

深厚表土中煤矿立井 破裂工程地质研究

〔国家自然科学基金资助项目〕

李文平 著

中国矿业大学出版社

深厚表土中煤矿 立井破裂工程地质研究

〔国家自然科学基金资助项目〕

李文平 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本专著在分析兖滕—徐淮矿区区域地质背景的基础上,对研究区深厚土层基本工程地质性质进行了系统的对比分析。从吸附结合水含量及其性质方面,论述了深部土体失水变形的机理与浅部已有认识的不同。通过恒载荷降水压模拟试验,研究了兖滕—徐淮矿区厚松散土层底部砂砾石高承压含水层水头下降压缩变形过程的特点,并预计了研究区主要井筒附近底含水头下降导致地面沉降量的大小。在试验测得大埋深土与井壁接触面相互作用力学参数后,基于弹塑性理论,考虑土与井壁相互作用,采用解析分析和有限单元数值模拟法,得到了深部土层失水变形导致井壁附加应力大小的理论计算公式,研究了深部和浅部土体同时失水变形时土与井壁的相互作用过程和内在机理;讨论了影响井壁附加应力大小的水文工程地质条件因素,提出井筒重复破裂的粘滑机制;最后讨论了井壁破裂治理方法和工程地质勘察方法。

全书共分八章,内容丰富,结构紧凑,论述严谨,观点新颖,可供从事工程地质、岩土工程、矿井建设方面的科研、工程技术和教学人员参考,也可作为相关专业的本科生和研究生的教学参考书。

责任编辑 宋党育

图书在版编目(CIP)数据

深厚表土中煤矿立井破裂工程地质研究/李文平著.
徐州:中国矿业大学出版社,2000.11
ISBN 7-81070-246-7

I. 深… II. 李… III. 煤矿-竖井井筒-破裂-矿山
地质-研究 IV. TD163

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 53807 号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

徐州新华印刷厂印刷 新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 9.25 字数 222 千字

2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 次印刷

印数 1~1000 册 定价 28.80 元

前 言

人类即将进入新的千年。随着人类社会的进步,科学技术的高速发展,人类改造自然的规模、深度、广度越来越大。今天,我们生活的这颗蔚蓝的星球——地球,正在遭受前所未有的人类的改造作用,人类活动对地球的作用及其造成的影响甚至超过了各种天然营力作用的程度。人类在征服自然、改造自然的进程中,创造了一个又一个奇迹;但同时也因对地质环境的严重扰动诱发了许多环境地质问题,如滑坡、泥石流、洪水、水土流失、荒漠化、地面塌陷、水土污染、地下水枯竭、水库诱发地震等等。

煤炭是我国主要的能源和重要的化工原料。煤炭开采是较为剧烈的工程与地质作用过程,是典型的人类工程活动环境效应。开采引起地应力、地下水重新分布,引起岩土体位移、变形和破坏,导致围岩失稳垮塌、岩爆、煤与瓦斯突出、突水、冲击地压等问题或造成矿井灾害。

80年代中期以来,在我国华东的兖州、徐州、淮北、淮南等矿区,发生了一种国内外从未有过的新的矿井灾害——立井井壁破裂。轻者引起井壁变形、断面缩小,造成提升运输困难;重者井壁断裂、喷水冒砂,造成矿井停产。据统计,到目前为止,兖滕—徐淮矿区内共发生井壁破裂34例,造成经济损失数亿元。

兖滕—徐淮矿区立井破裂引起了各方面关注。采矿、建井、地质等方面的科技人员开展了大量的调查和研究工作。作者从1988年开始涉足立井破裂课题研究。十年来,从工程地质角度,对该课题作了大量的理论和试验研究工作,对丰富工程地质学科发展和认识深厚表土中煤矿立井破裂机理、根治井壁破裂都有较重要的意义。本书是在作者原博士论文基础上,结合作者近几年来主持完成的有关课题内容,参考同行和相近学科相关研究成果撰写而成。主持完成的主要课题有:

