

团 体 标 准

T/CSPSTC 41—2019

钢结构建筑施工测量及监测技术规范

Technical specification for steel-structure-building construction
survey and monitoring

2019-12-26 发布

2020-04-01 实施

中国科技产业化促进会 发布

目 次

| | |
|-------------------------|-----|
| 前言 | III |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 基本规定 | 3 |
| 5 钢构件组装检查和工厂预拼装测量 | 4 |
| 6 控制测量 | 9 |
| 7 钢结构施工测量..... | 11 |
| 8 钢结构监测..... | 17 |

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由北京城建勘测设计研究院有限责任公司提出。

本标准由中国科技产业化促进会归口。

本标准起草单位：北京城建勘测设计研究院有限责任公司、中国水利水电科学研究院、上海交通大学、中铁四局集团第四工程有限公司、福州市勘测院、湖南联智桥隧技术有限公司、中交三局(北京)工程试验检测有限公司、浙江华东测绘与工程安全技术有限公司、天津地下铁道集团有限公司、浙江中南建设集团钢结构有限公司、广东省重工建筑设计院有限公司、东通岩土科技股份有限公司、深圳市勘察测绘院(集团)有限公司、北京城建集团有限责任公司、上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司、中兵勘察设计研究院有限公司、中材地质工程勘察研究院有限公司、广州市吉华勘测股份有限公司、中铁建设集团有限公司、中铁建工集团有限公司设计院、河南省交通规划设计研究院股份有限公司、国投工程检验检测有限公司、中铁科工集团轨道交通装备有限公司、深圳市太科检测有限公司、中铁七局集团有限公司、安徽建筑大学勘测设计研究院、杭州萧宏建设环境集团有限公司、中国水利水电夹江水工机械有限公司、西安长大公路工程检测中心、深圳大学土木与交通工程学院、中国标准化研究院、标准联合咨询中心股份公司。

本标准主要起草人：马海志、王思锴、余弘婧、余永明、董伟东、彭云峰、陈湘生、谢守东、陈平、朱善美、张广伟、张伟、关新平、邱同信、刘坤、解亚雄、沈明刚、沈鑫磊、李磊、赵耀强、杨作刚、宋扬、穆胜利、张振国、黄江华、卢建军、王俊杰、谭玮、颜小锋、胡琦、黄星迪、谢文军、李北超、陈瑞霖、罗永权、张鸿飞、张毅、林起忠、熊开明、孙愿平、王生文、李雷生、梁晓东、任协平、刘振献、史宏海、彭炎华、韩锋、黄学红、杨志强、刘福顺、王春宇、景江峰、何友超、刘洋、曾成刚、王志豪、毛三华、李长山、李永杨、马金龙、付小林、周建平、吴思够、张景涛、刘永健、庞小朝、洪成雨、王雪涛、费建波、刘栋栋、高昂、卢成绪。

钢结构建筑施工测量及监测技术规范

1 范围

本标准规定了钢结构建筑物在施工过程中测量的基本规定、钢构件组装检查和工厂预拼装测量,以及控制测量、钢结构施工测量、监测。

本标准适用于钢结构建筑施工的测量及监测。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 50026 工程测量规范

GB 50167 工程摄影测量规范

GB 50205 钢结构工程施工质量验收规范

GB 50755 钢结构工程施工规范

JGJ 7 空间网格结构技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

设计文件 design document

由设计单位完成的设计图纸、设计说明和设计变更文件等技术文件的统称。

3.2

施工详图 detail drawing for construction

依据钢结构设计施工图和施工工艺技术要求,绘制的用于直接指导钢结构制作和安装的细化技术图纸。

3.3

构件 element

由零件或由零件和部件组成的钢结构基本单元,如梁、柱、支撑等。

3.4

空间网格结构 space frame, space latticed structure

按一定规律布置的杆件、构件通过节点连接而构成的空间结构,包括网架、曲面型网壳以及立体桁架等。

3.5

网架 space truss structure, space grid structure

按一定规律布置的杆件通过节点连接而形成的平板型或微曲面型空间杆系结构,主要承受整体弯曲内力。

3.6

网壳 latticed shell, reticulated shell

按一定规律布置的杆件通过节点连接而形成的曲面空间杆系结构或梁系结构,主要承受整体薄膜内力。

3.7

立体桁架 spatial truss

由上弦杆、腹杆及下弦杆构成的横截面为三角形或四边形的格构式桁架。

3.8

焊接空心球节点 welded hollow spherical node

由两个热冲压钢半球加肋或不加肋焊接成空心球的连接节点。

3.9

铸钢节点 cast steel joint

用铸造工艺制造的、用于复杂形状或受力条件的空间节点。

3.10

螺栓球节点 bolted spherical node

由螺栓球、高强度螺栓、套筒、紧固螺钉和锥头或封板等零、部件组成的机械装配式节点。

3.11

小拼单元 the smallest assembled rigid unit

钢网架结构安装工程中,除散件之外的最小安装单元,一般分为平面桁架和椎体两种类型。

3.12

中拼单元 intermediate assembled structure

钢网架结构安装工程中,由散件和小拼单元组成的安装单元,一般分为条状和块状两种类型。

3.13

临时支承结构 temporary structure

在施工期间存在的、施工结束后需要拆除的结构。

3.14

临时措施 temporary measure

在施工期间为了满足施工需求和保证工程安全而设置的一些必要的构造或临时零部件和杆件,如吊装孔、连接板、辅助构件等。

3.15

预起拱或预变形 preset deformation

为使施工完成后的结构或构件达到设计几何定位的控制目标,预先进行的初始变形设置。

3.16

预拼装 test assembling

为检验构件形状和尺寸是否满足质量要求而预先进行的拼装。

3.17

施工阶段结构分析 structure analysis of construction stage

在钢结构制作、运输和安装过程中,为满足相关功能要求所进行的结构受力、变形分析和计算。

3.18

变形 deformation

钢结构在荷载、温度、次应力等作用下产生的形状或位置变化的现象。可分为沉降和位移两大类。沉降是指竖向的变形,包括下沉和上升;而位移为除沉降外其他变形的统称,包括水平位移、倾斜、挠度、裂缝、收敛变形、风振变形和日照变形等。

3.19

钢结构变形测量 Deformation measurement of steel structure building

对钢结构建筑物或构筑物的场地、地基、基础、上部结构及周边环境受荷载作用而产生的形状或位置变化进行观测,并对观测结果进行处理、表达和分析的工作。

3.20

差异沉降 differential settlement

钢结构不同位置在同一时间段产生的不均匀沉降现象。

3.21

倾斜 inclination

包括基础倾斜和上部钢结构倾斜。基础倾斜是指基础两端由于不均匀沉降而产生的差异沉降现象;上部结构倾斜是指钢结构建筑的中心线或其墙、柱上某点相对于底部对应点产生的偏离现象。

3.22

挠度 deflection

钢结构建筑的基础、构件或上部结构等在弯矩作用下因挠曲而产生的变形。

3.23

环境温度 ambient temperature

制作或安装时现场的温度。

3.24

日照变形 sunshining deformation

钢结构建筑受阳光照射受热不均而产生的变形。

3.25

基准点 benchmark, reference point

为进行变形测量而布设的稳定的、长期保存的测量点。根据变形测量的类型,可分为沉降基准点和位移基准点。

3.26

工作基点 working reference point

为便于现场变形观测作业而布设的相对稳定的测量点。根据变形测量的类型,可分为沉降工作基点和位移工作基点。

3.27

监测点 monitoring point

布设在钢结构建筑场地、地基、基础、上部结构或周边环境的敏感位置上能反映其变形特征的测盘点。根据变形测量的类型,可分为沉降监测点和位移监测点。

4 基本规定

4.1 为了在钢结构测量及监测过程中贯彻执行国家有关技术经济政策,做到安全适用、技术先进、经济合理,确保钢结构工程质量。

4.2 钢结构工程限定为钢结构民用及工业厂房建筑物或构筑物,以及体育、文化和交通枢纽等公共建筑物或构筑物。

4.3 钢结构建筑施工测量及监测除应符合本标准的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

4.4 钢结构工程应编制专项钢结构施工测量方案。一般单层、多层或高耸钢结构工程,可编制一个施工测量方案;对于大跨空间网格结构的钢结构工程,应分别编制加工制作、地面拼装及现场安装专项测量方案。

4.5 钢结构测量涉及钢构件组装与工厂预拼装、预埋件安装、施工现场钢构件地面拼装、施工现场钢构件安装、安装形位检查、安装过程的变形监测等多个环节。

4.6 钢结构建筑工程可划分为单层或多层钢结构、高耸钢结构(高度超过 150 m 的超高层结构)及大跨空间网格结构钢结构三类。

4.7 钢结构监测可分为变形监测和应力监测两大类。其中,变形监测又可分为一维变形监测也叫竖向位移或沉降、二维变形监测也叫水平位移或倾斜、三维变形监测。钢结构施工期间应按设计要求进行变形监测和应力监测。当没有设计要求时,施工单位应根据需要选择进行变形监测或应力监测。

