

本质安全型设备 及电路

〔英〕 J. R. 贺尔

郁继裳 顾永辉

邵昌祺 冯绍异

译



煤炭工业出版社

本质安全型设备及电路

〔英〕J.R.贺 尔

郁继裳 顾永辉 邵昌祺 冯绍异 译

6X13/01

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书乃是英国多年来对本质安全技术研究和实践的总结。全书共二十一章，主要内容包括：本安技术的基本设计原理及试验装置；与本安设备相连接的电缆效应，确定电缆临界长度和 $\frac{l}{r}$ 比的方法；试验装置断开速度、电流、触点材质等因素影响最小点燃电流的关系；本安电路安全系数及故障状态的确定；印刷电路板及微型部件的爬电距离和漏电路的确定；多芯电缆的故障形式及其评估方法；各种本安电源的要求；研究本安电路各部分的接地方式，在何处接地？采用什么方式接地？进行优缺点分析；对新的本安规程进行说明等。本书从研究本安基本原理出发，引导出很多具体的做法，所以本书可作为从事本安技术研究、检验，及广大本安通讯、控制及数字传输系统人员的一本很好的参考书；对院校师生亦有较大参考价值。

责任编辑：刘庆韶 顾建中

James Robert Hall
INTRINSIC SAFETY
Marylebone Press Ltd

25 Cross street, Manchester M2 1WL England 1985

本质安全型设备及电路

〔英〕J.R. 贺尔

郁继裳 顾永辉 邵昌祺 冯绍昇

煤炭工业出版社 出版

〔北京安定门外和平里北街21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850×1168mm¹/₃₂ 印张14³/₄

字数390 千字 印数1—900

1990年10月第1版 1990年10月第1次印刷

ISBN 7-5020-0429-7/TD·389

书号 3221

定价 6.50元

译 者 的 话

在有爆炸危险环境中使用的现代的控制、监测、通讯等电气设备，均离不开本质安全技术在此领域的应用，随着近代电子技术飞速发展，弱电技术代替强电控制和联系方法必然是今后发展方向。为了安全可靠地运用这些新技术，向广大从事这一工作的人员推荐由英国 J.R. 贺尔 (J.R. Hall) 所著的《本质安全型设备及电路》(Intrinsic Safety) 一书，从这本书中我们可以看到下述主要内容：

●英国早在20世纪初期就开始研究本安技术，阅读本书可以了解到本安技术的发展、基本设计原理、本安概念及试验装置的变迁过程。

●在本书第十章中详细叙述了与本安设备相连接的电缆效应，确定电缆临界长度和 $\frac{l}{r}$ 比的方法。在第三章中对试验装置的断开速度、电流大小、触点材质以及用非线性电阻分流等各种因素影响最小点燃电流关系进行研究对比。为什么要用镉盘作试验？镉与锡盘的对比试验结果。

●本安电路安全系数及故障状态的确定以及对设计电路的评估。

●在以下几方面有明确规定：

1. 规定了印刷电路板及微型部件的爬电距离和漏电路；
2. 本安继电器线圈的触点接入非本安电路时的要求；
3. 浇注密封、绝缘试验、电容、半导体器件、电池组、限流电阻及安全栅等；
4. 多芯电缆的故障形式及其评估方法；
5. 各种本安电源的要求。

●在第十七章中详细叙述了英国井下电网的接地系统，内容包括接地极的制作，接地电阻要求，并探讨本安电路各部分的接地问题。在何处接地用什么方式接地？进行了优缺点分析。

●在第十八章中叙述了电话、扩音通讯、音响报警、数据传输系统以及系统电路的参数。

●对新的本安标准进行说明。

●在第十五章中还介绍了本安型的发爆器、绝缘连续测试器、各种灯具和指示灯、多效闪光灯、工作面照明灯等设备的性能。

●本书除对本安技术有详细介绍外，还对英国的漏泄电缆通讯及油温、胶带打滑、胶带限速、防止煤矸堵塞、火灾探测器、烟雾、空压机排气温度、辅助通风机的振动监察系统等传感器的技术性能等方面进行叙述。

