

天津地区地震地下流体观测网调整与优化的思考^{*}

邵永新, 马建英, 王建国, 吴 强

(天津市地震局, 天津 300201)

摘要:从天津地区地震地下流体观测网映震能力的角度出发, 讨论了其发展问题。在天津地区地下流体观测网映震效果不理想的条件下, 2007年又发生了王3井断流、王4井井压加速下降情况, 因此, 应对天津流体观测网的观测进行调整: 在数量上应以水物理参量的观测为主, 水化学观测为辅; 在观测井孔的深度上, 采取浅井(咸水井)、中深井和深井相结合的方式, 建设一个立体型的观测网, 尤其应注意对咸水层的利用; 采取与相关单位合作联合观测的方式, 资料共享。

关键词:天津地区; 地下流体; 观测; 优化

中图分类号: P315.78

文献标志码: A

文章编号: 1000-0666(2009)02-0215-06

0 引言

经过30多年的发展, 我国逐步建成了较为完善的地震地下流体台网, 记录到了海量观测数据, 在观测技术、资料质量、密度等方面有了很大进步和提高, 尤其是在“九五”期间, 数字观测技术的应用又使其有了质的飞跃, 并在“十五”期间得到推广。因此, 可以说在地震地下流体台网建设中, 观测技术的普及取得了突出成效。但在台网的布局方面, 形成了“因陋就简”的被动建网(台)思想, 缺乏科学标准的主动布网点(台)勇气(刘耀炜, 2005)。从目前情况看, 我国现有地震地下流体台网布设所选用的井孔, 绝大多数原先的布设目的并非是地震前兆监测, 多数的观测历史、观测井本身及环境均发生了较大变化(车用太等, 2001), 高质量观测环境的台站太少(刘耀炜, 2005)。因此, 在流体台网的建设中, 应科学建网, 其中首要条件是观测场地的地下介质结构清楚(刘耀炜, 2004)。

天津地区开展地震地下流体观测始于1968年。1969年, 地质部第三普查大队3006队在津钻凿了第一口地震专用观测井(天津市地震局, 2005)。1990年以前, 天津市地震局的流体观测井达91口, 观测项目涉及水氡、水汞、水位、水温等数

十项。到1995年底, 天津流体观测网由22口水位观测井和3口水化观测井组成。1995~2002年, 部分观测井被进行了数字化改造和调整, 同时静海地震台内一口其它用途的井被改造为流体观测井, “十五”前兆网络项目建设中, 又增加了宁河地震台观测井。到2007年, 天津地区地震地下流体观测网由10口观测井组成。天津市地震局地震流体监测和预报曾有过一段辉煌的历史。张道口地震台作为全国最早的地下流体综合台发挥了人才培养和学术交流的窗口作用。全国开展了地下流体(水化部分)观测的省(除贵州省、台湾省外)都曾派人来台参观、学习和交流。台站与7个国家开展了学术交流活动。其观测资料曾获国家地震局科技进步一等奖, 并取得过10多项科研成果(天津市地震局, 2005)。

尽管如此, 天津市地震地下流体观测网也与全国其他地区一样存在着这样或那样的问题。这些问题因王3井断流而引起人们的重视。王3、王4井是天津市地震局目前仅存的两口水化学观测井。自这两口井开始观测水氡、水汞以来, 曾有过多次非常明显的震例, 并据其提出过较好的预测意见, 因此在天津市地震局震情日常分析乃至首都圈震情判定中都起到了非常重要的作用。作为骨干井的王3井的断流对整个台网的观测产生了非常大的影响, 同时王4井也面临着断流的危险。

^{*} 收稿日期: 2008-04-08.

