（2）保压冷储备功能。为了随时能够产生补偿制动力，设计有蓄能回路，保证蓄能器中始终具有一定压力的油液，使蓄能回路处于待命状态，在补偿时与液压泵同时向制动器供油，缩短补偿制动的空动时间，以保证补偿增压的响应速度。提升机正常运行时，补偿增压装置对原制动系统不产生附加作用力及任何影响。

（3）回油不畅监控功能。在现役制动器液压站电磁阀故障或管路堵塞造成制动器不能回油的故障情况下，通过设置的油路压力监测传感器检测其故障，并能实施安全制动使管路回油顺畅。

（4）防止沉罐功能。在提升机停车时，为避免残压过高引发的沉罐，甚至“放大滑”的重大事故发生，通过设置的油路压力监测传感器检测残压，并能实施安全制动使其安全停车。

（5）可编程控制功能。补偿增压装置的电控系统采用 PLC 控制，制动器的补偿增压动作可以自动或手动启动。

2.8.3　摩擦提升滑动监控装置

摩擦提升滑动监控装置包括滑动监测和消除滑动两部分。在提升机运行过程中，通过光电编码器和单片机组成的监测仪对滑动速度进行检测和判断，一旦出现滑动，发出报警、断开安全回路，实现摩擦轮制动，并利用特制的钢丝绳制动机构的作用消除滑动，实现滑动保护。该装置具有自动和手动两种控制方式。摩擦提升滑动监控装置属于后备保护装置，同时对提升系统具有辅助制动效果。

防滑系统组成如图 7－2－62 所示。

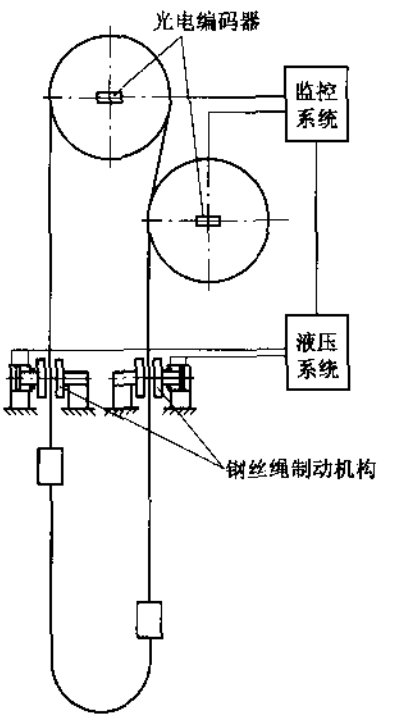


图 7－2－62　防滑系统组成

2.8.4　提升载荷在线监测装置

提升机载荷监测有 4 种方式：一是利用应变测试原理，由测试人员站在箕斗上进行测试；二是采用三轮方式人为使钢丝绳产生弯曲，通过测量钢丝绳对中间轮产生的横向力推算钢丝绳张力；三是采用无线发射与接收技术，实现提升井底装载和井口卸载的载荷监测；四是通过钢丝绳定向无线感应式移动发射传输数据到地面提升机房司机控制台，实现提升载荷动态监测。

提升机载荷动态无线监测系统如图 7－2－63 所示。该系统主要由基于单片机的下位机和基于工控机的上位机构成。下位机采用汇编语言编程，主要实现张力信号采集、电源电量判断、串行通信等功能；上位机一方面接收下位机信号，另一方面采集定量斗关闭、箕斗到位等开关量信号，与所检测到的各钢丝绳张力相配合，实现过装、卸不净、卡罐、张力不平衡的判断，并在需要时输出开关量，进行声光报警。

2.8.5　提升状态监护装置

提升机状态监护包括制动盘过热、变形、闸瓦磨损、闸瓦间歇、制动弹簧断裂的在线

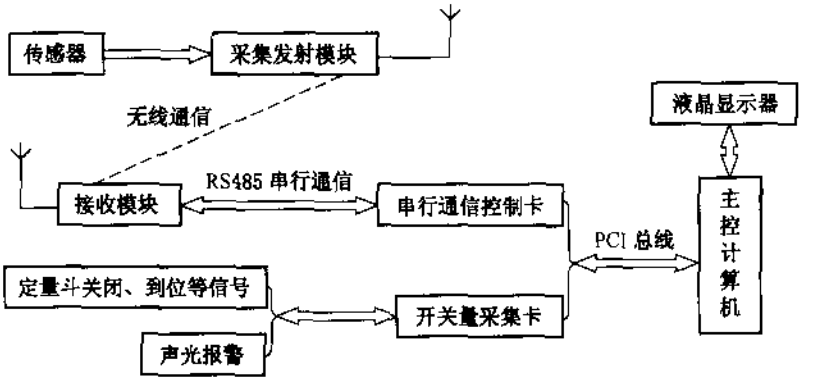


图 7-2-63 提升机载荷动态无线监测系统组成

监测。国内研制的矿井提升状态监护装置实现了提升机盘式制动系统的性能监测，对制动系统的超限状态具有预警提示，同时对提升机的运行速度进行实时跟踪显示，具有制动系统状态参数、运行速度图的数据（提升速度、加速度和高度）和图形存储记忆的“黑匣子”功能。提升机状态监护装置不仅实现了安全监护，而且可引导司机规范操作，对故障分析还可提供可靠的技术数据，其工作原理如图 7-2-64 所示。

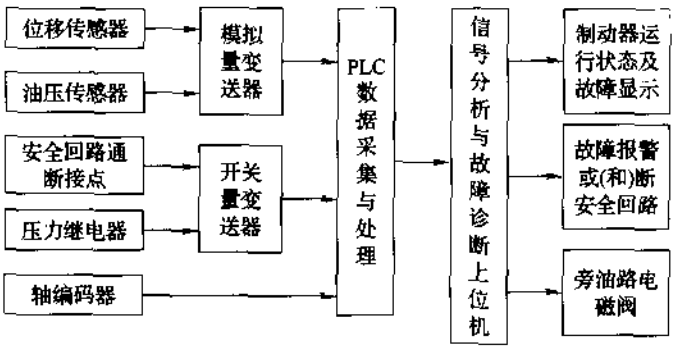


图 7-2-64 提升机状态监护原理

2.8.6 钢丝绳探伤检测装置

传统上对钢丝绳直径、磨损的检查最简单的方法是采用卡尺及目测，对钢丝绳外部断丝检查多采用手摸法，而对钢丝绳进行内部检查受检测方法和技术的局限，一直没有很好的解决方法。目前，随着钢丝绳检测技术的快速发展，已有各种进口和国产的钢丝绳探伤仪可供选择。其基本检测原理是利用永久性磁铁作励磁源，使钢丝绳沿纵向通过时，两次达到磁饱和状态。磁通量与金属断面积的大小成正比，通过传感器测出磁通量变化和钢丝绳金属断面面积的变化。当钢丝绳出现断丝、锈蚀和麻坑等局部损伤时，其附近产生散漏磁场，当钢丝绳与传感器相对运动时，传感器中产生的感应电压信号经过计算机处理后，可定量或定性检测因锈蚀、磨损等造成的金属断面面积损失及钢丝绳内、外部断丝的情况。

2.9　矿井提升能力增大改造途径

针对老矿井提升能力的改造问题，矿井提升机的年提升量计算如下：

$$A_n = \frac{3600Qbt}{CT_x} \tag{7-2-1}$$

式中　A_n——年提升量，t；

b——年工作日，对新设计的矿井，$b = 300$d；

t——每天提升小时数，新井按 $t = 14$h 计算；

C——不均衡系数，箕斗提升取 1.15，罐笼提升取 1.2，只有对于第一水平、一套设备兼做主、副井提升时取 1.25；

T_x——一次提升循环时间，s；

Q——一次提升量，t。

从上式中可以看出，要提高提升能力具有以下几条途径。

2.9.1　提高一次提升量

此方案可从两方面考虑：

（1）提升系统已达到提升额定载荷或提升机最大张力差的要求，此时可考虑降低容器自重（如采用轻型容器等），这样可以在静张力不变的情况下提高一次提升量 Q，而不必进行钢丝绳安全系数验算，但需要验算最大静张力差和更换箕斗。例如，某矿使用轻型钢铝合金箕斗，在保证箕斗卸载形式不变的前提下，使箕斗自重比原来减轻 18t，容积由原来 8.18m^3 加大到 10.13m^3。经现场运行和实际测定，该轻型箕斗运行平稳，故障率低，耐腐蚀，耐摩擦和冲击，轮及轮轴使用周期长，维护方便，减轻了提升系统的载荷，保证了提升机的机械性能。目前国内轻型箕斗或罐笼材料通常以钢合金和铝合金为主。

（2）未达到提升额定载荷或提升机最大张力差的要求，可以直接增加提升载荷，但需要验算最大静张力和张力差。

无论采用哪种方式，均需对电动机的容量进行验算，对于摩擦提升机还需进行防滑验算。

2.9.2　缩短一次提升循环时间

一次提升循环时间为

$$T_x = t_0 + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \theta \tag{7-2-2}$$

式中　t_0——初加速时间；

t_1——主加速时间；

t_2——等速运行时间；

t_3——减速时间；

t_4——爬行时间；

θ——装卸载休止时间。

从理论上说，将上式中的任意一项的时间缩短均可达到缩短提升循环时间的要求，但根据研究和对现场使用提升机的测试来看，其作用还是有所区别的。

对于 t_2 来说，它主要是由提升机的最大速度决定，而现场使用的提升机一般都已达到或接近其规定速度，因此一般不通过改变此参数缩短提升循环时间，否则将须改进减速

器、电控系统和井筒设施，增加设备投资，同时也给运行维护带来新的问题。

改变运行参数来缩短一次提升循环时间。由提升机运行参数来看，现场使用的提升机由于维护和安全措施等原因，其运行的主加速度较小、爬行时间偏大，因此可以通过增加加速度、缩短爬行时间来减少一次提升循环时间。对于提升机的运行来讲，这两个参数的变化将对提升的安全提出更高的要求，但采用外动力卸载的闸门对此具有明显的改善。

增加日工作时间。目前《煤矿设计规范》规定提升机日工作时间为16h，但对于改扩建的矿井，设计院和一些矿井均突破这一限制，因此该方案是目前现场最容易接受、效果较好的方案。需要指出的是，增加日工作时间方案对提升系统的安全、维护和监护都提出了较高的要求。

3 矿井运输技术与装备

3.1 矿井运输方式选择

3.1.1 主运输方式选择

矿井主运输是指井下煤炭运输，可分成采区主要运输和大巷主要运输。

采煤工作面输送机的输送能力，应按采煤机采煤时最大牵引速度进行计算。目前普通带式输送机向下运煤最大倾角为 16°，向上运煤的最大倾角为 18°，在选型设计时不宜选用最大值，应留有余量。如开采急倾斜煤层时，可采用大倾角带式输送机、上链式输送机、搪瓷溜槽、铸石溜槽等。

为了调节采煤工作面生产与大巷运输系统之间的工作状况，保证矿井生产正常进行，应设置采区煤仓，具体要求可参见《煤炭工业矿井设计规范》。

矿井大巷运输设备的选择原则：

（1）根据矿井的设计特征，即井型、服务年限、开拓准备方式、采掘工作面集中程度、通风方式、巷道断面、巷道布置情况（分岔、弯曲、起伏），选择适宜的运输设备。

高产高效矿井，井型大，采掘工作面集中，为保证煤流的连续性，宜选用带式输送机运煤；当采用条带式布置倾斜长壁工作面时，选择带式输送机较为有利；当采用盘区石门装煤时，由于巷道分支多，采用矿车运输较为有利；若巷道有平面弯曲，矿车运输能适应变化方向的巷道网，带式输送机则能适应起伏不平的巷道布置。

一个矿井的开拓准备系统一旦定下来，在很大程度上就决定了该矿井的运输方式，所以在确定开拓准备系统时，应该为矿井运输创造有利的条件。

（2）针对产品与运输的特殊要求。要提高块煤率时，选择带式输送机较为有利；要求多煤类、多品种分运时，选择矿车运输较为有利。

（3）考虑带式输送机和矿车两种设备的自身特点。带式输送机具有连续运输生产能力大、操纵简单、容易实现自动化、装卸载附属设备少等特点，但需要增设辅助运输系统，投资较大，它适用于生产集中、运量较大的大中型矿井。带式输送机运输连续与采煤工艺相适应，增产潜力大，它将是机械化、自动化运输的主要发展趋势。

矿车运输能力大、机动性强；根据运量运距可随时调整机车的台数；对巷道弯曲、转折适应性强；接轨、展线方便；可与矿井辅助运输机车共用；运费比较低，系统投资少，维护比较简单。矿车适用于井田面积较大、生产分散的矿井大巷运煤系统。采用矿车运输时，应根据运量大小、距离长短和安全要求确定牵引设备类型，低瓦斯矿井一般以架线式电机车为主，高瓦斯矿井可选用蓄电池机车，小型矿井可采用无极绳牵引。矿车的类型因井型而异。

目前，大、中型矿井集中生产程度普遍提高，高产高效矿井相继产生，大巷运输的瞬时运量和连续运量有较大差别，在选择运输方式时要充分考虑这些情况。此外还要考虑大

力改善与提高运输效率及自动化程度，并适当留有增产和进一步提高机械化程度的余地。

3.1.2 辅助运输方式选择

煤矿辅助运输指煤矿生产中除煤炭运输之外的各种运输，主要包括材料、设备、人员和矸石等的运输。

辅助运输的特点是：

（1）运输线路随工作地点的延伸（缩短）或迁移而经常变化。

（2）运输线路互相交错连接。

（3）工作地点分散，运输线路复杂，运输环节多。

（4）待运物料品种繁多，形状各异。

（5）井下巷道空间受限制，并有瓦斯和煤尘等爆炸性气体和有毒气体，需用防爆净化设备。

鉴于上述特点，决定了煤矿辅助运输系统及其设备的复杂性和多样性。除了过去常用的辅助运输设备，如矿用绞车（缠绕式和无极绳）、调度绞车、电机车和一般的矿车、平板车、材料车，近年来又出现了许多先进高效的辅助运输设备，如单轨吊车、卡轨车、齿轨机车、胶套轮机车、无轨运输车（轮胎式或履带式）等。当前，全国煤矿的辅助运输技术水平与国外先进采煤国家相比，仍有很大差距。

针对辅助运输的特点，辅助运输的选择原则是：

（1）具有较高的机动性、灵活性，既要适应工作面的变化，还要能克服运输线路方向的变化。

（2）能够适应巷道的客观条件，如巷道断面的大小、形状及质量，顶底板条件，运输线路的倾角等。

（3）尽量满足运输的距离，减少运输环节及相关设备的数量。

（4）综合考虑采区和大巷的辅助运输设备，尽量减少由井底车场至采区工作面的转载和中转编列。

（5）能够提高运载的重量、体积，减少搬运大型、重型设备时的拆卸程度，尽量实现整体搬运，提高设备搬运的效率。

（6）能够适应煤矿井下恶劣的环境条件。

（7）尽量减少工作人员的数量，提高运输的效率及安全性。

3.2 矿井主要运输方式及设备

3.2.1 采区主要运输方式及设备

井下运输工作半径大、集散点多、运输物料品种复杂，同时受到各种其他因素的影响，因此，应综合分析井下运输条件和因素，进行方案比较，择优选取符合矿井具体生产条件、系统简单、环节少、运营费用低、效能高的运输方式。大型矿井煤流系统应采用计算机手段进行设计优化。

采区主要运输设备分为采煤工作面主要运输设备、工作面运输巷主要运输设备、采区上下山主要运输设备，如图 7－3－1 所示。

3.2.1.1 刮板输送机

1. 刮板输送机的工作原理

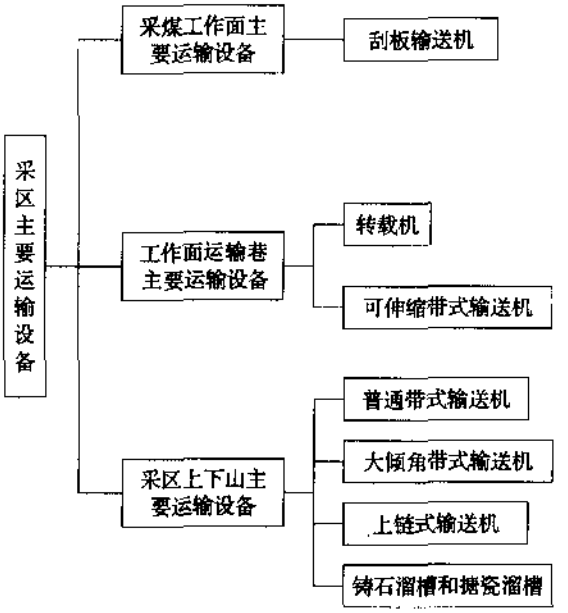


图 7－3－1　采区主要运输设备

刮板输送机是一种具有挠性牵引机构的连续输送机械，主要用于采煤工作面和采区巷道等的煤炭运输。采区巷道用的刮板输送机，由刮板链、中部槽、机头部、机尾部等基本部件组成。当刮板输送机用于机械化采煤工作面，与滚筒采煤机和输送机推移装置配套使用时，其结构组成除以上基本部件外，根据设备配套要求和工作需要，还有铲煤板、挡煤板、机头支撑推移装置等，如图 7－3－2 所示。

刮板输送机适用于煤层倾角不超过 25°的采煤工作面，但对于兼作采煤机轨道与机组配合工作的刮板输送机，适用的煤层倾角一般不超过 10°。目前，采煤工作面多使用可弯曲刮板输送机与相应的采煤机、金属支架或自移式液压支架配套使用，以适用机械化、综合机械化采煤的需要。

2. 刮板输送机的分类

矿用刮板输送机按刮板链的形式分为 3 种：中单链型、边双链型、中双链型。系列型谱中的刮板输送机都采用矿用高强度圆环链制成的刮板链。刮板输送机按功率大小分为轻型、中型、重型。刮板输送机配套单电动机设计额定功率为 40kW 及以下的为轻型，大于 40kW 且小于 90kW 的为中型，大于 90kW 的为重型。

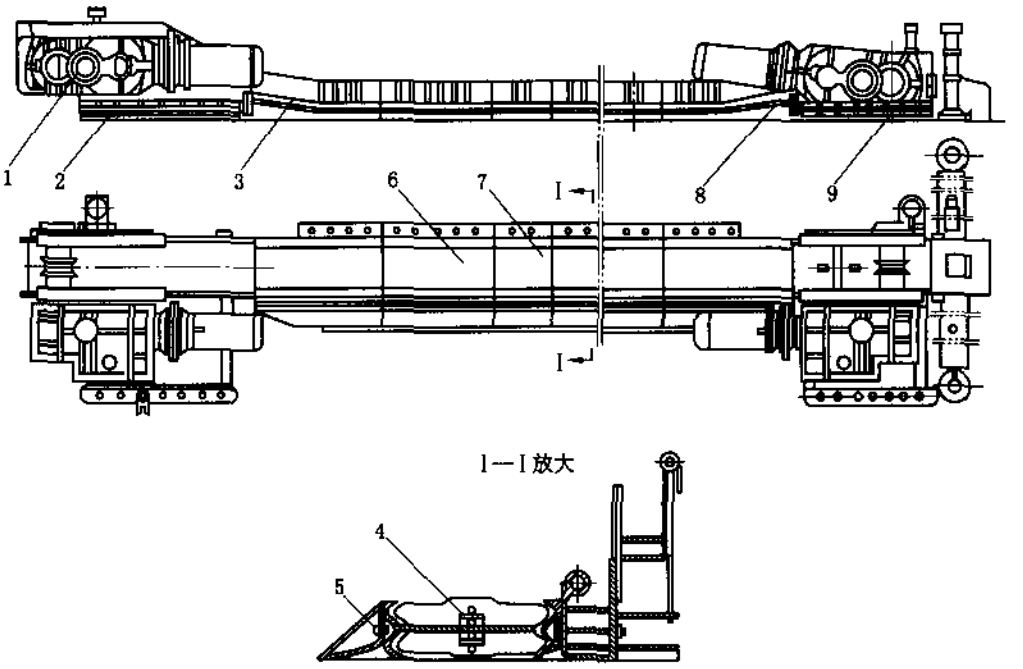
刮板输送机产品的系列参数见表 7－3－1。

3. 刮板输送机的技术要求

（1）工作面刮板输送机输送能力应大于采煤机的最大生产能力，一般为采煤机最大生产能力的 1.2 倍。

（2）要根据刮板链的负荷情况，确定链条数目。结合煤质硬度选择链条的结构形式，煤质较硬、块度较大时优先选用双边链，煤质较软时可选用单链或双中链。

（3）输送机中部槽的结构一般应选用开底式，封底式一般用于煤层底板较松软的煤



1—机头；2—机头支撑推移装置；3—机头过渡槽；4—刮板链；5—铲煤板；
6—中部槽；7—调节槽；8—机尾过渡槽；9—机尾

图 7-3-2 刮板输送机结构图

表 7-3-1 刮板输送机的系列参数

中部槽外形尺寸/mm			配用电动机数量与功率/（台×kW）	设计长度/m	刮板输送机型式与圆环链规格		
宽	高	长			边双链型	中单链型	中双链型
280	125*	1200	1×7.5，1×11（10）	40，60		10×40	
320	125* 150*		1×15（13）， 1×18.5（17）	60，80		10×40 14×50	
420	150* 160		1×22，1×30	80，100		14×50 18×64	
520	150	1200 1500	2×18.5（17）， 2×22	100，120	14×50		
630	150		2×30	120	14×50		
	190 （180） 220	1500	1×75（40），2×22， 2×37（40）	100，160	18×64		
			1×75，2×75，2×90	120，200	18×64	26×92	18×64
730 764	220		2×90，2×（125）， 2×132，2×160	160，200	22×86	26×92	26×92
830			2×160，2×200			30×108	26×92

注：1. 有“*”符号者可为冷压槽帮钢。

2. 新设计的刮板输送机不采用带括号的参数。

层条件。中部槽的宽度尺寸应尽可能选用通用尺寸，并考虑能与采煤机底托架和行走机构尺寸相匹配；中部槽的长度与支架的宽度相匹配，中部槽要与液压支架的推移千斤顶连接装置相匹配，并能沿垂直和水平方向弯曲，尤其是当液压支架的中心距不等于中心槽的长度时，更要注意。

（4）工作面刮板输送机机头架的外廓尺寸和结构形式应便于采煤机自开切口，应优先选用短机头架和机尾架，中板升角不宜过大，以减少通过压链块的能量消耗。刮板输送机的相关外廓尺寸应与采煤机和液压支架相配。

（5）为了配合采煤机有链牵引的需要，在机头和机尾部应附设采煤机牵引链的张紧装置及其固定装置。而与总链牵引的采煤机配套时，应附设结构型式相应的齿轮和销轨与采煤机的行走轮齿相啮合。

（6）为了防止重型刮板输送机下滑，应在机头、机尾安装防滑锚固装置。当工作面倾角较大时，选用工作面输送机防滑装置。

（7）刮板输送机中部槽两侧应附设采煤机滑靴或行走滚轮跑道。为防止采煤机掉道，还应设有导向装置。为了配合采煤机双向往复采煤的需要，应在输送机靠煤壁一侧附设铲煤板，以清理机道的浮煤。为配合采煤机行走时能自动铺设拖移电缆和水管，应在刮板输送机靠采空区一侧附设电缆槽。

4. 刮板输送机的主要机型

工作面刮板输送机的主要机型及参数见表 7－3－2。

表 7－3－2　刮板输送机主要机型及参数

机　型	设计长度/m	输送能力/($t \cdot h^{-1}$)	链速/($m \cdot s^{-1}$)	电动机功率/kW	中部槽宽/mm	刮板间距/mm
SGB 系列	40～160	30～200	0.63～0.88	22～150	280～630	800、900、1024
SGD 系列	40～150	30～400	0.59～0.88	11～110	280～630	640～1104
SGZ 系列	50～350	100～2600	0.86～1.31	150～1000	630～1200	920～1096

3.2.1.2　转载机

1. 转载机的工作原理

转载机安装在运输巷中，是将刮板输送机运出的煤转载到带式输送机上的中间转载设备。

转载机实际是一种结构特殊的短刮板输送机，其传动系统和驱动装置与刮板输送机相同，它们的主要不同点是转载机的机身有一段悬桥结构（图 7－3－3），使它能与带式输送机有一段搭接长度。当刮板输送机向煤壁推移后，用专门的推移设备将转载机整体沿运输巷方向移动相应的距离。转载机与可伸缩带式输送机配套使用，当转载机前移搭接到极限位置时，将可伸缩带式输送机的机尾向前移置到转载机的机头位置，转载机又可逐渐前移，如此配合使用能加快工作面的采煤进度。

转载机的机头部装在有行走轮的小车上，可在带式输送机的机尾架导轨上移动。小车也有做成龙门式的，在机尾两侧的轨道上移动，以减轻带式输送机机尾的压力。转载机的机尾底部有滑橇，可沿底板滑行。转载机配有液压推移装置，也可用绞车牵引。

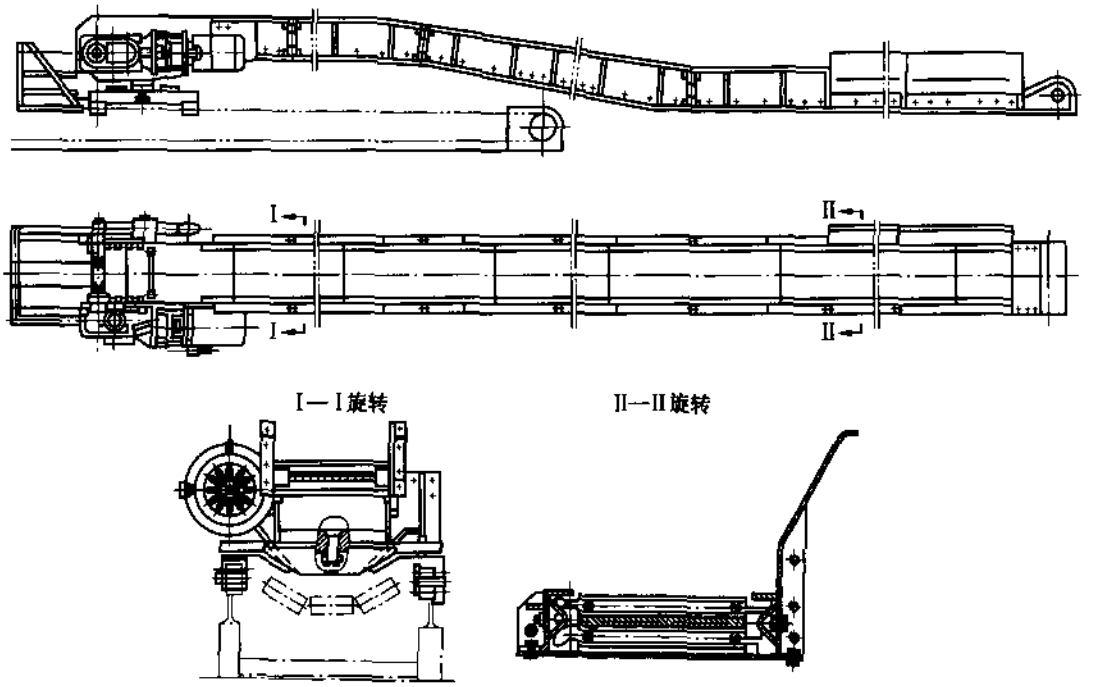


图7-3-3 转载机结构图

2. 转载机的分类

转载机的型式与工作面刮板输送机一样，分为中单链、中双链和边双链3种。转载机的中部槽、刮板链和机头驱动装置，与相同规格的工作面刮板输送机的相同，可互换使用。

转载机按配套单电动机的设计额定功率的大小，分为轻型、中型、重型。转载机中部槽过煤量的规定见表7-3-3。

表7-3-3 转载机中部槽过煤量 10^4t

类型	槽宽		
	630mm	730mm、640mm	830mm
轻型转载机	≥60		
中型转载机		≥80	
重型转载机		≥100	≥150

3. 转载机的选型原则

（1）转载机的运输能力应大于工作面刮板输送机运输能力，一般为工作面刮板输送机运输能力的1.2倍。它的中部槽宽度或链速一般应大于工作面输送机。

（2）转载机的机型应尽量和工作面刮板输送机机型一致，以便日常维修和管理。转载机尾部和工作面输送机头部有一定的卸载高度，以避免工作面输送机底链回煤。

（3）由于转载机是整体纵向移置，并有悬桥机构，因此组成机身的各槽之间必须牢固连接。为防止洒煤，槽两侧都装设高挡板，挡板用特制螺栓牢固地固定在中部槽两侧的支座上。槽间连接是靠挡板端部用高强度螺栓紧固。为增加槽间连接的刚性，将悬梁部位的挡板接口与中部槽的接口位置错开，下面用钢板封底，封底板用螺栓与挡板连接。若需使用破碎机，将它装在底板水平段。为减小移置时的阻力，底板水平段也可加装封底板。

（4）转载机机头搭接带式输送机的连接装置应与带式输送机机尾结构及重叠长度相匹配，搭接处的最大机高要适应巷道动压后的支护高度。转载机高架段中部槽的长度，既要满足转载机前移重叠长度的要求，又要考虑工作面采后超前动压对巷道顶板移近量作用的大小。通常对于超前动压影响距离远且矿压显现剧烈的平巷，转载机应选用机身较长（回空段）及较大功率的类型。巷道易底鼓时，转载机采用不直接骑在带式输送机机尾轨道上，而是选用跨接在两侧的专用地轨上。

（5）对平巷内水患大，带式输送机需要铺在上帮侧时，转载机增设 S 型中间槽，而机尾仍在巷道的下帮侧，以保持刮板输送机机头进入顺槽，利于采煤机自开切口。工作面快速推进还要求转载机有良好的推移、锚固和行走机构。

4. 转载机的技术参数（表 7－3－4）

表 7－3－4　转载机主要技术参数

产品型号	设计长度/m	输送能力/($t \cdot h^{-1}$)	链速/($m \cdot s^{-1}$)	电动机功率/kW	中部槽宽/mm
SZB 系列	8～29.7	50～700	0.83～1.34	7.5～132	280～730
SZD 系列	30	750	1.31	90	730
SZZ 系列	30～100	600～4500	1.34～1.8	90～700	630～1350

3.2.1.3　可伸缩式带式输送机

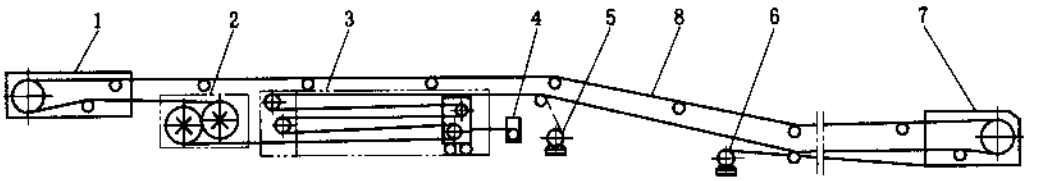
1. 工作原理

煤矿采区运输的特点是空间狭小，巷道底板不平，采煤工作面经常移动，巷道服务时间较短，而且随着采煤机械化程度的提高，工作面推进的加快，普通型带式输送机由于拆装麻烦而不能满足采区运输的需要。为了不影响采煤生产和运输能力，可以采用两种可伸缩式带式输送机：一种是无螺栓连接机架的落地式，一种是绳架吊挂式。可伸缩式带式输送机与普通带式输送机相比，其主要特点是它配有一个储带仓和一套储带装置，机身可以很方便地伸缩。图 7－3－4 所示是可伸缩带式输送机结构示意图。

2. 选型原则

（1）工作面运输巷带式输送机运输能力要大于工作面刮板输送机的运输能力。

（2）根据采区布置及顺槽长度超过 800～1000m 时，可选用 2 台。靠近转载机处的可选用可伸缩式，另一台可选用不伸缩式。有水患和巷道底鼓的可选用钢丝绳吊挂式；巷道平均倾角大于 ±5°时，应加装制动装置或防逆转装置。



1—卸载端；2—传动装置；3—储带装置；4—拉紧绞车；5—收放输送带装置；
6—机尾牵引机构；7—机尾；8—输送带

图7-3-4 可伸缩带式输送机结构示意图

(3) 生产能力大时，可选用双电动机、双滚筒或多点驱动；输送机能力较小时，可选用单电动机驱动。

(4) 储带和拉紧装置：储带达到50～100m时，活拉紧滚筒宜选2～3个，以缩短储带仓长度，拉紧装置可选用自拉式。

(5) 移机尾装置有液压式和绞车式两种，宜选用液压式。输送带要根据输送能力需要，选用高强度带或普通带。

(6) 保护装置：电动机有短路、过载、漏电和欠电压保护；输送带有低速、防跑偏、煤位和温度保护；有程序控制和信号监控装置。

3. 技术参数

可伸缩式带式输送机的主要技术参数见表7-3-5。

表7-3-5 可伸缩式带式输送机的主要技术参数

产品型号	带宽/mm	带速/($m \cdot s^{-1}$)	运输能力/($t \cdot h^{-1}$)	储带长度/m	电动机功率/kW	输送长度/m
SD系列	800	1.6～2.0	200～400	100	44～80	800
SJ系列	800	1.6～2.0	200～400	50	44～80	800
SSJ系列	650～1200	1.6～3.15	100～1200	50～100	40～400	500～2200
DSJ系列	800～1000	1.6～2.5	100～1000	50～100	40～320	500～1200
DSP系列	800～1000	1.88～2.5	400～800	50～100	75～400	400～1000

3.2.1.4 普通带式输送机

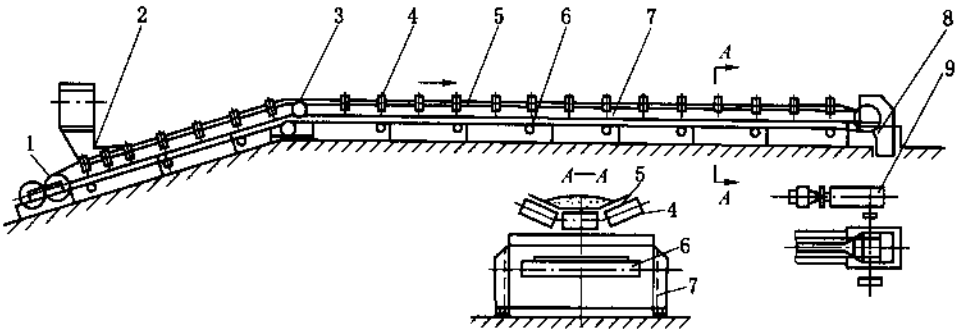
普通带式输送机是目前井下巷道广泛采用的一种连续运行式输送设备，有多种类型，以适应不同条件下使用。其中，用得最多的是通用型带式输送机。国内目前采用的是TD75型和DTII型系列。该系列带式输送机由许多标准部件组成，各部件的规格都成系列，按不同的使用条件和工况进行选型设计，组合成整机。

普通带式输送机整机及各部件的技术要求、试验方法、检验规则等，在标准GB 10595和ZBD 93008中有详细的规定。

1. 带式输送机的工作原理

普通带式输送机是由承载的输送带兼作牵引机构的连续运输设备，可输送矿石、煤炭

等散装物料和包装好的成件物品。由于它具有运输能力大、运输阻力小、耗电量低、运行平稳、在运输途中对物料的损伤小等优点，被广泛应用于各个部门。其结构如图 7－3－5 所示。



1—拉紧装置；2—装载装置；3—改向卷筒；4—上托辊；5—输送带；
6—下托辊；7—机架；8—清扫装置；9—驱动装置

图 7－3－5　带式输送机的结构简图

输送带在带式输送机中既是牵引机构，又是承载机构。输送带绕经传动滚筒、改向滚筒、拉紧滚筒接成环形，拉紧装置给输送带以正常运行所需的张力。工作时，驱动装置驱动传动滚筒，通过传动滚筒与输送带之间的摩擦力带动输送带连续运行，装到输送带上的物料被运行到端部卸出，利用专门的卸载装置也可在中间部位卸载。

随着采煤机械化程度的不断提高，工作面推进速度加快，巷道服务时间缩短，通用固定式带式输送机已很少在井下使用。目前开采缓倾斜煤层、炮采工作面或普采工作面，采区上、下山煤炭运输一般均采用 SD、SPJ 型绳架吊挂式带式输送机。

部分煤矿为提高带式输送机的运输能力，对其进行改造，在输送机中部位置增加助推带式输送机。

2. 普通带式输送机的分类

普通带式输送机按其结构不同可分为多种型号，见表 7－3－6。

表 7－3－6　普通带式输送机的分类及代号

名　称	代　号	类、组、型代号	名　称	代　号	类、组、型代号
通用带式输送机	T（通）	DT	压带式输送机	A（压）	DA
轻型带式输送机	Q（轻）	DQ	气垫带式输送机	D（垫）	DD
移动带式输送机	Y（移）	DY	磁性带式输送机	C（磁）	DC
钢丝绳芯带式输送机	X（芯）	DX	钢带输送机	G（钢）	DG
大倾角带式输送机	J（芯）	DJ	网带输送机	W（网）	DW
钢丝绳牵引带式输送机	S（绳）	DS			

3. 普通带式输送机的技术参数（表7-3-7～表7-3-9）

表7-3-7 通用固定带式输送机技术参数

产品型号	带宽/mm	带速/($m \cdot s^{-1}$)	运输能力/($t \cdot h^{-1}$)	电动机功率/kW	输送长度/m	倾角/（°）
TD75 系列	500～1400	0.8～4.0	69～3304	Max：$n \times 200$	—	—
DTII 系列	500～1400	0.8～5.0	69～4130	Max：$n \times 315$	—	—
STJ 系列	650～1000	1.6～2.0	200～630	22～160	400～1000	4～18
DP 系列	800～1000	1.88～2.0	400～630	40～125	300～1000	

表7-3-8 下山（上山）固定带式输送机技术参数

产品型号	带宽/mm	带速/($m \cdot s^{-1}$)	运输能力/($t \cdot h^{-1}$)	电动机功率/kW	输送长度/m	倾角/(°)
STJ（D）系列	800～1000	1.6～2.0	125～630	44～250	470～1000	±18
SQD 系列	800～1000	2.0	300	440	670	+25
DTL 系列	650～12000	1.6～3.15	120～1000	22～630	100～1784	+0～18， -3～-16
DTS 系列	650～1000	1.6～2.0	200～630	40～250	70～1000	+0～18， -4～-9

表7-3-9 绳架吊挂式带式输送机技术参数

产品型号	带宽/mm	带速/($m \cdot s^{-1}$)	运输能力/($t \cdot h^{-1}$)	电动机功率/kW	输送长度/m	倾角/(°)
STD 系列	650～1000	1.6～2.0	200～630	22～160	300～1000	4～18
SPJ 系列	1000～1400	2.0～3.15	800～1200	250～2000	800～1200	4～18

3.2.1.5 钢丝绳芯带式输送机

1. 钢丝绳芯带式输送机的结构特点

钢丝绳芯带式输送机与普通带式输送机相比没有太大的区别，主要是输送带不同，其输送带的强度是普通型的几十倍，甚至高达近百倍，因而适用于大运量、长距离的煤炭运输。普通型带式输送机多用帆布层芯或塑料层芯输送带，接头方式多为机械法（如铰接合页、铆钉夹板和钩状卡），也有用硫化法和冷黏法。而钢丝绳芯带式输送机采用的是钢丝绳芯输送带，接头方式一般采用硫化法，因而强度要远高于普通带式输送机。

2. 钢丝绳芯带式输送机的技术参数（表7-3-10）

表 7-3-10　钢丝绳芯带式输送机技术参数

型号	带宽/mm	输送带强度/(kN·cm^{-1})	功率范围/kW	带速/(m·s^{-1})				
				2.0	2.5	3.15	4.0	5.0
				输送量/(m^3·h^{-1})				
DX3	800	650～4000	115～4×380	388～550	485～688	612～865	—	—
DX4	1000	800～4000	115～4×475	632～888	790～1110	1000～1400	—	—
DX5	1200	1000～4000	115～6×630	926～1300	1158～1625	1460～2050	1832～2600	—
DX6	1400	1250～4000	155～6×630	1276～1800	1395～2250	2010～2830	2552～3600	3190～4500
DX7	1600	1600～4000	380～6×630	1700～2380	2125～2975	2680～3850	3400～4760	4250～5950
DX8	1800	1600～4000	630～6×630	2180～3070	2725～3838	3444～4840	4360～6140	5450～7675
DX9	2000	2000～4000	2×370～6×630	2740～3840	3425～4800	4320～6050	5480～7680	6850～9600

3.2.1.6　大倾角带式输送机

在开采倾斜、急倾斜煤层时，由于煤层赋存条件及采区开拓布置的需要，采区上、下山运输要求设置大倾角带式输送机。普通带式输送机的倾角一般不大于 18°，而大倾角带式输送机的倾角可大大超过 18°，理论上甚至可以达到垂直提升。

使用大倾角带式输送机既可减少占地面积，又能节省运输费用。实践证明，使用大倾角输送机还可缩短运距 1/3～1/2。

大倾角带式输送机能在超临界角度情况下运送物料。通常采用增加物料对输送带表面的摩擦力、在普通输送带上增设与输送带一起移动的横隔板、增加物料与输送带的正压力等 3 种措施使物料不下滑，不向外撒料。

1. 增加摩擦力

通常采用的花纹输送带表面形状为圆锥凸块，如图 7-3-6 所示。凸块高度为 25mm，运煤倾角可达 25°。

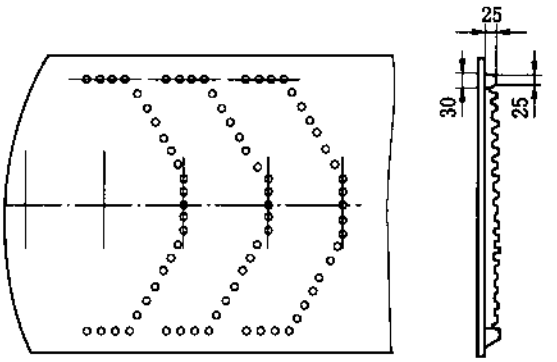


图 7-3-6　带圆锥凸块花纹输送带

在国外，花纹输送带的表面形状有波浪形、锥形、圆锥形、网状形和“人”字形等，花纹高度为5～40mm，输送机最大倾角可达30°～35°，可运送散状物料和成品件。花纹输送带向下输送时，其允许最大倾角为向上输送允许最大倾角的80%。

花纹带式输送机输送能力见表7－3－11。

表7－3－11 花纹带式输送机输送能力

托辊槽角 α	带速 v/（m·s^{-1}）	带宽 B/m					
		500	650	800	1000	1200	1400
		输送能力 Q/（m^3·h^{-1}）					
20°	0.8	60	101	153	240	346	470
	1.0	75	127	192	300	432	588
	1.25	94	158	240	375	540	735
	1.60	110	186	282	440	634	862
	2.0	125	211	320	500	720	980

注：1. 表中数值是按静自然堆积角 $\rho=30°$，输送机倾角 $\beta=20°$，$C=1$ 计算后所取的圆整值。

2. 当静自然堆积角不同时，表中数值应乘以系数：$\rho=35°$时，乘以1.08；$\rho=40°$时，乘以1.175；$\rho=45°$时，乘以1.27。

3. 输送机倾角 $\beta=30°$时，表中数值应乘以1.1～1.15，v或β大时，取小值。

4. 当 C 不等于1时，表中数值需乘以实际 C 值。

2. 增设横隔板

带横隔板的大倾角带式输送机在国外应用较广泛。带横隔板的输送带可分为2种：带有可拆卸横隔板的输送带和带有不可拆卸横隔板的输送带。可拆卸横隔板采用机械方法固定，其优点是横隔板损坏后可以更换，也可以根据需要调整横隔板间距，缺点是减弱了带式强度。横隔板高度为35～300mm，最大设备倾角可达60°～70°。

有一种分开式横隔板，在回程时为了通过托辊，将托辊做成三个盘形，中间盘形托辊正好通过两块隔板中间。在俄罗斯、日本、美国和西欧一些国家，为了提高输送机的输送能力，制造出一种具有侧挡边和横隔板的大倾角带式输送机。这种带式输送机输送能力可提高0.5～1倍，设备倾角可达60°，缺点是输送带清扫困难，所以不适用运输黏性物料。

3. 增加围包角和防护网

在大倾角带式输送机的胶带上部用金属网覆盖防护，可增大输送机的适应倾斜角。淮南矿业集团李一矿主出煤系统带式输送机输送倾角达26°；新庄孜矿采用大倾角（26°）带宽1.2m的带式输送机运输矸石，获得较好效果。现在使用的大倾角带式输送机主要采用四托辊组合，以增加输送带对所运物料的围包角，增大堆积物料之间、物料与输送带之间摩擦阻力。目前国内大倾角上运带式输送机的输送倾角已达到30°。

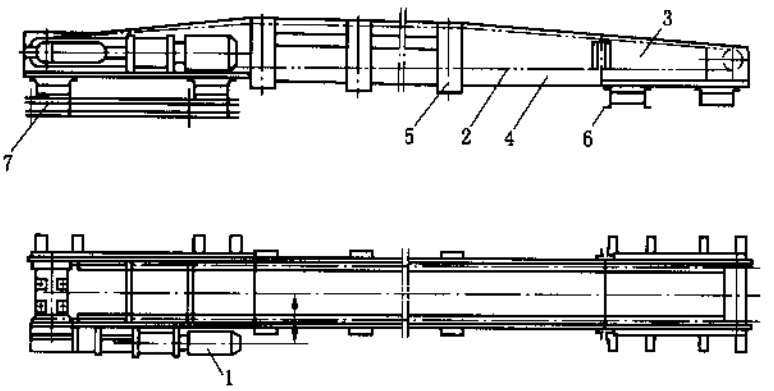
3.2.1.7 上链式输送机

上链式输送机也叫铸石槽箱刮板输送机，是用铸石砌成固定的承载槽，刮板链的下链在槽内运煤，上链架设在承载槽上面返回，其主要由驱动装置、刮板链、机尾、过渡槽、中部槽体组成。

上链式输送机主要用于井下输送煤炭，适宜铺设在无底鼓或无侧压现象且顶、底板稳

定的巷道中，用于生产服务年限 2 年以上的集中运输上山，也可以用于其他半永久性的运输巷道。上链式输送机可布置成水平式或倾斜式。布置成倾斜式时，主要用于向下运输，下运倾角一般不大于 20°；用于向上运输时，上运倾角一般不大于 15°。

近年来的生产实践证明，对于运煤上山，倾角在 17° ~ 32°之间，因条件限制不宜使用带式输送机或自溜运输时，使用上链铸石槽箱刮板输送机是可行的。为了防止断链时打坏中部槽体及减轻连接链环时的体力劳动，应把机头设置在上山的上方，在槽体上每隔一段距离安设一个逆止阀，以解决断链打滑问题。混凝土预制构件装配式槽体具有施工期短、安装容易、维修方便等优点，推荐优先采用这种槽体结构形式。上链式输送机结构示意图如图 7 - 3 - 7 所示，上链式输送机的技术参数见表 7 - 3 - 12。



1—驱动装置；2—刮板链；3—机尾；4—过渡槽；5—中部槽体；6—底座；7—卸煤口钢梁

图 7 - 3 - 7　上链式输送机结构

表 7 - 3 - 12　上链式输送机的技术参数表

型　号	运输能力/ ($t \cdot h^{-1}$)	输送距离/ m	运输角度/ (°)	链速/ ($m \cdot s^{-1}$)	电动机功率/ kW	槽宽/ mm	链条规格
HYL 系列	200 ~ 400	35 ~ 60	≤15	0.46 ~ 0.76	5.5 ~ 45	600 ~ 800	ϕ18 × 64
XGZ 系列	100 ~ 1000	45 ~ 65	15 ~ 20	0.48 ~ 0.76	5.5 ~ 120	600 ~ 1400	ϕ18 × 64
SGB 系列	40 ~ 1500	7.5 ~ 40		0.48 ~ 1.08	7.5 ~ 132	340 ~ 1400	ϕ18 × 64 ϕ22 × 86 ϕ26 × 92
ZSB 系列	800 ~ 1600	110		0.76 ~ 1.03	45 ~ 315	1000 ~ 1600	ϕ22 × 86 ϕ26 × 92

3.2.1.8　铸石溜槽和搪瓷溜槽

在开采倾斜、急倾斜煤层时，采区上、下山运输可以采用铸石溜槽或搪瓷溜槽。在小型煤矿，当回采工作面采用炮采或其他非机械采煤时，根据采区上、下山倾角，采区生产能力，工作面数量及其分布情况，也可以采用铸石溜槽或搪瓷溜槽。

1. 溜槽的技术要求

在使用溜槽的倾斜巷道，其倾角一般以25°～45°为宜，在设计中应通过计算来确定。煤炭在溜槽中的运行速度应控制在1.0～1.5m/s。溜槽两端的斜坡垂高一般为60m，但最高也有达到200m的。

在溜槽斜巷的上、下口应设置煤仓，其容量要能保证连续溜煤不溢槽和上、下口卸装的连续进行。对溜放距离长的斜坡，需分段并加设给料机，以调节溜煤量和溜速，分段长度一般取100～120m。溜煤斜坡断面可分成3个间隔，两侧为溜煤间，中间为检修道。在溜槽入料点上口卸料处宜加设铁篦子，防止大块物料或大于300mm块煤落入溜槽内造成堵塞。

溜槽断面形状一般取U形断面，内衬为异形的耐磨材料，如铸石、搪瓷、超高分子量聚乙烯等。铸石衬与其他材料相比较，铸石衬使用较成熟，铸石块耐磨，耐冲击，摩擦系数小，铸石形状可按设计要求而定，成本低，施工维修方便。

溜槽断面尺寸一般按输送物料的最大块度及输送量来决定。常用倾斜溜槽使用矩形断面，推荐尺寸为b/h=400/350、500/350、600/400、700/500、800/600、900/700。

按块度来决定溜槽的最小断面：

断面宽：
$$b>2d_{max}+100 \tag{7-3-1}$$

断面高：
$$h>1.5d_{max} \tag{7-3-2}$$

按输送能力决定溜槽的断面：
$$A=\frac{Q}{3600\varphi v\gamma} \tag{7-3-3}$$

式中 A——溜槽断面积，m^2；

Q——输送量，t/h；

φ——装满系数，对于煤炭取$\varphi=0.4\sim0.5$，断面大时取大值；

γ——煤炭的松散密度，一般取$\gamma=0.85\sim1t/m^3$；

v——煤炭在溜槽底板上的运动速度，m/s。

按计算所得的A值，在上述常用倾斜溜槽矩形断面尺寸中选取b/h值。

2. 溜槽的相关计算

1）物料在溜槽中的运动速度

溜槽倾角影响着煤炭在溜槽中的运动速度，而后者又与溜槽落煤点煤炭的初速度有关。溜槽底板落煤点的初速度v_0的计算公式为
$$v_0=\sqrt{2gh\sin\alpha} \tag{7-3-4}$$

式中 v_0——溜槽底板落煤点的初速度，m/s；

g——重力加速度，m/s^2；

h——落煤点煤的落差，m；

α——溜槽倾角，(°)。

如果确定物料按v_0等速运动，则可算出溜槽的输送能力。

2）溜槽倾角

选取溜槽倾角，应保证物料有一定的运动速度使物料能可靠地到达终点，并使其破碎率为最小。

物料在溜槽中运动时，其运动方程为

$$Q\sin\alpha - fQ\cos\alpha = \frac{Q}{g}a \tag{7-3-5}$$

$$\sin\alpha - f\cos\alpha = \frac{a}{g}$$

式中　α——溜槽倾角，(°)；

f——煤炭与溜槽面的摩擦系数；

a——煤炭在溜槽底板上下滑的加速度，m/s^2；

g——重力加速度，m/s^2。

当煤炭在溜槽中匀速运动时，$a=0$，

则

$$\sin\alpha - f\cos\alpha = 0 \tag{7-3-6}$$

$$\tan\alpha = f$$

因此，在得到煤炭与溜槽底板间的摩擦系数以后，就可以确定溜槽倾角。

摩擦系数一般与物料种类、粒度、外在水分及溜槽材料（或衬板）有关，它可以通过测定或根据邻近矿井生产数据来确定。

各种煤炭对铸石的摩擦系数平均值：$f=0.25$（使用过的铸石）；$f=0.3\sim0.4$（新铸石）。当溜槽底板铺砌铸石时，溜槽倾角参考表 7－3－13 选取。

表 7－3－13　溜槽倾角推荐值

煤的种类	煤的水分	
	7% 以下	7% 以上
无烟煤	28°～34°	34°～38°
气肥煤、长焰煤	25°～35°	35°～40°
焦煤、肥煤、瘦煤	35°～42°	42°～45°

注：1. 取值宜按表中所列低值增加 2°～3°。

2. 由于溜槽底板衬材品种较多，有条件时尽可能先测定其摩擦系数。

3.2.2　大巷主要运输方式及设备

大巷主要运输设备目前有带式输送机、轨道运输两种，如图 7－3－8 所示。选择运输方式时应根据矿井具体条件进行方案比较，择优选取符合矿井条件、系统简单、环节少、运营费用低、效能高的运输方式。带式输送机与矿车运输的运行要求和特点参见《煤炭工业矿井设计规范》。

《煤炭工业矿井设计规范》规定：条件适宜的大、中型矿井的大巷煤炭运输应优先选用带式输送机；大、中型矿井大巷煤炭运输如果选用电机车时，建议选用底卸式或侧卸式矿车。我国目前仅有 3t 和 5t 底卸式矿车两种。3t 底卸式矿车体积较小，运行灵活，要求巷道断面较小，因此，设计生产能力为 0.9～2.4Mt/a 的矿井大巷运输系统以采用 3t 底卸式或侧卸式矿车为宜；矿井设计生产能力为 3.0Mt/a 的大巷运煤系统宜选用 5t 底卸式或侧卸式矿车。

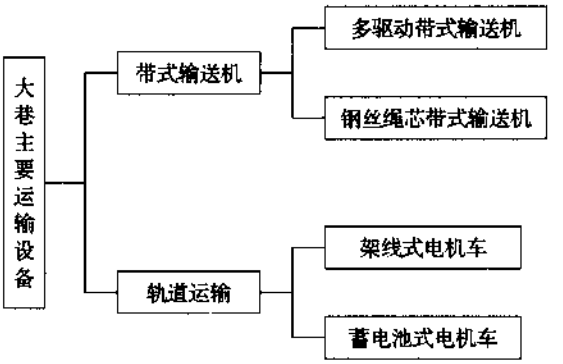


图7-3-8 大巷主要运输设备

3.2.2.1 轨道运输

轨道运输是以有轨机车或固定绞车牵引矿车将煤炭从采区运输到井底卸载点的运输方式。机车是轨道车辆运输的一种牵引设备，按使用的动力分，有电机车和内燃机车。牵引电动机（或内燃机）驱动车轮转动，借助车轮与轨面间的摩擦力，使机车在轨道上运行。在这种运行方式下，它的牵引力不仅受牵引电动机（或内燃机）功率的限制，还受车轮与轨面间的摩擦制约。

牵引设备一般采用电机车，小型矿井亦可采用无极绳绞车。目前已有采用柴油机车，但柴油机车需考虑废气污染、发热、噪声、维修保养技术要求高等问题。

电机车又分为架线式和蓄电池式。架线式电机车运行时，受电弓与架空线间难免产生火花，因此《煤矿安全规程》规定，架线式电机车只能在低瓦斯矿井进风（全风压通风）的主要运输巷道内使用，巷道支护必须使用不可燃性材料。蓄电池式电机车由车上携带的蓄电池供电，运输线路不受限制，但需要充电设施，蓄电池放电到规定值时需更换。

蓄电池式电机车有矿用增安型和矿用防爆特殊型两种。矿用增安型的电动机、控制器、灯具、电缆插销等为隔爆型或增安型，蓄电池和电池箱为普通型；矿用防爆特殊型的电动机、控制器灯具、电缆插销等为隔爆型，蓄电池为防爆特殊型。蓄电池式电机车两端设司机室，对安全运行有利。

3.2.2.2 中间多驱动带式输送机

目前大巷运输中常用带式输送机主要采用钢丝绳芯带式输送机，有些矿还使用中间多驱动带式输送机。

中间多驱动带式输送机是长距离带式输送机的一种形式，它是在长距离的机身中间隔一定距离设置一台短的输送机，如图7-3-9所示。每条驱动带有自己的驱动装置和拉紧装置，驱动带运行时，依靠它与主输送带之间的摩擦力，带动主输送带运行，还可以在主输送带的两端，也设置驱动装置直接带动主输送带。一台这种驱动方式的输送机能达到的运输距离，从原理上讲是没有限制的，只是在多台分散的驱动装置之间，难以保持同步运转。

中间多驱动带式输送机的优点是把牵引力分散到各中间驱动部位，使主输送带所受的张力大为降低；在长运距中，可采用低强度的输送带，使初期投资降低；在运输距离分散

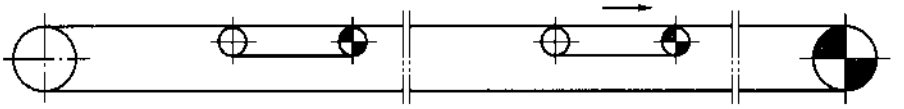


图 7-3-9　中间多驱动带式输送机

加长的场合采用这种输送机，可随运距的加长逐渐增加驱动装置，避免在初期设置大功率的驱动装置。

3.3　辅助运输方式及设备

3.3.1　轨道运输

轨道运输是我国大多数煤矿井下采用的主要辅助运输方式。在没有出现新型的辅助运输设备之前，通常选用的常规辅助运输设备有架线电机车、蓄电池电机车、无极绳绞车、斜巷绞车和调度绞车等。过去一些老矿把电机车作为以运煤为主的设备，兼作辅助运输。

矿井辅助运输系统的构成以及辅助运输设备的选用，与煤层地质条件、开采方式和采掘机械化程度等多种因素有关。在我国早期建成的大中型矿井中，由于采掘机械化程度不高，矿井生产能力有限，一般采用一矿多工作面的生产方式，其采区辅助运输系统主要由以下设备类型构成：矿用绞车、小型调度绞车、小型蓄电池电机车等。这种运输方式目前仍有许多煤矿在采用，被称作传统辅助运输方式。

传统辅助运输方式及设备的主要问题是：运输环节多，系统复杂，占用设备多，由井底车场至采区工作面，需经多次转载和中转编列，辅助运输人员多。据统计，我国煤矿辅助运输人员占井下职工总数的 1/3 以上，有些矿甚至达到 1/2，我国掘进队中一般有 30% ~ 50% 的人员从事辅助运输，从而造成工作效率低、安全状况差，其事故平均占井下工伤事故总数的 30%，仅次于顶板事故，而且呈上升趋势。因此，传统的辅助运输方式已不适应我国煤矿开采技术发展的需要。

3.3.1.1　矿用电机车

1. 架线式电机车和蓄电池电机车

1）架线式电机车和蓄电池电机车的主要特点及技术参数

电机车是大巷轨道运输的主要运输机车，使用的都是直流串激电动机，按供给直流电源的方式分，有架线式和蓄电池式 2 种。

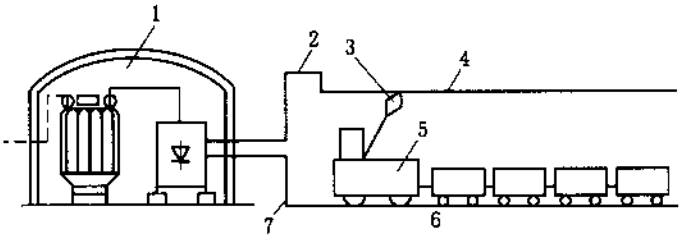
架线式电机车的供电系统如图 7-3-10 所示。交流电在变流所整流后，正极接在架空线上，负极接在轨道上。架空线是沿运行轨道上空架设的裸导线，机车上的受电弓与架空线接触，将电流引入车内，经车上的控制器和牵引电动机，再经轨道流回。因此，架线式电机车的轨道必须按电流回路的要求接通。

架线式电机车运输的主要优点：

（1）牵引力大。直流串激电动机的特性能使机车获得较大的牵引力。

（2）运行速度较高，最高可达 26km/h。

（3）使用方便，维护简单，维护费用较小。只需司机一人操作就可以，所需辅助人员少。



1—牵引变流所；2—馈电线；3—受电弓；4—架空线；5—矿车；6—轨道；7—回电线

图 7-3-10 架线式电机车的供电系统

（4）不产生废气，没有污染。

架线式电机车运输的主要缺点：

（1）电机车靠钢轮与轨道的黏着力驱动。由于受轨道状况和制动的限制，一般只能在坡度3‰～5‰的平巷中运行，局部坡度不超过30‰（1.7°），基本上没有爬坡能力，不能进入采区。

（2）使用范围受限。

（3）基建投资较大，周期较长，要铺设轨道、安装架空线、设置变电所等。

（4）需要较大的巷道断面。

（5）会产生泄漏电流。

架线式电机车技术参数见表7-3-14。

蓄电池电机车与架线式电机车的不同在于它是由车上携带的蓄电池供电，运输线路不受限制。蓄电池电机车的优点是无排气污染，运转热量小，噪声低。缺点是受蓄电池能重比的限制，功率偏小，自重较大，每千瓦功率重量相当于柴油机的2.5倍，不利于重载爬坡；每工作3～4h需更换蓄电池充电；蓄电池组成本较高，而且工作不便。近年来，国外研制出高能量的CSM电池，但近期内仍难以达到柴油机的能重比指标。蓄电池电机车多用于巷道平缓，载荷较小的短途运输，而对于巷道坡度大、运输距离长、作业频繁、载荷较大的运输，常采用防爆柴油机车。由于蓄电池的能量较小，效率较低，充放电管理复杂，维修费用较高，所以蓄电池电机车的推广应用受到限制。

