

泥水平衡盾构泥浆参数取值范围统计分析

张光辉¹, 邓方园¹, 周王鹏², 杨振忠², 陈保国²

(1. 中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610081;

2. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 泥水盾构掘进面的稳定性与泥膜形成好坏密切相关。为研究影响泥膜形成的主要参数(相对密度和黏度)与不同地层间关系, 通过对大量工程资料进行统计分析, 获取了适用于不同地层的泥浆相对密度及黏度参数主要取值范围。研究表明: 泥浆的相对密度与黏度成正比关系, 盾构泥浆的相对密度的推荐范围为 $1.08 \sim 1.20 \text{ g/cm}^3$, 黏度范围为 $24 \sim 28 \text{ s}$; 并将统计结果在泥水平衡盾构隧道中进行应用。本研究成果可为相似工程背景下的泥水盾构泥浆参数选取提供参考。

关键词: 泥水盾构; 泥膜; 泥浆参数; 统计分析

中图分类号: U455.43

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)12-0057-05

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.12.162

Statistical analysis of the range of mud parameters for slurry shield tunneling

ZHANG Guanghui¹, DENG Fangyuan¹, ZHOU Wangpeng², YANG Zhenzhong², CHEN Baoguo²

(1. Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Faculty of Engineering,

China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: The stability of slurry shield tunneling face is closely related to the formation of mud film. In order to analyse the relationship between the main parameters affecting the formation of mud film (relative density and viscosity) and different ground soil layers, the main value ranges of mud relative density and viscosity suitable for different soil layers were obtained through statistical analysis of a large number of engineering data. Research results show that the relative density of mud was proportional to the viscosity; the recommended range for the relative density of shield tunneling slurry is $1.08 \sim 1.20 \text{ g/cm}^3$, and the viscosity range is $24 \sim 28 \text{ s}$, the statistical results are applied to the slurry shield tunnel. The research results can provide reference for the selection of slurry shield mud parameters under similar engineering background.

Key words: slurry shield; mud film; slurry parameter; statistic analysis

泥水平衡盾构主要适用于软土地层, 对周边环境的影响较小, 因此在城市地下工程中得到广泛应用。泥水平衡盾构在进行隧道掘进工作时, 通过调整泥浆压力, 使盾构机与土层保持平衡, 从而避免了土体坍塌及涌水、涌砂事故的发生。合

理的泥浆参数是保证泥水平衡盾构顺利安全施工的关键因素之一, 为此前人做了大量关于泥水平衡盾构泥浆参数研究。

吴迪等^[1]认为泥浆的相对密度是影响泥膜形成的主要因素, 并通过试验研究确定了某砂性土

收稿日期: 2024-09-15

基金项目: 中国水利水电第七工程局有限公司科技攻关项目(GSSC-科研-2023-001)

作者简介: 张光辉(1975—), 男, 正高级工程师, 从事盾构隧道与水利水电施工技术研究与管理。

通信作者: 周王鹏(1997—), 男, 硕士研究生, 从事岩土工程领域相关研究工作。

层泥水盾构泥浆参数指标;李克先等^[2]以粉细砂和中粗砂为研究对象,研究了不同泥浆对渗透带土体强度的影响;李承辉等^[3]以某下穿河流盾构隧道为背景,总结了盾构掘进中的各种参数,掘进以平衡水压力为主;袁大军等^[4]认为,泥水平衡盾构开挖面稳定问题的研究目前还没有更具普遍意义的泥水动态成膜评价标准以及刀盘对开挖面的支护作用的研究成果;叶伟涛等^[5]对中粗砂地层下泥水平衡盾构进行泥浆成膜试验研究,获得了适应该地层下的泥浆相对密度及黏度;杨振兴等^[6]对海水配制泥浆进行了大量试验研究,认为海水中的离子对泥浆的黏度和胶体率的影响较大;宋洋等^[7]以某泥岩圆砾复合地层泥水平衡盾构为研究对象,获得了不同添加剂对泥浆性能指标的影响作用;ZHAO 等^[8]通过对某盾构泥浆进行试验研究,明确了黏度对渗透系数的影响;JIN 等^[9]研究了膨润土对泥浆渗透开挖面效果的影响,认为土与膨润土的相对粒径是影响滤饼形成的主要因素;QIN 等^[10]研究了海水对膨润土入渗行为的影响,认为盐的加入提高了滤饼的透水性。

