

文章编号: 1000-7598 (2013) 03-0769-07

# 地铁建设中浅层气危害防治对策研究

郭爱国<sup>1</sup>, 孔令伟<sup>1</sup>, 沈林冲<sup>2</sup>, 张金荣<sup>2</sup>, 王 勇<sup>1</sup>, 秦建设<sup>2</sup>, 黄先锋<sup>2</sup>

(1. 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, 武汉 430071; 2. 杭州市地铁集团有限责任公司, 杭州 310020)

**摘 要:** 杭州地铁 1 号线在勘察过程中发现很多区段在埋深 15~35 m 的土层中存在一定压力的浅层气, 浅层气的存在不但对勘察的安全实施构成一定的威胁, 而且会影响地铁构筑物的正常施工, 如果采取的防治措施不当, 还会进一步威胁到地铁的后期运营。浅层气问题是杭州地铁 1 号线建设中遇到的难题之一, 但目前国内外在地铁建设中大范围遇到浅层气的实例还比较少, 防治浅层气危害的方法和积累的经验都十分有限。在综合分析研究杭州地区浅层气和含气土层工程特性的基础上, 考虑杭州地铁工程不同建设阶段的特点, 结合在实际工程的经验, 以及室内试验和监测结果, 提出有针对性的危害防治对策, 为地铁工程建设和后期运营的安全提供帮助, 也可类似地区地下工程的建设提供参考。

**关 键 词:** 浅层气; 杭州地铁; 危害防治**中图分类号:** U 416**文献标识码:** A

## Study of disaster countermeasures of shallow gas in metro construction

GUO Ai-guo<sup>1</sup>, KONG Ling-wei<sup>1</sup>, SHEN Lin-chong<sup>2</sup>, ZHANG Jin-rong<sup>2</sup>,  
WANG Yong<sup>1</sup>, QIN Jian-she<sup>2</sup>, HUANG Xian-feng<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China; 2. Hangzhou Metro Group Co., Ltd., Hangzhou 310020, China)

**Abstract:** The shallow gas with a certain pressure is found in depths of 15-35 m in many sections of Hangzhou Metro Line No.1 during the detailed exploration. It not only constitutes a threat to the safety of investigation, but also influences the normal construction of the metro structures. It will be a threat to the later operation of metro if unsuitable prevention and control countermeasures are adopted. Shallow gas is one of the challenges met in construction of Hangzhou Metro Line No.1. However, at present, the case study with such large scale shallow gas is few in the history of metro construction at home and abroad; and the methods for preventing shallow gas disaster and the experiences are quite limited. Based on the studies of engineering properties of shallow gas and soil containing gas in Hangzhou area, considering the characteristics of Hangzhou metro engineering in different construction stages, and combining the practical engineering experience and the results of laboratory test and field monitoring, some pertinent disaster countermeasures are proposed. The countermeasures may supply assistance to metro construction and later operation, and also can give a reference to underground constructions in similar areas.

**Key words:** shallow gas; Hangzhou metro; disaster prevention and control

## 1 引 言

杭州地铁 1 号线工程南起萧山湘湖站, 向北至钱塘江边的滨江站, 下穿钱塘江至江北岸的富春路站, 经城站火车站、湖滨站、凤起路站、武林广场、文化广场向东至火车东站, 经七堡车辆基地、在九堡客运中心分别向东、北延伸为下沙线、临平线。下沙线自九堡东经下沙公共中心区至下沙东部居住

区; 临平线向北经乔司、临平城中心至城北工业区; 线路全长 61.42 km。共设 37 座车站, 其中高架站 8 座, 地下站 29 座。

目前在建的杭州地铁 1 号线工程在勘察和施工过程中, 许多地段遇到高压力的浅层气, 并多次发生触探孔气体喷发并燃烧、开挖基坑底板喷气冒砂的现象, 使勘探作业受阻、正常施工受到一定的影响, 甚至危及周边建筑及人员的安全。浅层气引发

收稿日期: 2012-02-13

基金项目: 国家 (973) 重点基础研究发展计划(No. 2010CB732101); 国家自然科学基金项目(No. 51109208); 中国科学院武汉岩土力学研究所前沿探索性项目(No. SKLQ002); 杭州地铁资助项目(No. 212008YH120301)。

