

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

平原区浅层地下水资源形成类型及 调节模式

王兆馨

孔隙水是我国干旱、半干旱地区工农业供水和城市供水的重要水源。北方地区地下水资源中以第四系松散岩层中的地下水资源所占比重最大,其中又以浅层地下水居多,约达孔隙水资源的80%—90%。从大区域来看,用于大面积农田供水的地下水开采量所占的比重最大,可占总开采量的80%以上。这充分说明浅层地下水在农田供水中的重要作用。因而研究平原地区浅层地下水资源问题是有重要现实意义的。笔者曾先后对地下水资源概念、不同类型地区地下水资源形成和评价方法等问题作了论述^{[1]、[2]},在此基础上,本文进一步从大气水、地表水和地下水互相转化的观点,提出平原区浅层地下水资源形成的主要类型,进而结合各类型特点,总结了水资源调节模式,从水文地质角度对水资源的综合利用进行了初步探讨。

一、平原区浅层地下水资源形成的主要类型

我们所指的浅层地下水,一般指研究区域内第一个较为稳定的弱透水层(埋深一般小于100米,多为60—80米)以上的潜水及与其有密切水力联系的半承压水所组成的含水系统;其水位动态直接受气象水文因素的影响。

当前大量的开采实践表明,由于浅层地下水直接受大气降水和地表水的补给,其资源较深层地下水易于恢复和补充,埋深浅,易于开采。在大气水、地表水、地下水综合利用方面,浅层地下水易于调节和进行人工补给。基于上述情况,研究浅层地下水资源应成为当前研究地下水资源的重点问题。为了更好地研究区域水资源的统一规划问题,剖析浅层地下水资源形成特点,对一个区域或水文地质单元进行地下水均衡分析是很必要的。

我们分析了山前倾斜平原、冲积平原、河谷平原,等几种主要水文地质类型的浅层地下水所处的气象水文、地貌和水文地质等自然条件以及农田灌溉和地下水开采等人为因素。

根据浅层地下水补给的主导因素(当地大气降水补给;山前河水补给)、地下水补给区与排泄区的关系(重合;不重合)及地下水与地表水、大气水的转化关系(地下水 $\rightleftharpoons$ 大气水;地下水 $\rightleftharpoons$ 地表水),概括出平原区浅层地下水资源形成的主要类型:Ⅰ——垂直交替型;Ⅱ——径流转化型;Ⅲ——过渡型。各类型主要特征详见表1。

Ⅰ——垂直交替型

该类型地区地下水主要受当地降水入渗补给,地下水补给区与排泄区基本重合,区内地下径流迟缓,在天然条件下以潜水蒸发形式排泄,该类型地区地下水的运移特征是垂向上大气水—包气带水—地下水之间的水交替作用强烈。

本类型地区地下水水均衡式一般为:

$$W + R + Q_{\text{I}} + Q_{\text{L}} - E - Q_{\text{R}} - Q_{\text{K}} = \mu \Delta h F$$

