

文章编号: 1001-1986(2005)03-0061-03

# 矿区表土疏水沉降机理及其与井壁破裂的关系

经来旺<sup>1</sup>, 张天勇<sup>2</sup>, 徐辉东<sup>3</sup>, 牛学超<sup>3</sup>

(1. 安徽理工大学, 安徽 淮南 232001; 2. 淮南矿业集团, 安徽 淮南 232001;  
3. 中国矿业大学力学与建筑工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 为了揭示矿区表土疏水沉降的机理, 并透析表土沉降与井壁破裂之间的关系, 从表土疏水沉降的模拟实验入手, 分析了矿区表土缩水沉降的机理。揭示了矿区表土层中非压缩区的存在, 并在此基础之上分析了立井井筒所承受的负向滑动摩擦力的形成及变动规律, 剖析了井壁破裂与表土层厚度及下含水水位的特定对应关系, 为揭示井壁破裂时间的可预测性奠定了基础。

**关键词:** 疏水沉降; 机理; 负向摩擦; 破裂预测

**中图分类号:** TD265 **文献标识码:** A

## Relation between the seepage sedimentation mechanism of soil in mining area and shaft rupture

JING Lai-wang<sup>1</sup>, ZHANG Tian-yong<sup>2</sup>, XU Hui-dong<sup>3</sup>, NIU Xue-chao<sup>3</sup>

(1. Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 2. Huainan Mining Group Corp. Ltd., Huainan 232001, China; 3. College of Civil Engineering & Architecture, China Mining University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The main purpose is to find out the seepage sedimentation mechanism of soil in mine, and analyzes the relation between soil sedimentation and shaft rupture. In this paper, the simulation experiment of ground water seepage and soil sedimentation is conducted. The seepage sedimentation mechanism of soil is analyzed. The relative non-compression zone in soil around shaft is revealed. The formation reason and variable laws of slide negative friction are studied. Based on the analysis of a lot of the fracture shafts in China, the relation between ground water seepage and shaft rupture is investigated. The results show that the time of shaft rupture can be predicted by analyzing the level of groundwater around shaft.

**Key words:** seepage sedimentation; rupture mechanism; negative friction; rupture forecast

## 1 引言

自上世纪 80 年代至今, 关于煤矿井田范围内的表土沉降机理及立井井壁破裂机理的研究众说纷纭, 其中较有影响力的主要有: “渗流变形假说”、“新构造运动假说”、“负摩擦力假说”、“三因素综合假说”、“竖向附加力假说”等<sup>[1~5]</sup>, 这些假说的主要思想之一就是下含水层渗流导致下含水层缩沉, 使得上覆土体下移, 井壁受到方向向下的竖向力作用, 最终导致井壁破裂。20 多 a 的实践表明, 这些研究成果的诞生确实对我国的煤炭建设事业的发展做出了积极的贡献; 但是, 这些假说尚存在着不尽完善之处。对此, 本文将通过地下水渗流模拟实验来给以说明。

## 2 表土疏水沉降机理之模拟实验

### 2.1 实验目的

观察各表土层含水水头沿井筒径向的变化; 观

察各表土层疏水沉降情况; 特别关注井筒周围的土体的缩沉及其与井筒附近下含水位之间的关系。

### 2.2 实验概述

图 1 为一检测冲积层下含水层水头下降与表土沉降关系的模拟实验。实验装置为一特制玻璃缸, 缸长 3 m, 宽 1 m, 高 1.2 m。图中, 第一与第二含水层之间有弱透水性, 第二与第三含水层之间本身无水力联系。渗漏开始阶段, 各含水层水头一致。为了清楚地观察水位的沉降情况, 特在水中添加了红色染料。

由于井筒采用冻结法施工, 井筒周围各土层的渗水性在冻结前后发生了一定的变化, 同时由于施工过程中壁后材料的使用, 昼夜和季节温度的变化导致的井壁对周围土体的径向与纵向作用等因素, 均使得井筒与土体之间形成了一渗水通道。本实验中的这一渗水通道用一细砂袋代替。

