

提升机设计理论 及现代设计方法研究

TISHENGJI SHEJI LILUN

JI XIANDAI SHEJI FANGFA YANJIU

晋民杰 韩建华 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

提升机设计理论及 现代设计方法研究

晋民杰 韩建华 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书从矿井提升机的国内外发展水平及新的研究成果入手,系统地阐述了新型厚壳弹性支撑卷筒矿井提升机的设计理论及现代设计方法在其设计中的应用。内容包括国内外提升机的发展与现状、提升机弹性支撑卷筒结构的设计理论、矿井提升系统的运行理论、提升机 CAD 系统研究、提升机的优化设计、提升机的有限元分析、提升机的计算机参数绘图、提升机 CAD 系统数据库技术、摩擦式提升机等。全书完善了提升机的设计理论,并使提升机在现代设计方法的应用方面有了更进一步发展。

本书结构合理,内容简炼,系统性和应用性强。可作为机械设计制造及其自动化专业的高年级本科生和研究生的教材或教师参考书,也可供有关矿井提升机工程设计人员、生产应用人员、维修检测人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

提升机设计理论及现代设计方法研究/晋民杰,韩建华著. —北京:

国防工业出版社, 2012.9

ISBN 978-7-118-08288-3

I. ①提… II. ①晋… ②韩… III. ①矿井提升机—设计—研究
IV. ①TD534

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 212058 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京市海淀区四季青印刷厂

新华书店经售

*

开本 880×1230 1/32 印张 7 1/8 字数 208 千字

2012 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 49.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010) 88540777

发行邮购:(010) 88540776

发行传真:(010) 88540755

发行业务:(010) 88540717

总 序

2012年，太原科技大学将迎来60周年华诞。值此六秩荣庆之际，我校的专家学者推出了这套学术丛书，以此献礼，共襄盛举。

60年前，伴随着新中国的成立，伟业初创，百废待兴，以民族工业为先锋的社会主义现代化建设蓬勃兴起，太原科技大学应运而生。60年来，几代科大人始终心系民族振兴大业，胸怀制造强国梦想，潜心教书育人，勇担科技难题，积极服务社会，为国家装备制造行业发展壮大和社会主义现代化建设做出了积极贡献。四万余名优秀学子从这里奔赴国民经济建设的各个战场，涌现出一大批杰出的科学家、优秀的工程师和知名的企业家。作为新中国独立建设的两所“重型机械”院校之一，今天的太原科技大学已发展成为一所以工业为主，“重大技术装备”领域主流学科特色鲜明，多学科协调发展的教学研究型大学，成为国家重型机械工业高层次人才培养和高水平科技研发的重要基地之一。

太原科技大学一直拥有浓郁的科研和学术氛围，众位同仁在教学科研岗位上辛勤耕耘，硕果累累。这套丛书的编撰出版，定能让广大读者、校友和在校求学深造的莘莘学子共享我校科技百花园散发的诱人芬芳。

愿太原科技大学在新的征途上继往开来、再创辉煌。

谨以为序。

太原科技大学校长 郭勇义

2012年6月

前 言

提升机是矿井运输中的“咽喉设备”，是井下与地面联系的重要工具，它的状况如何，直接关系到生产的正常进行和人员安全。国内提升机的设计方法，主要采用传统的静态设计方法，其基本结构参数往往偏大，设计周期长，很不利于产品换代和节省材料；由于设计问题，往往出现一些零部件过早失效。因此，传统提升机的设计方法必然面临着挑战，市场竞争要求设计者采用现代设计方法，瞄准国际提升机发展动向，设计出性能优异的新型提升机，以满足矿山行业的需求。然而在目前缠绕式提升机计算机辅助设计（CAD）方面，提升机厂家及其研究机构还停留在对单个零部件的有限元分析、结构参数优化及设备选型设计计算方面，对卷筒结构以及提升机主轴装置整体进行现代设计方法研究和 CAD 系统研究分析方面还比较欠缺，由于缠绕式提升机主轴装置结构复杂、工况多、计算和绘图量比较大，因此在对缠绕式提升机整体装置的现代设计方法研究方面亟待突破和完善。

