

# 地铁盾构隧道施工同步注浆参数控制

李娟

(深圳华森建筑与工程设计顾问有限公司南京分公司,江苏南京 210000)

**摘要:**盾构是城市地铁最为有效的施工手段,在施工掘进参数设置合理的情况下,其关键技术之一是掘进过程中的同步注浆,通过设置合理的同步注浆参数,可以有效降低对地表周边环境的影响。通过定量分析同步注浆注浆量和注浆压力,提高盾构施工参数控制水平,所得的结论可以应用于依托工程,并可为其他相关工程提供参考。

**关键词:**地铁;盾构;同步注浆;注浆压力;注浆量

中图分类号:U455.43 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2014)04-0082-03

**Parameter Control of Synchronous Grouting in Shield Tunnel Construction for Subway/Li Juan** (Nanjing Branch of Shenzhen Huasen Architecture & Engineering Design Consultants Ltd., Co., Nanjing Jiangsu 210000, China)

**Abstract:** Shield is the most effective method of city subway construction. As long as the reasonable tunneling parameters are set, synchronous grouting in tunneling becomes one of the key technologies in the process of excavation. With the reasonable grouting parameters, the influence on the surface of surrounding city environment can be effectively reduced. Through the quantitative analysis on the grouting volume and grouting pressure of synchronous grouting, the control level of shield construction parameters is improved; the conclusion can be applied to the shield construction for subway and also can be the reference for other related works.

**Key words:** subway; shield; synchronous grouting; grouting pressure; grouting volume

## 0 前言

城市地铁是现代城市交通的重要组成部分,随着城市交通发展的需求,地铁建设大范围上马。在地铁施工技术得到飞速发展的同时,施工过程对城市环境造成的破坏事故屡见不鲜。由于地铁施工面临城市大规模高密度建筑群和道路等,如何减小地铁施工对城市环境的影响成为地铁施工的研究重难点<sup>[1-3]</sup>。

盾构作为地铁施工领域的新兴技术,近年来得到了飞速发展。盾构施工同步注浆技术是减小盾构施工对周围地层影响的关键手段,如图1所示,在管片拼装完成并脱出盾尾后,及时将适量的具有一定的早期强度的浆液注入盾尾空隙内,利用其固结硬化后的强度填充建筑空隙,为管片提供一定的支撑反力<sup>[4,5]</sup>。盾构同步注浆的施工参数主要包括注浆压力、注浆量、注浆速率、注浆时间等,较为重要的是

注浆压力和注浆量。施工中通常采用注浆量与注浆压力双重标准进行注浆控制,保证有足够的浆液能很好的填充管片与地层之间的空隙。

本文通过深入分析依托工程地铁盾构隧道施工中的同步注浆技术要点,研究了同步注浆注浆量和注浆压力施工控制标准,确保有效降低盾构施工过程中的地层即时变形。

依托工程盾构刀盘直径为6250 mm,管片外径为6000 mm,某标段穿越土层主要为粘性土,盾构埋深约12.5 m。

## 1 同步注浆注浆量设定

影响盾构同步注浆的注浆量因素很多,在实际施工过程中注浆量按下式估算:

$$Q = \pi(D^2 - d^2)L/4 \quad (1)$$

式中: $Q$ ——单环管片注浆量, $m^3$ ;  $D$ ——盾构刀盘直径, $m$ ;  $d$ ——预制管片外径, $m$ ;  $L$ ——管片衬砌每环长度,取2 m。

根据式(1)计算可得该标段单环管片注浆量为 $4.8 m^3$ 。

### 1.1 超挖区附加注浆量

如图2所示,实际施工过程中,盾构掘进轴线往

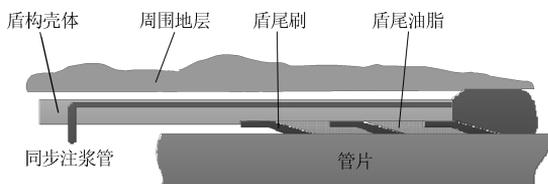


图1 盾构同步注浆示意图

收稿日期:2014-01-14; 修回日期:2014-03-21

作者简介:李娟(1987-),女(汉族),河北邯郸人,深圳华森建筑与工程设计顾问有限公司南京分公司助理建筑师,市政工程专业,从事工民建与地铁隧道设计技术管理工作,江苏省南京市鼓楼区中山路55号新华大厦40F,67252890@qq.com。

往为曲线,必然增加盾尾空隙。施工经验表明,若盾构超挖 1 cm,注浆量将增加 10% 左右,超挖区附加注浆量计算方法如下:

