

DESIGN AND CONSTRUCTION
OF THE DALIAN XINGHAI
BAY BRIDGE

大连星海湾大桥 设计与施工

张 哲 编著



大连理工大学出版社
Dalian University of Technology Press

大连星海湾大桥 设计与施工

编 著 张 哲

编 者 檀永刚 潘 伟 郝胜利 王国群
宋向群 黄才良 潘盛山 王 博
王会利 李文武 耿铁锁 许福友
荆友璋 谭岩斌 陈 胜 康松涛
洪凌云 由 金 杨 洋 孙艳明
王春利 李新强 乔 光 刘开来
李旭东 白增奇 乔兴华



大连理工大学出版社
Dalian University of Technology Press

图书在版编目 (CIP) 数据

大连星海湾大桥设计与施工 / 张哲编著. — 大连 :
大连理工大学出版社, 2017.6
ISBN 978-7-5611-0769-1

I . ①大 ... II . ①张 ... III . ①跨海峡桥—桥梁工程—
设计—大连 ②跨海峡桥—桥梁施工—大连 IV .
① U448.19

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 083230 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 邮购: 0411-84708943 传真: 0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: http://dutp.dlut.edu.cn

大连金华光彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 210mm × 285mm 印张: 19.25 字数: 474 千字
2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 于建辉 责任校对: 周 欢
封面设计: 奇景创意

ISBN 978-7-5611-0769-1 定 价: 198.00 元

本书如有印装质量问题, 请与我社发行部联系更换。

序 言

世纪之交，我国的交通基础设施建设走“博采众长，自主创新”的发展道路，先后建成了一批世界级跨江海桥梁工程，无论建设规模还是工程品质都取得了举世瞩目的成绩。

大连是我国北方重要的沿海城市，为实现“全域城市化”概念，使城市组团间通过高速公路、环城快速路或者轨道交通相互贯通，构建大连周边一小时经济圈，修建长达6千米的湾区海上桥梁通道以形成环状路网的主框架结构，是解决城市发展交通问题的重大民生工程，也进一步提升了这座现代化城市可持续发展的品质。

星海湾大桥位于大连市的著名景区——星海广场——的南部海域，主桥采用三跨双层地锚式悬索桥，造型优美，与周围的自然环境非常协调，提升了该区域的景观效果。大桥上层设有人行道，游客可以走在桥上，遥望美丽的星海广场、星海公园、黑石礁国家地质公园以及错落有致的现代化楼宇和沿海的风光；面向外海方向，又能够看到遥远的天际线、零星的岛屿以及海上行驶的船只。

大桥主跨460米，既满足了通航的要求，又没有刻意追求大跨径。海上修建锚碇在我国尚属首次，绝大部分悬索桥的锚碇设置在陆地或者岛上，国外也仅有少数桥梁的锚碇修建在海中。大桥创造性地采用了锚碇基础预填骨料升浆基床技术，解决了海上修筑锚碇的技术难题。

主梁采用双层钢桁架梁，单个梁段600多吨，施工中优化吊装工艺，充分发挥各主要结构的承载能力，顺利实现了大桥的吊装直至合龙。钢桁架梁的整体节点技术改善了节点的受力状态，方便梁体在现场的安装，并提高了安装精度。

裸岩地区的钢护筒及施工便桥钢管桩采用振动环切法植桩和锚杆嵌岩植桩等创新工艺，为我国海上修筑桥梁提供了宝贵经验。

星海湾大桥精心设计和精细施工，“国”字号的桥梁建设团队强强联合，勇于创新，开展了大量的科学研究和实验工作，克服了海上风浪大、施工条件恶劣、地质条件复杂等困难，经过4年不懈努力，高质量地完成了大桥的建设。

星海湾大桥以多项自主创新成果为支撑，成为体现我国跨海桥梁最新技术的又一个标志性工程。

凤懋和

2016年5月

序 言

久闻大连在建星海湾大桥但未目睹。2014年初经张哲教授提议和支持，第二十一届全国桥梁学术会议以该桥为背景在大连成功举办，使我有机会亲临大桥建设工地，看到了向往已久的星海湾大桥。

星海湾大桥东起大连金沙滩东侧的金银山，向西跨越星海湾，在高新园区登陆，全长约6千米，其中主桥跨度460米，是中国首座在海中设置锚碇的地锚式悬索桥。它的成功建成对于我国跨海悬索桥建设具有理论意义和工程参考价值。

国际上桥梁设计强调3E原则，即功能、经济、优美。星海湾大桥巧妙地将这三点结合在一起，在满足功能需求的前提下，主桥采用适当的跨度提高经济性能，采用优美的悬索桥方案与海天相配，给人以美的视觉享受。

