

电厂取水的防漂工程措施

纪平袁珏康占山

(中国水利水电科学研究院 北京 100044)

摘要 针对漂浮物引起电厂取水口及取水设施进水受阻、流动不畅的问题,对不同水域电厂有关漂浮物堵塞问题的经验教训进行了总结,在此基础上对两个工程实例——岱海电厂和西北铁合金厂自备电厂分别进行以防冰和防一般漂浮物为重点的模型试验,取得了较好的试验结果。最后,结合前人的系统试验成果初步提出取水防漂浮物的几点建议。

关键词 电厂取水 漂浮物 防治措施

中图分类号:TV732.2

文献标识码:A

文章编号:1006-764X(2005)S2-0050-05

影响火电厂和核电厂取水安全的主要因素是取水口及取水设施的进水受阻、流动不畅。可能堵塞取水通道的水中物体除泥沙外便是杂草、生活垃圾、树枝、冰块等漂浮物。相对于底沙运动和悬沙下淤运动,漂浮物的运动有它的特点:①整体密度较水小,由于浮力的存在一般在水体的上层运动;②各个单体漂浮物形状大小各异,分布不均匀,运动不具连续性,更多地以聚集群体出现;③运动较难作具体量化的精确描述;④较之泥沙更易危害拦污栅、滤网等防污设施;⑤较易目测漂浮物的运动情况。

因此,取水防草、防冰、防污的试验研究有异于防沙的试验研究,要求研究人员更重视上层的水流运动,有利于漂浮物不进入取水口的上层水流运动的形成及其相应工程和工程管理措施,更多关注水面的风吹负面影响,选用密度小于 1 g/cm^3 的物体模拟漂浮物,将定性试验结果的统计数据定量化,更多收集、积累和分析现场观测资料。

我国地域广阔,水文地形条件复杂,加上经济活动的差异,漂浮物在水域中的生成和输运情况各地不同。因此,本项研究分为两部分,首先对各地电厂有关漂浮物防治措施的经验教训进行认识总结,在此基础上结合两个工程实例——岱海电厂防漂冰以及西北铁合金厂自备电厂取水防漂浮物的模型试验,提出工程中取水防漂的建议。

1 不同水域漂浮物对取水的影响

我国幅员辽阔,有着不同的水域,按水源特性可分为山区河流、平原河流、湖泊水库、河口海岸四种

水域,其漂浮物性质和对取水的影响也有所不同^[1-3]。

1.1 山区河流

a. 两岸往往杂草、树木丛生,水流中常挟带大量杂草、枯叶以及人类活动产生的生活垃圾和工业垃圾。由于洪水期与枯水期水位变幅很大,当暴雨来临时,枯水期聚集在岸坡上的杂草、垃圾等随洪水滚滚而下,形成短时间、密集的含漂浮物水流,极易造成取水口的堵塞。

b. 山区河流一般需要承载、运送上游林区的木材,河道中的大量漂木对取水口的安全构成很大威胁。

c. 多位于高海拔地区,气温较低且昼夜温差较大,冬季易于形成水内冰及流冰花,而春季则会形成冰盖流。在流冰期,大量浮冰在河道中顺流而下,容易造成取水口的堵塞。

1.2 平原河流

a. 水流平缓,河流沿岸人类活动较山区河道频繁,工业、生活垃圾以及农作物秸秆、杂草等易于在河道中出现。

b. 北方地区冬季河道水面会结冰或出现冰凌。春季河水解冻期会有大量流冰、冰凌、冰絮出现,容易堵塞、粘贴取水口。

1.3 湖泊、水库

属于封闭的水域,环境流动很弱或是没有环境流动。此类水域中漂浮物对电厂取水影响相对较小,主要为生活垃圾、杂草以及水生生物。此外,在北方

地区,冬季水面容易结冰,开河期浮冰在风力的作用下沿湖面漂动,存在浮冰堆积取水口、堵塞进水流道的可能性.

1.4 河口、海岸

水流特性主要表现为潮流作用和海浪作用.电厂所在地区一般为经济发达区域,人类活动极为频繁,电厂取水防漂浮物问题主要为防止生活垃圾(如塑料袋)以及海草等进入取水口.同时,河口、海岸电厂易于出现海洋生物(主要为贝壳类生物)攀附取水口,进而堵塞进水口的现象.

2 现有电厂取水的防漂问题及防漂措施

对电厂取水安全存在潜在影响的不同漂浮物的特点以及现有治理措施、防护效果见表 1.

