

大跨重载工业建筑框架结构设计与施工

宋章树

(五邑大学 土木工程系 江门 529020)

摘要: 以实际工程为背景,探讨了大跨重载工业建筑框架结构设计与施工中的以下几个问题:抗震设防、概念设计、框架柱轴压比控制、预埋件安装、框架节点构造与施工,为同类型工业建筑的结构设计与施工提供了有益的启示。

关键词: 大跨 重载 工业建筑 框架结构 设计 施工

DESIGN AND CONSTRUCTION OF LONG-SPAN AND HEAVY-LOAD INDUSTRIAL CONSTRUCTION FRAME STRUCTURE

Song Zhangshu

(Department of Civil Engineering, Wuyi University Jiangmen 529020)

Abstract: Based on actual projects, the following questions of design and construction of long-span and heavy-load industrial construction frame structure were explored: seismic fortification, conception design, control of axial compression ratio of frame column, installation of embedded components, detailing and construction of frame joint. Useful inspiration was provided for the structure design and construction of the other similar industrial projects.

Keywords: long-span heavy-load industrial construction frame structure design construction

随着我国成功加入WTO,我国正在加速国际化的进程,而工业化又是国际化进程中最为关键的一步。同发达国家的工业化程度相比,我国正处于工业化的中期阶段,因此,我国的工业化正面临极其繁重的任务,一大批工业建筑应运而生,其中有相当一部分属于大跨重载的钢筋混凝土框架结构工业厂房,同大量常规的民用框架结构相比,它们具有生产工艺复杂、柱距大、层高、大型设备多、使用荷载重等特点,因此,对这一类工业建筑的设计和施工的研究具有重要意义。

1 工程概况

某大型工业厂房位于广东省某市郊区,建筑平面尺寸为:100m×40m,由两条伸缩缝分为A、B、C三个区,A、B区6层,C区5层,如图1所示。总建筑面积约2.5万m²,A、B区建筑高度为35.7m,C区建筑高度为23.7m,最大层高达7m,最大柱距为:8m×8m,结构形式:现浇钢筋混凝土框架结构;混凝土强度等级:1至3层,C40;4层以上,C35;钢筋:采用HRB235和HRB335两种热轧钢筋。该厂房为1万t功能性锦纶纤维车间,生产工艺比较复杂,生产设备很高,最高达22.7m,贯通4层楼面,而且设备自重大,楼面最大使用荷载重达20kN/m²,楼面最小使用荷载也达5kN/m²。根据地质勘探资料及《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2001)^[1],建筑场地属于II类场地土,地面粗糙度为B类,抗震设防烈度为7

度。根据《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3-2002 J186-2002)^[2],该建筑高度大于28m,属于高层建筑;又根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2001)^[3]规定,建筑所在地区的基本风压为0.60kN/m²,对于重要的高层建筑,基本风压应适当提高,因此考虑到该建筑的重要性,其结构计算时基本风压的取值提高10%为:1.1×0.60kN/m²=0.66kN/m²。

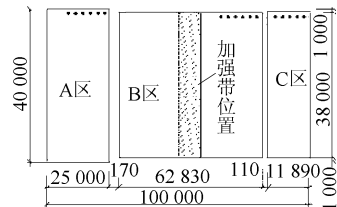


图1 平面布置示意

2 抗震设计

建筑抗震设计越来越注重概念设计,框架结构抗震设防的重点是结构构件及框架节点的抗震构造措施。该工业建筑主要从以下几方面进行了抗震的概念设计:

作者:宋章树 男 1968年2月出生 工学硕士
收稿日期:2004-08-20

1) 框架抗震等级的确定

该建筑所在地区的抗震设防烈度为 7 度, A、B 区建筑高度大于 30m, 根据规范^[1], 该建筑的 A、B 区抗震等级为二级框架; C 区建筑高度小于 30m, 抗震等级为三级框架。因此, 该框架结构的全部结构构件及框架节点的抗震构造措施按照规范^[1]中有关二级框架和三级框架的规定进行。

