



华北平原地下水研究中的同位素技术应用

陈宗宇

中国地质科学院水文地质环境地质研究所

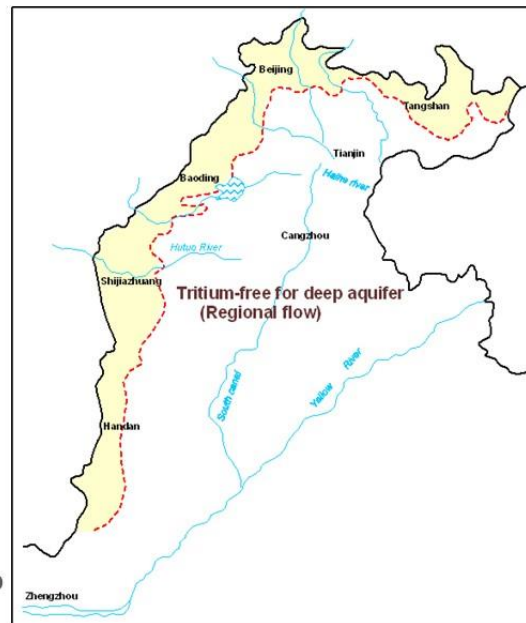
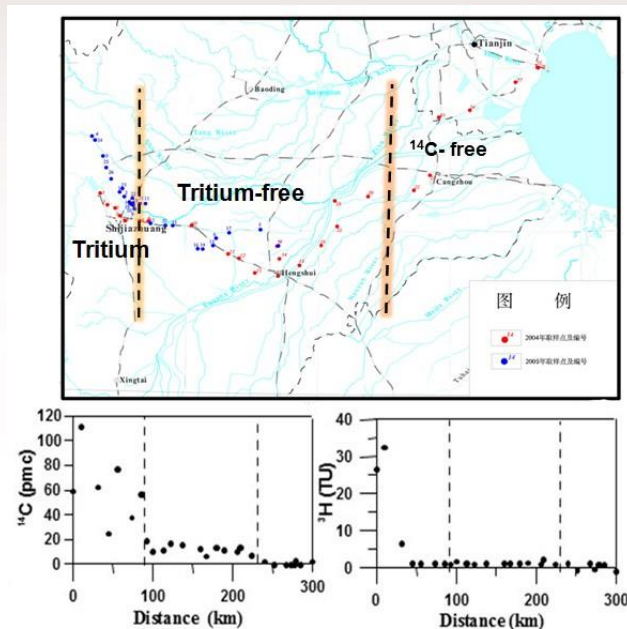
2020年11月



地下水年龄测定及年龄结构

^3H 和 ^{14}C 的指示

- 山前: ^3H : $\sim 30\text{TU}$,
 ^{14}C : $60 \sim 112\text{pMC}$,
年龄 < 60 年,
年轻水, **young water**
- 中部: ^3H : $< 1\text{TU}$,
 ^{14}C : $20 \sim < 1\text{pMC}$,
年龄 $60 \sim 5$ 万年,
年老水, **old water**
- 滨海: ^3H : $< 1\text{TU}$,
 ^{14}C : $< 1\text{pMC}$,
年龄 > 4 万年,
古老水, **very old water**



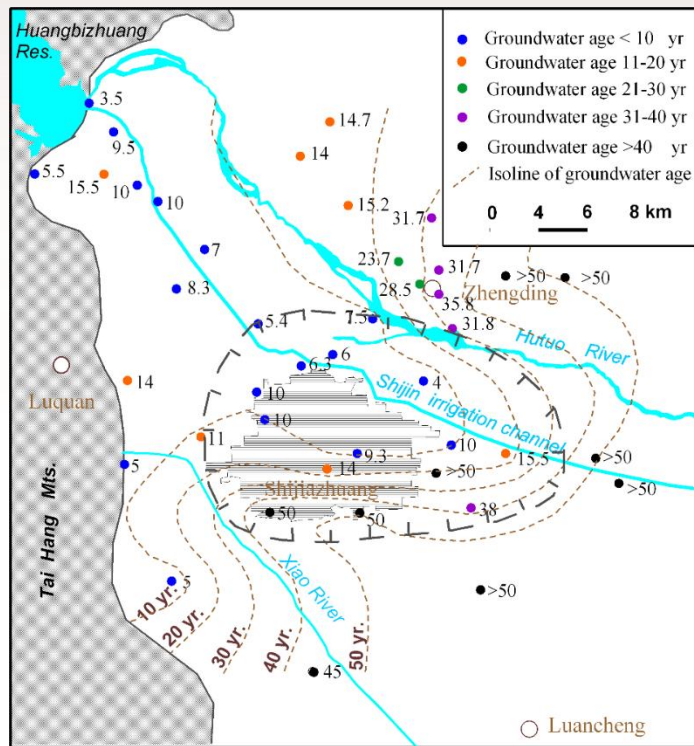
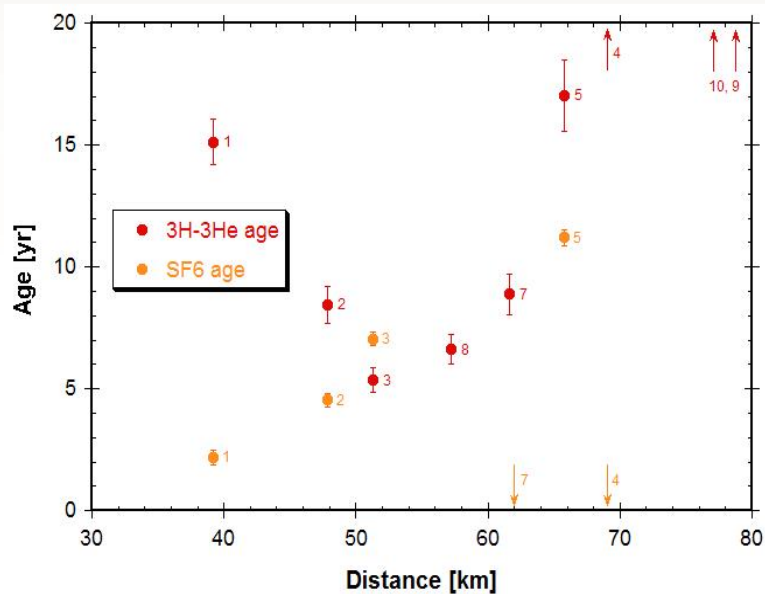


