

## 医院防辐射大体积混凝土施工应用技术

王宣 尚波

中国华冶科工集团有限公司, 北京 102600

**[摘要]**文章较为细致地对医院防辐射大体积混凝土施工所涉及的关键技术展开了探讨。考虑到医疗辐射防护场所存在着特殊的需求,便着重对防辐射混凝土配合比的设计情况、大体积混凝土出现裂缝的控制事宜以及施工组织管理方面存在的核心问题加以剖析。在针对重晶石混凝土展开研究的过程中,涉及到其原材料的选择方式、配合比优化所遵循的原则以及施工过程中质量检测的具体方法等方面内容,进而提出了一系列的技术措施,像是温度控制与相关的热工计算方面的举措、采取分段分层浇筑的策略、对冷却水管进行合理布置并实施测温监控等。

**[关键词]**防辐射混凝土; 大体积混凝土; 配合比设计

DOI: 10.33142/ec.v8i7.17588

中图分类号: TU528

文献标识码: A

### Application Technology of Large Volume Concrete Construction for Hospital Radiation Protection

WANG Xuan, SHANG Bo

China Huaye Group Company Limited, Beijing, 102600, China

**Abstract:** This article explores in detail the key technologies involved in the construction of large volume concrete for radiation protection in hospitals. Considering the special needs of medical radiation protection facilities, this paper focuses on analyzing the design of radiation resistant concrete mix proportions, the control of cracks in large volume concrete, and the core issues in construction organization and management. In the process of researching barite concrete, a series of technical measures were proposed, including the selection of raw materials, principles for optimizing mix proportions, and specific methods for quality inspection during construction. These measures include temperature control and related thermal calculations, adopting segmented and layered pouring strategies, arranging cooling water pipes reasonably, and implementing temperature monitoring.

**Keywords:** radiation resistant concrete; large volume concrete; mix proportion design

#### 引言

随着核医学大型设备及技术的不断发展,国内医院引进了大量的放射治疗设备,其运行过程中产生的射线会对人体产生严重的危害,因此必须对辐射设备采取屏蔽措施。通常采用大体积混凝土建造医院放射室,但是其施工周期长、费用高且不易拆除,严重影响了医院的长期发展。为了增强混凝土屏蔽辐射的能力,研究者开始将各种新材料掺入混凝土中。防辐射混凝土属于一种行之有效的防护材料,其应用范围日益扩大,主要在核电站、X射线室以及其他需要对辐射进行屏蔽的医疗场所使用。医院防辐射工程一般具备结构厚度相对较大、混凝土方量较多、对防辐射性能要求颇高以及整体性要求较强等特性,而这些特性恰恰让防辐射混凝土施工在裂缝控制、温控管理以及浇筑组织等多个方面都面临着诸多的技术难题。所以说,针对医院防辐射大体积混凝土施工应用技术展开深入探究,对于确保医疗辐射防护工程质量以及安全而言,有着不容忽视的现实价值<sup>[1]</sup>。

#### 1 工程特点与主要技术难点

医院防辐射混凝土工程有着独特的结构特性以及特定的功能要求,这些特性致使它的施工过程存在着普通混凝土工程所没有的技术难题,要采取特殊的施工技术手段

与管理举措,才可保证工程质量。医院防辐射工程的结构特性主要在结构厚度大以及混凝土方量多这两方面有所体现。如潍坊市北辰医院(经济区第一人民医院)项目直线加速器区的顶板和墙体,其最大厚度达到了3.0m,单次浇筑的混凝土方量高达2500m<sup>3</sup>。防辐射性能要求高,这是医院防辐射工程的又一明显特点。防辐射混凝土主要是依靠提高密度以及含有结晶水这两种方式来起到屏蔽辐射的作用,氢原子核对于高速中子有着不错的防护功效,而水里面又含有相当数量的氢元素。混凝土凭借自身具备的水泥石或者集料里含有的结晶水,能够让高速中子得以减速,与此同时借助增加混凝土重度的办法来提升其内部结晶水的含量,进而强化对X和γ等射线的屏蔽效能。所以说防辐射混凝土的密度直接决定了它的屏蔽效果,在工程方面,通常要求防辐射混凝土的容重处于2800至3600kg/m<sup>3</sup>这个区间范围之内,这要比普通混凝土的容重大得多。

