

DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.202004057

嘉甬跨海高铁大桥工程浅层气地质及灾害防治分析*

李好强^{1,2}, 王勇², 雷学文¹, 来向华³, 陈楷文^{2,4}

(1. 武汉科技大学城市建设学院, 湖北 武汉 430065; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所岩土力学与工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430071; 3. 自然资源部第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012; 4. 桂林理工大学土木与建筑工程学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 浅层气的存在严重影响海底地层的稳定性。嘉甬跨海高铁大桥修建前期, 在对海盐西线位进行初勘过程中, 桥位中心海域频繁遭遇浅层气。在勘探、物化试验分析等基础上, 探讨了桥位浅层气富含区域的水文地质条件、地层沉积及浅层气分布和成因, 分析了大桥工程建设各阶段可能遭遇的浅层气灾害及相应的防治措施。研究表明, 该区域地层水主要为第四系松散岩类孔隙水, 含气土层为第四系全新统至下更新统冲海相黏性土及砂土, 其中砂土层为主要储气层, 气体属于典型的未受重大次生作用影响的原生型早期生物成因气; 提出跨海桥梁工程浅层气地质灾害的防治措施, 可为浅层气海域的海洋工程防灾减灾提供参考。

关键词: 高铁大桥; 工程地质; 海底浅层气; 地质灾害; 海洋工程

中图分类号: TU42 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2022)01-0216-08

Engineering Geological Conditions and Shallow Gas Hazard Analysis of Jiayong Cross-sea High-speed Railway Bridge

LI Haoqiang^{1,2}, WANG Yong², LEI Xuewen¹, LAI Xianghua³, CHEN Kaiwen^{2,4}

(1. College of Urban Construction, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430065, China;

2. State Key of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese

Academy of Science, Wuhan 430071, China; 3. Second Institute of Oceanology, Ministry of Natural Resources,

Hangzhou 310012, China; 4. College of Civil Engineering and Architecture, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: The stability of the seabed stratum is significantly affected by the shallow marine gas. In the early construction stage of Jiayong Sea-crossing High-speed Railway Bridge, Jiangsu province, shallow gas is frequently encountered during the preliminary geological survey of the Haiyan West Line. Based on the geological exploration and physicochemical test analyses, this work discusses the hydrogeological conditions, stratigraphic sedimentary, and the distribution and genesis of the region bearing shallow gas of the bridge. Then, the shallow gas hazards that may be encountered in each construction stage of the bridge are analyzed and the corresponding prevention measures are proposed. The study shows that the formation water in this area is mainly composed of pore water that exists in the quater-

* 收稿日期:2020-04-19;修回日期:2020-07-13

基金项目:国家自然科学基金(51979269)、国家自然科学基金(51579237)资助

作者简介:李好强(1994—),男,硕士研究生。主要从事特殊土土力学与工程灾害防治研究。E-mail:1339624822@qq.com

nary loose rock; the gas-bearing soil contains alluvial marine clay and the sandy soil of the quaternary Holocene to lower Pleistocene. Shallow gas mainly occurred in the sand layer, which is a typical type of native early biogas without being affected by major secondary effects. The preventive measures for the shallow gas geological hazards in different construction stages of the bridge are proposed, which can provide a reference for disaster prevention and mitigation of offshore engineering in marine shallow gas areas.

Keywords: high-speed railway bridge; engineering geology; submarine shallow gas; geological disasters; ocean engineering

引言

随着经济的发展,海洋资源的开发和利用程度不断加大,随之所遇到的海底浅层气地质灾害问题也愈加凸出。1970年,在我国南海首次发现由于海底地层中气体和液体从海底突然喷逸,带走大量的细粒物质,造成一定范围内海底地面下陷形成巨坑^[1]。1992年,上海长江口排水隧道工程施工时发生浅层气沿管片环缝大量涌出的事故,造成隧道底部的垫层受到严重扰动,其内部的土体被逐渐掏空,最终导致隧道发生不均匀沉降并产生断裂,给工程建设造成了严重的影响^[2]。在珠江口近岸海域进行钻井施工时,由于含浅层气气层被钻破,高压气体从井口位置急剧泄露,发生井喷、孔壁坍塌等事故,甚至造成了施工平台下陷、倾覆并发生火灾,给海上桩基和钻井施工造成很大危害^[3]。我国杭州湾海域海底分布着大量浅层气,杭州湾跨海公路大桥修建时,在对桥址海域进行前期地质勘探过程中发现,该海域浅滩区有大量浅层气分布,浅层气层被钻破后气体携带泥沙大量喷发,给勘探工作造成了严重阻碍^[4]。

