

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.10.012

运用水力学知识计算消防水池最低有效水位

徐 啸, 金美华

(江苏省医药设计院有限公司, 江苏 无锡 214064)

摘 要: 当消防水池设置共用取水井时,由于取水井与消防水池之间连通管的约束,二者需保持一定的水位高差才能保证连通管内产生足够的流量,此水位高差最终影响消防水池的最低有效水位。在确定消防水池最低有效水位时,不能只简单地从字面理解消防规范条文,而应进行深入分析计算,否则将会造成取水井内补水不及时,消防泵处于空转状态,无法提供消防水量的现象。为避免类似问题的发生,运用水力学中的短管出流知识和伯努利方程,对设置取水井的消防水池最低有效水位进行理论分析,并根据不同情况选取合适的水力学公式进行准确计算,可为相关工程设计提供参考。

关键词: 消防水池; 取水井; 最低有效水位; 短管淹没出流; 伯努利方程

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)10-0075-04

Calculating Lowest Effective Water Level of a Fire Pool Using Principles of Hydraulics

XU Xiao, JIN Mei-hua

(Jiangsu Pharmaceutical Design Institute Co. Ltd., Wuxi 214064, China)

Abstract: Due to the limitations imposed by the connecting pipe between the water-supply well and the fire pool, it is necessary to maintain a certain water level difference between them to ensure adequate flow in the connecting pipe. This water level difference ultimately influences the lowest effective water level of the fire pool in the scenario of fire pools featuring a shared water-supply well. When determining the lowest effective water level of the fire pool, it is not sufficient to interpret the provisions of the fire code literally. Instead, an in-depth analysis and precise calculation are required. Failure to do so may result in untimely water supply from the well, the fire pump running without water, and the inability to provide firefighting water when needed. To prevent the recurrence of similar issues, this study theoretically analyzed the lowest effective water level of the fire pool with a water-supply well by applying the principles of short-pipe outflow and Bernoulli's equation in hydraulics. Furthermore, an appropriate hydraulic formula was selected based on different scenarios to ensure precise calculations, thereby providing valuable references for relevant engineering designs.

Key words: fire pool; water-supply well; lowest effective water level; submerged short-pipe outflow; Bernoulli's equation

1 研究背景

消防水池的最低有效水位与消防水泵的设置高度、水泵类型等密切相关,《消防设施通用规范》

(GB 55036—2022,以下简称《消通规》)3.0.8.3条规定:消防水池的出水管应保证消防水池有效容积内的水能被全部利用,水池的最低有效水位或消防

水泵吸水口的淹没深度应满足消防水泵在最低水位运行安全和实现设计出水量的要求。《消通规》3.0.11.4条规定:消防水泵应采取自灌式吸水。《消防给水及消火栓系统技术规范图示》(15S909)规定:对于卧式消防水泵,消防水池满足自灌式启泵的最低水位应高于泵壳顶部放气孔;对于立式消防水泵,消防水池满足自灌式启泵的最低水位应高于水泵出水管中心线。《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014,以下简称《水消规》)4.3.7条规定:储存室外消防用水的消防水池或供消防车取水的消防水池,应设置取水口(井),且吸水高度不应大于6.0 m。在实际设计中,针对此条规定,考虑到消防车的高度,一般按照消防水池最低有效水位至室外地面高度不超过5.0 m考虑。在《水消规》及《消通规》中还有其他有关消防水池最低有效水位与消防水泵关系的条文规定,此处不再详述。

在实际工程中,设计人员不能简单地按照上述规范条文生搬硬套,而应根据具体的项目情况,通过水力学计算准确确定消防水池的最低有效水位。以图1所示的消防水池布置形式为例,消防水池出水管的布置可以满足《水消规》4.3.6条规定:每格(或座)消防水池应设置独立的出水管,并应设置满足最低有效水位的连通管,因此,其为可行的消防吸水方案。

