

国家游泳中心施工

国家重大土木工程施工新技术应用丛书

国家游泳中心施工

中国建筑一局（集团）有限公司 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

国家游泳中心施工/中国建筑一局(集团)有限公司主编.
北京:中国建筑工业出版社,2011.1

(国家重大土木工程施工新技术应用丛书)

ISBN 978-7-112-12738-2

I. ①国… II. ①中… III. ①游泳池—体育建筑—工
程施工—北京市 IV. ①TU245.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 248240 号

本书以国家游泳中心工程施工实践为基础,全面系统地介绍了这个结构新颖、设计奇特、具有独特艺术效果、蕴含极高科技含量的工程在建造过程中所应用的各项新技术。本书包括综述、新技术的应用及创新、工程大事记等内容,详细剖析了泳池综合技术、新型多面体空间刚架结构施工技术、屋盖及墙体 ETFE 装配系统综合技术、室内装饰装修工程施工技术、机电工程综合技术等新技术的应用。

本书可供建筑业技术人员、管理人员及建筑院校师生参考使用。

* * *

责任编辑:刘江 岳建光

责任设计:赵明霞

责任校对:陈晶晶 关健

国家重大土木工程施工新技术应用丛书

国家游泳中心施工

中国建筑一局(集团)有限公司 主编

*

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

北京华艺制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:18 $\frac{1}{4}$ 字数:455 千字

2011 年 2 月第一版 2011 年 2 月第一次印刷

定价:48.00 元

ISBN 978-7-112-12738-2

(20035)

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)

国家重大土木工程施工新技术应用丛书

编写委员会

主 任：黄 卫（中国工程院院士）

副主任：叶可明（中国工程院院士）

董石麟（中国工程院院士）

官 庆（中国建筑股份有限公司副总裁）

委 员：肖绪文（中国建筑股份有限公司）

林 鸣（中国交通建设集团有限公司）

龚 剑（上海建工（集团）总公司）

张晋勋（北京城建集团有限责任公司）

冯 跃（北京建工集团有限责任公司）

出版说明

近年来,随着经济持续、健康、高速的发展,我国进入了一个大规模工程建设阶段。由于国家建设发展的需要,以及在北京2008年奥运会、2010年上海世博会、2010年广州亚运会、2011年深圳世界大学生运动会等一系列重大活动的推动下,以奥运场馆、中央电视台新址、广州新电视塔、润扬大桥、东海大桥、苏通长江公路大桥、杭州湾跨海大桥为代表的重大土木工程的建设令人瞩目,这些项目无论是工程规模、工程质量,还是技术难度,都代表着当今我国及世界的先进水平,另外还有一些具有创新技术、能代表我国建筑工程技术新进展和新成就的重点大型图书馆、博物馆、轨道交通等公共建筑和市政工程,都展示着我国工程建设者的聪明智慧。为此,中国建筑工业出版社决定组织出版《国家重大土木工程施工新技术应用丛书》,该丛书将包括近年来国内一系列重大土木工程项目,这些项目中蕴涵大量创新的施工安装技术和工艺,具有极大的推广应用价值。本丛书的出版将有利于建筑施工行业整体水平的提高,并对今后的工程建设起到积极的借鉴作用,并产生良好社会和经济效益。

本丛书的出版原则是“精选+实用”,丛书的每一分册总结一个工程,每个分册的基本框架分为两大部分:第一部分是概述,介绍工程基本情况、结构类型及设计特点,工程地质条件、施工条件,并从总体上介绍主要施工方法,技术重点、难点,技术应用效果等。第二部分是创新施工技术详解,将对施工及安装过程中的技术特点、难点,技术攻关及技术突破,绿色施工技术的应用做详细的阐述,这些精选后的实用技术将按分部工程的顺序排列。在叙述中尽量在具体工程的基础之上,将技术进一步总结浓缩,突出重点,提炼其技术精髓纳入书中,以期对其他相同类型、相似情况的工程起到更好的借鉴意义。

我们希望这套丛书的出版能够成为反映和代表目前国内先进施工技术水平的精品,为广大施工技术人员奉献一系列具有新技术代表性和实际操作性的好书,为进一步推动我国施工技术更快发展做出自己的贡献。

