

# 基于海洋石油平台的海冰监测系统 Sea Ice Monitoring System of Offshore Structure in the Bohai Bay

王 华, 陈胜利, 王 润, 李辉辉, 石 岩, 宋积文, 王在峰

WANG Hua, CHEN Shengli, WANG Run, LI Huihui, SHI Yan, SONG Jiwen, WANG Zaifeng

(中海油信息科技有限公司北京分公司, 北京 100027)

(CNOOC Energy Technology & Services Limited, Beijing Branch, Beijing, 100027, China)

**摘要:**【目的】有效监测渤海辽东湾海冰状况, 指导破冰船破冰, 保障冬季冰期海洋石油平台的安全生产。【方法】在辽东湾石油平台上构建海冰测量系统, 利用视频测冰技术、视频冰速测量技术及气象观测多种手段, 在2011—2015年度连续4年冬季冰期观测平台周边海冰形貌、范围、运动轨迹, 并对监测数据进行分析, 给出24 h海冰预报。【结果】基于海洋石油平台的海冰监测系统对海冰冰量、冰厚、冰速、冰类型监测数据准确, 通过数据分析可以对海冰实施年、月、周、24 h预报, 短期预报与实际情况基本相符合, 其中24 h预报准确率在95%以上。【结论】基于海洋石油平台的海冰监测系统是一套运行可靠的监测系统, 能准确地观测海冰的运行趋势, 为冬季渤海辽东湾的抗冰活动提供指导。

**关键词:** 海冰监测 海冰预报 海冰 辽东湾海冰 平台冰期安全

中图分类号: TG174.41 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2017)03-0185-06

**Abstract:**【Objective】The sea ice monitoring system was applied to observe sea ice conditions of Liaodong Bay to guarantee the safe production of the offshore oil platform through guiding icebreaker to break ice during the winter ice age.【Methods】The sea ice morphology, scope and movement of the surrounding platform were observed continuously by means of video measurement technology, video ice speed measurement technology and meteorological observation through constructing the sea ice monitoring system during the winter ice age of 2011—2015. The 24 h sea ice forecast was provided by analyzing the monitoring data.【Results】The sea ice monitoring system based on the offshore oil platform accurately recorded the sea ice volume, ice thickness, ice speed, ice type. According to the analysis of data, the forecast of sea ice in year, month, week and 24 h could be predicted. And the forecast was in line with the actual situation, of which the accuracy rate of 24 h forecast was up to 95% or more.【Conclusion】The sea ice monitoring system based on offshore oil platform was a reliable operation monitoring system, which could accurately observe the operation trend of sea ice and provide guidance for the anti-ice activities in the Liaodong Bay in the winter.

**Key words:** sea ice monitoring, sea ice forecasts, sea ice, sea ice in Liaodong Bay, the platform ice age security

## 0 引言

【研究意义】中国渤海辽东湾是海上油气勘探开发的重要海域之一, 由于该海域纬度较高, 冬季受到西伯利亚冷空气的影响, 每年都有不同程度的海冰

覆盖,是渤海冰情最严重的海域。每年冬季12月至次年3月该海域均被海冰覆盖,在潮汐的作用下,海冰往返流动冲击平台<sup>[1]</sup>。历史上曾经由于海冰的作用,造成渤海海洋石油平台被推倒、平台导管架管节点开裂、平台上部设施管线断裂、法兰泄露等事件。可见,海冰对海洋石油平台及其生产活动构成严重威胁,在平台上建立海冰监测系统,对冰情变化进行预测,分析危险冰情,发布预警信息和作业应急措施,以保障石油平台冬季安全生产。【前人研究进展】海洋石油平台海冰监测系统,是海洋石油平台冬季安全生产的重要组成部分,利用监测系统的设备与技术“早发现、早预报、早处理”海冰灾害。视频监测系统用于实时收集海面现场冰情资料,提供海冰现场信息,对于生产指挥中心实时了解海面冰情,采取相应的应急措施具有重要的意义,同时也为后期的海冰冰情分析提供了数据资料<sup>[2-3]</sup>。气象观测系统是常规的气象站系统,提供温度、风速、风向、湿度、大气压等数据,为海冰的形成提供分析参数<sup>[4]</sup>。【本研究切入点】在海冰监测研究领域,中海油已经进行了一系列的研究,并从科研、生产双向出发,在方案设计、监测技术、研究应用等方面做了长期工作。但是,在平台监测系统的建立时,仍然面临着诸多挑战:①近年新建平台的平台结构与老平台不同;②平台为所在海域的第一座平台,海冰动力特性有待研究;③面对新平台,监测系统需重新设计、选择设备;④平台监测结果分析需结合潮流等状态进行研究;⑤预报预警的准确度等因素。【拟解决的关键问题】本研究采用基于海洋石油平台的海冰监测系统对中国渤海辽东湾冬季海冰期的海冰情况进行研究,分析海冰监测系统的组成及作用,并根据现场实测结果对系统稳定性、可靠性、适用性进行验证。

