

# 海底电缆工程多源勘察数据管理及三维可视化研究

何旭涛<sup>1</sup>, 彭维龙<sup>1</sup>, 张引贤<sup>1</sup>, 林晓波<sup>1</sup>, 黄晶<sup>2,✉</sup>

(1. 国网浙江省电力有限公司舟山供电公司 舟山 316000;

2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司 广州 510663)

**摘要:** [目的] 为对海底电缆工程进行施工前环境勘察和运维期海底电缆检测, 需要利用单、多波束、侧扫声呐、管线仪等多种仪器设备, 对海底电缆及其周围海域的环境、水深、地质情况进行勘测。[方法] 为有效地管理、展示这些数据, 从多源数据的分析与融合、海底电缆工程数据的三维可视化表达方面展开研究, 研制了海底电缆工程多源数据管理及可视化原型系统。[结果] 有效提高了海底电缆运维管理部门对海底电缆路由环境测量、定期检测数据的管理水平, 并能对所管辖海底电缆的海底环境、风险点、障碍物等有更加直观的理解, 为海底电缆安全状况的科学评估提供有效信息。[结论] 基于本研究的海底电缆工程多源勘察数据管理及三维展示能将路由区域海洋环境抽象数据直观显示, 进而为设计、施工、运维提供强有力的服务。

**关键词:** 海底电缆; 勘察; 检测; 三维可视化; GIS

中图分类号: TM7; P756.1

文献标志码:

文章编号: 2095-8676(2020)S1-0072-06

开放科学(资源服务)二维码:



## Multi-source Survey Data Management and 3D Visualization of Submarine Cable Engineering

HE Xutao<sup>1</sup>, PENG Weilong<sup>1</sup>, ZHANG Yinxian<sup>1</sup>, LIN Xiaobo<sup>1</sup>, HUANG Jing<sup>2,✉</sup>

(1. Zhoushan Power Supply Company of State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Zhoushan 316021, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** [Introduction] In order to carry out pre-construction environmental survey and submarine cable testing during operation and maintenance period of submarine cable engineering, it is necessary to use a variety of instruments and equipment to survey the environment, water depth and geological conditions of submarine cables and their surrounding sea areas. [Method] To effectively manage and display these data, this paper studied the multi-source data analysis and fusion, and the three-dimensional visualization of submarine cable engineering data, and developed a multi-source data management and visualization prototype system for submarine cable engineering. [Results] It effectively improves the management level of the submarine cable routing environment measurement and periodic inspection data of the submarine cable operation and maintenance management department, and have a more intuitive understanding of the submarine environment, risk points and obstacles of the submarine cable under its jurisdiction, and is a submarine cable safety. A scientific assessment of the situation provides valid information. [Conclusion] Based on the research, multi-source survey data management and three-dimensional display of submarine cable engineering can visually display the abstract data of the marine environment of the routing area, and provide powerful services for design, construction and operation and maintenance.

**Key words:** submarine cable; survey; detection; 3D visualization; GIS

海底电缆输电工程是海域电网互联的重要工程。舟山供电公司所在舟山群岛新区拥有1 390座

岛屿, 是全国唯一以群岛设市的“千岛之城”, 独特的地理环境造就了独特的输电形态, 其辖区内海缆路由区海底环境非常复杂。其海洋输电起始于80年代初期, 形成了从10千伏到500千伏的交、直流海底电缆网架, 各级电网相协调, 海底电缆总长度

收稿日期: 2019-05-16 修回日期: 2019-07-08

基金项目: 国家电网公司海底电缆工程高精度多元数据获取及分析技术研究(5211ZS170032)

达上千公里, 舟山供电公司管辖国内最为复杂的海底电缆输电线路网络<sup>[1]</sup>。多种勘测手段在海洋电力开发及保护中广泛应用<sup>[2]</sup>, 当前海底电缆路由区测量及海底电缆定期检测数据以二维图、表、报告的形式提供给管理单位, 不够直观且数据管理效率低下, 在长时期运维管理时还存在原始资料丢失风险。为此, 海底电缆勘察工程多源数据管理及三维可视化成为当前急需解决的问题。为解决此问题, 本文研究了海底电缆勘察数据主要构成与数据融合技术, 并基于GIS技术以三维可视化方式<sup>[3-4]</sup>把海底电缆勘察数据进行集成, 实现多源数据统一存储、管理与展示。

