



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.03.003

戴长雷, 冯慧厅, 于成刚, 等. 加格达奇东小河地下水溢流积冰影响因素[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(3): 12-16. DAI Chang lei, FENG Hui ting, YU Cheng gang, et al. Investigation and analysis of influencing factors about underground water overflow icing of East River in Jiagedaqi[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(3): 12-16. (in Chinese)

# 加格达奇东小河地下水溢流积冰影响因素

戴长雷<sup>1,2,3</sup>, 冯慧厅<sup>1</sup>, 于成刚<sup>4</sup>, 刘月<sup>1,2</sup>, 李晨宇<sup>1</sup>

- (1. 黑龙江大学 水利电力学院, 哈尔滨 150080; 2. 黑龙江大学 寒区地下水研究所, 哈尔滨 150080;  
3. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 冻土工程国家重点实验室, 兰州 730000;  
4. 黑龙江省大兴安岭水文局, 黑龙江 加格达奇 165000)

**摘要:** 黑龙江省大兴安岭地区的加格达奇区属于典型的高纬度寒区, 是我国地下水溢流积冰问题最严重的地区之一。东小河位于加格达奇市区东部, 是区域溢流积冰现象的代表性区域。采用实地踏勘和水文地质物探等方法, 分析了该地区溢流积冰现象形成三个阶段及其特征, 特别是气象因素、流域下垫面因素、冻土层因素的影响, 指出加格达奇区流域下垫面因素中的浅薄含水层和冻土层因素是该地区独特的溢流积冰现象形成的关键因素。

**关键词:** 地下水溢流积冰; 形成规律; 浅薄含水层; 冻土; 影响; 大兴安岭

**中图分类号:** P641.1    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1672-1683(2016)03-0012-05

## Investigation and analysis of influencing factors about underground water overflow icing of East River in Jiagedaqi

DAI Chang lei<sup>1,2,3</sup>, FENG Hui ting<sup>1</sup>, YU Cheng gang<sup>4</sup>, LIU Yue<sup>1,2</sup>, LI Chen yu<sup>1</sup>

- (1. School of Hydraulic & Electric power, Heilongjiang University, Harbin 150080, China;  
2. Institute of Groundwater in Cold Region, Heilongjiang University, Harbin 150080, China;  
3. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CA S, Lanzhou 730000;  
4. The Greater Khingan Mountains Hydrographic Office, Jiagedaqi 165000, China)

**Abstract:** Jiagedaqi District of Greater Khingan Range area in Heilongjiang Province, located in the northeastern part of China, belongs to the typical high altitude cold regions, and is one of the most serious groundwater overflow icing problem areas in China. Located in the east area of Jiagedaqi, East River is a representative area of the regional overflow icing phenomenon. With the methods of field reconnaissance survey and hydrogeological exploration, this article not only analyzed the three formation stages and characteristics of the overflow icing phenomenon in the region, especially the meteorology, watershed underlying surface and frozen layer on the influence of the phenomenon, but also pointed out that the shallow aquifer in the watershed underlying surface factor and frozen layer of Jiagedaqi District were key influencing factors to form the unique overflow icing phenomenon in the region.

**Key words:** underground water overflow icing; formation rules; shallow aquifer; frozen layer; influences; Greater Khingan Range

收稿日期: 2015-11-01    修回日期: 2016-04-18    网络出版时间: 2016-05-05

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160505.1117.010.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(41202171); 冻土工程国家重点实验室开放基金(SKLFSE201310); 黑龙江省水文局项目(2013230101001188)

Fund: National Natural Science Foundation of China(41202171); Permafrost Engineering State Key Laboratory Open Fund Project(SKLFSE201310); Hydrology Bureau Project in Heilongjiang Province(2013230101001188)

作者简介: 戴长雷(1978-), 男, 山东郓城人, 副教授, 博士, 主要从事寒区地下水及国际河流方面研究。E-mail: daichanglei@126.com

