

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbtdqk.2020.0034

李建, 辛小康, 王超, 等. 南水北调中线输水水质标准研究[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2020, 18(2): 114-125. LI J, XIN X K, WANG C, et al. Study on water quality standards for the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(2): 114-125. (in Chinese)

## 南水北调中线输水水质标准研究

李建, 辛小康, 王超, 白凤朋

(长江水资源保护科学研究所, 武汉 430051)

**摘要:**《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)是当前南水北调中线水质监测评价的主要依据,但是该标准中部分指标与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)不衔接,导致供水和用水双方的水质信息无法充分共享。通过对比 3 部标准中水质指标和浓度限值的异同,结合南水北调中线水质特征,从水质标准衔接和水质从严管控的角度,初步拟定了南水北调中线输水水质标准,即以《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)为基础,提出将氨氮和粪大肠菌群等 21 项指标浓度限值调低,继续保留 pH 等 87 项指标的浓度限值,明确基本项目中总氮指标的质量浓度限值为 2 mg/L,增加浊度、叶绿素 a 和藻密度 3 项指标。

**关键词:**水质标准;标准衔接;南水北调中线

中图分类号:TV68;X824 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Study on water quality standards for the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project

LI Jian, XIN Xiaokang, WANG Chao, BAI Fengpeng

(Changjiang Water Resources Protection Institute, Wuhan 430051, China)

**Abstract:** "Environmental quality standards for surface water" (GB 3838-2002) is the main basis for the monitoring and evaluation of current water quality for Middle Route of South-to-North Water Transfer Project, but some of the indicators in this standard are not connected with "Standards for drinking water quality" (GB 5749-2006) and "Water Quality Standard for Urban Water Supply" (GB 5749-2006). The water quality information of the water supplier and the water user cannot be fully shared. By comparing the similarities and differences of the water quality indicators and the concentration limits among the three standards, and combined with the water quality characteristics of the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project, the water quality standard of the project was formulated from the perspective of water quality standard connection and strict control of water quality. Based on the "Environmental quality standards for surface water" (GB 3838-2002), the concentration limits of 21 indicators such as ammonia nitrogen and fecal coliforms were reduced, the concentration limits of 8 indicators such as pH are retained, the mass concentration limits of total nitrogen index was confirmed as 2 mg/L, and turbidity, chlorophyll-a, algae density three indicators were supplemented.

**Key words:** water quality standard; standard connection; the Middle Route of the South-to-North Water Transfer Project

南水北调中线干线总长 1 432 km (含天津干线), 连接长江、淮河、黄河、海河四大流域, 涉及京、津、冀、豫四省(直辖市), 承担着向北京、天津、石家庄、郑州等 130 余座大小城市供水的重要任务, 其供

收稿日期: 2019-07-12 修回日期: 2019-09-20 网络出版时间: 2019-09-27

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20190927.1418.010.html>

基金项目: 水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07108-001)

作者简介: 李建(1985—), 男, 山东临沂人, 高级工程师, 博士, 主要从事水资源保护研究。E-mail: lijian2750@foxmail.com

水、用水、退水水质管理涉及水利、生态环境、住建等部门,具有典型的跨区域、多部门特点。

目前,南水北调中线输水水质的监测主要依据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),而沿线水厂的水质监测检验则主要依据《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)和《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),水源供给部门与水厂用水之间的水质监测指标和评价标准存在不衔接的突出问题,供水和用水双方的水质信息无法充分共享<sup>[1]</sup>,导致水源部门对沿线水厂水质耐受性以及安全保障优先级信息掌握不足,降低了事故或风险状态下应对的针对性和有效性<sup>[2-3]</sup>,同时水厂用水部门也无法及时掌握中线工程的水质及预警信息,无法对水质变化、水污染事件提前启动应对措施,增加了处置成本<sup>[4-5]</sup>,降低了城市生活供水安全保障效率。

我国已颁布的与地表水饮用水水源水质有关的标准有4个,包括《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)和《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)2部国家标准,《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)和《生活饮用水水源水质标准》(CJ 3020—93)2部行业标准。其中,《生活饮用水水源水质标准》(CJ 3020—93)是唯一一部专门针对饮用水水源的水质标准,但是由于制定年代太久,早已满足不了新的饮用水水质标准的要求,在实际的水质监测和管理中很少被采用<sup>[6]</sup>。

目前,国际上最具权威性和代表性的饮用水水质标准包括世界卫生组织(WHO)颁布的《饮用水水质准则》、美国(USEPA)颁布的《美国饮用水水质标准》和欧盟(EC)实行的《饮用水水质指令》,其他国家或地区的饮用水水质标准通常以这3部标准为重要参考。WHO《饮用水水质准则》推荐的标准值不同于国家正式颁布的标准值,不具有立法约束力,不是限制性标准,但是该标准从保护人类健康出发,涵盖的项目基本体现了当前世界饮用水水质标准关注的重点及发展的趋势<sup>[7]</sup>。USEPA《美国饮用水水质标准》是在《安全饮用水法》的体系下制订、完善和执行的国家标准,具有立法约束力,该标准不仅涵盖了大量有机物指标,还强调了微生物对人体健康的危害风险<sup>[8]</sup>。EC《饮用水水质指令》的特点是指标项目少,但是限值严格,将污染物分为强制性和非强制性两类,欧盟各国可根据本国情况增加指标数<sup>[9-10]</sup>。我国水质标准总体上处于世界先进水平,许多限值都直接参考了发达国家或组织的水质基准或标准限值,其中有49种污染物的标准限值与美国及世界卫生组织的水质推荐值相同,对于邻苯二甲

酸二丁酯等国际十分关注的10种优先控制污染物,我国给定的水质标准限值更为严格。

与国外标准相比,我国水质标准也存在有些项目标准值过严、部分指标限值不合理、不同标准标龄过长和标准体系之间的衔接性不足等问题<sup>[11-18]</sup>。针对这些问题,国内学者开展了大量的研究工作,在加强微生物、消毒剂及其副产物、环境类抗生素等指标限值制定,开展水质基准研究,及时修订水质标准并加强标准体系之间的衔接等方面提出了相关建议<sup>[19-22]</sup>。目前,水质标准对比方面的研究多集中于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)和《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),对于《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)的关注相对较少。此外,对于水质标准与特殊水源地的适用性、地表水原水水质与水厂制水工艺的匹配性、富营养化指标限值等研究相对不足。

