

ICS 93.020
CCS P20/29

DB21

辽宁省地方标准

DB21/T **—202*

J**—202*

土压平衡盾构渣土改良技术规程

Technical code for soil conditioning for earth pressure balanced shield

(征求意见稿)

202*—**—**发布

202*—**—**实施

辽宁省住房和城乡建设厅
辽宁省市场监督管理局

联合发布

辽宁省地方标准

土压平衡盾构渣土改良技术规程

Technical code for soil conditioning for earth pressure balanced shield

DB21/T **—202*

J**—202*

主编部门：东北大学

批准部门：辽宁省住房和城乡建设厅

辽宁省市场监督管理局

施行日期：202*年*月*日

202* 沈阳

前言

根据辽宁省市场监督管理局《关于印发2024年辽宁省地方标准立项计划的通知》（辽市监发[2024]15号）的要求，由东北大学会同省内外相关单位组成规程编制组，规程编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，参考相关标准及技术文献，结合辽宁省工程实际，并在广泛征求意见的基础上，编制本规程。

本规程的主要技术内容是：总则，术语与定义，基本规定，改良剂种类及性质参数，渣土性能指标及测定，渣土改良技术，现场管理，用词说明和参考标准等。

本规程由辽宁省住房和城乡建设厅和辽宁省市场监督管理局批准，由主编单位东北大学负责具体内容的解释。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本规程执行过程中如有意见或建议，均可以通过来电和来函等方式进行反馈，我们将及时答复并认真处理（归口管理部门：辽宁省住房和城乡建设厅，地址：沈阳市和平区太原街2号，邮编：110001，联系电话：024-234479652；标准起草单位：东北大学，地址：辽宁省沈阳市和平区文化路三号巷11号，邮编：110819，联系电话：024-83678568）。

主编单位：东北大学

参编单位：中国建筑东北设计研究院有限公司

中建东设岩土工程有限公司

大连理工大学

中建东设工程技术（上海）有限公司

东北电力大学

内蒙古大学

苏州大学

内蒙古工业大学

山东建筑大学工程鉴定加固研究院有限公司

中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司

沈阳市市政工程设计研究院有限公司

辽宁省交通规划设计院有限责任公司

辽宁省交通科学研究院有限责任公司

广州地铁工程咨询有限公司

国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院

主 编：赵 文 陈 晨 柏 谦 汪智慧

参编人员：张广超 王铮铮 谭岩斌 陈 猛 曹 洋 崔冠科

李慎刚 柏 淼 庞宇斌 蔡晓丽 董驾潮 郝冬雪

刘 博 孟祥瑞 贾鹏蛟 王 超 王俊彬 梁 海

董智慧 王 鑫 王志国 王昭鹏 王 凯

审查人员：

目次

前 言	3
1 总 则	3
2 术语与定义	4
3 基本规定	6
4 改良剂种类及性质参数	7
4.1 改良剂种类	7
4.2 改良剂性质参数	9
5 渣土性能指标及测定	10
5.1 一般规定	10
5.2 盾构渣土取样及制备要求	10
5.3 坍落度试验	11
5.4 渗透试验	12
5.5 黏附强度试验	13
5.6 抗剪强度试验	14
5.7 压缩试验	15
5.8 其他试验	15
6 渣土改良技术	17
6.1 渣土改良措施	17
6.2 渣土改良剂注入模式	18
6.3 渣土改良效果评价及检验	19
7 现场管理	20
7.1 渣土改良风险管理	20
7.2 改良剂管理	20
7.3 改良装备管理	20
7.4 其他	21
本标准用词说明	22

参考标准	23
条文说明	24

1 总 则

1.0.1 为规范辽宁省采用土压平衡盾构的地下空间工程施工建设，实现土压平衡盾构渣土改良施工的安全高效低碳施工，全面提升土压平衡盾构渣土改良技术水平和效能，制定本规程。

1.0.2 本规程提出了辽宁省土压平衡盾构渣土改良的技术要求，规定了改良剂种类及性质参数，提出了土压平衡盾构渣土改良措施及改良效果评价方法。

1.0.3 本规程基于岩土工程勘察成果资料，考虑改良剂种类、改良剂性质、施工条件等因素，遵循绿色施工、环保施工的原则，指定辽宁省土压平衡盾构渣土改良技术标准，规定了渣土改良材料种类、性能判断方法、改良方法等内容。

