

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2015.05.002

贯彻科学生态文明理念以综合开发水资源防灾兴利

卢耀如^{1,2,3}, 刘琦^{2,3}, 张鑫馨¹

(1. 中国地质科学院, 北京 100037; 2. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092;
3. 教育部城市环境与可持续发展联合研究中心, 上海 200092)

摘要: 中国的水资源问题是一个重要的瓶颈问题。关于水的起源仍然值得深入研究, 涉及地球的形成、目前宇宙水球的来源及地球深部水的问题。强调了划定水圈几个带的尝试, 以及圈层间的复杂作用, 进而探讨了水资源开发问题, 在圈层运动基础上建立全流域演化综合效应与有关评价的理念, 并以黄河中游及长江中上游及内河流域演化为例进行了分析, 水资源开发应考虑有限性、相对性和生态性“三性”, 以及“水可载舟也可覆舟”的两重性。论述了“六水”(雨水、河水、湖水、地下水、库水等人工水体和海水)的综合开发利用问题, 以及6种灾害统一防灾减灾的问题, 洪灾、涝灾、旱灾、风暴潮、地质灾害、水污染这6种灾害与“六水”有关, 指出了分段控制库水水质与地表水-地下水综合开发调蓄及修建地下水库的重要性。提出了水资源开发与灾害防治应多部门多学科协作, 大力推行节水措施, 建立完善的多功能水资源网络, 以供定需, 加强评价与开发的追究责任制度等建议。

关键词: 水资源开发; 流域演化; 防灾减灾; 生态文明

中图分类号: TV213 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2015)05-0384-011

Implementation of concept of scientific ecological culture for comprehensive development of water resources and disaster prevention

LU Yaoru^{1,2,3}, LIU Qi^{2,3}, ZHANG Xinxin¹

(1. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;
2. Department of Geotechnical Engineering, College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;
3. United Research Center for Urban Environment and Sustainable Development, the Ministry of Education, Shanghai 200092, China)

Abstract: Water resources constraints constitute a significant bottleneck in China. The origins of water are worth further research, as they relate to the Earth's formation, the origins of the water globe, and the issue of deep water. First, we attempt to divide the hydrosphere into several belts and focus on the complex interaction between spherical layers. Then, water resources development issues are discussed, the concept of the comprehensive effect and related evaluation of the evolution of an entire basin is developed based on the spherical layer movement, and the evolution of the middle reaches of the Yellow River, the middle and upper reaches of the Yangtze River, and the inland river basin is analyzed based on this concept. Water resources development should consider three properties: limits, relativity, and ecology, as well as the instructive observation that water can carry a boat and also overturn a boat. The comprehensive development and utilization of water from six different sources, including rainwater, river water, lake water, groundwater, reservoir water, and sea water, are examined. We also discuss prevention and mitigation of six types of disasters related to the six water sources: flooding, waterlogging, drought, storm surges, geological disasters, and water pollution. It is pointed out that segmented control of water quality in the reservoir area,

收稿日期: 2015-07-03

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划(2011BAC09B01); 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2013CB036001); 国家自然科学基金(41302220)

作者简介: 卢耀如(1931—),男,福建福州人,中国工程院院士,教授,主要从事水文地质、工程地质与环境地质研究。E-mail:liuqi472@163.com

comprehensive development of surface water and groundwater, and construction of underground reservoirs are important. Finally, some suggestions for water resources development and disaster prevention are proposed: cooperation between multiple departments and multiple disciplines, implementation of water-saving measures, construction of an enhanced water resources network, determination of demand according to provision, and improvement of an investigation system for evaluation and development.

Key words: water resources development; basin evolution; disaster prevention and mitigation; ecological culture

中国已有近 10 万座水利水电建设工程,还有东线、中线的长江引水工程。在长江、黄河、珠江三大流域以及许多中小型流域上都有不少水利水电工程,不可否认的是,这些工程的建设基本保障了人民日常生活以及工农业发展的需求,也有力地减轻了自然灾害的危害。但是,大量的水利水电建设也带来了或诱发了一些不良环境效应。所以,尽管收效很大,但是对不良效应方面又多回避,不能正确面对,结果是以讹传讹,不全面不正确的认识反而产生了很多不科学的影响。此外,虽然注意了水资源的有利开发,却又忽略或对水资源的保护注意不够,以及如何更好地兴利防灾。为此,本文除了阐述水资源的宝贵性,更着重探讨如何综合利用水资源与防灾减灾问题。

1 地球上水的基本特性

1.1 水的起源及其重要内涵

水的起源,人们似乎知道却又不很明白。自宇宙大爆炸、自地球形成开始就有了水的存在,而后水体较多,导致了太古代(几亿年前)就有了生物藻类的生长。目前,公认的水的浅层循环过程为:大气降水—河水—湖水—汇流—地下水渗流—汇入海洋—蒸发—降水。

另外,还有两种水来源,其一是有些人认为的太空中存在的不少水球每日降落到地球上,太阳系中发现土卫二的冰壳下有温泉,在木卫三的冰面下,发现巨大的地下海洋,这些星球上的水比地球上所有海洋水都多,最大水库应存在于奥尔特星云中。有人认为水在宇宙中的存在是普遍现象,所以,有水球从其他星体上越过太空降到地球上,这种认识是客观存在的;还有一种来源,就是在地壳深处及地幔中,由于地球深部地球化学作用,生成的 H 和 O,两者结合,成为水(H₂O),所以,有人认为地幔中是一个巨大的地下水库。对深部水的存在,一般是忽视的,主要还是掌握的情况有限,目前只关注到不太深的几千米范围内的地热水的资源。1959 年,维诺格拉多夫认为地幔带是地表水和地下水(浅层)的唯一原生源域^[1]。以地幔岩石的含水量和陨石中含水量相比,地幔质量 4×10^{21} t,所含水可达 2×10^{19} t。水对玄武岩质岩浆的形成起重要的作用。在软流圈的高温高压状态下,必须有水的参与,才能使岩体被侵蚀的部分产生溶化而成熔岩。Ringwood^[2]曾估计地幔中保留的水至少 3 倍于地球内部由去气作用而进入海盆所成的海洋水。若假设地幔中有 0.1% 的水,就可得到玄武岩质岩浆成因的解析。根据综合的资料,无水地幔和含过剩水地幔的固相线变化,反映了高水压对降低固相线有重要影响,水量少可引起熔融大幅度增加^[3]。1972 年,阿卡丽柯提到,地下水圈从地球最上部的水文地质带起,直到下地幔与地核的界限为止^[1]。笔者曾从理论上分析了地球水圈分带性,就是说,地球上的水不是只有上述的浅层循环,这分带性表示于图 1^[1]。

