

城市污水处理厂设计进水水质确定和出水水质评价

周克钊 周 勣

(中国市政工程西南设计研究院,成都 610081)

摘要 以广州市各污水处理厂的进出水水质的实测数据为例,通过概率分析,进行了城市污水处理厂设计进水水质确定和出水水质评价的尝试。这些实测数据,经过适当变换,可以与标准正态分布曲线良好符合,说明它们基本遵从正态分布规律,并更加遵从对数正态分布规律。按照保证概率确定了该地区或类似地区的城市污水处理厂的设计进水水质,并利用达标概率评价了广州市各污水处理厂的出水水质。

关键词 城市污水处理厂 进水水质 出水水质 实测数据 概率分析 广州市

Influent quality estimation and effluent quality evaluation of municipal wastewater treatment plants

Zhou Ke-zhao, Zhou Mi

(Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China)

Abstract: In this paper, the test data of influent quality and effluent quality of municipal wastewater treatment plants in Guangzhou are analyzed by probability method to estimate the designed influent quality and to evaluate effluent quality. The test data transformed properly can be fitted well to normal distribution and better to logarithmic normal distribution. It is proved that the test data follow normal distribution rule approximatively and logarithmic normal distribution rule better. The designing influent quality is estimated according to the ensure probability, and the effluent quality is evaluated by probability if meeting the standard.

Keywords: Municipal wastewater treatment plant; Influent quality; Effluent quality; Test data; Probability analysis; Guangzhou City

0 引言

依据城市污水处理厂的实测数据,如何评价其出水水质,如何确定本地区或类似地区的其他污水处理厂的设计水质,《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)并无明文规定,值得探讨。本文利用广州市各污水处理厂的实测数据,按照保证概率,确定了该地区或类似地区的城市污水处理厂的设计进水水质,并评价了广州市各污水处理厂的出水水质。

对于城市污水处理厂而言,来自大量初始污水排放点的城市污水,其水质应该受到确定性因素的影响,但是,由于这些确定性的影响因素太多,只能视作

随机变量进行分析和预测。出水水质与此类似。

概率分析方法依赖于大量的实测数据,随着我国城市污水处理厂和环境监测站的广泛建立和运行,城市污水处理厂的设计水质,已经有可能利用本地区或类似地区的实测数据,采用概率分析方法确定。文献[1]利用标准差评价出水氨氮稳定性、利用SVI累积频率曲线评价污泥沉降性能,已经采用了概率分析方法。但总体说来,概率分析方法在给排水领域的应用仍然相对较少。

1 城市污水处理厂实测数据的概率分布

广州市现有污水处理厂4座,总规模139万 m^3/d ,

即大坦沙污水处理厂(一期 15 万 m³/d,二期(15+3)万 m³/d,三期 22 万 m³/d);猎德污水处理厂(一期 22 万 m³/d,二期 22 万 m³/d);沥 污水处理厂(20 万 m³/d);西朗污水处理厂(20 万 m³/d)。各厂 2004~2005 年的进出水水质的实测数据见表 1 和表 2。

