

高效旋流气浮一体化预分水除油技术

胡长朝, 党伟, 谭文捷, 王莉莉, 唐志伟

中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要 为克服高含水期油田预分水设施的局限性,对旋流、自溶气气浮、二级气浮、斜板聚结等技术进行集成研究,形成一体化预分水除油技术及装置。该装置取代了常规预分水除油工艺中的预分水器、除油罐、沉降罐等大型设备,具有预分水除油效率高、工艺流程短、占地面积小、投资低等优点,可用于集输系统的接转站和边缘油田就地预分水和污水处理。室内实验表明,在来液含水大于80%、含悬浮物300 mg/L条件下,装置可预分出38%的污水,可将分出污水中的含油、含悬浮物指标分别控制在15 mg/L、5 mg/L以内,实现了预分水和除油功能的有机结合,经济效益明显。

关键词 预分水除油一体化;旋流技术;自溶气气浮

中图分类号 X741

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.08.005

Integrated Hydrocyclone and Flotation Separation Technology for Water Preseparation and Wastewater Treatment

HU Changchao, DANG Wei, TAN Wenjie, WANG Lili, TANG Zhiwei

Petroleum Exploration and Production Research Institute, Sinopec, Beijing 100083, China

Abstract In view of the disadvantages of the current water preseparation facilities in a high water-cut oilfield, a high efficient integrated technology of the hydrocyclone, the self-dissolved gas flotation, the second stage flotation and the inclined plate coalescence for the water preseparation and the wastewater treatment is proposed, and the laboratory equipment is developed. With this equipment for the water preseparation and the wastewater treatment, 38% of the wastewater can be preseparated, and the outlet content of oil and suspended solids can be controlled under 15 mg/L and 5 mg/L, respectively, when the inlet water-cut is more than 80% and the concentration of suspended solids is less than 300 mg/L. With its high efficiency, the short process flow, the small size and the low investment, the equipment can be used for the water preseparation and the wastewater treatment at transfer stations of gathering systems and marginal oilfields, to bring about great economic benefits.

Keywords integration of water preseparation and oil removal; hydrocyclone technology; self-dissolved gas flotation

国内外油田开发都经历着产油量上升、油量达到高峰稳产、油井见水产量递减3个阶段^[1]。中国东部主力油田大部分已进入高含水或特高含水开采期,原油综合含水已超过90%,有的油田甚至高达98%,油田开发已由“采油”变为“采水”。地面处理系统利用的是中、低含水期的生产设施,不能适应高含水期产液量剧增和以水为主的处理需求,目前油田开发主要存在以下问题:1)集输和污水处理系统处理能力明显不足,超负荷运行,处理效率低下。2)原有设施需要扩建,改造工程量 and 投资费用过大,并且原有流程的改造也十分困难。3)能耗及成本增大。在油田中、低含水期开发阶段建设

的联合站,大多采用两段脱水工艺,高含水采出液需全液长距离输送至联合站进行加热脱水处理,大部分热能消耗在对污水的加热升温上。在一个进站液量为 $1700 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 、综合含水率为95%的联合站,将来液升温 7°C ,仅一次加热炉的燃油消耗就高达 $1.45 \times 10^4 \text{ t/a}$ 以上,其中污水吸收的热能大约占97%,造成了能量的极大浪费^[2,3]。脱出的污水需返输至注水站,污水往返输送成本、降回压泵能耗、运行管理维护成本等增大。另外,随着含水率的上升,井排来液的温度越来越低,热量及化学助剂等的消耗进一步增大,吨液、吨油处理成本急剧增加。4)大量污水的长距离往返输送加速了管道和设

收稿日期:2013-09-11;修回日期:2013-11-04

基金项目:中国石油化工股份有限公司科技开发部项目(P12104)

作者简介:胡长朝,博士,研究方向为油气田污水处理,电子信箱:hcc30503@163.com

引用格式:胡长朝,党伟,谭文捷,等.高效旋流气浮一体化预分水除油技术[J].科技导报,2014,32(8):39-43.