目前我国桥梁设计越来越重视耐久和环保问题。星海湾大桥的设计考虑了桥梁的耐久性，对钢筋和混凝土等施工材料都做了防腐处理，主缆和鞍室内也采用了除湿系统，将大大提高桥梁的使用寿命。设计还考虑了桥梁管理系统和健康监测体系，是重视桥梁可持续发展的工程设计。

在星海湾大桥的设计和施工中，采用了多项先进技术，确保了大桥建设能够安全顺利地顺利完成。取得的成果和经验，对今后我国的跨海桥梁建设具有借鉴和指导意义。

今天高兴地看到张哲教授已将设计和建设成果提炼成书以飨同仁，在向作者表示祝贺之余草就此文，是以为序。

萧汝诚

2016年6月于同济园

前 言

星海湾大桥是我国首座在海上修建锚碇的地锚悬索式跨海大桥，是大连南部东西向快速干道重要组成部分，建成后十分明显地方便了东西部的交通，有效缓解了中山西路的通行压力。

星海湾大桥2010年立项，2011年开工建设，2015年10月30日通车。大桥全长6km，起点位于滨海路上的金沙滩东侧，向西逐渐远离海岸线，在海上形成S形曲线。主桥正对星海湾广场中轴线，距岸边1km并平行于海岸线，为三跨双层地锚式悬索桥，主跨跨径为460m，边跨跨径为180m，加劲梁为钢桁架梁，主线桥梁为双层结构。大桥东端主线通过隧道与东北路连接，并通过上、下桥匝道与滨海路相连接，形成立体交通。西侧的登陆点位于高新园区，连接旅顺南路及高新园区的其他地面道路。

通过方案比选和招标，由大连理工大学土木建筑设计研究院有限公司桥隧设计分院负责设计，相关科研项目和实验工作由大连理工大学桥隧研发基地的“桥梁与隧道国家与地方联合实验室”的桥梁结构实验室和风洞实验室承担。大桥的施工分为三个标段，主桥（第一标段）由中交一航局和中交二工局组成的联合体承担；西引桥（第二标段）由中交一航局三公司承担；东引桥（第三标段）由中铁十九局承担。

星海湾大桥采用了多种创新技术：锚碇基础采用沉箱下预填骨料升浆基床技术，沉箱重达2.6万吨，为国内最大沉箱；钢桁架梁采用整体节点板技术；裸岩地区的钢护筒及施工便桥钢管桩采用振动环切法植桩和锚杆嵌岩植桩等新工艺；超大吨位钢桁架梁的整体吊装工艺等技术。

本书参编人员有：大连理工大学张哲、宋向群、檀永刚、黄才良、潘盛山、王博、王会利、李文武、耿铁锁、许福友、荆友璋、谭岩斌、陈胜；中交一航局潘伟、康松涛、洪凌云、由金、杨洋；中交二公局郝胜利、孙艳明；中交一航局三公司王春利、李新强、乔光、刘开来；中铁十九局王国群、李旭东、白增奇、乔兴华。

为了加强技术交流，项目的主要参与人员总结了大桥在设计 and 施工中的一些关键性的技术编写本书，希望能够对国内外跨海桥梁建设提供一些有益的经验。

本书封面及正文跨页图片由大连星海湾开发建设管理中心提供，在此表示感谢！

张哲

2016年3月5日

目 录

1 引言	
2 总体设计	
2.1 工程背景 / 3	
2.2 基础资料与设计标准 / 4	
2.2.1 自然条件 / 4	
2.2.2 工程地质资料 / 7	
2.2.3 设计标准 / 8	
2.3 平面线形设计 / 8	
2.3.1 线路整体走向的确定 / 8	
2.3.2 主线所连接道路的选择 / 10	
2.4 桥梁结构形式的选择 / 12	
2.5 桥梁美学设计 / 12	
3 主桥设计	
3.1 主桥桥型比选 / 16	
3.1.1 斜拉桥方案 / 16	
3.1.2 拱桥方案 / 18	
3.1.3 悬索桥方案 / 19	
3.2 主桥跨径的选择 / 21	
3.2.1 主跨460m悬索桥的方案 / 21	
3.2.2 主跨600m悬索桥的比较方案 / 23	
3.2.3 主跨460m悬索桥的方案 / 23	
3.2.4 抗震设计 / 27	
3.3 锚碇 / 42	
3.3.1 锚碇的外形设计 / 42	
3.3.2 沉箱及碎石基床的设计 / 43	
3.3.3 锚体的设计 / 46	
3.4 索塔与基础 / 47	
3.4.1 索塔的外形设计 / 47	
3.4.2 索塔的结构设计 / 48	
3.4.3 桩基与承台 / 49	
3.5 钢桁架梁 / 49	
3.5.1 钢桁架的设计 / 50	
3.5.2 桥面系 / 56	
3.5.3 整体节点疲劳试验 / 57	
3.5.4 横向框架疲劳试验 / 62	
3.5.5 锚箱疲劳试验 / 70	
3.5.6 桁架抗风研究 / 73	
3.6 缆索系统 / 80	
3.6.1 主缆 / 80	
3.6.2 吊杆 / 82	
3.6.3 主索鞍 / 82	
3.6.4 散索鞍 / 86	
3.6.5 索夹 / 88	
3.7 缆索除湿及防腐系统 / 89	
3.7.1 除湿系统 / 89	
3.7.2 防腐系统 / 91	
3.8 健康监测系统 / 92	
3.8.1 健康监测系统设计 / 92	

