

文章编号: 0253-2697(2001)03-0091-05

雷电过程地面电场变化与油库雷电安全报警

黄柳宾 刘彦民 关继腾 柴文妍 李文瀛

(石油大学应用物理系 山东东营 257062)

摘要: 雷电是油库区安全生产的最大隐患之一,建立多级雷电报警系统十分必要。经过多年现场实测证明,通过测量地面电场,可以精确掌握几十千米内云层带电情况,因此,测量雷暴前后地面电场的变化,建立报警系统是可行的。对大量测量数据进行分析研究,总结出雷暴发展过程中地面电场的变化规律,确定多级报警的阈值,提出以监测地面电场为主的雷电多级报警。

关键词: 雷电; 防雷; 电场; 放电; 报警; 阈值

中图分类号: TE78 **文献标识码:** A

1 前 言

雷电活动对石油、化工、军火、电力、仪器仪表的安全运行都会带来很大威胁,除了建立科学的防雷系统外,建立雷电活动的监测报警系统也十分必要,可以为安全技术人员及时提供雷电活动情况,为安全生产、权衡经济效益提供可靠信息,特别是当今高科技的飞速发展,微电子技术已进入各行各业,防雷击电磁波的干扰也是人们普遍重视的问题。

反映雷电活动的主要参数有电场强度、电磁波、声和光等。在考虑建立报警系统时,主要以测量地面电场强度为主,测量感应电流为辅。为了建立雷电报警系统,并研究确定地面电场报警的阈值,经过三年间的现场测量,测量时间和地点分别是:1995年6~9月在仪征输油站,1996、1997年6~9月在石油大学(华东),测量系统利用两套地面电场仪,分别布置在防雷系统保护区内外,同时测量了避雷针的电晕电流和感应电流,测量系统如图1。本文发表的所有雷电活动时避雷针电流和地面电场的连续变化曲线,都经过不同比例的缩小,图2、图3、图4、图5中(a)是电流曲线,标“☆”的为常规避雷针、标“★”的为十三针导体消雷器电流曲线,每条电流曲线包括了电晕电流和感应电流;(b)为防雷保护区内的电场曲线,仪器量程为20kV/m;(c)为防雷保护区外的电场曲线,仪器量程为30kV/m。

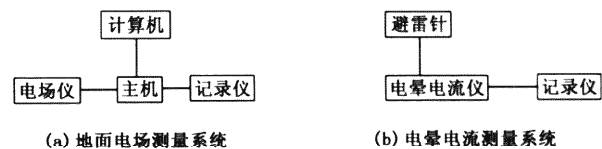


图 1 雷电活动时地面电场和避雷系统电流的测量
Fig. 1 The measure of the electric field on the ground and electric current of the lightning protection system

2 地面电场和雷电活动的关系

在条件成熟时,雷雨云起电非常迅速,在起电过程中云内、云外以及地面电场强度虽然有很大不同,但都可以反映雷电活动情况,而地面电场最便于测量。首先仪器放于地面,为测量工作带来极大方便。另外电场强度是矢量,空间电场是一个三维量,而地面近似导体,因此地面电场垂直地面,测量时可以简化成一维量,这样大大简化了地面的测量工作。一般40km内存在雷雨云或有带电云层移动,地面电场就会出现明显异常,多数雷雨云的电荷分布是正电荷中心在上部,等量负电荷中心在下部,最底层有少量正电荷[●]。云内有强大的气流,

● Bent R. P and Liewlyn AD-A039588 1976. 5:5~8.

基金项目: 中国石油天然气总公司项目(940050)。

作者简介: 黄柳宾,男,1963年6月生。1986年毕业于华东石油学院应用物理专业。现任石油大学(华东)应用物理系实验室副主任,副教授。

正负电荷经常是混合分布,但总是存在着正负电荷中心。条件成熟时雷云从起电开始仅 20 多分钟就足以产生雷闪,无论云闪还是地闪,地面电场都产生脉冲变化。因为地面电场反映了云中携带电荷多少,而云中所能携带的电荷量,又由云中击穿电场所决定,一般雷云单体所能携带的电荷量约 30~80C。云中电场一旦达到击穿值就会引发云、地闪。云、地闪的过程就是将云中所携带的电荷,在云间或云地间以约 0.4s 的瞬时发生放电,每次放电将输送低于 20~30C 电荷,产生的峰值电流可达 20kA^①,其破坏性很大。

