

# Investigation and Analysis of Water Resources in Drinking Water Source Area for Kunming City

Lin Xiao, Peichen Zhang

Kunming Hydrology and Water Resources Bureau of Yunnan Province, Kunming Yunnan  
Email: 438908775@qq.com

Received: Jan. 11<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jan. 26<sup>th</sup>, 2019; published: Feb. 2<sup>nd</sup>, 2019

## Abstract

Kunming City is one of the cities for serious water shortage. With the rapid development of Kunming, contradictions of drinking water supply and demand are more prominent. As an important drinking water source in urban area, Songhuaba area is the origin of life of Kunming City, and its water resource quantity is directly related to the drinking water problem of residents in Kunming city. In order to solve the problem of drinking water in Kunming City, it is very important to allocate water resources scientifically and rationally, and to carry out the investigation and analysis of water resources in the water source area. According to the hydrological and meteorological data series in 13 stations, the hydrological analogy method and the typical year regulation method are used to calculate the water quantity, the available water and the reliability of water supply in the water source area, and the time-space distribution and the total water resources in the water source area are ascertained. It provides a reference for the effective solution of the optimal allocation and sustainable utilization of regional water resources.

## Keywords

Water Resources, Investigation, Adjustment Calculation, Songhuaba Area, Drinking Water Source

# 昆明主城松华坝饮用水源区水资源调查分析

肖林, 张培臣

云南省水文水资源局昆明分局, 云南 昆明  
Email: 438908775@qq.com

收稿日期: 2019年1月11日; 录用日期: 2019年1月26日; 发布日期: 2019年2月2日

作者简介: 肖林(1968-), 女, 汉族, 云南普洱人, 高级工程师, 局长, 主要从事水文水资源研究。

## 摘要

昆明市属全国严重缺水城市之一,随着昆明城市的快速发展,饮用水供需矛盾越显突出。作为市区重要饮用水源地——松华坝水源区,是昆明城市生命之源,其水资源量的大小直接关系到昆明城市居民的生活饮用水问题。为有效解决昆明城市居民的饮水问题,科学合理地配置水资源,开展松华坝水源区的水资源调查分析工作十分关键。本文依据13站多年实测水文气象资料,采用水文比拟法和典型年调节法计算,分析了松华坝水源区的来水量、可利用水量和供水可靠性,查清了松华坝水源区的水资源时空分布、水资源总量等问题,为有效解决区域水资源优化配置和可持续利用提供参考。

## 关键词

水资源, 调查, 调节计算, 松华坝, 饮用水源

Copyright © 2019 by authors and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

昆明市人均占有水资源量不足  $300 \text{ m}^3$ , 属全国 14 个严重缺水城市之一[1]; 而随着昆明城市的快速发展, 城市人口猛增, 饮用水供需矛盾越显突出, 严重制约了昆明市经济社会的健康发展。作为市区重要饮用水源地——松华坝水源区, 是昆明城市生命之源, 其水资源量的大小直接关系到昆明城市居民的生活饮用水问题[2]。为有效解决昆明城市居民的饮水问题, 科学合理地配置水资源, 开展松华坝水源区的水资源调查分析工作十分必要。查清松华坝水源区本区的水资源时空分布、水资源总量等问题, 是有效解决区域水资源优化配置和可持续利用的关键。

国内外对重要城市饮用水源区水资源的调查分析研究较多, 结合不同的环境、资料等边界条件, 采用的分析方法不尽相同, 但对于同一水源点多采用相对单一的方法进行分析; 而本文以昆明市盘龙江松华坝水库坝址以上流域为水资源调查分析范围( $593 \text{ km}^2$ ), 采用实测资料法与水文比拟法组合的方法综合分析计算同一水源点的水资源量, 并结合典型年调节计算法, 详细阐述了松华坝水源区的来水量、可利用水量和供水可靠性, 查清了松华坝水源区的水资源时空分布、水资源总量等问题, 为有效解决区域水资源优化配置和可持续利用提供参考。

