

## 摘 要

本文结合大连新船重工建造的惠州生活模块建造过程中模块整体上驳方案设计中的关键结构和部位,利用有限元的理论进行了设计,并结合实际情况,对整个模块的上驳方案进行了合理的设计和优化,保证了模块在建造完工后的安全顺利上驳运输到使用地点,满足了实际生产的需要。

2003年,大连新船重工为了进一步开拓海洋工程市场,和美国CACT公司共同承担了惠州生活模块的建造任务,由于海洋工程的日益繁荣,使大型浮吊的租用非常紧张,需要用拖移方式解决模块的上驳交工问题。

作者借助主管本模块建造工艺技术的机会,利用大连新船重工现有的场地和设施情况,设计了合理、安全、节省的模块拖移方案,其中,除了拖移的整体布置、拖移顺序的设计、驳船的实际调载控制等方面的工作以外,重点在拖移的核心结构,过桥梁和滑靴的结构设计和强度校核方面做了一些工作,使整个模块的拖移得到了技术基础的保证。作者就是在此基础上,对于该方案的设计理论基础、模块的整体情况、大连新船重工在该方面的实际情况、拖移过程的总布置、局部安全要求、保险检验的要求,设计中的理论校核结果、实施过程中的施工要求等方面给予描述,为今后同样或相似的工程设计和施工提供了经验和技術基础。

**关键词:** 模块上驳拖移; 过桥梁; 滑靴; 有限元

## Load-out Procedure for HUIZHOU Module

### Abstract

This article is for the load-out works of HUIZHOU module built in DALIAN NEW HEAVY INDUSTRY LIMITED CO-OPERATION (DNS) on 2004. The design works focuses on the main structure of link-beam and the skid-shoes based on the FEM theory. This load-out plan has the reasonable design and a very good promotion for the concrete condition of DNS. Based on this procedure the module load-out work is safety and smoothly. And now it is much better serving in the oil-field.

Since 2003, the offshore market is prosperity. DNS ally to CACT Company which is belong to USA have signed the fabrication contract about the HUIZHOU module, And the normal load-out method by floating crane is much difficult because of the lack of floating cranes. So the towing method is needed for this module's fabrication.

The Anther who is the chief designer for the module fabrication has designed the load-out plan for this module according to the facility and the quay in DNS. After the load-out work has been done. It is proved that the procedure is reasonable & safety & economization. Besides the general layout and towing sequence and ballasting adjustment, the anther focuses on strength checking for the link-beam & the skid-shoes by FEM. Based on this, the anther describe the theory bases, general condition for this work, concrete condition in DNS, towing layout for these equipments, safety requirements, insurance requirements and working requirements etc. in this article. This article is the strong support for other similar project.

**Key Words: Module Load-out; Link-beam; Skid-shoes; FEM Analysis**

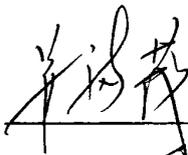
## 独创性说明

作者郑重声明：本硕士学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其它人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得大连理工大学或者其它单位的学位或证书所使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

作者签名：姜福茂 日期：2008.3.25

## 大连理工大学学位论文版权使用授权书

本学位论文作者及指导教师完全了解“大连理工大学硕士、博士学位论文版权使用规定”，同意大连理工大学保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权大连理工大学可以将本学位论文的全部或部分内  
容编入有关数据库进行检索，也可采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文。

作者签名:  \_\_\_\_\_

导师签名:  \_\_\_\_\_

2008 年 3 月 25 日

## 引 言

2003年,大连新船重工有限责任公司为了进一步开发国际海洋工程市场,在成功的建造了西江生活模块(100人)、番禺生活模块(60人)的基础上,又和中美合资的CACT公司签订了惠州生活模块(70人)的建造合同。

海洋工程由于投资多、风险大,所以在工期、质量方面的要求相对特别高。所以一个整体的海洋工程往往被分解为多个相对独立的模块进行建造,然后在海上进行整体连接,所以一环扣一环,需要每一个模块都按期、保质量的完成。

生活模块是海洋工程中最先被分解出来的一个整体模块,主要作用是为海洋工程区域提供人员生活、工作的场所。它的建造关键就在于如何保证安全、顺利的由陆地转移到驳船上,然后再拖航到指定的海域进行最后的连接。由于模块本身不具备在海水中漂浮的功能。所以上驳技术和海上连接技术,绝大部分是采取大起重能力的浮吊来完成的。也有用驳船利用海域的潮水变化来完成的。但后一种方法局限性太大,只有在极浅海域才采用。

近几年,油价的上涨,极大的刺激了海洋工程的发展,作为海洋工程的主力工具,浮吊的使用就显得相当紧缺。国内能够满足这样大起重能力的浮吊当时总共有4台,虽然在大连新船重工已经建造过的两个生活模块都是用浮吊来成功的完成了最后的上驳工作,但根据当时的浮吊市场情况来看,适合的浮吊都排满了工作计划,没有时间来参加惠州模块的上驳工作。况且,使用浮吊作业,浮吊的租借费用高的惊人,每个项目至少达到了300万元。因此,采用何种方式保证模块的上驳,是本项目的关键问题。

经过调研,国外的海洋工程建造方,已经采用了多种的拖移上驳的方法,并且取得了成功,在成本方面也比租用浮吊大大降低,经过各方面的调研和论证,DNS决定采取拖移方式代替浮吊整体吊装来完成惠州模块的整体上驳工作。

但是,拖移方式有多种多样,最重要的就是码头设施的加强和改造。在有经验的平台制造厂,都是投入巨额资金将拖移码头建设好以后再进行拖移工作,但他们是专业的制造厂,而DNS在此方面不会因为这样一个小模块而投入这样大的资金,所以经过综合考虑,以最优化的方案设计,采取了安全系数最大的钢结构滑靴结合处于陆地和驳船之间的过桥梁的拖移方案,这样就把对于码头的过高要求,转移到这方面来了,所以,过桥梁和滑靴就是我们本项目的核心部分。

在公司以前的工程设计当中，虽然有很多需要结构强度核算的情况，但当时由于设计能力和意识上的问题，大多数都是根据经验，把结构简化为最简单的形式，然后用手算的方法来大约进行核算。通过学习，根据本项目的实际情况，采用有限元方法来详细的分析这两个核心结构件的强度，这无疑是理论和实践相结合的最好验证。所以，在本项目的整个设计过程当中，虽然其他方面也很重要，比如，压载的计算和配备，系泊设备的布置、滑轮和绞车的设置、防碰装置的设计等，但重点还是就过桥梁和滑靴的结构强度进行了计算，并给出了实际的修改意见。

本课题的主要任务就是根据有限元的理论，对于惠州模块拖移上驳新工艺技术中所采用的核心构件—过桥梁的结构强度进行计算，并给出计算结果，设计出合理的，满足使用要求的过桥梁，确保模块拖移上驳工作的安全性。

## 1 绪论

用传统的弹性力学理论解决实际上能够达到的解答大多是属于几何形状规则的和载荷及边界条件简单的情形。对于其他复杂的情形则很难求出解答。因此，过去曾有不少学者研究用其他方法如能量法及差分法来求解，然而，能量法（即李兹法）总会遇到一个形状函数的选择问题，一般来说对于弹性体选择一个合适的形状函数是不容易的；而用差分方程来代替微分方程的差分解法虽已具有将连续函数离散的思想，但具体求解及处理复杂的边界时仍有困难。六十年代出现的有限元法是把弹性体离散为有限个单元，即认为弹性体是有限个单元的组合体，对于每个单元用李兹法的思想来求位移与力的关系（即求单元的刚度矩阵），再借助于电子计算机计算。因此可以说有限元法是一个基于变分原理的把连续体离散化的数值解法，他可以方便的解决复杂的结构形式及复杂载荷及边界条件等问题，也能处理非均匀材料及非线性应力-应变状态的结构问题。

在工程技术领域内，经常会遇到两类典型的问题。其中的第一类问题，可以归结为有限个已知单元体的组合。例如，材料力学中的连续梁、建筑结构框架和桁架结构。我们把这类问题，称为离散系统。例如平面桁架结构，是由6个只承受轴向力的“杆单元”组成，其中每根杆的受力状况相似，如图 1.1 所示。尽管离散系统是可解的，但是求解复杂离散系统，要依靠计算机技术如图 1.2 所示。

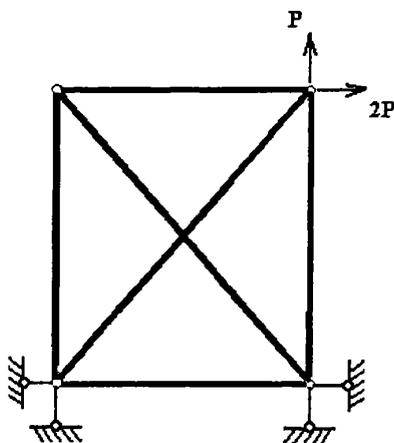


图 1.1 平面桁架系统

Fig.1.1 System of plane girder

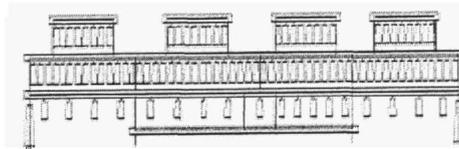
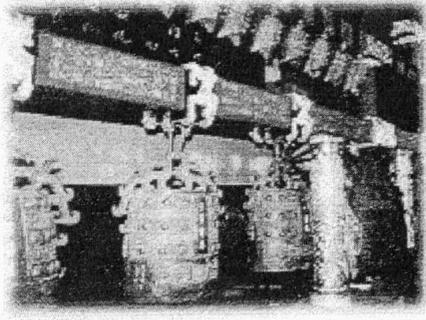


图 1.2 “中华和钟” 的振动分析及优化设计  
Fig.1.2 Vibration analysis & optimum design of “Zhonghua Hezhong”

第二类问题是针对连续介质，通常可以建立它们应遵循的基本方程，即微分方程和相应的边界条件。例如弹性力学问题，热传导问题，电磁场问题等。由于建立基本方程所研究的对象通常是无限小的单元，这类问题称为连续系统。连续介质中的热传导问题可以归结为以下的控制方程、初始条件与换热边界条件：

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \bar{Q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1.1)$$

初始温度场也可以是不均匀的，但各点温度值是已知的：

$$T|_{t=0} = T_0(x, y, z) \quad (1.2)$$

通常的热边界有三种，第三类边界条件如下形式：

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = h(T - T_f) \quad (1.3)$$

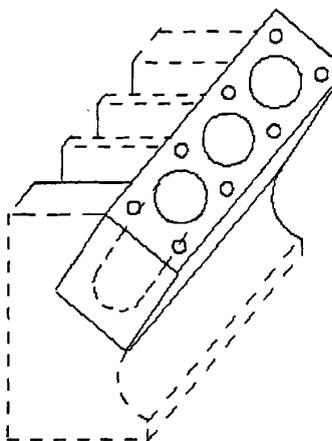


图 1.3 V6 引擎的局部

Fig.1.3 Portion of a V6 Engine block

尽管我们已经建立了连续系统的基本方程，由于边界条件的限制，通常只能得到少数简单问题的精确解答。对于许多实际的工程问题，还无法给出精确的解答，例如 V6 引擎在工作中的温度分布，如图 1.3 所示。为了解决这个困难，工程师们和数学家们提出了许多近似方法。

在寻找连续系统求解方法的过程中，工程师和数学家从两个不同的路线得到了相同的结果，即有限元法(Finite Element Method)。有限元法的形成可以回顾到二十世纪的 50 年代甚至更早些时间，基本思路来源于固体力学中矩阵结构法的发展和工程师对结构相似性的直觉判断。对不同结构的杆系、不同的载荷，用矩阵结构法求解都可以得到统一的矩阵公式<sup>[1]</sup>。从固体力学的角度来看，桁架结构等标准离散系统与人为地分割成有限个分区后的连续系统在结构上存在相似性，可以把矩阵结构法推广到非杆系结构的求解。

1956 年 M. J. Turner, R. W. Clough, H. C. Martin, L. J. Topp 在纽约举行的航空学会年会上介绍了一种新的计算方法，将矩阵位移法推广到求解平面应力问题。他们把结构划分成一个个三角形和矩形的“单元”，利用单元中近似位移函数，求得单元节点力与节点位移关系的单元刚度矩阵。

特纳 (TURNER) 等人在研究飞机机翼结构时首先提出的这种有限元法研究的就是平面应力问题, 后来, 这个方法逐步迅速发展应用于杆系、板、壳等的弯曲及其他三维问题以及稳定性问题, 其中对于杆系的弯曲问题的处理实质上就是矩阵法。

1954-1955 年, J. H. Argyris 在航空工程杂志上发表了一组能量原理和结构分析论文。

1960 年, Clough 在他的名为 “The finite element in plane stress analysis” 的论文<sup>[1]</sup>中首次提出了有限元 (Finite Element) 这一术语。

数学家们则发展了微分方程的近似解法, 包括有限差分方法, 变分原理和加权余量法。在 1963 年前后, 经过 J. F. Besseling, R. J. Melosh, R. E. Jones, R. H. Gallaher, T. H. H. Pian (卞学磺) 等许多人的工作, 认识到有限元法就是变分原理中 Ritz 近似法的一种变形, 发展了用各种不同变分原理导出的有限元计算公式。

1965 年 O. C. Zienkiewicz 和 Y. K. Cheung (张佑启) 发现能写成变分形式的所有场问题, 都可以用与固体力学有限元法的相同步骤求解。1969 年 B. A. Szabo 和 G. C. Lee 指出可以用加权余量法特别是 Galerkin 法, 导出标准的有限元过程来求解非结构问题<sup>[1]</sup>。

我国的力学工作者为有限元方法的初期发展做出了许多贡献, 其中比较著名的有: 陈伯屏 (结构矩阵方法), 钱令希 (余能原理), 钱伟长 (广义变分原理), 胡海昌 (广义变分原理), 冯康 (有限单元法理论)。遗憾的是, 从 1966 年开始的近十年期间, 我国的研究工作受到阻碍。

目前有限元计算方法在国内外的结构计算方面得到了广泛的应用, 从机械设计、飞机行业、航天行业以及我们在船舶设计和建造方面已经成为基本的计算方法。在国外, 有限元的应用相对于国内来说应用更加广泛, 水平也更高。开发出了很多非常实用的计算机软件, 使计算机的优势在有限元的应用方面得以充分发挥。当然, 中国在有限元计算机程序开发和应用方面, 最近几年得到了长足的进步, 在 ANSYS 等软件方面的完善和应用取得了另人瞩目的成绩。

从二十世纪 60 年代中期以来, 国内外的工程师进行了大量的理论研究, 不但拓展了有限元法的应用领域, 还开发了许多通用或专用的有限元分析软件。

理论研究的一个重要领域是计算方法的研究, 主要有:

大型线性方程组的解法,

非线性问题的解法,

动力问题计算方法。

目前应用较多的通用有限元软件如表 1.1 所示。

表 1.1 常用的有限元分析软件

Tab.1.1 Common software of finite element

软件名称	简介
MSC/Nastran	著名结构分析程序, 最初由 NASA 研制
MSC/Dytran	动力学分析程序
MSC/Marc	非线性分析软件
ANSYS	通用结构分析软件
ADINA	非线性分析软件
ABAQUS	非线性分析软件

另外还有许多针对某类问题的专用有限元软件, 例如金属成形分析软件 Deform、Autoform, 焊接与热处理分析软件 SysWeld 等。下面列出了一些有限元软件开发商的网址:

MSC 中国 <http://www.mscsoftware.com.cn/>

ANSYS 中国 <http://www.ansys.com.cn/>

ABAQUS <http://www.abaqus.com/>

ADINA <http://www.adina.com/>

DEFORM <http://www.deform.com.cn/>

AUTOFORM <http://www.autoform.de/>

SYSWELD <http://www.esi-group.com/products/sysweld/>

本课题的主要任务就是根据有限元的理论, 对于惠州模块拖移上驳新工艺技术中所采用的核心构件—过桥梁和滑靴的结构强度进行计算, 并给出计算结果, 设计出合理的, 满足使用要求的过桥梁和滑靴, 确保模块拖移上驳工作的安全性。

## 2 有限元法的基本思路和理论基础

有限元法是求解数学物理问题的一种数值计算近似方法。它发源于固体力学，以后迅速扩展到流体力学、传热学、电磁学、声学等其它物理领域<sup>[1]</sup>。有限元法的基本思路可以归结为：将连续系统分割成有限个分区或单元，对每个单元提出一个近似解，再将所有单元按标准方法组合成一个与原有系统近似的系统。

下面用在自重作用下的等截面直杆来说明有限元法的思路。

### 2.1 等截面直杆在自重作用下的材料力学解答

受自重作用的等截面直杆，杆的长度为  $L$ ，截面积为  $A$ ，弹性模量为  $E$ ，单位长度的重量为  $q$ ，杆的内力为  $N$ ，如图 2.1 所示。

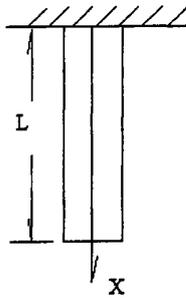


图 2.1 受自重作用的等截面直杆  
Fig.2.1 Constant section bar of gravity

试求：杆的位移分布，杆的应变和应力。

$$N(x) = q(L - x)$$

$$du(x) = \frac{N(x)dx}{EA} = \frac{q(L - x)dx}{EA}$$

$$u(x) = \int_0^x \frac{N(x)dx}{EA} = \frac{q}{EA} \left( Lx - \frac{x^2}{2} \right) \quad (2.1)$$

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} = \frac{q}{EA} (L - x)$$

$$\sigma_x = E\varepsilon_x = \frac{q}{A} (L - x)$$

## 2.2 等截面直杆在自重作用下的有限元法解答

### 2.2.1 离散化

有限元将结构离散为有限个单元。对于二维的平面结构就是将它分为有限个平面单元，这种单元可以是三角形的或四边形的，或三角形、四边形的都有，单元的顶点作为节点。在理想状态下，自然每个单元与相邻单元的连接边应该保持变形连续，但实际上这常难以办到，因此就规定各单元仅在节点与其他单元相连；至于单元的边，如能保证连续最好，但至少要在变形后相接。

