UDC

中国土木工程学会标准

P T/CCES XX－202X

土压平衡掘进机渣土改良技术规程

Technical Standard for Muck Conditioning for Earth Press Balance Tunnelling Machine

（征求意见稿）

202X–XX–XX 发布 202X–XX–XX 实施

中国土木工程学会 发布

**中国土木工程学会标准**

土压平衡掘进机渣土改良技术规程

Technical standard for Muck Conditioning for Earth Press Balance Tunnelling Machine

**T/CCES XX－202X**

批准单位：中国土木工程学会

施行日期：20XX年X月X日

202X 北 京

**前 言**

本规程是根据中国土木工程学会学术与标准工作委员会《关于发布<2021年中国土木工程学会标准计划>的通知》（学标委〔2021〕25号）的要求，由中南大学会同有关单位编制完成。

在本规程编制过程中，编制组广泛调查研究和总结了土压平衡掘进机（包括盾构和顶管）渣土改良经验，参考了国内外有关标准，并在广泛征求意见基础上，对具体内容进行了反复讨论、协调和修改，最后经审查定稿。

本规程的主要技术内容是：总则，术语、符号及参考标准，基本规定，改良剂材料，渣土改良装备，渣土性能指标及测定，渣土改良技术及检验，现场管理及有关的附录。

请注意本规程的某些内容可能涉及专利。本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国土木工程学会学术与标准工作委员会负责管理，由中南大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有修改意见或建议，请寄送中南大学（地址：湖南省长沙市天心区韶山南路68号中南大学土木院；邮政编码：410075；电子邮箱：sywang@csu.edu.cn）。

本标准主编单位：

本标准参编单位：

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

签 发：

**目 次**

[1 总 则 1](#_Toc141861878)

[2 术语、符号及参考标准 2](#_Toc141861879)

[2.1 术语 2](#_Toc141861880)

[2.2 符号 3](#_Toc141861881)

[2.3 参考标准 5](#_Toc141861882)

[3 基本规定 6](#_Toc141861883)

[4 改良剂材料 7](#_Toc141861884)

[4.1 水及性能要求 7](#_Toc141861885)

[4.2 泡沫剂性能要求 7](#_Toc141861886)

[4.3 分散剂性能要求 8](#_Toc141861887)

[4.4 膨润土泥浆性能要求 8](#_Toc141861888)

[4.5 高分子聚合物性能要求 8](#_Toc141861889)

[4.6 其他材料 9](#_Toc141861890)

[5 渣土改良装备 10](#_Toc141861891)

[5.1 改良设备配置 10](#_Toc141861892)

[5.2 设备性能检测 11](#_Toc141861893)

[6 渣土性能指标及测定 13](#_Toc141861894)

[6.1 一般规定 13](#_Toc141861895)

[6.2 盾构渣土取样及制备要求 13](#_Toc141861896)

[6.3 坍落度试验 14](#_Toc141861897)

[6.4 渗透试验 15](#_Toc141861898)

[6.5 黏附强度试验 15](#_Toc141861899)

[6.6 抗剪强度试验 17](#_Toc141861900)

[6.7 压缩试验 18](#_Toc141861901)

[6.8 其他试验 18](#_Toc141861902)

[7 渣土改良技术及检验 20](#_Toc141861903)

[7.1 改良剂选型 20](#_Toc141861904)

[7.2 渣土改良参数确定 21](#_Toc141861905)

[7.3 渣土改良剂注入模式及参数 25](#_Toc141861906)

[7.4 渣土改良效果评价及检验 26](#_Toc141861907)

[8 现场管理 28](#_Toc141861908)

[8.1 渣土改良风险管理 28](#_Toc141861909)

[8.2 改良剂管理 28](#_Toc141861910)

[8.3 改良装备管理 28](#_Toc141861911)

[8.4 其他 29](#_Toc141861912)

[附录A 土压平衡式盾构泡沫系统工作输入参数计算 30](#_Toc141861913)

[附录B 自动模式下泡沫系统各个管路设计用量计算 31](#_Toc141861914)

[本标准用词说明 32](#_Toc141861915)

[条 文 说 明 33](#_Toc141861916)

**Contents**

[1 General provisions 1](#_Toc141866996)

[2 Terms, symbols and referenced standards 2](#_Toc141866997)

[2.1 Terms 2](#_Toc141866998)

[2.2 Symbols 3](#_Toc141866999)

[2.3 Referenced standards 5](#_Toc141867000)

[3 Basic provisions 6](#_Toc141867001)

[4 Conditioning materials 7](#_Toc141867002)

[4.1 Performance requirements for water 7](#_Toc141867003)

[4.2 Performance requirements of foam agents 7](#_Toc141867004)

[4.3 Performance requirements for dispersants 8](#_Toc141867005)

[4.4 Performance requirements for bentonite slurry 8](#_Toc141867006)

[4.5 Performance requirements for high polymers 8](#_Toc141867007)

[4.6 Other materials 9](#_Toc141867008)

[5 Soil conditioning equipment 10](#_Toc141867009)

[5.1 Equipment configuration for soil conditioning 10](#_Toc141867010)

[5.2 Equipment performance inspection 11](#_Toc141867011)

[6 Properties of muck and its measurement 13](#_Toc141867012)

[6.1 General provisions 13](#_Toc141867013)

[6.2 Sampling and preparation requirements for shield tunneling muck 13](#_Toc141867014)

[6.3 Slump test 14](#_Toc141867015)

[6.4 Permeability test 14](#_Toc141867016)

[6.5 Adhesion strength test 15](#_Toc141867017)

[6.6 Shear strength test 17](#_Toc141867018)

[6.7 Compression test 18](#_Toc141867019)

[6.8 Other tests 18](#_Toc141867020)

[7 Soil conditioning technology and inspection 20](#_Toc141867021)

[7.1 Selection of soil conditioners 20](#_Toc141867022)

[7.2 Determination of soil conditioning parameters 21](#_Toc141867023)

[7.3 Injection modes and parameters of soil conditioners 25](#_Toc141867024)

[7.4 Evaluation and inspection of soil conditioning effect 26](#_Toc141867025)

[8 On-site management 28](#_Toc141867026)

[8.1 Risk management of soil conditioning 28](#_Toc141867027)

[8.2 Management of soil conditioners 2](#_Toc141867028)8

[8.3 Management of soil conditioning equipment 28](#_Toc141867029)

[8.4 Others 29](#_Toc141867030)

 [Appendix Calculation of input parameters of foam system during earth pressure balance shield tunnelling 30](#_Toc141867031)

 [Appendix B Calculation of design consumption of each pipeline of foam system in automatic mode 31](#_Toc141867032)

[Explanation for wording in this technical standard 32](#_Toc141867033)

[Article Explanation 33](#_Toc141867034)

