

贵州岩溶区河流瀑布地形 发育与水利开发的地质问题

莫仲达

(华南师范大学地理系)

提 要 对贵州500多处河流瀑布的勘察研究成果表明,瀑布数量多、单级水能小、分布广、类型多、成因复杂;以岩溶瀑布为主。一般地说,河流瀑布的水利应按落差、水量综合开发,而不宜按单个开发,分散利用。但从水利工程地质工作角度来看,也不能因此而忽略了开发河段上作单级开发的瀑布地形的研究,在一定时期内单级瀑布小工程开发并非都是坏事。在进行流域规划,以及工程地质调查中,瀑布地貌的研究应给予足够的重视。

关键词 岩溶;瀑布;水利开发;工程地质;贵州。

0 引 言

贵州常见的瀑布地形是坎脚下的冲蚀潭,不但较深、较大而且还可能向瀑壁内凹入。瀑布溯源侵蚀后撤所产生的下游峡谷以及散布在峡谷底处的遗弃潭坑和壶穴,有时因冲积物充填覆盖而难以发现,它们和分布于瀑布坎脚及下游峡谷岸坡脚下的崩落岩块堆,常给河床清基带来一定的困难。

在岩溶区瀑布的流水壁面上,常能见到钙华层——瀑布钙华。在贵州已观察到的瀑布钙华的厚度可达20m(乌当滴水岩),其中发育有原生型洞穴,从小孔洞到人可进入活动的大洞(如黄果树瀑布和瓮安川洞河瀑布),有时还可形成天生桥(如威宁的羊街瀑布)和暗河(施秉的大竹园瀑布)。

水利工程地质勘测中必须重视瀑布地形研究,由此我们可以更好地了解河流的地貌发育史和认识水利工程区的地质条件。特别是瀑布蕴藏着集中的、易于开发的水能,调查瀑布的分布及性状必然是流域水力资源调查要点之一,且往往成为一期工程的选择对象。溢流坝下冲刷的水力条件与形成瀑布冲蚀潭近似。通过调查分析查明影响瀑布冲蚀潭发育因素与形态、规模的关系,并按比拟法把这些资料应用于坝下冲刷坑的分析与预测,是简捷易行的。

① 作者简介:莫仲达,男,54岁,1981年贵州师范大学地理系岩溶专业硕士研究生毕业,副教授。510631 广州市天河区石牌。

1 瀑布的成因分类

因瀑布产生的河床陡坎,其成因可分为两大类:其一是河床物质或物质在河床上差异流动的结果,如河床岩石的差异侵蚀,或滑坡滑入河床等;其二是先已存在的地形陡坎,后为突然改道的河流所通过,而成为瀑布壁坎。不管属何种成因,一旦河床中出现横向陡坎,形成瀑布,河流的势能就在这里集中转化,大量消耗。水流随下落而加速,当溅落到坎脚的河面时就产生冲击,水花四散、水雾上飘。在进入河流水体后,还产生复杂的涡动水流。这些过程强烈地影响了瀑布附近的地貌发育,塑造出瀑布地段特有的地形。

关于瀑布地形的分类,已有不少方案,其中较值得注意的有 A. K. Lobeck(1936)^[1],姜达权(1958)^[2],Von Martin Schwarzbach(1967)^[3]的三个分类。笔者(1984)^[4]依据开放系统的理论,从能量流和物质流的观点并兼顾瀑布的形态特点,对贵州的瀑布进行了划分(图 1)。

