

煤矿立井井筒非采动破裂治理新方法设计

刘环宇¹,王思敬²,倪兴华³,王同福³,曾钱帮²,胡 波²

(1. 河海大学岩土工程研究所,江苏 南京 210098; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029; 3. 兖州矿业集团有限公司,山东 邹城 273500)

摘要 在与现有立井井筒非采动破裂治理方法对比的基础上,分析了混凝土灌注摩擦桩加固地层的井壁破裂治理新方法的可行性及优缺点,并采用数值模拟方法对于治理前后底含处井壁附加剪力进行模拟计算,结果表明,在相同水头降的情况下,治理后的井壁附加剪力较治理前明显减小,因此认为混凝土灌注摩擦桩治理方法对于井壁非采动破裂治理具有很好的效果。
关键词 立井井筒 非采动破裂 摩擦桩 数值模拟 井壁附加力 煤矿
中图分类号 :TD352+ .3 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2005)02-0190-04

立井井筒非采动破裂是发生在矿山生产过程中的工程地质力学灾害,已有的研究表明,这类变形破坏在机理上与一般岩土体失稳而触发的岩土压力问题有本质的区别,原则上是人类采矿活动和地质环境相互作用的结果.从立井井筒非采动破裂现象发生至今 10 多年来,广大科研工作者在井筒破裂的力学机理方面进行了大量的研究工作,得到了许多相关的理论和成果^[1],目前对于由于土体大量失水产生沉降,对井筒产生负摩阻力而导致立井井筒非采动破裂的理论已经逐渐被大多数人所接受,而且现场实际情况与室内试验都证明了该理论的正确性^[2],而根据立井井筒非采动破裂的发生机理提出的多种治理方法已取得了一定的成果.兖州矿区在立井井筒破裂治理中的治理方法及费用如表 1 所示.

表 1 兖州矿区立井井筒破裂治理状况

Table 1 Harnessing of shaft lining fracture of Yanzhou Mining				
井筒破裂矿区	治理时间	治理的井筒	主要治理方法	总费用/万元
鲍店矿区	2004 年 08 月	主、副井	地面注浆	476.00
兴隆庄矿区	1997 年 12 月	东风井	开卸压槽、破壁注浆、套壁加固	206.96
杨村矿区	1997 年 08 月	主井	开卸压槽、破壁注浆、套壁加固	123.00

由表 1 可知,地面注浆治理立井井筒非采动破裂施工费用偏高于卸压槽联合治理方法,但是如果考虑立井井内停产给矿山生产造成的经济损失,卸压槽联合治理方法则远大于地面注浆方法.以鲍店矿为例,停产 1 d 所造成的经济损失达 40 万元(2000 年资料),一般施工工期 20 d 左右,总经济损失达 800 万元.

1 立井井筒非采动破裂现有治理方法分析

目前立井井筒非采动破裂主要治理方法介绍如下^[3,4].

- a. 地面帷幕注浆及破壁注浆.地面帷幕注浆及破壁注浆是通过对井筒周围的土体进行加固,提高周围土体的承载能力,减少土体因失水而产生沉降变形.从理论上分析,这种方法能够较好防止土体的失水沉降,从而一劳永逸地解决立井井壁的破裂问题,但在具体的施工中,由于井壁周围土层较厚,地质条件比较复杂等原因,土体注浆过程难以控制,达不到理想的注浆效果,且随着土体压缩量的加大,浆液很难注入到土体中.
- b. 套壁加固法.套壁加固法是对井壁进行直接加固,其治理机理是增加井壁的承载能力与井壁附加应力相抗衡.该方法见效快,但某一段井壁加固后,随着井壁附加力的增加,立井井筒会在井壁的未加固段发生破坏,所以,套壁加固法主要是在井壁破裂后起到初期的防涌沙、防透水、加固井壁的作用,并不能根本解决

问题,因此一般与其他治理方法联合使用.

c. 卸压槽法.卸压槽法是在井壁上开切卸压槽,在卸压槽内填充可压缩材料,通过材料的压缩对井壁附加应力进行卸荷处理.该方法处理后的井壁在一段时间内可以通过充填材料的压缩来防止井壁上应力积聚,直至充填材料被压缩至极限位置.卸压槽法是目前治理井壁破裂比较有效及实用的方法,但由于井壁周围土体的失水沉降是一个渐进的长期过程,卸压槽法的治理效果只能在一段时期内发挥作用,因此需用卸压槽法对立井井筒进行多次重复治理.