理论和实践表明，卷筒是提升机中比较薄弱的部件；目前对刚性支轮支撑下的筒壳强度的计算方法已有了较为详细的研究，而弹性支撑下的筒壳及支轮的计算方法还是一个需要进一步研究的领域。本书通过对现有各种筒壳应力计算方法的深入分析，指出现有筒壳应力计算公式存在的不足，应用系统工程的理论和观点，通过对提升机主轴装置整体的系统分析和研究，灵活采用弹性基础梁理论、弹性力学的平面应力问题和板壳弯曲理论，对缠绕式提升机的关键零部件筒壳、支轮及主轴的应力和变形进行认真、细致的理论分析，建立新型厚壳弹性支撑卷筒结构的关键零部件筒壳、支轮计算的力学模型，根据筒壳与支轮的变形谐调条件，进行系统的公式推导，形成了一套比较准

确的应力计算公式。本书通过对新型厚壳弹性支撑卷筒结构缠绕式提升机主轴装置及其关键零部件的研究,运用力学和优化理论,建立了计算力学模型和优化数学模型,提出了适合新型提升机卷筒结构的设计理论和优化方法,并利用有限元法基于 ANSYS 软件对缠绕式提升机主轴装置的三维模型进行有限元分析,根据有限元计算后结果数据的分析,获得了主轴装置在各极限位置工况下的最大应力值、最大位移值、危险截面区域以及位移、应力分布规律,对主轴装置进行了校核,提高了设计的可靠性。借助于面向对象设计方法,实现了从方案设计、标准件的选型计算、工程图纸设计的缠绕式提升机的 CAD 设计方法的集成与统一,具有较强的适应性。

本书的完成完善了提升机设计理论,使其设计计算精确、结构合理,产品更加安全可靠。同时本书使提升机在现代设计方法研究方面有了更进一步发展,大大减少了设计人员的工作量,降低了制造和使用的成本,缩短了新产品的开发周期,提高了设计效率,在提升机行业有很大的应用推广前景。本书的研究,可广泛地应用于含有筒壳的各类矿山机械、工程机械、建筑机械等的领域中。该成果不仅提高了产品的安全可靠性和产品质量,延长了产品的使用寿命,具有明显的经济效益和社会效益。

本书由太原科技大学晋民杰教授、韩建华副教授撰写。其中,第1章~4章、第9章、10章由晋民杰教授编写,第5章~8章由韩建华副教授编写。另外,太原科技大学李自贵副教授、中信重工集团李华伟等对本书的撰写与出版工作给予了很大的帮助,在此表示衷心感谢。

由于水平有限,书中若有不妥和疏漏之处,真诚欢迎该领域的专家、学者和读者批评指正。

作者

2012年7月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 提升机在矿山系统中的地位	1
1.2 国内外提升设备的发展与现状	6
1.2.1 国外提升设备的发展与现状	6
1.2.2 国内提升设备的发展与现状	7
1.3 矿井提升系统和分类	9
1.3.1 提升系统的组成与分类	9
1.3.2 提升设备的分类	13
1.4 现代设计方法在提升机设计中的应用	14
1.4.1 国外提升机现代设计方法应用现状	14
1.4.2 国内提升机现代设计方法应用现状	15
1.5 提升机研究的依据和意义	18
1.5.1 提升机研究的依据	18
1.5.2 提升机研究的意义	20
1.6 本书的研究内容	21
第 2 章 提升机厚壳弹性支撑卷筒结构的设计理论	25
2.1 弹性基础梁理论	25
2.2 缠绕式提升机的主轴装置及卷筒结构分析	31
2.2.1 缠绕式提升机的主轴装置结构形式	31
2.2.2 卷筒结构发展	33
2.2.3 卷筒失效及原因分析	36
2.3 筒壳强度计算	37

2.3.1	筒壳梁单元的径向反力	37
2.3.2	筒壳变形的微分方程	39
2.3.3	筒壳计算的力学模型	40
2.4	筒壳的稳定性计算	50
2.5	支轮应力计算	50
2.5.1	支轮结构及受力分析	50
2.5.2	制动盘侧支轮应力的计算	51
2.6	主轴计算	56
2.6.1	主轴结构	58
2.6.2	主轴强度计算	61
2.6.3	主轴刚度计算	67
2.6.4	主轴强度和挠度的计算	68
2.7	本章小结	69
第3章	矿井提升系统的运行理论	70
3.1	提升机运行的典型速度图	70
3.2	矿井提升设备系统的基本动力学方程	73
3.2.1	提升系统动力学方程	73
3.2.2	提升系统的静阻力	74
3.2.3	变位质量	76
3.2.4	加速度和减速度的确定	78
3.3	提升系统速度图和力图的计算	81
3.3.1	提升速度图的计算	81
3.3.2	提升系统力的计算	83
3.4	提升电动机的预选	85
3.4.1	电动机功率的估算	85
3.4.2	估算电动机转速	85
3.5	提升电动机容量的校核	85
3.5.1	提升电动机等效功率的计算	86
3.5.2	电动机的校核	88

