

黑泉面板坝周边缝不锈钢波纹止水结构研究

郭兴文 江 泉 蔡 新 王德信

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

摘 要 黑泉面板坝周边缝止水结构拟采用不锈钢波纹片作止水材料 ,并推荐了一种改进的止水结构型式 .为论证其可行性与可靠性 ,进行了不锈钢片材料力学性能试验、成型波纹片试验、结构模型对比试验以及结构模型破坏试验 .得到以下主要结果 (a)不锈钢材料具有良好的韧性和高强度 ,适宜用作止水材料 (b)波纹片加载值与变位之间的关系式 (c)不锈钢波纹止水结构与传统止水结构不同的变形特征及破坏特征 .所建议的接缝止水结构能适应较大的变形 ,可满足工程要求 .

关键词 黑泉面板坝 ;接缝 ;止水 ;模型试验 ;破坏试验

中图号 TV640.34

黑泉水库工程位于青海省境内湟水河支流北川河上游宝库河上 ,是一座大型综合利用的水利枢纽工程 ,大坝坝高 123.5 m.该坝接缝止水拟采用不锈钢片作止水材料 .为论证其可靠性与可行性 ,进行了一系列试验 .

1 不锈钢材料力学性能试验

试验目的是了解不锈钢片材料的基本力学特性 .试验选用厚度 $\delta = 1.0\text{ mm}$ 的不锈钢片料 ,材料型号为 OCR18N19.按照 GB3280—92 不锈钢金属材料性能试验方法进行 .测试结果列于表 1.紫铜片料力学指标^[1]亦列于表 1.

试验成果表明 ,不锈钢材料具有良好的韧性与强度 ,适宜用作止水材料 .

2 成型波纹片变位试验

面板坝接缝止水片一般采用 W 型和 F 型两种型式 ,如图 1(a) (b)所示 .这种造型适应变形的能力取决于鼻肋的高和宽 .为适应较大的变形 ,须增大鼻肋的高和宽 .由于混凝土面板厚度及施工条件的限制 ,鼻肋的高和宽有一定限度 ,使其适应变形的能力亦受到限制 .为此 ,本文提出如图 1(c)所示的波纹状型式 ,并通过优选法选择波数及大小 ,提高接缝止水结构适应变形的能力 .试验目的是了解成型波纹片力与变位的关系 ,并同传统止水结构的已有试验结果比较 ,为改进止水结构设计提供依据 .

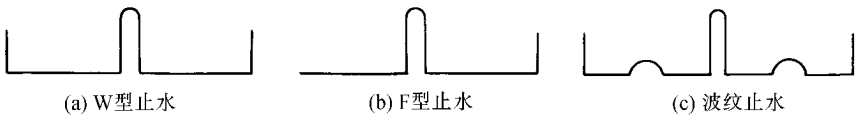


图 1 止水片型式
Fig.1 Type of water-stop

2.1 试验内容

波纹片尺寸如图 2 所示 .波纹片长取 200 mm ,两端与 200 mm × 50 mm × 10 mm 钢板焊接 ,连接钢板与专门设计的夹具固定 .试验在万能试验机上进行 ,加载值由荷载刻度盘读取和力传感器测定 .变形位移由百分表

测定. 分别进行张拉、竖剪、横剪变形试验. 定义张拉为平行波纹片平面的相对拉伸变形, 竖剪为垂直波纹片平面的相对错动变形, 横剪为平行波纹片平面内的相对错动变形.

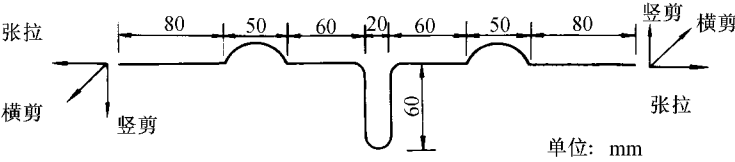


图2 波纹止水片尺寸

Fig.2 Size of waved water-stop (mm)

波纹片试验做了4组, 相应加载值与位移结果如图3所示.

