

矿山采掘电气化



250.3
630-04

矿山采掘电气化

北京矿业学院矿山电工教研组编著

煤炭工业出版社

1960·8 北京

内 容 提 要

本書論述矿山电气设备的特殊工作条件及其特殊要求、矿山用电安全技术、矿山照明设备与计算、矿井及露天矿的供电系统、供电设备与供电计算以及有关采、掘、运机械的电气设备及控制系统、小型机械化的控制系统、矿山用电的经济指标等。

本書适于作为矿业学院机电专业教学用书，也可供非机电专业、煤矿中等技术学校以及现场机电工程技术人员参考。

1590

矿 山 采 掘 电 气 化

北京矿业学院矿山电工教研组编

煤炭工业出版社出版(社址：北京东长安街煤炭工业部)

北京市书刊出版业营业许可证出字第084号

煤炭工业出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行
各地新华书店经售

开本 787×1092 毫米 $\frac{1}{16}$ 印张 $13\frac{3}{4}$ 字数284,000

1960年8月北京第1版 1960年8月北京第1次印刷

统一书号：15035·1176 印数：0,001—5,500册 定价：1.60元

前 言

建国十年来，在党的英明正确领导下，由于苏联无私的援助、全体煤矿职工辛勤忘我的劳动和全国人民的支援，我国煤炭工业面貌发生了巨大变化。特别是贯彻了党的鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线以及一整套两条腿走路和在工业战线上以钢为纲、全面跃进的方针后，取得了1958年以来的连续大跃进。煤炭产量远远地超过英国。目前不仅拥有一大批在高度电气化的基础上改建和新建起来的大型现代化的矿山企业，而且有更多的分布全国各地的土法开采的小型煤矿。在现代化的煤矿企业里，电气化的范围不限于将电能应用于矿井地面与井底附近的大型设备，而且一直用到采区工作面的采掘运输机械上去，使井下的繁重劳动绝大部分机械化了。这些现代化煤矿今天负担着我国四分之三以上的煤炭生产任务，为新矿井培养着工人和干部，成为我国煤炭工业的骨干力量。根据不完全的统计，目前中央和省、市管理的煤矿中工作面和巷道运输机械化程度已提高到90%以上，机械化程度的提高离开电气化的基础是不可想象的。矿井生产过程机械化、电气化与自动化程度的不断发展与提高，是继续发展我国煤炭工业的重要保证。

目前，全国煤矿职工在党的领导下，正在大搞以技术革新和技术革命为中心的群众运动，许多矿井的广大职工在深钻苦干，战胜重重困难后，实现了井下机械化、半机械化，自动化、半自动化，大大减轻了体力劳动，提高了生产效率。地方小型煤矿的技术改造也取得了很大成绩，今天的小煤窑经过不断提高，可以发展为现代化煤矿，它们在技术改造过程中，正结合地方的特点迅速的成长起来。随着我国煤炭工业科学技术的向前发展，采掘电气化事业也有着我国实际的特点。这些成就必须加以总结、提高和系统化，这是今天技术工作者面临的任务。

自从贯彻党的教育工作方针以来，广大师生参加了劳动生产与技术革命，技术理论与生产实际日益紧密结合起来，在劳动中树立了无产阶级的立场观点，提高了以培养全面发展的共产主义新人为目的的教育质量。采掘电气化自动化事业的发展进一步要求用结合我国特点的新技术理论武装未来的矿山机电人员。“矿山采掘电气化”教材便是在这种条件下为了满足教学需要而编写的。

北京矿业学院矿山电工教研组的全体同志在党的建设社会主义总路线的光辉照耀下，在十年来学习苏联先进经验的基础上，为了适应目前教学工作的迫切要求，决心结合我国实际情况由教研组教师胡天祿、喻純新、許世范、朱摩訶、郭余庆等同志执笔，教学小组集体讨论，编写了这一本“矿山采掘电气化”教材。但由于我们实际经验缺乏，收集资料不够，对教材中全面反映我国生产实际的要求也差的很多；加上政治理论和学术水平所限，时间又仓卒，不妥当与错误之处在所难免，欢迎现场及各校读者提出

意見，以便再版时修正。这本教材是1960年年初定稿的，半年來煤矿电气方面的技术革新和技术革命又有了新的发展，不及一一載入，有待再版时补充。

在討論編写大綱与初稿審校工作中，山西矿业学院、大同矿业学院、西安矿业学院、鷄西矿业学院、北京煤炭工业学院、东北工学院、合肥工业大学、阜新矿业学院、撫順矿业学院、双鴨山煤矿学校、泰安煤矿学校等有关教研組曾派教师参加，提出很多宝贵意見，特此表示感謝。

