

水工业工程结构设计新世纪展望

沈世杰

(北京市市政工程设计研究总院)

给水排水工程的内容自上一世纪开始,实际上已经不是局限于水的供给和排放,而是与环境保护紧密相关。着眼于人类社会的可持续发展,其任务不仅致力于饮用水的水质净化与输送、生活污水和工业废水的排放与无害化处理,还包括对水资源的合理利用、污水处理后的回用等。对此传统的给水排水工程以水工业工程替代,应该认为是合理的,可以更加科学地揭示其实际涵盖内容。

水工业工程是城市基础设施的主要组成部分,因此其发展与城市规模的发展以及城市运行质量的提高息息相关。上世纪 50 年代以前,我国除个别大城市外,水工业工程还都谈不上,其功能仅限于水的供给与排放。新中国成立后尤其是党的十一届三中全会后,致力于发展国民经济,在城市建设规模和质量上均有空前的发展和提高。由此水工业工程亦相应获得了极大的发展,输送和排放的水量迅速增加,管线的口径发展到 2m 以上,矩形管道的净空达到 25m² 以上;水质净化处理厂的规模亦由日处理能力 10 万 t 以下,扩展到 100 万 t 以上。同时也由于水处理工艺技术的不断发展,对相应的结构设计提出了新要求和高标准。

据此,展望 21 世纪水工业工程的结构设计,将面临下列诸多课题,促使结构设计与之相适应,作出新的探索。

1 结构耐久性问题将会得到更多的重视

综观上一世纪中水工业工程的结构设计,应该承认或多或少比较偏重于结构承载力方面,在结构耐久性方面的考虑,对通常应用的钢筋混凝土结构,仅局限于使用期间的结构裂缝宽度限制,而对结构构造上的要求推敲不够。

1.1 钢筋保护层的厚度和结构截面厚度

对于钢筋混凝土结构中的钢筋净保护层厚度,对比国外相应标准的要求,均比我国现行标准规范规定的厚度大,一般都在 45mm ~ 50mm。这是考虑到水工业工程的环境条件不同于一般的民用建筑,在使用期间温、湿度变化较大,再加在运行介质以及暴露在大气中水处理构筑物长年遭受寒暑交替、日光暴晒等影响,对钢筋的锈蚀保护确实应引起重视。一旦钢筋出现锈蚀,则将陷入恶性循环,锈蚀处钢筋体积膨胀、扩展裂缝,继而进一步加剧锈蚀,最终大大缩减了结构的使用寿命。

应该指出现行我国有关规范中给出的钢筋最小保护层厚度,仅是根据民用建筑结构的传统做法,结合水工业工程的特点作了少量调整,很难预期对所有水工业工程结构的合理使用年限具有可靠保证。当然设计人员可以不必强制按规范规定的最小厚度采用,但实际很少会这样去做,主要受制于工程投资增加的影响,往往会受到工程业主的非议。上世纪中叶,有些水工业工程的水处理构筑物,其设计壁厚尚不到 200mm(至今可能仍有应用),实际

上是短期行为,是不可取的,很难具有使用 50 年的耐久性,更谈不上“百年大计”。

钢筋保护层对结构寿命的重要性,同样也反映在地下管道的防腐构造上。例如某大型钢铁企业 50 年代末兴建的输水管道,材质为管芯缠丝预应力混凝土(俗称三阶段制管工艺)圆管,预应力钢丝外用水泥砂浆喷浆厚 20mm 保护(对这类预制管道的钢筋保护层厚度当有别于现浇钢筋混凝土结构),80 年代发生爆裂事故,经检查发现输水管道沿线多处严重锈蚀,爆管处可见预应力钢丝锈蚀已如针尖。该管道的使用期为 20 多年,似乎不算太短,但以钢筋混凝土结构的使用期衡量,实在是太短了,一项大型工程的投资仅提供 20 多年的使用期,无论如何不能认为是合理的。

因此在水工业工程中,从确保钢筋混凝土结构的应用耐久性考虑,对钢筋保护层厚度应引起足够的重视。由此相应水处理构筑物的各部位结构截面厚度,同样不应该太薄,否则就施工工艺而言也是不可取的,最终只能是达不到预期的使用年限,导致工程投资的浪费。当前在我国吸收外资的投资工程中(例如世界银行、亚洲银行等),由于投资回收年限的约定,工程结构耐久性问题提到了突出重要的位置,外资方对钢筋保护层厚度的要求明确而严格,这方面的矛盾已得到充分反映。由此对国内投资的工程也应该进行反思,水工业工程的结构耐久性今后必须慎加考虑。

