UDC

**中华人民共和国行业标准**  

 JGJ 7-2010

P 备案号 J ×××× – 20××

**空间网格结构技术规程**

Technical Specification for Space Frame Structures

（局部修订条文征求意见稿）

20××-××-××发布 20××-××-××实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

**《空间网格结构技术标准》JGJ 7-2010**

**修订对照表**

**（方框部分为删除内容，下划线部分为增加内容）**

| 现行《标准》条文 | 局部修订征求意见稿 |
| --- | --- |
| **1 总则** | **1 总则** |
| 1.0.2 本规程适用于主要以钢杆件组成的空间网格结构，包括网架、单层或双层网壳及立体桁架等结构的设计与施工。 | 1.0.2 本标准适用于主要以钢杆件组成的空间网格结构，包括网架、单层或双层网壳、立体桁架及张弦结构等结构的设计与施工。 |
| 1.0.5 进行空间网格结构设计与施工时，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。 | 1.0.5 进行空间网格结构设计与施工时，除应符合本标准要求外，尚应符合国家现行有关标准的规定。 |
| **2 术语和符号** | **2 术语和符号** |
|  | **2.1.26** 张弦结构 structure with tensioning chord由上部刚性结构或构件、下部承托索与中间支撑杆共同组成的复合结构，如张弦梁、张弦桁架、张弦网壳等形式。 |
| **3 基本规定** | **3 基本规定** |
| **3.1 结构选型** | **3.1 结构选型** |
| **3.1.3** 网壳结构可采用球面、圆柱面、双曲抛物面、椭圆抛物面等曲面形式，也可采用各种组合曲面形式。 | **3.1.3** 网壳结构可采用球面、圆柱面、双曲抛物面、椭圆抛物面等曲面形式，也可采用自由曲面或各种组合曲面形式。 |
| **3.1.6** 立体桁架可采用直线或曲线形式。 | **3.1.6** 立体桁架可采用直线或曲线形式。立体桁架可采用钢管直接相贯焊接节点。 |
|  | **3.1.7** 张弦立体桁架可采用单向、双向或空间布置。张弦结构平面形状为圆形、椭圆形或多边形时可采用张弦网壳结构等形式。 |
| **3.1.8 单层网壳应采用刚接节点。** | **3.1.**9 单层网壳不应采用铰接节点。 |
| **3.3网壳结构设计的基本规定** | **3.3网壳结构设计的基本规定** |
| **3.3.5** 网壳的支承3 双曲抛物面网壳应通过边缘构件将荷载传递给下部结构； | **3.3.5** 网壳的支承3 双曲抛物面网壳应通过边缘构件将作用传递给下部结构； |
| **3.4 立体桁架、立体拱架与张弦立体拱架设计的基本规定** | **3.4 立体桁架、张弦结构设计的基本规定** |
|  | **3.4.6** 张弦网壳可由上部网壳结构和下部拉索及撑杆组成（图B.0.5），其中网壳的矢高宜取跨度的1/8～1/15，网壳矢高和索垂度之和不宜小于跨度的1/8。 |
| **3.5 结构挠度容许值** | **3.5 结构挠度容许值** |
| 表**3.5.1** 空间网格结构的容许挠度值 | 表**3.5.1** 空间网格结构的容许挠度值 |
|  | 3.6 既有空间网格结构评定与加固设计原则 |
|  | **3.6.1** 既有空间网格结构需延长设计工作年限、改变使用荷载、进行抗震加固与修复等时，应对其进行结构检测和安全性能评定。当承载能力不足、需要加固或修复时，应按现行有关标准对既有空间网格结构进行加固设计。**3.6.2** 既有空间网格结构加固设计应符合下列规定：1 应优化结构加固方案，保证结构加固方案的科学与合理性。2 对原屋面采用重屋面的可优先改为轻屋面。3 屋盖空间网格结构杆件宜按实测尺寸计算，并考虑锈蚀的影响。当杆件的几何尺寸符合原设计要求时，可按原设计的规定取值。4 加固设计时应考虑既有空间网格结构的承载历史及施工状态的影响。 |
| **4 结构计算** | **4 结构计算** |
| **4.1 一般计算原则** | **4.1 一般计算原则** |
| **4.1.1** 空间网格结构应进行重力荷载及风荷载作用下的位移、内力计算，并应根据具体情况，对地震、温度变化、支座沉降及施工安装荷载等作用下的位移、内力进行计算。空间网格结构的内力和位移可按弹性理论计算；网壳结构的整体稳定性计算应考虑结构的非线性影响。 | **4.1.1** 空间网格结构应进行重力荷载及风荷载作用下的位移、内力计算，并应根据具体情况，对地震作用、温度变化、支座沉降及施工安装荷载等作用下的位移、内力进行计算。空间网格结构的内力和位移可按弹性理论计算；网壳结构的整体稳定性计算应考虑结构的非线性影响。 |
| **4.1.7** 分析空间网格结构时，应根据结构形式、支座节点的位置、数量和构造情况以及支承结构的刚度，确定合理的边界约束条件。支座节点的边界约束条件，对于网架、双层网壳和立体桁架，应按实际构造采用两向或一向可侧移、无侧移的铰接支座或弹性支座；对于单层网壳，可采用不动铰支座，也可采用刚接支座或弹性支座。 | **4.1.7** 分析空间网格结构时，应根据结构形式、支座节点的位置、数量和构造情况以及支承结构的刚度，确定合理的边界约束条件。支座节点的边界约束条件，可采用可侧移铰接支座、固定铰支座、刚接支座或弹性支座。 |
|  | **4.1.10** 张弦结构应进行初始预应力及荷载作用下的计算。张弦结构的荷载状态计算时可不考虑几何非线性的影响。张弦网壳的初始预应力确定应考虑降低支座水平反力、改善上部结构内力分布、控制结构变形、提高结构整体稳定性等因素。 |
| **4.4 地震作用下的内力计算** | **4.4 地震作用下的效应计算** |
| **4.4.8** 当采用振型分解反应谱法进行空间网格结构地震效应分析时，对于网架结构宜至少取前10-15个振型，对于网壳结构宜至少取前25-30个振型，以进行效应组合；对于体型复杂或重要的大跨度空间网格结构需要取更多振型进行效应组合。 | **4.4.8** 当采用振型分解反应谱法进行空间网格结构地震效应分析时，宜取振型参与质量达到总质量90%所需的振型数进行效应组合。对于网架结构宜至少取前10-15个振型，对于网壳结构宜至少取前25-30个振型；对于体型复杂或重要的大跨度空间网格结构宜取更多振型进行效应组合。 |
| **4.4.10** 在进行结构地震效应分析时，对于周边落地的空间网格结构，阻尼比值可取0.02；对设有混凝土结构支承体系的空间网格结构，阻尼比值可取0.03。 | **4.4.10** 在进行结构地震效应分析时，应考虑不同构件材料对结构阻尼比的影响。对于周边落地的空间网格结构，阻尼比值可取0.02；对设有混凝土结构支承体系的空间网格结构，阻尼比值可取0.03。对于由复杂的混凝土结构体系支承的空间网格结构，宜采用位能加权平均的方法计算整体结构阻尼比。 |
| **4.4.11** 对于体型复杂或较大跨度的空间网格结构，宜进行多维地震作用下的效应分析。进行多维地震效应计算时，可采用多维随机振动分析方法、多维反应谱法或时程分析法。当按多维反应谱法进行空间网格结构三维地震效应分析时，结构各节点最大位移响应与各杆件最大内力响应可按本规程附录F公式进行组合计算。 | **4.4.11** 对于体型复杂、或跨度大于120m、或长度大于300m、或悬臂大于40m的空间网格结构，宜进行多维地震作用下的效应分析。进行多维地震效应计算时，可采用多维随机振动分析方法、多维反应谱法或时程分析法。当按多维反应谱法进行空间网格结构三维地震效应分析时，结构各节点最大位移响应与各杆件最大内力响应可按本标准附录F公式进行组合计算。 在抗震设防烈度为7度且场地为III、IV类和8、9度的地区，对于单边长度大于300m的空间网格结构宜采用时程分析方法进行多点输入地震反应分析。对于单边长度大于400m的超长型空间网格结构应进行多维多点输入抗震验算。 |
| **5 杆件和节点的设计与构造** | **5 杆件和节点的设计与构造** |
| **5.1 杆件** | **5.1 杆件** |
| **5.1.1** 空间网格结构的杆件可采用普通型钢或薄壁型钢。管材宜采用高频焊管或无缝钢管，当有条件时应采用薄壁管型截面。杆件采用的钢材牌号和质量等级应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017的规定。杆件截面应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017根据强度和稳定性的要求计算确定。 | **5.1.1** 空间网格结构的杆件可采用普通型钢或薄壁型钢、焊接H型钢与焊接箱型截面。管材可采用焊接钢管或无缝钢管，当有条件时应采用薄壁管型截面。杆件采用的钢材牌号和质量等级应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的规定。杆件截面应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017根据强度和稳定性的要求计算确定。 |
| 表**5.1.2** 杆件的计算长度 | 表**5.1.2** 杆件的计算长度 |
| 表**5.1.3** 杆件的容许长细比 | 表**5.1.3** 杆件的容许长细比 |
| **5.1.7** 在杆件与节点构造设计时，应考虑便于检查、清刷与油漆，避免易于积留湿气或灰尘的死角与凹槽，钢管端部应进行封闭。 | **5.1.7** 在杆件与节点构造设计时，应考虑便于检查、清刷与涂装，避免易于积留湿气或灰尘的死角与凹槽，钢管端部应进行封闭。 |
| **5.2 焊接空心球节点** | **5.2 焊接空心球节点** |
| **5.2.1** 由两个半球焊接而成的空心球，可根据受力大小分别采用不加肋空心球（图5.2.1-1）和加肋空心球（图5.2.1-2）。空心球的钢材宜采用现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700规定的Q235B钢或《低合金高强度结构钢》GB/T 1591规定的Q345B、Q345C 钢。产品质量应符合现行行业标准《钢网架焊接空心球节点》JG/T 11的规定。 | **5.2.1** 由两个半球焊接而成的空心球，可根据受力大小分别采用不加肋空心球（图5.2.1-1）和加肋空心球（图5.2.1-2）。空心球的钢材宜采用现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700规定的Q235B钢或《低合金高强度结构钢》GB/T 1591规定的Q355B、Q355C钢。产品质量应符合现行行业标准《钢网架焊接空心球节点》JG/T 11的规定。 |
