

文章编号: 1000-0585(2000)02-0194-08

雅鲁藏布大峡谷地区水环境评价及保护研究

马 明, 关志华

(中国科学院自然资源综合考察委员会, 北京 100101)

摘要: 雅鲁藏布大峡谷是世界第一大峡谷, 位于我国西藏南部喜马拉雅山脉东端, 穿过大峡谷的河流是世界上海拔最高的大河雅鲁藏布江。大峡谷地区由于地形复杂, 山高谷深, 交通不便而且人口相对稀少, 因此受人类活动影响较少, 水环境的原始自然状态保持完好。本文根据笔者参加 1998 年徒步穿越雅鲁藏布大峡谷科学探险考察中取得的第一手资料, 对大峡谷地区原始自然状态下的水文和水环境特征做了初步研究, 并对今后大峡谷水环境的保护和监测提出了具体的建议。

关 键 词: 雅鲁藏布大峡谷; 水文特征; 水环境; 背景值; 保护

中图分类号: X143 **文献标识码:** A

对雅鲁藏布大峡谷水文和水环境的研究, 曾在 80 年代的南迦巴瓦峰地区登山科学考察中取得了较丰富的资料^[1]。1998 年 10~12 月, 中国科学院探险协会组织了徒步穿越雅鲁藏布大峡谷科学探险考察活动。通过这次考察, 首次在人迹罕至的大峡谷核心地段取得了包括水文、水环境、植被、地质和地形等方面的调查资料。本文结合前人所做的一些工作, 对雅鲁藏布大峡谷河流地貌、水文和水环境特征做进一步的分析和探讨。

1 大峡谷地区的河流地貌及水文特征

雅鲁藏布江属印度洋水系, 发源于我国西藏喜马拉雅山脉中段北麓的杰马央宗冰川, 流向为自西向东, 在流经西藏米林县的派乡后进入雅鲁藏布大峡谷, 并围绕喜马拉雅山脉东端的南迦巴瓦峰做马蹄形急转弯后向南, 最后经我国的巴西卡进入印度。该河在我国境内流域面积为 240 480 km²。源头海拔 5 590 m, 流出国境处的海拔约 155 m, 河长 2 065.5 km, 平均坡降 2.6‰。在出国境处的多年平均径流量为 $1\,362 \times 10^8 \text{ m}^3$, 水量仅次于长江和珠江。

1.1 河流地貌

雅鲁藏布大峡谷地区的水系主要由雅鲁藏布江下游河段和其支流帕隆藏布江组成。雅鲁藏布江大峡谷为典型的“U”字形大拐弯峡谷。大拐弯内侧有喜马拉雅山脉东端的主峰——南迦巴瓦峰(7 787 m), 其外侧则有加拉白垒峰(7 257 m)。两峰之间直线距离仅 20 余 km, 极值深度达 4 817 m。大峡谷入口处派乡的河面高程为 2 880 m, 在出口处巴西卡的河面高程约 155 m, 全长 496 km, 峡谷区集水面积 49 959 km², 总落差 2 775 m, 平

收稿日期: 2000-01-26; 修订日期: 2000-04-06

基金项目: 中国科学院资环局重点支持项目(KZ952-J1-03)

作者简介: 马明(1957-), 男, 河北人, 博士生, 研究方向为水资源区域调控、水环境。

均坡降 5.5‰。其中从派乡至希让之间的大峡谷核心地带长 250 km, 平均坡降 9.14‰, 峡谷平均深度 2 673 m, 为举世罕见的险陡峡谷。峡谷内河道的快速收缩和急剧下切, 表明这里的新构造运动剧烈, 地壳正处在强烈上升阶段。大峡谷地区干、支流河道在横向和纵向以及它们的格局上都有鲜明的特点。如大峡谷干流纵向表现为山嘴交错的连续峡谷形态; 横向表现为深切入基岩的“V”型河谷。不仅如此, 受构造的控制及断裂或主要节理的影响, 在大峡谷核心地段主河道上出现多处 30 m 左右的瀑布及连续的跌水湍流。大峡谷中的岩石主要为变质岩, 局部有石英岩、花岗岩等。由于属于变质岩的片麻岩的片里发育, 又加上山坡陡峻, 地震活动强烈等原因, 致使岩层崩塌现象频繁。因暴雨和冰川的作用又极易造成泥石流的发生。