现有研究工作大多针对单一地层的案例开展研究,本文将通过对大量工程实际案例进行统计分析,获取多种地层下泥水平衡盾构泥浆参数的相对密度及黏度,并在实践中进行应用,以期为相似工程背景条件下的泥水盾构的泥浆参数选取提供参考。

1 泥水平衡盾构原理

泥水平衡盾构指施工时将泥水注入到盾构开挖面的密封隔仓内,利用加压后的泥水与外部水土压力形成平衡,从而保证开挖面土体的稳定,一般也可叫做泥水加压平衡盾构。在泥水盾构掘进过程中,加压泥浆侵入地层,泥浆中的颗粒物质逐渐充填地层孔隙(图 1),形成泥膜使掘进面渗透系数降低,泥膜的低渗透性使得泥水压力能较好地平衡掘进面土压力,因此泥膜的质量与盾构掘进面的稳定性密切相关。

一般认为,泥浆的相对密度大小与形成泥膜能力密切相关,泥浆的相对密度越大,越容易形成泥膜^[11],但较大的相对密度又将导致泥浆配制成本增

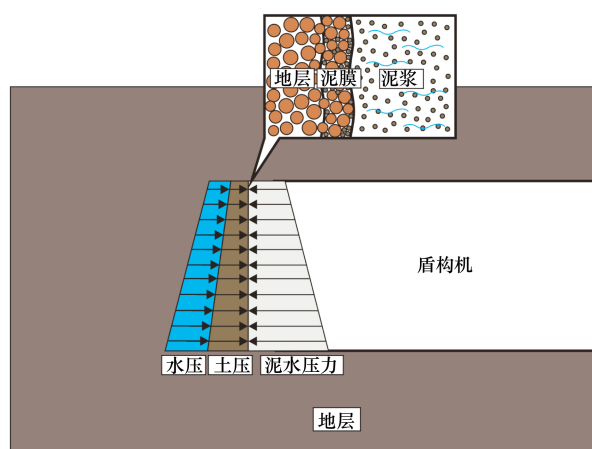


图 1 泥水平衡盾构原理

加,泥浆循环能力减弱。泥浆的黏度大小用于反映泥浆的流变性,泥浆的黏度越大,流变性越小,越有利于渣土运输及泥膜形成,但较大的黏度又将增加泥浆处理难度,降低泥浆运输效率。

2 泥浆关键参数统计

为了保证泥膜的形成质量,适用于不同地层条件的泥浆具有不同的参数特征,为了获得适用于中粗砂、淤泥土、泥岩及风化花岗岩地层下泥水盾构泥浆的相对密度及黏度特征,为类似地层条件下的泥水平衡盾构施工提供参考,统计分析了大量工程资料。

2.1 淤泥质土层

图 2 为淤泥质土层下泥水平衡盾构泥浆的常用相对密度和黏度值。由图 2 可知,泥浆的主要相对密度范围为 $1.00 \sim 1.20 \text{ g/cm}^3$,主要黏度范围为 $18 \sim 28 \text{ s}$ 。相对密度变化范围为 0.2 g/cm^3 ,黏度变化范围为 10 s 。

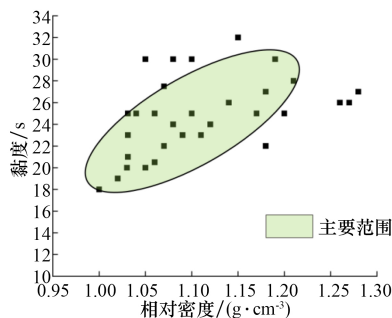


图 2 适用于淤泥质土层泥浆参数

2.2 中粗砂层

图 3 为中粗砂层下泥水平衡盾构泥浆的常用相对密度和黏度值。由图 3 可知,泥浆的主要相

对密度范围为 $1.08 \sim 1.25 \text{ g/cm}^3$, 主要黏度范围为 $24 \sim 30 \text{ s}$ 。相对密度变化范围为 0.17 g/cm^3 , 黏度变化范围为 6 s 。

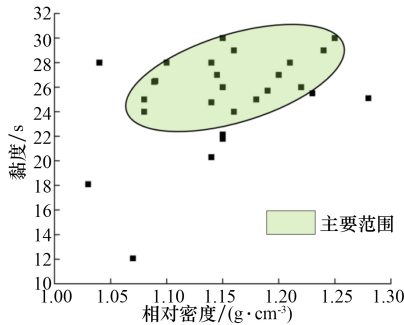


图3 适用于中粗砂地层泥浆参数

2.3 泥岩层

图4为泥岩地层下泥水平衡盾构泥浆的常用相对密度和黏度值。由图4可知, 泥浆的主要相对密度范围为 $1.00 \sim 1.15 \text{ g/cm}^3$, 主要黏度范围为 $16 \sim 23 \text{ s}$ 。相对密度变化范围为 0.15 g/cm^3 , 黏度变化范围为 7 s 。

