

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 51162 – 2016

重型结构和设备整体提升技术规范

Technical code for integral lifting of heavy structure
and equipment

2016 – 04 – 15 发布

2016 – 12 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

重型结构和设备整体提升技术规范

Technical code for integral lifting of heavy structure
and equipment

GB 51162 - 2016

主编部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 6 年 1 2 月 1 日

2016 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1094 号

住房城乡建设部关于发布国家标准 《重型结构和设备整体提升技术规范》的公告

现批准《重型结构和设备整体提升技术规范》为国家标准,编号为 GB 51162—2016,自 2016 年 12 月 1 日起实施。其中,第 3.0.6、6.5.13、8.2.3 条为强制性条文,必须严格执行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2016 年 4 月 15 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2009 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2009〕88 号)的要求,规范编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制了本规范。

本规范的主要技术内容是:总则、术语和符号、基本规定、荷载与作用、重型结构整体提升的结构系统、重型设备(门式起重机)整体提升的结构系统、计算机控制液压提升系统、重型结构和设备整体提升等。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由上海建工股份有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送上海建工股份有限公司(地址:上海市虹口区东大名路 666 号,邮政编码:200080)。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:上海建工股份有限公司

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

上海同新机电控制技术有限公司

上海鼎启特种设备安装工程有限公司

上海市机械施工集团有限公司

上海电力建筑工程公司

上海宝冶集团有限公司工业安装分公司

上海同济宝冶建设机器人有限公司

江苏华能建设工程集团有限公司

中船第九设计研究院工程有限公司
柳州欧维姆机械股份有限公司
北京市机械施工有限公司
中建安装工程有限公司

主要起草人:马人乐 卞永明 陈晓明 崔东靖 葛兆源
江遐龄 吴欣之 何敏娟 吕兆华 潘令誉
陈俊岭 罗 烈 吴志勇 董元跃 刘建普
陈建平 史洪卫 毛广辉 王云飞 朱 骏
应建华 李本勇 李 旻 梁 峰 郑 飞
程远程 史耀辉 黄之涛 遇 瑞 乔聚甫
张成林

主要审查人:郭正兴 刘树屯 张 伟 刘子祥 姚念亮
陈禄如 杨蔚彪 宓为建 李正良 贾 淦

目 次

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	(5)
4	荷载与作用	(8)
4.1	荷载与作用选择	(8)
4.2	重力荷载	(8)
4.3	风荷载	(9)
4.4	其他荷载与作用	(11)
5	重型结构整体提升的结构系统	(12)
5.1	被提升结构的验算分析及调整	(12)
5.2	提升支承系统的验算与设计	(12)
5.3	被提升结构的安装和验收	(13)
5.4	提升支承系统的安装和验收	(13)
6	重型设备(门式起重机)整体提升的结构系统	(14)
6.1	被提升结构的验算及连接设计	(14)
6.2	提升支承结构设计	(14)
6.3	提升支承结构的基础设计	(15)
6.4	提升支承结构液压顶升系统设计	(16)
6.5	提升支承结构制造及安装质量验收	(18)
7	计算机控制液压提升系统	(20)
7.1	计算机控制液压提升系统的设计与配置	(20)
7.2	计算机控制液压提升系统的安装和调试	(21)

8 重型结构和设备整体提升	(24)
8.1 提升准备	(24)
8.2 提升施工	(24)
8.3 提升检测	(25)
8.4 提升支承结构的卸载和拆除	(25)
附录 A 提升支承结构基础验收要求	(27)
附录 B 提升支承结构门型支架安装验收要求	(29)
附录 C 液压提升系统元、部件质量检测 和系统调试要求	(30)
本规范用词说明	(33)
引用标准名录	(34)
附：条文说明	(35)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic requirements	(5)
4	Loads and actions	(8)
4.1	Choice of loads and actions	(8)
4.2	Gravity load	(8)
4.3	Wind load	(9)
4.4	Other loads and actions	(11)
5	Heavy structure integral lifting system	(12)
5.1	Checking calculation and adjustment for the lifted structure	(12)
5.2	Checking calculation and design for the lifting support system	(12)
5.3	Installation and acceptance check for the lifted structure	(13)
5.4	Installation and acceptance check for the lifting support system	(13)
6	Gantry crane integral lifting system	(14)
6.1	Checking calculation and connections design for the lifted structure	(14)
6.2	Design for the lifting support structure	(14)
6.3	Foundation design for the lifting support structure	(15)
6.4	Design for the hydraulic lifting system of the lifting support	

structure	(16)
6.5 Quality inspection of fabrication and installation for the lifting support structure	(18)
7 Hydraulic lifting system controlled by computers	(20)
7.1 Design and configuration of the hydraulic lifting system controlled by computers	(20)
7.2 Installation and debugging of the hydraulic lifting system controlled by computers	(21)
8 Heavy structure and equipment integral lifting	(24)
8.1 Lifting preparation	(24)
8.2 Lifting construction	(24)
8.3 Lifting detection	(25)
8.4 Lifting support structure removal	(25)
Appendix A Acceptance check contents of the lifting support structure	(27)
Appendix B Acceptance check contents for installation of lifting the gantry support structure	(29)
Appendix C Quality inspection and system debugging content for hydraulic lifting system	(30)
Explanation of wording in this code	(33)
List of quoted standards	(34)
Addition: Explanation of provisions	(35)

1 总 则

1.0.1 为了在重型结构和设备整体提升工程中做到安全适用、确保质量、经济合理、技术先进,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于提升重量不超过 8000t、提升高度不超过 100m 的大型建筑结构和提升重量不超过 6000t、提升高度不超过 120m 的大型设备,并采用计算机控制液压整体提升工程的设计和施工。

1.0.3 重型结构和设备液压整体提升工程的设计和施工,除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 整体提升 integral lifting

将装配成整体的结构或设备提升到一定高度的过程。

2.1.2 提升过程 lifting process

自被提升结构或设备脱离胎架时起,提升至设计位置并完成固定的全过程,包括试提升和正式提升。

2.1.3 试提升 informal lifting

被提升结构自脱离胎架,离地 10cm,悬停并观察的过程。

2.1.4 正式提升 formal lifting

试提升过程结束后,被提升结构或设备重新开始提升到设计位置并完成固定的全过程。

2.1.5 支承结构 support structure

提升过程中支承被提升结构的结构体系。

2.1.6 吊耳 lifting lug

吊装时索具与结构相连接的元部件,一般焊接在设备、塔架、固定锚点、平衡梁等起吊构件上。

2.1.7 缆风绳 stayed cable

连接门型支架顶部与地锚间的拉索。

2.1.8 地锚 anchor

用以锚固卷扬机、导向滑轮、缆风绳、起重机或桅杆平衡绳等埋设于地下的装置。

2.1.9 液压泵站 hydraulic power unit

由动力元件、液压元件等组成的工程设备,是液压提升系统的动力源。

2.1.10 液压提升系统 hydraulic lifting system

由提升油缸、泵站和传感检测及计算机控制系统组成的重型结构和设备提升系统。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

- C —— 结构设计、验算变形控制标准值；
- G_k —— 永久荷载的标准值；
- Q_{Gk} —— 被提升结构和设备重量的标准值；
- Q_i —— 第 i 个可变荷载标准值；
- Q_{Lk} —— 平台活载的标准值；
- w_k —— 不同阶段单位迎风面积上的水平风荷载标准值；
- w_0^* —— 不同阶段 10m 高处风压代表值。

2.2.2 材料性能或设计指标

- E —— 钢材的弹性模量；
- f —— 钢材、钢索强度设计值；
- f_g —— 钢绞线强度设计值；
- f_k —— 材料强度的标准值。

2.2.3 几何参数

- A —— 截面面积、毛截面面积、基础底面积；
- d —— 钢管设计直径或边长；
- D —— 钢管实际直径；
- H —— 塔或柱的总高度；
- L —— 梁的跨度或构件长度；
- α_k —— 几何参数标准值；
- t —— 连接件的厚度，管壁厚度。

