

充水式橡胶坝螺栓压板锚固技术的改进与应用

朱逢春

(临沂市水利勘测设计院、山东 临沂 276004)

摘要:结合临沂市沂河小埠东橡胶坝工程实例,对目前国内充水式橡胶坝螺栓压板锚固方面存在的主要技术问题进行全面分析,比较了橡胶坝上下游侧不同锚固受力条件,对锚栓直径及预埋长度进行改进,提出一次浇筑锚固件组合体、锚固件防锈蚀处理、锚固线上防渗漏处理等新技术措施,并应用于实际工程建设,取得较好的技术经济效益。

关键词:橡胶坝;锚固;螺栓压板

中图分类号:TV644

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)03-0056-04

充水式橡胶坝工程对锚固的技术要求是既要牢固可靠,承受坝袋径向拉力,又要密封不透水,起良好的挡水作用。而锚固结构是将坝袋安装在基础底板上,它直接关系到坝袋安全,是橡胶坝工程重要组成部分。目前,国外均为螺栓压板锚固,且多用不锈钢锚固件。国内的锚固结构共有3种:一是螺栓压板锚固;二是混凝土楔块锚固;三是胶囊充水锚固。对充水式橡胶坝用得较多的锚固结构多为前两种,而对较高坝(坝高超过3.5m)和比较重要的坝应采用螺栓压板锚固,以使其达到相应锚固可靠度要求。

螺栓压板锚固的锚固构件由螺栓和压板组成。按照锚紧坝袋的方式可分为穿孔锚固和不穿孔锚固;按使用压板材质分为不锈钢、普通钢、铸铁和钢筋混凝土压板。在山东省临沂市小埠东橡胶坝设计研究过程中,我们在全面综合分析国内外锚固型式及其优缺点的基础上,提出该工程采用普通钢螺栓压板双线穿孔锚固的型式,这种型式虽然具有节省造价、易于安装、检修等方面的优点,但主要存在四方面难以处理的技术问题:一是锚固件计算条件与实际工况拟合不好;二是锚固件防锈蚀措施没有彻底解决;三是锚固件组合及锚固槽混凝土施工方面需要改进;四是双锚线上的渗漏水处理问题。

1 锚固件计算及分析

1.1 锚固力的确定

文献[1,2]均提出锚固力的计算按 $T_0 = KT$ 计算,其中 T 为袋壁径向拉力, K 为安全系数。但实际

试验已证明充水式橡胶坝上下游锚固处,由于坝袋在充胀成设计形状时的拉力 T 的方向不同,所需压板的正压力(即锚栓承受的拉力)也不同,所以在计算锚固力时,应对上下游侧锚固力分别计算,而不应简单地仅计算一侧,或用一侧的锚固力代替另一侧^①。

1.1.1 上游侧锚固力

在设计条件下,上游侧坝袋外形为圆弧,见图1。图1中坝袋拉力 T 分解为水平力 T_x 和垂直力 T_y 。

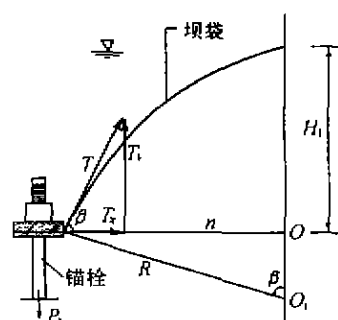


图1 上游侧锚固力分析

$$T_x = T \cos \beta = T \frac{R - H_1}{R} \quad (1)$$

$$T_y = T \sin \beta = T \frac{n}{R} \quad (2)$$

式中: n 为上游侧贴地长度; R 为上游圆弧半径; H_1 为坝前水深。

$$n = \frac{H}{\sqrt{2(\alpha - 1)}} \quad (3)$$

$$R = \frac{2\alpha - 1}{4(\alpha - 1)} \quad (4)$$

作者简介:朱逢春(1964—),男,山东莒县人,工程师,从事水利工程规划设计工作。

①高本虎.橡胶坝常用锚固结构设计,中日橡胶坝技术交流文集,北京,1995.173~183.

