

# 三峡工程与长江中游浅层承压水动态<sup>\*</sup>

何报寅 蔡述明

(中国科学院测量与地球物理研究所 武汉 430077)

**摘 要** 三峡水库正常运行后,坝下枯季下泄流量增加,将使荆江水位比建坝前抬高1~2 m。由于长江与两侧浅层承压水有着十分密切的联系,长江枯季水位升高将阻滞两岸地下水向长江排泄,从而使两岸承压水位相对抬高。观测研究表明,长江对承压水动态的影响程度随距离的增加而减弱,二者成分段线性反比的关系。在龙口观测剖面,如长江水位升高1 m,则在距离为0~1 km地段,承压水位将抬高1~0.25 m;在1~4 km地段,抬高0.25~0.05 m;在4~9 km地段,抬高0.10~0.05 m。承压水位的上升将引起农田枯季水位的升高,引起或加重该地区土壤的潜育化和沼泽化。同时,中游长江水位变幅变小,使地下区的范围缩小,可能会削弱地下区在河流生态系统中的功能,从而影响到整个长江的生态系统。

**关键词** 三峡工程,长江中游,承压水动态

## 1 概况

长江出三峡后,蜿蜒东流,中游经过我国两大著名的平原湖区,江汉—洞庭湖平原和鄱阳湖平原。两平原湖区的形成演变和生态环境无不与长江息息相关。在地貌上,两平原都是长江及其支流的冲洪积平原。两岸平原湖区的众多湖泊实际上都是长江的伴生湖泊。洞庭湖和鄱阳湖都是典型的通江湖泊,洪湖以前也曾经是通江湖泊,后来才人为分割开来。

经过人类几千年的开垦活动,原来大片的湖泊沼泽演变成了今天的农田。由于这里地处我国北亚热带,湿润多雨,而且地势低洼,排水不良,地下水水位过高,土壤淹水时间长,在还原环境条件下,铁离子被还原成亚铁离子而被大量淋失。土壤剖面中形成一层通透性很差的青灰色土层—潜育层。长江中游平原湖区是我国典型的潜育化土分布区。

两千多年来,人类一方面在长江两岸修筑河堤以抗御长江的洪水,另一方面把沼泽湖滩地围垦成农田,开沟挖渠,降低地下水位。经过长期的耕作,一些沼泽型土和潜育型土被改造成了潜育型水稻土,一些在原来湖心低洼处的土壤仍处于潜育化阶段。目前,在长江中游平原湖区估计这种潜育化水稻土的面积占平原稻田面积的73%~80%。如果由于耕作不当或其它原因使地下水位上升,原来已经脱潜的水稻土会再发生潜育化的作用退化为潜育型土,而轻潜育化土则会加重。一般来说,当地下水位埋深大于0.8~1.0 m时,发生正的演化过程—脱潜作用,当地下水位小于0.8~1.0 m时,则发生逆演化过程,即潜育化作用,潜育型水稻土向潜育型水稻土和沼泽土演变。三峡工程建成后,是否会引起长江中游两侧平原湖区农田地

<sup>\*</sup> 本文是国家八五重点科技攻关课题85-06-03和三峡工程生态环境监测项目SX-(97)-13-1的部分研究成果。  
何报寅,男,1965年出生,副研究员  
收稿日期:1998-01-19,修回日期:1998-06-08

下水位的变化,从而影响到土壤的演化过程呢?在“七五”和“八五”国家重点科技攻关项目“三峡工程对生态与环境的影响及其对策研究”中,把这个问题列为重要的课题开展了研究<sup>[1,2,3]</sup>。

课题研究期间,我们重点对荆江北岸的四湖地区的地下水进行了定位观测研究。初步查明了长江与承压水、承压水与潜水、潜水与地表水及大气水之间的关系。本文重点介绍有关长江与承压水关系方面的成果,其余将另文介绍。

## 2 三峡工程对长江中游河流水文过程的影响

三峡水库建成后,其正常运行水位年内变化过程如图 1 所示。每年的 5 月末至 6 月初,为腾出防洪库容,坝前水位降至汛期防洪限制水位 145 m。汛期 6 月至 9 月,水库维持此低水位运行。10 月份,水库蓄水,水位逐步升高至 175 m。12 月至次年 4 月,水库维持较高水位,并逐步调低,但不低于 155 m。5 月开始进一步降低库水位。

上述调度方式将在一定程度上改变坝下长江的天然径流过程。宜昌将作如图 2 的调整,从 10 月至次年的 5 月,宜昌站的流量都比建坝前有所增加。

图 1 三峡水库年内水位过程图

Fig. 1 The normal hydrograph of Three Gorge Reservoir in a year

图 2 三峡水库修建前后宜昌站径流量对比

Fig. 2 Contrast of the runoffs at Yichang station before and after the building of Three Gorge Reservoir