## 2. 松华坝水源区资料概况

从调查分析区域情况看, 目前区域内水文站设有小河、中和、甸尾、白邑 4 个水文站, 雨量站有松华坝、中和、平地、双桥、闸坝、阿子营、阿达龙、白邑、大石坝共 9 个雨量站。经对各站点实测资料进行可靠性、一致性、代表分析, 确定资料最短代表段为 1971~2017 年。区域河流水系及水文站点分布见图 1 所示。

## 3. 松华坝水源区来水量分析

### 3.1. 分析方法

根据资料条件, 因松华坝水库主要入流上有小河(中和)、甸尾(白邑)水文站, 且小河与甸尾站控制的径流面积( $493 \text{ km}^2$ )占松华坝水库坝址以上流域总径流面积( $593 \text{ km}^2$ )的 83.1%, 故松华坝水库坝址以上流域来水量根据

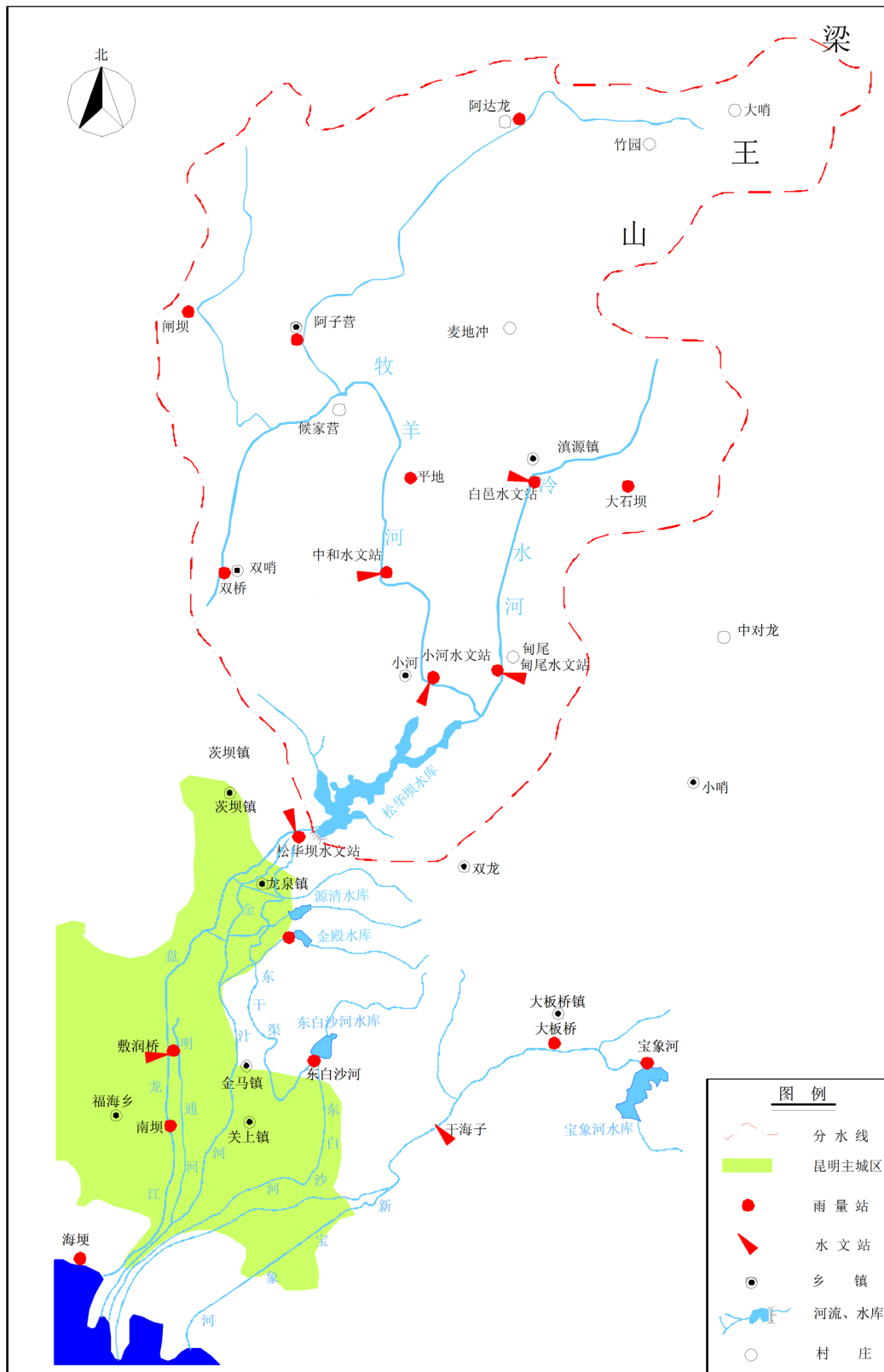


Figure 1. Schematic diagram of the distribution of river and hydrologic stations  
 图 1. 河流水系及水文站点分布示意图

小河(中和)、甸尾(白邑)水文站实测径流系列, 首先计算小河、甸尾水文站以上流域多年平均来水量; 然后, 考虑降雨和面积不均匀性影响因素, 采用水文比拟法计算小河、甸尾~松华坝水库区间(以下简称区间)多年平均来水量[3]; 最后, 将小河、甸尾以上来水与区间来水直接叠加, 即得松华坝水库以上流域多年平均来水量。

### 3.2. 松华坝水库设计年径流量分析

#### 1) 小河、甸尾站年径流量分析

小河、甸尾水文站均有 1954~1992 年共 39 年实测径流资料, 1993 年均上迁, 分别更名为中和、白邑水文站, 小河站径流面积由原来的 373 km<sup>2</sup> 减小到 357 km<sup>2</sup> (两者相差 4%), 甸尾站径流面积由原来的 120 km<sup>2</sup> 减小到 46.9 km<sup>2</sup> (两者相差 61%)。