

港区含尘污水厂设计处理时间研究*

汪悦平, 王 钊, 马 瑞, 姜 奇

(中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 天津 300222)

摘要: 煤炭和矿石码头的含尘污水处理厂设计中, 对于设计径流雨水量的处理时间取值决定污水厂处理规模的大小, 而现行规范对于此值的选取并未做出规定。通过统计 15 个典型港口地区降雨量数据, 从降雨次数和降雨量两个方面进行分析和对比。结果表明, 各地区连续 2 d 有 2 mm 以上降雨的平均发生比例较大, 尤其南方地区基本在 50% 以上; 连续 2 d 有 2 mm 以上降雨的日降雨量之和超过多年最大日降雨量的最小值的平均发生比例不超过 20%, 而超过 2 a 一遇日降雨量的平均发生比例不超过 4%。为保证污水厂能及时处理含尘污水、不发生污水外溢情况, 建议计算径流雨水量时多年最大日降雨量的最小值 H 取设计重现期对应的降雨量, 且重现期不小于 2 a; 同时污水厂的设计处理时间不应大于 48 h。

关键词: 煤炭和矿石码头; 含尘污水处理; 设计处理时间; 多年最大日降雨量的最小值; 2a 一遇日降雨量

中图分类号: U 658.3; U 653.99

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)02-0092-05

Design treatment duration of dust-bearing sewage plants in port areas

WANG Yue-ping, WANG Zhao, MA Rui, JIANG Qi

(CCCC First Harbor Consultants Co., Ltd., Tianjin 300222, China)

Abstract: In the design of dust-bearing sewage treatment plants for coal and ore terminals, the treatment duration of design runoff rainfall determines the treatment scale of sewage treatment plants, but the selection of this value is not specified in the current code. Given the statistics of rainfall in 15 typical port areas, this paper analyzes and compares the rainfall frequency and rainfall. The results show that the average occurrence ratio of rainfall over 2 mm for two consecutive days in each area is large, especially in the south where the ratio is over 50%. The average occurrence ratio of the sum of daily rainfall over 2 mm for two consecutive days exceeding the minimum value of annual maximum daily rainfall is less than 20%, and that exceeding biennial daily rainfall is less than 4%. To ensure that the sewage treatment plant can treat dust-bearing sewage in time and prevent sewage overflow, we put forward the following suggestions: 1) The minimum value of the annual maximum daily rainfall, i.e., H , should take the rainfall corresponding to the design return period not less than two years in the calculation of runoff rainfall. 2) The design treatment duration of sewage plants should not exceed 48 hours.

Keywords: coal and ore terminal; dust-bearing sewage treatment; design treatment duration; minimum value of annual maximum daily rainfall; biennial daily rainfall

煤炭、矿石码头在降雨过程中由于雨水对道路、堆垛等区域的冲刷会产生大量含尘污水, 这些污水不能直接排放。根据《水运工程环境保护设计规范》^[1], “煤炭、矿石码头含煤、矿污水应进

行收集和处理”。由于港口码头一般远离城镇, 污水处理往往难有依托, 工程中大都港区自建污水处理厂, 其日常的污水来源主要是码头面、机房等产生的冲洗水, 另一部分则是降雨时产生的

收稿日期: 2022-05-18

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFB2600200)

作者简介: 汪悦平(1971—), 女, 高级工程师, 从事给排水设计。

含尘径流雨水^[2]。我国大部分地区的降雨分布不均, 北方相对南方水资源缺乏, 且年际变化较大^[3-4]。以河北省为例, 多年平均降雨量 536 mm, 时空分布极不均匀, 有 70%~80% 的降雨集中在汛期, 其中又有一半的雨量集中在 1、2 次降雨上^[5]。战云健等^[6]的研究表明, 近几十年来, 我国各地区不同历时最大降水量都存在增加趋势。在工程实践中也发现, 冲洗污水量相比降雨时的径流雨水会小很多, 故污水厂平日仅需要处理少量的冲洗污水, 而在出现暴雨或连续降雨时则要满足含尘雨水的处理需求。通常污水厂的设计规模, 即日处理量一般由每场降雨产生的径流雨水量决定。

