

专论与综述

自来水厂污泥性质

陈 静 许建华

(同济大学环境科学与工程学院 上海 200092)

摘要 自来水厂污泥性质的研究,对于合理设计污泥处理系统非常必要。该文对自来水厂污泥的一些基本性质及其对污泥脱水工艺的影响进行了总结讨论。

关键词 自来水厂污泥 含固率 比阻 颗粒大小分布 压缩性 抗剪强度

Characteristics of Water Treatment Plant Wastes

Chen Jing Xu Jianhua

(School of Environment Science and Engineering, Tong Ji University, Shanghai 200092, China)

Abstract The characteristics of the sludge of a water treatment plant is essential for the designing of sludge treatment system. In this article, we summarized and discussed some basic characteristics of the sludge of the WTP and their effects on the sludge dewatering system.

Keywords water treatment plant sludge solids content specific resistance particle size distribution compressibility shear stress

随着科技水平的发展和环境保护意识的提高,人们越来越关心自来水厂排泥水的处理和污泥处置问题。通常,排泥水处理和污泥处置的费用在整个水处理费用中占有相当大的比例,所以排泥水处理系统的合理设计就显得尤为必要。污泥的性质会影响到排泥水浓缩、污泥脱水及泥饼的最终处置等整个排泥水处理工艺的设计及处理效果,因而有必要对污泥的基本性质进行研究。本文主要讨论污泥的一些基本性质。如含固率、比阻、矾花密度和颗粒大小分布、压缩性及抗剪强度等,以及它们对污泥处理的影响。

1 含固率

1.1 污泥中的水分

自来水厂污泥中含有各种水分,它们的存在状态不同,表面活动也极其复杂。对污泥中的水有许多分类,费什林(Vesilind)^[1]把污泥中的水分分为4类:(1)自由水,存在于颗粒与颗粒之间,受表面张力或毛细作用小,可以通过简单的重力浓缩去除;(2)矾花水,被网捕在污泥矾花内部,能够通过机械脱水去除;(3)毛细水,污泥颗粒间的毛细管水,受表面张力或毛细作用较大,在重力作用下不容易失去,只能通过挤压和污泥颗粒变形才能去除;(4)结合水,被

矾花颗粒化学结合的水。以上污泥的水分中,自由水最容易去除,只需要简单的重力浓缩或机械脱水就能去除,而结合水最难去除,对泥饼进行加热干化或焚烧处理才可部分去除。通过投加化学药剂(有机高分子聚合物、酸、碱等)进行预处理或冰冻-解冻预处理,可改变部分矾花水或毛细水的形态,成为较易失去的自由水。污泥中各种水分的含量将直接影响污泥浓缩和脱水后污泥的含固率,因此对它们的了解非常重要。

1.2 影响含固率变化的因素

自来水厂污泥含固率的变化幅度通常很大,这主要决定于原水性质、混凝剂的类型和投加量以及是否使用石灰等。通常悬浮固体和碳酸钙含量越高,污泥的含固率就越高。因此原水的浊度较低时,污泥的含固率较低,而原水的浊度高时,污泥的含固率就较高。Knocke^[2]等人的研究表明:原水的浊度、混凝剂的投加量和混凝机理对污泥的浓缩和脱水性质有很大的影响,见表1。

从表1数据可以得知:当混凝的pH为8.1时,比pH为6.2时的泥水浓缩和脱水后的泥饼含固率要低得多;硫酸铝投加量高时的污泥含固率明显低于投加量低时的污泥含固率;从混凝机理上看,网捕

比吸附-电性中和产生污泥的含固率要低。因此,最为理想的是把水中杂质与污泥结合在一起的吸附-电性中和处理,不但铝盐用量较少,而且污泥中悬浮颗粒所占比例较高,氢氧化铝所占比例较低,污泥容易脱水。因而,在考虑选择混凝条件时,应注意以下事项:(1)降低混凝时的 pH;(2)降低混凝剂用量与进水浊度之间的比值;(3)混凝机理应控制为吸附-电性中和。

压力是污泥脱水设备的主要运行参数,随着脱水工艺压力的增加,泥饼的含固率也会相应增加。

但是无论采用何种工艺,氢氧化铝污泥泥饼的含固率总是低于加药软化产生的污泥的含固率,见表 2^[3]。

污泥中投加高分子聚合物仅与矾花的外表面相互作用,并不改变矾花的内部结构,因此采用聚合物预处理既不影响结合水,也不影响污泥脱水的程度,因此,自来水厂污泥浓缩或脱水后泥饼的含固率是由污泥矾花的组成和脱水设备的压力决定的,污泥一旦形成,只有影响矾花内部结构的工艺(如冰冻-解冻调节)才能显著影响脱水后的泥饼含固率。

