

水电站供排水管道结露机理及处理技术

张思青, 何士华, 纳学梅, 王煜, 王晓萍

(昆明理工大学, 云南 昆明 650051)

摘要:通过对电站供排水管道结露现象的研究分析, 找出供排水管道发生结露的机理, 并将隔热技术用于水电站的供排水管道结露问题处理上, 给出了供排水管道所用隔热层结构. 提出电站供排水管道结露现象的处理可采用对管道外壁施加隔热保冷层的措施, 并给出保冷层厚度的计算公式及校核方法.

关键词:水电站; 供排水管道; 结露; 隔热技术; 保冷层

中图分类号: TV738

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2003)05-0048-03

1 结露问题的提出

水电站技术供水是保障水电厂正常运行的重要组成部分, 其主要作用是解决水轮发电机组、水冷变压器、水冷空气压缩机等设备的冷却与润滑. 由于电站地质条件的不同, 各电站的取水方式则存在不同, 这样致使供水水源温度与厂房环境温度之间存在一定的温差. 当温差达到一定值时, 则使供水管道外壁出现结露现象. 每年的夏季这种现象更加严重. 当结露速度较快时, 结露水珠降落于地面也较快, 时间长将导致供水管道所对应的下部地面形成白色的碳酸钙结晶. 较大的结露降水使地面产生积水, 地面处于滑湿状态, 给检修及运行人员造成极大的不便, 使他们处于不安全的工作环境. 结露引起的厂房的潮湿及地面形成白色的碳酸钙结晶也会使一些自动化程度较高、设备整洁的电站处于不安全的隐患之中. 因此, 有必要对电站结露的处理技术进行研究.

2 管道结露机理

2.1 结露原因及理论

在一些电站的供水系统中, 供水水源常采用压力钢管取水或坝前深水取水, 而此类水源的水温相对较低, 与厂房环境温度形成较大温差. 根据传热的基本理论, 凡是有温差存在的地方, 就有热量转移的现象^[1,2]. 当高温物体向低温物体传热时, 在一定的湿度下达到环境空气中的露点, 即产生该湿度下厂房供水管表面的结露, 即形成依附于壁面的凝结液体. 当凝结液体能润湿壁面(凝结液和壁面)的润湿

角 $\theta < 90^\circ$ 时, 凝结液体在壁面上会形成一层完整的液膜, 这层液膜把蒸气与冷壁面隔开. 凝结只在液膜表面上发生. 当凝结液不能润湿壁面 ($\theta > 90^\circ$) 时, 凝结液在壁面的许多点上(称为凝结核心)以一颗颗小液珠的形式依附于壁面. 在界面力的作用下, 这些液珠并不连成液膜, 它们逐渐长大, 到一定尺寸后, 重力的影响超过界面力, 它们便随机地沿管壁面滚下. 这些滚下的液珠一方面与相遇的液珠会合成较大的液滴, 另一方面它们又清扫了沿途所有的液珠, 让出无液珠的表面供继续凝结. 这样, 管壁面上很快又会有新的液珠形成和成长, 并重复上述过程^[2]. 这两种凝结即为结露的不同表示形式. 在一定湿度下, 由于结露温度点增高, 则形成珠状凝结结露. 管道表面的结露水珠在重力作用下降落于地面, 而新的结露又随之产生. 反复循环必将导致地下积水, 而积水所导致的厂房湿度的增加又进一步加重结露.

管道结露的根本原因则与传热有关. 传热可以三种不同的方式进行. 一类是固体内部的热量传递(导热); 另一类是固体表面与流体间的热量传递(对流换热); 第三类是物体表面与不直接接触的周围物体间的热量传递(辐射换热). 而结露现象是由于第二类方式对流换热或对流放热引起.

对流换热是利用流体的流动来达到的, 例如暖气片、保温管道、炉墙外壁等. 管道结露则与上述三种物体的换热方式相反, 它是由冷向热传递. 管道附近的空气接受了壁面所放出来的热量而使温度降低, 密度增大, 产生重力而下降; 远处及周围密度较小的热空气就流过来填补, 受冷后又下降. 随着这种

作者简介: 张思青(1957—), 男, 天津人, 副教授, 硕士, 主要从事水力机械教学、实验及科研工作.

流动不断循环,热量就从空气传到了水管.这种由于流体各部分发生相对位移而引起热量转移的现象叫做对流.

在对流换热过程中,热流量 Q 与壁的表面面积 S 成正比,与空气和壁面之间的温差 $t_w - t_f$ 成正比^[1].

$$Q = \alpha S(t_w - t_f) \quad (1)$$

或 $q = Q/F = \alpha(t_w - t_f) \quad (2)$

式中: α 为对流传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$; t_w 和 t_f 分别为壁面温度和空气温度, K .

