

超高层建筑

大型塔机施工案例

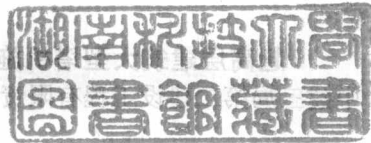
中建三局第二建设工程有限责任公司
主编

中国建筑工业出版社



超高层建筑大型塔机施工案例

中建三局第二建设工程有限责任公司 主编



湖南科技大学图书馆



KD00957842

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

超高层建筑大型塔机施工案例/中建三局第二建设工程有限责任公司主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 10

ISBN 978-7-112-14650-5

I. ①超… II. ①中… III. ①超高层建筑-塔式起重机-工程施工-案例 IV. ①TU974

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 209290 号

本书基于中建三局第二建设工程有限责任公司在超高层建筑塔机管理方面的施工实践, 对多年来取得的超高层建筑大型塔机施工技术成果汇编而成。介绍上海环球金融中心、中央电视台新台址、广州西塔、深圳证券交易所营运中心、沈阳恒隆广场塔楼一五个工程的塔机选型、定位、基础设计、附着设计、附着处的结构加固、爬升架设计、爬升、移位、安装、拆除等内容。从技术的先进性来说应该属于国内领先水平, 有很大的参考价值。

可供建筑施工工程技术人员、塔机生产厂家参考。

责任编辑: 赵梦梅 张国友

责任设计: 董建平

责任校对: 张颖 赵颖

超高层建筑大型塔机施工案例
中建三局第二建设工程有限责任公司 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
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 字数: 498 千字
2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月第一次印刷

定价: 45.00 元

ISBN 978-7-112-14650-5
(22715)

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)

本书编委会

主 编

罗 宏

副主编

黄晨光 陈新安

编 委

罗 宏	黄晨光	陈新安	张明黄	龙传尧	梁贵财	刘业炳	刘会玲
何纯涛	刘 波	王良波	魏开雄	王 伟	王祥志	方 斌	欧阳恒
彭建锋	裴以军	吴 敏	李 俏	王 震	刘太乾	郝绍金	郑唐蓉
刘昌平	刘德朋	黄熙萍	洪 琦	袁小兵	丁文轩	刘西俊	姚建忠

前 言

近年来随着我国城市化进程的加快和综合国力的增强,超高层建筑在我国城市建筑所占的比重越来越大。特别是在集约利用土地资源、集约使用能源、集约使用基础设施等城市建设新理念的引导下,我国超高层建筑迅猛发展。进入 21 世纪以来,国内目前正在建筑的超过 300m 的超高层建筑有多座,其中包括正在建造的 3 幢超过 600m 高度的建筑。由此可见,亚洲特别是中国将成为未来全球超高层建筑的中心。目前国内超高层建筑施工用垂直运输设备,由于运输设备随高度增加降效,原来常用的 1 台设备已不能满足现在超高层建筑施工需要,越来越多的超高层建筑施工选择 2 台或多台塔吊配合使用,在这种情况下,尾部回转半径小,要求作业空间小的动臂式塔吊在超高层施工中成为主流垂直运输设备。随着超高层建筑高度越来越高、设计技术的不断更新,现代大型建筑特别是超高层建筑越来越多的采用钢-砼组合或钢结构设计形式,其钢结构吊装单元的重量大大增加,超高层异形柱、巨柱、带状桁架、伸臂桁架、连接节点等通常可以达到 30t 或更大的吨位,要求塔式起重机的吨位也越来越大,目前国内房建领域应用比较多的最大塔机达到 2700 吨米级别。

在国内典型的超高层建筑施工过程中,作者有幸参与了一些比较典型工程的塔机管理工作。因此我们认为有必要对这些工程应用塔机的情况加以总结,为后续大量超高层建筑施工的塔机选择和安拆提供参考。

本书选用的案例是基于作者参与塔机管理的工程,对这些典型工程所使用的塔吊从选用、基础和附着设计、安装、移位拆除及过程管理等方面进行了详细的介绍。同时在与塔机相关设计计算方面,运用了各种当前主流的计算软件如 MIDAS、ANSYS 等进行了相关的模拟计算,希望能给有关单位和人员提供一定的参考价值。

本书在编写过程中力求能起到抛砖引玉的作用,但限于作者的水平和工程实践经验,书中难免有不足之处,敬请专家和同行批评指正。我们在各工程塔机的管理过程中得到了上级部门和相关单位的大力支持,在本书出版过程中得到相关人员的帮助,作者代表中建三局第二建设工程有限责任公司全体同仁向关心支持我公司发展的所有人员表示感谢。

