

学术论文

地下流体动态的观测环境干扰 影响距离研究^{*}

车用太¹⁾ 鱼金子¹⁾ 刘成龙¹⁾ 孙天林²⁾

1) 中国地震局地质研究所, 北京 100029

2) 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036

摘要 根据我国地震地下流体动态干扰因素及其影响的调研结果, 以井区水文地质条件分区, 观测含水层性分类与渗透性分级为基础, 研究了各类干扰源的影响距离, 给出了干扰源与观测井间的最小距离即干扰源的最大影响距离, 为地震台站观测环境保护提供了标准。

关键词 地下流体; 观测环境; 干扰源; 影响距离

中图分类号 P315.72⁺3 **文献标识码** A

引言

中华人民共和国防震减灾法(1998年3月1日起施行)与国务院2004年6月17日发布的《地震监测管理条例》都明确规定:“地震观测环境应当按照地震监测设施周围不能有影响其工作效能的要求划定范围”。很显然,贯彻执行上述法律与法规,必须首先要划定出影响地震监测设施工作效能的范围,为此进行了我国地下流体台站观测环境干扰情况与国内外有关规定的调研,进行了典型干扰的专题调查与试验研究,理清了各类干扰源及其干扰特征,分析了各类干扰源对地下流体正常动态产生干扰的距离,作为中华人民共和国国家标准 GB/T19531.4—2004《地震台站观测环境技术要求第四部

分:地下流体观测》的主要内容,规定了各类干扰源距观测井的最小距离^[1]。

1 我国地下流体动态的观测环境干扰现状

为了编制 GB/T19531.4—2004《地震台站观测环境技术要求 第4部分:地下流体观测》(中华人民共和国国家标准,2004),2002年4~8月间对我国地震地下流体动态的台站观测环境的干扰现状进行了普查。普查采用函调的方式,向全国450个地震地下流体台站发去《环境干扰调查表》,共收回342个台站593个台项环境干扰的调查表。

表1 地下流体台网主要测项的环境干扰情况统计表

测项	水位	水温 (地热)	水(气) 氦	水(气) 汞
被调查井数	260	138	143	52
受干扰的井百分比	53.44	20.29	47.55	21.15

^{*} 收稿日期:2005-04-12。

基金项目:本文为科技部基础司《数字化地震前兆观测技术标准编制》项目中 KJB-2001-04 专题的研究成果。

对调查表的分析结果列于表 1 与表 2 中。

由表 1 可见, 我国地下流体台网中约有 1/2 水位与水(气)氡观测受到环境干扰, 约 1/5 的水温与水(气)汞观测受到环境干扰。由表 2 可见, 主要的干扰是地下水开采与大气降雨的渗入补给, 其次是地表水体渗入补给, 此外, 还有油气开采、采矿、地下注水、泥石流、列车荷载等的干扰。

表 2 地下流体台网主要环境干扰因素及其统计表

干扰源类型	受干扰井 (泉)数	受干扰井(泉) 所占百分比 / %
地下水开采	77	37.76
油气开采	4	1.96
采矿	7	3.43
降雨渗入补给	76	37.25
融雪水渗入补给	5	2.45
地表水渗入补给	30	14.7
地下注水	1	0.49
列车荷载	3	1.47
泥石流	1	0.49
小计	204	100.00

有些台站中存在的环境干扰十分严重, 已被迫停测地下流体动态或改变了观测项目, 明显削弱了当地地震监测预报的效能。以华北地区为例, 20 世纪 80 年代曾为我国地震地下流体综合观测与地震监测预测效能

颇佳的河北省、天津市与北京市的一批自流水井因受当地地下水开采的干扰, 井水由自流变断流, 测项由十几个变为一、二个, 甚至被迫停止地震地下流体观测。类似的威胁不仅在华北地区依然存在, 而且在其他地区也出现或即将出现。

我国地震地下流体台站观测环境中, 存在着多种干扰, 干扰的面较大, 某些台站中干扰的程度很严重^[2]。台站观测环境的评价、治理与保护, 已成为我国地震地下流体监测台网建设与管理的重要任务。

2 确定干扰源影响距离的水文地质学基础

地下流体环境干扰的专题调查与试验研究表明, 各类干扰源对地下流体动态的影响特征十分复杂, 影响的距离随水文地质条件的变化而不同, 同一类干扰源在不同水文地质条件下其影响距离不等, 为此深入分析了水文地质条件对干扰源影响距离的影响。研究表明, 影响干扰源影响距离的水文地质条件主要有在如下 3 个方面: 井区水文地质条件分区、观测含水层岩性分类与观测含水层的渗透性分级。

