

黄海及渤海海峡海缆建设与海底隧道

徐家声 刘自力

(国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266000)

摘要 以位于北黄海的大连—烟台海底光缆和渤海海峡诸岛间的海底光缆为例, 概括介绍了它们所处的海洋环境及重要的海洋开发活动状况, 从中可见它们对海底光缆的作用及影响。并着重说明海缆路由的选择及确认的过程及其重要意义。最后介绍了海底光缆与海底隧道建设之间的相似及相关性, 从海底光缆建设长期的实践中, 从长期开展的海底光缆建设形成的成熟工作流程及科学的工作方法中, 吸取一些可资借鉴的经验教训, 为未来建设海底隧道提供一些参考和帮助。

关键词 海底光缆; 海底隧道; 路由勘察; 海洋环境; 开发活动

撰写本文的目的是想借鉴渤海海峡及其邻近海域半个多世纪的海缆建设的经验, 促进本区海底隧道工程建设。海底光缆和海底隧道同为敷设在海底的线性工程体, 是当今世界最引人注目的一对海洋工程姐妹花。它们依赖海底而存在, 都经受海洋浪潮流、地震及腐蚀等海洋环境因子的破坏或影响, 都受当前规模越来越大、种类越来越多的海洋开发活动的影响和制约。可以说, 渤海海峡及其邻近海域的海底光缆建设, 特别是路由勘察的经验教训是建设渤海海峡海底隧道的一笔珍贵的财富。笔者从事海底光缆建设 40 余年, 在渤海海峡及黄海、东海参与几十条国内外海底光缆路由勘察, 对这一点感受颇深。本文介绍了大连—烟台和渤海海峡诸岛间的海底光缆路由勘察的成果, 以期对海底隧道建设的路由勘察及选择能有所帮助。

1 渤海海峡海缆建设

我国是一个海洋大国。北部有渤海及黄海, 渤海海峡是它们的分界线。渤海海峡北与辽东半岛相接, 南部与山东半岛相连。东北和华北经济圈以及我国重要的沿海开放城市大连和烟台雄踞在海峡两端, 相隔在水各一方。为了加强渤海海峡两岸的经

济及人文交流, 促进经济文化的发展, 建设联系两岸的海底隧道已势在必行。

为了克服海水阻碍, 开通渤海海峡两岸地区的信息交流, 几十年来不断开展的渤海海峡及其邻近海域的海底电缆建设, 使得海峡两岸的通信畅通无阻。在这 40 年的漫长岁月中, 我国部队、电信及海洋科研部门密切合作, 使得渤海海峡海缆建设取得了重大成绩。目前, 在渤海海峡及其邻近海域已先后敷设海缆有 30 多条, 已成为我国海底光缆密度最大的海域。

建成的海缆可分为传统的同轴海缆和当今先进的光缆, 敷设的形式有铺在表层及埋设在海底两种。海缆的所有者包括部队、中国电信、联通公司还有地方所有。分布的位置有在渤海海峡东侧的大连—烟台和西侧的大连—蓬莱海缆, 更多的是分布在辽宁长海县及山东长岛县岛屿间和岛屿与大陆之间。在这些已建海缆中, 基本上都进行过路由勘察, 其中 90% 上的路由勘察都是由国家海洋局第一海洋研究所青岛海洋工程勘察设计院完成的, 笔者在 1974 ~ 2011 年期间负责实施并完成所有海缆路由勘察。

经几十年的努力, 我国穿越渤海及黄海的海底电缆通信网已初步建成, 包括直接穿越和经过海岛

连接两种形式。当前人们渴望的是修建大连至烟台的海底隧道,使渤海海峡两岸的人群及货物冲破大海的阻拦,省时省钱省力通过海峡,直接而又快速地进行交流,实现千百年来中华民族的夙愿。

多年的渤海海峡地区海缆建设将为即将进行的海底隧道工程提供一些有益的启示,通过海缆建设对海峡及其邻近海域的地形地貌地质状况及该区的海洋环境及人们的海洋开发海洋经济活动有了较全面的了解,这为海底隧道的路由勘察和选择提供可资借鉴的资料,可使得隧道工程少走弯路。

应指出的是,在即将施工的海域,海底已敷设多条海缆及海光缆,施工时要保证它们的安全,尽量减少对它们的损坏,这也需有以往建设的海缆历史资料,从而对它们有详细的了解。总而言之,渤海海峡几十年的海缆建设是该区海底隧道建设的前奏,和英法及日本一样先有海缆后有隧道。海缆建设必将为即将开展的海底隧道建设提供许多有益的经验教训。

2 路由勘察

海缆路由勘察及选择、海缆系统的生产、海缆的敷设是海缆工程系统的三个环节,它们各成体系又相互衔接,成为海缆工程不可分割的整体。在海缆工程中首先开展的是海缆路由勘察及选择,它既是海缆工程的先导又是海缆工程的基础,因此其内容必须全面又要有很强的针对性,我国几十年来通过对路由勘察的大量实践已经形成了完整的路由勘察的内容体系。

2.1 踏勘(现场了解路由区概况)

(1) 进行路由陆上登陆点及人孔位置现场地形地貌和海洋开发活动状况的考察;(2) 进行海上路由段的巡视,了解海面和养殖,扑捞等活动情况;(3) 走访海洋、水产、规划等有关部门,了解与工程有关情况。

2.2 自然环境调查

(1) 地质地貌底质(含构造与地震);(2) 气象;(3) 海洋水文;(4) 环境质量;(5) 路由与海洋功能区划的相关性。

2.3 海洋开发活动

(1) 旅游;(2) 已敷设海缆及管道;(3) 海水养殖;(4) 捕捞及网具;(5) 航道、沉船及锚害;(6) 军事及保密实施。

2.4 路由勘察项目

(1) 海底面调查,①登陆段地形地貌及底质测量,②人孔和登陆点位置及其特征,③海上路由段调查,包括地形地貌底质类型及其分布,海底障碍物测量;(2) 埋设层调查,①浅地层探测及其结构分析,②柱状样采集及其特征描述分析。

2.5 路由评价与选择

(1) 路由评价;(2) 路由选择。

3 典型路由勘察成果简介(以大连—烟台海底光缆,海峡诸岛之间海底光缆路由为例)

渤海海峡及其附近海域已敷设海缆较多,不能逐一介绍,下面以大连—烟台海底光缆及渤海海峡南部的几段海缆路由勘察为例介绍路由勘察内容、过程及其与海底隧道建设的相关性;

3.1 大连—烟台海底光缆路由

1995年建成的大连—烟台海底光缆从北黄海通过,是沿海光缆系统的一座“跨海大桥”。该光缆已成为沟通东北及华东沿海地区的一条安全快捷的信息高速公路。根据勘察单位与业主单位实地踏勘及有关资料的分析,商定勘察范围在大连的黑石礁湾和烟台套子湾及其相连接的北黄海海域。

3.1.1 勘察流程及主要成果

本次路由勘察采用的是我所二十多年来在海缆路由勘察工作中形成的流程。该流程是我所路由勘察方法的科学概括和体现,系根据我国的国情及吸取欧美及日本的长处逐步发展而成的,突出了我国目前沿海经济发展、人类活动频繁,特别是登陆点附近水域环境复杂的特点。在拟定适宜的登陆点之后,再进行全面的海上路由勘察,选择最佳的路由,并为设计单位及生产厂家提供海缆系统的设计及生产所需的依据^[1]。