(1) 大埋深土与井壁相互作用力学参数试验研究。中国矿业大学校基金项目,1993~1995。

(2) 巨厚冲积层底含失水土体变形机理研究。煤炭科学基金项目,1993~1995。

(3) 淮南潘集矿区深部土体失水变形及诱发的环境地质问题研究。淮南矿务局项目,1994~1996。

(4) 徐州张双楼矿井巷工程地质条件研究。徐州矿务局项目,1991~1996。

(5) 兗滕—徐淮能源开发区立井破裂的若干基本理论问题研究。国家自然科学基金项目,1997~2000。

全书共分八章。第一章介绍了研究区范围,立井破裂的特征,涉及立井破裂的一些基本理论问题的国内外研究现状及存在的问题,主要研究内容和研究思路、方法。第二章介绍了兗滕—徐淮矿区区域地层岩性、地质构造及地貌特征,岩浆活动、地震与活断层,区域地应力场特征,以及工程活动背景情况。初步说明了兗滕—徐淮矿区煤矿立井破裂并不是天然地质作用的结果(天灾),而是人类工程活动(采矿活动)与具体井筒所处地质环境相互作用,导致地质环境变化后的结果。第三章系统分析对比了研究区土层结构、含隔水层性质、土的物理力学性质、深部土层的矿物成分及粒度组成以及开采对深部含水层水动态效应的影响。第四章介绍了研究区典型土样吸附结合水含量测定结果,建立了粘性土吸附结合水含量与塑限定量关系统计式,饱水粘性土高压密实过程中孔压及体应变变化试验结果,从吸附结合水含量及其性质方面论述了深部土体失水变形机理。第五章介绍了国内外关于土层失水压缩沉降计算方法,重点介绍了用高压固结试验法和作者自己设计的恒载荷降水压模拟试验法确定底含压缩变形量结果,以及预测兗滕—徐淮矿区主要井筒处底含失水压缩值大小。第六章介绍了大埋深土与井壁相互作用力学参数试验方法和试验结果,在此基础上,基于弹塑性理论,考虑土与井壁相互作用,采用解析分析和有限单元法数值模拟,得到了深部土层失水变形导致井壁附加应力大小的理论计算公式,研究了深部和浅部土体同时失水变形时土与井壁的相互作用过程和内在机理;讨论了影响井壁附加应力大小的水文工程地质条件因素;提出井筒重复破裂的粘滑机制。第七章讨论了井壁破裂治理方法和工程地质勘察方法。第八章为主要结论和讨论。

本书的许多工作是作者在攻读博士学位期间开始的,导师刘焕杰教授、于双忠教授的指导具有开拓性和奠基作用,在此向他们表示衷心的感谢。于双忠教授还是作者的硕士生导师,也是作者的启蒙导师,是他把作者引上了工程地质学科的治学之路。在他的指导和带领下,作者参与了国家“七五”攻关项目“软岩支护与工艺”、国家级工程论证项目“淮河下采煤堤坝安全”等重大科研工程课题10余项。1995年导师在病体期间和生命垂危的最后时刻,还在关心弟子的工作和前途。现在可以告慰导师的是,学生没有辜负他的期望,继续在他曾探索、追求的道路上从事他未竟的事业。5年来,作者主持完成和正在进行的科研项目有10余项,其中包括国家自然科学基金、部“九五”攻关、部重点等重要课题。本书是作者的第一本专著。在此,学生谨以此书和今后不懈的努力告慰导师英灵。

在本书出版之际,作者还要感谢对课题初期研究给予帮助和启迪的诸位专家学者,他们是中国矿业大学李世平教授、华安增教授、武建勋副教授,淮南矿务局王柏荣高工,南京水科院土工所吴凤彩教授,中国科学院力学所唐辛庚高工,淮北矿务局梁怀清总工(高工)、余才英处长(高工),以及徐州矿务局的姜广仁处长(高工)、陈世杰高工等等。

作者的博士论文得到了王思敬院士、刘天泉院士、张倬元教授、李毓瑞研究员、崔广心教授、王桂梁教授、侯朝炯教授、何亚男教授、李义昌教授、郑世书教授等专家的评阅,他们的意见对作者完成博士论文后的研究工作,丰富本书内容,起到重要的指导作用。在此向他们表示诚挚的感谢。

在现场工作和室内试验中,给予作者大力支持和帮助的还有:中国矿业大学彭向峰副教授、李玉寿高级工程师、周笑绿副教授、米金科工程师、张少华工程师、马文顶工程师、吕柄琪高级工程师、伊素华高级工程师、张改玲工程师、周东来工程师等;徐州矿务局地勘处王凯平总工(高工)、张双楼矿王久位总工(高工)、朱修兵工程师、徐志富工程师;兖州矿务局生产处曹丁涛副处长、王树常主任工程师;兴隆庄煤矿席京德总工程师(高工)、官云章高级工程师等;山东煤田地质局第一勘探队武旭仁队长(高工)、刘希新总工(高工)、唐德才科长(高工)等;淮南矿务局地质处刘登宪副总工程师、刘满才工程师等;北京煤矿设计研究院的辜天赐高工、王春晔助工;中国科学院力学所的褚瑶工程师等。在此向以上单位和个人表示感谢。

作者还要感谢长期来对本书的研究工作给予支持和关心的中国矿业大学资源与地球科学学院的领导及工程地质教研室的狄乾生教授、许惠德教授、姜振泉教授、隋旺华副教授、马金荣副教授、李巨龙副教授、吴圣林讲师等。

最后感谢国家自然科学基金委员会提供专项研究经费支持。

作 者

2000年7月于徐州

目 录

前 言	1
第一章 结 论	1
第一节 研究意义	1
第二节 研究区范围	2
第三节 国内外研究现状	2
第四节 研究内容和研究思路	11
第二章 区域地质与工程活动背景	13
第一节 地层岩性	13
第二节 区域构造及地貌特征	14
第三节 岩浆活动	15
第四节 地震与活断层	15
第五节 区域地应力场	18
第六节 工程活动背景	22
第三章 充滕—徐淮矿区深厚土层的基本工程地质性质	25
第一节 上层结构及对比	25
第二节 厚松散上层含隔水层划分	28
第三节 土的物理力学性质	30
第四节 深部土层的矿物成分及粒度组成	35
第五节 水文地质条件	39
第六节 小 结	43
第四章 深部土层失水土体变形机理研究	45
第一节 引 言	45
第二节 典型土样吸附结合水含量测定	46
第三节 吸附结合水含量与塑限定量关系探讨	50
第四节 饱水粘性土高压密实过程中孔压及体应变变化试验研究	51
第五节 深部上层吸附结合水含量及底含失水土体变形机理	55
第六节 小结与讨论	56
第五章 底含失水压缩变形预计研究	58
第一节 土层失水压缩沉降计算方法综述	58

