

电机工程手册

第 33 篇 工矿电机车

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

73.21073

210

33:2

电机工程手册

第33篇 工矿电机车

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会



机械工业出版社

本篇以工矿电机车为中心,按电机车、牵引电机、牵引电器三部分进行叙述。在内容上将目前普遍应用的直流电机车作为基础,同时介绍了电子技术在电机车上的应用及发展趋向;此外也把有关的牵引计算要点专列一章。全篇共分六章。

本篇可供广大机电工人、技术人员和干部在设计、制造、技术革新工作中以及使用、维修工矿电机车部门查阅参考。

电机工程手册

第33篇 工矿电机车

(试用本)

湘潭牵引电气设备研究所 主编

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

上海商务印刷厂印刷

新华书店上海发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/16·印张 5 1/4·字数 144 千字

1979年4月上海第一版 1979年4月上海第一次印刷

印数: 00,001—34,000·定价: 0.43 元

统一书号: 15033·4611

编 辑 说 明

(一)我国自建国以来,机械工业在毛主席的革命路线指引下,贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针,取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验,同时采用国外先进技术,加强机械工业科学技术的基础建设,适应实现“四个现代化”的需要,我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二)这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用,也可供教学及其他有关人员参考。

(三)这两部手册是综合性技术工具书,着重介绍各专业的理论基础,常用计算公式,数据、资料,关键问题以及发展趋向。在编写中,力求做到立足全局,勾划貌概,反映共性,突出重点。在内容和表达方式上,力求做到深入浅出,简明扼要,直观易懂,归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时,《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成,构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分,共七十九篇;《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分,共五十篇。

(四)参加这两部手册编写工作的,有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员,更为广泛。许多地区的科技交流部门,为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、

审查、定稿各个环节中,广泛征求意见,发挥了广大群众的智慧和力量。

(五)为了使手册早日与读者见面,广泛征求意见,先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验,试用本在内容和形式方面,一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证,提出批评和建议,以便今后出版合订本时加以修订。

(六)本篇是《电机工程手册》第33篇,由湘潭牵引电气设备研究所主编,湘潭电机厂参加编写,并有上海铁道学院等单位协助审,稿在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

目 录

编辑说明
常用符号表

第1章 概 述

1 分类	33-1
2 基本组成	33-1
3 简要工作原理	33-1
4 工矿电机车的工作条件	33-3

第2章 牵 引 计 算

1 作用在列车上的力	33-4
2 粘着重量、牵引力和粘着系数	33-4
3 列车的运行阻力	33-5
3.1 基本运行阻力	33-6
3.2 附加运行阻力	33-7
4 制动力与减速度	33-7
5 车辆总重、电机车粘重及功率的确定	33-8
5.1 车辆总重的计算	33-8
5.2 电机车粘重的计算	33-9
5.3 电机车功率的计算	33-9
5.4 计算举例	33-9

第3章 直 流 电 机 车

1 工作特性	33-11
1.1 牵引特性	33-11
1.2 起动特性	33-11
1.3 电制动特性	33-12
2 电气线路	33-13
2.1 主电路	33-13
2.2 控制电路	33-16
2.3 起动与调速	33-16
2.4 电制动	33-18
2.5 蓄电池电机车的蓄电池容量的确定	33-19
3 辅助设备的选择	33-20
3.1 电动空气压缩机组	33-20

3.2 电动通风机组	33-20
4 机械部分	33-20
4.1 转向架构架	33-20
4.2 弹簧悬挂装置	33-21
4.3 轮对与轴箱	33-21
4.4 牵引齿轮	33-21
4.5 基础制动装置	33-23
5 空气管路系统	33-23
5.1 空气制动系统	33-25
5.2 辅助管路系统	33-26
6 电机车的试验	33-26
7 电机车的运行和维护要点	33-26
7.1 电机车操纵要点	33-26
7.2 电机车维护要点	33-29
7.3 电机车的常见故障及处理方法	33-29

第4章 电子技术在电机车上的应用

1 脉冲调速直流电机车	33-30
1.1 脉冲调速原理	33-31
1.2 脉冲调速方案	33-31
1.3 斩波器(直流断续器)	33-32
2 相控调压交流电机车	33-34
2.1 晶闸管相控调压系统	33-34
2.2 晶闸管桥式整流电路	33-35

第5章 牵 引 电 机

1 牵引电机的基本技术要求	33-37
2 直流串励牵引电动机	33-38
2.1 性能特点	33-38
2.2 电磁设计要点	33-38
2.3 结构设计特点	33-42
3 脉流串励牵引电动机	33-43
3.1 脉流对串励牵引电动机的影响	33-44
3.2 脉流牵引电动机上改善换向的措施	33-44
4 直流工矿电机车用辅助电机	33-45
5 牵引电机的关键制造工艺	33-45

5.1 换向器制造	33-45	3.2 电磁阀	33-67
5.2 牵引电机绝缘工艺	33-48	3.3 直流电磁接触器	33-68
5.3 电枢焊接工艺	33-51	3.4 司机控制器	33-69
6 直流或脉流牵引电机的试验	33-52	3.5 反向器	33-70
6.1 检查和试验项目	33-52	3.6 电阻器	33-71
6.2 直流牵引电动机的试验电路	33-54	3.7 受电器	33-72
6.3 脉流牵引电动机的试验电路	33-54	3.8 自动电压调整器和直流变压器	33-74
6.4 牵引电动机的转速特性的测定	33-55	4 牵引电器的试验	33-74
第6章 牵引电器		4.1 检试项目	33-74
1 牵引电器的基本技术要求	33-56	4.2 耐气压和气密性试验	33-75
2 牵引电器的主要部件	33-60	4.3 振动和冲击试验	33-75
2.1 触头系统	33-60	4.4 动作值的测定	33-76
2.2 灭弧装置	33-62	4.5 接通能力与分断能力试验	33-76
2.3 传动机构	33-64	附录 部分国产直流工矿电机车主要	
3 几种主要牵引电器	33-66	技术参数	33-77
3.1 直流电空接触器	33-66	参考文献	33-78

