

多绳提升机 井塔设计

冯荣杰 许立功 赵 仁 陆孟雄 主编

duosheng tishengji jingta sheji

多绳提升机井塔设计

冯荣杰 许立功 赵 仁 陆孟雄 主编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书着重总结我国多绳提升井塔建筑结构的设计和建设经验,并吸取了国外的有益经验;系统论述设计中的各项问题,对施工技术和生产运行的有关问题也作了介绍。

全书包括绪论、布置与结构选型、荷载、塔身结构静力计算、塔身结构动力计算、基础、井塔施工与构造及地震区井塔等内容。

本书可供矿业土建设计及施工人员使用,也可作为矿业院校有关专业师生的参考。

参加编写者(以章次为序):绪论、第六章:陆孟雄;第一章:许立功;第二、五章:冯荣杰;第三章:杨如曾;第四章:王锬;第七章:赵仁、王春椰、吴顺适、卫明。

责任编辑:施修诚

多绳提升机井塔设计

冯荣杰 许立功 赵仁 陆孟雄 主编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$

印张 $10^{1/2}$

字数 273千字

印数1—3,620

1984年12月第1版

1984年12月第1次印刷

书号15035·2671 定价2.00元



目 录

绪论	1
第一章 布置与结构选型	12
第一节 设计原始资料	12
第二节 井塔平面布置	13
一、提升机大厅的布置	13
二、井口平面层的布置	19
三、其它各层的平面布置	19
四、吊装孔的布置	20
五、电梯间和楼梯间	22
第三节 井塔竖向布置	22
一、提升机主轮轴中心高度的组成	23
二、导轮层的高度	25
三、提升机大厅的高度	27
四、井塔底层高度	28
第四节 井塔结构形式与选型	29
第五节 罐道及其支承结构	35
附录 I-1 多绳摩擦式提升机型式及规格	43
一、多绳摩擦式提升机型式和基本参数	43
二、多绳摩擦式提升机、减速机重量及外形尺寸表	44
附录 I-2 多绳摩擦式提升机安装关系	45
一、双机传动多绳摩擦式提升机安装尺寸	45
二、双机传动多绳摩擦式提升机安装尺寸图	46
三、单机传动多绳摩擦式提升机安装尺寸	47
四、单机传动多绳摩擦式提升机安装尺寸图	48
附录 I-3 提升容器	49
一、多绳提煤箕斗基本参数	49
二、JDS型及JDG 型多绳提煤箕斗及箕斗、卸载曲轨、接受	

仓位置关系图	51
三、煤矿立井多绳罐笼基本参数	52
四、GDS及GDSY系列双层二车多绳罐笼	54
五、GDG及GDGY系列双层二车多绳罐笼	55
第二章 荷载	56
第一节 塔体自重、内套架自重及主要设备自重	56
一、塔体自重	56
二、内套架自重	57
三、主要设备自重	57
第二节 楼面及屋面活荷载	57
一、楼面活荷载	57
二、屋面活荷载	57
第三节 风荷载	58
第四节 提升机荷载	58
一、正常工作荷载	59
二、紧急制动荷载	59
三、事故荷载	60
四、荷载组合	61
第五节 减速机荷载	62
一、正常工作荷载	62
二、事故荷载	62
三、荷载组合	63
第六节 电动机荷载	63
一、正常工作荷载	63
二、事故荷载	63
第七节 导向轮荷载	64
第八节 罐道系统的荷载	65
一、当发生提升事故容器过卷时	65
二、钢丝绳罐道支承梁(有时兼做防撞梁)的荷载	65
第九节 凿井及吊装荷载	66
一、凿井荷载	66
二、吊装荷载	66
第三章 塔身结构静力计算	67

第一节 概述	67
第二节 箱形结构壁板的应力分析和强度计算	68
一、基本假定	68
二、塔身横截面上垂直应力和剪切应力的分析	68
三、壁板主应力的计算	72
四、壁板的强度条件	72
五、几点说明	73
第三节 箱形结构壁板的局部稳定计算	74
一、弹性理论法计算壁板临界力	74
二、屈曲破损荷载法计算壁板临界力	84
三、壁板局部稳定的保证条件	92
四、对两种计算壁板临界力方法的评价	93
第四节 箱形结构壁板的孔口应力计算	94
一、将空间问题简化为平面问题计算孔口应力	95
二、用简化系数法计算孔口应力	105
第五节 计算实例	112
一、已知条件	112
二、计算	113
第六节 其他结构型式塔身的计算	133
一、内框架外箱形结构	133
二、框架结构	134
三、桁架结构	134
第四章 塔身结构动力计算	135
第一节 塔身自振周期的计算	136
一、能量法	136
二、变截面顶点位移法	137
三、矩阵迭代法	149
四、井塔自振周期的经验公式	163
五、关于实测周期问题的分析	165
第二节 井塔振动实测	166
一、井塔振动的测量系统	166
二、井塔水平振动的测定	167
第三节 塔身强迫振动	170

