

井筒变形机理分析及 高强高性能混凝土井壁材料研究

经来旺 张 浩 ● 著
徐辉东 杨仁树

中国科学技术大学出版社



井筒变形机理分析及 高强高性能混凝土井壁材料研究

经来旺 张 浩 ● 著
徐辉东 杨仁树

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书围绕“立井井筒破裂机理”和“高强高性能混凝土井壁材料的性能与应用”两大核心内容展开研究。全书共包括6章具体内容,依次对各大矿区井壁破裂的基本情况、立井井壁破裂机理的研究现状、高强高性能混凝土井壁材料的研究与应用现状、立井井壁破裂机理与预测理论、矿山立井井壁防破裂措施、高强高性能混凝土原材料选择及配合比、高强高性能混凝土干缩性能和绝热温升特性、高强高性能混凝土耐久性能、高强高性能混凝土微观机理、深厚表土层冻结立井高强高性能混凝土现场施工应用等内容进行了较为深入的理论与实验分析。全书理论与实践相互印证,内容丰富,题材鲜明,可作为煤矿工程技术人员、高校专业教师、专业设计人员施工、教学与设计等方面的重要参考材料。

图书在版编目(CIP)数据

井筒变形机理分析及高强高性能混凝土井壁材料研究/经来旺等著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2011.11

ISBN 978-7-312-02813-7

I. 井… II. 经… III. ①井筒变形—研究 ②混凝土井壁—研究
IV. ①TD321 ②TD352

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 211417 号

出版 中国科学技术大学出版社
地址 安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
网址 <http://press.ustc.edu.cn>
印刷 安徽江淮印务有限责任公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm × 1000 mm 1/16
印张 14.25
字数 293 千
版次 2011 年 11 月第 1 版
印次 2011 年 11 月第 1 次印刷
定价 28.00 元



前 言

本书的研究始于 1999 年,主要背景是 20 世纪 80 年代以后徐、淮、兖、屯等矿区煤矿立井井筒连续的、规模性的变形和破裂。虽然 20 世纪 90 年代许多高等院校、研究所投入了大量的人力、物力对这一现象进行了一定深度的研究并获得了一定的成果,但在导致井壁破裂的竖向附加力分布规律的理论计算方面未能给出具有说服力的结论,在立井次生地压的研究方面未能做出突破性的研究,以至于不能给出深厚表土层中立井井壁结构设计的较为准确的计算理论,更谈不上井壁材料方面的针对性的变革。

针对上述状况,本书从立井井筒次生地压成因及分布规律入手,以立井井筒危险点应力状态变化规律的研究为基础,以高强高性能混凝土井壁材料的研究为最终目标,历经 12 年,最终获得了巨大成功。目前高强高性能混凝土井壁材料在全国范围内得到了最为广泛的应用,90%以上的煤矿立井表土段井壁采用高强高性能混凝土材料,60%以上的新建铁矿也使用高强高性能混凝土作为表土段井壁材料。依据近年来的调查分析,2004 年以来使用高强高性能混凝土井壁材料的立井井筒基本保持完好,至此可以断言,发生在我国各大矿区的井壁破裂现象已经得到了彻底的遏制。

本书的研究以中国矿业大学为核心,以安徽理工大学、中国矿山建设(集团)公司为主要参加单位,其间淮南矿业(集团)公司、淮北矿业股份有限公司、山东新汶矿业(集团)公司等众多大型企业给予了积极的支持和帮助,对此,课题组的全体人员表示衷心的感谢!