目前,正在修建嘉甬跨海高铁大桥前期,在对海盐西线位进行初勘过程中大桥中心海域也频繁遭遇浅层天然气,给钻探工作造成了极大阻碍。同时,浅层气地质给勘察、设计等各方都提出了挑战。为此,必须清楚了解富含浅层气区段的工程地质条件与岩土力学指标、明确浅层气成因与蕴藏特性,揭示含浅层气土层的工程性状对高铁大桥桩基承载性能的影响,论证浅层气可能对工程造成的危害形式,预先制定有效的灾害预防对策与处理措施,对于高铁大桥的顺利修建和安全运营至关重要。

本文针对海盐西线位段浅层气区域的工程地质条件和浅层气可能造成的影响进行分析,针对跨海

高铁大桥工程各阶段,提出浅层气灾害防治措施,为大桥工程的顺利实施以及其它类似工程提供参考。

1 工程地质条件

1.1 海域概况

杭州湾海域位于钱塘江与东海衔接部位,地势低平,海拔2~7.5 m,属于典型“喇叭状海湾”,纵向长约100 km,宽度由湾顶处约20 km向东逐渐扩宽至湾口处100 km,桥位方案中宽度约为26 km。嘉甬铁路跨杭州湾通道海盐西线位走向如图1所示。

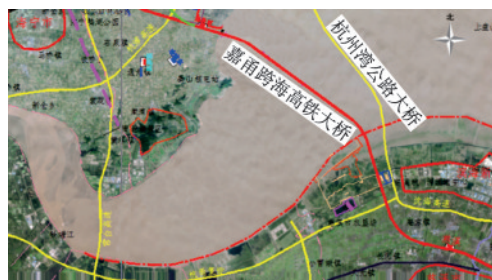


图1 嘉甬铁路跨杭州湾通道海盐西线位走向示意
Fig. 1 Location and direction diagram of Haiyan West line of Jia-Yong Railway across Hangzhou Bay Passage

该海域潮流较湍急,潮流类型为半日潮,潮水随着水流的往复流动呈现出涨潮和落潮的现象,在强劲的潮流及波浪作用下,湾底地形由西往东缓慢降低,水深逐渐变深,海床高程为-4~-11 m,主要由潮流冲刷槽与潮流脊两种地貌类型构成。南北两岸均有滩地发育,主要以潮流作用下形成的粉土质和淤泥质滩地为主,属潮滩地貌。北滩狭窄,宽约1.4 km,地表平整地势微向南倾,坡降约2.8‰。第四系以来在潮流侵蚀作用下,北岸岸线约后退20 km。近年由于人工加固冲击岸线,在剧烈冲蚀后反冲为淤,形成宽度为200~600 m近代堆积滩地,滩面物质以粉土、粉砂为主,局部有淤泥发

育。南部滩岸宽度约为 6.5 km,自北向南,由泥沙滩过渡到泥草滩,其中泥沙滩宽约 5.5 km,滩面平缓,微向北倾。

1.2 水文地质条件

海盐西线位的下伏基岩埋深起伏较大,里程 CK177+650~CK178+140 基岩埋深 97~119 m,里程 CK179+170~CK180+060 有基岩凸起,基岩埋深 5.6~110 m。基岩主要为花岗斑岩及凝灰碎屑岩,裂隙不发育,其内地下水较少。土层为第四系全新统至下更新统冲海相黏性土及砂土。桥位区地下水主要为孔隙式潜水和承压水两种形式。