总之，本书是英国多年来本安技术研究及实践的总结，对无论是从事研究、检验，或广大本安通讯、控制及数字传输系统的人员是一本很好的参考书。

参加本书翻译工作的有郁继裳、顾永辉、邵昌祺及冯绍异（按章次为序），顾永辉作全书总审校。由于此书专业面广，难免有不足之处，希广大读者提出宝贵意见。

序

1960年以前着重以机械化方法提高生产率，自1965年以来，电子计算机和数据传输等新技术用于监测其设备性能，达到处理决策、遥控或自动化的目的，以提高工业生产效率，当时，这些现代技术在煤矿以外领域得到发展，而装在地下有潜在危险的环境中的电气设备必须经特殊设计。惯常选择“本质安全”技术作为其安全保护。因为这是唯一对连接电缆电路作安全防护的技术，允许在监视系统工作时这些电路是带电的。为满足现代应用要求，原来用于信号铃的保护原理必须加以继续发展。

作者吉姆·贺尔 (Jim Hall) 曾在拉夫巴勒 (Loughborough) 学院学习并得到电气工程系毕业文凭。他于1947年从事采矿工业，并在莱斯特郡 (Leicestershire) 和南德比郡 (South Derbyshire) 煤田的一些矿井工作，任矿井电气工程师和矿区电气工程师。

1967年他调到总部的电气工程分部并于1972年任弱电处处长。在此岗位上，对本质安全用于采矿方面作了若干开拓性工作，并且在英国标准和国际委员会中代表着采矿的利益。他并不忘记早期在实际生产中的经验，并感到凡是从事上述开拓的人们均有责任为他人留下宝贵的经验。

这本书可满足长期以来本安技术在英国煤矿应用中所需的知识，是英国本安技术方面的经验积累，今后技术有所发展时，可在此基础上继续加以补充。

英国国家煤炭局技术局长 金莫塞斯 (Ken Moses)

前 言

1912~1915年，为改善煤矿信号铃的安全性，而引出本质安全这个概念。此后，得到进一步发展并广泛地用于电气设备。开始时本安技术是比较简单的，且用于简单设备。经过一些年后，运用这种保护方法来设计电气设备，使该项技术日益复杂。在最广泛的意义上讲，安全主要是在于发觉可能发生危险以及很好理解避免危险的措施。本书论及到在煤矿应用的本质安全型电气设备的设计与使用等有关因素。虽然本质安全的课题已经讨论了60多年，作者还没有查到这种技术应用于采矿工业上的专著。需要得到这类知识的人，要到图书馆书架上去寻找论文和文章，这些文章可能论及到这个课题的某一方面，是很不完整的。本书试图包括这个课题的所有方面，并为希望得到更详细资料的读者，在书的相应部分注出资料来源。由于本书包括了这个课题的很多方面，希望大部分已熟悉某些方面的读者将会找到更感兴趣的章节。本书还为使用者提供了很多设备的设计性能、现行的试验标准和使用条件。

前几章叙述了本安技术的发展过程，后几章着重叙述如何设计本安设备、本安技术应用方面的发展情况，以及当前对安全标准的看法。

本书虽然比较广泛的讨论了本安技术的各个方面，但读者不能认为这是对官方所制订的政策或法律的解释，这样的问题应该由国家煤炭局或安全保健局这样的机构回答。

在写此书期间，我对开拓了本安概念和进一步发展这一技术的人们致敬。我也愿对耐心地阅读不同章节并提出有益意见和批评的同事和朋友们表示感谢。本书所表达的任何意见是作者的意见而不是国家煤炭局或任何其它有关机构的意见。

詹姆斯 罗伯特 贺尔 (James Robert Hall)

目 录

第一章	导论	1
第二章	本质安全电路设计的基本原理	8
第三章	试验装置的一些早期研究和发展	28
第四章	最近的研究和发展	50
第五章	鉴定和批准程序——制造和检验标准	82
第六章	1960年以前本质安全设备在采矿工业中的 实际使用	94
第七章	1960年以来的通讯、信号和闭锁系统	117
第八章	1970年以前的监测和控制系统	146
第九章	新试验标准的冲击	170
第十章	相互连接电缆的效应	189
第十一章	新式矿用电话设备	232
第十二章	井下无线电通讯的应用	252
第十三章	监测装置和传感器	274
第十四章	新式数据传输系统	300
第十五章	其它本安型合格设备	319
第十六章	本安设备的结构和测试标准	335
第十七章	接地问题	369
第十八章	系统和网络——安全栅和耦合装置	399
第十九章	新标准的编制	424
第二十章	安装与维护	446
第二十一章	结束语	461

