

珊瑚岛礁淡水透镜体的模拟与开发利用

周从直 方振东 官举德 赵广建 梁恒国 刘兆勇

(后勤工程学院 重庆 400041)

侯正昌 李决龙 姜海波

(海后营房部 北京)

摘 要 淡水透镜体是珊瑚岛礁上的地下淡水资源,本文论述了它的形成、特征和影响因素,给出的数学模型能正确模拟淡水透镜体的演变过程.计算得到的透镜体界面坐标与实测值吻合较好,为确定开采水量和开采强度提供了依据.文章提出的科学开采方法具有重要的工程实用价值.

关键词 珊瑚岛礁 淡水透镜体 数学模拟

中图分类号 P747

我国南海海域分布着大量的珊瑚岛礁,仅西沙就拥有32个之多,岛上植物繁茂,风光艳丽,四周水下珊瑚丛生,海洋资源十分丰富.一些岛屿地处太平洋和印度洋的交通要冲,具有及其重要的战略地位.然而,这些岛屿受水文地质条件限制,没有可供直接饮用的淡水资源.多年来,岛上军民用水均从大陆远距离运送,不仅运水成本高,而且受台风影响,供水难以保证,严重制约了岛上的建设和旅游及自然资源的开发利用.

国内外海洋地质调查表明,珊瑚岛礁集中分布在热带海域和有暖流经过的洋面,雨量充沛,以我国西沙永兴岛为例,1958~1970年间,年均降水量为1392mm^[1],该岛面积1.8km²,承接雨水达250万t/a,一小部分被岛上植被枝叶截留蒸发,但绝大部分通过地面碎屑、沙砾和土壤渗入地下形成淡水水体.珊瑚岛礁的地下淡水,因其存在形态为中央厚边缘薄,宛如一枚透镜,故称为淡水透镜体.

淡水透镜体是珊瑚岛礁上宝贵的淡水资源,它的开发和利用可以基本解决或极大缓解岛上的供水困难,具有极大的经济、军事和社会效益.

1 珊瑚岛礁淡水透镜体的特征和影响因素

淡水透镜体是悬浮于海水之上的可再生淡水资源,每次降雨均是对透镜体淡水的回补,而由于渗漏又会使淡水流失.回补和流失过程取决于珊瑚岛礁的地质结构.珊瑚岛礁是由珊瑚和其它造

礁生物的骨骼连接生长,相互粘结和松散的生物碎屑沉积物在长期的地质年代中形成的。通常,岛礁的下部是更新纪或第三纪的溶蚀灰岩,孔隙溶洞极为发育,渗透性高,海水容易流通,不能保存淡水。而上部的灰岩成岩年代晚,洞穴发育不充分,仅有少量次生孔隙和溶岩通道,渗透性相对较差,海水不易渗入,由地表渗入的雨水也易保留,便存在淡水透镜体。淡水容重小于海水,因而淡水透镜体悬浮于海水之上。

透镜体与海水之间没有一个明显的分界面,存在一个较宽的过渡带,其大小至少和透镜体的厚度相等。通常淡水透镜体的含盐量限制在 600mg/L 之内,这一浓度边界也就可以作为淡水透镜体的几何边界。

不同岛礁上的淡水透镜体的厚度不同,有的仅几米,有的十几米,已发现最厚的淡水透镜体是美国夏威夷瓦胡岛的淡水透镜体,厚度达 304.8m,而有的岛屿淡水透镜体很薄,不能维持其自然损耗,只有雨季才存在,旱季便消失。

淡水透镜体会受到污染。污染源主要是岛上腐烂的落叶枯枝及鸟粪,反映在水质指标上,是色度大,可达 40 多度,有臭味,磷的含量高。

影响淡水透镜体大小和含盐量的因素有:

(1)水文地质特性 主要是灰岩的裂缝、孔隙和溶岩孔洞的发育状况以及不整合深度,它们在透镜体淡水和海水之间起连接纽带作用,为海水和淡水的混合提供了通道。当海潮引起震荡时,这些通道中产生的水力弥散便会在海、淡水之间造成很厚的过渡层,因此裂隙、溶洞决定了透镜体的外形。特别是不整合深度,往往是淡水透镜体厚度的主要控制特征。

(2)岛屿大小 岛屿小,承接的雨水少,生成淡水透镜体的地质空间小,淡水透镜体也就小。对印度洋中 South Keeling 环礁的勘察表明,存在淡水透镜体的最小宽度是 270m,岛屿宽度小于这一值时,降水很快流入海洋,不能形成淡水透镜体^[2]。

(3)地下水的回补 地下水的回补主要取决于雨量及其在一年中的分布,植被总量和性质,以及土壤的性质。

(4)潮汐 每天海水有两次潮汐,变化范围为 0.2m,每季度为 0.4m,由于淡水透镜体悬浮于海水之上,并通过孔隙、溶洞与海水相通,因此潮汐会引起透镜体水位的涨落。

