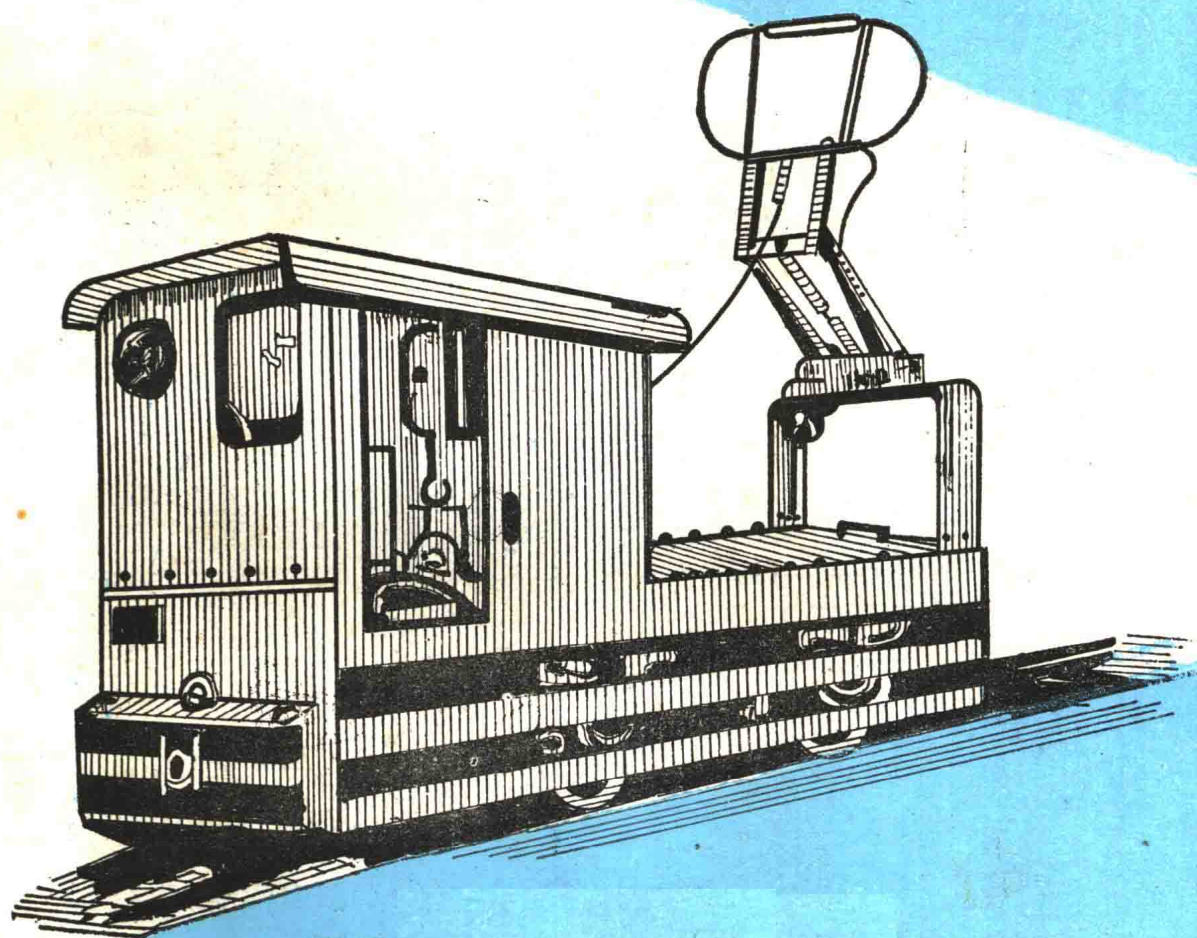


井下电力牵引



湘潭电机厂技术情报室

内 容 提 要

全书分为架线机车，蓄电池机车和牵引计算三大部分，书中叙述了井下电力牵引各方面的基础知识。第Ⅰ、Ⅱ部分以架线和蓄电池机车的结构性能为主体，分章论述了牵引电动机、牵引电器，蓄电池和电机车控制系统，并系统地介绍了接触网、变电站、井下固定设施的设备和设计原则，其中还叙述了井下机车的各式受电器和欧美各式井下电机车的对比参数。第Ⅲ部分着重论述了井下电力牵引方程、牵引电动机的定额选择，牵引网络的计算和设备定额，对能耗测算及井下电力牵引工程的设计和营运管理均作了详细介绍，并列举了计算示例。书后以附录的形式给出了矿用机车控制的新趋向，各型井下矿用架线机车，蓄电池机车的电气机械特性。

本书适用于工矿电机车制造业技术人员，矿山设计研究院、所、矿山管理机关从事井下供电、井下电力运输工作的广大工程技术人员阅读，也可供有关铁道矿业大专院校教学和毕业设计参考。