孔隙式潜水主要分布于海底表层,含水介质主要为全新世冲海积粉土、粉砂层,厚度小于 10 m,属弱透水层,该层潜水属 Cl-Na、Cl.HCO₃-Na 型咸水。承压水含水层可分为二层,第一层承压水埋深在 40~50 m 以下,含水介质主要为晚更新世冲海积粉土、粉、细、中砂,属弱至中等透水性土层,厚度变化大,水化学类型为 Cl-Na 型,属中性微咸水;第二层承压水埋深在 90~100 m 以下,含水介质主要为中

更新世冲积粉、细、中砂,属弱至中等透水性土层。

1.3 工程地质特征

桥位区位于华南褶皱系浙东南褶皱带丽水、宁波隆起新昌及定海断隆的东北部区域。区域内断裂构造发育分为 NNE、NE、NW 和 EW 向等 4 组方向断裂。其中,NNE~NE 向断裂最为发育,该断裂带属于本区域主要的断裂构造。通过地质调查结合钻孔揭示:临近海堤分布有饱和且稍密实的人工填土层;中部为厚度较大的第四系全新统(Q4)至下更新统(Q1)冲海相的黏性土、粉土、淤泥质土层及砂土层,其中黏土层、粉土及淤泥质土层占主要部分,黏土层为饱和、密实状态,气密性好,粉土层饱和,其中较浅部位比较松软,较深部位较密实,淤泥质土层为流塑状态,内部混有砂粒,发育范围较广;下伏基岩主要为侏罗系上统(J3)晶屑凝灰岩、白垩系(K1)下统花岗斑岩,岩性交界位置大多侵入接触。花岗斑岩风化层厚度不大,而凝灰岩由于固结成岩较短,岩质较软。场区岩土地层分布特征见表 1。

表 1 岩土地层分布特征

Table 1 Basic distribution characteristics of rock and soil strata

地层	地层代号	地层类型	岩性特征	厚度/m
全新统 Q4	Q4ml	人工填土	灰黄色,稍密~密实,包含粉土、粉砂、夹碎石	5~10
	Q4al	冲积层	冲海积,灰黄色,粉土、粉质黏土,饱和,松散~稍密,局部夹淤泥质土	19~23
	Q4m	海相沉积层	海积,灰黄色~深灰色,淤泥质土夹粉砂薄层,流塑,层状结构	8~48
上更新统 Q3	Q3al	冲积层	冲湖积~冲击,灰黄色,粉质黏土、粉砂,饱和,中密,局部可见腐木碎屑,及深灰色~浅灰色,淤泥、黏土夹粉、细、中砂,中密~密实,层状结构,含浅层气土层	33~98
	Q2al	冲积层	冲湖积,青灰色,黏土、粉土,密实、青灰色~灰色,细、中砂,密实,局部夹粉质黏土薄层及青灰色~褐黄色,黏土~粉质黏土,密实,含钙质胶结斑团,局部夹卵砾石	42~83
中更新统 Q2	Q2pl	洪积层	杂色,碎石,直径 1~3cm,密实,碎石之间夹黏性土	3~5
下更新统 Q1	Q1al	冲积层	灰白色~褐黄色,黏土~粉质黏土,成半成岩状,局部含铁锰渲染及结核	6~10
早白垩世 K1			褐黄色,强风化花岗斑岩,风化残块,岩质较软,轻锤即碎及肉红色夹灰白色斑,中风化花岗斑岩,块状构造,岩质坚硬,锤击不宜断	5~11
晚侏罗纪 J3			紫红色,强风化凝灰岩,块状构造,岩质较软,锤击易碎	3~5

2 浅层气灾害地质

在场区工程地质勘察期间,近 30% 的钻孔发生不同程度的浅层气喷发现象,给勘察工作带来极大

的困难,并且极有可能给后续工程建设带来灾害(钻孔浅层气喷发景象如图 2 所示)。为防止含浅层气土层给高铁大桥工程建设带来严重危害,以及后期桥体发生较大变形,影响高铁正常运行;同时,也为其它类似含浅层气区域的工程建设提供经验指