第二节	用高压固结试验法确定底含压缩变形	62
第三节	用恒载荷降水压模拟试验法确定底含压缩变形量	67
第四节	预测应用	70
第五节	小 结	70
第六章	深部土层失水变形时土与井壁相互作用及井壁破裂机理研究	72
第一节	大理深土与井壁相互作用力学参数试验研究	72
第二节	深部上层失水变形时土与井壁相互作用弹塑性解析分析	76
第三节	深部土层失水变形时土与井壁相互作用弹塑性有限元分析	81
第四节	深部和浅部含水层同时失水时土与井壁相互作用弹塑性有限元分析	94
第五节	井壁累进重复破裂粘滑机制	104
第六节	小 结	107
第七章	立井破裂治理方法及工程地质勘察	109
第一节	立井破裂因素综合分析	109
第二节	立井破裂治理方法	111
第三节	立井稳定性地质工程监测	116
第四节	立井破裂工程地质勘察	127
第八章	总结与讨论	130
参考文献		133

第一章 绪 论

第一节 研究意义

我国华东的大部分煤田,如江苏的徐州、大屯,山东的兖州,安徽的淮南、淮北等,第四系、第三系松散含水土层覆盖深厚,一般为200~400 m,而计划开采的山东巨野煤田,土层厚达800余米。国内外煤矿建井及生产实践经验表明,在这种深厚土层覆盖矿区进行建井及采矿活动时,常会产生如井筒冻结管断裂^[1~4]、地面采动沉陷^[5~10]、井下突水等工程地质、水文地质灾害。然而自20世纪80年代以来,在我国徐淮(徐州、淮北、淮南)地区,出现了一种新的矿井地质灾害——井筒非采动破裂,即煤矿立井在不受地下采动影响的条件下(井筒及其附近工业广场都留有足够的保护煤柱),井壁发生严重变形和破裂,致使提升运输困难,甚至不得不中止运输,有的井筒破裂时还产生大量的涌水冒砂。许多井筒在经井壁加固、提升罐道截短等修整措施后,仍发生重复变形和破裂。90年代以来,我国特大型煤炭企业兖州矿业集团的9对井筒先后也发生了井壁破坏。井筒是矿井的咽喉,兖滕—徐淮地区井筒非采动、突发性破裂,给井下数万人的安全造成威胁,严重影响煤矿正常生产,引起了各级政府及有关方面的高度重视,也给广大科技工作者提出了新的研究课题。

十多年来,煤炭工业等部门从事矿建、采矿、地质等方面的科技工作者,对兖滕—徐淮矿区井筒非采动破裂进行过大量的调查和研究工作,尽管对井筒破裂的形成原因仍存异议,而因深厚土层底部含水层失水(受矿井排水的影响),土层产生压缩下沉,造成井壁产生负摩阻力,从而导致井筒破坏的观点,目前,几乎已为大多数人所接受。但是,即使如此,进一步的问题又产生了,如深部土层底含失水后是底含自身压缩,还是其上的隔水层(三隔)压缩?底含失水后土层压缩变形量有多大,如何计算和预测?浅部含水层(上含)因受工业民用水影响,水位也有下降,其对井筒破裂的影响有多大?井筒附加应力值究竟有多大?井筒破裂治理等等。这些问题的研究涉及到土质学、土力学、工程地质学等方面的基本理论问题,必须从理论方面予以深入的研究和探讨。因此,深厚土层中煤矿立井破裂问题的研究,既具有重要的理论意义,又具有实际应用价值。本书主要以著者所主持完成的如下科研项目内容为主,参考同行和相近学科相关研究成果撰写而成。

(1) 大埋深土与井壁相互作用力学参数试验研究。中国矿业大学校基金项目,1993~1995。

(2) 巨厚冲积层底含失水土体变形机理研究。煤炭科学基金项目,1993~1995。

(3) 淮南潘集矿区深部土体失水变形及诱发的环境地质问题研究。淮南矿务局项目,1994~1996。

(4) 徐州张双楼矿井巷工程地质条件研究。徐州矿务局项目,1991~1996。

(5) 兖滕—徐淮能源开发区立井破裂的若干基本理论问题研究。国家自然科学基金项目,1997~2000。

第二节 研究区范围

研究区地理位置在我国华东的山东、江苏、安徽三省相接一带。行政区划包括山东的兖州、滕州,江苏的徐州,安徽的淮北、淮南地市区,简称兖滕—徐淮地区。包括的主要煤田(或矿区)有兖州、枣滕、徐州、丰沛、淮北、淮南等(图 1-1)。该区内已发生立井破裂的主要为兖州、徐州、淮北及淮南矿区。因此,本书研究内容将重点以这 4 个矿区为主。