**1 总 则**

**1.0.1** 为采用土压平衡掘进机的隧道及地下工程施工中贯彻执行国家的法律法规、技术经济政策和标准规范，促进隧道及地下工程安全高效低碳施工，提高土压平衡掘进机渣土改良水平，做到安全适用、技术先进、经济合理、保护环境，制定本规程。

**1.0.2** 本规程规定土压平衡掘进机包括土压平衡盾构和土压平衡顶管，为了简化表达，本规范采用盾构渣土概括，后续相关盾构渣土改良相关技术条文亦适用于土压平衡顶管渣土。

**1.0.3** 本规程适用于采用土压平衡掘进机的隧道及地下工程施工过程中的渣土改良。

**1.0.4** 土压平衡掘进机渣土改良应遵循节约资源、低碳环保的原则，根据岩土工程勘察成果资料，结合掘进机输出渣土和掘进参数的实际状态，综合考虑掘进机类型、施工条件和场地环境条件，精细制定渣土改良技术方案，严格质量管理。

**1.0.5** 土压平衡掘进机渣土改良应采用技术可靠、经济合理的技术工艺，鼓励采用新技术、新工艺、新材料和新设备。

**1.0.6** 土压平衡掘进机渣土改良及验收除应符合本规程的规定外，尚应符合国家有关标准的规定。

**2 术语、符号及参考标准**

**2.1 术 语**

**2.1.1** 盾构和顶管渣土 Shield or pipe jacking-excavated soils

盾构法或者顶管法开挖隧道时，原地层经刀盘刀具切削形成的土体。

**2.1.2** 渣土改良 Soil conditioning

通过注入水、泡沫和膨润土等添加剂材料，对盾构开挖下来的渣土进行物理、力学和水力学性质的改良。

**2.1.3** 喷涌 Spewing

土压平衡盾构在开挖过程中，遇到渗透性高、级配不好的富水地层时，在螺旋输送机的出口处发生喷水、喷泥、喷砂的现象。

**2.1.4** 结泥饼 Buildup of mud cake

盾构刀盘切削下来的土碎屑和颗粒在土仓内重新聚集，或者直接黏附于刀盘、土仓隔板、螺旋输送机叶片等金属部件上形成半固结和固结块状体。

**2.1.5** 刀具磨损 Cutter abrasion

盾构刀盘上的刀具在旋转切削土体时对滚刀、刮刀等刀具造成的磨损。

**2.1.6** 土仓压力 Chamber pressure

盾构密封仓内的渣土压力。

**2.1.7** 渣土改良剂 Soil conditioning additives

添加到盾构刀盘切削下来的渣土中，用于改良渣土的物理、力学和水力学性质的添加材料，包括：水、泡沫剂、分散剂、黏土矿物和絮凝剂等。

**2.1.8** 泡沫剂 Foaming agent

与水混合，在气压下能产生亚稳定泡沫的添加剂。

**2.1.9** 分散剂 Dispersant

一种可以将团状固体颗粒材料分散于水等介质中，并防止颗粒重新结合成团的化学物质。

**2.1.10** 絮凝剂 Flocculant

能使悬浮在溶液中的微细粒级和亚微细粒级固体物质通过桥联作用形成松散絮团的添加剂材料。

**2.1.13** 粘附性 Adhesion

一种物质与另一种物质相互接触时的粘附特性。

**2.1.15** 发泡倍率 Foam expansion ratio

大气压条件下泡沫体积与形成该泡沫的泡沫混合液体积的比值。

**2.1.16** 泡沫半衰期 Half-life period of foam

大气压条件下泡沫质量消散一半所需要的时间。

**2.1.20** 粘稠指数 Consistency index

黏性土体稠度状态的一种度量。

**2.1.21** 压缩系数 Compression coefficient

表征土体被压缩单位体积时的有效压力增加量。通常基于有侧限压缩试验，采用孔隙率-竖向压力曲线上某一压力段的割线斜率来衡量。

**2.2 符 号**

**2.2.1** 材料参数：

——泡沫原液体积；

——泡沫混合液体积；

——泡沫注入量；

*Ic*——粘稠指数；

*av*——压缩系数；

*X*——发泡剂浓度；

*m*——泡沫净质量；

*m*0——层析柱毛重；

*m*1——层析柱质量；

*mf*——泡沫质量；

——泡沫密度；

*Rs*——表面积比；

*Bi*——粒径小于0.15mm粒组比表面积；

*Mi*——粒径小于0.15mm粒组质量；

*Bj*——粒径大于0.15mm粒组比表面积；

*Mj*——粒径大于0.15mm粒组质量；

*X*——发泡剂浓度；

**2.2.2** 几何参数：

*Vp——*颗粒体积；

*D1*——圆盘直径；

*D2*——盾构切削直径；

*d*——十字板直径；

*h*——十字板高度；

*S*——土颗粒表面积；

*R*——土颗粒半径；

**2.2.3** 力学参数：

*a*——金属与土界面剪切应力；

*τ*——剪切应力；

*T1*——旋转扭矩；

*T2*——十字板扭矩；

**2.2.4** 施工和设计计算参数：

*FER*——发泡倍率;

*FIR*—— 泡沫注入率；

*FCR*——原液配比率；

*BIR*—— 膨润土泥浆注入比；

*Gs*—— 土颗粒比重；

*n*—— 土颗粒数量；

*k*——渣土渗透系数；

——开挖渣土松散系数；

——盾构掘进过程中的同步挖土量；

*v*——盾构机掘进速度；

*n*1——盾构改良管路条数；

*N*——发泡倍数；

A——盾构机刀盘开挖面积；

——第*i*条管路的发泡率；

——自动模式下每条管路泡沫量占总泡沫量体积比；

——盾构机掌子面支撑压力；

——每条管路的流速；

——泡沫系统中水泵的流量；

——开挖渣土流量；

——所需泡沫总量；

——每条管路液体（混合液）流量；

——泡沫系统中所需发泡剂流量。

**2.3 参考标准**

1. 《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019

2. 《盾构法隧道施工及验收规范》GB50446-2017

3. 《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406-2007

4.《混凝土坍落度仪》JG/T 248-2009

**3 基本规定**

**3.0.1** 盾构或者顶管掘进过程中进行渣土改良时，应综合考虑隧道的设计条件、盾构机或者顶管机的构造、工程地质与水文地质条件、环保因素和工程现场实际需求来决定改良方案。

**3.0.2** 盾构或者顶管渣土改良剂进场应进行验收，质量合格后方可使用。

**3.0.3** 盾构或者顶管渣土改良剂严禁采用有毒有害的物质，避免对地下水、土质和空气等造成污染。

**4 改良剂材料**

**4.1 水及性能要求**

**4.1.1** 渣土改良所使用的水一般可选用施工现场抽取的地下水或自来水。其性能指标包括PH值（6-9）、浑浊度小于3 NTU（浊度）。

**4.2 泡沫剂性能要求**

**4.2.1** 泡沫剂由多种表面活性剂、稳定剂、强化剂、渗透剂或者分散剂等复配而成，溶剂为自来水。泡沫剂分为砂土专用型、黏土专用型和常规型。

**4.2.2**  泡沫剂的一般性能如表4.2.2所示。

**4.2.3** 泡沫剂的环保性能指标

1 地表和地下水污染性；

2 水生物急性毒性；

3 可生物降解性。

具体的环保指标和标准详见表4.2.3所示。

**表4.2.2 泡沫剂的理化性能**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 要求 |
| 1 | 外观 | 一般为浅黄色或无色液体，也可以是其它颜色 |
| 2 | 气味 | 无异味 |
| 3 | 运动粘度(20℃)，mm2/s | 3-20 |
| 4 | 水溶性 | 完全溶解 |
| 5 | 密度（20℃），g/cm3 | 1.05±0.05 |
| 6 | pH值（3%水溶液，20℃） | 7.5±0.5 |
| 7 | 发泡倍率 | 10-30 |
| 8 | 半衰期（3%水溶液，20℃），min | 10-30 |

**表4.2.3 泡沫剂环保指标**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 指标 |
| 腐蚀性 | 6.0≤pH≤9.0 无腐蚀 |
| 地表水和地下水污染性 | 参考《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918 ----2022） |
| 水生物急性毒性 | 参考《杂项危险物质和物品分类试验方法水生生物毒性试验》（GB/T 29881-2013） |
| 可生物降解性 | 参考《表面活性剂生物降解度试验方法》（GB/T 15818-2018） |

**4.3 分散剂性能要求**

**4.3.1** 分散剂主要是由表面活性剂、强力渗透剂、稳定剂等组成，能快速渗透到粘泥菌胶团中，解决盾构机刀盘的结泥饼等问题。

**4.3.2** 分散剂主要理化性能指标，如表4.3.2所示。

**表4.3.2 分散剂的理化指标**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 检验项目 | 指标 |
| 1 | 外观 | 一般淡黄色透明液体 |
| 2 | 密度（25℃），g/cm3 | 1.05±0.05 |
| 3 | 运动粘度(20℃)，mm2/s | 20-40 |
| 4 | pH值 | 6-8 |
| 5 | 渗透率，mm2 | ≥62 |

**4.4 膨润土泥浆性能要求**

**4.4.1** 膨润土分为钠基膨润土和钙基膨润土，或者两者复合而成。

**4.4.2** 膨润土泥浆密度在1.05-1.20g/cm3，苏式漏斗黏度20-40s。

**4.4.3**  当地层水压较大时且地层渗透性较大时，应选用密度大于1.15g/cm3钠基与钙基膨润土复配形成泥浆。

**4.4.4** 当地层为砂卵石地层时，渣土改良选用的泥浆除了满足4.4.3条，还应考虑泥浆中颗粒物粒径，可以适当增加粉土和细砂颗粒。

**4.5 高分子聚合物性能要求**

**4.5.1** 高分子聚合物主要用于粗砂、砾砂和砂卵石等高渗透性地层，以及线路下坡和半舱掘进，防止渣土含水率过高导致土水分离引发的螺旋输送机喷涌；

**4.5.2** 高分子聚合物性能要求，如表4.5.2所示。

**表4.5.2 高分子聚合物理化性能**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 检验项目 | 指标 |
| 1 | 外观 | 白色颗粒或无色液体 |
| 2 | 溶解时间，min | <60 |
| 3 | pH值 | 9-11 |
| 4 | 水溶性，≤0.3% | 完全溶解 |
| 5 | 稳定性 | 良好 |

**4.6 其他材料**

**4.6.1** 当盾构掘进遇到复杂地质条件时，通常需要选用两种甚至两种以上的渣土改良剂。如易发生喷涌的中粗砂、砾砂地层时，通常需要考虑泡沫剂+膨润土泥浆复合改良的方式；易发生结泥饼的泥岩地层时，则需要考虑泡沫剂+分散剂复合掺入的方式进行渣土改良。

**4.6.2** 当盾构刀盘出现明显结泥饼导致施工效率低下时，一般可以采取酸性剥离剂停机浸泡的方式，同时间歇性启动刀盘空转，离心甩掉粘在刀盘和刀具上的泥饼。

**5 渣土改良装备**

**5.1 改良设备配置**

**5.1.1** 盾构施工过程中常用的渣土改良装备主要有泡沫系统和膨润土泥浆系统。泡沫系统主要包括泡沫混合箱、泡沫混合泵、泡沫原液箱、泡沫原液泵、水泵、溶液计量调节阀、空气剂量调节阀、液体流量计、气体流量计、泡沫发生器、空压机及连接管路。膨润土系统主要包括膨润土储存箱、膨润土挤压泵、气动膨润土管路控制阀、连接管路、压力传感器、流量传感器。泡沫系统与膨润土系统可单独使用也可同时使用。

