

广西合山煤田岩溶发育规律及机制研究*

毛邦燕¹, 许 模¹, 白爱忠², 黄润英³

(1. 成都理工大学 地质灾害与环境保护国家专业实验室, 成都 610059; 2. 广西水文地质工程地质勘察院, 广西柳州 545006; 3. 重庆煤田地质研究所, 重庆 400042)

摘 要: 通过对合山煤田区 119 个钻孔揭露的溶洞数量、线溶洞率与高程之间的关系, 地表岩溶出露的形态、位置、地下强径流带分布状况的研究, 总结区内岩溶在垂向上和平面上的发育规律, 并从区内岩石的物质基础、构造条件、水化学特征、水的循环交替作用等 4 个方面阐述区内岩溶的发育机制。结果表明: 煤田区岩溶发育具有平面上的不均一性和垂向上的成层分布特征。前者体现岩溶在平面上发育受地层岩性、地质构造及水文地质条件等因素的影响; 后者反映间歇性上升的新构造运动及侵蚀、溶蚀基准面和可溶岩出露厚度的变化对岩溶发育的控制。

关键词: 合山煤田; 岩溶; 发育机制

中图分类号: P642.25 文献标识码: A 文章编号: 1005 3409(2008) 01- 0205- 04

Study on the Karst Development Law and Mechanism of Heshan Coal Field in Guangxi Province

MAO Bang-yan¹, XU Mo¹, BAI Ai-zhong², HUANG Ruirying³

(1. National Laboratory of Geological Hazard and Engineering Geological Environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Geological and Hydrogeological Surveying Institute Guangxi, Liuzhou, Guangxi 545006, China; 3. Geological Research Institute Coal field of Chongqing, Chongqing 401147, China)

Abstract: The Karst development laws on the vertical and surface are determined through the analysis on the 119 holes data that it exposed the number of the cave, the relation of the line rate of cave and the elevation, the shape, location and the distribution of the strong strap radial flow, and explained the development mechanism of the Karst according to the rock material base, structure condition, hydrochemistry characteristic, and the function of the water circulation replace. The result of study shows: the Karst development has nonhomogeneity on the surface and layered distribution on the vertical. The former embodied the karst development is influenced by such factors as the stratum and rock, geological structure and hydrology geological condition factor etc.; And the latter reflected the intermission rises new tectonic movement, corroding and corrosion datum level, the change of the solvable rock's emergence thickness controlled the karst development.

Key words: Heshan coal field; Karst; development mechanism

1 研究区概况

合山煤田属我国南方典型岩溶充水矿床, 位于广西山字型构造马蹄形盾地西侧。研究区南北长 30 km、东西宽 16.5 km, 面积约 495 km²。

区内出露三叠系(T)至石炭系(C)地层。三叠系中统主要以灰绿色、黄绿色页岩、砂质页岩, 厚度为 625~ 1 204 m。二叠系上统合山组(P₂h)主要为灰白、灰色、浅灰和灰黑色燧石石灰岩及灰岩, 厚度约为 108~ 120 m; 二叠系下统毛口组(P₁m)主要以灰色、浅灰、灰白色, 中厚层状灰岩, 厚度约为 508~ 860 m。石炭系主要以灰色、灰白色灰岩为主, 局部夹白云质灰岩、白云岩, 厚度约为 650 m。第四系(Q)松散层主要分布在岩溶准平原、谷地、洼地和山麓地带, 厚度变化大, 0~ 31 m。岩溶发育的主要层位为二叠系上统合山组(P₂h)和二叠系下统毛口组。

矿区处于合山向斜内, 该向斜是一个东陡西缓、北阔南

窄, 轴向 20°左右的不对称向斜构造; 向斜轴靠近煤田东侧, 东翼岩层倾角陡峻, 一般 60~ 80°, 局部倒转, 弧形逆断层发育, 并发生有次级褶曲; 西翼平缓, 倾角由北往南增大, 北部和东北部 5~ 6°, 中部 7~ 9°, 南部 15~ 20°。主要的断层构造有古万断层 F₁、溯河断层 F₂、东翼断层组 F₃。F₃ 断层是该区最大的断层, 由 3 条以上基本同向的压性断裂组成, 走向近 SN 向, 倾向 SE, 倾角 30~ 44°, 断距约 700 m。

