

# 全焊空腹桁架钢桥

大连工学院工程力学系钢桥设计组 编



人民交通出版社

一九八二年七月十五日

83

86.583

4031

# 全焊空腹桁架钢桥

大连工学院工程力学系钢桥设计组 编

人 民 交 通 出 版 社

037676

## 全焊空腹桁架钢桥

大连工学院工程力学系钢桥设计组 编

人民交通出版社出版  
新华书店北京发行所发行  
各地新华书店经售  
人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$  印张：14.25 插页：1 字数：300 千

1982年3月 第1版

1982年3月 第1版 第1次印刷

印数：0001—1,800 册 定价：2.25元

## 内 容 提 要

本书是以大连新港钢桥为对象，对全焊钢桥的设计、制造、安装以及空腹桁架结构的承载能力进行了分析和研究。主要内容包括大型全焊钢桥的设计与计算；杆件加工和桥跨拼焊；吊运与安装；节点模型和整体桥跨的试验。通过电算，书中着重分析了空腹桁架桥跨在各种工况下的承载能力。

本书供从事钢结构和桥梁工程的工程技术人员及高等院校师生参考。



# 前 言

在大连新港工程中，连结陆地和油码头的栈桥是由九跨百米、全焊的空腹桁架钢桥所组成。全长954米。

栈桥于1975年初开始设计，年底竣工，为新港提前投产创造了条件。

大型全焊空腹桁架钢桥在国内是首次建造。目前，国内尚无钢栈桥的设计、制造及安装规范。我们根据栈桥的使用要求以及全焊接的特点，参照铁路、公路、工民建等钢结构的设计、制造及安装规范中的有关规定进行设计和建造。随着建设事业的发展，大型钢栈桥会日益增多，在总结经验的基础上，应当制订全国统一的钢栈桥设计、制造及安装规范。

建造全焊接大型钢桥，近年来国外发展的较快，我们应在开展科学研究工作的同时，积极进行实践，积累经验，使其逐步得到推广。本着这个精神，以建造新港钢栈桥的经验为背景，编写了这本书。

本书第一篇介绍了全焊钢栈桥的设计、制造及安装。第二篇是以新港栈桥为例，应用电子计算机对空腹桁架进行的计算研究，其中着重分析了桥跨在各种工况下的承载能力，并与试验及简化计算做了对比。第三篇介绍了节点模型试验结果，它是节点设计的重要依据；还叙述了原型桥跨的超负荷试验。最后，对桥跨的使用、观测及维修提出了建议。

栈桥上部钢结构由我系设计，钢结构的构件由旅大市机械局组织各厂分工制造，然后在海边的拼装施工是由大连起重机厂组织的，海上整体吊运工作是大连港务局负责。桥墩由我院水利系设计，交通部第一航务局负责施工。

新港栈桥的初步设计方案是我院钱令希教授提出的，并对此项工程的设计和施工自始至终参加并指导。此外，在本桥设计过程中我院陆文发教授、邢至庄及邱大洪副教授；大连起重机厂洪国荣工程师；旅大市机械局有关工厂的技术人员和工人；交通部张觉生、张兆庆工程师；铁道部伦厚诚工程师等提出了许多宝贵意见。

本书的绪论，第三章一、二、四节，第五章第二节，第八、十一章由解明雨执笔；第一、二、四章由张元真执笔；第二章第八节，第五章第一节，第七章及第十一章的一段由曹富新执笔；第三章第三节由邹洪地执笔；第九、十章由邓洪根执笔；第六章由时战执笔。

最后由解明雨审查并整理了全书原稿。

由于我们对大跨度全焊结构的设计与施工缺乏经验，业务能力及写作水平又有限，错误和缺点在所难免，希望广大读者批评指正。

本书编写过程中得到许多单位的大力支持，为本书提供了资料，对初稿提出不少意见，在此谨表谢意。

编 者

# 绪 论

钢栈桥（图 1）是新港工程的重要组成部分，它联结陆地和输油码头，从正西向正东伸向外海，全长954米，由每跨百米（图 2）共九跨组成。其主要作用是架设输油、输水管道，联结码头与陆地之间的交通。桥墩为大型预制钢筋混凝土圆形沉箱（图 3），直接座落在海底的抛石基床上。