第一章 导 论

英国煤矿的煤层厚度为0.3~6m，在有些煤田中，可开采煤层多达10多层。煤层常为盆状，如图1.1所示。由于在煤层形成后，出现了地壳运动，破坏了煤层的连续性形成了断层或滑动，并在某种条件下形成了隐蔽煤田，如图1.1中（1）所示。

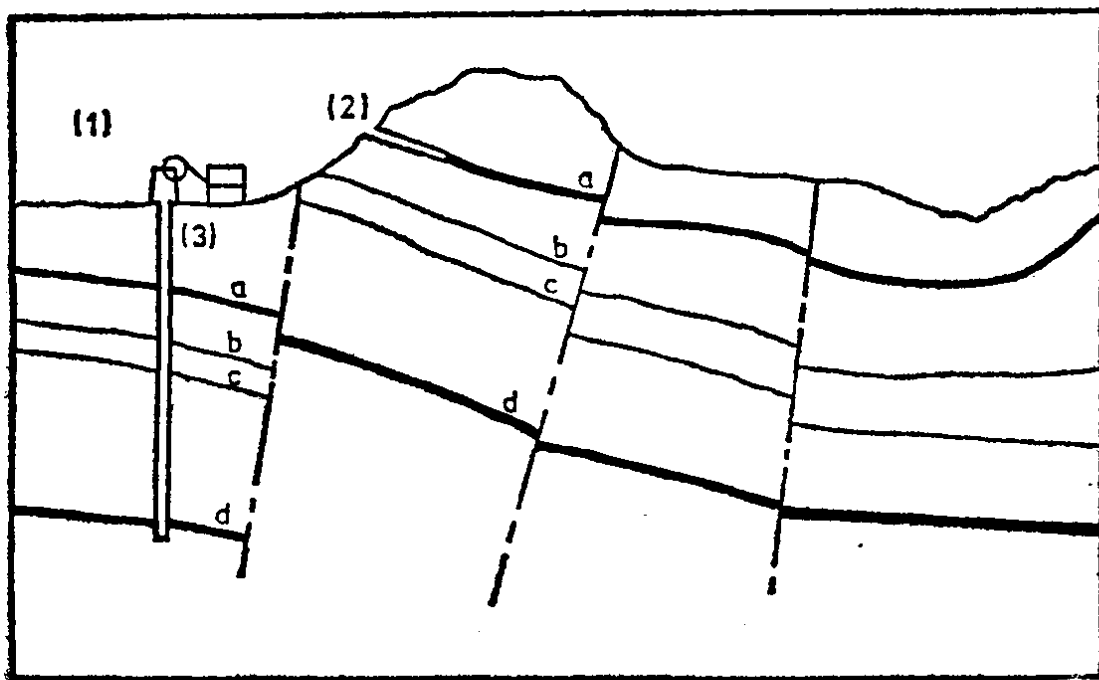


图 1.1

第一次采煤在有正确记录很久以前就开始了，而且很自然是从露出地面的煤层（2）开始的。当这些容易开采的煤层采完后，则在煤层中开挖巷道开采，直至出现水、通风和运输困难等问题，而不可能进一步开采时为止。自从蒸汽机发明后，才有可能将以前认为难开采的煤层开采出来。竖井（3）的开采方法是当竖井穿过煤层时，在煤层中掘进巷道采出煤炭。最初开采出来的煤距井筒较近，所以此时的井下运输是马拉的，后来采用蒸汽动力驱动的绳索牵引。

