

地下水位的地下核爆炸效应及其特征

车 用 太*

(国家地震局地质研究所)

提 要

为了探讨井孔地下水位微动态形成的机理,笔者曾对我国西北某地的两次地下核爆炸组织了井孔地下水位动态观测与研究,其结果表明核爆力和爆心岩体的破裂对地下水位都有相当明显的作用和反映。本文介绍了这两次试验观测的条件与结果,分析了地下水位核爆效应的某些特征,讨论了影响这种效应的地质-水文地质条件等。

一 观测条件

两次地下核爆炸试验(以下简称核爆)都是在竖井中进行的。第一次试验(简称I爆)时的爆炸埋深

性断裂(F_3 与 F_2),其间发育有小规模短轴褶皱构造,此外区内普遍可见X形节理发育。

观测场区发育有两类含水岩体:基岩裂隙含水岩组与断层或侵入破碎带含水带,均为潜水。这些含水岩体主要受来自西南方向的高山融雪水补给,地下水总流向为NE35—40°,水力坡度为9—20‰,主要以泉的形式排泄。地下水流由西南向东北流动时,遇到东西向发育的压性断层的阻割后,水位被抬高并在地形低凹处出露地表而成泉。基岩裂隙含水岩组的富水性较差,钻孔涌水量一般小于100方/日,但在破碎带含水带钻孔涌水量每日可达几百方。地下水的水化学类型多为 $SO_4-Cl-Na$ 型,矿化度为1—5克/升。矿化度在水平方向上由西南向东北逐渐变大,在垂直方向上由浅到深呈高—低—高的有规律变化。

为了监测地下核爆炸对地下水位的影响,在上述观测场区,选择了10个观测井孔(图1),I爆时5口,II爆时7口,其中两口是在两次试验中均做观测。每个井孔的基本特征,列于表1中。由表可见,这些井孔多位于爆心的西、南与东三个方向上,爆心距为0.65—12.5公里不等,井深最浅为7米,最深为830米,大多为200—400米,均为裸眼。井孔处于断裂的不同部位上。井孔单位涌水量为0.005—0.3567升/秒·米不等,含水层渗透系数为0.007—0.088米/日不等。

观测井使用的仪器是浮子式机械水位仪,连续自记,其精度不低于0.5厘米,跟踪速度大于3毫米/秒。

地下核爆炸试验前,各井孔均观测了几至十几天的正常背景动态。I爆前观测结果表明,除了J3井之外的四口井均处于水位趋势性下降状态,下降的日幅度随爆心距的增大而变小,其速率变化在2—40毫米/日,说明都受爆心竖井爆前抽水的影响,彼此之间有一定的水力联系。II爆前观测结果,没有发现井孔水位的趋势性变化,这和竖井不抽水有关。此外,十个井孔中有七个井孔水位显示出水位固体潮,最大日潮差可达15厘米,说明这些井孔具有较强的反映地壳应力应

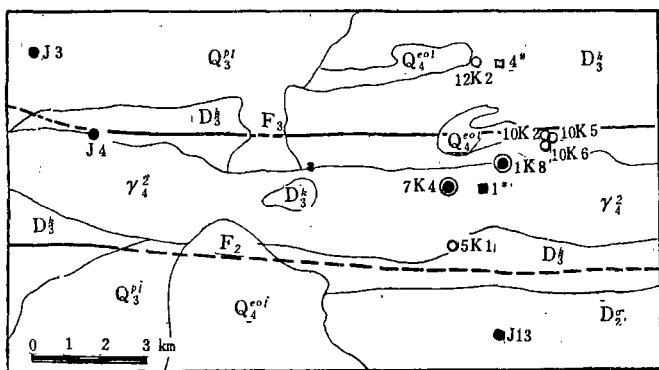


图1 观测场区地质背景及观测井孔分布图

1—第四系风积物; 2—第四系冲积物; 3—上泥盆统变质砂砾岩; 4—中泥盆统变质岩; 5—华力西中期花岗岩; 6—地层界线; 7—断层线; 8—爆心(I); 9—观测井(I); 10—爆心(II); 11—观测井(II)