本书编者

目 录

第 1 章 上海环球金融中心主楼塔机施工技术	1
1.1 塔机的选型与定位	1
1.1.1 工程概况	1
1.1.2 塔机选型	1
1.1.3 塔机的定位	6
1.1.4 整体工作流程	9
1.2 塔机安装	11
1.2.1 M440D 塔机的安装	11
1.2.2 M900D 塔机的安装	19
1.3 塔机附着 (附墙架系统)	23
1.3.1 概况	23
1.3.2 附墙架系统的设计与验算—M440D 塔机	24
1.3.3 附墙架系统的设计与验算—M900D 塔机	29
1.4 塔机爬升	37
1.4.1 爬升规划	37
1.4.2 附墙架系统	37
1.4.3 爬升	43
1.5 塔机移位	47
1.5.1 带状桁架系统 (88~91FL)	47
1.5.2 附着 (96FL)	51
1.5.3 结构本体	51
1.5.4 塔机移位	51
1.6 塔机拆除	53
1.6.1 概况	53
1.6.2 塔机拆除设备的选择	55
1.6.3 基本工作流程	55
1.6.4 起重设备	56
1.6.5 施工工艺	68
第 2 章 中央电视台新台址工程大型塔机施工技术	77
2.1 超大型钢结构工程塔机的选型和定位	77
2.1.1 工程概况	77
2.1.2 塔式起重机选择和定位原则	78
2.1.3 塔式起重机选择和确定	79

2.1.4 塔式起重机定位	80
2.2 主楼大型塔式起重机基础设计与施工	84
2.2.1 塔式起重机基础设计	84
2.2.2 塔式起重机基础施工方法	84
2.2.3 实施效果	87
2.3 大型塔机安装	87
2.3.1 塔式起重机布置	87
2.3.2 塔式起重机安装方法	90
2.4 塔机爬升架设计技术及结构加固技术	93
2.4.1 塔式起重机爬升支撑架设计技术	93
2.4.2 塔式起重机爬升结构加固技术	99
2.5 大型塔机的爬升	109
2.5.1 设备及工程施工特点	109
2.5.2 支撑爬升系统的安装拆卸	110
2.5.3 塔式起重机的爬升	112
2.6 大型塔机高空移位	115
2.6.1 高空移位原因	115
2.6.2 设备及工程施工特点	116
2.6.3 移位时主体结构工况	119
2.6.4 塔吊的高空移位方法及步骤	120
2.7 大型塔机悬臂部位安装	122
2.7.1 概况	122
2.7.2 悬臂 M600D 塔机定位	122
2.7.3 悬臂 M600D 底座设计	122
2.7.4 悬臂 M600D 塔式起重机附着的设计加工	123
2.7.5 悬臂 M600D 塔式起重机的移位安装方法	125
2.8 斜撑屋面大型塔机拆除	127
2.8.1 大型塔机拆除前现场工况	127
2.8.2 各种设备参数	127
2.8.3 大型塔式起重机拆除	130
第3章 广州珠江新城西塔 M900D 塔机施工技术	135
3.1 超高建筑工程塔机的选型和定位	135
3.1.1 工程概况	135
3.1.2 塔机的选型	135
3.1.3 塔机的平面定位布置	136
3.2 塔机外挂支撑架的设计技术	137
3.2.1 支撑架布置	137
3.2.2 第一阶段(69层以下)支撑架验算	139
3.2.3 第二阶段(69层以上)支撑架设计	145

3.2.4	上层附着设计	150
3.2.5	关于第一阶段(69层以下)的附着	154
3.2.6	杆件的强度及稳定性计算	154
3.2.7	支撑架预埋件验算	155
3.2.8	关于主梁铰接处的高强螺栓计算	156
3.2.9	铰接处销轴的计算	157
3.2.10	斜拉杆调节丝杆计算	158
3.2.11	底层支撑架附加立柱计算	158
3.3	塔机首次安装	159
3.3.1	塔机安装概述	159
3.3.2	M900D塔吊各部分重量表	160
3.3.3	M900D塔机的安装	160
3.4	塔机的爬升	163
3.4.1	塔机爬升规划	163
3.4.2	塔吊爬升系统	165
3.4.3	塔吊爬升步骤	165
3.5	塔机高空拆除	166
3.5.1	拆除概述	166
3.5.2	M900D塔机的构件清单	166
3.5.3	塔机拆除平面布置	166
3.5.4	塔吊拆除立面图	167
3.5.5	用M370R塔机拆除1#M900D塔机工艺流程图	167
3.5.6	M370R起重机的拆除	168
第4章	深圳证券交易所营运中心塔机施工技术	169
4.1	工程基本情况	169
4.1.1	工程概况	169
4.1.2	塔机选型	170
4.1.3	塔机结构参数	170
4.1.4	塔机定位	171
4.2	塔机附着	175
4.2.1	附着的结构形式	175
4.2.2	附着布置	177
4.2.3	附着的验算	183
4.2.4	塔楼外框筒的验算	189
4.3	M1280D塔机	196
4.3.1	安装/拆除	196
4.3.2	附着/顶升	196
4.3.3	接臂与解臂	198
4.4	塔机拆除	199