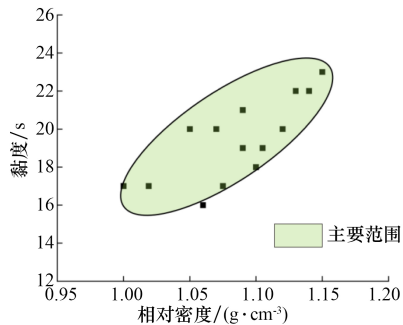


图4 适用于泥岩地层泥浆参数

2.4 全、强风化花岗岩层

图5为泥岩地层下泥水平衡盾构泥浆的常用相对密度和黏度值。由图4可知, 泥浆的主要相对密度范围为 $1.03 \sim 1.20 \text{ g/cm}^3$, 主要黏度范围为 $18 \sim 42 \text{ s}$ 。相对密度变化范围为 0.17 g/cm^3 , 黏度变化范围为 24 s 。

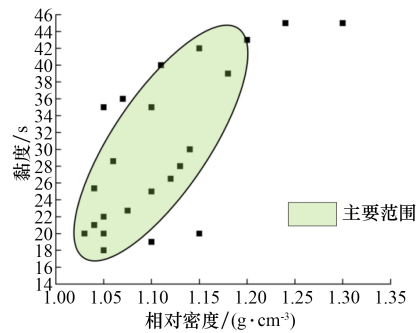


图5 适用于全、强风化花岗岩地层泥浆参数

由各地层泥浆参数统计可知, 泥浆的相对密度与黏度成正相关关系, 相对密度越大, 黏度越大。不同地层相对密度的变化范围较小, 常用相对密度在 $1.00 \sim 1.25 \text{ g/cm}^3$ 之间, 而黏度变化范围较大在 $16 \sim 42 \text{ s}$ 之间。

3 工程应用实例

3.1 工程概况

粤东水资源优化配置二期工程输水隧洞采用泥水平衡盾构施工, GX6~GX12为其中4个盾构区间, 各区间的地质和下穿情况简述如下。

3.1.1 GX6~GX7 盾构隧洞

该段隧洞全长为 $2\,100 \text{ m}$, 地层岩性自上而下依次为第四系覆盖层、侏罗系沉积岩与燕山期侵入花岗岩(长度约 130 m), 仅在线路末端揭露有侏罗系沉积岩, 洞身主要位于淤泥质土层与中粗砂层中, 在线路末端进入侏罗系全、强风化岩。

该区间下穿农田、房屋和国道, 如图6所示。

3.1.2 GX7~GX8 盾构隧洞

该段隧洞全长为 $1\,844 \text{ m}$, 地层岩性自上而下依次为第四系覆盖冲积层与侏罗系沉积岩(长度约 $1\,100 \text{ m}$), 揭露弱风化岩厚度 $2 \sim 20 \text{ m}$ 。本段洞身地层复杂多变, 基岩起伏较大, 局部冲积深厚,

