

尹宏伟,张子广,韩文英,等.河北黄骅井水位阶变异常研究[J].地震工程学报,2017,39(增刊):161-167.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.增刊.161
YIN Hongwei, ZHANG Ziguangi, HAN Wenying, et al. Study of Water-level Step-variation Anomaly at Huanghua Well[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(Supp.):161-167.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.Supp.161

河北黄骅井水位阶变异常研究^①

尹宏伟¹, 张子广², 韩文英¹, 梁丽环¹, 李 凤³, 刘 静³

(1. 河北省地震局深州地震台, 河北 深州 053800; 2. 河北省地震局预测研究中心, 河北 石家庄 050021;
3. 河北省地震局石家庄中心台, 河北 石家庄 050021)

摘要: 收集整理河北省地下流体观测井网黄骅井 2005 年以来的水位资料, 结合周边的河间井和衡水井的水位资料, 以河北昌黎 4.2 级地震为例, 对黄骅井水位阶变异常进行分析。结果表明: 2015 年以来黄骅井水位阶变异常与其周边的河间井和衡水井的水位异常变化有一定的对应关系, 水位阶变是构造活动引起的, 与昌黎 4.2 级地震有一定的相关性, 是一次短期前兆异常。

关键词: 黄骅井; 水位; 阶变异常; 昌黎 4.2 级地震

中图分类号: P641.75 文献标志码: A 文章编号: 1000-0844(2017)增刊-0161-07
DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.Supp.0161

Study of Water-level Step-variation Anomaly at Huanghua Well

YIN Hongwei¹, ZHANG Ziguangi², HAN Wenying¹, LIANG Lihuan¹, LI Feng³, LIU Jing³

(1. Shenzhou Seismic Station, Earthquake Administration of Hebei Province, Shenzhou 053800, Hebei, China;
2. Earthquake Forecasting Research Center, Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, Hebei, China;
3. Shijiazhuang Central Seismic Station, Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, Hebei, China)

Abstract: In this study, we collected and analyzed water-level data of the Huanghua well in Hebei Province observed since 2005. We then combined the water-level data of the surrounding Hejian and Hengshui wells to analyze the water-level step-variation anomaly of the Huanghua well, taking the Changli $M_{4.2}$ earthquake in Hebei as an example. The results show that the earthquake reflection ability of the water level of the Huanghua well is good. Since 2015, the water-level step-variation anomaly of the Huanghua well and the water-level anomalies in the Hejian and Hengshui wells have shown a certain correspondence. As a short-term precursor anomaly, water-level change is caused by tectonic activity, which is related to the Changli $M_{4.2}$ earthquake.

Key words: Huanghua well; water level; step-variation anomaly; Changli $M_{4.2}$ earthquake

0 引言

由于地下水具有流动性、普遍性以及难压缩性等特点, 当其封闭条件足够好, 埋藏深度足够深时,

形成承压含水层, 就能客观、灵敏地反映地壳应力应变状态。在地震的孕育过程中岩石内部微小的应变反映在孔隙压力的变化上, 并通过静水压力的传递

① 收稿日期: 2017-01-10

基金项目: 中国地震局监测、预测、科研三结合课题(CEA-JC/3JH-16030X)

作者简介: 尹宏伟, 男, 工程师, 主要从事地下流体观测与研究。E-mail: yinhongwei1971@163.com。

或水的渗流作用在井孔水位动态中表现出来^[1]。按照地震前兆异常的同带模式,地震前的异常更容易出现在孕震断裂带上^[2];在华北北部地区 1989 年 10 月大同 $M_s 6.1$ 、1998 年 1 月张北 $M_s 6.2$ 等地震前均记录到地下流体异常集中出现在震中所在的张家口—渤海活动构造带的现象^[3];张淑亮等^[4]通过研究认为在较多的大地震前能观测到水位的多次阶变序列异常情况;杨兴悦等^[5]研究了甘肃岷县 6.6 级地震前甘东南地下流体异常特征,发现震前几个月地下流体出现了上升速率加快、下降等短临异常。

