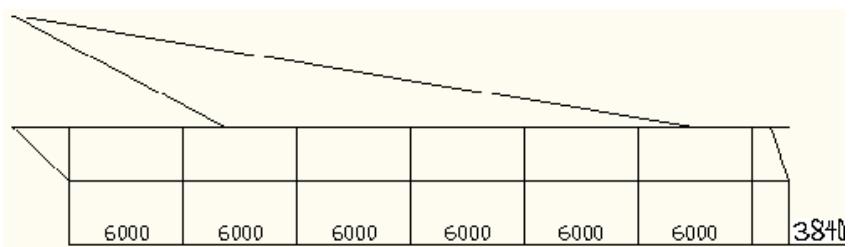
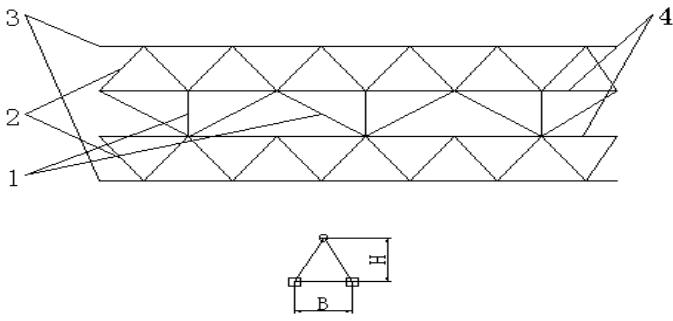


设计项目	计算与说明	结果
前言 概述	<h2>第1章 前言</h2> <h3>1.1 概述</h3> <p>塔式起重机是我们建筑机械的关键设备，在建筑施工中起着重要作用，我们只用了五十年时间走完了国外发达国家上百年塔机发展的路程，如今已达到发达国家九十年代末期水平并跻身于当代国际市场。</p>	
发展趋势	<p>全套图纸，加 153893706</p> <p>QTZ40 型塔式起重机简称 QTZ40 型塔机，是一种结构合理，性能比较优异的产品，比较国内同规格同类型的塔机具有更多的优点，能够满足高层建筑施工的需要，可用于建筑材料和预制构件的吊运和安装，并能在市内狭窄地区和丘陵地带建筑施工。高层建筑施工中，它的幅度利用率比其他类型起重机高，其幅度利用率可达全幅度的 80%。</p> <p>QTZ40 型塔式起重机是 400kN · m 上回转自升式塔机。上回转自升塔式起重机是我国目前建筑工程中使用最广泛的塔机，几乎是万能塔机。它的最大特点是可以架得很高，所以所有的高层和超高层建筑、桥梁工程、电力工程，都可以用它去完成。这种塔式起重机适应性很强，所以市场需求很大。</p> <h3>1.2 发展趋势</h3>	

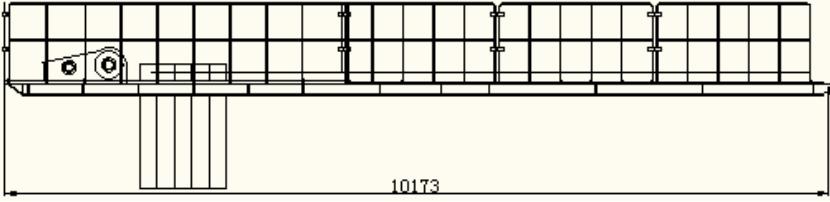
设计项目	计算与说明	结果
确定总体设计方案	<p>塔式起重机是在第二次世界大战后才真正获得发展的。在六十年代，由于高层、超高层建筑的发展，广泛使用了内部爬升式和外部附着式塔式起重机。并在工作机构中采用了比较先进的技术，如可控硅调速、涡流制动器等。进入七十年代后，它的服务对象更为广泛。因此，幅度、起重量和起升高度均有了显著的提高。</p> <p>就工程起重机而言，今后的发展主要表现在以下几个方面：①整机性能：由于先进技术和材料的应用，同种型号的产品，整机重量要轻 20%左右；②高性能、高可靠的配套件，选择余地大、适应性好，性能得到充分发挥；③电液比例控制系统和智能控制显示系统的推广应用；④操作更方便、舒适、安全，保护装置更加完善；⑤向吊重量大、起升高度、幅度更大的大吨位方向发展。</p>	
塔机金属结构	<h2>第 2 章 总体设计</h2> <h3>2.1 概述</h3> <p>总体设计是毕业设计中至关重要的一个环节，它是后续设计的基础和框架。只有在做好总体设计的前提下，才能更好的完成设计。它是对满足塔机技术参数及形式的总的构想，总体设计的成败关系到塔机的经济技术指标，直接决定了塔机设计的成败。</p>	
塔顶	<p>总体设计指导各个部件和各个机构的设计进行，一般由总工程师负责设计。在接受设计任务以后，应进行深入细致的调查研究，收集国内外的同类机械的有关资料，了解当前的国内外塔机的使用、生产、设计和科研的情况，并进行分析比较，制定总的设计原则。设计原则应当保证所设计的机型达到国家有关标准的同时，力求结构合理，技术先进，经济性好，工艺简单，工作可靠。</p> <h3>2.2 确定总体设计方案</h3> <p>QTZ40 塔式起重机是上回转液压自升式起重机。尽管其设计型号有各种各样，但其基本结构大体相同。整台的上回转塔机主要由金属结构，工作机构，液压顶升系统，电器控制系统及安全保护装置等五大部分组成。</p> <h4>2.2.1 金属结构</h4>	

设计项目	计算与说明	结果
吊臂 构造型式	<p>塔式起重机金属结构部分由塔顶，吊臂，平衡臂，上、下支座，塔身，转台等主要部件组成。对于特殊的塔式起重机，由于构造上的差异，个别部件也会有所增减。金属结构是塔式起重机的骨架，承受塔机的自重载荷及工作时的各种外载荷，是塔式起重机的重要组成部分，其重量通常约占整机重量的一半以上，因此金属结构设计合理与否对减轻起重机自重，提高起重性能，节约钢材以及提高起重机的可靠性等都有重要意义。</p> <p>1. 塔顶</p> <p>自升塔式起重机塔身向上延伸的顶端是塔顶，又称塔帽或塔尖。其功能是承受臂架拉绳及平衡臂拉绳传来的上部载荷，并通过回转塔架、转台、承座等的结构部件或直接通过转台传递给塔身结构。</p> <p>自升式塔机的塔顶有直立截锥柱式、前倾或后倾截锥柱式、人字架式及斜撑式等形式。截锥柱式塔尖实质上是一个转柱，由于构造上的一些原因，底部断面尺寸要比塔身断面尺寸为小，其主弦杆可视需要选用实心圆钢，厚壁无缝钢管或不等边角钢拼焊的矩形钢管。人字架式塔尖部件由一个平面型钢焊接桁架和两根定位系杆组成。而斜撑式塔尖则由一个平面型钢焊接桁架和两根定位系杆组成。这两种型式塔尖的共同特点是构造简单自重轻，加工容易，存放方便，拆卸运输便利。</p> <p>塔顶高度与起重臂架承载能力有密切关系，一般取为臂架长度的 $1/7-1/10$，长臂架应配用较高的塔尖。但是塔尖高度超过一定极限时，弦杆应力下降效果便不显著，过分加高塔尖高度不仅导致塔尖自重加大，而且会增加安装困难需要换用起重能力更大的辅助吊机。因此，设计时，应权衡各方面的条件选择适当的塔顶高度。</p> <p>本设计采用前倾截锥柱式塔顶，断面尺寸为 $1.36m \times 1.36m$。腹杆采用圆钢管。塔顶高 6.115 米。塔冒用无缝钢管焊接而成，顶部设有连接平衡臂拉杆和吊臂拉杆的铰销吊耳，以及穿绕起升钢丝绳的定滑轮，顶部应装有安全灯和避雷针。其结构如图 2-1 所示：</p>	采用前倾 截锥柱式 塔顶

设计项目	计算与说明	结果
分节问题	<p>图 2-1 塔顶结构图</p> <p>2. 起重臂</p> <p>1) 构造型式</p> <p>塔式起重机的起重臂简称臂架或吊臂，按构造型式可分为：小车变幅水平臂架；俯仰变幅臂架，简称动臂；伸缩式小车变幅臂架；折曲式臂架。</p> <p>小车变幅水平臂架，简称小车臂架，是一种承受压弯作用的水平臂架，是各式塔机广泛采用的一种吊臂。其优点是：吊臂可借助变幅小车沿臂架全长进行水平位移，并能平稳准确地进行安装就位。因此此次设计采用小车变幅水平臂架。</p> <p>小车臂架可概分为三种不同类型：单吊点小车臂架，双吊点小车臂架和起重机与平衡臂架连成一体的锤头式小车臂架。单吊点小车变幅臂架是静定结构，而双吊点小车变幅臂架则是超静定结构。幅度在 40m 以下的小车臂架大都采用单吊点式构造；双吊点小车变幅臂架结构一般幅度都大于 50m。双吊点小车变幅臂架结构自重轻，据分析与同等起重性能的单吊点小车变幅臂架相比，自重均可减轻 5%-10%。小车变幅臂架拉索吊点可以设在下弦处，也可设在上弦处，现今通用小车变幅臂架多是上弦吊点，正三角形截面臂架。这种臂架的下弦杆上平面均用作小车运行轨道。</p> <p>2) 分节问题</p> <p>臂架型式的选定及构造细部处理取决于塔机作业特点，使用范围以及承载能力等因素，设计时，应通盘考虑作出最佳选择，首先要解决好分节问题。</p>	<p>采用小车变幅水平臂架</p> <p>选用标准节长度为 6m，另加上 3.84m 长的连接节</p>
截面形式及截面尺寸		

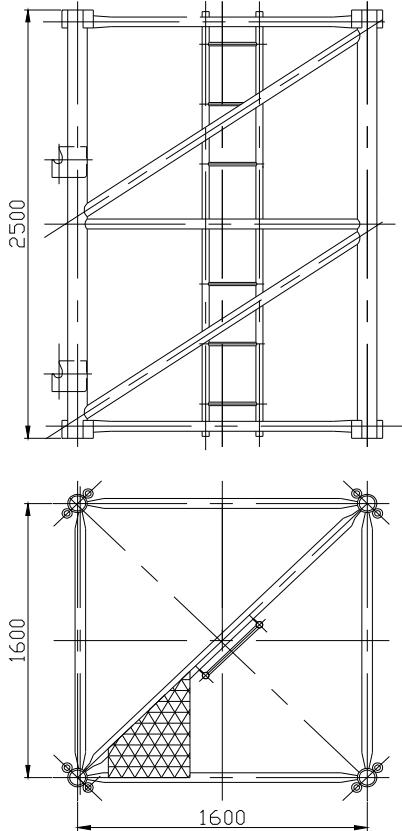
设计项目	计算与说明	结果
度	<p>小车臂架常用的标准节间长度有 6、7、8、10、12m 五种。为便于组合成若干不同长度的臂架，除标准节间外，一般都配设 1~2 个 3~5m 长的延接节，一个根部节，一个首部节和端头节。端头节构造应当简单轻巧，配有小车牵引绳换向滑轮、起升绳端头固定装置。此端头节长度不计入臂架总长，但可与任一标准节间配装，形成一个完整的起重臂。本次设计选用标准节长度为 6m，另加上 3.84m 长的延接节。其示意图见图 2-2：</p>	
腹杆布置和杆件材料选用	 <p>图 2-2 臂架分节</p> <p>3) 截面形式及截面尺度</p> <p>塔机臂架的截面形式有三种：正三角形截面、倒三角形截面和矩形截面。小车变幅水平臂架大都采用正三角形截面，本次设计的 QTZ40 采用正三角形截面。选用这种方式的优点是：节省钢材，减轻重量，从而节约成本。其尺寸截面形式如图 2-3 所示：</p>  <p>图 2-3 臂架截面及其腹杆布置</p> <p>1-水平腹杆 2-侧腹杆 3-上弦杆 4-下弦杆</p> <p>臂架 1-7 节：B=1020mm H=800mm</p> <p>臂架截面尺寸与臂架承载能力、臂架构造、塔顶高度及拉杆结构等因素有关。截面高度主要受最大起重量和拉杆吊点外悬臂长度影响最大。截面宽度主要与臂架全长有关。设计臂架长度为 40m，共七节。</p>	

设计项目	计算与说明	结果
吊点的选择与构造	<p>4) 腹杆布置和杆件材料选用</p> <p>矩形截面臂架的腹杆体系宜采用人字式布置方式,而三角形截面起重臂的腹杆体系既可采用人字式布置方式,也可采用顺斜置式。此两种布置方式各有特点。</p> <p>当采用顺斜置式式,焊缝长度较短、质量不易保证。焊接变形不均匀,节点刚度较差,且不便于布置小车变幅机构。因此本设计选用人字式布置方式。其优点在于,这种布置方式应用区段不受限制,焊缝长度较长,强度易于保证,焊接变形较均匀,节点刚度较好,便于布置小车变幅机构。</p>	上弦选用 20号无缝 圆钢管、下 弦选用角 钢
平衡臂和 平衡重	<p>臂架杆件材料有多种选择可能性。一般情况下,上吊点小车变幅臂架的上弦以选用 Q345 实心钢为宜,但造价要高。因此本设计选用 20 号无缝圆钢管。其特点是:惯性矩、长细比要小,抗失稳能力高。下弦采用等边角钢对焊的箱型截面杆件,经济实用,具有良好的抗压性能。因此上弦杆选用 $\varnothing 83 \times 6$、$\varnothing 89 \times 7$、$\varnothing 108 \times 8$,下弦选用的角钢型号为: $\angle 63 \times 5$、$\angle 70 \times 6$,臂间由销轴连接。</p>	采用双吊 点
平衡臂的 结构型式	<p>5) 吊点的选择与构造</p> <p>吊点可分为单吊点和双吊点。其设计原则是:臂架长度小于 50m,对最大起吊量并无特大要求,一般采用单吊点结构。若臂架总长在 50m 以上,或对跨中附近最大起吊量有特大要求应采用双吊点。采用单吊点结构时,吊点可以设在上弦或下弦。吊点以左可看作简支梁,以右可看作悬臂梁。在设计中采用双吊点。</p> <p>3. 平衡臂与平衡重</p> <p>QTZ40 塔式起重机是上回转塔机。上回转塔机均需配设平衡臂,其功能是支撑平衡重(或称配重),用以构成设计上所需要的作用方向与起重大矩方向相反的平衡力矩,在小车变幅水平臂架自升式塔机中,平衡臂也是延伸了的转台,除平衡重外,还常在其尾端装设起升机构。起升机构之所以同平衡重一起安放在平衡臂尾端,一则可发挥部分配重作用,二则增大钢丝绳卷筒与塔尖导轮间的距离,以利钢丝绳的排绕并避免发生乱绳现象。</p> <p>1) 平衡臂的结构型式</p>	

设计项目	计算与说明	结果
平衡重	<p>平衡臂的构造设计必须保证所要求的平衡力矩得到满足。短平衡臂的优点是：便于保证塔机在狭窄的空间里进行安装架设和拆卸，适合在城市建筑密集地区承担施工任务的塔机使用，不易受邻近建筑物的干扰，结构自重较轻。长平衡臂的主要优点是：可以适当减少平衡重的用量，相应减少塔身上部的垂直载荷。平衡重与平衡臂的长度成反比关系，而平衡臂长度与起重臂之间又存在一定关系，因此，平衡臂的合理设计可节约材料，降低整机造价。</p> <p>常用平衡臂有以下三种结构型式：</p> <p>(1) 平面框架式平衡臂，由两根槽钢纵梁或由槽钢焊成的箱形断面组合梁和系杆构成。在框架的上平面铺有走道板，走道板两旁设有防护栏杆。其特点是结构简单，加工容易。</p> <p>(2) 三角形断面桁架式平衡臂，又分为正三角形断面和倒三角形断面两种形式。此类平衡臂的构造与平面框架式平衡臂结构构造相似，但较为轻巧，适用于长度较大的平衡臂。从实用上来看，正三角形断面桁架式平衡臂似不如倒三角形断面桁架式平衡臂。</p> <p>(3) 矩形断面格桁结构平衡臂，其特点是根部与座在转台上的回转塔架联接成一体，适用于小车变幅水平臂架特长的超重型自升式塔机。</p> <p>平衡臂结构选用型式的原则是：自重比较轻；加工制造简单，造型美观与起重臂匹配得体。故此次设计选用平面框架式平衡臂。它由两根槽钢纵梁或由槽钢焊成的箱形断面组合梁和系杆构成。在框架的上平面铺有走道板，走道板两旁设有防护栏杆。这种平衡臂的优点是结构简单，加工容易。平衡臂的长度是 11.67m。如图 2-4 所示：</p>  <p>图 2-4 平衡臂</p>	<p>采用平面框架式平衡臂</p> <p>采用固定式平衡重</p> <p>采用钢筋混凝土式</p>

设计项目	计算与说明	结果
拉杆	2) 平衡重 平衡重属于平衡臂系统的组成部分，它的用量甚是可观，轻型塔机一般至少要用 3~4t，重型自升式塔机要装有近 30t 平衡重。因此在设计平衡重过程中，应对平衡重的选材、构造以及安装进行认真考虑并作妥善安排。	平衡重
上、下支座	平衡重一般可分为固定式和活动式两种。活动平衡重主要用于自升式塔机，其特点是可以移动，易于使塔身上部作用力矩处于平衡状态，便于进行顶升接高作业。但是，构造复杂，机加工量大，造价较高。故国内大部分塔机均采用固定式平衡重。 平衡重可用铸造或钢筋混凝土制成。铸铁平衡重的构造较复杂，制造难度大，加工费用贵，但体形尺寸较小，迎风面积较小，有利于减少风载荷的不利影响。钢筋混凝土平衡重的主要缺点是体积大，迎风面积大，对塔身结构及稳定性均有不利影响。但是构造简单，预制生产容易，可就地浇注，并且不怕风吹雨淋，便于推广。 因此，本次设计的塔式起重机采用钢筋混凝土式平衡重。	
塔身	4. 拉杆 QTZ40 塔式起重机采用双吊点式拉杆结构，拉杆由焊件组成，其材料为 Q345，拉杆节之间用过渡节连接，由受力特性计算出其拉杆点作为位置，其中在平衡臂和吊臂上设有拉板和销轴用来连接用。	
塔身结构 断面型式	5. 上、下支座 上支座上部分别与塔顶、起重臂、平衡臂连接，下部用高强螺栓与回转支承相连接在支承座两侧安装有回转机构，它下面的小齿轮准确地与回转支承外齿圈啮合，另一面设有限位开关。 下支座上部用高强螺栓与回转支承连接、支承上部结构，下部四角平面用 4 个销轴和 8 个 M30 的高强螺栓分别与爬升架和塔身连接。 6. 塔身 塔身结构也称塔架，是塔机结构的主体，支撑着塔机上部结构的重量和承受载荷，并将这些载荷通过塔身传至底架	采用方形 断面结构 设计的尺 寸为 1.6m × 1.6m 选用标准 节长度为

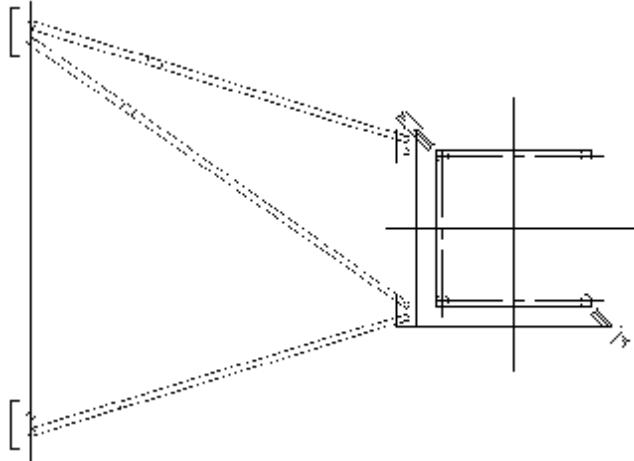
设计项目	计算与说明	结果
塔身结构 腹杆系统	<p>或直接传递给地基基础。</p> <p>1) 塔身结构断面型式</p> <p>塔身结构断面分为圆形断面、三角形断面及方形断面三类。圆形断面和三角形断面现在基本上不用，现今国内外生产的塔机均采用方形断面结构。因此本设计采用的也是方形断面结构。按塔身结构主弦杆材料的不同，这类方形断面塔架可分为：角钢焊接格桁架结构塔身，主弦杆为角钢辅以加强筋的矩形断面格桁架结构；角钢拼焊方钢管格桁架结构塔身及无缝钢管焊接格桁架结构塔身。由型钢或钢管焊成的空间桁架，其成本比较低，且能满足工作需要。因此主弦杆采用由等边角钢拼焊成的方管。这种样式具有选材方便、灵活的优点。常用的矩形尺寸有：1.2m×1.2m, 1.3m×1.3m, 1.4m×1.4m, 1.5m×1.5m, 1.6m×1.6m, 1.7m×1.7m, 1.8m×1.8m, 2.0m×2.0m。此次设计的尺寸为1.6m×1.6m。根据承载能力的不同，同一种截面尺寸，其主弦杆又有两种不同截面之分。主弦杆截面较大的标准节用于下部塔身，主弦杆截面较小的标准节则用于上部塔身。塔身标准节的长度有2.5m, 3m, 3.33m, 4.5m, 5m, 6m, 10m等多种规格，常用的尺寸是2.5m和3m。选用标准节长度为2.5m。</p>	2.5m
标准节间的联接方式	<p>2) 塔身结构腹杆系统</p> <p>塔身结构的腹杆系统采用角钢或无缝钢管制成，腹杆可焊装与角钢主弦杆内侧或焊装于角钢主弦杆外侧。斜腹杆和水平腹杆可采用同一规格，腹杆有三角形，K字型等多种布置形式。腹杆不同会影响塔身的扭转刚度和弹性稳定。</p> <p>本次设计腹杆采用三角形布置。适合于中等起重能力塔身结构采用的腹杆布置方式。</p>	采用三角形
塔身结构设计	<p>3) 标准节间的联接方式</p> <p>塔身标准节的联接方式有：盖板螺栓联接，套柱螺栓联接，承插销轴联接和瓦套法兰联接。盖板螺栓联接和套柱螺栓联接应用最广。</p> <p>本次设计的OTZ40塔机采用套柱螺栓联接，其特点是：套柱采用企口定位，螺栓受拉，用低合金结构钢制作。适用于方钢管和角钢主弦杆塔身标准节的联接，虽加工工艺要求</p>	采用套柱螺栓联接 采用整体式塔身标准节

设计项目	计算与说明	结果
塔身的接	<p>比较复杂，但安装速度比较快。</p> <p>4) 塔身结构设计</p> <p>(1) 轻、中型自升塔机和内爬式塔机宜采用整体式塔身标准节。附着式自升式塔机和起升高度大的轨道式以及独立式自升塔机宜采用拼装式塔身标准节。拼装式塔身标准节的加工精度要求比较高，制作难度比较大，零件多和拼装麻烦，但拼装式塔身标准节的优越性不容忽视：一是堆放储存占地小；二是装卸容易；三是运输费用便宜，特别是长途陆运和远洋海运，由于利用集装箱装运，其抗锈蚀和节约运费的效果极为显著。</p> <p>QTZ40 属于中型自升式塔机，综合各种型式的特点，塔身结构采用整体式塔身标准节，如图 2-5 所示：</p>  <p>图 2-5 塔身结构示意图</p> <p>(2) 为减轻塔身的自重，充分发挥钢材的承载能力，并适应发展组合制式塔机的需要，对于达到 40m 起升高度的塔机塔身宜采用两种不同规格的塔身标准节，而起升高度达</p>	

设计项目	计算与说明	结果
高问题	<p>到 60m 的塔机塔身宜采用 3 种不同规格的塔身标准节。除伸缩式塔身结构和中央顶升式自升塔机的内塔外，塔身结构上、下的外形尺寸均保持不变，但下部塔身结构的主弦杆截面则须予以加大。</p>	
转台装置	<p>(3) 塔身的主弦杆可以是角钢、角钢拼焊方钢管、无缝钢管式实心圆钢，取决于塔身的起重能力、供货条件、经济效益以及开发系列产品的规划和需要。</p> <p>(4) 塔身节内必须设置爬梯，以便司机及机工可以上下。在设计塔身标准节，特别是在设计拼装式塔身标准节时，要处理好爬梯与塔身的关系，以保证使用安全及安装便利。爬梯宽度不宜小于 40mm，梯级间距应上下相等，并应不大于 30mm。当爬梯高度大于 5m 时，应从高 2m 处开始装设直径为 650~800mm 的安全护圈，相邻两护圈间距为 40mm.。当爬梯高度超过 10m 时，爬梯应分段转接，在转接处加一休息平台。</p>	
回转支承	<p>对于高档的塔机，可根据用户要求增设电梯，以节省司机的体力，充分体现人机工程学的应用。</p> <p>5) 塔身的接高问题</p> <p>在遇到塔身需要接高问题时，应按下述两种不同情况分别处理：</p> <p>(1) 在额定最大自由高度范围内，根据工程对象需要增加塔身标准节，使低塔机变为高塔机。</p> <p>(2) 根据施工需要，增加塔身标准节，使塔身高度略超越固定式塔机的规定最大自由高度。</p> <p>在进行具体接高操作之前，还应制定相关安全操作规程，以保证拆装作业的安全顺利进行。</p> <p>7. 转台装置</p> <p>转台是一个直接坐在回转支承（转盘）上的承上启下的支撑结构。</p> <p>上回转自升式塔机的转台多采用型钢和钢板组焊成的工字型断面环梁结构，它支撑着塔顶结构和回转塔架，并通过回转支承及承座将上部载荷下传给塔身结构。</p> <p>8. 回转支承装置</p> <p>回转支承简称转盘，是塔式起重机的重要部件，由齿圈、</p>	

