

中国和美国、日本饮用水水质标准的比较探究

彭宏熙, 李 聪

(浙江大学建筑工程学院 市政工程研究所, 浙江 杭州 310058)

摘 要: 根据我国《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的分类标准,从微生物指标、有毒物质指标、感官指标以及放射性核素指标等方面,将我国标准与美国环保局颁布的《国家饮用水水质标准》(EPA 816—F—09—004)以及日本厚生劳动省颁布的《自来水水质标准》(2015年版)进行比较,研究发现我国标准重视微囊藻毒素,并且具有严格控制粪源指示菌和根据不同水源设置了硝酸盐的不同限值的优势。同时也指出我国标准中一些指标偏高与偏少、修订周期偏长的不足,并提出相应改进的建议。该研究结果对今后进一步完善我国饮用水水质标准提供了重要参考。

关键词: 饮用水; 水质标准; 比较探究

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)10-0026-06

Comparative Study of Drinking Water Quality Standards among China, the United States and Japan

PENG Hong-xi, LI Cong

(Municipal Engineering Institute, College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: According to the classification in *Standard for Drinking Water Quality* (GB 5749 - 2006), this paper compared the GB 5749 - 2006 with *National Primary Drinking Water Regulations* (EPA 816 - F - 09 - 004) by United States Environmental Protection Agency (USEPA) and *Water Quality Standard* (2015) by Japanese Ministry of Health, Labour, and Welfare from the aspects of microorganism indices, toxicological indices, sensitive property and radioactive indices. The results showed that more attention was paid on microcystins in China than the United States and Japan. And then, GB 5749 - 2006 controls the fecal indicator bacteria more strictly, and different limits for nitrate according to different water source were set. While, with regard to the standards of the United States and Japan, it also pointed out some indices were high or lacking, and the revising period was longer in GB 5749 - 2006. This paper provides some corresponding suggestions and important reference for further improving the drinking water quality standard in China.

Key words: drinking water; water quality standards; comparative study

水是人类生存不可或缺的资源,饮用水的水质安全对公共健康卫生安全至关重要。我国目前采用的饮用水水质标准是《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),是在《生活饮用水卫生标准》(GB

5749—1985)基础上修订而成。新标准由原来的35项增加至106项,其中微生物指标增加4项、饮用水消毒剂增加3项、毒理指标中无机化合物增加11项、毒理指标中有机化合物增加48项、感官性状和

一般理化指标增加5项。美国《国家饮用水水质标准》(EPA 816—F—09—004)由美国环保局(US EPA)于2009年5月颁布,从内容上分为一级标准和二级标准。一级标准为强制性标准,适用于公共给水系统,共87项指标,其中无机物16项、有机物29项、农药24项、消毒剂3项及消毒副产物4项、微生物学指标7项(包括浑浊度)以及放射性指标4项;二级标准为非强制性标准,用于控制水中对美容或感官有影响的污染物浓度。日本厚生劳动省制定的《自来水水质标准》同时参考了世界卫生组织(WHO)、欧盟(EC)以及US EPA的相关标准,现行的日本标准于2015年4月1日起生效。该标准主要分为三类,水质基准项目51项、水质管理目标设定项目26项(包括120种农药)以及要检讨的项目47项。

目前,我国正处于为提高饮用水安全性而不断完善的阶段。美国对饮用水环境管理起步较早,以法律、法规和标准为基础及推动力,在水环境管理机构设置、政策制定等方面比较成熟。在日本,许多公共场所都设有直饮水龙头,可见日本对饮用水水质标准的要求比较高。根据我国《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的分类标准,从微生物指标、有毒物质指标、感官指标以及放射性核素指标等方面,将我国饮用水水质标准和美国、日本等发达国家的饮用水水质标准进行比较探究,指出我国饮用水水质标准的发展现状、优势与需要完善的地方,对进一步完善我国饮用水水质标准具有重要参考价值。