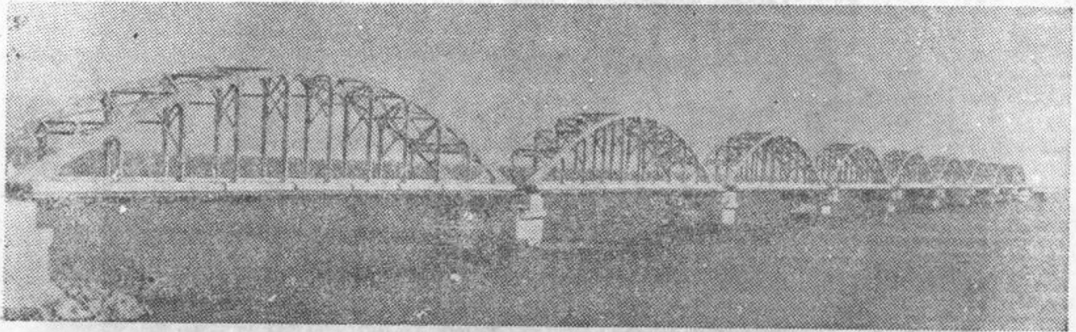


图 1 栈桥全貌

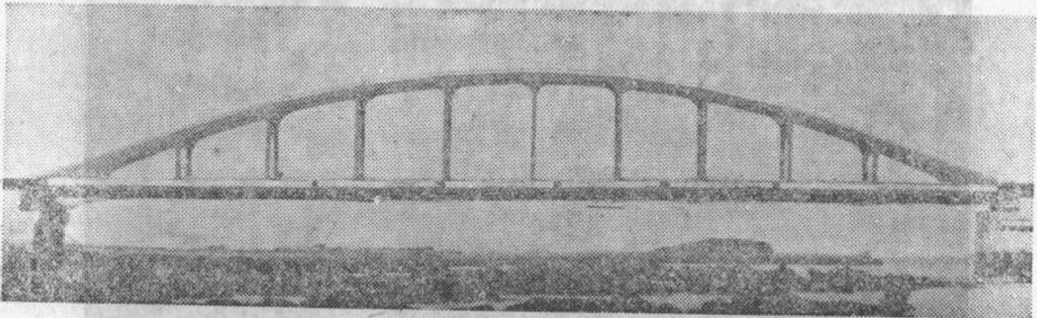


图 2 桥跨侧面

在桥跨设计、制造（图 4、5）及安装的过程中，综合考虑本工程的使用要求、工期、材料以及当地技术条件，大胆采用了全焊制造工艺和整体吊运（图 6）新技术。我们在可能的条件下，对空腹桁架栈桥做了一系列的结构电算和科学试验。结构电算包括：按杆端带有刚性域的空间刚架结构，求解了在各种工况下的杆件内力；分析了活荷载作用下各杆的内力包络图；按变厚度带加筋的弹性平面应力问题，计算了节点和端部的应力分布。所有计算都是在 TQ-16 机上完成的。科学试验包括：节点区域的电测及光弹性试验；带垫板的单向 V 型坡口焊试验；桥跨原型超负荷试验。