2) 伸缩缝缝宽的确定

高层建筑通常采用伸缩缝、沉降缝和防震缝将结构分为若干独立的结构单元。伸缩缝、沉降缝的最小缝宽应满足防震缝的最小缝宽要求。该建筑 A、B、C 三区之间伸缩缝缝宽的确定由防震缝的最小缝宽要求决定。规范^[1]规定: 框架结构房屋的防震缝宽度, 当高度不超过 15m 时可采用 70mm; 超过 15m 时, 6 度、7 度、8 度和 9 度抗震设防时每增加 5、4、3、2m, 缝宽宜相应加宽 20mm。A、B 区的建筑高度相同, 均为 35.7m, A、B 区间的缝宽计算为: $70 + (35.7 - 15) \div 4 \times 20 = 173.5\text{mm}$, 实际缝宽取 170mm; B、C 区的建筑高度不同, 按规范^[1]规定: 防震缝两侧结构类型不同时, 宜按需要较宽防震缝的结构类型和较低的房屋高度确定缝宽, 因此, B、C 区的缝宽计算采用较矮的 C 区的建筑高度 23.7m, 缝宽计算为: $70 + (23.7 - 15) \div 4 \times 20 = 113.5\text{mm}$, 实际缝宽取 110mm。

伸缩缝从建筑顶层一直贯通到桩基础承台顶部, 在伸缩缝处采用双柱联合高强预应力混凝土管桩基础, 基础不缝。

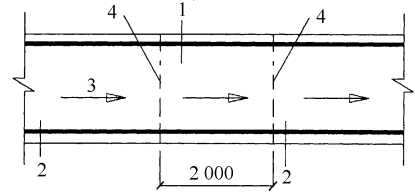
3) 膨胀加强带的设置

该工业建筑平面分为 A、B、C 三区, 主要是考虑生产工艺的需要。按照《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2002)^[4]规定, 现浇的钢筋混凝土框架结构伸缩缝最大间距为: 露天环境 35m; 在室内或土中环境 55m。按照上述分区, B 区长度 62.83m 仍然超出规范^[4]的规定, 而生产工艺不允许在 B 区设缝。解决这一矛盾的通常做法是, 在采取构造和施工措施后(如加强配筋、设置施工后浇带等), 伸缩缝的间距可以加大, 而实际上, 国内外已有相当一部分工程成功突破规范^[4]的规定。1990 年日本东京邮局建成的新办公楼达 105m × 280m, 采取施工后浇带措施而不设缝^[5]。本项目要求工期紧, 采取施工后浇带措施会影响工期, 因此采取在 B 区的中间位置设置 2m 宽的膨胀加强带措施而不设缝, 实现无缝施工而不影响工期, 同时在结构设计时考虑温度变化和混凝土收缩对结构的影响, 对加强带位置的梁、板加强配筋。膨胀加强带的做法见图 2。

4) 楼板开洞

按照结构计算的基本假定, 楼板在自身平面内刚度无穷大。各个抗侧力结构之间是通过刚性隔板-楼板协同工作的。该工业建筑由于设备安装及生产工艺的需要, 楼板开洞较多, 导致实际结构与计算模型假定存在一定的出入。结构设计时主要是采取增大开洞处附近梁、板截面高度的措施来弥补楼板开洞而造成平面内刚度的不足。

楼板开洞的另一个突出问题是施工过程中的安全保障。在模板安装、钢筋绑扎、混凝土浇筑等过程中, 施工、监理、设计等人员可能会遭遇从楼面洞口掉落的危险, 因此, 对楼面所有洞口统一用 $\phi 8 @ 200 \times 200$ 的钢筋网封闭, 直到设备安



1- 大膨胀温度混凝土加强带, 混凝土强度提高一级, 掺 UEA 14% ~ 15%; 2- 带外小膨胀混凝土, 掺 UEA 10% ~ 12%; 3- 混凝土浇筑方向; 4- 密孔铁丝网

图 2 混凝土膨胀加强带详图

装需要时再割断, 从而杜绝安全隐患。

5) 框架角柱、短柱构造加强

框架角柱、短柱受力复杂, 容易发生脆性的剪切破坏, 是抗震的薄弱环节, 因此规范^[1]规定: 一级和二级框架角柱的箍筋应全高加密; 剪跨比不大于 2 的柱和因为设置填充墙等形成的柱净高与柱截面高度之比不大于 4 的柱, 其箍筋也应全高加密。

该工业建筑在 A、B 区抗震等级为二级框架, A、B 区的框架角柱的箍筋全高加密。

该工业建筑在 C 区的第三层因生产工艺要求层高为 2m, 导致该区全层框架柱的净高与柱截面高度之比小于 4 而成为短柱, 因此, 本层全部框架柱的箍筋全高加密。同时, 楼梯平台也使相连的框架柱形成短柱, 其箍筋也全高加密。