黄骅井是河北省地下流体观测井网一口静水位观测井,2004 年以来该井水位多次出现阶变异常,2015 年水位阶变频次和阶变幅度骤然增加,达到一个高峰期,之后在 2015 年 9 月 14 日河北昌黎发生 $M_s 4.2$ 地震,黄骅井所处的羊二庄断裂带向 NE 方向延伸穿过了震中所在区域,而且水位阶变与昌黎

地震的发生在时间上有很好的对应关系。

本文收集整理黄骅井水位观测资料,结合该井周边的河间井、衡水井的水位变化特征,对比分析黄骅井水位的阶变异常特征,并从昌黎地震的区域地质构造等方面深入研究黄骅井水位阶变异常与昌黎地震的孕育发震机理。

1 井孔地质构造概述

黄骅井 1971 年成井,为自流井,奥陶系灰岩裂隙承压水,水中含有大量砂石块和气体,井孔一含水层系统导水性能良好,经过多年泄流,2001 年 7 月 4 日该井断流改静水位观测。黄骅井地处华北沉降带埕宁隆起东北部边缘埕西潜山构造带,距渤海约 30 km,井深 1 250 m,1 100 m 深处穿越羊二庄断裂带(图 1),该断裂带延伸方向长,切割深度深,从沙垒田凸起西侧向 NE 方向延伸,穿过河北秦皇岛地

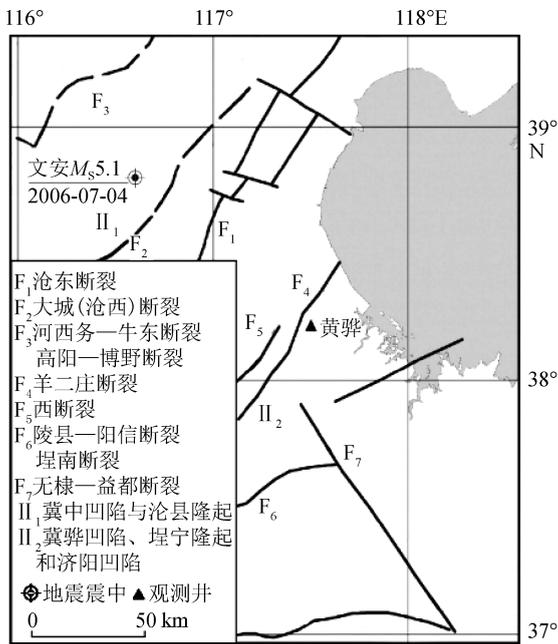


图 1 黄骅井地质构造和井孔柱状图

地层时代					层底深度/m	井孔结构地层柱状图比例尺	岩性		
界	系	统	组	段					
第四系	更新统	平原组			250				
			上新统	明化镇组	上段		532.5		
					下段		960		
第三系	中新统	馆陶组			1093.5				
			上古生界 (二叠系—石炭系)		1145.5			灰岩	
下古生界				1250			灰岩		

区与辽河中央凸起西侧的台安—大洼断裂相连(郯庐断裂带北段),表现为左阶雁列—梳状 NE 向展布,在剖面上表现出高陡或花状特点,两侧地层差异较大(图 2)^[6-7]。钻孔资料表明,黄骅井孔地层缺少下第三系和石炭二叠系,上第三系明化镇组直接与奥陶系不整合接触,断层、裂缝和地质不整合面构成流体活动通道,决定了该井水位的动态灵敏性。