峡谷中的支流主要有帕隆藏布江、金珠藏布、多雄曲、锡约尔河等, 其中帕隆藏布江是雅鲁藏布江最大的支流。大多数支流分布在干流的左岸, 其左岸的集水面积远大于右岸, 这个不对称性是河道呈“U”形大拐弯有直接关系。由于大峡谷中雅鲁藏布江干流量丰富, 河床侵蚀切割剧烈, 而两岸一些支流短而小, 其下切速度远不及干流大。因此峡谷中许多小支流、支沟的出口处坡降很大, 形成悬谷瀑布。

1.2 水文特征

大峡谷是一条向寒冷的青藏高原输送海洋温暖水汽的通道, 来自印度洋的暖湿气流顺峡谷而入, 滋润了大峡谷地区。这里是我国降水量最大的地区, 也是世界上降水量最大的地区之一。由于南来的暖湿气流主要沿雅鲁藏布江下游河谷上溯进入高原, 因此形成降水量由南向北随海拔高程的增加逐渐减少的趋势^[2,3]。如最南端的戴林多年平均降水量高达 5 317 mm; 位于中印边境的巴西卡为 4 496 mm; 往北的墨托县约为 2 260 mm; 位于帕隆藏布流域的易贡和波密分别为 960 mm 和 850 mm。沿雅鲁藏布江向西其降水量则急剧减少, 如林芝降水量为 635 mm, 奴下为 507 mm。

大峡谷地区还广泛分布着现代冰川, 大量冰雪融水补给河流是大峡谷地区丰富水资源的稳定补给来源。根据有限的观测资料分析^[3,4], 雅鲁藏布江上游河源区径流的补给以融冰雪水为主。在大峡谷入口处的尼洋河汇入后, 径流主要以雨水和融冰雪水混合补给, 其中融冰雪水约占径流量的 38%, 雨水补给约占 32%。到大峡谷的顶端帕隆藏布汇入后, 融水补给量进一步增加, 达到 43% 左右。帕隆藏布以下的峡谷区, 因气温高, 冰川与常年积雪面积小, 而降水量又很大, 导致该地区的径流组成又以雨水补给为主。由于雅鲁藏布江在大峡谷区径流补给特点, 其径流量的年际变化不大。通常在降水量少的年份, 多晴朗天气, 气温也略有增高, 冰川融水量也会相应加大, 使河川径流得到补充。

大峡谷地区年径流深受降水、气温、冰川分布和地形的影响, 其分布的总趋势是南部大, 北部小, 与降水的分布趋势相近。大体上是从雅鲁藏布江干流的出境处向上游递减, 从干流向左、右两侧递减。根据雅鲁藏布江奴下水文站和易贡藏布贡德水文站的径流量资料以及大峡谷毗邻地区的水文、气象资料, 推算出大峡谷地区的年径流深一般在 1 500 ~ 3 000 mm。最下游的巴西卡附近年径流深可达 4 000 mm, 是我国单位面积产水量最高的地区。而北部仅 500 ~ 1 000 mm。由此推算出的大峡谷地区自产多年径流量约为 $791 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。加上雅鲁藏布江干流流入大峡谷的过境水量达 $571 \times 10^8 \text{ m}^3$, 则大峡谷出口巴西卡流出国境的多年平均径流量达 $1\,362 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由此可知大峡谷自产水量占雅鲁藏布江全河年径流量的 58%。与此形成对照的是, 大峡谷地区的干流河道长度只占全河的 24.1%; 集水面积仅

占全河流域面积的 20.8%。

2 水环境背景值

大峡谷地区由于地形复杂，山高谷深，交通不便而且人口相对稀少，其核心地段人类极少涉足，因此受人类活动影响较少，水环境的原始自然状态保持完好。为了今后对大峡谷水环境进行保护和监测，同时为大峡谷资源开发和国家公园的建设提供依据，深入研究和调查原始自然状态下的水环境背景值将具有重要意义。

本次考察过程中，对大峡谷地区的干流河水、支流及泉水共 22 个点采集了水样，采样位置见图 1。水样经中国科学院自然资源综合考察委员会化学分析室检测，共测定了 Ca^{++} 、 Mg^{++} 、 Na^+ 、 K^+ 四种阳离子和 HCO_3^- 、 SO_4^- 、 SiO_3^- 、 Cl^- 四种阴离子以及 30 余种痕量元素的含量。