6) 框架柱轴压比的控制

抗震设计应使混凝土结构构件合理选择截面尺寸、配置纵向受力钢筋和箍筋, 避免剪切破坏先于弯曲破坏、混凝土的压溃先于钢筋的屈服、钢筋的锚固粘结破坏先于构件破坏^[1]。限制框架柱的轴压比主要是为了保证主要的抗侧力构件-框架柱的延性, 使框架柱在破坏时先发生大偏心受压的弯曲破坏而不是剪切破坏。试验研究表明, 利用箍筋对柱的约束作用即箍筋的环箍效应可以提高柱的混凝土抗压强度, 从而降低轴压比要求; 试验研究和工程经验证明, 在柱内设置矩形核芯柱, 不但可以提高柱的受压承载力, 而且还可以提高柱的变形能力, 在压、弯、剪共同作用下, 当柱出现弯、剪裂缝时, 在大变形情况下芯柱可以有效地减小柱的压缩, 保持柱的外形和截面承载能力, 特别对承受高轴压比的短柱, 更有利于提高变形能力, 延缓倒塌。因此规范^[1]提出了相应措施来放宽框架柱的轴压比限值。

由于该工业建筑的跨度大, 使用荷载重, 导致其框架柱的轴力大, 其框架柱的轴压比控制就成为较为突出的问题。规范^[1]规定: 二级框架柱的轴压比限值为 0.8。该工业建筑结构计算时, 框架底部两层有一部分柱超出该轴压比限值, 而框架柱的截面尺寸已加大到 800mm × 800mm, 这是工艺能接受的最大尺寸; 混凝土强度等级已提高到 C40, 这是当地施工技术能较易保证施工质量的混凝土强度等级。规范^[1]规定: 沿柱全高采用井字复合箍且箍筋间距不大于 200mm、间距不大于 100mm、直径不小于 12mm, 轴压比限值可以增加 0.10; 在柱的截面中部附加芯柱, 其中附加的纵向钢筋的总面积不少于柱截面面积的 0.8%, 轴压比限值可以增加

0.05。以上两项措施可以同时使用,轴压比限值可以累计增加0.15,即二级框架柱的轴压比限值可以增加为0.95。在提高混凝土强度等级和增大柱截面尺寸受到限制的前提下,对该建筑的底部两层框架柱同时采取上述措施,从而使框架柱的轴压比满足规范要求。在框架柱的截面中部附加芯柱的做法见图3。

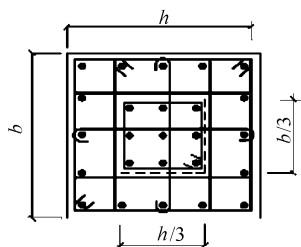


图3 芯柱示意

3 施工

1) 避免框架梁、柱的纵筋与箍筋、拉筋及预埋件等焊接

由于框架梁和柱的纵筋与箍筋、拉筋等作十字交叉焊接时,容易使纵筋变脆,对抗震十分不利;同时每个箍筋都要焊接,费工费时,增加造价。美国 ACI 318 规范也有类似的规定。实际工程中也出现过因钢筋十字形焊接而发生脆断的事故:某工程的剪力墙竖向分布筋在根部与一根水平定位钢筋焊接,由于焊接时气温较低,焊接处发生冷脆,全部剪力墙竖筋皆在焊接处脆断。

该工业建筑框架梁、柱的纵筋与箍筋配筋量均较大,同时用于设备安装的预埋件数量很多,因此严格规定,所有框架梁、柱的纵筋与箍筋禁止焊接,而应按照规范^[1]规定:箍筋一律做成 135° 弯钩的封闭箍,箍筋末端的直段长度统一取 10d。所有预埋件均通过辅助钢筋定位,禁止预埋件本身及其辅助定位钢筋与梁、柱的纵筋焊接。预埋件的准确定位通过其辅助定位钢筋的绑扎质量保证。

2) 预埋件安装

由于该工业建筑生产工艺复杂,用于生产设备安装的预埋件也特别多。而土建施工队对生产工艺不熟悉。为了提高效率、缩短工期,所有预埋件的安装由厂方组织成立专业的预埋件安装队伍完成,并由厂方负责工艺设计的人员现场跟班指导。具体做法是:先由土建施工队完成楼面梁、板的钢筋绑扎工作,经监理、设计人员检查无误后,预埋件专业安装队伍进场,按照生产工艺设计图纸进行预埋件的安装,安装完成后再由监理、工艺设计人员检查验收,验收合格后方可由土建施工队进行楼面混凝土的浇筑。通过实践证明,这一方法起到了事半功倍的作用,使异常复杂的设备预埋件安装得以高效、顺利进行,这种在特定条件下采取的特殊施工组织取得了成功,值得推广。