1.0.4 土压平衡盾构渣土改良及验收除应符合本规程的规定外，尚应符合关于地下空间工程的国家有关标准的规定。

2 术语与定义

2.1.1 盾构 Shield

在钢壳体保护下完成隧道掘进、出渣、管片拼装等作业，由主机和后配套设备组成的全断面推进式隧道施工机械设备。根据开挖面的稳定方式，分为土压平衡盾构、泥水平衡盾构、敞开式盾构和气压平衡式盾构。

2.1.2 土压平衡盾构 Earth pressure balance shield

土压平衡盾构属于封闭式盾构。盾构刀盘旋转切削前方地层土体，切削土体进入土舱，土舱内土体产生的被动土压力与掌子面土压、水压平衡。土压平衡通过螺旋输送机排出盾构渣土，由螺旋输送机排土口的滑动闸门或旋转漏斗控制出土量。

2.1.3 盾构渣土 Shield muck

盾构法开挖隧道时，盾构前方原状地层经盾构刀盘切削形成的土体。

2.1.4 渣土改良 Soil conditioning

为提高土压平衡盾构的地层适应性，便于盾构排土和控制土仓压力，通过土压平衡盾构配套装置向刀盘掌子面、土仓、螺旋输送机位置注入水、泡沫、膨润土、聚合物等添加剂材料，使盾构渣土具有良好的流动性、合适的塑性、较低的抗剪强度和黏附强度、较小的渗透性和一定的压缩性。

2.1.5 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。

2.1.6 泡沫剂 Foaming agent

由表面活性剂、稳泡剂等成分组成。与水混合，在一定气压下能产生亚稳定泡沫的添加剂。

2.1.7 分散剂 Dispersant

一种在分子内同时具有亲油性和亲水性的两种相反性质的界面活性剂。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。

2.1.8 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。

2.1.9 喷涌 Spewing

土压平衡盾构在开挖过程中，遇到渗透性高、级配不良的粗颗粒土地层时，并且地层水头较高、水压力较大时，在螺旋输送机的出口处发生喷水、喷泥、喷砂的现象。

2.1.10 刀盘结泥饼 Buildup of mud cake

土压平衡盾构掘进遇到细颗粒土含量较高地层时，盾构渣土在刀盘掌子面、刀盘间隙、土仓隔板等位置聚集并形成固结块体的现象。

2.1.11 刀具磨损 Cutter abrasion

盾构掘进切削土体的过程中，前方土体与刀盘刀具之间的摩擦力造成的滚刀、刮刀等刀具损坏等情况。

2.1.12 土仓压力 Chamber pressure

土压平衡盾构密封仓内的渣土被动土压力。

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。

2.1.14 发泡倍率 Foam expansion ratio

一定气压下产生的泡沫体积与形成该泡沫的泡沫混合液体积的比值。

2.1.15 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。

2.1.16 粘稠指数 Consistency index

黏性土体稠度状态的一种度量。

2.1.17 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。

2.1.18 旋转剪切强度 Rotational shear strength

一定转速下的改良土体剪切强度。

2.1.19 渗透系数 Permeability coefficient

代表土体渗透性强弱的定量指标。

3 基本规定

3.0.1 土压平衡盾构掘进过程中进行渣土改良时，应综合考虑隧道的设计条件、盾构机选型、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 土压平衡盾构渣土改良剂进场应进行性能测定及验收工作，质量合格后方可使用。

3.0.3 盾构渣土改良剂选型应保证绿色施工，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 改良剂种类及性质参数

4.1 改良剂种类

4.1.1 渣土改良剂包含水、泡沫剂、分散剂、膨润土泥浆、高分子聚合物等。

4.1.2 渣土改良所用水一般为施工现场使用的地下水或自来水，pH 值介于 6-9。

4.1.3 渣土改良泡沫剂由表面活性剂、稳泡剂、分散剂、助剂等多种材料复配形成，溶于水形成泡沫原液，再根据施工需要与水混合配置成为一定浓度的泡沫液。

表 4.1.3 泡沫剂的理化性能和环保指标

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°C)，mm ² /s	3-20
4	水溶性	完全溶解
5	密度（20°C），g/cm ³	1.05±0.05
6	pH 值（3%水溶液，20°C）	7.5±0.5
7	发泡倍率	10-30
8	半衰期（3%水溶液，20°C）， min	10-30
9	腐蚀性	6.0≤pH≤9.0 无腐蚀
10	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）
11	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）
12	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）