地下水年龄测定及年龄结构

山前地下水（年轻）的年龄测定： ^3H 、 ^3H - ^3He 和 SF_6 方法

氦： < 50 年，

SF_6 和 ^3H - He ：5-40年

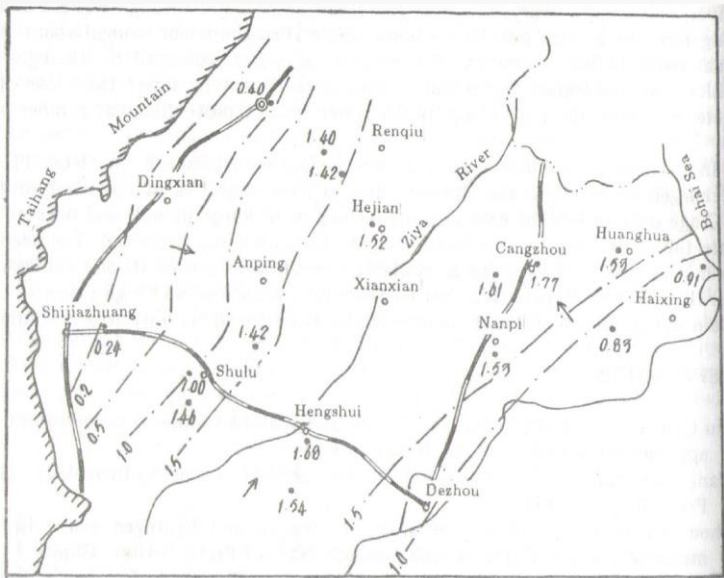




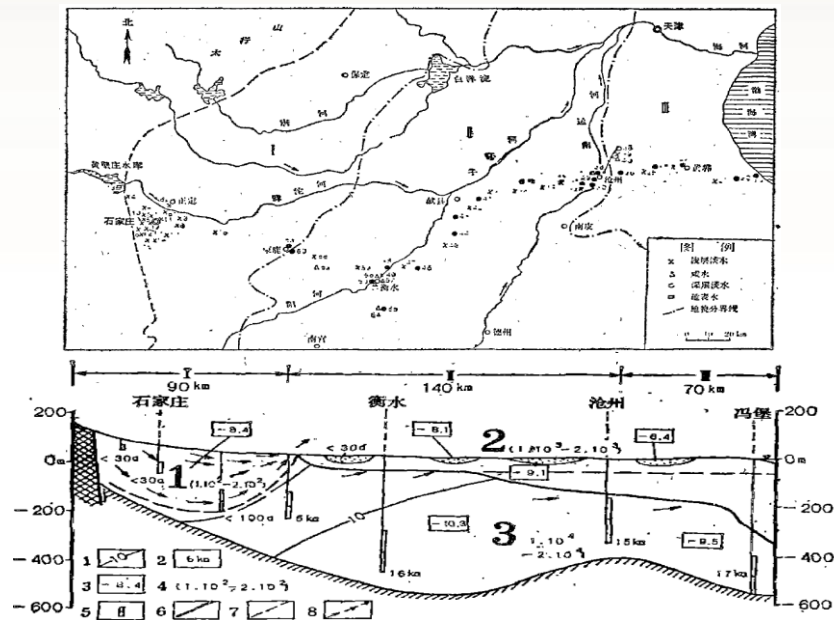
地下水年龄测定及年龄结构

中部平原地下水 (年老) 年龄测定: ^{14}C 方法

- 刘存富教授, 1985
第二和第三含水岩组1万-1.5万年 (深度 < 300m)



- 张之淦教授, 1985, 石家庄—衡水—沧州—渤海湾同位素水文地质剖面
第三含水岩组1万到大于2.5万。



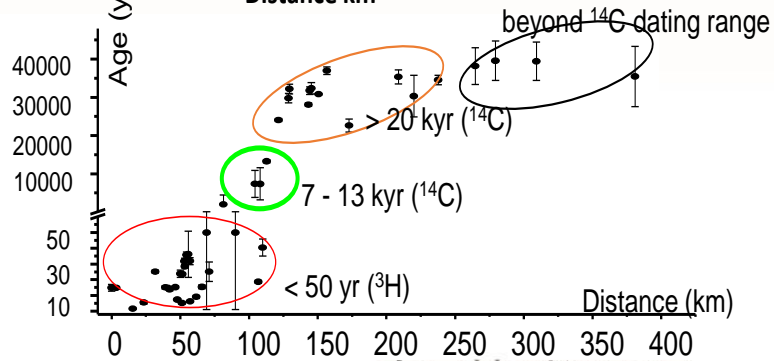
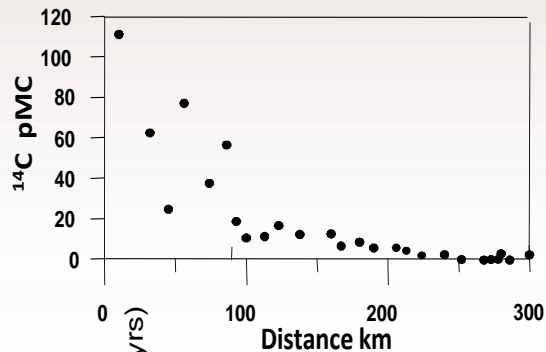
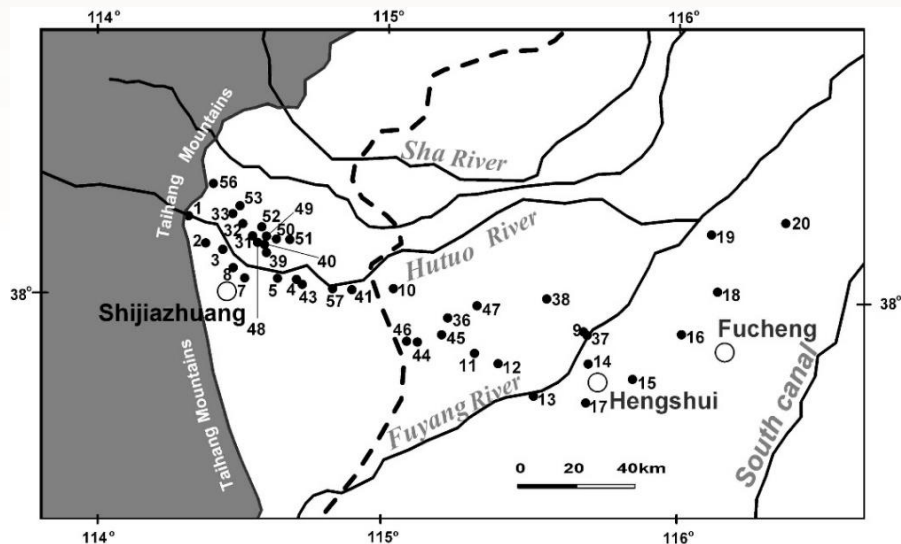


地下水年龄测定及年龄结构

陈宗宇：2004—2005，石家庄—衡水—沧州—渤海湾

➤ ^{14}C 样品—AMS

- ✓ 中部平原最老4万年,
- ✓ 东部沿海平原超出测年范围 (井深>400m)





地下水年龄测定及年龄结构

中部平原地下水 (年老) 年龄: ^{14}C 、 ^4He 法

(Wei wen 2005)



