

ICS

CCS

团体标准

T/CI XXX-2024

软土地铁基坑开挖施工技术规范

(征求意见稿)

Technical specifications for excavation of soft soil subway
foundation pits

2024-X-XX 发布

2024-X-XX 实施

中国国际科技促进会 发布

目次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	3
5 施工控制体系	4
5.1 一般规定	4
5.2 软土深基坑围护结构侧向变形的控制方法	5
5.3 基坑工程的施工控制	5
5.4 围护结构侧向变形的施工控制	5
6 钢支撑安全控制	6
6.1 一般规定	6
6.2 钢管支撑管节的极限承载能力	7
6.3 钢支撑管节连接螺栓的承载能力	8
6.4 钢支撑系梁抱箍的承载能力	8
6.5 钢支撑活络头的承载能力	8
7 基坑变形主动控制	9
7.1 一般规定	9
7.2 主动控制理论	9
7.3 主动控制关键技术	11
8 基坑变形半主动控制	12
8.1 一般规定	12
8.2 无支撑暴露时间下围护结构侧向变形控制技术	12
8.3 有支撑暴露时间下围护结构侧向变形控制技术	12
9 特殊条件下的变形控制	13
9.1 一般规定	13
9.2 古河道切割区的变形控制	13
9.3 钢支撑轴力损失控制	14

征求意见稿

征求意见稿

征求意见稿

征求意见稿

征求意见稿

征求意见稿

征求意见稿

征求意见稿

征求意见稿

征求意见稿

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由腾达建设集团有限公司提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：腾达建设集团有限公司....

本文件主要起草人：曹虹....

1 范围

- 1.1 为规范基坑开挖过程施工控制的实施，确保工程质量和安全，做到技术先进、经济合理，制定本文件。
- 1.2 本文件适用于软土长条形基坑开挖过程中的变形施工控制。
- 1.3 软土长条形基坑的变形施工控制除应符合本文件外，尚应符合国家、行业 and 地区现行有关标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 50010-2015《混凝土结构设计规范》

GB 50017-2017《钢结构设计标准》

GB/T 50299-2018《地下铁道工程施工质量验收标准》

GB 50497-2019《建筑基坑工程监测技术标准》

JGJ120-2012《建筑基坑支护技术规程》

JGJ311-2013《建筑深基坑工程施工安全技术规范》

DG/TJ 08-2273-2018《建筑工程施工控制技术标准》

DG/TJ08-61-2018 J11577-2018《基坑工程技术标准》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

变形施工控制 deformation construction control

在基坑开挖过程中，为确保周边建构筑物与地下关系的安全、使围护结构变形满足基坑环境保护等级要求所采取的方法和措施。通常包括基坑开挖过程模拟计算与仿真分析、施工状态与环境检测、数据分析、状态预警、施工过程修正调整与控制等措施。

3.2

时空效应 time-space effect

土体应力场与位移场不但与最终状态有关，而且与达到最终状态的路径、结构尺度等（即所谓空间效应），应力历史与流变性等（即所谓时间效应）有关。在基坑施工中，适量地减少每步开挖空间和时间并缩短每步开挖所暴露的围护结构的自由暴露时间，可以明显地减少基坑位移。

