

导热塑料冷却管的制备及其在大体积混凝土温控中的应用分析

陈建伟

赵 晖

(杭州华源环境设备有限公司, 杭州 310023)

(浙江大学高分子科学研究所, 杭州 310027)

摘要 简述导热塑料冷却管的制备, 将该管材与钢管、普通塑料管在大体积混凝土温控中的冷却效果进行比较, 并结合力学性能数据和实际使用效果, 得出导热塑料冷却管是一种值得在大体积混凝土温控中推广应用的优质冷却管。

关键词 导热塑料冷却管 大体积混凝土 温控

随着社会的进步, 工程建设规模越来越大型化、复杂化, 大体积混凝土的工程也相应地普遍化, 因而大体积混凝土的温控技术也越来越受到关注。通水冷却是大体积混凝土的重要温控措施之一, 早在 20 世纪 30 年代被美国率先在当时世界最高的胡佛坝中得到了采用^[1], 由于这种温控方式效果良好, 因此得到了广泛推广。随着温控技术的发展, 通水冷却的冷却管材料也在不断地替代更新。塑料管如 PE 管、PVC 管由于具有质轻价廉、不易腐蚀、水流阻力小、易施工安装等优点将逐步替代原先的钢管、铁管、铝管等金属管。目前从冷却效果、施工方便性、经济性等综合性能方面均被设计、施工单位接受的是高密度聚乙烯冷却管^[2], 即常见的普通塑料管, 其虽具有施工简便、价格低的优点, 但是导热性能差, 影响了大体积混凝土的温控效果, 这也是普通塑料管没有被广泛推广的制约因素。

杭州华源环境设备有限公司开发的导热塑料冷却管(以下简称“导热塑料管”)不仅兼顾了普通塑料管的柔软易施工的特点, 而且其导热系数是普通塑料管的 3 倍左右, 已成功应用于龙滩水电站混凝土大坝温控中。现对其制备过程作一简单介绍, 并将其与其它冷却管应用于大体积混凝土的冷却效果进行比较。

1 导热塑料管的制备

新开发的导热塑料管已获得国家发明专利, 其主要含有 10% ~80% 的聚烯烃、5% ~60% 的导热助剂、3% ~15% 的耐环境应力开裂助剂和 5% ~15% 的抗冲击改性助剂。其主要工艺制备过程为: 首先在导热助剂中加入占其总量 0.5% ~2.5% 的偶联剂进行表面处理; 再在聚烯烃中加入占其总量 0.1% ~0.5% 的抗氧化剂, 最后将以上各成分按一定配比进行搅拌、预塑化、粉碎, 经双螺杆挤出机熔融

挤出、冷却、牵引、切粒和制管。

2 不同导热性能冷却管的冷却效果比较

混凝土的冷却过程可分为两个阶段: 一期(有内热源)冷却是对浇筑后的混凝土坝体进行人工冷却, 尽量降低混凝土的最高温度; 二期(无内热源)冷却是在对坝体进行灌浆前在坝体内预留宽槽或封闭块将坝体冷却到灌浆温度(或回填封闭温度), 以防止灌浆或回填后坝体继续降温而使接缝重新拉开, 使坝体在规定的时间内冷却到要求的温度^[3]。

不同导热性能冷却管的冷却效果比较涉及两个方面: 一是冷却过程中混凝土最高温度(温峰)的控制, 它决定着混凝土的温度应力; 二是冷却时间, 它关系到工程的工期和成本。表 1 列出导热塑料管、钢管、普通塑料管的物性参数和规格尺寸。

表 1 3 种冷却管的物性参数和规格尺寸

项 目	导热塑料管	钢管	普通塑料管
比热容/ $\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$	1.80	0.47	1.40
密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1 120	7 850	954
导热系数/ $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$	1.037	58	0.39
规格(外径 $\times$ 壁厚)/mm	32.0 $\times$ 3.0	25.4 $\times$ 1.8	32.0 $\times$ 3.0
间距(水平 $\times$ 垂直)/mm	1 500 $\times$ 2 000	1 500 $\times$ 2 000	1 500 $\times$ 2 000
管圈长度/m	300	300	300

根据能量守恒原理和水管冷却等效传导方程^[4], 对 3 种冷却管进行一期和二期混凝土冷却比较分析。在模型建立和理论推导计算中假设了下列因素:

- (1) 混凝土的降温全部由冷却管通水冷却导致, 即忽略混凝土的表面热损失及其它的热损失;
- (2) 混凝土的降温为均匀降温;
- (3) 冷却水的流量保持不变;
- (4) 冷却水进口温度保持不变。

对于冷却管在混凝土坝中冷却的计算模型一般取两个空心圆柱体,冷却管外半径为 c ,内半径为 r_0 ,导热系数为 λ_m ;混凝土圆柱体外半径为 b ,导热系数为 λ 。在 $r=r_0$ 处,边界混凝土温度等于水温,考虑到实际施工中冷却管往往按矩形排列,因此混凝土等效圆柱体外半径 b 可表示为:

$$b = 1.07s_1s_2/\pi = 0.5836s_1s_2 \tag{1}$$

式中: s_1 ——水平间距;

s_2 ——垂直间距。

2.1 一期冷却比较

一期有内热源冷却管冷却混凝土的平均温度为:

$$T_m = T_w + (T_0 - T_w) \exp(-kz) + \theta \psi(\tau) \tag{2}$$

式中: T_m ——混凝土平均温度;