第四节 电动机支承梁强迫振动计算	171
一、电动机的惯性力	171
二、支承梁的自振频率	171
三、支承梁的垂直振幅	173
四、支承梁的动弯矩	175
五、例题	175
第五章 基础	179
第一节 概述	179
一、基础结构设计资料	179
二、基础结构基本类型与方案选择原则	180
三、地基容许变形值	181
四、基础沉降观测	183
五、纠偏方法	183
第二节 天然地基上的基础	186
一、适用范围基本条件	186
二、钢筋混凝土柱列下条形基础	188
三、钢筋混凝土联合条形基础	193
四、钢筋混凝土筏式基础	197
五、钢筋混凝土箱形基础	198
六、计算例题	199
第三节 桩基础	202
一、适用范围基本条件	202
二、爆扩桩	203
三、钻孔灌注桩	204
四、挖孔灌注桩	215
五、岩石锚桩	215
六、计算例题	215
第四节 井颈基础	220
一、倒圆锥壳基础	221
二、牛腿式基础	223
三、倒圆（及方）台基础	225
附录 V-1 钻（挖）孔灌注桩计算表	245
一、极限摩阻力 τ	245

二、修正系数 λ	245
三、孔底沉淀淤泥的修正系数 m_0	246
四、附加荷载作用系数 K_0	246
五、地基土的基本承载力 σ_0	246
六、 A_1 、 B_1 、 C_1 、 D_1 值.....	248
第六章 井塔施工与构造	256
第一节 箱形井塔的滑模施工与构造.....	256
一、井塔滑模施工简介.....	256
二、滑模施工井塔的构造.....	257
第二节 井塔预建整移.....	265
第七章 地震区井塔	268
第一节 概述.....	268
第二节 井塔震害实例.....	269
第三节 设计原则.....	274
一、设计烈度.....	274
二、场地和地基.....	274
三、基础类型选择.....	274
四、塔身结构选型和布置.....	275
五、围护结构.....	276
六、防震缝.....	276
第四节 结构抗震计算.....	276
一、按反应谱理论计算.....	277
二、按弹塑性动态计算.....	283
第五节 井塔抗震构造.....	309
一、框架型井塔的抗震构造.....	310
二、箱形及箱框形井塔的抗震构造.....	311
第六节 对若干问题的意见.....	315
一、场地土类别问题.....	315
二、场地地面卓越周期问题——岩石基底运动中的地面卓越 周期问题.....	317
三、垂直振动问题.....	322
四、结构影响系数 c 的取值.....	325

绪 论

多绳提升机是矿井提升领域中一项行之有效的新技术，它在国内外已得到广泛应用。

为适应多绳提升系统而建造的井塔是矿井地面的主要生产性建筑物之一。自从一九五九年在阜新五龙煤矿建成我国自行设计的第一座井塔后，井塔设计与施工技术在我国发展很快。国内矿山建设中，已建或即将建成的井塔约近百座，其中煤炭系统约占三分之二。

廿多年以来，通过工程实践，在井塔的设计、施工、生产使用和科研等方面，都积累了一定经验。表0-1为煤炭系统若干井塔的技术特征一览表，图0-1~0-4为我国某些井塔的外形。



