

913776

# 中国蓄水构造类型

钱学溥 著



科学出版社

01501



ISBN 7-03-001234

P-222

定 价: 30.50 元

科技新书目: 204-115

514  
8373

514  
8373

# 中国蓄水构造类型

钱学溥 著

科学出版社

1990

## 内 容 简 介

本书论述了蓄水构造的概念、控制因素、中国蓄水构造类型划分的原则等,并将我国蓄水构造划分为4类25型。精选了396个实例、413幅水文地质剖面图和平面图,其中包括北京、上海、天津等各大城市主要的蓄水构造以及辽宁海底岩溶大泉、藏北高原冻土区地下水、西沙群岛珊瑚砂潜水等许多珍贵的资料。阐述了各种类型蓄水构造的形成和一般规律。

本书可供供水、排水水文地质、普查勘探工作者及有关高等院校师生参考。

## 中国蓄水构造类型

钱 学 溥 著

责任编辑 邵正华 周文辅

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1990年2月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1990年2月第一次印刷 印张: 27 1/2 插页: 精 2

印数: 平 1—430 字数: 639 000  
精 1—270

ISBN 7-03-001234-8/P·222(平)

ISBN 7-03-001235-6/P·223(精)

定价: 平 装 30.50元  
布脊精装 32.70元

## 前 言

我国地域辽阔,地质、地形、气候条件十分复杂,从而在水文地质方面,展现出种类齐全、丰富多姿的蓄水构造类型。

为了满足国民经济的需要,自50年代以来,我国地质、建设、水利、电力、煤炭、冶金、机械、石油、铁道等部门进行了数以千计的水源地水文地质勘查工作,积累了丰富的资料。在这些实践的基础上,总结一下我国地下水的蓄水构造类型,对今后普查勘探地下水、评价地下水资源以及矿山和工程排水等方面,都有着理论和现实的意义。

书中列举了396个实例、413张插图,其中包括全国主要城市和水源地的勘查成果。它的目的,一方面是为了使读者对我国蓄水构造类型在感性方面有一个比较充实的认识;另一方面,也是为了使读者对我国区域水文地质条件有一个比较全面的了解。

地下水赋存在地面以下,因此,本书在叙述实例的时候,大多附有一张水文地质剖面图。作者认为,对地下水来说,在一般情况下,剖面图比平面图可以提供一些更为重要的信息。在剖面图上,列举了井孔的深度、水位埋深、水位抽降、出水量、矿化度等项数据,目的是使读者有一个数量方面的概念。

在搜集资料和编写过程中,得到各工业部门、各有关地质队热情的帮助和支持。在编写大纲的讨论过程中,得到陈梦熊、张宗祜、方鸿慈、胡海涛、崔光中、哈承佑、刘光亚、房佩贤、任天培、马英林、秦毅苏等国内知名专家学者的指导,作者表示由衷的感谢。工作伊始,钱昂、肖有权两位专家曾参加了大纲的讨论和资料搜集工作,由于科研和教学工作繁重,十分遗憾,他们的工作没有能够继续进行下去。否则,一定会为本书增添不少光彩。

另外,山西省科学技术委员会在经费上给予了大力的支持;山西省地质矿产局第一水文地质队在搜集资料和插图的清绘等方面,给予了大力的协助;国家矿产储量管理局,山西省水资源管理委员会和山西省地质矿产局也给予了热情的支持。若没有这些支持和协助,这本书的问世是不可能的。

值得庆幸的是,本书完稿以后,承蒙我国水文地质界著名学者、中国科学院地学部委员、中国地质学会水文地质专业委员会主任委员、地质矿产部顾问贾福海先生审阅。对于贾福海先生提出的一些具体意见和问题,作者都一一作了补充修改。但是由于作者理论水平有限,这次对蓄水构造的概念、蓄水构造的控制因素、中国蓄水构造类型的划分以及各类型蓄水构造的形成和一般规律等问题,只是作了初步的探讨,值得商榷的问题还很多,欢迎读者提出批评指正意见。