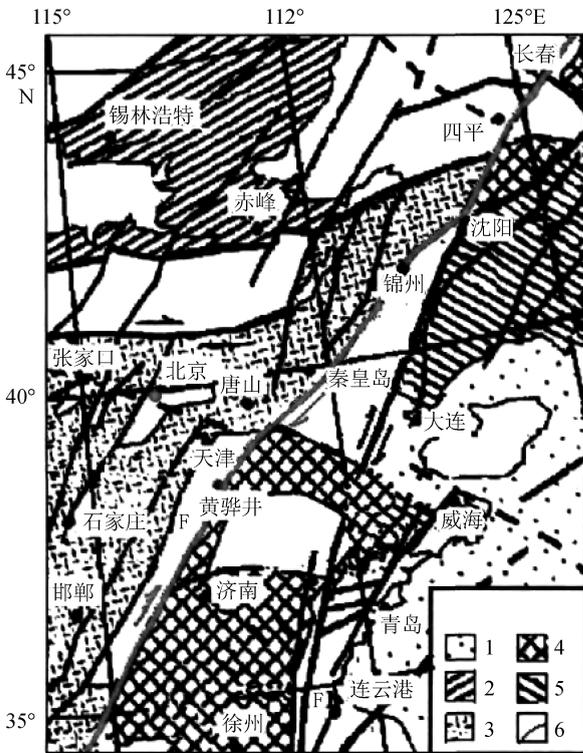
黄骅井含水层岩性为灰岩,质地较松软,连通的地下含水层裂隙大且发育,水循环深、径流长,尤其在较高温度和较低有效围压环境条件下,特殊的地

质构造和含水体结构决定了该井含水层可能更易受华北地区应力场变化影响,更易处于受力破裂或变形状态^[8]。所以,在地震孕育过程中,当与黄骅井含水层有关联的断裂块体应力状态发生改变时,岩体裂隙度就可能发生变化,从而导致该井含水层应力变化,引起井孔水位出现异常变化。

2 资料分析

2.1 黄骅井水位多年动态背景

黄骅井水位 2004 年开始数字化观测,由于地热



1.海域; 2.二连—松辽地块; 3.晋蒙—鄂尔多斯地块;
4.渤海—鲁西地块; 5.胶北—辽东地块; 6.断裂
图 2 黄骅井地理和构造位置示意图(据文献[6])

及石油开采过量,水位呈多年趋势性下降变化,至 2015 年 12 月累计下降 28.8 m,黄骅井水位在趋势下降背景下多次出现大幅度阶变(图 3)。由于观测之初仪器工作状态不稳定,产出数据多为错误数据,所以本文选取黄骅井 2005—2015 年的水位数据进行分析。黄骅井水位阶变幅度大于 0.500 m(同震阶变除外)的阶变统计见表 1。

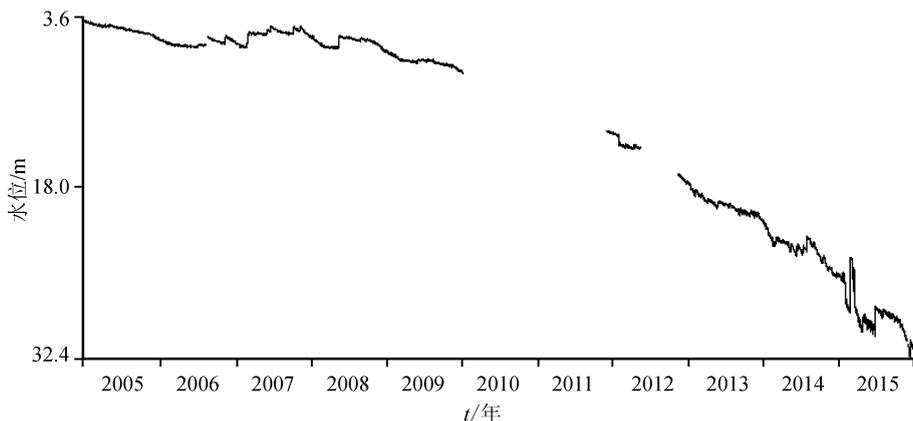


图 3 黄骅井 2005—2015 年水位整点值曲线图

2.2 2015 年以来水位异常变化

从表 1 和图 3 看出,2015 年以来黄骅井水位阶变频次明显增加,阶变幅度明显变大。2015 年 3 月 1 日 14:00 至 6 月 28 日 16:00 水位出现 4 次大幅度上升阶变,变化幅度分别为 4.356 m、1.678 m、1.099 m、2.160 m,之后水位趋势下降,并在下降过程中于 9 月 14 日 18 时 10 分河北昌黎发生 4.2 级地震(图 4),震源深度 14 km,井震距 185 km。黄骅井水位阶变与昌黎地震的发生在时间上有很好的对应关系,但是水位阶变是否为地震前兆异常? 本文从历史震例、相邻观测井水位动态对比、地质构造等方面展开研究与讨论。