### 2.3 实验观察

将渗水口的阀门旋开之后, 下含水层中的水即

收稿日期: 2004 09 02

基金项目: 安徽省教育厅资助(2005KJ008)

作者简介: 经来旺(1964—), 男, 江苏南京人, 安徽理工大学副教授, 博士, 主要从事地下工程力学结构研究。

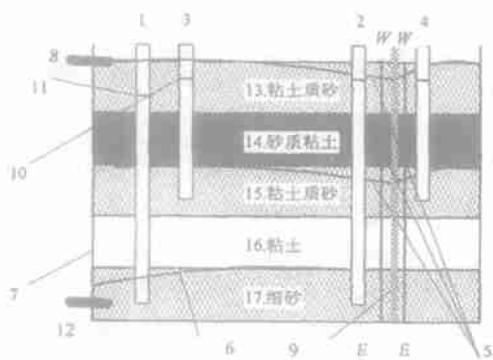


图 1 地下水渗透与表土沉降的实验模拟

Fig. 1 The simulation experiment of ground water seepage and soil sedimentation

1、2——下含水头观测管；3、4——中含水头观测管；5、6——表土沉降曲线；7——实验池；8——补水口；9——砂袋（井筒）；10、11——第 2 含水层（中含层）、3 含水层（下含层）某时刻水头；12——渗水口；13、14——第 1 含、隔水层；15、16——第 2 含、隔水层；17——第 3 含水层

通过渗水口缓慢渗出（流量的大小可通过阀门来控制），由于砂袋沟通了各含水层，因此，各含水层水头均有所反应，概括起来主要有以下几个方面：

a. 2、4 两管显示的水头基本保持一致，较井筒（砂袋）处的水位略高；

b. 2 管显示的水头高于 1 管显示的水头。3 管显示的水头高于 4 管显示的水头；

c. 3 管显示的水头变化缓慢，当上含水已经疏干，且 2、4 管中的水头已降至第 1 隔水层（砂质粘土下界面）以下时，水头下降速率才开始加快；

d. 随着地下水经渗水口不断地流出，各层面开始出现有规律的下沉，如图 1 中黑色曲线所示。

上面 3 个地层的沉降是从上至下依次发生的，且以井筒为中心，中心处沉降量最大，沿径向向外沉降量逐渐减小；下含水层的沉降从渗水口开始渗水时即缓慢的发生，与上不同的是，该层最大的沉降量发生在渗水口附近，且以渗水口为中心沿径向向外逐渐减小。此外还发现：在整个实验过程中，井筒下部附近的土体没有显示出明显的缩沉迹象（下含水层水头落至下含水层上界面之前）。

## 2.4 实验结果分析

2、4 两管显示的水头基本保持一致，说明井筒附近的各含水层水力相通；3 管显示的水头高于 4 管，说明井田范围内的中含水层中存在有方向指向井筒的渗流，而 2 管显示的水头高于 1 管则说明下含水层中的地下水渗流方向指向该层含水流失的地点。3 管显示的水头变化缓慢 说明第二含水层在向井筒方向渗流的同时，第一含水层中的水通过与第二含水层之间的弱隔水层发生有越流，而“当第一

含水层中的水已经疏干，且 2、4 管中的水头已降至第 1 隔水层（砂质粘土）下界面以下时，水头下降速率方开始加快”，以及“当补水口以渗水口的渗水速率进行补水时，3 管的水头则表现出相对平稳的状态”，均有力地证明了越流的存在。上面 3 个地层随着地下水经渗水口不断地流出而发生从上至下的依次沉降，且以井筒为中心，中心处沉降量最大。沿径向向外沉降量逐渐减小，说明沉降的发生主要是因为空隙水或重力水流失。下含水层的主要沉降不是发生在井筒处，而是发生在渗水口附近，且以渗水口为中心沿径向向外逐渐减小，说明了当下含水层的含水流失点距井筒的距离越远，井筒周围的下含水层缩沉的程度越小。