将式(3)和(4)代入式(1)和(2)整理得

$$T_x = \frac{\gamma H_1^2 (3 - 2\alpha)}{4(\alpha - 1)} \quad (5)$$

$$T_y = \gamma H_1^2 \frac{\alpha - 1}{2} \quad (6)$$

式中: γ 为水密度; α 为优化设计内压比。

当锚固结构在临界平衡状态下, 克服胶布拉力 T_x 所需压板正压力 N_x (即锚栓承受锚固力 P_x) 为

$$P_x = N_x = \frac{T_x}{\mu_1 + \mu_2} \quad (7)$$

式中: μ_1 为底垫片和底板 (或钢垫板) 间静滑动摩擦系数; μ_2 补强胶布和压板间的静滑动摩擦系数。

当锚固结构在临界平衡状态下, T_y 是偏向拉力, 按力矩平衡求出垂直于压板的分力 T_y 引起的锚栓拉力 P_y ,

$$P_y = 2T_y \quad (8)$$

则锚栓所承受的上游侧总锚固力为

$$P_d = P_x + P_y = \frac{T_x}{\mu_1 + \mu_2} + 2T_y \quad (9)$$

将式(5)和(6)代入式(9), 有

$$P_d = \frac{\gamma H_1^2 (3 - 2\alpha)}{4(\mu_1 + \mu_2)(\alpha - 1)} + \gamma H_1^2 (\alpha - 1) \quad (10)$$

1.1.2 下游侧锚固力

在设计条件下, 锚固处只有水平向的坝袋胶布拉力 T (图 2), 胶布拉力 T 要将坝袋由压板下抽出而破坏, 在坝袋即将被抽出的临界状态下, 其静滑动摩擦力达临界值 μN_d (μ 为静滑动摩擦系数, N_d 为压板正压力), μ 由 μ_1 和 μ_2 两部分复合而成。假设 T 全部由胶布与压垫板间摩擦力所克服, 不受胶布拉力的剪切, 则锚栓所承受锚固坝袋的拉力为压板正压力 N_d ,

$$N_d = \frac{T}{\mu} = \frac{\gamma H_1^2 (2\alpha - 1)}{4(\mu_1 + \mu_2)} \quad (11)$$

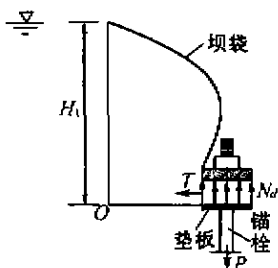


图 2 下游侧锚固力分析

1.1.3 上、下游侧锚固力比较

从以上推导可以明显地看出 P_d 值大于 N_d 值, 即在设计条件下上游侧锚固力明显大于下游侧锚固

力。按照上述公式选定不同坝高优化内压比 (优化内压比选定可参见文献[3]) 后, 可以计算得出不同坝高上、下游侧不同的锚固力。

1.2 锚栓直径的确定

在计算出临界平衡状态下的锚固力 P_d 和 N_d 值后, 锚栓拉力考虑材料质量、施工混凝土质量以及其它各种影响因素, 需要对 P_d (N_d) 乘扩大系数 (即安全系数), 同时又要考虑栓紧力和扭转力的影响。SL227-98《橡胶坝技术规范》提出安全系数取 4~6, 笔者根据多年设计施工经验, 认为安全系数不能一概而论, 而应视工程的大小及重要性区别对待。对高坝及重要的中低坝可以取 6~8, 对低坝 (2.5 m 以下) 以及非重要性坝可以取 3~5, 以便使工程达到安全、经济的目的。

1.3 锚栓长度的确定

对于埋置于混凝土基础中的锚栓长度, 应保证锚栓通过其和混凝土的粘着力传递拉应力, 并不发生拉拔破坏。锚栓预埋长度的初步确定一般凭经验, 很难做到准确, 拉拔试验经常要进行多次。为此, 我们在设计中, 按照美国《原子能混凝土建筑安全规范》中“锚固螺栓及其它钢埋件设计手册”^①, 对钢埋件采用单应力锥法进行计算, 即认为锚栓中心距足够大, 混凝土设计抗拉拔力由单力锥控制。根据设计的锚栓工作拉力可以求出较准确的与混凝土抗拉拔力相等的埋深, 减少了重复试验次数。计算公式如下:

$$L_m = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{P_0}{4 \sqrt{0.8r} + A_d}} \quad (12)$$