2.2.4 计算系数及其他

- β_z —— 高度 z 处的风振系数；
- γ_G —— 永久荷载分项系数；

γ_R —— 结构抗力分项系数；

γ_i —— 可变荷载 Q_i 的分项系数；

Ψ_{Ci} —— 可变荷载 Q_i 的组合值系数；

φ_{fw} —— 风荷载的频遇值系数；

μ_z —— 风压高度变化系数；

μ_s —— 风荷载体型系数；

φ —— 挡风系数。

3 基本规定

3.0.1 重型结构和设备整体提升工程应编制施工组织设计专项施工方案。

3.0.2 重型结构和设备整体提升工程的结构在施工期间各种工况下,结构可靠度应按现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068,采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,用分项系数表达式进行计算。

3.0.3 重型结构和设备整体提升的正式提升过程宜控制在十天內。施工前应根据中、短期气象预报使整体提升作业时间避开大风、冰雪灾害等不利气象和环境条件。

3.0.4 重型结构和设备整体提升工程的结构安全等级宜为二级。

3.0.5 重型结构和设备整体提升的结构承载能力极限状态设计应按可变荷载效应控制的基本组合,并应采用下列设计表达式进行设计:

$$S(\gamma_G G_k, 1.4 Q_{Gk}, w_k, 0.7 Q_{Lk}, \sum_{i=1}^n \gamma_i \psi_{Ci} Q_i) \leqslant R(\gamma_R, f_k, \alpha_k, \dots) \quad (3.0.5)$$

式中: γ_G ——永久荷载分项系数,对结构不利时取 1.2,对结构有利时取 0.9;

G_k ——永久荷载标准值(一般为提升支承结构及提升用设备重);

Q_{Gk} ——被提升结构和设备重量的标准值;

w_k ——整体提升中不同工作阶段单位迎风面积上的水平风荷载标准值;

Q_{Lk} ——平台活载的标准值;

Q_i ——除上述可变荷载外,其余第 i 个可变荷载标准值,

$i = 4 \sim n$;

ψ_{Ci} ——可变荷载 Q_i 的组合值系数,一般取 0.7;

γ_i ——可变荷载 Q_i 的分项系数,一般为 1.4,仅对温度作用取 1.0;

γ_R ——结构抗力分项系数,与国家现行结构设计规范同样取值;

f_k ——材料强度的标准值;

α_k ——几何参数标准值。

3.0.6 重型结构和设备整体提升必须进行提升过程各控制工况的承载力、刚度验算,并应保证整体稳固性。当被提升结构、设备和支承结构在安装过程中会发生结构体系转换时,应建立整体计算模型对被提升结构、设备和支承结构进行施工工况验算。

3.0.7 重型结构和设备整体提升中支承结构与被提升结构的变形应满足正常使用极限状态的要求,并应符合下式要求:

$$S_d(G_k, Q_{Gk}, \varphi_{fw} w_k, Q_{Lk}, \sum_{i=4}^n \gamma_i \psi_{Ci} Q_i) \leq C \quad (3.0.7)$$

式中: φ_{fw} ——风荷载的频遇值系数,取 0.4,但 $\varphi_{fw} w_k$ 不小于 0.2 kN/m^2 ;

C ——结构设计中验算变形控制标准值。

3.0.8 在满足安装工艺要求及被提升结构原设计要求的前提下,验算变形控制标准值 C 应符合下列要求:

1 提升支承结构塔或柱的顶点水平位移不应大于 $H/120$,且不应大于 0.8 m (H 为塔或柱的总高度);

2 提升支承结构体系中梁的弯曲变形不应大于 $L/400$ (L 为梁的跨度);

3 被提升结构的弯曲变形不应大于 $L_0/250$ (L_0 为被提升结构支点距离);

4 被提升结构应处于弹性变形状态;

5 当支承结构与被提升结构组成的系统为超静定结构时,支承结构支点的相邻基础沉降变形差不应超过相邻基础间距的 $1/350$;

6 被提升结构的晃动不应大于 $\pm 300\text{mm}$,安全距离不应小于 200mm 。

4 荷载与作用

4.1 荷载与作用选择

4.1.1 重型结构和设备整体提升施工荷载与作用应按支承结构的安装、提升、加固、拆除四个阶段分别确定,并应符合下列规定:

1 安装阶段:以 6 级风以内(含 6 级风)可以安装,8 级风以内结构不要加固为原则确定荷载,荷载取处于安装过程中的支承结构自重及 8 级风荷载。对应的结构为安装过程中的支承结构。

2 提升阶段:以 6 级风(含 6 级风)以内可以提升,8 级风以内原结构不加固为原则确定荷载。荷载包括支承结构自重、被提升结构重、活荷载、8 级风荷载。对应的结构为完整的支承结构。

3 加固阶段:在超过 8 级风时,应按应急预案对被提升结构及支承结构进行加固。荷载包括支承结构自重、被提升结构自重、大风风载(按气象预报,在设计阶段一般按当地 10 年一遇大风设计加固预案)、加固结构自重及作用力(缆风绳拉力)。对应的结构为经加固的支承结构。

4 拆除阶段:应按具体条件制定拆除工艺,并对每一步骤的结构状态按自重及 6 级风荷载做验算。拆除周期超过一周应按 8 级风荷载验算。对应的结构为处于拆除过程中的支承结构。

4.1.2 根据工程所处自然环境不同,可变荷载与作用还应包括雪荷载、温度(日照作用)、地基变形、不同步提升差、吊装过程中附加水平力作用等。

4.2 重力荷载

4.2.1 支承结构自重 G_k 的标准值均应按实际计算。

4.2.2 被提升结构或设备重及附件重 Q_{G_k} 、提升配重、随被提升结构同步上升的脚手架重等荷载标准值均应按实际计算。

4.2.3 液压设备、平台上操作人员和随身携带工具重等设备提升平台活荷载标准值 Q_{1_k} 可取 10kN/m^2 。重型结构和设备整体提升人员作业平台荷载可取 1kN/m^2 ，若平台有设备，则荷载应按实际计算。

4.3 风 荷 载

4.3.1 作用于支承结构或被提升结构表面单位面积上的水平风荷载标准值应按下式计算：

$$w_k = \beta \mu_s \mu_z w_0^* \quad (4.3.1)$$

式中： w_0^* ——相应施工阶段的 10m 高处风压代表值，按本规范第 4.3.2 条取值；

μ_z ——高度 z 处的风压高度变化系数，按本规范第 4.3.3 条取值；

μ_s ——风荷载体型系数，按本规范第 4.3.4 条取值；

β ——整体提升结构体系风振系数，提升设备时，提升结构的风振系数可取 1.5；提升建筑结构时，提升结构的风振系数可取 1.3。

4.3.2 施工阶段风压代表值 w_0^* 应按支承结构的不同阶段取值，并应符合下列规定：

1 在支承结构安装阶段和工作阶段，风压代表值应为 $w_0^* = 0.22\text{kN/m}^2$ ；

2 支承结构加固阶段：在提升系统设计时， w_0^* 应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定的 10 年一遇风压取值，在紧急情况下，应按气象预报修正；