## 1 问题的提出

我国东北地区属于高纬度低温寒区,大小兴安岭山前地带第四系孔隙含水层埋藏浅、厚度小,冬季严寒而漫长,其中黑龙江省大兴安岭地区的首府加格达奇区是国内地下水溢流积冰问题最严重的地区之一。加格达奇的沼泽地、水湿地比较发育,遍布于低洼、缓坡地带<sup>[1]</sup>。其地下水埋深多为 0.65~1.80 m,地下水年变化幅度为 1.00~2.00 m,地下含水层浅薄,一般为 5~7 m,最厚 14 m。赵秀娟<sup>[2]</sup>、蔡文国<sup>[3]</sup>等对加格达奇区地下水溢流积冰现象进行过初步研究,维克多·瓦西里耶维奇·舍佩廖夫(V V Shepelev)<sup>[4]</sup>等对冻土区的地下水基础及寒区冻结层上水的形成规律进行了详细的探讨,杜绍敏<sup>[5]</sup>等对加格达奇典型积冰段两岸裂隙进行了物探,刘月<sup>[6]</sup>对东小河地下水溢流积冰的规律进行了勘测和分析。本文结合已有研究成果,在实地调研的基础上,对加格达奇东小河地下水溢流积冰的影响因素进行分析,重点对其中的气象因素、流域下垫面因素以及冻土层因素进行了探讨,以期丰富这一寒区典型水文地质现象的相关研究。

## 2 加格达奇东小河地下水溢流积冰规律调查

加格达奇地区主要依北部山脉而建,向南部扩展直至甘河南岸。贯穿城区的东小河主要靠北部山脉山上和山前汇水而成。东小河位于加格达奇城区东侧,河长 9 km,枯水期河最宽为 5 m,流域面积约 10 km<sup>2</sup>。东小河源头为加格达奇北区(地理坐标为 N50°26', E124°11')三面环山的一个低洼地带,地下渗水汇集形成了沼泽。东小河河道属于典型的山区型河流,夏季水量最大,主要来自降雨补给;冬季则主要接受汇水区内地下水的渗流补给。

对东小河典型河段沿岸开展水文地质物探,得出东小河左右岸由碎石夹黏砂土、碎石、砾石等组成,两岸都存在规模、走向不一的破碎带,有形成连通地下水层与天然河道的导水途径,可以使地下水补给河水发生溢流现象。同时结合春季枯水期实地踏勘,发现东小河的积冰体主要集中在河流的底部,厚度在 0.45~1.60 m,河道积冰量比较多,且溢流积冰处并没有明显的地表水注水口,说明确实有地下水溢流形成的集中汇流点。

加格达奇的东小河溢流积冰是在特定气象条件、地形地势和水力作用下产生的冰情现象,其溢流积冰的演变经历着一个复杂的过程,在此将该过程大致分为地表水结冰、地下水溢流和溢流出的地下

水结冰三个阶段。由于在严寒的气候条件下,冻结与溢流相伴而生,因此这三个阶段没有严格的先后次序。

第一阶段:加格达奇地区每年 9 月份开始进入冬季,在 11 月份东小河的河道结冰厚度达到最大。

第二阶段:在地面一定距离以下,由于上方土壤的保温作用,地下水仍以水流的形式存在。加格达奇区的多年冻土层在含水层下部形成隔水底板,随着外界温度继续降低,季节性冻层中的地下水结冰体向下自然延伸形成承压顶板。当山区地下水沿着浅薄的含水层向下泄流的过程中遇到厚达 3.5 米的弱透水冻土层时,由于山体与河床形成的地下水水头差较大,当地形切割达到含水层隔水底板时,地下水被迫从两层接触处出露成溢流泉,在冬季冰封的冰盖下面突出,迫使冰面破裂鼓起,溢流便在连底冻的河床上发生。