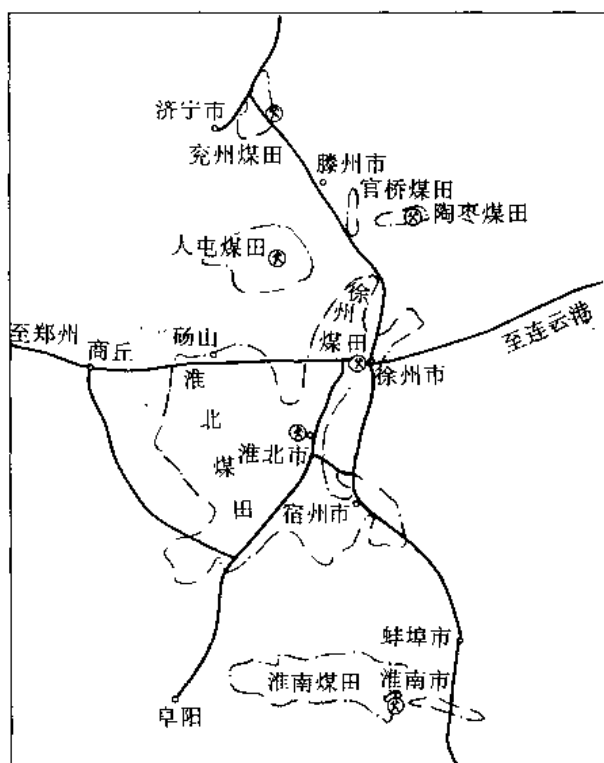


图 1-1 研究区煤田分布略图

第三节 国内外研究现状

从工程地质角度研究深厚上层中煤矿立井井壁破裂主要涉及如下几方面内容,现分别叙述其国内外研究现状。

一、关于土体失水变形的研究

含水层失水土体产生压缩变形的研究是一个较老的研究课题,国内外都进行过大量的研究^[11~20],早在本世纪初,世界上工业迅速发展的国家或地区,都因过量抽汲地下水,土体压缩而导致地面沉降。如日本的东京(1892~1968 年)、大阪(1925~1968 年),美国的休斯顿(1943~1969 年),墨西哥的墨西哥城(1890~1957 年),中国的上海(1930~1965 年)、天津(1967~1972 年)等等。对其形成机理人们已形成共识:因含水砂类土层失水,孔隙水压减少,有效应力增加,含水砂层自身要产生一定压缩变形;同时,位于含水砂层上下相对隔水的

粘土层,因在与砂类土层交界面上的孔隙水压减小,粘土层中的水向砂土层中渗流,致使粘土层也失水而产生压缩变形。如果含水砂层较纯,骨架强度较高,则土层失水变形主要来自粘土层,即抽取砂层中的水,粘土层产生压缩变形。这种土体失水变形模式可概括为图 1-2 所示几种情况。

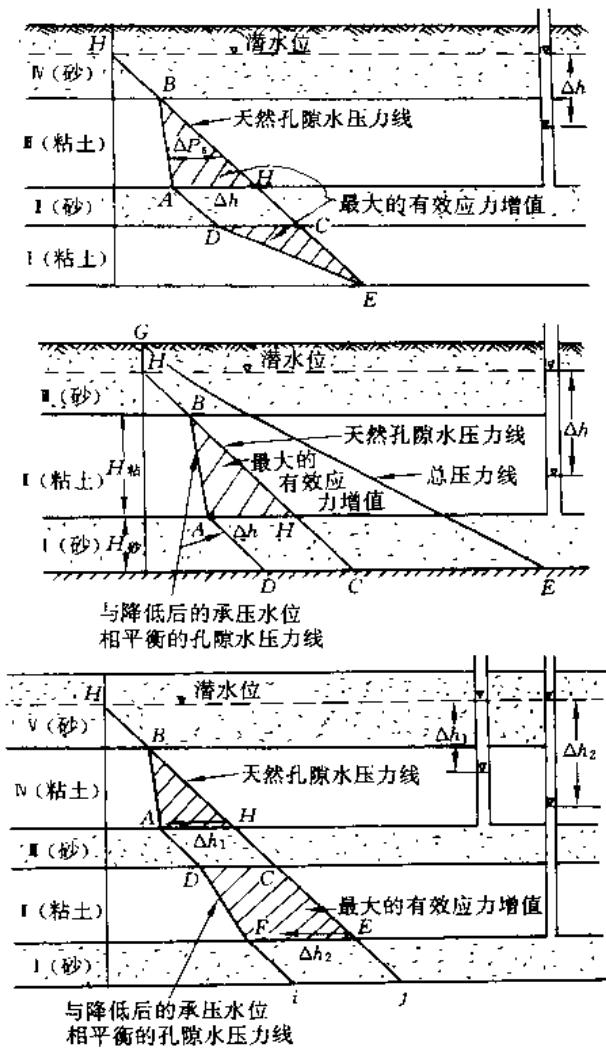


图 1-2 不同地质结构条件下抽水引起的有效应力变化图解^[13]。

上述结论和模式已为国内外普遍认同,因此多年来一直用于指导有关土层失水压缩造成地面沉降量的分析和计算^[21-26]。但是,这种土层失水变形机理及其计算,必须具备一个重要的前提条件,即含水砂层上下的粘土层应为孔隙比大、含水量高、饱含重力水的土层。因为只有重力水才能传递静水头,才能有图 1-2 中所示的初始潜水位线(面)。也只有当粘土层中饱含大量重力水时,在砂层与粘土层交界面上,因砂层失水,孔隙水压减小,粘土层中的重力水向砂层中渗流失水时,才满足太沙基(Terzaghi)或比奥(Biot)固结理论所描述的渗流固结变形条件,粘土层产生压缩。这个条件,对于埋深不大、沉积时间较短的软粘土层是很符合的。为便于分析说明,现给出我国沿海一带部分软粘土的含水量等有关工程地质性质指标

(表 1-1)。

表 1-1 我国沿海地区典型软粘土的物理力学性质(据魏汝龙^[27])

