

雅鲁藏布江水环境的探讨

陈 西 平

(四川省环境保护科研监测所)

摘要 本文针对开发羊卓雍湖(羊湖)水利资源存在的不同看法,探讨了羊湖电站对雅鲁藏布江水质的影响。在零维水质模型解析解计算羊湖开发后矿化度变化的基础上,分析了水质随时间的演变。结果表明:电站排放距岸边 30km,距江心 8km 后,湖水和江水达到均匀混合。此时,江中矿化度在最枯期比电站尾水上游增大 2.4 倍,随着羊湖电站运行时间的增长,湖泊水质不断淡化,电站对雅鲁藏布江水水质影响就越小,到 700 年左右,湖水和江水中矿化度达到稳定状态。

雅鲁藏布江是西藏的主要河流,在曲水段与羊卓雍湖(羊湖)相邻。由于羊湖水利资源丰富,湖面高于江面 830m,水利界及有关科研机构对羊湖开发利用的可能性进行了长期考察和研究,提出二种意见。一是利用羊湖和雅鲁藏布江之间的水位能差,引羊湖水发电;二是开发羊湖会使江水质量受到较大的影响,同时羊湖的水环境也会恶化。本文针对上述看法,重点讨论开发羊湖对雅鲁藏布江水质的影响。

一、雅鲁藏布江和羊湖电站概况

雅鲁藏布江曲水贡嘎段是西藏人口较集中的地区,该段江面海拔一般在 3600m 左右,水面宽为 292—344m,5 月份平均水深为 1.48m,枯水期(12 月到次年 6 月)月平均流量为 140—175m³/s,最枯流量 95m³/s(90% 保证率)。羊湖电站尾水排放口下游 20km 北面有拉萨河汇入,拉萨河枯水期平均

流量一般在 25—45m³/s。电站尾水到拉萨河汇入段处居民饮用江水者占该段总人口的 63%。江水是主要的农灌水源,引用江水灌溉面积占该区总面积的 77.2%。

羊湖电站在雅鲁藏布江的南岸(见图 1),羊湖为电站引水水源,设计最大取水流量为 18.0m³/s,可装机 12 万千瓦,年发电量为 2 亿度,可供拉萨,山南,日喀则部分地区用电。羊湖是藏南一个较大的封闭型湖泊,湖水面积为 678km²(含空莫错),湖面海拔 4441.2m,湖容量约 143×10⁹m³,湖泊水深一般在 30—40m,最大水深可达 59m^[1]。水量主要靠径流与冰雪融化和直接降水补给,丰水年普莫雅错偶有向羊湖溢水的现象。羊湖蒸发量较大,多年来,年入湖水量和蒸发量基本相等,湖泊水位相对稳定。羊湖矿化度较高,达 1900mg/L 以上,不能饮用,开发羊湖水利资源后对雅鲁藏布江的水质影响主要是矿化盐的影响。

二、雅鲁藏布江和羊湖水水质现状分析

为探讨羊湖电站对雅鲁藏布江水质的影响,必须对雅鲁藏布江和羊湖进行水质监测。雅鲁藏布江水水质随季节而变化,羊湖是封闭型湖泊,水质随季节变化很小。

1. 雅鲁藏布江水水质现状

在雅鲁藏布江曲水贡嘎段分枯水期和丰水期对主要离子和矿化度进行了取样测定(见表 1)。从测定结果可见,雅鲁藏布江矿化度和主要离子随时间的变化较大,枯水期 5 月和 6 月明显高于丰水期 9 月,不同断面矿化度的差异不大。拉萨河低于雅鲁藏布江。各离子相互间的波动顺序为: $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{+2} > \text{SO}_4^{+2} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+ > \text{CO}_3^{+2}$ 。枯水

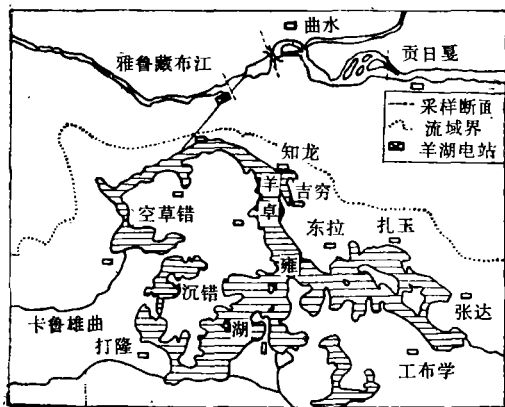


图 1 雅鲁藏布江和羊湖电站概图

表 1 雅鲁藏布江 8 种离子及矿化度测定结果 (mg/L)

