

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2016.06.009

定靖中部地区地下水质量与分布特征分析

唐欢, 康卫东, 王润兰, 皮镡鸿

(西北大学大陆动力学国家重点实验室, 陕西西安 710069)

摘要:以2013年在陕北定靖中部地区采集的62组地下水水样的全分析测试结果为数据基础,分别用单指标评价法、内梅罗指数评价法、层级阶梯评价法和模糊综合评价法对地下水进行质量评价,并对评价结果进行综合加权平均,以期得到更加可靠的质量评价结果,旨在为该地区地下水资源的合理开发利用与保护提供依据。评价结果显示,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类水所占比例分别为3.23%、11.29%、9.68%、24.19%、51.61%,约75%的地下水不适合直接饮用;该区地下水质量较差。水质整体分布规律为:东北部沙漠—平原地区水质较好,西南部黄土丘陵地区水质差;在局部,油气井开采较密集和芦河周围地区水质较差,说明原生环境和人类活动是造成该区地下水质量差的两个主要原因。

关键词:地下水质量评价;综合权重评价法;分布特征分析;定靖中部地区;陕北

中图分类号:P641 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2016)06-0057-05

Evaluation of groundwater quality and analysis of groundwater distribution characteristics in central Dingjing area

TANG Huan, KANG Weidong, WANG Runlan, PI Kaihong

(State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: Based on the test results from 62 groups of groundwater samples in the central Dingjing area in the northern region of Shaanxi Province in the year 2013, the single factor index evaluation method, the Nemerow index evaluation method, the hierarchical evaluation method, and the fuzzy comprehensive evaluation method were used to evaluate the quality of groundwater in the study area. Comprehensive weighted averaging of the evaluated results was carried out in order to obtain results that were ultimately reliable, providing a basis for the rational development and protection of the groundwater resources in this area. The evaluation results show that groundwater of grades I, II, III, IV, and V accounted for 3.23%, 11.29%, 9.68%, 24.19%, and 51.61%, respectively, and about 75% of groundwater was not suitable for drinking. The overall quality of groundwater was poor in the study area. The groundwater quality was good in the northeastern desert-plain area and poor in the southwestern loess hilly area. In addition, the groundwater quality was poor in the densely-mined oil and gas well areas and around the Luhe River, indicating that the primitive environment and human activities are two main factors of poor quality of groundwater.

Key words: groundwater quality evaluation; comprehensive weight evaluation method; distribution characteristic analysis; central Dingjing area; northern region of Shaanxi Province

定边县和靖边县是陕北榆林市最西南的两个相邻的县,地处毛乌素沙漠与陕北黄土高原的接壤地

带,属半干旱大陆性季风气候区,降水稀少,区内主要的供水水源为地下水。定靖中部地区为平原区,

是主要人口活动区(图1)。近年来,对区内油、气、盐、煤资源的大量开发利用,以及城镇规模扩张和人口快速增长,使得区内的地下水环境问题日益突出,并对当地居民饮水安全等构成严重威胁。评价区内地下水质量并对及其分布特征开展研究,旨在为未来地下水的开发利用与保护以及地下水污染防控等提供基础依据。

1 地下水质量评价

本文分别采用单指标评价法、内梅罗指数法、模糊综合评价法和层级阶梯评价法对定靖中部地区的地下水进行质量评价,并在此基础上,利用综合权重评价法对区内地下水质量进行最终评判。

1.1 数据采集与评价指标选取

在定靖中部地区采集地下水水样62组,委托国土资源部地下水矿泉水及环境监测中心对水样进行水质全分析和微量元素检测,选择有分类标准且有检出的指标作为参评指标:Na⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、TH、TDS、COD、Fe、Mn,以及9项无机毒理指标:NO₃⁻、NO₂⁻、I⁻、F⁻、Pb、Cr⁶⁺、Mo、As、Se,共18个具有代表性的指标作为评价指标。选评指标的限值以GB/T14848—2007《地下水质量标准》(报批稿)为基础,结合国家饮用水卫生标准及国外相关水质标准而确定。

1.2 各类评价方法简介

1.2.1 单指标评价法

单指标评价法是用水质最差的单项指标所属类别来确定水体综合水质类别,即将各类指标的测试结果对照GB/T14848—2007《地下水质量标准》,确定相应指标的水质类别,并选取指标最差水质类别作为该水样的水质类别^[1]。

