



CECS ×××: 2016

---

中国工程建设协会标准

# 钢塔桅结构检测与加固技术规程

**Technical specification for inspection, assessment and  
strengthening of steel tower and mast structures**

(征求意见稿)

中国工程建设协会标准

# 钢塔桅结构检测与加固技术规程

**Technical specification for inspection and strengthening  
of steel tower and mast structures**

（征求意见稿）

**CECS ×××: 2016**

主编单位：同 济 大 学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：      年   月   日

## 前言

根据中国工程建设标准化协会（2009）建标协字 86 号文“关于印发《2009 年工程建设协会标准制订、修订计划（第二批）》的通知”的要求，同济大学会同有关单位经认真调查研究、总结实践经验、参考国内外有关标准、广泛征求行业内各方面的意见，制定本规程。

本规程包括总则、术语和符号、基本规定、调查、基础检测、钢结构材料检测、钢构件检测、连接节点检测、钢结构防腐检测、结构整体变形检测、体系评定、加固基本原则、加固基本方法、加固的施工安全措施、加固验收与维护等内容。

本规程由中国工程建设标准化协会归口管理，由同济大学负责技术内容的解释。执行本规程过程中如有意见或建议，请寄送同济大学《钢塔桅结构检测与加固技术规程》管理组（地址：上海市四平路 1239 号同济大学建筑工程系，邮编：200092）。

主编单位：同济大学

参编单位：同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司

中广电广播电影电视设计研究院

中国电子工程设计院

中国建筑西南设计研究院有限公司

电力规划设计总院

华东电力设计院有限公司

西北电力设计院有限公司

中讯邮电咨询设计院有限公司

广东省电信规划设计院有限公司

北京北广科技股份有限公司

华信咨询设计研究院有限公司

青岛东方铁塔股份有限公司

电联工程技术股份有限公司

浙江华东科技检测有限公司

江阴同济钢结构工程有限公司

上海智方电力工程有限公司

维蒙特工业（中国）有限公司

青岛中天斯壮科技有限公司  
北京梅泰诺通信技术股份有限公司  
江阴市阪纳奇自动化机械设备有限公司  
中石化洛阳工程有限公司  
中电投工程研究检测评定中心  
富春通信股份有限公司  
浙江和勤通信工程有限公司  
河南宏达铁塔工程有限公司  
浙江巨匠钢业有限公司  
浙江八方电信有限公司

主要起草人：何敏娟 梁峰（以下按姓氏拼音排列）

曹向东 陈俊岭 段松涛 范志华 郭建新 何桂荣  
黄冬平 黄荣鑫 荆建中 蓝 职 李建伟 李荣海  
娄 宇 罗 烈 缪品章 汤玉忠 屠海明 王方林  
王 谦 王同华 王学明 武笑平 肖建平 肖克艰  
谢郁山 徐华刚 殷晓霞 翟传明 张西涛 赵 峥  
周开文

主要审查人：马人乐 王墨耕

中国工程建设标准化协会

年 月 日

## 目录

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	3
3 基本规定.....	4
4 调查.....	7
5 基础检测.....	9
5.1 一般规定.....	9
5.2 材料性能检测.....	9
5.3 混凝土结构检测.....	10
5.4 钢筋检测.....	11
5.5 尺寸与偏差.....	11
5.6 变形.....	12
6 钢结构材料检测.....	13
6.1 一般规定.....	13
6.2 钢材.....	13
6.3 连接用紧固标准件.....	13
6.4 桅杆用纤绳.....	14
7 钢构件检测.....	15
7.1 一般规定.....	15
7.2 构件几何尺寸检测.....	15
7.3 构件表面质量检测.....	15
7.4 构件的变形检测.....	16
8 连接节点检测.....	17
8.1 一般规定.....	17
8.2 焊接连接.....	17
8.3 普通螺栓连接.....	17
8.4 高强度螺栓连接.....	18
8.5 插接连接.....	19
8.6 锚栓连接.....	19
9 钢结构防腐检测.....	20
9.1 一般规定.....	20
9.2 钢结构防腐涂层检测.....	20

9.3 钢结构锈蚀检测.....	20
10 结构整体变形检测.....	23
10.1 一般规定.....	23
10.2 结构垂直度检测.....	23
10.3 结构平面几何尺寸检测.....	24
11 体系评定.....	25
11.1 一般规定.....	25
11.2 结构安全性等级评定.....	25
11.3 结构适用性等级评定.....	26
11.4 结构耐久性等级评定.....	27
12 加固基本原则.....	29
12.1 一般规定.....	29
12.2 材料.....	30
12.3 荷载与作用.....	30
12.4 结构分析的基本规定.....	30
13 加固基本方法.....	31
13.1 一般规定.....	31
13.2 改变结构体系.....	31
13.3 替换构件.....	32
13.4 增大构件截面.....	32
13.5 连接的加固.....	33
13.6 加固件的连接.....	35
13.7 加固结构的防腐.....	37
14 加固的施工安全措施.....	38
15 加固验收与维护.....	40
15.1 加固验收.....	40
15.2 加固维护.....	40
附录 A 基于里氏硬度直接推定钢材强度的无损检测方法.....	41
附录 B 增大构件截面的主要形式.....	44
本规程用词说明.....	45
引用标准名录.....	46
附：条文说明.....	47

## Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols.....	3
3	General Requirements.....	4
4	Survey .....	7
5	Inspection of Foundation .....	9
5.1	General.....	9
5.2	Inspection of Material Performance.....	9
5.3	Inspection of Concrete Structure .....	10
5.4	Inspection of Steel Reinforcement.....	11
5.5	Dimensions and Errors.....	11
5.6	Deformation .....	12
6	Inspection of Material .....	13
6.1	General.....	13
6.2	Steel.....	13
6.3	Connection Fasteners .....	13
6.4	Mast Cable .....	14
7	Inspection of Steel Member .....	15
7.1	General.....	15
7.2	Inspection of Member Dimensions .....	15
7.3	Inspection of Member Surface Quality .....	15
7.4	Inspection of Member Deformation.....	16
8	Inspection of Connection Joint .....	17
8.1	General.....	17
8.2	Welding Connection .....	17
8.3	Ordinary Bolts Connection .....	17
8.4	High-Strength Bolts Connection.....	18
8.5	Plug-in connection .....	19
8.6	Anchor Bolt Connection .....	19
9	Anti-corrosion Inspection of Steel Structure .....	20
9.1	General.....	20
9.2	Anticorrosion Coating Inspection of Steel Structure.....	20
9.3	Rust Inspection of Steel Structure.....	20
10	Inspection of Structural Deformation.....	23
10.1	General.....	23

10.2 Inspection of Gravity Vertical Degree of Structure .....	23
10.3 Inspection of Plan Geometric Dimension of Structure .....	24
11 Assessment of Structure System .....	25
11.1 General .....	25
11.2 Assessment of Structural Safety Grade.....	25
11.3 Assessment of Structural Serviceability Grade.....	26
11.4 Assessment of Structural Durability Grade .....	27
12 Basic principles of Structure Strengthening .....	29
12.1 General .....	29
12.2 Material .....	30
12.3 Load and Action.....	30
12.4 Basic Regulations of Structural Analysis .....	30
13 Basic Approach of Structure Strengthening .....	31
13.1 General .....	31
13.2 Changing of Structural System .....	31
13.3 Replacement of Members .....	32
13.4 Increasment of Member Section .....	32
13.5 Strengthening of Connections.....	33
13.6 Connection of Strengthening Member.....	35
13.7 Anticorrosion of Strengthening Structure .....	37
14 Construction Safety Method for Strengthening Structure .....	38
15 Acceptance and Maintenance of Strengthening Structure .....	40
15.1 Acceptance of Strengthening Structure .....	40
15.2 Maintenance of Strengthening Structure .....	40
Appendix A Nondestructive Testing Method for Estimation of Steel Strength	
Based on Leeb Hardness.....	41
Appendix B Increasing Form of Member Section.....	44
Explanation of Wording in This Code .....	45
List of Quoted Standards .....	46
Addition: Explanation of Provisions.....	47



# 1 总则

**1.0.1** 为了规范既有钢塔桅结构工程的检测与加固工作，合理评定既有结构的可靠性，确保加固方法安全经济和加固质量可靠，制订本规程。

**【条文说明】**：制订本规程的目的首先是要保证既有钢塔桅结构的安全可靠，通过检测工作确定结构的安全状况；同时保证加固方法经济合理，并指导加固工作。

**1.0.2** 本规程适用于既有钢结构广播电视发射塔、通信塔、微波塔、无线电桅杆等钢塔桅结构的检测、评定与加固。其它类似钢塔桅结构工程也可参照使用。

**【条文说明】**：本技术规程的适用范围包括钢结构广播电视发射塔、通信塔、微波塔、无线电桅杆等结构形式，同时也适用于类似结构，如输电塔、火炬塔、结构支架、高灯杆等。

**1.0.3** 钢塔桅结构的检测、评定和加固工作，除应符合本技术规程规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

**【条文说明】**：本技术规程的编制与现行有关标准进行了合理的分工和协调，执行时尚应符合相关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 检测 inspection

为获取能反映既有结构现状的信息和资料而进行的现场调查和测试工作。

#### 2.1.2 评定 assessment

根据检测和计算结果，基于国家和行业标准，对结构进行等级化的评价。

#### 2.1.3 加固 strengthening

对可靠性不足或业主要求提高可靠度的承重结构、构件及相关部分采取增强、局部更换或调整其内力等措施，使其满足现行设计规范及业主所要求的安全性、适用性、耐久性。

#### 2.1.4 结构使用年限 structure service life

结构各种性能均能满足使用要求的年限。

#### 2.1.5 可靠性 reliability

结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的能力。

#### 2.1.6 耐久性 durability

在设计确定的环境作用和维修、使用条件下，结构构件在设计使用年限内保持其适用性和安全性的能力。

#### 2.1.7 安全性 safety

目标使用期内结构能够满足承载力要求的能力。

#### 2.1.8 适用性 serviceability

目标使用期内结构能够满足正常使用要求的能力。

#### 2.1.9 既有结构 existing structure

已经存在的各类工程结构。

#### 2.1.10 置换 replacement

对既有结构构件进行替换，以改善或提高局部工作状况。

#### 2.1.11 高强度螺栓连接副 set of high strength bolt

高强度螺栓和与之配套的螺母、垫圈的总称。

#### 2.1.12 加固件 member for strengthening others

新增的用于加固既有结构的构件。

### 2.1.13 被加固件 strengthened existing member

被加固的既有结构构件。

## 2.2 符号

### 2.2.1 作用及作用效应设计值

$N$  —— 轴心力；

$V$  —— 剪力；

### 2.2.2 计算指标

$f$  —— 钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

$f_y$  —— 钢材的屈服强度；

$\sigma_f$  —— 垂直于角焊缝长度方向，按焊缝有效截面计算的应力；

$\tau_f$  —— 角焊缝的剪应力；

### 2.2.3 几何参数

$h_e$  —— 焊缝的计算厚度；

$l_w$  —— 焊缝计算长度；

$h_f$  —— 角焊缝的焊脚尺寸；

$A_t$  —— 构件加固后的总截面面积或被加固件的截面面积；

### 2.2.4 计算系数

$\eta_f$  —— 焊缝强度影响系数；

$f_f^w$  —— 角焊缝的强度设计值。

### 3 基本规定

**3.0.1** 钢塔桅结构检测、评定与加固的主要目的是保证既有钢塔桅结构的安全性、适用性和耐久性。

**【条文说明】**：结构的安全性是指结构在预定的使用期限内，能承受规定的多种荷载作用，保持结构体系的完整性、稳定性和承载能力的性能。结构的适用性是指结构在预定的使用期限内，在规定的多种荷载作用下，不发生影响正常使用的结构响应，如过大的变形、振动等的性能。结构的耐久性是指结构在预定的使用期限内，在规定的工作环境和维护条件下，结构保持良好状态，不随时间延长而导致不可接受的恶化的性能。