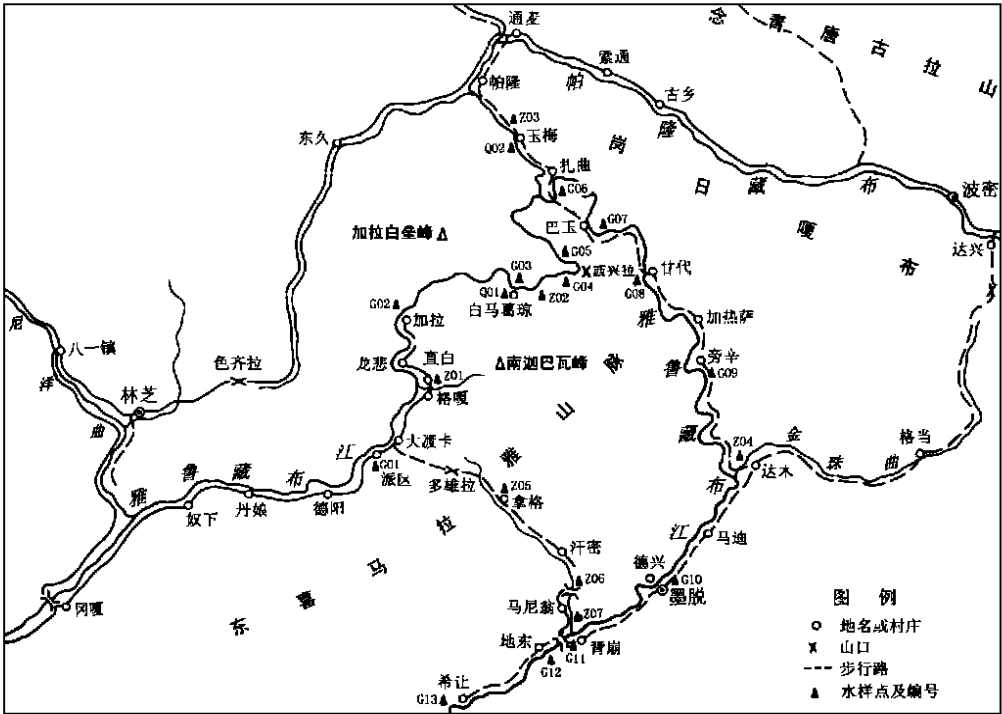


图 1 大峡谷地区水样点位置图

Fig.1 Locations of water sampling in Yaluzangbu Grand Canyon

2.1 水化学分析

表 1 给出了水化学测量结果。测量结果表明，大峡谷地区河水的矿化度和总硬度都较低，水质良优。离子总量一般在 30~200 mg/l 之间，属于微中矿化水；总硬度一般为 0.3~2.4 mg·N/l，属软水；水化学类型多为 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{++}$ 型，属重碳酸盐类。大峡谷地区水化学特性具有湿润和半湿润地区河流水化学的一般特征，但由于大峡谷地区南部和北部自然地理和气候条件的差异，河流水化学在区域上具有不同的特点。