土类	地 区	含水量 $W/\%$	密度 γ $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	孔隙比 e	液限 W_L $/\%$	塑限 W_p $/\%$	塑性 指数 I_p	渗透 系数 k $/10^7$ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	颗粒组成			压缩 系数 α_{1-2} (MPa^{-1})
									砂粒	粉粒	粘粒	
淤泥	天 津	71	1.59	1.98	58	31	27	0.1			45	1.53
	连云港	72	1.57	2.03	53	25	28				40~50	1.83
	温 岭	56	1.67	1.68	51	26	25				54	1.58
	温 州	63	1.62	1.79	53	23	30				1.93	
	福 州	68	1.50	1.87	54	25	29	0.8				2.03
	厦 门	87	1.48	2.42	60	32	28		7	45	48	1.90
	深 圳	83	1.52	2.23	54	30	24	0.4	8	42	50	2.10
	湛 江	88	1.49	2.39	55	28	27	0.4				2.09
淤泥质粘土	天 津	46	1.76	1.30	42	21	21	1				0.91
	连云港	45	1.74	1.29	47	23	24					
	上 海	50	1.73	1.40	42	22	20	6				1.24
	杭 州	47	1.73	1.34	41	22	19					
	舟 山	51	1.73	1.38	40	21	19	3	6	58	36	0.86
	宁 波	50	1.70	1.42	45	25	20	1				0.95
	镇 海	47	0.75	1.31	40	20	20		3	55	40	0.97
	温 岭	50	1.73	1.28	40	21	19				35	1.16
淤泥质亚粘土	福 州	42	1.71	1.17	41	20	21	5				
	天 津	39	1.81	1.07	34	19	15					0.65
	上 海	37	1.83	1.03	34	21	13	20				0.72
	杭 州	35	1.84	1.02	33	18	15					
	舟 山	36	1.80	1.03	34	20	14	15	4	62	34	0.65
	宁 波	38	1.86	1.08	36	21	15					0.72
淤泥质砂	镇 海	40	1.81	1.10	38	24	14		4	63	33	0.66
	深 圳 (五湾)	32	1.85	0.90	34	21	13					
	深 圳 (赤湾)	39	1.81	1.05	33	19	14					0.78
	淇 江	41	1.78	1.14	33	20	13					

表 1-1 中粘性土的天然含水量远大于其液限含水量,粘土中存在一定量的自由重力水。因此,在抽取含水砂层中的地下水时,土体的压缩量主要来自粘土层的缓慢失水压缩。

徐淮地区深部土体系指近基岩风化带的厚表土底部含水层(常称底含)和其上的隔水层(常称三隔或中隔),埋深一般在 200 m 以下,这种深部土体在含水层(底含)失水后,其变形

机理是否与上海等地浅部抽水引起的土体压缩变形机理相同呢?对这一问题目前争论很大。一种观点认为,深部底含失水后,土体变形机理与上海等地相同,产生压缩的土层主要是底含上的第三隔水粘上层;另一种观点刚好相反,即底含失水后产生压缩的是底含本身,深部粘土层不会压缩。两种观点,谁是谁非,必须作出明确的回答。因为只有明确了底含失水后各土层变形的特点,弄清主压缩层的部位后才能正确评价底含失水后土体压缩变形量及引起的地面沉降量大小,才能正确建立因深部土体失水变形引起土与井壁相互作用的力学模型,揭示井壁非采动破裂的内在机理。

本书从深部土体的工程地质性质、粘性土的吸附结合水含量方面,对上述问题进行了深入的探讨,揭示了深部土体失水变形的不同机理。

二、关于井筒破裂的研究

充滕—徐淮矿区深部土体失水变形,不仅引起地面沉降,而且还诱发煤矿立井产生非采动破裂。80年代以来,已有34个井筒发生破裂。起初,零星井筒破裂的报道,并未引起人们的重视。随着破裂次数的不断增多,特别是在1987年井筒破裂次数的急剧增加,才引起广泛的关注。已有资料表明^[28~30],国外只有因采动造成井筒破裂的情况,未有类似徐淮矿区井筒非采动破裂的先例。可以认为,充滕—徐淮矿区井筒非采动破裂是一种新的地质灾害。

(一) 对井筒破裂的调查

充滕—徐淮矿区井筒破裂后,许多人对井筒破裂做过大量调查,兹将34个破裂井筒基本情况列于表1-2。井筒破裂的主要特点可概括如下。

(1) 井筒类型:破裂井筒中,主副井21个,风井13个;采用冻结法施工的28个,钻井法

表 1-2 充滕—徐淮矿区井筒破裂基本情况^[31~46]

矿区	序号	井筒名称	竣工时间 破裂时间	净径/m 外径/m	施工 方法	井壁 类型	表土厚度/m 破裂深度/m	破 裂 情 况
徐州	1	张双楼主井	1983.6 1987.8.7	5.5 7.5	冻结法	双层 井壁	242.95 240~244	井壁压裂,局部掉块,渗水
	2	张双楼副井	1982.12.31 1987.7.29	6.5 8.9	冻结法	双层 井壁	243.15 229.3~230.6	井壁压裂,掉块,钢筋弯曲,罐道梁扭曲,井壁下降达48mm,井筒涌水达60.5t/h
	3	张双楼风井	1979.11 1992.6.4	4.7 5.7	钻井法	预制 井壁	252 245~247	有一个长2m,高1.8m,厚80mm的混凝土剥落区,井壁向内位移达300mm
	4	张集主井	1973.6 1981	5.0 6.1	冻结法	双层 井壁	105.3 101~102.6	井壁压缩向内约100mm,钢筋弯曲
	5	张集副井	1973.12 1981	5.5 6.9	冻结法	双层 井壁	105.25 104~105	井壁压缩向内约100mm,钢筋弯曲
	6	夹河主井	1982			素砼 井壁	78.6 100~104	
大屯	7	龙东主井	1983.3 1987.8.1	5.0 6.8	冻结法	双层 井壁	212.0 160.0~246.9	井壁混凝土剥落,原注浆孔出水(井壁质量不好)
	8	孔庄副井	1975.2 1989.3.21	6.0 7.9	冻结法	双层 井壁	156.0 142~146	井壁混凝土剥落,混凝土变松,出水,梯子间壁板弯曲
	9	孔庄风井	1975.7 1987.8	4.0 5.4	冻结法	双层 井壁	160.4 151.7~155.8	井壁多处破裂,掉块,环筋竖筋外露,向井内内凸,梯子间壁板弯曲