图 3 桥墩沉箱

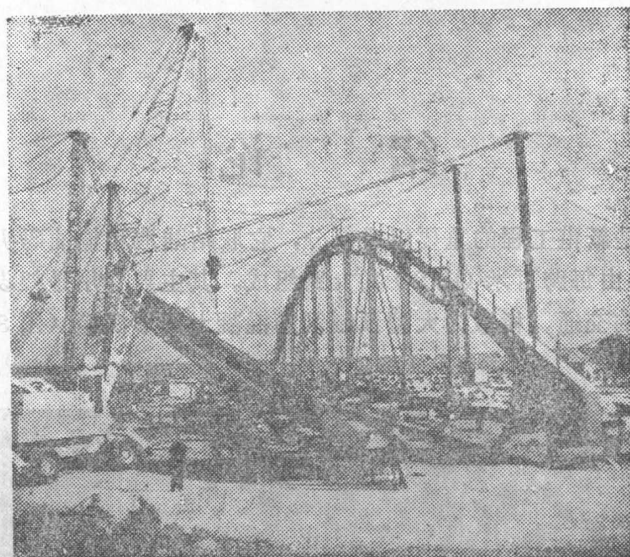


图4 单片主桁吊立



图5 桥跨拼焊

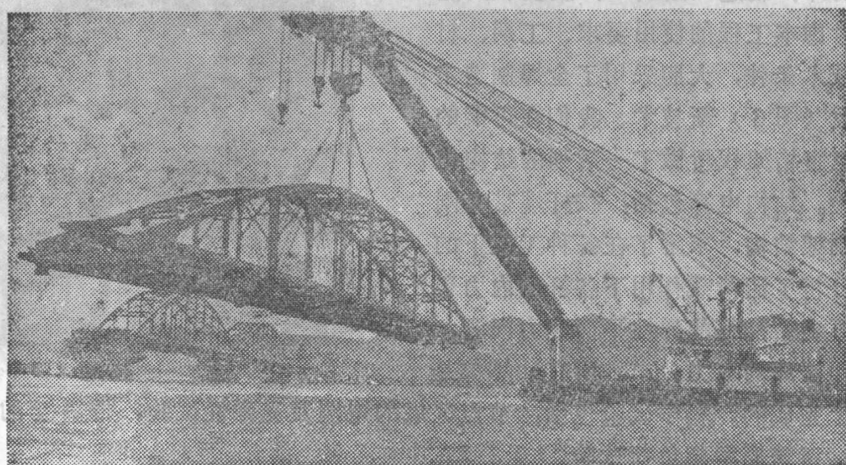


图6 吊运

# 目 录

前言	
绪论	1

## 第一篇 设计、制造和安装

第一章 概况	1
第一节 钢栈桥的主要特点及适用范围	1
第二节 荷载	1
第三节 栈桥桥型	2
第四节 全焊	3
第五节 制造和安装	4
第六节 大连新港钢栈桥简介	5
第二章 大连新港钢栈桥设计	7
第一节 桥跨结构的跨度	7
第二节 桥跨结构的组成	7
第三节 材料、荷载及荷载组合	13
第四节 主桁梁杆件设计	17
第五节 主桁梁的构造	29
第六节 联结系设计	34
第七节 桥面和桥面系	42
第八节 支座	46
第九节 拱度、动力特征和倾覆稳定	54
第三章 栈桥制造	56
第一节 制造步骤与技术条件	57
第二节 主桁梁制造单元的划分	61
第三节 部件、杆件的组焊	64
第四节 桥跨的工地拼焊	74
第四章 吊运和安装	96
第一节 整体吊运和直接落桥	96
第二节 吊运法和浮运法	97
第三节 新港栈桥整体吊运的特点	98
第四节 吊装设计	98
第五节 吊装内力和强度	100
第六节 吊具	102
第七节 调桥	103

## 第二篇 计算研究



第五章 计算方法介绍	105
第一节 结构矩阵位移法	105
第二节 弹性平面问题的离散算子法	122
第六章 主桁梁的平面分析	133
第一节 结构计算模型	133
第二节 轴力、弯矩包络图的绘制及其计算机方法	134
第三节 计算结果及分析	137
第七章 桥跨结构的空问分析	146
第一节 桥跨计算模型	146
第二节 计算荷载	148
第三节 程序框图	151
第四节 计算结果及分析	152
第八章 主桁梁节点的应力分析	167
第一节 计算模型	167
第二节 边界条件	171
第三节 程序功能、计算结果及分析	174

### 第三篇 试验与维护

第九章 节点模型试验	177
第一节 试验荷载	177
第二节 钢模型的电测试验	178
第三节 光弹性试验	184
第四节 电测、光测试验结果比较	189
第十章 栈桥原型试验	190
第一节 试验方案	190
第二节 均布荷载试验	193
第三节 支座不均匀沉陷试验	198
第四节 振动试验	202
第五节 结语	203
第十一章 栈桥的使用、观测与维修	204
第一节 使用问题	204
第二节 观测	207
第三节 维修	210
附录	214
附图 1 桥跨装配示意图	214
附图 2 主桁梁简图(一)	215
附图 3 主桁梁简图(二)	插页
附图 4 上纵向联结系简图	插页
附图 5 下纵向联结系简图	217

# 第一篇 设计、制造和安装

## 第一章 概 况

### 第一节 钢栈桥的主要特点及适用范围

栈桥又称工作栈桥，属于桥梁中的特种桥。它通常为通过水管、油管、水渠、散料等特殊设备而建造。对于大型栈桥，或者为检修的需要，或者为运送人和物的需要，往往要求通过工作车辆。

解放后，应我国国民经济发展的需要，已经建设了各种各样的栈桥，例如火车站的天桥，工厂里的运输桥，水利工程中为架设水管、水渠的栈桥(渡槽)。特别在水运工程部门，为适应大吨位船舶吃水深度，常常利用栈桥把陆地和深水码头连接起来，用栈桥架设管道、电缆等设备并兼作交通道。

对于浅水小跨度的栈桥，应尽可能采用钢筋混凝土或石拱桥。对于中等跨度的栈桥，则应根据技术经济条件和战备要求进行方案比较，决定是否采用钢桥方案。在一般情况下，大、中跨度的栈桥，以采用钢桥为主。钢材是一种抗拉、抗压和抗剪切强度高以及塑性好的均质材料。由于钢材的强度高，所以钢桥具有很大的跨越能力。世界上已建造的钢拱桥的最大跨度为518米。

钢桥的构件最适合用工业化方法生产，便于运输、便于工地拼装及架设。施工期较短。钢桥在受到破坏后，易于修复和更换，从战备方面考虑，钢桥也较其它材料所造的桥梁优越。但是，钢材易于锈蚀，需要经常检查和按期油漆，故钢桥的养护费用比石拱桥和钢筋混凝土桥高。

钢桥的类型是多种多样的，按照桥跨结构形式的不同可分为板梁桥、桁梁桥、拱桥、联合系桥、斜拉桥、悬索桥等；按照连接方法的不同，可分为铆接桥、铆焊桥、栓焊桥、全焊桥等。

### 第二节 荷 载

栈桥承受的荷载包括经常作用在桥梁上的主要荷载和偶然作用在桥梁上的附加荷载及特殊荷载。

主要荷载有恒载、活载、冲击力和离心力，对于栈桥主要承受的荷载为恒载和活载。附加荷载有风力和温度变化的影响、制动力或牵引力和车辆横向摇摆力，对于栈桥，主要是风力和温度变化的影响。特殊荷载有地震力和施工荷载。