采样断面名称	采样时间 (年·月·日)	主 要 阳 离 子				主 要 阴 离 子				矿化度
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	
谢不杀 (电站尾水 附近)	84.6.14	36.30	2.80	1.90	12.90	14.50	20.00	124.2	2.90	215.50
	84.7.7	34.00	7.20		8.10	10.00	5.80	100.7	1.80	183.80
	84.9.12	28.15	3.83	1.50	7.36	6.10	22.00	87.45	0.00	156.39
曲水大桥	84.5.31	32.78	5.88	1.99	13.16	11.94	10.00	128.38	0.00	204.13
	84.9.20	24.52	3.72	1.24	5.70	2.32	21.20	75.89	0.00	134.59
贡嘎	84.5.31	32.46	5.38	1.91	13.25	12.83	9.00	125.49	0.00	200.32
	84.9.20	37.72	3.25	1.24	5.70	2.32	18.32	72.85	0.00	127.40
拉萨河	84.5.31	25.11	3.04	1.67	7.50	10.62	5.00	98.08	0.00	151.02

表 2 羊湖矿化度的垂直分布 (mg/L)

采样位置	采样时间 (年·月·日)	水 深 (m)						
		0.5	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
羊湖电站引水处	84.7.10	1921.7	1919.6	1932.6	1918.3	1942.4	1938.7	1939.2
湖北部知龙	84.7.17	1957.4	1945.9	1942.8	1953.4	1957.7		1973.8
湖中部尤龙	84.7.17	1973.0	1957.1	1963.1	1959.4	1961.6	1965.3	1963.0
湖东部张达	84.7.18	1953.0	1960.1	1961.4	1971.5	1979.1		1967.0
湖正南鸡骨渣	84.7.18	1935.6	1939.4	1921.0	1911.9	1925.6		
湖西南打隆	84.7.18	1950.6	1952.2	1961.0	1974.1	1958.6		

表 3 羊湖 8 种离子矿化度水平分布 (mg/L)

采样地点	采样时间 (年·月·日)	主 要 阳 离 子				主 要 阴 离 子				矿化度
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	
东 嘎 上	84.7.10	8.91	195.9	22.46	265.9	82.82	681.4	573.8	94.91	1926.2
东 嘎 下	84.7.10	8.99	203.7	21.33	252.6	87.96	676.6	571.3	95.52	1918.1
扎 马 龙	84.7.10	8.56	195.2	22.16	262.3	80.19	678.6	569.1	93.99	1921.7
知 龙	84.7.17	9.04	189.7	23.86	282.5	81.11	691.7	588.2	91.22	1957.2
吉 穷	84.7.17	8.81	192.0	23.60	279.5	82.62	688.7	606.9	83.88	1966.0
尤 龙 南	84.7.17	8.96	191.6	23.60	279.5	82.72	692.7	617.8	75.88	1973.0
东 拉 西	84.7.17	8.88	191.9	23.41	277.7	79.84	689.1	637.0	68.47	1975.9
东 拉	84.7.18	8.73	191.8	23.40	277.2	81.11	684.1	631.0	73.32	1969.6
扎 玉	84.7.18	8.77	193.2	23.41	277.4	80.53	688.1	643.1	68.17	1982.6
张 达	84.7.18	9.15	192.9	23.12	272.9	79.48	686.1	608.1	81.21	1953.0
工布学西	84.7.18	8.88	194.5	23.30	275.2	83.43	691.1	628.6	71.43	1976.4
工 布 学	84.7.18	8.88	193.6	23.00	272.3	79.95	685.1	630.4	70.54	1963.7
打 隆	84.7.18	8.65	193.5	23.05	272.9	84.80	676.6	608.7	82.43	1950.6
平均值		8.86	193.8	23.05	272.9	82.04	685.4	608.8	80.77	1956.5
S		0.16	3.399	0.696	8.287	2.401	5.603	25.87	10.45	21.78
CV(%)		1.81	1.75	3.02	3.04	2.93	0.82	4.25	12.94	1.11

期矿化度浓度在 200mg/L 左右,是理想的饮用水和农业灌溉用水。

2. 羊湖水水质现状

测定羊湖水样品中的主要离子和矿化度(见表 2、3)。结果表明:在湖区内矿化度和八种常量离子的纵向横向变化都不大。变异系数一般小于 3%,仅 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 的变异略大一些,故可认为属均匀分布。