(a) CZHY18号钻孔浅层气喷发实景



(b) CZHY18号钻孔浅层气喷发20天之后海面情况

图2 现场浅层气喷发景象

Fig.2 Photograph of shallow gas eruption at the site

导,有必要对该工程所遇到的浅层气灾害地质进行深入分析。

2.1 浅层气成因类型

自然界中按天然气的成因类型可分成有机成因和无机成因。天然甲烷气一般属于有机成因,国内外许多石油地球化学家,根据天然气产生过程和热演化成熟度的差异,将其分为两大类:生物成因气和热催化成因气^[5]。生物成因气是由于微生物对有机物的分解作用所产生,在一定的条件下,有机物经过微生物作用产生大量的生物气体。通常在一定的温度、适当的水化学条件,且深度在1 000 m以内的地层,甲烷菌通过生物化学作用分解有机质,生成富含甲烷的气体,在适当的地质条件下,这种生物气在土层内部进行运移并聚集,形成较大的气囊。

在场区钻探发现,粉土层中局部含有层状灰黑色腐木碎屑(图3),该碎屑为富含浅层气的粉砂层内有机质的相变产物发生区域性运移至该粉土层的结果。以往的研究表明,杭州湾海域在数百万年间的海洋地质变化中,沉积了大量含有丰富有机质的淤泥质土层及砂性土层。淤泥质土层中的有机质经过甲烷菌的分解作用会产生大量含有甲烷的气体,气体在砂土内部向上移动,聚集在一起,并被上部的粉质黏土层阻挡,使其密封在孔隙较大的砂性土内部或顶部位置,形成许多埋深一般小于55 m的浅层气藏^[6]。



图3 块状腐木碎屑

Fig.3 Lumpy rotting wood debris

根据对场区浅层气气体组分及同位素组成的分析测试表明:本区浅层气富含甲烷成分,其含量达90%以上,而乙烷以上的重烃含量极低,以 $\delta^{13}C^1$ 值极轻($-57.4\text{‰}\sim 80.2\text{‰}$)为显著特征,与杭州湾其它区域浅层气的测试数据类同。由浅层气气体形成机制及同位素成分含量的分析测试,对比我国生物成因气的类型划分规定^[7](表2),可判断该气体属典型的未受重大次生作用影响的原生型早期生物成因气。

2.2 场区浅层气赋存特性

由勘探孔浅层气喷发现场记录显示,接近30%的钻孔遭遇浅层气不同程度的喷发,通过对勘探过程所遇到各个喷发孔位总结分析,可基本确定场区浅层气分布情况。其中场区浅层气主要赋存于粉细砂层、粉土层位置,深度为45~90 m,各个气藏独立分布,且多分布于粉细砂层及粉土层顶部位置或土层隆起部位,气层厚度一般不超过6 m。据推测气藏分布形态通常跟古河道有联系,其形状一般为沿河道方向的带状、椭圆状或葫芦状。气层气压高、气量大,一般可达0.6~0.7 MPa,对工程建设可能造成较大影响。分析推测场区浅层气压力与埋深基本成正比例关系,埋藏深度相同的浅层气,初始气压亦基本相同,与气藏量无明显联系。场区位于10~40 m的淤泥质土及淤泥质土夹砂土层中局部也存在浅层气,气量小、气压低,对大桥工程施工不会构成较大影响。

从勘探孔浅层气喷发特征(表3)可以看出,浅层气喷发层位多集中在粉砂层,且浅层气围有较大差异。从浅层气喷发的持续时间和强度来看,通常情况下喷发强度越大的气层,喷发的持续时间也越长,气体的含量也越大。由此推测,浅层气气体蕴藏在大小不同的透镜砂体中,气体可以在单个透镜砂体内部流动,气藏量较小的透镜砂体之间会相互

表2 生物气成因类型划分
Table 2 Genetic classification of biogas

项目	原生型生物气		
	早期生物成因气	低熟气	晚期生物成因气
形成机制	有机质在甲烷菌的生物化学作用下生成	有机质经低温热降解作用而形成	二次埋深变浅由微生物作用生成
分布位置	浅层	中、浅层	浅层
烃类组成	甲烷为主,重烃极低;含部分CO ² 、N ²	C ₁ /C ₁₋₅ 比值在0.7~0.89 含部分CO ² 、N ²	甲烷为主,含部分重烃
碳同位素	δ ¹³ C ¹ 在-91‰~-55‰	δ ¹³ C ¹ 在-55‰~-50‰	δ ¹³ C ¹ <-50‰,而乙烷、丙烷碳同位素组成则显示热成因气的特征