3 支承结构拆除阶段：应按实际风力状况， w_0^* 不应小于 0.1kN/m^2 (6 级风)。

4.3.3 对平坦或稍有起伏的地形，风压高度变化系数，应根据地

面粗糙度类别按表 4.3.3 确定。

表 4.3.3 风压高度变化系数 μ_z

离地面或 海平面高度(m)	地面粗糙度类别			
	A	B	C	D
5	1.17	1.00	0.74	0.62
10	1.38	1.00	0.74	0.62
15	1.52	1.14	0.74	0.62
20	1.63	1.25	0.84	0.62
30	1.80	1.42	1.00	0.62
40	1.92	1.56	1.13	0.73
50	2.03	1.67	1.25	0.84
60	2.12	1.77	1.35	0.93
70	2.20	1.86	1.45	1.02
80	2.27	1.95	1.54	1.11
90	2.34	2.02	1.62	1.19
100	2.40	2.09	1.70	1.27
150	2.64	2.38	2.03	1.61
200	2.83	2.61	2.30	1.92
250	2.99	2.80	2.54	2.19
300	3.12	2.97	2.75	2.45
350	3.12	3.12	2.94	2.68
400	3.12	3.12	3.12	2.91
≥ 450	3.12	3.12	3.12	3.12

注：地面粗糙度 A 类指近海海面、海岛、海岸、湖岸及沙漠地区；B 类指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的中小城市郊区；C 类指有密集建筑群的中等城市市区；D 类指有密集建筑群但房屋较高的大城市市区。

4.3.4 整体提升结构常用风荷载的体型系数可按表 4.3.4 确定。

表 4.3.4 整体提升结构常用风荷载体型系数

结 构 类 型			μ_s
单层迎风面的平面、单个型钢			1.30
缆风绳			1.20
主材为型钢塔架 (双层迎风)	φ	0.3	2.20
		0.4	2.00
		0.5	1.90
主材为钢管柱塔架	φ	0.3	1.62
		0.4	1.50
		0.5	1.44

- 注:1 对于与表中结构类型差异较大的情况,按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 取值;
- 2 按上述 μ_s 计算风力时,只计算正面迎风面积;
- 3 挡风系数 φ 为正面迎风面积与迎风面轮廓面积的比值,若挡风系数在表中数值之间的, μ_s 也根据实际 φ 与上、下 φ 的差值按插入法取值;
- 4 带套架的塔架的多层迎风面, μ_s 按表中值乘以 1.5 倍;
- 5 当塔架非正方形时,按现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135 的规定计算。

4.4 其他荷载与作用

4.4.1 重型结构和设备的整体提升不应在覆冰条件下进行。

4.4.2 带大面积屋面、楼面水平面板的建筑结构整体提升,降雪季节施工时应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定计算雪荷载。

4.4.3 在日照较强烈季节,应按两面塔柱温差为 20℃ 计算塔架的弯曲变形和 $P-\Delta$ 效应。缆风绳预拉力的调试宜在接近昼夜平均温度时段进行。且应按当日平均昼夜温差的 1/2 计算缆风绳及门型支架的组合温度效应。

4.4.4 当结构体系为超静定体系时,应计算支座不均匀沉降和不均匀提升的作用影响。不均匀沉降加不均匀提升合计产生的提升点附加高差不宜大于两支承点(提升点)之间距离的 0.005 倍。

5 重型结构整体提升的结构系统

5.1 被提升结构的验算分析及调整

5.1.1 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。

5.1.2 被提升结构在施工阶段的受力宜与最终使用状态接近,宜选择与原有结构支承点相应的位置作为提升点。

5.1.3 被提升结构的验算分析应包括各提升点的不同步效应及支承系统分步卸载拆除阶段的效应。

5.1.4 验算提升点的连接时,其抗力应除以附加抗力分项系数 1.2。

5.1.5 应按被提升结构的提升状态和最终设计状态的体系转换顺序进行结构分析,并应进行被提升结构与支承结构的连接转换构造设计。

5.1.6 当提升高重心结构时,应进行抗倾覆验算。当抗倾覆力矩小于倾覆力矩的 1.2 倍时,应增加配重、降低重心或设置附加约束。

5.1.7 被提升结构提升点的确定、结构的调整、支承连接构造和施工阶段的结构验算,应进行确认和审核。

5.2 提升支承系统的验算与设计

5.2.1 重型结构整体提升时,应验算提升过程对原有结构的影响,宜利用原有结构的竖向支承系统作为提升支承系统或作为提升支承系统的一部分,结构体系边界条件的假定应与提升状态相符。

5.2.2 当利用原有结构作为提升支承系统进行重型结构整体提

升时,应对结构进行设计或复核。

5.2.3 当重型结构整体提升时,应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和国家相关标准的要求对相关基础进行设计或复核。

5.2.4 提升支承系统的验算分析和设计,应包括基础及上部结构,并按本规范第 4.1 节计算安装、工作、加固和卸载拆除全过程。

5.2.5 提升支承系统结构验算分析和设计时应计入提升不同步的附加效应及分步卸载效应。

5.2.6 当提升支承结构重复使用材料时,应检查其完好程度,包括材料锈蚀,焊缝和节点连接状况,杆件和结构件的变形情况等,并按实际计算复核。

5.3 被提升结构的安装和验收

5.3.1 被提升结构提升点的位置应与提升点在同一铅垂线上,水平偏差不应大于提升高度的 $1/1000$,且不应大于 50mm。

5.3.2 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。

5.3.3 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。

5.4 提升支承系统的安装和验收

5.4.1 提升支承系统的安装过程中应满足各阶段设计要求。

5.4.2 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。

6 重型设备(门式起重机)整体提升的结构系统

6.1 被提升结构的验算及连接设计

6.1.1 选择被提升的重型设备(门式起重机)大梁提升吊点方案时,应使支承结构受力合理,被提升结构变形应在弹性范围内。

6.1.2 被提升结构的验算应按不同的阶段分别进行,每一阶段被提升结构的强度、稳定及变形均应满足极限状态的要求。

6.1.3 重型设备提升点的设计应传力直接、构造合理、减少偏心。提升点连接设计时抗力应除以附加抗力分项系数 1.2。

6.2 提升支承结构设计

6.2.1 整体提升支承结构设计提升能力控制性参数应包括对应的最大承载力、主梁跨度、主梁底标高。

6.2.2 整体提升支承结构体系可由门型支架、缆风绳、门型支架基础、地锚等构成。设计验算时,应按由弹性杆系和柔索构成的复合结构体系用非线性有限元方法进行结构内力和变形分析。

6.2.3 整体提升应根据最大提升重量、提升高度、被提升物件平面尺寸选用适当的整体提升支承结构,提升参数应符合支承结构控制性参数的规定。

6.2.4 每次整体提升应根据场地条件确定缆风绳的布置方案,确定支承结构体系并进行缆风绳的选择和验算。并应根据地质条件设计塔架基础和缆风绳地锚基础。

6.2.5 缆风绳宜采用钢绞线或钢丝绳。钢丝绳的抗拉强度设计值 f 应符合表 6.2.5-1 的规定,钢绞线的抗拉强度设计值 f_g 应

符合表 6.2.5-2 的规定。

表 6.2.5-1 钢丝绳强度设计值 (N/mm^2)

钢丝绳公称抗拉强度	1470	1570	1670	1770	1870
钢丝绳抗拉强度设计值 f	735	785	835	885	935

表 6.2.5-2 钢绞线抗拉强度设计值 f_g (N/mm^2)

钢丝抗拉强度标准值 f_{ptk}	1570	1720	1860	1960
整根钢绞线抗拉强度设计值 f_g	785	860	930	980

6.2.6 缆风绳预拉力设计应符合下列规定：

- 1 各向缆风绳预拉力宜在门型支架顶部达到水平分力平衡；
- 2 缆风绳截面积和预拉力宜为整体结构提供适当的刚度；
- 3 宜计算重型设备整体提升时支承结构体系受压变形而造成缆风绳的松弛；
- 4 缆风绳初拉应力宜取其设计强度的 $1/3$ ；
- 5 初始状态缆风绳挠曲不宜大于其长度的 $1/150$ 。

