南水北调天津段水利工程对地下水运动影响评估

李志民[1],康金栓[1],陈　卫[1],杨金霞[1],王　强[2]
(1. 天津市水文水资源勘测管理中心,天津 300060; 2. 天津地质矿产研究所,天津 300170)

摘　要:按水文地质单元划分,分析了南水北调中线一期工程天津干线工程对山前区、冲积平原区、海陆相沉积交互区地下水运动的影响。南水北调工程走向和地下水流向基本呈正交,即使切割了地层,依然不会改变地下水的径流排泄条件,不会出现上游地区水位上升引起次生土壤盐碱化、沼泽化,也不会出现下游地区地下水补给量减少等环境地质灾害问题。区域地下水动态特征、地表水体和工程状况在本文中亦进行了综合阐述。

关键词:南水北调;水利工程;地下水;径流;排泄; 天津
中图分类号:P641.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1007 - 6956(2004)03 - 0190 - 07

南水北调中线工程天津段输水管线,全长 153 千米,走向由西向东,起自河北省的徐水县西黑山村北,止于天津市西外环河,途经河北省以及天津市的 11 个县、区境。工程走向基本和地下水流向呈正交,沿程在其埋深范围以内切割了不同水文地质单元的地层。工程建设对浅表地层的切割是否会改变地下水的径流排泄条件,以及由于上游地区水位上升引起次生土壤盐碱化、沼泽化,下游地区地下水补给量减少等环境地质灾害问题,皆需在地质勘查的基础上结合各水文地质单元的水文地质条件和区域地下水动态特征,以及地表水体和工程状况综合分析。

1　区域水文地质概况

南水北调中线工程天津段沿线跨越的地貌地质单元和水文地质单元(图 1),其地下水主要接受大气降水和侧向径流补给。地下水赋存形式和富水性严格受地层结构的控制,各水文地质单元地下水动态呈现不同的水力特征。地下水流向基本为 NW－SE 向,局部地区因受构造及地下水开采程度的控制表现为近似 W－E 流向。近年来地下水排泄方式以蒸发、开采为主。因地下水赋存形式不同,各水文地质单元又表现出不同的地下水主次排泄特征,故而有必要分区对此问题进行评价。

2　水利工程对地下水运动影响评估

2.1　山前区

2.1.1　低山丘陵区

该区自南水北调中线工程天津段输水管线起至东黑山以东,工程点桩号 0 + 000 ～ 1 + 500 千米段,全长 1.5 km,工程切割浅表地层深度为 6.5 m。

该区地下水为基岩裂隙水,埋深大于 23 m,外营力地质作用强烈,自然切割的沟谷纵横。由于受基岩构造控制,沟谷出现在构造剥蚀的薄弱部位,地势相对较低,自然切割深度超过 8 m。而工程切割深度小于自然切割深度,对地下水补给、径流、排泄条件无影响,对地下水也无阻隔作用(图 2)。

2.1.2　山前倾斜平原

该区内天津段输水管线自东黑山以东至广门营全长约 10 km,即工程点 1 + 500 ～ 11 + 500 千米段,地面高程为 31 ～ 45 m,浅表地层工程切割至标高 25 ～ 35 m,即切割了 5 ～ 10 m 地层。

该区地下水为孔隙水,水位埋深 17 ～ 23 m。由于山区至平原高程落差较大,基岩地层在外营力作用下以剥蚀堆积为主,尤其是全新世以来剥蚀堆积更为明显,故而该区形成了山前

收稿日期:2004 - 07 - 10
基金项目:中国地质调查局地质调查项目(1212010340108)
作者简介:李志民(1949 -),男,高级工程师,从事水文地质学研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