根据水文行业相关规范之规定, 因中和与小河径流面积相差不超过 10%, 故可将中和 1993~2017 年径流资料直接按面积比(1.045)修正至小河站, 而白邑与甸尾站径流面积相关较大, 应同时考虑面积和降雨因素, 将白邑站 1993~2017 年径流资料订正至甸尾站。

经如上处理后, 即可得小河、甸尾站 1954~2017 年径流系列。经绘制小河、甸尾 1954~2017 年降雨径流过程对照, 各站过程彼此基本相应, 表明两站经订正和实测组成后的径流系列基本合理, 可作为频率计算的样本。故将两站样本进行经验频率计算, 采用矩法估计参数初值, 用概率论中的 P-III 线型按离差平方和最小原则及适当照顾点线配合最佳的准则适线确定统计参数[4], 结果见表 1。为便于分析比较, 也将邻近的完家村、双龙湾两站的统计参数汇列于表 1 中。

Table 1. Results of annual runoff statistical parameters for each station

表 1. 各站年径流量统计参数成果表

站名	径流面积/km <sup>2</sup>	均值/万 m <sup>3</sup>	Cv	Cs	产水模数/(万 m <sup>3</sup> ·km <sup>-2</sup> )	年降雨量/mm	年径流深/mm	径流系数
小河	373	8670	0.48	2Cv	23.2	963.3	232.4	0.241
甸尾	120	8070	0.38	2Cv	67.3	958.6	672.5	0.702
完家村	189	3993	0.44	2Cv	21.1	926.5	211.3	0.228
双龙湾	58.4	1284	0.42	2Cv	22.0	899.1	219.9	0.245