常用符号表

a ——加速度 m/s^2	U ——牵引电动机端电压 V
a ——牵引电动机电枢绕组并联支路对数	U_m ——接触网电压 V
F ——电机车的牵引力 kgf	U_{max} ——最大工作电压 V
F_{k1} ——触头初压力 kgf	U_{min} ——最小工作电压 V
F_{k2} ——触头终压力 kgf	U_n ——额定电压 V
f ——频率 Hz	U_j ——牵引电机的对地绝缘电压 V
f ——电机车单台电机所产生的轮周制动力 kgf	U_0 ——绝缘介电强度试验电压 V
I ——牵引电动机电枢电流 A	v ——电机车运行速度 km/h
I_n ——额定电流 A	w_0 ——列车的单位基本运行阻力 kgf/tf
N ——牵引电动机电枢总导体数	w'_0 ——电机车的单位基本运行阻力 kgf/tf
n_{max} ——牵引电机的最大工作转速 r/min	w''_0 ——车辆的单位基本运行阻力 kgf/tf
n_n ——牵引电机的额定转速 r/min	w_i ——电机车或车辆的单位坡道阻力 kgf/tf
P ——电机车的粘着重量 tf	w_q ——起动时的单位附加阻力 kgf/tf
p ——牵引电动机极对数	w_r ——电机车或车辆的单位弯道阻力 kgf/tf
ΔP ——牵引电动机的功率损耗 W	η_0 ——电机车的传动装置效率
Q ——车辆总重 tf	ϕ ——牵引电动机每极有效磁通量 Wb
Σr ——牵引电动机电枢电路中所有绕组的总电阻 Ω	ψ ——粘着系数

第1章 概 述

工矿电机车是实现矿山铁道运输机械化的牵引电气设备^①之一。它主要用于煤炭、冶金、石油、化工等部门中运量大的矿山和工厂,同时也是大型工程如隧道开掘、农田基本建设等实现机械化运输的重要设备。

在工矿铁道运输中,电机车与电传动内燃机车、蒸汽机车相比,具有较多的优点。一般来说,如电机车的牵引力大,爬坡能力强(线路坡度可达30%);效率也较高,能节省燃料和降低运输成本。它还能实行电制动;且无废气、废渣污染环境。但须指出:直流架线式电机车会使处在轨道邻近的地下金属器材遭到腐蚀;应用电子元件控制的交流电机车,则存在使电网的功率因数变低,供电电流中的高次谐波成分对通讯产生干扰等缺点。此外,在采用架线式电机车时,还需建造牵引变电所、接触网等设施,因此它的建设期较长,耗用有色金属较多,投资也较大。

1 分 类

工矿电机车按供电制的不同,可分为直流电机车和交流电机车两大类。在工矿铁道运输中,大多采用直流电机车。其中,井下矿多使用窄轨(轨距分600、762、900mm)蓄电池式电机车(2.5~12吨)和架线式电机车(1.5~20吨);露天矿多使用准轨(轨距为1435mm)架线式电机车(75~150吨),少数使用窄轨蓄电池式、窄轨架线式和准轨蓄电池式电机车。

2 基本组成

电机车由电气、机械和空气管路系统^②三大部分组成,如图33.1-1和图33.1-2所示。

电机车的电气部分包括:牵引电机、牵引电器及电气线路。

(1) 牵引电机又分牵引电动机(驱动电机车用)和辅助电机(驱动空气压缩机、通风机等用的电动机及电动发电机组)。

(2) 牵引电器主要包括:受电器、断路器、电阻

器、接触器、反向器、司机控制器和继电器等。

(3) 电气线路是将牵引电机和牵引电器在电的方面连接起来的电路,它包括主电路、辅助电路和控制电路。通过电气线路,控制电机车的启动、调速、制动、转换方向,以及保护和监视电机车的正常运行。

机械部分包括转向架及车体。转向架一方面承担车体及所装设备的重量,将它们均匀地分配到各个轮对上;另一方面传递牵引力或制动力。

空气管路系统包括空气制动系统和辅助管路系统。前者用来操纵基础制动装置;后者将压缩空气供给车上的电气设备和撒砂装置等。

3 简要工作原理

当电机车上的牵引电动机从接触网或车上的蓄电池获得电能(图33.1-3)时,产生出转矩 M' ,经传动齿轮传到动轮上成为转矩 M , M 可用一力偶 P_1 、 P'_1 来代替(如图33.1-4)。在任一瞬间,施于C点的力 P_1 力图使车轮向左移动,这时,由电机车重量在动轮与钢轨间产生的粘着力(摩擦力) F 是它的反作用力。因此,对机车的作用来说,两者是互相平衡而抵销的。只有通过轮轴中心O的力 P'_1 没有被平衡,它成为电机车的牵引力,使电机车的动轮围绕瞬时滚动中心C转动,于是列车也就向前运行。

由于粘着力 F 的存在是形成牵引力 P'_1 的先决条件,而它又与 P'_1 方向相同、数值相等,因此:为了计算方便起见,通常就把作用于轮周C点的反作用力 F 称作电机车的牵引力。

电机车的启动,是通过逐步加大牵引电动机的端电压,以提高电动机的转矩,增大电机车的牵引力,克服动轮与钢轨之间的阻力,而不断加速前进的。

① 牵引电气设备除工矿电机车外,还有干线铁道运输用的干线电机车、电传动内燃机车和电传动燃气轮机车,城市交通用的有轨和无轨电车、地下铁道电动车辆,以及金属矿山无轨运输用的电动轮自卸车等等。