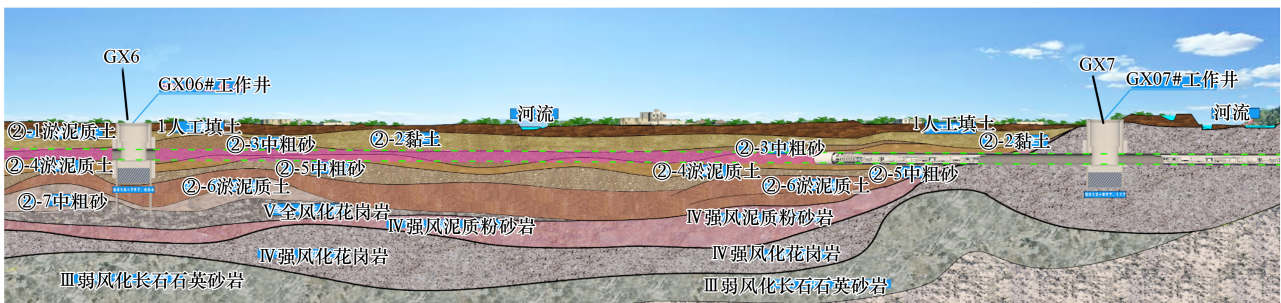


图6 GX6~GX7 盾构隧洞地质剖面

存在多处软硬不均洞段、土岩相间洞段,局部洞身为淤泥质土洞段。

该区间隧道埋深约为 16 m,下穿汕昆高速公路和村镇房屋,如图 7 所示。

3.1.3 GX8~GX9 盾构隧洞

该段隧洞全长为 1 904 m,地层岩性自上而下依次为第四系冲积层与侏罗系沉积岩,揭露风化岩厚度 2~18 m,洞身穿越地层主要为第四系冲积层,主要包括淤泥质土与黏性土层以及中粗砂层,局部穿越粉砂质泥岩的全强风化带,埋深 10~20 m。

该区间隧道埋深约 20 m,下穿村镇房屋和枫江(距枫江底部约 12 m),如图 8 所示。

3.1.4 GX11~GX12 盾构隧洞

该段隧洞全长为 2 584 m,地层岩性自上而下依次为第四系覆盖层、侏罗系沉积岩与燕山期侵入花岗岩。洞身地层以淤泥质土为主,或底板下

伏厚层淤泥质土。

该区隧道埋深约 20 m,下穿村镇房屋和国道(长度约为 2 000 m),如图 9 所示。

3.2 泥浆参数选用

工程区穿越多套地层,地质条件复杂,需针对不同地层选用适宜泥浆参数。由泥浆关键参数统计可获得适用各地层泥浆的主要参数范围。图 10、11 为不同地层下泥浆相对密度和黏度的参数范围。

对于盾构隧洞复合地层段可取不同地层泥浆参数的重合范围。对于淤泥质土层和中粗砂层复合段,盾构泥浆的相对密度可选范围为 $1.08 \sim 1.20 \text{ g/cm}^3$,黏度可选范围为 $24 \sim 28 \text{ s}$;对于风化花岗岩与淤泥质土层复合段盾构泥浆的相对密度可选范围为 $1.03 \sim 1.20 \text{ g/cm}^3$,黏度可选范围为 $18 \sim 28 \text{ s}$ 。



