

福建省工程建设地方标准

DB

工程建设地方标准编号：DBJ/Txx-xxx-xxxx

住房和城乡建设部备案号：Jxxxxx-xxxx

装配式张弦梁钢结构基坑支撑技术标准

Fabricated steel support system
consisting of prestressed tensile beams

（征求意见稿）

202x-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

福建省住房和城乡建设厅 发布

福建省工程建设地方标准

装配式张弦梁钢结构基坑支撑技术标准

Fabricated steel support system
consisting of prestressed tensile beams

工程建设地方标准编号：DBJ/T_{xx-xxx-xxxx}

住房和城乡建设部备案号：J1_{xxxx-xxxx}

实施日期：202x 年 xx 月 xx 日

前 言

根据福建省住房和城乡建设厅办公室文件（闽建办科[2020]9号）下达的编制计划，编制本标准。

本文的某些内容可能涉及专利，本文的发布机构不承担识别专利的责任。

张弦梁钢结构基坑支撑体系是由标准件和非标准件，拼接而成的基坑支护体系。通过对张弦梁撑杆、钢对撑和钢角撑施加预应力，实现对基坑坑壁变形控制。该支撑体系可重复装配、拆卸和循环使用。

本规程主要内容为：应用范围，术语、符号和参考标准，基本规定，装配式预应力张弦梁基坑钢支撑结构体系，设计，施工，质量检验，内力及变形监测等。

本规程主编单位：厦门安捷建筑工程有限公司

福建建筑科学研究院

福建省融旗建设工程有限公司

本规程参编单位：

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

目 次

1	总 则	1
2	术语、符号	3
2.1	术语	3
2.2	符号	4
3	基本规定	6
4	装配式预应力张弦梁基坑钢支撑结构体系	10
5	设 计	14
5.1	一般规定	14
5.2	作用力计算	15
5.3	张弦梁	19
5.4	钢对撑和钢角撑	24
5.5	立柱和连接件设计	27
5.6	预应力设计	28
6	施 工	29
6.1	一般规定	29
6.2	预埋件	31
6.3	构件安装	32
6.4	预应力施加及控制	34
6.5	基坑开挖	36
6.6	支撑拆除及回收	37
6.7	施工安全	38
6.8	环境保护	39
7	质量检验	41

7.1	一般规定.....	41
7.2	验收记录.....	42
8	监 测.....	43
附录 A	张弦梁的构造和规格.....	45
附录 B	钢对撑和钢角撑.....	48
附录 C	张弦梁上弦梁.....	52
附录 D	支撑竖向连接件.....	53
附录 E	预应力张弦梁对应极限土压力.....	57
附录 F	张弦梁钢支撑构件进场质量验收记录表.....	58
附录 G	支撑构件安装的分项工程检验表.....	59
	本规程用词说明.....	60
	引用标准名录.....	61

1 总 则

1.0.1 为规范装配式预应力张弦梁钢结构基坑内支撑体系的应用，做到安全、适用、经济、保证质量、保护环境，制定本规程。

条文说明： 装配式预应力张弦梁基坑钢支撑作为基坑工程的一种支撑形式，是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张弦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。该技术已经在厦门的多项工程中成功应用，并已经积累了丰富的设计与施工实践经验，福建省内越来越多的地区开始采用该技术。但国内目前尚没有该技术统一的专项标准，其设计、施工和质量检验等要求尚不明确统一，使得该技术的设计、施工水平参差不齐。为了使装配式预应力张弦梁基坑钢支撑技术的设计、施工和检验规范化，做到安全可靠、技术先进、经济合理、确保质量及保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于装配式预应力张弦梁基坑钢支撑体系的设计、施工、监测、检测及验收。

1.0.3 装配式预应力张弦梁基坑钢支撑体系的设计、施工、监测、检测及验收过程中，应综合考虑区域环境、基坑周边环境、地质条件、施工季节变化等因素，充分调查，合理设计，规范施工，严格验收。

条文说明： 装配式预应力张弦梁基坑钢支撑体系仅为基坑工程

的一个分项，其设计、施工和质量检验应纳入整个基坑工程的范畴中，必须与基坑工程的其他分项（包括支挡结构、地基加固、基坑降水和土方开挖等）相结合，并结合工程地方经验，综合考虑工程地质条件、水文地质条件、周边环境条件、主体结构与基坑情况、工程造价等因素，切实做到精心设计、精心施工，确保基坑工程和主体结构的施工安全，满足周边环境保护的要求。

1.0.4 装配式预应力张弦梁基坑钢支撑体系除应符合本规程的规定外，尚应符合现行国家标准及地方标准的有关规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 张弦梁钢结构基坑支撑体系 fabricated steel support system consisting of prestressed tensile beams

由张弦梁、钢对撑和钢角撑组成并施加预应力的钢支撑结构体系。

2.1.2 预应力张弦梁 prestressed tensile beams

由拉杆、撑杆和上弦梁组成，通过对张弦梁撑杆施加预应力形成的张拉钢结构。

2.1.3 张弦梁拉杆 steel tie rod

在张弦梁中由高强合金钢制成的受拉杆件。

2.1.4 张弦梁撑杆 compressing bar

张弦梁的受压腹杆。

2.1.5 张弦梁上弦梁 wai purlin

张弦梁的上弦压弯构件。

2.1.6 钢对撑 opposite steel brace

由型钢组合形成的水平钢构件，支撑在基坑两对边，主要承受基坑壁面的水平土压力。

2.1.7 钢角撑 diagonal steel brace

由型钢组合形成的水平钢构件，支撑在基坑两邻边（基坑角部），主要承受基坑壁面的水平土压力。

2.1.8 标准件 standard part

由型钢或钢板按标准尺寸加工，能相互连接、装配、拆卸并重复组装的钢构件。

2.1.9 非标准件 non-standard part

用于基坑边界尺寸和形状不规则时，与标准件连接的钢构

件。

2.1.10 预应力调节件 member for adjusting prestressing force

由撑杆端头、活络头、千斤顶和垫板等构件组成，用于钢对撑、钢角撑施加预应力和保持预应力的钢构件。

2.2 符号

2.2.1 计算指标

f ——钢材强度设计值；

f_u ——钢拉杆抗拉强度设计值。

2.2.2 作用、作用效应设计值

M_x 、 M_y ——同一截面处绕 x 轴和 y 轴的弯矩设计值；

M_{xi} 、 M_{yi} ——单根支撑绕 x 轴和 y 轴的弯矩设计值；

N ——轴心压力设计值；

N_i ——单根支撑的轴心压力设计值；

P ——轴心压力设计值；

q ——张弦梁钢支撑体系的水平荷载设计值。

2.2.3 几何参数

A ——支撑的截面面积；

A_i ——单根支撑的截面积；

A_n ——净截面面积；

E ——支撑材料的弹性模量；

l_0 ——相邻立柱的纵向间距；

l_{0y} ——型钢组合截面 y 轴的计算长度；

l_1 ——受压支撑构件的长度；

l_{yi} ——单根支撑截面对 y 轴的计算长度；

m ——组合构件肢数；

s —— 支撑水平间距；

W_{xi} 、 W_{yi} —— 单根支撑对 x 轴和 y 轴的毛截面模量；

W_{nx} 、 W_{ny} —— 对 x 轴和 y 轴的净截面模量；

α —— 张弦梁端拉杆与张弦梁上弦梁的夹角。

2.2.4 计算系数及其它

k_1 —— 轴力放大系数；

k_2 —— 强度折减系数；

K —— 挡土结构计算宽度范围内弹性支点刚度系数；

K_1 —— 钢对撑或钢角撑的平均刚度；

K_2 —— 张弦梁的平均刚度；

β_{mx} 、 β_{my} —— 弯矩作用平面内稳定计算的等效弯矩系数；

β_{tx} 、 β_{ty} —— 弯矩作用平面外稳定计算的等效弯矩系数；

α_R —— 支撑松弛系数；

φ_y —— 对 y 轴的轴心受压构件稳定系数；

φ_{yi} —— 单根支撑对 y 轴的轴心受压构件稳定系数；

λ —— 支撑不动点调整系数；

λ_x —— 组合截面 x 方向长细比；

λ_y —— 组合截面 y 方向长细比；

λ'_y —— 组合截面 y 方向等效长细比；

λ_{yi} —— 单根支撑截面 y 方向长细比；

3 基本规定

3.0.1 装配式张弦梁钢结构基坑支撑体系（以下简称张弦梁钢支撑体系）的设计工作期限与基坑支护的设计工作期限相同。

条文说明：近年来，装配式预应力张弦梁基坑钢支撑体系已在厦门的 10 多项工程中应用，最大基坑开挖深度达 14.5m，支撑的常用跨度在 80~110m，最大应用跨度达 130m，基坑的最大开挖面积达 55900m²，取得了大量实测数据。通过对实测数据的分析，进一步验证了该支撑技术具有施工方便、安全和经济等特点。

厦门采用装配式预应力张弦梁基坑钢支撑技术的工程项目及相关信息如表 1 所示

表 1 装配式预应力张弦梁基坑钢支撑体系工程应用

	年份	项目名称	基坑深度 (m)	基坑面积 (m ²)	地下室层数	支撑道数
1	2016	厦门百琪酒店	11	5400	2	1
2	2017	现代服务业 I-9 地块	12	13700	2	1
3	2017	南部市政环卫设施基地	11.5	5487	2	1
4	2017	轻工大厦	14.5	9860	3	2

5	2017	天地幼儿园	12	5472	2	1
6	2017	笕笕污水处理厂	7.4	3876	2	1
7	2017	会展南小学	10.7	8856	2	1
8	2018	邮轮城7号地块基坑	11	55900	2	1
9	2019	集美污水处理厂	11	2767	2	1
10	2019	笕笕污水处理厂进水系统改造	13	3755	2	1
11	2020	2019TP01地块基坑支护工程	8.5	17852	2	1
12	2020	泥山溪箱涵调蓄池工程	9.8	5806	2	1

大量工程应用表明，装配式预应力张弦梁基坑钢支撑体系在规则基坑中的受力性状好，对于形状不规则的基坑也可采取调整基坑边线、局部位置与钢筋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装配式预应力张弦梁基坑钢支撑体系。

3.0.2 张弦梁钢支撑体系的设计应满足基坑工程的安全等级和变形控制要求。

条文说明： 装配式预应力张弦梁基坑钢支撑体系是基坑支挡结构的一部分，其设计计算方法和要求都应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定。