4.4.1	概况	199
4.4.2	拆除设备	200
4.4.3	基本流程	202
4.4.4	ZSL260 屋面吊	202
4.4.5	C7050 塔机拆卸	205
4.4.6	ZSL60 屋面吊	206
第5章	沈阳恒隆广场塔楼一塔机施工技术	209
5.1	塔机的选型及定位	209
5.1.1	工程概况	209
5.1.2	塔式起重机的选型及定位	210
5.2	塔机的性能	213
5.2.1	ZSL750 动臂式塔机	213
5.2.2	ZSL2700 动臂式塔机	218
5.3	塔机的安装	222
5.3.1	塔机的基础设计	222
5.3.2	塔吊基础施工准备	223
5.3.3	塔吊基础施工方法	223
5.3.4	塔吊基础施工注意事项	225
5.3.5	塔机安装设备的选择	226
5.3.6	ZSL750 塔机的安装	230
5.3.7	ZSL2700 塔吊安装	239
5.4	塔机的支撑架系统	247
5.4.1	ZSL2700 重型塔吊支撑及附着设计	247
5.4.2	ZSL750 重型塔吊支撑及附着设计 3.0 版	269
5.5	塔机的爬升	298
5.5.1	塔机爬升规划	298
5.5.2	爬升原理	300
5.5.3	塔机爬升工艺流程	301
5.5.4	ZSL2700 塔机支撑架的安装	301
5.5.5	ZSL750 塔机支撑架的安装	304
5.5.6	爬升前的准备	306
5.5.7	塔吊爬升程序 (以 ZSL750 塔为例)	307
5.5.8	塔吊下层支撑架的拆除	308
5.6	塔机的高空拆除	311

第 1 章 上海环球金融中心主楼塔机施工技术

(主楼施工用设备: 2 台 M900D 塔机+1 台 M440D 塔机)

1.1 塔机的选型与定位

1.1.1 工程概况

上海环球金融中心, 位于上海市陆家嘴金融贸易区, 为多功能的摩天大厦, 是当时国内第一、世界第三的超高层建筑, 地下 3 层, 地上 101 层, 建筑总高度 492m, 总建筑面积约为 380000m²。

该工程的主体结构为型钢—混凝土巨型结构, 位于周边的巨型钢结构和中部的核心筒是塔楼受力体系的核心部分:

周边的巨型钢结构由巨型柱、带状桁架和巨型斜撑共同组成。周边巨型柱从地下室 B3 层开始设置, 从第 6 层起, 巨型柱之间每隔 12 层设有一道 1 层高的带状桁架, 带状桁架之间通过巨型斜撑连接。

中部核心筒 79 层以下主要为钢筋混凝土结构, 在有伸臂桁架的部位, 核心筒剪力墙内埋有 3 层高的周边桁架; 中部核心筒 79 层以上全部为劲性钢骨混凝土结构, 核心筒剪力墙内的钢骨架为型钢组成的桁架; 塔楼 91~101 层, 为一个三维的框架结构。

中部核心筒与周边巨型结构之间通过伸臂桁架连接, 伸臂桁架高 3 层, 分别布置在 28~31 层、52~55 层、88~91 层之间。

其建筑立面(整体外观)及其结构本体—核心筒结构形状的变化情况如图 1-1-1 所示。

1.1.2 塔机选型

1.1.2.1 塔机选型的基本要素

在超高层建筑中, 由于各专业交叉多, 吊装高度高, 且每次吊装时间长。所以, 吊装设备的选择与布置, 需综合考虑构件重量、吊装量、工期、安全、成本等多种因素, 确保满足现场的施工需要, 尽可能不出现施工盲区, 以达到塔机的最优选择和最佳布置。

一、建筑结构

- I. 施工现场的总平面布置
- II. 建筑物本身的结构特点, 包括结构本体(含核心筒)的变化情况。
- III. 综合考虑各专业的垂直运输量、工期要求。
- IV. 尽量减少由于塔吊而造成的对结构施工的不良影响。

