

高等学校规划教材

矿井提升设备

孙玉蓉 周法孔 主编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书内容包括矿井提升设备的结构、工作原理;提升系统运动学、动力学;筒壳强度及有限元计算;主轴强度计算;提升机拖动控制以及安全监控等。

本书为煤矿高等院校矿山机电专业使用的教材,对电控部分作适当精简,也可作为矿业机械设计专业使用的教材,还可供矿山机电工程技术人员及高等院校师生参考。

高等学校规划教材

矿井提升设备

孙玉蓉 周法孔 主编

责任编辑:刘永清

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安福门外和平门北街21号)

北京市密云县春雷印刷厂印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 787×1092mm^{1/4} 印张 4^{1/2};插页 2

字数 84千字 印数 1616—3630

1995年1月第1版 1995年8月第2次印刷

ISBN 7-5020-1107-2/1D·53

书号 3875A0288 定价 11.30元

前 言

《矿井提升设备》是根据煤炭工业部高等院校“八五”教材规划,为矿山机电专业编写的教材,学时数为50~60学时。

本书由中国矿业大学孙玉蓉、山西矿业学院周法孔主编。参加编写的人员有河北煤炭建工学院朱家玮(第一、二章)、中国矿业大学叶尔赞(第六、七、十二章)、周法孔(第九、十、十一章)、孙玉蓉(绪论、第三、四、五、八章、结束语)。

在编写过程中,编者力图加强专业理论基础、反映矿井提升设备的相关科研成果及技术发展趋向,但因能力和条件所限,错误和不足之处在所难免,敬希望读者提出批评和意见。

在此谨向为本书提供宝贵资料的洛阳矿山机器厂等厂矿致以衷心的感谢。

编 者

1993.10

目 录

绪论	1
第一章 提升容器	5
第一节 罐笼及其承接装置	5
第二节 箕斗及其装卸载设备	12
第三节 提升容器的导向装置——罐道	16
第四节 提升容器的附属装置	18
第五节 立井提升容器的选择	28
习题及思考题	30
第二章 提升钢丝绳	31
第一节 钢丝绳的结构、分类及选用	31
第二节 钢丝绳的选择计算	35
第三节 提升钢丝绳的维护和试验	39
习题及思考题	41
第三章 矿井提升机	42
第一节 缠绕式提升机	42
第二节 多绳摩擦提升机	56
第三节 提升机的选择计算	60
第四节 矿井提升机制动装置	65
习题及思考题	80
第四章 提升机与井筒的相对位置	81
第一节 立井缠绕式提升机与井筒的相对位置	81
第二节 多绳摩擦提升机与井筒的相对位置	85
习题及思考题	86
第五章 矿井提升运动学及动力学	87
第一节 矿井提升运动学	87
第二节 矿井提升动力学	90
第三节 提升系统运动学动力学计算	94
习题及思考题	98
第六章 斜井提升	100
第一节 概述	100
第二节 斜井提升系统计算特点	101
习题及思考题	104
第七章 多绳摩擦提升	106
第一节 摩擦提升的传动原理	106
第二节 动防滑安全系数的验算	107
第三节 多绳摩擦提升的若干问题	109
习题及思考题	116
第八章 缠绕式提升机主要部件强度计算	118

第一节	卷筒外载荷及筒壳变形方程	118
第二节	钢丝绳拉力降低系数	121
第三节	筒壳强度校核	123
第四节	卷筒强度验算的有限单元法	124
第五节	提升机主轴强度计算	129
	习题及思考题	135
第九章	电动机容量校核、提升电耗及效率	136
第一节	交流提升电动机功率校核	138
第二节	交流提升设备的电耗及效率	140
	习题及思考题	141
第十章	矿井提升机的拖动与控制	141
第一节	提升机拖动装置性能及适用范围	141
第二节	交流拖动提升机控制原理	149
第三节	磁放大器与自整角机	161
第四节	交流拖动 TDK-A 电控线路图	168
第五节	PC 控制简介	179
	习题及思考题	180
第十一章	交流提升机转子电阻计算	182
第一节	转子电阻计算的基本关系式	182
第二节	单机拖动转子电阻计算	184
第三节	转子电阻的选配	190
第四节	双机拖动转子电阻计算特点	191
	习题及思考题	196
第十二章	矿井提升机械设备选型设计	197
结束语	.....	213
附录	.....	215
附表 1	.....	215
附表 2	.....	221
附表 3	.....	222
附表 4	.....	223
参考文献	.....	226

绪 论

矿井提升设备是沿井筒(包括斜坡及盲井)升降人员,提升煤炭、矿石、器材的机械设备。虽然按提升方式及系统的不同,有钢丝绳(缠绕式提升机和摩擦式提升机)提升,输送机提升,水力提升,气力提升(松散煤炭管道提升及管道容器提升)等。但是,目前在世界范围内,矿井主要使用由缠绕式提升机和摩擦式提升机带动钢丝绳牵引容器的提升设备。其它类型提升方式只在特定条件下用,例如水力提升只用于水采矿井的煤炭提升,气力提升散装物料(或管道容器)仅在国外的个别矿井改造中有应用,其理论和实践问题尚处试验研究阶段。

鉴于上述原因,本书内容只限于钢丝绳提升范围以内,即缠绕式和摩擦式提升设备。自1872年出现第一台由蒸气机拖动的单绳缠绕式提升机以来,矿井提升设备的发展已有近170年的历史。随着生产需求和技术进步,提升设备不断发展:1877年德国人戈培(Koepe)设计出第一台单绳摩擦式提升机;1938年多绳摩擦提升设备问世,满足了深井提升的需求;1958年多绳缠绕式(Blair式)提升机在南非超千米的矿井使用;1988年德国安装了第一台置同步电机于摩擦轮内的内装式提升机。