式中: L_m 为锚栓埋深; P_0 为工作拉力; r 为混凝土抗拉强度; A_d 为锚头面积。

2 锚固件组合及锚固槽混凝土浇筑

SL277-98 对预埋锚栓提出应采用二次浇筑施工法来浇筑锚固槽混凝土, 以便保证浇筑螺栓准确定位。我们在实践中总结出制作锚固件组合体后, 共同与底板混凝土一次浇筑的施工方法, 具有施工速度快、提惯工效、缩短工期、节省模板、降低造价的优点, 而且在不提高二期混凝土强度的条件下, 保证螺栓与混凝土的咬合可靠度, 保证预埋螺栓在安装允许误差范围内。具体有以下 4 项措施:

a. 单件锚栓与分块钢垫板组合形成锚固件组合体。将工厂生产的单件锚栓与码长 1 m (每米 4 根螺栓) 的钢垫板反面点焊后, 形成由 4 根锚栓和一块钢垫板复合而成的组合锚固件 (见图 3), 以易于工厂化生产, 且只要校正一组中一根, 即可校正 4 根螺

①高本虎. 橡胶坝常用锚固结构设计. 中日橡胶坝技术交流文集, 北京, 1995. 180~181.

栓,可以大大提高工效.与木支撑固定法相比,施工较为灵活,不需增设木夹板.

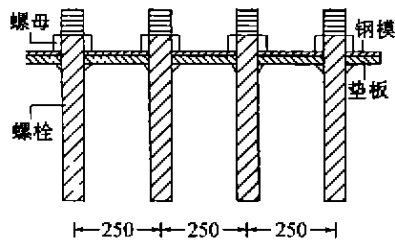


图3 锚固件组合体剖面

b. 设置必要支撑钢筋,固定锚固件组合体. 锚栓预埋前要求螺栓中心线在一直线上,锚固件组合体之间的连接首先采用首位垫板点焊连接,连接处设钢筋支撑,水准仪测定埋设高度后,准确定位. 除利用连接处钢筋支撑外,为保证定位后不发生螺栓偏移,在每个组合体中间再设一组钢筋支撑体,保证其浇筑时牢固可靠.

c. 单螺母固定特制钢模板. 根据设计锚固槽尺寸,加工制作顶部钢模板,对钢模板按设计螺栓间距预留孔洞,螺栓穿孔后,利用设计螺母,固定钢模板位置,保证锚固槽一次成型.

d. 一次浇筑包括锚固槽在内的底板混凝土,并在浇筑过程中保持螺栓两侧混凝土均匀上升,同时对锚固槽混凝土要加强振捣,随时检测螺栓中心偏移,混凝土初凝前进一步校测螺栓中心线位置,保证其在偏移误差范围内.

3 锚固件防锈蚀处理新措施

充水式橡胶坝螺栓等锚固件,由于长期处在水中,受水中化学物质侵蚀,容易发生锈蚀,因此经济发达国家均采用不锈钢锚件,国内一般采用镀锌处理,但镀膜在安装过程中易损坏,使用年限也较短. 鉴于以上情况,设计人员经专门研究,提出一整套普通钢质锚固件防锈蚀处理新方法(见图4),具体有以下4项措施:

- 底板设置锚固槽.
- 锚固件全部置于锚固槽内.
- 优先保证螺栓及螺母不锈蚀,利用特制厚塑料袋套装螺栓(螺栓预先涂抹足量黄油),然后绑扎可靠.
- 利用高标号环氧砂浆固结槽内外露锚固件.