1 指标对比

1.1 微生物学指标

饮用水中的致病微生物大多属于肠道致病菌,会引起肠胃炎、腹泻、肠出血等症状。中国和美国、日本饮用水水质标准中的微生物学指标对比见表1。从表1可以看出,我国标准中微生物指标的数量与美国差不多,但明显比日本多,日本只有大肠埃希氏菌和菌落总数两项。我国标准对饮用水中任何可能存在的粪源指示菌实行严格控制、层层把关,总大肠菌群以及新增加的耐热大肠菌群和大肠埃希氏菌都能反映水体被粪便污染的情况。微囊藻毒素-LR是蓝藻释放的毒性最强的微囊藻毒素之一,它会抑制蛋白磷酸酶的活性,并且具有明显的器官选择性毒性和致癌性,包括肝脏毒性、神经毒性等^[1],对小鼠的半数致死量LD₅₀为50 μg/kg体重^[2]。在中

美日三国水质标准中,只有我国对饮用水中微囊藻毒素-LR设置了限值,说明我国更重视微囊藻毒素对人类健康的威胁。我国没有涉及军团菌和病毒的检测,浑浊度也不是作为微生物指标而是作为感官指标。军团菌会引起人的呼吸系统疾病,尽管美国没有给出军团菌的标准值,但认为通过对贾第鞭毛虫与病毒的限制可间接控制军团菌的数量。我国缺乏对粪便指示菌以外的致病细菌与病毒的标准,应逐步加强对饮用水中此类微生物的重视。

表1 中国和美国、日本饮用水水质标准的微生物学指标对比

Tab. 1 Comparison of microbial indexes among Chinese, American and Japanese drinking water regulations

项 目	中国	美国	日本
总大肠菌群	不得检出	阳性率<5.0%	—
耐热大肠菌群	不得检出	—	—
大肠埃希氏菌	不得检出	—	不得检出
菌落总数/ (CFU·mL ⁻¹)	100	500	100
贾第鞭毛虫	<1个/10 L	99.9%的 去除或灭活	—
隐孢子虫/ (个·10 L ⁻¹)	<1	^a	—
军团菌	—	无限值	—
浑浊度/NTU	归感官指标	1	归感官指标
病毒	—	99.99%的 去除或灭活	—
微囊藻毒素-LR/ (μg·L ⁻¹)	1	—	8(暂定)
注:“—”表示该标准中无这项指标,下同。 ^a 指美国标准中,未经过滤的系统需要在其现有的流域控制规定中包含隐孢子虫。			

1.2 感官指标

表2列出了中国和美国、日本饮用水水质标准中的感官指标。由表2可知,三个国家的水质标准中主要感官指标差异不大。但值得指出的是,美国对铝指标设置了更低的限值。饮用水中游离铝离子体积小,易通过肠壁进入血液,当铝在生物体内的富集达到一定浓度时,将会引起阿尔茨海默氏病、骨质软化变形等疾病^[3],因此应尽可能降低饮用水中铝离子的浓度。另外,在三个国家标准中只有我国对肉眼可见物这一指标进行了规定,然而,肉眼可见物与水质危害没有必然联系,不会直接影响人体健康,并且肉眼可见物与浑浊度呈正相关关系,因此浑浊度可以替代肉眼可见物。

表 2 中国和美国、日本饮用水水质标准的感官指标对比

Tab. 2 Comparison of sensory indexes among Chinese, American and Japanese drinking water regulations

