

云南省工程建设地方标准

基坑工程内支撑技术规程

Technical specification for strut of excavation
engineering in Yunnan province

（征求意见稿）

2022 年 6 月 24 日

前 言

本规程是根据云南省住房和城乡建设厅《关于印发 2021 年工程建设地方标准编制计划的通知》要求，由中国建筑一局（集团）有限公司和云南省设计院集团有限公司会同有关单位，经过广泛调研和反复论证，共同编制完成。

本规程共有 6 章，主要技术内容有：总则、术语、内支撑设计、内支撑施工、质量验收、内支撑监测。

本规程由云南省住房和城乡建设厅负责管理，由主编单位负责具体技术内容的解释。

为了进一步提高本规程的质量，请各单位在执行过程中，注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给中国建筑一局（集团）有限公司（地址：云南省昆明市西山区前兴路 668 号万达北塔 1610 室，邮编：650034，E-mail: huhexiang@cscec.com），以便今后修订时参考。

本规程主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主编单位：

参编单位：

主要起草人：

主要审查人员：

目 次

1 总 则.....	1
2 术 语.....	2
3 内支撑设计.....	4
3.1 一般规定.....	4
3.2 选型和布置.....	5
3.3 结构计算.....	8
3.4 减碳设计.....	14
3.5 构造.....	15
4 内支撑施工.....	18
4.1 一般规定.....	18
4.2 土方开挖.....	18
4.3 混凝土支撑施工.....	21
4.4 钢支撑施工.....	22
4.5 竖向支承施工.....	25
4.6 换撑施工.....	25
4.7 内支撑拆除.....	26
4.8 栈桥施工与拆除.....	27
5 质量验收.....	29
5.1 一般规定.....	29
5.2 混凝土支撑.....	29
5.3 钢支撑.....	30
5.4 竖向支承.....	31
6 内支撑监测.....	33

6.1 一般规定.....	33
6.2 监测点布置.....	34
6.3 监测方法及要求.....	35
6.4 监测预警.....	37
6.5 监测信息处理.....	37
本规程用词说明.....	39
引用标准名录.....	40
附：条文说明.....	41

Contents

1	General provision.....	1
2	Trems.....	2
3	Design of Strut.....	4
3.1	General.....	4
3.2	Type selectings and Settings.....	5
3.3	Structural calculation.....	8
3.4	Carbon reduction design.....	14
3.5	Structural details.....	15
4	Construction of Strut.....	18
4.1	General.....	18
4.2	Earthwork Excavation.....	18
4.3	Construction of RC bracing.....	21
4.4	Construction of steel bracing.....	22
4.5	Construction of vertical support.....	25
4.6	Construction of exchange bracing.....	25
4.7	Removing of bracing.....	26
4.8	Construction & Removing of trestle.....	27
5	Acceptance of construction quality.....	29
5.1	General.....	29
5.2	RC bracing.....	29
5.3	Steel bracing.....	30
5.4	Vertical support.....	31
6	Monitoring of Strut.....	33
6.1	General.....	33
6.2	Arrangement of monitoring point.....	34
6.3	Monitoring methods and requirements.....	35

6.4 Forewarning on monitoring.....	37
6.5 Monitoring information processing.....	37
Explanation of Wording in This Specification.....	39
List of Quoted Standards.....	40
Addition: Explanation of Provisions.....	41

1 总 则

1.0.1 为规范云南省基坑内支撑工程的设计、施工、验收和监测，做到安全适用、技术先进、经济合理、保护环境，结合地区特点，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于云南省建筑与市政基坑的内支撑工程设计、施工、验收和监测。

1.0.3 基坑内支撑工程应综合考虑地质条件、周边环境、基坑规模、工作年限、施工条件及主体结构类型等因素，做到因地制宜、合理选型、优化设计、精心施工、严格监控。

1.0.4 基坑内支撑工程的设计、施工、验收和监测除应符合本规程外，尚应符合国家及云南省现行的有关规范、标准的规定。

1.0.5 创新性的技术方法和措施，应进行论证并符合工程建设强制性规范规定的有关性能要求。

2 术 语

2.0.1 内支撑 strut

设置在基坑内的由钢筋混凝土或钢构件组成的用以支撑挡土构件的结构部件。支撑构件采用钢材、混凝土时，分别称为钢内支撑、混凝土内支撑。

2.0.2 竖向支承 vertical support

由立柱和立柱桩一体化施工形成，作为内支撑的竖向承重结构，并保证内支撑的纵向稳定、加强内支撑体系的空间刚度的竖向结构构件。

2.0.3 内支撑系统 struttet retaining structure

由内支撑和竖向支承组成的整体受力结构体系。

2.0.4 挡土构件 structural member for earth retaining

设置在基坑侧壁并嵌入基坑底面以下的支挡式结构竖向构件，如支护桩、地下连续墙、型钢水泥土搅拌墙等。

2.0.5 内撑式支挡结构 struttet retaining structure

由挡土构件和内支撑系统组成的支挡式结构。

2.0.6 角撑 inclined bracing

设置于基坑两临边之间，或基坑侧壁与支撑之间的水平受压杆件。

2.0.7 竖向斜撑 vertical diagonal bracing

一端支撑在挡土构件上，另一端支撑在坑底或地下结构上的斜向受压杆件。

2.0.8 腰梁 waling

设置在挡土构件侧面的连接内支撑杆件的钢筋混凝土梁或钢梁。

2.0.9 活络头 disconnectable coupling

设置在钢支撑端部能够连接固定和拆卸，可伸缩调节长度的受力构件。

2.0.10 托盘 pallet

一种设置在腰梁上用来防止钢支撑坠落的钢构件。

2.0.11 换撑 exchange bracing

用于替换被拆除内支撑的受力结构构件。

2.0.12 栈桥 trestle

基坑工程中由梁、板、立柱、立柱桩、连杆等组成，作为运输通道或作业平台的结构。按材质可分为钢筋混凝土栈桥、钢栈桥、组合栈桥等，按竖向设置可分为水平栈桥、斜栈桥、螺旋栈桥等。

2.0.13 伺服轴力自动补偿系统钢支撑 steel strut with automatic axial force compensation system

是在钢支撑上增设机电液一体化系统，对支撑轴力进行不间断监测并适时进行轴力补偿、控制基坑挡土构件变形的支撑系统。

2.0.14 预应力鱼腹式钢支撑体系 fabricated steel support system consisting of prestressed fish-bellied beams

通过对采用螺栓装配的钢构件组成的鱼腹梁下弦钢绞线和对撑、角撑施加预应力控制基坑挡土构件受力和变形的结构体系。

2.0.15 基坑内支撑碳排放计算 strut carbon emission

基坑内支撑在与其有关的建材生产及运输、建造及拆除阶段产生的温室气体排放的总和，以二氧化碳当量表示。

2.0.16 单位基坑空间碳排放量 carbon emission per unit space of excavatio

针对具体的基坑项目，计算其在各阶段的碳排放总量，与基坑开挖的立方体积之商，用于评价该基坑工程单位体积的平均碳排放量。

3 内支撑设计

3.1 一般规定

3.1.1 采用内支撑的基坑，应规定工作年限，且设计工作年限不应小于一年。对工作年限超过设计规定年限的基坑，应进行安全评估并根据具体情况采取加强措施。

3.1.2 采用内支撑的基坑，应综合考虑基坑周边环境和地质条件的复杂程度、基坑深度等因素，按《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003 确定安全等级。

3.1.3 采用内支撑的基坑，其挡土构件可根据工程地质条件、水文地质条件、基坑挖深及周边环境保护要求等，选择地下连续墙、灌注桩、型钢水泥土搅拌墙、钢板桩等形式。

3.1.4 内支撑结构宜采用超静定结构。对个别次要构件失效会引起结构整体破坏的部位宜设置冗余约束。

3.1.5 内支撑设计应包括下列内容：

- 1 支撑类型选取及体系布置；
- 2 支撑结构内力和变形计算；
- 3 支撑构件的强度计算和稳定性验算；
- 4 构造和节点设计；
- 5 施工要求；
- 6 检测与监测要求。

3.1.6 内支撑结构的计算和验算应采用下列设计表达式：

- 1 承载能力极限状态

内支撑结构构件或连接因超过材料强度或过度变形的承载力极限状态设计，应符合下式要求：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d$$

式中： γ_0 ——支护结构重要性系数，对于安全等级为一级、二级、三级的支护结构分别不应小于 1.1、1.0、0.9；

S_d ——作用基本组合的效应（轴力、弯矩、剪力等）设计值；
对临时支护结构 $S_d = \gamma_F S_k$ ，综合分项系数 γ_F 不应小于 1.25， S_k 为作用标准组合效应；

R_d ——结构构件的抗力设计值。

2 正常使用极限状态

由支护结构水平位移、基坑周边建筑物和地面沉降等控制的正常使用极限状态设计，应符合下式要求：

$$S_d \leq C$$

式中： S_d ——作用标准组合的效应（位移、沉降等）设计值；

C ——支护结构水平位移、基坑周边建筑物和地面沉降的限值。

3.1.7 基坑支护设计应遵循动态设计与信息化施工相结合的原则。设计人员应根据施工过程中监测的反馈信息，及时对设计进行验证及修正，完善设计。

3.2 选型和布置

3.2.1 内支撑结构可选用混凝土支撑、钢支撑、钢与混凝土的组合支撑：

1 支撑形式可选用对撑、环形支撑、边桁架、角撑及以上形式的组合。

2 钢支撑构件可采用钢管、型钢及其组合截面。

3 支撑立柱可采用钢格构柱、型钢柱、钢管柱。

4 立柱桩可采用灌注桩、钢管桩，也可利用主体结构工程桩。

3.2.2 内支撑结构选型应综合考虑以下因素：

- 1 基坑平面形状尺寸和开挖深度；
- 2 基坑周边环境及地质情况；
- 3 挡土构件的形式；
- 4 基坑施工部署要求；
- 5 主体结构的施工要求和支撑的拆除等。

3.2.3 内支撑结构体系应符合下列原则：

- 1 宜采用受力明确、连接可靠、施工方便的结构形式；
- 2 宜采用均匀对称、整体性强的结构形式；
- 3 应与主体地下结构的结构形式、施工顺序协调，便于主体结构施工；
- 4 应利于基坑土方开挖和运输。

3.2.4 内支撑可根据不同条件选用平面支撑或竖向斜撑形式。当开挖深度不大且基坑面积较大时，可选用竖向斜撑。竖向斜撑宜为一道，不宜超过两道。

3.2.5 平面支撑的平面布置应符合下列规定：

- 1 支撑的布置应满足主体结构的施工要求，宜避开地下主体结构的竖向构件；
- 2 相邻支撑的水平间距应满足土方开挖的施工要求；采用机械挖土时，应满足挖土机械作业的空间要求，且不宜小于 4m；
- 3 基坑形状有阳角时，阳角处的支撑应在两边同时设置；
- 4 当采用环形支撑时，环梁宜采用圆形、椭圆形等封闭曲线形式，并按使环梁弯矩、剪力最小的原则布置辐射支撑；
- 5 水平支撑与挡土构件之间应设置连接腰梁；当支撑设置在挡土构件顶部时，水平支撑宜与冠梁连接；在腰梁或冠梁上支撑点的平面间距，对钢梁不宜大于 6m，对混凝土梁不宜大于 9m；
- 6 当需要采用较大水平间距的支撑时，宜在支撑端部两侧设置八字撑杆与冠梁、腰梁连接，八字撑杆宜在主撑两侧对称布置，且斜撑杆的长度不宜大于 9m，斜撑与冠梁、腰梁之间的夹角宜取

45° ~60° ；

7 支撑与腰梁、立柱须可靠连接，满足承载力、变形和稳定性要求，形成稳定结构体系。

3.2.6 平面支撑的竖向布置应符合下列规定：

1 支撑标高应避开主体地下结构底板和楼板的竖向位置，并应满足主体地下结构施工对墙、柱钢筋连接长度的要求；当支撑下方的主体结构楼板在支撑拆除前施工时，支撑底面与下方地下结构楼板间的净距不宜小于 700mm；

2 支撑的标高位置应利于基坑挡土构件的内力和变形控制，支撑至坑底的净高不宜小于 3m；

3 采用多层水平支撑时，各层水平支撑的轴线宜布置在同一竖向平面内，层间净高不宜小于 3m；

4 采用多层水平支撑时，第一层支撑宜采用钢筋混凝土结构。

3.2.7 竖向斜撑的布置应符合下列规定：

1 竖向斜撑水平间距应根据轴力大小、避让地下结构构件位置确定；

2 竖向斜撑支撑于地下结构楼层位置时，应考虑支撑力对地下结构的影响；

3 竖向斜撑应根据支撑轴力大小单独或结合主体结构设置基础，且需考虑竖向及水平承载力；

4 斜撑应进行支撑杆件承载力及稳定性验算，斜撑长度大于 15m 时，应增设立柱及横向系杆；

5 竖向斜撑的布置宜均匀对称。

3.2.8 对于敏感环境条件下变形控制要求严格的基坑，可采用伺服轴力自动补偿系统钢支撑作为内支撑，其设计应符合下列规定：

1 宜采用有利于轴力自动补偿的支撑布置形式；

2 钢支撑轴力施加值应根据变形控制确定；

3 应配备支撑轴力的自动监测和施加系统。

3.2.9 对于形状较规则的支挡式基坑，可采用预应力鱼腹式钢支撑，其设计应符合下列规定：

1 预应力鱼腹式钢支撑体系主要由对撑、角撑、鱼腹梁及腰梁相互组合而成，对撑、角撑、鱼腹梁均设置预应力装置，基坑实施过程中可通过预加和复加预应力控制基坑变形；

2 预应力鱼腹式钢支撑的设计计算应符合现行有关规范、标准的规定。

3.2.10 栈桥的选型与布置应符合下列规定：

1 栈桥选型宜与内支撑材料类型一致；

2 根据运输要求可设置斜坡栈桥，坡度宜为 1:8~1:10；

4 栈桥两侧应设置临边防护，可根据需要设置人行道；

5 栈桥立柱宜设置在栈桥梁的交点处，栈桥立柱应避开主体结构框架梁、柱以及承重墙的位置。

6 栈桥板宜采用钢筋混凝土预制板。

3.3 结构计算

3.3.1 内撑式支挡结构可按挡土构件、内支撑结构分别进行分析，但应考虑其相互之间的变形协调。

3.3.2 内撑式支挡结构中挡土构件受力计算及稳定性验算需按《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 和《云南省建筑基坑支护技术规程》DBJ 53/T-71 相关规定执行。

