

中国钢结构协会团体标准

钢结构顶升法施工技术标准

Technical Standard for Jacking Construction of Steel Structures

（征求意见稿）

《钢结构顶升法施工技术标准》编制组

2025 年 12 月

前 言

根据中国钢结构协会《关于发布中国钢结构协会 2023 年第一批团体标准编制计划的通知》（中钢构协〔2023〕19 号）的要求和《中国钢结构协会团体标准管理办法》关于标准编制要求，编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，参考国家、行业和地方相关标准，并在广泛征求意见的基础上编制本标准。

本规程的主要技术内容是：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.顶升设计；5.顶升施工；6.顶升施工监测；7.质量验收。

本规程由中国钢结构协会负责归口管理，由陕西省建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请反馈给陕西省建筑科学研究院有限公司（地址：陕西省西安市莲湖区环城西路北段 272 号，邮编 710082，电话 029-88644583；E-mail: 949676763@qq.com）。

本规程主编单位：陕西省建筑科学研究院有限公司

北京工业大学

本规程参编单位：

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

目 次

1	总 则.....	1
2	术语和符号.....	3
2.1	术 语	3
2.2	符 号	5
3	基本规定.....	6
4	顶升设计.....	8
4.1	一般规定	8
4.2	结构顶升	9
4.3	顶升设施	12
4.4	顶升控制系统	14
5	顶升施工.....	17
5.1	一般规定	17
5.2	施工准备	19
5.3	顶升及过程控制	22
5.4	连接与卸载	26
5.5	顶升设施拆除	27
6	顶升施工监测	28
6.1	一般规定	28
6.2	监测内容及方法	29
6.3	监测点布置	35

6.4	监测与预警	35
6.5	监测结果分析	37
7	质量验收.....	40
7.1	一般规定	40
7.2	施工设施质量验收	40
7.3	结构质量验收	41
本规程用词说明		44
引用标准名录.....		45

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	3
2.1	Terms.....	3
2.2	Symbols	5
3	Basic requirements.....	6
4	Jacking-up design	8
4.1	General requirements.....	8
4.2	Structural jacking-up.....	9
4.3	Jacking-up equipment.....	12
4.4	Jacking-up control system	14
5	Jacking-up construction	17
5.1	General requirements.....	17
5.2	Preparation for construction	19
5.3	Process control.....	22
5.4	Connection and uninstallation	26
5.5	Equipment disassembly	27
6	Construction monitoring.....	28
6.1	General requirements.....	28
6.2	Content and method.....	29
6.3	Layout of monitoring points	35
6.4	Detection and warning.....	35

6.5	Analysis of monitoring results.....	37
7	Quality inspection	40
7.1	General requirements.....	40
7.2	Quality inspection of equipment.....	40
7.3	Structural quality inspection	41
	Explanation of wording in this code.....	44
	List of quoted standards	45

1 总 则

1.0.1 为规范钢结构顶升施工，贯彻执行国家技术经济政策，做到安全高效、确保质量、技术先进、经济适用，特制定本标准。

【条文说明】 随着我国的大跨度空间结构的迅速发展，大跨度空间结构的工程越来越多，为适应大跨度空间结构工程安装施工的需要，各种新型先进的施工方法应运而生。顶升施工技术是现代先进施工安装技术的一种，随着施工计算理论的不完善，设备和技术手段的不断提高，采用顶升法施工的工程越来越多。规程编制组总结多个工程应用的成功经验的基础上，编制本技术规程，以便为同类工程施工提供指导借鉴。

1.0.2 本标准适用于建筑钢结构的顶升施工。

【条文说明】 本规程适用于新建、改建、扩建及运营维护期间的工业与民用建筑及构筑物大跨空间结构（含实体结构、网格结构、索结构、膜结构等）；市政桥梁钢结构段、塔桅结构附属钢结构的顶升施工，可参照本规程核心技术要求，并结合《桥梁顶升移位改造技术规范》（GB/T 51256-2017）、《高耸结构工程施工质量验收规范》（GB 50207）执行；预应力玻璃幕墙顶升施工暂不列入本规程适用范围。

1.0.3 钢结构工程的顶升施工和验收，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。

【条文说明】 本规程归纳总结了一些国内外成熟的顶升技术，顶升法施工技术除应符合本规程的规定外，尚应符合现行国家、行业及我省有关标准的规定，如《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构工程

施工质量验收标准》GB 50205、《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《钢结构施工规范》GB 50755、《重型结构和设备整体提升技术规范》GB 51162 等。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 顶升 jacking-up

将结构从原位置升高或降低到新位置的工程，包括整体顶升、分段顶升、调坡顶升等。

2.1.2 顶升底盘结构体系 basement structure system for jack-up

顶升移位施工过程中，用于承受结构顶升荷载，并将该荷载传递到基础的结构体系。

2.1.3 顶升托盘结构体系 pallet structure system for jack-up

顶升移位施工过程中，用于托住上部被顶升结构并与其一同升高的结构体系。

2.1.4 顶升施力体系 force application system

顶升过程中，提供顶升动力设备的总称。

2.1.5 临时支撑体系 temporary support system

顶升移位施工过程中，用于联系顶升托盘结构体系和顶升底盘结构体系的所有临时施工构件的总称。

2.1.6 纵横向偏差 jack-up deviation in longitudinal and trans-verse direction

顶升移位施工过程中，纵横向轴线的实测值与设计值的偏差量。

2.1.7 牵引设备 traction equipment

在滑移施工过程中用来牵引结构单元滑动的设备，一般牵引设备可采用电动卷扬机、手拉葫芦、电动葫芦、液压千斤顶等。

2.1.8 施工监测 construction monitoring

在施工过程中，对结构某特定部位的内力、变形、位移进行监控。

2.1.9 施工仿真模拟 construction simulation

在结构施工前，运用计算机结构分析软件，对施工方案进行仿真模拟分析，验证方案的可行性和安全性。

2.1.10 同步控制 synchronization control

滑移施工时采取施工控制措施，使多点牵引的各牵引点的不同步值最小，从而减小不同步引起的施工附加应力对结构产生的不良影响。

2.1.11 同步顶升精度 Synchronized lifting accuracy

多点顶升时，各顶升点实际位移与设计位移的最大差值，单位mm；

2.1.12 顶升偏斜度 Jack-up skewness

顶升过程中结构轴线与铅垂线的夹角，单位‰；

2.1.13 临时支撑失稳临界值 Critical value of instability for temporary support

临时支撑体系在设计荷载组合下，发生失稳破坏的极限荷载或位移值。

2.2 符 号

F_t ——水平最大牵引力；

G_k ——顶升时结构总荷载标准值；

k ——安全系数；

K ——弹性挠曲系数；

n ——千斤顶数量；

N ——单个千斤顶额定承载力；

V ——剪力荷载设计值；

Y ——体型系数；

μ_1 ——滑动摩擦系数；

μ_2 ——车轮轴承摩擦系数；

PE ——支架的临界荷载值；

E ——各构件的弹性模量；

I ——各种杆件的整体惯性矩；

P ——最不利水平荷载；

W ——截面模量；

A ——构件剪力作用下产生的水平位移。

3 基本规定

3.0.1 钢结构顶升法施工前，应有经施工单位技术负责人审批的施工组织设计、与其配套的专项施工方案等技术文件，并按有关规定报送监理工程师或业主代表；超过一定规模危险性较大的顶升工程，应编制专项施工方案，并组织专家评审。本规程所称重要钢结构顶升工程，应满足下列条件之一：

