文章编号:0559-9342(2008)08-0017-02

浅析喀斯特地貌与水电资源开发

王 梦
(华北电力大学,北京 102206)

关键词:喀斯特;水能资源;水电资源开发

摘 要:中国的喀斯特岩溶地貌同水能资源分布一样,也主要集中在西南,尤其是贵州、广西、云南三省和四川部分地区发育比较成熟。西南喀斯特岩溶地区雨量充沛,山多水多河流多;该类地区群山连绵,河谷深切,地形起伏大,河流落差大;该类地区河流均在峡谷中,江面狭窄,岩石坚硬,建坝费省效宏;该类地区山高水低,水库淹没面积少,移民规模小。加强该类地区水能资源开发研究,具有现实意义。

Discussions on the Karst Landforms and Its Hydropower Resources Development

Wang Meng
(North China Electric Power University, Beijing 102206)

Key Words: Karst; water power resources; hydropower resources development

Abstract: The Karst landforms in China are mainly distributed in its southwest region, especially in Guizhou, Guangxi and Yunnan provinces and the part of Sichuan, just like the distribution of its hydropower resources. In the southwest Karst region, there is rich in rainfall and many mountains, rivers and waters. With continuous hills and deep river valleys, its topography changes greatly and the drop of river is high. The rivers in such region all is in valley, with narrow river surface and hard rocks, so that it is less cost and big benefits for dam construction. In these regions, due to high mountains and low rivers, the reservoir inundation area is less so that resettlement is less in scale. To strengthen the study on the hydropower resources development in such region is of significance.

中图分类号:TV213.2 文献标识码:A

西南地区是我国水能资源富集地,同时也是我国喀斯特岩溶地貌分布集中并发育典型的地区。本文拟通过地质、生态和环境学原理,探索水能资源与喀斯特地貌的内在联系,分析水能资源分布原因、地质条件,提出开发设想。

1 中国水能资源分布和特点

中国是水能资源比较富集的国家。据2005年11月25日在北京发布的全国水力资源复查成果,全国大陆水力资源技术可开发装机容量为54 164万kW,年发电量24 740亿kW·h,均居世界第一位。但分布不平衡,呈现出南多北少的特点。

1.1 我国西南地区水能资源丰沛

我国地势西部高、东部低,主要大江大河多发源于西部高原,加上南方雨量充沛,西南地区水能蕴藏量约占全国的70%以上(见表1[1])。

1.2 西南地区水电基地较多

由于西南地区是我国水电的"富矿",且水流落差大,淹没涉及移民少,开发指标优越,国家有关部门从技术和经济的比较优势考虑,制定了我国十大水电基地开发规划,重点仍然集中在西南地区(见表2[2])。

表1 水能资源分布

地区	理论蕴藏量/GW	技术可开发资源		可开发电量占全国比例/%
		装机容量/GW	年发电量/(GW·h)	
华北	12.30	6.92	23 225	1.2
东北	12.12	11.99	38 391	2.0
华东	30.05	17.90	68 794	3.6
中南	64.08	67.43	297 365	15.5
西南	473.31	232.34	1 305 036	67.8
西北	84.18	41.94	190 493	9.9
全国	676.04	378.53	1 923 304	100.0

1.3 西南地区水电资源

按照1980年的普查成果,云南、贵州、四川三省可开发

收稿日期:2008-03-18

作者简介:王梦(1988—),女,贵州兴义人,华北电力大学在校学生.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表2　十大水电基地

河流	可开发装机容量/GW	年发电量/TW·h	河流	可开发装机容量/GW	年发电量/TW·h
南盘江红水河	13.12	53.3	大渡河	18.06	101.0
澜沧江	21.37	109.4	雅砻江	19.40	118.1
乌江	3.68	41.8	湘西沅江	7.92	
金沙江	47.89	261.1	黄河上游	15.60	56.8
长江上游	28.13	136.0	黄河北干流	6.09	19.3

