

荷兰与我国海水入侵治理比较分析

谢兴华^{1,2,3}, 胡亚安^{1,2}

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 3. 后勤工程学院, 重庆 400041)

摘要: 通过在荷兰的学习考察, 了解了荷兰海岸防治海水入侵的制度、技术措施及管理方法, 对比中国沿海海水入侵的治理情况, 从海水入侵研究的发展历史、研究水平, 海水入侵的形式、治理措施等方面分析了我国的具体情况和防治水平. 并针对荷兰沿海海堤形式, 通过有限元方法分析了不同注水施工方式对海水入侵的影响程度. 认为借鉴荷兰防治海水入侵的经验和技术应有所选择, 其制度和技术措施不一定完全适合中国的情况.

关 键 词: 荷兰; 海水入侵; 防治措施

中图分类号: P641.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2009)02-0105-04

荷兰是一个低海拔国家, 其国土面积的 27% 位于海平面以下, 65% 位于海拔高度 1 m 以下. 荷兰的几个重要城市, 如阿姆斯特丹、鹿特丹、海牙和莱顿的地面高度全部低于海平面, 主要经济区域都位于海平面以下. 荷兰陆地最低处阿姆斯特丹机场位于海平面以下 6 m. 因此, 可以说荷兰是一个“海底国家”. 荷兰人之所以能够维持在海平面以下的正常生活, 全依赖沿海岸线上千公里的海堤和挡潮工程, 即举世闻名的三角洲工程(Delta Works). 荷兰的海堤几乎全部由粉细砂堆筑而成, 海堤内并无特殊的防渗结构. 然而, 沿海地区的地表虽然低于海平面, 但地下水并无返咸现象, 即并未发生海水入侵现象.

荷兰的年平均降水量约为 1 500 ~ 2 000 mm, 另外还有莱茵河(Rhine river)、马斯河(Meuse river)、威尔河(Waal river)三条国际河流从荷兰境内入海, 所以淡水资源丰富. 正是利用了这一天然优势, 在沿海地区建设了沿海岸线的淡水回灌系统, 用以维持海岸地区地下的水位平衡, 防止海水入侵. 近年来, 国际河流的河水也存在不同程度的污染, 荷兰在上述河流上建设了河水水质监测系统, 当河流上游来水水质不满足回灌要求时, 就关闭回灌水源, 待水质变好时再进行回灌. 这体现了其高超的水务管理水平.

1 海水入侵机理研究情况

海水入侵的研究可以上溯到 19 世纪, J. Du. Common、Badon-Ghyben 和 Heraberg 三人独立给出咸淡水界面上任一点在海平面下深度的表达式^[1]. 1965 年, 西班牙东比利牛斯水管理局和巴塞罗那理工大学对西班牙地中海沿岸海水入侵进行研究, 研究内容包括地下水流动与盐度关系、海水入侵预测、海水入侵管理及治理等方面^[2]. 澳大利亚墨尔本、堪培拉、悉尼等地区 20 世纪 60 年代发现海水入侵现象, 已在多处布置监测, 制定若干用水计划并采取一些工程措施, 使海水入侵危害得到一定缓解. 日本对静冈县富士市、西大阪地区的海水入侵规律进行监测, 制定节水法规, 开辟新水源以减轻海水入侵的危害. 在 1985 年于英国剑桥召开的国际水文地质学家协会(IAH)第 18 届会议上, Custodio 比较全面地介绍了当时国外海水入侵的研究现状、基

收稿日期: 2009-03-13

基金项目: “十一五”科技支撑计划项目(2006BAC14B02); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2007CB714103); 中国水利水电科学研究院开放基金资助项目

作者简介: 谢兴华(1971-), 男, 山东沂源人, 高级工程师, 博士, 主要从事岩土工程地下水方面的研究.

E-mail: iamxiexh@163.com

本原理、地质条件、地下水开采影响、计算方法、监测技术及滨海地区淡水资源管理等问题^[3]。

咸淡水界面的形状、运移机理和规律是海水入侵研究的核心问题。由于海水和淡水是可混溶的,所以实际的咸淡水界面是一个过渡带。过渡带的厚度和形状取决于岩性、构造、水动力特征、弥散和扩散、含水层补给、开采变化、海水波动等因素。当过渡带厚度远小于含水层厚度时,可以把过渡带近似看作突变界面。因此,通常将海水入侵研究概化为突变界面和过渡带。突变界面模型是一种理想化的概化模型,其求解只能获得一种近似结果。J. Bear 在《多孔介质流体动力学》和《地下水动力学》中论述了稳定界面与移动界面的近似解^[4]。过渡带模型必须用两个偏微分方程来描述,一个方程描述密度不断改变的咸淡水混合液体的渗流,另一个方程描述咸淡水混合液体中溶质的运移,通过这两个方程将密度、浓度和水位有机地耦合在一起,得到咸淡水过渡带的分布范围、水位和浓度。过渡带模型只能用数值法求解。Pinder 等最早给出海水入侵过渡带模型,提出 Herry 模型的有限元数值解。

