

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2010.01.008

大连市地下储水空间雨洪资源利用模式

刘中培¹ 迟宝明²

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所 河北 石家庄 050061 ; 2. 防灾科技学院 北京 101601)

摘要 :在介绍地下储水空间雨洪资源利用内涵的基础上 ,根据地下储水空间的类型、雨洪资源量及城市化程度把大连市地下储水空间雨洪资源利用模式分为丰水-河谷型、平水-河谷型、贫水-河谷型、丰水-岩溶型、平水-岩溶型、贫水-岩溶型、基岩裂隙型和城区模式共 8 种模式 ,其中丰水-河谷型、平水-河谷型以及丰水-岩溶型是主要的雨洪利用模式。

关键词 地下储水空间 雨洪资源 利用模式 城市化

中图分类号 :TV213.9 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2010)01-0035-05

Utilization patterns of rain-flood resources in Dalian City through groundwater storage space//LIU Zhong-pei¹ , CHI Bao-ming² 1. *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology , CAGS , Shijiazhuang 050061 , China ; 2. Institute of Disaster Prevention Science and Technology , Beijing 101601 , China)*

Abstract :The connotation of rain-flood resources utilization through the groundwater storage space was introduced. According to the types of the groundwater storage space ,the quantity of rain-flood resources and the urbanization degree ,the utilization patterns of rain-flood resources in Dalian City through the groundwater storage space were classified into the following 8 types :rich rain-valley type ,average rain-valley type ,poor rain-valley type ,rich rain-karst type ,average rain-karst type ,poor rain-karst type ,bedrock fracture type and urban type. Among them ,3 types ,the rich rain-valley type ,average rain-valley type and rich rain-karst type ,are the main utilization ones of the rain-flood resources in Dalian City.

Key words :groundwater storage space ;rain-flood resources ;utilization pattern ;urban

由于全球范围内水资源紧缺和暴雨洪水灾害频繁 ,对雨洪资源的研究开始从单纯的洪水防治向洪水资源化转变。在利用地表水库调蓄雨洪资源的过程中 ,暴露出了蒸发损耗过大、使用寿命短、成本高、易引起地质环境灾害等问题。因此 ,部分发达国家正在放弃修建地表水库 ,甚至考虑拆除一些已建水库 ,转而利用地下储水空间进行雨洪资源的调蓄^[1]。瑞典、德国、澳大利亚、日本等国都建立了“引洪回灌”工程 ,实施地下水人工补给。我国地下储水空间雨洪资源利用的研究始于 20 世纪 80 年代 ,发展于 90 年代 ,主要是在缺水地区有一些小型、局部的非标准性应用^[1]。

大连市是素有“东北之窗”之称的经济中心城市 ,人均水资源占有量仅相当于全国人均水资源量的 1/4 ,水资源的短缺严重限制了该区经济社会的可持续发展^[2]。然而大连市降水充沛 ,多年平均降水量为 724 mm。受自然地理因素影响 ,降水在年内分配上高度集中 ,6 ~ 9 月降水量占全年降水量的

75% ,形成了汛期洪水 and 非汛期枯水的状况 ,每年约 $14.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 雨洪水量未经人类利用而白白流入大海^[3-4]。同时 ,大连市分布有面积广大的河谷冲积层 ,受沉积条件影响 ,含水层一般盖层较薄 ,渗透能力强 ,并且库容较大 ,沿碧流河、英那河等相间分布的 22 个含水层天然库容约为 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[3]。此外 ,大连市还分布着岩溶含水层 ,以及近几年在大连市区、革镇堡、大魏家、南关岭等地区由于过量开采地下水形成的降落漏斗 ,为雨洪资源利用提供了良好的调蓄场所。

由上述分析可知 ,大连市水资源短缺 ,但是雨洪资源量较大 ,并且有充足的雨洪调蓄空间 ,国内外已有研究也为大连市地下储水空间雨洪资源利用提供了借鉴。因此 ,为缓解大连市用水危机 ,地下储水空间雨洪资源利用就成为一种重要的举措。

1 地下储水空间雨洪资源利用的内涵

雨洪资源即汛期降雨中扣除雨期蒸发以及产流

前湿润下垫面损失量以后,可能被拦蓄入渗或集蓄利用的水量^[5]。由于大连市降水集中,因此可用汛期多年平均降水量衡量雨洪资源量。地下储水空间是指外力作用下在地壳内自然形成的地下水可富集区,一般指厚度较大、范围较广的大型层状孔隙含水层、大型岩溶储水空间或大型岩溶断裂带等^[6-7]。按照地下储水空间的赋水介质类型可将地下储水空间分为孔隙介质地下储水空间、裂隙介质地下储水空间和岩溶介质地下储水空间。