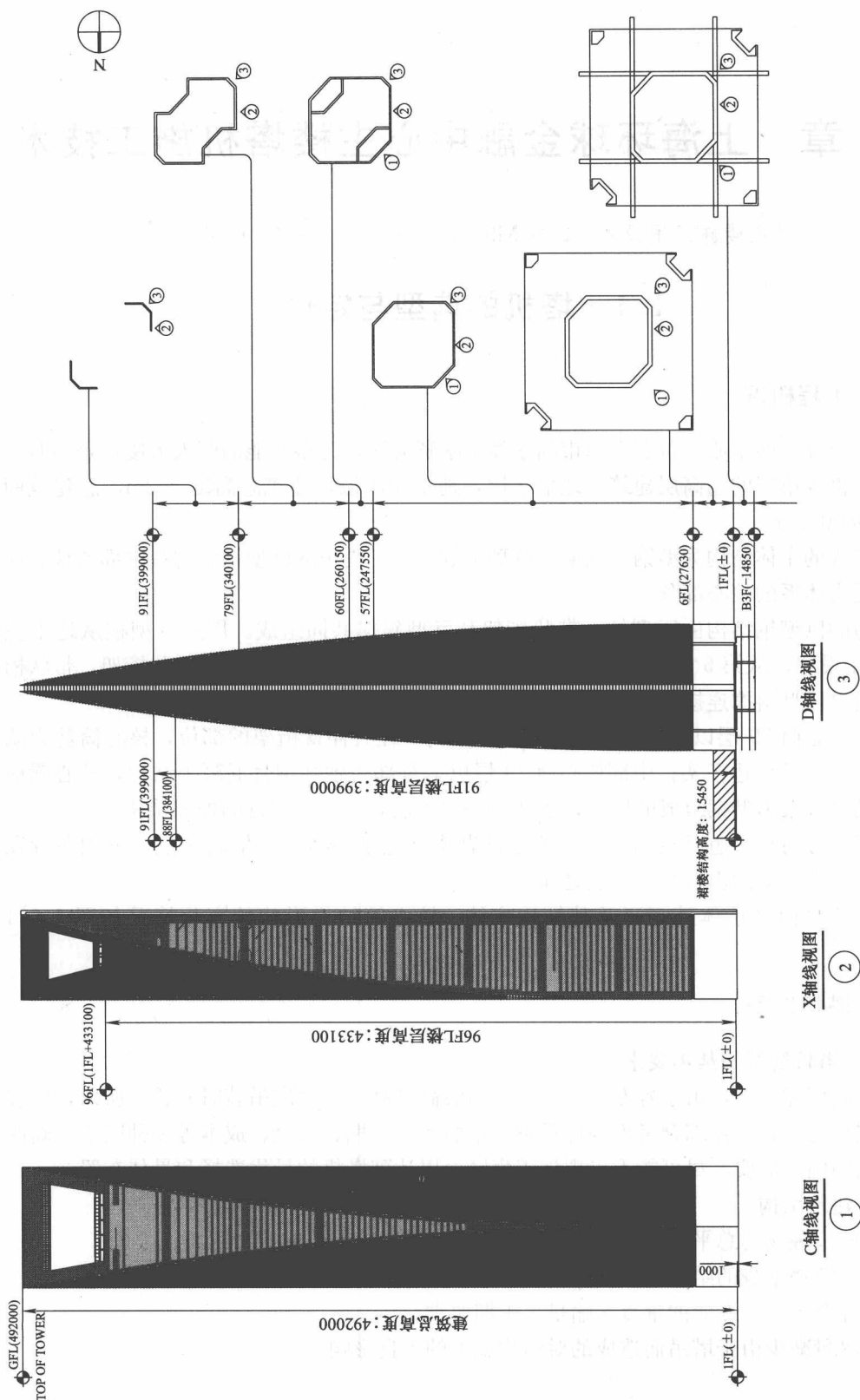


图 1-1-1 工程整体外观图

图 1-1-2 主体结构-核心筒的变化情况 (平面图)

二、起重设备

I. 设备的性能指标, 包括起重量性能、幅度(工作半径)、动力系统(驱动系统、功率、卷筒容绳量)、自立高度等参数, 满足现场的施工需要。

II. 主体结构的空间狭窄, 考虑群塔施工作业的要求。

III. 考虑塔吊安装、拆卸的可行性, 以及塔吊安全的需要。

IV. 塔吊的安装位置, 应满足附着/支撑的设计要求。

三、钢构件的分布特点

钢构件, 从结构安全性出发, 根据吊装工艺, 来确定钢构件的分段; 再根据钢构件的单件重量和吊装部位, 来确定塔吊的型号与位置。

28—31F 层外围钢结构施工时大型构件较多, 单件最重达 37.7t;

42—43F 施工时, 带状架、转换架分段后, 单件重量最重达 38.3t;

52—55F 位于西北角和东南角的四根伸臂架上弦杆, 重达 31.1t;

58—60F 核心墙劲性架安装时, 钢柱单件重量达到 36.2t;

核心筒 74~77 钢结构施工层面即地面以上高度为 320.15~332.75m 时, 核心墙体內的 4 个箱型内埋桁架柱, 为 3 层 1 节, 长 12.6m、重 38.3t, 属于大型超重构件。