为了节省篇幅,书中引用资料,除在附图中注明外,文字中没有再作一一说明,请谅解。



# 目 录

## 前 言

|                                                          |         |
|----------------------------------------------------------|---------|
| 绪 论                                                      | ( 1 )   |
| 一、蓄水构造的基本概念                                              | ( 1 )   |
| 二、地层岩性对蓄水构造的制约                                           | ( 3 )   |
| 三、地质构造对蓄水构造的控制                                           | ( 5 )   |
| 四、自然地理对蓄水构造的影响                                           | ( 7 )   |
| 五、中国蓄水构造类型的划分                                            | ( 10 )  |
| 第一章 孔隙蓄水构造类型                                             | ( 15 )  |
| 一、山间河谷蓄水构造 (例 A <sub>1</sub> -1 至 A <sub>1</sub> -26)    | ( 15 )  |
| 二、山间盆地蓄水构造 (例 A <sub>2</sub> -1 至 A <sub>2</sub> -20)    | ( 39 )  |
| 三、冲积平原蓄水构造 (例 A <sub>3</sub> -1 至 A <sub>3</sub> -36)    | ( 62 )  |
| 四、冰水沉积蓄水构造 (例 A <sub>4</sub> -1 至 A <sub>4</sub> -8)     | ( 104 ) |
| 五、半胶结砂岩蓄水构造 (例 A <sub>5</sub> -1 至 A <sub>5</sub> -8)    | ( 114 ) |
| 第二章 岩溶蓄水构造类型                                             | ( 122 ) |
| 一、裂隙岩溶蓄水构造 (例 B <sub>1</sub> -1 至 B <sub>1</sub> -18)    | ( 124 ) |
| 二、层间岩溶蓄水构造 (例 B <sub>2</sub> -1 至 B <sub>2</sub> -8)     | ( 140 ) |
| 三、断层岩溶蓄水构造 (例 B <sub>3</sub> -1 至 B <sub>3</sub> -24)    | ( 148 ) |
| 四、侵入体岩溶蓄水构造 (例 B <sub>4</sub> -1 至 B <sub>4</sub> -17)   | ( 172 ) |
| 五、膏溶角砾岩蓄水构造 (例 B <sub>5</sub> -1 至 B <sub>5</sub> -10)   | ( 188 ) |
| 六、地下河及管道蓄水构造 (例 B <sub>6</sub> -1 至 B <sub>6</sub> -11)  | ( 198 ) |
| 七、覆盖岩溶蓄水构造 (例 B <sub>7</sub> -1 至 B <sub>7</sub> -9)     | ( 209 ) |
| 八、隐伏岩溶蓄水构造 (例 B <sub>8</sub> -1 至 B <sub>8</sub> -9)     | ( 220 ) |
| 第三章 裂隙蓄水构造类型                                             | ( 231 ) |
| 一、风化裂隙蓄水构造 (例 C <sub>1</sub> -1 至 C <sub>1</sub> -14)    | ( 231 ) |
| 二、节理裂隙蓄水构造 (例 C <sub>2</sub> -1 至 C <sub>2</sub> -12)    | ( 245 ) |
| 三、层间裂隙蓄水构造 (例 C <sub>3</sub> -1 至 C <sub>3</sub> -9)     | ( 256 ) |
| 四、断层裂隙蓄水构造 (例 C <sub>4</sub> -1 至 C <sub>4</sub> -20)    | ( 265 ) |
| 五、侵入体裂隙蓄水构造 (例 C <sub>5</sub> -1 至 C <sub>5</sub> -7)    | ( 285 ) |
| 六、玄武岩洞隙蓄水构造 (例 C <sub>6</sub> -1 至 C <sub>6</sub> -9)    | ( 291 ) |
| 第四章 地区性蓄水构造类型                                            | ( 303 ) |
| 一、干旱地区蓄水构造 (例 D <sub>1</sub> -1 至 D <sub>1</sub> -25)    | ( 303 ) |
| 二、黄土地区蓄水构造 (例 D <sub>2</sub> -1 至 D <sub>2</sub> -20)    | ( 328 ) |
| 三、沙漠地区蓄水构造 (例 D <sub>3</sub> -1 至 D <sub>3</sub> -11)    | ( 350 ) |
| 四、滨海及岛屿地区蓄水构造 (例 D <sub>4</sub> -1 至 D <sub>4</sub> -35) | ( 361 ) |
| 五、冻土地区蓄水构造 (例 D <sub>5</sub> -1 至 D <sub>5</sub> -14)    | ( 399 ) |
| 六、热水蓄水构造 (例 D <sub>6</sub> -1 至 D <sub>6</sub> -16)      | ( 412 ) |
| 参考文献                                                     | ( 431 ) |

# 绪 论

## 一、蓄水构造的基本概念

随着水文地质工作的大量开展,自60年代初期以来,在我国水文地质工作者中,逐渐使用储水构造、蓄水构造、水文地质构造、水文地质单元、地下水流域、地下水系统这样一类术语。不同的水文地质工作者,对这些术语的理解也不尽相同。

简单地说,蓄水构造就是一个由地质体构成的、具有供排水意义的、蓄积地下水的空隙系统。

储水构造与蓄水构造有什么区别。从词源上看,“储”、“蓄”两个字本意有所不同。“储”原义为“待”,是“储以备用”、“储以待需”。“蓄”原字为“畜”,是“把野兽聚积在苑囿里饲养”的意思。所以后来的“蓄”就有“聚积”和“蓄养”的含意。

地下水处在不断地补充与运移之中,因此,对绝大多数水源地来说,“蓄水构造”比“储水构造”更为适用。

有的学者认为:“凡是对地下水起着蓄积作用的地质构造都称之为蓄水构造”<sup>[1]</sup>。“蓄水构造就是……能够富集和储藏地下水的地质构造”<sup>[2]</sup>。

地质构造一般是指在内营力作用下,岩层产生褶曲、断层、节理裂隙以及岩浆侵入的现象。而有一些蓄积地下水的空隙系统并不是内营力造成的。比如赋存有潜水的花岗岩风化带,是外营力风化作用的产物;南方石灰岩分布地区,赋存有地下水的大型管道,是岩溶作用的结果;西沙群岛构成潜水含水层的珊瑚砂,又是海水波浪形成的生物碎屑堆积层。这些,都难以用地质构造现象概括起来。

“蓄水构造就是透水层与隔水层相互结合而构成的……”<sup>[1]</sup>,这种说法不十分全面。比如海岸岛屿地区海积砂层中的潜水,淡水体的深度受着补给强度和海平面的制约。这些淡水体的存在,并不是下部有什么隔水层起着阻水边界的作用。

地质体一词的含义则比较广泛。除人工制造的物体以外,它既包括了含水层和隔水层,也包括了海水、冻结层等自然界其它的一些物体。

水文地质构造(Hydrogeologic structure)这一术语,在国际上也较为流行。它的定义为:“有利于地下水储存和运移的地质构造”。蓄水构造与水文地质构造的概念比较接近,但是根据我国水文地质工作者的习惯与上面叙述过的一些理由,我们采用了“蓄水构造”这一术语。

水文地质单元、地下水流域、水文地质系统和地下水系统这几个术语的含义比较接近。它包括了地下水的补给、径流和排泄地区,包括了一个完整的地下水流域。研究一个完整的地下水系统,有利于探讨地表水和地下水的转化关系,全面地评价地表水和地下水资源,有利于探讨地表水和地下水的合理开发与保护。

近年来,各国学者在地下水系统(Groundwater system)研究方面,取得了较大的进展,但对“地下水系统”还缺乏一个明确的定义。一般认为,地下水系统是水文系统的一个

