

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.03.003

青藏高原不冻泉地区地下水分布特征

李颖智,郭彦威,耿 昕,王秀明,李胜涛

(中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,河北 保定 071051)

摘要:根据区域水文地质调查成果,总结不冻泉地区地下水的赋存条件和分布特征。结果表明:基岩类冻结层水分布于北部和西南部山区,总体上水量贫乏,水质较差,仅在海拔 5 000 m 以上的极高山区,水质较好,水量较为丰富;松散岩类冻结层水分布于平原和沟谷内,水量贫乏,水质较差,清水湖周边为双层含水层结构,存在松散岩类冻结层下水,水量较为丰富;在清水湖底部和楚玛尔河局部地段存在贯穿型河湖融区,在部分断层带上局部发育点状贯穿型构造融区。

关键词:地下水;赋存条件;分布特征;不冻泉地区;基岩类冻结层水;松散岩类冻结层水;青藏高原

中图分类号:P641.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2013)03-0010-05

Distribution characteristics of groundwater in non-freezing spring area on Tibetan Plateau

LI Yingzhi, GUO Yanwei, GENG Xin, WANG Xiuming, LI Shengtao

(Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, CGS, Baoding 071051, China)

Abstract: Based on hydrogeological survey results, the existing conditions and distribution characteristics of groundwater in a non-freezing spring area are summarized. The analysis results show that the permafrost water in bedrock is mainly distributed in northern and southwestern mountainous areas, with scarce water resources and low-quality water in general, but with abundant water resources and high-quality water in the regions at an elevation of 5000 m above sea level; and the permafrost water in loosening rocks is mainly distributed in plain areas and alluvial valleys, with scarce water resources and low-quality water. The area surrounding Qingshui Lake has a double-aquifer structure, where permafrost water in loosening rocks exists, with abundant water resources. There are river and lake thawing regions penetrating the bottom of Qingshui Lake and some areas of the Chumaer River. Some thawing regions in a point-pattern distribution develop through parts of the fault zones.

Key words: groundwater; existing condition; distribution characteristics; non-freezing spring area; permafrost water in bedrock; permafrost water in loosening rock; Tibetan Plateau

不冻泉地区位于青藏高原昆仑山南坡,属于青藏高原永久冻土区,自然条件恶劣,水文地质研究程度较低。研究区北起昆仑山口,南至楚玛尔河,以青藏公路为分界线,东侧为三江源自然保护区、西侧为可可西里自然保护区。青藏铁路、格拉输油管线、110 V 输变电线、兰拉光缆等重要工程与青藏公路并行穿过研究区。开展研究区内的水文地质条件研究,可为区内重大工程的整治维护及自然保护区的环境保护提供基础资料和科学依据,具有积极的现实意义。

1977 年,由青海省第一水文地质队完成的“青藏线(格尔木—安多)水文地质工程地质调查”项目初步查明了区内地貌、水文地质及工程地质条件。2008 年,由青海省地质调查院完成的“长江源区生

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(1212010818080)

作者简介:李颖智(1982—),男,工程师,硕士,主要从事水文地质、环境地质调查研究。E-mail:liyingshi198258@163.com

态环境地质调查”项目,基本查明了区内地质环境现状,综合分析了气候、水文因素影响下地质环境变化的地质原因和演化特征。本次研究在“青藏铁路沿线水文地质环境地质调查评价”项目调查数据的基础上,结合前人的调查研究成果,对区内地下水分布特征进行了深入的分析和总结。

1 自然地理概况

不冻泉地区地处青藏高原长江源区北端,位于楚玛尔河盆地东部,地形呈波状起伏,河谷宽浅,海拔在4500 m以上,青藏公路、青藏铁路斜穿过该区,青藏公路以东隶属曲麻莱县,以西属治多县(图1)。

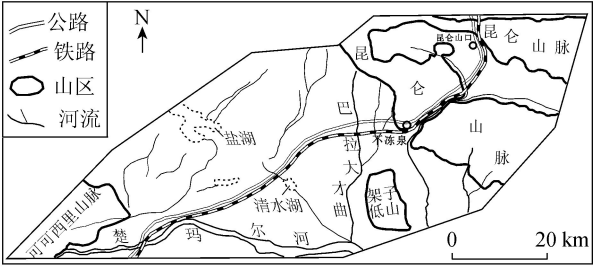


图1 不冻泉地区地理位置

该地区空气稀薄,气压低,空气含氧量仅为标准大气含氧量的61%左右,寒冷期漫长,四季不分,多年冻土广泛分布^[1]。据五道梁气象站历年资料,该地区历年平均气温为-6.2℃(图2)。