**5.1.2** 泡沫系统和膨润土泥浆系统亦可作为高分子聚合物及分散剂的配制系统，高分子聚合物和分散剂在泡沫系统原液箱和膨润土系统储存箱中拌制。

**5.1.3** 在黏土~砂卵石地层条件下，土压平衡掘进机一般应配备泡沫系统。在细粒含量少、透水性高地层条件下，土压平衡掘进机一般应配备膨润土系统。在沿线地质分布不均一的地层条件下，土压平衡掘进机应同时配备泡沫系统和膨润土系统。

**5.1.4** 泡沫注入通常采用单管单泵式，可根据需求单独调节各个泡沫喷口的泡沫流量，当单个泡沫喷口发生堵塞且一时难以解决时，可通过临时增大相邻喷口的泡沫流量补充。

**5.1.5** 泡沫控制系统是由流量计、压力计、泡沫剂量控制阀、空气流量控制阀、PLC等构成的，使用时用PLC自动控制发泡材料和空气流量，以保持设定的原液比例和膨胀率。同时，根据监测的千斤顶推进速度、土仓压力等参数进行实时控制。

**5.1.6** 泡沫水泵管路应设有压力传感器和电磁流量计，每支管路均可控制注入流量，并设置止回阀，防止泡沫串管。

**5.1.7** 泡沫控制系统分混合控制和注入控制。

**5.1.8** 泡沫原液和水的配合比通过控制泡沫原液泵和水泵流量来实现。泡沫溶液和压缩空气的配合比通过电控气动流量调节阀的调节来实现。

**5.1.9**  泡沫发生器宜采用孔隙式泡沫发生器，其外观为管状结构，一端输入高压空气和泡沫溶液，另一端输出泡沫。泡沫发生器内部利用填充物形成细小孔隙，两端采用多孔板封口以防填充物流失。

**5.1.10** 泡沫剂溶液混合装置是由泡沫添加剂散布装置、发泡材料溶解槽、储存罐及输送泵构成，该装置既可以安装在地面上，也可安装在洞内。

**5.1.11** 泡沫系统有三种调节模式：手动、半自动、自动。在实际施工中，应根据现场需要，选择合适的泡沫调节模式。

**5.1.12** 泡沫系统在使用时先设定原液比例FCR、发泡率FER及泡沫的注入率FIR三个参数（见附录A）。

**5.1.13** 泡沫系统准备就绪以后，根据输入参数自动计算出泡沫混合液、空气、泡沫原液及水各管路需要达到的流量（见附录B），水泵和泡沫原液泵据此调整速度输出水和原液，当水的压力超限，则停止变频器输出一段时间；各混合液支路和空气支路的比例阀根据理论流量与电磁流量计反馈来的实际流量，调节各比例阀的开口度。

**5.1.14** 泡沫控制系统对混合液比例阀和空气比例阀宜引入PID控制方式，使得到的混合液流量和空气流量更加精确和稳定。

**5.2 设备性能检测**

**5.2.1** 土压平衡掘进机始发前及掘进中，应对泡沫系统进行检查，对刀盘上喷口进行破损检查并保证一定时间的喷水，对泡沫系统球阀进行检查。

**5.2.2** 土压平衡掘进机掘进过程中，盾构操作人员应密切关注泡沫管路压力，若发现压力有增长的趋势，要及时加大进气量或使用膨润土管路进行疏通，避免压力过高，泡沫喷头彻底堵死。

**5.2.3** 土压平衡掘进机掘进过程中，结合实际情况及时调整空气系统减压阀，以避免渣土反流导致堵塞；

**5.2.4**  土压平衡掘进机掘进过程中，结合实际情况及时检查空气系统，避免阴雨天气条件下储气罐储水较多，导致空气中水含量较大，进而对元器件造成损伤。

**5.2.****5** 土压平衡掘进机掘进过程中，刀盘扭矩过大，通过泡沫观察口发现泡沫发泡效率不好，在主控室可看到泡沫流量偏小或为零，则可判定为泡沫原液泵压力不足或泡沫管路堵塞。

**5.2.6** 泡沫原液泵压力出现异常，应打开原液泵出口连接管道，并将变频器调到最大转速；若出口压力很小，可判定是原液泵定子磨损，此时应及时更换新定子。若更换定子后短时间内连续损坏，可判定泡沫原液泵定子的损坏存在多种因素。

**5.2.7** 泡沫系统无法启动，应检查水压、泡沫原液压力和液位是否正常，同时检查泡沫系统线路连接和开启按钮是否正常。

**5.2.8** 泡沫管道压力传感器异常，刀盘扭矩增大，螺旋输送机扭矩增大，应及时检查泡沫管道是否发生堵塞。

**5.2.9** 如果螺旋机扭矩增大、渣土粘稠，应检查通往螺旋机上泡沫管道阀门是否打开，并适当增大泡沫供给量。

**5.2.10** 泡沫管道发生堵塞，应打开增压水泵清洗管道；若增压水在管道最大允许压力下无法疏通管道，应拆开管道检查更换。

**5.2.11** 膨润土泵无流量显示异常表现：电路正常，流量计参数重置之后，流量无变化。出现该种情况时，首先应打开管道，检查管道是否堵寒；其次检查系统所有阀门是否处于开启状态，最后检查流量计接线端子接线是否松动。

**6 渣土性能指标及测定**

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 土压平衡盾构宜测定的渣土性能主要包括塑流性、渗透性、黏附性、压缩性和抗剪强度等；对于黏性地层，宜测定渣土的塑流性、黏附性、压缩性和抗剪强度；对于非黏性地层，宜测定渣土的塑流性、渗透性、压缩性和抗剪强度。

**6.1.2** 渣土塑流性指标主要通过坍落度试验进行测定，坍落度值应根据地层条件、隧道埋深、掘进状态等情况综合确定。采用标准坍落度筒时，对于黏土等细颗粒地层，渣土合适改良坍落度值宜位于7~15cm之间；对于砂土等粗颗粒地层，渣土合适改良坍落度值宜位于15~20cm之间；对于粗细颗粒混合地层，应结合盾构掘进状态、渣土级配以及渣土坍落后状态确定合适改良坍落度范围；当采用非标准坍落度筒时，渣土合适改良坍落度值应结合盾构掘进状态、渣土级配以及渣土坍落后状态进行确定。

**6.1.3** 渣土渗透性指标主要通过渗透试验进行测定，一般要求地层的渗透系数不应大于10-5m/s，当穿越高水压等风险地层时，渗透性要求可进一步提高，但宜根据具体工程进行分析确定。

**6.1.4** 渣土黏附性指标主要包括切向黏附强度和粘稠指数，其中切向黏附强度可通过旋转剪切试验进行测定，合适改良切向黏附强度范围应结合试验过程中的渣土黏附情况以及渣土级配进行确定，渣土粘稠指数一般不宜小于0.6；

**6.1.5** 渣土压缩性指标可通过压缩试验进行测定，渣土压缩系数宜大于2.6%/bar，土压力较大时，压缩系数可能难以满足，此时应结合盾构掘进状态进行综合评判。

**6.1.6** 渣土抗剪强度指标可通过直剪试验或可加压式十字板剪切试验等进行测定，合适改良抗剪强度范围应根据盾构掘进状态进行确定。

**6.2**  **盾构渣土取样及制备要求**

**6.2.1** 渣土现场性能检验和渣土改良参数试验所需渣土要求不同，应按照不同的要求获取渣土。

**6.2.2** 针对盾构掘进过程中现场渣土性能检验和参数优化，渣土获取应符合下列规定：

1盾构渣土可取自皮带机出口，为避免盾构土仓中上一环滞留渣土的影响，本环代表性渣土应取自渣车第一斗后的渣土；

2 当渣车中各处渣土含水率不同时，宜选择含水率较小的渣土；

3盾构渣土获取后应及时开展试验，以防止渣土中泡沫消散导致渣土状态的改变。

4针对盾构输送出来的渣土进行渣土改良参数优化试验，应考虑盾构机渣土改良剂的影响。

**6.2.3** 针对盾构始发之前或遇到渣土改良难题进行渣土改良参数试验，渣土获取应符合下列规定：

1 为了避免盾构排出渣土中改良剂的影响，应选取渣土改良目标区段的地勘钻孔取出的土层，或者在邻近基坑选取与渣土改良目标区段地层级配相近的土层；

2 制备改良渣土时，应提前测定改良剂性能，如发泡倍率、半衰期等；

3 当改良剂添加量较少时，为使改良剂与渣土混合均匀，按要求可先与水混合后，再将改良剂与渣土混合；

4 渣土与水混合后应放入密封的保湿缸中，静置24h；

5 当采用泡沫作为改良剂时，应避免渣土含水率较低导致泡沫快速排液和破裂带来的影响；

6 考虑改良剂的时间效应，制备泡沫改良渣土时，从发泡到试验经历时间不应超过30min；制备分散剂改良渣土时，宜合理选择分散剂与渣土作用时间；制备膨润土改良渣土时，膨润土应提前进行24小时的水化反应；制备高聚物改良渣土时，高聚物宜提前进行24小时的水化反应，且不应过分搅拌以防止打断高聚物分子链。