尽管以上的方法能够对于井壁非采动破裂起到一定的治理作用,但是由于地质条件复杂及治理方法本身的局限性,造成以上方法对于井壁非采动破裂的治理只能是暂时的、阶段性的,且随着井壁破裂次数的增加,治理难度也不断的加大,因此新的井壁非采动破裂治理方法的提出具有重要意义.

2 立井井筒非采动破裂治理新方法——摩擦桩治理方法的提出

立井井筒非采动破裂摩擦桩治理方法是根据井壁破裂的机理并结合已有治理方法的优点提出的,由地面注浆方法治理原理而来,采用立井井外施工方式,具体为在立井井筒周围一定范围内采用钻孔灌注的方法设置端承摩擦桩对井筒周围土体进行加固,从而对立井井筒破裂进行治理,其设计如图 1 所示,其中 h 为摩擦桩长度,依实际情况确定.

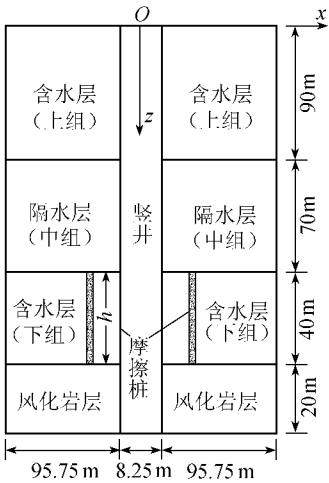


图 1 井壁破裂治理方法设计
Fig.1 Design of harnessing method for shaft lining fracture

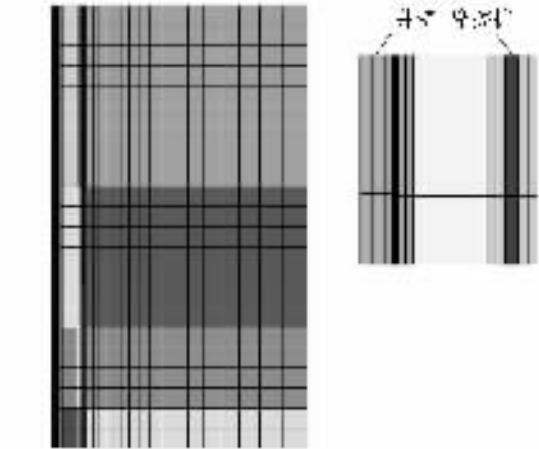


图 2 立井井筒破裂治理数值模拟几何模型
Fig.2 Geometrical model of numerical simulation of harnessing method for shaft lining fracture

3 立井井筒非采动破裂摩擦桩治理方法的实例数值计算分析

3.1 数值模拟计算模型及计算参数

数值模拟计算方法采用拉格朗日元法,具体采用 FLAC3D 数值模拟计算软件进行^[5].其数值模拟的几何模型为一空间轴对称模型,如图 2 所示,其边界条件为:顶面为自由面,周围 4 面分别在 x, y 方向上固定,底面在 z 方向上固定.数值模拟计算中采用了多种本构模型,其中土体、井壁及摩擦桩的计算本构模型为库伦-莫尔弹塑性本构模型,底含固结计算是应用各向同性水流模型与库伦-莫尔弹塑性本构模型共同计算得出的.在土体与井壁及摩擦桩的交界面上设有 interface 来计算三者之间的相互作用.各力学参数及设计参数如表 2,3,4 所示.