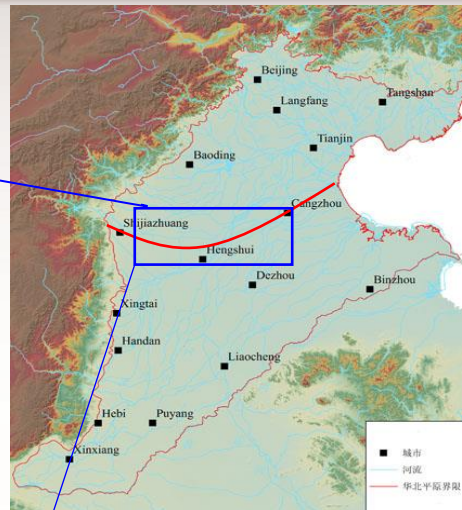
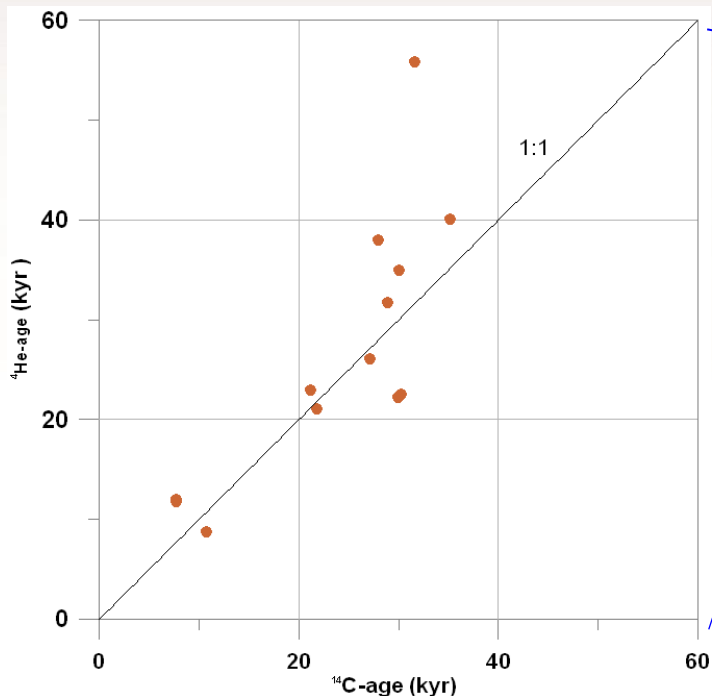
Applied Geochemistry
Volume 63, December 2015, Pages 182-189



Identification of He sources and estimation of He ages in groundwater of the North China Plain

Wen Wei^a, Werner Aeschbach-Hertig^b, Zongyu Chen^{a, R}

- ^4He : 9千——5.5万年
- ^{14}C : 8千——4万年





地下水年龄测定及年龄结构

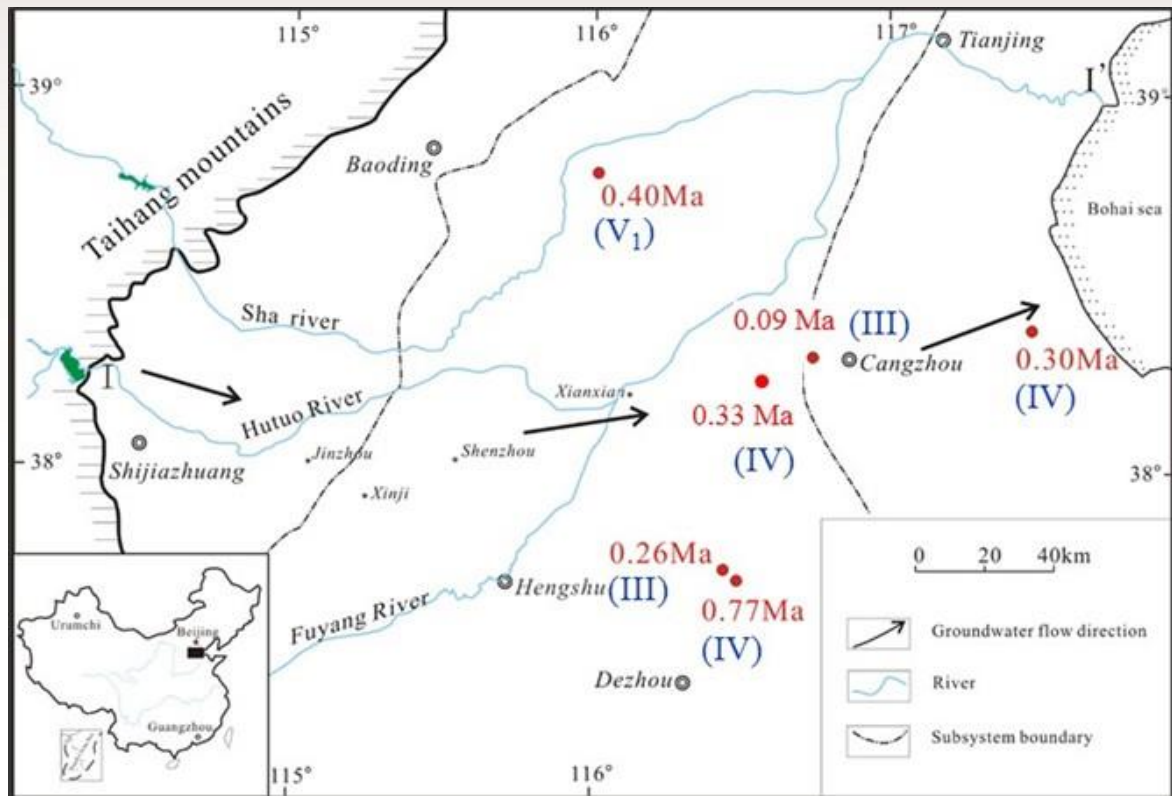
滨海平原地下水 (古老) 年龄测定: — ^{36}Cl 方法

Liu et al., 1993;

Dong et al., 2002

III: 9万年 — 26万年.