总结电厂取水防漂浮物的经验可知,防漂措施主要可分为“避”、“清”、“导”、“拦”四种.“避”指回避、避开,即取水口要尽量避开漂浮物的堆积区,如河道的死水区、回流区,以及漂浮物的顶冲区(弯道主流的顶冲点)等.“清”指清除、排除,即采用清污机、旋转滤网等设备排除泵房流道中的漂浮物.“导”指疏导、引导,即在取水口前缘附近采取适当的导流措施,如导流堤、导流屏、防漂排、防漂板等.将水体中的漂浮物导向下游,避免其在取水口前缘附近堆积.“拦”指拦截,即在取水口前缘采用防草网、拦污栅等措施,拦阻水中的漂浮物,防止或减少其进入水泵房.

依据现有防漂工程经验,结合工程实际情况归纳有两种防漂处理方式:一是被动的人工干预方式,如上所述的“清”;二是主动的防漂措施,如“拦”、

“导”.在工程中,鉴于主动防漂措施的复杂性与不确定性,一般只在泵房引水流道中加设拦污栅、旋转滤网等措施进行清漂、排漂,这种方式虽然简易可行,但有其应用的局限性,如遇到漂浮物密度过大以及尺寸过小的情况,效果往往欠佳,需辅以其他“导”、“拦”工程措施.

3 防漂辅助工程措施的机理分析

取水口被漂浮物堵塞的主要原因是受取水汇流作用影响,漂浮物向取水口汇集并封堵进水口.水流是漂浮物的载体,解决防漂问题首先应改善水流流态即水体流速场,要求通过适宜办法来改变电厂进水口前缘表层水体的流动,使之有利于漂浮物脱离取水口前缘区域.具体方法有:①利用工程水域固有的环境流动性质,合理布置取水口,使漂浮物藉水体表层来流之势流离取水口;②采取合理的“导”、“拦”辅助工程措施来达到防漂目的,如“喷水(气)防漂”^[4]与“防漂板防漂”等,采取这类措施后取水口前缘理想防漂流态见图 1 和图 2.

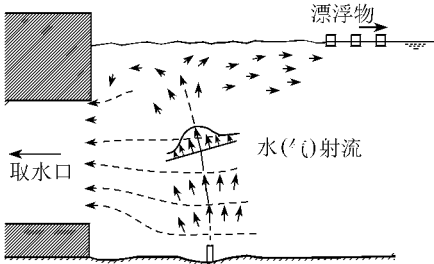


图 1 喷水(气)防漂示意图

如上所述,方法①为理想的办法,在其无条件实现时,方法②作为主动防漂措施,在工程应用中更具

表 1 不同漂浮物的治理措施

漂浮物	特 点	持续时间和分布特性	现有治理措施	防漂浮物的效果
水草、树叶	尺寸较小,一般长度在 10 cm 左右,多出现在山区河流中.	暴雨过后的洪水区,持续时间较短,但瞬时含量较大,全断面分布,以水体表层为主.	主要采用拦污栅与滤网拦截清理.	易出故障.
漂木	尺寸较大,长度可达 5 m,多出现在山区河流中,用河水运送木材.	一年四季均有,但量一般较小,主要浮于表层.	采用防漂板、防漂墙等防护措施.	采取适当措施后,防护效果较好.
垃圾	尺寸小,各种河道、湖泊、河口处均有出现,在这些垃圾中以塑料袋数量大且较难以处理.	常年存在,其中以洪水期含量较大,主要浮于表层.	主要采用拦污栅与滤网拦截清理.	对塑料袋等漂浮物的清理有一定困难.
冰絮、水内冰	尺寸小、易于粘结于金属表面,堵塞拦污栅及滤网;冰絮主要出现在我国东北地区初冬季节,水内冰(冰珠)主要出现在西南、西北等高寒山区.	冰絮持续时间较短,水内冰(冰珠)持续时间较长,全断面分布,表层较多.	主要采取热水回流缓冰与滤网拦截相结合的措施.	处理适当时效果显著.
冰块	尺寸大,主要出现在寒冷地区的流冰期.	持续时间较短,浮于水体表层.	采用热水回流缓冰与其他拦冰、排冰措施.	采取适当措施后,防护效果较好.
水生生物	尺寸不一,主要出现在水流较缓的水域.	始终存在.	采用拦鱼栅拦截.	拦阻个体较大的鱼类效果较好,但对鱼苗等拦截效果较差,容易造成凝汽器堵塞及鱼苗死亡.