在进行概率分析时,实测数据一般不宜少于 30

表 1 广州市各污水处理厂的进水水质

日期	BOD ₅ / mg/ L				COD _{Cr} / mg/ L				SS/ mg/ L				NH ₃ - N/ mg/ L					
	大坦沙		猎德	沥	西朗		大坦沙		猎德	沥	大坦沙		猎德	沥	西朗			
200405	133.30		70.2			196.88		87.8		165.23		90			24.09		18.1	
200406	119.61		87.8			177.83		128.0		137.21		117			20.19		16.1	
200407	86.79		83.2	95.16	84.30	173.14		117.0	156.10	157.49		90	103.01	90.90	19.74		15.8	27.08
200408	95.47		81.1	56.18	91.97	165.41		122.0	90.68	128.67		83	87.58	122.62	19.65		16.7	16.87
200409	80.70		75.8	110.70	93.90	151.24		113.0	162.77	98.80		84	327.63	85.10	21.85		18.7	21.89
200410	106.36		95	96.61	91.90	171.76		142.0	142.77	148.76		91	199.67	88.84	22.17		18.2	22.26
200411	129.45		91.4	133.05	98.30	217.89		133.0	218.24	150.14		88	330.21	101.50	25.11		19.3	17.81
200412	134.48		120.3	94.14	119.00	222.92		167.0	125.50	172.78		111	105.79	127.10	23.95		21.4	17.84
200501	153.90	106.60	157.0	94.14	119.00	282.35	148.03	215.0	125.50	227.53	83.53	135	105.79	127.10	27.49	25.34	28.0	17.84
200502	214.71	86.25	164.0	90.16	130.80	279.03	142.34	237.0	193.20	260.24	95.63	144	125.71	145.20	33.55	24.66	28.9	21.50
200503	106.91	64.95	224.0	90.91	110.60	247.36	136.35	293.0	165.92	262.44	107.43	294	145.78	170.00	32.04	26.06	27.7	26.38
200504	149.08	51.62	115.0	150.05	106.90	265.66	133.80	165.0	229.25	309.51	124.05	135	156.50	137.80	25.76	18.07	22.0	30.54
200505	89.80	60.20	88.1	95.00	86.88	159.00	135.00	132.0	143.00	182.01	90.38	110	113.00	130.00	18.50	19.40	15.6	25.50
200506	63.50	45.00	66.4	89.00	64.10	149.00	123.00	101.0	137.00	148.87	87.75	91	147.00	91.00	15.27	17.34	12.5	21.72
200507	81.20	58.80	88.1	74.90	81.10	210.00	131.00	125.0	111.00	217.10	91.69	76	122.00	90.10	20.84	20.73	18.2	23.98

表 2 广州市各污水处理厂的出水水质

日期	BOD ₅ / mg/ L				COD _{Cr} / mg/ L				SS/ mg/ L				NH ₃ - N/ mg/ L						
	大坦沙		猎德	沥	西朗	大坦沙		猎德	沥	大坦沙		猎德	沥	西朗	大坦沙		猎德	沥	西朗
200405	10. 41		6. 28			22. 15		7. 76			14. 51		8. 00			1. 71		8. 37	
200406	8. 19		7. 76			22. 14		23. 10			13. 79		10. 00			1. 20		1. 70	
200407	6. 28		5. 99	11. 67	6. 97	20. 03		21. 90	27. 14		12. 82		8. 00	12. 42	8. 74	1. 81		12. 90	3. 65
200408	7. 83		7. 83	4. 58	7. 02	18. 36		18. 36	22. 11		14. 84		14. 84	13. 10	10. 39	2. 20		2. 20	0. 76
200409	6. 01		7. 53	6. 78	6. 30	22. 14		24. 20	18. 91	9. 72			9. 00	14. 80	8. 59	1. 32		1. 85	0. 91
200410	7. 49		10. 60	12. 67	7. 17	21. 63		25. 60	31. 26	13. 10			10. 00	16. 72	8. 92	0. 59		2. 09	0. 87
200411	9. 80		14. 70	12. 18	6. 60	30. 82		28. 90	30. 49	13. 80			14. 00	21. 07	7. 16	3. 07		2. 23	1. 15
200412	13. 35		16. 40	13. 29	6. 93	40. 98		27. 50	29. 07	16. 66			13. 00	17. 31	9. 20	5. 00		3. 85	1. 14
200501	11. 97	9. 02	17. 00	13. 29	6. 93	28. 26	25. 02	28. 80	29. 07	17. 19	18. 01	11. 00	17. 31	9. 20	7. 04	2. 93	5. 57	1. 14	2. 61
200502	18. 80	8. 91	20. 00	9. 30	7. 62	33. 72	25. 68	35. 60	19. 44	15. 37	15. 93	12. 00	15. 92	9. 08	19. 82	11. 88	6. 65	0. 36	1. 70
200503	14. 89	8. 63	20. 10	9. 88	7. 80	30. 92	25. 47	38. 50	16. 26	16. 45	18. 23	13. 00	13. 93	11. 56	18. 85	5. 03	7. 15	5. 57	2. 00
200504	9. 39	6. 75	15. 00	10. 13	7. 66	23. 34	21. 00	33. 40	29. 62	19. 05	20. 68	13. 00	14. 50	9. 79	1. 14	0. 54	3. 20	5. 97	0. 18
200505	5. 32	5. 33	5. 18	9. 03	6. 68	15. 10	13. 80	21. 80	17. 60	13. 35	13. 38	10. 00	13. 00	9. 45	1. 05	2. 57	0. 78	2. 63	0. 08
200506	4. 50	4. 47	4. 09	9. 19	4. 26	14. 60	14. 60	18. 00	22. 80	9. 86	12. 10	11. 00	14. 00	7. 16	15. 27	0. 81	0. 70	1. 42	0. 07
200507	5. 00	4. 87	5. 66	8. 12	5. 35	15. 30	16. 00	19. 00	15. 90	12. 14	10. 56	8. 00	12. 00	6. 48	1. 31	2. 45	1. 75	0. 84	0. 07