蓄电池电机车的技术参数见表7-3-15。

2）牵引电动机及其控制

（1）直流串激电动机的特性。目前矿用电机车都采用直流串激电动机作牵引电动机，与其他激磁方式的直流电动机比较，直流串激电动机的优点是：

① 串激电动机启动时，能以不大的电流获得较大的启动转矩，因而在要求相同的启动转矩条件下，可采用较小功率的电动机。

② 串激电动机的转矩和旋转速度随着列车运行阻力及行驶条件而自动地进行调节。当电机车上坡行驶或负荷较大时，需要较大的牵引力，随着牵引力的增大，电动机的转速会自动地降低，这样，一方面保证了运行安全，另一方面不至于从电网吸取过大的功率。

③ 两台串激电动机并联工作时，负荷分配比较均匀。由于两台电动机特性有差异或前后车轮直径不相等，两台电动机的转速不等，会引起各电动机负荷电流不相同，但由于

表 7-3-14　架线式

产品新型号	产品老型号	整备质量/t	轨距/mm	参数			直流电压/V	牵引电动机功率×台数/(kW×台)
				小时制		最大牵引力/kN		
				牵引力/kN	速度/(km·h⁻¹)			
CJY 1.5/6.7.9 G 100	ZK 1.5-6.7.9/100	1.5	600 762 900	2.55	4.54	3.68	100	3.5×1
CJY 1.5/6.7.9 G 250	ZK 1.5-6.7.9/250			3.24	6.6	3.68	250	6.5×1
CJY 3/6.7.9 G 250(A)	ZK 3-6.7.9/250-1	3	600 762 900	5.74	7.5	7.36	250	6.5×2
CJY 3/6.7.9 G 250(B)	ZK 3-6.7.9/250-2							
CJY 6/6.7.9 G 250	ZK 6-6.7.9/250	6	600 762 900	11.97	10	14.7	250	18×2
CJY 6/6.7.9 G 550	ZK 6-6.7.9/550						550	
CJY 7/6.7.9 G 250	ZK 7-6.7.9/250	7	600 762 900	13.05	11	17.2	250	21×2
	ZK 7-6.7.9/250-Z							
CJY 7/6.9 G 550	ZK 7-6.9/550		600 900	15.09			550	24×2
	ZK 7-6.7.9/550-Z							
CJY 10/6.7.9 G 250	ZK 10-6.7.9/250	10	600 762 900	13.05	11	24.53	250	21×2
	ZK 10-6.7.9/250-Z							
CJY 10/6.7.9 G 250(B)	ZK 10-6.7.9/250-0(1)							
CJY 10/6.7.9 G 550	ZK 10-6.7.9/550			15.09	11		550	24×2
	ZK 10-6.7.9/550-Z							
CJY 10/6 G 550(D)	ZK 10-6/550-9							
CJY 10/6.7.9 G 250(C)	ZK 10-6.7.9/250-3			18.93	10.5		250	30×2
CJY 10/6.7.9 G 550(B)	ZK 10-6.7.9/550-4						550	
CJL 20/6.7.9 GY 550(D)	ZK 10-6.7.9/550-6C.1	10×2		18.9×2		24.53×2		30×4
CJY 14/6.7.9 GY 550(B)	ZK 14-6.7.9/550-5C	14	600 762 900	26.68	12.87	34.34	550	53×2
CJY 14/6 GY 550(C)	ZK 14-6/550-6C							
CJY 20/9 GY 550(B)	ZK 20-9/550-2C.1	20	900	39.23	15	49	550	85×2
CJY 20/9 GY 550(C)	ZK 20-9/550-3C			39.23	13.8	49		78×2
CJY 20/9 GY 550(Z)		20	900	39.23	15	58.80	550	85×2
CJY 30/9 GY 550(D)		30	900	39.23	14.5	73.50	550	110×2

注：1. 型号含义：C—工矿电机车；J—架线式；Y—单头司机室；L—双头司机室；G—钢轮；Z—斩波；GY 中的 Y 为

2. 使用环境：a）周围空气最高温度不超过 +40℃，最低温度不低于 -20℃；b）最湿月月平均最大相对湿度不大

电机车技术参数表

机车外形及主要尺寸/mm							最小曲率半径/m	调速方式	制动方式	备注
总长	车架宽	轨面距顶棚高	牵引高度	轴距	轮径	受电器工作高度				
2340	950 950 1100	1550	320	650	460	1600～2000	5	电阻	机械	内车架单电机
2370	914 1076 1214	1550	320	650	460	1800～2200	5	电阻	机械	单电机、外车架
2750	944 1106 1244	1550	210 320	850	520	1800～2200	6	可控硅斩波 电阻	机械	双电机、二级传动
4430	1050 1212 1350	1580	320 430	1150	680	2000～2400	7	电阻	机械电气	二级传动
		1600						电阻	机械电气	主副司机室二级传动
4470	1054 1354 1354	1500	320 430	1100	680	1800～2200	7	电阻 IGBT 斩波	机械电气	一级传动
								电阻 IGBT 斩波	机械电气	一级传动
4470	1054 1354 1354	1500	320 430	1100	680	1800～2200	7	电阻	机械电气	一级传动
4470		1550		1100		1800～2200	7	IGBT 斩波	机械电气	一级传动
4530	1052 1214 1352	1550		1100		1800～2200	7	电阻	机械电气	一级传动、侧板加厚(50mm)
4470	1332	1550		1100		1800～2200	7	电阻	机械电气	一级传动
4530	1054 1354 1354	1550		1100		1800～2200	7	IGBT 斩波	机械电气	一级传动
4530	1052 1214 1352	1550		1100		1800～2200	7	电阻	机械电气	一级传动
4660	1050 1212 1350	1600		1220		2000～2400	10	电阻	机械电气	二级传动
4800	1050 1212 1350	1600		1220		1800～2200	10	电阻 IGBT 斩波	机械电气	二级传动
4800	1050 1212 1350	1600		1220		2000～2400	10	电阻	机械电气空气	双机重联牵引
4880	1060 1350 1350	1700	320 430	1700	760	2000～3200	15	电阻	机械电气空气	二级传动
5150	1200 1350 1350	1800				2000～2400		IGBT 斩波	机械电气空气	二级传动
6600	1750	1900	595	2500	840	2000～2400	30	电阻	机械电气空气	间接控制
6100	1600	1320	780	2200		2000～3200	25	电阻	机械电气空气	直接控制
7100	2050	1900	595	2000	840	2200～2400	25	IGBT 斩波	机械电气空气	二级传动
7100	2050	1900	780	2500	840	2150～3850	25	IGBT 斩波	机械电气空气	二级传动

带翅板配底卸式或侧卸式矿车用；（A）（B）（C）（D）为设计序号。

于95%（同月月平均最低温度不大于+25℃）的环境；c）海拔高度不超过2000m。

表 7－3－15　蓄电池

产品新型号	产品老型号	整备质量/t	轨距/mm	参数			蓄电池组	
				小时制		最大牵引力/kN	电压/V	电容量/A·h（5 小时率）
				牵引力/kN	速度/(km·h⁻¹)			
CDY 2.5/4.6.7.9 G 48(A)	XK 2.5－4.6.7.9/48－1	2.5	457 600 762 900	2.55	4.54	6.13	48	308
CAY 2.5/4.6.7.9 G 48(B)	XK 2.5－4.6.7.9/48－2A				4.54	6.13		308
CTY 2.5/4.6.7.9 G 48(A)	XK 2.5－4.6.7.9/48－1KBT				4.54	6.13		330
CTY 5/4 G 88	XK 5－4/88－KBT	5	457	7.06	7	12.26	88	385
CTY 5/6.7.9 G 88(A)	XK 5－6.7.9/88－KBT		600 762 900					
CTY 5/6.7.9 G 90	XK 5－6.7.9/90－KBT						90	330/385
CDY 5/6.7.9 G 90	XK 5－6.7.9/90							385
CTY 5/6.7.9 G 90(B)		5	600 762 900	7.06	7	12.26	90	385
CAY 8/6 G 110(A)	XK 8－6/110－1A	8	600	11.18		19.62	110	385
CTY 8/6 G 110	XK 8－6/110－KBT							440
CTL 8/6 G 110(B)	XK 8－6/110－1KBT							440
CTL 8/6 G 110(A)	XK 8－6/110－1KBT.1							440
CAY 8/7.9 G 132(A)	XK 8－7.9/132－1A	8	762 900	11.18	7.5	19.62	132	370
CTY 8/7.9 G 132	XK 8－7.9/132－KBT							440
CTL 8/7.9 G 132(A)	XK 8－7.9/132－1KBT							440
	XK 8－7.9/132－1KBT.1							440
CTY 8/6.7.9 G 140	XK 8－6.7.9/140－KBT	8	600 762 900	12.86	7.8	19.62	140	440
CTL 8/6.9 G 140(D)	XK 8－6/140－2KBT			11.23	8.6			440
CTY 8/6.7.9 G 144	XK 8－6.7.9/144－KBT			12.83	7.8		144	矮 440
CAY 8/6.7.9 G 144	XK 8－7.9/144－A							440
CTL 12/6.7.9 G 192(C)		12	600 762 900	16.48	8.7	29.43	192	560
CTL 12/6.7.9 G 192(B)				16.48	8.7			
CTY 12/7.9 G 192	XK 12－7.9/192－1KBT.1			16.48	8.7			
CTY 12/6 GY 192(C)	XK 12－6/192－3KBT.C			16.48	8.7			
CTY 12/6 G 192(D)		12	600	16.48	8.7	29.43	192	560
CDY 15/7.9 G 256(A)	XK 15－7.9/256－1	15	762 900	18.93	9.6	36.78	256	560(620)
CDY 15/9 G 208	XK 15－9/208			29.4	9.8	36.78	208	620
CDY 18/7.9 G 208(A)	XK 18－7.9/208－1	18		29.4	9.8	44.145	208	620

注：1. 备注栏中没有注明双头司机室的机车均为单头司机室，机车外形尺寸总宽不包括机车翅板的宽度。

2. 机车最大牵引力按车轮与钢轨黏着系数 $\mu=0.25$ 情况下确定，最大牵引只能在短期启动时使用。

3. 型号含义：C—工矿电机车；T—防爆特殊型蓄电池；A—安全型蓄电池；D—一般型蓄电池；Y—单头司机室；

4. 使用环境：a）周围环境温度最高不超过 +40℃，最低不低于 －20℃；b）最湿月月平均相对湿度最大不大于 95%（同月月平

电机车技术参数表

牵引电动机功率×台数/(kW×台)	机车外形及主要尺寸/mm						最小曲率半径/m	调速方式	制动方式	备注
	总长	车架宽	轨面距顶棚高	牵引高度	轴距	轮径				
3.5×1	2330	914 914 1076 1214	1550	320	650	460	5	电阻	机械	非煤矿井下使用
3.5×1					650	460	5	电阻	机械	非煤矿井下使用
3.5×1					650	460	5	电阻	机械	单电机外车架
7.5×2	3050	900	1535	210 320	900	520	6	可控硅斩波	机械	二级传动
	2970	996 1082 1220	1535		850			电阻	机械	电机蓄电池串并联
	2850		1535					可控硅斩波	机械	二级传动
	2960		1550					电阻	机械	非煤矿井下使用
7.5×2	3200	996 1082 1220	1550	210 320	850	520	6	IGBT 斩波	机械	二级传动
11×2	4430	1054	1600	210 320	1100	680	7	电阻	机械	一级传动 非煤矿井下使用
	4416	1056						电阻或 IGBT	机械	一级传动
	4460	1056		320 430				IGBT	机械	一级传动双室
	4800	1056						电阻	机械	一级传动双室
11×2	4430	1354	1600	210 320	1100	680	7	电阻	机械	一级传动 非煤矿井下使用
	4416	1336						电阻或 IGBT	机械	一级传动
	4460	1356		320 430				电阻或 IGBT	机械	一级传动双室
	4800	1356						电阻	机械空气	一级传动双室
15×2	4490	1044 1206 1344	1600	320 430	1150	680	7	可控硅斩波	机械	两级传动
	4860	1050 1222 1350						IGBT 斩波	机械	两级传动双室
	4470	1050 1212 1350				600		电阻	机械电气	两级传动
	4470							电阻	机械电气	两级传动 非煤矿井下使用
22×2	5100	1050 1212 1350	1600	320 430	1220	680	10	IGBT 斩波	机械电气空气	两级传动双司机室
	5340		1600		1220			电阻	机械电气空气	两级传动双司机室
	5100		1600		1220			电阻	机械电气空气	两级传动单司机室
	4740		1600		1220			电阻	机械电气空气	两级传动单司机室
22×2	4740	1050	1600		1220			IGBT 斩波	机械电气空气	两级传动单司机室
30×2	5200	1400	2120		1400	680	15	电阻	机械电气空气	非煤矿井下使用
40×2	5580	1400	2140		2200	600	20	IGBT 斩波	机械电气空气	非煤矿井下使用
40×2	5580	1400	2100	320 430	2200	600	20	IGBT 斩波	机械电气空气	非煤矿井下使用

L—双头司机室；C—钢轮；CY 中的 Y 为带翅板配底卸式或侧卸式矿车用；（A）（B）（C）（D）为设计序号。

均最低温度不大于 +25℃）；c）按《煤矿安全规程》规定使用煤矿防爆特殊型蓄电池式电机车的场所；d）海拔高度不超过 2000m。

其牵引特性较软，因而负荷电流差异很小，在 5% ~10% 范围内。这样，可以避免个别电动机在运转中因负荷不均匀而产生严重过负荷现象。

④ 当架空电网的电压变动时，只影响串激电动机的转速，而不影响其转矩，这样就使得当架空电网的电压降很大时，电机车也能启动。

此外，串激电动机构造简单，体积和质量都较小。但是，串激电动机也有缺点，如调整性能差等。

由于工作条件的要求，架线式电机车的牵引电动机为全封闭型，蓄电池式电机车的牵引电动机为隔爆型。由于功率不大，都采用自冷式。

牵引电动机的特性是指运行速度 v、轮缘牵引力 F、效率 η 与电枢电流之间的关系。通常是根据已知牵引力来查电枢电流及运行速度。牵引电动机的功率有长时功率和小时功率之分。长时功率是指在电机绝缘材料的允许温升条件下电机长时运转时能够输出的最大功率，主要取决于电机的散热能力。小时功率是指在允许温升条件下，电机连续运转 1h 的最大功率，它是牵引电动机的额定功率，主要取决于电机的绝缘材料和冷却性能的好坏。

(2) 牵引电动机的启动。矿用电机车工作条件不好，启动频繁，因而要求启动时能量消耗要小，启动要平稳，以避免机械冲击。

① 启动原理。牵引电动机在静止时电枢绕组内没有反电势，而绕组本身电阻又很小，因此，如果在启动时把牵引电动机直接接至全电压电网，则在静止的电动机各绕组中通过的电流很大，会引起绕组很快发热甚至烧毁，此外，还会产生很大的转矩，引起机械部分的损坏。为了限制启动时的电流冲击，并保持一定的电流数值，普遍采用在牵引电动机的电路中串联接入启动电阻和将两台牵引电动机串并联的方法进行启动。

② 串接电阻的启动方法。若已知允许的启动电流，并测出电动机绕组的电阻值，便可以确定启动电阻值。但是，随着电动机旋转速度的增加，若启动电阻固定不变，则电枢电流将减小，电机车的牵引力也随之减小。因此，为了保持牵引力不变，必须相应地减小启动电阻值。显然，理想的启动应是使启动电阻的数值无级地减小，即要保证每瞬间的启动电流固定不变，实际上要使启动电阻无级地减小，其控制是比较困难和复杂的。解决这个问题的方法，是将可控硅脉冲技术用在电机车上，以实现无级调速和平稳启动。为了简化控制，在 ZK 型电机车上启动电阻都是做成四级的，即采用逐级减小启动电阻的方法来启动，启动电流在一定的范围内变动，大约为启动电流平均值的 ±15% 。

③ 串并联启动方法。矿用电机车采用的两台牵引电动机串并联启动的方法如图 7 - 3 - 11 所示。开始启动时，第一步先将两台电动机串联，并加入启动电阻 R_p，然后逐段切除电阻，直至 $R_p = 0$；第二步是将两台电动机并联，加入适当的电阻 R'_p，然后逐段切除，直至两台电动机不带电阻并联运行，这时电机车即达到全速运行。

(3) 牵引电动机的调速。通过改变电动机的端电压或磁场强度，可以改变电机车的速度。单电机小型矿用电机车一般采用改变电动机磁场强度的方法调速，如图 7 - 3 - 12 所示。

(4) 电气制动。矿用电机车的电气制动大多数是采用动力制动，或称能耗制动。其原理是根据牵引电动机在一定工作条件下可以转变为发电机运转的可逆性，当牵引电动机转变为发电机工作时，利用列车的动能转变为电能，这时电流将转变为相反的方向，使电动机轴上产生制动力。在进行电气制动的过程中，将产生的电能直接消耗在电阻器上。

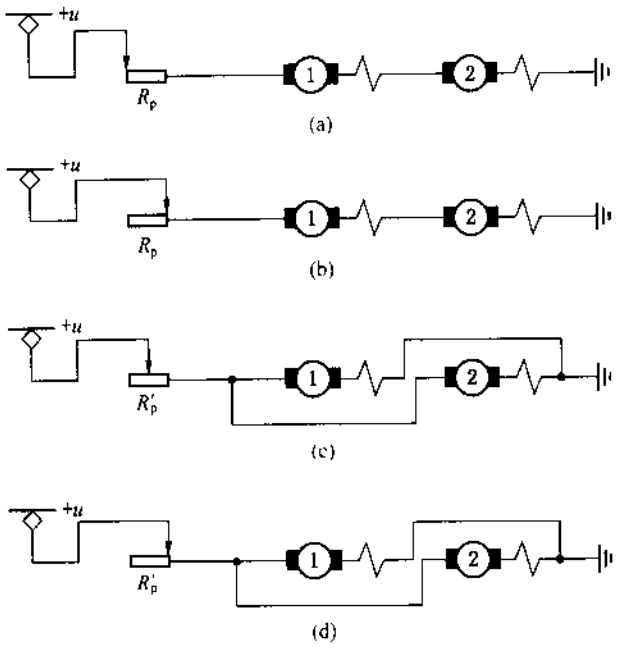


图 7-3-11 两台牵引电动机串并联启动

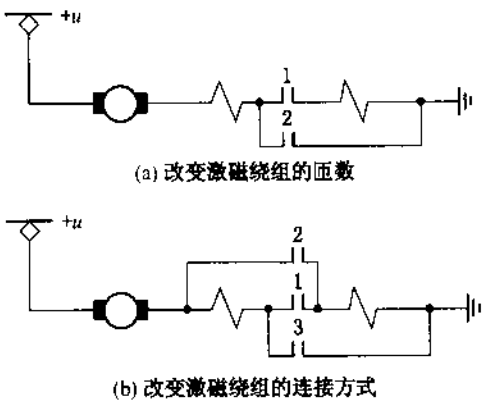


图 7-3-12 串激牵引电动机的磁场强度调节

动力制动的优点是不从电网吸取电能，线路比较简单，同时产生的机械冲击也不大。其缺点是制动过程中电动机有电流通过，因此电机绕组的温升要增高，牵引电动机的功率比不用动力制动者增加 15% ~20%，此外，采用动力制动不能达到完全停车，还需使用闸瓦制动。

电机车要实现动力制动必须解决两个问题：①制动前后串激磁场中的电流方向不应改变，否则会产生去磁作用而失去制动力。②在制动时两台电动机均变成串激发电机，其负荷为同一个制动电阻器，相当于两台串激发电机并联运行，而串激发电机的并联运行是不

稳定的。

为了解决上述两个问题，必须采用两台电机的激磁绕组交叉连接线路或交叉—桥式连接线路。目前 ZK 型架线式电机车的电气制动线路都是采用交叉—桥式连接线路。

2. 交流拖动电机车

虽然直流串激电动机驱动电机车具有许多优点，但也存在着一系列难以克服的缺点。随着电力电子技术的飞速发展及交流调速技术日趋完善，采用高效率经济型的交流调速系统取代原有的直流电动机调速系统，也成为电机车牵引技术发展的新动向。

德国西门子等公司为鲁尔煤矿公司生产了交流拖动防爆矿用蓄电池机车，其主要技术参数见表 7－3－16。该车的主要特点有：机械结构实现了模块化；采用单机交流传动；主电路采用先进的自关断电力电子器件——IGBT 构成的四象限变频器，而且具有再生制动功能；机车控制采用 Siemens－16 微机的矢量控制，且具有监控和故障诊断功能。该车从 1992 年中期投入井下使用，到 1995 年就已批量生产了 100 多辆不同结构的机车，是世界上具有先进水平的窄轨工矿机车之一。

变频调速电机车的技术参数见表 7－3－17。

表 7－3－16　交流拖动防爆矿用蓄电池机车主要技术参数

元　　件	参 数 名 称	参　数　值
机车	轨距/mm	540～750（可变）
	轴距/mm	1370～2500（可变）
	轮径/mm	600
	长×宽×高/(mm×mm×mm)	6170×1000×1800
异步牵引电动机	型号	IMJ6223－4EA90－Z
	持续功率/kW	45
	最高转速/($r \cdot min^{-1}$)	2300
	频率/Hz	0～78
	最大转矩/(N·m)	503
	电压/V	180
	绝缘等级	F 级
IGBT 变压器	输入电压/V	154～254
	输出电压/V	0～200
	输出电流/A	0～300
	输出频率/Hz	0～80
	IGBT 规格	300A/1000V
	IGBT 最高脉冲频率/Hz	1400
	通过最小曲线半径/m	12
	牵引蓄电池容量/电压	2×600A·h/2×108V
	传动比（货运/客运）	15.7∶1/9.5∶1
	启动牵引力（货运/客运）/kN	25/15

表7-3-17 变频调速电机车技术参数

产品新型号	整备质量/t	轨距/mm	参数			直流电压/V	牵引电动机功率×台数/(kW·台)	机车外形及主要尺寸/mm							最小曲率半径/m	调速方式	制动方式	备注
			小时制		最大牵引力/kN			总长	车架宽	轨面距顶棚高	牵引高度	轴距	轮径	受电器工作高度				
			牵引力/kN	速度/(km·h⁻¹)														
CJY 7/6.7.9 G 550 P	7	600 762 900	17.03	12.00	20.58	550 (250)	30×2	4750	1050 1220 1350	1600	320 430	1100	680	2000~2400	7	变频	机械电气空气	二级传动,架线
CJY 10/6.7.9 G 550P	10		17.03	12.00	29.4	550 (250)	30×2	4750	1050 1220 1350	1600		1220		2000~2400	10			
CJY 14/6.7.9 G 550P	14	600 762 900	28.28	14.50	34.34	550	60×2	5150	1060 1350 1350	1800	320 430	1700	760	1800~2500	15	变频	机械电气空气	二级传动,架线
CJY 20/9 GY 550P	20	900	39.23	14.80	58.8	550	85×2	7100	1750 (2050)	1900	780	2200	840	2000~3200	30	变频	机械电气空气	二级传动,架线
CJY 30/9 GY 550P	30		50.00	15.00	88		110×2	7100	1750 (2050)	1900	780	2500		2000~3200	25	变频	机械电气空气	二级传动,架线
CTL 8/6.7.9 G 140P	8	600 762 900	13.6	10	23.52	140	20×2	4860	1050 1220 1350	1600	320 430	1150	680		7	变频	机械电气空气	二级传动
CTL 12/6.7.9 G 192P	12	600 762 900	20.00	10.00	29.43	192	30×2	5200	1050 1220 1350	1600	320 430	1220	680		12	变频	机械电气空气	二级传动
CTL 16/6.7.9 G 336P	16	600 762 900	32.20	9.54	44.00	336	45×2	5400	1050 1220 1350	1600	320 430	1800	680		15	变频	机械电气空气	二级传动, 单体电池4V
XJK 18/7.9 GY 210P	18	762 900	35.00	7.80	48.00	210	40×2	5280	1400	2250	320 430	2100	600		20	变频	机械电气空气	二级传动
XJK 25/7 G 300P	25 (30)	762 900	51.30	10.00	61.25	300	75×2	6110	1400	2250	320 430	2330	680		30	变频	机械电气空气	二级传动
XJK 45/9 G 528P	45 (35)	900	90.00	7.80	120.0	528	110×2	7200	1500	2250	320 430	2600	840		30	变频	机械电气空气	二级传动

注：1. 型号含义：C—工矿电机车；J—架线式；T—防爆特殊型蓄电池式；Y—单头司机室；L—双头司机室；G—钢轮；GY 中的 Y 为带翅板配底卸式或侧卸式矿车用；JK—交流调速；P—变频。

2. 使用环境：a）周围空气最高温度不超过+40℃，最低温度不低于-20℃；b）最湿月月平均最大相对湿度不大于95%（同月月平均最低温度不大于+25℃）的环境；c）海拔高度不超过2000m。

3.3.1.2　卡轨车

卡轨车是一种由钢丝绳牵引或机车牵引、装有卡轨轮在专用轨道上运行的运输车辆，其牵引和载重车辆的转向架装有垂直和水平卡轨轮组，当车辆在专用轨道上运行时，卡轨轮卡在轨道的槽口中滚动，可防止车辆掉道。卡轨车的特点是载重量大，运速高，运距长，爬坡能力强，运输安全可靠，能适应起伏、弯曲和倾斜的巷道。主要用于煤矿井下材料、设备、人员和矸石的辅助运输，尤其适用于重型设备如综采设备的搬运。

1. 卡轨车的分类

卡轨车按结构形式可分为全程卡轨的卡轨车和部分卡轨的卡轨车；按牵引方式分为绳牵引卡轨车和机车牵引卡轨车。

全程式卡轨的卡轨车在大巷使用的是常规轨道，进入采区巷道后，其轨道和车辆是专用的，所以从大巷进入采区巷道时，货物要转载。部分卡轨的卡轨车使用的是常规的普通轨道和车辆，仅在弯道起伏等局部易掉道地段增设护轨，防止车辆掉道，货物不需转载，其可靠性不如全程卡轨，巷道条件好时可以使用。

钢丝绳牵引卡轨车是以绞车为牵引机构的无极绳运输，多数为单无极绳牵引方式。它的功率和牵引力大，速度高，重载爬坡能力强，适用于坡度大（12°～25°）、弯道少的运输系统，不适用于底鼓严重地段或分支的巷道。

机车牵引卡轨车按牵引机车的动力分为防爆柴油机卡轨车、防爆特殊型蓄电池卡轨车。防爆柴油机卡轨车按爬坡能力又分为防爆柴油机胶套轮卡轨车、防爆柴油机胶套轮齿轨卡轨车。机车牵引卡轨车机动性好，能适应多分支巷道和多个采掘工作面运输的需要，用于平硐或倾角小的斜井开拓时，能实现从地面不经转载直达工作面的运输，用于立井开拓时，可实现从井底车场直达工作面的运输。

2. 卡轨车的适用条件

（1）绳牵引卡轨车特别适用于需整体拉运重型设备（质量大于 12t）、坡度大（大于 12°）、弯道较少的运输系统。

（2）柴油机卡轨车机车克服了钢丝绳牵引带来的运距短、安装移设费时和不能分叉运输的一系列缺点，可以比较机动灵活地进入多条分支巷道运送物料、人员。但由于构造上原因，机车重量较大，牵引力较小。现有的 90～100 型柴油机卡轨车机车牵引力一般不超过 28～45kN，因而爬坡能力较小。

（3）柴油机卡轨车一般选用在倾角小于 8°的巷道内运行。

卡轨车系统主要由轨道装置、卡轨车车辆及牵引控制设备 3 部分组成。钢丝绳牵引的卡轨车系统如图 7－3－13 所示。国内外绳牵引卡轨车技术特征见表 7－3－18。

3.3.1.3　齿轨车

齿轨车是一种以防爆柴油机（或特种防爆蓄电池机车）为动力的自驱动辅助运输设备。

1. 齿轨车的分类

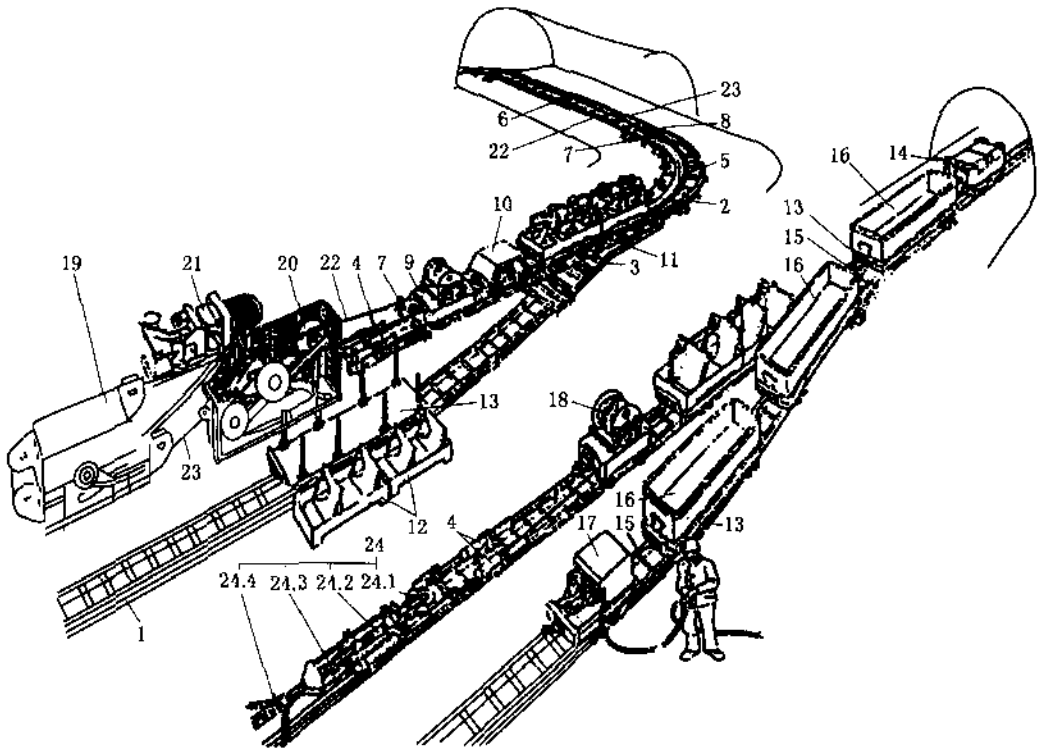
齿轨车按运行方式分类，有全齿条驱动和黏着/齿条（混合）驱动两种；按轮系结构分类，有带卡轨轮系和不带卡轨轮系两种。

2. 齿轨车的优缺点和使用范围

（1）齿轨机车系统的最大优点是可以在近水平煤层以盘区开拓方式的矿井中，实现

表 7-3-18 国内外绳牵引卡轨车技术特征

卡轨车型号（类型）	中国				德国			英国	俄罗斯	
	石家庄煤矿机械厂		常州科试中心	河北煤研所	沙尔夫公司(Scharf)		穆肯豪普特公司	贝考瑞特公司		
	KCY-81900	KSP-8/600	F-1(A)	KJS-6/600	双轨 800	双轨 500	400,650,900	400,600	ДКН-1	ДКН-2
卡轨类型	槽钢内卡	普通轨内卡	槽钢(异型轨)外卡	普通轨	槽钢外卡	槽钢外卡	槽钢内卡	槽钢内卡	普通轨	
轨型	[180	P24	[180(异)	P24	[180	[180,[140	[180,[140	[180,[140	P24,P33	
轨距/mm	外口 900	内口 600	内口 900/600	内口 600	内口 800	内口 500	400,650,900	外口 400,600	600,900	
钢绳直径/mm	21.5	21.5	23.5,21.5	21.5	32,28	30	15.5~30	19~35	15	16.5
驱动轮直径/mm	1050	1050			800~1200	640~800	640~1200	900~1800	900	1000
牵引力/kN	80/40	80/40	90/45	60	2×60	45/60	30,45,60,90	45,60,90	30	35
最大牵引速度/($m \cdot s^{-1}$)	1/2	1/2	1.5	0.33	2.6	4	4	4.6	2.4	2
安全制动车限速/($m \cdot s^{-1}$)	2.5	2.5	2	1						
额定制动力/kN	120	120	135	90	120~140	120~140		100~200		
最大爬坡倾角/(°)	25	25	25	20	14~25	30~45	25~45	45	6	20
弯曲半径(水平/垂直)/m	4/15	6/15	12	9/15	4/10	4/10	4/10	4/10	12/20	
最大单车载重/t	15	15	15~20	20	15~30	15	20	12~23	15	9
主电动机功率/kW	130	130	170		240~330	110~240	66,110,160,330	90~300	90	90
制动方式	工作制动 紧急制动 安全制动	工作制动 紧急制动 安全制动	工作制动 紧急制动 安全制动	工作制动 紧急制动 安全制动	工作制动 紧急制动 安全制动	工作制动 紧急制动 安全制动	工作制动 紧急制动 安全制动	工作制动 紧急制动 安全制动	工作制动 紧急制动 安全制动	工作制动 紧急制动 安全制动
主液压泵	轴向柱塞变量	轴向柱塞变量	轴向柱塞变量		轴向柱塞变量	轴向柱塞变量	轴向柱塞变量	轴向柱塞变量	轴向柱塞变量	轴向柱塞变量
液压马达	径向柱塞定量	径向柱塞定量	径向柱塞定量		径向柱塞定量	径向柱塞定量	径向柱塞定量	径向柱塞定量	径向柱塞定量	径向柱塞定量
系统工作压力/MPa	19	19	17		23	23				



1—直线轨道；2—弯道；3—道岔；4—缓冲装置；5—弯道导向轮组；6—托绳辊；7—空绳导向轮；8—通过式导向轮组；9—牵引车（带储绳筒）；10—控制车；11—带人座运输车；12—四人座车；13—运输车；14—制动车；15—连接杆；16—可翻转容器；17—调度用卡轨车；18—储绳滚筒；19—牵引绞车；20—张紧装置；21—带操纵台的泵站；22—返回绳（空绳）；23—牵引绳；24—回绳站；24.1—带护板回绳轮；24.2—测力计；24.3—棘轮张紧器；24.4—锚固装置

图 7-3-13　钢丝绳牵引的卡轨车系统

大巷—上下山—采区顺槽—条龙运输。机车上装有工作制动、紧急制动和停车制动 3 套系统，并可在牵引的列车上装制动闸，可以保证在 10°以内的上下坡道上可靠运行。其中，牵引特性、适用性和经济性较好的是柴油机驱动的齿轨机车。一台 66kW 柴油机齿轨机车可在 8°坡道上牵引 140kN 列车，并以 4km/h 速度运行，在平巷上则可用黏着牵引以 15km/h 高速运行，可以满足一般矿井运输设备材料和人员的要求。

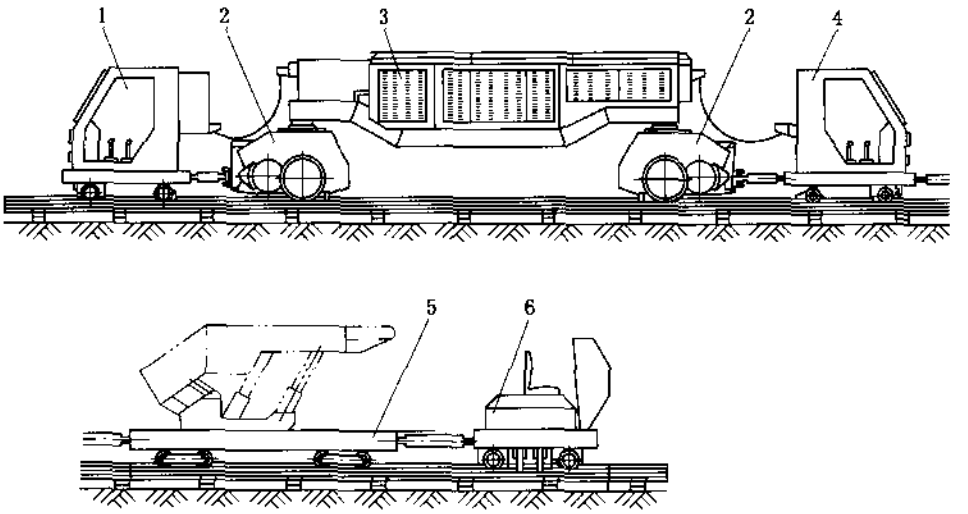
（2）行驶齿轨机车的轨道需要加固，选用钢轨不得小于 22kg/m，轨距为 600 ~ 914mm，在坡道上需用型钢轨枕并加装齿轨，进出齿轨区段装设特殊的弹簧矮齿轨，齿轨轨道也可过道岔。齿轨机车通过的弯道曲率半径，水平方向应不小于 10m，垂直方向应不小于 23m。

（3）齿轨机车质量较大（质量小则影响黏着牵引力），造价较高，约比一般机车高 1 ~ 2 倍。齿轮轨道造价也较高，约比普通轨道高 2 倍，并要求安装稳固，需经常维修清理，否则在轨道上运行时不能正常啮合，易造成出轨事故。总之，齿轨车系统只能在水平大巷和坡度不大的主要上、下山巷道中使用，由于转弯半径要求较大，因此基本上不能用

于采区巷道。

3. 齿轨车的结构特点

齿轨车由机车、列车、轨道等几部分组成，KZP－8/900（600）型齿轨车外形如图7－3－14所示。其中，机车部分由主司机室、副司机室、2个驱动部及1个主机组成，各部分之间用拉杆及球销连接。列车部分由载重车、人车和安全制动车组成。轨道部分由齿条、普通轨、枕轨、导入装置和道岔组成。



1—主司机室；2—驱动部；3—主机；4—副司机室；5—平板车；6—制动车

图7－3－14 KZP－8/900（600）型齿轨车结构

4. 齿轨车的技术参数

国内外矿用防爆柴油机齿轨车技术参数见表7－3－19。

3.3.2 绞车运输

3.3.2.1 内齿轮绞车

内齿轮绞车产品为单滚筒型，绞车体积小，结构紧凑，减速机构采用了两组内齿轮传动副和一组行星轮系，整机由底座、支承架、卷筒装置、刹车装置、马达齿轮及电气部分等组成。内齿轮绞车的最大功率已达90kW。目前常用的内齿轮绞车的技术参数见表7－3－20。

目前还出现了一种整体式通心轴支承卷筒的齿轮传动绞车，用于矿山及建筑行业牵引重物或提升重物。它和现有的老产品相比有如下优点：

（1）电动机、减速行星齿轮结构体和卷绕钢绳的卷筒设计为一体；有两个手柄，一个为离合器，一个为制动，操作十分方便。

（2）它的传动设计为一级内齿轮传动和一级行星传动靠通心轴串联，通心轴将整个传动和卷筒全部支承起来，电动机偏心安装在一端，结构简单，刚性好，安装方便。

（3）造价低。

3.3.2.2 无极绳绞车

表 7－3－19 国内外矿用防爆柴油机齿轨车技术参数

齿轮车型号（类型）	中国					德国		英国						
	石家庄煤矿机械厂		常州科试中心	长沙重型机器厂	溧阳	沙尔夫公司	克兰姆普公司	贝克瑞特公司		汉斯莱特公司			CMT 公司	
	KZP－8/900(600)	JCP－8/600	CK－66	JX－90	四档行星动力	DW－110－2－69/86HP	BwlliTrack	RL100/400	RI50/400	柴油机64HP	柴油机91HP	柴油机150HP	柴油机85B	柴油机160RA
卡轨类型	外卡		外卡（胶轮）			外卡（胶轮）	卡轨	内卡	内卡					
轨型	普通轨 P24	普通轨 P24	槽钢	普通轨 P24	普通轨 P24	异型轨	ϕ90 钢管	槽钢	槽钢					
轨距/mm	900/600	600	900/600	900/600	900/600	800	650	400	400	604/914	604/914	760/916	600/916	600/916
柴油机型号	MWM D916－6	MWM D916－6	6105FB	6105FB	6105FB	MWM D916－6		D916－62	Perkins D4.203	Perkins 6354	Perkins 6.354	Cat3306NA	MWM D916－8	MWM D916－8
柴油机功率/kW	69	69	66	66	66	69	75	63.5	33.6	48	67	112	63	125
柴油机转速/($r \cdot min^{-1}$)	2300	2300	2300f	2300	2300	2300		2300	2000					
启动方式	弹簧	弹簧	液压蓄能			液压蓄能	液压蓄能	液压蓄能	液压蓄能					
传动方式	液压齿轮	机械	液压齿轮	液压齿轮	机械	液压齿轮	液压齿轮	液压齿轮	液压齿轮	液压齿轮	液压齿轮	液压齿轮	液压齿轮	液压齿轮
制动方式	工作 紧急 安全	工作 紧急 安全	工作 紧急 安全	工作 紧急 安全	工作 紧急 安全	工作 紧急 安全	工作 紧急 安全	工作 紧急 安全	工作 紧急 安全					
最大牵引速度(黏着/齿条)/($m \cdot s^{-1}$)	2.5/2	3.2	3	4.4/2.2	4.6/1.3	3	2	5.45	5.8	3/1.5	4.4/2.2	7.8/3.9		

表 7-3-19（续）

齿轮车型号（类型）	中国					德国		英国						
	石家庄煤矿机械厂		常州科试中心	长沙重型机器厂	溧阳	沙尔夫公司	克兰姆普公司	贝克瑞特公司		汉斯莱特公司			GMT 公司	
	KZP-8/900(600)	JCP-8/600	CK-66	JX-90	四档行星动力	DW-110-2-69/86HP	BwlliTrack	RL100/400	RL50/400	柴油机 64HP	柴油机 91HP	柴油机 150HP	柴油机 85B	柴油机 160RA
最大牵引力（黏着/齿条）/kN	18.4/80	21/80	45/100	24/60	24/67	45/110	/70	28	21	22/30/53.5	25(35)/50	41./63.5	30/50	37.5/70
弯曲半径（水平/垂直）/m	10(黏着)6(齿条)/15	10/20	4/22	10/23	10/	4/10	4/	4/	4/	7/	10/	12	6/10	6/10
最大倾角/(°)	18	12	18	9.5	14	18	27	8	8	9.5	9.5			
主液压泵	A4V125 轴向柱塞变量泵		A4V125 轴向柱塞变量泵			A4V90 轴向柱塞变量泵	轴向柱塞泵 1 台	2PV105TG 轴向柱塞变量泵	Dwomatic3 轴向柱塞变量泵					
主马达	A6V107 轴向柱塞变量马达 2 台		轴向柱塞变量马达			A2F28 轴向柱塞定量马达	径向柱塞低速大扭矩马达 2 台	定量马达 4 台	定量马达 4 台					
系统工作压力/MPa	23		20			34	28	24.6	24.6					
机车自重/t	7.5	9	10	12	12	11	6.2	5.8	5.84	10	11.6	14.6	10	15

表 7－3－20　内齿轮绞车主要技术参数

绞车型号		JD－1	JD－1.6	JD－2.5	JD－4
钢丝绳	拉力/kN	10	18	25	45
	速度/(m·s^{-1})	1.03	1.4	1.85	1.25
	直径/mm	12	16	20	22
滚筒	直径/mm	225	310	500	620
	宽度/mm	307	400	580	600
	容绳量/m	400	400	650	750
电动机功率/kW		11.4	25	40	55
外形尺寸	长/mm	1100	1435	2170	2500
	宽/mm	765	1210	1385	2645
	高/mm	730	1260	1550	1645
总质量/kg		555	1410	2870	4702

无极绳连续牵引绞车也称无极绳绞车，它是用摩擦轮绞车带动一条封闭的钢丝绳运转，矿车通过特殊的连接装置与钢丝绳连接起来，靠运行的钢丝绳带动矿车沿轨道运行。若从装车场按一定的间隔不断地将矿车与钢丝绳挂接（挂钩），那么在出车场处就可以不断地摘挂钩并推出矿车，因此这种运输是连续的，它的货运量与距离无关。

无极绳连续牵引绞车采用机械传动方式，结构紧凑，操作简单，维修方便，可靠性高。它可取代多台小绞车的接力运输，实现工作面顺槽设备、材料和人员不经转载的连续运输，节省了中途摘挂钩的时间。实践证明，使用无极绳连续牵引绞车可简化运输环节，减少辅助人员，改善工人劳动条件，运行安全可靠，操作和维修都比较方便，经济效益和社会效益明显。

无极绳连续牵引绞车主要用于煤矿井下工作面顺槽、采区上下山、回风巷及集中轨道巷，直接利用井下现有轨道系统，实现不经转载的连续直达运输，适用于长距离、大倾角、多变坡、大吨位工况条件的轨道运输。

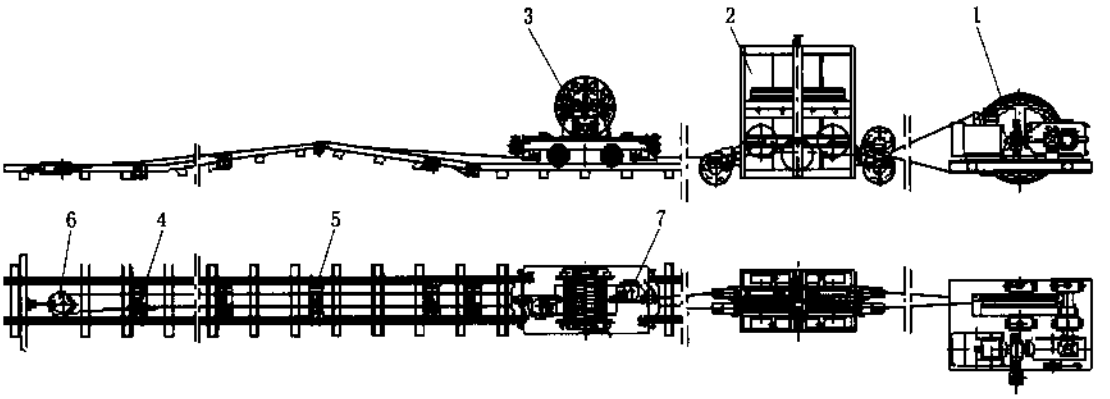
无极绳绞车运输距离一般为 1500～2000m，最大可达 3000m；运行速度：运输液压支架类重型设备时为 0.5～1.5m/s，运输材料、矸石时为 1.5～2.0m/s，运输人员时为 2.0～2.5m/s。

1. 无极绳绞车的分类及其组成

无极绳绞车按驱动方式分为抛物线单滚筒和绳槽式双滚筒 2 种型式，而牵引绞车变速方式又分为单速、机械换挡双速、变频调速和开关磁阻电机调速 4 种。

由无极绳牵引绞车、张紧装置、梭车、压绳轮组、托绳轮组和尾轮 6 部分通过钢丝绳组成完整的运输系统，配置开关、三联按钮或电气控制装置后实现连续双向重载运输。典型布置如图 7－3－15 所示。

无极绳连续牵引绞车根据坡道变化配置各种导向轮组，对钢丝绳实现导向，巷道有弯道时需配置弯道装置。其布置方式不需要改变井下的轨道系统，且能根据需要方便快速地



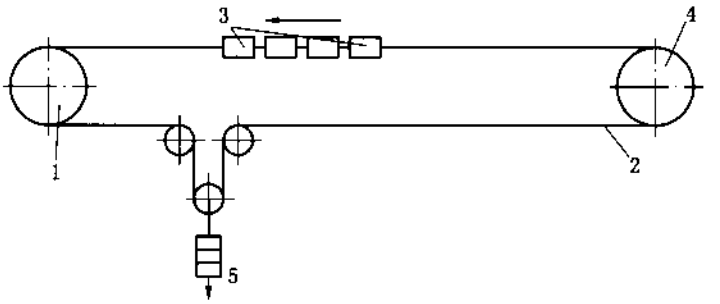
1—牵引绞车；2—张紧装置；3—梭车；4—压绳轮组；5—托绳轮组；6—尾轮；7—楔块

图 7-3-15 无极绳连续牵引绞车典型布置

变化运距。在坡道起伏变化严重的区段，为防止钢丝绳漂绳，出现车辆掉道和拉棚等事故，系统设计中要考虑压绳装置；为防止车辆掉道、牵引绞车制动失灵等意外情况出现，牵引绞车设计有安全失效制动闸；为防止断绳，出现溜车重大事故，梭车设计有断绳保护系统；为防止钢丝绳张力减小，出现钢丝绳在卷绳筒上打滑现象，系统设计有张紧装置。被牵引车辆如平板车、材料车、矿车及人车等直接与梭车相连接，连接方式可以是软连接，也可以是硬连接，实现运距内的往返运输。

2. 无极绳绞车的工作原理

无极绳连续牵引绞车的工作原理与绳牵引卡轨车相同，都是通过钢丝绳与驱动轮之间的摩擦力来带动钢丝绳运行，从而牵引车辆沿轨道往复运行。图 7-3-16 所示为无极绳连续牵引绞车工作原理图。



1—摩擦轮；2—牵引钢丝绳；3—梭车；4—尾轮；5—张紧装置

图 7-3-16 无极绳连续牵引绞车工作原理图

牵引钢丝绳 2 绕过摩擦轮 1 后，一端固定在梭车 3 上，另一端绕经张紧装置 5 后，再绕过尾轮 4 固定在梭车上。钢丝绳两端固定好后，由张紧装置将钢丝绳拉紧，使钢丝绳具有一定的初张力。然后启动电动机，带动驱动滚筒运转，从而驱动牵引绞车的摩擦轮运

转，使无极绳和连接在钢丝绳上的梭车做往复运动，带动车辆运行。它与一般无极绳牵引的不同之处是用梭车来固定牵引钢丝绳的两端，钢丝绳不是循环运行，而是做往复运行，运输距离是可以通过梭车上的钢丝绳储绳筒调节的。

无极绳连续牵引绞车不论运距长短、运量大小，也不论采用何种调速方式，都必须有一个相互配套的完整系统。这个系统主要由巷道条件、轨道性能、配套设备、辅助设施等组成，它应具备的技术条件有：

（1）满足设备运行的巷道断面和坡度。

（2）满足牵引绞车及张紧装置安装布置的巷道位置条件。

（3）符合《煤矿安全规程》的轨道铺设质量要求。

（4）具有可供选择的主机和配套设备。

（5）具有合理的巷道布置和为运输服务的辅助设施。

3. 无极绳绞车的技术特点

（1）结构简单、可靠性高、工作可靠。

（2）一机多能，用途广。

（3）布置灵活，适应性强。

（4）可实现巷道水平转弯运输。

（5）配置灵活，安装便捷。

（6）容绳量大，运行费用低。

（7）连续运输，安全高效。

无极绳连续牵引绞车的缺点有：

（1）只能在某一巷道实现往返运输，不能同时服务多个巷道，机动灵活性差。

（2）由于运距相对固定，梭车必须与钢丝绳连接，不能在无钢丝绳线路运行，因此，在运输线路的始端和尾端必须配备辅助设备进行调车，被牵引车辆只有进入运输线路后才能运行。

（3）系统虽然能在水平弯道上牵引运行，但只能单线运输，甩调车比较困难，尤其是运输线路两侧岔路较多时。

（4）运输线路特别长时，虽然理论上牵引力能够满足运行要求，但钢丝绳的伸长变化量较大，张紧装置不能做出及时反应，尤其是长距离、大坡度、多变坡、大吨位条件同时存在的时候，因此建议运输距离在 1500 ~ 2000m 之间。

4. 无极绳绞车的选型原则

（1）以满足实际需要、工程量小和节约运行费用为前提，采用具有先进性、代表性、实用性和可靠性的无极绳运输技术。

（2）设备选型符合《煤矿安全规程》的要求。

（3）选型设备最大牵引力不小于系统需求的牵引力。

（4）最大限度适应煤矿现有条件，简化运输环节。

5. 无极绳绞车的系统布置方式

1）钢丝绳布置在轨道内侧

钢丝绳布置在轨道内侧方式只适应于单道往返式运输，双向运输方式不能采用。绞车和张紧装置固定于绞车硐室或巷道侧面，尾轮布置在运距的终端，固定在两轨道中间。在

变坡点可根据需要布置有各种轮组，其中，凸点处布置托绳轮，凹点处布置压绳轮。在轨道上始终运行着梭车，以此与各种车辆连接。牵引绞车前部安装有一副 DK618－4－6/(9) 道岔，以满足调车需要。钢丝绳内侧布置示意图如图 7－3－17 示。

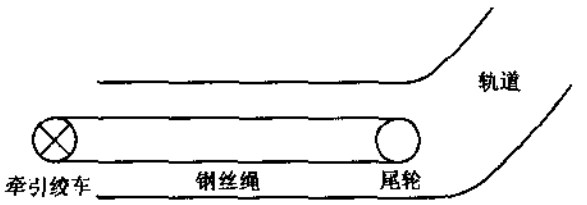


图 7－3－17 钢丝绳内侧布置示意图

内侧布置的特点是尾轮不影响其他车辆通过，可实现其他车辆向更远距离运行，而且由于尾轮的固定与轨道不发生关系，当运距需要变化时，可快速方便地移动尾轮。主要缺点有：

(1) 尾轮直径受轨距限制，尤其是 600mm 轨距，尾轮直径较小，绳径比较小，钢丝绳弯曲厉害，寿命相对要小。

(2) 两根绳均布置在轨道中间，在变坡处采用托绳轮和压绳轮时，由于受轨距限制和车辆结构影响，轮组结构设计比较困难。

(3) 当尾轮前部无道岔调车时，梭车必须运行在车辆的后部，采取顶车方式。

(4) 由于两根钢丝绳都在轨道内，通过道岔时处理较困难。

2) 钢丝绳布置在轨道内外侧

钢丝绳布置在轨道内外侧方式曾在绳牵引卡轨车系统中使用，一根钢丝绳布置在轨道中心线上，另一根钢丝绳布置在轨道外侧，尾轮布置在运距的终端，安装在轨道终端或下方。由于一根钢丝绳布置在轨道外侧，轨道外侧需布置边绳轮组，梭车仍然运行于轨道上实现与车辆的连接。钢丝绳内外侧布置示意图如图 7－3－18 所示。

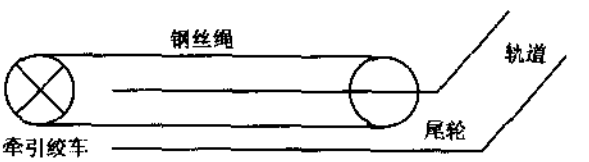


图 7－3－18 钢丝绳内外侧布置示意图

此布置方式的优点是尾轮直径不受限制，可根据绳径比要求具体设计，钢丝绳工作状况较好，寿命相对较长。另外，轨道外侧的钢丝绳由于与运行车辆无关，压绳和托绳方便。主要缺点是：

(1) 尾轮安装在轨道下方，运距变化时移动尾轮不方便，需拆装一根钢轨。

(2) 由于两根钢丝绳间距较大，而牵引绞车出入绳间距较小，需要通过张紧装置或

专用导向轮强制分绳，钢丝绳受力较差。为此，可在运距的两端分别布置一只尾轮，绞车布置在头部尾轮的前端，钢丝绳在绞车卷绳筒上绕 3 圈后到头部尾轮，使钢丝绳始终接近于轨面，钢丝绳受力较好。这样做的缺点是在系统中增加一只尾轮，增加了绞车硐室的总体长度，绞车硐室的掘进量有所增加。

3）特殊布置方式

从上述钢丝绳布置方式分析可知，无极绳连续牵引绞车在实际布置时基本可以实现单道往返运输方式。有时井下巷道受特殊条件限制，需采用特殊布置方式。

（1）双轨双向运输。当无极绳连续牵引绞车布置于上下山、集中轨道巷及新建矿井采区大巷时，由于服务多个工作面，运输量较大，单道往返式运输由于空行程的存在不能满足运量需求。为此，将系统布置成双道，两部梭车在两条道上同时往返运输，运输效率较单道运输可提高一倍。双轨双向运输布置示意图如图 7－3－19 所示。

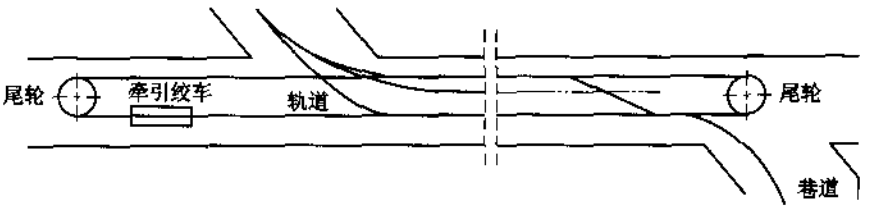


图 7－3－19　双轨双向运输布置示意图

这种布置方式主要适用于采区运输，不在顺槽使用，目的是解决运输效率问题。双轨双向运输较单轨往返式运输只增加一部梭车，两根钢丝绳分别布置在两条道的中心线上，通过道岔时技术问题容易解决。主要缺点是不能用于工作面顺槽运输，需要较大尺寸的巷道断面。

（2）三轨双向运输。某些矿井巷道，如采区上下山，需要采用双轨双向运输，但受巷道断面尺寸限制，不能布置双道，可以采取三轨双向运输。三轨双向运输车辆运行时共用一根轨道，在运距中部布置成四根轨，成双道运行方式，运输效率较单道运输也可提高 1 倍。三轨双向运输布置示意图如图 7－3－20 所示。



图 7－3－20　三轨双向运输布置示意图

三轨双向运输布置方式优点是在巷道断面限制的情况下实现了双向运输，保证了运输量的需求。缺点是：①巷道形成后轨道需重新铺设，增加了工作量；②为实现三轨、四轨、两轨之间转换，引起轨道数量变化，沿途道岔铺设较多；③为实现牵引车辆运行，在尾轮的前后都需布置车场。

（3）横向布置方式。某些矿井巷道，如带式输送机巷道，由于巷道一侧安装有带式输送机，牵引绞车无法布置，或者无极绳连续牵引绞车安装在运输巷道的中途，不能中断车辆运行路线，牵引绞车无安装位置，此时，需将牵引绞车和张紧装置与巷道运输线路横向布置，布置示意图如图 7－3－21 所示。

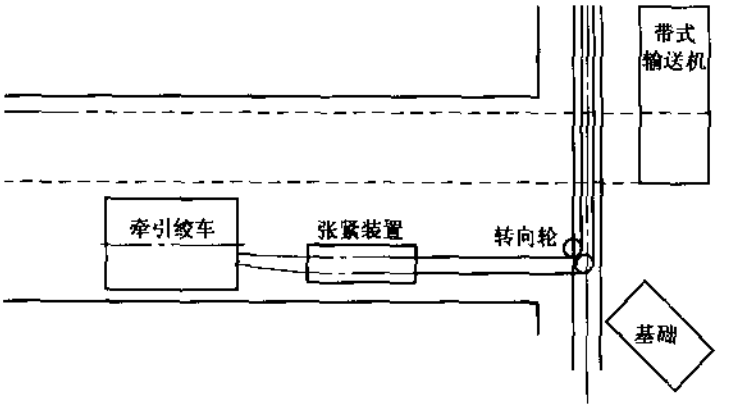


图 7－3－21 横向布置示意图

这种布置方式将无极绳连续牵引绞车灵活应用，解决了工程实际问题，主要缺点是：①绞车司机不能同时观察绞车、张紧装置及梭车运行状态，需通过联络；②钢丝绳需通过转向轮实施强制导向，钢丝绳受力较差。

4）水平拐弯

针对巷道走向多拐弯的情况，无极绳连续牵引绞车转向运输的转弯装置，可以扩宽无极绳连续牵引车的适用范围，使其不论在直线巷道或弯曲线巷道条件下都能实现连续牵引的功能。钢丝绳转弯装置由滚动转向轮组、内外护轨、轨枕组件和压绳装置 4 部分组成，如图 7－3－22 所示。

3.3.2.3 无级调速无极绳绞车

SQ－90 无极绳绞车牵引力在 90kN 以下，主要用于牵引大吨位、巷道大倾角、长距离和运输效率较高的无极绳连续牵引车系统中。

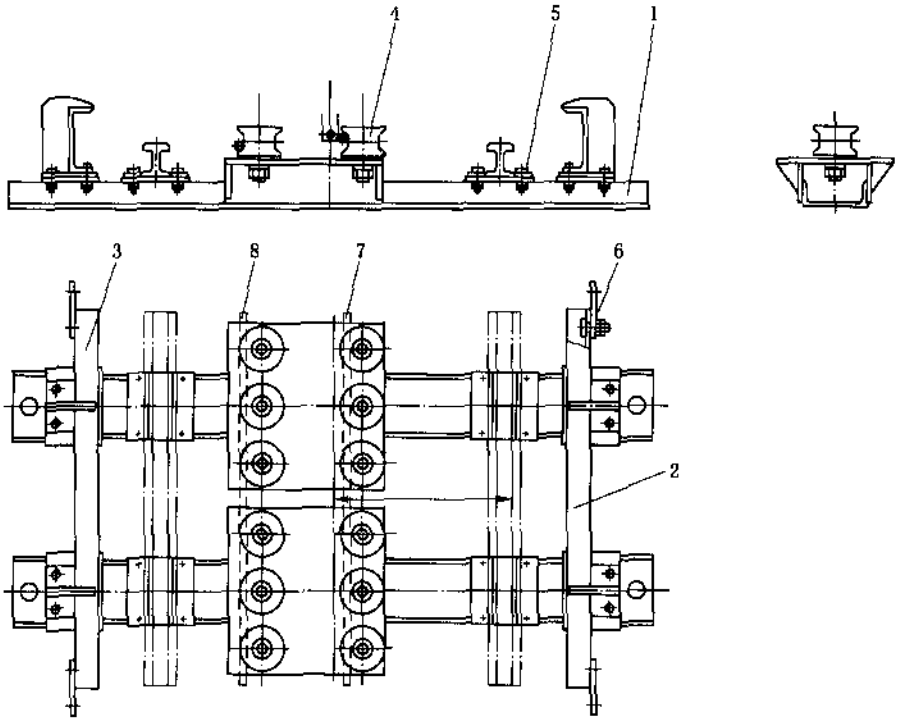
绞车采用抛物线单卷筒结构或绳槽式双卷筒对轮传动；配有矿用隔爆兼本质安全型变频或开关磁阻控制装置，实现了无级调速；集成化控制，具备实时监控、速度、位置、工况模拟等显示；具有能量回馈功能，满足重载连续下坡工况的需求；启动转矩大，启动电流小，调速范围宽。