我国海水入侵研究始于 20 世纪 80 年代,研究成果大部分针对莱州湾地区的海水入侵。文献[5,6]对海水入侵的基本理论进行了深入探索,指出海水入侵理论研究经历了 4 个阶段,即静力学阶段、渗流阶段、渗流与弥散联立阶段和渗流与弥散耦合阶段,认为过渡带运移的动力有两个:一个是海水与淡水的压强差,因海水和淡水的密度和水位不同而引起,正是压强差造成海水和淡水之间的渗流;另一个是海水和淡水中溶质的浓度差,引起海水和淡水间的扩散和力学弥散,从而造成海水与淡水间的过渡带和海水向大海的回流。海水入侵过程经历初始、加剧和减缓 3 个阶段,海水入侵全过程实质是渗流和弥散之间平衡的破坏和重建过程。

2 防治海水入侵的主要措施

自然条件下,滨海地带含水层中的咸、淡水保持平衡,地下水水位自陆地向海洋方向倾斜,陆地地下淡水向海洋排泄,二者维持动态平衡。然而,由于大量开采地下水降低地下水位,或者河流入海径流量减少,临界面就向陆地方向移动,含水层中淡水的储存空间被海水取代,于是就发生了海水入侵。各地条件不同,防治海水入侵的措施也不同:(1)人工回灌地下水。人工回灌地下淡水,提高滨海地区地下淡水的水位和流速,以淡水压咸水,迫使海水后退,是防治海水入侵的有效方法。人工回灌要求当地有足够的符合标准的回灌用水源,该水源既可以是天然径流,如河流;也可以是经过处理达标的污水。用人工湿地处理后的污水就是一种稳定的回灌水源^[7]。荷兰利用河流来水进行人工回灌,以维持海岸地区的地下水动力平衡。(2)建造拦蓄工程和地下水库。在缺水地区,为充分利用滨海城市淡水资源,如地质条件合适,可建造拦蓄地下径流和地表径流入海的水利工程,或地下水库(岩溶地下水库或河谷型地下水库),既可阻止海水入侵,又可拦蓄淡水。大连采用帷幕灌浆方式在海岸带建立地下水坝,形成岩溶地下水库,在一定区域隔断了海水入侵路径,同时提高了陆地地下水位,以达到防治海水入侵的目的。同时还可增加岩溶水资源(约 40 万 m^3/d),为提高滨海城市地下水资源开发潜力提供了可能性。(3)兴建跨流域调水工程。对于无法就地解决淡水资源地区,则应适时兴建跨流域调水工程,以保持和恢复地下水与海水的动力平衡,防止海水入侵并缓解城市供水紧缺状况。如青岛的“引黄济青”工程就对青岛防治海水入侵起到了重要作用。(4)合理开采地下水,强化水资源科学管理。滨海城市各种淡水资源非常宝贵,必须做到合理开采,科学管理和有效保护。对地下水过量开采、海水入侵严重的地区,应控制和调整地下水开采量。各滨海城市应在建立和健全水资源和海水入侵监测系统的基础上,建立水资源管理模型,大力强化城市水资源科学管理,尽快实现城市水资源的优化开采和海水入侵的预测、预报,达到防治海水入侵的目的^[8]。

3 人工回灌效果分析

荷兰的地下水管理体系包括两个部分:一部分是排水系统,由四通八达的沟渠系统组成,由水泵将低处的水抽出,降低陆地地下水位,保持陆地干燥;另一部分是沿海的注水回灌系统,以阻止海水入侵(见图 1)。注水回灌防治海水入侵的效果取决于注水井的深度、间距和注水流量。注水井深度和注水段的位置,针对不