组成部分,它包含着完整的水动力系统、水化学系统等,是一个在时间和空间上具有四维性质的整体<sup>1)</sup>。

蓄水构造与地下水系统含义并不一致。一个蓄水构造可以是一个完整的地下水系统,也可以是一个地下水系统的一部分。比如山西省娘子关泉水,多年平均流量为12.6立方米/秒,完整的地下水系统分布面积约4 000平方公里。对于泉口附近的岩溶裂隙蓄水构造来说,它的范围和地下水系统的范围是一致的。但是,在娘子关地下水系统的径流区阳泉附近,地下膏溶角砾岩发育,膏溶角砾岩上覆石灰岩岩溶裂隙赋存有丰富的地下水,单井出水量可达20升/秒以上。因此,对阳泉附近岩溶裂隙蓄水构造来说,它的范围就比娘子关泉水地下水系统的范围要小得多。

水源地并不一定位于地下水的排泄区,也就是说,蓄水构造并不一定包括一个完整的地下水系统。这就是除了地下水流域、地下水系统以外,需要提出蓄水构造这一术语的原因。

地下水资源是一种可以补偿的资源,它的补给条件十分重要。蓄水构造应该考虑它的蓄积因素、补给条件。因此,作者没有采用富水构造这一术语。

对于一个泉水或一个泉组来说,汇集地下水的范围称作泉域。对于一个水井或一组水井来说,汇集地下水的范围称作井域。另外,汇集地下水的裂隙系统可以称之为地下水网络。可以看出,它们只论及一处泉水、一处水井或是一个裂隙系统,涉及的内容有一定的局限性。它们是蓄水构造的一个部分,而不是蓄水构造的全体。

寻找地下水源地,可以说就是寻找一处蓄水构造。寻找地下水的过程,首先就是要寻找一处适合开采地下水的地段,然后根据补给条件,确定它的可采水量。

我们讨论的蓄水构造,只限于具有供排水意义的那一部分。规模过小,没有供排水意义,或是象蓄积土壤水的孔隙系统,虽然对植物生长有重要作用,但对供排水没有实际意义,都不属于蓄水构造的范畴。

蓄水构造的范围差别很大。一处大型岩溶泉水或是一条大型地下河系,它的蓄水构造范围可以达到几千平方公里;一个山区小型的人畜饮用水井,它的蓄水构造可能只有0.01平方公里。一般说来,水源地越大,它的蓄水构造范围也越大;水源地越小,它的蓄水构造范围也越小。

小于10平方公里的蓄水构造,可以称为小型的蓄水构造;10—100平方公里,可以称为中型的蓄水构造;100—1 000平方公里,可以称为大型的蓄水构造;大于1 000平方公里,可以称为特大型的蓄水构造。目前,国内已知最大的蓄水构造,范围接近8 000平方公里。小型蓄水构造,一般只能满足人畜用水。中型、大型、特大型蓄水构造,可以相应地建立中小型、大中型、特大型或大型的水源地。

总之,所有大小已建的或是尚未兴建的水源地,都存在着一个相应的蓄水构造。蓄水构造是一个由地质体构成的空隙系统。这个空隙系统蓄存着地下水,这些地下水或多或少地源源不断地接受着补给。在这个蓄水构造中,有一个单井出水量比较大、地下水位埋藏深度比较浅,适宜开采地下水的地段,这个地段就是适合修建水源地的位置。

取水地段是蓄水构造的关键部位,蓄水构造的其它部位起着汇集、调节地下水的作

1) 陈梦熊、许志荣,1984,地下水系统的基本概念与研究方法。



用。因此,在叙述和探讨蓄水构造的时候,我们把重点放在开采地段,而把补给条件、补给区的地质结构放在较为次要的地位。

我们知道,石油地质工作者和地质工作者,对“构造”一词所赋予的含意有所不同。前者是指储集石油和天然气的构造形态,如背斜、不整合、礁或洞穴等<sup>[5]</sup>。

从上面对蓄水构造定义的论述可以看出,这里“构造”的含意与石油地质工作者赋予“构造”一词的含意比较接近,是指由地质体构成的蓄积地下水的空隙系统,如山间河谷砂卵石层、半胶结砂岩构成的单斜构造、地下岩溶管道等等。

蓄水构造是地下水形成、运动、蓄存的场所。蓄水构造再加上气象、水文和人为等因素,就构成了一个水源地或一个疏干地段水文地质条件的全体。可以看出,蓄水构造类型,实质上就是水源地或疏干地段的水文地质类型。不同类型的蓄水构造,它们的勘探方法,资源评价和保护方法也不相同,这就是划分地下水蓄水构造类型的意义所在。

## 二、 地层岩性对蓄水构造的制约

地下水赋存在地下岩层的空隙之中。不同岩性组成的岩层,就具有不同成因和不同特点的空隙。这些空隙的空间分布、蓄积和调节地下水的的能力以及地下水流动的水力性质,都有很大的差异。

组成地壳的岩石虽然有千百种,但是它们出露的面积相差十分悬殊,它们的空隙度和给水度也有很大的差异,因此,作为蓄水构造主要蓄积地下水的岩层种类相当有限。其中以砂卵石层为最多,其次是以石灰岩为代表的碳酸盐岩岩层,以这两类岩层构成蓄水构造的水源地,占水源地总数的五分之四以上。其余不及五分之一的蓄水构造,是由砂岩、砾岩、石英岩、玄武岩等岩层组成的。

下面,我们概略地叙述一下主要含水岩层空隙的特点。

卵石层主要分布在山间河谷和山前地带。山间河谷卵石层一般厚数十米。在山前地带,尤其是断陷盆地或平原边缘的山前地带,卵石层的厚度可以达到数百米。卵石层的粒间孔隙发育,给水度一般在20%左右。卵石层的给水度,在水平方向上比较均匀;在垂直方向上,虽然向地下深处也有逐渐减弱的现象,但变化并不十分显著。