#### 一、主要荷载

(一)恒载：恒载是长期作用在结构上的不变荷载，如桥跨结构自重，车道面自重和栈桥上长期作用的设备自重。对于架管栈桥，管道的自重是恒载，如果输油管道内长期处在满油

状态（这是输油工艺的要求），其油重也作为恒载。

（二）活载：车辆和人群在桥上行驶，清洗管道和空管放油时管道内的液体均为活载。由于栈桥通过的是轻便车辆，且在使用中控制了车速，故可以不计车辆的冲击力作用。由于液体在管道内是低速流动，因此可从不计车辆和液体在拐弯处的离心力作用。

## 二、附加荷载

（一）风力：作用在桥梁上的风力为水平力，分别按纵向和横向计算。横向风力指作用方向和桥梁主桁平面垂直的风力，纵向风力平行于桥跨结构的纵轴线。

（二）温度变化的影响：由于自然界气温变化和桥跨结构各个杆件的空间位置不同，致使各个杆件的升温或降温有着一定的差别，因此温度变化对桥跨结构的影响必须加以考虑。大连新港栈桥的下弦杆处在桥面以下，离海平面比较近，因此在太阳直射之下上弦杆与下弦杆有着明显的温差。

## 三、特殊荷载

（一）地震力：当发生地震时桥跨结构和桥墩以及所有的桥上设备均受到一个猛烈地加速度，其惯性力称之为地震力。水平地震力和垂直地震力是该惯性力的水平（主要考虑横向）方向分量和垂直（竖向）方向分量，它们分别等于物重乘以水平地震系数和垂直地震系数。地震系数与地震烈度有关。

根据海城——营口和唐山地震的震害调查表明，一般都是因为桥墩歪斜或脱离支座而致使桥跨结构破坏。因而，为检查桥跨结构在地震时的安全，首先应该核算支座发生不均匀沉降时桥跨结构的抗扭刚度和强度。在设计中应根据地震烈度在支座上加设防震措施。

（二）施工荷载：栈桥就地建造或安装时，应考虑作用其上的施工荷载。在杆件制造、运送、吊装以及整体浮运和吊运时亦应考虑作用于构件和桥跨结构上的临时施工荷载。在施工荷载作用下，对杆件和整体结构进行强度、刚度和稳定核算。考虑施工荷载时，可根据具体情况分别采用各自有关的安全系数。

## 四、栈桥荷载特点

对于架管、架水渠、通电缆等特殊设备而建造的工作栈桥，与我国现行公路、铁路桥比较，在荷载和受力方面有它自己的特点：

（一）桥跨结构所承受的恒载沿桥长基本上是均匀分布的，即使包括桥跨结构自身重也是接近于均匀分布荷载；

（二）所承受的活载主要是清洗管道和空管放油时的液体流动荷载。流动荷载（活载）是从栈桥一端向另一端渐进流动，无冲击力，人群和车辆的活载是次要的；

（三）活载和恒载比较，活载比较小。大连新港栈桥所承受的活载与总荷载比较，只占16%。

## 第三节 栈桥桥型

栈桥主桁梁是栈桥的主要承载构件，它的结构形式选择得是否合理，对栈桥的设计质量常常起着重要作用。关于桥跨结构形式的选择应根据当地具体情况选取一个较为经济合理的

方案，它不仅满足桥上运输和对桥梁的空间要求，而且还要节约材料，便于制造、安装和养护。

主桁梁采用拱形空腹桁架结构有着许多优点。由于主桁梁的弯矩图和空腹桁架的二次抛物线外形一致，而使弦杆受力均匀，且主要承受轴向力。腹杆和弦杆虽然承受一部分弯曲应力，但与轴向应力比较，弯曲应力不起控制作用，是次要的。即使存在斜腹杆，在这样荷载作用下，按刚架计算表明，它的内力也是很小的。将图 1-3-1 结构与空腹桁架结构（图 1-3-2）相比较，其杆件总数减少 1/4，节省钢材 10~16%。主桁梁杆件只用两种截面即可，但不足之处是杆件的长度类型

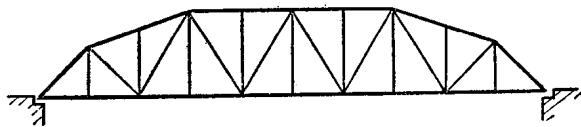


图 1-3-1



图 1-3-2

和节点类型多，这增加了工厂和工地制作和拼装的困难。然而，目前我国各大城市的许多金属加工厂有能力完成空腹桁架桥的制作和拼装工作。

空腹桁架桥有着美丽的桥型，1938年前后在欧洲全焊过不少的空腹桁架公路桥，曾引起工程界广泛的注意。

#### 第四节 全 焊

焊接结合是现代钢结构最主要的连接方法。目前，我国钢桥杆件的组焊大部分已采用焊接，而杆件的拼装多数使用高强螺栓。由于焊接有重要的优点，在工业和民用钢结构中全焊结构用的很广泛，如全焊船只、全焊大型化工容器，全焊大型起重机等。全焊大跨度公路、铁路钢桥的设计和制造，已成为桥梁工程的重要研究课题，受到普遍的重视。日本荒川大桥（跨度150米，1975年竣工）首次在工地用自动电焊机将工厂组焊的部件在工地拼焊成整体，就是由栓焊结构向全焊结构过渡的一例。

