



T/CECS XXX-202X

中国工程建设标准化协会标准

张弦结构拉索更换技术规程

Technical standard for cable replacement of
string structure

(征求意见稿)

中国 XX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

张弦结构拉索更换技术规程

Technical standard for cable replacement of
string structure

T/CECS XXX-202X

主编单位：北京市建筑工程研究院有限责任公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X 年 XX 月 XX 日

中国 XX 出版社

202X 北 京

前 言

《张弦结构拉索更换技术规程》是根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2022〕40号）的要求进行编制。编制组经广泛调查研究，收集和总结国内工程的实践经验，参考国外有关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分8章，主要包括：总则，术语，基本规定，材料，拉索更换设计，拉索更换施工，施工监控与质量检验。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会空间结构专业委员会归口管理，由北京市建筑工程研究院有限责任公司负责具体技术内容的解释。实施过程中如有意见或建议，请反馈至北京市建筑工程研究院有限责任公司（地址：北京市海淀区复兴路34号，邮编：100039，邮箱：250475958@qq.com）。

主编单位：北京市建筑工程研究院有限责任公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
3	基本规定	4
4	拉索和索夹	5
4.1	一般规定	5
4.2	索体	5
4.3	锚具和索夹	6
5	设计	9
5.1	一般规定	9
5.2	前期准备	9
5.3	更换设计	10
5.4	计算分析	12
6	施工	14
6.1	一般规定	14
6.2	前期准备	14
6.3	计算分析	15
6.4	旧索拆除	15
6.5	新索安装	16
7	施工监测	1
7.1	一般规定	1
7.2	技术要求	1
7.3	施工监测计算	2
8	验收与维护	4
8.1	验收	4
8.2	维护	5

用词说明	6
引用标准名录	7

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
3	Basic requirements	4
4	cable and clip	5
4.1	General requirements	5
4.2	Cable	5
4.3	Anchorage and clips	6
5	Design	9
5.1	General requirements	9
5.2	Previous preparation	9
5.3	Cable replacement design	10
5.4	Calculation and analysis	12
6	Construction	14
6.1	General requirements	14
6.2	Construction preparation	14
6.3	Calculation and analysis	15
6.4	Old cable removal	15
6.5	New cable installation	16
7	Construction monitoring	1
7.1	General requirements	1
7.2	Construction monitoring principles and technical indicators	1
7.3	Construction monitoring calculation	2
8	Quality acceptance and maintenance	4
8.1	Quality acceptance	4
8.2	Maintenance	5
	Explanation of wording	6
	List of quoted standards	7

Specification of article错误！未定义书签。

1 总 则

1.0.1 为规范张弦结构拉索更换设计与施工，保证工程质量，满足安全适用、技术先进、经济合理的要求，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于张弦结构加固、改建和扩建工程中的拉索更换设计、施工、监测、验收与维护。

1.0.3 张弦结构拉索更换工程除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 张弦结构 structure with tensioning chord

上弦为实腹梁、钢桁架等刚性构件，下弦为拉索，中间连以撑杆的结构体系。

2.1.2 拉索 cable member

由高强钢丝、钢制杆体及纤维复合材料制成的索体及其锚具组成的受拉构件。

2.1.3 索体 cable body

拉索受力的主要部分，张弦结构中多采用半平行钢丝束、钢绞线、钢拉杆、纤维复合材料等。

2.1.4 锚具 anchorage

索体端头与外部边界节点连接的部件集合，索体的拉力通过其传递给外界，一般包括索体固接件、调节装置和外连件等。

2.1.5 索夹节点 cable clamp joint

通过紧固高强螺栓使索夹的主体和压板夹持住索体，防止索体相对滑动而形成的拉索与相邻构件的连接节点。

2.1.6 预应力 prestress

在无外部作用时，建筑索结构中通过张拉拉索引入拉索初应变而产生的自平衡内力。

2.1.7 拉索更换 cable replacement

对张弦结构全部或部分拉索进行旧索拆除和新索安装。

2.1.8 拉索更换设计 design of cable replacement

对拉索更换前后进行的张弦结构设计。

2.1.9 旧索拆除 demolition of old cable

采用反顶、辅助索张拉等方法将张弦结构原有旧索的索力放松并拆除。

2.1.10 新索安装 installation of new cable

利用千斤顶等设备将张弦结构新索进行安装和张拉。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能：

E ——拉索的弹性模量；

F ——拉索的抗拉力设计值

α ——拉索的温度线膨胀系数；

2.2.2 几何参数：

A ——索体净截面积；

L ——拉索长度。

3 基本规定

3.0.1 张弦结构拉索更换前应进行结构检测与评定。

3.0.2 张弦结构拉索出现下列情况之一时，应进行拉索更换：

1 拉索因长期腐蚀、疲劳或耦合作用下，索体出现严重锈蚀或断丝，锚具和护套出现严重损伤且无法修复，经评定无法满足结构的使用性能；

2 荷载变化、结构变形或其他因素导致索力超出安全限值或过度松弛，通过调索无法解决；

3 拉索使用时间超过设计工作年限或产品使用寿命，经评定后需要进行更换；

4 重大突发事件或自然灾害造成拉索严重损伤，如火灾、爆炸、地震、极端天气等；

5 拉索存在其他严重损伤且无法通过换索外的方式修复，经评定后需要进行更换。

3.0.3 拉索更换应满足张弦结构使用目标的要求，并应能承受在施工和使用期间可能出现的各种作用。

3.0.4 新索和索夹材料性能不应低于原设计要求，不应降低新索的安全系数或抗力分项系数。

3.0.5 新索的锚固和连接节点宜利用张弦结构原锚固和连接系统，也可对原锚固和连接系统进行局部改造。

3.0.6 拉索更换设计应消除张弦结构安全隐患，改善使用性能。

3.0.7 拉索更换设计应进行施工过程分析，宜考虑再次换索的可行性与便利性。

3.0.8 拉索更换宜选择安全性高、对原结构影响小、施工便利、施工时间短的方案。

3.0.9 拉索更换施工时，应使用经计量检定合格且在有效期内的计量器具。

3.0.10 张弦结构拉索更换设计和施工中采用的技术要求不应低于本标准的规定。

4 拉索和索夹

4.1 一般规定

4.1.1 新换拉索索体可采用钢丝束、钢绞线、钢丝绳、钢拉杆或复合纤维材料。

4.1.2 新换拉索锚具可采用热铸式锚具、冷铸式锚具、压接式锚具、挤压锚具、夹片锚具，钢拉杆接头可采用单耳板、双耳板或螺杆螺母等形式。

4.1.3 拉索索体、锚具和节点的质量检验和验收应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和《建筑索结构工程施工质量验收标准》T/CECS 1301 的有关规定。

4.1.4 拉索的制作长度应符合设计文件的规定，当无特殊要求时，拉索长度的允许偏差不应大于表 4.1.4 中的允许值。

表 4.1.4 拉索制作长度允许偏差

拉索类型	拉索长度 L (m)	允许偏差 ΔL (mm)
半平行钢丝束、锌-5%铝-混合稀土合金镀层拉索、密封拉索、碳 钢钢绞线	≤ 50	± 15
	$50 < L \leq 100$	± 20
	> 100	$\pm L/5000$
不锈钢钢绞线	≤ 5	± 6
	$5 < L \leq 10$	± 10
	$10 < L \leq 50$	± 15
	$50 < L \leq 100$	± 20
	> 100	$\pm L/5000$
钢拉杆	≤ 5	± 5
	$5 < L \leq 10$	± 10
	> 10	± 15