3.8.2	钢桁梁监测系统 / 93	4.4.1	主缆的施工 / 193
3.8.3	主塔监测系统 / 94	4.4.2	主索鞍、散索鞍的施工 / 205
3.8.4	锚碇监测系统 / 95	4.4.3	索夹及吊杆的施工 / 211
3.8.5	吊杆索力监测系统 / 96	4.5	施工监控 / 216
3.8.6	主缆监测系统 / 96	4.5.1	施工特点与监控内容 / 216
3.9	附属结构 / 97	4.5.2	施工监控计算分析 / 217
3.9.1	主桥铺装 / 97	4.5.3	现场施工与监控过程 / 218
3.9.2	阻尼器 / 98	4.6	成桥试验 / 231
3.9.3	支座 / 99	5	引桥设计
3.10	检查车 / 99	5.1	总体设计 / 238
4	主桥施工、监控与试验	5.2	引桥下部结构设计 / 244
4.1	锚碇的施工 / 104	5.2.1	桩基及承台设计 / 244
4.1.1	沉箱的预制 / 104	5.2.2	桥墩设计 / 245
4.1.2	基床的开挖 / 108	5.3	引桥上部结构设计 / 252
4.1.3	抛石及整平 / 110	5.3.1	先简支后连续的预应力混凝土 连续梁桥设计 / 253
4.1.4	沉箱的浮运 / 112	5.3.2	现浇梁设计 / 257
4.1.5	基床升浆工艺 / 116	5.3.3	钢梁设计 / 258
4.1.6	锚碇上部结构的施工 / 118	5.4	引桥附属设施的设计 / 259
4.2	塔与基础的施工 / 137	5.5	东段人行桥的设计 / 260
4.2.1	桩基施工 / 137	6	引桥施工
4.2.2	索塔承台施工 / 148	6.1	下部结构施工 / 263
4.2.3	塔柱施工 / 156	6.1.1	栈桥及钻孔平台的施工 / 263
4.2.4	横梁施工 / 161	6.1.2	桩基础及承台的施工 / 269
4.3	加劲梁施工 / 173	6.1.3	单层桥梁桥墩及盖梁的施工 / 277
4.3.1	加劲梁施工总体工艺流程 / 173	6.1.4	双层桥梁桥墩及下横梁的施工 / 281
4.3.2	制作难点、重点及对策 / 174	6.2	上部结构施工 / 283
4.3.3	钢桁架梁的制作 / 176	6.2.1	西引桥预制梁的施工 / 283
4.3.4	钢桁架梁的吊装 / 178	6.2.2	东引桥及东连接线预制梁的施工 / 295
4.4	缆索系统的施工 / 193	参考文献	/ 297

1 引言

Introduction

2009年7月，辽宁沿海经济带开发上升为国家战略。同年8月，大连市委十届七次全会召开，继“全域谋划”之后，首次提出“全域城市化”概念。各城市组团间要通过高速公路、环城快速路或者轨道交通相互贯通，打造大连周边一小时经济圈。这些都对全市路网提出新的要求。

大连市的机动车数量呈快速发展的趋势，2009年底《大连城市基础设施容量研究》显示，大连市的机动车数量以每年20%的速率激增，而大连道路网密度仅为9.5%，按照国家8%~15%的标准，处于下游。按照目前的机动车增长速率，全市路网到2020年将超过极限状态容量。

大连市缺少一条联系市内各区的现代化的快速通道，这是交通面临的一个严重问题。大连市必须尽快形成一个环状的路网主框架结构，因此我们提出了大连环城快速路的方案构思，如图1-1所示。

在这个环路规划中，大连市南环西段位于高新园区，经由大连南部海域后在金沙灘附近登陆，连接东北路及规划中的南部通道，直奔东港，整个南环贯通大连东西，两端连接东环、西环，中部连接东北路，是大连市南部最重要的通