焊接结构与铆接或栓接结构比较，主要优点之一是用钢十分经济。焊接结构杆件的截面不受削弱。焊肉比铆钉或螺栓的重量轻。不用或少用拼接板和填板等。结构形式合理。同时，焊接结构构造简单，特别是节点的构造简单，力的传递清楚，相对于铆接或栓接，焊接在进行局部构造设计时，容易作到弧形光滑过渡连接，使之不出现凹形尖角，以减少应力集中。

利用铆接或栓接，作成封闭截面杆件有很多困难，这些困难有时是不好克服的。采用焊接，可以很容易地制造出封闭的箱形截面杆件和拼焊成整体结构。箱形截面杆件具有很大的抗扭刚度和双向抗弯刚度，并且钢板受单面腐蚀，这对海工建筑物尤为重要。箱形截面杆件的制造便于用四块钢板采用自动焊焊接四道纵向角焊缝，工艺简单，易于实现自动化，改善工作条件，缩短工期，节省投资。拼装时利用焊接方法可使工序简单化，拼接口处的钢料不必钻孔，只要在拼装口处留下余量，按设计尺寸研合即可。

焊接过程相当于一个冶炼过程，使焊缝附近的钢材组织发生变化，钢材的塑性和冲击韧性有所降低，材料变脆并产生焊接残余应力，特别是三向拉伸时的焊接残余应力往往是较大的，设计和制造应给予足够的注意，以防构件脆断。因此，对承受动荷载大的钢桥，采用全焊结构时要充分地注意到这一点。然而，随着科学技术水平的提高，钢材的可焊性、焊接残



余应力和变形的控制、自动焊接的采用、连接结构的构造形式的改进、焊缝质量检查等方面都有不少的革新，将使焊接结构的质量大幅度的提高。

对于公路桥，活载与恒载比较占的比重并非很大，特别是冲击作用比较小，因而在公路桥梁中应用全焊结构是具备一定条件的。根据栈桥的工作特点，它承受的活载比公路桥梁承受的活载还要小，而冲击荷载等可以忽略不计，因此可以认为栈桥结构相当于工业厂房的重型车间承重骨架、飞机库、大会堂和体育馆屋架等，在这些钢结构工程中，焊接已普遍的代替了铆接和栓接。

## 第五节 制造和安装

钢桥的制造和安装是桥梁建造中两项重要工作，钢桥设计与钢桥制造和安装是密切联系的，桥梁的质量好坏、经济指标高低和施工工期长短很大程度是决定于钢桥的制造和安装。

解放后，我国自己建造了武汉、重庆和南京长江大桥等。近20年来，国际上大量修建高速公路和铁路新干线，出现了许多新型和大型钢桥，其中在制造和安装技术上都有较大的发展。现在钢桥制造发展的趋势：

(一)广泛采用栓焊结构和全焊结构。

(二)高强度钢的使用逐步扩大，钢板厚度不断增加

1966年以前，我国的钢结构以及公路铁路用钢主要采用低碳钢  $A_3$ 、 $A_{3q}$  和  $16q$  (3号钢、3号桥钢和16桥钢)。由于低碳钢的抗拉强度极限低 (38公斤/毫米<sup>2</sup>)，用它建筑钢桥，杆件不可避免的要采用较大的截面尺寸，因而使钢桥的自重加大，钢材用量增加。自1957年以来，我国就开始研究在桥梁上采用高强度的普通低合金钢。现已广泛地使用普通低合金钢  $16Mn$  和  $16Mnq$  (16锰钢和16锰桥钢)，它们的抗拉强度极限是52公斤/毫米<sup>2</sup>。目前我国正在研究试用更高强度的桥梁钢。

日本近年来钢桥发展较快，在1954年以前使用的钢种是  $SS_{41}$  (抗拉极限强度41公斤/毫米<sup>2</sup>)，1965年开始用  $SM_{58}$ ，1970年开始用  $HT_{70}$  和  $HT_{80}$ 。另外，近代大跨度钢桥，广泛采用板材组焊成杆件单元，因而钢板的用量显著增加而型钢用量急速下降，并且选用的钢板厚度不断加大。

(三)改善钢梁设计，尽量减少工地工作量

工厂的设备条件比工地的设备条件好，因而工厂的焊接质量高、速度快、成本低。所以，钢桥的制造应尽力安排在工厂，以减少工地的工作量。一般情况下，钢桥的节点和端节点构造较复杂，而工地拼焊往往又在节点处进行，这就加大了工地工作量，还不易保证节点和整桥的拼装质量。大连新港栈桥工程是把节点和端部在工厂里加工成部件，在工地拼装。