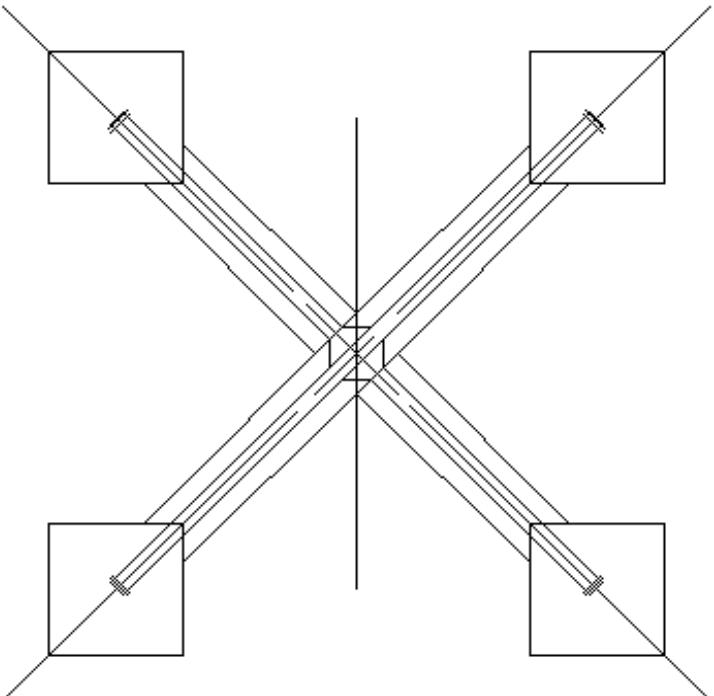
设计项目	计算与说明	结果
底架	<p>座圈、滚动体、隔离块、连接螺栓及密封条等组成。按滚动体的不同，回转支承可分为两大类：一是球式回转支承，另一类是滚柱式回转支承。</p> <p>1) 柱式回转支承</p> <p>柱式回转支承又可分为：转柱式和定柱式两类。定柱式回转支承结构简单，制造方便，起重回转部分转动惯量小，自重和驱动功率小，能使起重机重心降低。转柱式结构简单，制造方便，适用于起升高度和工作幅度以及起重量较大的塔机。</p> <p>2) 滚动轴承式回转支承</p> <p>滚动轴承式回转支承装置按滚动体形状和排列方式可分为：单排四点接触球式回转支承、双排球式回转支承、单排交叉滚柱式回转支承、三排滚柱式回转支承。滚动轴承式回转支承装置结构紧凑，可同时承受垂直力、水平力和倾覆力矩是目前应用最广的回转支承装置。为保证轴承装置正常工作，对固定轴承座圈的机架要求有足够的刚度。滚动轴承式回转支承，回转部分固定，在大轴承的回转座圈上，而大轴承的固定座圈则与塔身（底架或门座）的顶面相固结。</p> <p>设计选用球式回转支承，其优点是：刚性好，变形比较小，对承座结构要求较低。钢球为纯滚动，摩擦阻力小，功率损失小。</p> <p>根据构造不同和滚动体使用数量的多少，回转支承又分为单排四点接触球式回转支承、双排球式回转支承、单排交叉滚柱式回转支承和三排滚柱式回转支承。</p> <p>设计采用单排四点接触球式回转支承，它是由一个座圈和齿圈组成，结构紧凑，重量轻，钢球与圆弧滚道四点接触，能同时承受轴向力、径向力和倾翻力矩。</p> <p>9. 底架</p>	<p>选用球式回转支承 0·11·45·1400</p>
附着装置	<p>塔机底架构造随着塔身结构特点（转柱式塔身或定柱式塔身），起重机的走形方式（轨道式、轮胎式或履带式）及爬升方式（内爬式或外附着自升式）而异。</p> <p>小车变幅水平臂架自升塔机采用的底架结构可分为：十字型底架，带撑杆的十字型底架，带撑杆的井字型底架，带</p>	<p>采用带撑杆的 x 底架</p>

设计项目	计算与说明	结果
套架与液压顶升机构 爬升架	<p>撑杆的水平框架式杆件拼装底架和塔身偏置式底架。</p> <p>本次设计采用的是带撑杆的 X 底架。底架用工字钢焊接成框架结构，在四角安装有四条辐射状可拆卸支腿，该支腿用槽钢焊接而成，用螺栓与框架结构连接，底架通过 20 个预埋地脚螺栓与基础固定，螺栓为 M36，底架外轮廓尺寸约为：长×宽×高=4600×4600×250 mm。</p> <p>撑杆的作用是使塔身基础节与底架的四角相连，形成一个空间结构，增加塔机整体稳定性。由于塔身撑杆的设置，塔身危险断面由塔身根部向上移到撑杆的上支承面，同时塔身根部平面对底架的作用减小，从而改善底架的受力情况。</p> <p>底架安装时，将底架拼装组合，放置于混凝土基础上，对正四角的放射形支腿地脚螺栓，使底架垫平牢实，要求校平，平面度小于 1/1000，拧紧 20 个 M36 的地脚螺栓。</p> <p>10. 附着装置</p> <p>附着装置由一套附着框架，四套顶杆和三根撑杆组成，通过它们将起重机塔身的中间节段锚固在建筑物上，以增加塔身的刚度和整体稳定性。撑杆的长度可以调整，以满足塔身中心线到建筑物的距离限制。</p> <p>塔身附着装置是用角钢对焊组合成的附着框架，由螺栓联接成框形，包箍于塔身标准的外表面，在附着框架下方的塔身主弦杆上分别固定一个小抱箍，以支持附着框架的重量，再由三根可伸缩调整的附着撑杆，通过销轴把该框架与建筑物连接，使塔机在规定高度与建筑物附着。附着装置如图 2-6 所示：</p>	

设计项目	计算与说明	结果
<p>顶升机构</p> <p>套架</p> <p>液压顶升</p>	 <p>2-6 附着装置</p> <p>11. 套架与液压顶升机构</p> <p>1) 爬升架</p> <p>爬升架主要由套架, 平台, 液压顶升装置及标准节引进装置等组成。套架是套在塔身标准节外部。套架用无缝钢管焊接而成, 节高 4.94 米, 截面尺寸 2.0×2.0 米²。外侧设有平台和套架爬升导向装置—爬升滚轮。在套架内侧的下方, 还设有支承套架的支块, 当套架上升到规定位置时, 需将此支块连同套架支托于塔身标准节的踏块上。</p> <p>为便于顶升安装的安全需要特设有工作平台, 爬升架内侧沿塔身主弦杆安装 8 个滚轮, 支撑在塔身主弦杆外侧, 在爬升架的横梁上, 焊上两块耳板与液压系统油缸铰接承受油缸的顶升载荷, 爬升架下部有两个杠杆原理操纵的摆动爪, 在液压缸回收活塞以及引进标准节等过程中作为爬升架承托上部结构重量之用。</p> <p>2) 顶升机构</p> <p>顶升机构主要由顶升套架、顶升作业平台和液压顶升装置组成, 用于完成塔身的顶升加节接高工作。</p> <p>3) 套架</p> <p>上回转自升塔机要有顶升套架。整体标准节用外套架。外套架就是套架本体套在塔身的外部。套架本身就是一个空间桁架结构。套架由框架, 平台, 栏杆, 支承踏步块等组成。</p>	<p>采用上顶升加节接高</p>

设计项目	计算与说明	结果
	<p>安装套架时，大窗口应与标准节焊有踏块的方向相反。套架的上端用螺栓与回转下支座的外伸腿相连接，其前方的上半部没有焊腹杆，而是引入门框，因此其弦必须作特殊的加强，以防止侧向局部失稳。门框内装有两根引入导轨，以便与标准节的引入。</p> <p>4) 液压顶升</p> <p>(1) 按顶升接高方式的不同，液压顶升分为上顶升加节接高、中顶升加节接高和下顶升加节接高和下顶升接高三种形式。上顶升加节接高的工艺是由上向下插入标准节，多用于俯仰变幅的动臂自升式塔式起重机。下顶升加节接高的优点：人员在下部操作，安全方便。缺点是：顶升重量大，顶升时锚固装置必须松开。中顶升加节接高的工艺是由塔身一侧引入标准节，可适用于不同形式的臂架，内爬，外附均可，而且顶升时无需松开锚固装置，应用面比较广。</p> <p>本次设计的 QTZ40 塔式起重机采用上顶升加节接高。</p> <p>(2) 按顶升机构的传动方式不同，可分为绳轮顶升机构、链轮顶升机构、条顶升机构、丝杠顶升机构和液压顶升机构等五种。绳轮顶升机构的特点是构造简单，但不平稳。链轮顶升机构与绳轮顶升机构相类似，采用较少。齿条顶升机构在每节外塔架内侧均装有齿条，内塔架外侧底部安装齿轮。齿轮在齿条上滚动，内塔架随之爬升或下降。丝杠爬升机构的丝杠装在内塔架中轴线处，或装在塔身的侧面内外塔架的空隙里。通过丝杠正、反转，完成顶升过程。</p> <p>本次设计的 QTZ40 塔式起重机采用液压顶升机构。液压顶升机构由电动机驱动齿轮油泵，液压油经手动换向阀、平衡阀进入液压缸，使液压缸伸缩，实现塔机上部的爬升和拆卸。其主要优点是构造简单、工作可靠、平稳、安全、操作方便、爬升速度快。本机构另有一套手动操作的爬升吊装装置与顶升液压系统配合工作。液压顶升系统如图 2-7 所示：</p>	采用侧顶式

设计项目	计算与说明	结果
基础	<p>2-7 液压顶升系统</p> <p>1- 电动机 2-联轴器 3-齿轮泵 4-滤油器 5-溢流阀 6-压力表开关 7-压力表 8-手动换向阀 9-油缸 10-平衡阀</p> <p>(3) 顶升液压缸的布置: 顶升接高方式又可分为中央顶升和侧顶升两种。所谓中央顶升, 是指顶升液压缸布置在塔身的中央, 并设上, 下横梁各一个。液压缸上端固定在横梁铰点处。顶升时, 活塞杆外身, 通过下横梁支在下部塔身的托座或相应的腹杆节点上。液压缸的大腔在上, 小腔在下。压力油不断注入液压缸大腔, 小腔中液压油则回入油箱, 从而使液压缸将塔式起重机的上部顶起。所谓侧顶升式, 是将顶升液压油缸设在套架的后侧。顶升时, 压力油不断泵入油缸大腔, 小腔里的液压油则回流入油箱。活塞杆外伸, 通过顶升横梁支撑在焊接于塔身主弦杆上的专用踏步块间距视活塞有效行程而定。一般取 1-1.5m。由于液压缸上端铰接在顶升套架横梁上, 故能随着液压缸活塞杆的渐渐外伸而将塔机上部顶起来。侧顶式的主要优点是: 塔身标准节长度可适当加大, 液压缸行程可以相应缩短, 加工制造比较方便, 成本亦低廉一些。本次设计的 QTZ40 塔式起重机采用侧顶式。</p> <p>12. 基础</p> <p>固定式塔式起重机, 可靠的地基基础是保证塔机安全使用的必备条件。该基础应根据不同地质情况, 严格按照规定</p>	

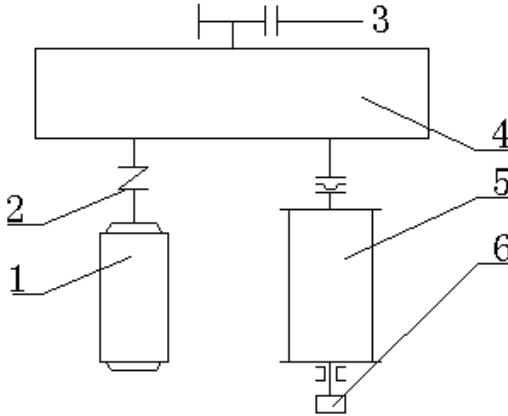
设计项目	计算与说明	结果
	<p>制作。除在坚硬岩石地段可采用锚桩地基（分块基础）外，一般情况下均采用整体钢筋混凝土基础。</p> <p>钢筋混凝土基础有多种形式可供选用。对于有底架的固定自升式塔式起重机，可视工程地质条件，周围环境以及施工现场情况选用 X 形整体基础，四个条块分隔式基础或者四个独立块体式基础。对于无底架的自升式塔式起重机则采用整体式方块基础。如这种塔机必须安装在深基坑近旁，或者塔机安装位置地质条件较差，则应采用钻孔灌注桩承台基础。</p> <p>1) X 形整体基础的形状及平面尺寸大致与塔式起重机 X 形底架相似。塔式起重机的 X 形底架通过预埋地脚螺栓固定在混凝土基础上，此种形式多用于轻型自升式塔式起重机，如图 2-8 所示：</p>  <p style="text-align: right;">选用 X 基础</p> <p>图 2-8 X 形整体基础</p> <p>2) 长条形基础由两条或四条并列平行的钢筋混凝土底梁组成，其功能犹如两条钢筋混凝土的钢轨轨道基础，分别支承底架的四个支座和由底架支座传来的上部荷载。如果塔</p>	

设计项目	计算与说明	结果
工作机构	<p>机安装在混凝土砌块人行道上，或是安装在原有混凝土地面上，均可采用这种钢筋混凝土基础。</p> <p>3) 分块式基础由四个独立的钢筋混凝土块体组成，分别承受由底架结构传来的整机自重及载荷。钢筋混凝土块体构造尺寸视塔机支反力大小基地耐力而定。由于基础仅承受底架传递的垂直力，故可作为中心负荷独立柱基础处理。其优点是：构造比较简单，混凝土及钢筋用量都比较少，造价便宜。</p> <p>4) 无底架固定式自升式塔机的钢筋混凝土基础，必须是整体大块体式大体积混凝土基础。塔机的塔身结构通过塔身基础节、预埋塔身框架或预埋塔身主角钢等固定在钢筋混凝土基础上。</p> <p>由于塔身结构与混凝土基础联固成整体，混凝土基础能发挥承上启下的作用：将塔机上不得载荷全部传给地基。由于整体钢筋混凝土基础的体形尺寸是考虑塔式起重机的最大支反力、地基承载力以及压重的需求而选定的，因而能确保塔机在最不利工况下均可安全工作，不会产生倾翻事故。基础预埋深度根据施工现场地基情况而定，一般塔式起重机埋设深度为 1-1.5 米，但应注意须将基础整体埋住。</p> <p>本次设计的 QTZ40 塔式起重机，选用的混凝土基础为 x 基础（如图 2-9 所示）。混凝土外轮廓尺寸约为：长×宽×高 = $7000 \times 7000 \times 1100$ mm（长×宽×高），总混凝土方量约 11 立方米，基础重量约 25 吨，承载能力为 $10\text{N}/\text{cm}^2$。基础用钢筋混凝土捣制，混凝土标号为 300 号，在基础内预埋有地脚螺栓、分布钢筋和受力钢筋等。基础的制作应严格按图施工。基础的土质应坚固牢实，要求承载能力大于 0.15Mpa，混凝土基础的深度 $> 1100\text{mm}$。</p>	

设计项目	计算与说明	结果
起升机构		

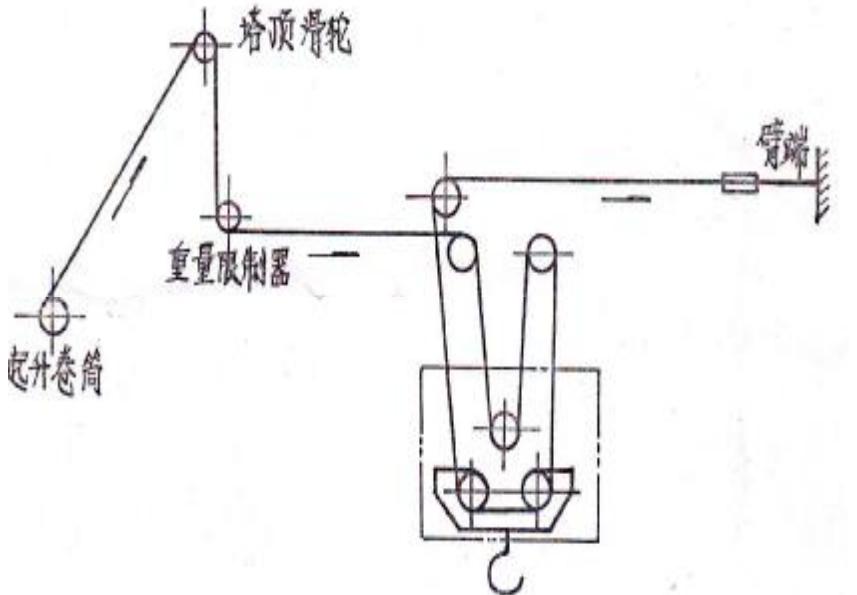
图 2-9 塔机设计基础

2.2.2 工作机构

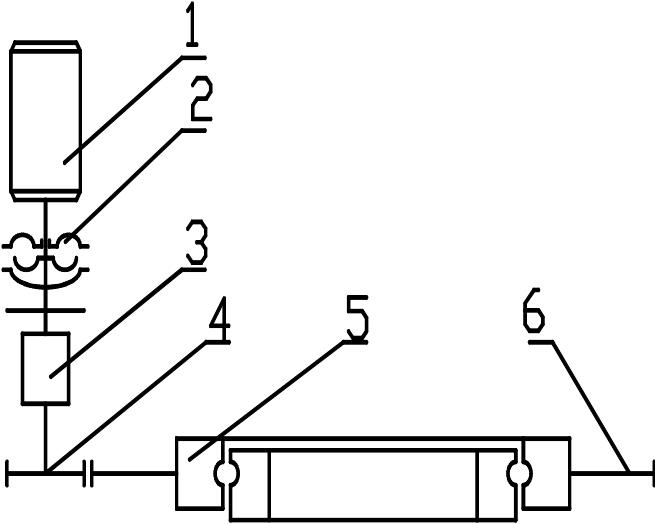
设计项目	计算与说明	结果
起升机构的传动方式	<p>工作机构是为实现起重机不同的运动要求而设置的。对于自升式塔式起重机，主要包括起升机构，回转机构，变幅机构和顶升机构。依靠这些机构完成起吊重物、运送重物到指定地点并安装就位三项运动在内的吊装作业。</p> <p>为了提高塔机生产率，加快吊装施工进度，无论是起升机构、变幅机构、回转机构均应具备较高的工作速度，并要求从静止到全速运行，或从全速运行转入静停的全过程，都能平缓进行，避免产生急剧冲动，对金属结构产生破坏性影响。对于高层建筑施工用的塔机来说，由于起升高度大，起重臂长，起重量大，对工作机构调速系统有更高的要求。</p> <p>1. 起升机构</p>	
起升机构的驱动方式	<p>起升机构是塔式起重机使用频繁而又最重要的工作机构。它主要由电动机、减速机、卷筒和制动器、钢丝绳、滑轮组和吊钩等组成。为了提高起重机的工作效率和安全可靠性，要求起升机构具有适合的调速性能。起升机构简图如图 2-10 所示。</p>  <p>2-10 起升机构简图</p> <p>1-三速电机 2-联轴器 3-液力推杆制动器 4-ZQ40 圆柱齿轮减速器 5-卷筒 6-高度限位器</p> <p>根据使用说明书，起升机构由一台三速电动机驱动，电动机型号 YZTD-F225M1-4/8/32, N=15/15/3.7KW, n=1400/700/144r·p·m。通过弹性联轴节与 ZQ40 型圆柱齿轮变速箱驱动起升卷筒，本机构采用液力推杆制动器。起升速度由电控三速电动机实现其“两快一慢”的动作，本机构还备有高度限位装置，避免起升时卷筒发生过卷现象，通过调整高度限位装</p>	采用电力传动

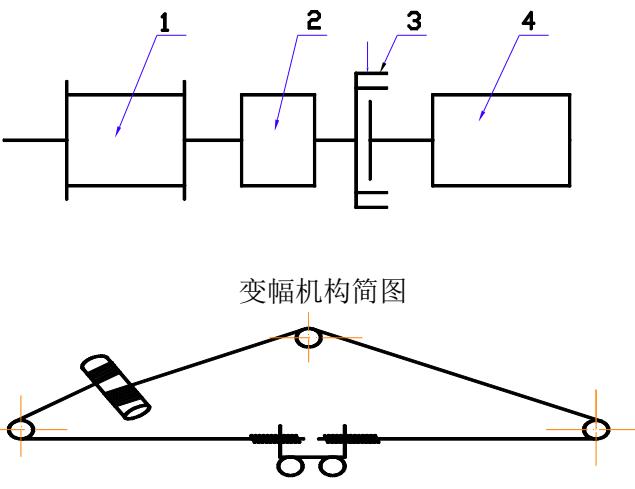
设计项目	计算与说明	结果
起升机构的减速器	<p>器行程开关的碰块的位置，以实现吊钩在最大高度时，起升机构断电，保护高度限位的安全。高度限位器只是一种安全装置，不允许用来作工作装置使用。</p> <p>1) 起升机构的传动方式</p> <p>按照起重机的传动方式不同，起升机构有机械传动，电力-机械传动（简称电力传动），和液压-机械传动（简称液压传动）等形式。</p> <p>(1) 机械传动：其动力是由发动机经机械传动装置传至起升机构起升卷筒，同时也传至其它工作机构，由于集中驱动，为保证各机构独立运动，整机的传动比较复杂。起升机构的调速困难、操作麻烦、但工作可靠。</p> <p>(2) 电力传动：由直流或交流电动机通过减速器带动起升卷筒。直流电动机传动的机械特性适合起升机构工作要求，调速性能好，但直流电的获得较为困难。交流电机传动由于能直接自电网取得电流，结构简单、机组重量轻。</p> <p>(3) 液压传动：有高速液压马达传动和低速大扭矩液压马达传动。前者重量轻、体积小、容积效率高。后者传动零件少，起、制动性能好，但容积效率较低，易影响机构转速，体积与重量较大。</p>	选用多速电机起升机构
起升机构的制动器	<p>交流电机传动由于能直接自电网取得电流，结构简单，机组重量轻，故电力传动在起升机构上被广泛采用。考虑经济性、工作情况、工作效益等，本次设计采用电力传动。</p>	选用圆柱齿轮减速器
滑轮组倍率	<p>2) 起升机构的驱动方式</p> <p>按照起重机的驱动方式不同，可分为以下大类：</p> <p>多速电机起升机构：这种起升机构构造简单，它是由一个多速电动机配上减速器、钢丝绳卷筒组成。其制动器可以是电机本身带的电磁盘式制动器，也可以是独立的液压推杆制动器。</p> <p>绕线转子异步电动机串接可变电阻调速起升机构：这种由绕线转子异步电动机驱动、串接可变电阻调速的起升机构主要用于轻型快装塔机。由于绕线式电动机本身具有良好的启动特性，通过在转子绕组中串接可变电阻，以凸轮控制器进行控制，从而实现平稳启动和均匀调速的要求。</p>	采用块式制动器

设计项目	计算与说明	结果														
回转机构	<p>配用电磁换挡减速器的 3 极笼型电动机驱动起升机构：这种调速起升机构具有较前一类更高的调速性能，由三极笼型电动机、电磁换挡 2 挡减速器、传动系统和钢丝绳卷筒组成。采用这种起升机构，可使调速档数增加一倍，从而使工作速度与吊载更相适应，提高起升机构的生产效率。这种调速起升机构由于具有较好的价格性能比，其应用正日趋普及。</p> <p>本设计选用多速电机起升机构。这种起升机构特点是：结构简单、运行可靠，成本低，维护工作量小，并且可以带载变速。但在变换极速时，速度冲击和电流冲击都比较大，故只适用与小容量的电机。</p> <p>3) 起升机构的减速器</p> <p>起升机构采用的减速器通常有以下几种：圆柱齿轮减速器、涡轮减速器、行星齿轮减速器等。圆柱齿轮减速器效率高，功率范围大，使用普遍，但体积大。蜗轮减速器的尺寸小，传动比大，重量轻，但效率低，寿命短。行星齿轮减速器包括摆线针轮行星减速器和少齿差行星减速器，具有结构紧凑、传动比大、重量轻等特点，但价格较贵。比较上述性能，选用圆柱齿轮减速器。</p> <p>4) 起升机构的制动器</p> <p>起升机构的制动器可布置在高速轴上，也可布置在低速轴上。制动器布置在高速轴上时，所需制动力矩小，但制动时冲击较大，通常采用块式制动器。布置在低速轴上的制动器，所需制动力矩较大，通常采用带式制动器或点盘式制动器。本设计将制动器布置在高速轴上，采用块式制动器。</p> <p>5) 滑轮组倍率</p> <p>在起升机构中，滑轮倍率装置是为了使起升机构的起重能力提高一倍，而起升速度会降低一倍，这样起升机构能够更加灵活地满足施工的需要。塔式起重机一般都为单联滑轮组，故倍率 a 等于承载分支数 Z。起升速度有 6 种，见表 2-1：</p> <p style="text-align: center;">表 2-1 起升特性参数表</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">倍率</th> <th colspan="3" style="width: 45%;">a=2</th> <th colspan="3" style="width: 40%;">a=4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>起重量 (t)</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>0.818</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	倍率	a=2			a=4			起重量 (t)	1	2	2	0.818	4	4	
倍率	a=2			a=4												
起重量 (t)	1	2	2	0.818	4	4										