大体积混凝土施工时,技术层面的挑战重点在两个方面,其一是裂缝控制起来颇为困难,其二是浇筑组织相当复杂。防辐射混凝土结构的断面一般都比较厚,在凝固硬化的进程当中,其内部会产生相当高的水化热,跟周围环境的温度相比会形成较大的温差,致使混凝土表面出现温

度裂缝。尤其是防辐射混凝土所使用的重晶石等特殊骨料,有可能会对混凝土的泵送性能以及强度发展造成影响,进而加大了裂缝控制的难度。防辐射混凝土要求连续浇筑施工并且要一次成型,以此来保证结构的整体性以及防辐射效果的连续性,这就需要针对浇筑施工所需要的设备、人员、材料等方面展开细致的组织与协调工作,还要制定出详尽的施工方案以及应急预案。

## 2 防辐射混凝土配合比设计与质量控制

### 2.1 原材料选择与性能要求

防辐射混凝土在原材料选取方面有着特殊的要求,主要涉及到骨料、水泥、掺合料以及外加剂等方面。其中,骨料需选用密度相对较高的材料,像重晶石、铁矿石或者钢渣这类,通过这样的方式能够提升混凝土的辐射屏蔽效能<sup>[2]</sup>。重晶石属于常用的一种防辐射骨料,它的  $\text{BaSO}_4$  含量至少得达到百分之八十五,并且要求粒度保持均匀状态,不能存在杂质。

### 2.2 配合比优化原则

防辐射混凝土配合比设计需遵循特定原则,确保混凝土有良好工作性、强度与耐久性,水胶比控制在 0.40~0.50 间,保证混凝土强度和抗渗性能,骨料比例占混凝土总体积 60%~75%,保证混凝土密度和屏蔽效果,这些参数控制对防辐射混凝土性能保障很关键,要靠系统试验和优化确定最优配合比,配合比设计还要考虑防辐射混凝土经济性,并非一定要全用重晶石作骨料,应根据要求选用合适配合比。

### 2.3 施工过程中的质量检测

防辐射混凝土施工过程中里的质量检测属于保证工程质量的关键环节,得针对原材料、混凝土性能以及施工过程展开全方位的监控。在施工开始之前,要对所有的原材料都进行检验,像骨料的密度情况、粒度分布状况以及放射性水平方面,还有水泥的强度情况、凝结所需时间以及细度等方面都要涉及。尤其是防辐射材料,比如重晶石、硼砂这类材料,应当有着清晰明确的产地来源、规格标准以及放射性指标,并且这些都要与设计的要求相符合。所有的材料在正式投入使用之前,都需要进行放射性方面的检测,以此来确保它们的放射性水平处于安全的范围之内。在混凝土进行搅拌以及浇筑的过程当中,需要开展多项性能测试工作,像坍落度、密度以及温度等等都要涉及。对于防辐射混凝土而言,其拌合所花费的时间应当要比普通混凝土更长一些,只有这样才能确保防辐射材料能够均匀地分散开来;在拌合的操作过程当中,还得严格对加水量的控制,避免出现混凝土过湿的情况<sup>[3]</sup>。

## 3 大体积混凝土裂缝控制技术

### 3.1 温度裂缝成因分析

大体积混凝土出现温度裂缝,其主要缘由在于水泥水化进程中所释放出的诸多热量以及混凝土自身的热学特性方面。在水泥水化的整个过程之中,会有数量颇多的热量产生出来,这使得混凝土内部的温度不断升高起来。并且由于混凝土的导热性能是比较差的,所以其内部的热量

很难有效地散发出去,进而致使内部的温度要比表面的温度要高,如此便形成了温度梯度的情况。而这样的温度梯度状况,会促使混凝土内部形成压应力,同时在表面则会产生拉应力。一旦表面的拉应力超过了混凝土所具有的抗拉强度,那么就会引发表面出现裂缝的现象。随着内部温度逐步降低及体积开始发生收缩变化,内部同样也会产生拉应力,当拉应力超出混凝土的抗拉强度时,就会导致贯穿裂缝的出现,这对结构的完整性以及防辐射性能均会造成极为严重的影响。混凝土的热学性能和环境温度变化也是温度裂缝产生的重要因素。混凝土的线膨胀系数约为  $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ,这意味着温度每变化  $10^{\circ}\text{C}$ ,混凝土就会产生 0.01% 的应变。对于大体积混凝土结构,温度变化可能达到  $30^{\circ}\text{C}$  甚至更高,相应的应变就会达到 0.03%,超过了混凝土的极限拉伸应变,从而引起裂缝。环境温度的变化会加剧混凝土内部的温度应力,特别是在冬季施工时,内外温差更大,温度裂缝的风险更高。因此需要采取有效的温度控制措施,减少温度应力和裂缝风险。