图 7 GX7~GX8 盾构隧洞地质剖面

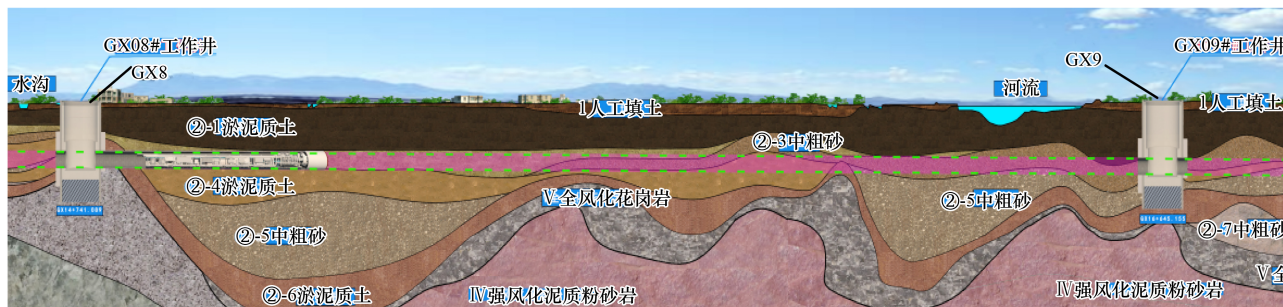


图 8 GX8~GX9 盾构隧洞地质剖面

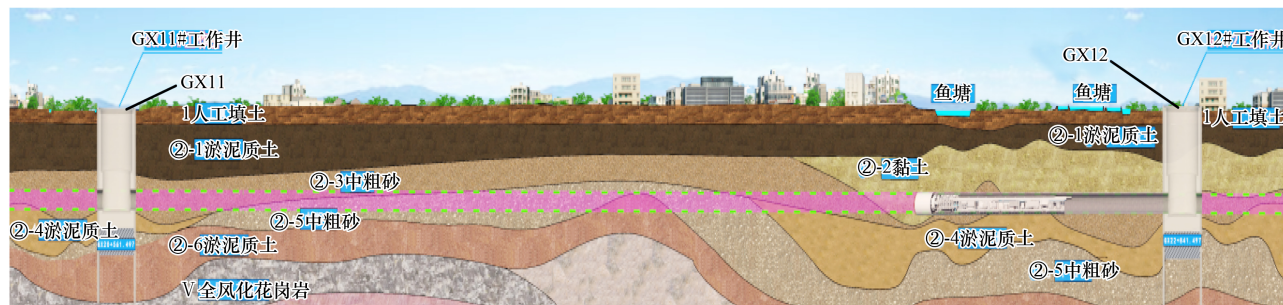


图 9 GX11~GX12 盾构隧洞地质剖面

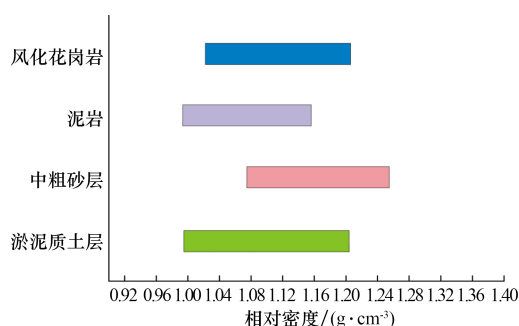


图 10 泥浆相对密度范围

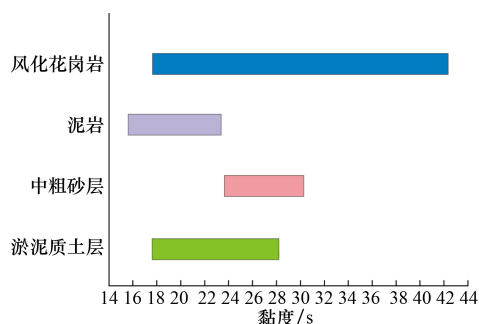


图 11 泥浆黏度范围

4 结 论

泥膜形成质量是泥水盾构平衡效果的关键。本文通过对大量工程资料进行统计分析,获取了影响泥膜形成质量的关键参数,即泥浆相对密度和黏度的取值范围。统计发现,适用于不同地层的泥浆相对密度和黏度大小成正比关系,泥浆的相对密度范围在 $1.08 \sim 1.20 \text{ g/cm}^3$,黏度在 $24 \sim 28 \text{ s}$ 。由于工程资料样本有限及实际情况的复杂,本文获得的泥浆参数仅为参考范围,根据实际情况还需进一步进行调整。但随着后续样品容量扩大,不同地层泥浆参数规律将更加明显,统计结果也将更具有普适性,可为相似工程背景下的泥水盾构泥浆参数选取提供参考。

参考文献:

[1] 吴迪,周顺华,温馨.砂性土层泥水盾构泥浆成膜性

能试验[J].岩石力学与工程学报,2015,34(增刊1):3460-3467.

- [2] 李克先,李术才.泥浆对开挖面土体强度影响的三轴试验研究[J].公路,2016,61(5):232-236.
- [3] 李承辉,贺少辉,刘夏冰.粗粒径砂卵石地层中泥水平衡盾构下穿黄河掘进参数控制研究[J].土木工程学报,2017,50(增刊2):147-152.
- [4] 袁大军,沈翔,刘学彦,等.泥水盾构开挖面稳定性研究[J].中国公路学报,2017,30(8):24-37.
- [5] 叶伟涛,王靖禹,付龙龙,等.福州中粗砂地层泥水盾构泥浆成膜特性试验研究[J].岩石力学与工程学报,2018,37(5):1260-1269.
- [6] 杨振兴,孙振川,游永锋,等.泥水平衡盾构中海水泥浆性质试验研究[J].地下空间与工程学报,2020,16(2):359-365.
- [7] 宋洋,李昂,王伟颐,等.泥岩圆砾复合地层泥水平衡盾构泥浆配比优化研究与应用[J].岩土力学,2020,41(12):4054-4062.
- [8] ZHAO L,ZHOU W,YI Z. Effect of viscosity on slurry infiltration in granular media[J]. International Journal of Geomechanics. 2022,22(9):158-163.
- [9] JIN D,SHEN Z,SONG X,et al. Numerical analysis of slurry penetration and filter cake formation in front of tunnel face[J]. Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research,2023,140:105303.
- [10] SU Q,ZHOU W,XU T. Effects of seawater on the infiltration behavior of bentonite slurry into sand[J]. Construction and Building Materials,2023,371:130759.
- [11] 张育杰,王媛,王志奎,等.粗粒材料粒径及含量对高渗透性地层泥浆成膜效果的影响[J].隧道建设(中英文),2020,40(7):1004-1010.