

# 绥化地区水库土坝护坡冻害 及其防治经验

吴 云 峰

(黑龙江省绥化地区行政公署水利局)

绥化地区位于黑龙江省中部,南起北纬46度、北至北纬48度之间。夏季最高气温 $36^{\circ}\text{C}$ ,冬季最低气温 $-38^{\circ}\text{C}$ ,年平均气温 $2-3^{\circ}\text{C}$ 。封冻期五个月左右,地面最大冻深1.8—2.2米,属于季节性冻土区。

全区现有大、中、小型水库上百座,绝大多数是平原水库,均质土坝。从防止风浪冲刷破坏的角度出发,根据当地材料来源先后修建了各种护坡,但多数建后短短几年,甚至有的一、二年就遭到破坏。冬季因受冻害造成坝面局部或呈条带状隆起,群众称之为鼓包。护坡砌体受冻胀拱起,遭冰推后上翘。有的年份有些水库冰面爬到坝顶,有的护坡砌体被冰推离位,甚至被推到坝顶。几年后垫层被风浪淘空,护坡坍塌、下滑,造成大面积破坏,不仅在经济上造成很大损失,也给管理带来很大麻烦。据此,近些年我们在防止土坝护坡冻害破坏方面做了一些探索。

## 一、水库土坝护坡破坏实例

1.卫星水库是一座引水水库,均质土坝。坝长14000米,需要护坡段长达7000米。1966年建护坡500米,采用 $100\times 100\times 20$ 立方厘米的混凝土板块护坡,板块接缝下设置砂槽,充填砾石和砂各厚20厘米(图1)。建后第一个冬季就被坝面冻胀、支顶,遭冰推破坏。春季融化后又遭风浪冲刷,整个护坡全部毁坏。1967年重建护坡,除利用原来的混凝土板外,新增部分 $50\times 50\times 20$ 立方厘米块石,反滤槽改为反滤层(图2)。冬季坝面冻胀后砌体同前一样拱翘支顶,垫层失去保护被冲掉,板块砌体下滑,坝坡被冲坍塌一米多(见照片1)。1976年在部分坝段第三次护坡,增加20厘米碎石垫层,其余同第二次,总厚达80厘米(图3)。经过几年运行好于前两次,但仍有局部冻胀破坏(见照片2、3)。

2.联丰水库土坝坝长3500米,1965年建护坡,采用 $50\times 50\times 18$ 立方厘米混凝土板护坡。反滤层砾石厚10厘米、砂厚7厘米(图4)。建后第一个冬季因坝面冻胀造成砌体拱翘、支顶,不到三年全部破坏。

1970年至1971年重建护坡,投资二百五十五万元,采用干砌石护坡。反滤层碎石厚40厘米,砾石和砂各厚20厘米,总厚达115厘米(图5)。但仍然出现块石拱翘、离位的

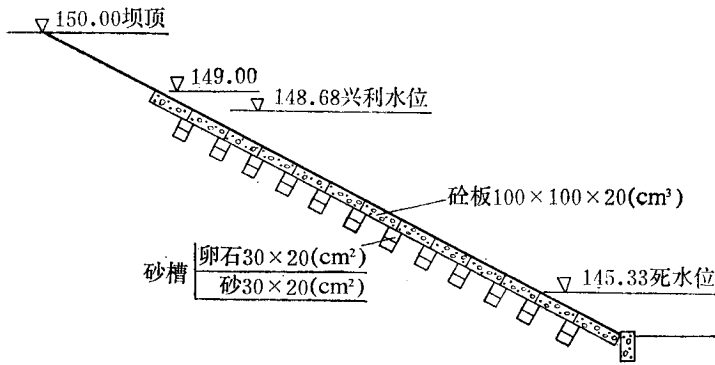


图 1 卫星水库土坝第一次护坡简图 (1966)

Fig. 1. Sketch of the first protecting slope of the earth dam of Weixing reservoir (1966)

注:  $\nabla$ —水位高度, 单位米 (water level, meter), 下同 (the same below)