1 合理确定污水处理厂设计处理时间的重要性

通常污水厂的日处理量由降雨产生的径流雨水量决定, 同时还与处理时间相关。同样一场降雨产生的雨污水, 设计处理时间长则污水厂的设计处理规模可相应减少, 反之亦然。

以河北省京唐港某工程为例, 建设 5 个专业 化煤炭泊位, 设计年吞吐量 4 600 万 t, 布置 9 条堆场、1 座翻车机房、19 座转接机房、1 座汽车冲洗台, 最大日冲洗污水量约 760 m³/d, 因此污水处理厂的设计处理量应不小于 760 m³/d。其次, 必须满足一次降雨产生的径流污水的处理要求, 根据批复的环评报告^[7]提供的数据, 工程一次降雨产生的含煤污水量为 1.058 8 万 m³, 污水处理厂处理规模为 200 m³/h, 则污水厂日处理量为 4 800 m³/d, 可满足日常冲洗水的处理要求, 但是全部处理一次降雨径流污水需要 52.94 h, 约 2.2 d。然而这种做法的前提是 2.2d 内不应再产生设计规模以上的降雨, 否则会发生堆场淹泡、污水外溢的情况。而如果雨污水的处理时间设为 1 d, 则污水厂的处理规模应扩大到 442 m³/h, 投资将成倍增加。

由此可见一次降雨的设计处理时间不同, 污水处理厂的设计规模差异巨大, 科学设定一次降雨处理时间对确定污水厂设计规模十分重要。因此详细分析港口所在地区降雨特性是必要的, 也是本文研究的重点。

2 典型港口所在地区降雨次数统计分析

我国现有大型煤炭、矿石码头主要坐落在营口港、锦州港、秦皇岛港、京唐港、曹妃甸港、天津港、黄骅港、烟台港、日照港、重庆港、太仓港、宁波舟山港、福州港、湛江港和防城港港, 通过中国气象数据网(国家气象信息中心)^[8]获取了上述港口所在地区气象站 1990—2019 年共 30 a 的降雨量数据, 并加以统计分析。这些气象站点分别为[54471] 营口、[54337] 锦州、[54449] 秦皇岛、[54539] 乐亭、[54535] 曹妃甸、[54623] 塘沽、[54628] 海兴、[54765] 烟台、[54945] 日照、[57516] 沙坪坝、[58377] 太仓、[58477] 定海、[58847] 福州、[59658] 湛江、[59635] 防城港。

对各地区降雨数据进行统计处理, 计算下列降雨量特征值(鉴于降雨量≤2 mm 时几乎不产生地表径流^[9], 为了不影响统计结果真实性, 统计计算时均扣除了降雨量≤2 mm 的数据): ①年降雨时间; ②每年连续 2 d 有 2 mm 以上的降雨次数; ③每年总降雨次数, 连续降雨以 2 d 为 1 次计算; ④每年连续 2 d 有 2 mm 以上降雨的次数占总降雨次数的比例; ⑤每年连续 3 d 有 2 mm 以上的降雨次数; ⑥每年总降雨次数, 连续降雨以 3 d 为 1 次计算; ⑦每年连续 3 d 有 2 mm 以上的降雨次数占总降雨次数的比例。

以京唐港所在的乐亭气象站为例, 上述降雨数据的计算结果见表 1。

表 1 乐亭站降雨次数及比例

年份	①/d	②/次	③/次	④/%	⑤/次	⑥/次	⑦/%
1990	49	14	39	35.90	4	36	11.11
1991	44	10	37	27.03	3	34	8.82
1992	39	7	32	21.88	0	32	0
1993	29	10	22	45.45	3	20	15.00
1994	30	4	27	14.81	1	26	3.85
1995	42	9	35	25.71	2	33	6.06
1996	34	4	31	12.90	1	30	3.33
1997	33	8	26	30.77	1	25	4.00
1998	37	9	30	30.00	2	29	6.90
1999	29	8	23	34.78	2	21	9.52
2000	33	10	25	40.00	2	23	8.70
2001	27	3	24	12.50	0	24	0
2002	27	9	22	40.91	4	20	20.00

续表1

年份	①/d	②/次	③/次	④/%	⑤/次	⑥/次	⑦/%
2003	36	10	29	34.48	3	26	11.54
2004	41	14	31	45.16	4	29	13.79
2005	38	11	29	37.93	2	27	7.41
2006	31	4	27	14.81	0	27	0.00
2007	44	15	32	46.88	3	30	10.00
2008	43	11	34	32.35	2	33	6.06
2009	38	11	29	37.93	2	27	7.41
2010	36	11	29	37.93	4	26	15.38
2011	34	7	27	25.93	0	27	0.00
2012	45	15	35	42.86	5	33	15.15
2013	37	6	31	19.35	0	31	0.00
2014	32	7	26	26.92	1	25	4.00
2015	37	10	27	37.04	0	27	0.00
2016	40	10	33	30.30	3	32	9.38
2017	33	10	25	40.00	2	23	8.70
2018	30	3	27	11.11	0	27	0.00
2019	29	6	25	24.00	2	24	8.33
平均值	35.90	8.87	28.97	30.59	1.93	27.57	7.15