井 下 电 力 牵 引

主 译 谭博浩
编 辑 欧阳荃 郭纯成 李均前
封面设计 郭曙阳

湖南湘潭电机厂技术情报室出版
湖南有色金属研究所印刷厂印
1985年7月第一次印刷

现代矿山铁道使用了多种不同类型的电机车，除井下运行用，如装载点集矿、坑道调车及人员运送，但主要的还是在矿山主巷道运输矿物的车辆。在地面电力机车也担负了各种辅助的运输工作，如：运走锅炉房的炉灰和机械清理厂的石头，供应矿井中转煤仓的储煤，把物资运送到竖井口，为液力喷填机运载混砂填料和为装载溜槽服务之类的工作。

井下运输所使用的机车主要有以下三类，即：

1. 空压机车；
2. 内燃机车；
3. 电力机车；

就电力运输而言，机车可分为两种：

- a. 架线电机车；
- b. 蓄电池电机车。

除以上两种主要机车外，还有各种组合电机车，如：带蓄电池的架线电机车，带自动放线和盘线卷筒的电缆机车，以及附装有电缆卷筒设备的架线电机车等。

空压机车对于有爆炸危险的矿山是绝对安全的，但价格昂贵，且操作不便，因而这种机车的应用受到限制，且日趋减少。

内燃机车广泛地运用于井下运输，特别是在英国，这些机车的柴油机能做到隔爆，甚至在有瓦斯的矿山也可以使用这种机车，柴油机最大的缺点就是废气污染空气；这就需要从主风道系统显著地增大新鲜空气的供应。一辆柴油机车通常每马力安装容量每分钟约消耗60立方米的空气。

电力运输今天被认为是最经济的。欧洲大多数国家在矿山很少使用柴油机车。另一方面，直到1950年英国采矿规程还不允许煤矿使用架线电机车，这就是为什么英国矿山甚至在没有瓦斯和无粉尘的矿井广泛使用内燃机车和蓄电池机车的主要原因。

在有瓦斯的矿山架线电机车一般可用于主巷道和交叉线，因为这些地方是进风口。在有瓦斯矿山的其他处，必须使用具有绝缘两芯电缆的电缆机车；这种机车主要是用作往返于工作面间牵引矿车的集矿机车，各种不同型式机车的使用由每个国家采矿主管机关所颁布的规程来确定。

架空接触网的缺点是：工作人员有从带电裸线触电的危险，但这种危险可借线网隔板和采用可将电流从导线转送至机车的集电器予以减少。然而，这种方法仍无法防止集电器和导线间、车轮和轨道间的火花，因此在有瓦斯的矿山，火花会有引起甲烷爆炸的危险，此外，杂散电流也是潜在的危险。因此接触网运输系统需要仔细地铺轨，轨道各连接点，必需使用轨道连接器，并且要精心地维护轨道和路面。

蓄电池机车运输就没有这些缺点，特别是隔爆型蓄电池机车，但蓄电池机车存在瓦一时效率低和运行费用较高的缺点。

主巷道运输用电机车的粘重自5到50吨，小时制速度为8—25km。用于集矿和调车工作，蓄电池机车比架线电机车更为普遍。

承担这类工作的电机车其粘重为2—5吨，小时制速度5—7km。这是因为它们仅用于牵引短途的几辆矿车。

在矿山井下运输设计中，有两个重要问题是难以考虑的：一是弯道半径的长度，另是需要限制的轴重。在通常的实践中大都将两轴电机车的重量限制为10—12吨。如出现需要提高载重量和延长运距的情况，可采用二辆或三辆电机车重联运行，或者使用三轴和四轴电机车。

译 者 序

本书原作者为波兰L. SZKLARSKI等著。本书共分架线机车, 蓄电池机车和牵引计算三大部分。内容广泛, 新颖, 它是全面论述井下电力牵引方面国内至今唯一的一部具有代表性的专著。原版书章节编排合理, 文字浅显, 内容和论述着重于实用。无繁杂的计算, 列举的图表数据, 均有参考实用价值。书中涉及电子技术、电子器件在井下电力牵引控制方面的应用内容较少, 考虑到我国的实际情况, 目前大多数在使用和制造的井下机车仍是有接点控制的惯用形式。当务之急主要的还是要用好和造好适合于当前技术水平且占大多数的井下机车, 因此, 不能没有一本全面的系统性的讲解井下电力牵引的参考书以供广大的井下电力牵引工作者使用, 我们也希望在本书出版之后, 能获得广大读者的支持, 对本书所涉及的范围提供修正补充意见为今后充实和完善井下电力牵引方面的技术资料作好准备, 考虑到上述各点我们在几经周折之后, 仍然积极组织出版。

本书第I部分1, 2节由欧阳荃译, 谭博浩校; 3、4节由蒋国钧译, 谭博浩校, 5节由谭博浩译, 欧阳荃校; 6节由郭纯成译, 欧阳荃校; 7节由欧阳荃译, 谭博浩校; 8、9、10节由郭纯成译, 谭博浩校; 第II、III部分由谭博浩译, 欧阳荃校; 目录和附录1, 2, 3由欧阳荃译, 谭博浩校。

