

李 义 编译 霍宏暄 校

国外煤矿

井下配电系统与设备

11

煤炭工业出版社

国外煤矿井下配电系统与设备

李 义编译 霍宏暄校

煤 炭 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书的主要内容是分析介绍国外煤矿井下电力设备与电力系统所采用的新技术、新设备等有关问题。从实践和理论方面综合分析介绍国外煤矿井下电气技术的发展方向、防爆技术、井下电力系统中性点接地方式、漏电保护、安全接地线的检查和监视以及井下电力系统的瞬变过程。此外,还着重介绍真空接触器、可控硅整流器和特殊电动机等新技术在煤矿井下的应用。

本书可供从事煤矿井下电力系统及电力设备运行管理有实践经验的工人、技术人员阅读。对于煤矿中等以上院校以及其他有关专业的人员也有参考价值。

国外煤矿井下配电系统与设备

李 义编译 霍宏暄校

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $7^{1/2}$

字数 165 千字 印数1—5,000

1981年3月第1版 1981年3月第1次印刷

书号15035·2344 定价0.80元

编译者的话

为加速实现煤炭工业现代化，便于读者学习国外新技术，我们搜集了近年世界上一些主要采煤国家有关煤矿井下电力系统、设备及防爆、安全等方面的文献资料，经过综合分析编译了本书。

在编译过程中，得到上海煤矿机械研究所内及外单位许多同志特别是煤炭工业部周凤起同志的大力协助和支持，提出了许多宝贵意见，在此表示感谢。

由于该书内容涉及面广，本人水平也有限，难免有错误之处，希望广大读者指正。

目 录

编译者的话

第一章 国外煤矿电气技术的发展方向及展望	1
第一节 广泛采用真空开关	1
第二节 可控硅整流器在煤矿井下的应用	3
第三节 电子计算机在煤矿井下环境监视和对井下 运输系统的自动控制	5
第四节 九十年代世界煤矿井下电气技术的展望	9
第二章 煤矿井下电气设备的防爆结构	15
第一节 概述	15
第二节 隔爆型电气设备	16
第三节 大电流电弧对隔爆外壳防爆性能的影响	19
第四节 低功率电弧对隔爆外壳安全性能的影响	35
第五节 安全型防爆设备的发展趋向	37
第六节 安全型电动机的保护方法	40
第七节 安全火花电路和设备	46
第八节 安全火花电路及设备的应用	52
第三章 井下配电系统中性点接地方式	59
第一节 电流对人身安全的作用	59
第二节 中性点不接地系统的特性	64
第三节 中性点直接接地系统的特性	82
第四节 中性点高电阻接地系统的特性	84
第五节 电力系统中性点接地方式的优缺点比较	92
第四章 井下配电系统的接地漏电保护	95
第一节 接地漏电保护的一般原则	95
第二节 中性点直接接地系统的保护方式	96
第三节 灵敏接地漏电保护	98

第四节	电网绝缘监视系统	104
第五节	高电阻接地系统的接地漏电保护	107
第五章	井下安全接地线的检查监视及试验	111
第一节	对接地芯线检查监视的要求	111
第二节	检查监视接地线所遇到的问题	112
第三节	对监视器的补充要求	114
第四节	监视器的试验	116
第五节	监视器的类型及性能	118
第六章	煤矿井下电力系统的瞬变过程	129
第一节	概述	129
第二节	开关操作的瞬变过程	129
第三节	为研究井下瞬变过程所用的记录系统及 测量实例	138
第四节	煤矿井下电力系统瞬间电压的计算实例	148
附录 (6-1)	在R-L-C电路上施加瞬间电压的计算 结果	155
第七章	真空接触器及其应用	159
第一节	概述	159
第二节	真空接触器及防止异常运行的机构	162
第三节	真空接触器的设计	165
第四节	真空接触器的优越性及其应用	171
第五节	对真空接触器控制电动机绕组的设计要求	175
第六节	井下真空接触器的防爆及运行安全 性能试验	187
第八章	煤矿井下采煤机械应用可控硅整流器 控制的可能性	192
第一节	概述	192
第二节	采煤机械的用电情况	192
第三节	可控硅整流器的评价与选择	196

第四节	可控硅整流器的应用实例	198
第五节	煤矿井下环境对可控硅控制器的影响	200
第六节	采用可控硅整流器对采煤机械设计的影响	205
第七节	可控硅整流器的安全性能及试验方法	207
第九章	特殊电动机在煤矿井下的应用	212
第一节	变极电动机在煤矿井下的应用	212
第二节	异步线性电动机及其在煤矿井下的应用	219