## 3 表土缩沉机理分析

为了深入查清井筒周围的土体的疏水沉降情况，可沿图 1 所示的圆周面 W—W 将井筒周围的表土独立出来单独分析。由于井筒附近渗水通道的存在，上部含水层可通过通道补充下含水层。各含水层的水头变化如图 1 中的曲线所示，由于在圆周面 W—W 的范围之内，下含水层水头之上的各表土层的压力水头可近似为零（粘土层同样因重力水流失而引起含水量变化），同时考虑到井筒外壁对周围土体的支撑作用，该范围之内，下含水层水头之下的各表土层中土的有效应力几乎不变，因此，不会发生明显缩沉（该部位井筒因徐变、塑变以及 W—W 范围之外土体下沉所引起的附加沉降除外）；当然，第一、二含水层的水头受大气降水及含水层径向补给的作用，使得沉降区域内二含之上的土层不仅不会压缩，有时甚至膨胀，但由于含水层中粘土颗粒的存在，渗水性一般并不好<sup>[3]</sup>，故相应层处的 W—W 圆柱面内的水头下降的总体趋势并不会因此而改变。同时还由于井筒对其周围的表土具有一定的向上支撑作用，所以，井筒周围的表土，仅水头之上的部分受水头变化的影响，水头之下的表土层并不会因地下水的流失而发生压缩。据此，水头之下的井筒所承受的摩擦力只与井壁的温度和时间有关，与下含水层的渗流无关，即不会随下含水水头的变动而改变。

## 4 表土沉降与立井井壁破裂特征之间的关系

长期以来，一直认为井筒破裂的根本原因，是下含水层疏水导致有效应力增加，致使该层压缩，上覆表土下移并与外井壁发生摩擦 导致表土与基岩交界面处的井筒截面上应力增大至极限应力。但这种观点无法解释下述有关井壁破裂的特征。

表 1 我国部分冻结立井井壁破裂情况一览表

Table 1 The shaft rupture information of part frozen shafts in China

井筒名称	竣工时间/破坏时间	冲积层厚度/m	冻结深度/m	井壁破裂时下含水头距井口的距离/m	实际破坏深度 /m
张双楼副井	1982.12.31/1987.07.29	243.15	285	91.05	225.0, 229.3~230.5
海孜副井	1983.03/1987.08.21	247.24	285	85.74	232.8~237.5
海孜主井	1982.08/1988.10.06	248.69	258	97	211.79~219.79
海孜中央风井	1980.05/1988.06	245.18	285	93	226.79~234.75
兴隆主井	1977.08.13/1997.06.23	189.31	216.4	93.57	150, 184
兴隆副井	1978.09/1997.06.26	190.41	221.75	93.57	154
兴隆西风井	1976.08/1995.10	183.9	219.45	89.17	165.6~171.6
兴隆东风井	1977.05.31/1997.06.07	176.45	204.95	93.572	157
杨村主井	1984.12/1997.02.29	185.42	206.94	95.03	176.5
杨村副井	1985.01.23/1997.12.02	184.45	212.44	96.99	160, 176
杨村北风井	1984.10.31/1997.02.04	173.4	212.8	95.03	150~156.6
鲍店主井	1979.05.14/1995.07.12	148.69	256	88.7	136~144
鲍店副井	1979.11.26/1995.06.05	148.6	256	88.7	126.9
鲍店南风井	1979.08.01/1996.08.09	157.92	189	89.78	158.1~159.3
鲍店西风井	1979.10.21/1996.08.02	202.56	234	93.2	168.4, 180, 204