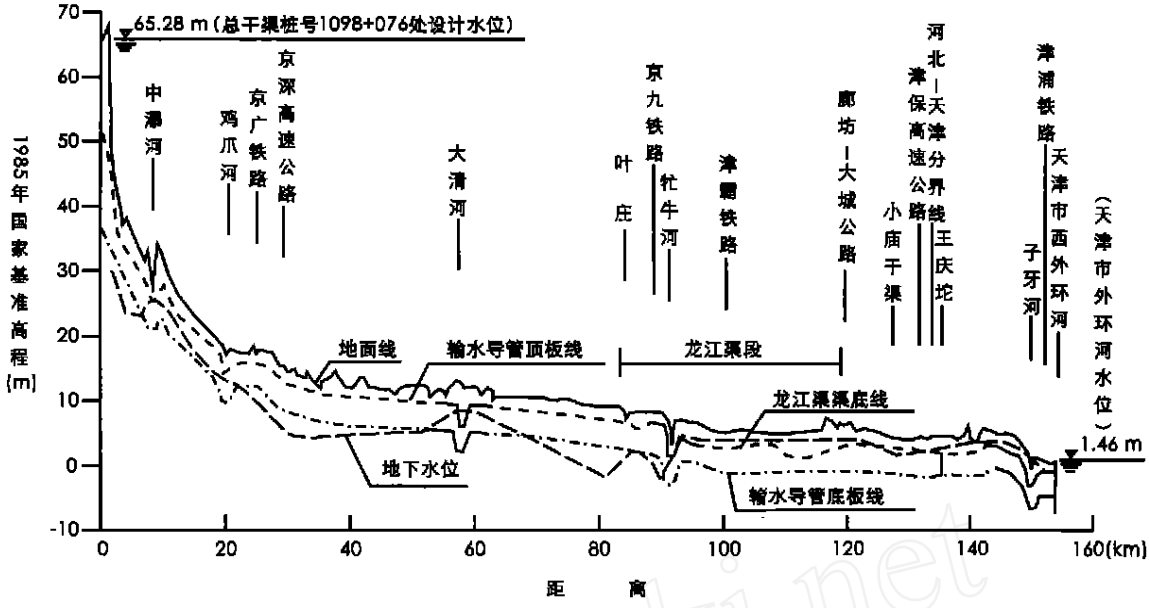

图 1　南水北调工程天津干线地下水水位与水利工程底板高程变化示意图

(据天津市水利勘测设计院,2003[①]重绘)

Fig. 1　The change of groundwater level and hydro - engineering bottom elevation in the Tianjin main route of the Transfer Project from South to North

(Redrawn after Tianjin Municipality Institute of water conservancy reconnaissance planning, 2003)