第一章 国外煤矿电气技术的发展方向及展望

第一节 广泛采用真空开关

从煤矿安全运行的观点来看，电弧是产生电气事故和引起煤矿井下瓦斯爆炸的直接原因。目前在煤矿井下大量使用的空气断路器和接触器，正常操作时，在开关箱内部出现电弧，使箱内潮湿空气中的氮气、氧气和水份起化学反应，产生硝酸，腐蚀开关箱内部的绝缘材料和金属元件，使设备损坏。国外最近研究指出，防爆开关箱内部的有机绝缘材料在直接受到大电流电弧作用下，挥发出大量气体，使壳内压力迅速升高，大大超过原设计所能承受的压力，以致外壳受到破坏。更严重的是，伴随大电流电弧产生的灼热金属颗粒向外喷射，使外壳法兰的防爆接合面的最大安全间隙显著减小，从而大大降低开关外壳的防爆性能。因此近代矿用防爆开关的一个重要趋向就是致力于消除电弧和高速断开。因为故障点释放的电能与时间成正比，提高开关的断开速度就意味着缩短故障的时间，防止事故扩大。这对于防止煤矿井下瓦斯爆炸和人体触电都具有特殊意义。

六十年代国外发展的真空断路器和真空接触器基本上符合上述要求。真空开关正常操作时，电弧被封闭在真空开关管内，在开关的防爆外壳内不存在电弧，没有相间飞弧问题，特别适用于有瓦斯爆炸危险的场所。其可靠性和断开速度比一般空气断路器或接触器高得多，同时它体积小，重量轻，为设计多回路集中控制的工作面防爆开关箱创造了有利

条件。据报导,西德生产的矿用3TL3 型1000伏真空接触器,它的机械寿命达5 百万次,电寿命1 百万次,可以在AC-4级工作制运行,容许每小时断开1200 次。在环境温度为75℃时,可以连续运行。七十年代世界各主要采煤工业国在煤矿井下大量采用真空断路器和真空接触器,大大改善煤矿生产的安全条件,无疑是技术上的重大进步。

真空开关多用于交流电路。在直流电路由于没有自然电流零点,只能截断15 至20 安的直流电流(视真空开关的不同触点材料而定)。因此目前煤矿井下使用的直流电路在断开时所产生的大电流电弧仍然是安全用电的严重威胁。为解决这问题,美国匹兹堡大学研制了一种汽态开关,更确切地说,它不是一个开关,不截断电路,而仅仅起着限流作用。它利用某些物质由液态变汽态或由固态变汽态时本身电阻急剧增大的特性(在这个装置中是用水银),和一个真空开关组合在一起,限制电路电流接近于零,为另一个真空开关在几毫秒内断开直流电路创造条件。目前已可用于井下300伏及600伏的直流电路上。