通过对上述 15 个港口所在地区降雨数据进行统计,并计算各数值的多年平均值,最终数据见表 2,其中:⑧年降雨时间的多年平均值;⑨每年连续 2 d 有 2 mm 以上的降雨次数的多年平均值;⑩每年连续 2 d 有降雨次数占总降雨次数(2 d 为 1 次)的最小比例;⑪每年连续 2 d 有降雨次数占总降雨次数(2 d 为 1 次)的平均比例;⑫每年连续 2 d 有降雨次数占总降雨次数(2 d 为 1 次)的最大比例;⑬每年连续 3 d 有 2 mm 以上的降雨次数的多年平均值;⑭每年连续 3 d 有降雨次数占总降雨次数(3 d 为 1 次)的最小比例;⑮每年连续 3 d 有降雨次数占总降雨次数(3 d 为 1 次)的平均比例;⑯每年连续 3 d 有降雨次数占总降雨次数(3 d 为 1 次)的最大比例。

表 2 15 个港口降雨次数及比例

典型港口	站名	统计时间/a	⑧/d	⑨/次	⑩/%	⑪/%	⑫/%	⑬/次	⑭/%	⑮/%	⑯/%
营口港	营口	30	40.20	9.00	5.88	26.87	45.16	1.97	0.00	6.25	21.43
锦州港	锦州	30	36.73	9.43	11.43	31.81	66.67	2.23	0.00	7.97	23.33
秦皇岛港	秦皇岛	30	35.57	8.40	7.41	28.62	42.86	1.97	0.00	7.00	19.23
京唐港	乐亭	30	35.90	8.87	11.11	30.59	46.88	1.93	0.00	7.15	20.00
曹妃甸港	曹妃甸	30	34.87	8.37	10.71	29.55	42.31	1.77	0.00	6.81	21.74
天津港	塘沽	30	34.80	8.70	13.79	31.09	50.00	1.93	0.00	7.37	22.22
黄骅港	海兴	30	35.03	9.13	14.29	32.97	62.50	1.83	0.00	7.01	20.00
烟台港	烟台	23	42.26	11.91	19.35	35.08	56.41	3.09	0.00	9.56	22.86
日照港	日照	30	46.87	14.67	21.21	40.86	61.76	3.37	0.00	10.30	23.08
重庆港	沙坪坝	30	84.03	34.30	36.73	54.40	66.67	12.97	4.26	23.43	46.43
太仓港	太仓	30	79.77	31.80	37.93	53.45	70.00	11.03	6.25	21.15	46.30
宁波舟山港	定海	30	94.83	43.13	45.31	61.39	75.00	18.20	9.62	29.83	49.21
福州港	福州	30	88.20	42.97	49.25	63.98	76.32	21.47	20.00	37.21	51.95
湛江港	湛江	30	77.10	34.93	47.76	59.08	72.60	16.73	18.92	32.46	48.28
防城港港	防城港	28	89.54	44.71	50.00	65.36	76.71	23.39	26.23	40.19	57.41

通过对表 2 的计算结果进行分析可以看出:
1)各地区连续 2 d 有 2 mm 以上的降雨次数占总降雨次数的比例在 5.88%~76.71%。尤其重庆港—防城港港所在的南方地区平均发生比例均在 50% 以上,营口港—日照港所在的北方地区平均发生比例基本在 30%左右,见图 1。
2)各地区连续 3 d 有 2 mm 以上的降雨次数占总降雨次数的比例在 0%~57.41%。其中营口港—日照港所在的北方地区平均发生比例基本在 10% 以下;重庆港—防城港港所在的南方地区平均发生比例有较大增加,但基本在 40%以下,见图 2。