## 1 材料与方法

### 1.1 基于海洋石油平台的海冰监测系统构成

基于海洋石油平台的海冰监测系统由视频监测系统和气象监测系统组成<sup>[5]</sup>。视频监测系统组成设备主要包括红外视频摄像头、信号调理器和采集器、视频处理主机,主要用于监测海冰的冰厚、冰速、冰向。气象监测系统监测平台周围的环境温度、风力及湿度,综合分析海冰的形成条件,预测海冰的运行趋势和造成影响,及时进行海冰破碎等抗冰活动<sup>[6-9]</sup>。根据视频和气象监测系统的观测资料,结合过往的海冰数据资料,对平台周边海冰发展趋势进行预报,对平台周边的破冰船调用进行合理的配置,

确保海冰期间平台的安全生产<sup>[10-12]</sup>。

### 1.2 监测方法

渤海辽东湾冬季海冰期为每年12月初至次年3月初为止。2011年11月,A平台海冰监测系统安装调试完毕,12月正式开始运行,至2015年3月初为止,共4个年度冬季冰期的连续监测。

通过视频摄像头拍摄海冰与平台桩腿部位撞击的画面,实时记录海面冰量与桩腿处海冰撞击情况,判断海冰类型、海冰厚度、海冰流速流向等数据<sup>[13]</sup>。

在年度冬季冰期进行海冰年展望预报、冬季冰期月预报、冬季冰期周预报,主要预测辽东湾最大海冰范围。海冰测量每日统计A平台最低气温、最高气温、海冰冰量、最大冰厚等数据。在单日海冰监测数据分析的基础上,进行海冰年度、月度、周及24h冰情预报,主要预测辽东湾海冰冰厚、海冰冰量、冰流速最大时刻。

## 2 结果与分析

### 2.1 海冰视频、气象测量

通过视频测量和气象测量技术,监测了2011—2015年度冰期海冰的大气温度、冰厚、冰量等参数,结果如图1~4所示。图1为A平台视频监测系统冬季海冰实时监测的截图,分别为平台周围海域海冰情况以及平台桩腿附近被破冰锥破冰后的状况。通过与2011—2015年度的最低气温趋势比较(图2、图5),可见自12月下旬至次年2月下旬期间,自2011—2012年冬季冰期以来A平台最低气温逐年变暖,冬季冰期天数也在缩短。另外,辽东湾海冰面积最大值2014—2015年为7768 km<sup>2</sup>,2013—2014年为12600 km<sup>2</sup>,2012—2013年为25000 km<sup>2</sup>,2011—2012年冬季为19800 km<sup>2</sup>。对比辽东湾海域海冰面积,发现2011—2013年海冰面积明显大于2013—2015年海冰面积,这与图5显示的温度逐年上升情况相符,后两年的低温天气较少,海冰形成面积随即降低。同时从图5还可以看出,长期的低温天气均出现在每年冬季的1月份和2月份,12月份及3月份较少出现低温情况,这与图3和图4冰厚、冰量情况基本相符;冬季的总体冰期也在逐年缩短,尤其是2014—2015年的初冰日期较以往推迟近半个月,而其融冰期也提前近半个月,该特征与当年冰期整体的气温走势十分吻合。

分析图3中4个冰期的A平台逐日最大冰厚趋势变化可知,前两年冰期的冰厚明显大于后两年的冰厚,其中2012—2013年冰期的冰厚最大,并在

1月15日左右出现极值(60 cm),对比当年该时间段的气温可以发现,连续的低温是造成较重冰情的主要原因。纵向对比图4中4个冰期冰量可以发现,A平台海域在前两年出现10成冰量的天数明显多于后两年,尤其是2012—2013年度的严重冰期(1月1日—2月20日)内该海域全被海冰覆盖;相反,在2014—2015年度的整个冰期内未有海冰覆盖该海域的情况发生。



图1 A平台视频监测系统冬季海冰实时监测截图

Fig.1 The real-time screenshot of sea ice in video surveillance system at A platform