3.3

钢支撑轴力伺服系统 steel supports axial force servo system

钢支撑轴力伺服系统是由液压系统、控制系统组成的，由液压动力控制系统进行钢支撑轴力调整、电气与监控系统实现对伺服轴力系统的可视化监控管理与故障报警的综合性系统。

3.4

主动控制 proactive controls

主动控制是指通过对围护结构主动施加实时可调轴力来减小甚至消除围护结构侧向变形的技术，包括主动控制设备与主动控制方法两部分。

3.5

半主动控制 semi-active controls

半主动控制是指通过在围护结构上施加短暂轴力作用或采用科学合理的施工参数主动利用土体自身抗力与力学特性来控制围护结构的侧向变形。

3.6

被动控制 passive controls

被动控制是指围护结构、支撑体系、坑内土体等被动地承担坑内外荷载差，只能通过改变它们的力学特性来抑制围护结构侧向变形的技术。

3.7

混合控制 hybrid control

根据基坑环境保护等级的要求，基坑施工中往往综合应用被动、主动、半主动控制方法，以期进一步实现基坑控制目标。

3.8

基坑开挖全过程分析 analysis of the whole process of excavation of foundation pits

在基坑开挖过程中，根据施工技术方案和施工步骤建立计算模型，后一个施工步是在前一施工步分析的基础上进行的分析。

4 基本规定

4.1 下列基坑在施工过程中应进行施工控制：

1. 开挖深度超过 5 米（含 5 米）或地下室三层以上（含三层）的基坑。
2. 开挖深度未超过 5 米，但地质条件和周围环境及地下管线特别复杂的工程。
3. 主体结构受力性能、受力状态及结构形式改变的改建工程。
4. 水文地质及施工过程对围护结构内力有显著影响的工程。
5. 环境因素和基坑形体对围护结构变形有特殊效应的工程。
6. 设计文件有要求的工程。