四、整体的吊装工作量

单层的吊装工作量, 如表 1-1-1 所示。

单层吊装工作量统计表

表 1-1-1

作业类别	构件名称	数量	单位	吊装次数
钢结构	楼层钢梁	197	根	79
	楼层钢柱	12	根	6
	压型钢板	20	捆	20
	辅助材料	5	次	5
土建	核心筒钢筋	115	t	14
	楼板钢筋	32	t	8
	MEGA 柱内混凝土	42	m ³	21
	MEGA 柱钢筋	66	t	10
	其他辅助	5	次	5
幕墙	单元式幕墙框架	100	件	26
	幕墙支撑构件	20	t	4
机电	管道	4	t	4
	设备	4	件	4
装修	隔墙	10	捆	10
	砌体	10	捆	10

五、塔机选型方案比较

鉴于上述特点, 主要吊装设备的选型既要满足全部构件的吊装要求, 还要保证较高的作业效率、可靠的安全操作性、合理的经济性。

拟定使用动臂式内爬塔吊作为主要的吊装设备, 塔吊的选型共有以下几种方案, 如表 1-1-2 所示。

塔吊选型方案比较表

表 1-1-2

布置方案名称	优劣势对比分析	综合评价
2 台 M440D 塔吊	优点: 拆除难度小、机械费用低 缺点: 双机抬吊多、作业效率太低、危险程度太高	不可取
2 台 M1280D 塔吊	优点: 安全度高、作业效率高 缺点: 拆除难度太大、机械费用较高	不可取
1 台平臂式塔吊 1 台动臂式塔吊	优点: 安全度高、机械费用低 缺点: ① 平臂式塔吊是关键, 难以解决 ② 2 台塔吊谁高谁低, 很难选择	不可取
1 台 M440D 塔吊 1 台 M1280D 塔吊	优点: ① 塔吊分工明确: M1280D 塔吊吊装周边重型构件, M440D 塔吊吊装楼层较小构件, 作业效率一般 ② 安全度高、机械费用较低 缺点: M1280D 塔吊的吊装工作量太大, 对工期不利	方案可行
1 台 M440D 塔吊 2 台 M900D 塔吊	优点: ① 塔吊分工明确: M900D 塔吊吊装周边重型构件, M440D 塔吊吊装楼层较小构件, 作业效率较好 ② 安全度高、机械费用低 缺点: ① 多 1 台塔吊, 增加群塔作业的风险 ② 控制平衡臂的长度, 防止塔吊相互碰撞	方案最优

因此, 选择 2 台 M900D 塔吊和 1 台 M440D 塔吊作为塔楼的主要吊装设备, 如图 1-1-3 所示。

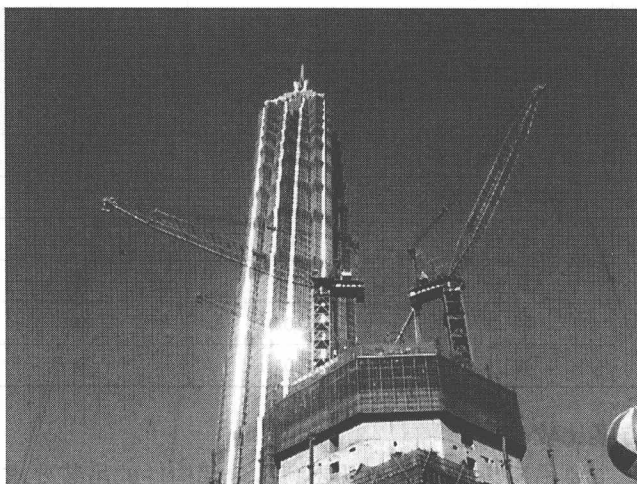


图 1-1-3 三台塔机实物图

1.1 塔机的选型与定位

1.1.2.2 塔机的结构参数

一、基本参数

基本参数

表 1-1-3

性能指标	M900D 塔机	M440D 塔机
生产厂家	澳大利亚 (Favelle Favco) 公司 柴油机动力 动臂式塔机	
起重力矩	1228.8T·m	640T·m
自立高度	56m (14 节×4m/节)	40m (10 节×4m/节)
单次爬升高度	16~22m	12~18m
起重臂长度	55m	55m
最大幅度/起重量	52.5m/15.1T	52.5m/8T
最大起重量/幅度	64T (双绳) /5.6m	32T (双绳) /19.0m
动力系统	C-15 柴油引擎 (卡特彼勒) 515 马力 2100rpm 起升速度 0~140m/min 卷筒容绳量 750m	DIT3208 (卡特彼勒) 250 马力 2100rpm 起升速度 0~140m/min
回转系统	0.87rpm	
变幅机构	从最大幅度到最小幅度 90s	
安全装置	RCI-3000 (澳大利亚 Robway) 起重机械超载保护装置	
风速	工作状态 20m/s 非工作状态 42m/s	