4.2 索体

4.2.1 半平行钢丝束索体的质量和性能应符合现行国家标准《斜拉桥用热挤聚乙烯高强

钢丝拉索》GB/T 18365的有关规定。

4.2.2 钢绞线索体的材料应符合下列规定：

1 镀锌钢绞线索体的质量和性能应符合现行国家标准《预应力热镀锌钢绞线》GB/T 33363的有关规定。

2 锌-5%铝-混合稀土合金镀层钢绞线索体的质量和性能应符合现行行业标准《建筑工程用锌-5%铝-混合稀土合金镀层钢绞线》YB/T 4542的有关规定。

3 不锈钢钢绞线索体的质量和性能应符合现行国家标准《不锈钢钢绞线》GB/T 25821的有关规定。

4.2.3 密封索索体的质量和性能应符合现行国家标准《建筑结构用密封索》GB/T 43485的有关规定。

4.2.4 纤维复合材料索体的质量和性能应符合现行国家标准《结构用纤维增强复合材料拉索》GB/T 35156的有关规定。

4.2.5 钢拉杆杆体的材料应符合下列规定：

1 钢拉杆杆体的质量和性能应符合国家现行标准《钢拉杆》GB/T 20934和《建筑用钢质拉杆构件》JG/T 389的有关规定。

2 不锈钢拉杆杆体的质量和性能应符合国家现行标准《不锈钢棒》GB/T 1220和《建筑用钢质拉杆构件》JG/T 389的有关规定。

4.2.6 当拉索索体采用光纤光栅智慧钢丝、钢绞线作为长期监测使用时，索体应符合《工程结构用光纤光栅智慧钢丝、钢绞线》T/CCES 6007的有关规定。

4.2.6 当拉索索体使用高密度聚乙烯护套时，护套材料应符合《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》CJ/T 297的有关规定。

4.3 锚具和索夹

4.3.1 锚具的材料应符合下列规定：

1 热铸式锚具、冷铸式锚具及压接式锚具材料的化学成分和力学性能应符合国家现行标准《优质碳素结构钢》GB/T 699、《合金结构钢》GB/T 3077、《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352、《大型低合金钢铸件技术条件》JB/T 6402、《一般工程与结构用低合金钢铸件》GB/T 14408、《不锈钢棒》GB/T 1220的有关规定。

2 挤压锚具、夹片锚具材料的化学成分和力学性能应符合国家现行标准《预应力

筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370、《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85、《预应力纤维增强复合材料用锚具和夹具》T/CCECS 10112的有关规定。

3 当拉索锚具采用调节套筒时，其化学成分和力学性能应符合现行国家标准《合金结构钢》GB/T 3077的有关规定。

4 冷铸式锚具冷铸填料的性能应符合现行国家标准《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》GB/T 18365的有关规定。

5 纤维复合材料锚具的质量和性能应符合现行国家标准《结构用纤维增强复合材料拉索》GB/T 35156的有关规定。

4.3.2 索夹的材料应符合下列规定：

1 索夹材料应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定选用。节点采用锻造、锻压、铸造或其它方法进行制作时，其材质应按现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《优质碳素结构钢》GB/T 699 的有关规定选用。

2 索夹材料经热处理后，力学性能应符合现行国家标准《合金结构钢》GB/T 3077、《优质碳素结构钢》GB/T 699、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《大型低合金钢铸件技术条件》JB/T 6402 的有关规定。

3 索夹节点的紧固件应采用大六角高强度螺栓，材料性能应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229 和《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

4.3.3 采用销轴连接的节点，销轴钢材的牌号、规格和性能应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699或《合金结构钢》GB/T 3077的有关规定，并应满足设计要求。

4.3.4 采用螺杆连接的节点，螺杆杆体的牌号、规格和性能应符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699、《合金结构钢》GB/T 3077或《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的有关规定，并应满足设计要求。

4.3.5 不锈钢螺栓的质量应符合现行国家标准《紧固件机械性能不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.6和《紧固件机械性能不锈钢螺母》GB/T 3098.15的有关规定，不锈钢锚栓可采用与连接构件同种类的不锈钢制成。

4.3.6 可滑动节点的关节轴承所用轴承钢、轴承套圈和滚动体的材料应符合现行国家标准《滚动轴承通用技术规则》GB/T 307.3 的有关规定。

4.3.7 钢拉杆与撑杆连接节点宜采用耳板连接，其材料性能应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

4.3.8 锚具及索夹的无损探伤应满足下列要求：

1 采用锻件的锚具部件，超声检测应按现行国家标准《锻轧钢棒超声检测方法》GB/T 4162和《钢锻件超声检测方法》GB/T 6402的有关规定执行，质量等级应满足B级或3级要求；磁粉检测应按国家现行标准《锻钢件磁粉检测》JB/T 8468和《承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测》NB/T 47013.4的有关规定执行，质量等级应满足2级或Ⅱ级要求。

2 采用铸钢的锚具部件，超声检测应按现行国家标准《铸钢件超声检测第1部分：一般用途铸钢件》GB/T 7233.1的有关规定执行，质量等级应满足2级要求；磁粉检测应按现行国家标准《铸钢铸铁件磁粉检测》GB/T 9444的有关规定执行，质量等级应满足2级要求。

4 采用不锈钢铸件的锚具部件，渗透探伤应按现行国家标准《铸钢铸铁件渗透检测》GB/T 9443的有关规定执行，质量等级应满足2级要求。

5 索夹超声波探伤应符合现行国家标准《铸钢件超声检测第1部分：一般用途铸钢件》GB/T 7233.1、《钢锻件超声检测方法》GB/T 6402、《厚钢板超声检测方法》GB/T 2970 的规定。

6 索夹磁粉探伤应符合现行国家标准《铸钢铸铁件磁粉检测》GB/T 9444、《锻钢件磁粉检测》JB/T 8468 的规定。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 拉索更换设计应满足下列要求：

- 1 仅更换拉索的工程，可按照原有设计标准进行设计；
- 2 其他情况，应按照国家现行标准进行设计。

5.1.2 仅更换拉索的工程，新换索体的材质、类型、截面规格和数量宜与原设计一致，不一致时新索的承载力和耐久性能应不低于原设计要求。

5.1.3 仅更换拉索的工程，新换拉索连接节点的形式宜与原设计一致，材质和性能不应低于原设计要求。

5.1.4 拉索更换设计前应根据原设计资料和专项检测报告进行拉索更换设计计算，制定合理的换索方案。

5.1.5 拉索更换设计时应明确结构的目标状态，拉索更换后不宜改变原结构的受力模式，不应降低结构的安全性。

5.1.6 拉索更换设计应对施工过程进行分析，明确施工工序、监测与维护等具体要求。

5.1.7 计算分析和复核应符合国家现行标准《钢结构通用规范》GB 55006、《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构加固设计标准》GB 51367、《预应力钢结构技术标准》JGJ/T 497 和《索结构技术规程》JGJ 257 的规定。

5.2 前期准备

5.2.1 拉索更换设计前宜完成下列资料的搜集：

- 1 设计资料，包括设计图纸、计算书、设计变更等；
- 2 施工资料，包括竣工图纸、材料试验报告、施工监控报告、竣工验收报告等；
- 3 试验分析、检测监测、维修加固改造资料，包括各类结构试验报告、检测与监测报告、历次维修加固改造设计图纸与施工记录、历次特别事件记录等；
- 4 其他资料。