2 岩溶发育规律研究

2.1 岩溶在垂向上的发育规律

据研究区内 119 个勘探钻孔资料统计, 揭露有溶洞的钻孔个数为 58 个, 占钻孔总数的 48.74%。其中, 揭露 P₂h 层的钻孔为 68 个, 遇溶洞的钻孔数为 45 个, 占揭露钻孔总数的 77.59%; 揭露 P₁m 层的钻孔数为 51 个, 遇溶洞的钻孔数为 13 个, 占揭露总钻孔数的 22.41%。

* 收稿日期: 2006 09 19
作者简介: 毛邦燕(1978-), 男, 在读博士, 主要从事工程地质、水文地质、环境地质研究。

由表 1 和图 1 可知,在 P_1m 层中统计揭露到溶洞的钻孔数为 13 个。 P_1m 地层中统计钻孔溶洞个数大于 10 个的主要集中在 0~ 50 m 标高范围内,统计钻孔溶洞个数大于 5 个的主要集中在- 50~ 100 m 标高范围内。其中- 250~ - 600 m 段为钻孔控制的空白段,其岩溶发育程度不明。

表 1 P_1m 岩溶统计

分层标高段 /m	溶洞个数		溶洞总高		最大溶洞高		线溶洞率	
	个数	百分比 /%	总高 /m	百分比 /%	高度 /m	占总高百 分比/%	平均	最大
150~ 100	1	2.38	6.04	5.04	6.04	100.00	7.92	7.92
100~ 50	10	23.81	34.24	28.56	8.32	24.30	3.04	6.51
50~ 0	20	47.62	19.57	16.32	8.81	45.02	1.08	4.41
0~ - 50	5	11.90	18.1	15.10	10.65	58.84	1.62	5.18
- 50~ - 100	2	4.76	31.63	26.38	31.32	99.02	5.92	11.7
- 100~ - 200	0	0	0	0	0	0	0	0
- 200~ - 250	1	2.38	0.17	0.14	0.17	100.00	0.05	0.05
- 250~ - 600	0	0	0	0	0	0	0	0
- 600~ - 650	1	2.38	1.80	1.50	1.80	100.00	0.23	0.23
- 650~ - 700	1	2.38	4.39	3.66	4.39	100.00	0.57	0.57
- 700~ - 750	1	2.38	3.96	3.30	3.96	100.00	0.48	0.48

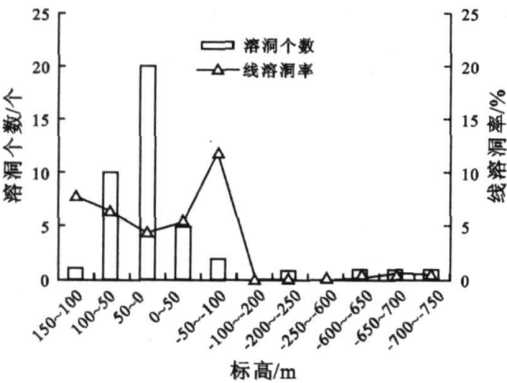


图 1 P_1m 溶洞个数、线溶洞率与标高关系

由表 2 和图 2 可知,在 P_2h 层中,统计揭露到溶洞的钻孔数为 45 个。由图 3 可知, P_2h 地层中统计钻孔溶洞个数大于 10 个的主要集中在 0~ 100 m 标高范围内;大于 5 个的主要集中在- 100~ 100 和 150~ 200 m 内。