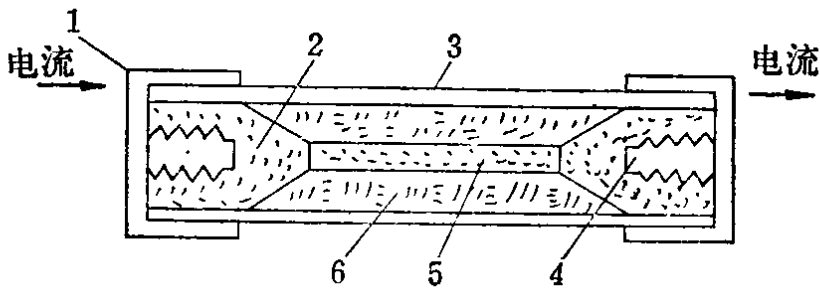


图 1-1 充汞的限流装置结构简图

1—金属罩; 2—汞; 3—绝缘管; 4—压缩的波纹管或活塞; 5—汽化腔; 6—陶瓷

限流器的简单结构如图 1-1 所示。它基本上是由一个充满钠、钾或汞等金属的小管,把两个充满这种金属的容器连

接起来，在每个容器的端部通过活塞或波纹管对内部加压。把它和两个真空接触器 S_1 及 S_2 组合在一起，构成直流系统上的断路装置，其原理系统图如1-2所示。

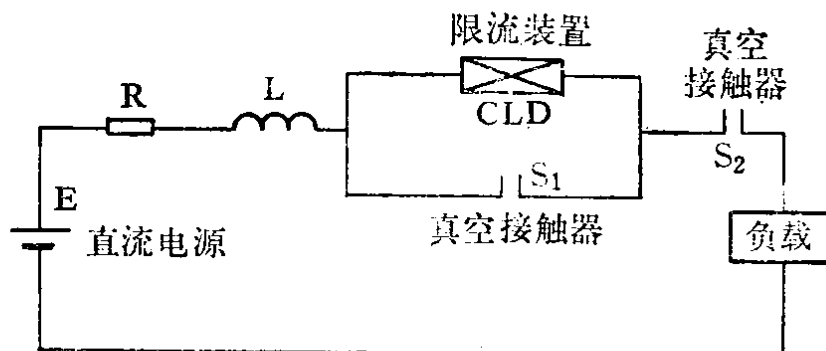


图 1-2 采用限流装置的直流断路装置系统图

系统操作如下：当真空接触器 S_1 断开时，把全部负载电流转移到限流装置CLD上。充满汞的限流装置在未汽化状态下电阻是很小的，当负载电流从 S_1 转移到限流装置CLD以后， I^2R 产生的热量使充满汞的小管内的金属温度迅速上升到达汽化温度，金属汽化时，限流装置的电阻值增大200~500倍，结果使回路负载电流急剧降低，达到真空开关能够截断的数值（相当于额定电流的很小百分值），此时使真空接触器 S_2 立即断开电路。截断电流后，金属蒸汽冷却，冷凝在小管内，由形成低电阻的液体或固体，准备下一个操作循环。

第二节 可控硅整流器在煤矿井下的应用

虽然真空开关比一般开关有很多优点，但它在正常操作时并不是无电弧，而仅是电弧不外露，当断开电流很大并超过其本身的截断容量时，真空开关管也可能炸裂，同时由于它本身固有的截流、预击穿及重燃现象可能引起的过电压问

题，还有待进一步解决。所以目前在煤矿井下使用真空开关，还不能使井下供电的安全根本改变。

近年来，可控硅整流器由于下述优点在迅速发展：

(1) 可控硅整流器是一种高度可靠的无触点开关元件，它的平均安全使用寿命大于1万小时的数量级。可以在大约1微秒内接通，50微秒内断开。如果以它代替现有的电磁开关装置，将大大缩短断开井下故障电缆的时间，限制故障电弧的释放能量，从而最终消除了煤矿井下接地故障所引起的电弧点燃井下爆炸性瓦斯混合物的可能性。这是目前井下漏电保护技术无法解决的问题。当配合快速动作的漏电保护装置使用时，即使人体直接接触10千伏电力导体也不致于死亡，大大提高了井下供电系统的安全。

(2) 可控硅整流器在正常运行时不产生电弧，它的控制电路只损耗几瓦的功率，可以做到安全火花型的标准，完全消除了大电流电弧对防爆外壳所造成的损害，大大提高了防爆性能。

(3) 广泛地应用可控硅控制器，不应简单地认为是直接代替电磁接触器，它除了接通或断开电动机电源以外，还可以对电动机提供连续变速控制。如果在采煤机上采用可控硅控制器，可以简化或甚至取消机械的传动装置。

(4) 在煤矿井下普遍采用可控硅控制器，将可取消井下变流站及直流配电线路，更方便地使交流电源标准化，并可采用更高的供电电压。同时由于可控硅整流器运行可靠，平均安全使用时间长，将大大简化井下的维修工作。

可控硅整流器在煤矿井下应用的范围越来越广，用它作为蓄电池电机车的控制装置，能够连续变速及发电反馈制动，增大了电机车的运行范围，而且有效率高、运行可靠的

优点。过去由于它的价格较高，额定功率受限制，和冷却、防爆方面还有些问题，影响了推广。但随着可控硅整流器额定功率不断增大（目前单台可控硅控制器的容量已达到1000千伏安），价格逐步下降（等于或甚至低于一般电动机控制器），可控硅整流器的应用必将日益扩大。

现在美国工业用最大功率的可控硅整流器的冷却水流量为 3.8 升/分，而美国采煤机的水冷式电动机的水流量为 19 升/分，因此可控硅整流器所要求的冷却条件在采煤机上已经具备。最近美国认为使用市场上供应的可控硅控制器，代替采煤机上所用的电磁控制器，在技术上和经济上完全是可行的。一九七六年美国已成功地应用可控硅控制器控制煤矿井下输送机的鼠笼型电动机。

可控硅整流器运行可靠，效率高，以它构成直接式变频器，用来控制交流电动机的转速是现实的。这种变流器可以把一个固定频率的交流输入电压变换成另一个可控频率的交流输出电压，它是一种适合交流电动机理想的变频传动装置。目前英国已可以设计1100 伏，500 马力的防爆型直接式变频器。但当输入电源的频率固定时，它的输出频率必然小于电源的频率。如果采用另一种间接式变频器，首先从交流变换成直流，而后再由直流变换成可控频率的交流，便不受上述频率的限制。虽然可控硅整流器也有某些缺点，如过载能力低等，但只要设计恰当，是可以克服的。

