

# 西南岩溶石山区断陷盆地岩溶水系统 分类及供水意义

王 宇

(云南省地质调查院, 云南 昆明 650011)

**摘要:** 笔者根据岩溶区水文地质条件及特征的差异, 以地下水循环的特征为纲, 应用系统分析方法, 将岩溶水系统分为三级, 对各级系统进行了分类。第一级为岩溶水系统, 第二级分为浅循环和深循环岩溶水系统, 第三级分别进一步分为裸露型、裸露—覆盖型、裸露—埋藏型、滞水型及层控型和断裂带型 6 类基本的岩溶水文地质单元。并论述了各类型的水文地质特征, 指出了各类系统的供水意义, 对断陷盆地岩溶水资源的勘查和开发有较大的参考价值。

**关键词:** 断陷盆地; 岩溶水系统; 分类及特征; 供水意义

**中图分类号:** P641.134 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2003)02-0220-05

断陷盆地以滇东—攀西地区发育最为密集, 仅滇东 15 万 km<sup>2</sup> 的区域内, 盆底平坝面积 30~1071 km<sup>2</sup> 的盆地就有 69 个。断陷盆地是这些地区主要的人口聚居区、经济活动区和主要的需水区, 也是地下水的主要汇集排泄区。因而, 成为西南岩溶石山区地下水资源勘查的重点工作区。通常, 断陷盆地由于强烈的构造运动, 断裂交错发育, 各个时代的地层被切割成不同形态的断块, 由于断块间的差异升降运动, 使同一时代的岩溶含水层与非岩溶相对隔水层错落分布于不同的高程上<sup>[1]</sup>, 导致水平方向上岩溶含水层与非岩溶相对隔水层形成断裂接触, 加之岩溶含水层与非岩溶相对隔水层在垂向上的相间分布, 从而形成了诸多水文地质特征不同、相对独立、更低级别的岩溶水系统。所以, 必须对断陷盆地岩溶水系统进行分类分级, 才能深入地进行岩溶水系统勘查、研究和地下水资源评价<sup>[2-3]</sup>。

## 1 断陷盆地岩溶水系统类型划分

岩溶水系统分类分级的原则为: 以地下水循环的特征为纲, 根据水文地质条件及其基本特征的差异性进行分类; 按照从上到下由一般到具体的次序进行分级。分类力求反映各类型的基本特征和共性, 保持地下水补给、径流、排泄系统的完整性, 便于剖析和归纳总结岩溶水的运动和赋存规律, 分

类方案见图 1。

一级: 研究对象——岩溶水。

二级: 根据地下水的循环深度和周期长短, 划分为浅循环和深循环两类岩溶水系统。浅循环岩溶水系统是指地下水循环深度较浅, 循环周期在一个水文年内, 受降水的季节变化影响明显的地下水系统。深循环岩溶水系统是指地下水循环深度大, 循环周期长达数年或数十年以上, 受降水的季节变化影响微弱或不受其影响的岩溶水系统。

三级: 为各类岩溶水系统中的每一个具体的系统, 为一个完整的补给、径流、排泄单元, 即: 通常所称的水文地质单元。是地下水资源勘查、评价及开发利用和管理的最基本单元。多以地下分水岭、透水性弱的岩土体、断裂以及河流构成其边界。对于浅循环岩溶水系统, 在断陷盆地岩溶导水、储水空间的发育和空间分布受碳酸盐岩的成层性特征控制明显, 在勘探和开发实践中, 往往将其视为似层状含水层组。对于地下水的形成、运动、赋存特征, 含水层组的埋藏和分布条件起着突出的作用。因而, 根据岩溶含水层组埋藏和分布条件的差异, 进一步划分为: 裸露型、裸露—覆盖型、裸露—埋藏型、滞水型 4 类岩溶水文地质单元; 对于深循环岩溶水系统, 地下水的运动和赋存主要受地质构造控制, 勘探和开发实践中发现, 主要存在两种类型: 一是深埋藏层控型, 地下水