3.3.3 内支撑结构应对下列设计工况进行分析，并按最不利作用效应进行设计：

1 基坑开挖至坑底时；

2 基坑开挖至各层支撑施工面时；

3 拆换撑工况；

4 对平面内撑式支挡结构，基坑各边水平荷载不对等的各种状况；

5 以主体结构构件代替支撑时，主体结构构件应满足换撑后各设计工况下的承载力、变形及稳定性要求。

3.3.4 支撑体系的设计计算，应考虑以下荷载作用的影响：

- 1 挡土构件传至内支撑的荷载；
- 2 支撑预加力；
- 3 支撑结构的自重和作用在支撑结构上的施工活荷载；
- 4 栈桥荷载需根据工程需求综合考虑，并应考虑荷载动力系数；
- 5 当温度变化引起的支撑结构内力不可忽略时，应考虑温度作用的影响；

6 当支撑立柱之间或立柱与周边挡土构件之间的差异沉降或回弹较大时，应考虑由差异沉降或回弹引起的内力。

3.3.5 内支撑结构计算分析模型应符合下列规定：

1 一般平面支撑体系可采用平面杆系结构模型进行计算，较为复杂的平面支撑体系，宜按空间杆系模型计算。

2 水平支撑与腰梁或立柱的交点处设置弹簧支座或竖向铰，边界约束的数量、位置应根据对支撑结构内力和变形影响最小的原则确定。

3 基坑四周及垂直于支撑腰梁方向的水平荷载分布不均匀或支撑结构布置不对称时，应根据实际情况设置水平约束，满足结构静力平衡。

4 支撑结构在竖向荷载作用下的内力和变形计算，应根据支承条件按简支梁、连续梁或空间框架分析。当需要考虑立柱差异沉降或回弹对支撑框架内力变形的不利影响时，应采用空间框架进行分析。

5 钢筋混凝土腰梁的内力和变形可按多跨连续梁计算，钢结构腰梁应根据连接情况按连续梁或简支梁计算，计算跨度取相邻水平支撑的中心距。

6 计算模型的构件尺寸取支撑构件的中心距。

3.3.6 内撑式支挡结构的弹性支点刚度系数应按下列规定确定：

1 内支撑结构的弹性支点刚度系数宜通过对内支撑结构整体进行线弹性结构分析，根据支点力与水平位移值按下式计算：

$$k_R = \frac{p}{\delta}$$

式中： k_R ——弹性支点刚度系数（kN/m²），方向垂直于挡土构件；

p ——垂直于支撑腰梁的分布荷载（kN/m）；

δ ——对应于分布荷载 p 支撑腰梁各结点的平均位移值（m）。

2 对于单向水平对撑、角撑及竖向斜撑的构件及组合构件，当支撑腰梁的挠度可忽略不计时，计算单位宽度内弹性支点刚度系数也可按下式计算：

$$k_R = \frac{\alpha_R EA}{\lambda l_0 s} \sin \alpha$$

式中： λ ——支撑不动点调整系数：支撑两对边基坑的土性、深度、周边荷载等条件相近，且分层对称开挖时，取 $\lambda=0.5$ ；支撑两对边基坑的土性、深度、周边荷载等条件或开挖时间有差异时，对土压力较大或先开挖的一侧，取 $\lambda=0.5\sim 1.0$ ，差异大时取大值，反之取小值；对土压力较小或后开挖的一侧，取 $(1-\lambda)$ ；当基坑一侧取 $\lambda=1$ 时，基坑另一侧应按固定支座考虑；对竖向斜撑构件，取 $\lambda=1.0$ ；

α_R ——支撑松弛系数，对钢筋混凝土支撑和预加力轴向压力的钢支撑，取 $\alpha_R=1.0$ ；对不预加轴向压力的钢支撑，取 $\alpha_R=0.8\sim 1.0$ ；

E ——支撑材料的弹性模量（kPa）；

A ——支撑截面面积（m²）；

α ——水平支撑与腰梁的夹角或竖向斜撑与挡土构件的夹角；

l_0 ——受压支撑构件的计算长度（m）；

s ——支撑的水平间距（m）。

3.3.7 支撑构件计算长度取值应按下列规定确定：

1 水平支撑在竖向平面内的受压计算长度，不设置立柱时，应取支撑的实际长度；设置立柱时，应取相邻立柱的中心间距。

2 水平支撑在水平平面内的受压计算长度，对无水平支撑杆件交汇的支撑，应取支撑的实际长度；对有水平支撑杆件交汇的支撑，应与与支撑相交的相邻水平支撑杆件的中心间距；当水平支撑杆件的交汇点不在同一水平面内时，水平平面内的受压计算长度宜取与支撑相交的相邻水平支撑杆件中心间距的 1.5 倍。

3 对竖向斜撑，应按本条第 1、2 款的规定确定受压计算长度。

3.3.8 立柱计算长度取值应按下列规定确定：

1 单层支撑的立柱、多层支撑底层立柱的受压计算长度应取底层支撑至基坑底面的净高度与立柱直径或边长的 5 倍之和；

2 相邻两层水平支撑间的立柱受压计算长度应取此两层水平支撑的中心间距。

3.3.9 混凝土支撑设计计算应符合下列要求：

1 混凝土支撑构件的受压、受弯、受剪承载力计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定；

2 支撑杆件应按偏心受压或偏心受拉构件计算，截面的偏心弯矩包括竖向荷载产生的弯矩及构件初始偏心矩产生的附加弯矩；

3 支撑杆件截面计算的初始偏心矩不宜小于 20mm 和偏心方向截面最大尺寸的 1/30 两者中的较大值；

4 混凝土支撑在竖向平面的支座弯矩可按 0.8~0.9 的调幅系数折减，但跨中弯矩需相应增加；

5 支撑杆件在竖向平面内的挠度宜小于其计算跨度的 1/600，水

平挠度宜小于其计算跨度的 1/1000。

3.3.10 钢支撑设计计算应符合下列要求：

1 钢支撑的结构构件及其连接的受压、受弯、受剪承载力及稳定性计算及构造要求应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 及相关标准的规定；

2 钢支撑构件的拼接宜采用高强螺栓连接或焊接，拼接点强度不应低于构件的截面强度；

3 钢支撑预加力值宜取支撑轴向压力标准值的（0.5~0.8）倍，并应与挡土构件内力计算时的预加轴力一致；

4 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 1/1000，且不宜小于 40mm；

5 在计算轴向承载力时需要考虑螺栓开孔对构件截面削弱的不利影响，计算稳定性和变形时可不考虑；

6 对于重复使用的旧钢支撑应考虑重复利用强度折减系数，对于首次使用的新钢支撑，取值 1.0；对于重复使用的旧钢支撑，无相关数据时，可取 0.85~0.95；

7 托梁宜按简支梁进行强度和挠度的验算，其挠度不应大于计算跨度的 1/400；

8 钢支撑在竖向平面内的挠度不应大于其计算跨度的 1/400；腰梁及支撑构件的水平挠度不应大于其计算跨度的 1/600；

9 水平支撑的现场安装节点宜设置在纵横向支撑的交汇点附近。

3.3.11 立柱及立柱桩设计计算应符合下列要求：

1 立柱应按偏心受压构件进行承载力计算和稳定性验算，计算时应充分考虑基坑开挖与拆撑过程中的不利工况，按双向偏心进行计算。

2 钢立柱插入立柱桩的深度不宜小于 2m，且应满足下式要求：

$$l \geq K \frac{N - f_c A}{L \sigma}$$

式中： l ——插入立柱桩的长度（mm）；

K ——安全系数，取 2.0~2.5；

N ——钢立柱轴力设计值（N）；

f_c ——桩身混凝土的轴心抗压强度设计值（N/mm²）；

A ——钢立柱的截面面积（mm²）；

L ——中间立柱断面的周长（mm）；

σ ——粘结设计强度，如无试验数据可近似取桩身混凝土的抗拉设计强度值 f_t （N/mm²）。

3 立柱桩应满足抗压和抗拔的要求，竖向荷载应按最不利工况取值，基坑平面尺寸较大或较深时尚应考虑基坑隆起的影响。

4 立柱桩承载力及变形验算应按现行《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94 等相关标准计算。

3.3.12 腰梁应进行截面抗弯强度验算和截面抗剪强度验算。

3.3.13 竖向斜撑应按压弯构件进行计算。

3.3.14 换撑设计计算需符合下列规定：

- 1 换撑支点刚度可按换撑类型按 3.3.6 条计算；
- 2 对应工况支撑拆除前不能闭合的后浇带需设置传力构件；
- 3 地下结构未达到设计闭合要求的部位需设传力构件。

3.3.15 内支撑兼作施工栈桥使用时，尚应满足下列要求：

1 栈桥梁板、支撑立柱及立柱桩设计应考虑在栈桥自重、堆载重量、挖土机械、运输车辆等静、动荷载组合作用下满足承载力及稳定性要求，并同时考虑支护结构传来的水平荷载作用，确保支护体系的安全。

2 应按最不利荷载组合计算栈桥内力，挖土机械荷载应考虑不同作业状态下履带向栈桥传递荷载的不同方式，按最不利情况计算。

- 3 栈桥立柱之间宜设置水平连杆或剪刀撑。

3.4 减碳设计

3.4.1 基坑内支撑工程宜在设计方案比选时，进行不同方案的碳排放计算对比分析，辅助基坑设计方案的选择。碳排放计算方法也可用于建造后对碳排放量进行核算。

3.4.2 基坑内支撑碳排放计算分为建材生产及运输阶段、建造及拆除阶段，将两阶段计算结果累计作为基坑内支撑碳排放。

3.4.3 基坑内支撑建材生产及运输阶段的碳排放计算应符合下列规定：

1 建材生产及运输阶段的碳排放应为建材生产阶段碳排放与建材运输阶段碳排放之和；

2 建材计算范围应包括内支撑构件、腰梁、立柱、立柱桩等结构构件及其连接件；

3 建材生产时，当使用低价值废料作为原料时，可忽略其上游过程的碳排放；当使用其他再生原料时，应按其所替代的初生原料的碳排放的 50%计算；建造及拆除阶段产生的可再生建筑废料，可按其可替代的初生原料的碳排放的 50%计算，并应从建筑碳排放中扣除。

3.4.4 基坑内支撑建造及拆除阶段的碳排放计算应符合下列规定：

1 建造阶段的碳排放应包括完成各分项工程施工产生的碳排放和各项措施项目实施过程产生的碳排放；

2 拆除阶段的碳排放应包括人工拆除和使用小型机具机械拆除使用的机械设备消耗的各种能源动力产生的碳排放；

3 建造过程碳排放计算时间边界应从内支撑开始施工起至内支撑施工完工止，拆除阶段碳排放计算时间边界应从内支撑开始拆除起至拆除肢解并完成垃圾外运止；

4 施工场地区域内的机械设备、小型机具、临时设施等使用过程中消耗的能源产生的碳排放应计入；

5 现场搅拌的混凝土和砂浆、现场制作的构件和部品产生的碳

排放应计入；

6 施工临时设施消耗的能源应根据施工企业编制的临时设施布置方案和工期计算确定。

3.4.5 基坑内支撑建材生产及运输阶段、建造及拆除阶段碳排放量按本节规定和现行国家标准《建筑碳排放计算标准》GB/T 51366 进行计算。

3.4.6 基坑内支撑工程设计时，宜采取下列减碳措施：

- 1 优先选择碳排放量低或可重复使用的支撑材料类型。
- 2 优选基坑整体设计方案，在满足使用要求的前提下，降低材料使用用量，降低整体施工工期。
- 3 优先采取立柱桩复用工程桩等永临结合的措施。
- 4 宜选用绿色、节能、环保的施工技术和方法，优先选择单位工效碳排放量低的施工机具。
- 5 支撑拆除后，宜采取对支撑材料或构件的回收再利用措施。

3.5 构造

3.5.1 混凝土支撑的构造应符合下列规定：

- 1 混凝土的强度等级不应低于 C25；纵向受力钢筋强度等级不宜低于 HRB400；
- 2 支撑构件截面尺寸不宜小于计算长度的 $1/20$ ，支撑截面水平尺寸不宜小于截面竖向尺寸；
- 3 腰梁截面水平向尺寸不宜小于其水平方向计算跨度的 $1/10$ ，截面竖向尺寸不应小于支撑构件的截面竖向尺寸；
- 4 支撑构件的纵向钢筋直径不宜小于 16mm，沿截面周边的间距不宜大于 200mm；箍筋的直径不宜小于 8mm，沿构件长度方向的间距不宜大于 250mm；
- 5 支撑结构交点处均宜设置腋角。

3.5.2 钢支撑的构造应符合下列规定：

- 1 钢材宜采用 Q235 或 Q355 钢;
- 2 钢支撑受压杆件的长细比不应大于 150, 受拉杆件长细比不应大于 200;
- 3 钢支撑连接宜采用螺栓连接, 必要时可采用焊接连接;
- 4 当水平支撑与腰梁斜交时, 腰梁上应设置牛腿或采用其他能够承受剪力的连接措施;
- 5 采用竖向斜撑时, 腰梁和支撑基础上应设置牛腿或采用其他能够承受剪力的连接措施;
- 6 钢支撑和钢腰梁的连接可采用焊接或螺栓连接。节点处支撑与钢腰梁的翼缘和腹板均应设加劲板, 加劲板的厚度不宜小于 10mm, 焊缝高度不应小于 6mm。

3.5.3 挡土构件顶部钢筋混凝土冠梁宽度不宜小于挡土构件的厚度或直径, 高度不宜小于挡土构件厚度或直径的 0.6 倍。

3.5.4 钢结构腰梁的构造设计应符合下列规定:

- 1 截面宽度宜大于 300mm, 可采用型钢及其组合截面;
- 2 钢腰梁与挡土构件之间的空隙用强度等级不小于 C30 的细石混凝土填实;
- 3 支撑与钢腰梁斜交时, 在钢腰梁与挡土构件之间应设置剪力传递构件。

3.5.5 立柱的构造应符合下列规定:

- 1 立柱长细比不宜大于 30;
- 2 立柱穿过主体结构底板的部位, 应有可靠的止水措施;
- 3 格构式立柱截面不宜小于 380mm×380mm。

3.5.6 栈桥的构造应符合下列规定:

- 1 栈桥梁、柱应符合支撑构件及立柱的构造要求。
- 2 栈桥连杆的长细比不应大于 120。
- 3 现浇栈桥板厚不应小于 250mm, 栈桥板主钢筋直径不宜小于 16mm, 板内主钢筋间距不应大于 200mm。

4 栈桥斜面应设置必要的防滑措施。钢筋混凝土栈桥可在栈桥板面采用刻槽、压槽、拉槽或拉毛等方法形成粗糙面；钢栈桥可在板面焊接螺纹钢筋作为防滑条，钢筋防滑条间距宜为 300~500mm。

5 栈桥边缘应设置有效防护措施，两侧应设置高度不小于 1200mm 的防护栏杆。

6 栈桥面板宜设置合理的排水措施，通过排水管将雨水、积水等收集至基坑内集水坑后统一抽排至基坑外。

3.5.7 支撑构件及栈桥的构造，尚应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《钢结构设计标准》GB 50017 等相关规程的规定。