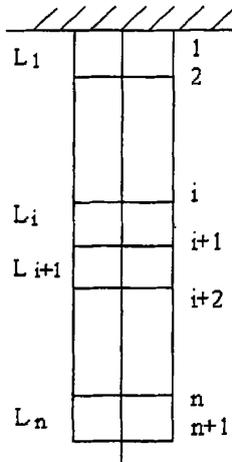


图 2.2 离散后的直杆

Fig.2.2 Bar after discretization

根据以上原理，将直杆划分成  $n$  个有限段，有限段之间通过一个铰接点连接。称两段之间的铰接点为结点，称每个有限段为单元。其中，第  $i$  个单元的长度为  $L_i$ ，包含第  $i, i+1$  个结点，如图 2.2 所示。

### 2.2.2 用单元节点位移表示单元内部位移

有限元采用的是位移法，计算时以各单元的节点位移为未知数。对于平面问题，每一节点有两个位移，故每个节点有两个自由度，相应地有两个由节点位移引起的节点力。并需要建立单元节点位移与节点力之间的关系，即求出单元的刚度矩阵，为此，就要寻

求平面单元的解。三角形和四边形的平面单元的解用弹性理论的方法去求是困难的，因此就用能量法来求，于是，首先要选择一个单元位移的形状函数或位移函数，再用虚功原理求出单元的刚度矩阵。

对于上述的直杆的第  $i$  个单元中的位移用所包含的结点位移来表示，

$$u(x) = u_i + \frac{u_{i+1} - u_i}{L_i} (x - x_i) \quad (2.2)$$

其中  $u_i$  为第  $i$  结点的位移， $x_i$  为第  $i$  结点的坐标。

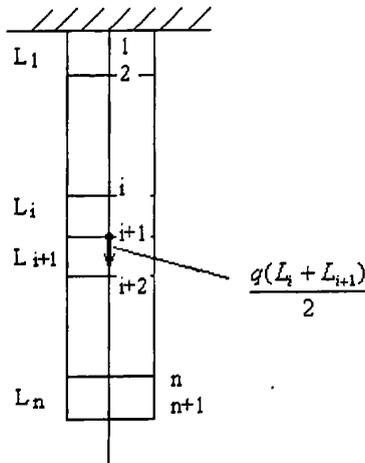


图 2.3 集中单元重量

Fig.2.3 Weight of centered unit

第  $i$  个单元的应变为  $\varepsilon_i$ ，应力为  $\sigma_i$ ，内力为  $N_i$ ：

$$\varepsilon_i = \frac{du}{dx} = \frac{u_{i+1} - u_i}{L_i} \quad (2.3)$$

$$\sigma_i = E\varepsilon_i = \frac{E(u_{i+1} - u_i)}{L_i} \quad (2.4)$$

$$N_i = A\sigma_i = \frac{EA(u_{i+1} - u_i)}{L_i} \quad (2.5)$$

### 2.2.3 把外载荷集中到节点上

有限元法是以节点为对象建立平衡方程式，因此，如果单元上有分布力（包括边界力与体积力）均需以等效做功的原则将它移置到单元的节点上去。这种移置的力实质上相当于矩阵法作用于节点的固端力，但求力的方法有所不同，并且在有限元法的计算图形中外力将全部以节点力的形式出现。

因此，把第  $i$  单元和第  $i+1$  单元重量的一半  $\frac{q(L_i + L_{i+1})}{2}$ ，集中到第  $i+1$  结点上。

### 2.2.4 建立结点的力平衡方程

对于第  $i+1$  结点，由力的平衡方程可得：

$$N_i - N_{i+1} = \frac{q(L_i + L_{i+1})}{2} \quad (2.6)$$

令  $\lambda_i = \frac{L_i}{L_{i+1}}$ ，并将 (2.5) 代入得：

$$-u_i + (1 + \lambda_i)u_{i+1} - \lambda_i u_{i+2} = \frac{q}{2EA} \left(1 + \frac{1}{\lambda_i}\right) L_i^2 \quad (2.7)$$

根据约束条件， $u_1 = 0$ 。

对于第  $n+1$  个结点，

$$N_n = \frac{qL_n}{2}$$

$$-u_n + u_{n+1} = \frac{qL_n^2}{2EA} \quad (2.8)$$

建立所有结点的力平衡方程，可以得到由  $n+1$  个方程构成的方程组，可解出  $n+1$  个未知的结点位移。

例：将受自重作用的等截面直杆划分成 3 个等长的单元，试按有限元法的思路求解，如图 2.4 所示。

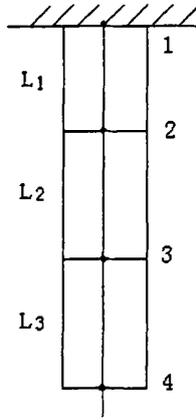


图 2.4 等长的单元的等截面直杆

Fig. 2.4 Constant section bar of same length unit

定义单元的长度为  $a = \frac{L}{3}$

对于结点 1,  $u_1 = 0$

对于结点 2, 由式 (2.7) 可得,

$$-u_1 + 2u_2 - u_3 = \frac{qa^2}{EA}$$

同样, 对于结点 3 有,

$$-u_2 + 2u_3 - u_4 = \frac{qa^2}{EA}$$

对于结点 4, 可以有两种处理方法。

(1) 直接用第 3 个单元的内力与结点 4 上的载荷建立平衡方程

$$N_3 = \frac{qa}{2}, \quad N_3 = \frac{EA(u_4 - u_3)}{a}$$

$$-u_3 + u_4 = \frac{qa^2}{2EA}$$

(2) 假定存在一个虚拟结点 5, 与结点 4 构成了虚拟单元 4

$$L_4 = 0, \quad u_5 = u_4, \quad \lambda_3 = \frac{L_3}{L_4} \rightarrow \infty$$

在结点 4 上应用式 (2.7) ,

$$-u_3 + (1 + \lambda_3)u_4 - \lambda_3 u_5 = \frac{q}{2EA} \left(1 + \frac{1}{\lambda_3}\right) a^2$$

$$-u_3 + u_4 = \frac{qa^2}{2EA}$$

整理后得到线性方程组,

$$\begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{qa^2}{EA} \\ \frac{qa^2}{EA} \\ \frac{qa^2}{2EA} \end{Bmatrix}$$

$$\text{解得, } \begin{cases} u_2 = \frac{5qa^2}{2EA} \\ u_3 = \frac{4qa^2}{EA} \\ u_4 = \frac{9qa^2}{2EA} \end{cases}$$

### 3 工程背景

#### 3.1 惠州模块基本情况介绍

惠州模块共有两个几乎一样的生活模块，代号分别是 HZ19-3 和 HZ19-2。共有 5 层生活甲板，并都带有飞机平台，如图 3.1 和图 3.2 所示。

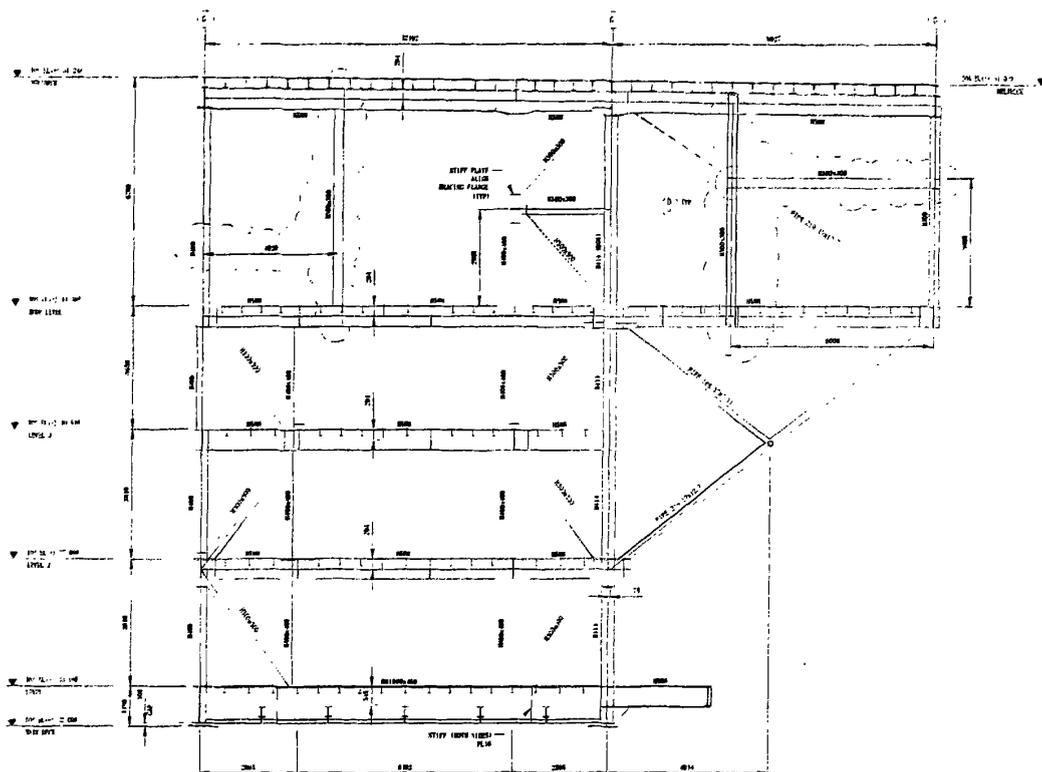


图 3.1 模块侧面图（共 5 层平台）

Fig.3.1 Side view of module (five platform total)

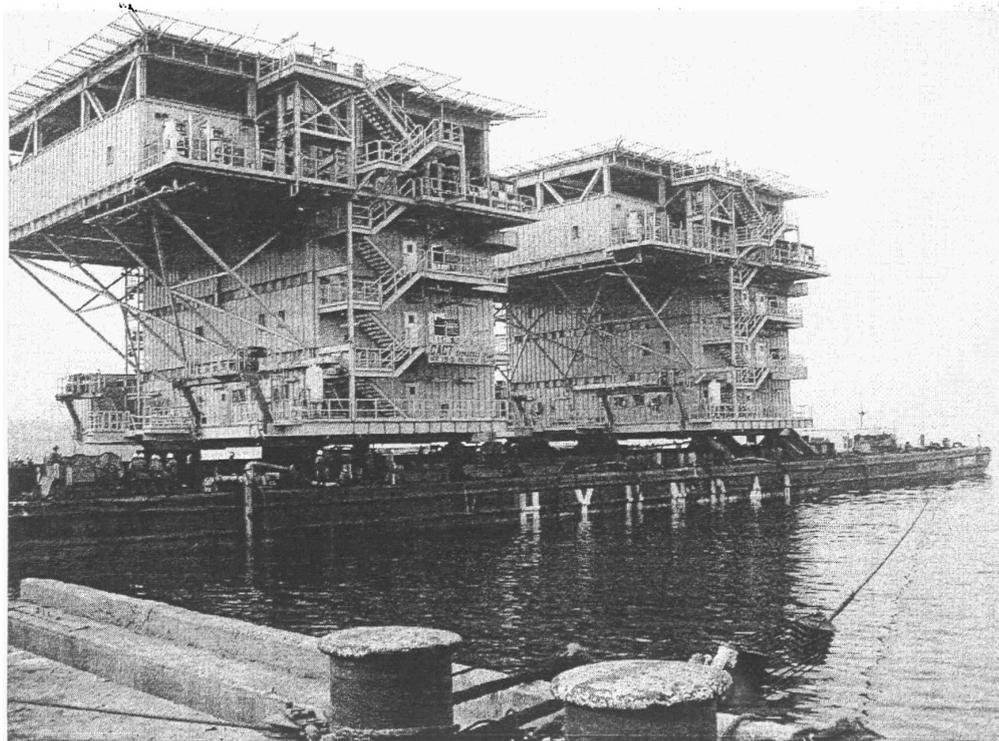


图 3.2 模块拖移上驳以后的照片

Fig.3.2 Photo of module after load-out

HZ 19-3/2 的主尺度

L:30.605m

B:21.819m

H:19.126m

重量:858.71t (HZ 19-2 拖移重量)

846.88t (HZ 19-3 拖移重量)

HZ 19-2 重心:

X=8.990m(off LA)

Y=8.389m(off L2)

Z=EL+41.043m

HZ 19-3 重心:

X=9.218m(off LA)

Y=8.510m(off L2)

Z=EL+41.043m

### 3.2 惠州模块的总体拖移方案

#### 3.2.1 模块的建造场地和码头

(1) HZ 19-2/3 生活模块在大连新船重工的模块建造场地进行建造, 这块场地沿着公司的 5 区码头, 模块将从 5 区码头拖移上驳, 如图 3.3 所示。

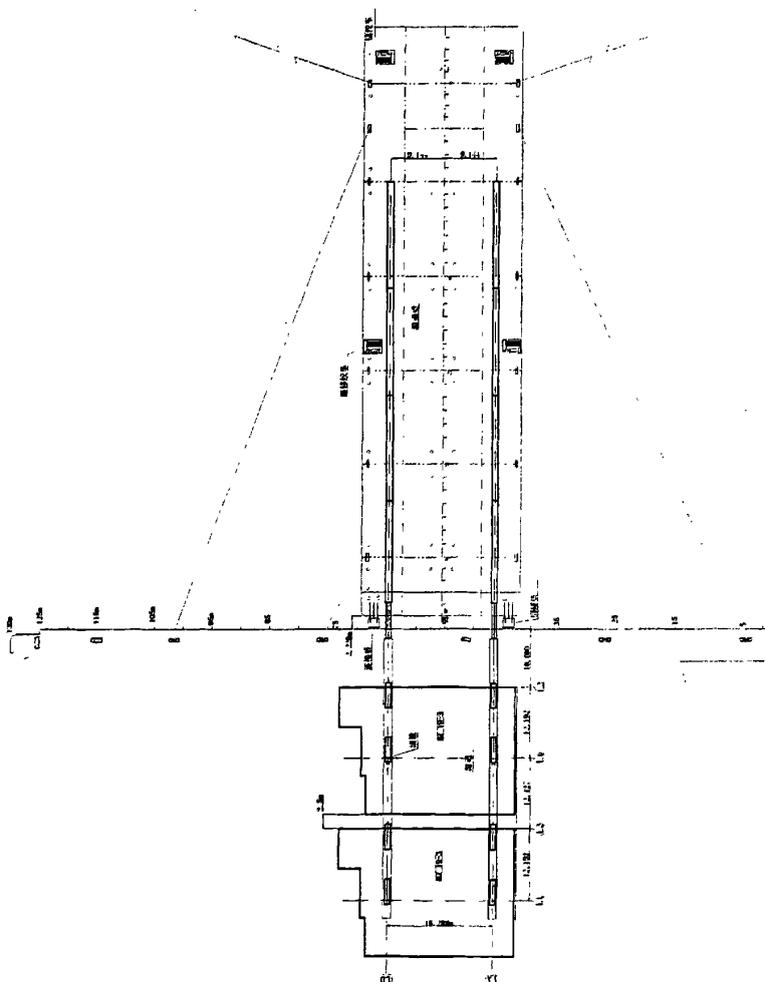


图 3.3 模块的拖移操作布置图  
Fig.3.3 Load-out arrangement for the module

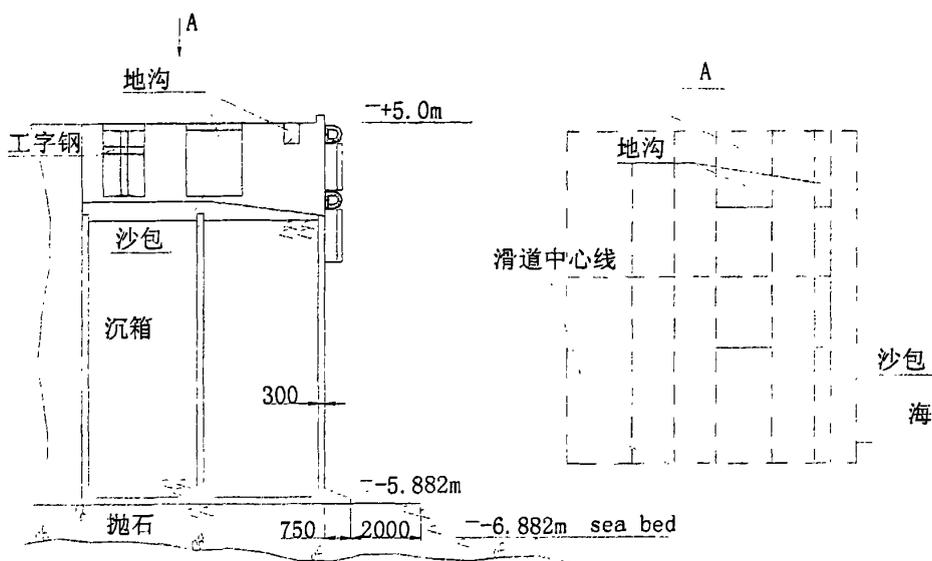


图 3.4 码头区域图

Fig.3.4 Section of load-out quay

(2) 码头区域有 3 道地沟，在铺设拖移滑道前，有两道地沟已经用沙包填平，如图 3.4 所示，另一地沟应该在拖移模块前，在沟内用临时支撑撑住，防止损坏地基。

(3) 模块拖移过程中，准备两套独立的电源，一套主用，一套备用，在模块拖移操作前将两套电缆准备好，在操作时一套出现故障，另一套电源能够迅速连接并使用。

### 3.2.2 滑靴布置和滑靴编号

每个模块由 4 个滑靴支撑，滑靴分别放置在模块 LA 和 LD 轴线，间距为 18.288m 的两条滑道上。在模块的建造场地，这两个模块的南平台面向大海，HZ 19-2LQ 距海最近，所以先拖移 HZ 19-2 模块，然后拖移 HZ 19-3 模块，如图 3.5 所示。