收稿日期: 2001-12-11; 改回日期: 2003-01-07

基金项目: 国土资源部地质大调查项目(199910400)资助。

作者简介: 王宇, 男, 1960 年生, 教授级高级工程师, 主要从事水文、工程、环境地质调查研究工作; E-mail: ynddw@public.km.gn.cn。

的赋存受控于岩溶含水层组的埋藏和分布状况,含水层组多为下古生界和元古界中、埋深数百至3 000 m以上的岩溶含水层组。在断陷盆地内,由于构造作用强烈,岩层破碎,碳酸盐岩层长期处在覆盖或埋藏状态下,地下水溶蚀作用持续时间长,这类岩溶含水层组一般透水性、富水性都较均匀,只要钻孔揭露这类岩溶含水层组,均可成井。因为含水层埋深大,地下水主要靠少量的远程越流补给,地下水形成年龄多为数十至数百年,故钻井开采量常以储存量为主。另一类为断裂带型,地下水多在断裂带中的强透水段呈上升泉出露,地下水的运动主要为水压差以及温度、密度差引起的对流。

## 2 岩溶水系统特征

以上划分的各类岩溶水系统,由于各自的水文地质边界条件和结构不同,从而,各个类型之间在水文地质特征上表现出明显的差异。现结合图2、3,将各类型的水文地质特征论述如下。

### 2.1 浅循环岩溶水系统

#### 2.1.1 裸露型岩溶水文地质单元

这类系统是指岩溶含水层组由岩溶山地补给区延伸至盆、洼、谷地排泄点或带,基本上呈裸露展布。此类系统岩溶发育极不均匀,导储水空间以洞管为主,岩溶水主要为暗河流,沿暗河有许多落水洞、天窗、溶井、脚洞与其沟通,岩溶水主要通过这些通道获得补给,岩溶水系统储存调节能力弱,水位流量季节变化剧烈。岩溶水流以快速流为主,多以大泉、暗河形式排泄。

#### 2.1.2 裸露—覆盖型岩溶水文地质单元

这类系统是指岩溶含水层组由裸露岩溶山区延伸至松散土层覆盖区、由裸露过渡为覆盖型的岩溶水系统<sup>[4]</sup>。多分布于断陷盆地和底部存在近期沉积的谷地、洼地地区。这类系统岩溶水资源主要是降水渗入(灌入)补给量,一些地区还有部分地表水渗入、系统外含水层的越流补给量,在气象因素影响下,具有年的和多年的周期性变化规律。这类岩溶水系统的主要特征,一是均可划分为差异很大的裸露和覆盖型岩溶区。前者是岩溶水的补给、径流区,岩溶储水空间为不均匀的洞隙系统,地下径流主要为快速的管道流;后者往往处于断裂的下降盘,岩溶发育相对均匀、连通性好,其水文地质特征等效于多孔介质,地下迳流主要为慢速的扩散流。如昆明盆地的吴家营岩溶水系统,裸露型岩溶区地表洼地、漏斗、落水洞密集,分布面积达38.0%~63.38%,地下主要为黑、白龙潭暗河洞隙径流空间,径流速度达23.51~3 840.77 m/d,黑龙潭暗河流量200.61~1 008.45 L/s,白龙潭暗河流量198.48~869.09 L/s。而覆盖型岩溶区主要为网状溶隙系统,统计29个按网格布置的勘探钻孔实测资料,埋深5~200 m的岩溶强发育带,岩溶率为12.84%~21.19%,孔旁环形测深极形图长短轴比1.27~1.33,径流速度1.8~7.98 m/d,钻孔涌水量579.02~2 236.03 m<sup>3</sup>/d,水位年变幅仅0.01~1.53 m。二是系统水资源大部分从山地暗河出口或大泉排泄到地表,地下水资源的开采,应以截流提引和建