| **5.3 螺栓球节点** | **5.3 螺栓球节点** |
| 表**5.3.2** 螺栓球节点零件材料 | 表**5.3.2** 螺栓球节点零件材料 |
| **5.3.4** 高强度螺栓的性能等级应按规格分别选用。对于M12 ～M36的高强度螺栓，其强度等级应按10.9级选用；对于M39～M64的高强度螺栓，其强度等级应按9.8级选用。螺栓的形式与尺寸应符合现行国家标准《钢网架螺栓球节点用高强度螺栓》GB/T 16939的要求。选用高强度螺栓的直径应由杆件内力确定，高强度螺栓的受拉承载力设计值应按下式计算： | **5.3.4** 高强度螺栓的性能等级应按规格分别选用。对于M16～M36的高强度螺栓，其强度等级应按10.9S级选用；对于M39～M85的高强度螺栓，其强度等级应按9.8S级选用。螺栓的形式与尺寸应符合现行国家标准《钢网架螺栓球节点用高强度螺栓》GB/T 16939的要求。选用高强度螺栓的直径应由杆件内力确定，高强度螺栓的受拉承载力设计值应按下式计算： |
| 表**5.3.4** 常用高强度螺栓在螺纹处的有效截面面积和承载力设计值 | 表**5.3.4** 常用高强度螺栓在螺纹处的应力截面面积和承载力设计值 |
| **5.3.5** 受压杆件的连接螺栓直径，可按其内力设计值绝对值求得螺栓直径计算值后，按表5.3.4的螺栓直径系列减少1～3个级差。 | **5.3.5** 受压杆件的连接螺栓直径，可按杆件内力设计值绝对值求得螺栓直径计算值后，按表5.3.4的螺栓直径系列减小1～3个级差；当杆件长度大于等于4m时，考虑到安装需要，只宜减小1~2个级差。 |
| **5.3.6** 套筒（即六角形无纹螺母）外形尺寸应符合扳手开口系列，端部要求平整，内孔径可比螺栓直径大1mm。 | **5.3.6** 套筒（即六角形无纹螺母）外形尺寸应符合扳手开口系列，端部应平整，内孔径可比螺栓直径大1mm。 |
| **5.3.7** 杆件端部应采用锥头（图5.3.7-a）或封板连接（图5.3.7-b），其连接焊缝的承载力应不低于连接钢管，焊缝底部宽度b可根据连接钢管壁厚取2mm～5mm。锥头任何截面的承载力应不低于连接钢管，封板厚度应按实际受力大小计算确定，封板及锥头底板厚度应不小于表5.3.7中数值。锥头底板外径宜较套筒外接圆直径大1mm～2mm，锥头底板内平台直径宜比螺栓头直径大2mm。锥头倾角应小于40°。 | **5.3.7** 杆件端部应采用锥头（图5.3.7-a）或封板连接（图5.3.7-b），其连接焊缝的承载力应不低于连接钢管，焊缝底部宽度b可根据连接钢管壁厚取2mm～5mm。锥头任何截面的承载力应不低于连接钢管，封板及锥头底板厚度应符合GB/T 16939及其他现行有关标准的规定。锥头底板外径宜较套筒外接圆直径大1mm～2mm，锥头底板内平台直径宜比螺栓头直径大2mm。锥头倾角应小于40°。 |
| 表5.3.7 封板或锥头底厚 |  |
| **5.3.8** 紧固螺钉宜采用高强度钢材，其直径可取螺栓直径的0.16～0.18倍，且不宜小于3 mm。紧固螺钉规格可采用M5～M10 。 | **5.3.8** 紧固螺钉宜采用高强度钢材，其直径可取螺栓直径的0.16～0.18倍。紧固螺钉规格可采用M5～M12。 |
| **5.4 嵌入式毂节点** | **5.4 嵌入式毂节点** |
| 表**5.4.2** 嵌入式毂节点零件推荐材料 | 表**5.4.2** 嵌入式毂节点零件推荐材料 |
| **5.4.7** 中心螺栓直径宜采用16mm~20mm，盖板厚度不宜小于4mm。 | **5.4.7** 中心螺栓宜采用M20～M27普通螺栓，压盖厚度不应小于6mm。 |
| **5.5 铸钢节点** | **5.5 铸钢节点** |
| **5.5.1** 空间网格结构中杆件汇交密集、受力复杂且可靠性要求高的关键部位节点可采用铸钢节点。铸钢节点的设计和制作应符合国家现行有关标准的规定。 | **5.5.1** 空间网格结构中杆件汇交密集、受力集中且可靠性要求高的关键部位节点可采用铸钢节点。铸钢节点的设计和制作应符合国家现行有关标准的规定。 |
| **5.5.2** 焊接结构用铸钢节点的材料应符合现行国家标准《焊接结构用碳素钢铸件》GB 7659的规定，必要时可参照国际标准或其他国家的相关标准执行；非焊接结构用铸钢节点的材料应符合现行国家标准《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352的规定。 | **5.5.2** 焊接结构用铸钢节点的材料应符合现行国家标准《焊接结构用铸钢件》GB/T 7659的规定，必要时可参照国际标准或其他国家的相关标准执行；非焊接结构用铸钢节点的材料应符合现行国家标准《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352的规定。 |
| **5.5.3** 铸钢节点的材料应具有屈服强度、抗拉强度、伸长率、截面收缩率、冲击韧性等力学性能和碳、硅、锰、硫、磷等化学成分含量的合格保证，对焊接结构用铸钢节点的材料还应具有碳当量的合格保证。 | **5.5.3** 铸钢节点的材料应具有屈服强度、抗拉强度、伸长率、截面收缩率、冲击韧性等力学性能和碳、硅、锰、硫、磷等化学成分含量的合格保证，对焊接结构用铸钢节点的材料还应具有碳当量及硫、磷含量的合格保证。 |
| **5.5.4** 铸钢节点设计时应根据铸钢件的轮廓尺寸选择合理的壁厚，铸件壁间应设计铸造圆角。制造时应严格控制铸造工艺、铸模精度及热处理工艺。 | **5.5.4** 铸钢节点设计时应根据铸钢件的轮廓尺寸选择合理的壁厚，铸件壁间应设计铸造圆角。制造时应严格控制铸造工艺、铸模精度及热处理工艺。铸钢件壁厚不宜大于150mm，壁厚变化斜率不宜大于1/5。内部肋板厚度不宜大于外侧壁厚。铸造工艺应保证铸钢节点内部组织致密、均匀，铸钢件宜进行正火或调质处理，设计文件应注明铸钢件毛坯尺寸的容许偏差。 |
| **5.6 销轴式节点** | **5.6 销轴式节点** |
| **5.6.1** 销轴式节点（图5.6.1）适用于约束线位移、放松角位移的转动铰节点。 | **5.6.1** 销轴式节点（图5.6.1）适用于约束线位移、放松角位移的转动铰节点。销轴与耳板宜采用Q355、Q390与Q420钢材，销轴也可采用45、35CrMo或40Cr等钢材。 |
| 图5.6.1 销轴式节点 | 图5.6.1 销轴式节点 |
| **5.8 预应力索节点** | **5.8 预应力索节点** |
| **5.8.1** 预应力索可采用钢绞线拉索、扭绞型平行钢丝拉索或钢拉杆，相应的拉索形式与端部节点锚固可采用下列方式：2 扭绞型平行钢丝拉索，索体应为平行钢丝束扭绞成型，外加防护层。钢索直径较小时可采用压接方式锚固，钢索直径大于30mm时宜采用铸锚方式锚固。锚固节点可外带螺母或采用耳板销轴节点（图5.8.1-2）。3 钢拉杆应为带有防护涂层的优质碳素结构钢、低合金高强度钢、合金结构钢或不锈钢，两端锚固方式应为耳板销轴节点，并应配有可调节索长的调节套筒（图5.8.1-3）。 | **5.8.1** 预应力索可采用钢绞线、钢丝束或钢拉杆，相应的拉索形式与端部节点锚固可采用下列方式：2 钢丝束拉索直径较小时可采用压接方式锚固，直径大于30mm时宜采用铸锚方式锚固。锚固节点可采用螺杆式或耳板销接式节点（图5.8.1-2）。3 钢拉杆两端锚固方式宜采用耳板销轴节点，张拉端根据需要可配有调节索长的调节套筒。（图5.8.1-3）。 |
| **5.8.3**  张弦立体拱架撑杆下端与索相连的节点宜采用两半球铸钢索夹形式，索夹的连接螺栓应受力可靠，便于在拉索预应力各阶段拧紧索夹。张弦立体拱架的拉索宜采用两端带有铸锚的扭绞型平行钢丝索，拱架端部宜采用铸钢件作为索的锚固节点（图5.8.3）。 | **5.8.3** 张弦结构的拉索端部锚固节点可采用耳板销接式或螺杆式节点（图5.8.3）。 |
|  | **5.8.4** 张弦结构撑杆与拉索的连接可采用球形索夹节点（图 5.8.4）。 图5.8.4 张弦结构撑杆与索连接节点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 |
|  | **5.8.5** 张弦结构撑杆与上部杆件连接可采用耳板式节点（图5.8.5）。图5.8.5 张弦结构撑杆上节点1—上部杆件；2—销轴；3—撑杆 |
|  | **5.8.6** 张弦网壳结构下弦的拉索与撑杆节点宜通过索夹及耳板等连接（图5.8.6）。5.8.7图5.8.6 张弦网壳下弦拉索与撑杆连接节点1—斜索；2—加劲肋；3—撑杆；4—环索；5—耳板；6—索夹；7—铸钢节点；8—固定螺栓 |
| 5.9 支座节点 | 5.9 支座节点 |
| **5.9.2** 空间网格结构的支座节点应根据其主要受力特点，分别选用压力支座节点、拉力支座节点、可滑移与转动的弹性支座节点兼受轴力、弯矩与剪力的刚性支座节点。 | **5.9.2** 空间网格结构的支座节点应根据其主要受力特点，分别选用压力支座节点、拉力支座节点、可滑移与转动支座节点、兼受轴力、弯矩与剪力的刚性支座节点、球形支座节点以及盆式橡胶支座节点等。 |
| **5.9.3** 常用压力支座节点可按下列构造形式选用：2 单面弧形压力支座节点（图5.9.3-2），可用于要求沿单方向转动的大、中跨度空间网格结构，支座反力较大时可采用图5.9.3-2b所示支座；（a）两个螺栓连接 （b）四个螺栓连接图 5.9.3-2 单面弧形压力支座节点3 双面弧形压力支座节点（图5.9.3-3），可用于温度应力变化较大且下部支承结构刚度较大的大跨度空间网格结构；（a）侧视图 （b）正视图图5.9.3-3 双面弧形压力支座节点 | **5.9.3** 常用压力支座节点可按下列构造形式选用： |
| **5.9.4** 常用拉力支座节点可按下列构造形式选用：2 单面弧形拉力支座节点（图5.9.4-1），可用于要求沿单方向转动的中、小跨度空间网格结构；图5.9.4-1 单面弧形拉力支座节点 |  |
|  | **5.9.9** 球型支座（图5.9.9）可用于支座反力大、抗震要求高，温度影响、水平位移较大及有转动要求的大跨度空间网格结构，可作为固定铰支座、单向侧移铰支座、双向侧移铰支座等。支座设计时应验算竖向与水平承载力、转角、水平位移等。支座构件可采用钢板、铸钢等材料，其构造做法应符合现行国家标准《建筑钢结构球型支座》GB/T 32836的规定。C:\Users\ADMINI~1.ZX-\AppData\Local\Temp\1593164925(1).png图5.9.9 球型支座 |