**3.0.2** 检测、评定与加固的对象包括钢塔桅结构整体或结构功能相对独立的区域、构件和节点等。

**【条文说明】**：结构功能相对独立的区域、构件和节点是指在检测过程中和加固后，对结构其他部位的受力状态改变较小的部位，以防止由于局部结构的改变而造成其他结构部位受力状态的恶化。应由技术人员根据实际情况提出建议，由业主根据需和经济条件决定。

**3.0.3** 检测、评定与加固前应由使用单位确定结构用途。根据结构设计使用年限、已使用年限，结合结构使用历史、现状及未来使用要求，综合分析确定检测、评定与加固的目标。

**【条文说明】**：检测、评定与加固的目标可为维持现状，也可根据使用用途的变化，对现有钢塔桅结构性能进一步提高，或对使用提出限制要求。

**3.0.4** 在以下情况下应按本规程对既有钢塔桅结构进行检测和评定：

- 1 拟改变用途、改变使用条件和使用要求；
- 2 拟进行较大规模维修或其它形式结构改造；
- 3 拟拆除后在异地安装；
- 4 巡视中发现结构本身出现明显的锈蚀、变形等结构退化现象；
- 5 结构受到灾难、事故等不利作用影响，产生损伤；
- 6 对结构的可靠性产生有根据的怀疑；
- 7 经过长期使用，需要定期了解结构的工作状况和可靠度，其检测频度应满足表 3.0.4 要求，且根据实际检测结果适当增加检测次数；

表 3.0.4 检测频度要求

已使用年限 建造条件	10 年以内	10~25 年	≥25 年
螺栓有防松措施，钢结构有长效防腐蚀	每 10 年	每 5 年	每 3 年
螺栓有防松措施，钢结构无长效防腐蚀	每 5 年	每 3 年	每 2 年
螺栓无防松措施	每 2 年	每 1 年	不得继续使用

8 超过设计使用年限，拟延长其使用年限；

9 根据业主要求，对重要的钢塔桅结构进行定期的检测。

【条文说明】：以使用功能、结构规模、建设地点、宏观外观质量的改变以及遭受非正常荷载作用和较长期使用为条件，确定需要进行结构检测的钢塔桅结构要求。一般的日常巡视不可代替检测工作。

3.0.5 在以下情况下，既有钢塔桅结构需继续使用时，应按本规程进行加固：

- 1 通过检测，认为结构已无法满足预期使用要求；
- 2 在火灾、地震等灾害后，结构产生严重损伤；
- 3 增加使用荷载；
- 4 改变结构状况。

【条文说明】：既有钢塔桅结构在发生局部破坏或结构损伤后，因暂无条件新建结构替换而必须继续使用时，或新结构在建过程的过渡期仍要继续使用的，应按要求进行加固，以保证安全。改变结构状况是指使结构受力不利的情况。

3.0.6 当工程验收资料不全、现场检测无法确定材料特性时，需在保证结构安全的条件下对结构材料进行取样和实验；需判定结构整体刚度时宜对钢塔桅结构进行动力测试。

【条文说明】：动力测试可直观了解结构固有频率、振型和阻尼等动力特性的改变，且不受结构规模和结构隐蔽状况限制，已成为结构检测有效的技术支持。动力测试可根据结构特点采用环境激励或人工激励等方法。

3.0.7 检测、评定包括结构、构件和连接节点的缺陷和损伤状况的检测结果及其安全性、适用性、耐久性的评定结论，并提出维护、加固、改造、拆除等建议。

3.0.8 钢塔桅结构工程的检测、评定应由具有检测能力和钢塔桅结构设计经验的单位承担。

【条文说明】：钢塔桅结构与普通建筑钢结构相比有其自身独特的结构特点，因此要求具有本领域设计经验的单位来承担检测、评定工作。

**3.0.9** 钢塔桅结构工程的加固工作宜由具备相应结构制作和安装资质的单位承担。

【条文说明】：钢塔桅结构制作安装与普通建筑钢结构相比难度较高，尤其对于螺栓连接的钢塔桅结构。因此对于钢塔桅结构的加固工作，应当由在此领域具备施工资质和有经验的单位来承担。

**3.0.10** 钢塔桅结构加固工程的质量管理宜按照相应的施工技术标准、建立质量管理体系和检验制度，工程现场应委派项目技术负责人，并具备经审批的施工组织设计。

【条文说明】：钢塔桅结构加固工程的规模差异很大，为使规范条文具有可操作性，本条要求施工组织设计需经审批，但具体审批单位可以使设计单位，也可以是甲方或施工单位的主管部门。

**3.0.11** 钢塔桅结构加固工程竣工后，应当根据加固目标组织验收。

【条文说明】：考虑到加固工作对未加固部分可能造成的不利影响，如传力路径的改变，施工过程中的碰撞、损坏以及防腐涂层的破损等，加固工程的竣工验收，应包含被加固部分的施工质量验收和加固施工对原结构其余部位的不利影响评估。

**3.0.12** 各分项检测评定等级指标分 *a*、*b*、*c*、*d* 四个等级，分别对应状态：

1 *a*—指标满足建造时或最后一次改造时的规范和设计要求，结构工作正常，无需采取任何措施即可继续使用；

2 *b*—指标轻微不满足建造时或最后一次改造时的规范和设计要求，性能下降不超过 5%，可认为对结构性能无影响，可不采取措施继续使用；

3 *c*—指标不满足建造时或最后一次改造时的规范和设计要求，性能下降 5%~30%，且满足荷载标准组合下的性能要求，应采取措施后方可继续使用；

4 *d*—指标严重不满足建造时或最后一次改造时的规范和设计要求，性能下降超过 30%，或不满足荷载标准组合下的性能要求，应立即采取措施或结构拆除。

【条文说明】：*a*、*b* 级指结构在荷载作用设计值下仍保证安全，*c* 级指结构在荷载作用标准值作用下能保证结构安全，*d* 级指结构已无法满足荷载作用标准值下的承载力要求。结构拆除是指由分项控制的相关结构拆除。

## 4 调查

**4.0.1** 检测、评定与加固工作前应了解工作对象、工作目标，进行现场调查。

**【条文说明】**：在接受委托任务后和制订检测方案前，应进行现场和有关资料的调查。加固工作应当充分考虑现场条件，钢结构计算简图应根据结构和荷载的实际状况确定。因此在检测、评定和加固前，必须进行现场调查，以充分了解结构现状，以便制订合理的检测与加固方案。

**4.0.2** 调查工作应包含以下内容：

- 1 搜集原始资料，如工程地质勘察报告、设计文件、施工记录、验收报告、历次改造资料、历次检测或论证报告等；
- 2 了解结构建造、使用、损坏、修缮历史，如是否有用途变更、使用条件和环境的变化、经历的灾害等；
- 3 若有原结构设计图纸，应以其为依据进行检测、评定和加固工作；若没有，则宜根据现场勘测绘制测绘图，并将其作为检测、评定和加固的依据。

**【条文说明】**：根据近年钢塔桅结构的检测、评定和加固工程，大部分项目存在原设计图纸不全甚至无原设计图纸的情况，应进行现场勘测作为检测、评定和加固工作的依据。

**4.0.3** 钢塔桅结构加固前应对其作用荷载进行实地调查，其荷载取值应符合下列规定：

- 1 符合现行国家标准《高耸结构设计规范》的荷载宜按该规范的规定取值；

**【条文说明】**：早期钢塔桅结构的设计使用年限多按 30 年采用，对于此类结构的荷载取值，根据加固目标进行原结构承载能力验算时可仍按原标准，但在进行加固设计时应按现行标准。钢塔桅结构为以风荷载作用为主的结构，风荷载取值不应低于《高耸结构设计规范》GB50135 中不小于  $0.35 \text{ kN} / \text{m}^2$  的要求。

- 2 不符合《高耸结构设计规范》规定或未作规定的永久荷载，可根据实际情况进行调查确定。调查资料不得少于五年，且应以其平均值乘以 1.2 系数作为该永久荷载的标准值；

- 3 规范未作规定的其他荷载，应根据使用单位提供的资料和实际情况取值。

**【条文说明】**：钢塔桅结构由于高度较高，在使用过程中存在改变使用功能的现象，如灯光亮化、增加广告屏和增设发射天线等。此类荷载，可根据实际情况并考虑以后的发展适当放大确定。

**4.0.4** 若需对楼顶的既有钢塔桅结构进行检测和加固，首先需依据相关规范对既有建筑的楼顶结构进行调查。

**【条文说明】**：既有建筑楼顶塔加固后，如改变既有建筑传力路线或增大结构荷载，应对既有建筑进行必要的验算。此部分检测工作不在本规程的规定范围内，可按现行其他相关标准执行。



## 5 基础检测

### 5.1 一般规定

5.1.1 基础检测包含材料、尺寸、变形、损伤的检测。

【条文说明】：钢塔桅结构基础为与钢塔桅主体结构相连，位于主体结构下方的结构，如钢锚栓连接件、柱墩、地梁、承台、桩等。

5.1.2 基础质量分  $a_b$ 、 $b_b$ 、 $c_b$  和  $d_b$  四个等级，按表 5.1.2 评定。

表 5.1.2 基础评定等级

等级	$a_b$	$b_b$	$c_b$	$d_b$
说明	基础混凝土原材料、混凝土结构、钢筋、尺寸与偏差和基础变形均满足《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204、《塔桅钢结构工程施工质量验收规程》CECS 80 及设计要求。	混凝土结构外观质量、碳化深度等出现影响基础耐久性的缺陷，但不影响基础的基本功能和承载力。	存在下列情况之一： ①材料强度下降 5~10%；②混凝土结构存在较明显的外观和内部缺陷；③钢筋少量锈蚀和缺失；④尺寸与偏差少量超出 $a_b$ 级要求；⑤变形少量超出 $a_b$ 级要求。 但进行实际状态的结构验算仍满足承载力要求。	存在下列情况之一： ①材料强度下降大于 10%；②混凝土结构存在严重缺陷；③钢筋严重缺失或锈蚀；④尺寸与偏差严重超标；⑤变形严重超标。

### 5.2 材料性能检测

5.2.1 当对基础材料性能有疑问时，应对基础混凝土、钢筋、预埋件钢材等部件的材料性能进行检测。

【条文说明】：一般情况下仅需要对基础材料的力学性能进行检测，在对钢筋和钢材有质疑时，可补充化学成份分析，主要为碳、锰、硅、硫、磷的含量。

5.2.2 基础混凝土材料性能检测采样，采用无损检测方法时，每个典型部位不少于三个测区；有损检测时，每个典型部位不少于一个试样。

【条文说明】：混凝土强度检测时，采样位置应有典型性，对于不同的检测方法，按相应技术规程确定采样数量。

5.2.3 基础混凝土材料性能检测包含基础混凝土强度检测和碳化深度检测。

**5.2.4** 混凝土抗压强度的检测，可采用回弹法、超声回弹综合法、后装拔出法或钻芯法等方法，检测操作应分别符合相应技术规程的规定。

**5.2.5** 混凝土强度检测宜采用无损检测方法，若要采用钻芯等方式，应当选择不影响基础承载力的部位，且避开主要钢筋，钻芯后采用较原混凝土强度高一等级的细石混凝土或高强灌浆料进行修补。

**5.2.6** 混凝土碳化深度检测可采用酚酞试剂法。

**5.2.7** 基础混凝土中钢筋材料的检测主要为钢筋强度检测，必要时可进行化学成份分析。

**5.2.8** 钢筋强度检测可采用取样试验法或无损检测法。

**5.2.9** 采用取样试验法时，应对被截断的钢筋进行补强，用截面积不小于原钢筋的两根钢筋在截断部位搭接焊接，焊接根据相关规范执行，并对截取处采用高一等级的细石混凝土修复。

**【条文说明】**：“取样试验法”，即在基础混凝土中截取一段非主要受力部位的钢筋，在试验室中进行拉伸试验确定钢筋强度。该方法属于有损检测，取样后一般需对结构进行修补；

“无损检测法”，常用里氏硬度计法，测出钢筋表面的里氏硬度值，转换为洛氏硬度，再推算出钢筋的强度。实际检测中可采用取样法和无损检测法相结合。

### 5.3 混凝土结构检测

**5.3.1** 混凝土结构检测包括外观质量检测和内部缺陷检测。

**5.3.2** 混凝土结构外观质量检测取样应为基础混凝土外露部分全数，有疑问时需开挖基础覆土进行检查。

**5.3.3** 混凝土外观质量包含露筋、蜂窝、孔洞、夹渣、疏松、裂缝等外形缺陷和外表缺陷等。

**5.3.4** 结构裂缝的检测应遵守下列规定：

1 检测项目应包括裂缝的位置、长度、宽度、深度、形态和数量；

2 裂缝深度可采用超声法检测，必要时可钻取芯样予以验证。

**5.3.5** 在使用过程中，基础性能表现异常的，可对混凝土内部缺陷进行检测。

**5.3.6** 内部缺陷检测取样可根据工程经验对可疑部位抽取不少于 3 个样本进行检测。

**5.3.7** 混凝土内部缺陷的检测，可采用超声法等非破损方法，必要时可采用局部破损方法对非破损的检测结果进行验证。

**【条文说明】**：采用超声法检测混凝土内部缺陷时，应符合现行《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS21 的规定，局部破损法仅用于结构受力较小且外观质量和采用超声法测得严