二、起重性能

M440D 塔机起重性能

表 1-1-4

幅度 (m)	4.4	12	19	20	25	30	35	40	45	50	52.5
起重量 (T)	32	32	32	29.8	22.8	18.1	14.7	12.1	10.2	8.6	8.0
仰角 (°)	86.1	78.1	70.5	69.4	63.7	57.7	51.3	44.2	36.1	25.9	17.3

说明: 起重量, 是 M440D 塔机在自立高度 40m (基础标高±0m) 时的起重量。随着塔机进行爬升, 其高度 (基础标高) 增加, 应扣除相应起升钢索的重量 (4.8kg/m)。

M900D 塔机起重性能

表 1-1-5

幅度 (m)	5.2	5.6	10	15	20	25	30	35	40	45	50	52.5	
起重量 T	双绳	64	64	58.5	53.0	47.0	41.2	36.1	30.5	25.8	21.5	17.3	15.1
	单绳	32 (32m 幅度)											
仰角 (°)	85.8	85.4	80.7	75.4	69.9	64.2	58.2	51.8	44.7	36.5	26.3	19.4	

说明: 起重量, 是 M900D 塔机在自立高度 56m (基础标高±0m) 时的起重量。随着塔机进行爬升, 其高度 (基础标高) 增加, 应扣除相应起升钢索的重量 (8.2kg/m)。

因此, 当塔机安装在 91FL (标高 399.8m) 时, 起重量 (单绳) 扣除 3.28 T。

1.1.2.3 结构形式

M440D 塔机主要构件

表 1-1-6

序号	构件名称	长×宽×高 (m³)	数量	净重 (T)	说明
1	爬升节	2.7×2.7×4.0	1	10.70	含爬升系统

续表

序号	构件名称	长×宽×高 (m ³)	数量	净重 (T)	说明
2	标准节	2.7×2.7×4.0	9	4.40	其中: 2节加强节
3	下回转支承	3.1×3.1×1.8	1	7.00	含回转齿圈
4	机械平台	9.8×3.3×1.7	1	13.90	含驾驶室、上回转支承
5	动力系统	4.25×2.6×2.3	1	12	不含主卷扬系统: 4.5T
6	A架	14×3.2×0.8	1	6.67	
7	配重	2.5×1.7×2	5	7.60	
8	起重臂	55.0×2.4×2.4	1	12.00	总重量、5节臂

M900D塔机主要构件

表 1-1-7

序号	构件名称	长×宽×高 (m ³)	数量	净重 (T)	说明
1	爬升节	3.6×3.6×4.0	1	15.57	扣除爬升系统重量: 9.84T
2	加强节	3.6×3.6×4.0	2	7.70	
3	标准节	3.6×3.6×4.0	11	6.89	
4	下回转支承	4.22×3.5×2.0	1	7.25	
5	上回转支承	4.22×3.5×1.8	1	7.50	不含驾驶室
6	机械平台	7.0×3.5×1.8	1	14.43	可将重量控制在 11.5T
7	动力系统	5.7×3.0×2.25	1	13.31	不含主卷扬系统
8	主卷扬系统		1	11.00	含 750m 起升钢索
10	A架	14.4×3.22×0.8	1	9.70	
11	配重	3.1×1.8×0.26	8	9.99	
12	起重臂	55.0×3.0×3.0	1	13.74	总重量
12-1	根部节	13.7×3.0×3.0	1	2.63	
12-2	中间节	9.2×3.0×3.0	3	1.70	
12-3	端部节	13.7×3.0×3.0	1	3.00	
13	吊钩		1	1.30	

M900D塔机和M440D塔机的基本组成、结构形式、工作原理基本相同。

M900D塔机内爬式结构形式,如图1-1-4所示。

1.1.3 塔机的定位

1.1.3.1 整体思路

综合考虑施工流程和顺序的要求,将塔吊全部布置在核心筒结构内,采用内爬结构形式,通过附墙架系统全部支撑于结构本体的核心筒墙体上,附墙架系统采用必要的辅助措施(详见《4.2.1附墙架系统安装/拆除的辅助措施》)进行安装和拆除。

当M440D塔吊在84F钢结构安装完成后,使用M900D塔吊进行拆除;

