

混凝土沼气池裂缝产生的机理及对策刍议

刘祥帅祺

(宁波大学 建筑工程学院,浙江 宁波 315211)

摘要:为找出农村户用沼气池产生“漏水漏气”的原因而进行了多年的现场调查与分析。结果表明:混凝土沼气池在建造与使用过程中典型的裂缝部位主要有池壁与池底连接处,池体与进、出料管相交处,拱顶与圈梁连接处,拱顶与活动口相交处。并对各处裂缝产生的机理进行了详细的阐述,并提出了可行的预防措施。

关键词:沼气池;混凝土;裂缝;对策

中图分类号:S216.4

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2012)10-0144-03

发展农村户用沼气,建造一个“不漏水不漏气”的沼气池是基础。目前,我国农村户用沼气建设多采用圆筒形水压式沼气池,池体结构受力性能良好,施工方便,并且大多用混凝土现浇建造,质量稳定,造价低廉,很受农户欢迎。但实践表明,一些沼气池使用不久即出现裂缝,产生“漏水漏气”现象,所谓“一年好用,两年不用,三年报废”,在一定程度上挫伤了农户建池、用池的积极性。探索沼气池裂缝产生的机理及控制对策具有现实的意义。

1 沼气池裂缝产生机理

极细微裂缝是混凝土的材料特征。混凝土在硬化过程中,各组成材料的变形是不均匀的,水泥石变形大,骨料变形小,两者之间因不能自由变形而相互约束,由此产生约束应力,约束应力以内应力的方式存在于混凝土中,导致骨料与水泥石之间以及水泥石相互之间产生极细微裂缝。极细微裂缝的存在并不影响沼气池的安全与正常使用。为此该文所述的裂缝是指已严重影响沼气池正常使用的裂缝。

实践证明,“病态池”典型的裂缝部位主要有池壁与池底连接处,池体与进、出料管相交处,拱顶与圈梁连接处,拱顶与活动口相交处(见图1)。

1.1 进、出料管与池体连接处裂缝

混凝土的早期收缩是导致混凝土早期和后期开裂的主要原因之一。混凝土在硬化初期由于水泥与水的水化作用形成水泥晶体,水泥晶体化合物较原材料的体积小,宏观上引起混凝土收缩(凝缩);后期因混凝土内自由水分蒸发引起体积变小(干缩)。混凝土的收缩应变一般为 $(2\sim 3)\times 10^{-4}$,收缩应变初期较快,14 d可完成全部收缩量

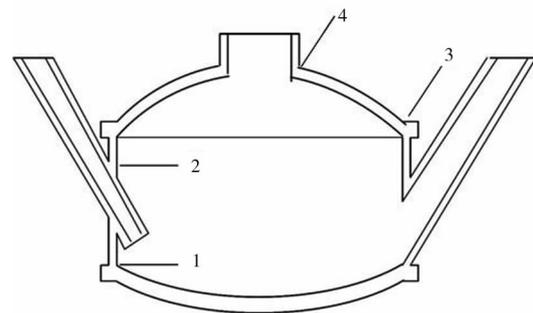


图1 沼气池主要裂缝部位

Fig.1 The main cracks place in a biogas tank

1. 池壁与池底连接处;2. 池体与进、出料管相交处;
3. 拱顶与圈梁连接处;4. 拱顶与活动口相交处

1. The junction of biogas tank wall with the bottom; 2. The intersection of biogas tank body with the into pipe or discharge pipe; 3. The connection of biogas tank dome with the ring beam; 4. The intersection of biogas tank vault with the activity port

的25%,1~2 a趋于稳定^[1]。多年来,建造混凝土沼气池,为方便施工和加快进度,沼气池的进、出料管一般采用预制管、陶瓷管或PVC管。由于预制管、陶瓷管或PVC管的变形已稳定,而现浇池壁正处于收缩应变阶段,两者之间就容易出现因现浇混凝土体积收缩而产生的裂纹(缝)。