3.0.3 张弦梁钢支撑体系设计应具备下列资料：

- 1 岩土工程勘察报告；
- 2 主体结构总平面图、结构设计资料等；
- 3 周边施工场地布置及荷载要求；
- 4 周边环境变形控制要求。

3.0.4 张弦梁钢支撑体系结构设计采用的荷载和变形控制要求应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定。

3.0.5 张弦梁钢支撑体系宜采用标准件，局部位置可采用非标准件。

3.0.6 张弦梁、钢对撑、钢角撑的预应力施加应分级、对称。

条文说明： 预应力的施加与复加是装配式预应力张弦梁基坑钢支撑体系控制基坑变形的关键，本条给出了预应力施加技术的原则要求：即预应力应分多级施加，支撑两端应施加相同作用力大小的预应力。

3.0.7 张弦梁钢支撑体系的安装和拆除顺序，应根据支护结构的设计工况确定。

条文说明： 该支撑体系的安装和拆除应按照设计工况要求进行

行，并结合基坑工程的特点，根据土方开挖或结构换撑形成的情况，采用流水作业安装和拆除支撑构件。

3.0.8 张弦梁钢支撑体系使用过程中应对结构体系的受力和变形进行监测，当监测值达到或超过预警值时，应及时查明原因，采取有效解决措施。

条文说明： 装配式预应力张弦梁基坑钢支撑体系钢对撑、钢角撑及张弦梁在基坑实施过程中，始终维持设计要求之预应力是其控制基坑变形的关键，因此本条重点提出钢对撑、钢角撑及张弦梁的内力监测的信息化监测要求，为基坑施工过程中支撑体系是否进行预应力复加提供依据。其余监测项目与常规基坑工程类似，应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的有关规定。

3.0.9 张弦梁钢支撑体系应遵循动态设计、信息化施工原则。

4 装配式预应力张弦梁基坑钢支撑结构体系

4.0.1 张弦梁钢支撑体系由水平支撑体系和竖向支撑体系组成（图 4.0.1）。

1 水平支撑体系，通常由张弦梁、钢对撑、钢角撑、竖向支承结构和冠（腰）梁组成；

2 竖向支撑体系，通常由立柱（含立柱桩）、支承梁组成。

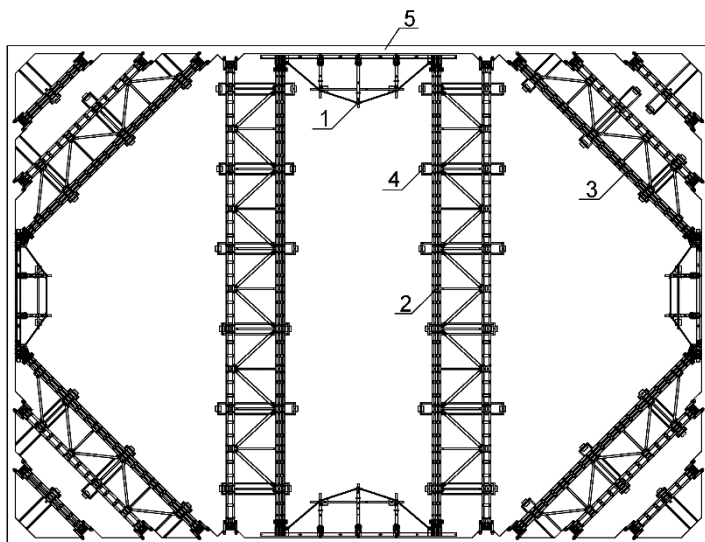


图 4.0.1 张弦梁钢支撑体系平面布置图

1—张弦梁；2—钢对撑；3—钢角撑；4—竖向支承结构；5—冠（腰）梁

条文说明： 张弦梁钢支撑体系由不同功能的标准件和非标准件装配而成。本节明确了体系的构成，附录 A~E 提供了各个构件的形式和规格。两部分内容结合起来，便于设计、施工技术人员对张弦梁钢支撑体系有完整的了解。

条文说明： 1 钢对撑，通常为组合结构，当基坑宽度较小、钢对撑结构满足强度及稳定性要求时，也可用单根构件；

2 钢角撑，约束基坑角部围护结构的整体水平变形，是基坑内支撑的主要结构；角撑结构设置在基坑角部，一般为桁架；当支撑长度较小，满足强度及稳定性要求时，也可用单根构件；

3 张弦梁结构，设置在钢对撑或钢角撑之间，通过施加预应力增加钢对撑或钢角撑之间冠梁或腰梁的刚度，约束基坑围护结构的水平变形，目的是扩大基坑开挖作业空间；

4 预应力装置，用于施加或调节预应力。

4.0.2 钢对撑与钢角撑可采用格构式结构，分为标准件和非标准件。非标准件用于补充基坑对撑尺寸与标准件模数之差（见图 4.0.2-1 和图 4.0.2-2）。

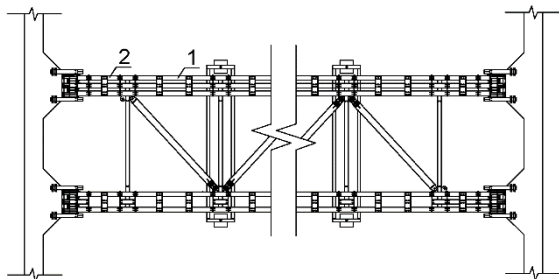


图 4.0.2-1 格构式对撑平面布置图

1—标准撑杆；2—标准节点；3—撑杆（非标准件）；4—直缀条；5—斜缀条

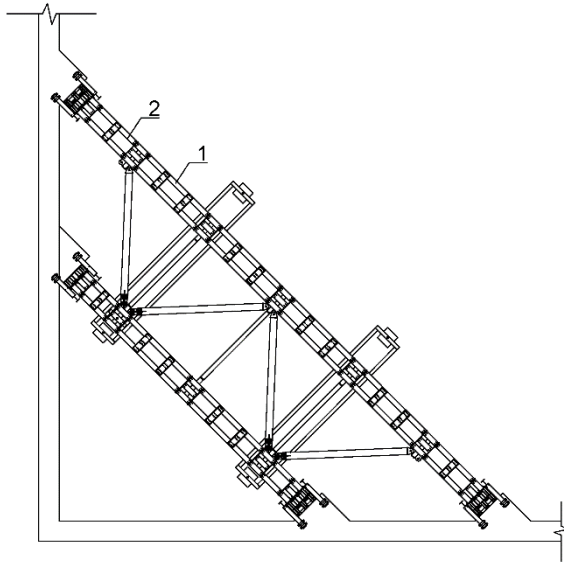


图 4.0.2-2 格构式钢角撑平面布置图

1—标准段，2—非标准段

4.0.3 预应力张弦梁由上弦梁、张弦梁撑杆、钢拉杆和预应力调节装置组成（图 4.0.3）。

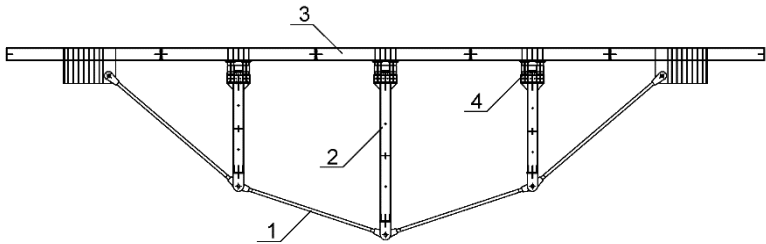


图 4.0.3 预应力张弦梁结构平面布置图

1—钢拉杆；2—张弦梁撑杆；3—张弦梁上弦梁；4—预应力调节装置

4.0.4 张弦梁钢支撑体系应设置预应力施加装置和自锁装置。

4.0.5 立柱（含立柱桩）和支承梁的布置应满足水平支撑结构的稳定性要求。

4.0.6 竖向支承结构与水平支撑结构之间应有可靠连接，连接方式可参考附录 D。

5 设 计

5.1 一般规定

5.1.1 张弦梁钢支撑体系的设计和选型应根据基坑的平面形状、深度和施工工况等因素综合确定。

5.1.2 张弦梁钢支撑体系构件的材料应符合下列规定：

1 钢对撑或钢角撑结构中的撑杆应采用屈服强度不低于 Q355B 的钢材，直缀条和斜缀条应采用屈服强度不低于 Q235B 的钢材，材料应符合现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 和现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的规定；

2 预应力张弦梁结构中的撑杆和上弦梁应采用屈服强度不低于 Q355B 的钢材，应符合现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定，预应力钢拉杆应采用屈服强度不低于 Q550MC 高强钢拉杆，其材料及性能应符合现行国家标准《钢拉杆》GB/T 20934 的规定。

5.1.3 张弦梁钢支撑体系的平面布置应遵循下列原则：

1 同层水平支撑结构体系宜与基坑冠梁（腰梁）形成封闭整体结构，张弦梁应与对撑或角撑配合使用，形成完整支撑结构体系，其中撑杆结构构件、预应力钢拉杆及上弦梁的中心线应与基坑冠梁（腰梁）的中心线在同一标高处；

2 张弦梁钢支撑体系构件宜避开主体结构的墙、柱等竖向构件；

3 张弦梁钢支撑体系的布置应考虑基坑土方的开挖、运输及地下结构的施工；

- 4 张弦梁钢支撑体系可与钢筋混凝土支撑结构配合使用；
- 5 张弦梁钢支撑体系至基坑底的净高不宜小于 3m；
- 6 张弦梁钢支撑体系至其下主体结构底（楼）板间净高不宜小于 0.5m。

5.1.4 张弦梁钢支撑体系的预应力施加装置，应具备多次施加预应力的功能。

5.1.5 张弦梁钢支撑体系构件及其连接的承载力计算应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定执行。

5.2 作用力计算

5.2.1 张弦梁钢支撑体系的设计计算，应考虑下列作用：

- 1 基坑挡土结构（冠梁或腰梁）传至钢支撑结构的水平作用力；
- 2 当温度改变引起的支撑结构内力不可忽略时，应考虑温度作用；
- 3 因土体开挖引起的立柱竖向位移产生的作用；
- 4 钢支撑结构体系的自重及活荷载。