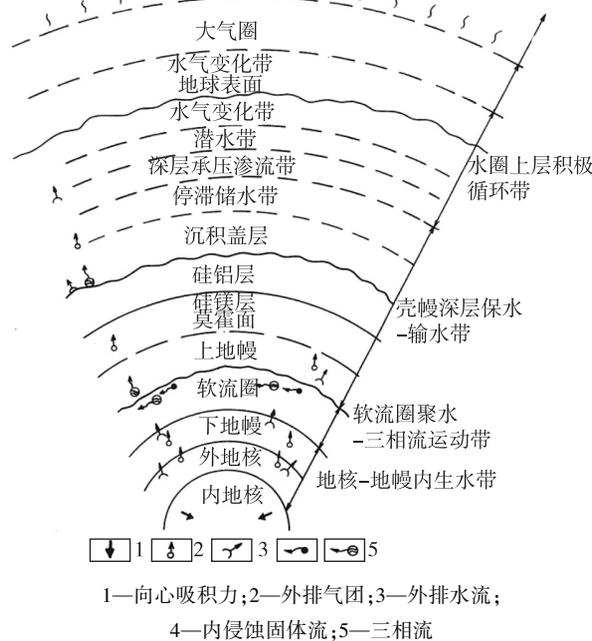


图 1 地球水圈分带示意图

Fig. 1 Schematic diagram of hydrosphere belts on Earth

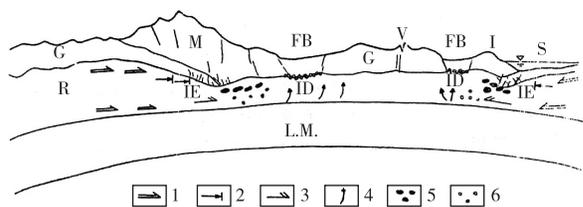
在 20 世纪 20 年代,古登堡(B.Gutenberg)根据地球物理探测资料的分析认为地表以下 100~200 km 范围内,存在着一个地震波的低速层^[4]。后来,新的地震波速情况表明在 60~250 m 范围内,有比其上下岩体

更软弱的物质存在,这低速度变化不是一个面,是地幔上部一个带,就是软流圈。软流圈中应有气、固、液三相物质和三相流,存在着内侵蚀与内增生作用^[1]。这软流圈是矿产资源形成之源,也是地质灾害之源(火山、地震)。软流圈的内侵蚀与内增生作用分析如图2所示。我国各地软流圈的厚度为55~200 km^[5]。

应当说,人类对地球的形成,包括对水的生成及其循环还是了解得不是太深入。“上善若水”,水是生命源泉,水是极宝贵的生命之源。因此,对水的内涵的理解,不是只有人类的生存所需。水是人们依存的地球世界,一切生命之源,也是所生存依赖的环境的一切生态之基础。显然,只单纯认识到水对人类生命与生活饮用的重要性是不够的,更多地应当考虑到全地球、广大环境的生态性。

1.2 地球的圈层结构

水不是孤立存在的,大家公认地质上有4个圈层,即:水圈、岩石圈、大气圈和生物圈,这4个圈层是相互依存和相互运动的。岩石圈主要是岩石和土,有孔隙、裂隙、断裂带,还有空洞、洞穴,这些空间由地下深处直至地表,又是充水、充气的空间,又分别属于大气圈、水圈,所以这3种介质的存在,有分隔、有混合、有变化,所以水圈、岩石圈和大气圈是相互依存又相互运动着的。生物利用岩石、水、气这三圈层而生存发展,生物的行为,特别是高级生物——人类的行为,又对这3个圈层产生相应的优化与恶化的作用。4个圈层的结构如图3所示^[1]。这圈层结构,人们往往忽略了或孤立考虑单一圈层问题,忽视了相互依存、相互制约的重要内涵。



- 1—软流圈三相流流向;2—软流圈三相流受阻减速方向;
3—软流圈三相流加速方向;4—软流圈上下层三相流流向;
5—内侵蚀大的固相岩石圈块体;6—三相流中析出的小固体;
IE—内侵蚀作用带;ID—内增生作用带;L.M.—下地幔;
R—软流圈;G—岩石圈;M—造山带;FB—断陷-沉陷盆地;
S—海洋;I—岛弧;V—火山

图2 软流圈内侵蚀与内增生作用理论分析

Fig. 2 Theoretical analysis of internal erosion and hyperplasia actions in asthenosphere

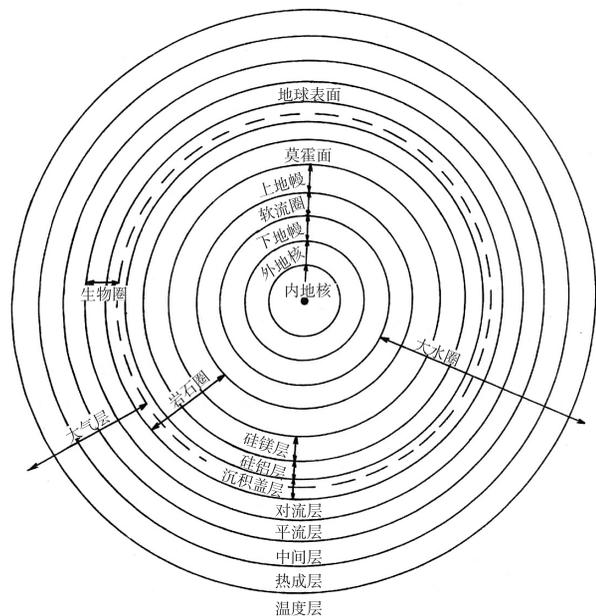


图3 地球4个圈层和地核示意图

Fig. 3 Schematic diagram of Earth's four spherical layers and core

2 开发利用水资源的重要文明理念

水资源是宝贵的,但也是有限的。如何合理高效地开发利用水资源,似乎是大家都明白的问题,其实有关理念是需要认真考虑的。

2.1 水资源的开发利用应考虑地球圈层运动的理念

修一个水库、挖一条长渠都涉及岩、土的问题,就会诱发水-土、水-岩作用,同样也会影响到生物的生命与发展。这些影响,不仅仅限于工程建设施工地带与基础,大量的工程活动必然影响到周边地带、小区域性,甚至大区域性的圈层之间的已有平衡状态。

应当注意的是,以往大型水利工程枢纽,对这方面考虑不周到,或者是基本忽视密集的梯级开发对区域地带性的综合性环境影响,也没有深入研究探索。“一根筷子易折断,一把筷子就折不断”。同理,一个大水库的环境效应易判断,系列大型梯级水利枢纽的综合环境效应就难于很好地评价,这是今后必须大力关注的理念问题。

