

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2010.05.004

水利工程总溶解气体过饱和问题探讨

王皓冉,周卓灵,行亚楠,黄鑫,蔺港,吴佳阳

(四川大学水利水电学院,四川 成都 610065)

摘要 :从对总溶解气体(TDG)过饱和概念的分析入手,阐述 TDG 过饱和的危害。通过对不同典型水体 TDG 饱和度的测量,表明泄流可以导致水体 TDG 含量增加甚至过饱和。在此基础上,采用试验研究的方法,探讨了 TDG 过饱和产生原因及其释放过程,表明水利工程泄流引起的 TDG 过饱和与泄流掺气、压力、紊动强度、水温等要素相关,并由此提出减缓水利工程 TDG 过饱和影响的建议。

关键词 :总溶解气体 过饱和气体 水利工程 泄流 温度 紊动强度

中图分类号 :TV13 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2010)05-0012-04

On supersaturation of total dissolved gas for hydraulic projects//WANG Hao-ran, ZHOU Zhuo-ling, XING Ya-nan, HUANG Xin, LIN Gang, WU Jia-yang (College of Hydraulics and Hydroelectric Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract : Based on the analysis of its concept, the hazards of the supersaturation of the total dissolved gas (TDG) were discussed. Through the measurements of saturation degrees of TDG by different models for typical water bodies, hydraulic sluicing may lead to the increase of TDG concentration and even to its supersaturation. On such a basis, the method of experimental study was employed to study the causes of the supersaturation of TDG and its release process. It indicated that the supersaturation of hydraulic projects due to hydraulic sluicing closely related to aeration, pressure, turbulence intensity, water temperature and so on. Some suggestions were proposed for reducing the supersaturation of TDG for hydraulic projects.

Key words : total dissolved gas ; supersaturated gas ; hydraulic project ; discharge ; temperature ; turbulence intensity

高坝泄流容易造成总溶解气体(total dissolved gas,简称 TDG)过饱和,TDG 过饱和最主要的危害是可直接导致鱼类气泡病的发生,引起鱼类的大规模死亡,不仅带来严重的经济损失,还会导致渔业资源衰退^[1]。早在 20 世纪 60 年代,美国科学家就开始对 TDG 过饱和问题进行研究,主要是围绕哥伦比亚斯内克河(Columbia and Snake River)上的水利工程泄水产生的 TDG 过饱和对河流内大麻哈鱼等珍稀保护鱼类的影响开展的,从而引起了人们对水利工程导致 TDG 过饱和现象的关注。美国国家环境保护署也把 TDG 饱和度作为评价水环境质量的—个标准,并规定将 TDG 饱和度 110%作为水体中 TDG 过饱和危害的临界值。

随着中国西部大开发和“西电东送”战略的实施,紫坪铺、溪洛渡、向家坝、锦屏等一批高坝已建或在建,另外双江口、白鹤滩等一批坝高在 200 m 以上的高坝也即将建设。TDG 过饱和的现象将日益显著,过饱和环境风险再次被人们普遍关注。然而在国内,关于 TDG 过饱和的研究刚刚起步,对于 TDG

的生成与释放过程、消减措施等方面的研究还不够系统和全面。笔者通过系列试验,探究影响水体中 TDG 过饱和的主要因素和过饱和 TDG 的释放过程。

1 TDG 饱和度的概念及其主要影响因子

1.1 TDG 过饱和的概念

TDG 是指液体(主要是水)中的总溶解气体,主要包括氮气、氧气、氩气、二氧化碳、水蒸气等。在一定的温度和压强条件下,大气中的一部分气体会以一定的速度不断地溶解在水中,与此同时,这些气体又会以一定的速度不断地从水中逸散到大气中,当气体溶解在水中的速度与气体从水中逸出的速度达到平衡时的状态就是平衡态。在温度和压强一定的情况下,特定气体在水中的溶解度是相同的。但是在某些情况下水中溶解的气体量可能会大于气体在该温度下的溶解度,这种情况即是 TDG 过饱和。