4.1.4 膨润土泥浆根据组成为钠基膨润土和钙基膨润土，工程使用的膨润土多为两种复合形成。

4.1.5 膨润土为浅褐色或深褐色粉末，完全溶于水。膨润土泥浆浓度介于 1.05-1.20 g/cm³，苏式漏斗黏度介于 20-40s。

4.1.6 分散剂由表面活性剂、渗透剂、稳定剂等成分组成，主要作用于解决盾构刀盘结泥饼、土仓积仓等问题。

表 4.1.6 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°C), g/cm ³	1.05±0.05
3	运动粘度(20°C), mm ² /s	20-40
4	pH 值	6-8
5	渗透率, mm ²	≥62

4.1.7 高分子聚合物为白色颗粒或无色液体。主要应用于高渗透性的粗颗粒土层，防止因掌子面水压过大导致的螺旋输送机喷涌现象。

表 4.1.7 高分子聚物理化性能

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

4.1.8 当土压平衡盾构施工遇到复合地层等复杂地质情况时，通常选用两种及以上的渣土改良剂进行组合改良。如泡沫可以有效改进盾构渣土的流塑性，膨润土泥浆可以显著降低盾构渣土的剪切强度，泡沫+膨润土泥浆的组合改良方式可以同时实现对流塑性、剪切强度的改良。

4.2 改良剂性质参数

4.2.1 泡沫改良剂一般为浅黄色或者无色液体，无异味或有刺激性气味。常温条件下密度接近于 1g/cm^3 ，pH 值接近 7。

4.2.2 根据土压平衡盾构施工要求，泡沫剂发泡倍率应不小于 10 倍，且半衰期介于 10-30 分钟。

4.2.3 泡沫改良剂环保指标包含腐蚀性、地表水和地下水污染性、水生物急性毒性、可生物降解性等。

4.2.4 泡沫发泡倍率采用室内组装的自制发泡装置测定，发泡装置包括空气压缩机、电磁隔膜计量泵、液体流量计、气体流量计、气体减压阀、发泡枪等。发泡枪内包含直径 2-5mm 的玻璃球。

4.2.5 泡沫半衰期采用自制测量桶测定，计时得到泡沫质量减少一半时需要的时间。

4.2.6 膨润土泥浆与水混合搅拌至完全溶解后，需静止 18-24 小时至完全膨化。使用十二速旋转剪切仪对膨润土泥浆的表观黏度、剪切应力进行测定。

4.2.7 分散剂为淡黄色或无色透明液体，常温下密度接近 1g/cm^3 ，pH 接近 7。

4.2.8 高分子聚合物为白色颗粒状或无色透明液体，完全溶解于水。

5 渣土性能指标及测定

5.1 一般规定

5.1.1 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。

5.1.2 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。

5.1.3 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^{-5}m/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。

5.1.4 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；

5.1.5 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。

5.1.6 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。

5.2 盾构渣土取样及制备要求

5.2.1 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。

5.2.2 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。

5.2.3 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。

5.3 坍落度试验

5.3.1 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。

5.3.2 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。

5.3.3 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。

5.3.4 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。

5.3.5 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。

5.4 渗透试验

5.4.1 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。

5.4.2 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 5.2 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。

5.4.3 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。

5.5 黏附强度试验

5.5.1 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。

5.5.3 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，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：

- 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。

5.5.4 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 5.2 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：

$$a = \frac{6T_1}{\pi D_1^3} \quad (1)$$

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。

5.6 抗剪强度试验

5.6.1 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。

5.6.2 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。

5.6.3 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。

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。

5.6.4 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 5.2 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：

$$\tau = \frac{6T_2}{\pi(d^3 + 3d^2h)} \quad (2)$$

式中： τ ——剪切应力；

T_2 ——十字板扭矩；

d ——十字板直径；

h ——十字板高度。

5.7 压缩试验

5.7.1 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 5.2 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。

5.8 其他试验

5.8.1 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。

5.8.2 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 V_f 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 V_m ，则泡沫发泡率 $FER=V_m/V_L$ ；

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。

6 渣土改良技术

6.1 渣土改良措施

6.1.1 土土压平衡盾构机掘进时应先确定掘进地层原状土颗粒粒径分布及含水率情况。当土体中圆砾或角砾含量较少时，宜采用泡沫剂作为改良剂；如果掘进地层无水或含水率较低，宜采用水+泡沫剂进行盾构渣土改良；若为富水地层，当水压力加大时，宜采用泡沫剂+膨润土泥浆或泡沫剂+高分子聚合物的改良方式。

6.1.2 当土压平衡盾构掘进圆砾、砂卵石等粗颗粒含量较高的地层时，宜采用泡沫+膨润土泥浆为改良剂。粗颗粒含量较高时，宜采用高漏斗黏度的膨润土泥浆，且根据粗颗粒含量增高，泡沫注入比增加。