表 1 平原区浅层地下水资源形成类型及其主要特征一览表

类型名称	气象水文因素	水文地质单元及其特征	水循环特征	水的转化关系	地下水天然资源表现形式	地下水开采资源主要组成部分	水资源调节模式	实 例
I 垂 直 交 替 型	半干旱、半湿润气候,降水集中在夏季,占全年降水量的70—80%。 地表径流较少,陆面蒸发量较大。除大型河流外,多为季节性河流。	冲积平原和冲积湖积平原,潜水和半承压含水组主要由中粗砂、细粉砂、亚砂土等组成。浅层地下水主要接受当地降水补给,其次为河渠水、灌溉水入渗。主要通过潜水蒸发和人工开采排泄。	垂直水交替强烈	大气水—包气带水—地下水	以调节补给量为主	1.所利用的天然资源,如降水入渗补给量或夺取的潜水蒸发量; 2.开采条件下形成的补充资源(降水入渗增量、越流补给增量等); 3.人工补给量; 4.允许动用的地下水贮存量。	垂向调节; 季节和多年调节	黄淮海平原中部
II 径 流 转 化 型	干旱气候,平原降水稀少,蒸发强烈。河流属内陆河。河流受山区降水、地下水和冰川融水补给,注入平原后,大量下渗,向下游流入湖泊或散失于沙漠。	干旱区山前倾斜平原。在山前带发育有巨厚砾卵石潜水含水层,导水性强,水力坡度大。向细土平原岩层颗粒逐渐变细,水力坡度变缓,在洪冲积扇前缘有大量泉水溢出。地下水补给主要靠山前河水的大量渗漏,平原降水的补给作用很小。	水平径流强烈	地表水—地下水上游;河水常年补给地下水; 下游:泉水汇入河流	以径流量为主	1.所利用的天然资源,如河渠渗漏补给量或截取的地下排泄量; 2.开采条件下形成的补充资源(河流诱导补给量等); 3.地下水重复利用量。	上下游调节; 多年调节	河西走廊、天山南麓山前平原
III 过 渡 型	半干旱、半湿润气候,降水集中于夏季。地表径流较发育,陆面蒸发中等。长年河流和汛期洪流发育。	山前冲洪积平原或大型河谷盆地的山前带。在山前主要发育有砂卵石、中粗砂、细砂潜水含水层,在下游逐渐变为中细砂为主的半承压含水层组。降水入渗和侧向补给均占很大比重。地下水以泉水溢出、蒸发等形式排泄。	上游水平径流强烈 下游垂直水交替强烈	地表水—地下水—大气水—包气带水—地下水	径流量和调节补给量	1.所利用的天然资源,如截取的地下径流量和夺取的潜水蒸发量; 2.开采条件下形成的补充资源(河水诱导补给和降水入渗增量等); 3.人工补给量; 4.允许动用的地下水贮存量。	上下游调节; 垂向调节; 季节和多年调节	太行山东麓、燕山及大青山南麓山前平原

地下水多年均衡简化模式可写为:

$$W + R = E + Q_K$$

式中, W ——降水入渗补给量 (米³/年); R ——河水、渠系水和灌溉水入渗补给量 (米³/年); Q_L ——地下径流流入量和流出量 (米³/年); Q_K ——深层水越流补给量 (米³/年); E ——潜水

蒸发量 (米³/年); Q_K ——开采量 (米³/年); μ ——地下水位变动带岩层给水度 (无量纲); Δh ——均衡期 (一年) 内地下水水位变幅 (米); F ——均衡区面积 (米²)。

在该类型地区地下水水均衡研究的重点是降水入渗补给和潜水蒸发问题, 这是评价这类地区地下水资源的关键问题。重点研究的内容主要有: 包气带岩性及分布规律, 不同岩性多年平均和典型年分降水入渗补给量, 潜水蒸发量与地下水水位埋深的关系, 典型岩性包气带水分剖面以及降水入渗系数和岩层给水度等参数的确定问题。

在地下水资源评价工作中, 需要综合考虑土壤、农田水利、植被等有关因素, 从综合治理旱涝碱以及有利于生态平衡等原则出发, 控制合理的地下水水位埋深, 促使无效的潜水蒸发量转化为地下水开采资源。这是本类型地区地下水开发利用中至关重要的问题。

我国半干旱、半湿润地区冲积平原的地下水多属于此类型 (图1)。

II——径流转化型

地下水补给区与排泄区不重合, 本类型地区地下水主要靠山区 (外补给区) 河水在出山口以后大量渗漏补给, 平原区降水稀少、补给微弱, 地下水水平径流强烈, 在天然条件下以泉的溢出和蒸发形式排泄。该类型地区水的运动特征主要是水平方向上径流的互相转化, 在上游地区地表水转化为地下水, 在排泄区地下水以泉水形式排泄于地表, 转化为地表水, 因此, 地表水与地下水构成了本区水资源的不可分割的统一系统。

该类型地区地下水水均衡式一般为

$$R + Q_T + W + K - Q_S - E - Q_H - Q_K = \mu \Delta h F$$

其地下水多年均衡简化模式可写为:

$$R = Q_S + E + Q_K$$

式中, R ——河水、渠系水和灌溉水入渗补给量 (米³/年); Q_T, Q_H ——地下径流流入量和流出量 (米³/年); $W + K$ ——降水和凝结水补给量 (米³/年); Q_S ——泉水溢出量 (米³/年); E ——潜水蒸发量 (米³/年); Q_K ——开采量 (米³/年); μ ——地下水位变动带内岩层给水度 (无量纲); Δh ——均衡期 (一年) 内地下水水位变幅 (米); F ——均衡区面积 (米²)。