由于雷云中电荷量在瞬时的突然变化,反映到地面电场就形成脉冲变化。随着雷云的不断起放电,形成连续不断的雷闪。图 2 是 1996 年 7 月 5 日雷电活动时,15:30~15:50 实测的地面电场和避雷针系统的电流曲线,每个脉冲都反映一次雷击活动。电场脉冲的变化特点是:在雷云起电过程时,地面电场呈指数形式增加,一旦产生了雷击,电场突然变化,斜率几乎等于 $\pi/2$,此后再次起电,仍呈指数形式增加,这种变化规律许多文献已在理论上给予说明^[1]。云、地闪的强弱主要体现在电场脉冲变化的幅度,而不能仅由其峰值确定。所测避雷针的感应电流也有同样的变化规律。

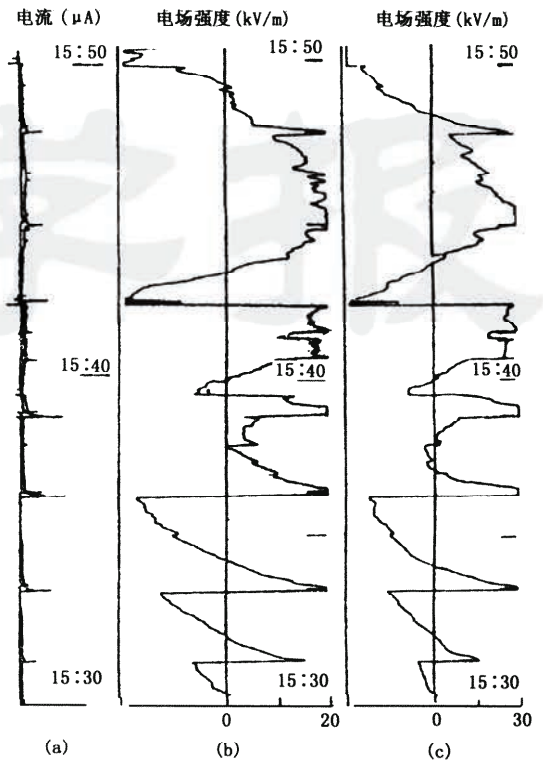


图 2 1996 年 7 月 5 日东营地区雷暴时

15:30~15:50 所测地面电场和避雷针电流曲线
Fig. 2 The curves of the electric field on the ground and electric current of the lightning rod in the course of lightning (15:30~15:50, 5/7/1996, Dongying)

3 雷电活动时地面电场的变化规律

根据雷暴时地面电场变化情况和雷击频率,可以将雷暴的全过程划分为 6 个阶段。

雷暴前电场异常:地球经常携带负电荷,使地面存在 0.13kV/m 电场强度^[2],外界各种弱干扰低于 0.5kV/m,从安全角度,高于 1.5kV/m 即属于地面电场异常现象。所谓的弱干扰是指人员、车辆在距仪器 0.5m 以外移动、或 20m 外低于 50kW 的一般电器。

雷暴初期:雷暴初期仅是雷暴发展的一个过程,其地面电场、雷闪频率都没达到最高值,一般电场值在 4kV/m 以上就有可能产生云、地闪。图 3 是 1997 年 8 月 2 日在东营地区一次雷电活动时,19:00~19:20 实测的电场、电流曲线。当天 6 时即发生电场异常现象,电场值在 1.5kV/m 左右变化,18:55 电场值迅速增加,不到 10min 即增加到 8kV/m,19:02:30 在 20km 外发生第一次雷击,20min 后在近区产生强雷暴。

雷暴高峰:随着雷暴的发展很快达到高峰,其特点是地面电场脉冲的峰值很快攀升至约 15kV/m,但并没达到全过程的最高值,这是因为雷暴刚刚开始,云中含水量较大,其击穿电场较低,所以反映到地面电场脉冲的峰值并不是最高值。相应的雷闪频率是全过程的最高值,一般在 10 次/min 以上,这是因为云内击穿电场低,所需起电时间短。图 4 是 1997 年 6 月 19 日东营地区一次雷电活动时,17:00~17:15 实测的电场、电流曲线,曲线表示由雷暴高峰期转向雷暴中期,电场、电流的变化,明显看出电场脉冲峰值在增加,频率在减小。

雷暴中期:伴随雷闪必然有暴雨或阵雨,大量降雨的结果,使云中含水量大大降低,云内击穿电场提高,使云在放电前累积的电荷量相应增加,此时地面电场脉冲峰值比雷暴高峰期增高,一般会大于 20kV/m,而雷闪频率下降到 5 次/min 左右,这种特点在图 4 中 17:10 以后可明显看出。

雷暴晚期:经过强雷闪后,雷云下部电荷(一般为负电荷)大量减小,同时雷云起电基本停止,雷雨云最后产

① Bent R. P and Liewllyn AD-A039588 1976. 5:10~15.