设计项目	计算与说明							结果	
	<table border="1" data-bbox="414 282 1231 368"> <tr> <td data-bbox="414 282 596 368">速度 (m/min)</td><td data-bbox="596 282 683 368">68</td><td data-bbox="683 282 771 368">34</td><td data-bbox="771 282 858 368">6.5</td><td data-bbox="858 282 961 368">34</td><td data-bbox="961 282 1049 368">17</td><td data-bbox="1049 282 1231 368">3.3</td></tr> </table>	速度 (m/min)	68	34	6.5	34	17	3.3	
速度 (m/min)	68	34	6.5	34	17	3.3			
<p>四倍率与二倍率转化方便、快捷，起升机构钢丝绳缠绕示意图及倍率转换如图 2-11 所示：</p>									
									
<p>图 2-11 起升机构钢丝绳缠绕示意图 1-起升卷筒 2-塔顶滑轮 3-起重量限制器滑轮 4-载重小车 5-臂端固定点 6-上滑轮 7-吊钩滑轮组</p>							回转机构 采用单回 转		
<p>变换倍率的方法如下：将上滑轮 6 用销轴与吊钩滑轮组 7 的两滑轮的杆交点连接起来，此时即为四倍率状态；拔出销子，上滑轮 6 上升到载重小车 4 处固定后，就变为二倍率状态。</p>									
<h2>2. 回转机构</h2>									
<p>塔机是靠起重臂回转来保障其工作覆盖面的。回转运动的产生是通过上、下回转支座分别装在回转支承的内外圈上并由回转机构驱动小齿轮。小齿轮与回转支承的大齿圈啮合，带动回转上支座相对于下支座运动。</p>									
<p>回转机构是重负荷工作机构，不仅要附带很重的吊载和臂架等结构部件转动，而且要克服很大的迎风阻力。这些均是影响回转机构设计及电动机功率选择的因素。</p>									
<p>目前采用的回转机构有以下几种：</p>									
<p>1) 电动机——液力耦合器——减速器——小齿轮回转</p>									

设计项目	计算与说明	结果
变幅机构	<p>机构</p> <p>这种回转机构呈“1”字型立式安装，由于中间装有液力耦合器，可减缓电机启动时的速度冲击，因此运动比较平稳。但靠电机反接制动，特别在就位时，只能靠操作人员“点动”。特点是：结构简单，运行可靠，造价相对较低，但调速性能不好。</p> <p>2) 带涡流制动器的力矩电机——行星减速机——小齿轮回转机构</p> <p>这种机构在启动和减速时，引入了涡流制动器，使之达到起、制动平稳。但造价较高。</p> <p>3) 变频调速回转机构</p> <p>该机构由变频调速电机（鼠笼型）——行星减速机——小齿轮组成。通过变频器调整电源频率，从而改变电机转速，结构最为简单，但目前尚无回转机构专用变频器。</p> <p>4) 由多档速度的绕线转子异步电动机——液力耦合器——行星减速器——电磁片式制动器的回转机构</p> <p>这是一种较好的回转机构，能保证力的传递平稳而无磨损。其对风荷调控作用在于风载转矩增大超越限度时，电动机接电后，制动器便首先转动，从而使塔机免去不必要的倒转，风停止后，制动器又会立即松开。当工作班结束后，塔机非作业时，通过随风转电控或机械操作装置使制动闸松开，令塔机犹若一座风向标可随风转动，但不至于被巨风强吹扭毁。</p> <p>考虑在满足使用要求条件下，降低成本，本次设计的 QTZ40 型号塔式起重机回转机构选用第一种结构型式。回转机构由一台双速电动机驱动，电动机型号 YD132M - 8/6。经过力偶合器至行星齿轮减速机到主动小齿轮，再驱动回转支承大齿轮。本机构由于采用了液力偶合器联结，使其运转平稳，冲击惯性小，进而改善了塔机的工作状况。回转机构工作原理见图 2-12。</p>	采用水平臂小车变幅

设计项目	计算与说明	结果
安全装置	 <p data-bbox="695 866 958 900">图 2-12 回转机构简图</p> <p data-bbox="488 907 1112 1028"> 1-双速电动机 2-液力偶合器 3-Xx4-100 型行星齿轮减速器 4-驱动小齿轮 5-单排四点接触球式回转支承 6-回转大齿轮 </p> <p data-bbox="461 1064 647 1098">3. 变幅机构</p> <p data-bbox="403 1114 1250 1260">变幅机构是实现改变幅度的工作机构，用来扩大起重机的工作范围，提高起重机的生产率。变幅机构由电动机、减速器、卷筒和制动器组成。功率和外形尺寸较小。</p> <p data-bbox="403 1275 1250 1365">变幅机构按其构造和不同的变幅方式分为运行小车式和吊臂俯仰式。</p> <p data-bbox="403 1381 1266 1738">此次设计的 QTZ40 型塔式起重机采用水平臂小车变幅，实现小车的水平移动。按照小车沿吊臂弦杆行走方式，小车式变幅机构分为自行式和绳索牵引式两类。前者驱动装置直接装在小车上，依靠车轮与吊臂轨道间的附着力驱动车轮使小车运行。电动滑车沿吊臂弦杆行走就是这类变幅机构的典型例子，由于牵引力受附着力的限制，而且小车自重也比较大，故这种自行式小车变幅机构只适用于小型塔式起重机。</p> <p data-bbox="403 1754 1250 2001">绳索牵引式变幅机构的小车依靠变幅钢丝绳牵引沿吊臂轨道运行，其驱动力不受附着力的限制，故能在略呈倾斜的轨道上行走，又由于驱动装置装在小车外部，从而使小车自重大为减少，所以适用于大幅度，起重量较大的起重机。在塔式起重机中大多采用绳索牵引式变幅机构，这样即可减轻</p>	<p data-bbox="1287 503 1421 646">选用多速 电机变幅 机构</p>

设计项目	计算与说明	结果
限位开关	<p>吊臂载荷，又可以使工作可靠，而且因其驱动装置放在吊臂根部，平衡重也可略为减少。因此选用绳索牵引式小车变幅机构。</p>	
起升高度 限制器	<p>常用变幅机构有以下几种：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 多速电机变幅机构 <p>它是由一个带盘式制动器的双速或三速电机，驱动行星减速器，带动卷筒运动。</p> <p>这种变幅机构结构简单、紧凑，其性能能满足各种臂长需要，但在极速变换时，存在速度和电流冲击。</p> <ol style="list-style-type: none"> 2) 变频调速变幅机构 <p>这是一种新型的无级变速变幅机构。其变速由通用变频器调整电机电源频率，从而改变电机转速。该机构调速过渡非常平稳，无速度冲击。</p>	
起重量限制器	<p>综合比较各自的优缺点，本次设计选用多速电机变幅机构。它是由一台双速电动机（型号为Y_D 112M8/4-B3）制动器的联轴节至摆线针轮减速机驱动卷筒。卷筒两端都固定有变幅钢丝绳的端头，无论变幅小车走到最外端或最里端，卷筒的放绳端都应有3~4圈的钢丝绳未放完。在放出和卷回的两根钢丝绳之间的卷筒上，应保留有3~4圈钢丝绳的光卷筒。当工作一段时间，钢丝绳被拉长而挠度过大时，可用变幅小车的螺栓将钢丝绳收紧。变幅机构及钢丝绳缠绕方式如图2-13所示：</p>	
力矩限制器	 <p>变幅机构简图</p>	

设计项目	计算与说明	结果
	<p>图 2-13 变幅机构及钢丝绳缠绕简图 1-变幅卷筒 2-摆线针轮减速机 3-制动器 4-电动机</p> <p>2.2.3 安全保护装置</p> <p>安全装置是塔式起重机必不可少的关键设备之一，其作用是防止误操作和违章操作，以避免由误操作或违章操作所导致的严重后果。塔式起重机的安全装置可分为限位开关、断电装置、钢丝绳防脱装置、风速计、紧急安全开关、安全保护音响信号。</p>	
风速仪	<p>1. 限位开关</p> <p>又称限位器。其功能主要有以下几种：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 吊钩行程限位开关。用以防止吊钩行程超越极限，以免碰坏起重机臂架结构和出现钢丝绳乱绳现象。 2) 回转限位开关。用于限制塔式起重机的回转角度，防止扭断或损坏电缆。凡是不装设中央集电环的塔式起重机，均应配置回转限位开关。 3) 小车行程限位开关。用以使小车在到达臂架头部或臂架根端之前停车，防止小车越位事故的发生。 	
钢丝绳防脱装置	<p>2. 起升高度限制器</p> <p>为了防止起升卷筒过卷而拉断钢丝绳，工程起重机均装设有起升高度限制器。起升高度限制器组要有重锤式和螺杆式。重锤式高度限制器优点是结构简单，使用方便；缺点是用钢丝绳悬挂，重锤经常与起升钢丝绳摩擦。螺杆式高度限制器常用于小车变幅式塔式起重机，这种限制器装有两个限位开关，还可以做双向控制。</p>	
电气系统	<p>3. 起重量限制器</p> <p>起重量限制器只控制或只显示起重机的极限载荷。在正常的起重机作业中，起升钢丝绳的合力 R 对转轴的力矩 $M_1=R \cdot a$ 与弹簧力 N 对转轴的力矩 $M_2=N \cdot b$ 相平衡，而弹簧的变形量较小，当超载时，弹簧产生较大的变形，撑杆打开限位开关，使起升机构停止工作，起限制超载的作用。</p>	
总体设计	<p>4. 力矩限制器</p> <p>自升塔式起重机上用的力矩限制器大都装设于塔帽结构主弦杆处。它的工作原理为：塔式起重机负载时，塔帽结构</p>	

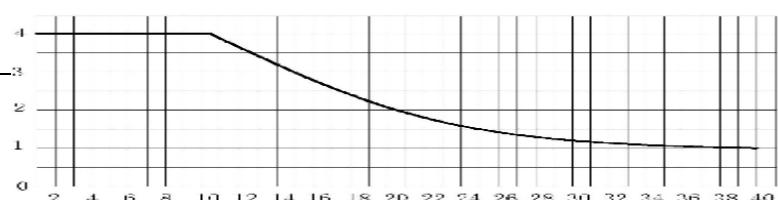
设计项目	计算与说明	结果
原则 整机工作 级别	<p>主弦杆便会因负载而产生变形。当载荷过大超过额定值时，主弦杆产生显著变形。此变形通过放大杆的作用而使螺钉压迫限位开关触头的压键，从而切断起升机构的电源。</p> <p>力矩限制器主要有传感器装置，吊臂长度检测装置，吊臂仰角检测装置，运算系统及显示部分和执行机构所组成。力矩限制器通过检测装置当时的吊臂长度和吊臂对水平面的倾角，并输入到运算系统内，计算出当时的工作幅度，然后根据相应的“幅度-起重量特性曲线”计算出当时允许起升的最大载荷，并以此作为额定值。装设在变幅液压缸上的传感器装置测得反应总力矩的信号，送入运算系统内，经过计算后得出起升载荷的实际值。当实际值大于额定值时，起重机已处于危险工作状态，这时力矩限制器会发出声响和灯光警报。</p>	
机构工作 级别	<p>5. 风速仪</p> <p>风荷是塔式起重机的基本载荷，风荷与风速有关，还会随高度升高而增大。因此，风速仪是一种极其重要的安全预警装置，对每台自升式塔式起重机均是必备之物。</p> <p>风速仪应安装在塔机顶部至吊具最高位置间的不挡风处。</p> <p>6. 钢丝绳防脱装置</p> <p>GB5144《塔式起重机安全规程》规定：滑轮、起升卷筒及动臂式塔机的变幅卷筒应设有钢丝绳防脱装置，该装置与滑轮或卷筒侧板最外缘的间隙不得超过钢丝绳直径的 20% 。</p> <p>除此之外还有许多电子安全装置，用以保证工人工作的安全，使他们在安全、舒适的环境下工作。</p> <p>7. 电气系统</p> <p>电气系统是塔机最重要的组成部分之一。电气系统的设计直接关系到塔机使用的可靠性。</p> <p>塔机的电气系统是由大量的电气元件组成的，从设计角度讲，可以简单地为三个组成部分：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 驱动元件部分，如电动机、电磁联轴节、电磁离合器、电磁制动器、涡流制动器； 2) 控制元件部分，如接触器、中间继电器、延时继电 	<p>工作级别 为 A₄</p> <p>起升机构、 回转机构、 变幅机构、 顶升机构 的工作级 别依次为 M₄、M₃、M₃、 M₁</p>
主要技术 性能参数		

设计项目	计算与说明	结果																																																
平衡臂与平衡重的计算	<p>器、整流器、变压器、电阻器、电容器、断路器、主令控制台、按钮；</p> <p>3) 保护元件部分，如过电流继电器、熔断器、相序保护器、压敏电阻、以及限位器等装置。</p> <p>2.3 总体设计原则</p> <p>2.3.1 整机工作级别</p> <p>塔式起重机的工作级别与它的利用等级（工作频繁程度）和载荷状态（受载荷的轻重和频繁程度）有关。</p> <p>根据使用状态由 GB/T 13752-92 《塔式起重机设计规范》P60 附录 C 表 C1 选取本次设计的 QTZ40 自升式建筑用塔机的利用等级为 U_4（经常轻负荷使用），载荷状态为 Q_2（中一有时起吊额定载荷，一般起吊中等载荷），起升等级为 H_{C2}，工作级别为 A_4，名义载荷谱系数 $K_m=0.25$。</p> <p>2.3.2 机构工作级别</p> <p>根据 GB/T 13752-92 《塔式起重机设计规范》规定：</p> <p>机构的工作级别按机构的利用等级和载荷状态分为六级： $M_1 - M_6$。</p> <p>机构的利用等级按机构工作总时间分为六级： $T_1 - T_6$。机构工作总时间规定为机构在设计寿命期内处于运转的总小时数，它仅作为机构零件的设计基础，而不能视为保用期。</p> <p>机构的载荷状态表明机构受载的轻重程度，按载荷谱系数分为三级： $L_1 - L_3$。</p> <p>由塔式起重机使用手册 P31 表 2-3-1 及 GB/T 13752-92 《塔式起重机设计规范》P77 附录 L 表 L1 取定起升机构、回转机构、变幅机构、顶升机构的工作级别如表 2-2 所示：</p> <p style="text-align: center;">表 2-2 工作机构级别</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">起升机构</th> <th colspan="3">回转机构</th> <th colspan="3">变幅机构</th> <th colspan="3">顶升机构</th> </tr> <tr> <td colspan="3">$K_m=0.25$</td> <td colspan="3">$K_m=0.50$</td> <td colspan="3">$K_m=0.25$</td> <td colspan="3">$K_m=0.25$</td> </tr> <tr> <th>T_4</th> <th>L_2</th> <th>M_4</th> <th>T_4</th> <th>L_3</th> <th>M_3</th> <th>T_3</th> <th>L_2</th> <th>M_3</th> <th>T_1</th> <th>L_2</th> <th>M_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="12" style="text-align: center;">T—机构利用等级； L—机构载荷状态； M—机构工作级别； K_m—名义载荷谱系数</td> </tr> </tbody> </table> <p>2.3.3 主要技术性能参数</p>	起升机构			回转机构			变幅机构			顶升机构			$K_m=0.25$			$K_m=0.50$			$K_m=0.25$			$K_m=0.25$			T_4	L_2	M_4	T_4	L_3	M_3	T_3	L_2	M_3	T_1	L_2	M_1	T —机构利用等级； L —机构载荷状态； M —机构工作级别； K_m —名义载荷谱系数												
起升机构			回转机构			变幅机构			顶升机构																																									
$K_m=0.25$			$K_m=0.50$			$K_m=0.25$			$K_m=0.25$																																									
T_4	L_2	M_4	T_4	L_3	M_3	T_3	L_2	M_3	T_1	L_2	M_1																																							
T —机构利用等级； L —机构载荷状态； M —机构工作级别； K_m —名义载荷谱系数																																																		
起重机各部件对塔身的中心力矩																																																		

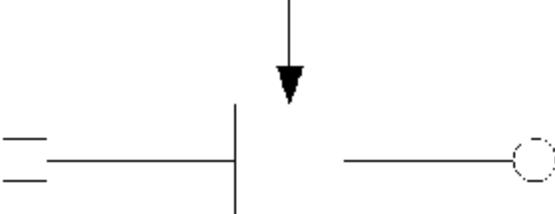
设计项目	计算与说明	结果																											
起重特性 曲线	<p>1. 额定起重力矩 40tm 2. 最大起重力矩 45.4tm 3. 最大起重量 4t 4. 起升高度 固定式 30m 附着式 100m 5. 工作幅度 $R_{max}=40m, R_{min}=2m$ 6. 小车运行速度 19m/min, 38m/min 7. 起升特性参数表如表 2-3 所示:</p> <p style="text-align: center;">表 2-3 起升特性参数表</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">倍率</th> <th colspan="3">a=2</th> <th colspan="3">a=4</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>2</th> <th>0.818</th> <th>4</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>起重量 (t)</td> <td>68</td> <td>34</td> <td>6.5</td> <td>34</td> <td>17</td> <td>3.3</td> </tr> <tr> <td>速度 (m/min)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>8. 顶升速度 0.63 m/min。</p> <p>2.4 平衡臂与平衡重的计算</p> <p>上回转塔式起重机应按塔身受载最小的原则确定平衡重的质量。</p> <p>平衡重的设计要求: 满载工作时, 塔身承受的前倾弯矩接近于空载非工作状态时塔身的后倾弯矩。</p> <p>工作状态的前倾弯矩为:</p> <p>吊臂自重引起弯矩 M_1、吊臂拉杆引起弯矩 M_2、变幅机构引起弯矩 M_3 及最大起重力矩 M_{max} 之和减去平衡臂引起弯矩 M_4、起升机构引起弯矩 M_5、平衡重引起弯矩 M_6, 即:</p> $\Sigma M = M_1 + M_2 + M_3 + M_{max} - M_4 - M_5 - M_6$ <p>非工作状态时的后倾弯矩为:</p> <p>平衡臂引起弯矩 M_4、起升机构引起弯矩 M_5、平衡重引起弯矩 M_6 之和减去吊臂自重引起弯矩 M_1、吊臂拉杆引起弯矩 M_2 及变幅机构引起弯矩 M_3, 即:</p> $\Sigma M^* = M_4 + M_5 + M_6 - M_1 - M_2 - M_3$ <p>由 $\Sigma M = \Sigma M^*$ 得:</p> $M_1 + M_2 + M_3 + M_{max} - M_4 - M_5 - M_6 = M_4 + M_5 + M_6 - M_1 - M_2 - M_3$ <p>即 $M_6 = 0.5M_{max} + M_1 + M_2 + M_3 - M_4 - M_5$</p>	倍率	a=2			a=4			1	2	2	0.818	4	4	起重量 (t)	68	34	6.5	34	17	3.3	速度 (m/min)							$G_6 = 6t$
倍率	a=2			a=4																									
	1	2	2	0.818	4	4																							
起重量 (t)	68	34	6.5	34	17	3.3																							
速度 (m/min)																													

设计项目	计算与说明				结果
各幅度时 起重量 起重特性 曲线	QTZ40 起重机参照同类型塔机, 各部件参数见表 2-4: 表 2-4 起重机各部件对塔身的中心力矩				
	序号	名称	重量 (t)	坐标 X(m)	力矩 (tm)
	1	平衡臂	1.447	-5.574	-8.500
	2	起升机构	1.880	-8.865	-16.670
	3	平衡臂拉杆	0.1506	-3.556	-0.540
	4	吊臂拉杆	短杆 0.231	5.950	1.370
			长杆 0.571	16.350	9.320
	5	变幅机构	0.222	6.170	1.370
	6	载重小车	0.117	40	4.68
	7	吊钩组	0.071	40	2.84
	8	物品	1	40	40
	9	液压顶升机构	0.606	-1	-0.606
	10	平衡重	G6	-10.56	-10.56G6
	11	第一节	0.184	38.870	总计 42.777
		第二节	0.284	33.950	
		第三节	0.318	27.950	
		第四节	0.302	21.950	
		第五节	0.302	15.950	
		第六节	0.402	9.95	
		第七节	0.418	23.950	
	12	塔顶	1.680	0	0
	13	上接架	0.546	0	0
	14	下接架	0.966	0	0
	15	上接盘	1.007	0	0
	16	司机室	0.241	0	0
	17	套架	1.659	0	0
	18	底架	1.226	0	0
	19	斜撑	0.499 (4 个)	0	0
	20	塔身标准节	4.475 (10 个)	0	0
	21	塔身基础节	0.502	0	0
		总计	21.307+ G6		76.041-10.56G6
根据参数代入公式得:					
$M_6 = 0.5 \times 50.4 + 42.78 + 10.96 + 1.37 - 8.5 - 16.67$ $= 58.87 \text{ tm}$					
经设计, 平衡重重心位置 x 坐标为 -10.56m, 则					

设计项目	计算与说明								结果																																																																																				
塔机的风力计算	$G_6 = 54.87/9.167 = 6t$ 平衡臂与起重臂的长度比为: $9.167/40 = 0.22$ 由参考书目 2.5 起重特性曲线 在臂长为 40 米时, 起重量均按最大幅度 40 米时起重力矩为 40 吨米计算。 由表 2-4 知, 在幅度为 40 米时, 物品、小车、吊钩对塔身中心的力矩: $M = 40 + 4.68 + 2.84 = 47.52tm \quad (2.1)$ 幅度为 R 时, 物品、小车、吊钩对塔身中心的力矩: $M = (Q + 0.188)R \quad (2.2)$ 由以上两式得: $Q = M / R - 0.188 \quad (2.3)$ 满载时 $Q=4 t$, 求得: 满载时幅度 $R=11.35 m$ 其中: Q —起重量 (t) M —最大起重力矩 (tm) R —幅度 (m) 计算各幅度时起重量如表 2-5 所示:																																																																																												
工作工况 I	<p>表 2-5 各幅度时起重量 (t)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">臂长 (m)</th> <th colspan="6">40</th> </tr> <tr> <th colspan="2">幅度 (m)</th> <th>2-11.35</th> <th>12</th> <th>13</th> <th>14</th> <th>15</th> <th>16</th> <th>17</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">a</td> <td>2</td> <td colspan="6">2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4</td> <td>3.77</td> <td>3.47</td> <td>3.21</td> <td>2.98</td> <td>2.78</td> <td>2.61</td> </tr> <tr> <th colspan="2">幅度 (m)</th> <th>18</th> <th>19</th> <th>20</th> <th>21</th> <th>22</th> <th>24</th> <th>26</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">a</td> <td>2</td> <td colspan="6">2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2.45</td> <td>2.31</td> <td>2.19</td> <td>2.07</td> <td>1.97</td> <td>1.79</td> <td>1.64</td> </tr> <tr> <th colspan="2">幅度 (m)</th> <th>28</th> <th>30</th> <th>32</th> <th>34</th> <th>36</th> <th>38</th> <th>40</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">a</td> <td>2</td> <td>1.51</td> <td>1.40</td> <td>1.30</td> <td>1.21</td> <td>1.13</td> <td>1.06</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1.51</td> <td>1.40</td> <td>1.30</td> <td>1.21</td> <td>1.13</td> <td>1.06</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>								臂长 (m)		40						幅度 (m)		2-11.35	12	13	14	15	16	17	a	2	2						4	4	3.77	3.47	3.21	2.98	2.78	2.61	幅度 (m)		18	19	20	21	22	24	26	a	2	2						4	2.45	2.31	2.19	2.07	1.97	1.79	1.64	幅度 (m)		28	30	32	34	36	38	40	a	2	1.51	1.40	1.30	1.21	1.13	1.06	1	4	1.51	1.40	1.30	1.21	1.13	1.06	1	
臂长 (m)		40																																																																																											
幅度 (m)		2-11.35	12	13	14	15	16	17																																																																																					
a	2	2																																																																																											
	4	4	3.77	3.47	3.21	2.98	2.78	2.61																																																																																					
幅度 (m)		18	19	20	21	22	24	26																																																																																					
a	2	2																																																																																											
	4	2.45	2.31	2.19	2.07	1.97	1.79	1.64																																																																																					
幅度 (m)		28	30	32	34	36	38	40																																																																																					
a	2	1.51	1.40	1.30	1.21	1.13	1.06	1																																																																																					
	4	1.51	1.40	1.30	1.21	1.13	1.06	1																																																																																					
平衡臂风力计算	起重特性曲线如图 2-14 所示																																																																																												