1.2.2 内梅罗指数法

根据实际评价中所选的污染因子计算评分标准

及污染指数,将污染指数与标准污染指数相对照,以确定水质类型。内梅罗指数法计算公式为

$$N_i = \frac{c_i}{s_{ij}} \quad (1)$$

$$N = \sqrt{\frac{N_{\max}^2 + \bar{N}^2}{2}} \quad (2)$$

式中:c_i为各污染因子的实测浓度;s_{ij}为各污染因子对应的标准浓度,本文选用以Ⅲ类水质标准;N_i为各污染因子的单项指数;N_{max}为N_i中的最大值;N̄为N_i的均值,i=1,2,⋯,n;n为评价污染因子的个数;N为传统的内梅罗污染指数^[2]。

1.2.3 模糊数学综合评价法

模糊综合评价法用模糊数学理论,通过隶属度的计算来确定水质类型,既考虑了各污染因子对水体的危害程度,也考虑了各污染因子与水体之间复杂的非线性关系。污染因子对水体危害越大,则所占的权重越大。在权重计算和隶属度符合运算时有4种复合算子,分别是主因素决定型算子(取小取大),主因素突出型算子(相乘取大),加权平均型算子(相乘相加)和不均匀平衡型算子(取小相加)。其中,相乘相加算子在计算时考虑了所有参评指标的影响,采用加权的方法既强调了最大污染指标,又使所有的参评指标在评价中均能发挥应有的作用,相对其他3种算子模型而言较为合理^[3-4]。本文运用相乘相加算子对该区地下水质量进行模糊评价。

1.2.4 层级阶梯评价法

首先将测试指标分为现场测试指标、无机常规化学指标、无机毒理指标和微量有机指标4个类别,对现场指标和无机常规化学指标分别进行评价(单指标法),依据评价结果得出初步的水质评价结果;再对无机毒理指标和微量有机指标进行综合评价,得出污染评价结果。其中污染等级划分依据为:①

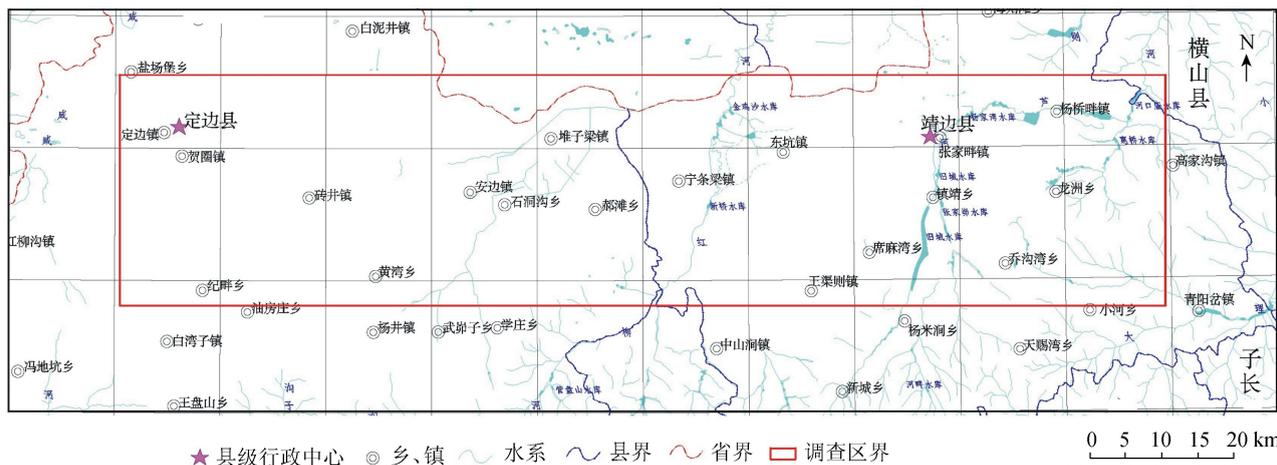


图1 研究区范围

级,无机毒理指标和微量有机指标小于等于水质标准Ⅱ类;②2级,无机毒理指标或有机指标超水质标准Ⅱ类,但均未超Ⅲ类标准;③3级,单项无机毒理指标或有机指标超水质标准Ⅲ类,并小于Ⅲ类水标准的1.5倍;④4级,无机毒理指标或微量有机指标超水质标准Ⅳ类,或有多项参数超水质标准Ⅲ类且污染超标强度大于50%。最后根据污染等级决定对水质等级是否进行升级,当污染等级大于水质级别时,水质级别升高一级;反之,则不升级。