基金项目: 天津市地震局基金项目(07005)、“十五”天津市数字地震观测网络项目(22F22)和天津市科技支撑计划重点项目(07ZCGYSF03100)联合资助。

本文中笔者从地震预测预报的角度对天津地区地震地下流体台网提出一点调整与优化的建议。

1 流体观测网（井）观测现状

到 2007 年，天津地区专业地震地下流体观测井共有 10 口，其中王 3 井于 2007 年 5 月断流，目前仍在观测的井孔基本情况见表 1，其分布如图 1 所示。

2 流体观测网面临的主要问题

在观测资料映震情况的评估中，所使用的震例选取了井震距 300 km 范围内 $M_L4.0 \sim 5.4$ 地震、400 km 范围内 $M_S5.1 \sim 6.0$ 地震、600 km 范围内 $M_S6.1 \sim 7.0$ 地震；时间上，从 1984 年王 4 井水氡正常观测开始。中等地震范围选在 $36^\circ \sim 41^\circ N$ ， $114^\circ \sim 120.5^\circ E$ 区域，而中强地震主要包括 1984 年以来发生在大同、张北和包头的地震，地震总数为 104 次。 R 值的计算是以震例数和地震总数之比与异

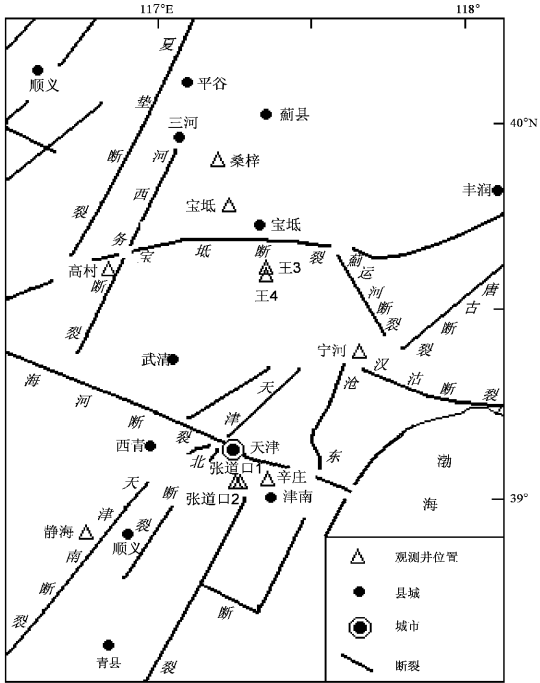


图 1 天津流体观测井分布示意图
Fig. 1 The sketch map of observation well distribution in Tianjin area

表 1 天津地区地震地下流体观测井一览表
Tab. 1 The schedule of observation wells of earthquake underground fluid in Tianjin area

井孔名称	观测项目	观测起始时间	目前观测仪器	R 值
王 4	水氡	1983	FD-105K 型测氡仪	0.23
	水汞	1989	XG-4 型数字测汞仪	0.26
	水质	1983	人工滴定法	无震例
	电导率	1983	DDS-12A 型数字式电导仪	无震例
	钙、镁、重碳酸根离子	2002	人工滴定法	无震例
	气氡	2002	SD-3A 型自动测氡仪	无震例
	H ₂ 、O ₂ 、N ₂ 、CO ₂ 、CH ₄ 、气体总量	1983	SP-2305 型色谱仪	无震例
高村	水位	1979 - 12	LN-3 型数字水位仪	0.063
	水温	2001 - 08	SZW-1A 型数字温度计	无震例
	浅层水温	2001 - 08	LN-3 型水位仪	无震例
宝坻	水位	1992	LN - 3 型数字水位仪	0.16
	水温	1992	SZW-1A 型数字温度计	0.06
	浅层水温	1992	LN-3 型水位仪	无震例
辛庄	水位	1972	LN-3 型数字水位仪	0.03
	水温	2002-01	SZW-1A 型数字温度计	无震例
	浅层水温	2002-01	LN-3 型水位仪	无震例
张道口 1	水位	1996 - 09	LN-3 型数字水位仪	0.07
	水温	1996 - 09	SZW-1A 型数字温度计	无震例
	浅层水温	2001 - 08	LN-3 型水位仪	无震例
	气氡	2001 - 08	SD-3A 型自动测氡仪	无震例
张道口 2	水位	1997 - 09	LN-3 型数字水位仪	无震例
	水温	1997 - 09	SZW-1A 型数字温度计	无震例
	浅层水温	2001 - 08	LN-3 型水位仪	无震例
静海	水位	2001 - 08	LN-3 型数字水位仪	无震例
	水温	2001 - 08	SZW-1A 型数字温度计	无震例
	浅层水温	2001 - 08	LN-3 型水位仪	无震例
桑梓	水位	1980	LN-3 型数字水位仪	无震例
	水温	2001 - 07	SZW-1A 型数字温度计	无震例
	浅层水温	2001 - 07	LN-3 型水位仪	无震例
宁河	水位	2007 - 03	LN-3 型数字水位仪	无震例
	水温	2007 - 03	SZW-1A 型数字温度计	无震例