目 录

前 言

緒 論..... 5

第一章 矿山采掘电气设备的工作条件及特征..... 7

1-1. 电气设备的工作条件..... 7

1-2. 电火灾及其预防方法..... 7

1-3. 电火花点燃瓦斯、煤尘的条件和理论..... 9

1-4. 矿用电气设备的类型..... 13

1-5. 触电的危险及其预防方法..... 18

1-6. 保护接地系统..... 24

1-7. 矿用防爆型漏电继电器..... 33

第二章 矿山照明..... 38

2-1. 可见光线..... 38

2-2. 照明技术的基本概念及单位..... 39

2-3. 电气光源..... 42

2-4. 矿用照明灯..... 44

2-5. 探照灯..... 48

2-6. 照明计算..... 48

2-7. 矿用照明变压器..... 56

第三章 采、掘、运机械的电气设备及其控制系统..... 57

3-1. 工作面机械电动机的负荷特性..... 57

3-2. 矿用低压防爆手动控制装置..... 62

3-3. 防爆磁力起动器..... 63

3-4. 采、掘机械的电气控制系统..... 75

3-5. 运输机的供电与电气控制系统..... 81

3-6. 小水泵的自动控制..... 90

第四章 矿井供电及其电气设备..... 92

4-1. 矿井供电的基本要求..... 92

4-2. 矿井供电方式..... 95

4-3. 采区变电所位置的确定..... 99

4-4. 矿井供电设备..... 102

4-5. 井下变电所设备的布置..... 109

4-6. 矿用电缆..... 116

第五章 采区供电计算..... 124

5-1. 井下变电所变压器容量的计算..... 125

5-2.采区电纜线路計算.....	130
5-3.采区采用 660 伏电压的特征.....	144
5-4.采区低压电纜线路短路电流計算.....	145
5-5.采区供电及电气设备的保护装置.....	148
5-6.采区供电計算总例题.....	153
第六章 露天矿采掘机械的电气设备.....	159
6-1.单斗挖掘机的負荷特性.....	160
6-2.单斗挖掘机的电力拖动.....	163
6-3.CD-3(ЭКТ-4)型单斗挖掘机的电气设备.....	172
6-4.ЭИ-4/40型单斗挖掘机的电气设备.....	175
6-5.多斗挖掘机的电气设备.....	179
第七章 露天矿供电.....	182
7-1.露天矿的供电系統.....	184
7-2.露天矿供电的电气设备.....	187
7-3.露天矿供电計算.....	193
第八章 节约用电与电气化指数.....	197
8-1.节约用电的意义.....	197
8-2.功率因数.....	197
8-3.提高功率因数的方法.....	199
8-4.全矿功率因数的确定.....	203
8-5.电费.....	204
8-6.单位电耗及其他矿山电气指数.....	205
附 录.....	210

緒 論

“矿山采掘电气化”課程是“矿山电工学”的一个重要組成部分。矿山电工学是研究将电能应用于矿山具体生产条件的科学，其中包括矿井上下及露天矿所用固定及移动工作机械的电力拖动原理，自动控制原理、元件及系統，矿山企业供电配电所用电气設備和保护裝置的选择与設計，矿用电机車的电气設備及供电，矿山信号、通訊、照明裝置及系統。而矿山采掘电气化課程，只包括其中的井下及露天矿內供电及采掘运机械电气化各个应用部分。电机車及信号通訊有关問題不包括在內。

在半殖民地性質的旧中国矿山，是根本談不上全面电气化的。只有解放以后，在党的领导下，在苏联无私的援助下，才以精湛的技术装备了新的矿山和彻底改造了旧的矿山，矿山电工学这门先进科学技术才在我国得到了发展。

在电磁技术方面，我国科学工作的开始是很早的，根据呂氏春秋記載早在公元前300年我們的祖先就发现了磁石能吸鉄，到公元十一世紀的宋朝，应用来作指南針已很普遍。比起資產階級所宣揚磁鉄是由吉尔伯特（1540~1603相当我国清朝康熙年間）所发现的，要早得很多。

