

上海地区浅层气地质灾害评估

冯铭璋¹ 季 军²(¹ 上海见智审图咨询有限公司 200071, ² 上海市隧道工程轨道交通设计研究院 200072)

摘 要 软土地层中的浅层气是一种矿产资源,也是一种地质灾害源。上海地区随着地下工程广泛兴建,其灾害评估为人们所重视。浅层气源于 mQ_4^2 淤泥质粘性土生气层中有机质的分解作用,储存于该地层上覆、下伏及中部所夹的粉细砂、贝壳砂等储气层中。在上海地区,浅层气的灾害影响将越来越小。

关键词 浅层气 储气层 生气层 地质灾害 有控放气

上海地区浅埋的淤泥质粘性土的上覆、下伏粉性、砂性土中有时存在着可燃气体,其气压、气量各异。早期的地质工作多作为一种矿产资源进行研究以供开采利用。自 20 世纪 80 年代以来,由于各类地下工程的广泛兴建,人类环境工程意识的增强,尤其是发生过几次相关的工程事故后,人们更注意它对工程的灾害性影响。正确认识其矿产资源和地质灾害源的两重性,客观如实地、有针对性地评估其对未来工程的灾害性影响,选用合适的防治措施,是本市岩土工程当前应解决的问题。

杭州湾地区属长江三角洲南缘,第四纪地层和本市十分相近。在前几年进行的杭州湾大桥勘探过程中,不少勘察设计单位会同有关科研、教学机构曾一起开展过研究,其成果值得借鉴(图 1)。^[1]

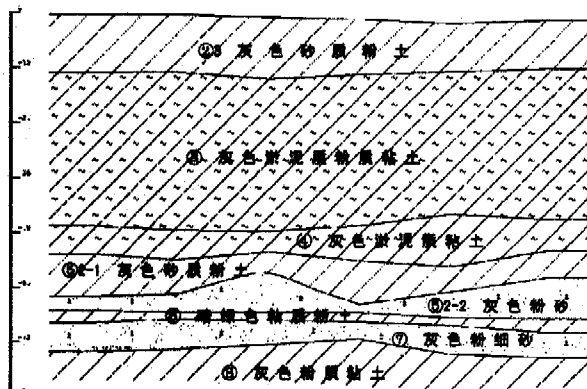


图 1 杭州湾浅部地层示意图

Fig. 1 Sketch section in Hangzhou Bay (part)

1 浅层气的自然地质规律

长江三角洲地区的浅层气埋藏于全新世中晚期海相堆积的淤泥质粘性土的上覆、下伏的粉性土中,

在本市勘察规范中为②、③₂、③₃、④₂、⑤₂等不同层次。这些以粉性土、粉砂为主的地层有良好的储气空间,为浅层气的“储气层”。全新世中晚期海相堆积粘性土中富含有机物(动、植物),在还原环境下经厌氧菌的分解作用,析出大量以甲烷为主的气体,甲烷含量最高可达 96%,油气工作者称之为“生气层”。在近 6000 年漫长的地质历史时期中,所析出之气体不时地向周围粉性地层的孔隙中运移、积聚,包括在生气层中的贝壳砂、粉细砂夹层、透镜体均可成为气体积聚的空间。形成气压、气量不一的可燃性气体。有石油地质工作者认为,长江三角洲平原地区 $Q_4^2 \sim Q_4^3$ 淤泥质土分布地区普遍地存在有浅层气。

已有资料表明,浅层气形成于全新世中晚期至今,主要埋藏于全新世粉性土、粉砂中,深度较浅,以往有天然气、沼气、浅层气、浅层天然气等多种提法。前几年在杭州湾大桥勘探时,不少专家提出统一称为“浅层气”的建议,以有别于目前沿海油气田勘探的天然气层,得到普遍认可。为此,笔者亦建议在上海地区工程活动中,对它也统一称为“浅层气”。

本市油气地质工作者对我国东部沿海浅层气的形成、分布规律进行了长期广泛的研究,曾总结浅层气在上海地区的平面分布规律^[2],认为主要分布于本市东部的(原)川沙、南汇、奉贤、上海、宝山等县,

收稿日期:2006-08-18

第一作者简介:冯铭璋,男,1942 年生,教授级高工,主要从事岩土工程研究、工程评估及工程监理等工作。

在市区和崇明等地亦存在,向市区西南呈有规律地减少直至消失的趋势,仅在金山、松江、青浦等县东部少量存在。这是由于上海地区古、全新世中晚期海浸的堆积物集中分布于今嘉定、外冈至漕泾一线,即古贝壳砂堤“冈身”以东地区的原因。其西侧几乎不存在上海市区的④层流塑状态、富含有机质的淤泥质粘土和③层淤泥质粉质粘土层。