图 0-1 石咀山二矿主井井塔

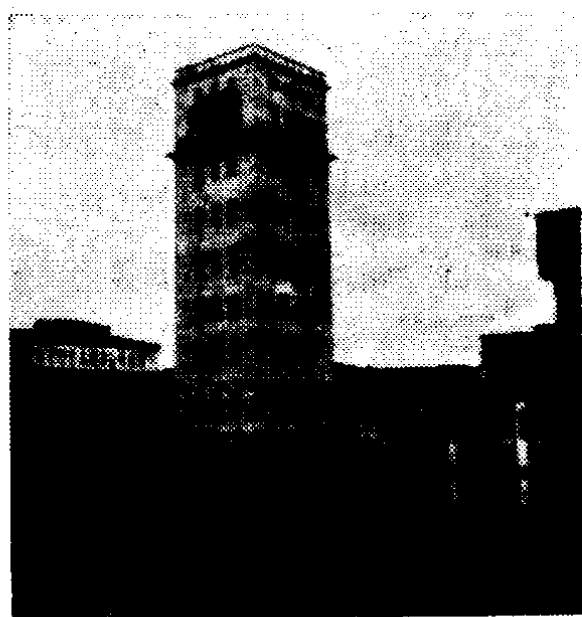


图 0-2 鸡西河北主井井塔

为了促进井塔计算技术的提高，填补某些技术领域的空白，一九七五年以来，开展了大量的设计科研和试验工作，曾对钢筋混凝土箱形壁板的孔口应力、壁板的局部稳定、井塔的动力计

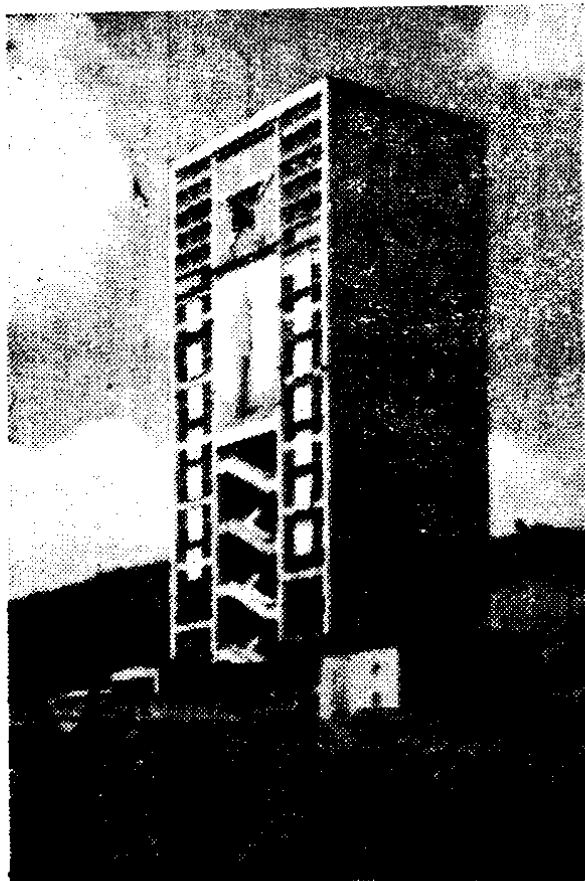


图 0-3 红透山矿井塔

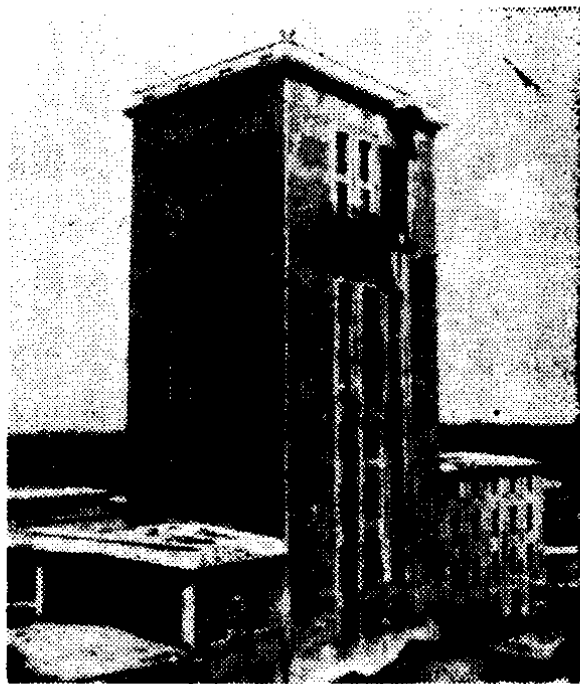


图 0-4 大隆矿副井井塔

算、井塔的地震力计算、井塔倒圆（及倒方）台基础应力分析与配筋以及塔体-基础-土壤三者的共同作用等方面进行了深入的研究，并取得了成果，应用于实际的设计中。

在施工技术方面，已广泛采用滑升模板施工工艺来代替旧的普通模板施工方法。塔内统一的梁板布置方案，导致梁与井塔壁板、煤仓壁等一起滑成，加快了施工速度；有些井塔利用钢网架屋面结构作为滑模操作平台，节省了施工用钢材等。