### 3.2 温度控制与热工计算

温度控制在大体积混凝土裂缝控制方面属于关键技术,得借助热工计算来预测温度场以及应力场,同时还要采取与之对应的控制举措。热工计算的时候,要综合考量水泥的品种、用量、掺合料还有环境温度等诸多因素,以此来预估混凝土的最高温升情况、温降的速度以及温度的具体分布状况。依据计算得出的结果,便能够明确温度控制的各项指标与措施,比如对混凝土的出机温度、入模温度加以控制,确保内部与表面的温差不要超过  $25^{\circ}\text{C}$ 。混凝土的原材料挑选以及配合比设计,对于温度控制有着十分重要的影响作用。去优选那种水化热较低的水泥,另外掺加上粉煤灰以及矿粉这类掺合料,如此一来便能减少水泥的使用量,进而降低水化热的释放程度。

### 3.3 分段分层浇筑措施

分段分层浇筑属于大体积混凝土施工范畴内的一项重要措施,其能够使得每次浇筑所涉及的混凝土方量得以减少,进而促使水化热的积累程度降低下来,同时也能让温度应力有所减小。而分段分层浇筑这一策略在实际运用时,务必要依据结构所具有的特点、施工的具体条件以及温度控制方面的要求来展开合理的设计工作。就分段分层浇筑而言,要想顺利实施,就必须细致地组织施工流程,保证混凝土能够实现连续不断的供应,使砼浇筑工作有序开展。对于防辐射混凝土,要连续进行浇筑施工并且一次性成型,提前对浇筑施工过程中所需的各种设备以及备用设备要进行细致的检查,还要对现场的供水情况、供电线路状况、混凝土泵车稳定放置的场地情况、混凝土搅拌运输车的开行路线等逐一加以检查,同时要严格落实与之相关的各项应急措施。

### 3.4 冷却水管布置与测温监控

冷却水管的布置以及测温监控,这二者属于对大体积

混凝土实施温度控制的有效手段。借助人工冷却这种方式,能够使混凝土内部的温度得以降低,让内外温差有所减小,防止温度裂缝出现。冷却水管一般选用金属管或者塑料管,在布置的时候按照一定的间距放置在混凝土内部,依靠循环水将多余的热量带走<sup>[4]</sup>。测温监控需对混凝土内部以及表面的温度变化予以实时监测,只有这样才能及时察觉到异常情况,并且采取与之相对应的措施。在混凝土升温阶段,测温时间间隔可控制在每 2h 测温一次,降温阶段可控制在每 4h 测温一次,当混凝土内外温差小于 25℃时方可停止测温。当混凝土内外温差大于 25℃时,要及时增加苫盖保温层厚度;当混凝土内外温差小于 15℃时,要及时减少苫盖保温层厚度,使其加速散热。

#### 4 施工组织与现场管理要点

##### 4.1 浇筑顺序与工艺控制

防辐射混凝土的浇筑顺序以及工艺控制对工程质量与进度有着直接影响,需依据结构特点及施工条件来合理安排。浇筑之前,要给所有参与施工作业的人员开展现场施工技术交底工作,且交底内容务必要明确施工作业的关键点、分层浇筑的具体厚度、振捣的方式,还有混凝土运抵现场之后,作业人员在卸料、入模、振捣、抹压、养护各个环节所需要完成的施工内容、相关要求以及时间规定。还得仔细检查浇筑部位的钢筋隐蔽状况,以及弱电、强电、给排水、通风空调、设备安装等各类专业管线的预留预埋情况,并且要做到逐个细致核对。

