

清水混凝土技术在水电站厂房中的应用研究

赵文剑, 李宗宗, 山继红

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 都江堰 611830)

摘要:近年,清水混凝土在水电站厂房中逐步得到推广应用。水电站厂房因机械、电气设备较多,导致厂房异型结构多种多样。阐述了对清水混凝土技术在水电站厂房中的应用研究过程。开仓前,严格控制骨料质量。胶凝材料采用同一厂家,严格控制色泽,模板拼缝处和阴阳角模连接处贴高密度海绵密封条以防漏浆,脱模剂采用水性脱模剂,模板采用木胶合板和异型钢模板以达到清水混凝土效果。

关键词:清水混凝土;亚曼苏水电站;厂房;木胶合板;定型钢模

中图分类号:TV7;TV52;TV544;TV731

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2022)05-0025-04

Application of Fair-faced Concrete Technology in Hydropower Plant

ZHAO Wenjian, LI Zongzong, SHAN Jihong

(Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd., Dujiangyan, Sichuan 611830)

Abstract: In recent years, the application of fair-faced concrete in hydropower plants is gradually popularized. Due to the large number of mechanical and electrical equipment in the powerhouse of hydropower plants, the special-shaped structures in the powerhouse are various. Before opening the warehouse, the quality of aggregates is strictly controlled. The cementitious materials must be from the same manufacturer. The color and luster are also strictly controlled. High-density sponge seals are attached to the joints of the formwork and the connection of the yin and yang angle forms to prevent leakage of the slurry. The release agent is water-based, and the formwork is made of plywood and special-shaped steel formwork to achieve the effect of fair-faced concrete.

Key words: fair-faced concrete; Yamansu Hydropower Plant; plywood; specially-shaped steel formwork

1 概述

水电站受其功能所限多数布置于深山峡谷中,水电站的厂房主要用于安装水轮发电机组和升压设备,其内部分层和结构形状依机组和设备的体型而定,加之需要考虑受力和安装检修的需要,导致其结构设计异型多、标准结构少,而且厂房具有结构复杂、管线穿孔复杂多变、层间高差大、异型结构突出等特点,导致清水混凝土的应用受到一定程度的限制。

以亚曼苏水电站为例,阐述了清水混凝土技术在水电站厂房中的应用研究过程。该电站厂房位于新疆阿克苏地区托什干河河谷中天山冲洪积台地上,厂房基础布置于下挖 70 m 的深基坑中,其地下水丰富,施工难度大。厂房总长度

为 87.54 m,宽 22 m,水轮机安装高程为 1 491.6 m,厂内安装 3 台单机容量为 70 MW 和 1 台单机容量为 34 MW 的水轮发电机组,总装机容量为 244 MW。厂房蝶阀层、水轮机层、电气夹层、尾水闸墩(外露面)等除地面外的部位均考虑采用普通清水混凝土施工工艺。

由上述情况可以看出:水电站厂房结构具有一定的特点,“清水混凝土施工技术对整体水工建筑工程质量有其相对的重要性与影响性”^[1],应用清水混凝土技术时需要综合考虑。在亚曼苏水电站厂房混凝土施工过程中,对原材料色差控制、脱模剂选用及工艺对比、模板选型等进行了一系列现场试验研究,最终达到了普通清水混凝土施工效果,其具体的应用过程分述于后。

2 加强对原材料质量进行控制

亚曼苏水电站地处新疆偏远地区,由于该地

收稿日期:2022-07-10

区常年风沙漫布,骨料处于露天环境下造成骨料表面浮积一层灰尘,仓中骨料表面有灰尘的和无灰尘的具有明显色差。试验室试验和现场实践取得的经验是:骨料表面无灰尘时,混凝土试块和现场混凝土颜色均偏白;骨料表面有灰尘时,混凝土试块和现场混凝土颜色均偏黑。至此,骨料的色差导致混凝土存在色差。为避免骨料色差造成清水混凝土表面色差,对砂石骨料仓增加了混凝土隔墙的高度,以确保骨料有足够的储存量,并在骨料仓上部增加了钢结构顶棚用于防止风沙、雨雪等对骨料造成污染,骨料运输至骨料仓后及时采用彩条布进行覆盖,后期采用色差仪对所覆盖的骨料进行颜色检查,检查点数共40个,颜色偏差点数3个,占比为7%,最终认定其不影响混凝土整体外观颜色。