(1) 顶升结构跨度 $\geq 30\text{m}$ ；

(2) 顶升结构重量 $\geq 1000\text{kN}$ ；

(3) 顶升高度 $\geq 10\text{m}$ ；

(4) 在运营建筑物上方或临近生命线工程（如地铁、输油管道）的顶升施工。

3.0.2 钢结构顶升法工程施工及质量验收时，应使用经检定合格且在有效期内的计量器具，其中位移测量器具精度不应低于 0.1mm ，荷载测量器具精度不应低于 $1\%\text{FS}$ ，角度测量器具精度不应低于 1° 。

3.0.3 特殊工种作业人员必须具备相应的资格证书，持证上岗。检验、试验的单位和检验人员必须具备相应的检测资质和资格证书。

3.0.4 钢结构顶升法施工前应对结构进行全面检查，检查合格后办理中间验收交接手续。支承结构、顶升系统使用前应进行联合检查和验收，合格后方可投入使用。

【条文说明】 在进行顶升改造时，检测鉴定前需先收集结构原始勘测报告、设计图、竣工图、养护维修情况以及已有检测报告等相关资料，并现场调查使用情况与环境条件等。竣工图等资料不全时，需对

原结构布置、构件尺寸等进行测量，并形成工程现状图。

3.0.5 钢结构顶升法施工中应满足设计施工图的要求。施工单位应对设计文件进行工艺性审查；当需要修改设计时，应取得原设计单位同意，并应办理相关设计变更文件。

3.0.6 钢结构顶升法施工宜制定监测方案，对顶升结构、支承结构的关键部位的应力和变形进行监测；当出现异常情况时，应立即停止施工，分析原因并采取有效措施后方可继续施工，形成的文件资料应存档。

【条文说明】 顶升技术具有施工方便、设备简单、经济性好、安全文明等优点，对于具有对称重复单元(且可划分为若干单元)的空间钢结构，采用顶升施工技术是一种经济可行又安全可靠的选择，特别是对需要跨越已建结构或堆放物时，具有明显的优势。但采用顶升施工技术时，需要对结构、支架等进行施工状态验算，确保顶升过程的安全。因此，施工时应结合技术、经济及现场条件等多种因素进行综合考虑，制定顶升方案并进行专项论证。

3.0.7 本规范未涉及的新技术、新工艺、新材料和新结构，首次使用时应进行试验，并应根据试验结果确定所必须补充的标准，且应经专家论证。

4 顶升设计

4.1 一般规定

4.1.1 钢结构顶升施工法应根据结构特点、工程条件、改造目的、技术要求及检测鉴定结论等，选择相应的技术方案。

【条文说明】 钢结构顶升施工方案是非常重要的，方案不同，提升支承结构亦不同，提升支承结构应满足技术方案的要求。

4.1.2 钢结构顶升施工法不宜改变结构原有受力体系，不宜损伤受力结构；当需改变受力体系或因分区分块提升改变了构件的受力状态，则应对相应结构或构件进行加固设计和验算。同时应对顶升移位过程中及完成后的整体结构及局部构件进行强度、刚度和稳定性验算，并应计入临时结构的影响。

4.1.3 顶升移位的结构验算应采用国家现行相关标准的各类作用值及相应组合值。

【条文说明】 整体顶升施工的特点是受力大而加速度小，也没有疲劳动力作用，与一般建筑结构受力特点基本类似。故本规范按现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 的原则制定。

4.1.4 对结构进行顶升移位前经技术状态鉴定或抗震验算不能满足设计要求的既有结构，应在顶升移位设计的同时进行抗震加固。

4.1.5 设计文件中应提供顶升、移位及改造过程中的控制及监控指标，并应提出施工技术要求和临时性安全措施。

4.1.6 顶升施工前应进行全过程施工仿真模拟，模拟工况应包括试顶

升、正式顶升、分段卸载、设备故障（单台千斤顶失效）、突发风荷载等不利场景；仿真结果应验证结构应力、变形、临时支撑稳定性是否满足设计要求，且需经专家评审确认后方可用于指导施工”。

4.2 结构顶升

4.2.1 整体顶升设计应包括钢结构地面拼装设计、千斤顶装置设计、高强支顶制作设计、控制系统设计、顶升作业设计、分段式缓冲降落卸载等设计。

4.2.2 钢结构地面拼装完成后，需校核钢结构边缘处下弦球节点中心与顶升架中心的偏移值钢结构，如偏差大于 20mm，须调整后在进行下一步工序。

4.2.3 千斤顶装置设计应注意：

1 千斤顶具体规格由具体工程钢结构重量、顶升点设计等进行计算分析后选用。

2 千斤顶每完成一个顶升作业就需要安装一节顶升架标准节，由千斤顶和顶升架受力传递来完成千斤顶的伸缩及顶升架的堆积。

3 泵站与千斤顶宜分离设置，每个千斤顶或每组千斤顶应设置独立的液压泵站或控制单元。

4.2.4 高强支顶制作设计应注意临时支顶端接触微弧度设计制作，支片大小根据不同螺栓球进行定做，方便针对不同大小螺栓球实现接触匹配。

4.2.5 控制系统设计应注意：

1 顶升点均布于钢结构下方，保证顶升同步；

2 电脑控制液压千斤顶使其同步上升或同步下降，每台千斤顶活塞与缸体之间安装一个位移传感器，传感器将位移数据实时传给数据处理系统或控制系统；

3 对每一台千斤顶的油阀进行调整，对不同位置千斤顶进行加压顶升与回油松顶，保证顶升过程中各项升点的受力均衡。

4.2.6 顶升作业设计时应注意：

1 钢结构顶升水平度不够的地方采用手压千斤顶置换，垫薄钢板进行调整；

2 在钢结构顶升过程中，添加一个顶升架标准节，应对不同场地条件，可采用人力搬运、叉车转运等方式移动运输顶升设备材料。

4.2.7 利用已施工完成的平整混凝土地坪，简便、精准的进行钢结构地面拼装，以及防火涂料的喷涂施工，减少钢结构的整体安装误差和高空作业风险。

4.2.8 根据钢结构以及顶升装置规格要求进行计算分析，最后得出顶升点合理布设方案。顶升点充分考虑钢结构分布的几何平面尺寸，尽可能的设置在直径较大的螺栓球下。

4.2.9 顶（提）升方式选择的原则：

1 力求降低承载结构的高度，保证其稳定性；

2 确保被顶（提）升钢结构或设备在顶（提）升中的稳定性和就位安全性。

4.2.10 顶（提）升点的数量与位置的基本原则：

1 保证被顶（提）升钢结构或设备在顶（提）升过程中的稳定性；

2 在确保安全和质量的前提下，尽量减少顶（提）升点数量；

3 顶（提）升设备本身承载能力符合设计要求。

4.2.11 顶（提）升设备选择的原则：

能满足顶（提）升中的受力要求，结构紧凑、坚固耐用、维修方便、满足功能需要（如行程、顶（提）升速度、安全保护等）。

4.2.12 采用空间钢结构结构分析系统对顶升施工中钢结构内力及顶升架受力验算，确保结构安全，质量保证。

4.2.13 顶升架爬升借鉴塔吊爬升原理，通过上下销转换受力，产生三种施工工况，实现钢结构的整体顶升。

4.2.14 采用点触式高强支顶解决钢结构与顶升架之间的接触问题，确保钢结构与顶升架之间连接安全可靠。可互换式支座端头可以适应各种不同型号、不同大小的螺栓球，安装施工简便快捷，回收利用率高。