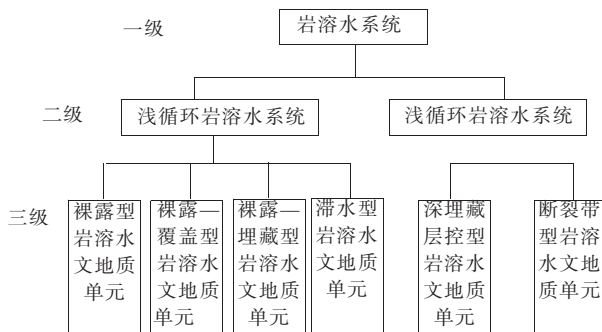


图1 断陷盆地岩溶水系统分类分级方案

Fig. 1 Classification of karst water systems in karst down-faulted basins

库调蓄开采暗河或大泉为主。但覆盖区往往处于断陷区,岩溶发育深度大,有较大的储水空间和储存量,可同时布井开采,起到调节暗河或大泉枯季流量减少的作用。三是系统内部存在统一的水力联系,当覆盖区过量开采时,首先表现为袭夺暗河和大泉流量,甚至导致其流量枯竭,进而造成水位持续下降,在一定的条件下还可能引起岩溶塌陷等地质灾害。如:曲靖城区、昆明翠湖、黑龙潭等<sup>[5]</sup>。因此,必须按系统完整地进行勘查评价工作,系统规划开采方案。

#### 2.1.3 裸露—埋藏型岩溶水文地质单元

指岩溶含水层组由裸露岩溶山区延伸至其他非可溶岩埋藏区、由裸露过渡为埋藏型的岩溶水系统。系统的这一特征与裸露—覆盖型岩溶水系统基本相同。但埋藏型岩溶含水层组储水空间以发育较均匀的网状岩溶裂隙为主,富水性及透水性更为均匀,一般都赋存承压水,水质优良,动态稳定。这类系统的卫生防护条件和环境条件更好,埋藏区在岩溶含水层组上覆岩层完好的条件下,与上层潜水及地表水基本无水力联系,不易产生含水层污染和岩溶塌陷等地质灾害。此外,埋藏型岩溶含水层组的分布可能达到盆地、谷地边缘山坡之上,更有利于利用。在昆明盆地的金殿一带,高于盆地底部100余米的山坡上,于埋藏在寒武系中统陡坡寺组碎屑岩层下的寒武系下统龙王庙组岩溶含水层组中,打出了水位埋深4.05 m,涌水量1457.57 m<sup>3</sup>/d的开采井。在昭通—鲁甸盆地的茨院一带高于盆地底部数十米的丘陵区,于埋藏在二叠系下统梁山组碎屑岩层下的泥盆系中统曲靖组岩溶含水层组中,打出了水位埋深3.2~3.6 m,涌水量1 560~2 666 m<sup>3</sup>/d的7口扶贫开采井。

#### 2.1.4 滞水型岩溶水文地质单元

指分布于岭坡之上,底部为碎屑岩层、火成岩体、岩溶发育微弱的碳酸盐岩组等相对隔水层(体)悬托的岩溶水系统。其明显的地质特征为具有分布高程高于盆地地面标高的隔水悬托层。此类系统储水空间多以洞隙为主,在有覆盖或褶皱构造条件下,含水层组富水性较均匀;在裸露和单斜构造