对这类地区要重视地下水水均衡和流域总水均衡的研究, 系统收集大气降水、地表径流和蒸发蒸腾量等水均衡要素的资料, 分析河流径流的组成和时空分布规律, 特别应着重研究地下水的主要补给来源——河渠水的入渗问题, 进而研究在流域内地下水与地表水之间的转化量以及水资源的重利用量等问题, 以便为流域内地下水与地表水联合开发, 提供基础资料。

我国西北干旱区山前倾斜平原的地下水多具有上述径流转化型的特征 (图2)。

III——过渡型

兼有垂直交替型和径流转化型两种基本类型的主要特征。半干旱、半湿润气候区山前冲洪积平原地下水多属此种类型。

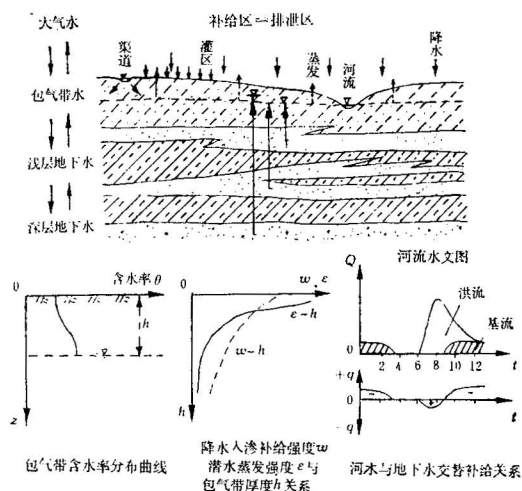


图1 垂直交替型地区地下水水均衡模式图

θ ——包气带土壤含水率 (%); Z ——深度 (米); w ——降水入渗强度 (毫米/年); ε ——潜水蒸发强度 (毫米/年); h ——包气带厚度或地下水水位埋深 (米); Q ——河流流量 (米³/秒); $+q$ ——河水对地下水的单宽补给量 (米³/秒); $-q$ ——地下水向河流的单宽排泄量 (米³/秒)

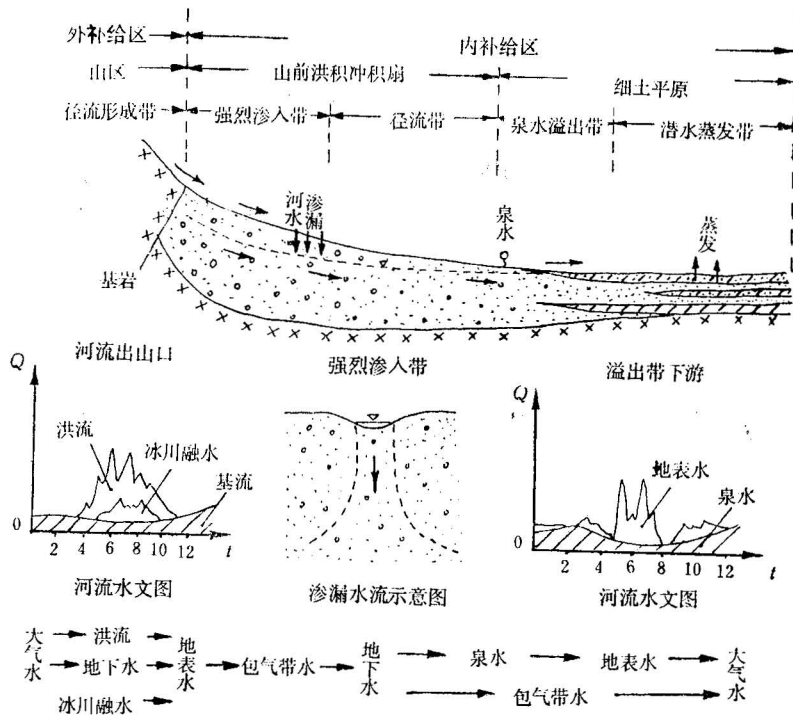


图 2 径流转化型地区地下水水均衡模式图

二、典型地区的分析

(一) 垂直交替型地区

现以河南黄淮冲积平原浅层地下水为例,分析垂直交替型地区地下水均衡要素的定量关系。本区属于半湿润气候,年平均降水量600—1200毫米,降水量集中在夏季。地表径流系数小,有大型过境河流流经本区,并补给地下水,其他河流与地下水多呈交替补给。浅层含水层埋藏深度在