为了较好地完成大连—烟台段海海底光缆路由的勘察工作,进行海底地貌、浅地层,水深测量,进行表层及柱状取样,并对取得的样品进行了工程力学性质分析、粒度分析、硫化物含量测定及底栖生物鉴定。为了提高勘察精度和整个工程质量,在海域采用GPS卫星系统进行导航,在登陆段采用美国三应答器微波定位系统。还进行了路由区气象、波浪、潮汐、海流、水温、海冰、地质构造及地震等海洋环境要素资料的收集和分析,获得了较全面的海洋环境资料^[2,3]。

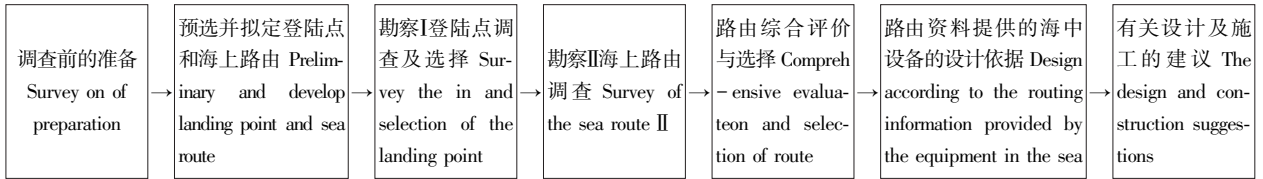


图1 勘察流程

Fig.1 Investigation process

大连—烟台光缆路由区是一个捕捞、养殖、航运发达的海域。大连及烟台都是沿海开放城市,经济发达,海洋开发活动十分活跃,对路由勘察、海缆施工及使用寿命的影响十分明显。为此,开展了捕捞、锚泊、养殖、航运、沉船、潜艇训练、油气开发、倾废区以及海缆、管道布设情况等人为活动资料的收集及分析。通过5个月的努力,较圆满地完成了海上勘察、样品分析、数据处理、图件清绘及报告编写工作。勘察、测试的内容与成果见表1。

3.1.2 勘察路由的比选及其确定

大连—烟台的光缆埋设于海底,因而海底成为光缆的载体,所以海底与光缆两者之间的关系十分密切。海洋特别是海底环境对光缆的通信质量、使用寿命的影响是显而易见的,对这方面的勘察历来受到大家的重视。在本次路由勘察中开展登陆点多方案比较和路由的比选,选择出最佳路由,以保证工程的质量。

3.1.2.1 比选的意义

大连—烟台的海底光缆工程是国家级的通信干线工程,是邮电部及国家的重点建设工程,因而必须采用比选的方法。在登陆点和路由选择时坚持多方案比选的原则,即必须对二个以上具备条件的登陆点及路由进行勘察。通过对不同方案的比选择优或优中选优,以决定最佳路由。如果只进行一条路由勘察,就有可能把更好的路由疏漏。

3.1.2.2 勘察路由的初选

大连—上海光缆通信干线工程,必须通过北黄海水域。该段海底光缆路由的初步选择方案有三个:大连旅顺区—山东蓬莱市,大连市—烟台市,大连市—威海市(见图2)。

对于上述三个方案作了自然环境及海洋开发活动状况资料的分析对比,认为第一方案(旅顺—蓬莱)虽然路由最短(直线距离约118 km),然而该路由通过水深流急的老铁山水道,水深达70 m以上,水道底部很少有细粒的泥沙沉积,多砾石堆积,这对光缆的路由勘察及埋设施工都是难以逾越的障碍。加之路由区为扇贝、鲍鱼的高密度养殖区,养殖面积

达数万亩以上。路由勘察难以进行,埋设时的赔偿费高达几千万元,难以承受。路由区还是重要的潜艇训练区,有禁航区在此分布,路由勘察及光缆埋设受到诸多限制。该区经济发达又为军事要地,因而海底电缆密集,是我国海底电缆高密度分布区,有几十条之多,路由难免要与现有的海底电缆多次交叉,因而埋设施工困难大,赔偿费用多。根据以上分析,认为该路由弊多利少。大连—威海的路由直线距离接近180 km,在这三个有条件成为穿越北黄海的路由中距离最大。然而,该海底光缆为了将来扩容的需要,必须无中继装置。路由越是长,就意味着越难达到这一技术要求,而且海底光缆价格昂贵,达每千米8万美元。因而选择大连—威海的路由不仅技术难度高,而且耗费资金巨大,它的缺点显而易见。大连—烟台路由直线距离约为150 km,比大连—威海路由要短30 km。该路由区养殖范围小,仅为旅顺—蓬莱养殖区面积的1/50左右。路由区底质以砂为主,砂砾、基岩仅在大连沿岸零星出现,地形平坦,因而该路由比上述二条路由的条件要优越得多,可以作为大连—上海光缆通信干线工程的海上路由。据此,路由方案可深入进行大连—烟台海上路由段登陆点及路由的勘察与选择。