表 1 大峡谷河段各种水体水化学成分

Tab. 1 Hydrochemical concentration of waters in Yaluzangbu Canyon

水样 编号	采样地点 时 间 (年-月-日)	海拔 /m	水温 /	总硬度 /(mg·N/l)	离子总量 /(mg·N/l)	主要离子含量/(mg/l) (mg·N 百分数)								水化学类型
						HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	SiO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	
干流														
G01	派乡转运站	2900	13.1	1.628	141.7	85.67	5.55	3.70	9.40	1.46	5.91	25.99	4.02	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-10-28				3.807	37.25	4.15	2.04	6.56	0.97	6.69	33.73	8.60	
G02	加拉村	2765	12	1.945	166.8	83.72	5.88	23.10	9.54	1.53	7.13	31.14	4.75	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-01				4.564	30.23	3.65	10.60	5.52	0.85	6.76	33.87	8.52	
G03	白马葛琼	2450	8.5	2.097	178.5	94.03	6.53	19.50	9.83	1.63	8.24	33.73	5.03	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-8				4.887	32.25	3.86	8.49	5.40	0.84	7.17	33.70	8.29	
G04	西兴拉营地	2250	9.9	2.113	188.1	92.50	6.86	29.25	10.39	1.64	8.43	33.87	5.14	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-13				5.113	29.25	3.73	11.75	5.27	0.83	7.27	33.51	8.39	
G05	藏布巴东瀑布	2100	10.2	2.169	197.2	107.21	7.18	21.67	10.55	1.68	8.91	34.67	5.33	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-17				5.287	32.68	3.77	8.39	5.16	0.83	7.46	33.28	8.44	
G06	扎曲雅江吊桥下	1520	11	2.299	198.7	95.49	7.18	33.67	10.47	2.02	7.45	36.83	5.60	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-12-2				5.419	28.52	3.69	12.78	5.02	0.97	6.06	34.36	8.62	
G07	八玉村下游	1200	12.2	2.382	204.8	99.88	5.88	34.56	10.92	2.06	7.49	38.19	5.79	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-30				5.57	29.13	2.95	12.81	5.11	0.95	5.90	34.52	8.62	
G08	鲁古村	1080	13.3	2.374	201.3	107.39	6.59	23.05	10.98	2.12	7.33	38.02	5.80	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-28				5.461	32.42	3.42	8.84	5.31	0.98	5.80	34.53	8.68	
G09	旁辛村	840	13.3	2.366	198.6	102.51	7.18	24.18	11.70	2.22	7.16	37.78	5.85	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-25				5.428	31.18	3.76	9.35	5.71	1.04	5.69	34.47	8.80	
G10	墨脱吊桥下	690	12.2	2.121	179.2	98.42	7.32	14.17	11.80	2.22	6.13	33.89	5.23	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-21				4.87	33.26	4.26	6.08	6.40	1.16	5.46	34.58	8.80	
G11	背崩村下游	630	13.4	1.709	143.9	78.16	5.55	9.77	11.95	2.31	4.73	26.96	4.42	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-13				3.929	32.76	4.00	5.20	8.03	1.49	5.21	34.09	9.21	
G12	地东溜索下	605	13.6	2.075	172.7	86.83	4.90	23.42	11.64	2.21	5.50	33.03	5.19	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-5				4.725	30.21	2.93	10.36	6.50	1.19	5.05	34.76	9.00	
G13	希让村上游	570	13.4	2.103	166.2	73.46	6.53	29.87	11.99	2.32	3.31	33.49	5.26	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-6				4.632	25.89	3.96	13.37	6.78	1.29	3.12	36.22	9.37	
支流 (溪流)														
Z01	直白村旁支流	2800	6.3	1.107	95.72	39.29	4.90	10.88	14.29	2.31	3.37	18.36	2.32	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-10-30				2.697	23.26	4.99	8.18	13.57	2.25	5.58	34.91	7.26	
Z02	西兴拉上游 3km	2400	2.9	0.811	68.13	20.84	4.90	11.15	11.01	3.28	1.61	13.97	1.39	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-12				1.966	17.06	6.90	11.59	14.45	4.35	3.63	36.11	5.91	
Z03	玉梅上游溪流	1650	7.5	1.046	85.43	30.84	3.92	15.64	10.07	3.75	1.49	17.82	1.91	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-12-4				2.413	20.95	4.58	13.50	10.97	3.98	2.69	36.83	6.50	
Z04	金珠河打国桥下	830	11.8	0.992	74.04	30.16	4.57	7.09	10.21	1.89	1.27	17.25	1.59	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-23				2.135	23.78	6.21	7.10	12.92	2.21	2.52	39.30	5.98	
Z05	多雄曲拿格沟	3000	7.7	0.152	13.72	2.21	0.94	0.43	5.92	0.97	0.53	2.21	0.51	SiO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-10-30				0.427	7.96	5.83	1.98	34.23	6.20	5.78	27.53	10.50	
Z06	多雄曲阿尼桥下	1030	12.8	0.378	30.63	9.27	2.01	3.29	7.17	1.45	0.75	5.36	1.33	SiO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-1				0.913	16.32	6.09	7.35	20.25	4.15	3.63	29.94	12.28	
Z07	白马西路河河口	630	13.4	0.558	49.63	18.41	3.59	4.81	9.61	1.87	1.20	8.55	1.59	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-1				1.413	19.96	6.70	6.62	16.71	3.64	3.97	32.42	9.97	
温泉														
Q01	白马葛琼河边	2450	60	13.17	1653.6	582.9	141.9	120.0	305.7	37.232	14.6	231.7	19.57	HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-11-8				47.56	19.83	8.31	5.18	16.68	2.03	19.90	24.64	3.43	
Q02	帕隆藏布玉梅	1630	45	29.99	2451.7	844.5	21.2	798.3	121.2	37.7	179.15	470.5	79.16	SO ₄ ⁻ -Ca ⁺⁺
	98-12-4				68.64	20.21	0.87	24.27	4.65	1.40	5.00	34.13	9.47	