6.2.7 当整体提升支承结构门架柱(塔架)作为空间桁架进行极限承载力分析时,塔架高度中部应计入 $1/1000$ 的初弯曲,弯曲线可用折线模拟。

6.2.8 整体提升支承结构受弯构件(大梁、转换梁等)在支座及集中荷载作用点应设加劲肋,并应满足整体稳定和局部稳定要求。

6.2.9 整体提升支承结构的连接施工质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的要求。

6.2.10 提升支承结构的高强螺栓连接节点宜采用直接张拉法施工。

6.2.11 整体提升支承结构应设置顶部避雷针、支柱的引下线和基础防雷接地,并应作为导体连通,防雷接地电阻不应大于 4Ω 。

6.3 提升支承结构的基础设计

6.3.1 整体提升支承结构的基础设计应符合现行国家标准《建筑

地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

6.3.2 整体提升支承结构的基础、锚碇设计时宜优先采用下列方案：

- 1 利用原有的或即将建造的基础、建(构)筑物；
- 2 利用现有设备(设备分段)、砝码或其他可临时借用的建筑材料作为压重,设计装配式或半装配锚碇；
- 3 工具式基础、工具式锚碇。

6.4 提升支承结构液压顶升系统设计

6.4.1 顶升油缸设计应符合下列规定：

- 1 顶升速度宜取 $0.005\text{m/s} \sim 0.013\text{m/s}$,起重量大时顶升速度应取低值,下降速度不宜大于顶升速度；
- 2 当设计或选用顶升油缸时,油缸的工作压力宜为 20MPa ；
- 3 顶升油缸两端宜设自润滑关节轴承；
- 4 顶升油缸的大腔油口处应安装防爆阀、液控单向阀、油压传感器、溢流阀和限速阀；
- 5 安装顶升油缸时,进出油口的位置应在最上方,应使其能自动放气或安装放气阀；
- 6 插销宜采用机械驱动或液压驱动。插销应有机械锁定装置。液压插销应设双向液控单向阀；
- 7 顶升油缸和插销油缸试验应按现行国家标准《液压油缸试验方法》GB/T 15622 的规定进行厂内试验；
- 8 顶升油缸和插销油缸到现场后应完成空载功能试验,并进行顶升负载、同步、失速和管路压力试验。

6.4.2 液压泵站设计应符合下列规定：

- 1 泵站功能应符合下列规定：
 - 1)应能并联驱动两台顶升油缸升降；
 - 2)应能单独控制顶升油缸动作；
 - 3)应具备调速功能；

- 4)宜设远程控制功能;
- 5)其他功能要求应符合现行国家标准《液压系统通用技术条件》GB 3766 的规定。

2 泵站参数应符合下列规定:

- 1)顶升泵站工作压力应小于 31.5MPa;
- 2)顶升泵站输出流量应确保顶升速度 0.3m/min~0.8m/min;
- 3)插销泵站工作压力应小于 16MPa;
- 4)插销泵站输出流量应确保插销运动速度不高于 2.5m/min;
- 5)其他设计参数的选取可按现行国家标准《船用液压泵站技术条件》GB/T 3754 的规定执行。

3 泵站试验方法应按现行国家标准《船用液压泵站技术条件》GB/T 3754 的规定进行厂内试验。

6.4.3 传感检测与计算机控制系统设计应符合下列规定:

- 1 油压传感器精度不应低于 5/1000;
- 2 顶升油缸行程测量传感器分辨率应小于 2mm,非线性误差应小于 2%;

3 计算机控制系统应具有手动操作和自动操作功能,可采用有线或无线信号传输方式;

- 4 门型支架两边应具备同步顶升和单边顶升的双重功能;
- 5 电气控制系统应符合下列规定:
 - 1)应设置顶升油缸和插销动作之间的安全自锁、互锁功能;
 - 2)现场的通讯线、信号线应采取防护、屏蔽措施,应有可靠的接地点,电源应采取抗干扰措施;
 - 3)电控系统应防止误触键、碰撞等措施;
 - 4)顶升系统在标准节入口处等关键部位应设手动紧停按钮;
 - 5)供配电设计应符合国家现行有关标准规定,应采取可靠的防雷措施。

6 电器配线应符合下列规定:

- 1)配线种类应符合电气设计的要求;
 - 2)接线盒、线槽、线管应符合国家现行有关标准规定。
- 7 线路敷设应符合国家现行有关标准规定。

6.5 提升支承结构制造及安装质量验收

- 6.5.1** 大型门式起重机整体提升支承结构的制造质量验收应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定及设计要求。
- 6.5.2** 整体提升支承结构的组件应符合设计文件要求;钢结构构件应有出厂合格证。
- 6.5.3** 安装区域内应场地平整,地基强度应符合设计要求。不应有影响吊机作业、缆风绳支设的障碍物。
- 6.5.4** 遇 6 级及以上的大风和雨雪天不得进行提升支承结构的安装。
- 6.5.5** 提升支承结构基础验收应符合本规范附录 A 的要求。
- 6.5.6** 提升支承结构门型支架宜在地面组装成节单元,再分节安装成型。
- 6.5.7** 提升支承结构门型支架底节安装宜采用垫铁抄平、二次灌浆工艺。当二次灌浆层强度达到设计强度的 70%时,方可进行上部支承结构安装。
- 6.5.8** 对受压型提升支承结构的连接螺栓应采取二次拧紧工艺。
- 6.5.9** 被提升结构提升离地后,不得松动螺栓或缆风绳。
- 6.5.10** 提升支承结构门型支架验收应符合本规范附录 B 的要求。
- 6.5.11** 卷扬机、起重钢丝绳、扣件、滑轮组、吊耳应符合起重吊装的规定。
- 6.5.12** 缆风绳预拉力宜对称分级施加。施加预拉力时应用经纬仪对塔顶位移进行监控。提升支承结构顶部位移值 δ 应符合下列公式规定,且顶部位移不得大于计算初始位移值的 1.2 倍:

$$\delta \leq H/1500 \quad (H \leq 15000) \quad (6.5.12-1)$$

$$\delta \leq 50 + (H - 75000)/4000 \quad (H > 75000) \quad (6.5.12-2)$$

式中： H ——塔顶高度。

6.5.13 提升用钢绞线重复使用次数不应超过 30 次。每次使用前应对钢绞线进行外观检查,钢绞线应无松股、断丝现象。

7 计算机控制液压提升系统

7.1 计算机控制液压提升系统的设计与配置

7.1.1 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。

7.1.2 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。

7.1.3 多个提升油缸组合的吊点,宜采用同一型规格的提升油缸。

7.1.4 液压泵站配置应满足提升速度和提升能力的要求。

7.1.5 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。

7.1.6 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。

7.2 计算机控制液压提升系统的安装和调试

7.2.1 液压提升系统在进场安装之前,其元部件必须经检测合格。检测应按本规范附录 C 的要求,形成检测报告,并应保存所有的检测原始记录。

7.2.2 液压提升系统在运输过程中,应对设备保护。运输到位后应进行设备的进场检查。

7.2.3 提升油缸及钢绞线安装应符合下列规定：

1 油缸使用前,应经过负载试验,并检查锚具动作以及锚片的工作情况；

2 油缸就位后的安装位置应达到设计要求；

3 钢绞线导向架安装,应使多余钢绞线距上锚具 1m~2m 范围内保持垂直;

4 应采用梳导板理顺钢绞线之后,带钢绞线整体吊装;

5 底锚和油缸钢绞线穿入后,应对钢绞线进行预紧。

7.2.4 提升泵站安装应符合下列规定:

1 泵站在安装之前,应经试验合格;

2 安装时应平稳起吊;

3 泵站应有防雨、散热措施,对设置在高空的泵站应有临时安全设施。

7.2.5 液压提升系统安装应符合下列规定:

1 液压提升系统的配线除弱电系统外,均应采用额定电压不低于 500V 的铜芯多股电线或电缆;