4 内支撑施工

4.1 一般规定

4.1.1 基坑开挖前，宜依据基坑支护设计图纸、工程地质条件、周边环境、施工总体部署等编制基坑专项施工方案，土方开挖、支撑施工、换撑施工和支撑拆除应作为其中的重要部分。

4.1.2 基坑工程施工宜连续进行，从基坑开挖至基坑回填完成，施工时间不应超过基坑支护设计工作年限。

4.1.3 采用内支撑的基坑，其结构施工与拆除顺序，应与支护结构的设计工况一致，必须遵循“先支撑后开挖、先换撑再拆撑”的原则。

4.1.4 采用内支撑的基坑，应在土方开挖至其设计标高后及时进行支撑施工，支撑未达到设计要求时，严禁向下超挖土方。

4.1.5 内支撑构件上的施工机械或堆放材料等荷载不得超过设计允许条件，基坑周边荷载应当符合设计要求。

4.1.6 支撑材料进场应经过检查验收，预压力施加设备应经过标定。支撑材料堆放应满足设计和相关规范要求。

4.1.7 钢支撑构件应按相关规范和设计要求进行防腐处理。

4.1.8 当基坑施工过程中，发现地质条件与原勘察报告不符时，应进行补充勘察，必要时根据勘察成果修正基坑设计及施工方案。

4.2 土方开挖

4.2.1 采用内支撑的基坑，土方开挖应按照先撑后挖、限时支撑、分层开挖、严禁超挖的方法确定开挖顺序，应减小基坑无支撑暴露时间和空间。

4.2.2 采用内支撑的基坑，土方开挖应符合下列规定：

1 基坑开挖前，支护结构构件强度、基坑土体加固、地下水控制等应满足设计要求；

2 基坑分层开挖深度应根据地质条件和设计要求确定，不得采用挖空坡脚方式挖土，且应避免坡脚长时间浸水；

3 应按照设计要求严格控制施工荷载；

4 土方开挖时应采取有效措施避免支护结构、工程桩、降排水设施、监测点及其他设施受到破坏；

5 邻近基坑边的坑中坑宜在大面积垫层完成后开挖；

6 工程桩应随土方开挖分层凿除设计标高以上部分；

7 土方开挖应选择适宜的施工机械设备，尽量避免大量重型设备在基坑内密集作业，损坏已有支护和地基基础结构。

4.2.3 软土基坑开挖除应符合 4.2.2 条规定外，尚应符合下列规定：

1 软土基坑开挖应结合土质情况制定有针对性、合理、安全的开挖方案，采用适宜的分层开挖范围、厚度，坑底留有一定的人工开挖厚度；

2 软土基坑坑中坑开挖应结合支护设计统筹规划，宜采用人工开挖，避免破坏坑中坑支护结构；

3 软土基坑开挖过程中，应控制坑内临时堆土、倒土的高度和范围。

4.2.4 岩质基坑开挖可选择机械、爆破及人工方式，宜优先选择机械方式开挖，如确需采用爆破方式，需遵守现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 和《土方与爆破工程施工及验收规范》GBJ 50201 有关规定。

4.2.5 土方挖掘机、运输车辆等直接进入基坑进行施工作业时，应采取保证坡道稳定的措施，坡道坡度不宜大于 1:8，坡道的宽度应满足车辆行驶要求。

4.2.6 岛式土方开挖应符合下列要求：

1 周边土方的开挖范围应根据支撑布置形式、挡土构件变形控

制等因素确定；周边土方应采用分段开挖的方法，应减小挡土构件无支撑或无垫层暴露时间。

2 中部岛状土体总高度应结合土层条件、降水情况、施工荷载等因素综合确定，中部岛状土体的各级边坡和总边坡应满足边坡稳定性要求。

3 中部岛状土体的开挖应均衡对称进行，高度较大时应采用分层开挖的方式。

4.2.7 盆式土方开挖应符合下列要求：

1 中部土方的开挖范围应根据支撑布置形式、挡土构件变形控制、坑边土体加固等因素确定；中部有支撑时应先完成中部支撑，再开挖盆边土方。

2 盆边土体的高度应结合土层条件、降水情况、施工荷载等因素综合确定，盆边土体的各级边坡和总边坡应满足边坡稳定性要求。

3 盆边土方应分块对称开挖，分块大小应根据支撑平面布置确定，应限时完成支撑。

4 盆式开挖的边坡必要时可采取降水、护坡、土体加固等措施。

4.2.8 狭长形基坑的开挖应符合下列要求：

1 采用钢支撑的狭长形基坑可采用纵向斜面分层分段开挖的方法，一般以支撑竖向间距作为分层厚度，斜面可设置多级边坡，多级边坡间应设置安全加宽平台。

2 各级边坡、各阶段形成的多级边坡和纵向总边坡应满足边坡稳定性要求；纵向斜面边坡长时间暴露时宜采取护坡措施。

3 每层每段开挖和支撑形成的时间应符合设计要求。

4 纵向斜面分层分段开挖至坑底时，应按照设计要求和基础底板施工缝设置要求限时进行垫层和基础底板的浇筑，基础底板施工完毕后方可进行相邻纵向边坡的开挖。

5 狭长形基坑可采用一端向另一端开挖的方法，也可采用从中间向两端开挖的方法。

6 第一道支撑采用钢筋混凝土支撑时，混凝土支撑底以上的土方可采用不分段连续开挖的方法，其余土方可采用纵向斜面分层分段开挖的方法。

4.2.9 开挖过程中应按监测方案及相关标准要求进行了监测，发生异常情况时，应立即停止开挖，查清原因，在采取有效的预防和加固措施后，方可继续开挖。

4.2.10 基坑专项施工方案应制定切实有效且可行的应急预案，做好险情处治的应急准备。

4.3 混凝土支撑施工

4.3.1 混凝土内支撑的施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 及《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

4.3.2 混凝土冠梁施工前应清除围护墙顶部泛浆。混凝土腰梁施工前应将排桩、地下连续墙等挡土构件的连接表面清理干净，腰梁应与挡土构件紧密接触，不得留有缝隙。

4.3.3 支撑底模应具有一定强度、刚度和稳定性，采用混凝土垫层作底模时，应具有隔离措施，挖土时应及时清除吸附在支撑底部的块体。

4.3.4 混凝土支撑施工时，按《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 要求留置同条件混凝土试块。当同条件混凝土试块强度符合设计要求时，方可开挖支撑施工作业面以下的土方。

4.3.5 混凝土支撑结构中受压构件的混凝土应一次浇筑成型。腰梁的混凝土浇筑需留设施工缝时，应留设在腰梁受力较小部位，一般为腰梁跨度的 1/3 处。

4.3.6 当混凝土支撑结构长度超长且体量较大时，应采取分段浇筑、采用微膨胀混凝土等相关措施。

4.3.7 混凝土支撑与立柱节点处，支撑钢筋宜从立柱侧面绕行贯通，

若空间过小也可采用传力钢板法。

4.4 钢支撑施工

4.4.1 钢支撑安装应符合下列规定：

- 1 钢支撑活动端、固定端和标准段宜按设计要求加工制作。
- 2 钢支撑安装前，应做好测量定位工作，保证支撑位置准确。
- 3 钢支撑安装前应先拼装，拼装偏差应符合设计要求和相关规范规定。
- 4 吊放钢支撑时，钢支撑的固定端与活动端纵向应逐根交替间隔布设。
- 5 钢支撑就位时，根据监控量测方案及时安装监测元器件。
- 6 钢支撑安放到位后，应检查各节点的连接状况，经确认符合要求后方可施加预压力。

4.4.2 钢支撑施加预压力时应符合下列要求：

- 1 对支撑施加压力的千斤顶应有可靠、准确的计量装置。
- 2 千斤顶压力的合力点应与支撑轴线重合，千斤顶应在支撑轴线两侧对称、等距放置，且应同步施加压力。
- 3 千斤顶的压力应分级施加，施加每级压力后应保持压力稳定 10min 后方可施加下一级压力；预压力加至设计规定值后，应在压力稳定 10min 后，方可按设计预压力值进行锁定。
- 4 支撑施加压力过程中，当出现焊点开裂、局部压曲等异常情况时应卸除压力，在对支撑的薄弱处进行加固后，方可继续施加压力。
- 5 当监测的支撑压力出现损失时，应再次施加预压力。当夏期施工产生较大温度应力时，应及时对支撑采取降温措施。当冬期施工降温产生的收缩使支撑端头出现空隙时，应及时用铁楔将空隙楔紧或采用其他可靠连接措施。

4.4.3 钢腰梁安装应符合下列规定：

1 钢腰梁单节长度应按设计选取，如设计无要求时，应根据起吊能力、运输能力，以及施工分段长度等综合考虑确定。

2 钢腰梁单节长度确定后，宜对全部钢腰梁按照不同标高、不同部位进行统一编号，并绘制安装平面、剖面图，标明各段钢腰梁编号。

3 钢腰梁应根据土方开挖情况，在同一层位上进行分段安装，分段连接点应避开钢支撑位置。

4 与斜撑相连的每节腰梁，与挡土构件之间应有抗剪措施，抗剪件的焊接尺寸、数量、位置等应符合设计要求。

5 钢腰梁安装就位后，托盘应与钢腰梁焊接或螺栓连接，钢支撑座与钢支撑的搭接长度不小于 150mm，当需要安装端头轴力计时，钢支撑座的长度应为轴力计长度与搭接长度之和。

4.4.4 钢支撑分段之间的连接应满足下列要求：

1 钢支撑分段之间可采用法兰连接或焊接，每根钢支撑的安装轴线偏心不大于 20mm。

2 采用法兰连接拼装时，螺栓安装应互相错开螺母连接方向，并应在平整的地方进行拼装，采用对角和分级分序将螺母扳紧，使各螺栓受力均匀。螺栓连接应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

3 采用焊接连接时，焊接应满足现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的要求。

4.4.5 钢支撑与挡土构件的连接应满足下列要求：

1 钢支撑与腰梁宜采用托盘形式架设连接，支撑端与腰梁应均匀接触。

2 钢支撑与冠梁、地下连续墙结构连接时，宜采用在冠梁、地下连续墙结构钢筋内侧预埋钢板形式。

3 预压力加至设计轴力 10%时，应在检查钢支撑和钢腰梁无异常后，对钢支撑两端进行焊接或螺栓连接，活动端安装轴力计的，

可不焊接，但应采取悬吊等防坠落措施。

4.4.6 钢支撑与立柱之间的连接应符合下列要求：

1 钢支撑与立柱之间的连接应严格按照设计要求施工，确保支撑与立柱连接体系的相对稳定。

2 架设钢支撑前，应复核两侧腰梁体系与立柱的标高。

4.4.7 对撑式双向多跨压杆式支撑的水平纵横向支撑之间的连接应符合下列要求：

1 水平纵横向支撑的连接可采用十字接头、井字接头及叠交连接等形式。

2 接头应按设计要求加工制作，并应满足相关规范和规定的要求。

3 十字接头可由四通管、法兰盘及高强螺栓连接组成；井字接头是由四个十字接头拼装组成。

4 十字、井字接头与立柱的连接应按设计要求施作，及时架设剪刀撑等加固措施。

5 采用叠交连接时，连接构造及连接件的强度应满足支撑在平面内的稳定要求。

6 水平纵横向支撑之间的连接除满足上述要求外，其他同单向多跨压杆式支撑的相关规定和要求。

4.4.8 伺服轴力自动补偿系统钢支撑施工应符合下列要求：

1 钢支撑与千斤顶轴力补偿装置之间应采用高强螺栓或焊接连接成整体；

2 千斤顶轴力补偿装置与挡土构件连接应可靠牢固；

3 千斤顶轴力补偿装置安装时，应确保千斤顶顶力垂直于钢支撑横截面，且应通过钢支撑轴线。

4.4.9 预应力鱼腹式钢支撑施工应符合下列要求：

1 预应力鱼腹式钢支撑应在立柱、托座、托梁和托架等竖向支承构件设置完成后，按照“先鱼腹梁，后对撑、角撑”的顺序进行

水平支撑系统的拼装；

2 应遵循“先对撑、角撑，后鱼腹梁”的次序进行分级、循环施加预应力；

3 支撑体系安装完成、预应力施加达到设计值后方可开挖下层土方，且在基坑实施过程中应根据监测数据复加预应力。

4.5 竖向支承施工

4.5.1 立柱的施工应符合下列要求：

1 立柱的加工材料、尺寸，焊接要求等严格按照设计图纸进行，设计无要求时，应执行现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661中的相关规定；

2 钢格构柱宜在工厂进行制作，分段制作长度不宜超过 15m；

3 立柱现场安装可采用“地面拼接、整体吊装”的施工方法；

4 应采用有效措施控制立柱的定位和垂直度，对格构柱、H 型钢柱，尚应同时控制转向偏差；

5 立柱周边的空孔应采用砂石均匀回填密实；

6 立柱桩混凝土的浇筑面宜高于设计桩顶 500mm；

7 土方开挖后，应按照设计要求，及时架设剪刀撑和水平连杆等加强措施；

8 开挖过程中应定时测量立柱的回弹，并及时调节立柱与支撑拉紧装置。

4.5.2 采用水下浇筑的立柱桩桩身混凝土强度等级，应比桩身设计强度提高等级进行配制。

4.6 换撑施工

4.6.1 利用主体结构换撑时，主体结构的底板或中板混凝土强度应满足设计要求。设计无要求时，混凝土强度应达到设计值的 80%，方可换撑施工。

4.6.2 挡土构件与基础底板间换撑施工，应符合下列规定：

1 基础底板施工时应同时完成基坑周边基础底板与挡土构件之间换撑的施工；

2 基础底板周边换撑板带与挡土构件之间宜设置低压缩性隔离材料；

3 当基础底板厚度较厚时，换撑板带厚度满足设计要求即可，其余部分可采用砖模及回砂处理；

4 当挡土构件与基础底板距离较大时，可在挡土构件与基础底板间布置临时钢或混凝土支撑，并应符合设计要求。

4.6.3 挡土构件与地下各层结构间换撑施工，应符合下列规定：

1 挡土构件与地下各层结构之间的换撑板带应与地下结构同步浇筑施工；

2 换撑板带应间隔设置开口，开口大小应满足施工人员通行要求，一般不小于 $1000\text{mm} \times 800\text{mm}$ ；

3 换撑板带应设置吊筋，吊筋数量应满足施工人员作业荷载的要求；

4 换撑板带与挡土构件之间宜设置低压缩性隔离材料，同时换撑板带锚入结构外墙的钢筋采用交叉形的方式形成铰接。

4.6.4 施工后浇带、楼梯坡道或设备吊装口等结构开口、局部高差、错层较大等结构不连续位置的换撑应符合设计要求。

4.6.5 结构缺失区的换撑待整个地下结构全部施工完毕形成整体刚度，并在基坑周边密实回填之后方可拆除。

4.7 内支撑拆除

4.7.1 内支撑拆除应按设计的施工流程，并与设计计算工况相匹配，遵循“先换撑、后拆除”的原则进行拆除施工。

4.7.2 内支撑拆除应遵循“先拆连杆，后拆主撑，再拆腰梁”的施工顺序。

4.7.3 混凝土支撑拆除可采用人工拆除、机械破除、绳锯切割拆除、爆破拆除等方式，应根据与挡土构件距离、拆除效率、支撑布置、噪声污染、主体结构损害等因素进行综合选择。