地下储水空间雨洪资源利用是指利用地下储水空间存储雨洪资源,增加区域水资源可利用量,并且能够适应环境或能改善环境的雨洪调蓄方式。与地表水利工程相比,利用地下储水空间调蓄雨洪资源,可将雨洪水转入地下进行多年调节,丰蓄枯采,不仅可提高水资源利用程度,还具有蒸发损耗少、不占用土地资源、水质较好、投资小、无移民问题等优点。

2 地下储水空间雨洪资源利用模式分类

雨洪资源量决定了调蓄源的多少,地下储水空间类型和调蓄容积密切相关,决定了调蓄能力。而城区由于受人为影响,原来的下垫面条件、降水入渗特征等已经发生了巨大改变,其利用雨洪资源的方式明显区别于非城区,故本文将地下储水空间类型、雨洪资源量、城市化程度 3 个指标作为地下储水空间雨洪资源利用模式分类的依据。大连市汛期降水在时间上高度集中,在空间上由于地形坡度大,雨洪

汇流时间很短,因此雨洪资源量的分级可根据汛期多年平均降水量等值线将大连市分为丰水区、平水区和贫水区(表 1 图 1)。

表 1 地下储水空间雨洪资源利用模式分类指标

分 类	雨洪资源量/ mm	地下储水 空间类型	城市化 程度
I	> 600(丰水区)	河谷型	城区
II	450 ~ 600(平水区)	岩溶型	非城区
III	< 450(贫水区)	基岩裂隙型	

将 3 个指标不同等级相互交叉即可得不同的利用模式,但基于城市功用性质差异不大,基岩裂隙型地下储水空间储存和调蓄雨洪的作用有限,在此,笔者对城区和基岩裂隙型地下储水空间雨洪资源利用模式不进行细分。因此,地下储水空间雨洪资源利用模式可分为丰水-河谷型、平水-河谷型、贫水-河谷型、丰水-岩溶型、平水-岩溶型、贫水-岩溶型、基岩裂隙型和城区模式共 8 种模式。