SQ－90 无极绳绞车主要技术参数见表 7－3－21。

3.3.3 架空运输

3.3.3.1 架空乘人装置

架空乘人装置（俗称“猴车”）是斜井中用于运送人员上下的一种机械设备，属于无极绳运输系统，一般在较深的斜井中使用。一来可以减少体力消耗，减轻劳动强度，二来可以节省上下井时间，提高生产效率。



1—轨枕组件；2—内护轨；3—外护轨；4—转向轮；5—压板；6—护轨连接板；7—主绳；8—副绳

图 7－3－22　钢丝绳转弯装置结构

表 7－3－21　SQ－90 无级调速无极绳绞车主要技术参数

型　　号	SQ－90/160P	SQ－90/132K
绞车功率/kW	160	132
最大牵引力/kN	90	90
钢丝绳规格/mm	6×19φ24～26	6×19φ24～26
公称绳速/($m \cdot s^{-1}$)	无级调速 0.1～2.15	无级调速 0.2～2.5
梭车容绳量/m	600～1200	600～1200
适用轨距/mm	600；900	600；900
适用轨型/($kg \cdot m^{-1}$)	24；30；38	24；30；382
运输距离/m	2200	2200
绞车外形尺寸（长×宽×高）/（mm×mm×mm）	4212×1730×1633	3260×1650×1812

架空乘人装置主要由驱动部分、车站部分、线路部分、尾轮部分、张紧部分及电控系统组成（图 7－3－23）。它具有人员运送量大、运行安全可靠、人员上下方便、随到随行、一次性投入低、动力消耗小、操作简单、便于维护、操作人员少等特点。

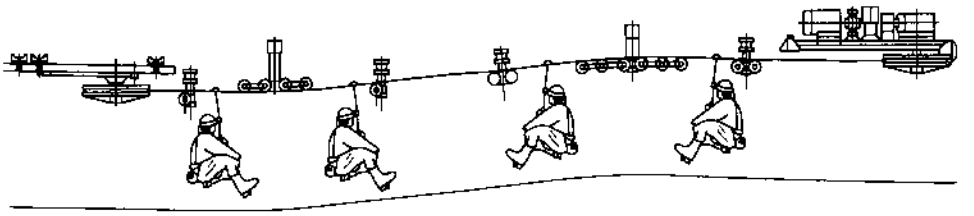


图 7-3-23 架空乘人装置运输系统

1. 架空乘人装置的工作原理

驱动装置的电动机带动减速器与其直联的驱动轮转动，并依靠驱动轮（衬垫）和钢丝绳之间摩擦带动钢丝绳和乘人器一起在线路上不停地循环运行，完成运送人员的任务。架空乘人装置的运行机理：在巷道端头设有动力驱动装置、上下车站，尾端设有上下车站、尾轮和重锤式张紧装置，沿途设有一托一压形式的托（压）绳轮，在以上部件之间贯穿了一根无极的钢丝绳，形成一种封闭的运输线路。乘人器是供人员乘坐用，利用其上方的抱索器中衬垫与钢丝绳的摩擦而紧紧地抱在运行的钢丝绳上。

架空乘人装置电控系统由调速、控制及信号保护 3 个部分组成。采用先进的 PLC 控制的电控系统，具有设备电气互锁，电机失压、短路、过载保护，张紧保护，沿途紧急停车闭锁等较为全面的安全保护功能；具有无人值守停车控制，启动前预警信号、开车、停车按设定程序自动控制，线路语音通信联络等功能；采用中文的人机界面，实时显示设备的运行状态、运行速度，当设备（或者系统）发生故障时，给出相应的故障文字提示，方便维护。

2. 架空乘人装置的技术要求

（1）架空乘人装置应符合 Q/CKJ 020126—2006 和 MT/T 873—2000 要求，并按照经规定程序批准的图样及技术文件制造。

（2）架空乘人装置应符合《煤矿安全规程》的有关规定。

（3）隔爆型架空乘人装置配套的电气设备应符合 GB 3836.1、GB 3836.2 和 GB 3836.4 的规定，且应经国家授权的防爆检验机构进行防爆检验，并取得煤矿矿用产品安全标志证书。

（4）架空乘人装置的通用件、易损件、备用件应保证质量与互换性。

（5）凡 Q/CKJ 020126—2006 和 MT/T 873—2000 未予规定的机械加工和装配等技术要求，均应符合现行国家标准和行业标准的有关规定。

（6）用户应根据制造厂说明书的要求进行安装、调试和运转。

（7）架空乘人装置中使用的钢丝绳的安全系数最低值为 6。

（8）蹬座中心至巷道一侧的距离不应小于 0.7m。

3. 架空乘人装置的选型原则

（1）根据巷道运人量、运输长度选择。运量大、运输距离长的巷道可选择高速架空乘人装置，反之则可选择低速架空乘人装置。

（2）根据巷道倾角的大小选择。一般来说 16°以下的巷道，可以选择低速固定式抱索

器架空乘人装置，或高速活动式抱索器架空乘人装置；而 16°以上的巷道，只可以选择低速固定式抱索器架空乘人装置。

（3）根据巷道使用条件选择。例如，带式输送机巷道要使用运人架空乘人装置，巷道较宽时，选择低速固定式抱索器架空乘人装置，或高速活动式抱索器架空乘人装置；巷道较窄时，则只能选择低速固定式抱索器架空乘人装置。

（4）根据矿方经济条件选择。

（5）根据巷道的地质条件选择：

① 巷道顶板和底板均好的可选用高速架空乘人装置；巷道顶板好但底板条件不好的建议选择低速架空乘人装置。

② 巷道变坡多的选择低速架空乘人装置，坡度较小的单一坡或变坡少的巷道，可选择高速架空乘人装置。

4. 架空乘人装置技术参数（表 7－3－22）

表 7－3－22　煤矿架空乘人装置技术参数

类　型	名　称	最大倾角/(°)	运行速度/(m·s^{-1})	运量/(人·h^{-1})	抱索器型号	静态上下车	输送方式	吊椅摘挂	水平转弯	适用最窄巷道宽度/mm
RJY 型	煤矿固定抱索器架空乘人装置	45	≤1.2	600	G	不能	循环式两边同时乘人	不摘	能	2300
RJDY 型	煤矿单侧固定抱索器架空乘人装置	45	≤1.2	200	G	不能	往复式单侧乘人	摘	能	1400
RJHY 型	煤矿活动抱索器架空乘人装置	18	≤3	1000	HM－Ⅰ HM－Ⅱ	能	循环式两边同时乘人	摘	能	2200
RJKY 型	煤矿大坡度可摘挂抱索器架空乘人装置	35	≤1.2	600	HK HJ	不能	循环式两边同时乘人	摘	能	2200
RJDHY 型	煤矿单向活动抱索器架空乘人装置	18	≤3	1000	HM－Ⅰ HM－Ⅱ	能	循环式两边不同时乘人	摘	能	1700
RJDKY 型	煤矿单向大坡度可摘挂抱索器架空乘人装置	35	≤1.2	600	HK HJ	不能	循环式两边不同时乘人	摘	能	1700

3.3.3.2　单轨吊车

单轨吊车是一种新型高效的煤矿辅助运输设备，适用于煤矿井下人员、材料设备和矸

石等的辅助运输，可实现轻型液压支架的整体搬运，主要用于大巷采区上、下山及采掘工作面的巷道运输。

我国许多中小型矿井和井筒及巷道断面较小、巷道系统比较复杂、巷道系统又不易改造的某些大型矿井，如果巷道顶板比较稳定，支护条件较好，运输的单件重量不太大，特别是那些巷道有底鼓的矿井，选用单轨吊车运输系统是比较合适的。

单轨吊车的轨道采用的是一种特殊的工字钢，工字钢轨道悬吊在巷道支架、砌碹梁、锚杆及预埋链上。单轨吊运输是将材料、设备等通过承载车或起吊梁悬吊在巷道顶部的单轨上，由单轨吊车的牵引机构牵引进行运输。

1. 单轨吊车的分类

按牵引动力类别和使用特征可分为钢丝绳牵引单轨吊车、防爆柴油机单轨吊车和防爆特殊型蓄电池单轨吊车等3个类型，使用最多的是柴油机单轨吊车系统。

2. 单轨吊车的适用条件

（1）单轨吊车挂在巷道顶板上或支架上运送负载，不受底板变形（底鼓）及巷道内物料堆积影响，但需要有可靠的吊挂承载装置。吊挂在拱形或梯形钢支架上时，支架应装拉条加固；用锚杆悬吊时，每个吊轨点要用2根锚固力各为60kN以上的锚杆。巷道断面要大于或等于7m^2。

（2）可用于水平和倾斜巷道运输。用于倾斜巷道运输时，机车牵引单轨吊车坡度一般要小于或等于18°，最佳使用坡度为12°以下，国外最大达40°；绳牵引单轨吊车坡度要小于或等于25°，国外最大达45°。单轨吊车最大单件载重达15t，最小曲率半径水平为4m，垂直为10m。

（3）机车牵引单轨吊车具有机动灵活的特点，一台机车可用于向多条分支巷道运送物料、设备和人员，可实现不经转载直达运输，不受运程限制。绳牵引单轨吊车在弯道上需装设大量绳轮，而且不能进分支岔道，运距一般为1～2km，最大不超过3km。

（4）柴油机单轨吊车排放的气体有少量污染，因此，使用巷道要有足够的风量来稀释柴油及排放的有害气体，达到无损害健康的程度。一台66kW柴油机单轨吊车运行的巷道，其通风量应不少于300m^3/min。

（5）蓄电池单轨吊车受到蓄电池的能重比限制，功率偏小（目前最大为30kW），自重较大（7～8t），适用于向通风较差、硬度不大的掘进巷道里运送材料和人员，它的最大优点是没有柴油机的污染问题。

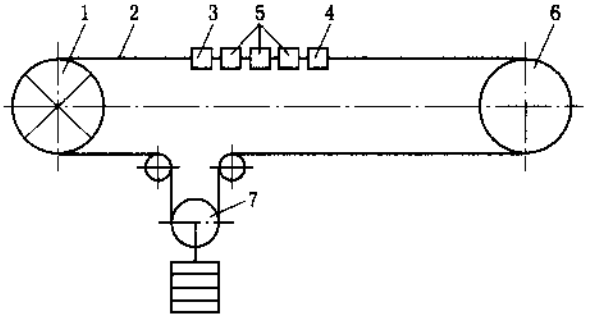
3. 单轨吊车的工作原理

绳牵引单轨吊车的工作原理与机车牵引不同，前者为摩擦驱动，后者为黏着驱动。图7－3－24为绳牵引单轨吊车工作原理图。

绳牵引单轨吊车主要由驱动装置、牵引车、储绳筒、承载车、起吊梁、安全制动车、张紧装置、回绳站、悬吊装置、连接装置、轨道等部分组成。钢丝绳牵引单轨吊车结构如图7－3－25所示。

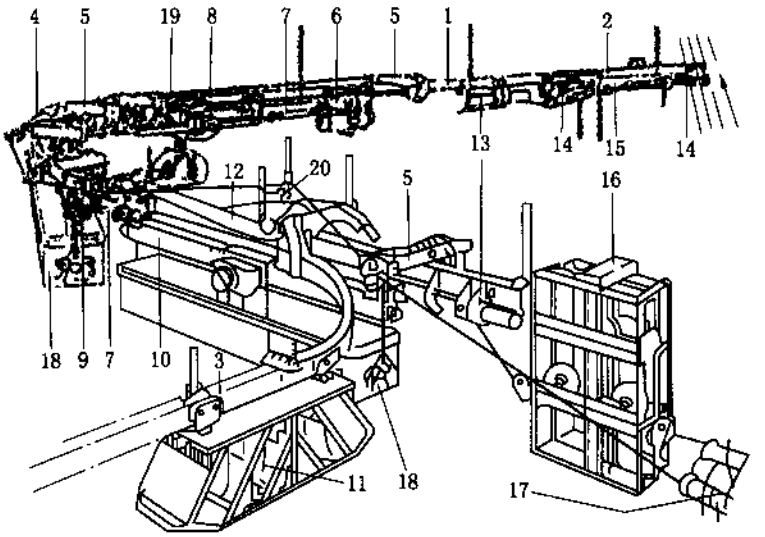
柴油机车牵引单轨吊车主要由柴油机车、承载车、起吊梁、安全制动车、悬吊装置、连接装置、轨道、道岔等部分组成。

一般情况下，材料、设备和人员运输的列车均由3组承载起吊的承载车组成，而运输重型设备时，只有1组由组合梁起吊的承载车。



1—摩擦轮；2—钢丝绳；3—牵引车；4—制动车；5—集装箱；6—回绳轮；7—张紧装置

图 7－3－24　绳牵引单轨吊车工作原理图



1—道轨；2—有绳轮座的轨道；3—与弯轨连接的直轨；4—弯轨；5—牵引绳导向架；6—紧急制动车；
7—连接杆；8、9—承载吊车；10—吊车梁；11—乘人吊车；12—道岔；13—缓冲器；
14—尾部绳轮；15—尾轮拉紧装置；16—头部张紧装置；17—摩擦轮绞车；
18—通用可翻卸式集装箱；19—牵引钢丝绳；20—钢丝绳回绳轮

图 7－3－25　钢丝绳牵引单轨吊车结构

4. 单轨吊车的技术参数

国内外柴油机单轨吊车的技术参数见表 7－3－23。

3.3.4　无轨辅助运输

3.3.4.1　无轨辅助运输的分类

1. 按车辆用途分类

1）运输类车辆

该类车辆主要用于人员、材料和设备的运输。使用时车辆在井口或井底车场装载后把人员或物料运输到工作面或卸料点，可自行完成卸料或用铲运类车辆来配合卸载。运输类

表 7-3-23 国内外柴油机单轨吊车的技术参数

单轨吊车型号及产地		德国 沙尔夫	德国 鲁尔塔勒	英国 贝考里特	法国 斯特几努斯公司		捷克		前苏联			中国 石家庄煤矿机械厂		
		DZ66-3.1	HL-90 H/3-H	DML100 1.140	6-810型	4-810型	LZH50.3	LZH50.2	ДМВ9А	2ДМД	3ДМД	FND-20	FND-90 Ⅰ型	FND-90 Ⅱ型
柴油机	厂家型号	MWMD-916/6				Perkins 4-236	zetor 7701	zetor7001	219.5/11 (10H2)	P_B-4		295FD	6105FB	D916-6MWM
	功率/kW 转速/(r·min^{-1}) 启动方式	69 2300 气动或液压	69 2300 弹簧	69 2300 液压蓄能	73.5 2500 液压蓄能	55 2250 气动	50 2200 液压蓄能	44 2000	14.7 1800 电启动器	28 1900 液压	57 液压	15 2000 液压蓄能	66 2300 液压蓄能	69 2300 弹簧启动
传动系统	传动方式	液压传动齿轮减速		全液压	全液压		液压传动齿轮减速		液压/齿轮	全液压		全液压		
	驱动轮对数×直径	3×ϕ50	3×ϕ330	2×ϕ440	(3~4)×ϕ420		(2~3)×ϕ350		Hn120	2×ϕ340		1×ϕ360	3×ϕ400	
	液压泵参数	PV186	A4V125	LuCOS HD2-3000DOW	变量 143cm^3/r	定量 18cm^3/r	SPV-23			PHAC-125/320		2BSV>5	A4V125	
	液压马达参数	6台 A2F28	6台 A2F16	4台低速 MB00定量	6~8台变量 14~50cm^3/r		4~6台 AM-16AE		4台 BI1505	4台 MP-ϕ400-250		2台 ZQM2L-63	6台 A6V28	
	液压系统压力/MPa	27.5	34	13.8	22	22	20/32		(10)	25		14	23	
制动装置	工作闸 紧急制动闸 停车闸	闭式液压系统自锁 弹簧液压超速动作 弹簧液压夹钳 弹簧液压夹紧闸瓦			闭式液压自锁 绞盘拉绳超速动作 弹簧液压夹紧闸瓦		闭式液压自锁 弹簧液压超速动作 弹簧液压夹钳		闭式液压自锁 弹簧液压超速动作 弹簧液压夹钳			闭式液压自锁 弹簧液压夹钳超速动作 弹簧液压夹钳		

表7-3-23（续）

单轨吊车型号及产地			德国 沙尔夫	德国 鲁尔塔勒	英国 贝考里特	法国 斯特几努斯公司		捷克		前苏联			中国 石家庄煤矿机械厂		
			DZ66-3.1	HL-90 H/3-II	DML100 1.140	6-810型	4-810型	LZH50.3	LZH50.2	ДМВ9А	2ДМД	3ДМД	FND-20	FND-90	
														I型	II型
运行参数	最大牵引力/kN		65	50	46	88(带齿轨时107.5)	75(带齿轨时94.5)	40/60		29.4	34.3	69	11.7	60	
	最大速度/(m·s⁻¹)		2	2	2.24	3.9	3.35	2/1.3		3	3	4	1.8	2	
	最大爬坡/(°)		18	18	18	18(25),带齿轨27		18~25		18(30)	20	35	16	18	
	最大件载重/t		12	12	12	14	14	12~8.7		10~6	12	4	10	12	
轨道	轨道规格		1140E 3m/节	1140E 3m/节		1140E 3m/节		1140E或1140					1140E或1140	1140E	
	曲率半径	水平/垂直/m	4/10	4/8	4	4/7		4/8		3/12	4.5/10		4/8	4/8	
机车	宽度/mm		750	740	900	875	875	800	800	1000	1000	1050	800	750	750
	高度/mm		1100	1200	1350	1100	1360	1250	1250	1400	1250	1400	1200	1180	1200
	长度/m		9.5	8.15	7.88	10.8	10	6.5	6.373	2.9	5.5	7.0	4.23	11	10.75
机车自重/kg			6500	5980	5850	8860	450	3500	3500	2300	3500	4500	2430	6300	5000

车辆是井下车辆中需求量最大的车型，其代表车型有 WC5 型防爆胶轮车、WC8 型防爆悬挂式胶轮车、WCQ－3A 轻型无轨胶轮车、WCQ－3B 轻型无轨胶轮车、WCQ－3C 轻型无轨胶轮车等。

2）铲运类车辆

该类车辆是以铲斗、铲板或铲叉等作为工作装置，给运输类车辆装、卸载，也可在井下进行短距离设备和物料的铲装运输，完成清理巷道和参与巷道工程的运输工作，并可加装升降平台或小吊臂后完成顶板作业和其他辅助作业。代表车型有 ED6 多功能铲运车、ED10 多功能铲运车、912X 支架铲装车等。

3）特种类车辆

该类车辆是用于完成井下辅助性或特殊性任务的车型，如用来喷射巷道中灰尘的洒水车、进行人员救护的救护车、用于给设备加注油料的加油车等。

2. 按车辆结构特征分类

1）铰接式车架类车辆

该类车辆的结构类似地面工程机械类车辆，焊接结构的前、后机架通过中央铰接轴而连接成一体，使用液压油缸一推一拉来实现车辆水平范围内的折腰转向。其特点是机架刚性大、抗碰撞能力强、转弯半径小。目前，国外进口的无轨辅助运输设备（除英国 EIMCO 产 880D－60 运输车外）几乎都采用了此类结构。国内研制的该类胶轮车的代表车型主要有 WC5、WC8、WCQ－3A 等。铰接式车架类车辆典型结构如图 7－3－26 所示。

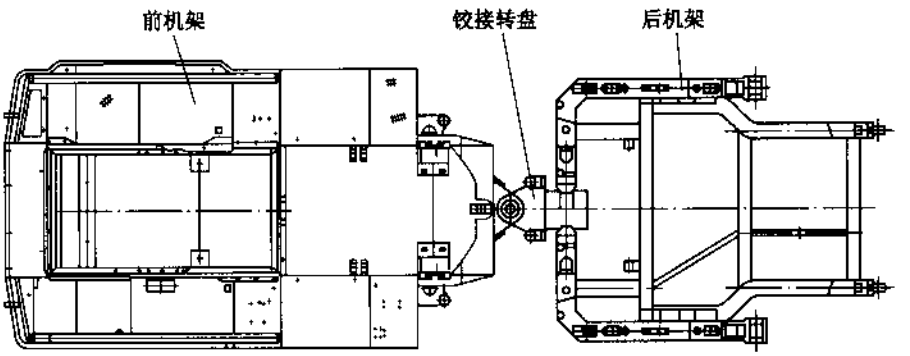
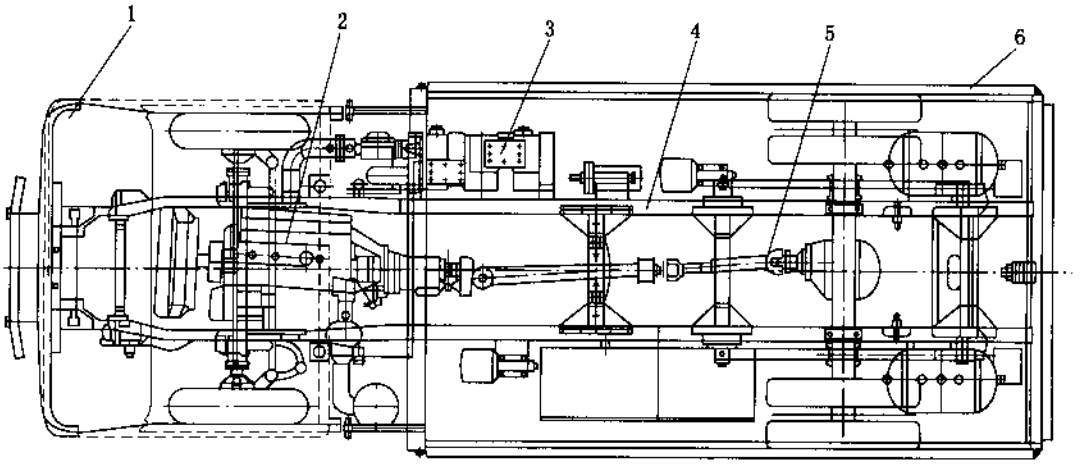


图 7－3－26 铰接式车架类车辆典型结构

2）整体车架类车辆

该类车辆类似普通汽车，其结构为整体车架，有的就是直接将地面使用的普通汽车经过防爆改装后变成井下无轨辅助运输车辆。由于结构类似普通汽车，所以采用了普通汽车 70%～80% 的零部件，如车架（或重新设计的加重型车架）、传动、悬挂、操纵和驾驶室等，然后更换了防爆柴油机动力装置、加装了防爆安全保护监控系统，将其制动系统改成由液压或气顶油控制，并把蹄式、钳盘式制动器和停车制动器改为全封闭液压多盘制动器；另外将照明灯、信号灯、发电机、调节器等所有电气元部件全部改用有安全标志准用

证的防爆电气件。整体车架类车辆有 WqC2、WqC3、WCQ－3C、WCQ－5C、WqC4、WrC20 型防爆车辆等，其典型结构如图 7－3－27 所示。



1—驾驶室；2—防爆柴油机主机；3—废气处理箱；4—车架；5—传动系；6—车厢

图 7－3－27　整体车架类防爆车典型结构

3. 按车辆驱动动力源分类

1）以防爆柴油机为动力的车辆

目前国内外的无轨辅助运输设备绝大多数以防爆柴油机为动力。该类车辆机动灵活，可涵盖轻型到重型所有车辆。防爆柴油机动力装置的系统结构如图 7－3－28 所示。

2）以防爆蓄电池为动力的车辆

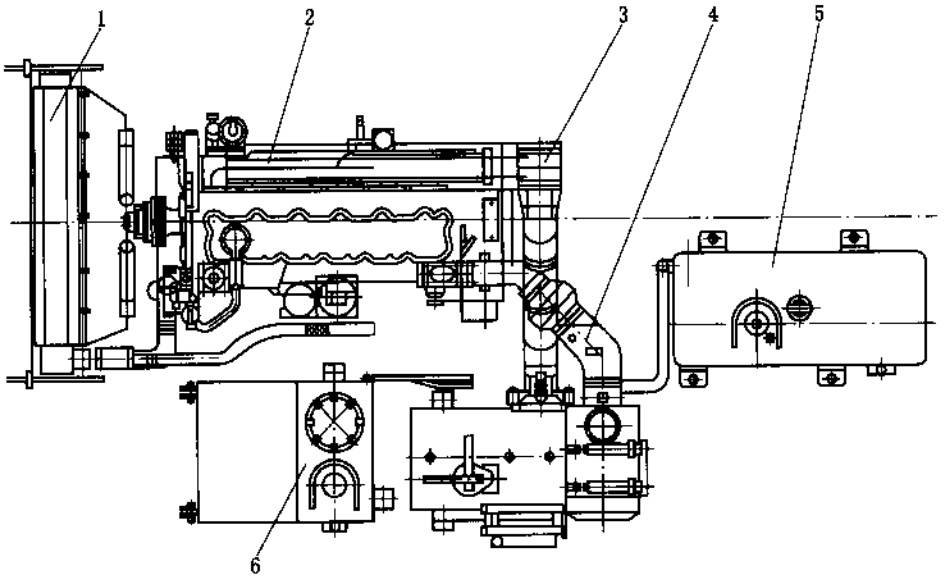
以防爆蓄电池为动力的车辆虽然排出有害气体很少，使用中对周边环境污染较小，但由于受到额定功率限制，其功率范围大多都在 60kW 以下，所以不能用于大、重型车辆。同时，在使用中需要经常对蓄电池进行充电，因此生产效率比以防爆柴油机为动力的车辆低。

3.3.4.2　无轨胶轮车

1. 无轨胶轮车的特点

（1）无轨胶轮车辆一般采用铰接车身，前部为牵引车，后部为承载车；可以在很小的曲率半径（3～6m）内转弯，能够机动灵活地在起伏不平的巷道底板上自由驾驶；机身较低（一般不超过 1.5m），矮的不超过 1m；使用重型充气或充泡沫塑料轮胎；带有可靠的制动系统，可重载爬坡达 12°～14°。蓄电池无轨胶轮铲车的行驶速度一般不超过 2.5m/s，柴油机无轨胶轮铲车的速度最大可达 4～6m/s。重型无轨胶轮车可整运 18～27t 液压支架，轻型可运输材料、人员，最多 1 车可运 25～40 人，运煤车可运载 14～20t 矸石，在 20s 内自卸。

（2）车辆的前端工作机构可以快速更换，即可以在 1～2min 内，从铲斗换装成铲板、集装箱、散装前卸料斗、侧卸料斗或起底带齿铲斗。另外，车辆可以改为人坐车、救护车、修理车、牵引起吊车等，有的还可装设绞车、钻机、锚杆机等实现一机多用。



1—散热器；2—防爆柴油机主机；3—排气防爆系统；4—进气防爆系统；5—补水箱；6—燃油箱

图 7-3-28 防爆柴油机动力装置系统结构简图

（3）蓄电池无轨胶轮铲车无排气污染，轻型可以运人运料，重型可以运支架设备，在美国的长壁和房柱工作面使用很多，缺点是工作 4～5h 后需要更换电池。

（4）无轨胶轮车一般车体较宽（1.5～3m），行驶中巷道两侧需要有不小于 220～300mm 的间隙，因而需要巷道尺寸较宽，且最好是无棚腿支护，如锚杆支护、锚喷支护或砌碹巷道。底板抗压强度应不小于 10～25N/cm^2，最好是砂岩或砂质页岩等较完整的底板条件。有淋水时需降低无轨胶轮车使用坡度，底板较软或破碎时需经常铲平清理，有的甚至需要加打混凝土路面进行硬化处理或加垫板。路面平整度应在 150mm 以内，要求巷道有较大的垂直弯道半径（$R>50$mm）。总之，无轨胶轮车虽然不需专设轨道，但对巷道宽度和路面有一定要求，需要技术熟练的司机驾驶，以确保安全快速地正常运行。

（5）无轨胶轮车特别适用于赋存较浅，倾角不大的近水平煤层矿井，最理想的是 12° 左右的斜副井，用这种车从地面到采区直接上下运送人员、材料、设备和矸石。无轨胶轮车也可用于顶、底板条件较好的立井开拓方式的矿井。

2. 无轨胶轮车的选型原则

1）总体选型原则

煤矿井下无轨胶轮车的选型应根据煤井的开拓方式、巷道的具体条件、运输对象的种类、数量、特点和服务范围来进行。如果采用立井开拓，则副井提升罐笼是无轨胶轮车上下井的唯一通道，胶轮车的选型必须根据罐笼的尺寸、提升能力来确定最大外形尺寸（或最大解体尺寸）及整机质量（或最大解体质量）。无轨胶轮车运行的巷道坡度一般不应超过 14°。

（1）车型的选择应根据运输对象的特点和作业要求来定，运人需用专用人车或指挥车，运散料需用自卸式材料车，运小型设备需用固定式平板材料车，运支架需用支架搬运

车，清理巷道、装载等需用多功能铲运车或防爆装载机，另外根据每个矿井的具体情况可能还需配备一些特种车辆，如洒水车、救护车、混凝土搅拌车等。

（2）总体结构型式选择应根据运输对象的特点和要求、载重量、巷道条件（如巷道断面大小、底板条件、坡度、最小转弯半径等）来选择。一般铰接式车辆的转弯半径相对较小，对巷道的适应性比整体式车辆好；整体式车辆一般用于载重量较小、巷道条件较好的场合。

（3）驱动型式选择：

① 主要在硬化且坡度不大的路面运输的运输类车辆可选用 4 ×2 驱动方式；

② 底板条件较差的应选用 4 ×4 驱动方式；

③ 对工作面巷道运输类车辆应选用 4 ×4 驱动方式；

④ 重型车辆均应选用 4 ×4 驱动方式；

⑤ 巷道坡度在 7°以下的可选用 4 ×2 驱动方式的车辆，但巷道距离长、坡度大于 7°时应选用 4 ×4 全轮驱动的车辆。

（4）制动型式选择。无轨胶轮车应设置工作制动、停车制动和紧急制动，紧急制动和停车制动可为一套系统，但与工作制动应是各自独立控制的两套机构。工作制动装置应尽可能采用湿式多盘制动器，并尽可能布置在轮边；停车制动、紧急制动应尽可能采用失效安全型制动器。

（5）外形尺寸选择。车辆外形宽度应根据煤矿井下巷道宽度具体考虑，一般车辆宽度小于或等于巷道通过宽度减去 1000mm，如考虑会车，则会车两车辆宽度和小于或等于巷道通过宽度减去 1200mm；车辆高度小于或等于巷道通过高度减去 300mm。如果是自卸式或装载、铲运类车辆，还应考虑货厢升起和铲斗举起的高度。长度的选择应根据运输对象的特点定。

2）人员运输选型原则

（1）根据煤矿设计产量来确定运人车的数量。一般是按每百万吨产量配置 2.2 台运人车，如年产 6Mt 原煤的矿井，就需要 13 台运人车，其中专项运人车可选其 50%，剩余的 50% 车辆用客货两用式或其他车辆来替代。

（2）根据巷道的断面尺寸来确定运人车辆的规格、车辆品种和结构型式。一般运人车辆宽度按小于或等于巷道断面宽度的 40% 来确定，以便于会车。运人车的最大高度按不大于通过巷道的最高尺寸减去 0.3m 来选择，这样车辆通过性能较好。一般情况下，年产 2Mt 以上的矿井可选用一部分专门运人车，2Mt 以下的矿井可优先考虑客货两用车。

3）设备运输选型原则

（1）根据煤矿规划的设计产量来确定设备运输车辆的数量及品种。在矿井开采初期，一般是按每百万吨产量配置 3 台运输设备车辆，随着开采工作面的延伸，一般还需少量增补。车辆的吨位级可按 1t、2t、3t、5t、8t、25t、40t 和 50t 来选用。其中运输车辆可占选型车辆的 75%，铲运类车辆可占剩余的 25%。

（2）参考巷道尺寸来进行选型。30t 以上的车辆宽度可按小于巷道宽度 1m 来选用，其他车辆应尽量按不大于巷道通过宽度的 40% 来选择。车辆高度的选择是整车高度离巷道可用的高度减去 0.3m 即可。

表 7-3-24 国外生产的无轨胶轮车技术参数

车辆名称及型号		动力型式	型号	功率/转速/[kW/(r·min⁻¹)]	启动方式	传动方式	驱动方式	车型	最大速度/(km·h⁻¹)	最小离地间隙/mm	最小转弯半径/mm	最大爬坡能力/(°)	载重量/kg	外形尺寸/mm			空载质量/kg	国别
														长	宽	高		
支架搬运车	EIMCO 912X	柴油机	Cat3306	112/2200	液压式	液力-机械	四轮驱动	铰接式	15.0	322	5777	14.5	25000	9456	2126	1880	26000	英国
	LSC-350P	柴油机	Cat3306	112/2200	液压式			铰接式	20.3	300	6463	14.5	35000	9200	3450	1680	20000	澳大利亚
	LAD VT-630	蓄电池		37.3kW(电机功率)		液力-机械	四轮驱动	铰接式	5.8		6800	15	30000	9900	2400	1600	29500	美国
人车	EIMCO913 30座	柴油机	Cat3304	74/2500	气压式		四轮驱动	铰接式	25		5420	14.5	30人	8200	2000	1900		英国
	MYNE. TAXI4	柴油机	MWMD 916-4	48.5/2500	气压式	液力-机械	二轮驱动	整体式	32	279	5358	15	9人(最大900kg)	5895	2180	1700	7100	澳大利亚
工具车	BIRD	柴油机	PERKINS 1004-4	45/2500	液压式			整体式	31.0	270	6100	15	1200	5060	1950	1700	2900	南非
客货两用车	MYNE. TRUK4	柴油机	MWMD 916-4	48.5/2500	液压式	机械式	二轮驱动	铰接式	25	220	5540	15	5000	8782	2300	1700	8000	澳大利亚
	MK3-STRONGBIRD	柴油机	PERKINS 1004-6	88.2/2070	气压式	液力-机械	二轮驱动	铰接式		315	8370		7500	8218	2533	2000	10460	南非
	MYNE. PET6	柴油机	MWMD 916-6	74/2500	气压式	液力-机械	二轮驱动	整体式	24	220	8000	15	6000	7044	2200	1644	9675	澳大利亚
	EIMCO912E	柴油机	Cat3304					铰接式		300	5466		8000	8410	1700	1768		英国
多功能铲车	MYNE. LOADER	柴油机	MWMD 916-6	74/2500	气压式	液力-机械	四轮驱动	铰接式	18.2	370	5210	15	3000	7715	2320	1750	11245	澳大利亚
运输车	EIMCO880D-60	柴油机	PERKINS 1004-4	45/2500	液压式	液力-机械	四轮驱动	整体式	19.3	170	4950	14.5	3000	4620	1660	1965	5800	英国
多用途车	MK-3S BOART LONGYEAR	柴油机	Cat3304	75	气压式	液力-机械	二轮驱动	铰接式	29.7	250	6400	14	8000	7290	2390	1716	9600	澳大利亚

表 7-3-25 国内生产的无轨胶轮车技术参数

车辆名称	动力型式	型号	功率/转速/[kW/(r·min⁻¹)]	启动方式	传动方式	驱动方式	车型	最大速度/(km·h⁻¹)	最小离地间隙/mm	最小转弯半径/mm	最大爬坡能力/(°)	载重量/kg	外形尺寸/mm			空载质量/kg
													长	宽	高	
支架搬运车	柴油机	WC25J	160/2200		液力机械	四轮	铰接式			5920	14	25000	9500	2200	1800	
	蓄电池	WC40	160/2200		液力机械	四轮	铰接式			6770		40000	9643	2900	1612	
	柴油机	WC40Y		气启动				24	300	6800	12	40000	9036	3500	1700	27000
	柴油机	WC40Y(A/B)		气启动				24	220	6800	12	40000 30000	9200	3500 2950	1700	27000 26000
	柴油机	WC45(50)Y		气启动				24	300	7000	12	55000 50000	9560	3650 3550	1824	32000
	柴油机	WC16(50)		气启动				20		6256	14	50000	9665	2450	2052	
	柴油机	WC80		气启动				6		8300	7	80000	13707	3910	2071	54000
	柴油机	WC25EJ		气启动				19.6	275	5920	14	25000	9300	2200	1900	28050
	蓄电池	WX35J		气启动				5.63		7630	15	35000	10950	2820	1730	
	柴油机	WC40J	230	气启动				12		6170	14	40000	10050	2550	1900	
人车	柴油机	WrC20/2J	65/2200			二轮		30	220	7500	15	20人	6065	1950	2360	4620
	柴油机	WrC20/2J(A)	50/2400			二轮		29	200	7500	14	16人	6010	1950	2360	4550
	柴油机	WC20R	45/2200			二轮		30	200	7500	12	20人	6000	1950	2050	4200
	柴油机	WC20R(C)	65/2200			二轮		25	200	6975	14	20人	6065	1950	2360	4620
材料车	柴油机	WqC2J	50/2400			二轮		30	185	6000	15	2000				3500
	柴油机	WqC3J	65/2200			二轮		30	220	7500	15	3000				4150
	柴油机	WqC3J(A)	50/2400			二轮		29	200	7500	15	3000				4350
	柴油机	WqC4J	65/2200			二轮		30	220	7500	15	4000				4150
防爆移动发电车		GDB150														

表7-3-25（续）

车辆名称	动力型式	型号	功率/转速/[kW/(r·min⁻¹)]	启动方式	传动方式	驱动方式	车型	最大速度/(km·h⁻¹)	最小离地间隙/mm	最小转弯半径/mm	最大爬坡能力/(°)	载重量/kg	外形尺寸/mm			空载质量/kg
													长	宽	高	
客货两用车	柴油机	WC5	65/2200		液力机械	二轮		30	220	6100	12	5000 12人	7060 7660	2025	1685	8400
	柴油机	WC5E(B)	65/2200		液力机械	四轮		30	220	6400	14	5000	7240	1980	1990	9000
	柴油机	WC8	85/2200			二轮		30	330	7200	12	8000 17人	7800 8500	2370	1850	12000
	柴油机	TY6/20FB	65/2300			二轮			270	6100	15	6000 20人	8280	2542	1660	
多功能铲运车	柴油机	WJ-4FBA		气启动				22		4870	14	1900	7807	1615	1750	12400
	柴油机	WJ-10FB		气启动				24	310	6300	12	10000	9000	2360	2160	21000
多用途运输车	柴油机	WC1	13/2200		液力机械	二轮			190	4500	15	1000	3630	1430	1370	
	柴油机	WC2	45/2200		液力机械	六轮		14	160	6770	12	2000	5250	1800	2015	
	蓄电池	WC3	30		机械	四轮		24	160	7180	10	5000	8600	2900	1645	
	柴油机	TY7FB	65/2300		液力机械	二轮			275	6100	15	7000	7860	2300	1780	
	柴油机	WC2J	45/2200			二轮		30	180	7500	12	2000	4960	1880	2150	3600
	柴油机	WC3J	45/2200			二轮		30	200	7500	12	3000	5830	1950	2050	4200
	柴油机	WC3J(C)	45/2200			四轮		30	240	6500	15	3000	3500	1800	2100	4500
	柴油机	WC3Y	85/2200			六轮		14		3500	14	3000	4800	1600	1980	6200
	柴油机	WLC12EJ		气启动				30	257	6363	15	12000	8152	2375	2000	11174
混凝土搅拌输送车	柴油机	WLC5EJ		气启动				30	245	6365	15	10000	8674	1900	2533	13500

4）材料运输选型原则

材料运输也属于均量运输的一种方式，是根据井下生产和巷道开拓的需要来进行生产补给的一种运输。根据一些矿区经验，重车在井筒中按 8km/h 计，大巷按 12km/h 计，工作面巷道中按 6.5km/h 计，空车按 19km/h 计，间歇时间按 0.3h 计。计算出运行往返时间后，可根据运输材料总吨位和单台车的装载容量来计算出需要车辆的数量。

5）矸石及松散物料运输选型原则

（1）根据矸石的生成量和巷道工程中散物料的使用量来选择车型的数量。

（2）根据巷道断面尺寸来确定车辆的大小和吨位。一般选型车辆的宽度尺寸是按巷道宽度的 0.4 倍系数来考虑，便于会车；选型车辆的额定装载量一般是 3t、5t 和 8t 三个级别。

6）支架运输选型原则

（1）根据矿井年产量来选择支架车的数量。一般情况下每百万吨原煤选用 0.8 台支架车，如年产 6Mt 的矿井应选取 5 台支架车。

（2）根据支架的外形尺寸来确定车辆的大小和吨位。一般选型车辆的宽度尺寸是按照支架宽度的 2 倍来选择。

3. 无轨胶轮车的技术参数

国外生产的无轨胶轮车技术参数见表 7－3－24，国内生产的无轨胶轮车技术参数见表 7－3－25。

3.4　矿井运输设备的安全保护装置

重型刮板输送机及大运量、长运距、高带速带式输送机在世界各国得到广泛应用，成为高产高效矿井的主要运输设备。重型输送机在启动、制动过渡过程中的动载荷及动力响应问题渐显突出，其牵引构件（刮板链及输送带）中的动张力、静张力，以及弹性波的传播，可能导致输送机不平稳运行，产生强烈振动和强烈磨损，从而降低工作效率和使用寿命，甚至使输送机难以继续启动和正常运行。带式输送机重锤张紧装置的动力响应，会使其负荷显著增大，产生很大的附加位移，甚至损坏机件。大的动载荷也对输送机牵引构件的强度和驱动装置的功率提出更高的要求，从而大大提高了整机的成本和运行费用。

为了保证重型输送机能够平稳、安全、经济、高效运行，必须对其启动、制动过渡过程、运行状态及性能进行合理的调节与控制，实行可控软特性启动与制动，延长启动、制动时间，减小速度变化率及其引起的动载荷，改善输送机的运行条件，使驱动装置、牵引构件及张紧装置的负载能力与强度得到充分利用，达到最佳的技术状态和经济效果。

国外先进的输送机传动装置多采用软启动技术。目前在刮板输送机上成功使用的软启动装置主要有阀控充液式液力偶合器、CST 可控启动传输系统和交流电机变频调速等。目前，我国煤矿综采工作面刮板输送机一般采用液力偶合器和双速电机启动两种方式。

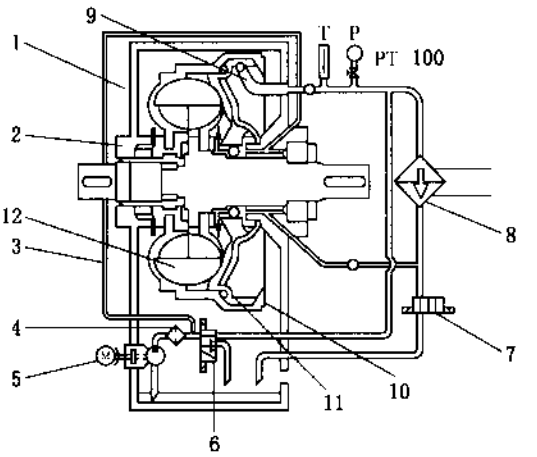
3.4.1　刮板输送机的软启动设备

3.4.1.1　阀控充液式液力偶合器

1. 工作原理

以福伊特公司 TPKL 型阀控充液式液力偶合器（图 7－3－29）为例，其工作原理简述如下：一定数量的热的工作液通过节流孔 11 从工作腔 12 注入与电动机同速旋转的偶合器

外壳 10，然后进入随电动机旋转的液体收集环，最后工作液可以通过排液泵 9 排出偶合器外壳，其中产生的压力完全能够驱动工作液通过冷却器 8 直接回流到工作回路中，而不需额外的动力。



1—焊接箱体；2—自支撑单元；3—轴承润滑管路；4—滤油器；5—充液泵；6—液压换向阀；7、9—排液泵；8—冷却器；10—偶合器外壳；11—节流孔；12—工作腔

图 7－3－29 TPKL 型阀控充液式液力偶合器

刮板输送机是恒负载力矩机械，转动惯量（传递至减速器输入轴）非常小，但当有突然的过载或堵转情况发生时，需要驱动系统快速反应以传递更大的力矩。在刮板输送机停机状态下，负载变化也会比较大。在考虑刮板输送机用偶合器的控制器时，上述事实必须予以考虑。

安装控制器要保证刮板输送机能够在任何工况条件下重新启动，以降低矿工的工作强度，主要目的是保护链条及链轮完好，避免在系统中增加过高力矩。因此，在具有限制要求并避免峰值力矩的地方，需要较快且稳定地建立力矩。为了实现刮板输送机的这些启动要求，偶合器需要快速充液以建立所需的最大力矩来克服堵转。

根据偶合器和电动机大小，水（介质液体）流速度可达到 240l/min。由于具有这样的流速和快速建立力矩的能力，实现最大的偶合器力矩并在所有驱动部件保持 10s 成为可能。为了减少刮板输送机阀控充液式液力偶合器的水量消耗，福伊特公司最新开发了闭合回路循环系统。为了启动需要，偶合器在较短时间内快速充液（大约需要 15s），充液完成后，水会一直在偶合器内循环，直到达到热容量限制值时才排水，也仅在这时才进行换水以满足温度限制条件。在温度传感器下，需要监测偶合器的充液量，以避免溢流或偶合器的排液，否则会造成较低的传递力矩。

阀控充液式液力偶合器用于输送机的原理图如图 7－3－30 所示。

2. 主要技术特点

（1）可以实现刮板输送机的空载启动和过载保护。

（2）通过换水可以实现刮板输送机的频繁启动，而不必限制启动频率。

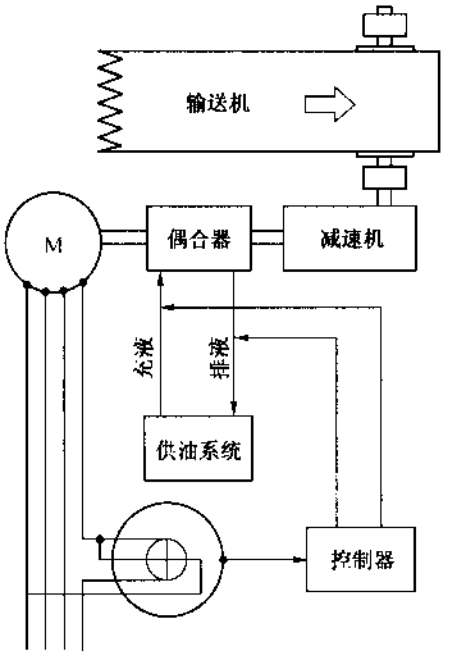


图 7-3-30　阀控充液式液力偶合器用于输送机的原理图

（3）通过改变液力偶合器的充液顺序，可以实现多机驱动下的顺序启动；通过偶合器的本身特性实现多机驱动下的负载平衡。

（4）可以实现慢速验链。

（5）双腔设计，结构紧凑，功率传递部件无机械接触，可靠性高。

（6）以清水作为工作液，安全方便而且廉价；可以通过水管或水箱供水，通过排液泵管排水，排液压力由主电机带动的液力循环产生；通过本安型先导组合阀直接对水循环进行控制。

（7）可以在不影响功率传输的情况下，通过换水来散热。

3. 存在的问题

限矩型液力偶合器在大功率、大负荷时本身体积庞大，当它与电动机和减速机连接后，所占空间更大，在工作空间受到限制的场合，过大的体积使刮板输送机的布置变得困难。液力偶合器增大了传动距离，并且在高速状态下旋转，易产生较大的径向动负荷冲击而造成电动机和减速装置的损坏。液力偶合器与轴配合紧密，拆卸和安装都非常困难，若在井下损坏后，维修时间很长，事故影响时间就长。刮板输送机系统事故中，由于液力偶合器损坏引起的事故占 60% 以上。偶合器的输出转速与输入转速之比通常不高于 97%，即无法实现输入轴和输出轴的同步，因而必然存在较大的功率损失，降低了传动系统的效率。

3.4.1.2　双速电动机启动

采用双速电动机，需要专用的控制开关，以低速启动运转到给定的时间，断开低速绕组，间隔约 150ms 接通高速绕组运行。在换接的断电间隔中，电动机的转速因负载不同下降 50～250r/min，即使是满负荷启动，高速绕组也不是从静止启动，因而高速启动的电流也不高。双速电机的运转特性使刮板输送机在重载下也能平稳启动。

双速电动机启动时，先合低速绕组接触器，再根据负载情况转换到闭合高速绕组接触器。其转换条件一般有两个：一是时间条件，即延时不少于 3～5s，保证电动机启动后达到额定低速转速；二是电流条件，即低速运转工作电流降到一定值才自动向高速转换，此电流值应保证在转换到高速绕组时电动机有足够的输出转矩，可以继续将负载顺利加速，使系统达到额定高速转速。双速电机启动的衡量指标是转换加速时电压降不大于空载时电压的 10%，高速启动过程不大于 5s。转换电流值应依据刮板输送机条件整定，如输送机中部槽中积煤过多时，可保持在低速挡运转，待负载减轻，工作电流降低到一定值时，再转换到高速挡；同理，在高速挡运转中出现连续严重过载时，工作电流上升到一定值，则可自动转换到低速挡运转。近代自动控制系统还将采煤机与刮板输送机实行联动控制，即当刮板输送机未转换到高速运行时，采煤机不牵引运行；当输送机出现连续过载，特别是

采煤机截割运行到刮板输送机尾端附近时，采煤机自动降低牵引速度，以减少输送机上的煤量，降低其负载。

双速电动机启动特点：采用双速电动机和采用液力偶合器相比，因没有液力偶合器的滑差，不需经常检查和补充工作液体，没有过载喷油之患，同时也没有液力偶合器的几种有益功能；电动机以低速直接启动，当完成启动过程后再切换到高速下运转，从启动到正常运转分两级进行，启动冲击仍然较大；双速电动机启动方式要使用专门的双绕组电动机、双根电缆和双速开关；双速电机结构复杂、造价高，低、高速切换不易有效控制，系统复杂、故障点多；随着综采工作面的推进，要不断地移动设备和电缆，增大了设备电缆移动的难度，同时电缆的故障也会成倍地增加。

3.4.1.3 调频调压软启动器

调频调压软启动器的特点：

（1）可控硅调频调压软启动器和真空磁力启动器集成在一起，减少了设备数量，在开关设备列车上减少了空间占用，减少了设备之间的连接。可启动阻力不是线性变化的，也不是一个恒定值。刮板输送机的可靠性提高，使用方便简洁，接线装置减少，环节少，减少了电器防爆点。

（2）启动方式有3种：调频、调压、突跳+调压。推荐选用突跳+调压方式。

（3）在软启动过程的任何阶段电动机发生堵转，连续时间达到5s自动停机。

（4）自测负荷适时突跳启动。一般的晶闸管调压软启动器采取定时突跳启动，无法在刮板输送机启动中发挥最佳作用，甚至不起作用。调频调压软启动器采用自测负荷动态适时突跳启动，用于克服启动时的最大阻力和惯性，启动能力大。

（5）操作回路采用双线操作，具有完善的开路、短路保护功能。控制回路的冗余设计可靠性高；采用全数字控制电路，功能设定方便；采用中文液晶显示器，可以显示设定状态、参数、各种故障信息等，方便了设备维护。

3.4.1.4 软启动方式的对比

双速电机、调压调速和调压调频3种软启动方式的技术性能对比见表7-3-26。

表7-3-26 软启动方式的技术性能对比

项 目	调整方式	初始启动方式	初始启动时间	启动时间	切换方式	启动电压/额定电压倍数	启动电流/额定电流倍数	启动转矩/额定转矩倍数
双速电机	改变电机极数	低速级启动	—	4~8s	断电切换	1	低速级3.4~4.0	0.5~1s时，为2.0 其余为1.0
调压调速软启动器	改变电压	全电压突变跳启动	0~1000ms	0~60s 0~180s	不断电切换	0.35~1	≤8.0可调	0.04~0.9
调压调频软启动器	改变频率和电压	调频调速启动	0~7s	0~60s	不断电切换	调频0.8~0.9 调压0.35~1	≤4.0可调	1.4~1.0

3.4.2 带式输送机的软启动设备

带式输送机目前正朝着大功率、长距离、大运量、高速度方向发展，单机总功率达到

5000kW、输送长度达到 10km 以上、运量超过 5000t/h、运行速度超过 5 ~ 6m/s 的带式输送机已经在煤矿得到实际应用。对于大型带式输送机，除了要求合理确定驱动功率、数量与布置形式外，还必须解决输送机的启动问题。煤矿带式输送机在启动时，由于启动摩擦力大，常处于满载状态下启动，易出现以下几个方面的问题：

（1）启动时冲击载荷引起输送带张力剧增，影响输送带的使用寿命，甚至拉断输送带。

（2）电动机转速与带式输送机转速不一致时造成连接轴断裂，即所谓的切轴现象。

（3）带式输送机滚轴转速与输送带运动速度不一致时，输送带抖动或滚轴磨损输送带，甚至摩擦起火。

（4）异步电动机本身启动电流过大冲击电网等。

3.4.2.1　阀控充液式液力偶合器

阀控充液式液力偶合器的工作原理及特点参见本篇 3.4.1.1。

3.4.2.2　可控电液软启动传输系统

可控电液软启动传输系统主要是 CST 系统。CST（Controlled Start Transmission）可控启动传输是美国为带式输送机设计使用的一套可控启动装置的总称。它的主体是一个可控无级变速的减速器，如图 7 - 3 - 31 所示。其原理是在一级行星传动中，用控制内齿圈转速的办法调节行星架输出的转速，使负载得到所需要的启动速度特性和减速特性，并能以任意非额定的低速运行。内齿圈的转动用多片型液体黏滞离合器控制。

由图 7 - 3 - 31 可看出，CST 的可控无级变速减速器的传动系统输入轴（左侧）与鼠笼式感应电动机连接，输出轴与负载（带式输送机的驱动滚筒）相接。电动机启动时，多片型离合器的液压缸上不加压，动、静片之间有较大的间隙。输入轴经一级齿轮减速后，带动行星轮系的太阳轮旋转，由于动、静片之间的间隙大，动片的转动不受阻，内齿圈可自由旋转，使得行星轮只能自转，行星架和输出轴不能动，这样一来，电动机是无载启动。当电动机无载启动达到其额定转速稳定运行后，负载的启动是由环形液压缸向离合器的动、静片上加压，改变动、静片间的间隙来执行。当输出轴上由电动机得到的转矩大于负载的静阻力矩时，负载就开始启动运转。

在 CST 中与主体可控无级变速减速器配套的装置有：控制离合器环形油缸的液压伺服系统，给离合器和润滑系统供油的液压系统，油液冷却系统以及电控监测系统。电控监测系统由可编程序控制器和监测各种参数的传感器组成。

CST 可控启动传输对带式输送机有如下功能：

（1）电动机无载启动。

（2）输送带的加、减速度特性任意可调。

（3）输送带可低速运行。

（4）冷却系统可满足频繁启动的需要。

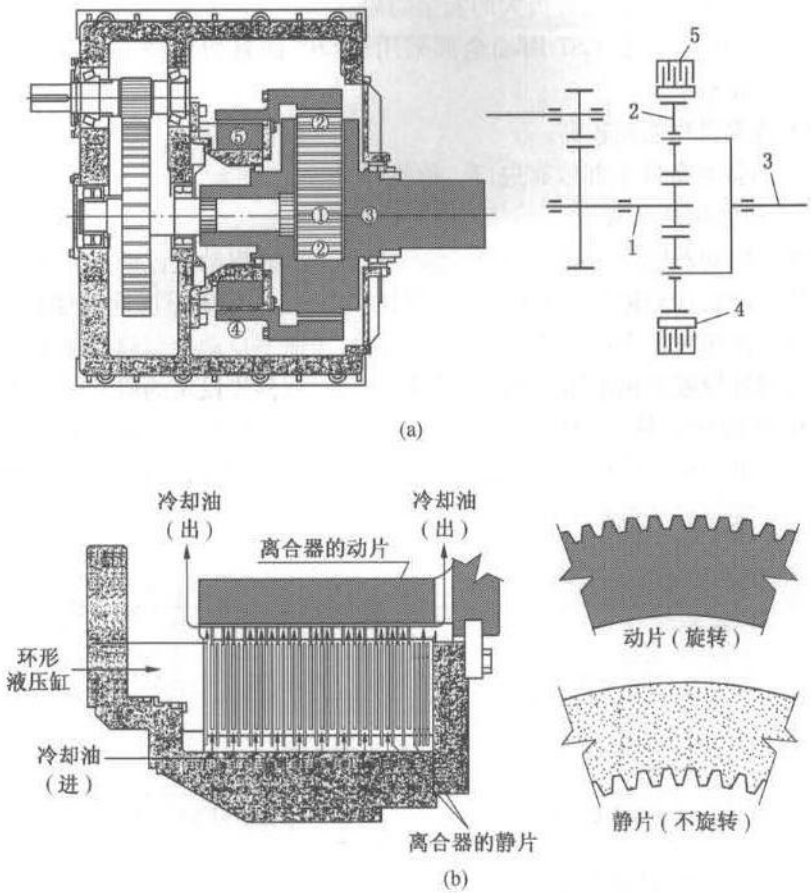
（5）控制系统的响应极快。

（6）过载保护灵敏。

（7）多电机驱动时的功率分配均衡。

（8）有多种监测、保护装置，能连续对各种参数进行有效监测和控制，可靠性高。

CST 系统可实现“机—电—液一体化”的微机闭环控制。其控制核心是一台微型计



1—太阳轮；2—行星轮；3—行星架；4—内齿圈；5—液体黏滞离合器

图 7-3-31 CST 可控启动传输中的可控无级变速减速器

算机，在计算机主控板上设有显示屏幕、操作按键及通信接口。主控板是 CST 系统的控制中枢，主控板与电控板通信，电控板则具体执行对该套 CST 系统的控制、保护功能。

操作人员将要求的输送机启动控制特性参数及运行工艺过程参数存入控制计算机控制器，电控部分使用固态数字逻辑电路产生准确的加速度控制。输出轴上的数字测速计将驱动装置的实际输出速度反馈到电控器上，通过驱动负载的实际加速度与设置的加速度进行比较，由电控器对液体压力及反应盘压力进行调整，以产生一个理想的加速过渡过程和加速度曲线。

由于 CST 可控启动传输具有优良的启动、停车、调速和功率平衡性能，是重型刮板输送机和长距离、大功率带式输送机较理想的动力传输装置。

CST 可控启动传输的缺点：

(1) 效率的提高仅是机械的传动效率，对整个传动系统的总体效率贡献不大。

(2) 装置的体积非常庞大。

(3) 设备维修困难，耗时耗力，影响矿井的生产作业。

(4) 运行装置的温度很高。

（5）有时出现漏油，隐藏着极大的安全隐患。

（6）运行费用高。现在 CST 用油全部采用进口，而且所用油的保存条件非常苛刻，导致运行费用居高不下。

（7）CST 装置自身能耗较高。

（8）设备的备品备件全部依靠进口，价格昂贵。

3.4.2.3　调压调速软启动器

调压调速软启动器以反并联的晶闸管组为开关，以软启动交流调压方式限制电动机的启动电流，使电动机带动输送机平稳地过渡到额定转速。系统原理框图如图 7－3－32 所示。当按下启动按钮时，系统按预先设定的启动加速速率自动控制移相触发，使得触发器开始移相，晶闸管导通输出电压，电动机开始启动。在预先设定的启动时间内，移相触发器逐渐由 180°移到 0°，软启动控制器的输出电压也由零按照一定的斜率逐渐升高到额定电压，从而保证电动机的转速由零平滑地达到额定转速。此时，旁路接触器吸合，晶闸管组输入、输出短接，启动过程结束，系统处于正常运行状态。

