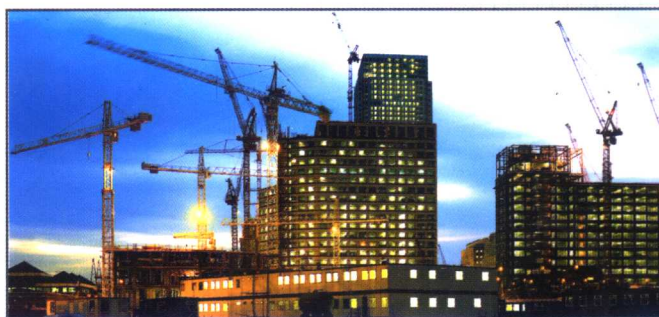


重点建设工程 施工技术与管理创新

北京工程管理科学学会 编



ZHONGDIAN JIANSHE GONGCHENG SHIGONG JISHU
YU GUANLI CHUANGXIN

中国建筑工业出版社

重点建设工程施工技术与管理创新

北京工程管理科学学会 编



中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

重点建设工程施工技术与管理创新/北京工程管理科学学会编. —北京:中国建筑工业出版社, 2007

ISBN 978-7-112-09653-4

I. 重… II. 北… III. ①建筑工程—工程施工—施工技术—文集②建筑工程—施工管理—文集 IV. TU7-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 159582 号

近年来,在经济的快速发展和 2008 年奥运会的带动下,一些在全国甚至世界上有影响的重点工程,包括国家体育场(鸟巢)、国家体育馆、国家游泳馆(水立方)、央视新址等正处在紧张的建设之中,这些工程中蕴含着许多独创的先进技术和管理经验,本书由直接负责国家重点工程施工技术与管理工作的专业人员撰写的 36 篇施工技术与管理论文组成,其中与奥运工程有关的论文 21 篇。

本书共分为五大部分:主体结构工程施工技术 7 篇;钢结构工程施工技术 6 篇;地下工程与混凝土工程施工技术 6 篇;其他工程施工技术 8 篇;管理理论与成功实践 9 篇。这些论文各自从不同角度反映了这些重点工程建设中的创新成果,能够为类似工程提供极具价值的借鉴和启发。

责任编辑:刘江 李金龙 赵晓菲

责任设计:赵明霞

责任校对:王爽 陈晶晶

重点建设工程施工技术与管理创新

北京工程管理科学学会 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京永峥排版公司制版

世界知识印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:17¼ 字数:417 千字

2007 年 11 月第一版 2007 年 11 月第一次印刷

印数:1—2000 册 定价:35.00 元

ISBN 978-7-112-09653-4

(16317)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码:100037)

编委会成员

顾 问：郁志桐 丛培经 张家明 王立臣

主 任：田振郁

副主任：吴月华 王立平 杨健康 吴培庆 鲍绥意

朱 嫵 丁传波 郭延红 周景勤 蔡 晨

主 编：田振郁

副主编：张之伟 刘春丽

委 员：（按姓氏笔画排列）

于钦新 王 星 孔繁和 李胜军

张显来 陈 红 林 萌 罗贤标

赵世强 赵京兰 赵俊国 郭 莹

前 言

2007 年，北京市科协为拓展青年人才交流渠道，决定继续开展“青年优秀科技论文”竞赛活动。北京工程管理科学学会认真执行市科协决策，将此项工作纳入了学会 2007 年工作计划，认真组织了这次活动。今年，共征集论文 36 篇。为满足社会及学会广大会员需要，并作为落实学会 2007 年出版“一本书”的目标，现经整理编辑出版。

论文的内容为中建一局集团、北京建工集团、北京城建集团、北京住总集团、北京城乡集团、北京市政集团等施工企业总承包的国家体育场（“鸟巢”）、国家游泳中心（“水立方”）、中央电视台、北京电视台、国家体育馆、国家会议中心、地铁复一八线等一批国家重点工程包括奥运工程的技术与管理的创新成果。这些集团是北京建设的主力军。这些论文的作者几乎全部都是施工一线的专业技术人员。他们不仅有着丰富的理论知识，在不同的专业领域取得过很多科研技术成果，而且在承担国家重点工程包括奥运工程的许多挑战面前，他们把理论与实践相结合，围绕工程特点和技术难点，在保证工程质量、工期、安全、文明施工、风险管理、远程监控、节约能源、环境保护、降低成本、实现更高水平的建设目标方面，解放思想，创造性地开展工作，大胆采用新工艺、新材料、新技术，取得了许多新的成果。不少成果达到了行业领先水平。他们为北京的发展建设、为举世瞩目的北京 2008 年奥运会做出了不可替代的贡献。这些论文就是他们工作的成果和经验的总结。

