

# 高层建筑钢结构国产化进展

侯兆欣 侯忠良

朱斌 王长宁

( 冶建总院远达监理咨询公司, 北京 100088 )

( 南京地铁房地产开发公司, 南京 210018 )

**提 要** 本文通过对国内已建和在建的高层建筑钢结构国产化问题的调研, 分析了在钢材、设计、施工和监理等方面国产化所面临的主要问题, 为高层建筑钢结构的发展提出了一些建议。

**关键词** 高层建筑, 钢结构, 国产化

## 一、前言

20 世纪 80 年代中期, 北京、上海和深圳先后有 11 幢高层建筑钢结构开工建设。其设计主要由国外承担, 部分项目与中方合作设计。制作和安装由外国公司总承包、国内企业施工。当时我国生产的中厚板强度达不到设计要求, 质量不稳定, 也不能生产热轧 H 型钢。国内各有关方面坐不住了, 我国高层建筑钢结构何时能实现国产化? 成为人们关心的话题。

中国钢协房屋钢结构协会于 1986 年 6 月在深圳召开了“高层建筑钢结构国产化专题研讨会”, 全国有关钢结构设计、造作、施工、科研等方面及部分业主近百名代表出席会议。会上对我国高层建筑钢结构的发展和国产化问题展开了热烈讨论, 一致建议国家应加快制定高层建筑钢结构技术标准, 加快建设热轧 H 型钢生产线, 对即将建设的高层建筑钢结构工程实行“立足国内建造, 对外招标选择”的国产化设想等。

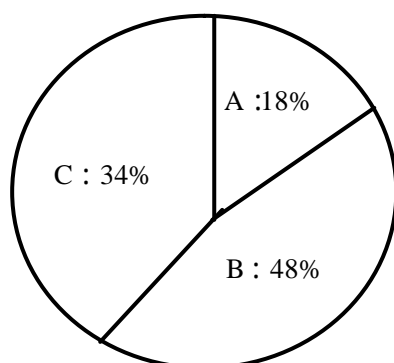
如今我国高层建筑钢结构国产化的情况如何? 以及在这方面还存在哪些不足之处? 本文在调查和统计的基础上提出几点看法, 供参考。

## 二、现状

自上世纪八十年代以来, 我国内地已建成和在建的高层钢结构建筑达 60 余幢, 总面积约 500 万平米, 钢材用钢量 50 多万吨。

对现有的 60 余幢高层钢结构建筑进行粗略统计, 有如下的几个特点:

### 1. 建设年代

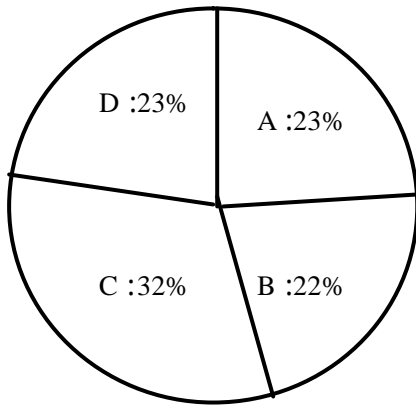


A : 1980 年~1989 年

B : 1990 年~1999 年

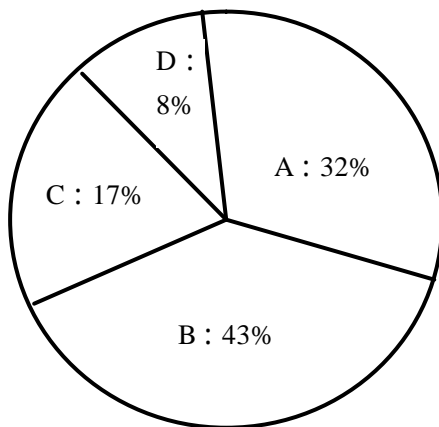
C : 2000 年以后

## 2.建筑高度



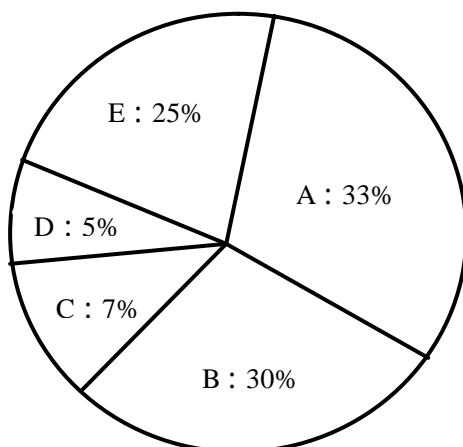
A : 100m 以下  
B : 100~149m  
C : 150~200m  
D : 200m 以上

## 3.结构形式



A : 钢框架结构体系  
B : 钢框架结构-砼核心筒体系  
C : 组合结构  
D : 其它

## 4.地域分布



A : 上海地区  
B : 北京地区  
C : 深圳地区  
D : 大连地区  
E : 其它地区

## 5.国产化的进展情况

图 1 为我国已建和在建高层建筑钢结构钢材国产化、国内设计（含结构设计）和国内施工的发展状况。见钢材和设计方面的国产化从上世纪 90 年代开始呈快速增长趋势。

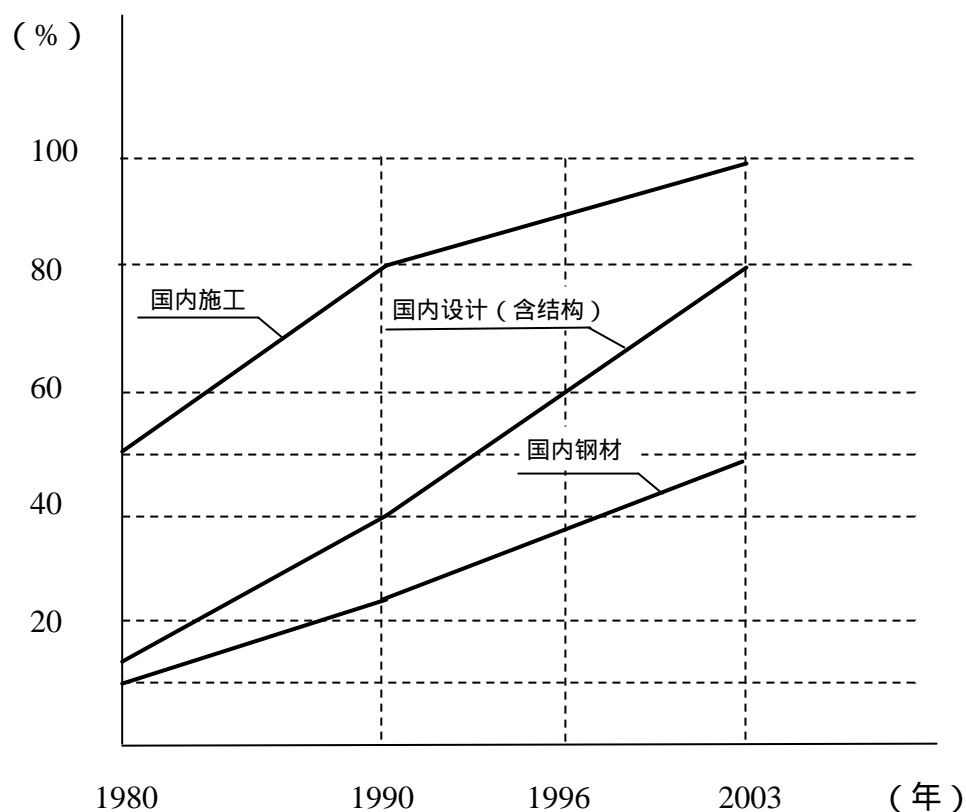


图 1 高层建筑钢结构国产化发展状况

1986 年 7 月，国家颁布《中外合作设计工程项目暂行规定》；1985 年颁布国家标准《厚度方向性能钢板》(GB5313-85)；1988 年颁布国家标准《低合金高强度结构钢》(GB1591-88)；修订了《钢结构设计规范》(GBJ17-88)等，促进了高层建筑钢结构国产化的发展。