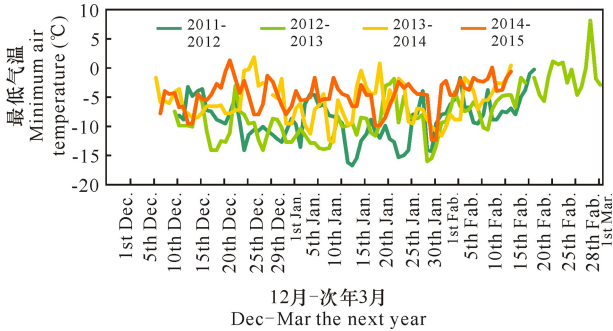


图2 2011年—2015年冬季冰期A平台逐日最低气温比较

Fig.2 The comparison of daily min temp of 2011—2015 ice age at A platform

## 2.2 海冰预报准确率

2011—2015年度各项海冰预测与实况检验如表1~5所示。从表1可以看出,2011—2013年的两年年度预报与实际情况相符,而2013—2015年的年度预报相较实际情况偏差较大,预报值均大于实

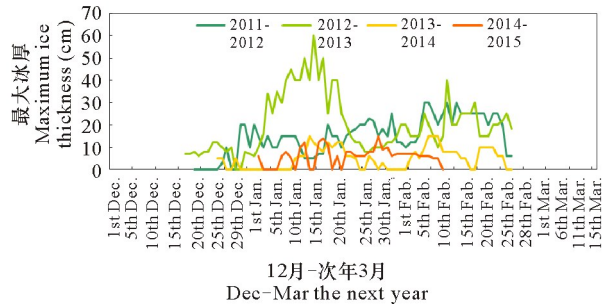


图3 2011年—2015年冬季冰期A平台逐日最大冰厚比较  
Fig.3 The max ice thickness of 2011—2015 ice age at A platform

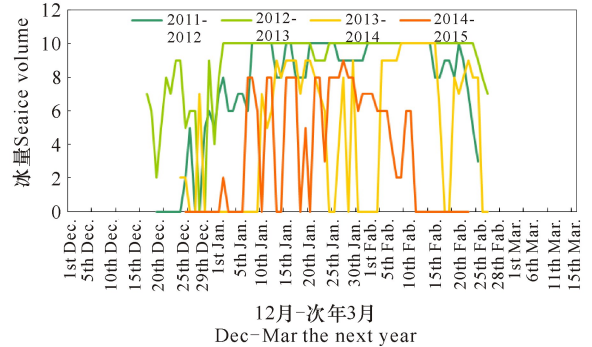


图4 2011年—2015年冬季冰期A平台逐日冰量比较  
Fig.4 The comparison of daily ice volume of 2011—2015 ice age at A platform

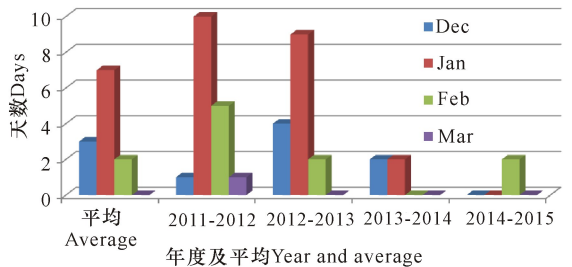


图5 2011—2015年冬季冰期A平台 $\leq -12^{\circ}\text{C}$ 日数统计  
Fig.5 The temp  $\leq -12^{\circ}\text{C}$  of 2011—2015 ice age at A platform

测值,说明年度预报只能作为基本的参考,另外,实测值基本不会大于预报值。从表2可以看出,只有2012—2013年度的月度预报较为准确,其他年度的月度预报均出现高于实测值的情况。2014—2015年度最大海冰范围的11次周预报与实测相比,有9次较为准确(误差在5海里内),准确率为81.8%(表3)。纵观2011—2015年的周预报,与实际情况相比较发现周预报的准确率均在80%以上(表4)。2011—2015年度冰期的冰厚、冰量和冰流速最大时刻的24h预报与实测值相比,各参数的短时预报准确率均在95%以上(表5),表明基于平台的海冰监测系统在小范围短时间内预报的精准度高,能及时预报海冰信息,保障平台作业安全。对平台进行年