经比较, 表 1 中各站统计参数具有如下特征: 第一, 在地区分布上, 径流量随面积增大而增大, 符合一般地区规律; 第二, Cv 值随岩溶地貌的发育程度而递减, 符合径流量 Cv 值的一般变化规律; 第三, 产水模数及年径流深符合降雨量空间分布规律。如甸尾站流域内岩溶地貌发育, 有黑龙潭等泉点出露, 地下水补给丰富, 年内变化小, 所以其 Cv 值小于、产水模数大于小河、完家村、双龙湾站是符合实际的。再如, 小河站流域雨量大于完家村和双龙湾, 其产水模数也大于完家村和双龙湾站, 符合降雨空间分布规律。

同时, 通过查《云南省水资源综合规划水资源调查评价专题报告》(2007 年 6 月)径流深等值线图, 在盘龙江松华坝水库坝址以上流域年径流深介于 200~700 mm 之间, 产水模数在 20~70 万 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> 之间[5]。而本次分析的小河、甸尾站年径流深和产水模数均在其范围内, 表明两站年径流量及其统计参数基本合理。

由表 1 可见, 小河、甸尾站多年平均径流量分别为 8670、8070 万 m<sup>3</sup>, 故小河和甸尾站以上流域多年平均径流总量为 16740 万 m<sup>3</sup>。

#### 2) 小河、甸尾-松华坝区间年径流量计算

因小河、甸尾~松华坝区间流域下垫面与小河站流域相似, 且同属盘龙江流域上游区, 水文气象条件基本一致, 故其年径流量以小河站为参证站, 考虑面积和雨量影响因素, 采用水文比拟法推求。表达式如下:

$$W_{\text{区间}} = \frac{F_{\text{区间}}}{F_{\text{小河}}} \cdot \frac{P_{\text{区间}}}{P_{\text{小河}}} \cdot W_{\text{小河}} \quad (1)$$

式中： $W_{\text{区间}}$ —小河、甸尾~松华坝区间年径流量(万  $\text{m}^3$ )； $W_{\text{小河}}$ —小河站年径流量(万  $\text{m}^3$ )； $F_{\text{区间}}$ —小河、甸尾~松华坝区间径流面积( $\text{km}^2$ )； $F_{\text{小河}}$ —小河站径流面积( $\text{km}^2$ )； $P_{\text{区间}}$ —小河、甸尾~松华坝区间流域多年平均降雨量(mm)； $P_{\text{小河}}$ —小河站流域多年平均降雨量(mm)。

根据如上公式，即可计算得小河、甸尾~松华坝区间年径流量，结果见表2。

**Table 2.** Calculated results of annual runoff of Xiaohu, Dianwei-Songhuaba interval

**表 2.** 小河、甸尾~松华坝区间年径流量计算成果表

名称	径流面积/ $\text{km}^2$	均值/万 $\text{m}^3$	产水模数/(万 $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ )	年降雨量/mm	年径流深/mm	径流系数
小河站	373	8670	23.2	963.3	232.4	0.241
小河、甸尾~松华坝区间	100	2320	23.2	962.1	232.0	0.241

由表2可见，小河、甸尾~松华坝区间多年平均径流量为2320万  $\text{m}^3$ 。该结果经与《云南省水资源综合规划水资源调查评价专题报告》(2007年6月)径流深等值线图对照，在其合理范围内[5]。故小河、甸尾~松华坝区间年径流量计算结果基本合理。

### 3) 松华坝水库设计年径流量分析

松华坝水库坝址以上流域多年平均径流量由小河、甸尾、区间三部分叠加组成。根据表1、表2中结果，计算得其值为19060万  $\text{m}^3$ 。其 $C_v$ 值则根据小河、甸尾站取值，并结合《云南省水资源综合规划水资源调查评价专题报告》(2007年6月) $C_v$ 等值线[5]，综合确定为0.48；而 $C_s$ 取 $2C_v$ 。根据如上确定的松华坝水库年径流量的均值、 $C_v$ 、 $C_s$ ，即可计算得松华坝水库的设计年径流量，结果见表3。

