

水厂构筑物模板体系与对拉螺栓防渗节点设计

王 洋

北京市政建设集团有限责任公司 北京 海淀 100080

摘要: 水厂构筑物,如清水池、沉淀池、滤池等,作为城市供水系统的核心组成部分,其结构安全与功能完整性直接关系到供水水质安全与系统运行的可靠性。由于长期处于满水或高水位运行状态,这些构筑物对混凝土结构的抗渗性能提出了极高的要求。在施工过程中,模板体系的选择与对拉螺栓防渗节点的设计是确保构筑物最终抗渗性能的关键环节。本文旨在系统阐述水厂构筑物模板体系的选型原则、构造要点及施工控制措施,并重点聚焦于对拉螺栓防渗节点的设计原理、常见失效模式、优化设计方案及施工质量控制。提出一套科学、可靠、经济且便于施工的质量保障体系,为提升水厂构筑物的整体耐久性和服役寿命提供技术支持。

关键词: 水厂构筑物;模板体系;对拉螺栓;防渗节点;止水措施

引言

我国城镇化加速、生活水平提升,人们对安全优质饮用水的需求持续增长。现代化水厂作为保障饮水需求的基础设施,建设规模与技术标准不断提高。水厂里的清水池、沉淀池、滤池等核心构筑物,内部长期盛装大量液体,属于大型钢筋混凝土水工结构,确保“零渗漏”是首要设计目标之一。混凝土结构渗漏危害极大,既浪费水资源,又会让外部污染物侵入水体威胁供水安全,还会侵蚀钢筋,降低结构耐久性、缩短使用寿命,甚至引发安全事故。在混凝土诸多潜在渗漏路径中,模板对拉螺栓孔这一因施工工艺引入的薄弱环节,是最常见、集中且易被忽视的渗漏源。现浇混凝土施工时,对拉螺栓用于固定模板,拆除后会在墙体留下贯通孔道,处理不当就会成为直接渗漏通道。所以,科学选模板体系,精心设计施工对拉螺栓防渗节点,是水厂构筑物施工成败关键。

1 水厂构筑物的功能特点与抗渗要求

1.1 构筑物类型与受力特性

水厂构筑物多为地下或半地下式箱型结构,平面尺寸大、墙体高、壁薄。以常见的矩形清水池为例,其池壁通常高度在4-8米之间,厚度在300-600毫米左右。这类结构在使用阶段主要承受内部水压力,该压力沿墙体高度呈三角形分布,底部最大。此外,还需考虑地下水的浮力、土压力以及温度应力、收缩徐变等次生效应。这些复杂的受力状态要求混凝土结构必须具有良好的整体性和密实度。

1.2 严苛的抗渗等级要求

根据《给水排水工程构筑物结构设计规范》(GB50069)等相关标准,水厂构筑物的混凝土抗渗等级通常不得低于P8(即能抵抗0.8MPa的水压力而不渗透),对于重要或

深埋的构筑物,甚至要求达到P10或更高。这意味着混凝土自身必须非常密实,且结构中不能存在任何贯穿性的缺陷。任何微小的施工冷缝、蜂窝麻面,尤其是贯穿孔洞,都可能成为突破这道防线的突破口。

1.3 耐久性与水质安全

水厂构筑物的设计使用年限通常长达50年甚至100年。在此期间,混凝土不仅要抵抗水的物理渗透,还要抵御水中溶解氧、二氧化碳、氯离子等对钢筋的腐蚀作用。一旦发生渗漏,钢筋锈蚀产生的膨胀力会进一步加剧混凝土开裂,形成恶性循环。更重要的是,渗漏点是微生物滋生的温床,可能对储存的饮用水造成二次污染,违反《生活饮用水卫生标准》(GB5749)的强制性规定。因此,防渗不仅是结构问题,更是关乎公共健康的重大安全问题。

2 水厂构筑物模板体系的选型与设计

2.1 模板体系的选型原则

针对水厂构筑物的特点,模板选型应综合考虑结构安全性、施工效率与经济性。首先,模板体系必须具备高刚度与高稳定性,能够有效抵抗新浇混凝土的侧压力,防止胀模、跑模,从而确保墙体厚度均匀、几何尺寸精准。其次,模板拼缝处必须具有良好的密封性,避免漏浆现象的发生,因为漏浆不仅会导致混凝土表面出现砂线、麻面等外观缺陷,更会在内部形成疏松区域,显著降低局部抗渗能力^[1]。再次,应优先选用标准化、定型化的模板体系,如钢模板或覆膜胶合板,以提高施工效率和混凝土成型质量。最后,在满足技术和质量要求的前提下,还需兼顾经济性与可操作性,选择成本合理、安装拆卸便捷的方案,以适应现场施工条件并保障工程进度。