对于胶凝材料,分别对进场的5批次水泥和粉煤灰采用色差仪进行颜色对比,结果显示:其中4批次水泥和粉煤灰颜色偏灰、1批次水泥和粉煤灰颜色偏黑,混凝土试块和现场混凝土颜色均与胶凝材料颜色接近,因此确定:胶凝材料的色差会造成混凝土存在色差。后期经过对实际进场的胶凝材料颜色进行查看发现:水泥和粉煤灰颜色出现偏黑的情况很少,原材料质量及色泽相对稳定,不会影响清水混凝土的质量。

对于粗骨料,其表面无明显灰尘、级配连续,含泥量($\%$) ≤ 1 。细骨料不得含有泥土,色泽均匀,含泥量($\%$) ≤ 2 。

对于水泥、粉煤灰,除满足常规混凝土各项指标外,对其色泽提出了较高的要求,同一部位尽量避免采用不同批次的材料,以免出现较大的色差。

3 施工方法

3.1 模板制安

3.1.1 模板的选择

众所周知:混凝土结构的精度偏差取决于模板的选型,尤其在水利水电工程中,异型结构多且复杂,特别是流道及转轮结构,对结构线型的要求较高,采用木胶合板无法保证异型结构的精度,因此决定主厂房异型结构全部采用定型钢模板。定型钢模板在加工场内按照设计曲面及流线进行加工制造,其与理论数值的偏差可控制到毫米级。主体结构采用定型钢模板施工完成后,对水流和转轮部件的影响将降至最低,从而最大限度地保

证了电站出力和设备安全。

除异型结构以外的部位全部采用组合木胶合板,其单块尺寸为 $244\text{ cm}\times 122\text{ cm}\times 1.2\text{ cm}$ 。木胶合板采用全整芯优质杨木片板材数层胶合而成,锯开无空洞,从而保证了模板的韧性。从芯板到面板全部采用高浓度三聚氰胺胶水,层层过胶,全面粘合,保证了模板胶合的强度。木胶合板相对钢模板而言其刚度稍显不足,安装时可采用 $10\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 的标准背枋进行加强,间距 30 cm 。面板经过两次砂光后再覆膜,确保了模板的平整光滑,无毛刺沟痕,施工时在其表面再涂刷一层水性高分子材料。水性脱模剂具有平滑、耐磨、光泽度高等特点,在平整度方面亦满足清水混凝土要求。木胶合板具有重量轻、幅面大、减少接缝数量、易于裁切加工、小幅度弯曲变形等特点,作为清水混凝土平板或微曲面模板效果优良。两种模板相互结合,可以实现大面积清水混凝土的施工效果。

对于墙面、板梁柱模板主要采用木胶合板,根据结构尺寸拼装出各种形状。由于墙面和板梁柱模板对于支撑固定的要求较高,因此,木胶合板主要在现场制作拼装并需要注意边角接缝的密封性,必须严丝合缝,避免出现漏浆等问题。

3.1.2 模板制安

(1)木胶合板的制作与安装。木胶合板裁切过程中必须确保其四周横平竖直,无锯齿状和波形边线。钻孔过程中,螺栓孔眼采用记号笔按照结构尺寸划线、对拉孔眼对称设置,钻孔过程中保护板面无起皮、划痕等影响混凝土外观的现象出现。