4.7.4 混凝土支撑绳锯切割拆除应符合下列要求：

1 主脚架及辅助脚架应采用锚栓固定，导向轮安装稳定，且轮的边缘和穿绳孔的中心线对准；

2 绳索切割过程中，绳索运动方向的前面应设置安全防护栏，并在一定区域内设安全标志；

3 切割过程中应密切观察机座的稳定性，随时调整导向轮的偏移，以确保切割绳在同一个平面内。

4.7.5 混凝土支撑爆破拆除应符合下列要求：

1 宜根据支撑结构特点制定爆破拆除顺序；

2 爆破孔宜在混凝土支撑施工时预留；

3 支撑杆件与腰梁连接的区域应先切断；

4 爆破拆除尚应遵守现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 和《土方与爆破工程施工及验收规范》GBJ 50201 有关规定。

4.7.6 拆卸钢支撑时宜用托架托住待拆除的钢支撑，用千斤顶施加压力卸去活动端的锁定装置，释放支撑轴力，用气焊切开钢支撑端头连接部位，依次吊出钢支撑，拆除钢腰梁。

4.7.7 内支撑拆除时应设置安全可靠的防护措施，并应对永久结构采取保护措施。拆除的支撑杆件在主体结构上的运输路线，应进行楼盖承载力验算。

4.7.8 拆除过程中，应加强基坑的监控量测与现场巡视，发现安全隐患，立即停止拆除作业，待找出原因，隐患排除后方可继续作业，必要时调整拆除方案。

4.8 栈桥施工与拆除

4.8.1 栈桥的施工应与土方开挖、降水和内支撑施工密切配合。

4.8.2 混凝土栈桥梁板浇筑宜首先考虑将现场土方开挖至设计标高，尽量不采用支架。若采用支架，可采用满布支架或梁式支架，且支架应满足稳定性要求。

4.8.3 混凝土栈桥梁板底模应具有足够的强度和刚度，采用混凝土垫层作底模时，应有隔离措施，挖土时应及时清除吸附在栈桥梁板底部的块体。

4.8.4 栈桥的拆除应符合下列规定：

1 当栈桥与内支撑结构结合时，栈桥应在换撑施工完成并达到设计要求后方可拆除。

2 栈桥拆除时，应首先进行栈桥面板破碎，然后切断栈桥梁与腰梁的连接，之后依次拆除次梁和主梁，最后拆除栈桥立柱连杆和栈桥立柱。

3 栈桥拆除施工过程中，栈桥上严禁堆载，并应限制施工机械超载，确保栈桥剩余部分结构的稳定性。

5 质量验收

5.1 一般规定

5.1.1 基坑内支撑工程属于地基与基础分部工程中的分项工程，所含检验批的质量均应验收合格，所含检验批的质量验收记录应完整。

5.1.2 内支撑检验批的质量验收应按主控项目和一般项目进行验收，主控项目的质量经抽样检验均应合格，一般项目的质量经抽样检验合格。当采用计数抽样时，合格点率应符合有关专业验收规范及设计文件的规定，且不得存在严重缺陷。

5.1.3 内支撑施工前，应对放线尺寸、标高进行校核。对混凝土支撑的钢筋和混凝土、钢支撑的产品构件和连接构件以及立柱的制作质量等进行检验。

5.1.4 施工中应对混凝土支撑下垫层或模板的平整度和标高进行检验。

5.1.5 施工结束后，在下层土方开挖前应对水平支撑的尺寸、位置、标高、支撑与挡土构件的连接节点、钢支撑的连接节点和立柱的施工质量进行检验。

5.1.6 内支撑施工质量尚应符合设计文件要求。

5.2 混凝土支撑

5.2.1 混凝土支撑的质量检验应符合表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 混凝土支撑质量检验标准

项	序	检查项目	允许值或允许偏差		检查方法
			单位	数值	
主控	1	混凝土强度	不小于设计值		28d 试块强度
	2	截面宽度	mm	+20 0	用钢尺量

项 目	序	检查项目	允许值或允许偏差		检查方法
			单位	数值	
项目	3	截面高度	mm	+20 0	用钢尺量
一般项目	1	标高	mm	±20	水准测量
	2	轴线平面位置	mm	≤20	用钢尺量
	3	支撑与垫层或模板的隔离措施	设计要求		目测法

5.2.2 混凝土支撑施工质量检验应符合现行《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

5.2.3 混凝土支撑检验批按照工种、材料、工程量、支撑层数、支撑分区情况进行划分，包括钢筋材料、混凝土材料、钢筋加工、钢筋连接、钢筋安装、模板安装、混凝土浇筑、模板拆除、结构外观与尺寸。

5.2.4 混凝土支撑所需的原材料型号及力学性能等必须符合设计要求。

5.3 钢支撑

5.3.1 钢支撑的质量检验应符合表 5.3.1 的规定。

表 5.3.1 钢支撑质量检验标准

项	序	检查项目	允许值或允许偏差		检查方法
			单位	数值	
主控项目	1	外轮廓尺寸	mm	±5	用钢尺量
	2	预加顶力	kN	±10%	应力监测
一般项目	1	轴线平面位置	mm	≤30	用钢尺量
	2	连接质量	设计要求		超声波或射线探伤

5.3.2 钢结构内支撑施工质量检验应符合现行《钢结构工程施工

质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

5.3.3 钢支撑所使用的型钢、焊条、螺栓等材料的型号、尺寸、力学性能必须符合现行国家标准和设计要求，并应有相应的合格证及检测报告。

5.3.4 预应力施加设备的规格、性能应符合现行国家产品标准和设计要求，进场前应检查质量合格文件和外观，检查数量为全数检查。

5.3.5 重复使用的钢管、型钢支撑，应进行进场验收，验收合格后方可使用，施工单位全数检查，监理单位按照总量 30%进行见证检查。

5.3.6 支撑构件的各种连接焊缝，应根据产品加工图样要求的焊缝质量选择相应的焊接工艺进行施焊。在产品加工时，同一断面上拼接板焊缝间距不小于 200mm。

5.3.7 焊缝无损探伤应按国家现行标准《焊缝无损检测超声检测技术、检测等级和评定》GB/T 11345 和《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203 的规定进行。

5.3.8 经探伤检验不合格的焊缝，除应将不合格部位的焊缝返修外，尚应加倍进行复检；当复检仍不合格时，应对焊缝进行 100%探伤检查。

5.4 竖向支承

5.4.1 钢立柱的质量检验应符合表 5.4.1 的规定。

表 5.4.1 钢立柱的质量检验标准

项	序	检查项目	允许值或允许偏差		检查方法
			单位	数值	
主控	1	截面尺寸（立柱）	mm	≤5	用钢尺量
	2	立柱长度	mm	± 50	用钢尺量

项 目	序	检查项目	允许值或允许偏差		检查方法
			单位	数值	
项目	3	垂直度	$\leq l/200$		经纬仪测量
一般 项目	1	立柱挠度	mm	$\leq l/500$	用钢尺量
	2	截面尺寸（缀板 或缀条）	mm	≥ -1	用钢尺量
	3	缀板间距	mm	± 20	用钢尺量
	4	钢板厚度	mm	≥ -1	用钢尺量
	5	立柱顶标高	mm	± 20	水准测量
	6	平面位置	mm	≤ 20	用钢尺量
	7	平面转角	°	≤ 5	用量角器量

注：l为型钢长度(mm)。

5.4.2 立柱桩的质量检验应符合下列要求：

- 1 立柱桩成孔垂直度不应大于 $1/150$ ，检测数量不宜少于桩数 50%。
- 2 沉渣厚度不应大于 100mm。
- 3 定位偏差不应大于 20mm。
- 4 立柱桩的抗压强度试块每 50m^3 混凝土不应少于 1 组，且每根桩不应少于 1 组。

6 内支撑监测

6.1 一般规定

6.1.1 安全等级为一级、二级的内撑式支挡结构，在基坑开挖过程与支护结构使用期内，必须进行内支撑监测。

6.1.2 基坑内支撑工程监测，应符合下列规定：

1 基坑工程施工前，应编制基坑工程监测方案。

2 应根据基坑支护结构的安全等级、周边环境条件、支护类型及施工场地等确定基坑工程监测项目、监测点布置、监测方法、监测频率和监测预警值。

3 内支撑监测项目应与支挡结构位移等其它监测项目配套，形成完整有效的监测系统。

4 当基坑工程设计或施工有变更时，应及时调整监测方案。

6.1.3 基坑工程内支撑监测应采用仪器监测与现场巡视检查相结合的方法。

6.1.4 内支撑结构的仪器监测项目应参照表 6.1.4 进行选择。

表 6.1.4 基坑工程的仪器监测项目表

监测项目	基坑工程安全等级		
	一级	二级	三级
立柱水平位移	应测	宜测	宜测
立柱竖向位移	应测	应测	宜测
支撑轴力	应测	应测	宜测
立柱内力	可测	可测	可测

6.1.5 基坑工程施工和使用期内，每天均应由专人进行巡视检查。巡视检查宜以目测为主，可辅以锤钎、量尺、放大镜等工器具以及摄像、摄影等设备进行。巡视检查宜包括以下内容：

1 支护结构:

- 1) 支护结构成型质量;
- 2) 冠梁、支撑、腰梁是否有裂缝;
- 3) 冠梁、腰梁的连续性, 有无过大变形;
- 4) 腰梁与围护桩的密贴性, 腰梁与支撑的防坠落措施;
- 5) 立柱有无倾斜、沉陷或隆起。

2 施工状况:

- 1) 开挖后暴露的岩土体情况与岩土勘察报告有无差异;
- 2) 开挖分段长度、分层厚度及支撑设置是否与设计要求一致;
- 3) 基坑侧壁开挖暴露面是否及时封闭;
- 4) 支撑是否施工及时。

3 监测设施:

- 1) 基准点、监测点完好状况;
- 2) 监测元件的完好及保护情况;
- 3) 有无影响观测工作的障碍物。

4 根据设计要求或当地经验确定的其他巡视检查内容。

6.1.6 采用内支撑的基坑, 其监测内容除应符合本规程要求外, 尚应符合国家及云南省现行的有关规范、标准的规定。

6.2 监测点布置

6.2.1 监测点的布置应能反应监测对象的实际状态及其变化趋势, 监测点应布置在监测对象受力及变形关键点和特征点上, 并应满足对监测对象的监控要求。

6.2.2 支撑轴力监测点的布置应符合下列规定:

1 监测点宜布置在支撑轴力较大或在整个支撑系统中起控制作用的支撑上。受力较大的斜撑和基坑深度变化处宜增设监测点。

2 每层支撑的轴力监测点不应少于 3 个, 各层支撑的监测点位置宜在竖向保持一致。

3 钢支撑的监测断面宜选择在支撑的端头或两支点间 1/3 部位，各种传感器均应在钢支撑受力之前安装布置就位。混凝土支撑的监测断面宜选择在两支点间 1/3 部位，并避开节点位置。

4 每个监测点传感器的设置数量及布置应满足不同传感器的测试要求。

6.2.3 立柱的竖向位移监测点宜布置在基坑中部、多根支撑交汇处、地质条件复杂处的立柱上；监测点不应少于立柱总根数的 5%，且均不应少于 3 根。

6.2.4 立柱的内力监测点宜布置在设计计算受力较大的立柱上，位置宜设在坑底以上各层立柱下部的 1/3 部位，每个截面传感器埋设不应少于 4 个。

6.3 监测方法及要求

6.3.1 监测方法的选择应根据监测对象的监控要求、现场条件、当地经验和方法适用性等因素综合确定，监测方法应合理易行。仪器监测可采用现场人工监测或自动化实时监测。

6.3.2 混凝土支撑轴力宜采用钢筋计监测钢筋的应力，将待测应力部位的主筋切断，串入钢筋计，两端与主筋轴心对准、焊牢，埋设在混凝土中进行轴力监测。或采用混凝土应变计监测混凝土的应变，通过钢筋与混凝土共同工作、变形协调条件反算支撑的轴力。

6.3.3 钢支撑轴力监测宜采用轴力计或表面式应变计。采用轴力计应安装在钢支撑的端部直接监测轴力，且轴力计的构造和尺寸应满足原设计钢支撑的刚度和稳定性的要求；采用振弦式表面应变计应焊接在钢支撑表面监测应变，并换算支撑轴力。

6.3.4 立柱内力采用钢筋计或表面式应变计监测，监测方法同混凝土支撑轴力的监测。

6.3.5 立柱沉降和支撑两端点的沉降应使用精密水准仪和钢尺测量。

6.3.6 仪器监测频率应符合下列规定：

- 1 应综合考虑基坑支护、基坑及地下工程的不同施工阶段以及周边环境、自然环境的变化和当地经验确定。
- 2 对于应测项目，在无异常和无事故征兆的情况下，开挖后监测频率可按表 6.3.6 确定。
- 3 当基坑支护结构监测值相对稳定，开挖工况无明显变化时，可适当降低对支护结构的监测频率。

表 6.3.6 现场仪器监测的监测频率

基坑设计安全等级	施工进度		监测频率
一级	开挖深度 h	$\leq H/3$	1 次/（2~3）d
		$H/3\sim 2H/3$	1 次/（1~2）d
		$2H/3\sim H$	（1~2）次/d
	底板浇筑后时间（d）	≤ 7	1 次/d
		7~14	1 次/3d
		14~28	1 次/5d
		>28	1 次/7d
二级	开挖深度 h	$\leq H/3$	1 次/3d
		$H/3\sim 2H/3$	1 次/2d
		$2H/3\sim H$	1 次/d
	底板浇筑后时间（d）	≤ 7	1 次/2d
		7~14	1 次/3d
		14~28	1 次/7d
		>28	1 次/10d

- 注：1 h——基坑开挖深度；H——基坑设计深度。
- 2 支撑结构开始拆除到拆除完成后 3d 内监测频率加密为 1 次/d。
 - 3 基坑工程施工至开挖前的监测频率视具体情况确定。
 - 4 当基坑设计安全等级为三级时，监测频率可视具体情况适当降低。
 - 5 宜测、可测项目的仪器监测频率可视具体情况适当降低。

6.3.7 当出现下列情况之一时，应提高监测频率：

- 1 监测值达到预警值；

- 2 监测值变化较大或者速率加快;
- 3 超深、超长开挖或未及时加撑等违反设计工况施工;
- 4 支护体系出现开裂;
- 5 基坑工程发生事故后重新组织施工;
- 6 出现其他影响基坑及周边环境安全的异常情况。