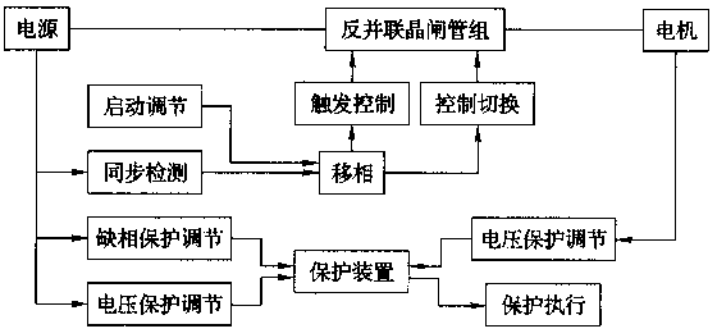


图 7－3－32　调压调速软启动系统原理框图

调压调速软启动器的主要优点是：

（1）体积小，机头硐室可以小些。

（2）价格比调速型液力偶合器略低。

（3）由于其价格低廉，操作简单方便，在工作面巷道可伸缩带式输送机中应用广泛。

调压调速软启动器的主要缺点是：

（1）调压、调速用于恒转矩负载时，差动功率损耗大，效率低。

（2）考虑谐波影响，选用电动机时要加大容量，一般应增加 20% ～40% 。

（3）启动瞬间会先有一个很短时的全压启动，待输送带运动后，再实现软启动，但此时已造成输送机的瞬时冲击。

（4）必须与限矩型偶合器配套使用，由于降压启动，低转速时电动机输出转矩不大，满载时启动困难。

（5）不能使电动机空载启动。

（6）因该装置不具备功率平衡和无级调速功能，故一般应用于非重要的中小功率传动场合。

3.4.2.4 变频调速软启动

通过对带式输送机驱动装置的研究表明，在众多的驱动形式中，变频调速方法完全可以满足大型带式输送机软启动及调速的性能要求。变频调速软启动特点：

（1）变频器的加、减速曲线可以在宽广范围内设定，能满足控制带式输送机加速度和减速度的要求。变频调速系统的机械特性与电动机的固有特性基本相同。变频调速软启动使用开环系统控制带式输送机的驱动，可以满足技术要求。变频调速的调速精度高，易于实现启动、制动速度曲线的自动跟踪，能够提供可控的、理想的启动、制动性能。其启动系数可以控制在1.05～1.1之间，启动加速度可以控制在0～0.05m/s^{2}之间，适用于长距离、线路复杂的带式输送机，可以控制输送机按设定的S形曲线启动和制动，以满足整机动态稳定性及可靠性要求。

（2）变频调速驱动装置可以满足低速验带的速度要求。变频调速方式还可用于有反向频率增加的减速过程。

（3）由于采用了直接转矩控制技术，把转矩波动限制在给定值的容差范围内，电动机的过载能力不变。电动机刚开始启动瞬间，由于要克服静摩擦力，应将启动转矩设定得大些。电动机先从低频开始启动，平滑地增加变频装置的频率，可获得平稳且快速有力的启动效果。

（4）电源切换。当带式输送机启动转速达到或接近额定转速时，就完成了其启动过程，这时需切除变频器，并将电动机投入电网。但是，当电动机断开变频器时，其定子电流马上变为零，根据转子回路磁链守恒的原则，转子电流不能立即变为零，它将作为激磁电流而产生气隙磁通，形成旋转磁场，并会在定子绕组中感应出三相电压，其相序、相位与断开前变频器输出电压相同。由于变频器输出经历了交—直—交变压变频的过程，变频器的输出电压的相序相位与电网电压无关，因此不能直接在切除变频器时将电动机投入电网，否则，在电动机投入电网的瞬间，如果两者刚好反相，将会产生很大的冲击电流。因此在控制系统中需加入锁相环路，用于比较变频器输出电压与电网电压，当两者相位、相序和频率一致时，进行锁定，再进行切换。锁相环路由鉴相器（PD）、环路滤波器（LF）和压控振荡器（VCO）组成，如图7－3－33所示。

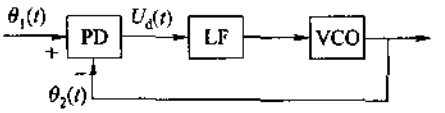


图7－3－33 锁相环路的组成示意图

变频启动器除了上述启动性能外，还具有很好的调速性能，经过一定的改装，可控制多台电动机。虽然目前变频启动器的价格仍比较高，但通过它可获得非常好的启动性能，满足带式输送机的启动特性，并克服其他一些软启动器在低速区的缺陷。使用变频启动器，可适当降低带式输送机本身的强度，延长带式输送机的寿命，有效地防止带式输送机启动时可能出现的许多事故，所以仍具有非常好的综合效益，整体使用成本是下降的。变频启动器是目前值得推广的一种优良的启动方式。

3.4.2.5　液体黏性软启动装置

该装置为机电液可控软启动系统，适用于矿山运输机械的启动、调速、停车、制动等工况，能实现可控软启动、正常运行中的多电动机功率平衡和可控制动，可用于上运、下运等带式输送机运输。液体黏性软启动装置布置图如图 7－3－34 所示。

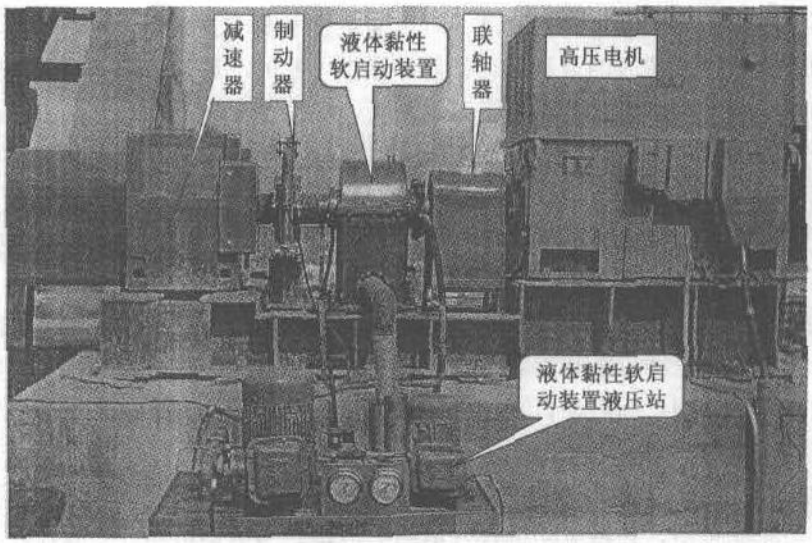


图 7－3－34　液体黏性软启动装置布置图

3.4.2.6　永磁调速器（PMD）

永磁调速是一种非机械连接的调速节能技术。这种技术节能效率高，系统的维护量小，振动小，无谐波干扰，能很好地实现设备的软启动。

PMD 一般由三个部分组成：一是连接电动机的导磁体（铜导体、铜盘转子），二是与负载连接的永磁体（磁盘转子），三是执行器。铜盘转子与磁盘转子之间有一定的空气间隙，没有任何机械接触，可以自由独立旋转。如图 7－3－35 所示，当动力侧的铜转子旋转时，铜转子与磁转子之间产生相对运动，铜转子在磁场中切割磁力线，从而产生涡电流，涡电流产生感应磁场与永磁体相互作用，产生扭矩，从而带动负载端的永磁体旋转。执行器分手动控制和信号电控两种。当执行器接到如压力、流量、液面高度等信号后，执行器对信号进行识别和转换，然后调节导磁体与永磁体之间的间隙大小，从而根据适时的负载输入扭矩的要求，调节 PMD 输入端的扭矩大小来最终改变电动机输出功率大小。

永磁调速器（PMD）的分类见表 7－3－27。

表 7－3－27　PMD　分　类　表

功　　率	冷　却　方　式	安　装　方　式
<300kW	空气冷却式	水平或垂直安装
≥300kW	水冷却式	水平或垂直安装

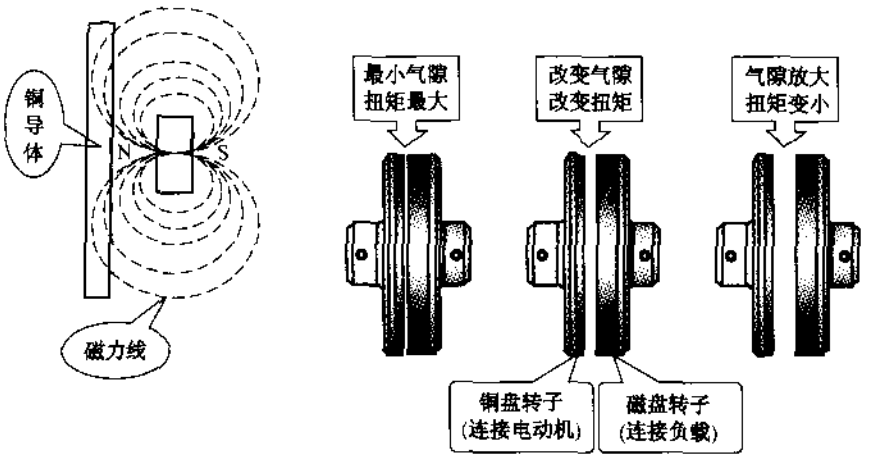


图7-3-35 永磁调速器（PMD）工作原理图

永磁调速可在0~98%的范围内对负载进行无级调速；可实现空载启动，极大地降低电动机启动电流；可用于窄小的空间和恶劣的工作环境。

3.4.3 带式输送机的安全保护装置

20世纪80年代以来，随着我国高产高效矿井的建设与发展，运量大、效率高的带式输送机运输方式得到了广泛应用，带式输送机已成为我国煤矿井下煤流运输的主要工具，带式输送机的安全监控技术与自动化技术也已成为煤矿生产安全与自动化技术的重要内容。

1. 带式输送机的有关安全规定

采用滚筒驱动带式输送机运输时应遵守的规定：

（1）必须使用阻燃输送带。

（2）巷道内应有充足照明。

（3）必须装设驱动滚筒防滑保护、堆煤保护和防跑偏装置。

（4）应装设温度保护、烟雾保护和自动洒水装置。

（5）在主要运输巷道内安设的带式输送机还必须装设：①输送带张紧力下降保护装置和防撕裂装置；②机头和机尾防止人员与驱动滚筒和导向滚筒相接触的防护栏。

（6）倾斜井巷中使用的带式输送机，上运时，必须同时装设防逆转装置和制动装置；下运时，必须装设制动装置。

（7）液力偶合器严禁使用可燃性传动介质（调速型液力偶合器不受此限）。

（8）带式输送机巷道中行人跨越带式输送机处应设过桥。

（9）应加设软启动装置，下运带式输送机应加设软制动装置。

2. 对带式输送机安全防护装置的规定

根据井下机电运输设备的结构特点，以及电气设备所处的不同位置，为保证人身和设备的安全必须设立良好的防护装置。下面主要是针对电气设备的转动部分、裸露部分，以及有人横越带式输送机的地点和机房硐室等所作的规定：

（1）在一切容易碰到的裸露电气设备和设备外露的转动部分，以及可能危及人身安全的部位或场所，都应设置防护栏。

（2）经常有人横越带式输送机的地点，应设有过桥，过桥应有扶手、栏杆。

（3）机房硐室应备有必要的消防器材。硐室内必须配备不小于 0.2m³ 的砂箱及黄砂和 2 个以上合格的灭火器。

（4）主要巷道内的带式输送机的机头前后两端各 20m 范围内，都必须用不燃性材料支护。

（5）使用带式输送机液力偶合器的巷道应备有灭火器材，其数量、规格和存放地点应在矿井灾害预防和处理计划中确定。

（6）严禁用带式输送机运送爆破材料。

3. 对带式输送机制动装置的规定

带式输送机在正常工作状态或故障状态下，根据不同的停车要求，都必须采取必要的制动，而在制动过程中又要求带式输送机制动装置必须灵活可靠，各部分传动机构、闸瓦及接触面积等应符合下列规定：

（1）制动装置各传动杆件灵活可靠，各销轴不松动，不缺油；闸轮表面无油迹，液压系统不漏油。

（2）松闸状态下，闸瓦间隙不大于 2mm；制动时闸瓦与闸轮紧密接触，有效接触面积不得小于 60%。

（3）钢丝绳牵引带式输送机制动装置的闸带（闸瓦衬带）无断裂，磨损剩余厚度不小于 3mm；闸轮表面沟痕深度不大于 1.5mm，沟宽总计不超过闸轮有效宽度的 10%。

4. 带式输送机的安全保护装置

1）输送带的跑偏及保护装置

输送带跑偏的主要危害是：造成输送带边缘的早期撕裂损坏，沿线撒煤不能正常运行，严重时会因过度摩擦引起火灾。造成跑偏的原因有：托辊与输送带中线不垂直；滚筒与输送带中线不垂直，输送带接头受力不均；装料偏向一侧（偏载）；滚筒的局部粘煤粉；输送带本身的制造质量不良，如芯体钢丝绳受力不均等。输送带任何位置都可能发生跑偏。

保护的方法有：

（1）将滚筒制成适当的鼓形。

（2）将槽形托辊的两侧辊略向前偏 2°～3°。

（3）在固定式输送机上配备调心托辊。

（4）对便拆装式和绳架吊挂式输送机则采用斜置托辊。

（5）提高安装质量，按规定要求使机身成一直线，托辊和滚筒与输送机纵轴线垂直，输送带接头匀整等。

为防止因输送带跑偏可能产生的事故，输送机沿线必须装设跑偏防护监控装置，当产生持续跑偏时，输送机能自动停机。

目前，带式输送机大多采用行程开关式防跑偏保护装置。它由防偏传感器和控制箱组成。当输送带跑偏时，输送带将立辊推向外侧，使传感器的动触头和固定触头接触，通过控制箱控制带式输送机断电停机。一般利用带柄的滚式行程开关对输送带的跑偏进行

监测。

2）驱动滚筒打滑与监控保护装置

驱动滚筒打滑的原因是滚筒的摩擦牵引力降低、超载或带子被卡住。摩擦牵引力降低的原因是输送带或滚筒沾泥水、输送带张力下降。

滚筒打滑如持续得不到纠正，能导致输送带着火的重大事故发生，因此，防止带式输送机打滑一直受到高度重视。《煤矿安全规程》规定，井下带式输送机使用的输送带必须是阻燃型输送带。带式输送机托辊的非金属材料零部件和包胶滚筒的胶料，其阻燃性和抗静电性也必须符合有关规定的要求。为了防止带式输送机滚筒打滑及因其他摩擦因素引起的安全事故，井下使用的带式输送机必须具备以下安全监控保护装置：

（1）驱动滚筒防滑保护、温度保护监控装置。

（2）卸载端的堆煤保护监控装置。

（3）输送机的防跑偏监控保护装置。

（4）输送机运输巷道的烟雾保护和自动洒水装置。

（5）在主要运输巷道安设的带式输送机必须装设输送带张紧力下降保护装置。

打滑与监控保护装置有：

（1）管式打滑保护装置。管式打滑保护装置一般将传感器的磁铁安装在导向滚筒的侧面，用螺栓固定。传感器安装在导向滚筒的邻近处，如输送带在运行中发生断带、打滑时，导向滚筒的转速将发生变化，通过传感器反映的导向滚筒转速降至设定值时，保护装置发出信号，让带式输送机停止运行。

（2）滚轮式断带、打滑保护装置。该装置由滚轮传感器和控制箱组成。正常运转时，在输送带的带动下，滚轮保持一定的速度，保护装置不动作；当发生断带打滑时，输送带运行速度减慢或停止，当滚轮速度达到设定值时，保护装置发出信号，让带式输送机停止运转。

3）堆煤保护装置

堆煤保护装置又叫煤位保护装置，它是一种用来检测煤仓是否装满或转载点是否堆积堵塞的装置。当发生堆煤时，堆煤保护装置控制带式输送机停机。堆煤保护装置主要有碳极式和偏摆式两种。

（1）碳极式堆煤保护装置由堆煤传感器和控制箱构成。堆煤传感器（一条电缆或特制的煤位探头）置于煤仓或转载点某一高度处作为固定触头，以煤作为动触头，当煤堆到一定高度与堆煤传感器相接触时，控制箱便控制带式输送机断电停机。

（2）偏摆式堆煤保护装置由偏摆传感器和控制箱构成。偏摆传感器安装在煤包上口或两部带式输送机的搭接处。偏摆传感器内有一钢球和延时开关，悬挂的传感器处于垂直状态时，钢球压在延时开关上，当煤位上升使传感器倾斜超过动作角度时，钢球滚开，开关延时动作发出信号，控制箱便控制带式输送机断电停机；当煤位下降后，传感器恢复垂直状态，钢球又压住延时开关，使其瞬时复位。

4）钢丝绳芯带式输送机的断带与纵向撕裂保护装置

长距离的输送机，其输送带每100m就有一个接头，2000m长的输送机其输送带至少有40个接头，因输送带的接头质量不高、牵引运行中的动载荷作用及其他使用因素，会引发断带事故，为此，需要采取以下安全技术措施：

（1）加强接头质量的工艺管理，严格操作规程。

（2）使用接头质量无损监测技术，确保牵引运行中的接头强度。

（3）在输送机上装设断带保护监控装置，减小因断带可能产生的事故危害。

钢丝绳芯输送带，因其芯体两钢绳之间的横向强度较弱，在运行中，如被尖刃物卡住而继续运行，会造成输送带的纵向割裂。输送带的纵向撕裂，不仅会造成设备损失，而且会严重影响生产。解决办法是，在装料点装设纵向撕裂监控保护装置。

防撕裂保护装置由防撕裂传感器和控制箱构成。防撕裂传感器通常安装在给煤机前方或装载点几米处的上层输送带下方，煤矿中常用 DJS－BA－1 型输送带纵向撕裂保护装置。防撕裂保护装置的作用是当带式输送机发生胶带纵向撕裂事故时，及时控制带式输送机停机，防止撕裂事故扩大。其原理是：当发生纵向撕裂的输送带经过纵向撕裂传感器上方时，输送带上面的煤沿纵向撕裂的缝隙撒落在传感器上，导电橡胶板被压变形，贴靠在电极印制板上，将常开的触点闭合，通过控制箱控制输送机停机。这种防撕裂保护装置的缺点是，当输送带发生纵向撕裂而输送带上无煤时，就不能起到防止输送带撕裂事故扩大的作用。

还有一种防撕裂保护装置由一个绕线吊挂托辊和限位开关组成，安装在装载点的托架内，当输送带被利器刺透撕开时，输送带托辊通过插入输送带的利器而改变位置，从而带动限位开关使输送机停机。

但是，现有的防撕裂监控保护装置，只有在尖刃物穿透一定深度才能使得输送机停机，因此，还需要开发更加完善的纵向撕裂保护装置。

5）烟温报警灭火系统装置

烟温报警灭火系统装置能够连续监测矿井带式输送机系统温度和烟雾的变化情况。当带式输送机周围温度和烟尘浓度达到设定值时，装置中的报警器会发出声光报警，同时断电停机，洒水灭火。

烟温报警灭火系统装置主要由控制箱、传感器、声光报警器和喷水装置组成。一般烟雾保护的传感器为光敏和气敏元件，它的安装位置一般在机头卸载滚筒下风口的 5m 范围内的巷道内。温度保护通常采用热电偶元件或热敏电阻作为监视温度的传感器。运动部件（如传动滚筒）利用铁磁材料的磁导率与温度的变化关系，用磁感应脉冲发送器作为传感器，一旦温度过高，保护装置动作，输送机便停止运行。

6）倾斜运输中的安全保护装置

倾斜井巷中使用的带式输送机，在满载运输时，因物料自重分力产生的向下推力较大，易造成上运“逆转”和下运“飞车”等事故。上运“逆转”就是向上运输的带式输送机，在满载上运的过程中，若断电时，不能有效制动，将产生反向逆转的事故。下运“飞车”就是向下运输的输送机，在等速运行时是利用电机的发电机方式控制速度，断电时，输送机失去电动机的电磁平衡力矩，若没有有效的减速制动方式，将造成输送机高速“飞车”的严重事故。为此需要在倾斜运输的输送机上装设有效的保护装置：对上运带式输送机，必须装设防逆转装置和制动装置；对下运带式输送机，必须装设可靠的降速制动保护装置。目前在下运带式输送机上使用的安全降速制动保护方式有以下几种：

（1）采用绕线式电动机动力制动。这种方式只能在没有防爆要求的条件下使用。

（2）采用液力制动装置降速，低速下用机械制动闸停车。

(3) 采用液压制动装置制动。

(4) 增加盘式制动器制动副的散热能力，使温度不超过规定值。

7) 飞带保护装置

飞带保护装置用在倾斜下运的带式输送机上。它的作用是在下运带式输送机失控或在制动后输送带与滚筒打滑的情况下，及时捕捉输送带，防止产生飞带事故。液压式飞带捕捉器由液压系统、滚筒和橡胶轮构成。这种飞带捕捉器是用油压来控制的。当带速超过额定值时，控制系统打开油路阀，橡胶轮带动液压泵将油通过管路排到液压缸内，推动液压缸内活塞使缸体向下运动，缸体与滚筒相连，从而推动滚筒向下运动，橡胶轮固定不动，输送带被压在滚筒与橡胶轮中间，因此，增大了输送带的运行阻力，降低了输送带的运行速度，起到了防止输送带运行超速和飞带事故发生的作用。当输送带速度降至额定速度时，控制系统关闭油路阀，在弹簧的作用下，滚筒抬起来，输送带由受压变形状态恢复成自由直线状态。

8) 沿线保护装置

沿线保护装置的作用是在带式输送机的任何部位都可以人为地停止输送机的运转，及时控制带式输送机事故的发生和扩展。

(1) 按钮式沿线保护装置，即每隔 40～50m 安装一个紧急停机按钮，并接入带式输送机控制系统。通常安装在带式输送机巷道煤帮上。

(2) 拉线式沿线保护装置，又称沿线急停开关。它用铁丝或细钢丝绳控制一个小的行程开关，把行程开关接入带式输送机控制系统。这种保护装置通常安装在带式输送机机架靠人行道的一侧。

9) 综合保护与集中控制装置

随着煤炭生产的需要和科学技术的发展，我国先后研制出多种带式输送机综合保护与集中控制装置。它们由各种传感器和集中控制台构成，可实现低速、超速、断带、纵向撕裂、堆煤、跑偏、急停、烟雾、温度等保护，并可进行洒水降温，具有电动机功率、带式输送机运行速度、紧急停车开关动作位置、跑偏开关动作位置、主电动机温度等数字显示功能，可配合 CST 等软启动系统工作，同时能对主电动机等设备实施控制和保护。

3.5 矿井运输系统改造与优化

矿井运输系统的改造优化，是保证其安全、可靠和高效运转的重要环节，需要进行合理的选型、正确的配套、充分的技术经济分析。

3.5.1 运输方式的选择依据

(1) 主要运输系统依据产量选择带式输送机，依据现有的技术和产品性能确定其带宽和带速。

(2) 依据煤矿地质条件选择高效辅助运输。顶板好，巷道宽，能用锚杆支护的，可选无轨胶轮车；矿压大有底鼓，坡度和负载适中的，可选单轨吊车；坡度小，有起伏的，可选胶套轮机车；坡度大，负载重的，可选卡轨车；煤层稳定，平巷长，斜巷不超过 10° 的，可选齿轨车，等。

(3) 依据运输距离确定牵引方式。长距离平硐应选用柴油机或架线机车牵引。

(4) 依据经济性选择运输方式。经济性的内容包括设备投资、巷道建设投资、运转

及维护费用，其目标是要产量高、全员效率高。

3.5.2　运输系统技术装备的优化配置

运输系统技术装备的配置与巷道的开拓、设备、煤层情况、开采方式等多种因素有关。

（1）运输系统优化配置对矿井开拓的要求。矿井开拓设计要为使用新型高效辅助运输设备创造条件。巷道坡度一般不超过煤层平均倾角，并尽量使巷道（和斜井）坡度不大于10°~12°。巷道宽度不小于3.6m，高度不小于2.2m，水平弯曲半径大于6m，垂直弯曲半径大于15m。这样单轨吊、齿轨车、无轨胶轮等新型高效设备才能快速重载运行，实现从井底（甚至从地面通过斜井）到工作面一条龙直达运输，既简化了系统，又节约了设备和投资。

（2）对于大型矿井的设备配套。一个大型矿井，既有综采，又有综掘，既需运送设备、材料、矸石，又需快速运人，因而既要有多台大、中、小机型配套的主机设备（如掘进工作面只能用小机车），又要配备相应的人车、材料车、集装箱、矸石车及吊装设备等。

（3）对于新建和改扩建矿井的装备配套。对于新建和改扩建的高产高效大型和特大型矿井，应按无轨胶轮车、单轨吊、齿轨车、卡轨车、胶套轮机车的顺序比较配套。

（4）对于老井改造的装备配套。对于老井改造，可选齿轨车、卡轨车、胶套轮机车等。为利用原有巷道轨道设施，可考虑大巷架线机车、蓄电池机车或柴油机齿轨车、采区单轨吊或无轨胶轮车、掘进胶套轮机车。

（5）对于中小型矿井的装备配套。对于中小型矿井，巷道坡度不大的可用胶套轮机车；在巷道倾角不超过18°的煤、矸、物料、人员共运的矿井，可用齿轨、卡轨、胶套轮机车；煤流已实现带式输送机运输，单纯运送物料、人员的，可选用单轨吊系统；巷道倾角大于18°时可用钢绳卡轨车或单轨吊系统。

（6）控制运行的设备配套。为使运输系统安全高效地运行，需配置轨道、道岔及其控制信号闭锁等装置，同时有条件的矿井最好配备具有监测功能的自动调度系统。

3.6　矿井运输设备的常见故障与预防措施

3.6.1　刮板输送机的常见故障与预防措施

1. 断链事故

断链事故是刮板输送机发生较多的事故，虽然造成人身伤害的可能性较小，但对生产的影响却很大。

断链事故主要由下列原因引起：

（1）因制造质量不合格或使用维护不良引起断链。圆环链制造质量不良是引起断链的主要原因。

（2）连接环无螺栓引起断链。在连接环使用中，由于连接环螺栓松动、丢失而未及时紧固或补充，容易把连接环一侧拉断，导致断链事故发生。

（3）跳牙会使链环在机头的链轮牙齿上产生冲击，腐蚀磨损的链环一旦受到冲击就容易断裂。

（4）装煤过多或有大块石头压住刮板链，并在满载或超载情况下启动或频繁启动时，

会使其承受的张力超过极限而断裂。

（5）两条链子节距不等，一条链承受负荷过大或链腐蚀磨损也会发生断裂。

（6）磨损严重的中部槽下槽的接头处易卡阻刮板，使链条负荷急增，张力超过极限或链环腐蚀时，链条很容易被拉断。

（7）中部槽不直，不仅会使两条链子受力不均，严重时链条拉力都作用在一侧，而且加剧了中部槽与链的磨损，使链环被拉断。

（8）链条出槽，容易被卡阻而断链。

（9）紧链时链条过紧，不仅增大了链条的初张力，而且在其被刮卡时没有缓冲的余地，增大了链环的张力负荷，易造成断链。

（10）机头安装过低或探头太短，使浮煤返进下槽，增加链张力矩，启动时极易断链。

（11）井下腐蚀，链条与中部槽、货载的摩擦，主动链轮与链环啮合时链环间的摩擦等，都会造成链环断面减小、强度降低等自然性损坏，易使链环断裂。

2. 机头、机尾翻翘伤人事故

刮板输送机在紧链、接链、处理机头掉链、飘链等故障时，常发生机头或机尾被拉翻翘，在机头或机尾处碰伤人员等事故。

在机头与过渡槽间无连接螺栓固定或机头、机尾无撑压柱条件下，刮板链同时处于以下情况时会发生机头、机尾翻翘事故：①向机头方向正转启动；②下槽被卡阻使负荷骤增；③在机头处出槽。

3. 刮板输送机常见故障的预防措施

1）提高铺设质量

（1）安装移设刮板输送机时，必须将机头与过渡槽的连接螺栓安装齐全、紧固。

（2）在工作面，为防止机头下窜和翻翘，应加设支撑柱（压柱），其支撑位置应在机头下部的撬板上，不得支撑在减速器或机头壳上。

（3）机头、机尾铺设位置应合适，防止浮煤带入下槽。一般两台刮板输送机垂直布置时，搭接高度应不小于700mm，左右距离约为250mm；直线布置时，搭接高度应不小于300mm，前后距离应不小于500mm。

2）加强维护、注意观察

（1）及时更换磨损过限的中部槽，补齐刮板所缺螺栓，以免被下槽卡住。

（2）处理机头或机尾故障、紧链、接链后，启动前，人必须离开机头或机尾。

（3）刮板输送机运转中，人不得在机头、机尾附近逗留，不得在中部槽中行走。

（4）不得用脚蹬的办法处理出槽的刮板链。

3）防止运送物料伤人

（1）运送物料时，必须事先通知司机，并随时注意物料运输情况。

（2）用刮板输送机运送较长物料时，物料必须放置在中部槽中部且与中部槽垂直，不得歪斜。

（3）往运转中的刮板输送机装较长物料时，必须先放物料前端，小径朝后；取物料时，必须先取后端或从侧面取出，或停止运转后再取，严禁迎面取前端。

（4）运送较大的物料时，物料宽度不得超出中部槽，而且必须有人跟随，以便发现

问题及时处理。

（5）刮板输送机两侧应保持整洁，磁力启动器或其他固定设备应设置在小硐室，距中部槽边不小于 700mm。

（6）运送物料时，刮板输送机的沿线应设有信号，不得使用“晃灯”的办法代替信号。

（7）运送较大物料（如支柱）时，不得使其直接从机头上通过。

（8）禁止运送炸药、雷管等易爆物品。

3.6.2　带式输送机的常见故障与预防措施

1. 常见事故

带式输送机发生的事故不仅仅指设备本身发生的故障、失效和破损，还包括由其诱发的事故。诱发的事故有火灾事故、输送带打滑事故、输送带撕裂断裂事故、输送带跑偏事故等。

2. 造成重大事故的原因

1）火灾事故原因

井下带式输送机是矿井主要易发火灾区域。造成带式输送机火灾事故的根本原因是有足够热量和热容量的火源使输送带燃烧。这样的火源一方面由输送带与主动滚筒、从动滚筒及托辊间因打滑摩擦生热产生；另一方面主要有液力联轴器喷油着火、自燃或人为的明火、电线短路起火等。

2）打滑事故原因

输送带打滑事故是导致火灾的主要原因，主要由输送带松、负载大或输送带卡阻造成。输送带松主要是由于拉紧装置产生的拉紧力太小及输送带弹性伸长量太大引起；负载大一方面是由于重载启动，另一方面是由于负载量太大或输送带与主动滚筒间摩擦力太小；输送带卡阻主要是大块煤卡住输送带或输送带埋在煤中或淤泥中，使输送带不能运行。

3）下滑事故原因

输送带下滑事故是指其向上运输时的逆转现象，是针对倾斜巷道的。造成输送带下滑的根本原因是巷道倾角大于输送带下滑的极限平衡角，且制动装置失效或提供的制动力不够。

4）跑偏事故原因

带式输送机发生跑偏事故，轻则影响输送机的使用寿命和输送量，重则造成撒料、甚至发生停机事故和人行道上的人员伤亡事故，直接影响生产。跑偏事故原因主要来源于设备自身方面、安装调整方面、日常使用方面。设备自身方面主要从带式输送机结构考虑，如架体刚性差、滚筒的外圆圆柱度误差较大、托辊转动不灵活、主动滚筒和从动滚筒的轴线平行度误差较大、输送带薄厚不均和两边边缘长度不一致及输送带接头处不平行等；安装调整方面主要是指滚筒、托辊、机架、导料槽和卸料槽的导料挡板等安装不符合要求；日常使用方面主要是指清扫器的清扫性能不佳、维护不好及调整不当、输送系统的振动及大块物料的黏结等。

5）撕裂断裂事故的原因

撕裂输送带的直接原因是漏斗磨损、矸石和煤块直接砸输送带、金属物卡住输送带；

另一方面原因是输送带严重跑偏被卡刮撕裂。另外，输送带负载太大使输送带实际张力超限或输送带接头处强度太低都会使输送带发生断裂事故。

6）违章事故的原因

违章事故主要有乘坐输送带、跨越或穿过输送带、连接输送带等伤人事故，主要是由于相关人员违反相关规定引起。

3. 重大事故的预防

1）火灾事故的预防

（1）要尽量使用阻燃输送带，现用的非阻燃输送带要有具体的防范措施，配足配齐带式输送机安全保护装置，并安设消防水管、砂箱、灭火器等消防器材。

（2）加强输送机管理，提高维护和操作人员的素质，确保输送机良好的运行环境和运行状态，杜绝输送机发生火灾的隐患。

（3）采用先进的适合本矿特点的输送带火灾监控技术，如驱动滚筒温升监测技术、滚筒打滑监测技术、烟雾报警监测技术和分布式光纤温度传感器监测技术。

2）打滑事故的预防

（1）调整输送带的拉紧力，使之既符合输送带不打滑的条件和悬垂度的要求，又符合输送带强度的要求。

（2）带式输送机停车后，在主动滚筒和输送带内表面之间撒上锯末将水吸干，并且及时清理油或煤泥。

（3）定期检查滚筒和托辊中的轴承，若损坏，应及时维修或更换。

（4）通过测量输送带相对于滚筒表面的滑差率来在线监控带式输送机的打滑现象。

3）下滑事故的预防

预防下滑事故的方法是在减速器上增设制动器，或在主动滚筒上设置塞带逆止器或滚柱逆止器，一旦发生下滑现象，能及时进行制动。

4）跑偏事故的预防

（1）通过提高设计、制造的精度来预防因设备制造方面原因引起输送带跑偏事故的发生。

（2）通过调整滚筒轴承座位置及两端轴承高低差来平衡输送带两边的张力，这样可预防因主动滚筒与从动滚筒轴线不平行及单个滚筒轴线不水平引起的跑偏事故。

（3）通过加强输送带空段和滚筒表面的清扫、提高输送带的连接精度、正确安装导料槽和卸料槽的位置、减轻输送机系统的振动等措施来预防跑偏事故。

5）撕裂事故的预防

（1）及时更换磨损过限的漏斗，保持漏斗完好，避免货载直接砸向输送带。

（2）加强带式输送机运输货载的检查，不得使金属物进入漏斗，防止损坏输送带。

（3）及时处理跑偏的输送带，以免跑偏撕裂输送带。

（4）设置输送带纵向撕裂的保护装置及张力监控装置，用传感技术和信号处理技术来在线监测。

（5）加强巡回检查，发现问题及时处理。

3.6.3 机车运输的常见故障与预防措施

1. 常见故障

机车运输伤亡事故是矿井运输事故的主要部分。据统计，平巷机车运输事故次数占总运输事故次数的 42.4%，死亡人数占运输事故总死亡人数的 41%。机车运输伤亡事故包括行车行人伤亡事故和列车运行伤亡事故。行车行人伤亡事故主要有：列车在行驶中与在巷道中行走的人员相碰，与因巷道狭窄无法躲避的人相碰，以及与违章蹬、扒、跳车的人相碰；列车运行伤亡事故以撞车、追尾、掉道碰人等事故居多。

2. 预防措施

（1）加强职工的安全生产教育和培训。

（2）强化列车制动距离的检测。

（3）运人罐笼应使用专用轨道。

（4）不同电的轨道和架线电机车回电轨道之间必须加以绝缘，并对绝缘点进行检查维护。

（5）定期检修机车，发现隐患，及时处理。

（6）严格按规定铺设矿井轨道，使用期间应加强维护，定期检修。

（7）井下蓄电池充电室内必须采用矿用防爆型电气设备。

（8）矿用防爆柴油机车必须符合《煤矿用防爆柴油机车技术检验规范》的规定。

附录

附录 A　提升系统相关标准及规范

（1）煤炭工业矿井设计规范；

（2）煤矿安全规程；

（3）煤矿矿井机电设备完好标准。

A1　提升机

（4）煤矿在用摩擦式提升机系统安全检测检验规范（AQ 1014—2005）；

（5）煤矿在用缠绕式提升机系统安全检测检验规范（AQ 1015—2005）；

（6）煤矿在用提升绞车系统安全检测检验规范（AQ 1016—2005）；

（7）煤矿用 JTK 型提升绞车安全检验规范（AQ 1032—2007）；

（8）煤矿用 JTP 型提升绞车安全检验规范（AQ 1033—2007）；

（9）煤矿用带式制动提升绞车安全检验规范（AQ 1034—2007）；

（10）煤矿用单绳缠绕式提升绞车安全检验规范（AQ 1035—2007）；

（11）煤矿用多绳摩擦式提升绞车安全检验规范（AQ 1036—2007）；

（12）煤矿用液压防爆提升机和提升绞车安全检验规范（AQ 1042—2007）；

（13）煤矿主提升机操作工安全技术培训大纲及考核标准（AQ 1063—2008）；

（14）竖井罐笼提升信号系统安全技术要求（GB 16541—1996）；

（15）矿井提升机和矿用提升绞车安全要求（GB 20181—2006）；

（16）多绳摩擦式提升机（GB/T 10599—1998）；

（17）运输机械术语　提升机（GB/T 14521.9—1993）；

（18）煤矿科技术语　第 5 部分：提升运输（GB/T 15663.5—2008）；

（19）煤矿机械技术文件用图形符号　提升和地面生产机械图形符号（GB/T 18024.5—2000）；

（20）单绳缠绕式矿井提升机（GB/T 20961—2007）；

（21）矿山机械术语　第 3 部分：提升设备（GB/T 7679.3—2005）；

（22）矿井提升机和矿用提升绞车盘形制动器（JB 8519—1997）；

（23）摩擦式提升机：摩擦衬垫（JB/T 10347—2002）；

（24）矿井提升机和矿用提升绞车　液压站（JB/T 3277—2004）；

（25）矿井提升机　盘形制动器闸瓦（JB/T 3721—1999）；

（26）矿井提升机和矿用绞车　盘形制动器用蝶形弹簧（JB/T 3812—1999）；

（27）交流传动矿井提升机电控设备技术条件（JB/T 4263—2000）；

（28）带式制动矿用提升绞车（JB/T 4287—1999）；

（29）直流传动矿井提升机电控设备　第一部分　机组电控设备（JB/T 6754.1—1993）；

（30）直流传动矿井提升机电控设备　第二部分　晶闸管电控设备（JB/T 6754.2—1993）；

（31）JTP 型矿用提升绞车（JB/T 7888.1—1999）；

（32）JTK 型矿用提升绞车（JB/T 7888.2—1999）；

（33）液压防爆提升机和提升绞车（JB/T 8710—1998）；

（34）矿用提升绞车安全技术监测规范（LD 68—1994）；

（35）矿山提升系统安全技术检验规程　第三部分：斜井提升带式输送机的检验（LD 87.3—1996）；

（36）煤矿地面立井提升机综合后备保护装置通用技术条件（MT 407—1995）；

（37）煤矿在用提升机节能监测方法和判定规则（MT/T 1001—2006）；

（38）煤矿在用主提升带式输送机节能监测方法和判定规则（MT/T 1070—2007）；

（39）摩擦提升机用衬垫摩擦系数测试方法（MT/T 248—1991）；

（40）煤矿用提升信号装置通用技术条件（MT/T 834—1999）；

（41）全数字直流传动矿井提升机电控设备技术条件（MT/T 1083—2007）。

A2　提升容器

（42）竖井罐笼提升信号系统安全技术要求（GB 16541—1996）；

（43）罐笼安全技术要求（GB 16542—1996）；

（44）立井多绳提煤箕斗（MT 20—1990）；

（45）立井箕斗计量装载设备（MT 21—1990）；

（46）提升容器钢丝绳悬挂装置　楔形绳环（MT 214.1—1990）；

（47）提升容器钢丝绳悬挂装置　螺旋液压调绳器（MT 214.2—1990）；

（48）提升容器钢丝绳悬挂装置　圆尾绳悬挂装置（MT 214.3—1990）；

（49）提升容器钢丝绳悬挂装置　扁尾绳悬挂装置（MT 214.4—1990）；

（50）提升容器钢丝绳悬挂装置　技术条件（MT 214.5—1990）；

（51）立井罐笼用摇台（MT 217—1990）；

（52）1t 矿车立井多绳罐笼（MT 232—1991）；

（53）1.5t 矿车立井多绳罐笼（MT 233—1991）；

（54）3t 矿车立井多绳罐笼（MT 234—1991）；

（55）立井多绳罐笼平衡锤（MT 235—1991）；

（56）多绳提升容器 B 型钢丝绳悬挂装置　楔形绳卡（MT 237.1—1991）；

（57）多绳提升容器 B 型钢丝绳悬挂装置　垫块式首绳悬挂装置（MT 237.2—1991）；

（58）多绳提升容器 B 型钢丝绳悬挂装置　圆尾绳悬挂装置（MT 237.3—1991）；

（59）多绳提升容器 B 型钢丝绳悬挂装置　扁尾绳悬挂装置（MT 237.4—1991）；

（60）多绳提升容器 B 型钢丝绳悬挂装置技术条件（MT 237.5—1991）；

（61）立井提升容器楔形连接装置技术条件（MT 284—1994）；

（62）JG 系列立井大型多绳箕斗基本参数（MT 328—1993）；

（63）JC 系列立井大型多绳箕斗基本参数（MT 329—1993）；

（64）XG，XC 系列立井大型多绳箕斗卸载设备基本参数（MT 330—1993）；

（65）JL 系列立井大型多绳箕斗基本参数（MT 331—1993）；

（66）XL 系列立井大型多绳箕斗卸载设备基本参数（MT 332—1993）；

（67）矿用防坠器技术条件（MT 355—2005）；

（68）矿用提升容器重要承载件无损探伤方法与验收规范（MT 684—1997）；

（69）0.5t、1t矿车立井单绳罐笼（MT/T 926—2004）。

A3　提升钢丝绳及悬挂装置

（70）矿山提升系统安全技术检验规程　第七部分：钢丝绳和连接装置的检验（LD 87.7—1996）；

（71）提升容器钢丝绳悬挂装置　楔形绳环（MT 214.1—1990）；

（72）提升容器钢丝绳悬挂装置　螺旋液压调绳器（MT 214.2—1990）；

（73）提升容器钢丝绳悬挂装置　圆尾绳悬挂装置（MT 214.3—1990）；

（74）提升容器钢丝绳悬挂装置　扁尾绳悬挂装置（MT 214.4—1990）；

（75）提升容器钢丝绳悬挂装置技术条件（MT 214.5—1990）；

（76）多绳提升容器B型钢丝绳悬挂装置　楔形绳卡（MT 237.1—1991）；

（77）多绳提升容器B型钢丝绳悬挂装置　垫块式首绳悬挂装置（MT 237.2—1991）；

（78）多绳提升容器B型钢丝绳悬挂装置　圆尾绳悬挂装置（MT 237.3—1991）；

（79）多绳提升容器B型钢丝绳悬挂装置　扁尾绳悬挂装置（MT 237.4—1991）；

（80）多绳提升容器B型钢丝绳悬挂装置技术条件（MT 237.5—1991）；

（81）煤矿重要用途钢丝绳验收技术条件（MT 716—2005）；

（82）煤矿重要用途在用钢丝绳性能测定方法及判定规则（MT 717—1997）；

（83）制绳用钢丝（GB/T 8919—1996）；

（84）钢丝绳（GB/T 8918—1996）；

（85）一般用途钢丝绳（GB/T 20118—2006）；

（86）重要用途钢丝绳（GB 8918—2006）；

（87）钢丝绳术语和钢丝绳标记代号（GB 8706～8707—1988）；

（88）剑麻钢丝绳芯（GB/T 15030—1994）；

（89）钢丝绳表面脂（SH/T 0387—1992）；

（90）钢丝绳麻芯脂（SH/T 0388—1992）。

附录B　运输系统相关标准及规范

（1）煤炭工业矿井设计规范（GB 50215—2005）；

（2）煤矿安全规程；

（3）煤矿矿井机电设备完好标准；

（4）煤矿设计规范。

B1　带式输送机（含托辊、制动器）

（5）带式输送机　技术条件（GB/T 10595—1989）；

（6）带式输送机托辊用电焊钢管（GB/T 13792—1992）；

（7）输送带标志（GB/T 5752—2002）；

（8）钢丝绳芯输送带覆盖层厚度的测定（GB/T 5753—1994）；

（9）钢丝绳芯输送带纵向拉伸强度的测定（GB/T 5754—1986）；

（10）钢丝绳芯输送带钢丝绳粘合强度的测定（GB/T 5755—2000）；

（11）输送带　具有橡胶或塑料覆盖层的普通用途织物芯输送带（GB/T 7984—

2001）；

（12）输送带带芯抗撕裂性试验方法（GB/T 7985—1987）；

（13）输送带卷筒摩擦试验方法（GB/T 7986—1997）；

（14）普通用途钢丝绳芯输送带（GB/T 9770—2001）；

（15）带式输送机　基本参数与尺寸（GB/T 987—1991）；

（16）带式输送机　卷筒　基本参数与尺寸（GB/T 988—1991）；

（17）带式输送机　托辊　基本参数与尺寸（GB/T 990—1991）；

（18）煤矿用抗静电织物整芯阻燃输送带（MT 147—1995）；

（19）煤矿用输送带的成槽性（MT 212—1990）；

（20）矿用吊挂带式输送机　型式与基本参数（MT 23—1975）；

（21）煤矿用带式输送机卷筒尺寸系列（MT 400—1995）；

（22）煤矿用带式输送机橡胶缓冲托辊安全性能检验规范（MT 559—1996）；

（23）煤矿用带式输送机安全规范（MT 654—1997）；

（24）煤矿用阻燃钢丝绳牵引输送带技术条件（MT 669—1997）；

（25）煤矿用带式输送机托辊尺寸系列（MT 73—1992）；

（26）煤矿井下用带式输送机技术条件（MT 820—1999）；

（27）煤矿井下用带式输送机托辊技术条件（MT 821—1999）；

（28）煤矿用织物叠层阻燃输送带（MT 830—1999）；

（29）煤矿用下运带式输送机制动器技术条件（MT 912—2002）；

（30）煤矿用织物整芯阻燃输送带（MT 914—2002）；

（31）煤矿井下液力偶合器用高含水难燃液（MT/T 243—1991）；

（32）煤矿用带式输送机基本参数和尺寸（MT/T 414—1995）；

（33）煤矿用带式输送机设计计算（MT/T 467—1996）；

（34）煤矿用伸缩带式输送机参数（MT/T 529—1995）；

（35）滑槽带式输送机（MT/T 543—1996）；

（36）煤矿用带式输送机托辊轴承技术条件（MT/T 655—1997）；

（37）煤矿用带式输送机机架型式与基本尺寸（MT/T 656—1997）；

（38）煤矿用阻燃钢丝绳芯输送带技术条件（MT/T 668—1997）；

（39）煤矿用带式输送机减速器技术条件（MT/T 681—1997）；

（40）煤基橡胶填料技术条件（MT/T 804—1999）；

（41）煤矿用带式输送机电控装置（MT/T 817—1999）；

（42）煤矿用转载带式输送机（MT/T 823—1999）；

（43）煤矿井下用带式输送机托辊与相邻零、部件的相关尺寸（MT/T 857—2000）；

（44）煤矿用调速型液力偶合器检验规范（MT/T 923—2002）；

（45）煤矿用带式输送机电控系统（MT/T 571.1—1995）；

（46）煤矿井下用伸缩带式输送机（MT/T 901—2000）；

（47）煤矿用带式输送机保护装置技术条件（MT 872—2000）；

（48）带式输送机用逆止器（JB/T 9015—1999）。

B2　刮板输送机

（49）液力偶合器型式和基本参数（GB/T 5837—1993）；
（50）刮板输送机中部槽试验规范（MT 102—1985）；
（51）刮板输送机热轧矿用槽帮钢型式、尺寸（MT 149—1987）；
（52）中心单链刮板输送机蛙形链接头（MT 153—1987）；
（53）刮板输送机中部槽（MT 183—1988）；
（54）工作面用刮板输送机挡板型式、基本参数和尺寸（MT 184—1988）；
（55）工作面用刮板输送机铲煤板型式、基本参数和尺寸（MT 185—1988）；
（56）工作面用刮板输送机电缆槽基本参数（MT 186—1988）；
（57）刮板输送机紧固件　螺栓技术条件（MT 187.1—1988）；
（58）刮板输送机紧固件　U 型螺栓（MT 187.2—1988）；
（59）刮板输送机紧固件　棱头螺栓 A 型（MT 187.3—1988）；
（60）刮板输送机紧固件　棱头螺栓 B 型（MT 187.4—1988）；
（61）刮板输送机紧固件　长方头螺栓（MT 187.5—1988）；
（62）刮板输送机紧固件　梯形头螺栓（MT 187.6—1988）；
（63）刮板输送机紧固件　半圆头方颈螺栓（MT 187.7—1988）；
（64）矿用刮板输送机　驱动链轮（MT 231—1991）；
（65）边双链刮板输送机用刮板（MT 72—1991）；
（66）刮板输送机用液力偶合器试验规范（MT/T 100—1995）；
（67）刮板输送机用减速器检验规范（MT/T 101—2000）；
（68）矿用刮板输送机出厂检验规范（MT/T 103—1995）；
（69）刮板输送机型式检验规范（MT/T 104—1993）；
（70）刮板输送机　通用技术条件（MT/T 105—1993）；
（71）顺槽用刮板转载机通用技术条件（MT/T 106—1996）；
（72）刮板输送机用减速器（MT/T 148—1997）；
（73）矿用液压推溜器（MT/T 151—1996）；
（74）矿用刮板输送机型式与参数（MT/T 15—2002）；
（75）中心单链刮板输送机刮板（MT/T 152—1997）；
（76）刮板输送机紧固件　非金属嵌件六角锁紧螺母（MT/T 187.8—1991）；
（77）工作面用无链牵引齿轨（MT/T 207—1995）；
（78）中双链刮板输送机用刮板（MT/T 323—1999）；
（79）矿用刮板输送机通用安全技术条件（MT/T 464—1995）；
（80）矿用刮板输送机驱动链轮检验规范（MT/T 465—1995）；
（81）刮板输送机用紧链器（MT/T495—1995）；
（82）综采用刮板输送机产品质量分等（MT/T 496—1995）；
（83）综采用刮板输送机井下工业性试验规范（MT/T 497—1995）；
（84）顺槽用刮板转载机型式与参数（MT/T 69—1995）；
（85）刮板输送机用刮板检验规范（MT/T 812—1999）；
（86）刮板输送机铸造槽帮型式、尺寸（MT/T 864—2000）；
（87）刮板输送机紧固件 E 型螺栓（MT/T 187.10—1996）；

（88）工作面用刮板输送机系列型谱（MT 15—82）。

B3　窄轨人车（斜井、平巷）

（89）矿用斜井人车技术条件（MT 388—1995）；

（90）煤矿用平巷人车技术条件（MT 389—1995）；

（91）煤矿斜井人车试验细则。

B4　矿车（含连接链、插销）

（92）煤矿矿车基本参数及尺寸　固定车箱式（GB 3322.1—82）；

（93）煤矿矿车基本参数及尺寸　底卸式（GB 3322.2—82）；

（94）矿用高强度圆环链（GB/T 12718—2001）；

（95）底卸式矿车（JB/T 5498—1991）；

（96）窄轨矿车通用技术条件（JB/T 6992—1993）；

（97）固定车箱式窄轨矿车（JB/T 9027—1999）；

（98）煤矿窄轨车辆连接件　连接链（MT 244.1—1997）；

（99）煤矿窄轨车辆连接件　连接插销（MT 244.2—1997）；

（100）窄轨矿车轮对　技术条件（MT 307—1992）；

（101）矿用高强度圆环链（MT 36—1980）；

（102）煤矿窄轨矿车安全性测定方法和判定规则（MT 387—1995）；

（103）DTQ6 型通用抓斗（MT/T 245—1991）；

（104）矿用圆环链用开口式连接环检验规范（MT/T 415—1995）；

（105）矿用圆环链用扁平接链环检验规范（MT/T 463—1995）；

（106）矿用高强度圆环链检验规范（MT/T 522—1995）；

（107）矿用圆环链用开口式连接环（MT/T 71—1997）；

（108）窄轨道岔扳道器（MT/T 814—1999）；

（109）矿用圆环链用扁平式连接环（MT/T 99—1997）；

（110）窄轨矿车　试验方法和检验规则（JB/T 5497—2005）；

（111）振动筛　制造通用技术条件（JB/T 5496—2004）；

（112）单侧曲轨侧卸式矿车　产品质量分等（JB/T 53566—1999）；

（113）固定车箱式窄轨矿车　产品质量分等（JB/T 53568—1999）；

（114）翻斗式矿车　产品质量分等（JB/T 53579—1999）；

（115）底卸式矿车　产品质量分等（JB/T 53589—1999）；

（116）平巷人车　产品质量分等（JB/T 53590—1999）；

（117）斜井人车　产品质量分等（JB/T 53591—1999）；

（118）斜井人车（JB/T 5494—1991）；

（119）平巷人车（JB/T 5495—1991）；

（120）固定车箱式窄轨矿车　技术条件（JB/T 9027—2004）；

（121）矿山窄轨车辆　开式轮对（JB/T 8296.1—1999）；

（122）矿山窄轨车辆　开式轮对车轮（JB/T 8296.2—1999）；

（123）矿山窄轨车辆　开式轮对车轴（JB/T 8296.3—1999）；

（124）矿山窄轨车辆开式轮对槽型螺母（JB/T 8296.4—1999）；

（125）矿山窄轨车辆开式轮对外盖（JB/T 8296.5—1999）；

（126）地下运矿车（JB/T 8436—1996）；

（127）耙矿绞车（JB/T 7357—2004）。

B5　辅助运输设备

（128）煤矿辅助运输设备型号编制方法（MT/T 154.8—1996）；

（129）无极绳连续牵引车（MT/T 988—2006）；

（130）矿用无极绳调速机械绞车（MT/T 885—2000）；

（131）爆炸性环境用防爆电气设备（GB 3836.2—2000）；

（132）煤矿提升绞车安全检验规范；

（133）煤矿活动抱索器架空乘人装置（Q/CKJ 020126—2006）；

（134）煤矿固定抱索器架空乘人装置技术条件（MT/T 873—2000）；

（135）矿用防爆柴油机无轨胶轮车通用技术条件（MT/T 989—2006）；

（136）煤矿用防爆柴油机车技术检验规范；

（137）柴油机单轨吊车（MT/T 883—2000）；

（138）煤矿用液压葫芦（MT/T 884—2000）；

（139）矿用无极绳调速机械绞车（MT/T 885—2000）；

（140）煤矿井下钢丝绳牵引单轨吊车（MT/T 886—2000）；

（141）DX25J 防爆特殊型蓄电池单轨吊车（MT/T 887—2000）；

（142）单轨吊车起吊梁（MT/T 888—2000）；

（143）地下矿用无轨轮胎式运矿车（GB 21500—2008）。

第 8 篇

矿井供电、排水、压气

矿 井 供 电

主　编　王崇林
副主编　刘建华　李晓波　李国欣

矿 井 排 水

主　编　李意民

矿 井 压 气

主　编　张景松
编　写　陈更林　杨春敏

1 矿 井 供 电

1.1 矿井供电系统

1.1.1 供电电源及供电电压

矿井供电规划应结合电力系统规划，根据本地区电力负荷的分布和发展情况，合理确定供电电源、电压等级及供电系统。供电的总体规划，应以 10 年为期，按几个不同方案进行技术经济比较后，择优选取。

矿井供电电源可由电力系统的区域变电所、终端或分支变电所、矿区变电所或矿区（矿井）自备电厂取得。矿井应有两回路独立电源线路，当任一回路发生故障停止供电时，另一回路不应同时损坏，并应能担负矿井全部负荷；年产 6×10^4t 以下的矿井采用单回路供电时，必须有备用电源，备用电源的容量必须满足通风、排水、提升等的要求。矿井的两个回路电源线路上都不得分接任何负荷，严禁装设负荷定量器。

矿井电源架空线路的选择，宜利用井田边界、断层煤柱或其他煤柱，当无煤柱可利用时，线路宜减少通过煤田地表的路段长度并避免通过初期塌陷区；不应架设在爆破作业区和未稳定的排废区内，并应与其保持适当的安全距离；通过塌陷区的两个回路电源线路之间要有足够的安全距离并采取其他必要的安全措施；在电源线路有可能通过产生塌陷的地区和尚未稳定的塌陷地区，矿井电源线路不宜同杆（同塔）架设，10kV 及其以下的矿井架空电源线路不得同杆（同塔）架设。

矿井电源的供电电压宜采用 10～110kV；经技术经济比较确定合理时，可采用其他等级电压。当两种电压经济技术指标相差不大时，宜采用较高等级电压。表 8－1－1 列出了我国 3kV 及以上交流三相系统的标称电压及电气设备的最高电压值。

表 8－1－1 3kV 及以上交流三相系统的标称电压及电气设备的最高电压值 kV

标称系统电压	3	6	10	20	35	66	110	220
电气设备的最高电压	3.5	7.2	12	24	40.5	72.5	126	252

供电电压等级的高低，直接决定着电能输送过程中输送功率的大小和输电距离的远近，两者关系一般采用负荷距表示。负荷距是根据负荷大小、功率因数、导线型号、电压等级、电压损失算得的线路的有功负荷与输送距离的乘积，一般可查阅相关表格得到；若已知输送功率，可求得输送距离，若已知输送距离可求得输送功率，即输送功率＝负荷距/输送距离。表 8－1－2 列出了各级电压所适用的输送功率和输电距离的大致范围。

表 8－1－2　各级电压线路的送电能力参考值

电网电压/kV	架空线路		电缆线路	
	输送功率/MW	输送距离/km	输送功率/MW	输送距离/km
0.38	0.1 以下	0.25 以下	0.175 以下	0.35 以下
3.0	1.0 以下	1～3	1.5 以下	1.8 以下
6.0	0.1～1.2	4～15	3	3 以下
10.0	0.2～2	6～20	5	6 以下
35	2～8	20～50	15	20 以下
63	3.5～20	25～100		
110	10～30	50～150		
220	100～500	100～300		

矿井供电中除了采用国家规定的电压等级外，为了适应煤矿的特殊要求还采用了一些专用的电压等级，表 8－1－3 列出了煤矿中常用的电压等级及用途。

表 8－1－3　煤矿中常用的电压等级及用途

	电压等级	用　途		电压等级	用　途
交流	36V	井下照明及控制、信号回路	交流	6、10kV	矿井配电
	127V	井下照明及手持电气设备		35、66kV	矿区配电
	220V	地面及井下照明		110kV	矿区配电
	380V	地面及井下低压动力	直流	80、110、120、400	蓄电池式电机车
	660V	地面及井下低压动力		110、220	地面变电所直流电源
	1140V	井下低压动力		250、550、750	架线式电机车
	3.3kV	井下综采工作面供电			

1.1.2　负荷分级及供电要求

矿山电力负荷可划分为一级负荷、二级负荷和三级负荷，矿井电力负荷分级及各级负荷对电源的要求详见表 8－1－4。

表 8－1－4　矿井电力负荷分级及各级负荷对电源的要求

负荷级别	负荷及设备名称	电源要求
一级负荷	(1) 井下有淹没危险环境矿井的主排水泵及下山开采采区的排水泵； (2) 井下有爆炸或对人体健康有严重损害危险环境矿井的主通风机； (3) 矿井经常升降人员的立井提升机； (4) 抽放瓦斯设备（包括井下移动抽放泵站设备）； (5) 根据国家或行业现行有关标准规定应视为一级负荷的其他设备	双独立电源供电：当一个电源中断供电，另一个电源不应同时受到损坏，且电源容量应至少保证矿山企业全部一级负荷电力需求

表 8-1-4（续）

负荷级别	负 荷 及 设 备 名 称	电 源 要 求
二级负荷	（1）主提升机（包括主提升带式输送机及煤水泵）； （2）经常升降人员的斜井提升设备、副井井口及井底操车设备； （3）主要空气压缩机； （4）配有备用泵的消防泵，无事故排出口的矿井污水泵； （5）地面生产系统、生产流程中的照明设备、铁路装车设备、矿灯充电设备、矿井行政通信及调度通信设备； （6）单台蒸发量为 4t/h 以上的锅炉； （7）井筒保温及其供热设备、有热害矿井的制冷站设备； （8）综合机械化采煤及其运输设备、井底水窝水泵、井下无轨运输换装设备； （9）主井装卸载设备、大巷带式输送机、井下主要电机车运输设备； （10）井下运输信号系统； （11）矿井信息系统、安全监测及生产监控设备； （12）运煤索道的驱动机； （13）根据国家或行业现行有关标准规定应视为二级负荷的其他设备	两回电源线路供电：两回路电源线路中的任意一个回路中断供电时，其余电源线路宜保证供给全部二级负荷电力需求
三级负荷	不属于一级和二级的矿井用电负荷	单回路电源线路供电

注：1. 表中一级、二级负荷均包括主机运转时的辅助设备。

2. 井下局部通风机的负荷级别执行现行《煤矿安全规程》的有关规定。

1.1.3 变电所常用主接线形式

矿井变电所的主接线，应根据变电所的地理位置、出线回路数、设备特点及负荷性质等条件确定，并应满足供电可靠、运行灵活、操作检修方便、节约投资和便于扩建等要求。变电所常用主接线形式见表 8-1-5。

表 8-1-5 变电所常用主接线形式

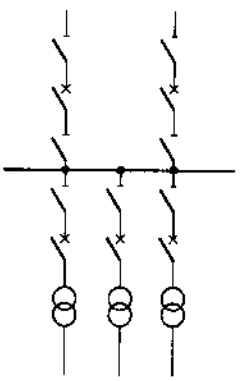
接线方式	接 线 图	简 要 说 明
单母线		优点：接线简单、操作方便、设备少、占地少、便于扩建和采用成套配电装置。 缺点：不够灵活可靠，连接于母线上的任一元件故障或检修时，均需要整个系统停电。 适用范围：具有单回及以上电源线路，容量小、线路少和对三级负荷供电的变电所