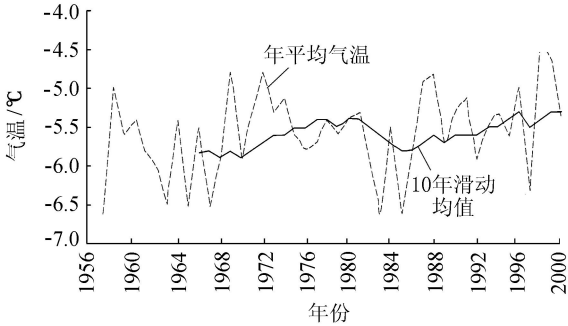


图2 五道梁气象站年平均气温与10年滑动均值过程线

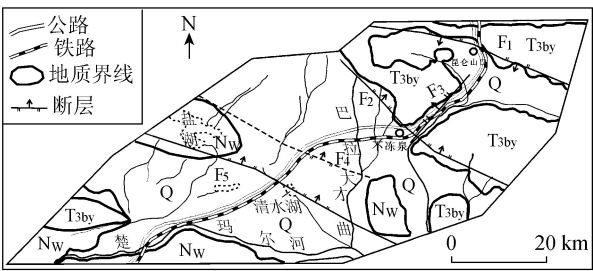
该区属高山寒漠干旱气候区,一般10月份至翌年4月份为干季,5—9月份为湿季,历年平均降水量约为270 mm,其中86%以上的降水集中在6—9月,年蒸发量约为1600 mm。该区平均风速4.0 m/s,主导风向以西北风、西风为主。

2 区域地质条件

研究区属巴颜喀拉—羌塘地层区,主要出露的地层有三叠纪、新近纪、第四纪地层,其他地层出露零星。受区域构造活动的影响,区内的主要断层以北西走向为主(图3)。

2.1 区域地层

本区三叠纪地层为巴颜喀拉山群,主要分布于



注:T3by:巴颜喀拉山群地层;Nw:五道梁组地层;Q:第四纪地层。

图3 不冻泉地区地层与主要断层示意图

研究区的北部昆仑山区和西南部山区,出露岩性为深灰色板岩、砂质板岩与灰色板岩互层夹粉砂岩、粉砂岩夹灰色板岩。

本区新近纪地层为五道梁组,主要分布于研究区的中部与南部山区,出露岩性为浅灰绿色泥灰岩夹石膏及盐岩等。

本区第四纪地层从下更新统到全新统都有出露,均为陆相沉积,在区内广泛分布,主要种类有冰碛、冲积、冲洪积、洪积、风积等成因类型。

2.2 主要构造断裂

区内主要断层有5条,其中北西向断层4条,北东向断层1条(图3)。

F₁断层西起巴拉大才曲北侧,经昆仑山口至阿青岗欠日旧南,横穿青藏公路和青藏铁路,区内东西向线性展布,倾向北,倾角60°~75°,为一逆冲断层,后期表现为左行走滑和正断层性质。F₂断层西起不冻泉西侧,NWW向展布于拉日日旧山南侧,旁侧岩层产状紊乱,两侧岩层产状相反,断面北倾,倾角不详,为阻水构造。F₃断层沿不冻泉峡谷展布,为NE向张扭性正断层,断层西倾,倾角不详,为导水构造。F₂与F₃相交于不冻泉,是不冻泉形成的地质构造条件^[2]。F₄为推测逆断层,F₅为隐伏正断层。F₄、F₅均向北倾,这两个断层是清水湖周边形成双层含水层结构的地质构造条件。

3 地下水类型划分

有较多的学者对多年冻土区的地下水分类进行了研究,但尚无统一的认识,多数沿用H. N. 托尔斯齐欣分类,即按照地下水埋藏条件把多年冻土区地下水分为冻结层上水、冻结层间水和冻结层下水3种类型^[3]。

1982年地质矿产部出版的《区域水文地质普查规范补充规定》指出在冻结层广泛分布的地区应把冻结层水作为一个单独类型,并按照地下水含水层岩性把冻结层水分为松散岩类冻结层水和基岩类冻结层水2个亚类。

1984年郭鹏飞^[3]按照地下水埋藏条件与贮存

条件把多年冻土区地下水划分成 3 大类、13 种类型。1994 年王绍令等^[4]按照地下水埋藏条件与多年冻土层之间的空间分布关系把多年冻土区地下水划分成 5 大类、8 种类型。