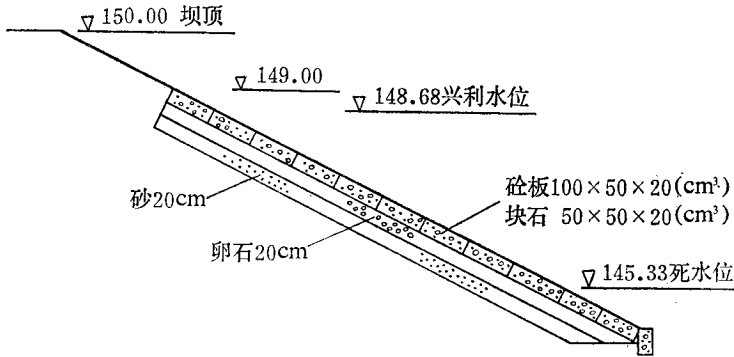


图 2 卫星水库土坝第二次护坡简图 (1967)

Fig. 2. Sketch of the second protecting slope of the earth dam of Weixing reservoir (1967)

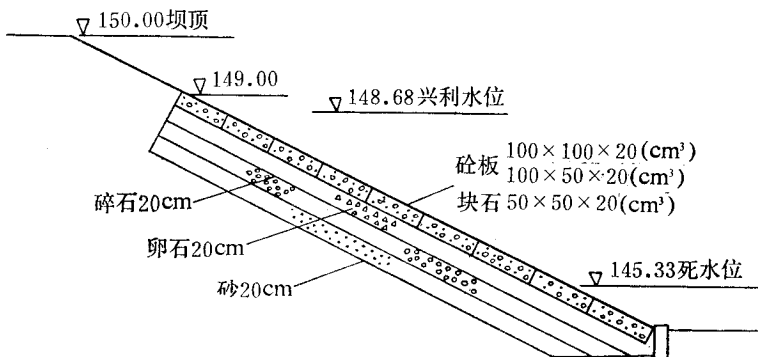


图 3 卫星水库土坝第三次护坡简图 (1976)

Fig. 3. Sketch of the third protecting slope of the earth dam of Weixing reservoir (1976)

现象。为了消除冰推破坏, 管理站采取放水破冰的办法, 仅1981年冬两次放水就消耗40万方水, 这在干旱年份是个很大的浪费。1982年4月末至5月上旬, 大坝北段坝面塌陷上百米, 成了险工要段。

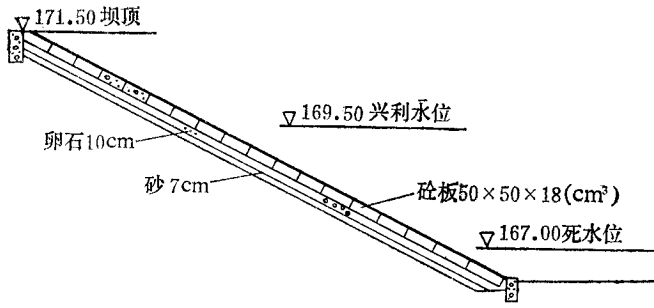


图 4 联丰水库土坝第一次护坡简图 (1965)

Fig. 4. Sketch of the first protecting slope of the earth dam of Lianfeng reservoir (1965)

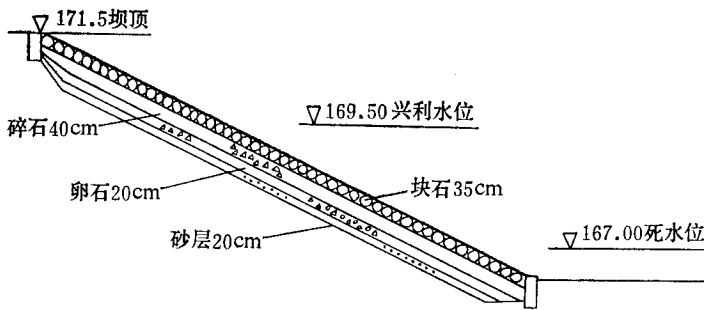


图 5 联丰水库土坝第二次护坡简图

Fig. 5. Sketch of the second protecting slope of the earth dam of Lianfeng reservoir