表 8-1-5（续）

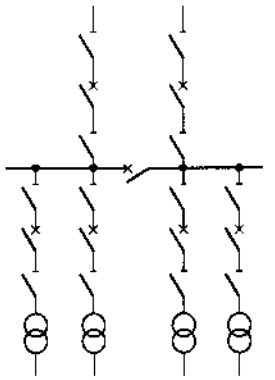
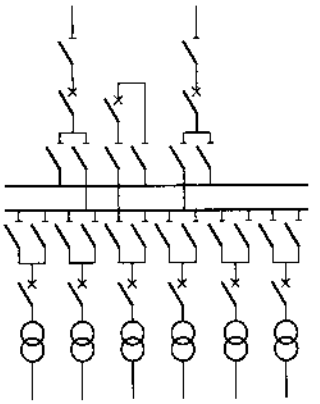
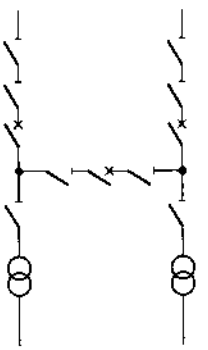
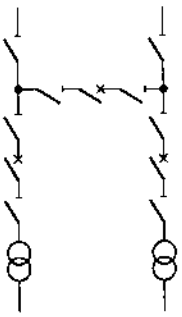
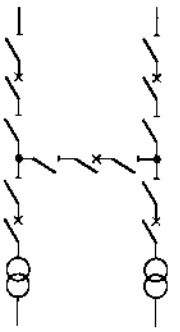
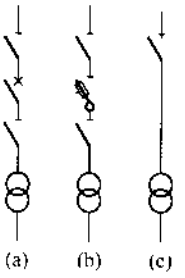
接线方式	接线图	简要说明
分段单母线		优点：接线简单、操作方便、设备较少、占地少、便于扩建和采用成套配电装置。当一段母线发生故障，可保证正常母线不间断供电，不会使重要负荷停电。 缺点：当一段母线或母线隔离开关发生永久性故障或检修时，连接在该段母线上的回路停电。 适用范围：具有两回路及以上电源线路，对一级、二级负荷供电的变电所，常用在 6～10kV 的矿井变电所
双母线		优点：供电可靠性高、运行灵活。 缺点：使用设备多、投资大、接线复杂、操作安全性较差。 适用范围：110kV 线路为 6 回路及以上时，或 35～63kV 线路为 8 回路及以上时，或 6～10kV 线路为 12 回路及以上时，可采用双母线。常用在 35～110kV 的矿井区域变电所
内桥接线		优点：高压断路器数量少，占地少；任一线路投入、断开、检修或故障时，都不会影响其他回路的正常运行。 缺点：当变压器投入、断开、检修或故障时，会影响另一回线路的正常运行；扩建成全桥或单母线分段困难。 适用范围：适用于变压器不经常切换或线路较长或故障率较高的变电所
外桥接线		优点：高压断路器数量少，占地少；变压器投入、断开、检修或故障时，不会影响其他回路的正常运行；扩建成全桥或单母线分段容易。 缺点：线路投入、断开、检修或故障时，会影响一台变压器的正常运行。 适用范围：适用于变压器按照经济运行需要经常切换或线路较短且故障率较低的变电所。此外当线路上有较大的穿越功率时，为避免穿越功率通过多台断路器，通常采用外桥接线

表 8-1-5（续）

接线方式	接 线 图	简 要 说 明
全桥接线		优点：适用性强、运行灵活、易于扩展成单母线分段式的中间变电所。克服了内桥和外桥接线中改变变压器和线路运行方式时所造成的短时停电现象。 缺点：设备多、占地面积大、投资大。 适用范围：对于电压在 35kV、容量在 7500kV·A 以上，或电压为 110kV、容量在 31500kV·A 以上的变压器，当隔离开关切断空载电流能力不足时采用
线路变压器组		优点：接线简单、设备及占地最少。 缺点：灵活可靠差，任一元件故障或检修时，均需要整个系统停电。 适用范围：适用于单回电源线路和一台变压器的小型终端变电所。 图（a）接线当有操作或继电保护等要求时，变压器一次侧装设断路器。 图（b）接线对于系统短路容量较小的不太重要的小型变电所，当高压熔断器参数能满足要求时，可以采用变压器一次侧装设高压熔断器的接线。但在设计上仍应考虑到扩建或改建的可能性。 图（c）接线只适用于用电单位内部的 35kV 变电所，线路电源端的保护装置应能满足变压器保护要求，隔离开关应能切断变压器的空载电流

矿井电源进线为两回及以下 35～110kV 线路时，宜采用桥形、线路变压器组接线；超过两回时，宜采用扩大桥形、单母线或分段单母线的接线。35～63kV 线路为 8 回及以上时，也可采用双母线接线。110kV 线路为 6 回及以上时，宜采用双母线接线。当矿井变电所装有两台主变压器时，6～10kV 侧宜采用分段单母线，线路为 12 回及以上时，也可采用双母线。

1.1.4 中性点接地方式

1.1.4.1 高压电网中性点接地方式

高压电网中性点接地方式可以分成两大类：中性点有效接地方式与中性点非有效接地方式。

中性点有效接地方式是中性点采用直接接地或经低阻接地。采用中性点直接接地方式的电网，每相对地电压是固定的相电压，在电网上运行的电气设备的绝缘按相电压设计。当电网发生单相接地故障时，短路电流很大，会产生很大的电弧，短路电流流入大地所产生的跨步电压也很高。因此《煤矿安全规程》明确规定："严禁由地面中性点直接接地的变压器或发电机直接向井下供电。"在煤矿电网中，该类接地方式主要用在 110kV 及以上电压等级。

中性点非有效接地的方式又可分为3种：中性点不接地方式；中性点经高阻接地方式；中性点经消弧线圈接地方式。中性点非有效接地的系统中，当电网发生单相接地故障时，非故障相对地电压将升高至线电压，线电压不变，单相接地电流小，因此在电网上运行的电气设备的绝缘按线电压设计，同时允许系统带单相接地故障运行1～2h，提高了供电可靠性。单相接地故障主要从3个方面影响着供电的可靠性及安全性：一是单相接地电流大可能造成故障点烧穿，形成短路故障；二是形成间隙性单相电弧接地故障，引发电弧接地过电压，导致绝缘薄弱处击穿，形成接地短路故障；三是单相接地故障引发电压互感器谐振，产生谐振过电压，导致绝缘薄弱处击穿，形成接地短路故障。

中性点非有效接地的3种接地方式综合比较见表8－1－6。对单相接地电容电流不大的电网（10A以下），由于接地故障电流不大，电弧自灭条件好，一般瞬间性接地故障都能自动消除，因此，采用中性点不接地或经高阻接地为宜，经高阻接地能有效地降低过电压水平，防止谐振过电压、电弧接地过电压等，并还更有利于接地选线保护。对单相接地电容电流较大的电网（10A以上），由于接地故障难以自恢复，且较易发展成两相或三相接地短路故障，则可选择消弧线圈接地形式。目前煤矿电网中3.3kV、35kV主要采用中性点不接地方式，6kV、10kV主要采用中性点经消弧线圈接地方式。

表8－1－6　中性点非有效接地的3种接地方式综合比较

中性点接地方式	不接地	经高阻接地	经消弧线圈接地	
			无阻尼	并/串阻尼
单相接地电流	较大	1～10A	1～2s大，后0～5A	0～5A
单相电弧接地过电压	最高	低	高，发生概率降低	低，发生概率降低
铁磁谐振过电压	最高	低	过补偿低，欠补偿高	低
保护接地安全性	危险	安全	较危险	安全
故障扩大可能性	最高	高	高	低
接地选线保护	易	易	难	难

1.1.4.2　低压系统接地方式

《交流电气装置的接地》依据配电系统和电气设备不同的接地组合，将低压配电系统的接地形式分为IT系统、TT系统、TN系统（包括TN－C、TN－S、TN－C－S）三类。国际电工委员会（IEC）对系统接地的文字符号的意义规定如下：

第一个字母表示配电系统的对地关系：

T——中性点直接接地；

I——中性点不接地或经高阻抗接地。

第二个字母表示电气设备外露可导电部分对地关系：

T——独立接地，且与配电系统任何接地无关；

N——直接与配电系统接地点相连的接地。

第三个字母表示中性线（N）和保护线（PE）间的关系：

C——整个系统的中性线和保护线合一；

S——整个系统的中性线和保护线分开；

C－S——系统中有一部分中性线和保护线是合一的。

IT 系统和 TT 系统的电气设备采用保护接地，即电气设备外露可导电部分（正常情况下不带电）经各自的保护线直接接地；TN 系统的电气设备采用保护接零，即电气设备外露可导电部分（正常情况下不带电）经公共的保护线与电源中性点直接电气连接。

1. IT 系统

IT 系统是三相三线制供电系统，如图 8－1－1 所示。IT 系统的电源中性点不接地或经高阻抗接地，电气设备采用保护接地形式。IT 系统适用于环境条件不良，易发生单相接地故障的场所，以及易燃、易爆的场所。由于《煤矿安全规程》规定："严禁井下配电变压器中性点直接接地"，因此煤矿井下低压配电系统均属于 IT 系统。

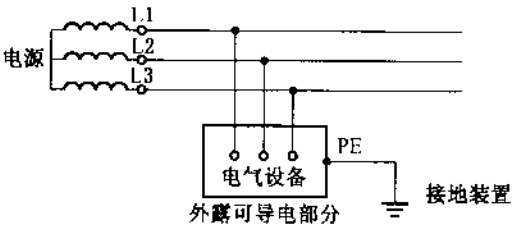


图 8－1－1 IT 系统示意图

2. TT 系统

TT 系统是三相四线制供电系统，如图 8－1－2 所示。TT 系统的电源中性点直接接地，电气设备采用保护接地形式。TT 系统中保护接地可有效降低故障设备外壳对地电压，减小对触电者的威胁，但总的接地电流并不很大，往往不足以使保护装置迅速动作，导致设备外壳长期带电，给人身安全带来威胁。因此，TT 系统必须加装剩余电流动作保护器，方能成为较完善的保护系统。TT 系统广泛应用于城镇、农村居民区、工业企业和公用变压器供电的民用建筑中，在煤矿电网中主要应用于地面供电系统。

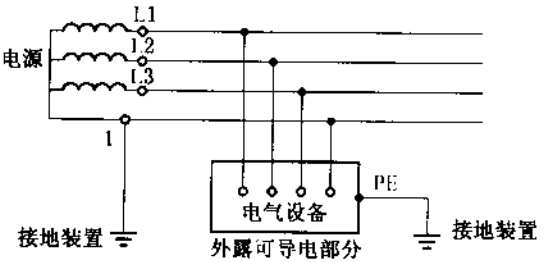


图 8－1－2 TT 系统示意图

3. TN 系统

TN 系统的电源中性点直接接地，电气设备采用保护接零形式。根据中性线与保护线

的关系，TN 系统又分为 TN－C 系统（三相四线制）、TN－S 系统（三相五线制）和 TN－C－S 系统 3 种。

保护接零的工作原理是：当电气设备发生单相碰壳时，故障电流经设备的外露可导电部分形成相线对保护线的闭合回路，即保护接零起到了将碰壳短路变成金属性单相短路的作用。这将产生很大的短路电流，从而使线路上的保护装置迅速可靠动作将故障切除，达到防止触电的目的。

（1）TN－C 系统。系统的中性线（N）和保护线（PE）全部合一，该线又称为保护中性线（PEN），如图 8－1－3 所示。优点是投资较小。缺点是接在 PEN 线上的电气设备之间容易产生电磁干扰；当三相负载不平衡或只有单相负载时，PEN 线上有正常负荷电流流过，在 PEN 线上产生的压降会导致电气设备外露可导电部分带上危险电压；当 PEN 线断线或相对地短路时，故障电压沿 PEN 线传至其他未发生故障处，导致故障扩大。该系统目前采用较少。

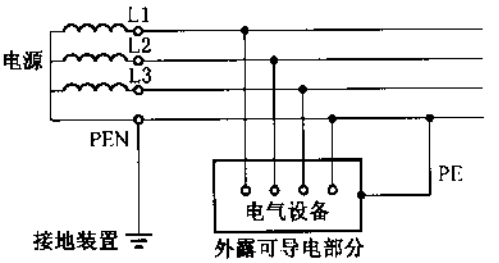


图 8－1－3　TN－C 系统示意图

（2）TN－S 系统。系统的中性线（N）和保护线（PE）全部分开，如图 8－1－4 所示。优点是 PE 线在正常情况下没有电流通过，不会对接在 PE 线上的其他设备产生电磁干扰，且 N 线断开也不会影响 PE 线的保护作用。缺点是系统耗用的导电材料较多，投资较大。该系统多用于安全可靠性要求较高、设备对电磁抗干扰要求较严或环境条件较差的场所，对于建筑施工工地、新建大型民用建筑、住宅小区及其他有条件的地区，特别推荐使用 TN－S 系统。

（3）TN－C－S 系统。系统的中性线（N）和保护线（PE）部分合一，部分分开，如

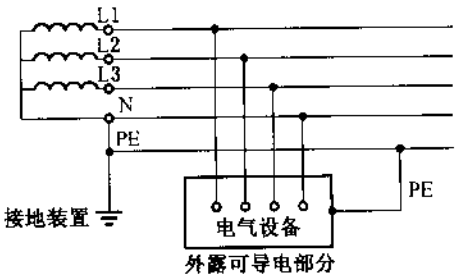


图 8－1－4　TN－S 系统示意图

图8-1-5所示。该系统兼有TN-C系统和TN-S系统的特点，常用于配电系统末端环境较差或有对电磁抗干扰要求较严的场所。

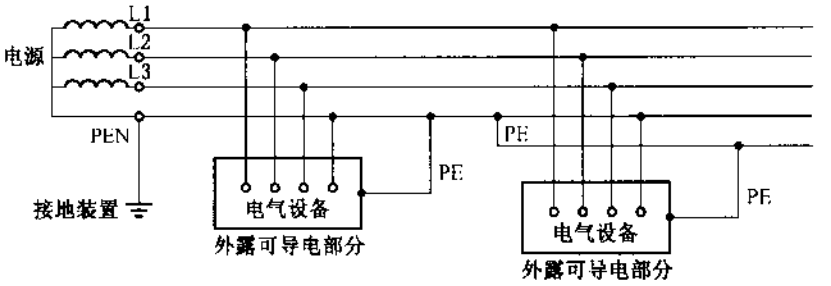


图8-1-5 TN-C-S系统示意图

在TN-C、TN-S和TN-S-C系统中，为确保PEN线或PE线安全可靠，除在电源中性点进行工作接地外，对PEN线和PE线还必须进行必要的重复接地。另外，PEN线、PE线上不允许装设熔断器和低压断路器。

在同一供电系统中，不能同时采用保护接地与保护接零。

1.1.5 节能与降耗

1.1.5.1 节约用电

电能是现代煤炭工业的主要能源和动力，节约用电是煤炭企业降低吨煤电耗的重要措施之一。节约用电首先应增强每位员工的节电意识，其次应加强用电管理，使煤矿用电管理走向科学化、制度化。煤矿节约用电一般应从以下几方面采取措施。

1. 用电管理制度化

电能管理的基础是能耗定额管理。要在深入实际，充分调查研究的基础上，制定出煤矿各个单位、各个生产环节合理而先进的能耗定额，并在此基础上建立一个能提高广大员工节能积极性的电能管理制度。同时要对用电量进行认真计量，严格考核，切实做到节电受奖、浪费受罚。

2. 减少无效的耗电量

(1) 优化供电系统。系统的电压等级、变电所分布、系统接线、运行方式等，都与用电效率密切相关，因此应通过一定技术手段，如电网仿真分析，对供电系统进行经济性分析与评估，优化供电系统，降低无效耗电。

(2) 提高系统的综合效率。提高整个煤矿系统（如通风、排水、压风、提升、运输等系统）的综合效率是最有效的节电措施。

(3) 设备选择确保高效运行。变压器、电动机等电力及用电设备的选择，应在兼顾发展情况下，提高用电设备的负荷率，使其运行在最小损耗状态，避免大马拉小车情况出现。流体、运输等机械设备，应根据其负载特性合理选择，保证节电。

(4) 优先选用节能设备。机电设备随技术的发展更新换代较快，设备选型时应该广泛了解节能新技术、新产品，优先选用高效、节能设备。

1.1.5.2 负荷调整

所谓负荷调整就是根据各地区电能供应情况及各类用户的不同用电规律，合理地、有

计划地安排和组织用电时间，削峰填谷。煤矿负荷调整应在确保煤矿安全生产前提下，根据矿井生产情况，由用电管理部门和生产组织部门联合制订避峰节电计划，合理地组织与安排日用电负荷与用电时间。矿井各单位的避峰节电情况应按月统一考核，严格兑现，使各单位职工的经济利益直接与避峰节电指标完成情况挂钩，促使职工积极参与避峰节电工作。

煤矿负荷调整一般可采用的措施如下：

（1）合理调整生产班次，将采、掘的生产班次安排到谷段、平段时间，检修班次调整到峰段时间。

（2）煤矿排水安排在谷段、平段时间，尽量不在峰期排水，对涌水量较大的煤矿，应在峰期前将水位排至最低点。

（3）调整井下用风时间，压风系统实行避峰运行。

（4）煤矿地面生产单位，如机修厂、洗煤厂，可调整上下班时间，尽量利用谷段、平段生产。

1.1.5.3 电网降耗

电网的损耗是变压器、线路、调相机、电容器、电抗器等每一电网元件有功损耗的总和。无功功率本身并不损耗能量，它仅完成电磁能量的相互转换，但是在电网传输过程中会造成相应的有功损耗。

电网损耗的具体计算可参考《电力网电能损耗计算导则》。电能损耗分析计算的目的在于鉴定网络结构和运行的合理性、供电管理的科学性，找出计量装置、设备性能、用电管理、运行方式、理论计算、抄收统计等方面存在的问题，以便采取降损措施。

1. 电力变压器降耗

电力变压器的损耗包括空载损耗与负载损耗。空载损耗（铁损）是变压器铁芯产生的有功损耗，可由空载实验测定。只要外加的电压和频率不变，空载损耗就不变，与变压器负荷大小无关，因此又称为固定损耗。负载损耗（铜损）是电流流过变压器一、二次绕组时，绕组电阻上产生的有功损耗，可由变压器短路试验测定。负载损耗与负荷电流（或功率）的平方成正比，因此又称为可变损耗。

煤矿变压器数量多、容量大，总损耗不容忽视，因此降低变压器损耗是势在必行的节能措施。电力变压器常用的降耗措施如下：

1）选用低损耗变压器

低损耗变压器主要是降低空载损耗。目前推广应用的 S11 系列低损耗变压器，改变了传统的叠片式铁芯结构，铁芯连续卷制无接缝，降低了磁阻，空载损耗较 S9 系列低 75% 左右，且提高了功率因数，节能效果显著。

新出现的非晶合金铁芯变压器，具有低噪声、低损耗等特点，空载损耗大幅度降低，仅为硅钢变压器的 1/5，属于节能型变压器，应优先选用。

2）合理选择变压器容量

当变压器的空载损耗与负载损耗相等时，它的运行效率最高，电能损耗最小。根据变压器的类型不同，变压器呈现最高效率时的负荷容量一般为变压器额定容量的 50% ~80% 。

煤矿电力设计中，一般用需要系数法进行负荷计算，按变压器经济负荷率（变压器效率最高时的负荷率）选择变压器容量，但根据计算负荷来选择变压器容量一般都偏大，

若再按经济负荷率来选择变压器容量，势必造成实际运行负载率较低；另外煤矿变压器容量要保证断开一台时其余变压器能维持正常煤炭生产所需电力负荷，且不得少于全部负荷的75%，同时为确保供电安全，煤矿主变压器推荐在分列状态下运行，进一步导致变压器负载率降低。因此矿井变压器“大马拉小车”现象较为严重。为达到节能的目的，可采用以下措施：

（1）在能满足最大负荷的前提下，按变压器的年有功电能损耗率最小时的节能负荷率重新计算变压器容量，调换容量较小的变压器，使其能常年处于经济区运行。

（2）增设“子母变”，合理调配供电负荷，在保证安全的前提下，使变压器处于经济运行状态。

3）变压器经济运行

变压器经济运行指在传输电量相同的条件下，通过择优选取最佳运行方式和调整负载，使变压器电能损失最低。变压器经济运行无须投资，只要加强供、用电科学管理，即可达到节电和提高功率因数的目的。煤矿一般变压器成组配置，运行中可根据负荷的变化情况，利用成组变压器的合理调配，达到降低损耗的目的。

2. 调压降耗

为降低电网的损耗，在保证用户设备电压质量的基础上，可通过调整变压器分接头或投切补偿电容器以及发电机调压等措施来调整配网运行电压。调压的判断依据是负荷的铜、铁损比。由表8-1-7可见，铜铁损比小于1时，降低电压水平有降损效果；铜、铁损比大于1时，提高电压水平有降损效果。

表8-1-7 提高电压水平与线损减少幅度的关系

运行负荷铜、铁损比	0.903	0.922	0.941	0.96	0.98
电压提高率/%	-5	-4	-3	-2	-1
运行负荷铜、铁损比	1.02	1.04	1.061	1.092	1.10
电压提高率/%	1	2	3	4	5

3. 无功补偿降耗

在负荷的有功功率P保持不变的条件下，提高负荷的功率因数，可以减小负荷所需的无功功率Q，进而减少发电机送出的无功功率和通过线路及变压器的无功功率，减少线路和变压器的电能损耗。

1.1.6 电网监控系统

煤矿电网监控系统是指运用计算机技术、自动控制技术、电子技术、通信技术及高性能配电设备等手段，对煤矿电网进行在线智能监控管理，使煤矿电网始终处于安全、可靠、优质、经济、高效的最优运行状态。煤矿电网监控系统可分为矿区电网调度自动化系统、矿井电网监控系统、变电站自动化系统3类。设计应遵循标准性、开放性、实时性、可靠性、先进性的原则。

1.1.6.1 矿区电网调度自动化系统

矿区电网调度自动化系统是指直接为集团区域电网运行服务的数据采集与监控系统，在线为调度运行人员提供电力系统运行信息、分析决策工具和控制手段的数据处理系统。

一般依据《能量管理系统应用程序接口标准》及《配网管理系统接口标准》进行设计。由于煤矿供电管理一般分为地面与井下两部分，构造矿区电网调度自动化系统应注意打破行政归属，以矿区调度自动化主站系统为核心，通过通信传输通道将矿区电网内部的所有矿井电网监控系统、变电站自动系统、发电厂自动化系统构造成一个完整系统。

矿区电网调度自动化系统主站一般设置在矿区电力调度中心或生产调度中心，是整个调度自动化监控和管理系统的核心，由硬件、软件两部分构成。

主站系统硬件包括 100M 冗余双网、各类交换机、SCADA 工作站、高级应用软件 PAS 工作站、维护工作站、GIS/管理工作站、调度员培训仿真 DTS 工作站、数据服务器、WEB 服务器、视频服务器、大屏幕显示系统等。

主站系统的软件体系结构由操作系统、实时信息服务平台、应用功能共 3 个层次组成，如图 8－1－6 所示。

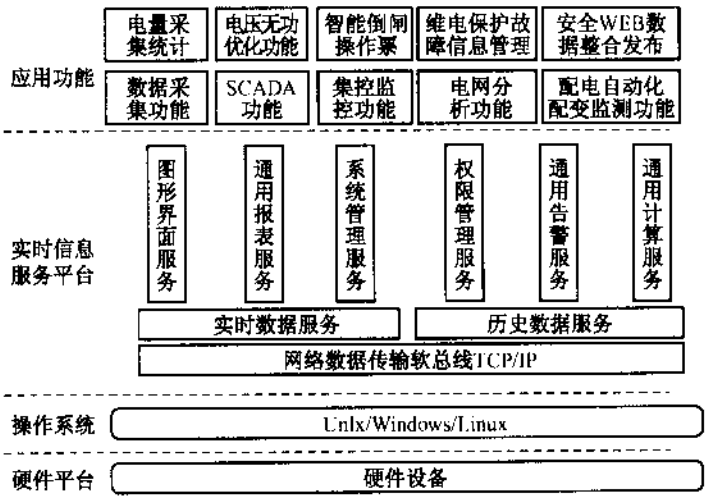


图 8－1－6　主站系统软件层次结构图

操作系统包括 Unix、Windows、Linux。信息服务平台为各种应用功能的实现提供实时数据服务、历史数据服务、图形界面服务、报表服务、系统管理服务、权限管理服务、通用告警服务、应用计算服务等支撑服务功能。应用功能包括 SCADA（监视和控制）、电网分析（网络建模、网络拓扑、状态估计、无功优化/电压控制、短期负荷预报、短路计算、潮流计算等）、电量采集统计、调度管理、五防操作票、继电保护管理、调度员培训仿真、视频监控、安全 WEB 数据整合发布等功能。

1.1.6.2　*矿井电网监控系统*

矿井电网监控系统是指直接为矿井电网运行服务的数据采集与监控系统。矿井监控系统应以监控系统主站为核心，将地面变电站及其供电的井下变电所构造成一个完整监控系统。

矿井电网监控系统采用分层分布式结构，按纵向分为站控层、网络层、间隔层，如图 8－1－7 所示。

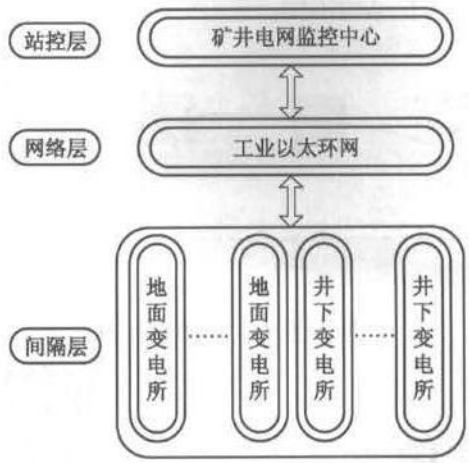


图8-1-7 矿井电网监控系统结构图

站控层矿井电网监控系统主站一般设置在地面变电所。一般由监控系统、GPS 时钟、模拟屏、视频系统等构成，如图 8-1-8 所示。监控系统的软件包括系统软件和应用软件两部分。系统软件主要包括操作系统、数据库系统等，应用软件包括应用程序基础平台、实时监控系统、GPS 对时系统、数据库管理系统、组态系统、通信管理系统、定值管理系统、电量管理系统、五防操作票系统、WEB 服务系统、录波分析系统等。

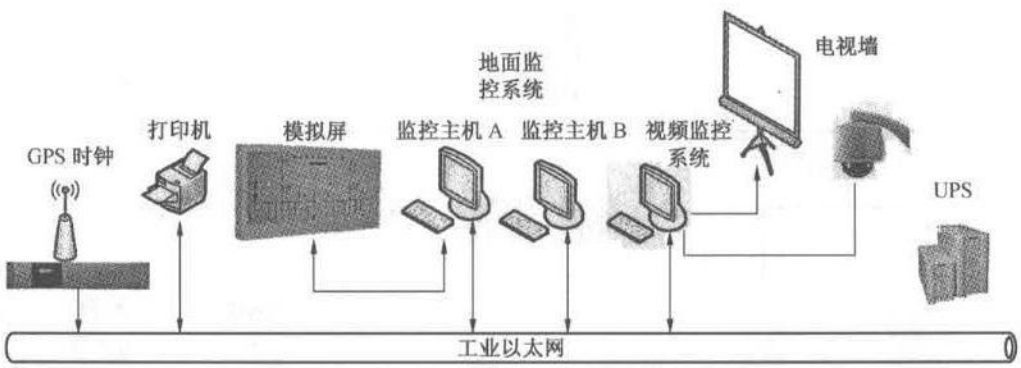


图8-1-8 矿井电网监控系统主站结构图

网络层一般与矿井综合自动化共用以太环网，若不具备条件的单独敷设，工业以太环网交换机是整个环网系统的核心设备，如图 8-1-9 所示。网络平台应满足开放性、实时性、冗余性、可靠性、安全性的要求。

间隔层是由通信管理机（协议转换）、微机保护测控单元（保护、测量、控制）、智能电度表（计量、抄表）、其他智能设备（消弧线圈、无功补偿、直流屏、小电流接地选线等）、现场总线（RS485/CAN/工业以太网）等构成，一般就地安装。矿井电网监控系

统地面变电站自动化结构如图 8－1－10 所示。井下变电站自动化结构与地面基本相同，仅是间隔层设备较少，采用防护结构不同。

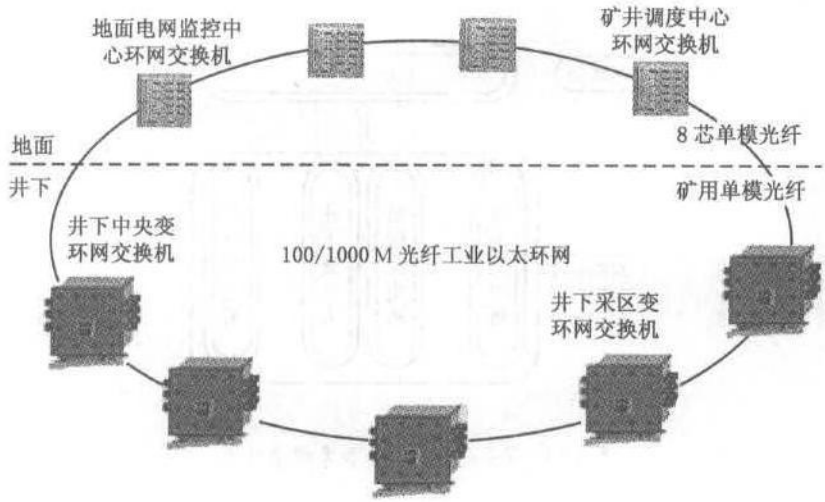


图 8－1－9　矿井电网监控系统网络结构图

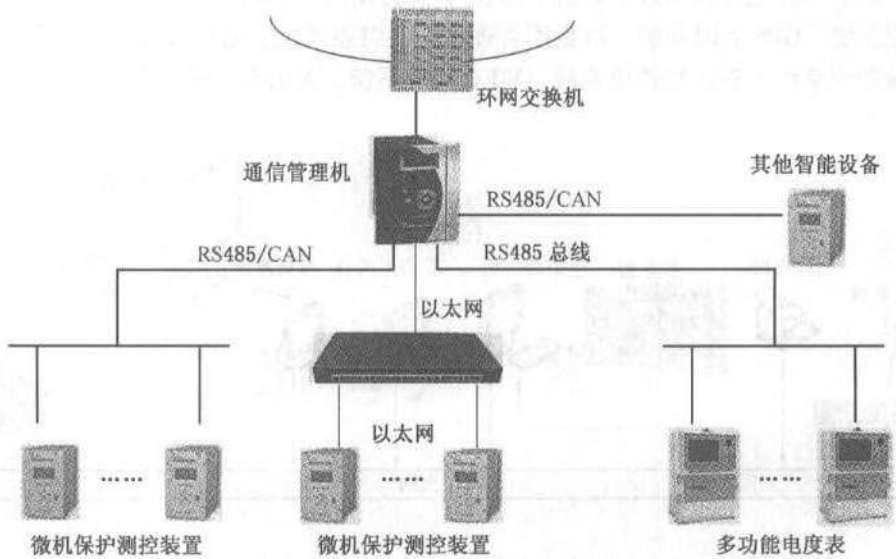


图 8－1－10　矿井电网监控系统地面变电站自动化结构图

1.1.7　数字化变电站

电力系统逐步向数字化、网络化、智能化方向发展。2005 年 IEC 正式发布了“变电站通信网络和系统”（IEC61850）的全部标准，代表了变电站自动化技术的发展方向。数字化变电站是由智能化一次设备和网络化二次设备分层构建，建立在 IEC61850 通信规范基础上，能够实现变电站内智能电气设备间信息共享和互操作的现代化变电站。其主要特

征是变电站信息采集、传输、处理、输出过程完全数字化。

1.1.7.1 数字化变电站的结构

数字化变电站采用分层分布式结构，从上至下分为站控层、间隔层、过程层3层。各层之间的网络均采用以太网，所有网络交换机必须支持IEC61850标准；各层设备也必须支持IEC61850，若有些智能设备不支持IEC61850标准，则需要通过协议转换器接入。图8-1-11为数字化变电站与传统变电站结构比较图。

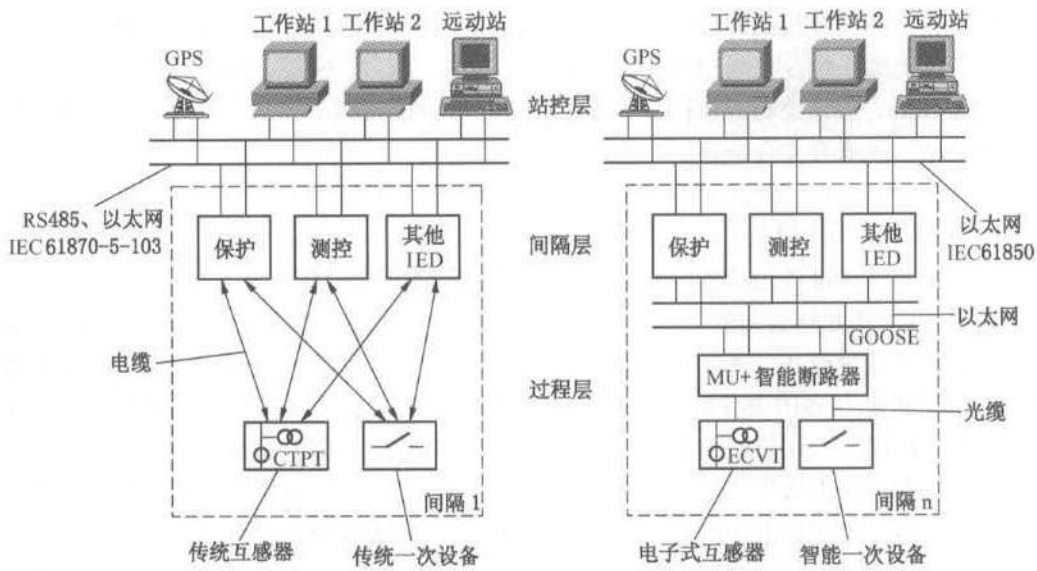


图8-1-11 数字化变电站与传统变电站结构比较图

站控层设备由各种工作站构成，遵照IEC61850标准，站控层各系统可直接与间隔层设备通信，无须传统变电站自动化的通信管理机进行协议转换。站控层与间隔层之间采用以太网通信。站控层设备的主要功能是：通过两级高速网络汇总全站的实时数据信息，不断刷新实时数据库，按时登录历史数据库；按既定规约将有关数据信息送向调度或控制中心；接收调度或控制中心有关控制命令并转间隔层、过程层执行；具有在线可编程的全站操作闭锁控制功能；具有站内当地监控，人机联系功能，如显示、操作、打印、报警、图像、声音等多媒体功能；具有对间隔层、过程层诸设备的在线维护、在线组态、在线修改参数的功能。

间隔层设备包括测控、保护及其他智能设备，一般就地安装。间隔层可完成相应各种功能，同时给站控层直接提供IEC61850格式的数据服务，也可以直接与过程层设备通信，获取需要的数据。间隔层设备的主要功能是：汇总本间隔过程层实时数据信息，实施对一次设备保护控制功能，和本间隔操作闭锁、操作同期及其他控制功能；对数据采集、统计运算及控制命令的发出具有优先级别的控制；承上启下的通信功能，即同时高速完成与过程层及站控层的网络通信功能。必要时，上下网络接口具备双口全双工工作方式，以提高

信息通道的冗余度，保证网络通信的可靠性。

过程层是一次设备与二次设备的结合面，或者说过程层是指智能化电气设备的智能化部分，包括与光电/电子式互感器配套的合并单元（MU）、与一次开关配套的智能操作箱。过程层的主要功能分 3 类：电力运行实时的电气量检测；运行设备的状态参数检测；操作控制执行与驱动。电力运行的实时电气量检测，主要包括电流和电压幅值、相位以及谐波分量的检测。与常规方式相比所不同的是传统的电磁式互感器被光电/电子式互感器取代，传统模拟量被直接采集数字量所取代。运行设备的状态参数在线监测与统计。变电站需要进行状态参数检测的设备主要有变压器、断路器、隔离开关、母线、电容器、电抗器以及直流电源系统。在线检测的内容主要有温度、压力、密度、绝缘、机械特性以及工作状态等数据。操作控制的执行与驱动包括变压器分接头调节控制，电容、电抗器投切控制，断路器、隔离开关合分控制，直流电源充放电控制。

1.1.7.2 数字化变电站的优势

1. 智能化的一次设备

智能化的一次设备包括光电/电子式互感器，智能断路器等。

光电/电子式互感器的最大特点是可以输出低压模拟量和数字量信号，直接用于微机保护和电子式计量设备，适应电子系统数字化、智能化和网络化的需要。光电/电子式互感器动态范围宽，无 PT 饱和、无 CT 二次开路，测量精度高，能同时适用于测量和保护两种功能的应用，二次接线简单，具有良好的绝缘性能和较强的抗电磁干扰能力。

智能化断路器由微机、电力电子元器件组成执行单元，代替常规机械结构的辅助开关和辅助继电器，实现按电压波形控制跳、合闸角度，精确控制跳、合闸时间，减少暂态过电压幅值。检测电网中断路器开断前一瞬间的各种工作状态信息，自动选择和调节操动机构以及灭弧室状态相适应的合理工作条件，以改变现有断路器的单一分闸特性。在轻载时以较低的分闸速度开断，而在系统故障时又以较高的分闸速度开断等，这样就可获得开断时电气和机构性能上的最佳开断效果。断路器设备的信息由设备内微机直接处理，并独立执行当地功能，而不依赖于变电站级的控制系统。

2. 网络化的二次设备

变电站内常规的二次设备，如继电保护装置、防误闭锁装置、测量控制装置、远动装置、故障录波装置、电压无功控制、同期操作装置以及正在发展中的在线状态检测装置等全部基于标准化、模块化的微处理机设计制造，设备之间的连接全部采用高速的网络通信。二次设备不再出现常规功能装置重复的 I/O 现场接口，通过网络真正实现数据共享、资源共享，常规的功能装置在这里变成了逻辑的功能模块。

3. 统一标准

IEC 61850《变电站通信网络和系统》是基于网络通信平台的变电站自动化系统唯一的国际标准，它不仅规范保护测控装置的模型和通信接口，而且还定义了数字式 TA、TV、智能式开关等一次设备的模型和通信接口。它将变电站通信体系分为 3 层：站控层、间隔层、过程层。在站控层和间隔层之间的网络采用抽象通信服务接口映射到制造报文规范（MMS）、传输控制协议/网际协议（TCP/IP）以太网或光纤网。在间隔层和过程层之间的网络采用单点向多点的单向传输以太网。变电站内的智能电子设备（IED，测控单元和继电保护）均采用统一的协议，通过网络进行信息交换。

该标准通过对变电站自动化系统中的对象统一建模，采用面向对象技术和独立于网络结构的抽象通信服务接口，增强了设备之间的互操作性，可以在不同厂家的设备之间实现无缝连接。它解决了变电站自动化系统产品的互操作性和协议转换问题。采用该标准还可使变电站自动化设备具有自描述、自诊断和即插即用的功能，极大地方便了系统的集成，降低了变电站自动化系统的工程费用。在我国采用该标准系列将大大提高变电站自动化系统安全稳定运行水平，节约检修维护的人力物力，实现完全的互操作性。

1.2 矿井供电常用计算

1.2.1 负荷计算

1.2.1.1 类似矿井估算法

类似矿井估算法是用自然条件大致相同、已生产矿井的实际用电负荷为根据来估算矿井的用电负荷。如条件相同（或相似），应优先采用这种方法，但在估算中必须避免“一刀切”，即总体设计中所有不同条件的矿井，都按一个吨煤电耗的标准进行估算，这样估算出来的用电负荷必然有很大出入。

1.2.1.2 已知条件估算法

已知条件估算法就是利用矿区总体设计（或可行性研究）的已知条件来估算用电负荷。这种算法可作为类似矿井估算法的一个补充，即将某些自然条件出入较大的环节，按此方法进行调整。该方法是在总结多年设计和生产的基础上，对某些环节进行了必要的简化后提出来的。

矿井生产的实践表明，矿井“四大件”和井下采、掘、运的用电负荷，一般占矿井总负荷的70%～80%，有的甚至更大。这些负荷仅与矿井产量、瓦斯等级、煤层赋存条件、矿井涌水量及生产机械化水平有关。这些条件在进行总体设计（或可行性研究）时是已知的，因此矿井用电负荷可根据这些条件进行估算。

1. 排水负荷的估算

排水负荷主要决定于矿井涌水量、开采深度和开拓方式，根据水泵电机容量的计算公式，其用电负荷为

$$P=\frac{k_1\cdot k_2\cdot rQ_{\mathrm{H}}H}{3.6\times102\eta_{\mathrm{D}}\eta_{\mathrm{mec}}} \tag{8-1-1}$$

式中 P——水泵电机计算容量，kW；

k_1——阻力系数（根据设计矿井的实际统计，立井取1.05～1.2；斜井根据倾角大小的不同，一般取1.15～1.35）；

k_2——水泵排水量的裕度系数，设计选型水泵工况点的排水量，一般取1.4～2倍的正常涌水量，矿井涌水量大时取小值，小时取大值；

r——矿井水的相对密度，一般取1.05；

Q_{H}——矿井正常涌水量，m^3/h；

H——井口与井底标高差，m；

η_{D}——电动机效率，一般取0.85～0.93；

η_{mec}——水泵工况点效率，一般取0.65～0.85。

将上述数据代入后化简，得排水负荷的近似计算公式为

立井：　　$P=(5.3\sim11.5)Q_{H}H\times10^{-3}$

斜井：　　$P=(5.8\sim13)Q_{H}H\times10^{-3}$

排水吨煤电耗则为

立井：　　$W=(3.8\sim5.8)QH/A\times10^{-6}$

斜井：　　$W=(4.1\sim6.5)QH/A\times10^{-6}$

式中　Q——年排出的矿井总涌水量，m^3；

A——矿井年产量，10^3t；

W——吨煤排水电耗，kW·h/t。

2. 提升负荷的估算

提升负荷主要决定于提升量、提升高度和提升方式。根据煤炭工业的实际情况，主井提升多用箕斗或胶带，也有些中小型斜井采用单钩或双钩串车，副立井多用罐笼，副斜井则用串车。

1）立井提升

主井提煤箕斗的用电负荷计算公式为

$$P=\frac{FV_{m}}{102\eta_{D}\eta_{j}}\tag{8-1-2}$$

$$F=K_{1}Q_{T}=\frac{K_{1}K_{2}Q_{H}(T+Q)}{3600}\tag{8-1-3}$$

式中　F——拉力差，N；

V_m——最大提升速度，根据设计矿井的实际统计，立井一般取 $V_m=(0.3\sim0.45)\sqrt{H}$；

η_j——减速机传动效率，直连为1，一次传动为0.92，二次传动为0.85；

η_D——电动机效率，一般取0.85～0.93；

K_1——矿井提升阻力系数，箕斗为1.15；

Q_T——一次有效提升量，t；

Q_H——小时提升量，t；

K_2——提升裕度系数，涉及选型一般取1.3～1.5；

T——一次提升纯运行时间，s；

Q——休止时间，s。

将上述数值代入式（8-1-2）、式（8-1-3）得箕斗提升的用电负荷近似为

$$P=(9\sim15)Q_{H}H\times10^{-3}\tag{8-1-4}$$

对于副井提升，主要提升量为人员、矸石及材料，其最大拉力差一般出现在提矸时，全天矸石量可按4h内提出来计算用电负荷。当矿井含矸率为 X 时，则副井提升的用电负荷可用 $3XP$ 来表示，立井提升总负荷可用下式表示。

$$P=(9\sim15)(1+3X)Q_{H}H\times10^{-3}\tag{8-1-5}$$

立井箕斗提煤总效率在0.3～0.5之间，提矸石总效率与提煤总效率大致相同。人员、材料及辅助设备的耗电量可按提升总耗电量的20%～30%计算，提升吨煤电耗为

$$W=(8\sim12)(1+X)H\times10^{-3}\tag{8-1-6}$$

2）斜井提升

斜井提升的用电负荷计算公式为

$$P=\frac{1.2FV_m}{102\eta_D\eta_i} \tag{8-1-7}$$

在斜井单钩串车提升时的拉力差为

$$F=1.6Q_T(\sin\alpha+f_1\cos\alpha)+P_kL(\sin\alpha+f_2\cos\alpha) \tag{8-1-8}$$

式中 α——轨道倾角；

f_1——矿车沿轨道运行时的阻力系数；

f_2——钢丝绳运行时的阻力系数；

P_k——钢丝绳每米重量，N/m；

L——提升钢丝绳长度，m。

斜井提升钢丝绳的单重可近似地认为是提升量的5%，斜井的提升角度一般在15°～25°之间，而 Q_T 用 $\frac{K_2Q_H\ (T+Q)}{3600}$ 带入后化简，当单钩串车提升 $T+Q=\left(\frac{L}{V_m}+100\right)\times 2$ 时，单钩串车提升总负荷为

$$P=(32\sim 50)Q_HH\times 10^{-3} \tag{8-1-9}$$

当双钩串车提升 $T+Q=\frac{L}{V_m}+160$ 时，双钩串车提升总负荷为

$$P=(13\sim 21)Q_HH\times 10^{-3} \tag{8-1-10}$$

斜井箕斗提升负荷及电耗大致与立井相仿，而单钩提升的效率则大大低于双钩，一般在0.15左右。

3）带式输送机提升

用带式输送机运煤时其用电负荷为

$$P=\frac{K_2K_3Q_HH}{367\eta_D\eta_i}\left[\omega\cos\alpha\left(\frac{367qV}{102Q_H}+1\right)+1\right] \tag{8-1-11}$$

式中 K_2——提升裕度系数，一般取1.5～2；

K_3——胶带运行阻力系数，一般取0.02～0.04；

η_D——电动机效率，一般取0.85～0.93；

η_i——减速器传动效率，直联为1，一次传动为0.92，二次传动为0.85；

ω——电源角频率；

V——带式输送机的线速度；

q——输送带单位重量，kg/m；

qV/Q_H——对于国产GDS型胶带输送机，其值在0.25～0.3之间。

同样将上述数据代入式（8-1-11），得带式输送机的用电负荷为

$$P=(6\sim 9)Q_HH\times 10^{-3} \tag{8-1-12}$$

3. 通风负荷的估算

通风机的用电负荷主要取决于产量、瓦斯涌出量、通风方式及风路长度。由于这些数据的变化规律比较复杂，很难用简单公式表示，但根据经验，矿井通风耗电指标见表8-1-8。使用该表时，当瓦斯涌出量大、风路长时取大值，反之则取小值。对瓦斯涌出量接近10m³的特大型矿井而风路又长时，可取瓦斯涌出量较小的高瓦斯大、中型矿井的较低值；对瓦斯涌出量较小的高瓦斯片盘斜井，由于风路较短，故可采用低瓦斯矿井的较高值。

表 8－1－8　矿井通风耗电指标

序号	矿井种类	吨煤最大负荷/（W·t^{-1}）	吨煤耗电量/（kW·h·t^{-1}）
1	低瓦斯矿井以及瓦斯涌出量小的高瓦斯小型井	0.2～0.5	1.5～4
2	瓦斯涌出量小的高瓦斯大中型矿井及瓦斯涌出量较大的高瓦斯小型井	0.5～1.0	4～8
3	平均日产 1t 煤，瓦斯涌出量在 25m^3 左右的大中型矿井	1.0～1.8	8～14

4. 压气负荷的估算

压气负荷的大小，取决于岩石硬度、煤的赋存条件及各矿的使用习惯。根据对矿井的实际调查及经验，压气负荷见表 8－1－9。掘进含矸量的大小取决于煤的赋存条件、开拓方式和采煤方法等多种因素。这些是确定用风量的重要因素，但不是唯一因素，必须与矿井工作面的岩石硬度和各矿的使用习惯统一考虑，选用合适的用电指标。

表 8－1－9　矿井压气的耗电指标

矿井类别	岩石硬度大、掘进矸含量在 25% 左右或使用风镐落煤，而煤的赋存条件又较差时	岩石硬度一般，掘进矸含量在 20% 以下，煤的赋存条件较差时	岩石硬度较小，掘进矸含量在 10% 以下，煤的赋存条件较好时
吨煤最大负荷/（W·t^{-1}）	1.0～1.5	0.5～1.0	0.5 以下
吨煤耗电量/（kW·h·t^{-1}）	4～6	2～4	2 以下

5. 井下采、掘、运用电负荷的估算

井下采、掘、运用电负荷不仅决定于矿井产量和机械化程度，而且与工作面的产量、运距、运输方式及管理水平有关。根据对设计矿井和生产矿井的实际调查，大致情况见表 8－1－10。

表 8－1－10　矿井井下采、掘、运的耗电指标

机械化程度	以炮采为主的片盘斜井含部分机采	以炮采为主的一般矿井含部分机采	以机采为主的一般矿井有部分综采	以综采为主的一般矿井有部分机采和炮采
吨煤最大负荷/（W·t^{-1}）	0.7～1.3	1.0～1.8	1.7～3.2	2.2～4.0
吨煤耗电量/（kW·h·t^{-1}）	2.5～4	3.5～5.5	4.5～7	5～8

选择上述数据时，机械化程度高、工作面产量小、运输距离长的矿井取上限值，反之取下限值。在上述数据中未包括水力采煤和水力运输。当矿井井下有水力采煤及水力运输时，采、掘、运的吨煤电耗可达 40～50kW·h 以上。

矿井用电负荷除“四大件”和井下采、掘、运的用电负荷外，其他用电负荷占矿井

总负荷的20% ~30%。在估算矿井总负荷时，井下采、掘、运和“四大件”的用电负荷相加后，需乘以同时系数。在简化计算中，矿井用电总负荷可按负荷大小不同，乘以0.95 ~1.2的系数，小负荷乘大值，大负荷乘小值。对于矿井的吨煤电耗，由于没有同时系数，各电耗相加后，按耗电量的大小需乘以1.2 ~1.4的系数，数值大时取小值，小时取大值。

1.2.1.3 需用系数法

目前，我国矿井负荷计算最常用的方法是需用系数法，它是将用电设备功率乘以需用系数和同时系数，然后直接求出计算负荷。这种方法计算简便，计算结果基本上符合实际，尤其适用于配、变电所的负荷计算，而且对于用电设备数量较多的用电设备组，这种计算方法更为适宜。

1. 设备功率的确定

进行负荷计算时，需将用电设备按其性质分为不同的用电设备组，然后确定设备的功率。

用电设备的额定功率 P_r 或额定容量 S_r 是指铭牌上的数据。对于不同负载持续率下的额定功率或额定容量，应换算为统一负载持续率下的有功功率，即设备功率 P_e。

1）单台用电设备的功率

（1）连续工作制电动机的功率等于额定功率。

（2）短时或周期工作制电动机的功率是指将额定功率换算为统一负载持续率下的有功功率。

当采用需用系数法计算负荷时，应统一换算到负载持续率为25%下的有功功率：

$$P_e = P_r \sqrt{\frac{\varepsilon_r}{0.25}} = 2P_r \sqrt{\varepsilon_r} \tag{8-1-13}$$

式中 P_r——电动机额定功率，kW；

ε_r——电动机额定负载持续率，%。

（3）电焊机的设备功率是将额定容量换算到负载持续率 ε 为100%下的有功功率：

$$P_e = S_r \sqrt{\varepsilon_r} \cos\varphi \tag{8-1-14}$$

式中 S_r——电焊机的额定容量，kV·A；

$\cos\varphi$——功率因数。

（4）电炉变压器的设备功率是指额定功率因数时的有功功率：

$$P_e = S_r \cos\varphi \tag{8-1-15}$$

式中 S_r——电炉变压器的额定功率，kV·A。

（5）整流变压器的设备功率是指额定直流功率。

2）用电设备组的设备功率

用电设备组的设备功率是指不包括备用设备在内的所有单个用电设备的功率之和。

3）变电所的总设备功率

变电所的总设备功率应取所供电的各用电设备组设备功率之和，但应剔除不同时使用的负荷。

（1）消防设备容量一般可不计入总设备容量。

（2）季节性用电设备（如制冷设备和采暖设备）应择其最大者计入总设备容量。

2. 需用系数的含义

需用系数是一个综合系数，它标志着用电设备组投入运行时，从供电网络实际取用的功率与用电设备组的额定功率之比，如下式所示：

$$K_x = P_{max}/P_e$$

式中 K_x——需用系数；

P_{max}——用电设备组负荷曲线上的最大有功负荷，kW；

P_e——用电设备组的额定功率，kW。

但求取计算负荷 P 时，还应对以下因素加以综合考虑：

（1）多台用电设备运行时，各台设备用电的最大值不会同时出现，应当计及同时系数。

（2）多台用电设备运行时，未必都满载运行。

（3）各台用电设备的效率要小于 1.0 且供电线路有损耗。

由以上因素得到：

$$K_x = \frac{K_t K_f}{\eta \eta_L}$$

式中 K_t——同时系数，即设备组在最大负荷时工作着的用电设备容量与改组用电设备总容量之比；

K_f——负荷系数，即工作着的用电设备实际功率与工作着的用电设备总功率之比；

η——用电设备在实际运行功率时的效率；

η_L——供电线路效率，一般取 0.9 ~ 0.95。

3. 需用系数法确定矿井计算负荷

用需用系数法计算用电负荷的步骤

（1）先根据井下用电设备布置及用电设备的单台容量大致确定井下设置的变电站的数目（包括固定和移动变电站）。

（2）井下采区变电站的负荷按下式计算：

$$S = \sum P_N \frac{K_x}{\cos\varphi} \qquad (8-1-16)$$

式中 S——电力负荷总的视在功率，kV · A；

$\sum P_N$——参与计算的所有用电设备（不包括备用）的额定功率之和，kW；

$\cos\varphi$——参与计算的电力负荷的平均功率因数；

K_x——需用系数，按以下两种情况选取。

① 单体支架，各用电设备无一定顺序启动的一般机组工作面，按下式计算需用系数：

$$K_x = 0.286 + 0.714 \frac{P_s}{\sum P_N} \qquad (8-1-17)$$

式中 P_s——最大电动机的功率，kW。

② 自移式支架，各用电设备按一定顺序启动的机械化采煤工作面，按下式计算需用系数：

$$K_x = 0.4 + 0.6 \frac{P_s}{\sum P_N} \qquad (8-1-18)$$

（3）井底车场等其他井下变电站的负荷，仍可按式（8－1－16）计算，其所取的各用电设备所需的需用系数和平均功率因数见表8－1－11。

表8－1－11 井下用电设备的需用系数和平均功率因数表

井下负荷名称	需用系数 K_x	平均功率因数 $\cos\varphi$	备注
综采工作面		0.7 0.6～0.7	K_x 值按式（8－1－17）、式（8－1－18）计算，取计算功率
一般机械化工作面		0.6	
炮采工作面（缓倾斜煤层）	0.4～0.5	0.7	
炮采工作面（急倾斜煤层）	0.5～0.6	0.6	
掘进工作面	0.3～0.4	0.9	
架线电机车	0.45～0.65	0.9	
蓄电池电机车	0.8	0.7	
输送机、绞车	0.5		
井底车厂（无主排水设备）	0.6～0.7	0.7	
井底车厂（有主排水设备）	0.75～0.85	0.8	

（4）计算用电设备的功率，如提升机、水泵、空压机、通风机及大型强力带式输送机等的电力负荷，应取其计算负荷。

（5）一个采区变电所供给两个及以上工作面的电力负荷，应按下式计算：

$$S=\sum P_N\frac{K_x}{\cos\varphi}\cdot K_s \tag{8－1－19}$$

式中 K_s——同时系数，当供给两个工作面时取0.95，当供给三个及以上工作面时取0.9。

（6）井下总负荷的计算，考虑到负荷变化较大的采区与负荷较稳定的主排水泵等井下固定设备的区别，为更接近实际，采用两个同时系数，按下式计算：

$$S_s=\sum S\cdot K_{s1}+\frac{\sum P_N}{\cos\varphi}\cdot K_{s2} \tag{8－1－20}$$

式中 S_s——井下总负荷的视在功率，kV·A；

$\sum S$——井下各变电所计算负荷的视在功率之和，kV·A；

$\sum P_N$——井下主排水泵及其他大型固定设备计算功率之和，kW；

$\cos\varphi$——井下主排水泵及其他大型固定设备的加权平均功率因数；

K_{s1}——井下各变电所间的同时系数，取0.8～0.9；

K_{s2}——井下主排水泵及其他大型固定设备间的同时系数，只有排水设备时取1，有其他固定设备时取0.9～0.95。

井下总负荷的功率因数由井下总视在功率与总有功功率求得，其中设备有功功率按下

式计算：

$$P = K_x \eta P_N \tag{8-1-21}$$

式中　P——用电设备的有功功率，kW；

η——电机在相应负荷率时，电动机的工作效率；

P_N——选用电机的额定功率，kW。

对于成套设备除需用系数外，还需乘设备之间的重合系数（表 8－1－12、表 8－1－13）。由于煤矿工作条件千变万化，一个固定的需用系数很难符合煤矿的各种情况，为使计算负荷符合实际，对占矿井用电负荷比较大的“四大件”、大功率带式输送机、井下采掘负荷等，有条件时应尽量采用计算的方法来确定需用系数，以减少计算误差。

根据“煤矿地面高压供电设计技术规定”，下列用电设备不应列入计算负荷：

（1）备用设备。

（2）专供消防使用的消防水泵。

（3）地面生产系统专供检修用的电焊机和起吊设备。

（4）专供大型固定设备安装检修用的起吊设备。

（5）通风机房电动风门绞车。

（6）井筒或带式输送机的检修绞车。

（7）取暖锅炉房和地面雨水泵站两项中，负荷较小的。

（8）电修车间检修试验设备。

表 8－1－12　煤矿用电设备的需用系数及功率因数

序号	用电设备名称	功率因数 $\cos\varphi$	需用系数 K_x
1	主、副井提升机	根据所选电机及负荷率确定	$K_x = \dfrac{P}{\eta P_N} = \dfrac{FV_m}{102\eta\eta_D\eta_i P_N}$（立井提升） $K_x = \dfrac{P}{\eta P_N} = \dfrac{1.2FV_m}{102\eta\eta_D\eta_i P_N}$（斜井提升）
2	通风机		$K_x = \dfrac{P}{\eta P_N} = \dfrac{QH}{102\eta\eta_i\eta_{mec}P_N}$
3	排水泵		$K_x = \dfrac{P}{\eta P_N} = \dfrac{rQH}{102\eta\eta_i\eta_{mec}P_N}$
4	空气压缩机		一般采用 0.8～0.85
5	大功率带式输送机		$K_x = \dfrac{P}{\eta P_N} = \dfrac{FV_m}{102\eta\eta_i P_N}$
6	生产系统用电设备	0.7	0.6
7	储煤场用电设备	0.6	0.4
8	主、副井提升辅助设备	0.7	0.7
9	通风机辅助设备	0.7	0.5
10	空气压缩机辅助设备	0.8	0.75
11	铁路装车站用电设备	0.7	0.55

表 8-1-12（续）

序 号	用 电 设 备 名 称	功率因数 $\cos\varphi$	需 用 系 数 K_x
12	铁路调车站用电设备	0.7	0.65
13	坑木场用电设备	0.65	0.35
14	联合生活福利区动力设备	0.7	0.6
15	矿灯房	0.8	0.3
16	机修厂	0.65	0.3
17	锅炉房	0.75	0.6～0.7
18	空气加热室	0.75	0.7
19	架空索道	0.7	0.6
20	泥浆泵	0.75	0.7
21	排矿系统	0.75	0.65
22	副井井口	0.6	0.5
23	塌陷排水	0.8	0.75
24	污水泵站	0.75	0.7
25	脏煤处理系统	0.7	0.6
26	煤样室	0.6	0.5
27	化验室	0.8	0.5
28	地面小负荷	0.7	0.65
29	综采工作面	0.7	$K_x=0.4+0.6\frac{P_D}{\sum P_N}$
30	机采工作面	0.6～0.7	$K_x=0.286+0.714\frac{P_D}{\sum P_N}$
31	缓倾斜炮采工作面	0.6	0.4～0.5
32	急倾斜炮采工作面	0.7	0.5～0.6
33	非掘进机掘进工作面	0.6	0.3～0.4
34	用掘进机的掘进工作面	0.6～0.7	
35	井底车场（不包括主水泵）	0.7	0.6～0.7

注：F—对主、副井提升机为等效力，对输送机为驱动轮牵引力；

V_m—对主、副井提升机为最大提升速度，对输送机为最大运行速度，m/s；

η—电机在相应负荷率时的工作效率；

η_t—机械传动效率；

η_D—电动机效率，一般取 0.85～0.93；

η_{mec}—相应工况点的效率；

Q—对通风机为响应工况点的风量，对排水泵为响应工况点的流量，m^3/s；

H—对通风机为响应工况点的压力，mmH_2O；对排水泵为响应工况点的扬程，m；

P_D—最大一台电动机的额定功率，kW；

r—矿井水的相对密度；

$\sum P_N$—某一工作面所有电气设备工作容量的总和（不包括备用设备）。

表 8－1－13　变电所母线的重合系数

序　号	项　　目	重合系数	备　　注
1	6kV 母线	0.8～0.85	大型矿井
		0.85～0.9	中型矿井
2	低压母线	0.85～0.95	
3	井下主变电所母线	0.85～0.95	

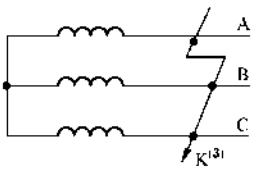
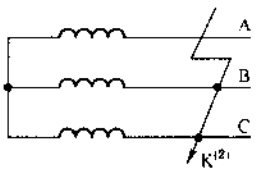
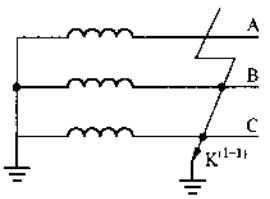
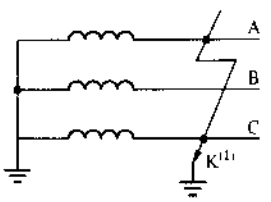
1.2.2　短路计算