常有效时间和研究时间之比的差。

从表1所列 R 值评估结果分析,天津地区地震地下流体观测网能够对地震有反映的井孔及项目仅有王4井水氡、水汞,高村井水位,宝坻井水位、水温,辛庄井水位和张道口1井水位,共计5口井7个测项,仅占总测项数的18.4%,映震效果不理想。并且高村井水位(从2001年8月数字化改造后评估结果)、宝坻井水温、辛庄井水位和张道口1井水位4个测项 R 值非常低,而宝坻井水位近几年一阶差分曲线效果也不理想,这可能是由于干扰增大所致。其中, R 值大于0.2的两个测项均由王4井贡献,而王4井目前也受到了地热开采的影响,井口压力下降比较快。

由王4井井口压力月均值曲线(图2)可以看出,2004年下半年后王4井井压呈加速下降趋势。以2006~2007年为例,2006年6月井压开始回升,到9月回升结束,这一期间井压上升约7 kPa;从2006年10月到2007年5月,井压一直处于下降状态;2007年6~9月又开始上升,10月后再次下降。以这一过程推测其断流时间:2007年9月王4井井压为67 kPa,到2008年2月井压为42.8 kPa,5个月内,井压下降了24.2 kPa,每月平均下降4.84 kPa。那么到2008年5月,井压可能要下降到28.28 kPa左右,而其后的上升过程幅度为7 kPa,时间持续到9月,井压将在35.28 kPa左右。如果以井压下降到0 kPa为断流,那么,断流时间应在2009年5月。从王3井、张道口井断流的实际情况分析,当井压降到20 kPa左右时,井孔流量就将大幅度减小,井孔即处于“准”断流状态,水氡观测资料已无法使用。从地震监测的意义上讲,断流时间还应提前。因此,天津地震地下流体观测网面临的将是非常严峻的形势。

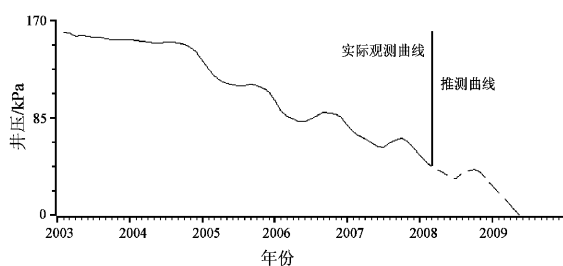


图2 王4井井口压力月均值曲线

Fig. 2 The curve of monthly average value of well pressure of Wang 4 well

3 流体观测网的调整与优化

从上述情况分析,天津地区地震地下流体观测网目前正处在一个非常关键的“十字路口”,应对其进行一定程度的调整和优化。根据天津地区的实际情况,调整与优化中应主要考虑如下几个方面的问题。