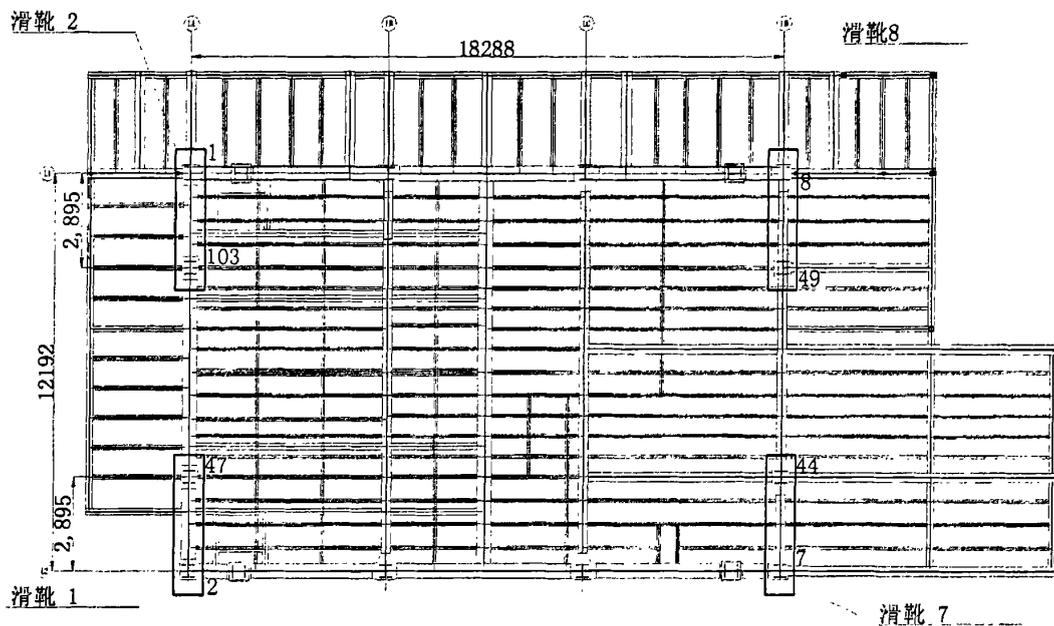


图 3.5 滑靴布置和滑靴编号  
Fig.3.5 Skid shoes arrangement and No. of skid shoes

### 3.2.3 驳船参数

(1) 驳船“HDB 1007”是由韩国现代(HHI)提供的钢结构下水驳船。该驳船的主船体分别由纵横舱壁分成 24 个压载舱。另外,还有一个冷却水舱和机泵舱及两个空舱。驳船上备有两套压载泵(每台 500t/h),将提供给我们用于进行调载操作,如图 3.6 所示。

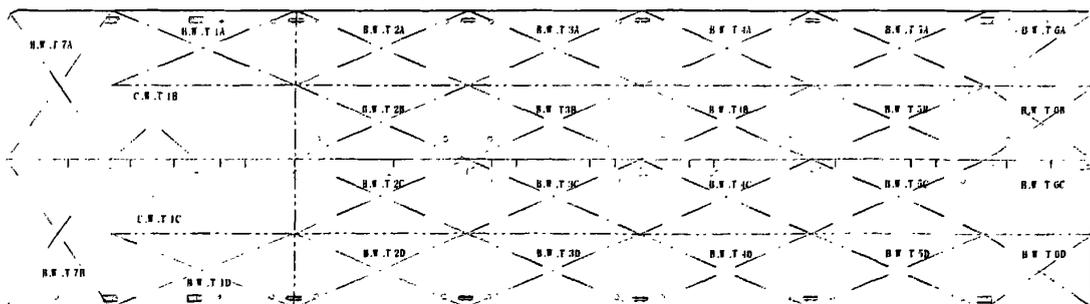


图 3.6 压载舱图  
Fig.3.6 Ballast tank of load-out barge

## (2) 驳船主尺度

总长	101.194m(332ft)
型宽 (mld)	27.432m(90ft)
型深(mld)	6.096m(20ft)
吃水	4.686m(15ft-4 1/2")
压载泵	2x2300 加仑/分 (~500t/hr)
船级	KR

## 3.2.4 滑道、滑靴、过桥梁和驳船滑道梁制作安装

(1) 岸上的滑道根据公司现有的滑道及滑板的尺寸设计而成，长度 6 米每块，宽度 1.2 米，高度 600 毫米，如图 3.3 所示。驳船滑道由 HHI 即韩国现代公司提供，随驳船运到新船重工，然后，由新船重工按照相关的设计要求安装定位，如图 3.7 所示；滑靴和过桥梁由我们建造安装，如图 3.7 和图 3.8 所示。滑靴和过桥梁的设计就是我们本课题的重要项目，需要按照相关的要求和规范，进行验算和检验。在驳船到达公司码头前，滑道、滑靴要铺设安装到位，驳船到达后按要求安装滑道梁。

## (2) 模块顶升

在模块的建造过程中，模块高于地面约 1200mm，为了满足模块拖移操作的要求，需要将模块顶升到 1550mm（以 5 区码头边缘为基准点），同时，按照先加墩，后换墩的原则进行倒墩。在模块支墩变换以后，再进行滑靴和滑道的安装。滑道滑靴铺设安装完成后，再利用油顶将模块降到 1450mm 高。

## (3) 滑道的铺设及滑靴的安装程序

在地面上划出生活模块 LA 和 LD 工字钢中心线的投影线，作为拖移滑道的中心线，如图 3.8 所示。

① 在码头边缘 10m 范围内，沿着投影线铺沙子，宽约 3m，要求表面水平，表面要求标高 5.02m。

② 然后在沙子上铺设 10m×2.2m×50mm 钢板，如没有此规格完整钢板，则需要将不同钢板焊接连在一起，以保证钢板的刚度及强度。

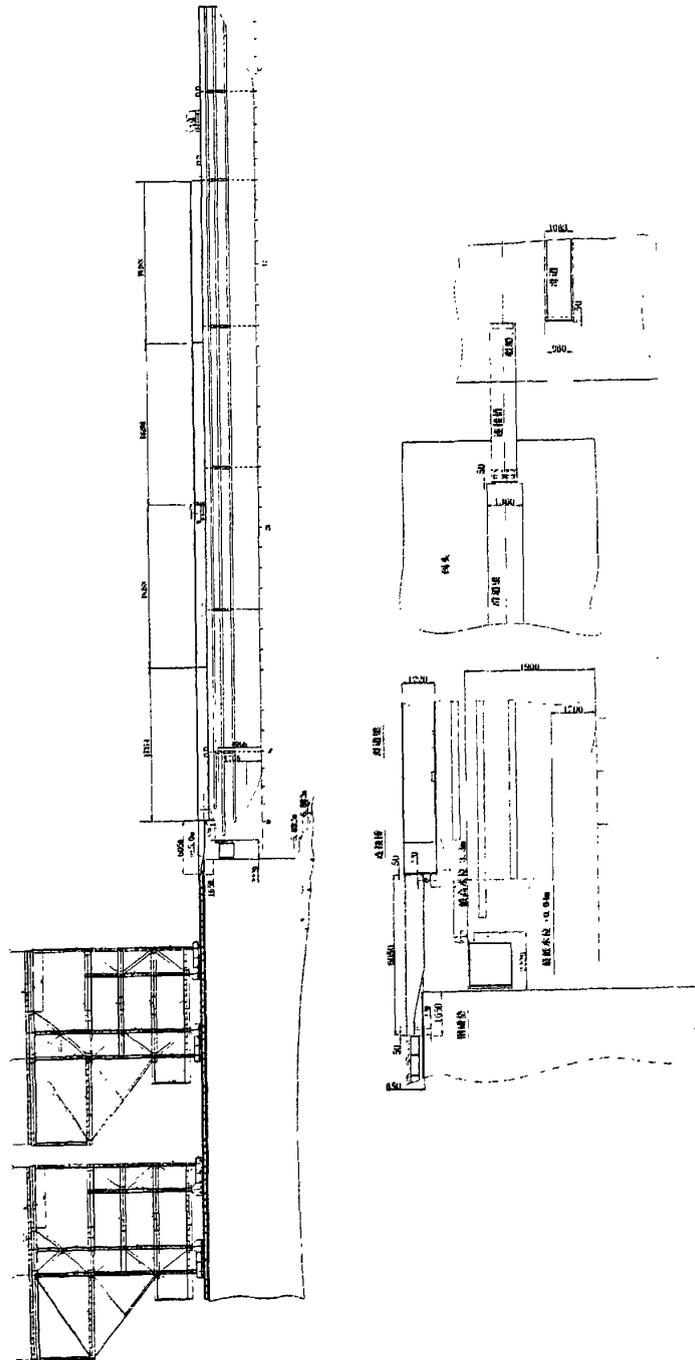


图 3.7 滑道布置图

Fig.3.7 Skid way arrangement

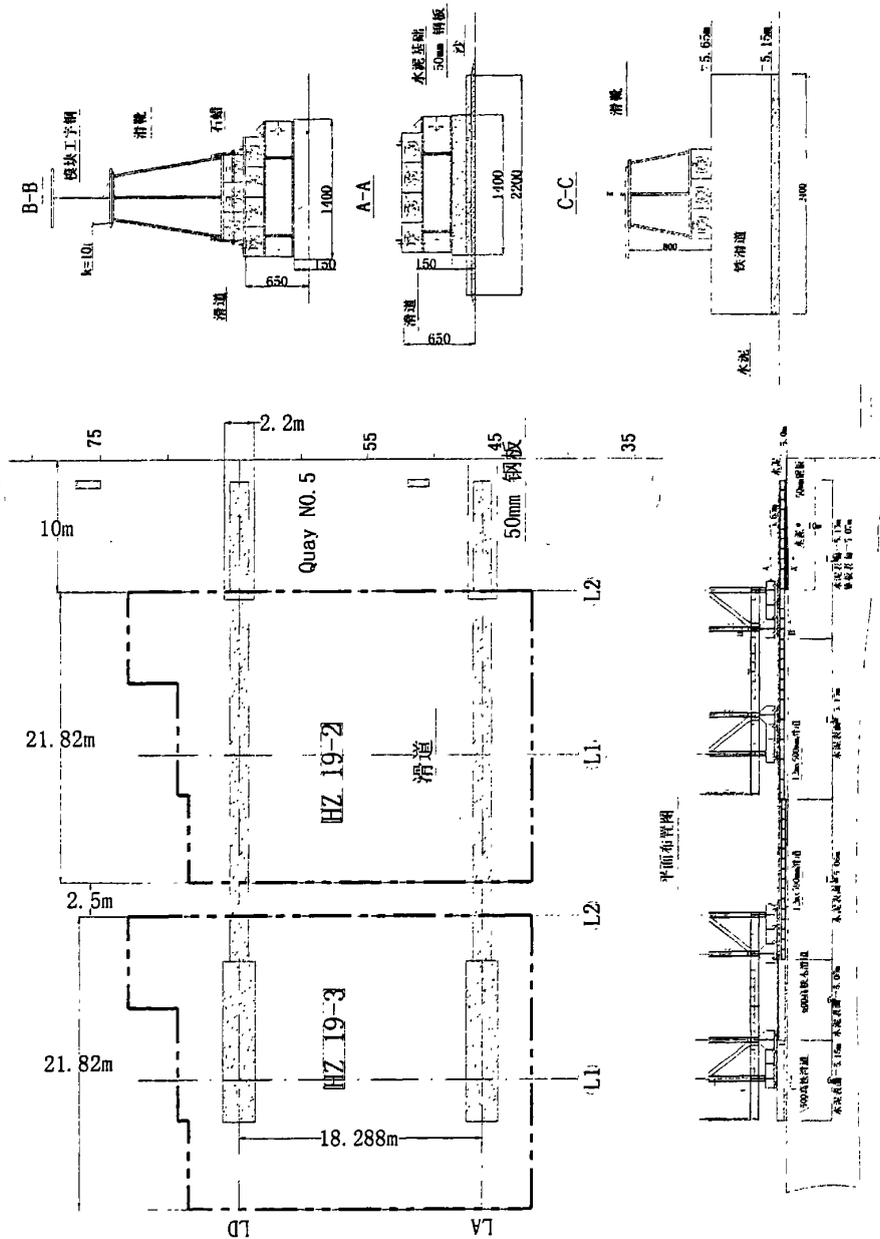


图 3.8 滑靴和连接桥布置图

Fig.3.8 Skid shoes and link beam arrangement

③ 从距码头边 1.65m 到 49.65m，以投影线为中心线，铺设水泥作滑道基础。水泥基础的高度要充分考虑本模块所采用滑道的高度情况，以保证滑道上表面平为基准。

④ 铺设滑道，将不同规格的滑道按照要求进行铺设，滑道要焊接连在一起，并且通过角钢与地筋连接，如图 3-8 所示。

⑤ 然后要由相关的检验人员进行检验，滑道（两个）表面的水平度公差 10mm，并根据需要对滑道表面的木牙适当进行刨平处理。

（4）按要求将过桥梁铰接组底座焊接在码头区域滑道基础的钢板上，焊接定位时定位尺寸要严格按照连接桥上铰接组的安装位置，以保证过桥梁的安装精度，绞点的水平度公差为 $\pm 3\text{mm}$ 。

（5）将 8 个滑靴钢结构部分，拖到位，升起，滑靴上面板与相关模块工字钢下面板按要求焊接在一起，如图 3.8 所示。

（6）接下来在滑道的上表面浇上石蜡，然后安装滑靴底部的垫木。安装之前，先用油顶调整模块的水平，使模块的水平度满足公差要求，然后根据模块的水平度安装滑靴垫木，打紧固定，最后缓慢将模块座于滑靴之上，保证模块的水平度满足公差要求 10mm。在模块坐滑靴之前，滑道的相关区域涂上滑道油。在安装垫木时，可以考虑 L1 处滑靴（后排滑靴）的垫木厚度增加 3mm（作为下沉余量，因为 L1 处滑靴承重近 300t，大于 L2 处滑靴承重），如图 3.7 所示。

#### （7）安装驳船滑道梁

驳船 HDB1007 到达公司后，如图 3.9 中所示的设计要求在驳船艏部的指定位置安装连接桥支座，然后再安装滑道梁，最后，在滑道梁末端安装眼板基座（当模块拖移操作完成后，将连接桥支座和眼板基座去除，并将甲板表面处理好）。

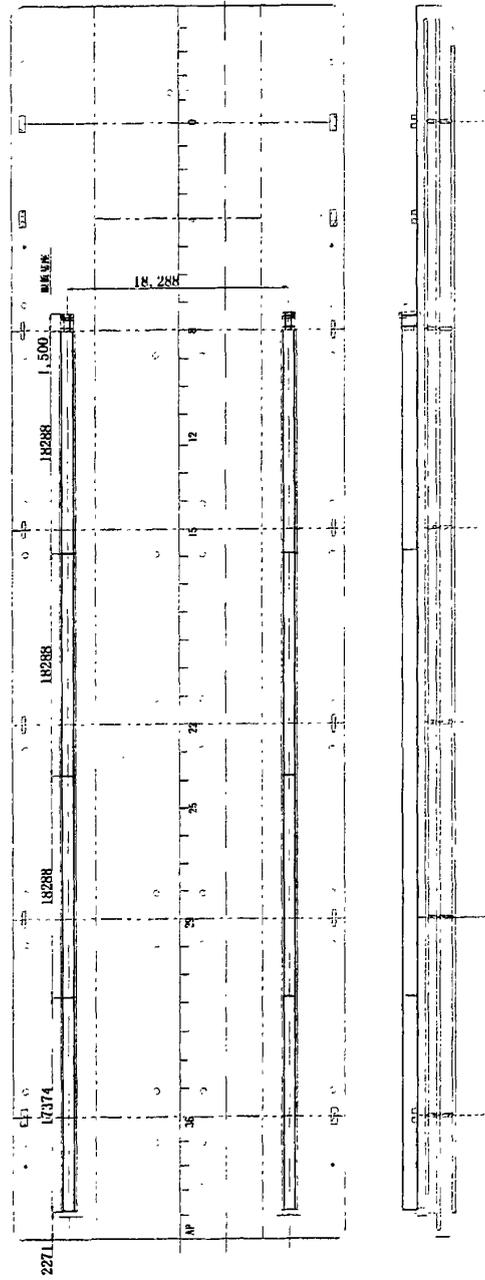


图 3.9 驳船甲板滑道布置

Fig.3.9 Skid way arrangement on barge deck

### 3.2.5 拖移布置

(1) 如图 3.3 所示, 滑道从建造场地延伸到码头边缘。驳船为准备拖移系泊时, 艏部对着码头, 在驳船和码头之间放置两个用方墩改造的钢碰垫, 使驳船与码头岸壁之间的间距约为 2.229m。

(2) 驳船通过设置在码头和驳船上的系泊系统, 将驳船固定在指定位置。

(3) 两个驳船滑道梁的中心线间距是 18.288m, 两个连接桥的两端分别坐在码头和驳船上, 一端绞接于滑道末端, 另一端坐在驳船上的过桥梁支座上的 U 型支座上。

(4) 驳船系泊定位后, 整个拖移系统, 包括拖移绞车, 钢缆, 滑头, 卸扣等都要完全连接好。

(5) 驳船上的压载系统要在系泊定位前, 要进行验证, 作好使用准备, 驳船要预先压载到拖移操作要求的吃水状态。

(6) 在驳船的左右两舷, 各放置一个供人员通过的跳板, 要连接好, 不要脱落。

(7) 码头滑道的整体高度是 0.65m, 驳船上的滑道梁高 1.22m, 见图 3.7。

### 3.2.6 拖移系统

(1) 准备 2 台 16 吨绞车进行模块拖移, 放置在驳船甲板的指定位置, 即驳船甲板两侧靠近船首的 160 肋位处, 固定牢固。主要由下列构成:

