

第17届炸药和爆破技术 国际会议论文集

PROCEEDINGS OF THE SEVENTEENTH
CONFERENCE ON EXPLOSIVES AND
BLASTING TECHNIQUE

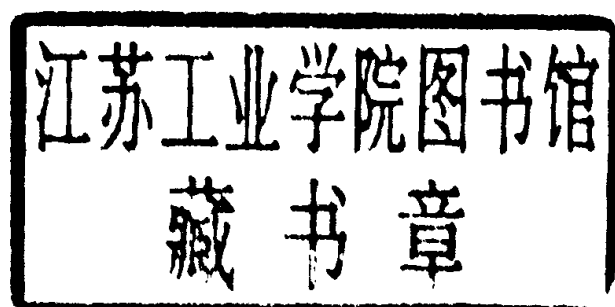


中国统配煤矿总公司安全管理局
煤炭科技情报研究所

81.69
S300502

第17届炸药和爆破技术 国际会议论文集

PROCEEDINGS OF THE SEVENTEENTH
CONFERENCE ON EXPLOSIVES AND
BLASTING TECHNIQUE



中国统配煤矿总公司安全管理局
煤炭科技情报研究所

1993年2月

前 言

第十七届炸药和爆破技术国际会议于1991年2月3日~7日在美国拉斯维加斯召开，会议设有展厅。参加这次会议有30个国家的728名代表。参加交流的论文108篇。本次会议交流的主要内容有：炸药新产品及性能测试新方法，新型起爆器材及设备，雷管延期精度对爆破效果影响的研究，最佳爆破效果延期雷管段数的选择，提高老矿井生产能力的爆破技术研究，各种控制爆破新技术，矿山爆破事故，雷电探测与报警系统以及含水炸药受压钝化问题的研究等。

为了借鉴国外经验，学习先进的科学技术，推动我国爆破器材和采矿爆破技术及安全生产的发展和提高，我们选择了40篇论文译编成册，以供火工行业、采矿行业和井下安全生产管理等工程技术人员、管理人员、研究人员及院校师生参阅。由于水平有限，时间仓促，难免有失误之处，敬请读者批评指正。

本论文集的翻译、出版得到许多同志的支持，在此谨向参予本论文集的选题、译校、编辑、出版工作的同志致以衷心的感谢。

中国统配煤矿总公司安全局
煤炭科技情报研究所

责任编辑 华慧雯

目 录

□ 霍姆斯坦克矿垂直漏斗采场的超限 爆破控制.....	[美国] M.N.普里斯等	(1)
□ 炮孔偏斜的测量、机理及其对矿石 贫化的影响.....	[加拿大] C.亨德利克等	(8)
□ 在地下实验室进行爆破压力和振动 控制的研究.....	[加拿大] G.W.库齐克等	(15)
□ 用先进的爆破监测仪器和图象分析 技术辅助现场特殊爆破设计.....	[美国] R.F.奇埃伯特	(24)
□ 斯利珀矿紧靠水井的爆破结果.....	[美国] B.鲍尔斯等	(39)
□ 振动敏感环境中井筒及平峒的爆破 设计.....	[美国] R.L.凯勒	(46)
□ 杜夫哈露天煤矿爆破成本的最低值.....	[南非] S.A.斯恩蒂等	(59)
□ 里特斯普鲁伊特露天矿使用高强炸 药进行抛掷爆破的新进展.....	[南非] M.J.R.弗德等	(68)
□ 霍姆斯坦克矿天井分段爆破技术的 发展.....	[美国] P.V.斯特克	(79)
□ 近期采矿爆破事故.....	[美国] D.V.丹德里等	(87)
□ 露天矿爆破的振动标准.....	[美国] D.E.西斯金德	(101)
□ 软岩中用改进的空隙爆破设计进行 大钻孔预裂.....	[美国] V.J.斯塔丘拉等	(110)
□ 抛掷爆破时大直径预裂爆破孔装药 量的计算方法.....	[美国] J.L.沃克曼等	(117)
□ INCO有限公司汤普森露天矿爆破 优化设计分析.....	[加拿大] S.H.钟等	(124)
□ 爆破是矿山采后复田的一种方法.....	[美国] J.L.沃克曼等	(130)
□ 粉状乳化炸药.....	[中国] 陈志明等	(143)
□ 用于井工矿的被筒炸药.....	[美国] L.沃德雷普等	(147)
□ 爆炸和爆破环境中闪电检测和报警 系统的应用.....	[美国] W.C.盖茨等	(154)
□ 炸药库户外结构与安全.....	[美国] W.杜克	(168)
□ 爆破数据库：储存与检索爆破数据 的唯一方法.....	[美国] C.J.康亚	(173)
□ 炸药车上的火灾.....	[美国] J.W.布朗	(177)
□ 一种使炮孔钻得更直并能提高生产 率的新型钻头.....	[美国] R.D.斯卡格斯等	(180)

☐ 井工矿大直径风井井筒的掘进和 爆破.....	[美国] C.加纳	(187)
☐ 减少井下粉尘爆炸危险的炸药选择.....	[加拿大] P.D.卡沙巴涅斯等	(191)
☐ 掘进和回采应用可泵乳化炸药的试 验——实例研究.....	[智利] E.博格	(198)
☐ 一项爆破新技术——空孔爆破法.....	[瑞典] M.D.马吉尔等	(204)
☐ 新式起爆药包的设计.....	[澳大利亚] J.R.格兰特等	(212)
☐ 炸药起爆速度的现代化测量系统.....	[加拿大] W.A.克罗斯比等	(219)
☐ 利用铜锰测量仪测定起爆压力.....	[美国] H.理查德	(229)
☐ 安全炸药受冲击产生的毒烟.....	[美国] T.C.鲁赫等	(236)
☐ 等待时间恢复试验.....	[美国] J.T.阿勒等	(244)
☐ 爆破破碎块度对井工矿开采系统和 生产率的影响.....	[加拿大] M.J.斯科布尔等	(253)
☐ 在工程构筑物附近进行安全高效爆 破时的信号滤波.....	[法国] P.阿兰德等	(262)
☐ 计算机辅助爆破设计——三维井下 爆破设计软件.....	[加拿大] P.安德鲁克斯等	(272)
☐ 爆破设计中数字模拟与符号模拟的 综合运用.....	[美国] M.L.史密斯等	(282)
☐ 交叉相关和自相关在分析远区数字 地震数据测定延迟时间中的应用.....	[美国] G.P.洛斯巴赫	(290)
☐ 爆破破碎模型标准.....	[加拿大] J.P.蒂德曼	(297)
☐ 利用爆破增强原地开采渗透性的 研究.....	[美国] S.A.罗尔等	(302)
☐ 爆破设计参数与爆破块度的关系.....	[美国] R.E.奥特尼斯等	(311)
☐ 水下爆破引起的地层震动与炸药 特性的关系.....	[日本] 黑川弘一等	(326)

