

冰冻对面板坝接缝止水结构可靠性的影响研究

吐尔逊·买买提明

(新疆维吾尔自治区水利厅规划设计管理局,新疆 乌鲁木齐 830001)

摘要:针对冬季低温条件下面板坝接缝止水结构抗冻胀的可靠性问题,通过设计室内模型试验,模拟了不同降温速率下冻胀对锚固系统的拉拔破坏力值及冰与螺栓、冰与扁钢压条和冰与橡胶盖板的冻结强度参数。研究了冻融循环对 C30 混凝土中膨胀螺栓锚固力及不同灌封型式的影响。最后在分析漂浮冰块撞击防渗盖板产生破坏的基础上,结合试验测试结果,提出了寒冷地区止水锚固体系设计及施工中应注意的主要问题和建议。

关键词:止水结构;冻胀;锚固系统;冻融循环;面板堆石坝

中图法分类号:TV641.4 文献标志码:A DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.10.007

1 研究背景

面板堆石坝在我国水电工程建设中被广泛采用,其面板接缝的止水结构体系在大坝的安全运行中占有重要地位。中国水利水电科学研究院在“九五”、“十五”期间对面板坝的止水结构,包括结构和材料进行了深入系统的研究,提出了如图 1 所示的止水结构,目前国内高面板坝工程通常采用这种结构^[1]。

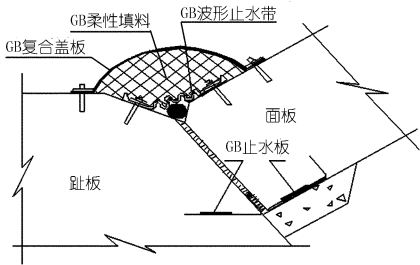


图 1 典型止水结构

止水结构普遍采用膨胀螺栓和扁钢压条将止水盖板锚固在混凝土面板和趾板上。但在寒冷地区冬季库区冰冻形成冰盖,由于库水位的变化,冰盖会对止水锚固体系产生较大的影响,甚至造成局部出现膨胀螺栓拔出而失去锚固功能的情况,如新疆和田河乌鲁瓦提面板坝、乌鲁木齐河大西沟水库面板坝等都出现过冰冻造成的止水结构局部破坏现象^[2-3]。因此,研究适

应寒冷地区气候特点的面板坝工程止水结构并提出提高安全运行的措施至关重要。

本文总结分析了寒冷地区库区冰冻对止水锚固体系的破坏作用,结合具体的模拟试验研究,讨论了止水结构安全运行的要求及工程建议。

2 冰冻对止水锚固系统的破坏方式

止水结构在库区水体冰冻过程中会与冰之间产生冻结,主要包括止水盖板和扁钢压条与冰的冻结。随着水位的变化,冰的移动趋势产生了作用于止水锚固系统的力,该作用力造成止水结构局部出现膨胀螺栓拔出、角钢拉弯、止水带被撕裂等破坏现象。通过总结和分析,认为冰冻的破坏作用主要包括以下几种:①冻融对锚固螺栓锚固力的影响。由于膨胀螺栓锚固孔没有进行密封处理或处理不当,使水进入孔内,导致孔内混凝土表面受到冻融破坏,并且孔内水的冰冻膨胀作用对膨胀螺栓和混凝土之间的紧密接触造成不利影响,从而降低锚固螺栓的锚固力。②冰层对锚固螺栓的冻胀拉拔力,冻胀拉拔力的示意图图 2。在降温过程中冰与膨胀螺栓外露部分冻结,随着温度的降低,冰层的膨胀对螺栓产生冻结拉拔力。③由于冰盖与止水结构的冻结,主要指与膨胀螺栓外露部分、扁钢压条以及盖板的冻结,在水位变化时对锚固系统产生破坏拉拔力以及剪切力。④库区大块浮冰对止水结构的