2 在易受机械损伤或有液压油滴落部位,电线或电缆应装于钢管、线槽或保护罩内;

3 强电与弱电电缆应分开敷设;

4 控制系统上的配线应排列整齐,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 户外使用的控制箱的防雷装置,应安装正确、牢固;

6 传感器安装前应经过标定。

7.2.6 液压提升系统在现场安装后应进行系统调试,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 应检查钢绞线、锚具,锚具的动作;

5 应检查锚具状态传感器。

7.2.7 液压提升系统通过调试后应进行空载试车,验证系统下列技术指标:

1 控制系统操作的方向;

- 2 各传感器反馈的信号；
 - 3 各安全保护装置的动作；
 - 4 控制柜等电气设备；
 - 5 顺序控制的动作；
 - 6 偏差控制的动作。
- 7.2.8** 液压提升系统完成空载试车后的验收应符合下列规定：
- 1 液压提升系统的安装、调试和空载试车应全部完成；
 - 2 系统的电气接线应正确，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；
 - 3 系统的所有电气设备应合格；
 - 4 系统的所有安全保护装置、安全连锁互锁功能等应合格；
 - 5 系统的所有声光信号装置应显示正确，清晰可靠；
 - 6 系统的技术资料应齐全。

8 重型结构和设备整体提升

8.1 提 升 准 备

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

8.1.2 提升作业之前应对提升支承结构和被提升结构及其加固结构进行验收。

8.1.3 宜在提升支承结构之间设置过道和操作点,设置应急停留和检修的施工平台。

8.1.4 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提升。

8.2 提 升 施 工

8.2.1 提升施工开始时应进行试提升,并应符合下列规定:

1 提升作业应在被提升结构与胎架之间的连接解除之后进行。提升加载应采用分级加载。在加载过程中应对被提升结构和提升支承结构进行观测,无异常情况方可继续加载。

2 被提升结构脱离胎架后应在被提升结构最低点离开胎架10cm作悬停。悬停期间应对整体提升支承结构和基础进行检查和检测,检验合格后方可继续提升。

3 液压提升系统在提升的初始阶段应检验系统的安装质量和系统的性能,确保完好。

8.2.2 连续提升开始,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 提升过程中,应对提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提升。

2 提升过程中,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提升,查清并排除故障后方可恢复提升。

3 当风速超过限定值时,应停止提升,并应采取防风措施。

8.2.3 用于保证支承结构稳定的缆风绳在提升过程中不得进行转换。

8.2.4 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 被提升结构到达设计高度后,应进行平面位置的核对和校正;

2 被提升结构就位后,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,应对液压提升系统和钢绞线作相应防护。

8.3 提升检测

8.3.1 被提升结构在离地悬停时,宜进行提升点位移、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。

8.3.2 被提升结构就位之后,应对该结构和基础进行检查和检测。

8.4 提升支承结构的卸载和拆除

8.4.1 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,方可进行整体提升支承结构的拆除工作。

8.4.2 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。

8.4.3 6级及以上的大风和雨雪天不得进行整体提升支承结构的拆除工作。

8.4.4 当采用整体提升支承结构顶部的起重设备对门型支架进行拆除时,应对支承结构顶部的水平位移进行监测。

附录 A 提升支承结构基础验收要求

A.0.1 整体提升支承结构基础的轴线、标高、地脚螺栓、锚板、埋件的规格、数量、锚固长度应验收合格。

检查数量:全数检查。

检验方法:见表 A.0.1。

表 A.0.1 基础尺寸允许偏差和检验方法

项次	项 目		允许偏差 (mm)	检 验 方 法
1	平面外形尺寸		± 20	钢尺检查
2	轴线坐标位置		10	经纬仪检查
3	标高		0, -10	水准仪检查
4	平面水平度	每米	5	水平尺、塞尺检查
		全长	10	水准仪或拉线、钢尺检查
5	地脚螺栓	标高(顶部)	+20, 0	水准仪或拉线、钢尺检查
		中心距	± 3	钢尺检查
		螺栓露出长度	+30, 0	钢尺检查
		螺纹长度	+20, 0	钢尺检查
6	埋件中心位置		± 5	钢尺检查
7	锚板	锚环中心位置	10	钢尺检查
		角度偏差	$\pm 1^\circ$	经纬仪检查
		垂直度	$\pm 1^\circ$	钢尺、线锤检查

A.0.2 整体提升支承结构桩基础的静压试验报告或高应变试验报告、低应变检测报告、沉桩记录齐全,符合设计文件和国家现行相应的规范要求。

检查数量:全数检查。

检验方法:按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007

的规定执行。

A. 0.3 整体提升支承结构的基础钢筋应进行隐蔽工程验收,结构基础混凝土强度应符合设计要求,应具有相应的强度试验报告。

检查数量:全数检查。

检验方法:按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定执行。

附录 B 提升支承结构门型支架安装验收要求

B.0.1 提升支承结构门型支架底节安装定位轴线的偏差(双向偏差矢量和)不得大于 3mm。

检查数量:全数检查。

检验方法:经纬仪、钢尺测量。

B.0.2 单节提升支承结构门型支架柱的垂直度偏差(双向偏差矢量和)不得大于单节柱长的 $1/750$;且不得大于 10mm。

检查数量:全数检查,正交双向。

检验方法:经纬仪、钢尺测量。

B.0.3 提升支承结构门型支架整体垂直度偏差(双向偏差矢量和),不应大于支架高度的 $1/1500$;且不得大于 50mm。

检查数量:全数检查,正交双向。

检验方法:经纬仪、钢尺测量。

B.0.4 各提升支承结构门型支架柱顶标高相对偏差不得大于 $L/1500$ (L 为提升支承结构提升梁的跨度),且不得大于 10mm。

检查数量:全数检查。

检验方法:全站仪测量。

B.0.5 单节提升支承结构门型支架柱、提升梁的中心线及标高基准线等标记应齐全。

检查数量:全数检查。

检查方法:观察检查。

B.0.6 门型支架的提升横梁起拱度应符合设计要求。

检查数量:全数检查。

检查方法:拉钢丝,钢尺测量。

附录 C 液压提升系统元、部件质量检测 和系统调试要求

C.0.1 液压提升系统在进场安装之前检测,应填写工厂检查提升系统调试记录,并应符合表 C.0.1 的要求。

表 C.0.1 工厂检查提升系统调试记录

工程名称			检查日期	
检查项目		计算机控制液压提升系统		负责人
分类	检查内容		检查结果	检查人
提升油缸	油缸动作			
	最低伸缸压力(MPa)			
	泄漏情况	上锚油缸额定油压闭压 5min,无泄漏情况		
		下锚油缸额定油压闭压 5min,无泄漏情况		
		主油缸 1.25 倍额定油压保压 1h,无泄漏情况		
	额定荷载上升、下降 2m(带钢绞线)			
	耐压试验	油缸机械结构承载情况		
		泄漏情况		
	防失速功能			
	上下锚具夹片无损伤、锚片与锚座配对正确			
	上锚夹片及锚具脱锚情况(在主缸满载时)			
	下锚夹片及锚具脱锚情况(在主缸满载时)			
液压泵站	油缸阀组功能			
	泵站功能检验			
	空载压力损失(MPa)			
	额定压力运行 10min			
	最高压力运行 5min			
	耐久试验(额定连续工作 10h 以上)			
运行噪声异常				

续表 C. 0. 1

工程名称		检查日期	
检查项目	计算机控制液压提升系统		负责人
分类	检查内容		检查结果 检查人
计算机 控制 系统 检查	控制系统功能检验(含传感器)		
	手动、顺控、自动检验		
	信号监测显示功能		
	安全操作闭锁检验		
	同步控制精度	压力同步	
		位置同步	
	电磁兼容性试验		