第三阶段:溢流出的地下水在外界环境低温的作用下会再次冻结成冰。

东小河地下水溢流积冰示意图见图 1,形成的溢流积冰体见图 2。

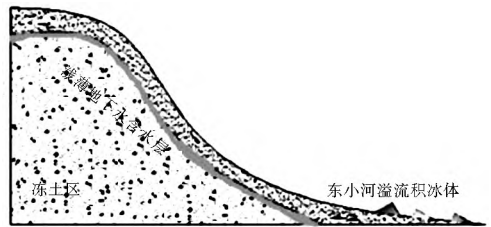


图 1 加格达奇东小河地下水溢流积冰示意图

Fig. 1 Groundwater overflow icing process of East River in Jiagedaqi



图 2 加格达奇东小河地下水溢流积冰体

Fig. 2 Groundwater overflow icing objects of East River in Jiagedaqi

## 3 气象因素的影响分析

加格达奇地处黑龙江省西北部,大兴安岭山脉的东南坡,冬长夏短,四季分明,且冬季气候寒冷。无霜期为 85~130 d,冬季从 9 月到次年 5 月结束。气象因素主要包括气压、气温、湿度、风速、降水和日照,根据实地调研发现冬季的室外温度、风速、阳光辐射、大气降雨的覆盖厚度以及冬季冻结的无雪期均符合溢流积冰体形成的条件,其中对溢流积冰影

响最大的是气温和降水两个因素,气温主要影响溢流积冰体形成的起止时间,而降水则主要影响溢流积冰体的强度及规模。

### 3.1 气温的影响

加格达奇为高纬度高寒地区,其多年平均气温为 $-0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,6月份出现最高气温,月平均气温为 $15.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,1月份出现最低气温,月平均气温为 $-23.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[3,7]</sup>。近40年来,加格达奇区年平均气温呈现出明显的上升趋势<sup>[8]</sup>,而且夏季年最高气温低于年最高地温,冬季由于地面覆盖积雪的隔热保温作用,年最低气温也低于年最低地温<sup>[9]</sup>。每年冬季,大气温度低于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且持续时间长,随着气温的降低,溢流出的地下水会迅速结冰,冰层的厚度逐渐增加。当春季气温回升以后,冰体将完全融化形成径流。因此,温度是影响积冰体的形成及其生成量大小的重要因素<sup>[10]</sup>。

### 3.2 降水的影响

加格达奇区多年平均年降水量 $498.6\text{ mm}$ ,降水量年内分配非常不均匀,3月-5月的降水量仅占年降水量的 $12.9\%$ ,易出现春旱。降水主要集中在汛期6月-9月,占年降水量的 $80.7\%$ 。最大月降水量发生在7月,占年降水量的 $30.2\%$ 。11月至次年3月降水量仅占年降水量的 $5.1\%$ <sup>[3,7]</sup>。加格达奇降水量年际变化很大,近40年来年降水同气温的逐年段上升趋势不同,降水量有明显的丰枯交替性,阶段性变化呈现出增多(1971年-2000年)、减少(2000年-2010年)交替出现的特点<sup>[8]</sup>。加格达奇区内东小河水量主要取决于北山前山上汇水和夏秋两季降水。

为了探究夏秋两季降水量对溢流积冰体的强度及规模的影响,结合2013年-2014年的实地调研情况如下。

加格达奇东小河桥头段左、右两岸有护坡,河道呈等腰梯形见图3。图中河道下方用虚线表示河底,上方实线表示冰面, $h$ 为冰厚。已知东小河全长 $L=9\text{ }000\text{ m}$ ;  $L_{\text{底}}=5\text{ m}$ ;  $H_{\text{高}}=2\text{ m}$ ; 边坡系数 $m=1$ 。