T_w ——冷却水进口水温;

T_0 ——混凝土初温;

z ——中间参数;

τ ——冷却时间。

$$k = 2.09 - 135\xi + 0.320\xi^2 \tag{3}$$

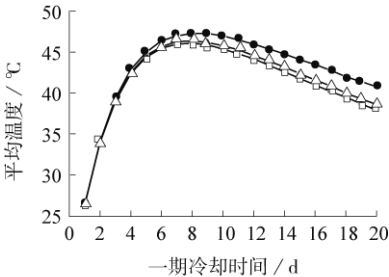
$$\psi(\tau) = \frac{m/24}{m/24 - p} (e^{-p\tau} - e^{-m\tau/24}) \tag{4}$$

式中: ξ, p ——中间参数;

m ——混凝土水化热绝热常数。

混凝土的物性参数为:比热容 $1.07 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,密度 $2450 \text{ kg}/\text{m}^3$,导热系数 $2.3 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,导温系数 $0.00316 \text{ m}^2/\text{h}$,初温(二期) 22°C ,浇筑温度 15°C ,水化热绝热常数 0.340 ,绝热温升 40°C 。水的物性参数为:比热容 $4.191 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,密度 $999.7 \text{ kg}/\text{m}^3$,流量 $1 \text{ m}^3/\text{h}$,进水温度 10°C 。

利用等效传热方程编程计算采用3种冷却管时一期冷却混凝土平均温度随冷却时间变化值,结果见图1。



□—钢管; ●—普通塑料管; △—导热塑料管

图1 一期冷却混凝土平均温度随冷却时间的变化

由图1可知,一期冷却混凝土平均温度随冷却时间变化呈抛物线状,采用的冷却管不同,冷却曲线

的变化也不同,钢管冷却的混凝土平均温度最低,而用普通塑料管冷却的混凝土平均温度最高,采用导热塑料管冷却的混凝土平均温度较为接近钢管。在控制混凝土温峰点上,采用普通塑料管冷却的混凝土的温峰比采用钢管高 1.2°C ,而采用导热塑料管只比采用钢管高 0.3°C 。在二期温控冷却中,控制混凝土的温峰值是最关键的技术要点,其直接关系到大体积混凝土的温控成功与否。因此,从这点来说,导热塑料管比普通塑料管一期冷却效果要好得多,达到了接近钢管的冷却效果。

2.2 二期冷却比较

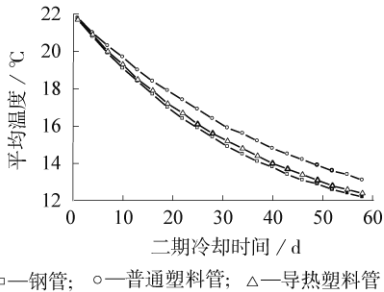
二期冷却混凝土平均温度表示为:

$$T_m = T_w + (T_0 - T_w) \exp(-k_1z) \tag{5}$$

式中: $k_1 = 2.08 - 1.174\xi + 0.25\xi^2 \tag{6}$

$s = 0.971 + 0.1485\xi - 0.044\xi^2 \tag{7}$

利用上述冷却管的冷却等效热传导方程,并结合计算机编程计算了二期大体积混凝土在分别采用钢管、普通塑料管和导热塑料管时混凝土平均温度随冷却时间的变化,结果见图2。



□—钢管; ○—普通塑料管; △—导热塑料管

图2 二期冷却混凝土平均温度在不同冷却管冷却下随冷却时间的变化

从图2可以明显看出,各混凝土的平均温度随冷却时间变化的曲线呈双曲线函数在第一象限的曲线状,钢管冷却的混凝土平均温度随冷却时间下降的速度最快,导热塑料管次之,而普通塑料管冷却的混凝土平均温度下降速度最慢。由图2还可清晰看到,导热塑料管的冷却曲线较为接近于钢管冷却的曲线。从冷却混凝土的时间看,如冷却到混凝土平均温度为 15°C 时,采用普通塑料管冷却时要比采用钢管多 9 d ,采用导热塑料管冷却时只比钢管多 3 d 。因此,在大体积混凝土温控中采用导热塑料管冷却相对于普通塑料管大大缩短了二期冷却时间,有效改善了温控工期,减少了温控的投入成本。

3 不同导热性能冷却管的力学性能比较

作为一种大体积混凝土温控的冷却管不仅需要有良好的导热性能,而且还需要有适合温控施工条

件的力学性能。表 2 给出了导热塑料管与普通塑料管的力学性能比较。

表 2 导热塑料管与普通塑料管的力学性能比较				
类别	弯曲强度 / MPa	缺口冲击强度 / kJ · m ⁻²	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 / %
导热塑料管 ¹⁾	29.16	34.1	26.98	108
普通塑料管 ²⁾	30	15	25	500