C. 0. 2 液压提升系统在进场安装之前检测,应填写正式提升前提升系统现场调试记录,并应符合表 C. 0. 2 的要求。

表 C. 0. 2 正式提升前提升系统现场调试记录

工程名称		检查日期	
检查项目	计算机控制液压提升系统		负责人
分类	检查内容		检查结果 检查人
提升 油缸	油缸上下锚和锚片完好,复位功能良好		
	油缸安装正确		
	钢绞线安装正确		
	油缸升缩缸运行正常		
	泵站与油缸之间的油管连接正确、可靠		
液压 泵站	泵站液位达到规定位置		
	泵站电机转向正确		
	泵站电机运行正常		
	泵站控制阀运行正常		
	锚具压力调至 5MPa		
	压力表安装正确		
	泵站防雨措施到位		

续表 C. 0. 2

工程名称		检查日期	
检查项目	计算机控制液压提升系统	负责人	
分类	检查内容	检查结果	检查人
计算机 控制 系统 检查	各用电设备电源接线安全可靠		
	控制设备接线、安装正确		
	各路控制数据通信线路正确		
	传感器功能正常,信号传输正确		
	传感器测量绳及接头无损伤		
	传感器编码显示和锚具信号显示正常		
	传感器防水措施到位		
	压力传感器压力显示正常		

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,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

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068
- 《高耸结构设计规范》GB 50135
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 《船用液压泵站技术条件》GB/T 3754
- 《液压系统通用技术条件》GB 3766
- 《液压油缸试验方法》GB/T 15622

中华人民共和国国家标准

重型结构和设备整体提升技术规范

GB 51162 - 2016

条文说明

制 订 说 明

《重型结构和设备整体提升技术规范》GB 51162—2016,经住房和城乡建设部 2016 年 4 月 15 日以第 1094 号公告批准、发布。

本规范制订过程中,编制组进行了大量的调查研究,总结了我国工程的实践经验,同时参考了国外先进技术法规、技术标准,通过钢绞线重复使用试验,确定了各项技术指标。

为了便于广大设计、施工、科研、学校等单位的有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定,《重型结构和设备整体提升技术规范》编制组按章、节、条顺序编写了本规范的条文说明,对条文规定的目的、编制依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。还着重对强制性条文的强制性理由作了解释。但是,本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握条文内容的参考。

目 次

1	总 则	(41)
3	基本规定	(42)
4	荷载与作用	(45)
4.1	荷载与作用选择	(45)
4.2	重力荷载	(45)
4.3	风荷载	(46)
4.4	其他荷载与作用	(46)
5	重型结构整体提升的结构系统	(48)
5.1	被提升结构的验算分析及调整	(48)
5.2	提升支承系统的验算与设计	(49)
5.3	被提升结构的安装和验收	(49)
6	重型设备(门式起重机)整体提升的结构系统	(50)
6.1	被提升结构的验算及连接设计	(50)
6.2	提升支承结构设计	(50)
6.3	提升支承结构的基础设计	(52)
6.4	提升支承结构液压顶升系统设计	(52)
6.5	提升支承结构制造及安装质量验收	(52)
7	计算机控制液压提升系统	(54)
7.1	计算机控制液压提升系统的设计与配置	(54)
7.2	计算机控制液压提升系统的安装和调试	(54)
8	重型结构和设备整体提升	(55)
8.2	提升施工	(55)
8.3	提升检测	(55)
8.4	提升支承结构的卸载和拆除	(56)

1 总 则

1.0.2 本规范目前仅针对大型建筑结构的液压整体提升和大型门式起重机的液压整体提升。两类工程也是目前整体提升中所占比例最高的,其他如大型化工容器的提升、桥梁的提升、旋转等,与本规范阐述的施工方法既有基本共同点,也有特殊点。

3 基本规定

3.0.1 整体提升工程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施工方案的要求。

3.0.2 大型建筑结构和大型门式起重机的液压整体提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。此条中的“结构”包括提升结构和被提升结构。

3.0.3 为使整体提升工程安全而经济,对于工程的荷载取值是关键。而工程的环境荷载(风)与工程的延续时间有关。工程延续时间越长,可能发生的环境荷载(风)变异越大。所以在确定荷载之前,首先要求控制工期,避开特殊不利气候。

3.0.4 尽管提升支承结构为临时结构,但考虑到结构失效的经济损失和社会影响很大,故将安全等级定为二级。以第 3.0.2 条为前提,在短期内发生地震的概率很小,参照起重机规范,一般不予考虑。但对高度较大的固定式起重机,要考虑水平地震作用。整体提升结构总体安装和使用时间很短,相对一般起重机其使用概率很低,使用周期更短,所以仍基本不考虑地震作用。但对于特殊地域和时间段,如地震高发区、余震频发时段等,仍应按抗震设计规范中的规定进行抗震验算。提升工程考虑 3 个风荷载等级:6 级风以下可以提升,8 级风及以下不需加固,10 年一遇风按应急预案加固。即使在一年内出现最大风的月份,在一个月内发生 10 年一遇大风的概率也只有 10%。加上中、短期气象预报的配合及工期的缩短,取 10 年一遇的风载为标准作应急加固预案是足够安全的,也是比较经济的。近几年大量工程实施也是按这一原则处

理的。

重型结构和设备整体提升工程当工期有特殊要求,在超常规条件下施工时不符合本规范第 3.0.3 条要求的应按实际条件及相应国家标准确定荷载与作用。

3.0.5 由于整体提升支承结构体系常用弹性支承刚架与柔性索合一的混合体系,其结构效应不适用线性迭加原理,故与《建筑结构荷载规范》GB 50009 不同,采用荷载效应函数 $S(\cdot)$ 的表达式。对于被提升物的重力标准值 Q_{Gk} 的荷载分项系数,按二级应为 $\gamma = 1.4$,若按短期作用可乘 0.9,但提升又有不均匀性,此公式中不均匀性不计,故仍用 1.4。对于不均匀性的限制在本规范各章中体现。式(3.0.5)中风荷载标准值 w_k 已将荷载分项系数 1.4 与组合值系数 0.7 相乘,近似于 1.0,故直接写 w_k 。 w_k 为提升时各阶段的风荷载标准值,仅用于本规范,与荷载规范中 W_k 不同。式(3.0.5)中 $0.7 \times Q_{Lk}$ 代表平台活荷载与最大风及最大吊重的组合值系数 0.5 与活荷载分项系数 1.4 的乘积。 Q_i 包括提升不均匀等作用,提升不均匀按控制的限值计取。

承载能力极限状态验算对象包括结构体系、构件和连接,验算的内容包括强度和稳定。强度包括正应力、剪应力、局部承压、复合应力及其他规范规定的验算项目,稳定包括结构整体稳定、杆件整体稳定及局部稳定。

3.0.6 本条为强制性条文。整体提升结构验算要对提升过程进行强度和稳定全过程分析。此处“全过程分析”不同于“时程分析”。因其加速度非常小,可以忽略。重点是全过程中有代表性的控制性的状态(如被提升结构作折叠展开时会经历瞬变机构阶段,从而造成工程事故)。对这些控制性状态的强度和稳定都要确保安全。

3.0.7 由于整体提升支承结构体系常用弹性支承刚架与柔性索合一的混合体系,其结构变形不适用线性迭加原理,故与《建筑结构荷载规范》GB 50009 不同,采用结构效应函数 $S_d(\cdot)$ 的表达式。

3.0.8 变形计算风荷载取频遇值反映变形控制的目的。不小于 0.2kN/m^2 , 因为在 8 级风及以下, 支承结构不需加固, 代表一种频遇状态, 8 级风的风压约等于 0.2kN/m^2 。