对于大环境的影响,不仅是大中型水利枢纽,还有其他工程建设,包括城镇发展、矿山开发、交通网络建设等综合的环境效应,可以说是基本上没有什么深入综合研究。

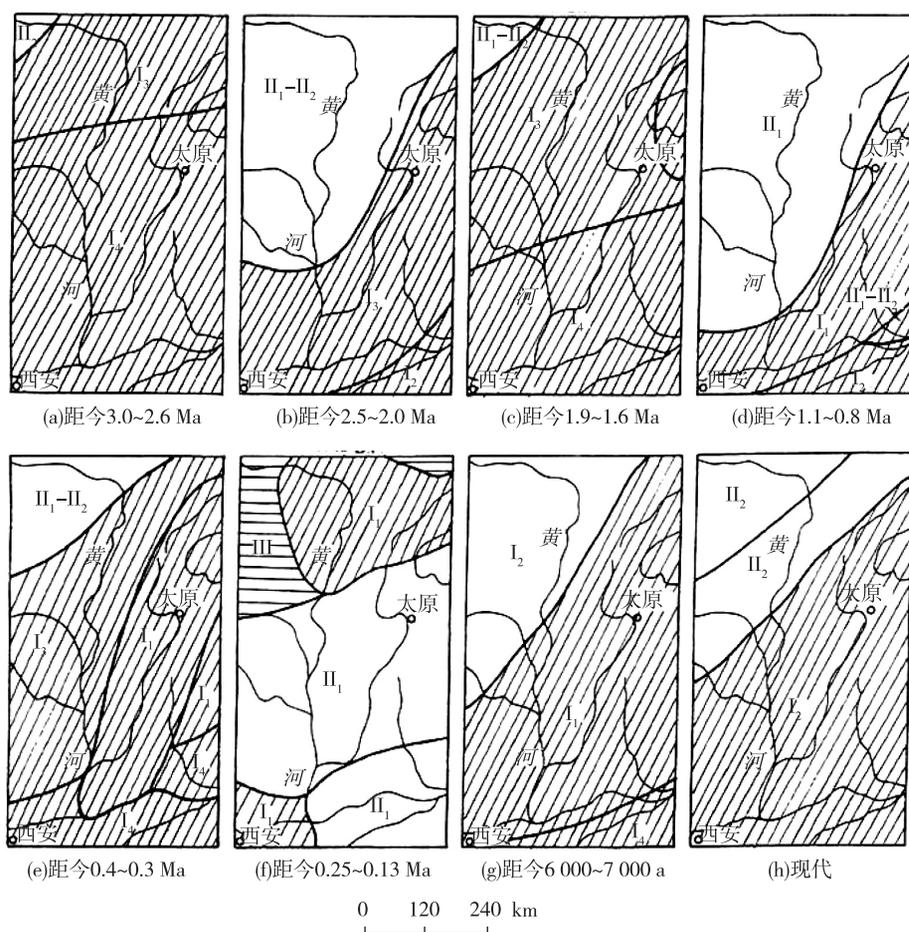
2.2 水资源开发应建立全流域性演化与综合效应、利弊评价的理念

水利建设都考虑了流域规则,但所考虑的主要是水资源和水能的开发,更侧重于地表水资源的分配。虽然也有一些环境方面与经济方面调查,但是了解的深度和广度相对较粗浅,没有更多从全流域环境演化以及开发后对全流域影响上探讨有关问题,进而制定发展规划。例如:如何通过水利措施对黄河全流域的水土流失予以调节,所以,出现了三门峡与小浪底的枢纽功效和泥沙争议,黄河又出现两级悬河问题。

自然界中的冲刷和淤积、沉积都是统一演化过程。“沧海桑田”,上中游侵蚀,使三角洲河口更多沉积,向海洋方向形成新的淤积土地。所以单纯水库拦沙,又造成河南、山东的相对不同的认识。

2.2.1 黄河流域

从黄河中游来讲,地质历史上晋陕峡谷地质生态环境就有很大变化(图4^[1])。系列修建水利梯级后生态环境变化、泥沙沉积变化、上下游时间效应影响,都是今后应注意研究的问题。



I—森林类型; I₁—寒温带针叶林带; I₂—温带针叶阔叶混交林; I₃—暖温带落叶阔叶林; I₄—北亚热带常绿阔叶林;
II—草原类型; II₁—温带深林草原; II₂—暖温带深林草原; II₃—温带-暖温带草原; III—荒漠

图4 黄河晋陕峡谷上新世末至现代地质-生态环境演化

Fig. 4 Evolution of geological-ecological environment in Shanxi-Shaanxi Gorge in the Yellow River from the end of the Pliocene to modern times

2.2.2 长江流域

长江三峡包括瞿塘峡、巫峡和西陵峡,全长193 km,峡谷两岸山峰高程为1000~2090 m,长江枯水位为40~50 m 高程,相对下切达500~2000 m 以上。南津关坝段一带河槽中基岩面高程最低已达-57 m 多。三峡中长江的江水面宽目前为100~250 m,平均坡降 2×10^{-4} ,而两侧小支沟的坡降达 $1.9 \times 10^{-3} \sim 4.49 \times 10^{-2}$ 。

长江三峡地质发育史,许多前人早已作了探讨,如李四光、谢家荣、巴尔博、李承三、侯德封、李春昱、袁复礼等早期著名地质前辈学者^[6-15]。关于三峡峡谷之成因,有顺向河、生成河、遗留河等多种分析。李四光于

新滩附近腰子砾石层中见有片麻岩、花岗岩砾石,认为是从黄陵背斜搬运而下,说明黄陵背斜西部早期有一顺向河由东向西流。至第三纪中(古近纪和新近纪中)气候温和、雨水充沛,背斜西流之河水量增大,侵蚀力加剧,而且此时东部构造下降,西部隆起,使西部四川盆地内湖水向东倾注;而东部水量大、水准面低,头部(溯源)侵蚀也加强,使分水岭西移,直至巫山附近地带,于是东西二源水相接。李四光曾推测古东西两江分水岭在巫山与万县之间,以云阳县以西河流的支流呈钝角汇入长江,或急转垂直相交作为一例证。四川在白垩纪时为一内陆湖,无出口,李春昱称之为盆地期,燕山运动第二期(B期)时,四川盆地中的华莹山复背斜及龙泉山背斜等上升崛起,又将原来四川大盆地分割为数个小盆地。