第三节 电子计算机在煤矿井下环境监视 和对井下运输系统的自动控制

目前美国在煤矿井下发展的监视系统，可分成三大类：
(1) 运行监视系统，它对煤矿井下的环境进行连续监视，

掌握井下环境条件的变化；(2) 火灾检测监视系统，用来鉴别煤矿井下可能发生的火灾；(3) 灾害后的监视系统，用于煤矿井下发生灾害后的营救和恢复工作。

在运行监视系统方面，美国矿业局在Bruceton的一个研究矿井研制了一个监视和通讯系统，这个系统可以就地或远距离连续监视井下十个监测站周围的甲烷、一氧化碳、氢气的浓度；烟气、温度、温度上升速度和噪音等八个参数。除了在每个监测站就地读出各种参数并发出警报以外，全部数据通过一对巡回检测线路传送到地面监视控制室。该遥测回路同时也可以作为井下各监视站与地面监视控制室之间的通讯联系。井下监视测站是由各种电子传感器和电源两个主要部分组成。地面监视控制室包括一个控制台、电子计算机以及有关外围设备，具有对整个监视系统进行集中控制、指令、记录及显示等作用。从井下各监测站搜集到的各种数据可以在控制盘示波器或电传打字机的终端显示出来。一般的操作方式是由电子计算机发出指令，按顺序向每个井下监测站发出询问，每隔6秒钟按顺序接收到一个井下监测站发回的数据，这样一分钟便可以收到十个井下监测站的全部数据一次。电子计算机把接收到的数据（包括传感器和警报及情况指示器发来的数据），通过检验、分析、显示并连同日期时间一起记录在磁带上。并在显示盘上显示，在发生故障时，发出音响警报及闪光信号，并指令电传打字机打印出警报信息，连同事故的时间一起提供文字记录。美国矿业局准备将来在井下所有危险区域都装设监测站，在地面监视控制室对整个井下环境进行连续监视和控制。

在火灾检测监视方面，美国匹兹堡采矿及安全研究中心研制了一个火灾检测及遥控系统，该系统采用无源的受热激

励检测器，它可以确定火灾的发生地点，并通过现有的电话线路，把所提供的数据传送到地面。

在灾害后的监视系统方面，美国匹兹堡采矿及安全研究中心研制了三个钻孔探测器，用于灾害后的营救及恢复工作：第一个探测器包括一个低光平的电视摄影机及一个总光源。当发生灾害或矿井再开始生产时，通过钻孔把它垂放下去，检查井下巷道的情况；第二个探测器包括一个瓦斯取样检验系统、内部通讯以及温度和放射性传感器，可以通过钻孔用这些传感器检测煤矿井下的环境条件；第三个探测器包括内部通讯联系及一个闪光信号灯，准备在发生灾害的钻井中使用。

目前世界各主要采煤工业国除了应用电子计算机对煤矿井下的环境进行连续监视以外，还对井下部分机械设备及生产过程实行地面集中自动控制，并积极准备条件向整个矿井生产过程的自动化过渡。英国煤炭局的采矿研究与发展公司（MRDE）所研制的监视和自动控制系统已在英国煤炭局所属煤矿成功地运行。它包括地面自动控制井下输送机和煤仓，并对井下环境进行连续监视。该系统由三个部分组成，即传感器、数据传送系统以及地面中心控制室。

传感器是一个非常重要的部分，它关系到监视控制系统的准确度、稳定性和可靠性。目前国外煤矿在井下环境的安全监视和检测方面，大量采用新的遥感检测技术，其中包括红外线、激光、同位素及超声波等，可以预见，将来这些新技术在煤矿井下的应用将有着宽广的前途。

关于数据传送系统，在英国煤矿井下广泛使用安全火花型已十几年了。比较流行的系统是用二进位按时间分隔的多路传送系统。整个系统包括若干个分站，每个分站具有24位

的容量，用 4 或 6 芯电缆把这些分站连接到地面中心控制室，在中心控制室装设电子计算机对每个分站传送逻辑指令。如果对采煤设备的控制以及对环境和生产情况监视的要求增高，将要求提高传送速度和可靠性，通常在每个分站上装设微处理机器组成这种系统。

地面中心控制室——煤矿井下遥控系统大多数任务都可以由电子计算机，或更确切地说，由计算机的程序来完成。目前英国已研制一种多用的控制台。适用于各种不同的用途，如控制井下输送机、泵及风机等，或监视井下环境条件及各种开关的运行状态，或把二者混合起来。它通过一个标准的联系方式（通常是电传打字机）和任何型式的电子计算机联系起来。在地面中心控制室内，一个操作人员可以通过这种控制台很方便地控制井下100台输送机或其它设备。