木胶合板制作拼装初步成型后,对于存在的模板接缝错角、线性差等问题,主要采用有针对性的裁切条状木胶合板进行拼接的方法,必要时采用胶带粘贴等方法。

组合木胶合板由三块尺寸为 $244\text{ cm}\times 122\text{ cm}\times 1.2\text{ cm}$ 的模板拼装而成,木胶合板的安装加固系统采用 $10\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 的标准木材作为背枋,间距 30 cm 。加固时用 $\Phi 48\text{ mm}\times 3.5\text{ mm}$ 壁厚钢管做背管和脚手架,使模板侧压力传递均匀、支撑牢固。对于墙体、柱等部位采用 $\phi 12\text{ mm}$ 圆钢作为对拉杆,对拉杆的孔眼采用在混凝土中预埋细PVC管的方法以确保其外观质量,对于孔眼布置的位置需要统一设计,整齐美观。模板拆

除后,采用与混凝土原色相同的砂浆对对拉孔眼进行修补。

现浇结构清水混凝土模板安装的允许偏差为:截面内部尺寸为 ± 4 mm(柱、梁、墙),模板不平整度不超过 3 mm(采用 2.5 m 靠尺检查),相邻面板高差为 2 mm,阴阳角的方正不超过 3 mm(采用方正尺),模板高度不大于 5 m 时,模板的垂直度不超过 4 mm,模板高度大于 5 m 时,模板的垂直度不超过 6 mm。

(2)异型钢模的制作及安装。亚曼苏水电站主厂房异型结构全部采用定型钢模板,定型钢模主要采用在专业钢结构厂家订制的方式。根据设计图纸,机墩风罩整体为圆柱型,下部为机墩,上部为风罩,中部为 1:1 的圆台过渡。机墩高 245 cm、半径为 425 cm,圆台部位高 81.4 cm,风罩高 360 cm、半径为 510 cm。根据施工缝的留置原则,施工缝应留置在结构受剪力较小的位置,再结合该部位因机电设备管路预埋件多而复杂的实际情况,将机墩顶部的施工缝留置在圆台下部 20 cm 处。圆台顶部按照设计图纸为电气夹层板梁,板梁施工完毕再进行风罩的施工,因此,将圆台顶部施工缝留置在电气板梁底部。

根据施工缝留置情况,机墩模板高 225 cm、每块宽 121.3 cm、共 22 块,模板背肋包括竖肋和横肋,背肋采用钢板制作,设置竖肋 4 根、横肋 6 根,在两端竖肋和顶部横肋上设置螺栓孔,孔径 2 cm、间距 15 cm;圆台部位的模板高 125 cm、分 22 块与机墩模板对应,设置竖肋 4 根、横肋 4 根,在两端竖肋和底部横肋上设置螺栓孔,孔径为 2 cm、间距 15 cm;风罩模板分两层制作,每层高 180 cm、每块模板宽 123.1 cm、共 26 块(两层共 52 块),设置竖肋 4 根、横肋 5 根,在两侧竖肋、顶部和底部横肋上均设置螺栓孔,孔径为 2 cm、间距 15 cm,待风罩两层模板全部安装完成后一次浇筑成型。

尾水闸墩的高度达 2 200 cm,定型 8 个半径为 50 cm 的异型弧形钢模板连接平板大块钢模板进行施工,模板高 150 cm,平板钢模板长度为 327 cm,设置竖肋 10 根、横肋 5 根,在两侧竖肋、顶部和底部横肋上均设置螺栓孔,孔径为 2 cm,间距 15 cm。

模板面板全部采用 Q235 钢板,厚度为 3.5

mm,背肋采用 Q235 钢板,宽 8 cm,厚 6 mm。

异型钢模板主要采用 $\phi 16$ mm 和 $\phi 18$ mm 圆钢对拉,高强度螺栓连接,外部采用 $\Phi 48$ mm \times 3.5 mm 壁厚的钢管进行固定以确保模板支撑牢固、浇筑过程不发生位移变形。