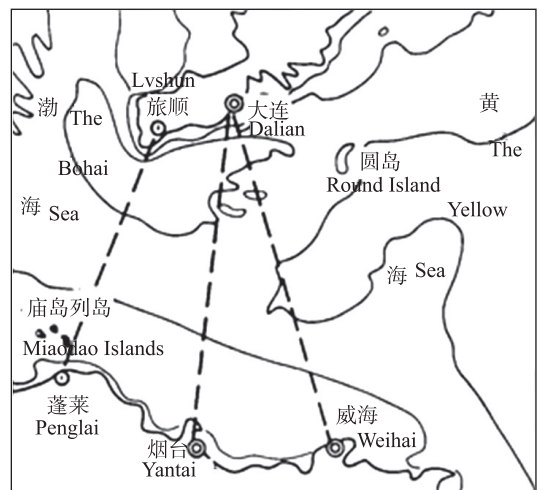


图2 大连—上海光缆三条初选海上路由的位置

Fig.2 Dalian-Shanghai cable three primary sea route location

表1 勘察测试内容与主要成果

Table 1 Test content and the main results of investigation

类别 Category	项目 Project	完成工作量 Complete the work	主要成果图表 The main results chart	
勘察 Survey	导航定位 Navigation and positioning	对勘察船进行导航,测深,浅剖,侧扫声纳同步定位,共布设5条测线 For navigation, the survey ship sounding, shallow profile, side scan sonar synchronous positioning, laid out 5 lines	1. 航迹图 Track map(1: 5000, 1: 5000)	5幅
			2. 水深剖面图 Depth profile(1: 50000)	5幅
	测深 Measuring depth	测线长 820 km,水深点 6150 个 Total length is 820 km, 6150 depth points	3. 浅地层剖面图 Shallow profile(1: 50000)	5幅
			4. 路由柱状剖面图(1: 40000)	1幅
	旁侧声纳探测 Lateral sonar detection	测线长 700 km,定位点 3590 个 Total length is 700 km, 3590 point positioning	5. 海底面状况及障碍物分布图(1: 50000)	5幅
			6. 登陆点附近海域水深图(4: 5000)	2幅
	浅地层剖面探测 Subbottom profile probing	测线长 820 km,定位点 6150 个 Total length is 820 km, 6150 point positioning	7. 登陆点沉积物厚度图(1: 5000)	2幅
			8. 登陆点海底面状况图(1: 5000)	2幅
	样品采集 Sample collection	表层样 143 个,柱状样 17 个,硫化物 27 个,生物样 40 个 143 surface samples, 17 columns, 27 sulfides, 40 biological samples	9. 登陆点浅地层剖面图(1: 5000)	2幅
			10. 登陆点底质类型图(1: 5000)	2幅
	样品测试 Sample test	实验室分析 Laboratory analysis	11. 登陆点综合评价图(1: 5000)	2幅
			12. 路由综合评价图(1: 200000)	1幅
	海洋气象与水文 Marine meteorology and hydrology	收集多年的气象、流、潮流、水温、海冰等历史资料 Collection of years of meteorological, water temperature, flow, flow, sea ice and other historical data	13. 路由剖面综合评价图 Comprehensive evaluation of routing profile	
14. 大连—上海光缆通信干线工程 Dalian-Shanghai optical fibre cable engineering				
地质构造、地震、地貌、底质 The geological structure, earthquake, geomorphology, sediment	收集路由区及其附近海域的地质构造、地震、地貌及底质资料 The geological structure, earthquake, landform and sediment data collection routing area and the adjacent waters	15. 声纳、浅地层探测记录和沉积物样品照片集 Sonar, subbottom survey records and sediment sample photos		
		1. 硫化物含量分布图 The sulfide content distribution map		
与光缆工程及维护有关的海洋开发活动 With the cable engineering and maintenance of marine development activities	对养殖、捕捞、锚泊、航道及现有海底电缆分布等资料进行调访及分析 For farming, fishing, anchoring, waterway and the existing submarine cable distribution data survey and analysis	2. 生物种类统计表 Statistics of species		
		3. 工程力学试验成果表 Test results of engineering mechanics		
资料收集与调查 The data collection and investigation	与光缆工程及维护有关的海洋开发活动 With the cable engineering and maintenance of marine development activities	4. 沉积物类型统计表 Statistics of sediment types		
		1. 风速风向玫瑰图、潮流、余流图、水位图 The wind rose diagram, flow, level, YuLiu figure		
与光缆工程及维护有关的海洋开发活动 With the cable engineering and maintenance of marine development activities	对养殖、捕捞、锚泊、航道及现有海底电缆分布等资料进行调访及分析 For farming, fishing, anchoring, waterway and the existing submarine cable distribution data survey and analysis	2. 绘制表 10 张 Draw 10 tables		
		1. 构造分区图 Tectonic zoning map		
与光缆工程及维护有关的海洋开发活动 With the cable engineering and maintenance of marine development activities	对养殖、捕捞、锚泊、航道及现有海底电缆分布等资料进行调访及分析 For farming, fishing, anchoring, waterway and the existing submarine cable distribution data survey and analysis	2. 地震震中分布及强度图 The distribution and intensity of seismic map		
		3. 地形图、地貌图、底质类型图 Topographic map, topographic map, sediment type map		
与光缆工程及维护有关的海洋开发活动 With the cable engineering and maintenance of marine development activities	对养殖、捕捞、锚泊、航道及现有海底电缆分布等资料进行调访及分析 For farming, fishing, anchoring, waterway and the existing submarine cable distribution data survey and analysis	1. 鱼类洄游图 Fish later tour map		
		2. 养殖区分布图 The distribution map of aquaculture area		
与光缆工程及维护有关的海洋开发活动 With the cable engineering and maintenance of marine development activities	对养殖、捕捞、锚泊、航道及现有海底电缆分布等资料进行调访及分析 For farming, fishing, anchoring, waterway and the existing submarine cable distribution data survey and analysis	3. 现有电缆分布图 The existing cable distribution		
		4. 拖网及底层网具分布图 The trawl and bottom net distribution map		

3.1.2.3 勘察路由的选择

为了对大连—上海光缆通信干线工程中拟定的的大连—烟台段的登陆点及海上路由的情况有更全面、更充分的了解;为了对通过已有资料收集及分析拟定的登陆点及路由的优缺点进行现场对比,发现它们的长处和不足,以确定勘察时的先后次序;为了进一步听取邮电部门在设计和施工中对登陆点及路由的要求,国家海洋局第一海洋研究所与邮电部设计院、山东邮电管理局及传输局、烟台市邮电局及传输局、辽宁省邮电管理局、大连市邮电局及传输局等单位参加了登陆点及路由的勘察与选择。

1) 烟台拟定登陆点勘察

(1) 夹河西(皂户头)登陆点 首先对拟定的烟台套子湾皂户头及夹河西登陆点及附近海域进行了踏勘(见图 3),发现本区邻近黄金河口,入海泥沙较多,近岸砂坝、泻湖发育,水深变化大,地形比较复杂,海滩比较开阔。本区植物较敏茂,交通不便,又地处烟台开发区,海岸的开发利用势在必行,这对海缆的安全及稳定不利。该登陆点离烟台邮电局距离达十几公里,陆上施工的难度及工程量都较大,所需陆缆长,施工经费高。高岸海域渔网及扇贝养殖筏密集,路由勘察及光缆埋设作业难以实施,索赔经费难以承受。鉴于以上原因,一致认为该处不宜作为登陆点。

(2) 夹河东登陆点 该点(37°34'47"N, 121°19'06"E)位于夹河以东的幸福十二村以北海滩上。该登陆点海滩由中、细砂组成,以堆积作用为主、坡度平缓。附近居民常在此游泳,水质清新,很少有渔船在此锚泊,较为宁静。该处不在烟台开发区范围内,没有兴建码头、锚地,也未进行工业区的计划,海岸比较稳定。该登陆点离邮电局距离近,仅数公里,可节省大量经费。在夹河以东的沿岸海滩都具有较好的海缆登陆条件。然而烟台市规划局提出,登陆以在夹河东约 1200 m 范围内为好,因为在那里没有安排开发项目(图 3)。

由于夹河东登陆点距夹河约 1700 m,不符合烟台市规划局的要求,因而在其西侧又选择两个登陆点。其中一个称石坝点(坝西约 450 m),此处距夹河口约 850 m,位于幸福十四村北的海滩上。路由登陆后,光缆埋设可沿岸滩至小路埋设并从小路直达公路,施工方便。在套子湾内路由可避开其东侧的围海造地的海域,因而该登陆点较为理想。另一个登陆点称靶场登陆点,该点在靶场东约 400 m,距

夹河 792 m,光缆在此登陆后,由于道路窄,施工不方便,距夹河较近,因而不如石坝登陆点条件好。

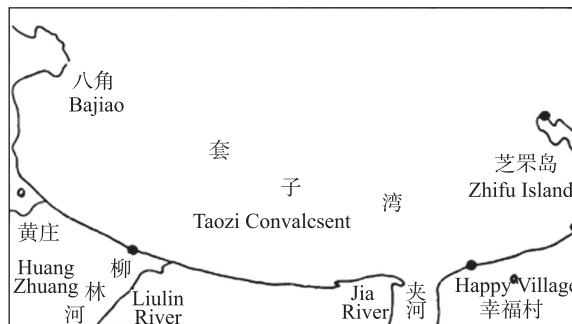


图 3 烟台拟定登陆点位置图

Fig. 3 Yantai made landfall location map

关于套子湾东侧虾池登陆点,通过踏勘后大家认为该点虽然具有离公路近,便于施工及维护的优点,然而它离芝罘岛山麓太近,海底礁石或砾石多,光缆埋深 1.2 m 的要求很难达到。从该点至大连,路由必须先该点向西至芝罘岛西侧,然后向北拐,这样不仅增加了路由长度及路由拐点,增加工程费用,而且因该拐角小(约 90°),故其埋设施工困难,且易使光缆受损。综上所述,认为该登陆点弊多利少,不宜成立。