条文说明： 张弦梁钢支撑体系竖向刚度较小，不能用作施工机械等重载作用施工平台，但支撑之上需考虑施工人员行走荷载、支撑检修荷载以及预应力复加时操作荷载，宜考虑不小于 1kN/m 的竖向活荷载。

目前内支撑计算一般不考虑支撑立柱与挡土构件之间、各支撑立柱之间的差异沉降。但当差异沉降较大时，在支撑构件上增加的偏心距，会使水平支撑产生次应力。因此，当预估或实测差

异沉降较大时，应按此差异沉降量对内支撑进行计算复核并采取措施。

5.2.2 对于采用张弦梁钢支撑体系的基坑挡土结构的设计，宜采用平面杆系结构弹性支点法进行计算，对弹性支点施加的预应力及支撑刚度的验算应根据基坑变形控制要求确定。

5.2.3 支撑体系的弹性支点刚度系数应通过对钢支撑结构体系整体线弹性分析所得出的支点力与水平位移关系确定。

条文说明： 考虑到张弦梁钢支撑体系受力较为复杂，采用常规的经验公式较难准确得到弹性支点刚度系数，因此张弦梁钢支撑体系的弹性支点刚度系数宜通过对内支撑结构进行整体分析得出的支点力与水平位移关系确定。

对于支撑体系的水平对撑和角撑，当支撑腰梁或冠梁的挠度可忽略不计时，计算宽度内弹性支点刚度系数（ k_R ）可按下式进行估算，具体支撑刚度系数尚应通过整体线弹性分析确定：

$$k_R = \frac{\alpha_R E A b_a}{\lambda l_1 s}$$

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 $\lambda=0.5\sim 1.0$ ，且差异大时取大值，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 $\lambda=1$ ；

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

E ——支撑材料的弹性模量（kPa）；

A ——支撑的截面面积（ m^2 ）；

l_1 ——受压支撑构件的长度（m）；

s ——支撑水平间距（m）。

5.2.4 支撑体系设计时，先利用预估的支撑体系弹性支点刚度系数计算各支点所承受的水平力及所需预加荷载，根据所求得的支撑体系水平力进行支撑体系的构件设计，可按平面杆系结构计算分析。在支撑体系构件截面确定后，重新求取支撑体系的弹性刚度系数，并对支撑体系受力及基坑变形进行复核。

条文说明： 基坑支挡结构的计算有平面分析方法和空间分析方法两类计算方法。

1 平面分析的计算方法。该计算方法将张弦梁钢支撑体系分解为挡土结构和支撑体系分别独立分析。挡土结构根据现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 采用平面杆系结构弹性支点法进行分析；内支撑结构可按平面结构进行分析，挡土结构传至内支撑的荷载应取挡土结构分析时得出的支点反力。对挡土结构和内支撑结构分别进行分析时，应考虑其相互之间的变形协调；

2 空间分析的计算方法。该计算方法主要适用于空间效应明显的基坑工程。对于有明显空间效应的深基坑工程，平面分析作了过多的简化而不能反映实际结构的变形情况。空间分析方法可采用支护结构与张弦梁支撑体系共同作用的三维“m”法和考虑土与支护结构共同作用的整体分析两种方法进行计算。三维“m”法继承了平面竖向弹性支点法中“m”法的计算原理，建立支护结构、水平支撑与竖向支撑系统共同作用的三维计算模型并采用有限元方法进行求解。考虑土与支护结构共同作用的分析方法是按基坑实际工况进行三维模拟分析，该方法是岩土工程计算方法的发展方向，但需要可靠的计算参数，目前其结果直接应用工程设计尚不成熟。

实际工程中从可操作性角度考虑更普遍采用平面分析的计算方法，即将张弦梁钢支撑体系支挡结构分解为挡土结构和支撑体系分别独立分析。采用该计算方法计算时，需要确定支挡结构的弹性支点刚度系数。现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 尚无公式可直接计算该支撑体系的弹性支点刚度系数。目前该支撑体系的弹性支点刚度系数可通过对张弦梁钢支撑体系整体建模进行线弹性结构分析后，根据计算分析结果得出的支点力和水平位移关系进行确定。当基坑平面形状方正规则时，计算宽度范围内的弹性支点刚度系数可采用以下公式进行计算，此时对撑平均刚度可根据现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 计算，张弦梁刚度可通过单独建模计算。

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}}$$

式中： K ——挡土结构计算宽度范围内弹性支点刚度系数
(kN/m)；

K_1 ——钢对撑或钢角撑的平均刚度，可按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定取值
(kN/m)；

K_2 ——张弦梁的平均刚度，可通过对张弦梁结构进行线弹性结构分析得出的支点力和水平位移关系确定
(kN/m)。

5.2.5 张弦梁钢支撑体系的承载力计算和变形验算，应符合下列规定：

- 1 支撑构件应根据支撑体系计算的内力结果进行截面验

算；

- 2 钢对撑、钢角撑和张弦梁上弦梁应按压弯构件计算；
- 3 支撑构件承载力计算应考虑偏心误差的影响，偏心距不宜小于支撑计算长度的 $1/1000$ ，且不宜小于 40mm 。

5.2.6 支撑构件在强度验算时应考虑螺栓孔对截面削弱的不良影响；在计算稳定性和变形时可不考虑螺栓孔的影响。

5.3 张弦梁

5.3.1 张弦梁可根据承受的水平荷载和基坑变形控制要求，在满足本节承载力计算的前提下，按附录 A 选择张弦梁的型号，并应符合下列规定：

- 1 张弦梁拉杆整体应呈弧状；
- 2 张弦梁端部拉杆与上弦梁夹角不宜小于 30° 。

条文说明： 张弦梁选型过程一般为：首先结合基坑工程地质条件、基坑挖深和环境保护要求，通过计算确定基坑竖向支撑的道数，然后根据可适用的张弦梁型号，最后根据可适用的张弦梁型号，并结合基坑形状、土方挖运及地下结构施工等综合因素合理布置张弦梁钢支撑体系的平面。待支撑平面布置完成后还需经过整体平面或三维计算，复核位移及承载力等，以最终确定所有构件的规格。

附录 A 为常用的、已在工程中得到实践的张弦梁型号，实际工程中可在满足本规程规定的基础上，结合具体情况通过计算确定其他合理有效的张弦梁型号。

5.3.2 张弦梁拉杆的设计计算应符合下列规定：

1 张弦梁受力计算简图宜按图 5.3.2 采用；

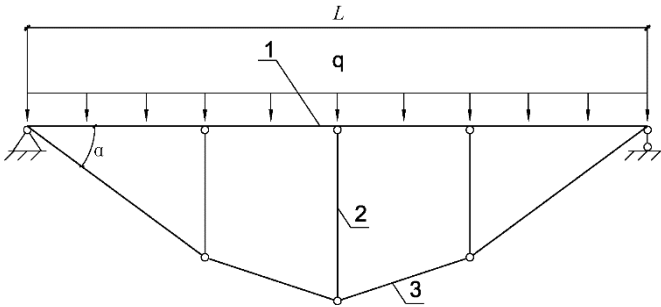


图 5.3.2 张弦梁受力简图

1—张弦梁上弦梁；2—张弦梁撑杆；3—下弦钢拉杆

2 拉杆轴力设计值应按下式计算：

$$P = k_1 \times \frac{qL_n/2}{\sin \alpha} \quad (5.3.2-2)$$

式中：P——轴心压力设计值（kN）；

k_1 ——轴力放大系数，取 1.1；

q ——张弦梁钢支撑体系的水平荷载设计值（kN/m），即预应力作用的基坑支护结构按弹性支点法计算所得的支点力计算确定；

α ——张弦梁端拉杆与张弦梁上弦梁的夹角。

3 钢拉杆的截面强度应按下式计算：

$$\frac{P}{A_n} \leq k_2 f_u \quad (5.3.2-3)$$

式中： A_n ——净截面面积（ m^2 ）；

k_2 ——强度折减系数，取 0.9；

f_u ——钢拉杆抗拉强度设计值（ N/mm^2 ）。

条文说明： 张弦梁的撑杆在施加预应力和使用过程中会在以下几个方面产生预应力损失：1) 千斤顶在给张弦梁撑杆施加预应力时，受力端板未与千斤顶平齐放置产生的摩擦损失；2) 拉杆锚固端未拧紧产生的松弛损失；3) 后顶紧撑杆对前顶紧撑杆已有内力产生的序次损失；4) 因张弦梁撑杆顶紧过程构件压实产生的变形损失；5) 因张弦梁撑杆温度变化产生的预应力损失等。因此张弦梁构件应采用更高的加工精度、多次施加预应力、控制温度影响。

5.3.3 张弦梁撑杆的强度和稳定性验算，应符合下列规定：

- 1 张弦梁撑杆内力宜按平面整体计算取值；
- 2 杆件之间的连接宜按铰接计算；
- 3 张弦梁撑杆宜按轴压构件计算。

条文说明： 张弦梁钢支撑体系杆件之间的连接节点基本上均采用端板平齐螺栓连接的方式，翼缘与翼缘之间未连接，因此杆件之间连接节点按铰接考虑。

5.3.4 张弦梁上弦梁的强度、刚度和稳定性验算应符合《钢结构设计标准》GB 50017 的要求。

条文说明： 张弦梁钢支撑体系中，张弦梁上弦梁为压弯构件，以承受轴力为主，弯矩相对较小，由此张弦梁上弦梁不必按照完全抗剪连接进行设计。但考虑到组合型钢的抗弯承载力与其界面抗剪连接程度有关，在进行张弦梁上弦梁的承载力和变形计算时，其截面模量及抗弯刚度应按照界面的实际连接情况进行计算，可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定进行计算。

5.3.5 张弦梁上弦梁与挡土结构的间隙宜采用强度等级不低于 C30 的细石混凝土填充密实或采用其他可靠连接措施。

条文说明： 当腰梁与挡土结构之间设置 T 形传力件时，T 形传力件与钢腰梁及挡土结构之间应连续焊接。当挡土结构为灌注桩、型钢水泥土搅拌墙、钢板桩时，每根支护桩均需设置 T 形传力件；当挡土结构为地下连接墙时，T 形传力件间距不宜大于 1m。对三角连接件等受剪力较大区域，应在 T 形连接件基础上增加额外构造连接，如增加浇筑细石混凝土并设置抗剪螺栓或抗剪键。当挡土结构为灌注桩或地下连续墙时，传力件与挡土结构间采用过渡钢板连接。当挡土结构为型钢水泥土搅拌墙或钢板桩时，传力件与挡土结构间可直接焊接。