他们的论文，不仅记录了作者成长的轨迹，也为广大专业技术人员包括教学人员提供了极为有价值的借鉴资料。

本书取名《重点建设工程施工技术与管理创新》，旨在坚持科学发展观、开展学术交流、展示研究成果、促进学科间联系渗透、融合自然科学和社会科学、推动和引领创新、服务于社会 and 行业。这是学会的宗旨，本论文集的出版正是服务于学会的这一宗旨。

北京工程管理科学学会

理事长：田振郁

2007 年 10 月 16 日

目 录

主体结构工程施工技术

- 国家会议中心结构工程综合施工技术 王 鑫 (2)
- 国家会议中心群塔安装与作业施工技术 李志远 宋盛国 张 龙 (13)
- 奥林匹克网球中心大倾角悬挑斜梁施工技术
..... 王红媛 宋国福 闫小昆 薛 刚 (17)
- 奥林匹克网球中心大倾角悬挑斜梁脚手架支撑体系论证
..... 高亚楠 张 荣 闫小昆 陈 红 (23)
- 张弦梁结构的发展及其在国家体育馆工程中的应用 刘 航 (29)
- 超高钢筋混凝土独立柱垂直度控制施工技术 程 真 代战宇 (37)
- 医院放疗用房结构综合施工技术 闫伟东 罗贤标 党淑凤 (41)

钢结构工程施工技术

- 国家体育场钢结构施工关键技术
..... 李久林 高树栋 邱德隆 万里程 魏义进 陈桥生 (50)
- 国家游泳中心“新型多面体空间钢架结构”三维空间快速定位测量技术
..... 张胜良 冯世伟 卢德志 陆静文 (68)
- 国家体育馆双向张弦钢屋架施工技术 杨 郡 (77)
- 五棵松体育馆钢屋架累积滑移施工技术 王念念 (83)
- 北京电视中心工程巨型框架结构体系超高层钢结构设计与施工技术 杨玉萍 (90)
- 钢结构支撑体系同步等距卸载工法 佟 强 庞京辉 (101)

地下工程与混凝土工程施工技术

- 技术创新与创效在央视底板施工中的体现 杨晓毅 (112)
- 北京地铁“复一八线”与“五号线”地下车站施工技术比较 李 洁 (121)
- 36000kN 水平推力主拱墩子大体积混凝土施工技术
..... 李杰魁 王铁铮 李卫军 (128)
- 地下防水综合施工技术 罗贤标 李 萌 闫伟东 (136)
- 大体积混凝土施工裂缝控制 程 真 刘 刚 (142)
- 钢纤维混凝土在屋顶停机坪的应用 常 燕 罗贤标 闫伟东 (147)

其他工程施工技术

- FRP 玻璃钢模壳-木模复合模板体系施工技术
..... 卢 庶 孟祥永 宋永红 谢启超 马连锋 (154)
- 奥林匹克公园曲棍球场钢结构看台防水技术 刘 辉 杨保顺 韩 萌 (162)
- 喷涂型聚脲弹性防水涂料在丰台垒球场看台上的应用
..... 吴培庆 罗贤标 魏秀洁 (169)

国家奥体中心体育馆改扩建工程体育木地板施工技术

..... 苟金瑞 毛 杰 李全智 (174)

直立锁边铝镁锰合金屋面施工技术 毛 杰 苟金瑞 彭其兵 (179)

砂基透水砖在工程中的应用 罗贤标 魏秀洁 党淑凤 (185)

当代 MOMA 工程地源热泵空调系统土壤换热器施工技术

..... 蔡晓鸿 孙书森 王毓达 (189)

浴室局部等电位联结技术及实施 张国栋 (194)

管理理论与成功实践

国家游泳中心钢膜体系施工技术管理 陈 蕾 (202)

国家会议中心工程施工资料管理办法 赵培霞 陈 虹 赵 静 (209)