井区地质条件分区是井区水文地质条件

表 3 井区水文地质条件分区表

水文地质条件分区	简单地区	中等地区	复杂地区
地形地貌单元	平原、宽谷、丘陵	山间盆地	形态多样, 类型难辨
含水层分布特征	层状、边界清楚	层状、块状, 边界不很清楚	带状、错综复杂, 边界很不清楚
含水层岩性特征	松散层为单一砂层; 基岩岩性单一	松散层有多种砂、砾石层; 基岩岩性多样, 不均一	松散层以砾石为主; 基岩岩性多变, 很不均一
地质构造特征	单斜或平缓	一般褶皱与断裂发育	复杂褶皱与大型断层破碎带发育
岩溶发育特征	只发育小溶隙	发育有小规模溶洞	发育有大型暗河、溶洞
地下水补给、径流、排泄条件	清楚	不很清楚	很不清楚
水化学类型	单一	多样	复杂多样

注: 本表根据 GB50027-2001 表 1.0.5 改编。

复杂程度的划分^[3]。井区,一般指观测含水层地下水的补给、径流与排泄系统所涉及到的范围,但其范围很大时,可划定为观测井外围 10 km 为半径所涉及到的范围。水文地质条件分区的依据是井区的地形地貌单元类型、含水层的分布特征与岩性特征、地质构造与岩溶发育程度、地下水补给、径流、排泄条件的清楚程度与水化学类型的复杂程度。根据上述 7 个方面的差异,可把井区划分为简单地区、中等地区与复杂地区,如表 3 所列。

观测含水层的岩性分类,首先分为基岩与松散砂土两大类。然后基岩中,再分为可溶岩类与非可溶性岩类;松散砂土中,再分为卵砾石、砂与土。砂又可细分为粗、中、细、粉砂;土又可细分为亚砂土、亚粘土、粘土^[4]。观测含水层的岩性分类,如表 4 所列。其中,非可溶性岩类只有裂隙发育时,

可溶性岩类只有岩溶发育时才可成为含水层;粘土是典型的隔水层,亚粘土一般也属隔水层。

观测含水层的渗透性指含水层中固体介质允许地下水在重力作用下流通的能力大小的特性,一般用渗透系数(K)来表述。渗透系数(K)值,一般根据钻孔抽水试验结果经计算而得,其大小与含水层固体介质的空隙度、空隙大小、形状与连通性等有关。含水层的渗透性分级,如表 5 所列。考虑到我国地震地下流体观测井,多缺少抽水试验资料,也难再进行抽水试验的情况,在表 5 中还给出了与不同级别的渗透性相对应的松散砂土含水层岩性与基岩含水层的岩体结构特征^[1,4],以便实践中参考作用。

各类干扰源影响距离的确定,即以表 3、表 4、表 5 为基础,根据实际拥有的资料情况,可分别选择使用。

表 4 观测含水层的岩性分类

大类	种类	基本特征
基岩类	非可溶性岩类	主要包括岩浆岩、变质岩、砂岩等 基本特征是坚硬致密,裂隙发育时可成为含水层
	可溶性岩类	主要包括石灰岩、白云岩等 基本特征是具有可溶性,溶隙、溶洞发育时可成为含水层
松散砂土类	卵石	粒径大于 20 mm 颗粒含量大于 50%; 含水层
	砾石	粒径大于 2 mm 颗粒含量大于 50%; 含水层
	粗砂	粒径大于 0.5 mm 颗粒含量大于 50%; 含水层
	中砂	粒径大于 0.25 mm 颗粒含量大于 50%; 含水层
	细砂	粒径大于 0.1 mm 颗粒含量大于 75%; 含水层
	粉砂	粒径大于 0.1 mm 颗粒含量小于 75%, 粒径小于 0.05 mm 颗粒含量大于 20%; 一般为弱含水层
	亚砂土	粒径小于 0.005 mm 颗粒含量为 3% ~ 10%, 粒径 0.005 ~ 0.05 mm 的颗粒含量小于粒径大于 0.05 mm 颗粒含量; 一般为弱含水层
亚粘土	亚粘土	粒径小于 0.005 mm 颗粒含量为 10% ~ 30%, 粒径 0.005 ~ 0.05 mm 的颗粒含量小于粒径大于 0.05 mm 颗粒含量; 一般为隔水层
	粘土	粒径小于 0.005 mm 颗粒含量大于 30%, 粒径 0.005 ~ 0.05 mm 的颗粒含量与大于 0.05 mm 颗粒含量均小于粒径小于 0.005 mm 颗粒含量; 典型的隔水层