(四)箱形钢梁的使用

目前采用的斜拉桥、斜腿刚构桥等，箱形钢梁是其组成的主要单元。这种梁具有重量轻、钢材省、力学性能好、便于养护等优点。另外，箱形钢梁的加工、组装及焊接已积累了一定的经验。

(五)充分利用组焊新工艺、新技术，提高焊接质量。

(六)加强对油漆的研究

钢桥与钢筋混凝土桥比较存在一个较大的缺点，即维修费用高，因而对钢桥来说加强对油漆的研制是很重要的。特别是海工钢结构工程，由于湿度大对钢材腐蚀快，加强防锈措施

极为重要。

我国在架桥技术方面积累了丰富的宝贵经验，随着现代科学技术的发展，高质量、高速度架设钢桥的条件是：尽量使复杂的大量的工作，在设备齐全配套的流程合理的工厂去做；尽量使高空架设工作移到平地上做；尽量采用大块浮运和大块吊装法以及整体吊运法。目前，工业发达的国家，现有大吨位浮吊的起重量达3千吨，大型铁驳载重量达1万吨，又大跨度钢桥多建在海峡和海边，有条件利用大块浮运和大块吊装法。大连新港栈桥采用桥跨整体吊运法，吊件（桥跨及管道）重405吨，不用铁驳和其它附属设备，直接利用起重量为600吨的浮吊吊行2公里使桥跨就位。

## 第六节 大连新港钢栈桥简介

### 一、桥 貌

新港钢栈桥的全桥由九跨上部结构型式完全相同的简支空腹桁架桥组成，桥跨的计算跨度100米，在桥墩上连接相邻两跨桥的连接部份长度6米，全桥长 $6 \times 9 + 100 \times 9 = 954$ 米。

桥跨全长101.2米，两片主桁的中心距7.6米，主桁两侧各外伸2.2米，桥面宽计12米，主桁梁采用抛物线形空腹桁架结构，其上弦节点落在在一根对称的二次抛物线上，桁高12.5米，高跨比1/8，共12个节间，两端节间长度5米，其余的节间长度9米。把两端的5米长度的节间构造成整体箱形楔形板梁，称之为端部。

上纵向联结系采用交叉式桁架。下纵向联结系采用菱形桁架。横向联结系和桥门架为门楣式桁架。桥上最小净空高度4.03米。

在桥面两侧外伸梁上，各架设一条输油管道和一条供检查维护用的人行道。在二片主桁梁间铺设了宽2.6米的车道，兼作人行道，在车道的一侧架设一条输油管道，另一侧架设一条污水管道和一条输油管道。电缆和其它小型管道架设在大型管道之间。车道上的竖向荷载通过路面，首先传到车道纵梁，再传给下横梁，管线荷载通过管架直接作用到下横梁上，然后都通过下横梁传给主桁的下弦节点，因此主桁梁是桥跨结构的主要承重部分。最后，通过主桁的端部将荷载传到支座上。

支座一端为固定式，另一端为滚轴式（采用二个滚轴），在支座上都设有防震拉板。

为了方便钢栈桥的检查、维修和养护，除了在两个外伸部分上设有人行道及栏杆外，还在上弦杆上设有检查栏杆，在下弦杆下设有可以行走的检查吊车。

### 二、桥 墩

新港栈桥桥墩均为重力沉箱结构。沉箱安置在抛石基床上，其上部结构由大型方块砌成。对于大型钢筋混凝土圆形沉箱的预制、溜放、接高、封仑、海上拖运、基床施工以及海上安装定位等工序的难度均较大。

#### （一）基床

由挖泥船挖到风化程度较小的风化岩，形成基槽，然后抛15~100公斤中块石。基床施工时分层夯实，每层1.5米，每点夯16次，顶面整平后再沉放圆沉箱。基床在沉箱底以外的基肩宽为3.75米，边坡1:2。靠岸的四个栈桥墩，在15~100公斤中块石外再护一层厚度1.0米的200~300公斤大块石。

## (二) 圆沉箱

圆沉箱结构分底板、外壁、竖肋和圈梁。底板与外壁是结构的主要部分，竖肋和圈梁是对壳体外壁所采取的加劲措施。如图1-6-1所示。其底板承受较大的地基反力，对于高19.7米的圆沉箱，它的底板厚度为1.0米。沉箱外壁为一圆柱形壳体，固定在沉箱底板上。在轴压和弯矩作用下，沉箱外壁犹如一固定在底板上的环形截面的悬臂梁。外壁的厚度为0.3米，圆沉箱的外径9.0米。由于沉箱处于比较恶劣的外海工作条件，为加强其结构，设置了八道竖肋和二道圈梁。顶圈梁增大了上部混凝土块与沉箱外壁的接触面积，使其更好地将墩的上部重量传到沉箱外壁上，同时也为起吊沉箱和抛石时的碰撞所需要。在水上接高的分段处，考虑到起吊沉箱及水上接高（沉箱在溜放前只高12.0米，在水上接高到19.7米）支模的需要，在高度12.0米处也设置了一道水平环向圈梁。底板采用12.5米不等边八角形。