卵石层接受补给的能力很强。在山前地带,流量为每秒几立方米甚至每秒十几个立方米的河水,流经卵石层出露的地带,往往全部渗入地下。

卵石之间夹有大量粘土的冰碛层,给水度很低,不能构成含水层。但是,冰水沉积的卵石层,粘土成分较少,透水性较强,仍不失为较为理想的含水层。

砂层的分布十分广泛。除了山间河谷、山前地带以外,在冲积平原、滨海平原以及沙漠地区都有广泛的分布。另外,在一些新生代沉积盆地地下深处,也埋藏有松散的砂层。

从供水的角度来说,砂层包括砂砾石层,是最重要的含水层。它们的给水度一般为15—25%。与卵石层相似,在水平方向上,砂层和砂砾石层的富水性比较均匀;在垂直方向上,埋藏深度超过一千米的砂层和砂砾石层,往往还具有供水的价值。

砂层接受入渗的能力也很强。陕北榆林至神木一带的沙漠,降水入渗汇集的泉水,总流量近4立方米/秒。

亚砂土给水度一般只有12%左右,导水能力也比较弱。但在缺水的地区,仍然可以把

它当作弱的含水层。

黄土类亚砂土含有较多的碳酸钙成分,在垂直方向上,可以形成深度很大的溶隙;在广阔的塬面上,还可以形成一些完全封闭的渗水洼地。由于黄土类亚砂土接受入渗的能力较高,再加上这些洼地和溶隙的存在,因而在数百平方公里乃至一、两千平方公里的黄土塬面上,都看不到天然的地表水体。

另外,在固结程度较高的黄土层中,往往可以保留下来由于生物的作用而形成的一些小型管道,直径可达1厘米左右,大大增加了黄土的富水性。

地台区没有经历过剧烈的沉降和褶皱运动,这里的中生界砂岩、砾岩产状缓平,胶结疏松,性质和砂层相似,以孔隙性含水为主。一般胶结的砂岩砾岩,以节理裂隙为主,给水度不高,并且随着深度的加大,裂隙发育程度显著减弱。

石灰岩是可溶性岩石,溶蚀裂隙沿节理和层理发育,深度可以超过1000米。年降水量超过800毫米的地区,在地下水的作用下,普遍出现充水的地下管道,甚至出现规模巨大的地下暗河。

除砂卵石层以外,对供水来说,石灰岩是最重要的含水层,它的给水度变化幅度较大,一般为0.2—5%。

石灰岩层如果有页岩或泥灰岩夹层,经过地下水的作用,在靠近下伏页岩或泥灰岩的位置,石灰岩的岩溶比较发育。在石灰岩层中如果有厚层的硬石膏夹层,硬石膏水化溶蚀塌陷,形成角砾状石灰岩。除角砾状石灰岩外,靠近下伏角砾岩的石灰岩层,由于塌陷产生了裂隙,也具有比较高的透水性能。

由于石灰岩溶蚀裂隙发育,又有一些溶蚀的封闭洼地,所以吸收降水和地表水的能力很强。无论在我国的南方和北方,石灰岩山区水文网的密度都较小,地下水的埋藏深度则比较大。

在相同的自然条件下,大理岩的溶蚀程度与石灰岩接近,但是由于大理岩一般出露的面积比较小,多数只构成一些小型的蓄水构造。

白云岩、白云质石灰岩、硅质石灰岩的溶蚀程度不及石灰岩,一般以溶蚀裂隙为主,难以形成大型的溶蚀管道。但是由于这些岩层出露的面积较大,往往也可以构成中型的蓄水构造。

花岗岩、闪长岩等侵入岩和片麻岩等变质岩,它们以节理裂隙及风化裂隙为主,裂隙的发育随深度的加深明显减弱,富水性有限。

石英岩是典型的脆性岩石,它的裂隙发育深度可以达到两、三百米,给水度比一般胶结的砂岩大一些。由于石英岩吸收入渗的能力比较强,它所分布的地区水文网密度也比较小。

新生代火山活动大面积喷发的玄武岩,它们的成因和化学成分虽然与石灰岩迥然不同,但是在地貌形态和空隙性质方面却有一些相似之处。玄武岩分布地区也有一些完全封闭的洼地和面积较广的台地,有长达千余米的大型熔岩隧道。由于玄武岩层垂直冷却裂隙和顶部气孔层发育,有利于降水和地表水的入渗与地下水的储存,多次喷发形成的层间空隙,有利于地下水的运动。因此,在玄武岩分布地区,往往和石灰岩分布地区类似,地表水系稀疏,地下水则比较丰富,我国最大的云南腾冲坝派泉水枯水流量达3.9立方米/秒。

### 三、地质构造对蓄水构造的控制

地质构造——无论是大地构造、新构造运动、褶皱和断层以及火成岩的侵入,对蓄水构造都有着重要的控制作用。

#### (一)大地构造对蓄水构造的控制

地台区分布有大型、特大型的蓄水构造,褶皱区的蓄水构造则以中小型为主。

稳定的地台区,地壳以升降运动为主,山区岩层平缓,胶结比较疏松。以中朝准地台为例,华北地区奥陶系石灰岩厚数百米,由于岩层平缓,连续分布面积可达数百平方公里乃至数千平方公里,构成了数十个大型、特大型的蓄水构造,最大泉群流量达10—15立方米/秒。陕北的中生代砂岩,不仅分布面积广,而且胶结疏松,富水性均匀,形成了重要的蓄水构造。

另外,一些由于断裂构造形成的大型平原和山间盆地,也都分布在地台区。例如华北平原、松辽平原、关中盆地、山西六大盆地以及四川的成都平原等。这些平原和盆地,新生界松散岩层的厚度有几百米,甚至超过一千米,构成了许多大型、特大型有价值的蓄水构造。