## 1 多源数据分析

本研究主要针对海底电缆工程中包括建设期勘察数据、运维期检测数据进行管理。由于海底电缆工程路由区域环境勘察时, 通常在不同建设

阶段、不同水深、不同保护措施, 采用不同的技术手段, 也将因此产生多源勘察原始数据, 包括海缆路由环境数据: 如海底地形数据、海底地貌数据、水深数据、海底底质数据、水文流速数据、海缆交越数据; 还包括海缆本体数据: 如埋深数据、海缆裸露数据、海缆悬空数据、风险点数据; 在运维期, 通常也会对海缆保护设施进行检测, 如产生抛石坝检测数据。通过对这些数据的叠加, 可以更直观而形象地反映海底电缆路由及海缆的状态<sup>[5-6]</sup>。

1) 海底地形水深数据。三维海底场景的构建是海缆工程数据三维可视化的基础<sup>[7]</sup>。海底地形测量通常采用单波束测深仪和多波束测深仪, 对海底电缆区域进行水深测量, 获得精密水下三维地形图。在浅水区多波束无法覆盖的地方, 可采用数字双频测深仪采集水深数据, 形成如图1所示的高精度水下地形图。

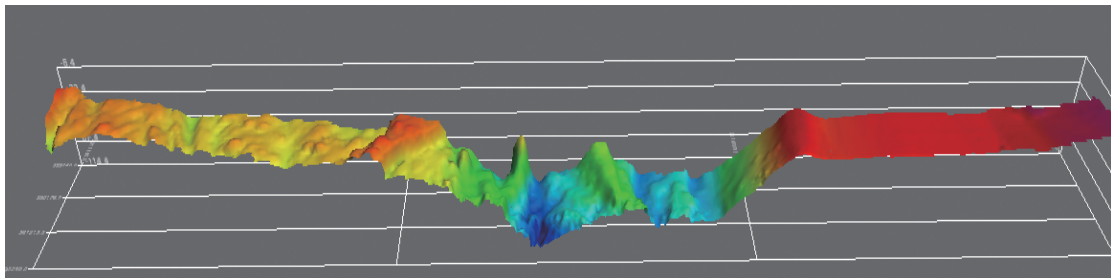


图1 多波束三维海底地形图示意

Fig. 1 Multi-beam three-dimensional seabed topographic map

2) 海底地貌数据。海底地貌数据采集通常采用侧扫声呐技术手段, 获取的数据可以作为抛石坝保护分析、海底电缆铸铁套管分析、海底其

他地物(如渔民临时所放捕鱼网具, 如虾笼、网绳、浮标等)分析的依据来源, 成果数据如图2所示。

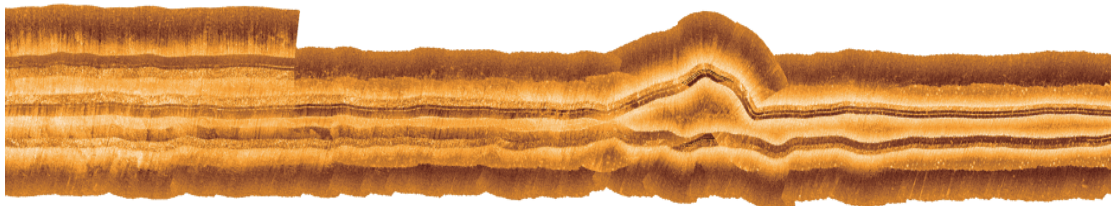


图2 侧扫声呐海底地貌示意图

Fig. 2 Side scan map of the sea floor

3) 海底地质数据。利用声波在不同的介质中其传播速度显著不同的原理, 由于海底不同分界面内岩层的密度不同, 那么声波在通过不同分界面时的反射系数也截然不同。从而在接收到的反射信号

中携带了海底介质的地质信息, 通过专业数据处理, 最后输出的数据成果可直观的了解海底沉积物的属性。成果如图3所示。

4) 水文数据。通常为了获取海缆的水文环境,

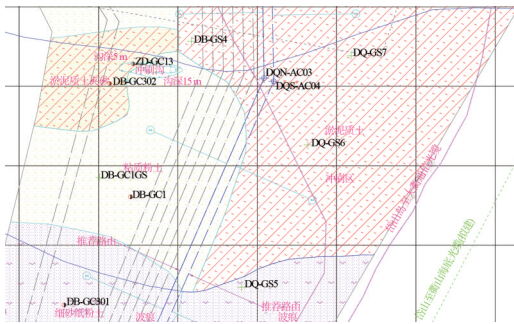


图3 海底地质图(部分)