5.2.2 拉索更换设计前，应依据 5.2.1 条中涉及的资料对张弦结构进行现场核验，必要时应进行补充检测。

5.2.3 拉索更换设计前，应对施工条件和环境进行勘察，充分了解施工限制因素。

5.3 更换设计

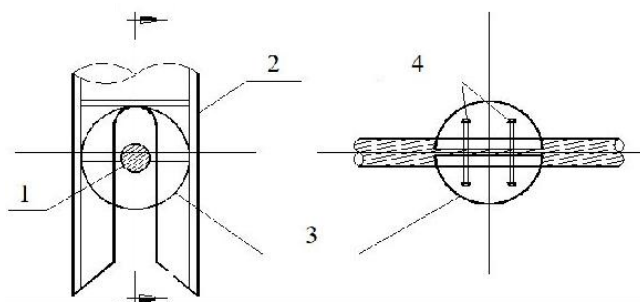
5.3.1 拉索更换设计应符合下列原则：

- 1 以最终检测报告和设计计算分析结果为主要依据，设计方案合理可行；
- 2 排除结构危急程度更高的因素后，再进行拉索更换；
- 3 换索施工过程及换索完成后结构处于安全状态；
- 4 换索施工对建筑结构正常使用影响最小。

5.3.2 拉索更换设计应包含下列内容：

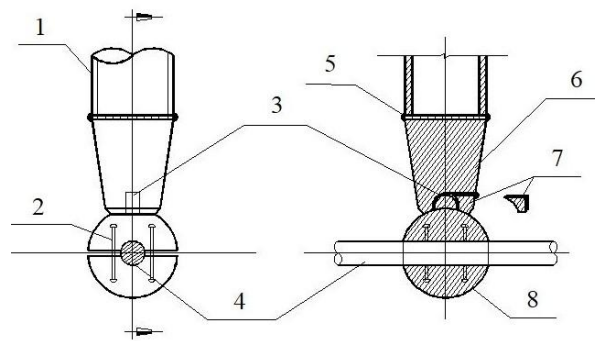
- 1 张弦结构的目标状态；
- 2 拉索更换的范围、类型、规格和数量；
- 3 拉索更换相关的节点和其他构件设计；
- 4 拉索更换的防护设计；
- 5 拉索更换施工顺序；
- 6 拉索更换过程计算；
- 7 拉索更换施工对建筑正常使用的影响和要求；
- 8 拉索更换施工监测要求；
- 9 拉索更换后的维护。
- 10 拉索锚固端、张拉端等构造设计；
- 11 换索辅助措施设计；
- 12 换索施工方案设计；
- 13 施工交通组织设计、隔离设施设计。

5.3.3 单向张弦结构新换撑杆与下弦单根拉索的连接可采用球形索夹（图 4.1.3a、b）或柱形索夹（图 4.1.3c）；当下弦为双索时，拉索应在节点双侧平行对称排列（图 4.1.3d）。



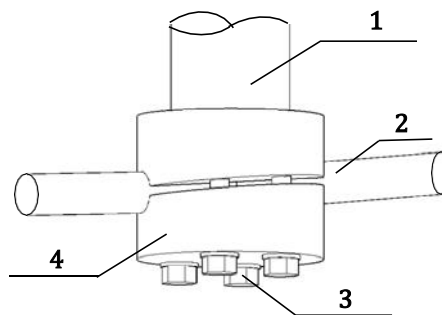
(a) 球形索夹节点在撑杆内

1—索体；2—撑杆；3—球形压板；4—紧固螺栓



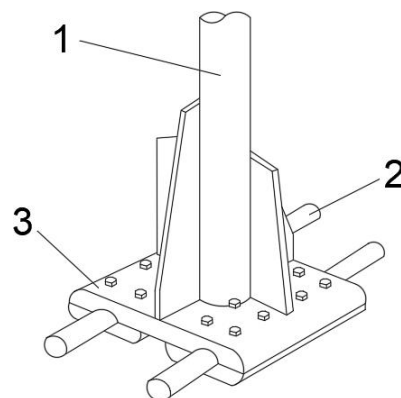
(b) 球形索夹节点在撑杆端部

1—撑杆；2—螺栓；3—圆凸钢销；4—索体；5—焊缝；6—铸钢圆锥杆；7—限位销；8—球型压板



(c) 柱形索夹节点与撑杆连接

1—撑杆；2—索体；3—高强螺栓；4—圆柱形压板



(d) 双拉索与撑杆连接

1—撑杆；2—索体；3—索夹

图 4.1.3 单向拉索与撑杆的连接节点

5.3.4 双向张弦结构中双向拉索的连接可采用双层索夹节点形式（图 4.1.4）。

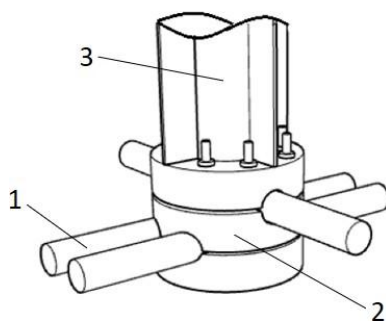


图 4.1.4 双向拉索的连接节点

1-索体；2-索夹；3-撑杆

5.3.6 索夹节点的索夹强度承载力和抗滑移承载力的验算及试验，应符合国家现行标准《建筑索结构节点设计标准》T/CECS 1010 的有关规定。

5.3.7 拉索防腐、防火、存放等防护和维护要求应符合现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257 的有关规定。

5.3.8 索夹节点防腐、防火等防护要求应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

5.4 计算分析

5.4.1 拉索更换计算分析应包括下列内容：

- 1 原设计状态的复核；
- 2 现有使用状态的确定；
- 3 拉索更换施工各阶段合理目标状态的确定；
- 4 最终合理目标状态的确定。

5.4.2 拉索更换设计应进行换索施工及使用阶段的结构承载、稳定和变形的计算和分析，并应满足现行有关标准的要求。

5.4.3 计算和分析应以结构现有状态为基础，且符合下列规定：

- 1 结构位形、构件截面、材料性能等应以现场实测数据为准，无法实测时，可采用原设计值，但应计入材料性能退化及结构损伤的影响；
- 2 除明确需维持原设计标准外，荷载与作用应按照现行标准和实际情况确定，并应考虑施工临时荷载；
- 3 边界条件、节点位移、索力变化等应依据实测数据和实际情况计入；
- 4 宜建立结构整体模型，当建立局部子结构模型时，应充分考虑边界条件的影响；

5 张弦结构尚应按现行行业标准《空间网格结构技术规程》JGJ 7 中有关规定进行结构稳定性分析。

6 施工

6.1 一般规定

- 6.1.1 拉索更换应严格按照设计文件进行，施工前应熟悉图纸，且由设计单位进行交底。
- 6.1.2 施工单位应对现有结构尺寸和关键施工参数进行复核。
- 6.1.3 施工单位应编制专项施工方案，并经专家论证、设计确认通过后方可实施。
- 6.1.4 拉索更换施工应进行安全防护设计，并应有可靠的防火措施。
- 6.1.5 拉索更换施工用设备和仪表应满足作业要求，正式使用前应进行校核、标定和调试。
- 6.1.6 拉索更换施工除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行标准《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《索结构技术规程》JGJ 257、《预应力钢结构技术标准》JGJ/T 497、《建筑索结构工程施工标准》T/CECS 1341、和《建筑索结构工程施工质量验收标准》T/CECS 1301 的有关规定。
- 6.1.7 拉索更换施工应符合国家、行业和地方在安全生产、劳动保护、环境保护和节能减排方面的有关规定。