现代提升设备由大型机械—电气机组组成,提升容器在有限的运距(提升高度)内,往返高速运行,速度及加、减速度要求严格而准确地控制。因此,除传力、承力及运载机械部件外,还必须配备完善的拖动控制,安全监测及井筒信号等系统和设备。

—当今,在世界范围内运行的提升机,最大速度达 $20\sim 25\text{m/s}$;一次提升量达 50t ;电机容量已超过 10000kW ;井深超过 2000m (分段提升超过 3600m)。由于矿井生产的强化和集中化,一些矿井为了满足生产量及不同提升任务的要求,常在一个井筒安装多台提升机——机群,例如瑞典的基鲁那矿,在一个矩形提升塔上安装12台多绳摩擦提升机,采用集中控制。

随着现代技术进步及采矿工业的发展,提升设备在机械结构、工艺、设计理论及方法、拖动控制及安全监测等方面都有了很大发展。例如中低压及中高压盘式闸及液压站、硬齿面行星齿轮传动等的应用;内装同步电机主轴装置的问世;零部件设计中CAD/CAM及有限元法的应用;利用系统工程方法进行提升系统方案设计及改造、提升系统的模化及仿真都取得了较新成就;拖动类型除异步电动机拖动调速、直流电动机调速外,交交变频器供电同步电动机拖动方式已在大型提升机中应用;由可编程序控制器(PC)构成的提升工艺控制、安全回路、监视回路、行程控制器、制动控制以及井筒信号系统,在工业技术发达国家已有典型产品。

中国幅员辽阔,矿产丰富,煤炭产量已跃居世界前列,其中近95%是以井下开采方式开采,需要通过提升设备提到地面以实现其使用价值。作为生产的基本环节,提升设备的合理结构及设计,安全经济运行和科学管理维护,直接关系到矿井生产能力及技术经济指标。

根据矿井提升设备的功能特点,对矿井提升设备的要求是:

1. 安全性

提升设备的安全运行,不仅直接影响整个矿井生产,而且涉及人身安全。随着工业进步以及对人的价值的更加重视,矿井提升设备的高度安全可靠已成为提升设备设计思想的重要内容。

突出安全性的另一重要原因是提升运输事故率在煤矿机电事故中占有不可忽视的比例,其中恶性事故也时有发生,因此提高设备的安全性,增加监测控设备以及后备保护等措施,是具有实际意义的。

对矿井提升设备的高安全性要求还体现在提升设备及系统的设计,除应符合一般设计规程及规范外,还要满足《煤矿安全规程》的具体要求。

提高设备的安全性,不应单纯理解为加大安全系数,应从实际情况出发进行系统分析,例如受力(包括动态)分析,可靠性分析,失效分析等,从中找出问题,并采取相应措施。

2. 可靠性

可靠性是指提升设备在规定条件下,在规定的服务期限内完成规定的提升任务而不发生故障及失效的能力。提升运输是矿井生产的主要环节,提升设备的任何故障性失效,都会引起全矿生产的下降以及安全问题,造成巨大损失。在提升系统及设备设计中引入可靠性分析,在结构设计、强度分析和寿命估算中应用可靠性理论,采用零部件早期故障诊断和监测技术等,会有效地提高设备的可靠度,即可靠性的概率度量。

3. 经济性

矿井提升设备是大型设备,耗电较多,提升设备的投资、运营费用、效率等对矿井生产技术经济指标的影响是不言而喻的。

矿井提升设备的主要组成部分是:提升容器,提升钢丝绳,提升机(包括机械及拖动控制系统),井架(或井塔)及装、卸载设备等。图 0-1 是由这些设备构成的主井箕斗提升系统示意图。井下生产的煤炭通过井下运输系统运到井底翻笼硐室,把煤卸入井口煤仓 9 内,再由装载设备装入位于井底的箕斗,同时位于井口的另一箕斗,把煤卸入井口煤仓,上下两箕斗分别通过连接装置与两根钢丝绳相连接,统过井架天轮后,以相反方向缠于提升机卷筒上,当提升机运转时,钢丝绳往返提升重箕斗和下放空箕斗,完成提升煤炭任务。

图 0-2 是斜井箕斗提升系统示意图,它与立井提升系统的组成部分相似,所不同的是在设计斜井提升系统时,必须考虑倾角对系统参数的影响,设备结构应适于斜井条件。在一些小型斜井中,当倾角小于 25° 时,也可直接采用矿车作为提升容器,称之为串车提升。

图 0-3 是双绳摩擦提升机罐笼提升系统示意图,双绳摩擦轮 1 安装在提升塔上,摩擦轮转动时将重载罐笼 3 提升到井口上车场,重矿车 4 由推车机推出罐笼并经翻笼 5 卸载后,煤炭由胶带输送机运出。当提升人员或设备时,可在井口下车场乘载或装卸。

本书作为机电专业的教材,主要突出以下几方面内容:矿井提升设备的结构及工作原理(包括拖动控制系统);提升系统的运行理论;提升系统的设计及设备选型设计;主要零部件受力分析、强度及结构设计,矿井提升设备安全运行及科学管理与维护。