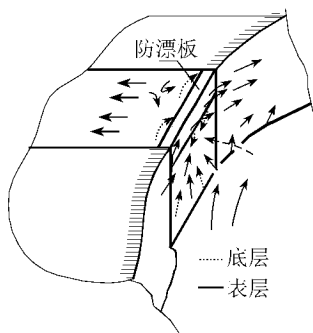


图2 防漂板前缘流态

现实意义. 本文结合两项具体工程——岱海电厂取水防冰^[5]与西北铁合金厂自备电厂取水防漂浮物^[6]来探究取水防漂的有效办法.

4 利用环境水流自身运动特点的防漂实例

岱海电厂拟建于内蒙古自治区凉城县境内岱海湖畔东南侧. 一期规划装机容量 1 200 MW, 以岱海湖作为电厂冷却水源, 采用直流供水方式, 冷却水流量 $38.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 取排水温差 9.7°C . 岱海湖为不规则椭圆形内陆封闭型湖泊, 长约 19 km, 平均宽约 8 km, 最大宽度 10 km. 湖面冬季结冰, 表层覆盖厚约 0.8 m 的冰盖层. 开河期出现浮冰, 在 NE 向风(风速 2.5 m/s)的不利作用下浮冰可能会进入电厂引水渠堵塞取水口. 为解决此漂冰问题, 进行本模型试验.

模型按重力相似、浮力相似准则设计, 平面长度比尺 $L_r = 600$, 垂向比尺 $Z_r = 70$. 重点模拟研究开河期漂冰在环境水体中的运动规律, 提出在不利风向下避免或减小漂冰对取水影响的方法. 模型试验在 $35 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ 的水槽中进行. 采用密度为 0.92 g/cm^3 (与冰密度大体相当)的裹蜡木片模拟原体冰块. 试验取排水流量为 $38.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 取排水温差 9.7°C . 水库控制水位取设计频率 97% 的水位 1 219.25 m 及多年平均水位 1 222.0 m.

4.1 漂冰运动的模拟方法

封闭水域的漂冰运动主要受控于水域内冷却水运动及风生流情况, 因此漂冰运动相似的条件是冷却水运动相似和风生流运动相似同时满足. 风生流流速 v_s 与风速 v_a 成线性正比, $v_s = 0.03 v_a$. 通过一定造风装置, 使模型水面出现大致相似的原体风吹条件. 电厂冷却水便在此风吹条件下运行, 更确切地反映了原体实际情况, 在此基础上, 进行漂冰试验.

4.2 试验成果

a. 无风、电厂取排水正常运行工况. 试验显示该工况下环境水域流场主要受控于取排水与水下地形, 除排水出口附近外的广阔水域流场均较弱, 漂冰运动也极其缓慢. 取水对漂冰的吸引作用较弱, 漂冰吸入率较小, 见表 2. 不存在漂冰在引水渠口堆积的现象.

表 2 无防漂措施时的漂冰吸入率

水位 H/m	取排水流量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	风 况	漂冰吸入率/%
1 219.25	38.5		0.20
1 222.00	38.5		0.13
1 219.25	38.5	NE 向风	0.15
1 222.00	38.5	NE 向风	0.12

注 漂冰吸入率为一定时间内进入引水渠的漂冰量与环境水域漂冰总量的比值.

b. NE 向风、电厂取排水正常运行工况. 初步分析可知, NE 向风作用下产生的漂流运动指向取水口所在岸侧, 其主体运动发展方向与引水流向成 45° 角, 漂冰应易于进入引水渠. 但试验结果显示该工况下引水渠口没有出现漂冰集中堆积的现象, 漂冰吸入率甚至小于无风工况下的漂冰吸入率, 见表 2.

