

鄂尔多斯盆地大气降雨氢氧同位素的组成与季节效应

杨郅城¹⁾ 侯光才¹⁾ 文东光²⁾ 庞忠和³⁾ 王 冬¹⁾

1) 西安地质矿产研究所, 陕西 西安, 710054; 2) 中国地质调查局, 北京, 100011;
3) International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria

摘 要 通过对鄂尔多斯盆地雨水同位素的分析, 建立了盆地雨水线方程, 计算出雨水氢氧同位素的加权平均值, 为开展鄂尔多斯盆地地下水氢氧同位素的研究提供了依据。分析了雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 与气温、降雨量和季节的变化关系, 总结出鄂尔多斯盆地冬季雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 较低, 春季雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 较高, 夏季雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 亏损的特点, 得出雨水来源和形成温度是鄂尔多斯盆地雨水同位素组成随季节变化根本原因的结论。

关键词 鄂尔多斯盆地 同位素 温度 降雨量

Hydrogen-Oxygen Isotope Composition of Precipitation and Seasonal Effects on $\delta^{18}\text{O}$ of Precipitation in Ordos Basin

YANG Yuncheng¹⁾ HOU Guangcai¹⁾ WEN Dongguang¹⁾ PANG Zhonghe³⁾ WANG Dong¹⁾

1) Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an, Shaanxi, 710054; 2) China Geological Survey,
Beijing, 100011; 3) International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria

Abstract The local meteoric water line is set up on the basis of analyzing the precipitation isotopes in Ordos basin, and the average precipitation isotope composition is figured out. The basis is provided for the research of hydrogen and oxygen isotopes in groundwater of Ordos basin. The relationships between the rainfall $\delta^{18}\text{O}$, the temperature and the amount of rainfall and the seasonal change are analyzed. It is concluded that the rainfall $\delta^{18}\text{O}$ in winter is lower than that in summer, that the rainfall $\delta^{18}\text{O}$ in spring is the highest, and that the rainfall $\delta^{18}\text{O}$ in summer is depleted. The reasons for the change of rainfall $\delta^{18}\text{O}$ with the season in Ordos basin are put forward.

Key words Ordos basin isotope temperature amount of rain

鄂尔多斯盆地是我国一大型地下水盆地, 蕴藏着丰富的地下水资源。盆地内大气降雨是盆地地下水的根本来源(杨郅城, 2004)。因此, 在鄂尔多斯盆地地下水勘查中, 对盆地内大气降雨同位素组成特征的研究, 是利用环境同位素技术查明盆地地下水的补给作用及其演化的基础。宁夏地质调查院乔光东等^①曾在银川、苏峪口和陶乐等气象站开展过雨水同位素的研究工作; 陕西地质调查院张春生等^{②③}曾在西安、高陵、延安等气象站开展过雨水同位素的研究工作。国际原子能机构 1988~2000 年曾在西安、银川和包头气象站作过雨水同位素的监测工作。由于前人的工作在空间和时间跨度上有一定

的局限性, 未能从全盆地的角度来总结雨水同位素组成特征。为此, 笔者自 1999 年鄂尔多斯盆地地下水勘查项目实施以来, 在西安、平凉、靖边、定边、华池、宁县等气象站继续开展了雨水同位素的研究工作。根据所取得的同位素资料结合前人的工作成果, 可以建立全盆地雨水线, 并计算出雨水同位素组成的体积加权平均值; 查明雨水同位素随季节的变化规律及其影响因素。

1 自然地理概况

鄂尔多斯盆地位于中国西北地区东部, 地跨内蒙、山西、陕西、甘肃、宁夏五省(自治区)。总面积约

本文由中国地质调查局项目“鄂尔多斯盆地地下水勘查”(编号: 1212010331302) 国际原子能机构合作项目(编号: CPR8012, CPR8017)资助。