(5)抽取地下水的方法、强度和位置 井是常用的抽取地下水的取水构筑物,用井抽水时,若抽取强度过大,井中水头急剧减少,透镜体底部的海水便会上涌,淡、海水的界面宛如锥型,称为倒锥。倒锥有可能击穿透镜体,而使透镜体破坏。特别是当取水井正好位于一裂缝之上,那么过大的抽水强度会使海水沿裂缝上升,把一个大的透镜体分裂为两个小的透镜体,淡水的储量会大大减少。这种透镜体的分裂往往是难以恢复的。

2 淡水透镜体的模拟

回补、抽取和渗漏均会使淡水透镜体中淡水产生流动,引起水量、水头分布和淡、海水界面的改变。充分了解透镜体对淡水流动过程的动力学响应,才能控制采水量和抽水速率,保证对淡水透镜体安全、持续和充分的开发利用。这就需要建立数学模型,对透镜体的演变过程进行模拟。

建立数学模型的基础是质量守恒和达西定律。假设透镜体悬浮于海水之上,潮汐仅引起透镜体上下运动,而不影响其内部的动力学性质,应用 Ghyben-Herzberg 关系即可导出淡水透镜体的数学模型:

$$\frac{\partial Kh}{\partial x} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial Kh}{\partial y} \frac{\partial h}{\partial y} - S \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{R}{1+\alpha} = 0$$

式中

h : 透镜体表面在海平面以上的高度, m;

α : Ghyben-Herzberg 比率, 理论值为 40, 实用值由水文地质状况决定, 一般范围为 20 ~ 30;

k : 渗透系数, m/s, 由现场实验确定^[3];

R : 单位面积的净回补率, m/s;

S : 储水率, 由现场抽水实验确定;

显然, 这是一个初边值问题, 对一个给定的珊瑚岛礁, 给出其边值和适当的初始条件, 即可求得透镜体的外包络面。

作为一个实例, 以该模型对加勒比海大开曼岛 (Grand Cayman) 中央透镜体进行数值模拟, 选用有限差分法, 计算网格为 $100\text{m} \times 100\text{m}$, 网格分布见图 1, 计算用的回补率为每年 280mm, 渗透系数为每天 7 ~ 700m, 计算结果见图 2。由图可见, 在 B、C 两个剖面上, 透镜体边界坐标的计算值与实测值吻合很好。

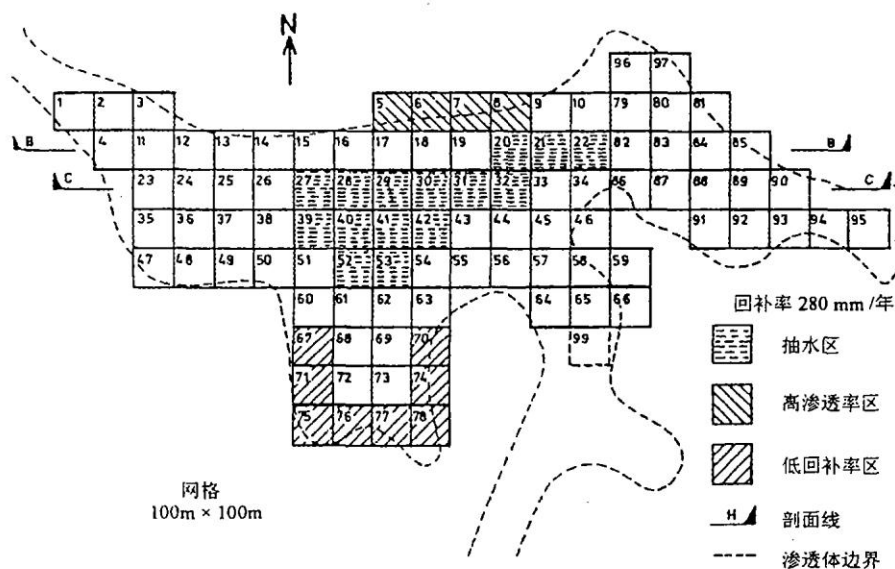


图 1 网格分布

3 淡水透镜体的开发应用

淡水透镜体是可再生资源, 每年降雨回补的水量若不加利用, 便最终会流入海里。和大陆地下水相比, 它极易受到各种因素特别是抽水强度的影响, 遭致破坏。因而淡水透镜体又是十分脆弱的, 必须科学合理地开采。

(1) 抽水点的选择 抽水点最好选择在透镜体中央较厚部分, 这样透镜体不易被倒锥击穿。

(2) 开采方式的选取 用多井开采比用单井开采要好, 使用集水廊道更好。因为廊道是在透镜体接近表层部位大面积取水, 可减少局部区域的水位降深, 避免形成倒锥。在保证淡水持续供给的条件下, 可望将抽水速率提高一倍^[2]。