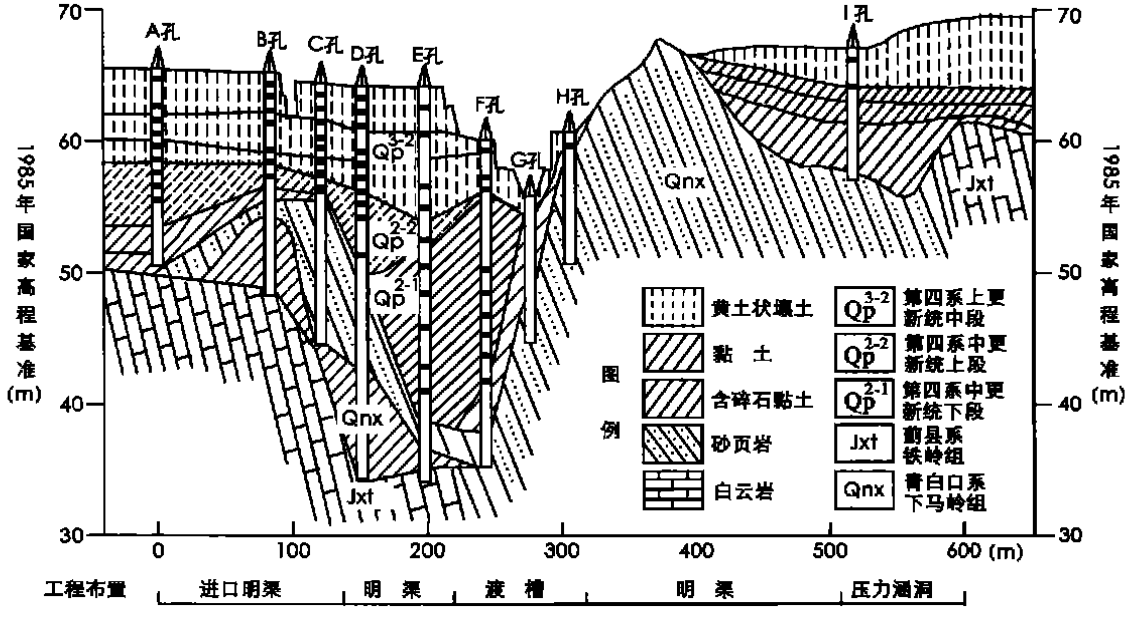

图 2　西黑山进口闸工程地质剖面示意图

Fig. 2　The geological profile at the water inlet gate engineering of Xiheishan

冲积扇裙。上覆的全新统冲洪积相地层,系由黄土状土和含钙质结核的黏土质粉砂组成,厚度由西而东渐薄,层厚 2 ～ 13 m 不等。

由于基底控制造成的沉积差异,全新统冲洪积相地层下伏地层由西向东依次为:中更新统上段冲洪积相地层,为棕红色壤土局部夹黏土的组合,层厚一般 3 ～ 5 m,最厚超过 11 m,揭露于工程 1.50 ～ 6.50 千米段;全新统下段湖沼相地层,为一组黑灰、灰色壤土组合,层厚 9 ～ 13 m,顶板埋深 3 ～ 5 m,分布于工程 2.20

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

～5.50千米段;全新统中段冲积相地层为黏土质粉砂夹黏土的组合,总厚度一般为7～12 m,最大厚度22 m,分布于工程5.00～11.50千米段,即非含水层累计厚度大于工程切割的地层厚度。

综上所述可见,该区域由于坡降较大,工程埋管不影响降水形成的地表径流补给下游地下水;工程切割一套黏土质粉砂、粉砂质黏土、黏土地层,不影响地表水的自然垂直入渗;工程未切割至含水层体,不影响地下水的侧向径流;地下水位较深,地下水活动带深度大于埋管深度,故工程不影响地下水补给、径流、排泄条件,对地下水均衡无影响[1],故而对地下水也无阻隔作用。

2.2 冲积平原区

广门营以东至天津市外环河为冲积平原区,工程点11+500～153+099千米段,地形向东倾斜,地面高程从西部的30 m降至东部的5 m左右。工程切割浅表地层最大8 m,地下水为孔隙水,埋深一般在1.0～9.5 m左右。在此区域内工程跨越了不同水系和水文地质单元,其地表水与地下水的联系程度、地下水径流、排泄条件也不相同,故而各层组地下水位埋深并非遵循实测混合水头规律。可能产生的工程阻隔地下水作用可依工程管线高于和低于地下水水位两类讨论。

2.2.1 地下水水位低于管线埋深区

(1)未切割含水层体区域

该区位于广营门以东至[illegible]牛河,工程点11+500～95+000千米段,地表高程为30～6 m;除局部地区河道带外,地下水位埋深一般为8.0～9.5 m。该区工程底板高程基本在实测地下水位以上。

该区在深度30 m范围内广泛分布全新统上段冲积相地层,为黄土状土、黏土质粉砂和薄层黏土组合,最小厚度1 m,最大厚度10 m,一般为3～5 m,底部为决口扇相不连续薄层粉砂。

全新统中段地层自上而下为两类:

杂色黏土组合的湖沼相地层,顶板埋深一般在3 m左右,层厚2～3 m,在工程点38+000～58+000千米段断续分布,此段以东地区呈连续分布,最厚达6 m。该层以下为微承压水。

黄土状土、黏土质粉砂组合的冲积相地层,顶板埋深3～5 m,连续分布,总厚一般为7～12 m,最大厚度超过22 m;下部间断出现较连续砂层,砂层一般厚3～5 m。

全新统下段,为一套黄土状土、黏土质粉砂、黏土,局部夹粉砂透镜体组合的冲积相地层,厚度一般为7～17 m,最厚超过24 m,顶板埋深一般为11～13 m,位于工程底板以下,呈连续分布。