(3)脱模剂。脱模剂喷涂在清水混凝土施工中起着关键性的作用。亚曼苏水电站经试验后选用水性脱模剂,水性脱模剂经多次调整稀释比例后发现:浓度过浓采用油漆涂刷时,脱模剂吸附于模板表面出现小颗粒状而使清水面呈现出不规则的坑洼状;浓度太稀又不利于脱模工作的进行且对模板周转次数有影响,故通过试验确定脱模剂的稀释比例为 1:1,即 1 kg 脱模剂加入 1 kg 水进行充分稀释,涂刷方式采用农用喷雾器喷涂两次以达到清水混凝土效果。

施工时,首先向喷雾器中加入一半水,水质干净且无杂质,再倒入一半脱模剂搅拌均匀,经稀释的脱模剂不易放置太久且在短时间内必须用完,应做到随拌随用。模板首次使用前,采用喷雾器直接将脱模剂喷涂在模板表面,待风干后在模板表面进行二次喷涂,喷涂必须均匀,不得漏喷,钢模板二次使用喷涂脱模剂前,采用钢丝刷和角磨机将钢模板表面的杂质清除干净,再用湿抹布将表面灰尘擦拭干净后再喷涂。木胶合板二次使用前,用湿抹布将其表面杂质和灰尘清理干净后再喷涂脱模剂,采用以上措施方可保证清水混凝土效果的实现。

(4)模板拼缝。模板拼缝的严实程度直接影响到混凝土的外观质量。拼缝不严容易出现漏浆而导致混凝土表面出现不平整、麻面等质量缺陷,清水混凝土施工的模板拼缝主要采取以下措施:

在木胶合板竖向拼缝和横向接缝处粘贴高密度海绵密封条和外侧加固竖向外楞以防漏浆,在钢模板竖缝和水平缝拼缝处均粘贴高密度海绵密封条以防漏浆,在现浇板梁木胶合板拼缝处用胶带纸粘牢,柱、墙模板固定对拉螺栓与模板周围结合处、机电设备管路与模板交接处均采用发泡剂或橡皮泥堵塞,待发泡剂和橡皮泥完全固结后对模板内侧采用刀片将多余的发泡剂或橡皮泥铲除,与模板持平即可。

粘贴密封条前,应将模板两侧边缘擦拭干净。模板安装必须挤紧压实,确保模板拼缝无空隙,待

模板加固完毕、混凝土浇筑前再用高压风枪将模板表面的灰尘清理干净,用5 cm宽的透明胶带在模板内侧粘贴拼缝进行封闭,粘贴透明胶带时应确保一次成功,如果粘贴不平整、有褶皱必须重新粘贴时,“须更换胶带纸,要从一边往另一边赶贴”^[2],确保其平整度。

3.2 混凝土施工

3.2.1 混凝土拌制

配合比是决定清水混凝土外观颜色、色差的重要指标。仓号开仓前,应严格控制骨料质量,同时保证各种原材料有足够的储量。胶凝材料应确保为同一厂家,进场时严格控制色泽,混凝土拌制必须严格按试验室配合比进行配料,材料的计量必须准确。

由于清水混凝土对坍落度有较高的要求,坍落度过高容易产生离析泌水及浮浆,过低则汽车泵无法泵送,因此,搅拌完成的清水混凝土拌合物和易性应稳定。亚曼苏水电站厂房混凝土浇筑采用泵机结合汽车泵的方式进行浇筑,“清水混凝土坍落度严格控制在 $150\text{ mm}\pm 20\text{ mm}$ ”^[3],拌合搅拌时间比普通混凝土延长30 s。

3.2.2 混凝土运输

清水混凝土运输时,应做到运输速度快、距离短、倒运次数少,以使混凝土工作性能稳定。运输设备不得使用未清洗干净的浑水混凝土运输工具和浇筑工具(汽车泵)运输浇筑用的清水混凝土,同时,罐车内应无积水,以避免改变清水混凝土的配合比,增大浮浆水纹产生的概率。

混凝土罐车从搅拌站到施工现场过程中,必须保持慢慢转动,保证混凝土不离析、不分层,满足坍落度要求,控制初凝时间。出料前应快速转动2 min以确保混凝土在运输过程中不会产生离析现象,出料必须干净。