沼气池是一个由发酵间与进料间、水压间通过进、出料管相连通的顶部有活动口的容器。由于进、出料管直径较大(一般直径200 mm以上),不可避免地削弱了池体结构的整体性,在进、出料管周围产生应力集中现象,当应力集中处的最大应力超过混凝土的抗拉强度时,就会产生裂缝,从而导致进、出料管的周围出现裂缝。同理,活动口(一般直径600 mm)周围也产生应力集中现象,也是拱顶与活动口相交处产生裂缝的主要原因之一。

1.2 池底与池壁连接处裂缝

在地基没有发生不均匀下沉的情况下,该处裂缝主要是存在施工“冷缝”并处理不当造成。所谓施工“冷缝”是指由于混凝土浇筑的非连续性,

收稿日期:2012-07-22

作者简介:刘祥帅祺(1994-),男,广西壮族自治区北流市人,在读学士,从事土木工程专业学习与研究。E-mail: gxstdeyuan@126.com.

下层混凝土已经凝结,而上层混凝土尚未注入和振捣,导致上下层结合处的混凝土胶结作用降低的现象。“冷缝”的形成机理:当下层混凝土受振捣时,粗骨料下沉,砂浆上浮,水泥水解生成氢氧化钙,又随泌水浮于表层,结果是:①混凝土表层由于水灰比增大,泌水通道增多,结构疏松多孔而形成弱砂浆层;②混凝土表面覆盖着由氢氧化钙经碳化作用生成的碳酸钙,俗称“乳皮”。“乳皮”及“弱砂浆层”的存在,削弱了混凝土上下层面的胶结作用力,导致混凝土强度降低。混凝土“冷缝”是一个危害严重的病害面,它渗透性明显大于混凝土本体的渗透性,对混凝土结构的安全性和耐久性非常不利^[2]。

沼气池的施工过程:池底——池壁——拱顶——活动口。利用钢模时,工序是:浇筑池底——组装钢模——浇筑池壁——拱顶——活动口;因钢模安装的时间需要,通常是当池壁施工时,池底混凝土已经凝结硬化,施工“冷缝”已形成。利用木模(砖或砂模)时,工序是:浇筑池底——池壁模板——浇筑池壁——拱顶模板——浇筑拱顶——活动口;当池壁施工时,池底混凝土已经达到了一定强度;浇注拱顶时,圈梁(池壁)的混凝土也已凝结硬化,施工“冷缝”都不可避免。目前,在具体工程实践中,由于各种原因,浇注拱顶到浇注活动口的时间间歇也往往超过水泥初凝甚至终凝的时间,致使拱顶与活动口相交处也常形成“冷缝”。

1.3 料液腐蚀产生裂缝

混凝土中的水化产物主要有水化硅酸钙、水化铝酸钙、水化铁铝酸钙、氢氧化钙,而足够的氢氧化钙又是其它水化产物保持凝聚、结晶稳定的物质基础。各种酸对混凝土都有不同程度的腐蚀作用。当遇到酸的作用时,混凝土中的氢氧化钙因与酸发生反应生成易溶于水的盐而溶失,随着氢氧化钙含量的减少,其它水化产物也因保持存在的平衡条件遭受破坏而分解,从而导致混凝土性能下降。各种酸也随着毛细孔通道渗透到混凝土内部,有的酸(如硫酸或存在硫酸根离子)与混凝土中的水化产物或其它组分发生化学反应,生成有体积膨胀的化合物,如二水石膏和钙矾石等,导致混凝土内部产生膨胀应力,当膨胀应力大于混凝土的抗拉强度时,混凝土就会产生裂缝。

沼气发酵过程分为3个阶段:水解、产酸、产甲烷阶段^[3]。水解反应是微生物利用所分泌的胞外酶,如纤维素酶、蛋白酶、脂肪酶等对有机物进行体外酶解,通过水解反应使复杂有机物,主要是多糖类物质,转变成可溶于水的物质,如糖、肽、氨基酸、脂肪酸等,供产酸菌和产甲烷菌吸收利用。在产酸阶段,产酸细菌吸收溶于水的物质并进一

步将它们分解成小分子化合物,如低级挥发性脂肪酸、醇、二氧化碳和氢等,主要产物是挥发性酸,包括乙酸、丙酸和丁酸等。这些酸溶于料液中,势必对池壁产生腐蚀作用,随着使用时间的延长,腐蚀作用更大,混凝土池体就会出现裂隙及漏水漏气现象。特别是在几个连接处,混凝土抗渗性更为薄弱,更易遭受破坏。

