

地下水潮与抽水地震

—以恩口、斗笠山、桥头河、水口山矿区为例

于 品 清

(国家地震局地震研究所)

摘 要

本文主要包括三部分,首先概括地介绍了水口山、恩口、桥头河矿区抽水期间诱发地震的某些特点,接着从空、时两方面论证了地下水潮与抽水地震的关系及诱发机制,最后部分讨论了地下水潮研究方面目前存在的三个问题。

固体潮及其与地震活动关系的研究,在我国已取得了某些进展,然而对地下水潮与地震活动关系的研究,只是在最近几年才开始,处于萌芽探索阶段。为了促进这一方面的研究和选择、布设地下水观测网提供一些依据,笔者特将在这方面取得的点滴成果整理出来,供同行指正。

一、概 述

1963年3月1日—4月1日、1964年5月23日—7月5日、10月5日—12月5日、1966年5月—11月和1973—1979年有关部门分别在湖南省斗笠山矿区香花台矿井、恩口矿区乐冲矿井、I竖井和水口山鸭公塘矿区、桥头河矿区进行了为期不等的抽水试验。为了获得有关数据,在一些抽水井周围布设了较大范围的观测网,其中包括用钻孔、水井观测地下水面变化。距抽水井近的观测时间间隔短,远的较长,一般是1—4小时一次,少数外围观测孔4—8小时一次。对所获资料分析后发现,这些矿区多数观测点的地下水面随时间发生有规律的周期性变化。上述矿区最大水位差达31厘米,一般在20厘米左右。随着时间的流逝,观测范围的扩大,发现并不是所有矿山或矿山的所有钻孔都能观测到这种现象。地下水面随时间发生周期性变化,除上面提到的几个矿区外,湖南茶田矿区、山东顾家台矿区、福建汤坑地热区、北京洼里深井以及广东的某些矿区也有明显反映。近几年来国家地震局在苏、鲁、皖、豫四省布设的地下水观测网的62口井中,有32口井水能记到地球的“固体潮”¹⁾,这表明是一种分布极广的自然现象。李佐海等人把这种由日月天体引潮力的间接作用,使地球表层某些特殊地段的地下水面随时间发生有规律的周期性变化的自然现象,称之为地下水潮²⁾。

1) 国家地震局,地震工作简报,1981年11月23日。

2) 李佐海,恩口—斗笠山一带地下水潮特征及在水文地质计算上的意义,湖南水文地质,1978。

这种潮汐现象即有和固体潮、海潮相似的地方，又有明显的差别。它不仅对地震预测预报有实用价值，而且对地壳表层岩块的运动有一定的诱发作用。

二、地下水潮的某些特点

地下水潮有自己固有的特点。根据对恩口、桥头河、斗笠山、水口山矿区和国内有关资料的分析，地下水潮的潮汐周期为24小时50分左右，空间分布不受经纬度限制，时间上一年四季都可出现，混合潮型、潮相、潮候等和海潮、固体潮特点基本相同（图1、图2）。但也有些特点，由于水的本质不同于固体和气体，且发生的环境有异，因而存在明显的差别。它们主要有：

1) 地下水潮区普遍存在，但彼此孤立。具备形成地下水潮条件的地区（段）普遍存在，但多被不具备形成地下水潮条件的其他构造所分开，因此单个潮区（段）的规模不大。斗笠山、恩口、桥头河三个相毗邻的矿区就是这方面的例子。据目前所知，最大的百余平方公里，最小的零点几平方公里，一般为十几—几十平方公里。

2) 地下水潮仅出现于向斜盆地或类似构造地下水的承压区内，其潮差与构造部位有关，与经纬度无关。本文所研究的四个矿区的潮差一般由向斜两翼向槽部增加，最大达31厘米，最小仅2厘米，直至无法观测到。苏、鲁、皖、豫四省地下水观测网获得的最