约280米,是在花岗岩介质中进行。第二次试验(简称II爆)时的爆炸埋深200多米,竖井为钢套管护壁,是在变质砂岩介质中进行。

井孔地下水位动态观测场区的地质条件,如图1所示。场区位于近东西向伸展的山间凹地中,地形略有起伏,呈丘陵状。凹地内的低处地表多被第四系洪积物(Q_3^{pl})与风积物(Q_4^{col})所复盖,其厚度一般仅几米。在山丘顶部出露有上古生界碎屑岩系与华力西中期的花岗岩侵入岩体。区域构造线走向近东西,为断褶构造区,区内发育有两条主要为东西向高角度压

* 参加现场观测工作的同志有刘北顺、朱清钟、杨会年与郭一新等同志。

表 1 观测井孔特征表

序号	井孔名	试代	实验号	井孔位置		井孔结构		地质背景		水文地质背景		观测仪器型号
				方位	距离(公里)	井深(米)	井径(深度段(米)——井径(毫米))	含水层岩性	井孔构造部位	水位埋深(米)	井孔涌水量(升/秒·米)性(米/日)	
1	13K2	II		NW276	0.65	151.6	0 151 130 110	D ₃ ¹ 砂岩	距断层240米	7.95		红旗—1
2	10K2	II		SE148	2.17	400.14	0 165 400.14 130 110	D ₃ ¹ 砂岩	小断层端点	8.30	0.0098	HCJ—1
3	10K5	II		SE148	2.17	829.85	0 180 829.85 91 76	D ₃ ¹ 砂岩	小断层端点	8.44		SWG—1
4	10K6	II		SE148	2.17	400.63	0 180 400.63 130 110	D ₃ ¹ 砂岩	同上	8.06		HCJ—1
5	1K8	I II		NE28 SW181	0.72 2.53	292.5 205.3	0 105 220 292 150 120 110	D ₃ ¹ 砂岩、砾岩	距侵入带100米	2.95 3.34	0.3567	SZ—1 SW—20
6	7K4	I II		NW285 SW205	1.10 3.40	247.0 241.0	0 85 247 150 130	γ ₄ ² 花岗岩	距侵入接触带400米, 距小断层端点150米	14.90 14.75	0.0051	SSJ—1 SW—40
7	5K1	II		SW194	4.77	501.0		γ ₄ ² 花岗岩	距F ₂ 260米	33.75	0.0095	SW—40
8	J13	I		SE179	3.60	347.0	0 150 329 347 150 130 110	D ₂ ¹ 砂岩,石英岩	背斜轴部	23.6		红旗—1
9	J4	I		NW278	10.5	7.0	0 10 150	γ ₄ ² 花岗岩	距侵入接触带50米	5.75	0.0085	SW—40
10	J3	I		NW287	12.5	357.0	0 143 291 357 150 130 119	D ₃ ¹ 砂岩		28.00	0.0107	红旗—1

变状态变化的能力。

二 爆时动态及其分析

爆时井孔地下水动态的基本特征是水位突升。

I 爆时在二口井, II 爆时在六口井得到水位突升的记录。突升的时间,基本上和核爆的零时一致。突升的幅度各井不一,以 II 爆为例,最大幅度可达48厘米,一般为零点几至几厘米。突升的过程短时仅延续几分钟。长时可达1—2小时。图2所示为II爆时取得的突升曲线。