条件下,含水层组富水性不均匀。一般储水空间和储存量有限,调节能力弱,动态变幅大。

### 2.2 深循环岩溶水系统

#### 2.2.1 深埋藏层控型岩溶水地质单元

指岩溶裂隙含水层埋深在数百至 3 000 m 以上的岩溶水系统,这类系统富水性均匀,富含承压水,其富水性、水温、水质主要受埋深和构造控制,基本不受气象水文、地形地貌条件的影响,地下水循环周期在数十年以上。在断裂作用强烈的断陷盆地区,多赋存着水质优良的热矿泉水。最典型的为昆明盆地,由震旦系上统灯影组白云岩夹硅质白云岩及硅质岩、磷块岩组成的岩溶裂隙含水层组,与上覆隔水、隔热的古生界泥质岩层、新生界湖积粘土土盖层,下伏震旦系下统及昆阳群砂泥质变质岩隔水底板构成深埋藏层控型岩溶水系统。含水层组厚 426.96~617.88 m,埋深 500~3000 m,水位为高出地面 7.56 m 至埋深 35.10 m,水温 38~80 °C,均为偏硅酸、锶饮用天然矿泉水。由于灯影组碳酸盐岩层具有硬、脆、碎的特点,含水层组富水性、透水性均匀,在昆明盆地所打一百多个钻孔,孔深 600~2 725 m,涌水量均在 800~1 920 m<sup>3</sup>/d。系统水循环速度很慢,据近百组氡同位素、<sup>14</sup>C、铀系法测年结果,地下水的形成年龄多为 50 年左右。昆明盆地的深埋藏层控型岩溶水,自 1974 年初被发现,并开发利用,目前开采量约 20 000 m<sup>3</sup>/d,水位一直呈下降趋势,但下降速度逐渐变缓,最初下降速度为每年数米至十余米,近年来平均每年下降 1m

左右。说明其开采量主要为储存量,但也存在一定量的越流补给。

#### 2.2.2 断裂带型岩溶水地质单元

指沿断裂破碎带形成的带状或脉状岩溶水,由裂隙及破碎带导水,往往在裸露岩溶山区,通过断裂的透水段获得降水补给,或者在断裂透水段通过地下含水层时获得越流补给,在地形高差产生的水压力差以及地下水温差作用下,形成地下水对流系统。具有系统分布范围狭小,对流通道分布随机,循环深度大,循环周期长,水位、流量受气象水文、地形地貌条件的影响小,较为稳定,水温较高的特点。当对流通道通过浅部孔隙、裂隙或岩溶含水层组时,一部分深循环水会扩散到这些含水层组中,在深循环水流通道附近形成一定范围的囊状或带状水温异常区。较典型的如安宁温泉深循环断裂带型岩溶水系统,该系统以螳螂江断裂带中的透水裂隙系统为导水通道,排泄口为上升泉群,出露于螳螂江谷底一级基座阶地前缘、二叠系下统阳新组强岩溶潜水含水层组中。在长宽约 30 m 的范围内,出露 7 个泉点,总流量 10 195 m<sup>3</sup>/d,水温 46 °C,氡同位素测年结果为 16.2 年。在其周围沿河谷长 1 000 m、宽数十至百余米的地带内,所打 20 多个钻孔,只有 13 个打到热水。在温泉南面 600 m 处施工的勘探孔,孔深 665.10 m,全孔除深度 165.52~209.13 m、426.99~561.09 m 两段为碎屑岩外,均为强岩溶含水层组,孔内温度在孔深 0.0~70.0 m 为 41.5 °C,向下随着孔深增大直至孔底,温度反而逐渐降到 19.5 °C。表明深循环