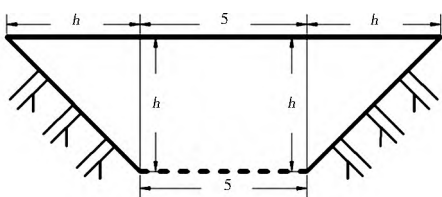


图3 东小河梯形河道

Fig. 3 Trapezoid channel of East River

(1)2013年4月15号至28日期间选取8天的冰厚实测数据见下表1,东小河冬季积冰量计算选

取的河段为东小河桥头段 $L_{\text{河}}=200\text{ m}$ 的数据。

表1 2013年4月冰厚数据

Tab. 1 The ice thickness data in April, 2013

日期	4/15	4/16	4/17	4/18	4/19	4/22	4/23	4/24
冰厚/cm	126	130	137	147	142	147	135	123

对以上数据计算取平均值值得 $135.87\text{ cm}$ ,由此估测计算2013年东小河结冰总体积为 $77\text{ }850\text{ m}^3$ 。

(2)2014年3月17日在临近东小河上方大桥的河心处,采用冰钻在同一控制断面钻孔的方法测量,东小河冬季积冰量计算选取河段为东小河桥头段 $L_{\text{河}}=324\text{ m}$ 的数据。得到实测冰厚数据见表2。

表2 2014年3月17日冰厚数据

Tab. 2 The ice thickness data on March 17th, 2014

冰孔点	1	2	3	4	5
冰厚/cm	45	57	112	63	40

对以上数据计算取平均值值得 $63.4\text{ cm}$ ,由此计算估测2014年东小河结冰总体积为 $31\text{ }944\text{ m}^3$ 。

(3)经过实地踏勘并结合当地水文部门的调研数据发现,加格达奇2012年夏秋季节阴雨连绵降雨量充沛,导致全年降雨量高于往年,同时使得地表水较平常年份多,经过一段时间的下渗以后,地下水位也较往年偏高,且溢流积冰体的形成和发育比以往年加快,危害也更加严重。而2013年夏秋季节少雨,地表水少于往年,地下水位也下降,同时冬季降雪也少,总体来说溢流结冰现象不够明显。由于地下水中冻结冰层的水量补给主要依靠大气降水以及地表水提供,因此溢流积冰体的形成及发育与降水量密不可分。直观上说,以东小河同一座桥底部平面为基准,2013年春季冰面距桥底面仅为 $1.42\text{ m}$ ,而2014年春季冰面距桥底面高达 $5.16\text{ m}$ ,即2013年春季比2014年春季加格达奇东小河形成的溢流积冰体体积明显增大,且造成的灾害也更加严重,这与前一年秋季的降雨量有很大关系。

大气降水是加格达奇区地下水的主要补给来源。除了前一年夏秋季降水量的积累以外,冬春季的降水量也是形成溢流积冰体的重要因素。一般情况下,冬季降雪除部分水量蒸发外,其余几乎全部都会储存在河流上表面,雪的隔热保温作用可以直接影响冰的消融并且减弱冰的强度,除此之外,春季回暖时雪融化后会形成融雪径流,在汇入河槽的同时增加水流动力<sup>[11]</sup>。

## 4 流域下垫面因素的影响分析

经过多次的岩浆活动和构造运动,加格达奇区地质结构复杂,其东北部为混合变粒岩和花岗岩的接触

带,由于混合变粒岩很容易被风化成为砂状,相对来说花岗岩比较完整不易风化,可以起到阻水作用,从而使得地下水径流受到阻力形成壅水。当地下水水头明显高于地面时,地下水就从该接触带排出。该接触带裂隙发育,因此成为裂隙水的富集带<sup>[3]</sup>。

#### 4.1 流域地形特征

加格达奇区山势平缓、起伏不大,属低山丘陵地带;地势走向为西北高东南低,平均海拔大约为472 m,从该地区主要流经的河流为甘河。甘河是嫩江支流,发源于大兴安岭山脉东侧山麓,从西向东经加格达奇城区南侧流过。加格达奇市坐落于甘河的阶地上,其中东小河是注入甘河的一个北部支流。

不同的地形特征条件下形成的溢流积冰现象有很大差异。东小河周围形成的溢流积冰体主要分布在背阴面的山坡、山岭以及纵坡变化比较明显的坡脚处;在同一山坡的前提条件下,其下半部比中部出现的积冰多,阴面坡比阳面坡出现的积冰多,而且发育的积冰体的量也较大、时间也较长<sup>[12]</sup>。除此之外,河道的弯曲程度也是影响溢流结冰的因素,河道越弯曲,溢流结冰的现象越明显,积冰体越厚。