续表

矿区	序号	井筒名称	竣工时间 破裂时间	净径/m 外径/m	施工 方法	井壁 类型	表土厚度/m 破裂深度/m	破 裂 情 况
淮北	10	临涣副井	1979.3.25 1987.7.12	7.2 9.8	冻结法	双层 井壁	$\frac{239.10}{239 \sim 241}$	井壁高 2 m 内混凝土环状片落,深度 200~250 m,钢筋外露反弯,破裂处涌水 1 t/h,井塔错位
	11	临涣西风井	1979.4.8 1993.7	6.0 7.1	钻井法	预制 井壁	$\frac{244.4}{227}$	井壁混凝土环状片落,深度 200~250 m,钢筋外露反弯
	12	海孜主井	1982.8.15 1988.10.6	6.5 9.0	冻结法	复合 井壁	$\frac{247.2}{211.7 \sim 219.7}$	井壁混凝土剥落,钢筋弯曲,井壁多处淋水井出现卡罐现象
淮北	13	海孜副井	1983.4.16 1987.8.21	7.2 10.0	冻结法	复合 井壁	$\frac{247.24}{232.8 \sim 237.5}$	井壁多处破裂,最长裂缝 7.5 m,环筋竖筋外露,向井内凸出,卡罐
	14	海孜中风井	1980.6.15 1988.6.2	4.5 7.1	冻结法	复合 井壁	$\frac{245.0}{226.8 \sim 236.5}$	井壁正北方向外弯陷,混凝土呈圆状剥落,钢筋外露反弯,剥落段高 3 m,深 250 mm
	15	海孜西风井	1980.11.15 1989.5.9	6.0 8.2	冻结法	复合 井壁	$\frac{240.0}{231.5 \sim 237.5}$	混凝土剥落严重,深度约 250 mm,钢筋外露反弯且扭转,破坏处涌水 47 t/h
	16	童亭主井	1986.9.27 1991.4	5.5 6.4	钻井法	预制 井壁	$\frac{230.4}{230.4}$	井壁仅有少量掉皮,破坏不严重
	17	童亭副井	1983.12.9 1991.4.15	6.55 7.75	钻井法	预制 井壁	$\frac{230.5}{160 \sim 270}$	井壁 185.8~245.8 m 段破裂剥落严重,最大块为 600~800 mm,深度 100 mm
	18	童亭风井	1982.3.16 1991.4	5.0 6.8	冻结法	双层 井壁	$\frac{225.3}{240}$	裂缝宽度不大,破坏不严重
	19	芦岭主井	1964.4 1987.8.28	5.2 7.0	冻结法	双层 井壁	$\frac{203.4}{202.5 \sim 209.5}$	深 202.8 m 与 209.5 m 处,混凝土剥落尺寸:3000 mm × 1150 mm × 150 mm 及 6000 mm × 700 mm × 40 mm,在西面有出水孔
	20	芦岭副井	1964.3.7 1987.6.30	6.1 7.7	冻结法	双层 井壁	$\frac{203.6}{212.1}$	裂缝高度达 2 m,深度 200~320 mm,连续剥落最大弧长达 8 m
淮南	21	前岭北风井	1978.12 1987.10	3.5 4.7	冻结法	双层 井壁	$\frac{96.2}{112.6 \sim 113.9}$	剥落高度达 1 m,深度 80 mm,钢筋外露,向井内弯曲
	22	潘三西风井	1984.11.6 1988.8.7	7.8 8.8~9.88	钻井法	预制 井壁	$\frac{440.82}{444.4 \sim 447.9}$	井壁钢板出现鼓包,鼓出高 180 mm
	23	潘一东风井	1991.11.14 1992.7.27	7.0 9.0~10.4	冻结法	复合 井壁	$\frac{292.46}{292.46}$	井壁砼表面开裂炸皮,开裂最大带宽度 1.3 m,深度 100 mm,露筋,局部有渗水