2.3 水位异常干扰排除

车用太等^[9]提出地下水前兆异常确认的 4 个判据:①必须是经过干扰的识别与排除,确认不是干扰的异常;②要有震例的支持;③最好有其它测项或其它学科的异常相匹配;④最好有一定的前兆理论或模式的支持。在预测实践中,满足上述 4 个判据中的第一条及其它 1 条以上的判据,即可判定为地震前兆异常。

2015 年 3 月 1 日黄骅井水位出现 4.356 m 的上升阶变后,河北省地震局预测研究中心流体学科组邀请中国地震局地质研究所研究员车用太等专家进行了现场核实,通过校测水位、检查观测系统工作状态、水质分析及周边地表水环境、石油井开采注水等调查,排除了干扰,结合该井以往震例资料,分析认为,黄骅井水位大幅度上升阶变为构造活动引起^①。

① 丁志华,张子广,盛艳蕊,等.异常核实—2015 年 3 月 7 日河北黄骅井水位,2015.

表1 2005年1月—2015年9月黄骅井水位阶变统计

阶变时间段	阶变形态	阶变幅度/m	备注
2006-08-08T08:41—2006-08-12T10:10	阶升	0.769	
2006-11-11T13:53—2006-11-11T18:17	阶升	0.525	
2007-02-23T14:25—2007-02-26T05:36	阶升	0.667	
2007-06-15T11:28—2007-06-21T08:49	阶升	0.505	
2007-10-07T08:49—2007-10-10T06:00	阶升	0.689	
2012-02-01T14:21—2012-02-02T05:31	阶降	1.502	营口地震
2013-02-06T09:47—2013-02-06T12:19	阶升	0.678	
2013-10-31T23:53—2013-11-01T03:12	阶升	1.087	
2014-06-14T08:00—2014-06-14T20:00	阶升	0.889	
2014-07-14T06:00—2014-07-14T18:00	阶升	0.526	
2014-07-31T05:00—2014-07-31T21:00	阶升	1.212	
2015-02-07T00:00—2015-02-08T01:00	阶降	1.154	
2015-03-01T14:00—2015-03-01T20:00	阶升	4.356	
2015-03-18T13:00—2015-03-19T03:00	阶升	1.678	
2015-03-20T23:00—2015-03-22T01:00	阶降	2.657	
2015-04-30T09:00—2015-05-01T04:00	阶升	1.099	
2015-06-28T03:00—2015-06-28T16:00	阶升	2.160	
2015-06-30T19:57—2015-09-14T18:10	下降	0.957	9月14日昌黎地震