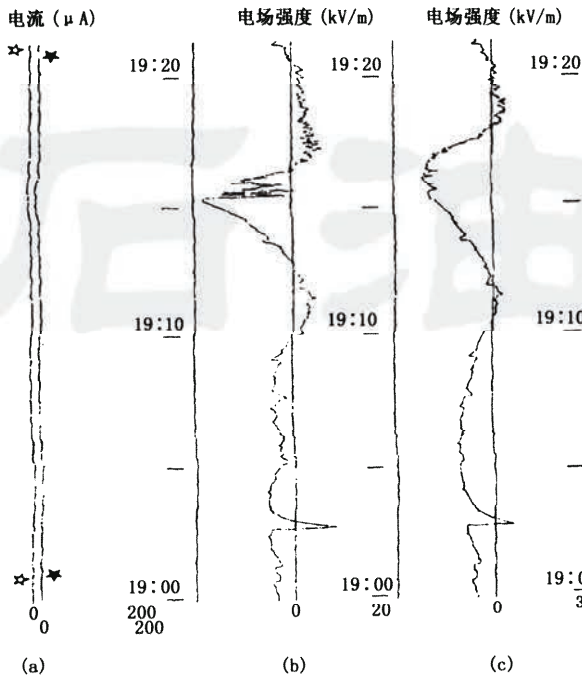


图 3 1997 年 8 月 2 日东营地区雷暴时 19:00~19:20 所测第一个雷击前后的电场、电流变化曲线

Fig. 3 The curves of the electric field on the ground and electric current of the lightning rod before and the lightning (19:00~19:20, 2/8/1997, Dongying)

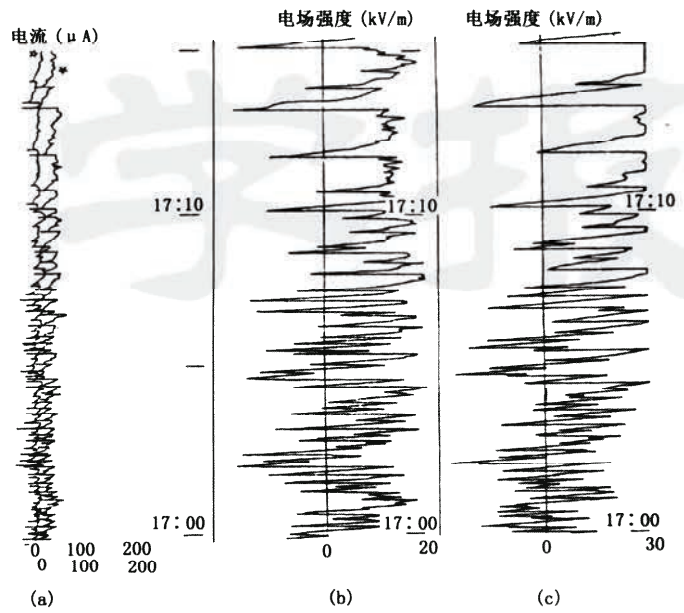


图 4 1997 年 6 月 19 日东营地区雷暴时 17:00~17:15 所测雷电活动电场、电流曲线

Fig. 4 The curves of the electric field on the ground and electric current of the lightning rod in the course of the lightning (17:00~17:15, 19/6/1997, Dongying)

生下沉气流,结果使云中心部位下沉,将下部残留的负电荷向四周排开,使云上部的电荷暴露给地面,由于雷云起电基本停止,地面电场不再发生脉冲变化,可有大幅度、长时间起伏,并可持续几小时,现场测量最大值可达到 80kV/m,但不会再发生雷击,除非又出现新的雷云单体。图 5 是 1997 年 6 月 16 日在东营地区一次雷电活动时,17:30~18:00 实测的电场、电流曲线,曲线表示最后一次雷击发生在 17:37:48,此后电场没有出现发生雷击的那种独特的脉冲变化,虽然电场值很大,但没有雷击发生,这是一种典型的“雷暴结束时的振荡”现象^[2],1753 年富兰克林首先报导了这一现象。