但是由于长期在专制帝王的封建統治下，我国科学工作者受到了长期的埋沒与束縛。而近百年来帝国主义者打开了中国的大門，进行了疯狂的掠夺，血腥的統治，将中国变成了半殖民地，根本就没有独立的电气事业。旧中国的矿山就是帝国主义与資本家对劳动人們进行残酷剝削的工具，除了个别大矿地面还有些电力或蒸汽拖动的提升、通风、排水設備外，大多数矿井几乎百分之百用繁重的体力劳动来进行采掘运输，矿工們要将一百公斤以上的煤通过矮窄的巷道，漫长的斜坡揹到地面。很长的平巷中用的是人力推矿車，馬拉矿車，极个别矿井有电机車运输。工人照明，有的是用嘴銜着的油灯与电石灯。当时矿山所用一切机械都仰給于帝国主义，如开灤唐山矿矿車所用的軸承，都必須来自英国工厂。由此可見旧中国煤矿工人不但劳动繁重已极，而且生产十分不安全。

解放后，在短短的几年內，我国电气化与矿山电气化事业得到了飞速的发展，首先在苏联专家指导下充分发挥了我国旧有发电設備的能力，1952年起开始了以火力为主的发电厂的建設，其中有若干个是苏联帮我們設計的，到1958年我国总发电設備为640万千瓦，九年来(比1949年185万千瓦)增长将近二倍半，并且相应地建設了輸电綫路与变电站。这些电力建設有力地支援了矿山的建設工作，在新建的矿井中，有最新式設備的机械化自动化的豎井。由于学习了苏联的先进經驗，自1954年开始全国許多矿山或工厂都仿造了IIPB-1007手控起动机、IIMB-1344和IIMB-1355型磁力起动机等矿用电气設備供現場使用，接着1955年又生产了TMIII型矿用电力变压器、TCIII防爆照明变压器、KO型防爆电动机及包括控制器照明灯的頓巴斯康拜因全套設備。以上所提到的矿用电气設備自

1959年起都按我国规定的新型号进行生产,而且由于在党的领导下,工人、技术人员的创造性劳动,在性能构造上都作了不少重大改进。例如新设计的 QCB₂ 型防爆磁力起动器在容量不变条件下体积缩小了60%,重量减轻了一半,装配省劲又方便。电磨損性能提高7.5倍,机械寿命提高10倍,断流容量增加8倍。工人乐意采用,而且每年工厂可节省钢材数千吨。在矿用高压设备方面,我国成批生产了VPB-6型防爆高压配电箱、PBH-6型普通型配电箱、GG3型地面变电所用配电箱、提升用各种标准型式的控制盘等。1959年起各种自动控制用的微型电机都相继的生产了,并以这些装备了我们的新旧矿山,改变了我国矿山的面貌,大大促进了我国矿山电气化、自动化事业的发展。就拿1958年来看,国家为提高原有矿井的机械化程度,增加了康拜因截煤机300多台,通风机和运输机增加得更多,目前我国国营煤矿中手镐采煤的生产方法已经绝迹,工作面 and 巷道运输的机械化程度提高到90%以上,随着群众性技术革命运动的开展,一些可以根本改善工人劳动条件的最新技术,也在我国许多煤矿中开始采用。1958年已建成的全部水力化(包括水力采煤,水力运输,水力提升)矿井就有八对,投入生产的水力采煤工作面一百一十五个。不必说明,矿山机械化水力化水平的发展只有在电气化的基础上才有可能。1959年底煤炭工业部总结了一年来改造小煤窑的经验。在交流1959年改造小煤窑经验的基础上,将促进更多小煤窑成为利用机械或半机械提升的矿井,逐步减轻笨重的体力劳动。这是进一步在煤炭工业中贯彻党两条腿走路方针的重要步骤。现在全国煤矿职工正在掀起一个群众性的技术革命的高潮,各工种树立标兵,在现场交流推广先进经验,使煤矿生产水平正在不断地提高。

我们当前的任务是:在保证正常生产的同时,大闹技术革命;在减轻体力劳动,使采煤生产过程在全面机械化、电气化的基础上,使全部工作机械由远距离集中控制,发展到矿井综合自动化——包括将水力化矿井自动化;以提高生产率,降低成本,提高劳动的安全性。为此,必须在煤矿生产中坚决贯彻鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线。

第一章 矿山采掘电气设备的工作条件及特征

1-1. 电气设备的工作条件

矿山采掘作业主要是在地下进行(露天矿除外),因而采掘机械及其电气设备必须适应地下作业的特殊条件,这就是:

1. 井下巷道、峒室和工作面狭窄,工作繁重,因此电气设备要有足够的容量,又要有最小的尺寸。

2. 设备移动频繁,如截煤机、联合采煤机、运输机、装岩(煤)机及其他电气设备,必须随工作面的推进而移动,因此电气设备在结构上除尽量减小其重量和体积外,在外壳的底部还装有滑板或小轮,以便于移动。并采用橡胶软电缆及专用的电缆插销装置向移动机械供电。