3 地下储水空间雨洪资源利用模式特点

各种类型的地下储水空间雨洪资源利用模式在大连市的分布如图 2 所示,其中丰水-岩溶型模式在大连市分布面积小,可忽略,重点论述其余 7 种模式。

3.1 丰水-河谷型模式

丰水-河谷型模式主要分布在庄河市及普兰店市的东部地区。在地窖河、湖里河、英那河、庄河、三岔河、碧流河中游的流域内及河间地块地带,砂砾石

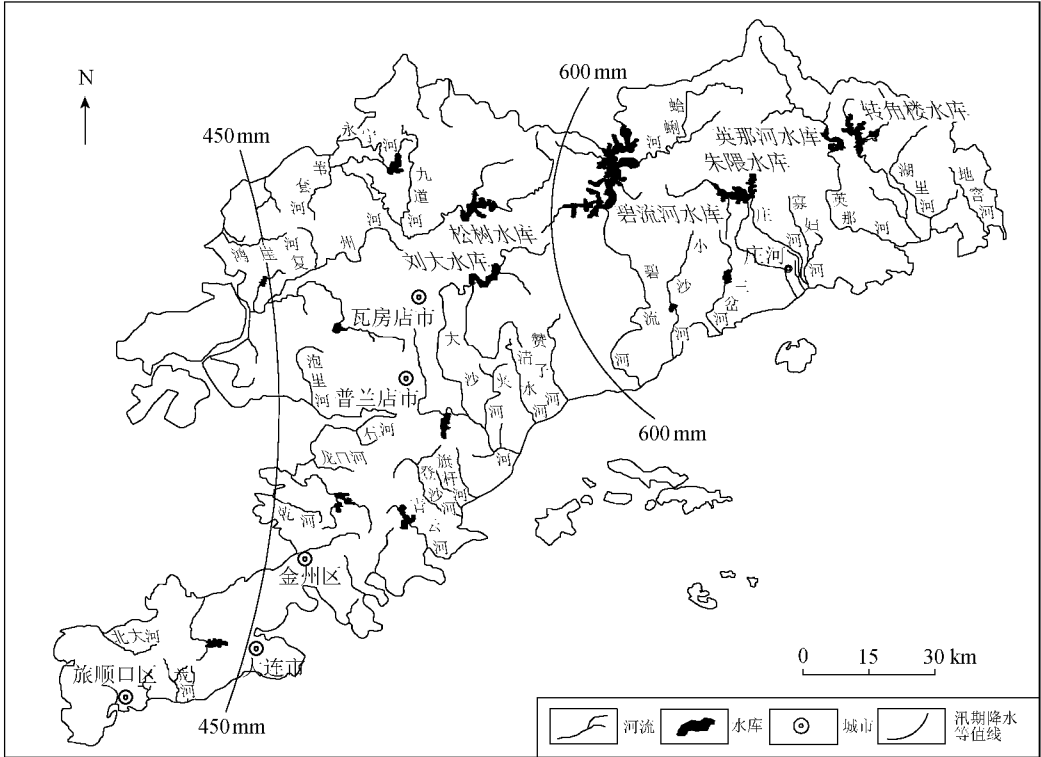


图 1 大连市水系及汛期多年平均降水量等值线

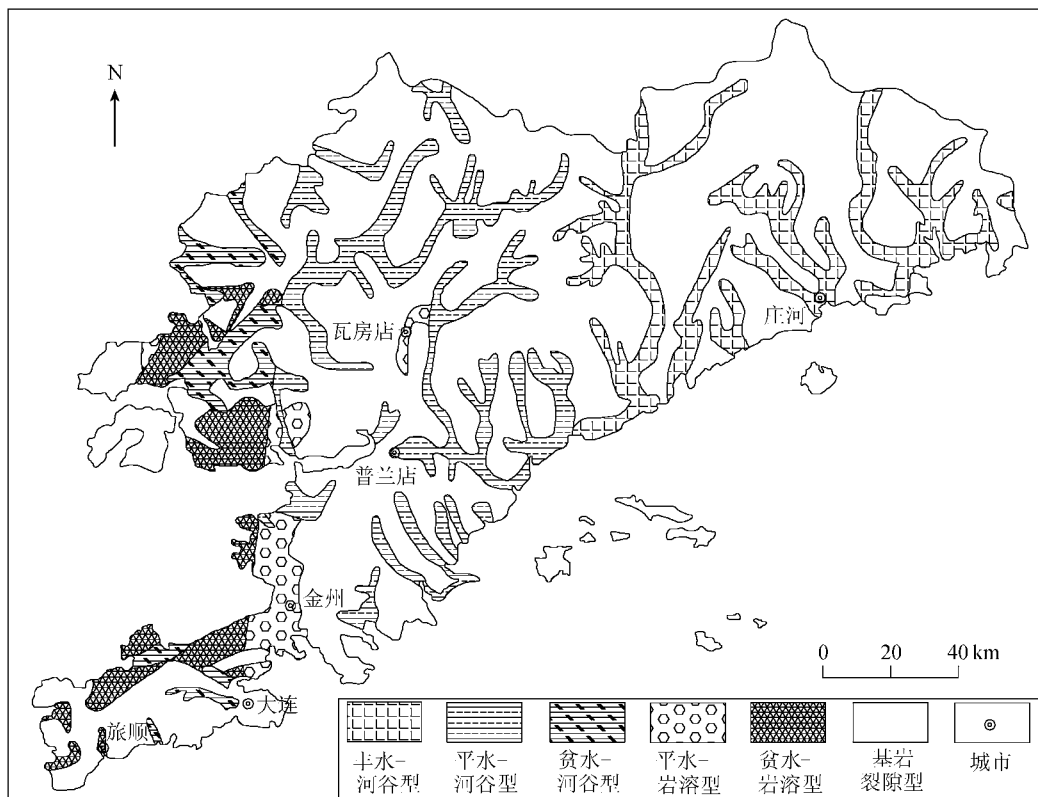


图2 大连市地下储水空间雨洪资源利用模式分区

广布,形成冲积、洪积、冲洪积河谷平原,含水层厚度为2~10 m,单井涌水量在100~1000 m³/d之间。该区雨洪资源丰富,汛期地表径流迅速集中,水位涨落快,形成暴涨暴落的洪峰,雨洪调蓄潜力约为1.4×10⁸ m³。