重内部缺陷时采用。

## 5.4 钢筋检测

**5.4.1** 钢筋检测包括钢筋位置、保护层厚度、直径、数量、外观质量等项目。

**5.4.2** 钢筋检测取样应为重要基础的主要受力钢筋部位和要求检测的部位，被检测的每个基础的同类型构件不少于3处。

**【条文说明】**：钢塔桅结构基础往往存在受拔工作状态，因此基础上表面和下表面均可能为主要受力钢筋。

**5.4.3** 钢筋位置、保护层厚度和钢筋数量，宜采用非破损的方法进行检测，必要时可凿开混凝土验证钢筋直径或保护层厚度。

**5.4.4** 对钢筋的锚固与搭接有疑问时，可对其进行检测。

**5.4.5** 钢筋外观质量检测主要内容为其锈蚀和损伤程度。

**5.4.6** 需要对钢筋外观质量进行检测时，应根据图纸和现场条件，对可能存在钢筋严重锈蚀等部位进行开凿。

**5.4.7** 钢筋锈蚀程度检测可根据测试条件和检测要求选择剔凿检测方法、电化学测定方法、或综合分析判定方法。

**【条文说明】**：不同检测方法可根据《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 要求测得钢筋的剩余直径。

## 5.5 尺寸与偏差

**5.5.1** 基础中各部分的尺寸与偏差的检测可分为下列项目：

- 1 构件截面尺寸；
- 2 构件方位；
- 3 预埋件尺寸与位置；
- 4 锚栓位置；
- 5 基础埋深。

**【条文说明】**：构件方位主要指基础水平度、柱墩垂直度等。预埋件和锚栓的位置除包含形心坐标外，还包含预埋件和锚栓群的方位角等。基础有冻胀损伤或不均匀沉降等，需要对基础埋深进行检测。

**5.5.2** 基础尺寸与偏差检测抽样应为有疑问的基础全数。当基础埋深较深开挖难度较大时，

在具有施工验收合格资料情况下，基础埋深可根据基础上部构件位置进行推算。

## 5.6 变形

**5.6.1** 基础变形检测内容为钢塔桅结构各个基础的变形值，包括基础沉降、水平位移和偏斜。

**5.6.2** 基础变形检测采样应为基础全数。

**5.6.3** 对于施工阶段和使用阶段保留有完善沉降观测基准点的钢塔桅结构，应当对其基础沉降和变形值进行检测；对于没有沉降观测基准点的钢塔桅结构，应测量其各基础的相对沉降及中心水平位移，并保留此次测量的观测点。

**【条文说明】**：钢塔桅结构由于高度较高，基础之间的距离较远，基础的不均匀沉降可能会造成较为显著的  $P-\Delta$  效应，且此效应会引起不均匀沉降的进一步恶化，因此基础沉降和变形检测非常重要。

## 6 钢结构材料检测

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 本章适用于既有钢塔桅结构主体结构中的钢材、紧固件和纤绳等材料性能的检测，当以上材料有可靠记录时，可不再检测。

**6.1.2** 既有钢塔桅结构的材料检测宜优先选用对结构或构件无损伤的检测方法。当选用局部破损的取样检测方法或原位检测方法时，宜选择结构构件受力较小的部位，并不得降低结构的安全性。

**【条文说明】**：在选择结构构件受力较小的部位进行有损材料检测时，应考虑对其他结构构件和节点造成的不利影响。

**6.1.3** 按本规程的规定抽取试样、制作试样及复验检测应由具有相关经验和能力的单位执行。

### 6.2 钢材

**6.2.1** 钢塔桅结构钢材材料检测主要为力学性能检验，必要时进行钢材化学成分分析。对设计有 Z 向性能要求的厚板，有疑问时应对钢板进行超声波探伤。

**【条文说明】**：厚板指厚度不小于 40mm 的钢板，检测位置选在容易造成层状撕裂的“T”形焊缝范围。

**6.2.2** 无验收资料或对钢材材料性能有疑问时，可采用里氏硬度法等无损检测手段推定材料极限抗拉强度。里氏硬度法检测操作按本规程附录 A 的规定执行。

**6.2.3** 如发生局部破坏，应取样进行钢材力学性能检测。检测内容包括抗拉强度、伸长率和屈服强度，承受疲劳作用的焊接结构钢材应检测冲击韧性，并分析其化学成分。

**【条文说明】**：化学成份分析主要为碳、锰、硅、硫、磷含量分析。

**6.2.6** 焊缝及其热影响区发生破坏时，应截取试样进行力学试验。

### 6.3 连接用紧固标准件

**6.3.1** 钢塔桅结构连接用紧固标准件可包含连接用高强度螺栓、普通螺栓、锚栓（含机械型和化学浆锚型）等紧固标准件及螺母、垫圈标准配件。

**【条文说明】**锚栓或称为地脚螺栓。

**6.3.2** 高强度螺栓连接发生破坏时，应进行螺栓楔负载、螺母保证荷载、螺母及垫圈硬度试验。

**【条文说明】**：高强度大六角头螺栓连接副的扭矩系数和标准偏差复验，试验方法、检验规则和检验结果应符合现行国家标准《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 的规定；扭剪型高强度螺栓连接副的紧固轴力和标准偏差复验，其试验方法、检验规则和检验结果应符合现行国家标准《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副技术条件》GB/T 3633 的规定。

**6.3.3** 普通螺栓连接发生破坏时，应进行螺栓实物最小拉力荷载及螺栓楔负载复验。

**【条文说明】**：原螺栓拆下后，必须对现场取样部位螺栓进行补装，且补装螺栓强度等级不小于原有设计要求。

**6.3.4** 锚栓外观检测异常时，应进行其材料的机械性能试验，可采用直接张拉法，将锚栓张拉至荷载设计值作用下的内力，观察锚栓是否有拔出、变形、断裂等现象。

**6.3.5** 热浸锌的 10.9 级及以上高强螺栓发生破坏时，可对有疑问部位的螺栓连接节点取样进行磁粉探伤或渗透探伤检测。

**【条文说明】**：强度等级较高的螺栓尤其在热镀锌后脆性较大，在交变荷载作用下可能发生表面和内部损伤，因此可对此类螺栓进行探伤检测，必要时可增加冲击试验、楔负载、芯部硬度等试验。

**6.3.6** 桅杆用的线夹、花篮螺栓、拉线棒等发生破坏时，应按相应产品标准进行材料性能检测。

## 6.4 桅杆用纤绳

**6.4.1** 当对纤绳材料有怀疑时，可在原结构纤绳尾绳上截取试件，进行纤绳材料性能试验。

**【条文说明】**：纤绳为桅杆结构的唯一抗侧构件，且冗余度较低，一般不建议对纤绳进行取样，应尽量截取纤绳的尾绳作为试验样本。

**6.4.2** 纤绳材料性能应采用静力试验测定其最小破断拉力。

## 7 钢构件检测

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 设计和验收资料齐全时，可进行构件外观质量检查，外观异常的钢构件应进行几何尺寸、表面质量和变形检测。

**7.1.2** 当遇到下列情况之一时，宜针对相关区域的构件进行检测：

- 1 外观有缺陷或表面受损伤；
- 2 构件质量状况差异较大；
- 3 灾害发生后结构受损。

**7.1.3** 钢构件质量分  $a_e$ 、 $b_e$ 、 $c_e$  和  $d_e$  四个等级，按表 7.1.3 评定。

表 7.1.3 钢构件评定等级

等级	$a_e$	$b_e$	$c_e$	$d_e$
说明	构件几何尺寸、表面质量和构件变形均满足《塔桅钢结构工程施工质量验收规程》CECS 80 及其他相关国家规范和设计要求。	主要受力构件存在不超过 5% 的截面尺寸削弱、构件表面有轻微质量缺陷和构件出现轻微变形中的任意一项，且对构件性能无影响。	主要受力构件存在 5%~30% 的截面尺寸削弱、构件表面质量缺陷和构件变形明显和可能造成局部或整体屈曲中的任意一项，且此区域经受力验算满足要求。	主要受力构件出现造成承载力削弱或次应力增大超过 30% 的截面严重削弱、构件表面质量严重缺陷、构件严重变形中的任意一项。

### 7.2 构件几何尺寸检测

**7.2.1** 构件截面尺寸检测应抽取对被测构件安全性影响较大的三个以上部位进行检测。当构件强度控制时，取截面最小值作为代表值；当构件稳定、长细比控制时，取截面平均值作为代表值。

**7.2.2** 构件截面尺寸检测应清除锈蚀层，打磨至露出钢材原色后进行测量。

**【条文说明】**：对于有较厚涂层的构件，截面尺寸应扣除涂层厚度。

**7.2.3** 构件截面尺寸的检测，可按相关产品标准的规定执行。

### 7.3 构件表面质量检测

**7.3.1** 塔桅钢构件的表面质量检测主要是检查构件外观的均匀性，以及表面是否有裂纹等缺陷。

**7.3.2** 构件表面质量检测抽样数应为存在疑问构件的全数。

**7.3.3** 构件表面质量检测可采用目测法，对于存在局部孔洞、凹凸、翘曲、磕碰等明显缺陷

的，应采用钢尺测量并记录其位置。

**7.3.4** 构件裂纹的检测项目，包括裂纹的位置、长度、宽度、形态和数量，裂纹的记录可采用表格或图形的形式。

**7.3.5** 对于表面存在裂纹的构件，可采用敲击法、观察法和渗透法等进行检测。

**【条文说明】**：敲击法：用包有橡皮的木锤敲击构件的多个部位，若声音不清脆、传音不匀则有裂纹损伤存在。观察法：在有裂纹的构件表面划出方格网，采用 10 倍以上放大镜观察，如发现镀锌层或油漆层表面有直线黑褐色锈痕或细直开裂，则应铲除镀锌层或油漆层仔细检查。渗透法：用砂轮和砂纸将检测部位的表面及其周围 20mm 范围内打磨光滑，不得有氧化皮、焊渣、飞溅、污垢等；用清洗剂将打磨表面清洗干净，干燥后喷涂渗透剂，渗透时间不应少于 10min，然后再用清洗剂将表面多余的渗透剂清除；最后喷涂显示剂，停留 10~30min 后，观察是否有裂纹显示。

## 7.4 构件的变形检测

**7.4.1** 构件的变形检测包括构件的弯曲变形、扭转变形及桅杆纤绳的松弛变形等。

**7.4.2** 构件变形检测抽样应为存在疑问构件的全数。

**7.4.3** 桅杆纤绳的松弛变形检测，可在无风或微风天气的清晨或阴天采用频率法测得纤绳预拉力值，并与原设计值进行对比换算。



## 8 连接节点检测

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 连接节点的检测内容包括焊接连接、螺栓连接、插接连接和锚栓连接等。

