

地下水渗流情况下花岗岩残积土层暗挖隧道 施工技术研究

彭东祥

(中铁建华南建设有限公司, 511458, 广州//高级工程师)

摘 要 随着各城市地铁建设的大力发展以及城市地下空间开发力度的不断增大, 工程建设将面临越来越复杂的地质条件。花岗岩残积土层隧道施工时, 地下水渗流会引起隧道结构受力不均、洞室和地表变形严重, 以及隧道开挖过程中的塌方、失稳等问题。以广州地铁番禺广场站地铁工程为研究背景, 分析了地下水渗流情况下花岗岩残积土的变形机理, 详细阐述了实际工程中的超前支护及 WSS(超前加固注浆) 注浆施工技术。超前支护及 WSS 注浆的施工技术可以很好地应用于存在地下水渗流情况的花岗岩残积土层的隧道工程。

关键词 地铁隧道; 花岗岩残积土; 地下水渗流; 超前支护; 注浆

中图分类号 U455.49

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.08.038

Construction Technology of Underground Tunnel in Granite Residual Soil under the Condition of Groundwater Seepage

PENG Dongxiang

Abstract With the rapid development of metro construction in cities and the increasing development intensity of urban underground space, the engineering construction is faced with geological conditions of growing complexity. When the tunnel is constructed in the granite residual soil, groundwater seepage often causes uneven stress on the tunnel structure, serious cavity and surface deformation, as well as the landslides and instability problems in the process of tunnel excavation. Taking Panyu Square Station project in Guangzhou metro as the research background, the deformation mechanism of the granite residual soil under the condition of groundwater seepage is analyzed; the fore-piling and WSS grouting construction technology in practical engineering is elaborated. The fore-piling and WSS grouting can be well applied to the tunnel engineering projects that suffer from groundwater seepage in granite residual layer.

Key words metro tunnel; granite residual soil; groundwater seepage; fore-piling method; grouting

Author's address China Railway Construction South China Construction, 511458, Guangzhou, China

广州地铁 22 号线番祈(番禺广场站—祈福站)暗挖区间位于广州市番禺区, 番祈区间 1[#]盾构井暗挖区间穿越花岗岩残积土层长度为 160 m。残积土层遇水呈流塑状, 无自稳性, 极易软化崩解, 因此隧道开挖过程中可能存在地面沉降和坍塌的风险。本文以地铁 22 号线番祈暗挖区间为例, 研究地下水渗流情况下花岗岩残积土层暗挖隧道施工技术。

1 地下水渗流工况下花岗岩残积土的变形机理分析

1.1 渗流场的产生及影响

降水会导致基坑内外产生水头差, 进而导致地下水渗流, 从而在基坑周围产生复杂的渗流场。渗流场时刻动态变化并且与应力场相互作用, 使花岗岩残积土土体中产生渗流。花岗岩残积层土体的抗剪强度会因渗流产生的物理力学作用和化学作用等而发生变化。

1.2 渗流对土体的物理力学作用

渗流对土体的物理力学作用主要体现在改变土体中孔隙压力分布, 进而影响土体的有效应力, 从而引起土体的强度变化。

另外, 通过水与岩土之间的物理作用和化学作用, 渗流可以改变土体的组成和微观结构, 改变土体的抗压和抗剪强度等指标, 从而影响土体的强度。渗流引起的土体中颗粒的迁移、水状态的变化和化学成分的变化都会导致土体的强度变化。

在渗透力不大或渗流刚刚发生时, 原本接触的土颗粒会分离开来, 微小孔隙会扩张变大(见图 1)。本文据此进行了不同初始孔隙比试样的渗流模拟试验, 试验结果(见图 2)显示: 初始孔隙比越大, 花

岗岩残积土的渗透指数越高。渗透指数越大,这一规律越明显。

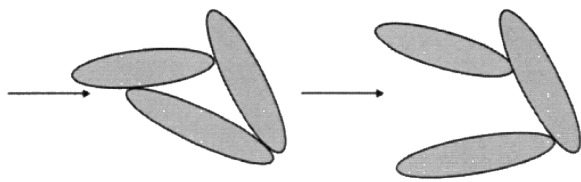


图1 空隙扩张示意图

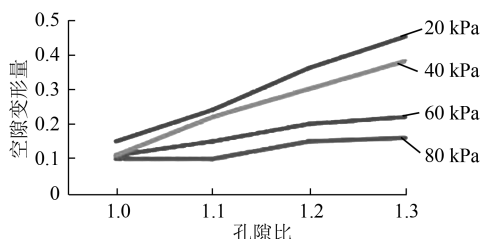


图2 不同渗透压力下的孔隙比变形量

1.3 渗流对花岗岩残积土层产生的影响

通过试验发现,围压越大,花岗岩残积土的渗透指数越低。强渗流场导致土体中的空隙大量增加,土颗粒间空隙增大,相应的结合力和摩阻力就减弱。因此,花岗岩残积土层在渗流场以及外界应力场的共同作用下,土体易产生变形。