本书共分 6 章,其中第 1、2、3 章由经来旺、张浩共同撰写,第 4、5、6 章由徐辉东、杨仁树共同撰写。全书由经来旺规划、整理与统稿。

编 者
2011 年 5 月

目 录

前言	I
第 1 章 概要	1
1.1 项目来源	1
1.2 研究概况	1
1.3 主要研究内容	1
1.3.1 立井井筒破裂机理分析	2
1.3.2 高强高性能混凝土井壁材料实验研究与应用	2
1.3.3 经济效益分析	5
1.4 主要研究单位	5
第 2 章 绪论	6
2.1 各大矿区井壁破裂的基本情况	6
2.1.1 矿山立井井壁破裂特征	9
2.1.2 矿区表土疏水沉降特征	14
2.2 立井井壁破裂机理的研究现状	15
2.2.1 多种推理性假说并存	15
2.2.2 理论解析分析	16
2.2.3 模拟实验研究现状	18
2.2.4 计算机数值模拟研究	19
2.2.5 模糊反演分析	20
2.2.6 现场实测	20
2.3 高强高性能混凝土井壁材料的研究与应用现状	21
2.3.1 高强高性能混凝土井壁材料的研究与应用	21
2.3.2 高强高性能混凝土材料的研究与应用	22
2.4 研究内容、拟解决的关键问题	24
2.4.1 研究内容	24
2.4.2 拟解决的关键问题	24
2.5 研究方法、技术路线和主要工作	25
2.5.1 研究方法	25
2.5.2 技术路线	25

2.5.3 主要工作	26
第3章 立井井壁破裂机理与预测理论	27
3.1 立井井壁破裂特征与矿区表土疏水沉降特征	27
3.1.1 矿山立井井壁破裂特征	27
3.1.2 矿区表土疏水沉降特征	30
3.1.3 矿区各含水层之间的水力关系	33
3.1.4 本节小结	44
3.2 井筒周侧表土沉降模拟实验分析	44
3.2.1 表土沉降模拟实验	44
3.2.2 井筒周侧表土沉降机理分析	53
3.2.3 本节小结	55
3.3 立井次生地压形成机理及其与地下水流失之间对应关系研究	55
3.3.1 立井井筒次生地压的产生及井筒周侧表土的变形特征	56
3.3.2 次生地压分布规律分析	58
3.3.3 塑性段井筒次生地压及相应部位竖向附加力分布规律	58
3.3.4 上弹性段井筒次生地压及相应部位竖向附加力分布规律	62
3.3.5 下弹性段井筒次生地压及相应部位竖向附加力分布规律	64
3.3.6 弹塑性段交界面、上下弹性段交界面位置的确定	70
3.3.7 本节小结	77
3.4 立井井筒破裂应力分析及其与地下水位之间对应关系研究	77
3.4.1 表土沉降对井筒受力的影响	77
3.4.2 温度变化对井筒受力的影响	78
3.4.3 地压应力	86
3.4.4 重力应力	88
3.4.5 立井井壁应力分布规律	88
3.4.6 运算举例	94
3.4.7 本节小结	96
3.5 立井井壁破裂机理与预测理论	99
3.5.1 立井井壁破裂机理分析	99
3.5.2 立井井壁的重复破裂机制	101
3.5.3 立井井壁破裂的预测理论	106
3.5.4 本节小结	110
3.6 矿山立井井壁防破裂措施的研究	110
3.6.1 消除或减小表土与井筒之间的相对位移	111
3.6.2 增强井筒自身的承载能力	113
3.6.3 防止或减小温度应力	113

