

建筑防水卷材物理搭接缝构造研究

邹玉良* 王方

(中南大学资源与安全工程学院,长沙 410083)

摘要:针对传统防水卷材搭接缝漏水问题,提出全新的物理搭接缝构造方法。这种连接方式依托预留半密闭空腔和水的张力的性质形成气压隔墙进行防水,赋予搭接缝一定的变形能力,卷材之间能够产生相对位移、释放应力,避免因应力集中而造成的老化拉裂现象。同时研究了水的张力的性质在防水中的应用。研究表明:20℃常温下空腔半圆形截面半径 $r < 6.47 \times 10^{-3}$ m时气压隔墙防水效果显著。

关键词:建筑防水;搭接缝;空腔;气压隔墙;物理连接;张力

中图分类号:TU57+3 文献标识码:A doi:10.16507/j.issn.1006-6055.2016.06.004

Researches on Physical Lap Seam of Building Waterproof Materials

ZOU Yuliang* WANG Fang

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083)

Abstract: Aiming at the lap seam leakage problem of traditional waterproofing material, a brand new construction method of physical lap seam was proposed. This connection mode relied on the reservation of a half enclosed cavity and the pneumatic partition from the property of water tension to prevent water. Ageing crack caused by the stress concentration can be avoided by giving lap joint certain deformation capability which produced a relative displacement and released stress between the waterproofing materials. The application of the property of water tension in waterproof was also studied. The result indicated that the waterproofing effect of pneumatic partition can be seen clearly when the section radius of the cavity semicircle was less than 6.47 mm.

Key words: building waterproof; lap seam; cavity; pressure partition; physical connection; surface tension

1 引言

众所周知,建筑物防水依靠防水材料来实现,但是搭接缝破坏渗漏现象屡见不鲜。研究表明,搭接缝漏水主要有以下几个原因:1) 粘结剂和密封剂老化失效;2) 高分子卷材难与粘结剂稳定结合^[1];3) 粘结剂连接的形式导致积蓄的应力无法释放,引发高分子材料加速老化^[2];4) 搭接缝施工要求高,易造成粘结不良脱缝^[3];5) 温度、外力以及基层伸缩的作用引发防水卷材的拉裂。为解决该问题,国内外许多学者做了相应的研究,极大推动了建筑防水的发展,主要包括防水材料的创新、粘结剂的改进以及施工工艺的完善三个方面。游启明等^[4]研究制备了一种反应粘结的新型防水卷材,解决了自粘卷材因附着力不强所造成的空鼓、窜水问题;石芥欣^[5]结合具体施工实例,从施工方法、搭接缝的处

理、卷材铺贴等方面出发,提出的新型高强丙纶无纺布防水卷材施工方法在工程中取得了良好的效果。

然而,目前的主流防水材料是高分子复合材料,虽然其均质性好,抗拉断及撕裂强度高,耐热耐腐蚀,但施工时搭接缝较多,粘接时容易导致渗漏问题;而且对于基层的处理要求较高,例如基层应保证足够的强度,保持干燥,节点部位需防水等,若处理不当,极易出现粘接困难;另外,搭接缝的施工程序复杂,而其质量是防水层成败的关键^[6]。综上所述,传统的粘接法处理搭接缝存在众多细节问题,给施工带来诸多不便,急需找到一种简便有效的搭接缝处理方式。

鉴于此,本文尝试从搭接缝的基本构造出发,提出一种全新的物理搭接缝处理方法。与传统搭接缝靠粘结剂粘结不同,本文提出的搭接缝在搭接缝处预留空间形成空腔,利用水的张力的性质,促使空腔中的空气在雨水侵入过程中形成空气隔墙,达到防水的目的。

2015-08-06 收稿,2016-01-20 接受,2016-12-08 网络发表

* 通讯作者,E-mail:932386801@qq.com

2 搭接缝构造模型

2.1 构造解析

本文所提物理搭接缝处理方法的搭接缝构造方式如图1所示。以“箭头”的构造形式衔接嵌固两侧卷材。衔接部分留有排列整齐的半圆形小孔作为空气腔,并在端头留有相对位移区,以释放应力、应变。因为卷材本身具有一定的不平整度,很难满足搭接缝构造的精度要求,而这种搭接缝成功的关键在于箭头嵌固部分是否能够完全吻合形成密闭空气腔。所以采用能够保证“箭头”嵌固部分良好气密性且易与防水卷材结合的防水性材料单独制作,然后用热加工的方法将搭接缝构造的两部分分别与防水卷材粘结。搭接缝构造相当于在防水卷材间安装的一组“拉链”。安装过程简单高效,只需将搭接缝相应位置对齐,依靠外力嵌固即可。