4.1 土层厚度的相对无关性与水头距井口距离的特定对应性

从表 1 不难看出, 决定井壁破裂的基本因素是下含水层水头距井口的距离必须达到 85~95 m。因为只有这样, 下含水层水头之上的表土才会因空隙水或重力水的流失而产生范围足够大的缩沉, 而正是这一缩沉以及夏季井壁沿轴向向上的热伸使得表土与井壁间产生了极大的负向(方向向下)滑动摩擦力, 最终导致了井筒的破裂。表 1 中所列出的 15 个井筒穿越的表土冲积层的厚度从 148.6~247.24 m 不等, 下含水层水头下降速率也各不相同, 经查它们各自下含层的厚度及表土的下沉量也不同, 但当下含水层水头下降至距井口 85~95 m 范围时, 均发生了破裂。事实充分地说明了冲积层的厚薄对井壁破裂的影响显然具有相对无关性, 但与下含水层水头距井口的距离却具有特定的对应性。这也反向论证了下含水层水头之下的土层与井壁之间的竖向作用力, 在下含水流失的过程中处于较为稳定的状态。

4.2 井筒卸压槽的位置效应

根据资料<sup>[7]</sup>可知, 在利用卸压槽措施来处理井筒破裂事故时, 卸压槽越是靠近基座, 卸压效果就越差, 井口出现的相对抬升越大。这一事实充分论证了井筒下部正向(方向向上)摩擦力的存在。从而间接地论证了井筒附近的表土中, 靠近井筒下部的地方存在有非压缩区。

4.3 井壁破裂的位置特征

如表 1 所示, 在我国实际发生破裂的井筒中, 许多井筒的具体破裂位置位于基座之上, 而不是坚硬基岩交界面位置。如若下含水层失水压缩, 那么根据有效应力原理可知: 最大的井壁竖向应力应发生在壁座处, 即表土与坚硬基岩的交界面处<sup>[8]</sup> (风化

带看作表土)。正是这一特征再次强有力地论证了井筒下部所受的竖向力应方向向上。文献[8]中, 童亭矿副井井壁竖向应变的变化规律实测结果也清楚地表明了向上摩擦力不仅存在, 而且逐年向上拓展范围(见图 2)(主要是因为井筒下部发生塑性变形, 变形部分向上摩擦力增大, 井壁最大竖向应力所在位置向上不断移动所致)。

4.4 井壁破裂的时间特性

根据现场观测<sup>[7]</sup>, 很多破裂井筒在矿井运行初期, 工业广场即开始发生地表沉降, 井口处井筒外壁与周围表土即发生相对错动(夏季较为明显)。如若这些现象是因为下含水层疏水沉降所致, 则说明在每年的夏季, 在整个表土层的厚度范围内, 井筒与表土之间必发生了相对运动或运动趋势。此种情况下, 在计算井筒所承受的摩擦力时, 即使以最小的摩擦因素代入计算, 井筒也必破无疑, 而根本无所谓下含水水头沉降的程度。事实上, 大多数井筒并不是在矿井投产的初期破裂的, 而是具有一定的时间性, 如表 1 中的绝大多数井筒的破裂均是在矿井投产 10 a 之后才发生的。这一现象结合井筒破裂时地下水位距井口的距离极有力地说明了在井筒周围的表土中存在有非压缩区。

正是由于井筒周围的表土中存在有非压缩区,

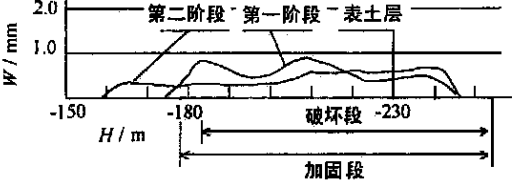


图 2 童亭副井井壁纵向压缩变形示意图

Fig.2 Sketch map of axes compression transmutation of accessory shaft in Tongtin Mine

文章编号:1001-1986(2005)03-0064-03

## 陷落柱的地震识别技术及其应用

宁建宏,张广忠 (煤炭科学研究总院西安分院,陕西 西安 710054)

**摘要:**通过地震资料解释的研究与实践,对华北石炭二叠系中陷落柱的地震识别技术及其应用情况,进行了较系统的分析和总结。这对今后正确分辨和圈定陷落柱具有一定指导意义。地震剖面、水平时间切片和沿层振幅切片、相干体技术、波阻抗反演技术等,在对陷落柱的发育部位及其空间关系的解释方面,各有其独特效果。山西某矿陷落柱相当发育,利用陷落柱的综合地震识别技术进行解释,效果明显。