2 工程技术措施

针对地下水渗流对花岗岩残积土层的影响,为避免隧道开挖时发生沉降和坍塌等风险,可采用超前支护及WSS注浆的施工工艺。隧道超前支护主要采用超前小导管支护,小导管采用 $\phi 42 \text{ mm} \times 3.5 \text{ m}$ 钢管,在拱部 120° 范围内布置。对于广州地铁22号线下穿3号线的A2型隧道断面,采用二重管无收缩双液WSS工法注浆。

2.1 超前支护

当隧道穿过较软弱岩层时,开挖施工会使围岩发生变形且变形程度较大。如果不事前做好支护措施或初期支护施作不及时,就会使围岩发生较大变形,当变形超出一定范围时,会产生一系列问题,严重时甚至会引起掌子面失稳、坍塌,隧道塌方,不仅严重影响施工进度,甚至会危及施工人员的生命安全,造成重大经济损失。因此,地下水渗流工况下的隧道开挖作业需采用隧道预先支护措施来控制围岩变形,从而确保隧道施工安全。

采用超前小导管施工工艺。超前小导管注浆施工流程图如图3所示。

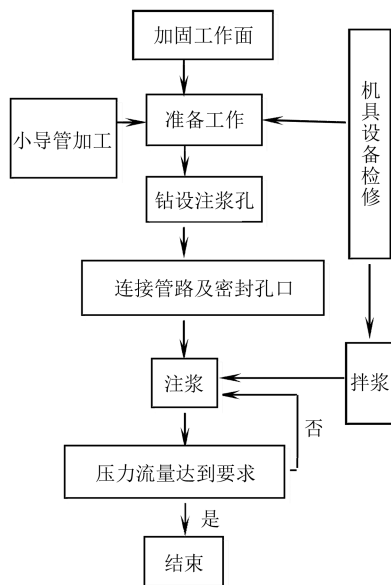


图3 超前小导管注浆施工流程图

超前小导管采用 $\phi 42 \text{ mm}$ 无缝钢管制成,前端加工成圆锥形,便于施工并防止泥浆喷出造成浪费。超前小导管长 3.5 m ,中间布置直径 15 mm 溢浆孔。溢浆孔等间距依次布置,各孔间距 25 cm 。超前小导管尾部 1.0 m 范围内不钻孔以防止浆液从导管末端流出。导管末端焊接 $\phi 8 \text{ mm}$ 箍筋加固超前小导管,以防插入超前小导管时端部开裂导致注浆管无法联接。超前小导管安装施工时,先用钻机钻孔,插入超前小导管后用风镐振入。图4为超前小导管布置示意图。

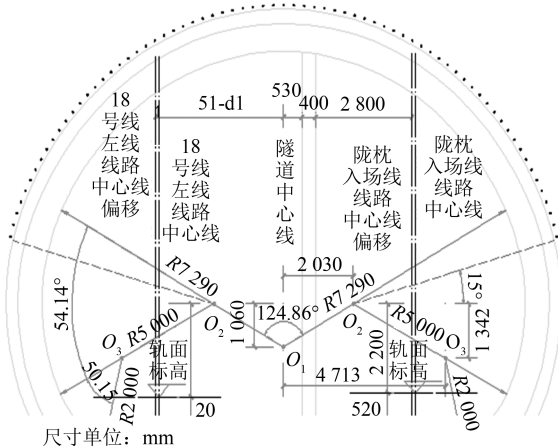


图4 超前小导管布置示意图

超前小导管注浆关键技术措施如下:

1) 安装超前小导管后,用塑料泥密封钻孔和周围的裂缝。如有必要,在超前小导管和工作表面附近喷涂混凝土,避免出现工作面塌陷。注浆前做压

水试验检测压力,检查机械设备能否正常使用,管路是否通畅,连接是否正确。如果工期压力大、设备运转效率要求高,可采用群管(每次 4~8 根)注浆。采用 ML100/120 型双液压注浆泵压注水泥浆,水灰比 1:1。注浆前,先用高压风由下至上将管内的砂石吹出。单孔注浆压力为 0.3~1.0 MPa,检测注浆量和注浆压力,达到设计要求时即可停止注浆。