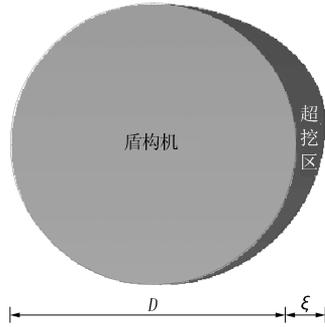


图 2 曲线施工超挖量示意图

$$V_c = \pi \xi D / 4 \quad (2)$$

$$\xi = \sqrt{R_c^2 + C^2} - R_c \quad (3)$$

式中:  $V_c$ ——盾构超挖附加注浆量,  $m^3$ ;  $R_c$ ——盾构曲线转弯半径,取 800 m;  $C$ ——盾构机自刀盘到盾尾的长度,取 9.76 m;  $D$ ——盾构机外径, m。

根据式(2)和式(3)计算可得该标段超挖区附加注浆量为  $0.29 m^3$ 。

### 1.2 同步注浆量施工损耗系数

在盾尾同步注浆施工中,注浆多采用直接压送方式,即注浆管多是从设置在盾构始发工作井附近的注浆泵开始,随着盾构机的推进,不断接长注浆管,一直延续到接受井。浆液被压送到注浆孔的过程中,浆液的损耗是不可避免的。随着盾构隧道长度的增加,残留在注浆管道内的浆液量逐渐增多,施工过程中砂浆的损耗必须考虑,以确保盾尾注浆的注浆量<sup>[6,7]</sup>。按照常规施工经验,需要考虑 1.1 ~ 1.2 的损耗系数。本工程施工中采用 1.2 的损耗系数,计算可得该标段单环管片实际注浆量为  $6.108 m^3$ 。

## 2 同步注浆注浆压力设定

施工过程中注浆压力控制标准常常以注浆孔的浆液压力为准,而非浆液系统的输出压力,通常在盾构机上设置土压力传感器,等效监测注浆压力的大小。注浆过程中必须克服管道压力损失和地下水土压力,施工过程中应尽可能增加注浆压力,从而减小衬砌与地层之间的空隙,有效控制地层压力损失,控制地表沉降和建筑物倾斜等。

### 2.1 同步注浆压力下限

如图 3 所示,理想的注浆压力下限必须维持土块 A 的稳定,使之不塌陷。

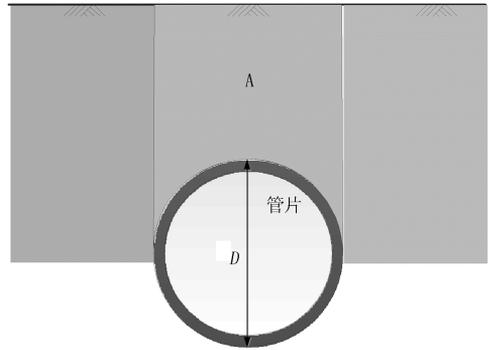


图 3 理想注浆压力计算示意图

根据静力学分析,假定粘土层摩擦角近似为零,则同步注浆压力下限值为:

$$P_{\text{下限}} = (\gamma - 2c_u / D) h \quad (4)$$

式中:  $P_{\text{下限}}$ ——注浆压力下限值, MPa;  $\gamma$ ——土的容重,取  $18 \text{ kN/m}^3$ ;  $c_u$ ——粘聚力,取  $24 \text{ kPa}$ 。

计算可得该标段注浆压力下限值为  $0.125 \text{ MPa}$ 。

### 2.2 同步注浆压力上限

实际施工过程中,同步注浆压力常常遵循舍小取大的原则,尽可能将注浆压力设置足够大,有条件的区段在地表设置沉降测点,以地表隆起为临界点,这种方法在控制地表沉降和建筑物隆起方面非常有效,同时可以大大缩短同步注浆时间。注浆压力也不能设置过大,避免土层发生劈裂破坏,从而造成大范围地表沉降;注浆压力过大也可能导致盾尾刷损坏、管片接头破损等工程事故。因而注浆压力必须设定在最小注浆压力与劈裂注浆压力之间<sup>[8,9]</sup>。

对注浆压力分析时可采用真三轴周应力模型,各参数意义如图 4 所示,其中  $P_f$  为注浆压力上限值,利用图 4 所示的应力叠加原理,可以确定孔周任意点的应力状态,在  $r = a$  处有:

$$\begin{cases} \sigma_r = P_f \\ \sigma_\theta = \sigma_1 [1 - 2\cos(2\theta)] + \sigma_3 [1 + 2\cos(2\theta)] - P_f \\ \tau_{r\theta} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

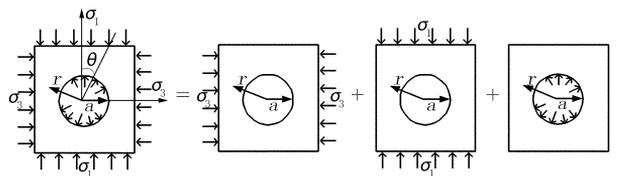


图 4 应力叠加原理图

同步注浆的压力上限对应土体的拉裂破坏,则注浆压力上限值为:

$$P_f = 3\sigma_3 - \sigma_1 + \sigma_2 \quad (6)$$

计算可得该标段注浆压力上限值为 0.316 MPa。由前面计算可知注浆压力下限值为 0.125 MPa,按照同步注浆压力尽可能大的原则<sup>[10,11]</sup>,取该标段同步注浆压力为 0.3 MPa。