根据几十年来区域地质的许多区测资料和研究成果,综合前人的看法,对长江古地理的演化,可建立进一步的认识:大约在距今7000多万年前的燕山运动时,四川盆地和三峡地区发生差异性隆起,相应地洞庭及云梦盆地下降,这时有上侏罗统沉积的四川盆地、巴蜀湖和秭归湖相通。这些西部湖水通过刚下切形成的扬子江的地带性河道,然后排入东部湖泊中(在三峡这一地带)。这时的扬子江是很短的两湖间的河道,正像目前加拿大发育着大瀑布的尼亚加拉河(Niagara River)连着两大湖泊(Eric Lake 和 Ontario Lake)一样^[1],虽然河流短,但靠上游湖泊具有大面积的汇水面积,所以具有相近乃至更大于目前的流量,也使两湖间河流下切能力不断增强。

目前,三峡出口宜昌及清江下游一带,因在白垩纪末仍被湖水淹没,所以有较厚的白垩系红色砂砾岩沉积。在三峡地区早期这局部短河流下切侵蚀的过程中,受构造上升运动的影响,鄂西及重庆一带的地势仍是不断抬高,而且西部上升多,形成差异性掀起。晚白垩世开始,湖水面积相应地缩小,以至逐渐消失。原先三峡地区西部水流由于河流袭夺而变为向东流,使古四川大湖盆的水体不断缩小,导致三峡地区的古扬子江与四川盆地以及其上游向盆地中排泄汇聚的河流相连通,逐渐形成目前长江中上游的河流网络。自新近纪至第四纪,三峡地区仍是处于差异性强烈上升和长江三峡强烈侵蚀过程,在东部湖泊不断缩小的情况下,使长江不断向东伸延,直至中晚更新世长江大水系的形成。

长江中下游一带古地理水文演化的情况,可概括表示于图5。

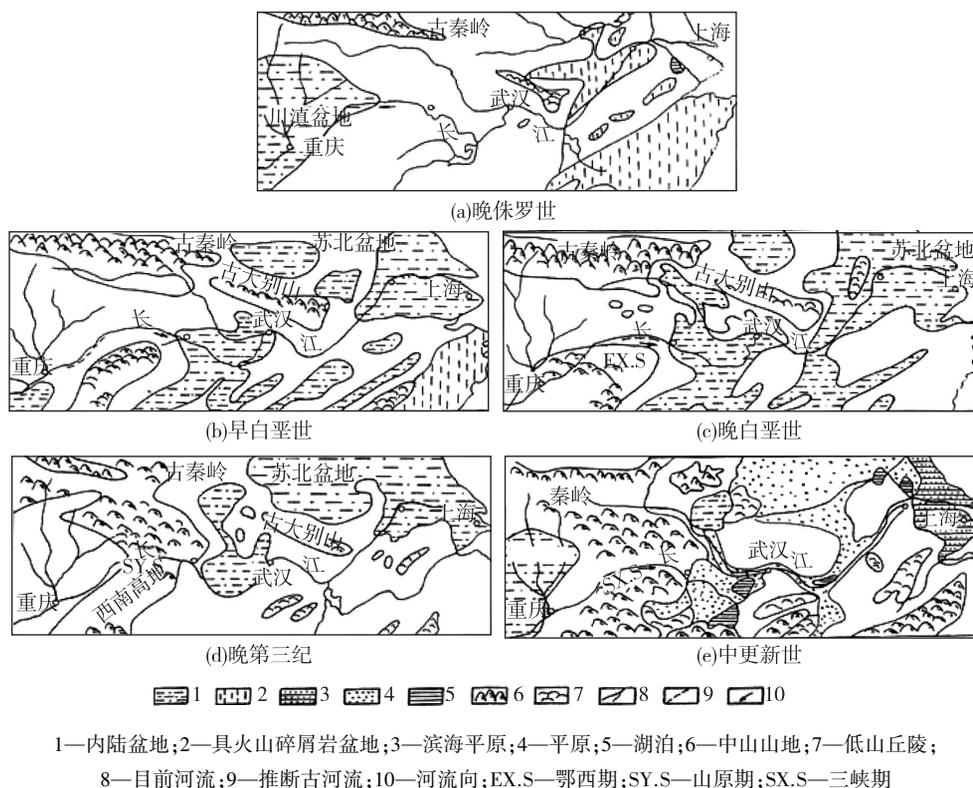


图5 长江中下游古地理水文演化过程

Fig. 5 Hydrological evolution of ancient geography in middle and lower reaches of the Yangtze River

以长江而言,三峡工程和下游洞庭湖、鄱阳湖的水资源矛盾增大,这方面也必须考虑到中游湖泊面积和容积的变化。

洞庭湖距今4000多年时,面积17875 km²,公元1825年时为6000 km²,1949年时为4350 km²^[16],1998年时约为2300 km²,2010年时有1600 km²多,2011年5月7日只有382 km²。1949年时洞庭湖容积有293亿 m³,1998年时少于174亿 m³,40多年洞庭湖容积减少120亿 m³。减缓输出的泥沙只占入湖泥沙量25%。1998年时长江入洞庭湖泥沙约八九千万立方米,湘资沅澧四水泥沙入洞庭湖约两三千万立方米,则每年只入洞庭湖泥沙有1.2亿~1.3亿 m³。而湖容积每年减少3亿 m³,相差数是洞庭湖围湖造田所造成的,每年有1.8亿~1.7亿 m³^[17]。

任何工程都有利弊的影响与效应,长江三峡工程明显就是利多于弊,对于弊应当不断注意治理。在地质灾害方面已进行了较好的研究与治理。笔者曾发表一篇文章详细论述了三峡工程的利弊问题^[18]。

2.2.3 内陆河流域

对内陆河流域,以前在自然状态下是高山融雪水及山区降水流出冲积扇后,成为内陆河径流,自动补给中下游地下水。当上游修了水库,将自动补给地下水的水资源蓄于地表水库而遭受强蒸发,结果下游没有地表水可开采,只好增加地下水开采量,于是造成地下水位不断下降,末端的湖泊也干涸。就是:“上游水库建成之日,就是下游断流之时”,主流域生态恶化。塔里木河经深入研究,改变了这种做法就恢复了内陆河生态。

2.3 水资源开发利用应考虑其“三性”:有限性、相对性与生态性

任何资源都应当考虑其有限性、相对性和生态性。对于水资源,只重视其资源量是不全面的。一个流域一个地段,水资源的量是有限的。水资源虽然是可再生资源,但是可再生量还是有限的。

关于水资源的相对性,这是一个很大的问题。目前,中国水资源量2.8万亿 m³^[19],可利用的水资源7000亿~8000亿 m³。所有水资源都是一个需求标准,就造成好的水资源的很大浪费。分质供水,就可保障饮用生活水的质和量。需要注意的是,在当地、下游,应考虑地表河对地下渗流的应有生态流量。

至于水的生态性,自然界中四个圈层的物质相聚,特别因为水是生命之源,无水则无生命,其生态性是明显的。问题在于如何保持好的生态性。水的生态性,国外又盛行研究生态水文,这方面涉及到水-土、水-岩、水-生物等作用及其复合效应^[20]。