4.8 进行钢结构监测的,应在钢结构施工及监测实施之前编制钢结构监测专项方案。

4.9 在进行大跨空间网格结构施工变形监测时,应根据针对施工阶段不同施工工况进行的结构分析得到的应力和变形理论分布云图,合理布置监测点位置。在预计最大、最小变形位置或其附近应设置监测点。监测点的密度和总数,应以能够完整、及时反映监测对象的基本变形规律、保证钢结构施工安全为原则合理设置,并应努力精简,节省费用。

5 钢构件组装检查和工厂预拼装测量

5.1 钢柱、梁及桁架的组装检查

5.1.1 H 型钢应在工厂组装完成,并经过合格性检查。其组装尺寸允许偏差见表 1。

表 1 H 型钢组装尺寸允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm |
|----------------|------------------------------|--------------------------|
| 截面高度 h | 当 $h < 500$ 时 | ± 2.0 |
| | 当 $500 \leq h \leq 1\ 000$ 时 | ± 3.0 |
| | 当 $h > 1\ 000$ 时 | ± 4.0 |
| 截面宽度 b | | ± 3.0 |
| 腹板中心偏移 | | 2.0 |
| 翼板垂直度偏差 | | $b/100$,且 ≤ 3.0 |
| 弯曲矢高 | | $L/1\ 000$,且 ≤ 5.0 |
| 扭曲 | | $h/250$,且 ≤ 5.0 |
| 腹板局部平整度 | 当板厚 < 14 mm 时 | 3.0 |
| | 当板厚 > 14 mm 时 | 2.0 |
| 注: L 为型钢总长度。 | | |

5.1.2 H 型柱应在工厂组装完成,并经过合格性检查。其组装尺寸的允许偏差见表 2。

表 2 H 型柱组装尺寸的允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm |
|----------|------|-----------|
| 柱的高度 H | | ± 3.0 |
| 截面高度 h | 连接处 | ± 2.0 |
| | 非连接处 | ± 3.0 |

表 2 (续)

| 项目 | | 允许偏差/mm |
|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| 截面宽度 b | | ± 2.0 |
| 柱身弯曲矢高 | | $H/1\ 500$, 且 ≤ 5.0 |
| 柱身扭曲 | | $h/250$, 且 ≤ 4.0 |
| 牛腿上表面到柱底的距离 L_1 | | ± 2.0 |
| 两牛腿上表面之间的距离 L_4 | | ± 2.0 |
| 牛腿的长度 | | ± 3.0 |
| 牛腿孔到柱轴线的距离 L_2 | | ± 3.0 |
| 牛腿的翘曲、扭曲、 侧面偏差 | 当 $L_2 \leq 1\ 000$ 时 | 2.0 |
| | 当 $L_2 > 1\ 000$ 时 | 3.0 |
| 腹板中心偏移 | 接合部位 | 1.5 |
| | 其他部位 | 2.0 |
| 柱脚底板平面度 | | 3.0 |
| 柱脚螺栓孔对柱轴线的距离 | | 3.0 |
| 柱端连接处的倾斜度 | | $1.5h/1\ 000$ |

5.1.3 十字型柱组装应在工厂内完成,并经过合格性检查。其组装尺寸的允许偏差见表 3。

表 3 十字型柱组装尺寸的允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm |
|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| 柱的高度 H | | ± 3.0 |
| 截面高度 h | 连接处 | ± 2.0 |
| | 非连接处 | ± 3.0 |
| 柱身弯曲矢高 | | $H/1\ 500$, 且 ≤ 5.0 |
| 柱身扭曲 | | $h/250$, 且 ≤ 4.0 |
| 铣平面到第一安装孔的距离 | | ± 1.0 |
| 牛腿上表面到柱底的距离 L_1 | | ± 2.0 |
| 两牛腿上表面之间的距离 L_4 | | ± 2.0 |
| 牛腿的长度 | | ± 3.0 |
| 牛腿孔到柱轴线的距离 L_2 | | ± 3.0 |
| 牛腿的翘曲、扭曲、 侧面偏差 | 当 $L_2 \leq 1\ 000$ 时 | 2.0 |
| | 当 $L_2 > 1\ 000$ 时 | 3.0 |
| 两腹板垂直度 | 连接处 | $h/300$, 且 ≤ 1.5 |
| | 非连接处 | $h/200$, 且 ≤ 2.5 |

5.1.4 箱型柱组装应在工厂内完成,并经过合格性检查。其组装尺寸的允许偏差见表 4。

表 4 箱型柱组装尺寸的允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm |
|----------------------------|--------------------|--------------------------|
| 柱的高度 H | | ± 3.0 |
| 箱型截面尺寸高(宽) | 连接处 | ± 3.0 |
| | 非连接处 | ± 4.0 |
| 腹板垂直度 Δ_1 | 接合部位 | $h(b)/100$,且 ≤ 1.5 |
| 翼板垂直度 Δ_2 | 其他部位 | $h(b)/150$,且 ≤ 3.0 |
| 柱身弯曲矢高 | | $H/1500$,且 ≤ 5.0 |
| 柱身扭曲 a | | $h/250$,且 ≤ 4.0 |
| 箱型柱连接处对角线长度 | | ± 3.0 |
| 柱两端孔间距离 | | ± 2.0 |
| 带孔节点板至柱端孔的距离 | | ± 2.0 |
| 柱端板与腹板的垂直度 | | $h/500$,且 ≤ 2.0 |
| 箱型钢柱两端面的垂直度 | | $h(b)/200$,且 ≤ 2.0 |
| 箱型面板局部平整度 | 当板厚 ≤ 14 mm 时 | 3.0 |
| | 当板厚 > 14 mm 时 | 2.0 |
| 注: h 为柱截面高度; b 为柱截面宽度。 | | |

5.1.5 钢管柱组装应在工厂内完成,并经过合格性检查。其组装尺寸的允许偏差见表 5。

表 5 钢管柱组装尺寸的允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm |
|-------------------|---------------------|---------------------------|
| 柱的高度 H | | ± 3.0 |
| 柱身弯曲矢高 | | $H/1500$,且 ≤ 5.0 |
| 牛腿上表面到柱底的距离 L_1 | | ± 2.0 |
| 两牛腿上表面之间的距离 L_4 | | ± 2.0 |
| 牛腿长度偏差 | | ± 3.0 |
| 牛腿孔到柱轴线的距离 L_2 | | ± 3.0 |
| 各牛腿腹板中线与钢管中心轴线的偏差 | | 2.0 |
| 牛腿的翘曲、扭曲、 侧面偏差 | 当 $L_2 \leq 1000$ 时 | 2.0 |
| | 当 $L_2 > 1000$ 时 | 3.0 |
| 管口外径 D | | $D/500$,且 $\leq \pm 5.0$ |
| 管口圆度 | | $D/500$,且 ≤ 3.0 |
| 管面对管轴的垂直度 | | $D/500$,且 ≤ 2.0 |
| 对接接头的直线度偏差 | | 2.0 |

5.1.6 钢梁、钢吊车梁组装一般应在工厂内组装完成,并经过合格性检查。其组装外形尺寸的允许偏差见表 6。

表 6 钢梁、钢吊车梁的外形尺寸的允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm |
|-----------------|--------------------|------------------------------|
| 梁的长度 L | 端部有凸缘支座板的 | $-5.00\sim 0$ |
| | 其他形式 | $\pm L/2\ 500$ ± 10.0 |
| 端部高度 h | 当 $h\leq 2\ 000$ 时 | ± 2.0 |
| | 当 $h> 2\ 000$ 时 | ± 3.0 |
| 拱度 | 设计要求起拱的 | $\pm 1/5\ 000$ |
| | 设计未要求起拱的 | $-5\sim +10$ |
| 侧弯矢高 | | $L/2\ 000$,且 ≤ 10.0 |
| 扭曲 | | $h/250$,且 ≤ 10.0 |
| 腹板局部平面度 | 厚度 ≤ 14 mm | 5.0 |
| | 厚度 > 14 mm | 4.0 |
| 吊车梁上翼缘与轨道接触面平面度 | | 1.0 |
| 梁端板的平面度 | | $h/500$,且 ≤ 2.0 |
| 梁端板与腹板的垂直度 | | $h/500$,且 ≤ 2.0 |

5.1.7 一般钢桁架可在工厂内组装完成,并经过合格性检查。钢桁架工厂内组装尺寸的允许偏差见表 7。

表 7 钢桁架组装尺寸的允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm |
|-------------------------|------------------|-----------------------|
| 桁架最外端两个孔或两端支撑面最外侧距离 L | 当 $L\leq 24$ m 时 | $-7.0\sim +3.0$ |
| | 当 $L> 24$ m 时 | $-10.0\sim +5.0$ |
| 桁架跨中高度 | | ± 10.0 |
| 桁架跨中拱度 | 设计要求起拱的 | $\pm L/5\ 000$ |
| | 设计未要求起拱的 | $-5.0\sim +10.0$ |
| 支撑面到第一个安装孔的距离 | | +1.0 |
| 檩条连接支座间距 | | +5.0 |
| 交点错位 | | 3.0 |
| 端部偏差 | | 2.0 |
| 端板的平面度(只许凹进) | | $h/500$,且 ≤ 2.0 |
| 注: h 为端板高度。 | | |