|  | **5.9.10** 盆式橡胶支座（图5.9.10）可用于支座反力大、水平位移较大及转动要求较高的大、中跨度空间网格结构，可作为固定铰支座、单向侧移铰支座、双向侧移铰支座等。图5.9.10 盆式橡胶支座 |
| **5.9.**9 支座节点的设计与构造应满足下列要求：7 当支座底板与基础面摩擦力小于支座底部的水平反力时应设置抗剪键，不得利用锚栓传递剪力（图5.9.9-2）；图5.9.9-2 支座节点抗剪键 | **5.9.11** 支座节点的设计与构造应满足下列要求：7 当支座底板与基础面摩擦力小于支座底部的水平反力时应设置抗剪键，不得利用锚栓传递剪力（图5.9.9-2）； |
| **5.9.**10 弧形支座板的材料宜用铸钢，单面弧形支座板也可用厚钢板加工而成。板式橡胶支座应采用由多层橡胶片与薄钢板相间粘合而成的橡胶垫板，其材料性能及计算构造要求可按本规程附录K确定。 | **5.9.12** 板式橡胶支座应采用由多层橡胶片与薄钢板相间粘合而成的橡胶垫板，其材料性能及计算构造要求可按本标准附录K确定。 |
| **6 制作、安装与交验** | **6 制作、安装与交验** |
| **6.1 一般规定** | **6.1 一般规定** |
| **6.1.1** 钢材的品种、规格、性能等应符合国家现行产品标准和设计要求，并具有质量合格证明文件。钢材的抽样复验应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定。 | **6.1.1** 钢材的品种、规格、性能应符合国家现行标准的规定和设计要求，并应具有质量合格证明文件。钢材的抽样复验应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的规定。 |
| **6.1.2** 空间网格结构在施工前，施工单位应编制施工组织设计，在施工过程中应严格执行。 | **6.1.2** 空间网格结构在施工前，施工单位应编制施工组织设计或专项施工方案，在施工过程中应严格执行。空间网格结构的制作与安装宜采用信息化方法进行施工与管理。 |
| **6.1.3** 空间网格结构的制作、安装、验收及放线宜采用钢尺、经纬仪、全站仪等，钢尺在使用时拉力应一致。测量器具必须经计量检验部门检定合格。 | **6.1.3** 空间网格结构的制作、安装、验收及放线宜采用钢尺、经纬仪、全站仪等。测量器具必须经计量检验部门检定合格并在有效期内。 |
| **6.1.6** 空间网格结构的安装方法，应根据结构的类型、受力和构造特点，在确保质量、安全的前提下，结合进度、经济及施工现场技术条件综合确定。空间网格结构的安装可选用下列方法：**3** 滑移法 适用于能设置平行滑轨的各种空间网格结构，尤其适用于必须跨越施工（待安装的屋盖结构下部不允许搭设支架或行走起重机）或场地狭窄、起重运输不便等情况。当空间网格结构为大柱网或平面狭长时，可采用滑架法施工。**4** 整体吊装法 适用于中小型空间网格结构，吊装时可在高空平移或旋转就位。**5** 整体提升法 适用于各种空间网格结构，结构在地面整体拼装完毕后提升至设计标高、就位。**6** 整体顶升法 适用于支点较少的各种空间网格结构。结构在地面整体拼装完毕后顶升至设计标高、就位。 | **6.1.6** 空间网格结构的安装方法，应根据结构的类型、受力和构造特点，在确保质量、安全的前提下，结合进度、经济及施工现场技术条件综合确定。空间网格结构的安装可选用下列方法：**3** 滑移法 适用于能设置平行滑轨的各种空间网格结构，尤其适用于必须跨越施工（待安装的屋盖结构下部不允许搭设支架或行走起重机）或场地狭窄、起重运输不便等情况。当空间网格结构为大柱网或平面狭长布置时，可采用滑架法施工。**4** 整体吊装法 适用于中小型空间网格结构，吊装时可在高空平移或旋转就位。**5** 整体提升法 适用于各种空间网格结构，结构在地面或楼面整体拼装完毕后提升至设计标高、就位。**6** 整体顶升法 适用于支点较少的各种空间网格结构。结构在地面或楼面整体拼装完毕后顶升至设计标高、就位。 |
| **6.1.7** 安装方法确定后，应分别对空间网格结构各吊点反力、竖向位移、杆件内力、提升或顶升时支承柱的稳定性和风载下空间网格结构的水平推力等进行验算，必要时应采取临时加固措施。当空间网格结构分割成条、块状或悬挑法安装时，应对各相应施工工况进行跟踪验算，对有影响的杆件和节点应进行调整。安装用支架或起重设备拆除前应对相应各阶段工况进行结构验算，以选择合理的拆除顺序。 | **6.1.7** 安装方法确定后，应分别对空间网格结构各吊点反力、竖向位移、杆件内力、提升或顶升时支承柱的稳定性和风载下空间网格结构的水平推力等进行验算，必要时应采取临时加固措施。当空间网格结构分割成条、块状或悬挑法安装时，应对各相应施工工况进行跟踪验算，对有影响的杆件和节点应进行调整。安装用支架或起重设备拆除前应明确拆除方案并对相应各阶段工况进行验算。 |
| **6.1.11** 空间网格结构在进行涂装前，必须对构件表面进行处理，清除毛刺、焊渣、铁锈、污物等。经过处理的表面应符合设计要求和现行国家有关标准的规定。 | **6.1.11** 空间网格结构构件应采用抛丸除锈等方法对构件表面进行处理，处理结果应符合设计要求，当设计无要求时应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1规定的Sa$2\frac{1}{2}$级的要求。对镀锌构件，酸洗除锈后，钢材表面应露出金属色泽，并应无污渍、锈迹和残留酸液。空间网格结构防腐和防火涂料施工工艺和技术要求应符合设计文件、涂装材料产品说明书和国家现行有关标准的规定；防腐和防火涂层应相互兼容。对首次采用的涂装材料或涂装工艺应进行涂装工艺试验与评定。 |
|  | 6.1.13 空间网格结构钢管等闭口截面杆件应有预防管内进水、积水的构造措施，严禁施工过程中钢管内积水。 |
|  | 6.1.14 桁架结构中相互搭接杆件的焊接顺序宜符合拉杆优先于压杆、大规格杆优先于小规格杆的原则。对隐蔽焊缝的焊接应在工艺上采取相应措施，如不需焊接则应在设计上有可靠的传力路径。 |
|  | 6.1.15 空间网格结构施工应考虑环境温度变化对结构的影响，并应根据分析结果选取适当的时间段和环境温度进行结构合拢。设计对合拢温度有要求时应符合设计要求。 |
|  | 6.1.16 对大跨度或复杂空间结构宜在施工阶段进行应力和变形的监测，监测方法和要求应符合设计要求和现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB50755的规定。 |
| **6.2 制作与拼装要求** | **6.2 制作与拼装要求** |
| **6.2.1** 空间网格结构的杆件和节点应在专门的设备或胎具上进行制作与拼装，以保证拼装单元的精度和互换性。 | **6.2.1** 空间网格结构的杆件和节点宜采用机械化与自动化等工业化方式进行加工制作，并应在专用设备或胎具上进行拼装，拼装单元精度应满足设计要求和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205的规定。 |
| **6.2.2** 空间网格结构制作与安装中所有焊缝应符合设计要求。当设计无要求时应符合下列规定：**1** 钢管与钢管的对接焊缝应为一级焊缝；**2** 球管对接焊缝、钢管与封板(或锥头)的对接焊缝应为二级焊缝；**3** 支管与主管、支管与支管的相贯焊缝应符合现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81的规定；**4** 所有焊缝均应进行外观检查，检查结果应符合现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 的规定；对一、二级焊缝应作无损探伤检验，一级焊缝探伤比例为100%，二级焊缝探伤比例为20%，探伤比例的计数方法为焊缝条数的百分比，探伤方法及缺陷分级应分别符合现行行业标准《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203和《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81的规定。 | **6.2.2** 空间网格结构制作与安装中所有焊缝应符合设计要求。当设计无要求时应符合下列规定：**1** 钢管与钢管的对接焊缝应为一级焊缝；**2** 空心球与钢管对接焊缝、钢管与封板(或锥头)的对接焊缝应不低于二级焊缝；**3** 支管与主管、支管与支管的相贯焊缝应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661的规定；**4** 所有焊缝均应进行外观检查，检查结果应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205和《钢结构焊接规范》GB 50661的规定；对一、二级焊缝应作无损探伤检验，一级焊缝探伤比例为100%，二级焊缝探伤比例为20%，探伤比例的计数方法为焊缝条数的百分比，探伤方法及缺陷分级应分别符合现行行业标准《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205的规定。 |
| **6.2.3** 空间网格结构的杆件接长不得超过一次，接长杆件总数量不应超过杆件总数的10%，并不得集中布置。杆件的对接焊缝距节点或端头的最短距离不得小于500mm。 | **6.2.3** 空间网格结构的每个杆件接长不得超过一次，接长杆件数量不应超过杆件总数的10%，并不得集中布置。杆件的接长对接焊缝距节点或端头的最短距离不得小于500mm。 |
| **6.2.4** 空间网格结构制作尚应符合下列规定：**2** 螺栓球不得有裂纹。螺纹应按6H级精度加工，并应符合现行国家标准《普通螺纹 公差》GB/T 197的规定。螺栓球的尺寸允许偏差应符合表6.2.4-2的规定。3 嵌入式毂节点杆端嵌入榫与毂体槽口相配合部分的制造精度应满足0.1mm～0.3mm间隙配合的要求。杆端嵌入件倾角制造中以分类，与杆件组焊时，在专用胎具上微调，其调整后的偏差为。嵌入式毂节点尺寸允许偏差应符合表6.2.4-3的规定。 | **6.2.4** 空间网格结构制作尚应符合下列规定：**2** 螺栓球成型后，不应有裂纹、褶皱和过烧。螺纹应按6H级精度加工，并应符合现行国家标准《普通螺纹 公差》GB/T 197的规定。螺栓球的尺寸允许偏差应符合表6.2.4-2的规定。3 封板、锥头、套筒不得有裂纹、过烧及氧化皮。**4**  嵌入式毂节点杆端嵌入榫与毂体槽口相配合部分的制造精度应满足0.1mm～0.3mm间隙配合的要求。杆端嵌入件倾角制造中宜以分类，与杆件组焊时，应在专用胎具上微调，其调整后的偏差应不大于。嵌入式毂节点尺寸允许偏差应符合表6.2.4-3的规定。 |