本次研究在充分利用前人成果基础上,按照水文地质调查的需要,根据不冻泉地区地下水的含水介质与埋藏条件对地下水类型进行划分,见表 1。融区是指在活动层下,处于冻土层之中具有正温、含水和不含水的,或具有负温液态水的地质体。融区是多年冻土区特有的一种地质现象,不能离开多年冻土区而独立存在,故本研究把融区内赋存的融区水作为多年冻土区地下水的一种类型。

表 1 不冻泉地区地下水类型划分

水文地质区	地下水类型		分布与埋藏特征
多年冻土区	基岩类冻结层水	基岩类冻结层上水	埋藏于多年冻岩之上基岩类季节融化层中,受冻土上限控制
		基岩类冻结层下水	埋藏于多年冻岩下基岩裂隙中
	松散岩类冻结层水	松散岩类冻结层上水	埋藏在多年冻土层之上松散岩类季节融化层中,受冻土上限控制
		松散岩类冻结层下水	埋藏在多年冻土层下松散岩类含水层中
	融区	河、湖融区水	埋藏于河、湖周围及其底部,受河湖大小及地层影响
		构造融区水	埋藏于构造断裂带内,受断裂深度及断裂性质的影响

4 地下水赋存条件与分布特征

4.1 基岩类冻结层水

不冻泉地区的北部、中部及西南地区均有基岩分布。区内基岩受气候环境与构造活动的影响,节理、裂隙发育,表层覆盖的寒冻风化岩屑坡与风化壳为基岩类冻结层水的运移和赋存提供了丰富的空间。区内的多年冻土层将基岩类冻结层水划分为基岩类冻结层上水与基岩类冻结下水,见图 4。

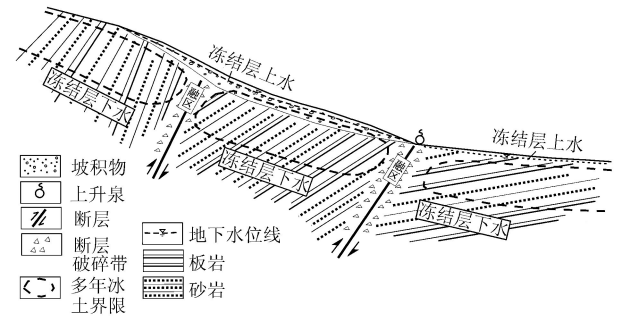


图 4 山区基岩类冻结层水分布特征示意图

4.1.1 基岩类冻结层上水

基岩类冻结层上水赋存于基岩季节性融化层内,在基岩分布区广泛分布,厚度随季节变化,一般不超过 3 m。

在不冻泉地区东北、西南部海拔 5 000 m 以上的极高山区,构造活动与寒冬风化作用强烈,节理裂隙发育,寒冻风化岩屑坡广布,大气降水丰富,常年性冰川融化补给稳定,故该区的基岩类冻结层上水富水性较好,地下水径流模数大于 6 L/(s · km²)。在海拔 5 000 m 以下的中低高山区与高海拔丘陵区,由于寒冻风化程度较弱,大气降水较少,故该区的基岩类冻结层上水富水性较差,地下水径流模数小于 1 L/(s · km²)。

4.1.2 基岩类冻结层下水

基岩类冻结层下水赋存于山区多年冻结层之下的裂隙和融隙内,沿裂隙或融隙呈脉状或条带状展布,具有承压性。本区基岩裂隙冻结层下水主要赋存于北部山区与西南部山区的基岩裂隙和融隙内。

北部山区砂板岩基岩的风化带多处在多年冻结层以内,一定深度下的构造裂隙不发育,属于地下水的补给区,大气降水、冰雪融水及冻结层上水通过融区渗入到一定深度,补给量很小,故本区基岩裂隙冻结层下水水量一般比较贫乏。据野外调查,唯独在压性、压扭性断裂上盘和张性断裂带内富水性较好^[5]。

西南部山区泥灰岩的融隙和裂隙为基岩类冻结层下水提供了赋存空间。由于西南部山区海拔相对较低,地势起伏,大气降水较少,地下水以径流排泄为主,地下水径流过程短,速度快,故该区融隙相对发育较少,冻结层下水富水性一般,水质较差。