度、月度、周的预报可以把握海冰的总体变化趋势，有助于对平台进行海冰预警；另外，各周期的各海冰

参数的实测值均不会大于预报值，所以各周期的预报情况具有一定的参考价值。

表 1 2011—2015 年度海冰年度预报及验证

Table 1 The annual sea ice forecasting and verification in 2011—2015 ice age

冰期 Ice age	预测/实测 Forecast/ actual	初冰日 First day of the ice	严重冰期 Heavy ice age	终冰日 Last day of the ice	最大海冰范围 (海里) Farthest of sea ice (sea mile)	一般冰厚 Normal ice thickness (cm)	最大冰厚 Max ice thickness (cm)
2014—2015	预测 Forecast	2014-12-25— 2015-01-05	2015-01-15— 2015-02-15	2015-02-20	60~80	15~25	40
	实测 Actual	2015-01-02	2015-01-12— 2015-02-12	2015-02-15	45	5~15	25
2013—2014	预测 Forecast	2013-12-10— 2013-12-15	2014-01-08—2014-01-15 2014-01-25—2014-02-10	2014-02-26— 2014-02-28	70~90	5~20	50
	实测 Actual	2013-12-24	2014-01-03—2014-01-10 2014-01-31—2014-02-10	2014-2-24	60	5~15	30
2012—2013	预测 Forecast	2012-12-20— 2012-12-25	2013-01-08— 2013-02-10	2013-02-27— 2013-03-01	70~90	15~30	60
	实测 Actual	2012-12-17	2013-01-08— 2013-02-12	2013-03-17	90	15~30	60
2011—2012	预测 Forecast	2011-12-20— 2011-12-25	2012-01-06— 2012-01-31	2012-2-21	70~90	5~20	50
	实测 Actual	2011-12-25	2012-01-15— 2012-01-30	2012-02-28	85	5~15	60

表 2 2011—2015 年度海冰月预报检验 (最大海冰范围：海里)

Table 2 The month sea ice forecast and verification in 2011—2015 ice age (Maximum sea ice range: n. m.)

冰期 Ice age	时间 Month	预测 Forecast	实际 Actual	误差 Error
2014—2015	Dec, 2014	25~35	25	0
	Jan, 2015	50~60	45	-5
	Feb, 2015	60~70	45	-15
2013—2014	Dec, 2013	20~40	30	0
	Jan, 2014	40~90	70	0
	Feb, 2014	60~70	50	-10
2012—2013	Dec, 2012	15~40	40	0
	Jan, 2013	50~90	90	0
	Feb, 2013	40~50	50	0
2011—2012	Dec, 2011	20~50	45	0
	Jan, 2012	70~90	85	0
	Feb, 2012	50~70	40	-10

表 3 2014—2015 年度海冰周报预报检验 (最大海冰范围：海里)

Table 3 The week sea ice forecast and verification in 2014—2015 ice age (Maximum sea ice range: n. m.)

时间 Week	预报 Forecast	实际 Actual	误差 Error
2014-12-06—2014-12-12	5~15	16	+1
2014-12-13—2014-12-19	20~30	22	0
2014-12-20—2014-12-26	20~30	25	0
2014-12-27—2015-01-02	25~35	30	0
2015-01-03—2015-01-09	30~40	35	0
2015-01-10—2015-01-16	30~40	30	0
2015-01-17—2015-01-23	35~45	45	0
2015-01-24—2015-01-30	50~60	38	-12
2015-01-31—2015-02-06	50~60	45	-5
2015-02-07—2015-02-13	50~60	39	-11
2015-02-14—2015-02-20	25~35	23	-2
2015-02-21—2015-02-27	—	—	—

表 4 2011—2015 年度海冰周报检验

Table 4 The week sea ice forecast and verification in 2011—2015 ice age

冰期 Ice age	预报次数 Forecast times	准确次数 Actual times	准确率 Forecast accuracy(%)
2014—2015	11	9	81.8
2013—2014	10	10	100
2012—2013	14	12	85.7
2011—2012	12	11	91.6

表 5 2011—2015 年度海冰 24 h 预报检验

Table 5 The 24 h sea ice forecast and verification in 2011—2015 ice age

项目 Project	冰期 Ice age	预报次数 Forecast times	准确次数 Actual times	准确率 Forecast accuracy(%)
冰厚 Ice thickness	2014—2015	76	75	97.4
	2013—2014	70	68	97.1
	2012—2013	98	94	95.9
	2011—2012	84	83	98.8
冰量 Ice area	2014—2015	76	73	96.1
	2013—2014	70	67	95.7
	2012—2013	98	97	98.9
	2011—2012	84	82	97.6
冰流速最大时刻 Max ice speed time	2014—2015	76	75	98.7
	2013—2014	70	67	95.7
	2012—2013	98	95	97.0
	2011—2012	84	81	96.4