奥体中心曲棍球训练场工程落实奥运“三大理念” 杨 昕 陈 丽 (212)

加强企业经营管理,保障奥运工程 李建武 (217)

循环控制工作法的理论研究及实践应用 胡美行 朱世军 孙明英 (222)

运用简明资料填报程序确保工程质量验收与报验管理的准确和同步

..... 杨桂珍 杨世双 杨永波 袁 媛 王胜利 (229)

施工相片在建筑技术工作文件中的运用 张正位 宋立艳 (251)

北京地铁工程浅埋暗挖法施工危险源管理 常兴起 王彦昌 (255)

以提升竞争力为目标的企业资质管理 孙明英 (263)

北京工程管理科学学会简介..... (267)

主体结构工程施工技术

国家会议中心结构工程综合施工技术

王 鑫

(北京建工集团有限责任公司)

【摘 要】 国家会议中心工程体量巨大、设计复杂、施工工期紧。施工中通过采用土钉墙支护体系，引渗为主、渗抽结合的管井降水措施，清水混凝土模板施工技术，超长大直径圆管摇摆柱制作安装技术，60m×81m 大跨度钢结构楼盖竖向振动阻尼减振技术等，解决了施工难题，保证了工程施工的顺利进行。

【关键词】 土钉墙；管井降水；清水混凝土；钢结构

1 工程概况

国家会议中心工程位于北京奥林匹克公园 B 区（B21、B22 地块），奥运会期间提供国际广播中心（IBC）、击剑及现代五项中击剑和气手枪等比赛项目的使用场所，奥运会后将改造成为北京举办国际性会议、综合展示活动的大型会议中心。国家会议中心赛后功能是集展览、会议、商业、综合服务为一体的多功能超大型建筑。建设占地面积 8.14 公顷（ hm^2 ），总建筑面积 269991 m^2 ，建筑檐高 42m；建筑超长超宽，东西向长 148m，南北向长 398m。地下两层，建筑面积 114520 m^2 ，埋深 14.97 ~ 17.12m，赛时主要功能为车库、国际广播中心、设备用房等。地上八层，建筑面积 155471 m^2 ，赛时主要功能为国际广播中心、击剑馆、奥组委办公等（图 1 ~ 图 3）。