3.1 测项上应以物理观测为主、化学观测为辅

这是开展流体观测首先要考虑的问题。目前,地下水观测从大类上可分为水物理和水化学观测。水化学观测中,以地下热水的观测映震效果较为理想。天津市是拥有丰富地热资源的城市,也是我国最早利用地热的城市之一,地下热水主要赋存在下第三系和早古生界、中新生界基岩地层之中(周训等,2001)。到目前为止,天津地区已探明的地热田主要有10个。但从开发情况看,天津地区第三系热水资源已趋于枯竭,从20世纪80年代初转向勘探和开发埋深更大的基岩地下热水(周训等,2001),仅1998年天津地区就打基岩热水井180口,是我国开发、开采量最大的地区(王祖伟,2000)。在开采上,天津地区的10个地热田中除唐官屯地热田未开采外,其它各地热田均有开采,唐官屯地热田似乎作为一个很好的水化学观测区域。但是,调查发现,该区域的勘探程度尚不充分,若在此处新钻热水井开展观测,不仅成本高,而且存在打不出热水的风险。如果在其他有开采的地热田新钻专用地震观测井,这种方式固然好,但要考虑钻井投入、建台、取样、及其它开采井的影响等问题。因此,笔者认为天津地区今后流体观测应采取以水物理观测为主、水化学观测为辅的原则。这里的主辅问题并不是所起作用主次,而是数量上的多少。而且已有的研究也表明,地下水位在震前有较好的预报能力(孙加林,2008)。

3.2 观测区域上以中北部地区为主

一般认为,流体观测井的选择应位于断层带上、断层的交汇处、拐点等位置上(王博等,2008)。笔者曾对天津流体观测网的映震能力进行过深入的分析。表2列出了1989年以后天津地区部分曾经观测或正在观测的井孔映震情况。

从构造的角度考虑,以海河断裂、宝坻断裂为界,可将天津地区大致划分为3个区域,即天

表 2 1989 以来年天津地区曾观测或正在观测井部分震例统计

Tab. 2 The part of earthquake examples of observed or keeping observation wells in Tianjin area

井孔名称及测项	震例
王 4 水氦、水汞	1989-09-03 唐山 $M_L4.2$ 、1990-12-24 小汤山 $M_L4.2$ 、1993-08-06 古冶 $M_L4.4$ 、1993-11-18 宝坻 $M_L4.4$ 、1994-10-04 古冶 $M_L4.0$ 、1994-12-23 沙城 $M_L4.3$ 、1996-12-16 顺义 $M_L4.5$ 、2001-07-16 泊头 $M_L4.3$ 、2002-02-09 陡河 $M_L4.0$ 、2003-05-22 陡河 $M_L4.1$ 、2003-12-11 塘沽 $M_L4.0$ 、2006-07-04 文安 $M_S5.1$ 等
宝坻水位、水温	1995-07-20 沙城 $M_L4.1$ 、1996-04-08 滦县 $M_L4.0$ 、1998-04-14 唐山 $M_L5.0$ 、2000-06-25 陡河 $M_L4.4$ 、2001-07-16 泊头 $M_L4.3$ 、2002-02-029 陡河 $M_L4.0$ 等
辛庄水位	1994-12-23 沙城 4.3、1995-10-4 唐山 5.4、1996-12-16 顺义 $M_L4.5$ 、1998-01-10 张北 $M_S6.2$
高村水位	1998-01-10 张北 $M_S6.2$ 、2006-07-04 文安 $M_S5.1$ 等
张道口 1 水位	2003-12-11 塘沽 4.0
双桥 1 水位	1989-01-12 唐山 $M_S4.1$ 、1990-07-21 大海坨山 $M_L5.0$ 、1990-07.23 唐山 $M_L4.9$ 、1991-05-30 唐山 $M_L5.6$ 、1991-10-05 宁河 4.0、1993-09-27 滦县 4.4、1994-10-04 古冶 4.0、1995-02-22 古冶 4.4、1995-06-27 渤海 4.0、1995-10-06 陡河 $M_L5.4$ 、1996-04-8 滦县 $M_L4.0$ 、1998-11-03 滦县 $M_L4.0$ 等
东台水位	1989-6-18 唐山 $M_L4.3$ 、1989-10-19 大同 $M_S6.1$ 、1992.7.22 宁河 4.9、1993-9-27 滦县 $M_L4.4$ 、1994-10-4 古冶 $M_L4.0$ 、1995-10-6 陡河 $M_L5.4$ 、1998-11-3 滦县 $M_L4.0$ 、2006-7-4 文安 $M_S5.1$ 等
天船水位	1992-07-22 宁河 $M_L4.9$ 、1999-11-01 大同 $M_S5.6$ 、1999-11-29 岫岩 $M_S5.6$ 等
塘 19 井压	1989-10-19 大同 $M_S6.1$ 、1995-10-06 陡河 5.4、1996-05-03 包头 $M_S6.4$
潘庄水位	1989-06-18 唐山 $M_L4.3$ 、1989-10-19 大同 $M_S6.1$ 、1992-07-22 宁河 $M_L4.9$ 、2006-07-04 文安 $M_S5.1$ 等
塘 12 井压	1995-02-22 古冶 $M_L4.4$ 、1998-04-14 唐山 $M_L5.0$
双桥 2 水位	1998-11-03 滦县 $M_L4.0$ 等
河西务水位	1989-10-19 大同 $M_S6.1$ 、1998-01-10 张北 $M_S6.2$ 等
王 3 水氦、水汞	1999-11-01 大同 $M_S5.6$ 、1992-07-22 宁河 $M_L4.9$ 、1996-12-16 顺义 $M_L4.5$ 、1999-05-12 迁安 $M_L4.2$ 、2006-07-04 文安 $M_S5.1$ 等