注:表 1 和表 2 摘自《广州市污水处理总体规划修编·污泥处理处置专题研究报告》附件:猎德、沥、西朗、大坦沙污水处理厂水质统计表。大坦沙的左列为一、二期,右列为三期。

个^[2],由于上述各厂的实测数据不足,故将各厂的实测数据汇总作为一个样本,得到进出水 BOD₅、SS、NH₃-N 数据各 63 个,进出水 COD_{Cr} 数据各 50 个。由于多个污水处理厂的进水水质可以代表一定地域范围内的污水水质,将各厂数据合并处理对于进水水质分析是适当的。但对于出水水质,由于各厂的处理工艺和运行参数不同,该分析仅适用于广州市的污水处理总体情况,并不适用于具体的某厂。

将这些实测数据分别汇总,数据按由小到大排列,并统计其达到各实测数值的累积个数。该累积个数随实测数值的变化情况,实际上体现了实测数据的概率分布函数。

概率分布的种类很多,其中最简单、应用最广的是正态分布^[3]。由于污水处理厂的进出水水质的实测数据均大于 0,故其概率分布应该是偏态分布,而对数正态分布(即将实测数据取对数后,再按照正态分布进行分析)可以刻画偏态分布。因此,本文对实测数据进行正态分布和对数正态分布分析。

如果广州市各污水处理厂的进出水水质的实测数据符合正态分布或对数正态分布,则经过适当变换(见式(1)、式(2))的实测数据应该与标准正态分布曲线符合良好。

$$x^* = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

$$P_N^*(x^*) = n / n_{\max} \quad (2)$$

式中 x ——实测水质指标的数值(或其自然对数值);

x^* ——变换为标准正态分布的实测水质指标数值(或其自然对数值);

μ ——实测水质指标数值(或其自然对数值)的平均值;

σ ——实测水质指标数值(或其自然对数值)的标准差;

P_N^* ——利用实测数据累积个数渐进拟合的标准正态分布函数;

n ——实测水质指标数值的累积个数;