流量的变化必然引起水位的变化。据有关模型计算\*,建坝后,枯水期三峡水库增泄流量对坝下长江各测站水位的影响如表 1 所示。

表 1 枯水期三峡水库增泄流量使坝下长江各测站水位增高值

单位:(m)

Table 1 Increments of Yangtze River levels (m) at the downstream stations causing by discharge increase in dry season after the building of Three - Gorge Reservoir

	3 500	4 000	4 500	5 000	5 550	6 000
松滋口	2.13	2.44	2.73	3.03	3.32	3.60
太平口	2.12	2.43	2.73	3.03	3.33	3.64
藕池口	2.24	2.66	3.08	3.47	3.87	4.25
洞庭湖口	0.98	1.23	1.48	1.73	1.98	2.22
龙口	0.85	1.09	1.34	1.59	1.85	2.10
汉口	0.66	0.86	1.06	1.27	1.50	1.72
鄱阳湖口	0.42	0.53	0.66	0.80	0.85	1.11

\* 中国科学院环境评价部,长江水资源保护科学研究所. 长江三峡水利枢纽环境影响报告书. 1991,12

### 3 长江与承压水在地质上的联系

从地层结构看,长江与荆江北岸四湖地区浅层承压含水层有着密切的联系。在江汉平原四湖地区,浅部地层具有冲洪积平原典型的二元结构特征。其深约 10~20 m 以下,广泛分布有较厚的全新统(Q<sub>4</sub>)下段和上更新统(Q<sub>3</sub>)河流相砂砾层,并且离长江越近,砂砾层埋藏越浅,以至与长江河床连成一体。上述砂砾层厚 50~90 m,分布连续而稳定,含水量丰富,承压水头高,单位涌水量 100~1 000 m<sup>3</sup>/d·m,构成本区埋藏最浅的第一孔隙承压含水层。其含水层顶板埋深,内荆河以南小于 20 m,而且总的趋势是越靠近长江,埋藏越浅。

其上覆地层为长江在全新世期间洪泛形成的粉砂、亚砂土、亚粘土、粘土以及湖相的淤泥质粘土、亚粘土和淤泥,总厚度 15~20 m,其厚度分布大致与承压含水层顶板埋深等值线一致。无论是在水平方向上还是在垂直方向上,其岩性变化均较大,各类沉积物往往呈透镜状或互层状产出,不存在大范围连续稳定的粘土层。这表明承压含水层与潜水层有许多天窗相互沟通。这种岩性的不均一性和复杂多变性是与该区在全新世复杂多变的河流及其伴生的亚沉积环境相对应的。

孔隙潜水层由全新统粉砂、粉细砂、亚砂土组成,主要分布于长江北岸和东荆河南岸沿岸一线。在长江北岸分布较广些,主要是因为长江洪泛和溃口时,较粗沉积物在近岸带首先沉积下来而形成的。其水位埋深一般在 0.5~1.5 m 左右,局部地段小于 0.5 m,渗透系数 0.7~5.24 m/d,与江水的联系较为密切。

在离河岸较远的冲积平原腹地,潜水层属土壤裂隙孔隙潜水层,其厚度 3~5 m 不等,地下水主要赋存于土壤耕作层的次生裂隙、次生孔隙以及原生孔隙中,次生裂隙垂直发育,潜水的运动以垂直为主。裂隙孔隙潜水位埋深随不同的地貌单元有着明显的差别。如在冲湖积平原区地下水位埋深一般在 0.5~1.0 m,但在潜育化沼泽化田分布区,其埋深一般小于 0.5 m,位于长江及东荆河沿岸的地带,绝大部分地段其地下水位埋深一般在 1~2 m,江陵观音寺—石首及洪湖龙口以下地段其埋深小于 0.5 m。

从长江沙市—汉口江段河床深泓线标高与同江段承压含水层顶板标高对比分析看,长江无疑已切穿或多处切穿了这一承压含水层顶板,所以江水与承压含水层实际上是直接沟通的,其水力联系密切。

同时,在下荆江江段,由于长江水位大部分时段高于地下水位,长江水长年性补给承压水和沿江一带潜水是无疑的。在城陵矶—汉口江段,长江水从 5 月份至 11 月份季节性补给地下水,枯季长江则是地下水的排泄基面。对该区孔隙承压水等水位线图的分析表明,在洪季,整个四湖地区内荆河以南区域均接受长江水的补给,内荆河以北主要接受汉江和东荆河的补给。下荆江江段,而无论是洪季或枯季,江水总是补给地下水。在远离长江的地段,承压水主要接受上覆潜水的越流补给,当承压水头高于潜水水头时,则是承压水补给潜水。