#### 4.2 汇水因素的影响

加格达奇区的地下水为第四系孔隙潜水,含水层浅薄且有承压性,其埋藏深度为0.65~1.80 m,年变化幅度为1.00~2.00 m,本区地下水主要补给来源为大气降水入渗及山前侧渗,含水层浅薄,一般5~7 m,最厚14 m。在夏季的时候整个地区的河流水位比地下水的水位高,此时主要是河流补给地下水,而在冬季的时候由于降水的减少,导致最后河流的水位线较地下水的水位线低,此时则是地下水补给河流。加格达奇地处在山区,属于闭合流域,河流在冬天的时候主要是山脊作为分水岭的补给形式。东小河所处的地方,地下水水量充沛,而且基岩裂隙比较发达,可形成良好的导水通道,地下水可以直接溢流排出并因低温而结冰。

### 5 冻土层因素的影响分析

加格达奇处于大兴安岭地区的冻土活动层,属零星岛状多年冻土区,且季节性冻土与多年冻土衔接,其冻结时间大致开始于每年9月份,平均冻土深度接近10 cm,至冬季3月份时冻土深度达到最大值,随后便进入冻土的融化过程,8月份冻土几乎全部融化,其厚度接近0 cm<sup>[13]</sup>。其中,多年冻土以不同大小规模的岛状形式零散的分布于各融土区域中,多年冻土的规模由北向南逐渐减少,具体为由一

百多米逐渐减少至几十米。除此之外,该区域多年冻土的连续率为5%~40%,且岛状冻土多分布在河漫滩、山间阶地和谷地等处<sup>[14]</sup>。

季节性冻土层的厚薄及其是否与多年冻土衔接,是影响溢流积冰体形成速度快慢以及规模大小的重要因素<sup>[15]</sup>。在地下水比较丰富的地段,季节性冻土层越厚,发育形成的溢流积冰体规模就越大。冬季有积雪堆积和冻土存在时,会改变土壤包气带的厚度以及土壤水分的动态运动规律,同时降雨径流的关系也会受到制约。除此之外,冻土层特有的作用,包括不透水、可以蓄水调节以及抑制蒸发等作用,均使其大气降水入渗和所处地区的地下水补给排泄等情况与无冻期明显不同<sup>[16-19]</sup>。

冻土地区的地下水分为三种类型,即冻结层上水(活动层地下水)、冻结层间水和冻结层下水<sup>[2,20]</sup>。能够引起溢流积冰状况的主要为冻结层上水,后两者不予考虑。冻结层上水来源于大气水,主要埋藏于季节融化层里,其中多年冻土的上限即为冻结层上水的隔水底板,冬季封冻的季节性冻层的下限即为冻结层上水的压水顶板。具体来看,加格达奇的地下水所处渗漏区溢流排出的即为冻结层上水,然而由于季节融化层的存在时间和厚度存在着明显的季节和南北地理位置的差异,因此冻结层上水的存在时间和地下水的含水层厚度也随着季节和地理位置的不同而变化。

### 6 结论

加格达奇大部分地区都位于大兴安岭的多年冻土区,其线路大多都自沟谷以及山麓平原穿行而过,且该地区具有较厚的砂层和砾卵石,其颗粒粗而松散,同时地下水含量丰富并且水位埋藏较浅,汇流能力强,当夏秋季节降水较多时,加格达奇的东小河地段在寒冷的冬季就会出现明显的溢流积冰现象。