表 1 混凝机理对自来水厂污泥脱水性质的影响(混凝剂为硫酸铝)

混 凝 条 件			混凝机理	浓缩后的污泥含固率(%)	污泥比阻 r ($m/kg \times 10^{11}$)	真空脱水后泥饼含固率(%)
进水浊度(Ntu)	混凝剂投加量(mg/L)	混凝 pH				
40	10	6.2	吸附-电性中和	6.0	55	42
40	15	6.3	吸附-电性中和	5.5	60	22
7	40	6.5	两种机理都存在	1.0	95	15
7	75	7.1	网捕	1.0	150	11
7	75	8.1	网捕	0.5	310	9

表 2 各种试验方法得到的污泥比重和泥饼含固率

污 泥 类 型	污泥比重(g/cm^3)	沉降后污泥浓度 (%)	泥饼含固率(%)		
			真空过滤	离心	压滤
加药软化污泥(低 Mg)	1.19	28.5	56.1	60.6	69.5
除铁/锰污泥	1.16	26.0	50.1	55.6	64.6
氢氧化铁污泥	1.07	7.2	22.7	28.2	36.2
加药软化污泥(高 Mg)	1.05	5.6	21.0	24.8	34.6
氢氧化铝污泥	1.03	3.6	17.2	19.0	23.2

2 比 阻

污泥的脱水性能通常用比阻来表示,比阻越小,污泥的脱水性能越好。比阻的定义为单位过滤面积上,单位滤饼干固体重量所受到的阻力。比阻的公式见式(1)。

$$r = \frac{2PA^2b}{\mu C} \quad (1)$$

式中: r ——污泥比阻, (m/kg);

b —— t/V 与 V 关系曲线的斜率, (s/m^6);

A ——过滤面积, (m^2);

P ——压强(Pa);

C ——单位体积滤液所产生的泥饼干重量, (kg/m^3);

$$C = \frac{W_b}{V_f} \quad (2)$$

W_b ——干污泥重量, (kg);

V_f ——滤液体积, (m^3);

μ ——粘滞系数($Pa \cdot s$)。

比阻的变化范围很大,通常认为比阻小于等于 $10 \times 10^{10} m/kg$ 的污泥容易脱水,而当比阻大于 $100 \times 10^{11} m/kg$ 时,污泥脱水性能很差^[4]。从表 1 我们可以看出:混凝剂污泥的比阻随着 pH 的增加而增加,随着原水浊度的增加而降低。混凝过程如果污泥矾花中含水量较高,则脱水速度慢,低浊度原水产生的氢氧化铝污泥脱水速度慢,而且脱水后泥饼的含固率低。

聚丙烯酰胺通常被用作污泥预处理,投加聚丙烯酰胺可以大大降低污泥的比阻,进而提高污泥脱水速率和泥饼的含固率,投加聚丙烯酰胺对污泥比阻的影响见图 1^[5]。

比阻试验测量工作量大,而且由于影响因素较多,误差也较大,因此,费什林(Vesilind)建议采用毛细吸水时间(CST)来近似代替比阻。毛细吸水时

间(CST)的意义是:污泥水在专用吸水滤纸上渗透距离为 1cm 所需要的时间。比阻值越大,CST 也越大。本质上是由于污泥的胶体性质与污泥水的动力粘滞度的大小,使比阻值与 CST 之间存在一定的比例关系^[6]。