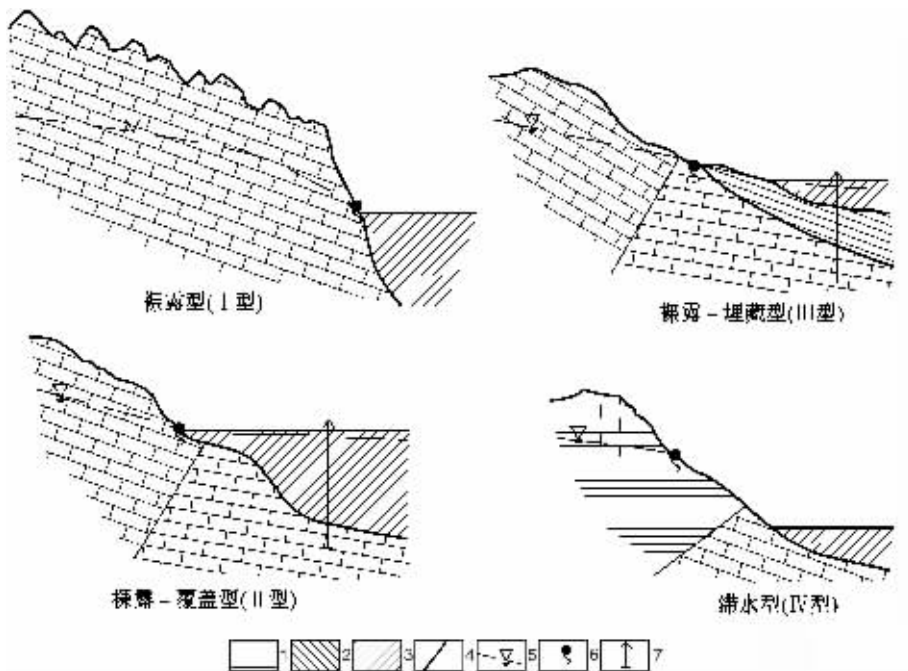


图 2 浅循环岩溶水地质单元类型示意

1—碳酸盐岩岩溶含水层组;2—碎屑岩等隔水层;3—松散土层;4—断层;5—岩溶水水位线;6—下降泉(暗河出口);7—钻孔

Fig. 2 Diagram showing the shallow-circulating hydrogeological units  
1—Carbonate karst aquifer; 2—Aquifuge of clastic rocks etc.; 3—Loose soil; 4—Fault;  
5—Karst water table; 6—Descending spring or subterranean river exit; 7—Borehole



水流通道的分布是非常局限、随机的,有一部分深循环水流沿一些管隙扩散到岩溶潜水含水层组中,但这部分水流的分布在平面和垂向上都不均匀。

### 3 各类岩溶水系统的供水意义

#### 3.1 浅循环岩溶水系统

此类系统由于补给条件好,水循环交替快,水资源比较丰富,允许开采量大,开发利用成本低。所以,开发价值较大。

裸露型岩溶水文地质单元,往往分布于盆地周边裸露岩溶石山区,是山区人畜饮水、农业用水、生态建设用水等供水的主要水源<sup>[6]</sup>。地下水资源主要是管洞径流量,动态变幅大,雨季流量往往是旱季流量的数十至数百倍。岩溶储水空间分布极不均匀,埋深大,目前的技术手段尚难准确地探明其分布位置。因此,适宜多方式、多源取水,以用引、提、堵的方式开发利用泉、溶井、暗河出口等天然出露的地下水为主。只有在岩溶发育较为均匀,储量较丰富的地段,才能钻井开采地下水。对有条件的暗河系统,通过建库调蓄,可大大提高岩溶水的利用率。曲靖盆地的越州水城暗河系统,流域呈南北向长条状分布,面积 178 km<sup>2</sup>,为由北向南递降的岩溶中山峰从洼地区。含水层组为二叠系下统阳新组碳酸盐岩,呈平缓褶皱,岩溶洞管发育,降水渗入系数达 0.65。系统三面以地下分水岭为边界,南面集中排泄点暗河出口以下,由于大幅度的断陷,沉积了厚达 959.05 m 的古近系、新近系含煤粘土层,构成了隔水边界。暗河枯季流量 1 210.47 L/s,雨季流量剧增,在暗河出口所在侵蚀缓丘谷地中已修建一中型水库调蓄利用。位于滇东南元江流域盘龙河右岸的白石岩暗河系统,流域呈近圆形分布,为由西向东递降的岩溶中山峰从洼地。面积 448.80 km<sup>2</sup>,发育于一向斜基础上,核部为岩溶强烈发育的石灰岩、泥盆系碳酸盐岩岩溶含水层组,储水空间以洞管系统为主,降水渗入系数达 0.7,翼部泥盆系下统页岩构成良好的隔水边界,东面以盘龙河为透水边界。暗河最大流量 34 515 L/s,最小流量 202.75 L/s,平均流量 10 459 L/s。该系统具备修建大型地下水库的条件。现在出口段和下游盘龙河谷中建坝,修建了一个中型地表—地下水库调蓄利用,并在其上游的柳井乡吹风洞,通过溶洞在地下 121.2 m 深处安装电潜泵抽水利用。