3.2.3 混凝土浇筑过程控制

混凝土浇筑前,采用高压风枪将模板表面的灰尘清理干净。外墙柱合模前应将水平施工缝剔凿并清除干净,模板内表面不得有污物。

在混凝土浇筑过程中,操作人员应严格控制浇筑的地点、浇筑方式、振捣棒插入的半径范围、分层浇筑的厚度、振捣的密实情况等。混凝土振捣应插点均匀,梅花形布置,以“快插慢拔”为振捣的原则^[4],按顺序进行,严禁漏振、过振、欠振。

3.2.4 清水混凝土的养护

“混凝土拆模后应及时进行养护”^[5],保持其湿润状态。对板梁混凝土面采用覆盖无纺布的方式,然后浇水养护;对墙、柱及其它立面结构采用包裹塑料薄膜浇水保湿养护的方式,养护时间均不小于28 d。当塑料薄膜妨碍上层施工需拆除时,使用喷雾器及时喷水养护以保证混凝土表面的湿润,保证面层的湿润时间不小于28 d。

3.2.5 清水混凝土成品的保护

待上层混凝土拆模后进行上层模板支模、搭设脚手架等施工时,不得损坏或污染下一层已浇筑的混凝土。浇筑上一层混凝土时,不允许有浆液或污水流淌或喷洒在已浇好的混凝土墙面上。如有污染,必须清洗干净,但不得使污染面积增大。

拆除外脚手架时应轻拿轻放,不得碰坏墙面。吊装其它部位材料时应派专人看守,严禁刮蹭清水混凝土部分而造成破坏。

浇筑上层混凝土过程中,安排专人全过程监控,对从浇筑部位流淌下的水泥浆和洒落的混凝土应及时清理干净。

4 结语

清水混凝土直接以素颜装饰,体现出一种现代简约的装饰手法,原生态、简约而不简单。与普通混凝土相比,其表面无任何装饰,显得十分天然、庄重。清水面是最纯粹的,没有任何多余的杂质,有返朴归真的感觉。

清水混凝土自身具有的优越结构性能在使用过程中减少了大量资源的使用,同时亦简化了施工程序,从而为水利水电工程相关各方带来了很大的经济效益。对于施工单位,节省了进行二次抹灰的施工成本和时间成本,提高了施工效率,减少了很多施工材料的使用,从而为施工单位降低了施工成本。亚曼苏水电站通过对原材料色差进行控制,采用木胶合板和定型钢模板运用于厂房清水混凝土施工中,达到了清水混凝土效果,所取得的经验对类似水电站建设具有借鉴作用。

参考文献:

- [1] 刘年鹏. 清水混凝土施工技术在水工建筑物施工中的应用[J]. 中小企业管理与科技(中旬刊), 2018, 9(8): 141-142.

(下转第40页)

吊位置,司索工在钢筋笼上安装钢丝绳和卡环,挂上吊车主吊钩及副吊钩。

(2)检查吊车钢丝绳的安装情况及受力重心后开始同时平吊。

(3)钢筋笼吊至距地面0.3~0.5 m后,应检查钢筋笼是否平稳后主吊慢慢起钩,根据钢筋笼尾部距离地面的距离,随时指挥副吊配合起钩。

(4)钢筋笼吊起后,主钩慢慢起钩提升,由副吊配合保持钢筋笼底部距地面的距离,最终使钢筋笼垂直于地面。

(5)指挥司索工卸下钢筋笼上副吊点的吊钩、钢丝绳、卡环,然后远离起吊作业范围。

(6)指挥吊机吊笼入孔、定位,吊机的旋转应平稳,在钢筋笼上连接牵引绳。下放时应平稳、顺直、匀速下放。若遇到钢筋笼卡孔的情况,需要将其吊出并检查钢筋笼与孔位是否对中及钢筋笼吊起状态的垂直情况后再吊放,不得强行入孔。