在井塔的标准化设计方面，我国煤炭系统已制定了主井多绳提升井塔设计的系列标准和参数，为提高井塔设计质量，加快设计速度创造了良好条件。为了统一计算方法和技术口径，国内煤炭系统和冶金系统的设计部门已分别制定了统一技术条件（或规程）。

国外多绳提升井塔早在二十世纪初叶即已出现。联邦德国在1914年已建造了一座48米高的井塔，接着在八月皇后井又建成了一座51米高平面为 56.6×16.3 米的矩形井塔。匈牙利在1918年也

我国煤炭系统若干井塔技术特征一览表

表 0-1

序号	井塔名称	矿井年产量 (万吨)	井塔高度 (米)	塔身平面尺寸 (米)	大 厅 平面尺寸 (米)	结 构 简 要 特 征	提升机型号 (台数)
1	兴隆庄副井井塔	300	42.5	16×16	16×16	内框架外箱形, 锁口盘基础	JKM2.8×6(2)
2	潘集一号副井井塔	300	48.5	16×17.7	21×17.7	框架剪力墙结构, 锁口盘基础	JKM2.8×6(2)
3	朱仙庄主井井塔	120	67	12×16	12×16	钢筋混凝土结构, 筏式基础加预制打入桩	JKD2.8×6(1)
4	平顶山十一矿主井井塔	120	59.1	12.5×14.5	12.5×14.5	钢筋混凝土结构, 带形基础	JKM2.8×4(1)
5	铁法小青主井井塔	120	56.5	13×13	17×13	内外均为箱形结构, 锁口盘基础	JKM3.25×4(1)
6	铁法小青副井井塔	120	37	14×14	14×14	内框架外箱形结构, 锁口盘基础	JKM3.25×4(1)
7	林南仓副井井塔	120	41.3	12×12	15×12	钢筋混凝土箱形结构, 锁口盘基础	JKM2.8×4(1)
8	海孜副井井塔	150	41.8	16×15	20×16	内框架外箱形, 锁口盘基础	JKD2.8×6(2)
9	刘桥副井井塔	60					
10	甘豪副井井塔	60	28.5	12×12	12×12	钢筋混凝土箱形结构, 锁口盘基础	JKD1.85×4(1)
11	大屯孔庄副井井塔	75	32.7	10×10	14×10	钢筋混凝土箱形结构, 锁口盘基础	JKM1.85×4(1)
12	大屯姚桥副井井塔	120	32.5	10.4×10.4	14.2×12.2	钢筋混凝土箱形结构, 锁口盘基础	JKM1.85×4(1)
13	铁法红阳二井主井井塔	90	55.2	12×12	20×12	钢筋混凝土箱形结构, 锁口盘基础	JKM1.85×4(1)
14	青海大通史家庄井塔	120	49.8	12×15	12×15	钢筋混凝土箱形结构, 挖孔灌注桩基础	JKM3.25×4(1)
15	资兴周源山主井井塔	45	40.2	9.5×7.5	13.5×9.5	钢筋混凝土框架结构	JKM1.85×4(1)
16	唐家庄徐家楼新井井塔	120	49.15	15×22	15×22	钢筋混凝土箱形结构, 箱形基础	JKM 2.8 × 4(2)
17	沈阳红阳二井副井井塔	90	41.7	15×16	15×16	钢骨架, 锁口盘基础	JKM3.25×4(1) JKM2.25×4(1)
18	兖州南屯主井井塔	、150	44	φ12	φ13.8	圆筒形钢筋混凝土结构, 锁口盘基础	JKM3.25×4(1)