4.2 施工控制应保证施工过程中永久结构和临时结构的安全，并应保证永久结构的质量满足设计和施工质量验收规范的要求，且宜兼顾施工方案的经济性。

4.3 施工控制的内容应包括施工过程结构分析、施工监测、数据分析与施工过程控制。

4.4 施工控制应有确定的总体目标和根据施工工艺流程确定的分阶段目标。

4.5 施工控制内容应形成专项方案，专项方案内容宜包括工程概况、施工方案、施工控制目标、施工过程结构分析报告、施工监测方案、施工控制要点及措施。

4.6 施工控制专项方案编制完成后，应经相关单位审批后方可实施。

4.7 施工控制实施应有明确的组织保障体系。

4.8 施工控制应以指令形式实施。

4.9 施工控制实施前，应根据分阶段目标确定各分阶段监测参数的临界值、预警值。

4.10 软土长条形基坑施工控制可按图 4.0.10 所示流程实施。

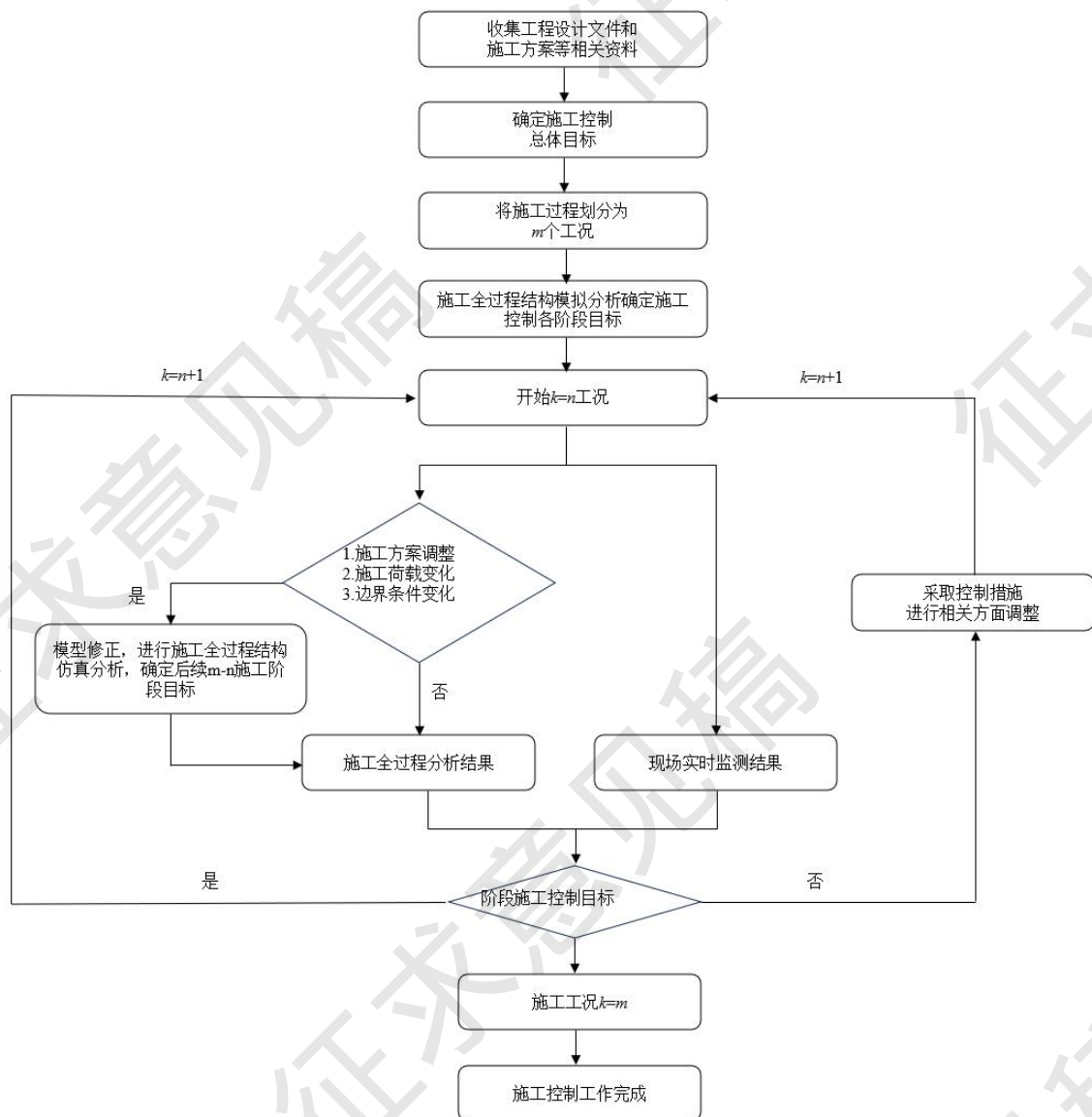


图 4.0.10 软土长条形基坑施工控制流程图

5 施工控制体系

5.1 一般规定

5.1.1 采用平面弹性地基梁法求解基坑围护与支撑结构的力学状态。

5.1.2 求解围护与支撑结构力学状态应关注的参数，包括基坑内外侧的水土压力、围护结构强度、混凝土支撑强度与钢支撑轴力。

5.2 软土深基坑围护结构侧向变形的控制方法

5.2.1 围护结构的侧向变形由坑外水土压力、坑内土体抗力以及支撑轴力组成的力系共同作用决定。当坑外水土压力不变、坑内土体抗力一定时，围护结构的侧向变形主要取决于支撑轴力。

5.2.2 软土流变变形与时间和所受荷载大小有关。在时间一定的情况下通过增大支撑轴力可以减小流变变形；在轴力一定的情况下，可通过尽量减少被动区土体的受荷时间来控制流变。

5.2.3 基坑的流变变形控制主要由两部分组成：（1）无支撑暴露时间下的流变控制，即土体开挖后支撑未及时架设，围护结构因坑内被动区土体流变而产生侧向变形；（2）有支撑暴露时间下的流变控制，即支撑架设后，围护结构因坑内被动区土体流变而产生的侧向变形。