裸露—覆盖型及裸露—埋藏型岩溶水文地质单元,一般分布于盆地边缘至底部。此类系统除具有浅循环岩溶水系统一般水资源特征外,其覆盖或埋藏岩溶区往往具有较大的储量,在枯水期可对开采量起到调节补偿的作用。因此,水源地均为调节型,对于稳定供水比较有利。所以,是一般供水勘探和开发的主要对象。目前,已经勘查和开发的也主要是这类岩溶水系统。由于裸露区与覆盖(埋藏)区水力联系密切,因此,岩溶水开发利用,通常采取截引裸露区的大泉或暗河与在覆盖(埋藏)区打井调节的方式联合开采。如:吴家营城市供水源地,为了稳定供水,规划在黑、白龙潭暗河出口引

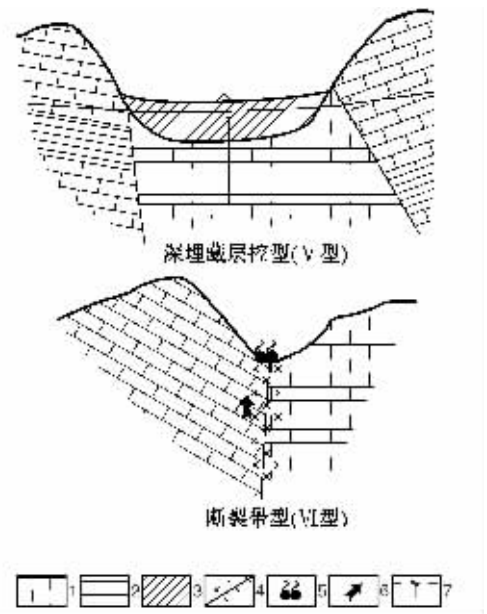


图3 浅循环岩溶水文地质单元类型示意

- 1—碳酸盐岩岩溶含水层组;2—碎屑岩等隔水层;3—松散土层;  
4—断层及破碎带;5—上升泉群;6—地下水流向;7—钻孔及水位

Fig. 3 Diagram showing the shallow-circulating hydrogeological units

- 1—Carbonate karst aquifer; 2—Aquifuge of clastic rocks etc;  
3—Loose soil; 4—Fault and fracture zone; 5—Ascending spring group;  
6—Direction of groundwater flow; 7—Borehole and water table

水 38 356 m<sup>3</sup>/d。在枯水期不影响黑、白龙潭暗河流量的前提下,在暗河出口下游3 km 和 10 km 的吴家营和大渔村北部布置井群,允许开采量共为 15 000 m<sup>3</sup>/d。

另外,滞水型岩溶水文地质单元,因其多处在干旱缺水的山岭之上,开发利用价值大,是解决岩溶山区人畜饮水困难的重要水源。这种系统储量有限,允许开采量主要为径流量,开采方式主要是截引泉或暗河水流,对储量较大的系统,也可适量布井开采。锡都个旧的老厂、卡房矿区,位于元江与南盘江的分水岭上,南距元江 20 km,高差 1 900~2 533 m,北距南盘江流域的蒙自盆地 15 km,高差 745~1 460 m,地表广泛分布三叠系中统个旧组碳酸盐岩,呈峰丛洼地地貌,落水洞、竖井随处可见,严重干旱缺水。但在矿区地下分布着巨大的花岗岩体,埋深 150~600 m,成为上覆岩溶含水层组的隔水底板,在花岗岩体顶面呈盆、槽状的凹形地段,形成滞水型岩溶水文地质单元,其水位面随花岗岩体顶面起伏而起伏,埋深在 249~529 m,矿坑揭露的 1 800 m 中段岩溶洞管涌水量为 3 600~159 848 m<sup>3</sup>/d,用其解决了大部分矿区的生产生活用水。富宁睦伦街处在南利河与普厅河的分水岭地带,南距南利河 20 km,高差 950 m,北距普厅河流过的富宁盆地 20 km,高差 850 m。在系统之外钻孔揭露水位埋深大于 100 m,枯水期