南水北调中线工程是一个巨型自流人工明渠接泵提暗管暗涵系统,也是一个超远距离的以渠道为主的饮用水水源地。国内外尚无专门针对渠道型水源地的水质标准,本研究通过对比分析现行饮用水标准中水质指标的协调性,结合南水北调中线输水水质现状,旨在提出适用于南水北调中线工程的输水水质标准,以期供水、用水部门的信息共享和水质高效管理提供技术支持。

## 1 水质标准对比

鉴于《生活饮用水水源水质标准》(CJ 3020—93)所含指标偏少(34项)、标准制定年代久远指标限制已不适应饮用水源保护新要求、实际应用较少等特点,本研究重点以《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)为基础,对比该标准与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)的异同。

《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),包括基本监测项目24项,集中式生活饮用水地表水源补充项目5项,集中式生活饮用水地表水源特定项目80项,总计109项。《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)包括常规监测项目38项,消毒剂常规指标4项,非常规指标64项,总计106项;《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)包括常规项目42项,非常规项目51项,共计93项。

### 1.1 共有指标对比

通过对比,《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)共有指标68项,与《城市供水水质标准》(CJ/T 206—

2005)共有指标 63 项。属于 3 部标准共有的指标共计 63 项,其中浓度限值相同的指标有 37 项。

《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)严于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)或《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)的指标共有 22

项,包括铅、挥发酚、氨氮、氰化物、砷、硫化物、粪大肠菌群、高锰酸盐指数(耗氧量)、pH、环氧氯丙烷、六氯苯、敌敌畏、锈去津(阿特拉津)、镉、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烯、1,4-二氯苯、二氯甲烷、果乐、三氯乙烯、四氯乙烯、2,4,6-三氯酚(表 1)。

表 1 GB 3838—2002 限值宽于 GB 5749—2006 或 CJ/T 206—2005 的指标

Tab. 1 GB 3838—2002 indicators concentration limits wider than the GB 5749—2006 or CJ/T 206—2005

					单位:mg/L
序号	指标	GB 3838—2002	GB 5749—2006	CJ/T 206—2005	备注
1	铅	0.05(Ⅲ类)	0.010	0.010	饮用水和城市供水标准相当于地表水Ⅰ类限值
2	挥发酚	0.005(Ⅲ类)	0.002	0.002	
3	氨氮	1(Ⅲ类)	0.500	0.500	饮用水和城市供水标准相当于地表水Ⅱ类限值
4	氰化物	0.2(Ⅲ类)	0.050	0.050	
5	砷	0.05(Ⅲ类)	0.010	0.010	
6	硫化物	0.2(Ⅲ类)	0.020	0.020	饮用水和城市供水标准值小于地表水Ⅰ类限值
7	粪大肠菌群	10 000(Ⅲ类)	不得检出	不得检出	
8	高锰酸盐指数(耗氧量)	6(Ⅲ类)	3	3	饮用水和城市供水标准值小于地表水Ⅱ类限值
9	pH(无量纲)	6~9	6.5~8.5	6.5~8.5	
10	环氧氯丙烷	0.020	0.000 4	0.000 4	
11	六氯苯	0.050	0.001 0	0.001 0	饮用水和城市供水标准值小于地表水标准限值
12	敌敌畏	0.050	0.001 0	0.001 0	
13	锈去津(阿特拉津)	0.003	0.002 0	0.002 0	
14	镉	0.005	0.005 0	0.003 0	
15	1,1-二氯乙烯	0.030	0.030 0	0.007 0	
16	1,2-二氯乙烯	0.030	0.030 0	0.005 0	
17	1,4-二氯苯	0.300	0.300 0	0.075 0	
18	二氯甲烷	0.020	0.020 0	0.005 0	地表水标准与饮用水标准相同,且高于城市供水标准值
19	果乐	0.080	0.080 0	0.020 0	
20	三氯乙烯	0.070	0.070 0	0.005 0	
21	四氯乙烯	0.040	0.040 0	0.005 0	
22	2,4,6-三氯酚	0.200	0.200 0	0.010 0	

《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)严于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)或《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)的指标共有 5 项,包括阴离子合成洗涤剂、汞、苯并芘、甲基对硫磷、马拉硫磷(表 2)。

《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)、《生

活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)中质量浓度限值相同的指标共有 37 项。此外,《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)还有 4 项质量浓度限值与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)相同,但《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)未涉及的指标(表 3)。

表 2 GB 3838—2002 限值严于 GB 5749—2006 或 CJ/T 206—2005 的指标

Tab. 2 GB 3838—2002 indicators concentration limits stricter than the GB 5749—2006 or CJ/T 206—2005

					单位:mg/L
序号	指标	GB 3838—2002	GB 5749—2006	CJ/T 206—2005	
1	阴离子合成洗涤剂	0.2(Ⅲ类)	0.300 00	0.300 00	
2	汞	0.0001(Ⅲ类)	0.001 00	0.001 00	
3	苯并芘	$2.8 \times 10^{-6}$	0.000 01	0.000 01	
4	甲基对硫磷	0.002	0.020 00	0.010 00	
5	马拉硫磷	0.050	0.250 00		

表 3 GB 3838—2002 限值与 GB 5749—2006 和 CJ/T 206—2005 相同的指标

Tab. 3 GB 3838-2002 indicators concentration limits have the same limits as in GB 5749-2006 or CJ/T 206—2005

单位:mg/L

序号	指标	GB 3838—2002	GB 5749—2006	CJ/T 206—2005	序号	指标	GB 3838—2002	GB 5749—2006	CJ/T 206—2005
1	铜	1(Ⅲ类)	1	1	22	硼	0.5	0.5	0.5
2	锌	1(Ⅲ类)	1	1	23	铍	0.002	0.002	0.002
3	氟化物	1(Ⅲ类)	1	1	24	三氯苯	0.02	0.02	0.02
4	硒	0.01(Ⅲ类)	0.01	0.01	25	三氯甲烷	0.06	0.06	0.06
5	六价铬	0.05(Ⅲ类)	0.05	0.05	26	铊	0.0001	0.0001	0.0001
6	1,2-二氯苯	1	1	1	27	铈	0.005	0.005	0.005
7	1,2-二氯乙 烯	0.05	0.05	0.05	28	微囊藻毒素	0.001	0.001	0.001
8	钡	0.7	0.7	0.7	29	五氯酚	0.009	0.009	0.009
9	苯	0.01	0.01	0.01	30	氯乙烯	0.005	0.005	0.005
10	苯乙烯	0.02	0.02	0.02	31	硫酸盐	250	250	250
11	丙烯酰胺	0.0005	0.0005	0.0005	32	氯化物	250	250	250
12	滴滴涕	0.001	0.001	0.001	33	硝酸盐	10	10	10(特殊情况≤20)
13	对硫磷	0.003	0.003	0.003	34	铁	0.3	0.3	0.3
14	二甲苯	0.5	0.5	0.5	35	锰	0.1	0.1	0.1
15	甲苯	0.7	0.7	0.7	36	溴氰菊酯	0.02	0.02	0.02
16	甲醛	0.9	0.9	0.9	37	乙苯	0.3	0.3	0.3
17	邻苯二甲酸二酯	0.008	0.008	0.008	38	百菌清	0.01	0.01	
18	林丹	0.002	0.002	0.002	39	六氯丁二烯	0.0006	0.0006	未涉 及
19	氯苯	0.3	0.3	0.3	40	三氯乙醛	0.01	0.01	
20	钼	0.07	0.07	0.07	41	三溴甲烷	0.1	0.1	
21	镍	0.02	0.02	0.02					