大峡谷中河水矿化度和硬度总的变化趋势是南迦巴瓦峰南坡支流水体较北坡支流低。如南峰南坡支流水体矿化度平均值为 31.3 mg/l, 总硬度平均值为 0.36 mg · N/l; 而北坡支流河水矿化度平均值为 81.9 mg/l, 总硬度平均值为 0.96 mg · N/l。产生这种差异的原因是南北坡气候湿润程度和下垫面条件存在着差异。南坡降水充沛, 植被繁茂, 土壤的淋溶作用虽较强, 但土壤中代换性盐基含量较低, 从而使进入水体中的盐基离子相对较少, 河水矿化度偏低; 北坡降水相对较少, 蒸发量大于降水量, 土壤中代换性盐基含量较高, 加上北坡产流量较少, 造成北坡支流矿化度偏高。

大峡谷干流从海拔 2 900 m 的派乡至大拐弯顶端海拔 1 520 m 的扎曲, 其河水矿化度和总硬度随海拔高度的降低而略有增加, 矿化度由 141.7 mg/l 增加到 198.7 mg/l, 总硬度由 1.63 mg · N/l 增加到 2.30 mg · N/l; 到八玉河段矿化度和总硬度达到最大值, 矿化度为 204.8 mg/l, 总硬度为 2.38 mg · N/l; 再往下游至墨脱县境内的希让矿化度和总硬度又逐渐沿程减小, 希让河段的矿化度和总硬度分别为 166.2 mg/l 和 2.10 mg · N/l, 见图 2。初步分析, 造成这种现象的主要原因是: 八玉以上河段汇集了雅鲁藏布江中上游和帕隆藏布江的来水, 其径流中冰雪融水和地下水补给的比重较大, 而冰川融水和地下水在其转化为水和输送的过程中容易溶解岩土中的盐分使其矿化度较雨水要高, 因此在大峡谷上游河段矿化度和总硬度会沿程增加; 其次, 大峡谷上游段两岸温泉较多, 特别是帕隆藏布江沿途出露温泉甚多, 而温泉的矿化度和总硬度均较高, 其补给干流之后使河水的矿化度沿程增高。地处南迦巴瓦峰南坡的大峡谷下游段由于雨水补给径流的比重开始增大, 而且南坡支流的矿化度普遍偏低, 使下游河段的矿化度又趋于减少。这里应注意到南坡背崩处江水的矿化度和总硬度比它的下游地东和希让处的矿化度和总硬度要小很多, 这是因为背崩处的取样点位于雅鲁藏布江右岸白马西路河汇入口以下 200 m 处, 其水样受白马西路河汇入的低矿化度水的影响所至。

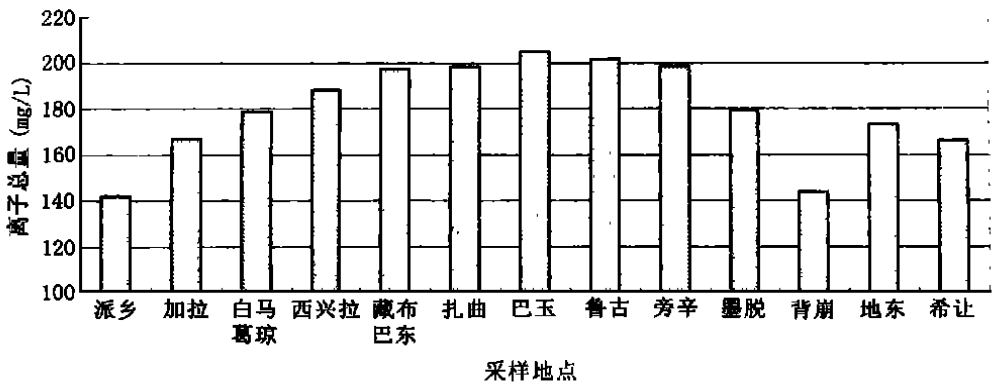


图 2 大峡谷干流河水矿化度沿程变化情况

Fig.2 Variation of mineralization on the mainstream of Yaluzangbu Canyon

大峡谷地区河流水化学特征的垂直变化也很明显, 峡谷中的支流从山顶至雅鲁藏布江干流相继流经不同的垂直自然带时, 河水中总离子含量会不断增加, 离子组成也会有变化。如位于南坡的多雄河是一条以降水和融冰雪水补给为主的支流。其河源区海拔 3 000m 左右的拿格, 地表径流的矿化度仅为 13.7 mg/l; 河流经过海拔 1 030 m 的阿尼桥时, 河水的

