

2017（第五届）中国水利信息化技术论坛

# 地下水动态监测 现状·问题·对策



河海大学水文水资源学院 束龙仓

2017年3月31日 河海大学



# 特别声明

本课件为2017（第五届）中国水利信息化技术论坛专家发言材料，仅供参会人员内部交流使用，禁止外传及作为他用！

本届论坛主办单位：河海大学、中国水利学会

更多信息可关注微信公众号：swltzx

论坛会务组

电话：010-6320 3403/3233/3104

网址：[www.sinowbs.org](http://www.sinowbs.org)

地址：北京市西城区白广路北口水利部综合楼732

# Groundwater level observation





# Groundwater level observation



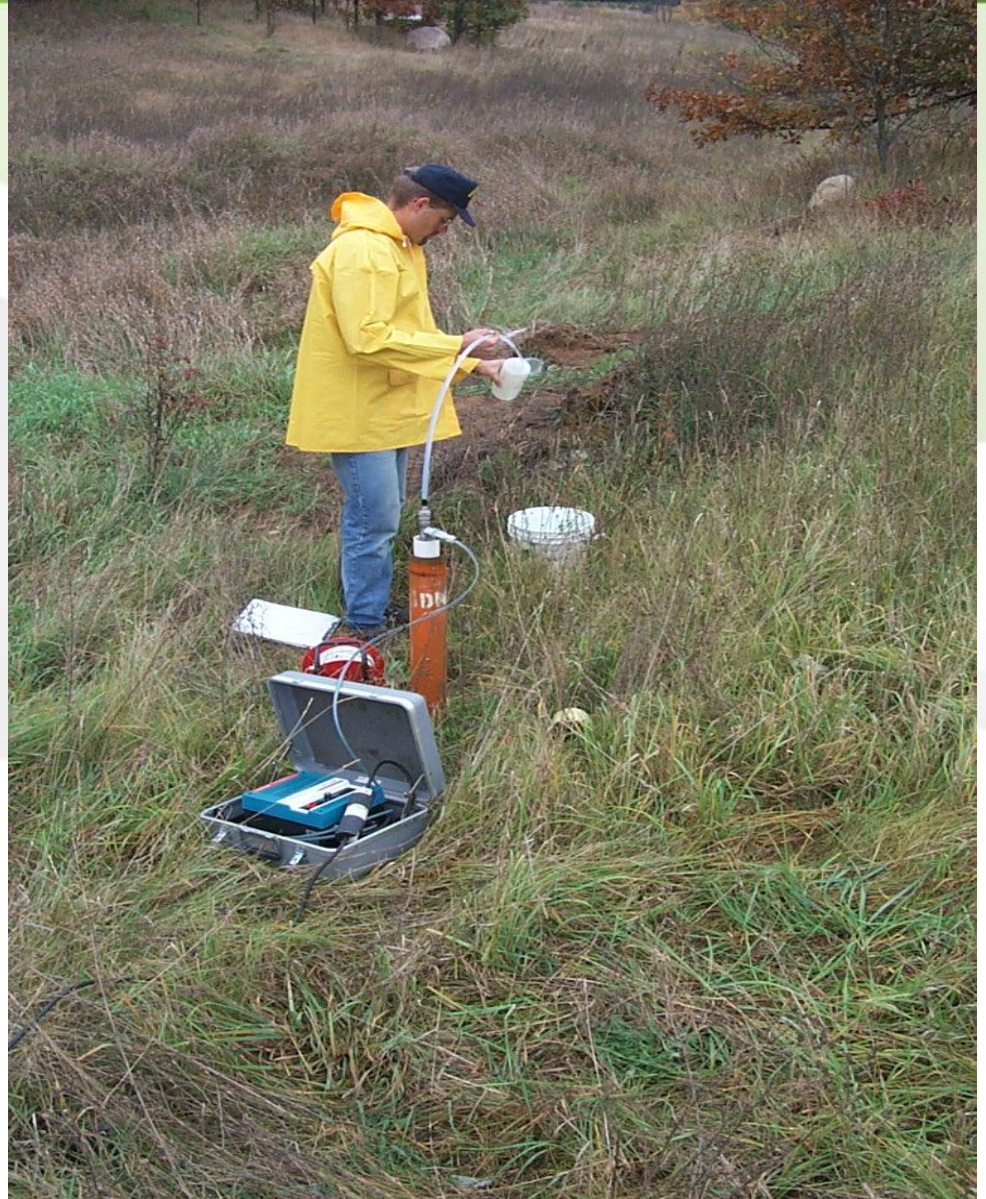
*The USGS monitoring well at Sister Cities Park.*



*A USGS hydrologist collecting ground-water levels at the Sierra Vista monitoring well. Frequent and consistent measurements of ground-water levels are crucial for understanding the aquifer system and tracking water-level declines.*



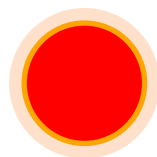
# Sampling of Groundwater quality





## 温度监测

进行地下水、河床和河水温度的同步实时监测



## 热追踪方法

估算潜流交换通量大小

**辅助监测：**典型位置的①地下水水位和地表水位的实时监测②原位渗透试验③采样



导出数据



4个温度监测断面

监测时间：20141202-20141207



# 主要内容

- 一、监测结果的重要性
- 二、国内外地下水监测现状
- 三、国内外典型案例
- 四、存在问题及解决办法

# 一、监测结果的重要性



地下水动态是指地下水位、水量、水质和水温等水文要素随时间和空间变化的现象和过程。

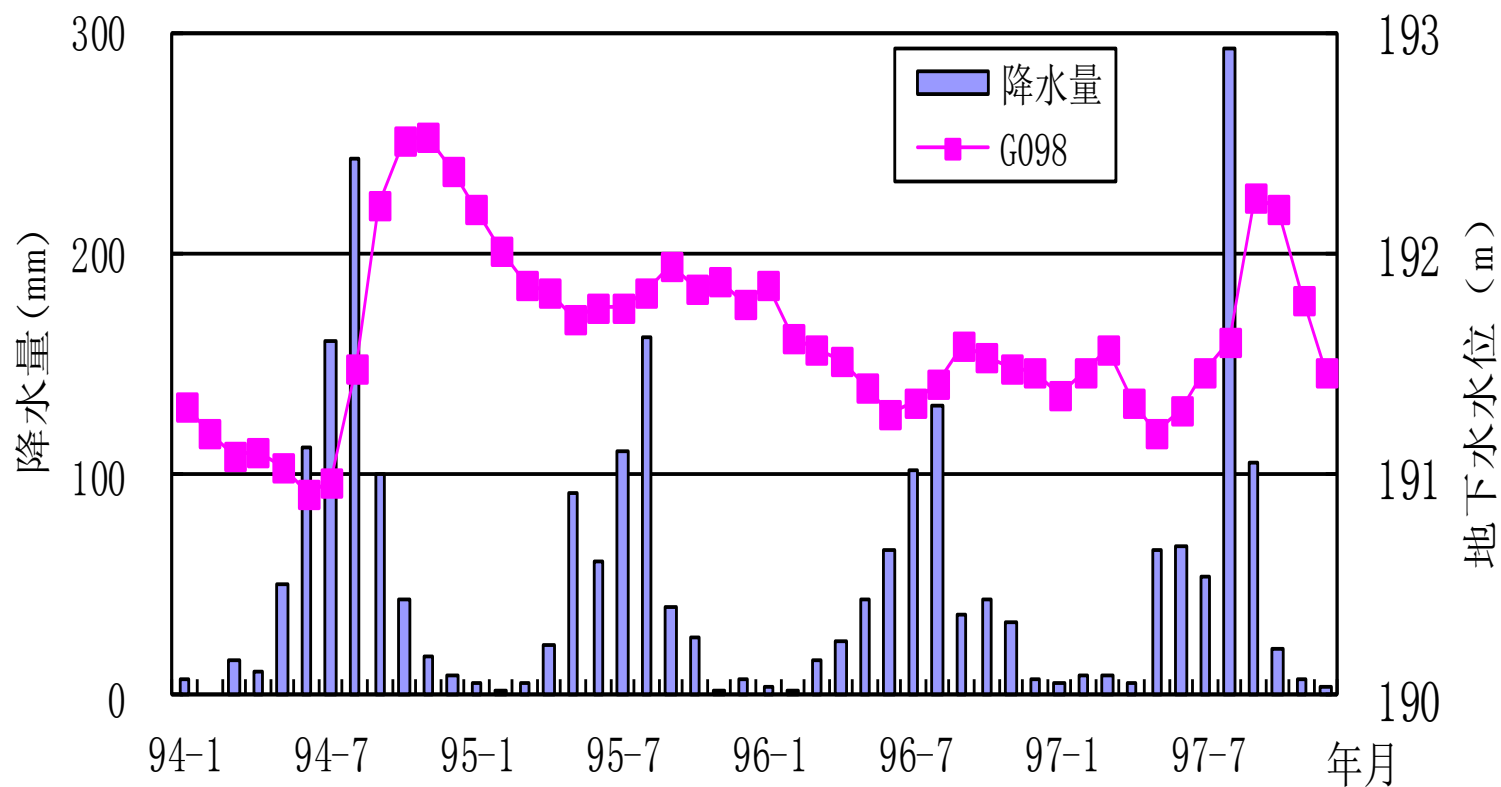
地下水均衡是指一定时间间隔内，某一地段内地下水水量、盐量、热量等的收支情况。

地下水动态是地下水均衡的外部表现，地下水均衡是地下水动态的内在原因。

# 1、地下水动态现状、变化趋势 及影响因素

# 地下水动态类型

## ■ 降水入渗型





## ■ 人工开采型

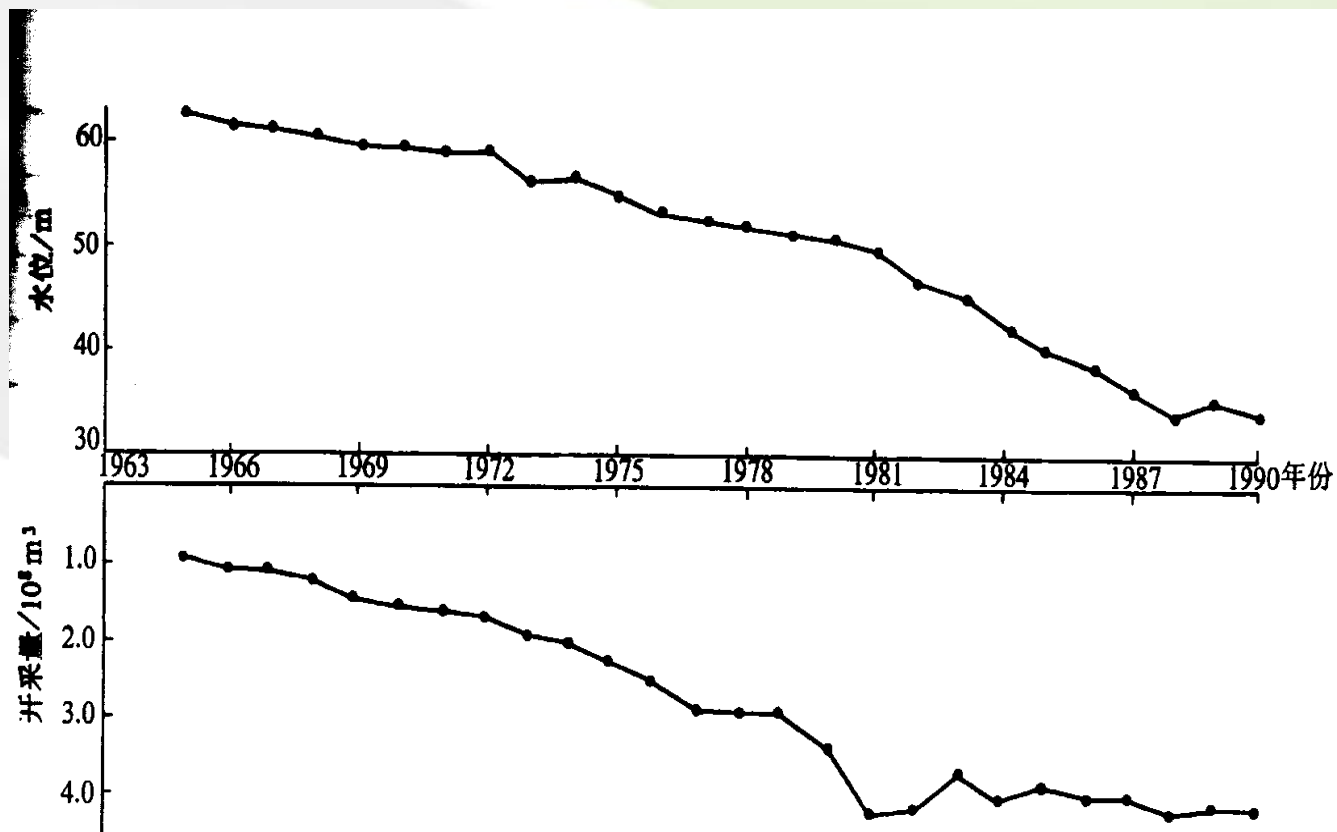
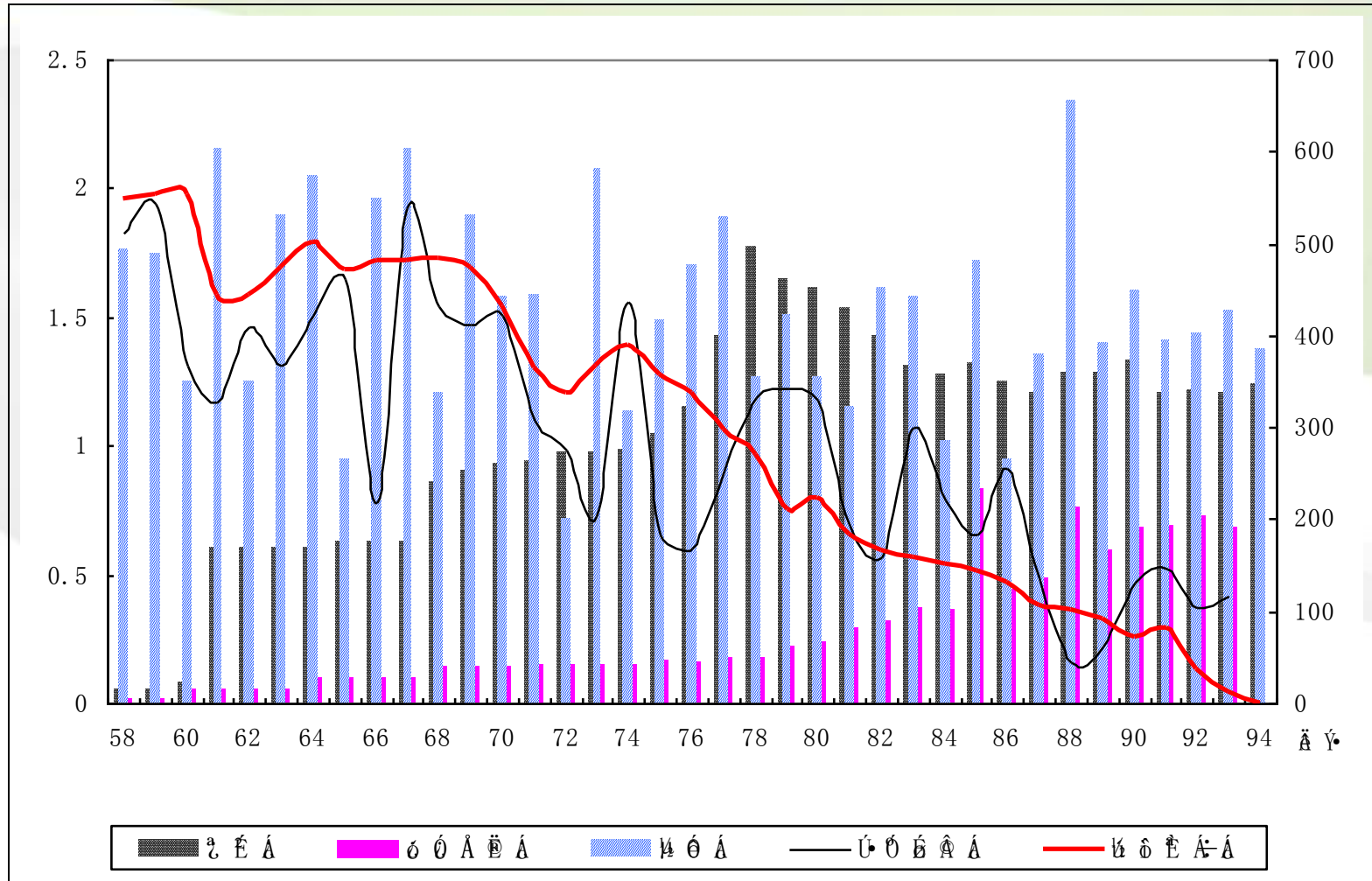


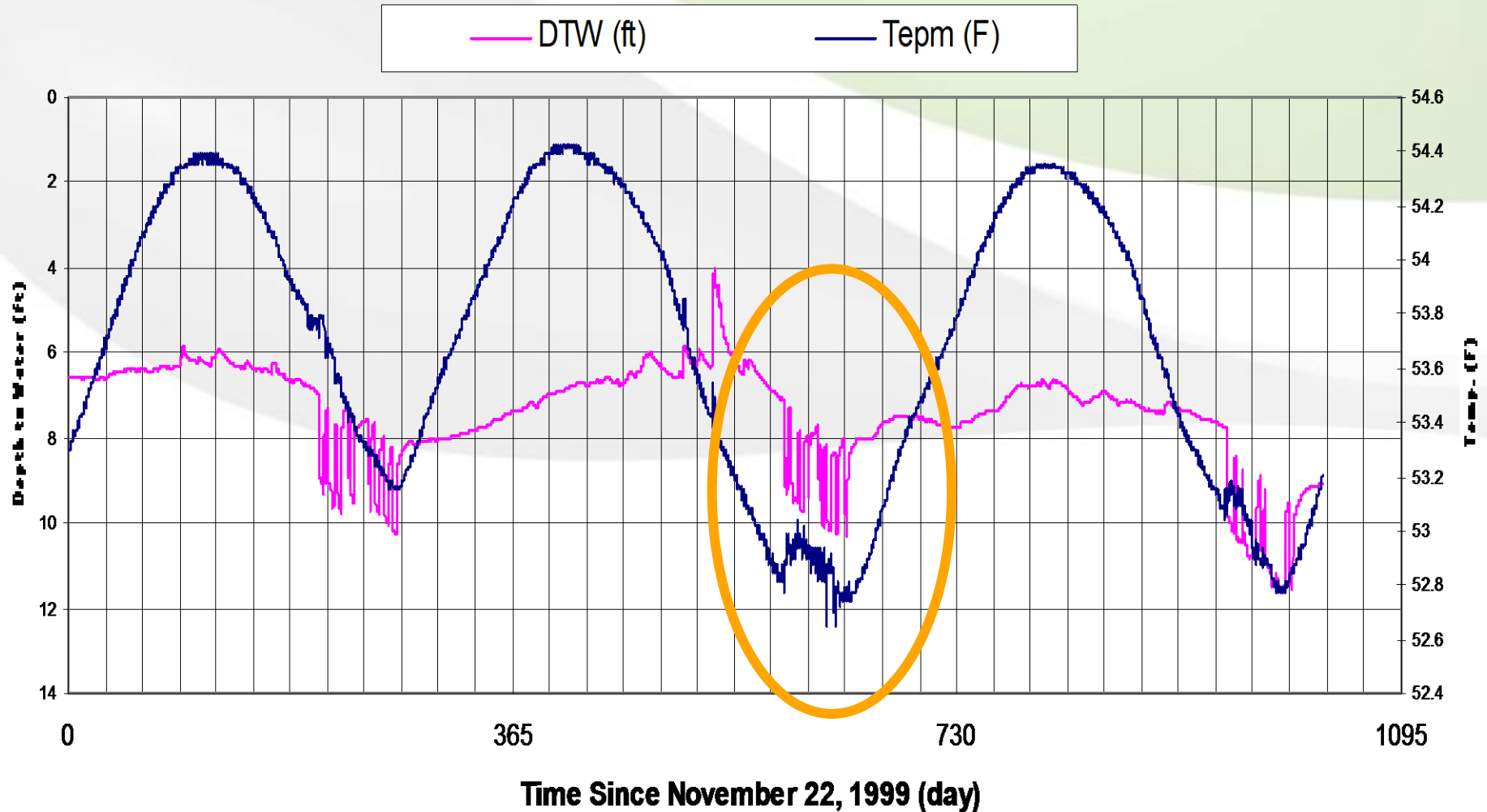
图3 石家庄地区抽取地下水与水位下降关系分析图

# Exploitation(开采) influence on groundwater level



# Exploitation influence on groundwater regime

Monitored Groundwater Levels and Temperatures in the Alluvial Aquifer, WoodRiver, Well-22