| **6.2.5** 钢管杆件宜用机床下料。杆件下料长度应预加焊接收缩量，其值可通过试验确定。杆件制作长度的允许偏差应为±1mm。采用螺栓球节点连接的杆件其长度应包括锥头或封板；采用嵌入式毂节点连接的杆件，其长度应包括杆端嵌入件。 | **6.2.5** 空间网格结构的钢管杆件、拉索和拉杆应符合下列规定：1 钢管杆件宜采用机床或数控相贯面切割下料。杆件下料长度应预加焊接收缩量，其值可通过试验确定。杆件制作允许偏差应符合表6.2.5-1的规定。采用螺栓球节点连接的杆件，其长度应包括锥头或封板；采用嵌入式毂节点连接的杆件，其长度应包括杆端嵌入件。表6.2.5-1 钢管杆件制作允许偏差注： 为钢管半径。2 钢管杆件弯曲成型和矫正后的允许偏差应符合设计要求和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205的规定。3 拉索、拉杆下料应考虑其预拉力值的影响，在无应力状态下尺寸允许偏差应符合表6.2.5-2的规定。表6.2.5-2 拉索、拉杆下料尺寸允许偏差4 成品拉索出厂前应进行张拉检验，张拉荷载应为拉索标称破断力的55%和拉力设计值两者的较大值，且张拉持续时间不应少于1h。检验后，拉索应完好无损。5 采用铸钢件制作的拉索锚具，除表面不应有裂纹、未熔合、气孔、缩孔、夹砂以及明显凹坑等缺陷外，还应采用超声波探伤对其内部缺陷进行检测。检测结果应符合设计要求和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205的规定。 |
| **6.2.6**  支座节点、铸钢节点、预应力索锚固节点、H型钢、方管、预应力索等的制作加工应符合设计及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205等的规定。 | **6.2.6**  支座节点、铸钢节点、预应力索锚固节点、H型钢、方管等的制作加工应符合设计要求及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205等的规定。 |
| **6.2.7** 空间网格结构宜在拼装模架上进行小拼，以保证小拼单元的形状和尺寸的准确性。小拼单元的允许偏差应符合表6.2.7规定。 | **6.2.7** 空间网格结构宜在拼装胎架上进行小拼，以保证小拼单元的形状和尺寸的准确性。小拼单元的允许偏差应符合表6.2.7的规定。 |
| **6.2.9** 空间网格结构在总拼前应精确放线，放线的允许偏差应为边长的1/10000。总拼所用的支承点应防止下沉。总拼时应选择合理的焊接工艺顺序，以减少焊接变形和焊接应力。拼装与焊接顺序应从中间向两端或四周发展。网壳结构总拼完成后应检查曲面形状，其局部凹陷的允许偏差应为跨度的1/1500，且不应大于40mm。 | **6.2.9** 空间网格结构在总拼前应精确放线，放线的允许偏差应为边长的1/20000且不应大于3.0mm。总拼所用的支承点应防止下沉。总拼时应选择合理的焊接工艺顺序，以减少焊接变形和焊接应力。拼装与焊接顺序应从中间向两端或四周发展。网壳结构总拼完成后应检查曲面形状，其局部凹陷的允许偏差应为跨度的1/1500，且不应大于40mm。 |
| **6.2.10** 螺栓球节点及用高强度螺栓连接的空间网格结构，按有关规定拧紧高强度螺栓后，应对高强度螺栓的拧紧情况逐一检查，压杆不得存在缝隙，确保高强度螺栓拧紧。安装完成后应对拉杆套筒的缝隙和多余的螺孔用油腻子填嵌密实，并应按规定进行防腐处理。 | **6.2.10** 螺栓球节点及用高强度螺栓连接的空间网格结构，按有关规定拧紧高强度螺栓后，应对高强度螺栓的拧紧情况逐一检查，压杆安装过程中套筒两端不得存在缝隙，应确保高强度螺栓拧紧到位。安装完成后应对拉杆套筒的缝隙和多余的螺孔用油腻子填嵌密实，并应按规定进行防腐处理。 |
| **6.2.11** 支座安装应平整垫实，必要时可用钢板调整，不得强迫就位。 | **6.2.11** 支座安装应平整垫实，必要时可用钢板调整，不得强迫就位。支座支承垫块的种类、规格、摆放位置和朝向应满足设计要求并符合现行有关标准的规定。 |
| **6.3 高空散装法** | **6.3 高空散装法** |
| **6.3.1** 采用小拼单元或杆件直接在高空拼装时，其顺序应能保证拼装精度，减少累积误差。悬挑法施工时，应先拼成可承受自重的几何不变结构体系，然后逐步扩拼。为减少扩拼时结构的竖向位移，可设置少量支撑。空间网格结构在拼装过程中应对控制点空间坐标随时跟踪测量，并及时调整至设计要求值，不应使拼装偏差逐步积累。 | **6.3.1** 采用小拼单元或杆件直接在高空拼装时，其顺序应能保证拼装精度，减少累积误差。悬挑法施工时，应先拼成可承受自重的几何不变结构体系，然后逐步扩拼。为减少扩拼时结构的竖向位移，可设置少量支架。空间网格结构在拼装过程中应对控制点空间坐标随时跟踪测量，并及时调整至设计要求值，不应使拼装误差逐步积累。 |
| **6.3.2** 当选用扣件式钢管搭设拼装支架时，应在立杆柱网中纵横每相隔15m～20 m设置格构柱或格构框架，作为核心结构。格构柱或格构框架必须设置交叉斜杆，斜杆与立杆或水平杆交叉处节点必须用扣件连接牢固。 | **6.3.2** 拼装支架可选用碗扣式钢管支撑结构、扣件式钢管支撑结构或盘扣式钢管支撑结构。当选用扣件式钢管支撑结构搭设拼装支架时，应在立杆柱网中纵横每相隔15m～20 m设置格构柱或格构框架作为核心结构。格构柱或格构框架必须设置交叉斜杆，斜杆与立杆或水平杆交叉处节点必须用扣件连接牢固。 |
| **6.3.3** 格构柱应验算强度、整体稳定性和单根立杆稳定性；拼装支架除应验算单根立杆强度和稳定性外，尚应采取构造措施保证整体稳定性。压杆计算长度应取支架步高。计算时工作条件系数可取0.36，高度影响系数可按下式计算： （6.3.3）式中：——高度影响系数；——支架搭设高度(m)。 | **6.3.3** 格构柱应验算强度、整体稳定性和单根立杆稳定性；拼装支架除应验算单根立杆强度和稳定性外，尚应采取构造措施保证整体稳定性。 |
| **6.3.5** 拼装支架搭设应符合下列规定：**1** 必须设置足够完整的垂直剪刀撑和水平剪刀撑；**2** 支架应与土建结构连接牢固，如无连接条件时，应设置安全缆风绳、抛撑等；**3** 支架立杆安装每步高允许垂直偏差应为±7mm；支架总高20m以下时，全高允许垂直偏差应为±30mm；支架总高20m以上时，全高允许垂直偏差应为±48mm；**4** 扣件拧紧力矩不应小于40N·m，抽检率不应低于20%；**5** 支架在结构自重及施工荷载作用下，其立杆总沉降量应不大于10mm；6 支架搭设的其余技术要求应符合现行行业标准《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 130的相关规定。 | **6.3.5** 拼装支架搭设应符合下列规定：**1** 必须设置足够完整的垂直剪刀撑和水平剪刀撑；**2** 支架应与土建结构连接牢固，如无连接条件时，应设置安全缆风绳、抛撑等；**3** 支架立杆安装每步高允许垂直偏差不应超过±7mm；支架总高20m以下时，全高允许垂直偏差不应超过±30mm；支架总高20m以上时，全高允许垂直偏差不应超过±48mm；**4** 扣件拧紧力矩不应小于40N·m，抽检率不应低于20%；**5** 支架在结构自重及施工荷载作用下，其立杆总沉降量应不大于10mm；6 碗扣式或盘扣式拼装支架的验算和搭设技术要求尚应符合现行行业标准《建筑施工临时支撑结构技术规范》JGJ 300的规定。7 扣件式拼装支架搭设的其余技术要求尚应符合现行行业标准《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 130的相关规定。 |
| **6.4 分条或分块安装法** | **6.4 分条或分块安装法** |
| **6.4.1** 将空间网格结构分成条状单元或块状单元在高空连成整体时，分条或分块结构单元应具有足够刚度并保证自身的几何不变性，否则应采取临时加固措施。 | **6.4.1** 将空间网格结构分成条状单元或块状单元在高空连成整体时，分条或分块结构单元应具有足够刚度并保证自身的几何不变性，否则应采取临时加固措施。吊装单元安装就位时应对其采取临时稳固措施，或与支座、已安装单元及支撑胎架间形成可靠连接。 |
| **6.4.2** 在分条或分块之间的合拢处，可采用安装螺栓或其他临时定位措施。设置独立的支撑点或拼装支架时，应符合本规程6.3.2条的规定。合拢时可用千斤顶或其他方法将网格单元顶升至设计标高，然后连接。 | **6.4.2** 在分条或分块之间的合拢处，可采用安装螺栓、卡板等临时定位措施。设置独立的支撑点或拼装支架时，应符合本标准第6.3.2条的规定。在满足吊装机械性能的前提下，结构分条或分块方案应尽量减小高空合拢杆件的数量。支撑点的布置应使合拢处杆件相对变形尽量小，保证合拢精度。相贯节点杆件合拢段宜设置在直线杆件处并采用直线型连接节点。当数值分析合拢处杆件变形较大时，可根据结构的变形规律采用构件节点坐标值预偏处理，或事先调整支撑架高差控制网格单元变形。 |
| 6.5 滑移法 | 6.5 滑移法 |
| **6.5.2** 空间网格结构在滑移时应至少设置两条滑轨，滑轨间必须平行。根据结构支承情况，滑轨可以倾斜设置，结构可上坡或下坡牵引。当滑轨倾斜时，必须采取安全措施，使结构在滑移过程中不致因自重向下滑动。对曲面空间网格结构的条状单元可用辅助支架调整结构的高低；对非矩形平面空间网格结构，在滑轨两边可对称或非对称将结构悬挑。 | **6.5.2** 空间网格结构在滑移时应至少设置两条滑轨，滑轨宜平行布置。根据结构支承情况，滑轨可以倾斜或弧形设置，结构可上坡或下坡牵引。当滑轨倾斜或弧形布置时，应根据倾角大小采取安全措施，使结构在滑移过程中不致因自重向下滑动。对曲面空间网格结构的条状单元可用辅助支架调整滑移面的高低，对圆弧型的空间网格结构宜采用弧形轨道滑移；在滑轨两边可对称或非对称将结构悬挑。 |