1.3 评价结果讨论

由图2可以看出各类方法的评价结果不同,差异也较大,很难评定哪一种方法的评价结果更可靠。为了解决这一难题,拟将4种方法的评价结果进行综合,得出最终的评判结果。本文从各种方法的基本原理出发,并结合其评价结果特点,赋予不同方法相对应的权重值来避免不同方法的缺陷(有些评价结果偏大,有些偏小),并要求几类方法的权重值之和为1。对同一水样,将不同方法评价结果进行加权求和,然后四舍五入取整,就是该水样最终的质

罗指数法过于突出最大污染因子,使综合评分值偏高^[5-6],导致最终评价结果偏高,但是其评价结果比单指标评价法要低,所以赋予高于单指标评价法的权重值 $w_2(w_2 > w_1)$;层级阶梯评价法将测试指标进行分类,综合考虑了各类指标的影响,其评价结果比单指标评价法要低,所以赋予高于单指标评价法的权重值 $w_3(w_3 > w_1)$,但是其同类指标评价还是以水质最差级别作为评价结果,结果偏高;模糊综合评价采用相乘相加算子,加入每项指标的权重,综合考虑到每一类指标的影响,其结果比前3类评价方法的结果偏好,赋予高于 w_2, w_3 和 w_1 的权重值 $w_4(w_4 > w_2, w_3 > w_1)$ 。权重值的选取是重要的,但也是难度很大的,目前还未能找到一种满意的方法。本文借鉴计算机程序的调试方法,对4种方法的权重进行反复调试,得出最终接近实际的权重值。已知: $w_4 > w_2, w_3 > w_1$ 且 $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$,要求权重值间的差距不能过大,经过多次反复调试,最终确定 $w_1 = 0.15, w_2 = 0.25, w_3 = 0.25, w_4 = 0.35$ (表1)^[7-13]。

表1 定靖中部地区地下水质量评价结果汇总表

水质类型	评价结果				最终评价结果
	单指标评价法 (权重0.15)	内梅罗指数法 (权重0.25)	层级阶梯评价法 (权重0.25)	模糊综合评价法 (权重0.35)	
I	0	2	0	12	2
II	2	8	3	2	7
III	8	0	8	16	6
IV	15	24	16	0	15
V	37	28	35	32	32

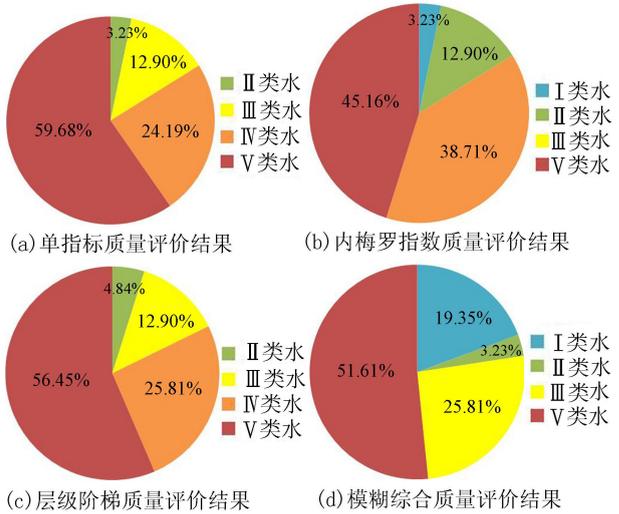


图2 4类方法的质量评价结果

量评价结果。该方法简称为综合权重评价法,用公式表达如下:

$$\begin{cases} M_j = [0.5 + \sum_{i=1}^n N_{ij}w_i] \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1 \end{cases} \quad (3)$$

式中: M_j 为水样 j 的最终质量评价结果; N_{ij} 为水样 j 第 i 种方法的质量评价结果; w_i 为第 i 种方法对应的权重值; $[0.5 + X]$ 为对 X 进行四舍五入取整的结果。