霍姆斯坦克矿垂直漏斗采场的 超限爆破控制

[美国] M. N. 普里斯 L. R. 弗莱彻
V. J. 斯特丘拉

内 容 提 要

目前在地下开采的矿井中采用大直径炮孔引起了人们的关注,因为大直径炮孔可能破坏巷道,造成岩石冒落。为此,美国矿业局开展了旨在减少超挖量,防止井下巷道围岩破坏的研究。本文介绍霍姆斯坦克金矿垂直漏斗后退式采区(VCR)打6.5 in直径炮孔进行非密接装药和不装药导向孔的试验结果。

对布置在沿矿体上盘的非密接柱状装药炮孔与标准爆破炮孔组的超爆情况进行了对比试验。不装药的导向孔是在一个试验采区的两个分段打的,而不是布置在另一个试验采区,以便确定这些导向孔在霍姆斯坦克矿中对超限爆破的控制是否有效。该矿以前采用的标准爆破方法是钻6.5 in炮孔,不打导向孔,装入袋装乳化炸药或浆状炸药,起爆药包和导爆索。本文还介绍非密接装药的独特装药方法。在进行非密接装药时,需将铵油炸药灌入4 in直径的纸筒内,纸筒中有起爆药包,利用导爆索用手下放到炮孔内适当位置。

试验结果是根据鉴定矿石的贫化率和在上盘钻检查孔来评定的。记录了检查孔周围岩石的地震波变化,而且进行了简单的注水试验,以检测上盘的破裂状况。试验结果表明,在上盘炮孔采用非密接柱状炸药可实现良好的稳定性。非密接装药试验段的矿石贫化率为3~9%,而采用传统爆破设计的区段则为20~35%。

绪 言

超限爆破的定义是指超过所需挖掘界限的过量破岩。超限爆破的后果不论在经济上和工程上都是不利的。井工矿爆破作业破坏顶板、矿柱和巷帮,造成危险状态尤其引起美国矿业局的特别关注。过于破碎的围岩会出乎意料地坍塌冒落,危及人员和设备。

超限爆破会影响经济效益,因为崩落过多的岩渣必须装运,清理出采矿地点,使开采成本增高。在回采作业地点,超限爆破会使采场界限以外的矸石混入矿石中,使其贫化而降低品位,并且增加从采场运出的物料吨数。采用深孔落矿法(垂直漏斗法、分段回采法等)与机械化程度较高的采矿方法(分层充填回采法、留矿回采法等)相比,矿石的贫化率一般要高得多,这是因为深孔落矿法采用较大直径的炮孔而容易造成超限爆破。然而,从另一方面来说,通常采用深孔落矿法比较安全,因为实际上人员和设备无需进入采场,而只需在矿体内或矿体附近有良好支护的钻机站进行操作即可。

研究的目的在于通过改变标准爆破方法查明深孔爆破采场是否能防止超限破岩和降低

矿石的贫化率。如果能够降低矿石的贫化率,则比较安全的深孔爆破方法就可以大大改善其经济效益。因此,采矿公司非常积极采用这种方法,以期收到安全作业和有效保护矿井环境的效果。

试 验 矿 井

霍姆斯坦克金矿座落在南达科他州的莱德地区布莱克山北,位于拉皮德城西北约45 mi。该井工矿采用分层充填回采法和垂直漏斗法等机械化采矿方法,日产矿石6500t。这座矿山约连续开采了114年,目前开采水平已达到距地表垂深8000ft。

矿井的地质柱状图主要由3个部分变质沉积地层组成:下盘为波尔门层系,包括层状的千枚岩和片岩;含矿石的霍姆斯坦克层系,包括200至300ft镁铁闪石、镁菱铁矿和绿泥石片岩;上盘为爱利森层系,由层状的千枚岩和石英岩组成。这些地层构造复杂,严重的褶皱形成急倾斜的向斜和背斜构造。矿体的形状和尺寸变化很大,与金矿石共生的有毒砂、钙块云母和绿泥石。

霍姆斯坦克层系的叶理比两个相邻层系少得多,采场两帮一般比矿体本身的稳固性差。此外,倾角小于 55° 的上盘尤易冒落。能否保持两帮的完整性,在很大程度上取决于所采用的爆破方法是否合理,这对于降低贫化率和控制生产成本是至关重要的因素。

试 验 采 区

试验采区的选择是为了在规定的时间内,在生产制约条件下尽可能不受地质条件变化的影响。为此,各个试验采区应尽可能互相靠近些,而且要在规定时间内采区能开采不止一个分段(盘区)。只有两个采区符合上述要求。

采区33—37D—17L—6350是一个多分段垂直漏斗回采采区,位于6250水平与6350水平之间的17号矿脉D翼。该采区沿走向划分为7个盘区,其中两个盘区(盘区5和7)在试验时已采空。上下部岩巷分别通往6250和6350水平。6.5 in直径的炮孔从上部岩巷打到下部岩层。矿石分层崩落高度为10ft,从下部岩层开始向上进行爆破作业,最后一层与上部岩层接触的30ft厚的顶部矿柱最后进行爆破。崩落的岩石通过出岩巷道进行装运。图1表示典型的上部岩巷钻孔网平面布置图。图2为第2排钻孔的剖面图。图中示出了上下部岩巷,此排共打6个炮孔,并示出了此段的矿体外形。图3所示为上部岩巷的一般景观。值得注意的是需要装设大量钢丝绳锚杆、钢垫板和顶板锚杆,以支护巷道两帮和顶板。

采区29—30F—19L—6050是一个多盘区垂直漏斗回采采区,位于5930与6080水平之间的19号矿脉F翼。在试验期间,此采区有两个盘区(1号和3号)已采完。此采区的开采设计与上述采区相似,只不过上下部岩巷的距离比上述采区大50ft。