② 10吨及以下的电机车没有空气管路系统。

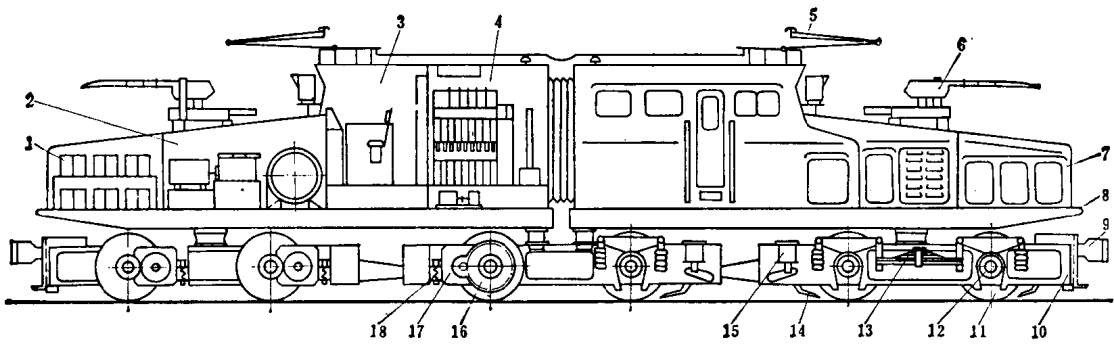


图 33.1-1 150 吨准轨直流架线式露天矿用电机车

1—电阻室 2—辅机室 3—司机室 4—高压室 5—正受电器 6—旁受电器 7—车体 8—底架 9—车钩
10—转向架构架 11—轮对 12—轴箱 13—弹簧悬挂装置 14—撒砂装置 15—基础制动装置 16—齿轮
传动装置 17—牵引电动机 18—牵引电机悬挂装置

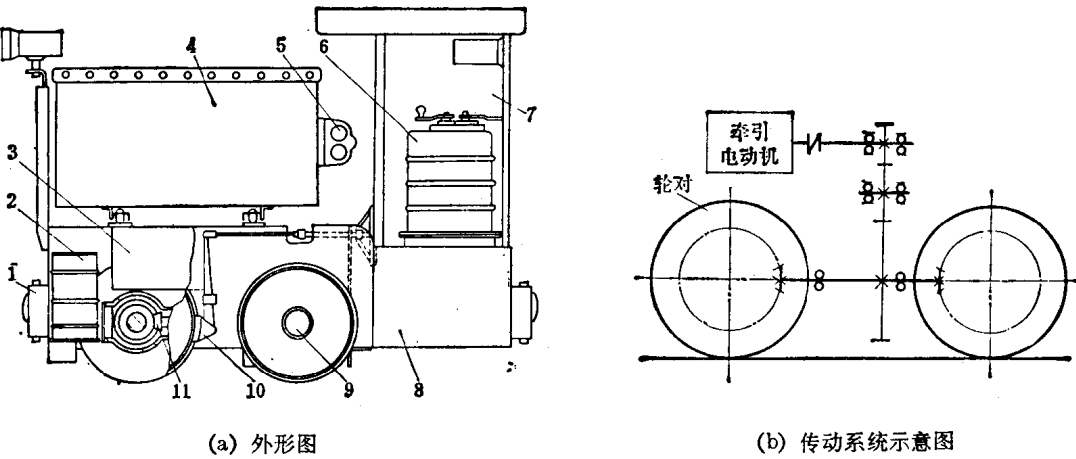


图 33.1-2 2.5 吨窄轨蓄电池式井下矿用安全型电机车

1—连接器 2—起(制)动电阻 3—牵引电动机 4—蓄电池箱 5—插肖插座 6—控制器 7—司机室
8—车体 9—轮对 10—制动装置 11—齿轮传动装置

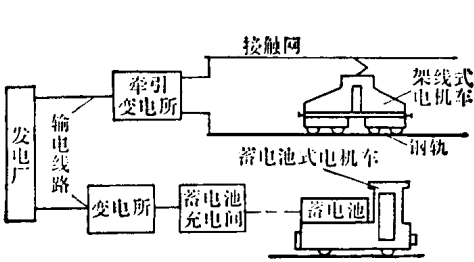


图 33.1-3 电机车供电示意图

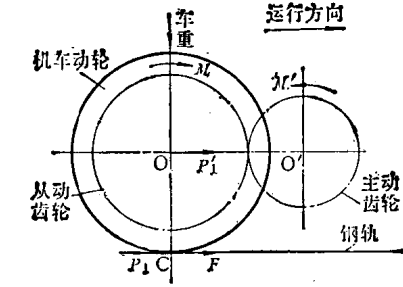


图 33.1-4 牵引力形成示意图

电机车的调速,可采取变换牵引电动机的串并联组合、改变电动机的端电压以及调节它的励磁强弱等办法来实现。

当运行中的列车需要停车或减速时,首先将电机车的电源切断,然后采用电制动或机械制动产生制动力对列车进行制动。

4 工矿电机车的工作条件

(1) 铁道条件 矿山铁道路基比较差,弯道半径小(如2.5吨电机车允许通过的最小弯道半径为5米;150吨电机车为80米),且轨道上常有矿石影响行车,使电机车受到剧烈的冲击和振动。

此外,露天矿铁道的坡度较大(一般为20~30%),折返线多,要求有较大的牵引力,需要经常改变电机车的行车方向。

(2) 接触网条件 工矿电气化铁道常使用临时接触网,电机车受电条件差;尤其是露天矿的装卸区只能使用旁弓受电,其接触网条件更差。因此受电器与接触网常常会产生接触不良,使电机、电器受到有害的电流冲击。

在井下矿遇到不便架线的地方,尚需使用自备能源的电机车或电缆式电机车。

(3) 电源条件 由于牵引变电所的负载变化大,同时电机车与变电所之间的距离变动也大,致使接触网电压波动范围大(直流电力牵引电压波动范

围规定为额定值的67~120%,见表33·1-1)。为此,牵引电机、电器上必须采取适当措施,以适应这种严重的电压波动。

(4) 环境条件 露天矿环境中的空气温度和湿度变化大,并常有雨、雪、风砂、导电尘埃等侵袭;井下矿湿度很大,铁道上有积水。电机车应能适应这种恶劣的环境条件。

在瓦斯含量较高的场所,则尚需使用防爆型电机车。

(5) 限界条件 工矿电机车的外形尺寸须符合铁道运输限界的规定;井下电机车则受坑道断面和罐笼尺寸的限制。

(6) 运行条件 电机车须能适应频繁起动和制动的要求。

由此可见,工矿电机车的工作条件是相当恶劣的,在产品设计和制造上都必须适应这些要求,而在使用维护上应尽力改善这些条件。

电机车作为工矿铁道运输工具至今已有几十年的历史。随着电子技术的广泛应用,工矿电机车在技术上又有了显著的提高,如直流电机车采用脉冲调速、交流电机车采用相控调压以后,可获得无级、无触点并近于无能耗调速的效果,同时还有利于实现电机车的距控和遥控,以便在特别高温、多尘埃、带有放射性物质等场所中进行无人操纵运输。