(3) 芝罘岛西北角登陆点 为避开套子湾海水养殖区,为缩短海上路由的距离,故对具备此条件的芝罘岛西北角登陆点进行勘察。经勘察后,认为该处泥沙沉积层薄,10 m 以内浅近岸区有礁石分布,海岸陡峭,光缆上岸困难,陆上未修路,山地崎岖,光缆埋设十分困难。

通过以上勘察及对比,认为拟定的夹河东石坝登陆点及芝罘岛西北角登陆点可作为勘察用登陆点。

2) 大连黑石礁湾拟定登陆点勘察

(1) 傅家庄登陆点 位于黑石礁湾东端的傅家庄是一个被岬角环抱的小海湾(见图 4)。湾口宽度 500 m 左右。岸滩由砂砾石组成,滩面砾石大,向下砾石粒径变小,大砾石一般达 8 cm × 5 cm × 1 cm,小砾石 0.8 cm × 0.5 cm × 0.1 cm。

该处滩面较平缓,是大连较好的浴场。湾口外有较多岛屿,如西大连岛、二坨子岛等,能阻挡东风或东北风,削弱海汉及波浪,有泥沙沉积区,海水养殖范围小,适宜路由通过。路由登陆后,陆上施工方便,光缆易进入傅家庄邮局,而且此处八一路已规划好,易于在此埋设电缆,施工中赔偿损失费较少,可见此处是较好登陆点。

(2) 星海公园登陆点 位于黑石礁湾内,是个

浴场,岸滩较陡,道路房屋建筑物多,不易在陆上埋设光缆。湾外可见较多岛屿及大面积养殖区,近岸有较多礁石分布,本湾东部已围海造地,计划用地 $6 \times 10^5 \text{ m}^2$ 建小香港,因而光缆难以埋设。此区污染较严重,所以,该登陆点具有较多不足之处。

(3) 小平岛登陆点 该点位于黑石礁湾的西侧,是一个砂砾滩,具有埋设海缆的条件。然而此处离军事区太近,经常性的训练及演习使光缆的埋设及维修不便,近海岛屿多、礁石多,光缆难以埋设,因而该点被否定。

(4) 河口登陆点 该点离公路近,处在砂砾滩上,因而近岸礁石多。从该点至烟台路由拐点多、距离长、耗资大,既不安全也不经济,陆上地形复杂,距市局远,因而大家认为该点不适合作登陆点。

(5) 凌水河口登陆点 该点位于凌水河口,是一个砂砾组成的东南向的小海湾。砂的含量较高,有利于光缆的埋设。然而此处人工建筑物较多,有停泊小船的码头以及船坞等,湾内有砂堤发育,水下地形较复杂。因而如把该点作为登陆点对其选择要格外小心、谨慎。

在登陆点踏勘后进行了讨论,大家一致认为把傅家庄作为首选勘察的登陆点,星海公园可作为后备登陆点进行勘察(见图4)。

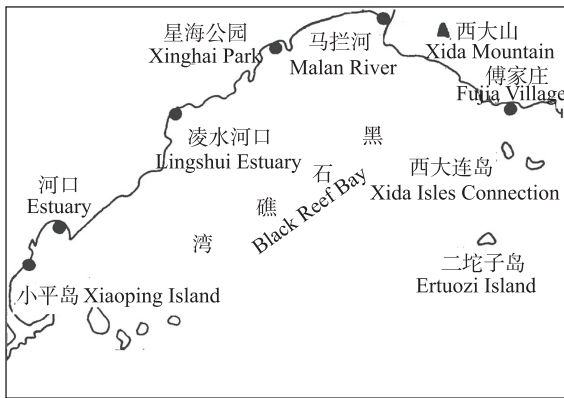


图4 大连黑石礁湾拟定登陆点勘察

Fig. 4 Heishijiao Bay landing point survey in Dalian

3) 海上拟定路由

在确定套子湾和黑石礁湾的登陆点之后,连结两端登陆点的海上路由即已形成(图5)。其中最西侧(0号)线傅家庄至夹河口为首推路由线,3号线傅家庄至芝罘岛西北角路由次之。路由海域水深变化较大,北部水深大于南部。距离大连海岸17 km处海底有强潮流冲刷形成的深潭,水深在50 m以上,最大水深54 m。路由通过的冲刷潭的宽度约13 km。烟

台附近海域地势平坦水深较小,不超过25 m。大连沿岸为侵蚀—堆积平原,外海为海底堆积平原,烟台近海亦为堆积平原,套子湾为堆积岸坡。除大连附近的冲刷槽以外,路由的地貌形态较平坦、单一。路由区的底质类型变化较大。大连附近海域为砂—粉沙—粘土,在路由中段出现细砂及粉砂质砂。近烟台海域底质矿业细成为砂质粉砂。烟台沿岸为粘土质粉砂,路由区底质中砂的含量高,属良好路由区。海上路由的地形、地貌及底质条件较好,有利于海缆的施工。

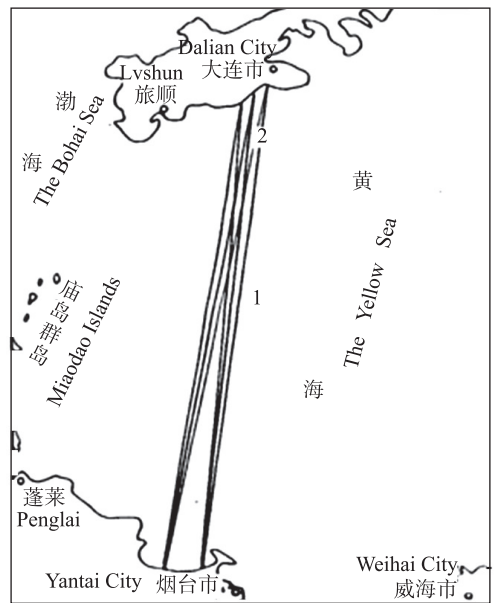


图5 大连—烟台拟定海上路由位置图

Fig. 5 Dalian-Yantai proposed routing location map of the sea

路由区养殖业较发达,烟台套子湾内距岸3~4 km,至湾口外侧的养殖区,宽达数公里之多。大连傅家庄、黑石礁公园浴场及凌水河口登陆点沿海都有海水养殖区。

养殖区内有小船通行的航道,大船难以行驶,要沿路线行驶更困难,养殖区是海缆路由勘察及施工的严重障碍,由于近年来海水养殖业的迅速崛起,在烟台及大连海域很难找到没有养殖的海区。目前在经济发达城市的沿岸海域,海水养殖业对海缆路由勘察及施工造成的障碍几乎不可避免,而且将越来越严重。要解决这一问题只得改变路由方向,避开养殖区域或与有关单位协商,设立一条通道,使海缆路由勘察能顺利进行。

路由区捕捞作业较频繁,路由通过黄海65、54、42号捕捞区。捕捞船只大小不等,以185马力的捕捞船较多。捕捞方式以拖网居多,7~8月份渔船作

业少,该拖网对埋设海缆无伤害。船舶在路由区抛锚避风的,185 马力渔船锚在淤泥底质区,能扎进海底约 1 m 深,这些对本区埋深 1.2 m 的光缆影响不大。本区捕获底栖生物魁蚶等蛤类使用的耙子,其齿长达 30 cm,作业时能捞起表层敷设的海缆,埋深 1.2 m 的光缆不太可能受到伤害。