由于翻译时间紧迫, 更主要的是我们翻译水平有限, 书中错误和不妥之处, 在所难免, 衷心欢迎读者批评指正。

译者 1984年12月

目 录

第 I 部 分

架线式电机车

1.概 述	(1)
2.架线电机车的结构	(1)
2.1. 车架结构	(1)
2.2. 车钩和缓冲器	(3)
2.3. 鞍式弹簧和轴承	(5)
2.4. 轮对、齿轮箱、牵引电动机悬挂	(9)
2.5. 制 动	(15)
2.5.1. 手控制动	(16)
2.5.2. 油压制动	(18)
2.5.3. 空气制动	(19)
2.5.4. 轨道制动	(26)
2.5.5. 撒砂器	(27)
2.6. 电机车的辅助设备	(28)
3.牵引电动机	(28)
3.1. 概 述	(28)
3.2. 牵引电动机的结构特点	(30)
3.2.1. 电动机的机座和轴承	(30)
3.2.2. 绕 组	(30)
3.2.3. 换向器	(33)
3.2.4. 电 刷	(33)
3.2.5. 通 风	(34)
3.3. 牵引电动机的重量和功率	(41)
4.牵引电动机的特性	(41)
4.1. 概 述	(41)
4.2. 牵引电动机的效率和损耗	(48)
4.3. 制造厂家提供的牵引电动机技术规范	(49)
5.电机车控制	(51)
5.1. 控制开关和保护设备	(51)
5.1.1. 控制器	(51)
5.1.2. 电阻器	(58)

5.1.3. 过压和失压保护	(60)
5.1.4. 电磁接触器	(62)
5.1.5. 接地开关	(64)
5.1.6. 防司机疏忽装置	(64)
5.2. 牵引电动机的起动和调速	(65)
5.3. 控制线路	(70)
5.4. 起动电阻设计	(76)
5.5. 牵引电动机的电力制动	(80)
5.5.1. 串励电动机作发电机运行	(80)
5.5.2. 制动电阻设计	(85)
6. 电流受电设备	(86)
6.1. 受电器	(86)
6.1.1. 杆式受电器	(86)
6.1.2. 弓式受电器	(87)
6.1.3. 弓架式受电器	(88)
6.1.4. 各型受电器的优点	(89)
6.2. 电缆卷筒	(91)
7. 各型矿用架线电机车	(93)
7.1. 主运道电机车	(93)
7.1.1. 英国制造的电机车	(93)
7.1.2. 美国制造的电机车	(106)
7.1.3. 波兰制造的电机车	(117)
7.1.4. 苏联制造的电机车	(120)
7.1.5. 德国制造的电机车	(128)
7.2. 集矿机车	(133)
7.3. 矿用电机车设计的发展趋向	(133)
7.3.1. 高频电力牵引系统	(135)
7.3.2. 飞轮电机车	(137)
7.3.3. 矿用电动液压机车	(139)
8. 供 电	(140)
8.1. 架空线	(140)
8.1.1. 概 述	(140)
8.1.2. 接触线	(141)
8.1.3. 架线及其支撑件	(142)
8.2. 轨道电气连接	(152)
8.3. 杂散电流	(155)
9. 直流变电站	(156)
9.1. 直流变电站的设备	(156)

9.2. 旋转变流器·····	(158)
9.3. 汞弧整流器·····	(159)
9.4. 半导体整流器·····	(167)
10. 机车停修场·····	(168)

第 II 部 分

蓄 电 池 机 车

1. 概 述·····	(170)
2. 结构特点·····	(172)
3. 电气设备·····	(174)
3.1. 蓄电池·····	(174)
3.1.1. 铅-酸蓄电池·····	(174)
3.1.2. 碱性蓄电池·····	(187)
3.1.3. 各型蓄电池相对的优缺点·····	(192)
3.2. 蓄电池机车的电气设备·····	(199)
3.2.1. 隔爆结构规程·····	(199)
3.2.2. 蓄电池箱及其附件·····	(199)
3.2.3. 控制和保护装置·····	(205)
3.2.4. 辅助设备·····	(207)
3.3. 牵引电动机·····	(208)
3.4. 蓄电池机车的控制系统·····	(210)
4. 各型矿用蓄电池机车·····	(212)
4.1. 主运道机车·····	(212)
4.1.1. 英国机车·····	(212)
4.1.2. 美国机车·····	(220)
4.1.3. 德国机车·····	(225)
4.1.4. 法国机车·····	(228)
4.1.5. 苏联机车·····	(228)
4.2. 集矿机车·····	(228)
5. 矿用牵引蓄电池充电站·····	(235)
5.1. 充电方法·····	(235)
5.1.1. 恒流充电·····	(236)
5.1.2. 恒压充电·····	(237)
5.1.3. 改进的恒压充电·····	(238)
5.1.4. 自动充电·····	(239)
5.2. 充电站的设备·····	(240)
5.2.1. 蓄电池充电间·····	(240)