一九七三年英国Bagworth煤矿使用这个系统自动控制井下的运煤系统，首先控制胶带输送机及水平煤仓；而后发展到最佳地使用输送系统，包括把煤和岩石分离开，以及自动控制煤仓；并在短期内实现彻底改进选煤操作系统。

用电子计算机控制井下运煤系统，可以使操作人员摆脱很多烦琐的日常工作（如按顺序起动输送机及控制煤仓的出煤量）。通过电键盘送入简单的指令，在模拟图上显示出输送机的运行情况，操作人员可以询问过去工作班存储的数据，以研究输送机延迟或事故情况。此外，他还能远距离将任何一台输送机或煤仓，转换为自动形式并把输送机及煤仓置于电子计算机控制之下。

当电子计算机检测到输送机发生故障时（包括斜槽阻塞，皮带滑动、皮带走偏、轴承及电动机过热、刹车故障、皮带撕裂、电气故障、冒烟及其它故障），将同时停止全部

皮带，一俟故障消除，全部皮带将重新按顺序起动。当不需要立即停止全部皮带时，为了进一步防止皮带超限和斜槽阻塞等故障，也提供了按反顺序停止皮带的可能性，此时电子计算机将等到前一条皮带确实停止以后才停止第二条皮带。

在运煤系统中，煤仓上装设就地控制，自动装煤及平滑调节出煤的反馈系统。地面中心控制室的电子计算机监视煤仓自动装煤系统的运行情况，并对给煤机构发出所需的卸煤速度的信号。卸煤速度可以由地面中心控制室操作人员决定，也可由电子计算机按照预定的运输系统控制程序来决定。

此外，固体电路在煤矿井下的广泛应用，由于近代电力系统对可靠性的要求不断提高，原有的电磁式继电器和脱扣器，无论在灵敏度和选择性方面都往往不能满足要求。目前国外煤矿井下配电系统的过负载、短路、接地漏电保护和其它监视回路都已普遍采用固体电路，并逐步由分立元件过渡到集成电路，新设计的固体保护装置和监视回路采用标准的插接单元，便于维护和修理，而且调整范围宽，适应性强，因此它比一般电磁式装置具有更高的可靠性、稳定性和灵活性。

第四节 九十年代世界煤矿井下电气 技术的展望

世界上的新技术往往首先应用于一般工业，而后逐步推广于煤矿井下。因此煤矿采用新技术的大多数情况，实际上是移植和推广在地面一般工业已经成熟的科学技术。这种情况往往与煤矿井下的恶劣运行环境有关。从这个观点出发，并结合煤矿井下综合机械化对电气技术的要求，对九十年代

世界煤矿井下电气技术的发展展望如下:

(1) 虽然目前世界各主要采煤工业国都在研究新的采煤方法,例如在技术上已经成熟的地下气化及液化采煤法,英国煤炭采矿研究及发展公司发展的高压水细射流采煤的无人工作面,以及美国在一九七五年提出特有的安全采煤系统(Inherentiy Safe Mining System)等。即使这些新的采煤方法试验成功,预计九十年代还不会达到全面推广的地步。因此可以设想到本世纪九十年代世界主要采煤工业国仍将继续向着高产量大功率的综合机械化工作面发展。那时将有比较多的工作面是日产万吨,采煤机的总功率达1000千瓦,工作面用电总容量达3000千伏安以上。为此,必须相应地提高工作面供电电压。目前英国已开始研制3000伏工作面电气设备,西德开始研究在工作面采用6000伏供电电压的可能性。可以设想在九十年代将会逐步推广使用更高的工作面供电电压。

(2) 随着工作面电压的进一步提高,必须相应采用安全可靠是现代开关设备,这些设备的主要标志是断开速度高而且无电弧或电弧不外露。空气开关体积大,不容易克服在正常操作时电弧对开关本身以及对外壳防爆性能的危害,势必逐步被淘汰。而从七十年代开始在煤矿井下使用的真空断路器和真空接触器由于它本身所具有的断开速度高、电弧不外露,无闪络危险、体积小、重量轻、介质复原迅速、维护简便、运行可靠等优点,必将更广泛地在煤矿井下使用。

(3) 随着可控硅整流器生产技术的日益发展,成本的下降和它本身所具有的无电弧、开关速度快,使用寿命长等优点,预计到九十年代将以它为基础组成无触点的开关元件或电动机控制器,逐步代替现有的电磁式开关和控制器。