IV: 30万年 — 77万年

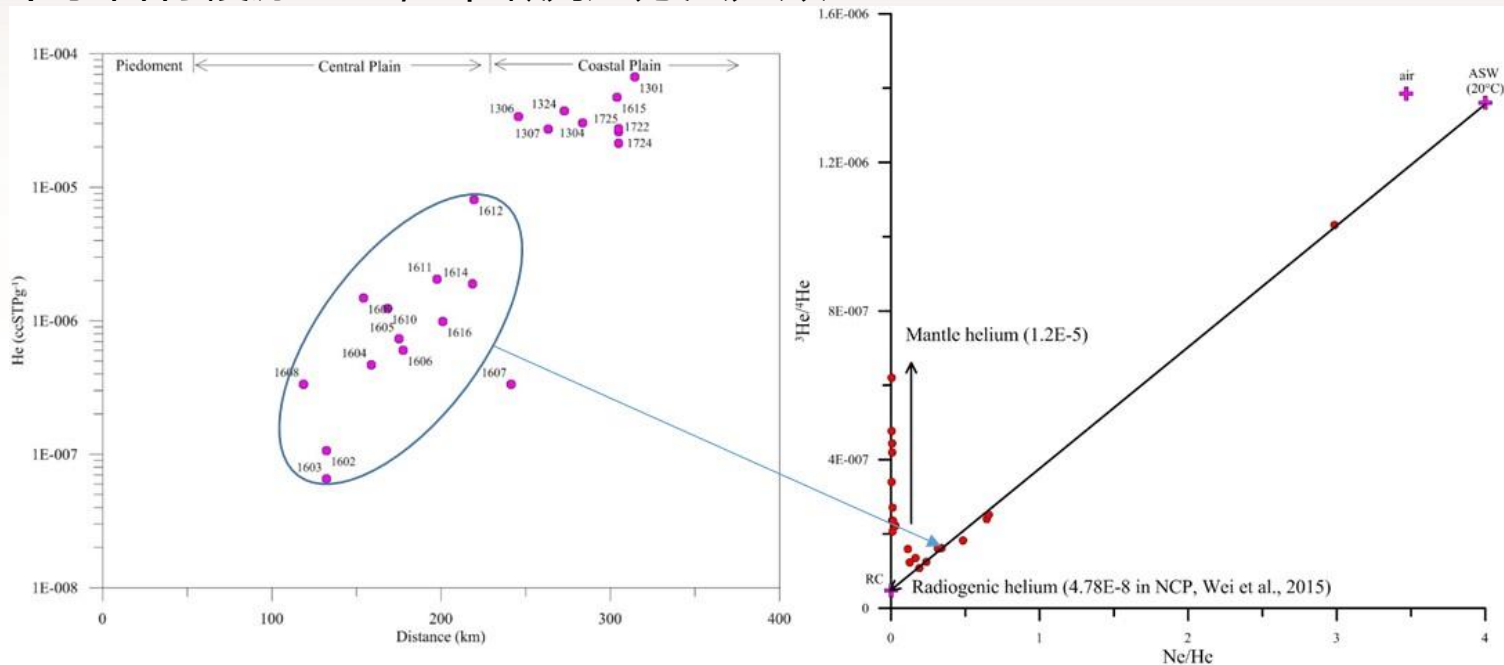




地下水年龄测定及年龄结构

滨海平原地下水（古老）年龄测定： ^4He 方法

滨海平原地下水含有幔源 ^4He ，年龄测定方法无效





地下水年龄测定及年龄结构

新技术带来的突破:

中国科大卢征天教授团队:

ATTA-Kr-81定年技术

- 发现东部滨海区深部地下水年龄 ~ 1Ma,

Earth and Planetary Science Letters 493 (2018) 208–217



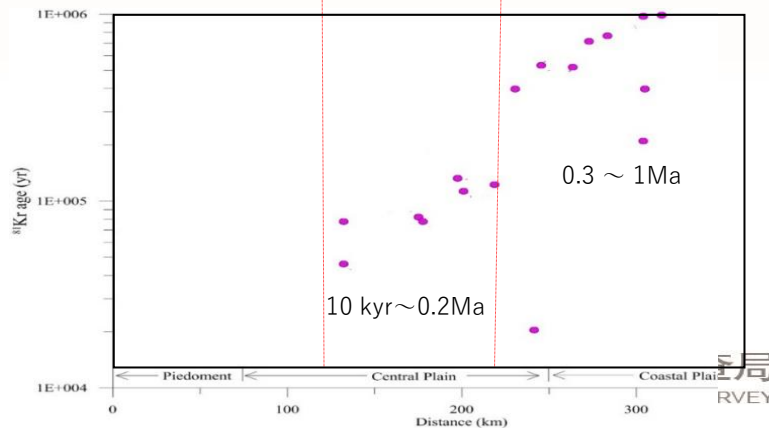
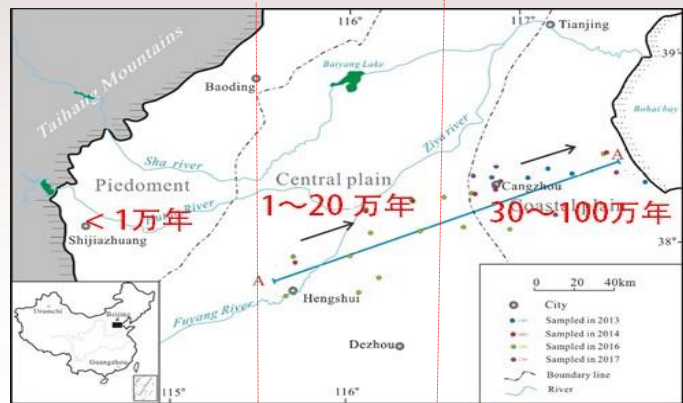
Application of combined ^{81}Kr and ^4He chronometers to the dating of old groundwater in a tectonically active region of the North China Plain

Takuya Matsumoto^{a,*}, Zongyu Chen^b, Wen Wei^b, Guo-Min Yang^c, Shui-Ming Hu^c, Xiangyang Zhang^b

^a Isotope Hydrology Section, Division of Physical and Chemical Sciences, Department of Nuclear Sciences and Applications, International Atomic Energy Agency, Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

^b Institute of Hydrogeology and Environmental Geology (IHG), Chinese Academy of Geological Sciences, 050061, Shijiazhuang, China

^c Hefei National Laboratory for Physical Sciences at Microscale, iChem Center, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230026, China





地下水年龄测定及年龄结构

➤ 改进⁴He测年方法—⁸¹Kr校正，解决了长期以来⁴He测年的技术难点—幔源氦影响问题

$$\tau_{\text{corr}} = \frac{{}^4\text{He}_{\text{terr}}}{\left(\frac{J_0}{\phi Z_0 \rho_w} + A_{\text{He}}\right)}$$

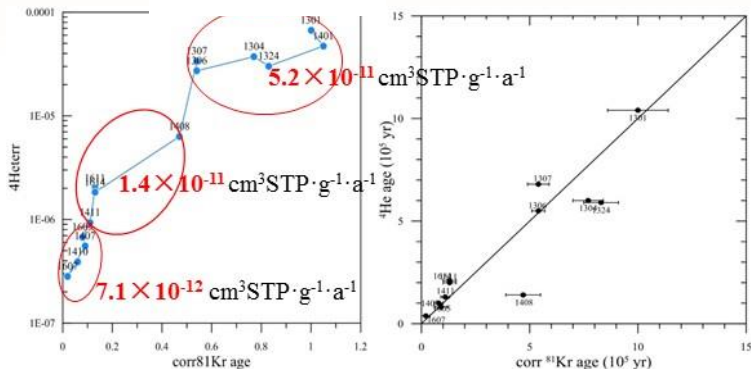
难以量化，外部来源⁴He进入含水层底部的基通量（经验数值，统计值）。

解决办法？——放射性核素“标定/校准”