$n_{\max}$ ——实测水质指标数值的总计个数。

经过变换的广州市各污水处理厂的进出水水质实测数据与标准正态分布和标准对数正态分布的符合情况见图 1~图 8。

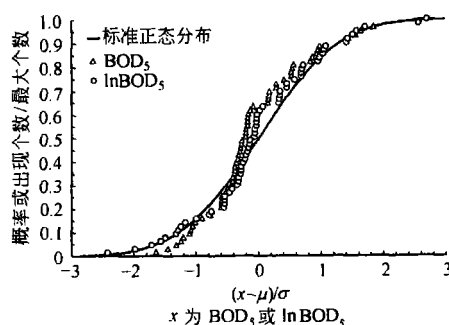


图1 进水 BOD₅ 与标准正态分布(对数)的符合

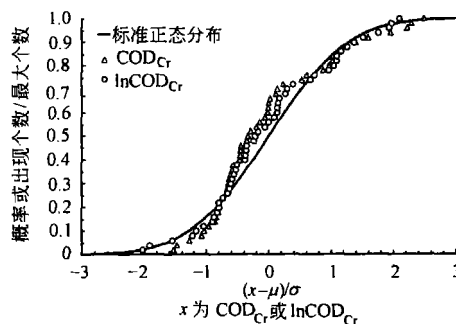


图2 进水 COD_{Cr} 与标准正态分布(对数)的符合

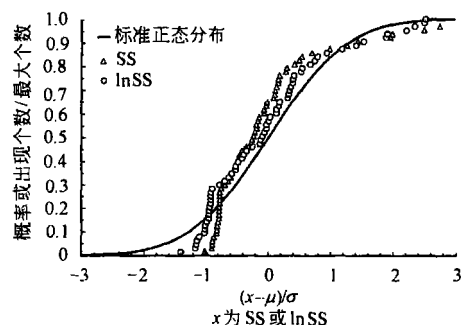


图3 进水 SS 与标准正态分布(对数)的符合

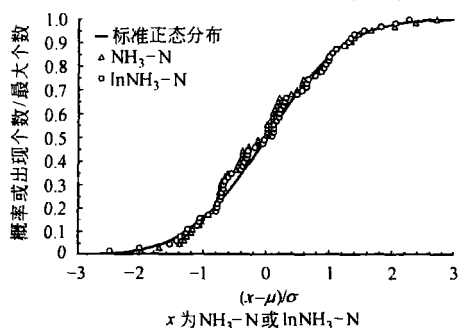


图4 进水 NH₃-N 与标准正态分布(对数)的符合

由图 1~图 8 可见,除进水 SS、出水 BOD₅ 和出水 NH₃-N 外,其余大部分实测数据皆与标准正态分布曲线符合良好,而且全部实测数据与标准对数

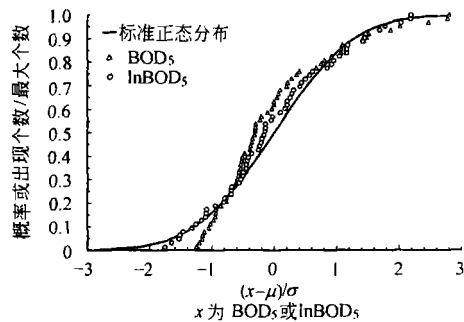


图5 出水 BOD₅ 与标准正态分布(对数)的符合

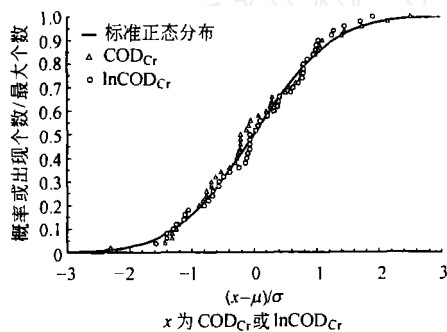


图6 出水 COD_{Cr} 与标准正态分布(对数)的符合

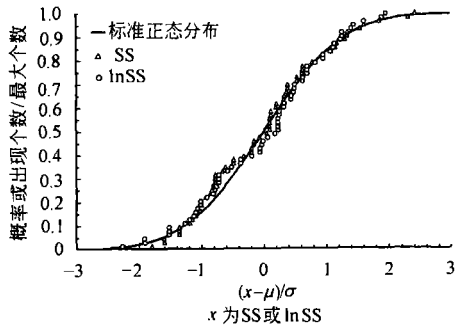


图7 出水 SS 与标准正态分布(对数)的符合

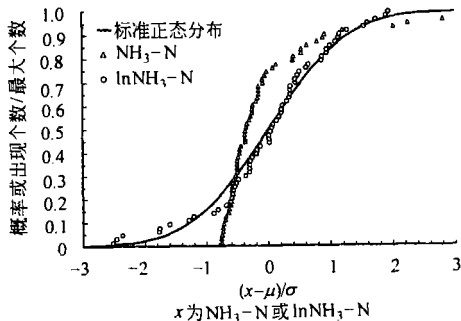


图8 出水 NH₃-N 与标准正态分布(对数)的符合

正态分布曲线符合得更好。这就说明,城市污水处理厂进出水水质的实测数据,基本遵从正态分布规律,并更加符合对数正态分布规律。

2 设计进水水质确定

2.1 设计进水水质及其保证概率

由于污水水质指标实测数据基本遵从正态分布并更加符合对数正态分布规律,故可以按照正态分布或对数正态分布计算不同保证概率下的标准差倍数,再计算出相应的设计进水水质指标。

广州市各污水处理厂的进水水质指标实测数据的概率分析结果见表3。由表3可见,采用正态分布与采用对数正态分布在不同保证概率下的设计进水水质指标,相差并不太大。由于实测数据更加符合对数正态分布规律,故建议采用后者。

当标准差倍数为 1σ 时, 84.14 % 的保证概率可能偏小(大约每 6 d 进水超过设计水质指标 1 d), 不利于城市污水处理厂的安全运行, 并可能造成有时出水超标; 标准差倍数为 2σ 时, 97.73 % 的保证概率可能又偏大(大约每 44 d 进水超过设计水质指标 1 d), 会增加不必要的城市污水处理厂投资; 标准差倍数为 $1\sigma \sim 2\sigma$ 时的保证概率适中, 比较适合城市污水处理厂的实际情况。

