

文章编号: 1001-4179(2004)02-0001-03

长江流域地学研究现状与前沿课题

夏金梧^{1,2} 李长安²

(1. 长江水利委员会 长江勘测技术研究所, 湖北武汉 430010; 2. 中国地质大学 研究生院, 湖北武汉 430074)

摘要:长江流域横跨几大构造单元, 经过了长期演变, 因而其地质背景十分复杂。几十年的治理开发, 针对长江流域所进行的地学研究, 或是围绕流域规划论证和某些具体工程建设的需要, 或是针对某一具体河段与局部地区的水资源问题。这些研究多局限于工程技术层面和较小区域尺度, 人们所得到的关于长江流域地质环境与地质背景的知识, 尚未形成关于长江流域区域地质背景的完整、系统和有深度的知识体系。这种研究状况与知识状况不但不能回答长江的演变历史问题, 同时也不能回答在流域水资源开发过程中对未来地质环境的影响等基础性、战略性、前瞻性的科学问题。因此, 在进行长江流域水资源开发过程中, 应注意流域地质背景特别是地学前沿课题的研究, 形成具有鲜明特色的大河流域地学系统理论, 为长江流域治理与开发提供技术支撑和基础保障。

关键词: 水资源开发; 地学研究; 前沿课题; 地学系统理论; 长江流域

中图分类号: P56 **文献标识码:** A

1 长江流域概况

长江发源于青藏高原唐古拉山脉主峰各拉丹冬西南侧, 全长 6 300 余千米, 流域面积 180 万 km², 大通水文站多年平均径流量 9 145 亿 m³。

长江流域由江源至河口, 整个地势西高东低, 形成 3 级巨大台阶。流域内的地貌类型, 山地、盆地和丘陵约占 85%, 平原占 11%, 河流、湖泊等水面占 4%。

长江流域地跨几个大地构造单元。主体部分为北东方向的稳定地块—扬子准地台, 在其四周为一系列活动性强的造山带所围限, 西缘为三江褶皱系、松潘—甘孜褶皱系, 北缘为秦岭褶皱系, 东南缘为华南褶皱系。地层自元古界至第四系均有出露, 并有不同时期的岩浆岩分布。新构造运动和地震活动西强东弱, 区域地壳稳定性不均一。整个流域大致可划分为 3 大工程地质区: ① 西部青藏川滇区; ② 中部秦川鄂黔区; ③ 东部湘赣鄂苏皖区。

长江流域水资源近 9 613 亿 m³, 居全国 7 大江河之冠。人均水资源 2 850 m³, 每公顷耕地占有水资源 40 500 m³, 均高于全国水平。

水能资源理论蕴藏量 2.68 亿 kW; 可开发量 1.97 亿 kW, 年发电量约 10 000 亿 kW·h, 占全国的 53.4%。

2 长江流域地质研究现状

2.1 以收集基本地质资料为主的基础工作

中国地质调查部门在长江源头青藏高原开展了系统、全面的基础地质综合调查工作。截止目前, 已经基本完成约 60 万 km² 的基础地质综合调查, 在各工作区采集了上万件古生物化石标本, 对青藏高原地层进行了重新界定。新发现数 10 条具有

重要意义的蛇绿混杂岩带, 结合新发现的古生物, 为重新划分南北大陆边界、揭开板块漂移、碰撞过程与机制、地学理论创新及其对资源、环境的制约, 奠定了坚实的基础。取得了大量青藏高原湖泊变迁、冰川萎缩的时空变化资料, 以及大量古人类活动的野外实际资料。

2.2 以工程建设为目的的地质勘察

2.2.1 水利工程

目前, 已经完成和正在建设的干流水利枢纽工程有葛州坝工程和三峡工程。金沙江中下游向家坝、溪洛渡、白鹤滩、乌东德、观音岩、虎跳峡等枢纽工程的勘测设计工作正在紧锣密鼓地进行。