分析其原因, 风生漂流主要表现在水体表层, 相应底层水体出现滞留区或微弱的逆向流动. NE 向风工况下取排水口局部水域流态的细部变化见图 3. 取排水口附近水域, 在风生漂流、排水出流、取水汇流的共同作用下, 呈现出较复杂的特殊流态: ①温排水注入环境水体后, 受温差水体浮力作用影响, 形成分层流动. 上层水直接受 NE 向风生流影响, 绕开引水渠入口, 随风流向引水渠西侧, 见图 4. 上层风生流所挟带的漂浮物被挑离引水渠前缘, 流向下游, 见图 5. 从图 5 中可看出木片基本不进入引水渠口. ②引水渠进流主要来自于下层水体, 挟带有大量漂浮物的表层水流很少进入. 造成这种有利情况的主

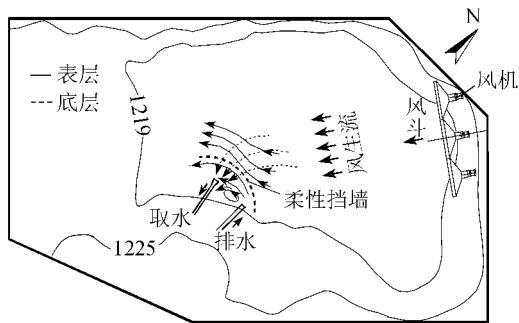


图3 取排水口近区流态(NE 向风, $H = 1\,219.25 \text{ m}$)

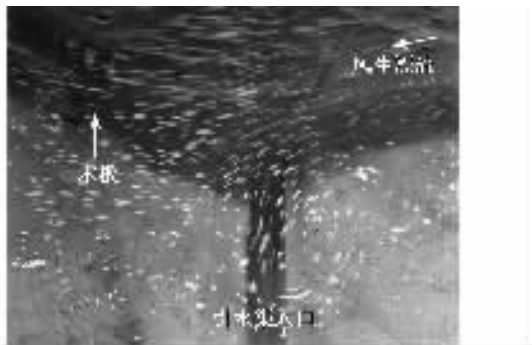


图4 引水渠入口处流场(NE 向风, $H = 1\,219.25 \text{ m}$)

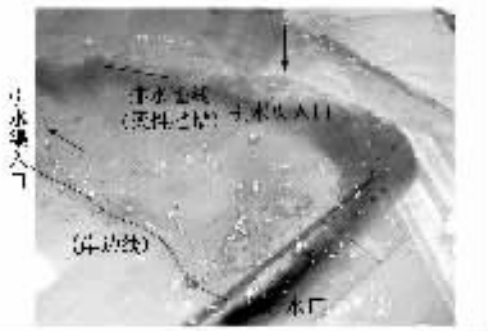


图5 排水出流发展情况(NE向风, $H=1219.25\text{ m}$)

要原因是水域存在着温差分层,使得带有漂浮物的上层流动不随下层水流流进取水口,而是异向流往他处.这种分层异向流动对上层水流而言犹如引水渠口门有着柔性挡墙,导引水流流离取水口,客观上起到了良好的取水防漂作用.

5 利用辅助工程措施的防漂实例

西北铁合金厂自备电厂位于甘肃省永登县境内,装机容量为 $2 \times 50\text{ MW}$,冷却水流量 $4.7\text{ m}^3/\text{s}$,取排水温升 10.6°C .采用直流供水系统,以大通河作为水源.大通河属山区河流,冬季河道水量小、水深浅、流速大,河道表层充满冰珠或凝结成团的流冰花,夏季洪水期河道表层有大量杂草、树枝、树叶等.不同季节的漂浮物都会造成滤网等的堵塞,要求采取适当的防漂措施避免或减小这种影响.

模型试验在 $35\text{ m} \times 20\text{ m}$ 试验水槽中进行.模型按重力相似准则设计,几何正态,重点观测取排水工程水域的水流流动情况和不同防漂措施的防漂效果.模型平面长度比尺 $L_r = 35$.采用密度为 0.92 g/cm^3 的裹蜡木块以及经过适当处理的天然草作为原体漂冰、杂草的模拟物.试验分别在来流量 $25.7\text{ m}^3/\text{s}$,河道水位 1915.8 m (漂冰试验)及来流量 $145.0\text{ m}^3/\text{s}$,水位 1916.0 m (防杂草试验)的工况下进行.

5.1 防漂方案

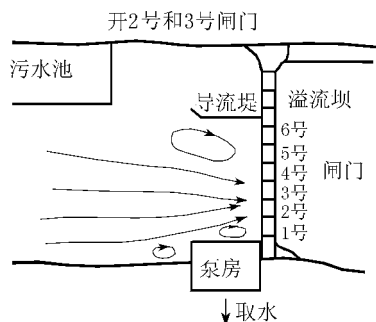
该工程采用有坝取水方式,其中泵房前缘分段设置的潜堰高度分别为 1.5 m 、 0.5 m .漂浮物随上层水流运动输移,取水防漂首先着眼于能促进挟带漂浮物的上层水流导离取水口的措施.为此,提出了两种导漂方案并与未设防漂措施的原方案作对比.