1.2 TDG 饱和度的计算式

目前多采用下列公式计算水中 TDG 的饱和度:

作者简介 王皓冉(1988—),男,四川成都人,本科生,水利水电工程专业。E-mail :scuwhr@qq.com

L_TDG = P_TDG / P_B × 100%

其中 P_TDG = P_N2(l) + P_O2(l) + P_Ar(l) + P_CO2(l) + P_H2O(l)

P_B = P_N2(g) + P_O2(g) + P_Ar(g) + P_CO2(g) + P_H2O(g)

式中：L_TDG 为水中 TDG 的饱和度；P_TDG 为 TDG 的压强，在实际情况中应为液体中各单项气体分压之和扣除静水压强补偿之后的剩余压强；P_B 为大气压强；P_i(g) 为第 i 种气体在气相中的分压；P_i(l) 为第 i 种气体在液相中的分压 [2]。

1.3 TDG 饱和度的主要影响因子

影响水体中 TDG 含量的主要因素有气体特性、环境条件及水质状况等，对于空气在水中的溶解而言，由于空气成分相对稳定，因此影响 TDG 饱和度的因素主要为环境条件和水质状况。

1.3.1 环境条件

影响 TDG 饱和度的环境条件主要有水温和压强。

1.3.1.1 水温

气体的溶解度与水温成反比，水温越高，气体分子运动速率越大，则水中气体越容易由溶解态转变为游离态而从水中逸出，导致气体溶解度降低，使水体更容易达到 TDG 过饱和状态 [1]。图 1 表示雅砻江三滩桥断面水温和 TDG 饱和度随时间的变化关系。可以看出，水温和 TDG 饱和度有着良好的相关性。

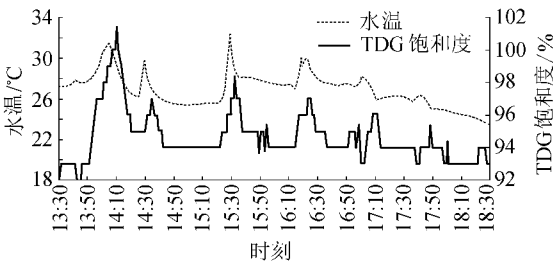


图 1 雅砻江三滩桥断面 TDG 饱和度和水温随时间变化曲线

为了进一步验证水体 TDG 饱和度与水温的相关性，在实验室中进行了水体加温试验。试验中对 TDG 初始值为 117% 的过饱和水进行加温，加温范围为 14 ~ 38 °C，并对加温后的水体进行自然降温。试验过程中 TDG 饱和度随水温的变化过程线如图 2 所示。

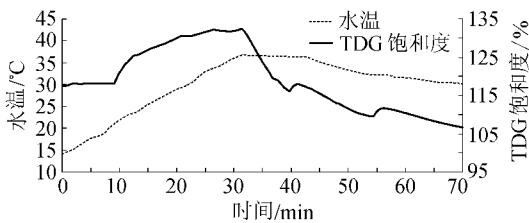


图 2 试验水体中 TDG 饱和度随水温变化过程线

1.3.1.2 压强

气体溶解度与压强成正比，压强越大则气体的

溶解度越大。水中气体的溶解度不仅与气压有关，而且与液静压有关，即水体深度越深，水体液静压越大，气体的溶解度就越大，就越不易形成 TDG 过饱和。

1.3.2 水质状况

水体的含盐量、pH 值等也是影响气体溶解度的重要因素，而水气界面面积、水体紊动强度等也会对气体溶解速度产生重要影响，因而水体的具体情况如含盐量、pH 值、水气界面面积、水体紊动强度等都会对 TDG 过饱和产生重要影响。

2 TDG 过饱和产生原因分析

2.1 不同水体的 TDG 饱和度观测

对景观水、人工湖水、荷花池水等不同水体进行 TDG 饱和度测量，结果见表 1。可见，自来水 TDG 饱和度达到 100%，由于污染及水生生物耗氧等因素的影响，景观水、人工湖水、荷花池水的 TDG 饱和度均低于 100%。