3.6.4 改善井壁危险点处的应力状态	114
3.6.5 本节小结	116
第4章 高强高性能混凝土井壁材料的实验研究与应用	117
4.1 高强高性能混凝土井壁材料的实验研究与应用概况	117
4.1.1 问题的提出	117
4.1.2 国内外研究现状	120
4.1.3 主要研究内容	122
4.1.4 本节小结	124
4.2 高强高性能混凝土原材料选择及配合比实验研究	124
4.2.1 实验原材料选择原则	124
4.2.2 高强高性能混凝土配合比设计	125
4.2.3 实验依据	127
4.2.4 实验研究方案	128
4.2.5 本节小结	129
4.3 混凝土干缩性能和绝热温升特性实验研究	130
4.3.1 干缩性能实验研究	130
4.3.2 绝热温升特性实验研究	135
4.3.3 本节小结	138
4.4 高强高性能混凝土耐久性能实验研究	139
4.4.1 抗渗性能实验研究	139
4.4.2 抗氯离子渗透性能实验研究	142
4.4.3 抗冻性能实验研究	148
4.4.4 本节小结	159
4.5 高强高性能混凝土微观机理分析	159
4.5.1 XRD 分析	159
4.5.2 SEM 分析	161
4.5.3 DSC 和 TG 分析	164
4.5.4 MIP 分析	168
4.5.5 本节小结	172
4.6 高强高性能混凝土实验室模型实验研究	172
4.6.1 模型实验系统	172
4.6.2 冻土模型箱内模拟冻结壁形成过程	174
4.6.3 实验过程	174
4.6.4 模型实验结果	175
4.6.5 本节小结	181
4.7 高强高性能混凝土外层井壁现场实验段实验研究	181

4.7.1 实验概况	181
4.7.2 实验结果	182
4.7.3 本节小结	185
4.8 深厚表土层冻结井壁高强高性能混凝土施工应用研究	185
4.8.1 工程简介	185
4.8.2 立井井筒施工机械配套方案	187
4.8.3 深厚表土层冻结井壁高强高性能混凝土施工工艺研究	189
4.8.4 高强高性能混凝土施工质量控制措施应用研究	194
4.8.5 高强高性能混凝土现场应用效果	195
4.8.6 本节小结	198
第5章 技术经济效果分析	199
5.1 直接经济效益	199
5.2 间接经济效益	200
5.3 社会效益	200
第6章 结论与展望	201
6.1 矿山立井井筒破裂机理研究	201
6.2 高强高性能混凝土井壁材料的实验研究与应用	202
参考文献	205

第 1 章 概 要

1.1 项目来源

(1) “十一五”国家科技支撑计划(2007BAK24B00)。

(2) 安徽省“十一五”科技攻关项目。项目名称:深厚表土层冻结立井高强高性能混凝土井壁研究,项目编号:04012072。

(3) 安徽省高等学校自然科学基金项目:3 项。

① 深立井井壁破裂预测及防破裂措施研究,项目编号:2003KJ084。

② 矿山混凝土立井井筒塑性变形机理研究,项目编号:2005KJ008。

③ 矿山立井次生地压研究,项目编号:2006KJ004B。

(4) 安徽省自然科学基金项目。项目名称:矿井水灾害之井筒破裂的力学机理与防治,项目编号:11040606M101。

1.2 研究概况

应用领域:矿山建设工程。

实施地点:自 2004 年在山东龙固煤矿开始实施该项目成果起,如今高强高性能混凝土井壁已遍布安徽、河南、山东、江西、内蒙古、新疆、山西等煤炭主要产区。

研究时间:1999~2011 年。

1.3 主要研究内容

本书的研究围绕“立井井筒破裂机理”和“高强高性能混凝土井壁材料的性能

与应用”两大中心,具体研究了如下内容:

1.3.1 立井井筒破裂机理分析

1. 绪论

主要介绍我国各大矿区井壁破裂的基本情况,研究井壁破裂机理、结构和材料优化的必要性和重要性。主要分析近年来井壁破裂机理研究中的各种理论观点和实验研究结果,提出存在的问题及课题组的观点,给出研究工作的思路及方法。

2. 立井井筒表土段次生地压及表土与井壁间相互作用机理

主要目的是分析立井表土段次生地压和井壁竖向附加力的成因、分布及变动规律,较为细致地研究了矿区表土疏水沉降特征并进行了模拟实验研究,然后对表土与井壁之间的相互剪切作用和立井井筒对土体的支撑效应做了进一步的细致分析。