标准差倍数的具体取值, 可以根据污水处理后出水的用途、污水处理工艺的抗冲击负荷能力等因素确定。

2.2 设计进水水质的趋势性调整和地区性调整

为了更加符合设计工程的实际情况, 以上根据实测数据按照保证概率估计的设计进水水质指标, 一般还需要进行趋势性调整和地区性调整。

在同一地区, 如果城市发展较快, 则城市污水水质可能发生趋势性变化, 因此, 必须在根据实测数据按照保证概率估计的设计进水水质指标的基础上, 进行趋势性调整。类似地区的城市污水水质指标实测数据, 与设计的城市污水处理厂接纳的实际城市污水水质, 即使在同一城市的不同区域, 也可能存在一定的地区性差异。如果这种地区性差异较大, 则必须在趋势性调整的基础上, 再次进行地区性调整。具体的调整方法, 可结合两地的城市规模、社会经济状况、工业性质和规模、节水措施、污水管网完善程度和地下水位等多方面因素的差异综合考虑确定。

3 出水水质评价

出水水质及其保证概率的计算方法与设计进水水质类似。

表 3 广州市各污水处理厂的进水水质指标实测数据概率分析结果

保证概率 / %	标准差倍数 / σ	BOD ₅ / mg/L		COD _{Cr} / mg/L		SS/ mg/L		NH ₃ - N/ mg/L	
		正态 分布	对数正 态分布	正态 分布	对数正 态分布	正态 分布	对数正 态分布	正态 分布	对数正 态分布
80.00	0.84	130	125	209	203	191	177	25	25
84.14	1.00	135	133	217	215	201	190	26	26
85.00	1.04	137	144	219	231	204	208	26	27
90.00	1.28	145	161	231	257	219	239	27	30
95.00	1.64	157	132	250	213	241	187	29	26
97.73	2.00	170	180	268	286	263	273	30	32
99.87	3.00	204	247	319	383	326	397	35	39
平均值		101.19	$e^{4.57}$	165.95	$e^{5.07}$	139.10	$e^{4.86}$	21.44	$e^{3.04}$
标准差		34.17	$e^{0.31}$	51.06	$e^{0.29}$	62.18	$e^{0.38}$	4.48	$e^{0.21}$