中国建筑工业出版社

2009年6月

《国家游泳中心施工》

编写委员会

主 任：吴月华

副 主 任：薛 刚 冯世伟 孙洪庄

主 编：朱泽亚

副 主 编：高俊峰 侯本才 陈 蕾 庞京辉 廖钢林 陈普泽

编写人员（以姓氏笔画为序）：

于兰松	王 宁	王 涛	王 楠	王双军	王丽娟
毛立臣	龙昭乾	刘一兰	刘大治	刘建博	羊 俊
李 鑫	杨 斌	邴 淳	佟 强	肖 锋	肖文凤
张 凡	张 龙	张 帅	张 涛	张 强	张文学
张国栋	张继民	张新良	陈 蕾	陈依平	陈春雷
陈普泽	吴纯贵	吴国云	季学法	金宝玉	庞京辉
单宝龙	侯本才	施林铁	姜 博	贾晋文	夏小强
徐 进	高惠润	涂德春	诸 进	常 军	彭福义
韩 冰	番更强	魏 健			

国家游泳中心是2008年北京奥运会标志性建筑之一，也是北京市政府指定的唯一一个由港澳台同胞及海外侨胞捐资建设的奥运场馆，奥运会期间用于游泳、跳水、花样游泳的比赛，赛后作为多功能的大型水上运动中心，既可举办大型国际、国内赛事，又能为公众提供水上娱乐、运动、休闲、健身等服务。

国家游泳中心的设计以“水”为主题，结合中国古代城市建筑最基本形态“方”，创造出一个“充满水的立方体”的建筑造型，被人们称为“水立方”。为展现“水的流动”这种独特的艺术效果，建筑物外围、支撑墙及屋盖采用了新型多面体空间刚架结构，由一系列类似于水晶体的空间刚架结构单元构成水滴的骨架，里外两层刚架分别外包ETFE（聚乙烯—四氟乙烯共聚物）气枕形成水滴。这是全球第一座采用多面体空间刚架结构的建筑，也是世界上覆盖面积最大、功能要求最复杂的膜结构建筑。建筑物内部有奥林匹克比赛大厅、热身池大厅和嬉水大厅，其中奥林匹克比赛大厅内含一个符合奥林匹克运动会标准的游泳池和一个跳水池，大厅内对称排列的看台视野开阔，白色的建筑内饰、从前向后、从深蓝到浅蓝到纯白、蓝白相间的座椅与碧蓝的水池相映成趣，装饰装修前卫，机电系统先进，堪称世界一流的室内游泳馆。

国家游泳中心是一个创新的建筑，蕴涵着极高的科技含量。其结构新颖、设计奇特，且大量使用新型建筑材料和设备，因而无以往经验可以完全借鉴，施工具有相当高的难度。为以一流的技术、一流的质量、一流的管理向2008年奥运会奉献精品工程，国家游泳中心的建设者们针对工程的特点、难点，积极攻关，勇于创新，优质高效地



完成了这座世界瞩目建筑的建设任务，用我们的承诺和智慧雕塑了一件时代的艺术品，也在全世界面前为“中国建筑”赢得了荣誉。

国家游泳中心工程建设单位为北京市国有资产经营有限责任公司；项目管理单位为中国长江三峡工程开发总公司北京奥运游泳中心项目建设管理部；设计单位为中建总公司设计联合体（由中国建筑工程总公司、中建国际（深圳）设计顾问有限公司、澳大利亚 PTW、ARUP 组成）；监理单位为北京帕克国际工程咨询有限公司；施工总承包单位为中建一局集团建设发展有限公司。

目 录

第一篇 综 述

第一章 工程基本情况	1
第一节 工程概况	1
第二节 现场条件	4
第三节 主要施工目标	4
第四节 工程特点和难点	5
第二章 施工部署	7
第一节 施工分区及流水段划分	7
第二节 总体施工部署	9
第三章 主要施工技术	12
第一节 关键施工技术及创新	12
第二节 节能、环保技术	20
第四章 新技术综合实施效果	35