# Cone of Depression of Groundwater Level

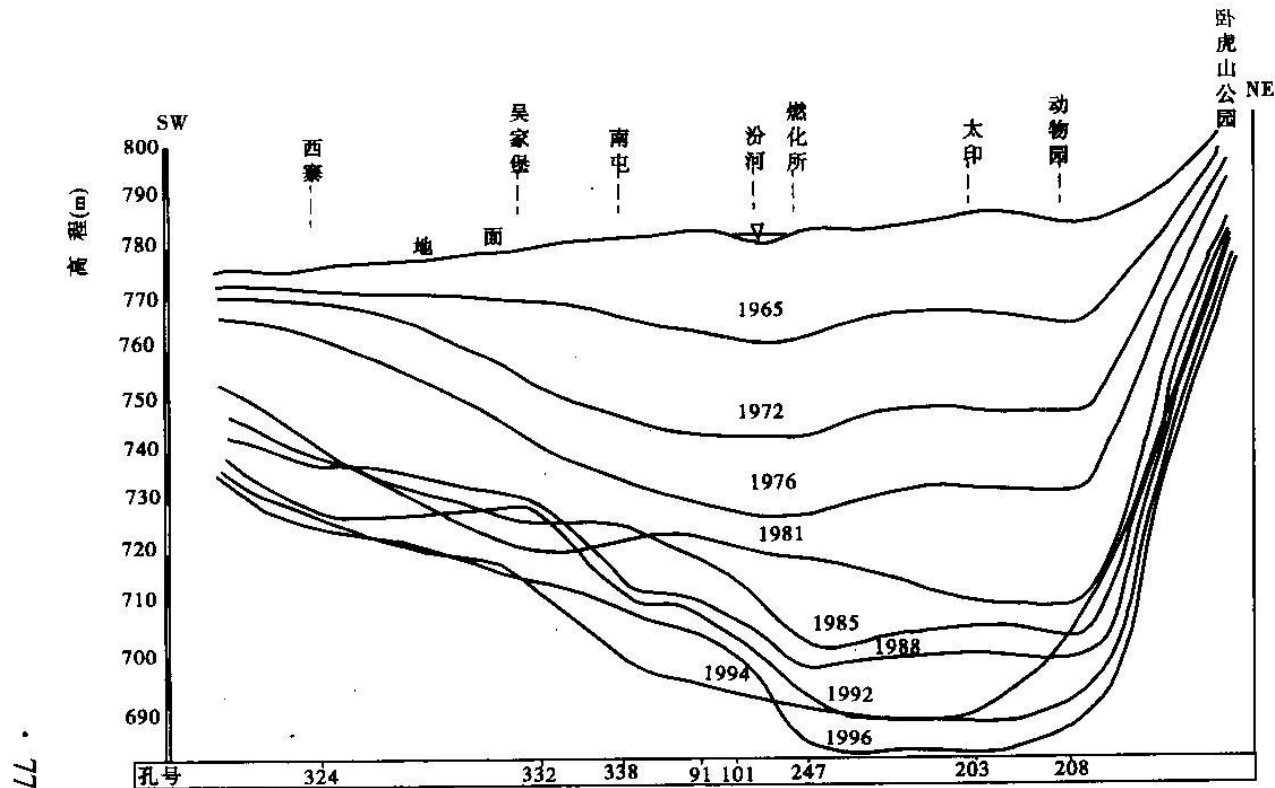
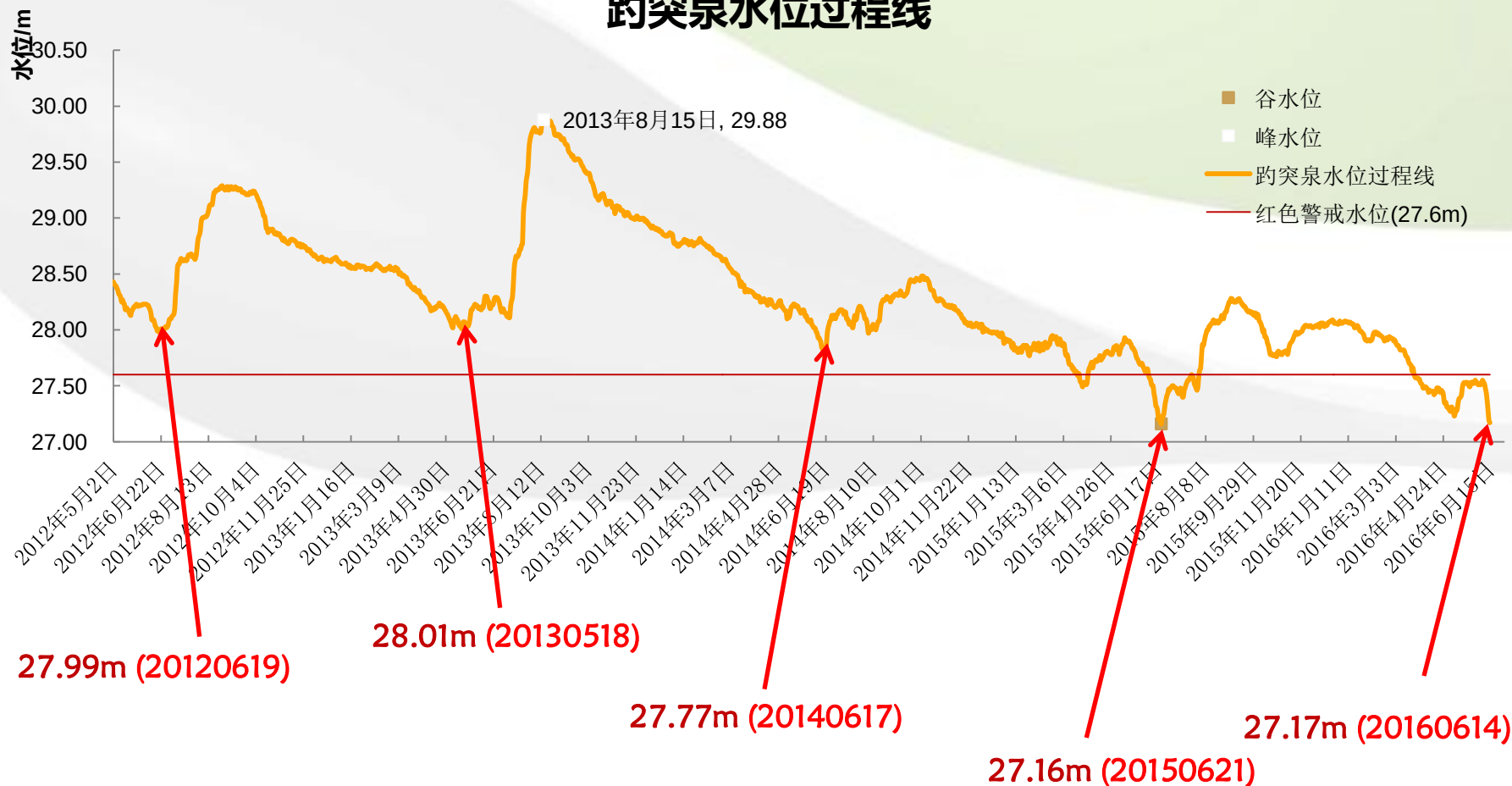


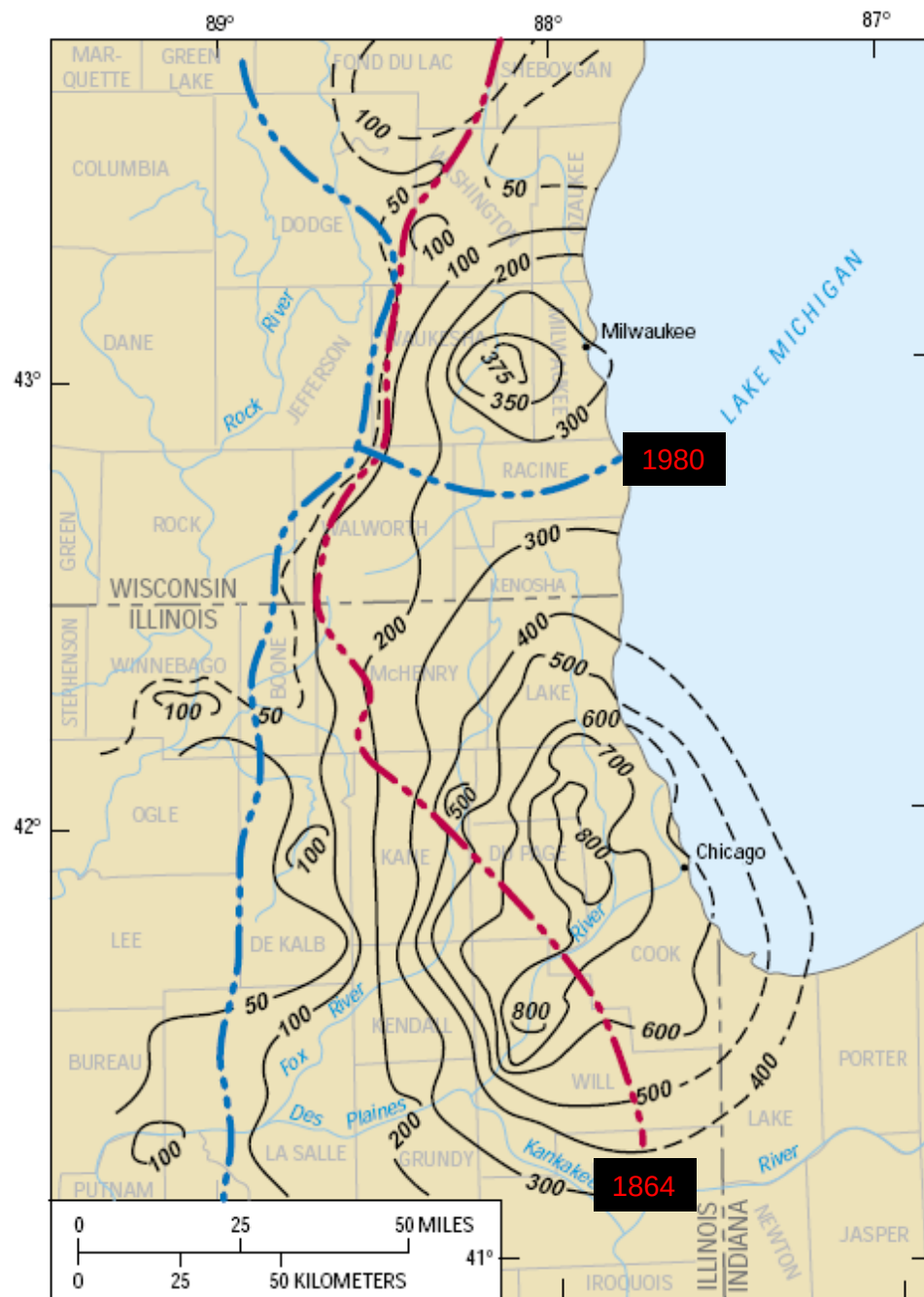
图 5-2 引黄太原供水区深层水位下降漏斗 A-A'剖面



黄色预警：28.15 m；橙色预警：28.00 m；红色预警：27.60 m

## 趵突泉水位过程线

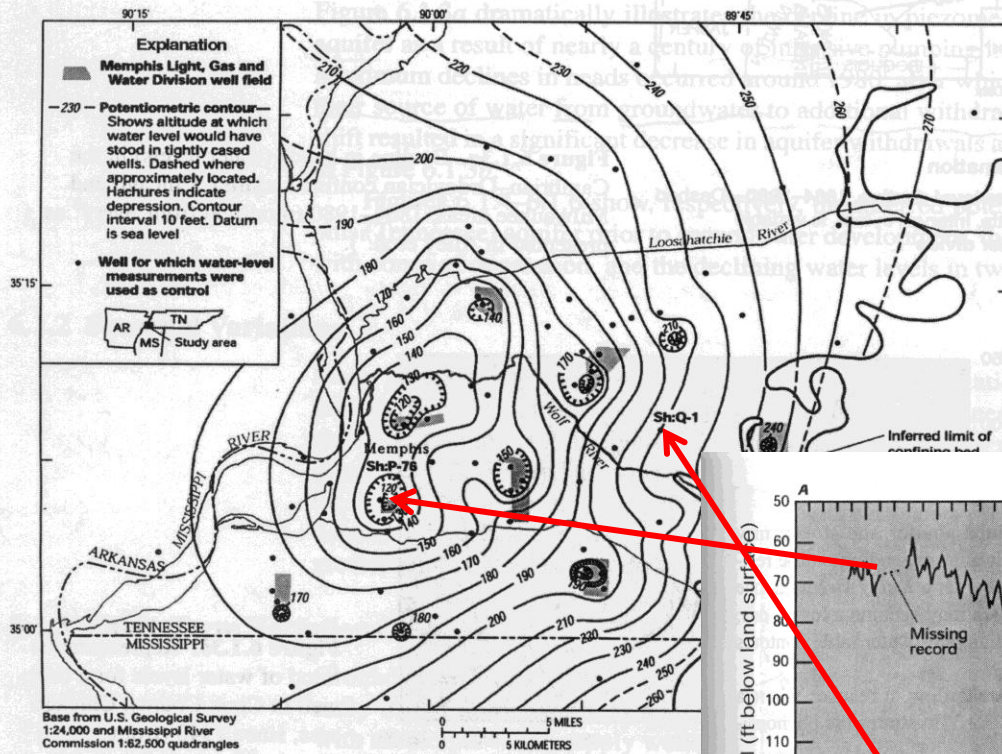




#### EXPLANATION

- 700 — Line of equal water-level decline, 1864–1980—Dashed where approximate. Interval, in feet, is variable
- — — Major ground-water divide (1980)
- — — Pre-development ground-water divide (about 1864)

**Figure 6.** Decline in water levels in the sandstone confined aquifer, Chicago and Milwaukee areas, 1864–1980. (Modified from Avery, 1995.)



# Groundwater observation

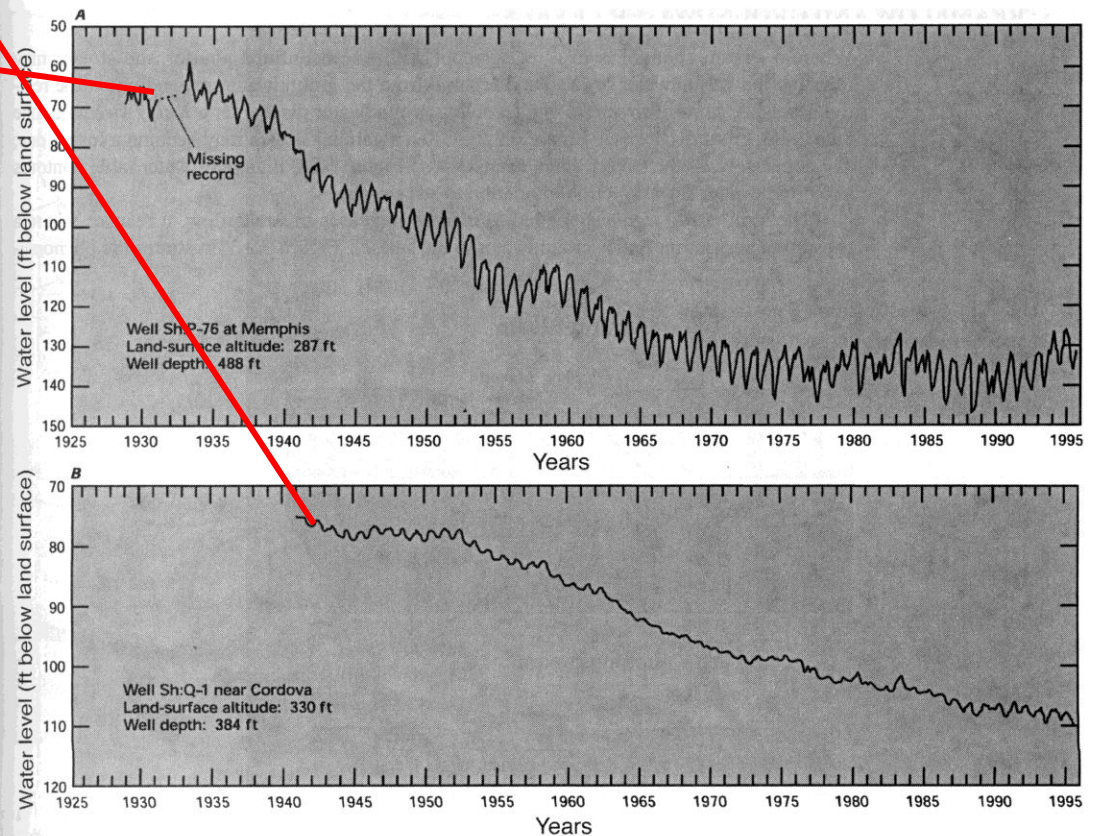
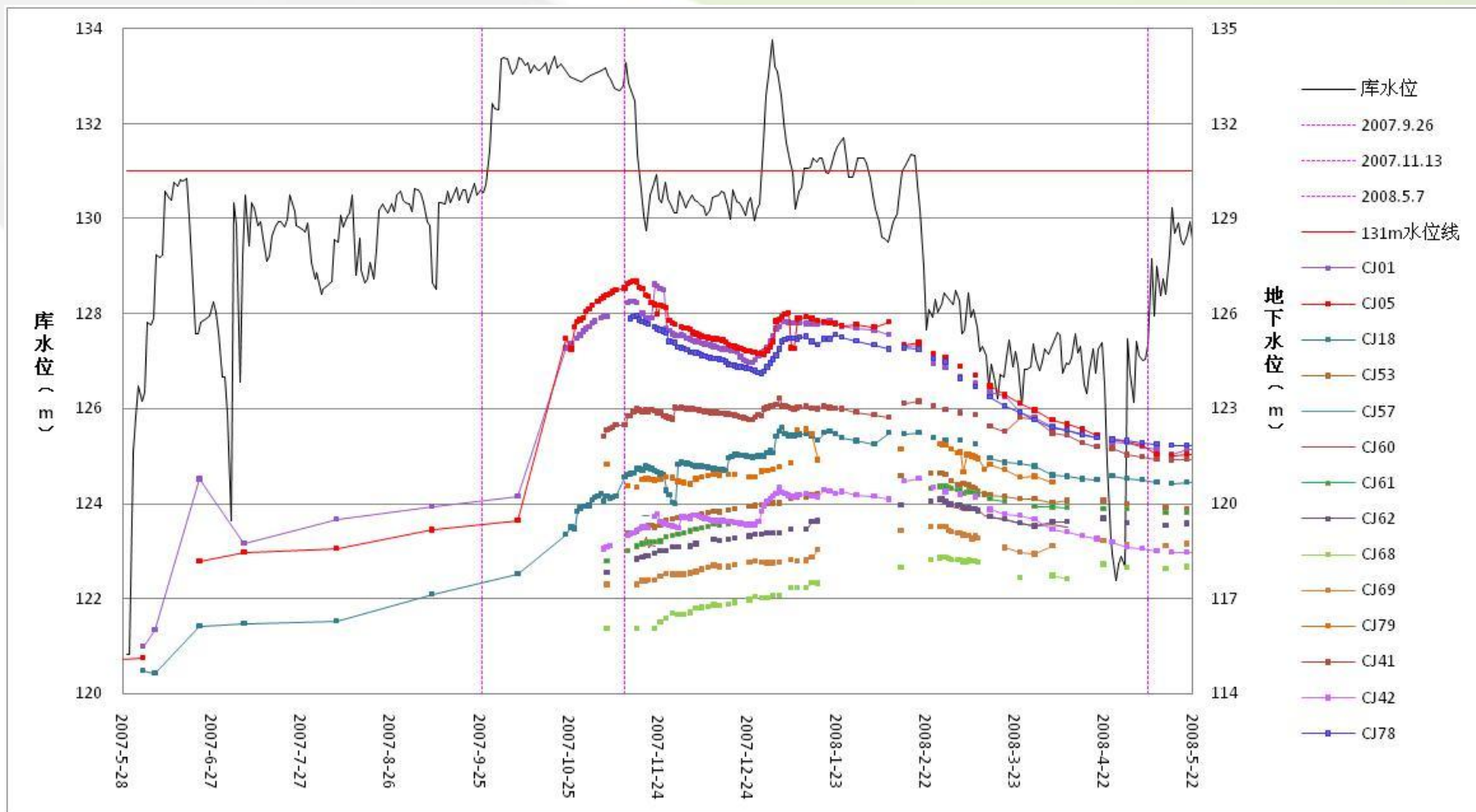


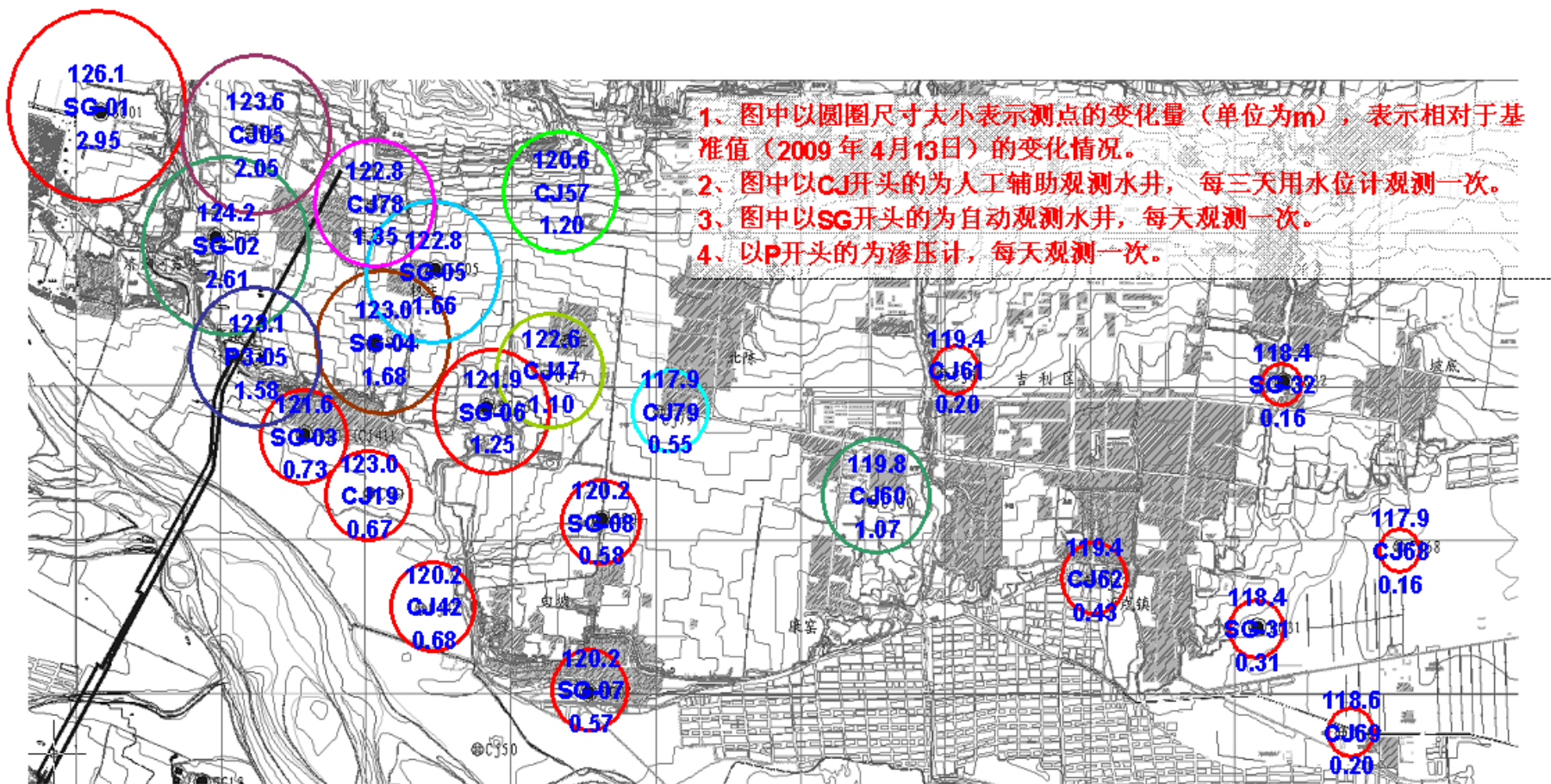
Figure 6.1.6. Declining water-level trends in two long-term observation wells in the Memphis area. Locations of wells are shown in Figure 6.1.5 (Taylor and Alley<sup>80</sup>).