三、羊湖电站对雅鲁藏布江水质影响

羊湖矿化度含量比雅鲁藏布江高达 10 倍左右,高矿化度的电站尾水进入雅鲁藏布江后,先经过扩散,然后达到全断面均匀混合。所以要计算羊湖电站对雅鲁藏布江的水质影响,一是计算从尾水末端至均匀混合断面的距离,二是计算混合均匀后江水中主要离子和矿化度浓度。

1. 均匀混合断面的距离

迄今,所谓达到全断面混合尚无一致的规定,费希尔在有限边界均匀流污染源扩散计算方法中以岸边最小浓度与断面最大浓度之差在 5% 时作为达到完全混合的标准,并导出估算顺直河流达到全断面完全混合的距离关系式^[12]为:

$$L = 0.1uw^2/D_{tt} \quad (\text{河心排放}) \quad (1)$$

$$L = 0.4uw^2/D_{tt} \quad (\text{岸边排放}) \quad (2)$$

式中 L 为完全混合断面至排放口的距离; u 为河流的平均流速 (m/s); w 为河宽 (m); D_{tt} 为横向扩散系数,表示为:

$$D_{tt} = d_t hu_* \quad (3)$$

式中 d_t 为无量纲系数,对顺直河流,费希尔收集了 70 多份实验数据,发现几乎所有情况其值都在 0.1—0.2^[13],因此提出取其平均值的估算式:

$$D_{tt} \approx 0.15 hu_* \quad (4)$$

但对弯曲程度属中等的河流 d_t 值一般在 0.4—0.8,从实用上费希尔建议采用:

$$d_t = D_{tt}/hu_* = 0.6 \pm 50\% \quad (5)$$

由于雅鲁藏布江曲水贡嘎段弯曲属中等,根据观测分析 d_t 取 0.8 为计算值。

u_* 为摩擦速度,表示为:

$$u_* = \sqrt{ghs} \quad (6)$$

式中 g 为重力加速度; h 为河深 (m); s 为河面坡度 (‰)。

雅鲁藏布江曲水贡嘎段的水文资料和混合长度计算结果列于表 4。

表 4 雅鲁藏布江曲水贡嘎段水文资料及混合长度计算结果

水 期	平均流速 (m/s)	平均河宽 (m)	平均河深 (m)	河面坡度 (‰)	D_{tt} (m ² /s)	江心排放混合距离 (km)	岸边排放混合距离 (km)
枯水期	0.42	292	1.48	9.020	0.429	7.95	31.80
丰水期	0.72	328	2.73	9.471	1.099	7.05	28.19

从计算结果看:枯水期河心排放湖水和江水达到完全均匀混合需 7.95km,其末端在现曲水大桥上游 2km 处;若在岸边排放,湖水和江水完全混合均匀需 30km 左右,其末端在布点采样的贡嘎断面上游 15km 处。丰水期均匀混合距离比枯水期近一些。

2. 完全混合后江水中矿化度和主要离子浓度计算

当湖水排入江中,混合均匀后的浓度计算式为:

$$c = \frac{Qc_1 + qc_2}{Q + q} \quad (7)$$

式中 c 为混合均匀后的浓度 (mg/L); Q, q 分别为江水和电站引水流量; c_1 和 c_2 分别为江水和电站引水中物质浓度 (mg/L)。

湖水和江水达到均匀混合的末端在贡嘎采样断

面上游 15km,用表 1 贡嘎断面 5 月和 9 月采样测定结果和羊湖(表 3)各物质的平均浓度计算出开发羊湖水利资源后,雅鲁藏布江各物质的浓度(表 5),结果表明:除 Ca^{2+} 浓度降低以外,其它物质均增大。其中矿化度在枯水期从 200.32mg/L 增加到 400.39mg/L,当江水流量为 95m³/s 时,矿化度可达到 480.07mg/L,比现在增加 2.4 倍,雅鲁藏布江水质受到较大程度的影响。

四、雅鲁藏布江环境演变探讨

开发羊湖水利资源后,雅鲁藏布江水质受到影响,随着电站运行时间的增长,湖泊水质的变化,雅鲁藏布江水质也将变化。要探讨雅鲁藏布江水质的演变,必须先计算引羊湖水发电后,湖内矿化度的变化。

1. 羊湖矿化度的变化

计算羊湖开发后,湖内矿化度的变化,必须先进

表 5 开发羊湖后,贡嘎段及下游各物质的预测浓度 (mg/L)