随着露天矿向深部开采和采掘量的增加,矿山铁道运输的坡道、运距和运量都需要相应增大,因此要求采用具有更大牵引力的电机车。这样,就必须提高接触网的供电电压。但是,直流电机车当供电电压超过3000伏时,直流牵引电动机的换向及直流接触器的断弧都将发生困难,电机车的技术经济指标也将降低。若采用交流供电的电机车,则不但可提高电机车的功率,还可节约矿山建设的投资和减少接触网的电能损耗,而取得较好的技术经济效益。

表 33·1-1 直流电力牵引电压系列

(参见 GB999-67)

牵引变电所母线上的电压 V	电机车受电器上的电压 V		
	最小值	额定值	最大值
3300	2000	3000	3600
1650	1000	1500	1800
825	500	750	900
600	375	550	660
275	170	250	300

第2章 牵引计算

牵引计算是对列车在起、运行和制动工况下的各种作用力的计算。其目的是为了在给定的铁道区段条件下根据要求牵引的车辆总重，来正确地选择电机车的重量和功率；或根据实际的铁道区段条件，来确定现有的电机车所能牵引的车辆总重。

1 作用在列车上的力

当列车在铁道上运行时，作用在列车上的外力有牵引力、制动力及阻力。图 33·2-1 为列车在平直道上牵引时的外力示意图。

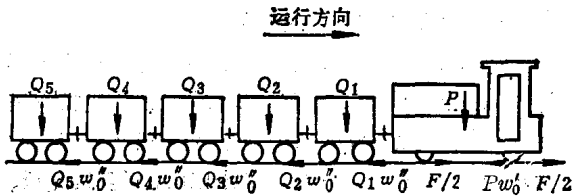


图 33·2-1 列车在平直道上牵引时的外力示意图

P —电机车粘着重量 F —电机车牵引力
 $Q_1, Q_2, \dots, Q_5$ —各车辆重量 w_0 —电机车每吨重量的基本运行阻力
 w_0 —车辆每吨重量的基本运行阻力

列车在牵引、惰行、制动各工况中，作用在列车上各力的关系式为：

$$\pm F = (P + Q)[102\Theta(1 + \gamma)a + \Sigma w] \quad \text{kgf} \quad (33 \cdot 2 - 1)$$

令 $m = 102(1 + \gamma)(P + Q)$

$$W = (P + Q)\Sigma w$$

则式(33·2-1)可化简为

$$\pm F - W = ma \quad \text{kgf}$$

式中 P ——电机车的粘着重量 tf

Q ——车辆总重 tf

F ——当列车在牵引时， F 为牵引力，采用正号；惰行时， F 为零；制动时， F 为制动力，采用负号 kgf

Σw ——列车的单位运行阻力之和 kgf/tf

W ——列车的总运行阻力 kgf

$(1 + \gamma)$ ——旋转部分的惯性系数 Θ (参见表 33·2-9)

a ——列车加速度。当 $a > 0$ 时，列车加速； $a < 0$ 时，列车减速 m/s^2

列车在各运行情况下的作用力的分析，见表 33·2-1。

2 粘着重量、牵引力和粘着系数

a. 粘着重量 在电机车动力轮对(简称动轮对)下水平轨道面上所承受电机车重量的垂直压力，叫电机车的粘着重量，简称粘重。由于一般电机车的轮对都是具有动力的，因而电机车的粘重即等于电机车的总重量。电机车在运行时，各轮对的粘重并不相同，如在牵引工况下，前轮粘重减少，而后轮粘重增加。

b. 牵引力和粘着系数 如在第 1 章“简要工作原理”中所述，电机车的牵引力是借助钢轨与动轮间的粘着力而形成的。如牵引力超过粘着力时，轮轨间的粘着状态被破坏，动轮对即绕自己的轴空转，电机车不能前进。因此，任一动力轮对上的牵引力，都不应超过该轮对的粘着力。对整台电机车而言，电机车的总牵引力不可超过它的总粘着力，如式(33·2-2)所示，否则就不能使电机车往前行走。

$$F \leq F_n = 1000\psi P \quad \text{kgf} \quad (33 \cdot 2 - 2)$$

式中 F ——电机车的牵引力 kgf

F_n ——电机车的粘着力 kgf

ψ ——粘着系数(见表 33·2-2)

因此，电机车的最大牵引力 $F_{\max}$ 为

$$F_{\max} = 1000\psi P \quad \text{kgf} \quad (33 \cdot 2 - 3)$$

电机车的最大牵引力主要受粘着系数的限制，此外还受牵引电动机的机械强度、换向和发热等条件的限制。

① 列车包括电机车和由它牵引的车辆(井下矿的车辆又称矿车)。

② 将电机车和车辆的重量(tf)化为质量(以 kgfs^2/m 计)时，应乘以系数 $\frac{1000}{g} = \frac{1000}{9.81}$ ，即 102。

③ 车辆和电机车的轮对、牵引电动机的电枢等为旋转部分。由于旋转质量的存在，不但产生线加速度需要作用力，而且角加速度也需要作用力。因此，在加速度上的这两方面所需力的反应，也可看作是列车质量的相对增大。

表 33.2-1 作用在列车上的力的分析

列车运行情况	列车上作用力	牵引力(或制动力)的产生	列车运行状态	作用力简图
牵引 (起动或运行)	牵引力和阻力 $F-W=ma$	牵引电动机通电后,产生转矩,带动电机车轮对转动	$F-W>0, a>0$ (加速起动或加速运行) $F-W=0, a=0$ (等速运行) $F-W<0, a<0$ (减速运行)	
惰行	阻力 $-W=ma$	牵引电动机断电后,列车靠惯性惰行	$W>0, a<0$ (减速惰行, 一般情况) $W=0, a=0$ (等速惰行) $W<0, a>0$ (加速惰行 ①)	
制动	制动力和阻力 $-F-W=ma$	电制动时牵引电动机作发电机运转, 将列车的动能变为电能, 从而产生制动力; 或用机械制动的方法, 在列车轮对上加制动力	$-F-W<0, a<0$ (减速制动, 一般情况) $-F-W=0, a=0$ (等速制动 ①) $-F-W>0, a>0$ (列车加速 ①, 此时应加大制动力, 以免发生危险)	