3. 由于工作面经常放炮以及顶板压力,岩石和煤块时常塌落,损坏设备。因此电气设备必须有十分坚固的外壳。

4. 井下有水、矿尘和潮气。为了避免水、矿尘和潮气进入电气设备内部,外壳应做成密封的,并涂以防锈防腐的油漆。电气设备的绝缘应用防潮的材料作成。

5. 井下有瓦斯和煤尘燃烧和爆炸的危险。因此电气设备应做成防爆或安全火花型式的。在实际工作中,应根据保安规程^①规定,各种不同矿井应采用不同的电气设备。

在沒有瓦斯、煤尘爆炸危险的矿井,应采用矿用普通型电气设备。在有瓦斯、煤尘爆炸危险的矿井中应根据具体条件采用矿用安全型电气设备,防爆或安全火花型的电气设备。

1-2. 电火灾及其预防方法

1. 电流引起瓦斯燃烧的原因

在矿井中引起瓦斯燃烧或爆炸,会给生产带来很大的危害。党和政府十分注意安全生产,将安全生产作为企业,尤其是煤炭工业的生产方针。在煤矿中严格贯彻了保安规程和技术操作规程。因此,十年来基本上消除了煤矿中瓦斯爆炸现象,保证了工人的生命安全。

在矿井生产中,瓦斯及煤尘燃烧的主要原因是电火花、电弧及过热的导体所引起。

当通过导线的电流比其允许温升电流大得多,或导电部分接触不严密而形成接触电阻过大时,可能发生火灾事故。因为通过导体电流越大,所产生热量也越多,温度增高也越快,例如,电路中发生短路时,因短路电流很大,导线的温度升高特别快,在几秒

^① 保安规程,指1955年12月12日煤炭工业部颁布的煤矿和油母页岩矿保安规程,下同。

鐘內就可使導線發紅，使易燃的絕緣材料燃燒起來。若附近有木支架、瓦斯和煤塵等，就會使災情擴大，甚至會引起瓦斯、煤塵的爆炸。如果電路中因過負荷使電流增加時，雖然導線的溫度升高較慢，但過負荷時間過長，也會使導線發紅而引起火災。防止過電流及短路的有效措施，是採用保護裝置（可熔保險器、過熱繼電器和過電流繼電器等）。當發生過電流時，保護裝置將電氣設備從電源斷開。

導電部分各元件接觸不嚴時，將使接觸電阻增大，電流通過時，便產生大量熱量，使此局部接觸面溫度很快升高。為了防止電路中導電部分接觸不良，電纜與電纜的联接採用電纜接綫盒，電纜同受電設備联接用插銷接綫盒。電纜联接不好是引起井下火災最主要的原因。尤其是電纜接綫盒往往因灌瀝青時有空氣隙，潮氣容易浸入，當受熱時氣體膨脹，可能發生電纜接綫盒爆炸事故。

變壓器油雖是絕緣的，但因井下潮濕，如果油中吸收了水分，會使油的絕緣性能降低，所以裝有變壓器油的電氣設備（如變壓器、油開關、控制器等），如果不對絕緣油作定期試驗，往往會由於油的絕緣性能降低而形成電弧和相間短路。絕緣油分解出含氫的混合氣體，此混合氣體在高溫下也能發生爆炸。

井下照明燈日久被煤塵復蓋，使電燈泡不易散熱，結果燈泡溫度升高，也會使煤塵燃燒。因此井下電燈必須有保護罩或者使用熒光燈。因熒光燈溫度不高，不會引起瓦斯和煤塵燃燒。

2. 預防電火災的辦法

預防電火災的主要方法是正確選擇、使用和安裝電氣設備及電纜；防止發生短路及過負荷等現象。

礦山電網內各電氣設備元件（如電動機、控制裝置及電纜等）均應按允許溫升條件來選擇。此外還要有相應的過電流保護裝置，以便當電網中，電流超過其允許值時，自動將用電設備從電網斷開。

電氣設備與電纜联接部分的接點不應鬆動，在運行中並應經常檢查和修理。橡膠軟電纜損壞處的修理應用熱補。電纜的联接用電纜接綫盒，其中灌滿瀝青或其他絕緣混合劑。在敷設電纜時，應當注意不會因岩石、支架的塌落或礦車出軌等碰壞電纜。