爆 破 试 验

霍姆斯坦克矿垂直漏斗采区的最初爆破设计是根据金刚石钻探结果编制的。由于矿体一般比上部岩巷较宽,因此炮孔必须呈扇形布置,而导致上下各段的最小抵抗线和间距不

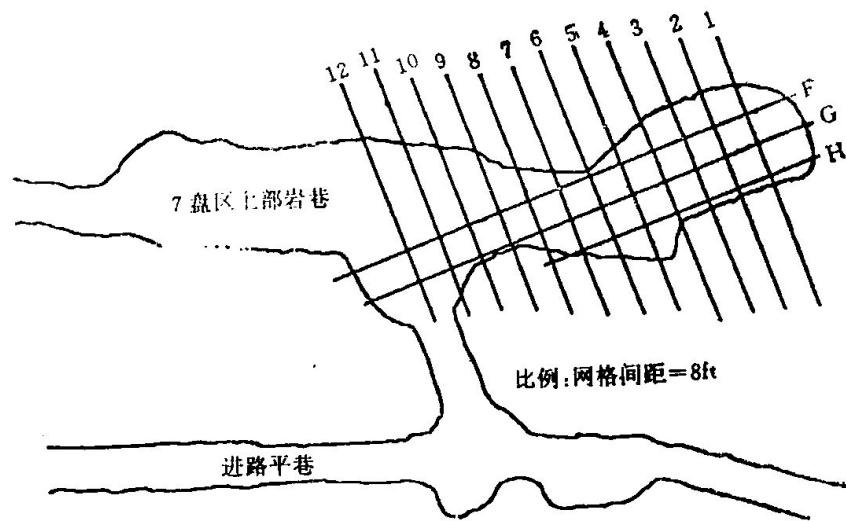


图 1 上部岩巷平面图

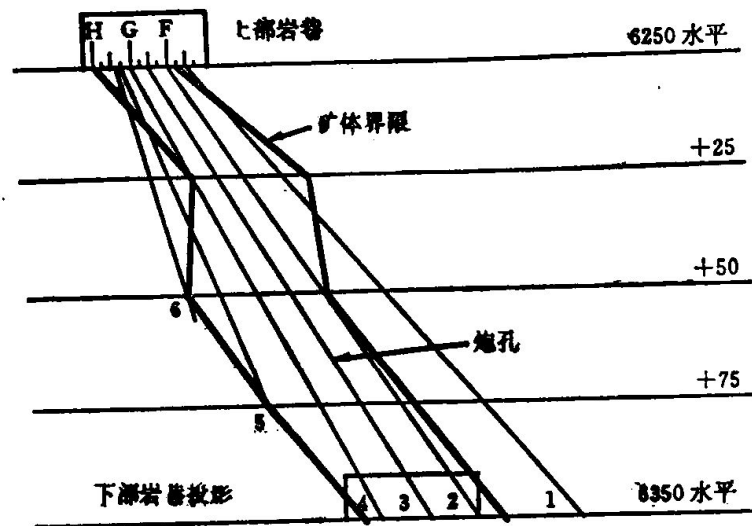


图 2 第2排钻孔剖面图

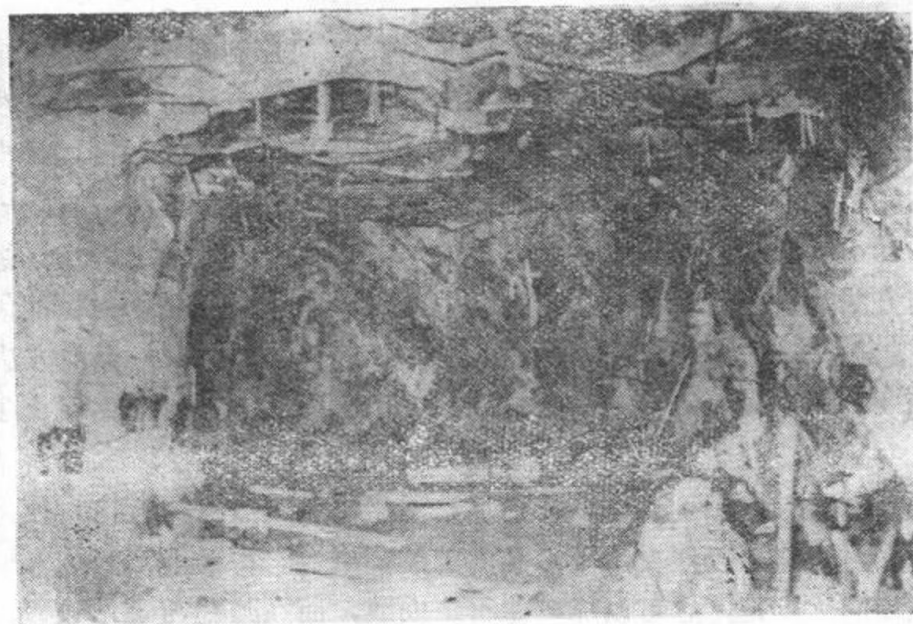


图 3 上部岩巷典型景观

等。大多数炮孔是按样板进行钻进的，其结果往往会偏离矿体。根据样板校验结果，可以补打钻孔或留出部分炮孔或部分区段不进行爆破。一般在采场的上段留一些炮孔不进行爆破，因为在上段各个炮孔互相接近，因此无需每个炮孔都装药爆破。

当按布置型式钻出炮孔后，就可开始进行爆破，首先必须把每个孔底堵住，以便在装药时能托住炸药，并使产生的气体不致散逸。通常使用两个木楔来封堵孔底，一个木楔系在15 gr 导爆索上，头朝上放到孔底；另一个木楔头朝下放到孔底就位。然后，在木楔上面压块石头使其楔紧。在木楔上面再放一个空沙袋，并撒入约1 ft厚的岩屑将孔密封。封底后，将30 lb乳化炸药或浆状炸药放入6.5 in直径的炮孔内，然后放入1 lb 适当迟发的散装起爆剂和另外30 lb炸药。最后用约5 ft厚的岩屑封堵孔口。采用非电装置引爆炮孔组。爆破时，先崩开采场中间的炮孔，并沿走向依次进行爆破，最后才爆破边帮炮孔。为减少振动，每次只爆破8个炮孔（每次爆破限500 lb炸药）。霍姆斯坦克矿炮孔的延时爆破顺序设计如图4所示。