本书也充分考虑了矿业机械专业的要求,可以作为矿业机械专业的教材,只在讲解电控及电阻计算时,根据专业要求,进行必要的取舍,便能满足大纲要求。

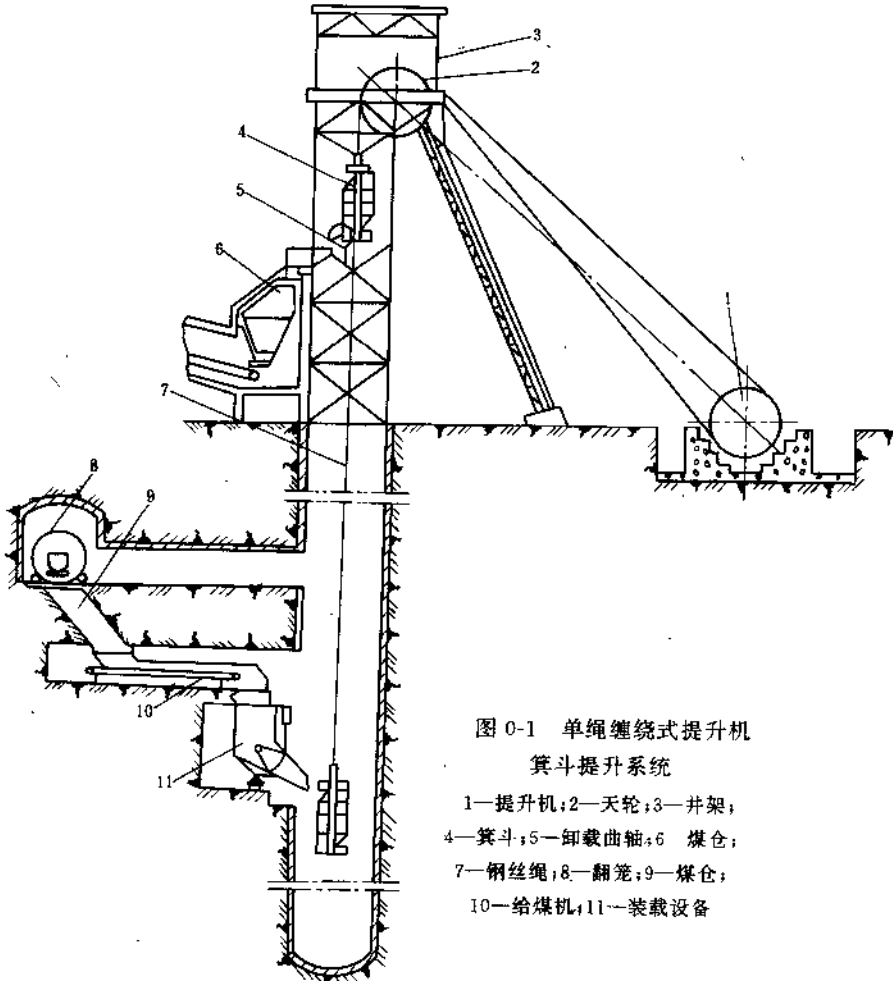


图 0-1 单绳缠绕式提升机
箕斗提升系统

- 1—提升机; 2—天轮; 3—井架;
- 4—箕斗; 5—卸载曲轴; 6—煤仓;
- 7—钢丝绳; 8—翻笼; 9—煤仓;
- 10—给煤机; 11—装载设备