5.2.4 基坑围护结构的侧向总变形为各阶段所产生的侧向变形累积之和。严格控制每一层土体开挖所引起的变形，才能实现对基坑围护结构侧向变形的控制。

5.3 基坑工程的施工控制

5.3.1 基坑施工控制的核心内容为支撑安全控制、围护结构变形与内力控制、基坑稳定控制、周边环境沉降控制。

5.3.2 围护结构变形包括围护结构的侧向变形和竖向变形，一般主要关注侧向变形，特殊情况下也需关注竖向变形。

5.3.3 围护结构的内力主要是指围护结构作为竖向构件时的弯矩和剪力，特殊情况下还需考虑围护结构的横向受力与局部受力。

5.3.4 对于条形基坑，支撑安全控制主要是解决钢支撑体系的压弯稳定以及特殊情况下砼支撑的受拉问题。

5.3.5 基坑稳定控制包括基坑边坡整体稳定、支护结构抗滑移稳定、支护结构抗倾覆稳定、基坑底土体抗隆起稳定等。

5.3.6 基坑周边环境的力学状态可通过控制基坑自身施工的变形或隔断地层中力学状态的传递、对保护对象及其地层进行加固等来控制。

5.4 围护结构侧向变形的施工控制

5.4.1 根据坑内外荷载对围护结构作用方式的不同，围护结构侧向变形施工控制可分为：被动

控制、半主动控制、主动控制以及混合控制。

5.4.2 被动控制是指通过提高坑内土体强度、提高围护结构和支撑的刚度来控制围护结构侧向变形的技术，通常可采用如下措施：

1. 以搅拌桩、高压旋喷桩、注浆、降水等方法进行土体加固。
2. 以钢管撑替代型钢支撑，增大钢管撑壁厚、直径增加钢支撑刚度。

5.4.3 主动控制是指通过对围护结构主动施加实时可调轴力来减小甚至消除围护结构侧向变形的技术，采用轴力伺服系统施加预压轴力。严禁施加值超过钢支撑承载极限。

5.4.4 半主动控制是指通过在围护结构上施加短暂轴力作用或采用科学合理的施工参数主动利用土体自身抗力与力学特性来控制围护结构的侧向变形，通常可采用如下措施：

- 1 以千斤顶施加短暂的预压轴力。
- 2 采用合理的分层、分块、留土护壁（盆式开挖）施工方案。

5.4.5 根据基坑环境保护等级的要求，基坑施工中往往综合应用被动、主动、半主动控制方法，即运用混合控制措施，以进一步实现基坑控制目标。

6 钢支撑安全控制

6.1 一般规定

6.1.1 钢支撑体系需包含管节、活络头、法兰盘、抱箍、系梁、斜牛腿、留撑、围檩等构件。

6.1.2 为增强整体受力性能，钢支撑与围护结构之间需设置钢围檩。

6.1.3 斜撑两端应设置斜牛腿与围护结构相连。

6.1.4 当需要设置伺服系统时一般在钢支撑一端设置伺服系统，另一端设置活络头或固定端。

6.1.5 按照“节点强于构件”的原则对钢支撑系统的节点应加强其施工质量的把控。

6.1.6 钢支撑系统是由钢管节段、法兰盘、活络头组成的串联体系，当其中任意一项发生破坏时则整个串联体系破坏；而系梁与抱箍确定了钢支撑系统的边界条件，一旦系梁与抱箍发生破坏，钢支撑的极限承载能力会急剧下降，从而带来钢支撑的破坏。

6.1.7 钢支撑系统的极限承载能力是指钢支撑完全崩溃前所能承受外荷载的最大能力，其与材料特性、几何尺寸、承受的荷载形式、荷载的加载路径等有关，不同荷载形式和加载路径其极限承载能力不同。

6.1.8 管节挠曲变形引起的二阶效应、由于支撑活络头转动产生的轴力作用点偏移等属于几何

非线性问题。

6.1.9 钢支撑管节、活络头以及螺栓作为金属材料在破坏时显现出非线性特点。

6.1.10 钢支撑管节与螺栓之间的力学作用以及活络头构件间的力学作用，属于接触非线性。

6.2 钢管支撑管节的极限承载能力

6.2.1 钢支撑安装应减少管节的初始偏心距，安装时应保证支撑和围护结构定位准确。

6.2.2 钢支撑安装时应保证法兰盘与钢支撑管节接触齐平。

6.2.3 施工过程中应做好坑底加固等措施，防止基坑隆起带动系梁上抬从而引起支撑的附加偏心距。

6.2.4 钢支撑安装时应保证楔形块插入深度足够，防止管节偏心受压。

6.2.5 钢支撑管节应设置系梁和抱箍。

6.2.6 钢支撑为压杆稳定结构，过大的轴力作用下极易发生失稳破坏，从而导致基坑系统性风险。

6.2.7 钢支撑安装偏心距在规范中均有规定，如《建筑基坑支护技术规程》（JGJ 120-2012）和上海市《基坑工程技术标准》（DG/TJ08-61-2018 J11577-2018）规定：支撑的承载力计算应考虑施工偏心误差的影响，偏心距取值不宜小于支撑计算长度的 2%-3%，且对混凝土支撑不宜小于 20mm，对钢支撑不宜小于 40mm。《地下铁道工程施工质量验收标准》（GB/T 50299-2018）规定：横撑安装前应先拼装，拼装后两端支点中心线偏心不应大于 20mm，安装后总偏心量不应大于 50mm。

6.2.8 钢管支撑的极限承载能力目前可用解析法和有限单元法进行计算。

6.2.9 钢支撑的极限承载能力解析算法假定：1）钢管支承条件为两端简支；2）法兰盘连接处视为等强度连接，3）系梁抱箍简化为单向支撑，能可靠的约束钢管的侧向变形。

