

大尺寸钢箱梁桥除湿系统设计

史杰¹ 葛运起² 孟庆垚³

1.重庆赛迪工程咨询有限公司; 2.中冶赛迪城市建设(重庆)有限公司; 3.中铁二十五局集团第一工程有限公司

摘要: 大多数跨径较大的特大桥均跨江或者跨海, 其环境湿度较高, 环境温差较大, 选择钢箱梁结构时的防腐除湿就成了重中之重, 通常将钢箱梁内湿度控制在 45% 以下即可达到明显的减缓钢箱梁腐蚀的效果。介绍了某跨江特大梁桥利用除湿机除湿防腐的原理, 主要技术参数的设计及布置等, 为同类工程提供了借鉴。

关键词: 钢箱梁; 相对湿度; 换气量; 除湿量

一、引言

随着桥梁建造技术的不断提高, 大跨径桥梁相继出现在江河海湾、高山深壑之间, 钢箱梁因其刚度大、自重轻以及卓越的跨越能力在大跨径桥梁中得到广泛的应用。对于海域及临水环境下的钢结构, 其防腐蚀问题直接关系到桥梁的结构安全和使用寿命。

目前国内外防腐除湿研究工作主要以悬索桥主缆为主, 仅有军山大桥^[1]和桃天门大桥^[2]为钢箱梁斜拉桥, 在钢箱梁内安装除湿系统; 卢浦大桥^[3]为中承式拱梁组合体系钢拱桥, 在拱肋箱室及横梁处采用除湿与循环干风系统相结合的除湿系统设计。鉴于此, 本文以某梁式钢箱梁桥为背景, 结合防腐除湿的目标要求, 讨论了梁桥钢箱梁内除湿量、送风量等参数的确定, 最后根据计算结果对除湿机选型及布置进行设计。

二、除湿工作原理

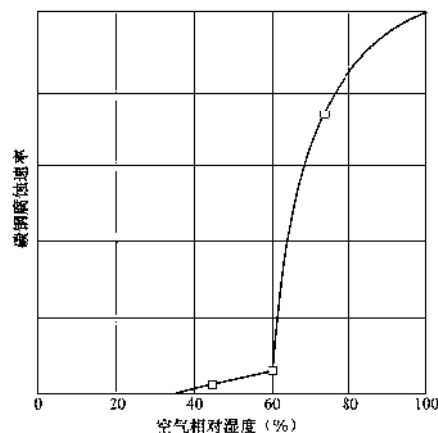
相关研究表明, 钢材的腐蚀速度与环境、湿度、温度以及有害介质的存在有关, 而钢材的腐蚀过程都离不开介质“水”, 因此环境中水蒸气的含量和湿度是钢材腐蚀的决定性因素。相对湿度过低时, 金属表面不足以形成一定水膜, 金属电化学过程只能部分进行, 腐蚀速度很低, 当空气相对湿度高于临界值 60% 时, 腐蚀速率急剧增大, 高相对湿度下 (60% ~ 100%) 的腐蚀速率是低相对湿度 (30% ~ 55%) 下的 100 倍 ~ 1000 倍^[4], 因此只要维持钢箱梁内相对湿度小于临界值, 就能有效保护钢箱梁。钢材腐蚀速率与湿度的关系如下图所示。

除湿系统主要通过向相对密闭的钢箱梁内部通入相对湿度较低的干燥空气, 保持钢箱梁内相对湿度低于设计阈值 (钢板近表面相对湿度阈值为 60%), 使钢结构表面长期处于干燥空气中, 以减缓钢箱梁腐蚀速率, 是减缓钢箱梁腐蚀速率、延长钢箱梁使用寿命的重要措施之一。