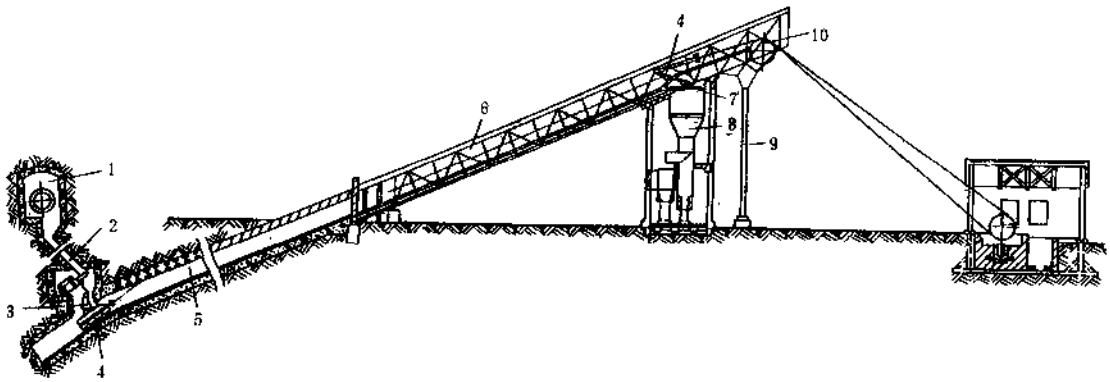


图 0-2 斜井箕斗提升系统示意图

- 1—翻笼硐室; 2—装载仓; 3—装载闸门; 4—箕斗; 5—井筒; 6—井架栈桥;
- 7—卸载曲轴; 8—卸载仓; 9—天轮; 10—提升机

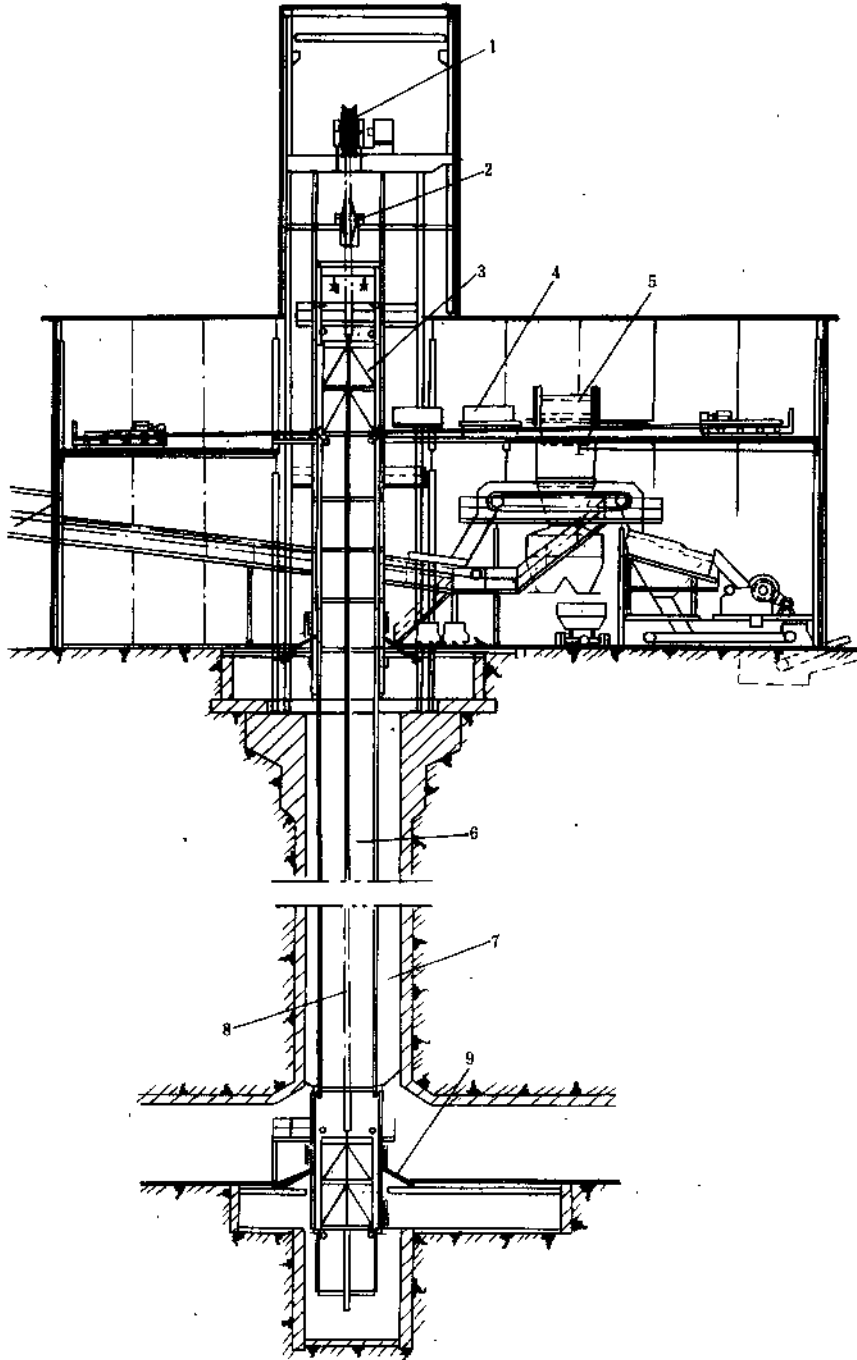


图 0-3 多绳提升机罐笼提升系统图

1—摩擦提升机；2—导向轮；3—罐笼；4—矿车；
5—翻笼；6—尾绳；7—罐笼；8—主绳；9—摇台

第一章 提升容器

第一节 罐笼及其承接装置

一、罐笼

罐笼为多用途的提升容器。它既可以提升煤炭和矸石,也可以升降人员、运送材料和设备。罐笼主要用于副井提升,也可用于小型矿的主井提升。我国煤矿使用的罐笼主要是立井单绳普通罐笼和立井多绳罐笼,翻转罐笼、箕斗罐笼和斜井用罐笼很少采用。

罐笼按其所装矿车的名义装载量确定罐笼的吨位,分为1t、1.5t和3t罐笼。每种罐笼又有单层和多层之分。

图1-1为单绳1t单层普通罐笼结构图。罐笼主体为空间混合结构,它由两面侧盘体和数根横梁组成。侧盘体由四根立柱和两根弦梁构成骨架外包带孔钢板制成。罐笼四角为切角型,便于制作和在井筒中的布置。罐顶设有半圆弧形防淋水棚,并有可以打开的罐盖,以便运送长材料。罐笼两端设有帘式罐门。罐笼通过顶部主拉杆和双面夹紧楔形绳夹与提升钢丝绳相连。罐底设有轨道便于矿车进出罐笼,并设有阻车器及自动开闭装置,用以防止运行时罐内矿车的移动。为使罐笼在井筒中运行平稳,井筒中设有罐道导向,罐笼沿罐道运行。在罐笼上部设有防坠器,防止发生断绳事故时罐笼坠落井底。我国标准单绳普通罐笼规格见表1-1。

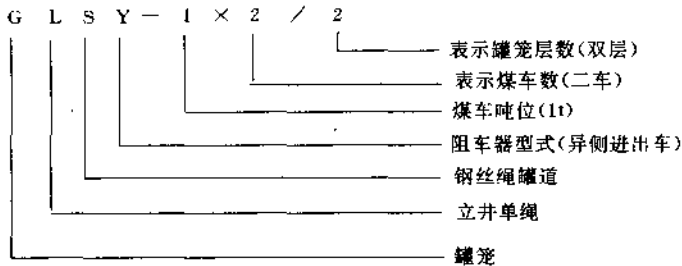
表 1-1 立井单绳普通罐笼标准参数规格表

单绳罐笼型号			罐笼断面尺寸 mm	罐笼总高 (近似值) mm	装载矿车			允许 乘人 数	罐笼总 装载量 t	罐笼质量 (估计) t	最小井筒 直径 mm			
					型号	名义装 载量, t	车数				有梯 子间	无梯 子间		
GLS-1×1/1 GLSY-1×1/1	钢丝绳罐道	同侧进出车	2550×1020	~4290	MG1.1-6A	1	12	2.395	2.218	4900	4100			
		异侧进出车										2.088	4900	4100
GLG-1×1/1 GLGY-1×1/1	刚性罐道	同侧进出车													2.878	4800	3800
		异侧进出车										2.748	4800	3800
GLS-1×2/2 GLSY-1×2/2	钢丝绳罐道	同侧进出车		~6680			1	2	24	3.235	3.247				5000	4300
		异侧进出车										3.000	5000	4300
GLG-1×2/2 GLGY-1×2/2	刚性罐道	同侧进出车									3.907				4800	3800
		异侧进出车										3.657	4800	3800