褶皱区的岩层强烈褶曲,含水层呈带状分布,出露的面积有限,一般只能形成一些中小型的蓄水构造。例如处于华南褶皱系的浙江省,古生界石灰岩厚度也有数百米,但因褶曲强烈,蓄水构造范围有限,泉水流量不及30升/秒。

褶皱区缺少大型的断陷盆地和平原。

我国南方降水量比北方大得多,地表径流量远远超过北方,但是地下水可采资源却不及北方,其原因主要就是北方以地台区为主,南方分布有大面积的褶皱带。

下面,以山西省和浙江省为例,对比情况如表1。

表1 山西省与浙江省地下水可采资源对照表

| 省份 | 大地构造单元 | 地貌类型   | 面积<br>(平方公里) | 年降水量<br>(毫米) | 地表水年径流量<br>(亿米 <sup>3</sup> /年) | 地下水可采资源<br>(包括大泉)<br>(亿米 <sup>3</sup> /年) |
|----|--------|--------|--------------|--------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| 山西 | 中朝准地台  | 中低山及盆地 | 15.6万        | 330—600      | 114                             | 87                                        |
| 浙江 | 华南褶皱系  | 中低山及丘陵 | 10.2万        | 1200—1800    | 1000                            | 29                                        |

#### (二)新构造运动对蓄水构造的控制

新构造运动主要表现为区域性的地壳升降运动。在新构造运动下陷沉降的地区,堆积了大量的松散地层,以孔隙性蓄水构造为主。在新构造运动上升抬高的地区,大面积基岩裸露,以裂隙性、岩溶性蓄水构造为主。

新构造运动无论是下降或是上升,都是振荡式地运动。在沉陷区,强烈下降时期,堆积了粗颗粒的含水层;在相对稳定的时期,堆积了细颗粒的隔水层或相对的隔水层。在抬升区,强烈的上升时期,河流切割了基岩山地;相对的稳定时期,河谷里堆积了可以蓄积地下

水的砂卵石层。因此,在新构造运动抬升地区,只有在更新世以来尤其是在全新世地面长期稳定或下沉的条件下,才能形成孔隙性山间河谷蓄水构造。

新构造断裂活动,还有可能改变蓄水构造的形态。如甘肃省古浪县保和附近,祁连山前有一条新的断裂构造。断层上盘基岩面抬高,砂卵石层潜水水位埋深仅有32米;断层下盘,基岩面降低,砂卵石层潜水水位埋深在145米左右。

此外,象西沙群岛的珊瑚砂,也是新构造运动的产物。在那里,海底不断下沉,珊瑚虫不断向上生长,珊瑚风化破碎后形成了珊瑚砂,构成了这样一种特殊的蓄水构造。

### (三) 岩层产状对蓄水构造的制约

松散的岩层产状一般近于水平,出现褶曲和断裂的情况比较少见。只有在新构造运动强烈的山前地带,由于基底断层的牵引,上覆松散岩层出现明显的挠曲。如山西省运城盆地峨嵋岭前缘,地下更新统地层呈现椅状挠曲。

层面近于水平的原始岩层,在地壳运动的作用下,能够固结并形成许多复杂的褶曲和断层。

水平的岩层不利于地下水的蓄积。在砂岩、页岩产状水平的山区,含水层被沟谷切割,地下水沿着含水层的底板流出地表。这些泉水分布普遍,但流量不大,一般只能满足人畜用水。

单斜构造有利于地下水的运动。岩层倾角在 $20^{\circ}$ 左右,地下水沿含水层底板聚集和运动最为有利。在缺水的石灰岩山区,沿着倾斜的层面往往有季节性上层滞水出流,可以作为饮用水源。如山西省五台县天坡村的大湾里,附近奥陶系石灰岩倾角在 $20^{\circ}$ 左右,补给面积约0.04平方公里,植被覆盖较好,雨季以后,地下水沿层面流出,延续可达8个月,每天出水10担上下。

岩层受到挤压形成背斜和向斜。由于多数岩层都是由含水层和隔水层相间组成的,所以背斜和向斜受到侵蚀以后,含水层往往呈带状沿着褶曲的轴部或两翼分布,形成带状的蓄水构造。例如重庆附近的梳状背斜山地,轴部三叠系石灰岩含水层呈带状分布。由于受两翼隔水层的限制,三叠系石灰岩岩溶地下水水位很高,靠近分水岭地段,甚至有一些湖水出现。汉口附近,出露有一些褶曲紧密的向斜,由石炭二叠系地层构成的蓄水构造,呈窄狭的带状分布。

伴随褶曲的形成,能够相应地产生一系列的裂隙。如沿背斜轴部发生的纵张裂隙,沿褶曲翼部产生的“X”形节理。这些构造产生的节理裂隙,有利于地下水的蓄积。

### (四) 断裂构造对蓄水构造的制约

在节理裂隙的基础上,岩层进一步受力发生位移,则形成断层。

一个典型的压性断层,自断层面向两侧可以分为断层泥、糜棱岩、断层角砾岩、压碎岩和裂隙密集带。张性断层一般缺少断层泥和糜棱岩带。

在自然界中,断层的宽度一般为1—50米,长数公里至数十公里。最长的断层可以达到几百公里,甚至一千公里以上。一般大型断层多属压性断层,张性断层的深度和长度延伸比较小。

断层泥和糜棱岩是相对的隔水层,两侧地下水的水位差可以达到数十米。断层角砾

岩、压碎岩和裂隙密集带,是基岩地区导水的主要通道和蓄积地下水的重要场所。突出的例子是南京市的梅山铁矿,那里的断层破碎带具有明显的方向性。在原生裂隙的基础上,经过后期地质构造和地下水的作用,形成了局部宽达6—8米的充水裂隙。