续表

序 号	井 塔 名 称	矿 井 年产量 (万吨)	井 塔 高度 (米)	塔 身 平面尺寸 (米)	大 厅 平面尺寸 (米)	结 构 简 要 特 征	提升机型号 (台数)
19	石咀山二矿副井井塔	120	40.3	13×14	13×14	钢筋混凝土箱形结构, 带形基础	DJ3×4(1)
20	石咀山二矿主井井塔	120	61.5	12×15	12×15	钢筋混凝土箱形结构, 带形基础	JKM3.25×4(1)
21	鹤岗南山副井井塔	120	45.0	13×13	13×20	钢筋混凝土框架结构, 筏式基础	JKM2.25×4(2)
22	铁法大隆副井井塔	90	36.2	12×14.5	12×14.5	钢筋混凝土框架结构, 筏式基础	JKM2.25×4(1)
23	鸡西河北主井井塔	60	45.5	12×12	12×12	箱形钢筋混凝土结构, 带形基础	JKM1.85×4(1)
24	鸡西河北副井井塔	60	30.0	10×10	12×12	箱形钢筋混凝土结构, 带形基础	JKM0.875×4(1)
25	阜新五龙东风井井塔	60	32.0	φ9.5	φ12	圆筒形砖结构, 毛石带形基础	DJφ2×4(1)
26	四川松藻矿区打通一井井塔	60	27.1	10×10	10×12	毛石砌块, 毛石带形基础	JKM2×4(1)
27	北票台吉主井井塔	60	52.3	φ12	9.5×19	钢筋混凝土圆筒形, 锁口盘基础	JKM2.8×4(1)
28	北票台吉副井井塔	60	34.5	12.5×16.0	12.5×16.0	钢筋混凝土箱形, 钻孔灌注桩	JKM3.25×4(1)
29	南票苇子沟主井井塔	60	48.5	12×12	12×12	钢筋混凝土箱形, 钢筋混凝土带形基础	JKM2.25×4(I)(1)
30	铁法小南主井井塔	90	52.8	内切圆八角形φ12	内切圆八角形φ15.5	钢筋混凝土八角形, 锁口盘基础	JKM2.8×4(W)(1)
31	铁法小南副井井塔	90	37	13×14	13×14	钢筋混凝土箱形, 锁口盘基础	JKM3.25×4(I)(1)
32	唐山新风井井塔(震后)		45.4	内切圆八角形φ12	12×18.5	钢骨架, 锁口盘基础	JKM1.8×4(I)(1)

出现了类似的井塔。二十年代开始，大量修建的主要是敞开式金属结构井塔。五十年代起则较多地出现钢筋混凝土结构井塔。苏联第一个井塔是1958年在加里宁5/6号井建成的。到1969年以前，其建设井塔速度约为每年10座。到七十年代初期，世界上已有600多台多绳提升机，估计七十年代末已发展至一千台左右。

国外井塔高度最低为25米，最高已超过100米；平面尺寸最小为6×7米，最大达36×36米以上；井塔体积自4千立方米至5万立方米以上。井塔的平面有圆形、矩形、多角形等，其中以矩形为最普遍；按承重结构型式有框架、桁架、薄壁箱形、圆筒（或多边）形等。按建筑材料及施工方式尚可分为整体浇筑的钢筋混凝土，大型预制板装配式，装配式钢筋混凝土框架及钢结构等。

1. 大型预制板装配式井塔在国外出现较晚，目前采用的不多，如英国查哈勃（Chohab）矿和苏联顿巴斯加里宁5/6号风井等井塔，如图0-5所示，塔高32.5米，平面为多边形，塔内安装MK1.7×6提升机。

2. 装配式钢筋混凝土框架井塔比采用金属结构节省钢材，比整浇钢筋混凝土井塔则又提高施工工业化程度，便于冬季施工，其造价低于钢结构井塔。图0-6为苏联克里沃洛格矿区设计院实验设计的井塔；平面尺寸12×12米，塔高69.5米，用Γ形、T形截面柱和矩形梁装配的钢筋混凝土多层框架，构件均为非预应力，400号混凝土制作。楼板用300号混凝土制成两种肋形装配式预制板，中央部分用钢梁和10厘米厚的整体钢筋混凝土预制板覆盖。

3. 整浇式钢筋混凝土井塔。芬兰的凯列奇与瑞典的勃洛特彼盖特（Blötberget）矿的井塔（见图0-7）属于这种型式，在南非与苏联比较盛行。瑞典Blötberget矿井塔为一座与破碎筛分车间及洗选车间联在一起的联合建筑，塔高66米，两台提升机（一台供双罐笼，一台供双箕斗），井筒深1100米。

4. 在国外钢结构井塔比较多，如图0-8为澳大利亚蒙特埃萨（Mount Isa）铜矿K57矿井的钢井塔，于1973年建成，在标高59

米处安装三台提升机。一台为 5.7 米四绳提升机，提升容器为 30 吨双箕斗，每根破断力为 190 吨；一台为可乘 220 人的单罐笼提升机；一台为小型辅助提升机。机房设有 20 吨桥式吊车与电梯。井塔总高 76 米，平面为 27×18 米，井深 1220 米。