Fig. 3 Shallow stratigraphic profile (part)

会选择测海底电缆路由区水流速度,并可在在此基础上进行海底电缆或其保护设施受力分析。

5) 海缆走向及交越数据。海缆走向和交越点数据主要是利用海洋磁力仪进行磁异常探测,准确对管道、电缆及泥下障碍物进行探测与定位,而产生的数据,通常格式为MAG。需要了解设计的海底电缆与其他海底管道(如海底石油输送管道、海底光缆通信线)的交叉位置。以预防海底电缆施工期间对其他已建海底管道线路的破坏。

6) 海缆埋深数据。利用浅(中)地层剖面仪,当海底存在海底电缆时,因为海底电缆的材料性质和海底电缆周围介质的性质差异巨大,所以当进行物理探测工作时浅(中)地层剖面仪在海底电缆的上方垂直经过。如图4所示,从探测的浅剖数据成果图来看,则为一条抛物线,进行连续拖曳式迂回测量后,在浅地层剖面仪的测量结果上找到每个抛物线点连接起来就可以描述海缆的路由。待专业物探检测工作人员识别出海底电缆之后,如果还需获取海底电缆的埋深信息,需找到抛物线顶点,即海底电缆所处的空间位置,此抛物线顶点高程与相应位置海底高程之差即为海底电缆的埋深。

7) 海缆裸露悬空数据。海缆裸露悬空的检测方法

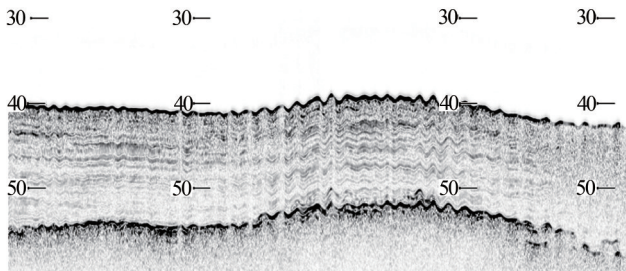


图4 浅地层剖面图

Fig. 4 Shallow stratigraphic profile

果中,当获取的埋深数据为0时,代表该段海缆处于裸露状态,而当海缆的埋深数据为负值时,代表该段海缆处于悬空状态。此外,辅助地形地貌检测和ROV摄像,以直观的方式判别海缆是完全裸露、部分裸露还是处于裸露临界状态。

## 2 数据融合在本研究中的应用

针对数据共享的需求、多尺度数据挖掘分析的需求以及海底电缆地理情况统计分析需求<sup>[8]</sup>,需要对多元数据进行融合。数据融合是将多仪器的数据和信息加以组合,有效地整合并形成统一坐标系中对同一检测对象的空间异构数据库,使得能够综合有效地表达该检测对象的环境及本体信息<sup>[9]</sup>。将多源数据统一管理和展示,必须将这些数据进行录入,并对海缆路由进行模拟。数据融合技术在本系统的使用包括以下两方面:

### 1) 多源数据标准导入格式分析

由于海底电缆勘测数据种类繁多,包括属性数据和空间数据,也包括矢量数据和栅格数据,甚至还有视频数据。因此通过将这些松散的数据利用多源空间异构数据库进行统一集中式管理是解决问题的核心之一。但各种仪器所采集的数据原始格式通常不能直接导入到GIS系统之中,需要根据其信息内容特点,通过数据处理手段,得到与底层GIS平台所兼容的标准格式后,再将其录入到应用开发的系统之中。本研究制定了一套标准导入格式,如表1所列。

### 2) 多源空间数据数据融合

本文主要采用目前空间数据融合技术中的几何位置融合技术,对所有的海底电缆工程数据进行坐标匹配。在不同源数据集中找到表示同一地理实体的对象并抽取出来<sup>[10]</sup>,并对其增加坐标这一属性。同时,需要对多源数据进行数据坐标变换,建立不同源点、线、图集之间的坐标映射关系,解决多源数据坐标信息不一致的问题,本研究中统一采用WGS84坐标系。