### 3 结论

本文通过研究地铁盾构隧道施工过程中同步注浆参数设置技术,确定了考虑超挖和施工损耗的注浆量设置方法,通过注浆压力上下限提出合理的注浆压力设置原则。采用上述原则确定依托工程某标段单环管片同步注浆量为 6.108 m<sup>3</sup>,注浆压力下限为 0.125 MPa,上限为 0.316 MPa,按照舍小求大原则,将同步注浆压力定为 0.3 MPa,现场监测结果表明采用该注浆参数有效地控制了地表变形。

### 参考文献:

[1] 李钟,黄常波,刘强,等. 地铁隧道盾构施工同步注浆风险因素

分析与控制[J]. 建筑技术,2009,(11).

- [2] 白云,戴志仁,徐飞,等. 后掘盾构越先掘盾构对地层变形的影响研究[J]. 土木工程学报,2011,(2).
- [3] 石明江. 注浆法在盾构推进穿越已运营地铁隧道中的应用[J]. 西部探矿工程,2006,(4).
- [4] 江玉生,宋晓兵,江华. 土压平衡盾构施工中同步注浆与地表沉降的关系[A]. 2011 中国盾构技术学术研讨会论文集[C]. 2011.
- [5] 李志明,廖少明,戴志仁. 盾构同步注浆填充机理及压力分布研究[J]. 岩土工程学报,2010,(11).
- [6] 樊姝芳. 同步注浆技术在盾构隧道掘进中的应用[J]. 建筑机械,2011,(7).
- [7] 侯永峰,曹瑞琅,汪宏伟. 不同预注浆加固范围时盾构机始发稳定分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(1).
- [8] 王俊杰,朱俊高. 土体水力劈裂计算理论综述[A]. 第二届全国岩土与工程学术大会论文集(下册)[C]. 北京:科学出版社,2006.
- [9] 陈培帅,陈卫忠,庄严. 基于断裂力学的岩爆破破坏形迹两级预测方法研究[J]. 岩土力学,2013,(2).
- [10] 宋天田,周顺华,徐润泽. 盾构隧道盾尾同步注浆机理与注浆参数的确定[J]. 地下空间与工程学报,2008,(1).
- [11] 王建秀,付慧仙,朱雁飞,等. 基于地层损失的盾构沉降计算方法研究进展[J]. 地下空间与工程学报,2010,(1).

(上接第 81 页)

事故多发的重要环节。单位应制定《企业外协用工的安全管理规定》,利用社会力量加强外协工安全培训,从严加强事故隐患管理,把外协钻机等同于本单位钻机一样管理和使用,同时运用经济手段进行制裁,加大事前问责和事故责任追究力度,建立健全安全生产约束机制。

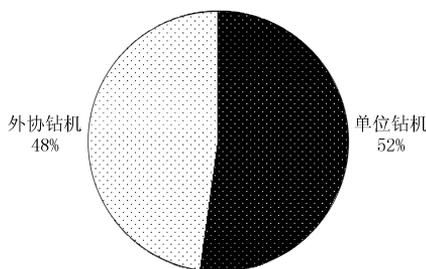


图3 外协钻机隐患排查占比图

### 6 结语

(1)通过统计分析排列图我们可以确定影响煤田勘探钻机事故类型、安全检查“三违”行为及外协钻机事故多发影响因素的主要因素、有影响因素和次要因素。

(2)机械打击和机械伤害仍然是钻机最主要的

伤害形式,自然灾害和病亡事故也是钻机安全防范的重点。

(3)抓主要影响因素,但也不可忽视次要因素的作用,主要次要因素是可以相互转化的。

(4)外协钻机隐患占所有钻机隐患相当大的比重,增加了管理难度,从严加强外协钻机管理是煤田地地质勘探防范事故多发的重要环节。

(5)通过统计分析,有助于找出事故隐患的重点,有助于提升安全生产管理的成效。

### 参考文献:

- [1] 张继承. 安全生产监督管理操作实务与执法标准指导全书[M]. 北京:中国劳动与社会保障出版社,2011.
- [2] AQ 2004-2005,地质勘探安全规程[S].
- [3] 全国注册安全工程师执业资格考试辅导教材编审委员会. 安全生产事故案例分析[M]. 北京:煤炭工业出版社,2005.
- [4] 汪传武,张波,张金平,等. 地勘单位钻探作业安全管理及技术探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(Z1):103-108.
- [5] 黄俊才. 煤田地地质系统“三违”成因与防范对策[J]. 能源与环境,2006,(3):75-77.