5.2.2. 充电器	(245)
------------	-------

第 III 部分

牵引计算

1. 牵引方程	(249)
1.1. 概 述	(249)
1.2. 牵引阻力	(250)
1.2.1. 滚动阻力	(250)
1.2.2. 轴承磨擦	(251)
1.2.3. 空气阻力	(252)
1.2.4. 列车的总牵引阻力	(254)
1.2.5. 坡道的影响	(258)
1.2.6. 弯道附加阻力	(259)
1.2.7. 质量的影响	(261)
1.3. 粘 着	(262)
1.4. 机车粘着重量	(265)
1.5. 机车牵引力	(267)
1.6. 特定坡道	(269)
1.7. 列车制动	(271)
1.8. 绘制工作图	(275)
1.8.1. 速度——时间图	(275)
1.8.2. 距离图	(281)
1.8.3. 电流和功率图	(285)
1.9. 计入电源压降时的速度——电流特性	(286)
1.9.1. 速度、距离和电流图	(289)
1.10. 速度——距离图	(294)
2. 牵引电动机的额定值	(298)
2.1. 按发热条件验证牵引电动机的额定值	(298)
2.2. 按电动机的发热条件计算列车总重	(303)
3. 牵引网路的计算	(305)
3.1. 一端供电线路	(306)
3.1.1. 牵引网路的负载电流	(307)
3.2. 二端供电线路	(308)
4. 架线机车的能量消耗	(313)
5. 直流配电站的定额	(317)
6. 蓄电池机车的能量消耗	(318)

6.1. 蓄电池的容量.....	(318)
6.2. 充电站的定额.....	(320)
7. 电力牵引计算实例.....	(321)
7.1. 问 题.....	(321)
7.1.1. 确定矿车数.....	(324)
7.1.2. 重列车的工作图.....	(325)
7.1.3. 空列车的工作图.....	(328)
7.1.4. 电动机的发热验算.....	(331)
7.1.5. 求定机车数.....	(332)
7.1.6. 牵引网路.....	(332)
7.1.7. 电能消耗.....	(333)
 附 录	
1. 矿用电力机车控制的新趋向.....	(334)
2. 各型井下矿用架线机车的特点.....	(337)
3. 各型井下矿用蓄电池机车的特点.....	(338)
 文 献 目 录.....	(339)

第 I 部分

架线式电机车

1. 概述

用直流牵引电动机驱动矿山机车几乎得到了普遍的采用,直流供电必须由变电所供给。机车是通过沿轨道上空架设的接触网获取电流的(图1.1),在矿井这意味着接触网是悬挂在巷

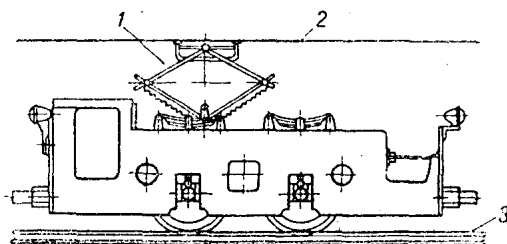


图1.1 架线电机车的供电

1.受电器; 2.架线; 3.钢轨。

道拱顶下面,通常在实践中是把变电所的正极母线连接于架空导线,电流通过受电器流往电动机,然后通过机车车架、车轮和轨道返流到变电所的负极母线,这样接触网便是供电线,而运行轨道则是返流电路了。这种方法适用于电动发电机组供电的系统,但铁壳式汞弧整流器供电,则架空导线应连接于负母线,轨道连接于正母线,矿山架线电机车可由一、二、三台或四台牵引电动机驱动。用于主巷道运输的电机车通常有两台或四台牵引电动机,而集矿机车和调度机车,小型者装备一台电动机较为普遍。

直流牵引电动机通过正齿轮或伞齿轮装置传动车轴,前者较为常见。齿轮传动是必需的,因为矿山机车电动机的速度为 $500-800\text{rev/min}$,折算约为 $8-13\text{rev/sec}$ 。而轮对速度最高大约是 2rev/sec 。用低速牵引电动机直接驱动车轴,对矿山机车来说是不现实的,因为这种电动机的尺寸过大,对于有限空间而言是太大了。

2. 架线电机车的结构

2.1. 车架结构

矿山电机车的车架是用轧制钢或铸钢制造。侧板和端板做成分开的构件,用螺栓和平头铆钉将两者紧固成一刚性的矩形车架(图2.1和2.2)。轴箱置于车架侧板的切口内。车架壁板的厚度可达 100mm 。使用如此厚的钢板并非车架强度所必需,而是考虑到 $5-25\text{吨}$ 的机车需要增加重量。在一些较现代的结构中,车架是焊接的,可是这种车架的主要构件与图2.1所示并无多大差异。侧板是轧制的厚钢板,端板则是用相同厚度甚或更厚一点的铸钢制成,用螺栓连接的车架壁板如图2.3所示。某些机车制造厂的车架是用薄板或厚板做成的桁架式横梁铆接结构(图2.4)。

