

## 地下水取水构筑物在海水取水中的应用

王印忠, 李雪, 李治洁, 张连强, 尹建华  
(国家海洋局 天津海水淡化与综合利用研究所, 天津 300192)

**摘要:** 近年来,管井、渗渠和水平定向滤管等地下水取水构筑物因其显著的净化能力和环保性而受到海水利用工程尤其是海水淡化工程的重视,并在已有的海水取水工程中获得了越来越多的应用。鉴于我国目前应用地下水取水构筑物取集海水的工程还比较少,且相关文献报道也较为鲜见,从地下水取水构筑物取集海水的水文地质条件、构筑物形式和工程经济性等方面探讨了海滩井、海滩渗渠和水平定向滤管等取水方式的适用条件,并给出了部分工程实例,以期丰富现有海水取水形式,提高我国海水利用工程的技术水平和经济性。

**关键词:** 海水取水; 海水淡化; 水平定向滤管

**中图分类号:** TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)08-0036-04

### Utilization of Groundwater Intake Structure in Seawater

WANG Yin-zhong, LI Xue, LI Zhi-jie, ZHANG Lian-qiang, YIN Jian-hua  
(The Institute of Seawater Desalination and Multipurpose Utilization, SOA <Tianjin>, Tianjin 300192, China)

**Abstract:** In recent years, with the obvious advantages of purification and environment protection, some groundwater intake structures including vertical well, infiltration gallery and horizontal directional drilling have been attracted attention from seawater utilization projects, especially from seawater desalination projects, and have been used in more and more seawater desalination plants. While, few groundwater intakes for seawater have been adopted in China, and the relevant reports are also relatively rare. From the aspects of hydrogeological conditions, structure form and economic efficiency of collecting seawater from groundwater structures, this paper discussed the suitable conditions of water intake methods, such as beach vertical well, beach seepage canal and horizontal directional filter pipe, and gave some project examples. The purpose of this paper is to enrich the existing forms of seawater intake and to improve the technical level and economy of seawater utilization projects in China.

**Key words:** seawater intake; seawater desalination; horizontal directional filter pipe

在现有的海水利用工程中,岸边式、海床式、海岛式、引水渠式和潮汐式地表水取水构筑物是最为常见的海水取水构筑物形式<sup>[1,2]</sup>。地表水取水构筑物虽然具有较高的可靠性和广泛的适用性,但也因

海上工程量大,对海洋环境影响显著且取水需后续净化处理而具有一定的局限性。近年来,随着各种新技术的产生和应用,兼具一定的预处理功能,且海上工程量小、环境影响小的新型海水取水方式不断

基金项目: 2015 年海洋公益性行业科研专项(201505021); 天津市科技计划项目(14ZCZDSF00007); 2015 年中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(K-JBYWF-2015-G07)

通信作者: 尹建华 E-mail: yinjhjtj@163.com

出现,如海滩井、海滩渗渠和水平定向滤管等。这些新型海水取水方式的应用使得一些海水利用工程,尤其是一些中小型海水淡化工程,在显著减少海上工程量和海生物致死量的同时,也减少了海水预处理的建设和运行费用,从而明显降低了工程的总投资和对海洋环境的影响。正因如此,美国新修订的《净水法案》316(b)条也将这些新型取水方式列为可选的环保型取水方式。

鉴于地下水取水构筑物所表现出的独特优点,世界上诸多国家如美国、墨西哥、西班牙、日本和马来西亚等国,均已将地下水取水构筑物用于海水取水的工程实践中。相比而言,我国目前采用地下水取水构筑物取集海水的工程实例还比较少,而且相关技术文献也较为鲜见。为此,从工程海岸的水文地质条件、取水构筑物形式和工程经济性等方面探讨了海滩井、海滩渗渠和水平定向滤管等地下水取水构筑物的适用性,并给出了部分工程实例,以期提升现有海水取水方式在实际应用中的技术经济性,促进我国海水利用事业的发展。