撞击破坏作用。

对此,本文针对以上影响因素分别进行试验研究。

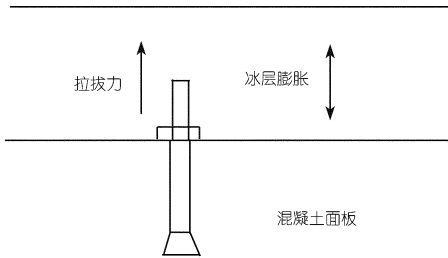


图 2 冰对膨胀螺栓的冻胀拉拔力

3 冰层对膨胀螺栓的冻胀拉拔力测定

3.1 试验原理和方法

将旋有螺母的 M10 膨胀螺栓立于水槽中央(螺母端向下),见图 3。螺杆下顶端粘一薄层塑性 GB 胶,以避免螺杆顶端受到冰的膨胀力作用。螺杆没入水中 30 mm,螺杆水面上端同样粘一层塑性 GB 胶,以保证在冰膨胀过程中螺杆受力长度不变。螺杆上顶端与应力传感器接触,整个测量过程中保持应力传感器与水槽底部的距离不变。通过应力传感器就可以对冰膨胀过程中施加在螺杆上的力进行测量。为了消除降温过程中试验仪器的系统误差,试验中针对每一降温速率分别进行水槽中有水和无水的试验,以无水试验结果作为空白试验,以消除测量系统降温引起的误差。试验中分别采用 40℃/2h,40℃/4h,40℃/6h 的降温速率降温,然后恒温 1~2 h。

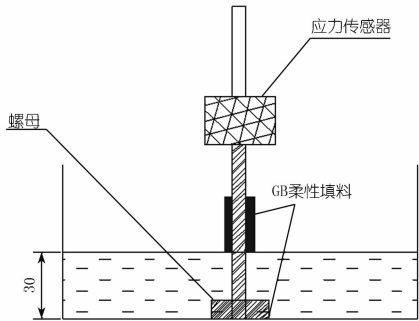


图 3 冰对螺栓的拉拔力测量(单位:mm)

3.2 测试结果

不同降温速率下得到的冻胀拉拔力分别为 1 016 N(40℃/2h),682.6 N(40℃/2h),696 N(40℃/2h)。试验结果表明,降温速率越大,拉拔力越大。图 4 是降温速率为 40℃/2h 时得到的冻胀拉拔力曲线,由于实际降温速率远小于实验采用的降温速率,所以实验得到的最大拉拔力应大于实际运行中的拉拔力。为确保工程安全,30 mm 长度冻结螺杆选择试验中最大拉拔

力值 $F_{\text{冰膨胀拉拔}} = 1\,016\text{ N}$ 作为估算基础。

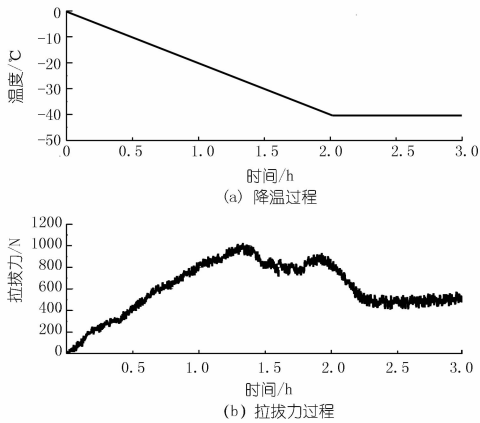


图 4 冰层膨胀产生的冻胀拉拔力

4 冰盖与止水结构的冻结力测定

4.1 测试方法

冰与扁钢压板冻结强度测定方法见图 5。将金属板固定在水面上,下表面接触水,放入低温箱 12 h,使金属板下表面与冰冻结在一起,然后在拉力机上测试拉拔破坏强度。GB 橡胶盖板及螺栓与冰的冻结强度采用同样方法测试。螺栓与冰的冻结力测试示意图见图 6。