5.3.6 **当周**边环境和地质条件较好时，可直接利用冠（腰）梁代替张弦梁上弦梁（图 5.3.6），并应符合下列规定：

1 预埋拉杆宜锚固至冠（腰）梁外侧，并在冠（腰）梁外侧设置反牛腿增大冠（腰）梁截面面积，反牛腿应根据计算配筋；当预埋拉杆不能锚固至冠（腰）梁外侧时，可锚固至（腰）梁中；

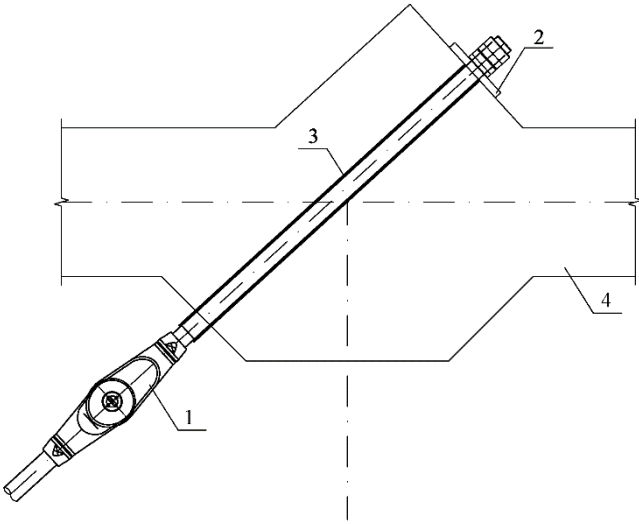
2 钢对撑与钢角撑与张弦梁预埋拉杆连接处应设置牛腿增大冠（腰）梁截面面积，同时应增大张弦梁预埋拉杆的预埋长度，牛腿应根据计算配筋；

3 预埋拉杆预埋段应设置保护钢套，在锚固点应设置可靠的锚固构件，预埋长度宜大于 2m；

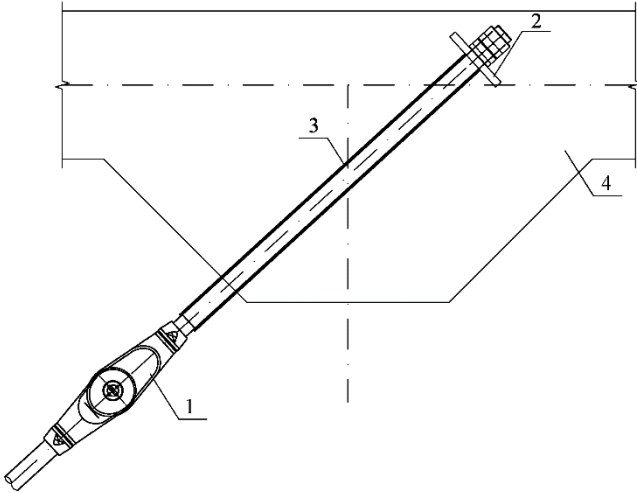
4 张弦梁预埋拉杆位置与方向应使钢对撑、钢角撑能分担坑内方向的荷载；

5 冠（腰）梁应在张弦梁预埋拉杆节点处进行受压承载力

和抗剪承载力计算。



(a) 张弦梁预埋拉杆锚固点在冠(腰)梁外侧



(b) 张弦梁预埋拉杆锚固点在冠（腰）梁中

图 5.3.6-2 张弦梁预埋拉杆构造图

1—张弦梁预埋拉杆；2—锚固构件；3—保护钢套；4—冠（腰）梁

5.4 钢对撑和钢角撑

5.4.1 钢对撑、钢角撑、张弦梁撑杆和张弦梁上弦梁的截面强度应按下列式计算：

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{W_{nx}} \pm \frac{M_y}{W_{ny}} \leq f \quad (5.4.1)$$

式中： N ——轴心压力设计值（kN），可由考虑预应力作用的基坑支护结构按弹性支点法计算所得的支点力计算确定；

A_n ——净截面面积（ m^2 ）；

M_x 、 M_y ——同一截面处绕 x 轴和 y 轴的弯矩设计值（ $kN \cdot m$ ）；

W_{nx} 、 W_{ny} ——对 x 轴和 y 轴的净截面模量（ m^3 ）；

f ——钢材强度设计值（ N/mm^2 ）。

5.4.2 格构式对撑或角撑的整体稳定性应按下列式验算：

$$\frac{N}{\varphi_y A} + \frac{\beta_{tx} M_x}{W_x} + \frac{\beta_{ty} M_y}{W_y (1 - \varphi_y \frac{N}{N_{Ey}})} \leq f \quad (5.4.3-1)$$

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{W_x (1 - 0.8 \frac{N}{N_{Ex}})} + \frac{\beta_{ty} M_y}{W_y} \leq f \quad (5.4.3-2)$$

式中： λ_x ——组合截面 x 方向长细比， $\lambda_x = \left(\frac{l_0}{i_x} \right)$ ；

λ_y ——组合截面 y 方向长细比， $\lambda_y = \left(\frac{\mu l_0}{i_y} \right)$ ；

λ'_y ——组合截面 y 方向等效长细比， $\lambda'_y =$

$$\sqrt{\left(\frac{l_0}{i_y}\right)^2 + \frac{m}{2}\lambda_{yi}^2};$$

N'_{Ex} ——参数， $N'_{Ex} = \pi^2 EA / (1.1\lambda_x'^2)$ ；

N'_{Ey} ——参数， $N'_{Ey} = \pi^2 EA / (1.1\lambda_y'^2)$ ；

m ——组合构件肢数，见图 5.4.2；

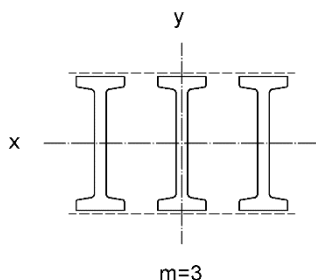


图 5.4.2 钢对撑和钢角撑组合构件肢数示意图

l_0 ——相邻立柱的纵向间距 (m)；

φ_y ——对 y 轴的轴心受压构件稳定系数，根据现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 取用；

β_{mx} 、 β_{my} ——弯矩作用平面内稳定计算的等效弯矩系数，取

1.0；

β_{tx} 、 β_{ty} ——弯矩作用平面外稳定计算的等效弯矩系数，取

1.0；

条文说明： 本条规定中组合截面 y 方向等效长细比参考了日本《钢构造座屈设计指针》中组合受压构件的有效长细比的计算方法。

5.4.3 钢对撑与钢角撑的构造应符合下列规定：

1 钢对撑、钢角撑与冠（腰）梁的截面中心线应在同一平面上；

2 钢对撑、钢角撑组合构件宜采用标准件连接拼装，减少非标件选用；

3 钢对撑、钢角撑组合构件中 H 型标准件之间的间距宜按 500mm 为模数进行设置。

条文说明： 本条规定是为了避免钢对撑、钢角撑与张弦梁不在同一标高产生次应力；支撑杆件拼接节点强度不宜小于杆件强度，端板平齐拼接一般不能满足等强要求，可采用法兰拼接或翼缘增设连接板法拼接；钢对撑、钢角撑组合构件之间的间距一般取 500mm、1000mm 和 1500mm 三种。

5.4.4 缀板的设计与构造应符合下列规定：

1 在钢对撑、钢角撑的上翼缘和下翼缘均应设置缀板，缀板宜上下对应布置；

2 缀板应根据现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 相关规定进行验算；

3 钢对撑或钢角撑连接缀板的螺栓数量应通过计算确定，且每侧不应少于 4M24。

条文说明： 钢对撑、钢角撑采用 H 型组合构件，为了保证 H 型在较大轴向压力作用下的稳定性，钢对撑、钢角撑 H 型组合构件上下翼缘应对称设置缀板。钢对撑、钢角撑盖板布置时，下翼缘缀板遇支承梁时可取消，以支承梁替代相应位置缀板的作用。

5.4.5 预应力装置的设置宜符合表 5.4.7 的要求：

表 5.4.7 预应力装置的设置要求

支撑长度	数量	设置位置
30m 以内	1	支撑端部
30m~60m	1 或 2	支撑端部
60m 以上	2	支撑两端各一个

条文说明： 考虑到当支撑长度较长时，支撑自身压缩变形以及支撑与托梁连接之间的摩擦影响等不利因素，仅在支撑的一端施加预应力，难以保证另一端产生的预应力效果，因此本条结合工程实践经验，对不同长度的支撑规定了预应力装置的数量及安装位置，以确保对钢对撑、钢角撑施加预应力控制基坑变形的效果。

5.5 立柱和连接件设计

5.5.1 支撑竖向支承系统可采用格构式钢立柱、H 型钢柱或其它类型立柱。

条文说明： 采用 H 型钢柱和矩形钢管混凝土柱作为钢支撑的竖向支承时，其拼接节点宜设置在基底以下。当地基土土质条件较差时，若基坑设置多道张弦梁钢支撑体系，考虑到立柱隆起对钢支撑的影响，竖向支承系统宜采用灌注桩内插格构式钢立柱的形式。

5.5.2 立柱的设计及构造应按《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定执行。

5.5.3 竖向支承连接件的设计和构造应符合下列规定：

1 立柱与张弦梁、钢对撑或钢角撑之间应设置可靠的支承梁和托座进行连接，支承梁和托座应能对连接位置的支撑侧向和

竖向位移进行有效约束；

2 支承梁宜按简支梁进行强度和挠度的验算，其最大计算挠度不应大于支承梁支点间最大距离的 $1/400$ 。

5.6 预应力设计

5.6.1 张弦梁钢支撑体系预应力的施加应符合下列规定：

1 应按“先钢对撑、钢角撑，后张弦梁”的顺序分级循环施加预应力；

2 应在预应力施加完毕后拧紧张弦梁与张弦梁上弦梁间的螺栓和支承梁与支撑间的螺栓。

5.6.2 与张弦梁连接的钢对撑和钢角撑在预应力施加过程中宜对钢支撑和张弦梁撑杆的轴力进行监测，并根据预应力损失情况予以补偿，且应在达到预应力设计值并保持稳定后锁定。