3) 高支模

该工业建筑最大层高达 7m,而且跨度大,荷载重,因此梁、板、柱模板的支护很重要。而实际工程中曾发生过因为高支模整体失稳出现的严重倒塌事故。因此,对于模板支撑的强度、刚度和稳定性要从设计、施工和监理等多方面给予保证,做到设计计算正确、构造措施完善,施工严格按照设计

图纸实施,有任何变动都必须经过设计人员的书面修改通知,现场监理到位,确保质量、安全和进度。

4) 框架节点构造及施工

实现延性框架的抗震措施之一就是强节点强锚固。节点起着连接框架梁柱的重要作用。在使用荷载、风及地震作用下框架节点受力复杂,它主要承受柱传来的轴向力、弯矩、剪力和梁传来的弯矩、剪力。在轴向压力和剪力的共同作用下,节点区容易发生由于剪力和主拉应力造成的脆性破坏,如果节点区混凝土强度等级不足、未设箍筋或者箍筋过少,抗剪能力不够,会导致节点区出现多条交叉斜裂缝而破坏,这已经被试验研究和实际震害证明。因此,如何保证框架节点区的抗剪能力是抗震设防的关键。保证框架节点区不会过早发生剪切破坏的措施主要有以下三个方面:保证节点区的混凝土强度等级和密实度;保证节点区配置足够数量的箍筋;保证梁、柱纵筋在节点区的锚固。

该工业建筑框架梁、柱的纵筋和箍筋配筋量大,部分框架柱内还设置有芯柱,在框架节点区的钢筋特别多,因此,节点区的纵筋的放置、箍筋的绑扎以及混凝土的浇筑存在一定的施工难度。施工时采取了以下措施:

① 框架中间节点

柱截面 800mm × 800mm,配筋:纵筋 17 ϕ 22,双向五肢箍 ϕ 10@100;纵横框架梁截面 300mm × 900mm,配筋:支座面筋双排 4 ϕ 28 4 ϕ 28,腰筋三排 3 × 2 ϕ 14,底筋双排 4 ϕ 25 4 ϕ 25。由此可见,在该节点区纵横两向总共有 14 层梁钢筋通过,客观地讲,这 14 层梁钢筋对节点区的混凝土具有一定的约束作用,对框架节点的抗剪能力有一定的贡献。因此,根据结构计算结果节点区配置双向五肢箍 ϕ 10@100 实际上偏于保守。同时,节点区的这 14 层梁钢筋给节点箍筋的绑扎带来很大难度。基于以上原因,按照等强度的原则,节点箍筋的配置由原来的双向五肢箍 ϕ 10@100(HRB235) 调整为双向三肢箍 ϕ 12@100(HRB335),并且周边矩形箍筋采用开口箍,中间箍筋采用拉筋的形式(见图4),从而大大提高了箍筋的绑扎质量和效率。建议规范修订时考虑穿过节点区的框架梁纵筋本身的抗剪能力以及它们对混凝土的约束作用,并考虑施工时节点区箍筋的绑扎难度,对框架节点区的配箍进行优化设计。

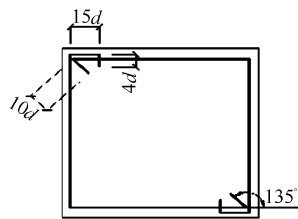


图4 开口箍示意

② 框架边节点

和框架中间节点相比,框架边节点有一个方向的框架梁纵向钢筋必须在节点区锚固。按照规范^[4]规定,框架梁纵向钢筋在节点区锚固的通常做法是:底筋向上弯折锚固,面筋向下弯折锚固,弯折前的水平直段长度要求不小于 0.4L_{AE}(L_{AE}

是纵向受拉钢筋的抗震锚固长度),弯折后的竖直投影长度要求大于 $15d$ 。该建筑框架边节点的特殊之处在于要求梁边与柱边对齐(见图5),使得框架外侧钢筋穿过节点时必须避开柱的外侧纵筋而放置在柱筋内侧,而梁、柱纵筋直径均较大,因此带来以下两个问题:

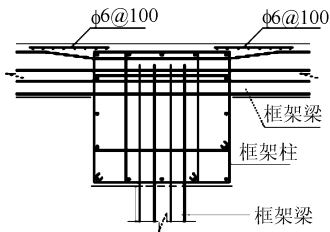


图5 框架边节点构造示意

a. 在节点区锚固的框架梁纵向钢筋不能伸到框架柱外侧主筋处并向下弯折,而必须留出一定的位置给框架外侧钢筋穿过节点。

b. 要穿过节点区的框架外侧纵筋在加工时必须根据柱截面的尺寸预先弯折,并减小弯折长度范围内箍筋的尺寸(见图5),否则,在现场绑扎时再调整,会导致梁端有一部分箍筋松动,不能贴紧纵筋而影响箍筋作用的充分发挥。同时,在梁、柱交接处,由于梁外侧纵筋的向内弯折而造成该部分钢筋的混凝土保护层超厚,因此,采取在梁端外侧附加双向 $\phi 6@100$ 钢筋网以防裂,见图5。柱筋的定位要考虑预留框架梁主筋通过的位置,不然会导致梁、柱主筋碰头。