大连及烟台是两个经济发达、军事地位十分重要的地区。在解放前,英国、日本都曾敷设过海底电报及通信电缆,解放后我国也曾在此敷设过海缆,是海底电缆路由密度较大的海区。解放前敷设的海缆都已被打捞起来或已损坏。我国在 60 年代敷设的海缆大都因年久受损而失去通信能力。

此次在大连—烟台埋设的 36 芯的光缆,可开通线路数 10 万条。这条南北向光缆将与现有 3 条海缆交叉,届时如施工进度迅速加之妥善地处理,不会对交叉海缆的通信造成太大的影响。这条信息高速公路的建成将是我国跨海通信的一个里程碑。

通过上海区路由资料的分析,以及路由与养殖和已敷设海缆关系的分析,认为本路由是一条较理想的供勘察路由。

在对已确定的路由登陆点和海上路由进行勘察后,如发现不适合海缆登陆及埋设,那么将在其附近海域另找适宜的登陆点及海上路由,使路由勘察及选择工作早日完成。如果局部地区有些不足之处,可以通过改变或加固光缆的结构、或者埋设时进行技术处理以达到技术要求。

海缆路由的勘察及选择是一项十分复杂的工作,它受到众多自然条件及人为活动的影响,因而从实际出发,通过科学的勘察,采取实事求是的态度进行比较,并取得有关部门的支持才能获得令人满意的路由。

3.1.3 海洋开发活动状况

随着经济建设的发展和国防建设的需要以及科学技术与人民生活水平的提高,一个大规模的向海洋进军的活动在全国展开,开发利用活动的规模越来越大、越来越深入。港口、锚地、海洋捕、海水养殖、旅游区、倾废区、军事训练区,油气开发等各项建设事业蓬勃发展,海底电缆及光缆的密度不断提高。这些都给新建海缆工程带来不同程度的影响,或给海缆路由调查造成困难,或使施工难以进行,稍有不慎不仅可能造成重大的经济损失,而且工程质量将遭受严重损害。大量统计资料表明,人们的海洋开发利用活动对海缆造成的伤害已超过自然力量对海

缆的伤害,人们对人类海洋开发利用活动造成的海缆伤害已越来越重视。该路由区主要的海洋开发活动项目如下。

3.1.3.1 已敷设海底电缆

解放以来我国的海底电缆通信事业得到了很大发展。大连—烟台海区是我国重要的经济区,又是海防要地,因而敷设在海底的电缆光缆的密度较大,几乎所有的有人居住的海岛都有海底电缆彼此连结或与大陆连结。此外,各军事要地之间的通信也借助于海缆沟通,新建海缆与已敷设的海缆之间的交叉已不可避免并可能出现多次交叉的现象。大连—烟台海底光缆埋设路由经勘测及比选已经确定。在勘察中发现本路由从北至南共有三次与已敷设的海缆交叉。从图 6 可见,首先与最北部的旅顺至大连湾大孤山的海底电缆交叉,交叉的位置约在旅顺至大连湾大孤山。本路由向南与旅顺至獐子岛海底电缆再次交叉,在靠近烟台处与烟台套子湾口外的蓬莱—烟台—石岛的海底电缆又一次交叉。与本路由交叉的三条海缆均为海军管辖,为了能使本路由的光缆埋设工作得到海军的支持并能顺利完成埋设任务,必须事先解决好光缆埋设时与三条海缆的交叉问题,使埋设光缆及时而顺利通过这三条光缆。

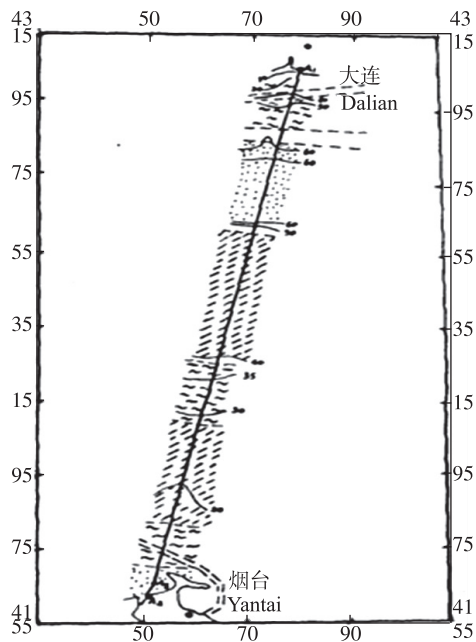


图 6 大连—烟台海底光缆埋设路由与已敷设海缆交叉形势图

Fig. 6 Dalian—Yantai submarine cable laying route with the laying of submarine cables cross situation map

3.1.3.2 海水养殖

路由海域的海水养殖业十分发达,大连和烟台

均为我国重要的养殖区,已具有几十年的养殖历史,养殖的主要种类有海带、裙带、扇贝、贻贝等。

1) 傅家庄及星海公园养殖区 傅家庄及星海公园均为大连沿海养殖区。从70年代末大连水产局编绘的养殖区位置图可见,傅家庄在海水浴场以南就有养殖区,范围较小。在西大连岛周围的西侧、南侧、北侧均有养殖区及定置网分布。傅家庄近海养殖区分布不连续,大部分海域未进行养殖。在养殖区内有可供小船行驶的通道,宽度约50 m。养殖筏固定方法有二种,即打桩及放置重砣。星海公园近海养殖范围大,连成一片,面积是傅家庄的50~100倍,除浴场外,几乎都为养殖区,分属河西养殖场、凌水子养殖场及黑石礁养殖场管辖。傅家庄及星海公园养殖区均为筏式养殖,以裙带菜为主,海带次之。此次路由勘察所见养殖区与70年代末相比变化不太大。

2) 套子湾养殖区 套子湾为烟台市最大的养殖区,路由将从养殖区内通过,在距岸3~4 km以内的海域养殖区分布稀疏,往外海至湾口养殖区分布范围增大,密度增高。本区均为筏式养殖,主要养殖各类扇贝、贻贝。养殖筏固定形式均以打桩为主。

在黑石礁湾及套子湾以外的海域因水深在20 m以上,加上风浪较大,因而进行养殖困难较大。目前在那里没有养殖区分布。

3.1.3.3 渔业

渔业资源路由所在的大连—烟台海域属黄海北部渔业区,面积约8.8 km²,以鲆鲽鱼类、上层鱼类、乌贼等为主。本区还是渤海的产卵群体和新生幼体进黄海越冬和肥育的路过渔场,也是黄海北部种群的产卵、索饵渔场和越冬渔场的一部分。历年捕捞产量波动在 $5\times 10^4\sim 10\times 10^4$ t左右。沿岸海域是海参、鲍鱼、扇贝海珍品增殖区。

3.1.3.4 锚害

船只抛锚砸伤、拉断海缆或将海缆勾起后人为损伤称为锚害。锚害是损害海缆的最常见的原因,在所有的海缆损伤事故中占第一位。多年的统计资料表明,70%左右的海缆损伤是由锚害造成的,因而对锚害要有足够的重视。大连—烟台海运业十分发达,航道达10余条之多。海运业的发展使船舶增多并日趋大型化,因而本区海缆的锚害也时有发生。大型船只抛锚易将表层敷设的海缆砸伤或拉断,这类事故在大连和烟台近海都不止一次的发生。近几年在烟台近海每年都有此类事故发生。有时大型船