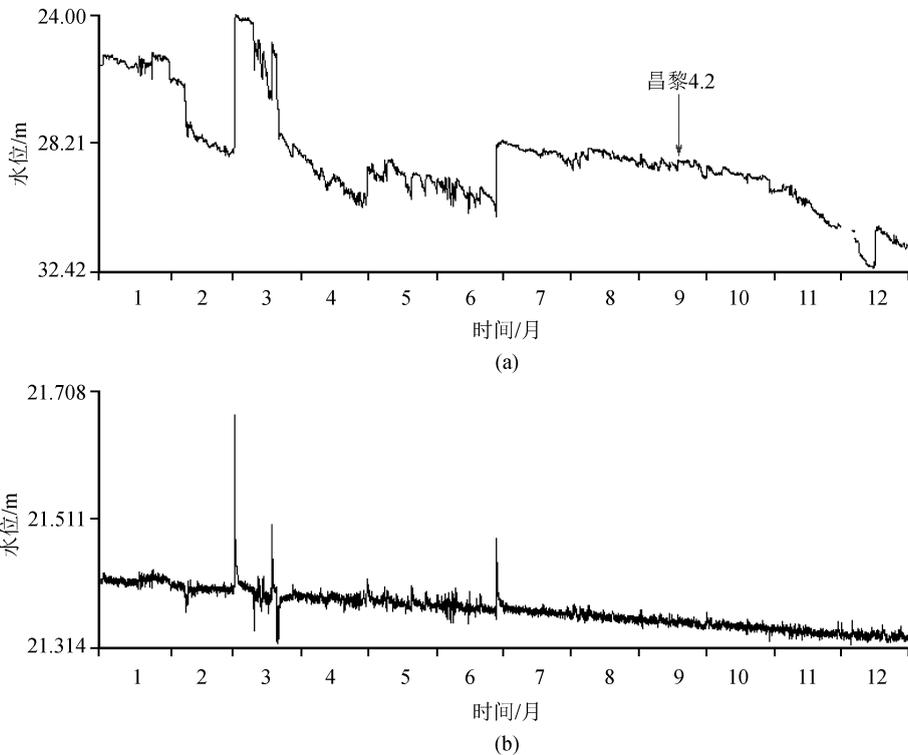


图4 黄骅井2015年水位水温整点值曲线图

另外同井水温的同步突跳变化特征也佐证了水位异常变化的真实性。

2.4 水位异常震例

黄骅井水位历史上曾记录到显著地震前兆异常。2001年之前黄骅井为动水位观测井,多次出现涌石异常现象,且涌石异常与唐山老震区及邻区的地震活动有很好的对应关系^[10];2005年1月—2006

年6月黄骅井水位呈下降趋势,6月28—29日大幅上升,幅度约0.2 m,之后高值变化,7月4日凌晨水位再次加速上升,11:56发生文安5.1级地震^[11];2012年2月2日02:03—04:38黄骅井水位快速下降0.676 m,之后小幅振荡25 min,然后小幅突升,05:16辽宁营口发生4.3级地震,05:17达最高值,05:29—06:51水位又快速回升0.157 m,05:43营

口又发生 1 次 4.1 级地震^[12]。由此可见黄骅井水位阶变异常对华北及环渤海地区的中等地震有较好的对应关系。

2.5 黄骅井与周边观测井水位动态对比

河间井位于黄骅井的西偏北方向,直线距离约 115 km,衡水井位于黄骅井的西偏南方向,直线距离约 215 km,河间井距昌黎地震震中 267 km,衡水井距昌黎地震震中 364 km,三口井及昌黎地震震中的地理位置图见图 5。

河间井地处河北省河间县境内,又名马 17 井,井深 2 694 m,观测层埋深 2 571 m,位于冀中拗陷东部,南马庄断裂带河东古潜山凸起部位,处于冀中拗陷所属的饶阳凹陷,里坦凹陷与沧县隆起所属的大城凸起、献县凸起 4 个四级构造单元相接的部位,北东向的大城断裂、南马庄西断裂、河间断裂与北西西向的河间东断裂的汇集地。河间井是高温自流井,水位映震能力较强,曾多次在地震前记录到显著的前兆异常,例如在 1998 年张北 $M_s6.2$ 地震及 1999 年张北 $M_s5.6$ 地震前,河间井水位出现过突跳脉冲型短临前兆异常^[13]。2015 年 1—7 月河间井水位呈平稳下降变化,2015 年 7 月 27 日 09 时水位快速上升,至 8 月 3 日 21 时水位上升幅度为 0.04 m,之后水位急剧下降,8 月 7 日 02 时水位恢复常态呈缓慢上升变化,在整个过程中河间井水位呈现一个