2.2 常用模板体系及其适用性分析

木模板体系,通常采用覆膜胶合板配合木或钢龙骨,因其重量轻、加工灵活、成本较低且可适应复杂形状,在中小型水厂或异形构筑物中应用广泛。其表面覆膜能提供较好的混凝土饰面效果,但刚度相对较低,易受潮变形,周转次数有限,因此对拼缝密封处理要求较高,常需辅以海绵条或专用胶带进行封堵。相比之下,钢模板体系,包括组合钢模板或大块定制钢模,具有刚度大、强度高、尺寸精确、拼缝少且严密的优点,特别适用于大型、标准化程度高的矩形池体,能有效保证墙面的平整度和垂直度,但其自重大、一次性投入高,对吊装设备依赖性强。近年来,铝合金模板体系凭借其轻质、高精度、快拼装和高周转率的优势,在部分高标准、大规模重复建设的水厂项目中开始崭露头角,尽管初期投资巨大且对设计图纸的准确性要求极高,但其优异的成型质量和施工效率使其成为未来发展的趋势之一。无论采用何种模板体系,其背楞(主、次龙骨)的布置间距都必须经过严格的力学计算,确保在混凝土侧压力下挠度控制在允许范围内,同时所有模板接缝处必须采取有效的密封措施,这是防止“先天”渗漏隐患的第一步。

3 对拉螺栓防渗节点:失效机理与设计挑战

3.1 渗漏失效机理分析

当普通对拉螺栓(通丝螺栓)在混凝土浇筑完成后被拆除时,会在墙体中留下一个直径约14至16毫米的圆柱形孔洞。这个看似简单的孔洞,其渗漏路径实际上涉及多个界面的相互作用。如果施工中使用了PVC套管,螺栓与套管内壁的界面通常不是主要渗漏通道;真正的风险在于PVC套管外壁与混凝土之间的界面。由于PVC材料与混凝土的热膨胀系数差异巨大,在环境温度变化或混凝土自身收缩徐变的过程中,两者之间极易产生微观裂缝。在内部水压的持续作用下,水分会沿着这些微裂缝迅速渗透,形成稳定的渗流通道^[2]。即使未使用套管,裸露的金属螺栓与混凝土之间也会因收缩差异而产生缝隙。因此,传统的“穿PVC套管+后期封堵”做法,其本质并非消除隐患,而是将一个大的、贯通的孔洞替换成了一个更容易因材料性能不匹配而产生界面裂缝的薄弱点,其防渗效果往往难以令人满意。

3.2 设计面临的挑战

面对上述失效机理,对拉螺栓防渗节点的设计面临着多重挑战。首要挑战是如何在墙体内部实现一道可靠的“物理隔断”,彻底切断潜在的直线渗水路径。这要求防渗措施必须具备足够的阻水能力和与混凝土的良好协同工作性能。其次,如何保证后期用于封堵螺栓孔的填充材料具有优异的密实性、低收缩性以及与原结构混凝土

的强粘结力,是确保长期防渗效果的关键。填充材料若发生收缩开裂或与基体脱粘,将前功尽弃。最后,任何防渗方案都必须在技术可靠性与施工便利性、经济性之间取得平衡。过于复杂的构造会增加施工难度,延长工期,并可能因操作不当而引入新的质量风险,因此,理想的防渗节点设计应当是技术先进、构造简洁、便于操作且成本可控的。

4 止水对拉螺栓防渗节点的优化设计

4.1 中间焊止水环式对拉螺栓

中间焊止水环式对拉螺栓是目前应用最广泛、技术最成熟的防渗解决方案。其构造原理是在螺栓杆的中部,即墙体中心位置,焊接一个或多个圆形止水钢板(环),止水环的直径通常为80至100毫米,厚度为3至5毫米,螺栓两端则保留标准丝扣段以便连接螺母。其工作机理在于,浇筑混凝土后,止水环被完全包裹在混凝土内部,通过双重作用实现防渗:一方面,它极大地延长了水分渗透的路径,迫使水分子无法直线穿透墙体,必须绕行,从而消耗其渗透能量;另一方面,止水环与混凝土之间形成了强大的机械咬合力和化学粘结力,这种握裹力远优于光滑的PVC套管,能有效阻止两者间因收缩或温度变化而产生缝隙。在施工过程中,必须确保止水环双面满焊,焊缝密实无夹渣、无气孔,螺栓定位准确,以保证止水环位于墙体中心。拆模后,需将外露的螺栓杆从根部割除,并用高性能砂浆将凹坑仔细封堵抹平,完成最后一道防线。

4.2 三节式(可拆卸式)止水螺栓

三节式(可拆卸式)止水螺栓代表了一种更为先进的设计理念,旨在解决传统止水螺栓两端需要切割所带来的弊端。该系统由三部分精密组成:一根中间止水螺栓杆(中部焊有止水环)和两根位于两端的连接螺杆,三者通过锥形连接套筒或高精度螺纹套筒进行可靠连接。其工作机理是,在混凝土浇筑并达到拆模强度后,松开模板,施工人员可以从墙体两侧直接将连接螺杆旋出并回收。最终留在墙体内部的只有中间的止水螺栓杆,其两端为锥形或平头设计,与混凝土结合紧密^[3]。这种设计带来了显著优势:首先,完全避免了气割或电焊切割作业,消除了高温对混凝土造成的热损伤和由此引发的微裂缝;其次,留下的孔洞小而规则,只需用专用堵头或少量高性能砂浆即可快速、美观地封堵,大大提升了施工效率和观感质量;最后,两端的连接螺杆可以重复使用数十次,有效降低了材料成本。正因如此,三节式止水螺栓在高标准、大规模的水厂项目中正变得越来越受欢迎。