6.2 前期准备

- 6.2.1 对张弦结构进行复核，并保存相应的复查记录，复核应包括以下内容：
 - 1 拉索的索力和结构位形；
 - 2 拉索、索夹、撑杆、锚固区域的实际构造及病害情况；
 - 3 新更换拉索、索夹及锚固构造的匹配情况；
 - 4 换索施工条件。
- 6.2.2 施工单位应进行深化设计，并应经设计单位认可。
- 6.2.3 应根据设计要求、合同条件及现场情况等，编制专项施工方案。
- 6.2.4 专项施工方案宜包括工程概况、编制依据、施工计划、施工工艺技术、安全保证措施、人员配备分工、验收管理要求、应急处理措施及技术文件附件等内容。
- 6.2.5 专项施工方案应根据结构特点、换索位置、拉索重量确定拉索更换方法，当需要制作吊装装置、施工平台、胎架或承重脚手架时，应进行专项设计。

6.3 计算分析

6.3.1 施工前应根据设计文件和专项施工方案进行施工阶段的结构计算与分析，并满足国家现行标准《钢结构工程施工规范》GB 50755、《建筑索结构工程施工标准》T/CECS 1341 的有关规定。

6.3.2 施工阶段的承载能力极限状态验算应根据现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 的有关规定按短暂设计状况进行，并应根据需要进行正常使用极限状态验算。

6.3.3 施工阶段验算应按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001、《钢结构工程施工规范》GB 50755 和《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定进行荷载取值和组合，同时根据各施工阶段的实际荷载情况及工程所处的地理位置及环境，综合分析温度、风、雪等荷载的影响，可忽略地震和偶然荷载的作用。

6.3.4 应根据结构安全和形态稳定的要求，确定旧索拆除时采用的辅助措施，同时为施工提供便利。

6.3.5 应进行临时辅助措施和牵引张拉工装系统的强度、刚度和稳定性的验算，结果应满足国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《建筑索结构工程施工标准》T/CECS 1341 的有关规定。

6.3.6 施工操作平台承重力验算的均布荷载不应小于 2.0kN/m，同时兼作临时设备、结构构件安装放置平台时的荷载，应按照实际承载重量取值。

6.3.7 胎架、承重脚手架的设计荷载除按照实际承载重量取值外，当为顶升或牵引设备提供支承时，还应同时计入顶升或牵引设备的反力，反力按该设备实际安装位置以集中力施加，承载力不小于顶升或牵引设备反力的 2.0 倍。

6.4 旧索拆除

6.4.1 旧索拆除应严格按照拉索更换专项施工方案执行。

6.4.2 应根据拉索和锚具类型，采取不同的放张方式。

6.4.3 旧索拆除的辅助措施可采用下列方法：

1 在张弦结构下方适当位置设置胎架或承重脚手架等竖向临时辅助措施，并安装千斤顶将结构上弦微微顶起；

2 在旧索两端原锚固附近设置锚固点，在其之间布置临时辅助索并在临时辅助索和上弦之间布置临时撑杆，对辅助索进行张拉。

6.4.4 完成前期施工准备及辅助措施安装后，旧索的拆除应按照下列步骤进行：

- 1 拆除设备安装；
- 2 当换索施工不需要临时辅助措施维持结构受力状态时，应配合施工监测分级放张。每级放张后，应根据施工监测判断结构安全后再继续放张；
- 4 当换索施工需要设置千斤顶或临时辅助索维持结构受力状态时，应配合施工监测分级放张。每级放张可按照张拉辅助索或千斤顶施力→旧索放张→施工监测的顺序进行；
- 5 张拉端和锚固端依次拆除；
- 6 旧索与索夹分离；
- 7 旧索下放和转运；
- 8 锚固区、索夹连接区、撑杆清理和修复。

6.4.5 临时辅助措施应按专项施工方案进行检查验收，合格后方可进行下一步施工。

6.4.6 对于下弦由 2 根及以上拉索构成的张弦结构，宜同时放张对称位置的多根拉索。

6.5 新索安装

6.5.1 新索在运输、进场、储存及施工过程中，应采取措施防止索体损伤。

6.5.2 新索安装前应对索体、锚具及索夹的出厂报告、产品质量保证书、检验报告以及品种、规格、涂装、外观质量、数量进行验收，验收合格后方可进行施工。

6.5.3 拉索可采用吊装、牵引或两者综合的方式进行铺展，应根据铺展场地、上方空间、拉索重量和长度等条件选择铺展位置和铺展方式。

6.5.4 当采用牵引的方式在地面、看台或支架上铺展长拉索时，应沿牵引路径设置临时支架、垫板或滑道，防止牵引过程中拉索与地面、看台或支架相互摩擦导致损伤。

6.5.5 新索安装前应对锚固区域和撑杆索夹区域进行全面检查和处理，保证各构件之间的接触面干净、光滑、无毛刺。

6.5.6 对于一端张拉的新索，安装拉索时宜先将拉索固定端与相应结构节点锚接就位。

6.5.7 应严格按照专项施工方案规定的顺序和数量进行安装和张拉，宜按照下列步骤进行：

- 1 依次完成拉索的布索、锚固端连接、穿索、索夹拧紧等张拉前准备；
- 2 宜配合施工监测进行分级张拉建立预应力；
- 3 当换索施工需要设置千斤顶或临时辅助索维持结构受力状态时，应分级张拉，

每级张拉宜按照新索张拉→放松辅助索或千斤顶卸力→施工监测的顺序进行；

4 测定索力并进行索力调整；

5 临时辅助措施拆除。

6.5.8 施工精度应符合国家现行标准《钢结构工程施工规范》GB 50755、《预应力钢结构技术标准》JGJ/T 497、《索结构技术规程》JGJ 257、《建筑索结构工程施工标准》T/CECS 1341 和《建筑索结构施工质量验收标准》T/CECS 1301 的有关规定。

6.5.9 单根拉索张拉完成后，应及时对拉索和锚具采取必要的防护措施。

7 施工监测

7.1 一般规定

7.1.1 拉索更换施工过程中应进行施工监测，并在监测结果与结构分析不符或偏离较大时进行预警。

7.1.2 应依据设计文件在专项施工方案中编制监测方案。

7.1.3 监测方法与仪器设备的选用应符合国家现行规范《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982 和《大跨度钢结构监测技术规程》T/CECS 1339 的相关规定。

7.2 技术要求

7.2.1 拉索更换施工监测应对张弦结构关键状态参数及环境变量进行系统性采集和辨识，为合理施工时间的选定、施工监测计算、索力调控与位形修正、质量验收评定等关键环节提供数据支撑，满足本规范第 6.5.9 条的施工控制精度要求。

7.2.2 张弦结构的状态参数应包括内力状态参数和几何状态参数。内力状态参数可涵盖结构上弦、撑杆等刚性构件的控制截面应力、拉索拉力、支座反力等；几何状态参数宜包含张弦结构位形、支座位置等。

7.2.3 张弦结构应通过施工监测选择环境扰动较小时期进行拉索更换施工，开展张弦结构状态参数监测时，宜同步记录温度、湿度、风速、天气状况和人流量等环境条件。

7.2.4 应根据拉索更换设计进行施工过程计算分析，选择变化显著、对施工安全和质量起控制作用的状态参数进行施工监测，对由多榀张弦并列或交错组成的张弦结构，宜对换索位置相邻 1~2 榀张弦结构的主要受力构件进行监测。监测内容宜包括下列内容：