# 地下水动态——类型

## ■ 水文型

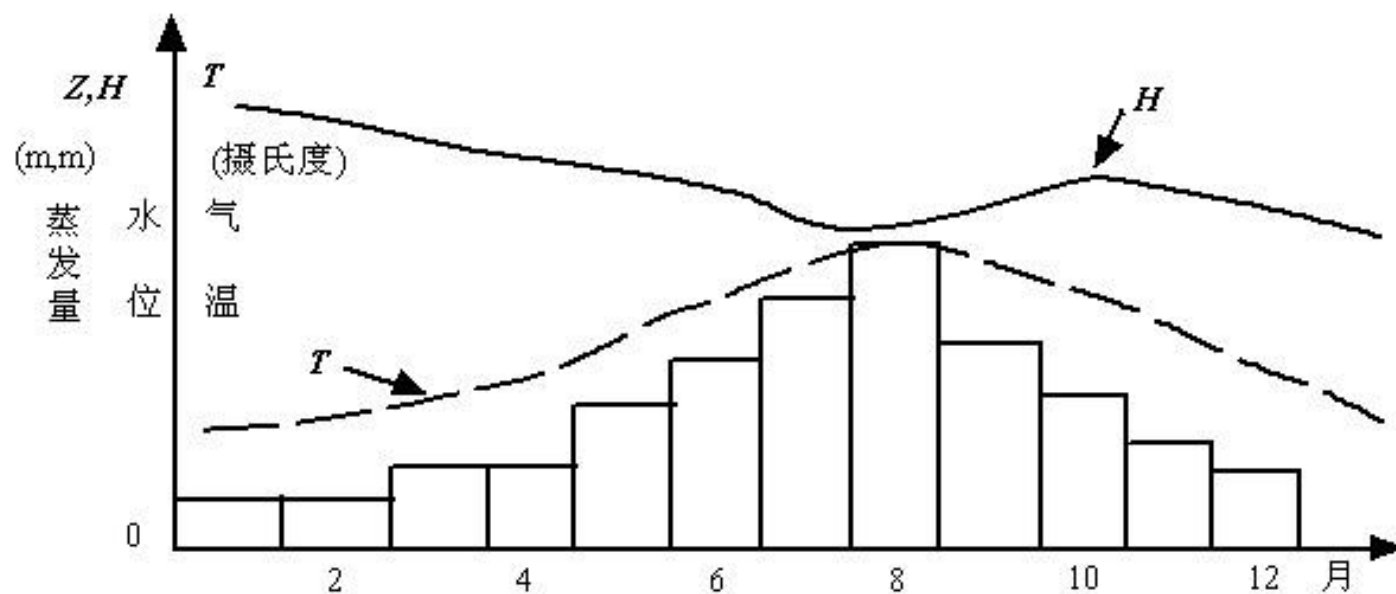




4月13日至6月15日期间北岸周边水位变化分布图

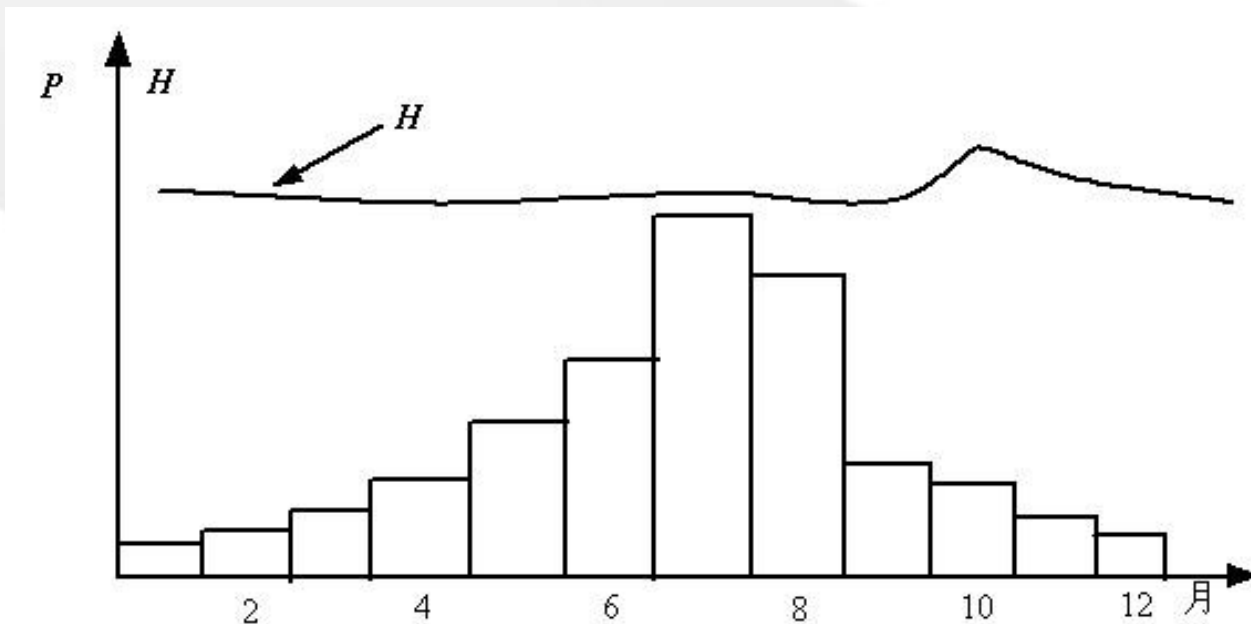


## ■ 蒸发型



## ■ 径流型

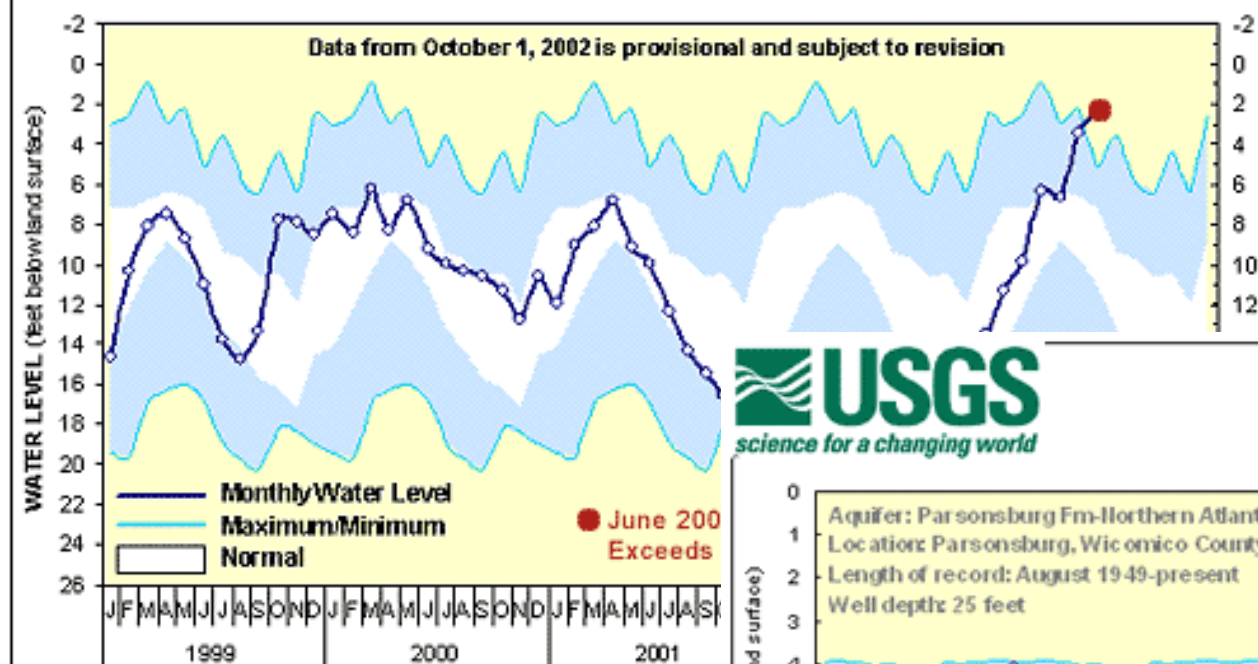
- 主要分布于地下水径流条件较好，补给面积辽阔，地下水埋藏较深或含水层上部有隔水层覆盖的地区。



Aquifer: Baltimore Gabbro Complex  
 Location: Dublin, Harford County, MD  
 Length of record: May 1954-present

# HA Bd 31

Water-table well

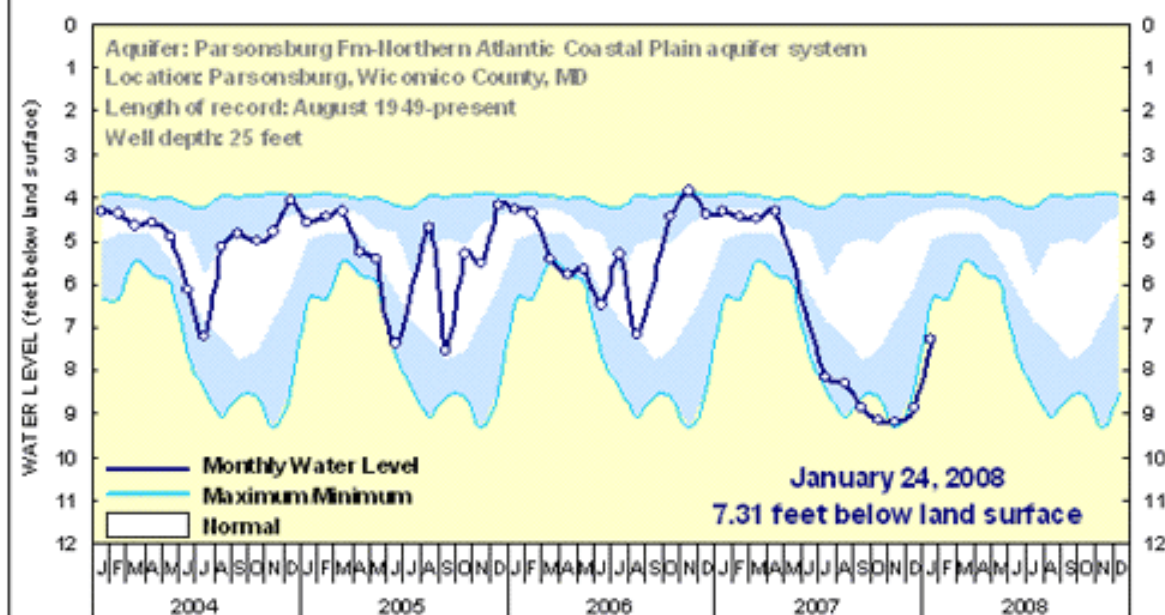


5-YEAR HYDROGRAPH  
 JANUARY 1999 THROUGH DECEMBER 2001



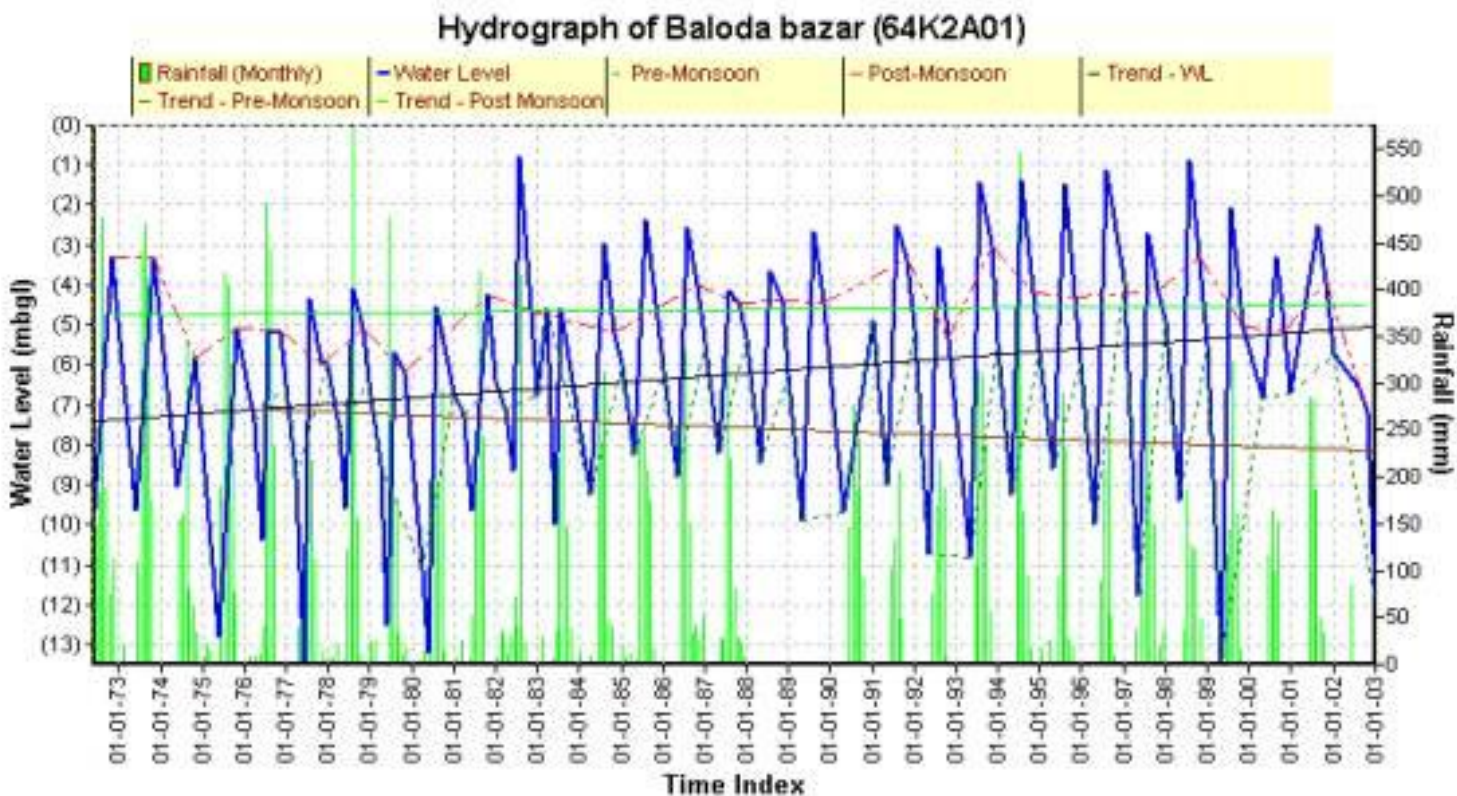
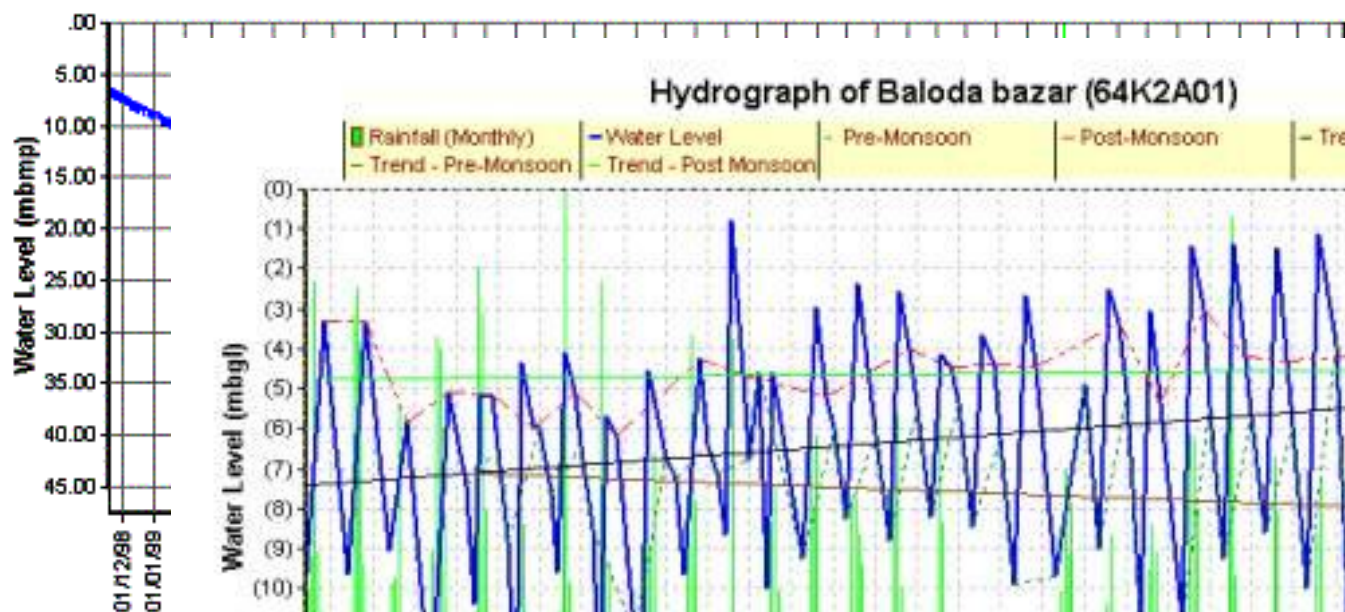
# WI Cg 20