3.6	提升系统的电耗及效率计算	89
3.6.1	一次提升电耗	89
3.6.2	一次提升有益电耗	90
3.6.3	提升设备的效率	91
3.7	本章小结	91
第4章	提升机 CAD 系统研究	92
4.1	现代设计方法概述	92
4.2	CAD 系统结构	93
4.3	CAD 系统建模方法	94
4.3.1	建模方法概述	94
4.3.2	模块化建模方法	95
4.4	提升机 CAD 系统结构	96
4.5	提升机 CAD 系统中标准件选择计算	98
4.5.1	主轴装置设计参数输入模块	98
4.5.2	标准件选型计算模块	99
4.6	提升机主轴装置结构确定	106
4.6.1	卷筒的结构设计	106
4.6.2	主轴的设计	107
4.6.3	主轴轴承的选型计算	108
4.6.4	过盈配合选择子模块	109
4.6.5	高强度螺栓的连接计算模块	111
4.7	本章小结	113
第5章	提升机的优化设计	114
5.1	优化设计概述	114
5.1.1	基本概念及应用	114
5.1.2	工程离散变量优化设计方法	116
5.2	离散变量直接搜索方法 (MDOD) 的基本原理	118
5.3	离散优化设计在缠绕式提升机主轴装置设计中的应用	123

5.4	提升机主轴装置数学模型的建立	123
5.4.1	设计变量	124
5.4.2	约束函数	124
5.4.3	目标函数	127
5.4.4	优化结果分析	129
5.5	本章小结	130
第 6 章	提升机的有限元分析	131
6.1	有限元理论和 ANSYS 软件简介	131
6.1.1	有限元基本概念及应用	131
6.1.2	ANSYS 简介	134
6.2	ANSYS 与 Solidworks 的接口技术	135
6.3	主轴装置的有限元分析	135
6.3.1	主轴装置的结构简化及几何处理	137
6.3.2	单元类型的选择和网格划分	138
6.3.3	施加载荷及边界条件	139
6.3.4	计算结果与分析	140
6.4	本章小结	147
第 7 章	提升机的计算机参数绘图	148
7.1	参数绘图技术概述	148
7.2	图形支撑软件的选择	149
7.3	实现参数绘图的方式	150
7.3.1	常见的参数绘图方式	150
7.3.2	命令文件式参数绘图的优点	154
7.4	参数绘图模块的具体实现	154
7.5	参数绘图程序的实现步骤	155
7.5.1	编写绘图函数	155
7.5.2	布图并确定作图比例	156
7.5.3	绘图并输出命令文件	157

7.6	实现参数绘图程序的关键技术	158
7.6.1	编制及引用绘图函数的要点	158
7.6.2	参数绘图函数	159
7.6.3	参数绘图对象	162
7.7	缠绕式提升机参数绘图实例	163
7.8	本章小结	164
第8章	提升机 CAD 系统数据库技术	165
8.1	数据库技术概述	165
8.1.1	基本概念	165
8.1.2	工程数据库技术的发展	166
8.1.3	数据库系统的特点	170
8.1.4	常用的数据库系统	172
8.1.5	关系数据库系统简介	173
8.1.6	SQL Server 的基本特性	174
8.2	提升机标准件数据库的建立	176
8.2.1	钢丝绳数据库的建立	176
8.2.2	电动机、减速器、联轴器、轴承数据库的建立	176
8.3	数据库的连接测试和数据表验证	178
8.3.1	数据库的连接测试	178
8.3.2	数据库的数据表验证	178
8.4	基于 SQL 的 CAD 数据库操作	179
8.4.1	SQL 简介	179
8.4.2	数据表的建立、删除和修改	181
8.4.3	数据的查询、插入、删除和更新	184
8.5	提升机 CAD 系统的集成	188
8.5.1	数据库的集成	188
8.5.2	CAD 系统的集成	188
8.6	本章小结	190