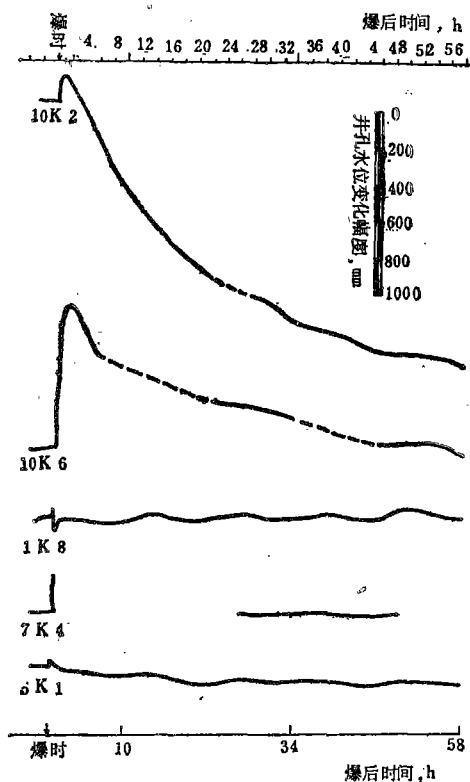


图2 II爆时及后井孔水位动态曲线

这种井孔水位的突升现象,笔者认为含水岩体受压变形的表现。地下核爆时,由于强烈的热核反应,爆心岩石汽化而形成空腔区,其中的压力可高达 $n \times (10^8 - 10^{12})$ 帕斯卡,与此同时发出强大的冲击波,从而使外围岩体受较大的压力作用,近处岩体被压碎、破裂,距爆心约 $60 \times W^{1/3}$ (W ——核爆当量)以外的岩体则发生弹性压缩变形。我们选择的观测井孔,均处于弹性压缩变形带内。因此,井孔所在区的含水层爆时必须经受这种压缩变形,其孔隙度相对变小,裂隙中的水被挤出,从而表现出井孔水位上升。由于爆心空腔内的强大压力在不足几分钟的时间段内将迅速衰减,因此被抬升的水位也就会很快下

降。

由上可见,井孔水位突升量的大小,首先应和井点所受的压力大小有关,而这种压力主要取决于井点的爆心距。观测结果表明,突升量大小确表现出有随爆心距的增大而变小的趋势。以II爆为例,爆心距为650米的12K2井水位突升48厘米,而4770米处的5K1井水位仅升0.2厘米;以I爆为例,突升现象仅发现于爆心距小于1100米的两个井孔中,而3600米处及其以远的井孔中则均未发现这种现象。

在这一总规律的背景上出现了一些复杂情况,说明井孔水位的突升量大小还与其它因素有关。如图2所示,爆心距相等的10K2与10K5两口井(彼此仅相距十几米),井深也都是400米,但突升量却相差5倍之多;1K8井的爆心距虽较7K4井小,但前者的突升量却比后者小5倍。为了弄清造成复杂局面的原因,笔者假定观测场区为均匀的弹性介质的前提下计算了各井点上核爆引起的压应力变量,并把这种地应力按已知的比例关系换算成变形引起的孔隙压变量(用等效水柱高度表示);然后把井孔中实测到的水位变量与计算求得的孔压变量相比而求出各井孔水位对核爆的响应比;再把各井孔的响应比和相应的地质-水文地质背景条件、井孔结构特征等进行对比分析。

核爆引起井点压应力变量的计算,笔者采用了三种不同的方法进行了试算。试算结果,按压力隧洞围岩应力计算方法(Jaeger, 1972)求得的数值和矿山爆破时爆心外围岩体应力计算方法(Coates, 1970)求得的数值比较接近,而按有限元计算的结果(高维安, 1985)和前两组数值相差很大。本文采用Coates法计算的结果。依此求得的各井孔理论孔压值、实测水位突升值及响应百分比值列于表2中。为便于对比分析,把响应比大于0的六个井孔按其顺序给定了分数(最大为6,最小为1)并列于该表中。

值得指出的是,1K8井中两次核爆时记录到的水位突升值分别为60毫米与4毫米,但经按上述方法求得的响应比分别是3.5%与4.0%,两者相当接近。这样的结果说明了响应比在一定程度上作为评价井孔反映能力的指标的合理性。

地质学家们认为,断层对地应力的分布与调整起重要控制作用,尤其是断层的端点、交点与拐点等是应力易集中的部位。如果这一说法是成立的,那么处于这些部位上的井孔水位的突升量也应有些异常,但观测到的事实并非如此。上述六个井孔中,处于断层端点上的两口井,响应比的顺序分数之和是8分,平均4分;距断层不超过100米的一口井,顺序分数为1;距断层远于100米的三口井,顺序分数之和为12

表 2 井孔水位对核爆压力响应百分比计算结果

井 孔	12K2	10K2	10K6	1K8	7K4	5K1	J4	J3
理论孔压 (毫米)	224	110	110	75	37	16	2.2	1.4
水位突升值 (毫米)	480	15	80	4	20	2	0	0
响应百分比	21.43	1.36	7.27	0.53	5.41	1.25	0	0
响应比顺序分数	6	3	5	1	4	2	0	0