同的海岸地质情况有不同的布置方式.对于岩石海岸线存在导水岩层的,注水段一定要布置在导水岩层内.而对于像类似于荷兰绝大部分海岸线的河流三角洲冲积海岸,不同的注水管深度和注水段位置,对防止海水入侵的效果影响较大.下面针对荷兰海堤的结构型式,通过有限元方法分别计算不同注水深度和位置对防治效果的影响.计算方案选定海平面低于堤顶1.0 m,堤内地表水位与地表齐平作为设定的边界条件,注水井内采用自然水压注水,水头与堤顶齐平.注水段位置见图2各工况.从计算成果可见,注水段的位置对堤内及堤基渗流场影响较大.在堤内注水,钻井工程量较小,但虽然阻断了海水在海堤内的渗流路径,却无法改变堤基的海水渗透,并且提高了海堤内坡的出逸位置,不利于海堤稳定.注水段在堤基上部,钻井工程量稍有增大,注水基本阻断了海水的渗流路径,达到了防治海水入侵的目的.注水对堤内浸润线的位置和出逸点高度影响都相对较小.注水段在堤基下部,钻井工程量最大,但深部注水并未阻断海水从海堤上部的渗流,达不到防治海水入侵的目的.注水井深入堤基全段注水,虽然截断了海水入侵的渗透路径,但也同时提高了堤内出逸点的高程,这对海堤稳定很不利.说明注水位置对注水效果的影响较大.

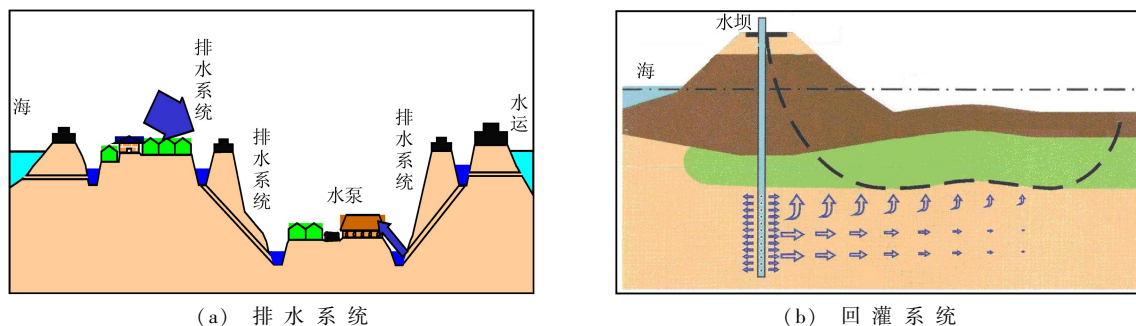


图1 荷兰排水系统及海堤回灌系统

Fig. 1 The pump system and fresh water grouting system in the Netherlands

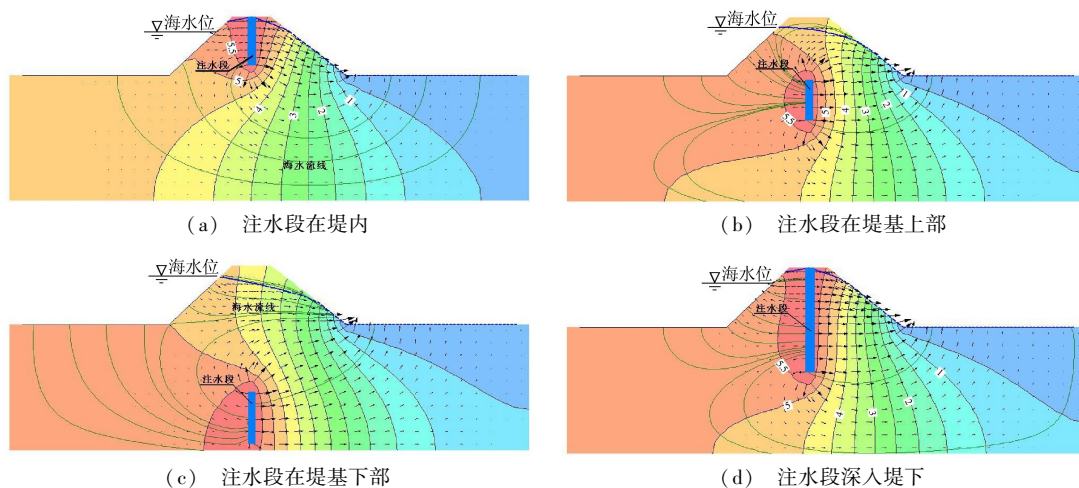


图2 不同位置注水段的渗流场

Fig. 2 The seepage field of different grouting locations in the dam

4 结 语

通过在荷兰的学习考察,对荷兰处理海水与陆地地下水位的关系,维持高海水位与较低的陆地地下水位条件下的动态平衡,成功防治海水入侵的一整套体系有了比较深刻的认识.荷兰接近1/3的国土面积低于海平面,对海水的防治一直处于世界领先水平.他们多年形成的防水治水体系能够成功保持地下水位和水质的稳定,更重要的是从国家制度到大众的治水意识都高度统一,并以可操作的法令、制度、灵活实用的技术措施