备的腐蚀,缩短了设备的使用寿命。

实施预分水,在井场、分压泵站或接转站把污水分离出来并就地处理达标后回注,剩余低含水油再送至联合站进行集中加热处理,可避免对大部分污水的无效加热和长距离往返输送,减少联合站的来液量,并降低来液含水率,有效解决以上问题。为此,国内外油田成功研究出了三相分离、旋流分离、斜管预分水、末端分相等预分水技术,并进行了推广应用^[4-11]。预分水工艺流程一般为:进站阀组→预分水器→加热炉→后续油处理流程,即在联合站的加热炉前设置预分水器,高含水采出液全液输至预分水器分出大部分游离水,剩余的低含水油再进加热炉进行加热脱水处理。这些技术基本能满足预分水要求,但分出的污水含油指标偏高(一般大于500 mg/L),需依次经站内除油罐、沉降罐、气浮装置、过滤器等污水处理设施处理合格后返输至注水站回注^[12-17],造成污水处理系统复杂,无法满足工艺简化需要,也无法实现就地预分水、就地处理、就地回注的目标;另一方面,对分出污水的处理仍在联合站内进行,无法减轻原有污水处理系统的负荷。

高效旋流气浮一体化预分水除油技术旨在克服现有预分水技术的局限性,尝试对常规预分水和除油技术进行优化研究,将预分水与污水除油功能有机集成于同一撬装装置内,在高效预分水的同时,强化除油功能,改善出水水质,从而简化预分水和污水处理工艺,实现就地预分水、就地处理,减少占地和改造投资,大幅降低能耗和运行费用,提高经济效益。本文对旋流、自溶气气浮、二级气浮、斜板聚结等技术进行集成研究,形成一体化预分水除油技术及装置,并通过室内实验,对装置的预分水除油效果进行分析评价。

1 一体化预分水除油室内实验装置的研制

1.1 工艺流程

在预分水技术方面,水力旋流器具有占地面积小、质量小、效率高、投资低、易于安装和维修等优点,欧美国家的海上油田广泛将其用作预分水器^[7,8,18,19];除油技术大体分为自然沉降、混凝沉降、气浮、旋流、过滤等,其中溶气气浮具有处理效率高、净化效果好、工况稳定、能将污水含油降到50 mg/L以下等优点,是应用最广泛的除油技术之一。因此,可选用水力旋流器进行预分水,选用溶气气浮进行污水除油,结合斜板聚结等技术进行科学集成,形成一体化预分水除油技术及装置。对于水力旋流器,需优化参数,克服其出水水质波动大的缺点。对于溶气气浮,在目前集输系统压力条件下(0.3 MPa),污水中溶解的伴生气含量达到5%~7%,超过正常溶气气浮溶气含量1%~5%的标准值,具有良好的气浮条件,却没有相关的研究报道,室内实验装置将充分利用这些伴生气对含油污水进行气浮净化,即实现自溶气气浮净化;在自溶气气量不足的情况下,可辅以二级气浮,保证除油效果。

具体的预分水除油工艺流程为:高含水采出液→污水泵

→水力旋流器→自溶气气浮→二级气浮→斜板聚结沉降→出水。

1.2 设计参数

一体化预分水除油室内实验装置长1850 mm、宽795 mm,分为旋流区、自溶气气浮区、二级气浮区和斜板聚结区,进口口即旋流器进料口通过PVC管道与污水泵出口相连,自溶气区配有加药装置和静混器。装置设计处理规模10 m³/h,材质为有机玻璃,耐压0.3 MPa;设计进液为含水80%以上轻质原油(原油密度小于0.9 g/cm³);设计出水水质为:含油≤15 mg/L、含悬浮物≤5 mg/L。

2 实验部分

2.1 仪器及材料

预分水除油装置如上所述。配套设备及测试仪器包括:PL系列无油静音空气压缩机,德国Rdose电磁式隔膜计量泵,TDS-100型手持式超声波流量计,美国TD-500D水中油份浓度测定仪,BXH-A型原油含水测定仪,HBD5-MLSS4210水质悬浮物分析仪。

实验材料:中石化某油田原油采出液(原油密度0.88~0.89 g/cm³,含水80%左右),絮凝剂聚合氯化铝等材料为市售。

2.2 实验过程

开启污水泵,将高含水采出液以一定速度从进料口压进水力旋流器进行预分水,溢流为低含水原油,底流为低含油污水(进料口、溢流口和底流口流量均可通过安装在其上的阀门进行调节)。低含油污水经底流口排出并投加一定量的絮凝剂后,进入自溶气气浮区(自溶气用压缩空气模拟),自溶气净化后的污水进入二级气浮区和斜板聚结区,经气浮、聚结除油、除悬浮物处理后,经装置出口排出。