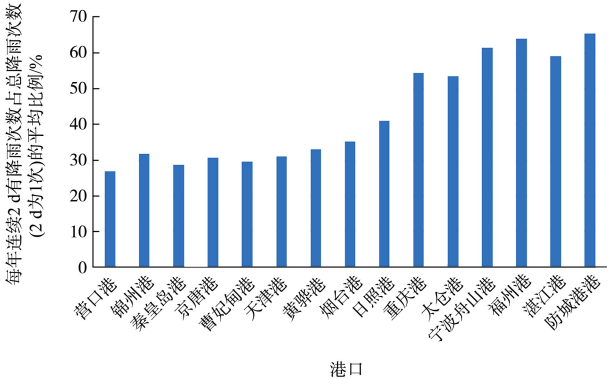


图 1 每年连续 2 d 有降雨次数占总降雨次数
(2 d 为 1 次)的平均比例

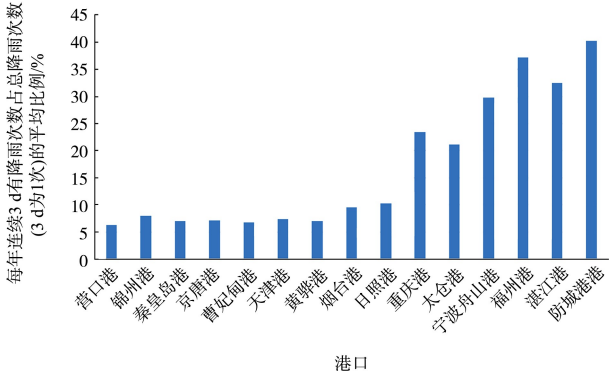


图 2 每年连续 3 d 有降雨次数占总降雨次数 (3 d 为 1 次) 的平均比例

因此可认为, 无论南方、北方, 每年连续 2 d 有 2 mm 以上降雨的发生概率均较大, 尤其在南方地区, 平均比例基本在 50% 以上, 因此在设计污水厂时其处理时间应控制在 48 h 之内。

3 典型港口所在地区降雨量统计分析

将污水厂设计处理时间控制在 48 h 之内是否合理还需要分析连续 2 d 有 2 mm 以上的降雨量情况。《水运工程环境保护设计规范》计算煤炭、矿石码头堆场径流雨水量的公式为:

$$V=\varphi HF$$
(1)

式中: V 为径流雨水量 (m^3); φ 为径流系数, 取 0.1~0.4, 依据堆场场地铺砌类型确定; H 为多年最大日降雨量的最小值 (m), 同时满足不小于港区排水设计重现期对应的降雨量; F 为汇水面积 (m^2)。

H 与煤炭、矿石码头的排水设计重现期有关, 根据《海港总体设计规范》^[10] 第 9.3.4 条, 煤炭、矿石码头的设计重现期一般为 1~2 a。由于 1 a 一遇日降雨量很小, H 一般取多年最大日降雨量的最小值或 2 a 一遇日降雨量, 因此有必要对比各地区连续 2 d 有 2 mm 以上的降雨量之和 (C_n) 与这两者的关系, 见表 3, 其中: ⑰多年最大日降雨量的最小值 b ; ⑱2 a 一遇日降雨量 d ; ⑲每年 C_n 超过 b 的降雨次数占总降雨次数的最小比例; ⑳每年 C_n 超过 b 的降雨次数占总降雨次数的平均比例; ㉑每年 C_n 超过 b 的降雨次数占总降雨次数的最大比例; ㉒每年 C_n 超过 d 的降雨次数占总降雨次数的最小比例; ㉓每年 C_n 超过 d 的降雨次数占总降雨次数的平均比例; ㉔每年 C_n 超过 d 的降雨次数占总降雨次数的最大比例。

表 3 15 个港口降雨量数据

典型港口	站名	统计时间/a	⑰/mm	⑱/mm	⑲/%	⑳/%	㉑/%	㉒/%	㉓/%	㉔/%
营口港	营口	30	47.2	76.76	0	6.29	19.35	0	2.38	10.53
锦州港	锦州	30	35.7	74.11	0	11.53	25.00	0	3.75	11.11
秦皇岛港	秦皇岛	30	37.8	95.04	0	9.75	22.86	0	2.91	14.29
京唐港	乐亭	30	28.4	83.04	0	13.82	24.14	0	3.06	16.00
曹妃甸港	曹妃甸	30	24.9	71.65	0	13.66	33.33	0	3.21	13.33
天津港	塘沽	30	40.9	77.38	0	8.89	19.35	0	2.43	11.54
黄骅港	海兴	30	28.2	91.34	0	14.85	29.17	0	2.56	9.52
烟台港	烟台	23	41.4	73.16	0	9.35	22.86	0	3.52	16.13
日照港	日照	30	54.2	88.53	2.50	9.16	20.00	0	3.13	9.52
重庆港	沙坪坝	30	44.7	90.12	0	8.35	17.86	0	1.53	5.97
太仓港	太仓	30	61.4	118.41	1.43	6.92	18.46	0	2.03	6.78
宁波舟山港	定海	30	40.3	111.99	5.66	16.80	26.32	0	1.92	8.00
福州港	福州	30	41.2	107.68	10.34	19.38	32.73	0	2.99	11.27
湛江港	湛江	30	67.9	154.18	4.35	13.62	25.53	0	2.35	6.45
防城港港	防城港	28	112.8	196.69	3.70	11.72	24.66	0	3.39	13.70