①带  $\phi 36\text{mm} \times 1200\text{m}$  钢丝绳的 16t 拖移绞车, 利用马板等焊接固定在驳船甲板上的指定位置。

②按设计要求, 安装在滑道梁末端的眼板基座, 顶板上安装有 A50t 和 A100t 吊运眼板。

③4 个 120t 卸扣, 分别挂在模块前排滑靴眼板和基座 100t 眼板上。

④4 个无头圈扣, 周长 3m, 对折一下 (长 0.75m) 连在 120t 卸扣上。

⑤4 个 100t 滑头 (6 轮), 两个连接在模块前排滑靴的圈扣上, 另两个连接在基座 100t 眼板的圈扣上。

⑥两个 35t 卸扣, 将 16t 导向滑轮连接在基座上的眼板上。

⑦两个 16t 导向滑轮连接在驳船基座 50t 眼板上。

(2) 拖移索具布置图, 如图 3.10 所示。

(3) 滑靴与滑道之间的摩擦系数取 0.2, 拖移的最大的摩擦力大约 172t。

(4) 绞车的钢丝绳速度, 一档为 17.6m/分, 二档 8.8m/分, 即模块拖移速度分别约为 1.3m/分和 0.7m/分。

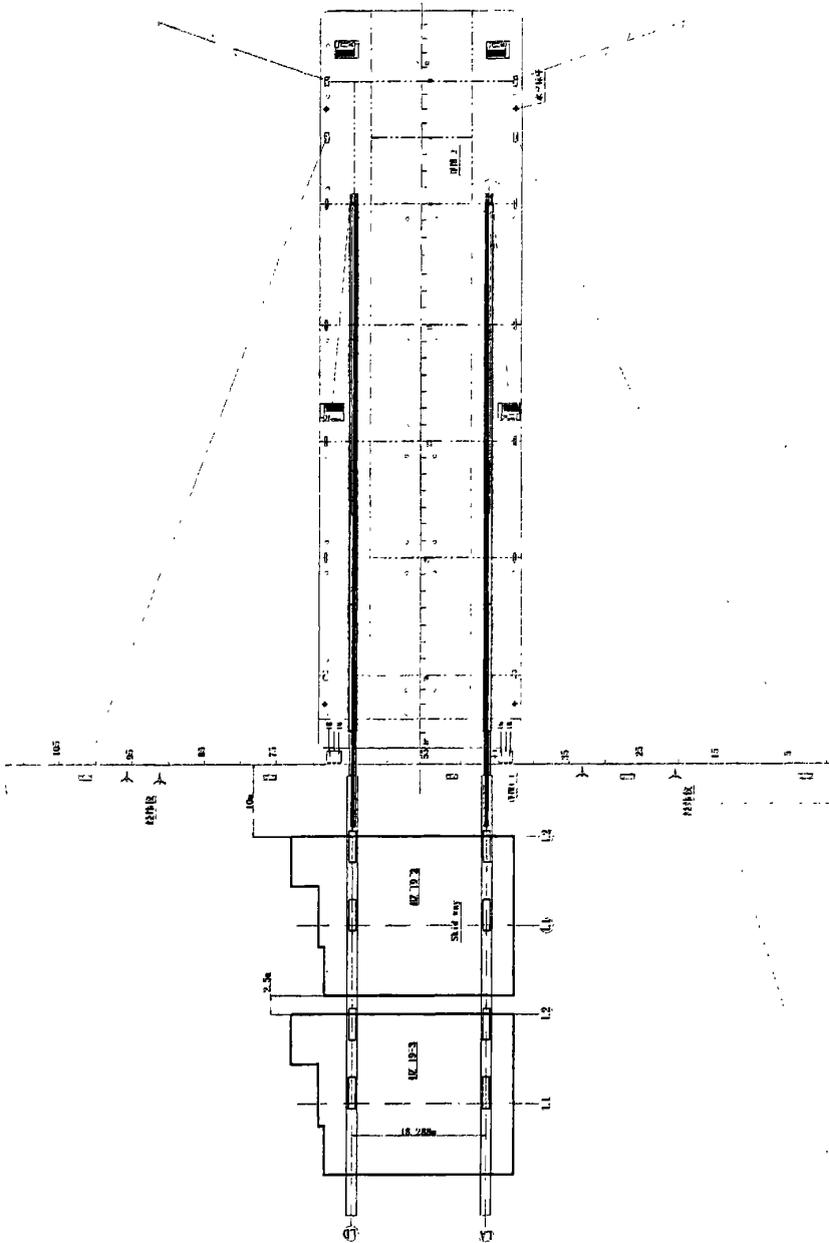


图 3.10 拖移索具布置图  
Fig.3.10 Mooring arrangement for load-out

### 3.2.7 压载设备

(1)在拖移调载时,利用驳船上的两套 500t/h 的压载泵和另外公司自备 8 台 200t/h 及 2 台 100t/h 的潜水泵,并根据压载计算进行布置。

(2)在模块拖移前,压载泵操作人员要明确责任,分工,另外驳船上的两台泵的操作人员来自 HHI,还需要确定指挥、联系等方法。

### 3.2.8 碰垫和系泊设备

#### (1) 碰垫

①码头岸壁上相应位置的橡胶碰垫,要暂时拆下,并将螺栓贴跟切下,以避免钢碰垫,然后安装两张  $2.2\text{m} \times 3.5\text{m} \times 10\text{mm}$  的钢板,并在钢板表面上涂滑油,见图 3.11。

②两个由方墩改制的碰垫将挂在驳船艏部斜梁绞接眼板上,保证驳船与码头岸壁约 2.229m 的距离,并且在驳船艏部舱内的相应位置分别安装 2.5m 长的球扁钢,作为驳船的临时加强,如图 3.11 所示。在安装驳船滑道时,可以同时将钢碰垫挂在驳船摇臂梁的眼板上,在驳船按拖移要求系泊后,再将碰垫上的木牙打紧,并用“铜子”将木牙连好固定,然后并拉紧系泊缆绳,以保证码头与驳船的距离,最后,再安装连接桥。

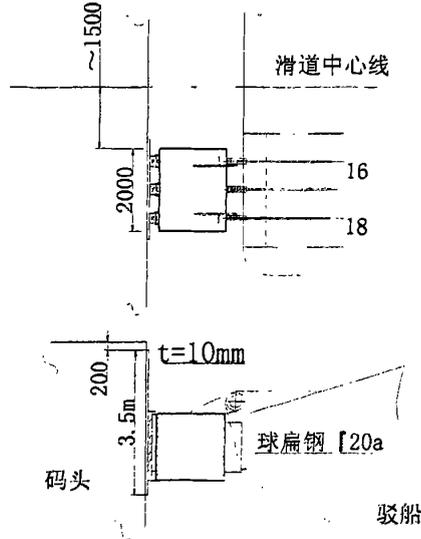


图 3.11 驳船和码头间的碰垫布置图

Fig.3.11 Arrangement for the fender

## (2) 系泊设备

① 驳船系泊布置，如图 3.10 所示。

② 系泊构成如下：

- ⇒ 两个 5 吨临时锚，配有  $\phi 39\text{mm}$ ，长约 50m 的钢丝绳。
- ⇒ 两台 16t 锚绞车，用马板固定在甲板上（驳船到达后现场确认位置）。
- ⇒ 4 个 40t 和 50t 的多轮滑头，将钢缆连在码头和驳船的缆桩上。
- ⇒ 2 个 8t 和 1 个 5t 的绞车，固定在码头上（具体位置，可以现场定）；船台东端 1 个 10t 的地磨，必要时，拉多轮滑轮组的钢丝绳，调整驳船的角度。
- ⇒ 4 个 16t 导向滑轮，分别挂在缆桩上，来改变绞车钢缆的方向。
- ⇒ 8 个 50t 卸扣，连接钢缆和滑头。

③ 另外，现场要准备尼龙缆、钢丝绳、葫芦等索具辅助驳船的系泊操作。

### 3.2.9 压载程序

(1) 压载程序是用来调节驳船吃水，在拖移上驳操作过程中，使驳船滑道梁与码头滑道在同一水平面。当模块逐渐拖上驳船的时候，要通过调载保持驳船的水平。

(2) 压载程序也要处理失速状态的发生：当模块拖移上驳时，没有完全移动到驳船上，拖移系统出故障，则驳船滑道面与码头滑道面必需水平，因此，压载系统必须能够满足一天当中两个潮汐循环变化时，引起驳船吃水变化的要求。

(3) 在两个模块拖移上驳过程中，对驳船进行压载、排载的舱不同，在模块 HZ19-2 拖移上驳操作时，利用 6 个压载舱进行操作，分别是 1D, 1A, 5D, 5A, 5C, 5B；在模块 HZ19-3 拖移上驳操作时，利用 4 个压载舱进行操作，分别是 1D, 1A, 5D, 5A, 见图 3.6。

(4) 压载舱测深：当压载时，先将钢尺绑在圆杆上，然后伸进压载舱内，保证垂直，再将钢尺取出，进行读数。测深时，要确保钢尺伸到舱底，注意安全。

(5) 模块 HZ19-2 在 4 月 19 日，5:30 点开始；HZ19-3 在 21 日 6:30 点开始。

(6) 现场拖移计划如改变，则压载程序需要更新，并根据现场的实际情况随机应变。

### 3.2.10 水平控制

(1) 驳船水平的控制，将以驳船上的水平标志点和岸上的水准仪为中心进行控制。

(2) 在驳船的 4 角附近，设置带有刻度的水平标尺。

(3) 在岸上设立 4 台水准仪，分别监测驳船上的水平标尺，首先，在岸上将 4 台

水准仪进行校对，使之处于同一水平面，然后扫出平面，分别确定 4 个标杆上的基准点，4 台水准仪分别监测驳船 4 角的水平状况，当 4 角的水平偏差，纵向超过 300mm，横向超过 50mm，要进行调载，同时，要观测滑道面的水平，保证驳船滑道与码头滑道的水平。

(4) 在拖移上驳操作时，要对驳船横向偏移进行监测，在驳船舷边甲板上装焊横向带有刻度的标杆，用经纬仪观测驳船的偏移状况。

(5) 同时要有人员观测潮高，驳船的艏艉吃水。

从以上模块拖移的程序来看，整个拖移过程分为 3 个阶段，第一个阶段是在陆地阶段的拖移，第二个阶段是在过桥梁阶段的拖移，第三个阶段就是在驳船上的拖移过程。

第一阶段在陆地的拖移，由于有地面强有力的支持，所以只要滑靴的强度没有问题，相对来说，拖移工作就相对安全。第三阶段在驳船上的拖移，由于船舶已经经过多条船的实践检验，也应该是相对安全的。只有第二阶段，模块要经过过桥梁时，由于过桥梁的两端各约束在陆地和驳船上，所以，对于陆地的基点、驳船的基点，更重要的是过桥梁本身的强度要求是非常严格的，否则，将会由于出现颠覆性的恶果。

所以，我们必须对于过桥梁的强度和滑靴的强度进行认真的分析和校核，保证整个拖移过程的安全和顺利。

### 3.3 NOBLE DENTON 的特殊要求

惠州模块项目属于高附加值的海洋工程项目，所以，业主对于本项目的安全非常重视，所以对于极其关键的上驳工作就是尤其重视了。对于本项目的上驳工作，业主投入了大额度的保险金额，负责本项目上驳保险的保险公司专门请国际上非常有影响的 NOBLE DENTON 公司作为第三方保险检验，这是一家非常有经验的检验公司，他们的检验人员大多数是从新加坡海洋工程建造工厂聘请的高级检验人员，有些人员还在世界上著名的 DNV、LR 等船级社做过现场检验，有着丰富的经验。在多年实践检验的基础上，他们编制了专门的检验和设计指南，其内容涵盖了海上安装、上驳、吊装海上运输等部分，本项目的设计就是要满足该设计指南中有关拖移上驳的要求。其主要内容如下：

#### 3.3.1 概述部分

主要是作为海洋工程的导管架、模块或其他设施从陆地移动到漂浮的船舶或驳船上的设计和检验工作指南。该指南中包括了将要上驳的结构本身的完整强度分析要求，上驳地点要求、过桥梁要求、滑道、滑靴的要求、运行轨道、压载泵的要求、提升系统和绞车的要求、锚泊系统、绑扎方式和拖轮、天气预报等方面的要求，可以说是包罗万象。

### 3.3.2 简介

(1) 该文件适应于海洋工程的导管架、模块或其他设施从陆地移动到漂浮的船舶或驳船上的设计和检验工作。包含了需要由 NOBLE DENTON 公司批准的上驳项目的相关建议和检验清单。

(2) 由于上驳方式多种多样, 该文件当中不可能全面覆盖, 所以, 具体选择哪种最适合建造方的方式由建造方决定。只要能够按照本指南的要求证明所选用的方法是可行的, 就可以得到批准。

(3) 本文件主要针对利用潮水拖移上驳和轨道拖移上驳方式, 同时也包含了驳船触地和浮吊吊装上驳的要求。

### 3.3.3 批准的证书要求

(1) 提交 NOBLE DENTON 批准的项目是以批准证书的形式体现出来的。

(2) 证书采取由 NOBLE DENTON 设计的固定格式, 该证书只有在工程所有的准备、预警以及其他合理的检查工作都结束以后才能颁发。

(3) 该证书由进行现场检验的检验人员, 在进行拖移之前, 确认所有的准备工作都已经就绪的情况下才能颁发。

(4) 在颁发证书以前, NOBLE DENTON 将根据经验, 对于一些文件、计算和信息进行预先审查, 文件的清单将在实际项目中列出。

(5) 颁发证书时的技术证件包括对于程序和相关计算的审查, 或者一些相关的分析计算等。

(6) 现场检验包括驳船的检验、结构和现场的检验、现场会议、其他在现场的准备情况等。

(7) 每个项目都必须颁发唯一的证书。

(8) 证书的颁发是根据现场检验人员所检查的结构、机械、设备等的外观情况来决定的, 不包括是否完整、是否实验等部分。

(9) 任何经过 NOBLE DENTON 批准过的项目经过了修改, 都意味着证书的失效, 除非这些修改经过了 NOBLE DENTON 的同意。

### 3.3.4 上驳时对于结构的要求

(1) 将要上驳的结构, 在设计时就要考虑结构的静载荷和动载荷。考虑他们的支撑情况、气象载荷、驳船水平偏移载荷、和陆地滑靴水平偏移载荷。

(2) 对于拖移上驳的方式, 必须进行有限元分析, 要考虑基础弹性、结构完工后在拖移各阶段的不平度。有特别的批准的情况除外。在缺少详细载荷信息的情况下, 要在对角线分力方面, 按照 75%和 25%的比例来分配受力情况。

(3) 对于轨道上驳方式, 轨道形状对于结构的反力要考虑。

(4) 对于吊装上驳, 结构包括眼板部分的分析要考虑吊装过程中有支撑的状态分析。

(5) 结构分析同时要考虑结构和建造的支撑连接在一起和结构和绑扎结构连接在一起的情况下的分析。因为这些结构和上驳结构物联系在一起成为一个整体。

(6) 结构的重量和重心是由最后的称重工作来决定, 称重的重量要乘以 1.03 作为计算重量。如果没有进行称重, 应该按照下表的安全系数计算这个计算重量, 见表 3.1 所示。

表 3.1 安全系数计算表  
Tab.3.1 Table of contingency data

项目	安全系数	
	基本设计时	完工设计时
结构重量	1. 1	1. 05
设备和舾装重量	1. 15	1. 1

(7) 应力水平不能超过 API RP 2A 的最新版本要求。超过环境载荷的 1/3 是不允许的, 但也可以采用其他国际上认可的规范标准。

### 3.3.5 场地和码头

(1) 拖移用的码头、码头周围、墙壁、基础等的相关资料要提供审查, 并且要有足够的的能力。

(2) 系泊用的带缆桩以及其他附属用具都要有足够的的能力满足使用要求。

(3) 码头的强度和弹性、结构的支撑分析都要满足要求。

(4) 拖移上驳过程中、拖移后停泊位置以及拖航中的水路区域的水深情况要提交检验。一般情况下, 船舶龙骨和海底间的间隙在拖移过程中至少要保证 1 米。

(5) 根据潮水进行拖移的项目需要在拖移码头设置潮水测量标志。

(6) 上驳过程中, 需要港口的管理部门进行监控, 防止有影响拖移工作的事件发生。

### 3.3.6 过桥梁、滑道和滑靴

(1) 过桥梁、滑道、滑靴的强度计算要提交认可, 满足结构分析的要求。过桥梁还

要检验由于锚泊失速而产生的增加载荷，以及在拖移过程中的受拉、受压的力。

(2) 拖移过程中过桥梁和驳船间的间隙要仔细考虑。

(3) 整个滑道上要设置防侧滑的导向装置。

### 3.3.7 驳船

(1) 驳船需要有相关船级社的证书，结构图和受力分析要提交 NOBLE DENTON 认可。而且要增加现场检验的项目。

(2) 在拖移过程中发生的载荷要在计算的范围值以内。

(3) 在上驳前后，系泊件以及用于提升、绞车等的附件要进行检查满足计算的数据要求。

(4) 当拖移过程中出现的临时工作时，在拖移后要恢复原来的状态，如甲板增加开的为压载用的临时开孔等。

### 3.3.8 锚泊系统

(1) 在整个过程当中要考虑天气和因素，考虑拖移过程当中天气预报，时间包括拖移前、拖移后。包括拖移前的锚泊时间、压载时间、系统的调试时间、最后的定位和绑扎时间等。

(2) 所有的缆绳、卸扣、和其他用于本工作的附件，都要有相关的证书，并在证书说明的负荷范围内，这些附件的安全系数要是破断负荷的 3 倍。

(3) 锚泊设计的前提条件是该区域和季节的 10 年一遇的环境因素。

### 3.3.9 绑扎

(1) 当结构在驳船上拖移就位以后要立即进行绑扎。

(2) 在足够的绑扎工作完成以前，驳船不允许移动。有以下情况之一的要立即将驳船拖回。横倾 5 度，或者驳船上的任何舱室有破损现象而引起的横倾。

(3) 在充分的进行绑扎以前，驳船不允许移动。而且绑扎后，绑扎结构能够克服在任何方向的 250 吨的剪力。

(4) 所有人孔在拖移以后要立即封好。

(5) 所有临时用于压载的孔都必须堵上。

### 3.3.10 天气预报

由权威部门提供的天气预报，必须在进行拖移以前提供批准，并且要提供每 12 小时一报的天气情况。

### 3.4 滑靴的受力分析

根据 NOBLE DENTON 的计算要求，滑靴的受力情况是在考虑了模块的重量和重心位置的情况下，同时考虑了最不利情况的三点受力的情况下得出的受力情况。最大的受力点在 8 滑靴，受力为 293.3 吨。占整个模块重量的 35%，是一种极限状态。

每个滑靴的静态支反力如下表所示：

表 3.2 每个滑靴的静态支反力  
Tab.3.2 (Load force on skid shoes)

负荷状态 t	滑靴 1			滑靴 2			滑靴 7			滑靴 8			总计
	节点 1	节点 103	合计	节点 2	节点 47	合计	节点 7	节点 44	合计	节点 8	节点 49	合计	
8 点 支撑	33.3	96.8	130.1	205.0	82.6	287.6	29.1	102.0	131.1	215.2	78.1	293.3	842.1

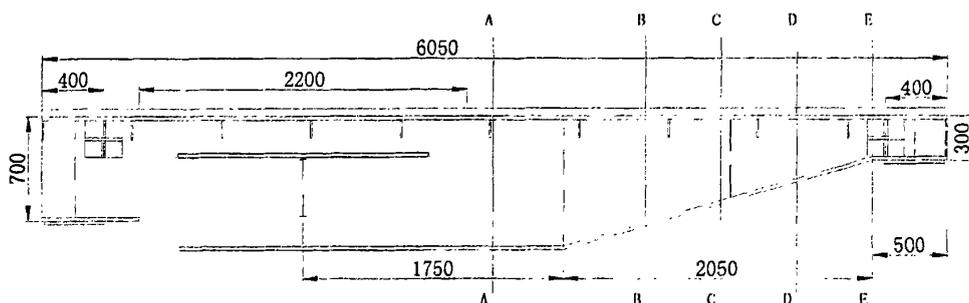
### 3.5 过桥梁的受力分析

过桥梁的受力是相当于滑靴的反力，所以，我们的受力分析是考虑了第 8 滑靴的受力，在重要剖面时的受力状态。这样是分析了他最危险的状态，如果该状态满足要求，则整个过桥梁就满足了要求。

## 4 过桥梁的强度计算

### 4.1 基础数据

过桥梁的基础数据见图. A-1. 根据过桥梁的结构特点和使用特点, 过桥梁使用梁的理论分析方法来进行本结构的强度分析方法是合理的. 我们用剖面 A-A, B-B, C-C, D-D 和 E-E 来检查梁的应力水平, 见图 4.1.