2.4 水资源开发利用中应有水的两重性理念

“水可载水,亦可覆舟”。中国自古以来,就有这方面的认识。4000多年前的都江堰水利工程,其巧妙的分水,既可分洪减灾又可很好地供给灌溉用水,所以直至今日,仍是一个具有很高科学意义和应用价值的水利工程。

我国修建了很多居于世界前列的大型水利水电枢纽,结果却招来很大的责难。为什么?这就在于对这些大型枢纽从规划至施工及运行,强调的是其效益,也就是“水可载舟”这方面,强调的是发电、航运等效益。三峡以前是拟定装机容量3300万 kW,现在则为2240万 kW,比巴西的依太普枢纽装机容量要少,但在发电量上已超过,成为世界第一大发电量枢纽。三峡的防洪作用是很大的,这是客观事实。

但是,在“水可覆舟”这方面不利因素与效应方面,的确是在建坝前向人民大众解析、宣传不够。水库如何覆舟,形象的就是大型滑坡、泥石流,造成涌浪而覆舟,这是真正的覆舟。例如1985年三峡修水库前,在秭归新滩发生3000多万立方米的滑坡,因预警及时,1300多居民撤出,村庄毁灭了,无人伤亡。但是涌浪却造成长江中一些小船舟的倾覆,死亡少数人。

意大利1967年瓦依昂大坝(260 m高薄拱坝)发生的库区滑坡有2亿多立方米,把库水挤到天空比坝还高百多米,超过400 m的高大水体由空中直接冲击下游村庄,造成4000多人伤亡,目前还有2000多人深埋在滑坡体下。

长江三峡通过大量调查监测、预警,目前已由水库蓄水诱发地质灾害的高发期进入了灾害相对平稳的过渡时期。

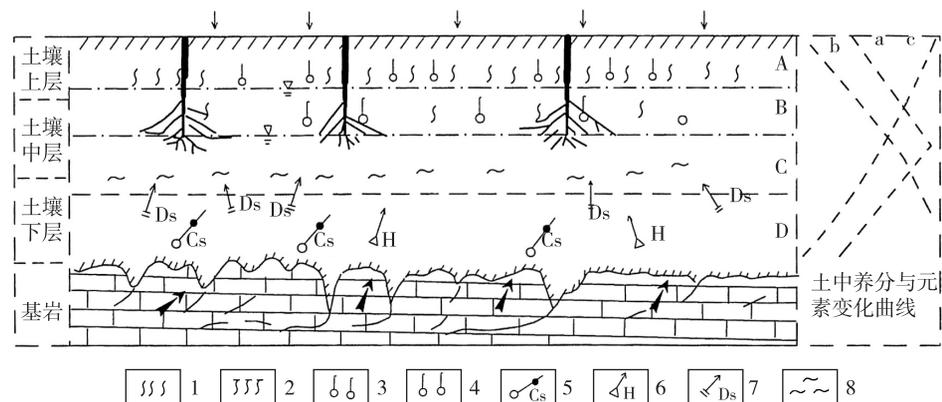
但是“水可覆舟”这“覆舟”也包括水质恶化、生态环境下降等方面。所以有不少人反对,就是由于只强调了“水可载舟”有利的一面,或者没有对“水可覆舟”这种不利的一面作更多的阐明,以偏概全,也就很容易让人们认为抓住了负面不足之处,而予以否定。建立这方面理念,就是要认识到任何工程都具有利弊两方面,那就要比较利弊的重要价值和危害性。

3 “六水”的综合开发利用

长期以来,对水资源的开发有片面性。国家投资多是注入在建设地表水的水利水电工程措施中,特别是

大型水利水电枢纽和跨区域的引水工程。这些工程起的作用当然很重要,但这又是引起一些干部、科技人员以及人民群众不满意度最集中的工程。

2012年7月21日,北京100多至300多毫米的降雨量造成了北京市多处内涝,源于北京市仍然沿用早期只有几十毫米降水量的排水系统。这种内涝现象在许多特大城市都存在。一方面与排水系统的排洪涝能力有限有关,也与这些年大城市发展,以水泥铺盖代替了草地、植被,使土壤、植被的吸水能力大大降低有关。有的部门提出将城市建成“海绵城市”,可吸住大量雨水。这目标,似乎是为减少雨水造成洪涝,实际上城市都吸满雨水,让土壤、岩石过饱和、地下水面抬升太高,其结果不仅是内涝避免不了,还会诱发砂土液化、蠕变,甚至诱发基础滑动、泥石流,也会造成大量植被根部腐烂而死亡。地下水蓄水抬高水位,只能在一定季节变动带的范围内(图6),水动力增大,可降低岩土体安全性30%~50%^[21]。



1—第一淋滤作用;2—第二淋滤作用;3—第一蒸发作用;4—第二蒸发作用;5—土壤中浓度扩散作用(可逆);
6—土壤中热力扩散作用(可逆);7—动力扩散作用;8—植物根系吸收作用;
A—上部渗透淋滤带;B—淋滤-蒸发带(地下水位变动带);C—土壤养分富集带;D—基岩-土层活跃作用带;
元素变化曲线有三种:a型—Ti、Ni、Zn、Ca、Pb、Hg、As、Bi;b型—Co、Mn;c型—Cr

图6 土壤中养分的分布、扩散与植物根系吸收作用理想状况机理分析

Fig. 6 Mechanism of distribution and diffusion of nutrients in soil, and absorption function of plant roots in an ideal state

所以,水资源开发利用,应当综合开发利用“六水”。这“六水”是:雨水、河水、湖水、地下水、人工水体(库水等)、海水。有的地区,目前离海远些,但是在漫长的地质环境演化过程中,有多数都有过成为海域的地质年代。有的现在为陆地,但以往海相沉积层中还有咸海水或微咸水分布。

有人强调开发地表水,也是只抽取地下水资源,许多地带大量抽取陆岸地下水,就引起海水入侵,这些看法是片面的。有大量的地下水并不都排向河流,河流中包括不了全部地下水。例如:舟山群岛的海底沉积层中就有大量淡水,是大陆地下水排泄汇聚;浙江的西湖油田一带,海中沉积层也有淡水,是由大陆汇入的;渤海湾中大连—金州一带,海底有很多岩溶泉,在遥感图中有图像反映。

这“六水”是密切相关的,至于太空水球及地下深处水的生成,对地表水和地下水的补给机理,尚有待深入研究。

大的水体如水库,已涉及地表水和地下水系统。因此,也应作为已有的一个资源体,严格控制不同库段的水质。不同库段污染物的控制,应考虑不同库段和相应时段内污染溶质量(离子),来研究污染水体情况。