分, 平均 4 分。显然, 还看不出断层的控制作用。

同样按上述方法评议含水层岩性在响应比上的反应。砂岩含水层中的四个井孔, 积分共 15 分, 平均 3.75 分; 花岗岩含水层中的二个井孔, 积分共 6 分, 平均 3 分。由此看来, 砂岩中井孔的响应比高于花岗岩中井孔。这可能与砂岩的孔隙率 (0.85—2.80%) 高于花岗岩的孔隙率 (0.80—2.60%) 有关。笔者曾用饱和的岩土模拟试件进行了变形与孔隙压力关系的室内试验研究 (1984 年), 其结果表明孔隙度高的试件的孔隙压力参数 ($B = \Delta u / \Delta \sigma$, 孔压变量与轴向应力变量之比) 比孔隙度低的试件大。看来, 室内试验与野外试验所得到的认识是一致的。

含水层-井孔系统的导水能力和井孔响应比的关系, 列于表 3 中。由表可见, 两者的关系并不明显。这可能是因为含水层为潜水含水层, 其受压后水的运

表 3 含水层-井孔系统的导水能力
与井孔响应比对比

井 孔	响应比 (%)	导 水 能 力		
		渗透系数 (米/日)	含水层厚 (米)	导水系数 (米 ² /日)
10K2	1.36	0.014	392	5.488
1K8	0.53	0.088	202	17.776
7K4	5.41	0.015	226	3.390
5K1	1.25	0.037	467	17.279

动以垂向为主, 不象封闭的承压含水层中那样, 以水平向流动为主的缘故。

综上所述, 井孔水位对地下核爆引起的压力作用有明显的力学响应; 这种响应的程度主要取决于爆心距远近, 其次和含水层的孔隙度有一定关系; 它们和井孔构造背景的关系不明显, 和含水层-井孔系统的导水能力的关系也不清楚。由于所观测的井孔数量有限, 对上述问题的认识还有待于进一步充实。

三 爆后动态及其分析

爆后井孔水位动态的基本特征是经历急速下降与缓慢回升两个阶段 (图 2, 3, 4)。

导致这种动态的原因, 主要是爆心空腔的倒塌。如前所述, 核爆时爆心外形成了汽化区、压密区、压碎区及松动区等, 待爆后几十秒至几十分钟的时间外, 由于热核反应早已结束, 爆心高压急速衰减, 导致空腔的倒塌与外围岩体的破碎。这个直径可达几百米的巨大破碎空腔带, 一方面造成了地下水流的汇聚中心, 使外围地下水流向此处, 另一方面产生了新的水力坡度, 据粗略估算, 这个坡度可高达 30—300‰, 使地下水流的速度大为升高。此外, 爆心空腔的倒塌, 使弹性变形带岩体相对受拉张作用, 使原来受压岩体转为受张, 由此引起裂隙的相对开张。这些原因, 导致了爆心外围地下水急速向爆心汇聚, 从而表现出井孔水位的急速下降过程。然而, 倒塌过程的

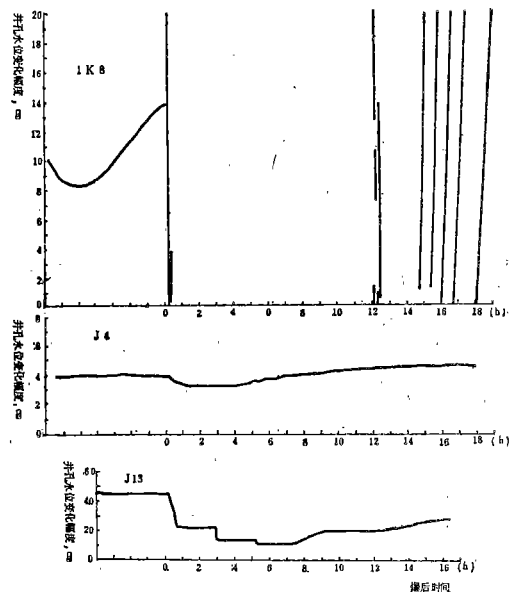


图 3 I 爆时及其后井孔水位动态记录曲线

表 4 爆后各井孔水位急速下降阶段的特征参数表

观测试验代号	I 爆				II 爆				
观测井孔	1K8	J13	J4	J3	10K2	10K5	10K6	1K8	5K1
起始时间(爆后小时)	0.08	<1	<1	<1	1	<1	2	<1	<1
持续时间(小时)	13.5	7	2	>30	>71	>3	>70	<1	7
下降幅度(米)	>10	0.33	0.007	0.06	>1.65	>4.55	>0.95	0.11	0.007
下降速度(厘米/分)	1.23	0.079	0.006	0.003	0.039	2.528	0.023	0.183	0.002