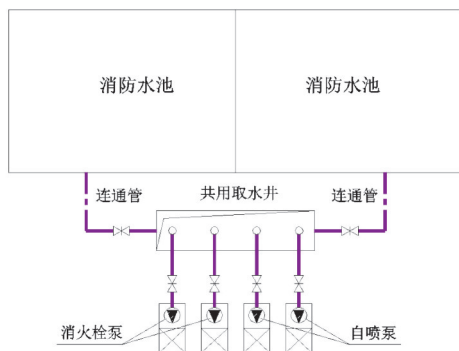


图1 消防水池出水管布置

Fig.1 Layout of discharging pipes for fire pool

消防泵采用图1这种吸水模式时,在平时正常情况下,取水井的水位与消防水池的水位处于同一高度,但消防水池的最低有效水位不能再简单地按照上述规范条文来执行,即消防水池最低有效水位高于卧式泵的泵壳顶部放气孔或者立式泵的出水管中心线。此时,还应考虑消防水池与取水井之间连通管的过流量能否满足消火栓泵和自喷泵同时

运行的流量,否则就有可能导致取水井内补水不及时,井内水被消防泵吸空,消防泵处于空转状态,无法为相应的消防系统及时地提供灭火所需消防水量而延误灭火时机,从而造成重大消防事故,此时就算消防水池内的储水量能够满足消防规范要求也无济于事。而要计算消防水池与取水井之间连通管的过流量,就必须运用水力学的相关知识,下面通过工程实例计算来进行详细说明。

2 项目概况

以医药项目厂区的消防设计为例,考虑到医药生产的特殊性,该厂区分分为办公区和生产区两部分。因项目要求消防水池与景观水池合用,故消防水池整体池深较浅,占地面积较大,同时考虑到景观水池的景观效果,将消防水池布置于办公区前部,设计时采取了确保消防水池消防用水不作他用以及消防水池水质的技术措施;考虑到厂区现状,将消防泵房布置于距离消防水池较近的生产区的机修动力车间内,消防水池与消防泵房最近直线距离约为60 m。

该厂区总体消防情况:厂区内有1栋多层质检楼,按民用建筑设计,室外消火栓用水量为25 L/s,室内消火栓用水量为15 L/s,火灾延续时间按2.0 h考虑,质检楼内同时设置自动喷水灭火系统,所需流量为40 L/s,火灾延续时间按1.0 h考虑;厂区内另有多栋多层丙类车间,其中室内外消防用水量最大的车间的室外消火栓用水量为30 L/s,室内消火栓用水量为20 L/s,火灾延续时间按3.0 h考虑,丙类车间内均未考虑设自动喷水灭火系统。厂区采用室内外消火栓合并的临时高压消防给水系统。原设计在厂区设1座消防水池,分2格,总有效容积540 m³;消防水池设共用取水井1座,有效容积11 m³;消防泵房内设室内外消火栓泵2台,1用1备,单泵 $Q=50$ L/s、 $H=900$ kPa、 $P=90$ kW,设自喷泵2台,1用1备,单泵 $Q=40$ L/s、 $H=710$ kPa、 $P=55$ kW,二者均采用消防专用单级单吸立式泵。

该工程设计消防水池的有效容积,室内外消火栓泵及自喷泵的流量、扬程均能满足整个厂区消防水量及水压的要求。消防水池、消防泵房的平、剖面如图2所示。值得注意的是,为了更好地阐述该研究所提出的问题,图中只标出了与所述内容相关的管道,即消防水池至取水井的连通管以及消防泵