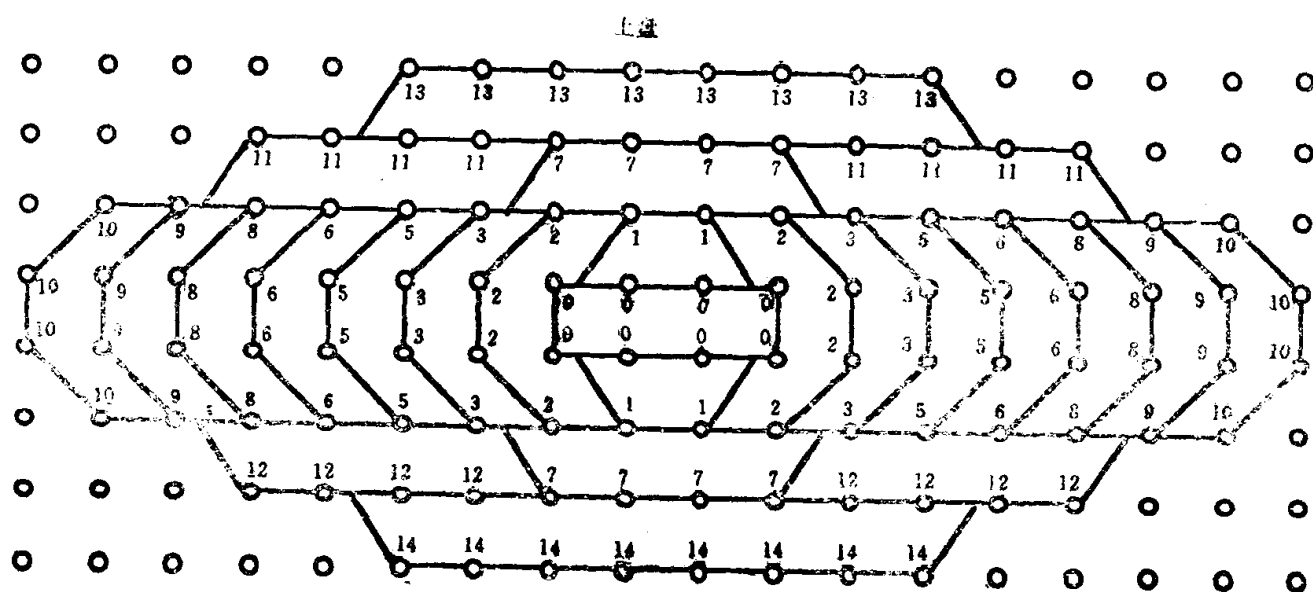


图 4 霍姆斯坦克矿VCR采场的典型起爆顺序

由于研究试验的目标在于观察大直径深孔爆破如何控制超挖量和降低成本，因此美国矿业局建议该矿改变原来的标准垂直漏斗后退式采区爆破方法，即通过减少沿试验采区上盘炮孔的装药量和炮孔布置来控制超限爆破。此外，还要检验不装药的导向孔是否能提高边帮的稳定性。于是，在33—37D采区两个盘区的上盘边帮炮孔之间打了一个6.5 in直径的导向孔，而在29—30F采区则不打导向孔。除此以外，标准钻孔爆破设计并无改变。

新的装药方法是，在沿上盘的边帮炮孔中装入单个6 ft长，4 in内径的硬纸套筒，套筒内装有1 lb散装起爆剂（与标准方法相同）和27 lb散装铵油炸药（标准方法为60 lb乳化炸药或浆状炸药）。每个硬纸套筒的端部装有0.75 in直径的胶木板圆片（其直径相当于套筒的外径），并用防尘胶带予以密封。然后，将15 gr导爆索穿入纸筒，系在胶木板圆片上，以便在纸筒内装入起爆剂和铵油炸药后，用于将其下放入炮孔内。使用上述标准方法，先将炮孔底封堵住，以便支承下入孔内的装药纸筒。待装药纸筒装入炮孔后，用炮泥封孔。使用纸筒的优点是，它可以靠矿体一侧安放，而在炸药与上盘边帮之间留出一条缓冲空隙。标准装药方法与改进的炮孔装药方法分别示于图5。

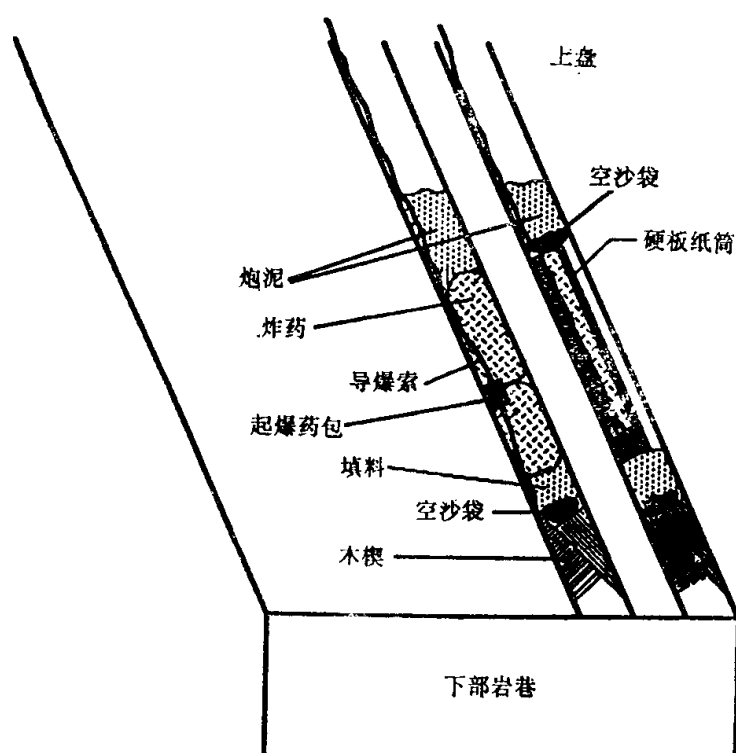


图 5 炮孔非密接装药技术示意图

总而言之，美国矿业局的改进设计是，沿上盘的每个边帮炮孔装入稍为少于一半的标准炸药量，同时使炸药不与边帮密接。改变装药方法是为了大大降低炮孔产生的压力，以便控制超挖量和降低矿石的贫化率。不装药的导向孔仅在1个试验采区的2个盘区中钻凿，其它试验采区不打导向孔，以便对比确定导向孔是否有助于控制超限爆破。

对超限爆破的评价

这次研究对超限爆破的最客观衡量方法是根据从每个采区收集到的爆破崩落岩石的统计吨数和装运矿石的实际记录。也可按矿石品位和含金数据来衡量，但由于采样的不确切性，因而不采用。表1所示的结果表明，在沿上盘的边孔中用矿业局改进的非密接装药，崩落下来的矿石贫化率为3至9%，而采用标准爆破设计的盘区，矿石贫化率达20%至35%。矿石贫化率的对比情况示于图6。

表 1 试验区段的矿石贫化率数据

区 段 名 称	计划崩矿吨数 t	实际崩矿吨数 t	贫化率%
33—37D第5盘区 (1)	8,400	9,150	9
33—37D第7盘区 (2)	18,782	22,622	20
29—30F第3盘区 (3)	36,500	37,590	3
29—30F第1盘区 (4)	23,200	31,205	35