续表 1

单绳罐笼型号	罐笼断面尺寸 mm	罐笼总高 (近似值) mm	装载矿车			允许 乘人数	罐笼总 载重量 t	罐笼质量 (估计) t	最小井筒 直径 mm	
			型号	名义装 载量, t	车数				有梯 子间	无梯 子间
GLS-1.5×1/1 GLSY-1.5×1/1	3000×1200	~4850	MG1.7-6A	1.5	1	17	3.420	2.790	5600	4800
GLG-1.5×1/1 GLGY-1.5×1/1								2.650	5600	4800
GLS-1.5×2/2 GSSY-1.5×2/2	3000×1200	~7250	MG1.7-6A	1.5	2	34	4.610	4.070	5800	5100
GLG-1.5×2/2 GLGY-1.5×2/2								4.390	5800	5100
GLS-3×1/1 GLSY-3×1/1	4000×1470	~4820	GM3.3-9B	3	1	29	6.720	4.670	6800	6000
GLG-3×1/1 GLGY-3×1/1								4.500	6800	6000
GLS-3×1/2 GLSY-3×1/2	4000×1470	~7170	GM3.3-9B	3	1	58	6.720	6.480	6900	6100
GLG-3×1/2 GLGY-3×1/2								6.310	6900	6100

型号标记示例:



多绳罐笼结构如图 1-2 所示,它与单绳罐笼稍有不同,不设防坠器,使用专用的悬挂装置可与数根提升钢丝绳连结并可实现钢丝绳张力的调整。罐笼底部设有尾绳悬挂装置。我国多绳罐笼规格见表 1-2。

罐笼的设计应使其结构坚固,重量轻,并能运送井下的大型设备。一般采用普通结构钢材制作。为减轻罐笼自重,国内外也有采用铝合金和高强度钢材制作罐笼的。

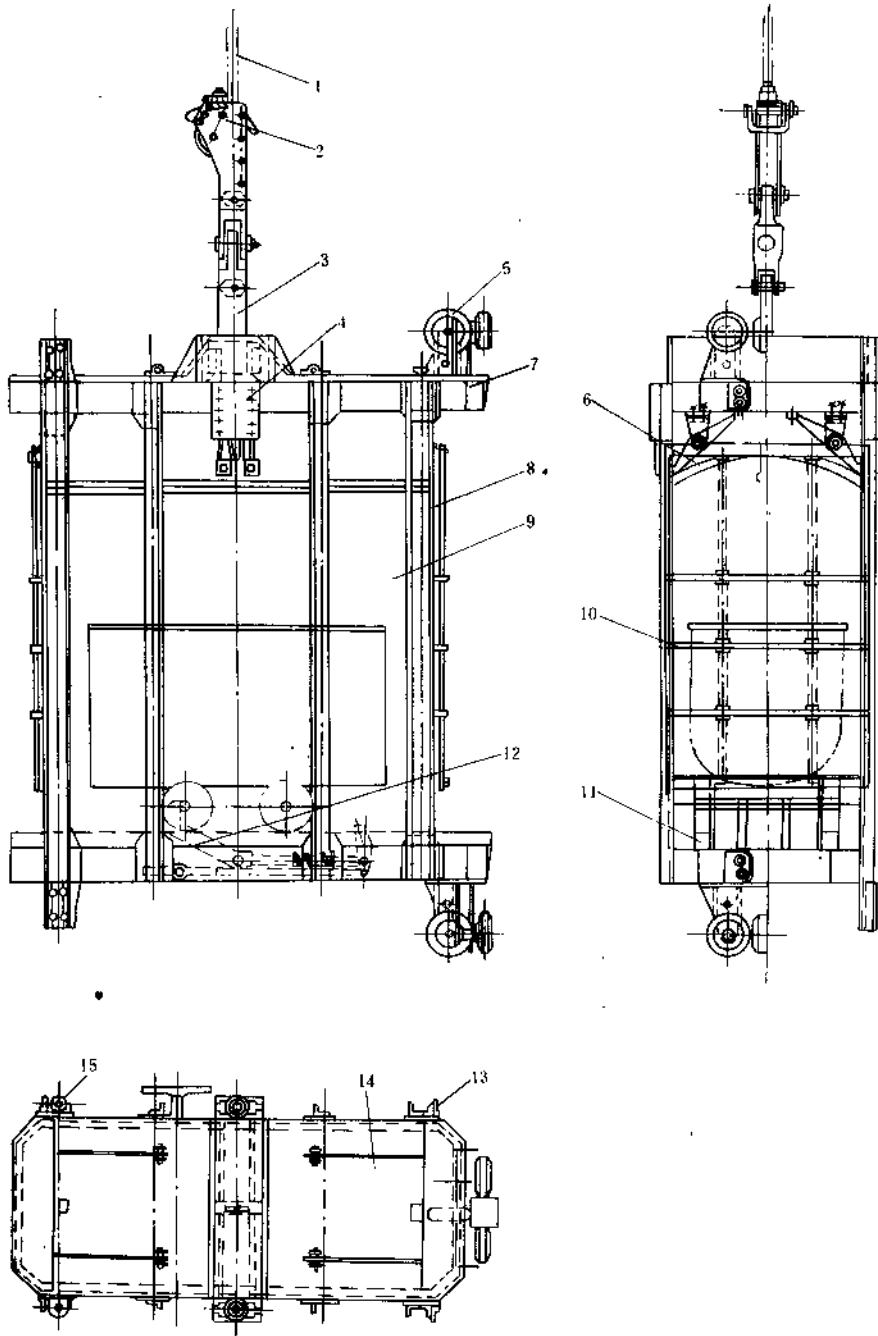


图 1-1 单绳 1t 单层普通罐笼结构图

- 1—提升钢丝绳；2—双面夹紧楔形绳卡；3—主拉杆；4—防坠器；
 5—胶轮罐耳(用于组合钢罐道)；6—淋水棚；7—横梁；8—立柱；9—钢板；10—罐门；
 11—轨道；12—阻车器；13—稳罐罐耳；14—罐盖；15—套管罐耳(用于绳罐道)