表 4 广州市各污水处理厂的出水水质指标实测数据的概率分析结果

保证概率 / %	标准差倍数 / σ	BOD ₅ / mg/L		COD _{Cr} / mg/L		SS/ mg/L		NH ₃ - N/ mg/L	
		正态 分布	对数正 态分布	正态 分布	对数正 态分布	正态 分布	对数正 态分布	正态 分布	对数正 态分布
50.00	0.00	9.03	8.30	23.66	22.62	12.67	12.20	3.31	1.69
70.00	0.52	11.10	10.26	27.28	26.66	14.48	14.12	5.54	3.29
80.00	0.84	12.35	11.66	29.47	29.44	15.58	15.43	6.89	4.92
84.13	1.00	12.98	12.43	30.57	30.93	16.12	16.13	7.56	6.02
97.72	2.00	16.93	18.62	37.47	42.29	19.58	21.31	11.81	21.45
99.87	3.00	20.88	27.88	44.38	57.83	23.03	28.15	16.06	76.42
排放标准	一级 A	10	10	50	50	10	10	5	5
	一级 B	20	20	60	60	20	20	8	8
达标概率 / %	一级 A	59.72	67.74	99.99	99.44	21.98	23.73	65.43	80.35
	一级 B	99.73	98.53	100.00	99.91	98.31	96.19	86.50	88.95
平均值		9.03	$e^{2.12}$	23.66	$e^{3.12}$	12.67	$e^{2.50}$	3.31	$e^{0.52}$
标准差		3.95	$e^{0.40}$	6.90	$e^{0.31}$	3.45	$e^{0.28}$	4.25	$e^{1.27}$

广州市各污水处理厂的出水水质指标实测数据的概率分析结果见表 4。

由表 4 可见,采用正态分布与采用对数正态分布在不同保证概率下的出水水质中,BOD₅、COD_{Cr}和 SS 相差并不太大,只有 NH₃ - N 的差距较大;二者的达标概率相差也不太大。同样由于实测数据更加符合对数正态分布规律,建议采用后者。

由表 4 可见,按照对数正态分布的分析结果,广州市各污水处理厂的出水水质良好,各项指标皆达到一级 B 标准,达标概率在 88.95 %~99.91 %。虽然广州市各污水处理厂的出水水质皆按一级 B 标准设计,但实际出水水质中,COD_{Cr}已经达到一级 A 标准(达标概率 99.44 %),NH₃ - N 和 BOD₅ 基本达到一级 A 标准(达标概率 80.35 %、67.74 %),只有 SS 达标概率低,仅 23.73 %。

4 结语

根据实测数据按照保证概率确定城市污水处理厂设计进水水质和评价出水水质,是概率分析方法在给水排水领域的新应用,将传统的经验估计方法或简单的统计方法,提高到概率分析的高度,方法更加科学,依据更加充分。

参考文献

- 1 廖足良. 采用 HYBASTM工艺升级改造活性污泥工艺脱氮除磷. 见: 2005 全国自来水厂污水处理厂技术改造研讨会论文集. 杭州, 2005
- 2 Merritt F S. 工程技术常用数学. 北京: 科学出版社, 1976
- 3 数学手册编写组. 数学手册. 北京: 高等教育出版社, 1984

& 通讯处: 610081 成都市星辉中路 11 号
电话: (028) 83311862
E-mail: zhokezhao@vip.sina.com
收稿日期: 2006-06-06
修回日期: 2006-06-22