① 当列车下坡时, 坡道阻力 W 为负 (见本章 3.2.1), 且绝对值大于其他运行阻力之和, 致使总运行阻力为负值。此时, 总运行阻力的方向与列车运行方向相同 (与图 33.2-1 及本表插图所示的阻力方向相反)。

表 33.2-2 直流电机车的粘着系数 ψ

电机车类型	不撒砂起动时	撒砂起动时	运 行 时		制 动 时
			在固定线上	在临时线上	
露天准轨电机车	0.22~0.28	0.3~0.33	0.22	0.20	0.17~0.20
露天窄轨电机车	0.2	0.25~0.27	0.20	0.18	0.17~0.20
井下电机车	0.2	0.25	0.15~0.20	0.15~0.12	0.17~0.20

在轨道正常情况下, 直流电机车的粘着系数值见表 33.2-2。

对于速度较高的露天准轨电机车, 粘着系数值随速度而变化的关系可用下列经验公式表示:

$$\psi = \frac{9}{v+42} + 0.116 \quad (33.2-4)$$

粘着系数值主要与列车的运行速度、轨道表面状况 (如轨道上有无冰雪、雨水、油脂、落叶和泥土等) 有关; 此外, 钢轨和轮缘的材料、钢轨和轮缘的磨

损程度, 以及是否通过弯道或道岔等情况, 对它也有影响。由于因素复杂, 难以用公式精确计算, 所以粘着系数常用实验方法获得。

3 列车的运行阻力

列车的运行阻力常以单位运行阻力, 即每吨车重的阻力 (kgf/tf) 来表示。各种运行阻力的说明见表 33.2-3。

表 33-2-3 列车的运行阻力

种 类	单位运行阻力符号	简 要 说 明
基本运行阻力	电机车的 w'_0	指在平直铁道上运行时的阻力, 它包括车轮轮箍对钢轨的滚动摩擦阻力和滑转摩擦阻力, 车轮冲击钢轨接缝时所发生的阻力, 以及轴颈在轴承中的摩擦阻力等
	车辆的 w''_0	
	列车的 w_0	
附加运行阻力	坡道的 w_i	列车沿上坡道运行时, 为克服列车重量的平行于坡面的分力所需的力(沿下坡道运行时, 此分力本质上不是阻力而是动力)
	弯道的 w_r	列车沿弯道运行时, 由于车轮滑行而引起的纵向滑动摩擦力
	起动时的 w_q	列车长时间停车后再起动的瞬间, 轴承是在干摩擦状况下工作而引起的附加阻力

注: 列车单位运行阻力之和 $\Sigma w = w'_0 + w_i + w_r + w_q$ 。
列车的总运行阻力 $W = (P + Q) \Sigma w$ 。

3.1 基本运行阻力

3.1.1 电机车的单位基本运行阻力 w'_0

(1) 露天准轨电机车的单位运行阻力 w'_0 可按下列经验公式计算:

电机车运行时

$$w'_0 = 2.4 + 0.007P + 0.0013v^2 \quad \text{kgf/tf} \quad (33.2-5)$$

电机车惰行时

$$w'_0 = 5 + 0.007P + 0.0013v^2 \quad \text{kgf/tf} \quad (33.2-6)$$

当 $v < 10\text{km/h}$ 时, 应按 $v = 10\text{km/h}$ 计算。

(2) 露天窄轨电机车的单位运行阻力 w'_0 可按表 33-2-4 查得。

表 33-2-4 露天窄轨电机车的 w'_0 kgf/tf

电机车粘重 tf	1.5	3	7	10	14	20
固定线	12	10	8	7	6	5
临时线	18	15	12	10	9	7

(3) 井下矿用电机车的单位运行阻力 w'_0 可按下列经验公式计算:

$$w'_0 = 3 + 0.3 \frac{A}{P} \left(\frac{v+12}{100} \right)^2 \quad \text{kgf/tf} \quad (33.2-7)$$

式中 A ——电机车最大的横断面面积 m^2
当 $v < 10\text{km/h}$ 时, 应按 $v = 10\text{km/h}$ 计算。

3.1.2 车辆的单位基本运行阻力 w''_0

露天准轨和窄轨矿用车辆的单位运行阻力 w''_0 , 可参照表 33-2-5 和表 33-2-6 选取数值。

表 33-2-5 露天准轨矿用自翻车辆的单位运行阻力 w''_0 kgf/tf

四轴自翻车	重载车辆	$w''_0 = 2.9 + 0.026v$	左列经验公式中, 当 $v < 10\text{km/h}$ 时, 均应按 $v = 10\text{km/h}$ 计算
	空车辆	$w''_0 = 3 + 0.035v$	
六轴自翻车	重载车辆	$w''_0 = 3.6 + 0.015v$	
	空车辆	$w''_0 = 4.4 + 0.03v$	

表 33-2-6 窄轨矿车的单位运行阻力 w''_0 kgf/tf

矿车容积 M^3		0.75	1.2	2	3.5	4	6	10
固定线	空车	11	10	9	8	8	6.5	5.5
	重载车	9	8	7	6	6	5	3.5
临时线	空车	17	15	14	12	12	10	9
	重载车	13	12	11	10	10	7	6

注: 上述数值系对车轮轮对用滚动轴承时而言, 如用滑动轴承时, 应为上列数值的 1.5 倍。

3.1.3 列车的单位基本运行阻力 w_0

$$w_0 = \frac{w'_0 P + w''_0 Q}{P + Q} \quad \text{kgf/tf} \quad (33.2-8)$$

当 $Q \gg P$ 时, 可令 $w_0 = w''_0$ 。

由于工矿运输的列车运行速度一般较低, w_0 可

作如下粗略假定:

(1) 露天准轨矿用列车在固定线运行时, $w_0 = 4 \sim 5$ kgf/tf; 在临时线运行时 $w_0 = 6 \sim 8$ kgf/tf。

其中, 重列车取较低值, 空列车取较高值。

(2) 井下运输列车的 w_0 值可按表 33-2-7 选取。

表 33-2-7 井下运输列车的
单位运行阻力 w_0 kgf/tf

矿车容积 m^3	0.5	0.7~1.0	1.2~1.5	2	4	10
空列车	11	10	9	7	6	5
重载列车	9	8	7	6	5	4

注: 上述数值系对车轮轮对用滚动轴承时而言, 如用滑动轴承时, 应为上列数值的 1.5 倍。

3.2 附加运行阻力

3.2.1 列车的单位坡道阻力 w_i

$$w_i = \pm i \text{ kgf/tf} \quad (33.2-9)$$

式中 i ——铁道的坡度 %

若列车的重量为 P' 吨。当电机车(或列车)上坡时, P' 可分解成二个分量, 一个是垂直于路面 AB 的分量, 一个是平行于 AB 的分量(见图 33-2-2)。平行于 AB 的分量为 $P' \sin \alpha$, 与运行方向相反, 即成为坡道阻力, 以 kgf 为单位时, $W_i = 1000 P' \sin \alpha$ 。

因此单位坡道阻力 $w_i = \frac{W_i}{P'} = 1000 \sin \alpha$ (kgf/tf)。

坡道与水平面夹角的正切称为这段坡道的坡度, 即 $i = \tan \alpha$, 坡度常以 % 表示, 即得 $i = \tan \alpha \cdot 1000\%$ 。铁道的坡度都很小, 角度不超过 3° , 因此 $\sin \alpha$ 可用 $\tan \alpha$ 来代替, 而上式可写成 $w_i = 1000 \tan \alpha = i\%$ 。此即列车的单位坡道阻力以 kgf/tf 计时, 在数值上等于以千分数表示的坡度值。当电机车(或列车)下坡时, $P' \sin \alpha$ 与运行方向相同, 因此它在本质上不是

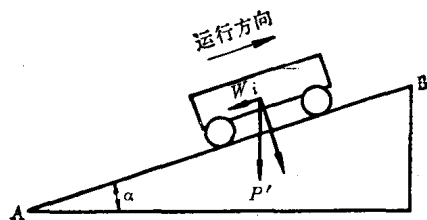


图 33-2-2 坡道阻力示意图

阻力, 而是使电机车(或列车)运行的力。但为了便于进行计算, 仍将因坡道而产生的附加力都当作阻力, 只是采用不同的正负符号。当上坡时, 坡道阻力为正值; 下坡时, 坡道阻力为负值。

3.2.2 电机车或车辆的单位弯道阻力 w_r

$$\text{准轨时} \quad w_r = \frac{700}{R} \text{ kgf/tf} \quad (33.2-10)$$

$$\text{窄轨时} \quad w_r = \frac{0.35b}{R} \text{ kgf/tf} \quad (33.2-11)$$

式中 R ——弯道半径 m

b ——轨距 mm

上述两经验公式适用于弯道长度 l_r 大于或等于列车长度 l_0 的情况。若弯道长度小于列车长度, 则单位弯道阻力应按下式修正:

$$w'_r = w_r \frac{l_r}{l_0} \text{ kgf/tf} \quad (33.2-12)$$

3.2.3 起动时的单位附加阻力 w_q

(1) 准轨时

对滑动轴承

$$w_q = \frac{142}{7+q} \text{ kgf/tf} \quad (33.2-13)$$

对滚动轴承

$$w_q = c \frac{28}{7+q} \text{ kgf/tf} \quad (33.2-14)$$

式中 q ——每轴荷重 tf

c ——计算系数, 按下表选用:

车辆数	1	2	3	4	5	6	≥ 7
计算系数 c	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0

(2) 窄轨时

$$w_q = 0.5 w'_q \text{ kgf/tf} \quad (33.2-15)$$

4 制动力与减速度

制动方式有机械制动和电制动两种, 此处叙述机械制动, 电制动见本篇第 3 章 2.5。

a. 制动力的限制 利用闸瓦紧压轮箍踏面以产生制动力, 是现在列车上最普遍使用的制动方法。若制动力超过粘着力, 将导致车轮与钢轨间的粘着破坏, 从而引起车轮停止转动而变为抱死滑行, 此时的制动作用反而急剧降低, 制动力只等于车轮与钢

轨间的滑动摩擦力。为了避免抱死车轮,对于一套制动轮对而言,应满足下式要求:

$$f = K\varphi < G\psi \quad \text{kgf} \quad (33.2-16)$$

式中 f ——制动力 kgf

K ——制动闸瓦加于某轴轮缘的总压力 kgf

φ ——闸瓦与轮缘间的摩擦系数

G ——制动轮对的轴荷重 kgf

b. 闸瓦与轮缘间的摩擦系数 下列情况都可使闸瓦与轮缘间的摩擦系数降低: 制动的列车速度过高时, 摩擦面潮湿或沾油时, 摩擦面磨光和温度增高时, 闸瓦加于轮缘上的单位压力增高时, 以及制动闸瓦的材料硬度太大时, 等等。

由于工矿用电机车的运行速度一般较低, 可采取摩擦系数近似为 0.2。

c. 减速度 工矿运输中列车在水平道上制动时, 常用的平均减速度值为 $0.18 \sim 0.22 \text{ m/s}^2$ 。

d. 制动距离 制动距离 s 是电机车从开始制动时初速 v_0 至末速为零时所经过的距离, 它为准制动距离 s_0 和实际制动距离 s_a 二部分之和。

$$s = s_0 + s_a = \frac{v_0 t_0}{3.6} + \sum_{n=1}^m \frac{4.17(v_n^2 - v_{n+1}^2)}{f_0 + w_0 + w_r \pm w_i} \quad \text{m} \quad (33.2-17)$$