水库污染指标是多项的,主要包括:pH值、总硬度、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、酚、氰、汞、铬、砷、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 SO_4^{2-} 、 F^- 、COD、 BOD_5 等,以及重金属离子和有机污染物。主要考虑超过国家标准规定的水质超标项目。

只要入库的污水量不能全部排向下游,而且蓄积的污水量不能在库内完全自净衰减以至消失,就有可能形成污染水团,较多年份蓄积的结果就会连成严重的污染水带(层),当有大量吸附着污染离子的库底淤积物时,又会提供二次污染源。水库污染的理论分析如图7^[5]所示。

水库地表水体污染,也容易引起库边地带地下水形成污染带。如图8所示,岩溶库段库水对地下水造成污染。

“六水”的统一开发利用,涉及暴雨的可利用蓄水工程、排洪涝系统、地下水的补给控制水位、地表水的蓄积工程与调度、地表水与地下水的正常补排的调控、水库的调度功能、对水量污染的控制、分质供水的管理、地下水开采的网络与开采量控制等。

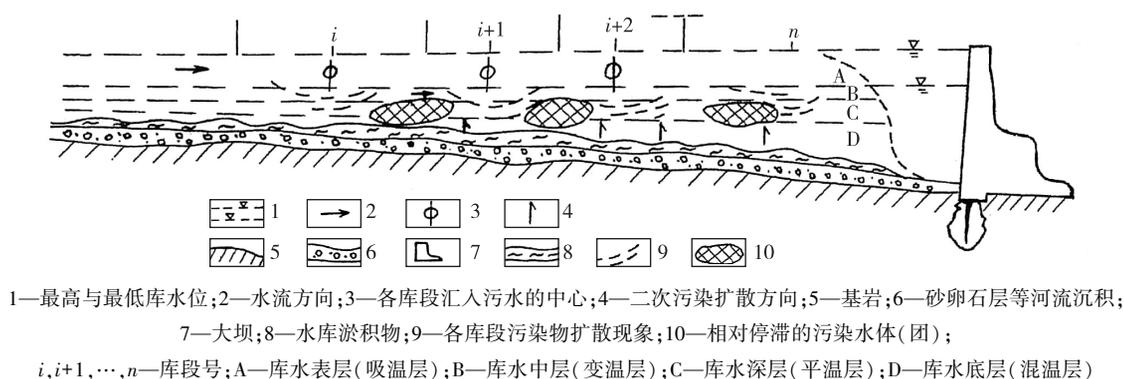


图7 水库污染状况理论分析示意图

Fig. 7 Sketch of theoretical analysis of reservoir pollution status

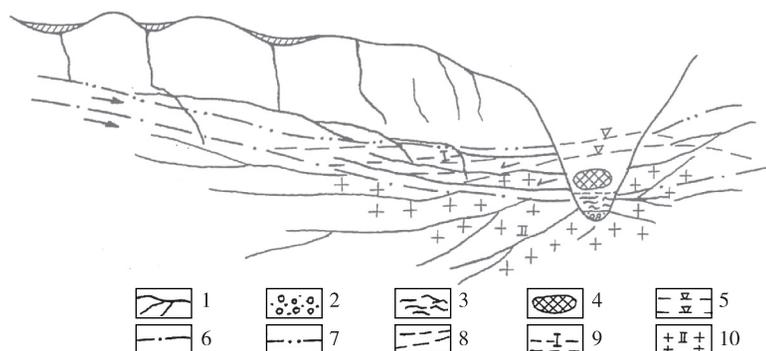


图8 库水对岩溶地下水产生污染分析示意图

Fig. 8 Sketch of pollution of karst groundwater by reservoir water

4 6种灾害的统筹防治与防灾减灾措施

“六水”的综合开发利用,也涉及6种主要灾害的防治与防灾减灾功效。

与水资源开发利用有关的6种灾害是:洪灾、涝灾、旱灾、风暴潮、地质灾害、水污染。

洪旱灾害是普遍的,在20世纪80年代以前,据有关气象资料统计的旱涝灾害频率如表1^[22]所示。

至于风暴潮灾害,东南一带福建、广东、浙

江、广西以及江苏、山东、辽宁都是季风带气候特征,台风的袭击加上海潮的汹涌,造成大片地区受灾。但由于台风的预报,有较易观察到的遥感监测以及密集的气象监测网络,所以这方面的预报相对比较好。在风暴潮发生之前,采用撤离办法,减少了很多的伤亡与损失。

6种灾害中,地质灾害尤其是滑坡、泥石流、岩溶塌陷等灾害与水、岩、土之间的作用密切相关。蓄水、排水、抽水、洪水、干旱、震动等许多自然及人工因素,都可诱发这些地质灾害。三峡地区是历史上地质灾害的多发地区,在历史上发生过多堵江的记载。1982年云阳鸡扒子滑坡,就堵了半个长江。目前加强了调查研究、监测并采取防治措施,大大减少了灾害的发生。

在这6种灾害中,洪灾和地质灾害的危害性最大。以前常有干旱灾害造成大量灾民出逃以及赤地千里的惨状,目前相对由于干旱造成农作物无收、灾民出逃的现象大为减少,主要是有了抽取地下水的抗旱措施。但目前华北平原有39个地下水大漏斗群,地下水位不断下降。因此,必须制止地下水位的进一步恶化下降,

表1 中国一些地区500年来干旱与洪涝灾害频率统计
Table 1 Frequency of drought and flood disasters in some areas of China over last 500 years

地区	灾害频率/次			
	重水灾	轻水灾	轻旱灾	重旱灾
福建	11~17	32~27	25~15	13~4
台湾	9~13	35~38	13~9	4~6
三峡有关地区	4.20~10.38	15.72~31.02	11.22~21.81	2.22~13.54

否则“赤地千里”无收成的惨状还会重现。

因此,地表水和地下水调蓄显得更为重要。例如在黄河冲积扇及平原地区,修建可调蓄地表水与地下水的地下水库。

河北平原黄壁庄水库曾做放水试验,由水库至下游110 km处的中山水文站的水流运行时间正常时只需几小时,由于地下水位已下降近100 m,放水试验结果水流运行时间超过100 h,而且放出的5亿多立方米水到达中山站只有2亿多立方米,大部分水沿途自动下渗补给地下水。

西南岩溶地区地表水多渗入地下,“三日无雨即干旱,阴天连日又出涝”,由于岩溶各种通道都导致地表水渗入地下,利用洞穴通道修建地下水库,确实可收到很大效益。我国南方岩溶地区地下水库建设曾居于世界前列,但有的因只重视大水库而没有保护这些地下水库。今后应加强这方面的建设,我国地下水库及地表与地下相连水库的实例列于图9~11^[23-24](图11(a)~(f)为地下单坝型,图11(g)为地表面坝型,图11(h)为地表与地下双坝型)。