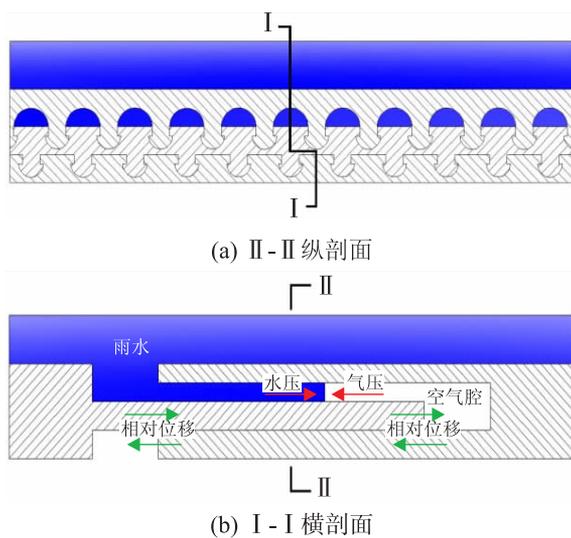


图1 搭接缝构造剖面图

2.2 构造机理分析

2.2.1 空腔防水机理

水具有表面张力,由于表面张力的作用而具有自发收缩成球状的趋势。表面张力的大小可用表面张力系数来描述。影响表面张力系数的因素主要有二^[7]:一是温度,温度越高表面张力系数越小;二是在液体中加入杂质可显著改变表面张力系数。表面张力的作用使气液两相分别沿界面向内收缩以形成稳定的几何结构^[8]。加之防水性材料中具有憎水性基团,利于保证完全非浸润状态。根据这些性质可得结论:半圆形小孔面积足够小时,水会在张力作用下覆满整个半圆形截面,与原本预留的半封闭空腔共同作用形成封闭空腔。

雨水侵入是一个压缩封闭空腔的过程,根据阿伏伽德罗公式可知,随着雨水侵入,空腔中空气体积减小、压强增大,直到与外界水压达到平衡,雨水停止入侵。如果说传统防水材料是以“堵”的形式防水,这种新思路则采用了“引”的形式,用空气隔墙起到防水作用。

雨后,水压减小,同时外界温度发生变化,保温层不能保证防水卷材长时间的温度恒定,空腔内气体压强会随环境温度升高而继续缓慢增大,这一强一弱作用导致雨水从空腔回退。半圆孔增大了残留雨水与外界空气的接触面积,加强了蒸发作用,利于空腔恢复干燥,具有干燥可逆性。而现有的搭接缝一旦被雨水侵入,因与外界缺乏接触面积,雨水滞留其中难以蒸发,导致搭接缝在酸雨长期侵蚀作用下破坏区域不断扩大,最终造成搭接缝失效。

2.2.2 物理连接机理

两卷材间采用物理连接,不使用粘结剂、密封胶,绿色无污染且施工简单、快捷,人工嵌入即可,避免了因粘结剂与高分子卷材结合不良而造成脱离的现象。

这种物理连接方式具有相对位移空间,在温度变化、材料收缩和徐变、地基变形、地面运动、基层伸缩开裂等过程中,相邻防水卷材能够产生垂直衔接方向的相对位移,将积聚的应力进行释放,避免了因应力集中造成的拉裂、老化现象,属柔性连接。而传统粘结方式,相邻卷材不能产生相对位移,易造成应力集中、应变积累而导致拉裂和老化破坏,属于刚性连接。

这种全新的物理连接方式分中有合,合中有分,与混凝土中的伸缩缝有异曲同工之效。实际工程中,基层在防水卷材之下,留有分隔缝,缝距4~6m,每块面积不超过36m²,缝宽度不小于20mm^[9]。防水层满粘于基层,由于基层变形,防水层处于持续的应力作用下^[10]。将基层分隔缝与卷材搭接缝重合,让基层与防水卷材在同一位置释放应力,可以充分发挥这种搭接缝构造的作用。

3 空腔防水可行性研究

3.1 半圆形截面临界面积的求证

要形成一个防水空气腔的前提条件是雨水能在张力 P 的作用下平衡自身产生的侧向压力 Q ,否则张力薄膜将发生破坏,雨水不能覆满整个截面,雨水

会顺着空腔流入,而不能形成空气隔墙。

当不考虑重力作用时张力薄膜如图2所示:水、管壁、空气三相交界为一半圆;当有重力作用时,会导致三相交界不在同一竖直平面,发生倾斜,从而导致张力发生变化。但是否形成封闭空腔只受水平方向力影响,所以张力的水平分量可以按照如图2的力学模型进行计算。