沿江地段因受长江水位的明显控制,其水平径流和水循环交替较活跃。枯季当长江水位低于地下水位时,地下水排入江,如城陵矶以下江段在枯季即接受地下水补给;沿长江一带的孔隙潜水,在洪雨季,主要接受长江的补给和降水的补给,在枯季则向长江排泄。因其埋深较大,且岩性较粗,蒸发不是主要排泄方式。由于长江洪枯水位变幅很大,一般超过 10 m,这一带水力坡度也很大,所以潜水的水平径流和水的交替都较为活跃。

### 4 长江与承压水在动态上的联系

河流对河侧冲积平原地下水动态的影响范围和强度在水文地质学上一般可用地下水相对水位变幅  $K$  描述,  $K$  即是地下水水位变幅与河流同期的水位变幅的比值,  $0 < K < 1$ 。图 3 就是  $K$  值随距离  $S$  的变化情况。该图是统计了 1986 年至 1990 年洪湖龙口地区洪枯和枯洪水位相对变幅而得出的。从图 4 可看出,  $K$  与  $1/(S+1)$  大致呈分段线性反比关系, 可用下式描述

$$K = 1.50 / (S + 1) - 0.50 \quad \text{当 } 0 < S < 1 \text{ km 时} \quad (1)$$

$$K = 0.50 / (S + 1) \quad \text{当 } S > 1 \text{ km 时} \quad (2)$$

由此可推知, 离长江  $0 \sim 4$  km 一带, 即当  $0 < S < 4$  km 时,  $K > 0.1$ , 可认为长江对承压水的动态有强烈影响; 当  $4 < S < 9$  km 时,  $0.1 > K > 0.05$ , 可以认为长江对承压水动态有明显的影响; 当  $9 < S < 24$  km 时,  $0.05 > K > 0.02$ , 可认为长江对承压水仍有影响; 24 km 以远, 可认为基本上没有影响。

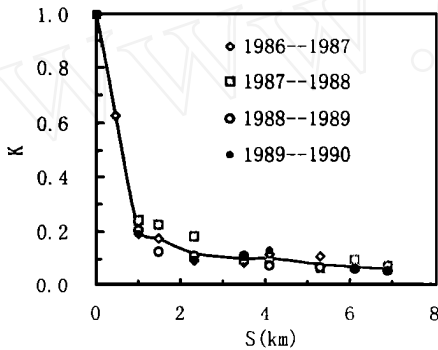


图 3 影响程度  $K$  与距离  $S$  的关系  
Relationship between affecting degree ( $K$ ) and distance ( $S$ ) from Yangtze River

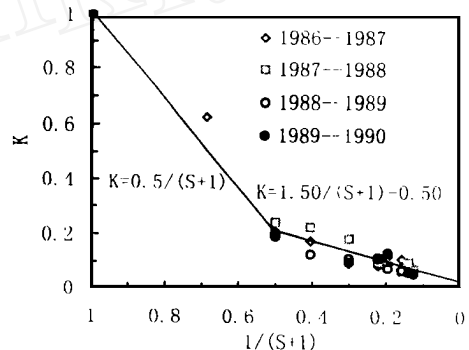


图 4 影响程度  $K$  与  $1/(S+1)$  的关系  
Fig.4 Relationship between affecting degree ( $K$ ) and  $1/(S+1)$

### 5 三峡工程对地下水动态的影响的预测

三峡水库运行后, 防洪、发电和航运必然使长江中游水文过程发生改变, 大洪峰被削减, 枯季水位抬高  $1 \sim 2$  m, 长江水位变幅减小, 从而使沿江一带地下水位变幅减小。

根据(1)、(2)式, 得

$$H = (1.50 / (S + 1) - 0.50) Y \quad \text{当 } 0 < S < 1 \text{ km 时} \quad (3)$$

$$H = (0.50 / (S + 1)) Y \quad \text{当 } S > 1 \text{ km 时} \quad (4)$$

其中,  $Y$ 、 $H$  分别为长江水位增量和承压水位增量。

可见, 枯季(1~4月), 如三峡水库运行使中游长江水位抬高 1 m, 则在  $0 < S < 1$  km 地段, 承压水位相应抬高  $1 \sim 0.25$  m; 在  $1 < S < 4$  km 地段, 承压水位相应抬高  $0.25 \sim 0.10$  m; 在  $4 < S < 9$  km 地段, 抬高  $0.10 \sim 0.05$  m。