第 9 章 摩擦式提升机	191
9.1 多绳摩擦式提升机结构特点	196
9.2 摩擦式提升机的工作原理及防滑分析	200
9.2.1 静防滑安全系数的变化规律	201
9.2.2 动防滑安全系数 u_d 的变化规律及其允许的最大 加、减速度	203
9.3 摩擦式提升机钢丝绳张力的平衡	204
9.4 本章小结	207
第 10 章 结论与展望	208
10.1 研究结论	208
10.2 主要创新点	211
10.3 研究展望	212
附录 A 符号说明	214
附录 B 缠绕式提升机性能参数及其确定原则	217
参考文献	220

第1章 绪 论

1.1 提升机在矿山系统中的地位

系统工程研究的对象是“系统”。它是以系统论的思想、观点为指导，以控制论、信息论和运筹学等为技术基础理论，以各类工程学科为背景，以计算机为手段，对系统进行分析、设计、评价、建造、控制和组织管理，使其各组成部分相互协调、互相配合，达到系统的整体功能和效益最佳。采矿系统工程是采矿工程与系统工程相结合产生的边缘学科。在采矿系统工程中井筒提升装备是必须着重研究的对象。

系统工程研究的对象是“系统”，矿井也是一个复杂大系统。煤矿开采主要是井田开拓和采煤方法两大部分。从系统工程的角度分析，矿井生产系统由采（采煤）、掘（掘进）、提（提升）、运（运输）、通（通风）等子系统组成，如图 1-1 所示。

提升系统在矿山系统中的重要作用在于，它承担煤炭、矿石的提升，人员的升降及材料和设备的运输，是矿山四大固定设备之一，矿井提升设备也是联系井上、井下的进出口主要设备，因此又被称为矿山的“咽喉设备”。

井硐形式、数目、位置及提升装备，是确定矿井井田开拓方式的重要内容。国内某矿的井田开拓方式极具代表性，如图 1-2 所示。

由于历史条件、地形及主采煤层间距等方面的原因，出现了在一个矿井范围内，平、斜、立 3 种井硐形式，分煤层开采到大联合开采共存的复杂局面，提升运输方式也极为丰富，七尺煤平硐采用架线式电动机车，七尺煤斜井采用上行无极绳提升，四尺煤斜井采用双钩串车，丈八煤竖井采用罐笼和箕斗提升，改扩建斜井采用强力胶带输送

机，如图 1-3 所示。每种井筒形式都对应着特定的提升装备，因此，提升装备也是开采系统中必须着重研究的内容。

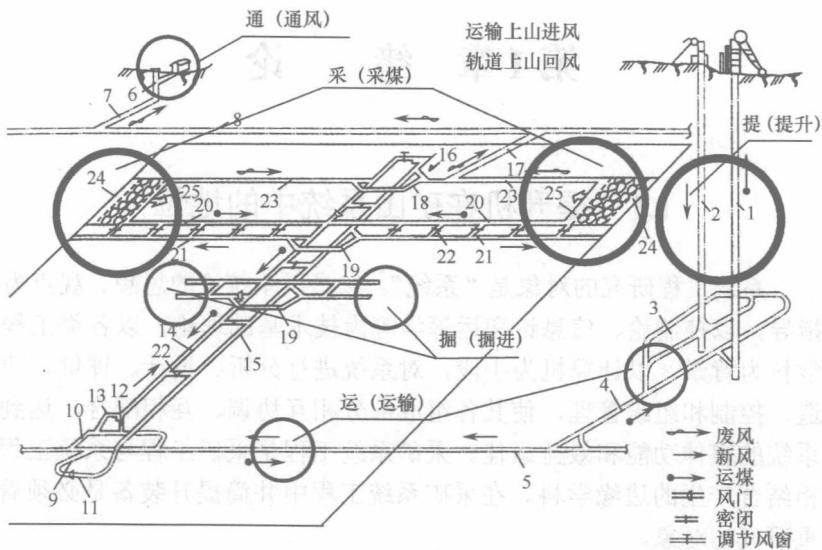


图 1-1 矿井生产系统中采掘提运通等子系统相互关系的立体示意图

- 1—主井；2—副井；3—井底车场；4—主要运输石门；5—阶段运输大巷；6—回风井；
 7—回风石门；8—回风大巷；9—采区运输石门；10—采区下部车场底板绕道；
 11—采区下部车场；12—采区煤仓；13—进风巷；14—运输上山；15—轨道上山；
 16—上山绞车房；17—采区回风石门；18—采区上部车场；19—采区下部车场；
 20—区段运输平巷；21—下区段回风平巷；22—联络巷；23—区段回风平巷；
 24—开切眼；25—采煤工作面。