**8.1.2** 连接节点的质量分  $a_j$ 、 $b_j$ 、 $c_j$  和  $d_j$  四个等级，可按表 8.1.2 评定。

表 8.1.2 钢结构连接节点评定等级

等级	$a_j$	$b_j$	$c_j$	$d_j$
说明	焊接、螺栓连接和插接连接节点均满足《塔桅钢结构工程施工质量验收规程》CECS 80 及其他相关国家规范和设计要求。	存在下列情况之一： ①出现焊缝外观轻微缺陷；②螺栓连接节点外观轻微缺陷。且对节点性能无影响。	存在下列情况之一： ①出现焊缝尺寸缺陷；②受剪螺栓少量松动；③受拉螺栓预拉力损失。且此区域经受力验算满足要求。	存在下列情况之一： ①出现焊缝长度和焊缝厚度严重缺陷；②螺栓连接节点严重破坏和变形；③插接长度不满足要求；④插接段严重变形。

【条文说明】：由于插接节点出现问题后难以修复，因此仅划分为  $a_j$  和  $d_j$  级。

### 8.2 焊接连接

**8.2.1** 焊接节点的检测分为焊缝外观质量检测和内部质量检测两部分。

**8.2.2** 关键部位的角焊缝和对接焊缝应同时进行焊缝外观质量和焊缝尺寸抽查。

【条文说明】：关键部位指结构受力相对集中或较上下段有较大变化的部位，如变坡段、构件弯折点和多根构件汇交点等。焊缝的外观质量包括裂纹、咬边、根部收缩、弧坑、电弧擦伤、表面夹渣、焊缝饱满程度、表面气孔和腐蚀程度等。焊缝尺寸包含焊缝长度、焊脚高度等。

**8.2.3** 焊缝外观检测可采用目测，裂缝检查应采用着色法，并辅以放大镜。当存在其他缺陷时，应进行焊缝内部质量的无损检测，可采用磁粉探伤、渗透检测或超声波检测等。

**8.2.4** 焊缝无损检测宜根据无损检测方法的适用范围、结构状况和现场条件根据相关标准确定。

### 8.3 普通螺栓连接

**8.3.1** 普通螺栓连接的检测包括螺栓连接的防松措施、螺栓强度等级、几何参数、外观质量和连接性能的检测。

**8.3.2** 采用目测法全数检查普通螺栓连接的防松措施、强度等级和几何参数，几何参数包括规格、数量和排列方式等。

【条文说明】：铁塔桅结构的普通螺栓连接应具有防松措施，避免在拉压交变荷载作用下造

成的节点松动。螺栓强度等级一般标示在螺栓头表面。螺栓规格包含螺杆规格、螺母规格、垫片规格，连接副是否齐全以及螺杆长度、螺纹外露丝扣数等。螺栓的直径、螺距等在工程建设时采用的原标准和现行标准规定有差异时，可按原标准进行检测。

**8.3.3** 目测法检测有疑问时，应重点检测外观质量和连接性能。

**8.3.4** 外观质量的检测包括螺栓断裂、松动、脱落、螺杆弯曲、节点板平整度等。

**8.3.5** 连接性能的检测指节点板和法兰板的贴合度检测。

**8.3.6** 当出现以下情况时，该普通螺栓连接节点应判定为失效，质量评定为 d 级：

- 1 有螺栓出现断裂、脱落、螺杆弯曲；
- 2 连接板严重翘曲，螺栓孔挤压破坏；
- 3 螺栓边距和间距不符合相关规范的规定。

## 8.4 高强度螺栓连接

**8.4.1** 高强度螺栓连接的检测包括螺栓强度等级、几何参数、外观质量和连接性能的检测。

**8.4.2** 采用目测法全数检查高强度螺栓连接的强度等级和几何参数，几何参数包括规格、数量和排列方式等。

**【条文说明】**：螺栓强度等级一般标示在螺栓头表面。螺栓规格检测包括螺杆规格、螺母规格、垫片规格，连接副是否齐全以及螺杆长度、螺纹外露丝扣数等。

**8.4.3** 目测法检测有疑问时，应重点检测高强度螺栓连接的外观质量和连接性能。

**8.4.4** 高强度螺栓连接的外观质量检测包括螺栓断裂、松动、脱落、螺杆弯曲、滑移变形、螺栓孔挤压变形等。

**8.4.5** 高强度螺栓连接性能检测包括高强度螺栓的预拉力检测、节点板和法兰板的贴合度检测等。

**8.4.6** 高强度螺栓连接的预拉力检测宜采用直接张拉法，对于安装后划线的螺栓可采用目测检测。

**【条文说明】**：扭矩法会造成螺栓受拉受扭复合应力状态，当螺栓长度较长时，可能造成螺栓的拉剪破坏，对螺栓防松也不利，预拉力检测时不宜采用。

**8.4.7** 当出现以下情况时，高强度螺栓连接节点应判定为失效，质量评定为 d 级：

- 1 螺杆弯曲、断裂或螺母松动；
- 2 连接板严重翘曲、螺栓孔挤压变形或摩擦型高强度螺栓连接滑移变形；

3 螺栓边距和间距不符合相关规范的规定。

## 8.5 插接连接

**8.5.1** 插接连接检测包括插接长度的检测和插接段贴合率检测。

**8.5.2** 单管塔插接节点检测抽样应为全数。

**8.5.3** 插接长度检测可采用钢卷尺测量，当测量有困难时可以采用全站仪测量，并结合设计图纸换算插接深度。当设计图纸缺失或对测量结果有疑问时，可采用超声波法检测插接深度。

**8.5.4** 插接段贴合度检测可采用塞尺法。

**8.5.5** 当出现以下情况时，插接节点应判定为失效，质量评定为 d 级：

- 1 插接段发生明显变形、翘曲；
- 2 插接段发生可观察到的晃动。

## 8.6 锚栓连接

**8.6.1** 锚栓连接的检测包括锚栓连接的防松措施、锚栓几何参数、外观质量和连接性能的检测。

**8.6.2** 采用目测法全数检查锚栓连接的防松措施和几何参数，几何参数包括规格、数量和排列方式等。

**【条文说明】**：普通锚栓连接应具有防松措施，避免在拉压交变荷载作用下造成的节点松动。锚栓规格检测包括螺杆规格、螺母规格、垫片规格，连接副是否齐全以及螺杆长度、螺纹外露丝扣数等。

**8.6.3** 目测法检测有疑问时，应重点检测锚栓连接的外观质量和连接性能。

**8.6.4** 锚栓连接外观质量检测包括锚栓断裂、拔出、弯曲、滑移变形等。

**8.6.5** 普通锚栓连接性能的检测指锚栓的抗拔承载力、节点板和法兰板的贴合度检测。预应力锚栓连接性能的检测包括预应力锚栓的预拉力、抗拔承载力、节点板和法兰板的贴合度检测。

**8.6.6** 预应力锚栓连接的预拉力检测应采用直接张拉法，对锚栓张拉到检查拉力后试拧螺母以判断锚栓预拉力保持状态，对于安装后划线的锚栓可采用目测检测。

**8.6.7** 当出现以下情况时，锚栓连接节点应判定为失效，质量评定为 d 级：

- 1 锚杆断裂、拔出或预应力锚栓松动；
- 2 连接板严重翘曲、滑移变形、锚栓孔挤压变形；
- 3 锚栓边距和间距不符合相关规范的规定。
- 4 预应力锚栓的预拉力不符合设计要求。

## 9 钢结构防腐检测

### 9.1 一般规定

9.1.1 钢结构防腐的检测包括钢构件（节点）锈蚀程度检测和防腐涂层检测。

9.1.2 钢结构防腐的质量分  $a_r$ 、 $b_r$ 、 $c_r$  和  $d_r$  四个等级，可按表 9.1.2 评定。

表 9.1.2 钢结构防腐评定等级

等级	$a_r$	$b_r$	$c_r$	$d_r$
说明	防腐涂层面层和底层均完好，钢材表面无腐蚀。	防腐涂层局部脱落和鼓包，面积不超过 15%，底层基本完好，钢材表面无锈蚀或仅有少量点状锈蚀。	防腐涂层脱落面积超过 15%，钢材表面呈麻面状锈蚀，大范围锈蚀深度不超过 15% 板件厚度。	防腐涂层大面积脱落损坏，钢材锈蚀严重，大范围锈蚀深度超过 15% 板件厚度。

【条文说明】：由于锈蚀部位往往处于恶劣的环境或不便于维护的位置，因此锈蚀程度的发展有一定的隐蔽性和快速发展性，对于锈蚀的评定等级较构件的截面削弱提出了更高的要求。

### 9.2 钢结构防腐涂层检测

9.2.1 防腐涂层厚度测量前，应清除涂层表面积灰、油污和粉化层等。

9.2.2 钢结构防腐涂层的检测包括防腐涂层的外观质量和厚度。

9.2.3 应对整体结构进行钢结构防腐涂层外观质量检测，并对具有代表性的部位进行厚度检测。

9.2.4 防腐涂层外观质量检测可采用目测观察法，查看涂层是否存在粉化、开裂、起泡和脱落等不良状况。

9.2.5 对于防腐涂层外观质量较差的位置，可采用钢尺测量其范围并加以记录。

9.2.6 防腐涂层厚度检测可采用测厚仪进行测量，根据实际测量涂层厚度均匀程度确定每个部位的测点数，每个测点的实测厚度可采用不少于三次测量的平均值。

### 9.3 钢结构锈蚀检测

9.3.1 钢结构锈蚀检测主要包含钢构件和节点的锈蚀检测。

9.3.2 钢结构锈蚀检测包括锈蚀程度检测和锈蚀趋势估计。

9.3.3 钢构件和节点的锈蚀程度检测采样应全数目测观察，对于发现的锈蚀区域进行锈蚀程度测量。

**9.3.4** 通过全数目测观察检测后发现的严重锈蚀区域，选择严重锈蚀部位采用游标卡尺、螺旋测微器等仪器量测锈蚀后构件厚度，至少选取三点测量，取其最小值作为锈蚀后的构件实际厚度。

**【条文说明】**：重点锈蚀区域可通过结构受力特点和目测锈蚀严重程度进行判断，应选择锈蚀后结构受力和外观质量影响较大，且处于不利的锈蚀环境和状态下，锈蚀可能快速发展的部位作为重点锈蚀区域。

**9.3.5** 紧固件连接节点和锚栓连接节点锈蚀程度的检测主要为外观质量的检测，采用目测观察法对影响连接性能的部位位置进行记录。

**9.3.6** 焊缝锈蚀程度的检测可选取锈蚀严重的焊接节点，清除锈蚀层后采用超声测厚仪器沿焊缝长度均匀测 3~10 个位置，以测得的最小值为锈蚀后的焊缝厚度。

**【条文说明】**：对于受力较大部位，焊缝破坏后可能造成应力集中，引起节点的连续破坏，因此取最小值作为焊缝实际厚度。

**9.3.7** 钢结构锈蚀程度测量前，应清除待测位置表面的油污、涂层、锈蚀层等，用钢丝刷和砂轮等工具打磨至露出金属色泽。

**9.3.8** 锈蚀趋势估计可根据测得的锈蚀程度、发生锈蚀的时间估计后期构件的锈蚀速度和进展，以判断在耐久年限内锈蚀情况。

**9.3.9** 对于检测后锈蚀环境发生改变的，应相应调整构件锈蚀速度估算。

**【条文说明】**：锈蚀环境主要指钢结构的防腐涂层种类和完好情况、温度、空气流通速度和湿度等因素。

**9.3.10** 构件锈蚀速度和锈蚀程度的估计可按公式（9.3.10-1）和公式（9.3.10-2）推算：

$$v = a_1 a_2 \frac{\Delta t}{T_0} \quad (9.3.10-1)$$

$$t_T = t_0 - \Delta t - vT \quad (9.3.10-2)$$

式中  $v$  — 钢结构后期锈蚀速度；

$a_1$  — 前期锈蚀速度调整系数，年锈蚀深度为 0.01~0.05mm 时取 1.0，小于 0.01mm 时取 1.2，大于 0.05mm 时取 0.8；

$a_2$  — 锈蚀环境调整系数，可根据锈蚀环境的变化取为 0.6~1.5；

$\Delta t$  — 前期锈蚀厚度；

$T_0$  — 前期锈蚀时间；

$t_T$  —时间  $T$  后的钢结构厚度估计值；

$t_0$  —钢结构原厚度；

$T$  —锈蚀时间。

**【条文说明】：**锈蚀环境调整系数应根据检测后钢结构的使用环境可能发生的变化进行确定，环境变化趋于加速锈蚀取大值，反之取小值。

## 10 结构整体变形检测

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 结构整体变形检测包括整体垂直度检测和平面几何尺寸检测。