**6.3 坍落度试验**

**6.3.1** 坍落度试验渣土可选用盾构渣土或自制改良渣土，渣土最大公称粒径不应大于40mm。

**6.3.2** 坍落度试验设备应包括坍落度仪、钢尺、底板等。坍落度设备应符合下列规定：

1 坍落度仪应符合现行行业标准《混凝土坍落度仪》JG/T248的规定，为了避免提筒过程中坍落筒左右摆动影响坍落状态，坍落度仪两侧宜增加焊接双排导轨，试验中坍落筒顺着固定轨道提起以防止坍落筒偏向带来的影响；

2 钢尺量程不应小于300mm，钢尺分度不应大于1mm；

3 坍落度底板应采用平面尺寸不小于1500mm×1500mm、厚度不小于3mm的钢板，其最大挠度不应大于3mm。

**6.3.3** 坍落度试验应按下列步骤进行：

1 坍落度筒内壁和底板应湿润且无明水，坍落度仪应放置在水平稳固的底板或地面上，并保证足够空旷的坍落面积，然后用脚踩住坍落度筒两边的脚踏板，以保证坍落度筒固定在底板或地面上；

2 试验渣土应分三层均匀地装入坍落度筒内，每装一层渣土，应用捣棒由边缘到中心按螺旋形均匀插捣25次，且捣棒在本层高度内进行插捣；

3 插捣顶层渣土时，应保证插捣过程中装料渣土高出筒口，顶层插捣完后，取下装料漏斗，刮去多余渣土以抹平筒口：

4 清除筒边渣土后，应在2~5秒内垂直平稳地提起坍落度筒，且不应使渣土产生水平或扭转运动；当试样不再继续坍落或坍落时间达30s时，用钢尺或测量标尺测量出筒高与坍落后渣土最高点之间的高度差，以及坍落后渣土顶底部平台直径，精确至1mm，并记录渣土整体特性。

**6.3.4** 从开始装料到提坍落度筒的整个过程应连续进行，并应在150s内完成。

**6.3.5** 将坍落度筒提起后若渣土发生崩塌或剪坏现象，应重新测定，若多次试验仍出现崩塌或剪坏现象，应予以记录说明。

**6.4 渗透试验**

**6.4.1** 渗透试验设备应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406的规定，且渗透圆筒内径应大于试样最大粒径的10倍。

**6.4.2** 一般条件下渣土渗透试验采用常水头渗透试验，且应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123的规定，且应符合以下要求：

1 试验渣土的取样或制备应符合本规程第6.2款的规定；

2 渗透仪顶部和底部多孔板或滤网的渗透系数应大于渣土的渗透系数，但孔口应足够小，以防止渣土流失；

3 试验中渣土体积变化时不宜测量渣土渗透系数，应及时记录渣土体积变化并考虑其对渗透结果的影响。

**6.4.3** 当盾构邻近高风险建（构）筑物时，泡沫改良渣土渗透性应考虑水头损失对泡沫稳定性的影响，宜模拟现场水头损失条件开展渗透试验。

**6.5 黏附强度试验**

**6.5.1** 黏附强度宜采用旋转剪切试验仪进行测定，且考虑盾构掘进过程中渣土快速排出，应针对渣土开展不固结不排水旋转剪切。

**6.5.3** 旋转剪切试验过程中，圆盘宜埋于渣土中，并使圆盘在一定土压下进行旋转剪切（图6.5.3），该土压量值应等于盾构密封仓压力。旋转剪切试验所用仪器设备应符合下列规定：



**图6.5.3 旋转剪切试验原理图**

1 旋转剪切试验仪应包括试样腔、圆盘、加载系统、动力系统和控制系统；

2 试验腔截面形状应设计成圆形，试验腔内径应大于最大土颗粒粒径的10倍，试样腔内壁宜加工成粗糙面以防止渣土的整体转动；

3试验圆盘应能独立拆卸和更换，圆盘尺寸应大于最大土颗粒粒径的5倍，圆盘旋转轴直径不宜过大，在保证强度的情况下，建议不大于圆盘直径的10%；

4为保证压力垂直施加在圆盘上，旋转轴宜配置定位装置，如在试验腔底部安装定位轴，以保证圆盘沿轴线转动，且定位轴上应安装弹簧，以保证在加载时圆盘可竖向移动；

5加载系统可采用气压加载、液压加载或其他加载方式，加载应满足渣土最大法向压力达5bar，精度达0.1kPa；

6 动力系统应包括伺服电机、扭矩传感器和传动装置。

**6.5.4** 旋转剪切试验应按下列步骤进行：

1 试验渣土的取样或制备应符合本规程第6.2款的规定；

2 渣土应分层装入试验腔并压实，当装样体积达2/3处时，刮平试样表面，将圆盘轻压入渣土表面，然后继续装样。

3 为排出加载板与渣土之间的空气，试验加载前应打开排水阀，采用10kPa法向应力对试样预加载30s，然后关闭排水阀。

4 开始剪切前法向压力加载时长不应少于5min。

5 圆盘剪切速度可设定为20°/min，试验过程中数据的采集频率可选择为1次/度。

6 剪切结束后，应取圆盘附近渣样测定渣土实际含水率，黏土-金属界面间的剪切应力可通过下式计算：

  （6.5.4）

式中：a——黏土-金属界面剪切应力；

*T*1——旋转扭矩；

*D*1——圆盘直径。

**6.6 抗剪强度试验**

**6.6.1** 考虑盾构掘进过程中渣土快速排出，宜针对渣土开展不固结不排水剪切试验。

**6.6.2** 渣土抗剪强度可采用现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123中的直剪试验或三轴试验等进行测定，但当渣土含水率较高时，渣土易从剪切盒中挤出，此时宜选择十字剪切试验测定渣土抗剪强度。

**6.6.3** 十字剪切试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1试验装置宜由试样腔、加压装置、剪切装置、压力及扭矩传感器、数据采集装置、百分表、孔压计等组成。



**图6.6.3 十字板剪切试验原理图**

2 加压装置宜能提供0~300 kPa的竖向压力，并保持压力的稳定；

3 剪切装置宜可使十字板以0~30 rpm的转速旋转；

4 试验腔内径和高度可为200mm，但应考虑尺寸效应的影响；

5 十字板外缘和试样腔内壁之间的剪切间隙应大于十字板直径的两倍，十字板高度应为其直径的两倍；

6 试样最大粒径应小于剪切间隙的1/3和叶片直径的1/2。

**6.6.4** 十字板剪切试验应按下列步骤进行：

1 试验渣土的取样或制备应符合按本规程第6.2款的规定，并测定渣土初始孔隙比等基本参数；

2 渣土应分三层装入试验腔，然后将十字板叶片插入试样中心，安装好透水板和顶板并将十字板连接电机；

3 剪切前，应打开排水阀并施加10 kPa的竖向压力，以排出试样表面上方的空气，然后关闭排气阀，以测定渣土不排水抗剪强度；

4 通过顶板向试样施加所需竖向压力，并通过百分表和孔压计记录其位移和超孔隙压力变化；

5 试样压缩变形稳定后，应以恒定转速旋转十字板，旋转角度可为1440°，每0.1度应记录一次十字板扭矩，测定试样扭矩随剪切角度的变化曲线，并获得渣土剪切扭矩残余值；

6 渣土剪切应力可通过下式计算：

 (6.6.3)

式中：*τ* ——剪切应力；

*T2*——十字板扭矩；

*d*——十字板直径；

*h*——十字板高度。

**6.7 压缩试验**

**6.7.1** 渣土压缩试验宜符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123的规定，且应符合以下要求：

1 试验渣土的取样或制备应按本规程第6.2.1款的规定进行，并测定渣土初始孔隙比；

2为减小尺寸效应影响，试验腔内径不宜小于最大粒径的10倍，且试样直径与高度之比宜大于2.5；

3考虑渣土快速排出，压缩试验过程中应该不固结不排水。

**6.8 其他试验**

**6.8.1** 其他渣土参数试验如含水率试验、界限含水率试验、粒径分析试验等宜按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123的规定进行。

**6.8.2** 当采用渣土改良剂改良渣土时，应先测定渣土改良剂性能，其中膨润土、分散剂和絮凝剂的性能应满足相应的规范和标准要求。泡沫性能包括泡沫发泡倍率和半衰期。发泡倍率表示一定体积的泡沫混合液所能产生的泡沫体积，可通过量筒中泡沫体积除以完全消泡后相应泡沫液的体积获得。半衰期为泡沫消散一半质量所需要的时间。测试方法具体如下：

1 取体积为*Vf*的泡沫放入量筒中，待量筒中全部泡沫消散后，读取泡沫混合液体积为*Vm*，则泡沫发泡率*FER*=*Vm*/*VL*；

2 称取层析柱的毛重*m*0，取一定量泡沫放入层析柱中后，再称取层析柱质量*m*1，则此时泡沫质量为*m*f=*m*1-*m*0，然后将层析柱放在支架上，下方放置称和烧杯计时，待层析柱中泡沫消散的泡沫液流入烧杯中的质量为*m*f/2时，所用时间为泡沫半衰期。