**Table 3.** Design annual runoff at Songhuaba reservoir

**表 3.** 松华坝水库设计年径流量成果表

水源点名称	径流面积/ $\text{km}^2$	年降雨量/mm	均值/万 $\text{m}^3$	$C_v$	$C_s$	设计值/万 $\text{m}^3$		
						10%	50%	90%
松华坝水库	593	962.1	19,060	0.48	$2C_v$	31,319	17,618	8674

### 4) 松华坝水库设计年径流量年内分配

根据上述求得的松华坝水库丰(10%)、平(50%)、枯(90%)的年径流量，选择合适的典型过程，将设计年径流量分配到月。其典型年的选择原则为：按照年水量与设计值相近，其来水过程对工程最不利，且尽量选择参证站实测或还原过程，并符合本地区降雨径流特性。

根据以上典型年选择原则，松华坝水库设计年径流量的月典型分配过程，分别选择小河站1966~1967年作为丰(10%)、1980~1981年作为平(50%)、1972~1973年作为枯(90%)水年的典型过程。根据选取的典型过程，以年总量不变作控制，按同倍比法将设计年径流量分配到月，结果见表4。

**Table 4.** Design annual runoff year distribution at Songhuaba reservoir

**表 4.** 松华坝水库设计年径流量年内分配表(单位：万  $\text{m}^3$ )

频率/%	月份												年值
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	
10	3467	11,433	8009	2106	1119	1071	752	1045	491	361	248	1217	31,319
50	1456	2834	6619	2038	1083	914	650	554	408	265	233	566	17,618
90	817	1540	1981	1075	799	855	650	318	182	182	132	143	8674

### 3.3. 松华坝水源区可利用水量分析

松华坝水库的可利用水量, 主要根据其坝址以上流域丰(10%)、平(50%)、枯(90%)水年的来水过程, 结合松华坝水库的用水过程和现有工程规模, 采用水量平衡原理调节计算后确定[6]。

调节计算的边界条件: 考虑到松华坝水库原来的主要水库功能为城市防洪、城市供水和农田灌溉, 但随着昆明城市的快速发展, 原来的农田已被现在的城市建筑物所代替, 水库已不再具有农灌功能。故在调节计算时, 不再考虑松华坝水库的农灌用水[7]。下游生态用水量参照《建设项目水资源论证导则》(GB/T35580-2017)的规定, 按水库坝址多年平均来水量的 10%计[8], 为 1906 万 m<sup>3</sup>。水库水面的蒸发增损过程按松华坝水文站实测水面蒸发量、降雨量计算。考虑松华坝水库扩建时已做了防渗工程处理, 故其渗漏量按月平均库容的 1%计。水位~库容~面积曲线采用扩建后的现有水库规模成果。起调最低水位以 1928.80 m 控制, 最高水位主汛期以汛限水位 1964.00 m 控制、枯季以正常蓄水位 1965.50 m 控制[9]。

根据以上确定的边界条件, 采用水量平衡原理进行调节计算, 即可得松华坝水库丰(10%)、平(50%)、枯(90%)的可利用水量, 结果见表 5。

由表 5 可见, 松华坝水库坝址以上在丰(10%)、平(50%)、枯(90%)水年的来水分别为 31,319、17,618、8674 万 m<sup>3</sup>, 在扣除水面蒸发量、水库渗漏量、生态水量后, 相应的可利用水量分别为 20,300、15,100、6400 万 m<sup>3</sup>, 弃水量分别为 8306、0、0 万 m<sup>3</sup>。

### 3.4. 松华坝水源区供水可靠度分析

供水可靠性主要从水库自身的工程稳定性、水质状况两方面进行分析。

首先, 从水源点自身工程上分析其供水可靠性。松华坝水库大坝经 1995 年鉴定, 其大坝经构筑砼防渗墙、振冲加固、扩建及三年蓄水考验, 主付坝渗漏量、沉降量、位移量都在设计允许范围内, 未发现异常, 运行安