当井下开采范围进一步扩展时,通风就成了问题。主要是遇到含有二氧化碳和氮气的窒息性气体,这种气体比氧气重,聚集在工作场所底部,只能用强迫通风消散。早期的通风系统是用装在地面或井下的炉子,依靠燃烧所生的热气上升,造成必要的吸力将井下空气抽出矿井。这些早期的矿井限于凿井费用,往往只建一个井筒,井筒中间是隔开的,使井下的恶臭空气从一侧排出,新鲜空气从另一侧送入。在上一世纪,达累姆(Durham)县的哈特利(Hartley)矿由于独眼井筒中固定泵管的梁断裂,而使井筒堵塞引起很多人死亡的恶性事故。从此就制定了法律,要求至少设置两个井筒或者采取可替代出口的其它方法。

瓦斯主要包含甲烷,通常伴生在煤层内,是在煤形成过程中产生的。接近地面煤层中的甲烷,绝大多数经过极长的岁月泄漏掉了,但在深的煤层中,特别当覆盖着不可渗透的岩层时,在煤层或者在邻近岩层内,常常含有极大压力的甲烷,在开采这种煤层时就会放出大量甲烷气体。

在回采工作面或在掘进头,瓦斯的泄出大量增加,如无足够的通风量,瓦斯就容易集聚到爆炸极限,这就是在19世纪初期引起许多矿井爆炸的根本原因。处理瓦斯问题的唯一合适方法是使矿井的各个部分有足够的风量,以便降低井下空气中的瓦斯浓度,使之大大低于爆炸极限。如果甲烷与空气混合物中,甲烷的百分比降到5~15%时,就能点燃混合物产生爆炸,当达到高浓度时,甲烷与空气的接触面上会发生燃烧。消除高浓度的早期方法之一是将其放火燃烧,当然这是早已被抛弃的方法。

早期开采较深及含瓦斯较多的煤层时,矿井通风是由装在地面的蒸汽驱动的风机供给的。风机将空气从一个井筒向上抽出(上行),而新鲜空气从另一个井筒向下进入矿井(下行)。在井下开掘巷道经过矿井的每一个采区,形成完整的通风网络(图1.2)。在进风和回风巷道间必须开掘出连接通道作为通路,但此处应装风门以防止风流短路。在现代更复杂的矿井中,通风的基本原理是一样的,但采矿工程师可利用更现代的技术成就。