针对该模式雨洪特点,工作的重点是如何迅速、大量地将雨洪水引进地下储存起来^[8]。因此,地下储水空间雨洪资源利用可采用以下方案:①在不引发洪灾的情况下,在雨洪汇流区内(主要为河道)建设多道地表和地下拦水工程,延长雨洪水的汇流时间,使之充分与地下储水空间发生水交替活动。②该模式区域地下水一般埋藏较浅,故在汛期降水来临前,在透水性良好的山前冲洪积扇和沿河道邻近地区,结合地下水取水工程需要,抽取地下水用于该区消耗或通过调水工程调到其他缺水地区,如金州以南地区,形成一定范围的降落漏斗,以腾出足够的空间储纳雨洪资源,减少雨洪流失量。③间接利用地表水库存储雨洪资源,进行地表水-地下水联合调度^[9]。即在汛期来临前的一段时间内,将部分水库蓄水引渗地下,由于时间充足,引渗强度可控性较大,待汛期来临时,水库即可有足够的空间容纳雨洪水。该方法等效于将部分雨洪资源提前引渗地下,以地表水库作为工具进行地下储水空间蓄水。④可在水文地质条件适宜的地方培植草坪,增加植被覆盖率,当汛期来临时,采用漫灌法对地下储水空

间进行补给。

3.2 平水-河谷型模式

平水-河谷型模式主要分布在普兰店市、瓦房店市、金州区以及大连市东部地区。在赞子河、清水河、大沙河、登沙河、青云河、北大河、旗杆河、夹河、复州河、九道河流域范围内,河谷冲积层受沉积条件的影响,一般含水层盖层较薄,主要为砂性土。该区含水层厚度为2~20 m,单井涌水量在500~1000 m³/d之间,雨洪利用潜力约为0.8×10⁸ m³。

利用该模式可采用以下方案:①田面蓄水入渗。在不引起内涝的情况下,培高田埂蓄雨补源,将河谷平原排水系统按照蓄泄兼顾的原则加以改造^[10]。②沿河床修建阶梯状拦水坝,分段截流。③采用抽水-回灌两用井,利用井群调控雨洪。在汛前,抽取浅层地下水灌溉农田,降低地下水位,以腾出足够的调蓄空间,汛期时这些抽水井可作为地下水的补给通道,实现地下水回灌^[10]。

3.3 贫水-河谷型模式

贫水-河谷型模式主要分布在大连市西部以及旅顺口区,由于该区地表径流不发育,仅在龙河及大西山水库附近有零星分布。该区含水层厚度为2~7 m,单井涌水量在100~1000 m³/d之间,雨洪利用潜力约为0.09×10⁸ m³。

由于该区汛期降水量较少,水位埋深较大,工作的重点是如何将有限的雨洪资源通过低廉简洁的措

施储存起来,因此地下储水空间雨洪资源利用可考虑湖塘、补给坑等小型储水措施。这些储水措施应建在潜水位足够深、底部入渗能力强的地方,以使水连续不断地渗入地下而不至成为死水^[11]。此外,储水设施结构应合理,防治坍塌并尽量减少堵塞。

3.4 平水-岩溶型模式

平水-岩溶型模式分布在瓦房店市西部、金州区的西部和东南部、甘井子区东部地区。地下储水空间由碳酸盐岩组成,在各种地质构造作用下岩层形成大量裂隙,由于水岩的相互作用形成很多溶洞,成为调蓄雨洪资源的基础。单井涌水量大部分在 $1000 \sim 5000 \text{ m}^3/\text{d}$ 之间,但受海水入侵影响,水质较差,并在一定条件下会发生地面塌陷,雨洪利用潜力约为 $0.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

利用该模式可采取以下方案:①在入海口地段使用钻探、物探、现场试验等勘察方法,摸清断裂构造、岩溶裂隙等构成水力通道的分布位置和规律,采取高压注浆形成地下帷幕坝的施工方法,一方面可以切断海水与地下水的水力联系,另一方面可以减少地下水的排泄。②采用水引渗法,即在地表布置拦水工程,增加雨洪水对地下储水空间的补给时间,在雨洪水流入海洋之前,使之充分与地下储水空间进行水力联系。该方法既可增加地下水储存量,又能提高地下水位,起到淡水压咸的作用。③在海水入侵严重的地区可采用回灌井法,利用当地储存的雨洪水或引自其他区域的雨洪水用压力将其注入地下,抬升地下水位,防治海水入侵和咸水倒灌。