常用的空气除湿方法有加热通风除湿、冷冻除湿和吸湿剂除湿。转轮除湿机正是利用固体吸湿剂吸收空气中的水分来达到空气除湿的目的, 适用于高效除湿。

转轮除湿机的关键部件是一个由特殊陶瓷纤维载体和活性硅胶复合而成的蜂窝状转轮。转轮两侧由特质的密封装置分成处理区

域和再生区域。待处理空气进入处理区域时, 水分被转轮中的吸湿剂吸附, 干燥后的空气被处理风机从转轮的另一侧送出, 转轮因为吸水逐渐饱和, 将自动转到再生区, 同时, 再生空气被加热后进入转轮的再生区域, 将转轮再生区域内的水分蒸发, 同时这股空气吸湿变成湿空气被再生风机排到室外, 从而使转轮恢复吸湿的能力完成再生过程^{[5][6]}。转轮不断地转动, 上述的除湿及再生周而复始地进行, 从而保证除湿机持续稳定的除湿状态, 此过程循环往复, 能持续不断地提供干燥空气, 保证湿度控制区域始终控制在要求范围内。



丹麦在 1980 年左右最先采用了转轮除湿设备对大桥钢结构进行干燥除湿防腐保护, 成功地防止了钢梁和缆索的表面及内部腐蚀, 达到最初的设计要求。

我国虎门大桥、润扬大桥、江阴大桥、重庆鹅公岩大桥等工程也采用除湿防腐技术达到了很好的效果。

三、工程背景

重庆市某跨长江水道特大桥所在道路等级为城市支路, 荷载标准采用城-A 级, 双向四车道, 标准段宽 18.5m, 桥梁全长 560m, 主桥采用钢混组合连续刚构体系, 主跨 255m, 跨中部分 108m 采用钢箱梁, 其余混凝土梁段采用与钢箱梁轮廓一致的斜腹板单箱双室截面。

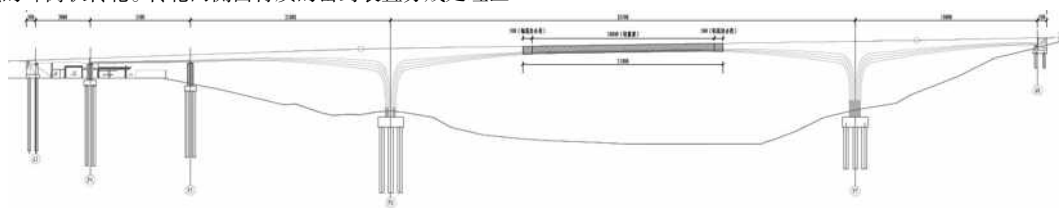


图 1 桥型布置图

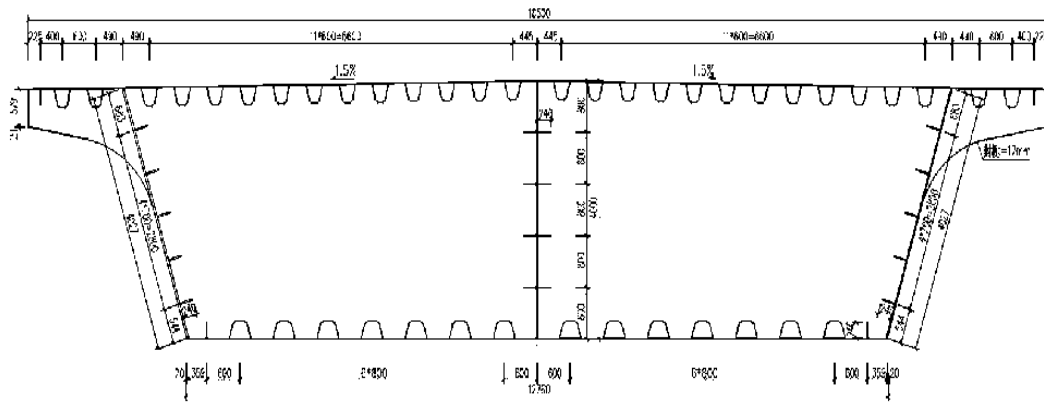


图2 钢箱梁标准横断面

根据重庆市气象局提供的主城区气象资料，桥址处沿线气象资料如下。

1、气温

多年平均气温 18.3℃，月平均最高气温在 8 月、为 28.1℃，月平均最低气温在 1 月、为 5.7℃。极端最高气温为 43.0℃，极端最低气温-1.8℃，最大平均日温差 11.9℃。