总体来看,3部标准中除了阴离子合成洗涤剂、汞、苯并芘、甲基对硫磷4项指标外,《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)更为严格,其规定的大部分指标浓度达到或优于地表水Ⅱ类。目前,南水北调中线水质管理目标为地表水Ⅲ类,与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)还存在部分差距。南水北调中线工程通水后,总干渠的实际水质监测结果表明,除高锰酸盐指数等个别指标外,其余指标全部满足地表水Ⅰ类标准,这为南水北调水质标准与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)的衔接提供了可行性。

### 1.2 非共有指标对比

除了上述共有指标外,《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中还规定了水温、溶解氧、化学需氧量、五日生化需氧量、总磷、总氮和石油类7项常规项目,以及34项集中式生活饮用水地表水特定项目。《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)还规定了

38项和30项其他指标,其中耐热大肠菌群、氯气及游离氯制剂(余氯)、色度、嗅和味、浑浊度、肉眼可见物、铝、总硬度、溶解性总固体、四氯化碳、亚氯酸盐、溴酸盐、总α放射性、总β放射性、贾第鞭毛虫、隐孢子虫、钠、银、2,4-滴、细菌总数、1,1,1-三氯乙烷、三卤甲烷等22项指标是《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)中共有的,但是《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中没有的指标(表4)。

## 2 中线水质多标准评价

在《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)共有的63项指标中,重点针对浓度限值标准不一致的指标,对中线2015—2017年各月典型指标实测数据进行分析,评价中线水质在不同评价标准中的总体水平。

南水北调中线总干渠水质监测指标包括水温、pH值、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷、总氮、铜、锌、氟化物、硒、砷、汞、镉、六价铬、铅、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子

表 4 GB 3838—2002 限值与 GB 5749—2006 和 CJ/T 206—2005 非共有的指标

Tab. 4 Water quality indicators in GB 3838—2002 are not the same as in GB 5749—2006 and CJ/T 206—2005

水质标准	非共有指标
GB 3838—2002 (41 项)	水温、溶解氧、化学需氧量、五日生化需氧量、总磷、总氮、石油类、2,4,6-三硝基甲苯、2,4-二氯苯酚、2,4-二硝基甲苯、2,4-二硝基氯苯、苯胺、吡啶、丙烯腈、丙烯醛、敌百虫、丁基黄原酸、多氯联苯、二硝基苯、钒、钴、环氧七氯、黄磷、活性氯、甲基汞、甲萘威、苦味酸、联苯胺、邻苯二甲酸二丁酯、氯丁二烯、内吸磷、水合肼、四氯苯、四氯甲烷、四乙基铅、松节油、钛、硝基苯、硝基氯苯、乙醛、异丙苯
GB 5749—2006 (38 项)	耐热大肠菌群、氯气及游离氯制剂、色度、臭和味、浑浊度、肉眼可见物、铝、总硬度、溶解性总固体、四氯化碳、亚氯酸盐、溴酸盐、总 $\beta$ 放射性、贾第鞭毛虫、隐孢子虫、钠、银、2,4-滴、菌落总数、总 $\alpha$ 放射性、1,1,1-三氯乙烷、三卤甲烷、大肠埃希菌群、氯酸盐、臭氧、二氧化氯、一氯胺、三氯乙酸、草甘膦、毒死蜱、二氯一溴甲烷、二氯乙酸、呋喃丹、六六六、氯化氰、灭草松、七氯、一氯二溴甲烷
CJ/T 206—2005 (30 项)	耐热大肠菌群、氯气及游离氯制剂、色度、臭和味、浑浊度、肉眼可见物、铝、总硬度、溶解性总固体、四氯化碳、亚氯酸盐、溴酸盐、总 $\beta$ 放射性、贾第鞭毛虫、隐孢子虫、钠、银、2,4-滴、菌落总数、总 $\alpha$ 放射性、1,1,1-三氯乙烷、三卤甲烷、多环芳烃(总量)、卤乙酸(总量)、二氧化氯(使用二氧化氯消毒剂时测定)、粪型链球菌群、氯酚(总量)、TOC、甲胺磷、1,1,2-三氯乙烷

表明活性剂、硫化物、粪大肠菌群和硫酸盐共计 25 项。其中, pH、高锰酸盐指数(耗氧量)、氨氮、砷、铅、氰化物、挥发酚、硫化物、阴离子表面活性剂、粪大肠菌群 10 项指标在《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)质量浓度限值相同,但是与《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)不同,属于标准不一致的指标。南水北调中线 30 个水质监测断面中,在临近渠首(陶岔)、渠中(郑湾)、渠尾(惠南庄)各选取一个代表段面,对 2015—2017 年每月水质监测结果按照不同标准进行分析评价,结果见图 1。

评价结果显示,高锰酸盐指数(耗氧量)、氨氮、砷、铅、氰化物、挥发酚、硫化物、阴离子表面活性剂等 8 项指标均符合《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)规定的Ⅲ类水标准和《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)、《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)规定的质量浓度限值。pH 值虽然符合《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)规定的 6~9 的范围,但是 pH 值呈弱碱性,有些月份超过了《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)规定的 6.5~8.5 的范围。粪大肠菌群数量基本符合《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)规定的Ⅰ类水标准,但是在《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)中规定粪大肠菌群不得检出,因此中线总干渠粪大肠菌群指标无法满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)的要求。

然而,地表水与生活饮用水功能不同,总干渠主要为水厂提供合格的原水,《生活饮用水卫生标准》

(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)重点针对的是水厂的出厂水质,若要求地表水原水中粪大肠杆菌不得检出显然过于严格,总干渠原水中 pH 值偏高主要受丹江口水库水质背景影响。