6.2.10 钢支撑的极限承载能力梁单元算法假定：1）钢管支承条件为两端简支；2）法兰盘连接处视为等强度连接，3）系梁抱箍简化为单向支撑，能可靠的约束钢管的变形。其中钢支撑管节采用梁单元模拟，并同时考虑几何非线性与材料非线性。

6.2.11 解析法计算时钢支撑的极限承载能力时，将钢管体系视为简单的二维简支静定结构，即不考虑钢管体系在水平方向的约束作用。当钢管体系存在系梁抱箍约束时，结构计算长度取端部约束及所有各段系梁抱箍间距的最大值。

6.2.12 钢支撑极限承载能力随偏心距的增加而减小，在偏心距较小时这一趋势尤为明显。

6.3 钢支撑管节连接螺栓的承载能力

6.3.1 对于 $\Phi 609$ 钢支撑应采用 10.9 级螺栓予以匹配。

6.3.2 对于 $\Phi 800$ 钢支撑应采用 12.9 级螺栓予以匹配。

6.3.3 对法兰结构和高强螺栓建立实体模型，在梁单元法的基础上实现考虑局部接触摩擦的精细化模拟，与梁单元法相一致，管节部分同时考虑几何非线性与材料非线性效应。计算假定：1) 实体单元的法兰结构总位于结构弯矩最大处；2) 钢管支承条件为两端简支；3) 系梁抱箍简化为单向支撑，能可靠的约束钢管的变形。

6.3.4 4.6 级、6.8 级、8.8 级三类螺栓在较小的偏心距下即存在被拉断的风险，实际工程中不建议采用。

6.3.5 当钢支撑系统可能出现较大的偏心时，推荐改用 12.9 级螺栓。

6.4 钢支撑系梁抱箍的承载能力

6.4.1 系梁及抱箍的设置对提升钢支撑管节的极限承载能力至关重要，但系梁设置在跨中或三分点位置时影响不大。

6.4.2 钢支撑所受被动抗力与偏心距有关，偏心距越大，抱箍需提供的抗力越大，抱箍不仅起构造作用，且承受一定被动抗力。

6.4.3 钢支撑所受被动抗力抗力会通过抱箍与系梁的约束点传至系梁，产生沿系梁轴向的荷载，为防止系梁水平滑动，系梁与格构柱间应当设置侧向约束牛腿。

6.4.4 在门型抱箍外侧增加侧向斜撑，使之形成更稳定的三角形结构，三角形斜角 45 度，其支点支撑在抱箍与钢支撑的接触位置。

6.5 钢支撑活络头的承载能力

6.5.1 活络头安装时应控制好活络头偏心距。

6.5.2 活络头安装时应通过适当加大伸出长度来确保楔块完全插入活络头截面内。

6.5.3 活络头可以采用双拼槽钢式或矩形钢板式，应优先采用矩形钢板式。

6.5.4 活络头采用三维实体单元精细化模拟具体构件，并考虑材料非线性与接触非线性效应。

7 基坑变形主动控制

7.1 一般规定

7.1.1 实现轴力对变形的主动控制，需解决以下 4 项关键技术问题：

- (1) 二维计算理论与三维施工方法的差异性；
- (2) 轴力与变形的对应性；
- (3) 软土流变的不可控性；
- (4) 轴力控制方法的单一性。

7.1.2 通过应用轴力伺服系统解决上述技术问题：

- (1) 根据需要对任意数量的支撑实时施加轴力，且轴力保持不变，实现了二维计算理论与三维施工实践的统一，为基坑变形的主动控制奠定了硬件基础。
- (2) 通过在支撑上设置轴力伺服系统，使用大吨位千斤顶根据需要输出足够大的支撑轴力，使得围护结构在支撑轴力下向坑外产生的变形可以部分抵消甚至完全抵消流变产生的坑内变形，从而实现对流变和变形的有效控制。