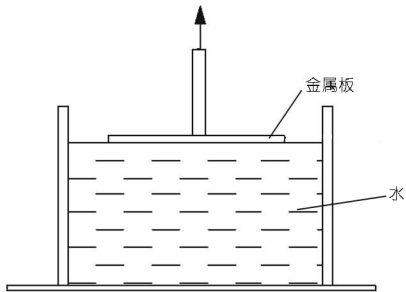


图 5 冰与金属压板冻结力测试

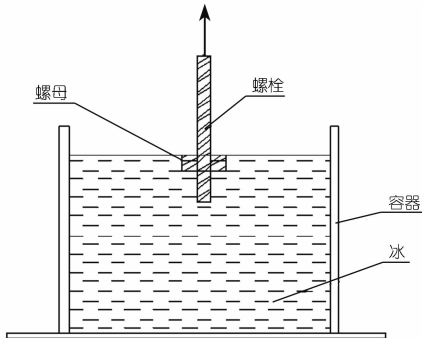


图 6 螺栓冻结拉拔测试

4.2 测试结果

表 1 为不同冻结温度下测定的止水结构中不同材料与冰的冻结强度数据。

试验结果表明,螺栓与冰的冻结拉拔破坏力最大

为 3.39 kN,扁钢与冰冻结强度最大为 0.314 MPa,橡胶盖板与冰的冻结强度最大为 0.021 MPa。

表 1 冰层与止水结构冻结力数据

冻结温度/℃	膨胀螺栓	扁钢压板冻结	橡胶盖板冻结
	冻结力/kN	强度/MPa	强度/MPa
-10	1.96	0.307	0.014
-20	3.39	0.314	0.014
-30	1.43	0.240	0.018
-40	1.27	0.208	0.021

5 膨胀螺栓锚固力试验研究

膨胀螺栓锚固力的大小是确保止水系统可靠的基础,特别是在冰冻的情况下,直接关系到止水系统运行的可靠性,本试验采用工程中应用普遍的 M10 膨胀螺栓来测定。

5.1 膨胀螺栓锚固力测定

在膨胀螺栓锚固系统中,膨胀螺栓螺母的上紧力是很重要的一个参数,螺母的松紧程度直接影响到膨胀螺栓所能提供的锚固力。试验中采用尺寸为 150 mm×150 mm×150 mm 的 C30 混凝土试块,一面的中心打孔锚固 10 mm×120 mm 膨胀螺栓,植入深度 80 mm。采用不同力矩上紧螺母。停放 24 h 后进行拉拔试验。表 2 是多次试验中得到的螺母上紧力与膨胀螺栓拉拔力之间的关系。

表 2 膨胀螺栓螺母上紧力与其拉拔力的关系

螺母上紧力/(N·m)	螺栓拉拔力/kN	破坏形式
3	25.39	螺栓脱出
5	26.68	螺栓脱出
8	32.64	螺栓断裂
10	32.37	螺栓断裂

由试验数据可见,膨胀螺栓提供的锚固力随着螺母上紧力的提高而提高,当上紧力矩达到 8 N·m 以上时,M10 规格的膨胀螺栓拉断,达到了 M10 螺栓所能提供的锚固力极限值,其提供的最大锚固力超过 32 kN。

5.2 不同锚固孔密封方式的冻融破坏程度

为了研究不同锚固孔密封方式的锚固效果,试验中选择了 3 种方案进行对比试验:① 无灌注密封剂;② SK 环氧粘接剂灌注;③ GB 弹性密封剂灌注密封。

试验采用 100 mm×100 mm×100 mm 的混凝土试件,按照 3 种方案安装膨胀螺栓,埋入深度为 80 mm,膨胀螺栓的上紧力矩为 20 N·m。常温固化养护 7 d,取 3 种方案的试件各一组进行 300 次冻融试验,对试件进行拉拔力测试。表 3 是不同粘接灌注料冻融与否的拉拔力测试结果。

表 3 不同密封型式的膨胀螺栓冻融试验

密封方式	是否冻融	拉拔力/kN	破坏形式
无灌注密封剂试件	不经冻融	16.22,16.14,16.07	3 块混凝土试块拉裂
	经过冻融	- - -	试件冻融损坏
GB 弹性密封剂灌注试件	不经冻融	9.57,7.08,3.50	1 块混凝土试块拉裂,2 块螺栓脱出
	经过冻融	11.97,3.99,3.19	2 块混凝土试块拉裂,1 块螺栓脱出
SK 环氧粘结剂灌注试件	不经冻融	18.03,16.51,16.34	3 块混凝土试块拉裂
	经过冻融	12.98,9.53,8.93	3 块混凝土试块拉裂

