

南水北调中线沙河至黄河段沿线 地下水位变化规律研究

胡桂全¹, 翁燕章²

(1. 国务院南水北调工程建设委员会办公室 政策及技术研究中心, 北京 100038;
2. 清华大学 水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 地下水问题是南水北调中线工程建设遇到的三大关键技术难题之一, 研究揭示沿线地下水动态变化规律对保证工程安全具有重要意义。2010年-2012连续3年在丰、枯水期, 利用22眼监测井对中线沙河至黄河段沿线分别开展了地下水位监测, 并收集整理沿线40 km范围内的11眼国家级地下水位长期监测资料。通过对这些监测数据分析, 初步认为中线沙河至黄河段沿线地下水位变化趋势虽然总体上比较平稳, 但由于沿线水文地质、工程地质条件复杂(膨胀土渠段、上层滞水分布广泛等), 存在较多风险渠段, 如遭遇强降雨等外界不利因素, 地下水仍可能会对工程安全造成威胁。

关键词: 南水北调; 地下水; 工程影响

中图分类号: P64; TV 68 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)06-0120-05

Variation of Groundwater Level along the Section of Sha River to Yellow River of the Middle Route of South to North Water Diversion Project

HU Guī quan¹, WENG Yan zhang²

(1. Research Centre for Policy and Technology, Office of the South to North Water Diversion Project Commission of the State Council, Beijing 100038, China;

2 State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Groundwater problem is one of the three major technical problems during the construction of the Middle Route of South to North Water Diversion Project, and the dynamic variation of groundwater level along the diversion project is of great significance for ensuring the safety of the project. The groundwater levels in 22 monitoring wells along the section of Sha River to Yellow River of the Middle Route of South to North Water Diversion Project were measured during the wet and dry seasons from 2010 to 2012, and the long term monitoring data of 11 national groundwater observation wells within the scope of 40 km along the section were collected. Based on the analysis of the monitoring data, the variation trend of groundwater level was stable in the section of Sha River to Yellow River of the Middle Route. However, due to the complexity of hydrogeological and engineering geological conditions along the section (Expansive soil drainage and wide distribution of perched water), groundwater is still likely to threaten the safety of project under the unfavorable conditions such as heavy rainfall.

Key words: South to North Water Diversion Project; groundwater; engineering impact

南水北调中线沙河至黄河段起点位于河南省鲁山县薛寨村北, 终点在荥阳市西北王村, 线路长234.9 km^[1]。渠线沿伏牛山、嵩山东部的低山丘陵和黄淮平原的过渡地带北上, 沿途地貌为丘陵、岗地和河谷平原相互穿插分布。该段工程沿线地下水埋深较浅, 赋存类型包括: 碳酸盐岩岩溶裂

隙水, 分布在宝丰西南; 基岩裂隙水, 分布在鲁山及阡山; 其他地段为松散岩类孔隙水, 富水性中等^[2]。

由于沿线工程地质、水文地质条件复杂, 特别是在膨胀土、不利地层组合、深挖方等工程地质条件下, 高地下水位或者地下水位变动可能对工程建设和运行安全造成影响, 因此

收稿日期: 2013-05-24 修回日期: 2013-09-16 网络出版时间: 2013-10-10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20131010.1029.034.html>

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201201050); 水沙科学与水利水电工程国家重点实验室资助项目(2012KY-05)

作者简介: 胡桂全(1985-), 男, 辽宁抚顺人, 工程师, 硕士, 主要从事水利、环境政策及技术研究工作。E-mail: huguiquan@mwr.gov.cn

研究地下水位变化规律及对工程安全的影响具有重要意义。

1 资料收集

1.1 近三年地下水位实测资料

2010年5月对中线沙河至黄河段开展了为期一周的浅层地下水位调查工作,调查渠段总长240 km,调查获得浅层地下水位109处,平均2 km一个控制水位点;2010年10月针对5月第一次水位测量情况,选取埋深小于10 m的79处井位,进