3.5 贫水-岩溶型模式

贫水-岩溶型模式分布在大连市区和旅顺口区的北部,地下储水空间由大理岩、泥灰岩、灰岩等组成,单井涌水量多数小于 $1000 \text{ m}^3/\text{d}$,个别地区(如旅顺三涧堡北大河)可达 $1000 \sim 5000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。该类型区地下储水空间容积大、入渗条件良好,但降水量较小,年平均值在 600 mm 以下,并且由于严重超采地下水位低,海水入侵严重,雨洪利用潜力约为 $0.21 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

该区水量较少,布置拦水工程意义不大,可利用方案:①在地形适宜的地方布置补给坑或小型低洼地,提高对雨洪水的拦截率。②利用引渗措施,加快雨洪资源对地下岩溶储水空间的补给。③采用井注法加大补给,在海水入侵严重的地区停止部分或全部开采井的使用,并征用为回灌井,用于雨洪资源的直接或间接注入^[12]。④利用地下帷幕灌浆的工程手段建设地下水坝,此举有着双重作用,一方面拦截淡水地下径流,另一方面堵截海水入侵通道。

3.6 基岩裂隙型模式

基岩裂隙型模式主要分布在庄河市、普兰店市、瓦房店市东部、金州区东部、大连市区和旅顺口区南部。分布范围虽广,但含水介质不均匀,且连通性较差,对雨洪资源的调蓄作用有限,仅在个别裂隙发育较好的地方才有利用价值。

由于该种含水介质在大连市主要分布于山区,而山区是许多河流的发源地或河流的雨水汇聚补给区。因此,可在山区种植林木或培植草类,建设“绿色水库”,蓄水保土,增加山区水源涵养。此外,在裂隙发达的地方,可修建山塘等小型集水工程,拦截汛期坡面雨洪,大搞山区水利富民五小工程^[13]。当储存于裂隙中的雨洪水量较大时,可作为小型供水水源;当水量较小时,可用于旅游景观用水等。

3.7 城区模式

城区一般人口密集,经济发达,是区域经济、科技、文化的中心,因此防洪任务较大。但在目前水资源紧缺的情况下,人们应适时改变防洪理念,争取寓资源利用于灾害防治之中。

该模式可采用以下方案:①修建雨水集蓄设施,增加城市透水面积。在屋顶、房檐等修建雨水收集设施,在公园、广场、运动场等休闲场所及城市道路上采用透水性辅助材料,促进城区完整的雨水收集、控制和入渗体系的形成。②广泛利用城市低洼地^[1]。利用学校的运动场、住宅区楼间空地、地下停车场、公园等作为临时雨水储留设施,或建立专用蓄洪池等。③采用雨污分流的排水系统^[1]。兴建或扩建排水管网、设置专用排洪管道,将雨水引到适当的地点集中入渗补给地下储水空间。④加强宣传教育。鼓励或要求对雨洪水进行的截流、储存、利用或回灌地下,对未采取雨洪收集措施的地区收取雨水排放费等,从体制上加强雨洪水的利用。

在大连市各种类型的地下储水空间雨洪资源利用模式中,丰水-河谷型、平水-河谷型、平水-岩溶型雨洪调蓄模式潜力较大,是主要的开发类型,而贫水-河谷型和基岩裂隙型调蓄模式潜力较小,贫水-岩溶型由于海水入侵严重,重点在引洪回灌,而非利用。城区雨洪潜力也较大,但由于调蓄空间小,因此利用潜力也有限,但修建雨水储蓄设施,为城市消防、植树、洗车、冲厕所或冷却等提供用水是可以满足的。

4 结 论

大连市地下储水空间雨洪资源利用模式可通过地下储水空间类型、雨洪资源量、城市化程度进行构建。合理处理三者之间的关系,并与相应的人工调

蓄方案紧密结合,可以更有效地指导大连市雨洪资源利用,增加区域水资源的可利用量。

河谷型和岩溶型地下储水空间雨洪资源利用模式的主要区别在于,前者在丰水区和平水区重点是通过人工抽取地下水形成降落漏斗,腾出足够的空间储存汛期雨洪,一般不会引起环境地质问题。但岩溶型地下储水空间常伴有海水入侵现象,因此要严格控制地下水位,尽量多存少取,防治地质灾害。

丰水区、平水区、贫水区地下储水空间雨洪资源利用模式的区别主要表现在:丰水区雨洪利用重点在引渗、拦蓄工程,即尽量加长雨洪水和地下储水空间的作用时间。而平水区、贫水区地下储水空间雨洪利用的重点是有效利用储水空间,即尽可能利用人工渗坑或自然低洼地等将水储存起来。

参考文献:

[1] 汤喜春.雨洪资源利用的必要性及其措施探讨[J].湖南水利水电,2005(5):71-73.
[2] 王茂军,张学霞,盖美,等.21世纪大连市水资源供需保障与解决途径研究[J].地域研究与开发,2001,3(20):65-68.
[3] 赵天石,杨绍南.建设地下水库是大连市开发水资源的重要途径[J].水文地质工程地质,2000,27(4):37-39.