1.4 外力作用产生裂缝

在施工和使用的过程中,如地基不均匀下沉、出料时产生了负压以及池体顶部地面或地面附近堆积重物等,都对池体产生拉伸或挤压与剪切作用,强度大时,可导致池体出现裂纹(缝)甚至结构的整体破坏,有关这方面的阐述很多,不再赘述。

2 沼气池裂缝的控制

多年的实践与调查表明:尽管沼气池出现裂缝的原因是多方面的,但多与使用的材料及施工中留下的隐患有关。

2.1 严格控制建池混凝土的水灰比

严格控制混凝土水灰比是减少裂缝的根本措施。因为水泥水化时所需的结合水,一般只占水泥重量的23%左右,但在拌制混凝土拌合物时,为了获得必要的流动性,常需用较多的水(约占水泥重量的40%~70%),即采用较大的水灰比。当混凝土硬化后,多余的水分就残留在混凝土中形成气泡或蒸发后形成气孔,大大地减弱混凝土抵抗荷载的实际有效断面,而且可能在孔隙周围产生应力集中^[4]。实践证明收缩裂缝都是由于混凝土单方用水量过大、混凝土过稀、坍落度过大,而且水分蒸发过快、过多造成的。实践表明水灰比不宜大于0.4。

2.2 掺入微纤维,提高混凝土的抗裂抗渗性

混凝土的技术性质在很大程度上是由原材料的性质及其相对含量决定的^[4]。从材料角度看,控制混凝土的早期开裂主要考虑减小混凝土收缩和提高混凝土抗拉强度,用掺入纤维提高混凝土抗裂性和韧性是公认的有效方法^[5-6]。在混凝土中掺入聚丙烯纤维,可在混凝土内部形成一个均匀的乱向微支撑体系,为混凝土提供控制收缩应变最有效的次加强筋。一方面,当混凝土产生收缩应变时,聚丙烯纤维承担了极大部分的收缩能量,可有效地抑制收缩裂缝产生或减小裂缝宽度,从而提高混凝土的抗裂性。另一方面,聚丙烯纤维能够阻断混凝土中毛细管的通道,使水分迁移困难,从而提高混凝土的抗渗性。这两方面,正是混凝土沼气池所需要的。聚丙烯纤维掺入量为 $0.8\sim 1.2\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

2.3 严格按施工工艺要求施工,确保池体的整体质量

混凝土的技术性质除与原材料的性质及其相

对含量有关外,同时也与施工工艺(搅拌、成型、养护)有关^[4]。农村家用沼气池是一个对气密性要求很高的产气和贮气装置,而在实际施工中有许多环节不符合施工工艺要求,势必影响到沼气池的使用效果和使用寿命。混凝土施工过程中,应搅拌均匀、振捣密实、养护良好才能使混凝土硬化后达到预期的强度。

2.3.1 使用机械搅拌和振捣,提高混凝土的密实度 采用机械搅拌不仅比人工搅拌工效高,而且搅拌更均匀,故能提高混凝土密实度和强度。采用机械振捣,可使混凝土拌和物的颗粒产生振动,降低水泥浆的粘度及集料之间的摩擦力,提高流动性。同时混凝土拌和物被振捣后,其颗粒相互靠近并把空气排除,使得混凝土内部孔隙率显著减少,从而使混凝土的密实度和强度都得到提高。施工中做到不过振、不漏振,振捣强度以混凝土振捣面无气泡冒出为宜。振捣混凝土时振动棒移动间距 400 mm 左右,时间以 5~15 s·次⁻¹为宜,振捣时间过长,骨料下沉,混凝土表面砂浆层过厚,容易产生裂缝。特别是上述几个连接处更应仔细振捣密实。