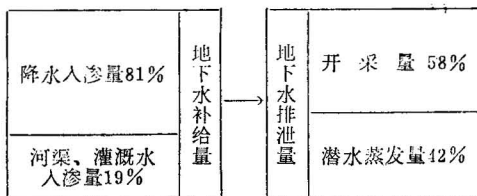


图 3 垂直交替型地区地下水水均衡要素定量关系示意图

化后得出本区地下水均衡要素定量关系,如图3所示。

河北平原中部和哲里木盟冲积平原等地区亦大体与该区相似^[3],仅因开采程度不同,消耗项的组成稍有差异。总之,本类型当地降水入渗补给量可达80%左右;其次为河水、渠系水和灌溉

60米以内,含水层主要由冲积砂层组成。地下水主要靠当地降水补给,其次为河渠水及灌溉回归水的补给;在天然条件下通过潜水蒸发排泄转为大气水。侧向径流微弱,水力坡度一般为万分之几。包气带岩性主要为亚砂土、亚粘土,包气带厚度大多数地区为2—4米,降水入渗系数约0.18—0.23。据河南省水文地质队均衡观测资料及河渠水、灌溉水入渗和开采量统测结果¹⁾,我们概

1) 河南地质局水文地质队,1977,河南平原区浅层地下水资源调查与分析。

水的入渗量，约占20%以下；在天然条件下，一般地下水埋深较浅，消耗项主要由潜水蒸发量组成。地下水的侧向流出量及局部地区季节性向河流的排泄量所占比重很小。在开采条件下，消耗项变化较大，潜水蒸发量明显地随着开采量的增加而减少，说明开采量中夺取了潜水蒸发量。这是本类型地区水资源开发利用中特别应当重视的一个问题。

（二）径流转化型地区

现以河西走廊为例，分析本类型地区地下水均衡要素的定量关系。本区位于祁连山北麓，属于干旱气候区，年降水量30—200毫米，蒸发强烈。山区水文网发育，在山区由降水，冰川融化和地下水排泄汇集而成的40余条河流，流入本区的平原，最终消失于湖区或沙漠。

本区为一系列盆地所组成的山前倾斜平原。从山前至细土平原，由巨厚的砂卵石潜水含水层逐渐过渡到由砂砾和砂组成的多层半承压和承压含水系统。

本区地下水主要靠山区河流出口后的大量渗漏而得到补给，其渗漏率可达60—75%，其次为渠系水和灌溉水的入渗补给。由于构造断裂阻水，基岩山区侧向地下径流的补给所占比重较小，平原区降水入渗量（包括凝结水量）仅占总补给量的4—5%^[1]。

在山前地带，潜水含水层厚度大，岩层导水性很强，地下水水力坡度大（约千分之几），地下径流强烈。向下游含水层颗粒逐渐变细，导水性逐渐减弱，水力坡度也变小。在洪积扇前缘，地下水通过泉水和蒸发排泄，泉水汇入下游的河水中，约占河流流量的50—90%，同时一部分泉水又再渗入地下，形成了可重复利用的水资源。

据甘肃省地质局等单位对河流、渠系水和灌溉水渗入量、潜水蒸发以及降水入渗和凝结水补给等均衡要素所取得的实测和综合分析资料^[1]，我们将本类型地区地下水水均衡要素定量关系加以概化，绘于图4。