鎧裝電纜的外包蔴皮最易燃燒，故保安規程規定凡井下峒室一律不許用帶黃蔴保護層的電纜。

對變壓器油，應定期（半年或一年）取出油樣作試驗，若其絕緣降低時，必須經過過濾和再生處理，提高其絕緣性能。並經過耐壓試驗後，才能使用。

3. 電火災的撲滅方法

由於電弧、電火花引起火災，是不允許用水和普通泡沫滅火器來滅火的。因為水是導體，如用水向燃燒的電氣設備上滅火時，電流就會通過水而流經人身，這是很危險的。如果發現了電火災，應按下述步驟處理：

首先將着火的電氣設備或導線的電源切斷，再用砂子或四氯化炭滅火器來滅火。

必要时,在确知已断开电源后,方可用普通灭火办法来灭火,但用水灭火会进一步损坏电气设备。矿山灭火有受过专门训练的消防队负责,当发生事故时,要听从他们的建议和指示。

1-3.电火花点燃瓦斯、煤尘的条件和理论

1.电火花引起瓦斯、煤尘燃烧的条件

矿井里,往往含有瓦斯(沼气)及其他易燃的气体(氢等),其中以沼气最为危险。当瓦斯含量达到4%~14%时,遇到电火花或灼热导体,在点火温度下,即能燃烧。当瓦斯含量达到8.3%~8.5%时最容易燃烧。

瓦斯的发火温度不是固定不变的,而与火花能量、火花持续时间、周围空气温度和压力等有关,其变化范围由650°C到750°C。例如,火花持续时间为0.5秒时,其发火温度为740°;而持续时间15秒时,发火温度为675°。

电火花或电弧引起瓦斯燃烧的条件与下列因素有关:

- (1)火花能量及其参数(电压、电流及持续时间);
- (2)电路的参数(电感和电阻等);
- (3)接点的尺寸、材料和外形;
- (4)矿山气体的化学性质和瓦斯含量。

电压增高,将使点燃瓦斯的最小点燃电流减小。例如,在某一定参数的电路中外加电压为25伏时,最小点燃电流为1.18安培,而电压为140伏时,则最小点燃电流为0.88安培。

电流频率增高时,会使点燃瓦斯的电流增大,但必须超过1000周时,才有明显的效果。当频率为100000周时,使瓦斯燃烧的电流值比50周时的燃烧电流值大5~10倍。

电路中的电感值对点燃瓦斯电流值影响很大。这是因为随着电感值的增大,储藏在磁场内的能量也越大。在断路时此能量将助长火花能量,因之使瓦斯点燃电流减小。然而过大地增加电感值时(大于2~3亨),瓦斯点燃电流的减小也就不明显了。

最小点燃电流与电感的关系见图(1-1)。由图中可看出,当电感甚小时(由0到0.2亨),电感变化范围不大,即可使点燃电流减小很多。然后随着电感逐渐增加,瓦斯点燃电流将逐渐减少,最后当电感继续增加时,点燃电流几乎不再减少。

接触点材料的熔点越低,接触面积越小和切断速度越快,瓦斯点燃电流值越小。接

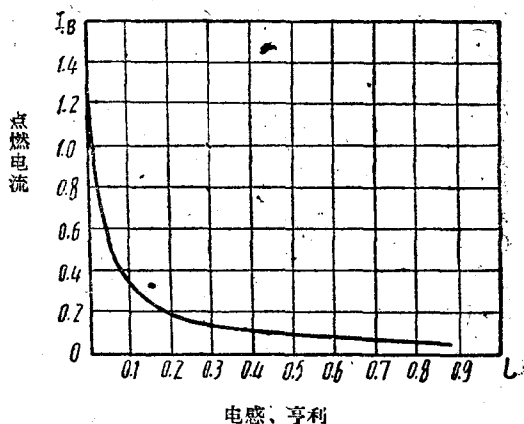


图 1-1 瓦斯燃烧最小电流(I_b)与回路电感(L)的关系

点切断速度快，会有两种影响：首先使自感电势（ $e = -L \frac{di}{dt}$ ）增加，即增加了断路的火花能量，使瓦斯更易点燃；另一方面由于切断速度快，散走的热量小，也降低了点燃电流。

2. 电火花点燃瓦斯的理论

由上述可知，影响瓦斯点燃的因素很多。但当外界条件一定时，引起瓦斯燃烧的主要因素是电火花能量的大小。根据多次试验，B.C. 克拉夫欽柯发现电路断开时，所产生的短暂的电火花，一般要经过两个过渡阶段；最初是弧光放电阶段（亦称电弧放电阶段）见图(1-2)中(I-I₁)段，然后转入辉光放电阶段(I₁-I₀)，最后以振荡过程结束放电阶段。