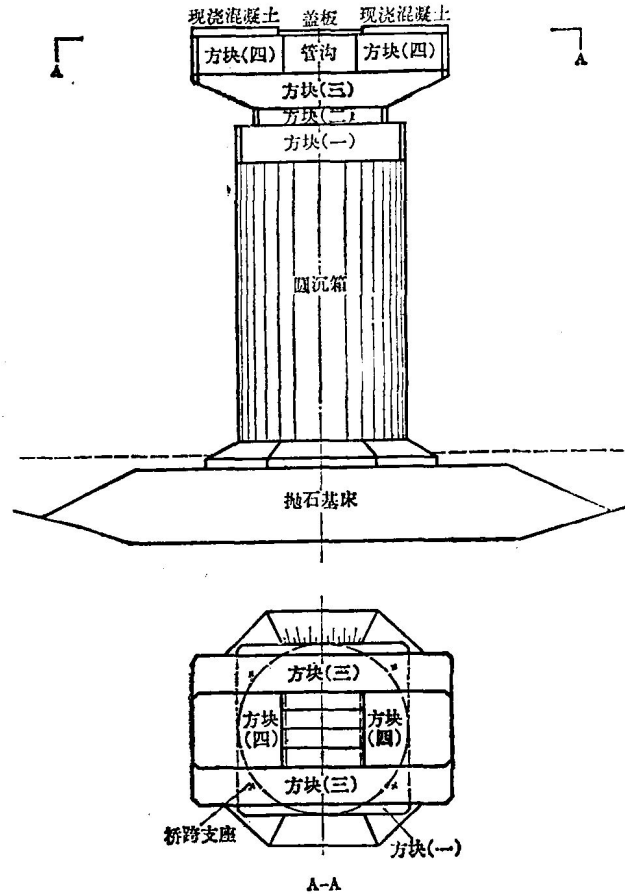


图1-6-1 桥墩结构

由于海底标高不同，栈桥桥墩的高度不一，沉箱的高度也不同，最高的是19.7米。

## (三) 上部结构

在圆沉箱之上为四层方块，方块之间用现浇混凝土连接，现浇混凝土内配置工字钢（I36轻）及钢筋笼，顶层为现浇混凝土，其中配置上、下二层钢筋网。第三层方块二端带梢，宽13.5米，比圆沉箱的直径大4.5米，以增加墩顶宽度，在该层方块的桥支座位置上，浇注钢筋混凝土台座，并在每一个台座上预埋一块由螺栓固定的 $30 \times 1700 \times 1700$ 的钢板。见图1-6-2。



图 1-6-2

## 三、计算与试验

在栈桥设计阶段做过：两种节点方案的钢模型电测试验和光弹性试验；主桁梁按平面刚架的电算；主桁节点按平面问题的有限元分析。栈桥施工过程中，对其中的一个桥跨进行了

超负荷试验(8.4吨/米)。栈桥竣工后,又做了较多的计算研究,目的是对空腹桁架桥作进一步的评论,为今后推广此类结构的使用提供理论依据。

## 第二章 大连新港钢栈桥设计

### 第一节 桥跨结构的跨度

根据第一章介绍的大连新港栈桥(以下简称新港栈桥)承受荷载的特点和空腹桁架结构的内力分析以及制作方面的条件。拟定新港栈桥主桁梁的结构为全焊空腹桁架。初步设计时,对该栈桥曾做过70米、80米和100米几种跨度方案的比较。例如方案I:九跨跨度为100米与方案(II):深水区二跨跨度为100米,靠岸的一跨为了便利架设桥跨跨度亦为100米,其余用八跨跨度为73.7米进行了比较,它们的指标如下:

工程项目	方案(I)	方案(II)
挖泥(m <sup>3</sup> )	33000	50000
土石方(m <sup>3</sup> )	28100	35050
基础整平(m <sup>3</sup> )	1600	2000
制作钢量(T)	2370	2120
工程费(万元)		增27
钢材(T)	4100	3900
木材(m <sup>3</sup> )	900	950
水泥(T)	3500	4000

比较结果表明,后一种跨度方案,比前一种方案少用钢材约200吨,但增加了水下工程量,增加投资约27万元,并且将延长总的工期。跨度的大小对联结系的用钢量基本不变。跨度越大,主桁梁的用钢量就越多,桥墩的水下工程量相对的减少。但是,跨度超过100米,则每跨栈桥的总重及设备重将超过现有浮吊在海上进行整体吊运的安全重量。权衡总投资、材料用量、工期和整体吊运,特别是为了减少水下工程量,决定取用前一方案。