发展是有限的,提供储水的空隙容积也是有限的,随着地下水流的汇聚,爆心水位抬高,外围区的水力坡度逐渐变小,与此同时区域地下水流的补给,地下水位的下降速度由快变缓,直至转为回升。由于试验场区地处于旱水文地质区,地下水流的补给过程相当缓慢,其结果表现出井孔水位的回升过程也十分缓慢。

根据图2和图3资料,求得各井孔水位急速下降阶段的特征参数,列于表4中。

水位下降起始时间,由于记录仪器本身的时间“服务”精度不高,无法精确地进行分析。但大体上可以分析出,各井孔的起始时间由几分钟至几小时不等,但多数不超过1小时,一般说来,爆时突升量大的井孔中起始得晚,突升量小的井孔起始得早。

下降的幅度,主要和爆心距有关。距爆心近的井孔中,爆后一、二天内可达十几至几十米,然后随爆心距的增大下降幅度逐渐变小。然而,下降的幅度还和井孔深度有关,如II爆后同处一个爆心距上的10K2、10K5、10K6三口井中,井深大的10K5井的下降幅度均比其余两个浅孔大;又如I爆后的J4与J3井,虽前者爆心距小于后者,但因井浅,水位下降幅度明显小于井深的后者。此外,下降幅度似乎还和构造背景有关,和爆心同处一个构造单元上的井孔水位下降幅度要比其它井孔的幅度相比起来,略显大。

下降持续时间,主要取决于下降幅度,幅度大的井孔中下降过程持续时间相对要长。爆后水位下降的井孔分布范围,从下降幅度随爆心距的增大而变小的趋势推算不超过15公里,距爆心23公里处的观测井孔水位对爆炸毫无反映的事实也可加以证明。

由于受工作时间的限制,各井孔水位回升阶段的水位动态记录取得不多。在距爆心几公里外的井孔

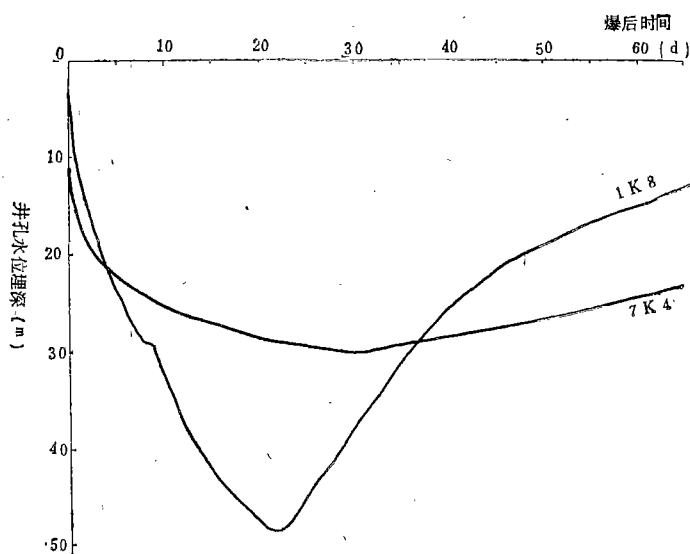


图 4 I 爆后两口井水位动态曲线

中,爆后一、二天内就记录到较为完整的水位回升曲线(J4、J13井)。由此可见水位回升的速率远比下降速率小,故回升过程也持续较长。如J4井中下降过程持续约2小时,但水位回升复原时间却经历了约6小时;又如J13井水位下降过程持续约7小时,但回升7小时时间后水位距原水位还相差约20厘米。

另据西北某基地提供的资料,不是均匀下降过程,而是升降交替的下降过程,爆后约13.5小时虽已由下降状态暂变为回升状态,但爆后第二天又处于下降状态(图3、图4),一直到爆后20天才开始正式转为回升阶段。图4中水位回升的速率明显低于下降的速率,回升过程持续很长。以1K8井为例,爆后65天,其水位比原水位还低20%,7K4井则低70%。据前人另一次核爆观测结果,爆心附近的井孔水位经爆后280天才可恢复到原水位。