第一作者简介: 郭爱国, 男, 1969 年生, 硕士, 副研究员, 主要从事土的基本特性与测试技术的科研与工程应用工作。E-mail: agguo@whrsm.ac.cn

的危害已成为目前杭州地铁1号线施工面临的主要问题之一。

在我国东部沿海和长江中下游地区的工程建设中,也曾多次遇到浅层气,因浅层气而引发隧道、基坑、沉井、水工构筑物沉陷、断裂等导致工程事故、造成重大经济损失的例子也屡有报道。例如:上海长江入海口的某排水隧道,由于有害气体释放,造成下伏土层失稳,使已经修好的隧道产生位移、断裂造成重大损失<sup>[1]</sup>;上海崇明越江隧道建设中也遇到有害气体<sup>[2]</sup>。目前国内外对浅层气的成因、分布、赋存状态和致灾机制等方面进行了较为系统的研究,取得了一些有价值的研究成果,但对于地铁工程建设中浅层气危害防治方法的研究成果还比较少。在杭州地铁建设中采取什么样的工程措施来避免浅层气引发的危害发生,不仅对当前在建的杭州地铁1号线有着重大的现实意义,其成果对即将开建杭州地铁后续线路也有着重大借鉴价值,也可为我国其他类似地区的地下工程建设解决浅层气问题提供参考。

## 2 地铁沿线浅层气分布及含气土层基本特性

### 2.1 浅层气分布概况

杭州及杭州湾地区在第四纪的几次海侵、海退中,交替沉积了数套富含有机质的淤泥层和砂层,淤泥层中的有机质经厌氧菌的生物化学作用,产生生物气(主要成分是甲烷)。经过运移、富集,储集在附近的砂层透镜体或砂层顶部,分布面积较大,沿古河谷呈透镜状、串珠状分布,形成了许多超浅层气藏。

杭州地铁1号线沿线在湘湖站-滨康路站、滨康路站-西兴站、滨江站-富春路站区间、九堡站、下沙中心站等处都发现有浅层气,浅层气主要储存在淤泥质粉质黏土夹粉细砂及下伏的中砂土层中,含气层顶板距离地表15~35 m,气压较大,最大可达450 kPa,局部气量充沛,空间分布不均匀。淤泥质粉质黏土层是浅层气的气源层也是封盖层,其内部也含浅层气,但只是零星的以气泡状分布,淤泥质粉质黏土夹粉细砂层和中砂土层是主要的储气层。

### 2.2 含气土层基本特性

杭州湾地区储集层为松散未胶结之砂层、贝壳砂岩和贝壳层,间层厚度由不足1 m至10 m不等。由于第四纪沉积基本处于水平状态,甲烷气体的侧向运移作用微弱,故表现出含气面积较大,气层薄的特点。

从已有的勘探成果看,杭州湾地区细砂储集性能最好,其次为粉砂,然后是含砾中粗砂,一般孔隙率在33%~50%左右,代表性细砂的级配如表1所示。代表性细砂的密度为1.54 g/cm<sup>3</sup>,相对密度为0.67,处于中密状态,其进气值为5.0 kPa左右,残余含水率约为10%左右,与残余含水率对应的吸力为18~20 kPa<sup>[3]</sup>,气测渗透率大于1.0 μm<sup>2</sup>,属渗透性极好的储层,气渗透规律符合达西定律<sup>[4]</sup>。

表1 细砂颗粒组成

Table 1 Particle formation of fine sand

颗粒直径/mm	>0.5	0.5~0.25	0.25~0.075	0.075~0.005	<0.005
百分含量/%	0.8	3.1	72.9	14.8	8.4

## 3 浅层气的危害形式及防治对策

杭州地铁1号线沿线浅层气分布比较广泛,埋深变化也比较大,地铁站、隧道、联络通道、风井等构筑物在建设过程中都有遇到浅层气的可能。由于在勘察、施工和运营期间,含气土层的埋深、浅层气的压力大小不同,土层和浅层气与施工机具、构筑物的相对位置,浅层气赋存的边界条件等都会发生变化,浅层气在不同工况条件下危害发生的机制和表现出来的危害形式也会有所差异<sup>[5]</sup>。因此,需要结合杭州地铁1号线的特点,对不同的构筑物采取有针对性的危害防治对策和处理措施来有效地防止浅层气对地铁工程造成的危害。下面根据地铁建设的时间顺序,分勘探、施工前准备、施工、地铁运营等几个阶段来阐述浅层气的危害形式及相应的防治对策。