由于大型、特大型水利水电枢纽工程的重要性和复杂性, 对一个工程而言, 往往要经过几年、几十年的研究才能弄清问题, 达成共识。最为典型是长江三峡工程, 对其系统的地质调查工作始于 20 世纪 20 年代, 我国许多著名的地质学家李四光、赵亚曾、谢家荣、叶良辅等, 先后在这一地区做过许多有价值的地质研究。长江水利委员会自 1954 年起开始对三峡工程进行系统的地质勘测工作。在 40 余年的勘测工作中, 对枢纽坝址和库区不间断地进行了各个设计阶段的勘察研究工作。

此外, 对葛洲坝水利枢纽软弱夹层、隔河岩、乌江渡岩溶渗漏问题、丹江口地震活动性问题等所进行的专题研究, 这些都是认识和研究长江的具体体现。

2.2.2 桥梁工程与跨江隧道

在进行大桥和跨江隧道的工程地质勘测时, 都会遇到各种复杂的工程地质问题, 如软岩和极软岩容许承载力、地震及砂性土震动液化、断裂构造破碎带及软弱夹层、岩溶发育特点等, 除了要按有关规程规范要求要求进行地质勘察和试验以弄清基本的工

收稿日期: 2003-07-15

基金项目: 国家自然科学基金资助(40372079)

作者简介: 夏金梧, 男, 长江水利委员会长江勘测技术研究所副所长, 教授级高级工程师; 中国地质大学研究生院, 博士研究生。

程地质条件之外还要进行一系列的特殊试验,这些地勘工作积累了大量的基础资料,同时有些研究也可能涉及到河段发育与演化问题,对局部河段的研究是比较深入的。

2.2.3 港口工程

沿江各大小城市都建有港口,在港口选址时,要对沿江两岸河漫滩的分布特征、漫滩地貌、漫滩结构、漫滩基底结构、漫滩水文地质条件进行分析,对漫滩地层的物理力学性质进行研究以从地貌特征、地层特性和不良地质现象等环境工程地质条件评价港口建设的合理性。

总之,上述研究工作只针对于特定的工程建设对象,研究范围和深度有限,研究方法以常规方法为主,所依据的主要是规程规范,对我们系统地研究长江无论是从深度还是从广度上来看都只有一定的参考价值。

2.3 以资源开发利用为目的的地质工作

在全国已探明的 130 种矿产中,长江流域有 110 余种,占全国的 80%。由于长江流域内丰富的矿产资源,地质矿产部门和有色金属、核工业等行业部门的地勘队伍在长江流域开展了多年的研究工作,完成和出版了多种比例尺的区域地质图,针对成矿远景区和富矿区的地质背景的研究更加深入。

长江流域地下水资源勘查和评价历来被各地水文地质部门所重视,现已出版了多种比例尺的水文地质图。新一轮全国地下水资源大调查,基本查明了地下水的总供水量和可开采量,对地下水赋存条件、水质等也进行了定量评价。

2.4 在减灾防灾领域中的地质研究

这部分工作包括地壳区域稳定性研究、地壳形变监测、地震监测、环境地质与灾害地质的调查与防治研究工作等。如在长江三峡工程建设之前,就对该地区的区域地壳稳定性问题进行了几十年的研究,在工程建设时期,又利用前期在该地区建起的地震监测台站建立了三峡地区地壳形变监测网,进行三峡水库蓄水前的地壳形变与地震活动的本底调查,已经积累了大量的观察资料。

在长江上游水土保持重点防治区建立起大量的观测与监测站点,其中最为出名的是云南东川小江蒋家沟泥石流观测站,已经成为国内外泥石流研究的重要基地。

此外,长江流域环境地质调查有重大进展,初步查清了汉江丹江口等水库建成前后下游河床的冲淤及河道的演变历史,对于类比长江三峡水库建成后下游河道的演变及河床的冲淤变化具有重要意义。初步查明了长江河道崩岸、管涌的形成原因与发展过程,以及人类工程活动对水患形成的影响。