综上所述可见,工程切割了晚全新世冲积相、中全新世湖沼相和冲积相粉砂质黏土–黏土组合,粉砂质黏土层渗透系数K一般为2.1×10^{-4}～5.5×10^{-5} cm/s,具弱–微透水性;粘性土层渗透系数$K<10^{-7}$ cm/s,具极微透水性或不透水性,大气降水入渗甚微,地下水接受补给的途径主要是侧向径流补给以及长期运行的渠系水补给。

由于粘性松散岩层的覆盖,地下水为承压水,除局部地区河道外,所测地下水位为压力水头,在砂层顶板和压力水头之间不是透水的径流带,水位在连续、连通较好的含水沙层的顶板位置。除河道外,含水沙层富集带顶板埋深均大于8 m,所以不存在工程切割含水层体的问题。

(2)切割含水层体区域

该区域内工程沿线在河道带切割部分沙层,具体位置为:

a)工程点18+000～20+000千米段的鸡爪河河道[illegible]摆带,砂层顶板埋深6 m,厚4 m。为细砂、中砂或粗砂–细砂组合的二元结构,在地下水位以上位置。

b)工程点25+000～31+500千米段的三岔河、苇河河道[illegible]摆带,砂层顶板埋深6 m,厚6 m。为细–中砂或中–粗砂二元结构,在地下水位以上。

c)工程点48+000～49+500千米段的兰沟河河道[illegible]摆带,砂层顶板埋深3～4 m,砂厚5.0 m。为细–中砂二元结构,在地下水位以上。

d)工程点56+000～63+000千米段为大

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

清河河道剁摆带,砂层顶板埋深3 m,厚2～6 m,为粉砂—细砂二元结构。河道在常年有水的情况下,地下水位埋深为2～8 m,高于工程埋管底板位置。

e)工程点88+000～95+000千米段为牤牛河河道剁摆带,砂层顶板埋深3～4 m,厚4～10 m,为粉砂—细砂二元结构,地下水位埋深为2～8 m。

该区域内工程累计切割砂层24 km长,其中鸡爪河和三岔河、苹河河道剁摆带累计长度10 km,工程处于地下水位以上,切割砂层后不影响地表、地下水径流关系,不存在阻隔地下水问题。

(3)不会产生环境地质问题的原因

大清河、牤牛河河道剁摆带累计长14 km,在垂向上工程建设将部分切割砂层,但只切割砂层二元结构上部岩性较细部分。与河道走向垂直切割上部砂层,自然形成倒虹吸作用,不会影响地下水径流速度和流量;即使在垂直于河道方向上的河道带砂层断面全部被阻隔,也不会产生环境方面的问题,因为中游及以上河道会充分发挥河道对地下水的调节功能[2]。阻隔断面上游地下水向下游径流被阻隔,地下水会向河道排泄,地下水位不会涌高。阻隔断面下由于侧向径流的影响,水位降低又使河水补给地下水,使阻隔断面下游地下水位不会比工程建设之前降低。

在大清河和牤牛河之间的工程连线上,形成了外围相连的两个地下水沉降漏斗,分别出现在80千米和90千米处,两漏斗中心水位埋深均超过15 m。大清河和牤牛河走向皆平行漏斗水位等值线,河水补给地下水流向直指漏斗中心,所以在11.5～95.0千米工程段不会产生阻隔地下水问题,且河水会首先补充降落漏斗。一旦两个漏斗得以补充,区域水位得以恢复后,可能略抬升工程附近水位高度,使毛细作用增强。根据该地历史水位记录,尚未出现高水位引起的盐渍化、沼泽化问题,故地质环境不致出现恶化。

2.2.2　地下水水位高于管线埋深区

(1)地层结构组成状况

该区位于牤牛河以东至廊坊—大城公路,工程95～120千米段,地表高程一般为7～10 m,地下水埋深一般为4～6 m,工程切割地层8 m,工程底板位于地下水位以下。

该区域30 m深度内广泛分布了全新统及上更新统上段地层,从上而下顺序为:

全新统上段冲积相地层:为一组黄土状土、黏土质粉砂和黏土组合,厚2～6 m,局部地区下部可见粉细砂层。

全新统中段冲积相地层:为一组含钙核和锈染的黄土状土、黏土质粉砂和黏土组合,下部断续出现细砂层,总厚7～12 m。

全新统下段冲积、堆积地层:为一组黄土状土、黏土质粉砂、黏土和粉细砂层透镜体的岩性组合,厚7～17 m,顶板埋深11～13 m。

上更新统冲洪积地层:以黄土状土为主夹有黏土质粉砂土、黏土及砂层透镜体,顶板埋深一般为25～30 m。

该区域为古永定河泛区的一部分,岩性组合以粘性物质为主,与前述大清河、牤牛河流域从物源上有所差别。

工程切割了全新统中—上段冲积相地层,连续分布的含水沙层多见于其下伏的全新统下段冲积相地层,其出现位置最小埋深也在8 m以下,故所得地下水位是全新统下段和上更新统的承压水和全新统中—上段黏土孔隙水的合成水头,且全新统下段和上更新统的水头高于全新统中—上段水头。

(2)不会产生环境地质问题的原因

在工程开挖深度内,除永定河洪泛的古河道带外[3],其余地段未切割含水沙层。粘性土地层为极微透水或不透水。由钻孔注水和室内渗透试验得知,粘性土层渗透系数$K<10^{-7}$ cm/s,地下水侧向径流微弱。所测地下水位为工程切割深度以下的承压水水头,代表切割层位的水位。粘性土组合地层揭露后只有重力水析出,为黏土层裂隙渗水。2003年实测微承压水水位已接近或超过工程开挖深度。地下水运动以垂直运动为主,降水蒸发比基本平衡,工程建设后对地下水补给、径流、排泄条件不致出现较大改变。

区内河渠纵横,自然切割及人为切割深度接近或超过了工程切割深度,因此,即使在阻隔

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的情况下，也不会形成土壤次生盐渍化和沼泽化。由于该工程段在龙江渠南侧沿渠道展布，龙江渠深4 m，足以满足排泄地下水的需要。工程南部地区地下水以垂直运动为主，也不会改变现有环境状态。

该工程段切割砂层部位系工程点95+000～98+000千米段、103+000～104+000千米段和108+000～109+000千米段。第一段为厚5～8 m的粉细砂，顶板埋深2～6 m，工程在砂层顶板处切割；第二段砂层为厚0～2 m的细砂，埋深4 m，中间厚两端尖灭，工程完全切割；第三段细砂厚0～4 m，埋深2～5 m，两端尖灭，上端被工程切割。部分切割砂层不会改变地下水径流、排泄条件的原因前已叙及。第二段属永定河古摆摆形成的侧向径流条件微弱的滞水层，水文地质意义不大。

该段勘查所测地形线在工程点95+000～120+000千米为龙江渠底，上述三段实际砂层埋深在测绘地形线基础上最少增加3 m，均属部分切割或不切割，故而工程点95+000～120+000千米段切割地层不会阻隔地下水运动，更不会出现在现状基础上的环境地质问题。

2.3 海陆相交互沉积区

2.3.1 地层结构组成状况

该区位于廊坊—大城公路至天津市外环河，工程点120+000～153+000千米段，地表高程一般为5～7 m。工程点150+000千米处向东高程跌至2 m左右，地下水位埋深为1～3 m。工程切割地层8 m，底板位于30 m深度内地下水位以下，所测地下水位为微承压水或承压水水位。该区30 m深度内为海陆交互相地层，自上而下依次为：

全新统上段冲积相地层，为黄褐色黏土质粉砂和黏土互层。岩性比工程西段地区的更细，以粘性物质为主，厚2～3 m。

全新统中段湖沼相地层，以杂色黏土为主，为不透水层，厚度2～3 m。

全新统中段浅海相地层，为灰色、浅灰色黏土、黏土质粉砂互层，层厚5～7 m，最大厚度11 m，顶板埋深6～9 m。在该区连续分布，愈往东愈厚，为工程主要切割层。

全新统下段冲积相层，浅黄色黏土质粉砂和黏土互层，下部多连续砂层，总厚一般7～17 m，最厚24 m，顶板埋深一般在11～13 m；砂层厚度不等，最多10 m，出现在约18 m高程以下。