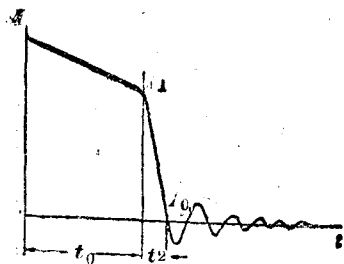


图 1-2 断路时电流波形图

I-I₁—弧光放电阶段；I₁-I₀—辉光放电阶段；t₁和t₂—为“弧光”和“辉光”阶段放电持续时间。

辉光放电温度低，在电极上分布面大，不能使能量高度集中在火花间隙内。因而，这种放电不能点燃矿井瓦斯。

电弧放电的特点是温度高，并且集中在电极尖端的很小范围内，所以容易点燃矿井瓦斯。

总起来讲，电路断开时，点燃矿井瓦斯是发生在电弧放电阶段。因此，计算电火花引起瓦斯燃烧所需的能量时，没有必要考虑消散在电火花中的全部能量，只需要计算弧光放电阶段的能量即可。这一能量可根据下式求得：

$$A = \frac{LI^2}{2} - \frac{LI_1^2}{2} + \frac{(I - I_1)(U + 2I_1R)t_1}{6} \quad (1-1)$$

式中 I——断路时的电流(安)；

I₁——电弧折断时的电流(安)；

U——电源电压(伏)；

R——电路电阻(欧)；

L——电路电感(亨利)；

t₁——弧光放电阶段持续时间(秒)。

从上式可以看出，断开电路时，电弧的能量由两部分组成：一部分为来自电路中磁场的能量，

$$A_m = \frac{LI^2}{2} - \frac{LI_1^2}{2}$$

另一部分为来自电源的能量，

$$A_0 = \frac{(I - I_1)(U + 2I_1R)t_1}{6} \quad (1-2)$$

运用上述公式，可以计算当电路中电感、电阻、电压和电流为各种不同的数值，断路时弧光放电阶段的能量。

无论断路的电压、电流、电感和电阻是否相同，如电弧能量的平均值相同，则与其

相应的点燃或燃率也总是相同的。

在切断电路时，其弧光放电阶段的理论最大能量 $A_{\text{макс}}$ ，对于混合电路（由电感电路和无电感电路合成）为：

$$A_{\text{макс}} = \frac{(1-a)^2 U I t_{\text{макс}}}{12a} \quad (1-3)$$

式中 $t_{\text{макс}}$ ——切断一已知电路时，电弧的最大持续时间(秒)；

$$I = \frac{U}{R} \text{ (安);}$$

$$a = \frac{1}{6 \frac{T}{t_{\text{макс}}} + 4};$$

$$T = \frac{L}{R} \text{ --- 时间常数。}$$

对于无电感电路为：

$$A_{\text{макс}} = 0.1875 U I t_{\text{макс}}.$$

因此，可以构成一个点燃条件，如火花的最大能量 $A_{\text{макс}}$ 大于点燃的最小极限能量 $A_{\text{мин}}$ 时，就能点燃矿井瓦斯。

对于混合电路，这个条件可以用下列不等式来表示：

$$\frac{(1-a)^2 U I t_{\text{макс}}}{12a} \geq A_{\text{мин}}. \quad (1-4)$$

而对于无电感电路则为：

$$0.1875 U I t_{\text{макс}} \geq A_{\text{мин}}.$$

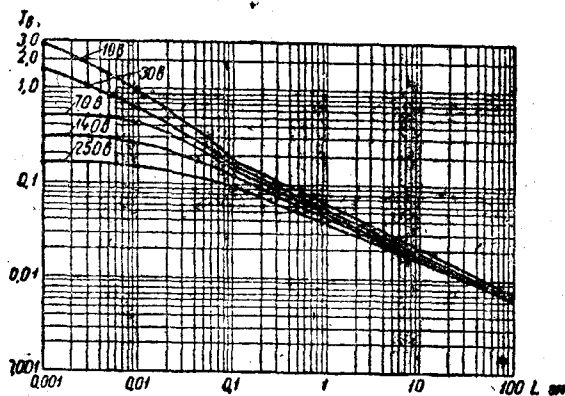


图 1-3 直流无铁心电感回路燃烧电流 I_b 与电压 U ，电感 L 关系曲线（试验时瓦斯含量 8.3%）

根据试验，得出点燃的最小极限能量 $A_{\text{мин}} \approx 1.1$ 毫焦耳。

由此，可求得相应的电流数值为：

$$I_b = \frac{12a A_{\text{мин}}}{(1-a)^2 U t_{\text{макс}}} \quad (1-5)$$

和

$$I_a = \frac{A_{min}}{0.1875 U t_{stake}} \quad (1-6)$$

这两个方程式实际上是表示安全火花特性 $I_a = f(L)$ 或 $I_a = f(U)$ 。这一结论与实验结果是符合的。今将点燃电流 I_a 与电路电压 U 、电感 L 的关系表示在图 (1-3) 中。由图中可看出, 随着电路电压和电感的增大, 均降低点燃电流值。