项 目	中国	美国	日本	项 目	中国	美国	日本
色度(铂钴色度单位)/度	15	15	5	腐蚀性物质	—	无腐蚀性	腐蚀性(朗格利尔指数), -1 以上, 尽量接近 0
浑浊度	1 NTU ^a	归生物学指标	2 度	氯化物/(mg · L ⁻¹)	250	250	200
嗅和味	无异臭、异味	嗅阈值:3	无	硫酸盐/(mg · L ⁻¹)	250	250	—
肉眼可见物	无	—	—	溶解性总固体/(mg · L ⁻¹)	1 000	500	500
pH 值	6.5 ~ 8.5	6.5 ~ 8.5	5.8 ~ 8.6	总硬度/(mg · L ⁻¹)	450(以 CaCO ₃ 计)	—	300
铝/(mg · L ⁻¹)	0.2	0.05	0.2	耗氧量(COD _{Mn} 法)/(mg · L ⁻¹)	3 ^b	—	—
铁/(mg · L ⁻¹)	0.3	0.3	0.3	挥发酚类(以苯酚计)/(mg · L ⁻¹)	0.002	—	0.005
锰/(mg · L ⁻¹)	0.1	0.05	0.05	阴离子合成洗涤剂/(mg · L ⁻¹)	0.3	—	0.2
铜/(mg · L ⁻¹)	1.0	1.3	1.0	注: ^a 指水源与净水技术条件限制时浊度为 3 NTU; ^b 指水源限制, 原水耗氧量 > 6 mg/L 时 COD _{Mn} 为 5 mg/L。			
锌/(mg · L ⁻¹)	1.0	5.0	1.0				
银/(mg · L ⁻¹)	0.05	0.1	—				
发泡剂/(mg · L ⁻¹)	—	0.5	—				

1.3 有毒物质指标

表 3 列出了中、美、日三国饮用水中各种有毒无机物的限值, 三国在指标数量上基本相差不大。

表 3 中国和美国、日本饮用水水质标准中有毒无机物指标的对比

Tab. 3 Comparison of toxic inorganic indexes among Chinese, American and Japanese drinking water regulations

项 目	中国	美国	日本
砷	10	10	10
镉	5	5	3
汞	1	2	0.5
铅	10	15	10
铋	5	6	20
铍	2	4	—
铬	50	100	50
镍	20	—	20
钠	200 000	—	200 000
硒	10	50	10
氰化物	50	200	10
氟化物	1 000	4 000	800
硝酸盐(以 N 计)	10 000(地下水源限制时为 20 000)	10 000	^a
亚硝酸盐(以 N 计)	1 000	1 000	40
亚氯酸盐	700	1 000	600
溴酸盐	10	10	10
氯酸盐	700	—	—
硼	—	—	1 000
氯酸	—	—	600
氯乙酸	—	—	20
注: ^a 指日本标准中, 要求硝酸盐氮和亚硝酸盐氮总量在 10 mg/L 以下。			

水体中硝酸盐的主要来源是土壤中有有机氮的矿化、氮肥的使用以及污水的污染, 在三个国家中只有我国标准对硝酸盐分了地下水源与非地下水源两种情况, 地下水源限制时为 20 mg/L, 其他水源为 10 mg/L。从历年的中国水资源公报提供的数据来看, 地下水源供水量达到了 18%, 而一些调研型的研究结果显示, 我国地下水的硝酸盐浓度一般高于地表水, 其空间分布特征为从上游至下游逐渐升高^[4], 考虑到这些实际情况, 针对不同水源设置不同的限值是合理且必要的。亚硝酸盐有致癌的风险, 还会引起高铁血红蛋白症、智力低下等症, 对人的致死量为 22 ~ 33 mg/kg 体重^[5], 中国和美国标准中亚硝酸盐限值是日本的 25 倍, 虽然亚硝酸盐在我国标准中属于非常规指标, 但仍需提高重视程度, 其限值可以适当调低。

表 4 列出了中美日三国饮用水中有毒有机物的限值, 表中省去了只存在于我国标准中的有机物质指标。我国标准中有毒有机物指标数量比美国、日本多, 除甲醛、三氯乙烯和四氯乙烯外, 大部分限值与美日相差不大。水中甲醛主要是水中有机物臭氧化后的产物, 易与细胞亲核物质发生化学反应, 形成导致 DNA 损伤的化合物, 国际癌症机构已将甲醛列为可疑致癌物。我国标准规定在用臭氧作消毒剂时, 水中甲醛不应超过 900 μg/L, 这个限值比日本的高了 10 倍, 可参考日本标准将我国甲醛的限值适当调低以减少其致癌风险。三氯乙烯与四氯乙烯在工农业上被广泛利用, 主要来源于电镀、干洗及电子等行业, 常被用作干洗剂、冷冻剂和杀菌剂, 在水中