方案1:原方案,不再另考虑添加辅助工程措施.方案2:在泵房上游右岸侧设导流堤.另在泵房前缘上游边墩和1号闸门左侧闸墩之间水体表面设防漂板.方案3:导流堤设置同方案2.在泵房前缘潜水堰上方(走向与潜堰相同)设置防漂板及拦草网,加装在防漂板后方,拦草网底部与潜水堰相接.

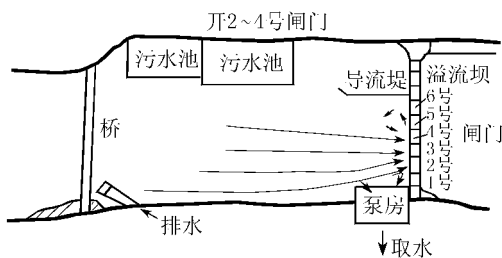
5.2 试验成果

方案1:不同来流量、不同水位所对应的取水泵

房前缘流态见图6,从图中可知,受不规则岸线及突入河道的泵房边墙等的影响,泵房进水流道1号前缘附近水域存在范围的回流区.回流区的存在使得漂冰、浮草等在此大量堆积且易于吸入泵房流道,对电厂取水带来较大威胁.



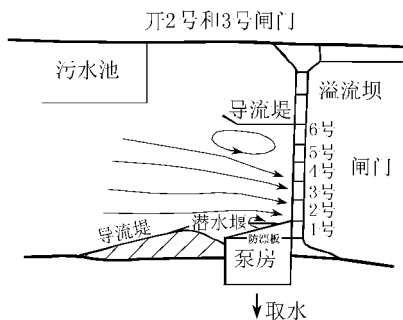
(a) $Q_0=25.7\text{ m}^3/\text{s}$, $H=1915.8\text{ m}$



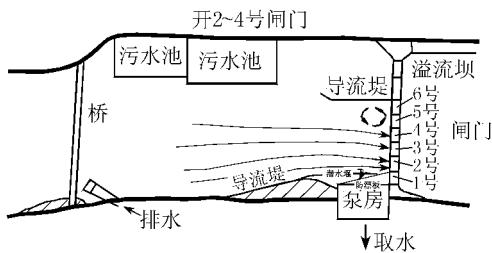
(b) $Q_0=145\text{ m}^3/\text{s}$, $H=1916.0\text{ m}$

图6 方案1取水泵房前缘流态

方案2:受导流堤、防漂板引流作用的影响,泵房上游回流区消失,泵房前缘回流区范围明显减小,回流强度也有所减弱,不同流量、不同水位所对应取水泵房前缘流态见图7.与方案1相比,方案2泵房前缘漂浮物堆积量与吸入流道数量均明显减少.其



(a) $Q_0=25.7\text{ m}^3/\text{s}$, $H=1915.8\text{ m}$



(b) $Q_0=145\text{ m}^3/\text{s}$, $H=1916.0\text{ m}$

图7 方案2取水泵房前缘流态

中漂冰堆积与吸入总量减少 70% ,杂草减少 20% . 防草效果比防漂冰效果差的原因在于 :除不同的来流条件影响因素外 ,回流区大量堆积的杂草易于潜入防漂板下方进入泵房前池是主要因素之一 .

方案 3 :针对方案 2 的不足 ,将防漂板位置前移 ,防漂板后方增加一道拦草网 .此方案使泵房上游导流堤与防漂板连成一线且贴近主流 ,泵房前缘回流基本消失 ,见图 8 .此工况下防漂板前缘流态如图 1、图 2 所示 ,表层水体及其漂浮物受防漂板的阻挡按挡板导向流往下游 .泵房前池进水主要取自下层 ,因防漂板之下流动很弱 ,板前堆积物也难大量潜入下层带进泵房前池 .