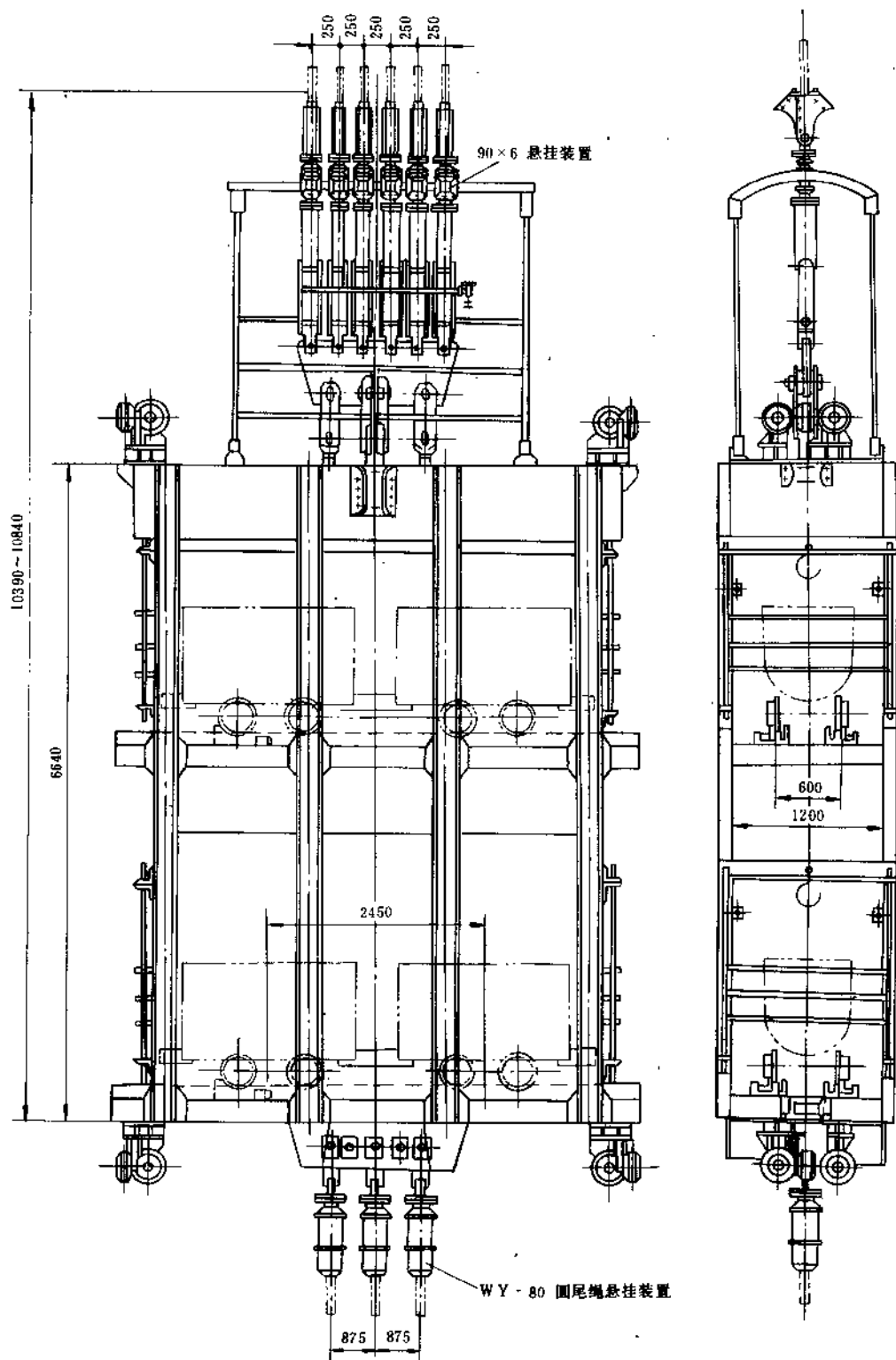


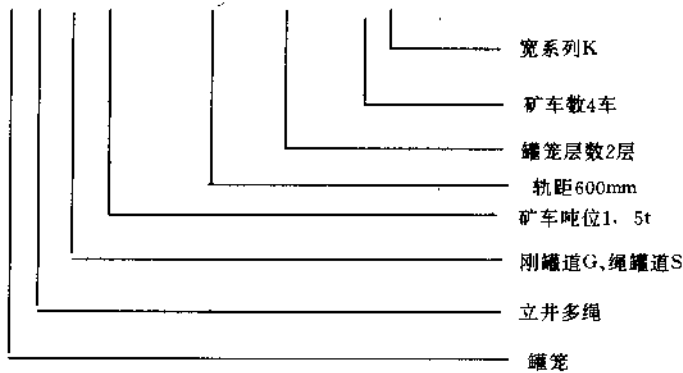
图 1-2 1.5t 双层四车多绳罐笼

表 1-2 立井多绳罐笼参数规格表

罐笼符号		装载矿车		乘人数	罐笼总载量 t	罐笼质量 t	最大终端荷载 kN	提升首绳		尾绳数
刚性罐道	钢丝绳罐道	型号	车数					数量	直径 mm	
GDG1/6/1/2	GDS1/6/1/2	MG1.1-6	2	23	4.37	4.65	157/279	4	22/28	2
GDG1/6/1/2K	GDS1/6/1/2K			38		5.80	275		28	
GDG1/6/2/2	GDS1/6/2/2			20		4.28	158/267		22/28	
GDG1/6/2/2K	GDS1/6/2/2K			28		4.91	275		28	
GDG1/6/2/4	GDS1/6/2/4	MG1.1-6A	4	46	8.74	7.96	282/381/559	4	28/32/39.5	2
GDG1/6/2/4K	GDS1/6/2/4K			76		9.28	276/378/547		28/32/39.5	
GDG1.5/6/2/2		MGQ1.7-6	2	32	6.84	6.56	280	6/4	24/28	3/2
GDG1.5/6/2/2K				44		7.58	290	6/4	24/28	3/2
GDG1.5/6/2/4		MGQ1.7-6	4	60	13.68	10.78	550	6/4	32/39	3/2
GDG1.5/6/2/4K				84		11.91	560	6/4	32/39.5	3/2
GDG1.5/9/2/4		MGQ1.7-9	4	64	14.68	10.93	570/560	6/4	33/39.5	3/2
GDG1.5/9/2/4K				84		11.88	580/570	6/4	33/39.5	3/2
GDG1.5/6/3/4		MGQ1.7-6	4	90	13.68	12.57	580/570	6/4	33/39.5	3/2
GDG1.5/6/3/4K				126		13.93	610	6	34.5	3
GDG1.5/9/3/4		MGQ1.7-9	4	96	14.68	12.77	610	6	34.5	3
GDG1.5/9/3/4K				126		13.98	620	6	34.5	3
GDG3/9/1/1		MGQ3.3-9	1	33	11.00	8.35/8.41	354.4/386.9	4/6	32/28	2/3
GDG3/9/2/2				66		11.35/11.37	554.3/567.8	4/6	39.5/33	2/3
GDG3/9/3/2				99		13.45/13.47	574.9/588.4	4/6	39.5/33	2/3
GDG3/9/1/1K				38		8.70/8.75	460.0/481.0	4/6	36.5/31	2/3
GDG3/9/2/2K				76		12.14/12.16	590.9/594.4	4/6	41/34.5	2/3
GDG3/9/3/2K				114		14.35/14.37	583.7/597.2	4/6	39.5/33	2/3