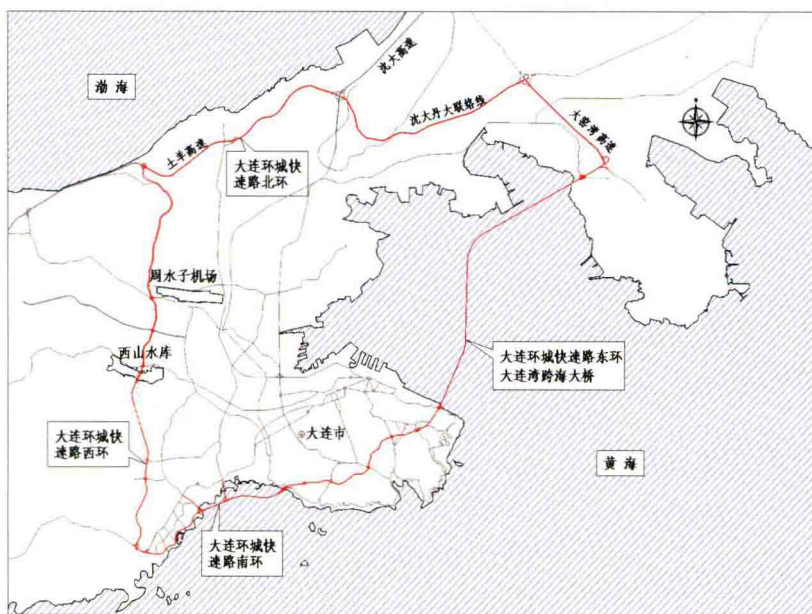


图1-1 大连环城快速路示意图

道。而大连市南部滨海大道，正是南环的重中之重，是整个南环通道的重要节点。

南环中高新园区部分主要的路由是在填海造地的新地块上进行的，其道路规划可以重新考虑，条件便利。而在金沙滩至东港的地块上，大连市整体规划中早已预留了“大连市南部快速路”，因此南环的关键就在于如何将大连市西部的高新园区与东部紧密联合，也就是要打通高新园区新的填海区与大连市规划中的南部快速路，即大连市南环的中段——南部滨海大道。

2010年经大连市委、市政府批准，“南部滨海大道工程”于2010年正式立项实施。东端起点位于滨海路的金沙滩东侧，向西逐渐远离海岸线，在海上形成S形曲线，主桥正对星海广场中轴线，西侧的登陆点位于交通增长迅速的高新园区，全长6km，主线为双层桥梁结构。东端主线通过隧道与东北路连接，东段的匝道与滨海路连接，由于主线桥梁为双层，在与滨海路连接时形成立体交通。西端可以连接旅顺南路及高新园区的其他地面道路。大桥建成后，将缓解日益严重的中山路交通拥堵问题，成为未来大连市交通总体规划的“七纵七横”的重要组成部分。

主桥为三跨双层地锚式悬索桥，主跨跨径为460m，边跨跨径为180m，加劲梁为钢桁架结构。引桥由单层桥梁和双层桥梁组成，除两处大跨径采用钢箱梁结构外，其余均采用预应力混凝土连续箱梁结构。在保证大桥安全的前提下，尽量优化设计。主桥的桥型与跨径为能够体现良好景观效果的悬索桥桥型和460m的跨径，避免了过大跨径造成的浪费；引桥采用混凝土梁，比采用钢梁节约了大量的工程投资。采用世界上先进的技术成果，提高大桥的耐久性和抗风抗震性能，缆索系统采用除湿技术以提高使用寿命，海工混凝土具有很好的抗冻融性能和抗海水侵蚀能力，监测系统为大桥建成后的运营阶段提供了科学的管理系统和技术保障。

主桥位于大连市重要旅游景区——星海广场——南部1000m的海域。无论从星海广场、滨海路，还是星海广场北侧的金融中心、会展中心都能够看到主桥优美的身姿以及整个大桥的雄伟壮观、蜿蜒起伏。夜晚，色彩变换的灯光照亮了大桥，在原本漆黑的海面上映射出一道道五光十色的流动彩带，给星海广场增添了新的活力，大幅度提升了星海广场地区的景观效果。

经过施工招标，中标单位均是国字号的桥梁建设领军单位，这些企业强强联合，发挥各自的优势，在施工中互相协助，取长补短，确保大桥能够高质量地完成。施工企业高度重视大桥的建设和施工质量，配备最强的技术力量和生产设备，勇于创新，勇于挑战，重视科研及新设备的研发，不断提高质量，提高效率。经过4年的不懈努力，克服了海上风浪大、施工条件恶劣、地质条件复杂等不利因素，顺利完成了大桥的建设，建成后的大桥定名为星海湾大桥。

星海湾大桥是我国首次在海面上修筑锚碇的悬索桥，该桥的成功归功于多种创新技术：锚碇基础采用沉箱下预填骨料升浆基床技术，沉箱重达2.6万吨，为国内最大沉箱；钢桁架梁采用整体节点板技术；裸岩地区的钢护筒及施工便桥钢管桩采用振动环切法植桩和锚杆嵌岩植桩等新工艺；超大吨位钢桁架梁的整体吊装工艺等。