Water-table well



# Composite Hydrograph of Raipur(RGNGWTRI) (64G1101HP)

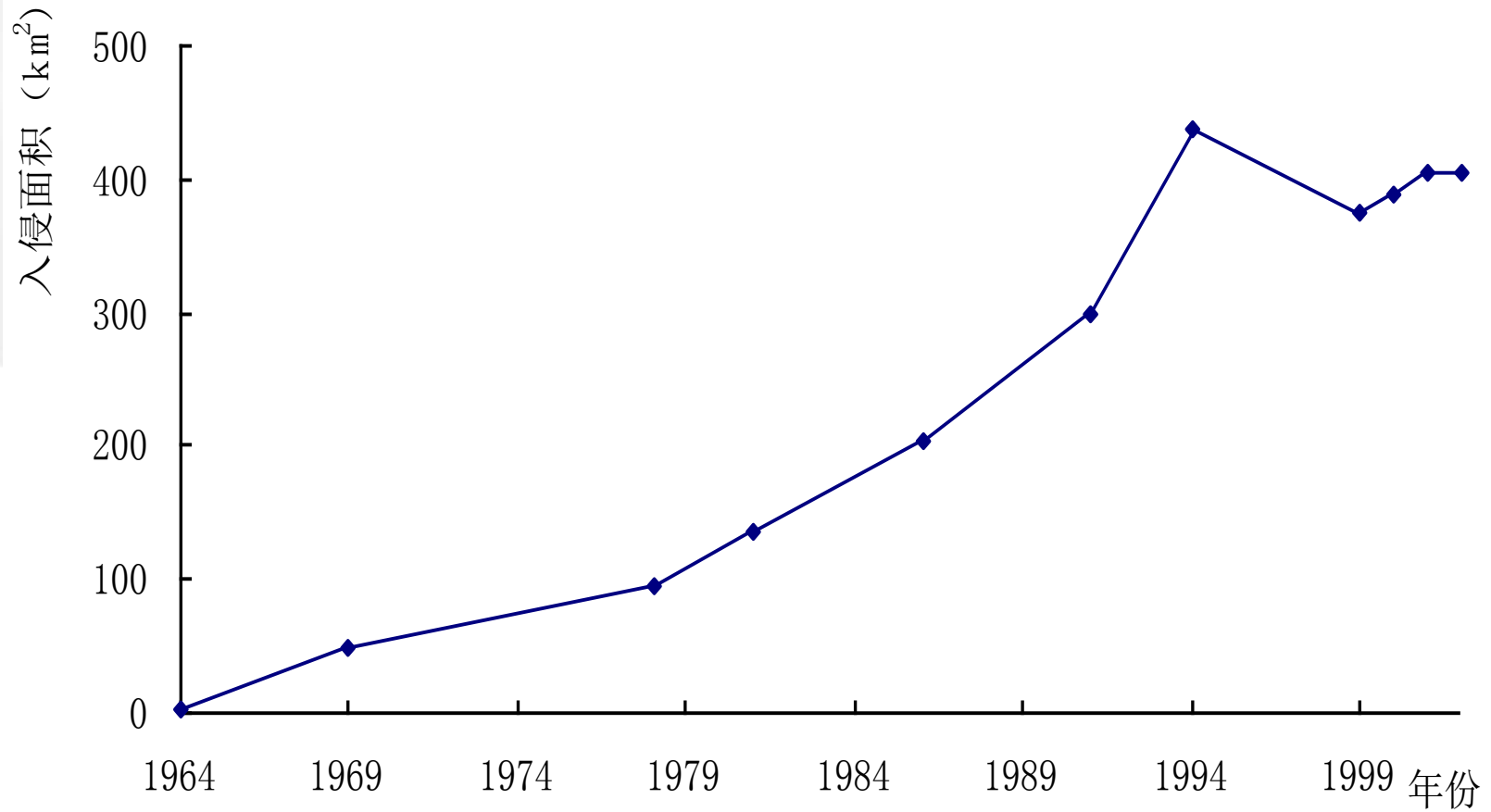
■ Rainfall — DWR Data(WL)



(HYDROGRAPH GENERATED THROUGH PERIODIC MONITORING)