4 综合锚固措施解决坝袋渗漏问题

目前,充水式橡胶坝袋渗漏问题非常普遍,主要是锚固技术措施落后,对锚固技术的认识不足,锚固安装没有引起设计施工人员的重视,缺少指导性材

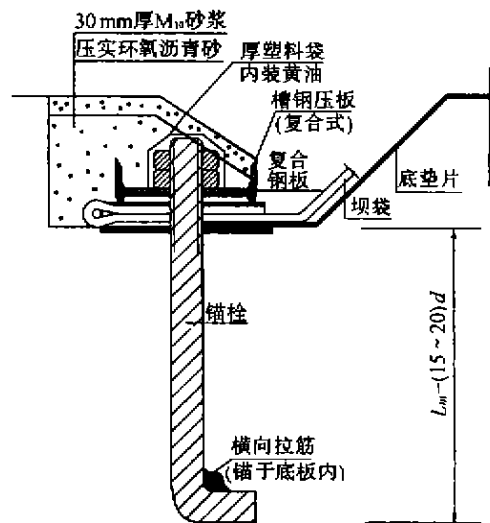


图4 锚固件防锈设计

料等造成的.为此,在设计中,提出了以下综合锚固技术措施,彻底解决了处理坝袋渗水的难题.

4.1 实现锚栓紧固均匀一致

根据预紧力,可以计算出锚栓设计扭矩.但由于施工过程中的变化,往往很难达到均匀一致,而且难以掌握.目前,国内皆采用人工扭紧,技术规范虽要求用测力扳手来测定预紧力,达到最终确定扭矩的目的,但市场很难购买到这种大型的测力扳手.若用人工凭经验来确定扭矩,很难实现紧固均一.为此,利用自制大型弹簧秤及紧固设备来测定紧固力,换算成紧固力矩与计算力矩比较,达到测定紧固力矩与设计力矩的相互校正,保证了螺栓紧固的均匀一致,为解决坝袋锚固点渗水提供了条件.

4.2 坝袋锚固范围设置海绵及密封止水

充水式橡胶坝坝袋锚固范围的渗水,在很大程度上是穿孔折叠或非穿孔折叠缝隙所致.因此,在设计上既考虑采用沿锚固线设置高止水性海绵,又采取在坝袋拐角处充填橡胶腻子,并在坝袋和底垫片间粘贴止水胶布等新技术措施,使坝袋与底垫片之间形成一个封闭体,增强了坝袋的密封性能,达到了防止坝袋渗水的目的,从技术上保证了坝袋密封性.

4.3 锚固安装技术新措施

坝袋锚固安装也是保证充水式橡胶坝不渗水的关键技术,在安装过程中,经专题研究安装方案,提出以下两项新措施:

- 均分加工误差.由于加工过程中存在加工误差,使坝袋长度存在变化量,该变化量是允许的.但如何分配变化量,则关系到安装的速度和质量.我们在安装过程中,根据加工的实际长度,按照预埋螺栓的实际个数和间距,采用多次分配误差法,可以保证坝袋锚固安装的精度,不至于出现加工误差集中及

安装后坝袋渗水问题。

b. 止水海绵搭接安装。止水海绵是铺设在锚固槽底垫片上的一种止水材料,一般安装是对接止水海绵法,必须在接缝处剪直,既浪费材料,又费时,且这种方法容易在接头处留有缝隙。采取搭接法,虽在接头处不平,但因海绵压缩后成为一体,从而达到接头处不渗水的目的。

5 工程实例

临沂市小埠东橡胶坝全长 1136 m,是目前世界上最长的橡胶坝(1999 年列入大世界基尼斯之最),应用以上锚固改进技术,缩短工期 50 d,节省工程造价达 120 万元,使设计合理、安全、可靠。经山东省科委组织有关专家鉴定,在锚固技术方面达到国际先进水平。工程实施后,经 3 年实际运行和大洪水考验,效果良好,达到相应技术要求,已发挥设计效益。

(上接第 17 页)