4.2 松散岩类冻结层水

不冻泉地区的山间沟谷和山前倾斜平原堆积了较厚的第四纪地层,为松散岩类冻结层水的赋存和运移提供了丰富的空间。区内的多年冻土层将松散岩类冻结层水划分为松散岩类冻结层上水与松散岩类冻结层下水。

4.2.1 松散岩类冻结层上水

松散岩类冻结层上水赋存于第四系季节性融化层内,在不冻泉地区山间沟谷和山前倾斜平原广泛分布,厚度随季节而变化,但一般不超过 3 m。由于区内多年冻土层的影响,松散岩类冻结层上水的厚度薄,受微地貌控制,径流过程短,多形成面状不连续的含水体,富水性差,单井涌水量小于 100 m³/d。松散岩类冻结层上水主要接受大气降水、冰雪融水的补给,与地表水相互转化后汇入河流湖泊,部分通过融区直接补给松散岩类冻结层下水以及被蒸发排泄。由于含水层薄,分布范围广,该类地下水蒸发浓缩作用强烈,是导致不冻泉地区荒漠化与土壤盐渍化的主要因素之一。

4.2.2 松散岩类冻结层下水

松散岩类冻结层下水赋存于第四系多年冻结层

之下的松散孔隙内。该类地下水主要通过构造融区、河湖融区获得地表水和层上水的补给,径流缓慢,交替滞缓,一般具承压性,地下水位埋深较小,富水性差异较大。

本区从清水湖盆地至楚玛尔河有厚度较大的更新世湖相沉积的泥岩夹泥灰岩、粉砂岩地层分布。清水河沿线泥灰岩分布区相对海拔较低,是平原区地下水的主要汇集区,地下水溶蚀作用强烈,融隙发育,为松散岩类冻结层下水的赋存提供了空间。受沿清水河流向展布隐伏正断层 F_5 的控制,清水河以北地区的松散岩类冻结层下水沿断层上涌,是清水河形成的主要因素。

据资料,清水河以北 6 号钻孔处,冻结层下限 14.7 m,含水层厚度 23.2 ~ 59.7 m,静水位 +0.53 m,单井涌水量 1331 m³/d,矿化度 1.89 g/L;清水河以南 8 号钻孔处,冻结层下限 35.5 m,静水位 -15.6 m,单井涌水量 259.2 m³/d,矿化度 17.8 g/L^[6],见图 5。

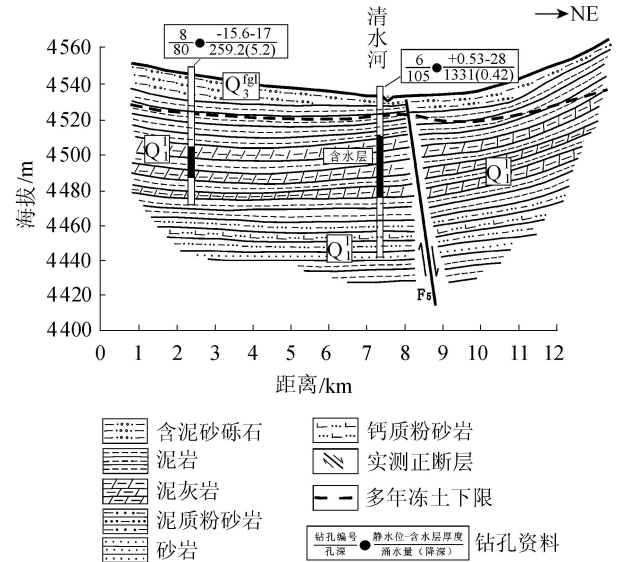


图 5 清水河平原区水文地质剖面

由此可见,松散岩类冻结层下水在清水河北区富水性较强,地下水径流条件相对较高,水质较差;清水河以南地区松散岩类冻结层下水富水性中等,地下水径流缓慢,水质极差。

4.3 融区水

在多种自然因素共同作用下,不冻泉地区多年冻土层内形成了众多融区。融区镶嵌于多年冻土层中,破坏了冻土的连续性和冻土厚度的均匀性。根据融区的分布特征,可以把融区水划分为河湖融区水和构造融区水。根据融区与多年冻土层的空间关系,进一步分为贯穿型融区与非贯穿型融区。其中贯穿型融区使冻结层上水与冻结层下水在局部产生了水力联系,是多年冻土区地下水补给、径流和排泄的通道。本研究主要对象为河湖融区和构造融区中