### 3 基于多部门衔接的中线输水水质标准

#### 3.1 标准拟定原则

以《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)为基础,遵循从严管理原则,适当调整部分指标浓度限值,使之与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)相衔接。重点调整氨氮、铅、氰化物、挥发酚、高锰酸盐指数、砷、硫化物等在《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)中规定更为严格的指标。

对于 pH、粪大肠菌群等易于在制水工艺中进行处理的指标,在综合考虑南水北调中线原水实际情况和水厂制水工艺基础上,确定其质量浓度标准。

对于 3 部标准中非共有指标,除总氮外,仍然采用《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)作为供水水质标准。

针对中线输水过程中的典型问题,适当增加监测和评价指标。例如,基于中线总干渠藻类增殖及冬春季节低温低浊等问题,对沿线水厂正常运行产生影响,建议增加叶绿素 a 和浑浊度等项目。

#### 3.2 浓度限值调低的 21 项指标

将氨氮、铅、氰化物、挥发酚 4 项指标浓度限值由Ⅲ类调整为Ⅱ类。这 4 项指标在《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中管理目标为Ⅲ类,但是《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供

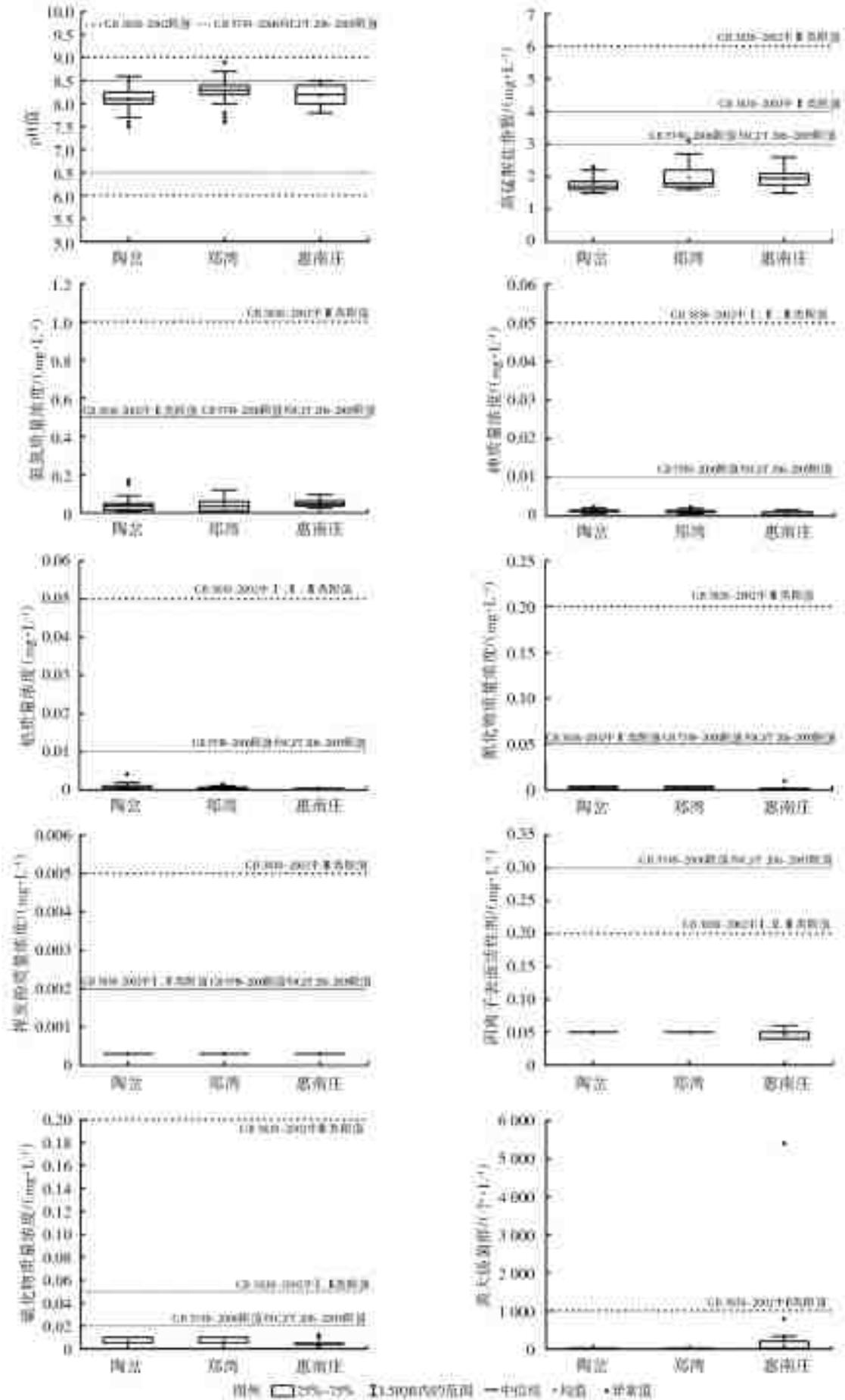


图 1 总干渠典型断面 2015—2017 年水质评价结果

Fig. 1 Water quality evaluation results at typical section for 2015 to 2017

水水质标准》(CJ/T 206—2005)中限值相当于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅱ类。结合南水北调中线水质实际情况看,这 4 项指标目前全部优于Ⅰ类浓度限值,因此将其质量浓度限值调低。

将高锰酸盐指数、砷、硫化物 3 项指标质量浓度限值调低至《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)规定的质量浓度限值。这 3 项指标在《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)中的质量浓度限值优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)规定的Ⅱ类、甚至Ⅰ类质量浓度限值。结合南水北调中线水质实际情况看,这 3 项指标目前全部优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005),因此将也将其质量浓度限值调低。

将环氧氯丙烷、六氯苯、敌敌畏和阿特拉津 4 项指标质量浓度限值调低,使其与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)相衔接。《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)中环氧氯丙烷、六氯苯、敌敌畏和阿特拉津 4 项指标质量浓度限值明显严于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)规定,因此将其调低。

将镉、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、1,4-二氯苯、二氯甲烷、果乐、三氯乙烯、四氯乙烯、2,4,6-三氯酚 9 项指标质量浓度限值调低,使其与《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)相衔接。《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)和《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中关于这 9 项指标的质量浓度限值相同,但是低于《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005),故将 9 项指标质量浓度限值调低。