只的锚能将埋设在底质松软,深度在1 m以下的海缆砸伤或拉断。在底质较硬的海区,锚难以扎进海底,但大风时锚在海底移动,走锚易将海缆拉断。

3.1.3.5 旅游

1) 黑石礁旅游区 路由的北端登陆点傅家庄就是大连重要的海滨旅游区,是大连最大的海水浴场,每年的旅游者达百万人次以上。每到夏季游人如织,在浴场外缘建有拦鲨网,这些都给路由的勘察及施工带来极大的困难。海上旅游的项目不断增多,如开展摩托艇在海上游览等,也有碍路由勘察及海缆埋设工作。

2) 套子湾旅游区 路由南端登陆点套子湾的旅游业正在兴起,夏季有不少人在此旅游、垂钓,并已获烟台市政府批准,不久将在登陆点边缘开展填海造地工程。该工程东起烟台市城市污水排海工程西沙旺污水处理厂预留地,西至夹河口东岸1200 m,沿海岸线向内延伸700 m,规划的围海造地总面积为2.1 km²,建设商贸、游乐区。这里将成为旅游基地和市民游乐场所,因而对本路由登陆点的选择要特别谨慎。

3.1.4 路由评价与选择

在进行了拟定登陆点和海上路由调查之后,通过对已获得的勘察资料及数据的分析、对比,对它们作为海缆路由所存在的有利与不利条件,显示的优势及不足进行全面评价。在此基础上选择出较为满意的埋设路由,使该海缆工程具有可靠性、先进性,并具有节约经费的特点。

3.1.4.1 路由评价原则

对路由应进行多侧面、立体、综合的评价。这是保证并提高路由质量的重要环节,不可或缺。针对本区的特点应具备如下的评价内容。

1) 自然环境。海岸稳定性及地震活动状况,地形、地貌及底质的特点,气象与波浪、潮汐、海流、水温、海冰等水文条件,海底硫化物与生物状况。

2) 海洋开发活动。海水养殖、捕捞、锚泊、航运、沉船、军事训练区、已敷设的海底电缆状况。

3) 坚持科学的评价方法。在对路由进行评价时不可忽视的是除指出有利条件外,还应指出路由存在的不足,因为每一条路由都不会完美无缺,本路由也是如此。路由存在的不利条件及缺陷是今后海缆施工及使用的隐患,因而在路由评价中必须坚持有利条件要讲清楚,不利条件更应讲明白的原则,这有利于光缆埋设时采取有效的措施,以减轻或避免

不利条件对光缆的危害。

3.1.4.2 路由选择

对此次路由勘察全部资料进行了整理分析以及对获得资料的进行反复对比,在此基础上作出了路由综合评价,最后选择出本次勘察最理想的光缆埋设路由。

确定的路由走向及距离如下:

$$A_1 \text{ (大连傅家庄登陆点)}: \frac{\text{SSW}197^\circ}{3.46 \text{ km}}, A_2:$$

$$\frac{\text{SSW}229^\circ}{1.66 \text{ km}}, A_3: \frac{\text{SSW}203^\circ}{4.92 \text{ km}}, A_4: \frac{\text{SSW}190^\circ}{132.66 \text{ km}}, A_5:$$

$$\frac{\text{SSW}196^\circ}{2.96 \text{ km}}, A_6 \text{ (烟台套子湾登陆点)}, \text{其中 } A_2, A_3,$$

A_4, A_5 为路由拐点,大连傅家庄登陆点—烟台套子湾登陆点路由总长度 145.66 km。

通过渤海海峡及其邻近海区的海底光缆和海底隧道,都是沟通东北及华东的海上桥梁,它们都对发展我国的国民经济与海洋事业起着巨大的促进作用,是一对现代科学技术发展的灿烂结晶,其建设也有着许多的相似之处。可以说海底光缆是海底隧道的前奏曲,因为无论是英法还是日本的海底隧道,海底隧道在建成前都先有了海底光缆。

通过以上介绍的 1995 年大连—烟台海底光缆路由勘察的过程,可见该光缆路由建设对即将开展的海底隧道建设有着许多可供借鉴的经验,如路由勘察的流程及其所需的海洋环境及海洋开发活动,路由的选择及评价的内容等都是隧道建设必不可少的内容,在隧道建设中可参考大连—烟台路由勘察的做法。

3.2 渤海海峡诸岛之间路由

渤海海峡诸岛指的是从蓬莱至旅顺之间的南长山岛—砣矶岛—大钦岛—小钦岛—南隍城岛—北隍城岛^[4]。该光缆最终于 2008 年建成,其各段路由长度:蓬莱—南长山岛 10.6 km、南长山岛—砣矶岛—大钦岛 40.7 km、大钦岛—小钦岛 2.9 km、大钦岛—南隍城 7.0 km、南隍城—北隍城 1.7 km、北隍城—老铁山约 41 km,总长约 103 km。它们之间的路由状况对建设渤海海峡的海底隧道具有十分重要的意义。该光缆与大连至青岛的光缆不同之处在于具有离岛近,便于建设以及向隧道输送空气、物资等配套工程,该光缆系统具有紧急情况下便于人员和货物等疏散的特点。

3.2.1 自然环境

已经完成路由勘察的有人居住的渤海海峡诸岛从南至北略呈西南—东北向排列,包括蓬莱—南长山岛—砣矶岛—大钦岛—小钦岛—南隍城岛—北隍城岛—老铁山(图 7)。这些岛屿是在全新世气候变暖海平面上升时,海水入侵将这一带陆上丘陵地包围变成了岛屿。该路由的勘察包括海洋环境和海洋开发活动的调查方法、内容及其比选的原则与上述的大连—烟台路由是一致的,因而不再详细介绍,只是介绍该路由的主要特征。

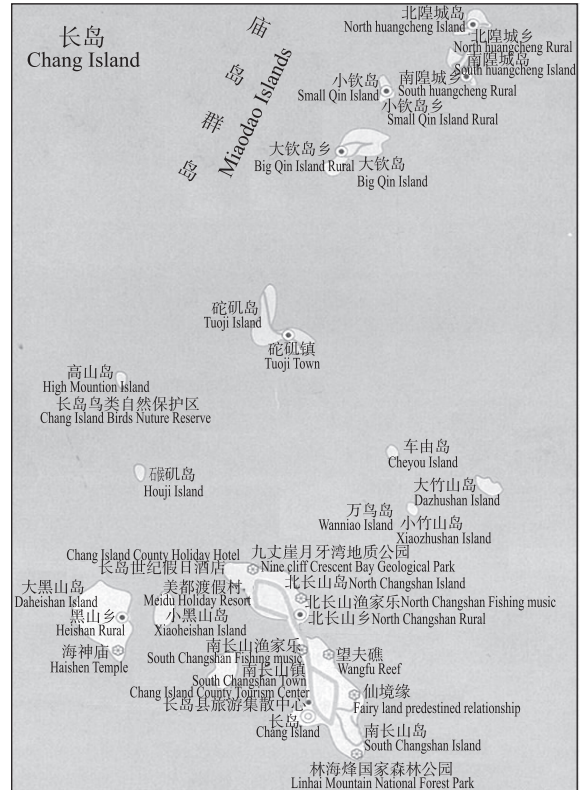


图 7 渤海海峡诸岛形式图

Fig. 7 Bohai Strait Islands form map

3.2.1.1 地形地貌底质

本区岛屿地层属古老的元古界变质岩,主要由古老的石英岩,板岩,片麻岩组成。地形崎岖,少有平地。本区东西向及新华夏系构造带发育,西南部有郯庐深大断裂通过,发生地震时对本区影响较大。基岩组成的岛屿岬湾相间,岸线曲折,海蚀陡岩、平台,砾石滩等海蚀地貌发育。岸滩较狭窄,宽度多在 100 m 左右,以沙砾沉积为主。本区处在庙岛群岛海域,岛屿众多,群岛之间除水道外,大部分海域海底较平缓。在路由区内海底地貌类型单一,影响海缆工程的主要地貌类型为出露的砾石及基岩。