续表

矿区	序号	井筒名称	竣工时间 破裂时间	净径/m 外径/m	施工 方法	井壁 类型	表土厚度/m 破裂深度/m	破 裂 情 况
兖州	24	鲍店副井	1979.11.26 1995.6.5	$\frac{8.0}{10.2}$	冻结法	双层 井壁	$\frac{148.6}{126.9}$	罐道缝压实,罐道、管路压缩弯曲,混凝土表层剥落出现水平裂缝,竖筋弯曲外露
	25	鲍店主井	1979.5.14 1995.7.12	$\frac{6.5}{8.5}$	冻结法	双层 井壁	$\frac{148.69}{136\sim144}$	
	26	鲍店北风井	1979.10.21 1996.8.2	$\frac{5.0}{6.6}$	冻结法	双层 井壁	$\frac{202.56}{168.4,180,204}$	
	27	鲍店南风井	1979.8.1 1996.8.9		冻结法	双层 井壁	$\frac{157.92}{158.1\sim159.3}$	
	28	兴隆庄 西风井	1976.8 1995.10	$\frac{5.5}{7.4}$	冻结法	双层 井壁	$\frac{183.9}{165.5\sim171.6}$	
	29	兴隆庄 东风井	1977.5.31 1997.6.7	$\frac{5.0}{6.4}$	冻结法	双层 井壁	$\frac{176.45}{157\sim180}$	在未出现严重破裂时进行了治理
	30	兴隆庄主井	1977.8.13 1997.6.23		冻结法	双层 井壁	$\frac{189.31}{150,184}$	
	31	兴隆庄副井	$\frac{1978.9}{1997.6.26}$		冻结法	双层 井壁	$\frac{190.41}{154,200}$	
	32	杨村主井	$\frac{1984.12}{1997.2.29}$	$\frac{5.0}{6.6}$	冻结法	双层 井壁	$\frac{185.42}{176.5,196}$	
	33	杨村副井	1985.1.23 1997.12.2		冻结法	双层 井壁	$\frac{184.45}{160,176,212}$	在未出现严重破裂时进行了治理
	34	杨村北风井	$\frac{1984.10.31}{1997.2.4}$	$\frac{4.5}{5.9}$	冻结法	双层 井壁	$\frac{173.40}{179.6,150,156.6}$	罐道缝压实,罐道、管路压缩弯曲,混凝土表层剥落出现水平裂缝,竖筋弯曲外露

施工的 5 个,另有一个为料石砌块素砼井壁;井筒净径最小者 3.5 m,最大 7.8 m;壁厚最小 200 mm,最厚 1700 mm。

(2) 破裂时间:1981 年破裂 2 个(徐州张集主副井),1982 年 1 个,1983 年 2 个,8 个集中在 1987 年 7 月至 10 月;1988 年破裂 3 个,1989 年 2 个,1991 年 2 个,1992 年 3 个,1995 年 3 个,1996 年 2 个,1997 年 6 个。多数井壁破裂都是在矿井投产后 1~3 年内出现的。

(3) 破裂部位:井壁破裂处埋深大都在第四系表土底部含水层段中,也有部分深入到其下的基岩强风化带内 0.5~2.0 m 中;除个别破裂带顶底较长外(龙东主井,破裂深度 160.6~246.8 m,与井壁施工质量有关),大部分都集中在 1 m 至数米的狭窄段内。

(4) 破裂状态:大都呈水平环带状,可观察到井壁砼剥落掉块,钢筋内凸,破裂处可见渗水、淋水现象,严重的有涌水冒砂现象(张双楼矿副井);在采用金属罐道提升的 9 个破裂井壁中,有 5 个发生过明显的罐道变形;临涣副井和童亭主井是快速破裂的两例,分别在半小时和 2 小时内突然发生全周圈性严重破裂,并伴有巨大声响。

(5) 重复破裂:早期发生过破裂的井筒如张双楼矿主副井、淮北、临涣矿区破裂井筒,经

加固后,都发生过2~3次重复破裂或严重变形,说明加固井壁后,并未能有效地阻止井壁变形和破裂。

(6) 围岩水文地质工程地质条件特点及其变化:破裂井壁都穿过第四系深厚表土层,井壁处表土最薄78.6 m(夹河主井),最厚440.82 m(淮南潘三西风井),表土厚150 m以上的共28个,占破裂井壁的80%以上;表土层结构复杂,各层的厚度特别是对井壁变形破裂起关键作用的底部含水层,在其形成、厚度等方面各矿区有所不同;不过各地所表现出来的共同特点是:观测表明,表土底含因受矿山开采排水的影响,水位普遍下了40~100 m左右;而浅部的二含因受工业民用水影响,水位也呈下降的总体趋势(下降5~10 m)。因深部和浅部含水层的同时失水,致使破坏井筒周围地表都有一定的下沉(100~600 mm)。

(二) 现有观点及初步研究

究滕—徐淮地区井壁破裂后,近十年来已开展了不少研究工作,发表了一批研究成果,有多种观点解释井壁破裂的原因,其中最主要的有如以下几种:

1. 新构造运动说^[12,13]

这种观点尝试将新构造运动的方向性、地震和时间性等与井筒破裂联系起来,但在具体分析时,还缺乏有力的证据。时间因素是新构造运动说的主要佐证。该观点认为,1987年井筒破裂相对集中(有8个井筒破裂),正是在此前后新构造运动加剧的表现。但在具体分析时是相当含糊和抽象的。1987年前后,究竟有多少实际地质资料可证实当时新构造活动的加剧,没有详细说明。实际上正如前所述,井壁破裂并非都发生在1987年,而是在这前后断断续续都有发生。实测资料表明^[32,43],1987年井壁破裂较多,与当时厚表土底含失水速度快、地表下沉速度快是分不开的。在1987年前后一段时间内,淮北临、海、童三矿地表下沉已联成一片,底含水头下降速度达25 m/a,相应的地表沉降速度达50 mm/a左右;海孜矿工业广场地表下沉速度高达60~70 mm/a。到1991年4月,临、海、童三矿工业广场的下沉量已分别达到450 mm,609 mm和328 mm。徐州张双楼矿自1982年12月到1987年7月,底含水位下降约48 m;1986年6月至1989年9月观测地表下沉值116 mm,平均为38.7 mm/a。