注：(1)非密接装药，打导向孔，
(3)非密接装药，无导向孔；

(2)标准爆破法，打导向孔，
(4)标准爆破法，无导向孔。

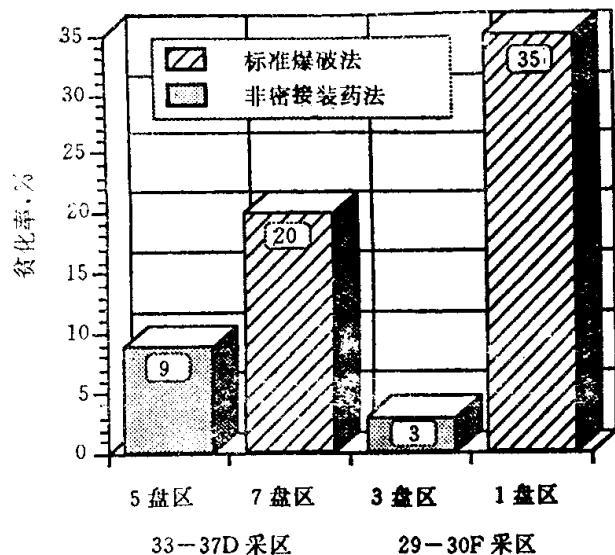


图 6 贫化率对比图

的盘区进一步试验结果，证明打导向孔是有助于控制超挖量的。

在进行试验之前，研究人员担心，在试验采区的沿上盘边孔中采用非密接装药方法，减小爆破能量会对崩落矿石的块度产生不利影响。他们特别担心增加大块率会产生不可接受的二次破碎问题。然而根据矿上管理部门的统计，这种顾虑是多余的，因为减小爆破能量对破碎矿石的影响不大。

对上述两种炮孔装药设计在上盘岩层中的破坏程度曾试验过直接测量方法。为此，在每个盘区的两帮钻了一系列检查孔。检查孔是由上部岩巷向下部岩巷钻进的，孔深等于上下岩巷的间距。检查孔呈扇形排列，每组3个孔，每组钻孔的孔底与上盘保持一定距离，一组孔底接近上盘边帮，一组离得较远，另一组布置在两者中间。每个盘区钻2~3组钻孔。将24波道工程地震仪连同一串水中听音器，下放到每个注水孔内作为接收装置，震源为双手锤击的大锤，并记录下地震波通过孔间和每个接收装置所需的时间。按理论，地震波通过破裂的岩体时间较长，而通过未破坏的完整岩体则时间较短，这是因为地震波通过裂缝和破碎带的速度不如完整岩体快之故。因此，在进行爆破时，在每个盘区由下部向上反复测定，并对地震波传播时间进行比较，就可以确定两种炮孔装药设计对岩体引起的破碎程度。

地震波测定数据的一例示于图7。T#1数据是在下部岩巷以上第一个10 ft段爆破之前获得的；T#2数据是在上下岩巷中间回采之前收集到的；T#3数据是在顶柱爆破前收集到的。从曲线图可以看出，除T#3在孔底附近地震波传播时间有明显缩短外，其他几条曲线变化不大。按照上述理论，地震波传播时间缩短表明该段上盘岩体比较完整，裂缝少，即在邻近矿体爆破后破坏较少。另一种可能性是，地震波传播路线（路线可能是不确定的，在霍姆斯坦克矿叶理发育和褶皱的岩体中震动源与接收点之间可能不是一条直线）的变化导致传播时间明显缩短。最后考虑到，由于其它几组数据也发现这种现象，看来最合理的解释应是，由于爆破改变采区几何形状而使上盘岩体产生的应力场发生变化，导致岩石特性和地震波传播时间变化。对应力场变化进行定量分析和模拟不在本文探讨的范围之内，然而我们认为实际上应力场的变化可能大大超过爆破引起的传播时间的变化。

从矿石贫化数据来看，采用标准爆破炮孔组的盘区，打不装药的导向孔可能有助于控制超限爆破。这些盘区崩落矿石的贫化率，打导向孔为20%，不打导向孔为35%。但是，在采用非密接装药的盘区，打导向孔反而不利，即打导向孔时矿石贫化率为9%，而不打导向孔为3%。因此，沿上盘的边帮还是不打导向孔为好，以免对矿石贫化率产生不利的影响。由此看来，试验结果表明，诸如上盘的几何形状或矿体的产状等其它因素的微妙变化会对试验结果产生很大的影响。但根据采用标准爆破炮孔组

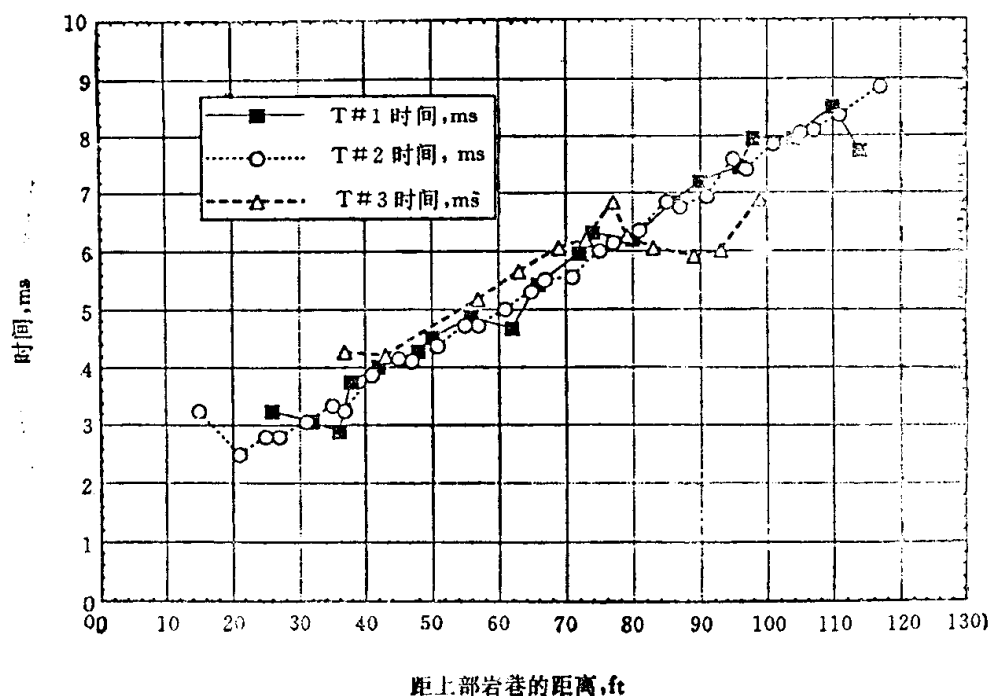


图 7 地震波速度测量数据曲线实例

为了收集有关超限爆破的更多信息，又采用了第二种方法，即在上盘岩体中的检查孔内注水，对孔内水位进行了记录，以便查明由于爆破造成的岩体裂缝导致渗透率的变化。在各个盘区第一个回采分层爆破前，几乎所有的孔都充满了水，虽然有些孔已逐渐有水渗入原有的裂缝内。为了了解两种爆破方法对上盘岩体造成不同的破坏，特别在VCR爆破开始时对孔内水位下降的速度进行了检测，希望提供一种原始的但有效的显示。但是这种方法没有成功，因为在几个回采分层爆破后，有些孔被堵塞，有些孔处的岩块冒落到采场内。因而，有些孔仍保持着水，而另一些孔则完全无水。