| **6.5.3** 滑轨可固定于梁顶面或专用支架上，也可置于地面，轨面标高宜高于或等于空间网格结构支座设计标高。滑轨及专用支架应能抵抗滑移时的水平力及竖向力，专用支架的搭设应符合本规程第6.3.2条的规定。滑轨接头处应垫实，两端应做圆倒角，滑轨两侧应无障碍，滑轨表面应光滑平整，并应涂润滑油。大跨度空间网格结构的滑轨采用钢轨时，安装应符合现行国家标准《桥式和门式起重机制造和轨道安装公差》GB/T 10183的规定。 | **6.5.3** 滑轨可固定于梁顶面或专用支架上，也可置于地面，轨面标高宜高于或等于空间网格结构支座设计标高。滑轨及专用支架应能抵抗滑移时的水平力及竖向力，专用支架的搭设应符合本标准第6.3.2条的规定。轨道梁应有足够的刚度，应能承受滑靴的集中荷载，加劲肋布置应合理可靠并满足稳定性要求。滑轨接头处应垫实，两端应做圆倒角，滑轨两侧应无障碍，滑轨表面应光滑平整，并应涂润滑油。滑轨采用钢轨时，安装质量应符合现行国家标准《起重机 车轮及大车和小车轨道公差第一部分：总则》GB/T 10183.1的规定。 |
| **6.5.4** 对大跨度空间网格结构，宜在跨中增设中间滑轨。中间滑轨宜用滚动摩擦方式滑移，两边滑轨宜用滑动摩擦方式滑移。当滑移单元由于增设中间滑轨引起杆件内力变号时，应采取措施防止杆件失稳。 | **6.5.4** 对大跨度空间网格结构，宜在跨中增设中间滑轨。中间滑轨宜用滚动摩擦方式滑移，两边滑轨宜用滑动摩擦方式滑移。当滑移单元由于增设中间滑轨引起杆件内力变号时，应采取措施防止杆件失稳。对于大跨度拱形空间网格结构，当滑移支点处存在较大水平推力或水平位移时，可沿跨度方向设置临时平衡拉索或增设侧向滑轨。 |
| **6.5.5** 当设置水平导向轮时，宜设在滑轨内侧，导向轮与滑轨的间隙应在10mm～20mm之间。 | **6.5.5** 当设置水平导向轮时，宜设在滑轨内侧，导向轮与滑轨的间隙应在10mm～20mm之间。当采用滑槽滑移时，滑靴端部宜设置“雪橇”口并防止卡轨。 |
| **6.5.6** 空间网格结构滑移时可用卷扬机或手拉葫芦牵引根据牵引力大小及支座之间的杆件承载力，左右每边可采用一点或多点牵引。牵引速度不宜大于0.5m/min，不同步值不应大于50mm。牵引力可按滑动摩擦或滚动摩擦分别按下列公式进行验算： | **6.5.6** 空间网格结构滑移时按外力作用方式分为牵引法和顶推法。宜优先采用液压顶推及液压牵引，也可采用卷扬机或手拉葫芦牵引。根据牵引力（或顶推力）大小及支座之间的杆件承载力，每边可采用一点或多点牵引（或顶推）。牵引（或顶推）速度不宜大于0.5m/min，不同步值不应大于50mm。牵引点（或顶推点）处的结构杆件与节点应具有足够刚度传递牵引力（或顶推力），应采取有效措施保证牵引力（或顶推力）直接有效地传递至结构或者其他滑移支承点。牵引力（或顶推力）可按滑动摩擦或滚动摩擦分别按下列公式进行验算： |
| **6.5.7** 空间网格结构在滑移施工前，应根据滑移方案对杆件内力、位移及支座反力进行验算。当采用多点牵引时，还应验算牵引不同步对结构内力的影响。 | **6.5.7** 空间网格结构在滑移施工前，应根据滑移方案对滑移全过程进行施工模拟分析，应分别对杆件内力、位移及支座反力、牵引（或顶推）点杆件局部承载力、不同步对结构内力的影响等进行验算。 |
|  | **6.5.8** 空间网格结构在正式滑移前，应进行必要的试滑移。在结构滑移200mm~ 500mm距离后宜暂停滑移，全面观察各设备运行、滑移措施、滑移结构的状态；宜在一切正常后进行正式滑移。 |
|  | **6.5.9** 当空间网格结构滑移到位后需要落位时，结构落位高度不宜大于400mm，落位支撑用千斤顶转换次数不宜大于2次。结构落位过程中，应采取有效措施控制结构的整体稳定性；应优先采用同步落位。 |
| 6.6 整体吊装法 | 6.6 整体吊装法 |
| **6.6.1** 空间网格结构整体吊装可采用单根或多根拔杆起吊，也可采用一台或多台起重机起吊就位。 | **6.6.1** 空间网格结构整体吊装可采用单根或多根拔杆起吊，也可采用起重机起吊就位。不宜采用多台起重机抬吊。当起吊重量超过单台起重机的额定起重量时可采用抬吊，但不宜超过3台。 |
| **6.6.3** 当采用多根拔杆或多台起重机吊装空间网格结构时，宜将拔杆或起重机的额定负荷能力乘以折减系数0.75。 | **6.6.3** 当采用多根拔杆或多台起重机吊装空间网格结构时，宜将拔杆或起重机的额定负荷能力乘以折减系数，折减系数取值应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755的规定。 |
|  | **6.6.9** 采用整体吊装法时，吊点的位置、数量设置宜使网格结构在施工阶段的受力状况与使用阶段尽量接近，多台起重设备吊装时各起重设备的负荷能力应接近。 |
| 6.7 整体提升法 | 6.7 整体提升法 |
| **6.7.5** 整体提升法的支承柱应进行稳定性验算。 | **6.7.5** 整体提升法的支承柱应进行强度和稳定性验算。 |
|  | **6.7.6** 采用整体提升法时，提升吊点位置及数量应经过验算，应根据各吊点的反力值选择提升设备和设计支承柱，网格结构提升单元的变形应在允许范围之内。 |
|  | **6.7.7** 整体提升施工时，网格结构在上升或落位的瞬间应严格控制其加速度并缓慢就位。 |
| 6.8 整体顶升法 | 6.8 整体顶升法 |
| **6.8.7** 顶升用的支承结构应进行稳定性验算，验算时除应考虑空间网格结构和支承结构自重、与空间网格结构同时顶升的其他静载和施工荷载外，尚应考虑上述荷载偏心和风荷载所产生的影响。如稳定性不满足时，应采取措施予以解决。 | **6.8.7** 顶升用的支承结构应进行强度和稳定性验算，验算时除应考虑空间网格结构和支承结构自重、与空间网格结构同时顶升的其他静载和施工荷载外，尚应考虑上述荷载偏心和风荷载所产生的影响。 |
| 6.9 折叠展开式整体提升法 | 6.9 折叠展开式整体提升法 |
| **6.9.2** 提升用的工具宜采用液压设备，并宜采用计算机同步控制。提升点应根据设计计算确定，可采用四点或四点以上的提升点进行提升。提升速度不宜大于0.2m/min，提升点的不同步值不应大于提升点间距的1/500，且不大于40mm。 | **6.9.2** 柱面网壳结构可采用计算机同步控制液压提升系统进行提升。提升点应根据设计计算确定，可采用四点或四点以上的提升点进行提升。提升速度不宜大于0.2m/min，提升点的不同步值不应大于提升点间距的1/500，且不大于40mm。在正式提升前应进行试提升，试提升高度可取200mm～500mm，检查确认无误后可进行正式提升。 |
| **6.9.3** 在提升过程中只允许机构在竖直方向做一维运动。提升用的支架应满足本规程6.3.2条的规定，并应设置导轨。 | **6.9.3** 在提升过程中只允许机构在竖直方向做一维运动。提升用支架应进行专门设计并应符合国家现行有关标准的规定，并应沿网格结构运动方向设置导轨。 |
| **6.9.4** 柱面网壳结构由若干条铰线分成多个区域，每条铰线包含多个活动铰，应保证同一铰线上的各个铰节点在一条直线上，各条铰线之间应相互平行。 | **6.9.4** 柱面网壳结构变成机构时由若干条铰线分成多个区域，每条铰线包含多个转动铰，应保证同一铰线上的各个转动铰节点在一条直线上，各条铰线之间应相互平行。转动铰应进行专门设计。 |
| **6.9.5** 对提升过程中可能出现瞬变的柱面网壳结构，应设置临时支撑或临时拉索。 | **6.9.5** 在提升前应对提升过程进行施工模拟分析，对提升过程中可能出现瞬变的柱面网壳结构，应有防瞬变的技术措施，可采取设置临时支撑或临时拉索的方法防止瞬变的发生。 |
| **6.10 组合空间网格结构施工** | **6.10 组合空间网格结构施工** |
| **6.10.3** 组合空间网格结构的腹杆及下弦杆的制作、拼装允许偏差及焊缝质量要求应符合本规程第6.2节的规定。 | **6.10.3** 组合空间网格结构的腹杆及下弦杆的制作、拼装允许偏差及焊缝质量要求应符合本标准第6.2节的规定。 |
|  | **6.11 张弦结构的施工** |
|  | 6.11.1 张弦结构施工前应对拉索、锚具等的产品质量证明书、检测报告及其品种、规格、数量、尺寸等进行查验，合格后方可进行施工。6.11.2 张弦结构施工前，应进行全过程施工模拟分析，应根据分析结果编制专项施工张拉方案，并应经设计确认。6.11.3 拉索张拉应遵循分阶段、分级、对称、缓慢匀速、同步的原则，并应根据结构和材料特点确定超张拉要求。6.11.4 拉索施工张拉前，应进行空间网格结构验收，验收合格后方可进行拉索施工张拉。6.11.5 试验和张拉用设备和仪器应进行计量标定。施加索力应采用专用设备，其负荷标定值应大于施力值的2.0倍。6.11.6 张弦结构安装用支架应进行专门设计，应分别满足空间网格结构安装和拉索张拉时所有施工阶段的使用要求。6.11.7 室外存放拉索时，应置于遮篷中并应有防潮、防雨措施。成圈拉索应水平堆放，重叠堆放时应逐层加垫木，以免锚具压坏拉索的保护层。当除拉索外其他钢构件需焊接和切割时，其施工点与拉索应保持足够距离或采取保护措施。6.11.8 拉索张拉顺序、分阶段张拉次数、各阶段张拉力和位移值等应满足设计要求；对承重索应进行内力和位移双控制，各阶段张拉力值或位移变形值允许偏差不应超过设计值的±10%。6.11.9 张弦结构安装过程应有相应的监测措施，对拉索、结构关键节点和重要构件应进行应力和变形监测。6.11.10 拉索张拉完成后，拉索锚具连接固定和保护措施应满足设计要求；拉索锚固长度、锚固螺纹旋合丝扣、螺母外侧露出丝扣等应满足设计要求。当设计无要求时，应符合表6.11.10的规定。表6.11.10 拉索锚固连接构造要求注：d为拉索直径。6.11.11 张弦结构施工完毕后，钢构件的涂层应无损坏，拉索（含保护层）、锚具、销轴及其他连接件应无损伤。 |
| **6.11 交验** | **6.12 交验** |
|  | **6.12.5** 空间网格结构的安装应在原材料及成品进场验收、构件制作、焊接连接和紧固件连接等分项工程验收合格的基础上进行验收。 |
|  | **6.12.6** 空间网格结构安装工程可按变形缝、空间刚性单元、施工段等划分成一个或若干个检验批。 |
| **附录B 常用网壳形式** | **附录B 常用网壳和张弦网壳形式** |
|  | **B.0.5** 张弦网壳网格可采用下列几种形式：肋环型-1+肋环型-2=肋环型-3（a） 肋环型联方型-1+联方型-2=联方型-3（b） 联方型凯威特型-1+凯威特型-2=凯威特型-3(c) 凯威特型图B.0.5 张弦网壳网格形式1-单层网壳；2-环索；3-斜索；4-撑杆 |