连通,形成大的气藏,或者竖向堆叠且各自独立,当隔层被钻杆钻破时,各个透镜砂体便会形成联体,一起喷发出来。

当储气层孔渗越好,气体的释放越彻底,但也就越容易带出砂土。在无控制性气体释放条件下,含气层中气流或气水混合物会对排气孔侧壁土体进行强烈冲击,并不断带走大量泥沙颗粒,排气孔加深、孔口直径不断扩大,上覆土层逐渐塌陷,最终形成以排气孔为中心的凹坑(如CZHY18号钻孔喷发完成后形成海底凹坑,其直径为30~38 m,塌陷高度为10~12 m)。当储气层的孔渗性较差时,气体流通不畅通,气体释放不彻底,

待到气体在透镜砂体内部重新聚集到一定压强后,还能再次喷发。

3 浅层气对工程的危害性分析

3.1 浅层气对土层特性的影响

含高压浅层气的土体是一类特殊的非饱和海积土,其与饱和海积土的主要区别在于前者的孔隙中存在着气体。气体在土体中赋存形态复杂,导致土体力学性状变化。

对于含浅层气的砂性土体,在有控制条件下释放浅层气,砂土强度会因浅层气气压水平的降低而逐渐增加,其增加幅度取决于浅层气释放的程度、砂土的类型和密度大小,与原始状态相比,含高压浅层气的砂性土体在有控制条件下释放浅层气,会有助于提高土体强度^[8-9]。

含浅层气的砂性土层在有控制条件下释放内部的气体,会引起内部土体结构重分布,造成土体下沉,沉降量随着含气层厚度及气体含量增加而增加,所以,浅层气的释放不可避免地会引起储气层

沉降。研究表明,当初始基质吸力为20~100 kPa时,浅层气释放会造成相当于含气砂层厚度1%~5%的沉降量^[10-12]。

浅层气的存在会一定程度上降低砂性土层中的有效应力。高压浅层气在无控制条件下释放时,在内外压力差作用下,含气土层内部高压气体通过泄气口被向外排出,含气层内部气压力快速减小,在此过程中,快速流出的气流带动水流对上覆土层进行剧烈的冲刷,并不断带走土层内部的细小颗粒,造成流砂现象,甚至土层坍塌,产生一定程度的地表凹陷;同时也会对桩基持力层产生一定的扰动,造成桩周土层结构和强度降低,甚至引起桩周土体发生沉降,产生负摩阻力,从而导致桩基承载力的降低。

3.2 浅层气对大桥桩基的影响

(1) 造成桩基局部下沉,降低其承载能力。研究发现:虽然浅层气在桥址区域地层分布范围很广,但即使是在相同的地层,各个气藏的形状、气压水平及气体含量也各有不同,这就造成了各个地方地层承载力不同。特别是在无控制性条件下释放时,会进一步加大各个位置地层土体强度的差异性,从而造成局部地层发生下沉,引起桩基发生不均匀沉降,降低桩基的承载能力,从而引起桩基局部承台或承台与承台之间的沉降不均衡。若成桩后持力层位于含高压气层上,由于外界扰动,导致高压气体突然释放,可能会引起桩腿突然下沉,造成桥体整体变形量超限。

(2) 引起大桥桩基产生负摩阻力。当桩周的土体相对于桩基下沉或有下沉的趋势时,桩基中就会产生负摩擦力^[13-14]。该工程若采取打入桩时,当桩打入含浅层气土层,因外界因素造成高压气体在