必须指出: 最小点燃能量 A_{min} 值与试验电流和火花次数有关, 目前尚未找出最终的答案。在较小火花能量下, 加多试验火花次数, 也能引起瓦斯燃烧, 在试验中也发现在 0.5 毫焦耳火花能量下, 也能点燃瓦斯, 不过这是在加多试验次数后出现的。在火花试验中, 连续火花次数有个最起码的规定 (即 18000 次), 因为在试验中可能在开始 1000 次火花试验中没有一次瓦斯燃烧, 这不等于安全火花, 如继续加多火花试验次数, 很可能在 10000 次火花当中发生了瓦斯燃烧。但这点是应该肯定的, 就是, 火花能量越小时, 点燃瓦斯的或然率也越低。B. C. 克拉夫钦柯对大量的试验资料作了全面的研究, 找出了瓦斯点燃或然率 P 与电路参数 (电流、电感、电压等) 的关系曲线, 并以指数坐标表示, 如图 (1-4) 所示。由图中可看出, 在电路参数已定 (例如 $U=140$ 伏; $L=0.05$ 亨), 电流为 0.2 安培时, 其点燃或然率 $P=3 \times 10^{-2}$ 。也就是说, 在此电流下, 在 100 次火花试验中, 发生 3 次点燃。如将试验电流减为 0.1 安时, $P=3 \times 10^{-6}$, 亦即在 1000000 次火花试验中, 发生 3 次点燃。图中各种电感值的线段均为平行的, 其斜率为 15.5。根据上述条件可找出已知任何或然率时的点燃电流的一般公式:

$$I_a = I_0 \left(\frac{P_a}{P_0} \right)^{\frac{1}{15}} = I_0 \left(\frac{P_a}{P_0} \right)^{0.0665} \quad (1-7)$$

图 1-4 在各种电感和电流值时瓦斯点燃或然率曲线 (试验条件, 直流电压 140 伏以内)

式中 I_0 ——试验得出的点燃电流 (安培);

P_0 ——在 I_0 值时, 试验得到的点燃或然率;

P_a ——任何欲求的点燃或然率。

根据上式, 可求出在任何或然率时的点燃电流值, 或在已知电流值时, 求相应的点燃或然率。

例 1-1: 在 0.6 安的电路中试验时, 每 100 次火花发生 3 次燃烧, 求燃烧或然率为 10^{-4} 时的电流值。

已知 $P_a = 10^{-4}$

$$I_n = I_0 \left(\frac{R_n}{P_0} \right)^{0.0645} = 0.5 \left(\frac{10^{-4}}{3 \times 10^{-2}} \right)^{0.0645} = 0.42 \text{ 安}$$

图(1-4)中实线由试验得出,实线的延长线,用点线表示,点线不是由试验得的,因为做这种试验的次数太多,用试验办法做起来很困难,故称点线部分为假想安全区域。

点燃或燃率越小的区域也就越比较安全。实际上认为 $P=10^{-6}$ 区域是绝对安全的。

1-4. 矿用电气设备的类型

1 矿用普通型电气设备

矿用普通型电气设备用于无瓦斯、煤尘爆炸危险矿井;或用于有瓦斯、煤尘爆炸危险的矿井的井底车场,但井底车场附近必须是没有瓦斯喷出现象,并有新鲜气流通过。对这类电气设备应有如下的要求:

- (1) 电气设备的外壳应有较高的机械强度,保护内部机构免遭损坏,并且能防止水滴入或溅入。
- (2) 电气设备的绝缘应是防潮的,并能在周围温度为 25°C ,相对湿度为97%情况下能正常工作。因工作中经常会过负荷运行,因此所用绝缘材料应不低于BC级。机器内部的绝缘,应是耐油的;
- (3) 触头及导电部分应装入封闭的外壳或浸在油内;
- (4) 电缆与电气设备的联接,按规定必须使用密封的电缆接头或插销装置;
- (5) 所有移动机械的控制电器及电缆插销装置均应有机械或电气的闭锁装置,以防止在带电情况下打开电气设备的盖,或拔掉插销装置,或当盖未盖好时送电;
- (6) 磁力起动器的控制线路电压不高于36伏。