在基岩山区寻找裂隙性蓄水构造,首先应该考虑的就是断层破碎带蓄水构造。在石灰岩山区,除了地下河以外,也应该首先考虑断层破碎带构成的蓄水构造。断层破碎带不仅补给条件优越,而且往往也是取水的理想地段,这方面的实例不胜枚举。

在断层的交汇处,尤其是帚状断层的收敛部位,地下水蓄积的条件尤其优越。山西省榆次市源涡泉附近,处在大型帚状断层的收敛部位,二叠三叠系砂岩裂隙水丰富,单井出水量多在5000立方米/日以上,总采水量达5.59万立方米/日。

断层破碎带不仅是蓄积地下水的主要部位,而且也是补给和汇集地下水的主要通道。在我国北方石灰岩山区,河流流经断层破碎带往往出现大量渗漏的现象。汾河流经古交附近,漳河流经长治附近都有这种情况。

热水蓄水构造,除了邻近的火成岩活动及向斜构造以外,多数都与大型断裂构造有关。在有补给的条件下,地下水通过断层,经过地下深处,温度升高,循环排出地表形成温泉或热水。

#### (五)侵入岩对蓄水构造的制约

侵入的火成岩,常见的产状主要是分布面积较大的岩基、岩株和沿着裂隙穿插的岩脉。

火成岩空隙率较低,对一般含水层来说,它是相对的隔水层,构成蓄水构造的隔水边界。在极个别的情况下,大面积火成岩岩基分布的地区,由于构造断裂及风化作用强烈,可以形成中小型的蓄水构造。如江苏省东海县,大口径管井最大出水量达45升/秒。

体积较小的岩株,靠近围岩的部位,冷却和挤压裂隙比较发育,含有少量的地下水。

富含石英矿物的酸性岩脉,性脆多裂隙。当岩脉厚度较大,分布大体与地形等高线一致的时候,这些相对透水的岩脉可以汇集一些地下水,形成小型的蓄水构造。

富含铁镁矿物的基性岩脉,柔性少裂隙。当岩脉连续分布并大体与地形等高线一致的时候,这些相对隔水的岩脉也可以阻截汇集一些地下水,形成小型的蓄水构造。

由于上述的原因,在有大型岩脉穿插的基岩山区,往往在岩脉附近出露一些小型的泉水。

### 四、自然地理对蓄水构造的影响

气候、地形、河流等自然地理因素,对蓄水构造的形成和地下水的蓄积都有重要的影响。

中国位于世界最大的大陆——亚洲大陆的东部,濒临世界上最大的海洋——太平洋。由于大陆和海洋热容量的不同,季风气候显著。另外,我国幅员辽阔,地形复杂,高差悬殊,从而形成了多种多样的气候类型。

我国冬季风来自高纬度的亚洲内陆。在这种频频南下的冷空气控制影响下,大部分地区冬季普遍寒冷而干燥,使我国成为世界上相同纬度冬季最寒冷的国家。

夏季风分为东南季风和西南季风。东南季风来自太平洋,主要影响中国东部地区。西南季风来自印度洋和南海,主要影响西南和南部沿海。经过广阔洋面的夏季风,空气中含有大量水汽,给中国大陆带来了丰沛的雨水,所以中国绝大部分地区的雨水集中在5至9月。中国东南部是夏季风控制时间最长的地区,降水特别多,也是世界上相同纬度雨量较多的地区。

大陆性气候的冬冷,到夏季转化为夏热。中国夏季是世界上相同纬度,除了沙漠干旱地区以外,最暖热的国家。

中国最北部黑龙江省漠河地区,位于北纬 $53^{\circ}$ 以北,属寒温带气候,而最南端的海南省曾母暗沙距赤道只有400公里,属赤道气候。南北各地气温相差十分悬殊。

中国年降水量自西北向东、向南逐渐增加。起自东北大兴安岭,止于西南中国与不丹边境的500毫米年降水量等值线,大致把中国分为西北和东南两半。西北部干旱,其中塔里木盆地、柴达木盆地边缘许多地区年降水量均在20毫米以下,沙漠中间甚至终年不雨。东南部湿润,其中长白山区年降水量可以多到800—1000毫米,长江中下游及南部在1000毫米以上,东南沿海、台湾、海南岛许多地方年降水量超过了2000毫米<sup>[21]</sup>。

我国西北内陆地区干旱,但日照充足,昼夜温差大,岩石机械风化强烈,形成了山前“戈壁”碎石带,有利于地下水的补给和蓄积。沙漠和黄土都是在干旱气候条件下的产物,它们同样具有较大的孔隙,是组成蓄水构造的透水层和含水岩组。

我国南方湿热多雨,以化学风化为主,岩石的全风化带孔隙度很低,是相对的隔水层。另外,象西沙群岛构成含水层的珊瑚砂,则是热带气候条件下生物活动的产物。

大小兴安岭与呼伦贝尔地区,分布着岛状多年冻土,其南界大致与年平均气温 $0^{\circ}\text{C}$ 或一月平均气温 $-24^{\circ}\text{C}$ 等值线一致,冻土层厚1至60米以上,融冻层厚0.5—3米<sup>[4]</sup>。青藏高原属高原多年冻土,青藏公路沿线多年冻土厚30—60米。在冻土地区,含水层冻结转化成隔水层,构成一种特殊类型的蓄水构造。

降水入渗是地下水补给的重要组成部分,降水量与入渗量的大小呈正相关关系。以山西省石灰岩山区为例,北部年降水量为350毫米,入渗模数约1.5升/秒·平方公里;中部降水量为550毫米,入渗模数约4升/秒·平方公里;南部降水量为700毫米,入渗模数约7升/秒·平方公里。