(7)当钢筋笼每次下放到副钩吊点时暂停下放,需拆下吊点的吊钩、钢丝绳与卡环,然后继续下放。

(8)当钢筋笼继续下放到主钩吊点时暂停放下并插入穿梢,将钢筋笼固定在打梢盘上;不得将钢筋笼安放在护筒顶,然后拆下主钩吊点的吊钩、钢丝绳与卡环。

(9)在第一节钢筋笼吊放完成后,起吊第二节笼至孔口进行主筋连接,全部主筋连接完成、缠绕箍筋并绑扎牢固、经验收合格后方可下放。

(10)最后一节钢筋笼下到孔口位置时,用打梢盘临时将钢筋笼支撑在孔口,用水准仪量测此时的测量深度基准面标高,根据钢筋笼顶设计标高计算出吊筋长度,将吊筋焊在钢筋笼主筋上,吊筋吊环内顶面应在同一水平面上。吊筋焊接好后,在钢筋笼顶端用十字丝找出钢筋笼中心位置,然后将吊钩挂在吊筋上并缓缓下至设计位置。在

钢筋笼吊筋吊环内插穿梢,将整个笼体悬挂于打梢盘上,确保钢筋笼下设位置高度准确。

4 结 语

随着桥梁跨度的增大,承受桥梁荷载的桩基直径和长度愈来愈大,桩长多超过100 m,直径有的甚至达到4.5 m以上。有的钻孔桩因结构需要将钢筋笼设计成双层,从而导致其加工、安装难度增大^[5]。

通过胎模长线法制作钢筋笼、叠放打梢盘方式下设大直径大吨位双层钢筋笼孔施工技术研究,结合乌鲁木齐绕西高速头屯河连接线特大桥桩基工程的实践,不断调整优化了施工工艺,确保了所依托工程施工的安全和质量。经过该工程的应用和施工实践,取得了明显的社会效益。大直径大吨位双层钢筋笼制安技术的成功实施,为在类似采用“大直径、大吨位、双层钢筋笼”变截面钻孔灌注桩工程中的推广应用提供了范例。

参考文献:

- [1] 马峰. 变截面超长桩钢筋笼长线匹配法制作安装技术[J]. 公路, 2009, 54(2): 41-44.
- [2] 郭允庄. 钻孔变截面灌注桩施工技术研究与应用[J]. 探矿工程, 1998, 42(增刊): 5-8.
- [3] 徐国亮. 大直径大吨位钢筋笼下放施工中打梢方法的探讨[J]. 公路, 2008, 53(6): 23-26.
- [4] 胡东范. 超长变截面钻孔灌注桩施工质量控制[J]. 铁道建筑, 2008, 48(12): 71-73.
- [5] 刘忠友. 超长钻孔桩双层钢筋笼施工方案[J]. 中国港湾建设, 2010, 30(5): 58-60.

作者简介:

魏玉麟(1988-),男,甘肃兰州人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;

王 勇(1990-),男,河南安阳人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;

许定坤(1990-),男,四川成都人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;

赵军虎(1987-),男,甘肃白银人,助理工程师,从事建设工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第28页)

[2] 韩君. 清水混凝土工程质量通病的防治与消除[J]. 科技情报开发与经济, 2005, 15(2): 290-291.

[3] 张述毕. 泸定水电站厂房清水混凝土施工技术[J]. 水力发电(下旬刊), 2011, 37(5): 59-62.

[4] 陈鹏. 微探清水混凝土施工技术在水工建筑物施工中的运用[J]. 建材与装饰. 2020, 9(19): 23-24.

[5] 徐洪波, 林江源. 清水混凝土施工技术在水工建筑物施工中

的应用[J]. 中华民居(下旬刊). 2013, 6(3): 289-290.

作者简介:

赵文剑(1989-),男,甘肃天水人,工程师,一级建造师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

李宗宗(1984-),男,河南洛阳人,高级工程师,一级建造师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

山继红(1973-),男,四川德阳人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)