5.2 安全附属设施钢结构组装测量

安全附属设施包括钢平台、钢马道、钢梯、钢栏杆,它们的组装一般应在工厂内完成,并经过合格性检查。其组装允许偏差见表 8。

表 8 钢平台、钢马道、钢梯、栏杆制作的允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm |
|---------|-------------|----------------|
| 钢平台、钢马道 | 长度和宽度 | ±4.0 |
| | 两对角线长度差 | 5.0 |
| | 表面平整度 | ±5/1 000,且≤5.0 |
| | 弧形曲面与样板间隙 | ≤3.0 |
| 钢梯 | 梯梁(或两侧立杆)长度 | ±5.0 |
| | 钢梯宽度 | ±5.0 |
| | 安装孔距离 | ±3.0 |
| | 直梯挠度矢高 | $L/1\ 000$ |
| | 踏步间距 | ±5.0 |
| | 螺旋弧度与样板间隙 | ≤5.0 |
| 钢栏杆 | 栏杆高度 | ±5.0 |
| | 立杆间距 | ±10.0 |
| | 弧形与样板间隙 | ≤3.0 |

注: L 为直梯总高或总长。

5.3 钢构件工厂预拼装测量

5.3.1 对于设计方要求进行预拼装的钢构件或其他复杂钢构件,应进行工厂预拼装。

5.3.2 预拼装前,单个构件应经检查合格。当同类型构件较多时,可选一定数量代表性构件进行预拼装。

5.3.3 钢构件预拼装可选用实体预拼装或计算及模拟预拼装两种方法进行。

5.3.4 钢构件预拼装可选用整体预拼装或累积连续预拼装两种模式进行。当采用累计连续预拼装模式时,两个相邻单元的连接构件应分别参与两个单元的预拼装。

5.3.5 实体预拼装时,应根据确定的杆件拼装几何形态和拼装模式设置地面拼装控制网。

5.3.6 钢构件预拼装的允许偏差见表 9。

表 9 钢构件预拼装的允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm | 检查方法 |
|---------|------------|--------------------|---------|
| 多节柱、格构柱 | 预拼装单元总长 | ±5.0 | 钢尺或全站仪 |
| | 预拼装单元弯曲矢高 | $L/1\ 500$,且≤10.0 | 拉线或钢尺 |
| | 接口错边 | 2.0 | 钢尺或焊缝量规 |
| | 预拼装单元柱身扭曲 | $h/200$,且≤5.0 | 拉线或钢尺 |
| | 顶面至任意牛腿的距离 | ±2.0 | 钢尺或全站仪 |

表 9 (续)

| 项目 | | 允许偏差/mm | 检查方法 |
|-----------|----------------------------|-----------------------------|------------|
| 梁、桁架 | 跨度最外两端安装孔距离或 两端支撑面最外侧距离 | +5.0 -10 | 钢尺 |
| | 接口截面错位 | ±2.0 | 钢尺或焊缝量规 |
| | 节点处杆件轴线错位 | ±4.0 | 钢尺 |
| | 拱度 | 设计要求起拱的 | ±1/5 000~0 |
| 设计未要求起拱的 | | ±1/2 000~0 | |
| 管构件 | 预拼装单元总长 | ±5.0 | 钢尺或全站仪 |
| | 预拼装单元弯曲矢高 | $L/5\ 000$,且不大于 10.0 | 拉线或钢尺 |
| | 对口错边 | $t/10$,且不大于 3.0 | 钢尺或焊缝量规 |
| | 坡口间隙 | +2.0~-1.0 | |
| 构件平面总体预拼装 | 各楼层柱距 | ±4.0 | 钢尺或全站仪 |
| | 相邻楼层梁与梁之间的距离 | ±3.0 | |
| | 各楼层框架两对角线之差 | $H/2\ 000$,且不大于 5.0 | |
| | 任意两对角线之差 | $\Sigma_H/2\ 000$,且不大于 8.0 | |

注: L 为柱拼装单元长度或管构件长度; h 为柱截面高度; t 为对口宽度; H 为框架高度, Σ_H 为框架合计高度。

5.3.7 采用计算机模拟预拼装时,模拟构件或单元的外形尺寸应与实物几何尺寸相同。采集数据宜使用地面三维激光扫描仪进行。

5.3.8 进行模拟预拼装之前,应对所采集的点云数据进行必要的拼接、去噪、补缺和拟合等预处理。

5.3.9 当模拟预拼装偏差超过表 9 规定的相关限值要求时,应按 5.3.5 的要求进行实体预拼装。

5.3.10 当预拼装检查合格后,宜在构件上标注中心线、控制基准点等标记。标记做好后、出厂前应进行测量检查,确保标记的正确性。

6 控制测量

6.1 一般规定

6.1.1 根据在钢结构工程中所起的不同作用,钢结构测量控制网可划分为 3 类:拼装控制网、安装控制网和变形监测网。根据工程实际需要,三类网可以单独布设,也可合并布设。

6.1.2 三类控制网,可根据工程规模及复杂程度选用。其中安装控制网是必需的,拼装控制网和变形监测网是可选的。

6.1.3 根据钢结构工程控制网成果的形式不同,可将控制网划分为平面控制网、高程控制网和三维控制网三种。各种控制网的形式可根据工程实际需要选用。

6.1.4 平面控制网一般可采用 GNSS 测量、全站仪边角网测量两种技术手段建立;高程控制网一般采用几何水准测量和三角高程测量两种技术手段建立。三维控制网可采用分别建立平面、高程网的技术手段建立,也可采用全站仪测边角网同时观测三角高程的手段一次性建立。

6.1.5 平面控制网采用 GNSS 网时,应布设成边联式;当采用全站仪布网时,可根据实际情况布设成边角网或附合导线、闭合导线或无定向导线等多种形式。

6.1.6 高程控制网可根据需要布设成附合水准、闭合水准或多结点附合水准网或闭合水准环等多种形式。

6.1.7 平面、高程控制网的等级和精度,应根据控制网在拼装、安装和变形监测不同阶段的不同功能,具体分析确定。

6.2 拼装控制网

6.2.1 可根据工程需要在施工场地周边布设一个或多个独立的拼装控制网,也可和安装控制网按统一的坐标、高程系统布设拼装控制网。

6.2.2 独立系统的拼装控制网,可以根据构件形式、场地大小灵活布设在胎架周边地面、胎架上或拼装构件的标志点上,网形可设置成一字形、十字形或多边形。平面、高程可分别布设,然后组合使用,也可利用全站仪三角高程测量一次布设成三维网。

6.2.3 非独立系统的拼装控制网,应在安装控制网布设完成后,在安装控制网基础上加密形成与安装控制网坐标、高程系统一致的局部拼装控制网。

6.2.4 拼装控制网的成果精度,应满足空间网格结构地面小拼单元或格构柱、柱脚等独立构件的拼装精度要求。一般相邻点平面相对点位中误差应不超过 2 mm,相邻点相对高差中误差应不超过 2 mm。

6.2.5 对于含有焊接空心球节点、铸钢球节点或螺栓球结点的网架结构,拼装控制网精度应满足拼装构件任意两结点球心相对定位偏差 2 mm 的精度要求。一般任意两点平面点位相对中误差应不超过 2 mm,任意两点高差相对中误差应不超过 2 mm。

6.3 安装控制网

6.3.1 对于平面正交和竖向分层且垂直设置的钢结构工程,安装控制网宜分别单独布设平面网和高程网,平面网和高程网可不共点。对于大跨空间网格结构工程,安装控制网宜布设成平面、高程共点的三维网。

6.3.2 对于平面正交和竖向分层且垂直设置的钢结构工程,平面控制网可根据工程实际设置成十字轴线、矩形或多边形;高程控制网可按需要设置成任意形状的闭、附合水准路线或含结点的闭合水准路线。

6.3.3 对于大跨空间网格结构工程,其安装控制网的三维成果可以按平面网、高程网分别施测然后组合,也可使用全站仪利用三角高程测量连同平面网一次性观测,然后综合处理。

6.3.4 大跨空间网格结构工程三维网按平面网、高程网分开施测时,其平面、高程控制网宜根据具体钢结构外形和(或)其包围的混凝土结构工程的形状设置成平面边角组合网和具有多结点的闭合水准路线环。

6.3.5 平面控制网的等级不应低于 GB 50026 中工业与民用建筑建筑物施工控制网的要求,高程控制网的等级不应低于 GB 50026 中水准测量三等网或电磁波测距三角高程测量四等网的要求。