**10.1.2** 结构整体变形检测应在小于 2 级风、阴天或阳光长时间未照射到结构上进行。

**【条文说明】**：钢塔桅结构为高柔结构，在风荷载作用下会发生明显变形，对整体变形检测影响很大；钢结构热膨胀现象明显，当塔桅结构一侧被日光照射后，会发生升温膨胀，造成整体向背光面变形。

**10.1.3** 结构整体变形的质量分  $a_d$ 、 $b_d$ 、 $c_d$  和  $d_d$  四个等级，可按表 10.1.3 评定。

表 10.1.3 结构整体变形评定等级

等级	$a_d$	$b_d$	$c_d$	$d_d$
说明	结构垂直度和平面几何尺寸满足《塔桅钢结构工程施工质量验收规程》CECS 80 和设计要求。	存在下列情况之一： ①出现节段间垂直度或平面几何尺寸超过规范要求但不超过限值的 10%；②整体垂直度偏差不超过规范限值。	存在下列情况之一： ①出现结构节段间垂直度或平面几何尺寸偏差达规范限值的 10%~20%；②整体垂直度偏差达规范限值的 10%~20%。	存在下列情况之一： ①出现结构节段间垂直度或平面几何尺寸偏差超过规范限值的 20%；②整体垂直度偏差超过规范限值的 20%。

### 10.2 结构垂直度检测

**10.2.1** 结构垂直度包括结构整体垂直度检测和节段间的垂直度检测。

**【条文说明】**：节段可以按塔身、塔楼、天线等功能段进行划分，也可以按若干层横杆所在高度进行划分，或两者结合。

**10.2.2** 结构垂直度检测，应在塔身外一定距离设置观测点，采用经纬仪或全站仪等，测量塔身不同高度处的水平位移。

**10.2.3** 对于中心对称的钢塔桅结构，观测视线应在塔中心垂线连线上，且在一条对称轴上。

**10.2.4** 观测点可选择塔身对称轴与塔身或井道横杆、腹杆的交点。

**【条文说明】**：由于钢塔桅结构往往为空间钢结构，仅在对称轴上观测位于对称轴的塔柱等构件时，其在观测面上的投影方为一条竖直线。

**10.2.5** 观测应在互成角度的不少于两个测点对垂直度进行测量，并求矢量和作为结构的实际垂直度偏差值。

**【条文说明】**：对于四边形、八边形塔，两测点与塔心连线宜相互垂直，对于三角形、六边

形塔，两观测点与塔心连线可为  $30^\circ$ 、 $60^\circ$  或  $120^\circ$ 。

**10.2.6** 对于有悬挑塔楼的高耸钢结构，应测量悬挑结构的水平度。

**10.2.7** 通过实测各高度处的垂直度，对钢塔桅结构整体垂直度和节段间垂直度进行计算。

### 10.3 结构平面几何尺寸检测

**10.3.1** 结构平面几何尺寸检测主要为各层横膈面的主要节点的平面关系。

**10.3.2** 结构平面几何尺寸检测应测量平面各点空间坐标或至少两条对角线长度。

**【条文说明】**：对此类观测点进行检测，可确定各点的实际空间坐标，并检查对角线长度等主要尺寸的变化。

**10.3.3** 结构平面尺寸检测应参照原有设计图纸，确定实测位置与设计位置偏差的大小和方向。



## 11 体系评定

### 11.1 一般规定

**11.1.1** 结构体系评定是对钢塔桅结构在目标使用期内可靠性的等级评定，是满足结构安全性、适用性和耐久性的标志。

**11.1.2** 结构体系评定应根据基础、材料、构件、连接节点、防腐涂层及结构整体变形的检测评定的综合结果进行。

**11.1.3** 结构体系评定等级可分为满足结构安全性、结构适用性和结构耐久性三个等级：

**1** 结构安全性包括结构系统完整和结构受力安全。应根据钢塔桅结构现场检测得到的实际结构布置情况和构造状况、依据相关标准，对结构的完整性进行定性分析；根据荷载效应和结构抗力计算结果，并结合现场检验、实验室实验结果对结构在使用期内的承载能力进行定量分析。

**2** 结构适用性是根据变形检测和计算结果，对结构在目标使用期内能否满足正常使用要求进行评定。

**3** 结构耐久性是根据构件及节点的锈蚀或腐蚀程度以及表面涂层的完整性、有效程度对结构的持续使用性能进行评定。

### 11.2 结构安全性等级评定

**11.2.1** 结构安全性等级是对钢塔桅结构在目标使用期内结构是否满足承载力要求的评定，分 A、B、C 和 D 四个等级：

**A 级**，结构各部分承载力均满足规范和设计要求，符合公式（11.2.1-1），结构可不必采取任何措施，继续使用；

$$R \geq \gamma S \quad (11.2.1-1)$$

**B 级**，结构各部分承载力基本满足规范和设计要求，局部结构承载力下降不超过 5%，符合公式（11.2.1-2），可认为对结构安全性无影响，结构可不采取措施，继续使用；

$$R \geq 0.95\gamma S \quad (11.2.1-2)$$

**C 级**，结构承载力无法满足规范和设计要求，但局部结构承载力下降不超过 20%，且能满足荷载标准组合下的承载力要求，符合公式（11.2.1-3a）和公式（11.2.1-3b），结构安全性受到影响，应采取措施。

$$R \geq 0.8\gamma S \quad (11.2.1-3a)$$

$$R \geq S_k \quad (11.2.1-3b)$$

**D级**，结构承载力无法满足规范和设计要求，但局部结构承载力下降超过 20%，或无法满足荷载标准组合下的承载力要求，符合公式（11.2.1-4a）和公式（11.2.1-4b），结构安全性严重受到影响，应立刻采取措施。

$$R < 0.8\gamma S \quad (11.2.1-4a)$$

$$R < S_k \quad (11.2.1-4b)$$

### 11.3 结构适用性等级评定

**11.3.1** 结构适用性等级是对钢塔桅结构在目标使用期内结构是否满足正常使用要求的评定，分 A、B、C 和 D 四个等级：

**A级**，结构不出现影响使用和美观的外观缺陷和变形，且各分项评定等级如表 11.3.1-1，此时结构不需采取任何措施；

表 11.3.1-1 结构适用性为 A 级时分项需达到的评定等级

分项内容	需达到的评定等级
基础	$a_b$ 或 $b_b$
构件	$a_e$
节点	$a_j$ 或 $b_j$
防腐	$a_r$
整体变形	$a_d$

**B级**，结构基础、节点等不经常接触的位置发生影响使用和美观的外观缺陷和变形，且各分项评定等级如表 11.3.1-2，此时结构可不需采取任何措施；

表 11.3.1-2 结构适用性为 B 级时分项需达到的评定等级

分项内容	需达到的评定等级
基础	$a_b$ 或 $b_b$
构件	$a_e$
节点	$a_j$ 或 $b_j$
防腐	$a_r$ 或 $b_r$
整体变形	$a_d$

**C级**，结构构件出现外观缺陷、腐蚀明显、整体变形较大等影响使用和美观的外观缺陷和变形，各分项评定等级满足如表 11.3.1-3，此时结构应采取的措施；

表 11.3.1-3 结构适用性为 C 级时分项需达到的评定等级

分项内容	需达到的评定等级
基础	$a_b$ 、 $b_b$ 或 $c_b$
构件	$a_e$ 或 $b_e$
节点	$a_j$ 、 $b_j$ 或 $c_j$
防腐	$a_r$ 、 $b_r$ 或 $c_r$
整体变形	$a_d$ 或 $b_d$
动力测试	结构加速度值超过规范限值

**D级**，结构外观缺陷、腐蚀、整体变形严重影响使用和美观，各分项评定等级如表 11.3.1-4，此时结构应立即采取措施。

表 11.3.1-4 结构适用性为 D 级时分项需达到的评定等级

分项内容	需达到的评定等级
基础	$a_b$ 、 $b_b$ 、 $c_b$ 或 $d_b$
构件	$a_e$ 、 $b_e$ 或 $c_e$
节点	$a_j$ 、 $b_j$ 、 $c_j$ 或 $d_j$
防腐	$a_r$ 、 $b_r$ 、 $c_r$ 或 $d_r$
整体变形	$a_d$ 、 $b_d$ 或 $c_d$
动力测试	结构加速度值超过规范限值

## 11.4 结构耐久性等级评定

**11.4.1** 结构耐久性等级是对钢塔桅结构在目标使用期内正常维护条件下，结构构件及连接是否满足使用功能要求的评定，分 A、B、C 和 D 四个等级。

**【条文说明】**：钢塔桅结构为大悬臂结构，其基础在反复风荷载作用下会出现拉拔交替作用，在目前很多通信塔工程和风力发电塔工程中已经发现基础在此作用下性能的不断退化；对于空间桁架式塔架，构件主要承受轴向力，一旦构件出现初始缺陷，尤其在受压作用下，缺陷可能会继续发展，因此在结构耐久性等级评定中考虑了基础和构件的检测结果。

**A级**，基础和构件存在轻微缺陷、钢材无腐蚀现象、防腐涂层完好，各分项评定等级如表 11.4.1-1，此时结构不需采取任何措施；

表 11.4.1-1 结构耐久性为 A 级时分项需达到的评定等级

分项内容	需达到的评定等级
基础	$a_b$ 或 $b_b$
构件	$a_e$ 或 $b_e$
防腐	$a_r$

**B 级**，基础和构件存在明显缺陷、防腐涂层轻微破坏、少量锈蚀，且各分项评定等级如表 11.4.1-2，此时结构可不采取任何措施；

表 11.4.1-2 结构耐久性为 B 级时分项需达到的评定等级

分项内容	需达到的评定等级
基础	$a_b$ 、 $b_b$ 或 $c_b$
构件	$a_e$ 、 $b_e$ 或 $c_e$
防腐	$a_r$ 或 $b_r$

**C 级**，基础和构件存在明显缺陷、防腐涂层轻微破坏、局部锈蚀严重，各分项评定等级如表 11.4.1-3，此时结构应采取措施；

表 11.4.1-3 结构耐久性为 C 级时分项需达到的评定等级

分项内容	需达到的评定等级
基础	$a_b$ 、 $b_b$ 或 $c_b$
构件	$a_e$ 、 $b_e$ 或 $c_e$
防腐	$a_r$ 、 $b_r$ 或 $c_r$

**D 级**，基础和构件存在严重缺陷、在受力作用下可能继续发展，锈蚀严重，基础、构件、防腐部分或全部分项评定等级达到 d 级，此时结构应立即采取措施。

## 12 加固基本原则

### 12.1 一般规定

**12.1.1** 钢塔桅结构经检测评定需要加固时，应根据检测评定结论和委托方提出的要求，由设计单位的专业技术人员进行加固设计。

【条文说明】：钢塔桅结构的加固应根据检测评定的质量等级和结论，以及委托方提出的要求进行。结构加固设计和施工往往比新建工程的设计和施工技术更复杂、更困难，因此必须由设计单位有经验的技术人员进行设计。

**12.1.2** 加固的内容和范围应根据检测评定结论和加固后的使用要求确定。

**12.1.3** 加固后结构的安全等级应根据结构破坏后果的严重程度、结构的重要性和后续使用期的具体要求，由使用单位和设计单位按实际情况商定，并且应符合现行国家规范相应安全等级的规定。

【条文说明】：加固后钢塔桅结构的安全等级，应根据加固后的使用功能、结构的使用年限和破坏可能产生后果的严重程度等具体情况，按照《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153 和《高耸结构设计规范》GB 50135 的规定确定。

**12.1.4** 加固设计应结合实际施工方法，并采取有效措施，保证新增截面、构件和部件与原结构可靠连接、协调工作。在加固设计和施工时，应充分考虑对未加固结构区域或构件造成的不利影响。

【条文说明】：施工方法和施工顺序对结构的加固设计效果有直接影响，因此在加固设计过程中应充分考虑现场条件对施工方法、加固效果和施工工期的影响，保证加固件与原结构协调工作。