4.2.15 借助液压同步控制系统，实现多点同步顶升，避免出现个别点集中受力，超过材料设计值，以及保证钢结构整体稳定。

4.2.16 分段式缓冲降落卸载应注意：

1 在钢结构柱位预留位置进行人工补杆后，千斤顶回油松顶，对钢结构进行整体卸载，使钢结构稳定落在已完成施工的竖向承重构件的顶部钢结构；

2 钢结构卸载采用同步卸载方法，每段降落后观察钢结构及顶升设备是否有异常现象。一切正常再进行第二段降落；直到所有临时支顶与钢结构脱离；

3 卸载实际就是荷载转移过程，在荷载转移过程中，必须遵循“变形协调、卸载均衡”的原则；

4 卸载过程中，必须严格控制循环卸载时的每一级高程控制精度，设置测量控制点，在卸载全过程进行监测，并与计算结果对照，实行信息化施工管理。

4.2.17 卸载阶段采用分级式缓冲卸载。分段检测、逐段卸载，充分利用设计做法，采用氯丁橡胶垫块做为缓冲材料，充分吸收卸载的多余冲击力，保证钢结构稳定安全。

4.3 顶升设施

4.3.1 顶升设备选用应包括顶升千斤顶、顶升架、顶推油泵、传感器及控制系统、托架、支承架顶部节点。

4.3.2 顶升点的布置应根据钢结构形式及荷载分布进行，千斤顶宜以结构中心对称布置。

4.3.3 千斤顶数量可按下式估算：

$$n = k \frac{G_k}{N} \quad (4.3.3)$$

式中： n ——千斤顶数量；

G_k ——顶升时总荷载标准值（kN）；

N ——单个千斤顶定额承载力（kN）；

k ——安全系数 k 取值不小于 1.5，水平承载时不小于 1.5；一般为 2。

千斤顶选型除满足承载力要求外，还应符合下列规定：

- (1) 抗偏载系数不应小于 1.3;
- (2) 行程重复精度不应大于 $\pm 0.2\text{mm}$;
- (3) 顶升速度调节范围应为 $0.5\sim 3\text{mm/min}$ 。

同时，通过在每个千斤顶加装平衡阀，实现油缸无论上升还是下降，都是由进油流量控制油缸运动速度，而与油缸负载无关，有效保证了各千斤顶负荷的均衡、安全可靠。

4.3.4 顶升架构造及安装工艺：

1 顶升支架的设计综合借用了塔吊的设计理念，采用标准节支架结构，支架结构为格构式，总组合高度根据顶升高度确定；

2 根据事先确认的支座轴线和标高，连接各支座间的下弦杆，待复测各支座的平面位置与标高准确后，并将支座点焊固定在柱顶埋件上。

4.3.5 泵站是向千斤顶供油和收回液压油的设备，泵站供油时活塞向外伸出，泵站回油时，活塞自动收回。如将活塞上端固定，则油缸向上运动。

4.3.6 传感器及控制系统：应满足每台千斤顶安装一个位移传感器，顶升过程中位移传感器实时将千斤顶位移信息传输至控制系统，控制系统根据事前设定的程序（顶升高差在 10mm 以内）控制千斤顶的顶升，使被顶升物体同步上升。

4.3.7 托架所起到的作用是将油缸上、下螺栓连接，使液压油缸伸缩时与支撑架紧靠。

4.3.8 支承架顶部节点：

1 顶升设备支座及各节间连接采用焊接，顶升点位置与钢结构球节点连接采用十字筋板；

2 顶升设备的组装系在设备顶端加接钢制顶帽，钢制顶帽与钢结构上弦钢球作为顶点相连。每套顶升设备上部用紧固件相连接，使钢结构与顶升设备形成为一体。

4.4 顶升控制系统

4.4.1 控制系统目的：

保证各顶升点同步提升，建议采用多点同步顶升控制系统，确保同步精度达到标准范围内。

4.4.2 控制方法及应用措施：

采用控制液压千斤顶使其同步上升或同步下降，每台千斤顶活塞与缸体之间安装一个位移传感器，活塞上升或下降时，传感器将位移数据实时传给控制系统，控制系统根据收到的信息与预先设计值比对，对每一台千斤顶的油阀进行调整，对不同位置千斤顶进行加压顶升与回油松顶，保证顶升过程中各顶升点的受力均衡。

4.4.3 钢结构顶升施工的计算机控制系统应符合下列规定：

1 控制系统由检测传感装置及计算机控制中心组成，由控制系统对检测传感装置采集的位移、荷载信息进行运算、分析，并向动力系统输出动作指令；

2 计算机控制系统宜采用网络实现信号互联；

3 应根据顶升系统的控制要求，选择位移与荷载传感器；

4 对有多个顶推点的液压顶推顶升系统，宜结合结构特点和计算结果选择荷载均衡或位置同步控制，制定控制策略。

4.4.4 控制系统应符合下列安全使用要求：

1 应设置安全自锁、互锁功能，不应出现违反既定逻辑既定时序的机械、液压和电气动作；

2 电气器件应具备抗干扰性能；

3 应具有避免误触键、碰撞等导致误动作的检验算法、判断逻辑和技术措施；

4 应具有在线故障检测功能；

5 应具有系统失电、失控保护措施；

6 供配电应符合国家现行有关标准的规定，并采取可靠防雷接地措施。

4.4.5 控制系统的安装应符合下列规定：

1 除弱电系统外，配线应采用额定电压不低于 500V 的铜芯多股电线电缆；

2 在易受机械损伤或液压油滴落部位，电线电缆应采取封装于钢管、线槽或保护罩等保护措施；

3 强电与弱电电线电缆应分开敷设；

4 配线应排列整齐，导线两端应压接相应的接线端子，并应有明显的接线编号；

5 户外使用控制箱的防雷装置，应安装正确、牢固；并应设置漏

电保护装置；

6 传感器使用前应经过标定。

4.4.6 控制系统应与顶升系统联机调试，并应符合下列规定：

- 1 应检查所有元部件的技术状态；
- 2 应检查电动机的转动方向；
- 3 应检查液压系统换向阀、比例阀、截止阀的控制作用。

4.4.7 顶升系统调试后应进行空载试运行，对下列内容进行验证：

- 1 控制系统操作方向是否正确；
- 2 各传感器反馈信号是否正常；
- 3 各安全保护装置是否正常；
- 4 顺序控制的动作是否正常；
- 5 偏差控制是否满足要求。