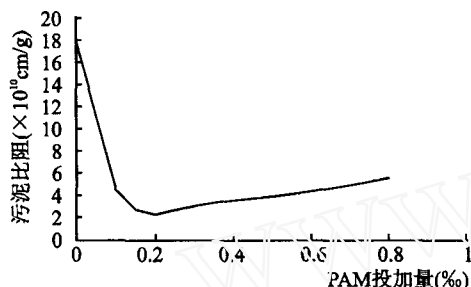


图1 PAM投加量与污泥比阻的关系曲线

3 污泥矾花的性质

矾花的性质,如颗粒大小分布和矾花密度,对污泥浓缩、脱水速率及脱水程度都有很大的影响。

3.1 颗粒大小分布

水处理过程中产生的污泥矾花的几何形状,具有极度的不规则性和无序性,因而很难描述。有些研究通常把污泥颗粒当作球体进行分析,但误差较大。Knocke 等人在通过显微镜观察污泥矾花时,认为大多数污泥颗粒更接近椭圆形,并测出污泥颗粒的主轴与次轴的长度之比约为 0.5~0.75^[7]。近年来,有的研究把数学上用来描述无确定形态或无序性的不规则碎片理论来描述污泥絮体的结构、污泥矾花特性和过滤泥饼的特性^[8],把有效的不规则碎片的密度($\rho_f - \rho_l$)表示成由 n 个半径为 R_0 的基本颗粒构成的半径为 R 的一个不规则碎片与比率(c)及一个基本颗粒的密度(ρ_p)的函数,见式(3)。

$$\rho_f - \rho_l = c \left(\frac{R}{R_0} \right)^{D-3} (\rho_p - \rho_l) \quad (3)$$

不规则碎片尺寸 D 可以由直径和有效矾花密度的双对数曲线的斜率求得,不规则碎片尺寸理论值为 1~3,且研究得出污泥矾花中结合水的含量随着不规则碎片尺寸的增加而显著降低,两者之间是很明显的直线关系。

关于颗粒大小分布对污泥脱水性质的影响,人们进行了大量的研究,有研究认为^[7]颗粒大小分布对污泥脱水有重大的影响,随着污泥大颗粒的增加,污泥的比阻会降低,污泥脱水性质相应改进,但也有研究对此结果表示怀疑^[2]。由于污泥颗粒的高度不规则性和测量方法等因素影响,颗粒大小分布对污泥脱水性质的影响程度目前尚无确定的理论,需进

行更详尽的研究。

3.2 矾花的密度

矾花的密度,是另一个影响污泥脱水性质的重要因素。有研究认为^[2]矾花密度对脱水效果的影响要比矾花颗粒大小分布的影响更重要,并且在浓缩和各种机械脱水研究中,得出矾花的密度与脱水后泥饼的含固率之间有很密切的关系。随着矾花密度的增加,浓缩和脱水后污泥含固率也会增加,见表 3^[9]。

表3 不同混凝剂的矾花密度和泥饼含固率

污泥类型	矾花密度 (g/mL)	干固体密 度(g/mL)	脱水后最大含固率(%)			
			重力 浓缩	真空 过滤机	离心 机	压滤 机
聚合物水厂	1.06~1.08	1.58	2.7	17	11	21
聚合物水厂(1)	>1.30	1.60	25	45	33	40
氢氧化铁	>1.3	2.86	16	54	44	53
氢氧化铝	1.14~1.16	2.45	3.0	14	10	-
石灰(2)	>1.3	2.47	13	41	42	-

(1)采用冰冻-解冻处理;(2)CaCO₃ + Mg(OH)₂

随着矾花中悬浮固体(高岭土)的增加,矾花密度增加,沉降和脱水后泥饼含固率也增加,关于有机物对矾花密度的影响,研究认为随着矾花中有机物含量的增加,矾花密度会降低,脱水速率及其脱水后的泥饼含固率都会降低。关于铝污泥的矾花密度大小有不同的报道,这与测试方法及污泥中有机物(TOC)的含量有关,有研究得出铝污泥矾花密度范围为 1.14~1.22^[4]。

矾花密度测量有许多方法,但通常认为采用低渗透压梯度介质测量矾花密度比其它普通采用的方法(诸如蔗糖法)更合理一些。由于高渗透压会在测量过程中使水流出污泥絮体,故而采用高渗透压介质可能产生比实际值更高的密度值。

4 压缩性

压缩性被认为是在脱水过程中矾花变形的结果,大多数的加混凝剂的水厂污泥是具有高压缩性的。压缩性的主要后果是当脱水工艺中压力提高时脱水速率会降低。

污泥的压缩性通常用公式(4)表达:

$$r_2 = r_1 \cdot \Delta P^S \quad (4)$$

r_1 ——在压力 P_1 时的比阻

r_2 ——在压力 P_2 时的比阻

$\Delta P = P_2 - P_1$

S ——压缩系数

压缩系数 S 通常由比阻 r 和压力 P 的 $\log \sim \log$

图求得。对于常规污泥, S 值约为 $0.8 \sim 1.5$; 而软化污泥的 S 值则可降到 0.4 , 因为该污泥主要由碳酸钙组成。许多试验都表明污泥在压力下会导致变形, 从而使得过滤阻力增加。表 4 是各种水处理厂污泥压缩系数^[7]。