表 2 土层、井壁及桩的力学参数

Table 2 Mechanical parameters of soil, shaft lining and pile

部位	干密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	剪切模量/MPa	体积模量/MPa	摩擦角/($^{\circ}$)	内聚力/MPa	抗拉强度/MPa
土层上组	1650	12	20	20	0.030	0.060
土层中组	1650	20	35	20	0.035	0.070
土层下组	1700	20	35	20	0.040	0.075
井壁	2700	12000	15000	55	4.720	2.980
摩擦桩	2700	12000	15000	55	4.720	2.980

计算步骤为:首先在自重应力状态下使土体达到平衡状态,然后在初始平衡状态下开始底含水的渗流与土体变形计算.当水头降达到未治理立井井筒破裂时的水头降(为 0.8 MPa),得到数值模拟计算结果,主要包括桩与井壁的变形与应力的状态分析.

表 3 接触面单元的力学参数

Table 3 Mechanical parameters of interface			
法向刚度/ (MPa·m ⁻¹)	切向刚度/ (MPa·m ⁻¹)	摩擦角/ (°)	内聚力/ MPa
100	100	20	0.03

表 4 井壁破裂治理方法的设计参数

Table 4 Design parameters of harnessing method				
桩径/m	桩间距/m	桩与立井 平均距离/m	桩长/m	桩数/根 桩底位置/m
1.0	4	12	60	24 - 200

3.2 数值计算结果分析

图 3 为数值模拟计算后立井井筒周围底部含水层 z 方向位移,可以看出在摩擦桩作用下,底部含水层的土体得到加固,特别是井筒与摩擦桩之间的土体位移明显小于未受到摩擦桩影响的土体,因此可以认为摩擦桩治理方法在底含固结过程中对土层起到了加固作用,减小了土体的变形量,从而减小了作用于立井井筒上附加力的大小.其具体支护效果可以从图 4 得出.

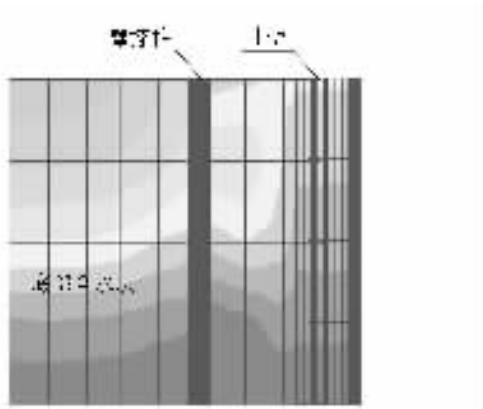


图 3 井筒周围底部含水层的 z 方向位移
Fig.3 Displacement of bottom aquifer
around the shaft lining in z -direction

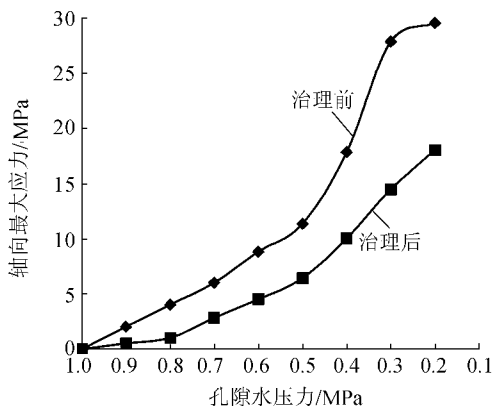


图 4 井壁轴向最大应力随孔隙水压力变化曲线
Fig.4 Relation between stress of shaft lining
in z -direction and pore water pressure

通过数值模拟计算,在底含水头降达到 0.8 MPa(立井井筒破裂时现场底含水头降的实际监测值)时,立井井筒治理前与治理后轴向最大应力随底含孔隙水压力变化曲线如图 4 所示.在同一立井井筒周围土层发生固结沉降情况下,采用摩擦桩治理前后立井井筒所受轴向最大应力的变化规律发生了很大的变化.当底含水头降达到 0.8 MPa,治理前的井壁已经发生塑性破坏,井壁内部 z 方向上的应力为 30 MPa.治理后,井壁内 z 方向上的应力为 18 MPa,未达到构成井筒的混凝土材料的破坏强度,因此,采用摩擦桩治理井壁破裂是有效的,且效果明显.