**中华人民共和国行业标准**

**空间网格结构技术规程**

**JGJ 7-2010**

条文说明1 总则

1.0.2 本标准是以原《网架结构设计与施工规程》JGJ7-91与原《网壳结构技术规程》JGJ 61-2003为主，综合考虑二本规程共同点与各自特点，将网架、网壳与立体桁架、张弦结构统称空间网格结构。空间网格结构包括以主要承受弯曲内力的平板型网架、主要承受薄膜力的单层与双层网壳，同时也包括现在常用的立体管桁架。当平板型网架上弦构件或双层网壳上弦构件采用钢筋混凝土板时，构成了组合网架或组合网壳。当空间网格结构采用预应力索组合时形成预应力空间网格结构，本标准中有关章节均可适用于这些类型空间网格结构的设计与施工。

3 基本规定

3.1 结构选型

3.1.2 本条中按网格组成形式，如交叉桁架体系、四角锥体系与三角锥体系，列出了国内常用的13种网架形式。布置网架时应避免结构体系几何可变。

3.1.4 单层网壳的杆件布置方式变化多样，本条给出一些最常用的形式供设计人员选用，设计人员也可以参照现有的布置方式进行变换。

3.1.6 立体桁架通常是由二根上弦、一根下弦或一根上弦、二根下弦组成的单向桁架式结构体系，早期都是采用直线形式，近几年曲线形式的立体桁架以其建筑形式丰富在航站楼、会展中心中广泛应用，且一般都采用钢管相贯节点形式。钢管相贯节点的计算、构造要求等应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的规定。

3.1.7 本条使设计人员可对不同的建筑选用最适宜的空间网格结构。应注意网架与网壳在受力特性与支承条件方面有较大差异。网架结构整体以承受弯曲内力为主，支承条件应提供竖向约束，水平约束可以放松；而网壳则以承受薄膜内力为主，支承条件一般都希望有水平约束，能可靠承受网壳结构的水平推力或水平切向力。

3.1.8 网架、双层网壳、立体桁架在计算时节点可采用铰接模型，并在网架与双层网壳的设计与制作中可采用接近铰接的螺栓球节点。而单层网壳虽与双层网壳形式相似，但计算分析与节点构造截然不同，单层网壳是刚接或部分刚接体系，计算时杆件必须采用受弯梁单元，考虑6个自由度，且设计与构造上必须达到传递弯矩要求。

3.1.9 张弦结构是一类复合结构，下部为拉索，上部为刚性网格结构，其间为联系撑杆。由拉索和网格结构的不同排布可以形成多种结构形式。

3.4 立体桁架、张弦结构设计的基本规定

3.4.6 张弦结构的组合方式比较灵活丰富，上部结构可采用桁架、网壳等形式。当上部采用网壳时，为张弦网壳或称弦支穹顶。张弦网壳一般为水平向自平衡结构，支承点主要提供竖向反力。其中网壳对支座的推力可以与斜索对支座的拉力相互抵消，此时下部结构仅提供竖向反力。当网壳与支承结构共同工作时，也可通过调节斜索的拉力来主动控制支座推力的大小。张弦网壳的矢跨比和索垂高比是根据经验给出的参考数值，设计时应充分发挥拉索性能。

3.6 既有空间网格结构评定与加固设计原则

3.6.1 我国早期的大跨度建筑如体育场馆、展览馆、影剧院等建设始于二十世纪60年代，至今已部分超过或即将达到设计使用年限。这些早期的大跨度建筑，首先是屋面自重相对较重，上部钢结构杆件局部锈蚀，下部支承结构有一定安全隐患；其次是按当时设计标准安全度相对稍低，结构的抗震性能相对稍弱；另外在使用过程中结构的吊挂荷载往往有所增加，对结构的安全性有较大不利影响。对于这些已达到或即将达到设计使用年限的建筑，或需要改变使用功能、荷载的建筑，应考虑进行结构检测与安全性评定。

既有空间网格结构安全性评估应依据原设计竣工图纸，结合杆件实测尺寸、实测荷载，按原标准与现行标准对结构与杆件的承载能力和变形进行验算，并进行抗震验算。

对既有空间网格结构进行安全性、适用性及抗震性能评定时，应符合现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153的原则要求。（1）对需延长后续使用年限的，承载能力极限状态验算应符合原标准要求，并宜符合本标准的有关规定；正常使用极限状态验算及构造要求宜符合本标准的规定。必要时可对其的使用功能、荷载作相应的调整，提出限制使用的要求。（2）对改变使用荷载的，承载能力极限状态验算、正常使用极限状态验算及构造要求应符合本标准的规定；当不符合本标准要求时，应依据本标准进行结构加固设计。（3）进行抗震性能评定时，应符合原标准要求，并宜符合本标准的有关规定。当不满足原标准要求时，应进行抗震加固设计。

3.6.2 既有空间网格结构的加固与改造应根据实际情况进行多方案比较、优化，保证结构加固方案的科学与合理性，并以对原结构受力体系干预最小为原则。当原有屋面为重屋面时，可优先改用轻型屋面。

既有空间网格结构加固与改造设计时，对承载能力极限状态、正常使用极限状态设计和抗震验算都应符合现行标准的规定。屋面与室内吊挂荷载应按实际情况取值，杆件截面应按实测结果取值，当有锈蚀时要考虑锈蚀对截面尺寸的影响。结构分析时，如对原结构新增杆件或对原杆件增大截面等应考虑结构与杆件的承载历史的影响。

4 结构计算

4.1 一般计算原则

4.1.8 网格结构在施工安装阶段的支承条件往往与使用阶段不一致，如采用悬挑拼装施工的网壳结构，其支承边界条件与使用状态下网壳的边界条件完全不同。此时应特别注意施工安装阶段全过程位移和内力分析计算，并可作为网壳的初内力和初应变而残留在网壳内。对螺栓球节点网格结构，当施工阶段杆件内力与使用阶段有差异时，除了应进行杆件验算外，还应特别注意进行螺栓的验算。

4.1.10 张弦结构的合理预应力水平包括下部索杆的预应力分布和大小。张弦结构中预应力的作用主要有：降低结构对周边构件的径向约束反力，降低上部网壳结构内力峰值、控制结构变形和提高结构的稳定性能。设计中预应力可参考以下方法经多次试算确定：预应力在支座处产生的径向水平反力与重力荷载标准值作用下的支座推力基本一致，从而使结构基本为自平衡体系；预应力在结构中产生的上拱与结构在重力荷载标准值作用下的下挠基本一致，从而使结构在预应力和重力荷载作用下的挠度基本为零。

4.2 静力计算

4.2.1 有限单元法可将网格结构的每根杆件作为一个单元，采用矩阵位移法进行计算。当需要考虑杆件初始缺陷或进行某些情况的稳定分析时，也可将杆件划分为几个单元。网架结构和双层网壳以杆件节点三个线位移为未知数，单层网壳以节点的三个线位移和三个角位移为未知数。无论是理论分析及模型试验乃至工程实践均表明，这种杆系的有限单元法是迄今为止分析网格结构最为有效、适用范围最为广泛且相对而言精度也是最高的方法。目前这种方法在国内外已被普遍应用于网格结构的设计计算中，因此本标准将其列为分析网格结构的主要方法。

4.4 地震作用下的效应计算

4.4.8 为设计人员使用简便，根据大量计算机分析，本条给出网架、网壳采用振型分解反应谱法需考虑的振型数。对于体型复杂或重要大跨度空间网格结构，其组合的振型个数应适当增加以改善分析精度。

4.4.11 地震时的地面运动是一复杂的多维运动，包括三个平动分量和三个转动分量。

采用时程分析法进行多维地震效应计算时，计算方法与单维地震效应分析相同，仅地面运动加速度向量中包含了所考虑的几个方向同时发生的地面运动加速度项。

地震动以波的形式向四周传播，在传播过程中，不仅有时间上的变化特性，而且存在着明显的空间变化特性，主要表现为以下3个方面： ①部分相干效应，由地震波在地层的不同介质中的折射、反射和散射以及由一个延伸的震源到达时不同的迭加所产生； ②行波效应，由结构不同支承处地震波到达时间的差异所产生； ③局部场地效应， 由结构不同支承处局部土壤条件的差异所产生。对于长度比较小的结构，忽略地震波的空间变化特性是能够满足其抗震设计要求的，但对于超长结构，就需考虑地震动空间变化特征采用多点输入的方法进行地震效应分析。

桥梁的跨度要比建筑结构大得多，因此多点输入地震反应分析在桥梁领域已有广泛的研究应用。欧洲桥梁规范规定以下两种情况需进行多点输入地震反应分析：①桥长大于600m；②桥长大于200m，并且有地质上的不连续或明显的不同地貌特征。

空间网格结构由于在次长方向的尺度远大于桥梁，地震动空间变化特征引起的结构扭转效应比同等长度的桥梁结构要大，因此本条规定对单边长度大于300m的结构宜进行多点输入地震反应分析，而对于单边长度大于400m的超长型结构应进行多维多点地震反应分析。

研究表明，地震传播过程的部分相干效应、行波效应和局部场地效应对于大跨空间网格结构的地震效应有不同程度的影响，其中部分相干效应的影响不明显，一般情况下可以不考虑。

行波效应与潜在震源、传播路径、场地的地质特性有关，不同的视波速将使不同支承处的加速度峰值不同，相位也不同，从而使不同支承处的设计反应谱或加速度时程不同，多点输入地震分析时应考虑这些差异。

考虑局部场地效应需通过计算求得基础底部的土层地震反应谱或加速度时程、或按土层等效剪切波速对基岩地震反应谱或加速度时程进行修正后，作为多点输入的地震反应谱或加速度时程。当下卧土层剖面地质条件比较均匀时，可不考虑局部场地效应。

5 杆件和节点的设计与构造

5.1 杆 件

5.1.1 本条明确规定网格结构杆件的材质应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的有关规定，严禁采用非结构用钢材。管材强调了采用高频焊管或无缝钢管，主要考虑高频焊管价格比无缝钢管便宜，且高频焊管性能完全满足使用要求。考虑到目前大跨度结构设计需要，补充杆件形式可采用焊接H型钢与焊接箱型截面的规定。

5.1.2 空间网格结构杆件的计算长度按结构类型、节点形式与杆件所处的部位分别考虑。

对于立体桁架，采用空心球和相贯节点时其上弦压杆与腹杆有相互约束，其计算长度均取0.9l，支座腹杆计算长度从严取1.0l。

5.1.3 空间网格结构杆件的长细比按结构类型，杆件所处位置与受力形式考虑如下：

单层网壳杆件受压与压弯时其长细比按照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定取[]150。

在进行结构设计时，尤其是对于超限结构，应明确结构的关键杆件，关键杆件指结构承载能力极限状态性能所依赖的构件。对关键杆件提出性能目标时，其长细比应控制更严格。

5.3 螺栓球节点

5.3.2 螺栓球节点的材料在选用时考虑以下因素：

套筒主要传递压力，因此对于与较小直径高强度螺栓（≤M30）相应的套筒，可选取Q235钢。对于与较大直径高强度螺栓（≥M36）相应的套筒，为避免由于套筒承压面积的增大而加大钢球直径，宜选用Q355钢或45号钢。推荐不论螺栓大小统一采用45号钢。高强度螺栓的钢材应保证其抗拉强度、屈服强度与淬透性能满足设计技术条件的要求。结合目前国内钢材的供应情况和实际使用效果，推荐采用40Cr钢、42CrMo钢，同时考虑到多年使用和厂家习惯用材，对于M16～M24的高强度螺栓还可采用20MnTiB钢。

5.3.4 现行国家标准《钢网架螺栓球节点用高强度螺栓》GB/T 16939将高强度螺栓的性能等级按照其直径大小分为10.9S级与9.8S级两个等级，这是根据我国高强度螺栓生产的实际情况而确定的。

高强度螺栓在制作过程中要经过热处理，使成调质钢。热处理的方式是先淬火，再高温回火。淬火可以提高钢材强度，但降低了它的韧性，再回火可恢复钢的韧性。对于采用本标准推荐材料的高强度螺栓，影响其能否淬透的主要因素是螺栓直径的大小。当螺栓直径较小（M 16～M36）时，其截面芯部能淬透，因此在此直径范围内的高强度螺栓性能等级定为10.9S级。对大直径高强度螺栓（M39～M 85×4），由于芯部不能淬透，从稳妥、可靠、安全出发将其性能等级定为9.8S级。