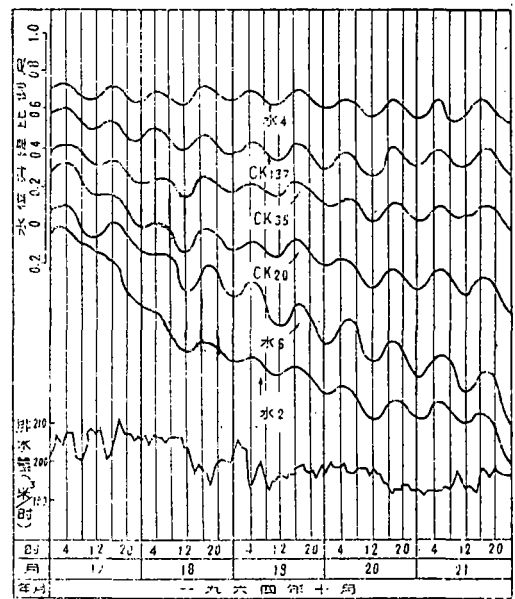


图1 恩口煤矿区I竖井抽水试验期间地下水水面随时间变化曲线（据李佐海）

Fig.1 A varying with time diagram of groundwater level in the period of pumping water from a shaft in Enkou coal mine.

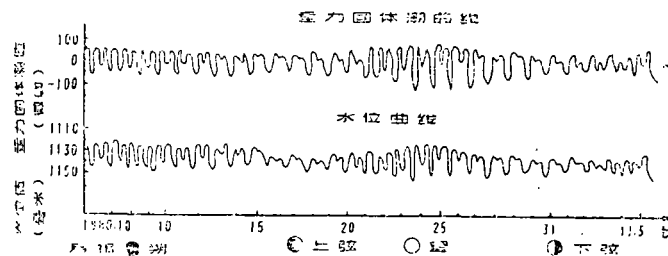


图2 江苏泰县苏10井水位曲线、重力固体潮理论曲线和月相的关系⁽¹⁾

Fig.2 The correlation between water level and theoritical gravitational tide line and phase of the moon in, Taixian (No.10 Well)

大地下水面变化达34厘米,最小的仅3厘米^[1],北京洼里深井达28厘米等^[2]。这些均表明当地的地质构造、水文地质条件在其中起了重要作用。

3) 地下水潮的最大潮差比当地的固体潮差大得多。如北京地区固体潮的体应变仅 3.4×10^{-8} ,但洼里深井能引起28厘米的地下水位变幅^[3];恩口、斗竺山矿区最大地下水潮与长沙岳麓山地区的固体潮体应变亦有类似关系。这似乎表明水体、固体对天体引潮力的适应性是大不相同的,当地的水文地质条件对地下水潮可起一种放大的作用。

4) 地下水潮与当地降雨有明显关系。大降雨之后,矿区的地下水面随之升高,潮差变大。滞后的时间各矿区不一,慢的一天左右,快的1—3小时后即有明显变化。邹泉生等人对鲁08井的研究结果表明,大降雨与地下水位呈线性相关,相关系数(γ)为0.99^[4]。这大概是抽水矿区大降雨之后有较多微震发生的原因。

5) 当地的气压、气温变化对地下水潮差无明显影响(图3)。实际资料表明:气压突降12.6毫巴后,地下水位仅上升0.005—0.05米。这首先是由于每日内的气温、气压变化量不大,由此引起的压力增减也极其有限;其次是气温、气压变化产生的压力先作用于地表坚硬的基岩上,然后才传递给地下水体,因而有消压的作用。