在干旱的沙漠地区,降水量稀少,昼夜温差很大,大气凝结水对地下水的补给占有一定的比重。

我国地势西部高,东部低。在大兴安岭、太行山和贵州高原东缘山地以西是大高原、山原、极高山、高山和大盆地。除四川盆地、塔里木盆地、准噶尔盆地等大盆地外,海拔都超过1000米。在这一线以东,有一条北东-南西走向的平原带,自北而南有松辽平原、黄淮海平原、江汉平原和长江三角洲,它们互相连接,为我国最重要的平原。在这一平原带以东和东南,又有相当宽广的中山、低山和丘陵,包括东北的长白山、辽东半岛的千山、山东的低山和丘陵,再往南为浙江、福建和广东的低山与丘陵。

塔里木盆地以东有大片的沙漠和半沙漠,主要分布在塔里木盆地、准噶尔盆地、祁连山以北和内蒙古高原<sup>[4]</sup>。

黄土塬与黄土丘陵主要分布在陇中、陕北、晋西、豫西、内蒙古南部和青海东北角,面积约28万平方公里。



我国大陆和岛屿海岸绵延曲折,其中仅大陆线就有18 000多公里,是世界上海岸线最长的国家之一。沿海岛屿有3 300多个<sup>[6]</sup>,以台湾岛最大,其次为海南岛。面积在200平方公里以上的还有崇明岛、舟山岛、东海岛、海坛岛、长兴岛、东山岛。

平原地形有利于地下水的入渗补给,不利于地下水的水平排泄。以华北平原的商丘地区为例,商丘位于黄河南岸,附近8县1市总面积为10 352平方公里,地势平坦。全区多年平均降水入渗量为13.14亿立方米,灌溉回渗量为0.23亿立方米,河渠入渗量为0.68亿立方米,地下水流入量为0.42亿立方米,地下水流出量为0.18亿立方米。地下水流出量仅占降水入渗量的1.4%<sup>1)</sup>。

山地地形有利于地下水的排泄,而不利地下水的补给。我国南方降水量较大,但以山地为主。福建省地下水开采资源为28亿立方米/年,浙江省为29亿立方米/年,江西省为68亿立方米/年,贵州省为73亿立方米/年,广东省为96亿立方米/年。这些省份的地下水开采资源远远小于河北省,后者年降水量较少但以平原为主,地下水开采量达到130亿立方米/年<sup>2)</sup>。

高原地形有利于地下水的补给,也有利于地下水的排泄。以山西高原为例,该高原分布有大面积的石灰岩,海拔600—1 500米,高原原面比较缓平,有利于降水的渗入。在高原的边缘,由于断块隆起,河流下切,泉水出露,其中流量大于1立方米/秒的岩溶大泉即有30多处,占我国北方岩溶大泉半数以上。

我国西北地区干旱少雨,但高山积雪可以视作固体水库。夏季积雪融化形成河流,成为山前地下水的主要补给来源。如青海省格尔木地区多年平均降水量仅有42毫米,格尔木河冲洪积扇主要接受河水入渗补给,其前缘泉水溢出量达126万立方米/日。

我国河流众多,流域面积在100平方公里以上的河流约有50 000多条,河川年径流量为27 200亿立方米。

我国河流外流区域约占全国面积三分之二,主要分布在东部和南部。在外流水系中,多数河流向东流入太平洋。如长江、黄河、黑龙江、辽河、海河、淮河、钱塘江、闽江、珠江等。向南注入印度洋或太平洋的主要河流有怒江、雅鲁藏布江和澜沧江。向北注入北冰洋的有额尔齐斯河。其中秦岭、淮河以南的河流水量大,水量和水位的季节变化小。秦岭、淮河以北的河流水量大、水位季节变化大。内流水系主要分布在我国北部和西部,其下游或在洼地积水成湖,或消失于沙漠中,其中最长的塔里木河。

我国西部高山有现代冰川和永久积雪分布,总面积为57 000平方公里,储水量约为29 640亿立方米。

我国湖泊众多,以长江中下游和藏北高原分布最密。面积大于1平方公里的天然湖泊有2 800余个,总面积为80 000平方公里。淡水湖主要分布在长江中下游平原地区,如鄱阳湖、洞庭湖、洪泽湖和太湖等。青藏高原和内蒙古、新疆等干旱地区多为咸水湖,其中著名的有青海湖、罗布泊和嘎顺诺尔。也有个别湖泊由于补给及排泄通畅为淡水湖,如新疆的博斯腾湖等。

此外,随着我国社会主义建设事业的蓬勃发展,兴建了许多水库、运河和渠道<sup>[6,7]</sup>。

河流流经构成蓄水构造的断层破碎带或透水层,河水补给地下水,最大可达数至数十

1) 河南省地质矿产局等,1989,河南省商丘地区浅层地下水资源评价攻关研究报告。

2) 地质矿产部,1985,中国地下水资源评价简要报告。

立方米每秒。河流切割蓄水构造的含水层,排泄地下水,流量最大可达10—20立方米/秒。

有不少蓄水构造靠近江河岸边,当开采地下水的时候,可以得到河水的渗漏补给。由于江河流量往往比一个蓄水构造的开采水量大得多,因此,江河水面常常可以看作是一个有保证的定水头补给边界。例如西安附近的渭河傍河水源地,经计算,渭河河水渗漏补给量占开采量的80%以上。傍河的蓄水构造往往有很高的经济价值,在那里常常可以得到大量价廉质优的地下水。这种傍河取水的水源地,无论在国外和国内,都占有一定的比例。

我国海岸线长达18000多公里,另外还有众多的岛屿。海水的矿化度高达35克/升,不能作为生活及锅炉用水,所以对一个滨海或岛屿的淡水蓄水构造来说,海水就是一个边界,并且是一个可以移动的可能侵入含水层的边界。