解决办法一：集中参数法

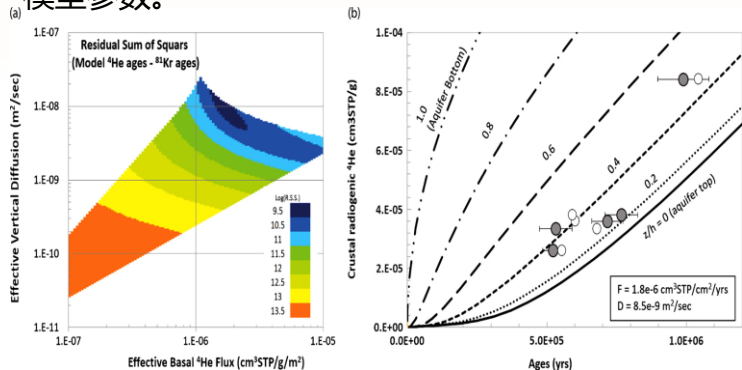
$$\tau_{\text{corr}} = \frac{{}^4\text{He}_{\text{terr}}}{\left(\frac{J_0}{\phi Z_0 \rho_w} + A_{\text{He}}\right)}$$

ΣR



解决办法二：模型模拟拟合法

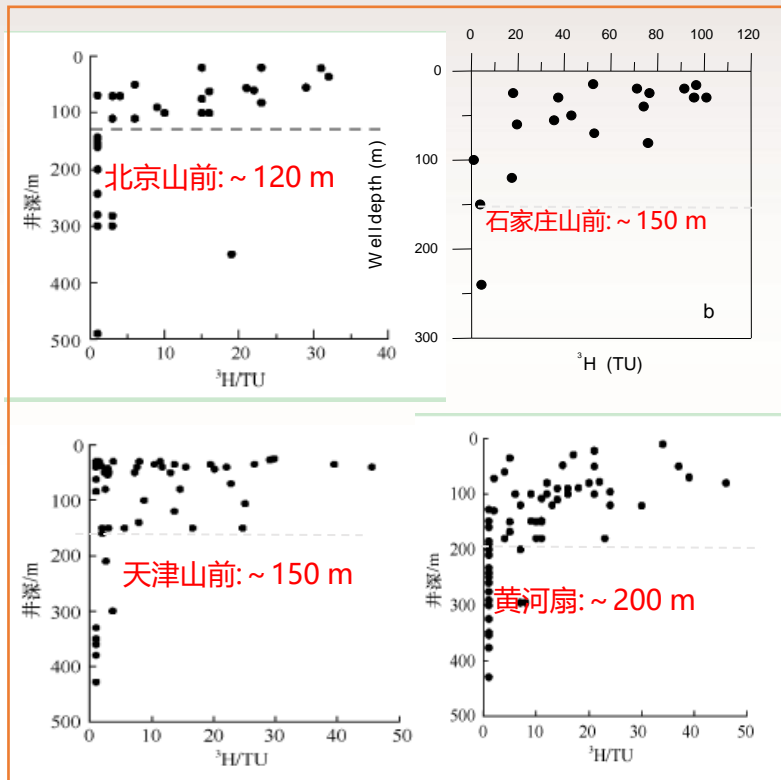
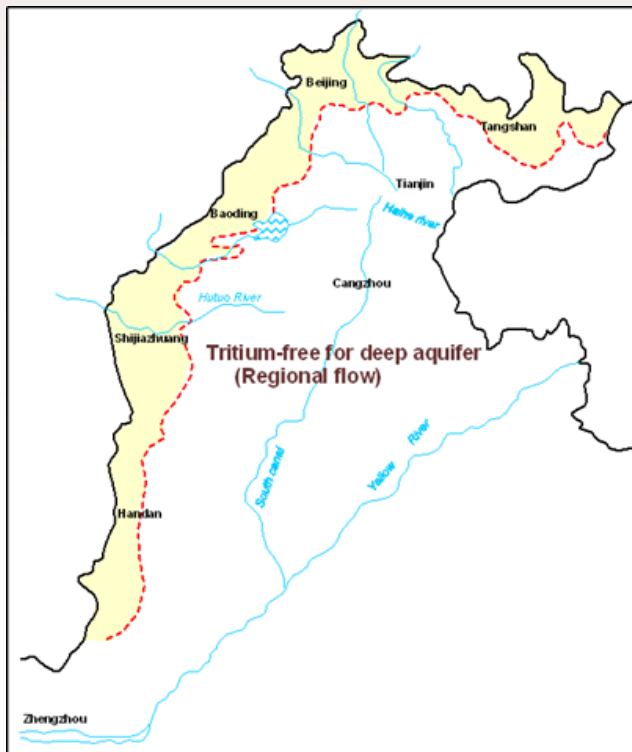
用⁸¹Kr年龄来约束和拟合地下水中的⁴He年龄计算模型参数。





地下水补给及其变化

现代补给区——氚分布

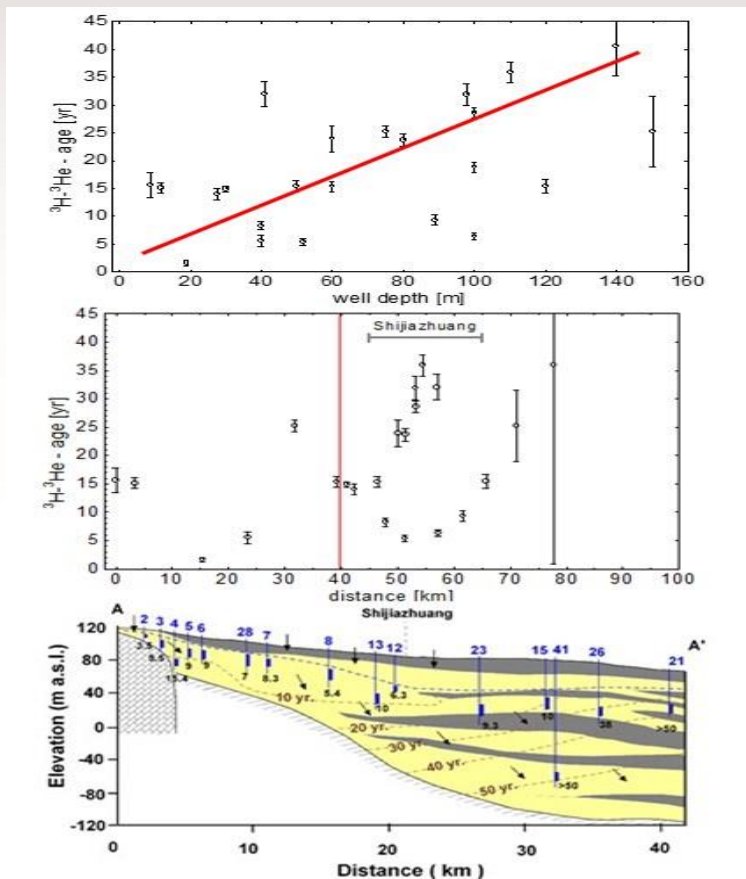
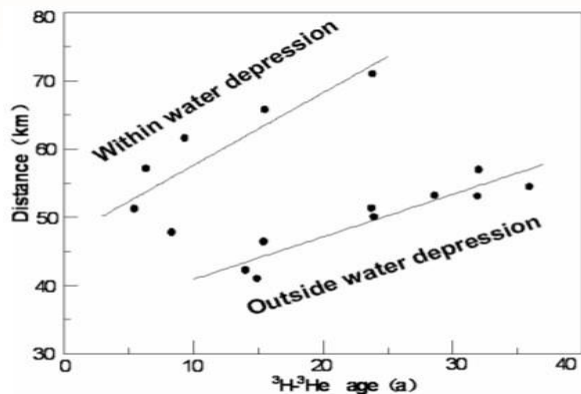