2) 选择初始混合比后,通过凝胶时间调节混合比,并测量灌浆凝结体强度,以选择最佳混合比。

3) 在灌浆过程中,严格控制灌浆压力,灌浆的最终压力必须符合设计要求,并稳定压力 1~2 min,以确保泥浆的渗透范围。灌浆压力不得超过设定的最大压力,以防止结构变形、拉丝以及产生危害地下结构和地面结构的异常现象。

2.2 WSS 注浆工艺

二重管无收缩双液 WSS 工法注浆是采用二重管钻机钻孔至设计要求深度后注浆。浆液分为 A 液、B 液、C 液。溶液型浆液为 A、B 混合液,悬浊液型浆液为 A、C 混合液。由于浆液对土层的渗透性很强,需要事前调节浆液配比和注浆压力,使人为可控制注浆范围。混合浆液的凝结硬化时间要根据实际工程需要进行调整,调整的目标是使岩层的孔隙间充满浆液并充分凝结,以改善土体性状。二重管无收缩双液 WSS 工法注浆加固示意图如图 5 所示。

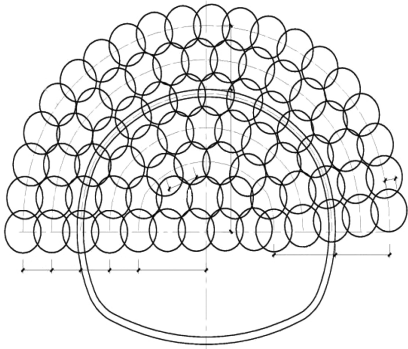


图 5 二重管无收缩双液 WSS 工法注浆加固示意图

2.2.1 注浆流程

1) 钻孔。①布置注浆孔。注浆孔的分布应参照施工设计图并进行复核。②钻机定位。定位要精准,钻头点位误差 $\leq 30\text{ mm}$,钻杆角度垂直度误差 $\leq 2^\circ$ 。③钻孔。密切监测钻进深度及溢出水情况,出现涌水时立即停钻,先行注浆止水,再分析原因。确认止水有效后可继续钻孔。

2) 注浆。钻孔完毕后,按照预先配备好的浆液进行注浆。先注 AB 液,待注浆压力达到 1.5~2.0 MPa 后,再持续注浆 10 min,钻杆外壁无流水溢出时即可停注 AB 液;再注 AC 液,待注浆压力达到 2.0 MPa 以上时提升钻杆 20~30 cm,依次提杆至该孔注浆完毕后即可移至下一孔位钻注作业。钻孔和注浆的顺序可从边界开始向内部延伸,同一圈孔间隔施工。

注浆加固圈的加固范围为开挖轮廓线外 3 m。正式注浆前应进行注浆试验,通过注浆试验段初步掌握浆液填充率、浆量、配合比及凝结进程、渗透半径、注浆终压等。施工中还可根据地质条件、施工机具设备调整钻孔布置、注浆孔数、浆液类型等注浆参数。

注浆安全岩盘厚度不宜小于 2.5 m,当安全岩盘厚度不满足要求时应先施作止浆墙后才能继续注浆。止浆墙采用 1.5 m 厚 C20 混凝土止浆墙。当安全岩盘厚度满足要求时可不施作止浆墙。每一循环注浆长度为 10 m,其中开挖 8 m,保留 2 m 止浆岩盘。

当注浆量越来越少,达到注浆终压后压力骤升时,即可结束注浆。注浆完成后应打设检查孔,检查孔不少于总注浆孔总量的 4%~8%,检查孔的出水量应 $<0.2\text{ L}/(\text{m}\cdot\text{min})$;或进行压水试验,在 0.75 MPa 压力下,吸水量应 $<1\text{ L}/(\text{m}\cdot\text{min})$ 。达到上述要求方可继续施工。

2.2.2 注浆浆液性质标准

注浆浆液性质标准如标 1 所示。

表 1 注浆浆液(CW)性质标准

浆液	比重(20℃)			粘度(cps20℃)			PH 值		
	A 液	B 液	AB 液	A 液	B 液	AB 液	A 液	B 液	AB 液
CW \approx 3A	1.30	1.05	1.18	18.10	1.8	4.2	1.25	12.00	7.50
CW \approx 3B	1.30	1.01	1.15	12.00	1.4	4.2	1.45	11.30	7.20
CW \approx 3C	1.28	1.10	1.12	4.10	1.4	2.4	12.00	2.50	7.20