行了第二次水位调查,监测井次统计表见表1。2011年5月再次对沙河至黄河段开展了为期一周的浅层地下水位调查工作,共调查水位点103个,平均约2 km一个水位观测点。

为了分析沙河至黄河段沿线地下水位年内变化规律,本文选择了22眼观测井(见表2),自2011年2月至10月对沿线地下水位进行逐月观测,取得了9个月的观测数据。2012年5月又对沿线开展了为期2天的浅层地下水位调查工作,共调查地下水位点39个。

表1 中线工程沙河至黄河段沿线地下水位实测数统计

Table 1 Number of monitored groundwater level along the section of Sha River to Yellow River of the Middle Route

渠段	距离/km	监测井次				
		2010年5月	2010年10月	2011年5月	2012年6月	
沙河-黄河	鲁山- 郟县段	50.96	23	23	33	10
	禹州- 长葛段	54.13	35	33	36	15
	新郑- 中牟段	61.59	28	17	26	10
	郑州- 荥阳段	57.67	23	6	8	4
合计		109	79	103	39	

表2 中线工程沙河至黄河段沿线地下水位专门观测井情况

Table 2 Groundwater monitor wells along the section of Sha River to Yellow River of the Middle Route

序号	监测点位置	经度	纬度	地面高程/m	井台高度/m	是否原井
1	郑州市管城区南曹乡刘德城村麦田	113°28'05.5"	34°49'11.9"	105.00	0.75	附近
2	郑州市管城区南曹乡张化楼村西菜园	113°46'20.6"	34°38'04.2"	89.00	0.30	原井
3	中牟县三官庙加油站	113°54'19.4"	34°30'38.8"	105.00	0.15	原井
4	新郑市龙王乡霹雳店村西高速公路边	113°48'40.9"	34°26'51.2"	120.00	0.00	原井
5	新郑市西关胡庄村运河东小路东菜园	113°41'43.8"	34°23'41.7"	96.00	0.60	按图标注
6	长葛市后河镇高庄村	113°40'17.5"	34°16'00.5"	111.00	0.58	附近
7	禹州市古城镇马堂村路北村民家	113°34'58.3"	34°13'07.5"	113.09	0.55	原井
8	禹州市郭连乡前师堂村民家	113°31'15.2"	34°10'57.7"	109.49	0.40	附近
9	禹州市朱阁乡席庄公路南村民家	113°27'56.5"	34°11'12.8"	110.09	0.00	附近
10	禹州市西十里小学外公路边菜园	113°25'17.9"	34°10'21.4"	104.99	0.85	原井
11	禹州市梁北镇陈口村公路边	113°26'00.3"	34°05'53.9"	96.39	0.00	原井
12	禹州市张得乡宴窑村北公路西麦田内	113°22'48.8"	34°04'39.0"	106.99	0.40	原井
13	禹州市张得乡许楼村路边麦田内	113°21'00.4"	34°03'19.7"	117.09	0.00	附近
14	郟县安良镇鲁庄村西南特大口井	113°16'32.7"	34°02'38.1"	101.89	0.00	原井
15	郟县白庙乡白庙计生办果园东公路东	113°14'16.9"	33°01'00.8"	144.00	0.00	附近
16	郟县渣园乡杜庄东南公路边	113°09'46.1"	33°59'00.0"	133.00	0.00	原井
17	宝丰县石桥镇肖楼村南	113°07'09.1"	33°56'32.7"	114.00	0.00	原井
18	宝丰县肖旗乡史营村西300 m	113°04'10.6"	33°53'43.2"	134.00	0.00	原井
19	宝丰县城关镇西石灰窑村运河旁	113°01'59.0"	33°52'14.5"	112.00	0.00	附近
20	宝丰县杨庄镇乌峦赵村西南大口井	113°01'54.6"	33°49'21.9"	109.00	0.00	附近
21	鲁山县辛集乡郝村葡萄园内	112°59'20.3"	33°47'01.7"	121.00	0.18	附近
22	鲁山县大王庄运河食堂	112°57'14.4"	33°44'22.4"	130.00	0.25	原井