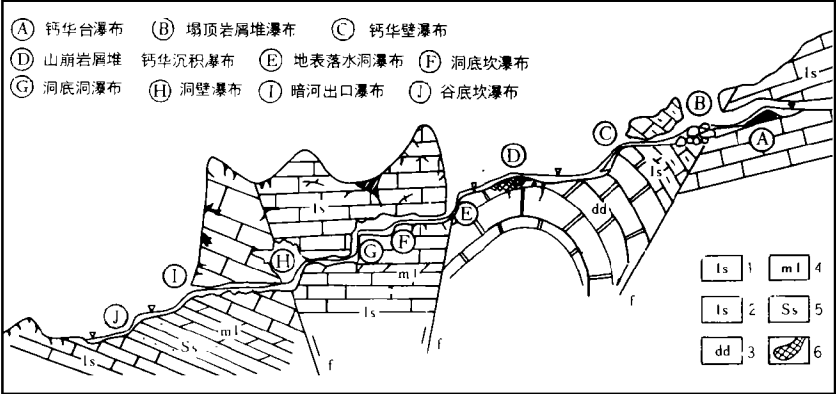


图 1 贵州河流瀑布的主要成因类型

Fig. 1 A main genetic types of waterfall in Guizhou
1. 石灰岩;2. 泥质灰岩;3. 白云岩;4. 泥灰岩;5. 砂岩;6. 钙华。

这个方案源自刻划河床物质流动最终表现为河床面高程变化的简单数学式。

$$H_t = H_0 + (M + S - D)t \tag{1}$$

- H_0 ——刚开始变化前的河床面高程
 - H_t ——开始变化 t 时间时,河床面高程
 - M —— t 时间内,河床处地壳平均的升降速率(上升为正值,下降为负值)
 - S —— t 时间内河床平均沉积速率
 - D —— t 时间内河床平均剥蚀速率
- 在上游河床底面显著地高于下游时,即

$$(M_{\text{上}} + S_{\text{上}} - D_{\text{上}})t > (M_{\text{下}} + S_{\text{下}} - D_{\text{下}})t \tag{2}$$

只要河床物质的成分和构造条件有利,就有可能形成瀑布。在这里,河床基岩体中的软弱结构面——层面、裂隙面、断层面、不整合面和火成岩侵入接触面的发育状况,特别是其产状以及岩性的差异,对瀑布的形成起决定性作用。如果暂不考虑时间因素,(2)式可简化为:

$$M_{\text{上}} + S_{\text{上}} - D_{\text{上}} > M_{\text{下}} + S_{\text{下}} - D_{\text{下}} \tag{3}$$

这个式子可作为瀑布的成因分类使用。能满足(3)式的组合可能很多,引起这些组合出现的因素也很多,这正是瀑布成因常常难以确定的原因之一,但当某个主要因子为主导,相对地可忽略其它两个因子时,可得出:

(1) $M_{\pm} > M_{\mp}$ —— 地壳运动差异型

(2) $S_{\pm} > S_{\mp}$ —— 堆积差异型

(3) $D_{\pm} > D_{\mp}$ —— 剥蚀差异型(在岩溶区,又可分为侵蚀差异型和溶蚀差异型两种)

(2)式中 t 的存在是十分有意义的,它强调要有一个时间过程才能形成明显的跌水——瀑布。

诚然,问题是十分复杂的。因此实际上,升降、沉积、剥蚀可能是同时或不同时地进行,而且其速率也将随时间而变化。对一个具体瀑布来说,其形成常有复杂的历史,将有“最初的”成因和“现在的成因”(或保存条件),要恢复早期的成因更显得困难。最可取的还是通过研究瀑布发生发展过程及目前所处的状况来确定瀑布的成因。

2 瀑布地形发育概况

贵州现有瀑布 629 处,发育于岩溶区的瀑布为 484 处,占总数的 77%。由此可见,岩溶区瀑布密度较大。调查表明,瀑布基岩为碳酸盐岩石的有 425 处,占瀑布总数的 67.5%。构造岩石多为白云岩、白云质灰岩、硅质灰岩、泥灰岩、玄武岩、变质砂岩、石英砂岩等。

另外,在贵州瀑布总数中,河流瀑布 619 处,占总数的 98%。地表河瀑布 520 处,占 83%,位于 3、4 级支流上(按乌江、红水河为一级河流计)494 处,占 78.5%。暗河出口瀑布 99 处,占 15.7%。因此,在瀑布类型上以侵蚀差异为主,溶蚀差异亦占较大比重,说明悬谷口瀑布、峡谷头瀑布、暗河出口瀑布较为发育。

