



加拿大某矿石出运港口 平面布置方案设计要点

李惠娟

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 以加拿大北极地区某铁矿石出运港口工程为例, 针对其水上交通及运量受到海域冰冻限制的特点, 根据自然条件和场地现状, 通过前期模拟分析, 提出不同季节的设计船型组合, 因地制宜确定矿石码头、堆场、临时施工码头、货运码头以及油库区的平面设计方案, 并通过修建道路、引堤及连接堤将各功能区有序顺畅衔接。此外, 针对本工程工艺设备成品通过模块车运输上岸的特点, 通过分析不同设备模块的规格及走向, 对模块车的运输路径进行合理规划。

关键词: 冰级; 散货船; 矿石码头; 油库区; 自行式模块运输车

中图分类号: U652.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)09-0050-06

Key design points for general layout scheme of an ore loading port in Canada

LI Huijuan

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Taking an iron ore loading port engineering in the Arctic area of Canada as an example, aiming at the characteristics of the waterborne transport and freight volume limited by the ice condition of the sea area, this paper carries out the preliminary simulation analysis to propose the design vessel combination for different seasons based on the natural conditions and in-situ status, determines the general layout plan for functional zones including ore dock, stockyard, temporary construction dock, freight dock, and oil tank farm suited to local conditions, and orderly connects the functional zones by roads, embankments, and causeways. Besides, the paper analyzes the specifications and direction of different equipment modules based on the characteristics of the finished products of the process equipment in this project transported ashore by self-propelled modular transporters and reasonably plans the transport routes of self-propelled modular transporters as well.

Keywords: ice class; bulk carrier; ore dock; oil tank farm; self-propelled modular transporter

1 工程概况

本工程位于加拿大北部 B 岛西北侧 S 湾, 为某铁矿区四期扩建项目的出运港口工程, 简称 S 港。后方矿区开采并经过一级筛分后的粗矿和精矿通过铁路运至本港区, 经再次破碎和筛分后装船出运至中国。本港区的设计铁矿石年处理及吞吐量为 1 800 万 t, 同时在工艺设计

上考虑预留未来每年 3 600 万 t 的装卸能力。工程的设计内容包括 1 座矿石出运码头及其后方作业区和堆场、2 道连接堤、1 座临时施工码头、1 座货运码头(运营期改建为件杂货码头)、1 个油库区以及连接各区域的港区道路, 港区的主体平面布置及位置见图 1。

收稿日期: 2022-12-06

作者简介: 李惠娟(1979—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口工程、岩土工程设计。

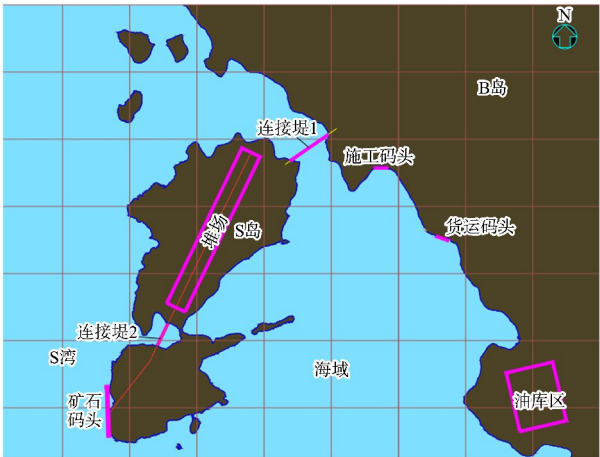


图 1 S 港平面布置及位置

2 自然条件

本工程位于北极地区，属降雨量很少的半干旱气候，气温通常在 $-50 \sim 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，年平均气温约 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。本工程陆域位于 B 岛及 S 岛，地形起伏较大，高程为 $0 \sim 60\text{ m}$ ，前沿海域水下地势陡峭，

水深线为 $-65 \sim 0\text{ m}$ 。所在海域的冰通常为当年冰龄，冬季海域冰层厚度在 2 m 左右。设计高水位取平均高高潮位 4.78 m ，设计低水位取平均低低潮位 0.00 m 。50 a 一遇有效波高为 2.54 m ，波浪周期为 5.38 s 。流速为 1.5 m/s 。

3 平面方案设计要点

3.1 设计船型

3.1.1 主要作业船型及尺度

结合工程所在海域的气候特点，夏季无冰期可用普通散货船直接装运出海至目的地；春秋季和冬季适用的船舶为冰级或极地散货船，在破冰船的辅助下，将矿石运至位于 B 岛东南部的 G 岛，完成水-陆-水中转后，重新装船至普通散货船，运至中国，实现全年不停航。矿石出运码头设计船型组合见表 1。