## 3 系统设计与实现

### 3.1 系统设计

本系统采用C/S模式设计分为3层,即数据层、服务层和应用表示层,如图5所示。

表 1 数据格式要求

Tab. 1 Data format requirements

数据资料	原始格式	成果名称	融合文件格式	作用
单波束测量	*. dat	成图数据、地形图	Shapefile、DWG、DEM	生成海底地形图的DEM
多波束测量	*. pds、*. dat	成图数据、地形图	Shapefile、DWG、DEM	动态叠加在三维海底地形图
侧扫声纳	QMIPS、XTF	影像图	TIF	生成海底地形图的DOM
GPS测量	Excel	控制点	Shapefile、JPG	数据展示
海上钻探点	TXT	钻孔点位	Shapefile、JPG	数据展示
浅地层剖面	SEYG、JSF	海底地层	JPG	数据展示
水深测量	TXT	水深数据	DWG、DAT	数据展示
海洋磁力仪	MAG	交越点	Shapefile、DWG	数据展示
ROV	AVI	水下风险点、障碍物、悬空等	AVI	风险点、悬空、障碍点展示
流速仪	Excel	水流强度	DWG	水流强度展示
海缆施工点	TXT	资料文档	Shapefile	三维建模
岩土底质分析	PDF	资料文档	Shapefile、JPG	海底底质三维建模
钻孔柱状图	DWG	钻孔柱状图	DWG	岩心柱三维建模
成果文档	DOC、DOCX	资料文档	DOC、DOCX	文档资料管理

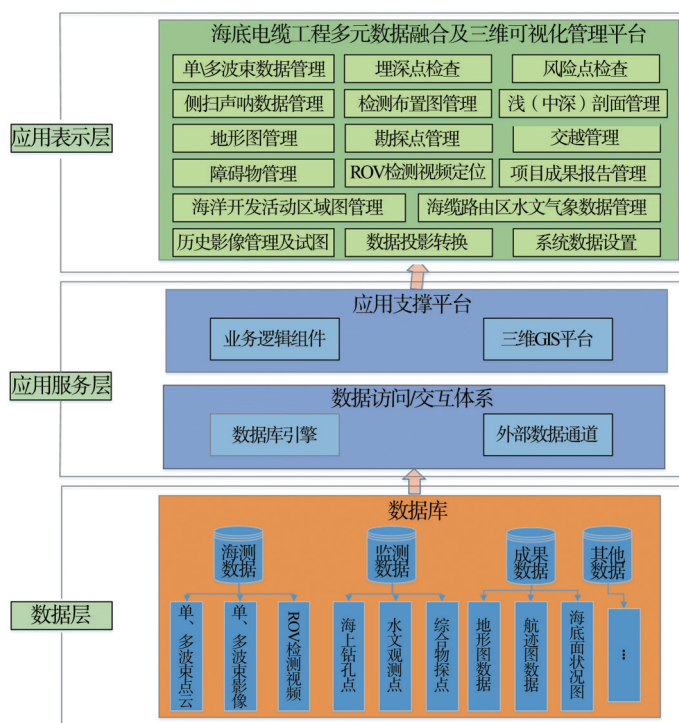


图 5 系统逻辑架构图

Fig. 5 System logic architecture diagram

数据层封装了对数据库的操作, 即对数据进行增、删、查、改等; 本研究中主要是对海测数据、检测数据、成果数据等进行操作。应用服务层封装了对数据进行的逻辑运算, 是生成并操作接收信息的业务规则和函数的集合。应用表示层即用户使用的交互界面; 本研究中主要提供了对单\多波束

数据、侧扫声纳数据、埋深点、风险点、勘探点数据、多种图纸(地形图、测线布置图、剖面图、海洋开发活动区域图、影像图)、ROV视频、水文气象数据、交越展示、文档资料管理、投影转换、系统设置等功能。采用三层架构当数据库或者应用服务层的业务逻辑改变时, 应用表示层并不需要改

变，反之亦然，大大提高了系统模块的复用性，缩短开发周期，降低维护费用。

### 3.2 系统实现

平台功能主要由基础空间数据管理、海底电缆工程勘测数据管理与可视化显示、图形三维建模与操作、数据导入导出等功能模块组成：

#### 3.2.1 空间数据管理

能够管理空间基础地理环境包括相关陆地及海洋地形地貌的DEM、DOM、分层矢量数据的维护和管理。

#### 3.2.2 海底电缆工程勘测数据管理与展示

对海洋勘测各专业数据进行数据融合处理并提供相关的导入、编辑、可视化显示及查询浏览操作。辅助进行相关的判读与标绘。

##### 1)数据表格形式展示：

每一条海底电缆的工程信息，以海缆的名字为主要识别ID进行命名组织。以属性表的形式展示其名称、电压等级、海缆厂家信息、规划时间、建设时间、竣工时间、管理单位、运维班组、海缆材质等信息。