6.3.6 三维控制网的等级,参照平面控制网和高程控制网的等级要求确定。

6.3.7 安装控制网成果的平面精度应满足测设相邻两定位轴线间距误差不超过 3 mm 的要求,高程精度应不低于三等水准要求。当设计有特殊要求时,应按设计要求分析确定控制网的精度。

6.4 变形监测网

6.4.1 变形监测网可根据需要,布设成平面网、高程网或三维网。当布设成三维网时,应优先考虑与安装控制网坐标、高程系统保持一致。

6.4.2 可以利用施工安装控制网,作为钢结构变形监测网。

6.4.3 变形监测网的平面基准点和高程基准点应位于钢结构和其包围的混凝土结构之外稳定区域,且应有必要的检核措施。

6.4.4 变形监测网应采取有效的控制点保护措施,以保证控制网的长期使用。

6.4.5 变形监测网应定期进行复测,并根据实际情况进行必要的更新。

6.4.6 钢结构变形监测网的等级及最终成果精度,不得低于钢结构安装控制网的等级及成果精度。且其控制点的相对精度,不宜低于允许变形值的 1/10。

7 钢结构施工测量

7.1 一般规定

7.1.1 钢结构施工测量内容应包括构件工厂加工制作或预拼装测量、施工现场地面拼装测量、施工现场安装测量。

7.1.2 一些规模较小或结构比较简单的钢结构工程,可以减免工厂预拼装或施工现场地面拼装环节,对应的测量工作也应相应减免。

7.1.3 钢结构施工测量方案,应本着经济、适用、环保、高效的原则综合多种因素制定。

7.1.4 钢结构施工测量应积极采用新技术、新设备、新工艺和新方法,有效提高测量的精度和效率,减少资金投入。

7.1.5 钢结构工程施工过程中,应在安装测量的同时期进行钢结构安全变形监测,确保钢结构施工各个阶段的安全。

7.2 钢结构地面拼装测量

7.2.1 地面拼装测量适用于空间网格结构的小拼单元、中拼单元和大跨钢结构的大型独立构件的地面拼装作业。

7.2.2 大型、复杂或重要构件的工厂内实体预拼装各项技术要求应执行条款的规定。

7.2.3 对于大型、复杂钢结构工程,应编制地面拼装测量专项方案。

7.2.4 地面拼装测量一般按照布设拼装测量控制网、测设拼装胎架、构件拼装过程测量、成品验收测量的工序进行。

7.2.5 钢构件设计有预起拱或焊接收缩量的,应按预起拱或累加焊接收缩反变形量的调整后位置进行胎架和构件定位。

7.2.6 构件拼装过程测量的方法包括:放地样结合水准测高法、测设胎架上标志点三维坐标法和结合使用工业三坐标测量软件直接测量钢构件特征点法 3 种方法。实际实施过程可根据钢构件的结构特点和自身条件灵活选用。

7.2.7 钢构件拼装完成后、脱离胎架前,应进行地面拼装成品验收测量,并填写相应表格形成验收记录。验收测量方法主要有全站仪测量三维坐标法、三维激光扫描拟合法、测量相对边长及高差法三种。其中全站仪测量三维坐标法又可划分为统一坐标系法和任意坐标系法两种。实际实施中可根据工程特点和自身技术条件灵活选用。

7.2.8 钢构件地面拼装成品验收偏差应符合 5.3.7 的规定。

7.3 钢结构安装测量

7.3.1 一般规定

7.3.1.1 单层、多层及高耸钢结构工程的安装测量任务应包括但不限于平面轴线测设、高程基准点测设、平面轴线竖向传递、高程基准点竖向传递、平面放线、垂直度调整及标高测设、楼全高和整体垂直度测量等。

7.3.1.2 大跨空间网格结构工程的安装测量任务可划分为预埋件测量、独立支撑结构如支撑筒、框架柱、单柱或幕墙柱等的测量、立面围护结构测量及顶面围护结构测量等。

7.3.1.3 钢结构安装测量还应包括为实现钢结构安装而设置的临时支撑结构的测量。

7.3.2 单层、多层钢结构的安装测量

应进行定位轴线检查、钢柱位置、标高和垂直度的定位和调整及整体垂直度和整体平面弯曲矢高的控制,并应符合下列相关技术要求:

- a) 钢结构安装前,应对建筑物的定位轴线、底层柱的轴线、柱底基础标高进行复核,确认无误后再开始安装。建筑物定位轴线、柱定位轴线及标高允许偏差见表 10。

表 10 建筑物定位轴线、基础上柱的定位轴线和标高的允许偏差

| 项目 | 允许偏差/mm |
|------------------|-----------------------|
| 建筑物定位轴线 | $L/20\ 000$,且不大于 3.0 |
| 基础上柱的定位轴线 | ± 1.0 |
| 基础上柱底标高 | ± 2.0 |
| 注: L 为建筑物平面总长。 | |

- b) 钢柱安装时,平面位置可用全站仪坐标法定位,其垂直度粗调可采用悬吊垂球法进行,精细调整应采用在相互垂直的两轴线方向上同时架设两台经纬仪进行竖向调整的方法,成品检查可采用全站仪测柱顶三维坐标法进行平面位置和垂直度检查。单层钢柱安装允许偏差见表 11,多层及高层钢柱安装允许偏差见表 12。

表 11 单层钢柱安装的允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm | |
|-----------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| 柱脚底座中心线对定位轴线的偏移 | | 5.0 | |
| 柱基准点标高 | 有吊车梁的柱 | +3.0 -5.0 | |
| | 无吊车梁的柱 | +5.0 -8.0 | |
| 弯曲矢高 | | $H/1\ 200$,且不大于 15.0 | |
| 柱轴线垂直度 | 单节柱 | $H \leq 10\text{ m}$ | $H/1\ 000$ |
| | | $H > 10\text{ m}$ | $H/1\ 000$,且不大于 25.0 |
| | 多节柱 | 单节柱 | $H/1\ 000$,且不大于 10.0 |
| | | 柱全高 | 35.0 |
| 注: H 为单节柱高。 | | | |

表 12 多层及高层钢柱安装的允许偏差

| 项目 | 允许偏差/mm |
|-----------------|-----------------------|
| 底层柱柱底轴线对定位轴线的偏移 | 3.0 |
| 上层柱与下层柱定位轴线的偏移 | 1.0 |
| 单节柱的垂直度 | $H/1\ 000$,且不大于 10.0 |
| 注: H 为单节柱高。 | |

- c) 钢结构安装时,应对日照、焊接影响进行观测并记录。应分析日照、焊接等因素可能引起的构件伸缩或弯曲变形,并应采取相应的措施。
- d) 每节柱的控制轴线应从基准控制轴线引测,不得从下层柱的轴线引出。

- e) 高程传递可采用悬吊钢尺结合几何水准法测量。钢尺悬吊时应施加标准拉力,高程计算应进行尺长温度改正。
- f) 钢结构主体安装完成后应进行整体垂直度和整体平面弯曲的测量,其允许偏差见表 13。

表 13 钢结构主体整体垂直度和整体平面弯曲的允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm |
|---------------------------|-------|---------------------------|
| 主体结构整体垂直度 | 单层 | $H/1\ 000$,且不应大于 25.0 |
| | 多层及高层 | $H/2\ 500+10$,且不应大于 50.0 |
| 主体结构整体平面弯曲 | 单层 | $l/1\ 500$,且不应大于 25.0 |
| | 多层及高层 | $l/1\ 500$,且不应大于 25.0 |
| 注: H 为楼总高; l 为结构平面总长。 | | |

7.3.3 高耸钢结构安装测量

应符合下列规定:

- 高耸钢结构的施工平面控制网宜在地面或混凝土结构正负零层地面布设成田字型、米字型或圆环型;
- 平面控制网相邻点相对点位中误差应不超过 3 mm;
- 高耸钢结构的施工高程控制网宜在地面钢柱或正负零层混凝土结构柱建筑 1 m 线高度附近布设成附合或闭合水准路线;
- 高程控制网相邻点相对高差中误差应不超过 2 mm;
- 宜采用激光铅垂仪上投点法进行高耸钢结构工程平面轴线的竖向传递。进行激光铅垂仪作业时,还应符合下列相关规定:
 - 钢结构工程高度低于 100 m 时,宜在塔身中心点或其附近设置铅垂仪进行投点;当楼层高度在 100 m~200 m 时,应在地面设置 4 个投点位置;当楼层高度超过 200 m 时,应在地面设置包括中心点在内的 5 个投点位置;
 - 地面铅垂仪的架设投点位置,应从钢结构的轴线点上直接测定;地上某楼层所投测的点位,应在同层采用不同方法进行正确性检核;
 - 平面轴线投测通视有困难时,也可随施工进展每隔 20 m~40 m 高度或每隔 5~8 层进行 1 次分段错位轴线传递;中间层的平面控制点应固定埋设在混凝土楼板上;每次向上传递轴线时,应从地面控制轴线顺次向上逐段传递;
 - 每个点位投测时,铅垂仪应对中、整平,并至少沿水平圆周每隔 120 度投测 1 个点,最后取 3 个点外接圆圆心作为投点位置;
 - 激光铅垂仪投测到接收靶的点位允许偏差随施工楼层高度升高而逐步变大,高度 350 m 以内的钢结构不应超过表 14 中相关规定。超过 350 m 的高耸钢结构,其允许偏差应由设计和施工方共同研究确定;