4.4.8 控制系统完成空载试运行后的验收应符合下列规定：

- 1 电气接线应正确，端子应固定牢固、接触良好、标志清晰，性能指标应符合现行国家有关标准的规定；
- 2 电气设备应满足使用要求；
- 3 安全保护装置、安全连锁互锁功能等应满足使用要求；
- 4 声光信号装置应显示正确，清晰可靠；
- 5 技术资料应齐全。

5 顶升施工

5.1 一般规定

5.1.1 钢结构施工前应清除表面上的油污、冰雪、泥沙和灰尘等杂物，并应做好轴线和标高标记。

5.1.2 钢结构安装应根据结构特点按照合理顺序进行，并应形成稳固的空间刚度单元，必要时应增加临时支承结构或临时措施。

【条文说明】 本条规定的合理顺序需考虑到平面运输、结构体系转换、测量校正、精度调整及系统构成等因素。安装阶段的结构稳定性对保证施工安全和安装精度非常重要，构件在安装就位后应利用其他相邻构件或采用临时措施进行固定。临时支承结构或临时措施应能承受结构自重、施工荷载、风荷载、雪荷载、吊装产生的冲击荷载等荷载的作用，并不至于使结构产生永久变形。

5.1.3 钢结构安装校正时应分析温度、日照和焊接变形等因素对结构变形的影响。施工单位和监理单位宜在相同的天气条件和时间段进行测量验收。

【条文说明】 钢结构受温度和日照的影响变形比较明显，但此类变形属于可恢复的变形，要求施工单位和监理单位在大致相同的天气条件和时间段进行测量验收，可避免测量结果不一致。

5.1.4 钢结构顶升移位施工前，应进行施工现场调查，结合现场情况核对鉴定结果和设计图纸；应以现场情况和设计文件为依据，编制施

工组织设计或专项施工方案。

【条文说明】 施工前需要通过技术交底，使参与施工的技术人员和工人熟悉了解所承担工程任务的特点、技术要求、施工工艺、工程难点、施工操作要点及工程质量标准。

5.1.5 顶升施工应协调、平稳,应有监测和控制措施，并应根据现场监测数据及时修正顶升参数。

5.1.6 顶升施工同步设备与控制系统应满足顶升施工的安全及设计要求。

5.1.7 顶升设备使用前，应进行相应的标定。

5.1.8 顶升液压油缸及泵站等设备应有备用方案。

5.1.9 顶升移位施工工序可按照施工准备、称重、试顶升、顶升、结构改造和检查验收的顺序进行。

【条文说明】 施工准备完成后，无论是否设置称重工序，按照常规顶升工安排，一般需要按照正式顶升所准备采用的所有施工技术措施，对结构进行一次试顶升，以便对各个受力体系和顶升系统进行检查。试顶升的顶升高度不需太高，一般控制在 1 个~2 个行程之内即可。

5.1.10 顶升移位施工中的各道工序，应按专项施工方案或施工组织设计进行控制。

5.1.11 顶升施工要设专人统一指挥，严格按操作规程操作，严禁违规作业。

5.2 施工准备

5.2.1 顶升设备应采用同源标准传感器进行自校准,并应出具自校准报告。

5.2.2 液压提升系统在进场安装之前,其元部件必须经检测合格。

5.2.3 施工准备宜按照试顶升前的所有施工技术措施进行,包括托盘结构体系施工、底盘结构体系施工、支撑体系施工、限位结构体系施工、顶升系统的安装及调试等。

5.2.4 重型结构的整体提升应对被提升结构进行施工阶段的结构验算和分析。

【条文说明】 由于重型结构在整体提升时,被提升结构的结构体系和所受荷载与结构设计时有较大的区别,为保证被提升结构在提升过程中的安全可靠,须进行施工阶段的结构验算和分析。

5.2.5 顶升设备应根据起重设备性能、结构特点、现场环境作业效率等因素综合确定。选用非定型产品作为顶升设备时,应编制专项方案,并应经评审后再组织实施。

5.2.6 钢结构顶升作业必须在顶升设备的额定起重量范围内进行。

5.2.7 液压提升系统应采用计算机控制,设计应符合下列规定:

1 重型结构和设备整体提升宜用计算机控制液压提升系统(简称液压提升系统),液压提升系统宜采用柔性钢绞线承重,由提升油缸、泵站、传感检测及计算机控制系统组成。

2 提升油缸宜用穿芯式油缸,内置一束钢绞线承载,由上锚具油缸、下锚具油缸和主油缸三部分组成。锚具夹片规格应与钢绞线的规

格相对应。

3 提升泵站宜采用比例液压系统，实现多点同步控制。

4 计算机控制系统宜采用网络实现信号互连，根据被提升的结构或设备的控制要求选择传感器的种类和精度，宜配置长距离传感器和荷载传感器，应实时测量各个提升点的位移和荷载信息，通过液压比例系统实现位置同步和荷载均衡控制。

5.2.8 液压提升系统的提升能力设计应符合下列规定：

1 应根据被提升结构及附属设施的重量、提升吊点布置的数量和方位及结构分析计算的结果，确定各吊点荷载；

2 应根据各吊点的荷载确定液压提升系统的总体提升能力和各吊点提升能力；

3 各吊点提升能力(指定吊点液压提升油缸额定荷载)不应小于对应吊点荷载标准值的 1.25 倍；

4 总体提升能力(所有液压提升油缸总额定荷载)不应小于总提升荷载标准值的 1.25 倍，且不大于 2.5 倍。

【条文说明】 2 中顶升能力指的是顶点液压顶升油缸的额定荷载。4 中顶升油缸额定荷载是指油缸在额定压力下的承载能力。建议对明确的静定受力体系取低值，对超复杂的静定受力体系和不同步敏感体系取高值。

5.2.9 多个提升油缸组合的吊点，宜采用同一型规格的提升油缸。

【条文说明】 同一规格的顶升油缸是指行程与额定荷载相同。

5.2.10 液压泵站配置应满足提升速度和提升能力的要求。

5.2.11 液压提升系统的设计功能应符合下列规定：

- 1 应根据提升系统的控制要求，选择位移与荷载传感器；
- 2 应根据被提升物的控制目标设计控制系统及编制控制软件；
- 3 对多吊点的提升系统，宜结合结构计算结果选择荷载均衡和位置同步控制，并应编制控制软件。

【条文说明】 多吊点的顶升系统指超静定支承结构，原则是验算并且控制其应力和变形在弹性范围内。

5.2.12 传感检测及液压提升系统应符合下列安全要求：

- 1 在控制系统的顺序控制功能中应设置安全自锁、互锁功能，不应有违反既定逻辑、既定时序的机械、液压和电气动作。
- 2 应选用抗干扰性能好的电气器件。
- 3 控制系统应有避免误触键、碰撞等引致的误动作的技术措施，应设置各种检验算法和判断逻辑。
- 4 控制系统应具有实时在线检测故障的手段及与控制系统完全独立的辅助检测手段。
- 5 控制系统应具有系统失电、失控时的保护措施。
- 6 控制系统的供配电设计应符合国家现行有关标准的规定，控制系统处于施工现场的高位时，应设置可靠的防雷措施。