较为稳定,不易分解,因具有挥发性、毒性与致癌性而受到广泛关注。过量摄入三氯乙烯会引起皮肤受损、内脏损害等,严重时将危及生命。长期低剂量摄入四氯乙烯可引起人体神经内分泌以及免疫系统的功能紊乱,高浓度则造成中枢神经系统抑制、肝功能

损伤等,重者致死^[6]。美国对两者的限值均为 5 μg/L,日本为 10 μg/L,而我国分别为 70 μg/L 与 40 μg/L,是美国的 14 倍和 8 倍,是日本的 7 倍和 4 倍,虽然三氯乙烯与四氯乙烯在我国标准中属于非常规指标,但仍需提高重视程度,其限值可以适当调低。

表 4 中国与美国、日本饮用水水质标准的有毒有机物指标对比

Tab. 4 Comparison of toxic organic indexes among Chinese, American and Japanese drinking water regulations

μg · L ⁻¹							
项 目	中国	美国	日本	项 目	中国	美国	日本
四氯化碳	2	5	2	莠去津	2	3	10
总三卤甲烷	≤1 *	80	100	草甘膦	700	700	2 000
二氯甲烷	20	5	20	马拉硫磷	250	—	700
邻苯二甲酸二 (2 - 乙基己基)酯	8	6	80	乐果	80	—	50
				灭草松	300	—	200
苯	10	5	10	敌敌畏	1	—	—
二甲苯	500	10 000	400	百菌清	10	—	50
四氯乙烯	40	5	10	七氯	0.4	0.4	—
甲苯	700	1 000	400	林丹	2	0.2	—
二噁英	0.000 03	0.000 03	0.000 001	六氯苯	1	1	—
苯乙烯	20	100	20	五氯酚	9	1	—
顺式 1,2 - 二氯乙烯	^a	70	^b	茅草枯	—	200	80
反式 1,2 - 二氯乙烯	^a	100	^b	敌草快	—	20	5
三氯乙烯	70	5	10	西玛津	—	4	3
环氧氯丙烷	0.4	^c	0.4	二溴氯丙烷	—	0.2	—
1,4 - 二氯苯	300	75	—	1,2 - 二氯丙烷	—	5	—
1,2 - 二氯苯	1 000	600	—	地乐酚	—	7	—
1,2 - 二氯乙烷	30	5	4	卤乙酸	—	60	—
1,1 二氯乙烯	30	7	100	异狄氏剂	—	2	—
乙苯	300	700	—	虫螨威	—	40	—
二溴乙烯	0.05	—	—	毒莠定	—	500	—
苯并芘	0.01	0.2	—	2,4,5 - 涕丙酸	—	50	—
氯苯	300	100	—	丙烯酰胺	—	^d	—
三氯苯	20	70	—	草不绿	—	2	—
1,1,1 - 三氯乙烷	2 000	200	300	氯丹	—	2	—
氯乙烯	5	2	2	草藻灭	—	100	—
多氯联苯	0.5	0.5	—	六氯环戊二烯	—	50	—
二(2 - 乙基己基)己二酸酯	400	400	—	甲氧滴滴涕	—	40	—
1,4 - 二氧杂环己烷	—	—	50	草酰胺	—	200	—
甲醛	900	—	80	毒杀芬	—	3	—
三氯乙酸	100	—	30	三氯苯氧丙酸	—	50	—
2,4 - 二氯苯氧乙酸(2,4 - D)	30	70	20	1,1,2 - 三氯乙烷	—	5	—
注: * 指中国水质标准中总三卤甲烷为该类药物中各种化合物的实测浓度与其各自限值的比值之和; ^a 指在中国水质标准中,只有 1,2 - 二氯乙烯的指标,限值为 50 μg/L,并不区分顺式 1,2 - 二氯乙烯与反式 - 1,2 - 二氯乙烯; ^b 指在日本水质标准中,不分别对顺式 1,2 - 二氯乙烯与反式 - 1,2 - 二氯乙烯设置限值,两者总浓度限值为 40 μg/L; ^c 指美国标准中环氧氯丙烷的浓度为 0.01% (投加量为 20 mg/L); ^d 指美国标准要求丙烯酰胺的浓度为 0.05% (投加量为 1 mg/L)。							