最后，在顶柱爆破后，曾从上部岩层的进路平巷对每个上盘岩体进行了拍照。虽然从照片上看得到不同的崩落岩石量，然而由于进入采场通道的限制以及照明和相机定位等问题，照片并不能有效地提供破坏情况的差异。要定量确定上盘的超挖量，较理想的是采用类似于露天矿所用的激光剖面测定系统，然而因缺乏经费而未能使用这种装置。

讨 论 与 结 论

研究结果表明，只要对标准爆破方案略加修改，就可减少大直径深孔爆破所造成的超限爆破。在矿业局试验盘区内沿上盘岩体的炮孔中采用非密接装药方法，并减少装药量，可以大大降低矿石的贫化率。采用非密接装药的两个盘区，矿石贫化率分别为3%和9%，而采用普通爆破设计的盘区则分别为20%和35%。

虽然采用非密接装药法要用硬纸套筒装药会增加费用，并且需要增加搬运和将纸筒装入炮孔的工作量，然而，大幅度降低矿石的贫化率所获得的经济效益可大大超过这笔很少的支出。此外，还考虑到在上盘岩体中打小直径钻孔，采用密接装药法来降低爆破能量可能效果不大，而且在一个采区使用两种不同规格的钻机会使作业复杂化。

还需研究减少非密接装药量的其它方法。比如，能否采用几个4 in直径的防潮铵油炸

炮孔偏斜的测量、机理及其对 矿石贫化的影响

[加拿大] C. 亨德利克 M. 斯科比 J. 佩克
J. 西曼斯基

内 容 提 要

去年, 位于加拿大蒙特利尔市的麦克吉尔大学采矿自动化中心参加了INCO有限公司马尼托巴分公司对炮孔打偏的程度和机理的研究。钻孔精确度被认为是该公司空场采矿法开采影响矿石贫化率的一项最重要的“可控”因素。正当各个井工矿山致力于降低矿石贫化率和提高劳动生产率之时, 钻孔精确度问题越来越成为一个重要问题。因此, 找到能确定炮孔钻进轨迹是否准确的手段十分重要, 如有必要, 可以修订装药规程或重打钻孔, 以避免不良的爆破结果。

本文首先简要地分析影响钻孔精确度的因素及其机理——钻孔设备、周围环境和钻孔作业。然后介绍设计用于测量钻孔偏斜的四种新型测量仪器的井下使用经验。本文汇集的研究资料可在如何运用防偏基本知识, 使爆破作业优化方面提供参考。

前 言

钻孔精确度被认为是深孔落矿经济效益好坏的重要因素。在采场中钻孔过于偏斜会造

药袋装上起爆药包利用导爆索用手放入6.5 in直径的炮孔内来代替装药的纸筒。另外, 是否可能让炸药销售商提供一种供特殊用途的专门包装的经济炸药产品。为了消除非密接装药所需的额外费用, 是否可以使用散装的低能量炸药, 例如稀释的铵油炸药, 来降低对上盘岩体的爆炸力。然而, 至少目前还无法购到现成的可靠和经济的低爆炸力炸药产品。

采用不装药的导向孔来控制超挖量看来在密接装药的边孔试验盘区是见效的。然而, 在非密接装药的试验盘区, 打导向孔对崩落的矿石贫化率却比不打导向孔要高。当然, 上盘岩体几何形状和矿体产状的捉摸不定的变化会大大影响试验的结果, 因此还有待于进一步试验和观测予以证实。

自1988年春开始此项研究试验工作以来, 霍姆斯坦克矿一直致力于开发控制超限爆破的技术。除本文所介绍的几种方法外, 还尝试过其它可能提高上盘岩体稳定性的方法, 例如在导向孔中装药、使用低能量浆状炸药、在导向孔中留空隙的非密接装药、采用周边预爆法、改变爆破时序以及使用小直径纸筒等。1988年1月6日至1990年1月1日在26号采区的试验结果表明, 采用控制超限爆破技术的采区, 矿石贫化率为6.5%, 而采用普通爆破方法的区段, 矿石贫化率则达22.7%。

(高志坚译 华慧雯校)

成矿石不能适度破碎，回收率低或贫化（爆破范围超出采场边界和围岩受爆炸破坏）而影响经济效益。实际上，能够检验钻孔是否偏斜的技术手段只是近年来才开发。加拿大采矿自动化中心（CCARM）最近与INCO公司的马尼托巴分公司合作对空场法开采中钻孔偏斜的测量、机理及其影响进行了研究。本文介绍研究的第一阶段，在此阶段主要着重于对测量钻孔偏斜的工具进行鉴定，并建立数据库，为今后两个研究阶段创造条件：研究打偏的机理是由于钻孔设备、操作不当还是地质条件的影响；以及确定钻孔偏斜产生的经济影响，即容许钻孔偏斜到什么程度才不致引起上盘不稳定。

马尼托巴分公司所属的井工矿采用的空场采矿法主要是垂直分段采矿法和阶段矿房法。该分公司拥有汤姆逊T1和T3矿以及伯切特利矿。这些矿山一般使用潜孔钻机打孔，炮孔直径通常为4.5 in（5 ft间距，7 ft最小抵抗线）或6.5 in（8 ft间距，10 ft最小抵抗线）。虽然，近年来已使用打小直径（3 in）的冲击式钻机，但仍处于研究如何提高效率的试用阶段。在可能的地点，炮孔是平行钻进的，虽然倒扇形布置也并非罕见。扇形布置的炮孔通常并不钻透到底部平巷，因此难于在巷道内检查钻孔的准确性。典型的情况是，炮孔长度为100 ft，而矿体的宽度平均为30 ft，倾角70°，深度则达4000 ft。