1.2 地下水位多年历史监测资料

为了分析沿线地下水年际变化规律和趋势,根据监测井的分布、监测层位、资料完整情况等因素,收集整理了中线工程沙河至黄河段沿线40 km范围内的11眼国家级地下水长期监测井资料,见表3^[3]。国家级监测井资料按照地下水监测规范要求,专人测量,监测频率每5日1次,每月6次。监测资料时间跨度最早从1965年开始,部分为20世纪80、90年代起进行监测。

1.3 近三年实测地下水位变化情况分析

根据2010年5月、10月监测数据、国家级和省级长系列监测资料,经测算延展,推测出沙河至黄河段沿线历史最高和最低水位值,绘制了中线沙河至黄河段沿线地下水位图,见图1。根据2010年-2012年4次地下水实际调查监测数据,对监测点位不同时间地下水位进行分析,初步得到相应渠段近3年地下水位的变化情况,见图2,表4。

由图 1 可以看出,从 2010 年 5 月- 2012 年 6 月,各点地下水位变化不大,同年中丰水期地下水位略高。由

图 2 可以看出,2011 年 5 月份水位与 2010 年同期相比,多数井位数据略高,2012 年同期水位又有所下降。

表 3 中线工程沙河至黄河段沿线国家级长期监测井基本情况

Table 3 National long term groundwater monitor wells along the section of Sha River to Yellow River of the Middle Route

序号	统一编号	监测点位置	地面高程/m	监测深度/m	地下水类型
1	4104210001	宝丰县杨庄乡高庄村气象局	136.4	6	潜水
2	4104260001	襄县茨沟乡朱庄村	80.5	18	潜水
3	4110010001	许昌市半截河乡半截河村	66.8	18.4	潜水
4	4104240001	汝州市气象局	212.9	9.4	潜水
5	4110210001	禹州市钧台办乡东三里村气象站	116.7	7.27	潜水
6	4110220001	长葛县城关乡气象局	87.8	25	潜水
7	4101230001	新郑县新村乡文士湾村冯家岗	131	13~ 24.95	潜水
8	4101220003	中牟县黄店乡黄店村	91	18.3~ 20.5	潜水
9	4101220002	中牟县城关乡尚庄村气象局	78.6	11.0~ 28.0	潜水
10	4101220001	中牟县万滩乡娄庄村	92.57	5.0~ 30.0	潜水
11	4101210001	荥阳市气象局	139.3	33	潜水