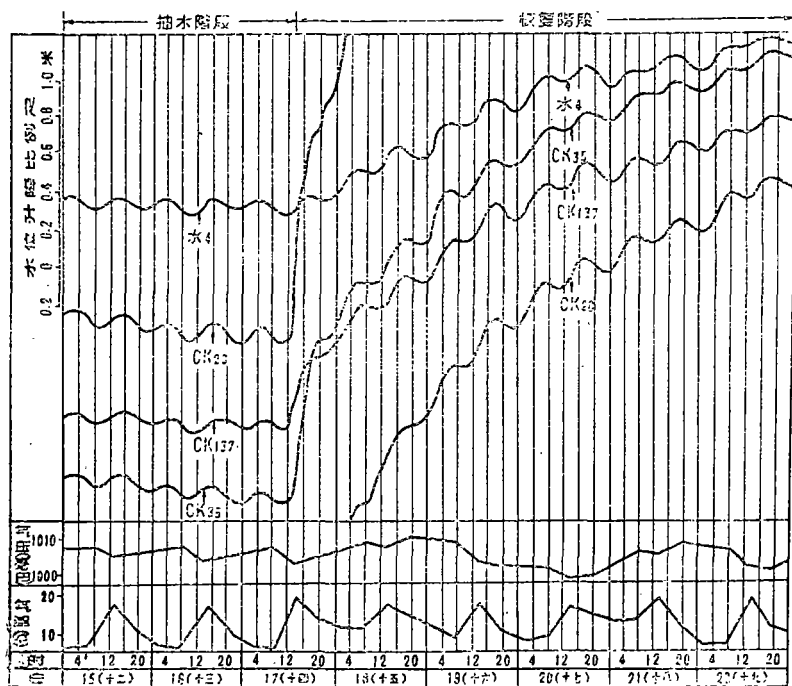


图3 恩口煤矿区I竖井抽水试验期间气温、气压与地下水潮关系曲线

A correlatogram of atmospheric temperature, atmospheric pressure and groundwater tide During pumping water from a shaft.

以上五点既是地下水潮的特点,也是区别于固体潮、海潮的地方。这些特点能在很大程度上决定矿区抽水诱发地震、地表岩块运动的能力。

1) 荆智国, 修武4级地震前震中附近深层水位变化特征, 地震学刊, 4, 1982.

三、抽水地震与地下水潮

恩口矿区、桥头河湘波矿区在抽水期间或稍后，长沙、新化、零陵地震台记到稍强地震16次，人感地震10余次。水口山矿区发生地震后，原中国科学院地球物理所为了有效地监视矿区抽水后的地震活动，于1966年9月22日在矿区及外围的龙家湾、洪水皂、鸭公塘和五家架设了四个流动地震台，共记到极微震590余次，其中 $K \geq 2$ 的有6次。这些矿区所发生的稍强地震（表1）有如下特点：

表1 水口山、恩口—桥头河矿区发生的稍强地震有关参数表

Table 1 A parameter of little strong earthquakes in Coal mine (Shuikoushan, Enkou, Qiaotouhe)

地震序号	矿区名	发震时间(阴历)					震中位置	震(能)级或震中烈度	等震线长轴方向	可能成因类型	属于地下水潮潮相段
		年	月	日	时	分					
1	水口山矿区	1966	6	7	05	25	鸭公塘	$K=2, V$	北西向	岩块倾滑型	下降段
2		1966	6	29	20	15	鸭公塘	$K \geq 2, V+$	东西向	岩块倾滑型	下降段
3		1966	7	14	22	26	鸭公塘	$K=2, V$	北西向	岩块倾滑型	下降段
4		1966	8	8	22	20	桥头	$K \leq 2, IV-V$	北北西向	岩块倾滑型	下降段
5		1966	8	9	22	19	杨家桥	$K \leq 2, IV-V$	北东向	岩块倾滑型	上升段
6		1966	9	15	00	28	鸭公塘	$K \geq 2, V+$	东西向	岩块倾滑型	潮谷段
7	恩口矿区	1974	4	28	17		杉山	1.0	不规则圆形	岩块倾滑型	下降段
8		1974	4	28	21		杉山	2.2, IV	不规则圆形	岩块倾滑型	下降段
9		1974	4	29	19		杉山	1.4	不规则圆形	岩块倾滑型	下降段
10		1975	10	13	11		杉山	1.2	不规则圆形	岩块倾滑型	潮谷段
11		1975	12	8	21		石井	2.2, IV	不规则圆形	岩块倾滑型	下降段
12		1975	12	9	10		石井	2.1, IV	不规则圆形	岩块倾滑型	潮谷段
13		1975	12	14	13		杉山	1.2	不规则圆形	岩块倾滑型	下降段
14		1976	2	11	09		恩口	2.1, IV	北东向	岩块倾滑型	下降段
15		1976	3	9	18		恩口	1.2	北东向	岩块倾滑型	下降段
16	桥头河矿区	1973	4	22	17		湘波(?)	1.7			潮峰段
17		1973	4	27	17		湘波(?)	1.5			潮峰段
18		1977	1	18	21		湘波	1.0	不规则圆形	岩块陷落型	下降段
19		1977	2	1	07		湘波	1.2	不规则圆形	岩块陷落型	潮峰段
20		1977	4	30	12		波湖	1.6	不规则圆形	岩块陷落型	潮谷段
21		1977	6	10			湘波	1.4	不规则圆形	岩块陷落型	
22		1978	2	10			湘波	1.1	不规则圆形	岩块陷落型	