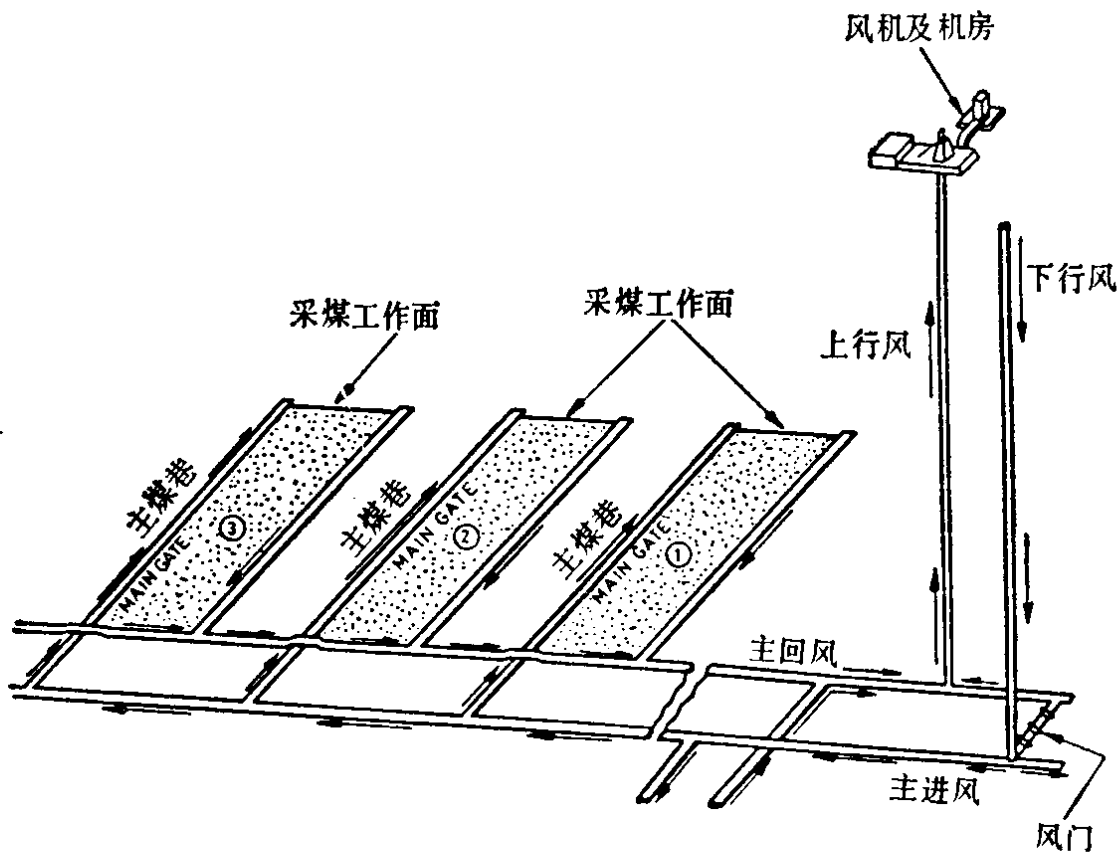


图 1.2

在19世纪末，电学和磁学领域中新的发现和发明开始用于采煤。不久，在矿井提升、通风或井底排水等主要装置，电动机成为蒸汽机的主要竞争者，电成为排水或绳索牵引等设备的动力源，20世纪初，电力的应用范围有很大扩展，但也给矿井带来了新形式的危险性。

1911年的煤矿法令中就把电击、着火危险和禁止“外裸火花”等考虑进去，在煤矿中电是控制使用的。由于当时缺乏合适的防护方法，火花被视作能够点燃瓦斯和空气混合物的。正常工作中的开关和接触器的触头以及在电动机的滑环和整流子上都出现火花，电路中的这些部分都必须合适地封闭起来。保护是基于这样的原则：当火花可能点燃在外壳内的可燃气体时，外壳应足够坚固地承受内部爆炸而不会损坏，并且在外壳内的任何接合面必须如此紧密地装配和牢固地关紧，这样，从接合面中被压出去的任何燃烧物会冷却到足够的程度以消除点燃外部大气中任何可燃气体。

体混合物的危险。然而早期的外壳设计可能是立足于实践判断而不是基于精确的理解。直至1926年，初次发表的BS229：“隔爆外壳”中，才规定了设计原则。

1911年的电气规程也重视了电缆在故障情况下能产生火花这一事实，当时要制造隔爆电缆是不现实的，规程要求电气回路应对出现的故障或过载起保护作用，以便将外裸火花的危险减至最小，并且防止任何着火危险。规程接受了这样的观点，即不可能完全防止电气系统所有的故障，但是，由于好的设计，故障只是偶然地发生并且当故障一旦发生时，应没有延迟地断开电路，以及为防止危险发生，应把泄漏电流导入大地。制订的另一个原则是除保留已批准的信号或电话设备外，电只能使用于矿井中瓦斯浓度不大于1.25%的那些地点。这个浓度只是5%的低爆炸极限的1/4，而选择这个数字的理由可能是基于取一个安全系数以适合在所有地点和所有时间监测矿井大气的困难，似乎只有在矿工安全灯的火焰上可容易地识别最小浓度。在任何地点，如甲烷浓度上升到超过1.25%，就需要即刻切断该处任何电气设备的电源。

因此如严格遵守规程所提出的要求，就会保证矿井中电力和照明的电气使用安全。但信号设备被排除在大多数要求之外，因为在这个时期不认为这样的电路能产生可引燃的火花，而规程中具体地适合于信号和电话设备的章节只论及到可靠操作。

1911年的煤矿法令颁行后不久，发生了一系列矿井爆炸事故，1912年有两次，而在1913年圣海德（Senghenydd）矿的重大灾祸中有400人丧生。这一灾祸造成如此的强烈震动，因而成立了一个政府调查团，以调查发生事故的原因，并建议采取必要的行动以防止类似事故的发生。当时要肯定地证实爆炸的确切原因是不可能的，但非常有力地表明火花是由电铃信号电路中发生的。爆炸力是如此巨大，甚至在地面也造成破坏。但是发火的位置发现是在运输巷道的某一点，此处正是习惯地以短接一对镀锌铁线的操作方式，向输送机司机发出运输信号。