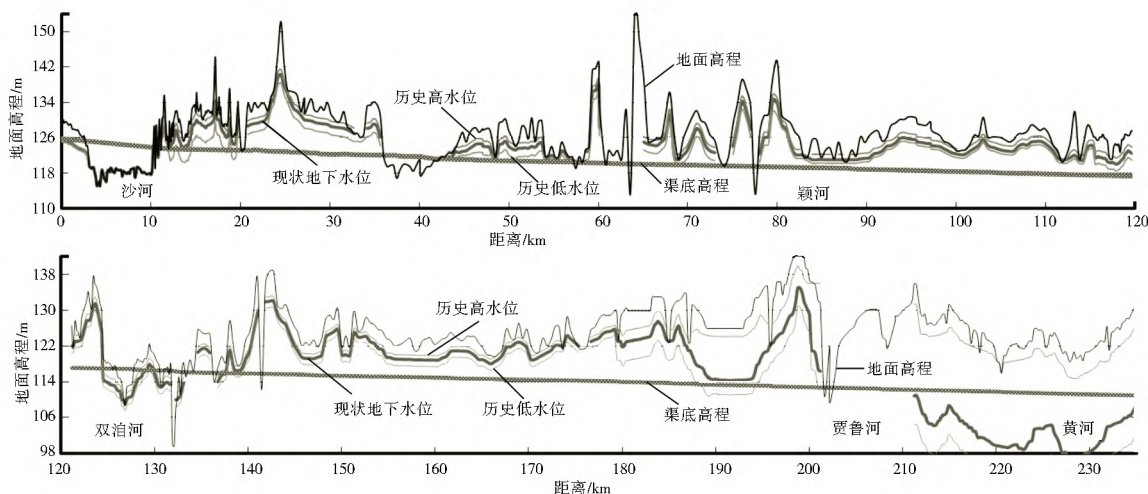


图 1 2010 年沙河至黄河段沿线地下水水位变化曲线

Fig. 1 Variation of groundwater level along the section of Sha River to Yellow River in 2010

表 4 点位与所在渠段对应关系

Table 4 Corresponding relationship between the point and canal section

点位桩号	SH 20	SH 33	SH 77	SH 105	SH 155	SH 174
对应渠段	鲁山北	宝丰郟县	禹州长葛	禹州长葛	新郑中牟	新郑中牟

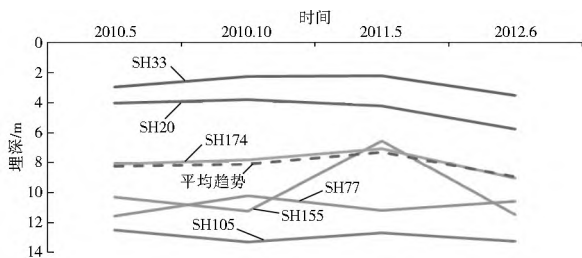


图 2 沙河至黄河段部分实测点位 2010 年- 2012 年地下水水位变化情况

Fig. 2 Groundwater levels in several monitoring wells along the section of Sha River to Yellow River from 2010 to 2012

2 地下水水位变化规律分析

2.1 地下水水位年内变化规律分析

2.1.1 长期监测井地下水水位年内变化分析

国家级长期监测井数据系列长采集相对密集,更能直观地看出地下水水位在一年时间内的变化过程。选择了

4101230001 号国家级监测井(新郑市)作为代表,绘制该井典型年份和多年平均地下水水位年内变化图,见图 3。从图中可以看出,多年年内水位在 1 月开始缓慢下降,至 6 月水位达到年内最低,然后转而上升,至 10 月上旬达到汛后最高水位,因此呈“单峰单谷型”水位动态过程。

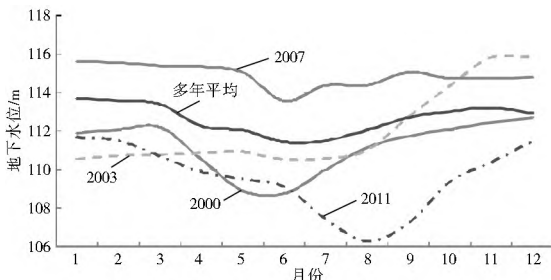


图 3 4101230001 号国家级监测井(新郑市)多年年内地下水水位变化曲线

Fig. 3 Variation of groundwater level in the national monitoring well 4101230001# (Xinzheng City)

2.1.2 专门监测井地下水位年内变化分析

沙河至黄河段共设专门观测井 22 眼,根据水位资料分析,多数专门观测井年内最高水位出现在 9 月-10 月或者 3 月,最低水位出现在 6 月-7 月。图 4 为宝丰县杨庄镇乌鸾赵村监测井,地下水位年内变化规律明显,2 月开始缓慢下降,至 5 月降至年内最低,之后逐渐回升,到 9 月达到一年内的最高水位,年变幅约 2.0 m。