雷暴终结:从记录曲线可看出,雷暴已经结束,但地面电场还没有恢复到正常值,这是因为结束期经常要延续很长时间。

雷电活动十分复杂,雷暴时反映到地面的电场值一般不超过 20kV/m,而且可以将雷电活动过程分成几个时期,其根本原因是云中击穿电场有比较确切范围。例如空气的击穿电场约 3000kV/m^[3],雷雨云的最大击穿电场约 400kV/m,云中的击穿电场限制了云中电荷的积累,因此地面电场变化必然存在一定范围。

由于气象变化的多样性、复杂性,多数地区测量不到雷暴的全过程,只有当雷雨云自始至终都在测量点附近 10~20km 范围内移动时才可能测到全过程。事实上经常有几个雷云单体同时活动,都影响地面电场。只要发生雷击,不管是云闪还是地闪,地面电场都出现脉冲式变化,由电场连续记录曲线可明显看出这种变化过程,电场在无雷击时仅呈波动变化,而一旦发生云、地闪,电场必然呈独特形式的脉冲变化。

经过近百次的观测,充分认识到气象变化的复杂性,有时全天阴雨,似乎雷暴即将来临,但地面电场无异常现象,观测和实测都得到肯定结果,没有雷击活动,如 1996 年 8 月 26 日,虽然暴雨成河,但地面电场无异常现象,也没有雷击发生。又如 1996 年 8 月 25 日,全天阴但无雷云活动。同时也注意到大的雷暴经常是来势凶猛,几分钟或十几分钟雷暴就降临,如 1995 年 8 月 8 日,全部雷暴过程仅在 1h 内发生。

4 报警系统的设计

雷击过程中产生的强电磁波在避雷针系统中产生感应电流也将呈脉冲变化,为了建立雷电报警系统,简化测量手段,可以不测量避雷系统的电晕电流,只需测量一简单天线上的感应电流,这样对报警系统起到了辅助参考作用。图6是报警系统的方框图,图中电场仪的量为 20kV/m ,天线为直径 20cm 环形,主机将电场仪的电场、天线电流的测量信号处理并发出声、光连续报警,同时推动记录仪。雷电报警系统的电场强度阈值大小,随被保护物的要求将有很大不同。电场仪应放置在 20m 内没有杂草、树木、人员及车辆等因素干扰的地方,并且 50m 内没有机电设备及有关电器的干扰,根据电场值变化可分为五级报警。

一级报警:雷暴前电场出现异常现象,设定电场达到 1.5kV/m 时,即发出一级报警,提醒工程技术人员注意,如果持续报警肯定有带电云层活动,应严密监视电场的变化,当确实有雷暴来临,仅在十几分钟或稍长一点时间内电场就会迅速增加,如果仅是有带电云层在附近移动,电场值可能在几个小时甚至十几个小时来回波动,电场值不会迅速增加,只会逐渐减弱,更不会出现脉冲变化。

二级报警:电场快速增加到 4kV/m 以上并出现弱脉冲变化,应给出二级报警,说明周围 $20\sim 40\text{km}$ 范围已经有云、地闪发生,并注意电场的继续变化。一般电场迅速增加到 10kV/m 时,近区 20km 内相应就会出现频繁的雷击活动,频率可达 $5\sim 10$ 次/ min ,说明雷暴中心已移近,油库现场应停止操作或采取必要的措施防止输油过程中油气的逸出,对各种精密仪表、工控设备采取防雷击措施。

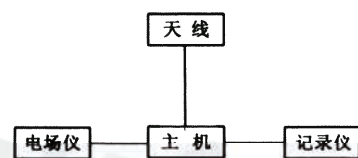


图6 雷电报警系统

Fig.6 The lightning-alarming system

三级报警:油库周围 20km 内已发生雷暴,电场达到 8kV/m 以上,并会迅速出现 $8\sim 20\text{kV/m}$ 脉冲,雷闪频率可达 20 次/ min ,这时应给出三级报警,附近有雷暴发生。雷暴可持续一段时间,后转为雷暴中期,特点是电场脉冲峰值进一步增加,可大于 20kV/m ,但雷闪频率大大下降到 $0.2\sim 5$ 次/ min 。