表 1 设计船型组合

通航时段	时间/d	船舶类型	目的地
春季融冰期:8月10日—8月19日	10	1C 级冰级散货船	中转港
夏季开放水域:8月20日—9月19日	31	纽卡斯尔型散货船	中国
秋季结冰期:9月20日—10月19日	30	1C 级冰级散货船及 PC3 级破冰船	中转港
冬季:10月20日—次年8月9日	294	PC4 级极地散货船及 PC3 级破冰船	中转港

注：1C 为在轻度冰级状态下航行的冰级散货船等级^[1]，PC3 及 PC4 为极地散货船的等级^[2]。

本工程矿石出运船型全部采用有效载质量为 22 万 t 的散货船，设计船型尺度根据 *Port Designer's Handbook* ^[3] 中提供的置信限为 75% 的 20 万吨级散货船(最大有效载质量达 25 万 t) 尺度确定。此外，主要船型还包括油轮、多功能件杂货船、驳船及破冰船，其中油轮停泊在靠近油库区附近海岸的近海区域，利用浮式软管卸载燃油至岸上，再通过输油管线输送至油库区储存或转运。多功能件杂货船或驳船用于施工期运输设备成品模块，通过转运驳船停泊在货运码头卸载上岸。破冰船用于港口破冰及辅助靠泊。本工程主要船型的设计尺度见表 2。

表 2 船型设计尺度

船型	总长/m	型宽/m	载质量/万 t	吃水/m
矿石散货船	311	50.0	22.00	18.6
油轮	180	27.4	3.75	11.2
破冰船	66	18.0	0.10	6.5

3.1.2 拖轮

根据 *Tug Use in Port* ^[4] (图 2)，载质量为 22 万 t 的散货船平均配置 4 艘拖轮，总系柱拖力为 $1\,800\text{ kN}$ 。考虑到破冰船功率大于拖轮，在夏季可以代替拖轮进行辅助靠泊作业。因此建议配置 2 艘 $3\,500\text{ 马力}$ (约 $2\,575\text{ kW}$) 的拖轮加 2 艘 PC3 级的破冰船。在冬季及春秋季，破冰船用于领航和破冰，并在全年连同 2 艘拖轮用于辅助靠泊。

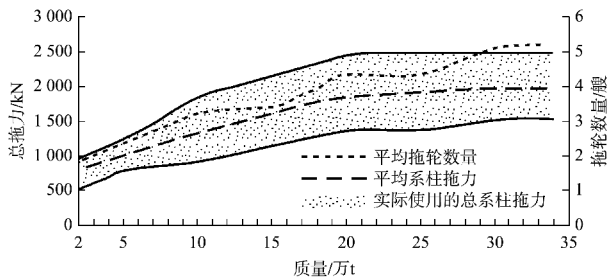


图 2 全世界各港口散货船的总系柱拖力和拖轮数量

3.2 平面方案

3.2.1 矿石码头

开采的矿石在矿区进行一级破碎后,通过陆上皮带机运送至铁路装车站,由 B 岛后方约 150 km 长的铁路线向南运送至港口后方铁路区,翻车机卸货后经皮带机运至 S 岛堆场区,进行二次破碎及筛分后,将矿石产品按粒径大小分为粗矿(6.3~31.5 mm)和精矿(小于 6.3 mm)堆存及出运。堆场堆取料系统包括 1 台堆取料机、1 台堆料机以及皮带机设备,堆取料机与前方码头装船机之间设置 1 座筒仓,以保证持续的作业和装船效率。堆场至码头前沿的工艺流程见图 3。

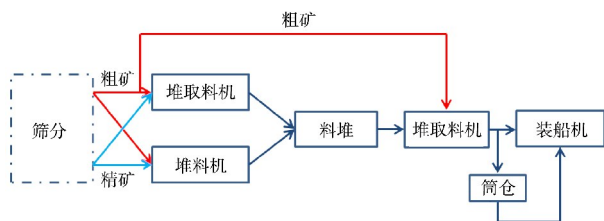


图3 码头矿石出运工艺流程

根据港区规划,可充分利用 S 岛陆地作为码头后方陆域作业区及堆场,因 S 岛北侧水域狭窄且有暗礁,与航行目的地方向相反,而西南侧通往开阔水域,并拥有良好的水深条件,可形成天然的回旋水域及航道,便于船舶离靠泊及装船作业,因此将矿石码头布置在该处平行于等深线的位置。