第二篇 国家游泳中心工程新技术的应用及创新

第五章 泳池综合技术	37
第一节 概述	37
第二节 混凝土抗渗防裂技术	42
第三节 特殊部位施工技术	47
第四节 防水与泳池砖粘贴	50
第六章 新型多面体空间刚架结构施工技术	54
第一节 概述	54
第二节 钢结构安装技术	57
第三节 钢结构节点空间快速定位测量技术	64
第四节 钢结构焊接技术	69



第五节	钢结构支撑体系卸载技术	75
第六节	脚手架支撑体系设计与实施	79
第七节	钢结构健康监测	87
第七章	屋盖及墙体 ETFE 装配系统综合技术	89
第一节	概述	89
第二节	ETFE 装配系统设计	90
第三节	ETFE 气枕制造与安装技术	101
第四节	ETFE 气枕电子监控系统的应用	109
第五节	ETFE 装配系统工程技术及施工质量验收标准	109
第八章	室内装饰装修工程施工技术	111
第一节	概述	111
第二节	吸声板吊顶转换支撑系统施工技术	114
第三节	马道吸声板安装技术	119
第四节	单向单层悬索结构轻质吸声墙面施工技术	123
第五节	铝合金蜂窝吸声装饰板安装技术	132
第六节	大板块酚醛树脂装饰面板干挂施工技术	136
第九章	机电综合技术	144
第一节	概述	144
第二节	大空间通风空调综合技术	149
第三节	虹吸雨水系统应用技术	178
第四节	泳池水处理综合技术	192
第五节	自动消防炮灭火系统应用技术	203
第六节	LED 景观照明系统应用技术	216
第七节	体育照明系统安装及调试技术	238
第八节	扩声系统应用技术	250
第九节	电力保障、应急照明及等电位技术	262
第十节	废水回用系统应用技术	268
	国家游泳中心工程大事记	281

第一篇 综 述

第一章 工程基本情况

第一节 工程概况

一、建筑概况

国家游泳中心位于奥林匹克中心区B区西南角，主体建筑紧邻城市中轴线，并与国家体育场相对于中轴线均衡布置。东面为景观路，西侧为景观西路，南侧紧临北顶娘娘庙，北侧为成府路。工程占地 62828m^2 ，赛时建筑面积 79532m^2 ，赛后建筑面积 872823m^2 ，其中地下建筑面积 57456m^2 ，地上建筑面积 29827m^2 。建筑物外形为立方体，平面尺寸 $176.538\text{m}\times 176.538\text{m}$ ，高度约 31m ，地下2层，地上主体单层、局部5层。地下二层主要为池底、车库、设备用房等；地下一层及以上分为3个主要的池厅，分别为奥林匹克比赛大厅、热身池大厅和嬉水大厅。内有1个 $25\text{m}\times 50\text{m}$ 的10泳道标准游泳池、1个 $25\text{m}\times 50\text{m}$ 的10泳道热身训练池、1个 $25\text{m}\times 30\text{m}$ 的跳水池及近 5000m^2 的嬉水乐园和其他辅助功能设施；有标准坐席17000个，其中临时坐席约11000个（赛后将拆除），永久坐席约6000个。热身池大厅上方预留赛后多功能室内运动场，各层另设相关附属空间和设施（图1-1、图1-2）。

二、结构概况

国家游泳中心工程设计基准期为50年，设计使用年限为100年。

1. 地基基础工程

建筑物总体布置为正方形，地下室基础埋深 $-8.04\sim -11.80\text{m}$ 。基础形式为桩基础+无梁抗水板。

2. 钢筋混凝土主体结构工程

地下室及地上局部结构形式为现浇钢筋混凝土框架—剪力墙结构，地上二层预留赛后运动场部位结构梁采用了有粘结预应力技术。底板承台、地下室外墙柱、三大泳池底板及侧壁混凝土强度为C35P12（C30P10），地下内墙柱及地上内墙柱（ 6.550m 以下）混凝土等级为C50，地上内墙柱（ 6.550m 以上）及预应力大梁混凝土等级为C40，地上一层（含）以上普通梁板、楼梯板、设备基础及除三大泳池外的其他水池底板和侧壁混凝土等级为C30，过梁、构造柱、屋顶构架及二次浇筑的次要构件混凝土等级为C25。