6.1.3 当采用泡沫剂或膨润土泥浆单一改良时，泡沫剂对砂土地层流塑性改良效果明显，对砂土稠度系数、屈服强度改良效果不明显。膨润土泥浆对砂土地层稠度系数、屈服强度改良效果明显，对流塑性改良效果较弱。

6.1.4 针对砂土地层，渣土改良目的是降低渣土的渗透性、提高渣土的流塑性与压缩性、降低渣土的剪切强度。因此，应测定砂土地层盾构渣土的流塑性、压缩性、渗透性、剪切强度，主要测定步骤如下：

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 5.1.3 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塌度值，应开展坍塌度试验，选出满足渣土坍塌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塌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 5.1.5 和 5.1.6 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塌度要求，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。

6.2 渣土改良剂注入模式

6.2.1 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。

6.2.2 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 and 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。

6.3 渣土改良效果评价及检验

6.3.1 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。

6.3.2 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。

6.3.3 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。

6.3.4 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。

7 现场管理

7.1 渣土改良风险管理

7.1.1 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。

7.1.2 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。

7.1.3 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。

7.1.4 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。

7.2 改良剂管理

7.2.1 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。

7.2.2 所有的母材应分类标识，不得随意弄掉标签，以免错用。

7.2.3 确保包装密封良好，避免产品吸潮影响使用效果。

7.2.4 应有专人做好动态入库及发放管理，做到账物相符。

7.3 改良装备管理

7.3.1 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。

7.3.2 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。

7.3.3 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。

7.3.4 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。

7.4 其他

7.4.1 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。

7.4.2 施工现场应有防止扬尘、泥浆、污水、废水污染环境的措施。

7.4.3 全自动拌浆系统应进行封闭处理，防止扬尘污染。

7.4.4 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。

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”。

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

辽宁省地方标准
土压平衡盾构渣土改良技术规程

DB21/T **—202*

J**—202*

条文说明

制订（或修订）说明

《土压平衡盾构渣土改良技术规程》DB21/T **—202*, 经辽宁省住房和城乡建设厅和辽宁省市场监督管理局二〇二四年九月二十七日批准发布。

本标准制订过程中，编制组进行了土压平衡盾构机改良剂种类及性质参数、渣土性能指标及测定、渣土改良技术和现场管理等方面的调查研究，总结了辽宁省土压平衡盾构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盾构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	1
4 改良剂种类及性质参数	2
5 渣土性能指标及测定	3
5.1 一般规定	3
5.2 盾构渣土取样及制备要求	3
5.3 坍落度试验	4
5.4 渗透试验	4
5.5 黏附强度试验	4
5.6 抗剪强度试验	4
5.7 压缩试验	5
5.8 其他试验	5
6 渣土改良技术	6
6.1 渣土改良措施	6
6.2 渣土改良剂注入模式	6
6.3 渣土改良效果评价及检验	6
7 现场管理	7
7.1 渣土改良风险管理	7
7.2 改良装备管理	7

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 土压平衡盾构前方是通过土舱里渣土介质建立密封压力来平衡开挖面，因此面临渣土相关问题，本规程给出的条文适用于土压平衡盾构的渣土改良。

4 改良剂种类及性质参数

4.1.1 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。

5 渣土性能指标及测定

5.1 一般规定

5.1.1 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。

5.1.2 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。

5.1.3~5.1.6 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。

5.2 盾构渣土取样及制备要求

5.2.1 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；

5.2.2、5.2.3 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。

5.3 坍落度试验

5.3.1~5.3.5 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。

5.4 渗透试验

5.4.1~5.4.3 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。

5.5 黏附强度试验

5.5.1~5.5.4 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。

5.6 抗剪强度试验

5.6.1~5.6.4 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。

5.7 压缩试验

5.7.1 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。

5.8 其他试验

5.8.1~5.8.2 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。

6 渣土改良技术

6.1 渣土改良措施

6.1.1 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。

6.2 渣土改良剂注入模式

6.2.2 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。。

6.3 渣土改良效果评价及检验

6.3.1~ 6.3.4 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。

7 现场管理

7.1 渣土改良风险管理

7.1.1 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。

7.1.2 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。

7.2 改良装备管理

7.2.1 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。弹簧管式压力仪表具有结构简单，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，所以应用十分广泛。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。

7.2.2 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。

7.2.3 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 $\leq 4\Omega$ 。