1.2.2.1　短路种类及其注意事项

1. 短路种类和特点

短路是供电系统中发生较多而且危害较大的一类故障。所谓短路，是指供电系统中不等电位的导电部分在电气上被短接时的总称。根据短接的情况不同，可将短路分为表 8－1－14 中的几种。在短路电流计算时，对于三相对称短路一般采用计算曲线法；对于不对

表 8－1－14　短路的种类和特点

短路名称	表示符号	示　意　图	短路性质	短　路　后　的　特　点
三相短路	$K^{(3)}$		三相同时在一点短接，属于对称短路	（1）三相金属性短路时，电压和电流保持对称。 （2）短路电流值通常大大超过线路的额定电流。 （3）线路始端的残余电压小于额定相电压，短路点电压为零。 （4）短路电流与线路始端残余电压间的相位关系决定于线路阻抗相角，通常大于线路正常运行方式下的相角
两相短路	$K^{(2)}$		两相在一点短接，属于不对称短路	（1）两相短路时，电流和电压的对称性被破坏，短路相的回路中流过很大的短路电流；短路点故障相的相电压等于 1/2 额定相电压，在线路始端电压稍高，但未达到额定电压值，而线电压三角形发生畸变。 （2）故障的两相电流与电压间相角关系有显著差别
两相接地短路	$K^{(1-1)}$		在中性点接地系统中，两相在相同地点与地短接，属于不对称短路	（1）两相接地短路严重破坏电压对称性，短路点故障相电压等于零；线路始端故障相电压明显低于额定值，并决定于短路点前线路上的电压降；非故障相电压，可认为等于额定值。 （2）线路中流过很大的短路电流，电流的对称性亦明显地被破坏
大接地电流系统中的单相接地短路	$K^{(1)}$		在中性点接地系统中，一相与地短接，属于不对称短路	（1）短路电流仅在故障相中流通，三相不对称可分解为正序、负序和零序电流。线路始端故障相电压显著下降，线电压三角形发生畸变。 （2）故障点非故障相电压高于额定电压，A 相短路，此时 B 相电压滞后正常情况下的 B 相电压，而 C 相电压则超前正常情况下的 C 相电压

称短路，则采用对称分量法。

任何一种短路都有可能扩大而造成三相短路，因为短路后所产生的电弧，会迅速破坏相间绝缘，而形成三相短路，这种情形在电缆网路中，更为常见。

由于煤矿供电系统大多为小接地电流系统，且大多距大型发电厂较远，故单相短路电流值一般都小于三相短路电流值，而两相短路电流值也比三相短路电流值小。

2. 计算短路电流的目的

发生短路故障后，短路电流将会对用电设备乃至整个系统造成严重影响。因此为防止发生短路所造成的危害及限制故障范围的扩大，需要进行一系列的计算及采取相应措施，以保证供电系统在正常或故障的情况下，能够安全、可靠又经济。为此，可将计算短路电流的目的归纳为下列几点。

（1）作为系统主接线方案比较的项目之一，以便判断哪种主接线方式更能保障供电的安全和可靠，然后再决定系统的主要运行方式。

（2）作为校验电气设备的依据，以便确定所选的设备在发生短路故障时是否会被损坏。

（3）正确地选择和校验限制短路电流所需的设备，以确保电气设备不被短路电流损坏。

（4）确定选择和校验继电保护装置所需的各种参数。

（5）根据故障的实际情况，进行故障分析，找出事故的发生原因。

3. 一般规定及注意事项

电力系统短路后，电路中各种参数的变化是很复杂的，影响的因素也很多。为了简化计算短路电流的方法，在不影响工程计算精确度的情况下，可忽略一些因素的影响。同时，为了避免计算过程中出现某些差错，特提出一些需要注意的事项，以供参考。

（1）认为各发电机是同步旋转的，电流的频率相同，电势的相位也相同，即发电机无摇摆现象。

（2）认为变压器是理想变压器，不考虑励磁电流的影响，而且变压器的磁路始终不饱和，因此短路后变压器的电抗是一个常数。

（3）系统各元件的分布电容忽略不计。

（4）一般所说的短路是指金属性短路，即不考虑电弧电阻的影响。

（5）短路前系统的电势和电流是对称的。

（6）计算短路电流用的系统图（简称计算系统图），应以电气设备装设处能产生最大短路电流的那种正常运行接线方式为准，可不考虑短时的变换接线方式（例如不经常并列运行，而仅在切换过程中才并列的各段母线等）。

（7）确定短路点的原则：若需要计算、选择与校验电气设备所需的短路参数，及计算继电保护装置整定值所需的短路参数时，就应将短路点定在该电气设备或保护装置与电网连接的母线处；如果需要计算、校验保护装置灵敏度所需的短路参数时，则应将短路点定在该保护装置保护范围的最末端。

（8）计算高压系统短路参数时，如果系统元件（如发电机、变压器、电抗器、线路等）本身的电抗为 X，电阻为 R，当 $\frac{1}{3}X > R$ 时，只需计算元件的电抗值（各元件常用电

抗值见表8-1-15～表8-1-23)；当短路回路中各元件的总电阻 R_Σ 大于1/3的总电抗 X_Σ 时，就应同时考虑总电阻和总电抗，并用总阻抗 $Z_\Sigma=\sqrt{R_\Sigma+X_\Sigma}$ 的值进行计算。

(9) 在某些情况下，应该考虑同步调相机和大型异步电动机对短路电流值的影响。

(10) 计算电抗器的电抗时，应采用加于电抗器端点的实际额定电压，不能用平均电压值，否则误差较大。

(11) 在简化系统的阻抗时，距短路点远的电源与近的电源不能合并。

(12) 必须将阻抗标么值归算到以电源总额定容量为基准的标么值（称为计算电抗）才可以去查计算曲线。当计算电抗大于3时，即可按电源容量为无限大的系统求短路电流的方法去处理。

1.2.2.2　无限大容量电源系统短路电流计算

当电源容量为无限大时，即认为在短路过程中，电源的电压维持不变，也就是说电源的内阻抗为零，但实际上电源的容量和阻抗总有一定数值。这里所说的无限大容量是一个相对极大的容量，即当用户的负荷容量远小于给它供电的电力系统容量（约1/50）时，用户内部供电网络发生短路，电力系统出口母线电压基本维持不变。根据这样的假设来计算短路电流，不会引起较大的误差。在实际工程计算中，当电源的阻抗不超过短路回路总阻抗（或计算电抗）的5%～10%时，可将该系统看做无限大容量电源系统，即可以忽略电源的阻抗。

如果以供电电源为基准的电抗标么值不小于3，即计算电抗标么值 $X_\Sigma^{*'}\geqslant 3$ 时，可以认为短路电流周期分量在整个短路过程中保持不变，也就是短路电流不衰减。其短路电流计算采用标么值法比较简便。在用标么值法进行短路计算时，必须把额定标么值换算为选定基准值下的标么值（称为基准标么值）。

具体计算步骤如下：

(1) 根据供电系统绘制等值电路图，一般称为“计算系统图”，要求在图上标出各元件的参数，并标出各短路点的位置。对较复杂的网络，还要根据计算要求依次绘制出简化的等值图，在图上和计算过程中，电抗标么值可直接用编号表示，省略电抗标么值的符号，分子表示某元件电抗的编号，分母为其标么值的大小。

(2) 确定基准容量和基准电压，并根据公式计算基准电流值。

(3) 求出系统各元件的标么基准电抗，并将计算结果标注在等值图上。

① 电源系统的标么基准电抗值。若已知发电机的次暂态电抗 X_G^*（该值就是以发电机额定值为基准的标么电抗），又已知发电机的额定容量为 $S_{N\cdot G}$，则可求得标么基准电抗值为

$$X_s^*=X_G^*\frac{S_d}{S_{N\cdot G}} \tag{8-1-22}$$

式中　S_d——发电机基准容量，MV·A。

若已知的是电源母线的短路容量 S_k，则系统电抗的基准标么值为

$$X_s^*=\frac{X_s}{X_d}=\frac{U_{av}^2/S_k}{U^2/S_d}=\frac{S_d}{S_k} \tag{8-1-23}$$

式中　U_{av}——线路各级平均电压。

② 变压器的标么基准电抗值。若已知变压器的短路电压百分值 $U_k\%$ 与额定标么值之间的换算关系为 $U_k\% = X^*_{N\cdot T} \times 100\%$，其中 $X^*_{N\cdot T}$ 为变压器的额定标么电抗值，则可根据下式求得变压器的标么基准电抗值：

$$X^*_T = X^*_{N\cdot T}\frac{S_d}{S_{N\cdot T}} = U_k\%\,\frac{S_d}{S_{N\cdot T}} \tag{8-1-24}$$

式中 $S_{N\cdot T}$——变压器的额定容量，MV·A；

S_d——变压器的基准容量，MV·A。

③ 电抗器的标么基准电抗值。若已知电抗器的额定电抗百分值 $X_L\%$，则电抗器的标么基准电抗值

$$X^*_L = X_L\%\,\frac{I_d U_{N\cdot T}}{I_{N\cdot T} U_d} \tag{8-1-25}$$

式中 I_d、U_d——电抗器的基准电流、基准电压；

$I_{N\cdot T}$、$U_{N\cdot T}$——电抗器的额定电流、额定电压。

④ 输电线路的标么基准电抗值。若已知线路电抗 $X_l = x_0 l$，当取 $U_d = U_{av}$ 时，其中 U_d 为基准电压，U_{av} 为线路各级平均电压，则可由式（8-1-25）求得输电线路的标么基准电抗值

$$X^*_l = x_0 l\,\frac{S_d}{U^2_{av}} \tag{8-1-26}$$

（4）按等值图各元件电抗的连接情况，求出由电源到短路点的总电抗 X'_Σ，各元件电抗值可参考表 8-1-15～表 8-1-23。

（5）按欧姆定律求短路电流标么值，由于电源是无限容量的，所以电源电压始终保持恒定，故短路电流标么值 I^* 为

$$I^* = -\frac{1}{X^*_\Sigma} = S^* \tag{8-1-27}$$

式中 I^*、S^*——短路电流标么值和短路容量标么值。

而短路后任何时刻的短路电流标么值和短路容量标么值都相等，即

$$I^{*\prime\prime} = I^*_{0.2} = I^*_\infty = S^{*\prime\prime} = S^*_{0.2} = S^*_\infty \tag{8-1-28}$$

式中 $I^{*\prime\prime}$、$S^{*\prime\prime}$——$t=0$ 时的短路电流和短路容量标么值；

$I^*_{0.2}$、$S^*_{0.2}$——$t=0.2\text{s}$ 时的短路电流和短路容量标么值；

I^*_∞、S^*_∞——$t=\infty$ 时的短路电流和短路容量标么值。

（6）为了向供电设计提供所需的资料，应确定下列几种短路电流和短路容量：

① 求出当 $t=0$ 时的短路电流 I'' 和短路容量 S''；

② 当 $t=0.2\text{s}$ 时的短路电流 $I_{0.2}$ 和短路容量 $S_{0.2}$；

③ 当 $t=\infty$ 时的稳态短路电流 I_∞ 和稳态短路容量 S_∞。

$$\left.\begin{aligned} I'' &= I_{0.2} = I_\infty = I^* \cdot I_d \\ S'' &= S_{0.2} = S_\infty = I^* \cdot S_d \\ i_{kr} &= 2.55I'' \\ I_{km} &= 1.52I'' \end{aligned}\right\} \tag{8-1-29}$$

式中 i_{kr}——短路冲击电流；

I_{km}——短路冲击全电流最大有效值。

1.2.2.3　有限大容量电源系统短路电流计算

电源为有限容量时短路电流的计算方法，与电源为无限容量的短路电流计算方法的区别在于：当电源为有限容量时电源的阻抗就不能忽略，在短路过程中，由于电流增加很多倍，势必造成电源端电压下降，使短路电流周期分量发生衰减，从而形成短路后不同时刻的短路电流值不相等，使计算工作更为复杂。对此情况一般都采用计算曲线（也称运算曲线）的方法，求得短路电流。

计算曲线及其数值表是按标么值绘制的，纵坐标表示短路电流周期分量的标么值 I_{kt}^*，横坐标表示以发电机额定容量总和 $S_{N\Sigma}$ 为基准的标么计算电抗 X_Σ^*，曲线以短路时间 t 为参变量，以下式表示：

$$I_{kt}^* = f(t, X_\Sigma^*)$$

计算曲线的使用方法，包括综合变化法和单独变化法两种。综合变化法未考虑各电源与短路点之间电气距离的不同及发电机类型的不同，造成它们向短路点供给的电流大小及变化规律差异很大，常引起较大的计算误差，因此在要求较高的短路电流计算中，常采用单独变化法。

单独变化法是将供电系统中的电源按一定原则划分为几个组（通常为 2 ~ 3 个组），每组用一个等值发电机来代替，并求出它的直接连于短路点支路的转移电抗，然后对各支路分别查相应的计算曲线，求出它们向短路点供给的短路电流，各支路电流之和就是短路点的实际短路电流。

当发电机没装自动电压调整装置时，因短路造成发电机端电压下降，而使得短路电流从某一最大值减少到稳定值。

当发电机装有自动电压调整装置时，由于短路造成端电压降低，本来可以借助自动电压调整装置增加发电机的励磁电流，使发电机的端电压上升，但因为发电机励磁绕组的电感很大，故端电压不能立刻上升，所以自动电压调整器只能在短路发生后几个周期才能起调压作用。因此，自动电压调整器对次暂态短路电流及短路的冲击电流没有任何影响（与不装自动电压调整器的发电机相同），自动电压调整器仅使短路电流的稳态值有所增加。

具体计算步骤如下：

（1）根据已知资料给定的供电系统及各元件的参数，绘制计算系统图，标出短路点位置，对较复杂的网络，还要根据计算的要求依次绘制简化的等值图。

（2）选取基准值。

（3）分别求出各元件的标么基准电抗，可参考表 8 - 1 - 15 ~ 表 8 - 1 - 23，并将它标在等值图上。

（4）由等值图逐步求出各短路点的总电抗标么值 X_Σ^*。

（5）当所选取的基准容量与电源（不论分组的或等值的）的总额定容量不相同时，必须将总电抗标么值换算成以电源总额定容量为基准的计算电抗

$$X_\Sigma^{*\prime\prime} = X_\Sigma^* \frac{S_{N\cdot\Sigma}}{S_b}$$

（6）根据计算电抗 $X_\Sigma^{*\prime\prime}$ 的数值，去查与电源相应的计算曲线，从中得出不同时间的短路电流标么值，$I^{*\prime\prime}$、$I_{0.2}^*$ 和 I_∞^*。

表 8-1-15 三相双绕组电力变压器的电抗标么值

变压器容量/（kV·A）	阻抗电压/%	S_j=100MV·A 时电抗标么值
35/10.5（6.3）kV		
1000	6.5	6.50
1250		5.20
1600		4.06
2000	7	3.25
2500		2.60
3150		2.22
4000		1.75
5000	7.5	1.40
6300		1.19
8000		0.94
10000		0.75
12500	8	0.64
16000		0.50
20000		0.40
110/10.5（6.3）kV		
6300	10.5	1.67
8000		1.31
10000		1.05
12500		0.84
16000		0.66
20000		0.53
25000		0.42
10/6.3（3.15）kV		
200	4	20.00
250		16.00
315		12.70
400		10.00
500		8.00
630	4.5	8.73
800		6.88
1000	5.5	5.50
1250		4.40
1600		3.44
2000		2.75
2500		2.20
3150		1.75
4000		1.38
5000		1.10
6300		0.87

表 8-1-16　110kV 三相三绕组电力变压器的电抗标么值

变压器容量/(kV·A)			6300	8000	10000	12500	16000	20000	25000	变压器容量/(kV·A)	
按阻抗电压 U_k/%的第一种组合方式	阻抗电压 U_k/%	高中	17	17.5	17	18	18	18	18	高低	按阻抗电压 U_k/%的第二种组合方式
		高低	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	高中	
		中低	6	6.5	6	6.5	6.5	6.5	6.5	中低	
	绕组电抗 X/%	高压	10.75	10.75	10.75	11	11	11	11	高压	
		中压	6.25	6.75	6.25	7	7	7	7	低压	
		低压	-0.25	-0.25	-0.25	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	中压	
	S_j=100MV·A 时绕组电抗标么值 X^*	高压	1.706	1.344	1.075	0.880	0.688	0.550	0.440	高压	
		中压	0.992	0.844	0.625	0.560	0.438	0.350	0.280	低压	
		低压	-0.040	-0.031	-0.025	-0.04	-0.031	-0.025	-0.02	中压	

表 8-1-17　电抗器的电抗

额定电流 I_r/A	6kV			10kV		
	额定电抗 X_r/%	电抗标么值 X^* U_j=6.3kV S_j=100MV·A	电抗 X/Ω	额定电抗 X_r/%	电抗标么值 X^* U_j=10.5kV S_j=100MV·A	电抗 X/Ω
150	3	1.7456	0.6928	3	1.0473	1.1547
	4	2.3274	0.9238	4	1.3965	1.5396
	5	2.9093	1.1547	5	1.7456	1.9289
	6	3.4912	1.3856	6	2.0947	2.3094
	8	4.6549	1.8475	8	2.7929	3.0792
	10	5.8186	2.3094			
200	3	1.3092	0.5196	3	0.7855	0.8660
	4	1.7456	0.6928	4	1.0473	1.1547
	5	2.1820	0.8660	5	1.3092	1.4434
	6	2.6184	1.0392	6	1.5710	1.7320
	8	3.4912	1.3856	8	2.0947	2.3094
	10	4.3639	1.7320	10	2.6184	2.8867
300	3	0.8728	0.3464	3	0.5237	0.5774
	4	1.1637	0.4619	4	0.6982	0.7698
	5	1.4546	0.5774	5	0.8728	0.9623
	6	1.7456	0.6928	6	1.0473	1.1547
	8	2.3274	0.9238	8	1.3965	1.5396
	10	2.9093	1.1547	10	1.7456	1.9289

表 8-1-17（续）

额定电流 I_r/A	6kV			10kV		
	额定电抗 X_r/%	电抗标么值 X^* $U_j=6.3$kV $S_j=100$MV·A	电抗 X/Ω	额定电抗 X_r/%	电抗标么值 X^* $U_j=10.5$kV $S_j=100$MV·A	电抗 X/Ω
400	3	0.6546	0.2598	3	0.3926	0.4330
	4	0.8728	0.3464	4	0.5237	0.5774
	5	1.0910	0.4330	5	0.6546	0.7217
	6	1.3092	0.5196	6	0.7855	0.8660
	8	1.7456	0.6928	8	1.0473	1.1547
	10	2.1820	0.8660	10	1.3092	1.4434
500	3	0.5237	0.2078	3	0.3142	0.3464
	4	0.6982	0.2771	4	0.4189	0.4619
	5	0.8728	0.3464	5	0.5237	0.5774
	6	1.0473	0.4157	6	0.6284	0.6928
	8	1.3965	0.5543	8	0.8379	0.9238
	10	1.7456	0.6982			
600	4	0.5819	0.2309	4	0.3491	0.3849
	5	0.7273	0.2887	5	0.4364	0.4811
	6	0.8728	0.3464	6	0.5237	0.5774
	8	1.1637	0.4619	8	0.6982	0.7698
	10	1.4546	0.5774	10	0.8728	0.9623
750	4	0.4655	0.1848			
	5	0.5819	0.2309	5	0.3491	0.3849
	6	0.6928	0.2771	6	0.4189	0.4619
	8	0.9310	0.3695	8	0.5586	0.6158
	10	1.1637	0.4619	10	0.6982	0.7698
1000	4	0.3491	0.1386			
	5	0.4364	0.1732	5	0.2618	0.2887
	6	0.5237	0.2078	6	0.3142	0.3464
	8	0.6982	0.2771	8	0.4189	0.4619
	10	0.8728	0.3464	10	0.5237	0.5774
1500	6	0.3491	0.1386	6	0.2095	0.2309
	8	0.4655	0.1848	8	0.2793	0.3079
	10	0.5819	0.2309	10	0.3491	0.3849
2000	6	0.2618	0.1039			
	8	0.3491	0.1386	8	0.2095	0.2309
	10	0.4364	0.1732	10	0.2618	0.2887
3000	10	0.2909	0.1155			

注：U_j—基准电压；

S_j—基准容量。

表8-1-18　高压线路每千米电抗近似值

线路种类	标称电压 U_n/kV	电抗 X/（Ω·km^{-1}）	S_j=100MV·A时电抗标么值 X^*
电缆线路	6	0.07	0.176
	10	0.08	0.073
	35	0.12	0.009
架空线路	6	0.35	0.882
	10	0.35	0.317
	35	0.40	0.029
	110	0.40	0.003

表8-1-19　6kV和10kV油浸纸绝缘和不滴流浸渍纸绝缘三芯电力电缆每公里阻抗

标称截面/mm^2	6kV						10kV					
	t=65℃时线芯交流电阻 R/（Ω·km^{-1}）		电抗 X/（Ω·km^{-1}）	U_j=6.3kV、S_j=100MV·A时电阻和电抗标么值			t=60℃时线芯交流电阻 R/（Ω·km^{-1}）		电抗 X/（Ω·km^{-1}）	U_j=10.5kV、S_j=100MV·A时电阻和电抗标么值		
				R^*		X^*				R^*		X^*
	铝	铜		铝	铜		铝	铜		铝	铜	
10	3.935	2.071	0.107	8.555	5.219	0.269						
16	2.122	1.294	0.099	5.347	3.261	0.250	2.085	1.272	0.110	1.897	1.158	0.100
25	1.358	0.828	0.088	3.422	2.087	0.221	1.335	0.814	0.098	1.215	0.741	0.089
35	0.970	0.592	0.083	2.444	1.492	0.210	0.953	0.581	0.092	0.867	0.529	0.084
50	0.679	0.414	0.079	1.711	1.043	0.200	0.667	0.407	0.087	0.607	0.370	0.079
70	0.485	0.296	0.076	1.222	0.746	0.191	0.477	0.291	0.083	0.434	0.265	0.075
95	0.357	0.218	0.074	0.900	0.549	0.185	0.351	0.214	0.080	0.319	0.195	0.073
120	0.283	0.173	0.072	0.713	0.436	0.182	0.278	0.170	0.078	0.253	0.155	0.071
150	0.226	0.138	0.072	0.570	0.348	0.180	0.222	0.136	0.077	0.202	0.124	0.070
185	0.183	0.112	0.070	0.461	0.282	0.176	0.180	0.110	0.075	0.164	0.100	0.068
240	0.141	0.086	0.069	0.355	0.217	0.174	0.139	0.085	0.073	0.126	0.077	0.067

注：U_j—基准电压；

S_j—基准容量。

表 8-1-20 6kV 聚氯乙烯绝缘和油浸纸滴干绝缘三芯电力电缆每千米阻抗

标称截面/mm²	t=65℃时线芯交流电阻 $R/(\Omega\cdot km^{-1})$		U_j=6.3kV、S_j=100MV·A 时电阻标么值 R^*		聚氯乙烯绝缘		油浸纸滴干绝缘	
	铝	铜	铝	铜	电抗 $X/(\Omega\cdot km^{-1})$	U_j=6.3kV、S_j=100MV·A 时电抗标么值 X^*		电抗 $X/(\Omega\cdot km^{-1})$
10	3.395	2.071	8.555	5.219	0.127	0.319		
16	2.122	1.294	5.347	3.261	0.117	0.296	0.276	0.110
25	1.358	0.828	3.422	2.087	0.105	0.265	0.246	0.098
35	0.970	0.592	2.444	1.492	0.099	0.250	0.232	0.092
50	0.679	0.414	1.711	1.043	0.094	0.236	0.220	0.087
70	0.485	0.296	1.222	0.746	0.089	0.224	0.209	0.083
95	0.357	0.218	0.900	0.549	0.085	0.214	0.201	0.080
120	0.283	0.173	0.713	0.436	0.083	0.209	0.197	0.078
150	0.226	0.138	0.570	0.348	0.081	0.204	0.193	0.077
185	0.183	0.112	0.461	0.282	0.079	0.199	0.189	0.075
240	0.141	0.086	0.355	0.217	0.077	0.194	0.185	0.073

表 8-1-21 6kV 和 10kV 交联聚乙烯绝缘三芯电力电缆每千米阻抗

标称截面/mm²	t=90℃时线芯交流电阻 $R/(\Omega\cdot km^{-1})$		6kV				10kV			
			电抗 $X/(\Omega\cdot km^{-1})$	U_j=6.3kV、S_j=100MV·A 时电阻和电抗标么值			电抗 $X/(\Omega\cdot km^{-1})$	U_j=10.5kV、S_j=100MV·A 时电阻和电抗标么值		
				R^*		X^*		R^*		X^*
	铝	铜		铝	铜			铝	铜	
16	2.301	1.404	0.124	5.799	3.538	0.312	0.133	2.094	1.278	0.121
25	1.473	0.898	0.111	3.712	2.263	0.280	0.120	1.340	0.817	0.109
35	1.052	0.642	0.105	2.651	1.618	0.264	0.113	0.957	0.584	0.103
50	0.736	0.449	0.099	1.855	1.131	0.249	0.107	0.670	0.409	0.097
70	0.526	0.321	0.093	1.326	0.809	0.236	0.101	0.479	0.292	0.091
95	0.388	0.236	0.089	0.978	0.595	0.225	0.096	0.353	0.215	0.087
120	0.307	0.187	0.087	0.774	0.471	0.219	0.095	0.279	0.170	0.087
150	0.245	0.150	0.085	0.617	0.378	0.214	0.093	0.223	0.137	0.084
185	0.199	0.121	0.082	0.501	0.305	0.208	0.090	0.181	0.110	0.082
240	0.153	0.094	0.080	0.386	0.237	0.202	0.087	0.139	0.086	0.079

表 8－1－22　6kV 和 10kV 架空线路每千米阻抗

标称截面/mm²	$t=70℃$ 时交流电阻						线间几何均距 $D_j=1000mm$ 时电抗			线间几何均距 $D_j=1000mm$ 时电抗		
	$R/(\Omega\cdot km^{-1})$		$S_j=100MV\cdot A$ 的标么值 R^*				$X/(\Omega\cdot km^{-1})$	$S_j=100MV\cdot A$ 的标么值 X^*		$X/(\Omega\cdot km^{-1})$	$S_j=100MV\cdot A$ 的标么值 X^*	
			$U_j=6.3kV$		$U_j=10.5kV$			$U_j=6.3kV$	$U_j=10.5kV$		$U_j=6.3kV$	$U_j=10.5kV$
	铝	铜	铝	铜	铝	铜						
16	2.16	1.32	5.44	3.32	1.96	1.20	0.39	0.98	0.35	0.41	1.03	0.37
25	1.38	0.84	3.48	2.12	1.26	0.77	0.38	0.96	0.34	0.39	0.98	0.35
35	0.99	0.60	2.49	1.52	0.90	0.55	0.37	0.93	0.34	0.38	0.96	0.34
50	0.69	0.42	1.74	1.06	0.63	0.38	0.36	0.91	0.33	0.37	0.93	0.34
70	0.49	0.30	1.24	0.76	0.45	0.27	0.35	0.88	0.32	0.36	0.91	0.33
95	0.36	0.22	0.92	0.56	0.33	0.20	0.34	0.86	0.31	0.35	0.88	0.32
120	0.29	0.18	0.73	0.44	0.26	0.16	0.33	0.83	0.30	0.34	0.86	0.31
150	0.23	0.14	0.58	0.35	0.21	0.13	0.32	0.81	0.29	0.34	0.86	0.31
185	0.19	0.11	0.47	0.29	0.17	0.10	0.31	0.78	0.28	0.33	0.83	0.30
240	0.14	0.09	0.36	0.22	0.13	0.08	0.31	0.78	0.28	0.32	0.81	0.29

表 8－1－23　35kV 和 110kV JL/G 系列架空线路每千米阻抗

标称截面/mm²	$t=70℃$ 时交流电阻 $R/(\Omega\cdot km^{-1})$	$U_j=37kV$、$D_j=3000mm$			$U_j=110kV$、$D_j=3000mm$		
		电抗 $X/(\Omega\cdot km^{-1})$	$S_j=100MV\cdot A$ 时标么值		电抗 $X/(\Omega\cdot km^{-1})$	$S_j=100MV\cdot A$ 时标么值	
			R^*	X^*		R^*	X^*
35	0.99	0.43	0.07	0.031			
50	0.69	0.42	0.05	0.031			
70	0.49	0.41	0.04	0.030	0.44	0.004	0.003
95	0.36	0.40	0.03	0.029	0.43	0.003	0.003
120	0.29	0.39	0.02	0.028	0.42	0.002	0.003
150	0.23	0.39	0.02	0.028	0.42	0.002	0.003
185	0.19	0.38	0.01	0.028	0.41	0.001	0.003
240	0.14	0.37	0.01	0.027	0.40	0.001	0.003

1.2.2.4　低压配电网短路电流计算

1. 低压配电网短路电流计算的特点

（1）如果低压电网中的变压器容量不超过供电电源容量的 3%，在短路时允许认为降压变压器的高压侧端电压不变、低压侧短路电流不衰减。对煤矿企业绝大部分都符合这个条件。

（2）低压网络一般不允许忽略电阻的影响。只有当 $R_\Sigma \leqslant \frac{1}{3}X_\Sigma$ 时，才允许不计入电阻值。

（3）低压元件如不太长的电缆和母线、电流互感器的一次线圈、自动空气开关的过电流线圈及自动空气开关和隔离开关触头的接触电阻等，对低压短路电流的大小都有影

响，但为了简化计算，使短路电流值偏于安全，容许不考虑占回路总阻抗不超过10%的元件。因此，在一般情况下只需计算长度超过10m的母线和电缆，以及300/5以下的电流互感器（在计算三相四线制电网的单相短路电流时，由于单相短路电流值是用来校验保护装置灵敏度的，为了确保安全起见，应将回路中所有元件的阻抗全部计入）。

（4）计算时采用有名制更为方便，即电压用V，电阻用MΩ，电流用kA表示。

2. 电路中主要低压元件的阻抗计算

1）电力系统的电抗（MΩ）

$$X_s = \frac{U_{av}}{\sqrt{3}I''_K} \times 10^3 = \frac{U_{av}^2}{S''_K} \times 10^3 \qquad (8-1-30)$$

式中 U_{av}——电网平均电压，kV；

I''_K——系统的短路电流，kA；

S''_K——系统的短路容量，MV·A。

2）动力变压器的阻抗（MΩ）

$$R_{Tr} = \frac{\Delta P_K U_N^2}{S_N^2} \times 10^3 \qquad (8-1-31)$$

$$X_{Tr} = \frac{10U_x\% U_N^2}{S_N} \times 10^3 \qquad (8-1-32)$$

式中 $U_x\%$——电抗压降百分值，$U_x\% = \sqrt{U_K^2\% - U_R^2\%}$；

$U_R\%$——电阻压降百分值，$U_R\% = \frac{\Delta P_K}{10S_N}$；

$U_K\%$——变压器短路电压百分值；

ΔP_K——变压器在额定负载下的短路损耗，W；

S_N——变压器额定容量，kV·A；

U_N——变压器低压线圈的额定电压，kV。

3）低压电网中各元件的电阻和电抗值

低压电网中各元件的电阻和电抗值见表8-1-24～表8-1-33。

4）电路元件中各序阻抗间的关系

为了便于计算，将低压网络中各元件的正序、负序和零序阻抗间的关系式列于表8-1-34。

表8-1-24 三相降压变压器的阻抗值

额定容量/(kV·A)	一次侧额定电压/kV	二次侧额定电压/kV	短路电压百分值/%	阻抗/MΩ			
				电阻		电抗	
				正序及负序 $R_1=R_2$	零序 R_0	正序及负序 $X_1=X_2$	零序 X_0
50	6～10	0.4	4.5	80	80	118	1460
50	6～10	0.4	5.5	85	85	151	1620
75	6～10	0.4	4.5	47.6	47.6	82.5	905

表 8-1-24（续）

额定容量/(kV·A)	一次侧额定电压/kV	二次侧额定电压/kV	短路电压百分值/%	阻抗/MΩ			
				电阻		电抗	
				正序及负序 $R_1=R_2$	零序 R_0	正序及负序 $X_1=X_2$	零序 X_0
100	6~10	0.4	4.5	36	36	62.8	785
100	6~10	0.4	5.5	38	38	79	790
180	6~10	0.4	4.5	17.8	17.8	35.9	461
180	6~10	0.4	5.5	20	20	44	435
320	6~10	0.4	4.5	8.9	8.9	20.5	272
320	6~10	0.4	5.5（5.5）	9.5	9.5	25.8	242（237）
560	6~10	0.4	4.5	6.4	6.4	16	170
560	6~10	0.4	5.5	4.8	4.8	14.9	151
560	6.3	0.4	8（7.67）	4.8	2.4	22.4	125（164）
750	6~10	0.4	5.5	3.4	3.4	10.3	110
750	6.3	0.4	8（7.77）	3.4	1.7	16.7	106*（114）
1000	6~10	0.4	5.5	2.4	2.4	8.47	83
1000	6.3	0.4	5.5	2.4	1.2	8.5	80*
1000	6.3	0.4	8	2.4	1.2	12.6	90*

注：1. 表中括号内的数值系为实测数值，其余的零序电抗值为沈阳变压器研究所提供的实测值。

2. 表中标“*”者是按180、320及560（8%）的变压器已有的数据推算出来的。

表 8-1-25　各种低压开关触头的接触电阻值

额定电流/A	50	70	100	140	200	400	600	1000	2000	3000
自动空气开关/MΩ	1.3	1	0.75	0.65	0.6	0.4	0.25			
刀开关/MΩ			0.5		0.4	0.2	0.15	0.08		
隔离开关/MΩ						0.2	0.15	0.08	0.03	0.02

表 8-1-26　单位长度电缆及导线的阻抗值

截面/mm²	有效电阻/(MΩ·m⁻¹)（在 $t=50℃$ 时）		电抗值/(MΩ·m⁻¹)			
	铜	铝	瓷瓶明配	室内明配线间几何均距为200mm	电缆或穿管导线	架空线路，线间几何均距为400/600mm时
1.5	13.74		0.25		0.109	
2.5	8.24	13.89	0.25	0.337	0.102	
4	5.15	8.58	0.23	0.318	0.095	
6	3.43	5.79	0.22	0.309	0.09	
10	2.06	3.47	0.22	0.286	0.073	0.355/0.381

表 8-1-26（续）

截面/mm²	有效电阻/(MΩ·m⁻¹)（在 t=50℃时）		电抗值/(MΩ·m⁻¹)			
	铜	铝	瓷瓶明配	室内明配线间几何均距为 200mm	电缆或穿管导线	架空线路，线间几何均距为 400/600mm 时
16	1.29	2.17	0.22	0.271	0.068	0.333/0.358
25	0.82	1.39	0.2	0.257	0.067	0.319/0.345
35	0.59	0.99	0.19	0.246	0.064	0.308/0.336
50	0.41	0.79	0.19	0.235	0.063	0.297/0.325
70	0.29	0.5	0.19	0.224	0.061	0.283/0.309
95	0.22	0.37	0.18	0.215	0.06	0.274/0.303
120	0.17	0.29	0.18	0.208	0.06	—/0.297
150	0.137	0.23		0.201	0.06	—/0.288
185	0.114	0.19		0.194	0.06	—/0.279
240	0.086	0.15		0.186	0.059	
300	0.069	0.12		0.179	0.059	

表 8-1-27 架空线路单位长度阻抗值

导线型号	JL-16	JL-25	JL-35	JL-50	JL-70	JL-95	JL-120	JL-150	JL-185
单位长度电阻值/(MΩ·m⁻¹)	1.98	1.28	0.92	0.64	0.46	0.34	0.27	0.21	0.17
几何均距/m	单位长度电抗值/(MΩ·m⁻¹)								
0.6	0.358	0.344	0.335	0.323	0.312	0.302	0.295	0.288	0.281
0.8	0.377	0.363	0.352	0.341	0.33	0.32	0.313	0.305	0.299
1	0.391	0.377	0.366	0.355	0.344	0.334	0.327	0.319	0.313
1.25	0.405	0.39	0.38	0.369	0.358	0.348	0.341	0.333	0.327
1.5		0.402	0.392	0.38	0.37	0.36	0.352	0.345	0.339
2		0.42	0.41	0.398	0.388	0.378	0.371	0.363	0.356

注：1. 单回路零序电抗，按 $X_0=2X_1$ 计算。

2. 同杆双回路的零序电抗，按 $X_0=3X_1$ 计算。

表 8-1-28 1000V 三芯纸绝缘铝芯电缆的单位长度阻抗

芯线截面/mm²		2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150
电阻值/(MΩ·m⁻¹)	正序及负序	15.4	9.6	6.4	3.84	2.39	1.54	1.1	0.768	0.548	0.404	0.319	0.256
	零序	36.7	28.7	23.5	18.6	4.27	3.4	2.9	2.53	2.24	2.0	1.86	1.76
电抗值/(MΩ·m⁻¹)	正序及负序	0.098	0.092	0.087	0.082	0.078	0.067	0.064	0.062	0.06	0.058	0.058	0.057
	零序	0.16	0.148	0.139	0.128	0.946	0.896	0.835	0.791	0.722	0.639	0.594	0.530

表 8－1－29　S9、S9－M 系列 10（6）/0.4kV 变压器的阻抗平均值（归算到 400V 侧）

型号	电压/kV	容量/(kV·A)	阻抗电压/%	负载损耗/kW	电阻/mΩ			电抗/mΩ			电阻/mΩ			电抗/mΩ		
					D，yn11			D，yn11			Y，yn0			Y，yn0		
					正、负序	零序	相保	正、负序	零序	相保	正、负序	零序	相保	正、负序	零序	相保
					R_1、R_2 R	R_0	$R_{ph.p}$	X_1、X_2 X	X_0	$X_{ph.p}$	R_1、R_2 R	R_0	$R_{ph.p}$	X_1、X_2 X	X_0	$X_{ph.p}$
S9 S9－M	10/0.4	200	4	2.50 (2.60)	10	10	10	30.40	30.40	30.40	10 (10.40)	36	18.67 (18.93)	30.40 (30.26)	116	58.93 (58.84)
		250	4	3.05	7.81	7.81	7.81	23.75	23.75	23.75	7.81	29.2	14.94	23.75	100.2	49.23
		315	4	3.65	5.89	5.89	5.89	19.43	19.43	19.43	5.89	20.3	10.69	19.43	79.7	39.52
		400	4	4.30	4.30	4.30	4.30	15.41	15.41	15.41	4.30	15.1	7.90	15.41	63	31.27
		500	4	5.10	3.26	3.26	3.26	12.38	12.38	12.38	3.26	12.48	6.33	12.38	53.1	25.95
		630	4.5	6.20	2.50	2.50	2.50	11.15	11.15	11.15	2.50	8.7	4.57	11.15	40.24	20.85
		800	4.5	7.50	1.88	1.88	1.88	8.8	8.8	8.8	1.88	6.5	3.42	8.8	31.80	16.47
		1000	4.5	10.30	1.65	1.65	1.65	7.0	7.0	7.0	1.65	5.8	3.03	7.0	28.20	14.07
		1250	4.5	12.00	1.23	1.23	1.23	5.63	5.63	5.63	1.23	4.4	2.29	5.63	22.6	11.29
		1600	4.5	20.00 (14.5)	1.25	1.25	1.25	4.32	4.32	4.32	1.25 (0.91)	3.2	1.9 (1.67)	4.32 (4.41)	17.1	8.58 (8.64)

注：括号内数值为 S9－M 系列变压器数值。

表 8-1-30　单位长度母线的阻抗值

母线截面/mm²	有效电阻值/(MΩ·m⁻¹) 带负载情况下 $t=65℃$ 时		母线电抗/(MΩ·m⁻¹) 母线平放，且其相间距为 150/250mm		母线截面/mm²	有效电阻值/(MΩ·m⁻¹) 带负载情况下 $t=65℃$ 时		母线电抗/(MΩ·m⁻¹) 母线平放，且其相间距为 150/250mm	
	铜	铝	150mm	250mm		铜	铝	150mm	250mm
25×3	0.276	0.464	0.168	0.211	60×6	0.058	0.097	0.113	0.146
30×3	0.230	0.387	0.157	0.189	80×6	0.043	0.072	0.097	0.129
30×4	0.173	0.290	0.156	0.188	80×8	0.042	0.054	0.096	0.128
40×4	0.129	0.217	0.140	0.172	100×6	0.035	0.058	0.084	0.116
40×5	0.103	0.174	0.139	0.171	100×8	0.026	0.044	0.083	0.115
50×5	0.083	0.139	0.125	0.157	100×10	0.021	0.036	0.082	0.114
50×6	0.069	0.116	0.124	0.156	120×10	0.017	0.029	0.071	0.113

表 8-1-31　电流互感器一次线圈（二次线圈开路时）阻抗值

型号		变流比															
		5/5	7.5/5	10/5	15/5	20/5	30/5	40/5	50/5	75/5	100/5	150/5	200/5	300/5	400/5	500/5	600/5	750/5
LQG-0.5	电阻值/MΩ	600	266	150	66.7	37.5	16.6	9.4	6	2.66	1.5	0.667	0.575	0.166	0.125		0.04	0.04
	电抗值/MΩ	4300	2130	1200	532	300	133	75	48	21.3	12	5.32	3.0	1.33	1.03		0.3	0.3
0-49Y	电阻值/MΩ	480	213	120	53.2	30	13.3	7.5	4.8	2.13	1.2	0.532	0.3	0.133	0.075		0.03	0.03
	电抗值/MΩ	3200	1420	800	355	200	88.8	50	32	14.2	8.0	3.55	2	0.888	0.73		0.22	0.20
LQC-1	电阻值/MΩ		300	170	75	42	20	11	7	3	1.7	0.75	0.42	0.2	0.11	0.05		
	电抗值/MΩ		480	270	120	67	30	17	11	4.8	2.7	1.2	0.67	0.3	0.17	0.07		
LQC-3	电阻值/MΩ		130	75	33	19	8.2	4.8	3	1.3	0.75	0.33	0.19	0.088	0.05	0.02		
	电抗值/MΩ		120	70	30	17	8.0	4.2	2.8	1.2	0.7	0.3	0.17	0.08	0.04	0.02		

表 8－1－32　1000V 三芯纸绝缘铜芯电缆的单位长度阻抗

芯线截面/mm²		2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150
电阻值/（MΩ·m⁻¹）	正序及负序	9.05	5.65	3.77	2.26	1.41	0.905	0.647	0.452	0.323	0.238	0.188	0.151
	零　序	30.3	24.7	20.9	17.2	3.29	2.76	2.45	2.21	2.01	1.83	1.73	1.61
电抗值/（MΩ·m⁻¹）	正序及负序	0.098	0.092	0.087	0.082	0.078	0.067	0.064	0.062	0.06	0.058	0.058	0.057
	零　序	0.16	0.148	0.139	0.128	0.946	0.896	0.835	0.791	0.722	0.639	0.594	0.53

表 8－1－33　1000V 四芯纸绝缘铝芯电缆的单位长度阻抗

芯线截面/mm²		3×10+1×6	3×16+1×10	3×25+1×16	3×35+1×16	3×50+1×25	3×70+1×35	3×95+1×47.5	3×120+1×50	3×150+1×70
电阻值/（MΩ·m⁻¹）	正序及负序	3.84	2.39	1.54	1.10	0.768	0.548	0.404	0.319	0.256
	零　序	10.04	6.71	4.5	3.95	2.72	1.98	1.51	1.33	1.017
电抗值/（MΩ·m⁻¹）	正序及负序	0.088	0.084	0.074	0.070	0.068	0.066	0.064	0.064	0.063
	零　序	0.184	0.20	0.177	0.174	0.170	0.167	0.184	0.179	0.187

注：1. 电缆的电阻是当芯线为最大允许温度 80℃时的数值。

2. 当三芯和四芯电缆的截面在 10mm² 及以下时，其零序阻抗值是假定单相接地短路电流全部沿电缆本体（铅包皮）返回变压器零点；而截面大于 10mm² 的电缆，乃假定单相接地短路电流返回电流分布于铅皮及接零导体（考虑两条 40mm×4mm 扁铁的导电率）之间。

表 8－1－34　电路中各元件正序、负序和零序阻抗间的关系

电路元件名称	正序及负序		零　序	
	电　阻	电　抗	电　阻	电　抗
电力系统	$R_{1,s}=R_{2,s}=0$	$X_{1,s}=X_{2,s}$	0	0
变压器	$R_{1,Tr}=R_{2,Tr}$	$X_{1,Tr}=X_{2,Tr}$	$R_{0,Tr}=R_{1,Tr}$	$X^*_{0,Tr}$
电流互感器	$R_{1,CT}=R_{2,CT}$	$X_{1,CT}=X_{2,CT}$	$R_{0,CT}=R_{1,CT}$	$X_{0,CT}=X_{1,CT}$
自动开关	$R_{1,Au}=R_{2,Au}$	$X_{1,Au}=X_{2,Au}$	$R_{0,Au}=R_{1,Au}$	$X_{0,Au}=X_{1,Au}$
架空线路	$R_{1,l}=R_{2,l}$	$X_{1,l}=X_{2,l}$	$R^*_{0,l}$	$X^*_{0,l}$
电缆	$R_{1,cl}=R_{2,cl}$	$X_{1,cl}=X_{2,cl}$	$R^*_{0,cl}$	$X^*_{0,cl}$
电弧	$R_{1,EA}=R_{2,EA}$	0	$R_{0,EA}=R_{1,EA}$	0

3. 等效网络

等效网络的等值阻抗可按下式计算：

$$\left.\begin{aligned} X_\Sigma &= \Sigma X \\ R_\Sigma &= \Sigma R \end{aligned}\right\} \qquad (8-1-33)$$

当低压电网中有两台降压变压器并联运行时，就必须计算两个并联支路的等效阻抗。设 X_1、R_1 为某一台变压器的电抗和电阻，而 X_2、R_2 为另一台变压器的电抗和电阻，它们的等值电抗和等值电阻可按下式计算：

$$\left.\begin{aligned} R_{T\Sigma} &= \frac{R_1(R_2^2+X_2^2)+R_2(R_1^2+X_1^2)}{(R_1+R_2)^2+(X_1+X_2)^2} \\ X_{T\Sigma} &= \frac{X_1(R_2^2+X_2^2)+X_2(R_1^2+X_1^2)}{(R_1+R_2)^2+(X_1+X_2)^2} \end{aligned}\right\} \tag{8-1-34}$$

若两台变压器的型号相同，则可简化为：

$$\left.\begin{aligned} R_{T\Sigma} &= \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1+R_2} \\ X_{T\Sigma} &= \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1+X_2} \end{aligned}\right\} \tag{8-1-35}$$

4. 短路电流的计算

1）三相短路电流周期分量的计算

三相短路电流计算公式为

$$I''_{(3)} = \frac{U_{av}}{\sqrt{3}Z_\Sigma} = \frac{U_{av}}{\sqrt{3}\sqrt{R_\Sigma^2+X_\Sigma^2}} \tag{8-1-36}$$

式中 U_{av}——平均线电压，一般为400V；

Z_Σ——每相的总阻抗，MΩ；

R_Σ、X_Σ——每相的总电阻和总电抗，MΩ。

低压电网一般以三相短路电流为最大，与中性点是否接地无关。如在一相和两相上有电流互感器，而使各相短路电流不相等时，仍可按式（8-1-36）计算，但式中的 R_Σ 和 X_Σ 应采用没有电流互感器的那一相总电阻和总电抗。

如用 $I''_{(3)}$ 来校验电流互感器本身的稳定性时，应用下式来计算短路电流周期分量值：

$$I''_{(3)} = \frac{U_{av}}{\sqrt{(2R_\Sigma+R_{CT})^2+(2X_\Sigma+X_{CT})^2}} \tag{8-1-37}$$

式中 R_{CT}、X_{CT}——电流互感器的电阻和电抗值，MΩ。

2）不对称短路电流的计算方法

由于短路点距电源的距离很远，降压变压器容量与总电源容量相比甚小，因此可假定短路回路中的负序阻抗等于正序阻抗，所以可简化成下式计算：

$$\left.\begin{aligned} I''_{(2)} &= 0.87I''_{(3)} \\ I''_{(1)} &= \frac{\sqrt{3}U_\varphi}{2Z_{1\cdot\Sigma}+Z_{0\cdot\Sigma}} \end{aligned}\right\} \tag{8-1-38}$$

式中 $I''_{(2)}$——两相短路时的短路电流周期分量，kA；

$I''_{(1)}$——单相短路时的短路电流周期分量，kA；

U_φ——电网的相电压，V；

$Z_{1\cdot\Sigma}$、$Z_{0\cdot\Sigma}$——短路回路的合成总正序阻抗和总零序阻抗，MΩ。

若降压变压器为6～10/0.4kV，短路电压百分值 $U_k\%$ =4%、4.5%和5.5%时，变压器低压出口侧的短路电流周期分量见表8-1-35～表8-1-39。

表 8-1-35 6~10/0.4kV 变压器低压出口侧及折算到高压侧的三相短路电流值（$U_k\%=4\%$）

高压侧短路容量/(MV·A)	短路电流名称	变压器额定容量/(kV·A)														
		50			100			125			160			200		
		I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA
20	0.4kV 侧	1.72	3.05	2.02	3.25	5.93	3.92	3.96	7.635	5.148	4.92	9.65	6.04	5.86	11.59	7.26
	6kV 侧	0.109			0.206			0.251			0.312			0.372		
	10kV 侧	0.066			0.124			0.151			0.187			0.223		
50	0.4kV 侧	1.77	3.19	2.11	3.46	6.03	4.1	4.26	8.145	5.268	5.44	10.6	6.63	6.65	12.8	8.12
	6kV 侧	0.112			0.22			0.27			0.346			0.422		
	10kV 侧	0.0673			0.132			0.162			0.207			0.254		
100	0.4kV 侧	1.78	3.21	2.12	3.55	6.59	4.19	4.38	8.365	5.288	5.63	10.9	6.81	6.95	13.4	8.44
	6kV 侧	0.113			0.226			0.278			0.358			0.443		
	10kV 侧	0.0677			0.135			0.166			0.214			0.265		
150	0.4kV 侧	1.80	3.24	2.14	3.57	6.7	4.21	4.405	8.375	5.293	5.69	11	6.88	7.03	13.5	8.52
	6kV 侧	0.114			0.227			0.279			0.361			0.446		
	10kV 侧	0.0685			0.136			0.167			0.216			0.267		
200	0.4kV 侧	1.80	3.24	2.14	3.57	6.7	4.21	4.41	8.385	5.298	5.72	11	6.91	7.1	13.6	8.6
	6kV 侧	0.114			0.227			0.28			0.363			0.451		
	10kV 侧	0.085			0.136			0.168			0.218			0.27		
300	0.4kV 侧	1.80	3.24	2.14	3.6	6.75	4.24	4.45	8.465	5.338	5.73	11.1	6.92	7.15	13.7	8.65
	6kV 侧	0.114			0.228			0.282			0.363			0.454		
	10kV 侧	0.0685			0.137			0.169			0.218			0.272		
∞	0.4kV 侧	1.81	3.25	2.15	3.62	6.78	4.26	4.53	8.585	5.418	5.82	11.2	7.02	7.24	13.8	8.73
	6kV 侧	0.115			0.23			0.288			0.37			0.460		
	10kV 侧	0.069			0.138			0.173			0.212			0.276		

表 8-1-35（续）

高压侧短路容量/(MV·A)	短路电流名称	变压器额定容量/（kV·A）															
		250			315			400			500			630				
		I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	
20	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	6.84 0.434 0.26	14.14	8.7	8.29 0.525 0.315	17.37	10.59	9.84 0.623 0.374	20.88	12.84	11.0 0.696 0.418	23.8	14.68	12.23 0.78 0.468	27.69	16.94	
50	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	8.13 0.516 0.31	16.5	10.1	9.91 0.628 0.378	19.7	12.1	12.2 0.768 0.46	25.3	15.4	14.6 0.925 0.555	30.5	18.6	17.5 1.12 0.666	37.4	22.7	
100	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	8.55 0.57 0.326	17.2	10.6	10.62 0.675 0.405	21	12.9	13.3 0.845 0.50	27.2	16.6	15.9 1.01 0.605	32.8	20	19.8 1.26	41.6	25.2	
150	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	8.72 0.542 0.332	17.5	10.8	10.9 0.693 0.415	21.5	13.2	13.7 0.87 0.521	27.7	17.1	16.8 1.065 0.64	34.4	21	20.7 1.31 0.788	43.3	26.2	
200	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	8.8 0.558 0.336	17.7	10.8	11.0 0.67 0.418	21.7	13.3	13.9 0.881 0.53	28.3	17.3	17.1 1.085 0.65	34.9	21.3	21.2 1.34 0.81	44.2	26.7	
300	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	8.86 0.564 0.338	17.8	10.9	11.1 0.67 0.42	21.8	13.4	14.1 0.895 0.536	28.6	17.5	17.3 1.095 0.668	35.3	21.5	21.9 1.39 0.835	45.5	27.5	
∞	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	9.03 0.574 0.344	19.1	11.1	11.4 0.71 0.426	22.4	13.7	14.6 0.925 0.555	29.6	18	18.1 1.14 0.688	36.8	22.4	22.8 1.45 0.848	47.1	28.5	

表 8-1-36 6~10/0.4kV 变压器低压出口侧及折算到高压侧的三相短路电流值（$U_k\%=4.5\%$）

高压侧短路容量/(MV·A)	短路电流名称	变压器额定容量/(kV·A)																	
		100			180			240			320			420			560		
		I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA
20	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	2.97 0.189 0.113	5.61	3.61	5.00 0.318 0.19	10.45	6.265	6.24 0.396 0.237	12.78	7.86	7.9 0.501 0.30	16.64	10.31	9.32 0.59 0.354	20.86	12.71	11.4 0.725 0.434	25.8	15.8
50	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	3.10 0.197 0.118	5.98	3.76	5.45 0.346 0.235	10.8	5.66	7.05 0.448 0.268	14.4	8.87	9.12 0.578 0.346	18.9	11.8	11.5 0.751 0.437	23.1	14.9	14.6 0.926 0.555	31.7	19
100	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	3.14 0.1995 0.119	6.04	3.81	5.60 0.356 0.213	11.2	5.9	7.35 0.467 0.28	15	9.09	9.78 0.622 0.372	20	12.3	12.4 0.786 0.471	26.6	15.9	16.1 1.021 0.612	34.5	20.7
150	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	3.16 0.201 0.12	6.08	3.83	5.67 0.36 0.215	11.25	5.98	7.45 0.474 0.283	15.2	9.29	10.0 0.635 0.38	20.4	12.6	12.8 0.814 0.486	27.3	16.3	16.7 1.06 0.64	35.6	21.3
200	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	3.17 0.203 0.121	6.1	3.84	5.68 0.361 0.216	11.3	6	7.52 0.478 0.286	15.3	9.37	10.1 0.642 0.382	20.4	12.7	12.9 0.82 0.491	27.7	16.4	17.1 1.085 0.65	36.3	21.7
300	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	3.18 0.202 0.121	6.11	3.85	5.75 0.365 0.218	11.3	6.06	7.56 0.486 0.288	15.4	9.42	10.3 0.65 0.392	20.9	12.9	13.2 0.836 0.496	28	16.7	17.3 1.10 0.66	36.6	21.9
∞	0.4kV 侧 6kV 侧 10kV 侧	3.21 0.204 0.122	6.21	3.88	5.82 0.369 0.222	11.4	6.11	7.70 0.489 0.292	15.6	9.57	10.4 0.66 0.396	21.1	13	13.5 0.857 0.514	28.6	17.1	18.1 1.15 0.678	37.6	22.7

表 8-1-36（续）

高压侧短路容量/(MV·A)	短路电流名称	变压器额定容量/(kV·A)														
		750			800			1000			1200			1600		
		I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA
20	0.4kV 侧	13.35	31.55	19.31	13.48	32.56	19.86	15.4	30.86	23.55	16.9	44.02	27.12	18.65	51.05	31.32
	6kV 侧	0.847			0.856			0.98			1.07			1.18		
	10kV 侧	0.508			0.514			0.585			0.644			0.708		
50	0.4kV 侧	18.3	40.7	25	19.15	43.36	26.27	22.4	52.2	31.45	26.3	62.52	38	30.12	73.99	44.52
	6kV 侧	1.16			1.215			1.42			1.67			1.91		
	10kV 侧	0.695			0.728			0.852			1			1.145		
100	0.4kV 侧	20.9	43.7	27.4	21.9	48.61	29.26	26.4	60.1	36	31.4	72.72	43.9	38.1	80.05	53.72
	6kV 侧	1.33			1.39			1.68			1.98			2.52		
	10kV 侧	0.795			0.835			0.965			1.195			1.45		
150	0.4kV 侧	21.9	46.5	28.5	23.1	50.86	30.56	28.1	63.4	37.95	33.9	77.52	46.8	41.3	96.25	57.42
	6kV 侧	1.39			1.475			1.785			2.155			2.62		
	10kV 侧	0.835			0.88			1.07			1.29			1.57		
200	0.4kV 侧	22.3	47.1	28.9	23.8	52.36	31.36	29.0	65.1	38.95	35.4	80.42	48.4	42.95	99.35	59.32
	6kV 侧	1.43			1.515			1.845			2.25			2.72		
	10kV 侧	0.85			0.905			1.105			1.345			1.63		
300	0.4kV 侧	23.0	48.5	29.7	24.4	54.36	32.06	29.9	67	40.05	36.9	83.47	50.2	46	105.65	62.92
	6kV 侧	1.46			1.55			1.90			2.34			2.92		
	10kV 侧	0.875			0.928			1.18			1.4			1.75		
∞	0.4kV 侧	24.3	49.8	31.1	25.65	55.86	33.46	32.2	69.8	42.65	40.0	89.62	53.8	51.2	116.15	68.92
	6kV 侧	1.54			1.63			2.042			2.54			3.26		
	10kV 侧	0.935			0.975			1.225			1.52			1.95		

表 8-1-37 6~10/0.4kV 变压器低压出口侧三相短路电流值（$U_k\%=5.5\%$）

高压侧短路容量/(MV·A)	变压器额定容量/(kV·A)																	
	100			180			320			560			750			1000		
	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA	I''/kA	i_{kr}/kA	I_{km}/kA
20	2.46	4.53	2.68	4.18	7.70	4.56	6.86	12.61	7.47	10.4	19.12	11.33	12.7	23.4	13.83	15.3	28.15	16.68
50	2.55	4.69	2.78	4.42	8.13	4.82	7.58	13.95	8.26	12.1	22.25	13.20	15.4	28.35	16.79	19.2	35.30	20.90
75	2.57	4.73	2.80	4.50	8.28	4.90	7.82	14.40	8.52	12.8	23.55	13.95	16.6	30.55	18.1	21.1	38.8	23.0
100	2.58	4.75	2.81	4.56	8.39	4.96	7.98	14.70	8.69	13.2	24.30	14.38	17.3	31.8	18.85	22.0	40.5	24.0
150	2.59	4.77	2.82	4.59	8.45	5.00	8.10	14.90	8.83	13.6	25.05	14.82	17.7	32.6	19.30	23.3	42.9	25.4
200	2.60	4.78	2.83	4.62	8.50	5.03	8.16	15.00	8.90	13.8	25.40	15.03	18.3	33.7	19.94	24.0	44.20	26.15
300	2.61	4.80	2.84	4.65	8.56	5.07	8.25	15.20	9.0	14.0	25.75	15.26	18.7	34.4	20.4	24.6	45.20	26.8
500	2.62	4.82	2.85	4.66	8.57	5.08	8.30	15.28	9.05	14.2	26.15	15.48	19.0	35.0	20.7	25.3	46.6	27.6
∞	2.63	4.83	2.86	4.67	8.58	5.09	8.40	15.37	9.16	14.5	26.70	15.80	19.5	35.9	21.25	26.1	48.0	28.45

表 8－1－38 6～10/0.4kV SJL_1 型变压器低压侧短路计及母线阻抗影响后短路电流减少的百分数

变压器容量/(kV·A)	100	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
短路电流相应减少百分数/%	当计及低压母线长度为4m时											
	2～3	2～3	3	4～5	3～5	4～6	4～6	5～6	6～8	5～9	8～12	10～15
	当计及低压母线长度为10m时											
	5～6	6～7	8	8～9	9～11	9～12	10～13	13～16	13～17	15～21	20～26	20～30

注：短路电流相应减少的百分数，其下限适用于系统短路容量为50MV·A，而上限适用于短路容量为∞。

表 8－1－39 6～10/0.4kV 变压器低压侧短路计及母线阻抗影响后短路电流减少的百分数

变压器容量/(kV·A)		50	100	180	240	320	420	560	750	1000	1800
短路电流相应减少百分数/%	SJL系列铝线变压器	当计及低压母线长度为4m时									
		2	2	3	3	3～4	4	5	5～7	8～9	8～16
		当计及低压母线长度为10m时									
		5	5	8	8	8	10～11	11～13	13～14	16～19	19～30
	SJ系列铜线变压器	当计及低压母线长度为4m时									
		2～3	4	3		3～5		5～6	5～7	6～8	11～12
		当计及低压母线长度为10m时									
		4～5	6～7	6～11		7～10		11～13	15～16	14～18	19～27

