

耐冲击橡胶坝的研制

周英志¹, 周 毅^{2*}

(1. 山东临朐中学, 山东 潍坊 262600; 2. 山东横滨橡胶工业制品有限公司, 山东 潍坊 262610)

摘要:介绍耐冲击橡胶坝的结构设计、配方设计、生产工艺和产品性能。骨架材料上下两层选用钢丝绳网, 中间两层选用锦纶66帆布。外层胶选用氯磺化聚乙烯(CSM)作主体材料, 并加入石油树脂, 提高抗冲击性能。堵头和坝体无缝搭接、硫化成型。坝袋下游一侧设计扰流板, 以降低坝体振动、颤动。内外层涂刷相同颜色的CSM防护涂层, 延长坝体使用寿命。该产品设计坝高6 m, 使用寿命30年。

关键词:橡胶坝; 钢丝绳网; 锦纶66帆布; 氯磺化聚乙烯; 扰流板

中图分类号: TQ336.4⁺2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2018)07-0000-04

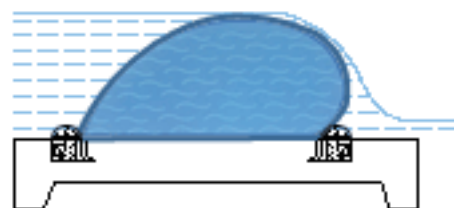
橡胶坝又称橡胶拦水坝、橡胶水闸, 利用钢网、胶布等骨架材料与弹性体材料一起硫化后, 按照一定尺寸锚固在底板、端墙上, 形成封闭带体, 可以充满或排放水、空气, 调节其升高、降低活动的袋式挡水坝^[1]。

世界上第一座橡胶坝1957年诞生在美国的洛杉矶河道上, 由美国费尔斯通轮胎公司生产。随后英国、前苏联、捷克斯洛伐克、澳大利亚、日本、中国相继开展了橡胶坝的研制推广工作。其中日本的橡胶坝技术发展最快, 且技术稳定。目前日本国内拥有橡胶坝3 000多座, 中国大约拥有500座。日本的住友、普利司通公司几乎垄断了整个国际橡胶坝市场。

由橡胶坝形成的上下游水的落差主要用于农业灌溉、交通运输、工业发电、阻挡潮水、预防洪水、园林景观等, 同时一定量的蓄水能够增加空气的湿度、改善周围环境、增加当地生物多样性等。目前我国已经进入工业化时代, 环境治理刻不容缓, 橡胶坝的推广具有显著的经济和社会效益。

1 橡胶坝的结构和工作原理

橡胶坝示意图见图1。橡胶坝主要由地基、混凝土底面、侧墙、橡胶坝袋和水电控制系统等组



橡胶坝过水状态

图1 橡胶坝示意

成。首先将生产好的橡胶坝袋平铺在预定的混凝土底面上; 其次按照要求在上游和下游将橡胶坝袋锚固在底面上; 然后开始试验充水或空气达到预定的高度; 最后检验橡胶坝溢水、运行情况。

橡胶坝主要是利用充水或空气后形成的一定高度的坝袋阻挡上游的水达到一定的蓄水高度, 从而形成上下游水的落差, 进而对不同落差的水源合理利用的水利工程设施。

本次研制的耐冲击橡胶坝断面结构示意图见图2。其结构从外到内依次包括: 外覆盖胶、中间胶、第1层钢丝绳网、中间胶、第2层帆布、中间胶、第3层帆布、中间胶、第4层钢丝绳网、中间胶、内覆盖胶。

2 结构设计

2.1 基本参数

本次设计的橡胶坝为充水、两端堵头无缝搭接橡胶坝。上游水位海拔9.5 m, 下游水位海拔3.5 m, 设计坝高 H_1 为6 m, 内外水压比

作者简介:周英志(2000—), 男, 山东枣庄人, 临朐中学高中在读, 兼职从事山东横滨橡胶工业制品有限公司橡胶输送带、胶管、橡胶制品的技术工作。

*通信联系人(zhouyi-70@163.com)