从瀑布地形演化的角度可用瀑布落差(m)与洪水流量(m^3/s)的乘积,即瀑布最大功率来表示其规模。从瀑布水能开发来看,则可用瀑布落差与年平均流量的积,即瀑布年平均功率来代表。贵州瀑布普遍流量较小,且不稳定,瀑宽不大,多在数米到数十米范围。落差低于 20m 的瀑布有 258 处,占 41.2%,总计低于 50m 的占 74%。高于 100m 的虽统计有 61 处,但实际上不少是多级连续的,而且水量都很小。所有这些均表明,贵州瀑布单级水能的规模都较小^[4]。

分布广泛是贵州瀑布发育的一大特点(图 2)。除少数县较少或没有之外(如三穗、平坝、绥阳、桐梓、平塘等),省内大多数县都有较多瀑布,尤其以毕节地区和黔东南州所属各县更为突出,威宁县可达 38 处,是数量最多的县份。瀑布总数在 20 处以上的县有:盘县、榕江、剑河三县;在 10 处以上的县有:兴义、普安、镇宁、关岭、开阳、六枝、毕节、纳雍、务川、道真、仁怀、习水、余庆、从江、锦屏、台江、施秉、丹寨、贵定、瓮安、玉屏、德江等县。按平面分布密度大致可圈出 13 个密集区(图 2),具如下几条规律:

(1)集中于河流上游,河上游水量小,有利于瀑布保存。

(2)集中于小河汇入大河处,或支流汇入主流处。这类悬谷口式瀑布共有 109 处,占全省瀑布总数的 30%。其中大部分又集中在岩溶地区(168 处)。这表明除了因主支流侵蚀差异悬殊之外,还与岩溶向深发育有关。

(3)集中分布在活动性断裂带上。如黄果树瀑布群正是位于活动频繁的北西向断裂带上。基于这一特点,作者认为把瀑布视为地壳挽近运动指示地形之一的说法是有道理的,不过还应

注意区别瀑布的产生是循断层崖或断层线崖,后者属岩性差异侵蚀而非活动断层的直接表现。

(4)集中分布在近期活动强烈的穹窿和断块上升区,如梵净山、雷公山区等地。

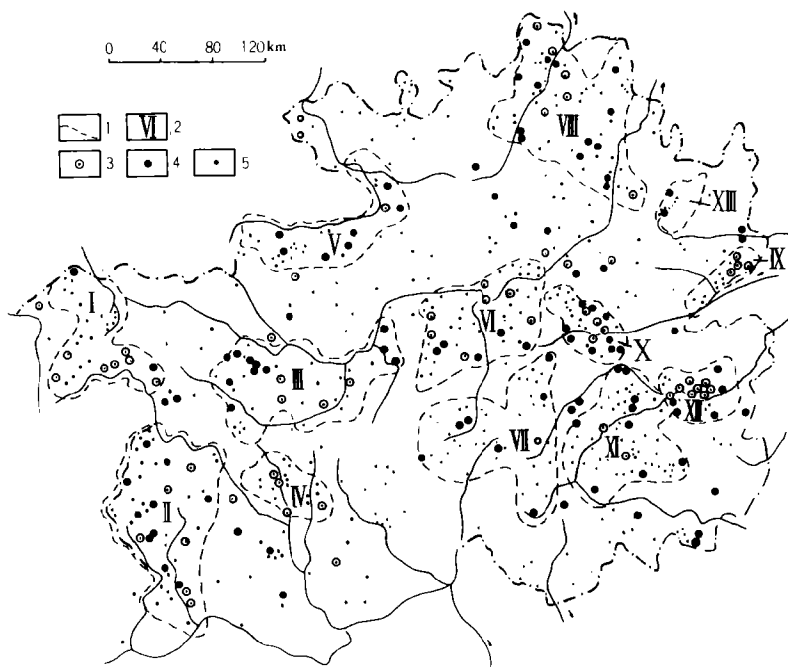


图 2 贵州瀑布密度分区

Fig. 2 The density regionalization of waterfalls in Guizhou

1. 密集区界线;2. 密集区编号;3. 高度大于 100m 的瀑布;4. 高度为 50~100m 的瀑布;5. 高度小于 50m 的瀑布。

3 不同类型瀑布的水利工程地质问题

贵州瀑布中已开发建成和正在修建水电站的有 158 座,占总数的 25%。但以往的工程勘测工作对瀑布的地质、地形研究大都较浅。在这里只能依据少数实例作一个初步的讨论。