## 三．钢材的国产化

上世纪 80 年代至 90 年代中期，我国首批建造的 20 余栋高层建筑钢结构，除个别外，主要钢材都是进口的 A572、SM490B 等型材或板材。从 1996 年起，舞钢、上钢三厂等首先重视了国内高层建筑钢结构市场，研发国产中厚板，其中包括 Z 向性能钢板，并可按国外钢材标准生产供货。大连世贸大厦等成为首批全面采用国产钢材的高层建筑。当时，由于国家高层建筑钢结构设计标准尚未颁布，设计者对国产钢材的理化指标能否满足设计要求有疑虑，因此，有的设计者要求厂家按日本 (JISG3106) 或美国 (ASTM) 钢材标准生产供货。国内钢铁企业根据我国高层建筑钢结构设计标准的要求，制定我国第一部高层建筑钢结构的钢材标准《高层建筑结构用钢板》(YB4104-2000)，比目前仍然实施的《低合金高强度结构钢》(GB/T1591-94) 又前进了一步，其理化指标优于同类国外产品。现将 YB4104-2000 标准的技术指标和性能介绍如下：

1. 屈强比不大于 0.8，即强屈比大于 1.25。国外的某些同类钢材标准其强屈比仅为 1.2。

2. 具有明显的屈服台阶，伸长率不小于 22%，国外某些同类钢材标准为不小于 18%，当然供货时可能超过标准规定值。
3. 具有良好的焊接性能和冲击韧性，碳当量 CE 不大于 0.43%，冷裂纹敏感指数 Pcm 不大于 0.29%。C、D、E 级的纵向冲击功不小于 34J。
4. 屈服强度的波动范围不大于 110Mpa。比日本 JISG3106 的 120Mpa 低。YB4104-2000 规定，交货状态可为热轧、正火或温度—变形控制 (TMCP)，对热轧钢板可控制在 100Mpa 以下，对正火钢板可控制在 80Mpa 以下。
5. 有害元素硫、磷含量比日本、美国标准低，Q235GJ 和 Q345GJ 均达到 S 0.015%，P 0.025%；Z 向性能钢板，Z15—S 0.010%，Z25—S 0.007%，Z35—S 0.005%，P 含量均不高于 0.020%。
6. 冷弯性能好。180° 弯曲试验，板厚 16mm 以下为 2a，16mm~100mm 为 3a。

2002 年实施的国标《钢结构施工质量验收规范》(GB50205-2001)，对钢材的复验作了明确规定：国外进口钢材、钢材混批、板厚等于大于 40mm 且有 Z 向要求的厚板、建筑结构安全等级为一级的大跨度钢结构钢材、设计有复验要求的钢材、对质量有疑义的钢材均应进行复验。比原标准更具体更严格，有利于从源头上控制钢结构的工程质量。

截至 2003 年 3 月，已建和在建的 59 幢高层建筑钢结构工程设计，选用国产钢材 29 幢，占总数 48%（图 2），占总用钢量（52.7 万吨）的 49%（图 3）。虽然采用国产钢材增长很快，但用钢量还不足一半。