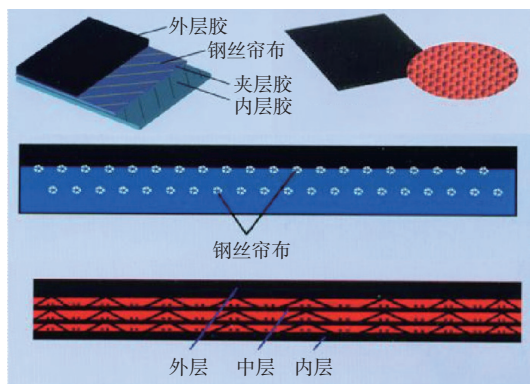


图2 橡胶坝断面结构示意图

$\alpha = H_0/H_1 = 1.35$, 内压水头 $H_0 = \alpha H_1 = 1.35 \times 6 = 8.1$ (m)。坝袋径向计算强度 $T = 0.5\gamma(\alpha - 0.5)H_1^2 = 0.5 \times 10 \times (1.35 - 0.5) \times 6^2 = 153$ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$) (γ 为水的容重 $10 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$)。

将充胀后的坝袋分为四部分:橡胶坝上游曲线段长度 S_1 、橡胶坝下游曲线段长度 S 、橡胶坝上游贴地长度 n 、橡胶坝下游贴地长度 X_0 。本次设计的橡胶坝采用双锚线锚固,坝袋的有效周长(不含锚固长度)为 $L_0 = S_1 + S$,底垫片的有效长度(不含锚固长度)为 $I_0 = n + X_0$ 。

坝袋的曲线长度可以用椭圆积分计算,也可以通过橡胶坝工程技术规范中的图表查出来。因此可得:

$$L_0 = S_1 + S = 1.692H_1 + 1.7418H_1 = (1.692 + 1.7418) \times 6 = 20.6 \text{ (m)}$$

$$I_0 = n + X_0 = 1.1952H_1 + 0.5394H_1 = (1.1952 + 0.5394) \times 6 = 10.41 \text{ (m)}$$

同理,通过查表,计算坝袋单宽容积 $V = 1.6275H_1^2 = 1.6275 \times 6^2 = 58.59$ (m^3/m)。本次设计的坝袋锚固长度为 250 mm ,上下游两侧的锚固总长度为 $250 \times 2 = 500 \text{ mm}$,因此本坝袋有效周长(含锚固长度)为 $20.6 + 0.5 = 21.1$ (m)。相应底垫片的有效长度(含锚固长度)为 $10.41 + 0.5 = 10.91$ (m)。

2.2 骨架材料

橡胶坝工程技术规范^[2]规定坝袋强度安全系数大于6。综合考虑设计偏差、质量不均匀、客观损耗等因素,一般损耗约为15%,因此安全系数取 $6 \times 1.15 = 6.9$ 。计算坝袋经向强度为 $153 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$,因此设计坝袋经向强度为 $153 \times 6.9 =$

1055.7 ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)。根据以往的设计经验,纬向强度低容易破坝,因此本次选用经纬向同强度的骨架材料,单层强度为 $300 \text{ kN} \times 300 \text{ kN}$ 。上下两层为钢丝绳网,中间两层为锦纶66帆布。锦纶66帆布具有强力高、耐热性好、尺寸稳定等特点。钢丝绳网材质为82A,结构为 $1 \times 7 - \phi 1.5 - 10$,即钢丝绳中心为1股,四周6股交互捻、开放式结构,编织缠绕形成的钢丝绳直径为 1.5 mm 、两根钢丝绳之间的间距为 10 mm ,钢丝绳之间用锦纶绳连接编织形成钢丝绳-锦纶网。本次实际设计的安全系数为 $K = 300 \times 4 / 153 = 7.84 > 6$ 。

锦纶66帆布 $300 \text{ kN} \times 300 \text{ kN}$,原布厚度 1.95 mm 。钢丝绳网的厚度为 1.5 mm 。设计中间胶的厚度为 0.5 mm ,外覆盖胶的厚度为 4.5 mm ,内覆盖胶的厚度为 4.0 mm 。据此推算坝袋的总厚度为 17.9 mm 。