### 3.1 勘探阶段危害及防治对策

勘察阶段的主要任务是探明浅层气所在的位置、埋深、压力大小、分布范围等信息,这就必须将浅层气从地下一定深度引出,而将压力较高的浅层气从地下引出会产生一定的危害。首先,由于浅层气可燃,浓度大时还会造成人员窒息,这对勘探作业人员的人身安全及周边环境形成了潜在的威胁;在勘察过程中遇到压力和储量较大的储气层时,容易造成浅层气出逸,如遇明火,可能会引发火灾,对钻探设备及操作人员造成危害,严重时可能损毁机具,甚至伤及人员。在工程勘察中遇到浅层气而准备不足或处理不当而引发事故的现象已有先例,其次,高压浅层气从含气土层中迅速溢出,对含气土层势必造成较大的扰动,为后期地下隐蔽工程的施工带来隐患。

图1是勘察过程中浅层气喷发、燃烧的情景,

浅层气出逸后，遇明火很容易燃烧。因此，在勘探过程中为防治危害的发生，还需要从以下几方面采取措施：

(1) 所有参与人员都要进行预防浅层气和消防等方面的安全教育。

(2) 严禁在勘探过程中点火吸烟和烧烤其他可燃物，严禁携带火种或易燃物品靠近。

(3) 对易造成燃烧和爆炸的电器设备均应加以防爆装置，并建立机电的检查、维护专职制度。

(4) 应采用能够控制浅层气喷发的勘探设备，禁止出现长时间的无控气体释放。

(5) 现场必须配备足够的电气灭火器材。



图1 浅层气喷发并燃烧

Fig.1 Eruption and combustion of shallow gas

### 3.2 施工准备阶段危害及防治对策

在施工准备阶段，为防止浅层气对后续施工造成危害，采取的基本防治措施是有控释放高压浅层气。高压浅层气主要储存在砂层中，在无控制或控制不当条件下释放，易引起强烈井喷并能带走大量泥砂，引起地层大面积沉陷，不仅大范围剧烈扰动含气砂层，同时严重扰动上覆软土层，也会对下卧持力层有不同程度的扰动。无控放气导致地下泥沙被带走、地面塌陷的情况如图2所示。另外，无控放气，浅层气难以得到彻底的排放，会造成在部分孔位存在一定浅层气重新回聚的迹象。

根据详勘、补勘和现场监测的资料来看，只要有充分的放气时间和有效地控制措施，高压浅层气不仅可以有效地释放，而且能将较大范围内的气体压力降低。图3是在钱塘江南岸设置的气压监测孔监测到的地下28m处浅层气有控释放后气体压力随时间的变化情况，从图中可以看出，气体释放后压力会降低，虽然存在气体回聚的现象，但其压力较气体释放前低，气体总量也会减少。而室内试验

研究也表明<sup>[6]</sup>，当含浅层气砂土的气体一次释放完全后，含气层的塑性变形基本全部发生，即使气体再次回聚，再次释放，也不会再产生大的变形。但为保障施工人员的个人安全与确保工程建设质量，有必要在预先排气的基础上，加强浅层气的同步排放工作。因此，为防止浅层气释放对土层的剧烈扰动和对后续施工的影响，采用积极主动的控制放气措施是十分必要的，也是预防浅层气对杭州地铁1号线不利影响的有效措施。至于超前放气时间，由于浅层气分布并不均匀，各透镜体气囊大小不等，气压也不同，且大小不等的气囊似未全部连通，难以规定统一的超前放气时间界限，可以根据具体的情况参考类似工程问题确定。如：上海某隧道工程的超前放气时间为隧道施工前的3~6个月，杭州湾大桥在不考虑排气孔尺寸与数量的情况下，超前放气预定时间提前施工1.5个月以上<sup>[2,7]</sup>，根据杭州地铁部分现场监测的结果来看，超前放气的时间以3个月左右较适宜。