目前，国内外在条件适合的情况下，主斜（主井采用强力胶带输送机斜井）、副立（副井采用装备罐笼提升的立井）的井筒形式被广泛使用。在特大型现代化煤矿（如英国塞尔比矿）表现最为突出。随着我国煤矿开采向深部扩展，斜井提升必然受到很大限制，高速、大容量提升容器的立井提升设备，将成为发展趋势，被广泛使用。

立井提升机有两种，即缠绕式提升机（见图 1-4）和摩擦式提升机（见图 1-5）。两种设备各有优、缺点，因此都需要进一步研究，本书立足于过去研究工作的基础，主要研究缠绕式提升机方面的有关问题。

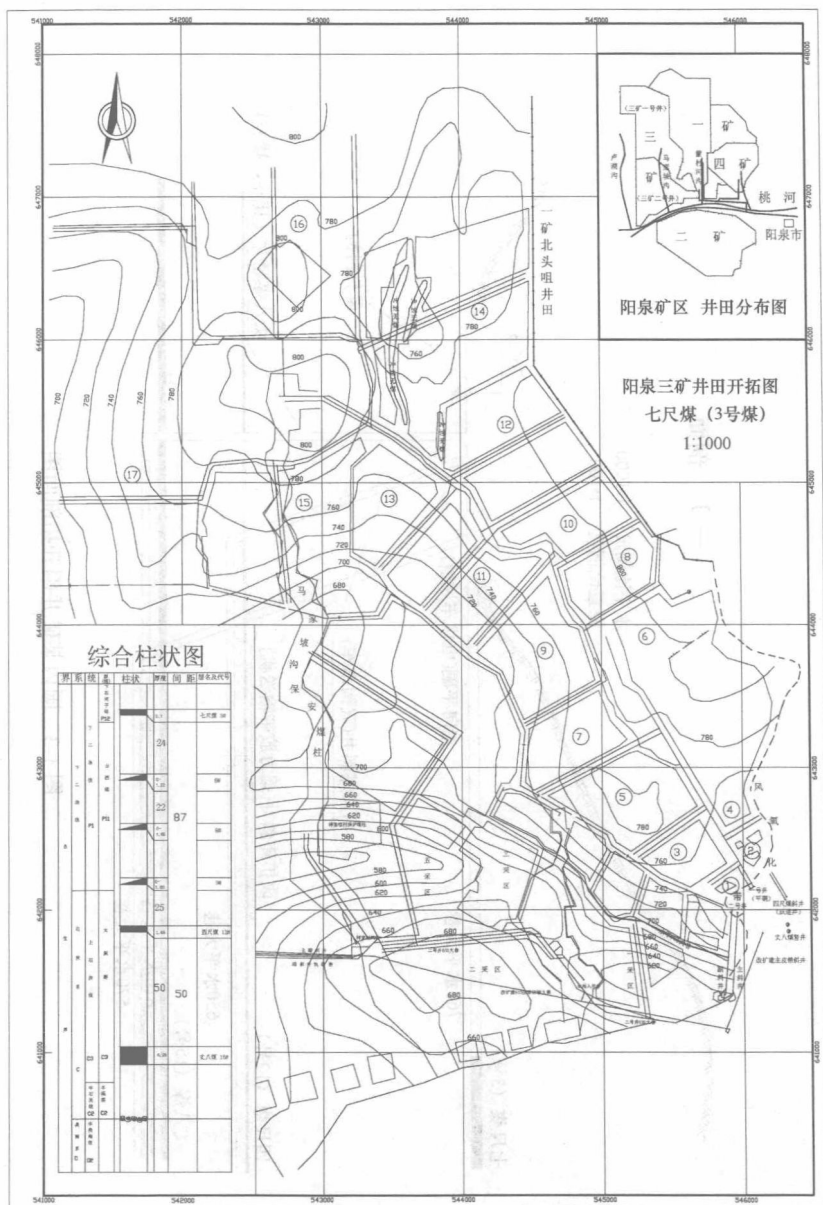