试验结果表明,不用粘接剂灌注的膨胀螺栓试件经过冻融后全部开裂损坏。对于经 GB 弹性密封剂和 SK 环氧粘结剂密封的试件,试验后外形完整。从拉拔的破坏形态及数值可以看出,SK 环氧粘结剂灌注试件的拉拔破坏强度明显高于 GB 弹性密封剂灌注密封的试件,且其拉拔破坏力的分散性小,这说明模量较高、粘接力强的 SK 环氧粘结剂的效果明显好于模量低、弹性好 GB 弹性密封剂。因此,工程中应该选择模量较高、粘接力强的材料作为膨胀螺栓灌注密封剂,以提供更可靠的锚固力^[2-3]。

拉拔中膨胀螺栓另一个重要的参数是螺栓的位移情况,理想的情况是在很小的拉出位移下提供很大的拉力。表 4 是不同上紧力的膨胀螺栓在拉拔力达到 10 kN 时的拉出位移值。

表 4 膨胀螺栓 10 kN 拉拔力的拉出位移

螺母上紧力/ (N·m)	拉出位移/ mm	螺母上紧力/ (N·m)	拉出位移/ mm
3	2.36	20	1.99,1.69
5	2.07	20(SK 环氧灌注)	1.53,1.12
10	1.62		

从表 4 数据可见,拉出位移随上紧力的提高有减小的趋势,10 N·m 以后就不明显了。表 4 最后两项数据表明,利用 SK 环氧灌注的锚固螺栓不但可提供更高的锚固力,而且拉出位移小,说明以 SK 环氧粘接剂作为灌注粘接剂的锚固方式有更好的稳定性和可靠性。

6 止水结构锚固安全的讨论和分析

冰盖形成并与止水结构产生冻结后,水位变化会使冰盖上移或下滑,上升时冰盖对锚固系统的影响示意图 7,下滑时影响类似,两过程都会对锚固螺栓形成垂直的拉拔力和剪切力。

本文不进行关于剪切力的定量试验研究,它对锚固系统的影响更多的是剪切疲劳破坏,长期作用可能会引起锚固螺栓的松动。因为各种受力方式最苛刻的极限情况都可以归结为冰与止水结构冻结的破坏,因此,在对拉拔力的作用进行分析时,以冰的冻结破坏作为拉拔力破坏的极限条件。现在以工程上有代表性的

止水结构参数为例来展开分析,参数假设如下:① 锚固压条采用扁钢,宽度为 60 mm;② 锚固螺栓间距 250 mm;③ 锚固螺栓锚固后突出部分为 30 mm;④ 盖板采用宽度为 900 mm 的 GB 橡胶盖板。

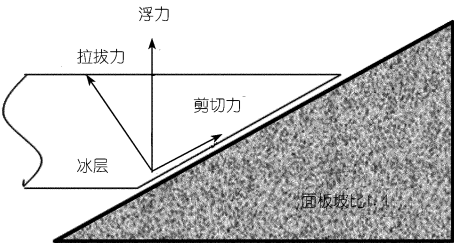


图 7 水位上升过程中冰盖对锚固系统的影响

若不考虑盖板与下层填料等部分的粘接作用,假设所有的力都传递到螺栓上,则一个锚固螺栓承受的冰的极限拉拔力可认为由两部分组成

$$F_{\text{极限拉拔}} = F_{\text{冻结拉拔}} + F_{\text{冰冻胀拉拔}} \tag{1}$$

式中, $F_{\text{冰冻胀拉拔}}$ 为第 3 节中由于冰膨胀而产生的对螺栓的拉拔力; $F_{\text{冻结拉拔}}$ 表示冰与止水结构不同部分冻结为一体时,由冰盖的运动趋势产生的对止水锚固系统的拉拔力,它由 3 部分组成,分别是冰与扁钢、冰与橡胶盖板以及冰与膨胀螺栓的冻结拉拔力。由前面表 1 的数据和假设的止水结构参数,计算结果总结如下

$$\begin{aligned} F_{\text{扁钢-冰冻结}} &= 0.314 \times 250 \times 60 \times 10^{-3} = 4.71 \text{ kN}, \\ F_{\text{盖板-冰冻结}} &= 0.021 \times 250 \times 450 \times \pi/2 = 2.36 \text{ kN}, \\ F_{\text{膨胀螺栓-冰冻结}} &= 3.39 \text{ kN}, \\ F_{\text{冻胀拉拔}} &= 1.02 \text{ kN}. \end{aligned}$$