(上接第18页)

b. 纵向紊动强度和横向紊动强度的分布规律类似,自水面向下随着水深的增加,紊动强度变化较小,具有近似的线性分布规律;在接近槽底处出现峰值,峰值的产生主要源于附近水体的分流现象,还源于在边墩上、下游近壁处漩涡的产生。试验还表明,由于矩形边墩的存在使紊动强度增大,靠近边墩周围则增幅较大,反之则较小。垂向紊动强度略有变化但不明显。雷诺应力的变化趋势与紊动强度的变化趋势大体相似。

参考文献:

[1] 刘月琴,万艳春.弯道水流紊动强度[J].华南理工大学学报:自然科学版,2003,31(12):89-93.
[2] 高学平,宋慧芳,赵耀南.淹没扩散出流不稳定现象研究[J].水力发电学报,2006,25(4):29-33.
[3] 褚克坚,华祖林,王惠民,等.45°弯段明渠剪切分层流稳定性分析试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(6):640-643.
[4] 王凯,郭维东,那荣越,等.矩形水槽中梯形边墩周围流速分布的试验研究[J].水动力学研究与进展:A辑,2008,23(1):55-60.
[5] 赵升伟,茅泽育,罗昂,等.等宽明渠交汇水流数值计算[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(5):494-499.

[4] 迟宝明,易树平,李治军,等.大连地区水资源人工调控研究[J].吉林大学学报:地球科学版,2005,35(5):632-635,640.
[5] 陈娟,强桂芬.呼和浩特市雨洪资源利用前景[J].内蒙古水利,2004(1):112-113,119.
[6] 赵天石.关于地下水库几个问题的探讨[J].水文地质工程地质,2002,29(5):65-67.
[7] 杜汉学,常国纯,张乔生,等.利用地下水库蓄水的初步认识[J].水科学进展,2002,13(5):618-622.
[8] 赵天石.地下水库——辽宁省21世纪可持续发展战略的重要选择[J].中国地质,2000(2):26-28.
[9] LEE L E, LAWRENCE D L, PRICE M. Analysis of water-level response to rainfall and implications for recharge pathways in the chalk aquifer, SE England[J]. Journal of Hydrology, 2006, 330(3/4):604-620.
[10] 黄大英.开发雨洪资源 缓和北京水资源危机[J].北京水利,2000(3):35-36.
[11] SHAHBAZ M, DAVID D, HONG Lin, et al. An assessment of collective action for pond management in Zhanghe Irrigation System[J]. Agricultural Systems, 2007, 93(1/3):140-156.
[12] 李文合.浅述利用地下储水空间蓄水[J].农田水利与小水电,1993(5):8-10.
[13] 陈凯.深圳市雨洪资源开发利用方式探讨[J].中国农村水利水电,2000(7):25-26.

(收稿日期 2009-04-24 编辑:方宇彤)

[6] 傅春,张念强,曹志先.明渠断面水流流速与边界剪切应力横向分布模型[J].水利水电科技进展,2006,26(4):12-14.
[7] 严军,王二平,孙东坡,等.矩形断面明渠流速分布特性的试验研究[J].武汉大学学报:工学版,2005,38(5):57-62.
[8] 徐惠芬,赵振兴,韩璐.有植被河道的水力特性研究[J].水利水电科技进展,2006,26(6):24-27.
[9] 郭维东,周阳,梁岳,等.丁坝对弯道水流紊动强度影响的试验研究[J].水电能源科学,2005,23(5):70-72.
[10] 邓安军,陈立,林鹏,等.紊动强度沿垂线分布规律的分析[J].泥沙研究,2001(5):33-36.
[11] 卢金友,徐海涛,姚仕明.天然感潮河道水流紊动特性分析[J].海洋工程,2005,23(3):70-77.

(收稿日期 2009-03-26 编辑:方宇彤)