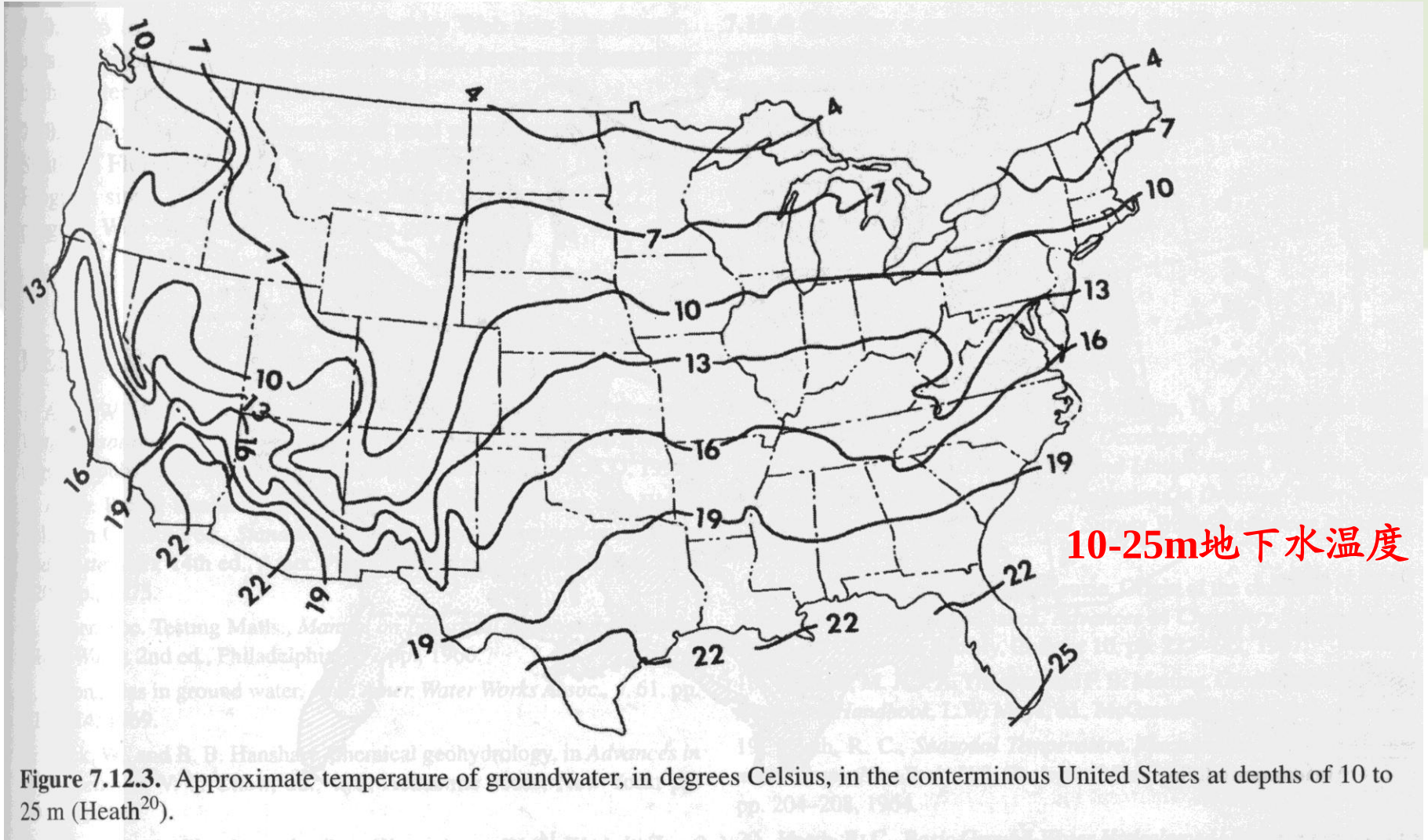


# Groundwater quality monitoring



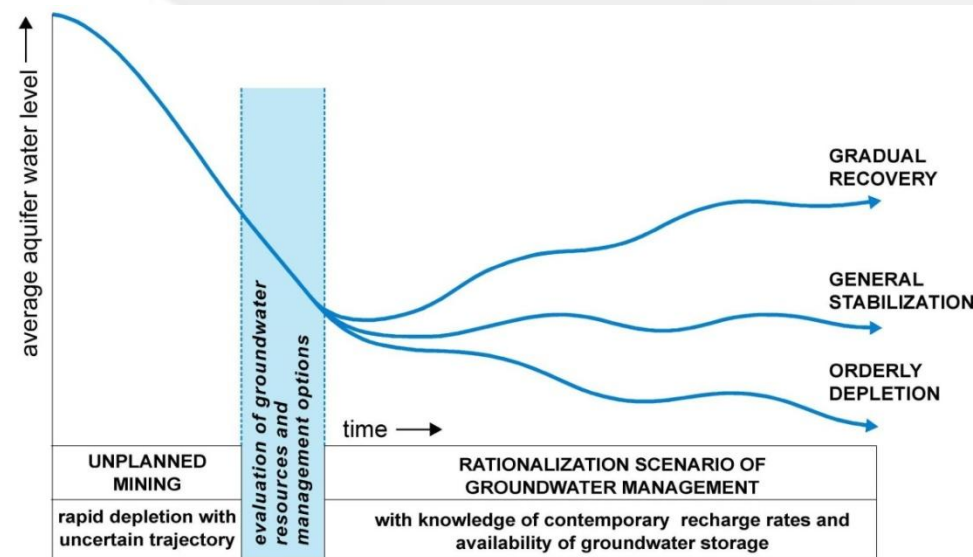


# Groundwater Temperature



## 2、地下水动态变化趋势预测

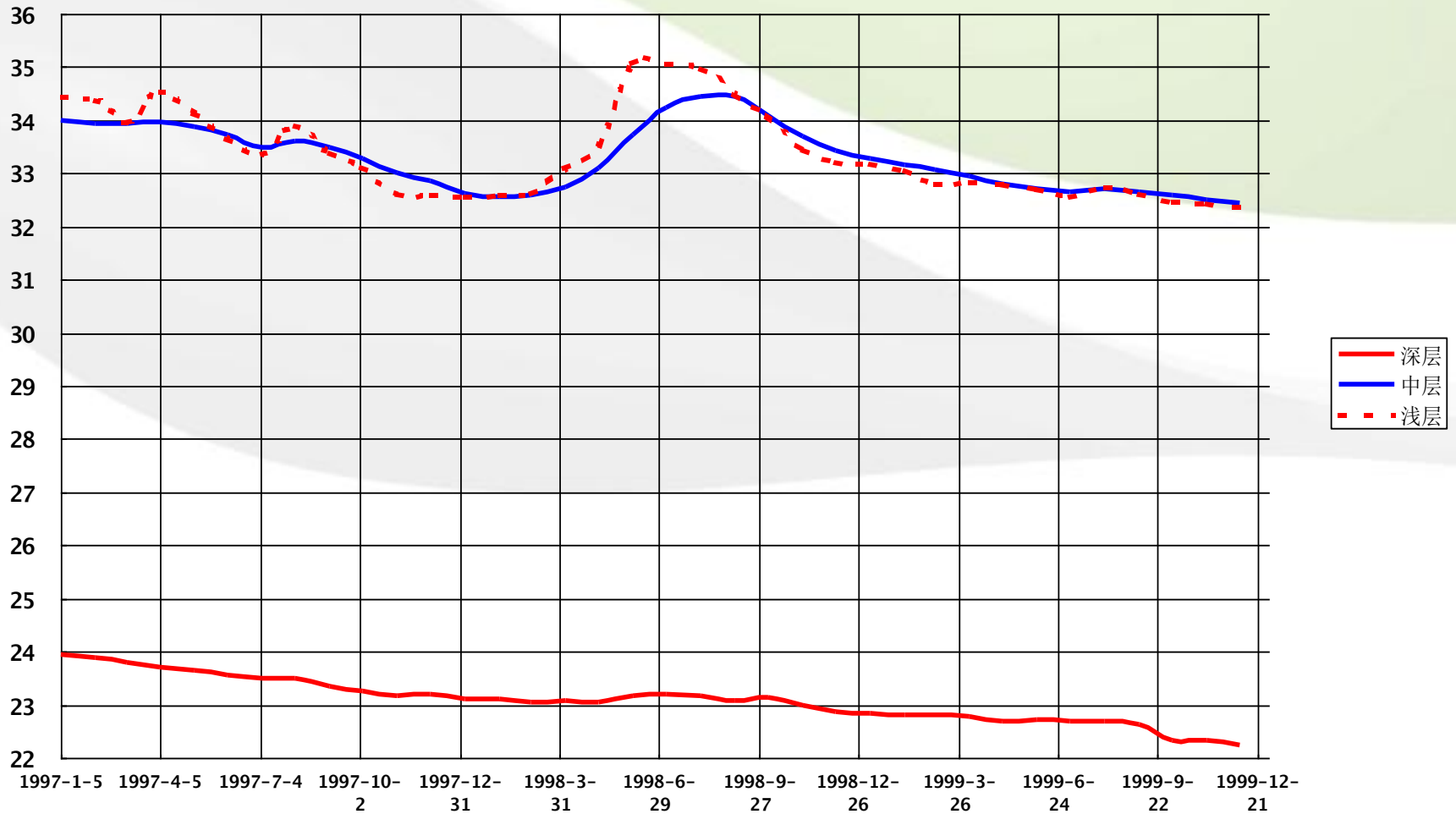


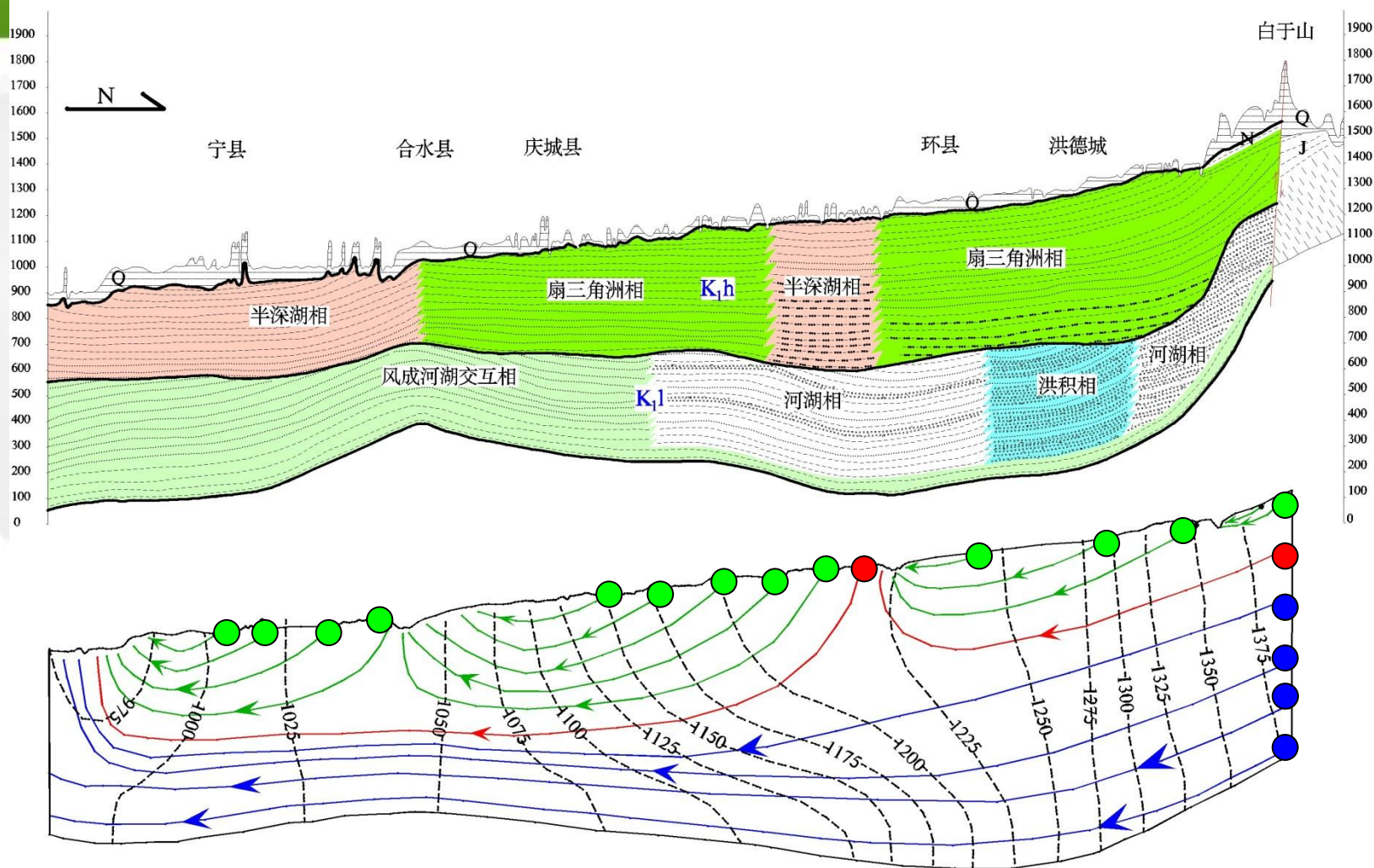


### 3、揭示水文地质条件

# Groundwater observation in different aquifers

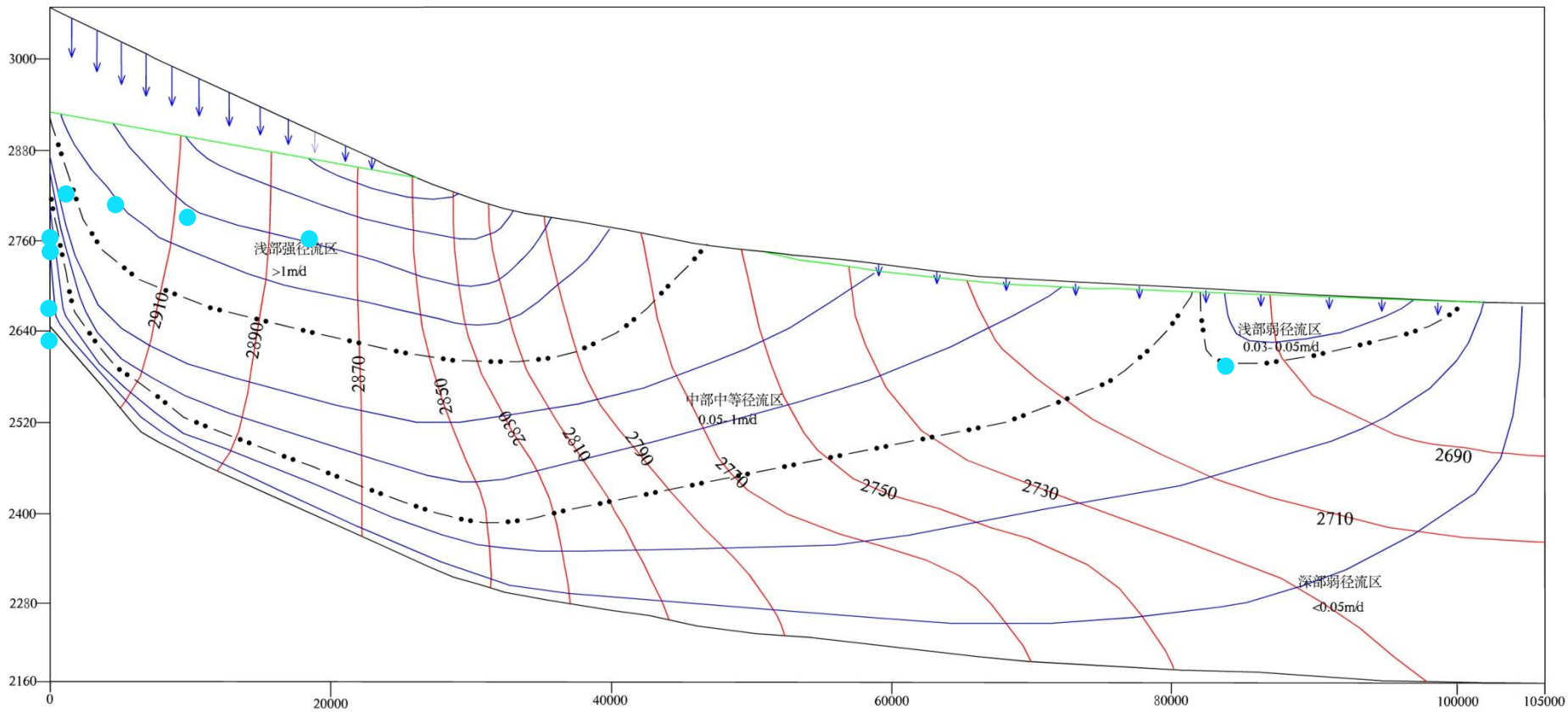
## 不同含水层地下水水位的动态观测



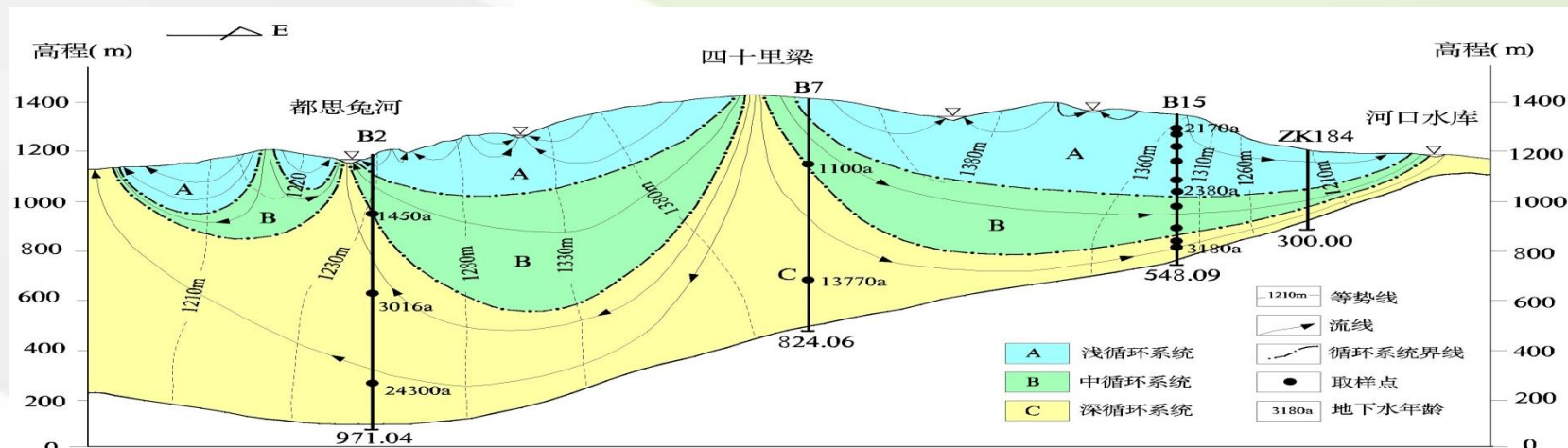


■ 陇东盆地沿着马莲河剖面地下水循环模式图



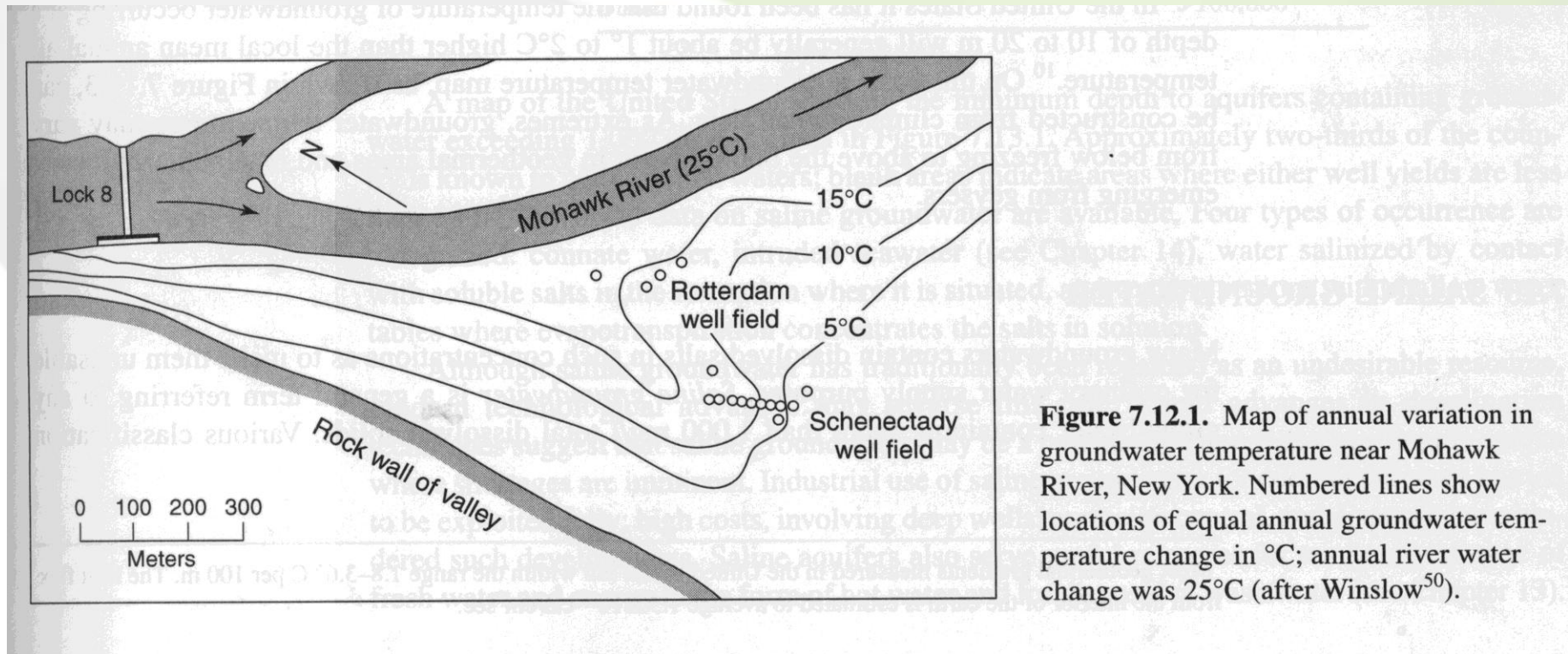


# 提出了鄂尔多斯白垩系盆地地下水循环模式划分基本指标



| 地下水<br>循环模式 | 发育规模<br>( km ) | 循环深<br>( m ) | 地下水年<br>( a ) | 更新能力 | 占总补给量<br>的比例 ( % ) | 开采建议    |
|-------------|----------------|--------------|---------------|------|--------------------|---------|
| 浅循环         | 5 ~ 25         | 150 ~ 200    | 20 ~ 50       | 强    | 85%                | 首采区段    |
| 中循环         | 35 ~ 110       | 200 ~ 600    | 小于5000        | 中等   | 15%                | 有计划开采区段 |
| 深循环         | 120 ~ 150      | 600 ~ 1000   | 5000 ~ 30000  | 弱    | 5%                 | 限制开采区段  |

## 揭示地表水与地下水之间的补排关系



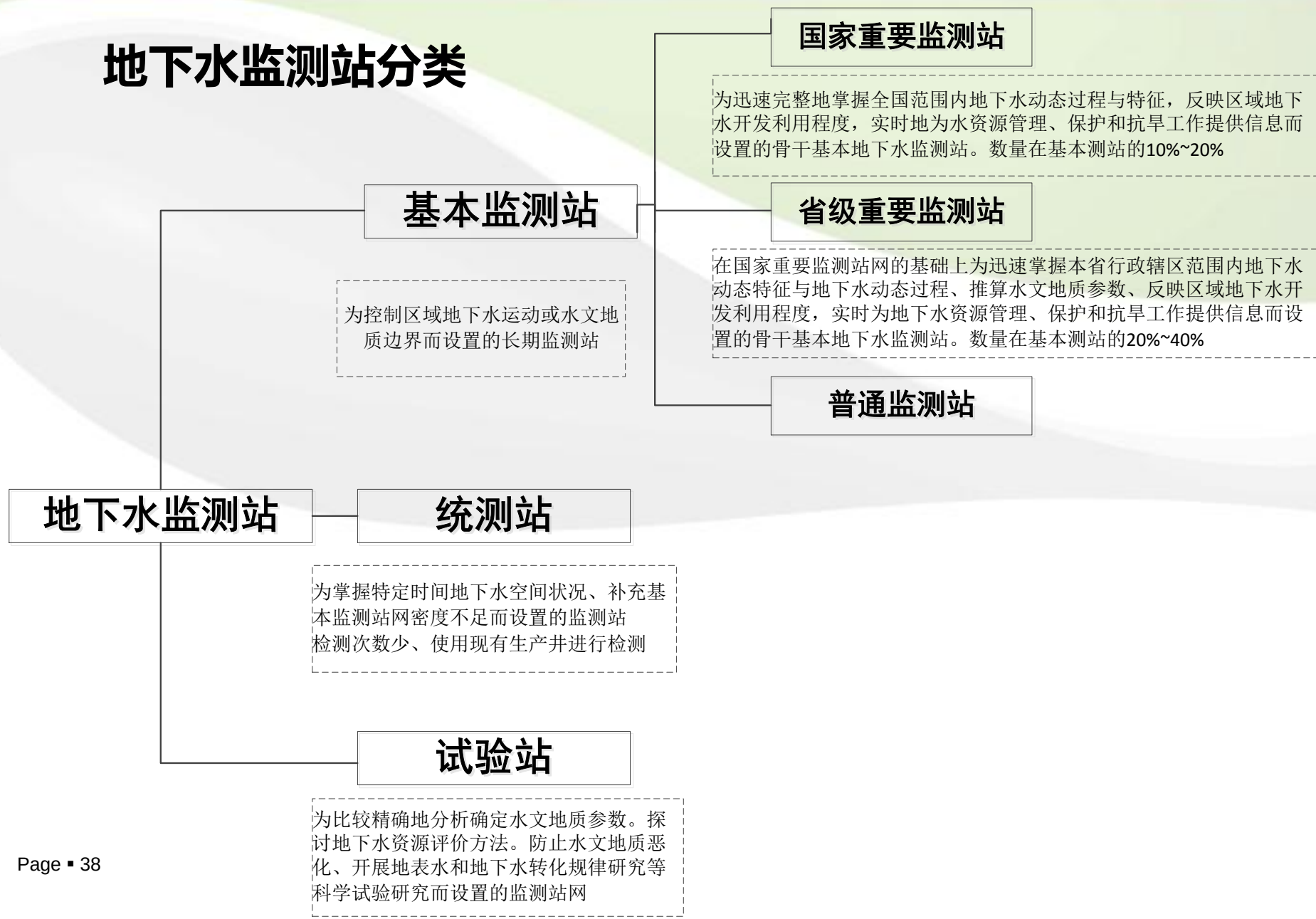
## 二、国内外地下水监测现状



## 我国地下水监测工作的沿革

| 时间                | 阶段      | 工作概况                                                                |
|-------------------|---------|---------------------------------------------------------------------|
| 20世纪50年代前         | 初期      | 地下水监测只是作为水文站监测项目之一，以了解地下水和河水的补排关系                                   |
| 20世纪50年代初期至60年代中期 | 初步规划建设  | 我国大规模开发利用地下水的初期，对部分城市开展地下水水源勘察和地下水动态长期监测；由于引黄灌区的次生盐碱化问题，在此开展地下水监测   |
| 20世纪60年代末至80年代初期  | 发展      | 专业监测井达 <b>万眼以上</b> ，基本形成了以国家级地下水监测网为龙头的省地县三级监测网以及数个 <b>地下水均衡试验场</b> |
| 20世纪80年代中期至90年代末  | 衰退      | 由于经费和体制原因，地下水监测工作进入下降期，近半数的监测井被废弃，但是地下水开发利用量却快速上升                   |
| 20世纪末至21世纪初       | 恢复      | 地下水不合理开发引发环境地质问题，水利部重新开始地下水监测工作，并发布地下水通报；相关领域的地下水监测也有所发展            |
| 21世纪              | 全面规划和建设 | 水利部和国土资源部提出全国性地下水监测规划；目前正在进行全国地下水监测工程建设                             |

# 地下水监测站分类



## 主要国家地下水监测

| 国家        | 国土面积<br>( km <sup>2</sup> ) | 测井密度<br>( 个/100km <sup>2</sup> ) | 说明               |
|-----------|-----------------------------|----------------------------------|------------------|
| 奥地利       | 83855                       | 30~600                           | 岩溶水是最重要的地下水资源    |
| 芬兰        | 338424                      | 57                               | 收集地下水基础数据        |
| 英国        | 243610                      | 4                                | 防止滨海地区海水入侵       |
| 西班牙       | 505925                      | 1.4                              | 防止滨海地区海水入侵       |
| 荷兰        | 41543                       | 1                                | 农业土地过度使用威胁潜水含水层  |
| 美国        | 9631420                     | 0.2                              | 收集地下水基础数据        |
| <b>中国</b> | <b>9634057</b>              | <b>0.2</b>                       | <b>收集地下水基础数据</b> |

# 地下水监测站布设基本步骤

## 确定监测区域

**区域性监测**站主要布设在大型平原、盆地区、少量布设在开发和可开发利用的岩溶区

**重点监测区**考虑跨流域调水的受水区、超采区大型特大型水源地、大型井灌区、地面沉降区、海水入侵区、地面塌陷区、地下水污染区、与地下水源有关的地方病区、有地下水开采的城市建成区、因水资源问题产生的生态修复区、由于地下水开采可能产生不良影响的国家重点工程区等

**区域与重点监测相结合、大流域控制和子流域监测相结合**

## 查明水文地质条件

## 明确区域和重点监测目的

明确监测目的，尤其是监测层位、监测项目等

## 布设原则

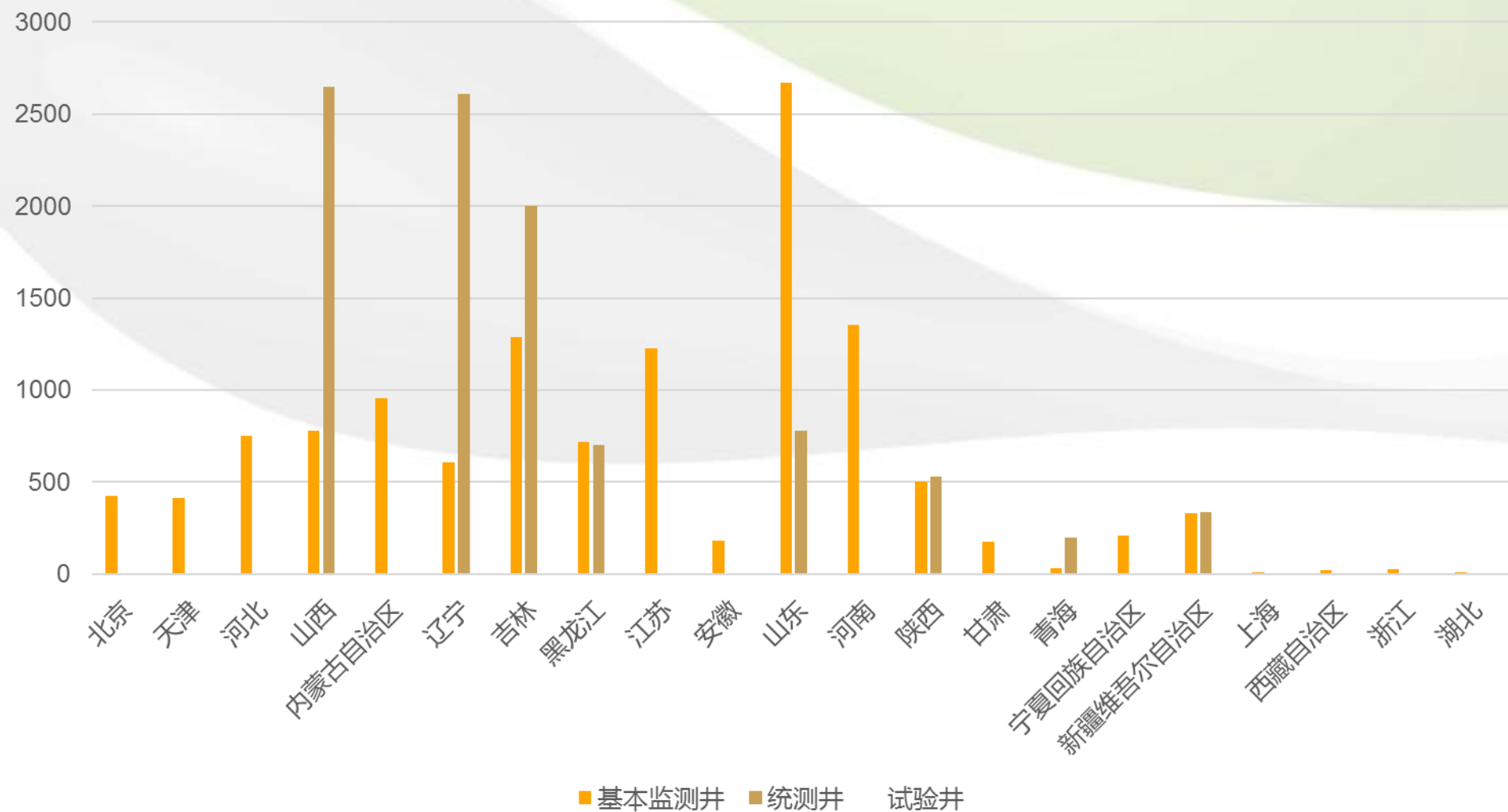
- (1) 满足地下水资源管理需求
- (2) 继承与发展的原则
- (3) 经济合理
- (4) 全面控制
- (5) 突出重点
- (6) 避免重复建设
- (7) 有利于管理与保护

## 监测站的布设

对现有监测站评估，选优剔劣；  
依据规程、规范进行增加监测站的初步设计；  
站网优化，形成地下水监测网的总体设计



## 我国各省地下水监测站分布



# 地下水监测系统质量

- 样品源质量
- 样品点位置与密度
- 取样频率
- 数据传输与分析整理

由于监测点的分布、密度、监测频率缺乏科学依据，造成不同行业标准存在差异。所以目前关于动态监测系统质量的评价研究主要集中在关于井网密度、监测井位置及取样频率的分析评价与设计方面，**这既是监测系统质量评价的理论核心，也是实际工作的重点难点。**