5.2.13 应根据结构或设备顶升到位后的体系转换和连接固定编制专项方案，顶升过程中可能遇到的异常气象条件应编制相关应急预案。

5.2.14 顶升作业之前应对支承结构和被顶升结构及其加固结构进行验收。

5.2.15 应在现场空旷、平坦地面条件下，设置测风仪器，并应根据气象预报选择在温度、风力等各项气象指标符合本规范和设计要求的时段进行顶升。顶升施工应满足下列气象条件：

- 1 现场风速不应超过 6 级（10.8m/s）；
- 2 环境温度宜为-5℃~35℃，当温度低于-5℃时，应采取构件防冻、液压油保温措施；
- 3 雨雪、大雾天气严禁施工。

5.3 顶升及过程控制

5.3.1 钢结构施工使用的各类施工机械，应符合现行行业标准《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 的有关规定。

5.3.2 支撑体系施工应符合下列规定：

- 1 支撑的中心线应准确定位；
- 2 当采用预埋螺栓连接时，预埋螺栓位置应准确；
- 3 当采用植入螺栓连接时，钻孔除位置应准确；
- 4 螺栓安装数量应与法兰孔数相等；
- 5 不同直径的钢支撑连接时，应采用相应的转换接头；
- 6 临时支撑的法兰连接螺栓应采用高强度螺栓，扭矩值应符合设计要求，且每个连接面的螺栓预紧力不应小于对应支撑轴力的 1.2 倍；
- 7 钢管支撑的对接焊缝应进行无损检测，Ⅱ级焊缝合格。

【条文说明】 顶升过程中，在千斤顶周围布设临时钢支撑，钢支撑通常采用可以重复利用的钢管立柱，临时钢支撑的布设要与液压缸的布设相符。为满足液压缸分级置换及临时支撑措施要求，可专门设计

各种垫块，以保证液压缸和临时支撑的连接可靠。支撑结构间要连接稳固保证支撑结构良好的整体性，防止顶升过程可能发生的滑移，避免支撑体系的失稳破坏。当采用钢管作为支撑杆时，钢管上下两端为焊接法兰，法兰上预留螺栓孔，钢管侧面焊有肋板及连接用构件。

5.3.3 限位结构体系的施工应符合下列规定：

1 限位结构与被限位结构的间隙应顺直，宽度应满足被限位结构的验收要求；

2 限位结构的安装和拆除不应产生影响原结构受力安全性的损伤。

【条文说明】 限位结构的安装定位时要避免限位结构承受不应有的侧向水平力。

5.3.4 顶升系统的安装及调试应符合下列规定：

1 千斤顶、油管、位移传感器及各类阀件的安装应满足要求；

2 千斤顶安装应竖直，可采用正置或倒置两种方式；

3 油管连接时，油管接头、分配器应清洁；

4 油管应在无压情况下拆除，油管拆除后应将油管用堵头封住，油管内部的液压油不得外漏；

5 顶升系统位移传感器的准确度不应低于国家标准；

6 位移传感器安装位置处的位移，应与所对应的千斤顶合力作用点相一致；

7 系统在使用前，应进行不少于 1h 的保压试验。

【条文说明】 2 中正置方式要使用在顶升高度较小，或者施工空间

狭小的部位；倒置方式要使用在顶升高度大，施工空间较大的部位，倒置时将千斤顶直接固定在托盘底部，在顶升过程中可不拆卸，方便施工。

5.3.5 采用压力控制设备进行顶升作业时，在试顶升前应进行称重。

【条文说明】 称重时依据计算顶升荷载，采用逐级加载的方式进行，在一定的顶升高度内，不能大于 10mm，通过反复调整各组的油压，可以设定组顶升油压值，使每个顶点的顶升压力与其上部荷载基本平衡。

5.3.6 顶升施工开始时应进行试顶升并符合下列规定：

- 1 试顶升前应解除全部顶升结构与其他结构的连接，结构顶升空间内不得有障碍物；
- 2 试顶升宜按开始分离、持续分离、确认分离，分阶段实施；
- 3 试顶升过程中油路应正确，传感器工作应正常，数据传输应稳定正确，系统工作应稳定；
- 4 试顶升高度不宜大于 10mm。

【条文说明】 试顶升时为观察顶升处是否分离，需要借助百分表测定其行程。

5.3.7 正式顶升应符合下列规定：

- 1 应根据试顶升的结果，确定开始正式顶升；
- 2 应及时用长支撑替换短支撑，并及时安装横向联系杆件；
- 3 借助液压同步控制系统，实现多点同步顶升，避免出现个别点集中受力，超过材料设计值；

4 顶升及顶降速度应根据结构类型确定：网格结构、实体结构不宜大于 3mm/min；索结构、膜结构不宜大于 2mm/min；变坡顶升时不宜大于 1.5mm/min；

5 应随时观测系统压力的变化情况，同时随时对每个位移传感器的数据与监测方数据进行比对，发现异常宜立即停止顶升，消除隐患后方可继续作业；

6 变坡顶升时，千斤顶应在允许偏斜角度范围内工作；

7 顶升完成后，钢结构中线和高程应满足设计要求。

【条文说明】 在变坡顶升过程中，因每个钢支撑高度不同，顶升高度也不相同，每次顶升钢支撑的压缩量也不同，需特别注意观察。

5.3.8 连续顶升开始，应对环境、结构、设备及提升组织和人员操作等作全方位控制，并应符合下列规定：

1 顶升过程中，应对顶升通道进行连续观测。当提升通道出现障碍物时应停止提升，采取措施清除障碍物后方可继续；

2 顶升过程中，应使用测量仪器对被提升结构进行高度和高差的监测，并应根据验算设定值进行控制。当各提升点的荷载或高差出现超差时，应实时进行调整或停止，查清并排除故障后方可恢复顶升；

3 当风速超过限定值时，应停止顶升，并应采取防风措施。

5.3.9 顶升液压系统中应安装专用阀件，顶升和顶降过程中运行措施应平稳，并应采取在停电、油管断裂等意外情况出现时的施工安全措施。

【条文说明】 顶升液压系统的规定是基于顶升或下降过程中的平稳

性考虑的虽然有升降阀保证,但对于多点串联顶升时油管破裂出现的安全问题必须重视,这在实际施工过程中时有发生。

5.3.10 被顶升结构在离地时,宜进行顶升点位移、结构关键部位应力应变、结构变形、荷载、基础沉降、现场风速等检测。

【条文说明】 应做顶升全过程的应力应变监测。一旦发现存在应力超标趋势,应立即停止提升,启动应急预案。

5.3.11 被顶升结构就位之后,应对该结构和基础进行检查和检测。

5.4 连接与卸载

5.4.1 被提升结构到达设计位置后,应进行结构转换,按设计要求固定到主体结构上,并应符合下列规定:

- 1 被顶升结构到达设计高度后,应进行平面位置的核对和校正;
- 2 被顶升结构就位后,应进行固定。当有多个部位需进行转换时,可按顺序对关键部位先行转换;
- 3 对结构转换涉及支承结构改动的,应按方案实施;
- 4 结构转换过程中,应对液压顶升系统和钢绞线作相应防护。

【条文说明】 当被顶升结构到达预定位置后,应按照专项方案所确定的转换固定顺序和方法,对被顶升结构进行固定,对支承结构进行卸载。

5.4.2 当被顶升结构到达预定位置后,应按照专项方案所确定的方法,对被提升结构进行固定,对顶升支承结构进行卸载。

5.4.3 提升支承系统的卸载,宜分批分级进行。卸载不同步效应应事先进行结构验算分析,确定合理的卸载顺序。

5.4.4 同级卸载工程中要保证同步，各顶升点之间高差最大不得超过 30mm。

5.4.5 每次卸载高度宜不超过 10mm，然后停止并测量卸载点的标高，以确保下一次卸载的调整值。

5.4.6 卸载过程中应有测量员和安全员，进行全过程监控，发现异常情况应及时报告。

5.5 顶升设施拆除

5.5.1 对被提升结构提升到位，形成稳定结构固定牢固并完成相关检测后，方可进行顶升支承结构的拆除工作。

5.5.2 宜按照从下往上的顺序进行拆除，附件和连接件应首先拆除。

5.5.3 当对顶升设施进行拆除时，应对支承结构顶部的水平位移进行监测。

5.5.4 等级 6 及以上的大风和雨雪天不得进行顶升支承结构的拆除工作。

5.5.5 应在拆除过程中设置作业范围，严禁其它非施工闲杂人员进入作业范围，拆除后及时转移至下一个顶升点位。

5.5.6 拆除工作完成后，及时清理现场，确保施工现场整洁有序。

6 顶升施工监测

6.1 一般规定

6.1.1 施工前应制定监测与控制方案。

6.1.2 监控的内容应包括上部结构的监控、下部结构的监控、施工临时结构及设备的监控。

【条文说明】顶升施工监测要求保证结构的安全性，确保顶升结束后的线形和内力与设计相符。

6.1.3 应根据施工方案，对顶升过程中可能发生的状态变化确定必要的预警值和极限值。

【条文说明】 计算临界值与控制指标方法：

- 1 保证截面最大拉应力小于混凝土的抗拉强度；
- 2 以混凝土允许应力为指标，确定相应的允许位移最小值，以此作为顶升过程中的顶升偏差的极限值；
- 3 注意不同构件或部位有不同的允许顶升偏差。

6.1.4 顶升过程中每一行程完成后，应对临时支撑、液压千斤顶管线、系统状态等进行详细检查，并应记录；当经检查各个环节状态完好时，方可实施下一个行程的施工。

6.1.5 当监测结果出现结构应力和变形、顶升设备油压等异常时，应暂停施工，待查明原因并及时处理后，方可继续施工。当监测数据超出预警值的 80% 时，应加密监测频率；超出预警值时，应立即停止施工，分析原因并采取加固措施，经复核合格后方可复工。

6.1.6 钢结构顶升施工期间，应建立对结构主体结构及辅助设施的巡视检查制度。

【条文说明】 巡视检查要满足下列要求：

1 顶升移位改造施工期间，间每天不少于 2 次，其他时间每天 1 次；

2 需根据被改造的结构特点及施工方法制定巡视检查程序；巡视检查以目测为主，并要配备如照相机、直尺、裂缝观测仪等必要的检测设备；

3 巡视检查中如果发现结构及辅助设施位移异常、原有病害加剧、新的病害出现等情况，需及时通知相关单位，分析原因并采取相应的处理措施。

6.2 监测内容及方法

6.2.1 施工监测应编制专项施工监测方案。

6.2.2 施工监测点布置应根据现场安装条件和施工交叉作业情况，采取可靠的保护措施。应力传感器应根据设计要求和工况需要布置于结构受力最不利部位或特征部位；变形传感器或测点宜布置于结构变形较大部位；温度传感器宜布置于结构特征断面，宜沿四面和高程均匀分布。

【条文说明】 规定施工现场对监测点的保护，主要是防止监测点受外界环境的扰动、破坏和覆盖。

6.2.3 钢结构工程变形监测的等级划分及精度要求，应符合表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3 钢结构工程变形监测的等级划分及精度要求

等级	垂直位移监测		垂直位移监测	适用范围
	变形观测点的 点的高差中误差 (mm)	相邻变形观测 高程中误差(mm)	变形观测点的点 位中误差 (mm)	
一等	0.3	0.1	1.5	变形特别敏感、跨度 ≥60m 的大跨空间结 构、超高层建筑，对 监测精度要求极高的 工程
二等	0.5	0.3	3.0	变 形 敏 感 、 跨 度 30~60m 的空间结构、 高耸构筑物（高度 ≥80m）
三等	1.0	0.5	6.0	一般性高层建筑、跨 度<30m的空间结构、 工业建筑等

注:

- 1 变形观测点的高程中误差和点位中误差，指相对于邻近基准的中误差；
- 2 特定方向的位移中误差，可取表中相应点位中误差的 $1/\sqrt{2}$ 作为限值；
- 3 垂直位移监测，可根据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。

【条文说明】 钢结构工程变形监测的等级划分及精度要求参考了现行国家标准《工程测量规范》GB 50026。

本规范将等级划分为三个等级，基本与 GB 50026 规范中四个等级的前三个等级相同。变形监测的精度等级，是按变形观测点的水平位移点位中误差、垂直位移的高程中误差或相邻变形观测点的高差中误差的大小来划分。它是根据我国变形监测的经验，并参考国外规范有关变形监测的内容确定的。其中，相邻点高差中误差指标，是为了适合一些只要求相对沉降的监测项目而规定的。

变形监测分为三个精度等级，一等适用于高精度变形监测项目，二、三等适用于中等精度变形监测项目。变形监测的精度指标值，是综合了设计和相关施工规范已确定的允许变形量的 1/20 作为测量精度值，这样在允许范围之内，可确保建(构)筑物安全使用，且每个周期的观测值能反映监测体的变形情况。

6.2.4 变形监测方法可按表 6.2.4 选用，也可同时采用多种方法进行监测。应力应变宜采用应力计、应变计等传感器进行监测。

表 6.2.4 变形监测方法的选择

类型	监测方法
水平变形监测	三角形网、极坐标法、交会法、GPS 测量、正倒垂线法、视准线法、引张线法、激光准直法、精密测（量）距、伸缩仪法、多点位移法、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；
三维位移测量	全站仪自动跟踪测量法、卫星实时定位测量法；
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、电垂直梁法等；
挠度观测	垂线法、差异沉降法、位移计、挠度计等。