凡符合上述要求的矿用普通型电气设备应在外壳上铸以KY符号(苏联符号为PH)。

2. 矿用安全型电气设备

在有瓦斯、煤尘爆炸危险的矿井里,一律将电气设备密闭在防爆的外壳中,这会使电气设备散热恶化,重量与尺寸加大。不仅增加了运转中的困难。并使电气设备价格昂贵。故对有瓦斯煤尘爆炸危险的矿井,应根据通风及瓦斯、煤尘含量等条件,采用不同类型的电气设备来满足安全用电的要求。

例如,鼠笼式异步电动机工作时没有发生火花的部分,因之在有瓦斯煤尘爆炸危险矿井中工作时,比滑环式电动机的危险性小。其他,如电缆接线盒等也是正常不发生火花的。因此凡是不装在采掘工作面,或虽有瓦斯喷出,但有良好通风的地方,可以不采用防爆型电气设备,而采用矿用安全型的电气设备。

对于这类电气设备,除符合上述矿用普通型电气设备的要求外,尚应符合下述要求:

- (1) 将正常工作中发生电火花或电弧的部分(如绕线式感应电动机的滑环、接触器

和控制器的触头、电话机的感应器等)密封于防爆的外壳中。

(2) 凡是正常工作中不应有火花、电弧的部分(如鼠笼式电动机、电缆接线盒等),在安装及操作过程中,应保证不发生电火花及电弧。

(3) 电气设备的额定温升比该级绝缘材料的容许温升高 10°C (相当容量降低10%)使用;

(4) 设备的外壳及各部件,必须用特殊的螺丝钉固定,只有专用的工具才能拆卸。

矿用安全型的电气设备应在外壳上铸以KA符号(苏联符号为PII)。

在有瓦斯煤尘爆炸危险的矿井中,矿用安全型的电气设备可用于通风良好的主要巷道。

3. 防爆型电气设备

在瓦斯、煤尘集聚的地方,由于机械及电气设备在工作中所产生的热量或电弧、电火花可能引起瓦斯、煤尘的燃烧和爆炸,爆炸的压力可能使设备的外壳毁坏,并引起外部气体的爆炸。因此必须采用防爆的电气设备。所谓防爆电气设备乃指设备的外壳具有一定的机械强度和特殊的加工。以保证外壳内部瓦斯爆炸时,不被损坏,并不致引起外部气体的爆炸。因此防爆外壳必须能承受一定的爆炸压力。

当瓦斯含量为8.3~8.5%时,其爆炸压力最大(约有7大气压)。因为最大爆炸压力与外壳的散热条件有关,所以体积越小的外壳所产生的压力也越小。因此防爆电气设备的防爆外壳,所能承受的最大压力,应根据体积的大小来决定。

根据防爆电气设备制造规程,不同体积的防爆外壳,必须经过下列压力的水压试验:

体积为0.5公升以下者	3 大气压
体积为0.5—2.0公升者	6 大气压
体积为2.0公升以上者	8 大气压

应指出,爆炸压力与爆炸前外壳内气体压力成正比。例如爆炸前外壳内气体压力为5大气压时,则爆炸时所产生的压力约为 $8 \times 5 = 40$ 大气压。为避免上述过大压力的发生,当防爆外壳内各个空间之间有缝隙时,必须用断面不小于750平方毫米的孔洞,将它们沟通起来。若孔洞为长方形者,其一边的长度不小于4毫米。

若将外壳做成完全密闭,不仅构造上是不可能的,对防爆作用来讲也不是有益的。

外壳内部的爆炸火焰,如能经一定间隙扩散至外面,若经过的间隙距离比较长,即能冷却,而不致引起外部气体爆炸。同时由于爆炸气体向外泄漏,也减小了内部的爆炸压力。因此防爆电气设备制造规程规定防爆接触面的宽度如下:

外壳体积为0.1公升以下者	5 毫米
外壳体积为0.5公升以下者	8 毫米
外壳体积为0.5—2.0公升者	15毫米
外壳体积为2.0公升以上者	25毫米

防爆间隙应不大于0.5毫米。

防爆外壳应该用埋头螺丝钉来固定,此螺丝钉必须用专用的工具才能拧开。

防爆电气设备必须有闭锁装置,保证带电时不能打开外壳。防爆电气设备应在外壳