地下水补给及其变化

现代补给机制——年龄分布

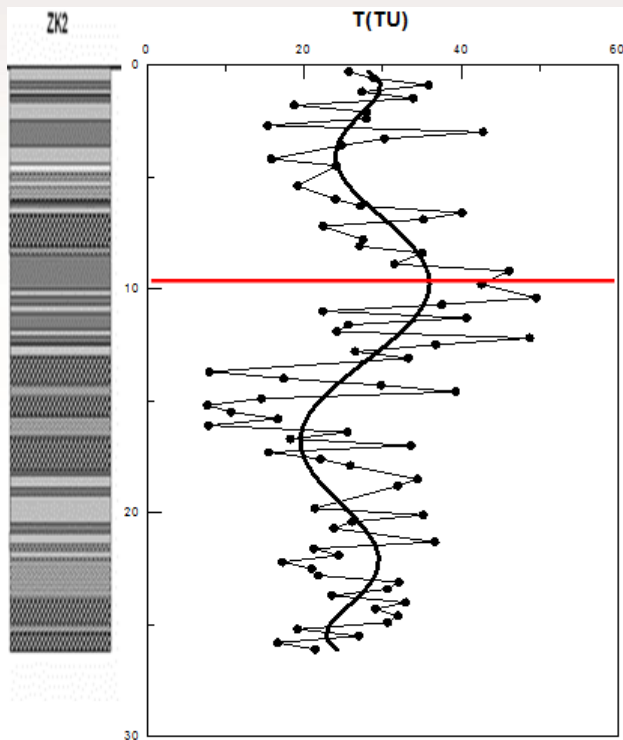
- 年龄与井深相关 → 垂直补给为主，
- 有效孔隙度0.12-0.16，计算垂向平均渗透速度：
0.24-0.32m/a (降水、灌溉、井灌等)。
- 40 km 以外年龄随距离增加——山前侧向补给
- 侧向补给渗透速度 (孔隙度 0.12-0.16)
地下水降落漏斗区：140~180 m/a；
地下水降落漏斗外：70~110 m/a 。





地下水补给及其变化

天然降水补给强度及其变化-人工氙示踪



正定试验场，1987年投放，2003年取出。

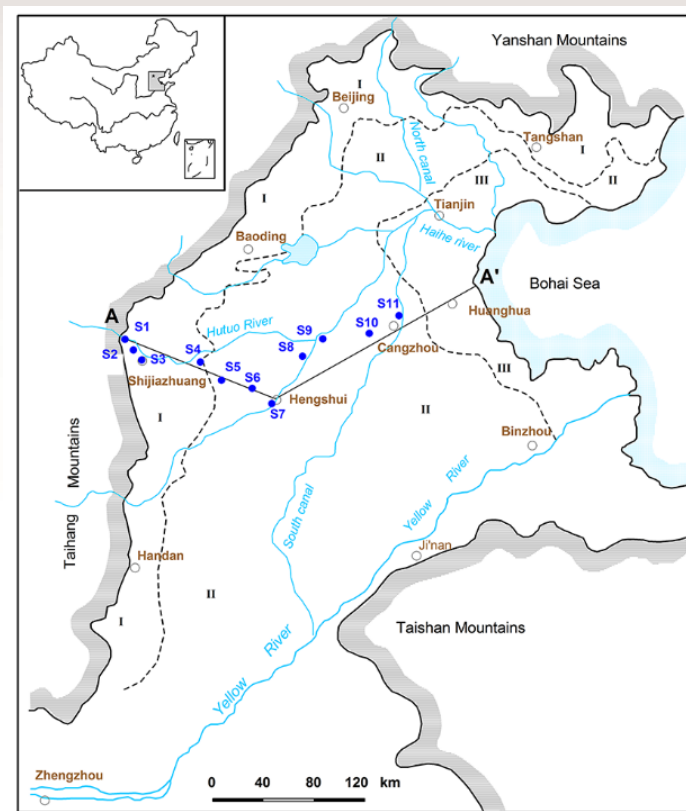
1987年~2003年间的天然平均补给强度

在9.7m处有一个明显的峰值（16年），

相应的向下运移速度约0.6m/a。按照包气带有效孔隙度为0.15计算，平均补给强度为 $R=0.095\text{m/a}$ 。



地下水系统响应及可持续性



11个重复取样点: 1985—2014.

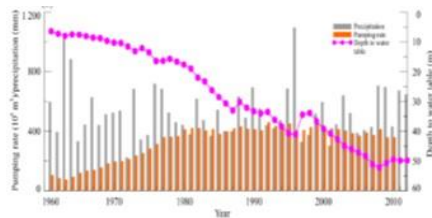
- ✓ 山前平原: S1、S2、S3.
- ✓ 山前平原和中部平原过渡带S4、S5
- ✓ 中部平原: S6 to S11



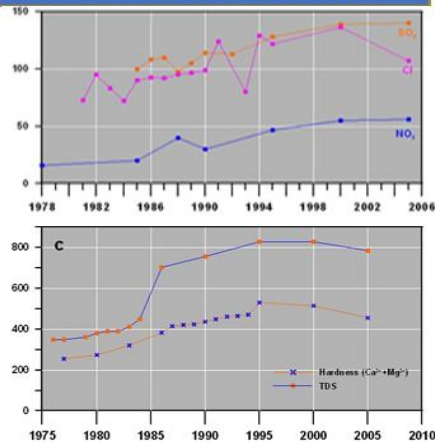
地下水系统响应及可持续性

山前平原——石家庄

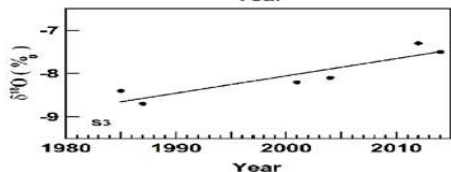
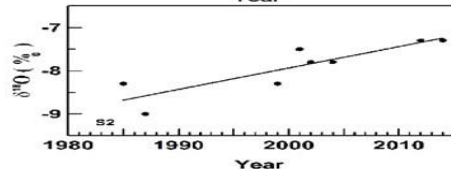
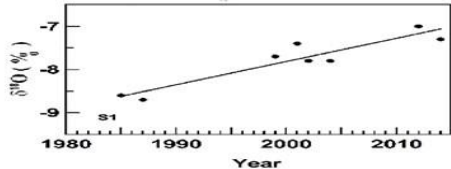
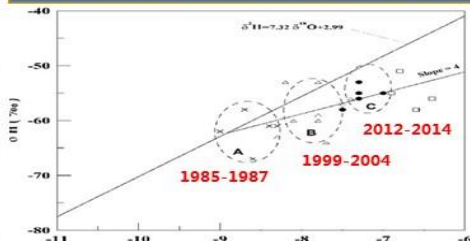
水位持续下降——高强开采