本标准采用高强度螺栓经热处理后的抗拉强度设计值为430N/mm2，为使9.8S级的高强度螺栓与其具有相同的抗力分项系数，其抗拉强度设计值相应定为385N/mm2。由于本标准中已考虑了螺栓直径对性能等级的影响，在计算高强度螺栓抗拉设计承载力时，不必再乘以螺栓直径对承载力的影响系数。

高强度螺栓的最高性能等级采用10.9S级，即经过热处理后的钢材极限抗拉强度fu达1040N/mm2～1240N/mm2，规定不低于1000N/mm2，屈服强度与抗拉强度之比为0.9，以防止高强度螺栓发生延迟断裂。所谓延迟断裂是指钢材在一定的使用环境下，虽然使用应力远低于屈服强度，但经过一段时间后，外表可能尚未发现明显塑性变形，钢材却发生了突然脆断现象。导致延迟断裂的重要因素是应力腐蚀，而应力腐蚀则随高强度螺栓抗拉强度的提高而增加。因此性能等级为10.9S级与9.8S级的高强度螺栓，其抗拉强度的下限值分别取1000N/mm2与900N/mm2，可使螺栓保持一定的断裂韧度。

因M12、M14的高强度螺栓一般不适用于承重网架结构中，故本标准不再推荐使用，但是在装饰性或次要结构中仍有一定的使用需求，可酌情采用。由于M64以上的大直径高强度螺栓存在施工安装难度大等问题，应慎重决定M68×4、M72×4、M76×4、M80×4、M85×4规格高强度螺栓的使用范围。

5.3.5 根据螺栓球节点连接受力特点可知，杆件的轴向压力主要是通过套筒端面承压来传递的，螺栓主要起连接作用。因此对于受压杆件的连接螺栓可不作验算。但从构造上考虑，连接螺栓直径也不宜太小，设计时可按该杆件内力绝对值求得螺栓直径后适当减小，建议减小幅度不大于表5.3.4中螺栓直径系列的三个级差。减少螺栓直径后的套筒应根据传递的压力值验算其承压面积，以满足实际受力要求，此时套筒可能有别于一般套筒，施工安装时应予以注意。

在进行螺栓球节点网架结构的吊装、提升施工安装及其他复核计算时，因为与设计使用状态计算模型的不同、荷载作用的不同，可能会有使用状态中受压的部分杆件变成受拉杆件，此时应特别注意验算该部分杆件所配置的高强螺栓承载力。

5.3.7 钢管端部的锥头或封板以及它们与钢管间的连接焊缝均为杆件的重要组成部分，应确保锥头或封板以及连接焊缝与钢管等强，一般封板用于连接直径小于76mm的钢管，锥头用于连接直径大于或等于76mm的钢管。

封板与锥头的计算可考虑塑性的影响，其底板厚度都不应太薄，否则在较小的荷载作用下即可能使塑性区在底板处贯通，从而降低承载力。

锥头底板厚度和锥壁厚度变化应与内力变化协调，锥壁与锥头底板及钢管交接处应和缓变化，以减少应力集中。

5.5 铸钢节点

5.5.1 铸钢节点由于自重大、造价高，所以在实际工程中主要适用于特殊部位、复杂部位、重点部位。

5.5.5、5.5.6 条件具备时铸钢件均宜进行足尺试验或缩尺试验，试验要求由设计单位提出。铸钢节点试验必须辅以有限元分析和对比，以便确定节点内部的应力分布。考虑到铸钢材料的离散性、设计经验的不足及弹塑性有限元分析的不定性，其安全系数比其他节点略有提高。

 铸钢节点属于下列情况之一时，宜进行节点试验：设计或建设方认为对结构安全至关重要的节点；8度、9度抗震设防时，对结构安全有重要影响的节点；铸钢件与其他构件采用复杂连接方式的节点。

5.6 销轴式节点

5.6.3 销轴式节点一般为外露节点，为保证安装精度，销轴式节点的销轴与销板均应进行精确加工。当销孔和销轴表面要求机加工时，其质量要求应符合相应的机械零件加工标准的规定。当销轴直径大于120mm时，宜采用锻造加工工艺制作。

5.8 预应力索节点

5.8.1 设计中采用那种预应力索应根据具体结构与施工条件来确定。钢绞线拉索施工简便且成本低，但预应力锚头尺寸较大并需加防护外套，防腐构造复杂；扭绞型平行钢丝拉索制索与锚头的加工都必须在工厂完成，质量可靠，但索的长度控制要求严且施工技术要求高；钢棒拉杆是近年开始应用的一种新形式，端部用螺纹连接质量可靠，防护处理容易，当拉杆较长时要10m左右设一个接头。除了小吨位的拉索外，对于大吨位的拉索应有可靠的索长微调系统以确保索力的正确。

5.8.3 张弦结构的拉索锚固处内力大且应力复杂的部位宜用铸钢节点。

5.8.4 张弦结构撑杆与拉索的连接节点要求设置可以拧紧的索夹，是为了防止预应力张拉时索夹的可能滑动。

5.9 支座节点

5.9.2 根据空间网格结构支座节点的主要受力特点可分为压力支座节点、拉力支座节点、可滑移、转动的弹性支座节点以及兼受轴力、弯矩与剪力的刚性支座节点，近来球形支座节点和盆式橡胶支座应用也比较多。特殊情况下可设计复杂约束条件的支座。

5.9.3 平板压力支座节点构造简单、加工方便，但支座底板下应力分布不均匀，与计算假定相差较大。一般仅适用于较小跨度的网架支座。

原标准中螺栓连接的单面弧形压力支座，自身稳定性较弱，施工定位不便，近年来未见此类做法，故不再列入。原标准中双面弧形压力支座构造复杂，近来应用较少，也不再列入，工程中可由盆式橡胶支座等代替。

球铰压力支座是由一个置于支承面上的凸形半实心球与一个连于节点支承底板的凹型半球相嵌合，并以锚栓相连而成，锚栓螺母下设弹簧以适应节点转动，这种构造可使支座节点绕两个水平轴自由转动而不产生线位移。它既能较好地承受水平力又具有一定的转动能力，比较符合不动球铰支承的约束条件且有利于抗震。但其构造较复杂,一般用于多点支承的大跨度空间网格结构。

5.9.4 对于某些矩形平面周边支承的网架，如两向正交斜放网架，在竖向荷载作用下网架角隅支座上常出现拉力，因此应根据传递支座拉力的要求来设计这种支座节点。常用拉力支座节点主要有平板拉力支座节点以及球铰拉力支座。它们共同的特点都是利用连接支座节点与下部支承结构的锚栓来传递拉力，此时锚栓应有足够的锚固深度，且锚栓应设置双螺母，并应将锚栓上的垫板焊于相应的支座底板上。

当支座拉力较小时，为简便起见，可采用与平板压力支座节点相同的构造，但此时锚栓承受拉力，因此平板拉力支座节点仅适用于跨度较小的网架。原标准中的单面弧形拉力支座，自身稳定性较弱，施工定位不便，近年来未见此类做法，故不再列入。

5.9.10 弧形支座板由于形状变异，宜用铸钢浇铸成型。橡胶支座垫板系指由符合橡胶材料技术要求的多层橡胶片与薄钢板相间粘合压制而成的橡胶垫板，一般由工程橡胶制品厂专业生产。不得采用纯橡胶垫板。

5.9.12 球型支座也称抗震球铰支座，其特点是承载力高、受力均匀，在压力和拉力作用下均能实现万向转动，耐久性好，适用于大跨空间网格结构。

5.9.13 盆式橡胶支座承载力高、水平位移量大、转动较为灵活，适用于大跨度空间网格结构。

6 制作、安装与交验

6.1 一般规定

6.1.2 空间网格结构一般都应用于大跨度或大面积建筑，施工难度较大，为确保施工质量和安全，在施工前必须编制完善的施工组织设计或专项施工方案。对风险性较大的分部、分项工程还应按有关规定进行专项论证。在施工前还应按规定对施工人员进行施工组织设计或专项施工方案的交底，施工过程应严格按方案实施。

为提升空间网格结构行业的整体管理水平，推动新型建筑工业化的发展，不断提高施工效率、降低生产成本，在空间网格结构的制作与安装过程中大力提倡信息化技术的应用。

6.1.3 空间网格结构施工控制几何尺寸精度的难度较大，而且精度要求比一般平面结构严格，故所用测量器具应经计量检验合格并在有效期内使用。

6.1.4 为了保证空间网格结构施工的焊接质量，明确规定焊工应经过考试合格，持证上岗，并规定焊接内容应与考试内容相同。

6.1.6 空间网格结构各种安装方法的主要内容和区别如下：

1 高空散装法是指网格结构的杆件和节点或事先拼成的小拼单元直接在设计位置总拼，拼装时一般要搭设全支架；对于有些结构形式（如球面网壳），可选用局部支架的悬挑法安装，以减少支架的用量。

2 分条分块安装法是将整个空间网格结构的平面分割成若干条状或块状单元，吊装就位后再在高空拼成整体。分条一般是在网格结构的长跨方向上分割。条状单元的大小，应视起重机起重能力和结构特点而定；

3 滑移法是将网格结构的条状单元向一个方向滑移的施工方法。网格结构的滑移方向可以水平、向上、向下或曲线方向。它比分条安装法具有网格结构安装与室内土建施工平行作业的优点，因而可缩短工期、节约拼装支架；

对于具有中间柱子的大面积建筑或狭长平面的矩形建筑可采用滑架法施工，分段的空间网格结构在可滑移的拼装架上就位拼装完成，移动拼装支架，再拼接下一段网格结构，如此反复进行，直至网格结构拼装完成。滑架法的特点是拼装支架移动而结构本身在原位逐条高空拼装，结构拼装后不再移动，相对比较简单；

4 整体吊装法吊装中小型空间网格结构时，一般采用多台吊车抬吊（多于两台吊车抬吊尽可能不采用）或拔杆起吊，大型空间网格结构由于重量较大及起吊高度较高，则宜用多根拔杆吊装，并在高空作移动或转动就位安装；

5、6 整体提升或整体顶升方法一般只能作垂直起升，不能作水平移动。提升与顶升的区别是：当被提升的空间网格结构上的提升点在起重设备的下面称为提升；当被顶升的空间网格结构上的顶升点在起重设备的上面称为顶升。由于空间网格结构的重心和提(顶)升力作用点的相对位置不同，其施工特点也有所不同。当采用顶升法时，应特别注意由于顶升的不同步，顶升设备作用力的垂直度等原因而引起的偏移问题，应采取措施尽量减少其偏移，而对提升法来说，相对要求低一些。因此，起升、下降的同步控制，顶升法要求更严格；

7 折叠展开式整体提升法的特点是首先将柱面网壳结构分成若干块，块与块之间设置若干转动铰节点使之形成若干条能够灵活转动的铰线，并去掉铰线上方或下方的杆件，使结构变成机构。安装时提升设备将变成机构的柱面网壳结构垂直地向上提升，柱面网壳结构便能逐渐形成所需的结构形状，再将因结构转动需要而拆去的杆件补上即可。这种安装方法，由于是在地面或接近地面拼装，因而可以省去大量的拼装支架和大型起重设备。折叠展开式整体提升法也可适用于球面网壳结构的安装。