车架顶一般用钢板覆盖,电动机上方设有铰门窗口,以便于接触车架内侧的机械零件。侧板未开口的车架,车内零件检查受到限制,并降低了车架内侧电动机和电阻器的通风效果。

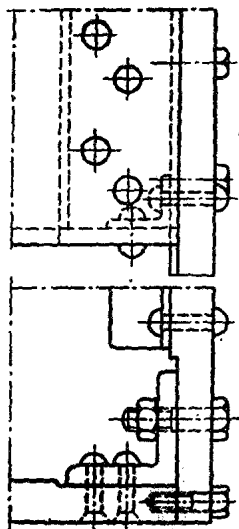


图2.1 主车架端板和侧板的铆钉连接

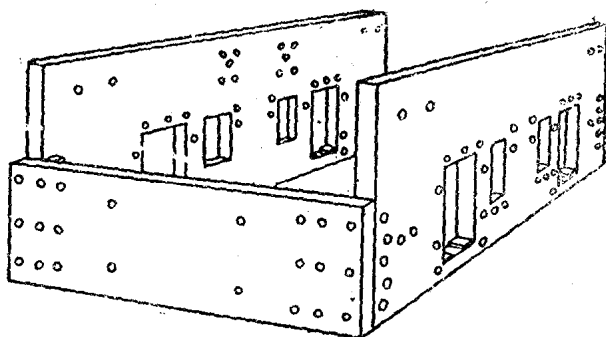


图2.2 矿山机车的主车架装配

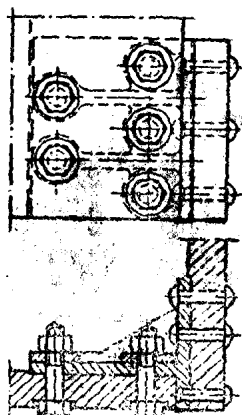


图2.3 机车主车架侧板和端板的螺栓连接

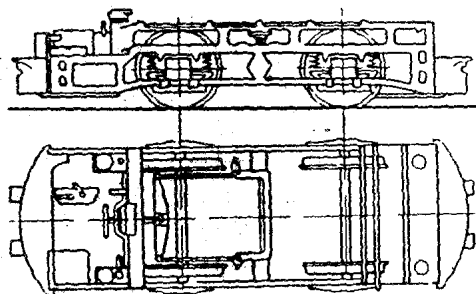


图2.4 机车桁架式结构

可是这样的车架能较好地防护内部零件不遭受外来的损伤。桁架式车架便于检修，能改善通风，且在车轮出轨的情况下便于顶起，防止内部零件进灰和受到外来损伤的保护作用较

差。

悬挂装置设计可以把轮对置于车架内侧(图2.5)或外侧(图2.6)。当轮对装于车架内侧时,可利用轨道的全部宽度来放宽车架,这样即使在窄轨上也有空间容纳较大功率的电动机。另一方面,轮对装于车架外侧的机车,经验证明稳定性较好,欧洲使用的多数机车都是轮对装在内侧的。

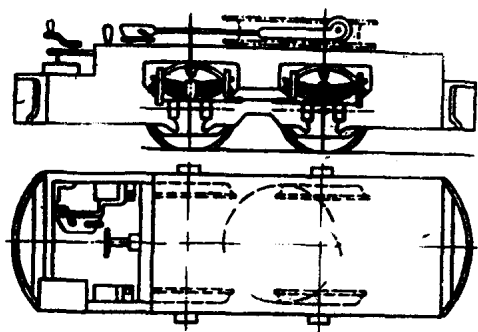


图2.5 机车轮对在车架内侧

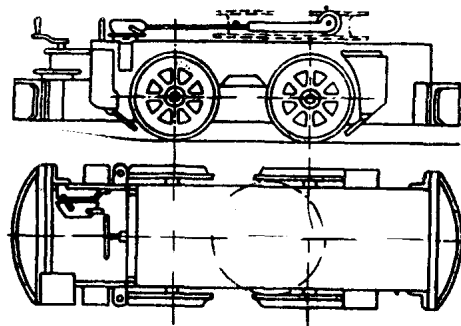


图2.6 机车轮对在车架外侧

至于驾驶室有各种各样的设计,架线电机车一般在一端设有驾驶台,而在另一端则可加设一随车人员座位(图7.17)。现在大多数国家的规程都要求司机和随车人员座位要有防护舱或顶棚。有些机车厂生产有中间驾驶室的机车(图7—46)。

2.2.车钩和缓冲器

缓冲器和车钩装在车架端板上,实践证明弹簧缓冲器最为方便。装有弹簧减震器的两种普通型车钩如图2.7和2.8所示。带木减震器(图2.9)非常简单的缓冲器也还在使用,这种缓冲器由具有连接杆槽的铸钢件1和位于铸钢件两边用薄钢板覆盖的木制减震器2所组成,缓冲器用螺栓固定在车架的两端板上。