图2 气体与水将泥沙带走而造成地面塌陷

Fig.2 Ground collapse caused by the flow of sediment taken by gas and water

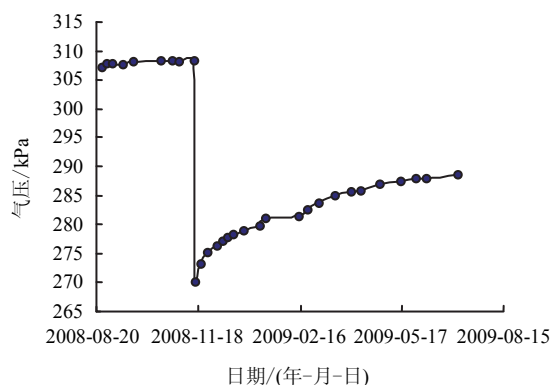


图3 有控放气后气压变化情况

Fig.3 Change of gas pressure after controlling gas release

另外，为保证安全和方便施工，需要在基本摸清含气层的位置与分布基础上，以透镜体气囊的大小与连通性来确定排气孔尺寸与数量。排气点原则

上与构筑物有合理的距离,距离界限的确定取决于气压的高低、气囊的连通性。气压越高,距离应加大,气压越低,距离可减小;气囊的连通性越好,距离应加长,气囊的连通性越差,距离可缩短。

虽然放气设计方案与控制方法需进一步论证,但也需要在现场试验的基础上,才能提出切实可行的具体放气方式,但浅层气释放总体方案可以考虑遵循如下原则:

(1) 浅层气的释放应在有控制条件下实施。

在可控条件下释放高压浅层气时,浅层气的释放速率应以不导致对放气孔周围地层的显著扰动的缓慢放气方式为原则,放气程度应满足地铁安全顺利施工要求为前提,此外,还应以放气过程中不出现带走泥砂为控制标准。

(2) 释放浅层气应在施工前预先进行。

预先排气是确保地铁施工安全的前提,如果在地铁施工过程中或建成使用过程中释放,容易造成工程事故。

(3) 排气孔位设置应保持与地铁构筑物一定距离。

由于不同区段地层结构和含气层的分布情况有很大差异,排气孔位距地铁构筑物的界限很难统一规定,但从安全性和施工的实际可行性方面考虑,建议排气孔与地铁构筑物结构线的距离不应小于5 m。

### 3.3 施工阶段危害及防治对策

如果工程勘探阶段对浅层气含气层位置、范围、气压力大小评估准确,施工准备阶段处理措施得当,施工时遇到的浅层气危害的几率就会降低。但由于勘查工作不可能勘探到所有的浅层气,加上对浅层气问题处理方法不成熟,施工时仍然有可能遇到高压浅层气。由于地铁站、风井和地铁隧道是地铁构筑物的主体,不同构筑物的施工方法有很大的差异,含气土层的应力路径随不同施工方法而异,而不同应力路径条件下含气土层的强度和变形特性也不相同<sup>[8]</sup>,因此,施工遇到浅层气时所采取的危害防治方法也有所不同。

#### 3.3.1 地铁站及风井施工危害及防治对策

杭州地铁1号线的地铁站和风井一般都是采用地下连续墙等支护、明挖顺作法施工。

地下连续墙成槽的质量直接关系到地下连续墙的墙体质量,当地下连续墙穿过含气土层时,气体的溢出会对槽壁土体稳定性产生不利影响,还会出现“颈缩”、“夹层”、“蜂窝”等质量问题,且气藏压力越大,影响越大。泥浆比重的选择是影响成槽质