分析以上数值计算结果,摩擦桩治理方法对于立井井筒非采动破裂治理有以下几方面作用:

- a. 摩擦桩能够有效减少井壁与桩间土层因底含失水而产生的固结沉降量,同时相应减少上部土层的变形,从而直接减少由于底含土层和上部土层发生变形而产生的井壁附加应力.
- b. 摩擦桩可以在井壁周围形成保护区,承担部分甚至全部的在摩擦桩与井壁之间以外由于土层固结所产生的负摩阻力,使原来由井壁承担的负摩阻力改由摩擦桩与井壁共同承担,从而避免井壁的破裂.
- c. 在成桩过程中形成的空孔,可以作为水平地应力的卸荷孔,使得作用在井壁上的水平应力得到卸载,从而减小作用在井壁上的负摩阻力.

4 结 论

- a. 煤矿立井井筒非采动破裂治理新方法——摩擦桩治理机理为通过加固井筒周围的土体,分担土体固结时产生的附加应力,达到对井壁破裂进行治理的作用,其支护机理与井壁周围土体帷幕注浆方法类似,不同的是摩擦桩治理可控性较强,可以对底含以外的上覆土层进行加固,支护效果较好.
- b. 从治理方法来说,增加桩数与减小桩与井壁的距离可以无限降低立井井筒破裂的可能性,但是这是经济与技术条件不能允许的,其具体治理效果应结合实际工程进行验证.

c. 从施工方法来说,摩擦桩施工是从立井井筒外施工,避免了矿井因立井内施工停产给矿山造成的经济损失,因此,经济上具有一定的优势.

d. 作为一种新的治理方法,摩擦桩治理还有许多问题需要解决,其中具体施工参数的确定与治理效果有着直接的关系,主要包括桩径、桩距、桩长及桩与井壁之间的距离等.

e. 作为一种新的治理方法,混凝土灌注摩擦桩治理立井井筒非采动破裂还没有在实际中得到应用,只是在理论上进行了一定的验证,因此还需要验证其经济技术可行性.

参考文献：

[1] 毕思文,王思敬,杨志法. 煤矿竖井变形破坏三维数值模拟分析[J]. 建井技术,1997,18(4) 35—37.
[2] 崔广心. 特殊地层条件竖井井壁破裂机理[J]. 建井技术,1998,19(2) 29—32.
[3] 顾孟寒. 立井井壁破坏机理与治理的探讨[J]. 煤炭科学技术,1991,(6) 44—47.
[4] 杨平. 卸压槽治理井壁破裂研究[J]. 岩土工程学报,1998,20(3) 19—22.
[5] 刘环宇,李晓,王思敬,等. 厚冲积层立井井筒非采动破裂过程的三维耦合数值模拟[J]. 工程地质学报,2004,12(增刊) : 529—532.

Design of new harnessing method for shaft lining fracture of coal mining

LIU Huan-yu¹, WANG Si-jing², NI Xing-hua³, WANG Tong-fu³, ZENG Qian-bang², HU Bo²

(1. Geotechnical Research Institute of Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;
2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029 ;
3. YanKuang Group Co. Ltd., Zoucheng 273500, China)

Abstract Based on an analysis of current harnessing methods for shaft lining fracture, a new harnessing method was put forward for reinforcement of stratum with friction piles, and the feasibility and characteristics of the new method were analyzed. The comparison of results of numerical simulation of additional stress on shaft lining at bottom aquifer before and after harnessing shows that the harnessing makes the additional stress obviously decreased. Therefore, the present method is effective for harnessing of shaft lining fracture.

Key words shaft lining ; nonexcavation-induced fracture ; friction pile ; numerical simulation ; additional stress on shaft lining ; coal mining