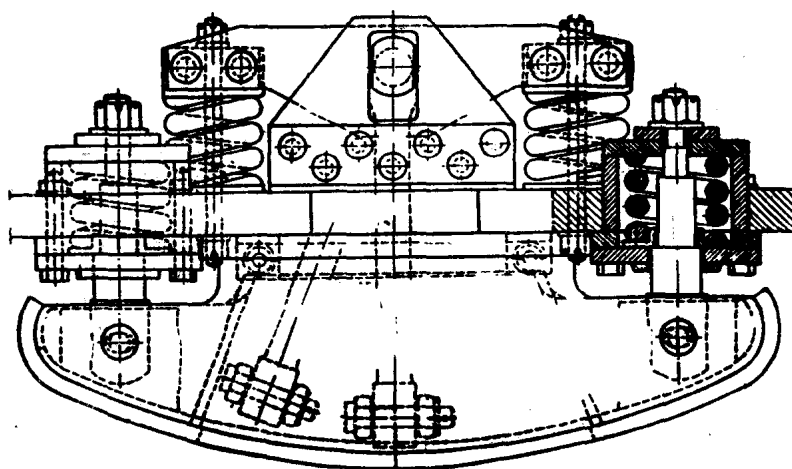


图2.7 弹性缓冲器和连接器装配的横断面图

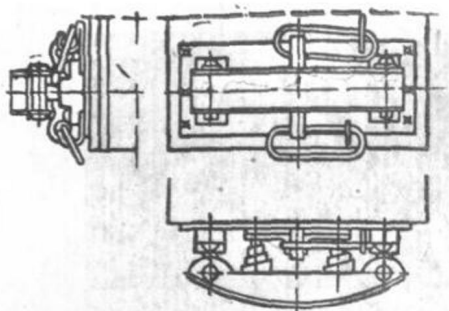


图2.6 弹性缓冲器和联接器装配

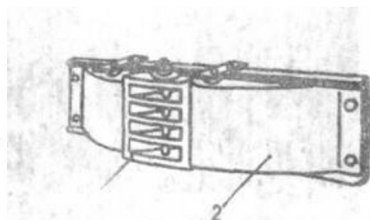


图2.9 带木制减震器的简单弹性缓冲器

1—铸钢件； 2—木制减震器。

矿山机车用的车钩设计最简单，它是由一个普通钢钩环和挂钩组成，挂钩只装备在矿车上。现已采用了较现代化的自动车钩，但是这类车钩的设计相当复杂，它只是用于重型车较为合理。现列举几种自动车钩，如：Sharfenberg型(图2.10)，Muthing型(图2.11)以及在美国和苏联使用的构式(图2.12)。在须起重的场所现正在使用一种带有旋转式联接器的起重箱(图2.13)，这种旋转式连接器容许矿车在不脱离联接的状态下置于自动倾卸装置上卸载，从而可大大地加速卸载过程和列车编组。