下面分别对各种方法的权重值进行讨论。单指标评价法是以最差的水质级别为评价结果,所以必然导致最终评价结果偏高,赋予其权重值 w_1 ;内梅

由图3可以看出,用综合权重评价法得出的质量评价结果明显克服了各种方法的缺陷:单指标和层级阶梯评价法以最劣水质为最终结果,而导致缺少I类水;内梅罗指数评价结果过分考虑最大值项,而缺少III类水;模糊综合评价法弱化最大值项,使结果偏小。综合权重评价法的评价结果综合了以上4种方法的结果,使结果更加可靠,更加接近实际。

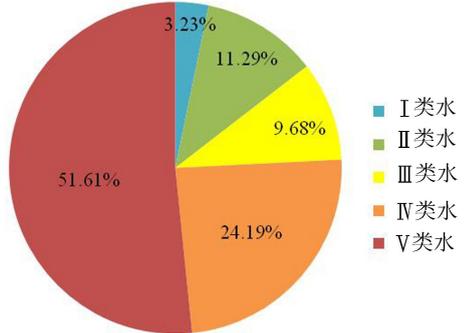


图3 定靖中部地区地下水质量综合权重评价法评价结果

最终评价结果显示:I类水2组,占取样总数3.23%;II类水7组,占样品总数11.29%;III类水6组,占取样总数9.68%;IV类水15组,占样品总数

24.19%；V类水 32 组，占样品总数 51.61%（表 1、图 3）。超出Ⅲ类水标准的有 47 组，即有 75.8% 的地下水不适宜直接饮用。由此可见，定靖中部地区地下水质量总体不好，大多地下水不能直接饮用。

2 地下水质量分布特征与成因分析

2.1 分布特征

从图 4 可以看出，靖边北部地区水质较好，仅个别地区出现水质较差点；定边南部黄土丘陵地区水质普遍较差，区内地下水质量状况分布与地下水补给特征呈现出一定的相关性。V类水主要分布在定边县城以南地区，IV类水主要分布在定边县城东部平原区和靖边县城之北的平原区以及靖边县城南部的黄土丘陵区；I ~ III类水主要分布在县城之北的平原区和沙漠区以及沙漠滩地区。整体上，从南到北，即从黄土丘陵区到平原区再到沙漠区，地下水的水质越来越好。

2.2 成因分析

原生环境中对地下水质量起最主要作用的是地层岩性和补给特征。在北部沙漠区和沙漠滩地区，包气带岩性主要为细砂、粉砂，含水性和透水性都好，地下水循环周期短、速度快，加之该区居民较少，石油天然气开采密度小，因而地下水水质较好；南部黄土斜坡与黄土丘陵区，包气带岩主要为粉土，地下水补给条件差、运移速度较慢，入渗水与周围岩层的淋滤作用和离子交换作用^[14]时间充分，使得水中矿物质成分富集，地下水无机离子增加，原生沉积环境较差，导致地下水质量较差。

不同质量地下水的分布与人类活动的相关性主要体现在污染源的空间分布上。这些地区是石油勘探和开采的较密集区域，由于勘探井或开采井施工工艺的需要，泥浆中参有大量化学添加剂，使得地层中部分离子超量富集，导致地下水部分化学组分改

变或超标。尤其定边南部分布大量开采油井，油井的开采层大多在该区地下水含水层之下，所以油井必然“穿过”地下含水层，从而影响地下水的质量，这也是定边南部水质差的原因之一。另外，靖边芦河周边地下水水质较差，与芦河沿河两岸的芦河酒厂、榆林炼油厂、天然气净化厂、甲醇厂等的生产废水，以及靖边城镇居民的生活污水直接排入芦河有关，芦河水补给地下水，导致芦河周边地下水水质较差，IV、V类水点分布较多。

3 结语

地下水质量评价方法很多，但是每一种方法都存在着不同的缺陷，导致结果往往与实际情况不一致。笔者首先采用单指标评价法、内梅罗指数评价法、层级阶梯评价法和模糊综合评价法对定靖中部地区地下水进行质量评价，各种方法的评价结果差异较大。为弥补这些方法的缺陷，让评价结果更加可靠，笔者提出综合权重质量评价方法。该方法对每一种方法进行权重赋值，通过权重大小来调节评价结果，最终评价结果为：I、II、III、IV、V类水所占比例分别为：3.23%、11.29%、9.68%、24.19%、51.61%。这种最终评判结果更加可靠和符合实际情况；定靖中部地区地下水质量普遍较差，地下水大多不适宜直接饮用；水质分布东北好、西南差，而且水质分布规律与原生环境和人类活动有一定的相关性。