6.4 监测预警

6.4.1 监测预警值应满足基坑支护结构、周边环境的变形和安全控制要求，由设计方根据现场实际情况、设计计算结果和现行国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 及云南省地方标准《云南省建筑基坑工程监测技术规程》DBJ53/T-67 的相关规定等综合确定。

6.4.2 变形监测预警值应包括监测项目的累计变化预警值和变化速率预警值。

6.4.3 监测数据、现场巡视结果应及时整理和反馈。当出现下列危险征兆时应立即进行危险报警：

- 1 支护结构位移达到设计规定的位移限值;
- 2 支护结构的位移速率增长且不收敛;
- 3 支护结构构件的内力超过其设计值;
- 4 支护结构构件出现影响整体结构安全性的损坏。

6.4.4 基坑工程监测数据超过预警值，或出现基坑、周边建（构）筑物、管线失稳破坏征兆时，应立即停止基坑危险部位的土方开挖及其他有风险的施工作业，进行风险评估，并采取应急处置措施。

6.5 监测信息处理

6.5.1 现场监测资料应客观、真实、准确，并应符合下列要求：

- 1 使用正规的监测记录表格，数据应及时计算整理;
- 2 监测记录应有相应的天气及基坑施工工况描述;

3 应绘制包括挖土信息的时程曲线；

4 对监测值的发展和变化情况应有评述。

6.5.2 监测数据出现异常时，应分析原因，必要时进行复测。

6.5.3 监测项目的数据分析应结合施工工况、地质条件、环境条件以及相关监测项目监测数据的变化进行，并对其发展趋势做出预测。

6.5.4 监测技术成果应包括监测日报（快报）、监测阶段性报告和最终报告。技术成果应按时报送相关单位。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于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：

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：

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，在条件允许时首先这样做的：

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 条文中指明应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应按……执行”或“应符合……的规定”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行时，写法为“可参考……”。

引用标准名录

- 1 《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003-2021
- 2 《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010（2015 年版）
- 3 《钢结构设计标准》GB 50017-2017
- 4 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202-2018
- 5 《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497-2019
- 6 《建筑碳排放计算标准》GB/T 51366-2019
- 7 《爆破安全规程》GB 6722-2014
- 8 《土方与爆破工程施工及验收规范》GBJ 50201-2012
- 9 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012
- 10 《云南省建筑基坑支护技术规程》DBJ 53/T-71-2015
- 11 《云南省岩土工程勘察规程》DBJ 53/T-128-2022
- 12 《云南省建筑基坑工程监测技术规程》DBJ 53/T-67-2014

云南省工程建设地方标准

基坑工程内支撑技术规程

条文说明

目 次

1 总 则.....	44
3 内支撑设计.....	45
3.1 一般规定.....	45
3.2 选型和布置.....	47
3.3 结构计算.....	49
3.4 减碳设计.....	51
3.5 构造.....	59
4 内支撑施工.....	60
4.1 一般规定.....	60
4.2 土方开挖.....	61
4.3 混凝土支撑施工.....	63
4.4 钢支撑施工.....	64
4.5 竖向支承施工.....	65
4.6 换撑施工.....	66
4.7 内支撑拆除.....	68
4.8 栈桥施工与拆除.....	69
5 质量验收.....	70
5.1 一般规定.....	70
5.2 混凝土支撑.....	70
5.3 钢支撑.....	70
5.4 竖向支承.....	71
6 内支撑监测.....	72
6.1 一般规定.....	72

6.2 监测点布置.....	73
6.3 监测方法及要求.....	74
6.4 监测预警.....	75
6.5 监测信息处理.....	77

1 总 则

1.0.1 近年来，随着云南省城市地下空间开发和高层建筑的建设，促使深基坑工程的规模和深度不断加大，基坑内支撑工程的实践案例越来越多，如昆明综合交通国际枢纽项目（世界上环数最多的整体耦合受力的基坑内支撑工程）、滇中引水龙泉接收井项目（坑深77米，国内基坑最大开挖深度）、“春之眼”商业中心项目（内支撑拆除采用异步解耦技术），省内基坑内支撑工程的发展如火如荼。然而，目前基坑相关标准中，内支撑一般仅作为章节的体例进行设置，有一些规定还不够具体，且因地域性差距很大，国家标准很多时候无法为不同区域深基坑工程提供全面、实用的技术指导。因此，结合云南省地区特点，编制本规程，为云南省基坑内支撑工程的各项工作提供技术指导。

1.0.2 本条规定了本规程的适用范围。基坑工程范围很广，除建筑基坑外，桥梁、隧道、管道、沟槽、地铁等工程均涉及基坑问题，且都具有各自的特点。限于经验，本规程只适用于一般建（构）筑物和市政工程的基坑，对于其他基坑问题，仅用于参考；对特殊性岩土基坑，应采取针对性措施。

1.0.3 由于地质条件、周边环境的复杂性和支护方法的多样性，本条强调了深基坑工程设计和施工人员必须综合考虑影响基坑及其周边环境安全的各项因素，因地制宜选择支护方案和施工方法。

1.0.5 为了支持创新，鼓励创效成果在建设工程中的应用，当拟采用的新技术在工程建设强制性规范或推荐性标准中没有相关规定时，应当对拟采用的工程技术或措施进行论证，确保建设工程达到工程建设强制性规范规定的工程性能要求，确保建设工程质量和安全，并应满足国家对建设工程环境保护、卫生健康、经济社会管理、能源资源节约与合理利用等相关基本要求。

3 内支撑设计

3.1 一般规定

3.1.1 基坑支护是为了主体结构地下部分施工而采取的临时措施，地下结构施工完成后，基坑支护也就随之完成其用途。由于支护结构的使用期短（一般在一年之内），因此设计时采用的荷载一般不需考虑长期作用。如果基坑开挖后支护结构的使用持续较长，荷载可能会随时间发生改变，材料性能和基坑周边环境也可能会有变化。所以，为了防止人们忽略由于延长支护结构使用期而带来的荷载、材料性能、基坑周边环境等条件的变化，避免超越设计状况，设计时应确定支护结构的使用期限，并应在设计文件中给出明确规定。

支护结构的支护期限规定不小于一年，除考虑主体地下结构施工工期的因素外，也考虑到施工季节对支护结构的影响。一年中的不同季节，地下水位、气候等外界环境的变化会使土的性状及支护结构的性能随之改变，而且有时影响较大。受各种因素的影响，设计预期的施工季节并不一定与实际施工的季节相同，即使对支护结构使用不足一年的工程，也应使支护结构一年四季都能适用。因而，本规程规定支护结构使用期限应不小于一年。

由于各种原因，现实中存在一些基坑工程超过设计工作年限或中间间断几年又重新启动的情况，对于此类基坑应该根据实际情况对荷载、结构构件耐久性等作综合评估，如有必要需作加固处理后才能继续使用。

3.1.3 基坑挡土构件多种多样，实际工程中要综合各种影响因素，因地制宜，选择合理有效的结构，即使同一个基坑，不同区段也可能选用不同的挡土构件，但需考虑整体的变形协调问题。

3.1.4 基坑工程多数位于城区，且采用内支撑结构的基坑一般都是基坑较深或位于周边环境要求较高的位置，支护结构失效后会引起人员伤亡、周边建构筑物变形坍塌，经济损失和社会影响严重，因此支撑结构宜采用超静定结构，防止个别构件破坏引起整体失稳。

3.1.6 本条引自《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120。支护结构的作用基本组合综合分项系数 γ_F 取用 1.25 主要原因如下：其一，支护结构是临时性结构，一般来说，支护结构使用时间不会太长，在安全储备上与主体建筑结构应有所区别。其二，荷载综合分项系数的调高只影响支护结构构件的承载力设计，如增加挡土构件的截面配筋和内支撑构件的截面配筋等，并未提高有关岩土的稳定安全系数，如圆弧滑动稳定性、隆起稳定性、倾覆稳定性等，而大部分基坑工程事故主要还是岩土类型的破坏形式。荷载综合分项系数中包括了临时性结构对荷载基本组合的调整。

3.1.7 基坑内支撑工程往往在建筑密集的市中心，施工场地四周有建筑物和地下管线，基坑开挖所引起的土体变形将在一定程度上改变这些建筑物和地下管线的正常状态，当土体变形过大时，会造成邻近结构和设施的失效或破坏。同时，基坑相邻的建筑物又相当于集中荷载，基坑周围的管线常引起地表水的渗漏，这些因素又是导致土体变形加剧的原因。基坑工程设置于力学性质相当复杂的地层中，在基坑挡土构件设计和变形预估时，一方面，基坑挡土构件所承受的土压力等荷载存在着较大的不确定性；另一方面，对地层和挡土构件一般都作了较多的简化和假定，与工程实际有一定的差异；加之，基坑开挖与挡土构件施工过程中，存在着时间和空间上的延迟过程，以及降雨、地面堆载和挖机撞击等偶然因素的作用，使得现阶段在基坑工程设计时，对结构内力计算以及结构和土体变形的预估与工程实际情况有较大的差异，并在相当程度上仍依靠经验。因此，在深基坑施工过程中，只有对基坑支护结构、基坑周围的土

体和相邻的构筑物进行全面、系统的监测，才能对基坑工程的安全性和对周围环境的影响程度有全面的了解，以确保工程的顺利进行，在出现异常情况时及时反馈，并采取必要的工程应急措施，甚至调整施工方案或修改设计参数。

3.2 选型和布置

3.2.1 本条对常见的支撑结构、支撑形式、立柱及立柱桩作了例举，实际工程中由于周边环境、工程地质情况、地下结构及施工总体布置等因素千变万化，设计过程中应综合各种影响因素选用，也可采用一种或多种组合形式，以达到整体最佳效果为原则。

3.2.4 根据支撑条件的不同，内支撑可分为平面支撑和竖向斜撑两类，其中平面内撑两端均支撑在挡土构件上，而竖向斜撑一端支撑挡土构件上，另一端支撑在坑底或地下结构上。由于竖向斜撑要承受水平力及竖向力，为了保证稳定性，与水平面的夹角不宜太大，如果基坑深度较深，斜撑所占的水平空间过大，对施工工期和出土均不利，所以建议采用竖向斜撑时，竖向布置不宜超过两道，当基坑平面尺寸较大时，在能保证竖向斜撑稳定性时，不受此条限制。

3.2.5 基坑支护是为了保证地下结构安全顺利施工采取的临时安全保护措施，因此平面支撑设计时应本着安全、方便及经济的原则进行设计。

1.内支撑结构设计时应尽量避让地下结构竖向构件，主要是因为如果支撑与竖向构件有交叉，就涉及竖向构件的托换问题，处理起来比较麻烦。

2.在基坑阳角的地方，如果一侧有支撑，则另一侧也需有支撑，以保证阳角两侧传力平衡。

3.支撑在腰梁或冠梁上的支撑点间距主要受腰梁或冠梁的截面尺寸和支撑布置影响，正文中建议值是结合工程经验给定的相对比

较经济的取值，设计时可结合实际工程特点根据计算结果进行调整。

3.2.6 支撑底面与下方主体结构楼板间的净距要求主要是考虑到下方地下结构的施工浇筑方便，以及下部结构竖向构件预留插筋空间。采用多层水平支撑的基坑，特别是位于软土地区或四周荷载相差较大时，为了增强基坑整体性及适应变形的能力，建议首道支撑采用钢筋混凝土结构。

3.2.7 竖向斜撑支撑于地下结构上时，需要考虑对地下结构的影响，在支撑点的位置尽量设置传力构件将支撑力有效的传递给地下结构，避免传力不明确或对地下结构造成损伤。

设计过程中，可根据竖向斜撑的轴力大小情况、土质情况、地下结构底板及基础类型综合考虑是否要单独设置基础或利用地下结构底板或基础作为斜撑基础，条件允许的情况下，在基坑设计时尽量利用地下结构底板或基础作为斜撑的基础，以降低工程造价和施工工期。

3.2.8 伺服轴力自动补偿钢支撑系统实现了传统施工技术与液压控制技术以及计算机信息技术的结合，对支撑轴力变化实施全天候监测和自动补偿，使基坑工程始终处于可控状态，对控制基坑变形、保护周边环境发挥重要作用。该技术近年来在紧临地铁车站、隧道、历史保护建筑等敏感环境下的深基坑工程中得到了大量应用，通常会将整个基坑进行分区，将基坑分成邻近保护对象的规则的窄条小基坑和远离保护对象的大基坑，其后在窄条小基坑中应用伺服轴力自动补偿钢支撑系统，以实现严格控制基坑变形保护周边敏感环境的目的。

3.2.9 预应力鱼腹式钢支撑作为基坑工程的一种新型支撑形式，系采用标准化构件形成的装配式钢支撑结构体系。该支撑体系可通过预应力的施加和复加控制支挡结构的变形，而且采用大跨度预应力鱼腹梁可形成支撑杆件间的较大空间，具有绿色环保、节能降耗和施工迅速的特点。

预应力鱼腹式钢支撑体系主要由标准件组成，因此比较适合在形状规则的基坑工程中应用。对于形状不规则的基坑也可采用调整基坑边线、局部位置与混凝土支撑相结合方式等措施将基坑形状调整成规则形状后采用该支撑体系。中国土木工程学会标准《预应力鱼腹式基坑钢支撑技术规程》TCCES3 对预应力鱼腹式钢支撑体系的设计、施工、检验有系统规定，实施时可参考执行，同时应符合国家及云南省现行有关规范、标准的规定。

3.2.10 斜坡栈桥的坡度设置应满足机械设备运输要求，参考目前常用施工机械具备的爬坡能力，栈桥坡度建议采用 1:8~1:10，但不同项目选用的机械设备不同，坡度也可突破该值，目前有的项目栈桥坡度采用 1:6。

考虑到节能环保，栈桥在保证功能和安全的前提下鼓励优先选择绿色环保、标准化及可回收重复利用的材料制作。

3.3 结构计算

3.3.1 目前岩土工程行业内基坑内支撑设计过程中一般将挡土构件及内支撑结构分开进行计算，这样处理的好处就是受力明确，计算简单可靠，但带来的主要问题就是不能考虑基坑的整体变形和位移情况，设计人员需按经验判断基坑的整体变形和位移情况，有一定的经验成份。

3.3.2 基于挡土构件及内支撑分开计算的岩土工程行业现状，本规程着重讲述内支撑设计计算部分，挡土构件设计计算分析需参照行业及地方标准执行，在本规程中不作赘述。

3.3.4 内支撑设计时作用在支撑结构上的施工活荷载一般考虑 2~4kPa，如有特别需求时应按实际情况加载。栈桥荷载动力系数可结合实际情况按通行车辆最大荷重的 1.2 倍考虑。昼夜温差较大的地区，采用钢结构支撑时需考虑温度变化引起的支撑结构内力变化，在有地区经验的地方可以按地区经验考虑温度变化引起的支撑内力，