**7 渣土改良技术及检验**

**7.1 改良剂选型**

**7.1.1** 土压平衡盾构在掘进过程中常出现渣土“结泥饼”、“喷涌”、滞排闭塞、刀盘刀具磨损等主要问题，应选用适宜的改良剂对渣土进行有针对性地改良，可参照表7.1.1对改良剂进行选型。

**表7.1.1 不同地层改良问题及改良剂选型**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 地层类别 | 渣土类别 | 地下水环境 | 渣土问题 | 改良剂 | 注意事项 |
| 黏土、含黏粒的砂土、黏土矿物成分高的风化岩层 | 黏性渣土 | / | 结泥饼 | 分散剂或分散型泡沫 | 已出现泥饼时须考虑泡舱 |
| 少水/无水 | 滞排闭塞 |
| 砂土 | 砂性渣土 | 丰富 | 喷涌 | 泡沫 | 水压较大时，宜考虑组合两种以上改良 |
| 少水/无水 | 滞排闭塞、刀具磨损 | 水、泡沫 | / |
| 圆砾、砂卵石、断层破碎带、节理裂隙发育地层等 | 丰富 | 喷涌 | 泡沫-膨润土泥浆 | 水压较大情况下，宜考虑泡沫-高聚物组合改良 |
| 少水/无水 | 滞排闭塞、刀具磨损 | 水、泡沫 | / |
| 注： | 1 在易发生“结泥饼”的黏土矿物含量高的黏土及风化岩层，应选择分散剂或是分散型泡沫作为改良剂对渣土进行改良，若已有“结泥饼”风险发生，宜采用分散剂进行泡舱。2 在易发生“喷涌”的砂土、圆砾、砂卵石、断层破碎带、节理裂隙发育地层等地层，应选择泡沫进行改良，当水压比较大或土颗粒比较粗，泡沫无法有效改良时，宜选择泡沫-膨润土泥浆、泡沫-高聚物组合改良手段对渣土进行改良。3 在易发生滞排闭塞的砂卵石地层，应补充细颗粒如膨润土泥浆，改善渣土流动性；在易发生滞排闭塞的黏性地层出现土舱滞排、螺旋输送机滞排等现象时，应采用分散剂进行泡舱；在易出现滞排闭塞且涌水量较大的断层破碎带地层、节理裂隙发育地层，宜在泡沫剂的基础上，补充采用膨润土泥浆、高聚物等对渣土进行组合改良。4 在易发生刀盘刀具磨损的石英含量高的粗颗粒土地层，尤以风化花岗岩和砂卵石等地层为典型，宜采用泡沫作为改良剂对渣土进行改良，起到润滑作用的同时能够减小刀盘刀具磨损。 |

**7.1.2** 土压平衡盾构在掘进过程中出现刀盘/螺旋输送机扭矩、能耗过大等常规问题时，宜通过调整改良剂注入量，特别是增加泡沫注入量来规避，并通过现场盾构掘进参数反馈来不断调整改良参数。

**7.2 渣土改良参数确定**

**7.2.1** 针对不同工程地质水文条件和不同的盾构掘进模式，应根据渣土所面临的主要问题选择符合实际施工要求的改良参数确定方法。

**7.2.2** 渣土总体上分为黏性渣土和砂性渣土，其中，黏性渣土包括细颗粒渣土和粗-细颗粒混合黏性渣土，具体判别方法如下：

1 首先判定地层结泥饼可能性，若粒径小于0.15mm颗粒表面积与粒径大于0.15mm颗粒表面积之间的比值*R*s小于25:1，则此种地层没有结泥饼的可能，按照砂性渣土进行改良；若该比值*R*s大于25:1，则此种地层有结泥饼的可能。

2 若该比值大于临界表面积比25:1，且土样的最大粒径小于0.5mm，则属于细颗粒渣土；若该比值大于临界表面积比25:1，且土样的最大粒径大于0.5mm，则属于粗-细颗粒混合黏性渣土。

上述表面积比*R*s通过各粒组比表面积和相应质量的乘积获得各粒组颗粒的表面积大小，然后将粒径小于0.15mm颗粒总表面积与粒径大于0.15mm颗粒的总表面积相比获得；

** （7.2.2-1）

式中：*B*i和*M*i分别为粒径小于0.15mm粒组的比表面积与相应质量，*B*j和*M*j分别为粒径大于0.15mm粒组的比表面积与相应质量。

其中，比表面积为单位质量下土样的表面积，将土颗粒视为球形则每个颗粒的体积*V*p和表面积*S*分别为：

 （7.2.2-2）

 （7.2.2-3）

式中：*R*为颗粒的半径，对于一定范围的粒径取平均值，如0.15~0.25mm粒径范围的土样取0.2mm，其他同理。

单位质量的土样含有的颗粒数*n*为：

 （7.2.2-4）

式中：*G*s为土颗粒的比重。

土样的比表面积*B*为：

*B*=*nS* （7.2.2-5）

**7.2.3** 渣土改良内容可根据7.2.2节中对于各地层渣土分类，可参照表7.2.3对改良渣土性能指标进行测定。

**表7.2.3 改良渣土性能指标测定要求**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 大类 | 亚类 | 环境 | 黏附性 | 流动性 | 渗透性 | 强度 | 压缩性 |
| 黏性渣土 | 细颗粒渣土 | / | 必测 | 必测 | / | 可测 | 可测 |
| 粗-细颗粒混合黏性渣土 | 必测 | 必测 | / | 可测 | 可测 |
| 砂性渣土 | / | 无水/少水 | / | 必测 | / | 可测 | 可测 |
| 有水 | / | 必测 | 必测 | 可测 | 可测 |

**7.2.4** 针对黏性渣土，渣土改良目标是使渣土呈现低黏附性、强流动性、合适压缩性，可参考图7.2.4技术路线进行渣土改良技术参数确定，主要步骤如下：



**图7.2.4 黏性渣土改良技术路线**

1 采用分散型改良剂，并通过液塑限试验进行改良剂选择。若改良剂能够减小渣土的塑性指数，则此种改良剂是有效的；在此基础上进行经济性对比，最终选出合理的现场渣土改良剂。

2 针对细颗粒渣土：

①应开展多工况液塑限和含水率试验，使渣土粘稠指数*I*c小于0.6，通过工况比选，确定一个满足渣土粘稠指数合适范围的改良剂添加比、含水率等参数范围。

②在此基础上，为了满足渣土流动性要求，需根据现场盾构掘进模式和土舱压力选择合适的坍落度值，应开展坍落度试验，选出满足渣土坍落度合适范围的改良剂添加比、含水率等参数范围。

③在满足粘稠指数和坍落度的渣土改良方案中，可进一步开展渣土压缩试验和强度试验，确定满足渣土压缩性和强度要求的改良工况。

④进行工况经济性对比，确定出合适的渣土改良参数范围。

3 粗-细颗粒混合黏性渣土改良技术流程跟细颗粒渣土类似，不同之处在于由于粗-细颗粒混合黏性渣土粒径比较大，无法开展液塑限试验。应根据6.X.X中要求开展大型旋转剪切试验，确定界面粘聚力接近于0的改良工况。

**7.2.5** 针对砂性渣土，渣土改良目标是使渣土呈现低渗透性、强流动性、合适压缩性和强度，可参考图7.2.5技术路线进行渣土改良技术参数确定，主要步骤如下：



**图7.2.5 砂性地层土压平衡盾构渣土改良流程图**

1 当含水率比较低时，应对渣土进行注水所要达到的目标饱和度40%~60%。根据盾构前期出渣的含水量结合相关地勘资料判断渣土的天然含水情况，再计算相应注水量，将渣土饱和度调控至40%~60%。

2 当通过控制注水量将渣土内部调控至适于泡沫稳定赋存的环境后，需要根据掘进情况选定泡沫注入比大致范围，对不同注水量与泡沫注入比的渣土取样进行渗透试验，使渗透系数*k*满足6.1.3条款的要求，通过工况比选，确定一个满足渣土渗透系数合适范围的泡沫注入比、含水率参数范围。

3 在此基础上，为了满足渣土流动性要求，需根据现场盾构掘进模式和土舱压力选择合适的坍落度值，应开展坍落度试验，选出满足渣土坍落度合适范围的泡沫注入比、含水率参数范围。

4 在满足渗透系数和坍落度的渣土改良方案中，可进一步开展渣土强度试验和压缩试验，使渣土满足6.1.5和6.1.6条款的要求，确定渣土满足压缩性和强度要求的改良工况。

5 进行工况经济性对比，确定出合适的渣土改良参数范围。

6 若采用泡沫与水无法满足渗透系数与坍落度要求，则需要考虑组合改良，如泡沫-膨润土泥浆、泡沫-高聚物等，并重复步骤（3）~（5），直至符合渣土改良要求。

**7.3 渣土改良剂注入模式及参数**

**7.3.1** 将室内试验得到的改良参数转换成盾构改良参数，结合现场坍落度试验确定现场渣土改良参数，操作步骤如下：

1 当采用泡沫改良渣土时，在盾构机操作面板上按照室内试验得到的泡沫剂浓度设置泡沫剂溶液，并设置发泡倍率，然后采用4.2节中泡沫性能要求测定泡沫的实际发泡倍率，发泡倍率应满足4.2.2中规定。若调整发泡参数后仍不能满足要求，则调整泡沫剂浓度，使其满足4.2.2中规定。若还不能满足要求，则需检查盾构机泡沫发生系统，并考虑泡沫剂质量是否存在问题。

2 根据室内试验得到的泡沫注入比、膨润土泥浆注入比，由下式可以换算得到现场盾构每条改良管路的流速为：

  （7.3.1）

式中：*Q*为每条管路的流速，L/min；*κ*为开挖渣土松散系数；*D2*为盾构切削直径，m；*v*为盾构掘进速度，mm/min；*n*1为盾构改良管路条数；*FIR*为泡沫注入比；*BIR*为膨润土泥浆注入比。