在煤田区内揭露溶洞的钻孔中,以研究层位顶板为标准考察则发现,合山组上段(P_2h^2)除了向斜东翼陡倾的岩层中溶洞发育稀少外,向斜大部分地段的岩溶发育在层位分布较均匀,这显然与该层位层间岩溶发育为主有关;合山组下段(P_2h^1)的岩溶发育则明显地依附于顶板附近发育,与岩层埋藏深度并无明显关系,其显然受成煤前期古岩溶的控制有关;茅口组上段(P_1m^2)与合山组下段(P_2h^1)规律相似,岩溶显然集中发育在平行不整合面以下 60 m 范围内,与层位的埋藏深度关系不明显,东吴期古岩溶的控制依然显著。

综上所述,岩溶在垂向上发育的主要规律:出露岩溶区的岩溶发育主要受地表侵蚀基准面的控制,岩溶发育随深度增加而逐渐减弱,岩溶发育大致分布在 200~ 250, - 50~ 100, - 400~ - 250 m,其中- 50~ 100 m 标高段最为发育, - 400~ - 250 m 标高段发育相对较弱,到标高- 700 m 深度仍可见溶洞。向斜埋藏型岩溶区内,岩溶发育在垂向上减弱趋势不明显(考虑了钻孔在不同高程上控制密度不同所造成的误差)。统计中出现的若干岩溶空白段与相应高程的钻孔

控制密度有关。

表 2 P_2h 岩溶统计

分层标高段 /m	溶洞个数		溶洞总高		最大溶洞高		线溶洞率	
	个数	百分比 /%	总高 /m	百分比 /%	高度 /m	占总高百 分比/%	平均	最大
250~ 200	5	5.95	31.79	13.08	21.3	67.00	3.42	13.74
200~ 150	8	9.52	33.96	13.97	10.08	29.68	3.24	8.31
150~ 100	2	2.38	9.69	3.99	9.47	97.73	3.64	7.12
100~ 50	16	19.05	47.75	19.64	17	35.60	2.24	9.86
50~ 0	21	25.00	21.7	8.93	5.99	27.60	0.75	2.31
0~ - 50	7	8.33	10.2	4.20	2.29	22.45	0.63	0.98
- 50~ - 100	6	7.14	7.1	2.92	5.35	75.35	0.35	1.48
- 100~ - 150	3	3.57	3.55	1.46	2.8	78.87	0.41	0.95
- 250~ - 300	1	1.19	2	0.82	2	100.00	0.45	0.45
- 300~ - 350	2	2.38	0.5	0.21	0.3	60.00	0.06	0.07
- 350~ - 400	3	3.57	4.8	1.97	2.83	58.96	0.27	0.48
- 400~ - 450	5	5.95	37.85	15.57	32.19	85.05	1.31	5.58
- 450~ - 500	0	0	0	0	0	0	0	0
- 500~ - 550	1	1.19	16.71	6.87	16.71	100.00	2.24	2.24
- 550~ - 600	2	2.38	12.48	5.13	11.28	90.38	0.84	1.51
- 600~ - 650	2	2.38	2.99	1.23	2.49	83.28	0.19	0.32

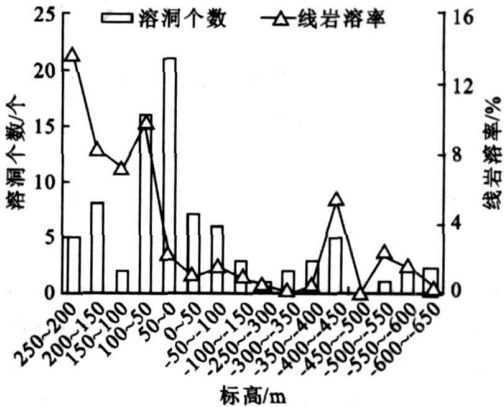


图 2 P_2h 溶洞个数、线溶洞率与标高关系

2.2 岩溶在平面上的发育规律

根据野外地表岩溶发育情况的现场考察、钻孔揭露的地下岩溶发育状况、地下强径流带的分布等情况综合分析,可以得出:区内岩溶在平面上的发育随向斜构造呈环状分带。按照岩溶的发育程度、埋藏条件可以将区内岩溶在平面上的发育规律分为如下几类(图 3):