因位于核心筒的2台M900D塔吊不能满足TOT结构的安装,因此,在98F以下钢结构安装完成后,将2台M900D塔吊移位至位于91F结构平面一侧的底座上,底座悬挑

1.1 塔机的选型与定位

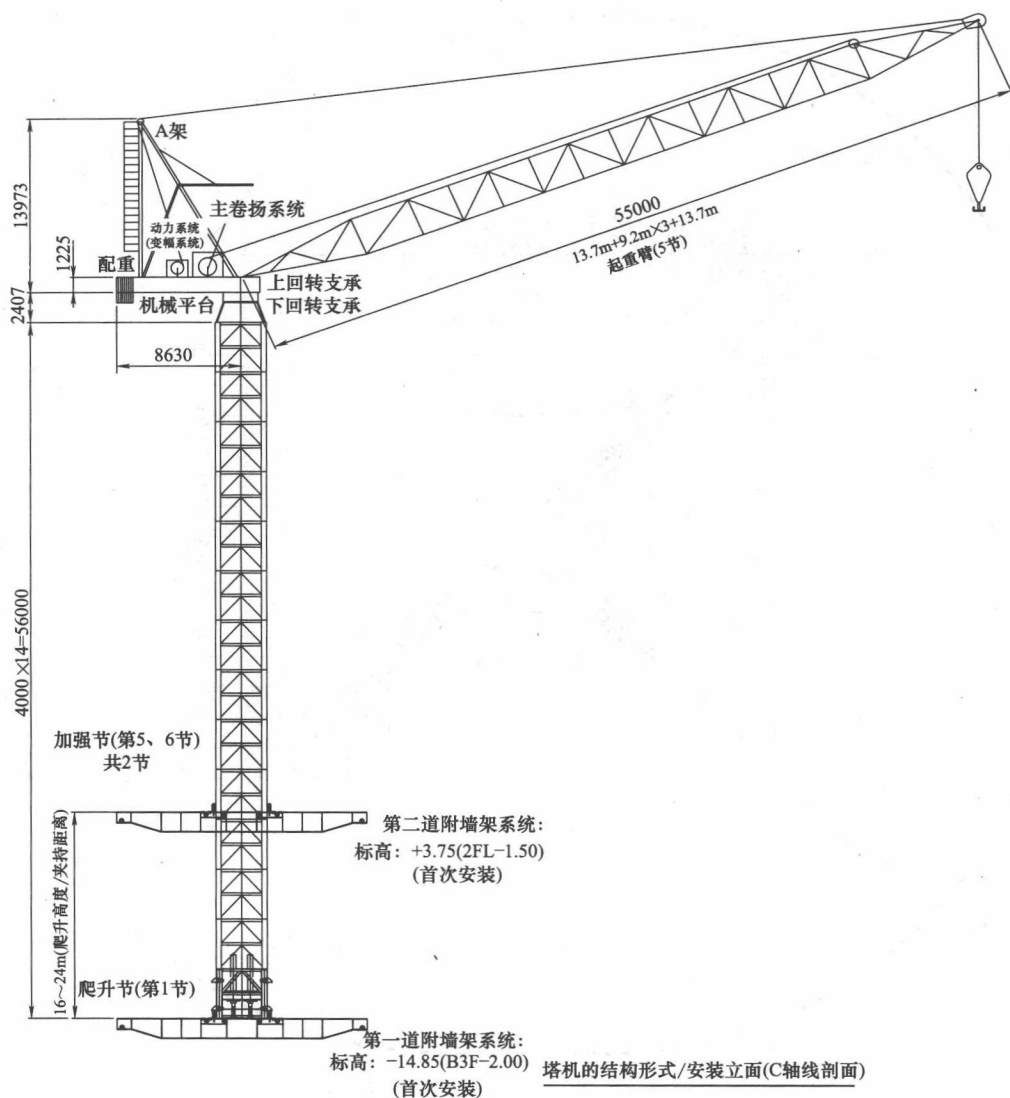


图 1-1-4 M900D 塔机内爬式结构形式

在 88—91F 结构一侧，在 96F 结构设置一道附着，用以完成 TOT 结构安装。

在 TOT 结构的安装完成以后，开始进行塔吊的拆除。

1.1.3.2 初始阶段 (91F 以下) 定位

塔机的初始安装位置，如图 1-1-5 所示，在核心筒结构上，西北方向布置 1 台 M440D 塔机；在东北方向布置 1 台 M900D 塔机；在西南方向布置 1 台 M900D 塔机。