### 3 结论

基于海洋石油平台的海冰监测系统集成了海冰气象监测系统/视频监控系統,能应用于海洋石油平台的冰期海冰监测、预警,指导破冰船作业,保障平台安全生产。2011—2015年4个冬季冰期的监测结果表明,该系统对海冰冰量、冰厚、冰速、冰类型监测数据准确。通过数据分析可以对海冰实施年、月、周、24 h 预报,短期预报与实际情况基本相符合,其中24 h 预报准确率在95%以上。

海冰是冬季冰期海洋石油平台安全的重要威胁之一,海冰的监测、预警是保障平台结构、平台管线安全的重要手段<sup>[14-15]</sup>。基于海洋石油平台的海冰监测系统是多年来海冰监测经验的总结,能有效监测海冰状况和指导破冰船破冰,保障平台生产安全,对辽东湾海冰外缘线以内的平台防冰工作都有着重要的指导意义。

#### 参考文献:

- [1] 白珊,刘钦政,李海,等.渤海的海冰[J].海洋预报,1999,16(3):1-9.  
BAI S,LIU Q Z,LI H,et al. Sea ice in the Bohai sea of China[J]. Marine Forecasts,1999,16(3):1-9.
- [2] 季顺迎,岳前进.辽东湾锥体平台结构疲劳冰荷载的蒙特卡罗模拟[J].海洋学报,2003,25(2):114-119.  
JI S Y,YUE Q J. Monte-Carlo simulation of fatigue ice-load for offshore platform with ice-broken cone in the Liaodong Gulf[J]. Acta Oceanologica Sinica,2003,25(2):114-119.
- [3] 李辉辉,姜静,王华,等.辽东湾某平台冰振显著性分析及解决方案[J].数学的实践与认识,2015,45(5):107-112.  
LI H H,JIANG J,WANG H,et al. Solution and significant analysis of the platform on ice induced vibration in Liaodong Gulf[J]. Mathematics in Practice and Theory,2015,45(5):107-112.
- [4] 张勳,林建国.雷达海冰监测系统与数值预报技术在辽东湾冰区作业中的应用[J].大连海事大学学报,2005,31(1):73-76.  
ZHANG M,LIN J G. Application of radar sea ice monitoring and numerical forecast technique to operation in the ice zone of Liaodong Bay[J]. Journal of Dalian Maritime University,2005,31(1):73-76.
- [5] 季顺迎,岳前进,毕祥军.辽东湾JZ20-2海域海冰参数的概率分布[J].海洋工程,2002,20(3):39-43,48.  
JI S Y,YUE Q J,BI X J. The probability distribution of sea ice parameters of fatigue in JZ20-2 sea area of

- the Liaodong Bay[J]. The Ocean Engineering,2002,20(3):39-43,48.
- [6] 段梦兰,柳春图.海上固定平台的冰激振动响应计算与分析[J].海洋工程,1995,13(2):22-30.  
DUAN M L,LIU C T. Calculation and analysis of ice-induced vibration responses of offshore fixed platforms[J]. The Ocean Engineering,1995,13(2):22-30.
- [7] 岳前进,刘圆,屈衍,等.海洋平台的冰力谱与冰振响应分析[J].计算力学学报,2008,25(5):665-670.  
YUE Q J,LIU Y,QU Y,et al. Ice force spectrum and analysis of ice-induced responses for offshore jacket platforms[J]. Chinese Journal of Computational Mechanics,2008,25(5):665-670.
- [8] 岳前进,杜小振,毕祥军,等.冰与柔性结构作用挤压破坏形成的动荷载[J].工程力学,2004,21(1):202-208.  
YUE Q J,DU X Z,BI X J,et al. Dynamic ice loads during interaction with vertical compliant structures[J]. Engineering Mechanics,2004,21(1):202-208.
- [9] 李辉辉,王华,姜静,等.辽东湾某平台冰堆积成因及安全问题分析[J].数学的实践与认识,2015,45(6):148-153.  
LI H H,WANG H,JIANG J,et al. Formation and security issues of ice accumulation to the platform in Liaodong Gulf[J]. Mathematics in Practice and Theory,2015,45(6):148-153.
- [10] 岳前进,李辉辉,于学兵.渤海石油平台的冰振及对作业人员的影响[J].中国海洋平台,2005,20(5):35-39.  
YUE Q J,LI H H,YU X B. The evaluation of human fatigue on offshore platform under ice induced vibrations in Bohai Sea[J]. China Offshore Platform,2005,20(5):35-39.
- [11] 岳前进,毕祥军,于晓,等.锥体结构的冰激振动与冰力函数[J].土木工程学报,2003,36(2):16-19,32.  
YUE Q J,BI X J,YU X,et al. Ice-induced vibration and ice force function of the conical structure[J]. China Civil Engineering Journal,2003,36(2):16-19,32.
- [12] 屈衍,岳前进,BRISTER C.冰与锥体作用破碎周期及破碎长度分析[J].冰川冻土,2003,25(S2):326-329.  
QU Y,YUE Q J,BRISTER C. Analysis of ice sheet break period and length on the ice-breaking cone[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2003,25(S2):326-329.
- [13] 毕祥军,于雷,王瑞学,等.海冰厚度的现场图像测量方法[J].冰川冻土,2005,27(4):563-567.  
BI X J,YU L,WANG R X,et al. Digitalized image method for measuring sea ice thickness[J]. Journal of