##### 2)影像叠加地形展示：

针对地形地貌数据，直接利用二者进行叠加，形成虚拟三维场景。如图6所示：

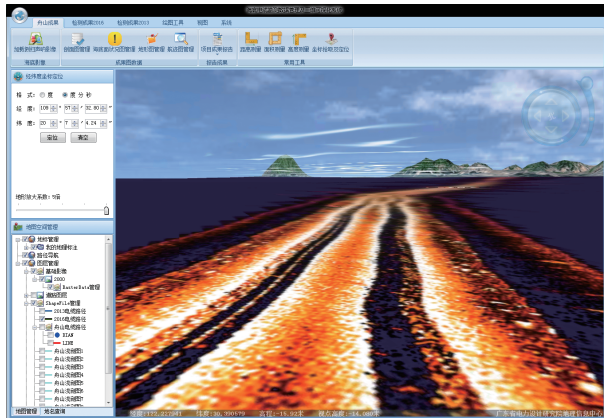


图6 舟山柔直岱山-衢山预选路由侧扫声纳数据管理及展示  
Fig. 6 Pre-selected route side scan sonar data management and display

##### 3)点+图片形式展示：

针对控制点、交越点、海上钻孔点等可以采用点+图片的形式叠加在三维球上进行展示。

##### 4)线+图片形式展示：

针对海缆路由、测线、浅地层剖面等按照一定

速度或方向采集的数据可以采用线+图片的形式叠加在三维球上如图7所示进行展示。

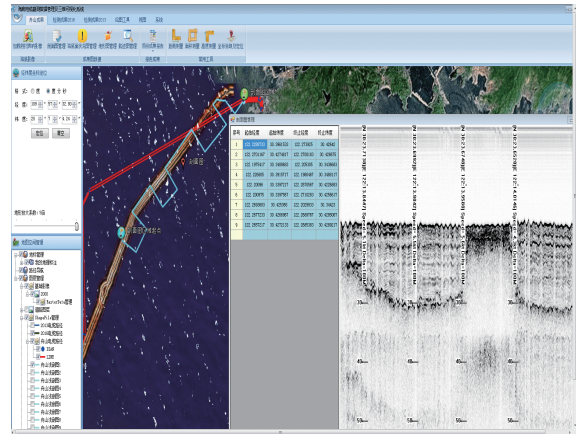


图7 舟山柔直岱山-衢山浅剖图管理及展示效果  
Fig. 7 Shallow section management and display

##### 5)面+图片形式展示：

针对海洋生产区域图、海底面状况图等按照分区上色，宜采用面+图片形式叠加在三维球上如图8所示进行展示。

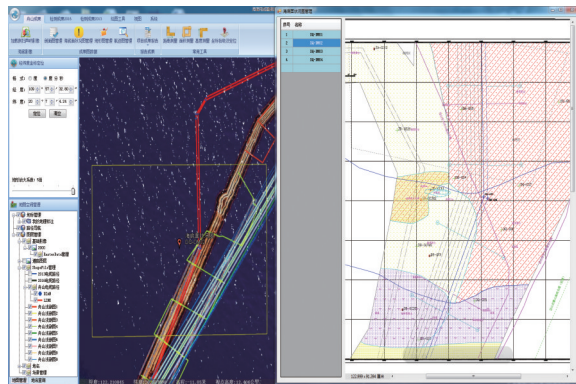


图8 舟山柔直岱山-衢山线海底面状况图管理及展示  
Fig. 8 Sea floor condition map management and display

#### 3.2.3 三维建模展示

能够对基础地理元素以及海洋勘测相关的设备设施进行三维建模并在三维场景中进行叠加显示。能够对钻探采集的岩体进行三维建模并展示在相应的钻探点位置。能够根据采集的DEM、水深、侧扫声纳数据叠加生成海底三维场景。

#### 3.2.4 数据导入导出

对各种数据能够定义一定的中间格式进行批量化导入，直接生成相关可视化基础数据及模型；提供一定格式的数据导出，方便进行存档以及再利用。

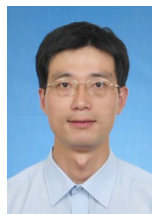
## 4 结论

本文以舟山群岛新区所辖的舟山柔直岱山-衢山段海底电缆多源勘察数据为依托,介绍了海底电缆勘察及检测工程中多源数据的来源,同时介绍了数据融合技术在海底电缆工程数据管理及三维展示系统中的应用,研究了利用地理信息技术,设计并实现了一套海底电缆工程多源数据管理及三维展示系统,解决了对多源异构空间数据、属性数据、多媒体数据的统一存储、管理、解析和三维展示的问题,为海底电缆运维管理人员提供了辅助决策信息,提高了海底电缆工程相关资料的管理及展示的信息化水平。如何进行海底电缆路由由区域海底地质层三维展示以及多源数据信息挖掘是下一步的研究重点。