2.5 以探讨地质基础科学问题的专题研究

主要归纳有以下几个方面:

(1) 对流域地貌的研究,最有代表性的研究成果是沈玉昌先生《长江上游河谷地貌》一书,详细论述了长江上游河谷地貌的特点,特别是对三峡河段深槽及阶地的研究比较深入。杨达源分析了三峡河段深槽的分布与形态特点,特别是在三峡工程大坝基坑开挖后,通过实地观察、分析三峡工程坝区河谷深槽的地貌特征,对三峡坝区河谷深槽的成因及其形成发育年代进行了探讨。此外对青藏高原夷平面的研究、第四纪气候演变特别是冰川消长的研究、江西庐山冰川的研究等都是属于长江流域新构造运动和气候演变的研究内容。

(2) 长江中下游河床沉积物分布特征的研究,很好地反映了河流动力地貌、动力沉积特征、两岸沉积与淤积的变化、沉积物粒径随河型不同而产生的迥异等。

(3) 对地观测基础数据的收集工作,如在中国大陆已经建

立起涵盖长江流域的 GPS 全球定位系统。研究地壳板块运动,设定时间越短越精确,获得的信息也越多。以中国地震局地震研究所王琪研究员为代表的科学家,在这方面取得了突破。此外,现已在长江流域建起了一批地震、重力、固体潮观测研究站,以进行野外科学数据的收集。这些科学观测数据将为研究地壳运动在长江流域的表现提供最为宝贵的基础资料。

3 长江流域地学前沿研究课题

由于对长江的科学研究一直以沿江分区段专项为主,系统的对比分析很少,因此仍有许多重大及前沿课题需要研究与解决。在长江流域治理开发中应重视以下地学前沿课题的研究。

3.1 长江的形成与演变轨迹

长江流域的环境地质问题,总是与长江的形成与演变密切相关,而对长江的认识至今仍有许多重大问题没有解决。如长江源自晚新生代强烈隆起的青藏高原唐古拉山,横越多个不同性质、不同时代、高低起伏的构造单元,到底是怎样形成与演化的呢?青藏高原的巴颜喀拉山,是长江、黄河两大河流的发源地,长江与黄河源区的古水系及其与青藏高原的隆升和高原面地貌发育的关系问题十分重要,有关大专院校和科研院所在黄河源区的地质调查表明,同属一个源区的黄河其所以在历史上发生多次断流,其原因较复杂,长江是否会步黄河的后尘还是一个未解之谜。

金沙江与西南诸河有无历史渊源,从河流平面形态来看,从源区至石鼓,金沙江与怒江、澜沧江平行展布,其所处大地构造单元基本相同,金沙江在石鼓附近却发生了 180° 的大拐弯,是否为川江袭夺而成尚待研究。

研究长江水资源系统的演变历史即长江发育史、演变史,应从全球的尺度、大区域的角度去探讨,从区域地质背景入手重建长江流域水资源系统历史演变轨迹并揭示其规律,为长江流域水资源系统的现代格局探求其因并为今后江河湖海的演化预测其果。

3.2 人类活动对地质环境的影响及其风险评估

人类对自然的改造要以兴利除害为最高目的,但事实上,在长江流域内兴建的任何一项工程在为人类造福的同时也会带来一定的风险。对每一项开发治理长江的活动,都应该建立风险评估模型,对其可能的风险进行精确的评估。

3.3 自然地质灾害的分布、成因机理与预测模型

长江流域地质灾害种类多,发生频繁,可划分为面状灾害和点(线)状灾害,具有以下特点:

(1) 自有记载以来,长江流域发生 6 级以上地震百余次,其中震中 90% 以上分布于甘孜—康定、滇西、安宁河、小江、武都、松潘、马边—昭通等地震带。

(2) 冻融集中分布在巴颜喀拉山—玉树以西长江源头高海拔区,以沱沱河沿线最为集中,甘孜以西有零星分布,属多年冻土,常发生融冻褶皱、融冻泥石流、冻胀丘、热融滑塌、热融沉陷、寒冻裂缝等现象。

(3) 土地石漠化集中分布在云南北部及贵州西部碳酸盐岩中高山区。由于该地区地形高差大,降雨丰富,暴雨多,植被稀少,稀薄的表土经片流及沟道径流侵蚀致使基岩裸露。

(4) 沼泽化分布在马尔康、雅砻江以西地区,通天河源地区较集中,与高原冻融作用及冰雪融水密切相关。

(5) 滑坡主要分布于金沙江中下游干流区、雅砻江中下游干流区、岷江上游及大渡河中下游干流区、嘉陵江上游区、三峡库区、乌江上游区和汉江上游区,以堆积层滑坡占绝大多数,另

有少量基岩滑坡。

(6) 泥石流主要分布于金沙江巴曲—奔子栏段、金沙江下游、岷江流域、嘉陵江流域、雅砻江流域、三峡水库区、小江流域等地形陡峻、切割强烈、高差大的断裂带和地震活动带。

(7) 岩溶主要分布在云南、贵州两省及湘西、鄂西地区的碳酸盐岩中高山区及武汉、黄石一带,长江下游地区也有零星分布。主要发育岩溶塌陷、水库岩溶渗漏、岩溶洼地淹没、地表干旱缺水等灾害。

(8) 淤积主要产生在长江干流宜昌以下至河口及洞庭湖地区,淤积可能导致港口废弃、航道不畅及两岸防洪能力下降。

(9) 塌岸在宜昌以下干流河道均有分布,但主要出现在九江以下长江干流两岸。

(10) 地面沉降主要发生在上海、杭州、常州一带的冲洪积平原。其主要原因是过量抽取地下水,形成降落漏斗,使地下软土层释水压缩。此外,由于地表沉陷及地下水位下降,还会引起海水入侵,造成地下水盐化和临海地区淹没等灾害。

(11) 土体胀缩主要分布在南京、合肥、南阳—宜昌、汉中—安康、成都—绵阳以及昆明等膨胀土相对集中地区。膨润土吸水膨胀、失水收缩引起地面变形,所导致的主要灾害是浅层土体滑坡、地表裂缝及建筑工程开裂、引水线路坍塌漏水等。

当前灾害研究的重点及前沿主要集中在:自然灾害综合风险评估;灾害事件的基本控制因素及其相互联系;建筑物和生命线对自然灾害的响应机制;人类社会对自然致灾因子的脆弱性形成机理;灾情形成过程的动力学;风险分散与转移机制等。

3.4 地下水分布富集规律与成藏机理

长江流域水资源无论从总量还是从平均拥有量都属丰富,但水资源分布也不均衡。

在西部干旱区,水资源的分布具有其自身独有的特点,在地貌上干旱区内陆盆地与高山相间分布,高山地区降水量较大,是地表径流形成区和水资源发源地,发源于高山的河流都向盆地汇聚形成了向心式水系。目前,西部干旱区地表水资源的利用率都达到了较高的水平,有的甚至超过了流域水资源可更新量,继续挖掘的潜力不大。但由于水资源的形成与利用程度存在显著的地区差异,这就使得在一些地区地下水资源仍有一定的开发利用潜力。

我国西南地区碳酸盐岩分布面积达114万 km^2 ,其中出露面积78万 km^2 ,主要分布在长江上游的湘、鄂、桂、黔、滇、渝、川等几个省,聚居人口1亿左右,涉及贫困线上下人口近千万人,地表水资源匮乏是致贫的主要原因。但这些地区地下水资源可采量达500~600亿 m^3/a ,目前开采利用的地下水仅占可采量的10%~20%左右,地下水的开采潜力较大。