式(1)的物理意义是:壁面与空气之间的温度每差 $1 K$ 时每平方米壁面带走的热流量;如果空气温度高于壁面温度,式中的温差变为负值,这意味着热量将从空气传给壁面.

从式(1)看出, α 越大 q 也越大,说明流体与固体壁面之间的对流换热越强,管道结露也就越多.

2.2 管道对流换热的成因

由于对流换热的热量转移,不仅依靠流体的导热,而且还要依靠流体的对流.所以除了受导热规律控制外,还要受对流规律的支配.因此,对流换热是一种复杂的现象,它决定于一系列的复杂因素.

根据运动学理论,产生流动的原因可分为受迫运动和自由运动.凡是由于流体内冷热各部分密度不同而引起的运动叫做自由运动,例如供水管道、暖气片、炉墙壁等周围空气的运动等,这种情况下所进行的对流换热属自然对流换热;凡是由于流体在受外力影响(例如风机、搅拌等)而发生流体运动,叫做受迫运动,在受迫运动下的对流换热为强制对流,供水管道在外环境有风时也属强制对流.

一般情况下,流体在受迫运动时,其流速总是要比自由运动时大,所以对于同一种流体,受迫运动时的放热强度总是要比自由运动时大.管道壁面对流包含以上两种运动.

气体运动时由于本身的粘性而发生在壁面处的摩擦和气体内部的摩擦作用,壁面附近处于层流状态.当流速达到一定时,气体形成旋涡促成扰动混合、互相干扰,使气体处于湍动状态,形成湍流.在层流底层内热量转移是沿着壁面法线方向进行导热.湍流时流体的传热强度比层流时大得多.对于给定的流体来说,流速越高,层流底层越薄,放热强度也越大,则放热系数 α 也越大^[1].

确定 α 较为复杂,工程计算中常采用相似理论的经验公式来计算.

对于室内布置的管道,在没有外界风力或其他因素的影响下, α 值可用下式求得:

$$\alpha = 9.4 + 0.052(t_w - t_f) \quad (3)$$

式中: t_w 为外壁面温度, K ; t_f 为室内空气温度, K .

对于露天布置的管道

$$\alpha = 11.63 + 7.0\sqrt{v} \quad (4)$$

式中: v 为室外风速, m/s . 根据其他行业的保冷经验,对于管道结露取 $\alpha = 8.14$ 即可满足估算的要求.

综上所述,要消除电站管道结露现象,必须使管道外壁的温度高于空气的露点温度,因此要采取相应的隔热措施.

3 管道结露处理的设计及计算推导

3.1 隔热体结构设计

防止结露的基本原则是减少冷热量对流交换.为阻止冷水管与热空气的对流换热并防止表面结露,应采用在管道表面上覆盖物体的绝热措施,确保在常温以下管道的外保护层外表面温度高于当地气象条件下环境的露点温度.由于供排水管道处于低温状态,管道的外表面易于锈蚀,因而需要增加防锈层.而由于电站供排水管道必须区别于油、气管等其他管道,故还需添加标示层.因此,水电站供排水管道的防结露设计考虑由防锈层、保冷层、防潮层、保护层及防腐及标示层所组成的隔热保冷结构构成.

3.2 隔热体结构各层的特点

a. 防锈层.由于供排水管道工作时,在保冷层内被保冷的管道表面的温度最低,水分就会凝附于表面之上,所以在需要保冷的供排水管道上,应先涂一层防锈层,以防腐蝕金属.

b. 保冷层.用隔热性能较好的材料在管道上包扎以达到防止冷水管与热空气的对流换热的目的.

c. 防潮层.在保冷层中任意点的温度由表至里而迭降,在保冷层降温后,保冷层中空气的体积缩小.空气中水蒸气的分压力随温度降低而降低.因此在保冷层内、外存在一个水蒸气分压力差,若没有防潮层,则大气中的水蒸气就将和空气一起进入保冷层,并向温度更低、水蒸气分压更低的内部渗透.进入保冷层的水蒸气,被冷却后结露,随着温度进一步降低,由结露变为水,严重破坏材料的保冷性能,因此在保冷结构中需要一层质地优良、经久耐用的防潮层.

d. 保护层.用来保护防潮层和保冷层不受机械损伤.保护层的材料应依据使用的地点和所处的条件,经过技术经济比较来确定.

e. 防腐蝕及识别层.在保护层外面,应涂刷一层能防止保护层被腐蝕的材料作防腐蝕层.由于此层处于管道的最外面,所以兼有识别管道内介质的类别和流动方向的作用,故兼称识别层.

3.3 隔热体结构设计重点

整个防结露隔热体结构设计重点在于保冷层的计算.在防止保冷层外表面结露的前提下,通过计算确定合理的保冷层厚度及冷量损失,以防止供排水管道及其保冷层外表面结露.