1.2.2.5 不对称短路电流计算

不对称短路是供电系统中故障几率比较高的故障类型，而且不对称短路电流又是继电保护整定所需要的，因此掌握不对称短路计算方法是很重要的。

不对称短路主要是两相短路和大接地电流系统的单相接地和两相接地故障。它与三相对称性短路相比，计算方法较复杂，这是因为不对称短路时，各相的电流、电压不相同，不能像三相对称短路那样取其一相计算。为了计算不对称短路电流，可以根据三相电路建立各相的方程式然后联立求解。用这种方法计算较复杂，工作量大，通常采用对称分量法计算。

1. 对称分量法

利用对称分量法进行不对称短路电流计算的依据是：任意一组三相不对称的量（如电压、电流、电势等），在一般情况下都可以用三组对称的量之和的形式来表示，这三组对称的量就称为已知的不对称量的对称分量。这三组对称分量之间的区别在于它们的相序，分别称为正序、负序和零序分量。

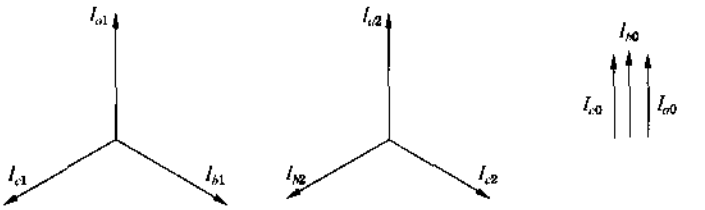
1）正序分量

它是3个绝对值彼此相等，而相位互差120°的一组向量。如果向量是按逆时针方向旋转，其旋转的顺序是 $a—b—c$，即 I_{a1} 超前 I_{b1} 120°，I_{b1} 超前 I_{c1} 120°，如图 8－1－12a 所

示。它是属于对称而且平衡的系统，其注脚 a、b、c 表示 a、b、c 三相的向量，而注脚“1”表示正序向量。

2）负序分量

它是 3 个绝对值彼此相等，而相位互差 240°的一组向量。如果按逆时针方向旋转，其旋转顺序则为 a—c—b。即向量 I_{a2} 超前 I_{c2}120°，而 I_{c2} 超前 I_{b2}120°，如图 8－1－12b 所示。它也是既对称又平衡的系统，用注脚“2”表示负序向量。



（a）正序分量　　（b）负序分量　　（c）零序分量

图 8－1－12　对称分量

3）零序分量

它是 3 个绝对值彼此相等而且相位相同的一组向量，如图 8－1－12c 所示。它是属于对称但不平衡的系统，因为只有不平衡系统，才有零序分量存在。用注脚“0”表示零序分量。

设 u_a、u_b、u_c 为一组三相不对称电压，取 A 相为参考相，以 u_1、u_2、u_0 分别表示它的正序、负序和零序对称分量。根据三相电路理论，并参考图 8－1－12，则有下列关系存在：

$$\left.\begin{aligned}\dot{U}_a &= \dot{U}_{a0} + \dot{U}_{a1} + \dot{U}_{a2} = \dot{U}_0 + \dot{U}_1 + \dot{U}_2 \\ \dot{U}_b &= \dot{U}_{b0} + \dot{U}_{b1} + \dot{U}_{b2} = \dot{U}_0 + a^2\dot{U}_1 + a\dot{U}_2 \\ \dot{U}_c &= \dot{U}_{c0} + \dot{U}_{c1} + \dot{U}_{c2} = \dot{U}_0 + a\dot{U}_1 + a^2\dot{U}_2\end{aligned}\right\} \tag{8-1-39}$$

以矩阵形式表示为

$$\begin{pmatrix}\dot{U}_a \\ \dot{U}_b \\ \dot{U}_c\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\dot{U}_0 \\ \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2\end{pmatrix} \tag{8-1-40}$$

或记为

$$U_{abc} = AU_{012} \tag{8-1-41}$$

由式（8－1－41）可得

$$U_{012} = A^{-1}U_{a0} \tag{8-1-42}$$

A^{-1} 是 A 的逆矩阵，则为

$$A^{-1} = \frac{1}{3}\begin{pmatrix}1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a\end{pmatrix} \tag{8-1-43}$$

由此求得对称分量的计算式为

$$\begin{pmatrix}\dot{U}_0\\ \dot{U}_1\\ \dot{U}_2\end{pmatrix}=\frac{1}{3}\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & a & a^2\\ 1 & a^2 & a\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\dot{U}_a\\ \dot{U}_b\\ \dot{U}_c\end{pmatrix} \tag{8-1-44}$$

同样，对于三相不对称电流和它的各序对称分量之间也有式（8-1-43）和式（8-1-44）的形式。在三相对称线性电路中，各序对称分量具有相互独立性。例如，正序电压在对称三相电路中仅产生正序电流，其他两序电压也只产生本相序的电流，这样可以对正序、负序和零序分量分别进行计算。

当供电系统发生不对称短路故障时，只是故障点的三相对称性遭到破坏，而系统的其余部分还是对称的。对于不对称短路的计算，可以使用对称分量法把故障点的不对称电压用正序、负序和零序分量来表示。对于每个相序分量，电路都是三相对称的，可分别按三相对称电路的方法进行计算。最后按叠加原理将各序的结果相加，即得到不对称短路故障电流。

2. 序电抗

为了进行不对称短路计算，必须首先知道供电系统中各种元件的正序（X_1）、负序（X_2）和零序（X_0）电抗值。正序电抗就是进行三相对称短路计算时所采用的电抗。下面讨论各元件的负序和零序电抗。

1）负序电抗

凡是静止的三相对称结构的设备如架空线、电缆线路、变压器、电抗器、电容器等，其负序电抗等于正序电抗，即 $X_2=X_1$。这是因为相序的改变，并不使上述元件的自感和互感系数发生变化，因此负序电抗值也就不变。

对于旋转电机，负序电抗与正序电抗不同，这是由于负序电流产生的旋转磁场方向与转子的转向相反造成的。同步电机的负序电抗，一般由制造厂提供。

在异步机通以负序电流时，产生反方向的旋转磁场，其转差率约为2。这时的负序参数与电动机启动时（$s=1$）的情况差不多，故通常用启动时的电抗值作为其负序电抗，其标么值为

$$X_2=X_{st}=\frac{1}{K_{st}}=0.2 \tag{8-1-45}$$

式中 X_{st}——电动机启动时的电抗值；

K_{st}——电动机启动电流倍数，一般取5。

2）零序电抗

由于三相零序电流都同相，所以在三相系统中，零序电流是否存在取决于变压器或发电机中性点接地方式。

对于中性点不接地系统，零序电流不能形成通路，元件的零序电抗可看成无穷大。因此，只对中性点接地的元件考虑其零序电抗。

（1）输电线路的零序电抗。架空输电线路的零序电抗进行精确计算是比较复杂的。因为零序电流在输电线中构成回路，必须经过大地流回；而电流在地中的分布，影响因素很多，计算比较困难。因此，在实际工程计算中，多采用近似公式计算。

输电线路的零序电抗与线路的回路数及有无架空地线等因素有关。这是因为回路数多时，每回线路的三相零序电流之和不为零，各回线之间将产生互感，从而使每回线的零序电抗增大。有架空地线时，零序电抗要明显地减小，这是由于架空地线与大地形成闭合回路，它对输电线上流过零序电流时所产生的磁通具有“去磁”作用，所以将减少线路的零序电抗。零序电抗的近似计算公式如下。

无架空地线单回路三相输电线路：

$$X_0 = 0.435\lg\frac{h}{\sqrt[3]{rD^2}} \tag{8-1-46}$$

$$h = \frac{2.085}{\sqrt{f\lambda 10^{-9}}}\times 10^{-3} \tag{8-1-47}$$

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \tag{8-1-48}$$

式中　h——地中等值导线的等值深度，m；

f——电流频率，Hz；

λ——地的导电系数，$1/(\Omega\cdot cm)$；

r——导线的等值半径，m；

D——三线间的几何均距，m。

无架空地线的平行双回线路：

每回线的零序电抗除了式(8-1-46)的自感抗外，还存在两回线之间的零序互感抗：

$$X_{0m} = 0.435\lg\frac{h}{D_{\mathrm{I-II}}} \tag{8-1-49}$$

式中　$D_{\mathrm{I-II}} = \sqrt[9]{D_{11}D_{12}D_{13}D_{22}D_{23}D_{21}D_{33}D_{31}D_{32}}$，是回路Ⅰ和Ⅱ之间的几何均距（m）。

最后得每回线零序电抗为

$$X_0' = X_0 + X_{0m} \tag{8-1-50}$$

有架空地线的单回输电线路：

当装一根地线时，零序电抗为

$$X'' = X_0 - \frac{X_{0\tau-4}}{X_{04}} \tag{8-1-51}$$

$$X_{0\tau-4} = 0.435\lg\frac{h}{D_{\tau-4}} \qquad X_{04} = 0.435\lg\frac{h}{r_4}$$

式中　X_0——无架空地线时的线路零序电抗；

$X_{0\tau-4}$——架空地线和输电线间的零序互感电抗；

X_{04}——架空地线的零序电抗，Ω/km；

$D_{\tau-4}$——架空地线和输电线间的几何均距；

r_4——架空地线的等值半径，m。

架空线路的各序电抗平均值可参考表 8-1-40。

电缆的零序电抗：

三芯电缆的零序电抗，可近似用下式计算：

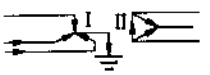
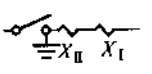
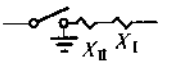
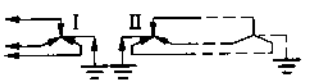
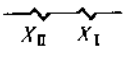
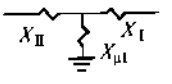
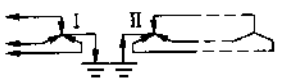
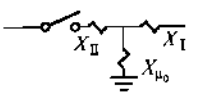
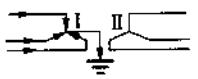
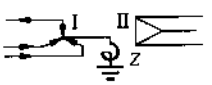
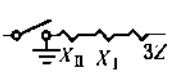
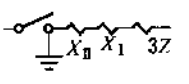
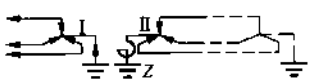
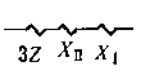
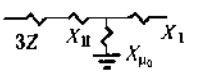
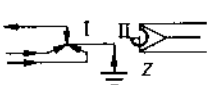
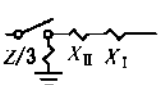
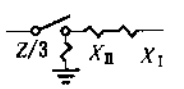
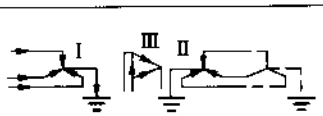
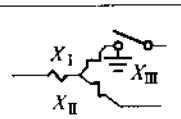
$$X_0 = (3.5\sim 4.6)X_1 \tag{8-1-52}$$

式中　X_0，X_1 分别为零序和负序电抗。

表 8-1-40 架空线路各序电抗的平均值

架空线路种类		正序电抗和负序电抗	零序电抗/(Ω·km⁻¹)	备 注
无接地线的架空线路	单回线	$X_1=X_2=0.4\Omega/km$	$X_0=3.5X_1=1.4$	
	双回线		$X_0=5.5X_1=2.2$	每回路数值
有钢质接地线的架空线路	单回线		$X_0=3X_1=1.2$	
	双回线		$X_0=5X_1=2.0$	每回路数值
有良导体接地线的架空线路	单回线		$X_0=2X_1=0.8$	
	双回线		$X_0=3X_1=1.2$	每回路数值

表 8-1-41 变压器零序电抗计算公式

类型	接线图	三个单相、三相四柱或壳式变压器		三相三柱式变压器	
		等值阻抗	零序电抗计算公式	等值阻抗	零序电抗计算公式
双卷变压器			$X_0=X_1$		$X_0=X_1$
			$X_0=X_1$		
			$X_0=\infty$		$X_0=X_1+X_{\mu 0}$
			$X_0=\infty$		$X_0=X_1+X_{\mu 0}$
			$X_0=X_1+3Z$		$X_0=X_1+3Z$
			$X_0=X_1+3Z$		
					$X_0=X_1+\frac{Z}{3}$
三卷变压器					

（2）变压器的零序电抗。变压器的零序电抗与变压器的构造及线圈的接法有关。若制造厂未提供此数据，可按表 8－1－41 所给的公式计算。

3. 序网络的组成

当一个阻抗对称的三相系统，由正常的对称状态变成不对称的故障状态时，可将其不对称电压及电流系统分解成 3 个对称系统，即正序、负序和零序系统。即一个不对称的实际网络，可用 3 个对称的假想网络代替，这些网络分别为正序网络、负序网络和零序网络。因为 3 个网络是三相对称的，所以可取其一相等值电路进行计算。

图 8－1－13 中 $\dot{U}_1$、$\dot{U}_2$、$\dot{U}_0$ 是故障点 K 处的三相不对称电压，经过变换后得到的正序、负序和零序电压。它们分别作用在各相序网络的故障点处，其作用与电势相当。在各相序网络中分别流过本相序的电流，只有在正序网络中才作用产生电源电势 E_1。图中标出电压和电流的正方向。

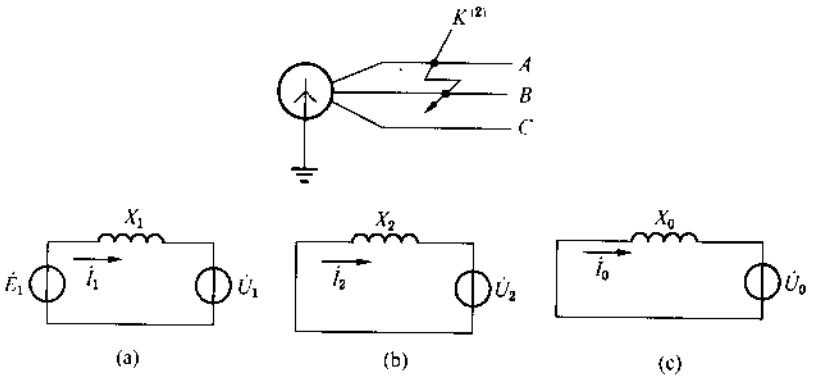


图 8－1－13　各序网络图

各相序网络中的电抗 X_1、X_2、X_0 代表系统中各元件的等效序电抗值。序网络的拟制方法如下。

1）正序网络

它与计算三相对称短路时的等效电路相同，所不同的是短路点处的电压不等于零，而是作用着正序电压 U_1。

2）负序网络

除电源电势为零外，负序网络的组成与正序网络完全相同，只是各元件的电抗要用负序参数表示。由于发电机的负序电势为零，所以在负序网络中，电源支路的电势为零，但在短路点加入负序电压 U_2。

3）零序网络

供电系统的零序网络的组成，取决于零序电流可能流通的路径，尤其与变压器接线方法及中性点接地与否关系极大。现以图 8－1－14 为例说明作图思路方法。

假设电路在 K_1 点发生单相接地短路时，从短路点开始向两个方向查明零序电流可以流通的路径。变压器 T_1 副边（Ⅱ）经电抗 X_L 接地，变压器 T_2 原副边均直接接地，负载中点也直接接地，故得到零序网络，如图 8－1－14b 所示。在短路点 K_1 处作用一零序电

压分量 U_{0K1}。需要特别注意的是，若变压器中点经阻抗接地时，在零序网络中该阻抗 X_L 应以实际值的3倍表示，这是因为零序网络图中的其他元件上通过的是一相零序电流，而中性点接地阻抗上流过的是3倍零序电流。

若接地故障发生在 K 点时（图8－1－14a），由于变压器 T_1 原边为三角形接法，发电机（或电源）中性点未接地，在整个网络中没有零序电流的通路，因此不存在零序网络。

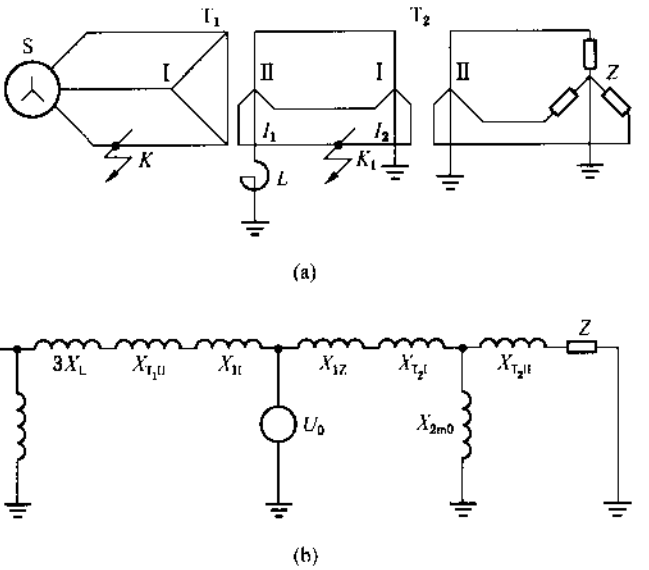


图8－1－14 零序网络

4. 各种不对称短路电流的计算

用对称分量法计算不对称短路电流的步骤大致如下：首先计算故障点处的各序电压和电流，共有6个未知数，需列出6个方程式求解。根据系统的序网络可列出3个方程式，由不对称短路的特征（所谓边界条件）再列出3个方程式，然后代入电压、电流对称分量矩阵方程求解，算出各序电流电压，进而求出故障处的三相电压和电流。下面分析各种不对称短路电流的计算方法。

1）两相短路

图8－1－15表示一供电系统在 K 点发生 B、C 两相短路。电流的正方及等效序网络如图8－1－16所示。可根据此图列出下列方程式：

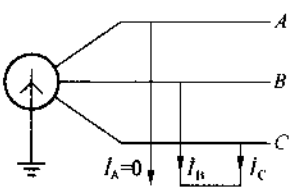


图8－1－15 两相短路

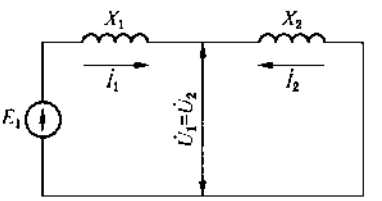


图8－1－16 两相短路复合序网

$$\left.\begin{aligned}\dot{U}_1 &= \dot{E}_1 - \dot{I}_1(jX_1)\\ \dot{U}_2 &= -\dot{I}_2(jX_2)\\ \dot{U}_0 &= -\dot{I}_0(jX_0)\end{aligned}\right\} \tag{8-1-53}$$

式中　X_1、X_2、X_0——系统等效的正序、负序和零序电抗。

这一组公式对各种类型的不对称故障都适用。据 B、C 两相短路故障的情况，可得边界条件如下：

$$\left.\begin{aligned}\dot{I}_A &= 0\\ \dot{I}_B &= -\dot{I}_C\\ \dot{U}_B &= \dot{U}_C\end{aligned}\right\} \tag{8-1-54}$$

式中　$\dot{U}_B$、$\dot{U}_C$——短路点 B、C 两相的相电压。

将边界条件分别代入电压、电流对称分量矩阵方程可得

$$\begin{pmatrix}\dot{I}_0\\ \dot{I}_1\\ \dot{I}_2\end{pmatrix} = \frac{1}{3}\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & a & a^2\\ 1 & a & a^2\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\ \dot{I}_B\\ -\dot{I}_B\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\ \frac{j}{\sqrt{3}}\dot{I}_B\\ \frac{-j}{\sqrt{3}}\dot{I}_B\end{pmatrix} \tag{8-1-55}$$

即

$$\left.\begin{aligned}\dot{I}_1 &= -\dot{I}_2 = \frac{j}{\sqrt{3}}\dot{I}_B\\ \dot{I}_0 &= 0\\ \dot{U}_1 &= \dot{U}_2\end{aligned}\right\} \tag{8-1-56}$$

将式（8 1 56）代入式（8 1 53），解得

$$\left.\begin{aligned}U_0 &= 0\\ \dot{U}_1 = \dot{U}_2 &= \frac{\dot{E}_1 X_2}{X_1 + X_2}\\ \dot{I}_1 = -\dot{I}_2 &= \frac{\dot{E}_1}{j(X_1 + X_2)}\\ \dot{I}_B = -\dot{I}_C &= \frac{-\sqrt{3}\dot{E}_1}{X_1 + X_2}\end{aligned}\right\} \tag{8-1-57}$$

将式（8－1－57）代入电压矩阵方程式，求得各相电压为

$$\begin{pmatrix}\dot{U}_A\\ \dot{U}_B\\ \dot{U}_C\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & a^2 & a\\ 1 & a & a^2\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\ \frac{\dot{E}_1 X_2}{X_1 + X_2}\\ \frac{\dot{E}_1 X_2}{X_1 + X_2}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\frac{2\dot{E}_1 X_2}{X_1 + X_2}\\ \frac{-\dot{E}_1 X_2}{X_1 + X_2}\\ \frac{-\dot{E}_1 X_2}{X_1 + X_2}\end{pmatrix} \tag{8-1-58}$$

从式（8－1－57）分析可知，把序网络图适当连接起来可组成一个复合序网。两相短路的复合序网如图 8－1－16 所示。对复合序网进行计算可直接得出上述公式的结果。这种计算方法简便，得到广泛采用。

2）单相接地短路

单相接地短路的故障情形如图 8－1－17 所示。电源中性点直接接地，其边界条件（以 A 相为参考相）为

$$\left.\begin{aligned}\dot{I}_B=\dot{I}_C=0\\ \dot{U}_A=0\end{aligned}\right\} \tag{8-1-59}$$

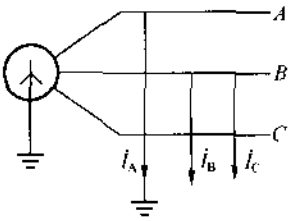


图 8－1－17 单相接地短路

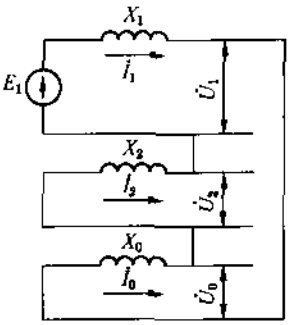


图 8－1－18 单相接地复序网

按上述相似过程可解得

$$\left.\begin{aligned}&\dot{I}_1=\dot{I}_2=\dot{I}_3=\dot{I}_A/3\\ &\dot{U}_1+\dot{U}_2+\dot{U}_0=\dot{E}_1-j\dot{I}_1X_1-j\dot{I}_1X_2-j\dot{I}_2X_0=0\\ &\dot{I}_1=\dot{I}_2=\dot{I}_0=\frac{\dot{E}_1}{j(X_1+X_2+X_0)}\\ &\dot{I}_A=3\dot{I}_1=\frac{3\dot{E}_1}{j(X_1+X_2+X_0)}\end{aligned}\right\} \tag{8-1-60}$$

也可根据式（8－1－60），绘出单相接地复序网，如图 8－1－18 所示，直接计算出各相序的电流。

3）两相接地短路

设 B、C 两相接地短路，如图 8－1－19 所示。其边界条件为

$$\left.\begin{aligned}\dot{U}_B=\dot{U}_C=0\\ \dot{I}_A=0\end{aligned}\right\} \tag{8-1-61}$$

按上述相似过程可解得

$$\left.\begin{aligned}
&\dot{U}_1=\dot{U}_2=\dot{U}_0=\frac{\dot{U}_A}{3}\\
&\dot{I}_A=\dot{I}_1+\dot{I}_2+\dot{I}_0=0\\
&\dot{I}_1=\frac{\dot{E}_1}{j\left(X_1+\dfrac{X_2X_0}{X_2+X_0}\right)}=\frac{\dot{E}_1(X_2+X_0)}{j(X_0X_1+X_0X_2+X_1X_2)}\\
&\dot{I}_2=-\frac{X_0}{X_2+X_0}\dot{I}_1=\frac{-\dot{E}_1X_0}{j(X_0X_1+X_0X_2+X_1X_2)}\\
&\dot{I}_0=-\frac{X_2}{X_2+X_0}\dot{I}_2=\frac{-\dot{E}_1X_2}{j(X_0X_1+X_0X_2+X_1X_2)}
\end{aligned}\right\}\qquad(8-1-62)$$

根据式（8－1－62），可给出复合序网，如图 8－1－20 所示。

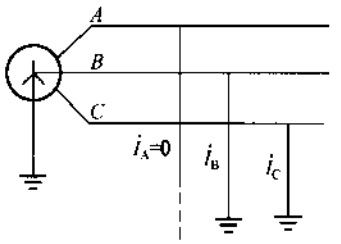


图 8－1－19　两相接地短路

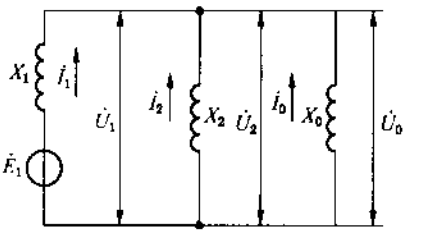


图 8－1－20　两相接地复合序网

根据上述讨论可以看出，不同短路类型，正序电流分量 $\dot{I}_1$ 有一定的规律性，可用式（8－1－63）表示：

$$I_1^{(n)}=\frac{\dot{E}_1}{j(X_1+X_\Delta^{(n)})}\qquad(8-1-63)$$

$X_\Delta^{(n)}$ 为由短路类型所决定的成分。式（8－1－63）称为正序等效定则。

算得正序电流分量后，还可通过下式计算出故障相中短路电流的绝对值，其式为

$$I_k^{(n)}=M^{(n)}I_1^{(n)}$$

式中　$M^{(n)}$——由短路类型所决定的系数，见表 8－1－42。

1.2.3　电容电流估算

1.2.3.1　架空线路电容电流估算

6～35kV 架空线路的单位长度单相接地电容电流可按表 8－1－43 进行估算。

1.2.3.2　电力电缆电容电流估算

单位长度电力电缆的电容电流，与其界面、材质及运行电压等有关。目前电力部门在估算接地电容电流时，多按照电力系统设计手册所提供的计算方法来进行。即 6～10kV 电

表 8-1-42 短路类型系数

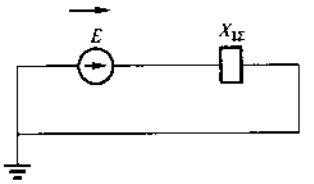
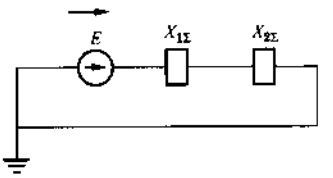
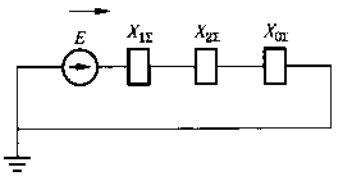
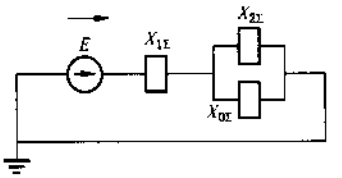
短路类型	复合序网	$X_{\Delta}^{(n)}$	$M^{(n)}$
三相短路 $K^{(3)}$		0	1
两相短路 $K^{(2)}$		$X_{2\Sigma}$	$\sqrt{3}$
单相短路 $K^{(1)}$		$X_{2\Sigma}+X_{0\Sigma}$	3
两相接地短路 $K^{(1,1)}$		$\dfrac{X_{2\Sigma}X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma}+X_{0\Sigma}}$	$\sqrt{3}\sqrt{1-\dfrac{X_2X_0}{(X_2+X_0)^2}}$

表 8-1-43 架空线路单相接地电容电流 A/km

额定电压/kV	单回路		双回路	
	无地线	有地线	无地线	有地线
6	0.02		0.028	
10	0.03		0.042	
35	0.10	0.13	0.140	0.180

缆线路每公里长度的单相接地电容电流按下式计算：

6kV
$$I_{C6}=\frac{95+2.84S}{2200+6S}\cdot U_N \tag{8-1-64}$$

10kV
$$I_{C10}=\frac{95+1.44S}{2200+0.23S}\cdot U_N \tag{8-1-65}$$

式中 S——电缆芯线截面，mm^2；

U_N——电缆额定电压，kV。

为了简化计算，6～10kV 电缆线路每千米长度的电容电流值列于表 8－1－44。

表 8－1－44　6～10kV 电缆线路单位长度的电容电流（A·km^{-1}）

电压/kV	电缆截面/mm^2											
	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
6	0.33	0.37	0.46	0.52	0.59	0.71	0.82	0.89	1.10	1.20	1.30	1.50
10	0.46	0.52	0.62	0.69	0.77	0.90	1.00	1.10	1.30	1.40	1.60	1.80

目前广泛采用的交联聚乙烯绝缘电力电缆，由于其结构特点，其单相接地电容电流比同截面的纸绝缘电缆的电容电流大，根据厂家提供的参数和现场实测数据，大约增大 20% 左右，其值见表 8－1－45。

表 8－1－45　6～10kV 交联聚乙烯电缆单位长度的电容电流

标称截面/mm^2	6kV		10kV	
	电容/(μF·km^{-1})	电流/(A·km^{-1})	电容/(μF·km^{-1})	电流/(A·km^{-1})
16	0.17	0.58		
25	0.19	0.65		
35	0.21	0.72		
50	0.23	0.79	0.2	1.19
70	0.26	0.89	0.22	1.31
95	0.28	0.96	0.25	1.49
120	0.30	1.03	0.27	1.61
150	0.33	1.13	0.29	1.73
185	0.36	1.23	0.32	1.91
240	0.40	1.37	0.35	2.09
300			0.39	2.33
400			0.43	2.57
500			0.47	2.81

1.3　矿井地面供电

1.3.1　地面供电系统

矿井地面供电系统包括地面变电所和高、低压配电网。矿井地面变电所是煤矿供电的

枢纽，进线电压一般为35kV和6kV（或10kV），大型矿井也有110kV的。

1. 作用

矿山地面变电所担负着向井上、井下变配电的任务。

2. 主接线

矿井地面变电所的主变压器一般选用两台，当一台停止运行时，其余主变压器容量应能保证矿井全部一级、二级负荷用电需要。有两回进线的变电所的各级电压主母线，一般采用分段单母线。出线回数较多、连接的电源较多、负荷大或污浊环境中的35～60kV户外配电装置，可采用双母线。

1）主变压器一次侧接线

对于35～110kV侧的接线，矿区系统内的变电所应根据具体情况选择下列常用的接线方式：

（1）桥式接线。桥式接线依据桥位置的不同分为内桥、外桥和全桥3种。内桥适用于经常倒换线路的场合，外桥便于倒换变压器，全桥则便于倒换线路和变压器。目前煤矿用的较多的是全桥。

（2）双母线接线。对于出线回路较多、负荷较大的矿区变电所常采用双母线接线方式。

2）主变压器二次侧的接线

对于6～10kV侧的接线，矿井一般均采用单母线分段接线，且用断路器分段；而中、小型矿井，因主变压器容量较小且出线回路数较少，可采用隔离开关分段。

无电力变压器且出线回路较少矿井的6～10kV配电所，也可采用单母线分段接线。对于5台以上主变压器的变电所，可考虑采用双母线或带旁路母线的接线方式。

3. 地面变电所位置选择及布置

矿井地面变电所位置的选择原则：

（1）靠近主要负荷和入井电缆井筒，以便减少金属导线消耗量，降低电能损耗。

（2）架空线与变电所地址同时确定，以便给各级电压线路进出变电所留有走廊。

（3）地势合适，避免洪水和雷电的威胁。尽量不设在空气污浊的地区（否则需采取防污措施），应将其设在常年主导风向上风侧，以避开污染源。

（4）使其具有适宜的地形及地质条件，如避开滑坡区、塌陷区。

（5）不应设在采矿场爆破危险区和炸药库爆炸危险区；不应设在稳定的排废场内，并与之有适当的安全距离；变电所的生产建筑物和构筑物与运输繁忙的标准轨道铁路的距离一般不小于40m。

（6）交通方便，利于变、配电设备的运输。

（7）应有扩展的余地。

（8）节约用地、少占或不占良田。

地面变电所的布置是根据电压等级、各级电压配电装置的形式、母线种类、出线走廊的条件以及地形情况等因素来决定的，主要分为户内式和户外式两种形式。

10kV、35kV及以下电压等级的配电装置常采用户内式成套配电装置；35kV、110kV及以上电压等级的配电装置在工业广场较大、无污染的矿山，可采用户外架构式的配电装置。

在电气设备布置中，为保证运行时电气设备人员的安全，以及检修维护和搬运的方便，要按照《高压配电装置设计技术规程》中对室内外配电装置的各部件间最小的电气绝缘安全距离进线布置。

4. 主接线示例

图 8－1－21 和图 8－1－22 为不同电压等级的矿井地面主变电所的主接线图。其接线方式均为全桥接线。

主要通风机、提升人员的立井绞车、抽放瓦斯泵等主要设备房为一级负荷，应各有两回路直接由变（配）电所送出的供电线路；受条件限制时，其中的一回路可引自上述同种设备房的配电装置。图 8－1－23 和图 8－1－24 分别为某矿通风机房和绞车房变电所的主接线图，其均为单母线分段。

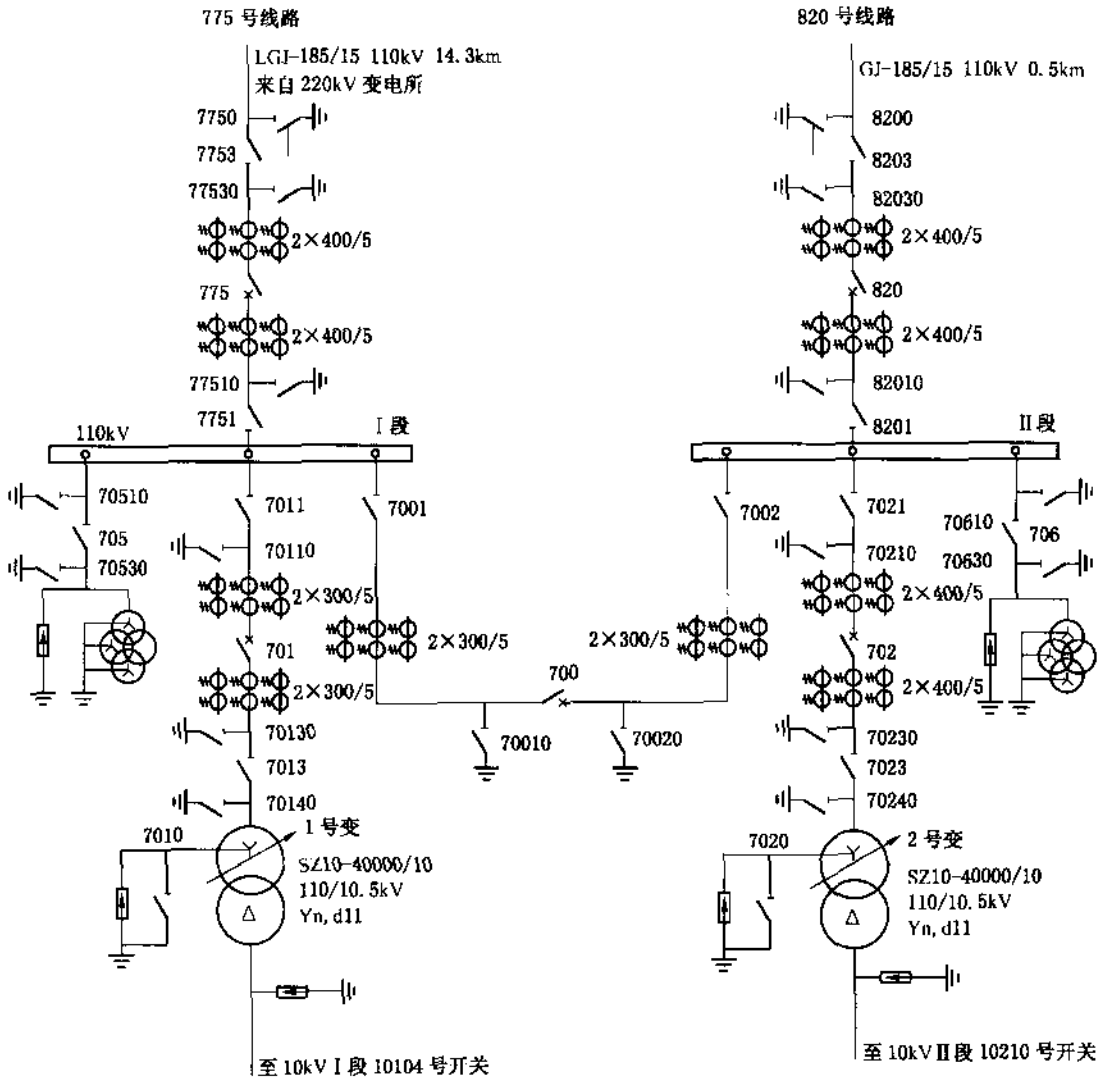


图 8－1－21　电压等级为 110kV 的变电所主接线图

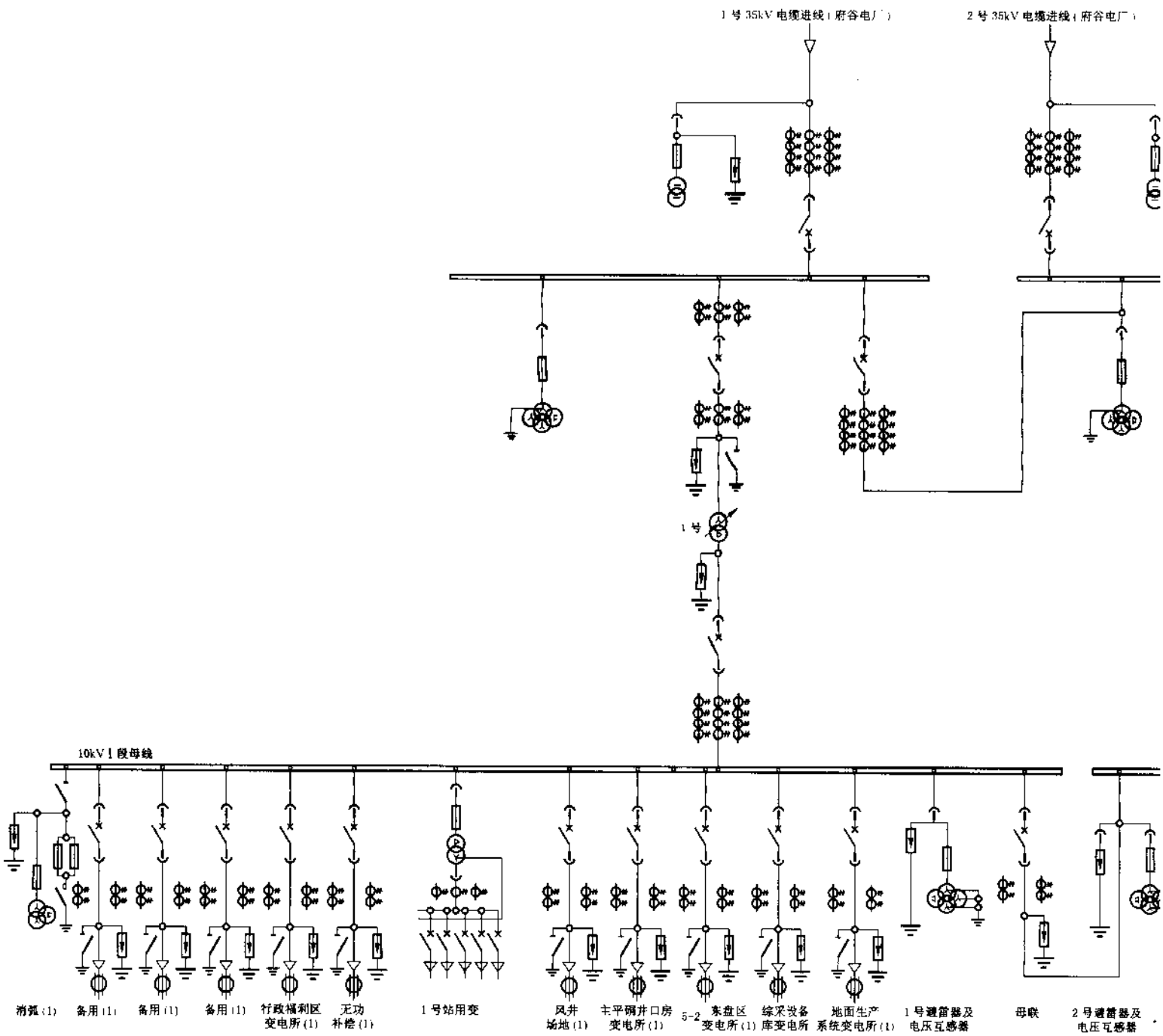
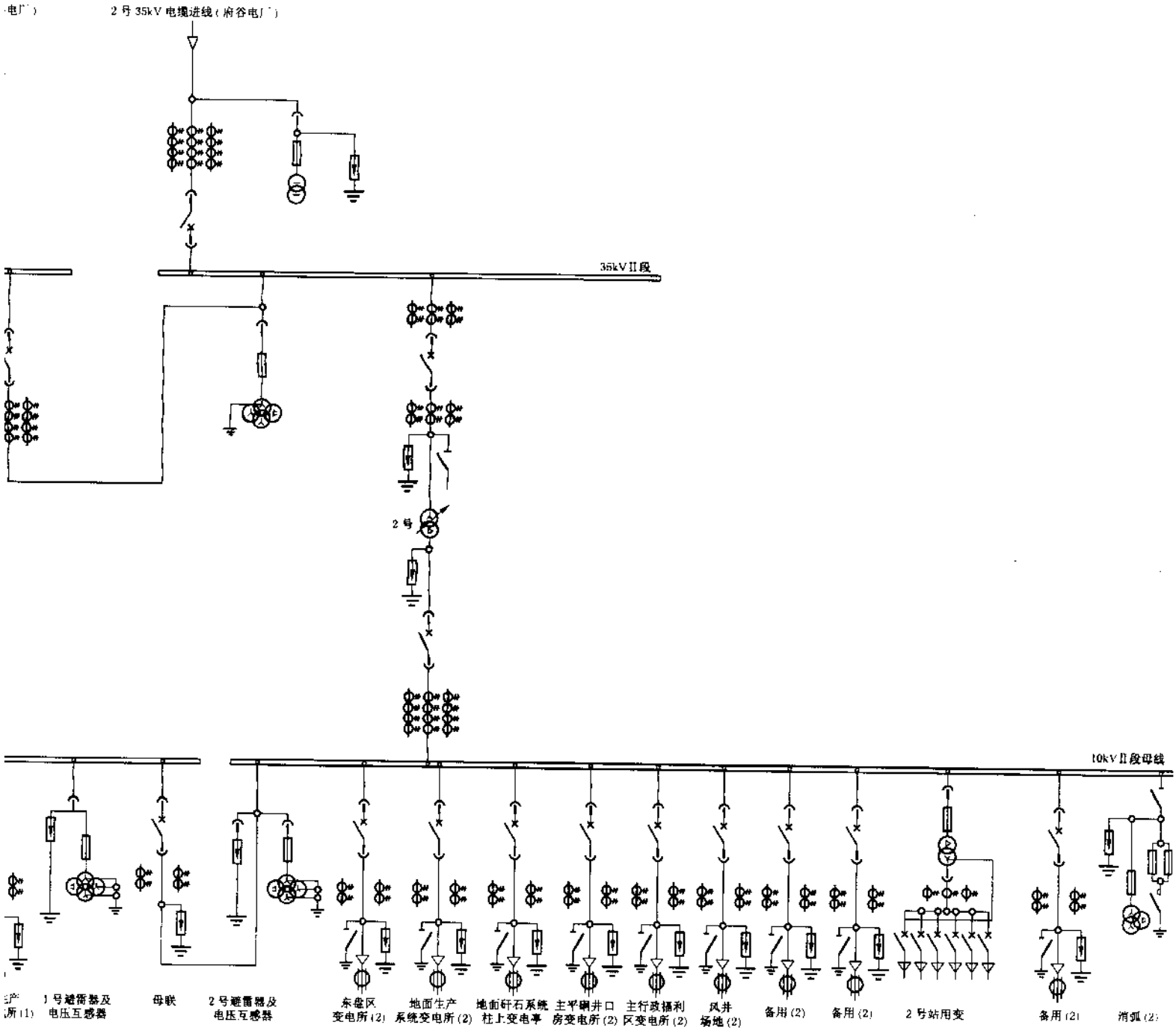


图 8-1-22　电压等级为 35kV 的变电所主接线图



电压等级为35kV的变电所主接线图

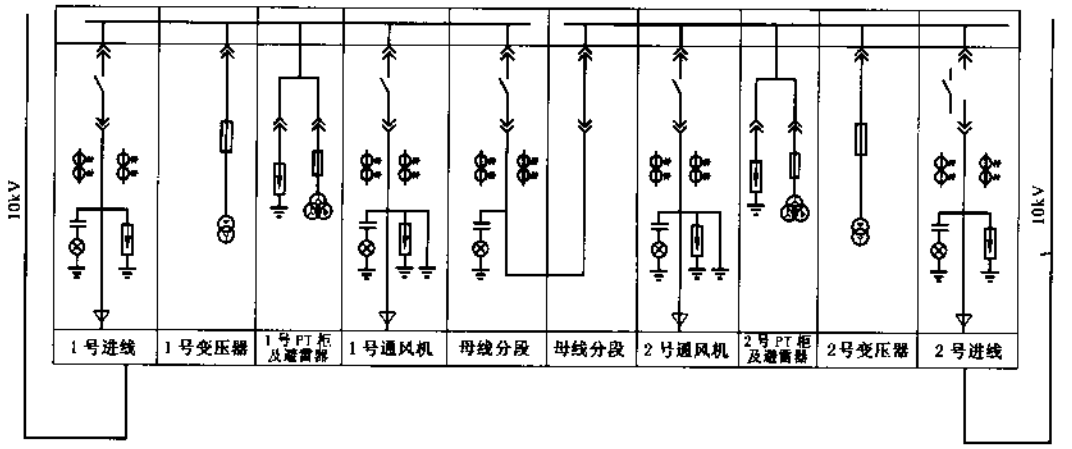


图 8-1-23 某矿通风机房主接线图

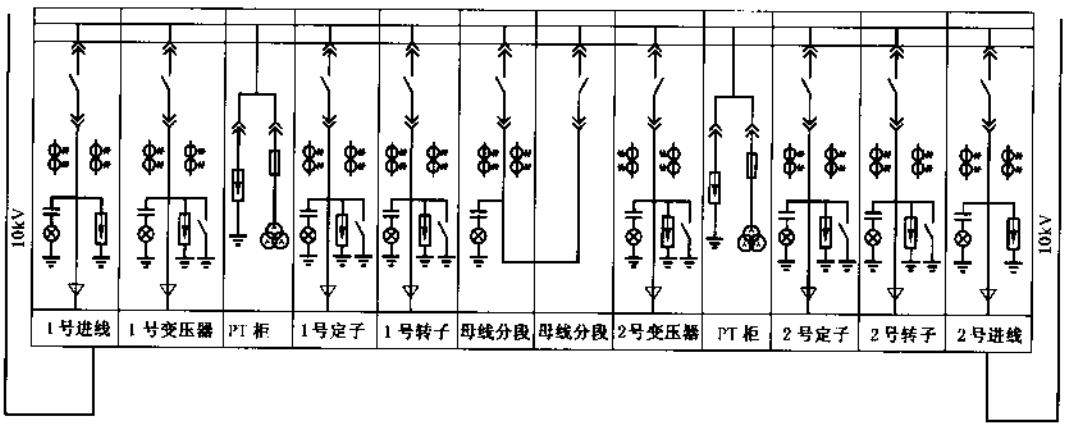


图 8-1-24 某矿绞车房主接线图

1.3.2 地面供电设备

1.3.2.1 母线

1. 母线的种类及用途

变电所中各种电压等级配电装置的母线，以及电器间的连接大都采用铜、铝或钢的矩形、圆形、管形裸导线（体）和多芯绞线。

铜的导电性好，抵制化学侵蚀性强，因此在大电流装置中或在化学侵蚀的地区宜采用铜母线。铝的电阻率为铜的 1.6～2 倍，但铝的密度比铜小得多，所以铝的耗用重量仅为铜的 40%～50%。钢的电阻率很大，在交流装置中应用钢母线还会引起磁滞和涡流损耗，所以钢母线一般仅用在 1000V 以上的小容量装置中，以及 1000V 以下工作电流不大于 200A 的配电装置中。对直流配电装置，钢母线可通过较大的电流。

35kV 及以下电压等级的室内装置，都采用矩形截面。为了改善散热状况，减小集肤

效应的影响，同时考虑到母线的机械强度，通常铜（铝）矩形母线的边长比为 1/12 ~ 1/5。单条母线常用的最大截面为 $10 \times 120 = 1200mm^2$。当用于输送大电流时，可用多条矩形母线并列的母线组，但由于并列后母线的散热状况变差，一般不宜多于 3 条。交流装置中所用矩形钢母线的厚度一般不大于 4mm。对于输送大电流的槽形和菱形母线，在煤矿中一般很少采用。

35kV 及以下电压等级的室外装置中一般用多芯绞线，并将其固定在耐张绝缘子串上。多芯绞线有钢芯铝绞线、铝绞线或铜绞线。

电压高于 35kV 的屋内、外配电装置中，一般都采用圆形母线，如管形母线或多芯绞线，主要是为了防止发生电晕。

煤矿中以铜母线为主，铝母线和钢母线极少采用。

2. 母线的技术参数

目前，母线大都采用铜母线，下面列出了铜母线技术数据，见表 8 - 1 - 46 ~ 表 8 - 1 - 48。

表 8 - 1 - 46　铜母线型号、名称及机械性能

型　号	状　态	名　称	机械性能（全部规格）		
			布氏硬度 HB	抗拉强度/($N \cdot mm^{-2}$)	伸长度/%
TMR TMY	O 退火的 H 硬的	软铜母线 硬铜母线	≥65	≥206	≥35
WTMR		无氧软铜母线			≥40
WTMY		无氧硬铜母线		≥275	

表 8 - 1 - 47　铜母线的规格及系列

标称尺寸/mm		规格系列
横截面的宽	横截面的长	
2.24 ~ 6.70	16.00 ~ 33.50	采用 R40
7.10 ~ 31.50	33.50 ~ 125.00	采用 R20

表 8 - 1 - 48　铜母线的电阻率

型　号	电阻率/($\Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}$)	型　号	电阻率/($\Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}$)
TMR	≤0.017241	WTMR	≤0.01760
TMY	≤0.01777	WTMY	≤0.01710

3. 母线的预防性试验

1）封闭母线

封闭母线的试验项目、试验周期及试验要求见表 8－1－49。

2）一般母线

一般母线的试验项目、试验周期及试验要求见表 8－1－50。

表 8－1－49 封闭母线的试验项目、试验周期及试验要求

序 号	项 目	周 期	要 求		
1	绝缘电阻测试	大修时	（1）额定电压为 15kV 及以上全连式离相封闭母线在常温下分相绝缘电阻值不小于 50MΩ； （2）6kV 共箱封闭母线在常温下分相绝缘电阻值不小于 6MΩ		
2	交流耐压试验	大修时	额定电压/kV	试验电压/kV	
				出 厂	现 场
			≤1	4.2	3.2
			6	42	32
			15	57	43
			20	68	51
			24	70	53

表 8－1－50 一般母线的试验项目、试验周期及试验要求

序 号	项 目	周 期	要 求
1	绝缘电阻	1～3 年，大修时	不应低于 1MΩ/kV
2	交流耐压试验	1～3 年，大修时	额定电压在 1kV 以上时，试验电压参照表 8－1－55 中序号 3；额定电压在 1kV 及以下时，试验电压为 1000V

1.3.2.2 支柱绝缘子及穿墙套管

1. 支柱绝缘子、穿墙套管种类及用途

高压支柱绝缘子用于高压电站、变电站配电装置及电器设备中，对导电部分起到绝缘和支持的作用，具体包括户内支柱绝缘子、户外支柱绝缘子、户外针式绝缘子和户外棒型绝缘子等。

高压穿墙套管适用于电厂、变电站的配电装置和高压电器中，作导电部分穿过墙壁或其他接地物的绝缘和支持用。套管适用于环境温度为 -40 ~ +40℃，但不超过 +60℃时，套管的工作电流建议按环境温度每增高 1℃，额定电流降低 1.8%；每降低 1℃，额定电流增加 0.5%，但增加值不应大于额定电流的 20%。

套管按使用场所可分为户内普通型、户外—户内普通型、户外—户内耐污型、户外—户内高原型、户外—户内高原耐污型 5 种类型。套管按所使用导体材料又可分为铝导体、铜导体及不带导体(母线型)3 种类型。母线穿墙套管的使用电流决定用户采用的母线尺寸。

2. 支柱绝缘子与穿墙套管的技术数据

1）高压户内支柱绝缘子

户内支柱绝缘子用于额定电压 6 ~ 35kV 户内电站、变电所配电装置及电器设备中，作绝缘和固定导体用。绝缘子适用于周围环境温度为 -40 ~ +40℃，安装地点海拔普通型不超过 1000m，高原型不超过 4000m。其技术参数见表 8 - 1 - 51。

2）户外棒形支柱绝缘子

户外棒形支柱绝缘子用于工频交流电压 10 ~ 800kV 户外电站、变电所配电装置和电器设备中，作带电部分的绝缘和支持用。户外棒形支柱绝缘子电气性能见表 8 - 1 - 52。

3）高压穿墙套管

高压穿墙套管的性能参数见表 8 - 1 - 53，高压带导体套管长期允许发热温度及热短时电流值见表 8 - 1 - 54。

表 8 - 1 - 51　高压支柱绝缘子电气性能

额定电压/kV		6	7.2	10	12	15	20	24	35	40.5	110
最高电压/kV		6.9		11.5		17.5	23		40.5		126
工频试验电压(有效值)/kV	干耐受 1min	32	36	42	47	57	68	68	100	110	265
	湿耐受 1min①	23		30		40	50		80		185
	击穿②	56	58	74	75	100	119	119	175		
标准雷电冲击耐受电压峰值/kV		60	60	75	80	105	125	125	185	195	450

① 仅对户外绝缘子进行。

② 仅对 35kV 及以下 B 型绝缘子（两电极间经由绝缘子外部空气的最短距离 h_1 明显地大于经由固体绝缘材料内的最短击穿距离 h_2 的绝缘子，对于瓷和玻璃绝缘子，通常指 $h_2 < h_1/2$ 的绝缘子）进行。

表 8 - 1 - 52　户外棒形支柱绝缘子电气性能

系统标称电压/kV	额定电压/kV	工频耐受电压（有效值）/kV		标准雷电冲击耐受电压（峰值）/kV
		干	湿	
10	12	42	30	75
20	24	68	50	125
35	40.5	100	80	185
66	72.5	165	140	325
110	126	265	185	450

表 8－1－53 高压穿墙套管的性能参数

套管形式	套管额定电压/kV	套管最高电压/kV	工频电压不小于/kV				雷电冲击耐受电压/kV
			干耐受 1min	湿耐受 1min	击 穿	可见电晕	
普通型及耐污型	6	6.9	23		58	—	60
	10	11.5	30		75	—	75
	20	23	50		120	14.8	125
	35	40.5	80		176	25.8	185
高原型	10	11.5	37.5		75	—	93.8
	35	40.5	100		176	32.2	231

表 8－1－54 带导体套管长期最高允许发热温度及热短时电流值

套管各部分名称	最高允许发热温度/℃	最高允许温升/K	套管额定电流/A	热短时 5s 电流不小于/kA
载流或不载流的金属部分（盖、法兰和导电电排的非接触部分）及瓷件等	110	70	250	3.8
			400	7.2
在空气中的螺栓压紧的连接部分：裸铜或裸铝	85	45	630	12
			1000	20
镀银	105	65	1600	30
			2000	40
镀锡	95	55	3150	60

3. 母线支柱绝缘子与穿墙套管的预防性试验

1）支柱绝缘子

发电厂和变电所的母线支柱绝缘子的试验项目、试验周期及试验要求见表 8－1－55；支柱绝缘子的交流耐压试验电压见表 8－1－56。

2）套管

套管的试验项目、试验周期及试验要求见表 8－1－57。

表 8－1－55 发电厂和变电所的母线支柱绝缘子的试验项目、试验周期及试验要求

序号	项 目	周 期	要 求
1	零值绝缘子检测（66kV 及以上）	1～5 年	在运行电压下检测
2	绝缘电阻	针式支柱绝缘子 1～5 年	（1）针式支柱绝缘子的每个元件和每片悬式绝缘子的绝缘电阻不应低于 300MΩ； （2）半导体釉绝缘子的绝缘电阻自行规定

表8-1-55（续）

序号	项　目	周　期	要　求
3	交流耐压试验	（1）单元件支柱绝缘子1～5年； （2）针式支柱绝缘子1～5年； （3）随主设备； （4）更换绝缘子时	（1）支柱绝缘子的交流耐压试验电压值见表8-1-56； （2）35kV针式支柱绝缘子交流耐压试验电压值为：两个胶合元件者，每元件50kV；三个胶合元件者，每元件34kV； （3）机械破坏负荷为60～300kN的盘形悬式绝缘子交流耐压试验电压值均取60kV
4	绝缘子表面污秽物的等值盐密	1年	检查所测盐密值与当地污秽等级是否一致。结合运行经验，将测量值作为调整耐污绝缘水平和监督绝缘安全运行的依据。盐密值超过规定时，应根据情况采取调爬、清扫、涂料等措施

注：运行中针式支柱绝缘子试验项目可在检查零值、绝缘电阻及交流耐压试验中任选一项。

表8-1-56　支柱绝缘子的交流耐压试验电压　　kV

额定电压	最高工作电压	交流耐压试验电压			
		纯瓷绝缘		固体有机绝缘	
		出　厂	交接及大修	出　厂	交接及大修
3	3.5	25	25	25	22
6	6.9	32	32	32	26
10	11.5	42	42	42	38
15	17.5	57	57	57	50
20	23.0	68	68	68	59
35	40.5	100	100	100	90
44	50.6		125		110
60	69.0	165	165	165	150
110	126.0	265	265（305）	265	240（280）
154	177.0		330		360

注：括号中数值适用于小接地电流系统。

表8-1-57　套管的试验项目、试验周期及试验要求

序号	项　目	周　期	要　求
1	主绝缘及电容型套管末屏对地绝缘电阻	（1）1～3年； （2）大修（包括主设备大修）后； （3）必要时	（1）主绝缘的绝缘电阻值不应低于10000MΩ； （2）末屏对地的绝缘电阻不应低于1000MΩ

表 8-1-57（续）

序号	项 目	周 期	要 求
2	主绝缘及电容型套管对地末屏 tanδ 与电容量	（1）1～3 年； （2）大修（包括主设备大修）后； （3）必要时	（1）20℃时的 tanδ 值应不大于下列数值： 电压等级/kV：20～35；66～110；220～500 大修后：充油型 3.0；1.5；— 大修后：油纸电容型 1.0；1.0；0.8 大修后：充胶型 3.0；2.0；— 大修后：胶纸电容型 2.0；1.5；1.0 大修后：胶纸型 2.5；2.0；— 运行中：充油型 3.5；1.5；— 运行中：油纸电容型 1.0；1.0；0.8 运行中：充胶型 3.5；2.0；— 运行中：胶纸电容型 3.0；1.5；1.0 运行中：胶纸型 3.5；2.0；— （2）当电容型套管末屏对地绝缘电阻小于 1000MΩ 时，应测量末屏对地 tanδ，其值不大于 2%； （3）电容型套管的电容值与出厂值或上一次试验值的差别超出 ±5% 时，应查明原因
3	油中溶解气体色谱分析	（1）投运前； （2）大修后； （3）必要时	油中溶解气体组分含量（体积分数）超过下列任一值时应引起注意： H_2 500×10^{-6} CH_4 100×10^{-6} C_2H_2 2×10^{-6}（110kV 及以下） 1×10^{-6} （220～500kV）
4	交流耐压试验	（1）大修后； （2）必要时	试验电压值为出厂值的 85%
5	66kV 及以上电容型套管的局部放电测量	（1）大修后； （2）必要时	（1）变压器及电抗器套管的试验电压为 $1.5U_m/\sqrt{3}$； （2）其他套管的试验电压为 $1.05U_m/\sqrt{3}$； （3）在试验电压下局部放电值（pC）不大于下列数值 油纸电容型：大修后 10；运行中 20 胶纸电容型：大修后 250（100）；运行中 自行规定

注：1. 充油套管指以油作为主绝缘的套管。

2. 油纸电容型套管指以油纸电容芯为主绝缘的套管。

3. 充胶套管指以胶为主绝缘的套管。

4. 胶纸电容型套管指以胶纸电容芯为主绝缘的套管。

5. 胶纸型套管指以胶纸为主绝缘与外绝缘的套管（如一般室内无瓷套胶纸套管）。

1.3.2.3 隔离开关

1. 隔离开关的用途和种类

隔离开关用于有电压无负载条件下接通或分断电路。隔离开关的触头敞露于空气中，

其通断状态明显可见，有利于防止意外事故的发生，并可增加检修人员的安全感。

在输变电设备中，隔离开关通常与高压断路器串联使用，一般与断路器成1：2或1：3比例配置。利用断路器对电路进行控制和保护，当断路器将负荷电流切断后，才能断开隔离开关。在接通电路时，需先将隔离开关闭合后，才能利用断路器把负荷电路接通。在某些情况下，隔离开关也可用来分合容量不大的空载变压器或距离较短的架空线路，但是必须以隔离开关触头间不产生强大的电弧为条件，并应严格遵守有关的操作规程。