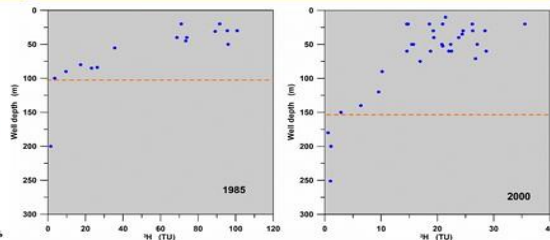
TDS、Cl、SO₄²⁻、NO₃⁻ 浓度增加——土地利用影响



重同位素不断富集——灌溉增加



氦深度下移——疏干、污染风险



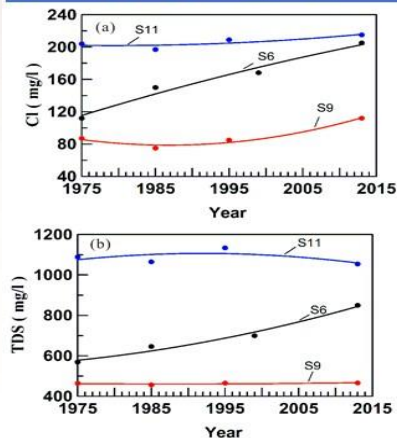
- 强烈开采地下水不仅导致含水层疏干，而且导致含水层脆弱性增加、防护性能降低，污染风险增大。



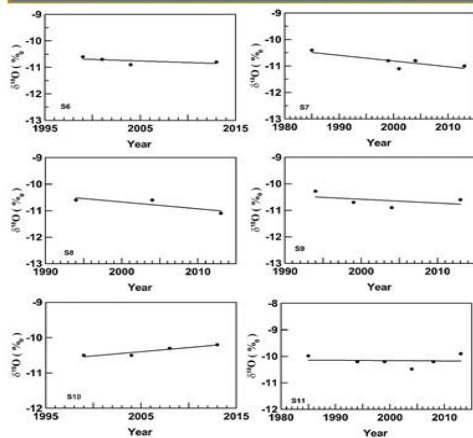
地下水系统响应及可持续性

中部平原 (承压含水层) ——衡水——沧州

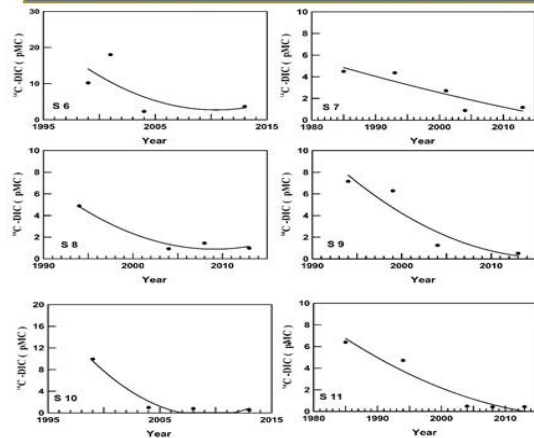
除S6外水化学没有明显变化



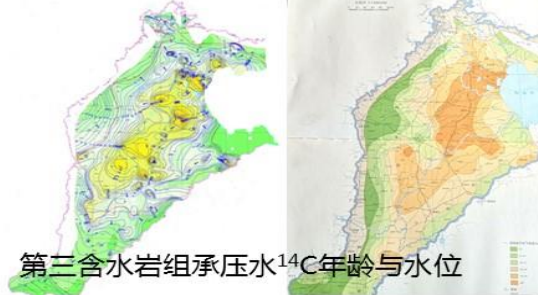
氢氧稳定同位素没有明显变化



碳-14年龄增加——更老的水被开采



华北平原2002年6月深层地下水等水压及埋深图



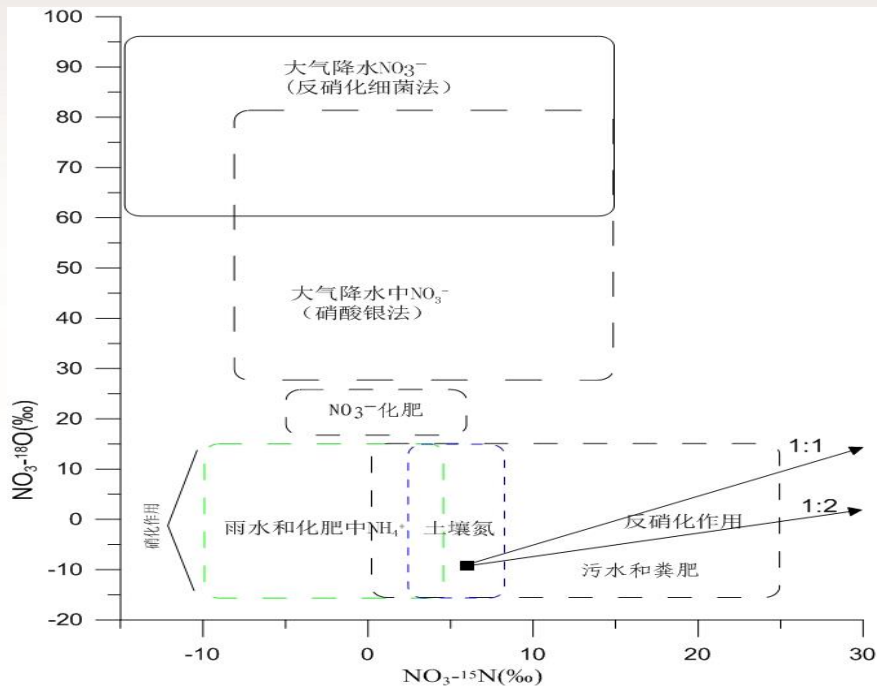
- 强烈开采水位下降、导致深部更老的水被抽出，过量开采不可持续；
- 必须对地下水进行限采、压采。

第三含水岩组承压水¹⁴C年龄与水位



追踪硝酸盐污染源变化

二维同位素组成图 $\delta^{15}\text{N}$ — $\delta^{18}\text{O}$ 识别硝酸盐来源



原理:

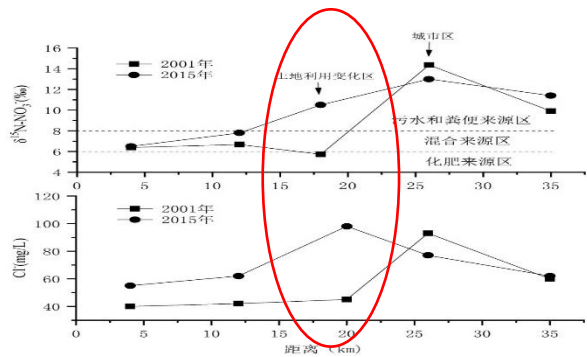
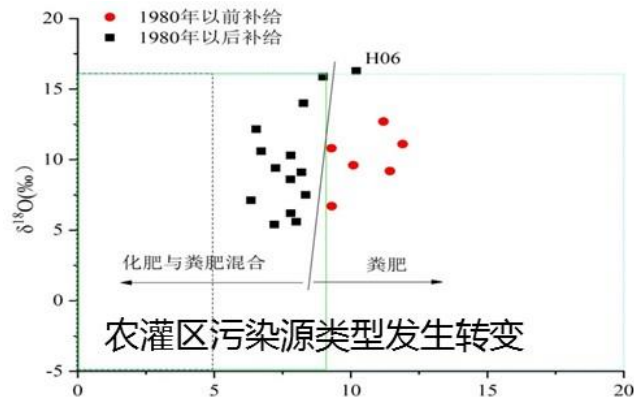
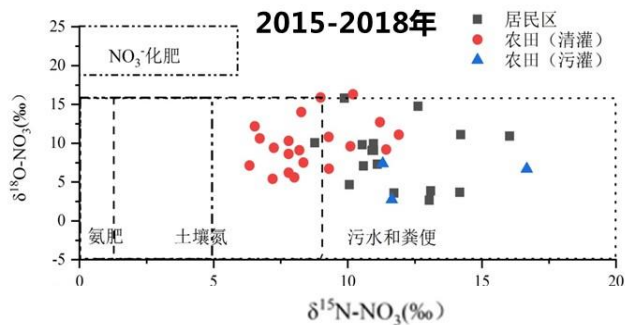
不同来源的 NO_3^- 具有不同的氮、氧同位素比值特征($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$)。

对于区分污染源为污水和粪肥并不是很有效

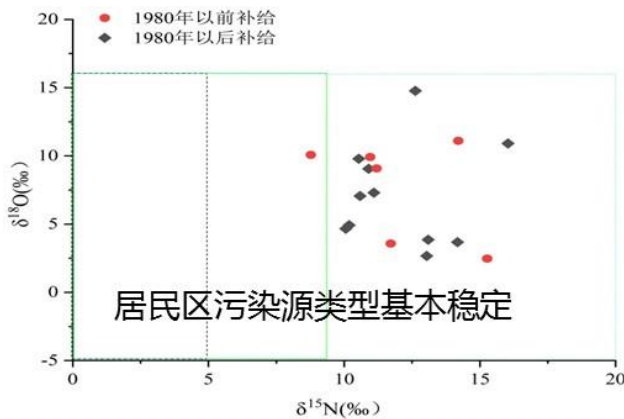
硝酸盐氮氧同位素典型值域范围图 (Kendall et al.,2008)

追踪硝酸盐污染源变化

通过样品的地下水年龄和硝酸盐含量建立硝酸盐污染输入历史，稳定同位素解析污染源演变



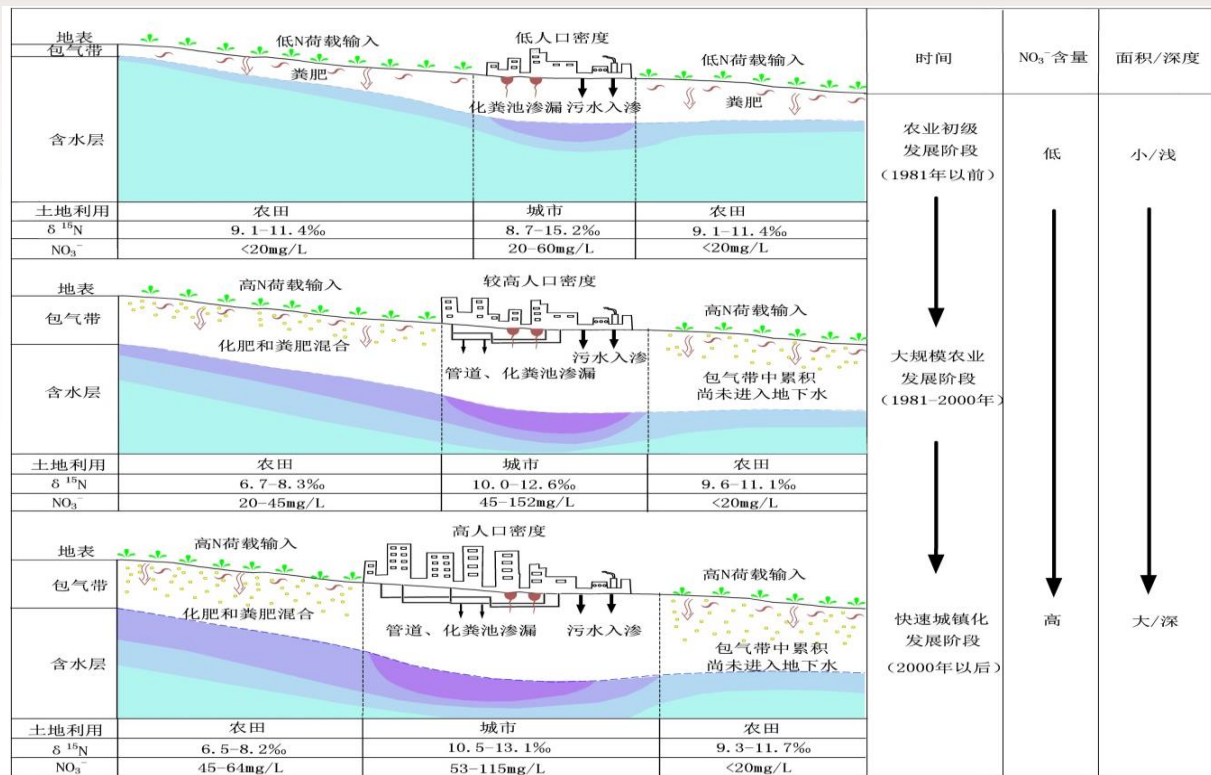
城市扩展区污染源类型发生变化





追踪硝酸盐污染源变化

硝酸盐污染源演化的概念模式（石家庄山前）





中国地质调查局
CHINA GEOLOGICAL SURVEY



鼓个掌、点个赞呗？

提个问题也行啊！

谢谢！