表 1 不同类型水体 TDG 含量对比

工况编号	水样	P_TDG/kPa	P_B/kPa	TDG 饱和度/%	温度/°C
1	九眼桥橡胶坝下游 100 m 河水	100.8	96.9	104	18.1
2	九眼桥橡胶坝上游 20 m 河水	98.1	96.9	101	18.1
3	自来水	96.9	96.9	100	18.2
4	江安校区明远湖水	93.5	96.9	96	18.3
5	江安校区景观水	92.0	96.9	95	18.4
6	望江东区荷花池水	88.9	96.9	92	18.4

对成都市九眼桥橡胶坝上下游水体的 TDG 含量进行测定。九眼桥橡胶坝位于成都市府南河九眼桥河段，橡胶坝长 72 m，坝高 3.7 m，坝袋容积 1 766.4 m³。泄流过程中，分别在橡胶坝上游 20 m 揣和下游 100 m 处设立 2 个观测点。对观测点处水体 TDG 饱和度的测量结果表明，下泄水体中 TDG 饱和度为 104%，明显高于坝前水体 TDG 的饱和度（101%），最大差值约 3%。由此说明，泄流可以导致水体溶解气体含量增加甚至过饱和。

2.2 水利工程泄流中 TDG 过饱和形成的条件分析

通常情况下，水利工程泄流导致水体 TDG 过饱和和依托于 2 个必要条件——掺气和加压。高速下泄的水流将空气以气泡的形式带至水体深处，即掺气过程；同时，由于水压的作用，致使气泡周围水体 TDG 含量迅速升高，即加压过程。之后在水流掺混作用下，生成的含高浓度溶解气体的水流被带入到下游水较浅处（水压较小），相对于当地压力而言，就出现了 TDG 水体过饱和现象。

当然，高坝泄洪导致的气体过饱和还与泄洪道

高度、单宽流量等因素有关,这些因素的变化均会改变水体掺气和压力条件,从而影响大坝下游水体中TDG的饱和度。

3 影响 TDG 释放的关键因素探究

大坝泄流产生的 TDG 过饱和水流,一般情况下 TDG 释放较为缓慢,如静置的 TDG 饱和度为 140% 的水体,恢复至饱和水平通常需要 50 h,而河道(如长江中游)天然情况下溶解氧过饱和恢复速度为平均每 100 km 降低约 5% [3]。研究表明,紊动强度和 水温对 TDG 的释放有着显著的作用。为了探究过饱和 TDG 的释放与紊动强度及水温度的关系,笔者在实验室中分别进行了扰动试验和加温释放试验,研究不同紊动条件和水温条件下过饱和 TDG 的释放过程。

3.1 扰动试验

3.1.1 试验方法

试验装置如图 3 所示,装置包括玻璃容器、P4 tracker 水质分析仪、可变速搅拌器和空压机,其中玻璃容器高 27.5 cm、直径 24 cm。

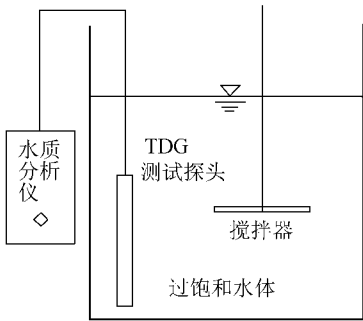


图 3 扰动释放试验装置示意图

试验开始之前对 TDG 饱和度为 100% 的自来水进行处理。开启空压机,通过向自来水中加压泵气,使水中溶解气体迅速过饱和。用 P4 tracker 水质分析仪对水样的饱和度进行测定,取 TDG 饱和度为 140% 的过饱和水作为扰动试验用水。通过调节搅拌器转速,分别测量在 200 r/min,400 r/min,600 r/min 时 TDG 饱和度随时间的变化情况。