在对井筒周侧的表土进行受力和变形分析时,创新性地将表土层划分为薄板单元进行分析,并成功地解决了立井次生地压分布规律的求解、确定问题,从而为立井井壁破裂预测理论的建立奠定了基础。

通过表土与井筒之间刚度差的分析,揭示了立井井筒对表土的支撑效应,并以此为基础发现并论证了表土段下部土体中低压缩区的存在及竖向附加力分布范围内“中性层”位置的存在,建立了确定危险截面位置的理论公式;分析了温度变化对井壁应力的影响和井筒周侧地应力随地下水位的变化规律,揭示了竖向附加力存在塑性段及上、下弹性段的事实,并给出了相关理论计算公式,最后提出了井壁竖向、环向、径向的应力分布规律。

3. 立井井壁重复破裂及预测理论研究

依据上述分析,对立井井壁重复破裂的条件及机理进行了较为深入的分析,给出了较有说服力的具体实例。

通过建立立井井壁破裂位置、破裂时间与地下水位之间的内在关系,建立了井壁破裂的预测方法,并形成了预测理论。

基于上述研究,利用计算机的数值计算与分析功能,建立了合理的力学计算模型,以典型实例为分析背景,从数值模拟的角度对立井井壁破坏的力学机理进行了分析研究,一方面论证了前述解析分析的结果,另一方面提供了一种较为简便的研究立井井壁破裂的理论与技术方法。

1.3.2 高强高性能混凝土井壁材料实验研究与应用

1. 深厚表土层冻结井壁用高强高性能混凝土制备技术

通过实验室中的反复实验,拟合优选出适合高强高性能混凝土的掺合料和复

合外加剂。在综合考虑高强高性能混凝土全配方配合比计算结果、矿物掺合料的增强效应和基本性能正交实验分析结果的基础之上,将模糊优选方法与结合层次分析法相结合,优选出不同水平下的相对优属度,提出高强高性能混凝土的最佳配合比范围。

2. 高强高性能混凝土力学性能研究

根据高强高性能混凝土在常温与低温情况下力学性能及其微细观分形的变化,研究了强度增长与材料破坏的机理;并进行了常温及受冻后高强高性能混凝土收缩性能、耐久性能及相关力学性能(抗压强度、抗拉强度、轴心抗压强度和静力弹性模量)的实验研究。

采取工业 CT 扫描,提取混凝土受载后的裂纹,进行了分形维数的计算,分析了混凝土在常温与受冻情况下表面分形的变化。推导了混凝土分形与混凝土损伤量之间的关系,进一步揭示了混凝土受冻引起的混凝土损伤变量。同时从微观层面揭示了高强高性能混凝土的强度增长机理、孔隙的细化、生成物的转化。

3. 高强高性能井壁混凝土应用简介

我国煤矿井壁高强高性能混凝土的应用始于 2001 年的济南矿区,2002 年在河南程村煤矿主、副井井筒(冲积层厚度约 429 m)中,达到了 C60;2003 年由中煤 71 处施工竣工的山东济西煤矿主井井筒(冲积层厚度约 459 m),现浇冻结井壁的混凝土强度等级达到了 C60。而高强高性能混凝土的真正研究与应用则在 2003 年之后,由中国矿业大学、中国煤炭第三建设工程公司、河海大学、安徽理工大学等单位联合进行,此后高强高性能混凝土井壁材料的应用得到迅速推广,且强度等级越来越高,陆陆续续研制成功并推广应用了 C70、C75 级的井壁材料,短短几年之后,高强高性能混凝土井壁材料不仅覆盖了 90% 以上的新建大型煤矿立井井筒(表土段)的建设(参见表 1.1),而且被推广应用至其他金属矿山立井的设计,如马钢张庄铁矿 6 号井筒表土段全部采用高强高性能混凝土作为井壁材料。