矿化度达 30.6 mg/l ; 流至海拔 630 m 左右的河口时, 河水的矿化度增加到 49.6 mg/l 。同时随着海拔的降低, 流程的增长, HCO_3^- 离子的毫克当量百分数不断增加, SiO_3^- 的比例却不断减少, Ca^{++} 离子毫克当量百分数也趋增长。造成河水矿化度和离子含量顺序变化的原因主要与河流沿程的自然地理特征的变化和径流补给类型有关。河源高海拔地区径流补给主要以矿化度低的冰川水为主, 而且风化壳多为粗碎屑物质, 含可溶性盐很少。随着海拔高度的降低, 气温增高, 土壤发育, 降雨量逐渐增大, 淋溶作用增强, 土壤中的可溶性盐随地表和地下径流汇集进入河流中。离子含量顺序变化与河流补给水源的化学性质有关, 高海拔河源区融冰水 SiO_3^- 离子占优势, 其 SiO_3^- 离子毫克当量百分数接近或高于 HCO_3^- 离子的毫克当量百分数。沿途随地表、地下径流经土壤和风化壳淋溶作用后补给河流, 使 HCO_3^- 离子的含量不断增加, SiO_3^- 离子含量相对减少。

虽然从水化学类型来看, 大峡谷地区河水基本属同一类型。阴离子组成中, 大多数以 HCO_3^- 离子为主, 一般占离子总毫克当量的 $20\% \sim 40\%$, 阴离子顺序为 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{SiO}_3^- > \text{Cl}^-$; 阳离子组成中, Ca^{++} 离子占优势, 一般占离子总毫克当量的 33% 左右, 阳离子顺序为 $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ 。干流各组成离子含量沿程也有所变化, 随着流程的增加, HCO_3^- 的毫克当量百分数逐步降低, SO_4^- 却变化不大; Ca^{++} 离子随无多大变化, 但 Mg^{++} 却有所增大。

大峡谷北部地区因新构造运动强烈, 沿雅鲁藏布江干流两岸有许多温泉出露, 它们大多是从深层断裂地下水流出的热泉。本次考察中采集了两处温泉的水样。一处位于大峡谷上游白马葛琼河段, 另一处位于帕隆藏布干流上的玉梅。白马葛琼温泉出水量很小, 但水的温度较高, 达 60°C , 泉水的矿化度和总硬度分别高达 1653.6 mg/l 和 $13.2 \text{ mg} \cdot \text{N/l}$, 水化学类型为 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{++} \cdot \text{Na}^+$ 型水。玉梅温泉出水量较大, 有多处泉眼, 水温约 45°C , 泉水的矿化度和总硬度分别为 2451.7 mg/l 和 $30.0 \text{ mg} \cdot \text{N/l}$, 水化学类型为 $\text{SO}_3^- - \text{Ca}^{++}$ 型水。

2.2 微量元素

本次考察后还对水样中的微量元素进行了测量, 见表 2。由于考察中条件所限, 部分水样未做酸化处理, 与做过酸化处理的水样缺乏可比性。因此这里仅列出做酸化处理水样的测量结果。一般来说, 河水中的微量元素含量很少, 约占水中矿物质总量的 2% 左右。他们虽然不能决定河水的化学类型, 但天然水体中某些微量元素含量的不足和过量都会对人类的健康和生命过程产生影响。