倒“V”字形变化,在河间井水位出异常变化的同时黄骅井水位也出现了比较大的波动,2015 年 9 月 14 日昌黎发生 4.2 级地震(图 6)。

衡水井位于河北省衡水市大屯乡陈家口村南,地处河北冲积平原,地势自西南向东北缓慢倾斜,海拔高度 12~30 m。成井于 1984 年 10 月 30 日,是

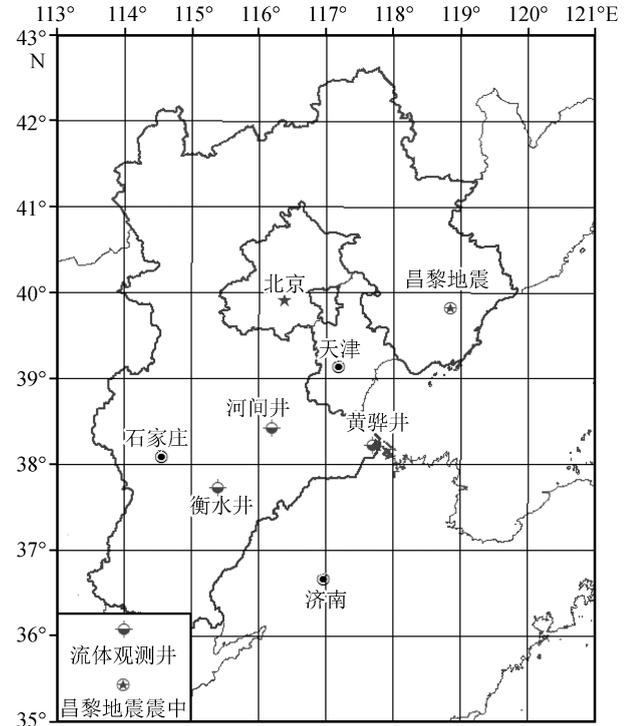


图 5 观测井和昌黎地震震中地理位置分布图

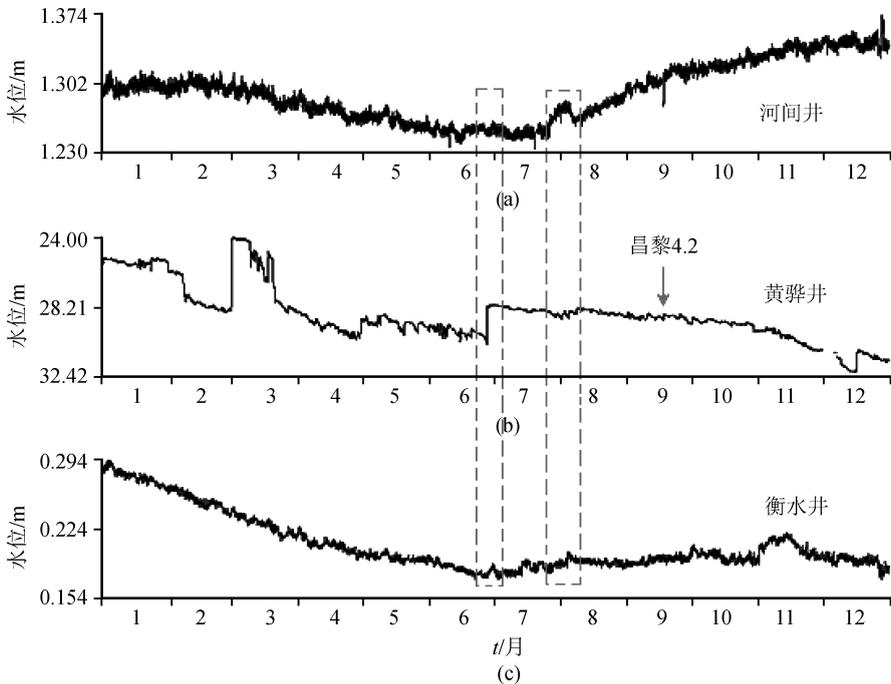


图 6 黄骅井、河间井、衡水井 2015 年水位整点值曲线图

华北油田打下的勘探深井,终孔深度 1 700.41 m。该井位于华北平原沉降带冀中凹陷新河凸起高点上,在衡水断裂的南侧,太行山前断裂和百尺口断裂东侧,基底为震旦亚界碳酸岩系,上第三系 1 339.5 m,第四系 329 m。东距束鹿断裂 10 km,北距石家庄—衡水断裂 5 km,属邢台—河间地震带。衡水井为高温自流井,该井水位 2015 年 1—6 月呈趋势下降变化,6 月 28 日 19 时水位快速上升变化,至 7 月 1 日 6 时水位上升幅度为 0.012 m,随后水位快速下降,7 月 2 日 11 时水位恢复到正常水平,在整个变化过程中,衡水井水位在趋势下降背景下呈现一个倒“V”字形变化,衡水井水位出现异常变化的同时黄骅井水位出现了幅度为 2.160 m 的上升阶变。之后衡水井水位改变原来的下降形态,呈缓慢上升变化并多次出现阶变异常,2015 年 8 月 4 日 15—20 时水位上升阶变 0.015 m,衡水井水位出现阶变时黄骅井和河间井水位也出现了异常变化,见图 6。