式中 w_i ——单位坡道阻力(上坡时采用正号, 下坡时采用负号) kgf/tf

v_0 ——制动时初速 km/h

t_0 ——准备制动时间(从操作列车制动系统的瞬间起到闸瓦压紧轮缘时止的一段时间) s

v_n, v_{n+1} ——在按式(33.2-17)计算时, 将实际制动距离分为 m 段, 第 1 段的初速 $v_1 = v_0$, 第 n 段的初速为 v_n , 末速为 v_{n+1} , 最后一段的末速 $v_{m+1} = 0$, 以 km/h 计。为使计算准确, v_n 和 v_{n+1} 之差最好不大于 10 km/h 。

f_0 ——列车每吨重量的制动力 kgf/tf

为使列车在任何运行速度、车辆总重及坡度情况下的制动距离不超过表 33.2-8 的规定值, 应选用

表 33.2-8 最大允许的制动距离 m

露天准轨铁道	露天窄轨铁道	井下铁道
400	600mm 轨距时 80 762、900mm 轨距时 150	载货时 40 载人时 20

有足够制动力的制动装置(但不应抱死车轮), 否则须限制车辆总重或列车的运行速度。

5 车辆总重、电机车粘重及功率的确定

车辆总重、电机车粘重及功率可按下述方法进行初步计算, 然后根据指定区段的铁道线路纵断面, 通过详细的牵引计算来最后确定。

5.1 车辆总重的计算

a. 按在“限制坡道” $\ominus$ 上运行条件选择车辆总重 Q 在指定区段内的限制坡道上, 如以列车所达到的稳定速度为“规定速度” $\ominus$ 运行时, 容许的车辆总重可由下式求得:

$$Q = \frac{F'_{\max} - P(w'_0 + w_i + w_r)}{w'_0 + w_i + w_r} \quad \text{tf} \quad (33.2-18)$$

其中 $F'_{\max}$ 按式(33.2-3)计算, w'_0 、 w'_i 和 w_r 可按本章第 3 节计算或选取。

b. 按列车起动条件来校验牵引的车辆总重 Q 若指定的区段内限制坡道的坡度较小, 则按式(33.2-18)所求得的车总重就会偏大, 这时列车在坡道上起动就有可能发生困难。为此, 需要按起动条件用式(33.2-19)来进一步校验上述求得的车总重。

$$Q = \frac{F_{\max} - P[w'_0 + w_i + w_r + w_a + 102(1 + \gamma)_P a]}{w'_0 + w_i + w_r + w_a + 102(1 + \gamma)_Q a} \quad \text{tf} \quad (33.2-19)$$

式中 $F_{\max}$ ——电机车的最大牵引力 kgf
 $(1 + \gamma)_P$, $(1 + \gamma)_Q$ ——分别为电机车和车辆的旋转部分惯性系数, 其值见表 33.2-9。

a ——列车平均起动加速度, 其常用取值见表 33.2-10。

表 33.2-9 旋转部分的惯性系数 $(1 + \gamma)$

电机车	车 辆			
	二 轴 货 车		四 轴 货 车	
	空 车	重 车	空 车	重 车
1.2~1.4	1.10~1.12	1.04~1.05	1.07~1.08	1.03~1.04

$\ominus$ 某区段内列车能达到稳定速度的诸坡道中, 以最大坡度的坡道为该区段的限制坡道。

$\ominus$ 规定速度, 是根据线路通过能力, 并考虑牵引电动机的温升而规定的速度。

表 33-2-10 常用的平均起动加速度 m/s^2

列车情况	重载列车	空载列车	电 机 车
露天矿	0.10~0.20	0.15~0.30	0.5~0.7
井下矿	0.10~0.15	0.15~0.20	0.5~0.7

在起动最不利的情况下(如机车因故障停在最大坡道上并上坡起动时),应限制车辆总重,以使其最小加速度不小于 $0.04\sim 0.06\text{m/s}^2$ 。

此外,直流机车在采用电阻有级起动时,还应考虑起动时牵引力的摆动和起动电阻的过热对于车辆总重的限制。

5.2 电机车粘重的计算

a. 按在限制坡道上以规定速度运行的条件来计算电机车的粘重 P

$$P = \frac{F_{\max} - Q(w'_0 + w_i + w_r)}{w'_0 + w_i + w_r} \text{ tf} \quad (33.2-20)$$

b. 按起动条件来计算电机车的粘重 P

$$P = \frac{F_{\max} - Q[w'_0 + w_i + w_r + w_q + 102(1+\gamma)qa]}{w'_0 + w_i + w_r + w_q + 102(1+\gamma)pa} \text{ tf} \quad (33.2-21)$$

式中 $F_{\max}$ 、 $(1+\gamma)_P$ 、 $(1+\gamma)_Q$ 与式(33.2-19)同

(1) 按运行条件求出车辆总重

序号	求解项目	应用公式	参数取值	计算结果
1	电机车在上坡道运行的牵引力 F	$F_{\max} = 1000\psi P \text{ kgf}$ (式 33.2-3)	$P = 10 \text{ tf}$ $\psi = 0.2$ (按表 33.2-2 不撒砂起动项查得)	$F_{\max} = 2000 \text{ kgf}$
2	电机车的单位基本运行阻力 w'_0	$w'_0 = 3 + 0.3 \frac{A}{P} \left(\frac{v+12}{100} \right)^2 \text{ kgf/tf}$ (式 33.2-7)	$A = 1.06 \times 1.6 = 1.7 \text{ m}^2$ $v = 10 \text{ km/h}$ (参考工矿电机车系列型谱 JB/Z117-75)	$w'_0 \approx 3 \text{ kgf/tf}$
3	列车单位坡道阻力 w_i	$w_i = i \text{ kgf/tf}$ (式 33.2-9)	$i = 4\%$	$w_i = 4 \text{ kgf/tf}$
4	列车单位弯道阻力 w_r	$w_r = \frac{0.35b}{R} \text{ kgf/tf}$ (式 33.2-11)	$b = 600\text{mm}$ $R = 210\text{m}$	$w_r = 1 \text{ kgf/tf}$
5	车辆的单位基本运行阻力 w'_0		根据表 33.2-6 在固定线上重载车 1.2m^3 的 $w'_0 = 8 \text{ kgf/tf}$	$w'_0 = 8 \text{ kgf/tf}$
6	车辆总重 Q	$Q = \frac{F_{\max} - P(w'_0 + w_i + w_r)}{w'_0 + w_i + w_r} \text{ tf}$ (式 33.2-18)	将序号 1~5 所求得的结果代入	$Q = 148 \text{ tf}$