考虑到清除码头前沿碎冰的需求以及工程造价,本工程矿石码头采用分离式墩式结构,泊位长度按最大设计船长 311 m 加两侧富余长度各 30 m,取 371 m。码头平台由 4 个沉箱组成,沉箱之间由钢箱梁连接,沉箱的布置须满足装船机的作业需求,装船机轨道长度为 165 m,搁置在沉箱上部平台及钢箱梁上,沉箱沿岸线均匀布置,间距为 54 m。按照泊位长度及系泊需求,码头南侧及北侧的岸边各设 2 个系缆墩,通过钢便桥连接至相邻的沉箱,构成码头的主体结构。矿石码头通过沉箱后方的连接道路连至后方陆域作业区。

根据 *Port Designer's Handbook*,停泊水域宽度应大于设计船型宽度的 1.5 倍,为保证船舶作

业的安全性,停泊水域宽度取 100 m。回旋水域直径按船长的 2 倍设计,取 625 m。

根据 *Port Designer's Handbook*,龙骨下富余深度至少应为船舶吃水深度的 20%,即码头前沿水深至少为船舶最大吃水的 1.2 倍,本工程船舶吃水深度为 18.6 m,因此泊位前沿水深应至少为 22.3 m,计入备淤深度,设计水深取 23.0 m。按设计低水位 0.0 m 计算,前沿水域的设计底高程为 -23.0 m,停泊水域天然水深线为 -54~-10 m,部分需要疏浚,回旋水域天然水深线为 -65~-52 m,无需疏浚。

Port Designer's Handbook 提出码头面高程应比港内观测到的最大波峰值高出 0.5~1.0 m,但未给出波峰的计算建议。根据美国国防部标准 *Design: Piers and Wharves*^[5],为避免上水,码头面高程应为:

$$E = H_{\text{MHHW}} + \frac{2}{3} H_{\text{max}} + \Delta \quad (1)$$

式中: H_{MHHW} 为平均高潮位, m; H_{max} 为最大波高, m; Δ 为富余高度,最小值取 0.9 m。本工程目前仅提供了有效波高的数值,最大波高暂按有效波高取值,代入式(1)进行计算,并在设计取值时考虑富余量。经计算,码头面最低高程应为 7.37 m。

此外,考虑到冰层效应,参考 *The Rock Manual*^[6],顶部富余高度应至少为高水位以上冰层厚度的 2 倍,码头所在海域冰层的平均厚度为 2 m,因此顶部高程应至少为 8.78 m。

根据以上计算结果,结合后方陆域设计高程 12.0 m,本工程矿石码头面层设计高程定为 10.0 m,系缆墩设计高程为 9.0 m。

矿石码头后方陆域位于 S 岛,被泻湖分为两部分,由连接堤 2 相连。其中紧邻码头后方及泻湖南侧的场区布置有装船机及辅助生产建筑物和设施, S 岛北侧场区为狭长形,因地制宜布置为铁矿石堆场,用于处理及堆存后方矿区运来的粗矿和精矿。根据前期进行的模拟分析,冬季受海域结冰的影响,码头运力减小,出运量少于后方矿区产量及铁路运输量,堆场堆存量增加,夏季及春秋季节,码头运力大于矿区产量及铁路运输量,

堆场堆存量可大幅减少,铁矿石堆场需要的最小堆存容量为 470 万 t,用于满足冬夏季的运量差。堆场按需求分为粗矿区、精矿区及混合堆矿区,容量分别为 240 万、140 万及 90 万 t。矿石码头及其后方堆场的平面布置见图 4。