4.1 过桥梁的模型

Fig.4.1 Drawing of link beam

A-A, B-B, C-C, D-D 和 E-E 的剖面形状, 剖面的贯矩计算如下, 如图 4.2 所示。

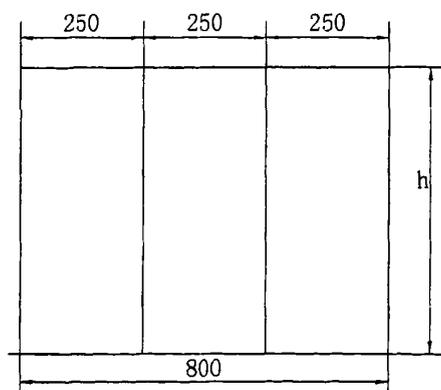


图 4.2 剖面形状

Fig.4.2 Section position

A-A 剖面

$$I_A = \frac{1}{12} \times 0.80^3 \times 0.02 \times 4 + 0.8 \times 0.026 \times 0.40^2 \times 2 = 1.006 \times 10^{-2} (m^4)$$

B-B 剖面

$$I_B = \frac{1}{12} \times 0.66^3 \times 0.02 \times 4 + 0.8 \times 0.026 \times 0.33^2 \times 2 = 6.446 \times 10^{-3} (m^4)$$

C-C 剖面

$$I_C = \frac{1}{12} \times 0.54^3 \times 0.02 \times 4 + 0.8 \times 0.026 \times 0.27^2 \times 2 = 4.082 \times 10^{-3} (m^4)$$

D-D 剖面

$$I_D = \frac{1}{12} \times 0.42^3 \times 0.02 \times 4 + 0.8 \times 0.026 \times 0.21^2 \times 2 = 2.328 \times 10^{-3} (m^4)$$

E-E 剖面

$$I_E = \frac{1}{12} \times 0.30^3 \times 0.02 \times 4 + 0.8 \times 0.026 \times 0.15^2 \times 2 = 1.116 \times 10^{-3} (m^4)$$

I—剖面贯矩

## 4.2 载荷状态

本结构分析的载荷输入如图 4.3 到图 4.5 所示, 单个滑靴的最大载荷是 424 吨。这是对于 8 号滑靴最大载荷 293 吨再给予 1.5 倍安全系数而得来的。因为过桥梁在码头端是销接的, 在驳船端是用销子结合 U-型支座连接的。所以这两端都允许自由转动。并且在驳船尾部和码头墙之间由刚性碰垫连接, 所以过桥梁的横向分力就可以忽略了。选择动载荷系数 1.0, 重量称重系数 1.03, 则载荷  $q$  就是  $424 \times 1.03 \times 1.0 = 436.72$  吨。

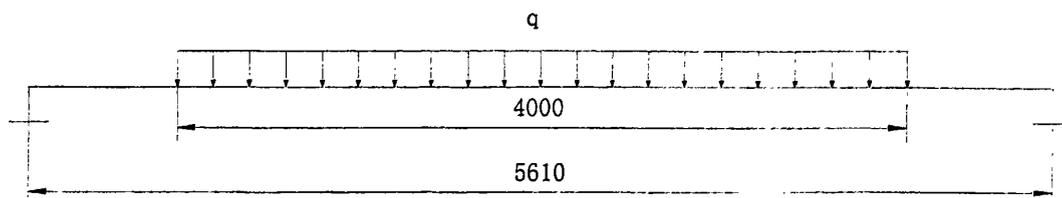


图 4.3 载荷 I  
Fig.4.3 Loading I

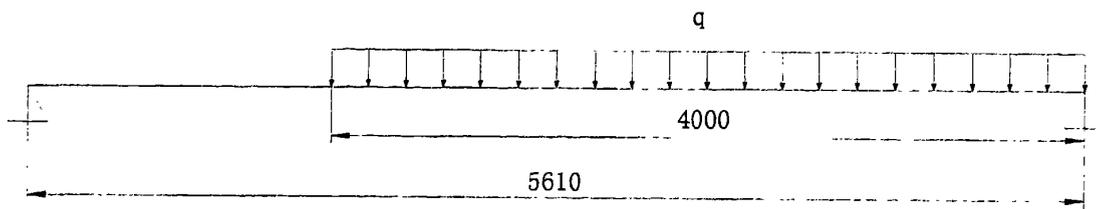


图 4.4 载荷 II  
Fig.4.4 Loading II

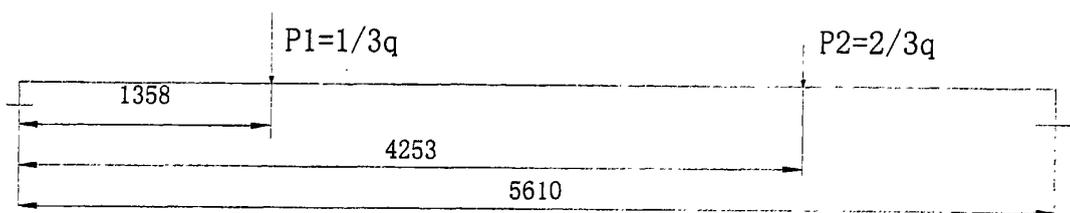


图 4.5 载荷 III  
Fig.4.5 Loading III

### 4.3 分析结果

对应于载荷 I, 弯曲力矩  $M$ , 最大应力  $\sigma_1$  最小应力  $\sigma_2$  如下:

剖面 A-A:

$$M = \frac{q}{8}(2l - b) = \frac{436.72}{8}(2 \times 5.61 - 4) = 394.11 (T - m)$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{394.11 \times 9800}{1.006 \times 10^{-2} / 0.40} = 153.56 (MPa)$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{394.11 \times 9800}{1.006 \times 10^{-2} / 0.40} = 153.56 (MPa)$$

剖面 B-B:

$$M = \frac{q}{2} \left[ x_1 - \frac{(x_1 - a)^2}{b} \right] = \frac{436.72}{2} \left[ 1.78 - \frac{(1.78 - 0.805)^2}{4} \right] = 336.76 (T - m)$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{336.76 \times 9800}{6.446 \times 10^{-3} / 0.33} = 168.95 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{336.76 \times 9800}{6.446 \times 10^{-3} / 0.33} = 168.95 \text{ (MPa)}$$

剖面 C-C:

$$M = \frac{q}{2} \left[ x_2 - \frac{(x_2 - a)^2}{b} \right] = \frac{436.72}{2} \left[ 1.28 - \frac{(1.28 - 0.805)^2}{4} \right] = 267.16 \text{ (T-m)}$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{267.16 \times 9800}{4.082 \times 10^{-3} / 0.27} = 173.17 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{267.16 \times 9800}{4.082 \times 10^{-3} / 0.27} = 173.17 \text{ (MPa)}$$

剖面 D-D:

$$M = \frac{q}{2} x_3 = \frac{436.72}{2} \times 0.78 = 170.32 \text{ (T-m)}$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{170.32 \times 9800}{2.328 \times 10^{-3} / 0.21} = 150.54 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{170.32 \times 9800}{2.328 \times 10^{-3} / 0.21} = 150.54 \text{ (MPa)}$$

剖面 E-E:

$$M = \frac{q}{2} x_4 = \frac{436.72}{2} \times 0.28 = 61.14 \text{ (T-m)}$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{61.14 \times 9800}{1.116 \times 10^{-3} / 0.15} = 80.51 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{61.14 \times 9800}{1.116 \times 10^{-3} / 0.15} = 80.51 \text{ (MPa)}$$

在这里,  $l = 5.61$ ,  $a = 0.805$ ,  $b = 4$ ,  $x_1 = 1.78$ ,  $x_2 = 1.28$ ,  $x_3 = 0.78$  和  $x_4 = 0.28$

对于载荷 II, 弯曲力矩  $M$ , 最大应力  $\sigma_1$  和最小应力  $\sigma_2$  如下:

剖面 A-A:

$$M = \frac{qb}{8} \left(1 + \frac{a}{l}\right)^2 = \frac{436.72 \times 4}{8} \left(1 + \frac{1.61}{5.61}\right)^2 = 361.64 (T - m)$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{361.64 \times 9800}{1.006 \times 10^{-2} / 0.40} = 140.91 (MPa)$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{361.64 \times 9800}{1.006 \times 10^{-2} / 0.40} = 140.91 (MPa)$$

剖面 B-B:

$$M = \frac{ql}{2} \left[ \frac{bx_1}{l^2} - \frac{(x_1 - a)^2}{bl} \right] = \frac{436.72 \times 5.61}{2} \left[ \frac{4 \times 3.83}{5.61^2} - \frac{(3.83 - 1.61)^2}{4 \times 5.61} \right] = 327.24 (T - m)$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{327.24 \times 9800}{6.446 \times 10^{-3} / 0.33} = 164.17 (MPa)$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{327.24 \times 9800}{6.446 \times 10^{-3} / 0.33} = 164.17 (MPa)$$

剖面 C-C:

$$M = \frac{ql}{2} \left[ \frac{bx_2}{l^2} - \frac{(x_2 - a)^2}{bl} \right] = \frac{436.72 \times 5.61}{2} \left[ \frac{4 \times 4.33}{5.61^2} - \frac{(4.33 - 1.61)^2}{4 \times 5.61} \right] = 270.25 (T - m)$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{270.25 \times 9800}{4.082 \times 10^{-3} / 0.27} = 175.17 (MPa)$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{270.25 \times 9800}{4.082 \times 10^{-3} / 0.27} = 175.17 (MPa)$$

剖面 D-D:

$$M = \frac{ql}{2} \left[ \frac{bx_3}{l^2} - \frac{(x_3 - a)^2}{bl} \right] = \frac{436.72 \times 5.61}{2} \left[ \frac{4 \times 4.83}{5.61^2} - \frac{(4.83 - 1.61)^2}{4 \times 5.61} \right] = 185.97 (T - m)$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{185.97 \times 9800}{2.328 \times 10^{-3} / 0.21} = 180.84 (MPa)$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{185.97 \times 9800}{2.328 \times 10^{-3} / 0.21} = 180.84 \text{ (MPa)}$$

剖面 E-E:

$$M = \frac{ql}{2} \left[ \frac{bx_4}{l^2} - \frac{(x_4 - a)^2}{bl} \right] = \frac{436.72 \times 5.61}{2} \left[ \frac{4 \times 5.33}{5.61^2} - \frac{(5.33 - 1.61)^2}{4 \times 5.61} \right] = 74.40 \text{ (T-m)}$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{74.40 \times 9800}{1.116 \times 10^{-3} / 0.15} = 97.99 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{74.40 \times 9800}{1.116 \times 10^{-3} / 0.15} = 97.99 \text{ (MPa)}$$

在这里,  $l = 5.61$ ,  $a = 1.61$ ,  $b = 4$ ,  $x_1 = 3.83$ ,  $x_2 = 4.33$ ,  $x_3 = 4.83$  和  $x_4 = 5.33$

对于载荷 III, 弯曲力矩  $M$ , 最大应力  $\sigma_1$  和最小应力  $\sigma_2$  如下:

剖面 A-A:

$$M = P_1 \left( \frac{b_1 x_0}{l} \right) + P_2 \left( \frac{b_2 x_0}{l} - x_0 + a_2 \right) = 145.55 \times \left( \frac{1.358 \times 2.805}{5.61} \right) + 291.12 \times \left( \frac{4.253 \times 2.805}{5.61} - 2.805 + 1.358 \right) = 296.65 \text{ (T-m)}$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{296.65 \times 9800}{1.006 \times 10^{-2} / 0.40} = 115.57 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{296.65 \times 9800}{1.006 \times 10^{-2} / 0.40} = 115.57 \text{ (MPa)}$$

剖面 B-B:

$$M = P_1 \left( \frac{b_1 x_1}{l} \right) + P_2 \left( \frac{b_2 x_1}{l} - x_1 + a_2 \right) = 145.55 \times \left( \frac{1.358 \times 1.78}{5.61} \right) + 291.12 \times \left( \frac{4.253 \times 1.78}{5.61} - 1.78 + 1.358 \right) = 332.71 \text{ (T-m)}$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{332.71 \times 9800}{6.446 \times 10^{-3} / 0.33} = 166.92 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{332.71 \times 9800}{6.446 \times 10^{-3} / 0.33} = 166.92 \text{ (MPa)}$$

剖面 C-C:

$$M = P_1 \left( \frac{b_1 x_2}{l} \right) + P_2 \left( \frac{b_2 x_2}{l} \right) = 145.55 \times \left( \frac{1.358 \times 1.28}{5.61} \right) + 291.12 \times \left( \frac{4.253 \times 1.28}{5.61} \right) = 327.60 (T - m)$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{327.60 \times 9800}{4.082 \times 10^{-3} / 0.27} = 212.35 (MPa)$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{327.60 \times 9800}{4.082 \times 10^{-3} / 0.27} = 212.35 (MPa)$$

剖面 D-D:

$$M = P_1 \left( \frac{b_1 x_3}{l} \right) + P_2 \left( \frac{b_2 x_3}{l} \right) = 145.55 \times \left( \frac{1.358 \times 0.78}{5.61} \right) + 291.12 \times \left( \frac{4.253 \times 0.78}{5.61} \right) = 199.62 (T - m)$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{199.62 \times 9800}{2.328 \times 10^{-3} / 0.21} = 176.46 (MPa)$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{199.62 \times 9800}{2.328 \times 10^{-3} / 0.21} = 176.46 (MPa)$$

剖面 E-E:

$$M = P_1 \left( \frac{b_1 x_4}{l} \right) + P_2 \left( \frac{b_2 x_4}{l} \right) = 145.55 \times \left( \frac{1.358 \times 0.28}{5.61} \right) + 291.12 \times \left( \frac{4.253 \times 0.28}{5.61} \right) = 71.65 (T - m)$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_1} = \frac{71.65 \times 9800}{1.116 \times 10^{-3} / 0.15} = 94.38 (MPa)$$

$$\sigma_2 = \frac{M}{W_2} = \frac{71.65 \times 9800}{1.116 \times 10^{-3} / 0.15} = 94.38 (MPa)$$

在这里,  $l = 5.61$ ,  $a_1 = 4.253$ ,  $b_1 = 1.358$ ,  $a_2 = 1.358$ ,  $b_2 = 4.253$ ,  $x_0 = 2.805$ ,  
 $x_1 = 1.78$ ,  $x_2 = 1.28$ ,  $x_3 = 0.78$  和  $x_4 = 0.28$

#### 4.4 结论

过桥梁的材料是 A36 和 Q345, 所以允许的弯曲应力是  
 $[\sigma_1] = \sigma_y \times n = 345 \times 0.66 = 227.7 (MPa)$ ,  $[\sigma_2] = \sigma_y \times n = 360 \times 0.66 = 237.6 (MPa)$  这里  
 $\sigma_y$  屈服强度。

强度分析显示, 过桥梁在检查剖面处的最大弯曲应力 ( $212.35 MPa$ ) 满足规范的要求。过桥梁的结构图纸, 如图 4.6 所示。

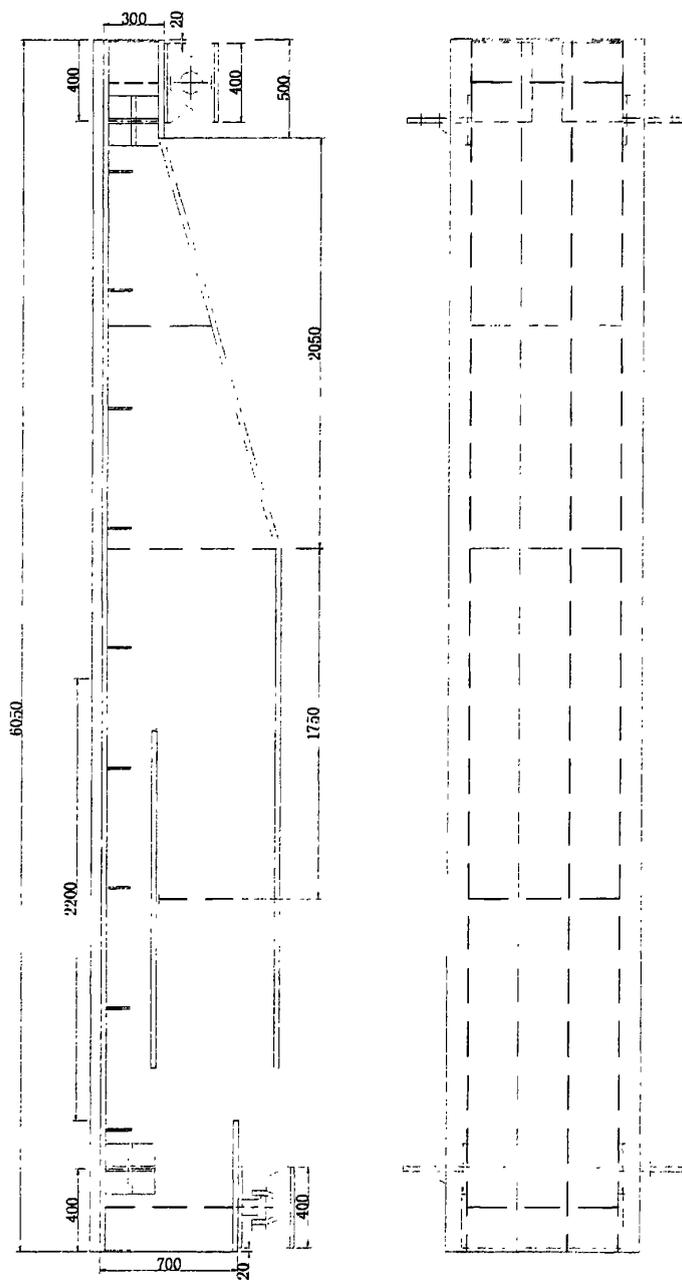


图 4.6 过桥梁结构图  
Fig.4.6 Structure of link beam

## 5 滑靴的强度计算

### 5.1 基础数据

结构模型的基础数据有以下信息:

DNS920-121-002GY(见附录 A)

DNS920-121-003GY(见附录 A)

DNS920-121-004GY(见附录 A)

LA/LD 滑靴所选用的高强度钢, 屈服应力( $F_y$ )是  $345 \text{ N/mm}^2$ 。低碳钢的屈服应力( $F_y$ )是  $235 \text{ N/mm}^2$ , 钢材的设计性能如下:

弹性模量  $E$ :  $210,000 \text{ N/mm}^2$

剪切模量  $G$ :  $80,000 \text{ N/mm}^2$

帕松比  $\nu$ : 0.3

密度  $\rho$ :  $7,850 \text{ g/m}^3$

上驳计算所选用的钢木之间带有油脂的摩擦系数为 0.2。

### 5.2 适用的规范

滑靴的设计满足 BS 钢船建造和入级规范, 则适用于以下许用应力:

Von Mises Stress  $\leq 0.8 F_y = 276 \text{ MPa}$  for  $F_y = 345 \text{ MPa}$

Von Mises Stress  $\leq 0.8 F_y = 188 \text{ MPa}$  for  $F_y = 235 \text{ MPa}$

根据 DNV 规范有关抗弯强度分析的要求:

最小载荷系数  $> 1$

### 5.3 分析方法和模型

本项目的分析方法是有限元分析法(FEM)。强度的有限元分析模型是根据 ANSYS 来建立的, 外板单元(SHELL63 in ANSYS)是贯穿于整个模型以准确捕捉局部强度。分析的模型见附录 B 中的图 B.1 到图 B.4。

模型被简单的垂直支撑钢木接触的表面。

本模型所选用的坐标系是 Cartesian 坐标系, 其定义如下:

X-轴, 纵向, 从后向前为正

Y-轴, 横向, 向左为正

Z-轴, 垂向, 向上为正

$S_x$  \_ X 方向的应力

Sy \_ 方向的应力  
Sz \_ Z 方向的应力  
Seqv \_ Von Mises 应力

#### 5.4 分析载荷

作用在模型上的主要载荷如下：

单个滑靴最大压力(动载荷)：4240×1.03×1.0 kN

单个滑靴拖拉力：800kN

侧向受力：40kN

压力和侧向力分为在滑靴表面,如图 5.1 中的红色区域所示,平均分配(载荷 I)和不平均分配(载荷 II),拖拉力作用在眼板上。

#### 5.5 分析结果

下表中概括地说明了滑靴危险区域的最大应力。见附录 C 图 C.1 到图 C.20 中的地图显示。分析结果显示, LA/LD 滑靴局部区域的应力大于许用应力(标注红色区域)。因此建议此部位的垫板(t=20mm)应该加厚,如图 5.1 所示。

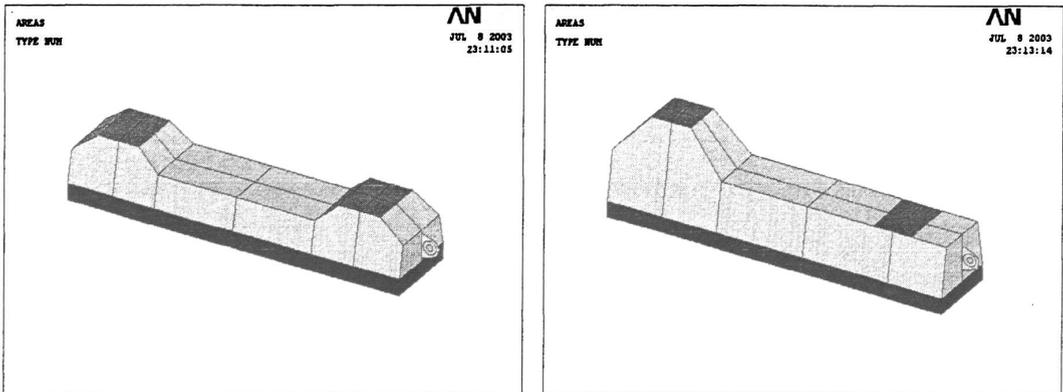


图 5.1 LA/LD 滑靴的修改  
Fig.5.1 LA/LD Modify for the skid shoes

表 5.1 应力分析结果

Tab.5.1 Strength result

项目	Sx max (MPa)		Sy max (MPa)		Sz max (MPa)		Seqv max (MPa)	
	Value	Allow.	Value	Allow.	Value	Allow.	Value	Allow.
LA (平均载荷)	111	207	115	207	104	207	113	276
LA (不均匀载荷)	198	207	206	207	138	207	189	276
LD (平均载荷)	116	207	152	207	115	207	146	276
LD (不均匀载荷)	190	207	204	207	172	207	203	276

抗弯强度分析结果如表 5.2 所示。

表 5.2 抗弯强度因素

Tab.5.2 Buckling strength factors

No.	载荷因素	
	LA	LD
1	80.7	59.1
2	85.5	62.6
3	87.7	63.4

## 5.6 结论

根据有限元计算结果，LA 和 LD 的强度满足强度要求。最大的 Von Mises 应力分别是 189 Mpa 和 203 Mpa，而最小的抗弯载荷因素是 59.1。

## 6. 实施情况和结果

### 6.1 实际的实施过程

#### 6.1.1 模块和码头现场的准备工作

##### (1) 模块

所有应该做好准备的工作都应完成,包括运输设备的安全。如下为拖移的准备工作:标记出绑扎的位置。

检查滑靴安装安全完工。

核查确定在模块滑移过程中,模块没有结构与码头及驳船的设备相碰的地方。

模块上的设备等要进行封固,确定模块上没有不牢固的设备。

在模块及滑靴的侧面,划上标记,标明“L2”的中心线,作为模块拖移到驳船上指定位置的参照。

##### (2) 码头现场

从建造场地铺设滑道,直到码头边缘 1.65m。

检查确认表面光滑,确认在两个滑道连接处,没有突出表面的地方。

检查确认两个滑道的直线度,平行,水平度,中心间距,并提交尺寸检验报告。

清扫焊渣,碎片,污物和滑道上的旧滑油,并在拖移前涂新滑道油。

准备所有用于该工作的设施的证书。

检验过桥梁和陆地、驳船上的铰点是否合适,在拖移前要进行安装及撤下的实验。

至少在拖移前 3 天,提交未来 3 天的书面天气预报。

码头的带缆桩作好准备工作,同时确定码头系泊绞车的固定位置。

准备两个跳板搭在码头和驳船上。

用警戒线(带)隔离出工作区域。

安全管理人员要保证安全有序的工作区域。

在拖移前 3 天,监测和记录每小时的潮汐状态,并提交报告,比较实际与预计的潮汐变化。

在滑道(包括码头、驳船和连接桥)上划上距离标记,便于监测模块滑动的距离。从陆地滑道的末端和过桥梁的连接点开始,每隔 0.5M 做一个标记;每隔 2M 标明距开始点的距离。

按照图 3.3 设立经纬仪和标杆，用于监测驳船的水平，要保证在整个拖移过程中，视线不被模块遮挡。

细化船台末端码头岸壁上的水位刻度，要求每隔 25mm 做一个标记，从 0m~+4m，并且要保证便于观测。

### 6.1.2 驳船准备工作

#### (1) 滑道梁

检查确认滑道梁及其导向板的安装状况。

刨掉滑道表面的焊渣，并要适当除锈。

在滑道上划上距离标记，便于监测模块滑动的距离。标记设置和陆地标记结合起来。

标记出模块的最终位置，特别要标记出 FR15 和 FR29 的位置（与模块 L2 中心线相对应），并要安装好制动挡板。

#### (2) 压载系统

压载泵系统要进行测试并提交报告，由于驳船是由 HHI 提供，也可能根据实际情况，在驳船达到公司后进行测试。

驳船上所有的泵系统要在拖移前 24 小时进行试运行操作。

校验、确认泵的能力满足拖移要求。

按照压载计算，将驳船调平。各舱的压载水量按照压载计算确定。

#### (3) 拖移系统

确定绞车的安装位置，并安装就位。

安装检验眼板基座。

滑道上表面清理并抹滑道油。

#### (4) 系泊

检查碰垫，木牙的情况，并检验驳船尾部碰垫区域的临时加强是否安装。

准备码头系泊系统，检查并确认系泊缆绳没有阻塞。

#### (5) 其他

划出紧急逃生通道，不得有材料和设备等堵塞。

准备足够的夜间照明，请相关部门制定照明方案，满足夜间施工需要。

可以将绑扎材料预装到位。

准备好绑扎的安装和焊接的工具。

放置 4 个水平标志在驳船的四角附近，及在边甲板的横向标杆，用于经纬仪观测。

确认细化水尺工作完成。

检查驳船上的设备和材料，确定不要阻碍模块移动。

卡环和滑头探伤要结束，并提交相关报告。

压载泵测试要结束，并提交相关报告。

绞车性能试验要结束，并提交报告。

连接桥的安装，撤下的操作试验要结束，并根据需要，适当完善改进。

模块装驳结束后，模块绑扎时的码头系泊布置方案要提交。

拖移上驳的组织机构图，联络图要完成并提交。

相关工具、缆绳及合格证书要准备好。

要安排设备维修及电工等人员在场，作好准备

### 6.1.3 HZ 19-2 拖移程序

(1) 每个模块的装驳都分成两个阶段，第一阶段是岸上拖移，第二个阶段跨过连接桥到驳船上的指定位置。第二阶段，要进行调载操作，以保证驳船滑道梁与码头滑道顶面在同一平面。

#### (2) 19-2 模块的岸上拖移

按照计划，该模块将在当天的早晨进行拖移上驳操作；岸上拖移在前一天的下午进行。在岸上拖移操作时，过桥梁不安装，结束后将连在滑靴上的滑头摘下，在上驳拖移前安装连接桥，然后再连接滑头到滑靴上。

① 先对驳船进行调载，使其达到初始状态的吃水要求，以使滑道梁表面与码头滑道大致在同一水平面。并且通过系泊缆绳来调整驳船，使码头滑道与驳船滑道梁中心线对正。连接好拖移操作的绞车，钢缆等。

② 岸上滑道以及滑靴的表面要处理光滑，并清除杂物，然后涂滑油。

③ 要对全部人员进行安全教育，所有人都要与码头及驳船上的索具保持一定距离。

④ 根据潮汐表上表明的潮高，岸上拖移可以在前一天的下午合适的时机进行，拖移时，不需要驳船的调载，但刚性碰垫必须安装合适并就位。

⑤ 启动拖移绞车，渐渐拉紧缆绳松弛的部分，然后检查所有的卸扣、眼板及滑轮组的连接是否状态良好，所有的绳索都不能阻塞。

⑥ 再次启动绞车，开始拉动模块移动，同时拉紧绞车，逐渐地从一步缓慢地前进到下一步，直到模块的 L2 距码头边缘 2.4m（滑靴边缘到达滑道边缘），在拖移模块时，

要监测滑道侧面上的移动距离标志。

⑦ 模块的拖移速度 30m/小时，注意不要太快，以免难以控制，可以采取间断性拖移的方式，只要保证按时完成岸上拖移操作。

⑧ 拖移过程中，要检测模块是否直线移动或同步移动。

⑨ 在拖移结束时，绳索要松弛下来，来提供一些驳船相对于码头垂向运动的允许量，直到装驳操作。

### (3) 19-2 模块的装驳拖移

① 要在天气允许的前提下，以及各种准备工作都已结束，最后在保险公司签字同意的情况下才能着手进行。

② 在现场合适的位置架好一块黑板，用于监测和跟踪驳船状态的记录跟踪，同时记录好驳船相对于码头的水平和压载舱测深。

③ 驳船要预压载达到压载计算要求的状态，如果潮水与预计的有变化则要考虑进行修正，保证驳船滑道梁与码头滑道高度相同。

④ 调整驳船角度，保证滑道对位，并清洁滑道，涂滑油。

⑤ 5 现场会议要进行包括所有人员的安全教育通报，所有人都要与码头及驳船上的索具保持一定距离。

⑥ 启动绞车，渐渐拉紧松弛部分，然后检查所有的卸扣、眼板及滑轮组的连接是否状态良好，所有的绳索都不能阻塞。

⑦ 再次启动绞车，开始拉动模块移动，逐渐地从一步缓慢地前进到下一步。

⑧ 连续拖移并检测滑靴的直线移动，保证前排滑靴跨上连接桥。

⑨ 当前排滑靴跨上连接桥时，开始对驳船进行压载操作。

⑩ 该模块的拖移将分为 7 个阶段进行：

前排滑靴的一半上到过桥梁上。

前滑靴全部上过桥梁

后滑靴在过桥梁边上

后滑靴的一半在过桥梁上

后滑靴的全部在过桥梁上

后滑靴全部在驳船上

模块就位

(4) 根据压载计算和压载程序，同时进行拖移和压载操作。拖移过程中，检查员要不断报告驳船相对于码头的高度，以及监控和跟踪驳船的状态，拖移上驳指挥可以相应地改变拖移速度，使压载操作满足要求，并随时可以停止拖移使压载操作做相应的调整。

(5) 在拖移过程中,要通过检测滑靴与限位角钢之间的间隙来检查模块的运动的直线性,观测模块相对滑道两侧距离标志的移动距离,来检查模块移动的同步性,通过操纵两个绞车调整索具的松紧,来保证运动的同步。

(6) 当拖移到后排滑靴的前面移动到滑道边缘时,要停止拖移或减速,而压载操作要继续进行,当驳船滑道梁开始抬升,高于码头滑道时,模块向前移动一小步。通过近距离监测确保驳船滑道梁高过码头滑道,直到后排滑靴的尾巴到达驳船的艏部。这样的操作程序是保证驳船在后排滑靴最后通过时不发生倾斜,避免可能的损坏。

(7) 在最后阶段,不必再保证驳船滑道与码头滑道在同一水平面,只要大概保持水平即可。在后排滑靴完全上驳后,可以根据现场的实际情况,决定是否将连接桥撤下,或在模块定位后撤下。

(8) 在 HZ 19-2 模块定位后,在进行绑扎的同时,要将拖移索具进行重新布置:将连在眼板基座上的卡环和滑头卸下,然后挂在 HZ19-2 模块后排滑靴想对应的眼板上;将 HZ 19-2 模块前排滑靴眼板上挂的卸扣和滑头卸下,挂到 HZ 19-3 模块的前排滑靴眼板上。在 HZ19-2 模块绑扎工作完成不少于 20%时,才可以拖移 HZ19-3 模块。

#### 6.1.4 19-3 模块的拖移

该模块将在早晨进行装驳拖移,所以岸上拖移根据施工需要在前一天下午进行,拖移时连接桥不安装,结束后将连在滑靴上的滑头摘下,在上驳拖移前安装连接桥,然后再连接滑头到滑靴上。

##### (1) 19-3 模块的岸上拖移

先对驳船进行压载,使其达到初始状态的吃水,以使滑道梁表面与码头滑道大致在同一水平面。并且通过系泊缆绳来调整驳船,使码头滑道与驳船滑道梁中心线对正。连接好拖移操作的绞车,钢缆等。拖移准备方面的要求,相同于 19-2 模块。

① 根据潮汐表上表明的潮高,正式拖移的前一天下午进行岸上拖移操作,拖移时,不需要驳船的调载,但刚性碰垫必须安装合适并就位。

② 19-3 模块岸上拖移的要求也相同于 19-2 模块。

##### (2) 19-3 模块的装驳

① 要在天气允许的前提下,以及各种准备工作都已结束,最后在保险公司签字同意的情况下才能着手进行。

② 拖移准备,参见 19-2 模块的准备项目。

③ 开动绞车，渐渐拉紧松弛部分，然后检查所有的卸扣、眼板及滑轮组的连接是否状态良好，所有的绳索都不能阻塞。

④ 模块开始移动，同时绞车被拉紧，逐渐地从一步缓慢地前进到下一步。

⑤ 连续拖移并检测滑靴的直线移动，保证前排滑靴跨上连接桥。

⑥ 当前排滑靴跨上连接桥时，开始进行压载操作。

⑦ 该模块的拖移将分为 7 个阶段进行：

前滑靴的一半上到过桥梁上。

前滑靴全部上过桥梁

后滑靴在过桥梁边上

后滑靴的一半在过桥梁上

后滑靴的全部在过桥梁上

后滑靴全部在驳船上

模块就位

(3) 拖移过程的要求和 19-2 相同。

(4) 在 HZ19-3 模块绑扎工作完成不少于 20% 时，才可以撤除相关连接。完成拖移工作，并将系泊设施撤除，将驳船移到码头停靠。

## 6.2 实际结果

实际的拖移时间是在今年的 2004 年 5 月 19 日正式拖移第一个模块，即 19-2 模块，由于是首次拖移，在拖移速度的控制方面有些欠缺，所以在第二个滑靴刚刚全部上到过桥梁的时候，驳船的尾吃水下降近 500 毫米，过桥梁承受了巨大的压力，后来，经过调整潮水和压载以后，模块得以安全通过过桥梁。经受住了实践的考验。

在 2004 年 5 月 21 日的 19-3 模块的拖移过程中，由于有了第一个模块的经验，没有出现任何问题。整个过程证明，本项目的过桥梁和滑靴的设计是合理的，所进行的强度校核方法和结果都是正确的，满足了实际的要求。

## 结 论

梁单元的分析 and 有限元的分析方法已经在现在的结构分析当中非常普遍，通过实际的应用以后，更加体会到，理论对于实践的指导作用。惠州模块拖移上驳工作的开展，开辟了大连新船重工又一新的施工建造技术，为今后类似的技术开发提供了宝贵的技术和实际施工经验。同时，应用了该项技术以后为惠州模块建造当中的成本控制和工期的保证提供了技术保障。实践证明，所采取的设计方案和校核方案以及使用的技术理论基础都是正确的，为实际工作起到了理论支持作用。