星海湾开发建设管理中心承担整个项目的领导和管理工作，在人员缺少的情况下，兢兢业业，科学管理，出色地完成了大桥建设的管理工作。参建单位共同努力，使大桥成为一项精品工程，也将成为大连市一个新的地标建筑。

星海湾大桥于2015年10月30日正式竣工通车，对完善大连城市路网结构，改善城市功能，提升城市景观，发展和促进大连经济具有积极的作用。

2 总体设计 Overall Design

2.1 工程背景

中山路是大连市区东西方向最主要的交通干道，它跨越中山区、西岗区、沙河口区、甘井子区和高新园区。近年来，随着旅顺南路软件产业的初步形成，高新园区、小平岛等地的经济发展突飞猛进，其周边的交通量亦不断加大；但是受到现有交通条件的限制，高新园区一带与市内的主要联系通道仅有一条中山路，并且市区内高尔基路、胜利路等多条道路的车流均需汇集，经由中山路去往高新园区方向（图2-1）。

如此大的交通压力致使中山路的交通供需矛盾日益突出，上下班高峰期车辆拥堵现象十分严重，中山路西段成为高新园区的交通瓶颈。在市区西部急需一条东西方向的快速通道以缓解中山路的通行压力，为高新园区的发展提供交通保障。

经过长时间的调研，解决中山路西段交通问题可行的方案主要有三种：

（1）另选一条现状东西方向道路，予以整治，通过拓宽或延伸，增加其通行能力，缓解中山路交通压力。

（2）在保持现状道路情



图2-1 大连市中山路走向示意图

况下，增加中山路的通行能力，即在中山路上架设高架桥。

(3) 寻找新的路由。由于中山路位于大连市老城区的中央地带，周边建筑稠密，南部沿海更是形成了大连市标志性的景观带，陆地上根本没有新的路由可寻，因此新路由只能通过海上通道来实现。

经过大连市政府的多次努力，第(1)、(2)种缓解交通的方案均难以实现。第(1)种方案中，由于西部平行于中山路走向的道路，只有五一路，而现在五一路主要为双向四车道，而且交通量非常饱和，两侧建筑稠密，如果通过动迁加宽，则会给沿线单位带来较大不便，而且动迁成本很高，因此无法真正推进。第(2)种方案考虑在中山路上架设高架桥，由于现在中山路沿线有轻轨桥梁的存在，如果再在上面架设高架桥，会对沿线的景观造成不良影响，同时，在与沿线企业单位协商时，多数持反对意见，难以实施。因此在陆地上寻找通道是不可行的。那么只有第(3)种方式——在海上寻找新的路由——是唯一的出路，这样既可以解决高新园区和市区之间的交通拥堵问题，又可避免大量的动迁工作，并且可以通过海上桥梁形成大连市新的景观带。综合考虑城市空间结构、经济发展态势、交通设施建设周期等因素，跨越星海湾修建海上快速通道（即南部滨海大道）是十分迫切和必要的。

南部滨海大道是一条平行于中山路与黄浦路的东西向主干道，西起高新园区凌河街南端，向东穿越大连南部海域后在金沙滩东侧的金银山登陆。通道西侧登陆后连接凌河街到凌水路，并且通过高新园区的地面道路可以连通旅顺南路及河革路。通道东侧登陆经隧道可以连接东北路和规划中的南部通道，直通大连湾跨海通道；并且设置匝道与滨海西路连接。南部滨海大道是大连市未来交通网“七纵七横”中的重要一横，也是大连环城快速路中南环的重要组成部分，它的建设对缓解中山西路的交通压力，完善城市路网结构，改善城市功能，提升城市景观发展和促进大连经济繁荣具有积极的作用。

2.2 基础资料与设计标准

2.2.1 自然条件

1. 水文条件

(1) 潮位

设计高水位：1.66m（高潮累计频率10%）

设计低水位：-1.38m（低潮累计频率90%）

极端高水位：2.42m（50年一遇）

极端低水位：-2.88m（50年一遇）

施工水位：0.3m

(2) 波浪

星海湾地区无波浪实测资料，由于老虎滩海洋站距本区较近（相距约12km），同属大连南部

海岸，两地之间岸线相对平直，故可用老虎滩海洋站的实测波浪资料作为星海湾同样水深处的设计波浪资料。

本海区大部分时间的波浪小于0.5m（占70%），大于1m波高的时间仅占5.7%，大于2m波高的时间仅占0.4%，相对来说是较平静的。

常浪向为SW，频率为17.1%。强浪向为SSE及S。根据老虎滩海洋站1963~1992年的观测资料，-30m处50年一遇的波高最大为SE，高度达6.1m。

2. 气温

（1）平均气温

大连地区年平均气温在8.8~10.5℃，其中南部地区（大连市区、旅顺、金州、长海）在10.5℃左右；北部地区（普兰店、瓦房店、庄河）在9.1℃左右。全年0℃以上的持续日数，南部地区约265天，北部地区约250天。日最低气温小于等于-10℃的日数，北部地区为48~54天，南部地区为18~25天。无霜期北部地区为168~190天，南部地区为196~220天。全年气温最高在8月，大部分地区在23.5~24.0℃；极端最高气温为38.7℃（金州）。全年气温最低在1月，自东北向西南月平均气温为-8.1~-4.5℃；极端最低气温为-26.6℃（庄河）。