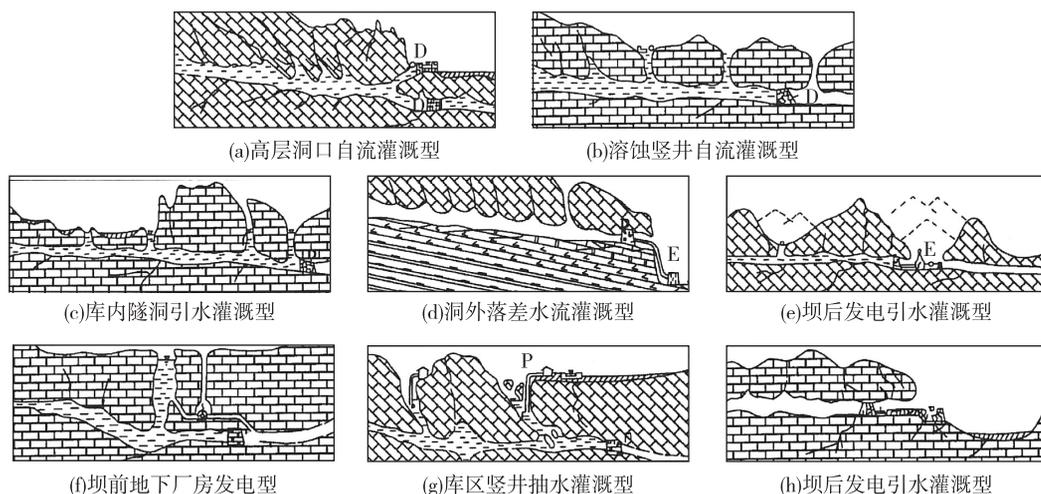


图9 封闭地下坝型地下水库示例

Fig. 9 Examples of underground reservoirs of closed underground dams

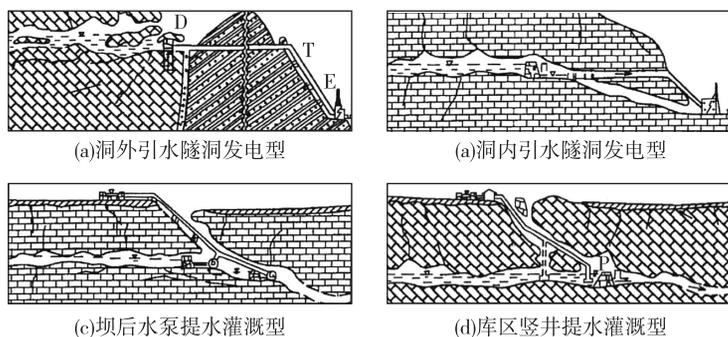


图10 半封闭地下坝型地下水库示例

Fig. 10 Examples of underground reservoirs of semi-enclosed underground dams

5 对水资源开发与灾害防治的建议

5.1 加强多部门、多学科的协作

根据上述有关“六水”综合开发和“六灾”协同防治,今后要更好地管理水资源综合开发,使6种灾害得以更有效地防治,这就需更多部门的密切协作,更多学科的协同发展创新。这方面涉及水利、地质、能源、建筑、环保、气象、农林、水产、航运等部门,也涉及全国各级行政区划。

以前认为“五龙治水”不好,即多部门涉及水问题的管理、开发,这是不好的。但是,涉及人的生存、生活,国家和地方的可持续发展的最基本问题,只有一个部门统管,肯定也难做好,水权、开发权益许可,这应当统一掌控,由国务院负责,国家发展和改革委员会和水利部门代行,而具体的有关调查、监测管控、开发等,就应充分发挥各相关部门与不同学科的能量,进行大协作。

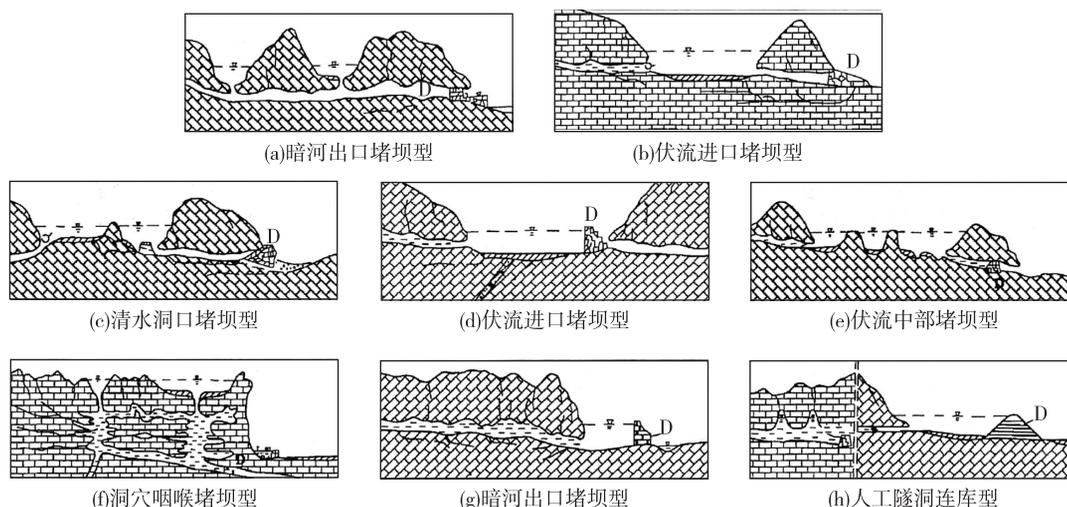


图 11 地表与地下相连水库示例

Fig. 11 Examples of reservoirs connecting surface water and underground water

5.2 大力实施节水措施

中国只有 2.8 万亿 m^3/a 的水资源,极端气候条件下,水资源量可发生变化,改变旱、涝的原有长期格局,造成更多不利与灾害后果。因此,各地的节水问题都应当提到现实的前沿来,应多注意开发与发展,修大水库发电、引大水不是唯一措施,而节水又没有采取大措施。节水应作为重要国策,仅仅是水价的有限控制是不够的,应包括产业调整及生产工艺的创新等。

5.3 建立完善的多功能水资源网络工程

只建设大水利枢纽,忽视大、中、小型配套的水资源开发的网络系统,就不可能收到好效果。在系统网络建设中,只注意防旱涝的功能也不够,必须考虑到 6 种灾害的防治问题。在完善的水资源开发系统中,当然也需“六水”共同开发,特别是地表水和地下水的调控,雨水的多效利用。