将粪大肠菌群指标从地表水Ⅲ类( $\leq 10\ 000$ 个/L)目标调整为类Ⅱ( $\leq 2\ 000$ 个/L)。从近 3 年实际监测情况看,中线总干渠粪大肠菌群数量一般情况下 $< 20$ 个/L,末端惠南庄、团城湖等个别断面在少数几个月份出现过超 100 个/L。为了中线水质评价更符合一般性水源地水质要求,本研究建议将粪大肠菌群指标由地表水Ⅲ类( $\leq 10\ 000$ 个/L)目标提升至类Ⅱ( $\leq 2\ 000$ 个/L)。

### 3.3 继续保留现行浓度限值的 87 项指标

继续保留阴离子表面活性剂、汞、苯并芘、马拉硫磷和甲基对硫磷 5 项指标的质量浓度限值作为中线供水标准。由于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中阴离子表面活性剂Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类限值均为 0.2 mg/L,严于《生活饮用水卫生标准》(GB

5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)要求的 $\leq 0.3$  mg/L 的要求。汞的地表水Ⅲ类限值为 0.0001 mg/L 比《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)低了一个数量级,因此这 2 项指标继续以《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅲ类限值作为标准。苯并芘和甲基对硫磷在《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的限值明显严于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)规定,马拉硫磷在《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的限值明显严于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)规定,因此苯并芘、马拉硫磷和甲基对硫磷这 3 项指标也继续以《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的限值作为供水标准。

继续保留《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)规定的 pH 值 6~9 范围作为供水水质标准。南水北调中线水质 pH 偏高,从近 3 年监测情况看,均值在 8.0 以上,有些月份高于 8.5,突破了《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)规定的 6.5~8.5 的范围。考虑到南水北调中线水质 pH 背景值偏高,而该项指标对于水厂供水安全影响较小,且易于处理,本研究暂时保留 pH 值 6~9 范围作为供水水质标准。

继续保留与《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)中质量浓度限值相同的 37 项指标作为中线供水标准,包括铜、锌、氟化物、硒、六价铬、1,2-二氯苯、1,2-二氯乙烯、钡、苯、苯乙烯、丙烯酰胺、滴滴涕、对硫磷、二甲苯、甲苯、甲醛、邻苯二甲酸二酯、林丹、氯苯、钼、镍、硼、铍、三氯苯、三氯甲烷、铊、铋、微囊藻毒素、五氯酚、氯乙烯、硫酸盐、氯化物、硝酸盐、铁、锰、溴氰菊酯、乙苯;继续保留百菌清、六氯丁二烯、三氯乙醛、三溴甲烷 4 项《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中质量浓度限值相同的指标作为中线供水标准。

继续保留《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)中没有、但在《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中有限值规定的其余 40 项(不含总氮)指标浓度作为中线供水标准,包括水温、溶解氧、化学需氧量、五日生化需氧量、总磷、石油类、2,4,6-三硝基甲苯、2,4-二氯苯酚、2,4-二硝基甲苯、2,4-二硝基氯苯、苯胺、吡啶、丙烯腈、丙烯醛、敌百虫、丁基黄原

酸、多氯联苯、二硝基苯、钒、钴、环氧七氯、黄磷、活性氯、甲基汞、甲萘威、苦味酸、联苯胺、邻苯二甲酸二丁酯、氯丁二烯、内吸磷、水合肼、四氯苯、四氯甲烷、四乙基铅、松节油、钛、硝基苯、硝基氯苯、乙醛、异丙苯。

### 3.4 新增浓度限值的 1 项指标

继续保留基本项目中总氮指标,新增质量浓度限值为 2 mg/L。水体中的总氮主要由氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮等无机氮和蛋白质、氨基酸、有机胺等有机氮组成<sup>[23]</sup>,是反映水体富营养化的重要指标。《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)只对湖库水体的总氮进行了限值规定,对河流总氮没有明确规定。在实际情况中,河流总氮一般不参与水质评价,中线总干渠水质评价中也没有计入总氮指标,而《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)没有对总氮进行规定。从中线总干渠近 3 年水质监测情况看,总氮浓度不超过 2 mg/L。目前,南水北调中线总干渠生态系统还处于初级动态演化阶段,是一种非稳态形势,有必要密切关注中线水质中总氮指标的变化。当前南水北调中线水质保护的重要目标之一就是维持总氮指标浓度不升高。鉴于上述情况,将总氮指标质量浓度限值确定为 2 mg/L。

### 3.5 新增的 3 项指标

在基本项目中增加浑浊度指标。南水北调中线水质在冬春季节存在低温低浊的问题,浊度过低也会影响水厂的处理工艺。行业内将温度低于 10 ℃、浊度低于 30 NTU 的地表水称为低温低浊水。低浊度水中的杂质,以溶于水中的细小胶体分散体系为主,而且胶体的颗粒粒径均匀,动力学稳定性很强,同时胶粒表面的负电荷也较少,为了达到电性中和需要的混凝剂也少,形成的絮体细小、质轻、疏松,沉降性很差,容易穿透滤层,从而增加了去除的难度<sup>[24]</sup>。低浊度水存在混凝剂投加量少脱稳效果差,增大投药量效果改善不明显等问题,不仅增加了制水成本,而且增加投药量过多消耗了水中的碱度等一系列难处理的特点,给水厂安全稳定运行造成很大威胁<sup>[25-26]</sup>,因此建议中线水质增加浑浊度指标的监测与评价。我国北方地区冬季水体水温降至 0~2 ℃,浊度在 10~30 NTU,甚至低于 10 NTU。在南方,冬季水温一般为 3~7 ℃,浊度在 20~30 NTU。鉴于我国南北方水体浊度的基本情况,将南水北调中线水质中浑浊度指标上限定为 30 NTU。由于浑浊度主要受水质背景

影响,难以制定其下限值。

在基本项目中增加叶绿素 a 指标。根据南水北调中线水厂调研情况,当每升水中浮游藻类密度达到 10<sup>7</sup> cell/L 数量级时,浮游藻类会影响混凝过程、堵塞水厂滤池,影响水厂正常制水<sup>[27-29]</sup>。叶绿素 a 指标在一定程度上可以反映水体中藻密度情况。根据 2015 年中线通水初期水质中叶绿素 a 与藻密度关系,当叶绿素 a 达到 10 mg/L 左右时,藻密度达到 10<sup>7</sup> cell/L 数量级<sup>[30]</sup>,建议中线输水水质叶绿素 a 指标浓度限值确定为 ≤10 mg/L。