由此得到一颗螺栓上可能受到的最大拉拔力 $F_{\text{极限拉拔}} = 11.48 \text{ kN}$ 。然而工程实际中上面的 4 个力不太可能同时达到最大,并且还有止水结构的其他部分的粘接作用来分担拉拔力等因素,但这个值对分析锚固系统的可靠性是有意义的。

若采用平头膨胀螺栓则可以基本消除冻胀拉拔力以及冰与膨胀螺栓的冻结力,这种情况下 $F_{\text{极限拉拔力}} = F_{\text{扁钢}} + F_{\text{盖板-冰冻结}} = 7.07 \text{ kN}$ 。另外,该措施还消除了冰盖对锚固螺栓的剪切力疲劳损伤作用,可大大提高工程可靠性。

结合第 5 节的试验研究,1 颗功能完好的 M10 膨胀螺栓可以提供 32 kN 以上的锚固力,而处理不当的膨胀螺栓提供的锚固力会低于 11.48 kN,如果几条处理不好的螺栓处在邻近的位置,则有可能造成锚固失效。因此,锚固螺栓的正确处理是保证工程安全的关键。

7 防渗盖板抗撞击能力研究

橡胶盖板是止水结构的第一道防线,兼具保护 GB

填料的作用。根据 DL/T 5115 - 2008 中混凝土面板堆石坝接缝止水技术规范的要求,目前工程中应用的防渗盖板有均质片和复合片两类,均质片型由同一种橡胶组成,复合片型是在橡胶板中采用了高强织物进行增强。

针对寒冷地区冰盖现象,对这两类盖板的抗浮冰撞击性能进行了试验研究。试验中选用了 GB 橡胶盖板和 GB 加强型橡胶盖板,其性能均符合 DL/T 5115 - 2008 规范的要求。

7.1 两类盖板抗刺破性能比较

材料的抗刺破性能试验方法按照 SL/T 235 - 1999《土工合成材料测试规程 - 14 刺破实验》进行表征,顶刺速率为 100 mm/min。其测试结果如表 5 所示。

表 5 两种盖板的刺破强度测试数据

GB 橡胶盖板		GB 加筋橡胶盖板	
458.5	1678.7	464.2	1664.6
467.9	1659.3	468.3	1672.4
467.1	1681.7	462.1	1677.2
453.9	1687.6	467.2	1665.8
449.7	1674.5	均值 461.8	1674.1
458.6	1679.3		

从表 5 中可以看到,加筋盖板的抗刺破强度大大高于普通的橡胶盖板。其刺破曲线也表明,普通橡胶盖板的刺破强度大大小于加筋橡胶盖板,但在顶破之前会有更大的变形,所以单独从板的抗冲击刺穿方面看,两种板各有特点,加筋板刺穿强度大大高于普通板,而普通板有更大的变形缓冲能力。从这两种板在实际止水中的应用看,可以认为加筋板的抗刺破能力有明显的优势。但因为止水橡胶盖板下面有填料的支撑作用,撞击时其变形受填料的约束,所以止水结构受到撞击时两种盖板的变形是相同的,且都远未达到盖板的极限变形程度,此时盖板的强度值将更为重要。

7.2 两种 GB 盖板抗撞击模型试验

据双沟电站的统计资料,库区近年来观测到的最大冰块体积尺寸为 12.5 m×5.8 m×0.5 m,冰块的撞击是否会损伤止水盖板是电站运行中很关心的问题。本节采用摆锤撞击止水盖板的方法,对冰块撞击的情况进行模拟研究,为工程应用提供一个直观的参考。

7.2.1 试验方法

试验模型见图 8 所示。试验中抬高摆锤后让其自由下落,在最低处撞击止水模型,撞击摆锤为立方体,止水模型按 1:1.4 的坡度固定。撞击后观察撞击效果,分析止水模型的耐撞击能力。

主要试验参数如下:① 止水结构模型安装倾角为

35.5°(1:1.4 的坡度);② 止水结构填料坎填半径 160 mm ;③ 摆锤质量 185 kg,重心位置距转动轴心长度 1.5 m;④ 盖板分别采用 GB 橡胶盖板和 GB 加筋橡胶盖板;⑤ 环境试验温度 2℃。