7.2 主动控制理论

7.2.1 基坑围护结构侧向变形的主动控制理念是围护变形与支撑轴力双控、钢-混支撑受力协调、环境保护与基坑安全并重、“时空效应”与伺服应用主辅分明。

7.2.2 根据变形连续体变形协调方程构建围护结构侧向变形的主动控制原理，其在围护结构侧向变形主动控制中的四大应用为：

- (1) 轴力-变形影响性，即支撑轴力对围护结构弯矩、剪力的影响；
- (2) 轴力相干性，即支撑轴力的改变不仅影响围护结构变形，同时还影响其他支撑的轴力；
- (3) 轴力-流变影响性，即支撑轴力的调整会改变围护结构的变形；
- (4) 轴力-内力影响性，即支撑轴力对坑内土体流变的影响，由于坑内土体与支撑共同平衡着坑外荷载，支撑轴力的改变必然会影响坑内土体的应力水平，而坑内土体的应力水平又与坑内土体的流变大小有关。

7.2.3 围护结构侧向变形的主动控制方法是运用现代控制理论和数值仿真技术，利用轴力影响性方程求解获得主动轴力，通过施加主动轴力使结构的实际状态趋于理想状态，同时确保支撑

轴力、围护结构内力处于安全范围内，实现变形、轴力、内力的“三控”。通过影响矩阵法可实现对围护结构变形、内力以及支撑轴力的优化计算。

7.2.4 围护结构侧向变形主动控制策略包括以下 4 点：

(1) 对于条形基坑，同一层内参与轴力调整的支撑数量越多越接近平面应变模型，变形控制效果越好，理论结果与实践监测数据越接近。

(2) 临近支撑轴力的相互影响称为轴力相干性。竖向相干性主要体现在某根支撑轴力施加或调整时对上下各道支撑轴力的影响，平相干性主要体现在某根支撑轴力施加或调整时对同层其它支撑轴力的影响。轴力伺服系统应针对水平相关性引起的轴力损失进行针对性轴力补偿。

(3) 应用轴力伺服系统的过程中，既要考虑变形控制目标与支撑的极限承载力，也要兼顾现有配筋下围护结构的内力容许范围。

(4) 根据工况的不同设定相应的控制目标，即轴力的多目标动态控制。在多目标动态控制法中，每道支撑的轴力控制目标根据围护结构侧向变形控制结果确定，并根据下道支撑的相干性结果而予以动态调整。