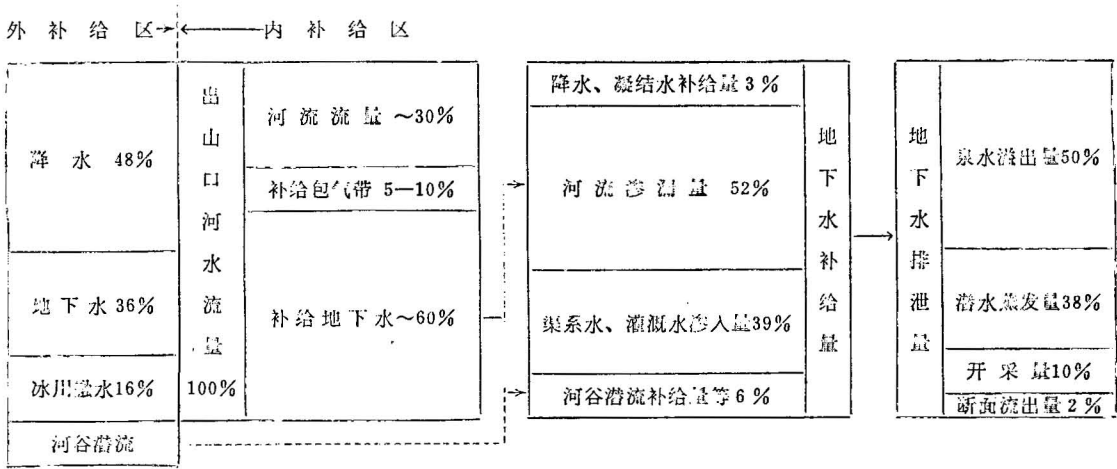


图 4 径流转化型地区地下水水均衡要素定量关系示意图

对不同开发程度的流域，各项消耗项的比重有些差别，泉水和潜水蒸发量随开采强度的增加而相应减少，在开采量接近地下水天然资源一半左右的地区，泉水溢出量占总消耗量的32%，蒸发量占20%，地下水开采很少的地区，泉水则占75%，蒸发量占23%，从对比可以看出，在地下径流强烈的地区，地下水开采量中截取了地下径流量。

1) 甘肃省地质局研究队，1979，河西走廊地下水分布规律及井灌区合理布置。

(三) 过渡型地区

如华北太行山东麓、燕山南麓等地区的山前冲洪积平原(河北、北京等地区),地下水水均衡要素的定量组成^{1)、2)、3)}:补给项中降水入渗量约占40—60%;河水、渠系水和灌溉水渗入约占25—30%;侧向地下径流补给10—15%。排泄项中,在天然条件下以地下径流和泉水排泄占的比重较大,其次为潜水蒸发。在开采条件下,由于开采程度不同,开采量占40—90%不等;地下径流流出量占2—6%;潜水蒸发量占2—10%。该类型地区的冲洪积扇顶部地下水具有径流转化型特征,冲积平原中下部地区地下水,垂直交替型的特征逐渐明显。

三、水资源调节模式

从表1所概括的浅层地下水资源形成类型的特征可以看出,无论从地下水开发利用本身,还是从大气水、地表水和地下水综合利用来看,不同类型地区水资源调节方案是各有特点的。我们总结了常见的水资源调节模式列于表2。

表 2

时 空 调 节 模 式		参与调节水源	供水类别	适宜地区
名 称	内 容			
空 间 调 节	垂 向 调 节	井灌井排;控制最佳水位埋深,夺取潜水蒸发量,增大降水入渗量。	以农田供水为主	I型及Ⅲ型
		河渠、坑塘引渗,人工补给地下水。	工农业供水	
		浅层水与深层水结合开采。	浅层水、深层水	
		开采深层,补充浅层,以浅补深。	地表水-浅层水-深层水	
		抽咸补淡(靠天然入渗或人工引渗)。	淡水-地下咸水	水质不良地区
	上 下 游 调 节	上游地下水深埋区引用河水,保持地下水的补给。	地表水-地下水	II型及Ⅲ型
		中游宜井区开采地下水,限制引用河水。	地下水-泉水	
		中上游地表水调至下游缺水地区,控制下游地下水的开采,地下水与地表水联合使用。	地表水-地下水	
	跨流域调节	跨流域引地表水。	地表水	Ⅲ、II、I型
		跨流域引地表水,部分在地下进行调蓄。	地表水-地下水	
时 间 调 节	季 节 调 节	汛期拦洪引渗,人工地下调蓄。	地表水-地下水	I、Ⅲ型
		冬灌夏用,夏灌冬用,水源与能源利用相结合。	地表水-地下水	
	多 年 调 节	一个气象水文周期内,以丰补欠。	地下水	I、Ⅲ型

值得指出的是,对垂直交替型地区,地下水的补给主要是靠当地降水入渗,为了最有效地利用地下水资源,控制合理水位是个关键问题。这类地区旱季水源缺乏,汛期降水集中,常有春旱秋涝灾害;在有地下咸水和盐碱地分布地段,地下水水位浅,蒸发强烈,还有盐碱灾害。所以,在这类地区人工调节地下水垂直循环,采取井灌井排和引渗补给的垂向调节和季节调节模式,存

- 1) 河北省地质局,1977,河北平原(重点黑龙港地区)地下水资源评价及合理开发利用。
- 2) 水文地质工程地质技术方法研究队,1978,河北省容城县地下水开发利用勘察研究报告。
- 3) 北京市地质局水文地质工程地质大队,1977,北京市密怀顺平原区供水水文地质勘察报告。