**关键词:**陷落柱;三维地震勘探;识别;相干体

**中图分类号:**P631.44 **文献标识码:**A

### Seismic identification technique and its application of collapse column

NING Jian-hong, ZHANG Guang-zhong (Xi'an Branch, CCRI, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** This paper analyzes and summarizes the identification technique and its application of the seismic exploration of collapse column in Carbon-Permian strata, northern China, using the interpretation and practice of seismic data. It has guiding significance to distinguish and delimit collapse column section. Seismic section, horizontal time section, amplitude horizontal slice, acoustic impedance inversion and coherence cube technology etc. have their individual special result in locating collapse column and their spatial relationships. A coal mine in Shanxi has numerous collapse columns, the use of seismic identification technique has achieved distinct results.

**Key words:** collapse column; 3D seismic exploration; identification; coherence bodies

## 1 引言

陷落柱这种特殊地质现象的存在,不仅破坏煤

层的连续性,减少可采储量,影响巷道的掘进和煤层的开采,而且有可能成为特殊的导水通道。陷落柱是特殊的地质体,其反射波的运动学特征和动力学

收稿日期:2004-10-21

作者简介:宁建宏(1966—),男,山西稷山人,煤科总院西安分院高级工程师,从事资源与环境研究。

所以立井井壁的摩擦力分布规律应如图2所示<sup>[8]</sup>,其中D层面之上的摩擦力呈近似线性分布。按照这一力学模型,负向滑动摩擦力的范围与下含水层水头的位置相互对应。由于下含水层水头的下降呈现出一定的规律性,因此负向滑动摩擦力的数值必呈现出规律性的增长,井筒危险点处的竖向应力在每年夏季,同时也按一定的规律较上年夏季同步地增加。当增加到极限数值,井壁的破裂则不可避免。从这一角度出发,井壁的破裂完全具有可预测性。其预测方法将在另文中详述。

## 5 结语

a. 文章通过分析认为,立井井筒周围存在有“相对非压缩”土体部分。这一结果对正确建立立井井筒的力学模型,并在此基础上进一步研究井壁破裂的位置及时间具有重要意义。

b. 分析了表土沉降与立井井壁破裂特征之间的关系,对正确确定卸压槽位置,研究防破裂井壁结构和防破裂措施有重要的参考作用。

c. 文中所提及的“非压缩土体”和“非压缩区域”是相对于相应部位的井壁而言的。由于受井壁下部的塑性变形以及周围原状土体疏水沉降等因素的影响,井筒周围的下含层部分势必会发生一定程度的牵制沉降,但该沉降量小于相应部位的井壁压缩量。

## 参考文献

- [1] 琚宜文,刘宏伟,王桂梁等.卸压套壁法加固井壁的力学机理与工程应用[J].岩石力学与工程学报,2003,22(5):773-777.
- [2] 葛晓光.地面与破壁注浆治理井壁破裂灾害的工程分析[J].煤炭学报,2002,27(1):41-44.
- [3] 李文平.深部土层失水变形时土与井壁相互作用试验与理论研究[J].岩土工程学报,2000,22(4):475-480.
- [4] 毕思文.徐淮地区煤矿竖井变形破坏机理及防治对策的研究[J].建井技术,1996,17(3):26-29.
- [5] 毕思文.徐淮地区煤矿竖井变形破坏特征与机理探讨[J].建井技术,1997,18(3):37-39.
- [6] 陈仲颐,周景星,王洪瑾.土力学[M].北京:清华大学出版社,2001.
- [7] 许廷春,耿得庸,官云章,徐法奎.深厚含水松散层的工程特性及其在矿区的应用[M].北京:煤炭工业出版社,2003.
- [8] 谢洪彬.童亭矿副井、风井井壁变形治理效果比较与问题探讨[J].矿山测量,1998,(2):39-41.