在农药方面,中国标准中农药有 19 种,美国 21 种,日本 120 种(表 4 只列出其部分)。日本大部分

指标限值比中国、美国控制得更加严格,除了对每种农药设定限值之外,日本还要求农药类的检测值与

限值之比的和小于1,即要求每种农药的检测值远低于限值。表4同时也反映了中美日三国的农业情况和常用农药的区别,我国使用的农药绝大多数为国产农药^[7],为了避免害虫产生抗药性而不断开发利用新型农药,因此我国饮用水标准也需要及时更新,添加新指标的同时保留与已被弃用农药相关的指标,因农药能在环境中长期存在。在有机磷农药测定方面,日本标准除了测定农药的浓度外,还对其代谢产物进行测定,这些农药的浓度并不强,但若其中的磷硫键被磷氧键替换,所形成的代谢产物会损害人的神经系统,我国在修订标准时也可以参照日本的做法,将农药及其代谢产物的浓度和作为最终浓度。

1.4 放射性核素指标

表5列出了中美日三国标准中放射性核素指标的限值。

表5 中国和美国、日本饮用水水质标准中放射性核素指标的对比

Tab.5 Comparison of radionuclide indexes among Chinese, American and Japanese drinking water regulations

项 目	中国	美国	日本
总 α 放射性/(Bq·L ⁻¹)	0.5	0.55	—
总 β 放射性/(Bq·L ⁻¹)	1.0	—	—
β 粒子和光子活性/(mSv·a ⁻¹)	—	0.04	—
镭226和镭228/(pCi·L ⁻¹)	5.0	5.0	—
铀/(μ g·L ⁻¹)	—	30	2
氡/(pCi·L ⁻¹)	300	—	—

饮用水中的放射性主要来自于岩石或土壤中天然的放射性核素,饮用含过量放射性核素的水会使人长期处于持续受照的状态,使致癌风险上升。我国只将总 α 放射性与总 β 放射性作为常规指标,镭与氡被列入我国标准的附录A中,美国除了总 α 放射性外,还对 β 粒子和光子活性、镭-226和镭-228、铀放射性核素设了限值,而日本只对铀放射性核素设了限值。虽然铀放射性核素不在我国标准内,但是我国对它的衰变产物氡设置了不得高于300 pCi/L的限值,氡本身具有放射性,能在水中溶解聚集,也能再释放到空气中,长期吸入低剂量的氡及其子体会引起肺癌。虽然一些调查研究表明我国部分地区饮用水的总 α 放射性与总 β 放射性远低于标准中的限值^[8,9],但完善我国标准中相关放射性核素的指导水平,更有利于科学合理地分析饮用水中放射性核素对人体的危害程度。

2 结语

将我国现行的饮用水标准与美国、日本进行对比,结果表明我国标准存在一些优势:①我国更重视饮用水中微囊藻毒素对公共健康的威胁,三个国家的标准中只有我国设置了不超过1 μ g/L的限值。②我国不仅对大肠杆菌设了限值,还对总大肠菌群和耐热大肠菌群设了限值,对饮用水中的粪源指示菌层层把关,在一定程度上保障了饮用水的微生物安全。③我国考虑了不同水源的区别,分别设置了硝酸盐在地下水源限制时与非地下水源的限值,科学地满足各地区使用不同水源水的要求。

但是,我国标准也存在一些不足需要改进:①我国标准中一些指标如亚硝酸盐、甲醛、三氯乙烯和四氯乙烯等的限值比美国、日本高出几倍甚至十几倍,建议考虑我国国情与物质危害性,对这些指标进行适当调整和完善。②我国标准没有对饮用水中的病毒提出限值,而美国要求饮用水中要灭活99.99%的病毒,建议在借鉴美国标准的同时考虑我国的实际情况,对我国各地展开致病微生物的相关调查研究,制定符合我国水质情况的微生物检测指标,将病毒与致病菌列入微生物指标中。③在放射性指标方面,建议我国增加相关放射性核素的指标。④我国饮用水水质标准的修订周期太长,从旧标准(GB 5749—1985)到现行标准中间间隔了21年。美国《安全饮用水》制定了美国各个州和授权部落对水质标准实行滚动更新的制度——污染物候选清单(CCL),定期对标准中管制的污染物进行更新,而日本自2003年以来已经经历了8次左右的改动。我国饮用水水质标准的修正周期应与我国经济发展速度相一致,这样才能更好地保障饮用水安全。