型号标记示例：

G D G 1.5 / 6 / 2 / 4 K



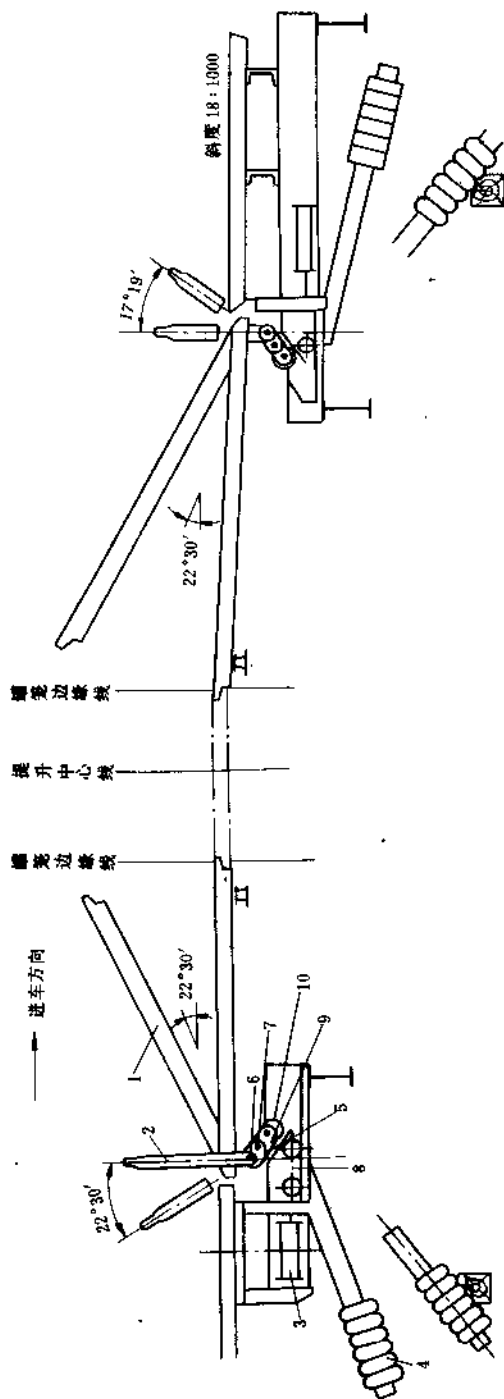


图 1-3 摇台

1—摇臂; 2—手把; 3—动力缸; 4—配重; 5—轴;
6—摆杆; 7—销子; 8—滑车; 9—摆杆套; 10—滚子

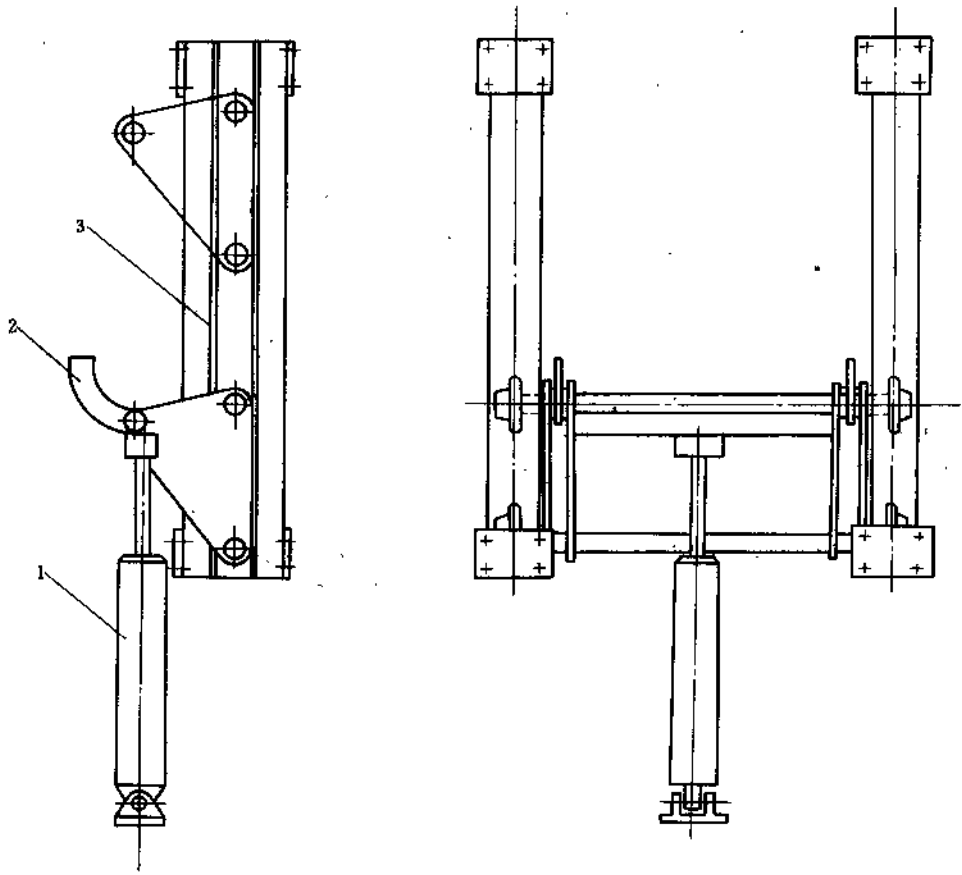


图 1-4 支罐机

1—液压油缸；2—支托装置；3—固定导轨

二、罐笼承接装置

为了便于矿车进出罐笼，必须使用罐笼承接装置。罐笼承接装置有罐座、摇台和支罐机三种。

罐座是利用可伸缩的托爪托住罐笼，使矿车能平稳进出。罐笼运行时罐座必须收回。使用罐座使司机操作复杂，易发生蹲罐事故。另外，钢丝绳时松时紧易疲劳损坏，目前新设计的矿井不再采用。《煤矿安全规程》规定：升降人员时，严禁使用罐座。

摇台目前被广泛采用。它适用于各类提升机和井口、井底及各中间水平。它由能绕轴转动的两个摇臂构成(图 1-3)。其操作过程是：当罐笼进出车时，气缸供气使滑车后退，作用在摇臂上的外动力与摇臂脱开联系，摇臂靠自重搭接在罐笼上进行承接工作。罐笼进出车完毕，气缸反向供气推动滑车前进，滚轮抬起，带动摆杆转一角度，摇臂抬起相应角度。CY 系列摇台可以气动和手动控制。其特点是动作快，操作时间短。缺点是要求停罐位置准确。

支罐机是近年出现的新型承接装置，如图 1-4 所示。支罐机由液压油缸 1 带动支托装置 2，支托装置承接罐笼的活动底盘使其上升和下降，以补偿提升钢丝绳长度变化和停罐的误

差。支罐机调节距离可达 1000mm。

支罐机优点是能准确地使罐笼内轨道与车场固定轨道对接,进出矿车和人员方便;由于活动底盘是托在支罐机上,矿车进出平稳;提升钢丝绳不承担进出矿车时产生的附加荷载,因此,延长了使用寿命,另外车场布置紧凑。这些优点对大矿深井尤为明显。其缺点是罐笼有活动底盘,使其结构复杂,还需要增设供支罐机用的液压动力装置。

第二节 箕斗及其装卸载设备

一、箕斗

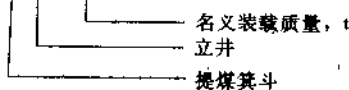