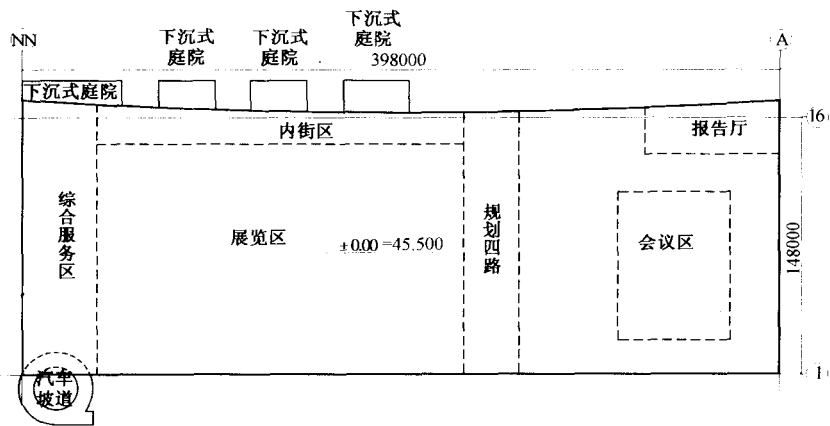


图 1 典型平面图

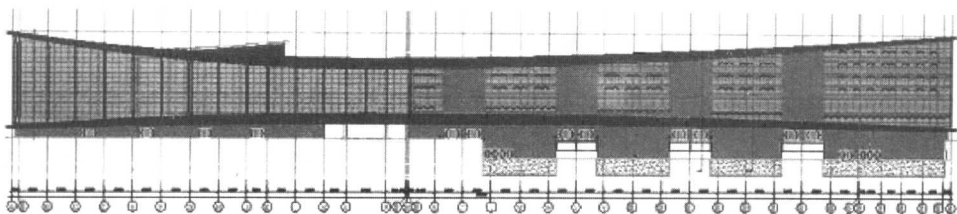


图2 典型立面图

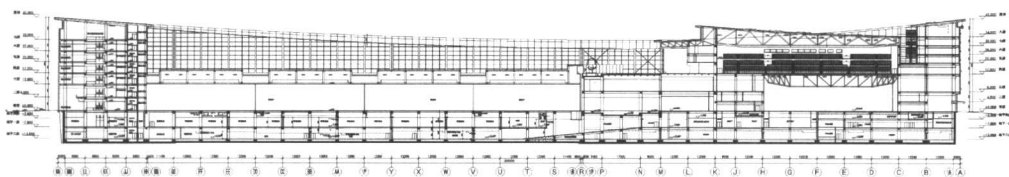


图3 典型剖面图

本工程基础结构形式为筏板基础，因为地下水位高，局部采用预应力抗拔桩。主体结构形式为钢筋混凝土框架剪力墙结构、钢结构，屋盖结构形式为全现浇钢筋混凝土屋面、钢结构铝折板金属屋面。

2 工程特点及施工难点

2.1 功能多样

国家会议中心在奥运会期间提供奥运会国际广播中心（IBC）、击剑及现代五项中击剑和气手枪等比赛项目的使用场所；奥运会后将改造成为北京举办国际性会议、综合展示活动的大型会议中心。

2.2 体量巨大

本工程体形巨大，平面尺寸为 $398\text{m} \times 148\text{m}$ ，总建筑面积 269991m^2 ，其中地下 114520m^2 ，地上 155471m^2 。结构实体工程量大，钢筋工程约 4.6 万 t ，混凝土工程约 27 万 m^3 ，平均每平方米建筑面积的钢筋含量为 170kg ；在结构施工期间平均每天需要完成 146t 钢筋的加工、绑扎工作，每天浇筑混凝土 618m^3 。肥槽回填土工作量大，肥槽约 1200m 长、 14.7m 深，共计回填土 3.5 万 m^3 ；基础底板防水面积大，共 6.2 万 m^2 。

2.3 设计复杂

本工程整体设计复杂多变，空间个体互相开放，各个空间你中有我，我中有你。层高不一，错层较多。立面造型为曲面多变结构。结构构件截面尺寸多，异形柱种类多。梁柱节点截面形式复杂多样。

2.4 分时段施工：赛前施工、赛时保驾、赛后改造

本工程不同于其他奥运工程，分两个阶段进行施工、两个阶段竣工备案。第一阶段为奥运赛时工程施工阶段，满足 2008 年奥运会的使用功能，第二阶段为赛后改造阶段，满足会议中心运营功能，在两阶段之间还有“奥运期间保驾”的要求。

2.5 施工工期紧

本工程建筑面积约 27 万 m^2 ，2005 年 4 月 29 日开工，2007 年 7 月 2 日竣工，其中结构工程工期约 1 年，装饰工程工期约 1 年，工期相当紧迫。

2.6 机电配套设施复杂

本工程作为场馆和广播、新闻中心的综合建筑，同时兼顾赛时和赛后功能不同的需要，对机电系统的设计比一般奥运工程复杂。

2.7 科技含量高

国家会议中心工程建筑规模庞大，建筑物超长超宽；使用功能多样，集场馆与新闻广播、赛时与赛后为一体；立面造型新颖独特，悬挑层型结构主体和装饰异常复杂；建筑物耐久年限 100 年；建筑物楼板设计使用荷载重达 35kN/m^2 ；等等，要想实现工程预期目标，要求工程施工中必须采取科技含量高的新工艺、新材料、新方法。

2.8 文明施工、环保要求高

国家会议中心工程在奥运工程中心区，代表北京建工集团；在中国，代表北京；在世界，代表中国，文明施工、安全环保工作直接影响到北京市乃至中国建筑企业在全国人民及国际友人心目中的形象，因此施工现场必须达到天天文明施工、人人安全环保、时时旅游参观的要求。

2.9 总承包管理难度大

由于工程建筑规模大、使用功能多样，使得专业分包单位数量多，有总承包方分包的专业分包、劳务分包和建设方直接分包的独立工程承包；预计工程分包单位多达上百家，对总承包管理水平要求较高。