3.1 塌顶岩屑堆瀑布

指岩溶暗河管道塌顶造成岩块堵塞河道,产生跌水与陡滩。其特点是水流散乱,常无完整的陡落壁面,更多的是乱石急滩。这种天然的堆石坝使河流向上游迴水形成天然水库,库底大多有较厚的冲积和淤积,甚至把水库淤平、填死,如猫跳河上游河床,覆盖厚 27m,挹扒洞处厚为 18m。坝基下大崩石、砂砾石及淤泥、石灰华等成分不均一,且强度低,渗透性强,当坝高较大时,坝基的加固和防渗处理工作量均较大;同时由于地处岩溶发育集中强烈地段,坝址基岩的工程地质条件亦趋复杂化,坝肩、库首的渗漏问题较为突出。

猫跳河窄巷口水电站是利用高 29m 的塌顶岩堆瀑布落差作高坝(54.8m)混合式开发的实例(图 3)。经过较大量的地质勘察,修建时采用“拱上拱”的新坝型把坝基受力转由两岸支承,避开了深挖清基问题,并以混凝土管柱和水泥灌浆相结合措施防止了坝基渗漏。但开始蓄水时,库首左岸便发生了严重的岩溶渗漏(达 20m³/s)。后经过十多年的补充勘探的防渗处理,现渗漏量已降至 16m³/s。铜仁挹扒洞一级电站是这类瀑布低坝引水开发的实例,瀑高 18.5m,

天然水库底堆积砂卵石与石灰华互层,最厚为 17.6m。由于基岩为白云岩,两岸岩溶发育弱,坝低(5.4m),坝基处有厚为 2m 灰华层,其质较硬,透水性弱。故经简单的清基和局部打桩加固即顺利建坝引水运行。

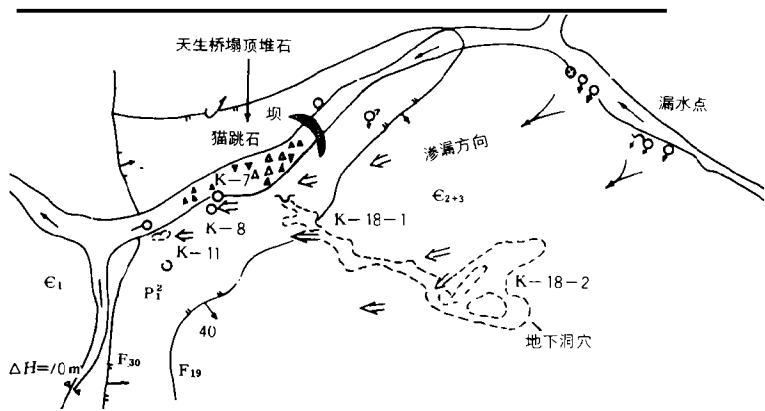


图 3 猫跳河四级站的瀑布与水库渗漏

Fig. 3 The waterfall and the reservoir seepage at the No.4 Hydropower Station on the Maotiaohe River

3.2 暗河出口瀑布

这类瀑布多见于:①过境大河在岩溶区中切出深大峡谷的两岸,如清镇猫跳河下游左岸羊皮洞,高 40m;正安县芙蓉江边的白布吊江,高 30m。②岩溶大山体的斜坡上,因强岩溶岩层下伏有非溶岩层,而限制了暗河往下发展的地段。如德江县的闹水岩暗河出口河水面 280m,务川县的大岩门也高出 210m(图 4)。这种向斜成山,在高陡的二叠系阳新统石灰岩悬崖下,因下伏为志留系韩家店组页岩,故有暗河出口高悬而倾泻入深谷的情况,在黔东南地区相当普遍。但在暗河出口附近常有较多的塌坍堆积。因此在引水坝或洞内短期调节水库坝址、渠线、厂址等选择时都应予以重视。