3.1.2 试验结果分析

不同转速下 TDG 饱和度随时间的变化情况如图 4 所示。从 TDG 释放过程可以观察到,随着搅拌器转速的增加,TDG 由过饱和状态降至饱和状态的时间逐渐缩短,表明水体紊动强度的大小是影响 TDG 释放快慢的关键因素。从整个释放过程分析,TDG 释放速率随时间逐渐变缓。

3.2 水温对过饱和 TDG 释放的影响试验

在扰动试验的基础上,在过饱和水容器内放入加热棒,用以控制试验水温。分别进行 16.7℃,

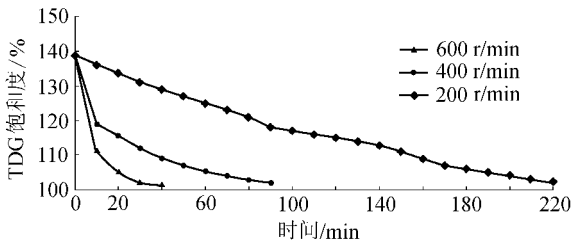


图 4 不同紊动条件下 TDG 释放过程

25.5℃,33.8℃ 水温条件下的 TDG 释放试验。3 组试验中搅拌器转速均为 400 r/min。不同水温条件下,TDG 饱和度随时间的变化情况如图 5 所示。

试验表明,在紊动强度等其他条件一定的情况下,水温是影响水体 TDG 释放速率的关键因素。水温越高,TDG 由过饱和降至饱和的时间越短,总溶解气体释放速率越快。

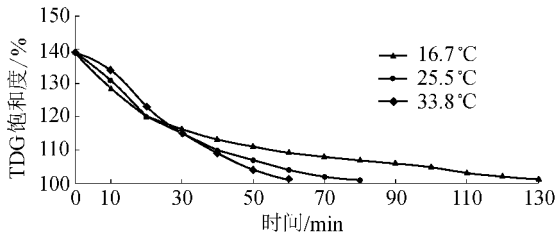


图 5 不同水温条件下 TDG 的释放过程

4 结 语

通过对不同水体 TDG 饱和度进行观测对比,发现泄流可以导致水体溶解气体含量增加甚至过饱和。在此基础上,采用试验方法探讨了 TDG 过饱和产生的原因及其释放过程,结果表明水利工程泄流引起的 TDG 过饱和与泄洪掺气、压力、紊动强度、水温等因素相关。为了减少 TDG 过饱和的影响,在水利工程调度过程中,建议通过减少水库泄流流量、泄流频率及泄流历时,尽可能地泄放高温水,减缓水利工程中溶解气体过饱和的影响。

TDG 过饱和问题是一个复杂的热点和难点问题,我国对此问题的研究开展较晚,理论认识不够成熟和完善。目前,关于高坝水利工程 TDG 过饱和的影响研究,比较缺乏长期系统的原型观测。因此,建议对已建高坝水利工程加强泄水过程中过饱和 TDG 的原型观测研究;对于待建的高坝水利工程,开展 TDG 过饱和的影响预测及减缓措施研究。

参考文献：

[1] 谭德彩,倪朝辉,郑永华,等.高坝导致的河流过饱和及其对鱼类的影响[J].淡水渔业,2006,36(3):56-59.
[2] 蒋亮,李然,李嘉,等.高坝下游水体中溶解气体过饱和问题研究[J].四川大学学报:工程科学版,2008,40(5):69-73.

[3] 陈永柏,彭期冬,廖文根,等. 三峡工程运行后长江中游溶解气体过饱和演变研究[J]. 水生态学杂志,2009,2(5):1-5.

[4] 刘权,李玉涛. 鱼类气泡病的发生与防治措施[J]. 科学养鱼,2003(3):43.

[5] 程香菊,陈永灿. 大坝泄洪下游水体溶解气体超饱和理论分析及应用[J]. 水科学进展,2007,18(3):346-350.

[6] 黄奉斌,李然,邓云,等. 过饱和总溶解气体释放过程预

测[J]. 水利水电科技进展,2010,30(2):29-31.