津南部地区、中北部地区和北部地区。从表 2 所列资料表明，除东台井和张道口 1 井外，历史上，反映地震较好的观测井多位于天津的中北部地区内或其边缘附近。这一区域也有宝坻、蓟运河等活动性较强的断裂。而天津南部地区，地下水开采量较大，地面沉积相对较为严重，观测井应避开这些区域或其开采层。天津北部地区距山前补给区较近，尤其是在最北部的蓟县。从水文地质的角度分析，这一地区的井孔受降水的影响可能比较大。因此从构造、地面沉降和历史映震情况分析，天津地区流体观测井布设主体区域应在天津的中北部地区，这一地区可以说是对地震反映较好的灵敏区。

3.3 以中深井为主，深浅结合

根据笔者对天津地区地下流体观测井的研究，观测井应采取浅、中等和深井搭配观测为宜。这里浅井主要指深度在 100 m 左右的咸水井。咸水层观测曾是天津地区地震前兆观测的一个特色。第四纪以来中国沿海平原曾发生过 6 次大规模、历时较长的海侵事件，其中有 4 次海侵事件在天津地区

形成了 4 个海相层。这些海相层多以透镜体的形式存在，其上、下均有较好的粘土隔水层，封闭性较好，第三、第四海相层即位于 100 m 左右的深度。更为重要的是，由于其没有开发价值，未被开发利用。同时，因埋深浅，利用其进行观测的成本也较低。以往天津地区曾有很多这种观测井，很多井震前也曾有明显的异常（郑熙铭等，1989；邵永新，郑文俊，2002；金艳等，1989；金艳，郑熙铭，1997），如潘庄井在 2006 年 7 月 4 日文安 $M_S5.1$ 地震前曾出现过非常明显的异常，这类井异常幅度大，特征明显，易于识别。但由于各种原因，一批井相继停测，即使是目前仍在观测的井孔，也存在着井孔、观测仪器老化等问题。中深井指深度在 500 m 左右的井孔。车用太等（2001）对全国井孔深度与映震关系的研究认为，300 ~ 500 m 深的井孔对地震的反映最好，而天津地区这种井孔目前并不多。深井主要指 1 000 m 以上的基岩井。这三类井在天津地区均可避开开采层，建立一种“立体化”的观测网络（邵永新等，1996）。