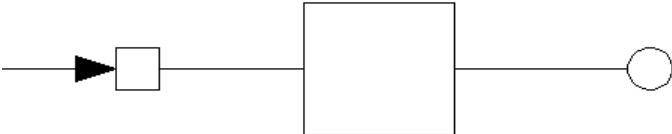
设计项目	计算与说明	结果												
风力系数选取 由平衡臂的设计尺寸计算迎风面积	<p>(2-14.1) $a=4$</p> <p>(2-14.2) $a=2$</p> <p>图 2-14 起重特性曲线</p>													
风力计算	<p>2.6 塔机风力计算</p> <p>在露天工作的塔式起重机应考虑风载荷，并认为风载荷是一种沿任意方向的水平载荷。</p> <p>起重机风载荷分为工作状态风载荷和非工作状态风载荷两类。工作状态风载荷是塔式起重机在工作情况下所能承受的最大计算风力。非工作状态风载荷是塔式起重机在非工作情况下所能承受的最大计算风力。</p> <p>根据 GB/T 13752-92《塔式起重机设计规范》-P7-4.2.2.1.2 和 GB/T 13752-92《塔式起重机设计规范》-P10-4.2.3.1 之规定，风压选择如表 2-7 所示：</p> <p>表 2-7 风压选择</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>序号</th> <th>适应情况</th> <th>风压 Pa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>正常工作状态计算风压，用于计算结构的疲劳强度和发热验算</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>工作状态最大计算风压，用于计算结构的强度、刚度、稳定性和整体抗倾翻稳定性</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>非工作状态计算风压，用于计算结构的强度、刚度、稳定性和整体抗倾翻稳定性</td> <td>0-20m 800 20-40m 1100</td> </tr> </tbody> </table> <p>2.6.1 工作工况 I 风载荷方向与起重臂方向垂直如图 2-15 所示：</p>	序号	适应情况	风压 Pa	1	正常工作状态计算风压，用于计算结构的疲劳强度和发热验算	150	2	工作状态最大计算风压，用于计算结构的强度、刚度、稳定性和整体抗倾翻稳定性	250	3	非工作状态计算风压，用于计算结构的强度、刚度、稳定性和整体抗倾翻稳定性	0-20m 800 20-40m 1100	C_w 取 1.2 $A = 3.6729 m^2$ $F_w = 661.122 N$
序号	适应情况	风压 Pa												
1	正常工作状态计算风压，用于计算结构的疲劳强度和发热验算	150												
2	工作状态最大计算风压，用于计算结构的强度、刚度、稳定性和整体抗倾翻稳定性	250												
3	非工作状态计算风压，用于计算结构的强度、刚度、稳定性和整体抗倾翻稳定性	0-20m 800 20-40m 1100												

设计项目	计算与说明	结果
起升机构的风力计算	 <p>图 2-15 工作工况 I 示意图</p> <p>1. 平衡臂风力计算</p> <p>1) 风力系数选取</p> <p>根据 GB/T 13752-92 《塔式起重机设计规范》 P8 4.2.2.1.3 的 b 规定, 平衡臂可视为两片平行平面桁架组成的空间结构, 其整体结构的风力系数可取为单片结构的风力系数, 护栏为管结构, 由表 8, 司机室悬空, C_w 取 1.2。</p> <p>2) 由平衡臂的设计尺寸计算迎风面积</p> <p>根据 GB/T 13752-92 《塔式起重机设计规范》 P8 4.2.2.1.4 的 b 规定, 对于两片并列等高型式相同的结构, 考虑前片对后片的挡风作用, 总迎风面积为:</p> $A = A_1 + hA_2 \quad (2.4)$ <p>式中: A_1—前片结构的迎风面积, $A_1 = w_1 A_{11}$, m^2;</p> <p>A_2—后片结构的迎风面积, $A_2 = w_2 A_{12}$, m^2;</p> <p>ω—结构充实率, 按表 9 查取;</p> <p>η—两片相邻桁架前片对后片的挡风折减系数, 与前片桁架充实率 ω_1 及两片桁架间隔比 l_s/h 有关, 按表 10 选取。</p> <p>则结构迎风面积 $A = A_1 + hA_2 = w_1 A_{11} + h w_2 A_{12}$</p> <p>已知: $A_1 = A_2 = w A_0$</p> <p>$A_0 = L \quad h = 10.248 \times 0.75 = 7.7 \quad m^2$</p> <p>$l_s = 1.22 \text{m}$</p> <p>间隔比 $l_s / h = 1.22 / 0.75 = 1.61$</p> <p>由表 9、表 10 选取 $\omega = 0.3$ 挡风折减系数 $\eta = 0.57$</p> <p>代入得, $A = 0.3 \times 7.7 + 0.59 \times 0.3 \times 7.7 = 3.6729 \text{m}^2$</p> <p>3) 风力计算</p> <p>根据 GB/T 13752-92 《塔式起重机设计规范》 P7 4.2.2.1.1 的规定,</p>	$F_w = 202.5 \text{N}$
平衡重风力计算		$F_w = 581.625 \text{ N}$
起重臂风力计算		$F_w = 3120 \text{ N}$

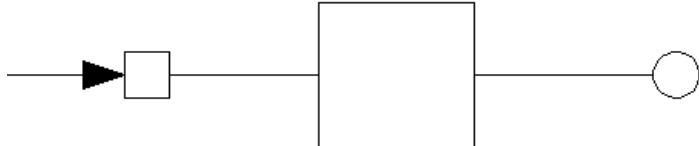
设计项目	计算与说明	结果
变幅机构 风力计算	<p>风力计算公式: $F_w = C_w P_w A$ (2.5)</p> <p>式中: F_w—作用在塔式起重机上和物品上的风载荷 (F_{w1}, F_{w2}), N;</p> <p>C_w—风力系数;</p> <p>P_w—计算风压, Pa;</p> <p>A—垂直于风向的迎风面积, m^2。</p> <p>已知: 风力系数 $C_w=1.2$;</p> <p>计算风压 $P_w=150Pa$;</p> $A = 3.6729m^2$ <p>代入得, $F_w = 1.2 \times 150 \times 3.6729 = 661.122 N$</p> $X_c = -5.9m$ <p>2. 起升机构风力计算</p> <p>起升机构迎风面积按实体计算,</p> <p>已知: 结构充实率 $\omega=1$</p> <p>A 取其近似值 $A = 1 \times 1.5 \times 0.75 = 1.125m^2$</p> <p>风力系数 $C_w=1.2$</p> <p>计算风压 $P_w=150Pa$</p> <p>代入得, $F_w=1.2 \times 150 \times 1.125=202.5N$</p>	$F_w=29.52 N$
塔顶风力 计算	<p>$X_c=-8.865 m$</p> <p>3. 平衡重风力计算</p> <p>平衡重迎风面积按实体计算。</p> <p>已知: 结构充实率 $\omega=1$</p> <p>A 由平衡重尺寸取其近似值,</p> <p>$A=1 \times 2.75 \times 0.235 \times 5=3.2315m^2$</p> <p>风力系数 $C_w=1.2$</p> <p>计算风压 $P_w=150Pa$</p> <p>代入得, $F_w=1.2 \times 150 \times 3.2315=581.625 N$</p>	$F_w=673.628 N$
上下支座 风力计算	<p>$X_c=-10.560m$</p> <p>平衡臂及其上构件合计:</p>	$F_w=255.96N$

设计项目	计算与说明	结果
塔身风力计算	$\sum F_w = 661.122 + 202.5 + 581.625 = 1445.247N$ $\sum M_w = 661.122 \times 5.9 + 202.5 \times 8.865 + 581.625 \times 10.560 = 11837.74N \cdot m$ $X_c = -11837.74 / 1445.247 = -8.19m$ <p>4. 起重臂风力计算</p> <p>本次设计的 QTZ40 塔式起重机的起重臂的结构形式为：上弦杆为无缝圆管，下弦杆为角钢焊合箱形截面管，腹杆为圆管的三角形节面空间结构，此工况下受侧向风力作用。三角形截面空间结构的风载荷按其垂直于风向的投影面积所受风力的 1.25 倍计算，</p> <p>已知：结构充实率 $\omega = 0.4$</p> <p>计算面积 $A = 0.4 \times 0.8 \times 40 \times 1.25 = 16m^2$</p> <p>风力系数 $C_w = 1.3$ (由 4.2.2.1.3 e 得)</p> <p>计算风压 $P_w = 150Pa$</p> <p>代入得，$F_w = 1.3 \times 150 \times 20.85 = 3120 N$</p> <p>$X_c = 20.85m$</p>	$F_w = 3744 N$
司机室风力计算	<p>5. 变幅机构风力计算</p> <p>变幅机构迎风面积按实体计算轮廓外形，</p> <p>已知：结构充实率 $\omega = 1$</p> <p>A 取其近似值 $A = 1 \times 0.385 \times 0.425 = 0.164m^2$</p> <p>风力系数 $C_w = 1.2$</p> <p>计算风压 $P_w = 150Pa$</p> <p>代入得，$F_w = 1.2 \times 150 \times 0.164 = 29.52 N$</p> <p>$X_c = 6.17 m$</p>	$F_w = 643.5 N$
工作工况 II	<p>起重臂及其上构件合计</p> $\sum F_w = 3120 + 29.52 = 3149.52N$ $\sum M_w = 3120 \times 20.85 + 29.52 \times 6.17 = 65234.138N \cdot m$ $X_c = 65234.138 / 3149.52 = 20.71m$ <p>6. 塔顶风力计算</p> <p>三角形截面空间结构的风载荷按其垂直于风向的投影面积所受风力的 1.25 倍计算，</p> <p>已知：结构充实率 $\omega = 0.3$</p>	$F_w = 133.51 N$
平衡臂风力计算		
起升机构风力计算		

设计项目	计算与说明	结果
平衡重风力计算	<p>A 取其近似值 $A=0.3 \times 1.36 \times 6.115 = 2.495 \text{m}^2$ 风力系数 $C_w=1.2$ 计算风压 $P_w=150 \text{Pa}$ 代入得, $F_w = 1.2 \times 150 \times 2.495 = 673.628 \text{ N}$ $X_c=0 \text{ m}$</p> <p>7. 上下支座风力计算 上下支座迎风面积按实体计算, 已知: 结构充实率 $\omega=1$ A 取其近似值 $A=1 \times 2 \times (0.237+0.474) = 1.422 \text{m}^2$ 风力系数 $C_w=1.2$ 计算风压 $P_w=150 \text{Pa}$ 代入得, $F_w = 1.2 \times 150 \times 1.422 = 255.96 \text{N}$ $X_c=0 \text{ m}$</p>	$F_w = 288 \text{ N}$
起重臂风力计算	<p>8. 塔身风力计算 塔身为钢管制成的桁架结构, 已知: 结构充实率 $\omega=0.4$ A 取其近似值 $A=0.4 \times 1.6 \times 30 = 19.2 \text{m}^2$ 风力系数 $C_w=1.3$ 计算风压 $P_w=150 \text{Pa}$ 代入得, $F_w = 1.3 \times 150 \times 19.2 = 3744 \text{ N}$ $X_c=0 \text{ m}$</p> <p>9. 司机室风力计算 参考《塔式起重机使用手册》P102, 表 3-7-1, 司机室尺寸为 $1.65 \times 1.02 \times 2.0 \text{m}$ 司机室迎风面积按实体计算, 已知: 结构充实率 $\omega=1$ A 取其近似值 $A=1 \times 1.65 \times 2.0 = 3.3 \text{m}^2$ 风力系数 $C_w=1.3$ 计算风压 $P_w=150 \text{Pa}$ 代入得, $F_w = 1.3 \times 150 \times 3.3 = 643.5 \text{ N}$ $X_c=0 \text{ m}$</p>	$F_w = 1097.25 \text{ N}$
变幅机构风力计算	<p>2.6.2 工作工况 II 风载荷方向与起重臂方向平行如图 2-16 所示:</p>	$F_w = 40.3 \text{ N}$

设计项目	计算与说明	结果
塔顶风力计算	 <p>图 2-16 工作工况 II</p> <p>1. 平衡臂风力计算</p> <p>已知: 结构充实率 $\omega = 0.3$</p> <p>A 取其近似值 $A = 0.3 \times 0.75 \times 1.978 = 0.445 \text{m}^2$</p> <p>风力系数 $C_w = 1.2$</p> <p>计算风压 $P_w = 250 \text{Pa}$</p> <p>代入得, $F_w = 1.2 \times 250 \times 0.445 = 133.51 \text{ N}$</p>	$F_w =$ 748.476N
上下支座风力计算	<p>2. 起升机构风力计算</p> <p>起升机构迎风面积按实体计算</p> <p>已知: 结构充实率 $\omega = 1$</p> <p>A 取其近似值 $A = 1 \times 1.28 \times 0.75 = 0.96 \text{m}^2$</p> <p>风力系数 $C_w = 1.2$</p> <p>计算风压 $P_w = 250 \text{Pa}$</p>	$F_w = 426.6 \text{ N}$
塔身风力计算	<p>代入得, $F_w = 1.2 \times 250 \times 0.96 = 288 \text{ N}$</p> <p>3. 平衡重风力计算</p> <p>平衡重迎风面积按实体计算</p> <p>已知: 结构充实率 $\omega = 1$</p> <p>A 由平衡重尺寸取其近似值</p> <p>$A = 1 \times 2.75 \times 1.33 = 3.6575 \text{m}^2$</p> <p>风力系数 $C_w = 1.2$</p> <p>计算风压 $P_w = 250 \text{Pa}$</p>	$F_w =$ 4492.8 N
司机室风力计算	<p>代入得, $F_w = 1.2 \times 250 \times 3.6575 = 1097.25 \text{ N}$</p> <p>平衡臂及其上构件合计</p> <p>$\sum F_w = 133.515 + 288 + 1097.25 = 1518.765 \text{N}$</p> <p>4. 起重臂风力计算</p> <p>n 片型式尺寸相同, 且间隔相等的并列结构在纵向风力作用下, 总迎风面按下式计算:</p> $A = (1 - \eta^n) \omega_1 A_1 / (1 - \eta)$ <p>式中: $A_1 = 0.4 \times 1.087 \times 0.8 \div 2 = 0.174 \text{m}^2$</p> <p>结构充实率 $\omega_1 = 0.4$</p>	$F_w =$ 663 N
非工作工况III		

设计项目	计算与说明	结果
平衡臂风力计算	<p>挡风折减系数 $\eta = 0.44$ 则 $A = (1 - 0.44^2) \times 0.4 \times 0.174 \div (1 - 0.44) = 0.124 \text{ m}^2$ 已知: 风力系数 $C_w = 1.3$ 计算风压 $P_w = 250 \text{ Pa}$ 代入得, $F_w = 1.3 \times 250 \times 0.124 = 40.3 \text{ N}$ 5. 变幅机构风力计算 变幅机构迎风面积按实体计算轮廓外形 已知: 结构充实率 $\omega = 1$ A 取其近似值 $A = 1 \times 1.303 \times 0.425 = 0.554 \text{ m}^2$ 风力系数 $C_w = 1.2$ 计算风压 $P_w = 250 \text{ Pa}$ 代入得, $F_w = 1.2 \times 250 \times 0.554 = 166.2 \text{ N}$ 起重臂及其上构件合计 $\Sigma F_w = 40.3 + 166.3 = 206.5 \text{ N}$ 6. 塔顶风力计算 已知: 结构充实率 $\omega = 0.3$ A 取其近似值 $A = 0.3 \times 1.36 \times 6.115 = 2.495 \text{ m}^2$ 风力系数 $C_w = 1.2$ 计算风压 $P_w = 250 \text{ Pa}$ 代入得, $F_w = 1.2 \times 250 \times 2.495 = 748.476 \text{ N}$ 7. 上下支座风力计算 上下支座迎风面积按实体计算 已知: 结构充实率 $\omega = 1$ A 取其近似值 $A = 1 \times 2 \times (0.237 + 0.474) = 1.422 \text{ m}^2$ 风力系数 $C_w = 1.2$ 计算风压 $P_w = 250 \text{ Pa}$ 代入得, $F_w = 1.2 \times 250 \times 1.422 = 426.6 \text{ N}$ 8. 塔身风力计算 在此种工况下, 风对着矩形截面空间结构对角线方向吹, 矩形截面边长比为 $1:1 < 2$, 风载荷取为风向着矩形边长作用时的 1.2 倍, 即 $F_w = 1.2 \times 3744 = 4492.8 \text{ N}$ 9. 司机室风力计算</p>	$F_w = 587.466 \text{ N}$ $F_w = 1267.2 \text{ N}$ $F_w = 4827.9 \text{ N}$
起重臂风力计算		

设计项目	计算与说明	结果
变幅机构 风力计算	<p>参考《塔式起重机使用手册》P102, 表 3-7-1, 司机室尺寸为 $1.65 \times 1.02 \times 2.0\text{m}$</p> <p>司机室迎风面积按实体计算,</p> <p>已知: 结构充实率 $\omega=1$</p> <p>A 取其近似值 $A=1 \times 1.02 \times 2.0=2.04\text{m}^2$</p> <p>风力系数 $C_w=1.3$</p> <p>计算风压 $P_w=250\text{Pa}$</p> <p>代入得, $F_w=1.3 \times 250 \times 2.04=663\text{ N}$</p> <p>2.6.3 非工作工况III</p> <p>风载荷方向与起重臂方向平行如图 2-17 所示:</p> 	$F_w =$ 177.32 N
塔顶风力 计算	<p>非工作工况下的风压 $0-20\text{m} 800\text{ Pa}; 20-100\text{m} 1100\text{ Pa}$,</p> <p>此种状态下, 风对塔机的作用方向与工作工况 II 相同。</p> <p>1. 平衡臂风力计算</p> <p>已知: 结构充实率 $\omega=0.3$</p> <p>A 取其近似值 $A=0.3 \times 0.75 \times 1.978=0.445\text{m}^2$</p> <p>风力系数 $C_w=1.2$</p> <p>计算风压 $P_w=1100\text{Pa}$</p> <p>代入得, $F_w=1.2 \times 1100 \times 0.445=587.466\text{ N}$</p>	$F_w =$ 3293.294 N
上下支座 风力计算	<p>2. 起升机构风力计算</p> <p>起升机构迎风面积按实体计算</p> <p>已知: 结构充实率 $\omega=1$</p> <p>A 取其近似值 $A=1 \times 1.28 \times 0.75=0.96\text{m}^2$</p> <p>风力系数 $C_w=1.2$</p> <p>计算风压 $P_w=1100\text{Pa}$</p> <p>代入得, $F_w=1.2 \times 1100 \times 0.96=1267.2\text{ N}$</p>	$F_w =$ 1877.4 N
塔身风力 计算	<p>3. 平衡重风力计算</p> <p>平衡重迎风面积按实体计算</p> <p>已知: 结构充实率 $\omega=1$</p>	$F_w =$ 19968N

设计项目	计算与说明	结果
司机室风力计算	<p>A 由平衡重尺寸取其近似值 $A=1 \times 2.75 \times 1.33 = 3.6575 \text{m}^2$</p> <p>风力系数 $C_w = 1.2$</p> <p>计算风压 $P_w = 1100 \text{Pa}$</p> <p>代入得, $F_w = 1.2 \times 1100 \times 3.6575 = 4827.9 \text{ N}$</p> <p>平衡臂及其上构件合计 $\sum F_w = 587.466 + 1267.2 + 4827.9 = 6682.566 \text{ N}$</p> <p>4. 起重臂风力计算</p> <p>n 片型式尺寸相同, 且间隔相等的并列结构在纵向风力作用下, 总迎风面按下式计算:</p> $A = (1 - \eta^n) \omega_1 A_1 / (1 - \eta)$ <p>式中: $A_1 = 0.4 \times 1.057 \times 0.8 \div 2 = 0.174 \text{m}^2$</p> <p>结构充实率 $\omega_1 = 0.4$</p> <p>挡风折减系数 $\eta = 0.44$</p> <p>则 $A = (1 - 0.44^7) \times 0.4 \times 0.174 \div (1 - 0.44) = 0.117 \text{ m}^2$</p> <p>已知: 风力系数 $C_w = 1.3$</p> <p>计算风压 $P_w = 1100 \text{Pa}$</p> <p>代入得, $F_w = 1.3 \times 1100 \times 0.117 = 177.32 \text{ N}$</p>	27456 N
起重机抗倾覆稳定性计算	<p>5. 变幅机构风力计算</p> <p>变幅机构迎风面积按实体计算轮廓外形</p> <p>已知: 结构充实率 $\omega = 1$</p> <p>A 取其近似值 $A = 1 \times 1.303 \times 0.425 = 0.554 \text{m}^2$</p> <p>风力系数 $C_w = 1.2$</p> <p>计算风压 $P_w = 1100 \text{Pa}$</p> <p>代入得, $F_w = 1.2 \times 1100 \times 0.554 = 731.28 \text{ N}$</p> <p>起重臂及其上构件合计 $\sum F_w = 177.32 + 731.28 = 908.6 \text{ N}$</p> <p>6. 塔顶风力计算</p> <p>已知: 结构充实率 $\omega = 0.3$</p> <p>A 取其近似值 $A = 0.3 \times 1.36 \times 6.115 = 2.495 \text{m}^2$</p> <p>风力系数 $C_w = 1.2$</p> <p>计算风压 $P_w = 1100 \text{Pa}$</p> <p>代入得, $F_w = 1.2 \times 1100 \times 2.495 = 3293.294 \text{ N}$</p>	$F_w =$ 2917.2 N

设计项目	计算与说明	结果
工作工况 I	<p>7. 上下支座风力计算 上下支座迎风面积按实体计算 已知: 结构充实率 $\omega=1$ A 取其近似值 $A=1 \times 2 \times (0.237+0.474)=1.422\text{m}^2$ 风力系数 $C_w=1.2$ 计算风压 $P_w=1100\text{Pa}$ 代入得, $F_w=1.2 \times 1100 \times 1.422=1877.4\text{N}$</p> <p>8. 塔身风力计算 塔身为钢管制成的桁架结构, 已知: 结构充实率 $\omega=0.4$ A 取其近似值 $A=0.4 \times 1.6 \times 30=19.2\text{m}^2$ 风力系数 $C_w=1.3$ 计算风压 $0 \sim 20\text{m} P_w=800\text{Pa}$ $20 \sim 100\text{m} P_w=1100\text{Pa}$ 代入得, $0 \sim 20\text{m} F_w=1.3 \times 800 \times 19.2=19968\text{ N}$ $20 \sim 100\text{m} F_w=1.3 \times 1100 \times 19.2=27456\text{ N}$</p> <p>9. 司机室风力计算 参考《塔式起重机使用手册》P102, 表 3-7-1, 司机室尺寸为 $1.65 \times 1.02 \times 2.0\text{m}$ 司机室迎风面积按实体计算, 已知: 结构充实率 $\omega=1$ A 取其近似值 $A=1 \times 1.02 \times 2.0=2.04\text{m}^2$ 风力系数 $C_w=1.3$ 计算风压 $P_w=1100\text{Pa}$ 代入得, $F_w=1.3 \times 1100 \times 2.04=2917.2\text{ N}$</p>	$M_1=122.233\text{tm}$
平衡臂部分	2.7 整机的抗倾覆稳定性计算 起重机抗倾覆稳定性是指起重机在自重和外载荷作用下抵抗翻倒的能力。 塔式起重机高度与其支承轮廓尺寸的比值很大, 因而保证整机稳定性是一个很重要的问题。它的计算基本上和轮胎式起重机稳定性计算相同。所不同的是, 由于塔式起重机具有幅度大、高度高的特点, 所以计算公式中一般都考虑风载	$M_2=116.362\text{tm}$
起重臂部分		$M_3=38.697\text{tm}$
塔身部分		