3.5 气候变化与长江流域水资源的响应

气候变化是长江流域最活跃的自然因素,全球气候变化主要引起全球尺度、东亚大陆尺度和长江流域尺度水文循环系统的变异,从而导致流域水资源的变化。事实上,流域旱涝致灾是水文循环系统波动和变异的结果,是水文循环动力学的一个特解。

全球气候变暖,使得水循环加快,蒸发和降水增强,加大河川径流。据有关学者研究,长江中下游地区在20世纪90年代已呈现出明显增温趋势,达到0.2~0.8 $^{\circ}\text{C}$,最大增温区域在长江三角洲地区,降水在长江流域中下游地区明显增加,增加值为5%~20%。必须充分认识全球变暖对长江流域水文过程的影响,加强全球变化及其对区域水循环过程影响的定位检测,深刻研究历史上长江流域大洪水与气候异常的对应关系,从长江流域沉积物特征了解全流域气候变化的旋回,研究未来气候变暖

的可能性和必然性,为制定特大洪水防洪预案提供科学依据。

3.6 水土流失等各类灾害的地质成因

长江流域的水土流失主要分布在上中游地区,这一地区的水土流失面积55万 km^2 ,约占全流域水土流失面积的98%。长江流域的水土流失除了具有水土流失类型多样、水土流失后果严重、人类活动造成了水土流失加剧之外,还有一个重要的特点就是水土流失具有隐蔽性。长江流域山区地表组成物质颗粒较粗,侵蚀后大多滞留在坡前、或被就地拦蓄,进入河流的只是一小部分,河流输沙量一般小于地面侵蚀量,据对16条典型流域的分析,泥沙输移比平均为0.23左右,这与黄土丘陵区泥沙输移比接近于1的情况有很大的不同。

流域洪灾的形成直接受到地质、地貌条件的制约。洪灾是由洪水引发的,但洪水并不等于洪灾,由暴雨发展为洪水、洪灾是一种外动力地质作用过程。暴雨是一种气象现象,洪水是一种水文现象,而暴雨→洪水→洪灾,则是一种地质过程。因此,地质学在防洪、减灾中具有重要意义,应重视以地质学的基本原理为基础研究制定长江防洪策略。

地面沉降是我国东部沿海平原地区城市化进程中资源与环境如何由对立走向统一的焦点之一,我国江浙沪等沿海地区地面沉降严重,其中尤以上海地区的地面沉降具有一定的代表性。

由于地面沉降所带来的环境地质问题日益显现,因而应注重地面沉降理论的研究。在地下水下降过程中含水层表现为典型的非线性特征,含水层变形相态表现为弹性—弹塑性—塑性变形的渐进演化过程。含水层颗粒结构出现调整并产生显著压缩变形时所对应的地下水位可称作“临界水位”。同时,含水层在不同的变形相态下的应力—应变痕迹,也存在显著的不同。在地面沉降模拟预测中如何考虑含水层变形的非线性特征,对提高预测精度十分重要。因此,地裂缝与地面沉降机理研究的物理仿真模拟、机理与预测预报研究的GIS仿真模拟技术、机理与预测预报研究的非线性仿真模拟技术、灾害防治对策研究、地裂缝与地面沉降对周围环境影响的评估等都是这方面的前沿研究课题。

4 对流域地质研究的基本认识

流域是以河流为主的水文单元,它是一个相对独立的水资源衍生与承载系统,具有可度量性、系统性、结构性、区段差异性、开放性和耗散性的特点。流域属于自然区域之一种,具有区域的一般属性,同时,流域又是一种特殊的区域,是以河流为中心构成的复杂系统。因此,对流域的地质研究即要遵循一般区域的研究方法又要有自身的特点。要全面、系统地认识长江,从而达到合理、可持续开发长江的目的,在对长江流域的地质环境研究时应特别注意相邻学科的交叉、渗透与融合,加强地质学内部的综合研究,注重流域地质过程的微观研究,结合流域治理开发的实践不断拓宽应用研究领域,注重引进新的实验与研究手段,在信息科学迅猛发展的今天,要大力促进信息科学与地学的结合,同时,在理论思维模式上不断突破和创新。