3 总承包管理

3.1 工程整体目标

“一保、二争、三创、四出、五实现”：

一保：保结构；

二争：争北京市文明施工标杆工地、争无重大安全事故；

三创：创“鲁班奖”、创“詹天佑”奖、创建筑“长城杯金奖”；

四出：出精品、出人才、出经验、出成果；

五实现：实现绿色工程、科技工程、人文工程、阳光工程、节俭工程。

3.2 总承包管理模式

总包成立两级分包单位管理机构，即分包单位领导小组、下设办公室。

3.2.1 分包管理领导小组

分包管理领导小组是总包对分包实施管理的最高机构，主要职能是对分包管理的策划、宏观管理、过程中重大问题的处理、监督考核分包管理办公室的工作，采取必要的措施确保总包对分包管理的正常进行。

3.2.2 分包管理办公室

领导小组下设办公室，由总包工程部牵头，成员由总包各部室以及土建项目经理、总工程师组成。主要职能是招投标阶段、分包单位进场阶段、施工阶段、竣工验收等阶段的协调与管理。分包管理办公室不是额外的组织机构，是对总包在分包管理职能上的强调，是在工程的特定阶段为了加强分包管理而产生的。

3.3 组织机构（图4）

3.4 总承包管理制度

生产例会制度；监理例会制度；临时会议制度；信息沟通与反馈制度；联检制；分包管理制度等。

4 主要施工技术

4.1 基坑支护及降水施工技术

本工程基坑较深，基底标高在 $-14.97 \sim -15.47\text{m}$ ，最深处为 -17.12m ，地下水位较高，在基坑深度范围内存在三层静止水，最高一层水位标高为 $38.95 \sim 40.94\text{m}$ （ ± 0.00 标高为 45.500m ）。根据土质情况，结合现场实际现状，基坑采用土钉墙支护体系。 -8.0m 以上为 $1:0.2$ 坡， -8.0m 以下为 $1:0.1$ 坡，坡比变化处设宽度 1m 的一个二坡台，并在第二排采用预应力土钉，第六、七排采用普通土钉和预应力土钉间隔施工。在坡顶采用背拉筋，与第一道土钉相连。局部因不具备放坡条件，采用护坡桩支护。

基坑降水采用“引渗为主，渗抽结合的管井降水”方案，利用信息动态施工管理，强化质量管理体系，加强降水期间对基坑周围建筑环境的监控，达到基坑安全干槽作业。设计基坑周边的西部及北部地下水进水方向，渗抽降水管井间距 7.0m ，地下水出水方向渗抽降水管井间距为 8.0m 。深管井井深 39m ，进入引渗卵砾石含水层 $2 \sim 3\text{m}$ ，浅降水管井井深 27m ，间隔布设。为加快基坑降水疏干速度和有效的控制大面积基坑降水效果，设计在基坑内部按 $28\text{m} \times 30\text{m}$ 间距布置疏干降水管井 54 眼，深管井设计深度 39m ，浅管井设计深度为 27m 。



图 4 分包管理机构图

4.2 土方开挖施工技术

本工程基坑面积大，土方开挖量约 92 万 m^3 ，施工时在现场西侧设置一条出土坡道，根据现场条件土方运输坡道采用外坡道，坡道采用 1:6 放坡，坡道宽 8.0m。土方挖运分层标高根据各工序施工要求合理安排。清理场区内地下障碍物，除给降水井、护坡桩施工预留 15m 宽的作业面，其余部位开挖至第一道土钉位置下 0.5m，为施工土钉创造作业面。待基坑东侧护坡桩及降水井施工接近完毕，挖至桩顶标高 -2.50m，绝对标高 42.50m 位置，施工锚杆、连梁；同时施工桩顶砖墙。挖土深度至每道钉下 0.5m，严禁超挖，并保证锚钉作业区 15m 宽度。中心区为自由开挖区，可集中出土。

4.3 预应力抗拔桩施工技术

本工程地下水位较高，为抵抗地下水浮力，共设置预应力抗拔桩 863 根，直径 600mm，桩长 24m，桩身混凝土为 C30。抗拔桩采用后张法无粘结预应力体系，预应力张拉采用一端张拉一端锚固方式。采用泵吸反循环成孔和旋挖钻成孔（局部）两种成孔工艺进行基础桩施工。大直径桩（ $\phi 600\text{mm}$ 桩）采用反循环泥浆护壁成孔，现场砌筑泥浆池（用塑料布封底，防止泥浆渗漏），并使用膨润土造浆，消除了承压水对成孔护壁的影响。钢筋笼均为一次起吊下孔，混凝土采用导管水下灌注混凝土的方法。灌注桩的单桩极限抗拔承载力通过单桩竖向抗拔静载试验的方法进行验证。采用“受检抗拔桩 + 反力钢梁”直拉方式，在原位条件下，逐级施加模拟基桩的实际荷载，并同时观测基桩相应的变形，以此来确定或检验单桩的极限抗拔承载力及变形是否达到了预期的设计要求。