设计项目	计算与说明	结果															
基础部分	<p>荷、惯性载荷和地面轨道倾斜度的影响。而且一般都需要进行非工作状态和安装、拆卸时的稳定性验算。</p> <p>塔式起重机抗倾翻稳定性根据 GB/T 13752-92《塔式起重机设计规范》 P11 的 4.3.1 表 12 所列工况进行校核。如表 2-8 所示。</p> <p style="text-align: center;">表 2-8 验算工况</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>工况</th><th>说明</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 基本稳定性</td><td>工作状态、静态、无风</td></tr> <tr> <td>2 动态稳定性</td><td>工作状态、动态、有风</td></tr> <tr> <td>3 暴风侵袭</td><td>非工作状态</td></tr> <tr> <td>4 突然卸载</td><td>工作状态，料斗卸载</td></tr> </tbody> </table> <p>注：起重臂能随风回转的塔式起重机，工况 3 的风向由平衡重吹向起重臂方向。</p> <p>表中所列各工况的稳定条件规定为：塔机及其部件的位置，载荷的数值和方向取最不利组合条件下，包括自重载荷在内的各项载荷对倾翻边的力矩代数和大于零（即 $\sum M$ 大于零），则认为该塔式起重机是稳定的。起稳定力矩的符号为正，起倾翻作用的力矩符号为负并乘以 1.1-1.2 的增大系数。校核时，各项载荷应根据起重机设计手册 P49 表 1-7-3 查得相应的载荷系数，并乘以相应的载荷系数。由起重机设计手册 P48 得 QTZ40 塔机为第二组别，起重机组别二的载荷系数如表 2-9 所示。</p>	工况	说明	1 基本稳定性	工作状态、静态、无风	2 动态稳定性	工作状态、动态、有风	3 暴风侵袭	非工作状态	4 突然卸载	工作状态，料斗卸载	$M_4 = 87.5 \text{tm}$ 工况 I 塔机稳定可靠					
工况	说明																
1 基本稳定性	工作状态、静态、无风																
2 动态稳定性	工作状态、动态、有风																
3 暴风侵袭	非工作状态																
4 突然卸载	工作状态，料斗卸载																
工作工况 II 平衡臂部分	<p>表中所列各工况的稳定条件规定为：塔机及其部件的位置，载荷的数值和方向取最不利组合条件下，包括自重载荷在内的各项载荷对倾翻边的力矩代数和大于零（即 $\sum M$ 大于零），则认为该塔式起重机是稳定的。起稳定力矩的符号为正，起倾翻作用的力矩符号为负并乘以 1.1-1.2 的增大系数。校核时，各项载荷应根据起重机设计手册 P49 表 1-7-3 查得相应的载荷系数，并乘以相应的载荷系数。由起重机设计手册 P48 得 QTZ40 塔机为第二组别，起重机组别二的载荷系数如表 2-9 所示。</p>	$M_1 = 122.233 \text{tm}$															
起重臂部分	<p>表 2-9 起重机组别二的载荷系数</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>验算工况</th><th>自重系数</th><th>起升载荷系数</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td><td>1</td><td>1.5</td></tr> <tr> <td>II</td><td>1</td><td>1.3</td></tr> <tr> <td>III</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr> <td>IV</td><td>1</td><td>-0.2</td></tr> </tbody> </table>	验算工况	自重系数	起升载荷系数	I	1	1.5	II	1	1.3	III	1	0	IV	1	-0.2	$M_2 = 108.54 \text{tm}$
验算工况	自重系数	起升载荷系数															
I	1	1.5															
II	1	1.3															
III	1	0															
IV	1	-0.2															
塔身部分	<p>2.7.1 工作工况 I</p> <p>验算基本稳定性，工作状态，静态，无风。</p> <p>1. 平衡臂部分</p> <p>平衡臂部分包括有平衡臂、起升机构、平衡臂拉杆、平衡重四部分：</p> $M_1 = \{1.447 \times (5.874 + 3.5) + 1.88 \times (8.865 + 3.5) + 0.151 \times (3.556 + 3.5) + 6 \times (10.56 + 3.5)\} \times 1$	$M_3 = 38.697 \text{tm}$ $M_4 = 87.5 \text{tm}$															

设计项目	计算与说明	结果
基础部分	$=122.233\text{tm}$	
惯性载荷	<p>2. 起重臂部分</p> <p>起重臂部分包括吊臂、变幅机构、载重小车、吊臂拉杆、吊钩及物品六部分：</p> $M_2 = \{2.21 \times (20.85-3.5) + 0.222 \times (6.17-3.51) + 0.117 \times (40-3.5) + 0.231 \times (10.51-3.5) + 0.571 \times (26.09-3.5)\} \times 1 + (0.071+1) \times 1.5 \times (40-3.5)$ $= 57.725 + 58.637$ $= 116.362\text{tm}$	
坡度载荷	<p>3. 塔身部分</p> <p>塔身部分包括塔顶、上接架、下接架、上接盘、回转机构、司机室、套架、塔身：</p> $M_3 = (1.08 + 0.546 + 0.966 + 1.077 + 0.51 + 0.241 + 1.659) \times 3.5 \times 1$ $= 38.697\text{tm}$	$M_7 = 9.209\text{tm}$
风载荷	<p>4. 基础部分</p> $M_4 = 25 \times 3.5 \times 15 = 87.5\text{tm}$ $\sum M = M_1 + M_3 + M_4 - 1.1M_2$ $= 122.233 + 38.697 + 87.5 - 1.1 \times 116.362$ $= 120.432\text{tm} > 0$ <p>此工况下，塔机稳定可靠。</p>	工况 II 塔机稳定可靠
非工作工况III	<h3>2.7.2 工作工况 II</h3> <p>验算动态稳定性，工作状态，动态，有风。</p> <p>1. 平衡臂部分</p> <p>平衡臂部分包括有平衡臂、起升机构、平衡臂拉杆、平衡重四部分：</p> $M_1 = \{1.447 \times (5.874+3.5) + 1.88 \times (8.865+3.5) + 0.151 \times (3.556+3.5) + 6 \times (10.56+3.5)\} \times 1$ $= 122.233\text{tm}$	$M_1 = 55.890\text{tm}$
平衡臂部分	<p>2. 起重臂部分</p> <p>起重臂部分包括吊臂、变幅机构、载重小车、吊臂拉杆、吊钩及物品六部分：</p>	$M_2 = 81.182\text{tm}$
起重臂部分		

设计项目	计算与说明	结果
分	$M_2 = \{2.21 \times (20.85 - 3.5) + 0.222 \times (6.17 - 3.51) + 0.117 \times (40 - 3.5) + 0.231 \times (10.51 - 3.5) + 0.571 \times (26.09 - 3.5)\} \times 1 + (0.071 + 1) \times 1.3 \times (40 - 3.5)$ $= 57.725 + 50.819$ $= 108.54 \text{tm}$	$M_3 = 38.697 \text{tm}$ $M_4 = 87.5 \text{tm}$
塔身部分	3. 塔身部分 塔身部分包括塔顶、上接架、下接架、上接盘、回转机构、司机室、套架、塔身： $M_3 = (1.08 + 0.546 + 0.966 + 1.077 + 0.51 + 0.241 + 1.659) \times 3.5 \times 1$ $= 38.697 \text{tm}$	$M_5 = 86.424 \text{tm}$
基础部分	4. 基础部分 $M_4 = 25 \times 3.5 \times 15 = 87.5 \text{tm}$	工况III塔机稳定可靠
风载荷	5. 惯性载荷 小车与缓冲器碰撞时，作用在结构上的碰撞载荷 F_c 按缓冲器吸收的动能计算。碰撞瞬间之前，小车的运行速度取为 0.7-1.0 倍的最大正常工作速度。 F_c 可按刚体运动的模型计算，并乘以弹性振动载荷系数 ϕ_7 对于塔机常用的弹簧缓冲器 ϕ_7 取 1.25。 6. 坡度载荷 考虑支承面倾斜，沉陷产生的载荷。 7. 风载荷 考虑风力对倾翻边的影响(主要计算塔顶与塔身)： $M_7 = 748.476 \times 33 + 4492.8 \times 15$ $= 24699.708 + 67392$ $= 92091.708 \text{Ngn}$ $= 9.209 \text{tm}$	$M_1 = 55.89 \text{tm}$
工作工况 IV	$\sum M = M_1 - 1.1M_2 + M_3 + M_4 - 1.1M_7$ $= 122.842 - 1.1 \times 108.54 + 38.697 + 87.5 - 1.1 \times 9.209$ $= 118.906 \text{tm} > 0$	
平衡臂部分	此工况下，塔机稳定可靠。 2.7.3 非工作工况III	
起重臂部	暴风侵袭，非工作状态，风向由平衡臂吹向起重臂，有	$M_2 = 72.614 \text{tm}$

设计项目	计算与说明	结果
分	向后翻的倾向。 1. 平衡臂部分 平衡臂部分包括平衡臂、起升机构、平衡臂拉杆、平衡重四部分： $M_1 = \{1.447 \times (5.874-3.5) + 1.88 \times (8.865-3.5) + 0.151 \times (3.556-3.5) + 6 \times (10.56-3.5)\} \times 1 = 55.890 \text{tm}$	$M_3 = 38.697 \text{tm}$
塔身部分	2. 起重臂部分 起重臂部分包括吊臂、变幅机构、载重小车、吊臂拉杆、吊钩及物品六部分： $M_2 = \{2.21 \times (20.85+3.5) + 0.222 \times (6.17+3.51) + 0.117 \times (40+3.5) + 0.231 \times (10.51+3.5) + 0.571 \times (26.09+3.5)\} \times 1 + (0.071+1) \times 0 \times 40 = 81.182 \text{tm}$	$M_4 = 87.5 \text{tm}$ $M_5 = 9.209 \text{tm}$
基础部分	3. 塔身部分 塔身部分包括塔顶、上接架、下接架、上接盘、回转机构、司机室、套架、塔身： $M_3 = (1.08+0.546+0.966+1.077+0.51+0.241+1.659) \times 3.5 \times 1 = 38.697 \text{tm}$	工况IV塔机稳定可靠
风载荷	4. 基础部分 $M_4 = 25 \times 3.5 \times 15 = 87.5 \text{tm}$ 5. 风载荷 考虑风力对倾翻边的影响(主要计算塔顶与塔身)： $M_5 = (3293.294 \times 33 + 19968 \times 10 + 27456 \times 15) \times 1.2 = 720198.702 \times 1.2 = 86.424 \text{tm}$ $\Sigma M = -1.1M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 = -1.1 \times 55.890 + 81.182 + 38.697 + 87.5 + 86.424 = 232.324 \text{tm} > 0$ 此工况下，塔机稳定可靠。	
固定基础稳定性计算	2.7.4 工作工况IV	

设计项目	计算与说明	结果
	<p>突然卸载, 工作状态, 料斗卸载, 有向后翻的倾向。</p> <p>1. 平衡臂部分</p> <p>平衡臂部分包括平衡臂、起升机构、平衡臂拉杆、平衡重四部分:</p> $M_1 = \{1.447 \times (5.874 - 3.5) + 1.88 \times (8.865 - 3.5) + 0.151 \times (3.556 - 3.5) + 6 \times (10.56 - 3.5)\} \times 1 = 55.890 \text{tm}$ <p>2. 起重臂部分</p> <p>起重臂部分包括吊臂、变幅机构、载重小车、吊臂拉杆、吊钩及物品六部分:</p> $M_2 = \{2.21 \times (20.85 + 3.5) + 0.222 \times (6.17 + 3.51) + 0.117 \times (40 + 3.5) + 0.231 \times (10.51 + 3.5) + 0.571 \times (26.09 + 3.5)\} \times 1 - (0.071 + 1) \times 0.2 \times 40 = 81.182 + 8.568 = 72.614 \text{tm}$ <p>3. 塔身部分</p> <p>塔身部分包括塔顶、上接架、下接架、上接盘、回转机构、司机室、套架、塔身:</p> $M_3 = (1.08 + 0.546 + 0.966 + 1.077 + 0.51 + 0.241 + 1.659) \times 3.5 \times 1 = 38.697 \text{tm}$ <p>4. 基础部分</p> $M_4 = 25 \times 3.5 \times 15 = 87.5 \text{tm}$ <p>5. 风载荷</p> <p>考虑风力对倾翻边的影响(主要计算塔顶与塔身):</p> $M_5 = 748.476 \times 33 + 4492.8 \times 15 = 24699.708 + 67392 = 92091.708 \text{Ngn} = 9.209 \text{tm}$ $\sum M = -1.1M_1 + M_2 + M_3 + M_4 - 1.1M_5 = -1.1 \times 55.890 + 72.614 + 38.697 + 87.5 - 1.1 \times 9.209 = 127.202 \text{tm} > 0$ <p>此工况下, 塔机稳定可靠。</p>	塔机抗倾翻稳定性 安全

设计项目	计算与说明	结果
吊臂的设计计算	<p>2.8 固定基础稳定性计算</p> <p>固定式塔机使用的混凝土基础的设计应满足抗倾翻稳定性和强度条件。根据 GB/T 13752-92 《塔式起重机设计规范》P13 的 4.6.3 之规定,混凝土基础的抗倾翻稳定性的验算公式为:</p> $e = \frac{M + F_h \cdot h}{F_v + F_g} \leq \frac{b}{3} \quad (2.6)$ <p>式中:</p> <p>e—偏心距, 即地面反力的合力至基础中心的距离, m;</p> <p>M—作用在基础上的弯矩, N·m;</p> <p>F_v—作用在基础上的垂直载荷, N;</p> <p>F_h—作用在基础上的水平载荷, N;</p> <p>F_g—混凝土基础的重力, N;</p> <p>h—混凝土基础的高度, m;</p> <p>b—混凝土基础的宽度, m。</p>	
分析单吊点与双吊点的优缺点	<p>已知: F_g = 25t = 25 × 10⁴N</p> <p>h = 1.1m</p> <p>b = 7</p> <p>F_v = (22.637+6)t = 28.64 × 10⁴N</p> <p>F_h = F_{平衡臂} + F_{起重臂} + F_{塔顶} + F_{塔身} + F_{支座}</p> $= 133.515 + 40.3 + 748.476 + 4492.8 + 426.6$ $= 5841.691 \text{ N}$ <p>F_h · h = 5841.691 × 1.1 = 6425.860 N · m</p> <p>M_{物品} = 40 × 10⁴ N · m</p> $M_{风} = 133.515 \times \left(30 + \frac{0.75}{2} \right) + 40.3 \times \left(30 + \frac{0.8}{2} \right)$ $+ 748.476 \times \left(30 + \frac{6.115}{2} \right) + 4492.8 \times 15$ $+ 142.2 \times 27.271 + 284.4 \times 28.263$ $= 150791.007 \text{ Ngn}$	<p>采用双吊点</p> <p>第一吊点位置距离吊臂部</p> <p>11.090m 初选第二吊点两个位置距离吊臂根部</p> <p>27.970m、29.090m 和 26.850m</p>
吊臂吊点位置选择	<p>M = M_{物品} + M_风</p> $= 40 \times 10^4 + 109331.317$ $= 509331.317 \text{ N · m}$	

设计项目	计算与说明	结果
吊臂结构参数选择	<p>代入得：$e = \frac{509331.317 + 6425.860}{286400 + 250000} = 0.96 < \frac{7}{3}$</p> <p>说明基础稳定。</p>	

第三章 吊臂的设计计算

此次设计采用小车变幅水平臂架。小车变幅水平臂架，简称小车臂架，是一种承受压弯作用的水平臂架，是各式塔机广泛采用的一种吊臂。其优点是：变幅小车可以沿臂架全长进行水平位移，有效提高幅度利用率，并能平稳准确地进行安装就位。

40m 臂架选用标准节长度为 6m，正三角形截面，小车在下弦杆上侧行走。为使腹杆节点刚度较好，焊缝长度较大，本设计选用人字型布置方式。上弦杆选用 $\Phi 86 \times 6$ 、 $\Phi 89 \times 7$ 和 $\Phi 108 \times 8$ 无缝钢管，下弦杆选用两根 $\angle 63 \times 5$ 或两根 $\angle 70 \times 6$ 角钢对接焊接成方管形式。

3.1 分析单吊点与双吊点的优缺点

单吊点小车变幅臂架是静定结构，而双吊点小车变幅臂架是超静定结构。对于大幅度塔式起重机，采用单吊点结构与采用双吊点结构相比，在相同工况下，同一吊臂变形挠度下，臂架自重将会有明显的加大，致使用钢量加大，成本升高，经济性变差。

设计项目	计算与说明	结果																																																						
有限元模型建立过程的几点简化 自重及风载简化 吊点处约束的确定	<p>对于同一幅度的塔式起重机，与单吊点结构相比，采用双吊点，将会改变臂端吊重时的受力状况，有利于改善起升性能。据分析，与同等起升性能的单吊点结构臂架相比，自重约可减轻 5%-10%。因此该设计选用双吊点。</p> <p>3.2 吊臂吊点位置选择</p> <p>由《塔式起重机使用手册》P71-表 3-1-5 规定：第一吊点位置 $L_1=0.25L$, 第二吊点位置 $L_2=0.77L$ (L 为臂架长度)，参照同类型的塔式起重机确定第一吊点位置距离吊臂根部 11.090m，初选第二吊点三个位置。分别距离吊臂根部 27.970m、29.090m 和 26.850。</p> <p>通过后续过程的有限元分析计算，分别对这三种组合 (11.090m 和 27.970m, 29.090m 和 29.090m, 11.090m 和 26.850) 进行分析比较，选择最优组合。</p> <p>3.3 吊臂结构参数选择</p> <p>参照同类型塔机，初选吊臂各参数如表 3-1 所示：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>节数</th><th>一</th><th>二</th><th>三</th><th>四</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>长 度</td><td>3840</td><td>6000</td><td>6000</td><td>6000</td></tr> <tr> <td>上弦杆</td><td>$\Phi 83 \times 6$</td><td>$\Phi 83 \times 6$</td><td>$\Phi 89 \times 7$</td><td>$\Phi 89 \times 7$</td></tr> <tr> <td>下弦杆</td><td>$63^2 \times 5$</td><td>$63^2 \times 5$</td><td>$63^2 \times 5$</td><td>$63^2 \times 5$</td></tr> <tr> <td>水平面腹杆</td><td>$\Phi 32 \times 3$ (横) $\Phi 38 \times 3$ (斜)</td><td>$\Phi 32 \times 3$</td><td>$\Phi 32 \times 3$</td><td>$\Phi 32 \times 3$</td></tr> <tr> <td>侧面腹杆</td><td>$\Phi 38 \times 3$ (横) $\Phi 32 \times 3$ (竖)</td><td>$\Phi 32 \times 3$</td><td>$\Phi 32 \times 3$</td><td>$\Phi 32 \times 3$</td></tr> </tbody> </table> <p>表 3-1 吊臂结构参数 (单位: mm)</p> <p>(续表)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>节数</th><th>五</th><th>六</th><th>七</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>长 度</td><td>6000</td><td>6000</td><td>6000</td></tr> <tr> <td>上弦杆</td><td>$\Phi 89 \times 7$</td><td>$\Phi 108 \times 8$</td><td>$\Phi 108 \times 8$</td></tr> <tr> <td>下弦杆</td><td>$63^2 \times 5$</td><td>$70^2 \times 6$</td><td>$70^2 \times 6$</td></tr> <tr> <td>水平面腹杆</td><td>$\Phi 30 \times 3$</td><td>$\Phi 30 \times 3$</td><td>$\Phi 30 \times 3$</td></tr> <tr> <td>侧面腹杆</td><td>$\Phi 32 \times 3$</td><td>$\Phi 32 \times 3$</td><td>$\Phi 32 \times 3$</td></tr> </tbody> </table> <p>注：吊臂材料及规格： ①上弦杆及腹杆：无缝圆管 (20#) ②下弦杆：角钢焊合成方管状 (Q235)</p>	节数	一	二	三	四	长 度	3840	6000	6000	6000	上弦杆	$\Phi 83 \times 6$	$\Phi 83 \times 6$	$\Phi 89 \times 7$	$\Phi 89 \times 7$	下弦杆	$63^2 \times 5$	$63^2 \times 5$	$63^2 \times 5$	$63^2 \times 5$	水平面腹杆	$\Phi 32 \times 3$ (横) $\Phi 38 \times 3$ (斜)	$\Phi 32 \times 3$	$\Phi 32 \times 3$	$\Phi 32 \times 3$	侧面腹杆	$\Phi 38 \times 3$ (横) $\Phi 32 \times 3$ (竖)	$\Phi 32 \times 3$	$\Phi 32 \times 3$	$\Phi 32 \times 3$	节数	五	六	七	长 度	6000	6000	6000	上弦杆	$\Phi 89 \times 7$	$\Phi 108 \times 8$	$\Phi 108 \times 8$	下弦杆	$63^2 \times 5$	$70^2 \times 6$	$70^2 \times 6$	水平面腹杆	$\Phi 30 \times 3$	$\Phi 30 \times 3$	$\Phi 30 \times 3$	侧面腹杆	$\Phi 32 \times 3$	$\Phi 32 \times 3$	$\Phi 32 \times 3$	加载于迎风面上下弦杆
节数	一	二	三	四																																																				
长 度	3840	6000	6000	6000																																																				
上弦杆	$\Phi 83 \times 6$	$\Phi 83 \times 6$	$\Phi 89 \times 7$	$\Phi 89 \times 7$																																																				
下弦杆	$63^2 \times 5$	$63^2 \times 5$	$63^2 \times 5$	$63^2 \times 5$																																																				
水平面腹杆	$\Phi 32 \times 3$ (横) $\Phi 38 \times 3$ (斜)	$\Phi 32 \times 3$	$\Phi 32 \times 3$	$\Phi 32 \times 3$																																																				
侧面腹杆	$\Phi 38 \times 3$ (横) $\Phi 32 \times 3$ (竖)	$\Phi 32 \times 3$	$\Phi 32 \times 3$	$\Phi 32 \times 3$																																																				
节数	五	六	七																																																					
长 度	6000	6000	6000																																																					
上弦杆	$\Phi 89 \times 7$	$\Phi 108 \times 8$	$\Phi 108 \times 8$																																																					
下弦杆	$63^2 \times 5$	$70^2 \times 6$	$70^2 \times 6$																																																					
水平面腹杆	$\Phi 30 \times 3$	$\Phi 30 \times 3$	$\Phi 30 \times 3$																																																					
侧面腹杆	$\Phi 32 \times 3$	$\Phi 32 \times 3$	$\Phi 32 \times 3$																																																					
单元类型选择		上下弦杆选用三维梁单元、腹杆选用三维杆单元																																																						

设计项目	计算与说明	结果																												
模型生成分析过程	<p>一-四节: $\angle 75^2 \times 8$ 五-九节: $\angle 75^2 \times 5$ ③吊臂拉杆 $\phi 45$ 实心圆钢 (Q235)</p> <p>各杆件截面的几何特性如表 3-2 所示。</p> <p>表 3-2 杆件截面的几何特性</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>项目</th> <th>截面积 (m^2)</th> <th>惯性矩 (m^4)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>上弦杆一-二节 $\phi 83 \times 6$</td> <td>1.450e-3</td> <td>0.108e-5</td> </tr> <tr> <td>上弦杆三-五节 $\phi 89 \times 7$</td> <td>1.802e-3</td> <td>0.153e-5</td> </tr> <tr> <td>上弦杆六-七节 $\phi 108 \times 8$</td> <td>2.512e-3</td> <td>0.316e-5</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">腹杆</td> <td>$\phi 32 \times 3$</td> <td>0.273e-3</td> </tr> <tr> <td>$\phi 38 \times 3$</td> <td>0.330e-3</td> </tr> <tr> <td>$\phi 54 \times 4$</td> <td>0.628e-3</td> </tr> <tr> <td>下弦杆一-五节 $63^2 \times 4$</td> <td>1.160e-3</td> <td>0.655e-6</td> </tr> <tr> <td>下弦杆六-七节 $70^2 \times 6$</td> <td>1.536e-3</td> <td>0.106e-5</td> </tr> <tr> <td>吊臂拉杆 $\phi 48$</td> <td>1.808e-3</td> <td>0.260e-6</td> </tr> </tbody> </table>	项目	截面积 (m^2)	惯性矩 (m^4)	上弦杆一-二节 $\phi 83 \times 6$	1.450e-3	0.108e-5	上弦杆三-五节 $\phi 89 \times 7$	1.802e-3	0.153e-5	上弦杆六-七节 $\phi 108 \times 8$	2.512e-3	0.316e-5	腹杆	$\phi 32 \times 3$	0.273e-3	$\phi 38 \times 3$	0.330e-3	$\phi 54 \times 4$	0.628e-3	下弦杆一-五节 $63^2 \times 4$	1.160e-3	0.655e-6	下弦杆六-七节 $70^2 \times 6$	1.536e-3	0.106e-5	吊臂拉杆 $\phi 48$	1.808e-3	0.260e-6	
项目	截面积 (m^2)	惯性矩 (m^4)																												
上弦杆一-二节 $\phi 83 \times 6$	1.450e-3	0.108e-5																												
上弦杆三-五节 $\phi 89 \times 7$	1.802e-3	0.153e-5																												
上弦杆六-七节 $\phi 108 \times 8$	2.512e-3	0.316e-5																												
腹杆	$\phi 32 \times 3$	0.273e-3																												
	$\phi 38 \times 3$	0.330e-3																												
	$\phi 54 \times 4$	0.628e-3																												
下弦杆一-五节 $63^2 \times 4$	1.160e-3	0.655e-6																												
下弦杆六-七节 $70^2 \times 6$	1.536e-3	0.106e-5																												
吊臂拉杆 $\phi 48$	1.808e-3	0.260e-6																												
吊臂结构的有限元分析计算	<p>根据上述参数建立有限元模型，并对其进行分析计算，并校核其强度、刚度、稳定性。</p>																													
吊臂结构有限元分析程序命令流	<h3>3.4 有限元模型建立过程的几点简化</h3> <h4>3.4.1 自重及风载简化</h4> <p>对于吊臂自重通过定义吊臂材料密度和重力加速度加载，风载简化成均布载荷，加载于迎风面的上下弦杆上。</p> <h4>3.4.2 吊点处约束的确定</h4> <p>以往的手算设计吊臂中，往往将吊臂模型简化为如图 3-1 所示形式：</p>																													
前处理模块	<p>而实际上吊点处的约束完全由拉杆的拉力产生，拉力的水平分力对吊臂产生水平方向的轴向压力，拉杆的垂直分力约束吊臂垂直方向的位移。若按传统算法在吊点处加以垂直方向的约束，限制垂直方向的自由度，再算出水平力，以集中力的方式将水平载荷加入，发现水平载荷的加入会对垂直约束产生的反力有影响。也就是说，由于吊臂水平载荷的介入将</p>																													