海域海底坡降大,水深变化快,在水道处坡降最大达 20% 以上。海底底质较粗,多为砂、沙砾,局部

出现基岩。如南长山岛近岸段基岩及砾石和砗磲至大钦岛的水道处及其附近海域就有较大范围的基岩

出露(图8,9)。图中黑色区为基岩分布区。

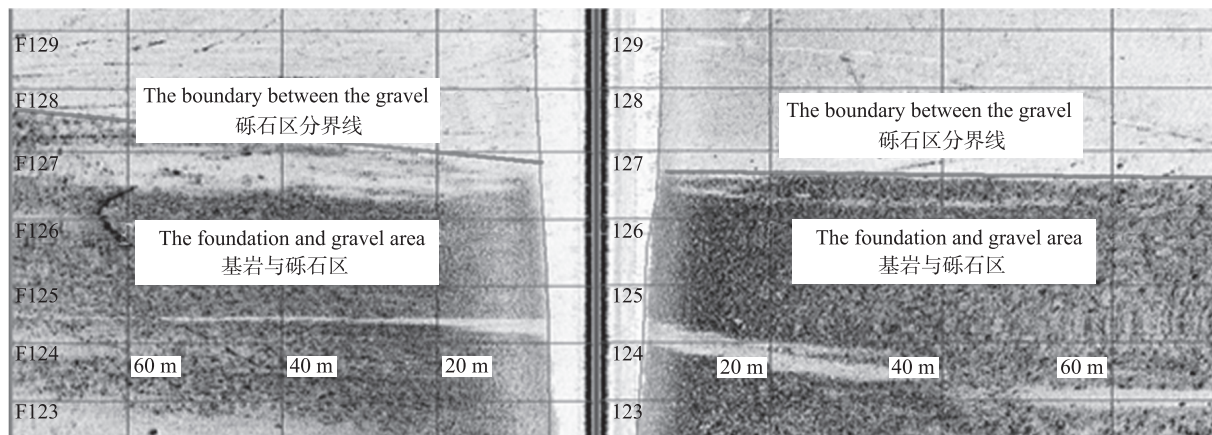


图8 南长山岛近岸段基岩、砾石区界线的声纳映像

Fig. 8 Sonar image Nanchangshan Island coastal zone boundaries, Duan Jiyan gravel

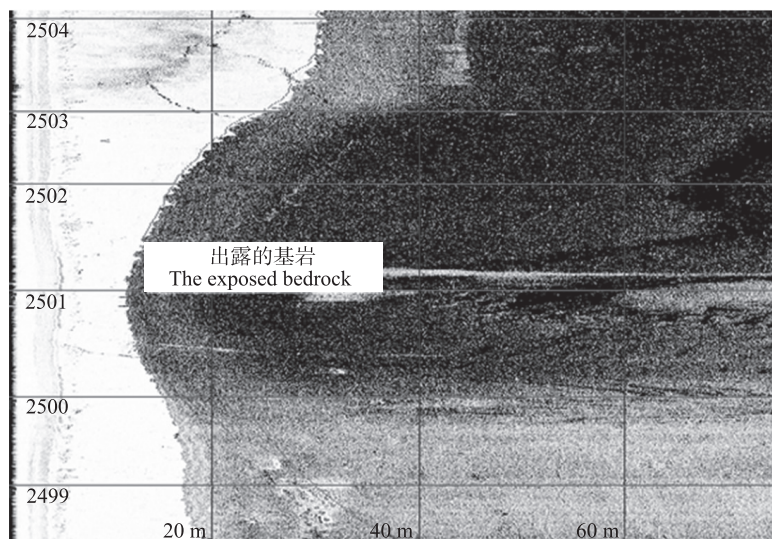


图9 大钦岛附近大片出露基岩的声纳映像

Fig. 9 Daqin Island near the large outcropping bedrock sonar image

3.2.1.2 浅地层结构

该路由浅地层探测分析结果表明,路由区浅地层探测深度为20~45 m以浅。一般自上而下可分为砂层、砂质粘土层、粉砂质粘土层及砂层。各地沉积物的物质组成会有变化,但较为类似。现以南长山岛至蓬莱段和南长山岛至砗磲岛路由为例简述海峡岛屿之间的浅地层状况特征。蓬莱至南长山岛路由段的45 m以浅地层有4个比较明显的声学反射界面,自上而下分别定名为 S_1 , S_2 , S_3 和 S_4 ,它们和海底面(S_0)将地层划分为5组各具特征的反射层。由上而下将反射层所反映的物质成分分别确定为砂质粘土、砂、粉砂质粘土,砂质粘土、砂,粉砂质粘土和粘土质砂、砂质粘土、砂,基岩,详情可参见附图10本段路由,海底沉积物组成比较复杂。

1) 砂质粘土、砂层 分布在路由海底(S_0)和 S_1 声阻抗反射界面之间的表层沉积,该层在本段路由区内由北向南物质组成逐渐变粗,层厚1.6~4.2 m,一般在2.5 m左右。