①裸露岩溶强发育带。该带自茅口阶上段地层底板至合山组顶板宽 1 000~ 2 000 m,基本上沿地层界线分布,岩石大部分裸露^[3]。

据调查,煤田区内地表溶洞主要分布于向斜西翼灰岩露头区,形状主要以层状、厅状为主,岩溶洼地在西部灰岩露头区普遍发育。在红水河切割煤田区地层形成的鹅滩、马滩,十五滩 3 个滩面上都能见到大量的溶沟、溶槽以及溶蚀裂隙。滩面上溶沟口宽 0.10~ 7.80 m,深 0.10~ 3.60 m,延伸数米至数十米,地表岩溶率达 46.1%~ 71.6%;溶蚀裂隙主要沿走向 NW 70° 和 NE 20° 方向发育。前者溶隙口宽 0.15~ 0.26 m 不等,深 0.20~ 5.50 m,最大延伸长度达 150 m,地表岩溶率达 50.5%~ 63.2%;后者溶隙口宽 0.10~ 0.15 m,深 0.30~ 0.60 m,地表岩溶率 28% 左右。

②埋藏岩溶较强发育带。主要分布在茅口阶上段地层底板至北四组顶板宽 1 000~ 3 500 m。该带主要以隐伏岩溶发育为主。

据资料显示,煤田区内钻孔揭露的地下溶洞 85% 以上

分布在该带;且区内的几条地下强径流带东矿-南洪-新村-里兰强导水带、截 5 至石村导水带、电厂-0302 孔导水带、寨村导水带都发育在该带。该带岩溶发育的特征主要是规模大、数量多、埋藏深。

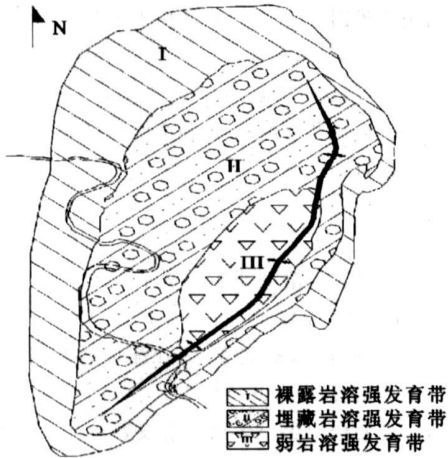


图 3 岩溶发育平面分带示意图

③弱岩溶深部发育带。该带位于煤田盆地中部,受埋藏和地下水补给、循环强度等条件的限制,岩溶发育形态主要为溶蚀裂隙为主,溶洞规模小,连通性差,非均一性强。

3 岩溶发育机制研究

3.1 物质基础

区域内岩石的物质组成是岩溶发育的基本条件,也是岩溶是否发育的决定因素,只有达到了岩溶发育所必需的物质成份后才可能发育岩溶。本区自下二叠纪开始沉积建造碳酸岩,这便有了岩溶发育的物质基础,尤其是下二叠统茅口阶上段和上二叠统合山组地层,可溶岩成份纯,岩溶的发育更为明显。

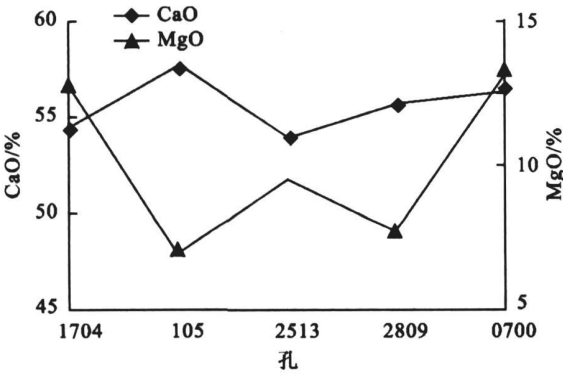


图 4 P₂h 地层 CaO 与 MgO 含量百分比变化

图 4、图 5 分别为 P₂h 和 P₁m 地层中 CaO 和 MgO 含量百分比曲线图。由这两个图可以看出区内 CaO 的含量相对比较均衡,一般含量都在 53%~56% 这个范围之内, P₂h 地层中 CaO 的含量略微比 P₁m 中低。而 MgO 的含量变化幅度相对较大。结合图 5、图 6 可以得出,研究区内岩石具有良好溶蚀能力,比溶蚀度和比溶解度最高都可以达到 1.42,这为研究区岩溶的发育奠定了坚实的物质基础。