实验过程中,通过设置在装置进出口及各区上的取样口取样并完成相关指标的检测。其中,水中含油、含悬浮物指标分别通过水中油份浓度测定仪和水质悬浮物分析仪测定,并依照SY/T 5329—2012^[20]进行平行测定。

3 结果与讨论

3.1 水力旋流器预分水

水力旋流器的工作原理是在油水存在密度差的情况下,使含油污水在水泵的作用下,从切线方向进入旋流器后高速旋转,在离心力的作用下,水向器壁运动,形成向下的外旋流,通过旋流器底部出口流出(底流);油向旋流器轴心处运动,形成螺旋上升的内旋流油核,由上端溢流而出(溢流),最终实现油水分离。其分离效果受进口流量、分流比(溢流流量/进口流量)等因素的影响。

旋流器预分水实验在室温条件下进行,来液平均含水80%,固定分流比为70%,逐渐增大旋流器进口流量至5 m³/h以上时,可观察到油水混合液在旋流腔内高速旋转,底流出

水含油可降到 2400 mg/L 以下(表 1)。从表 1 结果可以看出,在进口流量从 3 m³/h 增大到 10 m³/h 的过程中,旋流器底流含油从高于 10000 mg/L 降低到 8 m³/h 时的 530 mg/L,之后随流量的增大而升高。这是因为,进口流量越大,入口速度就越大,从而导致旋流器内的离心力越大,影响油水分离效果。进口流量过小,混合液在旋流器内无法充分旋转,油水难以分离;进口流量过大,混合液在旋流器内的停留时间变短,且分散相油滴在强剪切力的作用下容易破碎,也不利于油水分离。上述变化趋势和文献报道相一致^[8],但底流水含油低于文献中的对应指标(最低值 1000 mg/L 左右),验证了该旋流器的高效预分水性能。

表 1 进口流量对旋流器底流含油的影响

Table 1 Variations of underflow oil content of hydrocyclone with inlet flow rate

进口流量/(m ³ ·h ⁻¹)	来液含水/%	旋流器底流水中含油/(mg·L ⁻¹)
3	79	>10000
4	80	9300
5	80	2400
6	81	1700
7	81	980
8	80	530
9	79	990
10	80	1400

分流比是影响旋流器分离效率的最主要因素之一^[11]。固定旋流器进口流量为 8 m³/h,通过改变分流比,研究了分流比对底流含水的影响。结果显示,在原油含水 80% 条件下,当分流比从 30% 增大到 70% 时,底流含油从 30% 时的 2800 mg/L 降到 70% 时的 530 mg/L 左右(图 1),之后基本保持不变,表明

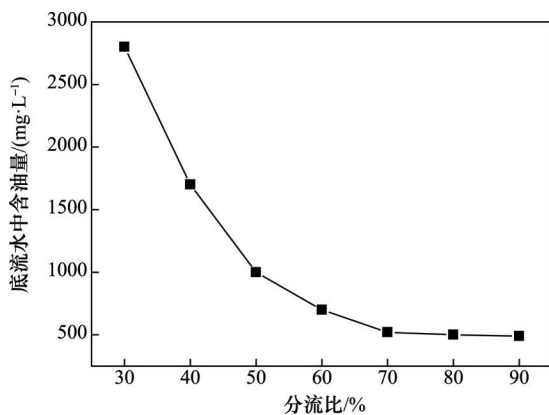


图 1 分流比对旋流器底流含油的影响

Fig. 1 Variations of underflow oil content of hydrocyclone with flow split-ratio

高溢流(高分流比)旋流可有效降低预分出水中的含油指标。这一结果和文献[8]中的底流含油随分流比的增大先降低后升高的变化趋势不同,这归因于分离比的不同取值范围,在本实验中,为克服旋流器底流出水水质随进液含水率变化而波动大的缺点,分流比取值(30%~90%)大于文献值(0~30%)。从图 1 也可以看出,分流比控制在 70%~90% 范围内均可保证较低的底流出水含油指标,但分流比越大,预分出的污水就越少,因此,分流比取值宜接近 70%。