1.2 混凝土中的外加剂

上世纪 80 年代开始,混凝土中掺入外加剂国内日趋盛行。随着水工业工程规模的扩大,各种水处理构筑物的容积也越来越大,例如大型清水池、氧化沟的容积已达数 10 万 m^3 ,结构长度在 100m 以上。由于混凝土浇筑成型过程中的水化热和季节温度变化影响,在内、外约束条件下会导致结构物开裂,现行规范给出了传统做法,要求对超长结构设置变形缝,以缓解温度应力的影响。对此国外在变形缝做法上,按结构变形状态区分为缩缝或胀缝处理,这是由于国外建设市场的一般做法,工程施工图由中标承包商完成,承包商按计划进度安排明确施工时间,据此对变形缝的设计自可按变形缝的实际运作状态确定,而我国目前建设市场尚处于探索阶段,设计与施工并无内有联系,设计时并不了解确切的施工时间及相应的施工措施,因此对变形缝的设计通常以胀缝来考虑,并且目前沿用的变形缝构造(以橡胶止水带为主),同样可适应一定的收缩变形,虽然在变形缝的造价上稍有提高,但对经整个工程投资还是极为有限的。

变形缝处的施工比较麻烦,往往由于混凝土振捣不密实或止水带下窝有气泡,导致该处漏水;或者由于工艺、结构功能上的要求,不可能按规范给定的长度设缝,由此就衍生了在混凝土内掺入适量外加剂,以缓解结构产生温度裂缝。无疑这种外加剂具有一定的膨胀性或缓解收缩的功能,最简易的配方是存在一定的碱含量,而水泥中通常也含有碱量,如果混凝土中的集料具有碱活性时,将发生化学反应生成吸水膨胀的矿物,当混凝土内的碱含量超过一定数量时,会造成混凝土出现胀裂、剥落等破坏性后果,严重缩减结构的使用寿命。这种现象国内在北京等地区明显暴露(可能与集料的来源多碱活性有关)。据此对外加剂产品的应用,提出了必须低碱或无碱含量的要求(对水泥也需加以限制),由此也促使外加剂产品的更新换代。此外,外加剂的补偿效应还应兼顾到结构适应季节温差的功能。当前不少外加剂的补偿效应只是短暂的,只能对混凝土浇筑成型过程中的水化热影响起到作用,而随时间推移则此种作用逐步消失。应该明确这样的产品仍然是不完善的,只有补偿效应相对稳定的产品,才能使结构在整个使用期内不致因温、湿度影响产生开裂。

2 节约用地将为结构设计提出新课题

节约用地涵盖着 2 个方面:尽量少占地和利用废地(即指地形、地貌、地基土质很差的不好利用的土地)。

过去总说我国“地大物博”,实际上我国多的是山脉、丘陵。对城镇来讲可用地日益紧张,因此自上世纪 90 年代开始,往往将水质净化处理厂(尤其是污水处理)安排在不好利用的废地上,大多数情况是地基需要作不同程度的加固处理。根据这种场地条件,就会考虑到将水处理构筑物尽量设计成 2 层甚至多层,充分利用加固地基的承受能力,并可多留出绿化隔离带,达到尽可能节约用地的目的。

这方面日本就有先例,有些污水处理厂的净化构筑物做成叠合 2 层,另外还有多层叠合的楼式水厂。在奥地利可见到污水处理厂内的氧化沟是地下式并加盖,上覆土后种上一片草坪,与环保要求结合成一体。

叠合式盛水构筑物将对结构设计提出新的要求,需要更加重视抗渗、防腐的功能,并应注意到水汽的腐蚀更甚于液体。同时对地基基础设计和结构变形控制,需要作出更加细致的分析,以保证工艺运行功能的构筑物间连接管道的结构安全。

3 适应文明施工和快速施工的要求

当前我国经济建设正持续快速发展,新兴城市需要建设;老城市需要发展、提高质量,进行多方面的扩建和改造。随着环保意识的日益加强,文明施工是众望所归的要求,尤其是地下管线的施工。过去 20 年里在一些大城市里,对大口径管道多采用顶管、浅埋暗挖和盾构结构,施工主要在地下操作,避免长时间污染城市环境和影响居民生活。

采用地下施工的方式,就结构造价而言通常会高一些,但如果综合考虑土方土挖、倒运以及开槽涉及的地面设施等,就不一定都会增加投资,何况收到的社会效益是明显的。因此在本世纪内,可以预期对大口径管道的结构设计要致力于适应地下施工,尤其是顶管和盾构结构。