第一作者 杨郅城, 男, 1965 年生, 硕士, 高级工程师, 主要从事地球化学研究 E-mail: yangyuncheng@sina.com。

① 乔光东, 李顺江. 1992. 宁夏地质调查院银川平原农业生产基地综合勘查评价报告。

② 张春生, 史高让, 贾年祚. 1988. 陕西省现代大气降水氢氧同位素分布规律研究报告。

③ 张春生, 史高让. 1993. 西安及其地区地下水稳定同位素组成特征研究报告。

36.5×10⁴ km²。盆地四周多被山地环绕,南为秦岭,北为阴山,东为吕梁山,西为贺兰山-六盘山。山地海拔 1 500~2 500 m。盆地北部为沙漠高原,南部为黄土高原。总地势为西北高(海拔 1 000~1 700 m),东南低(400~700 m)。盆地内气候属干旱-半干旱气候条件,降雨量极不均匀,从东南向西北降雨量由 600~650 mm 减少到 150~200 mm。蒸发量(以口径 20 cm 蒸发皿计)从西北向东南由 3 000 mm 降到 1 500 mm。现已初步查明,盆地地下水天然资源量为 97.62×10⁸ m³/a(王德潜等 2002,2004)。

2 数据处理

本文所引用的雨水氢氧同位素数据来源于三部

分。其中,150 组数据引自国际原子能机构大气降雨数据网 1985~2000 年的数据;28 组数据是 1999 年以前张春生^①、乔光东^②等所作的工作;其余 92 组数据是 1999 年以后鄂尔多斯地下水勘查项目实施中所作的工作。

本文中月雨水 δ¹⁸O、δD 值是鄂尔多斯盆地西安、靖边、平凉、银川等 16 个气象站雨水同位素资料的月重量加权平均值。月降雨量是盆地内 54 个气象站多年降雨量资料,经算术平均得到的月平均降雨量。月气温是多年月平均气温(表 1)。

同位素 δ¹⁸O 分析方法,采用 CO₂ 平衡法,标准: V-SMOW,分析精度:±0.2‰。氘的分析方法采用 锌法,标准: V-SMOW,分析精度:±2‰。

表 1 鄂尔多斯盆地大气降雨参数统计表
Table 1 Statistics of parameter of precipitation in Ordos basin

月份	δ ¹⁸ O/‰(重量加权平均)	δD/‰(重量加权平均)	月平均降雨量/mm	月平均气温/℃
1	-11.22	-73.50	4.00	-3.96
2	-9.74	-63.11	6.25	0.05
3	-6.61	-38.68	17.02	4.89
4	-4.63	-27.28	30.08	11.63
5	-4.85	-30.78	42.64	18.06
6	-6.93	-48.15	54.84	22.35
7	-7.91	-57.43	104.37	24.52
8	-8.22	-53.81	98.22	22.06
9	-8.87	-59.57	71.25	16.74
10	-8.56	-57.71	37.52	10.71
11	-9.21	-59.62	14.73	4.51
12	-10.20	-64.82	3.52	-0.58

3 雨水同位素组成特征

鄂尔多斯盆地雨水氢氧同位素在 δ¹⁸O-δD 关系图上(图 1)呈线性分布。雨水 δ¹⁸O 分布范围为 -21.8‰~0.70‰,加权平均值为 -7.43‰,算术平均值为 -7.86‰;δD 分布范围为 -153.84‰~-8.80‰,加权平均值为 -49.59‰,算术平均值为 -53.80‰。与全球雨水线(GMWL)相比,鄂尔多斯盆地雨水线(LMWL)右倾,这是由于鄂尔多斯盆地内气候干燥,雨水二次蒸发作用的结果。

4 降雨量、气温和雨水同位素与季节的关系

以月份为横坐标,分别以月平均降雨量、气温和

雨水同位素 δ¹⁸O 为纵坐标,得到月平均降雨量、气温和雨水同位素组成 δ¹⁸O 与季节的关系图(图 2)。

从图 2 可以看出,鄂尔多斯盆地 1 月至 7 月月降雨量从 4 mm 逐渐增大至 104.37 mm,从 8 月至 12 月,月降雨量逐渐降低至 3.52 mm。其中,6~9 月降雨量最大,占全年降雨量的 76.6%,11 月至次年 3 月总降雨量较小,仅占全年降雨量的 9.4%。

盆地月平均气温 1 月至 7 月由 -3.96℃ 升高至 24.52℃,8 月至 12 月,气温由 22.06℃ 降至零下 0.58℃。其中,夏季 6~9 月月平均气温大于 15℃,冬季 11 月至次年 3 月,月平均气温小于 5℃。

盆地内雨水 δ¹⁸O 1~4 月由 -11.22‰ 增加至 -4.63‰,5~7 月由 -4.85‰ 降至 -7.91‰,8~12 月由 -8.22‰ 降至 -10.20‰。雨水 δ¹⁸O 最高值出

① 张春生,史高让,贾年祚. 1988. 陕西省现代大气降水氢氧同位素分布规律研究报告.
② 张春生,徐继刚. 1993. 西安及其地区地下水稳定同位素组成特征研究报告.
③ 乔光东,李顺江,陈海. 2002. 宁夏地质调查院银川平原农业生产基地综合勘查评价报告.