参考文献:

- [1] 王靖国,邹华,张强,等.太湖微囊藻毒素的时空分布特征[J].环境科学研究,2014,27(7):696-703.
Wang Jingguo, Zou Hua, Zhang Qiang, et al. Spatial and temporal distribution of microcystin in Taihu Lake[J]. Research of Environmental Science, 2014, 27(7): 696-703 (in Chinese).
- [2] Bettina C H, Stefan J H, Daniel R D. Cyanobacterial toxins: Removal during drinking water treatment, and human risk assessment[J]. Environ Health Perspect, 2000, 108(S1): 113-122.
- [3] 杨忠莲,高宝玉.水体中残余铝的含量、组分、危害及

- 控制研究进展[J]. 精细化工,2013,30(4):412-419.
- Yang Zhonglian, Gao Baoyu. Progress in the research of concentration, speciation, hazard and control of residual Al in drinking water[J]. Fine Chemicals, 2013, 30(4):412-419 (in Chinese).
- [4] 张亚丽,张依章,张远,等. 太子河流域地表水和地下水硝酸盐污染特征及来源分析[J]. 中国生态农业学报,2014,22(8):980-986.
- Zhang Yali, Zhang Yizhang, Zhang Yuan, *et al.* Characteristics and potential sources of nitrate pollution in surface water and groundwater systems in Taizihe River Basin [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(8):980-986 (in Chinese).
- [5] 杨家澍,王留成,李国顺,等. 水中亚硝酸盐净化处理研究进展[J]. 郑州大学学报:工学版,2002,23(4):102-106.
- Yang Jiashu, Wang Liucheng, Li Guoshun, *et al.* Research progress of nitrite removal in water[J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Edition, 2002, 23(4):102-106 (in Chinese).
- [6] 张凤君,王斯佳,马慧,等. 三氯乙烯和四氯乙烯在土壤和地下水中的污染及修复技术[J]. 科技导报,2012,30(18):65-72.
- Zhang Fengjun, Wang Sijia, Ma Hui, *et al.* Contaminations and remediation technologies of trichloroethylene and perchloroethylene in the soil and groundwater: A review [J]. Science & Technology Review, 2012, 30(18):65-72 (in Chinese).
- [7] 李宗来,宋兰合. 饮用水水质标准中农药指标的探讨[J]. 给水排水,2013,39(1):33-37.
- Li Zonglai, Song Lanhe. Discussion on pesticide index in drinking water quality standard[J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(1):33-37 (in Chinese).
- [8] 刘明辉,魏强,周昌鸿. 丹东市生活饮用水放射性监测分析[J]. 中国辐射卫生,2013,22(2):164-165.
- Liu Minghui, Wei Qiang, Zhou Changhong. Radioactivity monitoring analysis of drinking water in Dandong City [J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2013, 22(2):164-165 (in Chinese).
- [9] 徐振杰,陈禹存,黄丹. 2011年大连市生活饮用水放射性指标监测[J]. 环境与健康杂志,2011,29(9):776-776.
- Xu Zhenjie, Chen Yucun, Huang Dan. Test of radioactive index of drinking water in Dalian City in 2011[J]. Journal of Environmental and Health, 2011, 29(9):776-776 (in Chinese).



作者简介:彭宏熙(1992-),女,广东广州人,博士研究生,主要研究方向为管网水质及供水管道内微生物安全。

E-mail: penghongxi@zju.edu.cn

收稿日期:2017-09-17

科学防御水旱灾害,有效促进人水和谐