隔离开关按安装场所可分为户内式和户外式；按有无接地开关分为不接地、单接地和双接地；按用途分为一般输配电用、快速分闸用、变压器中性点接地用及大电流母线用等。

隔离开关和接地开关的操动机构有电动和手动，也可采用液压、气动或弹簧机构，在220kV及以下电压等级为三相连动。

隔离开关型号含义如图8-1-25所示。

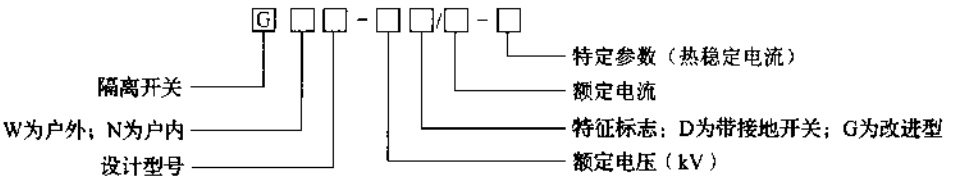


图8-1-25　隔离开关型号含义

2. 隔离开关的技术参数（以GN30-12型旋转式户内高压隔离开关为例来阐述）

GN30-12型旋转式户内高压隔离开关是一种旋转触刀式的新型隔离开关。其主要结构是在三相共底架的上、下两个平面上，固定两组绝缘子及触头，通过旋转触刀，从而实现开关的分合闸。GN30-12D型开关在GN30-12型开关基础上增加了接地刀。这种开关适用于额定电压12kV、交流50Hz及以下户内电力系统中，作为在有电压无负载情况下分合电路之用，可与高压开关柜配套使用，也可单独使用。

其使用环境条件为：海拔高度不超过1000m；周围空气温度为-10~40℃；相对湿度日平均值不大于95%，月平均值不大于90%；地震烈度不超过8度；无严重粉尘、化学腐蚀性和爆炸性物质的场所；无经常性剧烈振动的场所。表8-1-58为GN30-12型及GN30-12D型隔离开关的技术参数。

表8-1-58　GN30-12型及GN30-12D型隔离开关技术参数

型号 / 项目	GN30-12/400-12.5 GN30-12D/400-12.5	GN30-12/630-20 GN30-12D/630-20	GN30-12/1000-31.5 GN30-12D/1000-31.5	GN30-12/1250-31.5 GN30-12D/1250-31.5
额定电压/kV	12			
最高电压/kV	12.7			
额定电流/kA	400	630	1000	1250

表 8-1-58（续）

项目 \ 型号		GN30-12/400-12.5	GN30-12/630-20	GN30-12/1000-31.5	GN30-12/1250-31.5
		GN30-12D/400-12.5	GN30-12D/630-20	GN30-12D/1000-31.5	GN30-12D/1250-31.5
热稳定电流/kA		12.5	20	31.5	
热稳定时间/s		4			
动稳定电流/kA		31.5	50	80	
额定绝缘水平	雷电冲击电压/kV	相间、相地为75，断口为85			
	1min工频耐压/kV	相间、相地为42，断口为48			

3. 隔离开关的选择与校验

隔离开关的选择与校验项目见表 8-1-59。

4. 隔离开关的预防性试验

隔离开关的试验项目、试验周期及试验要求见表 8-1-60。

表 8-1-59 隔离开关的选择与校验项目

按工作条件	电压	电流
	$U_{max} \geqslant U_n$	$I_N \geqslant I_n$
校验	热稳定	动稳定
	$I_t \geqslant I_k \sqrt{\frac{t_f}{t}}$	$i_{lim} \geqslant i_{kr}$
按环境条件	温度、湿度、海拔高度、地震影响	

注：1. 按环境条件修正见本章附录 B。

2. U_{max}—制造保证的最高工作电压；U_n—电路正常工作电压；I_N—设备的额定电流；I_n—正常的工作持续电流；I_t—设备在作用时间 t 内的热稳定电流；I_k—三相短路稳态电流；t_f—短路电流作用的假想时间；t—热稳定电流作用时间；i_{lim}—设备的极限电流通过峰值；i_{kr}—三相短路冲击电流。

表 8-1-60 隔离开关的试验项目、试验周期及试验要求

序号	项目	周期	要求
1	有机材料支持绝缘子及提升杆的绝缘电阻	（1）1~3年； （2）大修后	（1）用兆欧表测量胶合元件分层电阻； （2）有机材料传动提升杆的绝缘电阻值不得低于下列数值（MΩ）：

试验类别	额定电压/kV	
	<24	24~40.5
大修后	1000	2500
运行中	300	1000

表 8－1－60（续）

序号	项　目	周　期	要　求
2	二次回路的绝缘电阻	（1）1～3 年； （2）大修后； （3）必要时	绝缘电阻不低于 2MΩ
3	交流耐压试验	大修后	（1）试验电压值按 DL/T593 规定； （2）用单个或多个元件支柱绝缘子组成的隔离开关进行整体耐压有困难时，可对各胶合元件分别做耐压试验
4	二次回路交流耐压试验	大修后	试验电压为 2kV
5	电动、气动或液压操动机构线圈的最低动作电压	大修后	最低动作电压一般在操作电源额定电压的 30% ～80% 范围内
6	导电回路电阻测量	大修后	不大于制造厂规定值的 1.5 倍
7	操动机构的动作情况	大修后	（1）电动、气动或液压操动机构在额定的操作电压（气压、液压）下分、合闸 5 次，动作正常； （2）手动操动机构操作时灵活，无卡涩； （3）闭锁装置应可靠

1.3.2.4　负荷开关

1. 负荷开关的作用和种类

负荷开关是指在正常条件下关合、承载和开断额定电流，以及在规定的事故短路电流下，按规定的时间承载短路电流的开合装置。负荷开关的结构和隔离开关相似，在断开时，触头有可见的断开点，所以也可起隔离开关的作用。目前，负荷开关主要有产气式、压气式、真空式和 SF_6 式等结构类型，操动机构有手动和电动储能弹簧操动机构、电动操动机构等形式。

负荷开关型号含义如图 8－1－26 所示。

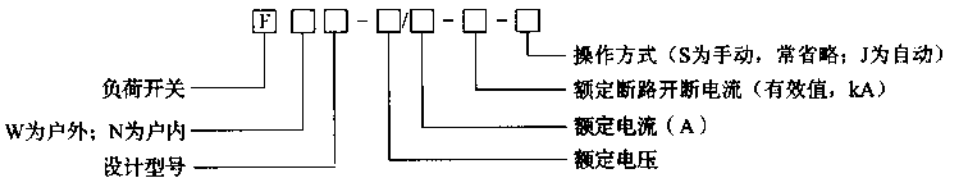


图 8－1－26　负荷开关型号含义

2. 负荷开关的技术参数

本部分以 FN7－12 型交流高压负荷开关为例来阐述。FN7－12 型交流高压负荷开关是一种新型产气式户内高压负荷开关，适用于交流 50Hz、额定电压 12kV 的三相交流电力系统中，作为开断负荷电流及闭合短路电流之用。

其使用环境条件：周围空气温度上限为 +40℃，下限，一般地区 10℃，高寒地区 -25℃；海拔高度为 1000m 及以下；相对湿度月平均值不大于 90%，日平均值不大于 95%；周围空气应不受腐蚀性或可燃性气体及水蒸气等明显污染；无经常性剧烈振动。表 8-1-61 中为 FN7-12 型隔离开关的技术参数。

3. 负荷开关的选择校验

负荷开关的选择与校验项目见表 8-1-62。

表 8-1-61 FN7-12 型隔离开关技术参数

额定电压/kV	绝缘水平		额定电流/A	额定热稳定电流（有效值 4s）/kA	额定动稳定电流（有效值）/kA	额定短路关合电流（峰值）/kA
	工频 50Hz 耐压 1min（有效值）/kV	雷电冲击耐压（有效值）/kV				
12	相间、相地为 42	相间、相地为 48	400	12.5	31.5	31.5
	隔离断口为 48	隔离断口为 85	630	20	50	50

表 8-1-62 负荷开关的选择与校验项目

按工作条件	电压	电流	断流容量
	$U_{max} \geqslant U_n$	$I_N \geqslant I_n$	$S_{rN} \geqslant S''$ $I_{rN} \geqslant I''$
校验	热稳定		动稳定
	$I_t \geqslant I_k \sqrt{\frac{t_f}{t}}$		$i_{lim} \geqslant i_{kr}$
按环境条件	温度、湿度、海拔高度、地震影响		

注：1. 按环境条件修正见本章附录 B。

2. U_{max}—制造保证的最高工作电压；U_n—电路正常工作电压；I_N—设备的额定电流；I_n—正常的工作持续电流；S_{rN}—设备额定断流容量；S''—次暂态三相短路容量；I_{rN}—设备的额定断流量；I''—次暂态短路电流；I_t—设备在作用时间 t 内的热稳定电流；I_k—三相短路稳态电流；t_f—短路电流作用的假想时间；t—热稳定电流作用时间；i_{lim}—设备的极限电流通过峰值；i_{kr}—三相短路冲击电流。

1.3.2.5 高压断路器

1. 高压断路器种类及其特点

高压断路器的断流能力很强，不仅可以分合负荷电流，也可以切断强大的短路电流。断路器按照灭弧介质的不同可分为油断路器、六氟化硫（SF_6）断路器及真空断路器等，油断路器已很少使用；按照使用环境可分为户外式、户内式及防爆式等。目前，在煤矿各级变电所中，使用最多的是真空断路器和六氟化硫断路器。

1）真空断路器

真空断路器是采用高真空作为灭弧介质的一种断开交流电路的断路器，其核心部件是真空灭弧室。

真空断路器有很多优点，如触头开距小（数毫米至 40mm 以下）、动作快、燃弧时间

短、电弧能量小、维护工作量小、防火、防爆、动触杆惯性小、适于频繁操作等。此外，由于灭弧速度快（一般只有半个周期）、断流能力强，故在断开小电感电流（特别是高压电动机的空载电流）时截流值高，有可能产生较高的过电压，因此对高压电动机，需采取降低过电压的措施。

真空断路器目前主要用于需频繁操作（如控制高压电动机）和故障较多的配电系统中，或用于切、合电容器组，井下高压配电装置及矿井采掘电气设备的控制开关中。其型号含义如图 8－1－27 所示。

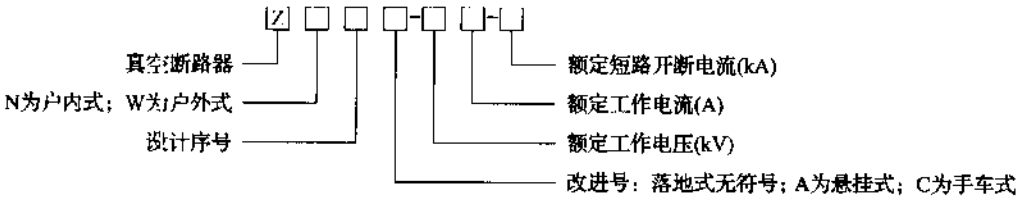


图 8－1－27　真空断路器型号含义

2）六氟化硫断路器

六氟化硫断路器利用 SF_6 气体作为绝缘和灭弧介质。这种断路器具有断路性能好、允许分断次数多、检修周期长、结构简单等优点。它容易制成防爆型设备，所以适合煤矿使用。常用的 SF_6 断路器有 LN1－35 型，其型号含义如图 8－1－28 所示。

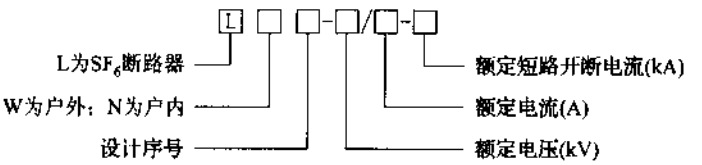


图 8－1－28　SF_6 断路器型号含义

2. 高压断路器的技术参数

本部分以 ZW8－12 系列真空断路器和 LW_{16}－35 型户外 SF_6 断路器为例来阐述。

1）ZW8－12 系列真空断路器

ZW8－12 系列真空断路器为额定电压 12kV、三相交流 50Hz 的高压户外开关设备，主要用来开断配电网的负荷电流、过载电流、短路电流。其总体结构为三相共箱式，三相真空灭弧室置于金属箱内，利用 SMC 绝缘材料实现相间绝缘及对地绝缘。ZW8A－12 是由 ZW8－12 断路器与隔离刀组合而成的，称为组合断路器，可作为分段开关使用。该系列产品的操动机构为 CT23 型弹簧储能操动机构，分为电动和手动两种。其使用环境条件：周围空气温度上限为 +40℃，下限为 －30℃；海拔高度不超过 2000m；风速不超过 34m/s；无经常性剧烈运动，无强烈腐蚀性气体、介质的场所。ZW8－12 系列真空断路器技术参数见表 8－1－63 所示。

表 8-1-63 ZW8-12 系列真空断路器技术参数

序号	名称		单位	参数值		
1	额定电压		kV	12		
2	额定电流		A	630		
3	额定短路负载开断电流		kA	6.3	12.5	20
4	额定短路关合电流（峰值）		kA	16	31.5	50
5	额定峰值耐受电流		kA	16	31.5	50
6	额定短时 1min 耐受电流		kA	63	12.5	20
7	额定绝缘水平	工频耐压（干式）	kV		42	
		雷电冲击耐压（峰值）		75		
8	额定操作顺序			分—0.3s—合分—180s—合分		
9	机械寿命		次	10000		
10	额定短路开断电流开断次数		次	30		
11	操动机构额定合闸电压		V	110，220		
12	操动机构额定分闸电流		A	110，220		
13	触头开距		mm	11±1		
14	超行程（触头弹簧压缩长度）		mm	$3^{+1.0}_{-0.3}$		
15	三相分、合闸不同期性		ms	≤2		
16	触头合闸弹跳时间		ms	≤2		
17	平均分闸速度		m/s	1.0±0.2		
18	平均合闸速度		m/s	0.7±0.15		
19	分闸时间	最高操作电压下	s	0.015~0.05		
		最低操作电压下		0.03~0.06		
20	合闸时间		s	0.025~0.05		
21	各相主回路电阻		μΩ	≤120		
22	动静触头允许摩擦累积厚度		mm	3		

2）LW16-35 型户外 SF_6 断路器

LW16-35 型户外 SF_6 断路器是用于交流 50Hz 三相电力系统的户外开关设备，用来分合额定电流、故障电流和电容器组，也可当做联络断路器使用，从而实现对输电线路及

设备的控制和保护。该断路器配用 CT 型交直流两用弹簧操动机构。

LW16－35 型户外 SF_6 断路器使用环境条件：环境温度为 －30 ～ ＋40℃，海拔高度不大于 1000m，风压不大于 700Pa，地震烈度不大于 8 度，安装场所要求没有火灾、爆炸危险、严重污秽、化学腐蚀及剧烈振动。

LW16－35 型户外 SF_6 断路器技术参数如下：

额定电压	35kV
最高工作电压	40.5kV
额定绝缘水平	雷电冲击耐压(全波,峰值)为 185kV；工频耐压(1min)为 95kV
额定电流	1600A
额定短路开断电流	25kA（重合闸）、31.5kA（单分）
额定操作顺序	分—0.3s—合分—180s—合分
额定关合电流（峰值）	63kV
动稳定电流（峰值）	63kV
热稳定电流	25kV
热稳定时间	4s
额定失步开断电流	6.3kA
额定异步开断电流	21.75kA
额定单个电容器组开断电流	400A
机械寿命试验	3000 次
额定电流累计开断次数	2000 次
额定短路开断电流（25kA）累计开断次数	21 次
合闸时间	当操作电压为最低时不大于 0.15s；当操作电压为额定、最高时不大于 0.1s
分闸时间	不大于 0.06s
SF_6 断路器额定气压（20℃，表压）	(0.60 ±0.10) MPa
SF_6 断路器闭锁压力（20℃，表压）	(0.54 ±0.10) MPa
SF_6 断路器气体年漏气率	不大于 1%
水分体积分数	小于 100×10^{-6}
配用 CT10 型弹簧操纵机构	合闸线圈为 AC110V、220V、330V，DC48V、110V、220V；分闸线圈为 AC110V、220V、380V，DC48V、110V、220V；电动机为 AC110V、220V、380V，DC48V、110V、220V
质量	断路器本体为 560kg；SF_6 气体质量为 2kg
导电杆总行程	(65 ±2) mm
三相分闸同期性	不大于 2mm
刚合速度	不小于 2m/s
刚分速度	(2.4 ±0.2) m/s
最小空气绝缘距离	400mm
主回路电阻	不大于 40μΩ
脱扣器脱扣电流	2～9.6A
瓷套泄漏比距	2.43cm/kV

3. 高压断路器的选择与校验项目

高压断路器选择与校验项目见表 8－1－64。

4. 高压断路器的预防性试验

1）真空断路器

真空断路器的试验项目、试验周期及试验要求见表 8－1－65。

2）SF_6 断路器

SF_6 断路器和 GIS 的试验项目、试验周期和试验要求见表 8－1－66；运行中 SF_6 气体的试验项目、周期和要求见表 8－1－67。

表 8－1－64 高压断路器选择与校验项目

按工作条件选择	电 压	电 流	断流容量
	$U_{max} \geqslant U_n$	$I_N \geqslant I_n$	$S_{rN} \geqslant S''$ $(S_{0.2})$
校验项目	热稳定	动稳定	
	$I_t \geqslant I_k \sqrt{\frac{t_f}{t}}$	$i_{lim} \geqslant i_{kr}$	
按环境条件选择	温度、湿度、海拔高度、地震影响		

注：1. 按环境条件修正见本章附录 B。

2. U_{max}—制造保证的最高工作电压；U_n—电路正常工作电压；I_N—设备的额定电流；I_n—正常的工作持续电流；S_{rN}—设备额定断流容量；S''—次暂态三相短路容量；$S_{0.2}$—0.2s 的短路容量；I_t—设备在时间 t 内的热稳定电流；I_k—三相短路稳态电流；t_f—短路电流作用的假想时间；t—热稳定电流作用时间；i_{lim}—设备的极限电流通过峰值；i_{kr}—三相短路冲击电流。

3. 断路器安装在低于额定电压电路中时，其断流容量应按下式换算：

$$S_r(U) = S_{rN} \frac{U_{max}}{U_n}$$

表 8－1－65 真空断路器的试验项目、试验周期及试验要求

序号	项 目	周 期	要 求
1	绝缘电阻	（1）1～3 年； （2）大修后	（1）整体绝缘电阻参照制造厂规定或自行规定； （2）断口和用有机物制成的提升杆的绝缘电阻不应低于下列中的数值：

试验类别	额定电压/kV		
	<24	24～40.5	72.5
大修后	1000MΩ	2500MΩ	5000MΩ
运行中	300MΩ	1000MΩ	3000MΩ

序号	项 目	周 期	要 求
2	交流耐压试验（断路器主回路对地、相间及断口）	（1）1～3 年（12kV 及以下）； （2）大修后； （3）必要时（40.5kV、72.5kV）	断路器在分、合闸状态下分别进行，试验电压值按 DL/T 593 规定值
3	辅助回路和控制回路交流耐压试验	（1）1～3 年； （2）大修后	试验电压为 2kV

表 8－1－65（续）

序号	项　　目	周　　期	要　　求
4	导电回路电阻	（1）1～3 年； （2）大修后	（1）大修后应符合制造厂规定； （2）运行中自行规定，建议不大于 1.2 倍出厂值
5	断路器的合闸时间和分闸时间，分、合闸的同期性，触头开距，合闸时的弹跳过程	大修后	应符合制造厂规定
6	操动机构合闸接触器和分、合闸电磁铁的最低动作电压	大修后	（1）操动机构分、合闸电磁铁或合闸接触器端子上的最低动作电压应在操作电压额定值的 30%～65% 之间； （2）在使用电磁机构时，合闸电磁铁线圈通流时端电压为操作电压额定值的 80%（关合电流峰值等于及大于 50kA 时为 85%）时，断路器应可靠动作； （3）进口设备按制造厂规定
7	合闸接触器和分、合闸电磁铁线圈的绝缘电阻和直流电阻	（1）1～3 年； （2）大修后	（1）绝缘电阻不应小于 2MΩ； （2）直流电阻应符合制造厂规定
8	真空灭弧室真空度的测量	大、小修时	自行规定
9	检查动触头上的软连接夹片有无松动	大修后	应无松动

表 8－1－66　SF_6 断路器和 GIS 的试验项目、试验周期和试验要求

序号	项　　目	周　　期	要　　求
1	断路器和 GIS 内 SF_6 气体的湿度以及气体的其他检测项目	参见表 8－1－67	
2	SF_6 气体泄漏试验	（1）大修后； （2）必要时	年漏气率不大于 1% 或按制造厂要求
3	辅助回路和控制回路绝缘电阻	（1）1～3 年； （2）大修后	绝缘电阻不低于 2MΩ
4	耐压试验	（1）大修后； （2）必要时	交流耐压或操作冲击耐压的试验电压为出厂试验电压值的 80%
5	辅助回路和控制回路交流耐压试验	大修后	试验电压为 2kV

表 8-1-66（续）

序号	项 目	周 期	要 求
6	断口间并联电容器的绝缘电阻、电容量和 tanδ	（1）1~3 年； （2）大修后； （3）必要时	（1）对瓷柱式断路器和断口同时测量，测得的电容值和 tanδ 与原始值比较，应无明显变化； （2）罐式断路器（包括 GIS 中的 SF_6 断路器）按制造厂规定
7	合闸电阻值和合闸电阻的投入时间	（1）1~3 年； （2）大修后	（1）除制造厂另有规定外，阻值变化允许范围不得大于 ±5%； （2）合闸电阻的有效接入时间按制造厂规定校核
8	断路器的速度特性	大修后	测量方法和测量结果应符合制造厂规定
9	断路器的时间参量	（1）大修后； （2）机构大修后	除制造厂另有规定外，断路器的分、合闸同期性应满足下列要求： 相间合闸不同期不大于 5ms；相间分闸不同期不大于 3ms；同相各断口间合闸不同期不大于 3ms；同相各断口间分闸不同期不大于 2ms
10	分、合闸电磁铁的动作电压	（1）1~3 年； （2）大修后； （3）机构大修后	（1）操动机构分、合闸电磁铁或合闸接触器端子上的最低动作电压应在操作电压额定值的 30%~65% 之间； （2）在使用电磁机构时，合闸电磁铁线圈通流时端电压为操作电压额定值的 80%（关合电流峰值等于及大于 50kA 时为 85%）时，断路器应可靠动作； （3）进口设备按制造厂规定
11	导电回路电阻	（1）1~3 年； （2）大修后	（1）敞开式断路器的测量值不大于制造厂规定值的 120%； （2）对 GIS 中的断路器按制造厂规定
12	分、合闸线圈直流电阻	（1）大修后； （2）机构大修后	应符合制造厂规定
13	SF_6 气体密度监视器（包括整定值）检验	（1）1~3 年； （2）大修后； （3）必要时	按制造厂规定
14	压力表校验（或调整），机构操作压力（气压、液压）整定值校验，机械安全阀校验	（1）1~3 年； （2）大修后	按制造厂规定
15	操动机构在分闸、合闸、重合闸下的操作压力（气压、液压）下降值	（1）大修后； （2）机构大修后	应符合制造厂规定

表 8－1－66（续）

序号	项　目	周　期	要　求
16	液（气）压操动机构的泄漏试验	（1）1～3 年； （2）大修后； （3）必要时	按制造厂规定
17	油（气）泵补压及零起打压的运转时间	（1）1～3 年； （2）大修后； （3）必要时	应符合制造厂规定
18	液压机构及采用差压原理的气动机构的防慢分试验	（1）大修后； （2）机构大修时	按制造厂规定
19	闭锁、防跳跃及防止非全相合闸等辅助控制装置的动作性能	（1）大修后； （2）必要时	按制造厂规定
20	GIS 中的电流互感器、电压互感器和避雷器	（1）大修后； （2）必要时	按制造厂规定

表 8－1－67　运行中 SF_6 气体的试验项目、周期和要求

序号	项　目	周　期	要　求
1	湿度（20℃体积分数）/10^{-6}	（1）1～3 年（35kV 以上）； （2）大修后； （3）必要时	（1）断路器灭弧室气室：大修后不大于 150，运行中不大于 300； （2）其他气室：大修后不大于 250，运行中不大于 500
2	密度（标准状态下）/（$kg \cdot m^{-3}$）	必要时	6.16
3	毒性	必要时	无毒
4	酸度/（$\mu g \cdot g^{-1}$）	（1）大修后； （2）必要时	0.3
5	四氟化碳（质量分数）/%	（1）大修后； （2）必要时	（1）大修后 0.05； （2）运行中 0.1
6	空气（质量分数）/%	（1）大修后； （2）必要时	（1）大修后 0.05； （2）运行中 0.2
7	可水解氟化物/（$\mu g \cdot g^{-1}$）	（1）大修后； （2）必要时	1.0
8	矿物油/（$\mu g \cdot g^{-1}$）	（1）大修后； （2）必要时	10

1.3.2.6 高压熔断器

1. 高压熔断器的种类和特点

熔断器结构简单，具有良好的短路保护和过负荷保护功能，广泛应用于输配电系统和工矿企业。熔断器主要有户内交流高压限流熔断器、户外交流高压跌落式熔断器、并联电容器单台保护用高压熔断器3种类型。

户内熔断器（限流熔断器）为单相高压电气设备。每种型号的限流熔断器的外形结构、灭弧原理都基本相同，主要由熔管、触头座、动作指示器、绝缘子和底板构成。3～35kV级户内高压限流熔断器可分为以下几种：

（1）用于电力变压器和电流线路短路保护的RN1、RN3系列3～10kV级户内限流熔断器。

（2）用于电压互感器的短路保护的3～35kV级RN2、RN4、RN5型户内限流熔断器。

（3）高压电机短路保护用3～6kV级RN6户内限流熔断器。

户外跌落式熔断器属于喷射式熔断器的一种，又称跌落保险，主要作为配电变压器或电力线路的短路保护和过负荷保护之用。跌落式熔断器由上静触头、上动触头、熔管、熔丝、下动触头、下静触头、瓷瓶和安装板等组成。目前国内主要生产RW3～RW13共11个型号的户外跌落式熔断器，其中RW4、RW7和RW3为改进型。

2. 熔断器的技术参数

本部分以RN1型户内高压限流熔断器和RN2系列户内高压限流熔断器为例来阐述。

1）RN1型户内高压限流熔断器

RN1型户内高压限流熔断器适用于输电线路及电气设备的短路和过载保护。其技术数据见表8－1－68。

表8－1－68 RN1型户内高压限流熔断器的技术数据

额定电压/kV	3					6					10					35				
额定电流/A	20	100	200	300	400	20	75	100	200	300	20	50	75	100	200	7.5	10	20	30	40
最大开断电流/kA	40					20					12					3.5				
最小开断电流/A	无	$1.3I_n$				无	$1.3I_n$				无	$1.3I_n$				无	$1.3I_n$			
三相最大断流容量/（MV·A）	200																			
开断最大短路电流时最大电流峰值/kV	6.5	24.5	35		50	5.2	14	19	25		4.5	8.6	15.5			1.5	1.6	2.8	3.6	4.2
过电压倍数	不超过2.5倍相电压																			

注：I_n为额定工作电流。

2）RN2 系列户内高压限流熔断器

RN2 系列限流熔断器适用于电压互感器的短路保护。其技术数据见表 8－1－69。

表 8－1－69　RN2 系列户内限流熔断器的技术数据

型　号	额定电压/kV	最高电压/kV	额定电流/A	额定断流容量/(MV·A)	熔管电阻/Ω	质　量
RN2－3	3	3.5	0.5	500	93	5.6
RN2－6	6	6.9	0.5	1000		
RN2－10	10	11.5	0.5			
RN2－15	15	17.5	0.5		200	12.2
RN2－20	20	23	0.5			
RN2－35	35	40.5	0.5			

3. 熔断器的选择

熔断器的选择项目见表 8－1－70。

保护电压互感器的高压熔断器只需按工作电压与开断能力两项来进行选择。

表 8－1－70　熔 断 器 选 择 项 目

	电　压	电　流	断 流 容 量
按 工 作 条 件	$U_{N\cdot FC}=U_n$	$I_{N\cdot FC}\geqslant I_{Nf}\geqslant I_n$	$S_{tN}\geqslant S''$ $I_{tN}\geqslant I''$
按环境条件	温度、湿度、海拔高度、地震影响等		

注：1. 按环境条件修正见本章附录 B；

2. $U_{N\cdot FC}$—熔断器的额定电压；U_n—电路正常工作电压；$I_{N\cdot FC}$—熔断器的额定电流；I_{Nf}—熔断器熔件的额定电流；I_n—正常的工作持续电流；S_{tN}—设备额定断流容量；S''—次暂态三相短路容量；I_{tN}—设备的额定断流量；I''—次暂态短路电流。

1.3.2.7　高压开关柜

1. 高压开关柜的组成、特点和种类

高压开关柜（即高压成套电器）是按一定的接线方案将有关的一、二次设备组合起来的一种成套配电装置。高压开关柜的每个柜就是一个间隔，构成一个电气回路。应用时，可按设计的电气主接线方案，选用各种接线方案的开关柜，组合起来构成整个配电装置。

高压开关柜由以下几部分组成：母线和母线隔离开关、断路器及其操作机构、隔离开关操作机构、电流互感器及电压互感器、电力电缆及控制电缆、仪表、继电保护和操作设备。

为了保证电力网安全运行，确保设备和人身安全，防止误操作，开关柜必须具有“五防”联锁功能，即防止误合、误分断路器，防止带负荷分、合隔离开关，防止接地开关处于闭合位置时关合断路器、负荷开关，防止在带电时误合接地开关，防止误入带电间隔。

目前国内生产的高压开关柜有固定式、手车式及活动式3种。固定式开关柜有GG－IA、GG－10、GG－11、GG－15等型号；手车式高压开关柜的断路器等主要电器设备可以拉出柜外检修，推入备用手车后可继续供电，具有安全、方便、停电时间短的优点；活动式是前两种的过渡形式。各种类型的开关柜均可采用真空或SF_6断路器。目前用得较多的是手车式开关柜。

2. 高压开关柜的技术参数

本部分以KYN金属铠装移开式高压开关柜为例来阐述。

KYN金属铠装移开式开关柜结构按组成分为仪表箱、前柜和后柜3部分，按功能特征可分为仪表箱、手车室、电缆室和母线室4部分。

其正常使用环境条件：周围空气温度为－10～＋40℃；海拔不超过1000m；相对湿度不大于90%；周围空气不受腐蚀性或可燃性气体、水蒸气等明显污染；地震烈度不超过8级；无经常性剧烈振动。

图8－1－29为35kV级KYN系列高压开关柜的型号含义，图8－1－30为6～10kV级KYN系列高压开关柜的型号含义。

KYN系列开关柜技术参数见表8－1－71和表8－1－72。

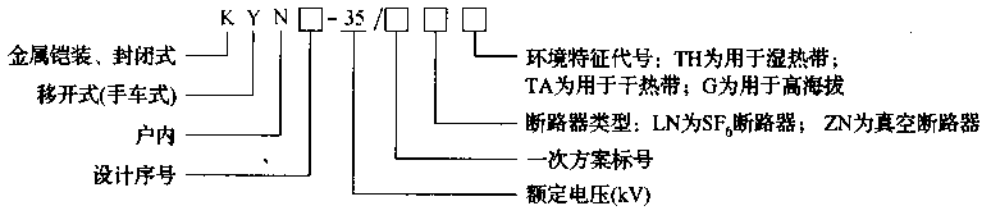


图8－1－29 35kV级KYN系列高压开关柜的型号含义

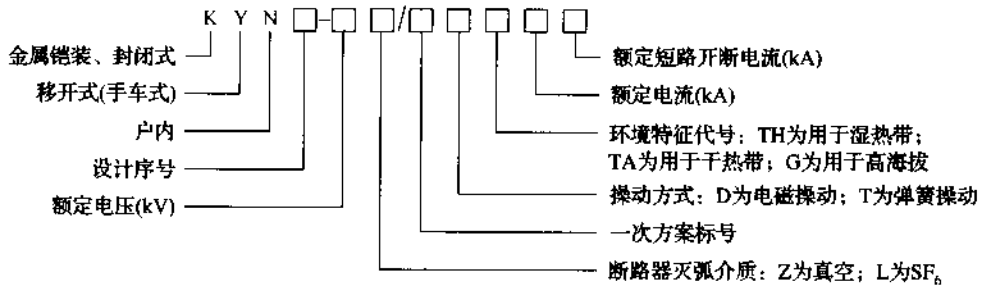


图8－1－30 6～10kV级KYN系列高压开关柜的型号含义

表 8-1-71　KYN-35 系列开关柜技术参数

型　号	KYN-35	额定绝缘水平	额定短时工频耐受电压（有效值）/kV	95
额定电压/kV	35		额定雷电冲击耐受电压（峰值）/kV	185
最高电压/kV	40.5	额定短时耐受电流（4s）/kA		25
主母线额定电流/A	1600	额定峰值耐受电流/kA		63
支母线额定电流/A	630、1250、1600	外形尺寸（宽×深×高）/(mm×mm×mm)		1400×2050×2640

表 8-1-72　KYN-10 系列开关柜技术参数

技术项目		技术数据	
电压	额定电压/kV	3、6、10	
	最高工作电压/kV	3.5、6.9、11.5	
电流	额定电流/A	630、1000、1250	1600、2500
	断路器额定电流/A	630、1000、1250、2000、3000	
	额定断开电流/A	16、31.5、40	
	最大关合电流/kA	50、80、100	
	峰值耐受电流/kA	50、80、100	
	短时耐受电流/kA	16、20、31.5、40	
外形尺寸(宽×深×高)/(mm×mm×mm)		800×1650×2200	
		1000×1650×2200	
		800×1800×2200	
		1000×1800×2200	
			1000×1650×2200
			1000×1800×2200

3. 高压开关柜的选择

1）按工作电压选择

选择的高压开关柜的额定电压应等于或大于所在回路系统的标称额定电压，开关柜的最高工作电压应大于系统的最高工作电压。电力系统标称额定电压为 10kV 时，应选用 12kV 电压等级的开关柜。开关柜所在回路额定电压为 35kV 时，应选用额定电压为 40.5kV 的开关柜。

2）按工作电流选择

选择的高压开关柜的额定电流不应小于该回路的工作电流。常用的 10kV 电压等级的开关柜额定电流为 100A、200A、400A、600A、800A、1000A、1600A、2000A、2500A、

3000A。35kV 电压等级的开关柜额定电流一般为 600A、2000A、2500A。

3）按承受短路电流的能力选择

选择的高压开关柜的额定短路开断电流，不应小于所在控制回路三相短路电流周期分量有效值。10kV 开关柜额定开断电流有 16kA、20kA、31.5kA 等，35kV 开关柜额定开断电流有 16kA、20kA、25kA、31.5kA 等。选择的高压开关柜应能满足动稳定要求，开关柜能承受的短路冲击电流应大于该回路短路冲击电流值。10kV 开关柜额定动稳定电流为 40kA、50kA、80kA、100kA，35kV 开关柜动稳定电流为 40kA、50kA、63kA、80kA。选择的高压开关柜的短时热稳定电流，应大于所在控制回路发生的短路电流所产生的热效应。10kV 开关柜 4s 热稳定电流一般为 16kA、31.5kA、40kA。35kV 开关柜 4s 热稳定电流一般为 16kA、25kA、31.5kA。

4. 高压开关柜的预防性试验

高压开关柜的试验项目、试验周期和试验要求见表 8－1－73。

表 8－1－73 高压开关柜的试验项目、试验周期和试验要求

序号	项目	周期	要求
1	辅助回路和控制回路绝缘电阻	（1）1～3 年； （2）大修后	绝缘电阻不应低于 2MΩ
2	辅助回路和控制回路交流耐压试验	大修后	试验电压为 2kV
3	断路器速度特性	大修后	应符合制造厂规定
4	断路器的合闸时间、分闸时间和三相分、合闸同期性	大修后	应符合制造厂规定
5	断路器、隔离开关及隔离插头的导电回路电阻	（1）1～3 年； （2）大修后	（1）大修后应符合制造厂规定； （2）运行中应不大于制造厂规定值的 1.5 倍
6	操动机构合闸接触器和分、合闸电磁铁的最低动作电压	（1）大修后； （2）机构大修后	
7	合闸接触器和分合闸电磁铁线圈的绝缘电阻和直流电阻	大修后	（1）绝缘电阻应大于 2MΩ； （2）直流电阻应符合制造厂规定
8	绝缘电阻试验	（1）1～3 年（12kV 及以上）； （2）大修后	应符合制造厂规定
9	交流耐压试验	（1）1～3 年（12kV 及以上）； （2）大修后	试验电压值按 DL/T593 规定

表 8-1-73（续）

序号	项　　目	周　　期	要　　求
10	检查电压抽取（带电显示）装置	（1）1 年； （2）大修后	应符合制造厂规定
11	SF_6 气体泄漏试验	（1）大修后； （2）必要时	应符合制造厂规定
12	压力表及密度继电器校验	1～3 年	应符合制造厂规定
13	“五防”性能检查	（1）1～3 年； （2）大修后	应符合制造厂规定
14	对断路器的其他要求	（1）大修后； （2）必要时	根据断路器型式，应符合有关规定
15	高压开关柜的电流互感器	（1）大修后； （2）必要时	

注：1. 配真空断路器的高压开关柜的定期试验项目见表中序号 1、5、8、9、10、13，其大修后试验项目见表中序号 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、13、15；配 SF_6 断路器的高压开关柜定期试验项目见表中序号 1、5、8、9、10、12、13，其大修后试验项目见表中序号 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、13、14、15。

2. 其他形式高压开关柜如计量柜、电压互感器柜和电容器柜的试验项目等可参照表中有关序号进行。

1.3.2.8　电力变压器

1. 电力变压器的种类及特点

变压器是输送交流电时所使用的一种变换电压和变换电流的设备。它通过磁路的耦合作用把交流电从原边输送到副边，利用绕制在同一铁芯上的原绕组和副绕组的匝数不同，把原边的电压和电流从某种数量等级改变为另外一种等级。变压器的功能主要有：电压变换、阻抗变换、隔离、稳压（磁饱和变压器）等。

本部分主要介绍矿井地面常用电压等级的油浸式和干式电力变压器。干式电力变压器通常在室内使用，油浸式电力变压器可在户内外使用。

油浸式电力变压器根据国家标准规定，S7 系列以下的油浸式电力变压器属老型号的高损耗产品，现已被淘汰。S9 系列电力变压器是全国统一设计的第二代节能产品，其空载损耗、负载损耗均明显优于 S7 系列电力变压器，且体积小、质量轻。现在 S9 系列的电力变压器也逐步被 S11 系列的代替，有些地区（如江苏省）已明令禁止使用 S9 系列变压器。非晶合金式电力变压器采用非晶合金材料，低压线圈为铜箔结构，空载损耗只有现行变压器的 1/4～1/5，是目前世界上节能效果最好的电力变压器，其总的性能指标已达到世界先进水平。

铁芯和绕组都不浸入绝缘液体中的变压器称为干式变压器。由于干式变压器结构简单，维护方便，又具有防潮、阻燃、防爆、防火、无污染、过载能力强、可靠性高等优点，我国于 20 世纪 80 年代末引进干式电力变压器。干式变压器按型号分为 SC（环氧树脂浇注包封式）、SCR（非环氧树脂浇注固体绝缘包封式）、SG（敞开式）等；按绝缘等级分为 B 级、F 级、H 级、C 级等。

变压器型号含义如图 8－1－31 所示。

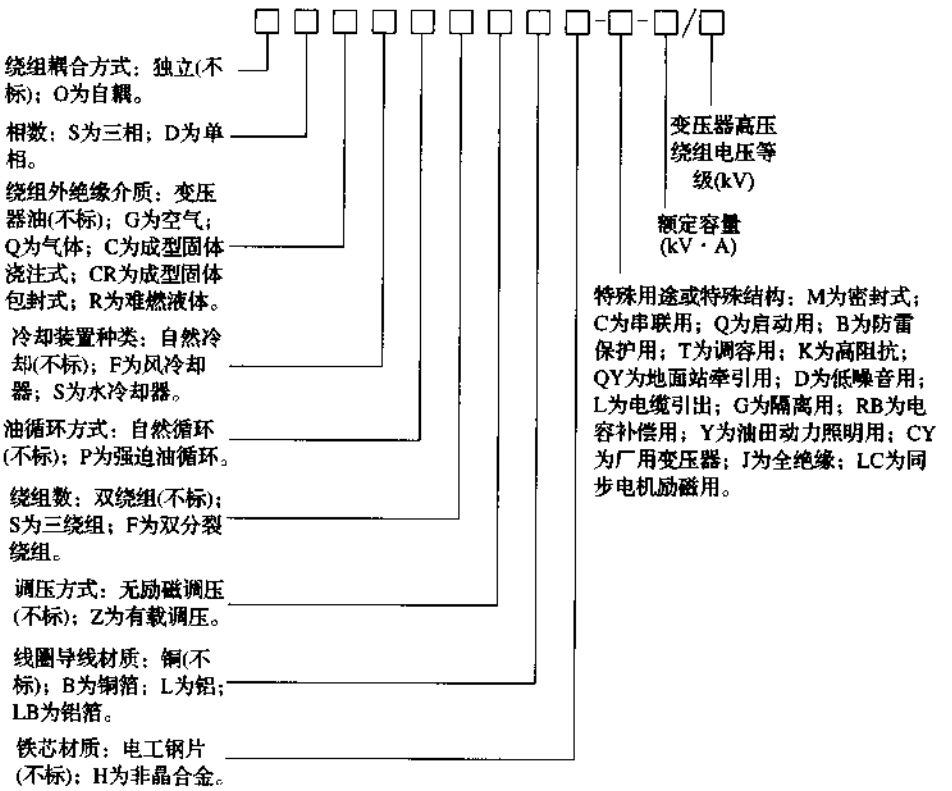


图 8－1－31 变压器型号含义

2. 6～10kV 级电力变压器技术参数

1）S9 系列 6～10kV 级无励磁电力变压器

该系列电力变压器是三相油浸自冷双绕组铜线无载调压（调压范围为 ±5%）变压器，在交流 50Hz 配电系统中作分配电能和交换电压用，可安装于户内外连续使用。其技术参数见表 8－1－74。

2）S10 系列 6～10kV 级无励磁电力变压器

该系列变压器是三相油浸自冷双绕组无载调压电力变压器，在交流 50Hz 输配电系统中作分配电能和变换电压用，可供户内外连续使用。其技术参数见表 8－1－75。

3）S11 型卷铁芯系列无励磁调压电力变压器

该系列变压器节能，环保，运行可靠。其主要经济技术指标均达到同类产品的国际先进水平。

该系列变压器的铁芯采用“R”型卷铁芯截面，铁芯填充系数高，大大缩小了器身体积；卷铁芯无接缝，空载工艺系数低，空载损耗低，空载电流小，噪声低。

10kV 级 S11－M·R 系列无励磁调压电力变压器技术参数见表 8－1－76。

4）非晶合金式 6～10kV 级无励磁电力变压器

SH11 系列 6～10kV 级非晶合金无励磁电力变压器是节能效果非常好的变压器，其空载损耗只有其他同容量变压器的 1/5～1/4。

该系列 10kV 级电力变压器的技术参数见表 8－1－77。

表 8－1－74　S9 系列 6～10kV 无励磁电力变压器技术参数

型　号	额定容量/(kV·A)	额定电压/kV		连接组标号	损耗/kW		空载电流/%	阻抗电压/%
		高压	低压		短路	空载		
S9－30/10	30	6 6.3 10.5 10	0.4	Y,yn0	0.60	0.13	2.4	4
S9－50/10	50				0.87	0.17	2.2	
S9－63/10	63				1.04	0.20	2.2	
S9－80/10	80				1.25	0.25	2.0	
S9－100/10	100				1.50	0.29	2.0	
S9－125/10	125				1.75	0.31	1.8	
S9－160/10	160				2.10	0.42	1.7	
S9－200/10	200				2.50	0.50	1.7	
S9－250/10	250				2.95	0.59	1.5	
S9－315/10	315				3.50	0.70	1.5	
S9－400/10	400				4.20	0.84	1.4	
S9－500/10	500				5.00	1.00	1.4	
S9－630/10	630				6.00	1.23	1.2	4.5
S9－800/10	800				7.20	1.45	1.2	
S9－1000/10	1000				10.00	1.70	1.1	
S9－1250/10	1250				11.80	2.00	1.1	
S9－1600/10	1600				14.00	2.45	1.0	
S9－1000/10	1000	6 6.3 10	0.4	Y,d11	10.30	1.70	0.7	5.5
S9－1250/10	1250				12.00	1.95	0.6	
S9－1600/10	1600				14.50	2.40	0.6	
S9－2500/10	2500				20.24	3.29	0.55	
S9－5000/10	5000				32.30	5.76	0.44	

表 8-1-75 S10 系列 6~10kV 无励磁调压电力变压器技术参数

型 号	额定电压/kV		连接组标号	损耗/kW		空载电流/%	阻抗电压/%	质量/kg	外形尺寸（长×宽×高）/（mm×mm×mm）
	高压	低压		短路	空载				
S10-100/10	6 6.3 10 10.5 11	0.4	Y,yn0 或 Y,Zn11 或 D,yn11	1.68/1.80	0.22/0.23	1.15/1.25	4 4.5	560	1220×749×1020
S10-125/10				2.06/2.15	0.25/0.27	1.1/1.2		652	1340×870×1230
S10-160/10				2.39/2.65	0.31/0.32	1.05/1.15		735	1320×880×1370
S10-200/10				2.86/3.06	0.37/0.38	1.05/1.15		891	1490×890×1420
S10-250/10				3.36/3.50	0.44/0.46	1.0/1.1		1164	1626×980×1430
S10-315/10				4.03/4.30	0.52/0.54	1.0/1.1		1324	1640×1000×1450
S10-400/10				4.92/5.10	0.64/0.65	0.95/1.0		1594	1700×1030×1615
S10-500/10				5.85/6.08	0.74/0.76	0.95/1.0		1968	1895×1120×1635
S10-630/10				6.89/7.23	0.90/0.92	0.9/0.95		2534	1860×1110×1800
S10-800/10				8.40/8.84	1.50/1.12	0.75/0.8		3250	1950×1250×1930
S10-1000/10				9.30/9.36	1.23/1.35	0.6/0.65		3660	2350×1400×2250
S10-1250/10				11.10/12.33	1.50/1.60	0.6/0.65		4570	2390×1420×2300
S10-1600/10				14.00/14.60	1.80/1.89	0.55/0.6		5180	2430×1420×2300
S10-630/10	6 6.3 10 10.5 11	6.4 6.3 3.15 3	Y,yn0 或 Y,d11	6.89	0.90	0.95	4.5	2650	1850×1140×1880
S10-800/10				8.40	1.05	0.80	5.5	2980	1980×1250×1920
S10-1000/10				9.30	1.23	0.65		3500	2300×1400×2480
S10-1250/10				11.10	1.50	0.65		3980	2400×1450×2350
S10-1600/10				14.00	1.80	0.60		5250	2550×1500×2690
S10-2000/10		6.3 3.15	Y,d11	16.70	2.11	0.60		5780	2680×1550×2650
S10-2500/10				19.40	2.49	0.60		6850	2580×2270×2760
S10-3150/10				22.70	3.00	0.60		7840	2600×2680×2850
S10-4000/10	10 10.5 11	6.3 3.15		26.90	3.70	0.60		9320	3320×2750×3230
S10-5000/10				30.90	4.45	0.55		11500	3390×2840×3420
S10-6300/10				34.80	5.20	0.55		14000	3450×2980×3600

表8-1-76　10kV级S11-M·R型卷铁芯密封式无励磁调压电力变压器技术参数

型　号	额定容量/(kV·A)	电压组合			连接组标号	空载损耗/kW	负载损耗/kW	空载电流/%	短路阻抗/%
		高压/kV	高压分接范围	低压/kV					
S11-M·R-30/10	30	6 6.3 10 10.5 11	±5% 或 ±2×2.5%	0.4	Y,yn0	0.09	0.60	0.8	4
S11-M·R-50/10	50					0.12	0.87	0.75	
S11-M·R-63-10	63					0.14	1.04	0.7	
S11-M·R-80/10	80					0.18	1.25	0.7	
S11-M·R-100/10	100					0.20	1.50	0.65	
S11-M·R-125/10	125					0.24	1.80	0.65	
S11-M·R-160/10	160					0.28	2.20	0.6	
S11-M·R-200/10	200					0.33	2.60	0.6	
S11-M·R-250/10	250					0.40	3.05	0.5	
S11-M·R-315/10	315					0.48	3.65	0.45	
S11-M·R-400/10	400					0.57	4.30	0.4	
S11-M·R-500/10	500					0.68	5.10	0.4	
S11-M·R-630/10	630					0.85	6.20	0.4	4.5
S11-M·R-800/10	800					0.99	7.50	0.4	
S11-M·R-1000/10	1000					1.20	10.30	0.3	

表8-1-77　SH11系列10kV无励磁调压电力变压器技术参数

型　号	额定容量/(kV·A)	额定电压/kV		连接组标号	损耗/kW		阻抗电压/%
		高压	低压		短路	空载	
SH11-30/10	30	10.5±5%	0.4	D,yn11	0.6	0.029	4 4.5
SH11-50/10	50				0.87	0.043	
SH11-80/10	80				1.25	0.059	
SH11-100/10	100				1.5	0.069	
SH11-125/10	125				1.8	0.08	
SH11-160/10	160				2.2	0.096	
SH11-200/10	200				2.6	0.114	
SH11-250/10	250				3.05	0.13	
SH11-315/10	315				3.65	0.156	
SH11-400/10	400				4.3	0.182	
SH11-500/10	500				5.1	0.212	

5）S12 系列组合无励磁调压电力变压器

该系列组合变压器为美式箱式变压器，区别于传统的箱式变压器，将变压器、高压负荷开关、熔丝等保护元件装在绝缘油中，结构紧凑，采用高燃点绝缘油（312℃），适应特殊场合的需要。可根据需要配置低压配电、计量和补偿装置。

该系列 6～10kV 级电力变压器的技术参数见表 8－1－78。

表 8－1－78 S12 型无励磁调压电力变压器部分参数

额定容量/(kV·A)	损耗/kW		空载电流/%	阻抗电压/%	额定容量/(kV·A)	损耗/kW		空载电流/%	阻抗电压/%
	短路	空载				短路	空载		
100	0.08	1.5	0.9	4	500	0.27	5.1	0.4	4
125	0.09	1.8	0.8		630	0.32	6.2	0.4	4.5
160	0.13	2.2	0.7		800	0.39	7.5	0.4	
200	0.14	2.6	0.6		1000	0.45	10.3	0.3	
250	0.16	3.05	0.6		1250	0.55	12.8	0.3	
315	0.19	3.65	0.5		1600	0.66	14.5	0.3	
400	0.23	4.3	0.5						

6）S13 系列 10kV 级超低损耗三角形铁芯无励磁调压油浸电力变压器

该变压器与传统插片式电力变压器相比，具有以下突出优点：空载损耗减少 40%～50%；负载损耗减少 7%～10%；空载电流减少 90% 以上；噪声降低 10～15dB；漏磁减少 50% 以上；铜铁成本减少 20%～30%；10 年用电成本比新 S9 下降 17.2%，比非晶态变压器下降 12.5%。其技术参数见表 8－1－79。

表 8－1－79 S13 系列 10kV 级超低损耗三角形铁芯无励磁调压油浸电力变压器技术参数

容量/(kV·A)	额定电压			连接组标号	空载电流/%	空载损耗/W	阻抗电压/%	负载损耗/W
	高压/kV	低压/kV	调压范围/%					
30	6 6.3 10	0.4	+5 或 +2×2.5	Y，yn0 或 D，yn11	0.4	70	4	600
50					0.4	90		870
63					0.3	105		1040
80					0.3	125		1250
100					0.2	140		1500
125					0.2	165		1800
160					0.2	195		2200
200					0.2	235		2600
250					0.2	280		3050
315					0.15	335		3650
400					0.15	400		4300
500					0.15	475		5100

7）SZ9 系列 6～10kV 级有载调压电力变压器

该系列变压器为三相铜线双绕组有载调压变压器，适用于交流 50Hz、额定电压为 6～10kV 且需要进行不停电调压的配电系统中。该变压器可在户内外连续使用，属节能型调压变压器。其技术参数见表 8－1－80。

表 8－1－80　SZ9 系列 6～10kV 级三相铜线双绕组有载调压电力变压器技术参数

型　号	额定容量/(kV·A)	额定电压/kV		连接组标号	损耗/kW		空载电流/%	阻抗电压/%
		高压	低压		短路	空载		
SZ9－200/10	200	(6、6.3、10)+4×2.5%或−2×2.5%	0.4	Y,yn0	2.55	0.49	1.5	4 4.5 5.5
SZ9－250/10	250				3.09	0.61	1.5	
SZ9－315/10	315				3.6	0.73	1.4	
SZ9－400/10	400				4.4	0.87	1.3	
SZ9－500/10	500				5.18	0.97	1	
SZ9－630/10	630				6.38	1.26	0.9	
SZ9－800/10	800				7.8	1.5	0.9	
SZ9－B－800/10	800				7.5	1.4	0.8	
SZ9－1000/10	1000				10.72	1.74	0.8	
SZ9－1250/10	1250				12.75	2.12	0.7	
SZ9－1600/10	1600				15.22	2.7	0.7	
SZ9－2500/10	2500				22.3	3.21	0.65	
SZ9－5000/10	5000		3.15 6.3	Y,d11	31.4	6.15	0.7	5.5
SZ9－6300/10	6300				35.1	7.21	0.7	

8）SZ10 系列 6～10kV 级有载调压电力变压器

该系列为三相铜线双绕组有载调压电力变压器，其用途、结构外形、作用与 SZ9 相似，但其节能效果较好。其技术参数见表 8－1－81。

9）SCR9、SCR10 系列 6～10kV 级树脂绝缘绕包式干式电力变压器

该系列变压器性能优异：阻燃能力强，不污染环境，可安装在负荷中心；树脂绝缘、长玻璃纤维增强缠绕包封线圈，抗短路，耐冲击，不开裂；防潮性能好，绝缘水平高；散热性能好，过载能力强，强迫风冷时可使额定容量提高 50%；损耗低，体积小，维护简单，安装方便；有完善的自动温度监控和保护装置，可保证变压器安全可靠地运行。

SCR9、SCR10 系列 6～10kV 级包封线圈干式电力变压器的技术参数见表 8－1－82、表 8－1－83。

10）SC9、SC10、SC11 系列环氧树脂浇注干式电力变压器

环氧树脂干式变压器具有防尘、防燃、防潮、节能等油浸变压器无可比拟的优点。SC9 系列环氧树脂浇注变压器是在 SC8 系列基础上改进设计的产品，损耗指标与 SC8 相比有很大幅度的降低。

表 8-1-81 SZ10 系列 6~10kV 新型节能双绕组有载调压电力变压器技术参数

型 号	额定容量/(kV·A)	额定电压/kV		连接组标号	损耗/kW		空载电流/%	阻抗电压/%
		高压	低压		短路	空载		
SZ10-200/10	200	(6,6.3,10)±4×2.5%	0.4	Y,yn0	2.86	0.375	1.05	4
SZ10-250/10	250				3.36	0.44	1	
SZ10-315/10	315				4.03	0.525	1	
SZ10-400/10	400				4.92	0.64	0.95	
SZ10-500/10	500				5.85	0.74	0.95	
SZ10-630/10	630				7.15	0.97	0.9	4.5
SZ10-800/10	800				8.74	1.15	0.9	
SZ10-1000/10	1000				10.25	1.34	0.85	
SZ10-1250/10	1250				12.18	1.625	0.8	
SZ10-1600/10	1600				14.55	2.07	0.75	

表 8-1-82 SCR9 系列 6~10kV 级树脂绝缘缠绕干式电力变压器技术参数

型 号	电压组合		低压/kV	连接组标号	损耗/W		空载电流/%	短路阻抗/%	绝缘等级	质量/kg
	高压/kV	分接范围/%			空载	负载				
SCR9-30/10	6 6.3 6.3 10 10.5 11	±2×2.5 或±5	0.4	Y,yn0 或 D,yn11	200	615	1.2	4	H级 或 F级	315
SCR9-50/10					290	900	1.2			360
SCR9-80/10					390	1200	1.1			415
SCR9-100/10					430	1450	1.1			580
SCR9-125/10					500	1610	1			785
SCR9-160/10					580	1900	1			820
SCR9-200/10					665	2280	0.9			970
SCR9-250/10					765	2490	0.9			1090
SCR9-315/10					935	3140	0.8			1250
SCR9-400/10					1040	3600	0.8			1590
SCR9-500/10					1230	4510	0.8			1740
SCR9-630/10					1400	5430	0.8	6		2110
SCR9-630/10					1360	5510	0.6			2020
SCR9-800/10					1540	6430	0.6			2300
SCR9-1000/10					1870	7500	0.5			2830
SCR9-1250/10					2220	8960	0.5			3350
SCR9-1600/10					2540	10850	0.5			3970
SCR9-2000/10					3330	13360	0.4			4800
SCR9-2500/10					4000	15800	0.4			5400

表8-1-83　SCR10系列6~10kV级包封线圈干式变压器技术参数

型　号	电压范围		低压/kV	连接组标号	损耗/W		空载电流/%	短路阻抗/%	绝缘等级
	高压/kV	分接范围/%			空载	负载			
SCR10-30/10	6 6.3 6.3 10 10.5 11	±2×2.5 或±5	0.4	Y,yn0 或 D,yn11	190	560	1	4	H级 或 F级
SCR10-50/10					270	850	1		
SCR10-80/10					360	110	0.9		
SCR10-100/10					400	1370	0.8		
SCR10-125/10					460	1530	0.75		
SCR10-160/10					530	1855	0.75		
SCR10-200/10					605	2100	0.7		
SCR10-250/10					705	2045	0.7		
SCR10-315/10					870	3030	0.6		
SCR10-400/10					970	3480	0.6		
SCR10-500/10					1150	4260	0.6		
SCR10-630/10					1315	5130	0.5		
SCR10-630/10					1270	5205	0.5	6	
SCR10-800/10					1485	6070	0.5		
SCR10-1000/10					1730	7095	0.4		
SCR10-1250/10					2045	8460	0.4		
SCR10-1600/10					2100	10240	0.4		
SCR10-2000/10					2860	12620	0.3		
SCR10-2500/10					3460	14995	0.3		

SC10系列是在SC9系列基础上作进一步改进的产品，损耗指标降低。SC10系列产品与SC9系列相比，空载损耗平均下降18%，负载损耗平均下降13.2%，空载电流平均下降20.5%。

SC11系列损耗指标比SC10系列又进一步降低。

SC9、SC10、SC11系列环氧树脂浇注干式电力变压器技术参数，见表8-1-84~表8-1-86。

11）SG10型绝缘非包封线圈干式电力变压器

该变压器的绝缘材料采用了美国杜邦公司专有技术制造的NOMEX芳香聚酰胺纤维纸。因此SG10型H级绝缘干式变压器承受热冲击能力强，过负载能力大，阻燃、防火性能高，低损耗，局部放电量小，噪声低，不产生有害气体，不污染环境，对湿度、灰尘不敏感，体积小，不开裂，维护简便。其技术参数见表8-1-87。

表 8-1-84 SC9 系列 6~10kV 级包封线圈干式电力变压器技术参数

型 号	额定容量/(kV·A)	空载损耗/W	负载损耗(120℃)/W	空载电流/%	短路阻抗/%
SC9-5/10	5	60	224	6.9	
SC9-10/10	10	102	401	5.5	
SC9-20/10	20	169	593	3.71	
SC9-30/10	30	187	609	2.42	
SC9-50/10	50	277	865	2.04	
SC9-80/10	80	378	1290	1.81	
SC9-100/10	100	411	1515	1.73	
SC9-125/10	125	474	1819	1.59	4
SC9-160/10	160	554	2105	1.47	
SC9-200/10	200	617	2440	1.45	
SC9-250/10	250	746	2718	1.42	
SC9-315/10	315	856	3513	1.25	
SC9-400/10	400	1035	4133	1.22	
SC9-500/10	500	1134	469	1.16	
SC9-630/10	630	1289	5985	1.07	
SC9-630/10	630	1274	6372	1.02	
SC9-800/10	800	1455	7070	0.95	
SC9-1000/10	1000	1694	8604	0.93	
SC9-1250/10	1250	2012	9866	0.92	6
SC9-1600/10	1600	2408	11825	0.89	
SC9-2000/10	2000	2990	14920	0.82	
SC9-2500/10	2500	3574	18100	0.79	

表 8-1-85 SC10 系列 6~10kV 级包封线圈干式电力变压器技术参数

型 号	额定容量/(kV·A)	空载损耗/W	负载损耗(120°)/W	空载电流/%	短路阻抗/%
SC10-5/10	5	51	197	5.6	
SC10-10/10	10	87	355	4.11	
SC10-20/10	20	142	525	2.93	
SC10-30/10	30	159	548	2.18	
SC10-50/10	50	235	765	1.87	
SC10-80/10	80	322	1102	1.63	
SC10-100/10	100	349	1310	1.55	
SC10-125/10	125	402	1582	1.43	4
SC10-160/10	160	466	1831	1.32	
SC10-200/10	200	525	2123	1.31	
SC10-250/10	250	632	2405	1.26	
SC10-315/10	315	725	3391	1.13	
SC10-400/10	400	877	4019	1.05	
SC10-500/10	500	961	4840	0.96	
SC10-630/10	630	1088	5415	0.91	