3.4 运行方式上走跨行业联合监测的道路

运行方式是指由我们自己打井观测，还是与

其它单位合作观测。在开展本项工作中，笔者曾对天津地质调查研究院、天津市地面控制沉降办公室和天津市水文水资源勘查管理中心进行了调研。天津地质调查研究院目前观测 200 多口井的水位，用于监测地面沉降；天津市地面控制沉降办公室和天津市水文水资源勘查管理中心也在利用几百口井的水位资料对天津地区的水资源进行监测，这些井基本覆盖了天津行政区。在深度上，可大致分为 8 个含水组：30 m 以下、30 ~ 200 m、200 ~ 300 m、300 ~ 450 m、450 ~ 550 m、550 ~ 650 m、650 ~ 750 m 及热水井观测，深度分布较齐全。虽然他们所观测的主要是开采层，但从中选择一些能够满足我们要求的井孔进行地震观测还是可行的。所需要做的是新上一些能够满足我们工作要求的观测仪器。

3.5 强化气体观测

本文中的气体观测主要是指断层气 CO₂ 的观测。CO₂ 快速测定法于 1988 年开始研究，并于 1991 年 6 月应用于地震短临监测预报，该方法曾对张北 M_s6.2 地震做出较好的短临预报（林元武等，1998a，1986b），对一些 5 级以上地震也曾出现较好反映（官致君等，2003）。2008 年，为加强首都圈地区短临跟踪工作，天津地区也开展了 CO₂ 的观测。在新增的 4 个观测点中，位于天津塘沽台的 CO₂ 观测项目在 2008 年 3 月 10 日河北卢龙 M_L4.2 地震前曾出现了较好的异常（图 3）。与其他方法相比，该方法具有操作简单、经济、快速的特点，场地条件要求相对较低，适合于较大范围或沿断裂带大量布设。

另外，对于断流的深井，在开展其他项目观测的同时，也可同时开展 He 气的观测，如王 3 井。

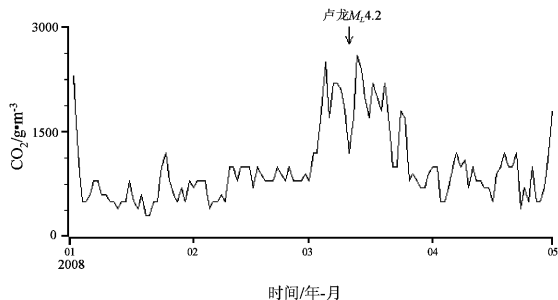


图 3 天津塘沽台 CO₂ 日值曲线

Fig. 3 The daily curve of CO₂ of Tangu seismic station in Tianjin

4 结论与讨论

综上所述，天津地区地震地下流体观测网应走如下的发展模式：

(1) 对天津地区地震地下流体观测网进行一定程度的调整，有的井孔不应再继续观测。同时，为提高井网的预报效能，应新增一些井孔。由于水化学观测受诸多条件限制，流体观测网在数量上应遵循以水物理观测为主、水化学观测为辅的原则。对于水化学观测，若重新钻井观测，则将涉及到井孔位置、井孔深度、钻井成本、新建台站等一系列问题，所以可采取借井观测的方式进行。至于观测项目的选择，还应进一步论证。

(2) 建立以监测、预报和科研为目的的专用地震地下流体观测网。在建设中，井孔选择、仪器配置和观测精度等均应严格按照流体台网建设的有关规定执行，用于捕捉震前的长、中、短、临异常信息。

(3) 建立以监测、预报为目的由地方地震工作者观测的地震地下流体观测网。这类井网建设的要求可相对降低，主要用于捕捉震前的中、短或临震异常信息。

(4) 建立跨行业联合观测的地震地下流体观测网，充分利用地下水位观测资源。各省、直辖市地下水资源管理部门掌握着大量井孔，并用于监测地下水位变化。这些井孔的水位观测资料以往在地震行业中并没有得到重视。从构造位置、观测的含水层、观测方式以及采样密度等方面来看，这类井孔不一定都很理想，但可从中筛选一批井孔，或运用这类井孔的水位资料分析面上的异常变化，这对震情的判定是非常有益的。同时，我们的观测资料也可提供给他们使用，实现资料共享。