的贯穿型融区。

4.3.1 河湖融区水

河湖融区水赋存于河流、湖泊等地表水体形成的融区孔隙内。不冻泉地区河流、湖泊众多,本研究选择区内的楚玛尔河与清水湖进行研究。

清水湖地区地势平缓,周边为砂砾地,植被覆盖度约为 30%,湖面呈近圆形,宽度在 2 km 以上。一般情况下,当湖泊水面的宽度大于当地冻土厚度的 2 倍时,湖下面为贯穿融区;而当湖泊水面的宽度小于冻土厚度时,湖下面为不贯穿融区^[7],故推测清水湖底部存在贯穿型融区。据资料,清水湖入湖口的 7 号钻孔探明的冻土层厚度为 1.5 ~ 16.8 m^[5]。本次研究在清水湖岸边 40 m 内打了 4 口浅井对多年冻土上限进行调查(图 6),均探查到多年冻土上限,深度在 1.27 ~ 1.45 m 之间。故推断清水湖多年冻土上限的深度随着水体厚度的增加而增大,贯穿型融区应位于湖中心区域。

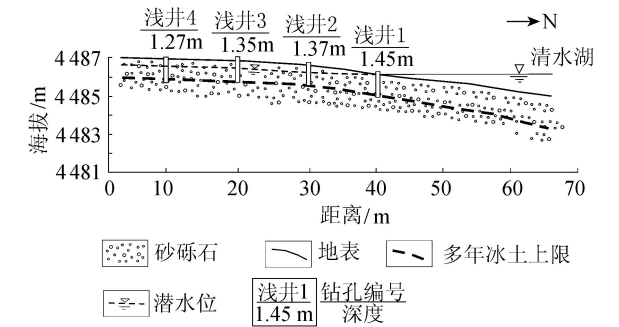


图 6 2009 年 8 月中旬清水湖岸边浅井剖面

区内楚玛尔河下游地区发育有河流融区。因河水量大,河床及河漫滩沉积物颗粒粗,透水性好,地表水与地下水交替积极,地下水主要接受楚玛尔河水及冻结层水补给,受河水热传导作用影响,沿河流存在宽度不等的条带状贯通融区。据楚玛尔河河谷 ZK4 号钻孔资料,河流融区宽度 1 ~ 1.5 km,楚玛尔河河谷区含水层岩性为砂砾石,含水层厚度 4.7 m,透水性好,渗透系数 3.4 m/d,地下水位埋深 0.8 m,水量较为丰富,单井计算涌水量 163.1 m³/d,矿化度 1.374 g/L,水质一般,属 Cl · HCO₃-Na · Ca 型水(图 7)。

4.3.2 构造融区水

构造融区水赋存于由于构造活动形成的断裂带内的裂隙和孔隙内。本区构造融区水的分布与区内的构造活动形成的断层分布密切相关。由于多数构造融区隐伏于地表以下一定深度,地面调查难以发现,故通过研究冻结层下水沿构造裂隙融区上涌形成稳定上升泉的发育条件来推断构造融区的分布特征。

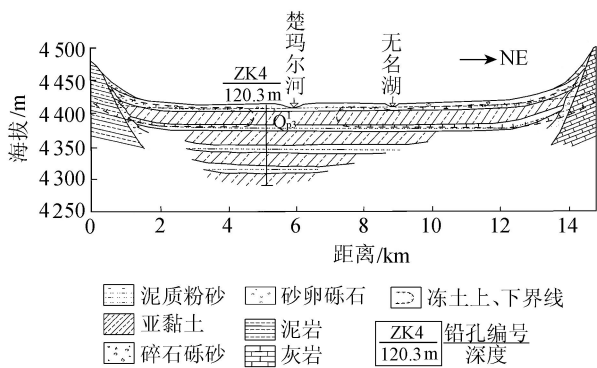


图7 楚玛尔河下游河谷水文地质剖面

野外调查发现,仅在区内 F_5 断层的清水河源头、 F_2 和 F_3 断层交汇的不冻泉地区有上升泉群分布,沿这几条断层的展布方向没有发现类似的上升泉泄出带。由于这两处上升泉群的流量、水温常年较为稳定,故推断该两处泉群的主要补给源为具有承压性的冻结层下水含水层。由于上升泉分布的局限性,与补给源的承压性,故可推测构造融区并非沿构造活动断层带大范围展布,而是仅发育于构造活动断层的局部地段。