注: 本表根据《水文地质手册》表 1-3-5 改编。

表 5 观测含水层的透水性分级

透水性分级	极强透水	强透水	透水	弱透水	不透水
渗透系数 $K/m \cdot d^{-1}$	100	100 ~ 10	10 ~ 1	1 ~ 0.001	< 0.001
松散层岩性的 参考标志	卵石	砾石—中砂	细砂—粉砂	亚砂土—亚粘土	粘土
基岩岩体结构特 征的参考标志	大型未胶结的 断层破碎带， 岩溶、暗河发 育区	岩体呈碎块状， 裂隙组数 4 ~ 5 组，裂隙间距 10 ~ 50 cm，裂隙张 开，纵横交错，相 互完全连通	岩体呈裂状，裂 隙组数 3 ~ 4 组， 裂隙间距 50 ~ 100 cm，裂隙张开，纵 横交错与连通	岩体呈块状，裂 隙组数 2 ~ 3 组， 裂隙间距 50 ~ 100 cm，裂隙紧闭，彼 此连通性差	岩体呈完整状， 裂隙组数 1 ~ 2 组，裂隙间距大 于 100 cm，裂隙 紧闭，彼此不连 通

注：本表中的透水性分级及其相应的渗透系数值，是根据《水文地质手册》表 8-1-11、表 8-1-12 与表 8-1-13 及《岩体工程地质力学入门》表 3-4、表 3-5、表 4-10 综合而成。

3 确定干扰源影响距离的技术思路与资料基础

确定干扰源影响距离，主要以我国地震地下流体台站实际观测到的干扰事实为基础，适当进行理论计算与专项试验研究，对观测到的事实进行检验与校正，进行外推与内插，再建立不同水文地质条件下的影响距离。

对地震地下流体台站实际观测到的环境干扰的专题调研共有 43 例^[2]，其中降雨渗入补给干扰 7 例，地表水渗入补给干扰 4 例，地表水体荷载作用干扰 6 例，地下水开

采干扰 17 例，地下注水干扰 2 例，采矿干扰 3 例，列车荷载干扰 1 例，滑坡与泥石流干扰 3 例。

此外，收集与整理有关观测环境对地下流体动态干扰的前期观测试验研究资料 5 例，本次研究中专门进行观测试验研究 8 例，共 13 例（见表 6）。

所进行的理论研究，主要是地表荷载作用下地下应力—应变场的分布特征的理论计算，其中包括海潮荷载对海岸地区的影响，地表水体荷载作用与列车荷载作用对江河两岸与路基两侧的影响的计算等。

表 6 地下流体台站环境干扰的专项观测试验研究工作一览表

干扰源类型	观测试验研究名称	观测试验时间
地表水体荷载	饮马河洪水荷载引起的丰镇井水位异常变化	2002 年 8 月
	三峡水库蓄水引起的地下流体异常变化	2003 年 4 ~ 6 月
地下水开采	井区热水开采对怀来台地下流体动态的干扰	2002 年 11 月 ~ 2003 年 5 月
	区域与井区热水开采对张道口地下流体动态的干扰	2003 年 1 ~ 6 月
	东古楼井区抽水对地下流体动态的干扰	2002 年 9 ~ 12 月
	古城井区抽水对地下流体动态的干扰	2002 年 9 ~ 12 月
地下注水	汤坑水压致裂试验及其干扰	1984 年
	胜利油田油井压裂试验及其干扰	1988 年
采矿	矿山爆破干扰	1966 ~ 1984 年
	地下核爆干扰	1983 ~ 1984 年
列车荷载	快行列车荷载干扰	2002 年 8 月
	缓行列车荷载干扰	1986 年 10 ~ 11 月
滑坡与泥石流	滑坡对三峡井网 W 8 井水位动态的干扰	2003 年 6 月

4 各类干扰源最大影响距离的确定

4.1 地表水体干扰的最大影响距离

地表水体对地下流体动态的干扰,按照其干扰机理可分为两类。一类是地表水体的渗入补给干扰,另一类是地表水体荷载作用的干扰。

地表水体渗入补给干扰产生的基本条件 是地表水体与观测含水层地下水之间存在着水力联系,此时可按含水层的渗透系数大小或按井区水文地质条件分区确定最大影响距离(见表7)。