本次设计的骨架材料上下两层选用钢丝绳网,中间两层选用帆布,既有帆布的柔软耐屈挠性能,又有钢网的刚性、耐冲击特性,坝袋整体性能好,充满水后设计高度达到 6 m 。

3 配方设计

3.1 覆盖胶

橡胶坝长期浸泡在水中并暴露在室外各种恶劣的环境中,日积月累不断接受风吹日晒、雨淋、冰雹、霜雪、冰冻、洪水等侵蚀。因此坝袋要求具有耐天候老化、耐水、耐划伤撕裂、耐化学腐蚀等特性。

通过长期的生产实践,曾经研制了天然橡胶、丁苯橡胶、氯丁橡胶、三元乙丙橡胶的橡胶坝,本次研制氯磺化聚乙烯(CSM)橡胶坝。CSM具有优良的耐候性、耐腐蚀性、耐油性、耐热性、抗氧化性、着色性、阻燃性、韧性和耐磨性,综合性能优良^[3]。石油树脂具有耐水性、耐化学品、耐机械摩擦性优良的特点,而且增加粘性和韧性,可以提高胶料的抗冲击、耐撕裂性能。彭俊彪的研究^[4]表明:顺丁橡胶(BR)中炭黑的质量分数增大,天然橡胶(NR)/BR并用胶硫化胶的定伸应力、拉伸强度和拉断伸长率增大,耐磨性能提高,压缩生热和动态损耗因子减小,抗裂口增长性能变差;NR中炭黑的质量分数增大,NR/BR并用胶硫化胶的耐屈挠性能增强。

据此,本次设计的橡胶坝里外覆盖胶配方为: CSM/NR/BR 70/20/10,白炭黑 10,硬脂酸 1,氧化镁 3,氧化锌 1,防老剂 2.5,多元醇 4,着色剂 6,白色填充剂 40,石油树脂 6,软化剂 8,硫黄 1,促进剂 1.2,其他 0.15。胶料的物理性能(148 °C×30 min)为:邵尔A型硬度

62度,拉伸强度 18 MPa,拉断伸长率 495%,撕裂强度 20 kN·m⁻¹,热空气老化性能(100 °C×96 h)为:拉伸强度 16 MPa,拉断伸长率 460%,臭氧老化性能[臭氧体积分数 1×10⁻⁵,温度 (40±2) °C,拉伸率 20%,时间 120 min]:不龟裂。

3.2 中间胶

中间胶的主要作用是增加骨架材料之间、骨架材料与覆盖胶之间的粘合力,缓冲来自外部的对骨架材料之间的冲击力,提高坝袋的耐屈挠性能要求具有良好的粘合力、耐水性、耐化学品、耐热性等性能。本次研制的坝袋骨架材料除了中间的2层锦纶66帆布外,还有上下2层钢丝绳网。这种设计不仅要求中间胶与锦纶66帆布有良好的粘合,而且要求中间胶与钢丝绳网也有良好的粘合。

氯丁橡胶(CR)物理性能优良,具有耐臭氧、耐酸碱、耐油、耐热、耐化学试剂、耐燃、耐日光等特点^[5]。本次选用CR作为中间胶主体橡胶,粘合体系选择钴盐粘合增进剂。

中间胶配方为:CR/NR 90/10,炭黑 45,白炭黑 10,硬脂酸 1,氧化镁 3,氧化锌 4,石蜡 1,钴盐 4,软化剂 15,防老剂 2.5,硫黄 1.5,促进剂 0.3。胶料的物理性能(148 °C×30 min)为:邵尔A型硬度 60度,拉伸强度 13 MPa,拉断伸长率 455%,撕裂强度 17kN·m⁻¹,热空气老化性能为(100 °C×96 h):拉伸强度 12 MPa,拉断伸长率 400%。臭氧老化性能[臭氧体积分数 1×10⁻⁵,温度 (40±2) °C,拉伸率 20%,时间 120 min]:不龟裂。