**12.1.5** 对于由受力、高温、腐蚀、冻胀、振动、基础不均匀沉降等原因造成的结构损伤，应采取相应的处理对策。

【条文说明】：由受力、高温、腐蚀、冻胀、振动、基础不均匀沉降等原因造成的结构损伤，加固时应在采取减少、抵御或排除这些不利因素影响的同时，再考虑对结构的加固，以保证加固效果，避免加固后结构再次因同样原因受损。

**12.1.6** 加固方案应综合考虑结构安全性和经济性，尽量缩短工期、减少对正常使用的影响。

## 12.2 材料

**12.2.1** 加固件的钢材质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 或《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。

**12.2.2** 加固件的钢材强度设计值应按现行《钢结构设计规范》GB 50017 执行。

**12.2.3** 加固用连接材料应符合现行《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。

## 12.3 荷载与作用

**12.3.1** 验算原有结构的承载能力和进行加固设计时，应根据实际情况重新确定荷载和作用。

**12.3.2** 加固设计时，荷载与作用应按现行《高耸结构设计规范》GB 50135 的规定采用。当有可靠的实际测量数据时，可根据实际情况合理调整。

**【条文说明】**：实际情况与原结构设计采用的荷载有可能不同，不能简单地套用原设计采用的荷载。按照实际情况准确地确定荷载，有可能避免对结构进行大规模的加固处理。但应以可靠的实际测量数据为依据。

## 12.4 结构分析的基本规定

**12.4.1** 应根据结构的实际状况及其承受的荷载与作用进行结构分析。

**【条文说明】**：实际结构与原设计结构可能存在差异，因此加固设计时应按实际状况进行结构分析。

**12.4.2** 加固前应对原结构按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行验算。

**【条文说明】**：加固设计前应对原结构进行计算与分析，以确定合理的加固范围。

**12.4.3** 加固设计分析应包括加固过程和加固后两个阶段，按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行验算：

1 加固过程的结构计算，应考虑加固过程中拆卸原有零部件、增设螺栓孔等对原有结构状态的改变，此时只考虑加固过程的荷载与作用；

2 加固后的结构计算，应考虑结构加固后在预期使用期内的荷载与作用，以及加固部分与原结构的协调工作；

3 构件的计算截面，应采用相应设计阶段的有效截面。

**【条文说明】**：加固设计一般划分为两个阶段，一是加固过程中、二是加固后。应按各阶段相应的有效截面、作用荷载和支承条件分别进行验算。

## 13 加固基本方法

### 13.1 一般规定

**13.1.1** 根据不同的加固内容可采用改变结构体系、替换构件、增大构件截面和增强连接等加固方法。当有成熟经验时，亦可采用其他加固方法。

**【条文说明】**：根据以往的加固工程经验，给出几种常用的钢塔桅结构加固方法。对于其它行之有效的经验或实践证明是成熟的加固方法，亦可采用，如调整构件内力的加固方法。采用调整构件内力的方法加固结构时，应在加固设计中规定调整内力（应力）或规定位移（应变）的数值和允许偏差及其检测位置和检验方法。

**13.1.2** 基础的加固应按现行《混凝土结构加固设计规范》GB 50367、《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123 等相关标准执行。

**13.1.3** 建造于其他建筑物上的钢塔桅结构的加固，加固设计单位应将被加固结构的柱脚反力提交给使用单位，并由其另行委托相关设计单位对塔下建筑进行复核。

**【条文说明】**：本规程对塔下建筑物结构的加固未做规定，应由相关单位根据现行《混凝土结构加固设计规范》GB 50367、《钢结构加固技术规范》CECS 77 等相关标准进行设计。

**13.1.4** 钢塔桅结构的加固施工，应避免在动力荷载作用下进行。

**【条文说明】**：对于气象雷达塔、海事雷达塔、风力发电塔等运行时有振动荷载的钢塔桅结构，加固时应暂停设备运行，以保证结构安全。

**13.1.5** 加固施工应与设计紧密配合，未经设计方允许，不得擅自修改设计规定的施工方法和程序。

**【条文说明】**：加固设计在很大程度上需要通过合理的施工程序和施工方法来实现。为了准确地实现加固设计的意图及保证安全可靠，特别强调设计与施工应紧密配合，且未经设计允许，不得擅自修改设计规定的施工方法和程序。

### 13.2 改变结构体系

**13.2.1** 采用改变结构体系进行加固时，可采用改变荷载分布、传力途径、节点性质和边界条件，增设附加杆件和支撑，施加预应力等措施。

**【条文说明】**：改变结构体系的实质是通过改变结构的传力体系、增加结构空间刚度、改变构件刚度比和支承情况等改变结构计算体系，调整原结构内力，使结构按设计要求进行内力重分配，从而达到加固的目的。

**13.2.2** 改变结构体系的加固设计,应对改变后的结构体系按结构承载能力极限状态和正常使用极限状态进行计算,并应考虑施工过程中对相关结构构件承载能力和使用功能的影响。

**13.2.3** 改变结构体系可选用下列方法:

- 1 增设支撑或辅助杆件;
- 2 改变构件端部支承情况;
- 3 设置拉杆或拉索。

**【条文说明】**:通过增设支撑、改变构件端部连接等减少构件计算长度,设置拉杆或拉索提高构件刚度和稳定性。

### 13.3 替换构件

**13.3.1** 采用替换构件法进行加固时,可拆除原有不能满足继续使用要求的构件,置换新构件。

**13.3.2** 采用替换构件法进行加固施工时,应对拆除原构件后、置换新构件前的结构体系按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行验算。

**13.3.3** 采用替换构件法进行加固施工时,应采取切实可行的临时措施,保证原结构的安全。

### 13.4 增大构件截面

**13.4.1** 采用增大构件截面法加固钢结构构件时,应考虑构件的受力情况及存在的缺陷,在施工方便、连接可靠的前提下,选取最有效的增大截面形式。常用的钢塔桅结构构件增大截面形式见附录 B。

**【条文说明】**:增大构件截面法是指原构件与新增钢构件经焊接或螺栓连接组合形成新的截面形式,根据材料力学基本原理重新计算构件截面特性,并考虑钢材强度折减系数,以达到加固设计要求的方法。加固件的布置应适应原有构件的几何形状或已发生的变形情况,尽量选取不引起截面形心偏移的形式,难以避免时,应在加固计算中考虑偏心影响。

**13.4.2** 采用增大构件截面法进行加固时,按增大后的截面进行承载力计算。钢材强度设计值应考虑折减系数  $k$ ,一般取  $k=0.8$ 。

**【条文说明】**:加固时钢材强度折减系数  $k$  是在加固计算中为考虑多种随机因素的影响而引入的一项经验系数。如施工条件恶劣,不易保证质量;考虑应力重分布时,加固件的应力滞后;焊接加固引起的附加变形对加固效果的影响;焊接加固产生的残余应力;螺栓加固时原有构件和加固件连接刚度的差异等。按《钢结构检测评定及加固技术规程》YB 9257 及实践经验取  $k=0.8$ 。



13.4.3 采用增大构件截面的方法加固轴心受力构件时，应考虑构件截面偏心的影响。

13.4.4 加固后受弯构件和偏心受力构件计算时，不宜考虑截面的塑性发展。

【条文说明】：加固后构件宜按边缘屈服准则进行计算。

13.4.5 加固后构件的稳定验算，应按加固后的截面取用稳定系数，同时应考虑钢材强度折减系数。

### 13.5 连接的加固

13.5.1 连接的加固方法可以采用焊接、普通螺栓连接或高强度螺栓连接。

【条文说明】：钢塔桅结构加固施工常为高空作业，宜优先采用螺栓连接加固。当原结构为焊接时，宜采用焊接或高强度螺栓连接加固。

13.5.2 新增加的连接单独受力时，按现行规范计算；与原结构连接共同受力时，应按原有连接及新增连接的实际传力状态进行计算。

13.5.3 当需要拆除原有连接及构件，进行扩孔或增加螺栓孔时，必须采取合理的施工工艺和安全措施。

【条文说明】：当采用焊接时，如沿构件横截面施焊，会使构件全截面金属的温度升高过大而失去承载力；当采用更换或增加螺栓加固连接时，拆除原有螺栓过多或需要增加、扩大螺栓孔时，常使原有构件连接承载力急剧降低。因此需要采取合理的施工工艺，以保证连接的实际受力与理论一致。螺栓扩孔时宜优先采用绞刀扩孔，不应采用火焰切割制孔，并保证螺栓连接满足构造要求。

13.5.4 对原焊接连接的加固，可采用增加焊缝长度、增加焊缝有效厚度或增加独立的新焊缝，并做好焊缝区域的防腐蚀处理。新增焊缝应符合现行《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定。

13.5.5 用堆焊增加原有角焊缝有效厚度时，应按公式（13.5.5）计算施焊过程中焊缝强度：

$$\sqrt{\sigma_f^2 + \tau_f^2} \leq \eta_f f_f^w \quad (13.5.5)$$

式中  $\sigma_f$ 、 $\tau_f$  ——分别为按加固后角焊缝有效面积（ $h_e l_w$ ）计算的端缝应力和侧缝应力；

$\eta_f$  ——焊缝强度影响系数，可按表 13.5.5 采用；

$f_f^w$  ——角焊缝的强度设计值，根据原结构（或构件）与加固构件两者强度较低的钢材，

按《钢结构设计规范》GB50017 执行。

表 13.5.5 焊缝强度影响系数  $\eta_f$

加固焊缝总长度 (mm)	$\geq 600$	300	200	100	50	$\leq 40$
$\eta_f$	1.0	0.9	0.8	0.65	0.25	0

【条文说明】：负荷状态下采用堆焊增加焊缝有效厚度时，由于施焊加热原有焊缝，考虑 600℃ 影响区域内焊缝暂无承载力，致使焊缝的总平均设计强度降低，引入焊缝强度影响系数  $\eta_f$ 。

**13.5.6** 加固后直角角焊缝的强度按公式 (13.5.6-1) ~ 公式 (13.5.6-3) 计算，并可考虑新增和原有焊缝的共同受力作用：

1 在通过焊缝形心的拉力、压力或剪力作用下：

当力垂直于焊缝长度方向时

$$\sigma_f = \frac{N}{h_e l_w} \leq f_f^w \quad (13.5.6-1)$$

当力平行于焊缝长度方向时

$$\tau_f = \frac{V}{h_e l_w} \leq 0.85 f_f^w \quad (13.5.6-2)$$

2 在各种力综合作用下， $\sigma_f$  和  $\tau_f$  共同作用处：

$$\sqrt{\sigma_f^2 + \tau_f^2} \leq 0.95 f_f^w \quad (13.5.6-3)$$

式中， $h_e$ ——角焊缝的有效厚度，对于直角角焊缝等于  $0.7h_f$ ， $h_f$  为较小焊脚尺寸；

$l_w$ ——角焊缝的计算长度，为焊缝的实际长度减去  $2h_f$ ，且不小于 20mm。

【条文说明】：加固后直角角焊缝可考虑新、旧焊缝的共同受力，但由于工地施焊、负荷下加固焊缝中可能有应力滞后等，适当降低角焊缝设计强度，乘以 0.85 的系数。并对角焊缝同时受有  $\sigma_f$  和  $\tau_f$  时，作进一步简化。

**13.5.7** 当仅用第 13.5.4 条的办法不能满足连接加固的要求时，可采用附加连接板的办法。附加连接板可以用角焊缝与原构件相连，也可与原节点板对接，但均需进行连接的受力分析。

【条文说明】：当由于加固受力、构造等原因，仅增加焊缝长度和有效厚度的方法不能满足加固要求时，建议用附加节点板等措施，使加固的连接受力适当“分流”，但必须对其受力进行认真分析，确保“分流”受力的可能与合理。

**13.5.8** 下列情况宜采用螺栓连接加固：

- 1 螺栓连接施工较方便；
- 2 原有构件钢材的可焊性不满足要求；
- 3 原有构件的受力状态不适于在负荷条件下施焊；
- 4 原有构件为螺栓连接。

**13.5.9** 替换已损坏或缺失的普通螺栓时，应首先考虑采用适宜原螺栓孔直径的、强度较高的普通螺栓，螺栓孔附近钢材表面的污垢、锈皮等必须清除干净。承载力计算不能满足要求时，在满足强度和构造要求的前提下可扩大螺栓孔直径，采用直径提高一级的螺栓。