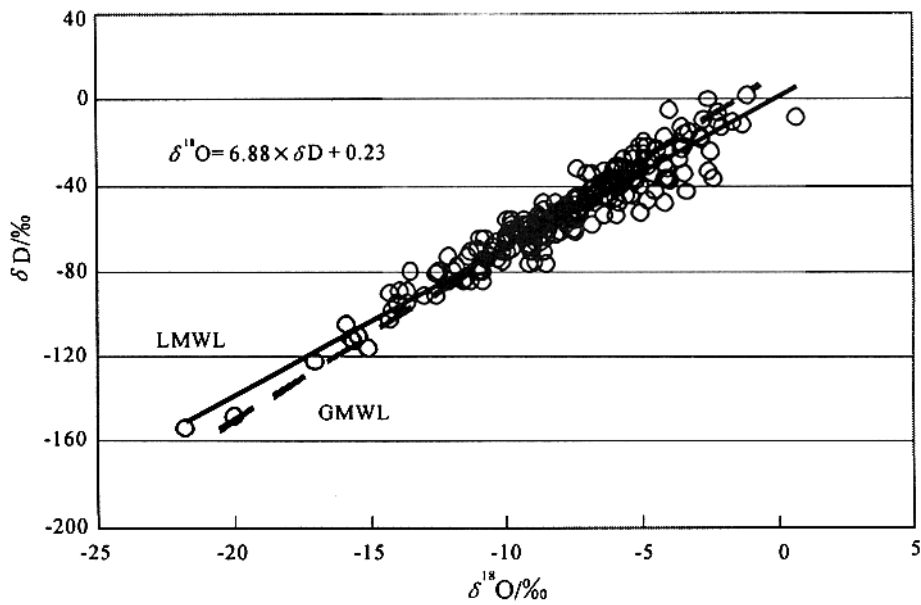


图 1 鄂尔多斯盆地雨水 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 关系图

Fig.1 The isotope composition of precipitation in Ordos basin

图中圆圈是盆地内雨水点 实线是鄂尔多斯盆地 雨水线(LMWL) 虚线是全球雨水线(GMWL)

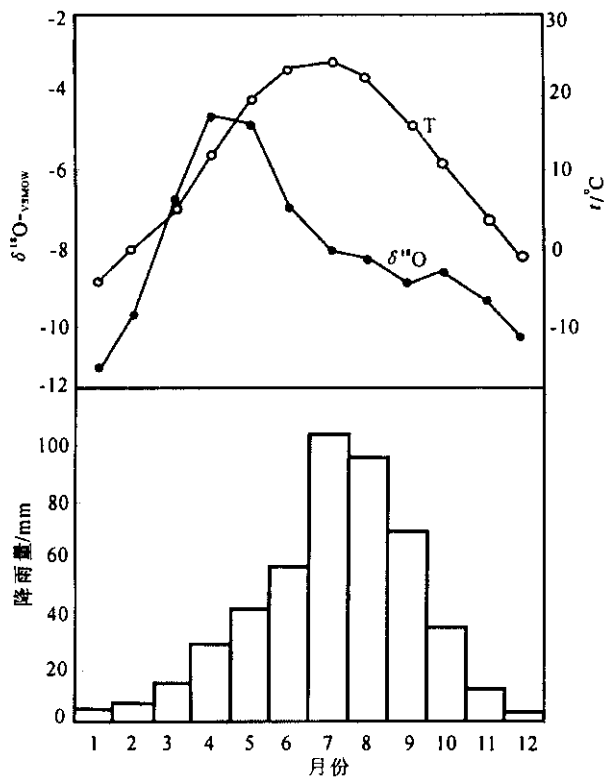


图 2 鄂尔多斯盆地月平均降雨量、气温和雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 关系图

Fig.2 Amount of precipitation per month, average temperatures and $\delta^{18}\text{O}$ in rain in Ordos basin