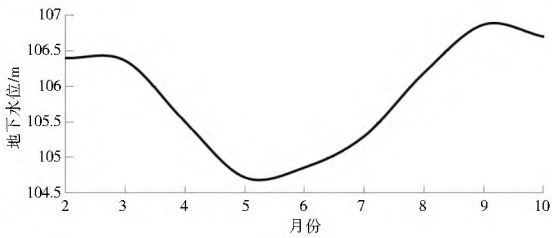


图 4 宝丰县杨庄镇乌鸾赵村地下水位年内变化曲线
Fig. 4 Variation of groundwater level in Wuluanzhao Village, Yangzhuang Town of Baofeng County

2.1.3 高水位期和低水位期地下水位对比分析

根据 2010 年 5 月底、2010 年 10 月底调查的沙河至黄河

段浅层地下水现状埋深情况,对沿线地下水位特征值进行了分析统计,见表 5。

根据 2010 年 5 月底和 2010 年 10 月底调查的平原区(不含山地、岗丘区) 79 眼相同调查井的地下水位埋深资料,得到用鲁山楼张村至郑州刘德城村浅层地下水位变幅(图 5),反映了该区段沿线平原区浅层地下水位年内波动情况。

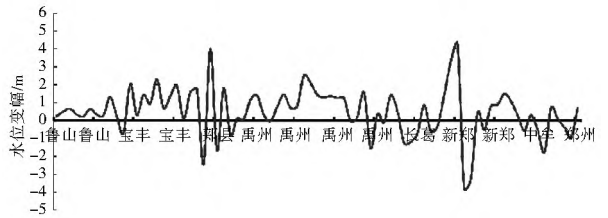


图 5 中线沙河-黄河南段地下水位 2010 年丰枯变幅曲线
Fig. 5 Variation of groundwater level in the south along the section of Sha River to Yellow River of the Middle Route in 2010

从表 5、图 5 可以看出,宝丰、郟县、禹州、长葛、新郑等冲洪积扇地区,地下水位埋深较浅,水位波动较大,表明地下水补径排条件较好,地下水位与降雨变化明显;中牟至黄河南段,地下水埋藏深,地下水位变幅不大;部分观测井 10 月底

表 5 中线沙河至黄河段浅层地下水现状埋深情况统计

Table 5 Depth of shallow groundwater level along the section of Sha River to Yellow River of the Middle Route

序号	渠段	2010 年 5 月地下水位(低水位)			2010 年 10 月地下水位(高水位)		
		最小埋深	最大埋深	平均埋深	最小埋深	最大埋深	平均埋深
1	鲁山段	2.88	7.60	5.32	2.37	6.95	4.90
2	宝丰段	1.78	9.50	3.73	1.15	7.20	2.72
3	郟县段	2.50	12.20	6.82	3.40	12.10	6.33
4	禹州段	2.65	23.20	8.94	1.90	15.46	7.31
5	长葛段	5.46	7.60	6.98	4.25	7.90	6.32
6	新郑段	2.50	25.90	7.49	1.62	/	7.34
7	中牟县	3.00	8.54	5.83	2.7	8.26	6.29
8	郑州段	3.64	大于 50	/	/	/	/
9	荥阳段	12.90	大于 50	/	/	/	/

注:“/”表示部分井地下水位埋深大(超过 50 m),2010 年 10 月底同一口井未进行调查,不具可比性。

测量的水位低于 5 月份测量的水位,分析原因是个别井刚抽过水,尚未恢复到稳定状态。

2.2 地下水位年际变化规律分析

2.2.1 地下水位影响因素

地下水位动态变化主要受地层条件和补径排条件影响⁴¹。中线总干渠穿越的区域,可以分为两类,一类是山前丘陵、岗地和河谷冲洪积平原,地下水主要受降雨和地表水体补给,人为影响较小;一类是平原区,尤其是发达城镇区域⁵¹。随着城市范围的扩大,地面硬化造成降水补给减少,经济发展使开采量增加,改变了城区的水文地质条件和地下水补径排条件。以郑州市为例,地下水开采层位由浅层逐渐变为深层,地下水位逐年下降,如 20 世纪 50 年代火车站以南中深层地下水为自流区,水头高出地面 15 m,70 年代水位埋深 30 m,80 年代水位埋深已经超过 50 m,形成约 500 km²的中深层地下水降落漏斗。

