

珠三角天然气输气站场管道沉降预防和治理实践

高建军（中海广东天然气有限责任公司，广东 珠海 519015）

摘要：珠三角地区由于受工程项目、特殊地质条件、法律法规的限制，部分与输气管道配套的天然气站场建设项目选址在软土地基上或填海区，两者的共性是地基承载力低、项目后期地面沉降变形大、沉降持续时间长，致使敷设在其上的管道、电气线路和设备基础由于不均匀沉降而引起极大的安全隐患。国内外出现过管道和站场因不均匀沉降导致管道破裂的安全事故。因此，需高度重视并做好前期的工程设计和后期的治理。

关键词：地下水；地基处理；天然气输气站；管道沉降；预防与治理

1 珠三角软土概况

珠江三角洲的软土一般是西江、北江以及东江因为珠江口受内海岸浪流和潮汐水动力影响之下逐步产生，土层大部分属于含水量较高的淤泥、粘土等。因为自身较为独特的地质、地理成因，使得珠三角的软土为已见工程中所见的最软的软土。

珠三角软土，从本质上来说属于软塑以及流塑状态的粘性土，突出特征在于含水量丰富、承载力较小、受荷后变形大、抗剪强度低、压缩性高、灵敏度高、透水性差等工程地质特征，地质环境不符合工程实际需求。另外软土自身强度不高、沉隐量较大，很容易对输气站工程造成风险，如果没有采取有效措施，必然会对天然气输气站管道及设备基础的施工与后续使用维护带来极大程度的影响，容易导致敷设在其上的管道和设备基础遭到破坏。从珠三角软土地区已建输气站场的多年沉降观察，发现引起管道变形的主要原因是地基的不均匀沉降。因此，必须考虑地基处理不妥对管道的影响，避免造成管道安全事故。

2 天然气分输站选址地质及地下水情况

天然气分输站选址经与政府规划部门协调，位于填海区。地质勘察属为海岸平原地貌，地形平坦开阔。

2.1 地质情况

借助于对场地工程所在区域实施地质调绘以及地层钻探后发现，场地工程所在地上部属于第四系覆盖土，包含了人工填土、全新统海陆交互沉积的淤泥质土、粘土、中砂以及砂砾等构成，下伏基岩为燕山期花岗岩。

2.2 地下水情况

2.2.1 地下水类型

根据所选场站地下水赋存情况、水力性质以及水动力情况，场地工程所在区域地下水属于第四系松散岩类孔隙潜水。其埋藏在第四系松散物的孔隙之内，

为线性状展开，通常不具备承压性质，为孔隙潜水分布。

2.2.2 地下水的补给、迳流、排泄和地下水露头

天然气分输站场工程所在位置地下水补给、径流以及排泄在很大程度上会受到当地降雨情况、地层岩性、地貌环境以及水文网切割深度的影响。分输站场所在区域地下水补给形式主要是源于降水渗入和海水渗入补给。依靠径流和地下水逐渐朝着低处排泄。

2.2.3 地下水位

每年4到9月时当地降雨较为丰富，地下水位达到峰值，雨季之后开始慢慢降低，后恢复正常。每年11月到次年2月时降雨不多，此时地下水位处于最低。在进行勘察的过程中，混合地下水埋藏深度为1-1.6m。由此能够看出地下水位一般是因为当地降雨和海水的变化情况而发生改变，地下水埋藏深度的高低幅度在1-2m左右。

3 管道及设备的地基处理

3.1 地基处理目的

3.1.1 加强地基土的承载力

对地基产生剪切影响的关键性因素是由于构筑物地基承载性能不足，偏心荷载以及侧向土压力共同影响下导致结构稳定性降低。土方开挖作业导致边坡稳定性不足，坑底隆起。地基土剪切破坏的关键因素为抗剪强度较低，为避免出现上述问题必须要制定有针对性的方案来增强其抗剪性。

3.1.2 降低地基土的压缩性

地基的压缩性集中反映在构筑物沉降以及差异沉降较大，和土体压缩性与压缩模量具有非常密切的关系。应当通过有效策略增强地基土压缩模量，有效避免发生地基沉降的几率。

3.1.3 改善地基的透水特性

组织开展基坑开挖施工时，由于土层内存在薄层

粉砂可能出现管涌或流砂现象，这与地下水在土中的流动有关，所以应当通过合理对策控制地基土透水性，避免动水压力过大。

3.1.4 改善特殊土不良地基特性

针对湿陷性黄土以及膨胀土，应当依靠有效措施降低其湿陷性以及胀缩性。

3.2 地基处理

3.2.1 地基处理前

将软弱土层用作地基的保持层，能够采取如下措施予以控制：①当覆土较薄时，应采用淤泥和淤泥土作为覆盖层，保护较好的土层，作为防范建设活动对淤泥质土扰动的有效方案；②冲填土、建筑垃圾有良好的均匀性和密实度，可作为持力层；③对有机质含量相对较多的垃圾或者存在侵蚀性的工业废料等，要禁止将其当成是持力层。局部软弱土层能够选择基础梁、换土以及桩基等措施予以处置。针对地基处理策略来说，需要全面分析场地工程所在区域的地质及水文条件，了解构筑物对地基的实际需求，熟悉掌握构筑物类型、附近环境情况以及施工现场环境等，通过科学的技术经济指标评估来确定最终所采取的措施。