当时由在内政部任技术官员的 R.V.惠勒 (R.V.Wheeler) 教授帮助调查团研究电铃信号电路所产生火花的引燃特性, 该电路和圣海德矿所用电路是一样的。他指出, 虽然 6 个湿式里单齐 (Leclanche) 蓄电池不能产生引燃的火花, 但在蓄电池和电铃的电路中所产生的火花能够容易地点燃甲烷空气混合物。惠勒教授确定了甲烷-空气混合物的可燃含量范围为 5.6~14.8% 其最易点燃的混合物的甲烷含量范围为 5.6~9.0%。他也指出, 电路中的电流和电感与蓄电池电压相比, 其点燃特性更多取决于电流和电感。本书后几章将说明惠勒教授所考虑的电路型式是正确的, 但在另外的情况下, 电路电压也是重要的。他也指出, 产生点燃所需要的最小电流当电感逐步减小时很快地增加, 这个结果非常一致。他用多种方法进行试验, 以减小电路中的电感或电流, 或把感性能量消散在并联短接绕组或串联电阻中, 这些方法使电铃电路达到安全。

在 1915 年 W.M.桑顿 (W.M.Thornton) 参加这一工作, 并在 1916 年发表了报告, 给出本质安全性电铃设计方法的更多知识, 从此本质安全的原理被建立起来了。他们集中力量使电铃线上的火花成为安全的, 并在研究报告中仍然推荐使用电铃的火焰密封罩以便将发生在颤动触头上的火花封闭起来。

惠勒教授第一个要克服的问题是研究在电铃电路中的火花究竟能不能点燃甲烷-空气混合物, 要进行这一工作就要设计试验装置。随后用了几种不同设计的装置, 图 1.3 所示为典型的试验装置。一个黄铜棒通过一个 100cm³ 容量的球形玻璃器具的一侧, 在其端部带有一个尖锐的白金条 A 形成一个能在它上面产生火花的电触头。另一个触头是白金棒 B, 这个棒装在一个玻璃支座上, 支座座落在玻璃轴承 C 上并能用由电动机拖动的轮子 D 转动。玻璃支座是空心的, 以便能够用铜线 E 在粗白金的短片于两端之间熔接而实现电气连接。上部的白金线带着棒 B, 而下部的线被浸在水银杯 F 内, 由此可完成电路。白金棒以每隔 5s 和白金条相接触的速度旋转, 白金条被弯曲一个角度, 这样, 当棒旋转时大约