3.2 自溶气气浮净化

自溶气气浮利用天然气在不同压力下在水中溶解度不同的特性,实现对污水的净化,从而有效克服普通气浮需外加气源,建造、运行、维护成本高的缺点。在集输条件 0.3 MPa 下,污水中溶解的伴生天然气含量达到 5%~7%,来液经旋流器预分水后,压力降为零,分出污水中溶解的天然气析出形成小气泡,粘附在油滴和杂质絮粒上,造成油滴和絮粒整体密度小于水而上浮,达到除油和除悬浮物的目的。

自溶气气浮实验结果显示,在进水含油小于 1000 mg/L 的条件下,当自溶气含气量达到 3% 时,自溶气气浮出水含油可降到 25 mg/L 以下(图 2),继续增大自溶气气量,出水含油基本保持稳定,表明自溶气气量只要达到 3% 以上,就可实现对污水的较好净化。值得一提的是,自溶气气浮出水含油低于常规溶气气浮 50 mg/L 的出水含油指标^[10,11],原因可能是自溶气气浮形成的微小气泡数量更多、半径更小,增大了气泡和小油滴相互碰撞、粘附的几率,从而更利于油水的分离。

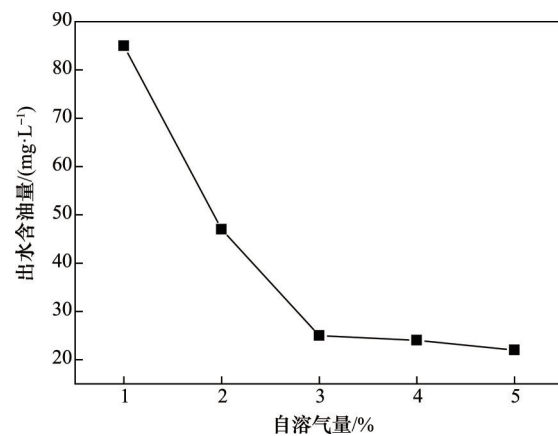


图 2 自溶气量对出水含油的影响

Fig. 2 Variations of oil content in treated water with concentration of self-dissolved gas

3.3 装置整体处理效果

验证了装置在不同进口流量条件下对不同含水来液的除油、除悬浮物效果,结果见表 2。实验过程中,控制旋流器分流比为 70%,自溶气含量为 3%,投加絮凝剂聚合氯化铝浓度为 100 mg/L,实验温度为室温。实验结果表明,在来液平均含水 80%、平均含悬浮物 300 mg/L 的条件下,一体化预分水除油装置可预分出 38% 的污水,并可同时将分出污水中的

含油、含悬浮物指标分别降到 15 mg/L、5 mg/L 以下,可直接经过滤系统进行后续精细化处理,效果达到预期目标。来液平均含水升高时,例如为 90%,装置处理效果更好,这可能与分出污水中的含油指标更低有关。

表 2 装置处理效果

Table 2 Treatment effect of the equipment

来液含油/水/%	进口流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	来液悬浮固体质量浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	出口含油/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	出口悬浮固体质量浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
81	7	310	14.4	4.1
79	8	300	13.9	4.6
82	9	320	14.9	5.0
89	7	290	12.1	4.2
92	8	300	11.6	4.5
90	9	310	12.5	3.8

一体化预分水除油装置为撬装装置,可取代常规预分水除油工艺中的预分水器、除油罐、沉降罐等大型设备,进液为含水 80% 以上原油,出水满足过滤器进水标准,过滤后即可就地回注。装置占地面积小、投资低,初步估算,在同等处理规模条件下,其占地不到常规预分水加污水处理工艺的 30%,投资为常规工艺的 60%~70%,安装、使用方便,运行、维护费用低,同时安全性也高于常规工艺技术。和新型撬装式含油污水处理装置相比^[21],其优势包括:1) 具有预分水功能,能实现就地预分水、污水就地处理,且工艺流程更短,体积更小;2) 充分利用了污水中溶解的伴生气,节约了制氮成本;3) 出水水质优于后者对应阶段的含油 30 mg/L、含悬浮物 20 mg/L。

4 结论

1) 对旋流、自溶气气浮、二级气浮、斜板聚结等技术进行了集成研究,形成了高效旋流气浮一体化预分水除油技术及装置;

2) 装置采用水力旋流器进行预分水,在来液含水大于 80% 的条件下,控制分流比 $\geq 70\%$,可预分出 38% 的污水,同时保证旋流器底流水含油 $\leq 600 \text{ mg/L}$;