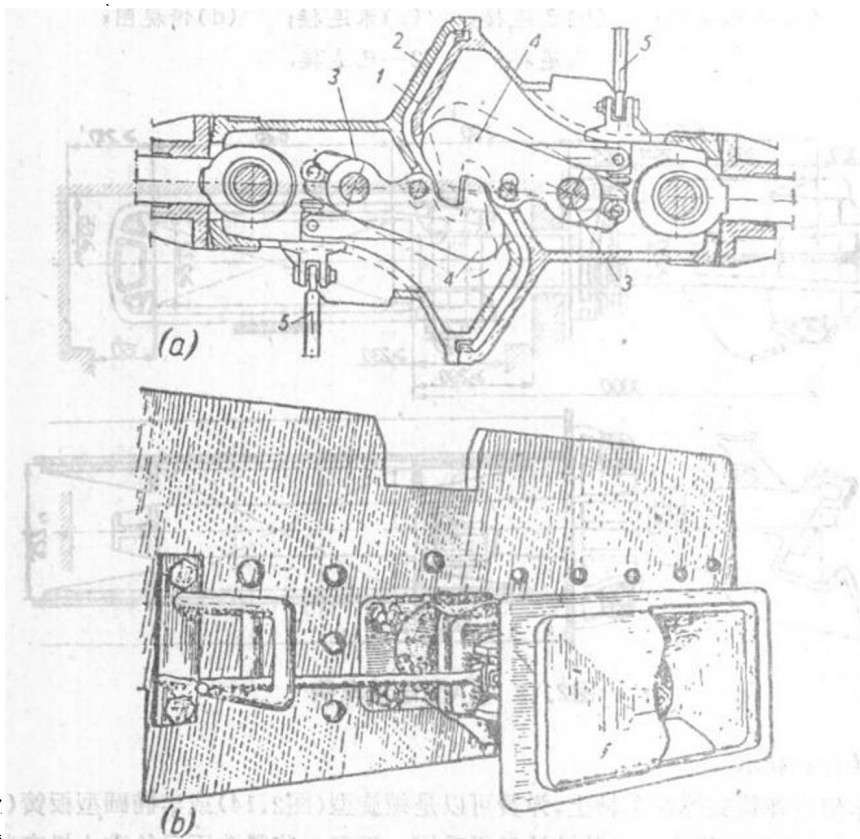


图2.10 Scharfenberg型自动车钩

(a)断面图； (b)外貌图。

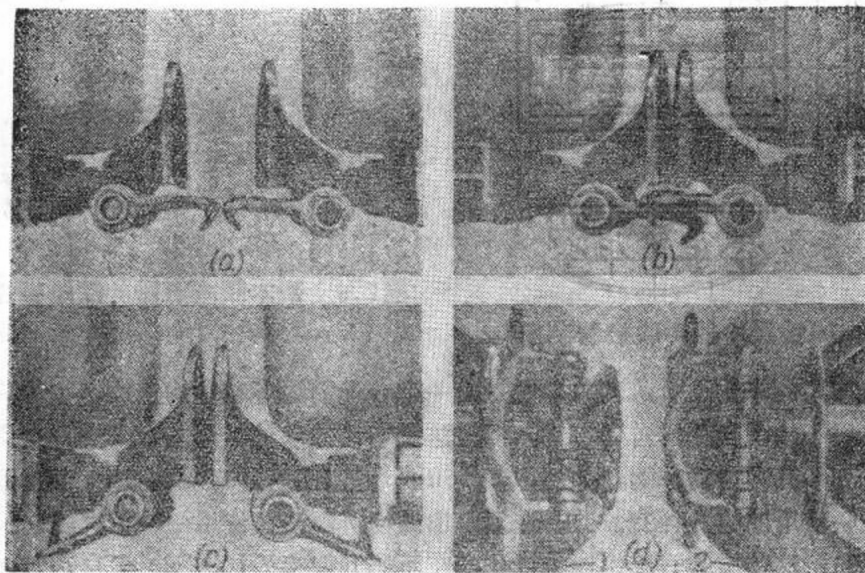


图2.11 Muthing型自动车钩

(a)准备连接; (b)已连接; (c)未连接; (d)俯视图;
1—未连接; 2—已连接。

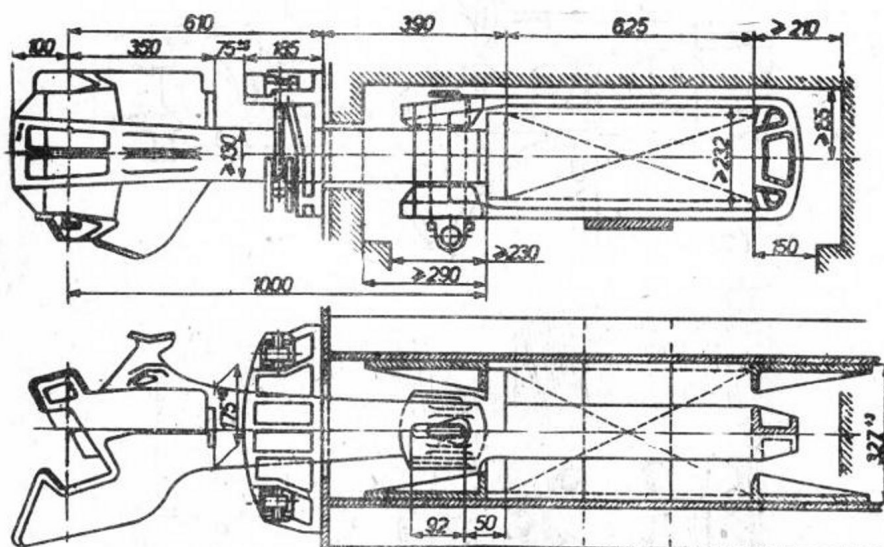
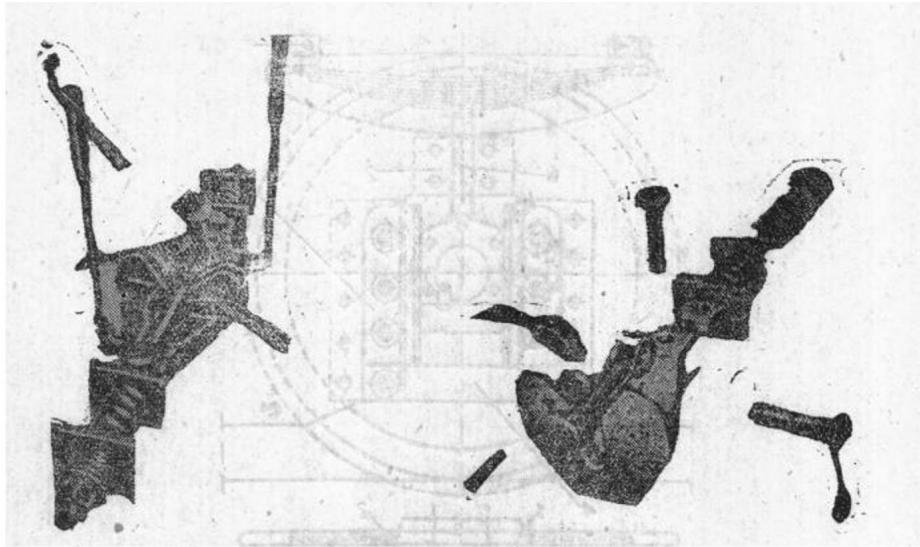