有人将浅层气含气层分为埋深不同的三层,或按其平面分布情况进行分区^[3]。结合众多的上海地区勘探资料分析可知,浅层气含气层实际上有上海市勘察规范统编的②₃、③₂、④₂、⑤₂层。在硬土层缺失区,⑤₂层直接与⑦层砂叠合且气量较大时,⑦层也可能是含气层。其中③₂层空间分布较稳定,近似呈面状分布。⑤₂层为溺谷相堆积,呈沿“古河道”分布的条带状。②₃层多属黄浦江、苏州河海相堆积,在复兴岛以南沿黄浦江和苏州河两侧分布,向下游则以厚层面状覆盖于淤泥质土层上,它虽有丰富的贮气空间,但往往因上无良好的封闭盖层,不能使浅层气长期存在。④₂层及③、④层中的粉性土夹层虽然在空间分布上不很稳定,大多呈透镜体状,但处于富含有机质的淤泥质土生气层的包围之中,浅层气可能从周边源源不断注入,使之成为空间分布很不规则但其气压、气量悬殊的含气透镜体。

矿产地质工作者曾于上世纪90年代初总结了上海地区浅层(沼)气的资源特征,归纳为三个不同的含气层位,相当于③₂、③_夹、⑤₂和⑦层,并统计出前者单井日产气量为50m³~100m³,⑤₂层埋深多在30m以下,空间分布有限,单井气量不大于150m³/h,⑦层砂中气的分布更为有限,估计C1+C2级储量为9000余万m³,并认为在1991年前已有6000余万m³被开采^[2]。该储量的动态判断提示了一个问题,即浅层气在上海地区由于人类的开采或无意的人为排放(主要是钻探施工),其储量正急剧减少。1958年“大跃进”期间的全民找气、全民采气的群众运动,使上海地区浅层气尤其是30m以浅的③层(含④层)土中的浅层气已大量排放,也使该次大范围普查勘探和开采工作以开发利用价值不大而告终。而廿世纪八十年代以来的城市建设,使上海浅部地层已“千疮百孔”,其勘探孔深度多深达50m~60m。同期,深基坑、隧道等局部人类地下工程活动也成为集中排气活动。以上两次集中放气活动的

结果是上海地区的浅层气大多已排放殆尽。

以上认识也可见证于以下事实:

(1)近廿年来陆域高密度的勘探钻孔、静力触探孔施工中,除个别孔存在轻微井喷、冒气情况外,一般均无浅层气存在的反映,尤其是市区。但在市郊或以往很少勘探地区有浅层气存在反映,在轨道交通7号线大场机场附近施工时,就有一静探孔见少量排气,有人随意地点火引燃后,套管口小火持续燃烧近一星期。

(2)由市郊向外延伸的崇明越江通道勘探中,由外高桥五号沟至长兴岛的隧道多期勘探均无明显的浅层气存在迹象。为避免其对江底大口径盾构推进施工的危害,2005年在水上物探推断存在浅层气区段专门沿线布置了孔距仅25m的高密度排气孔,结果亦未遇气。但是在由长兴岛至崇明陈家镇的大桥勘探中就遇到了高压浅层气,曾有钻孔连续外喷廿余天,孔内气液最大喷发高度达十余米。

(3)近年施工的大量地下铁道和众多的其他用途的深基坑、隧道工程,除90年代初合流污水治理工程竹园排放口隧道顶管施工发生重大工程事故外,其余地下工程包括深基坑工程未闻由浅层气导致的工程事故。

2 浅层气的地质灾害及防治

在上海地区浅层气引起的工程地质灾害见于工程勘探和工程施工两大方面,由于浅层气埋藏于一定深度,且目前其气压、气量均多受人为影响大幅度减少,似对其危害性的评估应当是局限于深及二、三十米的地下工程为主,应持既确保安全,最大程度的防治,又要防止局限于历史资料和认识,造成过分强调的盲目性。

可能由浅层气引起的工程灾害似可分为以下几种类型:火灾、工程钻探施工灾害、桩基工程灾害、地下空间施工工程灾害。

2.1 火灾

已有众多的分析资料证明浅层气为典型的未受重大次生作用影响的原生甲烷生物成因气。为以甲烷为主的可燃性气体,甲烷含量占85%~99%,不含乙烷的重 $\delta^{13}C_1$ 值所占比例极少(-66‰~-85‰)。下表为一勘探孔浅层气成分分析结果。