量关键因素,经计算,泥浆比重任何时候不低于1.06是合理的,实际施工中应根据下部气压的大小合理选择泥浆比重。

在基坑开挖过程中,含气土层的应力状态变化也是以卸荷的方式出现,虽然其卸荷的程度较地下连续墙或钻孔咬合桩施工时要小,但其卸荷的范围较地下连续墙和钻孔咬合桩大得多,由此引起的地层变化范围自然要相应扩大。如果气体压力、储量较大,且埋深较浅,而基坑开挖深度较大时,容易出现的问题主要是基坑底板突出,如果施工方法及应急措施不当,不但可能造成基坑底板土体大面积破坏,承载力急剧降低,而且可能造成施工机具损毁,甚至伤及人员。因此,基坑开挖需要考虑下部高压浅层气对基坑开挖底板稳定性的影响,即使上覆荷载能够抵抗下部气体的压力,不致造成底板突出,由于基坑开挖后,含气土层的封盖层变薄,再加上施工扰动的影响,使其封堵气体的能力降低,浅层气就可能突破盖层的薄弱环境进入基坑,在基坑内聚集,如果不采取相应的通风措施,浅层气的浓度达到一定浓度后,也会对施工机具和人员造成很大的威胁。更严重的后果是当浅层气突然大量涌出时,基坑底部由于通风不畅,涌出的浅层气无法迅速稀释,其浓度会迅速上升,当其浓度达到5%~15%的爆炸极限时,遇到明火,将发生剧烈的爆炸,其破坏力相当大,造成的后果不堪设想。为避免危害的发生,在基坑开挖前需对浅层气进行有控排放,使其维持在较低的气压水平。一旦发现有局部浅层气集中外溢时,应及时采取有效措施保护出溢口,防止渗漏出口进一步扩大而引发土层大范围扰动破坏,在基坑开挖过程中还要注意基坑内的通风,采取加强通风的措施来控制作业场所浅层气的浓度在1%以下。

#### 3.3.2 地铁隧道施工危害及防治对策

盾构工法是目前复杂地质条件下修建隧道,特别是城市地铁、江河、海底隧道所采用的主要施工方法。杭州地铁盾构隧道的某些区段必须要穿越含浅层气土层,盾构穿越含浅层气土层时可能遇到的主要问题如下:

(1) 浅层气进入隧道

盾构法施工隧道时,浅层气可能通过以下4种途径进入隧道内:通过盾构头部沿螺旋输送机随土一起进入隧道内;从刀盘与盾壳的接缝处渗入;从盾尾间隙进入;从管片衬砌接缝处、管片裂缝处进入隧道内。

(2) 影响盾构的掘进施工



在穿越含气土层时，浅层气对土压平衡盾构和泥水平衡盾构都会造成以下6方面的影响。

①对土压平衡盾构刀盘摩阻力造成影响。土压平衡盾构在掘进时，为了维持压力仓与工作面的压力平衡，必然要挤压前方土体，使土体变形，当刀盘对土体进行切削时，阻力增大。由于含高压浅层气砂土摩擦力大，如果掘进速度过快，土体应变增大，一方面会增加千斤顶推力，另一方面会使刀盘摩阻力迅速增大，由于摩阻力导致刀盘及千斤顶推力波动较大，对前方土体扰动过多，地面沉降会增大，不容易控制。

②对土压平衡盾构出土和压力平衡造成影响。土压平衡盾构将刀盘切削的土充满盾构头部的整个密封舱，并保持一定压力来维持开挖面的土压力平衡。在含气砂层中，砂土含水率低，气压力高，土颗粒之间存在界面张力的拉紧作用，使得土体的流动性相对较差，造成盾构掘进中刀盘及主轴承扭矩、千斤顶推力增大，施工进度较慢；另外，砂性土流塑性差，螺旋出土器出土困难，工作面易形成干饼。土孔隙中的浅层气密度低，土体受到刀盘切削后，气体比水更容易与土颗粒分离，聚集于上部，而下部的砂土沉淀流动性差，加之受到挤压，形成砂饼的几率更大，不利于出土。气土分离后，气体位于上部，砂土位于下部，气体容易压缩，在千斤顶推力作用下，上部受到阻力小，下部阻力大，易使工作面失去平衡，对盾构掘进方向控制不利。

③对泥水盾构局部稳定造成影响。采用泥水盾构时，在泥水盾构进入含气土层时，一方面打破了土层中原有的气水平衡状态，造成气体向压力低处运移；另一方面会改变土层的原有结构和固、液、气三相的比例及空间分布。这样，土层中的浅层气就会进入与切削面直接接触的泥水中。由于气体的密度小，容易在切削面的上部聚集，造成上部切削面成膜困难，这对局部切削面稳定十分不利。

④泥水平衡盾构排出浅层气困难。由于泥水盾构送泥水的输送管处在泥水舱的上部，而排泥水的管道位于泥水舱的下部。如果气体量较大，刀盘的搅动不足以将气体与泥水混合在一起，聚集在泥水舱上部的浅层气排出难度较大。