(5) 在井孔的深度上，应采取浅、中深、深井共同观测的方式进行。

(6) 强化断层气的观测，由单一“水”的观测，转向“水、气”综合观测。

参考文献：

车用太，王广才，鱼金子. 2001. 试论“十五”期间我国地震地下流体前兆台网的优化与建设问题 [J]. 国际地震动态，(11): 1-8.

官致君, 闻学泽, 程万正. 2003. 断层气 CO_2 快速测定方法在四川地震预测中的应用 [J]. 地震研究, 26 (增刊): 118-125.

金艳, 高文海, 郑熙铭. 1989. 东台子井水位的突升及其与地震的关系 [J]. 地震学刊, (4): 104-107.

金艳, 郑熙铭. 1997. 双桥井水位地震异常特征的再认识 [J]. 华北地震科学, 15 (1): 58-66.

林元武, 刘武周, 王基华, 等. 1998a. 张北—尚义地震现场 CO_2 测量与震后趋势判定 [J]. 地震地质, 20 (2): 117-121.

林元武, 王基华, 高松升. 1998b. 断层气 CO_2 测定新方法 with 张北—尚义 6.2 级地震预报 [J]. 地震, 18 (4): 353-357.

刘耀炜. 2004. 地震流体最新科学进展与发展方向 [J]. 国际地震动态, (10): 44-55.

刘耀炜. 2005. 面向 21 世纪的地震地下流体科学问题与发展 [J]. 国际地震动态, (10): 145-150.

邵永新, 李广鑫, 李文国, 等. 1996. 天津前兆台网映震能力评价

[J]. 地震, 16 (4): 427-434.

邵永新, 郑文俊. 2002. 天津水动态项目异常的典型特征 [J]. 地震, 22 (4): 123-129.

孙加林. 2008. 目前我国中期地震预报的困惑与其思考 [J]. 国际地震动态, (1): 1-8.

天津市地震局. 2005. 天津市地震监测志 [M]. 北京: 地震出版社.

王博, 刘耀炜, 孙小龙. 2008. 地下流体与断裂活动关系的研究综述 [J]. 地震研究, 31 (3): 296-302.

王祖伟. 2000. 天津市地热资源利用现状及发展对策 [J]. 国土与地热资源研究, (3): 50-51.

郑熙铭, 黄振义, 王雅灵. 1989. 关于天津地下水动态观测井网的地震监测能力 [J]. 地震, 9 (4): 58-65.

周训, 陈明佑, 李慈君. 2001. 深层地下热水运移的三维数值模拟 [M]. 北京: 地质出版社.

Study on the Optimization of Tianjin Underground Fluid Observation Network

SHAO Yong-xin, MA Jian-ying, WANG Jian-guo, WU Qiang

(*Earthquake administration bureau of Tianjin Municipality, Tianjin 300201, China*)

Abstract

In this paper, we discussed the development of underground fluid observation network in Tianjin region based on the earthquake-responding capacity. In the situation of weak capacity to respond from earthquake, no flux of Wang3 well happened and the pressure of Wang4 well quickened down in 2007. We considered that the fluid observation network of Tianjin must be adjusted. Water physics parameters should be given quantitative priority than water chemistry parameters for the future in Tianjin fluid observation network. In the aspect of the well's depth, we adopted the method of integrating shallow wells (salt water wells), middle-deep wells and deep wells. A three-dimensional observation network should be built. More attention should be given to the use of salt water layer. Relative departments should unite to observe and cooperate with each other to share the data and information.

Key words: Tianjin region; Underground fluid; Observation; Optimization.