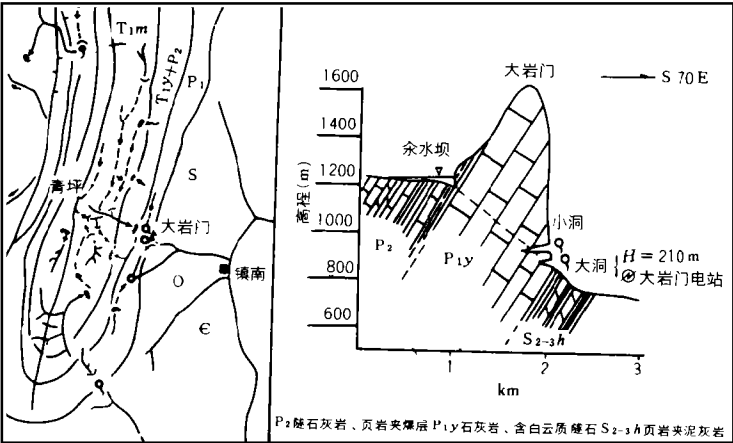


图 4 务川大岩门瀑布

Fig. 4 The Dayanmen waterfall in the Wuchuan County

利用大落差瀑布水能建设水电工程,除应进行常规的水文工程地质工作外,还要特别注意对复杂的岩溶地质条件的研究,以便蓄引并举,获取最佳效益。

3.3 地下瀑布

其开发问题多较复杂,除了岩溶水资源要弄清之外,洞内地下厂房、坝、水库的修建还涉及强岩溶地段的防渗、防洪、防崩落等问题。如织金县水淹塘水电站的地下小水库,其水头规模小,但渗漏问题却较突出(图5)。而独山岔发洞水电站因为注意了溶洞和暗河调查,故开发取得较好效果。

3.4 山崩岩屑堆瀑布

外貌与塌顶岩屑堆瀑布相似,亦是堆石塞河,然后天然成库,通常伴随有淤积铺底,差异的是成因不同,这类瀑布是谷坡崩滑所成。在岩层呈中倾角的走向谷和软硬岩层相间或下伏软弱层的地段较易产生。如凤岗县桐卡拉水电站(图6),滑坡堆石体高约30m,坝基处砂砾、淤泥层厚15m以上。无坝引水避免了复杂的坝基处理,以隧洞引水避开了崩石地段,取得预期效果。

3.5 峡谷头瀑布

往往高度较大,而是属“侵蚀循环裂点”。可溶岩层中的峡谷头瀑布,其形成多半是落水洞瀑布经下游暗河塌顶及瀑布溯源后撤演变而成,如黄果树瀑布^[5]。因此,要按落水洞瀑布的特点来考虑坝址、水库选择问题。这类瀑布的脚下或下游,常会有较大的岩溶地下水流。黄果树开发分成两级并先开发Ⅰ级电站,其主要原因之一,就是为了取得在其下游河床中出露的枯水流量达 $1.67\text{m}^3/\text{s}$ 的地下水源(冒水塘),以提高引水式发电的运行。但如何在黄果树瀑布上游选择可靠的调蓄水库地点,一直是其开发中的突出问题。因此在打帮河下游的关脚瀑布开发时,考虑如何利用出露在瀑布下游左岸的大暗河出口水源,无疑也是有必要的。

3.6 落水洞瀑布、悬谷口瀑布、谷底口瀑布

落水洞瀑布是指河流注入岩溶落水洞时,在其一部分洞壁上所形成的陡跌落。落水洞内水位变幅大,变化快,而且上下交通困难,一般都不宜在落水洞里建水电站,而改用在上游引水作地表开发。落水洞处突变的低水位,标志着在其上游一定范围的地下水位低于地表河水位,亦即已出现河水在河床下渗补给地下水的情况。所以在引水坝址选择上,应考虑避开这种不利地