表7 地表水体渗入补给干扰的最大影响距离

井区水文地质条件分区	含水层渗透性分级	最大影响距离 /km
简单地区	弱透水层	1
中等地区	透水层	5
复杂地区	强透水层	10

地表水体与观测含水层地下水无水力联系,且观测含水层的顶板埋深小于500m时,可分不同的荷载作用类型分别作出确定最大影响距离(见表8)。

表8 地表水荷载作用干扰的最大影响距离

荷载作用类型	最大影响距离 /km	
海潮荷载作用	10	
水库荷载作用	6	
江河水体荷载作用	粗砂与砾石含水层	5 km
	中砂含水层	3 km
	细砂与粉砂含水层	1 km

4.2 地下水开采干扰的最大影响距离

地下水开采干扰的最大影响距离的确定,最可靠的技术途径是进行抽水试验与水文地质计算并求抽水影响半径(R)。在未来的地震地下流体台站建设中,要求钻孔成井后必须进行试验与计算,确定开采干扰的距离。然而,在现有的台站中,多数井中没有进行试验与计算,此时可分为松散砂砾含水

层与基岩裂隙(岩溶)含水层分别作出规定。

在观测含水层为松散砂砾含水层时,可按含水层岩性分类确定最大影响距离(见表9)。

在观测含水层为基岩裂隙(岩溶)含水层时,可按井区水文地质条件分区确定最大影响距离(见表10)。

表9 松散砂砾石层中地下水开采干扰的最大影响距离

含水层岩性分类	最大影响距离 /km
粉砂	1.0
细砂	1.5
中砂	2.5
粗砂	3.0
砾石	6.0

表10 基岩裂隙(岩溶)含水层中地下水开采干扰的最大影响距离

井区水文地质条件分区	最大影响距离 /km
简单地区	1
中等地区	5
复杂地区	10

使用上述规定的先决条件是地下水开采层与地下流体动态观测层为同一个含水层,当二者不属于同一个含水层,而且其间发育有分布稳定且厚度20m的隔水层时,一般可不改变地下水开采的干扰问题。

4.3 采矿活动干扰的最大影响距离

采矿活动对地下流体动态的干扰,主要表现在4个方面:矿山爆破干扰、矿井疏干排水干扰、油田注水干扰、矿山诱发地震(矿震)干扰等。各类干扰的最大影响距离(见表11)。

4.4 其他干扰的最大影响距离

其他干扰包括列车荷载作用、滑坡与泥石流作用的干扰,其最大影响距离(见表12)。此表中还列出了大气降雨渗入补给干扰的影响距离。

表 11 采矿活动干扰的最大影响距离

采矿活动干扰类型	最大影响距离 /km
爆破	5
矿震	2
油田注水	1
矿井疏干排水	弱透水层 1 km
	透水层 5 km
	强透水层 10 km

表 12 其他干扰的最大影响距离

其他干扰类型	最大影响距离 /km
列车荷载	0.5
滑坡与泥石流	1
大气降雨的渗入补给	平原地区 10 km
	山间盆地与河谷地区 3 km

大气降雨渗入补给的干扰,在我国地震地下流体动态观测中较为常见,但这种干扰在多数情况下是无法避免的,因此在 GB/T19531.4—2001 国家标准中没有作出规定。然而,在本研究中曾作了较多的调查与研究。结果表明,干扰的影响距离相当复杂,不仅与井区水文地质条件有关,而且还与降雨方式、分布与强度等有关。表 12 中所列距离,只是在新建观测井时可参考的数值,在这样的规定距离下可保证降雨渗入补给对地下流体动态不会产生阶变型的干扰,但对年变动态类型及年变幅度等方面仍会有明显的影响。

5 各类干扰源最大影响距离的使用

GB/T19531.4—2001 是国家正式发布实施的最新国家标准,其中各类干扰源最大影响距离的规定是国家推荐性的数值,然而,经过《地震监测管理条例》的引用已成为每个单位和个人都必须执行的法定数值。因此,当上述规定距离与其他已有的技术规范发生矛盾时,必须以本规定的数值为准进行改正,在未来制定的相关规范与标准中,涉及到相关距离时,也必须以本规定为依据。

表 7~表 12 中确定的各类干扰源最大影响的距离,明确规定了地下流体观测井与各类干扰源之间的最小距离,为地下流体台站观测环境的保护提供了标准。在新的台站建设中,新选井的位置必须距各类干扰源的距离要大于表中的数值。在现有的台站管理中,要确保在表中规定的距离范围内不能出现各类新的干扰源;如果在规定距离范围内已存在干扰源且无法排除干扰时,对此类台站的地下流体观测要采取必要的措施,其中包括干扰源的拆除与地下流体台站的迁址等。