2.3.2 不会产生环境地质问题的原因

(1)设计采用的地下水位为勘查30 m深度内承压—微承压水位，代表切割层以下水位。切割层水位为揭露后的渗析水位，施工中应予参考。2003年实测承压—微承压水位埋深一般为4～6 m，近渠系、河道带水位埋深2.0～2.5 m，高于地下水活动带(标高约18 m以下)顶板位置，该顶板低于工程底板深度。

(2)工程切割地层为晚全新世、中全新世冲湖积和海侵地层，为黏土质粉砂和黏土互层结构，地下水运动以垂直运动为主，侧向径流极微，渗透系数K只有1.3×10^{-5} cm/s～1.3×10^{-7} cm/s。

(3)工程切割层位主要为中全新世海侵地层，该层地下水以垂直运动为主，侧向径流微弱[4]，流向为E-W及NWW-SEE向，与工程走向基本一致。工程切割不影响其径流、排泄条件。

(4)该区域河渠网络发达，自然和人为切割已经接近或达到了工程切割深度；即使工程阻隔了地下水的侧向运动，河渠网络也有调节地下水补给与排泄的能力，进一步保障了环境地质条件不会在现状基础上向恶劣的方向发展。

因此，该区域工程切割含水层体不会阻隔地下水运动。

3 南水北调天津段的岩石地层结构类型

基于上述讨论，研究区主要地层结构可总结为如图3所示的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三大类型，6个亚类型，两个次亚类型。从中可见天津干渠主要途经洪泛平原区，所揭露的$Ⅲ_{3\text{-}1}$次亚类晚全新世均质黏性土层占工程长度的一半尚多，其渗透系数极低。加上同样仅具垂向地下水运动的Ⅱ类和$Ⅲ_{3\text{-}2}$次亚类结构的地层，合计占全程总长度的75.19 %。Ⅱ类地层结构表层黄土状土是1·～2 ka以来的片流泛滥沉积，下伏粘土属质地坚硬的湖相粘土，且多略经成土过程，渗透系

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

数亦低。III_{3-2}次亚类结构地层下伏软土呈可塑态,从而表明大多线路地层对地下水运移无阻隔作用。占全线总长度 23.99 %的 III_1 和 III_2 亚类结构的地层因砂层多少不同有别,对透水性亦无太大影响。占全线总长度 0.45 %的 I类结构地层见于山前地带,更是不会影响地下水运移。

类型	地层结构特征	典型剖面	段数(个)	长度(km)	占总量(%)
I_r	中硬薄层碎屑岩,均质结构		1	0.700	0.45
I_2	上部黄土状土,中-下部硬碎屑岩,双层结构				
I_3	上部黄土状土、砾石土,下部白云岩,双层结构				
II	上部黄土状土,下部黏性土,双层结构		1	10.200	6.62
III_1	黏性土-砂双层结构		10	25.445	16.50
III_2	黏性土-砂多层结构		5	11.475	7.44
III_{3-1}	黏性土均质结构		15	82.594	53.56
III_{3-2}	黏性土软土结构		3	23.800	15.43

图 3　岩石地层结构类型图

Fig. 3　The litho-stratigraphic architectural types

4　结论:

基于野外钻探、地层与水文地质研究以及室内分析结果可知,南水北调中线工程天津段输水管线,在各水文地质单元中的工程建设皆不会阻隔地下水运动,也不会改变地下水补给、径流、排泄条件,因此,该工程建设不会在现状基础上引发次生土壤盐渍化、沼泽化,以及地下水位下降导致的荒漠化等环境地质问题。

参考文献:

[1]陈葆仁. 地下水水文过程线形成的机理分析[J]. 水文地质工程地质,1984(4):14-17.

[2]缪钟灵. 地下水等水位线图小议[J]. 水文地质工程地质,1986(4):42.

[3]吴忱,吴金祥. 河北平原的古河道及其在地下水库选址中的意义[J]. 水文地质工程地质,1988(1):38-54.