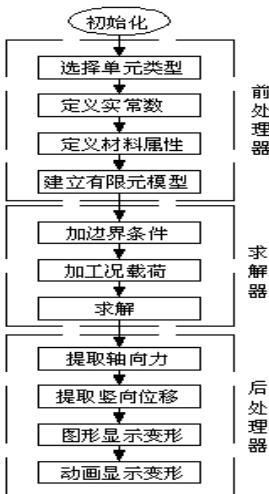
设计项目	计算与说明	结果
定义臂架一至七节节点	<p>产生一力偶，使吊点处垂直反力发生变化。为与现实更为符合，此次建模将与实际情况一样，用拉杆限制吊点约束，再将拉杆的另一端即塔顶处，除去一个旋转自由度以外的另外五个自由度给以约束。这样便能与实际情况符合，使分析结果更加接近实际。</p> <p>3.4.3 单元类型选择</p> <p>通过对吊臂的简化，忽略前后标准节之间的连接，把吊臂看成均匀的空间钢架。上下弦杆设置为三维梁单元，腹杆设置为三维杆单元。</p> <p>3.4.4 模型生成及分析过程</p> <p>利用命令流建模，先生成节点，通过节点再生成单元，然后施加载荷，再施加载荷时，在每组吊点组合中，分别按三种工况加载：吊臂最大有效幅度处，跨中处和吊臂最小有效幅度处。在分析中，修改模型两次（两组吊点位置），每种模型分别按以上三个工况加载。</p> <p>3.5 吊臂结构的有限元分析计算</p> <p>本设计中吊臂结构的有限元分析计算采用了 ANSYS10.0 软件，整个分析程序流程具体如图 3-2 所示：</p>  <pre> graph TD Init([初始化]) --> Select[选择单元类型] Select --> DefineC[定义实常数] DefineC --> DefineM[定义材料属性] DefineM --> Build[建立有限元模型] Build --> Boundary[加边界条件] Boundary --> Load[加工况载荷] Load --> Solve[求解] Solve --> ExtractA[提取轴向力] ExtractA --> ExtractS[提取竖向位移] ExtractS --> ShowG[图形显示变形] ShowG --> ShowA[动画显示变形] </pre>	

图 3-2 程序流程图

程序命令流如下（以工况 II 为例）：

```

FINISH      !退出以前模块
/CLEAR      !清除系统中所有数据
!设置工程的选项

```

设计项目	计算与说明	结果
	<pre> /FILNAME, EX1.1 !指定当前工程文件名, 所有数据用该文件名保存 /UNITS, SI !申明采用国际单位制 /TITLE, EX1.1, A BEAM ANALYSIS OF QTZ40 !定义标题 !进入前处理模块, 定义节点 /PREP7 !进入前处理器, 定义有限元模型 /VIEW, 1, 1, 1, 3 !指定一号窗口视点 (1, 1, 3) !第一节臂 N, 133, 36.000, 0.8, 0 N, 134, 36.200, 0.8, 0 N, 135, 36.850, 0.8, 0 N, 136, 38.150, 0.8, 0 N, 137, 38.452, 0.8, 0 N, 138, 36.000, 0, -0.510 N, 139, 36.200, 0, -0.510 N, 140, 37.500, 0, -0.510 N, 141, 38.800, 0, -0.510 N, 142, 39.400, 0, -0.350 N, 143, 39.840, 0, -0.510 N, 144, 39.840, 0, -0.250 N, 145, 36.000, 0, 0.510 N, 146, 36.200, 0, 0.510 N, 147, 37.500, 0, 0.510 N, 148, 38.800, 0, 0.510 N, 149, 39.400, 0, 0.350 N, 150, 39.840, 0, 0.510 N, 151, 39.840, 0, 0.250 !第二节臂 N, 111, 30.000, 0.8, 0 N, 112, 30.200, 0.8, 0 N, 113, 30.760, 0.8, 0 </pre>	

设计项目	计算与说明	结果
	<p>N, 114, 31. 880, 0. 8, 0</p> <p>N, 115, 33. 000, 0. 8, 0</p> <p>N, 116, 34. 120, 0. 8, 0</p> <p>N, 117, 35. 240, 0. 8, 0</p> <p>N, 118, 35. 800, 0. 8, 0</p> <p>N, 119, 30. 000, 0, -0. 510</p> <p>N, 120, 30. 200, 0, -0. 510</p> <p>N, 121, 31. 320, 0, -0. 510</p> <p>N, 122, 32. 440, 0, -0. 510</p> <p>N, 123, 33. 560, 0, -0. 510</p> <p>N, 124, 34. 680, 0, -0. 510</p> <p>N, 125, 35. 800, 0, -0. 510</p> <p>N, 126, 30. 000, 0, 0. 510</p> <p>N, 127, 30. 200, 0, 0. 510</p> <p>N, 128, 31. 320, 0, 0. 510</p> <p>N, 129, 32. 440, 0, 0. 510</p> <p>N, 130, 33. 560, 0, 0. 510</p> <p>N, 131, 34. 680, 0, 0. 510</p> <p>N, 132, 35. 800, 0, 0. 510</p> <p>!第三节臂</p> <p>N, 89, 24, 0. 8, 0</p> <p>N, 90, 24. 2, 0. 8, 0</p> <p>N, 91, 24. 76, 0. 8, 0</p> <p>N, 92, 25. 88, 0. 8, 0</p> <p>N, 93, 27, 0. 8, 0</p> <p>N, 94, 28. 12, 0. 8, 0</p> <p>N, 95, 29. 24, 0. 8, 0</p> <p>N, 96, 29. 8, 0. 8, 0</p> <p>N, 97, 24, 0, -0. 51</p> <p>N, 98, 24. 2, 0, -0. 51</p> <p>N, 99, 25. 32, 0, -0. 51</p> <p>N, 100, 26. 44, 0, -0. 51</p> <p>N, 101, 27. 56, 0, -0. 51</p>	

设计项目	计算与说明	结果
	<p>N, 102, 28. 68, 0, -0. 51</p> <p>N, 103, 29. 8, 0, -0. 51</p> <p>N, 104, 24, 0, 0. 51</p> <p>N, 105, 24. 2, 0, 0. 51</p> <p>N, 106, 25. 32, 0, 0. 51</p> <p>N, 107, 26. 44, 0, 0. 51</p> <p>N, 108, 27. 56, 0, 0. 51</p> <p>N, 109, 28. 68, 0, 0. 51</p> <p>N, 110, 29. 8, 0, 0. 51</p> <p>!第四节臂</p> <p>N, 67, 18. 000, 0. 8, 0</p> <p>N, 68, 18. 200, 0. 8, 0</p> <p>N, 69, 18. 760, 0. 8, 0</p> <p>N, 70, 19. 880, 0. 8, 0</p> <p>N, 71, 21. 000, 0. 8, 0</p> <p>N, 72, 22. 120, 0. 8, 0</p> <p>N, 73, 23. 240, 0. 8, 0</p> <p>N, 74, 23. 800, 0. 8, 0</p> <p>N, 75, 18. 000, 0, -0. 510</p> <p>N, 76, 18. 200, 0, -0. 510</p> <p>N, 77, 19. 320, 0, -0. 510</p> <p>N, 78, 20. 440, 0, -0. 510</p> <p>N, 79, 21. 560, 0, -0. 510</p> <p>N, 80, 22. 680, 0, -0. 510</p> <p>N, 81, 23. 800, 0, -0. 510</p> <p>N, 82, 18. 000, 0, 0. 510</p> <p>N, 83, 18. 200, 0, 0. 510</p> <p>N, 84, 19. 320, 0, 0. 510</p> <p>N, 85, 20. 440, 0, 0. 510</p> <p>N, 86, 21. 560, 0, 0. 510</p> <p>N, 87, 22. 680, 0, 0. 510</p> <p>N, 88, 23. 800, 0, 0. 510</p> <p>!第五节臂</p>	

设计项目	计算与说明	结果
	N, 45, 12, 0. 8, 0 N, 46, 12. 2, 0. 8, 0 N, 47, 12. 76, 0. 8, 0 N, 48, 13. 88, 0. 8, 0 N, 49, 15, 0. 8, 0 N, 50, 16. 12, 0. 8, 0 N, 51, 17. 24, 0. 8, 0 N, 52, 17. 8, 0. 8, 0 N, 53, 12, 0, -0. 51 N, 54, 12. 2, 0, -0. 51 N, 55, 13. 32, 0, -0. 51 N, 56, 14. 44, 0, -0. 51 N, 57, 15. 56, 0, -0. 51 N, 58, 16. 68, 0, -0. 51 N, 59, 17. 8, 0, -0. 51 N, 60, 12, 0, 0. 51 N, 61, 12. 2, 0, 0. 51 N, 62, 13. 32, 0, 0. 51 N, 63, 14. 44, 0, 0. 51 N, 64, 15. 56, 0, 0. 51 N, 65, 16. 68, 0, 0. 51 N, 66, 17. 8, 0, 0. 51 ! 第六节臂 N, 23, 6. 000, 0. 8, 0 N, 24, 6. 200, 0. 8, 0 N, 25, 6. 760, 0. 8, 0 N, 26, 7. 880, 0. 8, 0 N, 27, 9. 000, 0. 8, 0 N, 28, 10. 120, 0. 8, 0 N, 29, 11. 240, 0. 8, 0 N, 30, 11. 800, 0. 8, 0 N, 31, 6. 000, 0, -0. 510 N, 32, 6. 200, 0, -0. 510	
塔尖节点 定义工况 节点		

设计项目	计算与说明	结果
	N, 33, 7. 320, 0, -0. 510 N, 34, 8. 440, 0, -0. 510 N, 35, 9. 560, 0, -0. 510 N, 36, 10. 680, 0, -0. 510 N, 37, 11. 800, 0, -0. 510 N, 38, 6. 000, 0, 0. 510 N, 39, 6. 200, 0, 0. 510 N, 40, 7. 320, 0, 0. 510 N, 41, 8. 440, 0, 0. 510 N, 42, 9. 560, 0, 0. 510 N, 43, 10. 680, 0, 0. 510 N, 44, 11. 800, 0, 0. 510 !第七节臂 N, 1, 1. 528, 0. 8, 0 N, 2, 1. 880, 0. 8, 0 N, 3, 3. 080, 0. 8, 0 N, 4, 4. 120, 0. 8, 0 N, 5, 5. 240, 0. 8, 0 N, 22, 5. 8, 0. 8, 0 N, 6, 0, 0, 0. 506 N, 7, 0. 2, 0, 0. 506 N, 8, 0. 2, 0, 0. 18 N, 9, 1. 320, 0, 0. 506 N, 10, 2. 44, 0, 0. 506 N, 11, 3. 56, 0, 0. 506 N, 12, 4. 68, 0, 0. 506 N, 13, 5. 8, 0, 0. 506 N, 14, 0, 0, -0. 506 N, 15, 0. 2, 0, -0. 506 N, 16, 0. 2, 0, -0. 18 N, 17, 1. 320, 0, -0. 506 N, 18, 2. 44, 0, -0. 506 N, 19, 3. 56, 0, -0. 506	

设计项目	计算与说明	结果
定义臂架 上弦杆一 至二节	<p>N, 20, 4. 68, 0, -0. 506 N, 21, 5. 8, 0, -0. 506 ! 定义拉杆上端塔尖处节点 N, 152, -0. 27, 6. 45, 0 ! 定义工况节点 N, 152, 2, 0, -0. 506 N, 153, 2, 0, 0. 506 N, 154, 20, 0, -0. 51 N, 155, 20, 0, 0. 51 N, 156, 40, 0, -0. 51 N, 157, 40, 0, 0. 51 ! 在前处理模块中, 定义求解类型、单元类型、材料属性、 实常数和各个单元</p>	
定义臂架 上弦杆三 至五节	<p>ANTYPE, STATIC ET, 1, BEAM4 ET, 2, LINK8 ! 定义单元材料属性</p>	<p>! 定义分析类型为静力分析 ! 定义第 1 类单元为三维梁单元 ! 定义第 2 类单元为三维杆单元</p>
定义臂架 上弦杆六 至七节	<p>MP, EX, 1, 210E9 MP, PRXY, 1, 0. 3 MP, DENS, 1, 7800 ACEL, 0, 9. 8, 0 ! 定义梁单元实常数 ! 上弦杆一-二节实常数</p>	<p>! 定义材料的弹性模量为 210GPa ! 定义材料的泊松比为 0. 3 ! 定义材料的密度为 7800 ! 定义沿-Y 向的重力加速度 9. 8</p>
定义臂架 前侧下弦 杆一至五 节	<p>R, 1, 0. 00145, 0. 108E-05, 0. 108E-05, 0. 083, 0. 083 ! 上弦杆二-五节实常数 R, 2, 0. 001802, 0. 153E-05, 0. 153E-05, 0. 089, 0. 089 ! 上弦杆六-七节实常数 R, 3, 0. 002512, 0. 316E-05, 0. 316E-05, 0. 108, 0. 108 ! 下弦杆一-五节实常数 R, 4, 0. 00116, 0. 655E-06, 0. 655E-06, 0. 063, 0. 063 ! 下弦杆六-七节实常数 R, 5, 0. 001536, 0. 106E-05, 0. 106E-05, 0. 070, 0. 070 ! 定义杆单元实常数</p>	

设计项目	计算与说明	结果
定义臂架后侧下弦杆一至五节	!腹杆 $\phi 32 \times 3$ 实常数 R, 6, 0. 273E-03, 0. 290E-07, 0 !腹杆 $\phi 38 \times 3$ 实常数 R, 7, 0. 330E-03, 0. 508E-07, 0 !腹杆 $\phi 54 \times 4$ 实常数 R, 8, 0. 628E-03, 0. 20E-06, 0 !吊臂拉杆 $\phi 48$ 实常数 R, 9, 1. 808E-03, 0. 260E-06, 0! !定义臂架上弦杆一至四节 !定义臂架上弦杆一至二节 TYPE, 1 REAL, 1 !上弦杆 E, 133, 134 \$ E, 134, 135 \$ E, 135, 136 \$ E, 136, 137 E, 111, 112 \$ E, 112, 113 \$ E, 113, 114 \$ E, 114, 115 E, 115, 116 \$ E, 116, 117 \$ E, 117, 118 \$ E, 118, 133	
定义臂架前侧下弦杆六至七节	!定义臂架上弦杆三至五节 TYPE, 1 REAL, 2 E, 89, 90 \$ E, 90, 91 \$ E, 91, 92 \$ E, 92, 93 E, 93, 94 \$ E, 94, 95 \$ E, 95, 96 \$ E, 96, 111	
定义臂架后侧下弦杆六至七节	E, 67, 68 \$ E, 68, 69 \$ E, 69, 70 \$ E, 70, 71 E, 71, 72 \$ E, 72, 73 \$ E, 73, 74 \$ E, 74, 89 E, 45, 46 \$ E, 46, 47 \$ E, 47, 48 \$ E, 48, 49 E, 49, 50 \$ E, 50, 51 \$ E, 51, 52 \$ E, 52, 67 !定义臂架上弦杆六至七节 TYPE, 1	
定义臂架一节侧腹杆	REAL, 3 E, 23, 24 \$ E, 24, 25 \$ E, 25, 26 \$ E, 26, 27 E, 27, 28 \$ E, 28, 29 \$ E, 29, 30 \$ E, 30, 45 E, 1, 2 \$ E, 2, 3 \$ E, 3, 4 \$ E, 4, 5 E, 5, 22 \$ E, 22, 23 !定义臂架前侧下弦杆一至五节 TYPE, 1	

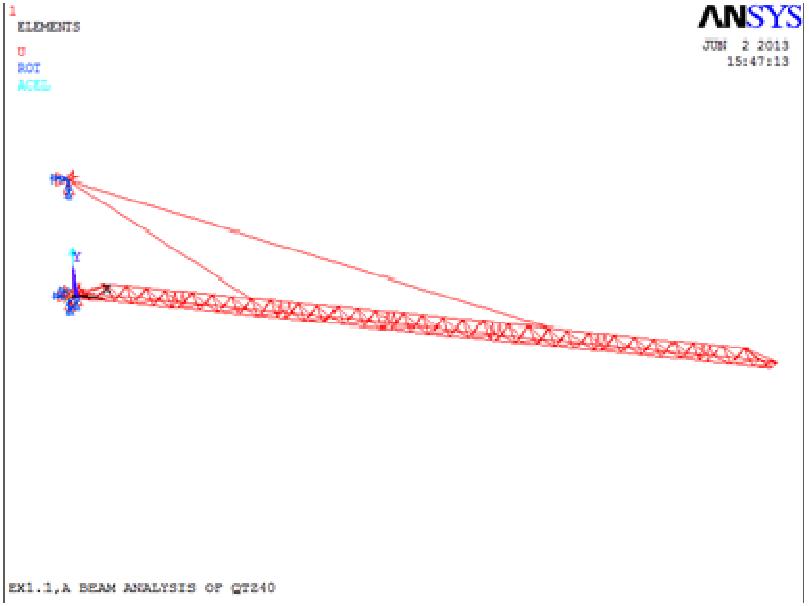
设计项目	计算与说明	结果
定义臂架 一节水平 面腹杆	<p>REAL, 4</p> <p>E, 145, 146 \$ E, 146, 147 \$ E, 147, 148 \$ E, 148, 150 E, 126, 127 \$ E, 127, 128 \$ E, 128, 129 \$ E, 129, 130 E, 130, 131 \$ E, 131, 132 \$ E, 132, 145 \$ E, 104, 105 E, 105, 106 \$ E, 106, 107 \$ E, 107, 108 \$ E, 108, 109 E, 109, 110 \$ E, 110, 126 \$ E, 82, 83 \$ E, 83, 84 E, 84, 85 \$ E, 85, 86 \$ E, 86, 87 \$ E, 87, 88 E, 88, 104 \$ E, 60, 61 \$ E, 61, 62 \$ E, 62, 63 E, 63, 64 \$ E, 64, 65 \$ E, 65, 66 \$ E, 66, 82 ! 定义臂架后侧下弦杆一至五节</p> <p>TYPE, 1</p> <p>REAL, 4</p> <p>E, 138, 139 \$ E, 139, 140 \$ E, 140, 141 \$ E, 141, 143 E, 119, 120 \$ E, 120, 121 \$ E, 121, 122 \$ E, 122, 123 E, 123, 124 \$ E, 124, 125 \$ E, 125, 138 \$ E, 97, 98 E, 98, 99 \$ E, 99, 100 \$ E, 100, 101 \$ E, 101, 102 E, 102, 103 \$ E, 103, 119 \$ E, 75, 76 \$ E, 76, 77 E, 77, 78 \$ E, 78, 79 \$ E, 79, 80 \$ E, 80, 81 E, 81, 97 \$ E, 53, 54 \$ E, 54, 55 \$ E, 55, 56 E, 56, 57 \$ E, 57, 58 \$ E, 58, 59 \$ E, 59, 75</p>	
定义臂架 二至五节 侧腹杆	<p>! 定义臂架前侧下弦杆六至七节</p> <p>TYPE, 1</p> <p>REAL, 4</p> <p>E, 38, 39 \$ E, 39, 40 \$ E, 40, 41 \$ E, 41, 42 E, 42, 43 \$ E, 43, 44 \$ E, 44, 60 \$ E, 6, 7 E, 7, 9 \$ E, 9, 10 \$ E, 10, 11 \$ E, 11, 12 E, 12, 13 \$ E, 13, 38</p> <p>! 定义臂架后侧下弦杆六至七节</p> <p>TYPE, 1</p> <p>REAL, 4</p> <p>E, 14, 15 \$ E, 15, 17 \$ E, 17, 18 \$ E, 18, 19 E, 19, 20 \$ E, 20, 21 \$ E, 21, 31 \$ E, 31, 32 E, 32, 33 \$ E, 33, 34 \$ E, 34, 35 \$ E, 35, 36</p>	

设计项目	计算与说明	结果
定义臂架 二至五节 水平面腹 杆	<p>E, 36, 37 \$ E, 37, 53 ! 定义臂架一节侧腹杆 ! 斜缀条 TYPE, 2 REAL, 7 E, 136, 143 \$ E, 136, 150 TYPE, 2 REAL, 6 E, 135, 139 \$ E, 135, 140 \$ E, 136, 140 \$ E, 136, 141 E, 135, 146 \$ E, 135, 147 \$ E, 136, 147 \$ E, 136, 148 ! 坚缀条 TYPE, 2 REAL, 6 E, 134, 139 \$ E, 134, 146 ! 定义臂架一节水平面腹杆 ! 横缀条 TYPE, 2 REAL, 6 E, 139, 146 \$ E, 140, 147 \$ E, 141, 148 \$ E, 142, 149 E, 143, 150 ! 斜缀条 TYPE, 2 REAL, 7 E, 139, 147 \$ E, 141, 147 TYPE, 2 REAL, 6 E, 141, 144 \$ E, 148, 151 ! 定义臂架二至五节侧腹杆 ! 斜缀条 TYPE, 2 REAL, 6 E, 113, 120 \$ E, 113, 121 \$ E, 114, 121 \$ E, 114, 122 E, 115, 122 \$ E, 115, 123 \$ E, 116, 123 \$ E, 116, 124 </p>	

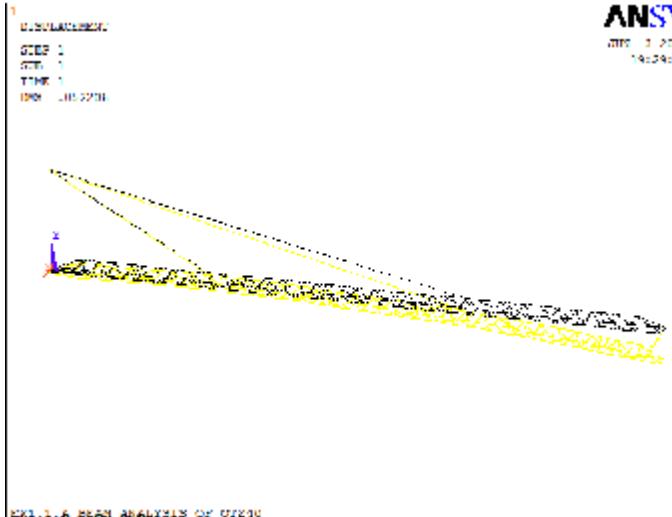
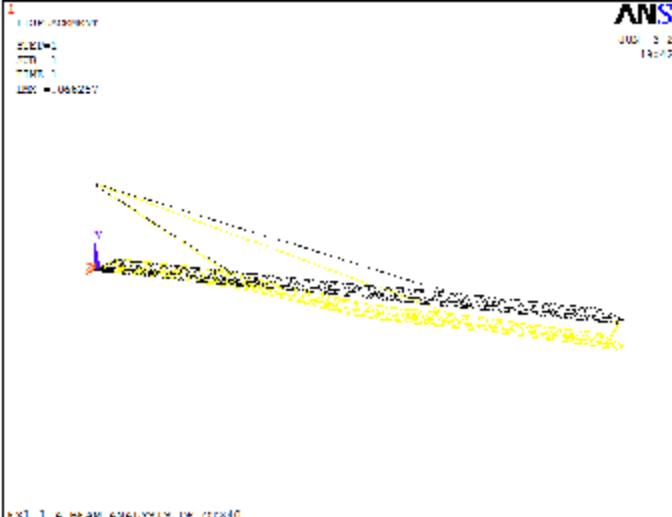
设计项目	计算与说明	结果
定义臂架六节侧腹杆	<p>E, 117, 124 \$ E, 117, 125 \$ E, 113, 127 \$ E, 113, 128 E, 114, 128 \$ E, 114, 129 \$ E, 115, 129 \$ E, 115, 130 E, 116, 130 \$ E, 116, 131 \$ E, 117, 131 \$ E, 117, 132 E, 98, 91 \$ E, 91, 99 \$ E, 99, 92 \$ E, 92, 100 E, 100, 93 \$ E, 93, 101 \$ E, 101, 94 \$ E, 94, 102 E, 102, 95 \$ E, 95, 103 \$ E, 105, 91 \$ E, 91, 106 E, 106, 92 \$ E, 92, 107 \$ E, 107, 93 \$ E, 93, 108 E, 108, 94 \$ E, 94, 109 \$ E, 109, 95 \$ E, 95, 110 E, 69, 76 \$ E, 69, 77 \$ E, 70, 77 \$ E, 70, 78 E, 71, 78 \$ E, 71, 79 \$ E, 72, 79 \$ E, 72, 80 E, 73, 80 \$ E, 73, 81 \$ E, 69, 83 \$ E, 69, 84 E, 70, 84 \$ E, 70, 85 \$ E, 71, 85 \$ E, 71, 86 E, 72, 86 \$ E, 72, 87 \$ E, 73, 87 \$ E, 73, 88 E, 54, 47 \$ E, 47, 55 \$ E, 55, 48 \$ E, 48, 56 E, 56, 49 \$ E, 49, 57 \$ E, 57, 50 \$ E, 50, 58 E, 58, 51 \$ E, 51, 59 \$ E, 61, 47 \$ E, 47, 62 E, 62, 48 \$ E, 48, 63 \$ E, 63, 49 \$ E, 49, 64 E, 64, 50 \$ E, 50, 65 \$ E, 65, 51 \$ E, 51, 66 !竖缀条 TYPE, 2 REAL, 6</p> <p>E, 112, 120 \$ E, 112, 127 \$ E, 118, 125 \$ E, 118, 132 E, 90, 98 \$ E, 90, 105 \$ E, 96, 103 \$ E, 110, 96 E, 68, 76 \$ E, 68, 83 \$ E, 74, 81 \$ E, 74, 88 E, 46, 54 \$ E, 46, 61 \$ E, 52, 59 \$ E, 66, 52</p>	
定义臂架六节水平面腹杆	<p>!定义臂架二至五节水平面腹杆 !横缀条 TYPE, 2 REAL, 6</p>	
定义臂架七节侧腹杆	<p>E, 120, 127 \$ E, 121, 128 \$ E, 122, 129 \$ E, 123, 130 E, 124, 131 \$ E, 125, 132 \$ E, 98, 105 \$ E, 99, 106 E, 100, 107 \$ E, 101, 108 \$ E, 102, 109 \$ E, 103, 110 E, 76, 83 \$ E, 77, 84 \$ E, 78, 85 \$ E, 79, 86</p>	