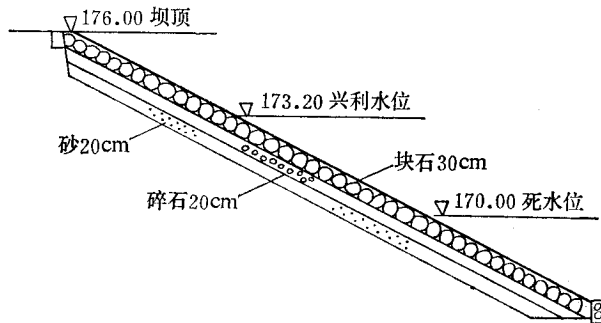


图 6 津河水水库土坝护坡简图 (1964)

Fig. 6. Sketch of protecting slope of the earth dam of Jinghe reservoir (1964)

3. 津河水水库1964年建土坝护坡。干砌石下反滤层40厘米，总厚70厘米（图6）。建后两年发现局部块石拱起，以后逐渐出现砌体下滑脱坡和坍塌现象。随着时间的推移，其破坏速度加快。1980年至1981年重新返修。

4. 胜利水库1975年采用渣油混凝土板护坡，兴利水位以上铺7厘米渣油混凝土，兴利水位以下采用50×50×10立方厘米混凝土板护坡。板下铺2厘米沥青和7厘米渣油混凝土，总厚19厘米（图7）。建后一、二年渣油混凝土产生龟裂，坝面裂缝纵横，再过几年坝面片状拱起，遭到破坏。为了坝面免受冰推，每年冬季都要投放大量人力破冰。

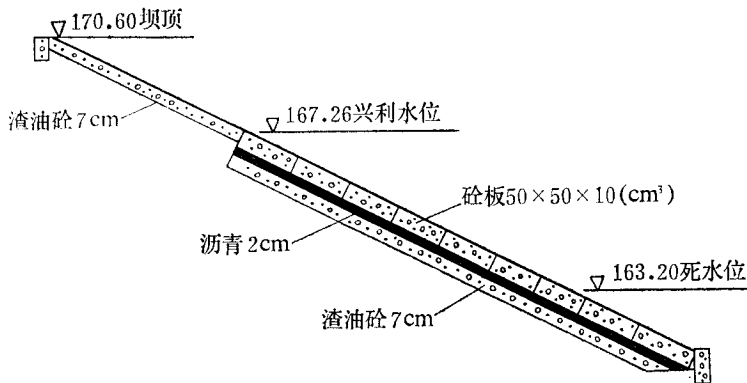


图7 胜利水库土坝护坡简图(1975)

Fig. 7. Sketch of protecting slope of the earth dam of Shengli reservoir (1975)

## 二、土坝护坡破坏的原因分析

土坝护坡的破坏是多种因素综合作用的结果。以往在土坝护坡设计时只注重了防止风浪对坝面的冲刷破坏,对其它因素则很少考察。护坡的大量破坏才使我们逐渐认识到,象我们这样冬、夏温差变化大的地区,冬季冻结,夏季全部融化,年复一年循环不止,这对水工建筑物是非常不利的因素。过去由于在设计上忽视了这种因素,工程本身就不具备抵抗冻胀和冰推破坏的能力。

### 1. 坝面冻胀对护坡的破坏

考察中一些管理单位反映,护坡的破坏主要是坝面冻胀产生错动,胀裂缝隙加大、翘起,然后遭冰推离位,使垫层失去保护。被风浪冲刷淘走,导致护坡塌陷、下滑,造成大面积毁坏。据卫星、津河水库观测,温差变化频繁、波动幅度较大的年份破坏就严重,一次大的温度变化后护坡砌体上翘达2厘米,裂缝加宽达1.5厘米左右(指混凝土板接缝处)。与此相反,东方红水库土坝护坡采用 $100 \times 80 \times 20$ 立方厘米混凝土板,加厚了垫层碎石80—140厘米,碎石下几米厚的乱毛石(图8),建后十几年使用良好。另一座是向阳水库,粘土心墙,砂壳坝,建护坡七年仍保持良好。这两座水库土坝护坡的共同点是垫层厚、无坝面冻胀;砂、砾石毛吸水上升量微小,垫层本身不冻胀或微小冻胀对护坡无影响,护坡整体性好,抗冰推能力强。