- Glaciology and Geocryology, 2005, 27(4): 563-567.
- [14] 岳前进, 毕祥军, 季顺迎, 等. 航海雷达识别与跟踪海冰实验[J]. 大连理工大学学报, 2000, 40(4): 500-504.
- YUE Q J, BI X J, JI S Y, et al. Recognition and tracing of sea ice by marine radar on a fixed oil/gas platform[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2000, 40(4): 500-504.
- [15] 岳前进, 张大勇, 刘圆, 等. 渤海抗冰导管架平台失效

模式分析[J]. 海洋工程, 2008, 26(1): 18-23.

YUE Q J, ZHANG D Y, LIU Y, et al. Failure modes analysis of ice-resistant compliant structures based on monitoring oil platforms in Bohai Gulf[J]. The Ocean Engineering, 2008, 26(1): 18-23.

(责任编辑: 陆雁)

## CNKI 推出《中国高被引图书年报》

日前, 中国知网(CNKI)中国科学文献计量评价研究中心推出了一套《中国高被引图书年报》, 该报告基于中国大陆建国以来出版的 422 万余本图书近 3 年被国内期刊、博硕士论文、会议论文的引用频次, 分学科、分时段遴选高被引优秀学术图书予以发布。据研制方介绍, 他们统计并分析了 2013—2015 年中国学术期刊 813 万余篇、中国博硕士学位论文 101 万余篇、中国重要会议论文 39 万余篇, 累计引文达 1 451 万条。根据统计数据, 422 万本图书至少被引 1 次的图书达 72 万本。研制方根据中国图书馆分类法, 将 72 万本图书划分为 105 个学科, 分 1949—2009 年和 2010—2014 年两个时间段, 分别遴选被引最高的 TOP10% 图书, 共计选出 70 911 本优秀图书收入《中国高被引图书年报》。统计数据显示, 这 7 万本高被引优秀图书虽然只占全部图书的 1.68%, 却获得 67.4% 的总被引频次, 可见这些图书质量上乘, 在同类图书中发挥了更加重要的作用。该报告还首次发布各学科“学科 h 指数”排名前 20 的出版单位的评价指标, 对客观评价出版社的社会效益——特别是学术出版物的社会效益具有重要的参考价值。

该报告从图书被引用的角度出发, 评价图书的学术影响力, 弥补了以销量和借阅等指标无法准确评价学术图书的缺憾, 科学、客观地评价了图书、图书作者以及出版单位对各学科发展的贡献。

《中国高被引图书年报》把建国以来出版图书全部纳入评价范围属国内首创, 是全面、客观评价图书学术影响力的工具, 填补了目前图书学术水平定量评价的空白, 在帮助图书馆建设特色馆藏和提高服务水平、帮助出版管理部门了解我国学术出版物现状、帮助科研机构科研管理、帮助读者购买和阅读图书等方面, 均具有较强的参考价值, 也为出版社评估出版业绩、决策再版图书、策划学科选题提供有用的信息。

《中国高被引图书年报》由《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司出版。该产品的形式为光盘电子出版物, 分为理学、工学、农学、医学、人文科学和社会科学 6 个分卷, 随盘赠送图书, 欢迎您咨询、订购。咨询电话: 010-82710850, 82895056 转 8599, E-mail: aspt@cnki.net。