2、降水量、蒸发量

最大年降水量 1544.8mm，最小年降水量 740.1mm，多年平均降水量为 1082.6mm；降雨多集中在 5~9 月，其降雨最高达 746.1mm 左右，约占全年降雨量的 70%，且强度较大，暴雨时有发生；日最大降雨量 266.5mm（2007.7.17），日降雨量大于 25mm 以上的大暴雨日数占全年降雨日数的 62%左右，小时最大降雨量可达 62.1mm。多年平均蒸发量 1138.6 mm，最大年蒸发量 1347.3mm。

3、湿度

多年平均相对湿度 79%左右，年平均绝对湿度 17.7hPa 左右，最热月份相对湿度 70%左右，最冷月份相对湿度 81%左右。

四、钢箱梁除湿系统设计

钢箱梁除湿系统主要包括除湿机及送风系统，选择除湿量多大的除湿机是首要解决的问题，选择过大则造成投入运行成本的增加，选择过小则达不到要求的除湿效果，因此配置合适的除湿系统除湿量、换气量是除湿系统设计的关键。

1、除湿范围

大桥钢箱梁内全部为钢板密封，无产湿设备，无人员长时间停留，跨中 108m 钢箱梁段由一条纵向实腹板分为两个箱室截面，单室体积为： $V_1=27.5 \times 108=2970m^3$ ，钢梁箱体内部有 31 条横隔板，横桥向横隔板上均设有检查人孔，可以利用这些人孔通风。特大桥设计使用年限为 100 年，为保证钢箱梁内长期处于干燥空气中，提高钢箱梁耐久性，在箱内设置除湿系统保证湿度小于 50%。

2、空气参数：

相对湿度：<50%，空气温度无要求；

大桥周围空气的极端条件：最高气温 43℃，最大湿度 80%，绝对湿度 17.7hPa。

钢箱梁内空气的极端条件约为：0℃~80℃，最大湿度 80%。

3、换气量设计

先确定钢箱梁一个箱室的换气量。根据同类桥梁的工程经验，将钢箱梁换气次数控制在 0.05 次/h，则换气量为 $Q=2750 \times 0.05=137.5m^3/h$ 。

4、除湿量设计

空气含湿量指湿空气中与一千克干空气同时并存的水蒸气的质量（克），以 d (g/kg) 表示，含湿量确切反映了空气中含有水蒸气量的多少。合理确定送风含湿量非常重要，送风含湿量过高起不到干燥空气的效果，含湿量太低，又会增加除湿设备成本及运行功耗，经济性下降，因此，参考类似工程经验，并综合除湿效果与经济性考虑，本项目将送风含湿量设置为相对湿度 45%时所对应的含湿量。

含湿量的计算公式为：

$$d = \frac{m_s}{m_g} = 622 \frac{\varphi p_b}{(p - \varphi p_b)}$$

式中： m_s —水蒸气质量（g）；

m_g —干空气的质量（kg）；

p_b —饱和水蒸气的分压力（Pa）；

p —湿空气的全压力（Pa）；

φ —相对湿度。

根据详勘提供的气象资料，取箱梁外： $t_{out} = 43^\circ C$ ，相对湿度 $\varphi_{out} = 80\%$ ；箱梁内部参数定为： $t_{in} = 40^\circ C$ ，相对湿度 $\varphi_{in} = 45\%$ 。查标准大气压下饱和水蒸气分压力表， $p_{bout} = 8650Pa$ ， $p_{bin} = 7385Pa$ 。

$$\text{钢箱梁外：} d_{um} = 622 \times 80\% \times 8650 / (1.013 \times 10^5 - 80\% \times 8650) = 45.61g/kg$$

$$\text{钢箱梁内：} d_{im} = 622 \times 45\% \times 7385 / (1.013 \times 10^5 - 45\% \times 7385) = 20.35g/kg$$

$$\text{取空气密度 } \rho = 1.29kg/m^3, \text{ 则除湿量：} D = 137.5 \times (45.61 - 20.35) / 1000 \times 1.29 = 4.48kg/h。$$