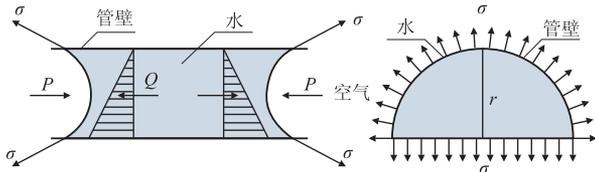


图2 搭接缝力学模型

如上所述,按照拉普拉斯公式计算张力的方法,可以将张力的水平分量 P 按照半圆弧和直径两部分计算:

$$P = \pi r \sigma \cos \theta + 2r \sigma \cos \theta \quad (1)$$

其中, r 为半圆形截面半径值, σ 为水的表面张力系数,表面活性物质具有减小液体表面张力的作用^[11]。这里按纯水考虑,温度为 20°C 时 $\sigma = 0.0731 \text{ N/m}$ ^[12]; θ 为接触角,一般水的 θ 在 $0^{\circ} \sim 9^{\circ}$ ^[12],与温度、接触面的表面特性有关。为计算结果保守起见,本文统一取 $\theta = 9^{\circ}$ 。代入式(1)可得

$$P = 0.371r \text{ N} \quad (2)$$

水对边界薄膜产生的压力 Q 为

$$Q = 2 \int_0^r \rho g (r - y) \sqrt{r^2 - y^2} dy \quad (3)$$

其中,水的密度 $\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$,代入式(3)可得

$$Q = 8.86r^3 \times 10^3 \text{ N} \quad (4)$$

对比式(2)、(4)可知:

1) 当 $r < 6.47 \times 10^{-3} \text{ m}$ 时, $P > Q$,张力可以克服水本身自重产生的压力而保持平衡,液体能够覆盖整个半圆截面,形成封闭空腔;

2) 当 $r = 6.47 \times 10^{-3} \text{ m}$ 时, $P = Q$,即张力和压力大小相等,此半径为临界半径;

3) 当 $r > 6.47 \times 10^{-3} \text{ m}$ 时, $P < Q$,此时张力不足以支撑水的侧向压力,不能形成封闭空腔,此防水原理失效。

所以,在 20 摄氏度条件下半圆形截面的临界半径为 $6.47 \times 10^{-3} \text{ m}$ 。

按照同样的方法计算不同温度条件下截面半径

的临界值,如表1所示,随着温度的升高,截面临界半径不断减小,但减小程度有限。

表1 半径临界值与温度的关系

$t/^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	45
$\sigma/10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$	75.64	74.22	73.10	71.18	69.56	68.74
$r/10^{-3} \text{ m}$	6.69	6.57	6.47	63.5	6.16	6.08

当温度低于 0°C ,出现结冰现象,体积将发生膨胀,会产生对空腔的径向压力。但是因为自由面的存在,膨胀的方向主要朝着自由面方向发展,所以对嵌固式的搭接缝产生的压力很小。在选择制作搭接缝的材料时仍要选用具有一定弹塑性的材料,以适应一定的应力变化。

3.2 防水效果研究

以防水卷材的厚度以及上述所求得临界半径值为依据,建立如图3所示的搭接缝单元模型(半圆形截面的直径是 10 mm ,所以计算单位空气腔体积时空气腔沿走向方向取 10 mm),以水柱高度 h 为自变量,侵入距离 L 为因变量。

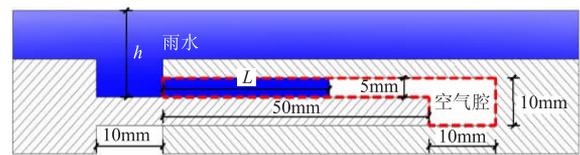


图3 模型尺寸

因为在防水卷材之上附有保温层,能够在一定时间内保证防水卷材维持相对恒定的温度。根据阿伏伽德罗公式 $PV = nRT$ 可知:在一般情况下, PV 可以近似认为是常量。其中, $P_1 = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$,即标准大气压; $V_1 = 2.96 \times 10^{-6} \text{ m}^3$,即空腔初始体积; P_2 为加载水压后的压强, $P_2 = \rho gh + P_1$; V_2 为加载水压后的空腔体积, $V_2 = V_1 - \pi r^2 L/2$ 。通过推导计算可得