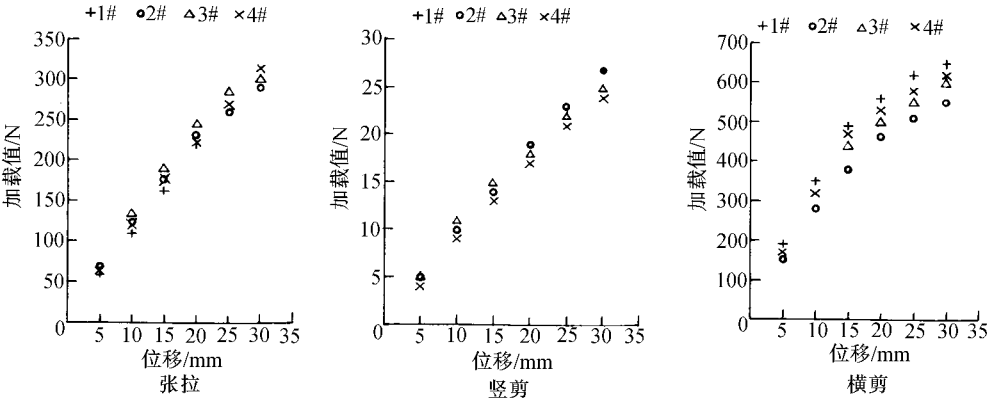


图3 波纹片试验结果

Fig.3 Test results of waved water-stop

2.2 试验结果分析

由试验结果可以看出: 当波纹片在张拉、竖剪、横剪位移状态时, 相对位移相同, 加载值有较大的差别. 竖剪加载值最小, 张拉加载值次之, 横剪加载值最大. 经回归分析, 加载值与相对位移之间关系均可用双曲线型式(1)表示:

$$F = \frac{\delta}{a + b\delta} \tag{1}$$

式中: F ——加载值, N ; δ ——相对位移, mm . 系数分别为: 张拉, $a = 0.0738$, $b = 0.0007$; 竖剪, $a = 0.9347$, $b = 0.0008$; 横剪, $a = 0.00232$, $b = 0.0008$. 关系式(1)与铜片试验结果类似^[2].

3 止水结构模型试验

黑泉面板坝拟采用的周边缝止水结构由上、下两道不锈钢波纹片构成, 下部止水片按传统方法埋设, 上部不锈钢片采用焊接工艺封口, 型式见图4, 为两道独立止水. 国内对止水结构模型试验研究用单片材料进行^[2,3], 在一定程度上揭示了成型材料的变形规律, 尚不能反映结构的整体变形特性. 因此, 本试验采用大比尺整体模型. 试验目的是测定止水结构适应三向变形的能力以及被破坏的特征及规律.

3.1 模型制作及量测

用两混凝土块分别模拟面板与趾板. 模型尺寸为 $120\text{ cm} \times 100\text{ cm} \times 35\text{ cm}$, 模拟接缝长度为 100 cm . 混凝土标号 C25. 按设计图纸进行配筋. 模型尺寸的设计考虑了对称性的利用及消除应力集中等因素. 模型断面及止水片细部构造见图4. 为进行对比试验, 制作了结构尺寸相同的两个模型. 模型1, 上下均采用不锈钢片; 模型2, 底部采用铜片, 上部采用不锈钢片.

试验在自行设计的专用加载架上进行. 加载架由4根立柱和8根大梁构成基本框架. 横梁高度与相对位置可根据试验需要通过立柱上固定螺帽来调节. 试验模型置于框架中间钢平台上. 通过固定装置将其中一块混凝土固定模拟趾板, 另一块与专用夹具连接模拟面板, 实现两混凝土块的三向相对运动. 模拟周边缝张拉、竖剪、横剪(定义同单片)及组合变位. 小变位时采用机械式加载方式, 大变位时采用千斤顶加载方式. 试验中