从国外目前情况看，西欧各国以采用钢结构为主，苏联及一些东欧国家则以钢

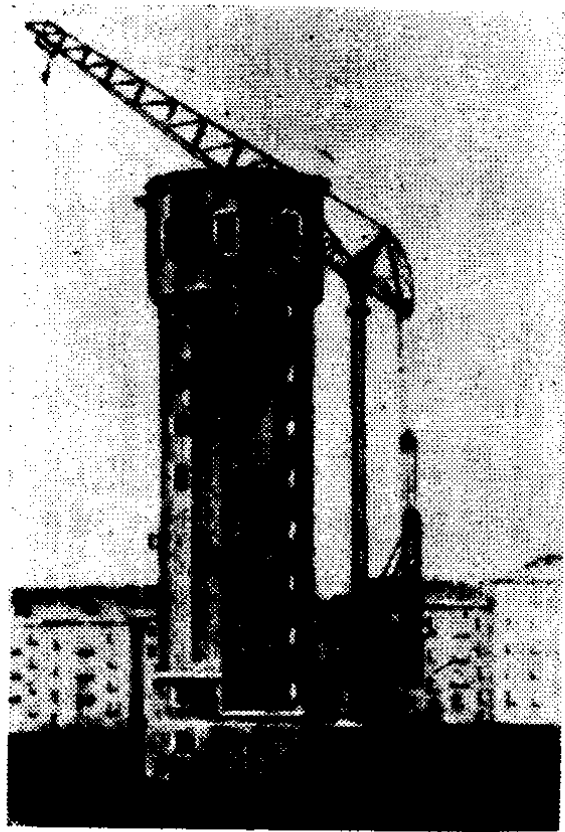


图 0-5 顿巴斯加里宁 5/6 号风井井塔（苏联）

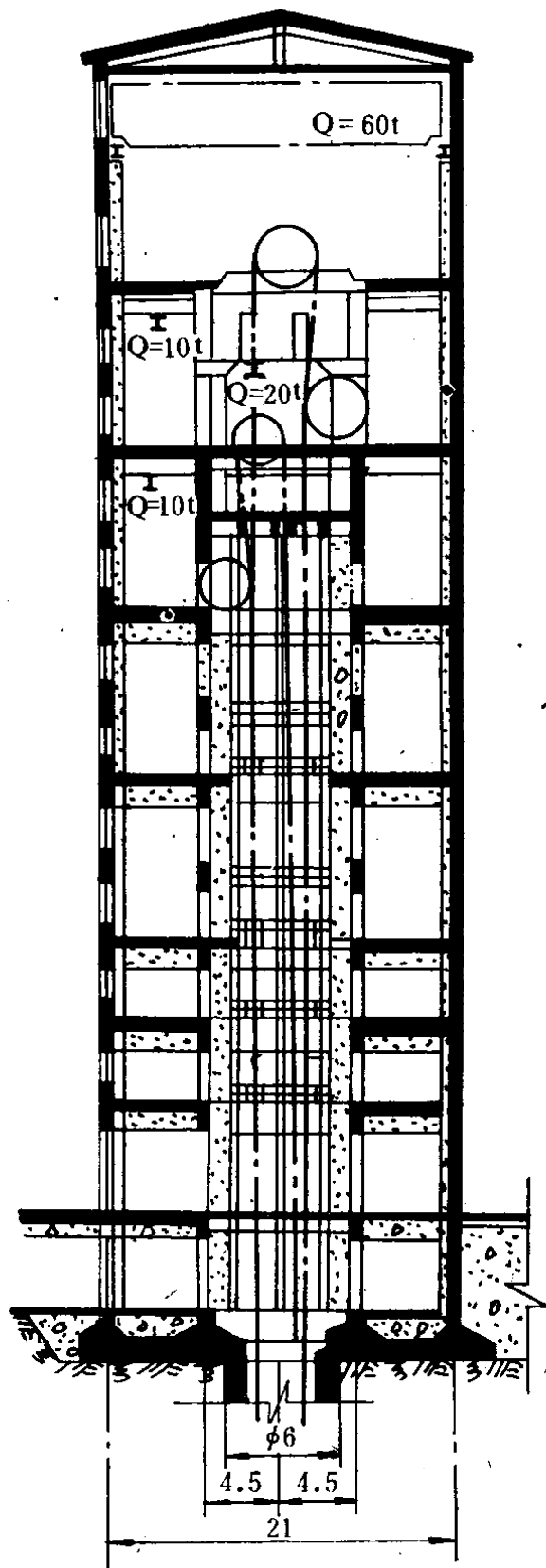


图 0-6 克里沃洛格实验井塔（苏联）

筋混凝土居多，通过技术经济分析可看出：整体浇筑的钢筋混凝土承重墙式井塔是比较优越的，普遍被各国所采用。例如芬兰的

凯列奇井塔、加拿大的克列顿7号井井塔、瑞士的吉伦中央井井塔等均是。表0-2中列出了国外若干井塔的技术特征，可供参考。

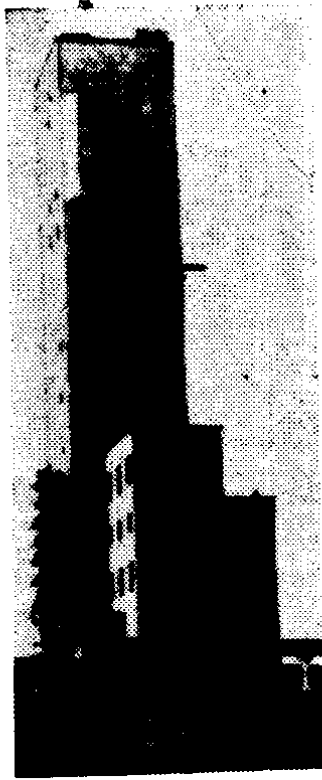


图 0-7 勃罗特彼盖特矿
井塔（瑞典）