- 1 结构应力监测：张弦结构上弦 1/4 跨、跨中、3/4 跨以及支座附近关键刚性构件、撑杆的截面应力；
- 2 支座反力；
- 3 拉索索力：宜对索夹两侧、支座附近、跨中附近的拉索索力进行识别；
- 4 结构变形：张弦结构 1/4 跨、跨中、3/4 跨节点、拉索锚固点、支座节点及撑杆下节点的变形；

7.2.5 拉索更换施工的内力状态参数监测宜满足下列要求：

- 1 可采用三点弯曲法或频率法进行索力识别，对布置测力监测系统的拉索，也可采用该监测系统的测试结果，有条件时宜采用多种方法进行监测；
- 2 对受力最不利或损伤严重的拉索应进行施工全过程监测；
- 3 旧索拆除前后、新索张拉后、索力调整前、施工完毕后应分别对新拉索及相邻前后各 2~3 榀张弦梁进行内力监测，测点位置参见本规程第 7.2.4 条；
- 4 张弦结构刚性构件的应力测量可使用电阻应变片法，支座反力的测量可采用拉压传感器。

7.2.6 拉索更换施工的几何状态参数监测宜满足下列要求：

- 1 可采用全站仪、3D 激光扫描仪、激光位移计等对张弦结构节点位移和结构线形进行监测；
- 2 旧索拆除前、拆除后及新索张拉后，应分别对更换拉索及相邻前后各 2~3 榀张弦梁进行节点位移监测，测点位置应按照第本规程 7.2.4 条选择；
- 3 索力调整前后及施工完毕后应对整体张弦结构进行结构线形监测。

7.2.7 拉索更换施工过程中，应对施工范围内结构位形、刚性构件内力和拉索索力的变化进行全过程监测，并与监控理论计算值进行比较，如有异常，应立即停止施工，待查明原因并处理后方可继续施工。

7.3 施工监测计算

7.3.1 拉索更换施工监控计算应对结构状态进行预测、反馈，校核张弦结构主要设计参数，对比分析施工各阶段的实测状态与合理目标状态的差异，并给出调整值。

7.3.2 换索施工监控计算应包括下列内容：

- 1 在换索前，进行张弦结构原始设计状态、实际状态、换索设计合理目标状态、新索下料长度的复核计算；
- 2 在旧索拆除、新索张拉施工的各关键阶段，通过施工监测获取最新监测数据，对张弦结构的状态参数进行识别并对计算模型进行修正，从而通过建立可反映实际状态的计算模型对施工的安全性进行判定；
- 3 在每次换索后，应根据结构实际监测数据与合理目标状态的差异，对张

弦结构进行状态调整计算，基于拉索拉力、撑杆位置、支座位置等参数给出调整值。

7.3.3 换索施工内力监控计算结果宜包括下列内容：

- 1 拉索更换施工各阶段拉索索力、上弦刚性构件和撑杆的控制截面应力；
- 2 拉索更换施工各阶段的支座反力；
- 3 拉索更换完成后拉索索力调整值。

7.3.4 换索施工几何监控计算结果宜包括下列内容：

- 1 换索施工过程中各阶段张弦结构线形和拱度；
- 2 换索完成后的张弦结构线形和拱度。

7.3.5 计算结果输出位置和频率应与第7.2节规定相一致。

8 验收与维护

8.1 验收

8.1.1 质量验收应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《建筑索结构工程施工质量验收标准》T/CECS 1301 和本标准的有关规定。

8.1.2 安全及功能的检验、见证检测项目及有关观感质量检验可按现行协会标准《建筑索结构工程施工质量验收标准》T/CECS 1301 附录 D 和附录 E 的规定执行。

8.1.3 质量验收应具备下列资料：

- 1 设计文件、图纸交底与会审记录；
- 2 专项施工方案、施工技术交底记录等施工资料；
- 3 材料质量证明文件，包括拉索、索夹节点的产品质量保证书、产品出厂检验报告、拉索静载试验报告、拉索超张拉记录、锚具及索夹等无损检测报告等；
- 4 施工检验记录、安装自检记录、千斤顶标定记录、拉索张拉及结构变形记录；
- 5 专业操作人员上岗证书；
- 6 更换后张弦结构使用保养维修手册；
- 7 其他需要提供的文件和记录。

8.1.4 张弦结构拉索更换工程质量应符合下列规定：

- 1 安装完成后，索体应无破损、无难于清除的污垢，索头镀锌等防腐措施无损伤，对于 PE 索体与索头间连接护套密封完整，防腐措施存在破损时及时修补；
- 2 索夹节点的螺栓拧紧力应满足设计要求；
- 3 张拉完成的撑杆杆端相对位置偏差不应超过撑杆长度的 1%，且不大于 50mm；
- 4 当进行分批换索时，拉索分批张拉过程中，单批次主动张拉索的锚固索力的允许偏差不应大于理论计算值的 5%；
- 5 全部张拉成形后，单根拉索索力允许偏差不宜大于理论计算值的 10%，张弦结构控制点的拱度和垂度的允许偏差不宜大于跨度的 1/1000。

8.1.5 张弦结构拉索更换工程索夹高强螺栓施工记录表、张拉记录表、位形记录表、检验批质量验收记录表及质量验收记录表，可按现行协会标准《建筑索结构工程施工质量验收标准》T/CECS 1301 附录 A、附录 C、附录 F 和附录 G 的相关规定执行。

8.2 维护

8.2.1 张弦结构拉索更换施工完成后，应由施工单位会同设计单位、拉索制作单位共同编制维护手册，交业主在日常维护中使用，并应限制结构的擅自变更或无故翻修。其他构件应按现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 的有关规定进行维护。

8.2.2 维护应遵循预防为主、防治结合的原则，日常维护应检查拉索、钢构件的结构损伤和荷载变化情况，大型设备荷载及位置等。

8.2.3 更换后拉索的预应力状态应每 5 年进行一次全面检查。检查应包括索的张紧度、断丝、磨损和腐蚀等情况。

8.2.4 对有特殊需求的工程，应定期检查张弦结构中拉索的内力，并做记录。与初始值对比，如发现异常应及时报告。当检测索力与设计值相差超过 10%时，应及时调整或补偿索力。

8.2.5 应定期检查索体是否有渗水等异常情况，防护涂层是否完好；对出现损伤的拉索和防护涂层应及时修复。

8.2.6 应定期对拉索锚具、螺栓螺母、索夹节点等进行检查，发现问题及时解决。

8.2.7 在大风、暴雨、大雪等恶劣天气及地震后，业主单位应及时检查张弦结构体系有无异常，并采取必要措施。

用词说明

为便于在执行本标准条文时区别对待，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，在条件许可时首先应这样做的：

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”。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅该日期对应的版本适用本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

- 《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144
- 《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292
- 《工程结构通用规范》GB 55001
- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《钢结构设计标准》GB 50017
- 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
- 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 《钢结构工程施工规范》GB 50755
- 《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982
- 《大跨度钢结构监测技术规程》T/CECS 1339
- 《钢结构加固设计标准》GB 51367
- 《优质碳素结构钢》GB/T 699
- 《不锈钢棒》GB/T 1220
- 《工程结构用光纤光栅智慧钢丝、钢绞线》T/CCES 6007
- 《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228
- 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632
- 《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229
- 《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231
- 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 《合金结构钢》GB/T 3077
- 《钢锻件超声检测方法》GB/T 6402
- 《铸钢件 超声检测 第1部分：一般用途铸钢件》GB/T 7233.1
- 《铸钢铸铁件渗透检测》GB/T 9443
- 《铸钢铸铁件 磁粉检测》GB/T 9444
- 《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352
- 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370