5.3 电机车功率的计算

a. 当电机车的粘重 $P(\text{tf})$ 及小时制速度 $v_h(\text{km/h})$ 已知时,电机车的小时制功率 $P_h(\text{kW})$ 可按下式计算:

$$P_h = \frac{F_h v_h}{367} \text{ kW} \quad (33.2-22)$$

式中 F_h ——与电机车小时制功率相应的小时制牵引力(kgf), 一般 $F_h = (0.5\sim 0.6) F_{\max}$, 而 $F_{\max} = 0.3 \times 1000P$, 故 $F_h = 1000(0.15\sim 0.18)P$

b. 当车辆总重 Q 及电机车的单位能耗 ΔE 已知时,电机车的连续制功率 P_e 可按下式计算:

$$P_e \geq \frac{Q \Delta E v_p}{1000 \eta K} \text{ kW} \quad (33.2-23)$$

式中 ΔE ——电机车的单位能耗, 约等于 $3.2 w_0 \text{ Wh/tf} \cdot \text{km}$

v_p ——列车在区间运行的平均速度 km/h

η ——电机车的效率, 取 $0.8\sim 0.85$

K ——裕度系数, 取 $0.8\sim 0.9$

5.4 计算举例

例 1 矿井某区段有一坡度 $i = 4\%$ 、弯道半径 $R = 210$ 米的长坡道, 铁道轨距为 600 毫米, 若用 10 吨电机车牵引 1.2 立方米矿车, 并要在上述坡道上起动, 求重载上坡时所能牵引的车辆总重。

(2) 按电机车起动条件校验车辆总重(由于要在坡道上起动)

序号	求解项目	应用公式	参数取值	计算结果
1	电机车按粘着条件的最大牵引力 $F_{\max}$	$F_{\max}=1000\psi P \text{ kgf}$ (式 33·2-3)	$P=10 \text{ tf}$ $\psi=0.25$ (按表 33·2-2 撒砂起动查得)	$F_{\max}=2500 \text{ kgf}$
2	列车起动时的单位附加阻力 w'_q	$w'_q=0.5w''_0 \text{ kgf/tf}$ (式 33·2-15)	$w''_0=8 \text{ kgf/tf}$	$w'_q=4 \text{ kgf/tf}$
3	列车在坡道起动时所能牵引的车辆总重 Q	$Q=\frac{F_{\max}-P[w'_0+w_i+w_r+w_q+102(1+\gamma)Pa]}{w'_0+w_i+w_r+w_q+102(1+\gamma)Qa} \text{ tf}$ (式 33·2-19)	$(1+\gamma)_P=1.4,$ $(1+\gamma)_Q=1.05$ (按表 33·2-9 查得) $a=0.06 \text{ m/s}^2$ (见本章 5·1) 将 2、3、4、5、7、8 项结果代入左式	$Q=98 \text{ tf}$

可见当考虑列车在坡道上起动时,则重载上坡所能牵引的车辆总重 Q 不能为 148 吨,而只能为 98 吨。

例 2 车辆总重 $Q=1600$ 吨,其中总重的 80% 为六轴自翻车,20% 为四轴自翻车。若用露天准轨电机车牵引,问需要多大粘重的电机车才能使列车在 15% 的上坡道上的运行速度达到 20 公里/小时?

序号	求解项目	应用公式	参数取值	计算结果
1	六轴自翻车辆(重车)的 w''_{06} 四轴自翻车辆(重车)的 w''_{04} 车辆的单位基本运行阻力 w''_0	$w''_{06}=3.6+0.015v$ $w''_{04}=2.9+0.026v$ (按表 33·2-5 查得) $w''_0=0.8w''_{06}+0.2w''_{04}$	$v=20 \text{ km/h}$	$w''_{06}=3.9 \text{ kgf/tf}$ $w''_{04}=3.42 \text{ kgf/tf}$ $w''_0=3.8 \text{ kgf/tf}$
2	列车单位坡道阻力 w_i	$w_i=i \text{ kgf/tf}$ (式 33·2-9)	$i=15\%$	$w_i=15 \text{ kgf/tf}$
3	车辆单独所需的牵引力 F_1	$F_1=Q(w''_0+w_i)$	$Q=1600 \text{ tf}$ $w''_0=3.8 \text{ kgf/tf}$ $w_i=15 \text{ kgf/tf}$	$F_1=30080 \text{ kgf}$
4	只考虑车辆所需的牵引力来估算电机车的粘重 P_1	$P_1=\frac{F_1}{1000\psi} \text{ tf}$ (式 33·2-3)	$F_1=30080 \text{ kgf}$ $\psi=0.22$ (按表 33·2-2 不撒砂起动项查得)	$P_1=136 \text{ tf}$
5	初步选用的电机车			$P=150 \text{ tf}$
6	电机车的单位基本运行阻力 w'_0	$w'_0=2.4+0.007P+0.0013v^2 \text{ kgf/tf}$ (式 33·2-5)	$P=150 \text{ tf}$ $v=20 \text{ km/h}$	$w'_0=3.97 \text{ kgf/tf}$
7	150 吨电机车按粘着条件所能产生的牵引力 $F_{\max}$	$F_{\max}=1000\psi P \text{ kgf}$ (式 33·2-3)	$P=150 \text{ tf}$ $\psi=0.22$	$F_{\max}=33000 \text{ kgf}$
8	电机车和车辆所需的牵引力 F'	$F'=F(w'_0+w_i)+Q(w''_0+w_i) \text{ kgf}$	$P=150 \text{ tf}$ $Q=1600 \text{ tf}$ $w'_0=3.97 \text{ kgf/tf}$ $w''_0=3.8 \text{ kgf/tf}$ $w_i=15 \text{ kgf/tf}$	$F'=32926 \text{ kgf}$

结论: 选用 150 吨电机车可胜任此项工作。