2.2.2 地下水位变化规律分析

从 2000 年至 2011 年地下水位多年动态变化曲线图上可以看出,沿线 11 眼国家长期监测井中有 2 眼井地下水位显著下降,下降幅度大于 3 m;有 5 眼井基本持平,变幅不超过 1 m;有 4 眼井地下水位略有上升,一般不超过 3 m。

从监测井对应的渠段上来看:沙河至许昌段(颍河以南)地下水位有小幅下降(图 6);许昌至新郑段地下水位略有上

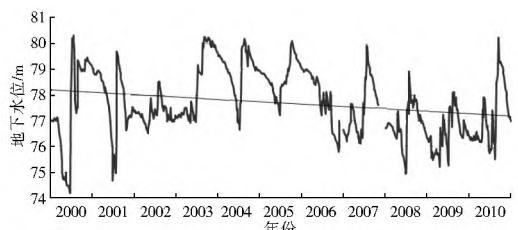


图 6 4104260001 号国家监测井(襄县)地下水位变化曲线
Fig. 6 Variation of groundwater level in the national monitoring well 4104260001# (Xiang County)

升(图 7); 新郑至黄河段地下水位呈下降趋势(图 8)。

3 地下水位变化对工程安全的影响

3.1 现状地下水位与渠底高程关系

中线工程沙河至黄河段长 235 km, 渠底高程为 113.26~

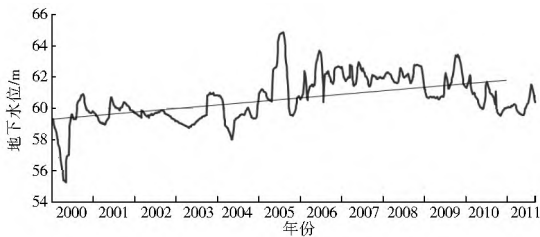


图 7 4110010001 号国家级监测井(许昌市)地下水位变化曲线

Fig. 7 Variation of groundwater level in the national monitoring well 4110010001# (Xuchang City)

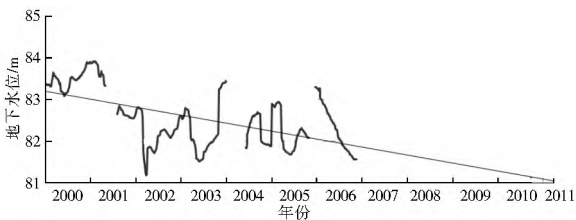


图 8 4101220001 号国家级监测井(中牟县)地下水位变化曲线

Fig. 8 Variation of groundwater level in the national monitoring well 4101220001# (Zhongnong County)

126.14 m。经比较分析,沙河至黄河段现状地下水位高于底板的渠段长 122 km, 占总长的 52%。从多年情况来看,郑州、荥阳段(长约 40 km)历史最高水位高出渠道底板 10 m 以上,但是现状地下水位埋藏较深,接近于历史低位,低于渠道底板 10 m 左右。这是由于郑州及其周边地区地下水多年超采引起。在南水北调通水以后,该段地下水位有可能回升到渠道底板以上。

3.2 地下水位变化对工程的影响

(1) 渠道边坡易失稳。根据南水北调中线工程沙河至黄河段工程勘察成果,沙河至黄河段渠坡稳定性较差且地下水位也高于渠道底板的风险渠段共有 15 段,长约 80 km。黏性土、膨胀泥岩或软质碎屑岩的双层结构岩土体,遇地下水后,容易诱发边坡失稳。