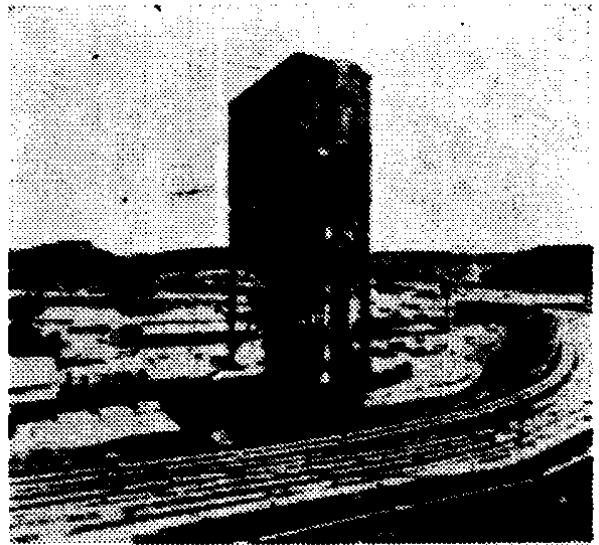


图 0-8 蒙特埃萨矿井塔
（澳大利亚）

用滑升模板建造钢筋混凝土井塔已被广泛应用，快速施工的实例很多，奥伦自治邦的里别克金矿井塔用13天建成。钢筋混凝土壁板滑升速度有时可达每昼夜6米。

国外不少井塔已利用下部空间兼作凿井用；此时，井塔必须在开始掘进水平巷道之前完成，以便以后的掘进工程能利用井塔上的提升机。

最近以来，有些国家为了减少施工井塔占用封闭井筒的时间，采用了在井口以外预制井塔然后平移到井口的措施，即在离井筒约100米范围以内，预先将井塔建成并安装好设备，然后平移至井口就位。这种方法最先为波兰所创造，现已推广至英、美等国，但均以平移钢结构井塔为主。我国现已成功地滑移了两座钢筋混凝土箱形结构井塔，井塔总重量一为两千吨，另一为四千吨。