表3 勘察探孔浅层气喷发特征

Table 3 Features of shallow gas eruption in exploration drill holes

遇气孔号	喷发时孔深/m	孔底土质	喷发特征
CZHY3	49.5	粉砂	初期从管口喷浆,继而气体带出砂土,喷发物高度5~8 m,喷出砂土及泥浆覆盖作业平台;间歇式喷发涌浆,持续时间为6h;喷发结束后钻孔坍塌报废
CZHY3-1	98.1	中砂	将CZHY3钻孔作业平台向海盐方向沿着中线移了35 m重新施钻。起钻时孔内有浅层气“轰隆隆”的响声。继续钻进,从管口开始喷浆,继而气体带出砂土,喷发物高度5~10 m,后续间歇式喷发涌浆,持续7 h,喷发结束后钻孔坍塌报废
CZHY9	44.7	粉砂	起钻后管口喷浆,继而气体带出砂土,喷发物高度5~6 m,此后间歇式喷发涌浆,持续时间为47 min,喷发结束后钻孔坍塌报废
CZHY9-1	47.5	粉砂	将CZHY9钻孔平台向海盐方向顺中线移了17 m重新施钻。起钻时有浅层气从孔内溢出并涌浆,持续时间约30 min,喷发结束后钻孔坍塌报废
CZHY11	89.0	粉砂	起钻时孔内有浅层气“轰隆隆”的响声,继续钻进,管口开始喷浆,继而气体带出砂土,喷发物高度5 m左右,间歇式喷发涌浆,持续时间为20 min,待气体释放完毕后,正常钻进
CZHY14	50.5	粉砂 粉土	起钻时管口开始喷浆,继而气体带出砂土,喷发物高度5 m左右,间歇式喷发涌浆,持续时间为30 min,待气体释放完毕后,正常钻进
CZHY12	47.1	粉砂 粉土	起钻时,孔内有浅层气“轰隆隆”的响声,推测由于气压较小,未曾喷出孔口
CZHY18	47.6	粉砂	起钻时管口开始大量喷发,喷发高度可达40 m,孔内的砂及泥浆全部携带出钻孔,之后开始喷发地下水,水柱高度可达40~50 m。起钻后,整个海面都在翻涌,喷发持续时间大于1个半月。根据探测,该区域海床表层已经坍塌,坍塌范围直径约30 m,塌陷高度为10~12 m
ZK8	46.0	粉砂	揭穿浅层气顶板之后,从管口开始喷浆,继而气体带出砂土,喷发物高度接近10 m左右,从套管内持续喷发约20 min后,气体开始从套管外侧涌出,海面翻涌

无控制条件下释放时,会对土体三相体系的原始结构产生扰动,会引起土层物理力学性质降低,使上覆软土层的压缩性增大,强度指标降低,出现显著的沉降,从而会产生较大的负摩擦力,加大桩基沉降,甚至导致桥体产生较大的不可逆变形,威胁高铁正常营运。

(3) 阻碍桩基础施工、降低成桩质量。浅层气不仅会对钻孔灌注桩的成孔安全造成不利影响,而且还会影响其成桩质量。在钻孔桩成孔过程中,当钻穿含高压浅层气地层时,导致处于封闭状态的高压气体泄漏,会引起强烈的井喷,甚至会因气压力降低造成塌孔;而对于含气量较小的气层,浅层气虽不发生强烈喷发,但会缓慢释放,导致灌注成桩以后,桩体成桩不密实,造成桩体承载能力削弱。有资料显示,某桥梁工程钻孔灌注桩基础施工过程中钻孔未发生溢气、井喷等现象。但是在灌注完桩基后约20 h后,在沿护筒内壁有气泡冒出,前期较微弱,随着时间变化,桩基冒泡现象加剧,桩体取芯结果显示,桩体内部有大量气孔,局部出现沟槽,蜂窝麻面;进一步实验发现,溢气对桩基承载能力有削

弱,削弱的程度约为设计单桩承载能力的5%~8%^[15]。

4 浅层气地质灾害的防治对策

4.1 勘察、施工准备阶段的防治对策

勘察阶段应准确把握浅层气的分布区域、埋藏深度、气压水平等必要信息,并且要科学地把气体从地层内部引出。严禁盲目钻探,在勘探之前,通过物探等手段提前对浅层气的位置及气压等必要信息进行预估测,并且提前制定可行性预防方案。在勘察过程中,当遇到压力和储量较大的储气层时,容易造成浅层气逸出甚至喷发,因此,遇到含高压浅层气地层时,对气体应进行干预性和控制性缓慢释放,确保放气过程不破坏含气土层的原始结构。由于浅层气主要成分为甲烷,钻探过程中对钻孔附近气体浓度进行全日监控,防止气体由于缓慢释放造成钻孔附近气体浓度过高,造成工程安全事故。