【条文说明】 本条列出了不同监测类别的变形监测方法。具体应用

时，可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，综合选用。

6.2.5 监测数据应及时采集和整理，并应按频次要求采集，对漏测、误测或异常数据应及时补测或复测、确认或更正。

6.2.6 应力应变监测周期，宜与变形监测周期同步。

6.2.7 在进行结构变形和结构内力监测时，宜同时进行监测点的温度、风力等环境量监测。

6.2.8 监测数据应及时进行定量和定性分析。监测数据分析可采用图表分析、统计分析、对比分析和建模分析等方法。

6.2.9 需要利用监测结果进行趋势预报时，应给出预报结果的误差范围和适用条件。

6.2.10 对钢结构顶升移位改造施工的全过程应进行结构状态的监测与控制，包括确定初始状态参数、施工过程监控等。监测项目及频率可按表 6.2.10 的规定执行。

表 6.2.10 顶升监测项目及频率

序号	监测项目	监测频率
1	上部结构标高	试顶升、正式顶升每 500mm、卸载每阶段各 1 次，全过程不少于 5 次
2	水平位移和竖向位移	实时监测，数据采样频率 ≥ 1 次/30s
3	控制点三维坐标测量	试顶升前、正式顶升中（每 1m）、卸载完成后各 1 次，不少于 3 次
4	裂缝监测	实时监测，裂缝宽度变化 $\geq 0.1\text{mm}$ 时加密至 1 次/10min

续表 6.2.10 顶升监测项目及频率

5	应变监测	实时监测, 数据采样频率 ≥1 次/60s
6	温度监测	实时监测, 采样频率≥1 次/15min

【条文说明】 对钢结构顶升移位改造施工具体监测部分包括: 结构沉降、水平位移、应变、支撑轴力, 以及其他顶升改造部位。

6.2.11 钢结构位移监测应符合下列规定:

- 1 位移监测的内容宜包括结构的水平和竖向位移、扭转及开合、支撑构件的倾斜与变形等;
- 2 位移监测应按测点精度要求确定监测网等级, 并根据规模、结构特征和场地条件等因素, 确定位移监测控制网和监测方案;
- 3 位移监测点宜分为基准点、工作基点和监测点;
- 4 位移监测的测点布置、仪器安装应在顶升位移改造施工前完成, 并获取初始数据;
- 5 位移测点布置应符合下列规定:
 - (1) 位移监测断面宜与顶升或平移用液压千斤顶所在截面相一致;
 - (2) 顶升支撑构件的倾斜测点位置可根据构件的长度确定, 可将测点布置在构件顶部, 也可在构件四分点和中点增设测点。

6.2.12 应力或应变监测应符合下列规定:

- 1 应力或应变监测应与变形监测相结合, 不同监测项目间数据应能相互验证;
- 2 应力或应变测点布置应根据结构在施工全过程中的受力特点

选择关键或敏感部位设置,具体位置可通过建立结构模型对施工过程进行模拟分析确定。

【条文说明】 钢结构主体结构应力、应变测点需布置在结构内力对位移反应敏感的部位,具体位置可通过建立结构模型对施工过程进行模拟分析确定;通常主应力控制断面设在支点、 $1/4$ 跨、跨中、 $3/4$ 跨,每个断面测点根据顶升方式可设置不同点。对断柱式顶升,不要少于 3 个。监测数据要能反映结构由于施工导致的附加应力的分布、大小和方向。

对于施工在结构内产生的附加弯矩,测点要布置在弯曲应力最大的构件上、顶升改造时的结构下缘或平移改造时的结构两侧;对于附加剪力,测点需布置在构件的中性轴上;应变传感器的轴向需与结构附加应力的方向一致。

对于支撑构件,需在每个监测截面的周边布置不少于 2 个测点,应变传感器的轴向要与构件轴线平行。

6.2.13 当支撑体系作用于下部结构时,应根据分析结果确定下部结构监测内容和位置。

6.2.14 设备监测应符合下列规定:

- 1 设备监测内容宜包括液压系统压力与千斤顶行程;
- 2 施工方设备运行数据应与监测结果进行校核,若出现异常情况,应暂停施工并及时处理;
- 3 控制系统应能实现全自动同步位移,设备监测应具有故障报警功能。

【条文说明】 结构顶升控制系统是施工的中枢环节，控制系统给各动力装置发出指令，调整各动力装置的工作状态，要保证全自动同步位移，并具有故障报警功能。系统采集千斤顶顶升力需与压力表读数相互校核，并与设计值作对比，控制顶升力。

6.3 监测点布置

6.3.1 控制点的划分原则为顶升过程安全可靠，确保顶升过程的同步性和结构的姿态。

6.3.2 控制区域设置拉线传感器控制位移的同步性，根据结构，位移同步精度控制在 2mm。位移传感器与中央控制器相连形成位移的闭环控制从而实现顶升过程中位移的精确控制。

6.4 监测与预警

6.4.1 对顶升移位改造施工的全过程应进行结构状态的监测与控制，包括确定初始状态参数、施工过程监控等。施工过程应包括结构的位移和裂缝监测，宜监测结构应力或应变、结构和环境温度等。监测项目及频率可按表 6.4.1 的规定执行。

表 6.4.1 顶升监测项目及频率序号

序号	监测项目	监测频率
1	上部结构标高	试顶升、正式顶升每 500mm、卸载每阶段各 1 次，全过程不少于 5 次
2	水平位移和竖向位移	实时监测，数据采样频率 ≥ 1 次/30s
3	控制点三维坐标测量	试顶升前、正式顶升中（每 1m）、卸载完成后各 1 次，不少于 3 次

续表 6.4.1 顶升监测项目及频率序号

4	裂缝监测	实时监测，裂缝宽度变化 $\geq 0.1\text{mm}$ 时加密至 1 次 /10min
5	应变监测	实时监测，数据采集频率 ≥ 1 次/60s
6	温度监测	实时监测，采样频率 ≥ 1 次 /15min

【条文说明】 对顶升移位改造施工具体监测部分包括：结构沉降、水平位移、应变、支撑轴力、承台沉降,以及其他顶升改造部位。

6.4.2 用经纬仪、水准仪、标尺进行观测；必须保证在顶升过程中同步顶升，相邻点位间的高差不得大于 10mm。

6.4.3 顶升使用液压千斤顶需为同一型号。液压千斤顶电源统一控制。正式顶升前，对千斤顶进行顶紧力，同时保证每台千斤顶的顶紧力相同。

6.4.4 在试顶阶段，必须对千斤顶的油泵压力进行记录，根据此数据计算出每个支撑点的支座反力，并把此数据与结构的设计支座反力进行对比；如果两者的数值基本相符，则证明网架验算无误；如果中间的油泵压力基本稳定，4 个角点支撑反力交替增大，说明千斤顶发挥了自我调节作用，即受力小的顶升的快，受力大的顶升的慢。

6.4.5 在顶升过程中，开始阶段，每提升 200mm 应对结构进行检测，如果结构各个顶点标高差距不大（在 10mm 内），检测距离可放宽至 750mm，即在每次更换支架标准节前进行，如此可以保证在整个顶升过程中结构基本水平。