箕斗是单一用途的提升容器,仅用于提升煤炭或矿石。立井单绳箕斗结构如图 1-5 所示,它是我国煤矿广泛采用的固定斗箱底部卸载式箕斗,采用曲轨连杆下开折页平板闸门结构,其优点是闸门结构简单、严密,闸门向上关闭冲击小,当煤仓已满,煤未卸完时,卡箕斗产生断绳的可能性小。箕斗闸门开启主要借助煤的压力,因而卸载时传递到卸载曲轨上的力较小,改善了井架受力状态。该闸门的缺点是:如果闭锁装置一旦失灵,闸门可能由于震动、冲击而在井筒中自行开启,不但会把煤卸在井筒里,还会撞坏井筒装备(如罐道、罐道梁等),因此必须经常认真检查闭锁装置。我国立井单绳箕斗规格见表 1-3。

表 1-3 立井单绳箕斗规格表

型号	IL-3	IL-4	IL-6	IL-8
名义装载质量, kN	30	40	60	80
有效容积, m ³	3.3	4.4	6.6	8.8
提升钢丝绳直径, mm	31	37	43	43
钢丝绳罐道	直径, mm.	32~50(根据提升高度确定)		
	数量	4		
刚性罐道	规格	380 N/m 钢轨		
	数量	2		
箕斗质量, t	3.8	4.4	5.0	5.5
最大终端负荷, t	8	9.5	12	14.5
最大提升高度, m	500	650	700	9250
箕斗总高, mm	7780	8560	9450	9250
箕斗中心距, mm	1830	1830	1370	2100
适应井筒直径, m	4.5	4.5	4.5 5	5
适应提升机型号	2JK-2.5	2JK-2.5	2JK-3	2JK-3.5
		2JK-3	2JK-3.5	

附:立井单绳箕斗代号

例: J L—4



立井多绳箕斗结构基本与单绳箕斗相同(图 1-6),不同点是连结装置有所区别;多绳箕斗下部还有尾绳悬挂装置和安装配重的地方。多绳箕斗规格见表 1-4。

为了克服上述箕斗闸门的缺点,国内外还研制了插板式闸门和圆板式闸门箕斗。

箕斗的导向装置可以采用刚性罐道或钢丝绳罐道。在采用钢丝绳罐道时,除应考虑箕斗本身平衡外还要求装煤后仍能保持平衡,所以在斗箱内上部应安装可调节的溜煤板。