**7.3.2** 改良剂注入管路的选择可根据可能遇到的改良难题进行如下分类：

1 当盾构掘进存在“结泥饼”风险的黏性地层时，可优先考虑向刀盘前方注入改良剂，特别是增加刀盘中心位置改良剂注入量。

2 当盾构掘进存在“喷涌”风险的砂性地层时，可考虑在刀盘前方注入改良剂的同时，向土舱和螺机内注入改良剂。

3 当盾构掘进易发生刀盘刀具磨损的粗粒土地层时，可考虑增大向刀盘前方注入泡沫量，在起到润滑作用的同时能够减小刀盘刀具磨损。

**7.3.3** 针对不同渣土改良问题，宜选取不同的渣土改良剂注入控制模式，当前土压平衡盾构渣土改良剂注入控制模式主要有手动控制、半自动控制和全自动控制三种。

1 在手动控制模式下，由操作司机观察螺旋输送机出料的情况，并手动调节各路泡沫发生器的混合液或压缩空气的量，适用于黏性地层、上软下硬地层以及土舱压力波动较大的砂性地层。

2 在半自动控制模式下，要求的泡沫流量将根据开挖面中的支承压力注入。该模式下，在上位机设置发泡液流量、膨胀率及原液比的参数，系统自动计算得到泡沫混合液及空气的流量，混合液泵与空气电动调节阀会自动调节使实际流量在理论计算值附近上下浮动，同时根据盾构掘进参数随地层变化情况调整渣土改良参数，适用于地质条件较好的复合地层。

3 在全自动控制模式下，系统根据盾构机掘进速度、设定的原液比、膨胀率、相关泡沫公式及设定的注入压力，自动进行各种参数的调整，不需要外界干预，适用于盾构掘进参数较为稳定的均一软土地层。

**7.4 渣土改良效果评价及检验**

**7.4.1** 渣土改良技术参数确定后，应及时根据螺旋输送机出口排渣、水平传送带渣土及盾构掘进参数等情况对渣土改良效果进行评价及检验。

**7.4.2**  当渣土出现以下现象之一时，认为渣土改良效果满足不了盾构掘进需求：

1 根据监控视频或肉眼直接观察，螺旋输送机出口出现喷涌（包含喷水、喷泥等）现象；

2 在水平传送带溜渣口取渣土开展坍落度试验，渣土坍落度过大或过小，或渣土出现析水、析泡沫等现象；

3 盾构掘进参数超出了预期可接受范围，预期可接受范围由盾构隧道技术人员与盾构司机研究确定。

**7.4.3** 当渣土改良效果满足不了盾构掘进需求，应及时调整渣土改良参数。

**7.4.4** 盾构掘进过程中应实时跟踪渣土状态，当渣土粒径出现明显变化时，应对渣土进行级配分析，判定盾构穿越地层是否发生变化，便于更好地进行针对性渣土改良。

**8 现场管理**

**8.1 渣土改良风险管理**

**8.1.1** 渣土改良后，会出现无流动性、流动性较小或是流动性过大，呈不可塑状态，导致扭矩异常，刀盘结泥饼的情况。应调整渣土与膨润土浆液、泡沫剂的比例，及时观察改良后的盾构机推力、扭矩、掘进速度及刀盘转速等数据，明显异常的情况应及时调整。

**8.1.2** 掘进施工中泡沫注入的时机要把握好，遵守“早注晚停”的原则，即开机前先小流量注入泡沫，停机后再关闭泡沫，避免管路堵塞。

**8.1.3** 泡沫剂运输和装载过程中要注意清洁，避免杂质进入泡沫剂造成系统故障.

**8.1.4** 泡沫发生系统在盾构施工中是比较关键但又比较脆弱的部分，日常工作中必须加强泡沫系统的检查维护，特别是一些阀和传感器等部位，要常检查有无泄漏或堵塞。

**8.2 改良剂管理**

**8.2.1**  改良剂应存放于阴凉干燥处，避免阳光直射。冬季时应注意防冻、采取保温措施。各种母材应按照其性质进行分别存储，液体与固体要分开贮存，并分别标识失效日期。

**8.2.2** 所有的母材应分类标识，不得随意弄掉标签，以免错用。

**8.2.3** 确保包装密封良好，避免产品吸潮影响使用效果。

**8.2.4** 应有专人做好动态入库及发放管理，做到账物相符。

**8.3 改良装备管理**

**8.3.1** 各改良装备的计量调节阀、流量计、压力表等应每年至少检定一次，合格后方可使用；改良装备应按厂家说明书维护、保养。

**8.3.2** 泡沫混合箱、水泵、膨润土罐、挤压泵应每班清洁，各阀门开启关闭正常，无卡顿、干磨现象。

**8.3.3** 遵守安全操作规程，不超负荷使用设备，设备的安全防护装置齐全可靠，电气接地可靠牢固，及时消除不安全因素。

**8.3.4** 夜间施工时，应保证充足的照明，并应取得夜间施工许可，采取措施，减少声、光的不利影响。

**8.4 其他**

**8.4.1**  施工过程中的环境保护应符合现行国家标准《建筑工程绿色施工规范》GB/T50905和行业标准《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ 146的有关规定。

**8.4.2**  施工现场应有防止扬尘、泥浆、污水、废水污染环境的措施。

**8.4.3**  全自动拌浆系统应进行封闭处理，防止扬尘污染。

**8.4.4**  夜间施工时，应保证充足的照明，并应取得夜间施工许可；邻近居民区施工的，应采取措施，减少声、光的不利影响。

**附录A 土压平衡式盾构泡沫系统工作输入参数计算**

**A.0.1** 土压平衡式盾构系统工作需输入的参数有：原液配比FCR；发泡倍率FER；泡沫注入率FIR。







式中：为泡沫原液体积，L；为泡沫混合液体积，L；为泡沫体积，L；为土压平衡掘进机掘进过程中的同步挖土量，m3。

**附录B 自动模式下泡沫系统各个管路设计用量计算**

**B.0.1** 设盾构机刀盘开挖表面积为，盾构机掘进速度为*v*，每条管路的发泡率分别为，四条管路每条管路泡沫流量分别为，自动模式下每条管路泡沫量占总泡沫量体积比为，注入率为，发泡剂浓度为，盾构机掌子面支撑压力为（盾构机PLC程序根据盾构机土仓壁上压力传感器计算所得），泡沫系统中水泵的流量为。

开挖渣土流量为：；

所需泡沫总量为：；

每条管路泡沫流量为：；

每条管路液体（混合液）流量为：；

每条管路气体流量为：；

泡沫系统中所需发泡剂流量为：。

**本标准用词说明**

1. 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1） 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2） 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3） 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4） 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2. 标准中指明应按其它有关标准执行时的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

**中国土木工程学会标准**

**土压平衡掘进机渣土改良技术规程**

T/CCES XX－202X

条 文 说 明

**制订（或修订）说明**

《土压平衡掘进机渣土改良技术规程》T/CCES XXX-20XX，经中国土木工程学会二O二一年十二月二十九日以25号函文批准发布。

本标准制订过程中，编制组进行了土压平衡掘进机（包括盾构和顶管）改良剂材料、渣土改良装备、渣土性能指标及测定、渣土改良技术及检验、现场管理等方面的调查研究，总结了我国土压平衡掘进机渣土改良领域的实践经验，同时参考了相关先进技术法规、技术标准，通过对改良剂材料、渣土性能状态等开展试验取得了土压平衡掘进机渣土改良相关重要技术参数。

为便于广大建设、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，本标准编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。需要注意的是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

**目 次**

[**1 总则 36**](#_Toc141880650)

[**4 改良剂材料 37**](#_Toc141880651)

[**4.2 泡沫剂性能要求 37**](#_Toc141880652)

[**4.3 分散剂性能要求 37**](#_Toc141880653)

[**4.5 高分子聚合物性能要求 38**](#_Toc141880654)

[**4.6 其他材料 38**](#_Toc141880655)

[**5 渣土改良装备 39**](#_Toc141880656)

[**5.1 改良设备配置 39**](#_Toc141880657)

[**5.2 设备性能检测 39**](#_Toc141880658)

[**6 渣土性能指标及测定 41**](#_Toc141880659)

[**6.1 一般规定 41**](#_Toc141880660)

[**6.2 盾构渣土取样及制备要求 41**](#_Toc141880661)

[**6.3 坍落度试验 42**](#_Toc141880662)

[**6.4 渗透试验 42**](#_Toc141880663)

[**6.5 黏附强度试验 42**](#_Toc141880664)

[**6.6 抗剪强度试验 42**](#_Toc141880665)

[**6.7 压缩试验 42**](#_Toc141880666)

[**6.8 其他试验 43**](#_Toc141880667)

[**7 渣土改良技术及检验 44**](#_Toc141880668)

[**7.1 改良剂选型 44**](#_Toc141880669)

[**7.2 渣土改良参数确定 44**](#_Toc141880670)

[**7.4 渣土改良效果评价及检验 45**](#_Toc141880671)

[**8 现场管理 46**](#_Toc141880672)

[**8.1 渣土改良风险管理 46**](#_Toc141880673)