表 1 某勘探孔浅层气成分分析报告

Tab. 1 Compositions of shallow layered gas (one sample)

气体主要成分/%					$\delta^{13}C_1$
CH ₄	N ₂	CO ₂	Ar	He	(PDB;‰)
96.99	1.09	1.73	-	-	-66.03

可燃的浅层气外溢、释放时遇火星极易引起火灾。近年此类火灾当以杭州湾大桥水上勘探中近南侧某孔施工时发生孔口燃烧为最。由于断续喷发的浅层气压力甚大,在伴同井中泥沙和水呈间歇性喷发的同时,不时地将留置于孔内的钻具顶起后又下落,孔口套管发生摩擦产生火星,引燃了在孔口积聚的浅层气。当前,钻探施工是本市最常见的可能触发浅层气火灾的原因,应做好充分防备,如井口不准抽烟、火种远离,并备足重晶石粉、泥球、黄沙等封堵材料和消防设备,杜绝勘探生产中由于浅层气导致的火灾。

在沉井、深基坑、盾构隧道等地下工程施工时,宜先查一下已有勘察资料,施工前采取钻孔有控放气措施,注意不规则的“蜂窝状”存在于③、④层淤泥质土的贝壳砂、粉细砂夹层中的浅层气。

2.2 工程钻探施工灾害

当浅层气量较多、气压较高时,其间歇性喷出势必冲毁孔壁,发生孔内坍塌事故,若处理不及时会导致埋钻事故。这对于目前在上海常用的 30 型小动力钻机而言是一个潜在威胁。一般情况下宜迅速停止钻进,待气体自然溢尽后继续钻进。

在杭州湾大桥水上勘探中搁滩施工时,曾遇气体断续喷溢将钻探船频繁抬起后坠落,使粉细砂发生液化,整条钻探船被粉细砂整体掩埋。所以,在可能存在浅层气处水上钻探时不能将钻探船搁置于易液化的粉细砂层上进行搁滩施工!

按习惯要求,施工钻探终孔后应回填封孔。但遇浅层气情况,似以不封孔为好,这样可为浅层气自由排泄提供通畅的通道。当然,应避免不封的钻孔有可能成为地下水向未来地下工程空间汇聚的通道。

2.3 桩基工程灾害

桩基工程灾害包括施工灾害和运营过程灾害两方面。

各种预制桩施工,对储气层中的浅层气主要是挤密和向周围挤压运移作用,一般不会出现施工灾害。大口径钻孔灌注桩由于其施工口径甚大,可达

钻孔口径的 10 倍,有可能使下伏储气层中浅层气短时集中喷溢,在井口易发生火灾。大量的高压浅层气向井口喷溢过程中,连同一起带出的泥砂对孔壁剧烈冲刷引起大面积坍塌,使未来灌注桩形十分不规则,贯入度明显偏大;另外大面积坍塌殃及地表,使孔口施工设施甚至人员坠入深坑,导致重大灾害事故。故在杭州湾大桥勘察报告中建议在浅层气可能存在的地段,灌注桩施工前先于其中心施工小口径钻探,以探摸地下砂层含气情况,并作为存在的浅层气的有控放气通道。

含浅层气的砂层为典型的由气、水、固态组成的三相非饱和土。在桩基运营过程中将存在由于其中气相部分压缩向周围运移而导致的桩基持力层的负摩擦作用,承载力降低及桩基沉降等问题。对于后者,在杭州湾大桥勘探过程中中科院武汉岩土力学所进行了较多的研究工作,通过对非饱和土固结试验,获得了含浅层气粉细砂土的变形参数。基于双变量理论分析和计算,认为含气砂层浅层气的缓慢释放会引起砂层的沉降,沉降量和含气砂层的初始密度、厚度及初始气压相关。其中与厚度、气压为主相关关系,与初始密度为副相关关系。并推断在正常有控放气情况下引起砂层总沉降量为砂层总厚度的 1‰~0.2‰。如当含气砂层厚 20m 时有控排气后产生沉降量仅为 4mm~20mm,即对于桩基由于桩下浅层气溢出导致桩基沉降量甚微。对于桩侧含气层,尤其是在上海地区因其气量不大,气压甚低,因此从数量上而言,可能产生的负摩擦力及对桩基承载力影响似不明显。唯大口径钻孔灌注桩需以专门关注,如进行事先放气处理,此影响亦可降低甚至消除。