2.3.2 正确处理施工“冷缝”,确保施工质量 为保证池体的整体质量,混凝土浇筑应连续进行,不可避免出现“冷缝”时,应按“施工缝”进行处理。混凝土初凝以后,不能过早上面直接浇筑新的混凝土,否则在振捣新浇筑的混凝土时,就会破坏已初凝混凝土的内部结构,要等混凝土抗压强度达到 1.2 MPa 以上,才能继续浇筑。在浇筑混凝土前应消除“施工缝”表面的水泥浆、松动的砂石和砂浆等杂物。在浇筑混凝土时,为防止“施工缝”处形成石子密集区,影响混凝土强度,浇筑前应先铺一层厚度为 10~15 mm 的与混凝土成分相同的水泥砂浆,然后才能继续浇筑混凝土。

2.3.3 做好养护工作,确保混凝土强度增长 混凝土在正常养护条件下,强度随龄期的增长而提高。混凝土的强度在最初 3~7 d 增长较快,28 d 逐渐变慢,只要保持适当的温度和湿度,强度会一直有所增长。初期养护工作,对混凝土沼气池的质量好坏起着决定性的作用,浇筑完毕后 12 h 内应对池体加以覆盖或浇水养护,以使混凝土表面

处于湿润的状态,养护时间不应少于 14 d。工程实践中常常疏于浇水养护,以致混凝土中的水泥水化物因部分失水而干缩,导致混凝土表面出现不规则的浅裂缝。

2.4 提高密封层施工质量,防止料液腐蚀

因为混凝土是属于非均质的多孔性材料,孔隙的大小可分为 4 个级别,一是凝胶孔,二是过渡孔,三是毛细孔,四是大气孔。其中凝胶孔的直径一般为 5~10 nm,而甲烷分子的直径只有 0.38~0.46 nm,加之甲烷分子又比空气分子的运动速度快好几倍,所以特别容易出现渗漏^[7]。为此,应严格按照《户用沼气池施工操作规程》(GB/T4752—2002)提出的采用“三灰四浆”工作法来进行密封层的施工。通过控制水灰比,多层次的抹灰刷浆,薄抹重压,反复磨压等措施来减小、减少孔隙,并使孔隙不在一条直线上,隔断孔隙通向池外的通道,可以起到良好的密封作用。

水泥掺和型密封涂料是采用高分子耐腐蚀树脂材料做成膜物,以水泥作增强剂配成的密封涂料,制浆涂刷后,能形成“硬质薄膜”包被^[8]。沼气池基础密封层完工后,还应用水泥掺和型密封涂料涂刷池体内表面,使之形成一层连续均匀的薄膜,从而堵塞和封闭混凝土和砂浆表层的孔隙和细小裂缝,防止料液酸类腐蚀。

参考文献:

- [1] 王萍. 混凝土结构与砌体结构[M]. 大连:大连理工大学出版社,1995:22.
- [2] 袁群,马朝运,李宗坤. 混凝土冷缝抗渗性能的试验研究[J]. 混凝土,2008(9):10-11.
- [3] 张全国. 沼气技术及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2007:31-32.
- [4] 湖南大学,天津大学,同济大学,等. 建筑材料[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1996:76.
- [5] 高小建,赵福军,巴恒静. 减缩剂与聚丙烯纤维对混凝土早期收缩开裂的影响[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版,2006,22(5):3-5.
- [6] 曹诚,刘兰强. 关于聚丙烯纤维对混凝土性能影响的几点认识[J]. 混凝土,2000(9):49-50.
- [7] 农业部人事劳动司. 沼气生产工[M]. 北京:中国农业出版社,2004:56-138.
- [8] 刘海亚. 混凝土沼气池耐久性分析[D]. 上海:同济大学,2008:25-48.

Discussion on the Concrete Digesters Cracks and the Countermeasures

LIU Xiang-shuai-qi

(Architectural Engineering College of Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211)

Abstract: In order to find out the reasons of the rural household biogas 'water and gas leakage', the field investigation and analysis have been done for many years. The results showed that the typical cracks place in the concrete biogas digester: junction of biogas tank wall with the bottom, intersection of biogas tank body with the into pipe or discharge pipe, connection of biogas tank dome with the ring beam and intersection of biogas tank vault with the activity port. The mechanism of cracks were analyzed in detail, and the preventive measures were proposed.

Key words: biogas digester; concrete; cracks; countermeasures