### 2. 水库库面冰推力对护坡的破坏

冰推力,对土坝而言主要是静冰压力的分力——上拔力 $P_1$ 对护坡产生上拔破坏。

$$P_1 = P_{\text{静}} \cdot \cos \alpha$$

式中:  $P_1$ ——上拔力;

$P_{\text{静}}$ ——静压力;

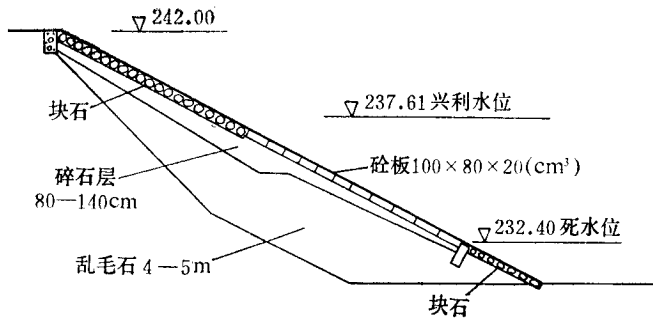


图 8 东方红水库土坝护坡简图

Fig. 8. Sketch of the protecting slope of the earth dam of Dongfanghong reservoir

$\alpha$ ——上拔力与静压力夹角。

护坡在受到冰压力作用时，本身如果不坚固则将遭到破坏。冰面沿坝坡上爬就是  $P_1$  力作用的结果；相反，静冰压力的另一分力  $P_2$  则垂直于坝面，它将使护坡增加稳定。静冰压力是个变值，随着气温、冰层厚度等因素的变化而变化。据卫星水库和联丰水库的观测发现，水库冰面对土坝护坡的破坏是有一定规律的。一般年份在11月20日前后，冰层达到12—15厘米厚开始沿坝面上爬，11月20日至12月末上爬较快，最快每昼夜达15厘米左右。无护坡坝面呈片状被上推，低坝段推过坝顶。而津河水库和柳河水库并没有冰面爬坡现象，一般年份12月下旬冰层达到40—50厘米，相应坝面冻深60厘米以下，受坝面冻胀影响，护坡砌体拱翘。此间气温变化大，冰层胀、缩也十分频繁，对护坡的破坏力最强烈。据海伦气象站观测记载：1979年11月10日至20日旬昼夜温差累积值为  $-103.9^{\circ}\text{C}$  ( $-201.4$ — $97.5^{\circ}\text{C}$ )；12月10日至20日旬昼夜温差累积值为  $-100.3^{\circ}\text{C}$  ( $-158.3$ — $58^{\circ}\text{C}$ )。此期间多西风或西北风，经常在西伯利亚冷空气袭击下出现气温突变天气，相邻一、二天温差十几度，昼夜温差也很大。这种大幅度的气温变化，导致水、冰相变或冰温变化，引起体积变化，产生压力，造成坝体破坏。

上述津河、柳河两水库虽然无爬坡现象，但同样遭到冰推破坏。据观测，一月份以后坝面冻深超过了水库冰层厚度  $1/3$  以上，坝面与冰面冻结为一体，冰面对坝面的破坏逐渐减弱，这就说明冰层最厚的时期并不是破坏力最大时期。掌握了上述规律，就可以在设计与管理上采取相应措施，消除或避免冰推破坏。

### 三、防止土坝护坡破坏的措施

针对土坝护坡受冻害破坏的主要因素，在工程方面、物理方面、管理方面采取相应措施以减少和消除冻害，从而保证工程发挥正常效益。

在工程措施方面，主要为加厚护坡的反滤垫层，消除坝面毛吸水上升产生的冻胀，保持护坡稳固、平整，以增强抗冰推能力。因为冻胀量与土体颗粒成反比，所以加厚垫层对防止坝面冻胀是可行的。垫层中砂的毛吸水上升量只有10厘米，碎石和砾石则无毛吸水上升，因此，反滤垫层可以认为是不冻胀或微小冻胀。据有关试验提出，垫层的砂