（2）四季气温分布

根据中国北方四季划分的标准，5日平均气温小于10℃的区间为冬季，5日平均气温大于20℃的区间为夏季，冬后和夏后平均气温为10~20℃的区间分别为春季、秋季。

由于大连地区地理位置比较偏北，夏季时令一般比黄河流域推迟15~20天。春季始于4月20日前后，历时65天左右。5日平均气温大于20℃的日期始于6月20~25日，进入夏季。由于海洋的调节作用，大连地区入夏时间比同纬度的北京和石家庄地区晚20天左右。夏季历时80~85天。9月10~15日，大连地区5日平均气温开始小于20℃，秋季来临。秋季历时43天左右。10月23日前后，大连地区5日平均温度开始小于10℃，与东北、华北北部地区同期进入冬季。从此大连地区受寒冷的偏北气流控制，成为极地冷空气南下的通道。至翌年4月中旬冬季结束，历时170天左右。大连地区四季持续时间可归结为：冬季漫长（170天左右），夏季适中（80天左右），春季短（65天左右），秋季更短（43天左右）。

（3）地温与冻土层

大连地区3月份5cm地中平均温度，南部地区为3.6~4.8℃，北部地区为2.3℃。3月份10cm地中平均温度，南部地区为3.3~4.7℃，北部地区为1.8℃左右。4月份5cm和10cm地中平均温度均为10℃以上，最高达12.5℃。5cm深度地温比10cm深度地温高半度。

大连地区最大冻土深度，南部地区为80~93cm，北部地区为95~115cm。20世纪80年代以来，冻土深度偏浅，持续时间也缩短。普兰店冻土偏浅11cm，其他地区冻土普遍偏浅26~33cm。

（4）霜日与无霜期

大连地区霜多半出现在寒潮大风结束后的晴朗低温的夜晚和清晨，北部地区离海较远，又多属山区，因而霜日较多，年平均霜日为100天以上。南部地区霜日只有43~63天。全区初霜日至终霜日平均日数为173.7天，南部地区平均日数为146~176天，其中长海县平均日数为113天；北部地区

平均日数为188~194天,其中庄河市平均日数长达220天。从终霜日到初霜日为无霜期,全区无霜期平均为191天。南部地区无霜期为196~220天,大连市区无霜期最长,1962年达256天;北部地区无霜期为168~190天,瓦房店市1968年无霜期只有144天。

大连地区初霜日一般在10月23日。北部地区一般在10月上旬,庄河市在1977年9月20日出现全市最早的初霜;南部地区一般在10月下旬,长海县在1965年12月10日才出现初霜,是全市最晚的初霜日。全地区终霜日一般在3月23日。南部地区终霜日一般在3月下旬至4月下旬,大连市区1961年2月28日终霜,是全市最早的终霜日;北部地区一般在4月下旬,瓦房店市1972年5月16日终霜,是全市最晚的终霜日。

3.降水

(1)年平均降水量

据各气象站资料,大连地区年平均降水量在590~800mm,东部多于西部,北部多于南部,自西南向东北方向递增。庄河市北部山区最多;瓦房店、旅顺最少,不足600mm。降水量年际变化大,多雨年可达900~1200mm,少雨年仅290~490mm。降水季节分布:春季12%~14%,夏季60%~70%,秋季17%~19%,冬季3%~5%。月降水变化尤大,经常出现春旱、伏旱和秋旱。汛期常有洪涝发生,有时受台风影响和侵袭。降水强度比较平稳,平均年暴雨日数不足3天,大暴雨日数不足1天。夜雨多于昼雨。

(2)降水量分布

以市辖各行政区划分,年平均降水量最多的是庄河市,为800mm;旅顺区最少,为585mm;大连市区为656mm。年降水日数最多的是庄河市,为89天;大连市、长海县、瓦房店市为79天;其他地区为69~75天。

从四季分布来看,1月份(以1、4、7、10月分别代表四季)平均降水量占全年1%。4月份平均降水量占全年5%左右。7月份为全年降水量和降水日数最多的月份,降水量占全年26%~30%,降水日数平均为11~15天。10月份平均降水量和降水日数与4月份相似,平均降水量占全年5%。

(3)冰雹

大连地区雷阵雨天气常伴有冰雹。所降冰雹多数玉米粒大,有时大如乒乓球,少数可达鸡蛋大小。降雹时间短,强度大,局地性强。全市年平均冰雹日数1.1天,庄河市年平均冰雹日数1.4天,瓦房店市年平均冰雹日数1.2天,其他县市区年平均冰雹日数1.0天以下,最少的是旅顺区和金州区,年平均冰雹日数0.5天。