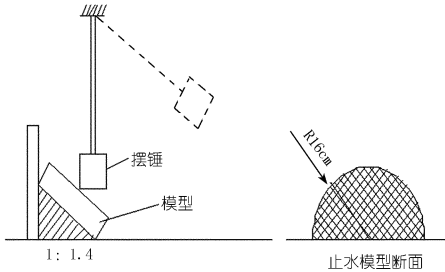


图 8 摆锤模拟撞击试验示意

7.2.2 试验结果

撞击部位都有少许下陷变形,盖板没有任何损伤。两种盖板的变形量基本相同,下陷变形约 11 mm,撞击后慢慢恢复,最终变形约 4 mm。

7.2.3 试验结果分析

摆锤抬起的最高高度是 1.5 m,摆锤的质量为 185 kg,由此可以计算摆锤到达底端撞击时的速度为 5.42 m/s。对盖板造成破坏的最终原因是作用在盖板上的力,摆锤作用在盖板上的力可以由动量定理 $mv = Ft$ 来确定。摆锤撞击止水结构盖板时,作如下假设:① 止水结构变形量为 S ;② 摆锤在撞击盖板的过程中是一个匀减速过程。则作用在盖板上的力 $F = mv^2/2S$ 。同样对于一个质量为 $M_{冰}$,撞击速度为 $V_{冰}$ 的冰块,撞击盖板产生的力为

$$F_{冰} = M_{冰} V_{冰}^2 / 2S_{冰} \tag{2}$$

为了便于分析,在此假设摆锤和冰在撞击过程中引起的止水结构变形量相同,则摆锤试验中产生的撞击力可以与冰产生的撞击力作如下的对比

$$\left. \begin{aligned} F_{锤} &= M_{锤} V_{锤}^2 / 2S \\ F_{冰} &= M_{冰} V_{冰}^2 / 2S \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{止水体系变形相同} \\ \rightarrow \\ \text{给予止水盖板的力相同} \end{array}$$
$$M_{冰} V_{冰}^2 = M_{锤} V_{锤}^2 = 5434.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 \tag{3}$$

对于尺寸为 12.5 m×5.8 m×0.5 m 的冰块,重度按 916.8 kg/m³ 计算,其质量约为 33 000 kg,将质量代入上式可以估算出冰的撞击速度约为 0.40 m/s。也就是说前面的摆锤试验相当于尺寸为 12.5 m×5.8 m×0.5 m 的冰块以 0.40 m/s 的速度正面撞击止水系统的效果。

7.2.4 试验结果的进一步讨论

由摆锤试验结果可以推断,33 t 冰块以 0.4 m/s 的速度撞击止水结构 GB 盖板是不会造成橡胶盖板破坏的,而在库区内具有 0.40 m/s 移动速度的巨大冰块

是不多见的。

另外关于前面分析中的两个假设:① 冰块与摆锤撞击造成的止水结构变形量相同;② 摆锤在撞击盖板的过程中是一个匀减速过程。在实际中这两个假设可能并不成立,但并不影响讨论结果。对于假设①,冰块的撞击速率远远小于摆锤的撞击速率,由于止水材料的变形需要松弛响应时间,冰块的慢速度撞击会引起止水结构更大的变形,所以实际撞击力会小于前面计算的结果。而对于假设②,摆锤或冰块的减速不一定是匀减速,但由于摆锤的速度远远大于冰块的速度,其减速的不均匀程度应该高于慢速撞击的冰块,而在均匀减速过程中其冲击力是最小的,所以冰块的实际冲击力要小于摆锤模拟的冲击力。

8 结论及工程建议

本文通过试验定量测出冻胀对锚固系统的拉拔破坏力值及冰与螺栓、冰与扁钢压条及冰与橡胶盖板的冻结强度参数,从而得到冰冻对止水锚固系统影响的定量结果。

(1) 膨胀螺栓螺母上紧力要达到 8 N·m 以上,单颗 M10 膨胀螺栓能提供 32 kN 以上的拉拔力,这对于冰胀条件与本文试验类似的工程来说有一定的参考价值。