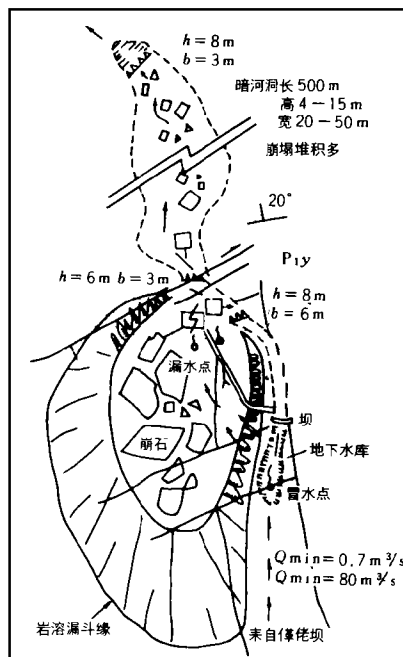


图5 织金县水淹塘的地下瀑布及地下水库

Fig. 5 The underground waterfall and reservoir at Shuiyantang, Zhijin County

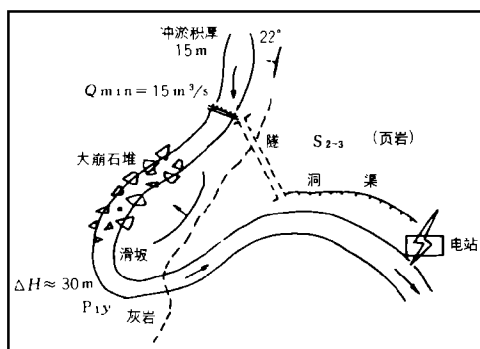


图6 凤岗县桐卡拉水电站

Fig. 6 The Dongkala Hydropower Station in Fenggang County

段。

悬谷口瀑布其水电工程地质问题与峡谷头瀑布近似,不同点是大河深切、压力钢管、厂房所在的山坡(即大河的岸坡)会较高、陡。

谷底口坝瀑布,这类瀑布一般不高,往往是岩性抗蚀差异的表现,在贵州河流中有较广泛分布。一般只宜作小的季节性的水力开发(因洪水时会被淹没)。因工程规模小,地质处理上可简单些。

张英骏教授和熊康宁副教授提出宝贵修改意见,图件清绘由谈丽娟同志承担,于此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 Lobeck, A. K. , *Geomorphology—an introduction to the study of landscapes*, 1936
- 2 姜达权. 瀑布. *水文地质工程地质*, 1958(2): 7—10
- 3 Schwarzbach, V. M. , *Isiändische wasserfälle und eine genetische systematik der wasserfälle überhaupt*, *Z. Geomorph.* 1967, 4
- 4 莫仲达. 贵州岩溶区瀑布地形初步研究. *热带地貌*, 1984. 5(2): 22—82
- 5 张英骏, 莫仲达. 黄果树瀑成因初探. *地理学报*, 1982(3)

DEVELOPMENT OF WATERFALL TOPOGRAPHY AND GEOLOGICAL PROBLEMS OF WATER CONSERVANCY IN THE KARST REGION, GUIZHOU

Mo Zhongda

(*Department of Geography, South China Normal University*)

Abstract

Based on the general survey of waterfalls in Guizhou, it is realized that the waterfalls are many in number, wide in distribution, various in types and complicated in genesis. Of them predominant karst waterfalls with low single-leveled hydropower. As a kind of hydroenergy waterfalls, in general, are developed in accordance with both waterhead and water quantity in a comprehensive way rather than dispersively and individually. In terms of engineering geology of water conservancy, it is important to study waterfall topography for single-level river, development and hence to construct small single-level hydropower projects in a certain period. It would be significant to do much research on waterfall topography in planning of drainage basin, in karst hydrogeological survey of the working area, and in engineering geological survey for waterfall development.

Key words karst, waterfall, water conservancy development, engineering geology, Guizhou.