解除报警:电场恢复到背景值,一般是 0.5kV/m 以下,说明已经没有带电云层活动,可以解除报警。

5 结束语

由于雷电活动的复杂性、多样性、瞬时性,在使用报警系统时,需要不断观察地面电场的变化过程和变化趋势,研究是否有强带电云移近。

雷电报警系统的应用范围非常广泛,如精密仪器实验室,大型计算机房,炼油厂,变电站,火药库等,随被保

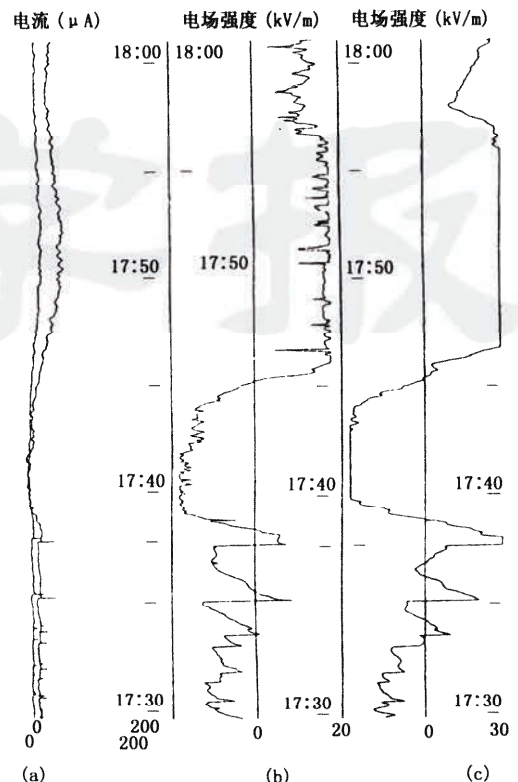


图5 1997年6月16日东营地区雷暴时17:30~18:00所测雷电活动电场、电流曲线

Fig.5 The curves of the electric field on the ground and electric current of the lightning rod in the course of the lightning(17:30~18:00, 16/6/1997, Dongying)

停止报警:雷暴发展到晚期,云下部电荷基本泄放掉,不会再产生雷闪,有可能产生下沉气流,使云上部电荷暴露给地面,地面电场可有较大波动,可达到 $20\sim 80\text{kV/m}$,此时不会有脉冲出现,亦即无雷闪发生。

护设施不同,可调整报警阈值或报警级别。雷击产生的强电磁波,会使某些精密仪器失灵,计算机误操作,工业自动控制系统不能正常运转。当发生地闪时,产生的强电磁波对电子设备的危害半径分别是:电子设备 400m,晶体管设备 800m,微电子设备 1200m,超微细机械 10000m^[4]。一般火药库要求 60km 外有雷击发生,就要作出初级报警。因此需要在一定范围内安装一定数量的报警系统。广泛使用报警系统,不断提高系统的可靠性十分必要。

参 考 文 献

- [1] 孙景群. 大气电学基础[M]. 北京:气象出版社,1987:191~192.
- [2] R. H. Golde. 雷电(上)[M]. 周诗健、孙景群译. 北京:电子工业出版社,1982:19~21,31~33.
- [3] 刘尚合. 静电理论与防护[M]. 北京:兵器工业出版社,1999:23.
- [4] 刘继. 论消雷器的研究、应用及主要教训[J]. 电网技术,1996,20(8):12~17.

(收稿日期 1999-11-04 修订日期 2000-01-12 编辑 张君娥)

中国石油学会五届二次全国秘书长工作会议在上海召开

中国石油学会五届二次全国秘书长工作会议于 2001 年 3 月 17 日~19 日在上海市召开,来自 28 个省、市、自治区石油学会、14 个专业委员会、3 个工作委员会的 96 名代表参加了会议。中国石油学会理事长邱中建、副理事长戴焕栋、上海市科协副主席刘海涛、上海市石油学会理事长瞿国华、石油科普教育委员会主任傅诚德等领导出席了会议。

会议开幕式由中国石油学会副秘书长戴进业同志主持并致辞,戴焕栋副理事长、刘海涛副主席、瞿国华理事长分别发表了热情洋溢的讲话,邱中建理事长在大会上做了重要讲话。

中国石油学会副秘书长何庆华同志代表钱玉怀秘书长在大会上做了“团结拼搏,乘势前进,努力把学会办成新型的科技团体”的工作报告。报告全面总结和回顾了 2000 年中国石油学会在组织建设、学术交流、科普咨询、期刊出版等方面所取得的可喜成绩和成功经验,精辟地分析了新世纪学会所面临的形势和任务,提出了 2001 年的工作指导思想和工作安排。这个报告得到了与会领导和代表的充分肯定。