4.4 超长超宽结构工程测量控制技术

本工程超长、超宽，南北轴线间距 398m，东西轴线间距 148m，测量精度标准高，使用常规测量手段难以满足施工及轴线投测的要求。为此，本工程施工测量的整体控制通过采用高精度仪器及多级主精度控制网的控制来实现。首先在变形区（基槽深度的 1.5 倍）以外设置梯形 I 级控制网，I 级控制网长期保存直至工程竣工。以 I 级控制网为基础在基槽边的翻边上设置矩形 II 级控制网，以 II 级网为基础进行建筑物的轴线控制。短向轴线采用在测站直接后视投线法测设，长向轴线采用两点间恢复直线法测设。

4.5 地下防水施工技术

本工程基坑面积大，底板防水面积约 60000 m^2 ，地下水位高，水压大，由于超长超宽，每隔 30~40m 设计有一道后浇带，温度后浇带和结构后浇带把基础结构分成 51 个块体，后浇带部位防水处理是一重点。为抵抗地下水浮力，设计有抗拔桩 863 根，桩头防水处理复杂，难度高。基础桩头采用复合防水：水泥基渗透结晶型防水涂料 + 聚合物水泥防水砂浆 + 缓膨型遇水膨胀橡胶条 + 聚硫嵌缝膏；基础底板和外墙采用 4mm + 4mm 聚酯胎 II 型 SBS 防水卷材，采用热熔法施工，卷材和基层、两层卷材之间均满粘；基础导墙水平施工缝采用止水钢板，其他外墙水平施工缝采用缓膨型遇水膨胀橡胶条；底板后浇带采用复合防水：缓膨型遇水膨胀橡胶条 + 外贴式止水带 + 膨胀混凝土（结构后浇带采用超前止

水措施),外墙后浇带采用止水钢板;变形缝处采用中埋式止水带+外贴式止水带。

4.6 钢筋工程施工技术

本工程钢筋工程体量大,钢筋用量约4.6万t,且钢筋规格多,直径大,各种节点部位的钢筋密集,导致钢筋安装、保护层厚度的控制、浇筑混凝土时钢筋易发生移位等问题成为施工难点。尤其是混凝土梁与型钢柱节点部位更为密集,钢筋与钢构件纵横穿插部位施工难度很大。针对钢筋工程的难点和特点,本工程采取了以下措施:

(1)采用剥肋滚压直螺纹连接技术,减少了由于搭接而增加的钢筋用量,也保证了粗直径钢筋连接的施工质量。

(2)根据钢筋间距和规格设置柱筋定位箍筋框,墙体水平梯格筋和竖向梯格筋来控制钢筋位移。对于异形柱的箍筋及定位筋,通过实体放样制作定型加工模具,取得良好效果。

(3)针对钢筋密集的梁柱节点,先采用计算机绘图放样,然后按1:1比例在现场制作模拟样板,明确每根钢筋的具体位置、交叉形式等,用以指导现场施工。个别钢筋过密无法保证施工质量的节点,通过设计方进行优化,合理减少钢筋用量,确保节点施工质量。

(4)本工程各层层高不一,在每层施工前根据层高计算出墙柱直螺纹接头甩头位置,现场严格按照甩头位置进行钢筋下料和施工,确保了接头位置和接头百分率。

(5)严格执行样板引路制。针对每个劳务队伍,在其全面展开施工前,在现场各实体部位制作样板,经验收合格后,严格按样板标准执行。

4.7 模板工程施工技术

4.7.1 清水混凝土模板施工

本工程合同质量目标为确保北京市结构“长城杯金奖”,根据此目标,我们要求混凝土结构外观质量达到清水混凝土要求。要实现这一目标,模板的合理选型及优化设计是至关重要的一个环节。通过对本工程施工特点、难点的分析,结合以往大型工程的施工经验,我们重点对墙、柱、梁、板模板的选型及细部节点优化进行了控制,实践证明是比较成功的。