表 1.1 部分高强高性能混凝土井壁结构一览表

煤矿名称	井筒名称	井筒直径(m)	表土深度(m)	备注
板集煤矿 (2009 年 7 月建成投产)	主井	6.2(1)	584.1	混凝土标号为 C40~C70
	副井	7.3(1)	580.93	
	风井	6.5(1)	583.8	
丁集煤矿 (2007 年 12 月 26 日矿井投产)	主井 C60~C70	7.5	530.05	
	副井 C60~C70	8	525.25	
	风井 C60~C70	7.5	527.7	
龙固煤矿	副井 C70	5	567.7	

续表 1.1

煤矿名称	井筒名称	井筒直径(m)	表土深度(m)	备注
郛城煤矿	主井 C70	7.0	536.6	
	副井 C70	7.2	536.63	
郭屯煤矿	主井 C75	5	585	
	副井 C75	6.5	586.2	
	风井 C75	5.5	576.8	
顾北煤矿	主井	7.6	464	外壁采用了 C50、C60 高性能混凝土，内壁采用了 C50、C60、C70 高性能混凝土
	副井	8.1	462.5	
	风井	7.0	464.35	
薛湖煤矿	主井	5.0	439.3	薛湖煤矿冻结井壁工程采用 C50~C70 高性能混凝土
	副井	6.5	438.48	
花园煤矿	主井	4.5	481	
新桥煤矿	副井 C70	6.5	392	
赵固一矿	主井	5.0	634.8	C40~C80
	副井	6.5	634.8	
	风井	5.2	599.36	
赵固二矿	主井	5.0	528.85	C40~C80
	副井	6.9	527.5	
	风井	5.2	519.5	
泉店煤矿	副井	6.5	440.1	最高强度达到 C75
	风井	5.0	447.3	
赵楼矿	主井	7	473	C65
	副井	7.2	475	
	风井		471	
梁宝寺煤矿	主井	5.0	370.1	C30~C55
涡北煤矿	主井	5	413.9	C30~C55
	副井	6.5	410.15	
口孜东矿	主井	7.5	568.5	C40~C75
	副井	8.0	574.7	
	风井	7.5	573.0	

1.3.3 经济效益分析

包含两个方面：

- (1) 井壁破裂预测理论的建立及防破裂措施研究产生的直接经济效益和社会效益；
- (2) 高强高性能混凝土的应用带来的直接经济效益和间接经济效益。

1.4 主要研究单位

本书的研究由中国矿业大学牵头,中国矿业大学、安徽理工大学和中国矿山建设(集团)公司三家单位具体负责,国内数十家大型煤业集团参与。

第 2 章 绪 论

煤炭是我国最主要的一次能源,在我国化石能源资源量中占 95%,我国绝大多数工业生产离不开煤炭,因此,煤炭工业的正常生产维系着我国工业经济的正常发展。自 20 世纪 80 年代以来,发生在我国徐、淮、大屯、永夏、兖州等矿区的煤矿立井井壁破裂严重地影响了煤炭的正常生产,为此煤矿立井井壁破裂机理的研究、相应的防破裂措施的研究、井壁破裂预测理论的研究及高强高性能井壁材料的研究与应用就具有十分重要的意义。