条文说明： 本条给出了张弦梁撑杆、钢对撑、钢角撑构件的预应力施加的原则。张弦梁钢支撑体系拼装完成后，进行预应力的施加。由于水平支撑系统是一个整体，钢对撑、钢角撑以及张弦梁的受力相互关联影响，因此预应力施加过程应分多级荷载循序施加，并反复调整预应力确保各个构件的预加轴力达到设计要求。

5.6.3 采用张弦梁钢支撑体系的基坑工程，应在支撑体系安装完成、施加的预应力达到设计值后方可开挖下层土方。在基坑工程实施过程中，应根据预应力变化情况和基坑变形控制需要调整预应力。

6 施 工

6.1 一般规定

6.1.1 张弦梁钢支撑体系的安装、拆卸单位应具有钢结构工程专业承包企业资质。

6.1.2 张弦梁钢支撑体系的安装、拆卸单位应具备安全管理保证体系，有健全的安全管理制度。

6.1.3 张弦梁钢支撑体系安装前，应编制专项施工方案，指导作业人员实施安装、拆卸作业。专项施工方案应根据实际情况编制，并应符合国家现行相关标准的规定。专项施工方案应由本单位技术、安全、设备等部门审核、技术负责人审批后，经监理单位批准实施。

6.1.4 张弦梁钢支撑体系施工前应编制专项施工方案，方案应包含以下内容：

- 1 工程概况；
- 2 施工场地平面布置图；
- 3 安装详图；
- 4 安装顺序和安全质量要求；
- 5 预应力施加技术要求和控制要点；
- 6 竖向支承与水平支撑体系施工技术要求；
- 7 土方开挖方法和流程；
- 8 换撑与拆撑的技术要求；
- 9 施工机械、设备和人工的分配方案；
- 10 基坑监测内容；

- 11 重大危险源和安全技术措施；
- 12 应急预案。

条文说明： 采用装配式预应力张弦梁基坑钢支撑结构体系的基坑工程可采用如下的取土方法：在支撑下方的立柱之间，开挖运土通道，运土车顶部与支撑底部最小净距不应小于 300mm，在通道两侧的立柱上设置反光防撞栏杆和警示标贴，通道上方支撑设置反光警示标贴。运土通道坡度不宜大于 1:8，其侧向土坡比不宜大于 1:3。软弱土层应作处理或铺设路基箱、钢板后方可作为运土通道使用。

装配式预应力张弦梁基坑钢支撑结构体系专项施工方案应包含完备的应急预案。常见的险情及相应的应急预案有：

1 对撑、角撑向坑内水平位移接近或达到报警值。在基坑开挖过程中由于外部条件变化或者水土压力增大等原因引起角撑或者对撑位置向坑内的水平位移超过了报警值，应启动应急预案。应急预案为：在相应的角撑或者对撑上，使用液压千斤顶，调节支撑轴力，并监测变形，直至变形稳定，然后锁定轴力。要求调节过程中，缓慢加压，实时反馈变形的监测结果和变化趋势，以调整加载速率和加载量。

2 张弦梁处冠梁向坑内水平位移接近或达到报警值。应急预案为：对张弦梁已加预应力的撑杆进行补预应力，可以控制和减小冠梁的变形。

3 张弦梁上弦梁轴向应力接近或达到报警值。应急预案：在受压段型钢腰梁内，灌入速凝、微膨胀混凝土，要求 20min 内产生强度。

4 对撑或角撑应力接近或达到报警值。应急预案为：先在对

撑、角撑端部位置的挡土结构处堆土反压，然后增加对撑或角撑型钢数量以降低支撑应力。

5 连接螺栓断裂。应急预案为:当断裂螺栓处有较多螺栓孔时，在剪断处增加连接螺栓数量或焊接。当螺栓无法增加时，可在剪断处加焊钢板连接。

6.1.5 张弦梁钢支撑体系安装前，应进行外观检查，并核查、归档相关质量文件。

6.1.6 张弦梁钢支撑体系应在立柱、预埋构件和支架平台等竖向支承构件设置完成后，按照“先对撑、角撑，后张弦梁”的顺序进行安装。

6.1.7 安装完成后，应办理分项工程质量验收。

6.1.8 实施张弦梁钢支撑体系拆卸作业，应由施工总承包单位、监理单位、设计单位等确认满足拆卸条件后，方可实施拆除作业。

6.1.9 起重机械安装拆卸作业前，应当向现场管理人员和作业人员进行安全技术交底。

6.1.10 张弦梁钢支撑体系在换撑完全之后方可拆卸，拆撑顺序应先张弦梁，后对撑、角撑。

6.2 预埋件

6.2.1 张弦梁钢支撑体系与砼结构连接必须采用预埋方式，不得采用后锚固方式。

条文说明：张弦梁上弦梁与混凝土冠梁（或腰梁）通过预埋件进行连接，其中预埋件的施工顺序为：混凝土冠梁（或腰梁）模

板施工→混凝土冠梁（或腰梁）钢筋绑扎→安装预埋件→浇筑混凝土、养护成型。

嵌入混凝土梁中的预埋件会对混凝土梁造成截面削弱，设计时应增大混凝土梁截面。

6.2.2 预埋件制作精度应符合《钢筋混凝土结构预埋件》16G362要求，且尺寸不应小于设计尺寸。

6.2.3 预埋件安装前应对其截面尺寸、规格型号进行检查，满足要求后方可进行施工。

6.2.4 预埋件总成不宜解体安装，就位后应采取临时固定措施。

6.2.5 预埋件的埋设应符合以下要求：

1 预埋位置应与设计图相符，水平方向允许偏差±30mm，竖直方向允许偏差±30mm，当不满足时，施工单位应提出合理的构造措施，报设计单位确认；

2 预埋件端板应保持足够的垂度，与水平线夹角不大于 3° ，且轴向转角不宜大于 3° 。

6.2.6 预埋件安装后应等混凝土满足使用要求之后方可使用。

6.3 构件安装

6.3.1 张弦梁钢支撑体系的安装应按施工组织设计进行，安装程序必须保证结构的稳定性且不会导致永久性变形。

6.3.2 张弦梁钢支撑体系安装前，应对构件的外形尺寸，连接件位置，摩擦面处理等进行详细检查，对构件的变形，缺陷，应在地面进行校正修复，合格后方可安装。

6.3.3 张弦梁钢支撑体系安装过程中，现场进行制孔、焊接、组

装、涂装等工序的施工应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

6.3.4 张弦梁钢支撑体系在吊装前应清理表面上的油污，泥沙和灰尘等杂物。

6.3.5 张弦梁钢支撑体系安装前应对冠梁轴线和标高，预埋件位置进行检查、验收。

6.3.6 张弦梁钢支撑体系在安装过程中，应根据设计和施工工况要求，采取措施保持结构整体稳固性。

6.3.7 张弦梁钢支撑体系的安装应符合下列要求：

1 张弦梁钢支撑体系宜根据现场吊装与运输条件，在工厂进行预拼装；

2 张弦梁钢支撑体系的安装顺序应符合设计文件要求；

3 张弦梁钢支撑体系起吊宜采用两点起吊，吊点距离梁中不小于 2 米；

4 张弦梁钢支撑体系对撑梁就位后应立即采用采用与永久螺栓直径相同的安装螺栓作临时固定连接，安装螺栓的数量不宜小于节点总螺栓数的 1/3，且不应小于 2 个；临时固定结束后应拆除锁具；

5 张弦梁钢支撑体系的连接螺栓应用扭力扳手安装；

6 张弦梁钢支撑体系面的标高及两端高差可采用水平仪和标尺进行测量，校正完成后应进行永久性连接。

7 焊接时应采取防止焊接变形的措施，且严禁在构件上打火引弧。

8 张弦梁钢支撑体系安装时，应分析日照，焊接等因素可能引起的构件伸缩或者变形，并采取相应措施。

条文说明： 为保证螺栓连接构件之间力的传递，并考虑到装配式预应力张弦梁基坑钢支撑结构体系安装和拆除的工效，经检测确定连接螺栓 M24 的终拧扭矩不小于 $105\text{N}\cdot\text{m}$ 是合适的。施工单位应在基坑实施过程中定期检查螺栓松紧度是否满足要求。

6.3.8 张弦梁系统杆件、对撑、角撑与连接件的安装应符合下列规定：

- 1 H 型钢构件拼接接头中心线的允许偏差不应超过 $\pm 5\text{mm}$ ；
- 2 支撑中心线与预埋件端板的水平和竖向偏差不应超过 $\pm 5\text{mm}$ ；
- 3 对撑、角撑拼接完成后两端竖向的允许偏差不应超过 $\pm 20\text{mm}$ ；
- 4 张弦梁系统安装完成后相邻两根撑杆竖向的允许偏差不应超过 $\pm 3\text{mm}$ ；
- 5 支撑之间水平轴线的允许偏差不应超过 $\pm 30\text{mm}$ ，支撑、张弦梁系统拉杆和撑杆与冠梁之间夹角的允许偏差不应超过 $\pm 1^\circ$ ；
- 6 设计要求顶紧的节点，顶紧的接触面不应小于 70%，且边缘最大间隙不应大于 0.8mm 。

6.4 预应力施加及控制

6.4.1 预应力施加方法、施加顺序、施加程序以及预应力大小应符合设计要求；施加预应力时，结构的形态、荷载工况、支撑条件及支座约束条件应与设计要求相一致。

6.4.2 与拉杆相连的钢构节点形式及其构造应满足施加预应力工

艺的要求；当不满足时，施工单位应提出合理的构造措施，报设计单位确认。

6.4.3 根据预应力的大小，选择合适的预应力机具，并设计合理的预应力工装。预应力设备与仪表、测力传感器等应进行计量标定，并在有效使用期内。

6.4.4 对影响结构变形的支撑、平台等附属结构，应在施力前予以脱离。

6.4.5 施加预应力时可直接用千斤顶与配套校验的压力表监控施加的预应力大小，也可用安装在端头处的测力传感器或其他测力装置同步监控施加的预应力。

6.4.6 预应力的施加应遵循对称、同步、缓慢匀速的加载原则，且在施力过程中保证冠梁与端节点始终有效连接，避免由于机具的失常或操作失误引发安全事故。

条文说明： 为了保证预应力的均匀施加，预应力宜分三级释放。第一次先加压张弦梁撑杆至设计预应力的 30%，再加压对撑和角撑至设计预应力的 30%；第二次先加压张弦梁撑杆至设计预应力的 40%，再加压对撑和角撑至设计预应力的 40%；第三次先加压张弦梁撑杆至设计预应力的 30%，再加压对撑和角撑至设计预应力的 30%。施加时，应按均匀、对撑、分级的原则执行，先施加桁架钢支撑部分，再施加张弦梁系统撑杆部分。