Table 5. Calculated results of available water regulation at Songhuaba reservoir

表 5. 松华坝水库可利用水量调节计算成果表

频率 月份	项目									
	来水量/万 m <sup>3</sup>	蒸损过程/mm	蒸损量/万 m <sup>3</sup>	渗漏量/万 m <sup>3</sup>	生态水量/万 m <sup>3</sup>	可利用水量/万 m <sup>3</sup>	湖容/万 m <sup>3</sup>	月末水位/m	弃水/万 m <sup>3</sup>	湖容变量/万 m <sup>3</sup>
5							446	1928.80		
6	3467	35.9	5.27	10.78	157	1668	2072	1940.80	0	1625.9
7	11,433	32.7	9.07	47.3	162	1724	9425	1964.00	2138	7353
8	8009	36.1	25.61	94.3	162	1724	9425	1964.00	6003	0
9	2106	30.4	21.6	94.3	157	1668	9425	1964.00	165	0
10	1119	26.5	16.2	89.7	162	1724	8552	1962.61	0	-873
11	1071	25.2	12.49	81	157	1668	7704	1960.97	0	-848
10% 12	752	22.1	8.37	70.6	162	1724	6491	1958.04	0	-1213
1	1045	27.2	9.27	60	162	1724	5581	1955.27	0	-910
2	491	33.5	9.6	49.2	146	1557	4311	1950.87	0	-1271
3	361	48.9	10.9	34.8	162	1724	2740	1944.14	0	-1571
4	248	55.3	10.2	18.6	157	1668	1134	1935.20	0	-1605
5	1217	51.4	5.97	7.33	162	1724	451	1928.87	0	-682.7
年值	31,319	425.1	144.5	658	1906	20,300			8306	5.2

## Continued

	5							446	1928.80		
	6	1456	35.9	2.73	4.69	157	1241	497	1929.43	0	50.6
	7	2834	32.7	4.73	10.5	162	1282	1871	1939.73	0	1374
	8	6619	36.1	8.53	39.6	162	1282	6998	1959.35	0	5126
	9	2038	30.4	11.7	72.7	157	1241	7553	1960.63	0	556
	10	1083	26.5	10.4	73.2	162	1282	7109	1959.61	0	-445
50%	11	914	25.2	9.35	68.1	157	1241	6548	1958.19	0	-561
	12	650	22.1	7.59	60.8	162	1282	5685	1955.61	0	-863
	1	554	27.2	8.19	52	162	1282	4734	1952.41	0	-951
	2	408	33.5	8.36	42.4	146	1158	3786	1948.79	0	-948
	3	265	48.9	10.4	31.4	162	1282	2565	1943.30	0	-1221
	4	233	55.3	10.2	19.3	157	1241	1370	1936.80	0	-1194
	5	566	51.4	6.52	8.44	162	1282	477	1929.19	0	-894
	年值	17,618	425.1	98.7	483	1906	15,100			0	30.2
	5							446	1928.80		
	6	817	35.9	3.05	5.07	157	526	573	1930.30	0	126
	7	1540	32.7	4.38	9.23	162	544	1393	1936.95	0	821
	8	1981	36.1	6.68	19.8	162	544	2643	1943.68	0	1250
	9	1075	30.4	6.15	28.2	157	526	3001	1945.38	0	358
	10	799	26.5	5.52	30.3	162	544	3059	1945.66	0	57.8
90%	11	855	25.2	5.33	31.2	157	526	3195	1946.27	0	136
	12	650	22.1	4.69	31.4	162	544	3103	1945.86	0	-91.9
	1	318	27.2	5.54	28.9	162	544	2681	1943.86	0	-422
	2	182	33.5	6.51	24.3	146	491	2195	1941.43	0	-486
	3	181.9	48.9	9.03	19.1	162	544	1643	1938.47	0	-552
	4	132	55.3	8.96	13.4	157	526	1070	1934.74	0	-573
	5	143	51.4	6	7.38	162	544	494	1929.40	0	-576
	年值	8674	425.1	71.8	248	1906	6400			0	48.1