过去对旋转式钻孔偏斜的测量和机理比较重视，特别是石油工业尤其如此，而地下开采的矿山则对冲击式钻机的打偏却相对注意较少。近来制造厂又重新使用改进的冲击式修直钻孔的装置，如管式钻进装置。加拿大矿山一直到最近才认识到钻孔测偏对日常生产管理的重要性。以往一直较多注意深孔和重要钻孔的偏斜监测，如天井钻进时的前探孔等，而对研制结构比较简单的仪器用于测量生产钻孔的精确性，工作做得不够。井下采场的环境和生产条件一般不适于使用普通的以摄影、磁性或陀螺回转为工作原理的仪器。本文介绍一种新一代的测量仪，利用它可以既有效又经济地对钻孔进行控制。最终可望钻孔的实时方向控制装置成为制造厂提供的标准设备。同时，在目前阶段人们正在广泛探索独立测量钻孔轨迹的直接解决办法。

地质条件和设备结构的影响

在正确进行钻孔作业的情况下，炮孔打偏主要是由于钻头与岩体相互作用的结果引起的，在进行旋转式和冲击式钻孔时，造成钻孔偏斜主要有以下几个因素：孔径和倾角，岩石的种类和非均质性，推力，转速，钻头夹盘类型，钻杆结构和稳定器的技术特征。过去，在欧洲曾试图通过从采场的炮孔测量来收集上述各项因素对钻孔偏斜产生影响的统计数据。然而，研究分析结果，对究竟是地质条件还是钻机结构造成钻孔偏斜还是弄不清楚。INCO公司与加拿大采矿自动化中心合作的研究项目选定汤姆逊矿的地质条件，以继续探索钻孔打偏的机理。该矿开采块状硫化物，矿床的产状很不规则，呈扁豆状且夹有废石层。围岩比较稳定，主要由片岩、石英岩和超基性岩组成。在矿田范围内节理和叶理发育，有断裂带。加拿大采矿自动化中心与INCO公司的研究项目中包括研制钻进监测设备，目的在于把钻孔的操作参数与岩体特性联系起来，对钻孔进行广泛的测量可综合钻孔轨迹数据、监测的钻机性能参数并仔细地确定地质条件。

钻孔偏斜的确定

钻孔打偏主要由以下三个方面来确定：开孔位置的准确性、排列对准的准确性和钻孔轨迹的偏差（见图1）。开孔位置准确性是指实际形成的孔口与要求的位置是否相符，一般由矿山测量员来确定；排列对准准确性是指钻机操作员是否能正确无误地确定打钻的倾角和方位角。最后一方面是钻孔轨迹偏差，这是指钻机、岩体和操作员控制的 操作参数（转速、扭矩、推力等）的综合结果。由此看来，很明显，钻机操作员、钻机结构和岩体性质三者是最重要的控制钻孔偏斜的因素。

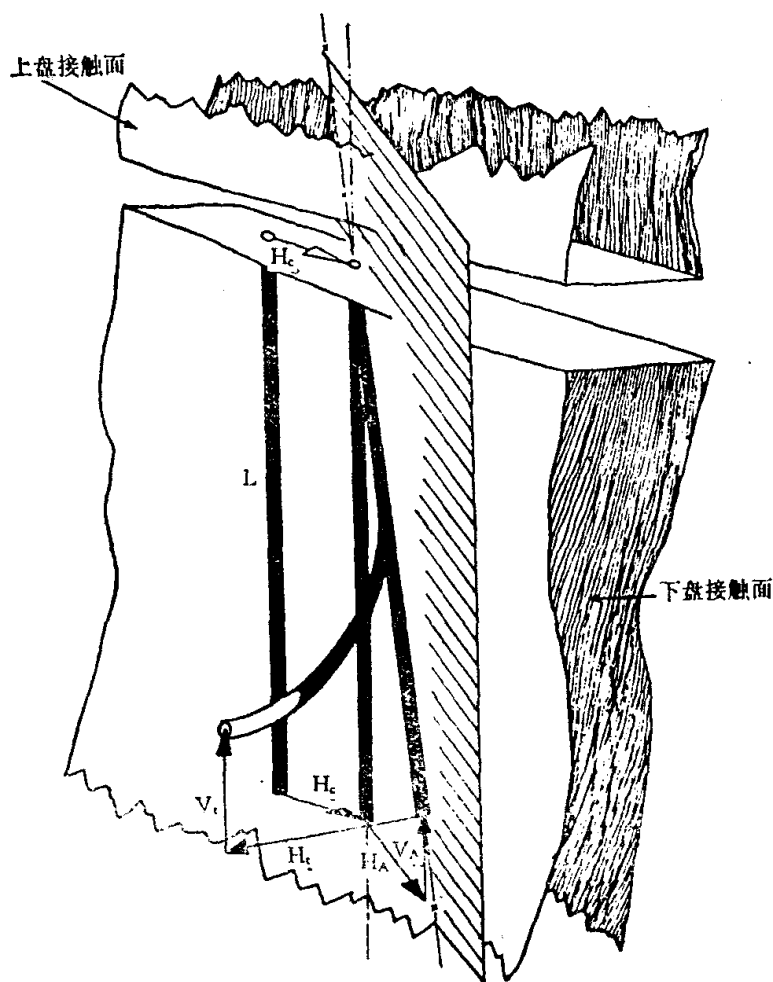


图 1 由于开孔误差 H_c ，对准误差 H_t 和 V_t ，以及轨迹误差 H_t 和 V_t 造成的孔深为 L 的炮孔偏斜

炮孔偏斜测量的研究

迄今为止，实际上还没有一种适用于井下炮孔测量的常规仪器。为了进行生产管理，所有炮孔应在装药前进行测量。但是，使用能进行常规测量的仪器必须考虑到以下各项制约因素：

- 一费用，要考虑到仪器可能丢失或严重损坏，特别是用于非穿透的炮孔中；
- 一耐用性，钻孔测量设备制造厂商仅仅在最近才发现市场上对井下钻孔测量设备日益

增长的需求。这种仪器的设计是否能成功,关键在于能否满足井下环境对精密仪器所提出的要求;

—轻便性,全套测孔仪器应由两个人能够搬走,无需运输工具运载;

—使用方便,由于这种仪器需经常使用,因此其结构应简单,便于普通放炮人员或测量人员使用;

—测量时间要快,测量一个孔所需的时间加上数据处理和整理,按生产要求,至少每班能测1500ft长的炮孔。

最后,考虑到在汤姆逊矿的井下环境,测量仪器的设计必须不是依靠磁性导航技术来确定炮孔的方位角。该矿的地质条件类似于很多前寒武纪地盾的贱金属矿床,赋存有大量磁性矿物,特别是钙块云母。由于上述对仪器设计的制约条件和使用条件,普通的仪器不能适用,包括单孔或多孔磁力仪、陀螺仪或惯性基准系统等。陀螺仪是在测量油井和勘探深孔时可选用的设备。在石油工业中,钻一口深孔需花费很多钱,因此使用价格达25万美元的昂贵陀螺仪是合算的。用陀螺仪进行测量几乎都采用承包方式,通常由制造厂商来承包。虽然陀螺仪可不受磁力影响,是最准确的钻孔测量设备,但它很精密,结构复杂,操作时间长,并要求经常校验,而且要求用于内壁光滑的孔内。尽管如此,有几家陀螺仪制造公司仍在探索开发以陀螺仪为基础的井下测量设备。