### 参考文献:

- [1] 陈国志,章正国,韩幸军,等.一种海底电缆数据库管理系统[J].中国水运(下半月),2013,13(8):82-83+85.  
CHEN G Z, ZHANG Z G, HAN X J, et al. Submarine cable database management system [J]. China Water Transport, 2013, 13(8):82-83+85.
- [2] 王庭松,刘丽.多源海洋测绘数据无缝管理及其应用研究[J].南方能源建设,2016,3(2):152-155.  
WANG T S, LIU L. Research on seamless management of multi-source marine survey data and its electric implementation [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(2): 152-155.
- [3] 覃如府,叶娜,许惠平,等. GIS系统中多维海洋数据可视化研究[J]. 同济大学学报(自然科学版),2009,37(2):272-276.  
QIN R F, YE N, XU H P, et al. Visualization of multi-dimension oceanographic data in geography information system [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2009, 37(2): 272-276.
- [4] 高锡章,冯杭建,李伟.基于GIS的海洋观测数据三维可视化仿真研究[J].系统仿真学报,2011,23(6):1186-1190.  
GAO X Z, FENG H J, LI W. Study of 3D visualization of marine measured data based on GIS [J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(6): 1186-1190.
- [5] 姜小俊,张海鹏.一种用于海底路由管径检测的3维管径模型快速建立方法研究[J].测绘通报,2007(11):17-19.  
JIANG X J, ZHANG H P. Study of a rapid way to establish 3D pipe model in the field of subsea pipe inspection [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2007(11):17-19.
- [6] 胡建炯,姜小俊,任少华,等.多种物探仪器在海底路由管径检测中的综合应用探讨[C]//第三届长三角科技论坛(测绘分论坛)暨2006江苏省测绘学术年会论文集,2006.徐州:《现代测绘》编辑部,2006:39-41.
- [7] 周雪梅,杜世培. GIS中三维可视化的模型构造及算法设计研究[J]. 贵州工业大学学报(自然科学版),2003(4):55-58.  
ZHOU X M, DU S P. Research on data model construction and algorithm design of 3D GIS visualization [J]. Journal of Guizhou University of Technology (Natural Science Edition), 2003(4):55-58.
- [8] 胡璐锦,蔡俊,李海生.基于时空地理格网的空间数据融合方法[J].测绘与空间地理信息,2018,41(8):4-7.  
HU L J, CAI J, LI H S. Spatial data fusion based on spatio-temporal geographic grid [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2018, 41(8):4-7.
- [9] 郭黎,崔铁军,王玉海,等.多源空间数据融合技术探讨[J].地理信息世界,2007(1):62-66.  
GUO L, CHUI T J, WANG Y H. Study for multi-resources geospatial data integration [J]. Geomatics World, 2007(1): 62-66.
- [10] 徐枫,邓敏,赵彬彬,等.空间目标匹配方法的应用分析[J].地球信息科学学报,2009,11(5):5657-5663.  
XU F, DENG M, ZHAO B B, et al. A detailed investigation on the methods of object matching [J]. Geo-information Science, 2009, 11(5):5657-5663.

### 作者简介:



何旭涛

#### 何旭涛

1973-, 男, 浙江舟山人, 高级工程师, 学士, 主要从事海洋输电技术研究及海缆状态检测 (e-mail) hxt0580@163.com。

#### 彭维龙

1988-, 男, 湖北武汉人, 工程师, 学士, 主要从事海洋输电技术研究 (e-mail) 417464917@qq.com。

#### 张引贤

1983-, 女, 河北廊坊人, 工程师, 硕士, 主要从事电力科技管理 (e-mail) 970163182@qq.com。

#### 林晓波

1967-, 男, 浙江舟山人, 高级工程师, 学士, 主要从事海缆线路运维 (e-mail) lxb7001@163.com。

#### 黄晶 (通信作者)

1988-, 女, 土家族, 湖南湘西自治州人, 工程师, 硕士, 主要从事电力空间信息、电网信息化研究等方面工作 (e-mail) huangjing@gedi.com.cn。

(责任编辑 郑文棠)