6.4.7 施加预应力前，应确定以预应力控制为主或结构变形控制为主的原则。对结构重要部位宜进行预应力和变形双控，并规定预应力和结构变形的允许偏差。

6.4.8 为弥补预应力损失，可采取超应力加载措施。

6.4.9 施力时千斤顶和油泵位置不应存在较大高差，否则应调整

油泵上的压力表值，以弥补高差引起的千斤顶和油泵之间的油压差异，或在千斤顶的进油口增设压力表。

6.4.10 张弦梁的预应力施加还应满足下列要求：

1 在钢结构拼装完成且拉杆安装到位后，进行预加荷载，预加力宜取设计值的 10%~20%；

2 施力过程中应保证结构的平面外稳定。对平面张弦结构宜在撑杆结构间联系杆件安装完毕，并形成具有一定空间稳定体系后，再将预应力提升至设计值。

条文说明： 对张弦梁撑杆施加预应力时，采用“双控”措施，需对所采用的张弦梁撑杆进行标定，确定其拉力与伸长量的关系。根据标定得到的结果，通过测量其伸长量来检测张弦梁撑杆施加预应力锁定后其保留的预应力值。

6.4.11 当风力大于四级或雨雪天气、或环境温度高于 50℃或低于-5℃时，不应进行预应力施加，不宜在当天的最高温或最低温时段施加预应力。

6.4.12 施力时应做好详细记录。记录应包括：测量记录、日期，时间和环境温度，施力大小等。

6.5 基坑开挖

6.5.1 基坑开挖应考虑时空效应，应按照“分层、分段、分块、对称、平衡、限时”和“先撑后挖、限时支撑、严禁超挖”的原则施工。

6.5.2 张弦梁钢支撑体系施工要紧随挖土作业进行，随挖随撑，各层土开挖必须遵循先撑后挖原则。当基坑开挖面以上的支撑安

装及其预应力施加未达到设计要求时，禁止向下开挖。

6.5.3 基坑周边堆放的材料、施设荷载或者车辆荷载不应超过设计荷载限值。土方开挖不得影响张弦梁钢支撑体系的正常施工及使用。

6.5.4 土方工程车辆等直接进入基坑进行作业时，应采取措施保证的坡道稳定，坡道坡度不宜大于 1: 8，坡道的宽度尚应符合车辆行驶的要求。

6.5.5 基坑工程施工必须作到先撑后开挖，严禁超挖，及时回填。

6.5.6 基坑工程必须按照规定实施施工监测和第三方监测，指定专人对基坑周边进行巡视。严格按照监测信息指导施工，根据变形发展情况调整施工参数，如发现位移过大应及时采取措施，防止出现突发事故。

6.5.7 基坑工程在满足以上要求时尚应满足现行国标《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的相关要求。

6.6 支撑拆除及回收

6.6.1 在达到设计规定的拆除条件时方可拆除支撑。

6.6.2 拆撑时宜按对称的原则拆除内支撑。

6.6.3 张弦梁钢支撑体系拆除应符合下列规定：

1 张弦梁钢支撑体系拆除应遵循先释放预应力后拆除的原则；

2 预应力宜分级释放。待预应力全部释放完毕，拆除连接螺栓，分解吊运；

3 内力逐步释放的同时应加强基坑监测和巡视，发现异常时应及时采取有效措施。

6.6.4 卸载时应设置警戒线，疏散张弦梁钢支撑体系构件附近的人畜，清理影响释放应力的附着物等，并做好相应的防护措施。

6.6.5 遇大风、大雾、大雨、大雪等恶劣天气，严禁拆卸作业。

6.6.6 拆卸下的构件应有专门的堆场，并有序堆放。

6.6.7 拆卸下的构件宜进行专门的检查，对其的外观和性能做围护。

6.7 施工安全

6.7.1 张弦梁钢支撑体系工程施工应实行逐级安全技术交底制度。施工前，项目技术负责人应将有关安全施工的技术要求向施工作业班组、作业人员作出详细说明，并由双方签字确认；班组长应向班组作业人员进行安全技术措施交底。项目安全员负责对施工现场安全生产进行监督检查。

6.7.2 张弦梁钢支撑体系工程施工单位应建立安全生产教育制度。新进员工入场前必须完成公司、项目部、班组三级安全教育，未经安全教育的人员不得上岗作业。

6.7.3 张弦梁钢支撑体系工程施工单位应认真执行安全生产检查制度。对检查过程中发现的安全问题，应及时出具整改通知单，对存在严重问题的违章人员应依照奖罚制度进行处理。

6.7.4 施工人员进入施工现场，应戴安全帽，高空作业应系安全带，且不得乱放工具和物件。

6.7.5 预应力施工作业处应设置安全护栏和安全警示标志。

6.7.6 预应力施力和卸载作业区应设置明显的警戒标志，非作业人员不得进入作业区。

6.7.7 液压千斤顶必须与构件端部接触密合，位置准确对称。如需增加垫块，应保证其支脚稳定和受力均匀，并应有防止倾覆的技术措施。

6.7.8 施力时必须服从统一指挥，严格按照安全技术交底要求操作，压力表读数和千斤顶行程不得超过规定值，发现锚具碎裂、混凝土出现裂缝或破碎，锚垫板陷入混凝土等异常情况时，应停止张拉。

6.7.9 所有电器设备使用前应进行安全检查，及时更换或消除隐患；意外停电时，应立即关闭电源开关，严防电器设备受潮漏电。电气设备的金属外壳，应接地或接零，电气设备所用保险丝的额定电流应与其负荷容量相符，且不得用其它金属线代替。

6.7.10 施工人员应遵守施工现场有关安全生产的规定。

6.8 环境保护

6.8.1 施工项目部应针对工程具体情况，制定施工环境保护计划，落实责任人员，并组织实施。

6.8.2 施工过程中，对施力机具维修、运行、存储过程中的漏油，应采取有效的隔离措施，不得直接排放。漏油应统一收集并进行无害化处理。

6.8.3 现场灌浆用的灌浆材料应采取防水、防潮措施，并密闭存放管理。

6.8.4 施工过程中产生的建筑垃圾应进行分类处理，施工现场严

禁焚烧各类建筑垃圾和废弃物品。

6.8.5 夜间施工应办理相关手续，并采取减少声、光等污染的措施。

7 质量检验

7.1 一般规定

7.1.1 张弦梁钢支撑体系分项工程施工质量验收，应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和本规程的规定执行。

条文说明： 装配式预应力张弦梁基坑钢支撑结构体系是基坑工程中的一部分，施工过程的质量控制，是确保支护结构质量的基础，应把好每道工序关，严格按操作规程及相应标准检查，随时纠正不符合要求的操作。作为装配式支撑体系，必须分阶段、分批对各个构件进行检验，确保从原材料进场、构件加工、安装到整个支撑体系形成后的受力工作全过程的质量安全。

7.1.2 根据施工工艺，张弦梁钢支撑体系分项工程可划分为张弦梁钢支撑体系构件的进场、安装、拆卸等三个检验批。

7.1.3 张弦梁钢支撑体系分项工程检验批应进行质量验收（详附录 F）。

7.1.4 检验批合格质量应符合下列规定：

- 1 相关项目的质量经抽样合格；
- 2 具有完整的施工操作依据和质量检查记录。

7.1.5 张弦梁钢支撑体系分项工程的质量验收，应由监理工程师组织施工单位（含分包单位）项目技术负责人进行，并按张弦梁钢支撑体系分项工程质量验收统一用表做出记录。

7.1.6 张弦梁钢支撑体系分项工程质量验收合格应符合下列规定：

- 1 分项工程所含的检验批均符合合格质量的规定；
- 2 分项工程验收资料完整并符合验收要求。

7.2 验收记录

7.2.1 张弦梁钢支撑体系分项工程质量验收时，应提供如下验收文件：

- 1 张弦梁钢支撑体系分项工程设计文件、竣工图、图纸会审记录、设计变更文件；
- 2 张弦梁钢支撑体系分项工程施工组织设计技术交底记录；
- 3 张弦梁钢支撑体系主要构件出厂合格证，质量保证书和进场复验报告；
- 4 监测设备配套标定报告。

7.2.2 张弦梁钢支撑体系分项工程质量验收时，应提供如下验收记录：

- 1 张弦梁钢支撑体系安装隐蔽工程验收记录；
- 2 预应力施加记录；
- 3 检验批质量验收记录。

7.2.3 张弦梁钢支撑体系分项工程施工验收，除检查相关文件、记录外，尚应进行外观抽查。

7.2.4 当提供的文件、记录以及外观抽查结果均符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和本规程的要求时，即可进行验收。

8 监 测

8.0.1 装配式预应力张弦梁钢支撑监测内容应满足现行《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 和《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 规定。

8.0.2 装配式预应力张弦梁钢支撑宜针对以下构件或部位进行重点监测：

- 1 应力较大或应力变化较大的构件；
- 2 结构变形较大处；

条文说明： 装配式预应力张弦梁基坑钢支撑结构体系的监测是基坑工程监测的一部分。采用装配式预应力张弦梁基坑钢支撑结构体系时，其主要受力构件对撑、角撑和张弦梁撑杆均需施加较大的预应力，且基坑开挖阶段构件都处于较高应力的工作状态。预应力施加过程中和基坑开挖过程中，挡土结构及周边土体的深层水平位移会发生变化，且变化量较大时会直接影响受力构件的内力。水平支撑系统的平面外稳定也是不容忽视的，因此本条列出了该支撑体系中最为重要的几个监测项目。

8.0.3 装配式预应力张弦梁钢支撑监测内容及其测点布置宜根据计算结果确定，并考虑施工现场具体条件、安装程序及周边环境状况。

8.0.4 监测用传感器在使用前应进行校准。

8.0.5 监测频率应满足施工进度连续变化的要求。宜采用自动化监测手段，进行实时采集。

条文说明： 在张弦梁撑杆预应力施加阶段和工作阶段，需要实

时掌握支撑的内力变化情况，传统的监测方法采用人工采集监测数据，较难实现高频率的监测要求。所以，装配式预应力张弦梁基坑钢支撑结构体系的内力监测宜采用全自动连续监测系统。