据日本 JISA9501—90 的规定,为减少冷量损失,保冷层厚度是以保冷后表面不结露为原则计算的.按该标准规定,保冷层外表面温度应高于环境露点温度 0.3°C ,这样,比外表面为露点温度的计算厚度约厚 12%.而英国标准(BS)规定比露点温度高 1°F (约为 0.56°C)^[3].

我国幅员辽阔,气象差异悬殊,在其他保冷行业中多采用经济厚度法计算保冷层厚度,再用热平衡方法校核其外表面温度,并至少需高于露点温度 0.3°C ,以减少冷量损失及防止保冷层外表面结露.对于供排水管道由于不考虑冷量损失,则可采用表面温度法计算保冷层的厚度,以达到消除管道外表面结露的目的.

3.4 保冷层的计算

由于保冷结构的防锈层、防潮层、保护层很薄,热阻很小,故以保冷层外表面温度作为保冷结构表面温度.其计算即为防止外表面结露的保冷层厚度计算.

对于防止外表面结露的保冷层厚度计算是按给定的绝热层表面温度来计算绝热层厚度.当管道内表面热阻及金属壁热阻均可忽略时,介质温度与金属壁表面温度一致.在忽略金属保护层绝热的情况下,表面温度即为保冷绝热层的外表面温度.

供排水管道采用的计算公式^[1]如下:

$$\ln \frac{D_0}{D_i} = \frac{2\lambda(t - t_s)}{D_0\alpha(t_s - t_a)}$$
$$\delta = \frac{D_0 - D_i}{2} \quad (5)$$

式中: t, t_a, t_s 分别为供水管道外表面、环境、外表面露点温度, $^{\circ}\text{C}$; δ 为绝热层厚度, m ; α 为绝热层外表面面向大气的放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; D_0 为绝热层外直

径, m ; D_i 为绝热层内直径, m ; 或多层或复合绝热层第 i 层外直径, m ; λ 为绝热层材料制品的导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

3.5 保冷层计算的校核

在保冷层厚度计算完毕后,要校核供排水管道在保冷后的热扩散损失及实际的保冷层外表面的温度.

a. 圆筒面保温后的散热损失 q .

$$q = \frac{t - t_a}{R_i + R_s} = \frac{2\pi(t - t_a)}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{D_0}{D_i} + \frac{2}{\alpha D_0}} = \alpha D_0 \pi (t - t_a) \quad (6)$$

式中: R_i 为绝热层热阻, 圆筒: $(\text{m} \cdot \text{K})/\text{W}$; R_s 为绝热层表面热阻, 圆筒: $(\text{m} \cdot \text{K})/\text{W}$; δ_i 为第 i 层绝热层厚度, m ; q 为单位表面热损失量, 圆筒: W/m ; D_{i-1} 为多层或复合绝热层第 $i-1$ 层内直径, m ; λ_i 为多层或复合绝热层第 i 层材料制品的热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

b. 管道表面温度计算.根据圆筒面保温后的散热损失 q , 得:

$$t_s = \frac{q}{\pi D_0 \alpha} + t_a$$

或
$$t_s = t - \left(\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D_0}{D_i} \right) q / \pi \quad (7)$$

4 结 语

对于电站供排水管道的结露现象处理,可以采用对管道外壁施加隔热保冷层的措施.而保冷层厚度 α 的计算则可用式(5)来确定并用式(7)校核,以确保供排水管道外壁表面温度高于环境的露点温度,从而达到清除管道结露的目的.

参考文献:

- [1] 夏雅君.隔热技术[M].北京:机械工业出版社,1991.
- [2] 杨世铭.传热学[M].北京:高等教育出版社,1989.
- [3] 王巧云.设备及管道绝热应用技术手册[M].北京:中国标准出版社,1998.

(收稿日期:2002-12-25 编辑:张志琴)

(上接第 45 页)附合水准路线及其平差方法,可以在有限的条件下尽量提高观测精度.

c. 高速公路沉降观测测站的技术要求应符合三等水准测量要求,可以提高观测精度而不显著增加工作量,在经济上是合理的.在沉降观测过程中,应根据实际情况采用支水准路线或拟附合水准路线观测,应依据不同施工工期精度要求灵活确定观测线路数,力求做到技术可行和经济合理.

d. 累计沉降量的观测精度随着初读数的次数

增多而降低,因此观测过程中应采取有效措施防止或减少观测点破坏的发生.现场条件允许时应尽量固定测站,以便于消除水准网精度对沉降增量的影响,可有效地提高沉降增量的观测精度.

参考文献:

- [1] JTJ 017—96,公路软土地基路堤设计与施工技术规范[S].
- [2] JGJ/T 8—97,建筑变形测量规程[S].

(收稿日期:2002-12-25 编辑:张志琴)