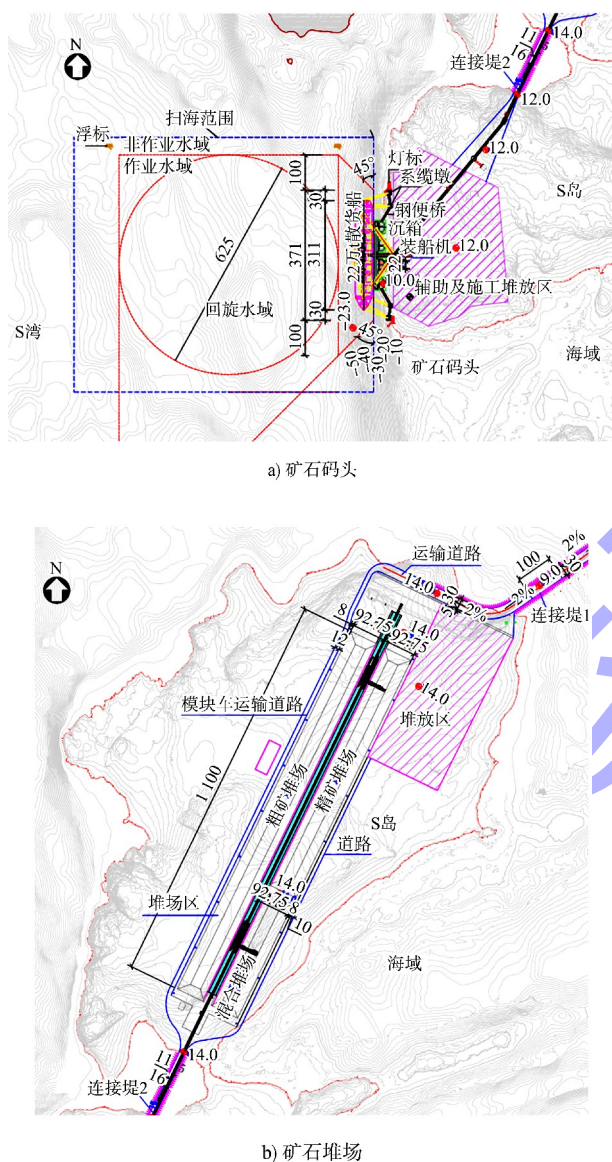


图 4 矿石码头及堆场区平面布置 (单位: m)

3.2.2 临时施工码头及货运码头

在施工初期,尚未获得加拿大渔业海洋部的海域占用许可时,需要在陆上建设 1 个临时施工码头,用于施工人员、机具及水上疏浚料、清渣料等上岸和陆地石料上船。本工程临时施工码头设置在湾内风浪较小,水深较浅且靠近港区中位置的 B 岛岸边,采用锚系在海域的转运驳船进

行作业,驳船选用船头带升降板的船舶,可作为登陆船使用。驳船的船长应大于 80 m,以保证靠泊船舶有足够的吃水深度。驳船上设置履带吊进行重件吊运,在此处获得用海许可前,固定设施不得占用水域。驳船通过岸上引堤连接至陆域,堤端宽度满足 2 条驳船同时作业,纵深满足 20~25 t 自卸车掉头。

货运码头也可称作模块码头,设置在水、陆域地形较为平缓的 B 岛岸侧,施工期可通过系泊在此的转运驳船卸载工艺设备,运营期可用于拖轮和破冰船的靠泊与加油,后期若有货船的停泊需求,可通过加高和加宽以及前沿疏浚等措施改造为件杂货码头。货运码头由 1 道引堤连至 B 岛陆域,再经由 B 岛港区道路通往 S 岛堆场区和矿石码头以及 B 岛后方铁路区。码头及引堤面铺设输油管线自陆上引自后方油库区,为防止积冰和冰冻影响,靠近水域的管线进行埋地布置。

3.2.3 油库区

考虑到极地的气温,工程及后方铁路区适用的油品种类为凝固点较低的北极柴油和 Jet-A1 航空燃油,可基本保证在无需伴热的情况下全年装卸油作业。由于缺少陆上交通,以上油类须由油轮海运上岸。结合工程的总体规划布局,为减少对码头作业的干扰,便于港口进出及与后方的交通,在 B 岛西部地势较高的岸侧设置 1 个封闭的油库区,用于油品存储和配送。油轮在近岸的海上系泊后,通过浮式软管系统将油品输送至岸边管架房,再经由陆上管线运至上方的油库区,考虑到整体土方平衡,经过场地平整后,油库区设置在 33.5 m 高程处。北极柴油将通过输油管线沿陆侧运至货运码头,供给拖轮与破冰船加油。由于矿石出运船舶运期安排紧张,不考虑矿石散货船在港区加油,矿石散货船可在中转港加油后,至矿石码头作业。航空燃油由泵送或卡车运送至后方铁路库区。

3.2.4 自行式模块运输车路径及进场流程

大型装卸船设备及工艺设备须由位于工程北侧距矿区约 100 km 的已建二期码头经海运运至本工程上岸安装,自行式模块运输车 (SPMT,简称模

块车)经引堤及港区道路和连接堤运至所需位置。考虑到设备的运输需要,根据设备模块车的尺度确定引堤、道路、连接堤等的宽度和转弯半径,合理安排模块车的上岸路径及进场顺序。