夏季雨水同位素变化范围较小 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-8.87\text{‰} \sim -6.93\text{‰}$, δD 为 $-59.57\text{‰} \sim -48.15\text{‰}$ 冬季雨水同位素变化范围较大 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-11.22\text{‰} \sim -6.61\text{‰}$, δD 为 $-73.50\text{‰} \sim -38.68\text{‰}$ 。

5 雨水同位素组成的影响因素

影响雨水同位素组成的因素很多,包括水蒸汽的来源、气温、高程、纬度和大陆效应等因素,但在鄂尔多斯盆地主要影响因素是雨水的来源和气温。

夏季,来自太平洋的东南季风和来自印度洋的西南季风带有大量的水蒸汽,是鄂尔多斯盆地夏季雨水的主要来源。由于同位素的分馏作用,夏季季风所带的水蒸汽经多次降雨到达鄂尔多斯盆地后,水蒸汽同位素已经变得十分亏损;另一方面,由于夏季雨量较大,气温对雨水同位素的影响作用较弱,所以,夏季雨水同位素变化范围较小。

冬季,来自高纬度西北利亚寒冷干燥的冬季季风,是鄂尔多斯盆地冬季雨水的主要来源。由于冬季雨量较小,气温对雨水同位素的影响作用较明显,所以,冬季雨水同位素变化范围较大。

据 Rozanski 等(1993)的研究,世界上大多数地区雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 与地表气温变化是同步变化。气温越低,雨水同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 、 δD 越低。在鄂尔多斯盆地,气温也是决定雨水同位素组成的一个重要因素。从

现在春季 4、5 月份,其 $\delta^{18}\text{O}$ 值大于 -7‰ 最低值出
现在冬季,其 $\delta^{18}\text{O}$ 值小于 -9‰ 。

10 月至次年 4 月,雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 与气温有明显的正相关关系,月平均气温与雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 的线性关系式为: $\delta^{18}\text{O}$ 为 $0.317\ t_{\text{月平均}} - 9.83\text{‰}$;从 5 月至 10 月,雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 与气温的相关性较差,这是由于夏季雨量较大,气温对雨水同位素的影响作用较弱的原因。与夏季较高的平均气温相比,鄂尔多斯盆地夏季雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 明显亏损。

6 结论

- (1)由于鄂尔多斯盆地内气候干燥,雨水二次蒸发作用明显,与全球雨水线相比,鄂尔多斯盆地雨水线右倾。雨水同位素多年加权平均值 $\delta^{18}\text{O}$ 为 -7.43‰ , δD 为 -49.59‰ 。
- (2)鄂尔多斯盆地雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 值受气温、季风和降雨量的影响,形成了冬季雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 较低,春季雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 最高,夏季雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 亏损的特点。
- 致谢 在雨水样品的采集过程中,得到了‘鄂尔多斯盆地地下水勘查’项目参加单位——内蒙、山

西、陕西、甘肃、宁夏五省(自治区)地质调查院的协助。在项目的执行过程中,得到了国际原子能机构的支持,在此,一并致谢。

参考文献

王德潜,刘方,侯光才等. 2002. 鄂尔多斯盆地地下水勘查. 西北地质, 35(4):167~173.

王德潜,刘祖植,尹力河. 2004. 鄂尔多斯盆地地下水资源及其可持续利用. 见 侯光才、张茂省. 鄂尔多斯盆地地下水资源与可持续利用. 陕西 陕西科学技术出版社,411~420.

杨郧城,侯光才,马思锦等. 2004. 鄂尔多斯盆地地下水氢氧同位素特征. 见 侯光才、张茂省. 鄂尔多斯盆地地下水资源与可持续利用. 陕西 陕西科学技术出版社,394~401.

IAEA Database on Precipitation Isotope. 2003. <http://www.iaea.org>.

Ian Clark,Peter Fritz. 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology. New York. , Lewis Publishers. 64~65.

Rozanski K, Aragua's L, Gonfiantini R. 1993. Isotopic patterns in modern global precipitation. In :Continental isotope Indicators of Climate, American Geophysical Union Monograph.