防辐射混凝土在浇筑时需采用特定的方法以满足相应技术要求,具体而言,要运用全面分层且呈薄层状态的浇筑方式,从四周开始循环操作直至浇筑至顶部,墙体部分采取分层交圈的浇筑办法,而顶板部分则采用斜面分层的浇筑方式。每一层的浇筑厚度应当把控在 500mm 以内,上下层之间的浇筑间隔时间不可以超出混凝土的初凝时长,同时要保证每层混凝土在初凝之前都经过了二次振捣处理,振捣操作需要做到均匀且细致,以此来确保混凝土能够紧密坚实,由于加入防辐射材料,会对混凝土的流动性产生影响,所以振捣所花费的时间应当适当予以延长。

##### 4.2 养护方案与实施管理

防辐射混凝土的养护工作极为关键,它关乎混凝土的强度以及防辐射性能能否得到充分保障。在养护过程中,得着重把握好三个环节,即确保湿度适宜、有效控制温差以及合理把控养护时限。防辐射混凝土完成浇筑并初步成型之后,其顶板表面在经过抹压处理后,应当使用塑料薄膜以及湿润的麻布袋加以覆盖,通常以两层为佳,且每层麻布袋的搭接缝宽度需不低于 100mm,上下层的搭接缝要错开;对于墙体混凝土表面的养护,则可以在模板的外侧钉挂一层麻布袋,以此来达成保温保湿的养护效果。在养护期间,所使用的养护用水温度和混凝土表面温度之间的差异不宜超出 5℃,切忌让冷水直接浇洒在混凝土表面,

通过上述的养护方式,所持续的时间不应少于 14d。

在养护这个阶段,得严格把控模板拆除的时间点以及拆除的手段,坚决不能出现过早拆除模板的情况,同时也要杜绝采用不正当的方式来拆除模板。在整个养护期间,务必要让混凝土表面一直维持在湿润的状态,并且要把混凝土内部和外部的温差控制在规定的范围以内。

##### 4.3 应急问题处理预案

防辐射混凝土在施工期间有可能会各种各样的突发状况,所以得制定详尽的应急问题处理预案,以此来保障工程能够顺利推进。在施工开始之前,要安排专门人员针对浇筑施工所需要的设备以及备用设备,逐一对设备的维护状况、配备数量等方面展开细致检查,并且像现场的供水供电线路、混凝土泵车的稳放场地、混凝土搅拌运输车的开行路线等等这些情况也都应该一一进行检查,切实落实与之相关的各项应急措施。尤其是针对大体积混凝土的连续浇筑作业,务必要保证混凝土供应的连续性,防止因为供应环节出现中断而致使施工缝产生。

在施工进程里有可能出现的质量方面的问题,像是混凝土坍落度不达标、存在离析状况、温度出现异常等情形,应制订与之对应的处理办法。要是混凝土坍落度不符合规定,那就得及时对配合比做出调整或者将其退回至搅拌站;一旦出现离析情况,就要开展二次搅拌操作或者对浇筑工艺予以调整;倘若温度出现异常,那么应当及时调节保温举措或者采用人工降温的手段。

#### 5 结束语

医院防辐射大体积混凝土施工属于技术颇为复杂且要求极高的系统工程范畴,得从材料选取、配合比设计、温度把控、浇筑工艺以及养护管理等诸多方面去施行综合性的技术举措。借助重晶石这类防辐射骨料,并对混凝土配合比加以优化,如此便能够切实提升混凝土的密度以及防辐射性能;凭借温度控制与裂缝控制方面的技术手段,可有效避免温度裂缝出现,进而保障结构的完整性以及防辐射效果;依靠科学合理的施工组织以及现场管理工作,能够确保工程得以顺利推进,同时让工程质量有着可靠的保障。

##### [参考文献]

- [1]陈业林,梁羽.直线加速器机房超厚防辐射混凝土施工技术[J].施工技术(中英文),2025,54(9):154-157.
- [2]朱亮.重离子医疗中心治疗室墙体防辐射混凝土研究及工程应用[J].中国医院建筑与装备,2024,25(11):24-28.
- [3]魏娟盆,黄昌根,周雨晨,等.大体积防辐射混凝土温度及裂缝控制措施研究[J].建筑技术,2024,55(15):1904-1907.
- [4]吕忠.高性能防辐射混凝土性能试验研究[J].江西建材,2024(6):30-32.

作者简介:王宣,(1975.2—),毕业院校:青岛农业大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:中国华冶科工集团有限公司,职称级别:高级工程师。