由分析结果可知, 大峡谷干流河段微量元素含量有沿程增加的趋势, 但在大峡谷顶端的八玉和鲁古河段微量元素含量较低, 这可能与帕隆藏布低矿化度水的汇入有关。不仅如此, 支流河水微量元素含量还低于干流河水。另外, 主要微量元素含量的排位在南迦巴瓦峰的北坡河段和南坡河段也有所不同。北坡以加拉为代表, 其微量元素含量依次为: $\text{Fe} > \text{Al} > \text{Mn} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Ba} > \text{Co} > \text{Se} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Pb}$; 南坡以墨脱为代表, 其微量元素含量依次为: $\text{Fe} > \text{Al} > \text{Mn} > \text{Ni} > \text{Ba} > \text{Cu} > \text{Co} > \text{Se} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cr}$; 支流以白马西路河为代表, 其微量元素含量依次为: $\text{Al} > \text{Fe} > \text{Ba} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Co} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Se} > \text{Zn}$ 。

表 2 大峡谷河段各种水体部分微量元素背景值
Tab. 2 Minor elements of waters in Yaluzangbu Canyon

取样地点	痕量元素含量 / (μg/l)													
	Fe(铁)	Al(铝)	Mn(锰)	Ni(镍)	Ba(钡)	Cu(铜)	Co(钴)	Cr(铬)	Pb(铅)	Se(硒)	Zn(锌)	P(磷)	Sr(锶)	Ga(镓)
派乡	0.8141	0.55	0.0662	0.03	0.0165	0.02	0.0151	0.0072	0.0019	0.0011	0.0012	0.1972	0.0942	0.1164
加拉	1.382	0.8181	0.077	0.0293	0.0177	0.0202	0.0151	0.0039	0.0011	0.0077	0.0024	0.1059	0.1129	0.1174
白马葛琼	1.952	1.129	0.1197	0.0305	0.022	0.0217	0.0145	0.0063	0.0071	0.007	0.0231	0.2427	0.1159	0.1025
八玉	0.3458	0.3362	0.0386	0.0222	0.0165	0.0172	0.0125	0.0035	0.0017	0.009	< 0.0004	0.093	0.1546	0.1065
鲁古	0.4514	0.3811	0.041	0.0217	0.0171	0.0172	0.0132	0.0093	0.0081	0.0071	< 0.0004	0.093	0.1545	0.107
旁兴	0.6148	0.5414	0.0447	0.0203	0.0183	0.0176	0.0132	0.001	0.0096	0.0075	0.0048	0.1006	0.1547	0.1143
墨脱	0.8556	0.618	0.0497	0.0239	0.0214	0.018	0.0145	0.0016	0.0052	0.0097	0.0018	0.1268	0.1413	0.1103
背崩	1.092	0.7539	0.0501	0.0211	0.0269	0.0187	0.0125	0.0018	0.0071	0.0044	0.0042	0.151	0.1093	0.1089
地东	0.9666	0.7544	0.0635	0.0202	0.022	0.0183	0.0112	0.0091	0.0015	0.006	0.0012	0.1433	0.1332	0.0998
希让	1.108	0.7903	0.0598	0.0229	0.0245	0.0193	0.0125	0.0082	0.0024	0.0073	0.0018	0.1652	0.1357	0.1044
拿格沟	0.2815	0.2189	0.0037	0.0031	0.0058	0.0119	< 0.0003	0.0142	< 0.0007	< 0.0005	< 0.0004	0.0006	0.0018	0.0401
阿尼桥	0.1437	0.2071	0.0128	0.0232	0.0328	0.0189	0.0119	0.007	0.0012	0.0055	< 0.0004	0.0871	0.0288	0.1219
白马西路	0.1256	0.1857	0.0117	0.0233	0.0251	0.0193	0.0125	0.0087	0.0052	0.0027	< 0.0004	0.1198	0.0368	0.132
金珠曲	0.1608	0.1862	0.0178	0.0181	0.0122	0.0161	0.0106	0.0009	0.0032	0.0152	< 0.0004	0.0747	0.112	0.1191
玉梅温泉	< 0.0005	0.134	1.30	< 0.0001	0.0463	< 0.0002	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0007	< 0.0005	0.0979	0.1728	2.658	< 0.0004

* 玉梅温泉水样未经酸化处理。

3 水环境评价与保护

大峡谷河流水量丰沛，而且因地形高差悬殊，干流河道水面比降大，落差集中，水能资源也极为丰富。据估算大峡谷地区总的水能蕴藏量高达 $9261 \times 10^4 \text{ kW}$ ，占雅鲁藏布江全流域水能蕴藏量的 82.5%。因此大峡谷地区是全国乃至全世界水能资源最为集中的地区。不仅如此，大峡谷中各种水体的矿化度和总硬度都偏低，微量元素含量正常，无污染，水质优良，是目前全国大江大河中最清洁的河流。