据图 6 分析三口井水位的变化动态:①在同一时间段内三口井水位都出现了异常变化;②三口井水位的异常变化形态相似,都是上升型;③异常持续时间都比较短。平建军等^[14]对我国华北地区地震地下流体水位短期前兆的特征进行了分析,并总结了短期流体前兆的转折型和单一型两类典型异常特征,单一型短期前兆异常是在测值相对稳定的背景上,在震前短期阶段出现上升或下降的变化,这种变化的过程比较清晰,但持续时间相对较短。黄骅井、河间井、衡水井水位在昌黎 4.2 级地震前出现的异常应属于单一型短期前兆异常。单一型前兆是区域应力场对局部构造作用的结果,表现出对应力响应的敏感性,且多出现在应力容易集中的部位^[15],黄骅井穿过了延伸长且断裂带两侧地层反转不整合的羊二庄断裂带,1971 年成井时自流,出水量 375 m³/h,经多年泄流后,至 2001 年断流前的泄流量仍达到 170 m³/h,如此大的泄流量说明该井含水层与井筒间的导水性能良好,多次震例表明黄骅井是反映含水层应力应变的灵敏点;河间井与衡水井都处于多条活动断裂相交或汇聚的区域,而且又都是高温自流井,动水位井实质上观测的是流量,其测值的变化不仅能反映含水层孔隙压力的变化,更重要的是还能反映含水层介质渗透性能与导水性能的变化,另外动水位井水体处于流动状态,更易于带来深部应力—应变变化的信息^[16],因而河间井和衡水井也是反映含水层应力应变的灵敏点。

由图 5 看出三口井都位于昌黎地震震中的西南方向,黄骅井距离震中最近,衡水井距离最远,三口井水位的异常形态相似,都是上升型,而且基本同步变化。黄辅琼等^[17]研究认为地震的孕育不是某个局部区域活动的结果,而是区域各块体间相对运动,能量不均匀集中和释放的结果。李钦祖^[18]研究震前地下水动态异常展布范围认为,大多数地震前地下水异常可能是与震源相关联区域应力场活动的反映,即各种复杂地下水异常反映的是一个映震场。黄骅井、河间井、衡水井可能是受到同一构造应力场的作用,同受压缩的应力作用,其水位出现形态相似的异常变化,三口井水位异常相互配套,并且在力学成因上表现出一致性。

3 分析与讨论

黄骅井所处的羊二庄断裂带向 NE 方向延伸穿过秦皇岛地区,很可能与滦县—乐亭断裂或宁河—昌黎断裂进行了交汇,因此,昌黎 4.2 级地震的孕震体可通过滦县—乐亭断裂带、宁河—昌黎断裂带、羊二庄断裂带与黄骅井的含水层岩体建立联系,在昌黎地震孕育过程中,孕震岩体应力应变的微小变化通过这些断裂带传播到黄骅井含水层,引起含水层岩体孔隙度改变,进而导致井筒与含水层之间水量交换,因黄骅井井孔—含水层系统导水性能良好,观测层位承压性好,水位观测灵敏度高,对地壳岩体的微小应变产生放大作用,导致该井水位在地震前出现大幅度阶变。

郟庐断裂带内 NEE 向主压应力方向与西太平洋板块向大陆板块底部俯冲产生的 NWW 向挤压应力方向存在差异,这是太平洋板块 NWW 向俯冲产生的挤压作为一级应力场斜向作用在 NE—NNE 走向的郟庐断裂带上,其剪切分力和挤压分力引起郟庐断裂的右行走滑和逆冲活动,而羊二庄断裂带与郟庐断裂带存在内部断裂相互关联,羊二庄断裂带向 NE 方向延伸与郟庐断裂带北段合二为一,地震层析剖面显示,西太平洋俯冲板块前端向西达到 118°E 附近^②。黄骅井的位置(38.27°N, 117.78°E),正好位于西太平洋俯冲板块前端上部辐射范围,而且黄骅井处于与郟庐断裂带密切相关的羊二庄断裂带上,因此,西太平洋板块向大陆板块俯冲挤压对黄

② 张素欣,盛艳蕊,张子广,等.黄骅井水位多次突变异常地震远场效应初探.