至取水井的吸水管,其余相关管道均应按照消防规范要求设置,图中不再表示。

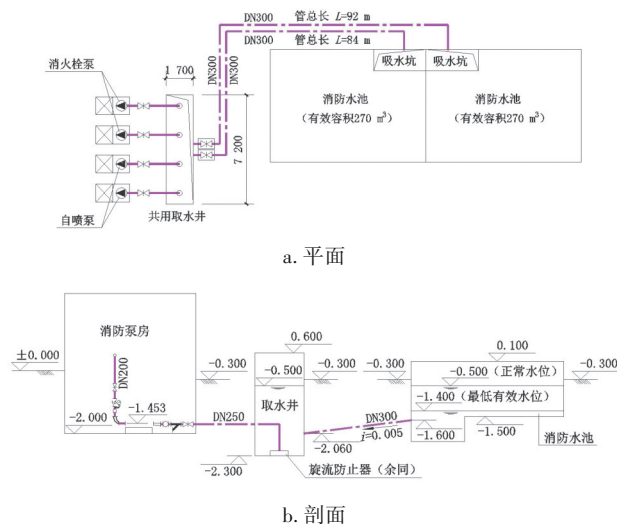


图2 消防泵房、消防水池平面剖面

Fig.2 Plan and section of fire pump room and fire pool

该设计以消防泵房一层室内地坪标高±0.000为相对标高,室内外高差0.300 m,消防水池、取水井正常水位标高为-0.500 m,消防水池最低有效水位标高为-1.400 m,消防专用单级单吸立式泵出水管中心标高为-1.453 m。消防水池至取水井管道管径为DN300,采用内外壁热镀锌无缝钢管,法兰连接,管道流量按90 L/s考虑,流速为1.232 m/s,满足《水消规》中关于消防泵吸水管流速的要求。以上设计从表面上看均可以满足消防泵自灌吸水以及消防规范相关条文的要求,但在实际的消防泵运行过程中,即使只有1台室内外消火栓泵以50 L/s的流量运行,几分钟后取水井内的水就会被抽干,处于无水状态。这种现象发生的原因是设计时没有考虑连接消防水池和取水井之间连通管的流量与水头的关系,因此,需从水力学原理的角度进行分析。

3 水力学分析计算

该项目中消防水池至取水井的连通管内水流流动在《水力学》^[1]上属于有压管流中的短管淹没出流。短管是指在水头损失中沿程水头损失和局部水头损失占比较大而必须同时考虑的管道,如水泵吸水管、虹吸管以及建筑给水管等。短管出流的基本公式是在伯努利方程的基础上,结合沿程水头损失和局部水头损失的计算公式以及自身特点得到。短管淹没出流流量计算如下式所示:

$$Q = vA = A \sqrt{2gH} \left(\sum \frac{\lambda l}{d} + \sum \xi \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中: Q 为连通管流量,该例中 $Q=0.09 \text{ m}^3/\text{s}$; v 为连通管流速, m/s ; A 为连通管断面面积,该例中 $A=0.073 \text{ m}^2$; g 为重力加速度,取 9.8 m/s^2 ; H 为消防水池与取水井之间产生水流流动的自由液面高差, m ; d 为消防水池至取水井的连通管管道内径,该例中 $d=0.305 \text{ m}$; λ 为沿程阻力系数,根据水力学中海澄-威廉公式计算, $\lambda=128.74d^{0.129}/(C_h^{1.852}Q^{0.148})=0.0312$; l 为消防水池至取水井的连通管管长,按最不利连通管长度选取, $l=92 \text{ m}$; $\sum \xi$ 为消防水池至取水井的连通管路局部阻力系数之和,包含1个进口阻力系数 ($\xi_{\text{en}}=0.50$)、1个出口阻力系数 ($\xi_{\text{ex}}=1.0$)、3个 90° 弯头阻力系数 ($\xi_b=0.3$)、1个闸阀阻力系数 ($\xi_g=0.07$),经计算 $\sum \xi=2.47$ 。

当DN300的连通管通过90 L/s流量时,所需的消防水池与取水井之间的水位高差为: $0.09=0.073 \times \sqrt{19.6H/\sqrt{0.0312 \times 92/0.305 + 2.47}}$, 经计算 $H=0.922 \text{ m}$ 。

4 计算结果分析

在最不利情况下,即消防水池至取水井之间的DN300连通管需满足厂区室内外消火栓泵、自喷泵同时运行时的90 L/s流量,当消防水池处于-0.500 m正常水位时,取水井内水位应为-1.422 m;随着灭火的进行,消防水池水位将会持续下降,当消防水池水位达到-0.550 m时,取水井水位为-1.472 m,此时已不能满足消防泵自灌吸水(-1.453 m)的要求;当消防水池水位达到最低有效水位-1.400 m时,取水井水位应为-2.322 m,已低于取水井的井底标高,说明在此之前取水井内已处于无水状态。

因此,该工程原设计存在问题。考虑到消防泵房原已建设,故重新设计时取消取水井,改为消防水泵直接从消防水池吸水,从而解决了上述问题。

4.1 举例1

同理,可以计算出在消防水泵最大流量情况下,消防水池至取水井的连通管管径采用DN400(管道内径 $d=386 \text{ mm}$,管道流速 $v=0.769 \text{ m/s}$)时的 H 为: $0.09=0.117 \times \sqrt{19.6H/\sqrt{0.0321 \times 92/0.386 + 2.47}}$, 经计算 $H=0.306 \text{ m}$ 。