设计用于测量较深勘探孔(金刚石钻进)的单孔或多孔测量仪,随钻杆或钢绳下放入孔内。这种测量仪一般是按磁性罗盘的结构设计的,会受局部磁场的影响。此外,人工分析数据需时较长,不能对立即决定装药或重新钻孔提供依据。

根据上述情况,归纳起来只有三种仪器可适用于汤姆逊矿的井下环境:一种是按刚性定向杆原理工作的仪器;另一种是一个长圆筒体可沿钻孔测量弯曲度;第三种仪器是利用沿钻孔的磁场强度读数差异来抵销局部磁性的影响。

定向杆式仪器

这类测量钻孔偏斜的仪器一般使用测斜器或加速度记录器,每隔一定距离检测钻孔方位(斜度和偏角)的变化。装有测量传感器的探头与电子装置相连接,探头装在一连串连接杆的端部送入孔内。这种刚性杆柱可参照孔口的矿井测量基点网保持固定的方位(方向)。这样可以防止探头围绕它的滚动平面转动。在此情况下,探头的一条轴线是固定不变的基准线,其余两条“仪器”的轴线(斜度和偏角)则总是与基准线呈垂直状态(见图2)。这种方法可使仪器不用磁力仪或陀螺罗盘也能测定钻孔的轨迹。此类仪器在北美有两种牌子供出售:BORETRAK和MINIBOR。虽然这两种仪器的工作原理是相同的,但他们的设计却截然不同。这种仪器仅在最近用于井下测量,原先是用于测量采石场较浅的炮孔的。虽然制造场为用于井下已改进了原设计,但使用时仍受到限制。最大的问题是测量钻孔的长度。可参阅表1所列的两种仪器的主要设计参数。随着孔深增加,需支承的杆柱重量也随之增大。此外,随着杆柱的长度增加(>350ft),综合考虑控制杆柱扭转的装置,必然使探头与杆柱在孔口的“刚性”定向也难于可靠地保持。

MINIBOR测量仪是瑞典Reflex仪器有限公司的产品,其探头装有双轴伺服控制的加速度计,用于沿钻孔测定斜度和偏角的变化。它利用一系列2m长的带槽联锁铝杆下放到孔内。加接铝杆就可使探头沿钻孔送入。在加接铝杆时,操作人员须手持铝杆,脚踩夹紧机构,使其松开,而让铝杆下滑。当铝杆的端头只剩下1ft时,接上新的铝杆,如此重复

接杆。铝杆每下放2m即显示出探头位置的读数。仪器上部有一台计算机，通过一根数据传输电缆与探头连接，向其发出在何时取读数的指令。这种在数据记录装置与探头之间的“硬件”连接方式的优点是，可以在上面显示所测钻孔的轨迹。但是，使用经验表明，在测量的钻孔长度超过100ft的情况下，操作人员需支持多么大的重量。在此情况下，要控制铝杆下滑谈何容易。因此，虽然MINIBOR仪器很轻便，但是它不适用于测量深孔，因为加接的铝杆重量太大。

BORETRAK测量仪是由苏格兰的测量仪表有限公司制造的，这种仪器的总体设计看来较适合于测量井下的深孔。

仪器的探头装有电解式重力传感器，通过6ft长一节的轻质碳纤维杆来测量钻孔方位的变化。纤维杆是已连接好的，一组杆的长度为200ft。在测量孔深时，在孔口装设一个“杆回收装置”，利用手摇绞盘来升降杆柱，因此在测深孔时并不费力。该仪器的探头与孔口数据记录装置之间并无电缆连接，无需在孔内沿杆侧敷设电缆。它采用双钟系统，一个钟装在探头内，另一个钟在数据记录装置内。在一个班开始时，这两个钟是同步的，而后探头按规定时间间隔由它的传感器连续记录下探头方位的读数。在测量钻孔过程中，数据记录装置基本上能识别探头的实际读数是否与已知的基准数据相符。每次下放探头后，杆柱即保持不动片刻，此时数据记录装置的按键被压下，记录下时间，以便以后与探头的钟对时间。此时支承件向下装入至所需位置。其它时间探头读数不与数据记录装置对时，支承件将不向下装入。

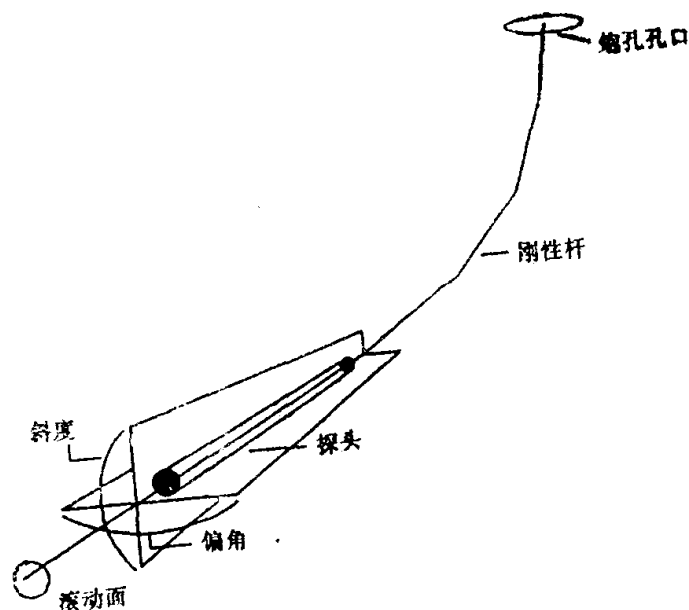


图 2 定向杆式仪器工作原理

表 1 BORETRAK和MINIBOR钻孔测量系统

仪 器 特 征	BORETRAK	MINIBOR
传感器精确度 (测量长度的%)	电解重力传感器	伺服控制加速计
	1%	0.1%
测 杆	玻璃纤维/碳纤维	铝
每根杆长度	183cm(6ft)	200cm(6.57ft)
直径	2.5cm(1in)	4.7cm(1.85in)
每根杆重量	600gm(1.32lb)	2000gm(4.4lb)
每50m钻孔的杆重	16.4kg(36.1lb)	45.3kg(100lb)
工作范围 (与垂线的角度)	± 30°	± 60°
方 向	向下	向下或向上