设备清单及模块车规格见表3,表中的宽度代表需要占用道路的最大宽度,即设备的外轮廓宽度或模块车车轮外侧间距,模块车长度代表模块车车轮需占用的道路长度,见图5。

根据表3,B岛、连接堤1及S岛北侧的道路宽度设定为30 m,最大纵坡2%,用于设备1~8的运输。S岛上的模块运输道路位于其堆场区西侧,宽度为12 m,综合考虑皮带机的布置与道路通行,堆场区南侧连接堤2的宽度为16 m,最大纵坡1%,用于设备9~11的运输。道路的转弯半径均需要确保通过该处的最大长度的模块车通行。

表3 主要工艺设备及模块车规格

序号	设备名称	占用道路宽度/m	模块车长度/m
1	铁路翻车机	21.03	25.2
2	拨车机房	22.97	25.2
3	定位装置	3.50	14.0
4	破碎楼	21.80	22.4
5	筛分楼	22.10	33.6
6	驱动室	11.50	39.2
7	斗轮堆取料机	20.55	33.6
8	翻斗车	16.80	50.4
9	装船机	9.17	36.4
10	码头侧行走装置	2.43	16.8
11	陆侧枢轴	9.76	16.8

注:设备1~3运至后方铁路区,不经过连接堤1;设备4~8通过连接堤1至S岛,但不通过连接堤2;设备9~11需要通过连接堤1和2到达矿石码头。

结合施工进度,设备模块车的进场流程安排见图6。

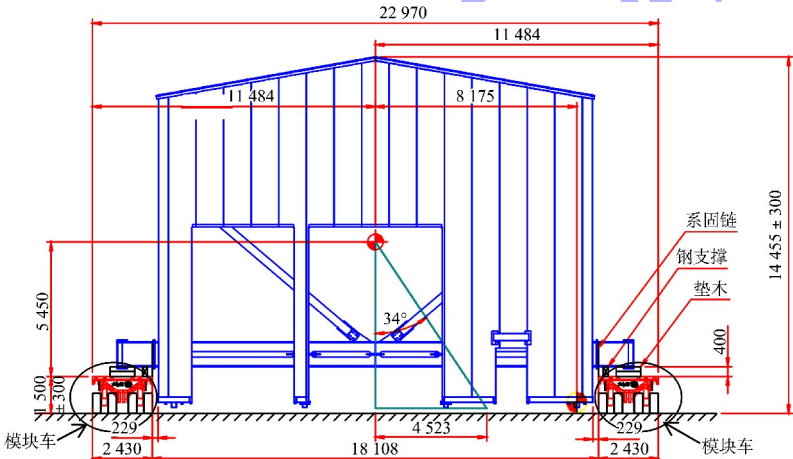


图5 拨车机房模块车运输立面(单位: mm)