几乎为干孔。而系统内所打扶贫孔,水位埋深仅 5.92 m,涌水量 818 m<sup>3</sup>/d。

### 3.2 深循环岩溶水系统

该类系统地下水运动速度缓慢,水资源量有限,但动态稳定,水质优良,多为热矿泉水,资源珍贵,主要适宜于旅游娱乐业和生活饮用水。目前,这类系统岩溶水资源的开发,也主要用于旅游娱乐业、理疗、饮用天然矿泉水的生产。根据深埋藏层控型岩溶水文地质单元的水文地质特征,这类系统一般只能获得相邻含水层的越流补给,其补给量有限,循环速度慢,开采量主要是储存量,水源地多为非稳定的消耗型水源地,开采方式主要为井采。断裂带型岩溶水文地质单元,根据其水文地质特征,这类系统以堤引泉水开采为主,在深循环水流通道附近形成一定范围的囊状或带状水温异常区的条件下,也可适量布井开采。

### 参考文献(References):

- [1] 中国科学院地质研究所岩溶研究组.中国岩溶研究[M].北京:科学出版社,1979.  
Study Team of Karst in Institute of Geology,Chinese Academy of Science.Study of Karst in China[M].Beijing:Science Press,1979 (in Chinese).
- [2] 袁道先,蔡桂鸿.岩溶环境学[M].重庆:重庆出版社,1998.

- Yuan Daoxin, Cai Guihong.The Science of Karst Environment [M]. Chongqing:Chongqing Publishing House,1998 (in Chinese).
- [3] 朱远峰,崔光中,覃小群,等.岩溶水系统方法及其应用[M].南宁:广西科技出版社,1992.  
Zhu Yuanfeng, Cui Guangzhong, Qin Xiaoqun, et al.The Systematic Method on Karst Ground Water and Its Application[M]. Nanning:Guangxi Science and Technology Publishing House, 1992 (in Chinese).
- [4] 王宇.滇东地区断陷盆地裸露—覆盖型岩溶水系统特征剖析[J].云南地质,1993,(3):301~316.  
Wang Yu. Analysis of the characteristics of exposed and covered karst water systems in fault basins,East Yunna [J].Yunnan Geology, 1993,(3):301~316 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王宇.云南省岩溶水开发利用条件分析评价[J].水利学报,2001,(1):49~52.  
Wang Yu. Evaluation of the exploitation and utilization conditions of karst groundwater in Yunnan Province [J].Journal of Hydraulic Engineering ,2001,(1):49~52 (in Chinese with English abstract).
- [6] 王宇.云南省岩溶水开发利用条件研究[J].中国岩溶,2000,19(2):129~132.  
Wang Yu. Evaluation of the exploitation and utilization conditions of karst groundwater in Yuannan Province [J].Carsologica Sinica, 2000,19(2):129~132 (in Chinese with English abstract).

## Classification of karst water systems in karst down-faulted basins of the southwestern China karst region

WANG Yu

(Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming 650011, Yunnan, China)

**Abstract:** According to different hydrogeological and characteristics of karst areas as well as the characteristics of groundwater circulation and by applying the systematic analytic method, the karst water systems may be classified into three grades: the first grade is the karst water system; the second grade includes the shallow-circulating and deep-circulating karst water systems; the third grade may be further divided into six basic karst hydrogeological units or types, exposed, exposed-covered, exposed-buried, perched water, deep-buried stratabound and fault zone types. The paper also discusses the hydrogeological characteristics of the various types and points out the significance of various systems in water supply. This study is of reference value for the exploration and development of karst water resources in down-faulted basins.

**Key words:** down-faulted basin; karst water system; classification and characteristics; significance for water supply