## 国际地下水水位监测现状

地下水水位监测一般是由监测**局部**问题开始，发展为监测**区域**问题，最终形成**国家**地下水监测网。

**荷兰**具有世界上最好的地下水水位监测网。

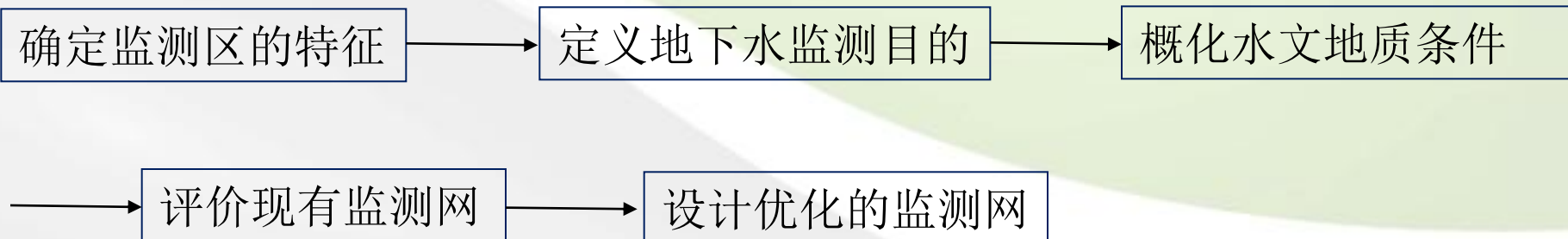
- 测钟
- 电感应测头

手测监测仪，应用广泛

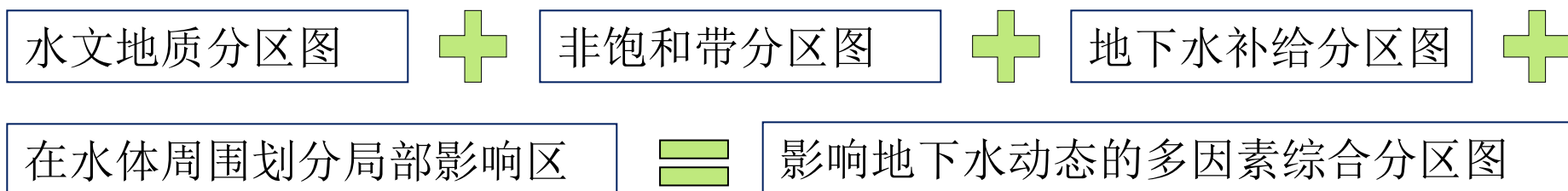
- 悬浮在水面上的自计水位仪
- 压力传感器
- 声学测头

监测数据可直接读入电脑，  
无线传输在试用阶段

## 区域地下水水位监测设计方法



根据上述步骤设计区域地下水水位监测网，概化水文地质条件的**方法：**  
**影响地下水动态的多因素综合分区编图**



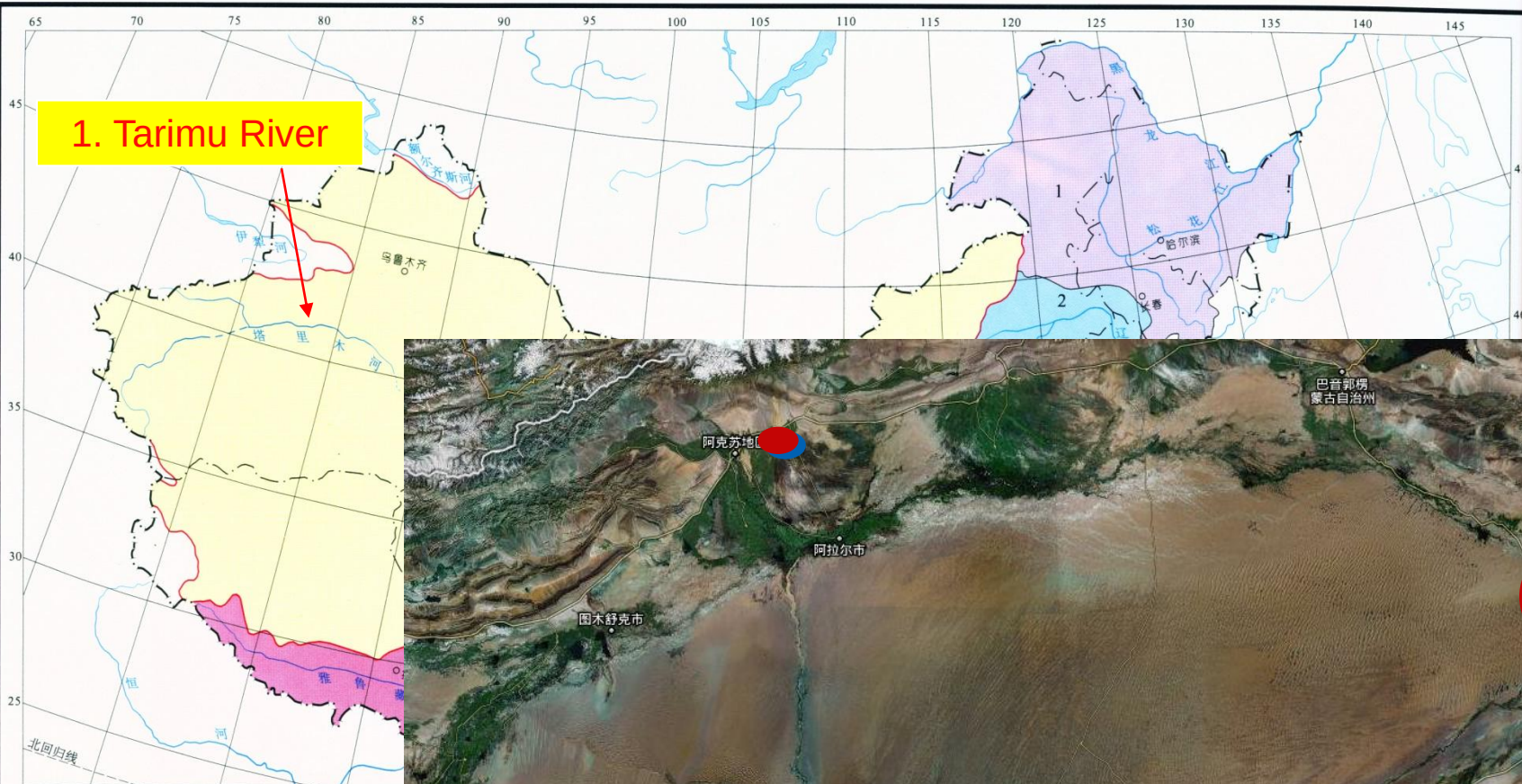
得到该图后进行监测网最优设计，方法是**克里金插值法**



### 三、国内外典型案例

# 中国水系图

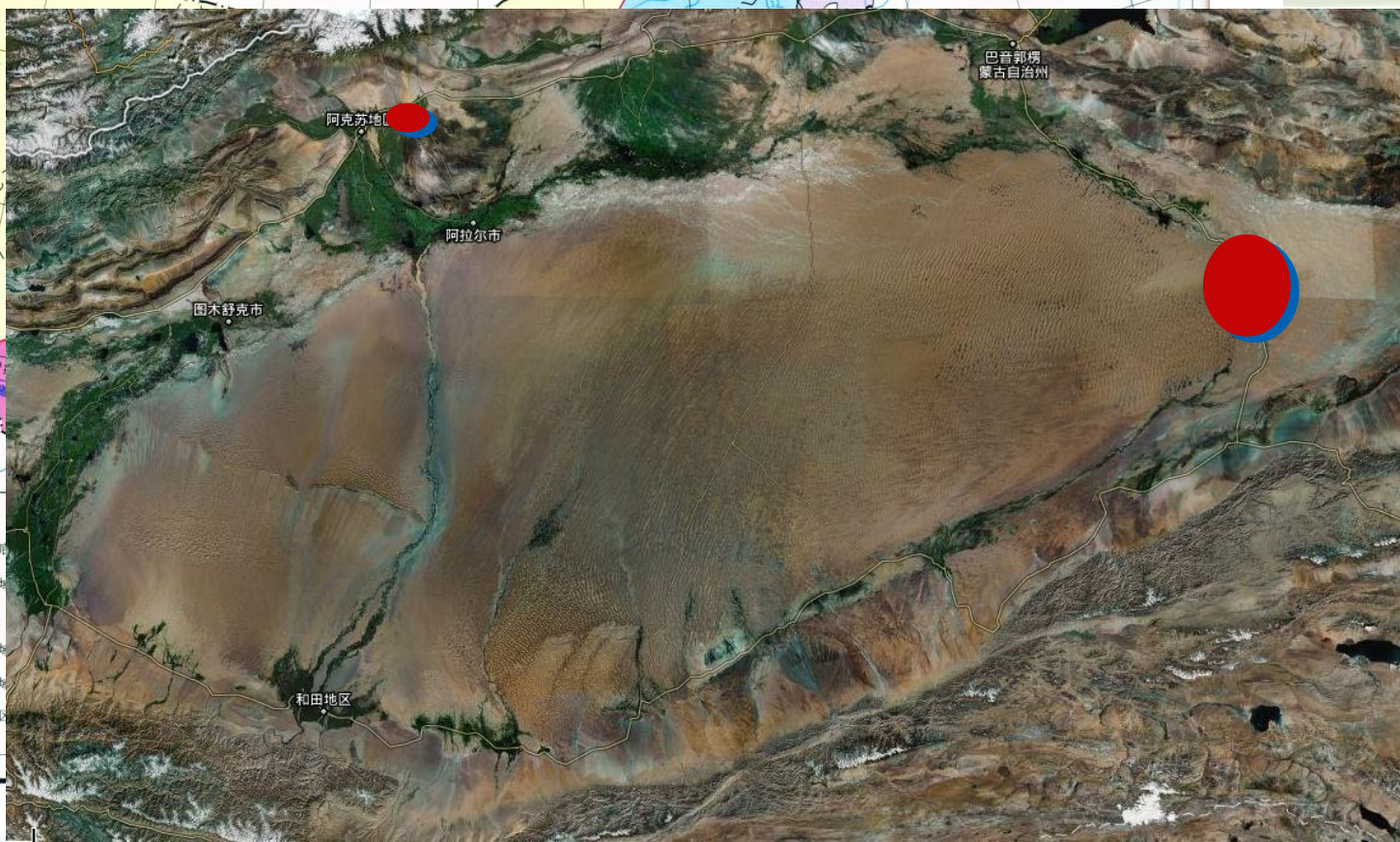
## 1. Tarimu River



### 图例

|         |              |            |
|---------|--------------|------------|
| 1 黑龙江流域 | 7 长江流域       | 13 伊落瓦底江流域 |
| 2 辽河流域  | 8 东南沿海诸河流域   | 14 恒河流域    |
| 3 滦河流域  | 9 珠江流域       | 15 内流区     |
| 4 海河流域  | 10 沅江-红河流域   | 其他流域       |
| 5 黄河流域  | 11 澜沧江-湄公河流域 | 主要流域       |
| 6 淮河流域  | 12 怒江-萨尔温江流域 | 内外流域       |

1 : 25000000





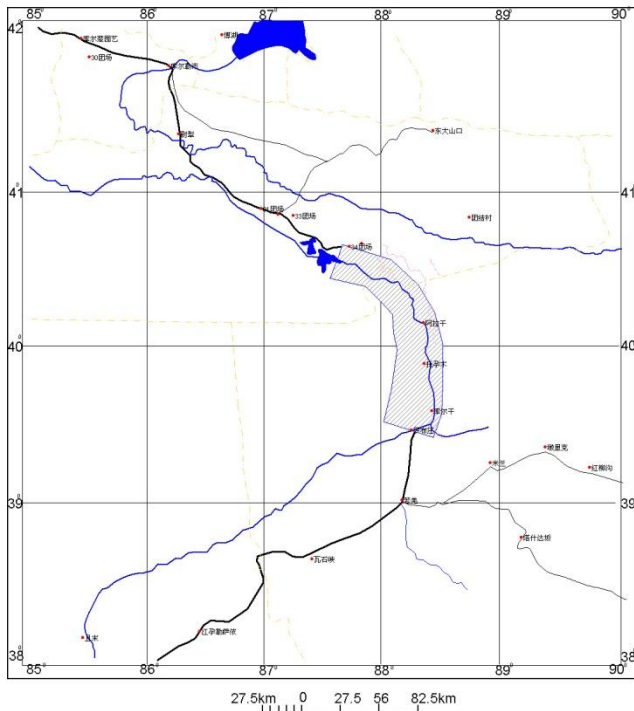
Any delay in water delivery programs will make current trend of ecologic deterioration at lower reaches of the Tarim river and fail to achieve ecologic recovery objective.

Vegetation degradation

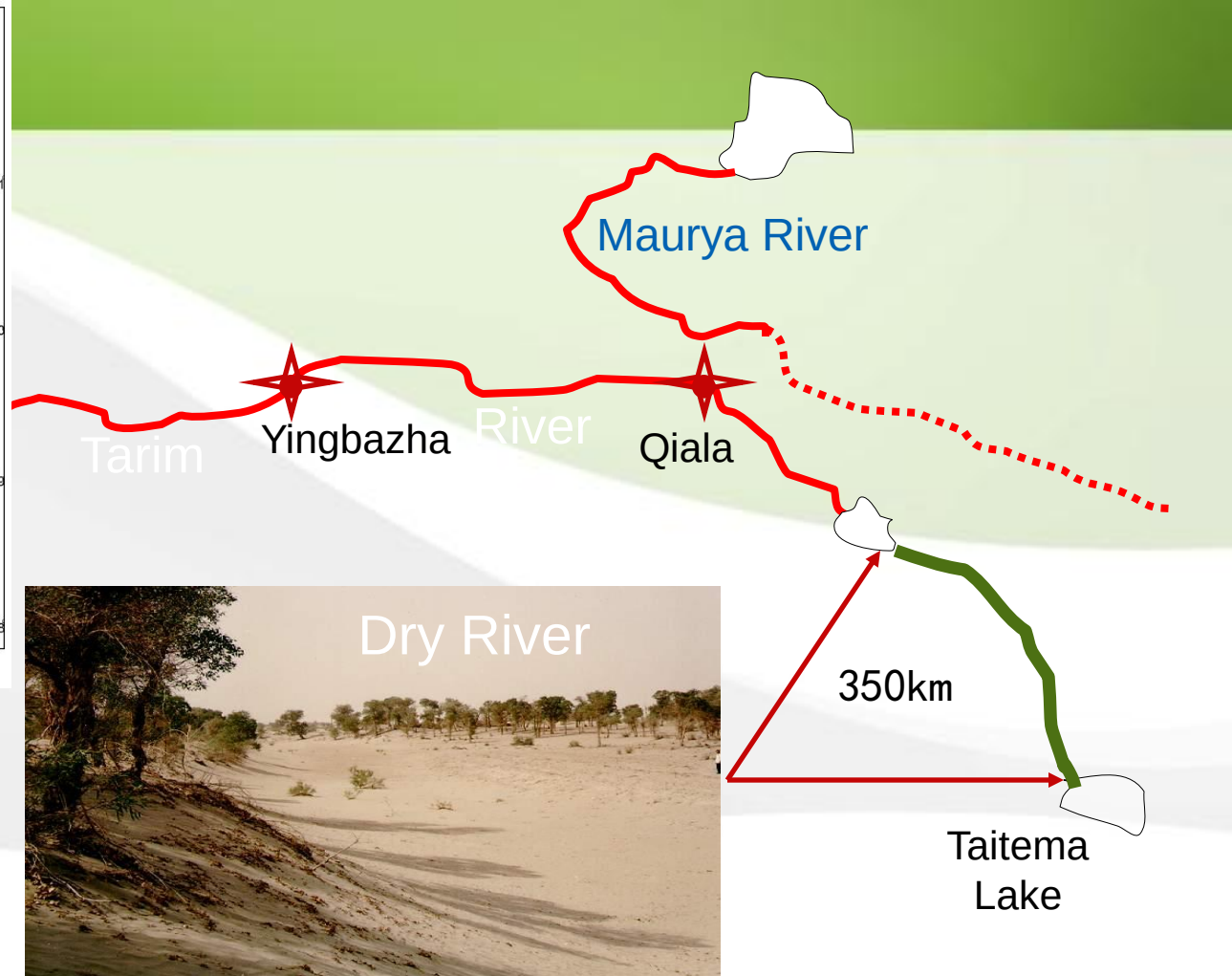


Desertification





Hetian River



Since 1972, the lower reaches have always been dried out. Terminal lake of the Tarim—Taitama Lake also dried up for more than 30 years. And groundwater table along the river continuously declined, with depth near Alkan decreasing from 7m in 1973 to 12.65m in 1997 and TDS increased accordingly.

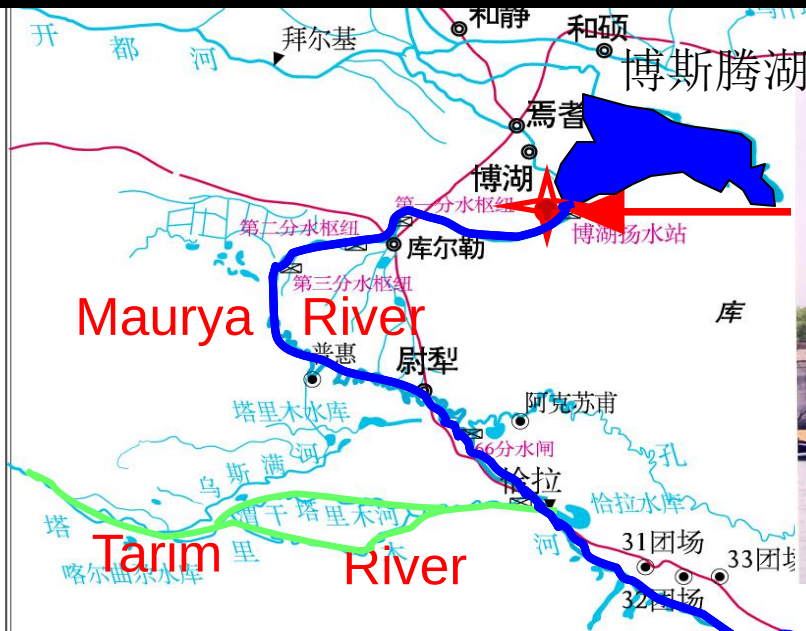


Water delivery from Daxihaizi reservoir is very important for raising groundwater level and recovering the vegetation.





# 5 times of water delivery to downstream



Totally 2220MCM  
water delivered from  
Boziteng Lake



Daxihaizi Reservoir



1660MCM water was  
released from the  
Daxihaizi Reservoir



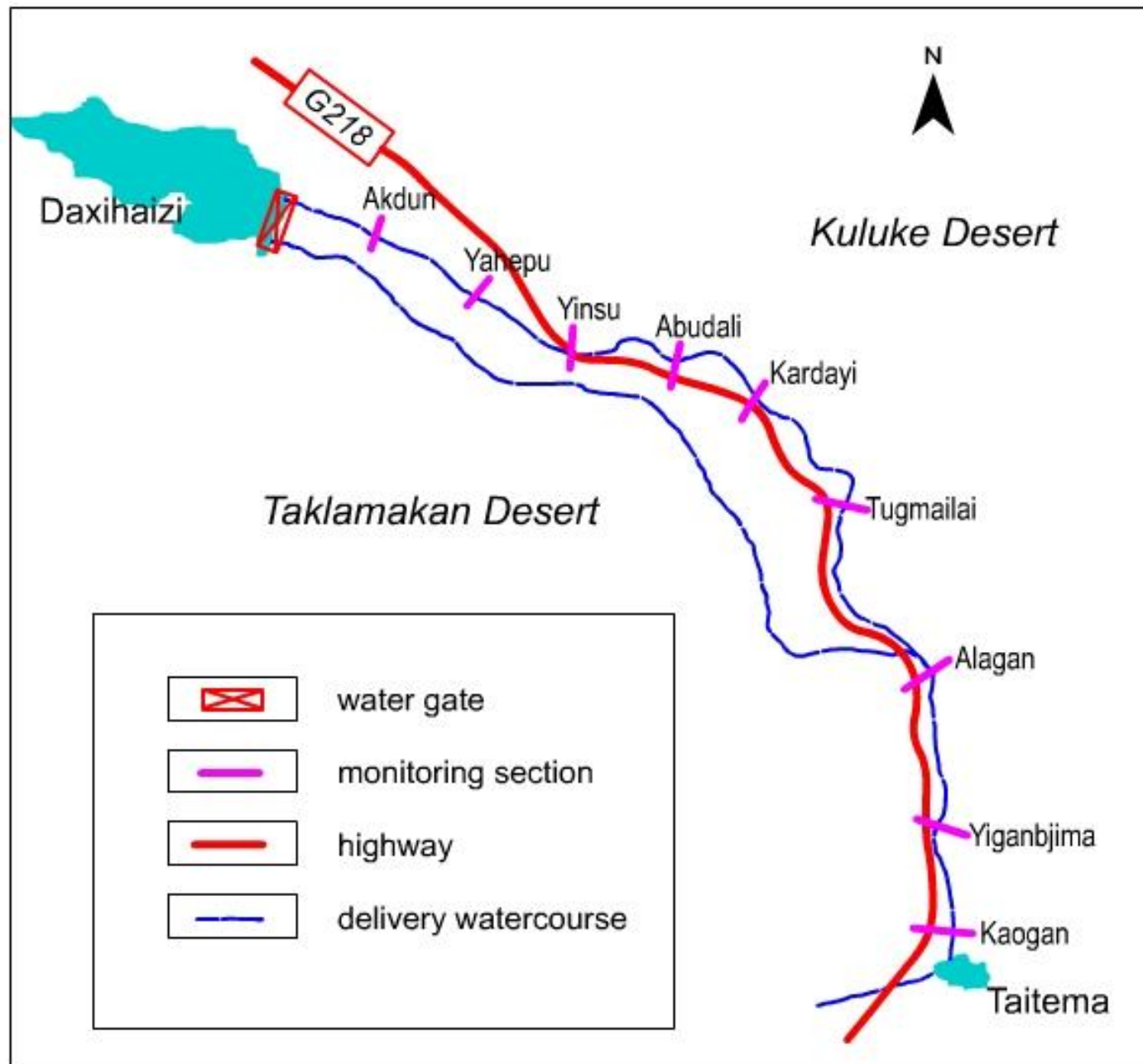
Recovery of Tarim river from dry situation after over  
30 years.



### Five times of water release

| Times                  | Period           | Duration<br>(d) | Releasing<br>volume<br>( $10^8\text{m}^3$ ) | Water<br>journey (km) |
|------------------------|------------------|-----------------|---------------------------------------------|-----------------------|
| The 1 <sup>st</sup>    | 00-5-14~00-7-12  | 60              | 0.98                                        | 102                   |
| The 2 <sup>nd</sup>    | 00-11-3~01-2-5   | 97              | 2.26                                        | 216                   |
| The 3 <sup>rd</sup> -1 | 01-4-1~01-7-6    | 97              | 1.84                                        | 300                   |
| The 3 <sup>rd</sup> -2 | 01-9-12~01-11-18 | 69              | 1.98                                        | 350                   |
| The forth              | 02-7-20~02-11-10 | 110             | 3.31                                        | 350                   |
| The fifth              | 03-3-3~03-7-11   | 131             | 3.4                                         | 350                   |







输水期间为做好应急输水的原型观测，给塔里木河流域近期综合治理提供第一手资料，为输水效果的评估提供科学依据，对地表水、地下水、土壤水、植被响应等内容进行了观测。

## 地下水监测井



## 样地



**Comparison of depth of GW level  
before water release and after the fifth water release**

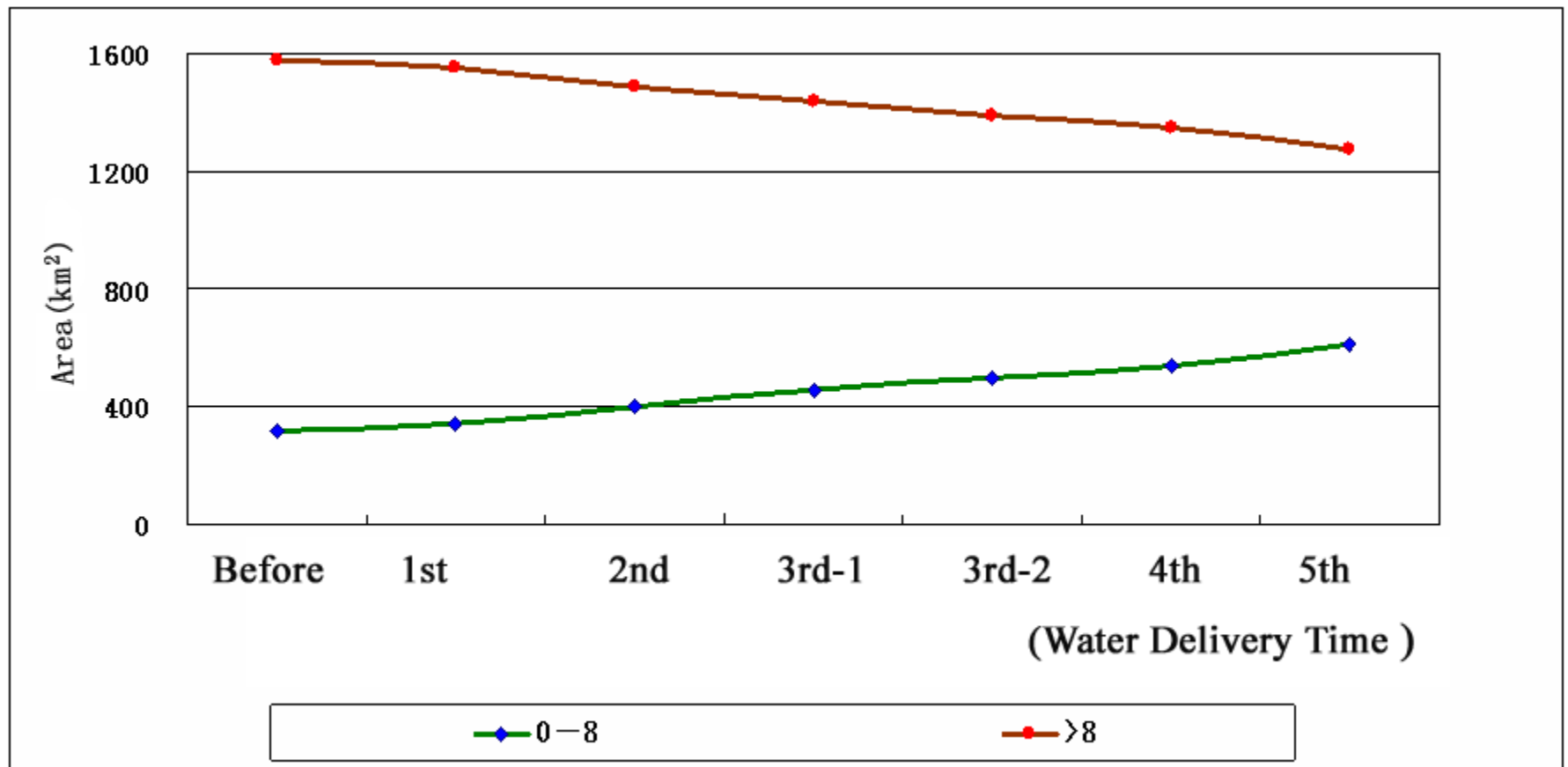
| Depth of<br>GW(m) | before water release    |                | after the fifth water release |                |
|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
|                   | area (km <sup>2</sup> ) | Percentage (%) | area (km <sup>2</sup> )       | Percentage (%) |
| 0~4               | 4.69                    | 0.25           | 20.40                         | 1.08           |
| 4~6               | 128.96                  | 6.83           | 261.17                        | 13.83          |
| 6~8               | 183.08                  | 9.69           | 329.76                        | 17.46          |
| 8~10              | 328.34                  | 17.39          | 338.81                        | 17.94          |
| >10               | 1243.45                 | 65.84          | 938.37                        | 49.69          |
| <b>Sum</b>        | 1888.52                 | 100.00         | 1888.52                       | 100.00         |