6.1.7 选择吊点时，首先应使吊点位置与空间网格结构支座位置尽量接近；其次应使各起重设备的负荷尽量接近，避免由于起重设备负荷悬殊而引起起升时过大的升差。在大型空间网格结构安装中应加强对起重设备的维修管理，确保安装过程的安全可靠。当采用升板机或滑模千斤顶安装空间网格结构时，还应考虑个别设备出故障而加大邻近设备负荷的因素。

6.1.11 空间网格结构构件在涂装前应进行表面除锈处理，应清理干净毛刺、焊渣、铁锈、污物等，处理方法应采用抛丸除锈方法，处理后表面应达到设计要求或国家现行标准GB/T8923.1中规定的Sa21/2级的要求；对施工现场局部表面处理可采用手工除锈方法，处理后表面应达到设计或国家现行标准GB/T 8923.1中规定的St3级的要求。

空间网格结构防腐和防火涂装材料应采用绿色环保产品，涂层之间应相互兼容。所采用的涂装工艺除应满足相关技术要求外，还应满足环境保护的要求。

6.1.13 钢管等闭口截面杆件在施工过程中，一旦雨水等进入管内，会加速锈蚀，冬季无保温条件下内部的水会结冰膨胀，使杆件开裂直接影响结构的使用和安全。因此规定了本条要求。

6.1.14 钢管桁架结构相贯线焊接为连续变化的曲线焊接，当支管与支管之间相互搭接时，有的焊缝被封盖在内部，无法焊接。因此在拼装焊接时应明确搭接顺序，并应明确隐蔽焊缝是否需要焊接，如需焊接，则应在设计或工艺上采取措施，满足隐蔽焊缝的焊接要求。

6.1.15 温度变化对构件有热胀冷缩的影响，尺寸或面积越大温度影响越敏感，因此结构合拢的时间和温度应加以控制。设计应对合拢温度提出要求，一般可选择空间网格结构使用时的平均温度作为合拢温度。

6.2 制作与拼装要求

6.2.1 随着新型建筑工业化的不断推进，建筑钢结构特别是空间网格结构作为工业建筑的主要代表，在工厂加工制作中应大力推广机械化与自动化生产，并加快推进智能化制造步伐，减少或消除手工作业，提升行业整体技术水平。

6.2.5 钢管杆件宜采用专用管子下料车床或数控相贯面切割机切割下料，不应采用砂轮机下料；钢管剖口宜采用机械剖口。

成品拉索出厂前应在生产厂家进行张拉检验，张拉检验应在其相匹配的张拉台座上进行。张拉荷载可用油压千斤顶的压力表或压力传感器控制。

6.3 高空散装法

6.3.2 拼装支架除可采用扣件式、碗扣式或盘扣式钢管临时支撑结构外，还可采用其他型式的临时支撑结构，但不论采用何种临时支撑结构都应进行专门设计，并应按国家现行有关标准进行计算分析，其连接节点和构造措施均应符合国家现行有关标准的规定。

6.3.6 对大型或复杂空间网格结构在拆除支架前应进行施工模拟分析，以确定支架拆除方案。拆除方案中应明确拆除顺序、分区情况、分阶段措施和每步下降量等，以确保结构和支架的安全。

6.4 分条或分块安装法

6.4.1 当空间网格结构分割成条状或块状单元后，对于正放类空间网格结构，在自重作用下若能形成稳定体系，可不考虑加固措施。而对于斜放类空间网格结构，分割后往往形成几何可变体系，因而需要设置临时加固杆件。各种加固杆件在空间网格结构形成整体后方可拆除。分条或分块单元安装就位过程中，若不能与支座或已安装的稳固结构单元可靠连接，仅放置于临时支撑胎架上，在大风或者吊装碰撞干扰下，容易失稳形成安全隐患，故应对其采取临时稳固措施。

6.4.2 为控制分条或分块单元之间网格的安装精度，应根据施工模拟结果合理设置支撑架位置，保证其相对变形合理；当合拢位置变形较大时，可根据结构的变形规律，通过分条或分块地面拼装时构件节点坐标值预变形、事先调整支撑架高差控制网格单元变形等方式调整合拢精度。对于相贯节点，由于合拢段净间距较合拢杆件长度小，安装较为困难，宜采用预设牛腿段或者套管形式，将曲线型合拢断面节点调整为直线型连接节点。

6.5 滑移法

6.5.2 采用滑移法施工时，应至少设置两条滑轨，滑轨之间宜平行，表面光滑平整，滑轨接头处垫实。如不垫实，当网格结构滑到该处时，滑轨接头处会因承受重量而下陷，未下陷处就会挡住滑移中的支座而形成“卡轨”。目前已有不平行轨道滑移措施，通过设置活动滑靴实现。对处于同心圆上的弧形曲面网格结构，可以通过设置立面弧形滑移轨道进行滑移施工。

6.5.3 滑轨可固定在梁顶面(混凝土梁或钢梁)、地面及专用支架上，滑轨设置可以等高也可以不等高。滑移轨道梁应具有足够刚度，避免因局部过大变形引起卡轨现象。同时宜通过合理设置加劲肋并保证焊接质量、采用“Ⅱ”形截面等方式，防止滑移轨道梁板件因出现屈曲而影响施工安全。

6.5.4 对跨度大的空间网格结构在滑移时，除两边的滑轨外，一般在中间也可设置滑轨，或采用结构预变形与局部回顶相结合的措施。中间滑轨一般采用滚动摩擦，两边滑轨采用滑动摩擦。牵引点或顶推点设置在两边滑轨，中间滑轨不设牵引点。由于增设了中间滑轨，改变了结构的受力情况，因此必须进行验算。当杆件应力不满足设计要求时应采取临时加固措施。对大跨度空间网格结构，也可采用结构预变形与局部回顶相结合的形式，可以有效节省临时措施投入，尤其是在场内不具备设置通常短滑轨支承系统的工程。对于拱形空间网格结构，由于拱结构特性，在拱脚处存在较大水平推力或水平位移，可通过设置平衡拉索或者倾斜轨道，平衡水平推力或水平位移。

6.5.6 牵引点或者顶推点应具有足够刚度传递牵引力或者顶推力，避免结构局部产生较大变形；同时牵引力或者顶推力应直接有效地传递至整个结构。当结构本身刚度较大时，可通过结构自身传递；当结构刚度较小时，应增设连杆，将牵引力或者顶推力直接传递到结构或其他滑靴支点处。

6.5.7 采用滑移法施工空间网格结构时，有条件时可采用计算机控制系统进行滑移同步性控制、安装就位调整和单点毫米级微调。在拼装和滑移过程中，应对结构进行下列验算：

1 当跨度中间无支点时，验算杆件内力和跨中挠度值;

2 当跨度中间有支点时，验算杆件内力、支点反力和挠度值。

6.5.9 控制落位高度和千斤顶转换次数，是为减小卸载难度，降低卸载过程中的安全风险。卸载过程宜优先采用同步卸载，当无法实现而采取不同步卸载时，可根据结构受力情况，确定分批分级的数量，进行分批分级卸载，尽量减小卸载对结构受力状态的影响。

6.6 整体吊装法

6.6.1 空间网格结构整体吊装尽量不要采用多台起重机抬吊，如需采用时一般不要超过3台起重机抬吊。

6.9 折叠展开式整体提升法

6.9.3 为确保柱面网壳结构在变成机构后只沿竖直方向作一维运动，应在提升支架上设置竖直方向的导轨，引导并限制机构的运动。

6.9.4 为确保在展开运动中各铰线始终平行，在设计、制作和安装过程中应保证各转动铰的精度，并应采用全站仪进行全过程跟踪测量校正，确保各铰线在整个运动过程中顺利展开。

6.9.5 在提升过程中，机构的转动铰在运行轨迹中有时会出现三排铰在一直线上的瞬变状态，在施工模拟分析中应特别注意，在施工方案中应充分重视，在施工中应采取可靠的措施，以确保柱面网壳结构在展开的运动过程中不致出现瞬变而失稳。

6.10 组合空间网格结构施工

6.10.4 组合空间网格结构安装方法主要有高空散装法、高空滑移法、整体提升法、整体顶升法等。典型工程案例如新乡百货大楼组合网架楼层和屋盖结构，采用了高空散装法安装；上海石油采购供应站仓库组合网架结构屋盖采用了高空逐条滑移法，抚州地区体育馆组合网架结构屋盖施工采用了高空累积滑移法；整体提升法则特别适合于多层及高层建筑组合网架楼层结构的施工安装，如湖南省长沙纺织大厦的组合网架楼层结构安装等。

6.10.5 组合空间网格结构在施工时应特别注意，在未形成整体组合结构前，安装用的支撑体系必须牢固可靠，并不得集中堆放屋面板等局部集中荷载。

6.11 张弦结构的施工

6.11.2 张弦结构在整个施工过程中，结构内力和变形需经历多个不同变化阶段，因此需要对全过程进行施工仿真模拟分析，以确保整个施工过程安全、准确、可靠。施工仿真模拟分析结果应与设计单位沟通，并应经设计单位同意后才能作为正式的施工方案。

6.11.3 拉索正式张拉前应进行试张拉，试张拉值一般为总张拉值的10%左右。拉索张拉一般应进行超张拉，其值一般为设计值的5%～10%，具体是否需要超张拉、超张拉值取多少等应与设计协商确定。

6.11.6 张弦结构安装用支架应充分考虑空间网格结构的安装和拉索张拉的不同需要，支架设计时应考虑不同阶段荷载作用的要求，确保整个施工过程的安全。

6.11.7 拉索存放在室外时，应确保不被雨淋、不被损坏。成圈拉索应水平堆放，最好不要重叠堆放。当拉索在安装位置展开放置后，应保护好拉索，特别当钢结构需要焊接或切割时，应采取切实措施保护好拉索不受损伤。

6.11.8 拉索张拉顺序、分阶段张拉次数以及各阶段张拉力和位移值等应根据施工仿真模拟分析确定，并应满足设计要求。拉索张拉时对承重索（主要受力索）应进行内力和位移双控制，对次要索可采取以位移为主、内力为辅来进行控制。

6.11.9 张弦结构安装过程是一个内力和变形不断变化的过程，为确保施工过程可控，应对张弦结构安装过程特别是拉索张拉过程进行内力和变形的监测。监测点布置应与设计协商，一般应对承重索（主要受力索）、支座节点、张拉节点及重要构件进行监测。

6.12 交验

6.12.5 空间网格结构若干控制点的挠度是对设计和施工质量的综合反映，故必须测量这些数据值并记录存档。挠度测量点的位置一般由设计单位确定。当设计无要求时，对小跨度，设在下弦中央一点；对大、中跨度，可设五点：下弦中央一点，对两向网格沿两向下弦跨度四分点处各二点，对三向网格应测量每向跨度三个四等分点处的挠度，测量点应能代表整个结构的变形情况。本条文中允许实测挠度值大于现荷载条件下挠度计算值(最多不超过15%)是考虑到材料性能、施工误差与计算上可能产生的偏差。