2.4 地下空间施工工程灾害

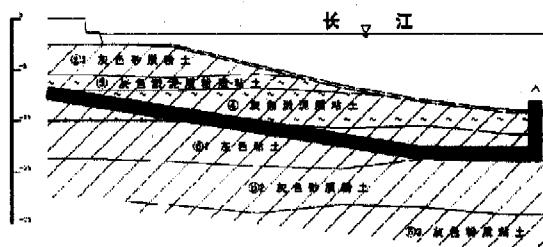


图 2 外高桥污水排放口示意剖面图

Fig. 2 Sketch section in Waste Water Discharger in WaiGaoQiao

当地下工程施工揭露含气砂层时,会发生浅层气集中外溢情况;当施工底标高接近含气砂层时,也会发生浅层气在压力作用下顶破底板外溢的情况。

所有这些均将导致地下工程施工事故,除易诱发火灾外,大量气体连带泥水喷溢会引起地下空间边界失稳,使沉井、基坑被掩埋,隧道空间扭曲、破损甚至迅速坍塌损毁,还极易造成人身事故。近年在上海,以竹园污水排放口顶管隧道事故最为典型(图2)。

由图2可见,直径达4m的污水排放管道由盾构作业由陆向长江水下铺设,近岸段,穿过②₃层不含气的粉性土后进入③、④层软土层,淤泥质“生气层”中无明显含气砂透镜体,推进正常。待推进至江底段排水口附近时,隧道在⑤₁层粘性土中推进,底板标高十分接近下伏含气层⑤₂层砂质粉土顶板,因隧道局部“储气层”之上⑤₁层厚度不足以抵御⑤₂含气层上顶压力,导致底板突涌,浅层气连同泥水向顶管隧道内突然涌出,使隧道坍塌、变形,酿成重大事故。

浅层气灾害的机理实际上比较单一,据吕少伟等^[4]进行的分析,在宏观上多表现为地下空间坍塌并殃及周围环境。对于类似工程事故的防治措施中,借用深层油气田勘探时用重晶石粉泥浆压井防喷施工措施。笔者认为,在气压不大的情况下尽量少用。因为工程勘察和油气田勘探不同,后者作为地质资源在勘探时还有油气资源保护的要求,以利勘探后开采、利用。前者能予排除的就应及时处理,必要时可在勘探分析基础上采用有控放气措施。在分析中应注意浅层气的分布规律:

(1)浅层气多分布于含气层顶部,当含气层顶板有明显起伏时,应将顶板突起部位作为勘探和排气处理的重点

(2)储气层除呈大片层状分布外,也有可能在淤

泥质粘性土中呈透镜状贝壳砂层、粉细砂层中存在,虽其气量不大、少补给源,但瞬时气压可能会很大。

(3)注意储气层中浅层气的侧向运移补给特点,在预估气量的前提下,采取有针对性措施使之在短期内基本释放完毕。

3 结语

(1)浅层气具有地质资源和地质灾害的两重性,在上海地区其工程灾害尤应重视。

(2)浅层气赋存于粉细砂、贝壳砂等储气层中,多为以甲烷为主的可燃性气体,气量气压不等。在上海地区尤其是市区历经开采、工程勘探地段,其气量基本已释放完毕,但在东部水域及未开发地区可能还存在,需注意其工程灾害。

(3)应在勘探施工中注意浅层气的灾害影响,包括火灾及对施工环境及地下工程的破坏。在重点地段应分析掌握浅层气分布规律,一般可在工程施工前以钻孔有控放气方法提前处理。

参考文献:

- [1]项培林、成利民、王如金 浙江省三北浅滩浅层天然气地质灾害 中国地质灾害和防治学报[J] 2005年6月 p.38
- [2]张宏良、刘若愚 上海地区地下资源和地质环境概论 上海地质[J] 1991-1 p.1
- [3]吕少伟、唐益群 上海地区浅层气沼气地质危害分区探讨 上海地质[J] 2000-3 p.25
- [4]吕少伟、唐益群、叶为民 上海浅层气工程灾害机理试验研究 岩土工程学报[J] 2000-6

The Geological Hazard Evaluation By Shallow Layered Natural Gas In Shanghai Region

FENG Minzhang¹ JI Jun²

(¹Shanghai Jian Zhi Architectural Consultancy Co. Ltd. 200071

²Shanghai Tunnel Engineering & Rail Transit Design Institute 200072)

Abstract: The shallow layered natural gas contained in soft strata is either mineral resource or geological hazard. Now the hazard appreciation is paid attention extensively in Shanghai. The shallow layered gas geneted by organic decomposition in silty clayed strata (gasgenic strata) and reserved in sandy strata (gas reservoir) layered near silty clayed strata. In Shanghai region, the hazard's influence will decrease more and more.

Keywords: shallow layered natural gas, gas resevoir, gasgenic strata, geological hazard, confrolled discharge of gas