3.2.2 地基处理设计时

对地基进行处理设计的过程中必须要全面综合上部结构、基础以及地基的相关情况，通过有针对性的策略来不断提升结构刚度和强度，以强化构筑物适应地基不均匀变形。已经确定方案后应当根据地基基础明确等级，在相似的场地环境中组织开展测试活动，验证设计参数和加固效果，为施工建设质量检验带来准确依据和参考。

3.2.3 地基处理后

地基处理时，需优先考虑两个方面问题：其一，在构筑物荷载作用下，沉降量大，由于排水不畅，致使软土压缩固结时间长，可能持续几年乃至十几年时间；其二，厚度变化大，导致地基出现不均匀沉降，发生剪切破坏。因此，只有在软土地基经处理满足承载要求后再进行建设。每个输气场站的建设前都要进行地质勘探，从地基条件、处理要求、施工成本、材料设备等角度予以全面分析，最终得到更加经济合理的处理方案。经过处理之后的地基，需要根据其承载力利用基础底面积以及埋深对承载力特征值予以校正的过程中，基础宽度地基承载力校正系数是 0，基础埋深地基承载力校正系数是 1；如果受力范围中依旧包含软弱下卧层，应验算其地基承载力。对受较大程度

荷载的构筑物，例如收发球筒、过滤分离器、计量撬、调压撬等重设备，地基处理后应当对稳定性予以计算，按照相关规定标准选择地基承载力以及变形验算的荷载。结合构筑物荷载偏差、不同的施工建设流程等，遵循规定标准对地基变形允许值进行确定。进行处理后，构筑物地基变形需要符合目前的规定标准，开展好施工过程中沉降观测工作和后续使用后的常态化观测，将结果当成是评估地基加固实效性以及维护工作的重要参考。复合地基设计应当满足构筑物承载力及变形规定。复合地基承载力特征值应当依靠现场试验来获得，抑或是选择增强体的荷载试验结果以及附近土的承载力特征值予以确定。

4 天然气输气场站的沉降

输气场站的管道一般来说能够采取埋地或者架空两种不同的敷设模式。由于站场工艺空间布局和管道减振的要求，管道除部分连接输气设备需架空需求外，其他主管线、放空管、排污管等管线多采用埋地敷设，管道易受上面填土不均匀沉降承受向下的预应力。输气场站的大尺寸球阀、过滤分离器、收发球筒、汇管、计量撬、调压撬等重要输气设备，其设备基础多采用桩基法中的预应力管桩，在管桩上浇筑混凝土基础支撑。站场管道受地面下沉影响主要集中在进出站绝缘接头管段、连接气液联动阀（ESD 阀）的管段、进站管线与收发球筒装置连接的管段、埋地管线与架空管线的连接处和弯头的焊缝，表现为管线的焊缝受应力变形、设备支撑被管线拉扯错位、法兰连接螺栓承受极大拉伸应力、调压撬底座因沉降而“拱起”、电缆因沉降紧绷等。

5 输气场站管道沉降的治理实践

对站场内受沉降的影响的管道、设备和电缆，可根据具体情况采取不同的处理措施，具体如下：根据现场管道沉降状况，结合设计单位的建议，选用有资质的应力监测单位，对场站进出站绝缘接头处、收发球筒装置、其他受到沉降影响的管段设置沉降应力监测观察点，定期采集应变监测数据，依据其分析报告采用对应的措施。例如在收发球筒前管道弯头应力集中的焊缝处设置应力监测试片，每月定期监测应力值（如图 1、图 2 所示）。

开挖沉降管段，卸掉管道上方的载荷，释放管道受的下沉应力，使管道回弹，回填采用轻质陶粒减轻附着在管道上方的载荷。如计量撬的汇管受沉降导致出现一定的倾斜，经处理后管道及汇管回弹。