无经验的地区一般可把支撑轴向力乘以 1.1~1.2 的增大系数考虑，对于比较重要的基坑可以按《建筑结构荷载规范》GB 50009 按工期内可能的最大温差进行计算。

3.3.5 单层及简单的多层内支撑结构一般采用分层平面杆系结构模型进行计算即可满足工程需求，但对于多层复杂内支撑体系建议采用空间杆系模型计算，以便发现相对薄弱位置，有针对性的采取加强措施。

内支撑结构由于采取平面杆系模型进行计算，且大多数基坑平面范围内计算水平力是不平衡的，这样就会导致计算平面模型向某个方向发生刚体位移，与实际情况不符，因此为了得到比较合理的计算结果，需人为在模型的某些位置设置合理约束。

钢筋混凝土腰梁由于是现浇结构，连续性好，可按连续梁进行计算；钢腰梁考虑到现场施工情况，较多工地很难做到等强连接，可根据工程所在地实际情况进行设计。

3.3.11 对临近坑中坑 1.5 倍坑中坑深度范围内的立柱，需考虑坑中坑对其稳定性的影响，立柱插入立柱桩的深度需按本条计算后再适当加大，加长值不小于 0.5 倍坑中坑深。

3.3.14 后浇带根据支撑拆除时能否封闭可以分为两种，第一种是在内支撑拆除前不能做封闭处理的，这种后浇带位置应设置传力构件；第二种就是相应工况内支撑拆除前可以浇筑完毕的后浇带，这种后浇带位置不用设置传力构件，在做基坑设计时需与主体结构施工顺序统一考虑，避免做无用功。在此还要提及一种比较特殊的情况，当地下室平面面积比较大，基坑又浅时，经过计算复核，地下结构各分区区块能靠自重与地基之间的摩擦力抵抗外侧土压力时，内部后浇带位置也可不设传力构件。

3.3.15 栈桥立柱之间宜设置水平连杆或剪刀撑主要是为了增强栈桥的整体稳定性。

3.4 减碳设计

3.4.1 建筑的节能减碳是实现 2030 年前碳达峰和 2060 年前碳中和两大战略的基础，建筑设计阶段是决定建筑全寿命期能耗和碳排放表现的重要阶段，其合理性主导了后续建筑活动对环境的影响和资源的消耗。《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB 55015-2021 强制要求建设项目可行性研究报告、建设方案和初步设计文件应包含建筑能耗、可再生能源利用及建筑碳排放分析报告。本节拟通过介绍基坑内支撑工程碳排放计算，引导建筑物在基坑设计阶段考虑节能减碳，增强对碳排放核算、报告、监测、核查的意识，为未来参与碳排放交易、碳税、碳配额、碳足迹，开展国际比对等工作提供技术支撑。基坑内支撑工程具有材料消耗量大、使用时间短，拆除工程量占比大等特点，故有必要对基坑内支撑工程的碳排放计算方法做出更具针对性的规定。

3.4.2 建筑物在材料开发、生产、运输，施工及拆除，运行及维护等各阶段均产生碳排放，因此应进行全生命期碳排放计算。建筑全生命期有多种不同划分方法，国家标准《建筑碳排放计算标准》GB/T 51366-2019 将其划分为建筑材料生产及运输、建造及拆除、建筑物运行三个阶段。基坑内支撑作为临时工程，不涉及运行阶段，因此包括建材生产及运输和建造及拆除阶段。

3.4.3 建筑材料、构件、部品从原材料开采、加工制造直至产品出厂并运输到施工现场，各个环节都会产生温室气体排放，这是建材内部含有的碳排放，可以通过建筑的设计、建材供应链管理进行控制和削减。建材生产及运输阶段碳排放计算的生命周期边界可选取“从摇篮到大门”，即从建筑材料的上游原材料、能源开采开始，包括建材生产全过程，到建筑材料出厂、运输至建筑施工现场为止。

使用低价值废料和再生原料生产建材以及再生循环利用建筑废料，都有利于降低建筑全生命期的碳排放，因此规定了相应计算规则。

3.4.4 内支撑施工采用的预拌混凝土、预制混凝土构件、钢支撑、钢立柱、预制桩等材料、构件和部品通常在施工场外生产，因此不计入建造阶段能耗。但在施工现场拌制、生产的材料、构件和部品的能耗应计入。

临时设施是指施工企业为保证施工和管理的进行而建造的各种简易设施，包括现场临时作业棚、机具棚、材料库、办公室、休息室、厕所、化灰池、储水池、锅炉等设施；临时道路；临时给水排水、供电、供热等管线；临时性简易周转房，及现场临时搭建的职工宿舍、食堂、浴室、医务室等临时福利设施。因临时设施没有统一建设标准，通常由施工企业根据需求自行搭建，且临时设施具有体量小、种类多的特点，其搭建、使用和拆除阶段的能源消耗没有参考数据，难以准确计算。根据《建筑碳排放计算标准》GB/T 51366 相关规定，施工临时设施能源消耗用量与工程规模、工期等相关，当没有资料时，可以按分部分项工程消耗能源的 5%估算施工临时设施消耗的能源用量。

3.4.5 本节对基坑内支撑碳排放的计算边界及相关规定进行了明确，碳排放计算方法参照本节规定和国家标准《建筑碳排放计算标准》GB/T 51366 进行计算。此处以某实际工程为例，对建造后碳排放量进行核算。

（1）工程概况

某基坑面积 56543m²，基坑深度 18.45m~24.80m，内支撑采用三道混凝土内支撑，立柱采用型钢格构柱，立柱桩为旋挖灌注桩，紧邻既有建筑区域附加竖向钢斜撑。

（2）碳排放计算

基坑内支撑计算范围包括内支撑杆件、腰梁、立柱、立柱桩以及换撑等构件及其连接件。

1) 建材生产阶段

本项目内支撑杆件拆除后采取回收再利用措施，其中钢筋混凝土内支撑所用 C40 和 C50 混凝土全部回收利用，内支撑钢筋全部回收利用（占计算范围内总钢筋用量 73.2%）；格构立柱型钢全部回收再利用；钢管按重复使用 20 次考虑。拆除产生的可再生建筑废料，按其可替代的初生原料的碳排放的 50%计算，从建筑碳排放中扣除。建材生产阶段碳排放计算结果见表 1。

表 1 建材生产阶段碳排放

材料	单位	用量	拆除后 回收比例	生产碳排放因子 (kgCO ₂ /单位)	生产碳排放量 (tCO ₂)
C15 混凝土	m ³	8798	0	228	2005.94
C30 混凝土	m ³	29880	0	295	8814.60

材料	单位	用量	拆除后 回收比例	生产碳排放因子 (kgCO ₂ /单位)	生产碳排放量 (tCO ₂)
C40 混凝土	m ³	28040	50%	340	4766.80
C50 混凝土	m ³	1887	50%	385	363.25
热轧碳钢钢筋	t	11879	37%	2340	17623.21
焊接直缝钢管	t	729	95%	2530	92.22
普通碳钢	t	2959	50%	2050	3032.98
合计					36698.99

2) 建材运输阶段

根据《建筑碳排放计算标准》GB/T 51366-2019 附录 E，建材运输距离和运输碳排放因子按实际情况取值。建材运输阶段碳排放计算结果见表 2。

表 2 建材运输阶段碳排放

材料	重量(t)	运输距离(km)	运输碳排放因子 (kgCO ₂ /t·km)	运输碳排放量(tCO ₂)
C15 混凝土	21115	30	0.078	49.41
C30 混凝土	71712	30	0.078	167.81
C40 混凝土	67296	30	0.078	157.47
C50 混凝土	4529	30	0.078	10.60
热轧碳钢钢筋	11879	200	0.078	185.31
焊接直缝钢管	729	60	0.078	3.41
普通碳钢	2959	500	0.078	115.40
合计				689.41

3) 建造及拆除阶段

建造及拆除阶段的碳排放包括完成各分项工程施工和各措施项目实施过程消耗的能源动力产生的碳排放。电网平均碳排放因子采用中华人民共和国生态环境部公布的碳排放因子，本例以 2022 年公布的数据 0.581kgCO₂/kWh 进行计算。化石能源碳排放因子基于公开数据查询，《综合能耗计算通则》GB/T 2589-2008 中列出了化石能源的平均低位发热量与折标煤因子，《省级温室气体清单编制指南》（发改办气候[2011]1041 号）列出了单位热值含碳量与碳氧化率数据，化石能源碳排放因子的计算公式如下：

$$EF_i = ALCV_i \times PCVC_i \times COR_i \times \frac{44}{12} \times 10^{-6}$$

式中： EF_i ——化石能源 i 的碳排放因子（kgCO₂/kg）；

$ALCV_i$ ——化石能源 i 的平均低位发热量（kJ/kg）；

$PCVC_i$ ——化石能源 i 的单位热值含碳量（tC/TJ）；

COR_i ——化石能源 i 的碳氧化率；

44/12——二氧化碳与碳的相对分子质量之比。

化石能源的碳排放因子数值基本固定，部分常用化石能源的碳排放因子见表 3。

表 3 常用化石能源碳排放因子

能源名称	平均低位发热量（ kJ/kg）	折标煤因子 （kgce/kg）	单位热值含碳量（ tC/TJ）	碳氧化率	碳排放因子 （kgCO ₂ /kg）
------	--------------------	--------------------	--------------------	------	----------------------------------

原煤	20908	0.7143	23.37	0.94	1.9003
焦炭	28435	0.9714	29.5	0.93	2.8604
原油	41816	1.4286	20.1	0.98	3.0202
燃料油	41816	1.4286	21.1	0.98	3.1705
汽油	43070	1.4714	18.9	0.98	2.9251
柴油	42652	1.4571	20.2	0.98	3.0959
液化石油气	50179	1.7143	17.2	0.98	3.1013
炼厂干气	46055	1.5714	18.2	0.98	3.0119
油田天然气	38931	1.3300	15.3	0.99	2.1622

本项目统计了内支撑建造及拆除阶段各类机械机具的台班数，其消耗的能源产生碳排放计算结果分别见表 4 和表 5，其中施工临时设施能源消耗用量按分部分项工程消耗能源的 5%估算。

表 4 建造阶段碳排放

阶段	施工机械	台班能源消耗	台班	碳排放量 (tCO ₂)
建造阶段	自升式塔式起重机,提升质量 600t	电(kWh): 166.29	1260	121.73
	履带式单斗液压挖掘机,斗容量 0.6m ³	柴油(kg): 33.68	240	25.03
	汽车式起重机,提升质量 30t	柴油(kg): 42.14	90	11.74
	钢筋弯曲机,直径 40mm	电(kWh): 12.8	180	1.34
	钢筋切断机,直径 40mm	电(kWh): 32.1	540	10.07
	螺栓套丝机,直径 mm	电(kWh): 25	360	5.23
	二氧化碳气体保护焊机,电流 250A	电(kWh): 24.5	2520	35.87
	偏心振动筛,生产率 16m ³ /h	电(kWh): 28.6	800	13.29
	混凝土输送泵,输送量 45m ³ /h	电(kWh): 243.46	480	67.90

阶段	施工机械	台班能源消耗	台班	碳排放量 (tCO ₂)
	回旋钻机,孔径 800mm	电(kWh): 142.5	1920	158.96
	自卸汽车,装载质量 15t	柴油(kg): 52.93	240	39.33
	污水泵	电(kWh): 20	400	4.65
	履带式起重机,提升质量 50t	柴油(kg): 44.03	360	49.08
	泥浆制作循环设备,	电(kWh): 503.9	180	52.70
施工临时设施	碳排放占施工机械碳排放的比例: 0.05			31.34
合计				658.10

表 5 拆除阶段碳排放

阶段	施工机械	台班能源消耗	台班	碳排放量(tCO ₂)
拆除阶段	电动绳锯机	电(kWh): 22	2131	27.24
	蝶式切割机	电(kWh): 11.28	450	2.95
	钻孔机	柴油（kg）： 48.16	1250	186.37
	叉车（12t）	柴油（kg）： 27.52	960	81.79
	平板汽车	柴油(kg): 45.39	1133	159.21
	空压机	电(kWh): 215	1200	149.90
	吊车(75t)	柴油(kg): 47.17	400	58.41
	25t汽车吊	柴油(kg): 42.14	20	2.61
	叉车（4t）	汽油(kg): 26.46	40	3.10
施工临时设施	碳排放占施工机械碳排放的比例： 0.05			33.58
合计				705.16

4) 总碳排放量

本项目基坑内支撑总碳排放量为 38751.66 tCO₂，详见表 6。基坑体积 1043218m³，由于内支撑工程造成的单位基坑空间碳排放量为 37.15 kgCO₂/ m³。

表 6 基坑内支撑总碳排放量汇总表

类别	碳排放量(tCO ₂)
建材生产阶段	36698.99
建材运输阶段	689.41
建造阶段	658.10
拆除阶段	705.16
合计	38751.66

3.5 构造

3.5.1 考虑到支撑构件主要承受水平压力，如果支撑构件截面取值偏小，竖向挠度过大，附加弯矩增大，严重时会引起受构件失稳，因此支撑构件截面要有所控制。

支撑结构交点位置通常是应力比较集中的地方，设置腋角可以有效减缓这种效应。

3.5.2 当支撑结构与挡土构件斜交时，会形成平行于挡土结构面的水平力，设计时考虑设置抗剪措施，以防止支撑结构平行于挡土构件水平错动。

3.5.4 由于施工误差钢腰梁与挡土构件不能紧密贴合，为了保证钢腰梁受力均匀及受力状态与计算模型相符，要求钢腰梁与挡土构件之间空隙采用细石混凝土填充。

3.5.6 由于基坑开挖过程中栈桥面长时间处理湿滑状态，来往车辆车载又较重，因此栈桥斜面防滑措施比较重要，钢筋混凝土栈桥面一般可作拉毛或设置防滑条的方式处理，钢栈桥一般采用设置防滑条的方式处理。

4 内支撑施工

4.1 一般规定

4.1.1 基坑工程在建筑行业属于高风险的技术领域，施工不符合要求、施工安全防范措施不到位等往往是造成基坑工程事故的重要原因。所以，基坑工程根据支护结构安全等级，环境条件、工程地质条件，支护结构类型和变形控制要求等编制专项施工方案，并采取合理、可行、有效的施工技术与安全措施，对确保基坑工程施工质量安全至关重要。内支撑施工相关内容，应作为基坑专项施工方案的重要组成部分进行编制。

4.1.2 若因特殊原因导致基坑施工时间超过设计工作年限，应进行安全评估并根据具体情况采取适当加强措施。基坑安全评估的内容包括：基坑稳定性、构件的承载能力、重新复核周边环境保护对应的控制指标、设计条件是否改变等。

4.1.3 采用内支撑的基坑，其安全与基坑开挖的顺序、方法以及支撑拆除的顺序、方法密切相关，施工时应严格按照设计工况进行，土方开挖必须遵循“先支撑后开挖”的原则，不得超挖；支撑拆除必须遵循“先换撑再拆撑”的原则。