表 14 激光铅垂仪投测到接收靶点位的允许偏差

| 楼层高度/m | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
|---------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 高耸结构验收允许偏差/mm | 57 | 85 | 110 | 127 | 143 | 165 | — |
| 投测点允许偏差/mm | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |

- f) 高耸钢结构高程的竖向传递,宜采用几何水准结合悬吊钢尺法进行测量,并应对测量结果进行尺长温度及拉力修正。也可采用全站仪竖直测距法进行传递;
- g) 高耸钢结构施工到 100 m 以上时,宜进行日照变形观测,并绘制出日照变形曲线,列出最小日照变形区间;
- h) 高耸建筑物施工到 100 m 以上时,在 5 级以上大风天气不得进行施工测量;
- i) 高度在 150 m 以上的高耸钢结构,整体垂直度宜采用 GNSS 控制网进行测量复核。

7.3.4 大跨空间网格钢结构安装测量

应符合下列规定:

- a) 大跨空间网格结构的钢结构工程,安装前应建立覆盖整个施工区域的系统统一、高精度施工控制网,并应定期进行复测,确保控制网成果的现势性。
- b) 为保证钢结构施工与钢结构预埋件的顺利对接,钢结构安装控制网应与先行施工的混凝土结构施工控制网坐标、高程系统保持一致。
- c) 钢结构预埋件的测量放样,应在混凝土结构施工过程中,利用混凝土结构施工控制网,进行适时穿插作业。
- d) 已埋设完成的重要部位的钢结构预埋件,应在钢结构施工控制网建立后、钢结构安装前进行三维位置、垂直度或平整度复测,若有较大偏差应及时采取补救措施。重要部位的选择应由该钢结构工程的技术负责人确认。
- e) 临时支撑结构测量时,应按临时支撑结构的设计要求测设其位置、高程及垂直度,并应形成记录。临时支撑结构应包括但不限于:临时支撑塔架、提升塔架、滑移轨道及其支撑结构等。
- f) 支撑结构安装前,应在底面埋件上测设定位轴线并复核无误;支撑构件与埋件相连的,标志线与相应埋件轴线对齐,与下部分段相连的,底部标志点与下段标志点对接安装;直立的支撑结构如独立柱、框架柱、柱脚等应在至少两个相互垂直的方向线上调整和检查其垂直度;不规则的支撑结构的测量,应按安装分段逐节、逐段测量并调整其顶部特征点三维坐标,其 X、Y 或 Z 坐标分量偏差均应不超过 5 mm。
- g) 大跨空间网格钢结构主要安装方法包括但不限于:散拼法、空中滑移法、分块吊装法、整体提(顶)升法、分条分块提(顶)升法等 5 种,其中分条分块提升法还可细分为一次提升、多次累计提升、旋转提升等三小类。应针对不同的安装方法制定相应的测量流程。
- h) 用散拼法安装时,测量流程宜按建立三维控制网或轴线及高程基准点、支撑点位置高程测设、构件吊装并调整测量、测量复核、焊接、测量验收的顺序进行。
- i) 用空中滑移法安装时,测量流程宜按空中定位轴线和标高测设、高空第一滑移单元拼装测量、复核支点轴线位置及标高、第一滑移单元就位测量、调整拼接支点标高、高空第二单元拼装测量、滑移第一、二单元全面测量、调整拼接支点标高、下一单元循环往复、测量网架挠度、测量验收的顺序进行。
- j) 用分块吊装法安装时,测量流程宜按定位轴线标高复核、吊装、测量调整构件位置高度及垂直度、测量验收的顺序进行。
- k) 用整体提升法安装时,测量流程宜按地面胎架测设、地面网架拼装、提升准备、提升 0.5 m 后检查测量、提升就位前的测量、就位调整测量、测量验收顺序进行。
- l) 用分条分块提升法安装时,测量流程宜按小拼单元验收、定位轴线和标高测设、附属提升设备和支撑结构放样、地面套拼网架单元、高空条块拼装测量、高空总拼测量、测量验收的顺序进行。
- m) 钢结构小拼单元拼装完成后、脱离胎架之前应进行测量验收,其允许偏差见表 15。

表 15 钢结构小拼单元的允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm | |
|--------------------|----------|------------------------|----------------|
| (焊接空心球、螺栓球等)节点中心偏移 | | 2.0 | |
| 焊接空心球节点与钢管中心的偏移 | | 1.0 | |
| 杆件轴线的弯曲矢高 | | $L_1/1\ 000$,且不大于 5.0 | |
| 椎体型小拼单元 | 弦杆长度 | ± 2.0 | |
| | 椎体高度 | ± 2.0 | |
| | 上弦杆对角线长度 | ± 3.0 | |
| 平面桁架型小拼单元 | 跨长 L | 当 $L \leq 24$ m 时 | +3.0—7.0 |
| | | 当 $L > 24$ m 时 | +5.0—10.0 |
| | 跨中高度 | | ± 3.0 |
| | 跨中拱度 | 设计要求起拱的 | $\pm L/5\ 000$ |
| | | 设计未要求起拱的 | ± 10.0 |
| 注: L_1 为杆件长度。 | | | |

- n) 钢结构中拼单元或分条分块网格结构在拼装完成后、脱离胎架之前应进行测量验收,其允许偏差见表 16。

表 16 钢结构中拼单元或分条分块网格结构的允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm |
|-------------------------|------|------------|
| 单元长度 ≤ 20 m 时的拼接长度 | 单跨 | ± 10.0 |
| | 多跨连续 | ± 5.0 |
| 单元长度 > 20 m 时的拼接长度 | 单跨 | ± 20.0 |
| | 多跨连续 | ± 10.0 |

- o) 钢网格结构地面总拼装完成后、安装之前应进行测量验收,其允许偏差见表 17。

表 17 钢网格结构地面总拼装的允许偏差

| 项目 | 允许偏差/mm |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 总拼单元纵向、横向长度 L (允许偏差取小值) | $\pm L/2\ 000$ 或 ± 30.0 |
| 支座中心偏移(允许偏差取小值) | $L/3\ 000$ 或 30.0 |
| 周边支撑网格相邻支座高差(允许偏差取小值) | $L/400$ 或 15.0 |
| 支座最大高差 | 30.0 |
| 多点支撑网格相邻支座高差(允许偏差取小值) | $L_1/800$ 或 30.0 |
| 杆件弯曲矢高(允许偏差取小值) | $L_2/1\ 000$ 或 5.0 |
| 注: L_1 为相邻支点间距; L_2 为杆件长度。 | |

- p) 立面围护结构安装测量除按设计三维坐标测设外,还应保证分段之间对接顺畅、立面结构与预埋件、预留牛腿或铰接结构等的对接顺畅。
- q) 顶面围护结构安装测量时,宜使用三维坐标法测设,还应兼顾分块网架之间或格构型网架中心线的平面线型和立面线型对接顺畅。
- r) 空间网格结构安装完成后,应对顶面围护结构进行挠度测量,填写相关记录,并计算对应挠度。

所测挠度值应不超过相应设计值的 1.15 倍。

- s) 对于含有焊接空心球或螺栓球节点的屋面网架,挠度测量时还应测量主要节点球心坐标及三维偏差,并填写相应表格形成记录。
- t) 挠度测量点的位置,可由设计单位确定。
- u) 当设计未确定挠度测量位置时,应按以下原则确定:
 - 1) 选择顶面钢结构一定数量的、具有代表性的主要受力构件作为挠度测量对象。
 - 2) 当构件跨度在 24 m 以下时,应测量跨中位置的挠度;
 - 3) 当构件跨度大于或等于 24 m 时,应测量跨中、跨中两侧四等分点共 3 个点的挠度。
 - 4) 观测完成后应按有关挠度计算公式计算对应挠度,并与设计值进行比较,对挠度合格与否给出结论。

7.3.5 钢结构安全附属设施安装测量

应符合下列规定:

- a) 钢直梯安装测量工艺流程宜按测量准备、测量平面和标高定位线、安装调直测量、测量验收的顺序进行。
- b) 钢斜梯安装测量工艺流程宜按测量准备、测设定位轴线和标高、斜梯支撑结构安装测量、梯面板安装测量、测量验收的顺序进行。
- c) 钢平台、栏杆安装测量工艺流程宜按测量准备、测设定位轴线和标高、平台支撑结构安装测量、平台和栏杆安装测量、测量验收的顺序进行。
- d) 钢平台、钢梯和防护栏杆安装完成后应进行测量验收,其允许偏差见表 18。