[4]王作修,谭龙章. 天津市地下水条件及开发方向[J]. 天津市地质学会志,1983,1(2):106-116.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Estimation of the Influence on Groundwater Action of the Tianjin Main Route of Water Transfer Project from South to North China

LI Zhi-min[1], KANG Jin-shuan[1], CHEN Wei[1], YANG Jin-xia[1], WANG Qiang[2]

(1. *Tianjin Reconnaissance & Administrative Centre of Hydrology and Water Resources, Tianjin* 300060;
2. *Tianjin Institute of Geology & Mineral Resources, Tianjin* 300170)

Abstract: Based on the division of the hydrogeology units, the influence on groundwater action in the foreland, alluvial plain and the transitional area where marine terrigenous sediments interfingered, caused by the Tianjin main route of Water Transfer Project from South to North China is analyzed in this paper. The strike of the project perpendicularly crossed the flow direction of the groundwater approximately, even the project cut the shallow stratum during the construction, but the runoff and drainage condition of the groundwater could not be changed. As a result, the water level rise in the upper reach could neither make the soil salinization and swamping, nor cause the environmental geological disasters from the decrease of the groundwater discharge in the lower reach. The regional groundwater character, the surface water body and surface water projects will be depicted in this paper.

Key words: Water Transfer Project from South to North China; water conservancy project;

国际第六届潮汐沉积学会议在丹麦召开

2004年8月2～5日,在丹麦哥本哈根大学召开了国际第六届潮汐沉积学会议(6th International Conference on Tidal Sedimentology, Tidalites 2004)。国际潮汐沉积学会议,每四年举行一次。1996年的第四届,由德国Senkenberg研究所海洋科学研究室主办;2000年的第五届,在韩国国立汉城大学召开;这一届(第六届)则由哥本哈根大学地理系主办。8月2～5日,为学术交流(其中有半天是会议期间的地质旅行);8月6～10日,为会后地质旅行。

国际第六届潮汐沉积学会议,有来自比利时、加拿大、中国、丹麦、英国、芬兰、法国、德国、日本、韩国、荷兰、尼日利亚、挪威、美国等16个国家的正式代表63人,在会上作学术交流的共49人。天津地质矿产研究所王宏博士在大会上介绍了中国地质调查局天津地质矿产研究所近年来在环渤海海岸带进行的以近现代地质环境变化为主要目标的地质调查成果。

本次会议涉及中生代到现代的与潮汐作用有关的地质过程和沉积物,报告人的研究地域从亚马逊河流第三纪到俄罗斯巴伦支海冰水沉积、从美国犹他盆地潮间带泥砂岩到汉江现代潮沟滑塌沉积体、从英国威尔士潮汐盐沼现代沉积速率监测到丹麦-德国-荷兰瓦登海近现代障壁岛和岛后潮汐沉积体系等等。与会学者同样注重泥砂质海岸带可持续发展中的地质环境问题。王宏博士等根据过去不同时期的地形图及遥感影像的对比、近数千年来的沉积格局变化、现代地表高程损失等方面的研究结果,推断今后海岸带在全球海面上升的大背景下可能面临的前景。德国、丹麦的学者则进一步从沉积物颗粒的定量变化出发,推论如海面上升将导致滩面进一步粗化、细颗粒物质会进一步减少。其结果是泥质潮坪进一步变窄,最终整个北欧潮间带的面貌将完全改观,从而对海岸带的生态环境产生不可逆转的灾难性影响。地质旅行考察了丹麦哥本哈根-瑞典马尔默跨海大桥、丹麦西兰岛(Zealand)波罗的海沿岸新生的障壁岛、日德兰半岛(Jutland Peninsula)障壁岛、岛后潮控盐沼-泻湖体系、风成沙丘、威克塞林(末次冰期)和萨林冰期(相当于庐山冰期)的冰碛-冰水沉积物在全新世海侵作用下形成的海蚀崖、现代岸线蚀退(二战时德军修筑的碉堡群现已沦入海中)等。

第七届国际潮汐沉积学会议将于2008年在中国青岛市召开。 (编辑部供稿)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net