(2) 对于平头膨胀螺栓,其拉拔力为 7.07 kN,在消除了剪切力作用后,其工程可靠性可大大提高。

(3) 普通膨胀螺栓锚固孔的冻融或冻胀破坏是很严重的,工程中应该用胶粘灌注料进行粘接和封堵。灌注胶粘剂不仅仅提供冻融或冻胀的保护,选择合理的灌注密封胶还可以提供理想的锚固和提高施工可靠性。灌注胶粘剂应选择粘接力强、模量高的结构胶粘剂,如 SK 环氧胶粘剂。膨胀螺栓锚固和胶粘剂粘接的协同作用能提供更可靠的锚固效果。

(4) 从抗撞击模型试验看,两类盖板都不会发生撞击破坏,从抗刺破试验结果来看,加筋型盖板抗撞击破坏的安全性更高。

参考文献:

- [1] 苏萍,金正浩,金伟.寒冷地区面板堆石坝面板顶部止水研究[J].水力发电,2002,28(7):29-31.
- [2] 刘建学,王京浦.混凝土表面缺陷的处理方法[J].水科学与技术,2006,(3):99-102.
- [3] 邓红艳.三峡大坝三期混凝土表面缺陷修补材料选择及工艺优化研究[J].地下水,2011,(4):65-67.

(编辑:郑毅)

Analysis of water inrush forecast of deep – buried long tunnel in complex karst area

CHEN Changsheng, ZHOU Yun, WANG Jiayang, ZHANG Haiping

(Three Gorges Geotechnical Consultants Co., Ltd. (Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract: The water inrush is one of the main geologic hazards in the construction of deep – buried long tunnel, especially in karst region. Therefore, it is of great important to forecast and analyze the quantity of water inrush. Taking a water diversion project in central Yunnan Province for example, the three dimensional mathematical model of seepage flow was established based on the groundwater model software GMS by consideration of aquiferous medium, the hydrogeological structure of rock mass, the characteristics of groundwater flow system and the chemistry of groundwater of tunnel. Compared with the results of traditional calculation method and emprical formula, the calculation result differences are analyzed and the feasibility of the numerical computation method was proved. By the model, we make a further systematic prediction of the water inrush quantity in different periods of construction, as well as make an in – depth analysis of construction impacts on surrounding groundwater.

Key words: water inrush; karst; three dimensional mathematical model of seepage flow; prediction on quantity of water inrush; deep – buried long tunnel

(上接第 23 页)

Multi – objective optimization of wind power station on account of wind turbine spinning reserve

TONG Jixin¹, ZHU Ying¹, FENG Hao²

(1. Bussiness School, Hohai University, Nanjing 211100, China; 2. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: As the proportion of new – type wind power station in on – grid system increases continuously, it poses a new challenge to the economic dispatching of traditional power system. It is noted that the economic dispatching of traditional power system should take account of the influences of wind power fluctuation on the spinning reserve and the cost of power generation. To optimize the dispatching of wind power station on account of turbine spinning reserve, an economic dispatching model that takes account of the overall cost of power generation and power price is established. The objective weighted method and distance function approach are combined to individualize the optimization objectives, while a genetic algorithm with real – value coding is adopted to efficiently work out an optimal solution to the model. The simulation results show that the methods proposed are effective.

Key words: spinning reserve; economic dispatching; genetic algorithm; multi – objective optimization; wind power station

(上接第 28 页)

Study of influence of freezing on water – proof structures reliability of concrete faced rockfill dam

TU'ERXUN Maimaitiming

(Design and Planning Management Bureau, Water Conservancy Department of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumuqi 830001, China)

Abstract: A series of indoor model tests were carried out to explore the reliability of water – proof structure of concrete faced rockfill dam under the low temperature condition in winter. Through these tests, we simulated the destructing force of frost heaving to the anchorage system under different cooling down conditions, and also obtained the frost parameters of ice to flat steel laying, to bolts and rubber covering plate. The influence of freeze – thaw cycling on anchoring force of expansion bolts in C30 concrete and the various grouting – sealing patterns were researched. At last, aiming to the measured data in case of collision between floating ice and the anti – seepage covering plates, the attention points and suggestions for the design of water – proof structures and anchorage system of concrete faced rockfill dam in cold area are put forward.

Key words: water – proof structure; frost heaving; anchorage system; freeze – thaw cycling; concrete faced rockfill dam