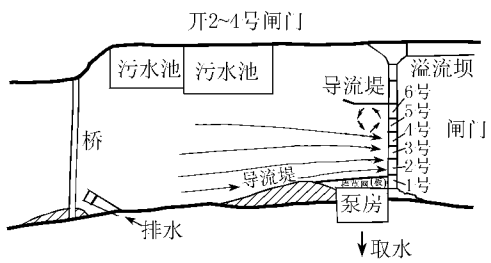


图 8 方案 3 取水泵房前缘流态 ($Q_0 = 145 \text{ m}^3/\text{s}$, $H = 1916.0 \text{ m}$)

与方案 1 相比 ,方案 3 泵房前缘漂冰与浮草的堆积、吸入总量均减少 90% 以上 ,防漂效果较好 ,可满足电厂取水要求 .防漂板前缘水体表层堆积的杂草等漂浮物 ,可较容易地通过定时调整闸门开启方式排向下游 .

6 小 结

a. 取水防漂需从“避”、“清”、“导”、“拦”四个方面加以考虑 .其中“避”即选择合适的取水位置、取水方案来避开漂浮物或其他污体 ,是取水防漂乃至整个“取水三防”的首选措施 .“清”作为一种被动的清除漂浮物的设施 ,是电厂取水系统中的最后一道防线 ,至关重要 .随着我国清污设备的不断改进 ,“清”的效能将越来越强 .“导”与“拦”作为辅助防漂措施 ,主要通过改变进水口附近区域水流流动特性来达到防漂目的 .在实际运用中必须结合工程实际灵活采用 .

b. 防漂板作为一种传统的、简单易行的防漂措施有其广泛的应用前景 ,但必须因地制宜地加以利用 .各种防漂措施的布置、结构形式应与水域环境条件相适应 ,并与其他导流、排除杂物等措施相互配合 ,才能充分发挥其功效 .一般情况下 ,对于封闭水域如湖泊、水库中的取水渠口可用防漂板封闭渠口表层 ,并结合必要的清污设备等进行清排漂浮物 .在单向流河道中可选用适当导流角的防漂板将漂浮物

导向下游 .

c. 从广义上理解“导”与“拦”的防漂作用 .重视凭借工程水域的固有流动特性来达到防漂目的 .漂浮物的特点是浮在水面 ,随上层水流运动 ,因此要特别重视水域出现分层流动的可能性以及出现条件 .充分利用分层流动的水力条件造成取水口前的“柔性挡墙”导拦漂浮物 ,达到取水防漂的效果 .

参考文献 :

- [1] 宋祖诏 ,张思俊 ,詹美礼 .取水工程 [M] .北京 :中国水利水电出版社 ,2002 .
- [2] 周素真 ,石自堂 ,马有国 .取水枢纽工程 [M] .武汉 :武汉水利电力大学出版社 ,2000 .
- [3] 火/核电厂取水防沙、防杂物、防污染情况调研分析总结报告 [R] .中国电力建设工程咨询公司 ,2003 .
- [4] 松永信博 .风吹流中に生起する二次循環流の实验的研究 [C] /土木学会论文集編集委员会 .土木学会论文集 ,2002 .
- [5] 纪平 ,康占山 .内蒙古海电厂防冰问题试验研究报告 [R] .北京 :中国水利水电科学研究院 ,2000 .
- [6] 纪平 ,段杰辉 ,孙淑卿 .西北铁合金厂自备电厂取水防漂漂浮物试验研究报告 [R] .北京 :中国水利水电科学研究院 ,1997 .

(收稿日期 2005-09-20 编辑 骆超)

《河海大学学报(哲学社会科学版)》征订启事
(CN32-1521/C , ISSN1671-4970 ,季刊 ,自办发行)

本刊以马列主义、毛泽东思想、邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导 ,坚持实事求是的思想路线 ,贯彻“双百”方针 ,弘扬时代主旋律 ,理论联系实际 ,为社会主义物质文明与精神文明建设服务 .

本刊为哲学与社会科学类学术期刊 ,主要刊登哲学、政治学、文学、史学、语言学、法学、社会学、心理学、经济学、管理学、高等教育学等社会科学方面的研究成果、学术论文、综述等学术性文章 .本刊可供上述有关专业的研究人员、管理人员和大专院校师生阅读与参考 .本刊为中国学术期刊(光盘版)入编期刊与中国学术期刊网入编期刊 .

本刊由河海大学主办 ,每季末出版 ,国内外公开发行 .2006 年每期定价 5 元 ,邮费 1 元 ,全年订费 24 元 .欢迎广大读者直接向编辑部订阅 .联系地址 :南京市西康路 1 号《河海大学学报(哲学社会科学版)》编辑部 ,邮政编码 :210098 .联系电话 :025-83786376 .