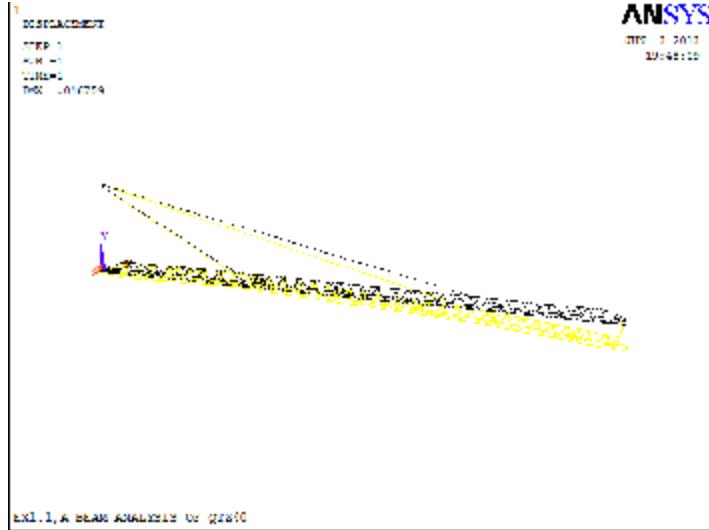
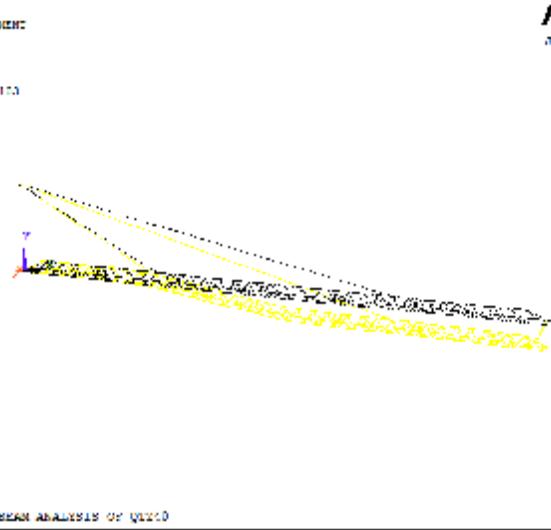
设计项目	计算与说明	结果
定义臂架 七节水平 面腹杆	<p>E, 80, 87 \$ E, 81, 88 \$ E, 54, 61 \$ E, 55, 62 E, 56, 63 \$ E, 57, 64 \$ E, 58, 65 \$ E, 59, 66 !斜缀条 TYPE, 2 REAL, 6 E, 121, 127 \$ E, 121, 129 \$ E, 123, 129 \$ E, 123, 131 E, 125, 131 \$ E, 98, 106 \$ E, 106, 100 \$ E, 100, 108 E, 108, 102 \$ E, 102, 110 \$ E, 77, 83 \$ E, 77, 85 E, 79, 85 \$ E, 79, 87 \$ E, 81, 87 \$ E, 54, 62 E, 62, 56 \$ E, 56, 64 \$ E, 64, 58 \$ E, 58, 66 !定义臂架六节侧腹杆 !斜缀条 TYPE, 2 REAL, 7 E, 25, 32 \$ E, 25, 33 \$ E, 26, 33 \$ E, 26, 34 E, 27, 34 \$ E, 27, 35 \$ E, 28, 35 \$ E, 28, 36 E, 29, 36 \$ E, 29, 37 \$ E, 25, 39 \$ E, 25, 40 E, 26, 40 \$ E, 26, 41 \$ E, 27, 41 \$ E, 27, 42 E, 28, 42 \$ E, 28, 43 \$ E, 29, 43 \$ E, 29, 44 !竖缀条 TYPE, 2 REAL, 6 E, 24, 32 \$ E, 24, 39 \$ E, 30, 37 \$ E, 30, 44 !定义臂架六节水平面腹杆 !横缀条 TYPE, 2 REAL, 6 E, 32, 39 \$ E, 33, 40 \$ E, 34, 41 \$ E, 35, 42 E, 36, 43 \$ E, 37, 44 !斜缀条 TYPE, 2 REAL, 7 E, 33, 39 \$ E, 33, 41 \$ E, 35, 41 \$ E, 35, 43</p>	
施加 2m 工 况集中载 荷		
退出前处 理并进入		

设计项目	计算与说明	结果
求解模块	E, 37, 43 ! 定义臂架七节侧腹杆	
施加 20m 工况集中 载荷并求 解	! 斜缀条 TYPE, 2 REAL, 7 E, 2, 17 \$ E, 2, 18 \$ E, 3, 18 \$ E, 3, 19 E, 4, 19 \$ E, 4, 20 \$ E, 5, 20 \$ E, 5, 21 E, 2, 9 \$ E, 2, 10 \$ E, 3, 10 \$ E, 3, 11 E, 4, 11 \$ E, 4, 12 \$ E, 5, 12 \$ E, 5, 13	
施加 40m 工况集中 载荷并求 解 退出求解 模块	TYPE, 2 REAL, 8 E, 2, 15 \$ E, 2, 7 ! 竖缀条 TYPE, 2 REAL, 6 E, 22, 21 \$ E, 22, 13 ! 定义臂架七节水平面腹杆 ! 横缀条 TYPE, 2 REAL, 6	
模型示意 图	E, 15, 7 \$ E, 17, 9 \$ E, 18, 10 \$ E, 19, 11 E, 20, 12 \$ E, 21, 13 ! 斜缀条 TYPE, 2 REAL, 7 E, 16, 17 \$ E, 8, 9 \$ E, 9, 18 \$ E, 18, 11 E, 11, 20 \$ E, 20, 13 ! 定义吊臂拉杆	
进入后处 理模块	TYPE, 2 REAL, 9 E, 28, 152	
读入 2m 工 况并显示	E, 93, 152FINISH ! 进入求解模块	! 退出前处理模块

设计项目	计算与说明	结果
各工况数据		
工况 1-1 变形图	<p>!进入后处理模块, 显示结果 /POST1</p> <p>SET, 1, 1 !读入第 1 个载荷步的计算结果 PLDISP, 2 !显示图形变形情况, 用虚线表示</p> <p>原模型</p> <p>PRNSOL, U, Y !列表显示节点位移计算结果 ETABLE, MFORX, SMI SC, 1! 建立元素结果表, 列出单元轴向力 PRETAB !显示单元表中内容</p> <p>SET, 2, 1 !读入第 2 个载荷步的计算结果 PLDISP, 2 !显示图形变形情况, 用虚线表示</p> <p>原模型</p> <p>PRNSOL, U, Y !列表显示节点位移计算结果 ETABLE, MFORX, SMI SC, 1! 建立元素结果表, 列出单元轴向力 PRETAB !显示单元表中内容</p>	
工况 1-2 变形图	<p>SET, 3, 1 !读入第 3 个载荷步的计算结果 PLDISP, 2 !显示图形变形情况, 用虚线表示</p> <p>原模型</p> <p>PRNSOL, U, Y !列表显示节点位移计算结果 ETABLE, MFORX, SMI SC, 1! 建立元素结果表, 列出单元轴向力 PRETAB !显示单元表中内容</p>	

设计项目	计算与说明				结果																																																	
工况 1-3 变形图	FINISH !退出后处理模块																																																					
	3.6 计算结果分析																																																					
	3.6.1 确定优化结论																																																					
	各工况分类如表 3-3 所示：																																																					
	表 3-3 工况分类																																																					
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>工况</th><th>第一吊点位置 (m)</th><th>第二吊点位置 (m)</th><th>加载位置 (m)</th><th>加载大小 (t)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1-1</td><td rowspan="3">27.970</td><td rowspan="3">11.090</td><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>1-2</td><td>20</td><td>2.19</td></tr> <tr><td>1-3</td><td>40</td><td>1</td></tr> <tr><td>2-1</td><td rowspan="3">29.090</td><td rowspan="3">26.850</td><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>2-2</td><td>20</td><td>2.19</td></tr> <tr><td>2-3</td><td>40</td><td>1</td></tr> <tr><td>3-1</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="7"></td><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>3-1</td><td>20</td><td>2.19</td></tr> <tr><td>3-1</td><td>40</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>				工况	第一吊点位置 (m)	第二吊点位置 (m)	加载位置 (m)	加载大小 (t)	1-1	27.970	11.090	2	4	1-2	20	2.19	1-3	40	1	2-1	29.090	26.850	2	4	2-2	20	2.19	2-3	40	1	3-1			2	4	3-1	20	2.19	3-1	40	1												
工况	第一吊点位置 (m)	第二吊点位置 (m)	加载位置 (m)	加载大小 (t)																																																		
1-1	27.970	11.090	2	4																																																		
1-2			20	2.19																																																		
1-3			40	1																																																		
2-1	29.090	26.850	2	4																																																		
2-2			20	2.19																																																		
2-3			40	1																																																		
3-1			2	4																																																		
3-1			20	2.19																																																		
3-1			40	1																																																		
注：1. 以上位置均为距离塔身中心线的水平距离 2. 加载作用点位于下弦杆上																																																						
通过对模型求解，提取臂架在两组吊点位置，三种加载情况下的-Y 向位移，即最大挠度，和最大受压杆件的位置及最大压力，如表 3-4 所示：																																																						
工况 2-1 变形图	表 3-4 各工况数据																																																					
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>工况</th><th>最大变形节点</th><th>最大挠度 (mm)</th><th>最大受压构件</th><th>最大压力值 (N)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1-1</td><td>150</td><td>52.157</td><td>七节上弦</td><td>86037</td></tr> <tr><td>1-2</td><td>150</td><td>62.853</td><td>四节上弦</td><td>120260</td></tr> <tr><td>1-3</td><td>150</td><td>209.08</td><td>七节下弦</td><td>102020</td></tr> <tr><td>2-1</td><td>150</td><td>46.709</td><td>七节上弦</td><td>85508</td></tr> <tr><td>2-2</td><td>150</td><td>57.665</td><td>四节上弦</td><td>126780</td></tr> <tr><td>2-3</td><td>150</td><td>186.11</td><td>七节下弦</td><td>107640</td></tr> <tr><td>3-1</td><td>150</td><td>59.098</td><td>七节上弦</td><td>86484</td></tr> <tr><td>3-2</td><td>150</td><td>70.417</td><td>四节上弦</td><td>111520</td></tr> <tr><td>3-3</td><td>150</td><td>236.92</td><td>三节下弦</td><td>103740</td></tr> </tbody> </table>				工况	最大变形节点	最大挠度 (mm)	最大受压构件	最大压力值 (N)	1-1	150	52.157	七节上弦	86037	1-2	150	62.853	四节上弦	120260	1-3	150	209.08	七节下弦	102020	2-1	150	46.709	七节上弦	85508	2-2	150	57.665	四节上弦	126780	2-3	150	186.11	七节下弦	107640	3-1	150	59.098	七节上弦	86484	3-2	150	70.417	四节上弦	111520	3-3	150	236.92	三节下弦	103740
工况	最大变形节点	最大挠度 (mm)	最大受压构件	最大压力值 (N)																																																		
1-1	150	52.157	七节上弦	86037																																																		
1-2	150	62.853	四节上弦	120260																																																		
1-3	150	209.08	七节下弦	102020																																																		
2-1	150	46.709	七节上弦	85508																																																		
2-2	150	57.665	四节上弦	126780																																																		
2-3	150	186.11	七节下弦	107640																																																		
3-1	150	59.098	七节上弦	86484																																																		
3-2	150	70.417	四节上弦	111520																																																		
3-3	150	236.92	三节下弦	103740																																																		
各工况时臂架结构受力变形图如图 3-4、3-5、3-6、3-7、3-8、3-9、3-10、3-11、3-12 所示：																																																						

设计项目	计算与说明	结果
工况 2-2 变形图	 <p>DISPLACEMENT STEP: 1 ITER: 1 TIME: 1 MAX = 0.0270</p> <p>EX1.1, A BEAM ANALYSIS OF QT240</p>	
工况 2-3 变形图	 <p>DISPLACEMENT STEP: 1 ITER: 1 TIME: 1 MAX = 0.0287</p> <p>EX1.1, A BEAM ANALYSIS OF QT240</p>	<p>图 3-4 工况 1-1 变形图</p> <p>图 3-5 工况 1-2 变形图</p>

设计项目	计算与说明	结果
工况 3-1 变形图	<p data-bbox="668 323 980 359">图 3-6 工况 1-3 变形图</p> 	
工况 3-2 变形图	<p data-bbox="668 1064 980 1100">图 3-7 工况 2-1 变形图</p> 	
	<p data-bbox="668 1731 980 1767">图 3-8 工况 2-2 变形图</p>	

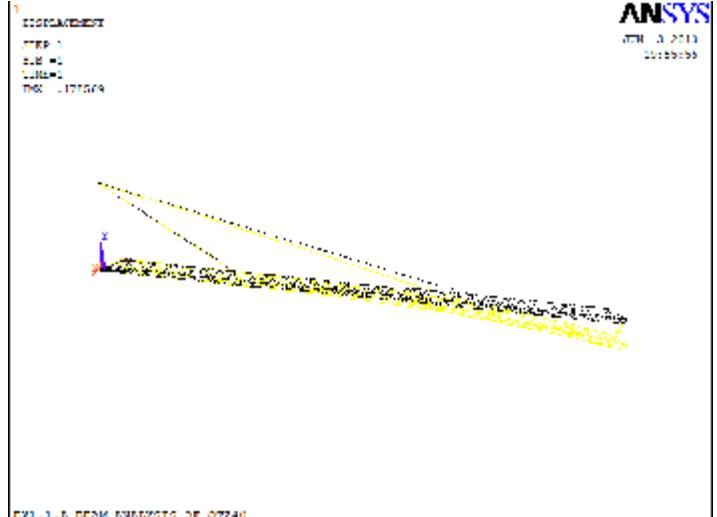
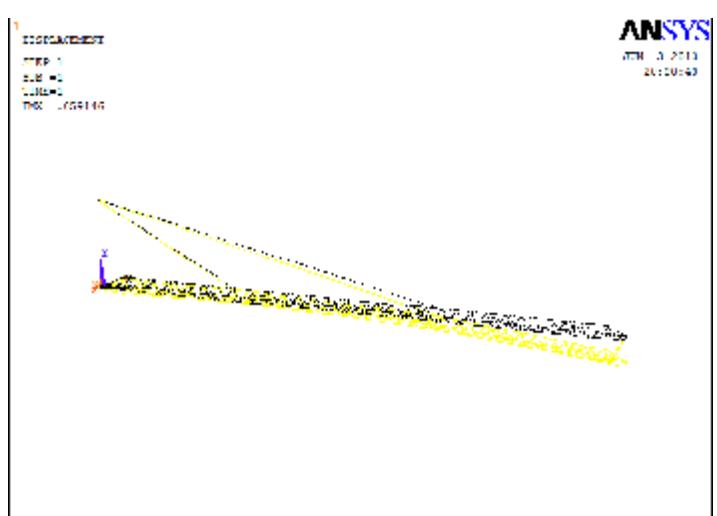
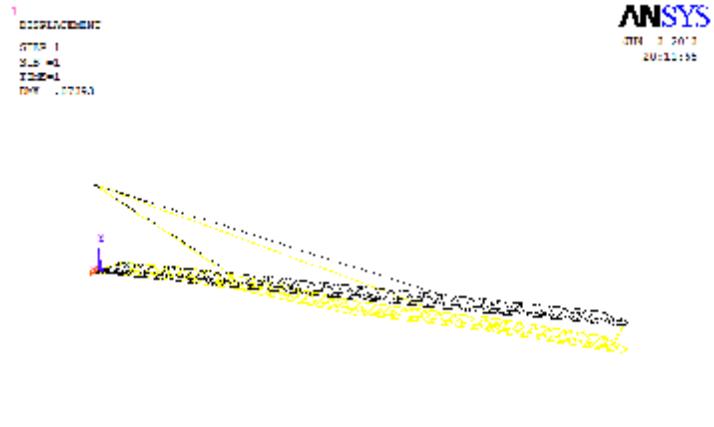
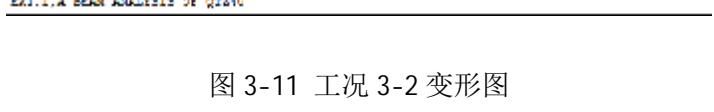
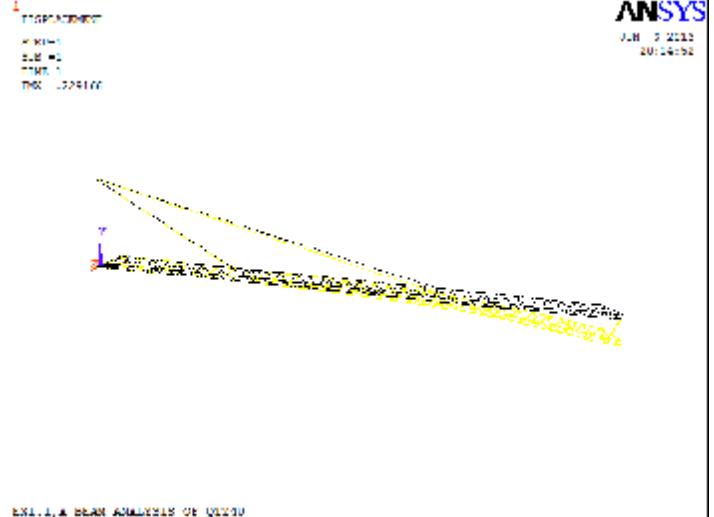
设计项目	计算与说明	结果
工况 3-3 变形图	 <p>DISPLACEMENT STEP 1 SUB 1 LOAD 2 MAX -1375.04</p> <p>EX1.1,6 FROM ANALYSIS OF Q7240</p> <p>ANSYS JUN 3 2013 20:00:00</p>	<p>取工况 1 为第二吊点并对其进行校核</p>
提取轴向力		
上弦杆轴向力最值	 <p>DISPLACEMENT STEP 1 SUB 1 LOAD 2 MAX -1354.16</p> <p>EX1.1,6 FROM ANALYSIS OF Q7240</p> <p>ANSYS JUN 3 2013 20:00:43</p>	
下弦杆轴向力最值		

图 3-10 工况 3-1 变形图

设计项目	计算与说明	结果
侧腹杆轴向力最值		危险工况确定
水平腹杆轴向力最值	 <p>图 3-11 工况 3-2 变形图</p>	
分析确定危险工况		
危险工况	<p>图 3-12 工况 3-3 变形图</p> <p>通过对模型求解, 对比各工况下吊臂结构变形及最大轴向压力值, 得知第一吊点位于节点 93 即 27.970m 处(工况 1)时, 其挠度较小, 故取 27.970m 处作为第二吊点, 并对其进行校核。</p> <h3>3.6.2 提取轴向力</h3> <p>提取第二吊点位于 27.970m 处(工况 1)时三种工况 1-1、1-2、1-3 的上弦杆、下弦杆、侧腹杆、水平腹杆的轴向力最值, 见表 3-5、3-6、3-7、3-8 所示:</p>	吊臂强度满足要求

设计项目	计算与说明				结果																																
	表 3-5 上弦杆轴向力最值 (N)																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">上弦杆</th> <th>一-二节</th> <th>三-五节</th> <th>六-七节</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">1-1</td> <td>压力</td> <td>无</td> <td>37559</td> <td>86307</td> </tr> <tr> <td>拉力</td> <td>23750</td> <td>43146</td> <td>18285</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">1-2</td> <td>压力</td> <td>无</td> <td>120260</td> <td>79363</td> </tr> <tr> <td>拉力</td> <td>23704</td> <td>37460</td> <td>65607</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">1-3</td> <td>压力</td> <td>无</td> <td>91244</td> <td>85829</td> </tr> <tr> <td>拉力</td> <td>133310</td> <td>176710</td> <td>29003</td> </tr> </tbody> </table>				上弦杆		一-二节	三-五节	六-七节	1-1	压力	无	37559	86307	拉力	23750	43146	18285	1-2	压力	无	120260	79363	拉力	23704	37460	65607	1-3	压力	无	91244	85829	拉力	133310	176710	29003	
上弦杆		一-二节	三-五节	六-七节																																	
1-1	压力	无	37559	86307																																	
	拉力	23750	43146	18285																																	
1-2	压力	无	120260	79363																																	
	拉力	23704	37460	65607																																	
1-3	压力	无	91244	85829																																	
	拉力	133310	176710	29003																																	
	表 3-6 下弦杆轴向力最值 (N)																																				
吊臂强度 校核	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">下弦杆</th> <th>一-五节</th> <th>六-七节</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">1-1</td> <td>压力</td> <td>28940</td> <td>38367</td> </tr> <tr> <td>拉力</td> <td>无</td> <td>7485.2</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">1-2</td> <td>压力</td> <td>60595</td> <td>81404</td> </tr> <tr> <td>拉力</td> <td>15108</td> <td>无</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">1-3</td> <td>压力</td> <td>92947</td> <td>102020</td> </tr> <tr> <td>拉力</td> <td>无</td> <td>无</td> </tr> </tbody> </table>				下弦杆		一-五节	六-七节	1-1	压力	28940	38367	拉力	无	7485.2	1-2	压力	60595	81404	拉力	15108	无	1-3	压力	92947	102020	拉力	无	无								
下弦杆		一-五节	六-七节																																		
1-1	压力	28940	38367																																		
	拉力	无	7485.2																																		
1-2	压力	60595	81404																																		
	拉力	15108	无																																		
1-3	压力	92947	102020																																		
	拉力	无	无																																		
吊臂稳定性校核	表 3-7 侧腹杆轴向力最值 (N)																																				
工况 1-2 上弦杆三- 五节稳定性校核	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">侧腹杆</th> <th>一节</th> <th>二-五节</th> <th>六-七节</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">1-1</td> <td>压力</td> <td>1138.6</td> <td>3617.7</td> <td>52630</td> </tr> <tr> <td>拉力</td> <td>828.49</td> <td>3787.6</td> <td>17600</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">1-2</td> <td>压力</td> <td>1138.6</td> <td>14928</td> <td>49550</td> </tr> <tr> <td>拉力</td> <td>792.26</td> <td>13234</td> <td>17447</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">1-3</td> <td>压力</td> <td>9883.5</td> <td>13225</td> <td>52752</td> </tr> <tr> <td>拉力</td> <td>8385.9</td> <td>12917</td> <td>18027</td> </tr> </tbody> </table>				侧腹杆		一节	二-五节	六-七节	1-1	压力	1138.6	3617.7	52630	拉力	828.49	3787.6	17600	1-2	压力	1138.6	14928	49550	拉力	792.26	13234	17447	1-3	压力	9883.5	13225	52752	拉力	8385.9	12917	18027	
侧腹杆		一节	二-五节	六-七节																																	
1-1	压力	1138.6	3617.7	52630																																	
	拉力	828.49	3787.6	17600																																	
1-2	压力	1138.6	14928	49550																																	
	拉力	792.26	13234	17447																																	
1-3	压力	9883.5	13225	52752																																	
	拉力	8385.9	12917	18027																																	
	表 3-8 水平腹杆轴向力最值 (N)																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">水平腹杆</th> <th>一节</th> <th>二-五节</th> <th>六-七节</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">1-1</td> <td>压力</td> <td>139.58</td> <td>677.61</td> <td>8612.8</td> </tr> <tr> <td>拉力</td> <td>193.06</td> <td>680.56</td> <td>8000.9</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">1-2</td> <td>压力</td> <td>139.58</td> <td>4888.4</td> <td>8239.4</td> </tr> <tr> <td>拉力</td> <td>193.06</td> <td>3107.2</td> <td>7523.8</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">1-3</td> <td>压力</td> <td>2804.7</td> <td>4290.2</td> <td>7945.5</td> </tr> <tr> <td>拉力</td> <td>1908.9</td> <td>2650.7</td> <td>8010.1</td> </tr> </tbody> </table>				水平腹杆		一节	二-五节	六-七节	1-1	压力	139.58	677.61	8612.8	拉力	193.06	680.56	8000.9	1-2	压力	139.58	4888.4	8239.4	拉力	193.06	3107.2	7523.8	1-3	压力	2804.7	4290.2	7945.5	拉力	1908.9	2650.7	8010.1	
水平腹杆		一节	二-五节	六-七节																																	
1-1	压力	139.58	677.61	8612.8																																	
	拉力	193.06	680.56	8000.9																																	
1-2	压力	139.58	4888.4	8239.4																																	
	拉力	193.06	3107.2	7523.8																																	
1-3	压力	2804.7	4290.2	7945.5																																	
	拉力	1908.9	2650.7	8010.1																																	
	3.6.3 分析确定危险工况																																				
	通过对上表进行分析, 得出所需校核工况的单元为: 上弦杆工况 1-2 中三-五节				上弦杆三- 五节稳定性良好																																