通过对比表 3 数据可得出：1)各地区多年最大日降雨量的最小值 b 明显小于 $2a$ 一遇日降雨量 d ；2) C_n 超过 b 的降雨次数占总降雨次数的比例在 $0\% \sim 33.33\%$ ，平均比例在 $6.29\% \sim 19.38\%$ ；3) C_n 超过 d 的降雨次数占总降雨次数的比例在 $0\% \sim 16.13\%$ ，平均比例在 $1.53\% \sim 3.75\%$ 。说明连续 $2d$ 有降雨时其总降雨量之和基本不超过 $2a$ 一遇日降雨量，故当污水厂的设计规模按 $2a$ 一遇日降雨量计算径流雨水量时，污水厂能够及时处理连续 $2d$ 的降雨量，不会发生污水外溢的情况。

4 对港区含尘污水处理厂设计处理时间取值的建议

基于以上 15 个典型港口所在地降雨数据的计算和分析可得出：从降雨次数上显示，各地区连续 $2d$ 有 2 mm 以上降雨的发生比例较大，平均值在 $26.87\% \sim 65.36\%$ ，尤其在南方地区，平均比例基本在 50% 以上；从降雨量上显示，各地区 b 明显小于 d ， C_n 超过 b 的平均发生比例不超过 20% ，而 C_n 超过 d 的平均发生比例更低，不超过 4% 。故基于降雨次数和降雨量两个方面数据的比较，为保证污水厂能及时处理含尘污水、不发生污水外溢情况，建议在确定煤炭、矿石码头港区含尘污水处理厂的规模时，计算径流雨水量的 H 值取设计重现期对应的降雨量，且重现期不小于 $2a$ ；同时一次降雨处理时间不应大于 48 h 。

5 结语

1)本文统计的 15 个典型港口所在地无论南方还是北方，每年连续 $2d$ 有 2 mm 以上降雨的发生概率均较大，尤其在南方地区，平均比例基本在 50% 以上。

2)15 个典型港口所在地多年最大日降雨量的最小值明显小于 $2a$ 一遇日降雨量。

3)连续 $2d$ 有 2 mm 以上降雨时，其 $2d$ 总降

雨量之和基本不超过当地 $2a$ 一遇日降雨量。

4)建议在使用《水运工程环境保护设计规范》的公式计算煤炭、矿石码头堆场径流雨水量时， H 取设计重现期对应的降雨量，且重现期不小于 $2a$ 。

5)煤炭、矿石码头含尘污水厂的设计处理时间关系到污水厂的建设规模，应根据当地降雨资料科学合理设定，建议污水厂设计处理时间不大于 48 h 。

参考文献：

[1] 中交第二航务工程勘察设计院有限公司.水运工程环境保护设计规范: JTS 149—2018[S].北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.

[2] 刘亮, 冯海燕.简论港口散货堆场含尘污水处理站设计[J].港工技术, 2018, 55(2): 78-82.

[3] 陈峪, 高歌, 任国玉, 等.中国十大流域近 40 多年降水量时空变化特征[J].自然资源学报, 2005, 20(5): 637-643.

[4] 卢晓雄, 李晴岚, 陈申鹏, 等.2008—2017 年深圳降水时空特征研究[J].气象科技进展, 2019, 9(3): 171-178.

[5] 孔振江, 魏国忠.新世纪我省防洪对策与展望[J].河北水利水电技术, 2002(4): 8.

[6] 战云健, 鞠晓慧, 范邵华, 等.1965—2019 年中国夏季分钟降水空间分布与长期趋势分析[J].气象学报, 2021, 79(4): 598-611.

[7] 交通运输部天津水运工程科学研究所.唐山港京唐港区 36#~40#煤炭泊位工程环境影响报告书[R].天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2011.

[8] 国家气象信息中心.中国气象数据网[EB/OL].[2022-03-28].http://data.cma.cn.

[9] 张质明, 胡蓓蓓, 李俊奇, 等.北京不同年径流总量控制率下设计降雨量的空间分布[J].中国给水排水, 2018, 34(5): 126-130.

[10] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘察设计院有限公司.海港总体设计规范: JTS 165—2013[S].北京: 人民交通出版社, 2014.

(本文编辑 王聰)