大跨度钢桥的采用,对钢铁过剩的国家是合适的。即使在我国,在跨海或高架桥的桥梁工程中也是优先考虑大跨度钢桥,以避免或减少深水基础工程量。世界建桥历史已充分说明,大跨度和特大跨度钢桥越来越多,对栈桥的跨度也必将是这样,但并不否定在一定条件下用钢筋混凝土或用钢板梁建造中、小型桥梁的合理性。

### 第二节 桥跨结构的组成

#### 一、桥跨结构的各个组成部分

下承式简支空腹桁架桥由五个部分组成:桥面、桥面系、主桁梁、联结系和支座。

桥面系是由纵梁、横梁及其之间的联结系组成。在两片主桁梁的外侧,各设置有外伸桥面,支承该桥面的是外伸横梁。

主桁梁是桥跨结构的主要承重部分,竖向荷载和水平荷载通过主桁梁而传到支座。主桁



梁是由上、下弦杆和腹杆连接而成，空腹桁架主桁梁只有竖直腹杆。

空腹桁架桥的联结系分纵向及横向两种，设置在两主桁梁弦杆之间，它们与主桁梁一起形成一个稳定的空间结构（图2-2-1），以抵抗纵向和横向的水平力以及扭力。联结系具体分为下纵向联结系、上纵向联结系、横向联结系和桥门架（可简称下纵联、上纵联、横联）。

下纵向联结系设置在主桁梁下弦杆的平面内，它是以下弦杆、横梁以及加设的斜杆组成简支桁架梁，以承受一部分水平荷载；上纵向联结系和桥门架设置在主桁梁上弦杆之间，它们由撑杆（横撑）、上弦杆以及加设的腹杆组成简支桁架梁，对于拱桥的上纵向联结系和桥门架是布置在两主桁梁上弦杆的折面内，以承受另一部分水平荷载；上纵向联结系所承受的水平荷载，则由主桁梁端斜杆处的桥门架传到支座上，下纵向联结系所承受的水平荷载直接传到支座上；横向联结系设置在两主桁梁的对应腹杆之间，以增加桥梁的横向刚度，并使两主桁梁及上、下纵向联结系受力较为均匀。

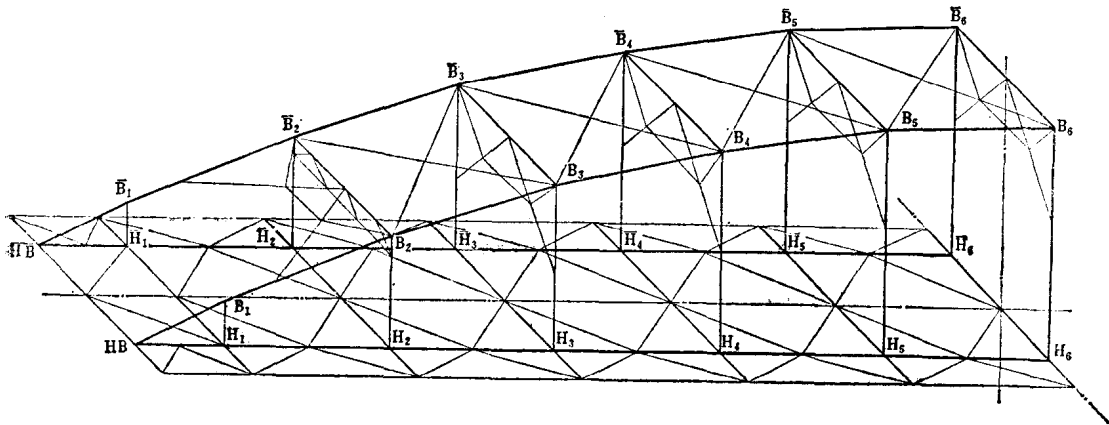


图 2-2-1

简支桥跨的一端为固定支座，另一端为活动支座。

## 二、主桁梁的几何尺寸

空腹桁架主桁梁的主要尺寸除了跨度之外，还有拱形和拱高、节间长度、主桁梁中心距。

### （一）拱形及拱高

新港栈桥的上弦呈折线形，各上弦杆中心线的交点，即节点，落在二次抛物线上。如计算跨度  $L=100$  米，拱高  $f=12.5$  米，高跨比为  $1/8$ ，则拱形方程为（见图2-2-2）：

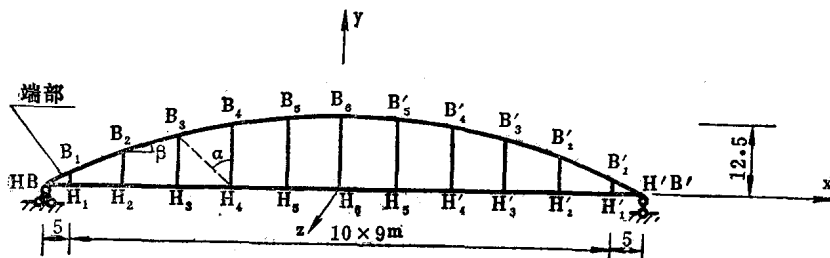


图 2-2-2