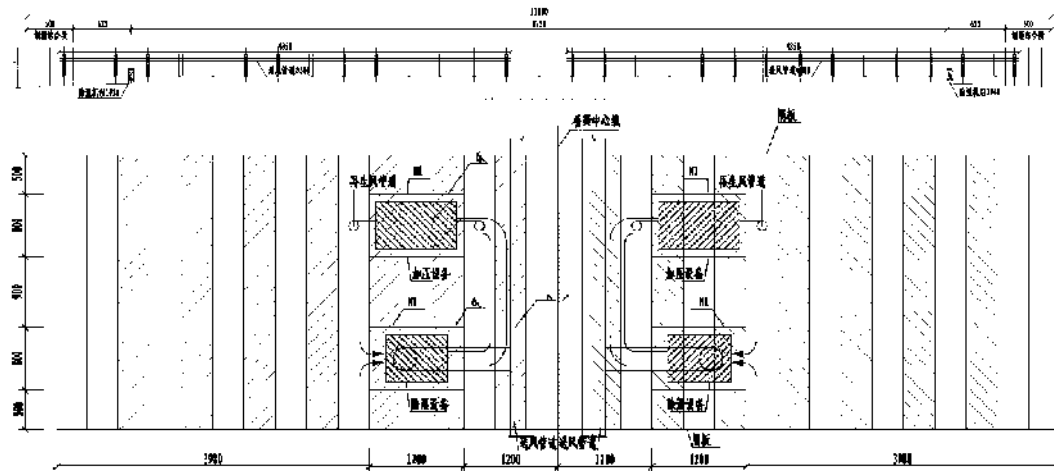
在选用转轮除湿机时，通常是按所需除湿量和风量的多少，从产品样本中查找适合的型号，而忽略产品样本上所标的除湿量是在标准工况下测定的，而在不同的使用场所其温湿度均不同，当使用环境的空调工况低于标准工况时，其实际除湿量低于产品样本上所标示的除湿量，故实际使用中往往出现除湿量不够的问题。因此，结合类似工程经验考虑 1.1~1.2 的安全系数^[2]进行修正后：

$$\text{换气量 } Q = 137.5 \times 1.2 = 165m^3/h$$

$$\text{除湿量 } D = 4.48 \times 1.2 = 5.38kg/h$$

5、除湿设备选型

根据上述计算结果，在钢箱梁段两个箱室内各设置 2 台合适的转轮除湿机，既满足送风量和除湿量的要求，也不会造成过大的资源浪费。



五、结论

由于钢箱梁内部空间小,通风性差,涂装养护成本很高,因此配备除湿系统可以大大降低桥梁运营期间的养护成本。采用内部除湿方式可以变被动防腐为主动防腐,提高了防腐效果。转轮除湿法作为钢箱梁桥防腐手段以其技术和经济上的巨大优势在全世界范围内得到普遍采用,符合科学发展趋势,先进且合理。

参考文献:

[1]李雄晖.军山大桥钢箱梁除湿系统[J].桥梁建设,2002(1)
[2]邹宏华,周琦.桃天门大桥钢箱梁除湿系统[J].公路与汽运,2010
[3]王蓓.卢浦大桥钢结构桥梁除湿技术浅谈[J].城市道桥与防

洪,2010年6月第6期

[4]国家能源局.火力发电厂停(备)用热力设备防腐蚀导则.DL/T 956-2017.北京:中国电力出版社,2018.
[5]季金发,徐明.泰州大桥结构内部除湿系统[J].中国交通信息化,2012
[6]翟金辉,胡振中.大桥钢箱梁除湿系统主要技术参数的计算分析[J].科技展望,2016(26):76.
[7]李林,许郡.泰州大桥钢箱梁除湿研究[J].中国工程科学,2012.
[8]朱超;卢靖宇;代希华;倪雅.大尺寸钢箱梁温湿度场分析[J].桥梁建设,2021(04)