2.1 各大矿区井壁破裂的基本情况

自从徐、淮、兖、屯等主要矿区发生较大规模的井壁破裂事故以来(具体见表 2.1),矿山立井井壁破裂机理的研究在我国已经有 20 多年的历史。20 多年来,相继诞生了许多有关表土段立井井筒受力机理的研究成果^[1~13],其中较为著名的有“新构造运动假说”、“渗流变形假说”、“负摩擦力假说”、“三因素综合假说”、“竖向附加力假说”等。毫无疑问,这些假说对破裂井壁治理措施的制定,对新型防破裂井壁结构的研究起到了巨大的促进作用。但细究这些假说,并将它们与矿山立井井壁的一系列破裂特征进行对照,就会发现,这些假说在前提假设方面以及在解释井壁破裂特征方面均存在着尚需完善之处,例如:① 它们在分析土体下沉的同时,忽视了混凝土立井井筒与表土之间存在着巨大的刚性差,而这一刚性差使得立井井筒对周围土体会产生很大的支撑效应,从而造成井筒地压的重新分布;② 在分析下含层疏水沉降的同时,忽视了某些矿区的下含层会出现偶尔的、短期的充水膨胀现象;③ 在分析井壁破裂位置时,仅看到破裂发生在表土与基岩交界处的井筒,却忽视了尚有相当数量的井筒的破裂位置并非发生在该处。正是由于这些原因造成了许多研究人员在进行井筒受力分析时,只考虑下含水水头降低会使得土体中有效应力的增大,却忽视了立井井筒对土体的支撑会减小土体中的有效应力;只考虑向下竖向附加力的产生与发展,却忽视了向上附加力的存在;只考虑下含层与其余各含水层之间无水力联系,却忽视了这并不是一个绝对的情况,有许多立井井筒的周侧确实存在有渗水通道。而所有这些都会引起井筒受力状态的根本性不同,

造成井壁应力分布规律的巨大差异,从而影响立井井壁破裂发生的位置与可能。本书的研究正是基于这么一个背景情况而展开的。

表 2.1 我国主要矿区井筒破裂基本情况

矿区	井筒名称	竣工时间 破裂时间	净径(m) 外径(m)	井壁 类型	表土厚度(m) 冻结深度(m)	破裂时含水水位距井口距离(m)	实际破裂 深度(m)	破裂处 表土 性质
兖州	兴隆主井	<u>1977.08.13</u> 1997.06.23	<u>6.5</u> 8.7	双层 井壁	<u>189.31</u> 216.4	93.57	150,184	黏土层,基 岩风化层
	兴隆副井	<u>1978.09</u> 1997.06.26	<u>7.2</u> 9.6	双层 井壁	<u>190.41</u> 221.75	93.57	154	黏土层,粉 砂层,砂砾层
	兴隆西 风井	<u>1976.08</u> 1995.10	<u>5.0</u> 6.4	双层 井壁	<u>189.5</u> 219.45	89.17	165.6~ 171.6	中砂层, 砂砾层
	兴隆东 风井	<u>1977.05.31</u> 1997.06.07	<u>5.0</u> 6.4	双层 井壁	<u>176.45</u> 204.95	93.572	157	砂砾层
	杨村 主井	<u>1984.12</u> 1997.02.29	<u>5.0</u> 6.6	双层 井壁	<u>185.42</u> 206.94	95.03	176.5	黏土层与 砂层界面, 中砂层
	杨村 副井	<u>1985.01.23</u> 1997.12.02		双层 井壁	<u>184.45</u> 212.44	96.99	160,176	黏土层, 粗砂层, 基岩风化层
	杨村北 风井	<u>1984.10.31</u> 1997.02.04	<u>4.5/5.8</u> 4.5/5.9	350/300 350/350	<u>173.4</u> 212.8	95.03	150~ 156.6	基岩风化 层,砂砾层
	鲍店 主井	<u>1979.05.14</u> 1995.07.12	<u>6.5</u> 8.5	双层 井壁	<u>148.69</u> 256	88.7	136~ 144	黏土质中 粗砂层
	鲍店 副井	<u>1979.11.26</u> 1995.06.05	<u>8.0</u> 10.2	双层 井壁	<u>148.6</u> 256	88.7	126.9	中砂层
	鲍店南 风井	<u>1979.08.01</u> 1996.08.09	<u>5.0</u> 6.6	双层 井壁	<u>157.92</u> 189	89.78	158.1~ 159.3	基岩风化层
淮北	临涣 副井	<u>1979.3.25</u> 1987.7.12	<u>7.2</u> 9.8	双层 井壁	<u>239.10</u> 275		239~ 241	黏土砂层, 风化岩
	临涣东 风井	<u>1980.11.13</u> 1994.4.12	<u>5.0</u> 6.5	预 410	214.5		207	
	临涣西 风井	<u>1979.12.13</u> 1993.6.29	<u>6.0</u> 7.9	预 550	244.48		24.5~ 227.4	
	海孜 主井	<u>1982.8.15</u> 1988.10.6	<u>6.5</u> 9.0	料石/200 /400	<u>248.69</u> 285		211.7~ 219.7	黏土层
	海孜 副井	<u>1983.4.16</u> 1987.9.21	<u>7.2</u> 10.0	700/300 /400	<u>247.24</u> 285	85.74	232.8~ 237.4	黏土砂层