在施工准备阶段确保高压浅层气层全部有控

释放。在无控释放时,赋存于砂性土层的高压浅层气,将会对地层土体结构产生剧烈扰动,甚至产生强烈的井喷现象,并能携带出大量泥砂,造成地层发生大范围凹陷,而且在无控释放时,地层内部的气体很难全部释放出来,释放结束后部分孔位会残存一定量的气体,出现重新回聚的现象。已有的勘探经验表明,在充分的气体释放时间及有效的控制措施的前提下,完全可以把大范围的高压气体降低到一个安全的压力水平。

在有控条件下对含高压浅层气地层中气体进行放气时,对气体的释放速率及气体的释放程度的精准把握是该孔位气体能否达到释放效果的关键。气体释放速率应以不引起气孔周围地层发生明显扰动且不带走泥沙为基本要求,气体释放程度应符合高铁桥安全顺利施工标准。排气孔位应与高铁桥构筑物保持安全距离,且根据气藏的压力水平与气藏之间的连通性而确定,随着气压增加,气藏之间的连通性越好,排气孔位与高铁桥构筑物之间的距离应越大,排气孔的直径与数量则应根据含气层的气体含量而定。

4.2 施工、运行阶段的防治对策

由于浅层气广泛存在于海底地层中,且气囊分布离散,前期勘探很难保证能够探明所有的浅层气气囊,并且在缺乏先进的浅层气处置技术条件下,桩基施工过程中依然有可能遇到富含高压气体的气囊。施工时应根据各施工阶段,分析可能遇到的浅层气对工程的影响,及时制定行之有效的防治方案加以应对。

施工期间需要对钻孔周围浅层气气体浓度进行全日制监测,确保安全施工作业范围内气体的浓度值低于1.0%,且严禁明火。桥梁桩基施工过程中若发现储气层时,需探明气藏的分布范围、埋置深度、压力大小等信息,采取有效的安全防护措施后,方可继续施工,严禁出现气体无控制喷发的情况。

高铁大桥在运营期需要采取积极主动、预防为主的原则,对桥梁桩基、桥墩等易受浅层气危害的部位加强变形监测,确保高铁大桥桥体的变形量控制在允许范围以内;与此同时,划定桥梁周边安全区域范围、制定好灾害应急预案、安装相应的应急设备并配备应急人员,时刻保证高铁能够安全运营。

5 结 论

(1)嘉甬大桥建设区域内浅层气分布广泛,属于典型的未受重大次生作用影响的原生型早期生物成因气。浅层气主要分布在45 m左右的粉、细砂层中,呈透镜体状独立或相互连通分布,各个透镜体气囊,气体含量及气体压力,大小不一,呈现压力大的气囊气体含量大,喷发时间长的规律。

(2)在高铁大桥桥梁桩基础设计与施工过程中,要足够重视浅层气泄漏或喷发对桥梁桩基变形的影响。浅层气在无控制条件下释放会对持力层产生影响,使得桩周土层的压缩性增大,抗剪强度降低,可能产生较大的负摩擦力,加大桩基沉降,进而影响高铁大桥的正常运行。

(3)预防浅层气对嘉甬跨海高铁大桥桩基工程灾害影响的措施,应根据浅层气对工程不同阶段的影响,有针对性的进行防治与处理。勘察阶段确保探明浅层气所在的位置、埋深、压力、分布范围等必要信息;施工阶段确保高压浅层气层全部有控释放,防止重新回聚并且加强对钻孔周围气体浓度监测;在运营期对桥梁桥墩加强变形监测力度的同时建立必备的应急措施。

参考文献:

- [1] 郭爱国,王勇,沈林冲,等.浅层气对杭州地铁施工的影响模式分析[J].铁道工程学报,2010,9(144):78-81.
Guo A G, Wang Y, Shen L C, et al. Influence model analysis of shallow gas on subway construction in Hangzhou [J]. Journal of Railway Engineering, 2010, 144 (9):78-81.(in Chinese)
- [2] 唐益群,张庆贺.长江口软土层中沼气与隧道安全施工技术研究[J].同济大学学报,1996,24(4):465-470.
Tang Y Q, Zhang Q H. Research on the safe construction technology of methane in soft soil layer of Yangtze Estuary [J]. Journal of Tongji University, 1996, 24(4):465-470.(in Chinese)
- [3] 孙杰,詹文欢,贾建业,等.珠江口海域灾害地质因素及其与环境变化的关系[J].热带海洋学报,2010,29(1):104-110.
Sun J, Zhan W H, Jia J Y, et al. Geological hazard factors and their relationship with environmental change in the Pearl River Estuary [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(1): 104-110. (in Chinese)

- [4] 孔令伟,钟方杰,郭爱国,等.杭州湾浅层储气砂土应力路径试验研究[J].岩土力学,2009,30(8):2209-2214.
Kong L W, Zhong F J, Guo A G, et al. Stress path test study of shallow reservoir gas and in Hangzhou Bay [J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(8): 2209-2214. (in Chinese)
- [5] 陈宇良.浅层气对工程的影响[J].水运工程,2007(6):25-29.
Chen Y L. Influence of shallow gas on engineering [J]. Marine Traffic Engineering, 2007 (6) : 25-29. (in Chinese)
- [6] 周瑞年.柴达木盆地第四系生物气藏形成条件与聚集规律[M].北京:石油工业出版社,1987:127-137.
Zhou R N. Formation conditions and accumulation rules of quaternary biogas reservoirs in Caidamu Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987: 127-137. (in Chinese)
- [7] 李先奇,张水昌,朱光有,等.中国生物成因气的类型划分与研究方向[J].天然气地球科学,2005,16(4):477-484.
Li X Q, Zhang S C, Zhu G Y, et al. Classification and research direction of biogenic gas in China [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(4): 477-484. (in Chinese)
- [8] 郭爱国,孔令伟,陈建斌,等.孔压静力触探用于含浅层生物气砂土工程特性的试验研究[J].岩土力学,2007,28(8):1539-1543.
Guo A G, Kong L W, Chen J B, et al. Experimental study on engineering characteristics of biogas sandy soil containing shallow biogas [J]. Geotechnical Mechanics, 2007, 28(8): 1539-1543. (in Chinese)
- [9] 王勇,田湖南,孔令伟,等.杭州地铁储气砂土的抗剪强度特性试验研究与预测分析[J].岩土力学,2008,28(增):465-469.
Wang Y, Tian H N, Kong L W, et al. Experimental study and predictive analysis of shear strength characteristics of gassy sand in Hangzhou Metro project [J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 28(Sup): 465-469. (in Chinese)
- [10] 林春明,蒋维三,李从先.杭州湾地区全新世典型生物气藏特征分析[J].石油学报,1997,18(3):46-52.
Lin C M, Jang W S, Li C X. Characteristics of typical Holocene biogas reservoirs in Hangzhou bay area [J]. Petroleum Journal, 1997, 18(3): 46-52. (in Chinese)
- [11] Thomas S D. The consolidation behaviour of gassy soil [D]. UK: Jesus College, 1987.
- [12] Grozic J L H, Robertson P K, Morgenstern N R. Cyclic liquefaction of loose gassy sand [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2000, 37(5): 843-856.
- [13] Imam S M R, Robertson P K, Morgenstern N R, et al. Constitutive modeling of gassy sand behaviour [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2005, 42(2): 812-829.
- [14] 孔令伟,郭爱国,陈守义,等.浅层天然气井喷对地层的损伤影响与桩基工程危害分析[J].防灾减灾工程学报,2004,24(4):375-381.
Kong L W, Guo A G, Chen S Y, et al. Damage effect of shallow natural gas blowout on strata and hazard analysis of pile foundation engineering [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2004, 24(4): 375-381. (in Chinese)
- [15] 刘斌,蒋伦岗,王青.浅层天然气对桩基工程的影响及处理措施[J].工程技术,2015,173(5),193-194.
Liu B, Jiang L G, Wang Q. Effects of shallow natural gas on pile foundation engineering and treatment measures [J]. Engineering Technology, 2015, 173(5): 193-194. (in Chinese)

(本文责编:池营营)