4.1.4 支撑未按设计要求设置、混凝土支撑和混凝土腰梁的养护时间不足而未达到设计强度、预加轴力的支撑未按设计要求施加预加力等情况均为未达到设计要求。施工不当与土方超挖，可能会对基坑周边环境 and 人的生命安全酿成严重后果。

4.1.5 内支撑构件是支撑基坑挡土构件，承受挡土构件水土压力并限制侧壁变形的水平受压构件，竖向仅承受支撑自重及设计时考虑的施工荷载，因此，内支撑构件上的施工机械或堆放材料等荷载不得超过设计允许条件。

为确保基坑的稳定性，基坑周边的荷载都有明确的要求，周边荷载越大，挡土构件水平力越大，若局部荷载超过设计要求，可能导致支撑破坏或失稳，酿成严重后果。

4.1.6 本条是为保证内支撑施工安全与质量，针对准备工作而提出的具体要求。

4.2 土方开挖

4.2.1 基坑开挖及支撑施工过程中，选定科学合理的施工参数，对基坑的稳定和变形控制、周边环境保护均会产生重要的影响。施工参数主要是根据基坑规模、几何尺寸、支撑形式、开挖方式、地质条件和周边环境要求等确定，包括分层开挖层数、每层开挖深度、每层土体无支撑暴露的时间、每层土体无支撑暴露的平面尺寸及高度等。实践证明，每一步开挖步骤过程中围护墙体暴露空间和时间越小，则控制基坑变形的效果越好，因此采用土方开挖和支撑施工进度快的施工工艺，是提高基坑工程技术经济效果的有效方式，尤其是软土地区效果明显。先撑后挖、限时支撑、分层开挖、严禁超挖就是基于上述理论经过长时间实践总结得出的。

4.2.2 合理开挖及严格控制施工荷载，可以较好地控制支护结构的变形和受力，反之，无序、不规则地乱挖土方，可能导致支护结构变形过大，受力集中，违背设计工况条件，威胁基坑安全。坑底应留有一定的人工开挖土层，其厚度根据实际情况确定，开挖至坑底时应及时施工垫层，并做好基底全封闭，在垫层强度满足要求后尽快进行基础工程施工；电梯井、承台槽等局部深坑宜在垫层完成后开挖；为保护坑底土体不受扰动，应预防坑底超挖，破坏工程桩等。

4.2.3 软土基坑开挖难度较大，稍有不慎就有可能损坏已有的支护结构、工程桩、降排水设施等，因此应针对基坑软土特征，制定相应的土方方案，施工过程中应严格把控，确保顺利出土，并保护基坑安全。

软土分层开挖厚度应较一般土层小，坑底留土厚度宜适当加厚，根据昆明地区经验，坑底宜留 200mm~300mm 的土由人工挖除，以免扰动坑底土或破坏工程桩等。软土开挖分段长度宜控制在 30m 以内，分层厚度宜 1.0m~1.5m。

4.2.4 基坑内部如有岩层分布，宜优先选择机械作业破除岩层后挖除，如需采用爆破，宜聘请专业单位评估爆破作业对基坑工程的影响，可选择性进行局部试验验证，在不影响基坑安全的情况下，再委托专业队伍进行爆破施工。现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 和《土方与爆破工程施工及验收规范》GBJ 50201 对爆破施工做了相应规定，应严格执行。

4.2.5 若机械设备需直接进入基坑进行施工作业时，其入坑坡道除了考虑其本身的稳定性外，还应考虑机械设备的外形尺寸及爬坡能力。根据目前常用施工机械具备的爬坡能力，1:8 的坡道坡度一般可满足要求，对于一些特殊的机械，应根据机械爬坡性能确定合适的坡道坡度。

4.2.6 先开挖基坑周边的土体，挖土过程中在基坑中部形成类似岛状的土体，然后再开挖基坑中部的土体，这种挖土方式通常称为岛式开挖。岛式开挖可在较短时间内完成基坑周边土方开挖及内支撑系统施工，这种开挖方式对基坑内部隆起变形控制较为有利。而基坑中部大面积无支撑空间的土方开挖较为方便，可在内支撑系统养护阶段进行开挖。

岛式开挖适用于内支撑系统沿基坑周边布置且中部留有较大空间的基坑。边桁架与角撑相结合的支撑体系、圆环形桁架支撑体系、圆形腰梁体系的基坑采用岛式开挖较为典型。

4.2.7 先开挖基坑中部的土方，挖土过程中在基坑中部形成类似盆状的土体，然后再开挖基坑周边的土方，这种挖土方式通常称为盆式开挖。盆式开挖由于保留基坑周边的土方，减小了基坑围护暴露的时间，对控制围护墙的变形和减小周边环境的影响较为有利。盆

式开挖一般适用于基坑周边环境保护要求较高或支撑较为密集的大面积基坑。

4.2.8 这里所指的狭长形基坑，一般是针对地铁车站、明挖隧道、地下通道、大型箱涵等采用对撑的长条形基坑，其中尤以地铁车站较为典型，地铁车站一般处于城市中心区域，且开挖深度较大，基坑变形控制和周边环境保护要求较高。

1 对于各道支撑均采用钢支撑的狭长形基坑，可采用斜面分层分段开挖的方法。每小段长度一般按照 1~2 个同层支撑水平间距确定，约 3m~8m；每层厚度一般按支撑竖向间距确定，约 3~4m。

2 斜面分层分段开挖的各种施工参数被大量工程实践证明是安全可靠的。由于支撑的水平间距一般为 3m，而坡间加宽平台宽度可根据 4 道支撑间距取 9.0m，这样便于平台上的支撑安装施工。

3 每层每段开挖和支撑形成的时间应符合设计要求，一般情况下每小段开挖和支撑形成时间为 12h~36h。

4 对于狭长形基坑，考虑到钢支撑受力的特点和纵向斜面分层分段开挖的特性，基础底板及时浇筑对改善挡土构件的受力特征和保证基坑的稳定十分重要。

5 狭长形基坑可采用一端向另一端开挖的方法，也可采用从中间向两端开挖的方法。从中间向两端开挖的方式适用与长度较长，或为加快施工进度而增加挖土工作面的基坑。

6 狭长形基坑的第一道支撑采用钢筋混凝土支撑，其余支撑采用钢支撑的形式，对基坑整体稳定是行之有效的。对于第一道混凝土支撑底部以上的土方，可采取不分段连续开挖的方法，待混凝土支撑强度达到设计要求后再开挖下层土方；下层土方应采取斜面分层分段开挖的方法。

4.3 混凝土支撑施工

4.3.1~4.3.4 钢筋混凝土内支撑作为现浇混凝土构件，其使用的原材

料、施工及验收标准应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

对与钢筋混凝土腰梁接触的挡土构件，必须进行凿毛清理，从而保证钢筋混凝土腰梁与支护结构的紧密衔接、连接牢靠，确保基坑内支撑形成稳定受力体系。

为保证土方开挖施工安全，需要做多组同条件养护的混凝土试块，预测混凝土标准强度，从而确定下层土方安全开挖的具体时间。

4.3.6 当前基坑工程的规模呈越大越深的趋势，单根支撑杆件的长度甚至达到了 200m 以上，混凝土浇筑后会发生压缩变形、收缩变形、温度变形及徐变变形等效应，在超长混凝土支撑中的负面作用非常明显。为减小这些效应的影响必须分段浇筑或采用微膨胀混凝土等相关措施。

支撑分段施工时设置的施工缝处必须待已浇筑混凝土的抗压强度不小于 1.2MPa 时，才允许继续浇筑，在继续浇筑混凝土前，施工缝混凝土表面要凿毛，剔除浮动石子，用水冲洗干净并充分润湿，然后刷素水泥浆一道，下料时避免靠近缝边，机械振捣点距缝边 30cm，缝边人工插捣，使新旧混凝土结合密实。

4.4 钢支撑施工

4.4.1 钢支撑安装的水平及高程位置，是根据桩（墙）体受力要求而确定的。如钢支撑支撑位置错位较大，很可能造成事故，因此本条对安装定位做了要求。为保证钢支撑有良好的稳定性，故安装之前要求先试拼。同时，为防止钢支撑偏心受压，本条对拼装偏差做了规定。基坑工程施工一般施工周期长，为降低基坑开挖对周边构筑物的影响，要经常检查基坑支护结构后面的土体变化、钢支撑受力及腰梁、楔子松紧等情况，因此需要做好监控量测工作。

4.4.2 施加预压力应根据工程实际选用合适的加压设备，使用前必须进行检测标定，液压泵必须带有压力表，以控制液压泵的压力和

加压速率。

施加预压力后，因钢构件发生弹性变形等，在每一次预压力施加过程中会产生一定的预压力损失，为了避免预压力损失过大，故应分阶段逐级施加锁定。因此在预压力达到设计值时，需要检查各个连接点有无松动、变形是否超过允许值。同时，当昼夜温差过大时，也会造成支撑应力损失，因此应根据检测数据适当补加压力，保证在温度最低时满足设计要求。

4.4.3 为了吊运和施工方便，对钢腰梁进行统一编号可提高工效和施工质量。钢腰梁安装节点性能可能低于腰梁材料性能，为保证支撑体系安全，腰梁的安装接头应避免出现于两根支撑的跨中或支撑处。支撑与腰梁斜交时，对腰梁产生平行于长度方向的分力，可能使腰梁滑移，因此应按设计要求设置抗剪件。为了防止在施工过程中钢支撑发生脱落，应在钢腰梁上安装钢支撑托盘，本条对钢支撑与钢支撑座的搭接长度做了规定。

4.4.9 预应力鱼腹式钢支撑结构体系应由水平支撑结构和竖向支承结构组成。水平支撑结构主要包括对撑、角撑、预应力鱼腹梁、腰梁等；竖向支承结构主要包括立柱（立柱桩）和连接件。

根据预应力鱼腹式钢支撑的施工工艺及受力特点，支撑拼装时，应预先完成竖向支承结构的施工和安装之后，才进行水平支撑结构拼装。水平支撑结构拼装时，应预先拼装完成鱼腹梁之后才能进行对撑、角撑的拼装。待整个水平支撑结构拼装完成之后，施加预应力时，则应按照应施加对撑、角撑，待对撑、角撑顶紧鱼腹梁两端形成支座之后，再进行鱼腹梁预应力的施加。

4.5 竖向支承施工

4.5.1 立柱是内支撑体系中重要的受力构件，因此，施工过程中必须严格按照设计图纸要求和规范要求进行。立柱材料应在工厂预制，现场拼装，考虑运输、吊装等因素影响，本条对立柱分段长度做了

规定。

立柱施工的定位与垂直度偏差控制是确保立柱竖向承载能力满足设计要求的關鍵，因此在施工时，宜采用有效的装置和仪器对立柱定位、垂直度和转向进行调整。应重视对立柱转向偏差的控制，在昆明交通枢纽项目中曾出现立柱转向偏差影响混凝土支撑的钢筋穿过的问题。当立柱采用角钢拼接格构柱时，先安放立柱，再浇筑立柱桩混凝土，立柱的垂直度及中心位置易于控制；另外，立柱中部也可以放入混凝土导管进行混凝土浇筑，故宜采用先安放格构柱再浇筑混凝土的施工方法。采用 H 型钢柱时，由于中部难以放入混凝土导管，或单边放入混凝土导管后混凝土浇筑质量难以保证，宜先浇筑立柱桩混凝土，再插入 H 型钢柱。

立柱桩桩孔直径大于立柱截面尺寸，若立柱周围与土体之间存在空隙，其实际的跨度将大于设计计算跨度，为保证立柱在各种工况下的稳定性，立柱施工完毕后在立柱周边空隙采用砂石均匀回填密实。

4.5.2 水下灌注的混凝土实际强度会比混凝土标准试块强度等级低，为使实际强度达到设计要求，混凝土强度等级较低时，一般采用提高一级混凝土强度等级进行配制。但当混凝土强度等级较高时，按提高一级配制混凝土尚嫌不足，所以在无试验依据的情况下，水下混凝土配制的标准试块强度等级应进行提高，提高等级可参照表 7。

表 7 水下混凝土强度等级对照表

项目	标准试块强度等级					
设计强度等级	C25	C30	C35	C40	C45	C50
水下混凝土强度等级	C30	C35	C40	C50	C55	C60

4.6 换撑施工

4.6.1 顺作法基坑工程一般均历经基坑开挖和地下结构施工阶段，两个阶段都必须解决好对基坑周边挡土构件的支撑问题，以控制挡

土构件的受力和变形在要求范围内。基坑开挖阶段通过在基坑竖向设置一道或多道支撑系统，提供挡土构件的水平支撑点，以满足挡土构件的受力和变形控制要求；地下结构施工阶段，即基坑开挖至基底之后地下结构的回筑阶段，该阶段为了不妨碍地下结构施工，将结合地下结构的施工流程逐层地拆除临时支撑，所谓换撑即指在该阶段，通过利用回筑的地下结构合理的设置换撑，调整基坑挡土构件的支撑点，实现挡土构件应力安全有序的调整、转移和再分配，达到各个阶段基坑变形的控制要求。

4.6.2 基坑开挖至基底便进入地下结构施工阶段，挡土构件将形成从基底至上一层支撑较大的暴露跨度，如基础底板未对其有效支撑作用，挡土构件将发生较大的变形甚至引发安全问题，因此基础底板施工时应同时完成基坑周边基础底板与挡土构件之间的换撑施工。

基础底板周边的换撑板带为了施工上的便利，通常采用与基础底板同标号的混凝土进行填充处理即可。为避免正常使用阶段主体结构与基坑挡土构件之间存在差异沉降对主体结构造成不利影响，换撑与挡土构件之间设置低压缩性的隔离材料。另外，当基础底板较厚超过 1000mm 时，如在挡土构件与基础底板之间设置同厚的换撑，换撑混凝土量相当可观，换撑板带的厚度通过计算满足换撑传力要求即可，其余部分采用造价较低的砖模及回砂进行处理。如果挡土构件与基础底板之间距离较大时，采用素混凝土填充其工程量过大，此种情况下，可在之间设置间隔布置的临时钢或混凝土支撑，以减小换撑工作量。

4.6.3 挡土构件与地下结构之间的换撑一般采用钢筋混凝土换撑板带的方式，换撑板带与地下结构同步施工。换撑板带应间隔设置开口，作为施工人员拆除外墙模板以及外墙防水施工作业的通道以及将来挡土构件与外墙之间密实回填处理的通道，开口中心距离一般控制在 6m 左右，也可根据实际施工要求适当调整。

换撑板带由于需要承受施工人员的作业荷载，应设置一定数量

的吊筋以解决其竖向支承问题，同时为了避免正常使用阶段主体地下结构与挡土构件之间的差异沉降引发的问题，换撑板带与挡土构件之间应设置压缩性小的隔离材料，同时换撑板带锚入结构外墙的钢筋采用交叉形的方式以形成铰接，削弱换撑板带与结构外墙的连接刚度。