4 结 语

大跨重载工业建筑框架结构的设计与施工内容繁多,本文仅结合工程实例探讨了有限的几个问题,目的在于抛砖引玉。需要强调的是,对该类型工业建筑的设计与施工,要本着求真务实的科学精神,既实事求是又敢于突破创新。比如,当生产设备有振动或者振动较大时,就需要考虑使用荷载的动力效应甚至考虑设备振动对结构整体受力、变形性能的影响。又如,组织专业施工队安装极其复杂的生产设备预埋件是施工组织的创新。再如,前面曾讨论过的框架节点区的箍筋配置问题。规范规定,框架节点区的箍筋一般按照柱端加密区的箍筋配置,这对于普通的框架结构是可行的,但对于大跨重载的框架结构,由于穿过节点区的双向框架梁纵筋多达10层以上,给箍筋的施工带来很大难度,同时这些密密分布于节点区的网状钢筋客观上对节点区的混凝土具有约束作用(这些网状钢筋本身具有一定的抗剪能力),现行规范并未考虑到这种特殊情况,因此本文提出了相应的突破规范规定的可行措施,相信这对规范的修订完善具有积极意义。

参考文献

- 1 GB 50011- 2001 建筑抗震设计规范
- 2 JGJ 3- 2002 J 186- 2002 高层建筑混凝土结构技术规程
- 3 GB 50009- 2001 建筑结构荷载规范
- 4 GB 50010- 2002 混凝土结构设计规范
- 5 赵西安. 高层建筑结构的新设计. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 13

(上接第97页)

致了僵化的分区规划与城市各部分的碎片化,建筑物应按它们的类型设计而不仅仅是功能,建筑种类应参考居住、工作或其他机构的第一次使用用途而确定。

2)形态:存在着普通的和纪念意义的两种建筑物。普通的建筑物和所在的整条街及街区在形式上一致;纪念性建筑则不受强制要求约束,它们是唯一的和特别的,在城市中是社会意义的集中点。

3)外墙:建筑物外墙的几项特征决定了建筑物的主要视觉特征。它们的高度、墙壁的突出部分和投影决定了街区的周边,它们的最大宽度和高度决定了建筑物的体量,并在每个街区中建立了公共空间和建筑形体的基本节奏。建筑物突出部分的基本元素,如拱廊、门廊、走廊、台阶、阳台、屋檐、檐口、烟囱、门和窗是建筑物与街道接触和决定街道生命的方式。

4)形式:每一个建筑和花园都是一种特定的建筑形式,相邻的具有这些特征的建筑和花园会在城市中产生凝聚力,单体设计者处理稳定形式时的不同手法是所有建筑多样性的源泉。建筑物受限于每个地区的变化;建筑形式不是建筑风格,是城市和城镇的历史连续性的来源;进一步的设计应

出于历史的、地域的、形式的研究;新创造的或国外的形式应与本地区整体建筑风格相融合。

“新都市主义”在欧美部分国家以及少数发展中国家的个别大城市中有一些尝试与探索,这为未来的城市发展提供了一种新的模式,对于高速城市化进程中的中国有着更为深远的现实意义。它为我们解决继承与发展、改造与新建中出现的问题提供了思路。“新都市主义”不是简单的文物保护,它有发展、有改造,为城市中原有“历史、文化”建筑提供了新的内涵,有着明确的动机,而不仅仅是对旧城区进行简单的保护与修复。

参考文献

- 1 桂 丹,毛其智. 美国新城市主义思潮的发展及其对中国城市设计的借鉴. 世界建筑, 2000(10)
- 2 戴晓晖. 新城市主义的区域发展模式. 城市规划汇刊, 2000(5)
- 3 林 鹤. 怀念步行城市. 读书, 2000(10)
- 4 戴晓晖. 新城市主义的区域发展模式——《下一代美国大城市地区:生态、社区和美国梦》读后感. 城市规划汇刊, 2000(5): 77~ 78
- 5 林 鹤. 怀念步行城市——《新城市主义:走向一种社区建筑》读后感. 读书, 2000(1): 53~ 56

欢迎登陆 www.industrialconstr.cn