# 1) Groundwater is recovering

In 1889km<sup>2</sup> of study area:

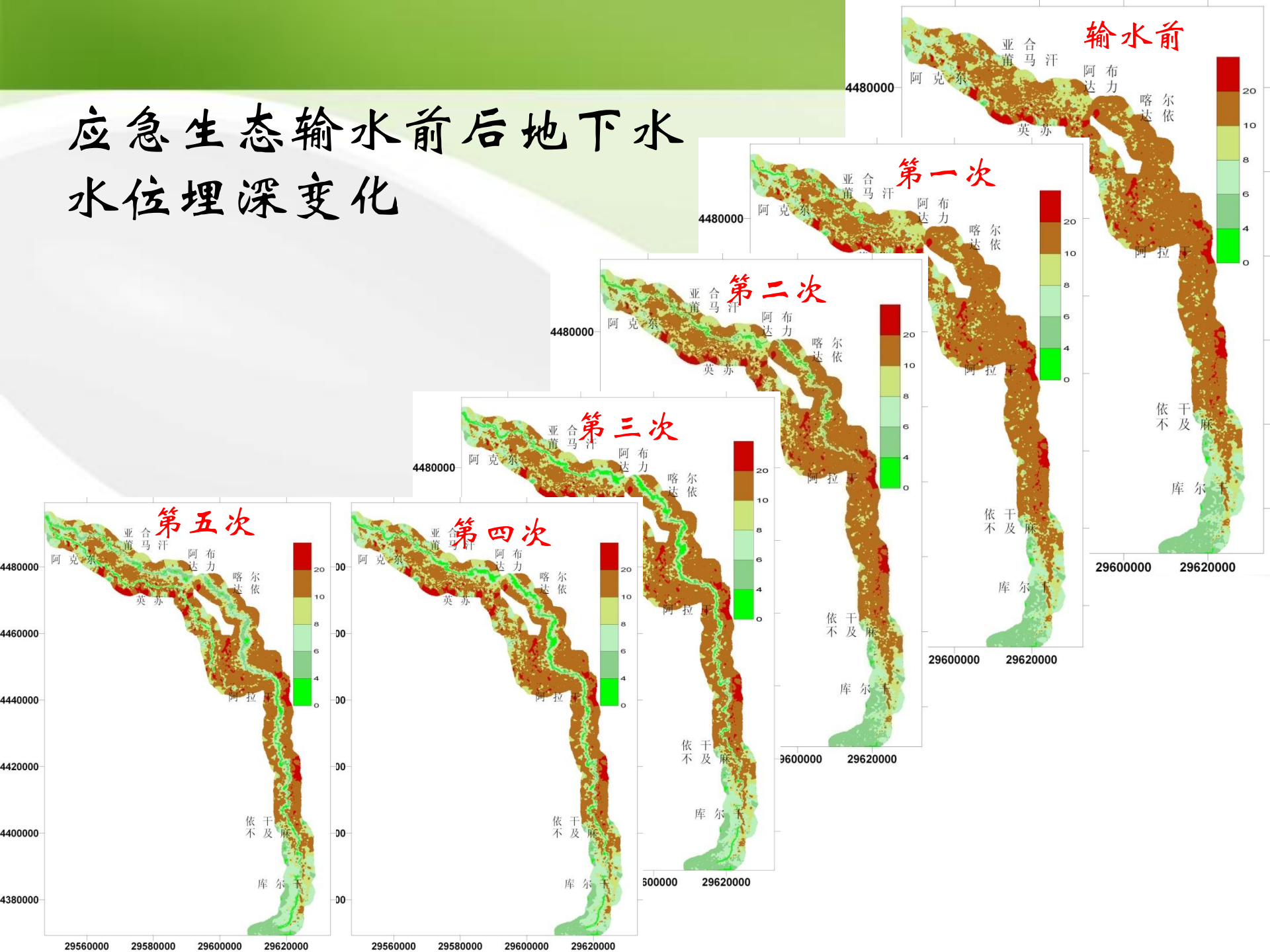
| Water Depth<br>(m) | Area (Before)<br>(km <sup>2</sup> ) | Area (After)<br>(km <sup>2</sup> ) | Increase<br>(%) |
|--------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| 0~4                | 5                                   | 20                                 | 0.8             |
| 4~6                | 129                                 | 261                                | 7               |
| 6~8                | 183                                 | 330                                | 8               |
| ≥10                | 1243                                | 938                                | -16             |

# Changes in depth of groundwater table during 5 times of water delivery.

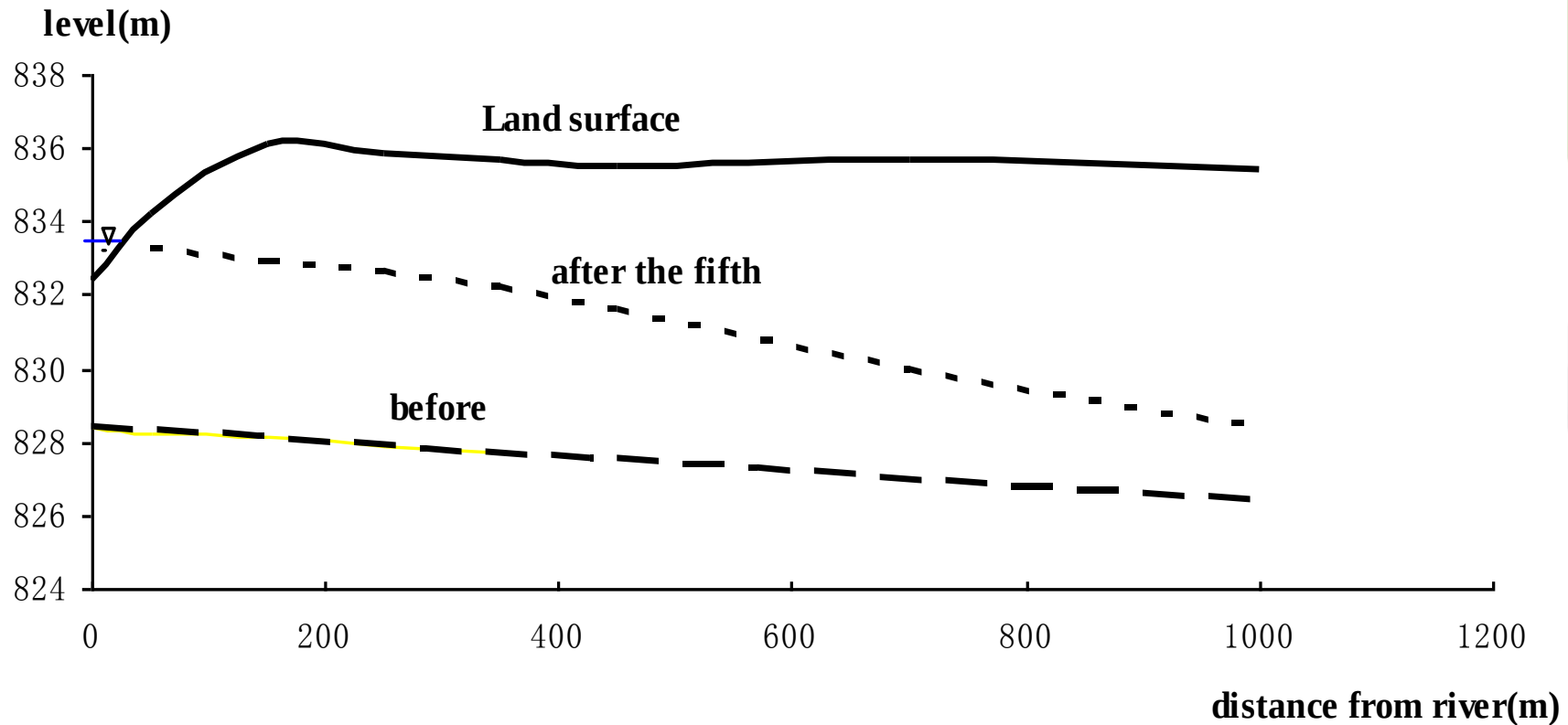




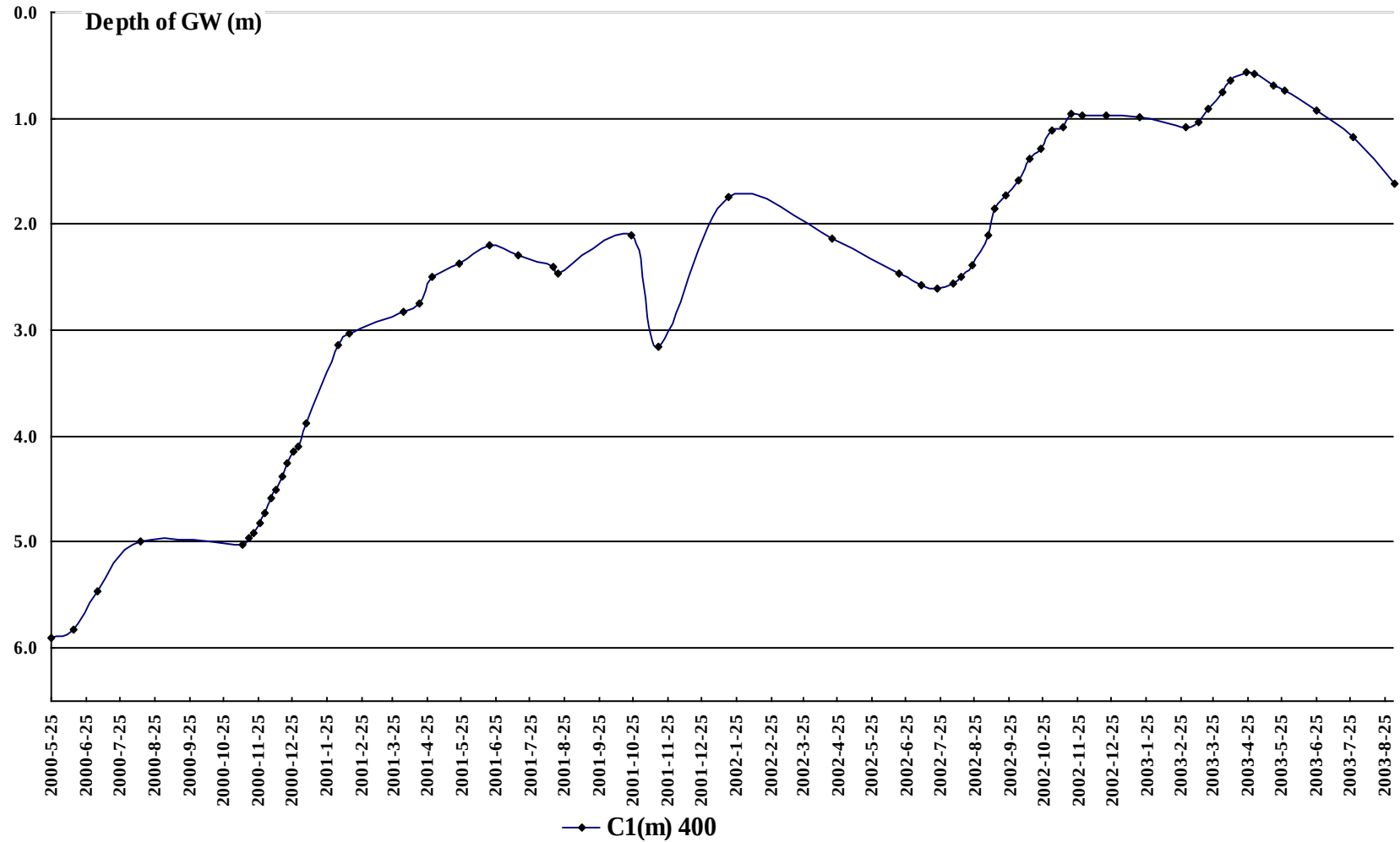
# 应急生态输水前后地下水 水位埋深变化



# Variation of depth of GW level at Yingsu Station



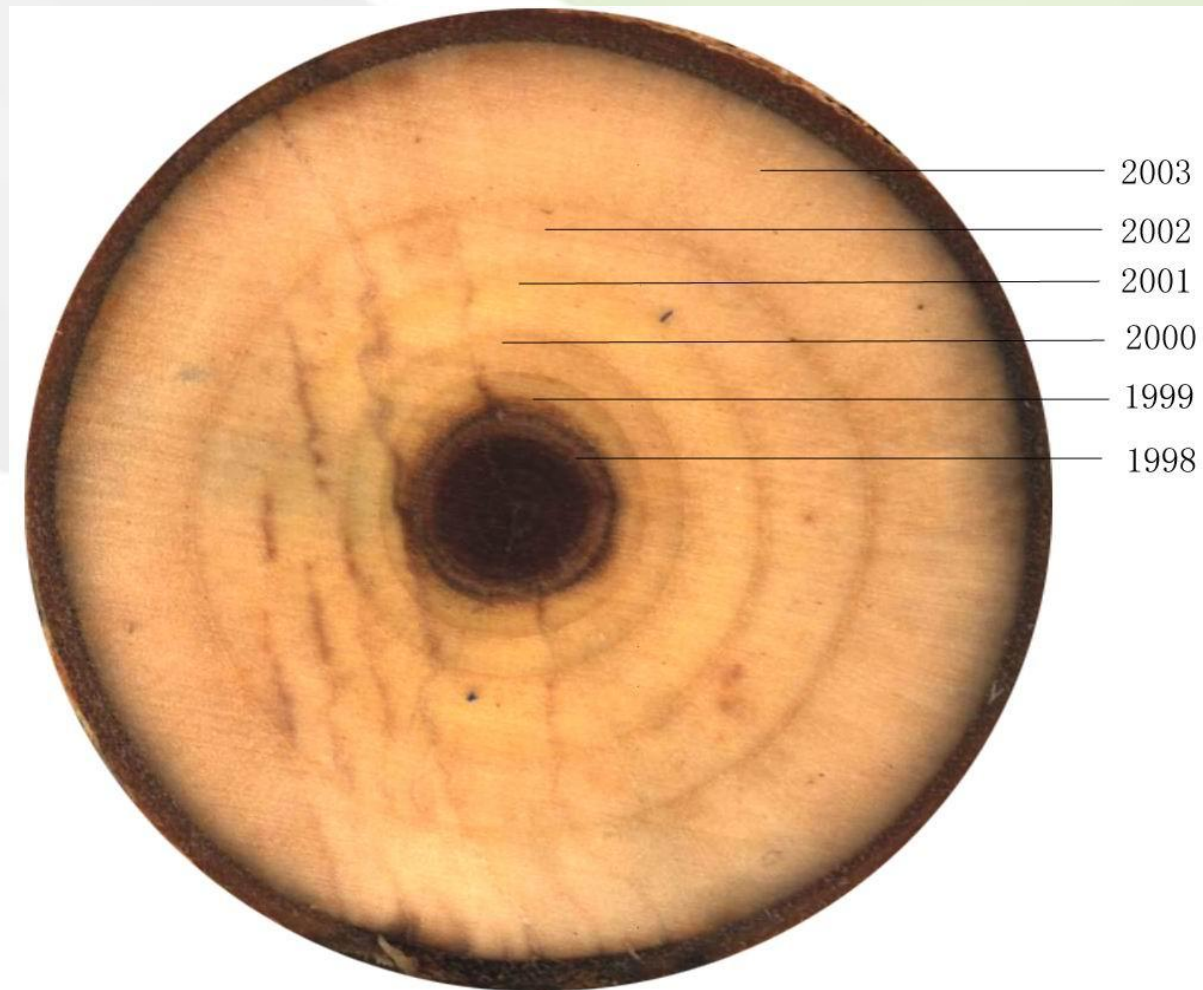
## Variation of depth of GW level at Yingsu station



The net recharge of groundwater from river water is about 0.51 billion m<sup>3</sup>, which accounts for 37% in 1.38 billion m<sup>3</sup> of total water delivering during 5 times of water delivery.