(2) 承压地下水顶托造成基坑涌水涌砂。当渠道和建筑物基坑下赋存承压地下水,基坑开挖使含水层覆土减少到一定程度时,承压地下水可能顶裂或冲毁基坑顶板,造成涌水涌砂。基坑突涌将会破坏地基强度,并给施工带来很大困难。

(3) 地下水侧向或垂直渗漏影响渠道运行安全。地下水位低于设计水位的渠段,当渠坡和渠底分布有砂、砂砾石层时,一般都会在地下水作用下发生侧向或垂直渗漏^[9]。渠道渗漏可能造成通水后的水量损失、渠坡渗透变形破坏等问题,影响渠道正常运行,无法发挥工程效益。

4 总结

(1) 沿线浅层地下水位年内波动特征明显。浅层地下水

位年内基本为持续下降-上升-缓慢下降 3 个阶段。一般最高水位出现在每年 9 月-10 月,最低水位出现在 5 月-6 月。宝丰、郟县、禹州、长葛、新郑等岗地和冲洪积扇地区,地下水位埋深较浅,受降雨影响明显,水位波动较大。其中宝丰段和禹州段丰枯水位变幅较大。新郑至黄河段,由于地下水位埋藏较深,年内水位变幅较小。

(2) 浅层地下水位多年动态呈现不同的变化特征。平原和岗丘两大水文地质区,地下水位多年变化规律不同:a. 在新郑以南的丘陵、岗地和河谷地带地下水总体埋藏浅,受气象因素影响明显,年内变化幅度大,多年平均变幅在 1~3 m。20 世纪 90 年代以来,地下水水位多年有不同幅度的波动,但无明显上升或下降趋势。b. 在郑州、荥阳等地区,地下水埋深大,地下水位处于历史低位,与 2000 年相比,地下水位下降 3~5 m。

从近 3 年实测及搜集的历史资料分析来看,中线沙河至黄河段沿线地下水位变化趋势虽然总体上比较平稳,但若遭遇强降雨等外界不利因素,地下水仍可能会对工程安全造成威胁。因此,中线地下水问题仍应引起设计、施工及建设管理单位高度重视。

参考文献(References):

- [1] 南水北调中线一期工程可行性研究总报告[R]. 武汉:长江水利委员会长江勘测规划设计研究院, 2005. (South to North Water Transfer an Engineering Feasibility Study for the General Report [R]. Wuhan: Changjiang Water Resources Commission, Changjiang Institute of Survey Planning and Design Institute, 2005. (in Chinese))
- [2] 南水北调中线一期工程初步设计报告[R]. 武汉:长江勘测规划设计研究有限责任公司, 2009. (North Water Transfer a Preliminary Design Report [R]. Wuhan: Changjiang Institute of Survey Planning and Design Institute, 2009. (in Chinese))
- [3] 中国地质环境监测院. 中国地质环境监测地下水年鉴(2005-2009)[M]. 北京:中国大地出版社, 2009. (China Geological Environmental Monitoring Institute. China Geoenvironment Monitoring Groundwater Levels Yearbook(2005-2009) [M]. Beijing: China Land Press, 2009. (in Chinese))
- [4] 黄定华. 普通地质学[M]. 北京:高等教育出版社, 2010: 100-101. (HUANG Ding-hua. Physical Geology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2010: 100-101. (in Chinese))
- [5] 陈立德, 陈州丰. 南水北调中线大宁河补水工程大昌至茅草坡段工程地质适应性研究[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(2): 33-36. (CHEN Li-de, CHEN Zhou-feng. Geoenvironmental Condition of Daning River Water Compensation Engineering Area in Middle Route of South to North Water Transfer Project [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(2): 33-36. (in Chinese))
- [6] 王大纯. 水文地质学基础[M]. 北京:地质出版社, 1995: 63-65. (WANG Da-chun. The Basis of Hydrogeology [M]. Beijing: Geological Press, 1995: 63-65. (in Chinese))