4.2 举例2

另外,可以计算出当消防水池至取水井的连通

管采用DN300,但只有室内外消火栓泵启动(即连通管流量要求为不小于50 L/s)时的 H 为: $0.05=0.073\sqrt{19.6H/\sqrt{0.034\times 92/0.305+2.47}}$,经计算 $H=0.305\text{ m}$ 。

4.3 结果分析

由上述分析可知,若要消防水池与取水井之间的连通管产生足够的流量,二者必须存在水位高差;连通管管径、流量大小对消防水池与取水井之间的水位高差影响较大,为尽量减小二者的水位高差,必要时需增大连通管管径,减小管道内流速,使其低于《水消规》5.1.13节中有关消防泵吸水管流速的规定。

4.4 其他情况分析

除了上述案例,在实际工程中还应注意以下几种取水井影响消防水池最低有效水位的情况。

① 消防水池取水采用取水井或井筒

当消防水池取水口采用取水井或者取水井筒形式[具体可见15S909第24页的做法示例(三)、(四)]时,应注意消防水池的最低有效水位不能再按不大于室外地面5.0 m考虑,而是应考虑消防车从取水井或取水井筒中取水时,取水井或取水井筒的最低有效水位不大于室外地面5.0 m,再根据消防水池到取水井之间连通管的管道特性计算两者之间所需的水位高差,最后倒推出消防水池的最低有效水位。另外应注意取水井与取水井筒相对连通管的局部水头损失系数是有区别的,计算时不能忽视。

② 消防水源采用天然地表水

当消防水源采用天然地表水,并在小区内设置消防取水井时,消防水源最低有效水位的确定不能仅以地表水的枯水位为基准,还应考虑地表水枯水位与取水井之间连通管导致的水位高差问题,消防水源的设计最低有效水位实际应低于地表水枯水位。

③ 消防水池处于较高位置

当消防水池处于较高位置,取水井、消防泵房处于较低位置时,在火灾后期可能存在消防水池的水通过连通管自由流出到取水井的情况,而不是上述的淹没出流,此时应采用《水力学》中短管自由出

流计算公式计算水位差,具体公式如下:

$$Q = vA = A\sqrt{2gH_0}\left(\alpha + \sum \frac{\lambda l}{d} + \sum \xi\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中: H_0 为总水头,m; α 为动能校正系数。

因此,当消防水池位置较高时,火灾前期采用短管淹没出流公式进行计算,后期采用短管自由出流公式进行计算。具体可由设计人员根据工程实际情况进行分析确定。

5 结论及建议

当消防泵房吸水管从消防水池的取水井吸水时,确定消防水池最低有效水位,满足消防泵自灌要求,不能仅按照消防水池最低有效水位高于卧式泵的泵壳顶部放气孔或者立式泵的出水管中心线设计,还应从水力学角度考虑消防水池至取水井之间产生水流流动所需的水位高差,此水位高差会对消防水池的最低有效水位产生不利影响,从而影响整个消防泵房、消防水池的布置,严重时甚至会影响消防泵吸水,延误火灾扑灭,导致重大火灾事故。另外,在计算管道局部水头损失时,不能仅按照《水消规》10.1.6条规定:当资料不全时,局部水头损失可按照管道沿程水头损失的10%~30%估算,当管道管径较大,管内流速偏小,而且连通管路拐弯较多时,局部水头损失会超过沿程水头损失的30%。因此,对于消防水池最低有效水位,既不可以生搬硬套规范条文,也不能仅凭经验确定,而是应该运用水力学的短管出流公式,分不同情况对沿程水头损失和局部水头损失进行精确计算后得到。

参考文献:

- [1] 赵振兴,何建京,王付. 水力学[M]. 第3版. 北京:清华大学出版社,2021:132-135.
ZHAO Zhenxing, HE Jianjing, WANG Cun. Hydraulics [M]. 3rd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2021:132-135(in Chinese).

作者简介:徐啸(1973—),男,江苏宜兴人,本科,高级工程师,主要从事建筑给排水设计工作。

E-mail:1344969405@qq.com

收稿日期:2024-03-05

修回日期:2024-03-12

(编辑:沈靖怡)