大连地区冰雹从4月开始出现至11月结束,集中出现在春、秋两季,尤以秋季(9、10月份)为最多,普兰店在1984年10月出现3次冰雹。

4.风

大连市地处东北季风区,盛行风向随季节转换而有明显变化。冬季亚洲大陆蒙古冷高压发展强大,北太平洋阿留申低压也同样发达,使大连地区盛行偏北季风;夏季印度热低压强大,北太平洋副热带高压也很发展,使大连地区盛行偏南季风;春、秋季节则是南、北风的转换季节。年平均最

多风向为偏北风和东南偏南风，频率均是25%。

由于海面平滑，故大连地区平均风速较大，大风日数较多，大风连续出现也较多。大连市区、长海县年平均风速都在5m/s以上，是中国北方年平均风速最大的地区之一。观测到的最大风速为32.7m/s，出现在长海县，风向为东南偏南。年平均大于等于8级的大风日数，大连市区为86天左右，而同纬度的天津为40天左右。

5.日照

大连地区年日照时数平均为2636.9h，瓦房店市、大连市区、长海县的年日照时数高于平均值，一般在2570~2800h，其中瓦房店市最高，为2807.7h。其他各区（市）在2480~2580h，庄河市最低，只有2479.2h。

1月日照时数全年最低，月日照时数小于200h。金州在1989年1月日照时数只有129.4h，是全区各年来最低值。长海县在1979年5月日照时数高达350.9h。7月雨季来临，云量增加，月平均日照时数减少到220h。10月晴空少云，日照时数仅少于春季，多于夏季，月日照时数接近240h。

2.2.2 工程地质资料

1.地形地貌条件

大连市处于我国三大丘陵之一的辽东丘陵的南翼，区内山地丘陵多，平原较少，平均海拔约50米，山地与平地之比为4:1，土地构成为“六山一水三分田”，属老年期丘陵地带。整个地形为北高南低，北宽南窄，地势由中央轴部向东南和西北两侧倾斜，面向黄海一侧长而缓。长白山系千山山脉余脉纵贯本区，绝大部分为山地及久经剥蚀而成的低缓丘陵。平原低地仅零星分布在河流入海处及一些山间谷地，岩溶地形随处可见，发育了喀斯特地貌和海蚀地貌。

2.地震烈度区划

按全国地震区带划分，大连地区属于华北地震区。区内有辽宁省地震活动水平较高的金州—营口地震带等4个地震活动带。区外西临郟庐带，南缘蓬莱—唐山渤海北西带，东侧为蓬莱—丹东北东带，北部为地震活动较强的大洋河北西带。与邻区相比，大连地区地震活动程度处于中等水平。地震主要分布在2个集中区和4条地震带上。

大连地区5级以上破坏性地震均发生在活动断裂带及其相交复合部位。1971年以来大连地区发生的4~4.9级较强地震大都发生在熊岳—大王岛北西向条带上。1978年旅顺龙王塘3.5级地震和1985年旅顺铁山4.3级地震的发生，说明本区南部地震活动有所增强，表现为频度低，强度高。

大连地区陆地地震为发生于地壳内的浅震，震源深度一般在15km以内，而两侧海域震源更深一些。故陆地地震较海域地震更易有感，造成破坏。

3.场地工程地质条件

(1) 场地环境及地形地貌

大连市南部滨海大道东起金沙滩东侧的金银山，向西跨越星海湾，在高新园区填海区域登陆，

地势低平，大部分为海湾。

东岸地形起伏较大，地面标高 $0\sim 27.43\text{m}$ ；湾里海水水深变化较大。湾里海底地面标高 $-15.70\sim -0.20\text{m}$ ，最大相对高差 15.5m 。场地地貌单元属于低丘陵，潮间带，水下岸坡，礁盘。

(2) 地层岩性

根据勘察资料，勘察深度范围内的地层为第四系全新统人工堆积层 (Q_4^{ml})、第四系全新统海积层 (Q_4^m)、第四系全新统冲洪积层 (Q_4^{al+pl})、第四系上更新统坡洪积层 (Q_3^{dl+pl})、第四系中更新统残坡积层 (Q_2^{dl+cl})、震旦系南关岭组 (Z_{wn}) 石灰岩、青白口系桥头组石英岩板岩互层 (Q_{nq}) 及燕山期 (β_{μ}) 辉绿岩。