的水能资源为20 313万kW，年发电量为10 349亿kW·h，占全国可开发总量的50%以上。其中，贵州为1325万kW和665亿kW·h，云南为8 728万kW和4 392亿kW·h，四川为10 260万kW和5 291亿kW·h。三省水能资源又主要集中在金沙江、澜沧江、怒江、乌江、雅砻江和大渡河（见表3[2]）。

表3　西南三省水电能源基地水电建设方案

项　目	可开发规模	
	装机/万kW	发电量/亿kW·h
（一）云南省	8 728	4 392.2
1.金沙江干流	4 044	1 972.2
2.澜沧江干流	2 202	1 102
3.怒江干流	1 390	773
4.其他河流	1 092	585
（二）贵州省	1 325	665
1.乌江干流	616	285.5
2.南北盘江干流	295	141.2
3.其他河流	414	238.3
（三）四川省	10 260	5 291.9
1.雅砻江干流	2 430	1 241
2.大渡河干流	1 772	989
3.金沙江干流	3 031	1 381
4.乌江干流	228	116.3
5.其他河流	2 799	1 564.6
合　计	20 313	10 349

2　我国喀斯特地貌的形成和分布

我国喀斯特岩溶地貌同水能资源分布一样，也主要集中在西南地区，尤其是贵州、广西、云南三省、区和四川省部分地区发育比较成熟。

喀斯特地貌是可溶性岩石受水长期溶蚀作用的结果。这些岩石的主要成分是碳酸钙（$CaCO_3$），在有水和二氧化碳时发生化学反应生成碳酸氢钙[$Ca(HCO_3)_2$]，于是有空洞形成并逐步扩大，还没有被溶解的石灰岩就形成了石灰岩喀斯特面貌。所以喀斯特的形成和发育必须具备3个条件：即地表附近有节理发育的致密石灰岩、中等以上的降雨量和地下水循环通畅。

喀斯特分布较广，我国几乎各省、自治区都有不同面积的碳酸盐类岩石（石灰岩、白云岩、石膏和岩盐等），出露地表的总面积约130万km²，约占全国幅员面积的13.5%。其中，西南地区分布最集中，面积达55万km²，特别是贵州、广西、云南三省、区和四川盆地，石灰岩连成一片，其分布之集中，发育之成熟，类型之典型，在全世界来讲都是少见的。我国其他地区则分布零星，发育也不成熟。这种分布特点，主要是受地质条件和季风气候的影响。第三纪时，我国季风气候形成，奠定了现今喀斯特地带性的基础，华南保持了湿热气候，华中变得湿润，喀斯特发育转向强烈。第四纪以后，地壳迅速上升，喀斯特地貌随之迅速发育，类型复杂多样。随着冰期与间冰期的交替，气候带频繁变动并呈现出逐步南移的特点，由于间冰期时中国的气温和雨量都较高，有利于喀斯特发育，所以西南地区保持了继续发育的条件而发育强烈，而广大西北地区则几乎处于不发育状态。这就是中国喀斯特岩溶地貌主要集中在西南并发育典型的重要原因。

3　喀斯特地区的水能开发

通过喀斯特和水能资源分布特点分析，我们似乎可以得出这样的结论：喀斯特分布集中的地区，往往是水能资源富集的地区，而且技术和经济可开发程度高。

第一，西南喀斯特岩溶地区雨量充沛，山多水多河流多。以贵州省为例，喀斯特岩溶地貌占全省幅员面积的73%，属亚热带季风气候，南距海洋较近，因而湿润空气容易进入，雨量充沛形成丰富的水资源，仅流域面积100 km以上的河流就有428条，较大的有乌江、南北盘江、赤水河、清水河、都柳江等，分属长江、珠江水系上游地段。