⑤影响盾构施工注浆。含气层中浅层气压力较高，增大了注浆压力，同时，含气层孔隙比高，基本被浅层气充满，浅层气的压缩性很强，注浆与饱和土中有很大的区别。饱和土中注浆，浆液与水混合，注浆得当可以使浆液分布比较均匀，有利于浆液作用地发挥，在含气层中注浆，浆液在孔隙中会比较

离散，影响注浆效果，还会向远处扩散，无疑增加了注浆量，这给注浆带来困难。

⑥浅层气释放对隧道衬砌内力和盾头稳定的影响。浅层气控制性释放后土体有体积压缩，这时隧道下方的土体与隧道暂时不接触，失去下部土体抗力，上部土压力成为附加荷载，这个附加荷载会对隧道衬砌内力和变形产生影响，严重则造成隧道轴线偏移或断裂。另外，盾构与隧道管片之间是相对独立的，没有很好的约束作用。当浅层气释放时，盾构的位移比较大。如果浅层气无控释放时，含气层土体受到剧烈扰动，浅层气迅速进入隧道后，土层被淘空，这个过程是非常迅速的，特别是盾尾部分漏气时，盾构非常危险，在附加荷载作用下，管片没有足够的连接刚度，盾构机头部产生大位移在所难免。

### (3) 盾构施工危害防治

因地铁盾构施工阶段的作业线路长，可能遇到的地层较多，更容易引发浅层气危害，且危害发生所造成后果一般都较严重<sup>[8]</sup>，而目前国内外在此类地层中修建地铁的工程经验和相关研究成果甚少，可直接借鉴的经验不多。如何在认清含浅层气地层的工程性状和灾变机制的基础上，采取有针对性措施有效确保地铁工程安全施工，成为目前影响杭州地铁1号线建设是否顺利的关键问题之一。为此，在含气土层工程特性研究、模型试验和数值模拟的基础上<sup>[9]</sup>，提出了地铁盾构施工阶段浅层气危害防治的4种对策。

①采取有效的工程措施来防止和尽量减少浅层气进入隧道内，并要求隧道内部通风设施必须满足保证安全的要求，且要保持良好的工作状态，减小浅层气浓度。另外，不但要求盾构机保证密封，而且要求排渣土的系统也具有防止气体外泄的功能。施工过程中加强对浅层气的实时监测，施工过程中控制浅层气的浓度小于1.0%，当浅层气的浓度达到1.0%时，应停止作业，加强通风，使隧道内浅层气的浓度降到1.0%以下；当浅层气的浓度达到1.5%时，应停止作业，撤出工作人员，切断电源，采取适当的通风措施，迅速使隧道内浅层气的浓度稀释到1.0%以下，任何时候都严禁隧道内的浅层气浓度达到爆炸界限（5%~15%），在施工过程中严禁烟火。

②隧道内通风机应设两路电源，并应装设风电机闭锁装置，当一路电源停止供电时，另一路应在15 min内接通，以保证风机正常运行。隧道内的设备应防爆化，盾构机附近的局部通风机实行专用变

压器、专用开关、专用线路供电,风电闭锁、浅层气电闭锁装置。隧道采用抗静电、阻燃的风管,风管百米漏风率不应大于2%,防止浅层气积聚的风速不宜小于1 m/s。建立安全防范管理体系,专人负责,连续测定洞内甲烷气体、氧气的浓度,配备巡检人员及时巡检,以便发现问题及时处理。

③施工过程中发现工作面前方或底部有储气层时,应及时掌握浅层气的埋深、压力、储量等信息,以便提早采取有效的防护措施,避免出现隔气层被气顶破的现象发生。盾构法隧道在含浅层气区段施工时要加强密封处理,特别是盾尾和管片之间的缝隙,注浆要及时到位。要考虑浆液向土孔隙扩散,导致注浆效果不理想。因此,有必要增加注浆量,缩短浆液凝结时间,尽快封堵。

④一旦发现有局部浅层气集中外溢时,应及时采取有效措施保护出溢口,防止渗漏出口进一步扩大而引发土层大范围扰动破坏,并将溢出的浅层气迅速排出,控制浅层气浓度在1.0%以下。