3 台塔机均属于动臂式结构，支撑于结构本体的核心筒墙体上，采用内爬结构形式。

M440D 塔机在主楼底板施工完成后进场安装，塔机以底板作为基础；在主楼核心筒施工完成到 4F 以上后，开始安装 2 台 M900D 塔机，直接安装成内爬式。

1.1.3.3 移位阶段 (91F 以上) 定位

当 M900D 塔机在核心筒结构 91FL 以下完成最后一次爬升时，两道附墙架系统分别

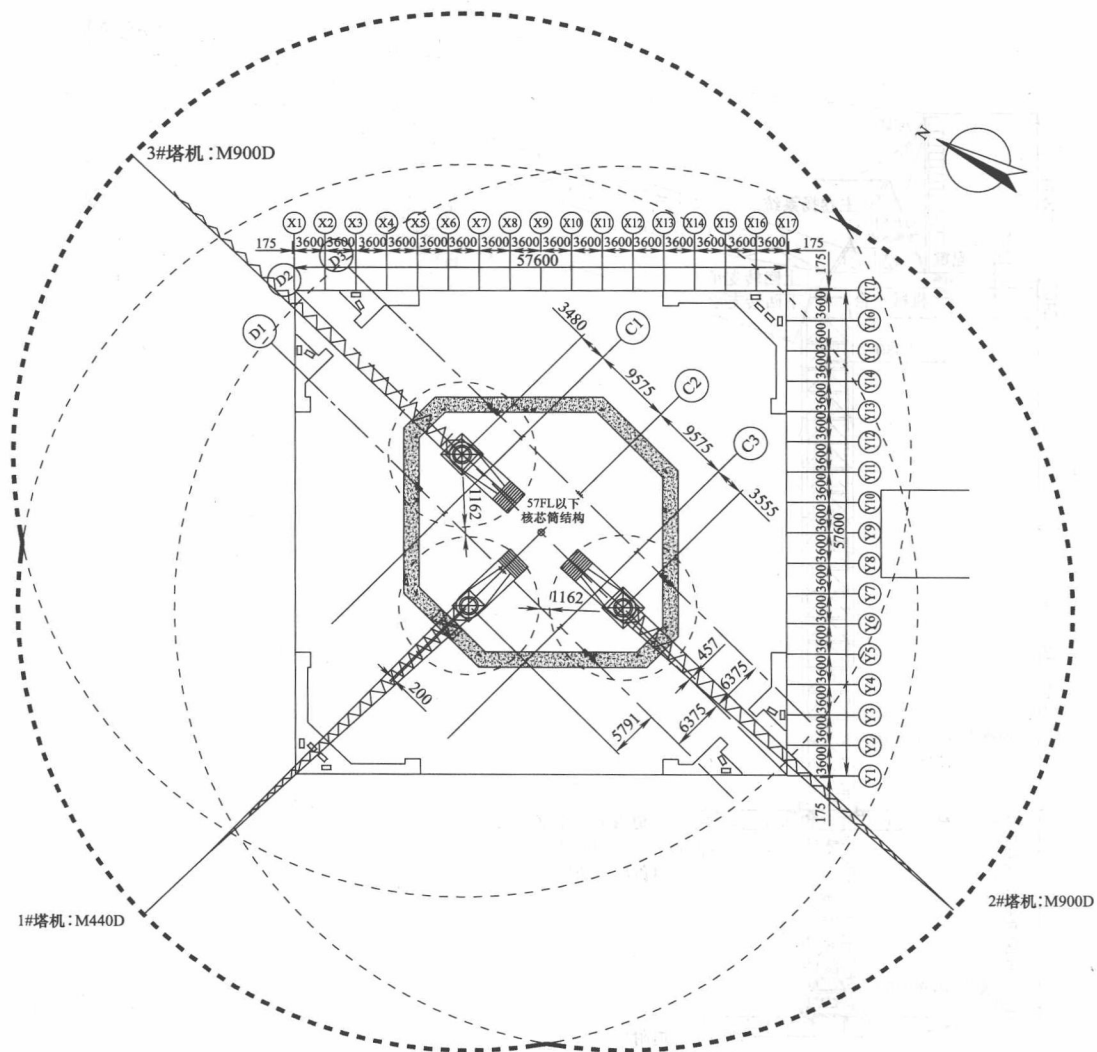


图 1-1-5 塔机的初始安装位置

位于 87FL 和 90FL，此时，塔机能够吊装完成 96FL 的构件，TOT 两侧的构件可以安装至 98FL。

在 91FL 以上的 TOT 结构，目前的 M900D 塔机标准节阻挡 91~96FL 部分钢梁，暂时不能进行安装；而且，M900D 塔机在目前位置不能全部吊装 TOT 结构的构件。所以，M900D 塔机，必须进行移位处理，以完成 TOT 全部钢结构的吊装工作。

M900D 塔机移位后的安装位置，主要考虑：

- 一、塔机标准节不影响 TOT 桁架钢结构构件的安装；
- 二、塔机的幅度（含仰角）范围，能完全覆盖钢结构的吊装区域；
- 三、塔机起重臂在吊装钢结构时，不与 TOT 结构发生碰撞；
- 四、塔机的起重量大于 TOT 构件的最重分节重量；
- 五、2 台 M900D 塔机在移位时能互相安装拆除；并考虑最后的拆除工作，能利用其