设计项目	计算与说明	结果																																						
工况 1-1 上弦杆六-七节稳定性校核	<p>上弦杆工况 1-1 中六-七节 下弦杆工况 1-3 中一-五节 下弦杆工况 1-3 中六-七节 侧腹杆工况 1-3 中一节 侧腹杆工况 1-2 中二-五节 侧腹杆工况 1-3 中六-七节 水平腹杆工况 1-3 中一节 水平腹杆工况 1-2 中二-五节 水平腹杆工况 1-1 中六-七节</p> <p>由于此次设计中, 为减少材料规格, 在保证变截面设计和良好经济性的前提下, 侧腹杆、水平腹杆及吊点处腹杆位置梯次使用表 3-1 所列材料, 结合所需校核工况的材料规格及受轴向力大小, 简化需校核工况归纳如表 3-9 所示:</p> <p style="text-align: center;">表 3-9 危险工况</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>工况</th> <th>位置</th> <th>压力 (N)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">上弦杆</td> <td>1-2</td> <td>三-五节</td> <td>120260</td> </tr> <tr> <td>1-1</td> <td>六-七节</td> <td>86307</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">下弦杆</td> <td>1-3</td> <td>一-五节</td> <td>92947</td> </tr> <tr> <td>1-3</td> <td>六-七节</td> <td>102020</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">侧腹杆</td> <td>1-3</td> <td>一节</td> <td>9883.5</td> </tr> <tr> <td>1-2</td> <td>二-五节</td> <td>14928</td> </tr> <tr> <td>1-3</td> <td>六-七</td> <td>52752</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">水平腹杆</td> <td>1-3</td> <td>一</td> <td>2804.7</td> </tr> <tr> <td>1-2</td> <td>二-五节</td> <td>4888.4</td> </tr> <tr> <td>1-1</td> <td>六-七节</td> <td>8612.8</td> </tr> </tbody> </table>		工况	位置	压力 (N)	上弦杆	1-2	三-五节	120260	1-1	六-七节	86307	下弦杆	1-3	一-五节	92947	1-3	六-七节	102020	侧腹杆	1-3	一节	9883.5	1-2	二-五节	14928	1-3	六-七	52752	水平腹杆	1-3	一	2804.7	1-2	二-五节	4888.4	1-1	六-七节	8612.8	上弦杆六-七节稳定性良好
	工况	位置	压力 (N)																																					
上弦杆	1-2	三-五节	120260																																					
	1-1	六-七节	86307																																					
下弦杆	1-3	一-五节	92947																																					
	1-3	六-七节	102020																																					
侧腹杆	1-3	一节	9883.5																																					
	1-2	二-五节	14928																																					
	1-3	六-七	52752																																					
水平腹杆	1-3	一	2804.7																																					
	1-2	二-五节	4888.4																																					
	1-1	六-七节	8612.8																																					

3.7 吊臂强度校核

通过分析有限元运行出的结论, 结合所选择材料, 可得出吊臂满足强度要求。

3.8 吊臂稳定性校核

3.8.1 上弦杆工况 1-2 中三-五节

上弦杆三-五节稳定性校核

单元最大轴向压力 $F_{max}=120260 \text{ N}$;

三-五节上弦杆截面积 $A=0.00182 \text{ m}^2$;

三-五节上弦杆截面惯性矩 $I=0.153E-5$;

设计项目	计算与说明	结果
工况 1-3 下弦杆一-五节稳定性校核	<p>上弦杆受力单元长度 $L=1.120\text{ m}$; 弹性模量 $E=2.10E11\text{ Pa}$; 上弦杆材料比例极限为 $\sigma_p=2.10E8\text{ Pa}$; 上弦杆材料屈服极限为 $\sigma_s=2.35E8\text{ Pa}$; 上弦杆受力单元长度系数 $\mu=0.9$ (起重机设计手册查得桁架中有节点的杆件长度系数为 0.9); 许用稳定安全系数 $n_w=0.8-0.3$ (起重机设计手册查得钢材料中心压杆中结构的压杆稳定安全系数为 0.8-0.3); 由截面的惯性半径</p> $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.153 \times 10^{-5}}{0.001802}} = 0.0291\text{m}$ <p>细长比</p> $l = \frac{mL}{i} = \frac{0.9 \times 1.120}{0.0291} = 34.639$ $l_1 = \sqrt{\frac{\Pi^2 E}{s_p}} = \sqrt{\frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}}{2.1 \times 10^8}} = 99.3$ <p>因为 $\lambda < \lambda_1$, 不能使用欧拉公式, 又</p> $l_2 = \frac{a - s_s}{b} = \frac{304 - 235}{1.12} = 61.6$ <p>机械手册中查得 $a=304\text{MPa}$ $b=1.12\text{MPa}$ 又 $\lambda < \lambda_2$, 故按压缩强度计算临界应力</p> $s_{cr} = \frac{F_{max}}{A} = \frac{120260}{0.001802} = 66.737\text{MPa} < s_s$ <p>故上弦杆三-五节稳定性良好。</p> <p>3.8.2 上弦杆工况 1-1 中六-七节</p> <p>上弦杆六-七节稳定性校核</p> <p>单元最大轴向压力 $F_{max}=86307\text{ N}$; 六-七节上弦杆截面积 $A=0.002512\text{ m}^2$; 六-七节上弦杆截面惯性矩 $I=0.316E-05$; 上弦杆受力单元长度 $L=1.120\text{ m}$; 弹性模量 $E=2.10E11\text{ Pa}$; 上弦杆材料比例极限为 $\sigma_p=2.10E8\text{ Pa}$; 上弦杆材料屈服极限为 $\sigma_s=2.35E8\text{ Pa}$; 上弦杆受力单元长度系数 $\mu=0.9$ (起重机设计手册查得</p>	下弦杆一-五节稳定性良好

设计项目	计算与说明	结果
工况 1-3 下弦杆六-七节稳定性校核	<p>桁架中有节点的杆件长度系数为 0.9); 许用稳定安全系数 $n_w=0.8-0.3$ (起重机设计手册查得钢材料中心压杆中结构的压杆稳定安全系数为 0.8-0.3); 由截面的惯性半径</p> $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.316 \times 10^{-5}}{0.002512}} = 0.0355m$ <p>细长比</p> $l = \frac{mL}{i} = \frac{0.9 \times 1.120}{0.0355} = 28.394$ $I_1 = \sqrt{\frac{\Pi^2 E}{s_p}} = \sqrt{\frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}}{2.1 \times 10^8}} = 99.3$ <p>因为 $\lambda < \lambda_1$, 不能使用欧拉公式, 又</p> $I_2 = \frac{a - s_s}{b} = \frac{304 - 235}{1.12} = 61.6$ <p>机械手册中查得 $a=304MPa$ $b=1.12MPa$ 又 $\lambda < \lambda_2$, 故按压缩强度计算临界应力</p> $s_{cr} = \frac{F_{max}}{A} = \frac{86307}{0.002512} = 34.358MPa < s_s$ <p>故上弦杆六-七节稳定性良好。</p>	下弦杆 六-七节稳定性良好
工况 1-3 侧腹杆一节稳定性校核	<p>3.8.3 下弦杆工况 1-3 中一-五节</p> <p>下弦杆一-五节稳定性校核 单元最大轴向压力 $F_{max}=92947 N$; 一-五节下弦杆截面积 $A=0.00116 m^2$; 一-五节下弦杆截面惯性矩 $I=0.655E-6$; 下弦杆受力单元长度 $L=1.120m$; 弹性模量 $E=2.10E11 Pa$; 下弦杆材料比例极限为 $\sigma_p=2.10E8 Pa$; 下弦杆材料屈服极限为 $\sigma_s=2.35E8 Pa$; 下弦杆受力单元长度系数 $\mu=0.9$ (起重机设计手册查得桁架中有节点的杆件长度系数为 0.9); 许用稳定安全系数 $n_w=0.8-0.3$ (起重机设计手册查得钢材料中心压杆中结构的压杆稳定安全系数为 0.8-0.3); 由截面的惯性半径</p>	

设计项目	计算与说明	结果
工况 1-2 侧腹杆二- 五节稳定性校核	$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.655 \times 10^{-6}}{0.00116}} = 0.0238m$ <p>细长比</p> $l = \frac{mL}{i} = \frac{0.9 \times 1.120}{0.0238} = 42.353$ $l_1 = \sqrt{\frac{\Pi^2 E}{s_p}} = \sqrt{\frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}}{2.1 \times 10^8}} = 99.3$ <p>因为 $\lambda < \lambda_1$, 不能使用欧拉公式, 又</p> $l_2 = \frac{a - s_s}{b} = \frac{304 - 235}{1.12} = 61.6$ <p>机械手册中查得 $a=304MPa$ $b=1.12MPa$</p> <p>又 $\lambda < \lambda_2$, 故按压缩强度计算临界应力</p> $s_{cr} = \frac{F_{max}}{A} = \frac{92947}{0.00116} = 80.127MPa < s_s$ <p>故下弦杆一-五节稳定性良好。</p> <p>3.8.4 下弦杆工况 1-3 中六-七节</p> <p>下弦杆六-七节稳定性校核</p> <p>单元最大轴向压力 $F_{max}=102020 N$;</p> <p>六-七节下弦杆截面积 $A=0.001536 m^2$;</p> <p>五-九节下弦杆截面惯性矩 $I=0.106E-5$;</p> <p>下弦杆受力单元长度 $L=1.120 m$;</p> <p>弹性模量 $E=2.10E11 Pa$;</p> <p>下弦杆材料比例极限为 $\sigma_p=2.10E8 Pa$;</p> <p>下弦杆材料屈服极限为 $\sigma_s=2.35E8 Pa$;</p> <p>下弦杆受力单元长度系数 $\mu=0.9$ (起重机设计手册查得桁架中有节点的杆件长度系数为 0.9);</p> <p>许用稳定安全系数 $n_w=0.8-0.3$ (起重机设计手册查得钢材料中心压杆中结构的压杆稳定安全系数为 0.8-0.3);</p> $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.106 \times 10^{-5}}{0.001536}} = 0.0263m$ <p>由截面的惯性半径</p> <p>细长比</p> $l = \frac{mL}{i} = \frac{0.9 \times 1.120}{0.0263} = 38.327$	侧腹杆 一节稳定性良好

设计项目	计算与说明	结果
工况 1-3 侧腹杆六- 七节 稳定	$I_1 = \sqrt{\frac{\Pi^2 E}{s_p}} = \sqrt{\frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}}{2.1 \times 10^8}} = 99.3$ <p>因为 $\lambda < \lambda_1$, 不能使用欧拉公式, 又</p> $I_2 = \frac{a - s_s}{b} = \frac{304 - 235}{1.12} = 61.6$ <p>机械手册中查得 $a=304\text{MPa}$ $b=1.12\text{MPa}$</p> <p>又 $\lambda < \lambda_2$, 故按压缩强度计算临界应力</p> $s_{cr} = \frac{F_{max}}{A} = \frac{102020}{0.001536} = 66.419\text{MPa} < s_s$ <p>故下弦杆六-七节稳定性良好。</p> <p>3.8.5 侧腹杆工况 1-3 中一节</p> <p>侧腹杆一节稳定性校核</p> <p>单元最大轴向压力 $F_{max}=9883.5\text{ N}$;</p> <p>一节侧腹杆截面积 $A=0.00033\text{ m}^2$;</p> <p>一节侧腹杆截面惯性矩 $I=0.051E-6$;</p> <p>侧腹杆受力单元长度 $L=1.150\text{ m}$;</p> <p>弹性模量 $E=2.10E11\text{ Pa}$;</p> <p>侧腹杆材料比例极限为 $\sigma_p=2.10E8\text{ Pa}$;</p> <p>侧腹杆材料屈服极限为 $\sigma_s=2.35E8\text{ Pa}$;</p> <p>侧腹杆受力单元长度系数 $\mu=0.9$ (起重机设计手册查得桁架中有节点的杆件长度系数为 0.9);</p> <p>许用稳定安全系数 $n_w=0.8-0.3$ (起重机设计手册查得钢材料中心压杆中结构的压杆稳定安全系数为 0.8-0.3);</p> <p>由截面的惯性半径</p> $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.051 \times 10^{-6}}{0.00033}} = 0.0124\text{m}$ <p>细长比</p> $l = \frac{mL}{i} = \frac{0.9 \times 1.150}{0.0124} = 83.468$ $I_1 = \sqrt{\frac{\Pi^2 E}{s_p}} = \sqrt{\frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}}{2.1 \times 10^8}} = 99.3$ <p>因为 $\lambda < \lambda_1$, 不能使用欧拉公式计算临界应力, 又</p> $I_2 = \frac{a - s_s}{b} = \frac{304 - 235}{1.12} = 61.6$	侧腹杆 二-五节稳 定性良好

设计项目	计算与说明	结果
性校核 工况 1-3 水平腹杆 一节稳定	<p>机械手册中查得 $a=304\text{MPa}$ $b=1.12\text{MPa}$ 又 $\lambda > \lambda_2$, 故按直线经验公式计算临界应力</p> $s_{cr} = a - bI = 304 - 1.12 \times 83.468 = 210.516\text{MPa}$ <p>得临界压力</p> $F_{cr} = s_{cr}A = 210.516 \times 10^6 \times 0.00033 = 69470.28N$ <p>进一步得工作稳定系数</p> $n = \frac{F_{cr}}{F_{max}} = \frac{69470.5}{9883.5} = 7.029 > n_w$ <p>故侧腹杆一节稳定性良好。</p> <p>3.8.6 侧腹杆工况 1-2 中二-五节</p> <p>侧腹杆二-五节稳定性校核</p> <p>单元最大轴向压力 $F_{max}=14928\text{N}$;</p> <p>二-五节侧腹杆截面积 $A=0.000273 \text{ m}^2$;</p> <p>二-五节侧腹杆截面惯性矩 $I=0.029E-6$;</p> <p>侧腹杆受力单元长度 $L=1.102 \text{ m}$;</p> <p>弹性模量 $E=2.10E11 \text{ Pa}$;</p> <p>侧腹杆材料比例极限为 $\sigma_p=2.10E8 \text{ Pa}$;</p> <p>侧腹杆材料屈服极限为 $\sigma_s=2.35E8 \text{ Pa}$;</p> <p>侧腹杆受力单元长度系数 $\mu=0.9$ (起重机设计手册查得桁架中有节点的杆件长度系数为 0.9);</p> <p>许用稳定安全系数 $n_w=0.8-0.3$ (起重机设计手册查得钢材料中心压杆中结构的压杆稳定安全系数为 0.8-0.3);</p> <p>由截面的惯性半径</p> $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.029 \times 10^{-6}}{0.000273}} = 0.0103m$ <p>细长比</p> $I = \frac{mL}{i} = \frac{0.9 \times 1.102}{0.0103} = 96.29$ $I_1 = \sqrt{\frac{\Pi^2 E}{s_p}} = \sqrt{\frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}}{2.1 \times 10^8}} = 99.3$ <p>因为 $\lambda < \lambda_1$, 不使用欧拉公式计算临界应力</p> $I_2 = \frac{a - s_s}{b} = \frac{304 - 235}{1.12} = 61.6$	侧腹杆六-七节稳定性良好

设计项目	计算与说明	结果
性校核	<p>机械手册中查得 $a=304\text{MPa}$ $b=1.12\text{MPa}$ 又 $\lambda > \lambda_2$, 故按直线经验公式计算临界应力 $s_{cr} = a - bI = 304 - 1.12 \times 96.29 = 196.2\text{MPa}$ 得临界压力 $F_{cr} = s_{cr}A = 196.2 \times 10^6 \times 0.000273 = 53562.6\text{N}$ 进一步得工作稳定系数 $n = \frac{F_{cr}}{F_{max}} = \frac{53562.6}{14928} = 3.588 > n_w$ 故侧腹杆二-五节稳定性良好。</p> <p>3.8.7 侧腹杆工况 1-3 中六-七节 侧腹杆六-七节稳定性校核 单元最大轴向压力 $F_{max}=52752\text{N}$; 二-五节侧腹杆截面积 $A=0.00033\text{ m}^2$; 二-五节侧腹杆截面惯性矩 $I=0.051E-6$; 侧腹杆受力单元长度 $L=1.102\text{ m}$; 弹性模量 $E=2.10E11\text{ Pa}$; 侧腹杆材料比例极限为 $\sigma_p=2.10E8\text{ Pa}$; 侧腹杆材料屈服极限为 $\sigma_s=2.35E8\text{ Pa}$; 侧腹杆受力单元长度系数 $\mu=0.9$ (起重机设计手册查得 桁架中有节点的杆件长度系数为 0.9); 许用稳定安全系数 $n_w=0.8-0.3$ (起重机设计手册查得钢 材料中心压杆中结构的压杆稳定安全系数为 0.8-0.3); 由截面的惯性半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.051 \times 10^{-6}}{0.00033}} = 0.0124\text{m}$ 细长比 $I = \frac{mL}{i} = \frac{0.9 \times 1.102}{0.0124} = 79.984$ $I_1 = \sqrt{\frac{\Pi^2 E}{s_p}} = \sqrt{\frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}}{2.1 \times 10^8}} = 99.3$ 因为 $\lambda < \lambda_1$, 不使用欧拉公式计算临界应力 $I_2 = \frac{a - s_s}{b} = \frac{304 - 235}{1.12} = 61.6$</p>	水平腹杆 一节稳定性良好
工况 1-2 水平腹杆 二-五节稳定性校核		

设计项目	计算与说明	结果
工况 1-1 水平腹杆 六-七节稳定性校核	<p>机械手册中查得 $a=304\text{MPa}$ $b=1.12\text{MPa}$ 又 $\lambda > \lambda_2$, 故按直线经验公式计算临界应力 $s_{cr} = a - bI = 304 - 1.12 \times 79.984 = 214.418\text{MPa}$ 得临界压力 $F_{cr} = s_{cr}A = 214.418 \times 10^6 \times 0.00033 = 70757.914\text{N}$ 进一步得工作稳定系数 $n = \frac{F_{cr}}{F_{max}} = \frac{70757.914}{14928} = 4.740 > n_w$ 故侧腹杆六-七节稳定性良好。</p> <p>3.8.8 水平腹杆工况 1-3 中一节</p> <p>水平腹杆一节稳定性校核</p> <p>单元最大轴向压力 $F_{max}=2804.7\text{ N}$;</p> <p>一节水平腹杆截面积 $A=0.00033\text{ m}^2$;</p> <p>一节水平腹杆截面惯性矩 $I=0.051E-6$;</p> <p>水平腹杆受力单元长度 $L=1.652\text{ m}$;</p> <p>弹性模量 $E=2.10E11\text{ Pa}$;</p> <p>水平腹杆材料比例极限为 $\sigma_p=2.10E8\text{ Pa}$;</p> <p>水平腹杆材料屈服极限为 $\sigma_s=2.35E8\text{ Pa}$;</p> <p>水平腹杆受力单元长度系数 $\mu=0.9$ (起重机设计手册查得桁架中有节点的杆件长度系数为 0.9);</p> <p>许用稳定安全系数 $n_w=0.8-0.3$ (起重机设计手册查得钢材料中心压杆中结构的压杆稳定安全系数为 0.8-0.3);</p> <p>由截面的惯性半径</p> $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.051 \times 10^{-6}}{0.00033}} = 0.0124\text{m}$ <p>细长比</p> $I = \frac{mL}{i} = \frac{0.9 \times 1.652}{0.0124} = 119.903$ $I_1 = \sqrt{\frac{\Pi^2 E}{s_p}} = \sqrt{\frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}}{2.1 \times 10^8}} = 99.3$ <p>因为 $\lambda > \lambda_1$, 使用欧拉公式计算临界应力</p>	水平腹杆 二-五节稳定性良好

设计项目	计算与说明	结果
	$s_{cr} = \frac{\Pi^2 E}{I^2} = \frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}}{119.903^2} = 144.019 MPa$ <p>得临界压力</p> $F_{cr} = s_{cr} A = 144.019 \times 10^6 \times 0.00033 = 47526.128 N$ <p>进一步得工作稳定系数</p> $n = \frac{F_{cr}}{F_{max}} = \frac{47526.128}{2804.7} = 16.945 > n_w$ <p>故侧腹杆一节稳定性良好。</p> <p>3.8.9 水平腹杆工况 1-2 中二-五节</p> <p>水平腹杆二-五节稳定性校核</p> <p>单元最大轴向压力 $F_{max}=4888.4 N$;</p> <p>一节水平腹杆截面积 $A=0.000273 m^2$;</p> <p>一节水平腹杆截面惯性矩 $I=0.029E-6$;</p> <p>水平腹杆受力单元长度 $L=1.514 m$;</p> <p>弹性模量 $E=2.10E11 Pa$;</p> <p>水平腹杆材料比例极限为 $\sigma_p=2.10E8 Pa$;</p> <p>水平腹杆材料屈服极限为 $\sigma_s=2.35E8 Pa$;</p> <p>水平腹杆受力单元长度系数 $\mu=0.9$ (起重机设计手册查得桁架中有节点的杆件长度系数为 0.9);</p> <p>许用稳定安全系数 $n_w=0.8-0.3$ (起重机设计手册查得钢材料中心压杆中结构的压杆稳定安全系数为 0.8-0.3);</p> <p>由截面的惯性半径</p> $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.029 \times 10^{-6}}{0.000273}} = 0.0103 m$ <p>细长比</p> $l = \frac{mL}{i} = \frac{0.9 \times 1.514}{0.0103} = 132.291$ $I_1 = \sqrt{\frac{\Pi^2 E}{s_p}} = \sqrt{\frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}}{2.1 \times 10^8}} = 99.3$ <p>因为 $\lambda > \lambda_1$, 使用欧拉公式计算临界应力</p> $s_{cr} = \frac{\Pi^2 E}{I^2} = \frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}}{132.291^2} = 118.309 MPa$	<p>水平腹杆 六-七节稳定性良好</p> <p>吊臂整体 稳定性良好</p>

设计项目	计算与说明	结果
	<p>得临界压力</p> $F_{cr} = s_{cr} A = 132.291 \times 10^6 \times 0.000273 = 32298.357 N$ <p>进一步得工作稳定系数</p> $n = \frac{F_{cr}}{F_{max}} = \frac{32298.357}{4888.4} = 6.607 > n_w$ <p>故侧腹杆二-五节稳定性良好。</p> <p>3.8.10 水平腹杆工况 1-1 中六-七节</p> <p>水平腹杆六-七节稳定性校核</p> <p>单元最大轴向压力 $F_{max}=8612.8 N$;</p> <p>一节水平腹杆截面积 $A=0.00033 m^2$;</p> <p>一节水平腹杆截面惯性矩 $I=0.051E-6$;</p> <p>水平腹杆受力单元长度 $L=1.514 m$;</p> <p>弹性模量 $E=2.10E11 Pa$;</p> <p>水平腹杆材料比例极限为 $\sigma_p=2.10E8 Pa$;</p> <p>水平腹杆材料屈服极限为 $\sigma_s=2.35E8 Pa$;</p> <p>水平腹杆受力单元长度系数 $\mu=0.9$ (起重机设计手册查得桁架中有节点的杆件长度系数为 0.9);</p> <p>许用稳定安全系数 $n_w=0.8-0.3$ (起重机设计手册查得钢材料中心压杆中结构的压杆稳定安全系数为 0.8-0.3);</p> <p>由截面的惯性半径</p> $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.051 \times 10^{-6}}{0.00033}} = 0.0124 m$ <p>细长比</p> $l = \frac{mL}{i} = \frac{0.9 \times 1.514}{0.0124} = 109.607$ $l_1 = \sqrt{\frac{\Pi^2 E}{s_p}} = \sqrt{\frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}}{2.1 \times 10^8}} = 99.3$ <p>因为 $\lambda > \lambda_1$, 使用欧拉公式计算临界应力</p> $s_{cr} = \frac{\Pi^2 E}{l^2} = \frac{3.14^2 \times 2.1 \times 10^{11}}{109.607^2} = 172.346 MPa$ <p>得临界压力</p> $F_{cr} = s_{cr} A = 172.236 \times 10^6 \times 0.00033 = 56874.284 N$	

设计项目	计算与说明	结果
	<p>进一步得工作稳定系数</p> $n = \frac{F_{cr}}{F_{max}} = \frac{56874.284}{8612.8} = 6.603 > n_w$ <p>故侧腹杆六-七节稳定性良好。</p> <p>吊臂整体稳定性良好。</p>	