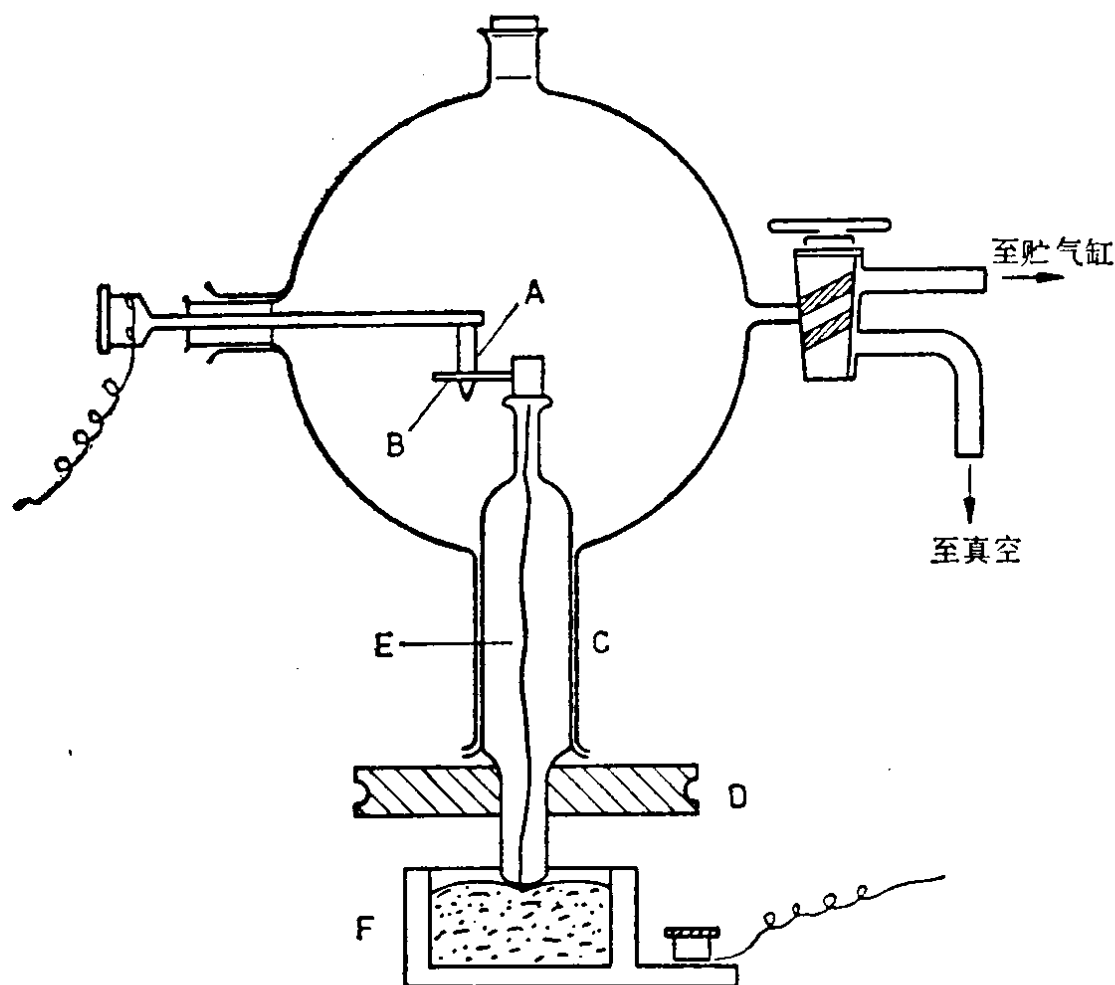


图 1.3 惠勒的试验装置

在半秒钟时期内和它保持接触，于是突然释放，电路快速断开。

当惠勒和桑顿研究低压电路中影响火花引燃因素时，他们建立了关于本安信号设备的试验根据。最初的试验安排是在特定的基础上作出的，并且电铃和继电器的试验有时是代表个别矿井进行的。

到1928年止，正如C.B.伯莱特 (C.B.Platt) 和R.A.贝利 (R.A.Bailey) 在报告中所证实的，这些做法已很稳固地建立了。伯莱特是设在设非尔德 (Sheffield) 的矿井试验站的负责人，他的报告说约有21种型式的电铃、13种型式的继电器和8种型式的电铃继电器已经通过本质安全试验而用于矿井中。报告中也提出如何进行评价整个信号系统的本质安全而不是分别地评价各个设备件的工作细节。并且除规定一个最大电压外，对限制信号蓄

电池的电流也提出建议。

这样，到1928年止，用于矿井电器设备的两种主要保护形式已建立了。完成了为“批准”而进行的信号和电话设备的试验，在1926年首次发表了英国标准 229 号，规定了对于隔爆外壳的要求。

第二章 本质安全电路设计的基本原理

在英国标准BS1259:1945（本质安全电气设备和电路）中，“本质安全”这个名词定义如下：

1) 应用于电路，表示在具有前述部件的电路内，于正常工作下，可能产生的任何火花不能造成前述可燃气体或蒸汽的爆炸。

2) 应用于设备，表示这种设备是这样构成的：当在前述条件下被接用时，于正常工作下，不论是在设备内部还是在与此相联系的电路内，可能产生的任何火花不能造成前述可燃气体或蒸汽的爆炸。