## 参 考 文 献

参考文献的著录，按论文中引用顺序排列。

- [1] Guidelines for loadouts, Report No. 0013/NDI, NOBLE DENTON, 2001
- [2] ABS Rules for Building and Classing Steel Vessels, 2001
- [3] Buckling Strength Analysis, DnV, No.30.1, 1995
- [4] 上海交通大学：有限元分析
- [5] 金仲达. 船舶设备[J]. 哈尔滨工程大学, 1991
- [6] 孙翼哲. 大连港大港区滚装运输发展规划研究[D]. 大连海事大学, 2003
- [7] 杨志华. 港口拖轮总体配置的仿真研究及应用[D]. 武汉理工大学, 2003
- [8] 熊军魁. 港口拖轮优化配置研究[D]. 武汉理工大学, 2002
- [9] 陈伟. 仿真优化方法及其在港口设备配置中的应用研究[D]. 武汉理工大学, 2004
- [10] 郭明. 辽宁省港口发展战略研究[D]. 大连海事大学, 2003
- [11] 郜晓丽. 航运企业信息化经济分析及其评价[D]. 大连海事大学, 2002
- [12] 方亮. 中远集运枢纽港选择的战略研究[D]. 大连海事大学, 2002
- [13] 姜晓燕. 航运企业供应链合作伙伴的选择及 ERP 模式的建立[D]. 大连海事大学, 2002
- [14] 吕华杰. 大连港现代物流需求分析与发展研究[D]. 大连海事大学, 2002
- [15] 王玉艳, 孙丽萍. 基于 ANSYS 的车体结构参数化有限元分析方法及其应用[A]第六届交通运输领域国际学术会议论文集(下卷) [C], 2006
- [16] 陈力. 基于 ANSYS 和实例的结构智能设计模板的研究与应用[D]武汉理工大学, 2002
- [17] 刘英. 中远集团船岸通信导航技术与管理发展的研究[D]. 大连海事大学, 2001
- [18] 汪洋. 中远集团科技发展规划问题研究[D]. 大连海事大学, 2001
- [19] 朱云龙, 罗焕佐, 薛劲松, 顾兆禄. 港口业船舶优化调度模型设计[J]高技术通讯, 2000, (07)
- [20] 施丽娟, 崔维成. 船舶结构强度有限元分析的质量控制研究综述[J]船舶, 2002, (05)

### 附录 A 基础数据

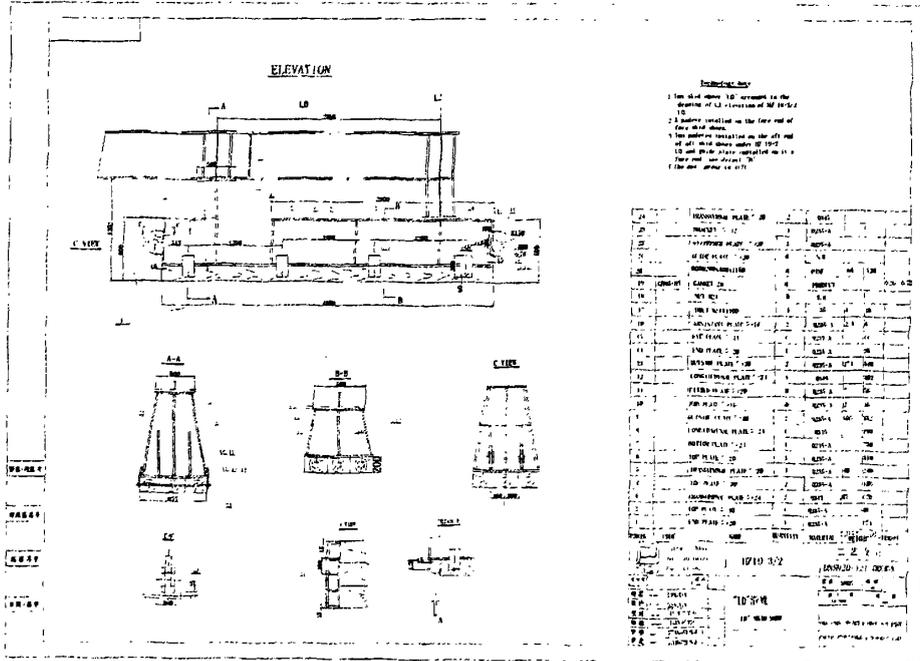


图 A.1 LD 滑靴  
Fig.A.1 LD Skid shoe

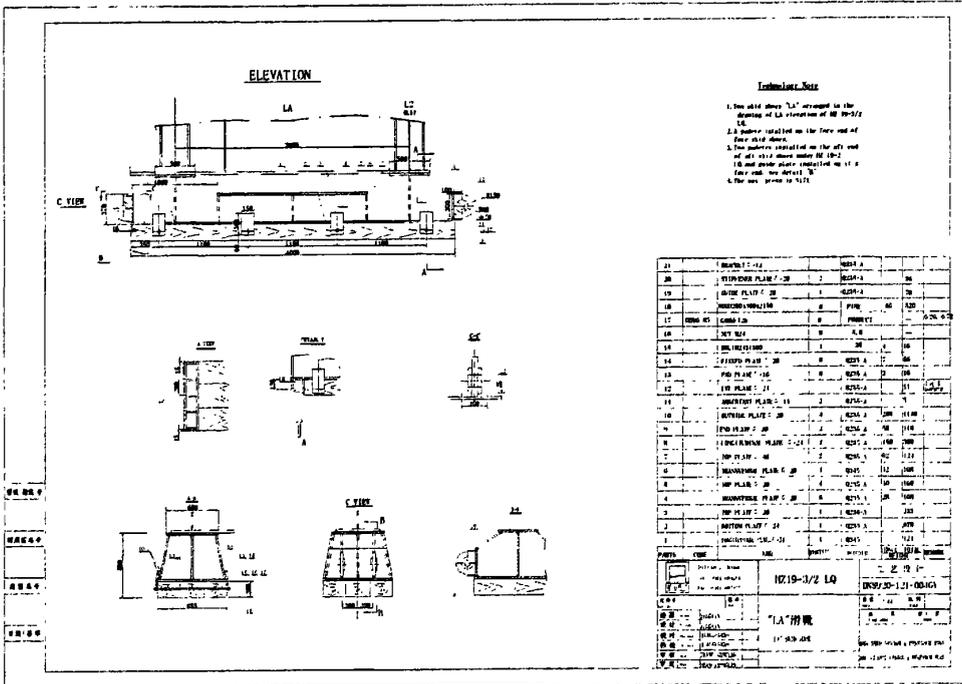


图 A.2 LA 滑靴  
Fig.A.2 LA Skid shoe

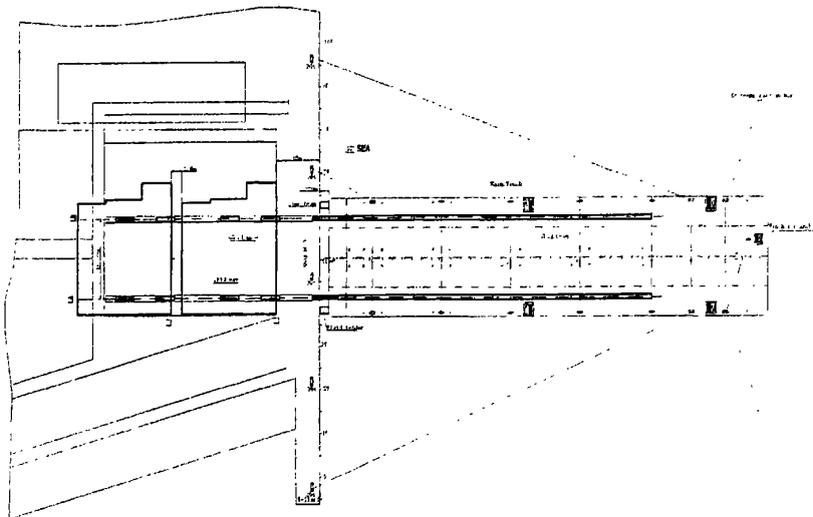


图 A.3 拖移总布置图  
Fig.A.3 General arrangement for load-out

## 附件 B 分析模型

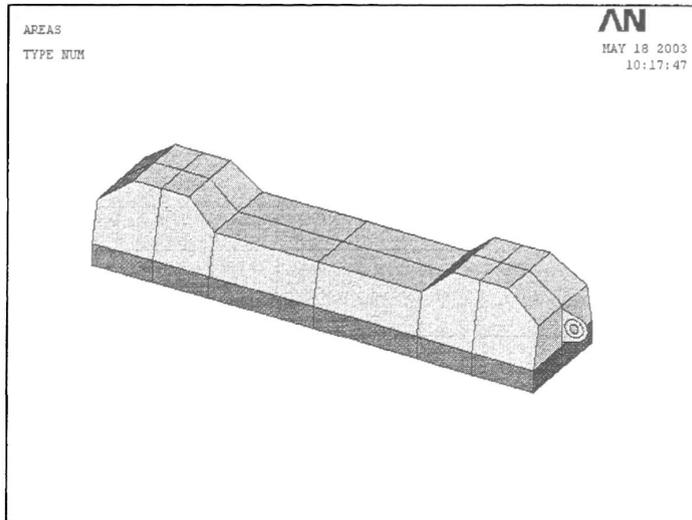


图 B.1 LA 的计算模型  
Fig.B.1 LA Module

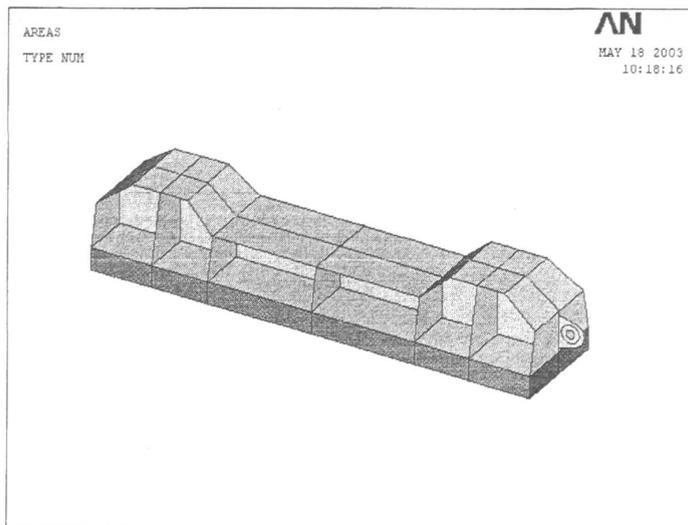


图 B.2 LA 的计算模型  
Fig.B.2 LA Module

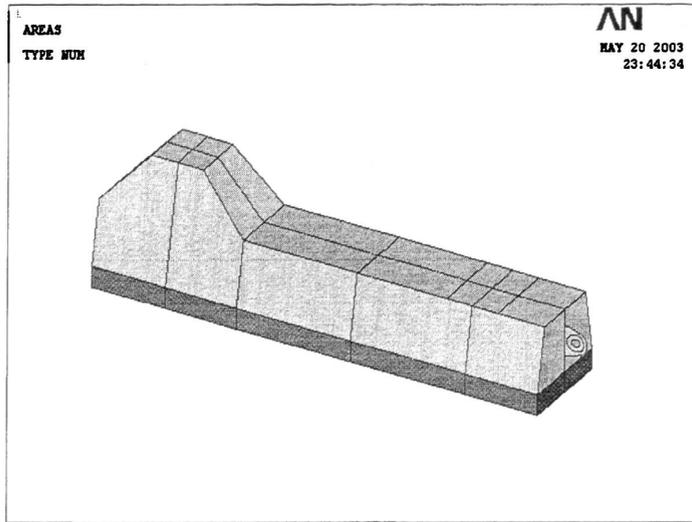


图 B. 3 LD 的计算模型  
Fig.B.3 LD Module

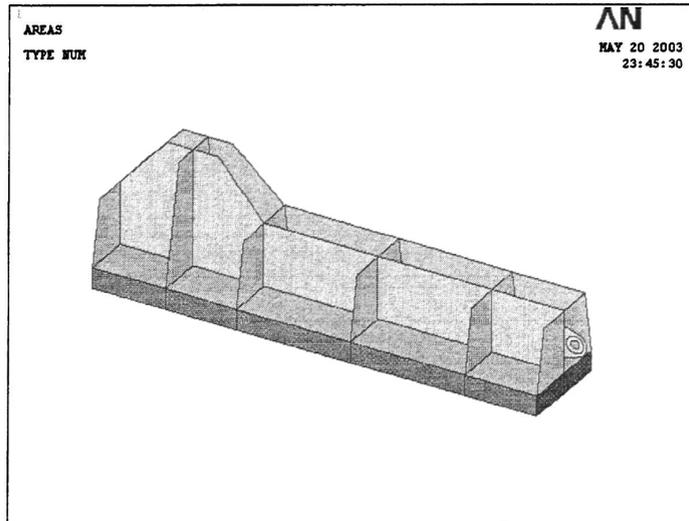


图 B. 4 LD 的计算模型  
Fig.B.4 LD Module

### 附件 C 应力结果

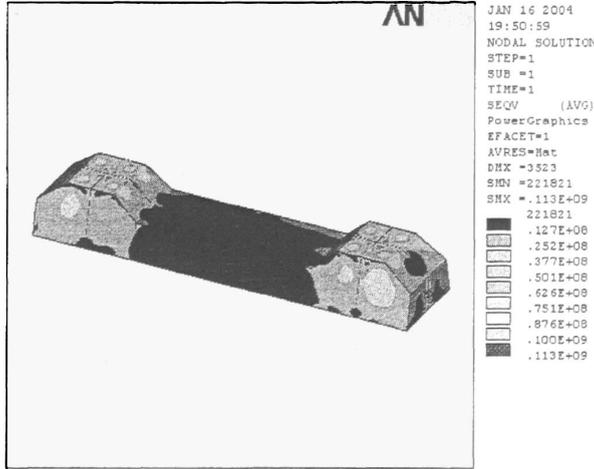


图 C. 1 LA 应力轮廓 (Seqv)  
Fig.C.1 LA Strength result

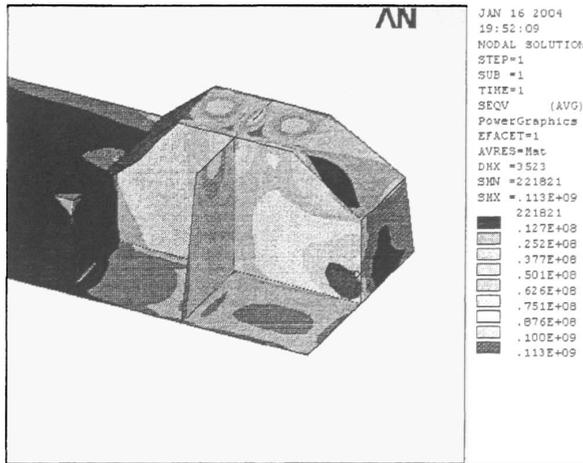


图 C. 2 LA (Seqv) 应力轮廓  
Fig.C.2 LA Strength result

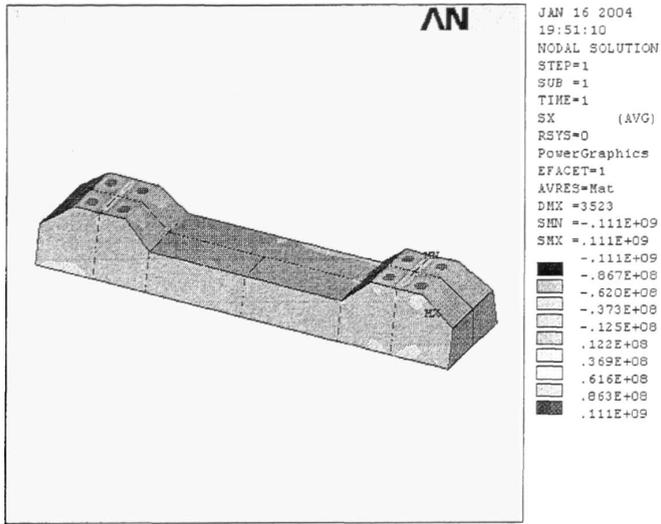


图 C.3 LA 应力轮廓 (Sx)  
Fig.C.3 LA Strength result

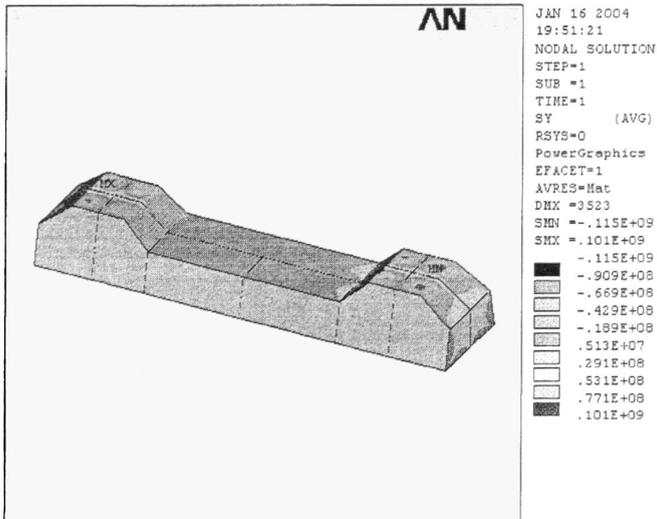


图 C.4 LA 应力轮廓 (Sy)  
Fig.C.4 LA Strength result

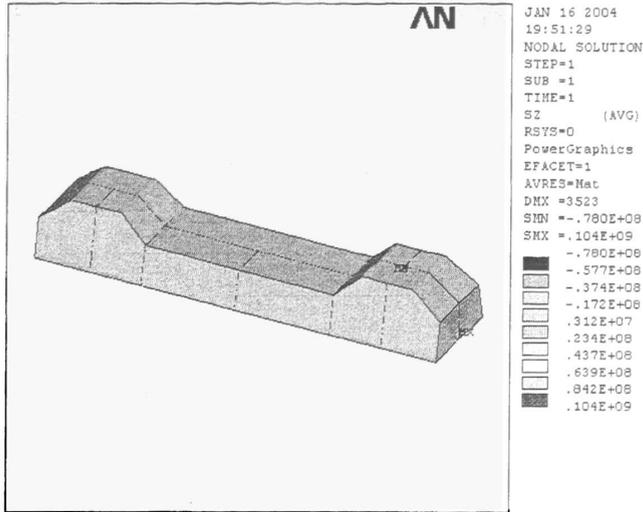


图 C. 5 LA 应力轮廓 (Sz)  
Fig.C.5 LA Strength result

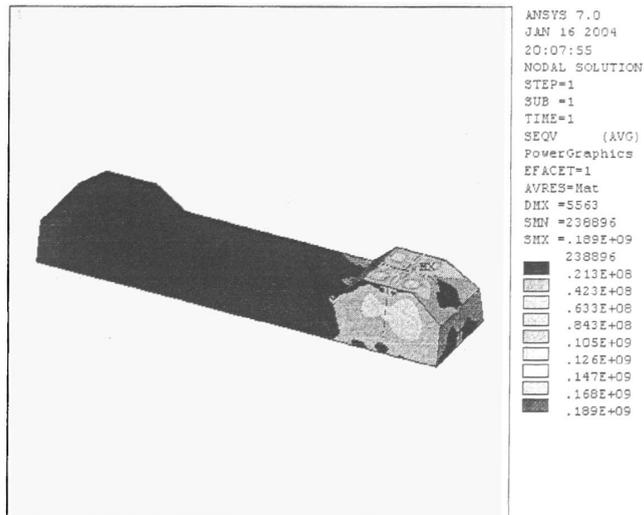


图 C. 6 LA 应力轮廓 (Seqv)  
Fig.C.6 LA Strength result

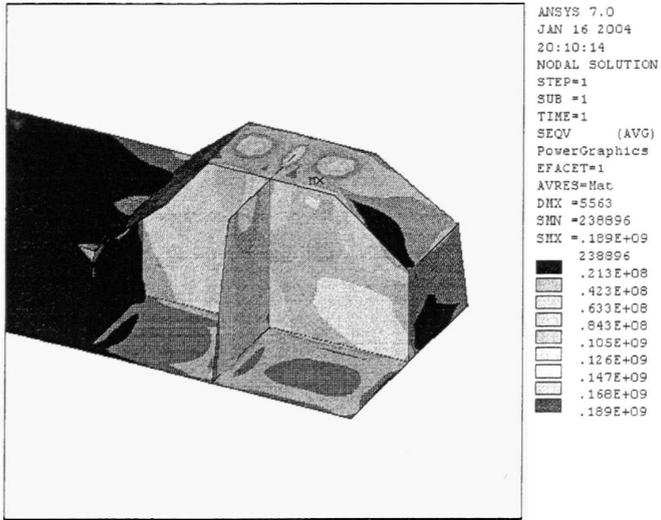


图 C.7 应力轮廓 (Seqv)