### 1 海滩井取水方式

海滩井取水是指从海滩表面打到透水层,抽取渗透海水的管井式取水方式<sup>[2]</sup>。这种取水方式的特点在于,海水由海床表面渗透到管井的过程中,经过海床砂层的过滤,其中的动植物及颗粒物被拦截下来,因此取得的海水水质较好,可简化或省去后续水质净化工序,显著降低海水利用成本。此外,由于可在海岸上建设取水管井及泵房建筑物,因此海上工程量较小,施工容易,建设成本较低。海滩井取水构筑物如图1所示。



图1 海滩井取水构筑物

Fig.1 Beach well intake structure

尽管海滩井取水方式的优点显而易见,但它对海床砂层的透水性、自净能力和稳定性要求也较高。

首先,海滩井适用于透水性良好的砂砾质海岸或有一定砂层厚度的基岩海岸。一般认为透水砂层的透水能力至少要达到 $1\,000\text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$ ,砂层厚度至少达到15 m才适合采用海滩井取水<sup>[3]</sup>。其次,由波浪、海流和潮汐等形成的海水运动能够不断地将截留在海床砂层上的动植物及颗粒物带走,达到滤层的自然净化,保持海床砂层稳定持续的透水性。第三,海床砂层应能保持稳定的厚度,不应因海床泥沙的运移而显著改变砂滤层,以免出现透水性降低或过滤效果下降。为防止因滤层堵塞或其他原因造成的产水量下降,一般要求备用井的产水能力不低于设计取水量的25%。此外,海滩井的建设和运行不能使地下淡水水源遭到海水入侵,同时还要避免因取水泵房建设影响海岸景观以及海岸侵蚀造成取水泵房被淹。

海滩井有竖井和辐射井两种形式。井管直径一般不大于400 mm,通常为250 mm。在砂质含水层中,单个管井的产水能力可达 $170\text{ m}^3/\text{h}$ ;当采用辐射井时,其单井产水量可增加至 $500\text{ m}^3/\text{h}$ 或者更多。虽然能够取到优质的海水,但由于受到单井取水能力的限制,海滩井取水方式对中小型海水利用工程较为适宜,尤其对产水量 $<4\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 的反渗透海水淡化厂最为经济。至2009年,世界上已知采用海滩井取水的规模最大的海水淡化厂是位于阿曼的Sur Plant海水淡化厂,日产水量为 $16\times 10^4\text{ m}^3$ 。目前,我国嵊山规模为 $500\text{ m}^3/\text{d}$ 的反渗透海水淡化示范工程采用了海滩井取水方式,也因此省去了海水澄清(沉淀)沉砂工序<sup>[4]</sup>。

### 2 海滩渗渠取水方式

海滩渗渠取水是指在海滩的透水层中设置有孔的水平集水管渠,以集取浅层渗透海水的取水方式。海滩渗渠适用于透水层深度较浅,不适合设置海滩井的情况。海滩渗渠的过滤砂层一般有天然砂层和人工砂层两种形式。当天然砂层透水性不佳时,可以采用人工级配砂层替换天然砂层,此时的海滩渗渠一般称为海床过滤。但无论哪种形式,海滩渗渠都是利用潮流运动来更新过滤层,保持过滤层的透水性。同时,与其他地下水取水构筑物相类似,由于利用了海床砂层的过滤作用,海滩渗渠所取到的海水中泥沙和悬浮物含量很低,所需要的后续净化处理过程可大为缩短甚至可以直接省去。海滩渗渠取水构筑物形式如图2所示。

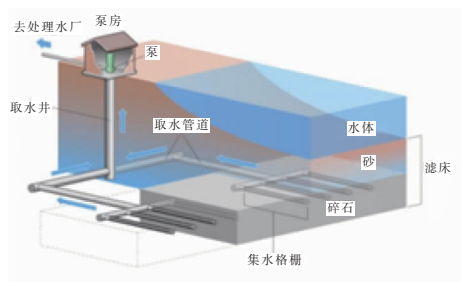


图2 海滩渗渠取水构筑物

Fig. 2 Beach gallery intake structure

海滩渗渠的集水管方向可以设置成平行于海岸线的形式,也可以设置成垂直于海岸线的形式。通常,海滩渗渠的集水管设置于高低潮位之间并尽量接近平均低潮线以获得较高的过滤水头,并利用潮流冲刷带走海滩滤层的截留物质,保持滤层的过滤能力。渗渠的埋深一般要求在平均低潮位以下2~4 m以保证过滤砂层的厚度并避免因海岸侵蚀而使管渠暴露,具体设计深度应依据不同深度下的渗透水量和水质稳定性决定。渗透海水在滤层中的渗流速度一般要求在0.1~0.4 m/h之间,而管内流速应小于0.5 m/s。集水管直径在DN150~DN300之间,管道材料宜采用PVC或HDPE<sup>[5]</sup>。