综上所述,爆后井孔水位动态表现出急速下降与缓慢回升两个基本过程;前一个过程是爆心空腔倒塌

的表现, 后一个过程是区域地下水流补给引起的。这类井孔水位变化特征, 取决于爆心距大小、井孔深度及区域地下水补给条件等。

四 几点认识

经过两次地下核爆炸的井孔水位动态观测与研究, 得到如下的初步认识。

(1) 核爆引起的井孔水位变化, 在近场经历突升—下降—回升三个过程, 在远场经历下降—回升两个过程。

(2) 核爆引起的井孔水位突升现象, 反映了含水层爆时受压变形的效应。这一效应说明了基岩裂隙潜水含水层中的井孔水位具有反映地壳应力活动的能力。这种能力的大小, 主要取决于井孔距力源的距离, 同时还和含水介质的孔隙度有关。

(3) 核爆后井孔水位的急速下降现象, 反映了爆心空腔的倒塌与外围岩体的松动效应。出现这种效应的井孔分布范围约比受压变形效应的井孔分布范围大一至二倍。这可能说明了井孔水位对地壳拉张的反映能力强于对地壳压缩的反映能力, 对于地壳破裂的反映能力强于对地壳变形的反映能力。

这种认识, 对于地震地下水位微动态形成机理的理解, 及对于地震地下水位动态观测井的选择和揭示, 为什么地震地下水位前兆异常形式以下降为主, 前兆异常出现时间以短临为主的问题, 都是十分有益的。

主要参考文献

- 〔1〕 王敬立等, 1983, 地下核爆炸引起地下水异常运动规律的初步探讨, 水文地质工程地质, 5期。
- 〔2〕 陆岩, 1980, 地下核爆炸的物理地质效应, 水文地质工程地质, 5期。
- 〔3〕 朱林等, 1982, 初载下石英微观形变研究及其应用, 地球化学, 4期。

其应用, 地球化学, 4期。

〔4〕 车用太等, 1985, 井孔水位微动态形成机理的探讨, 地震地质, 7卷3期。

〔5〕 车用太, 1985, 地震地下水位观测井的最佳条件讨论, 地震, 6期。

〔6〕 Jeager, J. C. et al., 1976, Fundamentals of Rock Mechanics (2-nd edition), Chapman and Hall Ltd.

〔7〕 Coates, D. F., 1970, Rock Mechanics Principles, Mines Branch Monograph 874.

〔8〕 Joseph, B. K. et al, 1965, Analysis of Groundwater Anomaly created by an Underground Nuclear Explosion. «J. G. R.» Vol. 70. No 4.

RESPONSE OF GROUNDWATER LEVEL IN WELLS TO UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSION

Che Yongtai

(Institute of Geology, State Seismological
Bureau)

Abstract

In order to inquire a mechanism of microbehaviour of groundwater level in wells, the writer observed and studied underground nuclear explosion induced fluctuation of groundwater level in some wells in the North-West China. The results suggest obviously that the change of groundwater level in wells responds to the nuclear explosion force and the rock fracturing in explosion centre. In this paper, the observation conditions and results are presented, some response characteristics are analysed, and the geologic and hydrogeologic conditions of well-aquifer systems influencing the responses are discussed.

“上海地下含水层储能技术与应用研究”通过评审

评审验收会于三月二十一日至四月四日在上海召开。会议由地矿部科技司主持。

含水层储能是一项投资少、收益大的节能措施, 不仅节电、省煤、节水、调整用电负荷、工程费用低, 收效快、管理方便, 而且对控制地面沉降起了积极作用。上海纺织、轻工、印染、化工、宾馆及影剧院等行业, 夏季用于空调降温、冷却洗涤, 每年以“冬灌夏用”井中抽出约1000万米³低温水, 与使用氨冷冻机相比, 可节电3374万度; 每年从“夏灌冬用”井中抽出约400万米³热水, 用于采暖调湿及锅炉用水, 可节省880万吨标准煤。纺织系统受益最大, 能量的三分之二取自地下水。1985年抽水量850万米³, 比天然井水增加冷量

850亿大卡, 节电2550万度, 节省制冷机械投资4000万元。

为了总结上海地下含水层储能的经验, 总结较完整的回灌技术工艺, 深入研究含水层储能的机制理论, 提高含水层储能利用效果, 指导含水层储能工作的全面开展, 地矿部将“上海地下含水层储能技术与应用研究”列为重点科技攻关项目, 实行生产、教学、科研三结合, 在有关方面大力协作下, 通过建立储能试验场、试验点, 进行了不同灌采周期的试验研究, 得到了多项技术参数, 编写了八个分课题的研究报告和二十多万字的总结报告, 取得了重要成果。

(袁兆盾)