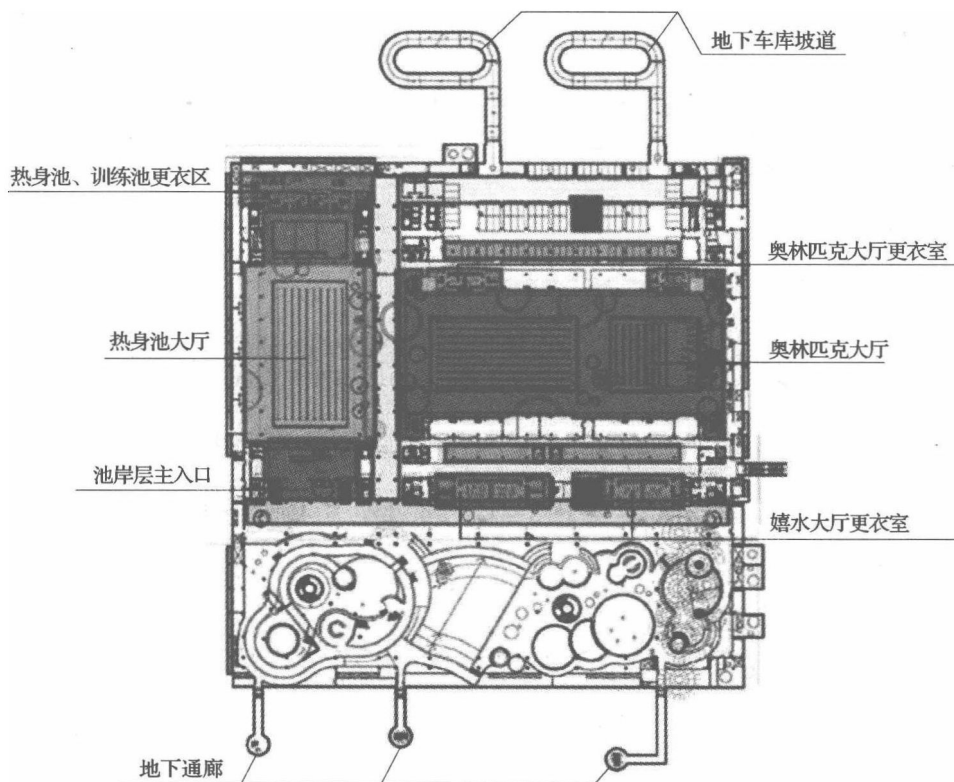


图 1-1 地下一层平面图

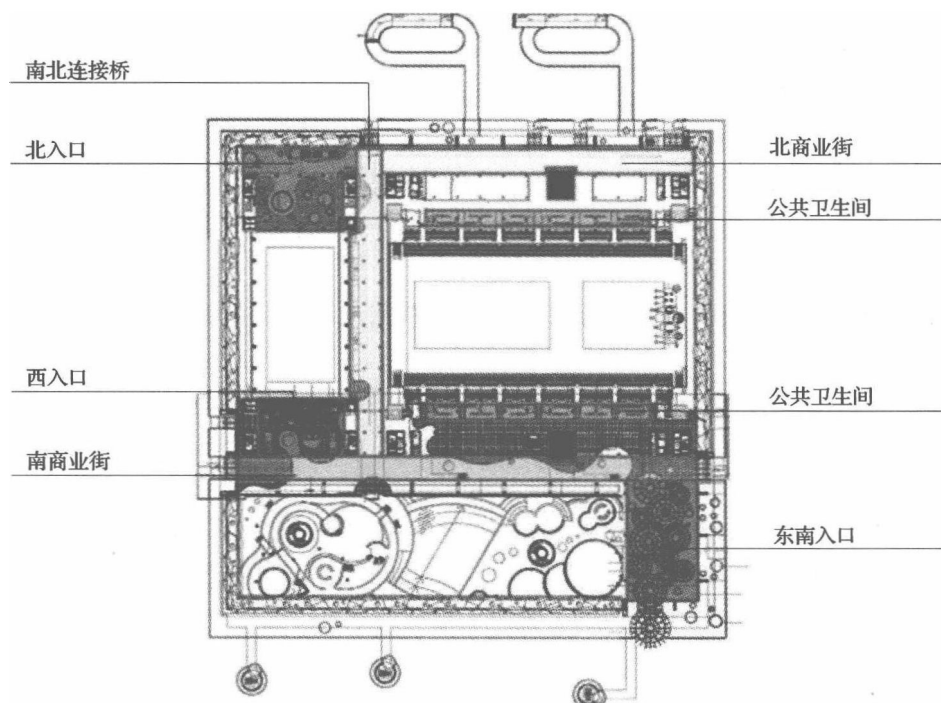


图 1-2 首层平面图



3. 墙体及屋盖钢结构工程

地上外围、支撑墙及屋盖为多面体空间刚架结构。钢结构屋盖被两道内墙分割成 3 个区域,跨度分别为 40m、50m、137m,属于大跨度钢结构。主体钢结构设计总重量约 6700t (不含预埋件和加强板),选用材质为国产钢材 Q345C、Q420C,并附加抗震性能有关技术指标。

三、装饰装修概况

1. 室外装饰工程

外围钢结构墙体及屋盖被 ETFE (乙烯-四氟乙烯) 气枕覆盖,共有 3216 个气枕,覆盖面积约 10 万 m^2 ,展开面积达到约 30 万 m^2 。建筑物四面入口门斗处采用全玻璃幕墙,其他部分为外挂铝合金饰面板。

2. 室内装饰工程

室内楼地面主要做法为:橡胶地板楼面、聚氨酯楼面、硅化汉白玉石材楼面、地砖热辐射保温楼面、环氧漆自流平涂料楼面、活动地板楼面、细石混凝土楼面等。

墙面主要做法为:铝合金穿孔蜂窝吸声板墙面、冲孔金属铝单板墙面、酚醛树脂挂板墙面、渐变玻璃锦砖(玻璃马赛克)防水墙面、彩色玻璃马赛克墙面、单向单层悬索结构钛科丝吸声墙面、彩釉发光玻璃墙面、弧形镀点防眩光跳塔玻璃墙面、涂料墙面、玻璃隔断幕墙、圆弧金属铝板柱等。

顶棚主要做法为:转换支撑体系钛科丝玻璃纤维吸声板吊顶、铝合金穿孔蜂窝吸声板吊顶、铝合金冲孔板造型吊顶、酚醛树脂板吊顶、穿孔吸声石膏板斜面吊顶、铝格栅吊顶、圆弧发光造型吊顶、点支式夹胶钢化玻璃吊顶、轻钢龙骨防水石膏板合成树脂涂料吊顶、矿棉吸声吊顶等。

门窗为木门、玻璃门、钢制防火门、木制防火门、铝合金窗等。

