水平荷载一般都化成节点荷载。

水平荷载下的框架内力分析可用反弯点法和D值法。反弯点法适用于层数较少、梁柱线刚度之比大于3的情况,计算比较简单。D值法近似地考虑了框架节点转动对侧移刚度和反弯点高度的影响,比较精确,得到广泛采用。具体计算可参看结构力学教材。

图1-6为水平集中荷载自右侧作用于框架的弯矩图。由梁端弯矩可计算梁端剪力。由柱端弯矩可算得柱端剪力。由柱自重和梁端剪力求柱轴力。

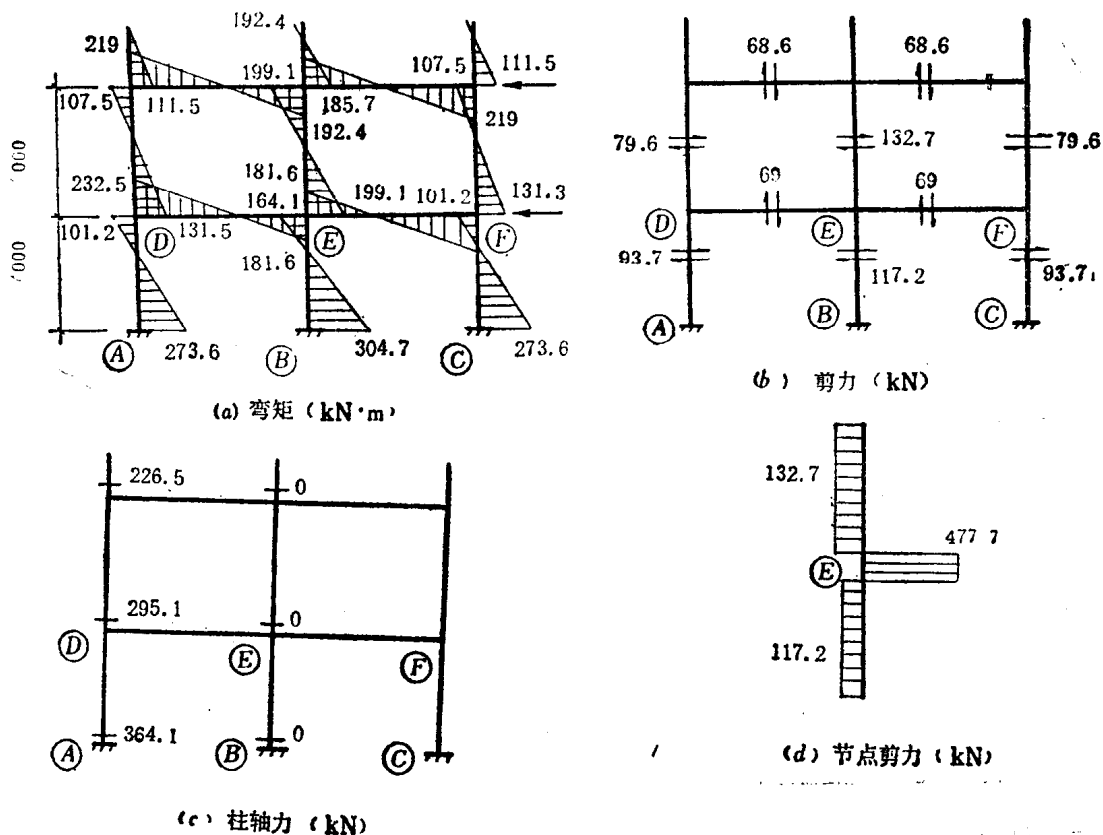


图 1-6

节点受力如下:

1. 中柱节点

在水平荷载作用下,中柱节点的受力与竖向荷载作用下有所不同。由图1-7可见,在节点两侧的梁端弯矩是同号的,它们相互迭加与柱端弯矩相平衡。梁端弯矩是通过钢筋拉力 T 和受压区的压力 C_1 、 C_2 传递的。这样,同一根梁筋在节点一侧受拉而在节点另一侧受压,因而节点受到的水平剪力就比竖向荷载下的节点剪力要大得多。