如前所述, 在四湖地区大部分地方, 承压水与潜水的联系非常密切, 其水位动态变化基本上是同步的, 因而承压水位的抬高将使潜水位以几乎相同的幅度抬升。

## 6 结语

三峡工程对中游沿江一带地区地下水动态的影响必然使该区土壤潜育化沼泽化产生复杂的变化。由于四湖地区地势低洼,地下水位埋深浅,尤其是长江与内荆河之间的河间洼地中央地带的大片低湖田,枯季地下水位埋深不到 0.5 m,目前其土壤潜育化沼泽化程度就已经很高,对地下水位变化的反应十分敏感。枯季地下水位抬高将使土壤长年处于浸水还原环境,加重和产生土壤潜育化沼泽化。在洞庭湖地区和鄱阳湖地区也有类似的情况。

长江中游河段洪枯水位变幅达 10 ~ 15 m,宽 1 km 以上。如果把长江对地下水动态的强烈影响范围作为长江的地下区范围,并考虑到对称和江宽,则长江中游地下区宽达  $4 + 4 + 1 = 9$  km。这比美国 Flathed 河<sup>[3]</sup>的地下区无疑要大得多。

三峡水库运行后,长江中游水位变幅变小,其地下区的范围也缩小。在长江高水位期长江水补给地下水,低水位期则地下水补给长江水,地下区与长江之间进行着大量水量和物质交换,这无论是对于净化长江水质,还是向长江补充营养物质,维护河流生态系统平衡,都起着十分重要的作用。地下区范围的缩小,必然降低地下区在河流生态系统中的功能,从而对整个河流生态系统产生影响。对于这个问题,我们以前是忽视了。以前我们只注意到土壤潜育化沼泽化问题,其实,地下区和土壤层生态系统都仅仅是整个地下生态系统的一个部分,此外,起码还包括包气带和含水层。即使是对土壤层生态系统的影响也不仅仅是潜育化沼泽化问题,对土壤层生态系统的各个层面也有潜在的影响。

但显然目前缺乏对这些问题的研究。由于地下生态系统本身及其对于地上生态系统的影响都十分重要<sup>[4]</sup>,应该加强对这些问题的研究。

**致谢** 本研究得到中国科学院小港湿地生态站的支持,野外监测工作得到杨汉东、杜耘、王学雷、陈世俭等的协助,谨此表示感谢。

## 参 考 文 献

- 1 濮培民,蔡述明,朱海虹,等.三峡工程与长江中游湖泊洼地环境.北京:科学出版社,1994,8
- 2 蔡述明,马毅杰,等.三峡工程与沿江湿地及河口盐渍化土地.北京:科学出版社,1997
- 3 Stanford J A, Ward J V. The Hypogreic Habitat of River Ecosystems. *Nature*, 1988, **335**(6185): 64 ~ 66
- 4 国际科联环境问题科学委员会中国委员秘书处.国际环境问题委员会计划简介.中国科学报,1997-11-07

## THE THREE - GORGE PROJECT AND DYNAMICS OF SHALLOW CONFINED WATER IN THE AREA OF THE MIDDLE REACHES OF YANGTZE RIVER

He Baoyin      Cai Shuming

(*Institute of Geodesy & Geophysics, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 430077*)

### Abstract

After the functioning of the Three-Gorge Reservoir, its down-stream discharge in dry season will increase, and this will raise the level of the Jingjiang River by 1 ~ 2m relative to that before building of the dam. Because there is close relation between Yangtze River and shallow confined water alongside the river, the rising of the river level will resist the recharging of groundwater to the river and raise the confined water level. Observation and research show that the affecting degree of Yangtze River on confined water dynamics decreases with distance from the river, the effect being inversely linear proportional to distance. At Longkou section, for instance, if Yangtze River level rises 1 m, confined water level will rise 1 ~ 0.25 m in the distance of 0 ~ 1 km, it will rise 0.25 ~ 0.10 m and 0.10 ~ 0.05 m in the distance of 1 ~ 4 km and 4 ~ 9 km, respectively. The rising of confined water level will result in rising of groundwater level of farmland in dry season; this will cause or aggravate soil gleization and swampiness in the area. At the same time, reduction in the amplitude of water level fluctuation in the Yangtze River will make the hyporheic zone of the river smaller, which will probably weaken the function of hyporheic zone in the river ecosystem, and at last, affect the whole Yangtze River ecosystems.

**Key words** the Three-Gorge project, the middle reaches of the Yangtze River, confined water dynamics