电气火花引燃的特性必须取决于电气能量，每当电路被接通或被切断时，以火花形式释放能量。能量来自蓄电池，或其他形式的电源，以及在火花产生前被储存在电路内的能量。每当电流流经一个感性部件时能量被储存起来，并可由下式表示：

$$\text{能量} = \frac{1}{2}LI^2$$

当电压加于电容上时，能量也被储存起来，由下式表示：

$$\text{能量} = \frac{1}{2}CV^2$$

在研究信号铃电路的引燃火花时电路电感是主要参数，故应首先讨论。参阅图2.1，当开关闭合时电流开始在电路内流通，蓄电池电压用来克服电路电阻的电压降 IR 和在空心电感线圈内被感应出的反电动势，反电动势以电感 L 乘电流变化率来表示。

$$V = IR + L\frac{dI}{dt}$$

消耗于克服感应部件内感应电压的能量，由 $LI\frac{dI}{dt}$ 项对电流上升

至全值所需的时间积分可得建立磁场所需的能量，并以 $\frac{1}{2}LI^2$ 表示。当开关打开时，电流开始下降，磁场减弱，则在电路内感应出一个电压，此时，电压的方向是试图保持电流在电路内流通，电路情况见图2.2所示，并由下式表示：

$$V + L \frac{dI}{dt} = IR + V_{arc}$$

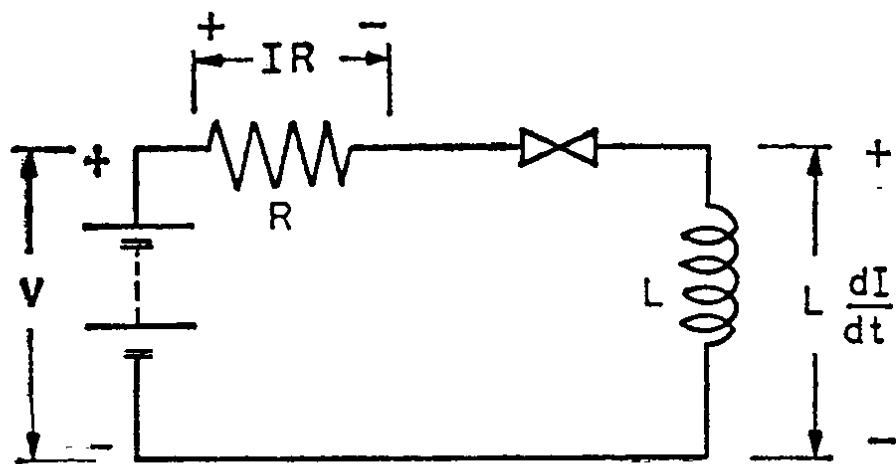


图 2.1 电路“接通”时

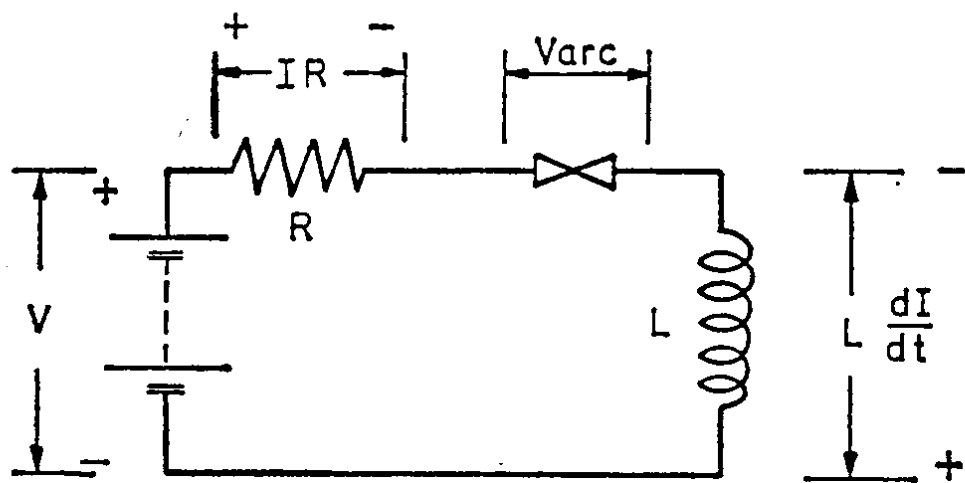


图 2.2 电路“断开”时

如触头很快地打开，电流就试图很快地下降，由于 $\frac{dI}{dt}$ 值很