参考文献：

[1] 程继雄,程胜高,张炜. 地下水质量评价常用方法的对比分析[J]. 安全与环境工程, 2008(2): 23-25. (CHENG Jixiong, CHENG Shenggao, ZHANG Wei. Comparison and analysis on common methods of groundwater quality assessment [J]. Safety and Environmental Engineering, 2008(2): 23-25. (in Chinese))

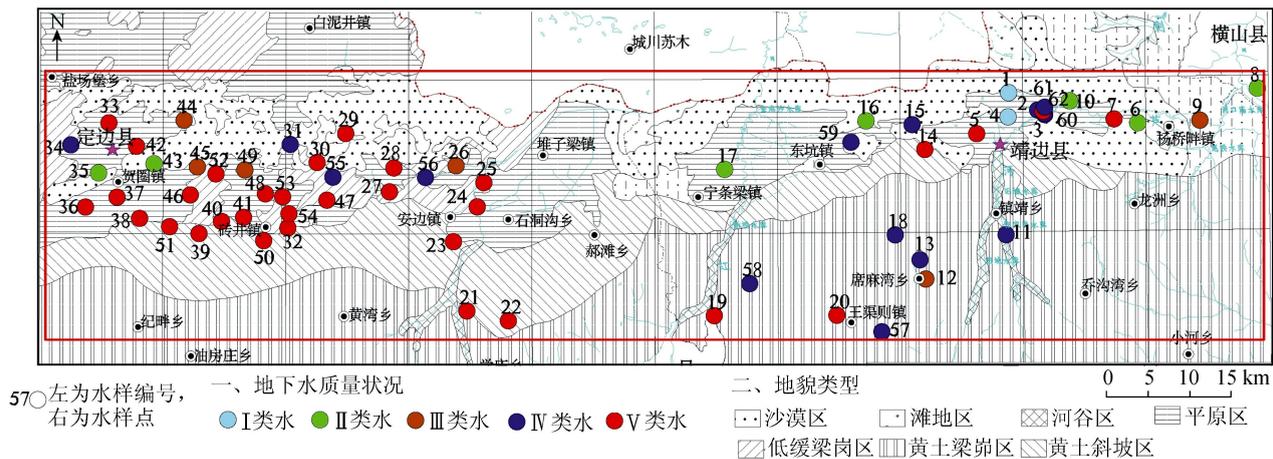


图 4 定靖中部地区地下水质量状况分布

- [2] 关云鹏. 利用内梅罗指数法模型评价地下水水质的探讨[J]. 山西水利科技, 2012(1): 81-84. (GUAN Yunpeng. A discussion on evaluating groundwater quality by Nemerow index method [J]. Shanxi Hydrotechnics, 2012(1):81-84. (in Chinese))
- [3] 杨磊磊, 卢文喜, 黄鹤, 等. 改进内梅罗污染指数法和模糊综合法在水质评价中的应用[J]. 水电能源科学, 2012(6): 41-44. (YANG Leilei, LU Wenxi, HUANG He, et al. Application of improved Nemerow pollution exponential method and fuzzy comprehensive evaluation method used in water quality assessment [J]. Water Resources and Power, 2012(6): 41-44. (in Chinese))
- [4] 马莉. 神府矿区地下水污染评价与污染场地地下水“三氮”运移模拟研究[D]. 西安: 西北大学, 2014.
- [5] 寇文杰, 林健, 陈忠荣, 等. 内梅罗指数法在水质评价中存在问题及修正[J]. 南水北调与水利科技, 2012(4): 39-41, 47. (KOU Wenjie, LIN Jian, CHEN Zhongrong, et al. Existing problems and modifications of using Nemerow index method in water quality assessment [J]. South-to-North Water Diversion and Water Sciences & Technology, 2012(4): 39-41, 47. (in Chinese))
- [6] 李亚松, 张兆吉, 费宇红, 等. 内梅罗指数评价法的修正及其应用[J]. 水资源保护, 2009, 25(6): 48-50. (LI Yasong, ZHANG Zhaoji, FEI Yuhong, et al. Improvement of Nemerow index method and its application [J]. Water Resources Protection, 2009, 25(6): 48-50. (in Chinese))
- [7] 李亚松, 张兆吉, 费宇红, 等. 地下水质量综合评价方法优选与分析: 以滹沱河冲洪积扇为例[J]. 水文地质工程地质, 2011(1): 6-10. (LI Yasong, ZHANG Zhaoji, FEI Yuhong, et al. Optimal selection and analysis of groundwater quality evaluation methods: a case study in the Hutuo River alluvial pluvial fan [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2011(1): 6-10. (in Chinese))
- [8] 李亚松. 地下水质量综合评价方法研究: 以滹沱河冲洪积扇为例[D]. 北京: 中国地质科学院, 2009.
- [9] 杨炳超. 地下水质量综合评价方法的研究[D]. 西安: 长安大学, 2004.