墙体模板选用的是定型钢模,且均为租赁的旧模板,结合本工程层高分布特点,选定模板基本高度为2700mm,然后根据不同层高分别进行组拼接高。钢模板不带支腿,需采用 $\phi 48 \times 3.5$ mm钢管作支撑体系。

圆柱、异形柱及部分连墙柱,由于采用木模不易控制施工质量,另外地上部分圆柱较多,故采用新加工的定型钢模,一方面可以有效控制混凝土外观质量,另一方面也可提高模板周转利用率。钢柱模均采用两片模组拼而成,不设穿柱螺栓。矩形框架柱由于易于施工控制,相比钢模,木模较具经济性,故矩形柱均采用木模板,面板采用18mm厚新多层板,视不同情况加设穿柱螺栓。对于型钢混凝土组合柱,无法加穿柱螺栓,通过加密柱箍来保证柱模刚度。为保证模板的垂直度,框架柱模板采用既顶又拉的方法加固校正。

梁、板模板均采用15mm厚新多层板,次龙骨采用50mm $\times$ 100mm木方,主龙骨采用100mm $\times$ 100mm木方,采用碗扣架支撑体系。支撑体系横向成排,纵向成队,上下层对应,并保证连续三层支设。后浇带处顶板模板单独支撑,拆模板时后浇带模板不拆,以防止后浇带处混凝土构件形成悬挑构件,产生裂缝。梁柱节点是模板工程控制重点,施工中须加强控制。异形梁柱节点模板采用木模板拼装,内衬3mm厚光滑塑料板。

4.7.2 超高柱、顶板模板支撑架体系施工

本工程有多处层高超过 8m，局部顶板高度达 40m，如何保证支撑架体系的安全稳定是一个施工控制重点。超高顶板模板支撑体系均采用碗扣架，采用中国建筑科学研究院建筑工程软件研究所开发的 PKPM 施工系列软件（安全计算部分）进行安全计算，所用钢管、木方等相关材料的计算参数经过现场实测实量取值。同时，对碗扣架构造提出明确要求。支撑高度 40m 处的碗扣架每隔 4 排设置水平剪刀撑，剪刀撑与立杆连接，同时沿支架四周外立面满设剪刀撑。顶板混凝土施工前，组织技术、生产、安全等各部门对支撑架进行验收，合格后方可进行下道工序。

4.7.3 大荷载、超高顶板模板施工

展览区地下一层顶板高度为 7.8m，为密肋梁板，面积为 19200m²。为安全计，支撑体系设计时板厚按梁厚 700mm 考虑，采用 PKPM 施工软件进行安全计算。支撑体系采用碗扣架，立杆间距 600mm，水平杆步距 1200mm，碗扣架支撑与已施工完的墙采用“钢管 + U 托 + 50mm × 100mm 木方”进行支顶，与柱采用“钢管 + 木方”环抱拉接，沿支撑架外侧四周加设剪刀撑，以增强架体的整体稳定性。

4.8 大体积混凝土裂缝控制技术

本工程基础底板超长超宽，平面尺寸为 398m × 148m，厚度 600mm，基础反梁最大截面达 4000mm × 2000mm，地下室外墙延长米 2200mm，高 7.8m、5.4m，厚度 600mm，部分框架柱最小截面 ≥ 1m，因为基础施工在 8 ~ 9 月进行，温度过高对混凝土施工不利，为防止混凝土出现裂缝，对基础结构按大体积混凝土进行控制，为此，采取以下措施：

(1) 本工程所用混凝土选用多家搅拌站供货，针对各搅拌站，大体积混凝土所用各种原材料均作统一要求。

(2) 优化配合比设计，优选混凝土原材料，掺加高效减水剂，掺加 I 级粉煤灰和 S95 磨细矿粉，控制混凝土水泥单方用量在 250kg/m³ 左右，并不掺加任何微膨胀剂。用 60d 强度评定混凝土的强度等级。