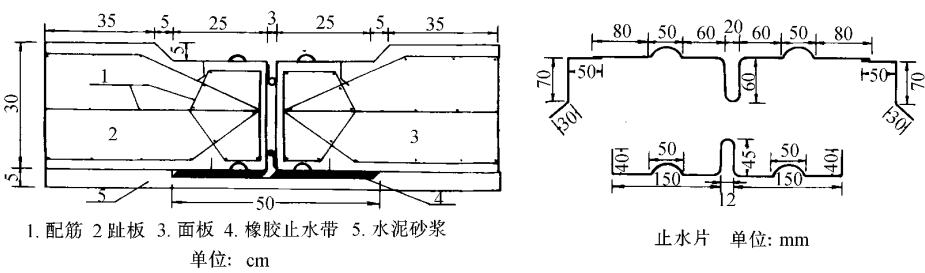


图 4 模型断面及止水片细部

Fig.4 Section of model structure and detail of water-stop

加载值由力传感器量测,位移由布置在测点上的百分表量测.试验采用分级加载方法,由位移控制测试过程.

3.2 单向变位试验

单向变位试验只产生张拉、竖剪、横剪等单向位移.图 5 所示为模型单向变位试验结果.该结果有如下特征 (a)小变位范围内,张拉、竖剪变位以接缝波纹几何变形为主 (b)横剪位移过程中加载值远大于相同位移值时张拉、竖剪的加载值.这表明,横剪变位对止水结构适应变形的能力起控制作用.

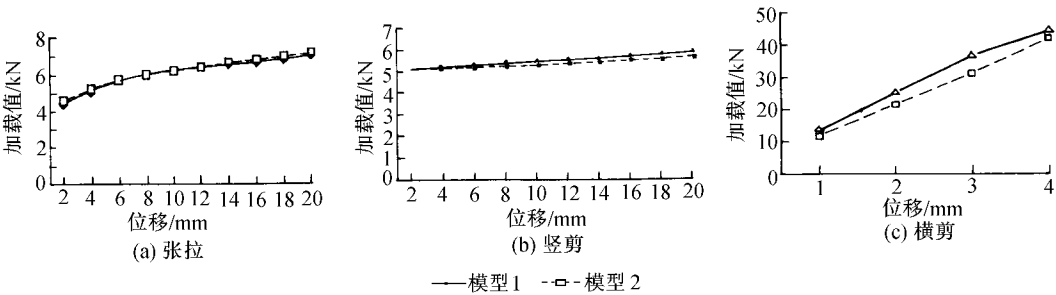


图 5 模型单向变位试验结果

Fig.5 Test results of model structure

3.3 张拉、竖剪、横剪变形的相互影响

图 6 示出了两模型在不同张拉情况下横剪变位与加载力的关系.试验表明,在张拉情况下,再进行横剪位移试验,受力有减小的趋势.此点与铜止水试验结果规律性一致^[3].由图 6 (b)看出,当张拉值达到 30 mm 时,同张拉值 20 mm 的加载值比较接近.这说明,在止水尺寸一定的条件下,合理地确定缝宽才能取得最佳效果.另两组试验表明,张拉对竖剪变位的影响及竖剪对横剪变位的影响并不显著.

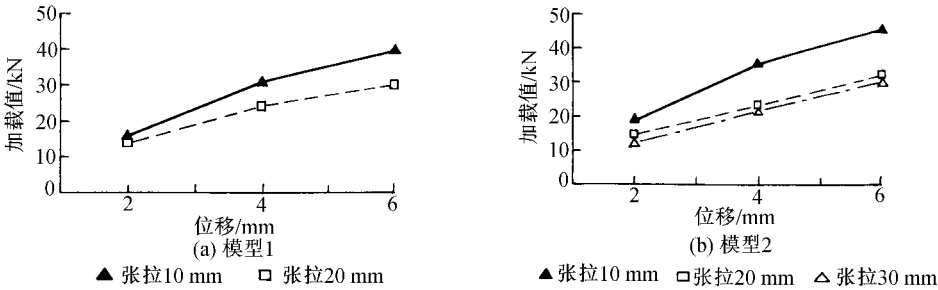


图 6 张拉下加载力与横剪变位的关系

Fig.6 Relation between load and transverse displacement under tension

3.4 横剪变位破坏试验

已有研究成果^[2,3]及单向试验结果表明,止水结构适应变位的可靠性取决于其横剪极限变位.为此,结合工程实际情况,进行张拉 50 mm、竖剪 50 mm 情况下的横剪破坏试验.破坏是指试验在逐步增加位移的过程中,结构模型的任何部位出现损坏,即认为结构破坏.