综合以上各影响因素可以发现,大气降水为补充该地区的地下水提供了物质基础,东小河所处流域的下垫面特征为地下水的流动提供了良好的导水通道,加格达奇区所处的冻土层则为冬季地下水的溢流提供了动力基础。除此之外,冬季长时间的低温不仅加速了地下水隔水顶板的形成,而且使得溢流出东小河冰面的地下水得以再次结冰。其中,浅薄含水层以及冻层因素是形成该地区溢流积冰现象的主要影响因素,而且各种影响因素相辅相成,缺一不可。本文的相关工作丰富了以往林业部门与寒区水文部门以及俄科院冻土研究所关于地下水溢流的实践与探讨,但相关认识仍待进一步补充与完善。

## 参考文献(References):

- [1] 戴长雷, 常龙艳, 孙思淼, 等. 寒区冻土层水理性质研究[J]. 黑龙江大学工程学报, 2013, 4(2): 5-6. (DAI Chang lei, CHANG Long yan, SUN Si miao, et al. Study on the frozen soil water physical properties in cold regions[J]. Journal of Engineering of Heilongjiang University, 2013, 4(2): 5-6. (in Chinese))
- [2] 赵秀娟, 赵润东, 刘月. 加格达奇东小河冬季河道积冰规律调查与分析[A]. 东北寒水探索与世界寒水平台[C]. 哈尔滨地图出版社, 2013. (ZHAO Xiu juan, ZHAO Run dong, LIU Yue. Regularity investigation and analysis of winter river ice in east river of Jiagedaqi [A]. The northeast water exploration and the world water level in cold region [C]. Harbin Map Press, 2013. (in Chinese))
- [3] 蔡文国, 张梅, 魏群. 加格达奇区地下水渗漏灾害原因分析及对策建议[J]. 黑龙江水利科技, 2013, 41(3): 163-165. (CAI Wen guo, ZHANG Mei, WEI Qun. Groundwater seepage disasters cause analysis and countermeasures in Jiagedaqi district [J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2013, 41(3): 163-165. (in Chinese))
- [4] 维克多·瓦西里耶维奇·舍佩廖夫. 寒区冻结层上水[M]. 俄罗斯新西伯利亚的地球科学学术出版社, 2011.
- [5] 杜绍敏, 徐鹏源, 梁丽清. 多年冻土区构造裂隙的电性特征与富水性[A]. 东北寒水探索与世界寒水平台[C]. 哈尔滨地图出版社, 2013. (DU Shao min, XU Peng yuan, LIANG Li qing. Electrical characteristics and water content of tectonic fractures in permafrost regions [A]. The northeast water exploration and the world water level in cold region [C]. Harbin Map Press, 2013. (in Chinese))
- [6] 刘月. 大兴安岭加格达奇东小河寒区地下水溢流积冰规律勘测分析[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2014. (LIU Yue. Survey and analysis of cold region groundwater overflow icing formation rules of East River in Jiagedaqi District of Greater Khingan [D]. Harbin: Heilongjiang University, 2014. (in Chinese))
- [7] 赵秀娟, 张晓梅. 嫩江流域甘河枯水分析[J]. 东北水利水电, 2013, 31(6): 41. (ZHAO Xiu juan, ZHANG Xiao mei. Low flow analysis of Ganhe in Nenjiang river basin [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2013, 31(6): 41. (in Chinese))
- [8] 牛凤权, 许磊, 黄剑. 近 40 年来加格达奇气温和降水时空变化特征[J]. 科技视界, 2014, (26): 360. (NIU Feng quan, XU Lei, HUANG Jian. Spatial and temporal variations of air temperature and precipitation in nearly 40 years in Jiagedaqi [J]. Science & Technology Vision, 2014, (26): 360. (in Chinese))
- [9] 万里鹏, 张友谊, 李洪涛, 等. 加格达奇气温和地温与日照、降水、蒸发关系的分析[J]. 黑龙江气象, 2014, 31(4): 25. (WAN Li peng, ZHANG You yi, LI Hong tao, et al. Relationship analysis between air and ground temperature and sun exposure, precipitation and evaporation in Jiagedaqi [J]. Heilongjiang Meteorology, 2014, 31(4): 25. (in Chinese))
- [10] 冯欣, 高业新, 张亚哲. 华北平原典型区域土壤凝结水观测及其影响因素研究[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(5): 134. (FENG Xin, GAO Ye xin, ZHANG Ya zhe. Observation on soil condensation water and its impact factors in typical region of North China Plain [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(5): 134. (in Chinese))