Fig.C.7 LA Strength result

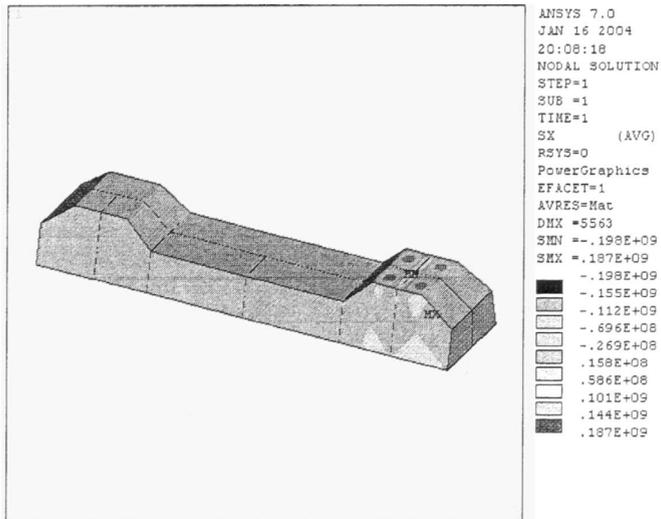


图 C.8 LA 应力轮廓 (Sx)

Fig.C.8 LA Strength result

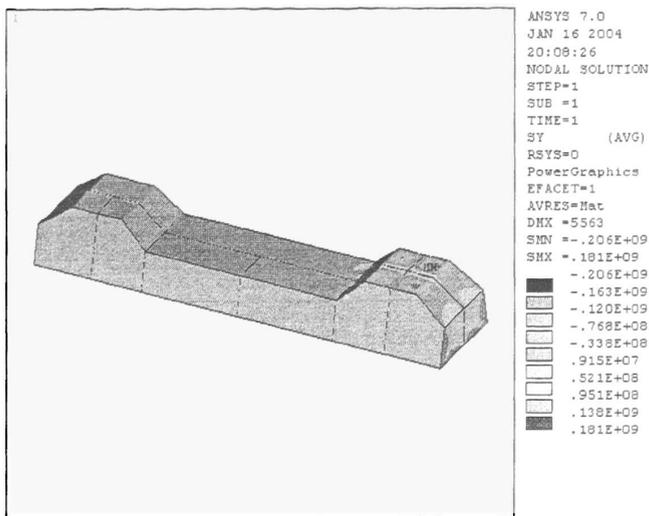


图 C. 9 LA 应力轮廓(Sy)  
 Fig.C.9 LA Strength result

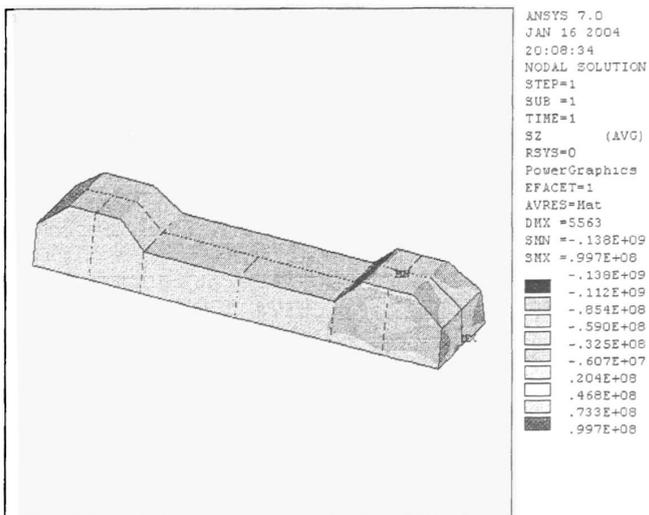


图 C. 10 LA 应力轮廓(Sz)  
 Fig.C.10 LA Strength result

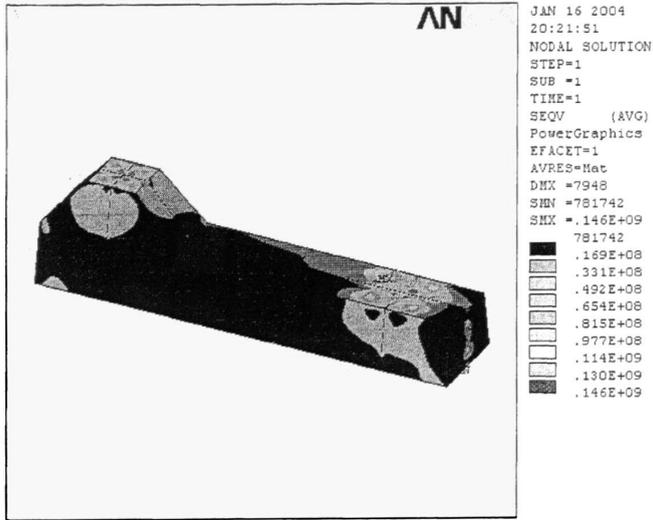


图 C.11 LD 应力轮廓(Seqv)  
Fig.C.11 LD Strength result

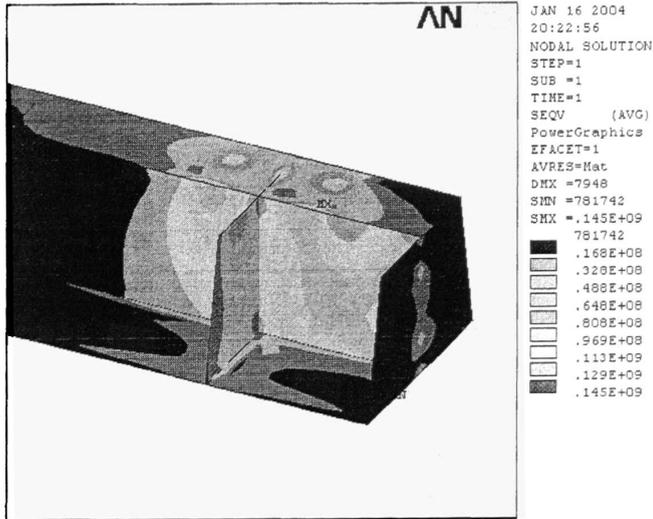


图 C.12 LD 应力轮廓(Seqv)  
Fig.C.12 LD Strength result

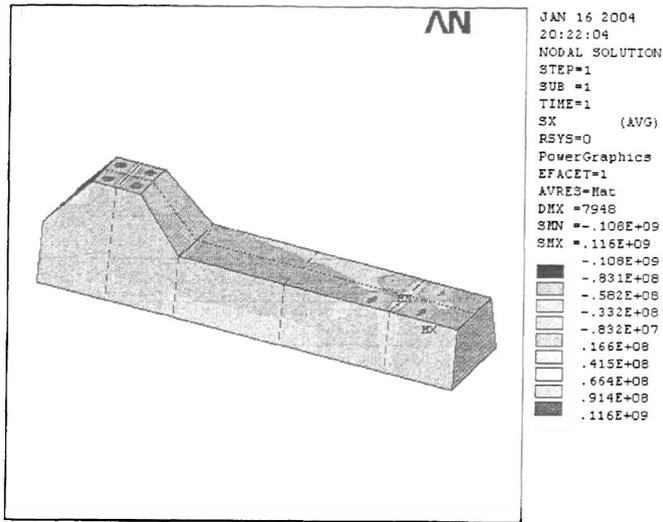


图 C.13 LD 应力轮廓(Sx)  
Fig.C.13 LD Strength result

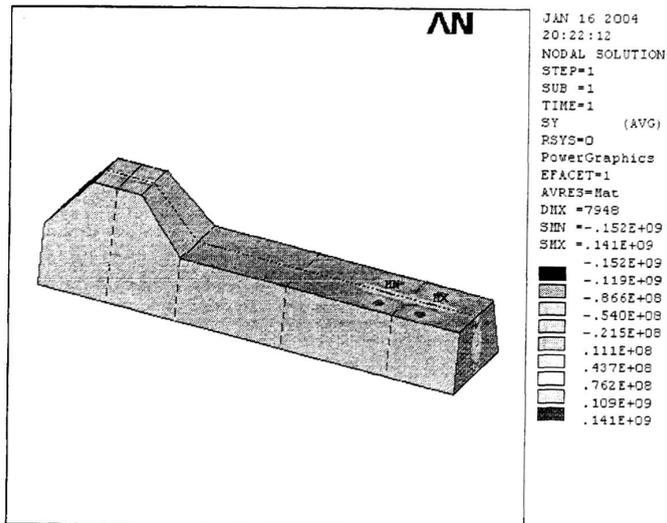


图 C.14 LD 应力轮廓(Sy)  
Fig.C.14 LD Strength result

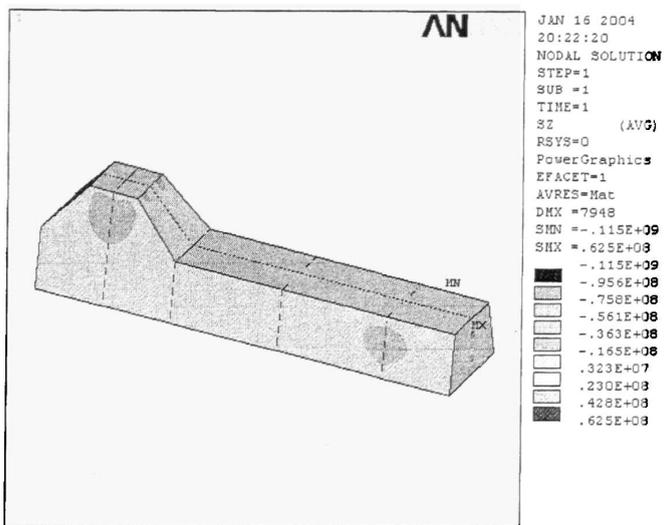


图 C. 15 LD 应力轮廓 (Sz)  
Fig.C.15 LD Strength result

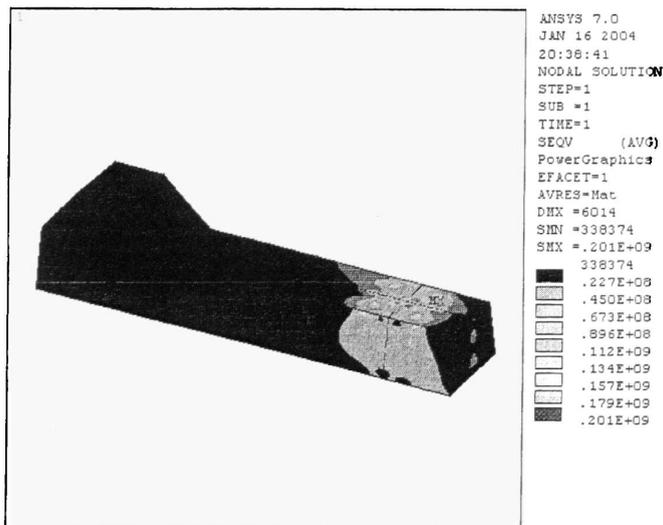


图 C. 16 LD 应力轮廓 (Seqv)  
Fig.C.16 LD Strength result

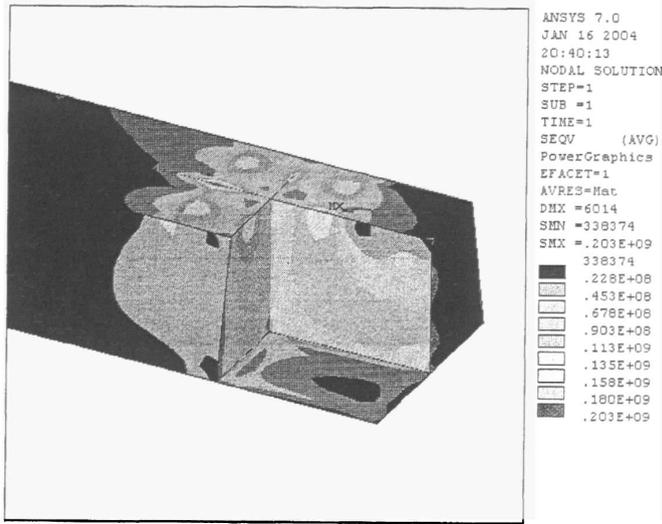


图 C.17 LD 应力轮廓(Seqv)  
Fig.C.17 LD Strength result

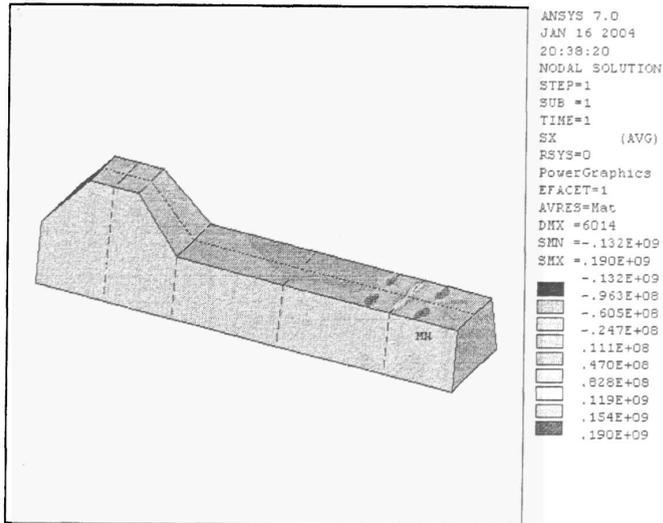


图 C.18 LD 应力轮廓(Sx)  
Fig.C.18 LD Strength result

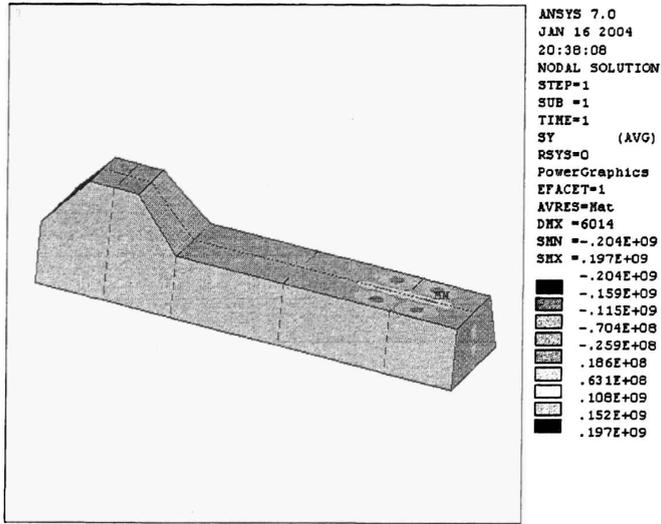


图 C. 19 LD 应力轮廓(Sy)  
 Fig.C.19 LD Strength result

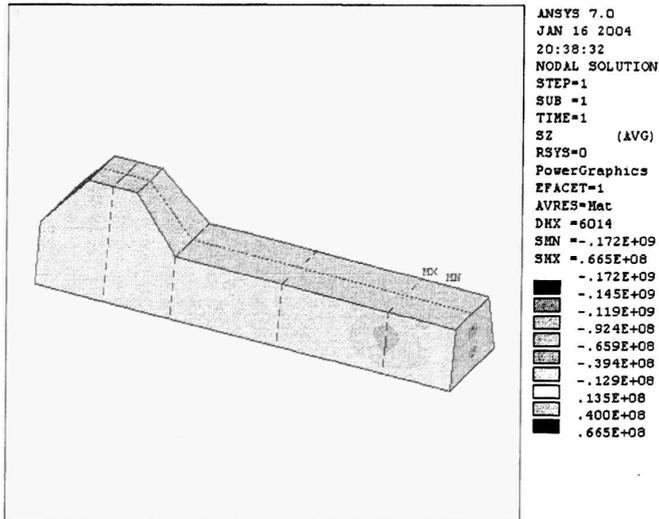


图 C. 20 LD 应力轮廓(Sz)  
 Fig.C.20 LD Strength result

## 致 谢

本次项目的工作，我本人的作为本项目的技术总负责和现场的总指挥。虽然在结构方面完成的很好，但是在现场指挥通讯方面还需要进一步的仔细考虑。毕竟对于这样一个综合性的工程而言，需要各方面都非常细致的工作，才能保证整个工程的顺利和安全。在这里应该感谢 NOBLE DENTON 公司在实际检验过程中给予的很好的建议和意见。比如在应急电源的配备和现场安全工作方面，都是积极有效的。同时感谢大连理工大学的林焰老师和马骏老师给予的帮助和指导。在今后的工作中，我将更加有信心在结构分析工作中，充分利用这一有效的方法，更好的应用于实践。