3.2 岩溶发育的构造条件

地质构造是岩溶发育、演化的先导,构造运动产生的断裂、褶皱、节理裂隙破坏了岩石本身的完整性,使岩石的导水性增加,促进了可溶岩的溶蚀作用。

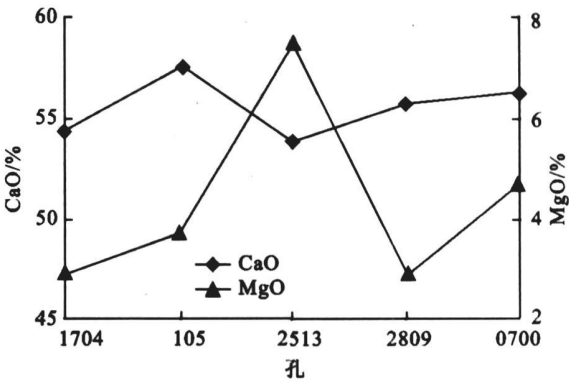


图 5 P₁m 地层 CaO 与 MgO 含量百分比变化

从构造的发展史来看,地壳升降控制了该区岩溶发育的规模,为溶蚀创造了条件,中生代以前的东吴运动在本区影响比较大,二叠纪茅口组灰岩形成以后,地壳上升,开始了古溶蚀作用。印支运动后期,燕山运动地壳抬高,从中三叠纪晚期开始,沉积间断,底层遭受溶蚀和剥蚀,从而促使了古岩溶的形成^[3]。

从新构造运动来看,由于受 NW 向挤压的作用,在区内形成了次级褶皱、断裂,加剧了岩溶的发育,改变了古岩溶的正常分布,使区内岩溶向空间发展和扩大。不均匀的间歇性上升,使地下水排泄向相应的新构造期的排水基准,导致了上层岩溶向深处发展,开拓了新的岩溶发育体系^[3]。

煤田区处在合山向斜构造单元内,在向斜西翼由于存在大隆组(P₂d)和罗楼组(T₁L¹)两层厚度较大、阻水性能良好的隔水层,使得在垂向上把煤田区分成了上、下 2 个独立的体系,且上下 2 层之间不存在明显的水力联系。在这种条件下区内大隆组以上地层处在一个封闭的系统内,地下水循环缓慢,因此岩溶发育较弱;而大隆组以下地层合山组和茅口组接受煤田北面 and 南面地下水的侧向补给,地下做深循环运动,加剧了地下水的交替循环,促进了岩溶的发育。

3.3 水化学特征

地下岩溶水由大气降水及地表水补给,在地下碳酸盐岩介质中运移,必然与围岩发生各种各样的化学、物理化学和生物化学作用,围岩介质的化学成份及环境条件,决定着地下水的化学成份特征^[2]。

就区内岩石本身来说,有多层含煤地层,且煤层中硫含量均较高,硫化物质与水作用后可产生硫酸(H₂SO₄),对可溶围岩起着强烈的溶蚀作用。另一方面,大气降雨补给必将促使碳酸盐岩分解出侵蚀性 CO₂,同时深部的 CO₂ 也会在岩层中聚集,对区内岩溶发育起到强烈催化作用。区内地下水化学类型见表 3 所示。