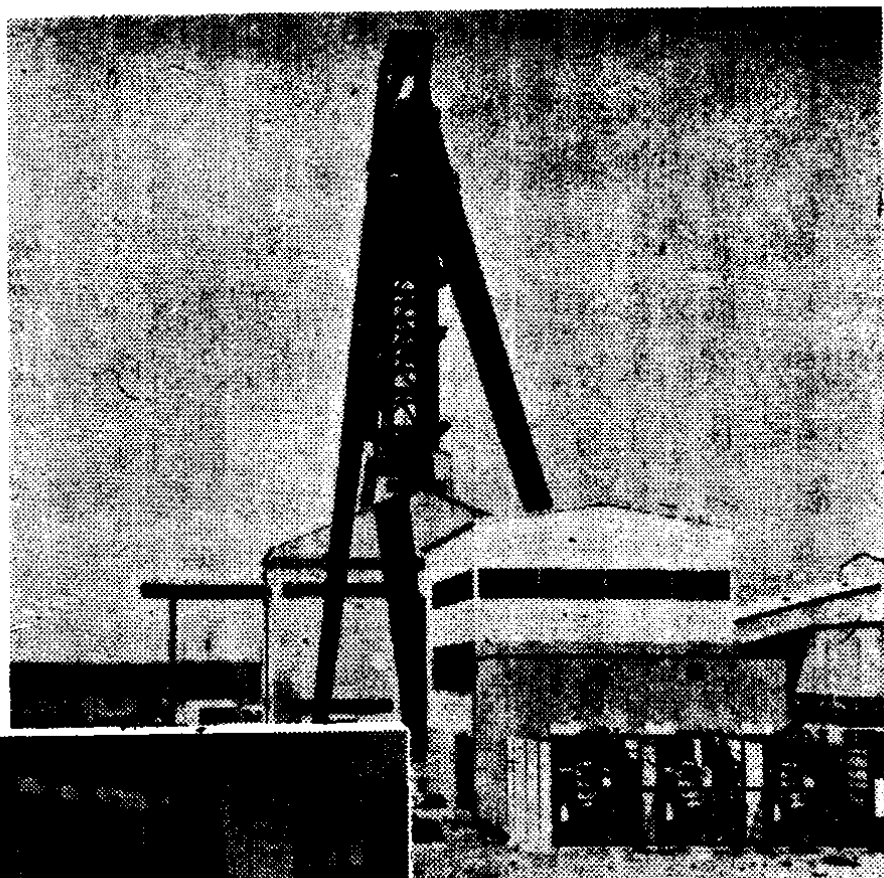
国外若干井塔技术特征一览表

表 0-2

矿 井 名 称	井塔高度 (米)	平面尺寸 (米)	塔身结构特征
苏联:			
雅辛诺夫斯卡雅深部井	71.5	$\phi 14.5$	钢筋混凝土承重墙(滑模施工)
近卫军井	102	21×39	钢骨架承重, 捣制钢筋混凝土 楼板, 装配式钢筋混凝土墙板
南顿巴斯卡雅井(1*箕斗井)	89.6	18×18	捣制钢筋混凝土承重墙
红军大井(箕斗井)	101	21×21	捣制钢筋混凝土承重墙
(罐笼井)	65	18×18	捣制钢筋混凝土承重墙
瑞典:			
布多斯井	51.8	10×10	捣制钢筋混凝土承重墙
吉隆那井	60.5	12×12	捣制钢筋混凝土承重墙
联邦德国:			
格涅森瑙 3 号井	68.0	15.7×20.5	钢骨架
奥斯特费尔德井	70.0	16×20	捣制钢筋混凝土承重墙
芬兰:			
凯莱奇井	96.0	10.3×8.4	捣制钢筋混凝土承重墙
利斯特那霍井	87.1	11×10.6	捣制钢筋混凝土承重墙
英国:			
帕尔科萨义德井	61.0	15×18	捣制钢筋混凝土承重墙
渥尔斯腾吞井	53.0	17.4×28.2	捣制钢筋混凝土承重墙
法国:			
林斯利耶文井	66.3	18.6×28	捣制钢筋混凝土承重墙
美国:			
克利夫斯-C 井	54.3	8.5×11.5	捣制钢筋混凝土承重墙
南非地区:			
渥尔利夫斯井	66.5	13.4×13.4	捣制钢筋混凝土承重墙
利别克井	45.8	$\phi 10.7$	捣制钢筋混凝土承重墙

近年来, 随着矿井深度的不断加深, 提升机的摩擦轮直径不断加大, 以及地震区的影响等等, 出现了不设井塔的落地式多绳提升机。目前落地式多绳提升机以双绳为最多, 亦有四绳的, 如图0-9为法国staffefelden 钾矿的四绳提升井架和司机室。其摩擦轮直径为 5 米, 钢丝绳直径 43 毫米, 在钢井架上装有 8 个天轮(四个在上四个在下)。

a) 提升井架



b) 司机室内景



c) 直流电机及摩擦轮



图 0-9 法国staffefelden钾矿的四绳提升井架

落地式多绳提升机的优点是：井架低；就现在提升负荷来说，井架结构没有必要比普通缠绕式提升机的井架更坚固；提升机便于安装，且不需设电梯；有利于抗震以及避免了因建造井塔