试验先逐级加载使张拉位移值到 50 mm,再使竖剪位移值到 50 mm 后进行横剪试验.试验结果见图 7.破坏试验有以下特性 (a)随着位移的增加,受拉侧波纹先被扭曲、再逐渐展平,直到对角拉直 (b)模型 1 下部

止水片与混凝土连接处混凝土开裂而破坏,不锈钢片未见损坏,相应极限变位 27.84 mm,最大加载值 94.59 kN;模型 2 底部止水铜片附近混凝土先产生裂纹,然后铜片被撕裂破坏,相应极限变位 29.21 mm,最大加载值 88.24 kN。(c)两模型上部的止水片及焊缝没有损坏。

3.5 结果分析

- a. 模型 1 横剪极限变位 27.84 mm,同已有试验及工程观测结果对比,双金属片止水结构具有较强的切向变位适应能力,满足工程要求。
- b. 破坏试验中模型上部止水及焊缝没有损坏,上部止水可靠。
- c. 模型试验表明,横剪变位达到破坏极限时,模型 2 铜止水片产生撕裂,存在强度不足的问题。因此,采用不锈钢材替代铜材是解决这一问题的途径。

4 结 束 语

- a. 材料性能试验表明,混凝土面板坝接缝止水采用不锈钢片作止水材料是可行的,用不锈钢片替代铜片止水是克服铜片强度不足的一条有效途径。
- b. 将铜片止水改用不锈钢片止水,可降低造价,有利于施工。
- c. 将 W 型止水改为多波纹止水,能使其适应较大的张拉、竖剪变位,并补偿顺缝横剪变位。其定量补偿关系需作进一步的研究。

参 考 文 献

1 蒋国澄,傅志安,风家骥.混凝土面板堆石坝工程.武汉:湖北科学技术出版社,1997.196~202
2 刘浩吾.混凝土面板堆石坝周边缝止水实验和分析.岩土工程学报,11(5):65~70
3 赵华,袁建波,陈扬辉等.天生桥一级水电站面板周边缝止水问题研究.水力发电,1997(1):35~37

Study on Perimeter Joint Waterstop Structure of Heiquan CFRD

Guo Xingwen Jiang Quan Cai Xin Wang Dexin
(College of Civil Engineering ,Hohai Univ. ,Nanjing 210098)

Abstract Stainless steel plates have been used as a waterstop material in Heiquan project ,and a new type of perimeter joint structure has also been proposed. A series of tests have been carried out to examine its feasibility and reliability , which include the material mechanical property test ,the relations test between load and displacement ,the comparable model test and the failure model test. The main results are as follows (1)Stainless steel can be used as a water-stop material because of its good tenacity and high strength (2)Relations between load and displacement of waved water-stop are proposed (3)Deformation characteristics and failure characteristics of the waved water-stop structure and the conventional water-stop structure are revealed. The proposed structure can fit large displacements and can be used in the project according to the above results.

Key words Heiquan dam ;joint ;waterstop ;model test ;failure test

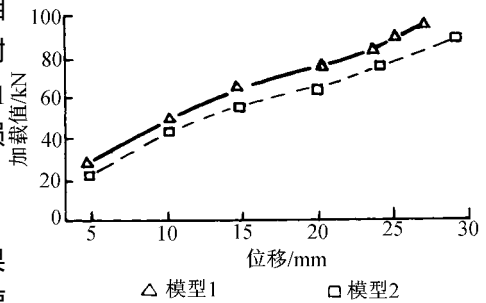


图 7 横剪破坏试验
Fig.7 Failuer test of model structure