1) 绝大多数地震的震中位于向斜槽部。恩口矿区(杉山、石井和恩口等地)发生的大地震,其震中(位置)多接近该向斜的槽部;湘波矿区的地震活动位于桥头河向斜北东转折端的槽部;水口山鸭公塘矿区所发生的地震主要出现在盐湖复向斜槽部与巨大花岗岩体的接触带部位或附近。这些部位的地下水极其丰富,且具有承压性质。从剖面上看,水口山矿区的震源体集中分布于-50—-300米标高的含水层内^[5]。恩口、桥头河矿区震源体的深度虽难于精确测定,但从1.1级地震有感区仅为两个矿区和周围9个大队,而外围无任何感觉看,其震源体仍有位于矿区含水层内的可能。

上述矿区发震的时间与地下水潮的潮相也有较好的对应关系。如表 2 所列出的那样，这些矿区发生的较大地震，其中大多数发生于每月最大地下水潮日或附近，而最小地下水潮日或附近所占比重较小，若用频度值表示则更高。这无疑是矿区地下水潮发挥了作用的缘故。

表 2 恩口、桥头河、水口山矿区发展时间与地下水潮

Table 2 The correlation between time of commencement of earthquake and groundwater tide

矿 区 名 称	发展 总数	最大地下水潮日或附近		最小地下水潮日或附近		其 他 时 间 段 内	
		地 震 数	占 总 数 %	地 震 数	占 总 数 %	地 震 数	占 总 数 %
恩口—桥头河	16	6	37	8	18	8	45
水 口 山 •	43	20	46	4	9	19	45
1966.10.13-11.10							
水口山 $k \geq 2$	6	8	50	1	17	2	33

发震的具体时间与地下水潮相的关系比预想要复杂一些（表 3），这可能与抽水地震的震级极低有关。据目前已有资料统计，不论是岩块倾滑型地震还是岩块陷落型地震，多数发生于地下水潮的下降段或潮谷点附近，这表明是地球重力和引张力起了作用。

表 3 抽水期间地震与地下水潮潮相

Table 3 The Correlatogram between earthquake and groundwater tide phase

矿 区 名 称	统计地 震总数	上 升 段		下 降 段		潮 峰 点 或 附 近		潮 谷 点 或 附 近	
		地震数	占统计数%	地震数	占统计数%	地 震 数	占统计数%	地 震 数	占统计数%
水 口 山 •	43	16	37	18	42	4	9	5	11
66.10.13-11.10									
水口山 $K \geq 2$	6	1	16.5	4	67			1	16.5
杉 山	5			4	80			1	20
恩口、石井	4			2	50			2	50
湘 波	5			1	20	8	60	1	20

用同样的方法对不具备形成地下水潮条件的丹江口水库瓦房沟震区所发生的300多次地震进行了统计，结果表明，该区地震发生的时间不符合上面得到的规律。为了弄清这一规律的适应范围进而统计了安徽省佛子岭水库区发生的1766次稍强地震，除主震群前后时间段内地震数较多外，其余时间段内发震的状况基本上是随机分布的（表 4）。这些结果一方面表明地下水潮对矿区抽水地震活动有一定作用，另一方面也暗示出对以构造应力场为主要力源的构造型水库地震的影响有限。

四、地下水潮影响抽水诱发地震的实质

地下水潮与矿区抽水地震在时、空分布方面有较好的对应关系，这与地下水面随时间发

• 这段时间之前，矿区未设地震台，没有记录，之后发生的地震未见具体发生时间。

表 4

佛子岭水库区发震时间统计

Table 4

A statis of time commencement of in
Foziling reservoir

震级段 时间段	0.0—0.9	1.0—1.4	2.0—2.9	3.0—3.9	4.0—4.5	合 计
1.0—2.0	64	9	5			78
2.0—3.0	49	19	8			71
3.0—4.0	66	14	8			81
4.0—5.0	67	5	2			74
5.0—6.0	52	12	2			66
6.0—7.0	51	11	1	1		64
7.0—8.0	61	7	3	1		72
8.0—9.0	58	12	4			74
9.0—10.0	53	7	2			59
10.0—11.0	48	15	2			65
11.0—12.0	61	9	2			72
12.0—13.0	66	4	2			74
13.0—14.0	77	15	2			94
14.0—15.0	75	8	1			84
15.0—16.0	50	9	1			60
16.0—17.0	57	8	3	2	1	71
17.0—18.0	57	8	1	2	1	63
18.0—19.0	166	24	8	8	1	193
19.0—20.0	71	7	2			80
20.0—21.0	54	16	1			71
21.0—22.0	60	13	4			77
22.0—23.0	54	18	2			73
23.0—24.0	55	13	2			71
24.0—1.0	62	11	3	1		76
合 计	1417	275	61	10	3	1766