2) 粉砂质粘土、砂质粘土和砂层 路由区 S_1 声阻抗反射界面和 S_2 声阻抗反射界面之间的地层,层厚0~16.4 m。

3) 粉砂质粘土和粘土质砂、砂质粘土层 该层为 S_2 声阻抗反射界面和 S_3 声阻抗反射界面之间的地层。层厚0~19 m,一般17~18 m。

4) 砂层 为 S_3 声阻抗反射界面和 S_4 声阻抗反射界面之间的地层。层厚0~17.9 m,一般8~13 m。

5) 基岩 分布在 S_4 声阻抗反射界面即基岩面之下的地层,声波难以穿透基岩。

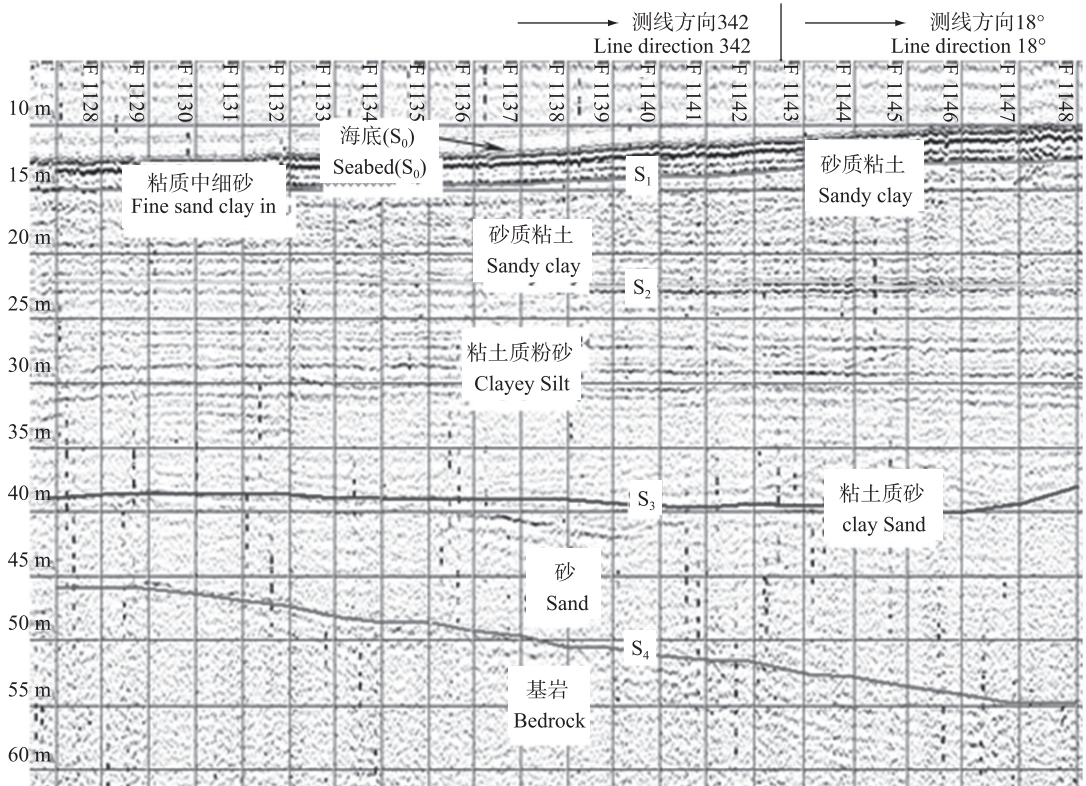


图10 蓬莱—南长山岛(中心路线)典型浅地层声学记录

Fig. 10 Penglai-South Changshan Island (center line route) typical of shallow acoustic records

南长山岛—砣矶岛路由段路由区 20 m 以浅的地层勘察发现 3 个比较明显的声学反射界面,自上而下分别定名为 S_1 , S_2 和 S_3 ,加上海底面(S_0)将上部地层划分出了 4 套地层,由上而下物质成份分别为粘土、粘土质粉砂、粘土与砂土和基岩。

(1) 粘土层 粘土层是形成在路由海底和 S_1 声阻抗反射界面之间的表层沉积层。该层在本段路由区分布连续,层厚 0~3.7 m,一般在 3.0 m 左右。

(2) 粘土质粉砂 该层为 S_1 声阻抗反射界面和 S_2 声阻抗反射界面之间的地层,层厚 4.1~11.0 m。该层在本段路由区内连续性好。

(3) 粘土、砂土层 在路由区 S_2 声阻抗反射界面和 S_3 声阻抗反射界面之间形成了的粘土、砂土层。该层厚度起伏较大,随下伏基岩的起伏变化而变化。在路由区两端登陆点附近范围内厚度变化在 4.0~14.0 m 之间。

(4) 基岩 该层由较坚硬的岩石组成,层面不平整,起伏较大,表层呈锯齿状,特别是在登陆段,直接出露海底,并与岛上基岩相连。

3.2.2 海洋开发活动

海洋开发活动对海底光缆的敷设及安全营运有着重要的影响。它们造成的光缆损坏事故越来越频

繁,越来越严重,因而要特别重视海洋开发活动对选择光缆路由的影响,必须对路由区内的海洋开发活动及其影响进行全面、深入地分析和评价。

该路由区岛美水清、风光旖旎,已成为重点开发的长岛旅游区,群岛周围海域是捕捞养殖区及海珍品自然保护区。因为海岛之间和海岛与陆地之间的通信不可或缺,因此该区海缆众多,对海缆的保护必须十分重视。渤海海峡是首都北京的门户,具有重要的国防和军事价值,对所有的军事实施要严加保护。渤海海峡诸岛在历史上就是养殖、旅游、海缆通信和军事实施并存的地区,随着岛屿经济的发展,这里将会有更多新的产业出现,不久的将来它们将与海底隧道结缘并相互影响。

4 海缆与隧道建设的相关性

海缆建设从电报电缆到电话电缆,从同轴电缆到光缆已有 160 多年的历史,海缆技术取得巨大的进步,为世界进入信息化社会做出了巨大贡献。海缆建设的技术已日趋完善。近年来发展起来的海底隧道与海缆建设同属敷设在海底的线性工程,它们都将海底作为载体。虽然海底隧道建设的难度比海

缆要难很多,但是在建设中它们具有很多共同点及相似性。它们都与海洋有着密切的联系,都是海洋的附属物,都离不开海洋环境的影响和制约。海底隧道建设与海缆建设一样必须要了解海洋的自然环境和人类的海洋开发活动,因此在渤海海峡及其邻近的黄海海域敷设海缆的所有海洋环境资料都可提供给海底隧道建设时参考。海缆建设是海底隧道建设的前奏,这句话是有其深刻的含义的,当前建设的英法和日本海底隧道的历史也充分证明了这一点。

我国的海缆建设已经历了60多年的历史,从一无所有的一张白纸,经过一代又一代人的努力,目前已达到世界先进水平,其中有许多经验和教训可供海底隧道建设时吸取。对海缆建设的路由比选,路由的位置及工程图的表达等都与世界先进水平同步,应在海底隧道建设时酌情引用。

海缆与隧道建设的目的都是为人民造福,大连—烟台海底隧道建设,将解决大连及烟台之间海底直接往返问题,促进两地人员及货物的交流。然而在渤海海峡及其邻近海域,包括山东及辽宁的岛屿有几十座,人口近十万,他们去大连,烟台仍然要

先坐船去那里,然后经隧道到达,返回海岛时还得从大连或烟台坐船回海岛。它们从海底隧道得到的实惠较少。希望在长岛县居中的大钦岛建一出入口,使所有岛上居民能方便进出。让他们从大连—烟台海底隧道工程中获得一点红利。

参考文献

- [1] 徐家声. 海缆路由的调查与路由选择. 海缆技术交流专辑, 1992 (2). Xu J S. The submarine cable route survey and route selection. Submarine Cable Technol. Exchange, 1992 (2)
- [2] 刘瑞玉, 陈吉士. 山东省海岸带和海涂资源综合调查报告集. 北京: 中国科学技术出版社, 1992, 1-416. Liu R Y, Chen J S. The Shandong Province coastal zone and coastal resources comprehensive survey report. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1992, 1-416
- [3] 孙湘平. 中国沿岸海洋水文气象概况. 北京: 地震出版社, 1981, 1-110. Sun X P. General situation, coastal marine meteorological and hydrological Chinese. Beijing: Earthquake Press, 1981, 1-110
- [4] 赵奎环. 长山岛自然环境与资源. 北京: 海洋出版社, 1989, 1-50. Zhao K H. Changshan Island natural resources and environment. Beijing: China Ocean Press, 1989, 1-50

THE YELLOW SEA AND BOHAI STRAIT SUBMARINE CABLE CONSTRUCTION AND SUBMARINE TUNNEL

Xu Jiasheng Liu Zili

(The First Institute of Oceanography, Soa, Qingdao, Shandong 266000, China)

Abstract The submarine cable is located in the north of the Yellow Sea, Dalian-Yantai submarine cable and the Bohai Strait between the islands as an example, introduces the marine environment and marine development activities of. Visible from their role and influence of submarine cable. And focuses on the selection and confirmation of submarine cable route and its significance. Finally, between the cable and the similarity and correlation of subsea tunnel construction practice, from the submarine fiber cable construction of long-term work, the work flow and the formation of mature method of science from the submarine cable construction of the long-term development, draw some experiences and lessons, to provide some reference and help for the future construction of submarine.

Key words Submarine cable; Submarine tunnel; Route survey; Marine environment; Development activities