注: 1) 除断裂伸长率外由浙江工业大学高分子材料与工程研究所检测;
2) 参照扬子石化公司产 HDPE6100M 的指标。

由表 2 可知, 这两种冷却管的力学性能基本接近, 导热塑料管的某些特性甚至优于普通塑料管。导热塑料管在龙滩水电站的成功应用表明, 其力学性能完全满足施工要求。

4 结语

导热塑料管在一期、二期混凝土温控中都具有

接近钢管、优于普通塑料管的冷却效果, 而且具有优异的柔韧性和与普通塑料管接近或甚至更优的力学性能, 可以说导热塑料管是一种优质的混凝土温控冷却管。导热塑料冷却管在龙滩水电站的成功应用, 有效保障了混凝土坝体的设计温控要求, 证明了导热塑料管在大体积混凝土温控中比普通塑料管更具有优势, 值得推广使用。

参考文献

[1] 朱伯芳. 聚乙烯冷却管的等效间距[J]. 水利发电, 2002(1): 20 - 22.
[2] 朱伯芳. 大体积混凝土非金属水管冷却的降温计算[J]. 水利水电技术, 1997(6): 30 - 34.
[3] 朱伯芳, 王同生, 丁宝瑛, 等. 水工混凝土结构的温度应力与温度控制[M]. 北京: 水利电力出版社, 1976: 345 - 352.
[4] 朱伯芳. 大体积混凝土温度应力与温度控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999: 660 - 667.

PREPARATION AND ANALYSIS OF CONDUCTIVE PLASTIC COOLING PIPE IN TEMPERATURE CONTROLLING OF MASS CONCRETE

Chen Jianwei

(Hangzhou Huayuan Environment Equipment Co. Ltd., Hangzhou 310023, China)

Zhao Hui

(Institute of Polymer Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

ABSTRACT The preparation of conductive plastic cooling pipe is introduced, and the cooling results of temperature controlling in mass concrete with conductive plastic cooling pipe, steel pipe and HDPE pipe are compared. On basis of the mechanical properties and application results of conductive plastic cooling pipe, it is pointed out that the conductive plastic cooling pipe is of good quality and it is worth popularizing in temperature controlling in mass concrete.

KEYWORDS conductive plastic cooling pipe, mass concrete, temperature controlling

塑光公司建成汽摩塑料油箱基地

江苏塑光工程有限公司目前已具备年产 6 层塑料燃油箱 100 万只、单层塑料燃油箱 120 万只的产能, 成为国内最大型汽车、摩托车塑料油箱生产基地之一。该公司注重技术改造和设备更新, 不断提升检测水平, 现已建成了功能完备的产品检测中心, 形成从产品三维造型设计开发、采购供应、生产计划、仓储管理到客户服务的计算机管理网络, 能够根据客户需要自行开发 3 ~ 480 L 的各种规格型号的单层、双层塑料燃油箱。所生产的汽车 6 层塑料油箱达到欧 III 排放标准, 且产品质量稳定、可靠, 被国内“一汽”、“二汽”、海南“马自达”等 20 多家大型汽车厂家所采用。(达鲁)

中国 2010 年 PVC 需求达 1 200 万 t

美国 Freedonia 咨询公司发布的最新报告称, 鉴于中国建筑业呈繁荣态势, 中国市场 PVC 需求年均增速达 8.0%, 到 2010 年中国 PVC 需求量将达到 1 200 万 t。

据分析, 2005 年中国市场 PVC 消费量达到 820 万 t, 超过美国成为全球最大的 PVC 市场。中国高度活跃的建筑业消费量占 PVC 挤出产品的 70%, 而 PVC 管、窗和门用量将

继续提升 PVC 市场。特别是东北地区建筑业消费的强劲增长, 刺激了中国 PVC 市场需求保持增势。(全生)

乌鲁木齐鼎和塑业公司成功生产中空吹塑托盘

乌鲁木齐市鼎和塑业有限公司利用引进的中空成型机组生产的中空吹塑托盘最近试产成功。塑料托盘可替代传统的木制或铁制托盘成为石化、仓储、铁路等物流领域使用的新宠。这种中空吹塑托盘的刚度、韧性和承载性能等指标都达到或超过国家标准, 能达到动载 2.0 t, 静载 4.5 t, 货架载 1.0 t 的技术要求。(中塑网)

三爱集团推出试制品用新真空注塑机

日本三爱集团最近推出面向试制品加工的真空注塑机 SC 系列。据称, 该系列非常适合医疗器械类等年供货量仅几百件的小批量产品。真空注塑是在真空条件下, 向硅橡胶模具中注入热固性树脂, 以获取所需形状的成型法。由于不需要金属模具, 能够以低成本制作高精度试制品。SC 系列包括三款机型, 生产能力接近原机型的两倍, 而价格降至原机型一半以下, 且硅橡胶模具的取放更简单, 可使用更大的硅橡胶模具, 并取消了原机型的真空泵排油管。(中塑机网)