续表 2.1

矿区	井筒名称	竣工时间 破裂时间	净径(m) 外径(m)	井壁 类型	表土厚度(m) 冻结深度(m)	破裂时下含 水水位距井 口距离(m)	实际破裂 深度(m)	破裂处 表土 性质
淮北	海孜西 风井	<u>1980.11.30</u> <u>1989.5.9</u>	<u>6.0</u> <u>8.3</u>	650/塑 /500	<u>240.92</u> <u>80</u>		231.5~ 234.75	
	海孜中 风井	<u>1980.5.15</u> <u>1988.6.2</u> <u>1989.05</u>	<u>4.7</u> <u>7.1</u>	600/300 /400	<u>245.18</u> <u>285</u>		226.75~ 234.5	
	童亭主 井	<u>1984.11</u> <u>1991.4</u>	<u>5.5</u> <u>6.4</u>	预 450	230.4		224.08~ 242.8	交界面
	童亭副 井	<u>1983.12.9</u> <u>1991.4.15</u>	<u>6.55</u> <u>7.55</u>	预 600	230.5		160~ 270	黏土砂层 风化带
	童亭风 井	<u>1982.3.26</u> <u>1992.5.23</u>	<u>5.0</u> <u>6.8</u>	450 450	<u>225.3</u>		224.8~ 226.8	风化 砂页岩
	芦岭主 井	<u>1964.4</u> <u>1987.8.28</u>	<u>5.2</u> <u>7.0</u>	450 450	<u>235.2</u>		206.97	黏土砂层 风化带
	芦岭副 井	<u>1964.3.17</u> <u>1987.6.30</u>	<u>6.1</u> <u>7.7</u>	200 600	<u>235.2</u>		212.1	风化页岩
	前岭北 风井	<u>1978.12</u> <u>1987.10</u>	<u>3.5</u> <u>4.7</u>	双层 井壁	<u>96.2</u>		112.6~ 113.9	
	任楼主 井	<u>1993.10</u>		双层 井壁	<u>275.01</u>		217.87~ 272.9	黏土,砂质 黏土,砂土
大屯	龙东主 井	<u>1983.3</u> <u>1987.8</u>	<u>5.0</u> <u>6.8</u>	400 500	<u>212</u> <u>268</u>	89.7	210	黏土层
	龙东风 井	<u>1983</u> <u>1988</u>			<u>159.2</u>		150~ 162	黏土砂层
	孔庄副 井	<u>1975.2</u> <u>1989.3.21</u>	<u>6.0</u> <u>7.9</u>	500 450	<u>156</u>		142~145	黏土砂层
	孔庄风 井	<u>1975.7</u> <u>1987.8</u>	<u>4.0</u> <u>5.4</u>	350 350	<u>156.4</u>	90.1	151.7~ 155.8	黏土砂层
	张双楼 主井	<u>1983.6</u> <u>1987.8.7</u>	<u>5.5</u> <u>7.5</u>	400 600	<u>242.95</u>		240~ 244	砂层风 化页岩
徐州	张双楼 副井	<u>1982.12.31</u> <u>1987.7.29</u>	<u>6.5</u> <u>8.9</u>	500 700	<u>243.15</u> <u>285</u>	91.05	229.3~ 230.6	黏土砂层
	张双楼 风井	<u>1979.11</u> <u>1992.6.4</u>	<u>4.7</u> <u>5.7</u>		<u>252</u>		245~247	
	张集主 井	<u>1973.6</u> <u>1981</u>	<u>5.0</u> <u>6.4</u>	350 350	<u>105.3</u>		101~ 102.6	黏土砂层
	张集副 井	<u>1973.12</u> <u>1981</u>	<u>5.5</u> <u>6.9</u>	350 350	<u>105.25</u>		104~105	风化 页岩
	夹河主 井	<u>1968</u> <u>1982</u>			<u>78.6</u>		100~104	
	张小楼 副井	<u>1973.12</u> <u>1983.10</u>	<u>5.0</u> <u>6.2</u>	双层 井壁	<u>103.5</u>		104.2~ 108.5	风化 页岩
	陈四楼 主井	<u>1989</u> <u>1999.7.24</u>	<u>5.0</u> <u>6.6</u>	600/500 800/800	<u>405</u> <u>415</u>	221.1	362.5~ 371.6	铝质黏土, 砂质泥岩