(3) 正确制定开采计划 根据数值模拟结果, 确定开采量和抽水强度。淡水透镜体的年开采量不得超过年降雨回补量, 否则会引起透镜体萎缩, 地下水位下降, 海水入侵。抽水强度也必须控制, 过大的抽水强度会引起海水上涨, 破坏植被。西沙曾有一口井, 位于透镜体边缘, 抽水强度过大, 上

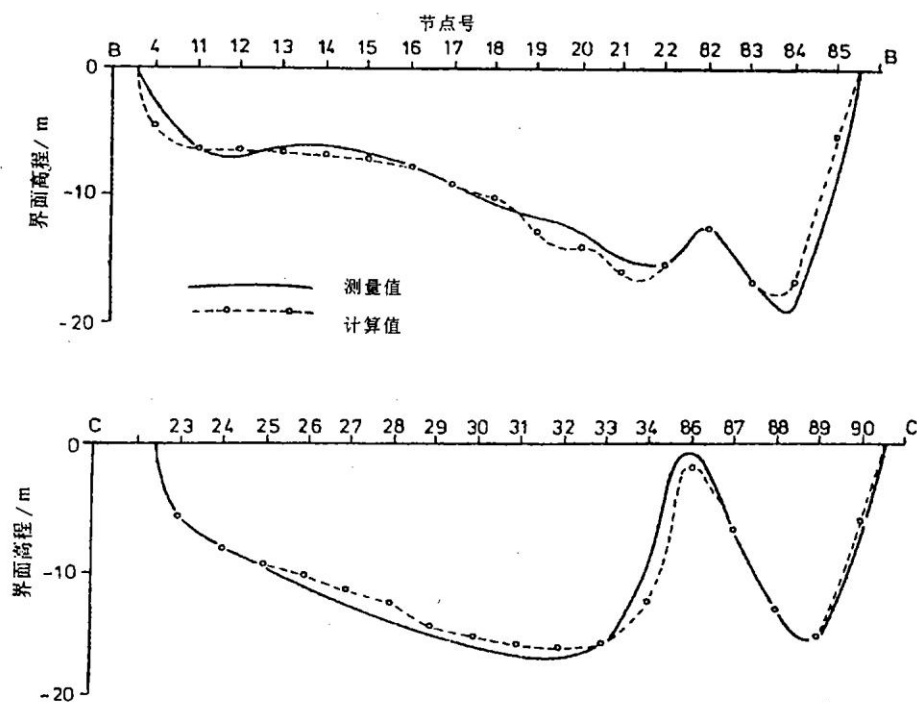


图2 透镜体边界的计算值与测量值

涌的海水使井口周围的植被死亡,几年都未恢复。

(4)水质处理 淡水透镜体大多数水质指标都能达到饮用水标准。但由于有机污染,色度严重超标,有的高达45度,水有异味,磷的含量高,因此不能直接饮用,必须经过处理。处理工艺一般以脱色、除臭、除磷为主。

(5)保护透镜体免受人为污染 珊瑚岛礁土壤有较大的渗透率,排放于地表的生活污水会很快渗入地下污染透镜体,加大了水处理的难度。若污染严重,可能会使透镜体失去使用价值。生活污水可采用排海法处理或经消化后用于浇灌。

(6)定期监测含盐量 含盐量能正确反映透镜体的特征。定期监测水中的含盐量是了解透镜体动态特性的最好方法。监测得到的数据对于淡水透镜体的管理和数值模拟都十分有用。

4 结 论

(1)淡水透镜体是脆弱的可再生资源。制定正确的开采量和开采强度是安全、持续利用淡水透镜体的必要措施。

(2)基于质量守恒和达西定律的数学模型,能很好地模拟透镜体的演变过程和计算淡、海水界面的坐标,是正确制定开采计划的基础。

(3)将取水点安排在透镜体较厚的地方,用集水廊道从透镜体表层大面积取水能显著提高抽水速率。

参 考 文 献

- 1 朱袁智. 西沙群岛岛屿生物礁. 南海海洋科学集刊, 1981, (2): 33 ~ 46
- 2 Falkland A C. Managemant of fresh water lenese on small islands. Water Down Under 94. 1994, (10): 21 ~ 25
- 3 美国内政部水利资源局. 地下水手册. 李顺昌等译. 北京: 地质出版社, 1989. 10

Numerical Simulation and Development of the Freshwater Lens on a Coral Island

Zhou Congzhi Fang Zhendong Guan Jude Zhao Guangjian Liang Hengguo Liu Zhaoyong

(Logistics Engineering University, Chongqing 400041)

Hou Zhengchang Li Juelong Jiang Haibo

(Navel Logistics Barracks Department, Beijing)

Abstract Freshwater lens is the freshwater resource under ground on a coral island. It's formation, characteristic and influence factors were discussed. A mathematics model was used to simulate the change of the lens properly. The coordinates of the boundary between freshwater and saline water from the model were in very good agreement with the field observations. Based on the results from the simulation, the yield and pumping rate can be determined. The proper development methods given in this paper are very valuable in engineering.

Key words freshwater lens coral island mathematics model