四、机电系统概况

国家游泳中心机电工程共包含 54 个系统。

通风空调系统包括:空调水系统、供暖系统、空调风系统、通风系统、防排烟系统、防结露系统、人防通风系统、冷冻站、热力站。

给水排水系统包括:生活给水系统、生活热水系统、直饮水系统、中水系统、废水系统、污水系统、屋面雨水系统、雨洪利用系统、游泳池水循环处理系统、室内水景循环处理系统、护城河水循环系统、护城河池水加热系统。

消防系统包括:消火栓给水系统、自动喷水灭火系统、固定消防水炮系统、七氟丙烷气体灭火系统及灭火器设置。

强电系统包括:变配电系统、普通照明与体育照明系统、LED 景观泛光照明系统、防雷接地与安全系统。

弱电系统包括:中央集成管理系统、楼宇自控系统、公共广播系统、消防报警及联动系统、场馆扩声系统、多语言智能诱导系统、升降旗系统、新闻发布及数字会议系统、计



时记分与成绩处理系统、移动通信系统、时钟系统、电视转播摄像系统、综合布线系统（临时部分和永久部分）、有线电视系统（临时部分和永久部分）、综合安防系统（临时部分和永久部分）、大屏幕显示系统（临时部分和永久部分）、计算机网络系统、仲裁录像系统、电子票务系统、固定通信系统、停车场管理系统。

第二节 现场条件

国家游泳中心工程建筑总用地面积约 62828m^2 ，基底面积为 31449m^2 。

一、地质条件

（1）土质情况：持力层为卵石层（6）。

（2）地下水位及静止水位标高：上层滞水 $37.65 \sim 41.27\text{m}$ ；层间潜水 $31.73 \sim 36.18\text{m}$ ；微承压水 $17.60 \sim 22.13\text{m}$ （ ± 0.00 相当于绝对标高 45.9m ）。