的形式表现出来,几乎达到了人与自然和谐统一的程度。

我国沿海海水入侵问题也很严重,虽然都与地下水超采有关,但各地地质、淡水资源等不尽相同,与荷兰也有较大差别。荷兰的经验和技术并不一定完全适合,如采用人工回灌保持海岸地下水位动态平衡在我国大部分地区就难以实施,因为我国沿海缺乏足够的地表水资源用于回灌。

参 考 文 献:

- [1] 蔡祖煌, 马凤山. 海水入侵的基本理论及其在入侵发展预测中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996, 7(3): 1-9. (CAI Zu-huang, MA Feng-shan. Basic theory of saline intrusion and its application to prediction of saline intrusion development[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1996, 7(3): 1-9. (in Chinese))
- [2] 成建梅, 黄丹红, 胡进武. 海水入侵模拟理论与方法研究进展[J]. 水资源保护, 2004, (2): 3-8. (CHENG Jian-mei, HUANG Dan-hong, HU Jin-wu. Advances in theories and methods for simulation of saltwater intrusion[J]. Water Resource Protection, 2004, (2): 3-8. (in Chinese))
- [3] Custodio E. 咸水入侵[C]//地质矿产部水文地质工程地质司. 国际水文地质学家协会 18 届大会论文集. 北京: 地质出版社, 1987: 345-350. (Custodio E. Seawater Intrusion[C]//Department of Hydro-Geology, Ministry of Geology of China. Proceedings of the IAH 18th Congress. Beijing: Geology Press, 1987: 345-350. (in Chinese))
- [4] 李国敏, 陈崇希. 海水入侵研究现状与展望[J]. 地学前缘, 1996, 3(1): 161-167. (LI Guo-min, CHEN Chong-xi. The development and trend in resarches of saltwater intrusion[J]. Earth Science Frontiers, 1996, 3(1): 161-167. (in Chinese))
- [5] 刘青勇, 董广清, 耿树德, 等. 淡水帷幕防治海(咸)水入侵的物理模拟试验研究[J]. 水利学报, 1998, (2): 30-33. (LIU Qing-yong, DONG Guang-qing, GENG Shu-de, et al. Simulation test for controlling the seawater intrusion using fresh water barrier[J]. Shuili Xuebao, 1998, (2): 30-33. (in Chinese))
- [6] 郭占荣, 黄奕普. 海水入侵问题研究综述[J]. 水文, 2003, 23(3): 10-15. (GUO Zhang-rong, HUANG Yi-pu. Comprehensive study on seawater intrusion[J]. Hydrology, 2003, 23(3): 10-15. (in Chinese))
- [7] Booth R K. Evolution of a freshwater barrier-island marsh in coastal Georgia, USA[J]. Wetlands, 1999, 19(3): 570-577.
- [8] 张勃夫. 中国滨海城市地下水开发与海水入侵的研究[J]. 吉林地质, 1997, 16(2): 1-5. (ZHANG Bo-fu. A study on underground water development of the coastal cities in China and intrusion of sea water[J]. Jilin Geology, 1997, 16(2): 1-5. (in Chinese))

A comparative analysis of sea water intrush management in the Netherlands and China

XIE Xing-hua^{1,2,3}, HU Ya-an^{1,2}

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China; 3. Logistical Engineering University of PLA, Chongqing 400041, China)

Abstract: In the period of learning in the Netherlands, the institutions, techniques and the administrant system of prevention of sea water intrush in the Netherlands were reviewed and compared with those in China. The local situation, technique level investigating level, and the sea water intrush in China were analysed. Aiming at the format of the sea wall in the Netherlands, it is studied by FEM simulation that the different grouting method has different affect to the sea water intrush control. It was proposed that experience from the Netherlands in sea water intrush control can be used as references. And a reasonable selection is important because of the difference between the two countries in fermes of institutions and techwical conditions.

Key words: the Netherlands; sea water intrush; prevention and cure