在补充项目中增加藻密度指标。浮游藻类的生长演替是一个复杂的过程,与总氮、总磷、温度、光照、流速等条件有关,优势种群随季节、地理位置等因素而变化,为了准确掌握中线总干渠藻类情况,建议在补充项目中增加藻密度指标,使其与叶绿素 a 指标形成对照。根据藻类生长演替规律,在春秋等高发季节开展藻密度同步监测。

基于多部门衔接的南水北调中线输水水质标准,见表 5 至 7。

## 4 结 论

通过对比《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005),结合南水北调中线水质特点,从水质标准衔接和水质从严管控的角度,拟定了南水北调中线输水水质标准,主要结论如下。

(1)《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)共有指标 68 项,与《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)共有指标 63 项。属于 3 部标准共有的指标共计 63 项,其中浓度限值相同的指标有 37 项,这为南水北调水质标准与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)的衔接提供了可行性。

(2)基于从严管控等原则,将氨氮、铅、氰化物、挥发酚、高锰酸盐指数、砷、硫化物、环氧氯丙烷、六氯苯、敌敌畏、阿特拉津、镉、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、1,4-二氯苯、二氯甲烷、果乐、三氯乙烯、四氯乙烯、2,4,6-三氯酚等 20 项指标浓度限值调低,与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)相衔接;将粪大肠菌群指标从地表水Ⅲ类(≤10 000 个/L)目标调整为类Ⅱ(≤2 000 个/L)。

(3)继续保留 3 部标准共有且浓度限值相同的

表 5 南水北调中线输水水质标准基本项目标准限值

Tab. 5 Water quality standards of basic indices in the Middle Route of the South to North Water Transfer Project

编号	指标	限值	调整前	备注
1	水温/℃	无限值		非共有指标,继续保留
2	溶解氧	5		非共有指标,继续保留
3	pH 值(无量纲)	6~9		受原水背景限制,继续维持
4	高锰酸盐指数	3	6	优于 I、II 类,与 GB 5749—2006 和 CJ/T 206—2005 对接
5	化学需氧量	20		非共有指标,继续保留
6	五日生化需氧量	4		非共有指标,继续保留
7	氨氮	0.5	1	由 III 类调整为 II 类,与 GB 5749—2006 和 CJ/T 206—2005 对接
8	总氮	2		根据近 3 年总氮监测情况确定
9	总磷	0.2		非共有指标,继续保留
10	铜	1		共有指标,限值一致
11	锌	1		共有指标,限值一致
12	氟化物(以 F <sup>-</sup> 计)	1		共有指标,限值一致
13	硒	0.01		共有指标,限值一致
14	砷	0.01	0.05	优于 I、II 类,与 GB 5749—2006 和 CJ/T 206—2005 对接
15	汞	1E-04		低于 GB 5749—2006 和 CJ/T 206—2005,继续保留
16	镉	0.003	0.005	与 GB 5749—2006 相同,但低于 CJ/T 206—2005,取最严格标准
17	铬(六价)	0.05		共有指标,限值一致
18	铅	0.01	0.05	由 III 类调整为 II 类,与 GB 5749—2006 和 CJ/T 206—2005 对接
19	氰化物	0.05	0.2	由 III 类调整为 II 类,与 GB 5749—2006 和 CJ/T 206—2005 对接
20	挥发酚	0.002	0.005	由 III 类调整为 II 类,与 GB 5749—2006 和 CJ/T 206—2005 对接
21	石油类	0.05		非共有指标,继续保留
22	阴离子表面活性剂	0.2		低于 GB 5749—2006 和 CJ/T 206—2005,继续保留
23	硫化物	0.02	0.2	优于 I、II 类,与 GB 5749—2006 和 CJ/T 206—2005 对接
24	粪大肠菌群/(个·L <sup>-1</sup> )	2 000	10 000	由 III 类调整为 II 类
25	叶绿素 a/(μg·L <sup>-1</sup> )	10	无此指数	新增指标
26	浑浊度/NTU	30	无此指数	新增指标

注:指标单位除单独标注外,其余均为 mg/L;“调整前”没有数据的表示限值没变化,不再列入。

表 6 南水北调中线输水水质标准补充项目标准限值

Tab. 6 Water quality standards of supplementary indicators in the Middle Route of the South to North Water Transfer Project

编号	指标	限值	调整前	备注
27	硫酸盐(以 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 计)/(mg·L <sup>-1</sup> )	250		共有指标,限值一致
28	氯化物(以 Cl <sup>-</sup> 计)/(mg·L <sup>-1</sup> )	250		共有指标,限值一致
29	硝酸盐(以 N 计)/(mg·L <sup>-1</sup> )	10		共有指标,限值一致
30	铁/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.3		共有指标,限值一致
31	锰/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.1		共有指标,限值一致
32	藻密度(cell·L <sup>-1</sup> )	10 <sup>7</sup>	无此指标	水华发生的藻密度临界值

37 项指标;继续保留百菌清、六氯丁二烯、三氯乙烯、三溴甲烷 4 项与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)相同的指标浓度限值;继续保留阴离子表面活性剂、汞、苯并芘、马拉硫磷和甲基对硫磷 5 项严于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)的指标;继续保留受原水背景影响的 pH 值指标浓度限值;继续保留《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和

《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)中没有、但在《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中有限值规定的其余 40 项指标浓度作为中线供水标准;继续保留基本项目中的总氮指标,并根据近 3 年监测情况确定其浓度限值为 2 mg/L。

(4) 针对中线水质冬春季节低温低浊和藻类增殖等问题,在基本项目中增加浑浊度、叶绿素 a 指标,在补充项目中增加藻密度指标。

表 7 南水北调中线输水水质标准特定项目标准限值

Tab. 7 Water quality standards of specific indicators in the Middle Route of the South to North Water Transfer Project