(3) 混凝土的入模温度严格控制在 30℃ 以下，从而降低混凝土内部实际最高温升的速度。

(4) 科学合理地组织施工，采用混凝土泵送技术，底板和反梁分开浇筑，均采用斜面分层法，墙体和框架柱采用整体分层法，施工中严格控制分层厚度。

(5) 加强混凝土的养护工作。水平构件覆盖塑料布，竖向构件外挂麻袋片，外包塑料布，浇水次数以保证塑料布内有凝结水为准。

(6) 混凝土构件中设置测温监测点，采用电子测温仪定时监测各测温点温度，为施工过程中及时准确掌握混凝土的有关数据提供依据。

4.9 预应力施工技术

本工程预应力包括两种形式，有后张法有粘结预应力和后张法无粘结预应力。有粘结预应力用在 24m、26m 大跨度梁中，张拉端采用多孔夹片式群锚，固定端采用挤压式锚具，梁张拉端处专门设置张拉台座，采用金属波纹套管成孔，预应力筋张拉完毕后及时灌浆。无粘结预应力应用于单层面积大的地下一层顶板中，主要作用为减少温度应力对结构

的影响,部分预应力筋为两端张拉,部分预应力筋采用一端张拉一端锚固。张拉端采用单孔夹片式锚具,固定端采用挤压式锚具,施工时预应力筋张拉端采用杯套进行留置。施工中重点控制预应力筋的铺设位置及标高,待梁板混凝土强度达到设计强度的100%时进行张位。

4.10 钢结构施工技术

4.10.1 钢结构工程概况

本工程钢结构主要分成:展览区展览大厅钢结构、会议区大宴会厅钢结构、会议区会议厅钢结构、劲性柱、商业街及内街屋面钢结构、摇摆柱六大部分。主要结构形式为劲性钢结构、钢结构框架、钢桁架结构。钢材材质为Q235B、Q345B、Q345GJC,钢结构工程量约13000t,高强螺栓用量约14万套,安装焊丝用量约30t,构件连接形式为高强螺栓连接和焊接连接。施工中开发应用了多种施工技术,主要包括:大跨度钢结构安装测量控制技术,大跨度钢桁架加工制作技术,超重柱标准节移运器吊装技术,可拆装分体式路基箱施工技术,超长大直径圆管摇摆柱制作安装技术,60m×81m大跨度钢结构楼盖竖向振动阻尼减振技术,大跨度钢桁架整体提升技术,大跨度钢桁架滑移施工技术,大吨位塔吊解体拆除技术,起吊工装技术。

4.10.2 60×81m大跨度钢结构楼盖竖向振动阻尼减振技术

本工程主会议厅楼面为60m×81m大跨度钢结构,由8榀60m跨高5.05m的钢桁架支承在南北两侧的混凝土柱上,楼面为压型钢板组合楼板。由于桁架跨度大、楼面为压型钢板组合楼盖,采用北京市建筑设计研究院提供的ETABS计算模型和计算荷载 $1\text{kN}/\text{m}^2$ 以及步行曲线,计算得出结构的第一自振频率和人正常行走、跳跃的频率接近,容易产生共振。尽管结构的强度满足要求,不会发生强度引起的破坏,但是因为结构共振引起的加速度的振幅过大,超过人体舒适度耐受极限,极易在人的心理上造成恐慌,故须对该楼盖进行结构消能减振设计。

结构消能减振技术是一种结构控制技术,即通过对结构施加控制机构,由控制机构与结构共同承受振动作用,以调谐和减轻结构的振动反应,使它在外界干扰作用下的各项反应值(加速度、速度和位移)被控制在允许范围内。结构消能减振设计是指在结构中设置消能减振装置,通过其局部变形提供附加阻尼,大量消耗输入结构的能量,使结构的动能或者变形能转化成热能等形式耗散掉,达到预期设防要求,经过现场试验及理论计算,本工程采用多点TMD-黏滞流体阻尼器消能减振系统。

经过多次循环优化计算,楼板共布置72套减振装置,减振装置分两种型号,分别为TMD1减振装置和TMD2减振装置。每套减振装置由黏滞阻尼器和调频质量阻尼器组成,包括4个弹簧减振器、1个黏滞阻尼器和若干连接件、万向铰等。

由于结构已经安装完毕,现场没有大型起重机械,为保证阻尼器的安装精度,采用人工安装的方法。在首层楼板上搭设可移动式的脚手架,在可移动式脚手架上再布置两组门式操作脚手架,作为安装阻尼器的操作平台。移动式脚手架由脚手架和滑轮组成,架体长×宽为6.0×6.0m,高10.0m,为普通扣件式脚手架。安装时先用吊篮将阻尼器吊至操作平台上,再用倒链将其吊运至安装部位进行安装。