水 期	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	矿化度
枯 水 期 (140)*	29.77	26.85	4.32	42.83	20.71	86.06	180.55	9.20	400.39
丰 水 期 (400)	23.08	11.46	1.19	17.21	5.75	47.05	95.93	3.48	206.17
最 枯 期 (95)	28.70	35.39	5.28	54.61	23.85	116.75	203.48	12.87	480.07

* 括号内为江水设计流量 (m³/s)。

行水量平衡计算,再计算矿化度的变化。

(1) 水量平衡计算

水量平衡计算按下式进行:

$$Q_{in} - Q_{out} + P - E \pm G = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (8)$$

式中: ΔV 为地表水蓄水体积变化量; Q_{in} 为地表水进流流量; Q_{out} 为地表水出流流量; P 为降水量; E 为蒸发量; G 为地下水净流量。

由大量数据资料统计,羊湖开发后,湖水面积逐渐减小,到 20 年后湖面面积减 8.6%, 30 年后减 12.1%, 到 67 年后湖面面积减小 19.5% (减小 121.4 km²)。开发后各年的水量变化情况见表 7。年入湖水量比蒸发量大 $1.81 \times 10^9 \text{ m}^3$, 可供电站继续发电, 水量达到新的平衡。

(2) 羊湖开发后湖内矿化度的变化

根据前面所述,羊湖湖内矿化度是零维分布,可写出矿化度平衡方程为:

$$Q_{in}c_{in} - Q_{out} \cdot c + P \cdot c_p \pm Gc_g = \frac{d(Vc)}{dt} \quad (9)$$

式中: c 是湖泊及其出流中物质的浓度; c_{in} 是入流的物质浓度; c_p 是降水中物质浓度; c_g 是地下水进流中物质浓度; V 是水体体积。

由于羊湖地下水可忽略: 式(9)为:

$$\frac{c_{in}Q_{in} + c_p \cdot P}{V} - \frac{Q_{out}}{V} c = \frac{dc}{dt} \quad (10)$$

$$\text{令 } l = \frac{c_{in}Q_{in} + c_p \cdot P}{V} = \text{荷载函数}$$

$$\theta = \frac{V}{Q_{out}} = \text{停留时间}$$

因此: 式(10)可改写为:

$$l - \frac{c}{\theta} = \frac{dc}{dt} \quad (11)$$

稳态情况下, $\frac{dc}{dt} = 0$ $c = c_g$, c_g 是平衡浓度

$$c_g = l\theta \quad (12)$$

对于非稳态情况: 由式(11)求解得:

$$\frac{c - c_g}{c_0 - c_g} = e^{-\frac{t}{\theta}} \quad (13)$$

式中: c_0 是物质的起始浓度。当时间趋于无穷大时, 浓度 c 趋于 $l\theta$, 即:

$$c \rightarrow l\theta = c_g \quad (14)$$

表 6 径流水体中矿化度测定结果 (mg/L)

支流名称	嘎马林河	卡洞加曲	甫宗曲	卡鲁雄曲
采样时间				
83 年 6 月	255.90	157.00	212.90	175.30
83 年 9 月	241.37	207.48	316.92	278.66
84 年 9 月		163.50		203.79
平均值	221.28			

根据羊湖四大支流采样测定结果(表 6), 迳流中矿化度平均含量为 221.28 mg/L; 多个雨水样品测定平均结果矿化度为 40.00 mg/L, 结合表 7 水量平衡计算结果, 求得荷载函数 l 和停留时间 θ , 再计算出相应的矿化度变化并列于表 7。

2. 开发羊湖后雅鲁藏布江矿化度的演变

羊湖电站运行后, 湖泊由封闭型变为开放型。随着电站运行时间的增长, 湖内矿化度也不断减少, 因而雅鲁藏布江矿化度也随之降低。

雅鲁藏布江的矿化度变化用式(7)求出, 计算结果见表 7。可见雅鲁藏布江矿化度的变化随羊湖矿化度的变化而变化, 到 700 年后, 羊湖和雅鲁藏布江矿化度趋近于平衡、达到稳定状态。雅鲁藏布江枯水期矿化度浓度从刚开发羊湖时 400.39 mg/L 降低到 278.99 mg/L, 仅比不开发羊湖水利资源升高 78.67 mg/L; 丰水期从 206.17 mg/L 降低到 160.28 mg/L, 仅比不开发羊湖水利资源高 32.88 mg/L。