7.2.5 基于地层结构法确定围护结构侧向变形主动控制流程，如图 7.2.5.1 所示。

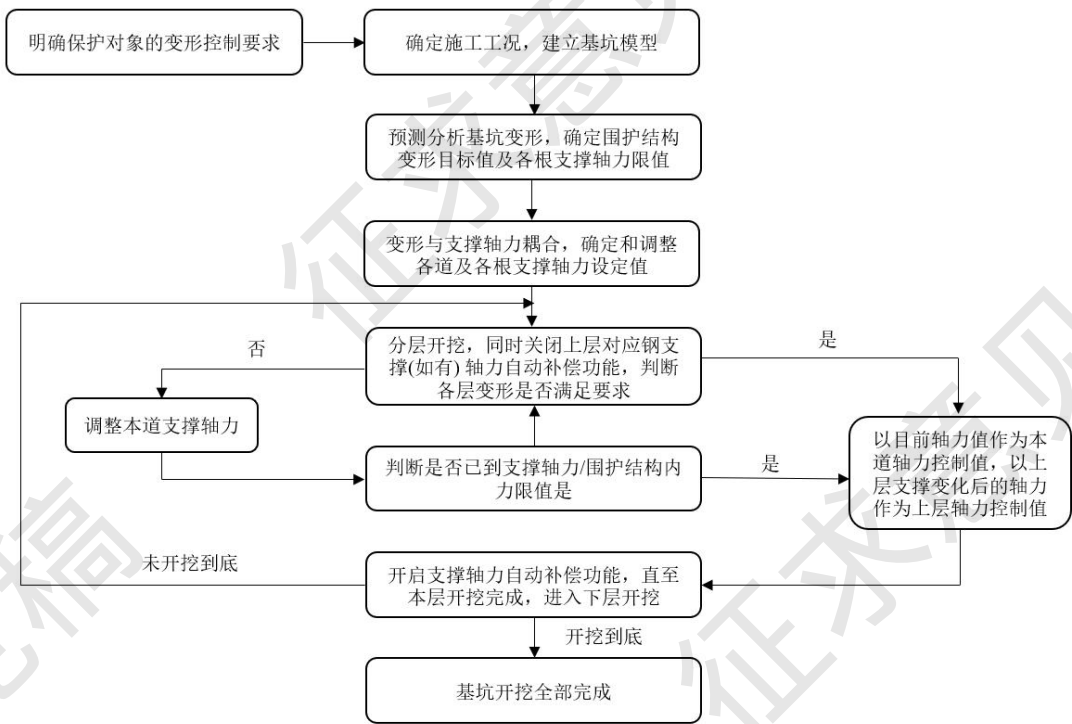


图 7.2.5.1 围护结构侧向变形主动控制流程图

7.2.6 根据围护结构侧向变形三维主动控制流程，其主动控制包含以下内容：

(1) 确定分析软件与本构模型；

- (2) 建立模型—参数识别—修正模型；
- (3) 确定基坑的目标状态；
- (4) 基于施工过程的动态模拟分析；
- (5) 控制实施；
- (6) 分析预测。

7.3 主动控制关键技术

7.3.1 基坑的变形控制目标要合理，既要控制围护结构侧向变形又要控制支撑轴力、围护结构内力不超过限值。主要体现在三个方面：

(1) 保证支撑系统具有一定安全性的前提下支撑可能承受的最大值。混凝土支撑需同时满足抗拉、抗压要求，钢支撑需确保所受轴力不得超过系统的极限承载力。

(2) 根据国家与地方规范中环境保护等级要求确定围护结构侧向变形目标值。

(3) 确保围护结构受力在允许范围内。需同时考虑正截面受弯与斜截面受剪，并进行抗冲切验算。

7.3.2 基于“三控法”的钢支撑轴力确定具体方式，依据国家与地方规范中环境保护等级要求确定围护结构侧向变形目标值，结合实际工程中钢支撑的布设、轴力限值与围护结构的承载极限，通过试算法确定满足三方要求的钢支撑轴力值。

7.3.3 基于支撑轴力的围护结构侧向变形的主动控制需遵循三个原则：

(1) 就近原则，即通过调整距离关心位置最近的支撑轴力来控制变形效率最高；

(2) 尽早原则，即围护结构的侧向变形控制越早越好、越早越容易；

(3) 分区控制原则，即根据基坑中设置的混凝土支撑，把连续设置的钢支撑分割成若干个相对独立的区域，形成分区设置。

7.3.4 采用轴力-流变增量法以控制软土流变变形，即在确保支撑安全的情况下基于流变增量的收敛性，根据监测数据中的流变增量来调整轴力伺服系统的控制轴力，直至其收敛。

7.3.5 轴力伺服系统的布置方式根据工程地质情况、基坑规模与变形需求确定。全部采用轴力伺服系统的变形控制效果最好，一半使用的次之，间隔使用的再次，单一某道使用的效果最差。