一般情况下,构造融区的地下水富水性较强,且水质较好,具有一定的供水意义。

5 结 论

a. 基岩类冻结层水分为基岩类冻结层上水和基岩类冻结层下水。基岩类冻结层上水广泛分布于不冻泉地区的山区内,含水层厚度一般不超过 3 m,除海拔 5 000 m 以上极高山区外,其他地区富水性差。基岩类冻结层下水分布于不冻泉地区山区的局部地区,富水性一般较差,仅在压扭性断层、张性断裂带内富水性较好。

b. 松散岩类孔隙水分为松散岩类冻结层上水和松散岩类冻结层下水。松散岩类冻结层上水广泛分布于不冻泉地区的平原区和沟谷内,含水层厚度一般不超过 3 m,富水性较差。松散岩类冻结层下水分布于清水湖周边地区,清水河以北地区富水性较强,清水河以南地区富水性中等。

c. 融区是冻结层上水与冻结层下水联系的通道,地下水富水性一般较强。根据融区成因,将融区分为河湖融区和构造融区。河湖融区主要分布于不冻泉地区较大湖泊中心区域与楚玛尔河下游。湖泊融区呈面状展布,河流融区呈条带状展布。构造融区主要分布于构造带上的局部地段,多呈点状分布。不冻泉地区内,查明的构造融区为 F_5 断层的清水河源头,位于 F_2 和 F_3 断层交汇处。

d. 构造融区富水性较强,融区水不受季节性因素影响,流量稳定,且水质较好,具有较好的供水意

义,是不冻泉地区地下水开发利用的主要目标地下水类型。

参考文献:

[1] 沈大军,陈传友. 青藏高原水资源及其开发利用[J]. 自然资源学报,1996,11(1):8-14. (SHEN Dajun, CHEN Chuanyou. Water resources of the Qinghai-Xizang Plateau and its exploitation[J]. Journal of Natural Resource,1996,11(1):8-14. (in Chinese))

[2] 张森琦,杨站君,石维栋,等. 黄河源区的生态环境地质[M]. 北京:地质出版社,2011.

[3] 郭鹏飞. 论祁连山多年冻土区地下水分类[J]. 冰川冻土,1984,6(1):79-84. (GUO Pengfei. On the classification of ground water in the permafrost area in Qilian Shan[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,1984,6(1):78-84. (in Chinese))

[4] 王绍令,边纯玉,王建. 青藏高原多年冻土区水文地质特征[J]. 青海地质,1994(1):40-47. (WANG Shaoling, BIAN Chunyu, WANG Jian. Hydrogeological characteristics of permafrost area of Qing-zhang Plateau [J]. Geology of Qinghai,1994(1):40-47. (in Chinese))

[5] 辛元红,李永国,刘春娥,等. 长江源区生态环境地质调查报告[R]. 西宁:青海省地质调查院,2008.

[6] 尚建义,孙存煜,何明义,等. 青藏线(格尔木—安多)水文地质工程地质调查研究报告[R]. 西宁:青海省地质局第一水文地质队,1977.

[7] 周幼吾,程国栋. 中国冻土[M]. 北京:科学出版社,2000.

(收稿日期:2012-10-16 编辑:彭桃英)

• 简讯 •

李国英调研河北省农村水利工作

2013年4月22—26日,水利部副部长李国英赴河北省保定、沧州、衡水、邢台、邯郸、石家庄6地市,调研农田灌溉水源与灌溉方式、灌区续建配套与节水改造、农村饮水安全工程建设与运行以及农村基层水利服务体系建设等情况,与基层水利部门工作人员、乡镇水利工作人员、水利专业技术人员及当地农民群众进行了广泛交流,详细了解基层水利部门和农民群众在农田灌溉和安全饮水方面遇到的实际困难和问题,认真听取他们的意见和建议。

调研期间,李国英同河北省政府、省水利厅有关负责同志座谈并交换意见,提出以下工作建议。

一是将水生态建设特别是对地下水超采的遏制与修复列入河北水利发展的总体目标;二是基于多水源的优化配置和科学调度,深入研究地下水超采区农田灌溉水源的替代方案,既要使灌区粮食稳产、增产,又要实现水资源的可持续利用;三是通过政策、资金支持和建立管理制度等途径,积极推广使用高效节水灌溉方式,提高灌溉水的利用率和水分生产率;四是为适应和促进农业规模化、集约化、现代化发展要求,大力推进和加快基层水利服务体系建设。

(网址: http://www.chinawater.com.cn/newscenter/kx/201304/t20130430_279354.html)