单位:mg/L									
编号	指标	限值	调整前	备注	编号	指标	限值	调整前	备注
33	环氧氯丙烷	0.000 4	0.02	调低	73	五氯酚	0.009		
34	六氯苯	0.001	0.05	调低	74	2,4,6-三氯苯酚	0.01	0.2	调低
35	马拉硫磷	0.05			75	氯乙烯	0.005		
36	苯并芘	$2.8 \times 10^{-6}$			76	溴氰菊酯	0.02		
37	敌敌畏	0.001	0.05	调低	77	乙苯	0.3		
38	甲基对硫磷	0.002			78	2,4,6-三硝基甲苯	0.5		
39	1,1-二氯乙烯	0.007	0.03	调低	79	2,4-二氯苯酚	0.093		
40	1,2-二氯苯	1			80	2,4-二硝基甲苯	0.000 3		
41	1,2-二氯乙烷	0.005	0.03	调低	81	2,4-二硝基氯苯	0.5		
42	1,2-二氯乙烯	0.05			82	阿特拉津	0.002	0.003	调低
43	1,4-二氯苯	0.075	0.3	调低	83	苯胺	0.1		
44	百菌清	0.01			84	吡啶	0.2		
45	钡	0.7			85	丙烯腈	0.1		
46	苯	0.01			86	丙烯醛	0.1		
47	苯乙烯	0.02			87	敌百虫	0.05		
48	丙烯酰胺	0.000 5			88	丁基黄原酸	0.005		
49	滴滴涕	0.001			89	多氯联苯	$2.0 \times 10^{-5}$		
50	对硫磷	0.003			90	二硝基苯	0.5		
51	二甲苯	0.5			91	钒	0.05		
52	二氯甲烷	0.005	0.02	调低	92	钴	1		
53	甲苯	0.7			93	环氧七氯	0.000 2		
54	甲醛	0.9			94	黄磷	0.003		
55	乐果	0.02	0.08	调低	95	活性氯	0.01		
56	邻苯二甲酸二酯	0.008			96	甲基汞	$1.0 \times 10^{-6}$		
57	林丹	0.002			97	甲萘威	0.05		
58	六氯丁二烯	0.000 6			98	苦味酸	0.5		
59	氯苯	0.3			99	联苯胺	0.000 2		
60	钼	0.07			100	邻苯二甲酸二丁酯	0.003		
61	镍	0.02			101	氯丁二烯	0.002		
62	硼	0.5			102	内吸磷	0.03		
63	铍	0.002			103	水合肼	0.01		
64	三氯苯	0.02			104	四氯苯	0.02		
65	三氯甲烷	0.06			105	四氯甲烷	0.002		
66	三氯乙醛	0.01			106	四乙基铅	0.000 1		
67	三氯乙烯	0.005	0.07	调低	107	松节油	0.2		
68	三溴甲烷	0.1			108	钛	0.1		
69	四氯乙烯	0.005	0.04	调低	109	硝基苯	0.017		
70	铊	0.000 1			110	硝基氯苯	0.05		
71	铈	0.005			111	乙醛	0.05		
72	微囊藻毒素	0.001			112	异丙苯	0.25		

参考文献(References):

[1] 王浩,雷晓辉,尚毅梓. 南水北调中线工程智能调控与应急调度关键技术[J]. 南水北调与水利科技,2017,15(2): 1-8. (WANG H, LEI X H, SHANG Y Z. Key technologies of intelligent control and emergency regulation for the Middle Route of South-to-North Water Diversion Project[J]. South-to-North Water Transfers and Water

Science & Technology,2017,15(2):1-8. (in Chinese)) DOI:10.13476/j.cnki.nsbdqk.2017.02.001.

[2] 杨星,崔巍,穆祥鹏,等. 南水北调中线总干渠Ⅲ级水污染应急处置水力调控方案研究[J]. 南水北调与水利科技,2018,16(2):21-28. (YANG X,CUI W,MU X P, et al. Study on hydraulic regulation of level III emergency water pollution in Middle Route of South-to-North Water Transfer Project [J]. South-to-North Water

- Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16 (2): 21-28. (in Chinese)) DOI: 10. 13476/j. cnki. nsbdqk. 2018. 0034.
- [3] 房彦梅, 张大伟, 雷晓辉, 等. 南水北调中线干渠突发水污染事故应急控制策略[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(2): 133-136. (FANG Y M, ZHANG D W, LEI X H, et al. Emergency control strategy for sudden water pollution accident in the main channel of Middle Route of South-to-North Water Diversion Project[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(2): 133-136. (in Chinese)) DOI: 10. 13476/j. cnki. nsbdqk. 2014. 02. 031.
- [4] 林明利, 张全, 李宗来, 等. 南水北调中线输水水质水量变化特征及城市供水应对措施建议[J]. 给水排水, 2016, 42(4): 9-13. (LIN M L, ZHANG Q, LI Z L, et al. Characteristics of the variance of the water quality and quantity in the middle route of South-to-North Water Diversion Project and corresponding measures for urban water supply [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(4): 9-13. (in Chinese)) DOI: 10. 13789/j. cnki. ww1964. 2016. 0108.
- [5] 唐涛, 张锐, 杨明哲. 南水北调受水区水厂概况及特点[J]. 河南水利与南水北调, 2018, 47(10): 79-81. (TANG T, ZHANG R, YANG M Z. Overview and characteristics of water plants in the South-to-North Water Transfer Project[J]. Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion, 2018, 47(10): 79-81. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1673-8853. 2018. 10. 038.
- [6] 王然, 王研, 唐克旺. 国内外饮用水水源地保护规范研究综述[J]. 中国标准化, 2012(8): 105-110. (WANG R, WANG Y, TANG K W. Research on standards for drinking water sources protection at home and abroad [J]. China Standardization, 2012, (8): 105-110. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-5944. 2012. 08. 025.
- [7] WHO (World Health Organization). Guidelines for drinking-water quantity (4th ed.) [S]. World Health Organization, 2005.
- [8] USEPA. National recommended water quality criteria [R]. Office of Science and Technology(US), 2002.
- [9] EC(European Commission). Council directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption[S]. 1998.
- [10] United Nations Environment Programme. Global drinking water quality index development and sensitivity analysis report[R]. 2007.
- [11] 石秋池. 欧盟水框架指令及其执行情况[J]. 中国水利, 2005(22): 65-66. (SHI Q C. EU water framework directive and its implementation [J]. China Water Resources, 2005, (22): 65-66. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1123. 2005. 22. 023.
- [12] 郑丙辉, 刘琰. 饮用水源地水环境质量标准问题与建议[J]. 环境保护, 2007(1b): 26-29. (ZHENG B H, LIU Y. The problems and suggestions on water quality index system of drinking water sources[J]. Environmental Protection, 2007(1b): 26-29. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 0253-9705. 2007. 02. 009.
- [13] 沙健, 朱倩, 朱兴旺, 等. 国外饮用水管理体系研究及我国饮用水水源地水质标准完善建议[A]. 中国环境科学学会. 中国环境科学学会 2009 年学术年会论文集(第一卷)[C]. 中国环境科学学会: 中国环境科学学会, 2009: 6. (SHA J, ZHU Q, ZHU X W, et al. Research on Foreign Drinking Water Management System and Suggestions for Improving Water Quality Standards for Drinking Water Sources in China[C]. Proceedings of the 2009 Annual Conference of the Chinese Society of Environmental Sciences (Volume D), 2009: 6. (in Chinese))
- [14] 李会仙, 吴丰昌, 陈艳卿, 等. 我国水质标准与国外水质标准/基准的对比分析[J]. 中国给水排水, 2012, 28(8): 15-18. (LI H X, WU F C, CHEN Y Q, et al. Comparative analysis on Chinese water quality standards and foreign water quality standards/criteria[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(8): 15-18. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-4602. 2012. 08. 004.
- [15] 席北斗, 霍守亮, 陈奇, 等. 美国水质标准体系及其对我国水环境保护的启示[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(5): 100-103, 120. (XI B D, HUO S L, CHEN Q, et al. U. S Water quality standard System and its revelation for China[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(5): 100-103, 120. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1003-6504. 2011. 05. 023.
- [16] 陈平, 朱冬梅, 程洁. 日本地表水环境质量标准体系形成历程及启示[J]. 环境与可持续发展, 2012, 37(2): 76-83. (CHEN P, ZHU D M, CHENG J. The formation process and enlightenment of Japan's surface water environmental quality standard system[J]. Environment and Sustainable Development, 2012, 37(2): 76-83. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1673-288X. 2012. 02. 015.
- [17] 王中卫, 李哲民. 中外饮用水水质标准的微生物指标比较[J]. 环境监测管理与技术, 2012, 24(1): 70-74. (WANG Z W, LI Z M. Comparison of microbial items for drinking water quality standards between China and some other countries [J]. Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2012, 24(1): 70-74. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1006-2009. 2012. 01. 018.