**13.5.10** 原螺栓连接节点通过增加螺栓加固，加固后节点总承载能力为原有螺栓连接承载能力与新增螺栓连接承载能力之和的 80%。

**13.5.11** 当采用螺栓加固连接时，加固后连接节点的承载能力和构造要求均应符合现行《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。

**13.5.12** 在同一受力部位的连接加固中，不宜采用刚度相差较大的混合连接方法，但计算时仅考虑其中刚度较大的连接承受全部荷载的除外。

**【条文说明】**：钢塔桅结构常用的连接方法中，其连接刚度大小依次为焊接、高强度螺栓连接和普通螺栓连接。一般应用刚度较大的连接来加固比其刚度小的连接，且计算时不宜考虑混合连接的共同受力。当仅考虑较大刚度连接承受全部荷载时，较小刚度连接可不予以拆除。如采用焊接连接加固摩擦型高强螺栓连接时，可考虑两者的共同工作；如采用焊接连接加固承压型高强螺栓连接或普通螺栓连接时，只能考虑焊缝承担全部荷载，但不宜拆除原有螺栓。一般来说，同一连接节点宜采用直径相同的螺栓连接。

## 13.6 加固件的连接

**13.6.1** 加固件应与被加固件可靠连接，保证二者共同工作。

**13.6.2** 加固件与被加固件的连接方法，应考虑构造和施工条件确定，可按下列受力情况验算连接强度：

- 1 对于轴心受力构件，按公式（13.6.2）计算；

$$V = \frac{A_t f}{50} \sqrt{\frac{f_y}{235}} \quad (13.6.2)$$

式中  $A_t$ ——构件加固后的总截面面积；

$f$ ——构件钢材强度设计值，当加固件与被加固件钢材强度不同时，取强度较高钢材的值；

$f_y$ ——钢材的屈服强度，当加固件与被加固件钢材强度不同时，取强度较高钢材的值。

- 2 对于受弯构件，应根据可能的最大设计剪力计算；
- 3 对于压弯构件，根据以上二者中的较大值计算；
- 4 对于增设中间支承构件来减少受压构件计算长度时，支承杆件与被加固受压构件间的连接受力，仍按公式（13.6.2）计算，但其中  $A_f$  取被加固构件的截面面积。

【条文说明】：加固件与被加固结构间的连接受力，对于增大截面的轴心受力构件、受弯构件和压弯构件，一般应取其间的剪力计算。但为安全、简化，对于压弯构件，本条规定采用

加大的轴心受力构件剪力  $V = \frac{A_f f}{50} \sqrt{\frac{f_y}{235}}$  和实际剪力两者中的较大值进行计算。

**13.6.3** 采用增大构件截面法将加固件与被加固件连接形成一体时，连接点不少于两个，且连接点的间距应满足下列规定：

- 1 对受拉构件不应大于  $80i$ ；
- 2 对受压构件不应大于  $40i$ 。

$i$  为加固件截面中各独立截面回转半径的最小者。

**13.6.4** 当增设中间支撑构件仅用来减少受压构件的计算长度时，支撑杆件与被加固构件间的连接宜优先选用不损坏原结构的抱箍连接（见图 13.6.4）。支撑杆件的内力按公式（13.6.2）计算，抱箍钢板以及连接螺栓的设计按现行《钢结构设计规范》GB 50017 执行。

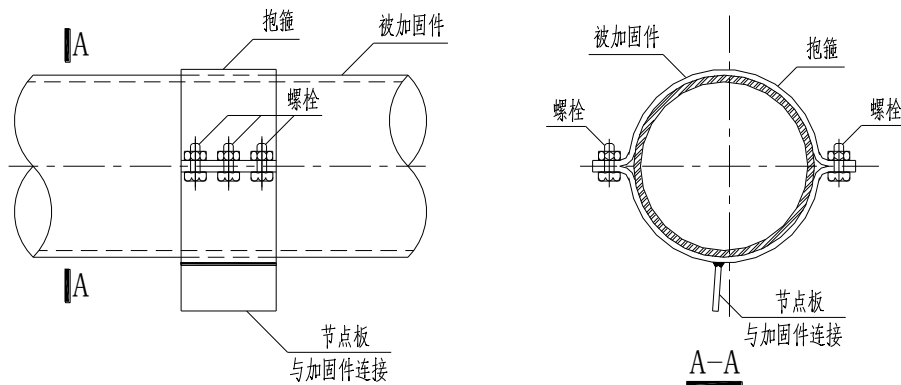


图 13.6.4 抱箍连接

【条文说明】：抱箍连接节点是既有塔桅钢结构增设杆件时端部常用的连接形式，对原结构影响小，且施工方便。加工时两片抱箍之间应留有一定的间隙，安装时用螺栓紧固使其贴紧，从而使抱箍夹紧被加固件。

**13.6.5** 新增或替换钢管构件时，宜采用含有伸缩节连接节点（见图 13.6.5）的构件，并在构件计算跨度中间设置施工阶段的内力监测，调整构件长度的同时监测构件内力，使其与原结

构共同受力，安装调节完毕后将伸缩节焊接固定。伸缩节的强度、调节范围等应根据构件受力情况按现行《钢结构设计规范》GB 50017 计算确定。

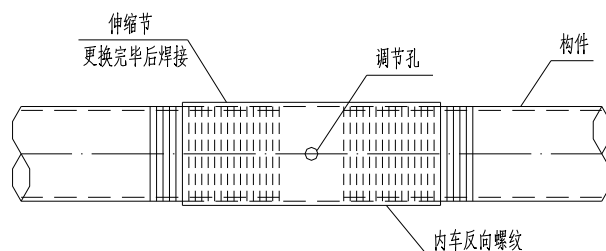


图 13.6.5 伸缩节节点

**【条文说明】**：伸缩节内壁刻有与连接构件外壁相反的螺纹，通过转动伸缩节，调节构件长度，使构件参与受力。为了使构件受力大小在加固设计允许范围内，在调整构件长度的同时应监测构件的内力，使其达到最佳加固效果。

**13.6.6** 采用增大构件截面法，加固件与被加固件通过螺栓连接时，宜选用直径较小、强度较高的螺栓。

**【条文说明】**：通过螺栓连接加固件与被加固件使其形成一体时，宜选用直径较小、强度较高的螺栓，以减小对被加固构件截面的削弱。

### 13.7 加固结构的防腐

**13.7.1** 加固采用的所有钢材，包括型钢、板材、螺栓等，均须采取防腐措施。

**13.7.2** 在构造上，应避免出现难于检查、清理和油漆之处以及能积留湿气和大量灰尘的死角和凹槽。加固形成的闭口截面构件应沿全长和端部焊接封闭，采用螺栓连接的加固构件应优先采用热浸锌等长效防腐措施。

**13.7.3** 在加固设计文件中应注明所要求的钢材除锈等级和所选用的涂料（或镀层）及涂（镀）层厚度。

**13.7.4** 现场焊接加固部分应及时清除焊渣，并补涂防腐涂料。

## 14 加固施工安全措施

**14.0.1** 加固施工方法应根据使用单位要求、结构实际受力状态,在确保质量和安全的前提下,由设计和施工单位协商确定。

**【条文说明】:** 钢塔桅结构加固施工方法有: 负荷加固、卸荷加固和从原结构上拆下加固或替换构件进行加固等。加固时施工方法与设计、施工和使用要求密切相关,情况复杂,应根据使用要求和实际工作状态,在确保安全和质量的前提下,由加固设计与施工单位协商确定。

**14.0.2** 加固工作开始前, 施工单位应按照加固设计进行施工组织设计。

**14.0.3** 加固施工时, 应事先检查原有结构各连接点是否牢固, 必要时可先加固连接点或增设临时支撑。

**14.0.4** 对加固时可能出现倾斜、失稳或倒塌等不安全状况的钢塔桅结构, 在加固施工前, 应采取相应的临时安全措施。

**14.0.5** 钢结构的焊接加固, 必须由有相应焊接资质的焊工施焊, 且应保证良好的焊接环境条件。发生下列情况之一、且无有效防护措施时, 不得施焊:

- 1 风速大于 $10m/s$  (六级和六级以上大风);
- 2 下雨或下雪;
- 3 相对湿度大于 90%;
- 4 环境温度低于 $0^{\circ}C$  (Q235 钢) 或低于 $5^{\circ}C$  (Q345 钢)。

**14.0.6** 采用焊接加固时, 应采用合理的焊接顺序, 并尽量避免仰焊。应首先加固对原结构影响较小、结构最薄弱处和能立即起到加固作用的部位。

**14.0.7** 采用增大构件截面法, 加固件与被加固件通过焊接连接时, 可将二者沿全长压紧, 用长 50~100mm 的间断焊缝定位焊接后, 再由加固件端部向中间分区段施焊。对于截面有对称的成对焊缝时, 应平行施焊; 有多条焊缝时, 应交错顺序施焊。

**【条文说明】:** 此条的目的在于先点焊固定, 使构件较快具有相当承载力, 其后逐次施焊时, 尽可能采用使构件能对称、自由变形的施焊顺序, 以减少残余应力和变形。

**14.0.8** 对螺栓连接节点进行加固时, 螺栓更换应拆一补一, 并对剩余螺栓数量进行验算; 同一层的螺栓节点应轮流、对称更换。对只有一个螺栓连接的节点, 应先采取临时措施确保传力, 再更换螺栓。

**14.0.9** 采用增大构件截面法，加固件与被加固件通过螺栓连接时，可将二者沿全长压紧，从两端向中间逐次钻孔和安装拧紧螺栓。

**14.0.10** 在加固施工过程中，若发现原结构有未检测到的损伤或严重缺陷时，应立即停止施工，并会同加固设计单位采取有效措施进行处理。

**14.0.11** 加固施工需要拆下构件或卸荷时，必须措施合理、传力明确、确保安全。

**14.0.12** 加固施工过程中，应根据结构受力分析，对敏感部位进行受力或变形监测。

## 15 加固验收与维护

### 15.1 加固验收

**15.1.1** 加固验收除应满足本标准的规定外，尚应符合现行《塔桅钢结构工程施工质量验收规程》CECS 80 及其他有关规范的规定。

**15.1.2** 加固竣工验收，应在全部加固施工完毕后进行。施工过程中各种临时支撑在验收前应全部拆除。

**15.1.3** 对原材料、半成品的质量标准和检验、试验方法，应按有关的现行国家或行业标准执行。

**15.1.4** 加固验收，应提供下列文件备查和归档：

- 1 委托任务书及加固相关协议文件；
- 2 检测报告及相关文件；
- 3 原设计施工图（或测绘图）、加固设计图纸、设计变更通知单、施工变更联络单等技术文件；
- 4 施工组织设计或施工技术方案、设计交底记录等；
- 5 新增构件、零部件所用钢材、连接材料（焊接材料及紧固件）、涂装材料等的质量证明文件或试验报告；
- 6 新增构件的出厂合格证；
- 7 加固焊缝外观质量检查及主要焊缝的无损探伤报告（必要时应包括原构件的可焊性检验）；
- 8 加固竣工验收报告；
- 9 其他相关资料。

### 15.2 加固后结构维护

**15.2.1** 工程竣工验收后，应由使用单位负责加固后钢塔桅结构的管理，建立定期检查、维护、保养制度；

1 应对钢塔桅结构定期进行检查，发现问题及时处理，并做好记录和归档；

2 在定期的维护检查中，应重点检查加固部分钢结构构件、主要连接节点和锈蚀情况。

**15.2.2** 每经 7 度及以上地震或十级及以上大风后，应对结构作全面观测和检查，重点包括：螺栓有无松动、焊缝有无开裂、拉杆是否松弛、镀锌或涂覆层是否损坏、构件有无显著变形等，并进行相应处理和做好记录。



## 附录 A 基于里氏硬度直接推定钢材强度的无损检测方法

**A.0.1** 本检测方法适用于通过钢材的里氏硬度直接推定既有结构中钢材的屈服强度和极限抗拉强度。

【条文说明】：本检测方法主要基于对 Q235 钢材和 Q345 钢材的实测数据分析，其优点在于可以直接有钢材的里氏硬度直接推定其屈服强度和极限抗拉强度，而无需经过维氏硬度换算，从而在一定程度上消除了换算所导致的累计误差。对于可能为 Q390 和 Q420 钢材的既有钢结构，可以参考使用。