全可靠，其安全类别鉴定为一类。1995 年至今，水库运行也安全可靠。可见，松华坝水库从自身工程稳定性来看，供水可靠性高。

其次，从现状水质来看，近年来，松华坝水库现状水质稳定在 III~IV 类之间，超 III 类水标准的项目为总磷、总氮，稍加处理后即可满足城市供水要求，供水可靠性较高[10]。

#### 4. 结语

本文以水文实测资料为基础，调查分析了松华坝水源区的来水量、可利用水量和供水可靠性，结果为：松华坝水源区在丰(10%)、平(50%)、枯(90%)水年的来水分别为 31,319、17,618、8674 万  $m^3$ ，在扣除水面蒸发量、水库渗漏量、生态水量后，相应的可利用水量分别为 20,300、15,100、6400 万  $m^3$ ；无论从工程上还是从水质方

面来看, 松华坝水库供水可靠性均较高。

本次分析成果可为有效解决昆明主城水资源优化配置和可持续利用提供参考, 也可同类水源区的水资源调查分析提供参考。随着松华坝水源区内水文监测数据系列的增长, 松华坝水源区水资源需做进一步分析研究。

## 参考文献

- [1] 昆明市统计局. 2017 昆明统计年鉴[M]. 昆明: 中国统计出版社, 2017.  
Kunming Bureau of Statistics. 2017 Kunming statistical yearbook. Kunming: China Statistics Press, 2017. (in Chinese)
- [2] 昆明市水利局. 昆明市水利志[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1997.  
Kunming Bureau of the Conservancy Bureau. Kunming water conservancy zhi. Kunming: Yunnan People's Press, 1997. (in Chinese)
- [3] 何焱. 降雨径流关系法在水资源论证中的应用[J]. 四川水利, 2014, 35(4): 34-36.  
HE Yan. Application of rainfall runoff relation method in water resources demonstration. Sichuan Water Conservancy, 2014, 35(4): 34-36. (in Chinese)
- [4] 曹之桦. 水文统计学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.  
CAO Zhihua. Hydrology. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1991. (in Chinese)
- [5] 云南省水利厅. 云南省水资源综合规划水资源调查评价专题报告(水资源四级区) [R]. 昆明: 云南省水利厅, 2007.  
Yunnan Provincial Water Conservancy Department. Special report on water resources survey and evaluation of water resources comprehensive planning in Yunnan Province (Water Resources Level Four). Kunming: Yunnan Provincial Water Conservancy Department, 2007. (in Chinese)
- [6] SL104-2015, 水利工程水利计算规范[S]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2015.  
SL104-2015, Regulation for water conservancy computation of water projects. Beijing: Ministry of Resources of the People's Republic of China, 2015. (in Chinese)
- [7] 刘正伟, 张丽花. 滇池动态汛限水位初探[J]. 水文, 2009, 29(4): 55-58.  
LIU Zhengwei, ZHANG Lihua. Discussion on dynamic flood limit water level of Dianchi Lake. Hydrology, 2009, 29(4): 55-58. (in Chinese)
- [8] GB/T35580-2017, 建设项目水资源论证导则[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2017.  
GB/T35580-2017, Guidelines for water-draw and utilization assessment on construction projects. Beijing: General Administration of National Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Standardization Management Committee, 2017. (in Chinese)
- [9] 云南省水利厅农村水利处. 云南省大中型水库注册登记表[R]. 昆明: 云南省水利厅, 2002.  
Yunnan Provincial Water Conservancy Department Rural Water Conservancy Office. Registration form for large and medium-sized reservoirs in Yunnan Province. Kunming: Yunnan Provincial Water Conservancy Department, 2002. (in Chinese)
- [10] 刘正伟, 张丽花. 昆明最严格水资源管理用水总量控制指标分解[J]. 人民长江, 2015, 46(23): 24-28.  
LIU Zhengwei, ZHANG Lihua. Preliminary analysis on decomposition for total amount control index for most stringent water resources management of Kunming. People's Yangtze River, 2015, 46(23): 24-28. (in Chinese)