图2.12 SA型自动车钩

2.3.鞍式弹簧和轴承

机车的车架借弹簧支撑在车轴上,弹簧可以是螺旋型(图2.14)或半椭圆型板簧(图2.15和2.16)。目前螺旋弹簧一般为大多数设计者所采用。近来一些制造厂已给矿山机车装配上橡胶垫弹簧,以减小来自轨道的震动。由Bartz公司制造用橡胶弹簧减震的机车如(图2.17)所示。



(a)

(b)

图2.13 英国使用的旋转型车钩

(a)已组装的连接器； (b)已解体的连接器。

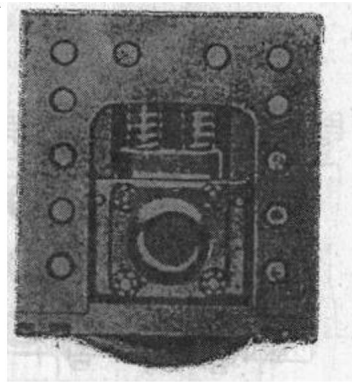


图2.14 矿山机车的螺旋弹簧

弹簧一般装在车架内侧，这样就可使外侧平滑而无凸出部分，半椭圆型弹簧可离轴箱上方一定距离安装(图2.15)，这样弹簧则由导向杆1支撑，导向杆的下端安置在轴承箱上，而其上端则与弹簧相连。导向杆可在导孔内移动，导孔板是用螺钉装在车架的内侧面上。若不采用这种升高型的车架悬挂时，可用柱销直接将弹簧装在轴箱上(图2.16)。

轴箱夹持在导框3(图2.15)之间，且可自由垂直移动，导框系用埋头螺钉固定在车架上。轴箱两侧开有导槽，槽形与保持轴箱定位的导框滑槽相吻合。在安装轴箱的车架开口处底部设有镇定护杆4，用以在掉道的情况下，防止箱轴坠脱。

现代设计的车轴一般具备滚柱轴承(图2.18)，滑动轴承现在已很少用了。

大多数欧洲制造厂家生产的矿山机车是将车架独立悬挂于车轴上，可是美国制造的机车采用均衡悬挂方式却是常见的(图2.19, 2.20和2.21)。图2.19所示是一种具有纵向均衡轴的两轴机车转向架，图2.20是用上述转向架装配而成的四轴机车。

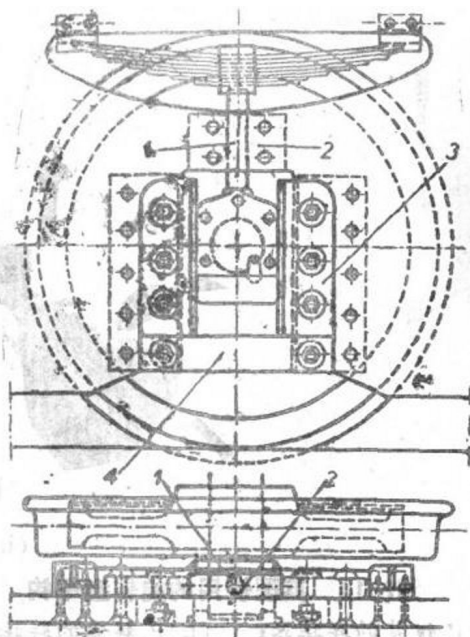


图2.15 矿山机车的叠板弹簧

1—导杆；2—导孔板；3—导框；4—底座护杆。

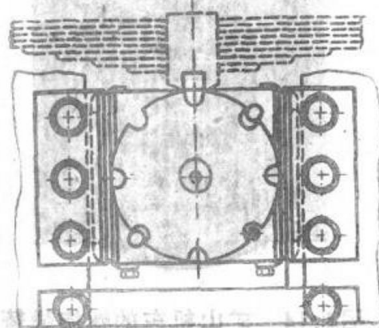


图2.16 机车主轴承箱

带叠板弹簧车轮的横向均衡装置如图2.21。横向均衡梁的支点位于其中心。

纵向和横向均衡的作用在于使得来自全部车轮对钢轨的压力，在任何时候，即使在条件十分恶劣的轨道上都能保持均衡分配。这种机车车架的悬挂型式可免除个别车轮承受过大的负载。

在任何轨道即使铺设和维护都良好，在机车牵引列车时前、后轮的负载总有差异。以机车运行的方向为准，后轮的负载总是比前轮大，当制动时，重量反向转移，在后轮减重的同时前轮重量增大。这种车轮的重量转移，即使精心设计也无法全部消除（见第Ⅲ部分第3和第7章）。

有些矿山机车的悬挂纵向均衡，是采用压缩空气重量转换器为欠重的车轴加载，重量转换器由压缩空气缸操作，可手动或自动控制，自动控制一般由机车的负载电流触发。