**A.0.2** 里氏硬度试验法是一种动态硬度试验法。检测时宜选用采用 D 型冲击装置的 HL-500 里氏硬度计，其主要技术参数为：冲击体的质量为 5.5g。冲击能量为 11.0N•mm，球头直径为 3.0mm，并在实测前进行标定。

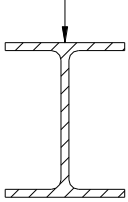
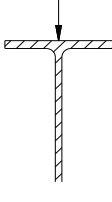
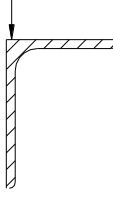
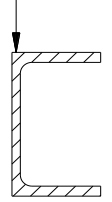
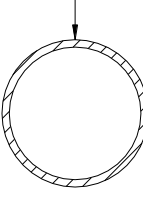
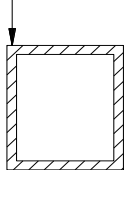
【条文说明】：由于建筑结构钢材的里氏硬度值一般为 200-600HL，因此宜选用采用 D 型冲击装置的 HL-500 里氏硬度计。

**A.0.3** 现场测量里氏硬度时，环境温度为常温，无振动和强烈磁场干扰，被测钢构件质量不小于 5kg，厚度不小于 5mm。被测钢构件表面应打磨呈现出与打磨方向一致的痕迹，粗糙度小于 1.6 $\mu$ m，测区打磨范围不小于 30mm×60mm。

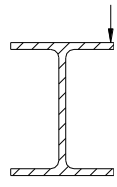
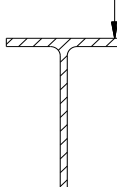
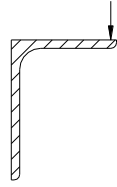
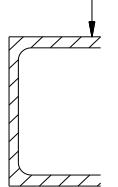
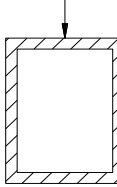
【条文说明】：可采用角磨机对试件表面进行打磨。如钢材表面锈蚀严重，可先用粗磨片进行初步打磨，再用细磨片进行二次打磨，直到打磨区域呈现出与打磨方向一致的痕迹为止。

**A.0.4** 里氏硬度的现场测量部位分为标准测量部位（附表 A.0.4-1）和非标准测量部位（附表 A.0.4-2），现场检测时，应尽可能在标准部位进行测量，如条件不允许也可在非标准部位测量。

附表 A.0.4-1 钢材里氏硬度的标准测量部位

构件截面	H 型钢 / 工字钢	T 型钢	角钢	槽钢	圆钢管	方钢管
测量部位						

附表 A.0.4-2 钢材里氏硬度的非标准测量部位

构件截面	H 型钢/工字钢	T 型钢	角钢	槽钢	方钢管
测量部位					

【条文说明】：在现场检测中，测量部位应选择在方便操作、试件刚度较大且不易发生晃动的位置。一般来说，若测量部位有足够刚度和稳定性，可保证在冲击过程中不发生振动即可认为是测量标准部位，否则为非标准部位。

**A.0.5** 每个试件选取 10 个测区，每测区取 10 个测点，测点间距离不小于 3mm，测点与试件边缘之距不小于 5mm。

**A.0.6** 打磨完成后进行里氏硬度测量。每个测区进行 10 次测量操作，去掉两个最大值和两个最小值，取剩下 6 个硬度值的平均值作为一个测区的硬度值。所有测区硬度值的平均值作为试件的里氏硬度实测值（HLD）。

**A.0.7** 各类截面的钢构件标准部位里氏硬度实测值（HLD）应按表附表 A.0.7 予以修正为里氏硬度修正值（HL）。

附表 A.0.7 标准部位钢构件截面里氏硬度修正（HL）

里氏硬度 HL 强度	H 型钢/焊接组合截面 /工字钢/T 型钢/钢板	角钢/槽钢	方管	圆管
用于计算 屈服强度 $f_y$	不修正	实测值-100HLD	实测值+40HLD	实测值+40HLD
用于计算 极限抗拉强度 $f_u$	不修正	实测值-150HLD	实测值-40HLD	实测值+40HLD

【条文说明】：试验结果表明，不同截面钢构件的里氏硬度实测值（HLD）与强度的关系有一定差异，且呈现出一定的规律性，这主要是由于即使在标准部位测试，不同构件截面的测点局部刚度特征仍存在差异所致。通过修正后，不同截面构件标准部位的里氏硬度修正值（HL）与钢材的强度之间可以建立统一的关系曲线，而各类截面非标准部位的测点局部刚度均明显小于其标准部位，各类截面间的刚度差异影响相对较小，故其里氏硬度实测值（HLD）无需专门修正。

**A.0.8** 标准部位钢材里氏硬度修正值（HL）与屈服强度  $f_y$ （MPa）及极限抗拉强度  $f_u$ （MPa）之间的对应关系（测强曲线）分别为公式（附 A.0.8-1）和公式（附 A.0.8-2）。

$$f_y = 25.77e^{(0.0043HL)} + 204.5 \quad (\text{附 A.0.8-1})$$

$$f_u = 293.3e^{(0.0013HLD)} \quad (\text{附 A. 0. 8-2})$$

【条文说明】：公式（附 A.0.8-1）和公式（附 A.0.8-2）均为实测数据拟合曲线。公式（附 A.0.8-1）的复相关系数为 0.6948，显著性水平<0.01，平均相对误差±5.47%，相对标准差 6.65%；公式（附 A.0.8-2）的复相关系数为 0.7529，显著性水平<0.01，平均相对误差为±1.85%；相对标准差 5.56%。事实上，里氏硬度和极限抗拉强度的拟合对应关系相关性更好，而与屈服强度的拟合对应关系相关性略低。其原因在于对相同牌号的合格钢材而言，在保证钢材的极限抗拉强度和屈服强度的同时，屈强比往往并不稳定，一般保证的是最低屈强比。里氏硬度与极限抗拉强度存在相对稳定的对应关系。因此，实际应用中，用里氏硬度推测极限抗拉强度可信度更高。

**A.0.9** 非标准部位钢材里氏硬度实测值（HLD）与屈服强度（MPa）及极限抗拉强度（MPa）之间的对应关系（测强曲线）分别为公式（附 A.0.9-1）和公式（附 A.0.9-2）。

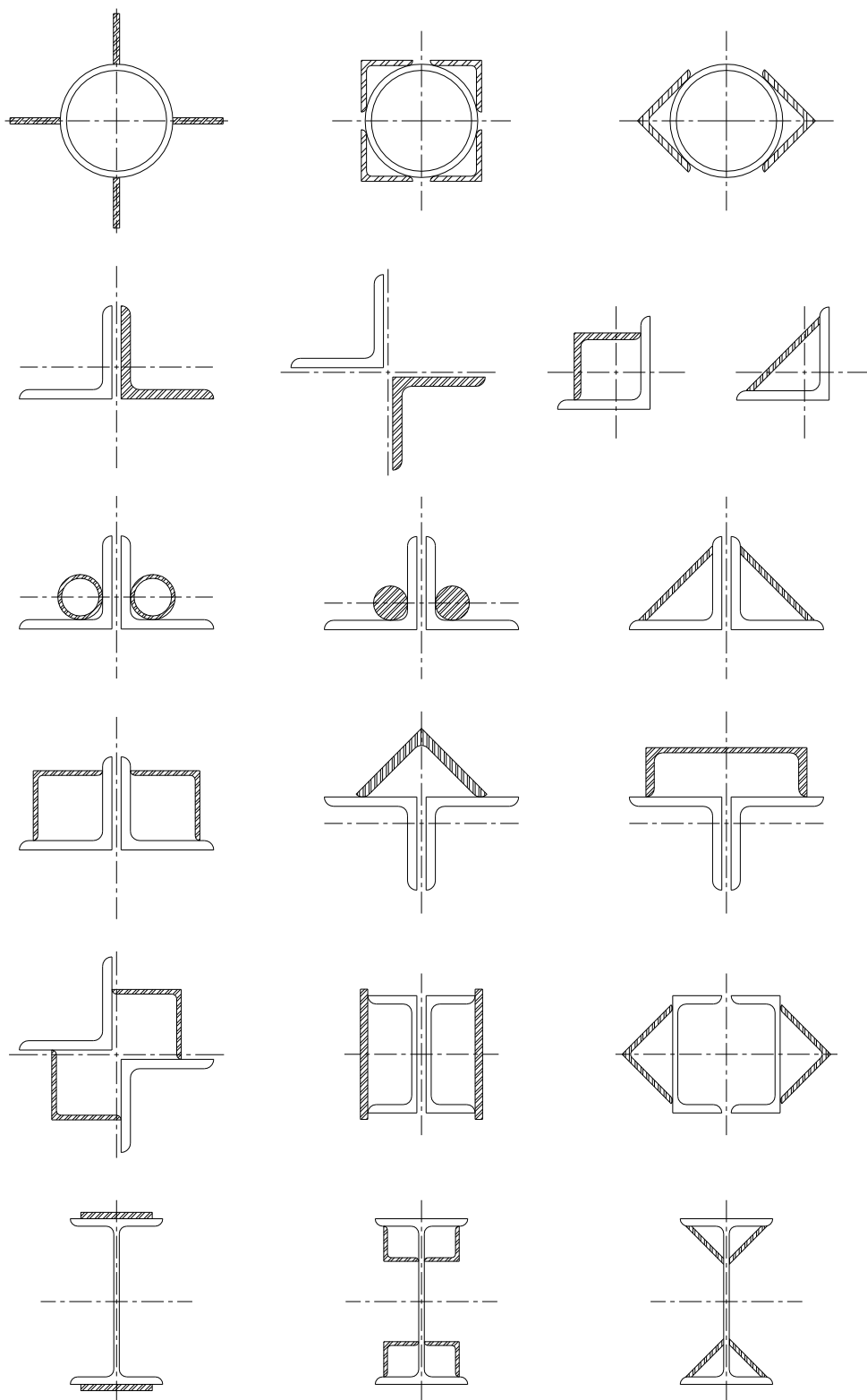
$$f_y = 0.0026HLD^2 - 1.338HLD + 481.8 \quad (\text{附 A. 0. 9-1})$$

$$f_u = 0.0014HLD^2 - 0.2658HLD + 389.5 \quad (\text{附 A. 0. 9-2})$$

【条文说明】：公式（附 A.0.9-1）和公式（附 A.0.9-2）均为实测数据拟合曲线。公式（附 A.0.9-1）的复相关系数为 0.6356，显著性水平<0.01，平均相对误差±6.15%，相对标准差 7.73%。公式（附 A.0.9-2）的复相关系数为 0.7088，显著性水平<0.01，平均相对误差为±5.09%；相对标准差 6.61%。

由于非标准部位的测强曲线精度低于标准部位的测强曲线精度，原则上除非现场构件标准部位里氏硬度的实测条件有限，否则不推荐使用非标准部位进行强度推定。

## 附录 B 增大构件截面的主要形式



注：“//”表示新增截面，“——”表示原截面。

## 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执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 《黑色金属硬度及强度换算值》 GB/T 1172
- 《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
- 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副技术条件》 GB/T 3633
- 《钢结构设计规范》 GB 50017
- 《高耸结构设计规范》 GB 50135
- 《工程结构可靠度设计统一标准》 GB 50153
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 《建筑结构检测技术标准》 GB/T 50344
- 《混凝土结构加固设计规范》 GB 50367
- 《超声法检测混凝土缺陷技术规程》 CECS 21
- 《钢结构加固技术规范》 DECS 77
- 《塔桅钢结构工程施工质量验收规程》 CECS 80
- 《既有建筑地基基础加固技术规范》 JGJ 123
- 《钢结构检测评定及加固技术规程》 YB 9257

中国工程建设协会标准  
钢塔桅结构检测与加固技术规程

CECS ×××：2016

条文说明