2.1.1 矿山立井井壁破裂特征

根据大量现场勘察,自20世纪80年代至今,在我国的徐、淮、大屯、永夏、兖州等矿区发生破裂的70余个井筒均表现出如下特征:

① 地域集中性:破裂井筒均集中在华东地区黄淮一带,基本呈南北向带状分布;该区域为冲积平原,破裂井筒均穿越了较厚的冲积层。

② 明确的时间性:井壁破裂通常发生在矿井投产后的若干年间,且破裂期基本处于每年的4~10月份,大多集中于7~8月份。

③ 破裂位置集中性:井壁破裂位置一部分集中于第四系深厚表土层与基岩交界面及其附近,一部分分布于上部特定范围内的含水层或黏土层中。

④ 地质条件相近性:破裂井筒均穿过较厚的第四系表土层,下含水水位下降明显;破裂时,下含水水头位置基本降至距井口85~95 m的范围(见表2.2)。

⑤ 地表明显下沉:发生井筒破裂的矿井工业广场的下降幅度多在250~500 mm,且以井筒为中心沿径向逐渐增大,即以井筒为中心,地表表现出明显的弯曲变形。

⑥ 井筒、罐道变形显著:井壁发生破裂之前,通常表现出罐道弯曲变形、罐道与井壁之间的间隙缩小、混凝土井壁发生局部的纵向和径向变形。

⑦ 破坏形态相似性:井壁内缘混凝土呈楔形剥落、掉块,大多数破裂井筒的破裂带呈近似水平环状,少数表土层较厚且井径较大的破裂井筒的破裂带约呈45°斜向,井内侧纵、环向钢筋均向井内外突变形。

⑧ 井壁破裂均为矿井运营以后的若干年后,且井筒破裂必伴随下含水水头下降。

除了上述的共性之外,某些破裂井筒还表现出其他方面的一些特征:

① 某些破裂井筒采用注浆法治理后,井口及其周侧地面在一个较长的时间内表现出持续的抬升现象。

② 某些采用“卸压槽+壁后注浆”方法治理后的井筒,卸压槽处的纵向应变反而小于开槽前相应部位的纵向应变值,似乎破裂井筒的治理效应并非为卸压槽所带来。

③ 大多数破裂井筒具有底部含水层,但也有少数破裂井筒无底部含水层;大多数破裂井筒穿越的底部含水层厚度较大,但也有少数破裂井筒穿越的底部含水层厚度很小。

④ 某些井筒下部(表土段)的变形范围随时间的增长表现出逐渐向上延伸的态势,且在某一时间段内,各变形部位的纵向应变趋于均匀。