二、现场施工条件

（1）施工现场有比较完善的硬化循环道路。

（2）场内西侧道路下设有 $DN400$ 的雨水管和 $DN400$ 的污水管，东、南、北三侧地面设有排水沟，每 30m 设有雨水算子，西侧建有化粪池一座。

（3）施工现场临时供水管（镀锌钢管 $DN150$ ）由现场东南角经水表井入，并沿道路成环状布置，环状供水管留有 $DN25$ 镀锌钢管及阀门，设有 8 个地下式消火栓。

（4）由甲方提供的两台箱式变压器作为临时电源。其中南侧变压器为 $800\text{kV} \cdot \text{A}$ ，北侧变压器为 $800\text{kV} \cdot \text{A}$ 。

第三节 主要施工目标

一、工程质量目标

确保工程质量等级“合格”，整体工程获得“长城杯”、“鲁班奖”，力争“奥林匹克建筑奖”，并达到国际比赛对场馆硬件上的要求。

二、安全文明施工目标

采取切实可行的安全措施和充足的安全投入，通过严密的安全管理，确保施工现场不发生重大伤亡事故、火灾事故和恶性中毒事件，轻伤发生频率控制在 6% 以内，确保获得北京市“安全文明样板工地”。

三、消防目标

按照《北京市建设工程施工现场保卫消防工作标准》进行现场施工部署，确保不发生



火灾事故。

四、环保目标

严格按照 ISO14000 环保体系和 OHSAS18000 质量、环境、职业安全卫生管理体系实施, 严格按照国家、北京市关于施工现场环保和文明施工法律、法规及第 29 届奥组委制定的《奥运工程绿色施工指南》的各项管理规定执行, 加强施工组织和现场文明施工管理, 成为“花园式工地”, 并使该工程成为节能型、环保型建筑, 成为既满足设计风格又满足建筑物使用功能的绿色奥运建筑, 真正体现“绿色奥运, 人文奥运, 科技奥运”的理念。

第四节 工程特点和难点

一、工程特点

1. 重要的影响力

奥林匹克运动会是国际上最重要的综合性赛事, 2008 年第 29 届奥运会是我国第一次承担有如此国际影响力的比赛, 对体现我国特别是北京的综合实力是一项重大考验。国家游泳中心是奥林匹克公园里的标志性场馆之一, 又是本次新建场馆中唯一由港澳同胞、台湾同胞和海外华侨为主捐资兴建的项目, 其重要性是不言而喻的。

2. 施工过程要体现申奥承诺的三大理念

我国申办奥运会的口号是把本次奥运会办成一个“绿色奥运、人文奥运、科技奥运”的盛会, 这个理念贯穿奥运场馆设计、建造、运营的整个过程。在施工中必须从施工材料的选择、施工过程的控制——把关, 充分体现这三大理念。

3. 结构新颖、设计奇特

国家游泳中心是全球第一座采用多面体空间刚架结构的建筑, 也是世界上建筑面积最大、功能要求最复杂的膜结构建筑。工程结构新颖、设计奇特, 施工中应用的多种新技术、新材料无以往经验可以完全借鉴, 对现有施工技术提出了挑战。

4. 施工质量目标高

国家游泳中心工程质量目标为确保整体工程“长城杯”、“鲁班奖”, 力争“奥林匹克建筑奖”, 对工程的质量要求非常高。

二、工程难点

1. 总承包综合协调管理难度大

国家游泳中心工程结构体系复杂, 专业众多, 工程总承包商不仅要承担项目的施工责任, 且通过合同的形式受业主委托对整个工程的质量、安全、进度、成本、现场文明施工、场容及环境保护等各个方面和环节都有管理的责任和义务, 协调工作多, 管理责任重、难度大。