第二，西南喀斯特岩溶地区群山连绵，河谷深切，地形起伏大，河流落差大。长江流域地势西高东低，由河源至河口总落差5 400多m，其中宜昌以上均属峡谷河段，长3 464 km，落差5100多m，占全江总落差的95%，所以水能资源分布集中。长江上游支流——乌江，全长1 037 km，主要分布在喀斯特岩溶发育成熟的贵州省，天然落差2 123 m，可开发11个梯级水电站，装机容量879.5万kW，保证出力410万kW，年发电量436.7亿kW·h。可全年均衡发电，电能质量高。

第三，西南喀斯特岩溶地区河流均在峡谷中，江面狭窄，岩石坚硬，建坝费省效宏。喀斯特岩体以板岩、片岩、砂岩、粘土岩、碳酸盐岩等变质和沉积岩出露最广，能够溶解的均被流水带走，还没有溶解的岩体坚硬，在乌江、金沙江、雅砻江、大渡河等大部分河谷地段都有这类坚硬块状岩体分布，不仅是兴建大型水电工程的优良地段，而且连绵不断的群山为料石、沙石和水泥制造提供了取之不竭的来源和方便，水电站建设成本低，开发效益好。贵州省大中型水电工程单位装机容量造价远远低于全国平均水平。

第四，西南喀斯特岩溶地区山高水低，水库淹没面积少，移民规模小。水库移民由于搬迁安置难度大，社会经济系统复建矛盾突出，情况比较复杂，已成为水电开发最大的制约因素之一。移民规模最小化已成为水电站建设的基本原则和条件之一。而西南山区的河流大都分布在深山峡谷地带，人口居住分散，淹没面积和影响人口相对较少。以乌江构皮滩水电站为例，装机3 000 MW，多年平均发电量96.67亿kW·h，直淹迁移人口仅1.2万余人。　（下转第34页）

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

本稳定的状态。实测值反映,在填筑到471.8 m高程后,停歇3个月后的沉陷值为0.5 mm/月。

在坝体填筑过程中为保证工程质量主要采取了如下措施:①派专人从取料处监督检查上坝石料的质量,对软岩含量大、石块粒径不符的石渣不装车不上坝;②在坝上实行监理旁站制,检查石料质量、粒径、铺层厚度、洒水量、碾压遍数等各项工艺;③按要求对每层进行碾压成果取样,出现问题立即进行返工处理。防浪墙以下坝体填筑约268万m³,各分区各料种共进行现场取样796组(数量平均为规范要求最大值的2倍还多),取样检测结果表明,主堆石区干容重平均值为2.17×10^3~2.22×10^3 kg/m³,孔隙率为17.2%~19.0%,增模区干容重平均值为2.21~2.24×10^3 kg/m³,孔隙率为17.5%~16.4%,均小于设计要求指标,如此低的孔隙率值在国内堆石坝中是少有的。

4.2 面板施工

为保证混凝土面板施工质量,项目公司除要求设计方面进行方案优化外,还在施工中采取了严格控制混凝土入仓坍落度,保证一车一检,坍落度超出3~5 cm范围的均做废料处理的措施;为保证面板的厚度均一,提出了坝面(岸坡)修整起伏控制在±3~±5 cm,比规范标准要求更严格;为防止面板缝隙间由于混凝土不平整而产生裂缝,要求先浇混凝土块边模及止水,一要平整二要牢固,并规定浇筑前业主人员参加验收;另外还采取了二次抹面、及时覆盖保温塑料薄膜与棉毯,安装固定水管进行长期洒水养护;冬夏季严格控制开仓浇筑时段及面板中采取双层双向配筋、混凝土中加粉煤粉、掺聚稀晴纤维等10项具体措施,对防止面板混凝土开裂起到了良好效果。至今18万多m²面板仅发现浅表层裂缝300余条,远小于常规要求值。