以图1-6中柱节点E为例,

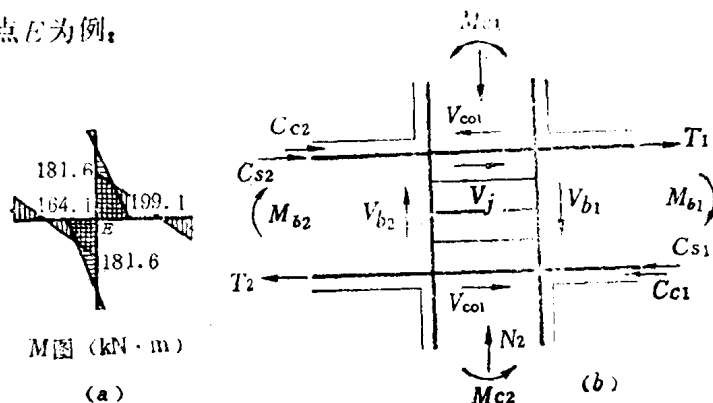


图 1-7

柱轴向力 $N_1 = N_2 = 0$

柱端剪力 $V_{col} = M_{c1} / (0.5h) = 199.1 / (0.5 \times 3.0) = 132.7 \text{ kN}$

节点剪力 $V_j = T_1 + T_2 - V_{col}$
 $= (M_{b1} + M_{b2}) / (0.85h_b) - 132.7$
 $= (181.6 + 181.6) / (0.85 \times 0.7) - 132.7$
 $= 477.7 \text{ kN}$

2. 边柱节点

由于水平荷载往往是反复作用的, 边节点的梁端和柱端弯矩也是正负交替的, 即梁端不仅会出现负弯矩(这一点与竖向荷载下相同), 而且也会出现正弯矩。

以图1-6边节点D为例,

柱轴向力 $N_1 = 295.1 \text{ kN}$

$N_2 = N_1 + V_b = 295.1 + 69 = 364.1 \text{ kN}$

柱端剪力 $V_{col} = M_{c1} / (0.5h) = 131.5 / (0.5 \times 3.0) = 87.5 \text{ kN}$

节点剪力 $V_j = T - V_{col}$
 $= M_b / (0.85h_b) - V_{col}$
 $= 232.5 / (0.85 \times 0.7) - 87.5$
 $= 303.2 \text{ kN}$

由此可见, 水平荷载下节点受到的水平剪力很大, 一般约为柱子剪力的 4 ~ 6 倍。在水平剪力与轴向力共同作用下, 节点核心将产生很大的斜拉力, 使砼发生斜缝裂, 产生剪切破坏。另外, 梁的纵向钢筋的粘结应力也很大, 当超过粘结强度时钢筋发生滑移, 则产生锚固破坏。

由于地震作用下结构反复受力, 框架可以是向左倾斜(侧移), 也可能是向右倾斜(侧移)。因而, 由于杆件的变形使节点的受力状况交替变化。在设计时应具体分析节点的受力情况, 取其最不利组合。