4.3 锥形胶堵式(塑料)止水螺栓

锥形胶堵式(塑料)止水螺栓是一种成本较低的方案,多用于木模板体系。其构造是在通丝螺栓的两端套上锥形的塑料堵头,堵头的大头端紧贴模板内侧。拆模时,随着模板的移除,锥形堵头因其倒锥结构被牢固地留在混凝土墙体内,其塑料材质本身具有一定防水性,尾部的小孔再用发泡胶或砂浆进行二次封堵。尽管该方案施工简便、成本低廉,但其防渗可靠性主要依赖于塑料与混凝土的物理嵌固,缺乏金属止水环那样的主动阻水屏障和强大粘结力,因此通常仅适用于对抗渗要求不是极端苛刻的次要部位,或作为其他防渗措施的辅助手段。

4.4 封堵材料与工艺的精细化

无论采用何种形式的止水螺栓,最终的孔洞封堵环节都是决定防渗成败的最后一公里。推荐优先选用微膨胀水泥基灌浆料或聚合物改性水泥砂浆作为封堵材料,因为它们具备早强、微膨胀(能有效补偿自身及基体的收缩)、高粘结强度和优异的抗渗性能。以中间焊止水环螺栓为例,其标准施工工艺应遵循精细化原则:首先,在距墙面5至10毫米处用电焊或机械方式割除螺栓头,严禁使用气割,以防灼伤混凝土;其次,将凹坑周围的混凝土表面凿毛,并彻底清除灰尘、碎屑和积水,确保基面干净、湿润但无明水;然后,用专用工具将拌合好的封堵材料分层填入孔洞,每层厚度控制在10至15毫米,并用钢筋棍或专用工具充分捣实,确保内部密实无空鼓;最后,封堵完成后,必须及时覆盖湿布或喷涂养护剂进行不少于7天的保湿养护,以防止早期干缩开裂,确保封堵体与原结构形成一个完整的防水整体^[4]。

5 施工全过程质量控制与管理

5.1 材料进场验收

对拉螺栓、止水环、连接套筒等所有构配件必须有合格证和材质证明。现场抽检止水环的尺寸、厚度及焊缝质量。对三节式螺栓,要检查其连接的可靠性和密封性。

5.2 安装过程控制

精确放出墙体边线和螺栓孔位线。严格控制螺栓的水平垂直间距,确保其同一轴线上。使用定位筋或专用卡具固定螺栓,防止在浇筑混凝土时发生位移。背楞和钢管支撑体系必须按方案搭设牢固,所有扣件拧紧。在

混凝土浇筑前,必须由专人进行全面的模板系统验收。

5.3 混凝土浇筑与养护

分层浇筑,分层振捣。振捣时要避免直接触碰螺栓,以防其移位或破坏止水环与混凝土的粘结。拆模时间不宜过早,应在混凝土达到足够强度后进行。拆模后立即对墙体进行不少于14天的湿水养护或覆盖保水养护,这是减少混凝土收缩裂缝、保证整体抗渗性的根本措施。

5.4 螺栓孔封堵的专项管理

将螺栓孔封堵列为关键工序,编制专项施工方案和技术交底。实行“样板引路”制度,先做样板墙,经各方验收合格后再大面积施工。建立封堵记录台账,做到“一孔一档”,明确责任人,实现可追溯性。封堵完成后,进行严格的淋水试验或蓄水试验,作为检验防渗效果的最终手段。

结束语:

水厂构筑物防渗是系统工程,对拉螺栓防渗节点是关键。经分析得出:理念转变是前提,要摒弃“重主体、轻节点”思想,重视螺栓孔防渗;优选方案是核心,中间焊止水环式和三节式可拆卸止水螺栓技术可靠、应用广泛,应优先选用,禁用普通通丝螺栓加PVC套管;精细施工是保障,从材料验收到孔洞封堵,各环节都需明确标准、严格管控;过程检验是闭环,要用满水试验等验证防渗效果,形成完整闭环。展望未来,随着新材料、新工艺发展,对拉螺栓防渗技术仍有提升空间,如开发自愈合封堵材料、研究渗漏预警系统等,但根本原则不变,即消除渗漏通道,为城市供水安全筑牢屏障。

参考文献:

- [1]李伟,贾焯,文向峰.基于螺栓锈胀效应的池体防渗施工技术[J].施工技术,2020,49(21):36-37+44.
- [2]乔兴坡,一种水利工程固定模板用对拉螺栓孔封堵施工设备及方法.河南省,河南省水利第一工程局集团有限公司,2022-10-01.
- [3]罗娜,陈佳伟,刘富,等.超清水混凝土劲性柱无对拉螺栓施工技术[J].建筑安全,2022,37(08):7-10.
- [4]王宇伟,郭彦林,刘王恢,等.波形钢板组合墙对拉螺栓受力机理及设计方法[J].建筑结构,2021,51(12):104-108+103.