目前大峡谷地区各类用水很少，主要用途是农田灌溉。大峡谷地区由于地形复杂，山高谷深，现有耕地主要零星分散在大峡谷主要支流帕隆藏布和金珠曲等狭长的河谷地区，主要种植水稻等农作物。此外，水能资源的开发也极为有限，目前大峡谷及周边地区有小型水电站 50 多座，装机容量 2 753 kW，大多为引水式，发电保证率低。水能资源开发量不足蕴藏量的万分之一。

开发大峡谷地区丰富的水资源，特别是水能资源必须以保护水环境和资源的可持续利用为前提。因此大峡谷中水资源的开发利用近期应仍以开发支流为主，发展自流引水灌溉，并作好灌溉设施的配套工作。大峡谷中的很多小支流水量充沛，河床比降大，落差集中，发展小水电条件非常优越。开发兴建小型水电站，可为农副产品加工提供动力，也为提高当地人民的生活水平创造条件，还可逐步实现以电代柴，从而保护大峡谷的森林资源，减少水土流失。实地考察表明，目前大峡谷地区仍维持着较好的原始自然环境和状态。但对大峡谷地区良好水环境的潜在威胁主要来自两个方面。一是来自雅鲁藏布江上游经济区的污染，随着上游支流拉萨河和年楚河流域经济的发展，污水排放将会增加，因而会破坏大峡谷地区的水环境；二是来自大峡谷地区较为严重的水土流失，由于大峡谷地区山高坡陡，暴雨频繁，引发泥石流造成水土流失，另外当地少数民族人口的不断增长和对资源的不合理

的利用,也造成对环境的破坏。如以门巴和珞巴族居民为主的墨托县森林破坏较为普遍,在生产水平低下的情况下,为了解决粮食和燃料的不足,当地居民多采取刀耕火种的耕作方式,乱伐森林,滥垦土地,而且毁林开荒的山坡可达 35°左右。由于开垦地坡度大,加上暴雨不断冲刷,水土流失较为严重。这样不仅使土层侵蚀殆尽,生态环境趋于恶化,而且还使河道中含沙量增加,对水质也会产生负面影响。

因此,大峡谷地区水资源保护问题应引起足够的重视。首先要在资源开发的前期做好流域资源的调查和规划工作,使资源得到合理开发,避免造成对水环境的破坏。第二应注意污染问题,目前该地区工矿企业较少,水质污染问题不大。今后该地区应严格限制工矿业的发展,同时应使雅鲁藏布江中上游的工矿企业达到污水排放标准。随着今后大峡谷国家公园建立,旅游业的发展应立足于生态旅游,严格控制可能的污染源,这对保持大峡谷的自然状态非常重要。第三应保护森林,保护植被,禁止乱砍滥伐和毁林开荒,只有这样才能有利于水土保持,减少河道中的泥沙含量。为了达到保护环境的目的,应在有条件的地区积极开发小水电,以解决当地居民的燃料问题;同时发展生态旅游,增加当地居民的经济收入,改变他们对传统的刀耕火种式农业的依赖。在雅鲁藏布江中上游地区还应划分出水源涵养林,以起到保护水源的作用。

参考文献:

- [1] 中科院登山科学考察队. 南迦巴瓦峰地区自然地理与自然资源[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 154 ~ 186.
- [2] 关志华, 陈传友 等. 西藏河流与湖泊[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 5 ~ 114.
- [3] 关志华, 陈传友. 西藏河流水资源[J]. 自然资源, 1980(2).
- [4] 陈传友, 关志华 等. 西藏水利(内部资料)[M], 1981. 11 ~ 53.

Assessment of water environment of the Yarlung Zangbo Daxiagu and its protection

MA Ming, GUANG Zhi-hua

(Commission for Integrated Survey of Natural Resources, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: The Yarlung Zangbo Daxiagu (Grand Canyon) is the largest canyon in the world and is located at the easternmost of the Himalayas in Tibet, China. This area remains in its natural and original environment because of scarcity population sparseness and harsh terrains. This paper evaluates the hydrologic features and water environment of the Canyon based on the background data obtained during the 1998's scientific expedition to this area. Some suggestions for conservation are also discussed.

Key words: the Yarlung Zangbo Daxiagu; water environment; background data; conservation