生周期性变化有关,这类变化对抽水期间的岩块运动至少可以起三种作用。其一,水能把自身随时间变化获得的应力、应变周期地施加给地层、岩块,使它们中的某些界面不断地受到引张和压缩,从而地层、岩块间的平衡条件进一步遭到破坏。其二,水是一种很好的化学溶剂,能触使地质体界面上的泥土湿润、泥化,起润滑剂的作用,减少运动面的阻力。其三,地下水潮寓于地壳表层岩体中,岩体和水的密度不同,两者产生的潮差存在明显的差异。这样一来,在两者的结合面上会出现一定程度的压力梯度,导致岩块间的动力位移。在岩体中存在张裂的情况下,这种差异尤为明显^[6]。以上三种作用与地下水潮的潮差有关,一般说,潮差愈大,这些作用的总效应也就大。这大概是抽水诱发地震多发生于阴历每月初一、十五日前后和地下水潮潮差较大地段的原因。

这一结论还得到了抽水试验材料的证实。湖南省涟源钢铁厂供水井抽水试验报告中明确指出¹⁾:抽水量在16000米³/天时,井内水位下降,水质变浑,并在抽水井周围50米范围内不断地产生直径2—3米、深3—5米的塌陷;出水量保持15000米³/天、井水位稳定在

1) 曹之典, 湖南省涟源钢铁厂供水井水文地质勘探报告, 1978.

10.70米上下时,水转清,塌陷现象停止;若采用抽抽停停的方式抽水,即使出水量少于15000米³/天,水位在10.70米上下浮动,井水仍然浑浊,抽水井周围的塌陷现象仍继续发展。这就从另一方面证明了地下水面随时间如发生变化,也可促使地下平衡条件进一步破坏,诱发岩块运动。

矿区抽水诱发的地震活动与地下水潮在空时方面之所以有较好的相关性,还与抽水井周围形成一个较大的降落漏斗有关^{[5][6]}。首先是这个降落漏斗内的岩体受到了一个很大的动水压力和静水压力;其次,某些较大溶洞中的水被抽干后,顶板岩块失去了水的浮托力,并完全暴露在重力作用之下;其三,矿区大量抽水之后,地下水的流向和通道被改造。总之,它们使抽水矿区地下岩块的平衡条件遭到了不同程度破坏,其中一些处于一触即动的状态,因此加上一个地下水潮作用后即发生运动。未进行抽水的矿山,尽管也存在地下水潮的长期作用,但由于上一条件不具备,因此难于诱发地震活动。

五、问题讨论

下面就地下水潮的属性、形成条件、诱震能力等问题进行一些讨论。

1. 地下水潮的属性

关于地下水潮的属性问题,目前存在两种不同的认识。一些人认为它是固体潮的一部分,或是它的派生物^{[8][1]},笔者等人把它看成是和海潮相似的地下水潮。它的潮汐周期、潮型、潮相、潮候等和重力固体潮、海潮、气候基本一致,但另外一些特点又和它们存在明显的差别,表明它们之间既有共性,又有个性。若从形成机理上看,地下水潮和海潮一样都是由日、月等天体的引潮力使地壳产生弹性变形、水体被迫迁移的结果。海水面这种有规律的周期性变化,人们早已把它从固体潮中分离出来,并称之为海潮。地下水面这种有规律的周期性变化,尽管规模较小,水体迁移的距离较近,但仍应把它从固体潮中分离出来,并给予适当的名称,以反映其固有的性质和特征。

由于人们对它认识上的不一致,给予的名称自然存在极大的差别,如一些人命名为水位固体潮,另一些人称为体积潮等。这些名称既不直截了当,又不能反映事物的本质。为了避免这些缺点,同时和海潮相对照,采用“地下水潮”这一术语也许是较为合适的。