4.6.4、4.6.5 地下结构由下往上顺作施工过程中，将经历临时支撑的逐层拆除，挡土构件外侧的水土压力将逐步转移至刚施工完毕的地下结构上，因此地下结构必须满足承载力要求以及施工后浇带、楼梯坡道或设备吊装口等结构开口、局部高差、错层较大等结构不连续位置的水平传力要求。

4.7 内支撑拆除

4.7.1 支撑拆除过程是将支撑轴力转移至地下主体结构或其他临时支护结构的过程。因此在拆除支撑前，必须按照设计计算工况的要求，将基坑回填至相应基坑位置、主体结构混凝土强度达到设计要求，并按设计要求的部位加装临时支撑后方可进行支撑拆除。

4.7.2 内支撑拆除一般遵循先拆次要杆件、后拆主要杆件的原则。拆除时机或者工况把握不好，盲目施工，极易造成事故。

4.7.5 混凝土支撑爆破拆除，爆破孔如采用钻孔的方式形成，则费时费工，且对环境保护不利。建议在混凝土支撑浇筑时预设爆破孔，用于后续爆破拆除施工。

为了对永久结构进行保护，减小对周边环境的影响，混凝土支撑爆破拆除时，应先切断支撑与腰梁的连接，然后进行分区爆破拆除。当切断支撑与腰梁的连接采用爆破方式时，切断爆破与支撑和腰梁的爆破时间间隔可以采用延时爆破的方法进行控制，以达到先切断，再大面积爆破拆除支撑和腰梁的目的。

4.7.6 拆卸钢支撑时宜用托架托住待拆除的钢支撑，用千斤顶施加预压力卸去活动端的锁定装置，释放支撑轴力，用气焊切开钢支撑

端头连接部位，依次吊出钢支撑，拆除钢腰梁。

4.7.8 内支撑拆除后挡土构件将产生应力重分布，有可能造成挡土构件局部变形过大，危及基坑及周边环境的安全，因此，拆撑过程中必须加强基坑的监控量测和现场巡视，切实做到信息化施工。

4.8 栈桥施工与拆除

4.8.2 对弯、坡、斜栈桥，其支架的设置应适应梁体相应几何线形的变化，且应采取有效措施保证支架的稳定性。

4.8.3 土方开挖时，应清除栈桥梁底模，避免底模附着在栈桥梁底部。若采用混凝土垫层作为底模，必须在栈桥梁以下土方开挖时及时清理干净，否则附着的底模在后续施工过程中一旦发生脱落，可能造成人员伤亡事故。为了方便清除混凝土垫层底模，应在栈桥梁和底模之间设置隔离措施。

4.8.4 目前大量基坑栈桥都与内支撑结构结合，以减少栈桥造价，此类栈桥拆除时，必须满足基坑支护结构设计工况要求，一般应先施工换撑并达到设计强度要求后，方可进行栈桥及支撑的拆除。

钢栈桥拆除一般按照“后装先拆、先装后拆”的原则，按顺序拆除，减小拆除过程中的风险。混凝土栈桥拆除时应考虑对支护结构稳定性的影响。一般先将面板破碎拆除，然后切断栈桥梁与挡土构件的联系，减少对基坑围护的影响，之后方可分段拆除次梁和主梁，栈桥梁拆除完成后，再分段拆除栈桥立柱。基坑栈桥拆除过程中如地下主体结构已施工，应考虑地下楼板结构的承载能力。

栈桥拆除时，如采用分段拆除，应考虑未拆除部分的稳定性，尤其是拆除机械布置在栈桥板上时，如有必要需对未拆除部分进行加固处理。

5 质量验收

5.1 一般规定

5.1.1 参照现行《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的附录 B，基坑工程内支撑属于地基与基础分部的基坑支护子分部中的分项工程。分项工程的验收是以检验批为基础进行的。一般情况下，检验批和分项工程两者具有相同或相近的性质，只是批量的大小不同而已。分项工程质量合格的条件是构成分项工程的各检验批验收资料齐全完整，且各检验批均已验收合格。

5.1.2 检验批是施工过程中条件相同并有一定数量的材料、构配件或安装项目，由于其质量水平基本均匀一致，因此可以作为检验的基本单元，并按批验收。

5.2 混凝土支撑

5.2.1 基坑工程的工况中，设计允许在未达到 28d 龄期的情况进入下一工况时，还应根据设计要求增加对混凝土支撑的强度检测，并相应的增加混凝土试块留设数量。

5.3 钢支撑

5.3.1 施加预应力的钢支撑杆件在基坑开挖过程中会产生一定的预应力损失，为了保证预应力达到设计要求，当预应力损失达到一定程度后应及时进行补充、复加轴力。

5.3.4 千斤顶应在标定合格的有效期内使用，确保轴力施加准确。

5.3.5 对于可周转使用的钢支撑，在以往使用过程中不可避免地发生变形、磨耗等问题，在重新投入使用之前必须按照规定验收，因此制定本条规定。

5.4 竖向支承

5.4.1 立柱转向不宜大于 5° ，避免影响水平支撑和地下水平结构的钢筋施工，此条在实际施工中易于出现，应予注意。

5.4.2 立柱桩一般是临时结构，但立柱桩工作期间处于单桩受荷状态，各桩之间的不均匀沉降控制要求比工程桩更高。因此施工时必须同样严格控制桩底沉渣厚度，减少立柱桩受荷沉降。

6 内支撑监测

6.1 一般规定

6.1.1~6.1.2 由于地质条件可能与设计采用的土的物理、力学参数不符，且基坑支护结构在施工期和使用期可能出现土层含水量、基坑周边荷载、施工条件等自然因素和人为因素的变化，通过基坑工程内支撑监测可以及时掌握内撑式支挡结构受力和变形状态、基坑周边受保护对象变形状态是否在正常设计状态之内。当出现异常时，以便采取应急措施。基坑工程内支撑监测是预防不测，保证内撑式支挡结构和周边环境安全的重要手段。安全等级为一级、二级的内撑式支挡结构均应对内支撑进行监测，且监测应覆盖基坑开挖与内撑式支挡结构使用期的全过程。

6.1.3 仪器监测可取得定量的数据，进行定量分析；目测为主的巡视检查相对简单、及时，可作为仪器监测的补充，起到定性分析的作用。

6.1.4 基坑内支撑结构的监测项目主要依据国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 和《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120，选取与内支撑直接相关的项目进行监测。依据国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB50497 监测项目分为“应测”、“宜测”和“可测”。周边环境为一级的基坑应按相关管理部门的要求增加监测项目和频率。

6.1.5 本条强调在基坑工程的施工和使用期内，应由有经验的监测人员每天对基坑工程进行巡视检查。基坑工程施工期间的各种变化具有时效性和突发性，加强巡视检查是预防基坑工程事故非常简便、经济而有效的方法。本条列出的巡视检查内容是根据基坑工程实践总结出来的，具有很好的参考价值。在具体工程中可根据工程对象

进行相关项目的巡视监测，也可补充新的巡视检查内容。

巡视检查主要以目测为主，配以简单的工器具，这样的检查方法速度快、周期短，可以及时弥补仪器监测的不足。

6.1.6 如国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497、行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120、地方标准《云南省建筑基坑支护技术规程》DBJ53/T-71、《云南省建筑基坑工程监测技术规程》DBJ53/T-67 等相关规程。

6.2 监测点布置

6.2.1 监测点一般布置在变形、内力变化最大和最重要的部位，以对其进行有效监控。内支撑监测点布置应满足施工方的要求，不妨碍施工，监测点又得到有效保护。

影响监测费用的主要方面是监测项目的多少、监测点的数量以及监测频率的大小。基坑工程监测点的布置首先要满足对监测对象监控的要求，这就要保证一定数量的监测点，但不是测点越多越好，基坑工程监测一般工作量比较大，又受人员、光线、仪器数量的限制，测点过多、当天的工作量过大会影响监测的质量，同时也增加了监测费用。

6.2.2 支撑内力的监测多根据支撑杆件采用的不同材料选择不同的监测方法和检测传感器。对于混凝土支撑杆件，目前主要采用钢筋应力计；对于钢支撑杆件，多采用轴力计（也称反力计）或表面应变计。

支撑内力监测点的位置应根据挡土构件计算书确定，监测截面应选择在轴力较大杆件上受剪力影响小的部位，因此本条第 3 款要求当采用应力计和应变计测试时，监测截面宜选择在两相邻立柱支点间支撑杆件的 1/3 部位；钢管支撑采用轴力计测试时，轴力计宜设置在支撑端头。

6.2.3 立柱的竖向位移（沉降或隆起）对支撑轴力、支撑剪力和跨

中弯矩的影响很大，有工程实践表明，立柱沉降 20mm~30mm，支撑轴力会增大约 1 倍，因此对支撑体系应加强立柱的位移监测。监测点应布置在立柱受力、变形较大和容易发生差异沉降的部位，例如基坑中部、多根支撑交汇处、地质条件复杂处。

6.3 监测方法及要求

6.3.1 基坑监测方法的选择应综合考虑各种因素，监测方法简便易行有利于适应施工现场条件的变化和施工进度要求。

在满足监控精度要求和保证工程安全的前提下，应鼓励基坑工程现场监测的技术进步，以减轻劳动强度、提高工作效率、降低监测成本。自动化实时监测系统应采用性能稳定、技术成熟且经过工程实践检验的新设备、新技术、新方法。

6.3.2~6.3.5 内支撑体系内力监测仪器的选择及安装方法主要根据体系的自身的特点进行选择，原则是方便有利地进行监测。

6.3.6 本条款是对基坑监测频率的规定。基坑工程监测频率应该考虑基坑安全等级、基坑及地下工程的不同施工阶段以及周边环境、自然条件的变化等因素综合确定。

基坑工程的监测频率不是一成不变，应根据基坑开挖及地下工程的施工进度、施工工况以及其他外部环境影响因素的变化及时做出调整。一般在基坑开挖期间，地基土处于卸荷阶段，支护结构处于逐渐加荷状态，应适当加密监测；开挖完一段时间后监测值相对稳定时，可适当降低监测频率。出现异常现象和数据或临近报警状态时，应提高监测频率甚至连续监测。

表 6.3.6 的监测频率针对的是应测项目的仪器监测。对于宜测、可测项目的仪器监测频率可视具体情况适当降低，一般可取应测项目监测频率值的 2 倍~3 倍。

另外，如果基坑工程实施了自动化监测，一般情况下自动化采集的频率可以设置很高，因此，这些监测项目的监测频率可以较表

中的值大大提高，以获得更连续的实时监测数据。

6.3.7 本条款所描述的情况均属于施工违规操作、外部环境变化趋向恶劣、基坑工程临近或超过报警标准、有可能导致或出现基坑工程安全事故的征兆或现象，应引起各方的足够重视，必须加强监测，提高监测频率。

6.4 监测预警

6.4.1 监测预警是基坑工程实施监测的目的之一，是预防基坑工程事故发生、确保基坑及周边环境安全的重要措施。监测预警值是监测工作的实施前提，是监测期间对基坑工程正常、异常和危险三种状态进行判断的重要依据，因此基坑工程监测应确定监测预警值。

监测预警值应由基坑工程设计方根据基坑工程的设计计算结果、周边环境中被保护对象的控制要求等确定，如基坑支护结构作为地下主体结构的一部分，地下结构设计要求也应予以考虑，为此本条明确规定了监测预警值应由基坑工程设计方确定。

基坑工程设计方应根据土质特性和周边环境保护要求对支护结构的内力、变形进行必要的计算与分析，并结合当地的工程经验确定合适的监测预警值。确定基坑工程监测项目的监测预警值是一个十分严肃、复杂的课题，建立一个量化的预警指标体系对于基坑工程的安全监控意义重大。但是由于设计理论的不尽完善以及基坑工程的地质、环境差异性及其复杂性，人们的认知能力和经验还十分不足，在确定监测预警值时还需要综合考虑各种影响因素。实际工作中主要依据三方面的数据和资料：

（1）设计结果

基坑工程设计人员对于围护墙、支撑的受力和变形、坑内外土层位移等均进行过详尽的设计计算或分析，其计算结果可以作为确定监测预警值的依据。

（2）基坑及周边环境的有关规定

例如，确定基坑工程相邻的民用建筑监测预警值时，可以参照现行国家标准《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292。随着基坑工程经验的积累，各地区可以用地方标准或规定的方式提出符合当地实际的基坑监控定量化指标。

（3）工程经验类比

基坑工程的设计与施工中，工程经验起到十分重要的作用，参考已建类似工程项目的受力和变形规律提出并确定本工程的基坑预警值，往往能取得较好的效果。

监测预警值应由基坑工程设计方根据基坑设计安全等级、工程地质条件、设计计算结果并结合当地工程经验等因素确定，不应不加分析地盲目采用规范提供的监测预警参考值。

6.4.2 基坑工程监测预警不但要控制监测项目的累计变化量，还要注意控制其变化速率。基坑工程工作状态一般分为正常、异常和危险三种情况。异常是指监测对象受力或变形呈现出不符合一般规律的状态。危险是指监测对象的受力或变形呈现出低于结构安全储备、可能发生破坏的状态。累计变化量反映的是监测对象即时状态与危险状态的关系，而变化速率反映的是监测对象发展变化的快慢。过大的变化速率往往是突发事故的先兆。因此在确定监测预警值时应同时给出变化速率和累计变化量，当监测数据超过其中之一时，监测人员应及时预警。有关各方应及时分析原因，判断监测对象的工作状态，并采取相应措施。

6.4.3~6.4.4 本条列出的都是在工程实践中总结出的基坑及周边环境危险情况，一旦出现这些情况，将严重威胁基坑以及周边环境中被保护对象的安全，必须立即发出危险报警，通知建设、设计、施工、监理及其他相关单位及时采取措施，保证基坑及周边环境的安全。

由于每个基坑工程的特点、难点不同，设计方还会有针对性地提出其他危险报警情况；各地的工程地质条件不同，对基坑危险状况的分析判断也会积累当地经验，当出现根据当地工程经验判断的

危险状态时，也必须进行危险报警。

工程实践中，由于疏忽大意未能及时报警或报警后未引起各方足够重视，贻误排险或抢险时机，从而造成工程事故的例子很多，我们应吸取这些深刻教训。

6.5 监测信息处理

6.5.3 基坑工程监测是一个系统，系统内的各项目监测有着必然的、内在的联系。某一单项的监测结果往往不能揭示和反映整体情况，要结合相关项目的监测数据和自然环境、施工工况、地质条件等情况以及以往数据进行分析，才能通过相互印证、去伪存真，正确地把握基坑及周边环境的真实状态，提供高质量的综合分析报告。

6.5.4 对于重大工程，可根据工程进度和设计施工要求在适当的时间节点提供监测中间报告（阶段报告），具体时间节点包括：每道支撑完成后、基坑开挖到底完成底板浇筑、每道支撑拆除后等。