我国钢铁企业今后应加强中厚板、高强度低合金钢品种（如焊接优质结构钢、耐候钢、低屈强比钢等）和大型号热轧 H 型钢的研发和生产。



图 2 截至 2003 年 3 月国产钢材的

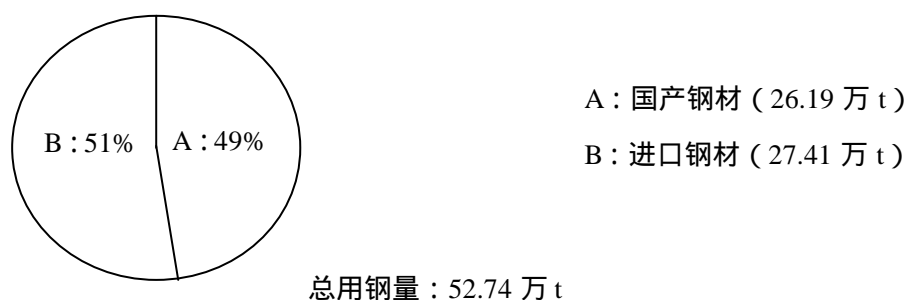


图 3 截至 2003 年 3 月国产钢材所占比例

## 四 . 钢结构设计国产化

20 世纪 80 年代，北京建造 5 幢高层钢结构建筑，上海建了 5 幢，深圳 1 幢，在中国掀起了一个高层钢结构的热潮。其中，除了上海锦江大酒店系国内设计、制造和施工外，其余均由国外设计或与国外合作设计。

20 世纪 90 年代，随着上海浦东新区的开发建设，再次出现高层钢结构建设热潮。截至 1996 年下半年，国内完成的钢结构设计已过半（图 4）。

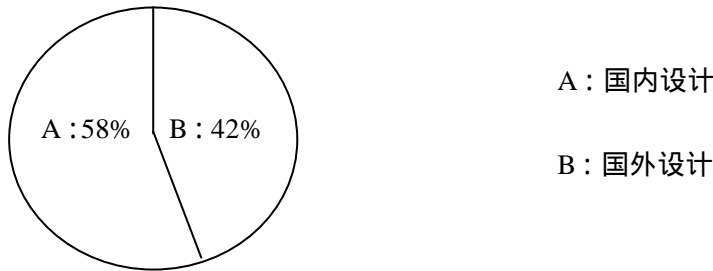


图 4 1996 年国内与国外设计高层建筑钢结构比例

截止 2003 年 3 月，我国已建和在建的高层建筑钢结构有 60 余幢，按其结构类型划分，钢框架—RC 核心筒占 43.4%，SRC 框架—RC 核心筒占 16.7%，二者合计 60.1%；钢框架—支撑体系占 18.3%；巨型框架占 8.3%；纯钢框架占 6.7%，筒体和钢管混凝土结构各占 3.3%。统计表明，目前我国高层建筑钢结构以混合结构为主。日本仅在 1992 年建了两幢（高度分别为 78m 和 107m），并结合工程开展了一些试验研究，发现混凝土核心筒侧移刚度退化对钢结构带来的不利影响。众所周知，超过一定高宽比的混凝土剪力墙（筒）在水平地震作用下呈弯曲变形，而框架结构则以剪切变形为主，要在构造上处理好二者的变形协调；其次，要重视混凝土剪力墙的刚度退化问题。试验表明，其位移角在  $1/3000 \sim 1/2000$  时已进入弹塑性阶段， $1/1000$  时的弯曲刚度仅为初始刚度的 47%， $1/500$  时则为 29%。据了解混合结构在美国主要应用在非地震区，而且其高度不宜大于 150m。鉴于我国对混合结构尚未进行系统的研究，所以《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）暂不列入这种结构类型是合理的。

国家标准《高层民用建筑钢结构技术规程》（JGJ99-98）和《建筑抗震设计规范》（GB50011-2001）等有关高层建筑最大高度和最大高宽比的规定，在一般情况下，应遵守规范的规定，否则应进行专项论证或试验研究。建设部第 111 号令《超限高层建筑工程抗震设防管理规定》和建质[2003]46 号文《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》，对加强高层建筑钢结构设计质量控制意义重大，具有可操作性。