8.0.6 装配式预应力张弦梁钢支撑监测轴力不应小于预加预应力。

8.0.7 基坑施工的安全性应分三级进行预警。一级预警为控制值的 0.7 倍；二级预警为控制值的 0.8 倍；三级预警为控制值的 0.9 倍。

8.0.8 当基坑施工的安全性达到一级预警时，宜密切关注监测数据的变化，并进行加密监测；当达到二级预警时，宜停止相关预警部位与环节的施工，并查明原因；当达到三级预警时，应停止整个基坑施工，会同相关参建单位共同分析原因，采取措施并经设计确认后，方可继续施工。

附录 A 张弦梁的构造和规格

(资料性附录)

A.0.1 张弦梁中撑杆的规格可按图 A.0.1-1、图 A.0.1-2 的构造形式根据表 A.0.1 选用。

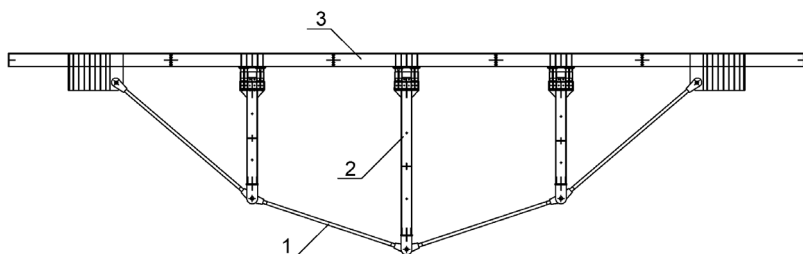


图 A.0.1-1 张弦梁结构示意图

1—下弦钢拉杆；2—张弦梁撑杆；3—张弦梁上弦梁

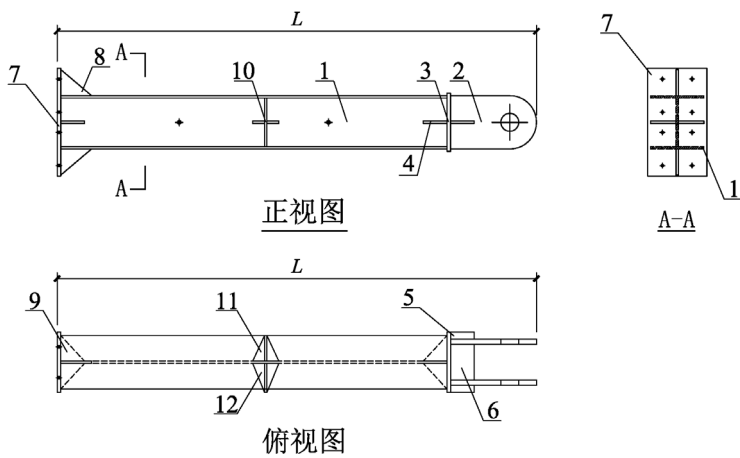


图 A.0.1-2 撑杆结构示意图

- 1—H 型钢；2—耳板连接板；3—耳板端板；4—耳板端板加劲肋 a；
 5—耳板端板加劲肋 b；6—耳板端板加劲肋 c；7—端板；8—端板加劲肋 a；
 9—端板加劲肋 b；10—支座板；11—支座板加劲肋 a；12—支座板加劲肋 b

表 A.0.1 张弦梁撑杆的规格

代号	长度 L (mm)			主材规格	销轴直径 D (mm)
	2 撑	3 撑	4 撑		
ST1	3000~4000	4000~7000	5000~8000	H400×400×20×20	120
ST2	3000~4000	4000~7000	5000~8000	H400×400×22×22	120
ST3	3000~4000	4000~7000	5000~8000	H450×450×20×20	150
ST4	3000~4000	4000~7000	5000~8000	H450×450×22×22	150

A.0.2 张弦梁高强拉杆的规格可按图 A.0.2 的构造形式根据表 A.0.2 选用。

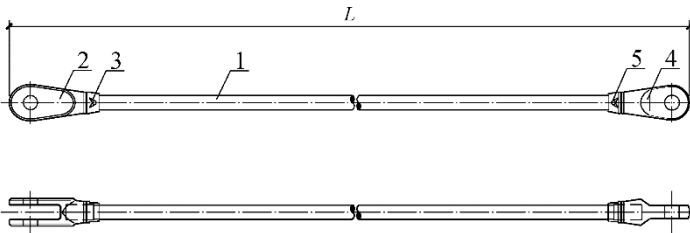


图 A.0.2 高强拉杆结构示意图

- 1—螺杆；2—双耳接头；3—紧锁螺母 a；4—单耳接头；5—紧锁螺母 b；

表 A.0.2 高强拉杆的规格

代号	标准拉杆	螺杆
	长度 L_1 (mm)	
PSR12	6000	$\varnothing 120$
PSR15	6000	$\varnothing 150$

附录 B 钢对撑和钢角撑

(资料性附录)

B.0.1 直撑杆的规格可按图 B.0.1 的构造形式根据表 B.0.1 选用。

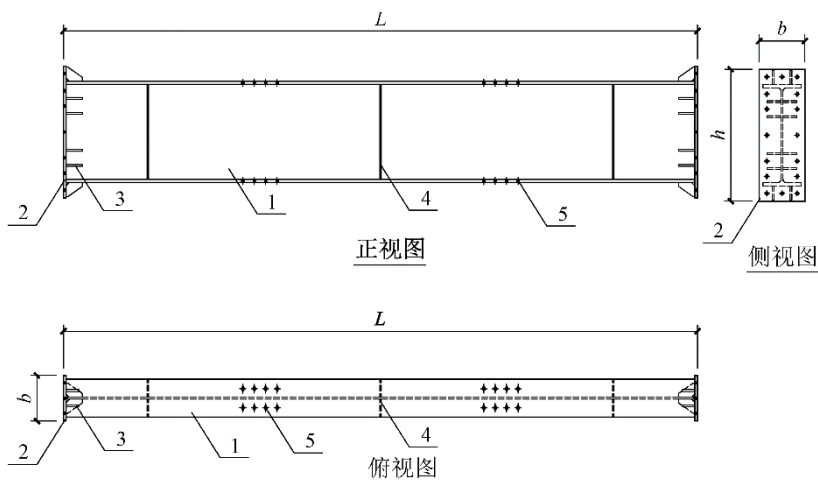


图 B.0.1 直撑杆结构示意图

1—H 型钢；2—端板；3—端板加劲肋；4—横向加劲肋；5—螺栓孔

表 B.0.1 直撑杆的规格尺寸

代号	主材规格	标准尺寸 (mm)	
		长度 L	模数
AR-L	H800×300×14×26	500~5000	100

B.0.2 直缀条的规格可按图 B.2.1 的构造形式根据表 B.2.1 选

用。

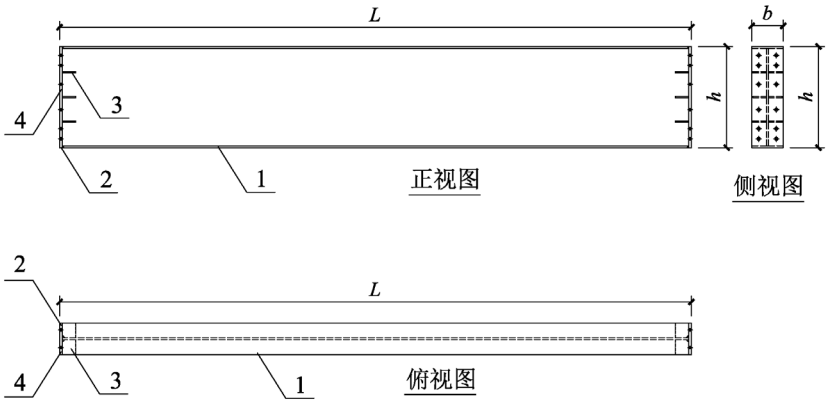


图 B.0.2 直缀条结构示意图

1—H 型钢；2—端板；3—端板加劲肋；4—螺栓孔

表 B.0.2 直缀条的规格尺寸

代号	主材规格	标准尺寸 (mm)	
		长度 L	模数
FB-L	H800×250×12×14	4500-5500	1000

B.0.3 斜缀条的规格可按图 B.0.3-1 和图 B.0.3-2 的构造形式根据表 B.0.3 选用。

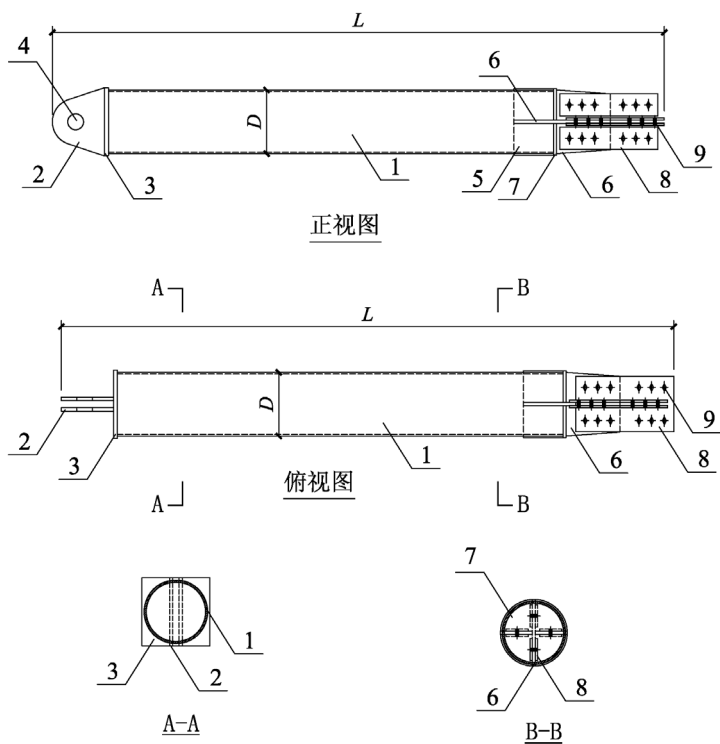


图 B.0.3-1 斜缀条结构示意图一

1—圆管；2—耳板；3—耳板端板；4—销轴；5—钢板；

6—连接板；7—端板；8—螺栓连接板；9—螺栓孔

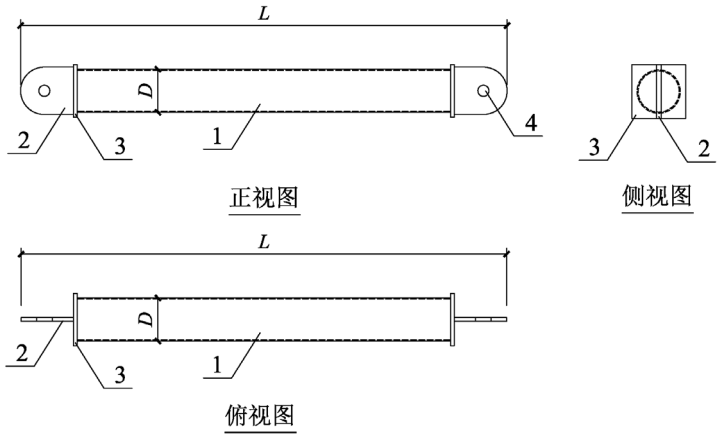


图 B.0.3-2 斜缀条结构示意图二

1—圆管；2—耳板；3—耳板端板；4—销轴；

表 B.0.3 斜缀条的规格尺寸

代号	主材规格	长度 L (mm)
FG1	$\varnothing 402 \times 14$	7825
FG2	$\varnothing 273 \times 8$	7170