6.4.6 应定期测量预应力钢结构中拉索的内力,并做记录。与初始值对比，如发现异常应及时报告。当量测内力与设计值相差大于 $\pm 10\%$

时,应及时调整或补偿索力。

6.4.7 应定期检测钢丝绳索是否有断丝、损、腐蚀情况,及时更换缆索。

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

6.4.9 在顶升过程中,开始阶段,每顶升 500mm 应对结构进行检测,如果结构各个顶点标高差距不大(在 10mm 内),检测距离可放宽至 1000mm,即在每次更换支架标准节前进行,如此可以保证在整个顶升过程中网架基本水平,各个顶点的高差不大于 10mm。

6.4.10 在顶升阶段,必须对千斤顶的油泵压力进行记录,根据此数据计算出每个支撑点的支座反力,并把此数据与结构的设计支座反力进行对比;如果两者的数值基本相符,则证明结构验算无误;如果中间的油泵压力基本稳定,4 个角点支撑反力交替增大,说明千斤顶发挥了自我调节作用,即受力小的顶升的快,受力大的顶升的慢。

6.4.11 应定期对预应力施加装置、可调节头、螺栓螺母等进行检查,发现问题应及时处理。

6.4.12 应定期监测结构体系中的预应力状态,包括索的张紧度、膜面张紧度等。

6.4.13 在大风、暴雨、大雪等恶劣天气过程中及过程后,使用单位应及时检查预应力钢结构体系有无异常,并采取必要的措施。

6.5 监测结果分析

6.5.1 应依据工程施工进度,及时对监测数据进行整理,对钢结构的状态作出评定,并提交施工阶段监控报告,施工全部结束后,应提交

监控总结报告。

6.5.2 监测数据整理应项目齐全，数据可靠，规格统一，说明、图表完整。

6.5.3 位移监测结果应包括下列内容：

- 1 各施工阶段各测点实时位移与时间关系图；
- 2 各测点阶段位移累计值与设计限值的比较。

6.5.4 应力、应变监测结果应包括下列内容：

- 1 各施工阶段各测点实时应力与时间关系图；
- 2 各测点阶段应力累计值与设计限值的比较。

6.5.5 温度监测结果应包括下列内容：

- 1 环境温度实测值与时间关系；
- 2 主体结构的日照温差梯度；
- 3 宜包括温度变化对结构实测位移、应力的影响。

【条文说明】 6.5.1~6.5.5 实测数据的处理与预报，需根据顶升移位改造仿真分析结果对实际采集的数据进行统计和误差分析，通过实测的回归分析数据对结构计算参数进行识别和修正，并预报下一阶段工作状态，以便及时进行调整，使顶升移位改造始终处于安全控制之中。

监控结果报告作为改造施工质量及验收提供依据，需要由监控人员签名并由监控单位盖章存档。

根据提交的监控报告，设计单位需根据原设计结构和分析结构与监控报告作出分析，并提交相应的差异性分析报告。差异性分析需要

与不均匀位移有限元计算结果的控制条件相对比。

7 质量验收

7.1 一般规定

7.1.1 应对钢管网架、网壳、索膜类空间结构，以及以钢管(圆管或方矩管)为主要受力杆件(或物件)的结构安装工程进行质量验收。

7.1.2 钢网架、网壳结构及钢管桁架结构的安装工程可按变形缝、空间刚性单元等划分成一个或若干个检验批，或者按照楼层或施工段等划分为一个或若干个检验批。

7.1.3 建立健全质量管理体系，完善各项质量管理制度。

7.1.4 所有进场原材料均按现行试验规范检验，严格执行“先检验，合格才使用”的制度

7.1.5 应进行系统可靠性的检验，确保系统无故障无泄漏，运行正常。

7.1.6 狠抓质量岗位责任制，将每道工序进行质量目标分解，并落实到具体操作人员。

7.2 施工设施质量验收

7.2.1 被提升结构提升点的位置应与设计提升点在同一铅垂线上，水平偏差不应大于提升高度的 $1/2000$ ，且不应大于 30mm。

【条文说明】 对被提升结构平面位置的控制要求主要为防止被提升结构在脱离胎架时有过大的晃动及保证被提升结构提升到位后提升油缸锚具的正常工作。对于提升过程中的变幅、转动等情况，应按实际情况计算各工况的结构效应。

7.2.2 提升点的连接构造和结构调整、加固的部位均应按设计要求检查验收。

7.2.3 被提升结构的组装与拼装应满足现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 及结构设计的相关规定。

【条文说明】 提升工艺有特殊需要时,可按特殊标准进行验收。特殊标准原则上不应低于国家相关标准。

7.2.4 提升支承系统的安装过程中应满足各阶段设计要求。

7.2.5 当独立设置提升支承系统时,其临时基础和支架施工质量应符合国家现行相关施工验收规范的要求。当实施提升有特殊要求时,应按提升系统设计要求进行验收。

7.3 结构质量验收

7.3.1 单位工程质量验收应按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的规定执行,单位(子单位)工程质量验收合格应符合下列规定:

- 1 所含分部(子分部)工程的质量均应验收合格;
- 2 质量控制资料应完整;
- 3 所含分部工程中有关安全、节能、环境保护和主要使用功能的检验资料应完整;
- 4 主要使用功能的抽查结果应符合相关专业验收规范的规定;
- 5 观感质量应符合要求。

7.3.2 钢结构工程质量验收记录应符合下列规定:

1 施工现场质量管理检查记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的规定进行；

2 分项工程验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定执行；

3 分部(子分部)工程验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定执行。

7.3.3 钢结构建筑采用的原材料、部品部件进场时应检查其产品标准、出厂合格证、质量保证书和使用说明书。

7.3.4 钢结构工程必须严格按行业标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205-2020 各项规定及设计要求负责进货验收，检查其强度检验报告、产品合格证，并按上述标准有关条文中指定的项目进行复验，质量必须符合产品合格标准。

7.3.5 用于制造杆件的钢管原材料品种、规格、质量必须符合设计要求和有关标准的规定，其中钢管壁厚允许偏差为规定的正负 10%；焊接用的焊条，焊具等必须符合设计要求和钢结构焊接的专门规定。

7.3.6 顶升工程验收应按分部分项验收及竣工验收两个阶段进行。其中分部分项验收应按国家现行相关标准提交相关资料；竣工验收除应提交分部分项验收的文件外，尚应提交下列文件：

- 1 工程竣工图纸、会审记录和设计变更文件；
- 2 工程施工组织设计或专项施工方案；
- 3 竣工验收报告；
- 4 工程监测报告；

- 5 工程实施过程中执行国家现行有关标准的情况报告；
- 6 原材料、构配件（千斤顶、高强度螺栓、钢材等）的质量证明文件及复验报告；
- 7 焊缝无损检测报告、临时支撑结构验收记录；
- 8 施工过程影像资料（关键工序、异常处置过程）。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

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

- 1 《建筑结构荷载规范》 GB 50009;
- 2 《钢结构设计标准》 GB 50017;
- 3 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205;
- 4 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300;
- 5 《钢结构焊接规范》 GB 50661;
- 6 《钢结构工程施工规范》 GB50755;
- 7 《重型结构和设备整体提升技术规范》 GB 51162;
- 8 《桥梁顶升移位改造技术规范》 GB/T 51256;
- 9 《建筑钢结构焊接技术规程》 JGJ 81。