《一般工程与结构用低合金钢铸件》 GB/T 14408

《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》 GB/T 18365

《钢拉杆》 GB/T 20934

《建筑用钢质拉杆构件》 JG/T 389

《不锈钢钢绞线》 GB/T 25821

《紧固件机械性能不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》 GB/T 3098.6

《滚动轴承通用技术规则》 GB/T 307.3

《紧固件机械性能不锈钢螺母》 GB/T 3098.15

《结构用纤维增强复合材料拉索》 GB/T 35156

《预应力热镀锌钢绞线》 GB/T 33363

《建筑结构用密封索》 GB/T 43485

《钢结构高强度螺栓连接技术规程》 JGJ 82

《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》 JGJ 85

《预应力纤维增强复合材料用锚具和夹具》 T/CCECS 10112

《索结构技术规程》 JGJ 257

《预应力钢结构技术标准》 JGJ/T 497

《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》 CJ/T 297

《大型低合金钢铸件技术条件》 JB/T 6402

《厚钢板超声检测方法》 GB/T 2970

《锻钢件磁粉检测》 JB/T 8468

《承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测》 NB/T 47013.4

《建筑工程用锌-5%铝-混合稀土合金镀层钢绞线》 YB/T 4542

《建筑索结构工程施工标准》 T/CECS 1341

《建筑索结构工程施工质量验收标准》 T/CECS 1301

《建筑索结构节点设计标准》 T/CECS 1010

《空间网格结构技术规程》 JGJ 7

《冶金设备制造通用技术条件锻件》 YB/T 036.7

《大型合金结构钢锻件技术条件》 GB/T 33084

中国工程建设标准化协会标准

张弦结构拉索更换技术规程

T/CECS XXX-202X

条文说明

制定说明

本标准制定过程中,编制组针对张弦结构换索技术进行了广泛深入的调查研究,总结了我国建筑张弦结构工程施工实践经验,同时参考了国外先进技术法规、技术标准,开展了多项专题研究,并以多种方式广泛征求了有关单位和专家的意见,对主要问题进行了反复讨论、协调和修改。

为便于广大技术和管理人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,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等进行了说明。

本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力,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
2	术语和符号	2
3	基本规定	4
4	拉索和索夹	5
4.1	一般规定	5
4.3	锚具和索夹	5
5	设计	6
5.1	一般规定	6
5.2	前期准备	6
5.4	计算分析	7
6	施工	8
6.1	一般规定	8
6.2	前期准备	8
6.3	计算分析	8
6.4	旧索拆除	9
6.5	新索安装	10
7	施工监测	11
7.1	一般规定	11
7.2	技术要求	11
7.3	施工监测计算	11
8	验收与维护	13
8.1	验收	13

1 总 则

1.0.3 本标准主要涉及拉索更换工程，应与张弦结构设计、施工和验收等有关国家现行标准配套使用。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 规程所指张弦结构的下弦拉索可采用单向、双向和辐射布置等形式，包括单向张弦结构、双向张弦结构和空间张弦结构（见图 2.1.1-1），不包括环形索桁架结构（见图 2.1.1-2）。

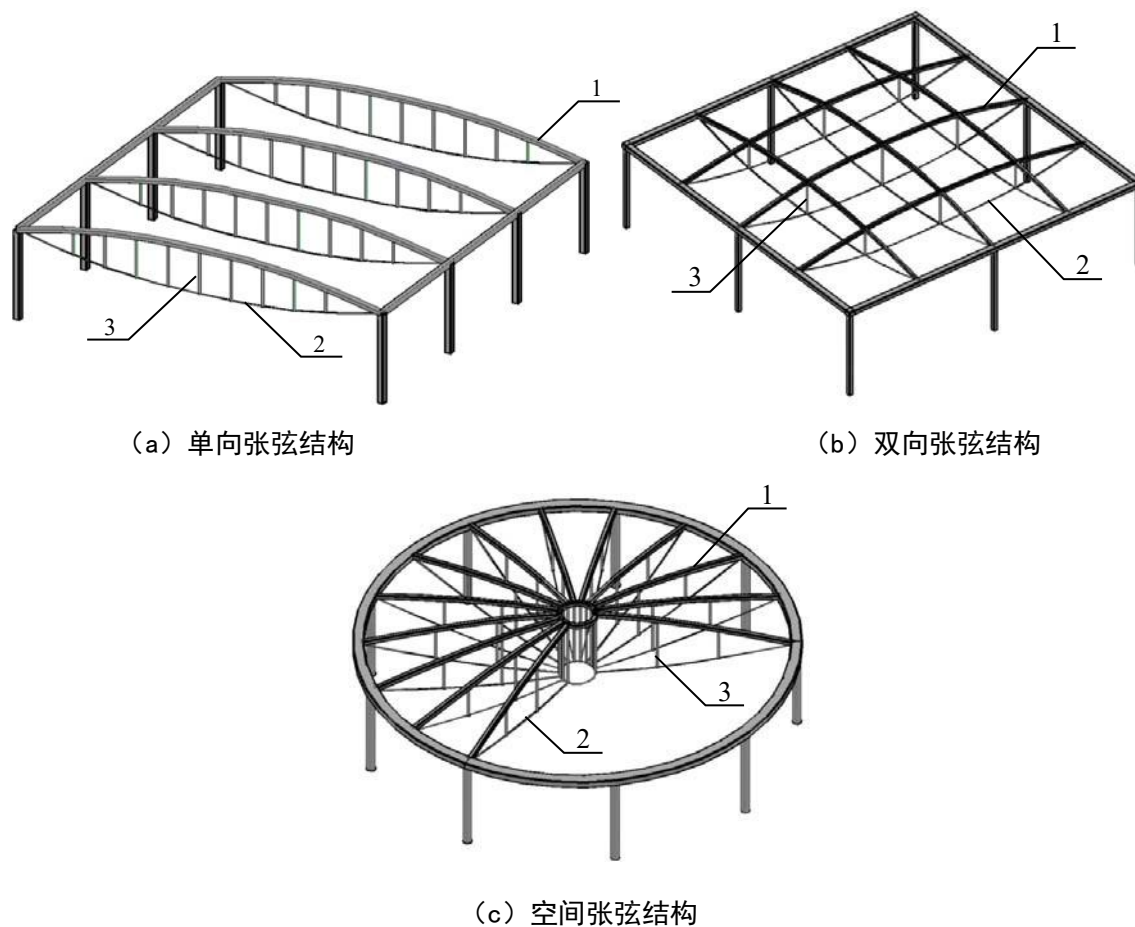


图 2.1.1-1 张弦结构

1-上弦刚性构件；2-拉索；3-撑杆

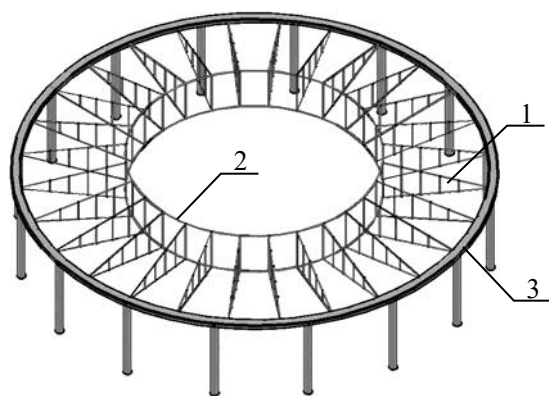


图 2.1.1-2 环形索桁结构

1—索桁架；2—内环索；3—受压外环梁

3 基本规定

3.0.1 在拉索更换前，应根据建（构）筑物的种类，分别按照现行国家标准《工业建筑可靠性鉴定标准》GB 50144 和《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292，对换索张弦结构的承载能力和损伤状态进行检测与评定，并给出需要更换的拉索。