- [10] 李名升, 张建辉, 梁念, 等. 常用水环境质量评价方法分析与比较[J]. 地理科学进展, 2012(5): 617-624. (LI Mingshen, ZHANG Jianhui, LIANG Nian, et al. Comparisons of some common methods for water environmental quality assessment [J]. Progress in Geography, 2012(5): 617-624. (in Chinese))
- [11] 刘石. 地下水质量评价方法探讨[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006.
- [12] 文冬光, 林良俊, 孙继朝, 等. 中国东部主要平原地下水质量与污染评价[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2012(2): 220-228. (WEN Dongguang, LIN Liangjun, SUN Jichao, et al. Groundwater quality and contamination assessment in the main plains of Eastern China [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2012(2): 220-228. (in Chinese))
- [13] 安达, 姜永海, 杨昱, 等. 海明距离模糊法在垃圾填埋场地下水质量评价中的应用[J]. 环境工程技术学报, 2013(2): 119-123. (AN Da, JIANG Yonghai, YANG Yu, et al. Application of hamming distance fuzzy mathematics method in groundwater quality assessment of municipal solid waste landfills [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2013(2): 119-123. (in Chinese))
- [14] 王超, 束龙仓, 鲁程鹏. 渗透系数空间变异性对低渗透地层中地下水溶质运移的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2014, 42(2): 137-142. (WANG Chao, SHU Longcang, LU Chengpeng. Impacts of spatial variability of hydraulic conductivity on solute transport in groundwater of low permeability stratum [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2014, 42(2): 137-142. (in Chinese))
- (收稿日期: 2016-01-30 编辑: 彭桃英)
-
- 信息播报 •
- ## 第二届世界水谷论坛暨首届汶川论坛在四川阿坝州汶川举行
- 2016年11月5—6日, 第二届世界水谷论坛暨首届汶川论坛在四川省阿坝州汶川举行。来自美国、加拿大、英国、巴基斯坦、香港等19个国家和地区的政界、学界、企业界、金融机构的嘉宾代表共聚一堂, 共同围绕“聚焦四川阿坝, 提升生态文明”主题, 以“水”为脉络, 汇聚中外专家的智慧甘泉, 共举生态文明建设的蓬勃发展。
- 本届论坛由河海大学与四川省阿坝藏族羌族自治州人民政府、水电水利规划设计总院联合主办, 由汶川县人民政府、河海大学世界水谷研究院、河海大学商学院、水电水利规划设计总院环境保护部、阿坝师范学院、阿坝州科学研究院和阿坝州清洁能源与水生态文明商会联合承办。
- 本届论坛分设生态文明建设与协同创新战略、“生态阿坝, 绿色崛起”、水生态综合治理、绿色经济、水生态文明建设示范、水生态修复技术6个分论坛, 进行专题交流。论坛还设置了嘉宾对话环节, 共同围绕“政产学研金文”如何协同生态文明建设、如何为岷江上游水生态综合治理向阿坝州献计献策、世界水谷“政产学研金文”协同创新网络如何占据全球治水最高点等话题开展讨论。嘉宾们一致认为未来世界水谷领域的水生态修复和震后汶川选择生态经济发展之路前景光明。
- 在闭幕式上, 论坛发布了《汶川宣言》, 倡导以水为脉络引领生态文明建设、以国际合作共举生态文明建设、以制度体系规范生态文明建设、以多主体协同治理为基础奠定生态文明建设、以审慎的科技推动生态文明建设、以立体的绿色经济支撑生态文明建设、以核心区域为示范践行生态文明建设7项共同原则, 旨在共同探索一条“道法自然、天人合一”的可持续发展之路。
- (本刊编辑部 供稿)