5 安全监测分析与近期专题论证

为更好地掌握和了解上库主坝施工、运行中受力与变形等情况,按设计要求开工自今在坝体内外共埋了各种观测仪321支,除液压式沉降仪仪器自身存在问题外其余全部正常运行。仪器测值均符合大坝变形和应力应变规律。根据资料分析,可以认为大坝堆石碾压密实,增模区的沉降已趋于稳定,挡墙的外部变形,小于设计计算值,挡墙土压力也趋于稳定,表明主坝和重力挡墙工作正常。

为论证上库主坝的安全性,根据坝体实际情况并结合观测结果,项目公司近期又请多家科研院校进行坝体稳定复核分析、应力与变形分析计算、抗震复核分析等专项论证。其结论为:重力挡墙本身抗滑抗倾稳定性满足设计和有关规程规范要求,且有较大的安全裕度;主坝连同挡墙深层抗滑稳定安全系数大于2.0;满库、空库情况下的坝顶放大系数均小于3.2,坝体及挡墙的抗震稳定性良好。

在不断进行优化的前提下,上水库主坝于2006年9月完成主体填筑,防渗面板同年6月全部浇筑完毕,随后上水库工程顺利通过蓄水验收,如今上水库蓄水已接近471.5 m正常高水位,坝体变形、坝基与库盆渗漏量均小于设计指标。

6 结 语

宜兴抽水蓄能电站上水库工程优化后,不但从结构上满足了工程需要,保证了工期与进度,在做出了许多创新的同时还节约了大量投资,初步估算,采用混合坝比最初提出的重力坝方案节省投资2.53亿元,比沥青混凝土面板坝方案节省0.77亿元。

(上接第18页)

4 喀斯特岩溶地区水电开发的对策

事物都有两面性。喀斯特地区水能资源丰富,开发条件好;但岩溶地貌对水电工程建设也有不利的方面,需要采取相应的对策。

(1)高度重视工程建设的地质工作。喀斯特的显著特点是地下溶洞多、分布广、密度大,特别是贵州省山区,凡山就有洞。如果溶洞处理不好,容易导致坝区、库区发生渗漏。同样,开挖导流洞、发电洞、交通等隧道时也容易出现涌水现象。所以,在喀斯特地区修建水电工程,必经深入细致地开展地质勘探,研究和探测地下溶洞的分布,及时采取科学的处理办法和措施,这是喀斯特地区水电工程建设成功的关键。

(2)高度重视生态保护。喀斯特地区土地和森林植被资源十分珍贵,由于碳酸盐岩在风化溶蚀中,有90%的物质都溶于水而被带走,所以成土过程极其缓慢,一般每形成1 cm厚的泥土,需要2 500~8 500年;原始林带和植被的形成也需要几百年。这种生态资源一经破坏,很难得到恢复。所以在工程建设中,不仅要减少生态破坏,更要重视山体和植被损坏后的修复、治理,才能实现水电开发与生态环境相协调。

(3)高度重视水库移民安置。由于喀斯特地区人多地少,人地矛盾突出,水库淹没了耕地,又加剧了移民安置环境容量的压力,处理不好就会成为严重的社会问题。所以在水电开发中,要防止‘重工程、轻移民’的倾向,把移民安置放在与主体工程同等重要的地位。

(4)高度重视地下水资源的开发和利用。由于雨水的长期作用,不断使石灰岩裂缝加宽加深,容易形成洞穴系统或地下河道,所以喀斯特地区地下河流多,并由于河道纵剖面往往成阶梯状,具有筑坝发电的条件。如云南省丘北六郎洞水电站,就是中国第一座成功开发地下河的水电站。如果丰富的地下水资源白白流失掉,实属浪费。因此,在能源问题已成为世界性问题的今天,应当重视喀斯特地下水能资源的开发。

参考文献:

[1] 中国能源战略研究课题组. 中国能源战略研究(2000-2050年)总报告[M]. 北京:中国电力出版社,1996.

[2] 中国电力规划编写组. 中国电力规划[M]. 北京:中国水利水电出版社,2007.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net