截至2015年,海滩渗渠取水方式还未见应用于实际工程的报道,但沙特阿拉伯阿卜杜拉国王科技大学的Thomas等人通过试验证明了在美国佛罗里达东海岸建设海滩渗渠的可行性<sup>[6]</sup>。

### 3 水平定向滤管取水方式

水平定向滤管取水是指在岩溶性海床下水平定向钻洞,然后在洞内放置具有过滤功能的多孔管道收集和净化海水,并使海水自流至岸边的取水方式。与传统的海床取水方式相比,水平定向滤管取水是通过定向钻进方式将引水管道置于透水性的岩层中而不是埋设于海床表面。与此同时,水平滤管也与传统的取水头部不同,它不但具有取水头部汇集海水的作用,而且还可以过滤海水中的悬浮物,净化海水水质。

水平定向滤管取水方式是由西班牙Catalana de Perforacions SA公司于1996年开发的专利技术,主要由水平定向钻洞、盲端管、过滤管和起始引水管组成。水平定向钻洞由带有磁导航系统的水平钻钻取,以确保钻洞贯穿指定位置的透水层。起始引水管和过滤管一般采用高密度聚乙烯塑料管(HDPE),并和盲端管连成一体,待水平钻洞完成后

由海床洞口顺次回拖入洞内形成水平滤管系统。每根水平滤管的直径可达710 mm,总长度可超过600 m,其中过滤管长度可达150 m以上。在控制岩隙渗流流速<10 m/h的情况下,单根水平滤管的出水量可达120~150 L/s。此外,定向水平滤管也可以布置成互不干扰的辐射状管群,这样在一处地点取水时,总流量可达1~5 m<sup>3</sup>/s<sup>[7]</sup>。水平定向滤管取水构筑物示意如图3所示<sup>[8]</sup>。

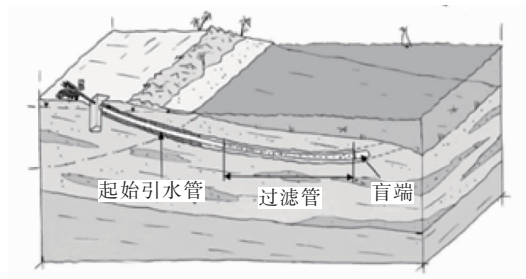


图3 水平定向滤管取水构筑物

Fig. 3 Horizontal directional drilling intake structure

水平定向滤管具有以下几项优点:①采用非开挖方式设置取水管道,对海洋环境几乎没有影响;②原海水通过海床砂层、岩石裂隙和多孔滤管的多重净化处理,浊度小,水质好;③原海水通过海床砂层、岩石裂隙和多孔滤管的流速极小,不影响海洋动物和植物活动,也不会产生夹带和撞击损伤;④离地表较近,不会引起地下水污染和海水倒灌;⑤不受海岸侵蚀、台风和海啸等自然灾害的影响。水平定向滤管适用于对海洋自然环境保护严格,不允许海上工程建设,同时又具有透水性较好的裂隙岩层或砂石层的情况。但是,在取水工程实施前,应对工程海域的水文地质及其变化情况做出充分的调查与分析,以确保将水平滤管设置在合适的地层并能够长期稳定运行。对于水流在岩层中的流速,一般要求不能超过2.5 mm/s<sup>[7]</sup>。

目前,我国还未见采用定向钻水平滤管取集海水的工程实例。国外采用水平定向滤管取集海水主要应用于海水淡化厂、海水养殖场和生物发电厂的冷却系统,例如San Pedro del Pinatar的海水淡化厂(172 800 m<sup>3</sup>/d)、Sant Pere Pescador的海水渔场(8 640 m<sup>3</sup>/d)和Albuixech生物电厂的冷却系统(10 368 m<sup>3</sup>/d)等<sup>[7]</sup>。