$$L = 0.0754 - \frac{1}{1.282h + 13.25} \quad (5)$$

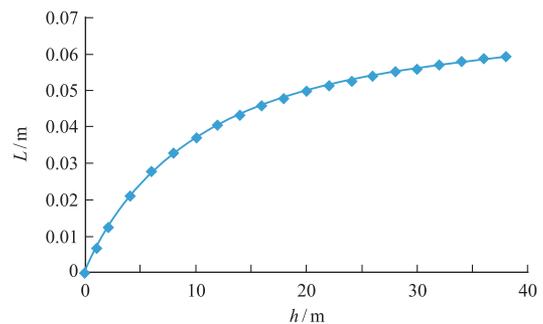


图4 $L-h$ 关系图

将式(5)绘制成函数,如图4所示。随着 h 的增大, L 也不断增大,但增长速度不断减小。在 h 增大到一定程度后 L 不再随着 h 发生显著变化,最后趋于稳定。然而工程实际中雨水会顺着屋顶的坡度及时疏散,不会出现太高的积水。所以现在只讨论 $h < 2 \times 10^{-1}$ m时的情况。

当 h 在0~0.2 m范围内,随着 h 的增大, L 近似成线性增长,但是即使当 h 增加至 2×10^{-1} m,雨水侵入距离 L 也只能达到 1.361×10^{-3} m。相对于全长 5×10^{-2} m的半圆孔,侵入距离非常小,由此可见依靠空气隔墙进行防水效果明显。

3.3 实验验证

实验方法:按照图3尺寸制作两组搭接缝实体模型。第一组半圆形空腔的半径为5 mm;第二组半圆形空腔的半径为7 mm。将两组搭接缝分别置于0℃、10℃、20℃、30℃、40℃、45℃的水中,然后观察是否能形成空气隔墙而起到防水的效果。

实验结果:第一组在相应温度下都可以形成空气隔墙,起到防水的作用;第二组在相应温度下不能生成张力薄膜,防水失效,与通过建立力学模型获得的结果一致,从而证明上述力学模型是正确的。

4 结论

本文研究分析了全新的物理连接空腔式搭接缝构造,开创性地提出了空气隔墙防水的原理。这种连接方式使卷材在搭接缝处产生相对位移,释放积蓄的应力、应变,避免了因温度、外力以及基层伸缩的作用引发的防水卷材的拉裂现象,延缓卷材的老化,延长了卷材的使用寿命。同时简化了防水卷材

复杂的施工过程、安装简单高效,节约劳动力,符合目前推行的建筑工业化的要求。此外本文还分析了在表面张力作用下生成空气隔墙的条件,求得了半圆形截面能被水覆满时的临界半径值,并用数学论证的方法证明了其可行性和高效性。尽管目前处于理论研究阶段,但为卷材防水找到了新的研究方向,开辟了新思路。接下来将与工程实际相结合,做进一步研究。

参考文献

- [1] 陈在栓. 屋面防水卷材渗漏的原因及质量控制[J]. 科技致富向导, 2014, 22(24): 112, 208.
- [2] 朱志军, 皮红, 郭少云, 等. 应力作用下高分子材料的老化行为研究[J]. 聚氯乙烯, 2008, 36(2): 6-9, 26.
- [3] 杨涛. 卷材防水屋面渗漏问题的解决方法[J]. 中华民居(下旬刊), 2013, 6(6): 163-164.
- [4] 游启明, 曾东明, 曾新龙. 一种反应粘结的新型防水卷材[J]. 中国建筑防水, 2014, 31(5): 20-22, 35.
- [5] 石芥欣. 新型高强丙纶无纺布防水卷材施工工法[J]. 山西建筑, 2013, 39(8): 78-79.
- [6] 文翠琴. 高分子复合防水卷材与基层的粘接及卷材搭接缝处理[J]. 河南建材, 2009, 11(1): 118-119.
- [7] 习岗, 李伟昌. 现代农业和生物学中的物理学[M]. 北京: 北京出版社, 2002.
- [8] 宋宝维, 任峰, 胡海豹, 等. 表面张力对疏水微结构表面减阻的影响[J]. 物理学报, 2014, 82(5): 290-298.
- [9] 黄建英. 卷材防水屋面渗漏的原因及防治[J]. 四川建材, 2013, 39(2): 108-109, 111.
- [10] 余青春, 舒志坚, 李铭. 浅谈卷材防水层的渗漏原因[J]. 山西建筑, 2011, 37(13): 111-113.
- [11] 周静娴. 物理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [12] 归柯庭. 工程流体力学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.