2001 年颁布了国家第四代地震区划图《中国地震动参数区划图》（GB18306-2001），与国际上大多数国家的做法相一致，不再采用烈度概念，但在过渡期间与现行抗震设计规范衔接，仍给出地震动参数与地震烈度的对应关系。现在的问题是执行国家标准《工程场地地震

安全性评价技术规范》(GB17741-1999)还不够明确,高层建筑钢结构如何执行本规范中的技术等级问题尚没有明确规定。日本和美国对 20 层以上的高层建筑均要求作地震危险性分析。笔者认为对 20 层以上的高层(钢结构)建筑最少应做地震动参数复核工作;而对 50 层以上的高层(钢结构)建筑,应按 GB17741-1999 规定的 Ⅱ 级工作进行地震危险性概率分析、场地地震动参数确定和地震地质灾害评价。

钢结构设计分两个阶段完成,即设计图阶段和施工详图阶段。现在有的设计院完全采取国外设计方式,无构件图、节点图和钢材订货表等,对工程招投标和施工详图设计带来不便。因此,建议有关部门对此做出具体规定。

关于节点设计问题,国内应多做一些理论和试验研究工作,比如柱梁刚性节点塑性铰外移和防止焊接节点的层状撕裂等。钢结构的阻尼比较低,研发各种耗能支撑和节点的减震耗能体系,国际上研究和应用较多,国内应加快步伐。

## 五、钢结构施工与监理

### (一) 钢结构制作

高层建筑钢结构制作,是实现国产化最早的环节。国内制作企业在装备和生产规模方面已达到较高的水平,但在质量管理、检测手段、跟踪服务和技术研发等方面还有待提高。现提出以下几点建议:

1. 国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》(GB50205-2001)是制作和安装成品的验收标准,对生产过程及所采用的方法和技术不予控制,其各项验收指标也不是高标准,这就要求企业应制订自己的技术标准,以提高社会竞争力。
2. 加强企业的检测能力,其中包括建立自己的理化试验室、焊接试验室等,是企业提高产品质量的重要手段,如厚板的焊接技术和防止层撕裂的工艺措施,摩擦面加工工艺和粗糙度检测技术等,均应首先通过企业试验条件来控制。
3. 企业应具有独立完成施工详图设计能力,设计人员应熟悉制作与安装技术。

### (二) 安装施工

到目前为止,国内有近十家特大和大型建设集团公司承包过高层建筑钢结构安装工程,并取得了不少创新的安装工艺。如从 1997 年开始采用临时耳板、连接板和大六角头高强度螺栓进行临时固定和校正的方法;对于钢框架—混凝土核心筒工程,楼层标高采取相对标高和设计标高双控安装方法;对于设有腰桁架的钢结构,为防止桁架节点产生过大的次应力,对部分节点采取结构封顶后补焊方式;对焊接质量采取施工方自检的基础上再经第三方复验等。国内施工企业在借鉴国际先进经验的基础上,结合国情发展了高层钢结构施工技术,整体实力达到国际先进水平。

### （三）监理

自国家推行建设监理制度以来，高层建筑钢结构的施工监理基本上实现了国产化，但具备钢结构专业监理能力的单位非常少，特别是全面熟悉钢材订货技术条件和复验规则、加工制作、焊接技术、安装工艺的监理工程师很少。高层建筑钢结构的设计监理更是监理工作的薄弱环节。高层建筑钢结构设计、制作和安装施工监理，应特别重视以下几点：

1. 钢材、焊材和紧固件的选用和复验。
2. 参与审查钢结构施工详图。
3. 合理选择钢结构制作与安装单位。
4. 审查制作工艺指导书和焊接工艺评定报告，向制造单位派驻监理工程师，并形成完整的制作监理档案。
5. 审查安装施工组织设计（方案）和焊接工艺评定报告。
6. 审定焊工考试方案，并参与监考。
7. 参与制定检测、试验项目和技术标准，并实行第三方检测复验制度。