### 4 综合比较

一般而言,地下水取水构筑物海上工程量少,取



到的海水水质较好,在一定的取水规模下比地表水取水构筑物更具经济优势,但其应用的广泛性由于受到地质条件的限制而不及后者。对于海滩井、海滩渗渠和水平定向滤管之间的比较则应结合具体工程条件进行。

首先,在适用的地质类型方面,海滩渗渠适用于埋深不超过5 m的砂砾质海岸,海滩井的透水砂层厚度则要求大于15 m,而水平定向滤管则适宜敷设在具有岩隙的基岩海岸中,因此海滩渗渠对海岸地质的适用性最广,水平定向滤管最差。其次,在构筑物建设的难易程度方面,管井完全建在海岸边,施工技术成熟,因此建设难度最小。水平定向滤管的施工虽然需要专用钻进设备,但定向钻进作业在岸上完成,只有管道回拖时才涉及海上工程施工,因此施工难度不大。海滩渗渠由于需要在潮间带大面积开挖海床以敷设管道及过滤砂层,受潮汐和海浪影响施工难度较大。第三,在对取到的海水进行后续处理方面,采用沙滩井取水可能出现海水中铁、锰离子过高的问题,因此对于进水要求严格的海水淡化厂可能需要增加除铁、锰离子的设备<sup>[9]</sup>。

## 5 结语

海滩井、海滩渗渠和水平定向滤管等地下水取水构筑物因其显著的净化能力和环保性而在已有的海水取水工程中获得了越来越多的应用,虽然其应用的广泛性受到限制,但在适宜的工程条件下具有地表水构筑物无法比拟的经济和环保优势。在应用地下水取水构筑物取集海水时,需对工程的水文地质情况进行详细的勘察分析,最好采用模拟实验进行辅助评估和规划设计,同时考虑多种方案的技术经济比较。在取水构筑物建成后,还应对其进行长期的运行检测和维护,以使取水构筑物发挥最大的功能和效益。

## 参考文献:

- [1] 周金全. 地表水取水工程[M]. 北京:化学工业出版社,2005.  
Zhou Jinquan. Surface Water Intake[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2005(in Chinese).
- [2] HY/T 187.1—2015,海水循环冷却系统设计规范第1部分:取水技术要求[S]. 北京:中国标准出版社,2015.  
HY/T 187.1—2015, Code for Design of Recirculating Cooling Seawater System—Part 1: Requirement of Intake Technology[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015 (in Chinese).
- [3] Nikolay V. SWRO desalination process: on the beach-seawater intakes[J]. Filtr Sep, 2005, 42(8): 24—27.
- [4] 高从培,陈国华. 海水淡化技术与工程手册[M]. 北京:化学工业出版社,2004.  
Gao Congjie, Chen Guohua. Handbook of Seawater Desalination Technology and Engineering[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004 (in Chinese).
- [5] Maliva R G, Missimer T M. Self-cleaning beach gallery design for seawater desalination plants[J]. Desalin Water Treat, 2010, 13(1/3): 88—95.
- [6] Missimer T M, Maliva R G, Dehwah A H A, et al. Use of beach galleries as an intake for future seawater desalination facilities in Florida and globally similar areas[J]. Desalin Water Treat, 2014, 52(1/3): 1—8.
- [7] Thomas P, Domènec P, Esteve P. Improved seawater intake and pre-treatment system based on Neodren technology[J]. Desalination, 2007, 203(1/3): 134—140.
- [8] Thomas P, Domènec P. Seawater intake and pre-treatment/brine discharge—environmental issues[J]. Desalination, 2008, 221(1/3): 576—584.
- [9] 王生辉,潘献辉,赵河立,等. 海水淡化的取水工程及设计要点[J]. 中国给水排水, 2009, 25(6): 98—101.  
Wang Shenghui, Pan Xianhui, Zhao Heli, et al. Main points in design of seawater desalination intake project[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(6): 98—101 (in Chinese).



作者简介:王印忠(1981—),男,河北霸州人,硕士,高级工程师,主要从事海水取排水技术和海水处理技术研究。

E-mail: 498388455@qq.com

收稿日期:2017-09-06