### 3.4 地铁运营期危害及防治对策

地铁在运营期防治措施则应根据浅层气的自身特点,有针对性地采取主动预防的方法,在加强监测力度的同时,建立必备的应急措施和制定应急预案,建立应急制度,安装应急设备并配备应急人员,落实应急人员责任。

监测方法可以仿照煤矿开采或铁路瓦斯隧道运营过程中监测瓦斯的办法进行,特别要加强浅层气容易聚集部位的监测力度,最好实行实时监测。在隧道顶部和地铁站各层建筑物通风较差的部位安设专用监测和排气设备,在地铁运营过程中,浅层气的浓度在任何时间、任何地点都不得大于0.5%。同时,加强地下工程的通风排气设施的建设,浅层气的排放要有专用设备,切实保证地铁的安全运营,也可作为杭州地铁的后期建设积累经验。

## 4 结 论

由于浅层气对地铁的建设和运营都会造成一定的威胁,因此,必须根据浅层气的特性和地铁的特点,采取有针对性的灾害防治措施来保证地铁建设和运营的安全:

(1) 对所有参与勘探、施工、监理、管理的人员都要进行预防浅层气和消防等方面的安全教育,施工人员穿防静电衣服,以防止静电产生火花。严禁在勘探、施工过程中点火吸烟和烧烤其他可燃物,严禁携带火种或易燃物品靠近,对易造成燃烧和爆炸的电器设备均应加以防爆装置,并建立机电的检

查、维护专职制度,现场必须配备足够的电气灭火器材。

(2) 在勘探阶段,现场工作人员配备便携式浅层气指示报警装置,以便及时发现浅层气,防止事故发生,并采用能够控制浅层气喷发的勘探设备,禁止出现长时间的无控气体释放,完成作业的勘探孔要及时封堵。

(3) 在施工过程中发现工作面前方或底部有储浅层气层时,应及时掌握浅层气的埋深、压力、储量等信息,以便提早采取有效的防护措施,或同时借助安全放气措施将储气层中的浅层气释放,一旦发现局部浅层气集中外溢时,应及时采取有效措施保护出溢口,防止渗漏出口进一步扩大而引发土层大范围扰动破坏。现场必须安设浅层气实时监测和抽排风设备,施工过程中控制浅层气的浓度小于1.0%。当浅层气的浓度达到1.0%时,应停止作业,加强通风,使隧道内浅层气的浓度降到1.0%以下;当浅层气的浓度达到1.5%时,应停止作业,撤出工作人员,切断电源,采取适当的通风措施,迅速使隧道内浅层气的浓度稀释到1.0%以下;任何时候都严禁隧道内的浅层气浓度达到爆炸界限(5%~15%)。

(4) 运营期以监测结合排放为主要手段,方法可仿照煤矿开采过程中监测瓦斯的办法进行,特别要加强浅层气容易聚集部位的监测力度,最好实行实时监测;在隧道顶部和地铁站各层建筑物通风较差的部位安设专用监测和排气设备,在地铁运营过程中,浅层气的浓度在任何时间、任何地点都不得大于0.5%。

在杭州地铁1号线的勘察和施工期间,勘察和施工单位在含浅层气的区段进行作业时,严格执行上述灾害防治原则和相应的对策,避免了工程事故的发生,保证了工程建设的顺利进行,取得了良好的效果,也为后续工程的建设积累了宝贵的经验。由于杭州地铁1号线还未建设完成,地铁运营期灾害防治措施的合理性和可靠性还有待于在地铁后期运营过程中进一步验证和完善。

### 参 考 文 献

- [1] 冯铭璋, 季军. 上海地区浅层气地质灾害评估[J]. 上海地质, 2006(4), 26(4): 44-47.  
FENG Ming-zhang, JI Jun. The geological hazard evaluation by shallow layered natural gas in Shanghai region[J]. *Shanghai Geology*, 2006(4), 26(4): 44-47.