3) 装置有效利用污水中溶解的伴生气对预分出的污水进行自溶气气浮净化,当自溶气含量达到 3% 以上时,自溶气气浮出水含油可降到 25 mg/L 以下;

4) 含水大于 80%、含悬浮物 300 mg/L 的高含水原油经一体化预分水除油装置处理后,装置出水含油 $\leq 15 \text{ mg/L}$,含悬浮物 $\leq 5 \text{ mg/L}$,可直接进行精细处理,表明该装置实现了将原油分水、污水净化等功能集于一体的目标;

5) 一体化预分水除油装置为撬装装置,可取代常规预分水除油工艺中的预分水器、除油罐、沉降罐等大型设备,具有预分水除油效率高、工艺流程短等优点,占地为常规预分水

加污水处理工艺的 30%,投资仅为常规工艺的 60%~70%,适用于高含水油田的接转站或边缘小油田预分水和污水就地处理,实现降本增效。

参考文献(References)

- [1] 杜春安, 马力, 吴晓玲, 等. 胜利油田污水资源化利用技术研究进展[J]. 石油与天然气化工, 2012, 41(4): 432-434.
Du Chun'an, Ma Li, Wu Xiaoling, et al. Technology progress of waste water resource utilization in Shengli oilfield[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2012, 41(4): 432-434.
- [2] 侯桂华. 原油脱水站节能降耗技术应用[J]. 石油规划设计, 2008, 19(4): 41-43.
Hou Guihua. Application of energy saving technology at crude oil dehydration station[J]. Petroleum Planning & Engineering, 2008, 19(4): 41-43.
- [3] 赵正权, 徐冬, 张浩, 等. 中国污水处理电耗分析和节能途径[J]. 科技导报, 2010, 28(22): 43-47.
Zhao Zhengquan, Xu Dong, Zhang Hao, et al. Power consumption of wastewater treatment and the measures of energy saving[J]. Science & Technology Review, 2010, 28(22): 43-47.
- [4] 汤清波, 钱维坤, 李玉军. HNS 型高效三相分离器技术[J]. 油气田地面工程, 2007, 26(6): 16-17.
Tang Qingbo, Qian Weikun, Li Yujun. Technology of high efficient HNS three-phase separator[J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2007, 26(6): 16-17.
- [5] 成仕钢. 两级旋流分离工艺的应用试验研究[J]. 江汉石油职工大学学报, 2005, 18(2): 33-34.
Cheng Shigang. Experimental study on the application of the two-stage cyclone separation technology[J]. Journal of Jianghan Petroleum University of Staff and Workers, 2005, 18(2): 33-34.
- [6] 杨时榜, 叶学礼. 油气田地面工程技术现状及发展趋势[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011: 43-44.
Yang Shibang, Ye Xueli. Current Status and development trend of oil-gasfield surface engineering techniques[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011: 43-44.
- [7] Oropeza-Vazquez C, Afanador E, Gomez L, et al. Oil-water separation in a novel liquid-liquid cylindrical cyclone (LLCC(c)) compact separator—Experiments and modeling[J]. Journal of Fluids Engineering—Transactions of the ASME, 2004, 126(4): 553-564.
- [8] Liu H F, Xu J Y, Zhang J, et al. Oil-water separation in a novel liquid-liquid cylindrical cyclone[J]. Journal of Hydrodynamics, 2012, 24(1): 116-123.
- [9] Arvoh B K, Asdahl S, Rabe K, et al. Online estimation of reject gas and liquid flow rates in compact flotation units for produced water treatment[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2012, 24: 63-70.
- [10] Rubio J, Souza M L, Smith R W. Overview of flotation as a wastewater treatment technique[J]. Minerals Engineering, 2002, 15: 139-155.
- [11] Hayatdavoudi A, Howdeshell M, Godeaux E, et al. Performance analysis of a novel compact flotation unit[J]. Journal of Energy Resources Technology—Transactions of the ASME, 2011, 133(1): 013101.
- [12] 仲如冰. 胜利油田回注污水处理技术新进展[J]. 石油与天然气化工, 2013, 42(1): 86-90.
Zhong Rubing. New progress of Shengli Oilfield reinjection sewage