上述的最大影响距离,主要是根据各类干扰源对水位动态的影响而提出的,但对水温、水氡、水汞动态的观测环境保护仍是适用的。研究表明,对上述的干扰受影响最灵敏的是井水位动态,其次是水温动态,然后是水氡与水汞的动态。因此,在上述规定距离之内,水温、水氡、水汞动态更不会受到干扰,可确保其正常的观测效能。然而,对于气氡与气汞动态观测的适用性,尚待进一步检验,这主要是因为目前气氡与气汞的观测数据多不稳定,离散度较大,尚难判定哪些变化是观测环境的改变引起的。

在使用上述规定距离时,特别要注意使用的先决条件与规定距离之间的协调问题。表 7 与表 11 (部分) 中都以含水层渗透性强弱作为先决条件,而其强弱的数值给出的是范围值(表 5),但相对应的最大距离却是确定值,二者间存在不协调的问题。此类问题的处理,应“按比例分割”的原则,进行必要的调整。例如,表 7 中 $K = 1.0 \sim 10.0 \text{ m/d}$ 时对应的最大影响距离为 5 km, $K = 0.01 \sim 1.0 \text{ m/d}$ 时对应的最大影响距离是 1 km,此时应理解为 5 km 对应的是 $K = 10.0 \text{ m/d}$, $K = 1.0 \text{ m/d}$ 对应的是 1 km,因此 $K = 3 \text{ m/d}$ 时,最大影响距离应是 $(5 - 1) / (10 - 1) \times 3 = 1.3 \text{ km}$,同理 $K = 5 \text{ m/d}$ 时为 2.2 km, $K = 9 \text{ m/d}$ 时为 4 km 等。

多年的研究结果还表明, 各类干扰源对地下流体动态的影响距离还与干扰周期、干扰的机理等有关。一般说来, 低频 ($T > 0.5$ d) 干扰的距离较高频的大; 对水位动态而言, 质量迁移型干扰的影响距离较能量传递型的影响距离大; 对于水温动态而言, 对流型干扰的影响距离较传导型干扰影响距离大; 对于水氡与水汞动态而言, 水动力弥散型干扰的影响距离较水化学扩散型的影响距离大等。这些差异, 尚待进一步研究。然而, 上述规定的距离, 主要适用于低频干扰、质量迁移型干扰、对流型干扰与水动力弥散型干扰, 因此也适用于高频、质量传递型、传导型与水化学扩散型干扰。

必须要指出的是, 上述的各种规定是以现有的观测到的事实和现有理论与试验结果为依据的, 特别是在编制者有限的水平、有限的精力与有限的资金投入的条件下规定的。因此一方面强调其科学性与法规性的同时, 另一方面必须指出其局限性, 甚至有些不合理性, 对此有待于今后改进与改正。

参加本项研究的还有于书泉、李介成、张培仁、邓守琴、曹新来、刘耀炜、邢玉安等同志。相关标准的编制过程中还得到冯义钧、黎益仕、赵家骝等领导与专家的指导与支持。在此致谢。

(作者电子信箱, 车用太: che@ies.ac.cn)

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准 GB/T19531.4—2004. 《地震台站观测环境技术要求 第4部分: 地下流体观测》. 2004-06-21发布
- [2] 车用太, 鱼金子, 等编著. 地下流体典型异常的调查与研究. 北京: 气象出版社, 2004
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国建设部. 中华人民共和国国家标准. GB50027—2001《供水水文地质勘察规范》. 2001-07-04发布
- [4] 地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队主编. 水文地质手册. 北京: 地质出版社, 1978
- [5] 车用太等编著. 岩体工程地质力学入门. 北京: 科学出版社, 1983

Study on Influence Distance of Some Interference Sources Around the Station to the Behavior of Underground Fluid

Che Yongtai¹⁾ Yu Jinzi¹⁾ Liu Chenglong¹⁾ and Sun Tianlin²⁾

1) Institute of Geology, CEA, Beijing 100029, China

2) Institute of Earthquake Prediction, CEA, Beijing 100036, China

Abstract According to the survey and study of some interference factors and its influence character to behavior of underground fluid in our country network, on the basis of the hydrogeological province in well area, the classification of observation aquifer and the permeability graduation of observation aquifer, the maximum influence distance of some interference factors to behavior of underground fluid are presented. For protection of observation environment of underground fluid station, some standards are provided.

Key words underground fluid; observation environment; interference source; influence distance