[**8.3 改良装备管理 46**](#_Toc141880674)

1. **总 则**

**1.0.1**  盾构掘进过程中，容易出现盾构渣土结泥饼、喷涌、刀具磨损等问题，为了避免渣土结泥饼、喷涌，降低刀具磨损程度，需要往刀盘前方、土舱和螺旋输送机里面注入改良剂对渣土进行改良，便于渣土顺畅排出和土舱压力建立。

**1.0.2** 土压平衡盾构和土压平衡顶管前方都是通过土舱里渣土介质建立密封压力来平衡开挖面，不同之处是拼装支护结构位置不同。因此两者都面临着渣土相关问题，本规程给出的条文适用于土压平衡盾构和土压平衡顶管两者的渣土改良，只是为了表述方面，规程标题采用了土压平衡掘进机概括，相关条文中用盾构渣土予以代替。

**4 改良剂材料**

**4.2 泡沫剂性能要求**

**4.2.1** 泡沫剂种类的选择应该土压平衡掘进机穿越的地层特性来选择。一般应进行掘进机穿越地层取样进行分析；然后进行室内渣土改良试验，优选泡沫剂类型和合适掺入比；最后在试掘进阶段进行渣土改良效果的反馈、调整和确认，确定最终的泡沫剂种类和较优掺入比。

**4.2.2** 泡沫剂的发泡倍率可通过使用一定容积的容器灌满泡沫后，称出泡沫的净重，再按下式计算出发泡倍数*N*：



式中，为泡沫溶液的密度。

泡沫半衰期可通过使用一定容积的底部带锥形滤嘴容器灌满泡沫后称出泡沫的净重，在锥形滤嘴底部放置一量筒容器，该容器放置于精度0.01g的天平上。记录天平称量质量达到时所对应的时间T，即为该泡沫剂所发泡沫的半衰期。

**4.2.3** 泡沫剂环保性能的要求还应根据业主单位、承包商的要求开展相关试验研究。

**4.3 分散剂性能要求**

**4.3.1** 分散剂的选择应该土压平衡掘进机穿越的地层特性来选择。分散剂大多针对黏性土地层、粉质黏土地层、泥岩或泥质砂岩使用的。一般应进行掘进机穿越地层取样分析，特别应关注黏粒含量，掘进机掘进过程中挤压破碎黏粒也应计入黏粒含量。当黏粒含量超过25%时建议在泡沫剂溶液中掺入少量分散剂。两者在使用之前应进行配伍试验，确认分散剂不会或基本不会影响泡沫剂的起泡性能。

**4.4 膨润土泥浆性能要求**

**4.4.1** 膨润土泥浆外掺剂主要用在砂性土地层、砾砂地层或砂卵石地层等渗透性地层。膨润土泥浆性能选择应与地下水压力、掘进机所穿越地层的渗透性和粒径分布相匹配。地下水压力越大、地层渗透性越大、粒径越大，膨润土泥浆密度和黏度均应相应提高。

**4.4.2** 膨润土泥浆性能应在现场取样基础上开展室内渣土改良试验；然后在现场掘进机试掘进时进行相应的调整。

**4.4.4** 泥浆颗粒粒径分布曲线可采用激光颗分仪进行测量。

**4.5 高分子聚合物性能要求**

**4.5.1** 高分子聚合物溶液使用溶度应在现场取样基础上开展室内渣土改良试验；然后在现场掘进机试掘进时进行相应的调整。

**4.5.2**  高分子聚合物往螺旋排土器中注入防喷涌效果往往更好。当出现严重喷涌时，还应结合中盾注入克泥效止水环或者盾尾后方管片环注双液浆形成止水环减少后方裂隙中来水防治喷涌效果更佳。

**4.6 其他材料**

**4.6.1** 当掘进机穿越中粗砂、砾砂和砂卵石地层且地下水压超过20m时，渣土改良预案应考虑采用多种改良剂复合的方式进行改良；当掘进穿越标贯击数达到20击以上的黏土地层和含泥量超过30%且无侧限抗压强度超过50MPa以上时，渣土改良预案应考虑采用多种改良剂复合的方式进行改良。

**4.6.2** 采用酸性剥离剂剥离刀盘和刀具上泥饼时，应该评估可能对刀具和刀盘的腐蚀不利影响。

**5 渣土改良装备**

**5.1 改良设备配置**

**5.1.1** 土压平衡盾构推进过程中，水泵和泡沫原液泵连续工作，泵出的水和泡沫原液在管路中混合，混合液再通过溶液计量调节阀阀调节流量后进入泡沫发生器。同时，空压机提供的压缩空气通过空气剂量调节阀调节流量后也进入泡沫发生器。混合液和空气通过泡沫发生器生成泡沫后，分别注入到后部的各个管路中。

**5.1.2** 高分子聚合物及分散剂在加入泡沫系统原液箱和膨润土系统储存箱拌制前，需对箱内和管路进行冲洗，确保管路的畅通，以免影响高分子聚合物及分散剂注入后浸泡的效果。

**5.1.4** 单管单泵注入模式的泡沫注入量是根据盾构机推进速度、土仓压力、泡沫剂浓度等参数计算盾构机推进过程中实际需要注入的泡沫总量。然后自动启动后，程序自动把泡沫注入量分配给单管单泵泡沫注入系统，根据分配的泡沫注入量计算混合液的流量与气体流量，通过PID对变频器与其调节阀调节，达到注入泡沫的效果。

**5.1.6** 泡沫水泵管路上的压力传感器和电磁流量计分别用于测量水的压力和流量。

**5.1.7** 混合控制是在触摸屏控制下，通过变频螺杆泵准确输出水与原液，按比例在管道内混合配制成溶液。注入控制是溶液由管路通过流量阀调整流量后与按比例调整的压缩空气混合，通过发泡器发泡注入土仓内。

**5.1.11** 手动控制就是操作手可以根据需要对各管路的泡沫混合液流量和空气流量进行自主调节。半自动控制是泡沫系统运行后，PLC 根据各路设定的泡沫混合液流量和发泡比控制泡沫系统的注入。自动控制在掘进时才能运行，PLC 根据推进速度自动控制泡沫系统的注入。

**5.2 设备性能检测**

**5.2.1** 土压平衡掘进机始发前及掘进中，应对泡沫系统进行检查，若发现泡沫原液及混合液罐中存在杂质应当及时清理，避免造成泵堵塞；对刀盘上喷口进行破损检查并保证一定时间的喷水，既保证实现功能，又保证对整体管路起到冲刷作用；对泡沫系统球阀进行检查，以免造成球阀误开导致流量减少及压力降低。

**5.2.5** 泡沫管路堵塞时的表现：观察和测试各流量计和剂量控制阀，对每条管路上各压力表的数值及剂量控制阀的阀门开度进行记录并与无故障时进行比较。若出现以下情况，可判定为泡沫管路堵塞：

1 从液路出发，若发生故障时管路上某压力表的读数比正常状态下大很多，且故障状态时管路上各压力表的读数基本相同，说明该压力表所在液体管路不畅，致使溶液量远低于盾构机司机发出的指令要求。

2 从气路出发，若发生故障时管路上各压力表的读数比正常状态下大很多，且故障状态时管路上各压力表的读数基本相同，说明该压力表所在气体管路完全堵塞，致使气体的流量变为零。

**5.2.6** 泡沫原液泵定子磨损的常见处理方法：

1 泡沫原液罐底部存在细小砂粒时，应及时清洗泡沫罐，加强泡沫原液补充时的细节管理，解决泥砂混入罐中的问题。

2 泡沫原液泵管路上的软管有漏气现象时，应及时更换破损软管，接口可靠连接，解决泡沫原液泵吸入管的漏气问题。

3 膨润土倒灌泡沫管路，堵塞泡沫发生器时，应将泡沫发生器拆卸清洗，加强膨润土储运管理，避免膨润土污染。

**6 渣土性能指标及测定**

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 良好的流动性和压缩性有助于盾构排土和控制土仓压力，合适的塑性、抗剪强度和黏附强度则有助于提高盾构的掘进效率，降低刀具磨损和结泥饼风险，较小的渗透性则能减小盾构喷涌和喷土的风险。对于不同的地层，盾构穿越会具有不同的施工风险，需针对不同的风险开展渣土性能试验；对于黏性地层，刀盘或土仓结泥饼、土压力稳定性、排土困难等是制约盾构掘进的关键问题，因此宜测定渣土的塑流性、黏附性、压缩性和抗剪强度，对于非黏性地层，螺旋输送机喷涌、刀具磨损、土压力稳定等是制约盾构掘进的关键问题，因此宜测定渣土的塑流性、渗透性、压缩性和抗剪强度。

**6.1.2** 坍落度试验操作便捷，是目前渣土塑流性分析的常用手段。渣土改良状态通常分为过改良、欠改良和合适改良三种状态，其中合适改良时渣土具有一定的坍落度、规则的坍落形状和较好的保水能力，合适改良坍落度值通常结合试验和工程经验获得。盾构掘进过程中，盾构渣土处于带压状态下，室内坍落度试验的渣土状态和实际状态有所差别，且由于地层含水率、土样种类等复杂多变，渣土合适改良坍落度值宜位于一定范围之间，且应结合合盾构掘进状态、渣土级配以及渣土坍落后状态进行综合评判。