骅井水位变化可能产生一定的影响,黄骅井水位上升阶变也对应了含水层受压应力作用水位上升的机理;昌黎 4.2 级地震的震中位置(39.7°N,118.8°E),也处于西太平洋板块向大陆板块俯冲范围之内,所以可以认为黄骅井 2015 年以来水位大幅度上升阶变异常和昌黎 4.2 级地震的发生是同一个原因造成的,都是因为西太平洋板块向大陆板块俯冲挤压造成的,只不过黄骅井水位最先对应力应变的变化产生了响应,出现阶变异常;而昌黎地震的发生因为应力积累不够,晚于黄骅井水位阶变。

4 结论

通过对黄骅井水位阶变异常特征进行分析,得出以下结论:2015 年以来黄骅井水位阶变异常与其周边的河间井和衡水井的水位异常变化有一定的对应关系,水位阶变应是构造活动引起的,与昌黎 4.2 级地震有一定的相关性,是一次短期前兆异常。

参考文献

- [1] 汪成民,车用太.地下水微动态研究[M].北京,地震出版社,1988.
- [2] 郭增建,秦保燕.震源物理[M].北京,地震出版社,1979.
- [3] 车用太,鱼金子,刘五洲,等.张北—尚义地震的地下流体异常场及其成因分析[J].地震学报,1999,21(2):194-201.
- [4] 张淑亮,王爱英.大同镇川堡井水位阶变与地震关系初析[J].

- 山西地震,1994,7(3):23-25.
- [5] 杨兴悦,王燕,王建荣,等.甘东南地下流体异常与甘肃岷县 6.6 级地震的关系探讨[J].地震工程学报,2013,35(4):808-815.
- [6] 刘建忠,李三忠,周立宏,等.华北板块东部中生代构造变形与盆地格局[J].海洋地质与第四纪地质,2004,24(4):45-54.
- [7] 李三忠,周立宏,刘建忠,等.华北板块东部中生代断裂构造特征与盆地成因[J].海洋地质与第四纪地质,2004,24(3):57-66.
- [8] 车用太,等.不同温压条件下饱水砂岩的变形破坏与孔隙压力问题的试验研究[J].中国地震,1989,5(1):9-15.
- [9] 车用太,鱼金子,刘成龙,等.判别地下水异常的干扰性与前兆性的原则及其应用实例[J].地震学报,2011,33(6):800-808.
- [10] 于书全,尹凤春.新垆 1 井涌石与邻区地震活动[J].地震,1999,15(3):53-56.
- [11] 呼晶磊,王鑫.文安 M_s 5.1 地震前后垆古 1 井的水位异常变化分析[J].东北地震研究,2008,24(2):35-39.
- [12] 张素欣,张子广,盛艳蕊,等.一次显著的远场水位短临异常[J].中国地震,2013,29(3):386-392.
- [13] 黄辅琼,邓志辉,顾瑾平.张北地震地下流体异常场的研究[J].地震,2002,22(4):114-122.
- [14] 平建军,张子广,陈建国,等.华北地区地下流体的两类短期前兆异常[J].西北地震学报,2003,23(3):253-257.
- [15] 刘耀炜,曹玲玲,平建军.地下流体短期前兆典型特征分析[J].中国地震,2004,20(4):372-379.
- [16] 万迪坤,贾化周,董守玉,等.马 17 井映震能力与异常机理探讨[J].地震,1990,13(3):13-19.
- [17] 黄辅琼,王吉易,杨文政.张北—尚义地震前地下流体异常特征分析[J].地震,1998,18(4):358-366.
- [18] 李钦祖.华北地区震源机制与地壳应力场[J].地震学报,1982,4(1):55-61.