3.0.3 张弦结构使用目标应由产权人和设计方共同商定，并经过可靠的换索设计和施工过程分析，保证换索全过程和使用期间安全可靠。

3.0.5 为避免拉索再次出现相同位置的损伤，或当索结构、构件和材料的相关标准变化，需通过改变新索的结构形式以达到某种要求，可使用新材料、新技术和新工艺改善结构技术条件，但因新索与原索的材料性能和结构构造可能存在较大差异，当利用原有节点与新索连接时，需充分考虑构造要求，避免出现无法穿索、张拉和锚固的情况。

3.0.6 张弦结构通常应用于大型公共建筑中，是人员密集场所，因此拉索更换的首要目标是消除安全隐患。改善使用性能目的是让结构处于规范规定的极限状态或设计人员指定的受力状态，充分发挥材料性能，阻止不合理变形的发展，降低使用者视觉上的不适感。

4 拉索和索夹

4.1 一般规定

4.1.1 参照《索结构技术规程》JGJ 257 中规定拉索索体宜采用钢丝束、钢绞线、钢丝绳或钢拉杆，复合纤维材料参照《结构用纤维增强复合材料拉索》GB/T 35156 中规定的复合纤维索体由纤维增强复合材料薄板、拉杆、棒材或绞线构成的线形受力体。

4.1.2 新换拉索锚具可参照《索结构技术规程》JGJ 257 中的有关规定选择锚具类型：钢丝束、钢丝绳索体可采用热铸式锚具或冷铸式锚具；钢绞线索体可采用夹片锚具，也可采用压接式锚具或挤压锚具。承受低应力或动荷载的夹片锚具应具有防松装置。

4.3 锚具和索夹

4.3.1 热铸锚的锚杯坯件可采用锻件和铸件，冷铸锚的锚杯坯件宜采用锻件，销轴和螺杆的坯件宜为锻件。毛坯锻件应符合现行行业标准《冶金设备制造通用技术条件锻件》YB/T 036.7 的规定，锻件材料应采用优质碳素结构钢或合金结构钢，其性能应分别符合现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699 和《合金结构钢》GB/T 3077、《大型合金结构钢锻件技术条件》GB/T 33084 的规定；采用铸件材料时，其性能应符合国家现行标准《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352、《大型低合金钢铸件技术条件》JB/T 6402、《一般工程与结构用低合金钢铸件》GB/T 14408 的规定；当采用优质碳素结构钢时，宜采用 45 号钢。

4.3.4 螺杆连接节点指用于拉索与拉索、拉索与刚性构件、拉索与基础等部位的连接节点，索力应直接通过螺杆传递，其连接形式可参见《建筑索结构节点设计标准》T/CECS 1010 的有关规定。

4.3.6 对于撑杆在拉索轴线平面内呈四杆双向 V 形布置的张弦结构，当通过张拉拉索施加预应力时，拉索与撑杆连接宜采用可滑动节点。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 仅更换拉索的工程，指出现第 3.0.2 条 1、3、4、5 项的情况且经评定可仅更换拉索时；一般情况下，更换拉索可能涉及相应索撑节点、撑杆的更换，均可按照原有设计标准进行设计；其他情况指除拉索（及相应索撑节点、撑杆）更换外尚有对结构进行加固、改造、扩建等情况的。

5.1.2 索体类型主要指半平行钢丝束、钢绞线、钢拉杆、纤维复合材料索体等。

5.1.3 新换拉索连接节点的性能主要指耐久性和抗滑移性能。拉索更换前应对原设计的节点抗滑移性能进行调研，必要时对索孔孔道进行处理或者更换索夹，以保证节点抗滑移性能不低于原设计要求。

5.1.4 应对结构的安全性和使用性能进行合理评级，依据评级结果制定换索方案，不应忽视结构重大安全问题，留下安全隐患。

5.2 前期准备

5.2.1 由于张弦结构拉索更换与结构建设完成之间存在一定的时间间隔，期间张弦结构的相关设计标准可能发生改变，部分基础资料可能缺失，因此，应通过尽可能全面收集张弦结构在设计建设和运营期间的记录资料，来了解张弦结构的设计目标和性能状况，进而为拉索更换设计提供依据；对于设计复杂或大跨度的张弦结构，在结构建造前通常会进行试验研究，如静力加载试验、风洞试验、振动台试验等，可作为了解结构性能的补充资料；张弦结构的非结构构件（或附属设施）通常包括附属于张弦结构且不承担主体结构受力的各类装饰装修、围护结构、附属设备等，可能影响结构局部荷载并遮挡部分结构，在拉索更换前应妥当处置。

5.2.2 现场核验和补充检测的目的是为了保证设计用技术材料的可靠性，防止因记录的错漏、缺失造成设计失误，导致延误工期、经济损失、甚至安全问题。

5.3.1 结构危急程度更高的因素，如张弦结构支座、上弦钢梁、撑杆、支承柱等，该类构件的损坏可能影响拉索更换过程中的整体受力状态，甚至造成整体破坏，因此应先通过加固、更换等方式排除该类构件对拉索更换设计的影响。

5.3.2 勘察设计单位应依据检测单位的检测报告，考虑施工期的安全性，按照索体损伤状况、结构类型和现场条件等实际情况，设计临时加固措施防止结构出现垮塌，如临时支撑、临时拉索等。施工单位依据施工可行性和便利性，可对勘察设计出具的设计方案进行必要深化和补充，完成必要的换索临时辅助措施设计，如胎架、承重脚手架、施工操作平台等。进行换索的张弦结构如用于无法中断使用的公共建筑，如交通枢纽建筑、大型商业综合体建筑，索体更换施工期间对周边交通和运营有显著影响时，需进行交通组织专项设计，隔离设施专项设计等。其中第 10~13 条应由施工单位进行设计，并提交设计单位审核。

5.4 计算分析

5.4.1 合理目标状态主要包括结构的合理位形和拉索张力，张弦结构经长期使用后，因应力松弛、支承结构混凝土徐变、材料老化、基础沉降、自然灾害、偶然作用等导致的位形变化在结构不同部位不均匀发展，可能导致结构现有受力和位形状态与原设计状态产生一定差异。确定最终合理目标状态时，应以最新检测报告为依据，充分了解结构当前的性能状态，综合考虑结构性能、工程经济和施工便利等因素，不应简单认为原设计状态即为换索后最终的合理目标状态。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.3 拉索施工前，施工单位需要根据设计要求、结构特点、现场条件、拉索安装施工仿真计算结果等编制详细的专项施工方案，报送监理工程师或产权人（业主）代表，并经设计确认；专项施工方案需组织专家评审，施工过程中严格按照通过后的专项施工方案执行。