5.4 以水定供需来制订发展规划

以前是先定产业、发展项目,然后设法供水,而定项目前对水资源与环境就缺少深入调查研究,或者是,对项目确定后,对水资源的危害和环境影响怎样,常常是采用掩耳盗铃的手段,或者是粉饰、遮掩的方法。今后应确立以供定需。北京建东方红炼油厂(1972 年),需水量 $6 m^3/s$,修建水库需 5 亿元资金,当时没钱,就开采地下水,造成很大危害,以供定需,就不必要在北京建此炼油厂了。

5.5 加强环境与灾害评价的责任追究制度

有关工程建设,已进行环评,但多是没有严格把关就予以通过,有关地质灾害的评价也应当严格地把关。今后应当加强这方面评估的责任感与追究制度。专家提了意见,有关部门仍一意孤行,使国家遭受重大损失,就应追究相应领导的责任。

5.6 加强大、中、小型水利水电枢纽的合理系统性

从局部经济效益出发,对修大水电站是最积极的。从 21 世纪开始,我国大江河的大型水利枢纽快速地建成,应当说成效显著,但也有隐患,忽视了中、小型水利枢纽的配套系统性,结果使当地居民不能达到兴水利、抗灾害的高效目的。特别是,对农村乡镇及有效产业的发展造成影响。

6 结 语

水资源问题对中国仍是严重的,还是今后制约可持续发展的瓶颈。今后应当“六水”综合开发,进行 6 种灾害的协同治理,如图 12 所示。

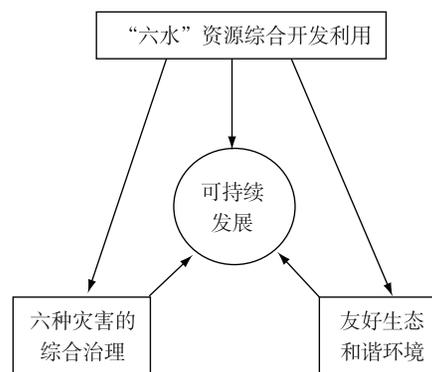


图 12 综合开发利用水资源的三位一体示意图
Fig. 12 Trinitarian diagram of comprehensive development and utilization of water resources

参考文献:

- [1] 卢耀如.岩溶水文地质环境演化与工程效应研究[M].北京:科学出版社,1999.
- [2] RINGWOOD A E.The chemical composition and origin of the earth[C]//HURLEY P M.Advance in Earth Science. Cambridge, MA: MIT Press,1966;287-356.
- [3] 林伍德 A E.地幔成分与岩石学[M].北京:地震出版社,1981.
- [4] BIRCH F.Elasticity and construction of the earth's interior [J].Geophys Res,1952,57:227.
- [5] 李廷栋.中国岩石圈三维结构[M].北京:地质出版社,2013.
- [6] 李四光.长江峡谷(从宜昌到秭归)地质 [J].地质学报,1924,3(3/4):350.(LI Siguang.Geology of the Yangtze Valley(from Yichang to Zigui) [J].Acta Geologica Sinica,1924,3(3/4):350.(in Chinese))
- [7] 谢家荣,赵亚曾.扬子江峡谷的中生代地层[J].地质学报,1925,4(1):45.(XIE Jiarong,ZHAO Yazeng.Mesozoic strata of the Yangtze River Valley[J].Acta Geologica Sinica,1925,4(1):45.(in Chinese))
- [8] 巴尔博.扬子江流域地文发育史[J].地质学报,1935,甲种14号.(BA Erbo.The development history of the physiographic in the Yangtze River Basin[J].Acta Geologica Sinica,1935,No.a-14.(in Chinese))
- [9] 李承三.扬子江水系发育史[J].地理,1944(4):3-14.(LI Chengsan.The development history of the water area in the Yangtze River[J].Geography,1944(4):3-14.(in Chinese))
- [10] 李承三.长江发育史[J].人民长江,1956(12):3-6.(LI Chengshan.The development history of the Yangtze River[J].Yangtze River,1956(12):3-6.(in Chinese))
- [11] 侯德封.宜昌地区地质几个小问题[J].地质评论,1947,12(1/2):149.(HOU Defeng.Geological problems in Yichang area [J].Geological Review,1947,12(1/2):149.(in Chinese))
- [12] 侯德封,姜达全,陈梦熊,等.扬子江三峡水力发电工程地质问题之探讨[J].地质评论,1948,13(1/2):159.(HOU Defeng.JIANG Daquan,CHEN Mengxiong,et al.Discussion on the geological problems of the Three Gorges Hydropower Project in the Yangtze River[J].Geological Review,1948,13(1/2):159.(in Chinese))
- [13] 李春昱.扬子江上游河谷之成因[J].地质学报,1934,12:107-108.(LI Chunyu.The causes of the upstream valley of the Yangtze River[J].Acta Geologica Sinica,1934,12:107-108.(in Chinese))
- [14] 李春昱.雅安期与江北期砾石层之成因[J].地质评论,1947,12(1/2):117-126.(LI Chunyu.The causes of Ya'an and Jiangbei gravel layer[J].Geological Review,1947,12(1/2):117-126.(in Chinese))
- [15] 袁复礼.长江河流发育史的补充研究[J].人民长江,1957(2):1-9.(YUAN Fuli.Study on the development history of the Yangtze River[J].Yangtze River,1957(2):1-9.(in Chinese))
- [16] 北京大学地理系.地貌学[M].北京:人民教育出版社,1978.
- [17] 卢耀如.长江流域国土地质:生态环境与洞庭湖综合治理的探讨[J].湖南地质,1998,17(4):217-220.(LU Yaoru.Discussion the comprehensive administration of Dong Ting Lake and territory Geo-ecological environments in Yangtze Basin[J].Hunan Geology,1998,17(4):217-220.(in Chinese))
- [18] 卢耀如,金晓霞.三峡工程的现实与争议[C]//陈夕.中国共产党与三峡工程.北京:中共党史出版社,2014.
- [19] 钱正英,张光斗.中国持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [20] LU Yaoru.Karst water resources and geo-ecology in typical regions of China[J].Environmental Geology,2007,51(5):695-699.
- [21] 卢耀如,刘少玉,张凤娥.中国水资源开发与可持续发展[J].国土资源,2003(2):4-11.(LU Yaoru,LIU Shaoyu,ZHANG Fengge. Development of water resources in China and sustainable development [J].Land and Resources,2003(2):4-11.(in Chinese))
- [22] 中央气象局科学研究院.中国近五百年旱涝分布图集[M].北京:地图出版社,1981.
- [23] 卢耀如.中国岩溶:景观、类型、规律[M].北京:地质出版社,1986.
- [24] MILANOVIC P.Geological engineering in karst dam reservoirs grouting groundwater protection water tapping tunneling [M].Belgrade:Eebra Publication Ltd.,2000.