- [2] 唐益群, 刘冰洋, 赵书凯, 等. 高压沼气对浅部砂质粉土工程性质的影响[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2004, 32(10): 1316—1319.  
TANG Yi-qun, LIU Bing-yang, ZHAO Shu-kai, et al. Research on influence of high-pressure marsh gas on sandy silt engineering[J]. **Journal of Tongji University (Natural Science)**, 2004, 32(10): 1316—1319.
- [3] 田湖南, 孔令伟. 细粒对砂土持水能力影响的试验研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(1): 56—60.  
TIAN Hu-nan, KONG Ling-wei. Experimental research on effect of fine grains on water retention capacity of silty sand[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2010, 31(1): 56—60.
- [4] 王勇, 孔令伟, 郭爱国, 等. 杭州地铁储气砂土的渗气性试验研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(3): 815—820.  
WANG Yong, KONG Ling-wei, GUO Ai-guo, et al. Experimental research on gas permeability of shallow gassy sand in Hangzhou Metro Project[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2009, 30(3): 815—820.
- [5] 郭爱国, 沈林冲, 张金荣, 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): 78—81.  
GUO Ai-guo, SHEN Lin-chong, ZHANG Jin-rong, et al. Influence model analysis of shallow gas on Hangzhou Metro Project construction[J]. **Journal of Railway Engineering Society**, 2010, (9): 78—81.
- [6] 王勇, 孔令伟, 郭爱国, 等. 气体释放速率对浅层气藏中气水运移的影响[J]. 浙江大学学报(工学版), 2010, 44(10): 200—206.  
WANG Yong, KONG Ling-wei, GUO Ai-guo, et al. Effects of gas release rate on gas-water migration in shallow gas reservoir[J]. **Journal of Zhejiang University (Engineering Science)**, 2010, 44(10): 200—206.
- [7] 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 Ling-wei, GUO Ai-guo, CHEN Shou-yi, et al. Influence of shallow natural gas blowout on stratum damage and hazard analysis of pile foundation[J]. **Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering**, 2004, 24(4): 375—381.
- [8] 孔令伟, 钟方杰, 郭爱国, 等. 杭州湾浅层储气砂土的应力路径试验研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(8): 2209—2214.  
KONG Ling-wei, ZHONG Fang-jie, GUO Ai-guo, et al. Experimental study of stress path of shallow gassy sand of Hangzhou Bay[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2009, 30(8): 2209—2214.
- [9] 王勇, 孔令伟, 郭爱国, 等. 浅层气地层对地铁隧道稳定性影响模型试验研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(11): 3423—3429.  
WANG Yong, KONG Ling-wei, GUO Ai-guo, et al. Model test research on influences of shallow gas stratum on stability of metro tunnel[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2010, 31(11): 3423—3429.

### 浅埋小净距黄土隧道工程

作者: 宿钟鸣, 出版日期: 2012-12-31, 标准书号: ISBN 978-7-114-10210-3, 版印次: 第1版第1次, 16开本, 定价: 28元。

内容简介: 本书收集、借鉴和参考了相关研究、设计、施工和管理成果, 结合以往黄土隧道建设情况, 提出黄土隧道围岩分级的方法。总结了黄土隧道支护措施及地表裂缝处治措施; 重点分析了浅埋小净距黄土隧道围岩压力和荷载分布模式、围岩应力释放、埋深及净距对隧道初期支护的影响。探讨了浅埋偏压段小净距黄土隧道初期支护拱架选型问题以及系统锚杆的工作特性、拉拔荷载下的特性, 及基于实测轴力反算围岩塑性区大小问题。在结合监控量测的基础上分析了支护结构的受力特性, 同时对小净距黄土隧道的施工技术及质量控制问题进行了详细总结。

目录: 1. 黄土及黄土隧道; 2. 浅埋小净距黄土隧道支护措施及地表裂缝处治; 3. 浅埋小净距黄土隧道围岩压力和荷载模式分析; 4. 围岩应力释放对浅埋小净距黄土隧道的影响分析; 5. 埋深对小净距黄土隧道受力特性的影响分析; 6. 浅埋小净距黄土隧道净距优化及中间岩柱加固; 7. 浅埋小净距黄土隧道初期支护拱架选型分析; 8. 小净距黄土隧道系统锚杆受力特性分析; 9. 小净距黄土隧道监控量测及支护受力特性分析; 10. 小净距黄土隧道施工技术及质量控制; 附录; 参考文献。

读者对象: 本书可供从事隧道工程科研、施工和管理相关人员参考和借鉴。