- [11] 戴长雷, 于成刚, 廖厚初, 等. 冰情监测与预报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010. (DAI Chang lei, YU Cheng gang, LIAO Hou chu, et al. Survey and forecast of river ice [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2010. (in Chinese))
- [12] 赵庆春, 金继华, 金万俊, 等. 冰湖的成因、发育规律及其治理研究[J]. 林业科技通讯, 1995(8): 15-16, 21. (ZHAO Qing chun, JIN Ji hua, JIN Wan jun, et al. Formation, development regularities and governance research of polynya [J]. Forest Science and Technology, 1995(8): 15-16, 21. (in Chinese))
- [13] 高峰, 刘军, 倪长健, 等. 高寒地区冻土活动层变化特征分析[J]. 气象与环境学报, 2014, 30(4): 85, 89. (GAO Feng, LIU Jun, NI Chang jian, et al. Characteristics of frozen soil active layer in alpine region [J]. Journal of Meteorology and Environment, 2014, 30(4): 85, 89. (in Chinese))
- [14] 王立勇. 大兴安岭地区加格达奇区浅层地热能资源调查报告[R]. 哈尔滨: 黑龙江省 904 环境工程勘察设计院, 2011. (WANG Li yong. Shallow geothermal energy resources survey of Jiagedaqi district in the greater hinggan mountains region [R]. Harbin: No. 904 Hydrology and Geology Engineering Investigation Institute of Heilongjiang Province, 2011. (in Chinese))
- [15] 郑启浦. 冰锥冰丘对铁路工程的危害及其防治[J]. 工程勘察, 1986, (6): 13-14. (ZHENG Qi pu. Prevention of railway constructions from damages due to ice cone and ice dome in permafrost areas [J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 1986, (6): 13-14. (in Chinese))
- [16] 廖厚初, 张滨, 肖迪芳. 寒区冻土水文特性及冻土对地下水补给的影响[J]. 黑龙江水专学报, 2008, 35(3): 125-126. (LIAO Hou chu, ZHANG Bin, XIAO Di fang. Hydrological features of permafrost and permafrost effects on groundwater recharge in cold region [J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering, 2008, 35(3): 125-126. (in Chinese))
- [17] 李亚龙, 吴晓蓓, 秦博. 新安江产流模型在科洛河的改进[J]. 东北水利水电, 2012, (12): 37. (LI Ya long, WU Xiao bei, QIN Bo. Improvements of Xin'anjiang model applied in Chloer river [J]. Northeastern Water Resources and Hydropower, 2012, (12): 37. (in Chinese))
- [18] 李龙辉, 肖迪芳, 杨春生. 寒冷地区融雪径流和融冻期降雨径流计算模型初探[J]. 水文, 2011, 31(2): 84. (LI Long hui, XIAO Di fang, YANG Chun sheng. Calculation model of snowmelt runoff and freezing rain runoff in cold region [J]. Hydrology, 2011, 31(2): 84. (in Chinese))
- [19] 李龙辉, 肖迪芳, 杨春生. 寒冷地区融雪径流和融冻期降雨径流计算模型初探[A]. 中国水利学会 2013 学术年会论文集——S3 防汛抗旱减灾 [C]. 2013. (LI Long hui, XIAO Di fang, YANG Chun sheng. Calculation model of snowmelt runoff and freezing rain runoff in cold region [A]. China Water Conservancy Society 2013 Academic Essays Flood Control and Drought Relief [C]. 2013. (in Chinese))
- [20] 阳勇, 陈仁升. 冻土水文研究进展[J]. 地球科学进展, 2011, 26(7): 714. (YANG Yong, CHEN Ren sheng. Research review on hydrology in the permafrost and seasonal frozen regions [J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(7): 714. (in Chinese))