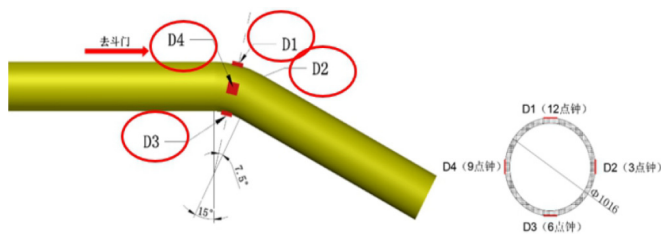


图 1

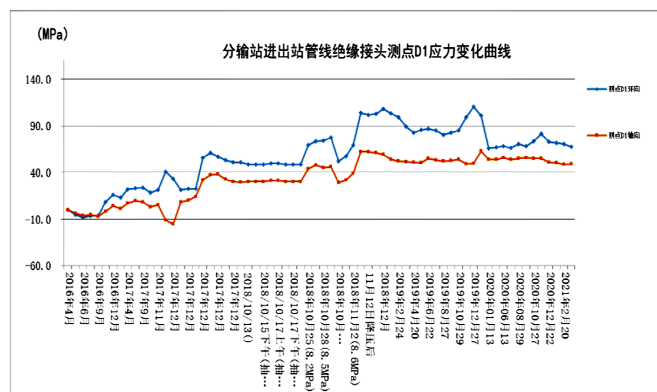


图 2

将输气设备的支撑改为可调节支撑和降低支撑标高,依据管道的下沉监测变形量,选用液压千斤顶临时支护管段来调节支撑高度。例如受沉降影响,3处进、出站放空的三个球阀后端法兰存在泄露现象,经组织设计、监理、施工及华南理工大学等相关单位讨论后,进出站放空相关的六个阀门采取降低标高的方法,减小管道应力,解决法兰片泄漏问题。阀门标高降低(降低25~37mm)施工完成,经对相关应力点测试,效果明显:海气来气进站放空管球阀附近测点(21、22、50)的应力释放102.5MPa;LNG来气进站放空管球阀附近测点(2、3、16)应力释放109.7MPa;去下游出站放空管球阀附近测点(35、36、37、54)应力释放113.2MPa。相对原应力测量值,三处放空球阀的应力基本消除,解决了法兰泄漏问题。对于已随地面沉降变形较严重排污、放空、自用气等管线,根据现场实际情况,有多种修复方式供其选择,一是切除管线的变形受损管段,用同材质的管件更换;二是选用同压力等级的不锈钢软管,并预留将来可能产生的变形量。

6 总结

针对站场内管道随地面沉降的治理是一个综合性的工程,持续时间长,采取多种治理措施。其中开挖管道释放所受地面下沉应力后,目前比较常用的方式回填原土或改用轻质陶粒恢复原貌,但是由于软土地

基的沉降持续时间长,待应力监测变形量达到预警值时需再次开挖管道释放应力,往往导致较多人力、物力、财力的损失。

鉴于管道沉降治理的复杂性和不可预测性,可以考虑从两方面在节省沉降治理的综合成本并取得良好效果。结合已建设好并投入生产的输气场站,在不影响正常生产的前提下,对站内沉降的进出站管段、排污和放空等管线,可考虑在管道第一次开挖就砌筑管沟,将管道放置于管沟中用沙或轻质陶粒回填,用规格相同的分块盖板封闭管沟,后期当管沟随地面下沉盖板压着管线时,在管沟两侧加砖砌高。

在工程前期的设计阶段,工程建设方充分调查项目选址地的地质条件,类似工程投用后地面下沉的情况,结合设计方和施工方采取针对性的措施。建议在工艺装置的功能或布局位置相对集中的区域,在桩基法深桩基础上浇筑整体平台,虽然项目前期投入相对增加,但后期不会出现设备随地面下沉影响安全生产,可一劳永逸保障设备安全。对于管道附属的排污、放空管线因布局分散,浇筑整体平台成本偏高,可考虑铺设管沟,管沟可采用制作模型或现场浇筑,排污、放空管放置于管沟中用沙回填,用分块盖板封闭管沟,后期管沟盖板使管线承重则在管沟两侧加砖砌高,处理方便,如此可节省大量后期维护费用,降低企业运行成本。

工艺设备的电缆同样因分散可铺设电缆沟,并充分考虑电缆沟不能达到区域电缆的预留长度,当电缆随地面下沉承受较大应力时,即便后期小范围开挖也能减少维护费用。

软土地基或填海区的沉降有其不可预见性和治理的复杂性,在设计和施工中应高度重视,不能仅考虑工程建设前期投入的费用,还要长远考虑后期的维护费用。只有在综合考虑的基础上才能确定最佳的工程建设方案。上述几点是根据本文研究目标制定的有针对性的解决对策。组织开展管道设计、施工和管理工作时,需要充分考虑到不同因素,确保管道能够保持安全稳定的运行状态,同时为其带来更加坚实的防护保障。

参考文献:

- [1] 高惠瑛,冯启民.场地沉陷埋地管道反应分析方法[J].地震工程与工程振动,1997,17(01):68-73.
- [2] 严铭卿.天然气输配工程[M].北京:中国建筑工程出版社,2005.