3.4 水的循环交替作用

地下水的循环交替是岩溶发育的条件之一。其岩溶作用机制是:首先碳酸盐岩溶解于水中,形成 Ca²⁺ 和 CO₃²⁻ 离子,尔后由于水中含有化学态的侵蚀 CO₂,CO₂ 与水作用成 H₂CO₃,H₂CO₃ 随后即电离出 H⁺ 和 HCO₃⁻ 离子,这样 H⁺ 与水中 CO₃²⁻ 反应形成 HCO₃⁻,然后使溶液中离子浓度被破坏,促进碳酸盐岩不断溶解,同时侵蚀 CO₂ 也能得到水中物理态的游离 CO₂ 的补充;如果水的流动很缓慢,或者处于停滞状态,那么水中的侵蚀性 CO₂ 将不断消耗,最终便完全丧失侵蚀能力,溶蚀作用就不能继续进行;反之,富含侵蚀性

CO₂ 的水进入地下不断运动,更新原有的地下水,使地下水常保持其强侵蚀性^[3]。

表 3 钻孔水质明细

取样点	所属 地层	取样 标高/m	水质 类型	矿化度	可溶 CO ₂	
				/(mg· L ⁻¹)	/(mg· L ⁻¹)	pH
1701 孔*	P ₂ h ¹	83.85	HCO ₃ ⁻ Ca	251.28	7.20	7.34
红水河*	P ₂ h ¹	82.75	HCO ₃ ⁻ Ca	186.00	4.62	7.80
0100A 孔	P ₂ h ¹	35.77	HCO ₃ ⁻ .SO ₄ ²⁻ Ca	265.00	2.31	7.75
2106 孔	P ₂ h ¹ +P ₁ m	-190.77	HCO ₃ ⁻ Ca	243.00	3.30	7.52
1704 孔	P ₁ m	-203.55	HCO ₃ ⁻ Ca	220.00	1.71	7.31
0705 孔*	P ₂ h ¹	-330.60	HCO ₃ ⁻ Ca	210.00	10.51	7.42
2603 孔	P ₂ h ¹ +P ₁ m	-349.16	HCO ₃ ⁻ Ca、Mg	553.00	8.56	10.31
0911 孔	P ₂ h ¹ +P ₁ m	-676.73	HCO ₃ ⁻ Ca、Mg	38.00	8.8	7.24
2115 孔*	P ₂ h ²	-807.96	HCO ₃ ⁻ Ca	296.00	4.4	8.11

注:有* 号标注的资料来源文献[3]。

区内向斜埋藏型岩溶层内地下水主要受北面和南面连续的岩溶内地下水的侧向补给,受构造的控制沿岩层产状作深循环运动,其循环运动与排泄条件关系较密切。从钻孔和矿山开采揭露的资料分析,合山向斜埋藏的深部岩溶具有由西向东减弱的趋势。这是因为西翼受红水河切割,埋藏岩溶层内地下水径流运动总是往红水河方向,因此西翼地下水循环运动较快,利于岩溶发育;而东翼由于逆断层作用,不仅合山组、茅口组地层连续性被破坏,且部分地段被压覆于地面以下;部分地段虽出露地表,但构造挤压作用强烈,不利于地下水的运动,使东翼得到地下水补给的能力很弱,地下水循环缓慢,使岩溶发育相对较弱。

4 结 论

通过对煤田区岩溶发育规律及岩溶发育机制的研究,表

明合山煤田岩溶发育具有平面上的不均一性和垂向上的成层分布特征。平面上岩溶发育依次为裸露岩溶强发育带、埋藏岩溶较强发育带、埋藏岩溶深部发育带,这种明显的环带状分布体现了岩溶在平面上分布明显受到岩性、地质构造及水文地质条件等因素的影响;在垂向上岩溶发育大致分布在 200~ 250、- 50~ 100、- 400~ - 250 m,其中- 50~ 100 m 标高段最为发育,这种分层式岩溶发育模式反映出了间歇性上升的新构造运动及侵蚀、溶蚀基准面和可溶岩出露厚度的变化对岩溶发育的控制。

参考文献:

[1] 毛邦燕.复杂岩溶介质矿井涌水量的三维数值模拟研究[D].成都:成都理工大学,2005.
[2] 沈继方,李焰云,徐瑞春.清江流域岩溶研究[M].北京:地质出版社,1996:170-178.
[3] 李江.广西合山煤田区域岩溶发育规律及水文地质特征[J].广西煤田地质,1990(1):2-12.
[4] 邹成杰.岩溶多潮泉发育规律研究[J].中国岩溶,1993,12(2):133-141.
[5] 刘芳珍.潞安矿区奥陶系岩溶发育规律及成因探讨[J].地下水,1998,20(2):70-73.
[6] 熊道钨,傅荣华.岩溶发育强度垂直分带方法[J].岩土工程技术,2005,19(3):113-117.
[7] 郑文兴,张琪璋.皖北豫东地区岩溶发育规律的初步认识[J].中国岩溶,1989,8(1):33-40.

(上接第 204 页)

期和综合评价总氮均为Ⅳ类,而长江委水文局报道 2003 年 11 月和 12 月坝上断面总氮超Ⅳ类,2004 年 1 月坝上、凉水河和清泉沟总氮也超Ⅳ类,这可能极大地影响到陶岔断面总氮含量。除此之外,2003 年 COD_{Mn} 评价为Ⅱ类标准,使其综合评价降为Ⅱ类;总磷 2003 年为Ⅱ类,但综合评价为Ⅰ类;其余指标均符合Ⅰ类标准。

5 结 语

(1) 丹江口水库水质总体状况较好,坝上、坝下、凉水河和清泉沟 4 个断面年平均综合水质指标均符合Ⅰ类标准;但 2002 年 4 个断面 Pb 的单项评价指数均为Ⅲ类,污染可能来自于丹江口库区的工矿企业废水及城镇生活污水。2002 年和 2003 年石油类(凉水河和清泉沟断面)超Ⅳ类标准,这与长江委水文局 2003 年报道一致。

(2) 对汛期和非汛期水质进行单项和综合评价分析,综合评价均符合Ⅰ类标准,而且非汛期综合评价指数整数部分与汛期相同,但小数部分均低于汛期(清泉沟 2003 年除外),说明非汛期水质优于汛期。汛期 4 个断面 2002 年 Pb 含量分别为Ⅲ、Ⅴ、Ⅴ、Ⅲ类;凉水河断面石油类(2000 年,2002 和 2003 年)超Ⅳ类。非汛期只有 2002 年坝上和清泉沟断面 Pb 含量及 2003 年坝下和清泉沟断面石油类均超Ⅲ类标准。

(3) 陶岔监测站各点位监测项目中,总氮 2004 年综合评价、汛期、非汛期和年平均均为Ⅳ类,可能受上游总氮超Ⅳ类标准的影响,COD_{Mn} 2003 年评价为Ⅱ类,使其综合评价降为Ⅱ类;2003 年总磷同样为Ⅱ类标准;其余指标均为Ⅰ类。

丹江口水库作为南水北调中线工程水源地,其水质安全关系到北京、天津、石家庄等沿线 20 多座大城市社会稳定和经济发展,因此保护好该地区的生态环境和水库水质安全极其重要,建议政府和有关部门采取更加有效的污染治理措施,确保丹江口水库一库清水。

参考文献:

[1] 杜国举,李建兵,李玉保,等.丹江口水库水源区水土保持生态环境建设与发展对策[J].水土保持通报,2002,22(5):66-69.
[2] 肖国明,杜华杰.加强丹江口库区综合治理确保南水北调供水安全[J].中国水土保持,2003(3):20-21.
[3] 万咸涛.汉江流域及丹江口库区水环境质量现状分析[J].江苏环境科技,2001,14(2):17-18.
[4] 陈沂.用形象分级法对水体水质进行评价[J].水文,1994,14(1):41-43.
[5] 胡国华.黄河孟花段水环境质量评价[J].地理与地理信息科学,2003,19(3):59-62.