表 18 钢平台、钢梯和防护栏杆安装的允许偏差

| 项目 | 允许偏差/mm |
|-----------|------------------------|
| 平台高度 | ±15.0 |
| 平台梁水平度 | $l/1\ 000$,且不应大于 15.0 |
| 平台支柱垂直度 | $H/1\ 000$,且不应大于 15.0 |
| 承重平台梁侧向弯曲 | $l/1\ 000$,且不应大于 10.0 |
| 承重平台梁垂直度 | $h/250$,且不应大于 15.0 |
| 直梯垂直度 | $l/1\ 000$,且不应大于 15.0 |
| 栏杆高度 | ±15.0 |
| 栏杆立柱间距 | ±15.0 |

注: l 为梁长度或直梯长度; H 为支柱高度; h 为梁的截面高度。

7.3.6 钢梁、制动梁的安装完成后应进行测量验收,其允许偏差见表 19。

表 19 钢梁、制动梁安装的允许偏差

| 项目 | 允许偏差/mm |
|------------|------------------------|
| 梁的跨中垂直度 | $h/250$,且不应大于 15.0 |
| 侧向弯曲矢高 | $l/1\ 000$,且不应大于 10.0 |
| 同一根梁两端顶面高差 | $l/1\ 500$,且不应大于 10.0 |
| 垂直上拱矢高 | 10.0 |
| 主梁、次梁表面的高差 | ±2.0 |

注: h 为梁的截面高度; l 为梁长度。

7.3.7 钢吊车梁安装完成后应进行测量验收,其允许偏差见表 20。

表 20 钢吊车梁安装的允许偏差

| 项目 | | 允许偏差/mm |
|---------------------------------------|--------------------|----------------------|
| 梁的跨中垂直度 | | $h/500$ |
| 侧向弯曲矢高 | | $l/1500$,且不应大于 10.0 |
| 垂直上拱矢高 | | 10.0 |
| 两端支座中心位移 | 安装在钢柱上时,对牛腿中心的偏移 | ± 5.0 |
| | 安装在混凝土柱上时,对定位轴线的偏移 | ± 5.0 |
| 吊车梁支座加劲板中心与柱子承压加劲板中心的偏移 | | $t/2$ |
| 同一跨间内同一横截面 吊车梁顶面高差 | 支座处 | 10.0 |
| | 其他处 | 15.0 |
| 同一跨间任意横截面的吊车梁中心跨距/ l | | ± 10.0 |
| 同列相邻两柱间吊车梁顶面纵向高差 | | $l/1500$,且不应大于 10.0 |
| 相邻两吊车梁接头部位错位 | 中心轴线水平方向错位 | 3.0 |
| | 顶面高差 | 1.0 |
| 注: h 为梁的截面高度; l 为梁长度; t 为加劲板厚度。 | | |

8 钢结构监测

8.1 一般规定

8.1.1 本章适用于工业与民用钢结构建(构)筑物、建筑场地、地基基础等的变形监测。

8.1.2 重要的钢结构建(构)筑物,在工程设计时,应对变形监测的内容和范围做出统筹安排,并应由监测单位制定详细的监测方案。首次观测,宜获取监测体初始状态的观测数据。

8.1.3 变形监测的等级划分及精度要求应符合表 21 规定。

表 21 变形监测的等级划分及精度要求

| 等级 | 垂直位移监测 | | 水平仪移监测 | 适用范围 |
|---|----------------|------------------|----------------|---------------------------------|
| | 变形观测点的高程中误差/mm | 相邻变形观测点的高程中误差/mm | 变形观测点的点位中误差/mm | |
| 一等 | 0.3 | 0.1 | 1 | 变形特别敏感的钢结构高层建筑、空间结构、高耸构筑物 |
| 二等 | 0.5 | 0.3 | 3 | 变形比较敏感的钢结构高层建筑、空间结构、高耸构筑物、工业建筑等 |
| 三等 | 1.0 | 0.5 | 6 | 一般性的钢结构高层建筑、空间结构、高耸构筑物、工业建筑等 |
| 注 1: 变形观测点的高程中误差和点位中误差,是指相对于邻近基准点的中误差。 | | | | |
| 注 2: 特定方向的位移中误差,可取表中相应等级点位中误差的 1/2 作为限值。 | | | | |
| 注 3: 垂直位移监测,可根据需要按变形观测点的高程中误差或相邻变形观测点的高差中误差,确定监测精度等级。 | | | | |

8.1.4 变形监测网的网点,宜分为基准点、工作基点和变形观测点。其布设应符合下列要求:

- a) 基准点,应选在变形影响区域之外稳固可靠的位置。每个工程至少应有 3 个基准点。大型的工程项目,其水平位移基准点应采用带有强制归心装置的观测墩,垂直位移基准点宜采用双金属标或钢管标。
- b) 工作基点,应选在比较稳定且方便使用的位置。设立在大型工程施工区域内的水平位移监测工作基点宜采用带有强制归心装置的观测墩,垂直位移监测工作基点可采用钢管标。对通视条件较好的小型工程,可不设立工作基点,在基准点上直接测定变形观测点。
- c) 变形观测点,应设立在能反映监测体变形特征的位置或监测断面上,监测断面一般分为:关键断面、重要断面和一般断面。需要时,还应埋设一定数量的应力、应变传感器。

8.1.5 监测基准网,应由基准点和部分工作基点构成。监测基准网应每半年复测 1 次;当对变形监测成果发生怀疑时,应随时检核监测基准网。

8.1.6 变形监测网,应由部分基准点、工作基点和变形观测点构成。监测周期,应根据监测体的变形特征、变形速率、观测精度和工程地质条件等因素综合确定。监测期间,应根据变形量的变化情况适当调整。

8.1.7 各期的变形监测,应满足下列要求:

- a) 在较短的时间内完成;
- b) 采用相同的图形(观测路线)和观测方法;
- c) 使用同一仪器和设备;
- d) 观测人员相对固定;
- e) 记录相关的环境因素,包括荷载、温度、降水、水位等;
- f) 采用统一基准处理数据。

8.1.8 变形监测作业前,应收集相关水文地质、岩土工程资料和设计图纸,并根据岩土工程地质条件、工程类型、工程规模、基础埋深、建筑结构和施下方法等因素,进行变形监测方案设计。方案设计应包括监测的目的、精度等级、监测方法、监测基准网的精度估算和布设、观测周期、项目预警值、使用的仪器设备等内容。

8.1.9 每期观测前,应对所使用的仪器和设备进行检查、校正,并做好记录。

8.1.10 每期观测结束后,应及时处理观测数据。当数据处理结果出现下列情况之一时,必须即刻通知建设单位和施工单位采取相应措施:

- a) 变形量达到预警值或接近允许值;
- b) 变形量出现异常变化;
- c) 钢结构混凝土裂缝或地表的裂缝快速扩大。

8.2 水平位移监测基准网

8.2.1 水平位移监测基准网,可采用三角形网、导线网、GNSS 网和视准轴线等形式。当采用视准轴线时,轴线上或轴线两端应设立校核点。

8.2.2 水平位移监测基准网宜采用独立坐标系统,并进行一次布网。必要时,可与国家坐标系统联测。狭长形建筑物的主轴线或其平行线,应纳入网内。大型工程布网时,应充分顾及网的精度、可靠性和灵敏度等指标。

8.2.3 基准网点位,宜采用有强制归心装置的观测墩。

8.2.4 水平位移监测基准网的主要技术要求,应符合表 22 的规定。

表 22 水平位移监测基准网的主要技术要求

| 等级 | 相邻基准点的 点位中误差/mm | 平均边长/m | 测角中误差/'' | 测边相对中 误差 | 水平角观测 测回数 |
|----|--------------------|--------|----------|-------------|--------------|
| 一等 | 1.5 | ≤300 | 0.7 | ≤1/300 000 | 12 |
| | | ≤200 | 1.0 | ≤1/200 000 | 10 |

表 22 (续)

| 等级 | 相邻基准点的 点位中误差/mm | 平均边长/m | 测角中误差/″ | 测边相对中 误差 | 水平角观测 测回数 |
|----------------------|--------------------|--------|---------|-------------|--------------|
| 二等 | 3 | ≤400 | 1.0 | ≤1/200 000 | 10 |
| | | ≤200 | 1.8 | ≤1/100 000 | 8 |
| 三等 | 6 | ≤450 | 1.8 | ≤1/100 000 | 8 |
| | | ≤350 | 2.5 | ≤1/80 000 | 6 |
| 四等 | 12 | ≤600 | 2.5 | ≤1/80 000 | 6 |
| 注：GNSS 监测基准网不受本表的限制。 | | | | | |

8.2.5 监测基准网的水平角观测,宜采用方向观测法。监测基准网边长,宜采用电磁波测距。

8.2.6 对于三等以上的 GNSS 监测基准网,应采用双频接收机,并采用精密星历进行数据处理。

8.3 垂直位移监测基准网

8.3.1 垂直位移监测基准网,应布设成环形网并采用水准测量方法观测。

8.3.2 基准点的埋设,应符合下列规定:

- 应将标石埋设在变形区以外稳定的原状土层内,或将标志镶嵌在裸露基岩上;
- 利用稳固的建(构)筑物,设立墙水准点;
- 当受条件限制时,在变形区内也可埋设深层钢管标或双金属标;
- 大型水工建筑物的基准点,可采用平洞标志。

8.3.3 垂直位移监测基准网的主要技术要求,应符合表 23 的规定。

表 23 垂直位移监测网主要技术要求

| 等级 | 相邻基准点的高差 中误差/mm | 设站高差中误差/mm | 往返较差或环线闭 合差/mm | 检测已测高差较差/mm |
|--------------|--------------------|------------|-------------------|---------------|
| 一等 | 0.3 | 0.07 | $0.15\sqrt{n}$ | $0.2\sqrt{n}$ |
| 二等 | 0.5 | 0.15 | $0.3\sqrt{n}$ | $0.4\sqrt{n}$ |
| 三等 | 1 | 0.3 | $0.6\sqrt{n}$ | $0.8\sqrt{n}$ |
| 四等 | 2 | 0.7 | $1.4\sqrt{n}$ | $2\sqrt{n}$ |
| 注： n 为测站数。 | | | | |

8.3.4 观测使用的水准仪,DS05 级水准仪视准轴与水准管轴的夹角不得大于 $10''$ 。

8.3.5 起始点高程,宜采用测区原有高程系统。较小规模的监测工程,可采用假定高程系统;较大规模的监测工程,宜与国家水准点联测。

8.4 基本监测方法与技术要求

8.4.1 变形监测的方法,应根据监测项目的特点、精度要求、变形速率以及监测体的安全性等指标,按表 24 的规定选用。也可同时采用多种方法进行监测。

表 24 监测项目与监测方法

| 监测项目 | 监测方法 |
|---------|---|
| 水平变形监测 | 三角形网、极坐标法、交会法、GNSS 测量、正倒垂线法、视准线法、引张线法、激光准直法、伸缩仪法、多点位移计、倾斜仪等 |
| 垂直变形监测 | 水准测量、液体静力水准测量、电磁波测距、三角高程测量等 |
| 三维位移监测 | 全站仪自动跟踪测量法、卫星实时定位测量法(GNSS-RTK)、摄影测量法、三维激光扫描法等 |
| 主体倾斜 | 经纬仪投点法、差异沉降法、激光准直法、垂线法、倾斜仪、电垂直梁等 |
| 挠度测量 | 垂线法、差异沉降法、位移计、挠度计等 |
| 应力、应变监测 | 应力计、应变计 |

8.4.2 当采用三角形网测量时,其技术要求应符合 8.2 的相关规定。

8.4.3 交会法、极坐标法的主要技术要求应符合下列规定:

- a) 用交会法进行水平位移监测时,宜采用三点交会法;角交会法的交会角,应在 $60^{\circ} \sim 120^{\circ}$,边交会法的交会角,宜在 $30^{\circ} \sim 150^{\circ}$;
- b) 用极坐标法进行水平位移监测时,宜采用双测站极坐标法,其边长应采用电磁波测距仪测定;
- c) 测站点应采用有强制对中装置的观测墩,变形观测点,可埋设安置反光镜或觇牌的强制对中装置或其他固定照准标志。

8.4.4 视准线法的主要技术要求应符合下列规定:

- a) 视准线两端的延长线外,宜设立校核基准点;
- b) 视准线应离开障碍物 1 m 以上;
- c) 各测点偏离视准线的距离,不应大于 2 cm;采用小角法时可适当放宽,小角角度不应超过 $30''$;
- d) 视准线测量,可选用活动觇牌法或小角度法。当采用活动觇牌法观测时,监测精度宜为视准线长度的 $1/100\ 000$;
- e) 基准点、校核基准点和变形观测点,均应采用有强制对中装置的观测墩;
- f) 当采用活动觇牌法观测时,观测前应对觇牌的零位差进行测定。

8.4.5 引张线法的主要技术要求应符合下列规定:

- a) 引张线长度大于 200 m 时,宜采用浮托式;
- b) 引张线两端,可设置倒垂线作为校核基准点,也可将校核基准点设置在两端山体的平洞内;
- c) 引张线宜采用直径为 $\phi 0.8\text{ mm} \sim \phi 1.2\text{ mm}$ 的不锈钢丝;
- d) 观测时,测回较差不应超过 0.2 mm。

8.4.6 正、倒垂线法的主要技术要求应符合下列规定:

- a) 应根据垂线长度,合理确定重锤质量或浮子的浮力;
- b) 垂线宜采用直径为 $\phi 0.8\text{ mm} \sim \phi 1.2\text{ mm}$ 的不锈钢丝或因瓦丝;
- c) 单段垂线长度不宜大于 50 m;
- d) 需要时,正倒垂可结合布设;
- e) 测站应采用有强制对中装置的观测墩;
- f) 垂线观测可采用光学垂线坐标仪,测回较差不应超过 0.2 mm。

8.4.7 激光测量的主要技术要求应符合下列规定:

- a) 激光器(包括激光经纬仪、激光导向仪、激光准直仪等)宜安置在变形区影响之外或受变形影响较小的区域。激光器应采取防尘、防水措施;
- b) 安置激光器后,应同时在激光器附近的激光光路上,设立固定的光路检核标志;

- c) 整个光路上应无障碍物,光路附近应设立安全警示标志;
- d) 目标板(或感应器)应稳固设立在变形比较敏感的部位并与光路垂直;目标板的刻划应均匀、合理。观测时应将接收到的激光光斑,调至最小、最清晰。

8.4.8 当采用水准测量方法进行垂直位移监测时,应符合表 25 的规定。

表 25 垂直位移监测

| 等级 | 变形观测点的高程 中误差/mm | 每站高差中误差/mm | 往返较差、附和或 环线闭合差/mm | 检测已测高差 较差/mm |
|----|--------------------|------------|----------------------|-----------------|
| 一等 | 0.3 | 0.07 | $0.15\sqrt{n}$ | $0.2\sqrt{n}$ |
| 二等 | 0.5 | 0.15 | $0.3\sqrt{n}$ | $0.4\sqrt{n}$ |
| 三等 | 1 | 0.3 | $0.6\sqrt{n}$ | $0.8\sqrt{n}$ |
| 四等 | 2 | 0.7 | $1.4\sqrt{n}$ | $2\sqrt{n}$ |

注: n 为测站数。

8.4.9 静力水准测量,应满足下列要求:

- a) 静力水准观测的主要技术要求应符合表 26 的规定。

表 26 静力水准观测

| 等级 | 仪器类型 | 读数方式 | 两次观测高差较差/mm | 环线及附和路线 闭合差/mm |
|----|---------|------|-------------|-------------------|
| 一等 | 封闭式 | 接触式 | 0.15 | $0.15\sqrt{n}$ |
| 二等 | 封闭式、敞口式 | 接触式 | 0.3 | $0.3\sqrt{n}$ |
| 三等 | 敞口式 | 接触式 | 0.6 | $0.6\sqrt{n}$ |
| 四等 | 敞口式 | 目视式 | 1.4 | $1.4\sqrt{n}$ |

注: n 为测站数。

- b) 观测前,应对观测头的零点差进行检验;
- c) 应保持连通管路无压折,管内液体无气泡;
- d) 观测头的圆气泡应居中;
- e) 两端测站的环境温度不宜相差过大;
- f) 仪器对中误差不应大于 2 mm,倾斜度不应大于 $10'$;
- g) 宜采用两台仪器对向观测,也可采用一台仪器往返观测。液面稳定后,方能开始测量;每观测一次,应读数 3 次,取其平均值作为观测值。

8.4.10 电磁波测距三角高程测量宜采用中点单觇法,也可采用直返觇法。其主要技术要求应符合下列规定:

- a) 垂直角宜采用 $1''$ 级仪器中丝法对向观测各测绘作业方法,测回间垂直角较差不应大于 $6''$;
- b) 测距长度宜小于 500 m,测距中误差不应超过 3 mm;
- c) 觇标高(仪器高)应精确量至 0.1 mm;
- d) 必要时,测站观测前后各测量一次气温、气压,计算时加入相应改正。

8.4.11 主体倾斜和挠度观测,应符合下列规定:

- a) 可采用监测体顶部及其相应底部变形观测点的相对水平位移值计算主体倾斜;
- b) 可采用基础差异沉降推算主体倾斜值和基础的挠度;
- c) 重要的直立监测体的挠度观测,可采用正倒垂线法、电垂直梁法;