4 生产工艺和产品性能

本次设计的坝袋共3节,每节长80 m。采用无缝搭接、分段连续硫化。首先,压延时按照压延机的最大宽度对锦纶66帆布、钢丝绳网进行压延贴

胶;其次,在成型时各层骨架材料依次错开对接;然后,将覆盖胶片按照要求与骨架层错开对接。最后,在大型热压合硫化机上依次硫化成型。采用这种工艺生产的坝袋成品,整体性能均匀、平稳,避免了局部应力集中引起的过早损坏。硫化时,坝袋的有效周长作为宽度方向、每节长度作为长度方向进行分段连续硫化。每节的头部、尾部预留出堵头部分的生坯,以便于堵头的硫化。

关于堵头的硫化,根据结构设计,查找橡胶坝工程技术规范椭圆曲线坐标表,已知设计坝袋的高度6 m,计算出坝袋的坐标,绘制出坝袋的曲线图。按照坝袋的曲线图,拼装坝袋堵头硫化模具。用坝袋堵头模具硫化出来的成品外观光滑、平整,骨架层过渡弧形均匀,不会产生应力集中。

本次设计坝袋在下游曲线增设了扰流板。溢过坝袋的水流经过扰流板时形成一股向上的气流,干扰不经过扰流板的水流顺着坝袋流下对坝袋底部的冲击力。这样不仅减小了坝袋的振动和颤动,避免坝袋过早磨损,而且水流经过扰流板形成了美丽的瀑布景观。扰流板设计成T型,高度为45 mm,厚度为30 mm。

为了延长坝袋的使用寿命,在坝袋内外表面增加了相同颜色的CSM防护涂层。经过清洗、打磨、清洗、涂刷第1遍涂层、晾干、涂刷第2遍涂层、晾干、涂刷第3遍涂层、晾干,然后充水试验,验收合格后投入使用。

5 结语

现场实际装机应用表明,新研制的耐冲击橡胶坝既有锦纶帆布的柔软耐屈挠特性,又有钢丝绳网的刚性抗冲击性;覆盖胶耐天候老化性能优良;扰流板设计减小了坝袋振动、颤动,形成了小型瀑布景观;增加的里外层防护涂层延长了坝袋的使用寿命。设计坝高6 m,使用寿命30年。产品的整体性能达到了客户的使用要求。

参考文献:

- [1] 高本虎. 国内外橡胶坝发展概况和展望[J]. 水利水电技术, 2002, 33(10): 5-8.
- [2] 中国水利水电科学研究院. 橡胶坝工程技术规范[J]. 水利水电技术, 2015, 46(2): 69-69.
- [3] 汪多仁. 氯磺化聚乙烯的特性与应用[J]. 中国橡胶, 1998, (24):

- 28-29.
- [4] 彭俊彪. 炭黑分布对天然橡胶/顺丁橡胶并用胶性能的影响[J]. 橡胶工业, 2018, 65(1): 118-119.
- [5] 崔小明. 国内外氯丁橡胶生产技术研发进展[J]. 广东橡胶, 2013, (1): 2-3.

收稿日期: 2018-02-24

Development of Impact-resistant Rubber Dam

ZHOU Yingzhi¹, ZHOU Yi²

(1. Linqu Middle School, Weifang 262600, China; 2. Shandong Yokohama Rubber Industry Products Co., Ltd, Weifang 262610, China)

Abstract: The structure design, formula design, production process and product performance of impact-resistant rubber dam were introduced. The upper and lower layers of the skeleton material were steel cord nets, and the middle two layers were nylon 66 canvas. The outer layer of rubber compound mainly used chlorosulfonated polyethylene (CSM), and the petroleum resin was added to improve the impact resistance. Plug and dam were seamlessly overlapped and vulcanized. A spoiler was designed on the downstream side of the dam bag to reduce the dam shock and vibration. It extended service life to brush the inner and outer layers of the same color CSM. The design height of the product was 6 m and the design service life was 30 years.

Key words: rubber dam; steel cord net; nylon 66 canvas; CSM; spoiler