取无效的潜水蒸发量, 增大降水的地下调蓄量, 对充分利用水资源、抗旱防涝和改造盐碱地等均有重要意义。

本类型地区的地下水资源在垂向上具有“串联”的特点, 当浅层地下水和深层地下水均主要由当地降水补给时, 开采浅层地下水, 将导致深层地下水补给量的减少, 反之亦然; 而在水平方向上则基本上呈“并联”, 在天然条件下及区域上平均开采时, 各地段的水量大体可以相加。

对径流转化型, 平原区的地表水(包括河水、洪水)和地下径流的主要补给来源均为山区流入的河水, 该区降水入渗补给作用很小, 本类型地区与Ⅰ型地区有显著的不同, 上下游地表水和地下水构成一个统一的水资源系统, 水资源在水平及垂直方向上具有“串联”特点, 上游水资源开发利用的增加, 必然引起下游的减少, 因此, 对径流转化型来说, 上下游调节, 地表水与地下水统一规划和开发是必须遵循的极为重要的原则。

综上所述, 浅层地下水是积极交替带中最易得到补充、最易于调节的重要供水水源, 因而, 应成为当前研究地下水资源的主要对象。

鉴于大气水、地表水、地下水和包气带水是一个统一水循环系统, 应当研究它们之间转化关系, 研究地下水资源与各主要水均衡要素的关系。注意气象、水文和地下水等系统观测资料的收集和积累, 在进一步的勘探和开发地下水的过程中, 根据水均衡要素的变化规律, 分析地下水资源变化趋势。重视总结和进一步完善不同类型地区水资源调节模式, 为制定水资源统一开发和管理方案提供依据。

区域地下水资源评价是一项综合性很强的工作, 应加强水文地质与气象、水文、土壤、农田水利等学科之间的互相渗透, 以综合的观点, 解决水资源的合理开发问题。

参 考 文 献

- 〔1〕 河北省地质局水文地质四大队, 1974, 地下水资源评价问题现状。《水文地质工程地质选辑》, 第1辑(平原、盆地、黄土区的地下水), 地质出版社。
- 〔2〕 王兆馨, 1979, 不同类型地区地下水资源形成和评价的若干问题。《水文地质工程地质》, 第3期。
- 〔3〕 地质部水文地质工程地质局编, 1979, 《水文地质工程地质选辑》, 第13辑(区域水文地质普查), 地质出版社。
- 〔4〕 地质部水文地质工程地质局编, 1979, 《水文地质工程地质选辑》, 第11辑(区域地下水资源评价问题), 地质出版社。

TYPES OF FORMATION AND REGULATION PATTERNS OF SHALLOW GROUNDWATER RESOURCES IN PLAIN AREAS

Wang Zhaoxin

Abstract

In plain areas of the northern part of China shallow groundwater is one of the major sources of water supply for industry and agriculture. In respect to the formation of shallow groundwater, the following types can be distinguished:

1. The vertically alternating type: in alluvial or lacustrine plains groundwater is mainly recharged by the infiltration of precipitation and lost through evapo-

transpiration. This type is characterized by active water alternation among meteoric water, water of aeration zone and groundwater in a vertical direction. The Huang-Huai alluvial plain in a semihumid zone is an example.

2. The runoff transformation type: the aquifers receive the primary recharge from rivers originating from adjacent mountain areas and flowing into the plain. A large number of springs appear downstream and become the principal component part of the streamflow in the lower reaches of these rivers. Eventually surface water and groundwater are consumed through evaporation. As the climate is extremely arid, the precipitation in plain areas seldom affects the groundwater regime. This type is mainly characterized by intense reciprocal transformation between surface water and groundwater thus forming an integrate water resources system. The typical example is the Gansu Corridor in an inland arid zone of Northwest China.

Besides, there exists a transitional type between the two types described above.

One of the key problems in rational water resources development is the regulation of water resources in space and time. Several popular patterns of water resources regulation can be summarized. They are vertical-direction, upstream-downstream, seasonal and perennial regulations. They are applicable to the regions of different types of formation, respectively. At present the integral development and conjunctive utilization of groundwater and surface water has become an extremely important problem. Based on the water balance study, water resources in basins must be developed in unified planning.

讣 告

中国地质学会32届理事会理事、中国地质学会工程地质专业委员会主任委员
谷德振同志因病医治无效，于1982年6月21日在北京不幸逝世，终年68岁。

中国地质学会