2. 地下水潮的形成条件

地下水潮的形成条件除日、月等天体的引潮力外,当地的地质构造、水文地质条件是最关键性因素。从目前已有的资料看,它主要出现在各类向斜盆地或类似构造地下水的承压区内。地下水承压区的底部和顶部多为渗水性极差的泥质岩层,而含水体的岩性一般较脆,断裂、节理发育,构成地下水的储存和运移条件。其次,这些构造“盆地”,地下水的来源极广,储量丰富。这一方面为形成地下水潮提供了丰富的水源,另一方面水储存于可以弹性变形的固体间隙中,增加了水对压力的敏感性。以上两个因素得到了日本金泽平原地下水面伴随地震波振动材料的证实^[9]。该平原地震时,不同观测点的地下水面是否产生振动及其振幅的大小,既与当地地下水的承压性、岩石渗透系数有关,又与其构成物质有密切联系。因此,我国地震系统在选择地下水观测孔时,应更多地注意这些因素。如过份强调观测孔的

1) 吴景云等,豫北地下水气异常的初步研究,油印本,1981.

深度,而忽略其构造部位和水源条件,往往会造成不应有的经济损失。就恩口等矿区的情况看,位于向斜槽部的观测孔,即使深度小于向斜两翼的观测孔,其地下水潮值多数大于后者。至于观测孔深度大于2000米以后,地下水潮差反而减小的问题,也很可能与这类观测孔的构造位置有关。若观测孔不是位于地下水的承压区内,或是未穿过丰富的含水地层,其效果也不会是很理想的。

地下水潮的形成条件和矿区抽水诱发地震的发生条件是一致的,研究它们不仅可以选得满意的地下水观测孔,而且可以用来粗略确定矿区抽水诱发地震的位置,因此是重要的。

3. 地下水潮的诱震能力

客观事实表明,地下水潮一年四季都存在,因此它全年都可以发挥作用,但以雨季的作用为最大。即使如此,仍需要有其他条件的配全,否则是无法诱发较大的地震。这是由地下水潮的规模不大,诱发力有限所决定的。前面已经指出,形成地下水潮的环境一般很小,且彼此孤立,因此对较大的塌陷地震或以构造应力为主要力源的水库地震均无法发挥作用。地下水潮诱发的矿山抽水地震,以引张型为主,这除与上面强调的因素有关外,还与地球的重力作用有密切联系。

在本文引用的实际资料中,有一些来自李佐海同志的论文;在修改过程中得到了我所朱淑霞、胡国庆付研究员和陈冬生同志的帮助,特此致谢!

(本文1983年9月24日收到)

参 考 文 献

- 〔1〕侯茂生,地下水位与固体潮关系的探讨,地震科学研究, 2, 1982。
- 〔2〕蔡祖煌等,北京洼里深井水位变化所记录的地球固体潮和地震波,地震学报, 2, 1980。
- 〔3〕蔡祖煌等,地震流体地质学概论,第三章,第一—三节,地震出版社, 1981。
- 〔4〕邹泉生等,降雨对井水位的“效应”,地震研究, 1, 1983。
- 〔5〕于品清等,水口山鸭公塘矿区1966年地震成因讨论,地震研究, 4, 1982。
- 〔6〕胡毓良等,抽水与地震,地震战线, 4, 1979。
- 〔7〕刘国清,关于诱发地震的本质,地震地质译丛, 4, 1980。
- 〔8〕地质科学院水文地质工程地质研究所科技组,伴随着地震发生的地下水头振动,水文地质工程地质, 5, 1976。

THE RELATION BETWEEN TIDE OF UNDERGROUND WATER AND EARTHQUAKE CAUSED BY PUMPING WATER

Taking the Enkou, Douzhushan, Qiaotouhe
and Shuikoushan Mining Area as Examples

Yu Pinqing

(*Institute of Seismology, State Seismological Bureau*)

Abstract

This paper includes three parts. At first, some characteristics of tide of underground water have generally been introduced, then, the relation between tide of underground water and earthquake caused by pumping water and the mechanism of induced earthquake have been proved from space-time behavior, finally, the three existing problems in the investigation on tide of underground water have been discussed.