地质学作为一门基础学科,它涉及的范围广,研究的时间跨度长,对其它学科的研究起着支撑和纽带作用。当前,我国的水利事业正在从工程水利向资源水利、可持续发展水利转变,长江作为我国第一大河流,其流域水资源在我国水资源优化配置和国民经济建设中占有十分重要的地位。因此对长江流域的研究在平面尺度上要融入到全球范围,在空间尺度上要包含水圈、大气圈、岩石圈、生物圈,在时间尺度上应追溯到地质历史时期并延续到将来,形成具有鲜明特色的大河流域地质学系统理论。

(编辑:赵凤超)

Research on the structure construction on the main canal of the middle route project of South- to- North Water Transfer

LU Xue-dong

(Design Institute, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract: The middle route project of the South- to- North Water Transfer is the largest trans- basin water transfer project planned to be built in China. For the trans- region and trans- climatic- belt water transfer, the large covering area and transferring discharge of the project, the structures are of high- grade ones and large sizes, and the most of them on the main canal are thin wall and slab- girder structures and the construction work is different from that of the conventional hydraulic structures. This paper discusses the issues such as water diversion of the rivers crossed with the main canal, the selection of concrete material, and construction equipment, and the general construction arrangement, etc.

Key words: canal structure; construction; the middle route project of South- to- North Water Transfer

Analysis on the flood control role of the Three Gorges Project for typical floods of the Dongting lake

GU Qing-fu WANG Jian-jia

(Investigation Bureau of Hydrology and Water Resources, Water Conservancy Department of Hunan Province, Changsha 410007, China)

Abstract: According to the compensation regulation mode of the Three Gorges Project aimed at the Jingjiang and Chenlinji areas after its completion, the analysis and computation on the 3 kinds of different typical composite floods of 1996, 1998, 1999 in the Dongting lake area are carried out by large lake flood routing model. The computation results demonstrate that the different real- time regulation schemes have different roles and for different composite floods the different real- time regulation schemes have different effects; for the short time- duration and severely encountered floods of the Yangtze river and 4 main rivers in Hunan Province, the Three Gorges Project has significant flood control effect, but for the flood mainly coming from the 4 main rivers of Hunan Province and long time- duration and severely encountered multiple flood peaks of the Yangtze river and 4 main rivers in Hunan province, the Three Gorges Project has minor flood control effect.

Key words: large lake flood routing model; compensation regulation; flood composite; flood control role; TGP

Research status- quo and forward issues of earth science in the Yangtze valley

XIA Jin-wu LI Chang-an

(Changjiang Reconnaissance Technology Research Institute, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China; 2. China Geology University, Wuhan 430074, China)

Abstract: The Yangtze basin covers several large geologic structure units and passes through long history evolution, the geologic background is extremely complicated. In the several decades of harnessing and development, the geologic research on the Yangtze valley concentrates on the valley plan- demonstration and the requirement of some specific project construction or the water resources issues of specific river reach and local area. These researches were mostly confined in engineering technology and comparably small areas, the obtained knowledge on geologic environment and geologic background of the Yangtze valley can not form a complete, systematic and deeply knowledge system of regional geologic background of the Yangtze valley. This research and knowledge status quo not only can not answer the issue of the Yangtze river history evolution but also can not answer some fundamental, strategic and forward scientific issues having influence on future geologic environment in the development process of water resources. Therefore, in this process, attention should be paid to research of the valley geologic background, especially to some forward issues of earth science to form distinctive geologic system theory of large river and supply technology support and basic guarantee for the harnessing and development of the Yangtze valley.

Key words: water resources development; earth science research; forward issue; geologic system theory; the Yangtze valley