中粘粒含量不应超过12%，否则将产生强冻胀。东边水库土坝护坡就是根据上述原则和参照东方红水库与向阳水库的实际经验设计的。为了减少材料用量和工程投资，护坡上下两端垫层减薄，加大兴利水位的垫层厚度（图9）。这是因为以往破坏的护坡都是在

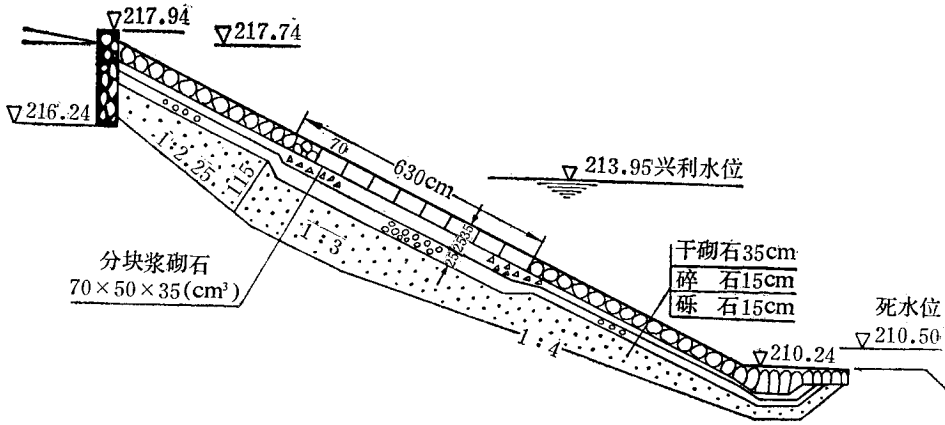


图9 东边水库土坝护坡简图（1978）

Fig. 9. Sketch of the protecting slope of the earth dam of Dongbian reservoir (1978)

水位上一米左右表现严重，这正是毛吸水上升使坝面含水量增大而产生强冻胀的结果。加厚这一部位垫层不仅是为了消除因毛吸水上升而引起的坝面冻胀，同时又能使坝面保温而不受冻结。考虑到干旱年份水库蓄水需要和减少维修放水以保持兴利水位，故把这一段做为重点加厚是非常必要的。为了增加抗冰推破坏的能力，在加厚的垫层部位相应地采用分块浆砌石，块间刷沥青，这样出现微量错动也不至引起不规则的断裂，其块体为70×50×35立方厘米（图9，照片3—4）。东边水库建后经五个冬季考验，无出现冻害破坏。

其物理措施，主要是控制坝面毛吸水上升和保温，目前尚无完整实例，有待实践验证。

管理措施，主要是补充设计上的不足。目前放水破冰或人为破冰办法对消除冰推力对护坡破坏也能收到一定效果。但仍无法解决坝面冻胀的破坏，而且在管理上年复一年重复工作量相当大，费用高，浪费大。对于小型水库修大缓坡、结合植树等生物措施效果也很好。

本文承蒙隋咸志、于凤文、王殿忠、苏再华、刘会智等指导和相助，在此一并表示感谢。

（本文于1983年1月18日收到修改稿）

## Frost Damage of the Protecting Slope of the Reservoir Dams and the Treatments to Them in Suihua Area

Wu Yunfeng

(*Suihua Bureau of Water Conservancy, Heilongjiang Province*)

### Abstract

Most of the protecting slopes of the reservoir dams constructed in Suihua area in recent years were destroyed by frost action. Based on the investigation of some of the slope, the author considered that the frost heave of the surface of the dam is the primary reason for the damage of the slopes. The different water contents of the slope above and below water level lead the differential frost heave causes the uneven movement of the built body of the slopes, resulting in the damage of the slopes.

The ice pressure acting on the dams is another reason for the damage of the slopes.

To protect the dams against frost damage, we thickened the sand and gravel-padded layer on the protecting slope of Dongbian reservoir dam. It works well in the past five years.