上述分析说明,目前新构造运动说解释井壁破裂还缺乏有力证据,因而持怀疑态度的人越来越多。

2. 井壁施工质量说^[44,45]

该观点认为施工质量差是造成井壁破损的主要原因。不可否认,井壁的稳定性与其井壁施工质量(影响井壁砼的强度)有一定关系。在相同应力作用下,施工质量差的井壁,其砼的强度也低,井壁易发生破裂,如大屯的龙东主井就是一例。但大多数井壁都是在建井后1~3年发生破裂的,且虽经多次加固仍产生重复破裂。可见,除井壁施工质量外,尚有更重要的原因引起井壁破裂。

3. 渗流变形说^[46,47]

该观点认为底含在失水时产生的渗流动水压,特别是不均匀动水压是造成井壁破裂的主要原因。但研究表明^[48~51],底含的渗透系数并不大(10^{-4} ~ 10^{-6} 级),渗流动水压能否足以引起井壁破裂,值得怀疑。

4. 井壁附加应力说^[52~54]

该观点认为,由于厚表土底含失水,土体压缩,引起上覆土体相对井壁向下位移,从而对井壁产生类似于桩的负摩阻力作用,使井壁受到向下的附加应力作用,从而导致井壁破裂。

这种观点的出发点有：(1) 破裂井壁处底含的确产生了明显的水位下降；(2) 井壁周围地表都已观测到明显的下沉。这两点已为井壁破裂现场调查所证实。因而，井壁附加应力说为越来越多的人所接受。也只有在这一观点上，目前已开展一些研究工作，较有影响的有五項成果。

研究一 姜根达、苏立凡(1990)对地面下沉中井壁受力进行解析计算分析^[1,2]。其分析模型如图 1-3，分析中有如下假设条件：

- (1) 井壁与土体间无相对滑动，在计算附加轴向应力时认为井壁轴向应变沿截面均匀分布；
- (2) 土体的剪应变只与径向坐标有关；
- (3) 地层为弹性体，且应力计算符合迭加原理；
- (4) 只有底含疏水，土层水平分布。

以上四条假设与实际情况是有较大距离的。这是因为：① 在井壁周围土体相对井壁产生 100~600 mm 的下沉中，土与井壁间不可能不产生相对位移；② 第(2)条假设土体的剪应变只与径向坐标有关，与纵向坐标 z (深度) 无关，这与底含失水后，上覆不同性质、不同深度的土体内，剪应变相差甚远是不符的；③ 土层并非完全弹性体；④ 底含失水对井壁附加应力固然影响很大，但浅部一、二含失水也可能有一定影响。

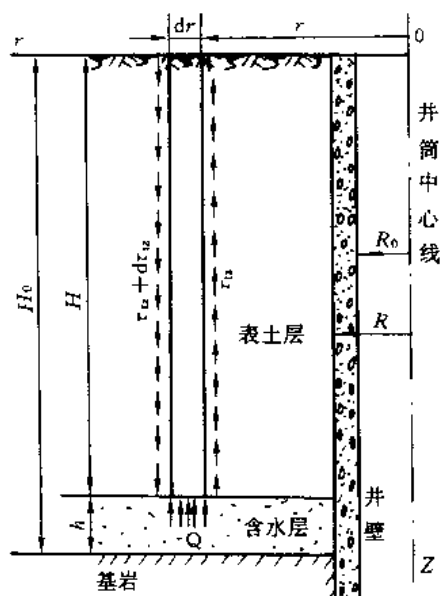


图 1-3 姜根达等的井壁受力模型

研究二 杨维好(1994)的解析分析^[53]。其模型如图 1-4，其公式推导中，作了如下假设：

(1) 在地层沉降受井筒影响的范围内，底含及上覆土层水平，空间问题可简化为轴对称平面问题。

- (2) 只有底含失水；
- (3) 井壁和上层为线弹性体；

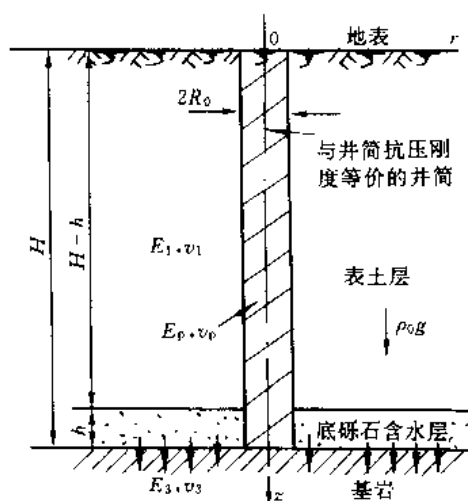


图 1-4 杨维好的井壁受力模型

(4) 土与井壁间无相对滑动；

(5) 井壁轴向应变沿径向均匀分布；

(6) 将筒形井壁按纵向抗压刚度及外直径不变的原则等价地视为一个实心井筒。

以上假设与姜根达等分析一样，存在一些与实际不甚相符的假定，如土与井壁无相对位移，只有底含失水，上层和井壁材料为线弹性体，底含上土体盖层均匀且变形均匀等，因而得出的解有较大的局限性。

研究三 于双忠教授按土的长期抗剪强度指标计算井壁附加应力^[54~55]。

于双忠教授在《煤矿工程地质研究》中，在详细分析土对井壁“围抱”作用的形成后，首次采用土的长期强度指标计算了张双楼矿主副井的附加轴向应