注:比重(20℃)表示 20℃下浆液比重;粘度(cps20℃)表示 20℃标准液体的粘度

2.2.3 注浆量确定

注浆量的估算公式为：

$$Q = Rna(1 + \beta)$$

式中：

- Q ——总注浆量, m^3 ；
- R ——注浆范围体积, m^3 ；
- n ——孔隙率, %；
- a ——注浆填充系数, 取值为 0.7~0.9；
- β ——注浆折损系数。

设计中, $na(1+\beta)$ 统称为填充率。填充率取值如表 2 所示。

表 2 不同地质条件下的填充率取值

地质条件	填充率
杂填土	25%~30%
黏土、粉黏土、砂土	30%~35%
粉细砂、砂层	30%~40%
中砂、中粗砂	55%~65%

2.2.4 注浆压力确定

注浆压力与砂层间隙的变化程度、注水压力、灌浆材料的粘度以及胶凝时间的长短有关。一般使用当地经验作为标准：

- 1) 以地下水精水压力为参考标准。施工时, 注浆终值压力为注浆处静水压力的 2~4 倍, 最大压力为注浆处静水压力的 3~5 倍。
- 2) 根据深度计算注浆压力。即：

$$P_c = kH$$

式中：

- P_c ——设计注浆压力(终压值)；
- H ——注浆处深度；
- k ——由注浆深度确定的压力系数。

3 结语

针对临空面及地下水渗流情况下花岗岩残积土易软化、崩解等问题, 采用超前小导管支护和 WSS 注浆施工工艺, 能够有效提高地层自稳能力, 确保开挖安全。WSS 注浆工艺具有速度高效、止水效果显著、自稳定性能高、抗收缩能力强、不易发生形变、不易发生沉降等特点, 可提升隧道的施工进度。超前加固施工技术, 为后期的维护提供了便利。

参考文献

[1] 李祥华. 渗流对花岗岩残积土力学特性及边坡稳定性影响研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2017.

[2] 程剑. 花岗岩残积土渗流特性试验研究及基坑渗流变形数值计算分析[D]. 厦门: 厦门大学, 2017

[3] 孙成伟. 花岗岩残积土工程特性及地铁深基坑设计技术研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2014.

[4] 井勇. 浅谈浅埋暗挖隧道 WSS 注浆施工[J]. 四川水泥, 2020 (4): 273.

[5] 孟庆生, 黄启舒, 兰素恋. 花岗岩残积土边坡降雨入渗试验研究[J]. 西部交通科技, 2019(6): 9.

[6] 张晋毅. 复杂地质条件下轨道交通长大隧道设计技术[J]. 地下空间与工程学报, 2015(1): 135.

[7] 陈建桦. 广州地铁 5 号线珠猎区间砂层加固设计施工技术[J]. 西部探矿工程, 2009(1): 154.

(收稿日期: 2020-05-10)

(上接第 157 页)

[4] YANG X, KOEHL M, Grussenmeyer P. Parametric modelling of as-built beam framed structure in BIM environment[C]//IS-PRS. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Nafplio, Greece: IS-PRS, 2017: 651.

[5] 钟宇, 陈健, 陈国良, 等. 基于建筑信息模型技术的盾构隧道结构信息模型建模方法[J]. 岩土力学, 2018(5): 1867.

[6] 孙泽昌. BIM 技术在沪通铁路线路专业的应用[J]. 铁路计算机应用, 2018(5): 51.

[7] ALADDIN A, SAMER B H, BEDA B, et al. A BIM-based automation of design and drafting for manufacturing of wood panels for modular residential buildings[J]. International Journal of Construction Management, 2019(3): 187.

[8] 宋飞. Bentley 平台绘制桥梁 BIM 施工图设计出图原则与方法[J]. 公路, 2018(12): 160.

[9] 李兴, 王毅娟, 王健. 基于 CATIA 的 BIM 技术在桥梁设计中的应用[J]. 北京建筑大学学报, 2016(4): 13.

[10] 马少雄, 李昌宁, 徐宏, 等. 基于 BIM 技术的大跨度桥梁施工管理平台研发及应用[J]. 图学学报, 2017(3): 439.

[11] REN R, WEN J, CHENG H. The function of engineering breakdown structure (EBS) in project management[C]//IRCSBE. International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate. Nanjing: IRCSBE, 2009: 1840.

[12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.

[13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地下铁道工程施工质量验收标准: GB/T 50299—2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.

[14] 雷璐, 苏丰, 蔡士杰. 建筑构件参数化建模语言 PCML 的设计和应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006(5): 688.

[15] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑信息模型分类和编码标准: GB/T 51269—2017[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.

(收稿日期: 2019-09-12)