

深厚淤泥质地层中盾构下穿燃气管线的施工风险及质量控制措施

陈文

中国铁建十一局集团城市轨道交通工程有限公司, 湖北 武汉 430000

【摘要】在佛山市的地铁隧道施工中,普遍存在深厚的淤泥质地层,淤泥质地层包含淤泥质土层和淤泥质粉细砂层,具有含水量高,压缩性高,孔隙比大,抗剪强度低,灵敏度高的特点。盾构在该地层掘进中,当原状土受震动后,会很快变成稀释状态,易产生侧向滑动,导致盾构出土超方,引起盾构刀盘掌子面拱顶沉降过大、变形严重等现象;同时,因地层含水量高、土体软塑性强,盾构施工过程中存在着管片上浮侵限、隧道渗漏水等风险,本文通过分析深厚淤泥质地层中盾构下穿燃气管线的施工风险,并从施工过程中的联系测量、掘进参数、渣土改良等方面提出有效的解决措施,保障了成型隧道的质量。以期对类似工程起到借鉴的作用。

【关键词】盾构空推;风险;措施

1 引言

地铁盾构在佛山市地区普遍存在深厚淤泥质地层中掘进的施工情况,由于淤泥质地层的含水量高、压缩性大、流塑性等特点,容易造成刀盘掌子面超方现象,进而导致较大的地面沉降,甚至地面坍塌现象,引发安全生产事故。分析主要原因是由于盾构机推进过程中,刀盘推进切削工作面土体时,对刀盘前方软弱淤泥质土形成挤压压缩,洞身范围内的软弱淤泥质地层扰动大、土体自身稳定性极差,这样往往会使刀盘拱顶的软土地层过量切削进入舱内,一旦密封土仓内有一点土压失衡,上部的松软地层会很容易造成土体流失,进而发生较大的沉降风险。

2 工程概况

南涌站~陈村新城站盾构区间从南涌站始发,沿G105国道向北往陈村新城站掘进。区间沿线穿越的主要建筑物有粤顺茶厂、永泰贸易楼、南涌河(河底有一条DN315mm燃气管线)、南涌大桥、建设大厦等,区间线路最小曲线半径为500m,区间线路纵断面呈“V”字型节能坡形式,线路出南涌站后,右线以-2%、-20%、7.58%、24%、2%的坡度到达陈村新城站,线路轨面埋深17.7m~31.3m,隧道覆土12.88m~26.48m,地层上往下依次为(1-1)人工填土层、(2-2)淤泥质粉细砂层、(2-1B)淤泥质土层、(3-2)中粗砂层、(4-2)粉质粘土层、(6)全风化泥质粉砂岩、(7-3)强风化泥质粉砂岩、(8-3)中风化泥质粉砂岩。

本区间在下穿南涌河时,河涌底部有一条DN315mm燃气管线,燃气管线与隧道平面相交,相交点隧道埋深18.6~22.4m,隧道拱顶距离燃气管线约6.5m,该段燃气管线埋深约12.1~15.9m,主要位于(2-1B)淤泥质土层和(2-2)淤泥质粉细砂层中。管线距离隧道拱顶约3.5m,隧道洞身穿越

地层主要为(2-1B)淤泥质土层和(2-2)淤泥质粉细砂层、(6)全风化泥质粉砂岩,河涌水位约7m,潮汐变化高度约2m,线路位于24%的上坡段。

3 施工风险

3.1 淤泥质地层承载力不足,出现盾构机下沉、磕头的风险

淤泥质地层标贯系数为3~4锤,属于软弱土地层,盾构穿越该地层时,软弱的淤泥质土层承载力不足以满足施工要求时,易出现盾构下沉、磕头的风险。

3.2 盾构出土超方、掌子面失稳的风险

本区间盾构过河及下穿燃气管线区段主要穿越地层为深厚的(2-1B)淤泥质土层和(2-2)淤泥质粉细砂层,地层具有含水量高、强度较低、压缩性较高、高灵敏度、低强度、流塑性等特点,盾构掘进时刀盘挤压前方软弱土体产生压缩变形,刀具切削土体造成扰动较大,加上淤泥质土基本无自稳性,容易导致掘进出土超方,从而引起掌子面失稳、拱顶沉降严重的风险。

3.3 淤泥质地层埋深大、含水量高,成型隧道出现管片上浮的风险

盾构下穿河涌及燃气管线时,隧道埋深较深、淤泥质地层含水量高,在较大的水压头作用下,易出现成型隧道管片上浮的风险。

3.4 盾构通过后,地层二次固结,引起燃气管线沉降变形过大,导致管道破裂的风险

隧道周边软弱土体受到盾构施工的扰动后,在盾构隧道的周围形成超孔隙水压力区。当盾构通过该地层后,孔隙水排出,引起地层移动和地面下降。此外,盾构推进中的挤压作用和注

浆作用也使周围地层形成正值的超孔隙水压区。在盾构隧道施工后的一段时间内其孔隙水压力复原,发生排水固结变形,引起地面沉降,导致隧道拱顶上方的燃气管线发生二次沉降,沉降过大后,容易引起燃气管道破裂的风险。