- [18] 侯俊,王超,吉栋梁.我国饮用水水源水质标准的现状及建议[J].中国给水排水,2007,23(20):103-106. (HOU J, WANG C, JI D L. Present status and suggestions on water quality standard for drinking water sources in China [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(20): 103-106. (in Chinese)) DOI:10.3321/j.issn:1000-4602.2007.20.027.
- [19] 仇茂龙,刘玲花,邹晓雯,等.国内外水源地下水水质评价标准与评价方法的比较[J].中国水利水电科学研究院学报,2013,11(3):176-182. (QIU M L, LIU L H, ZOU X W, et al. Comparison of source water quality standards and evaluation methods between China and some developed countries[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2013, 11(3): 176-182. (in Chinese)) DOI:10.3969/j.issn.1672-3031.2013.03.003.
- [20] 马焜,李梦洁,陈志平.国内外饮用水标准比较及对我国未来水质标准的思考[J].中国给水排水,2016(10):11-14. (MA B, LI M J, CHEN Z P. Comparison between domestic and international drinking water standards and thinking about future development of China's water quality standards[J]. China Water & Wastewater, 2016(10): 11-14. (in Chinese)) DOI:10.3321/j.issn:1000-4602.2016.10.0011.
- [21] 夏凡,胡圣,杨旭光.完善我国饮用水水源地下水水质指标体系的思考[J].人民长江,2016,47(17):12-14. (XIA F, HU S, YANG X G. Consideration on improvement of water quality index system of drinking water sources in China[J]. Yangtze River, 2016, 47(17): 12-14. (in Chinese)) DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2016.17.003.
- [22] 王研,唐克旺,翁建华,等.饮用水水源地下水水质标准研究[J].中国标准化,2014,(3):70-74. (WANG Y, TANG K W, WENG J H. Research on water quality standards of drinking water sources[J]. China Standardization, 2014, (3): 70-74. (in Chinese)) DOI:10.3969/j.issn.1002-5944.2014.03.007.
- [23] 陈迪,刘金吉.关于《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)应修订的相关问题探讨[J].污染防治技术,2013(2):79-84. (CHEN D, LIU J J. Study on relevant issues concerning the revision of environmental quality standard for surface water(GB 3838-2002)[J]. Pollution control technology, 2013(2): 79-84. (in Chinese)) DOI: CNKI;SUN;WRFZ.0.2013-02-032.
- [24] 汪志永,戴红玲,周政,等.低温低浊水处理技术的研究与应用[J].水处理技术,2016(10):20-24. (WANG Z Y, DAI H L, ZHOU Z, et al. Research and Application of low temperature and low turbidity water treatment technology[J]. Technology of Water Treatment, 2016(10): 20-24. (in Chinese)) DOI: 10.16796/j.cnki.1000-3770.2016.10.005.
- [25] 韩珀,沙净,周全,等.南水北调中线受水城市水源切换主要风险及关键应对技术[J].给水排水,2016,42(4):14-17. (HAN B, SHA J, ZHOU Q, et al. Major risks of water source switch in the target cities of South-to-North Water Diversion Project and corresponding key measures[J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(4): 14-17. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1002-8471.2016.04.003.
- [26] 张炯.北京市南水北调配套水厂工艺运行分析与适应性评价[J].给水排水,2014,50(11):9-14. (ZHANG J. Process operation analysis and adaptability evaluation of Beijing South-North Water Transfer Project[J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 50(11): 9-14. (in Chinese)) DOI:10.13789/j.wwel964.2014.0320.
- [27] 林明利.南水北调中线原水风险及供水安全应对建议[J].给水排水,2017,43(3):9-13. (LIN Ming-li. Suggestions on raw water risk and water supply safety in the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(3): 9-13. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1002-8471.03.002.
- [28] 海涛,沙净,康雅.南水北调通水后原水藻类变化对供水系统的影响[J].供水技术,2017,11(2):29-31,35. (HAI T, SHA J, KANG Y. Effect of algae change on water supply system after the South to North Water Diversion Project [J]. Water Technology, 2017, 11(2): 29-31, 35. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1673-9353.2017.02.007.
- [29] 李宁.供水水源藻类控制技术研究[J].绿色科技,2016(16):100-102. (LI N. Research progress on membrane technology in separation of oily wastewater [J]. Journal of Green Science Technology, 2016(16): 100-102. (in Chinese)) DOI:10.16663/j.cnki.lskj.2016.16.040.
- [30] 田勇.南水北调中线总干渠叶绿素a与藻密度相关性研究[J].人民长江,2019,50(2):69-73. (TIAN Y. Study on correlation of Chlorophyll-a and Algal density in main canal of Middle Route of South-to-North Water Diversion Project[J]. Yangtze River, 2019, 50(2): 69-73. (in Chinese)) DOI: CNKI; SUN; RIVE.0.2019-02-012.