- treatment technology[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2013, 42(1): 86-90.
- [13] Ahmadun F R, Pendashteh A, Abdullah L C, et al. Review of technologies for oil and gas produced water treatment[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 170: 530-551.
- [14] Ebrahimi M, Kovacs Z, Schneider M, et al. Multistage filtration process for efficient treatment of oil-field produced water using ceramic membranes[J]. Desalination and Water Treatment, 2012, 42(1-3): 17-23.
- [15] Szep A, Kohlheb R. Water treatment technology for produced water[J]. Water Science and Technology, 2010, 62(10): 2372-2380.
- [16] Bayati F, Shayegan J, Noorjahan A, et al. Treatment of oilfield produced water by dissolved air precipitation/solvent sublation[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2011, 80(1): 26-31.
- [17] Ebrahimi M, Willershausen D, Ashaghi K S, et al. Investigations on the use of different ceramic membranes for efficient oil-field produced water treatment[J]. Desalination, 2010, 250(3): 991-996.
- [18] 张劲松, 冯叔初, 李玉星, 等. 油水分离水力旋流器流动机理和应用研究[J]. 过滤与分离, 2001, 11(3): 15-18.
- Zhang Jinsong, Feng Shuchu, Li Yuxing, et al. Flow mechanism and application study on hydrocyclone for oil water separation[J]. Journal of Filtration & Separation, 2001, 11(3): 15-18.
- [19] 陈建玲. QK17-2污水处理平台水力旋流器控制方案优化设计[J]. 中国造船, 2010, 51(S2): 138-144.
- Chen Jianling. The optimization design of control scheme for hydrocyclone on QK17-2 oily water treatment platform[J]. Shipbuilding of China, 2010, 51(S2): 138-144.
- [20] 国家能源局. SY/T 5329-2012 碎屑岩油藏注水水质指标及分析方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 2012.
- National Energy Board. SY/T 5329-2012 Water quality standard and practice for analysis of oilfield injecting waters in clastic reservoirs[S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2012.
- [21] 肖文珍, 徐娇, 徐太宗, 等. 撬装式含油污水处理装置的研制[J]. 环境工程学报, 2008, 2(6): 788-793.
- Xiao Wenzhen, Xu Jiao, Xu Taizong, et al. Research of skidded equipment for oily wastewater treatment[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2008, 2(6): 788-793.

(编辑 田恬)

·学术动态·



中国科学技术协会

最高人民法院聘任科技咨询专家

2014年2月25日,最高人民法院与中国科协联合召开加强知识产权司法保护促进科技发展创新座谈会,并举行最高人民法院特邀科学技术咨询专家聘任仪式,聘任丛斌、李未、李立涅、李树深、陈凯先、林忠钦、赵继宗、黄其励、曹湘洪、雒建斌等10位中国科学院院士、中国工程院院士为第二批特邀科学技术咨询专家。全国政协副主席、中国科协主席韩启德,最高人民法院院长周强出席会议并讲话。中国科协常务副主席、党组书记、书记处第一书记申维辰,中国科协副主席、党组副书记、书记处书记张勤,中国科协党组成员、办公厅主任吴海鹰等出席会议。最高人民法院常务副院长沈德咏主持会议,副院长陶凯元宣读了聘任决定。

韩启德在讲话中指出,知识产权是科技工作者的核心权益,原始创新凝聚着科技工作者的智慧,对原始创新过程中科学发现优先权的确认和保护,是科技工作者积极投身原始创新的重要原动力。对知识产权的尊重,就是对科技工作者智慧劳动的尊重;对知识产权的保护,就是对科技工作者创新活力的保护。正确认定和依法保护知识产权,需要科技界和司法界的密切协作。现代科技活动是相同或相近学科领域的科技同行开展的创造性劳动,对科学发现优先权的确认是一种专业评价,离不开科技同行的积极参与。同行认可是科学共同体内的硬通货。知识产权是一项法律权利,涉及复杂的财产利益关系,与科技工作者的切身利益密切相关,唯有依法确认、依法保护,才更有力,才更有效。

韩启德强调,2010年以来,中国科协与最高人民法院携手开展深度合作,推荐院士专家为相关知识产权司法保护提供科技咨询和服务,取得积极而有益的成果。中国科协愿意与最高人民法院进一步深化合作,更加广泛地动员和组织科技社团、院士专家为全国法院系统的知识产权司法保护提供科技咨询,为知识产权案件审理、知识产权纠纷调解以及知识产权法官培训等提供专业支持,共同为实施国家知识产权战略和创新驱动发展战略作出新贡献。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35096/n10225918/15434549.html>。