提升支承结构塔和柱顶端位移严于高耸结构。高耸结构若按线性计算, 限值为 $H/75$; 若按非线性计算, 限值为 $H/50$ 。本结构应按非线性计算, 考虑非线性效应并考虑到其 $P-\Delta$ 效应太大, 故按 $H/120$ 限定。

本规范所涉结构以重力荷载为主。支承结构梁的弯曲变形限度按钢结构主梁考虑。

被提升结构的弯曲变形主要限制在弹性范围, 比提升支承大梁变形限制稍宽。

当支承结构系统为超静定结构时, 相邻支座的相对沉降对结构内力有相当大影响, 此处按现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135 相关条文的规定限制这一沉降差。

采取在被提升物上装导向滑轮, 使其顶紧于固定结构物上设置的滑道; 或采取沿一定高度侧向固定钢绞线的方法解决被提升物的晃动。

4 荷载与作用

4.1 荷载与作用选择

4.1.1 重型结构和设备整体提升分四个阶段：

1 安装阶段：支承结构处于形成过程中，结构状态与支承结构最终状态不同，受力亦不同。如大型门式起重机提升支承结构，一般为自顶升，其顶部不能张拉缆风，支承结构自身属地面固定的悬臂柱结构。此时仅承受结构自重和风。若承受 8 级以内大风，结构应能抵抗。

2 提升阶段：支承结构架设完毕，顶部缆风也安装完成，形成完整的结构体系，这时开始提升，重力荷载为结构自重和被提升物重，当受到 8 级以内大风时，结构应能抵抗。若工程实施地有资料确保工作阶段不会发生 7 级以上大风，可按 7 级风计算。

3 加固阶段：提升时突然遭受 10 年一遇大风，此时被提升结构来不及按永久状态就位或回放到地面，则应按预案在短时间对结构做临时加固，使结构可承受这种偶然荷载。

4 拆除阶段：在安装工作结束后，提升支架往往不能按原安装顺序倒退拆除，故要重新确定施工方案并做验算。当拆除周期超过一周时，应根据实际情况加大计算风压，一般可用 8 级风验算。

6 级风的风速为 $10.8\text{m/s} \sim 13.8\text{m/s}$ ，8 级风的风速为 $17.2\text{m/s} \sim 20.7\text{m/s}$ 。

4.1.2 对于采用多点提升的结构，不同步提升高差可能引起各提升点荷载的变化，并引起相应的结构效应，应考虑由此引起的附加荷载。

4.2 重力荷载

4.2.1 对提升支架等结构和设备重，荷载分项系数取 1.2。

4.2.2 将提升用吊具和钢绞线重量归入被提升重 Q_{Gk} ,因这些对象随被吊物体运动,荷载分项系数取 1.4。平台活荷载仅包括操作人员 and 小型工具。油泵、千斤顶、钢绞线等重量另计。

4.3 风 荷 载

4.3.1 对于整体提升结构,风荷载的作用主要是水平作用,故不用“垂直于结构物表面的风压表达”。 w_0^* 在计算中的作用相当于基本风压,但概念不同,它是不同阶段基本风压代表值。风振系数 β 取 1.5 或 1.3 是按一定计算统计的结果。整体提升结构一般有缆风或其他侧向固定措施。由于风的作用相对较小,可按桅杆(由弹性柱和缆风构成)结构简化计算。参考现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135 取值。建筑结构整体提升一般依托原有结构,风振更小,简化取 1.3,为多次工程实践证明是安全的。

4.3.2 本条与 4.1.1 条对应,给出具体风压值。8 级风按其平均风速换算成 0.22kN/m^2 风压。

4.3.3 此类结构一般不在山区,故不考虑现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 中的山坡修正系数。

4.3.4 本条将常用的整体提升结构的体型系数列在表中供选用,可满足一般结构的要求。若情况较特殊则可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 执行。

4.4 其他荷载与作用

4.4.3 温度(日照)效应对整体提升有两种影响:一是日照引起门型支架两侧柱出现温差,门型支架产生弯曲变形,进而产生 $P-\Delta$ 效应;二是昼夜温差导致缆风绳预拉力松弛或增大,对结构整体刚度、稳定产生影响。

4.4.4 若被提升结构和支承结构组合而成的支承结构体系为超静定结构,基础沉降不均匀及提升点的附加高差都会引起结构附

加应力,要加以计算。但这些附加不均匀变形的组合值不宜大于 $0.005l$,此值取自现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135—2006 高耸结构中不同部分之间的沉降差控制要求。

5 重型结构整体提升的结构系统

5.1 被提升结构的验算分析及调整

5.1.1 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。

5.1.2 为了使被提升结构在被提升时的受力更加合理,减少加固和调整的范围,因此建议被提升结构在施工阶段的受力宜与最终使用状态相接近,尽可能选择与原有结构支承点的相应位置作为提升吊点。

5.1.3 提升不同步或卸载不同步有可能引起提升点载荷的变化,从而影响到结构和施工的安全,必须高度重视。提升(卸载)不同步效应因被提升结构本身的刚度和所处的状态不同而异。当结构刚度较小或当结构为静定时,提升(卸载)点不同步对提升反力的影响较小;反之,当结构刚度较大且结构为超静定时,提升(卸载)点不同步对提升反力的分布和大小影响显著。提升不同步效应可按液压提升系统的控制性不同步限值计取。在计算该效应时,应特别注意构件受力特性的改变对结构的影响,例如由拉杆转变为压杆等。分步卸载的效应,则应根据不同卸载顺序及卸载效应进行分析计算。实际工程中也有取不同步载荷系数为 1.2 进行施工阶段的结构验算,但对较为复杂的提升工况,宜假定可能出现提升(卸载)不同步的最不利工况组合进行被提升结构和提升支承结构的整体建模计算。

5.1.4 提升吊点为特别重要的受力点和易发生应力集中的部位,验算这类节点时,抗力应除以 1.2。

5.1.5 被提升结构的提升状态和最终设计状态的结构体系往往

是不同的,不同连接节点的不同连接顺序对最终结构可能产生较大影响,同时对提升支承结构可能也会产生较大影响,因此对结构体系转换应进行结构分析。

5.1.6 验算提升过程的倾覆时,有利的重力作用分项系数取 0.9,不利的荷载与作用分项系数取 1.4,抗倾覆力矩应不小于倾覆力矩的 1.2 倍。高重心结构一般指采用整体提升安装的桅杆结构,也包括重心高于提升点且可能引起倾覆的被提升结构。

5.1.7 被提升结构提升点的确定、结构的调整和支承连接构造等,原则上应由原结构设计单位确认。

5.2 提升支承系统的验算与设计

5.2.1 利用原有结构的竖向承载系统作为提升支承系统时,其所受荷载及边界约束条件同结构使用状态有较大的区别。如:使用状态时结构柱一般为排架柱或框架柱,但结构整体提升时,柱子常为悬臂状态。为保证支承系统在提升过程中的安全可靠,进行施工阶段的结构验算和分析时对结构的边界条件必须正确设定。

5.2.3 在对基础进行设计时,往往还要遵循有关地方标准。此处相关标准即指与地基基础相关的地方标准。

5.3 被提升结构的安装和验收

5.3.1 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。

5.3.3 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。

6 重型设备(门式起重机)整体提升的结构系统

6.1 被提升结构的验算及连接设计

6.1.1 门式起重机大梁提升点的选择对支承塔架受力分配、大梁的受力和变形,液压提升系统受力等具有综合影响,所以“选点”十分重要。所谓合理即充分而均衡地使用结构资源,达到安全、高效提升。

6.1.2 这里的不同阶段指的是安装阶段、提升阶段、加固阶段、拆除阶段。

6.1.3 连接点的受力集中,也较复杂,可能造成局部应力集中,故将抗力除以分项系数 1.2。

6.2 提升支承结构设计

6.2.1 整体提升支承结构的设计是一种相当特殊的结构工程设计,除应选择具有经验的设计单位外,对设计内容也有特殊的规定。

6.2.2 由于大型门式起重机支承结构高度都很大,缆风长度一般超过百米,非线性效应很明显,所以缆风不能仅仅作为结构的一个支点,它存在变形和变化的拉力,所以必须纳入整个结构体系一起做非线性有限元分析。