表 7 雅鲁藏布江和羊湖水质变化预测结果

电站运行时间 (a)	羊湖水环境变化预测结果							雅鲁藏布江矿化度变化计算 (mg/L)		
	相应入湖 水量 ($\times 10^9 \text{m}^3$)	相应蒸发量 ($\times 10^9 \text{m}^3$)	相应湖水 容量 ($\times 10^9 \text{m}^3$)	I (mg/L · a)	θ (a)	c_E (mg/L)	矿化度 (mg/L)	最枯期 (95)	枯水期 (140)	丰水期 (400)
0	9.54	9.55	143.00	11.29	79.44	896.87	1956.50	480.07	400.39	206.17
5	9.51	9.34	139.25	11.58	77.36	895.83	1891.86	469.77	393.03	203.38
10	9.49	9.14	135.49	11.90	75.26	895.59	1829.52	459.84	385.92	200.70
15	9.45	8.90	130.00	12.39	72.22	894.81	1769.49	450.28	379.09	198.11
20	9.42	8.66	124.56	12.92	69.22	894.04	1710.98	440.96	372.42	195.59
25	9.40	8.48	119.89	13.42	66.61	893.91	1654.04	431.89	365.93	193.14
30	9.37	8.29	115.22	13.95	64.01	892.94	1599.07	423.13	359.67	190.77
35	9.36	8.17	110.84	14.50	61.58	892.91	1546.01	414.68	353.63	188.49
40	9.34	8.04	106.47	15.09	59.15	892.57	1495.08	406.56	347.82	186.30
45	9.33	7.91	102.50	15.67	56.94	892.25	1446.24	398.79	342.26	184.19
50	9.31	7.79	98.53	16.29	54.74	891.71	1399.67	391.37	336.95	182.19
55	9.30	7.71	95.33	16.83	52.96	891.32	1355.33	384.30	331.90	180.28
58	9.29	7.63	93.40	17.18	51.89	891.47	1329.78	380.23	328.99	179.18
60	9.29	7.59	92.12	17.41	51.18	891.04	1313.21	277.59	327.10	178.46
63	9.28	7.54	90.20	17.78	50.11	890.96	1289.18	373.77	324.37	177.43
65	9.28	7.50	88.92	18.04	49.40	891.18	1273.60	371.28	322.59	176.76
67	9.27	7.46	87.62	18.30	48.68	890.84	1258.43	368.87	320.86	176.10
80	9.27	7.46	87.62	18.30	48.68	890.84	1172.28	355.15	311.05	172.39
100	9.27	7.48	87.62	18.30	48.68	890.84	1077.46	340.04	300.25	168.31
200	9.27	7.46	87.62	18.30	48.68	890.84	912.75	313.80	281.48	161.22
700	9.27	7.46	87.62	18.30	48.68	890.84	890.84	310.31	278.99	160.28
1000	9.27	7.46	87.62	18.30	48.68	890.84	890.84	310.31	278.99	160.28

五、结 语

羊湖电站对雅鲁藏布江水质有一定影响,开发羊湖水利资源后,江中矿化度在枯水期比电站尾水上游增大 2.4 倍,丰水期增大 1.6 倍。随着羊湖电站的运行,羊湖水质不断淡化,相应受影响的雅鲁藏布江水质也在变化,到 700 年左右,水中矿化度浓度达到稳定状态。从羊湖和雅鲁藏布江水质的演变计算表明,到 200 年左右,羊湖本身矿化度降低到 1000mg/L 以下,因此:随着羊湖电站运行时间的增长,对雅鲁藏布江的影响就会越来越小。

(上接第 91 页)

- [5] Persoone, G. and De Pauw, N., In Revera, O. (ed.) *Biological Aspects of Freshwater Pollution*, pp 39—75, Pergamon Press, Oxford, 1974.
- [6] Washington, H. G., *Water Res.* 18 (6), 653—

致谢参加野外工作的还有周子夜、段开甲、王义龙、陈正平和李英等,施为光参加和指导制定了前野外工作方案,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 范云崎,海洋与湖沼,14(2),120—124(1983).
- [2] [美] H.B. 费希尔等著,清华大学水力学教研组译,余常昭审校,环境水力学,第 75—83 页,水利电力出版社 1986.9.

(收稿日期: 1988 年 9 月 5 日)

694 (1984).

- [7] Archibald, R. E. M., *Ibid.* 6, 1229—1236 (1972).
- [8] Hurlbert, S. H., *Ecology* 52, 577—586 (1971).