表 4 各种类型水处理厂污泥的压缩系数 S

污泥类型	铝污泥 (低密度)	铝污泥 (高密度)	聚合物调节 的铝污泥	石灰污泥
平均压缩系数	0.97	0.97	0.94	0.79

从该表中可以看出, 铝污泥的压缩系数近似等于 1.0 , 石灰污泥的系数稍低, 这表明石灰污泥比铝污泥压缩性稍低。矾花密度的变化对压缩性并没有很大的影响, 而且颗粒尺寸的变化也不影响污泥的压缩性。

对于低浊度原水, 通常产生的污泥中氢氧化物的含量较高, 当施加压力时, 污泥的脱水性能较差; 相反, 对于含有大量惰性颗粒的污泥, 当施加压力时, 脱水性能不会明显变差。这主要是由于污泥压缩性的影响, 因而在设计污泥脱水系统时应考虑污泥的压缩性。

5 抗剪强度

抗剪强度是影响污泥可处置性的一个重要性质, 尤其在设计和分析污泥土地填埋稳定性时是非常关键的。传统上, 人们把污泥脱水后含固率作为衡量污泥处理和最终处置性质的方法, 但是有研究表明, 含固率在很大范围的污泥具有相似的处置性质^[10], 仅凭泥饼的含固率是不能直接判断污泥的可处置性的。有人提出^[7]当泥饼的抗剪强度达到 $292 \sim 390 \text{ kg/m}^2$ ($0.02 \sim 0.05 \text{ tons/ft}^2$) 时, 方能满足污泥处置要求。根据抗剪强度要求的范围, 对于铝污泥来说, 当含固率为 $15 \sim 20\%$ 的就达到处置要求, 而一些石灰软化污泥可能需要 50% 以上的含固率方可满足处置要求。

在分析、设计和建造污泥填埋厂的时候, 污泥的流变性和触变性也是应该考虑的问题, 因为填埋不

可避免会引起污泥重塑, 因而应该采用重塑后的不排水抗剪强度设计和分析建造过程中的稳定性。填埋厂建成后, 污泥的抗剪强度会由于触变硬化随时间增加, 因而填埋场会更稳定。

6 结束语

在自来水厂污泥处理的过程中, 人们往往只关心污泥的一些宏观性质, 如含固率、比阻等, 很少研究污泥矾花的微观性质, 如矾花密度、颗粒大小分布等, 实际上这些微观性质可直接影响污泥处理性能及处理工艺的选择。因而对污泥性质的良好把握, 不但可以达到最终的处置要求, 而且还可以大大的减少处理费用。

参考文献

- 1 Vesilind, P. A. Treatment and Disposal of Wastewater sludges. Ann Arbor Sci. Publ., Inc., Ann Arbor, Mich. (2nd ed., 1979)
- 2 William R. Knocke, Jeff R. Hamon, and Betsy E. Dulin. Effects of Coagulation on Sludge Thickening and Dewatering. J. AWWA, June, 1987(p89~98)
- 3 Novak, J. T. Historical and technical perspective at sludge treatment and disposal. In: Sludge, Handling and disposal. Denver, CO; American Water Works Association, 1989.
- 4 U. S. EPA. Technology transfer handbook; Management of Water treatment plant residuals. U. S. EPA/625/R-95/008. 1996.
- 5 陈静. 自来水厂排泥水处理离心脱水工艺研究, 硕士论文, 同济大学
- 6 金儒林, 刘永龄. 污泥处置, 中国建筑工业出版社, 1982
- 7 William R. Knocke, Douglas L. Wakeland. Fundamental Characteristics of Water Treatment Plant Sludges. J. AWWA, 1983, 95 (11), 516~523.
- 8 Chin Chao Wu, Chihpin Huang. Effects of Floc in Water Treatment Plant. Separation Science and Technology, 1997, 32(17): 2873~2882.
- 9 William R., Knocke, C. M., Dishman M, G. E. Miller. Measurement of Chemical Sludge Floc Density and Implications Related to Sludge Dewatering. Water Environ. Res, 1993, 65:735.
- 10 Calkins, D. C., Novak, J. T. Sludge dewatering and its physical properties. J. AWWM, 1975, 67(1), 429.

第一作者简介: 陈 静, 1972 年 9 月出生, 同济大学环境与工程学院 2002 年在读博士研究生。

热烈祝贺上海城市供水一百二十周年!