我国内陆有许多面积较大的盐湖,位于盐湖湖滨的蓄水构造与滨海及岛屿的蓄水构造相似,同样存在咸水入侵含水层的问题。

西北干旱地区和滨海地区,潜水的矿化度很高,在河流、湖泊、渠道、塘堰淡水体附近,由于淡水的渗漏,往往可以形成带状的或是小型的淡水蓄水构造。

## 五、中国蓄水构造类型的划分

我国疆域辽阔,自然地理、地质条件复杂,因此,对我国种类繁多的蓄水构造提出一个既简明实用,又具有一定科学性的分类原则,是十分必要的。

根据蓄水构造的定义,分类时,许多因素应该考虑。

(1)空隙的性质。空隙按性质可以划分为孔隙性的空隙、岩溶性的空隙、裂隙性的空隙。不同性质的空隙,它们的渗透性能、给水度、均匀性、水力性质等都有很大的差异。

(2)空隙的成因和形态。比如孔隙又可分为冲洪积层孔隙、冰水沉积层孔隙、半胶结岩孔隙。岩溶又可分为石灰岩岩溶、石膏岩溶、盐岩岩溶等。根据形态,岩溶空隙又可分为裂隙岩溶、地下河及管道。裂隙又可分为风化裂隙、构造裂隙、成岩冷凝裂隙等。

(3)含水层的岩性。不同的岩层,它们的空隙也不相同。根据含水层的岩性,可以分为砂卵石层、砂岩、砾岩、石灰岩、白云岩、玄武岩、片麻岩等组成的含水层。

(4)地貌单元。不同的地貌单元,它们的蓄水构造的成因和分布也不一样。比如山间河谷分布的是带状的冲洪积层蓄水构造;山间盆地又包括与洪积扇、倾斜平原、冲积平原相对应的蓄水构造;大型的冲积平原是以古河道为主的冲洪积蓄水构造等。

(5)岩层的褶曲。层状岩石分布地区,由于地层的褶曲,往往可以形成赋存承压水的蓄水构造。按照地层的褶曲,又可以分为单斜蓄水构造、向斜蓄水构造、背斜蓄水构造等。

(6)断裂构造。在结晶岩分布地区,以及厚层缓平富水性比较均匀的石灰岩、白云质石灰岩、硅质石灰岩、石英岩、砂岩分布地区,断层破碎带往往是主要汇集、蓄存地下水的部位。根据断层的性质,可以分为压性断层蓄水构造、张性断层蓄水构造、扭性断层蓄水构造。

断层的复合部位往往是采取地下水的理想位置。根据断层的复合关系,又可分为交

叉断层蓄水构造、人字型断层蓄水构造、帚状断层蓄水构造等。

部分压性断层具有明显的阻水性质。根据断层的透水性质,也可分为导水断层形成的蓄水构造、阻水断层形成的蓄水构造。

(7)火成岩活动。火成岩本身可以看作是蓄水构造的隔水边界,在它的接触带,可以形成次生的空隙。火成岩与碳酸盐岩接触,可以形成侵入体岩溶蓄水构造。火成岩与碎屑岩接触,可以形成侵入体裂隙蓄水构造。另外,某些喷发岩本身空隙发育,可以构成重要的含水层。

(8)埋藏条件。蓄水构造的埋藏条件,影响着蓄水构造的补给条件和水力性质。根据蓄水构造的埋藏条件,可以分为裸露型的蓄水构造、覆盖在松散岩层下面的覆盖型蓄水构造、隐伏在胶结岩层下面的隐伏型蓄水构造和层间型蓄水构造。

(9)循环及交替条件。根据循环及交替条件,可以分为封闭的蓄水构造和循环的蓄水构造。循环的蓄水构造,又可以进一步划分为浅循环的蓄水构造和深循环的蓄水构造。

(10)组合关系。有的蓄水构造由一个单一类型的蓄水构造组成,有的蓄水构造由两个以上多种类型的蓄水构造组成。前者可以名之为单式蓄水构造,后者可以名之为组合式的蓄水构造。

(11)自然地理特点。不同的自然地理单元,由于气候和地理位置的影响,蓄水构造有着不同的特征。因此,根据自然地理特点,可以把蓄水构造划分为湿润、半湿润、半干旱地区的蓄水构造、干旱地区的蓄水构造。干旱地区除一般岩层外,又可划分出黄土地区的蓄水构造、沙漠地区的蓄水构造。根据距离海岸线的远近,可以分为内陆地区蓄水构造、滨海及岛屿地区蓄水构造。根据地表冻结情况,可以分为非多年冻土地区的蓄水构造、多年冻土地区的蓄水构造。

(12)地下水的温度。根据地下水的温度,可以分为冷水蓄水构造、热水蓄水构造。

在进行类型划分的时候,如果上述因素全部作为分级的标准,那么分类系统势必十分繁杂。从实用的观点出发,以分二到三级为宜。在这种控制因素多而分级级别少的情况下,每一个级别的划分就不能只考虑一个单一的因素。为了减少类型的数目,在我国没有实例或实例不多,则不划分独立的类型。

根据以上原则,我国蓄水构造类型一级划分考虑的因素是自然地理和空隙性质,把全国蓄水构造划分为孔隙蓄水构造类型、岩溶蓄水构造类型、裂隙蓄水构造类型和地区性蓄水构造等4类。

为了简化分级,这四类的第二级——型的划分原则也不一致。

孔隙蓄水构造类的第二级划分,考虑地貌和含水层岩性,划分为山间河谷蓄水构造、山间盆地蓄水构造、冲积平原蓄水构造、冰水沉积蓄水构造和半胶结砂岩蓄水构造等5型。

岩溶蓄水构造类的第二级划分,考虑溶蚀空隙的成因及形态、火成岩的活动和埋藏条件,划分为裂隙岩溶蓄水构造、层间岩溶蓄水构造、断层岩溶蓄水构造、侵入体岩溶蓄水构造、膏溶角砾岩蓄水构造、地下河及管道蓄水构造、覆盖岩溶蓄水构造和隐伏岩溶蓄水构造等8型。

裂隙蓄水构造类的第二级划分,考虑裂隙的成因、火成岩的活动和埋藏条件,划分为