**6.1.3~6.1.6** 渣土性能要求通常以满足常规盾构掘进需求进行确定，然而不同的盾构类型、盾构结构形式等会有不同的渣土性能要求，此时应结合盾构掘进状态和工程需求进行综合确定。

**6.2 盾构渣土取样及制备要求**

**6.2.1**  渣土在盾构掘进时已改良，渣土取样时应获取盾构渣土改良参数和改良剂性能，悉知地层参数和盾构掘进状态，并考虑如泡沫等改良剂的时间效应，按试验需求进行取样；

**6.2.2、6.2.3** 盾构渣土改良性能试验包括渣土改良前性能和改良后性能，综合对比改良前后的渣土状态并结合盾构掘进状态分析来综合评判渣土改良参数的合理性。因此进行渣土改良参数试验时，应选择渣土改良目标区段的地勘钻孔取出的土层或者同地层未经改良的基坑土等。

**6.3 坍落度试验**

**6.3.1~6.3.5** 不同坍落度筒具有不同的具有不同的试验要求和试验结果，渣土常规塑流性分析宜采用标准坍落度筒，标准坍落度筒适用性强，理论研究较为充分。当采用非标准坍落度筒进行试验时，应考虑渣土的尺寸效应，不宜选择过小的坍落度筒进行试验。与一般坍落度不同，渣土坍落度还应考虑改良剂的时间效应，及时开展试验。当测定盾构掘进一环中渣土坍落度代表值时，应对渣土进行多次取样测量坍落度平均值作为代表值。

**6.4 渗透试验**

**6.4.1~6.4.3** 渣土的抗渗性是保障盾构安全掘进的关键因素，当地下水压较大、渣土抗渗性较差时，则容易发生“喷涌”，危害盾构施工安全，因此应通过渗透试验测定渣土抗渗性能，以避免“喷涌”的发生。

**6.5 黏附强度试验**

**6.5.1~6.5.4**  盾构渣土黏附强度与结泥饼现象息息相关，当渣土黏附强度较高时，渣土更容易黏附在刀盘刀具表面，并在压缩、高温等作用下形成坚硬的泥饼，堵塞刀盘开口，降低刀具切削性能和盾构掘进效率，因此应开展渣土黏附强度试验，评价盾构结泥饼风险。

**6.6 抗剪强度试验**

**6.6.1~6.6.4** 盾构渣土抗剪强度是决定盾构掘进效率的关键因素之一，当渣土抗剪强度适宜时，盾构刀盘刀具切削效率更高，磨损更低，螺旋输送机出渣更流畅，有利于盾构掘进。

**6.7 压缩试验**

**6.7.1** 盾构渣土压缩性影响着盾构土仓压力控制、开挖面支护应力的分布和地层变形等，从而影响盾构施工力学行为。渣土改良剂中泡沫剂能显著增强渣土的压缩特性，使得土仓中的渣土形成一个“缓冲层”，不仅有利于提高盾构掘进效率，也有利于降低土仓压力波动对开挖面稳定性的影响。因此宜测定渣土压缩特性以获得更好的渣土性能。

**6.8 其他试验**

**6.8.1~6.8.2** 影响改良渣土性能不仅包括改良参数，还包括改良剂性能。对于不同的地层，不同类型、不同种类的渣土改良剂会有不同的作用效果，因此进行渣土改良前应开展改良剂选型试验，以期选择当前地层最适宜的渣土改良剂。当采用泡沫剂进行渣土改良时，除了选择合适的泡沫剂外，还应确定适宜的发泡压力和发泡浓度，以产生性能最佳的泡沫；当采用分散剂进行渣土改良时，由于分散剂通常用于盾构结泥饼的预防和处治，因此还应对比不同分散剂对渣土界限含水率和黏附强度等的影响；当采用不同改良剂进行组合改良时，应通过对比改良前后的渣土性能试验进行组合改良的效果评价和组合改良的选型，并考虑组合改良时改良剂之间相互作用的影响。

**7 渣土改良技术及检验**

**7.1 改良剂选型**

**7.1.1** 不同改良剂作用机理不同，对渣土性能具有不同的改良效果，因此需针对不同的施工风险选择合适的渣土改良剂。在实际工程中，盾构施工风险有时可能不止一种，此时则需要组合2种及以上的改良剂来进行渣土改良。

**7.1.2** 需注意的是，室内渣土状态和实际盾构掘进的渣土状态有所差别，在盾构排渣过程中不同位置的渣土通常具有不同的破碎程度和改良状态，室内试验所得渣土改良参数在实际工程中不一定能获得最好的改良效果，因此，改良参数还需要结合实际的盾构掘进状态进行确定，通过盾构掘进参数的反馈适当调整渣土改良参数。

**7.2 渣土改良参数确定**

**7.2.2** 土压平衡盾构不仅在黏土地层中易结泥饼，当地层中细颗粒含量较多，细颗粒充分包裹粗颗粒时，粗-细颗粒混合的黏性地层中也结泥饼。因此，通过渣土的临界表面积比来确定地层的结泥饼可能性，且在实际工程进行渣土改良时也有可能注入膨润土等细颗粒泥浆，这些细颗粒也可能造成盾构结泥饼，也应作为地层表面积比的计算依据。常见比表面积测试方法，如气体吸附法虽然能较为准确得出细微颗粒的比表面积，但无法测量较大粒径颗粒的比表面积，相比之下，比表面积计算过程中将土颗粒视为球形，这与实际渣土情况虽然有所差别，但能计算出渣土各粒径范围的比表面积，且更加简单和方便。

选取粉质黏土土样为例，说明本规程涉及的表面积比计算方法。粉质黏土在烘干破碎后得到的试样如图7.2.2-1所示，进一步对土样进行筛分，得到土样的各粒径级配曲线如图7.2.2-2所示，通过7.2.2计算方法获得各粒径范围的比表面积，然后通过各粒组比表面积和相应质量的乘积获得各粒组颗粒的表面积大小，如表7.2.2所示，最终获得粒径小于0.15mm颗粒表面积与粒径大于0.15mm颗粒表面积之间的比值，即粉质黏土细、粗颗粒表面积比为356:1，远大于临界表面积比25:1，因此盾构在此地层中掘进时易结“泥饼”，需要通过渣土改良预防“泥饼”产生。



**图7.2.2-1 干燥破碎后粉质黏土土样**

**图7.2.2-2 粉质黏土土样级配曲线**

**表7.2.2 粉质黏土各粒组表面积**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 土样种类 | 土样粒径范围（mm） | 质量（g） | 比表面积（cm2/g） | 表面积（cm2） |
| 粉质黏土 | <0.075 | 81.36 | 3826.30 | 311307.768 |
| 0.075~0.1 | 4.29 | 260.73 | 1118.5317 |
| 0.1~0.15 | 3.99 | 178.44 | 711.9756 |
| 0.15~0.25 | 4.95 | 111.94 | 554.103 |
| 0.25~0.5 | 5.41 | 60.15 | 325.4115 |

**7.2.3~7.2.5** 渣土改良参数确定的过程中还需要结合实际的工程情况进行确定，如对于砂性渣土而言，当地层水压较低，或盾构穿越地层为非富水地层，且穿越地层上下为弱透水层时，可适当放宽渣土低渗透性要求，渣土改良主要考虑流动性、压缩性和强度要求；相反，当盾构穿越地层为富水地层，地下水压力较大时，应加强改良渣土的低渗透性要求。

**7.4 渣土改良效果评价及检验**

**7.4.1~7.4.2** 盾构掘进状态的好坏不仅取决于改良后渣土的性能，还取决于盾构掘进参数的设定，当盾构掘进参数设置不合理时，即使盾构渣土处于较理想的改良状态，盾构掘进效率也可能不高。因此，在进行盾构渣土改良效果评价和检验时，应检查盾构的掘进参数设置的合理性或采用合适的评价指标检验渣土改良效果。

**8 现场管理**

**8.1 渣土改良风险管理**

**8.1.1**  盾构渣土无流动性、流动性小或呈不可塑状态，出现卡钻、电流表急剧上升的情况时，应停机，排除故障后方可开机。

**8.1.2**  掘进前注入的小流量泡沫，应与正式工作时的泡沫浓度相同。

**8.2 改良装备管理**

**8.2.1**  压力表的准确性直接影响施工生产的安全。一般采用弹簧管式压力仪表或电接点式压力仪表。弹簧管式压力表具有结构简单，造价低廉，精度较高，便于携带，安装使用方便，测压范围较宽等特点，所以应用十分广乏。它是由表壳、弹簧管，固定端、拉杆，扇子齿轮、小齿轮、指针，游丝，管接头等零件组成；电接点压力表基于测量系统中的弹簧管在被测介质的压力作用下，迫使弹簧管之末端产生相应的弹性变形一位移，借助拉杆经齿轮传动机构的传动并予放大，由固定齿轮上的指示（连同触头）逐将被测值在度盘上指示出来。与此同时，当其与设定指针上的触头（上限或下限）相接触（动断或动合）的瞬时，致使控制系统中的电路得以断开或接通，以达到自动控制和发信报警的目的。

**8.2.2**  挤压泵应配备润滑脂自动注油器，注润滑脂量应与机器使用强度相匹配。

**8.2.3** 日常使用，应不超过机器80%负荷。机器使用前应可靠接地，接地电阻应≤4Ω。