4 关键控制措施

4.1 盾构施工严格控制隧道中线、抬头掘进

通过自动导向系统 VMT 和人工测量复核进行盾构姿态监测,确保盾构掘进的姿态严格按照隧道中线匹配,同时垂直姿态进行微调,确保盾构机比隧道上坡坡度略大 1~2%进行抬头掘进,避免发生盾构机下沉、磕头的现象。

4.2 选择合理的掘进参数、匀速平稳掘进

盾构施工参数如推速、推力、同步注浆、正面土压等,与地表沉降密切相关。因而,盾构施工前必须根据地质条件和设计要素等情况,选取合理的参数指导施工,使盾构在施工过程中达到最优控制掘进状态。本区段采用纯土压平衡模式进行隧道掘进,控制土仓压力为 $H + (0.1 \sim 0.2) \text{ bar}$ (H 为隧道拱顶覆土+河涌水位的高度),保证稳定的土仓压力,减少对地层的扰动;推力控制在 800~1200t,刀盘转速放慢,控制在 1.0~1.5r/min,刀具贯入深度控制在 30mm 以内,掘进速度选定为 40~50mm/min,匀速地切削洞身土体,严格管控出土量,出土系数控制在 1.1~1.2 倍理论出土量范围;同时,加强盾尾同步注浆管控,砂浆填充系数保证为 1.3~1.5 倍、注浆压力控制在 3~4bar,采用注浆量和注浆压力双控指标,以确保到达掌子面的稳定性和防止地层坍塌现象。

4.3 增加盾体径向注入厚浆、填充盾体外刀盘开挖产生的空隙

本工程选用海瑞克盾构机,刀盘设计直径为 6280mm,前盾直径为 6250mm,刀盘较盾体直径大约 30mm 左右,当盾构机下穿河涌及燃气管线时,通过盾构机盾体上的径向孔向盾体周边注入厚浆,以填充盾体周边的孔隙,减小盾体通过阶段的地面沉降值。厚浆主要采用水泥和熟石灰进行试验配合,每环掘进时厚浆注浆控制为 0.5~1m³。注浆压力控制在 3~4bar,现场通过在 2 号台车处设备改造的方式设置厚浆罐及螺

栓注浆泵以满足施工要求,达到控制盾构掘进时盾体周边土体沉降的目的。

4.4 合理分配油缸推力、及时开展二次注浆,控制管片上浮趋势

盾构施工在大坡度条件下,盾构机推力在轴线方向上产生一个向上的分力,加之同步注浆浆液的浮力导致管片上浮。控制管片上浮需要从盾构掘进推力分配、优化同步注浆配比和及时进行二次注浆等方面考虑控制。

(1) 盾构掘进推力分配

盾构掘进过程中为保证盾构机垂直姿态需使上、下部分区油缸产生推力差防止盾构机掘进过程中发生栽头现象。管片上浮主要是受油缸向上部的分力后加之同步注浆浆液浮力共同作用导致的浮动。因此在盾构推进过程中在保证盾构机不发生栽头现象的前提下,尽量降低上下部推力的差值从而降低向上的分力的作用。

(2) 同步注浆

管片上浮时及时调整同步浆液凝结时间,缩短浆液凝结时间,及时固定管片,防止管片位移;并调整上部与下部注浆比例来控制管片上浮量。

(3) 及时二次注浆

盾构管片脱出盾尾后,从第 $N+3$ 环开始通过管片吊装孔注入双液水泥浆的方式,控制管片上浮量,注浆量和注浆压力采用现场试验的方式来确认。

4.5 隧道成型后陀螺仪测量燃气管线三维姿态,及时洞内深孔补浆控制土体二次固结沉降

隧道成型后,采用高精度的陀螺仪,由电脑快速运算获取燃气管线的三维坐标,探测管道的变形沉降数值,根据与施工前的数据对比,确认管线沉降值。若沉降超限,则立即采用隧道洞内拱顶打入 D48mm 钢花管、注入双液水泥浆的方式,进行注浆稳固土体,防止燃气管线因土体二次固结沉降而引起的管线风险。

参考文献

- [1] 竺维彬,鞠世健著.复合地层中的盾构施工技术[M].北京:科学技术出版社,2006:46-48.
- [2] 赵自强.特殊地段的盾构施工技术措施[J].西部探矿工程,2006(9):165-166.
- [3] 李惠平,夏明耀.盾构姿态自动控制技术的应用与发展[J].地下空间,2003,1(1):75-78.
- [4] 肖广良.浅析复合式盾构机的作业模式[J].隧道建设,2002,22(1):10-13.

作者简介:陈文,男,出生于 1987 年 2 月,2008 年 7 月毕业于西南交通大学,大学本科学历,就职于中铁十一局集团城市轨道交通有限公司,职称:工程师。