图 1-2 国内某矿井田开拓系统图

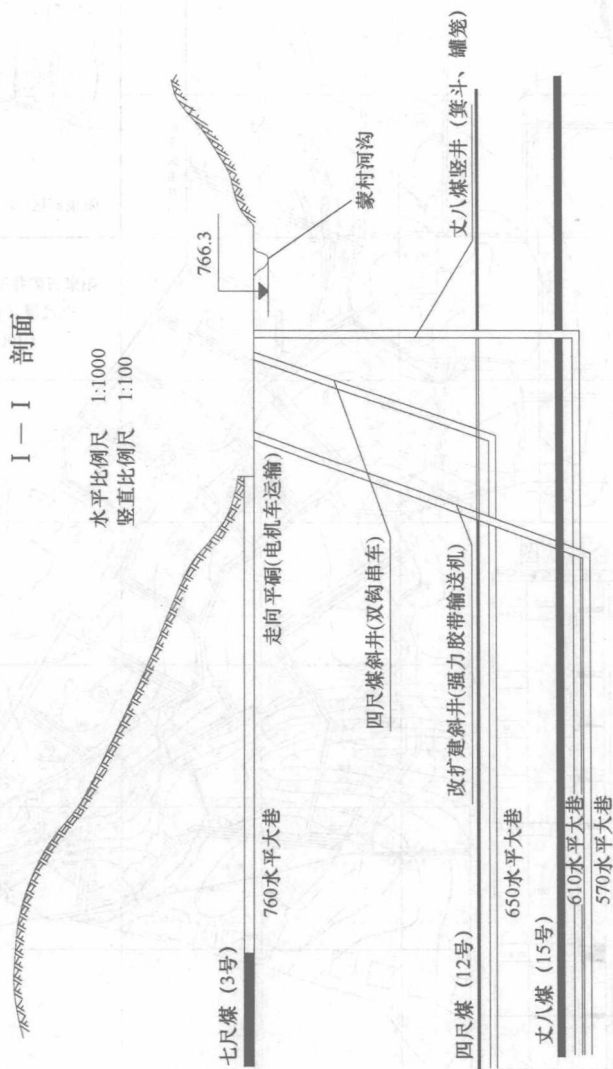


图 1-3 国内某矿井硐开拓剖面图

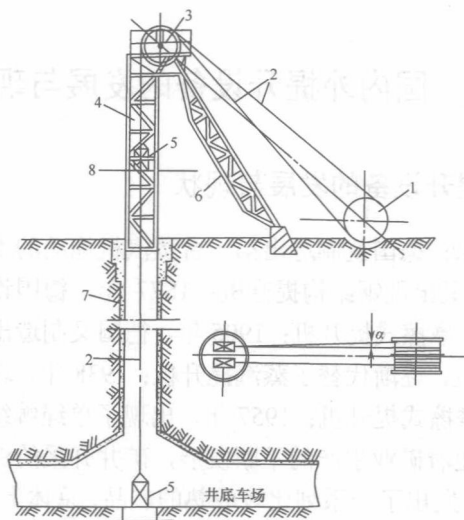


图 1-4 普通罐笼提升系统示意图

1—提升机滚筒；2—钢丝绳；3—天轮；4—井架；5—罐笼；6—井架斜撑；7—井筒；8—出车平台。

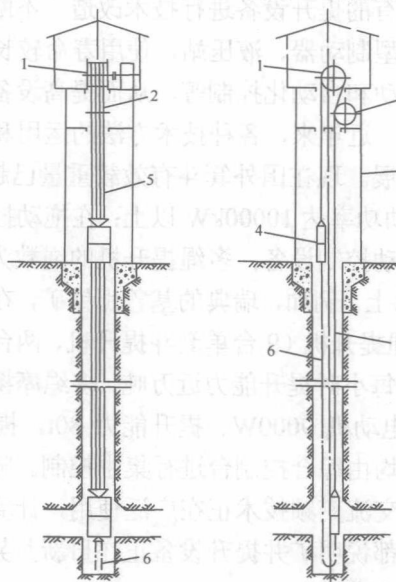


图 1-5 塔式多绳摩擦罐笼提升示意图

1—提升机；2—导向轮；3—井塔；4—罐笼；5—提升钢丝绳；6—尾绳。