图1-8表示一多层刚性框架受水平地震作用时,节点及其邻近的柱端和梁端的受力和变形情况。当荷载方向变化时,其受力情况要作相应的改变。

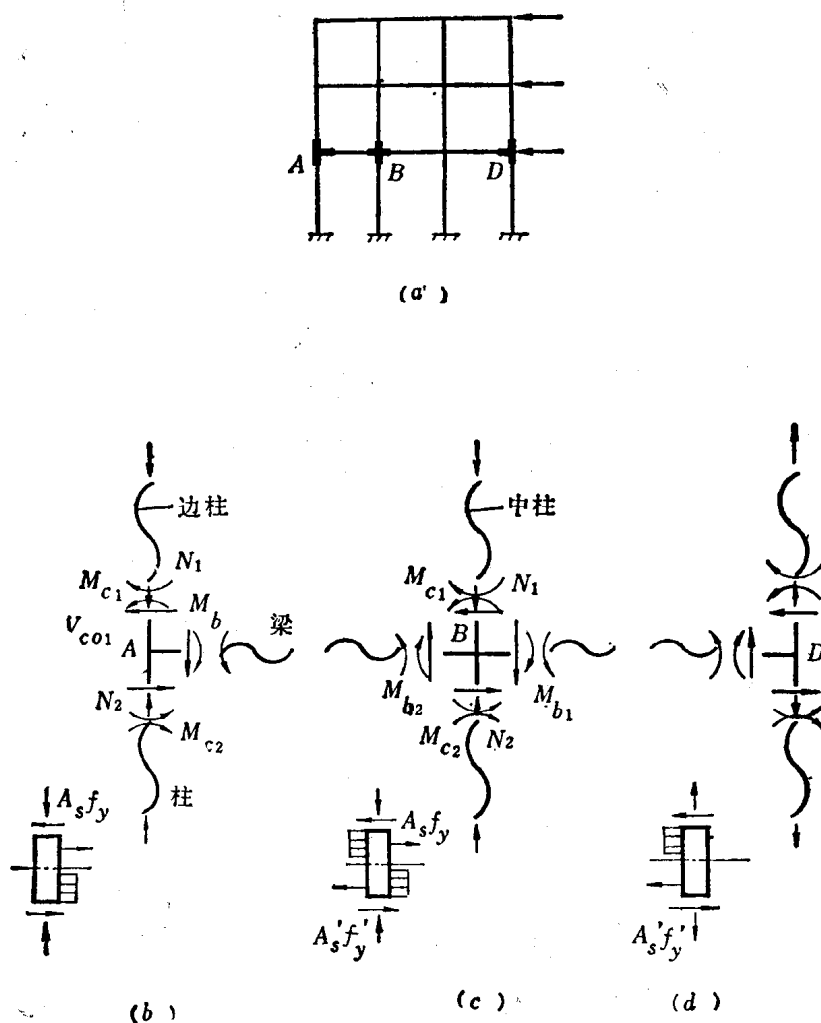


图 1-8

(a) 框架受水平力作用; (b) A节点; (c) B节点; (d) D节点

§ 1—3 节点的震害

一、概述

国内外多次大地震经验说明,钢筋混凝土框架结构具有较好的抗震性能。1906年美国旧金山地震和1923年日本关东大地震,钢筋混凝土建筑经受了考验,破坏轻微。以后,美国、日本等都推广采用钢筋混凝土框架结构建造高层房屋。

较早的时候,框架节点震害的例子比较少,在设计中也没有专门对节点作出设计规定。这是由于过去钢筋混凝土建筑有如下特点:

1. 房屋层数不高,通常只有6~7层。
2. 梁柱截面尺寸一般较大,节点的体积也较大,所以节点有较大的抗剪能力。

3.柱梁的配筋率一般都不大,且多采用软钢(低碳钢),延性好,构件屈服时不致发生脆性破坏。

4.采用现浇结构较多,结构整体性较好。

因此,过去对节点的设计和构造很少注意,只将梁柱受力钢筋通过节点,在边节点只将梁筋送到节点核心弯折满足一般的锚固长度即可。在节点核心很少配置箍筋,甚至一点也不配构造箍筋,其理由之一是为了减少施工困难。

情况在不断地发展着。大约自60年代以来,钢筋混凝土高层建筑发展很快,陆续出现了20层以上的钢筋混凝土框架结构(或框-剪结构),广泛使用了高强混凝土和大直径的高强变形钢筋,材料强度提高了,构件的截面尺寸减小了,因而节点区的截面尺寸也就减小了。另外,对于梁、柱构件性能的大量研究,改善了构件的强度和延性。这样,框架结构的薄弱环节就转移到节点区域了。

正如法国抗震设计规范所指出的:“节点在地震情况下,为框架最易受损的部分。对抗震结构来说,节点的研究比一般结构具有更大更重要的意义”。

二、国外震害举例

1. 1967年委内瑞拉加拉加斯地震(Caracas)

1967年7月29日在加拉加斯西北60km处发生6.3级地震,震中烈度8度。

有许多8~15层的钢筋混凝土框架建筑物都遭到不同程度的破坏。一些是底层柱子剪切破坏,特别是四角外柱因承受过大的倾复力矩而压坏和剪坏。有一个Petunia II公寓建筑,21层钢筋混凝土框架,平面 $11 \times 12\text{m}$ 。地震时,外砖墙破坏很小,内隔墙破坏严重。一层柱严重破坏,主要是由于倾复力矩和柱箍筋不足所致。其中无箍筋的角柱节点呈现剪切破坏状况(图1-9)。



图1-9 角柱破坏(加拉加斯地震,1967)