- [15] Patterson J H, Talbot F B, Slowinski R, Weglarz J. Computational experience with a backtracking algorithm for solving a general class of precedence and resource constrained scheduling problem [J]. *European Journal of Operational Research*, 1990, 49: 68 ~ 79.
- [16] Sung C S, Lim S K. A Project activity scheduling problem with net present value measure [J]. *International Journal of Production Economics*, 1994, 37: 177 ~ 187.
- [17] Chan W T, Chua D K H, Karman G. Construction resource scheduling with genetic algorithms [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1996, 122(2): 125 ~ 132.
- [18] 吴之明. 网络进度-费用的联合管理 [J]. *系统工程理论与实践*, 1995(6): 10 ~ 17.
- [19] Sou-Sen Leu, Chung-Huei Yang. GA-based multi-criteria optimal model for construction scheduling [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1999, 125(6): 420 ~ 426.
- [20] Mulholland B, Christian J. Risk assessment in construction schedules [J]. *Journal of Construction Engineering And Management*, 1999, 125(1): 8 ~ 15.
- [21] Shou Qing, Robert L K Tiong, Seng Kiong Ting, David Ashley. Political risks: analysis of key contract clauses in China's project [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1999, 125(3): 190 ~ 197.
- [22] Herbert Moskowitz, Derek Burn. Decision and risk analysis [J]. *European Journal of Operational Research*, 1987, 28: 247 ~ 260.
- [23] Thompson P, Perry J. Engineering construction risk: a guide to project risk analysis and risk management [M]. London: Thomas Telford, 1992.
- [24] 潘宝根. 计划协调技术 [A]. 李庆华. 中国网络计划大全

6 结 语

目前,橡胶坝技术应用非常广泛,充水式橡胶坝更为普遍。如何从技术上改进充水式螺栓压板锚固工程的设计与施工,是工程设计人员的重要课题。本文提出的锚固技术改进措施,虽对指导橡胶坝设计,改进其施工有一定借鉴意义,但在充水式橡胶坝螺栓压板锚固件优化定型产品系列化生产方面,仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] SLJ03-88, 橡胶坝技术指南 [S].
- [2] SL227-98, 橡胶坝技术规范 [S].
- [3] 朱逢春, 田汉功, 胡文静, 等. 充水式橡胶坝袋设计内压比初步优化 [J]. *水利水电科技进展*, 1999, 19(6): 49 ~ 50.
(收稿日期: 1999-11-30 编辑: 熊水斌)
- [C]. 北京: 地震出版社, 1993. 807 ~ 812.
- [25] Littlefield T K, Randolph P H. Reply—an answer to sasieni's question on PERT times [J]. *Mgmt Sci*, 1987, 33(10): 1357 ~ 1359.
- [26] MacCrimmon K R, Ryavec C A. An analytical study of the PERT assumption [J]. *Opns Res*, 1964(12): 6 ~ 7.
- [27] 李千生, 王卓甫, 白宏坤. 网络计划计算机仿真与风险分析 [J]. *河海大学学报*, 2001, 29(1): 65 ~ 69.
- [28] Bajis Dodin. Determining the k most critical paths in PERT net-works [J]. *Opns Res*, 1984, 32(4): 859 ~ 877.
- [29] Bajis Dodin. Bounding the project completion time distribution in PERT network [J]. *Opns Res*, 1985, 33(4): 862 ~ 881.
- [30] Al-bahar. Systematic risk management approach for construction project [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1990, 116(4): 533 ~ 546.
- [31] 徐哲, 冯允成. 网络计划的风险分析 [J]. *系统工程理论与实践*, 1998(4): 25 ~ 28.
- [32] 王卓甫, 陈登星. 水利水电施工进度计划的风险分析 [J]. *河海大学学报*, 1999, 27(4): 83 ~ 87.
- [33] Dider Dubois, Henri Prade. Operations on fuzzy numbers Internat [J]. *J Systems Sci*, 1987, 9(6): 613 ~ 626.
- [34] 周长春. 非确定时间参数网络规划的一种新算法 [J]. *系统工程理论与实践*, 1998(5): 89 ~ 91.
- [35] Nasution S H. Fuzzy critical path method [J]. *IEEE Transaction on SMC*, 1994, 24(1): 48 ~ 57.
- [36] Chang I S, Tsujimura Y. An efficient approach for large scale project planning based on fuzzy delphi method [J]. *FSS*, 1995, 76(3): 277 ~ 288.
- [37] 胡劲松, 达庆利. 单代号模糊网络的关键路线分析 [J]. *系统工程理论与实践*, 1998(8): 108 ~ 112.
(收稿日期: 2000-02-25 编辑: 熊水斌)