2.2.3 设计标准

车辆荷载：公路 I 级，主线双向八车道，匝道两车道。

人群荷载： 3.0kN/m^2 ，每侧人行道宽度 2m 。

风荷载：桥位处按 A 类风场，百年一遇 10m 高 10min 平均风速： 43m/s ；风压： 1.13kN/m^2 。

地震烈度：7 度。

通行净空：机动车道 $\geq 5\text{m}$ ，人行道 $\geq 2.5\text{m}$ 。

航道净空：通航高度为 25m 。

结构安全等级：一级。

设计基准期：桥梁结构的设计基准期为 100年 。

环境类别：III 类。

设计基准温度： 20°C ，缆索、钢梁施工均以此为参考温度。

主线设计车速： 80km/h 。

匝道设计车速： 30km/h 。

坐标系统：大连市城建坐标系统。

高程系统：1985 年国家高程系统。

2.3 平面线形设计

2.3.1 线路整体走向的确定

南部滨海大道穿越的海域正对星海广场、星海湾浴场及星海游艇港，其地理位置极为重要，对景观要求极高，因此在整个线路上的主桥造型、位置、走向、高度选择都十分重要。在线形选择时，考虑到整个星海广场的观景效果，把整个主线桥梁的亮点——地锚式悬索桥跨中与星海广场中轴线相对应，并且使得主桥部分的线形垂直于星海广场中轴线。这一点确定后，线路的比选只需考

考虑主桥距离星海广场前沿的观景台距离即可。

由岸线向海的深处，考虑了750m、1000m、1250m、1500m、1750m及2000m六种线位方案，如图2-2所示的①~⑥线形。

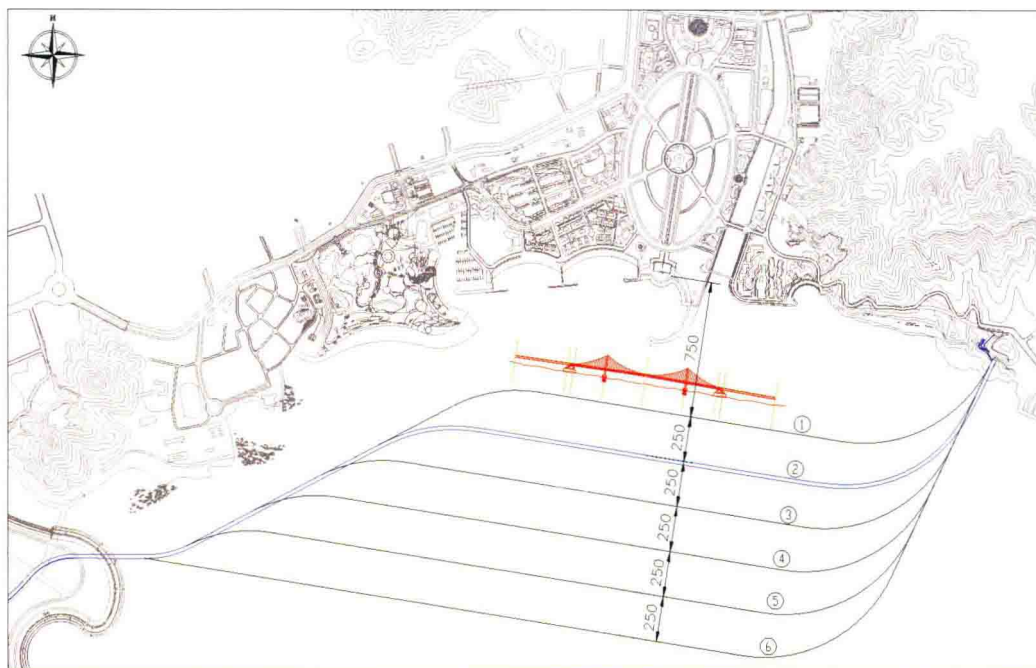


图2-2 平面线形比选图

各方案基本情况比较见表2-1。

表2-1 各方案基本情况比较

方案号	线路长度/m	与方案①相比 线路长度差/m	主桥位置水深/m
①	5829	0	16.2
②	5939	110	20.7
③	6050	221	24.5
④	6155	326	28.1
⑤	6259	430	30.2
⑥	6397	568	32.0

主桥位置水深情况分布曲线如图2-3所示。

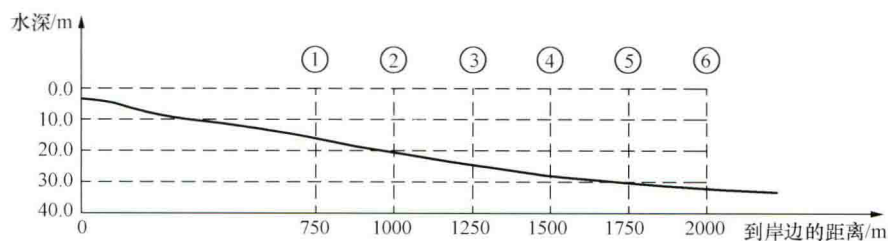


图2-3 主桥位置水深情况分布曲线

根据以上基本情况，从下面几个方面对大桥的选线进行比较。