对于一些小口径管道或必须开槽施工的地下管线,结构设计着眼于快速施工、缩短工期。例如对常用钢筋混凝土圆管,取消现浇混凝土管座和简化连接井构造等措施,将是结构设计探索、完善的内容。诚然快速施工和文明施工并不相关,但快速施工、缩短工期无疑可以减少对城市正常运行的干扰。

同样,对于地下构筑物的施工,在城市中进行大开槽,有时也会影响周围环境,甚至对施工带来很大困难。对此采用沉井结构会是有利的,可以减少对周围环境的干扰,预期今后将得到更多的采用。

4 电子计算机技术

在水工业工程中,结构设计的工作量是很大的,尤其是水质净化处理厂工程,不论其规模多大,所谓“麻雀虽小,五脏俱全”,结构设计的工作量相差无几。目前水工业工程中的结构设计,CAD 技术的应用尚很不完善,不论在结论计算(内力计算、截面核算等)还是制图方面,都还缺乏成套的专用软件。由于受制于工艺条件,水处理构筑物的构造均比较复杂,目前尚缺乏定型,因此这类专用软件的开发难度较大,同时其尖用范围相对于建筑结构要小得多,所以至今无人问津。但预期本世纪内有关这方面的配套 CAD 技术会日趋完善,这是缓

解结构设计繁重工作量的唯一途径,并且将由从事水工业工程结构设计的技术人员自行完成。

5 新材料结构设计变革的原动力

在结构工程中,建筑材料的创新、新材料的涌现,都会导致结构变革,对水工业工程结构也是如此。上世纪 50 年代至 60 年代初,现浇钢筋混凝土水处理构筑物几乎 90% 会出现温度裂缝,出于水化热的影响,拆除模板时即可见到裂缝,成为设计和施工人员深感困扰的事。这主要在于当时缺乏方便实用的材料设置变形缝,或是沿用了金属止水片、预留锚栓紧固胶板止水,不仅施工不便,而且效果也不佳,往往成为漏水的通道。自上世纪 60 年代中期开始,橡胶止水带产品提出后,对结构变形缝构造提供了根本性的变革,成为避免温度裂缝出现的可靠措施。迄至 80 年代以后,止水带的型式和生产厂家都有了很大的发展,材质也有了进一步的提高;同时,变形缝外的嵌缝材料也有了新的开发,研制出聚胺脂、聚硫等密封膏新产品,使结构变形缝处的防渗功能更加提高了可靠性。

新材料推结构的变革,在地下管道上是明显。自上世纪 80 年代开始,大量的新型管材被引进国内,诸如球墨铁管(含未经退火的球态铸铁管)、预应力钢筒混凝土管(PCCP)、玻璃钢管(FRP,含缠丝和离心工艺)、塑料管(UPVC、PE 等),对国内原有的管材市场产生了巨大的冲击。这些新管材比之原有的管材,在强度、延性、水密性、防腐蚀等方面都显示了优越性。可以预期在本世纪内将完全替代原有的管材,同时也可以预期在未来的建设市场中,它们也将遭遇到激烈的竞争。结构设计的任务在于很好地掌握这些管材的性质的性能与特点,结合具体工程条件,正确合理地加以选用。

本世纪还刚刚开始,在漫长的岁月中,人类对自然界物质的认识必然将持续深化,经过不懈的开拓,新材料还会不断涌现。例如国外已经开发、国内正在开发的纳米(长度单位,相当于 10^{-9}m 材料,揭示了物质的新的特性,例如铜是导体,但如果磨细至纳米材料就成为良好的绝缘体。据目前了解到,应用纳米材料适量掺入到防水材料、塑料等,均可显著改善、提高其功能。可以预期纳米材料的应用是非常广泛的,对水工业工程结构亦将产生有影响的变革。同时,水工业工程的水质净化热处理工艺,同样会经过不断的研究开拓,涌现崭新的处理方法和流程。例如上世纪末已经开发应用的高效曝气池、旋流式沉砂池等,都显示了效益高、占地少的特点,21 世纪内预期将会有更多的研究开发成果,这些都将左右未来结构设计的功能及繁简程度。

综观上述几个方面,本文对水工业工程结构设计的展望,只是针对近 10 来年的情况稍作归纳和延伸,其局限性是明显的,不可能真正涵盖一个世纪内的重大变革,仅可作为抛砖引玉,供同行们指正。