在接下来的会议典型发言中,北京、上海、山东、湖北、四川、广东、江苏、新疆、石油炼制、地质、工程等 11 个单位的秘书长向代表们介绍了他们的工作情况和经验体会。

代表们在认真听取了大会报告之后,针对以下三个议题进行了广泛热烈的讨论:1. 围绕三大石油公司重组、上市的新形势,学会如何转变观念,做好服务工作;2. 在市场经济条件下,学会怎样才能开展好活动;3. 对学会今后工作的建设性意见。代表们在讨论中畅所欲言,各抒己见,讨论气氛民主热烈,并取得以下共识:

1. 学会应发挥“大学会”作用,充分利用“无形资产”的品牌优势,争取更多的咨询、科研等工作;
2. 学会要进一步做好服务工作,搞好各学会的协调工作,往上要多争取政策,往下要多解决问题;
3. 学会要顺应科技发展的新潮流,用现代化的管理手段促进学会工作的开展,尽早建立“中国石油学会网站”;
4. 建议学会秘书处召开一次关于学会生存问题的研讨会;
5. 针对新学会工作人员多的情况,应举办几次“培训班”,加强对他们的素质培养。

在闭幕式上,戴进业副秘书长对会议进行了总结,并对下一步工作提出了具体要求。总之,这次会议开的紧凑、热烈,是对新世纪学会工作的一次大检阅,势必对学会今后的工作起到积极的推进工作。

(康 剑 供稿)

caused by the interaction between rock bit and rock, and the swing of WOB is about 30% of the average. The change of rotate speed and torque are caused by the scraping of rock bit. The change of rotate speed is smooth. The swing of torque on bit and on the top is about 50% of the average. According to the above conclusions, we can say that the dynamic models can express the dynamic action of drillstring-bit-rock clearly. It is instructive to design new rock bit and study drilling mechanics.

Key words: roller cone bit; dynamic; drillstring; rock; simulation software

AN OPTIMAL MODEL AND ITS APPLICATION FOR DESIGNING 3-D TRAJECTORY IN RE-ENTRY HORIZONTAL DRILLING

JIANG Sheng-zong, et al. (*Dalian University of Technology, Dalian 116023, China*) ACTA 2001, 22(3): 86~91

Abstract: This paper first discusses some trajectory-design methods that are commonly used, then develops new mathematical model for designing 3-D trajectory in re-entry horizontal drilling based on optimization theory and the trajectory-control characteristics. The new model regards the length of curve section as its objective, in which main factors affecting 3-D trajectory design & control are considered quantitatively. Theoretical analysis and more than 10 case studies show that the new model has many advantages comparison with traditional design methods. It embodies the features of trajectory design & control, can greatly simplify the design process and hit the prescribed point or target with much higher accuracy.

Key words: re-entry; horizontal well; three dimensions; trajectory; optimal design; mathematical model

THE VARIATION OF ELECTRIC FIELD ON THE GROUND IN THE COURSE OF THUNDER AND LIGHTNING AND SAFETY-ALARMING SYSTEM OF THUNDER-LIGHTNING FOR THE OIL DEPOT

HUANG Liu-bin, et al. (*Petroleum University, Dongying 257062, China*) ACTA 2001, 22(3): 91~95

Abstract: Thunder is dangerous for safety in oil depot. It is essential to build up multi-grade safety-alarming system of lightning. The electric field on the ground in the course of lightning has been measured. It is found feasible to build up multi-grade safety-alarming system of lightning. The variation of electric field on the ground in the course of lightning has been studied and the thresholds of the electric field on the ground in the course of lightning have been given. And so, a multi-grade lightning-alarming system based on surveying the electric fields on the ground is given.

Key words: thunder; lightning protection; electric field; electric discharge; alarm device; threshold value

STUDY ON PREDICTION FOR BOREHOLE STABILITY BEFORE DRILLING

JIN Yan, et al. (*Petroleum University, Beijing 102200, China*) ACTA 2001, 22(3): 96~99

Abstract: Borehole stability is generally studied during drilling or after drilling. By analyzing drilling log, logging data and core data in detail, the leading mechanism of borehole instability is acquired, the safe mud