- d) 监测体的主体倾斜率和按差异沉降推算主体倾斜值。
- 8.4.12 当监测体出现裂缝时,应根据需要进行裂缝观测并满足下列要求:
- a) 裂缝观测点应根据裂缝的走向和长度,分别布设在裂缝的最宽处和裂缝的末端;
 - b) 裂缝观测标志应跨裂缝牢固安装。标志可选用镶嵌式金属标志、粘贴式金属片标志、钢尺条、坐标格网板或专用量测标志等;
 - c) 标志安装完成后,应拍摄裂缝观测初期的照片;
 - d) 裂缝的量测可采用比例尺、小钢尺、游标卡尺或坐标格网板等工具进行,量测应精确至 0.1 mm;
 - e) 裂缝的观测周期,应根据裂缝变化速度确定。裂缝初期可每半个月观测 1 次,基本稳定后宜每月观测 1 次,当发现裂缝加大时应及时增加观测次数,必要时应持续观测。
- 8.4.13 全站仪自动跟踪测量的主要技术要求,应符合下列规定:
- a) 测站应设立在基准点或工作基点上,并采用有强制对中装置的观测台或观测墩;测站视野应开阔无遮挡,周围应设立安全警示标志;应同时具有防水、防尘设施;
 - b) 监测体上的变形观测点宜采用观测棱镜,距离较短时也可采用反射片;
 - c) 数据通信电缆宜采用光缆或专用数据电缆,并应安全敷设,连接处应采取绝缘和防水措施;
 - d) 作业前应将自动观测成果与人工测量成果进行比对,确保自动观测成果无误后,方能进行自动监测;
 - e) 测站和数据终端设备应备有不间断电源;
 - f) 数据处理软件应具有观测数据自动检核、超限数据自动处理、不合格数据自动重测,观测目标被遮挡时,可自动延时观测处理和变形数据自动处理、分析、预报和预警等功能。
- 8.4.14 当采用摄影测量方法时,应满足下列要求:
- a) 应根据监测体的变形特点、监测规模和精度要求,合理选用作业方法,可采用时间基线视差法、立体摄影测量方法或实时数字摄影测量方法等;
 - b) 监测点标志可采用十字形或同心圆形,标志的颜色应使影像与标志背景色调有明显的反差,可采用黑、白、黄色或两色相间;
 - c) 像控点应布设在监测体的四周;当监测体的景深较大时,应在景深范围内均匀布设。像控点的点位精度不宜低于监测体监测精度的 1/3。当采用直接线性变换法解算待定点时,一个像对的控制点宜布设 6~9 个;当采用时间基线视差法时,一个像对宜布设 4 个以上控制点;
 - d) 对于规模较大、监测精度要求较高的监测项目,可采用多标志、多摄站、多相片及多量测的方法进行;
 - e) 摄影站应设置在带有强制归心装置的观测墩上。对于长方形的监测体,摄影站宜布设在与物体长轴相平行的一条直线上,并使摄影主光轴垂直于被摄物体的主立面;对于圆柱形监测体,摄影站可均匀布设在与物体中轴线等距的周围;
 - f) 多像对摄影时,应布设像对间起连接作用的标志点;
 - g) 变形摄影测量的其他技术要求,应符合 GB 50167 的规定。
- 8.4.15 当采用卫星实时定位测量(GNSS RTK)方法时,其主要技术要求应符合下列规定:
- a) 应设立永久性固定参考站作为变形监测的基准点,并建立实时监控中心;
 - b) 参考站应设立在变形区之外或受变形影响较小的地势较高区域,上部天空应开阔,无高度角超过 10°的障碍物,且周围无 GNSS 信号反射物(大面积水域、大型建构物),以及无高压线、电视台、无线电发射站、微波站等干扰源;
 - c) 流动站的接收天线,应永久设置在监测体的变形观测点上,并采取保护措施。接收天线的周围无高度角超过 10°的障碍物。变形观测点的数日应依具体的监测项目和监测体的结构灵活布设。接收卫星数量不应少于 5 颗,并采用固定解成果;

- d) 数据通信,对于长期的变形监测项目宜采用光缆或专用数据电缆通信,对于短期的监测项目也可采用无线电数据链通信。
- 8.4.16 应力、应变监测的主要技术要求,应符合下列规定:
- 监测点应根据设计要求和工程需要合理布设;
 - 传感器应具有足够的强度、抗腐蚀性和耐久性,并具有抗震和抗冲击性能;传感器的量程宜为设计最大压力的 1.2 倍,其精度应满足工程监控的要求;连接电缆应采用耐酸碱、防水、绝缘的专用电缆;
 - 传感器埋设前,应进行密封性检验、力学性能检验和温度性能检验,满足要求后方可使用;
 - 传感器应密实埋设,其承压面应与受力方向垂直;连接电缆应进行编号;
 - 传感器预埋稳定后,方能测定静态初始值;
 - 应力、应变监测周期宜与变形监测周期同步。
- 8.4.17 钢结构工业与民用建(构)筑物的沉降观测应符合下列规定:
- 沉降观测点应布设在钢结构建(构)筑物的下列部位:
 - 建(构)筑物的主要墙角及沿外墙每 10 m~15 m 处或每隔 2~3 根柱基上;
 - 沉降缝、伸缩缝、新旧建(构)筑物或高低建(构)筑物接壤处的两侧;
 - 人工地基和天然地基接壤处、建(构)筑物不同结构分界处的两侧;
 - 烟囱、水塔和大型储藏罐等高耸构筑物基础轴线的对称部位,且每一构筑物不得少于 4 个点;
 - 基础底板的四角和中部;
 - 当建(构)筑物出现裂缝时,布设在裂缝两侧;
 - 沉降观测标志应稳固埋设,高度以高于室内地坪(± 0 面)0.2 m~0.5 m 为宜。对于建筑立面后期有贴面装饰的建(构)筑物,宜预埋螺栓式活动标志;
 - 高层钢结构建筑施工期间的沉降观测周期应每增加 1~2 层观测 1 次;建筑物封顶后,应每 3 个月观测 1 次,观测 1 年。如果最后两个观测周期的平均沉降速率小于 0.02 mm/日,可以认为整体趋于稳定,如果各点的沉降速率均小于 0.02 mm/日,即可终止观测。否则,应继续每 3 个月观测 1 次,直至建筑物稳定为止;
 - 工业厂房或多层民用建筑的沉降观测总次数不应少于 5 次。竣工后的观测周期,可根据建(构)筑物的稳定情况确定。
- 8.4.18 钢结构建(构)筑物的主体倾斜观测,应符合下列规定:
- 整体倾斜观测点宜布设在建(构)筑物竖轴线或其平行线的顶部和底部,分层倾斜观测点宜分层布设高低点;
 - 观测标志可采用固定标志、反射片或建(构)筑物的特征点;
 - 观测精度宜采用三等水平位移观测精度;
 - 观测方法可采用经纬仪投点法、前方交会法、正锤线法、激光准直法、差异沉降法、倾斜仪测记法等。
- 8.4.19 当钢结构建(构)筑物因日照引起的变形较大或工程需要时,应进行日照变形观测且符合下列规定:
- 变形观测点宜设置在监测体受热面不同的高度处;
 - 日照变形的观测时间宜选在夏季的高温天进行。一般观测项目,可在白天时间段观测,从日出前开始定时观测,至日落后停止;
 - 在每次观测的同时,应测出监测体向阳面与背阳面的温度,并测定即时的风速、风向和日照强度;
 - 观测方法应根据日照变形的特点、精度要求、变形速率以及钢结构建(构)筑物的安全性等指标确定,可采用交会法、极坐标法、激光准直法、正倒垂线法等。

8.5 数据处理与变形分析

8.5.1 对于变形监测的各项原始记录,应及时整理、检查。

8.5.2 监测基准网的数据处理应符合下列规定:

- a) 规模较大的网应对观测值、坐标和高程值、位移量进行精度评定;
- b) 监测基准网平差的起算点应是经过稳定性检验合格的点或点组。监测基准网点位稳定性的检验,可采用下列方法进行:
 - 1) 采用最小二乘测量平差的检验方法;
 - 2) 采用数理统计检验方法;
 - 3) 采用 1)、2)项相结合的方法。

8.5.3 对于较大规模的或重要的项目,监测项目的变形分析宜包括下列内容;对于较小规模的项目,至少应包括本条第 a)~c)款的内容:

- a) 观测成果的可靠性;
- b) 监测体的累计变形量和两相邻观测周期的相对变形量分析;
- c) 相关影响因素(荷载、气象和地质等)的作用分析;
- d) 回归分析;
- e) 有限元分析。

8.5.4 变形监测项目应根据工程需要提交下列有关资料:

- a) 变形监测成果统计表;
 - b) 监测点位置分布图;建筑裂缝位置及观测点分布图;
 - c) 水平位移量曲线图;等沉降曲线图(或沉降曲线图);
 - d) 有关荷载、温度、水平位移量相关曲线图;荷载、时间、沉降量相关曲线图;位移(水平或垂直)速率、时间、位移量曲线图;
 - e) 其他影响因素的相关曲线图;
 - f) 变形监测报告包括:
 - 1) 监测项目及要求;
 - 2) 测点布设;
 - 3) 具体监测方法;
 - 4) 控制值及预警。
-