7.3.6 常用的分区设置方式包括混凝土支撑隔一设一、混凝土支撑隔二设一、混凝土支撑隔三设一，综合考虑变形控制效果与钢支撑失效风险，宜优先考虑采用隔二设一方式。

8 基坑变形半主动控制

8.1 一般规定

8.1.1 半主动控制是指通过在围护结构上施加短暂轴力作用或采用科学合理的施工参数主动利用土体自身抗力与力学特性来控制围护结构的侧向变形。

8.1.2 软土基坑的流变控制涉及无支撑暴露时间下的围护结构侧向变形控制与有支撑暴露时间下的围护结构侧向变形控制两部分。

8.1.3 通过土方开挖工艺的优化来减少分块开挖时的无支撑暴露时间是围护结构侧向变形控制的关键。

8.1.4 有支撑暴露下的围护结构侧向变形控制，主要靠优化施工组织安排和分坑施工来缩短时间，依靠施加合理的支撑轴力来减小流变变形速率。

8.2 无支撑暴露时间下围护结构侧向变形控制技术

8.2.1 影响无支撑暴露时间下围护结构侧向变形的因素主要包括：

- (1) 施工工艺因素：斜撑区域开挖方法、对撑区域开挖方法、砼支撑施工工艺。
- (2) 天气等其他因素。
- (3) 主观管理因素。

8.2.2 当基坑的空间尺度较大、变形要求较为严格时应采用盆式开挖法。

8.2.3 在满足挖土工艺操作空间的情况下尽可能加大预留宽度，减小无支撑暴露时间。

8.2.4 斜撑区域应采用半圆形或蘑菇形盆式开挖法。

8.2.5 对撑区域应采用正“凸”形盆式开挖法或者倒“凸”形盆式开挖法。

8.3 有支撑暴露时间下围护结构侧向变形控制技术

8.3.1 常规基坑支撑体系中，临近土体的开挖、临近支撑的架设以及开挖后的必要的停歇时间，都会造成已施加轴力的损失，而轴力损失势必使围护结构侧向变形增大。

8.3.2 保持合理有效的钢支撑轴力是有支撑暴露时间下围护结构侧向变形的关键，必要时应采用伺服系统持续不断的补偿轴力损失。

8.3.3 千斤顶卸除后管节轴力作用于楔块上导致楔块压缩产生的轴力损失。

8.3.4 楔块插入深度不足导致支撑偏心受压引起的损失。

8.3.5 应从以下三方面控制楔形块的插入深度：

(1) 活络头预留插楔块的宽度不宜太小，应留有两块楔块贯穿预留孔的宽度，如预留宽度太小，楔块无法贯穿活络头，导致楔块插入深度不够。

(2) 楔块的宽度应与预留插楔块位置相结合，保证楔块宽度能够将预留孔填充紧密，并留有一定的预留量。

(3) 楔块长度必须大于活络头的预留孔高度，在楔块能够填紧预留孔基础上，保证楔块插入的深度。

8.3.6 由于支撑轴力具有相干性，为尽量减少相干性引起的轴力损失，可结合挖土支撑施工工艺，对多根（如4根）安装好的钢支撑同步施加轴力，即由单点加载改为多点同步加载，用多台千斤顶同步施加轴力，是针对轴力相干性的可行解决对策。

8.3.7 在混凝土支撑上方1.5m处添加临时钢支撑，临时钢支撑能够有效的抑制围护结构侧向变形的增长。

9 特殊条件下的变形控制

9.1 一般规定

9.1.1 实际工程中影响基坑力学场状态控制的因素繁多，其中地层的多样性以及支撑轴力施加的不确定性是两个常见因素。

9.2 古河道切割区的变形控制

9.2.1 古河道切割影响下，往往造成局部土层缺失或土层分布起伏较大，且古河道区域的土层通常与同深度处正常沉积地层工程性质差异较大，基坑的变形特性二者有所不同。

9.2.2 古河道切割区常分布有深厚软粘土，以数值模拟方式进行围护结构变形计算时，宜优先采用软土蠕变本构模型。

9.2.3 古河道切割区域的基坑变形控制首要考虑“时空效应”，尽量缩短基坑暴露时间，减少时间对变形的影响，再辅以轴力伺服系统的使用。

9.3 钢支撑轴力损失控制

9.3.1 轴力损失主要包括由楔块变形、接触面不平整引起的瞬时损失，由于轴力相干性引起的短期损失，以及由于基坑开挖过程中振动、温度变化、钢支撑蠕变等引起的长期变形。其中楔块安装不当以及接触面不平整引起的瞬时损失在一定情况下占比较大，具备优化的空间。

9.3.2 轴力相干性引起的损失主要与轴力的施加方法有关，可通过多点同步加载部分解决，而振动、温度变化、支撑蠕变引起的损失往往难以准确计量，可通过提高施加轴力值的方式部分解决。

9.3.3 引起钢支撑轴力损失的首要因素是活络头的构造。在拆除千斤顶阶段，即活络头的楔块安装阶段时，支撑轴力损失较大，最大损失率接近 46%；

9.3.4 轴力相干性对支撑轴力的影响相对次要。新架设支撑施加轴力后，同层临近支撑最大轴力损失约 20%；

9.3.5 施工过程中的温度变化也会引起支撑轴力的波动。但温差较小时影响极小，且随着开挖深度的增加，温度的影响逐渐降低。

9.3.6 随着开挖深度的增大，轴力相干性引起的轴力损失逐渐减小，且基坑中心处支撑受轴力相干性影响产生的轴力损失远大于基坑端部。