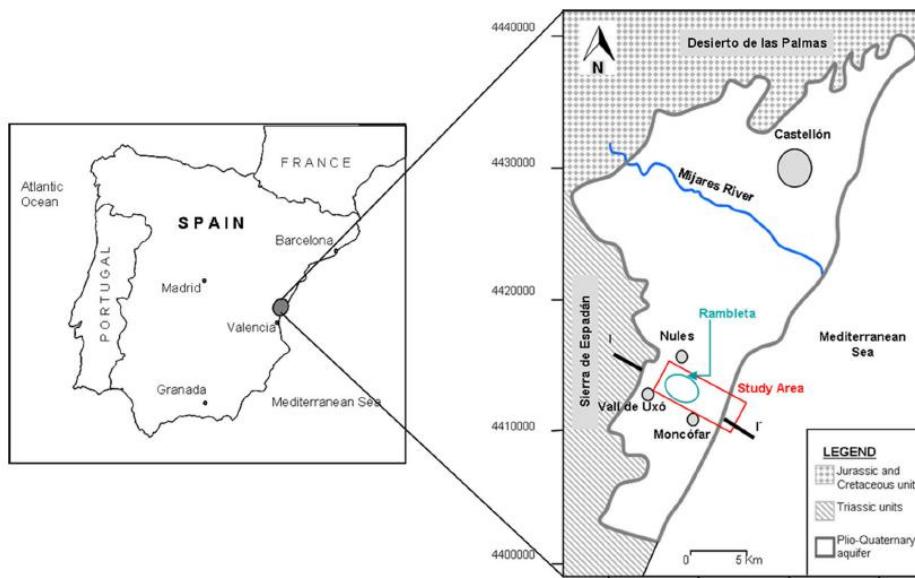


# 英苏断面离河200米样枝解析面









可口可乐生产用水量: 30万m<sup>3</sup>/a

计划回灌水源: 处理的污水

项目执行周期: 三年

项目投资: 3600万欧元

Fig. 1 Situation of the study area

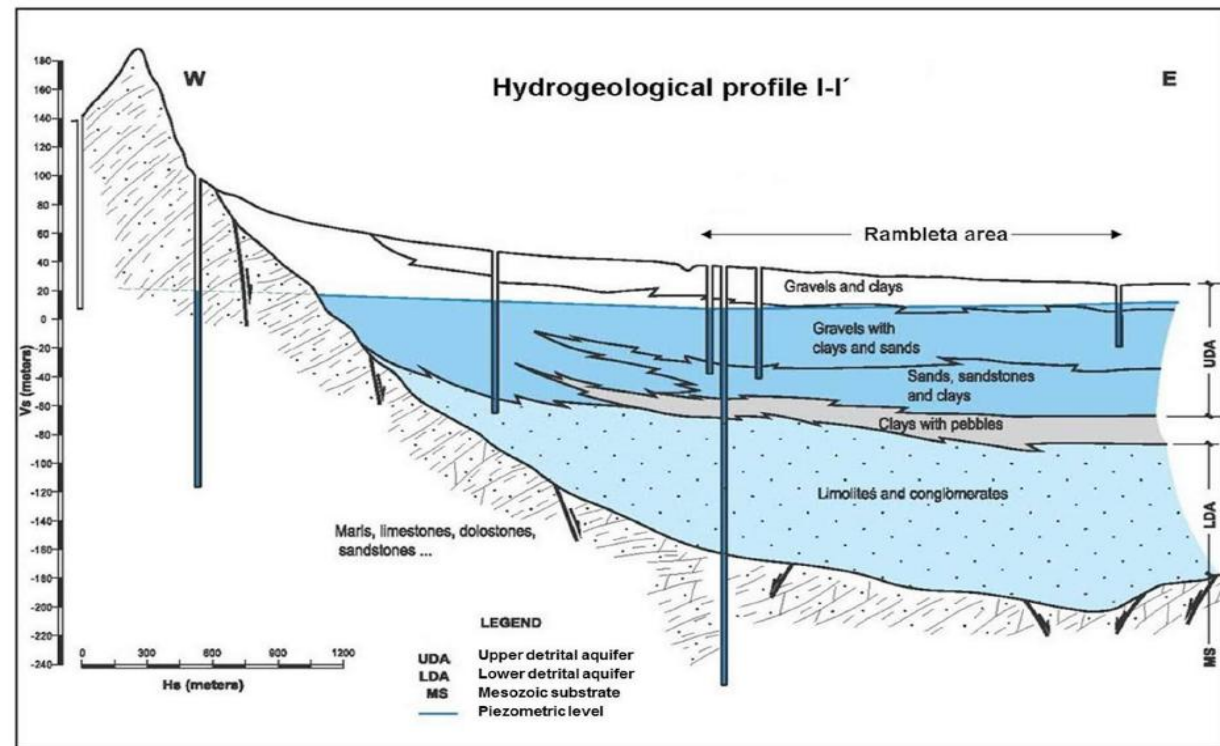


Fig. 2 Hydrogeological cross-section of the Rambleta Area

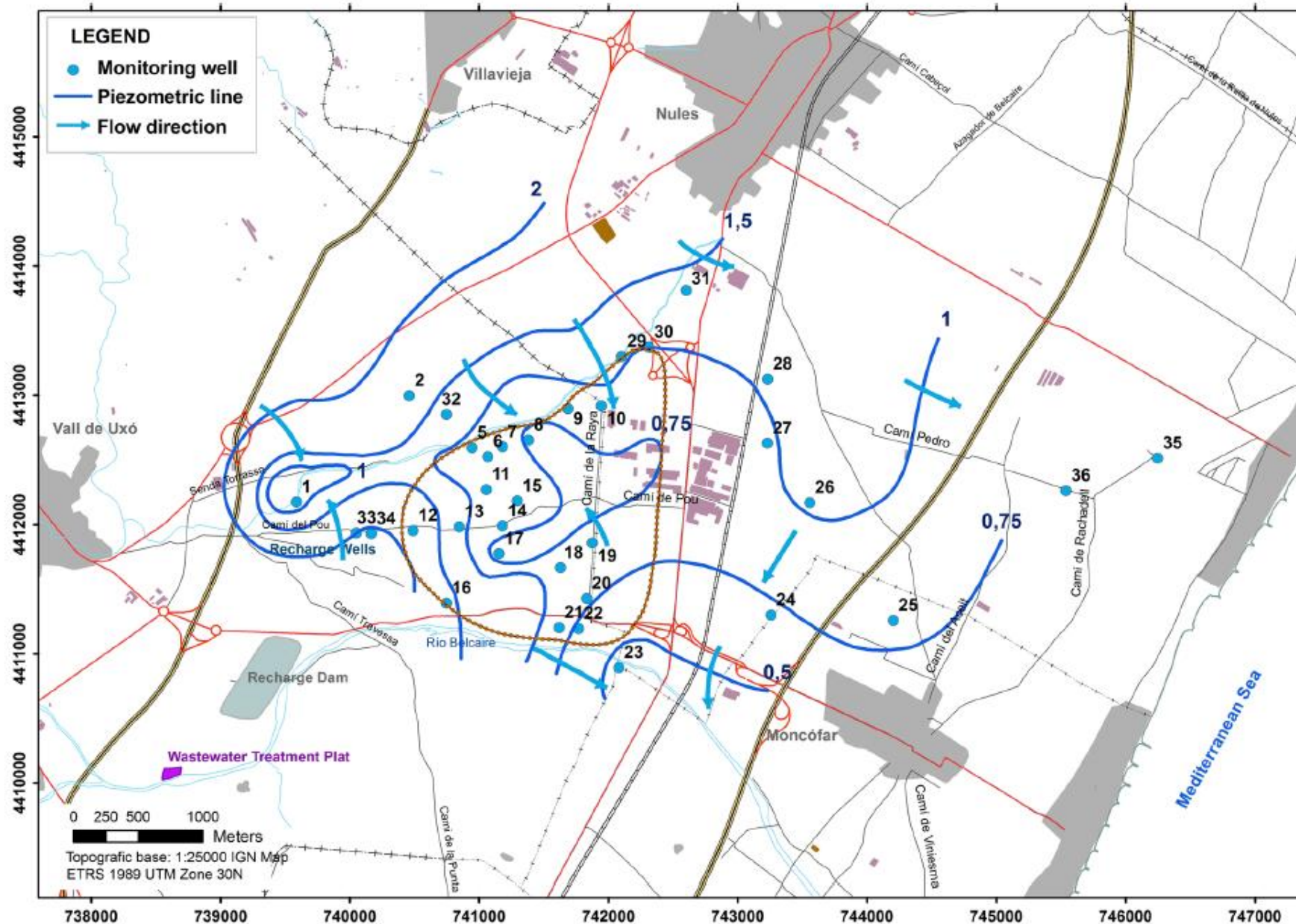
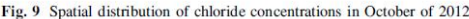
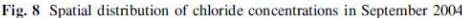


Fig. 3 Piezometric map (October 2012). The Rambleta Area is circled in brown











投入运行：2013年11月-2014年4月  
 回灌井：井深 100m， 井径450mm  
 回灌水量：3100万m<sup>3</sup>/180=1722m<sup>3</sup>/d  
 回灌效果：回灌井附近水位明显抬升  
 （最大3m）、水质变好



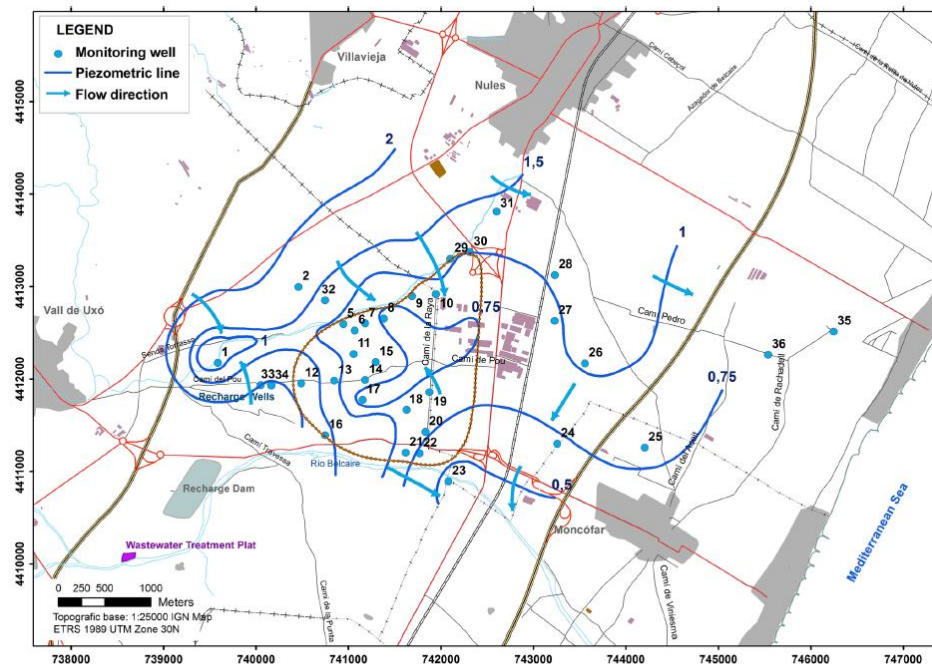
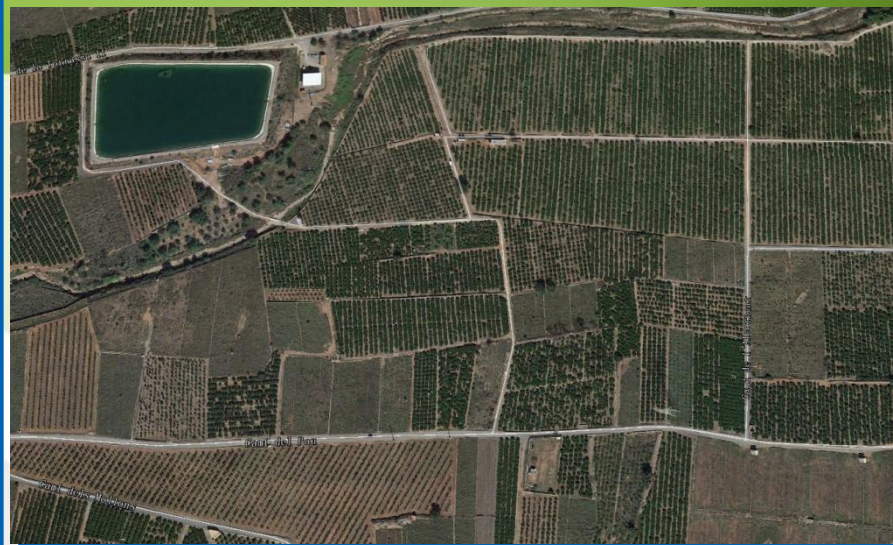
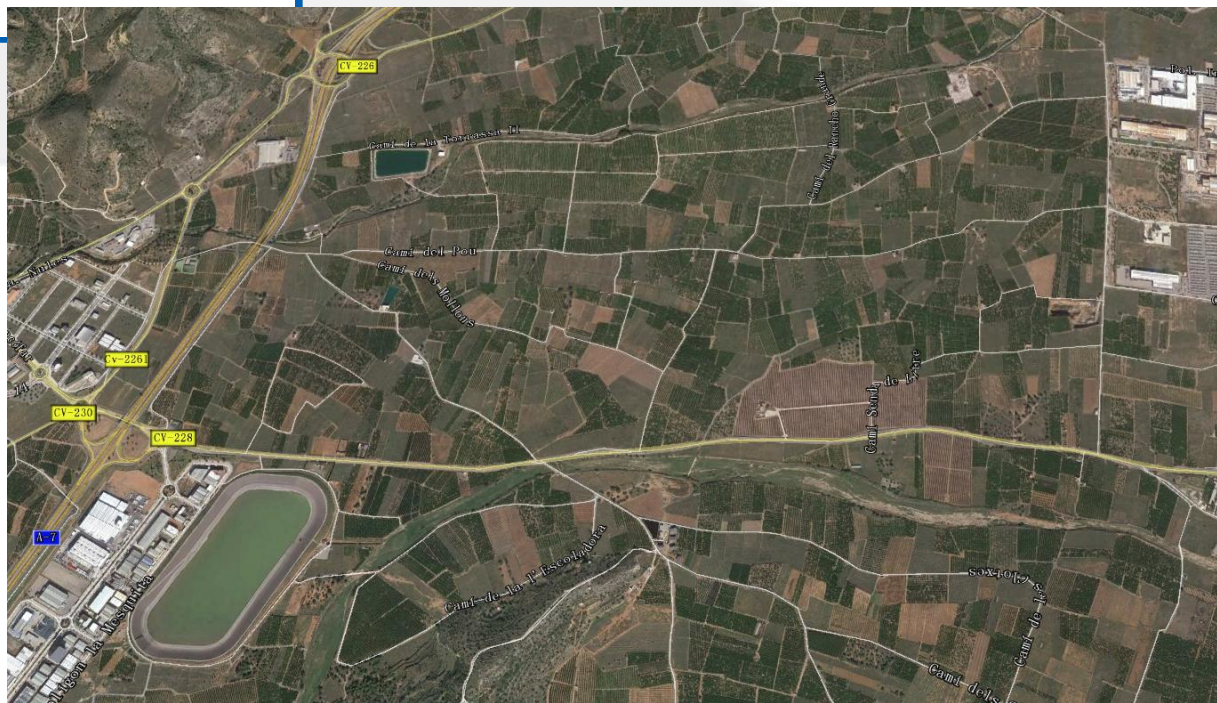


Fig. 3 Piezometric map (October 2012). The Rambleta Area is circled in brown



## 反思

- 1、回渗池的设计及位置；
- 2、回渗井的设计及位置；
- 3、回灌水源等。





## 四、存在问题及解决办法

# 存在的问题

掌握足够地下水专业知识的技术人员严重不足。

# 1、监测网布设不合理，部门间信息封闭

现有站网大部分分布在我国北方平原区，南方有些地区甚至还未开展地下水监测工作。另外，现有站网在重要水利工程区、生态环境脆弱区等重点区域仍然空白或布设密度较低。

目前全国水利部门共有地下水监测站24515处，国土部门共有地下水监测点 23784个(其中泉水监测点 364个)。

与发达国家相比，我国地下水监测站网密度偏低，尤其是地下水水质监测站网。我国目前地下水水位监测站网密度为 0.37 站/100km<sup>2</sup>，地下水水质监测站网密度为 0.01 站/100km<sup>2</sup>；美国地下水水质监测站网密度为 0.10 站/100km<sup>2</sup>，地下水水质监测频次为 4 次/半年；英国地下水水位监测站网密度 1.2 站/100km<sup>2</sup>，地下水水质监测站网密度为 0.40 站/100km<sup>2</sup>；荷兰地下水水位监测站网密度为 10.7 站/100km<sup>2</sup>，地下水水质监测站网密度为 1.07 站/100km<sup>2</sup><sup>[7]</sup>。

## 2、监测专用井少

我国现有的专用地下水监测井极少，不到5%，而且大多一直借用各单位生产井和民用井开展地下水监测工作，造成监测数据代表性差，监测数据质量不高，可靠性及连续性不能保证。

## 3、监测项目单一，农业开采量基本不监测

目前大多数地下水监测井监测项目单一且数据匮乏。



## 4、信息采集及传输手段不能满足水资源高效管理的需要

地下水管理中时效性要求主要体现在两个方面：常规工作对地下水的监测；紧急突发情况对地下水的监测，例如在水污染、严重旱情等突发事件发生时，对监测数据的时效性要求非常高。

# 解决办法

- 1、完善地下水监测站网建设提高监测能力
- 2、增设地下水监测专用井满足管理需要
- 3、增加地下水监测要素满足开发利用需求

2015-2018年，国家地下水监测工程将新建、改建地下水监测站点 20401个，配套地下水水位信息自动采集传输设备20445套；改建地下水监测试验场 2个，改建地下水与海平面综合监测站 1个。水利部门建设10298个地下水监测站点，国土部门新建及改建地下水监测站点 10103个。

## 4、提高信息采集及传输手段

3S 技术可提供地下水动态数据及时更新、地下水动态三维数据的获取及空间分析能力，是地下水动态监测工作走向**智能化**和**实时化**。



(a) 平面位置



(b) 三维数字地球影像



监测点的三维实体模型

监测井信息的二维、三维空间展示

5、重视监测成果应用，积极适应信息社会对地下水监测工作的要求，加大地下水监测信息系统建设力度，努力构建“大数据”共享服务与分析机制。



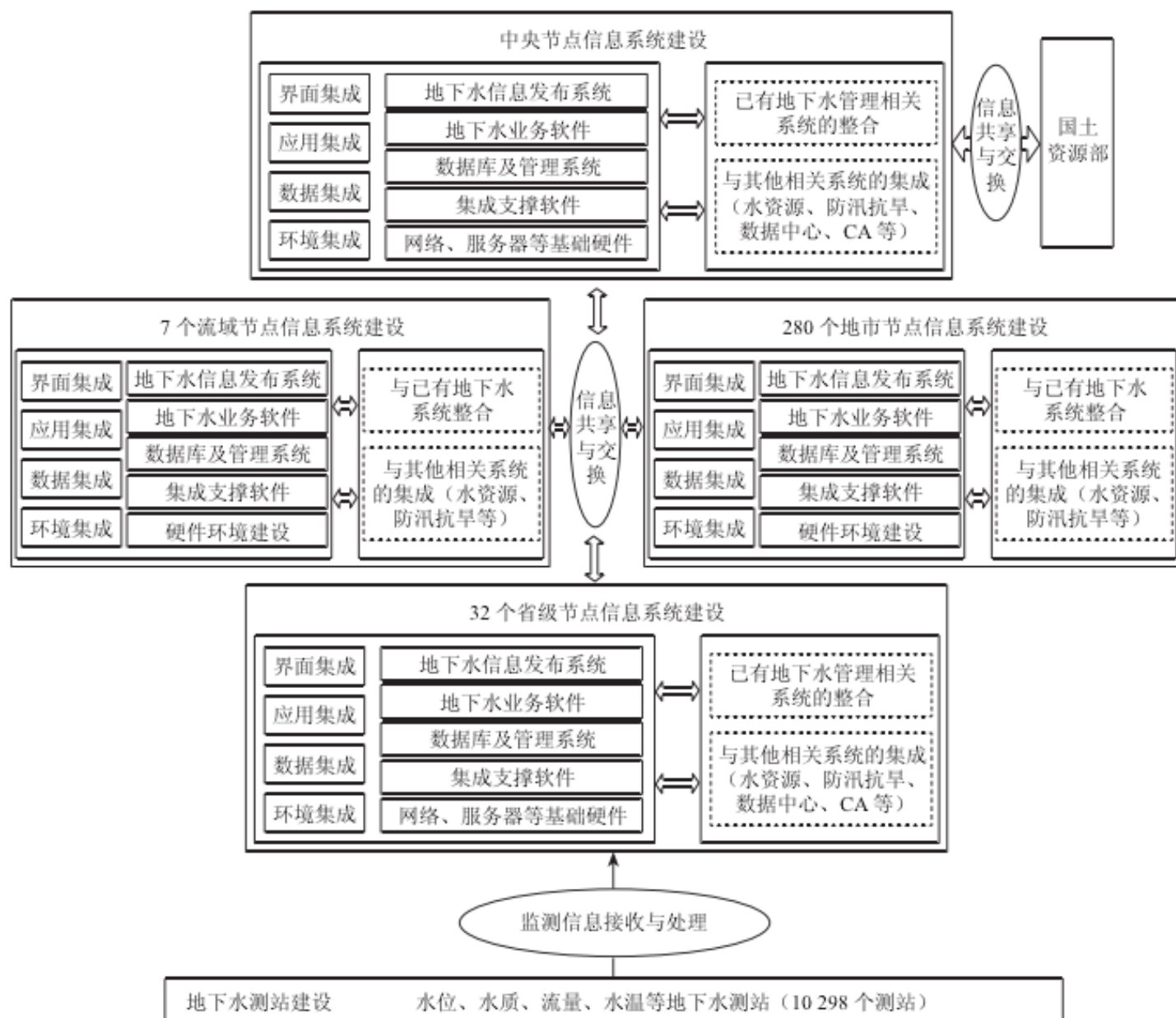


图 1 国家地下水监测工程（水利部分）系统总集成总体框架图

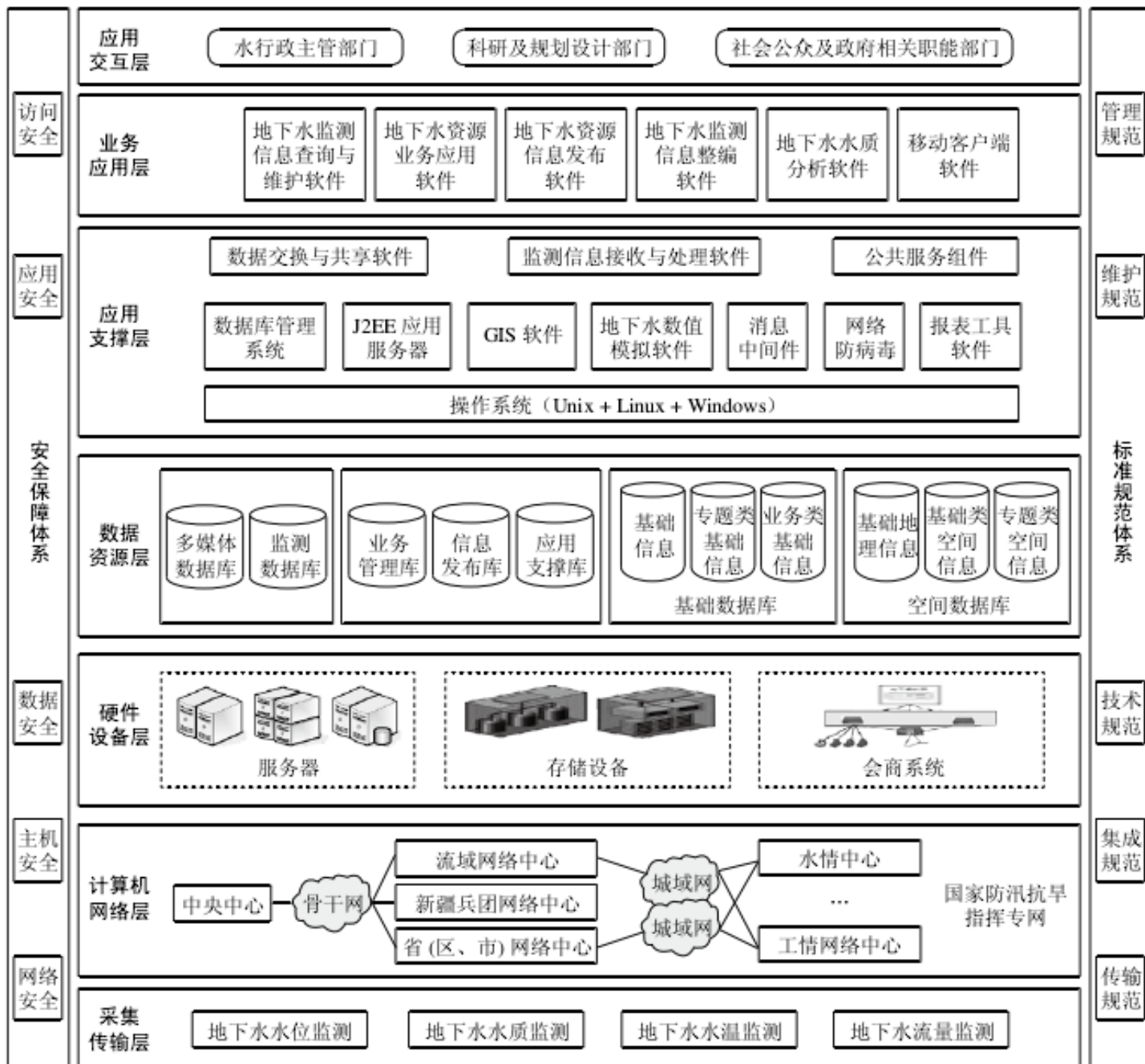


图 2 国家地下水监测工程（水利部分）信息系统总体结构图

**Thank You Very Much  
for Your Attention**