[7] 冯镜洁,李然,李克锋,等. 高坝下游过饱和 TDG 释放过程研究[J]. 水力发电学报,2010,29(1):7-12.

[8] US Army Corps of Engineers. Technical analysis of TDG processes [R]. Jacksonville District: US Army Corps of Engineers-Northwest Division, Environmental Resources and Fish Planning Offices,2005.

(收稿日期 2010-04-21 编辑 高建群)

城市郊区河道生态治理之我见

近年来,人们比较注重城市中心城区及近郊区水环境的治理,而对较远郊区河道水环境的治理还不够重视,致使城市远郊区河道内长期存在无序开采砂石、河道断面被弃石料堵塞、滩地开发规划管理无序、在滩地上私搭乱建等严重影响河道行洪和堤防安全的现象,多年来远郊区河道沿河村庄各居民点生活垃圾随意堆放,造成生活垃圾随河漂流,加上沿河养殖场及居民生活污水也大多是未经处理就自由排入河中,致使河道水质已受到严重污染。为改变这种状况,笔者建议重视城市远郊区河道的生态治理,积极探索更好、更有效、更经济、更生态的治河模式。

(1) 郊区河道生态治理工程要以保持河流自然生态理念进行总体规划,尽可能不破坏原生态环境,已破坏的要尽量恢复。特别是河道上游段,要尽量维持天然生态河道模式,保持相对封闭、安全的野生空间。

(2) 河道疏竣要以恢复天然生态河道为目的,严格清除行洪障碍物,保持原河道行洪断面。

(3) 清理河道周边废弃物、垃圾等污染物,改善河道两侧生态环境是必须要做的工程,这样才能为植被恢复及植物带建设创造条件。

(4) 要新建垃圾收集、转运系统及生活污水处理系统。对分散居民点可依据各小区化粪池的建设,有条件的地区人畜粪便污水处理可与沼气工程相结合建设。通过引入沼气系统,重新合理地规划厕所、畜圈禽舍,把人畜禽粪从地面引入地下,利用厌氧微生物发酵原理,一能获得清洁能源沼气,二能生产出充分腐熟的有机肥料——沼液和沼渣,三能消灭人畜禽粪便中的虫卵和病菌,使农村庭院从杂乱无序到整齐有序,从脏乱到洁净。

(5) 河道两岸植物带建设要因地制宜,建设乔木、灌木、草皮、湿地植物相结合的植物过滤带,达到涵养水源、保持水土、净化水质的目的。

(6) 河道植物带建设可以根据沿线不同的地形或不同区域特点布设不同的景观区域,既可作为人们休闲的主要集散地,也便于环境统一管理。

(7) 流域内畜禽养殖场的环境问题,是河道生态治理中遇到较大难题。畜禽养殖场粪便已成为郊区河道的严重污染源。小型养殖场建议建设沼气池对畜禽粪便进行生态处理,规模大的养殖场可考虑建有机肥生产线,如黄柏河综合整治工程中,以夷陵区湖北京都奶牛场为主体构建的有机肥料生产线,变废为宝,既解决养殖业产生的畜禽粪便问题,每年还可生产 4 000 t 有机肥,是一个可以借鉴的较好地处置污染源的例子。

(8) 沿河若需建防护堤坝工程,应体现生态河道理念,堤坝需考虑绿化可能,不做或少做与河岸不协调的圉工挡墙。

尽管城市郊区河道生态治理与城市中心区及近郊河道治理工程有许多相同之处,都希望通过河道治理达到‘水清、流畅、岸绿、景美’的效果,但两者的治理环境和对象有较大不同。郊区河道的周边环境以农业养殖业生产为主,面对的居住人群主要是经济较为落后的分散的农村居民,因而郊区河道的生态治理就要针对这种情况寻找人水和谐的治水思路,找到既有利于农村经济发展又利于生态环境改善的可持续发展郊区河道生态治理之路,这就需要人们在今后逐渐展开的郊区河道生态治理工程中不断地去摸索并总结经验。

(冉星彦供稿)