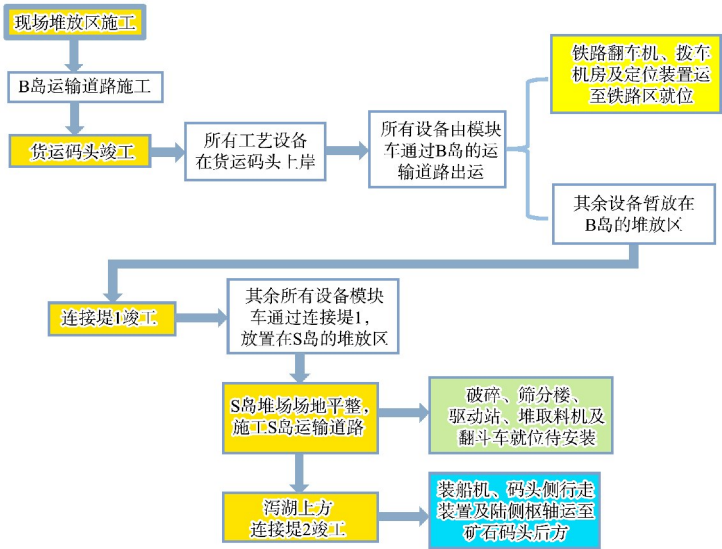


图6 设备模块车进场流程

3.2.5 平面布置

S 港的整体平面布置见图 7。

根据工程的功能需求, 结合平面设计要点,

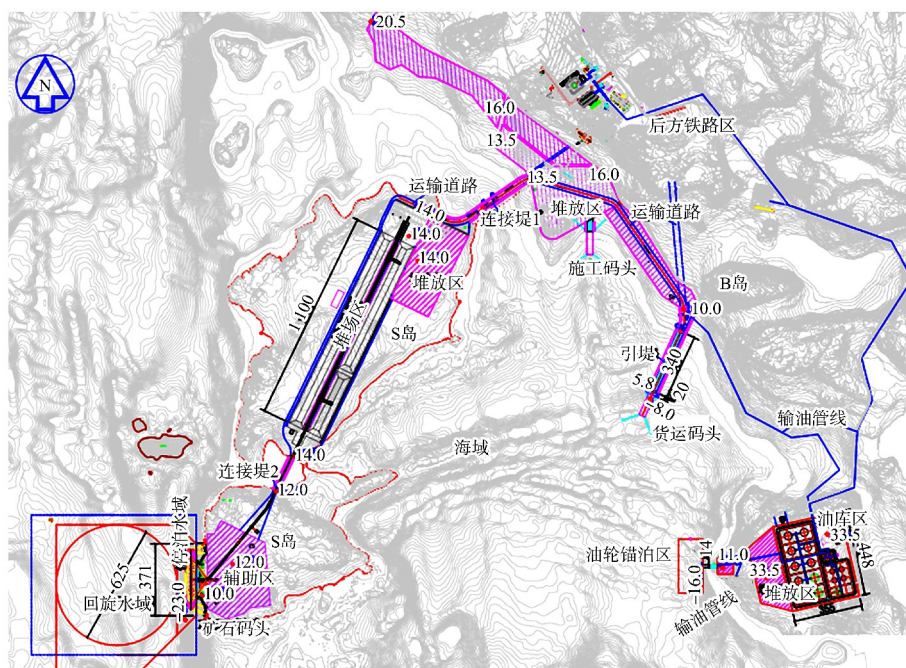


图 7 S 港平面布置 (单位: m)

4 结论

1) 根据工程所在海域的冰期特点, 提出春季采用 1C 级冰级散货船、夏季采用普通散货船、秋季采用 PC3 及破冰船辅助 1C 级冰级散货船、冬季采用 PC3 级破冰船辅助 PC4 级极地散货船的船型组合, 并配置 2 艘拖轮结合 2 艘破冰船进行辅助靠泊。

2) 工程建设须结合自然条件和各区域的功能,合理利用陆域及水域现状,并考虑与后方铁路及矿区的衔接,进行平面布局以及方案设计。矿石码头布置在水深条件良好的开阔水域,其堆场区因地制宜布置在 S 岛的狭长地带;施工码头及货运码头布置在地势较缓、风浪较小的湾内中部位置,通过中转驳船上岸,便于后期改造;油库区结合油轮输油上岸及管线走向,布置在地势较高、对码头作业干扰较小、交通便利的 B 岛南侧;B 岛西岸侧空地平整后作为现场堆放区,可用于施工期设备、管线等的临时堆放;各区域之间通过道路及引堤、连接堤相互连通。通过以上平面布置,充分利用了 S 湾的水域、S 岛的陆域及 B 岛岸侧的空间,实现港口各功能区的合理布局及联动。

3) 由于本工程多数设备均须由港外运输成品进场, 根据模块车的尺度, 结合施工进度, 确定引堤、道路、连接堤等的宽度和转弯半径, 合理安排设备模块车上岸路径及进场流程。

参考文献:

- [1] 王燕舞, 张达勋. 冰级定义的有关分析及建议[J]. 上海造船, 2010(4): 54-58.
- [2] Finnish Maritime Administration. Finnish-Swedish ice class rules: Bulletin No. 13[S]. Helsinki: Finnish Swedish Maritime Administration, 2002.
- [3] THORESEN C A. Port designer's handbook[M]. 3rd ed. London: Thomas Telford Ltd., 2014.
- [4] HENSEN C H, FNI. Tug use in port [M]. 2nd ed. London: The Nautical Institute, 2003.
- [5] United States Department of Defense. Design: piers and wharves: UFC 4-152-01 [S]. Washington: United States Department of Defense, 2005.
- [6] CIRIA, CUR, CETMEF. The rock manual: the use of rock in hydraulic engineering: CIRIA C683 [M]. 2nd ed. London: CIRIA , 2007.

(本文编辑 王璁)