6.1.4 拉索更换施工宜在张弦结构受环境作用影响小、暂停使用或人员活动较少的时间段进行，应进行施工安全和应急预案设计，且应做好安全防护和防火措施。

6.2 前期准备

6.2.2 深化设计通常包括：拉索制作详图和索夹节点深化设计。拉索制作详图中应包含索体的类型和规格、锚具形式和尺寸、调节装置位置和调节量、拉索的长度和根数、索夹标记位置、允许偏差及对应索长的张拉力值和温度值等；拉索制作详图设计中的索体和锚具的形式、尺寸应由拉索生产厂家提供。索夹节点深化设计应根据设计图纸进行，除满足承载力和刚度要求，还应满足加工制作要求。施工单位应严格按照设计单位认可后的深化设计进行拉索和索夹节点的加工制作。

6.2.4 按照住房和城乡建设部办公厅 2021 年 12 月印发的《危险性较大的分部分项工程专项施工方案编制指南》，明确了危险性较大的分部分项工程包括基坑工程、模板支撑体系工程、起重吊装及安装拆卸工程、脚手架工程、拆除工程、暗挖工程、建筑幕墙安装工程、人工挖孔桩工程和钢结构安装工程共 9 类。张弦结构拉索更换工程属于危险性较大的钢结构安装工程。

6.3 计算分析

6.3.1 张弦结构需要根据现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 和现行协会标准《建筑索结构工程施工标准》T/CECS 1341 等相关规范的要求进行施工阶段分析，以保证结构和连接构件满足强度、稳定性和变形的要求。张弦结构拉索更换施工属于预应力施工，结构和构件受力状况变化复杂且成形状态与施工过程密切相关，施工分析中

应根据施工方案合理地确定计算模型、步骤和作用。

6.3.2 张弦结构拉索更换施工阶段计算需要依据现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 的有关规定按短暂设计状况进行承载力极限状态验算。如果对施工阶段的结构变形有要求，则可根据需要进行正常使用极限状态验算。

6.3.3 施工阶段验算时，施工荷载的布置应按照实际情况确定；当不能确定时，应按照不利情况布置。施工荷载包括施工人员、堆载、临时配重等。由于工程所处地理位置不同，其环境条件差别较大，应结合实际情况确定风荷载的影响；对于冬季可能下雪的地带，应综合分析雪荷载、裹冰荷载等影响。

6.3.6 该条为国家现行标准《建筑索结构施工标准》T/CECS 1341 中关于施工操作平台承载力验算的有关规定。施工操作平台宜仅提供操作人员拆除旧索、安装张拉新索是使用。有时为方便拉索拆除和安装施工，操作平台上同时作为施工千斤顶、锚具、索夹节点等的安装搁置平台，此时荷载应按照所承载物体的实际重量取值。

6.3.7 该条为现行国家标准《施工脚手架通用规范》GB 55023 中关于胎架、承载脚手架设计荷载取值的有关规定。旧索拆除和新索安装过程中均需要胎架或承重脚手架作为支撑，也可能会用到千斤顶顶升钢结构卸载。

6.4 旧索拆除

6.4.2 根据《索结构技术规程》JGJ 257-2012 中的有关规定，常用拉索锚具类型：钢丝束、钢丝绳索体可采用热铸式锚具或冷铸式锚具；钢绞线索体可采用夹片锚具，也可采用压接式锚具或挤压锚具。拉索的放张和拆除方法应按照其特点进行选择。

6.4.3 上述两种方法均可使旧索放张（卸载），第一种方法中胎架或承重脚手架的数量和位置选择要合理，保证施工安全、技术合理前提下，经济最优原则；第二种方法中锚固点选择要合理，辅助索和上弦之间临时支撑数量和位置选择要合理。也可采用两种方法组合使用。

6.4.4 旧索拆除前，对影响旧索拆除或对施工空间产生遮挡的监测装置、装饰装修、建筑环境设备、消防设备、马道等附属设置，应当与业主沟通并在相关专业人员的指导下进行处理或拆除。应依据结构特点和现场条件选择换索辅助措施，方式 1 中胎架或承重脚手架等竖向临时辅助措施，除可为拉索拆除和安装提供施工平台外，还兼做结构辅助施工设施，承重要求较高，需对张弦结构下方地面的承载力进行考察，满足承重要求时使用；方式 2、3 适合因张弦结构下方地面因承重限制或其他原因，对胎架、承重脚手

架支撑作用有限或无法布设时使用；经施工过程分析和技术，使用单一方法满足结构要求时，可考虑使用多种方式配合。

6.4.6 对于下弦由 2 根及以上拉索构成的张弦结构，应全部同时或对称多根拉索同时放张，防止因单根放张带来的撑杆底部侧移风险。

6.5 新索安装

6.5.6 在拉索固定端与相应结构节点锚接就位后，以固定端为基点，依序将索夹、撑杆与拉索连接，直至张拉端与相应结构节点锚接完成。

6.5.8 施工前，施工单位应会同设计等相关单位根据结构力学性能、专项施工方案和监测方案合理确定索力、拱度及垂度的关键控制点位和理论计算值，并作为施工验收的依据。

6.5.9 拉索张拉完成后，应在拉索锚具的调节螺杆、端盖和连接筒口等部位涂防腐密封胶，锚具其余部分可与主体钢结构一致，按设计要求进行防腐处理。

7 施工监测

7.1 一般规定

7.1.1 施工监测的数据可直接反映了预应力施加效果，是评价施工质量的标准之一，因此应进行相应的监测，并对于监测结构偏离较大的进行预警。

7.1.2 张弦结构拉索更换属于住房和城乡建设部规定的危险性较大的分部分项工程—钢结构安装工程，因此，应对施工过程进行监测，并编制监测方案。

7.1.3 在施工前应对仪器设备进行全面检查，确认其功能完好性、运行可靠性，并由专业技术人员进行系统调试与基准校准。

7.2 技术要求

7.2.4 索夹两侧拉索索力识别可为调节索夹和撑杆处不合理的受力状态提供参考数据，降低索夹滑移的风险。第 4 项内容的目的在于识别张弦结构的线形、拱度和支座位移。对于设计中受力和变形完全对称的张弦结构或单榀张弦梁，监测点可以对称轴为界限，在结构的对称单侧和对称轴处进行布置，但当旧索拆除会引起较大不平衡力和变形时，不应选择单侧布置。拉索更换过程中，旧索承担部分拉力将进行重新分配，由上弦刚性结构承受并部分传递到相邻的张弦梁中，可能引起上弦刚性结构及相邻 1 榀张弦梁的位形和内力变化，为防止其位形和内力变化超过安全限值，应进行监控；但由于上弦刚性结构刚度较大，换索过程一般不会引起上弦产生较大变形，对间隔 1 榀及以上的张弦梁影响通常较小。

7.2.5 所选测试仪器的适用范围和精度应当与所测目标索的情况相适应。索力监测系统常通过在施工阶段布置磁通量传感器、穿心式拉压传感器、光纤复合索等进行长期索力的识别、预警和分析，长期监测数据有助于分析环境因素对索力的影响规律，对索的内力状态进行更为全面的分析。索力识别精度受到索的张力、规格和边界条件等因素的影响，采用多种方法检测有利于提高索力识别的精度。推荐使用新方法、新技术进行内力状态参数监测，但应进行专家论证。

7.3 施工监测计算

7.3.2 拉索更换施工监控计算模型初始模型的建立方法可参考第 5.4.3 条，但应根据各施工阶段的现场实测监测数据和施工进度对模型进行修正。

8 验收与维护

8.1 验收

8.1.1 新索及相关锚固和连接构件的工程质量应以现行标准进行验收，对于不影响结构安全的内容，未进行更换的原结构部分，可按照设计建造时的标准进行验收。