2. 工程施工难度大

国家游泳中心工程结构新颖、奇特,设计标准高,在创造了多项世界第一的同时,施工也具有相当高的难度。

(1) 体现高性能混凝土的特性

国家游泳中心工程混凝土部分的耐久性设计年限为 100 年,必须从原材料的选择、施工过程的控制等方面达到高性能混凝土所要求的耐久性长及工作性好的特点。

(2) 建造符合奥林匹克运动会标准的游泳池

国家游泳中心的游泳池要符合奥林匹克运动会的高标准质量要求。其泳池必须具有不透水性,对混凝土抗渗、防裂及防水材料的要求极高。必须从混凝土的配合比设计、防水剂的选择、混凝土的浇筑与养护工艺的选择、柔性防水材料厂家的选定等各方面做到方案合理、现场控制有效。泳池、跳台对装修面完成后所达到的精度要求高于普通建筑,要比普通建筑的国家验收标准更加严格。施工过程中,必须严格控制与完成面尺寸相关的每一个环节(测量、模板的选择与支设、混凝土的浇筑、装修面的完成等),才能达到最终的精度要求。泳池的装修还有很高的环保要求。其内饰面砖必须耐水,还要耐泳池水清洁处理剂的浸泡;粘贴泳池砖的粘结剂必须既保证在水的浸泡下不脱落,又对人无害,泳池砖的选择、粘结剂及施工质量的控制至关重要。

(3) 结构异常复杂的新型多面体空间刚架结构

国家游泳中心工程的建筑造型为“充满水的立方体”,为体现出不同形状的水滴充满整个空间的设计理念,屋盖及支撑墙结构由多面体空间刚架结构构成水滴的骨架,里外两层框架分别外包 ETFE 气枕体现出水滴的流动状态。水滴的不规则形状决定了钢框架杆件空间变化的不规则性,导致钢框架杆件的空间性、多样性。本工程钢结构共约 6700t,节点 9843 个,杆件数量将近 20670 根,对制作、现场测量、安装、焊接、卸载等提出了极高的要求。

(4) 超大面积的膜结构

国家游泳中心“水立方”的外视效果由 ETFE 膜结构来实现,与室内的实际水面交相辉映。膜结构的展开面积达到约 30 万 m^2 ,是世界上规模最大的膜结构工程,亦是唯一一个完全由膜结构来进行全封闭的大型公共建筑。超大面积的膜结构无论对设计还是施工、使用都是一个极大的挑战。

(5) 高标准和系统复杂的机电工程

国家游泳中心建成后是北京市最大的室内多功能水上娱乐、健身、运动中心,对机电工程,尤其是泳池的设备、材料标准的确定,材料、设备选型和现场安装等提出了很高的要求,同时对材料、设备的节能和环保性能提出了很高的要求。

(6) 现场平面布置和安全文明施工的标准要求高

本工程施工中执行《奥运工程绿色施工指南》,严格执行国家、北京市关于施工现场的相关法律法规和标准,对施工现场平面布置和安全文明施工提出了很高的要求。

第二章 施 工 部 署

第一节 施工分区及流水段划分

一、施工分区和流水段划分原则

- (1) 利用设计中的沉降后浇带及收缩后浇带来进行分区；
- (2) 根据设计功能、结构特点来进行划分；
- (3) 结构形式基本相同且需同时施工的区域作为一个分区；
- (4) 合理进行人、机、料的投入和配置，以及施工场地的合理安排。

二、施工分区和流水段的划分

1. 施工分区的划分

西北侧包括热身池的部分为Ⅰ区。Ⅰ区地上四层，南、北基本对称。

东北侧包括奥林匹克比赛大厅、竞赛池、看台在内的部分为Ⅱ区。Ⅱ区地上二层，南北对称。

南端用做嬉水乐园的部分为Ⅲ区。Ⅲ区主要混凝土结构只有地下部分，地上为冲浪坡道，功能比较单一。

2. 流水段的划分

底板及地下结构施工阶段见图 2-1、图 2-2。

Ⅰ区分为 6 段：Ⅰ-1~Ⅰ-6；Ⅱ区分为 9 段：Ⅱ-1~Ⅱ-9；Ⅲ区分为 8 段：Ⅲ-1~Ⅲ-8。

地上结构施工阶段见图 2-3。

Ⅰ区分为 3 段：Ⅰ-1~Ⅰ-3；Ⅱ区分为 9 段：Ⅱ-1~Ⅱ-9。