6.2.4 原则上支承结构包括支架缆风绳和基础,但支架是可以反复使用的,缆风是每次都可能改变的,基础则可以是一次性的。本条所述支承结构是以支架为出发点,界定在不同高度、跨度时支架的起重能力,当然要形成完整的结构还要配以缆风和基础。主梁跨度指支承主梁的两门型支架中心距。

此外,缆风绳的方位、倾角、预拉力选择以及基础设计均对结构体系的安全有重要影响。

6.2.5 在整体提升结构计算时,不同于一般安装工程中仅根据内力和安全系数按破断力选用钢丝绳,而是要先初选相应钢丝绳截面积和初始预拉力,按非线性计算钢丝绳内力和应力,然后复核强度。本规范根据相应规格的钢丝绳截面积和破断力,然后除以抗力分项系数 2.0(荷载分项系数 1.4 已计入结构效应)得出钢丝绳抗拉强度设计 f ,用于提升支承结构设计中。

表 6.2.5-2 中,钢绞线抗拉强度标准值 f_g 取自现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224。安全系数取 2.0。

6.2.6 本条所述为整体提升支承结构缆风设计的要点和特点。一般现场状况很复杂,故缆风绳的设置不可能完全对称,故仅提出这些相对合理的要求。一般情况下,预拉应力取强度设计值的 $1/3$,同时也满足垂度不大于长度 $1/150$ 的要求。 $l/150$ 挠度或以下时缆索外观较直。缆风绳需具有一定的面积和预拉力,目的是保证结构的稳定。

6.2.7 支承用塔架在工作状态时基本上属于轴心受压格构柱,风力引起的弯矩和剪力很小,但塔架并非理想轴心压杆,所以按施工验收规范的限制条件规定一个初弯曲,若在建模时未考虑初弯曲,也可按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 规定方法考虑一个附加剪力,这样比较真实地模拟了这类提升用塔架的结构稳定实际状况。建模时要在门架柱顶增加水平剪力 $V = \frac{Af}{85} \sqrt{\frac{f_y}{235}}$,

其中 A 为单个门架柱所有柱肢横截面积之和, f 为钢材强度设计值, f_y 为钢材屈服强度。

6.2.8 本条涉及大梁的整体稳定和局部稳定。提升大梁一般为双梁,中间设千斤顶及吊索,可在适当部位以适当方式将双梁连成抗侧弯、抗扭整体构件,以满足整体稳定要求。

6.2.10 采用直接张拉法对高强螺栓直接加预拉力,可采用高强

螺栓液压张拉器,一般适用于张拉段螺杆长度大于其直径 4 倍以上的高强螺栓。超张拉比例为: $P/P_0 = 1.15 + 2/(L_k/d)^2$, 实现锁紧螺母后恢复到预拉力设计值。此时与高强螺栓的扭矩系数无关。螺栓仅受单向拉力,非拉、剪复合应力,因此原则上抗力强度可提高 20%。按此方法重复使用高强螺栓后,每次均应按国家标准对螺栓强度重新抽样检查,检查合格即可重复使用。

6.3 提升支承结构的基础设计

6.3.1 考虑到提升支承结构基础使用的短期性,将其抗力除以附加抗力分项系数 0.9。

6.4 提升支承结构液压顶升系统设计

6.4.1 插销油缸额定压力不宜大于 10MPa,初始顶升负载试验宜在 100mm 范围内。

3 使用关节轴承主要是为了防止活塞杆在外伸工况时产生不正常的弯曲。

4 顶升油缸一般用大腔承受顶升荷载。

6.5 提升支承结构制造及安装质量验收

6.5.7 整体提升支承结构的地脚螺栓和锚板是整体提升支承结构的关键组件,其材质、尺寸、加工工艺和施工阶段的临时固定方法是整体提升成败的关键因素之一。

6.5.8 加载之后,对支承结构因累积受压而导致的法兰连接螺栓松动做二次拧紧。

6.5.13 本条为强制性条文。钢绞线的使用次数是整体提升中牵涉安全和经济的关键问题。许多建设方提出钢绞线只能用一次,影响提升的经济性。

液压提升系统利用钢绞线承重,锚夹具与钢绞线之间的啮合作用会导致钢绞线表面产生啮合损伤(一般为平痕损伤),但平痕

损伤对钢绞线的破断拉力影响不大。经过重复夹紧及拉伸作用后的钢绞线能否重复使用,关键是控制其是否出现“松股破坏”。

试验表明:重复夹紧 125 次以内时,钢绞线表面仅为轻微损伤,仍可使用;重复夹紧 125~275 次时,钢绞线表面为中等损伤,仍可使用;重复夹紧达 300 次时,钢绞线会产生松股现象,无法使用。

同时试验还表明:重复夹紧 50 次以内时,钢绞线的最小破断拉力基本无变化;重复夹紧达 100 次时,钢绞线的最小破断拉力仅下降 1.9%;重复夹紧达 200 次时,钢绞线的最小破断拉力仅下降 2.4%。

7 计算机控制液压提升系统

7.1 计算机控制液压提升系统的设计与配置

7.1.2 2 吊点提升能力指的是吊点液压提升油缸的额定荷载。

4 提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。此取值范围受锚片与钢绞线在低应力下自锁作用的限制。

7.1.3 同一规格的提升油缸是指行程与额定荷载相同。

7.1.5 多吊点的提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。

7.2 计算机控制液压提升系统的安装和调试

7.2.1 液压提升系统应在安装前在厂内进行充分试验。

7.2.3 本条是关于提升油缸及钢绞线安装的规定:

5 一般每根钢绞线的预紧力小于 15kN,当预紧力大于 15kN 时,应分级预紧。

7.2.8 本条是液压提升系统完成空载试车后的验收的规定:

6 技术资料应包括:电气控制电路图、主要电气设备文件(包括产品合格证书、产品说明书、安装图纸等)、安装和调试记录(包括传感器标定、比例阀标定记录等)。

8 重型结构和设备整体提升

8.2 提升施工

8.2.1 试提升的目的是为了检验被提升结构和提升支承结构的安全性,以及计算机控制液压提升系统的可靠性。

1 提升加载一般按照 20%、40%、60%、70%、80%、90%、95%、100%的荷载比例分级加载。试提升应按下列程序进行,并做好记录:

- (1)按要求进行分级加载,使油缸受力达到预定值;
- (2)各个测量点应认真做好测量工作,及时反映测量数据;
- (3)数据汇交现场施工设计组,比较实测数据与理论数据的差异;
- (4)若有数据偏差,有关各方应认真分析,并决策下一步操作。

8.2.3 本条为强制性条文。提升结构一般为高耸结构,对于这类结构,一般采用在塔架顶部加缆风绳的方式保证其侧向稳定。缆风绳需施加一定的预拉力,在各个方向应该是平衡的体系。对缆风绳进行转换的过程中,缆风体系将失去平衡,其余未被转换的缆风将给塔架顶部一个较大的不平衡力,引起塔架倒塌。历史上曾发生过因转换缆风绳体系导致提升体系倒塌的重大事故,造成了惨重后果。

8.2.4 当被提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,对被提升结构进行固定,对提升支承结构进行卸载。

8.3 提升检测

8.3.1 应力应变检测:首次使用或提升重量接近额定承载能力的

提升支承结构门型支架应做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。

8.4 提升支承结构的卸载和拆除

8.4.1 当门型支架采用临时缆风加固时,临时缆风绳的架设应在被提升结构拆除工作之前完成。