B.0.4 缀条代号 HCL, 可按图 B.3.1 的结构形式采用槽钢[40a, 间距 2000mm。

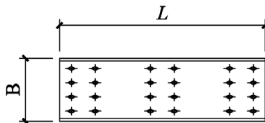
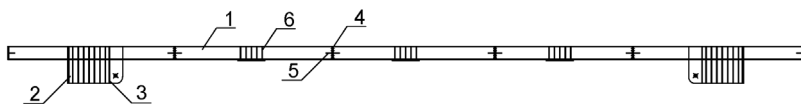


图 B.0.4 缀条示意图

附录 C 张弦梁上弦梁

(资料性附录)

C.0.1 张弦梁上弦梁的规格可按图 C.1.1 的构造形式根据表 C.1.1 选用。



1—H型钢；2—加劲肋 a；3—钢板；4—连接板；5—加劲肋 b；6—加劲肋 c

图 C.0.1 张弦梁上弦梁结构示意图

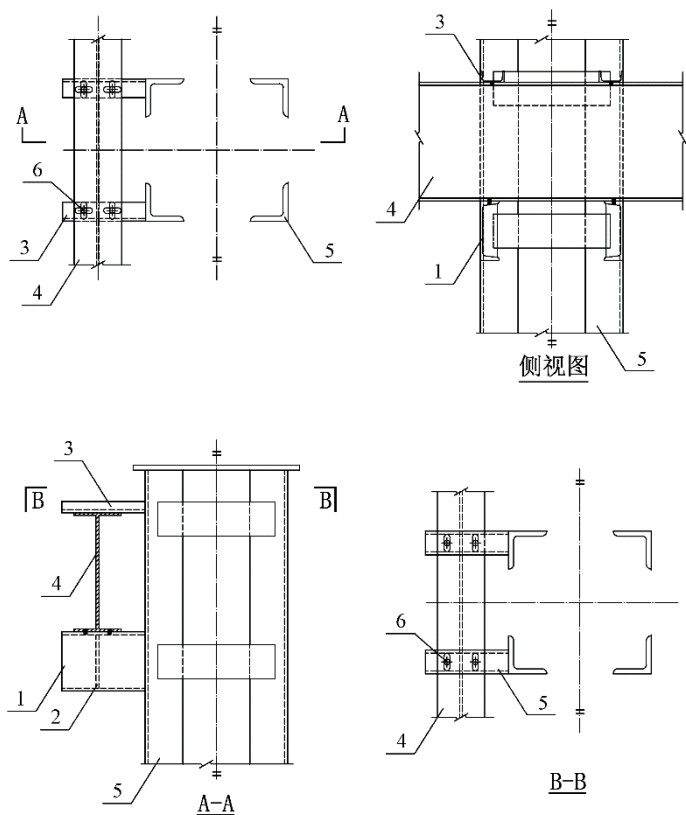
表 C.0.1 张弦梁上弦梁的规格

代号	主材规格	构件标准模数
WP-L	H500×500×25×25	500mm

附录 D 支撑竖向连接件

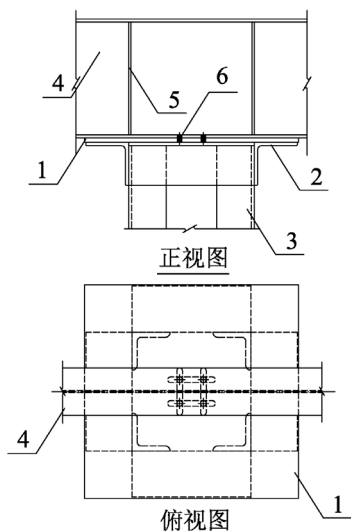
(资料性附录)

D.0.1 支撑与立柱的连接方式可采用图 D.0.1、图 D.0.2 的结构形式。



1—槽钢 a；2—加劲肋；3—槽钢 b；4—支承梁；5—立柱；6—螺栓孔

图 D.0.1 立柱与支撑竖向连接方式示意图



1—柱头盖板；2—角钢；3—立柱；4—支承梁；5—加劲肋；6—螺栓

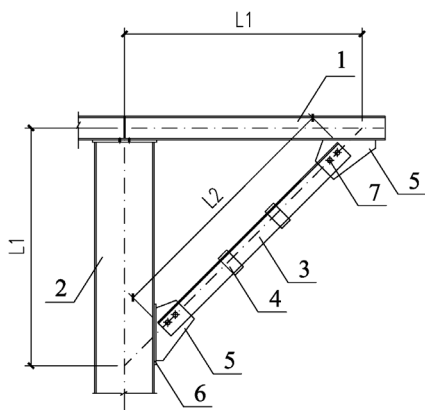
图 D.0.2 立柱与支撑竖向连接方式示意图

D.0.2 支承梁的规格可按表 D.0.2 选用。

表 D.0.2 支承梁的规格

代号	主材规格	标准尺寸 (mm)	
		长度	标准模数
SB1	H500×200×10×16	4500-13000	250
SB2	H250×250×9×14	4000-10000	500

D.0.3 托架的代号为 **AB**，规格可按图 D.0.3 采用双角钢 L160x100x12，通过连接板与立柱和支承梁拼接。



1—支承梁；2—立柱；3—双角钢；4—连接板；5—支座板；6—垫板

图 D.0.3 托架结构示意图

D.0.4 U 型卡扣代号 SF 可按图 D.0.4-1 和 D.0.4-2 的构造形式采用。

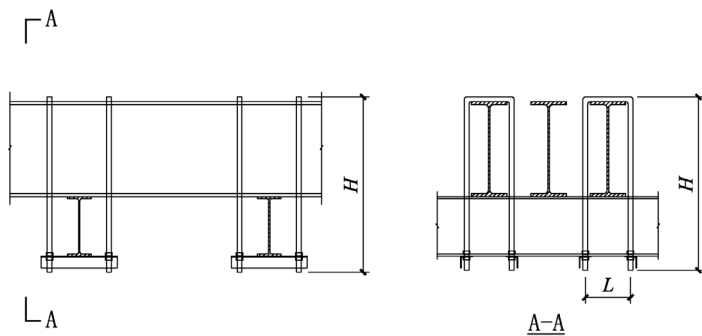


图 D.0.4-1 U 形卡扣结构示意图

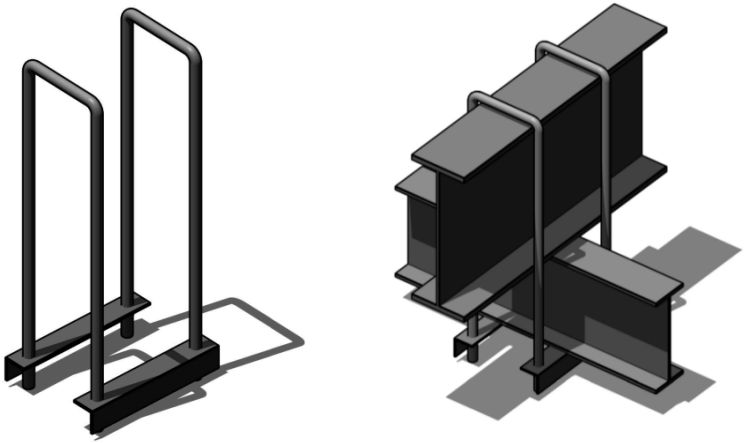


图 D.0.4-2 U 形卡扣组装效果图

附录 E 预应力张弦梁对应极限土压力

(资料性附录)

表 E 各种张弦梁对应极限土压力 (kN/m)

撑杆肢数	双肢				三肢			
跨 度 土 压 力	18m	24m	30m	36m	18m	24m	30m	36m
PSR1*120	350	240	200	140	350	250	190	140
PSR1*150	450	340	280	210	500	360	300	210
PSR2*120	450	370	330	280	650	480	400	300
PSR2*150	450	370	330	280	670	500	470	410

注：型号截面加大而张弦梁对应极限土压力未加大为撑杆达极限土压力。

附录 G 支撑构件安装的分项工程检验表

表 G 支撑构件安装的分项工程检验表

工程名称			检验部位		
施工单位			项目经理		
监理单位			总监理工程师		
施工依据标准			分包单位负责人		
项目		质量合格标准	施工单位检验评分或结果	监理（建设）单位检验记录或结果	备注
主控项目	1	外轮廓尺寸			
	2	预应力			
	3	高强拉杆规格			
	4	立柱规格			
	5	立柱标高			
一般项目	1	支撑构件的平面位置 and 标高			
	3	张弦梁撑杆平整度			
	4	预埋件焊接质量			
	5	立柱垂直度			
	6	立柱转角			
	7	支承梁标高			
施工单位检验评定结果		班组长: _____ 年 月 日 质检员: _____ 年 月 日			
监理单位检验结果		班组长: _____ 年 月 日 质检员: _____ 年 月 日			

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，在条件许可时首先这样做的：

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 条文中指定必须按其他有关标准、规范执行时的写法为“应符合……的规定（或要求）”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 2 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 3 《钢拉杆》 GB/T 20934
- 4 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 5 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
- 6 《建筑基坑工程监测技术标准》 GB 50497
- 7 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120