

土坝裂缝及其 观测分析

水利电力部
交通部

南京水利科学研究所

湖北省水利局

水利电力出版社

内 容 提 要

本书介绍了通过原体观测资料来判断坝体裂缝的实用方法。全书共分六章：土坝裂缝及其规律性；土坝观测概要；土坝纵向裂缝的估算；土坝横向裂缝的估算；用应力及渗流观测资料分析坝内的隐蔽裂缝；裂缝的现场检查及处理。本书的特点是以满足实用要求为主，同时略加理论论述。本书对象主要是水库管理的技术人员，也可供从事其他水利工作的同志们参考。

土坝裂缝及其观测分析

水利电力部 南京水利科学研究所 湖北省水利局
交 通 部

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4 $\frac{1}{2}$ 印张 98千字

1979年11月第一版 1979年11月北京第一次印刷

印数 0001—6970册 每册 0.45元

书号 15143·3501

232498

前

建国以来，全国各地兴建了大量的大中小型水库。这些工程在灌溉、防洪、发电等方面都发挥了巨大的作用，有力地促进了工农业生产的发展。

在水库运用过程中，反映出部分土石坝还存在一些质量问题，有碍于进一步发挥水库的效益。土坝裂缝，特别是坝体内部的隐蔽裂缝，是土坝中常见的隐患之一，也是工程质量中比较容易出现的问题。

近年来，我们曾结合湖北及浙江省的一些工程实例，试图以分析原体观测资料来判断土坝裂缝的可能性。在分析中，对观测资料的漏测及缺乏深层观测资料等困难，提出了一些初步的解决办法。我们在一些工程中做了些验证，表明这些办法有一定的适用性。书的重点就是介绍这些方法。

本书中所引用的计算实例及现场检验工作，是由南京水利科学研究所和湖北省水利局共同完成的。

参加本书编写工作的计有南京水利科学研究所的李君纯、王伟、张宏宇、张云波同志，以及湖北省水利局的钟建文、雷亦忠、陈文新等同志。

由于我们的水平有限，~~经验不足~~，目前所做的工作只是一种探索性的工作。书中的缺点、错误一定难免，请读者批评指正。我们希望同志们在今后的工作~~中~~对预测土坝裂缝问题进一步探索解决的办法，使分布在全国各地的水库发挥出更大的效益。

编 者

目 录

前 言	
引 言	1
第一章 土坝裂缝及其规律性	2
第一节 土体的破坏形式和土的强度特性	2
第二节 土坝变形及其规律性	3
第三节 土坝裂缝分类及裂缝形成原因	12
第二章 土坝观测概要	16
第一节 土坝观测的目的和意义	16
第二节 变形观测	17
第三节 应力观测	22
第四节 渗流观测	24
第三章 土坝纵向裂缝的估算	28
第一节 倾度法	28
第二节 深层沉降的推算方法	36
第三节 漏测沉降量的推算	37
第四节 倾度法的应用实例	38
第四章 土坝横向裂缝的估算	73
第一节 估算方法简介	73
第二节 横向裂缝的计算实例	78
第三节 用纵向倾度 γ_x 估计横向裂缝的实例	86
第五章 用应力和渗流观测资料分析坝内的隐蔽裂缝	88
第一节 拱效应的产生	88
第二节 用测压管观测资料估计心墙产生裂缝的可能性	89
第六章 裂缝的现场检查及处理	92
第一节 裂缝的检查	92

第二节	裂缝的处理	103
附录		109
附录一	横梁式固结管观测方法和资料整理方法	109
附录二	钢弦式土压力盒观测原理和资料整理方法	119
附录三	双管式孔隙水压力仪观测方法和资料整理方法	127
附录四	渗流观测资料的整理	132
附录五	土坝坝顶横向裂缝的电子计算机计算程序	134

引 言

土坝裂缝一般是指土石坝防渗体（粘土心墙或粘土斜墙）内出现的裂缝。这是土坝常见的隐患之一。由于土坝裂缝的出现，使水库效益不能充分发挥，甚至使整个坝体溃决，造成严重灾害。因此，如何预测裂缝，探讨其发生和发展的规律，并在新建的坝中避免发生裂缝，这无疑是土坝研究的重要课题。

解决土坝裂缝问题的途径之一是通过有限单元法进行坝体的应力、应变分析，从而预测坝体可能出现的破坏部位，并采取相应措施。随着电子计算机和计算技术的发展，这一方法对探讨裂缝规律已经显示了优越性。但是由于土的性质指标的差异以及坝体边界条件的复杂，目前用有限单元法尚难取得完全满意的成果。

因此，从目前的工程现状出发，通过原体观测预测裂缝并采取有效的方法及时处理裂缝，就显得格外重要了。

土坝发生裂缝并不是偶然的和孤立的现象。正如一切事物有其自身的规律一样，土坝裂缝也一定是有规律的。原体观测就是揭示这一规律的重要手段。

在土坝出现裂缝的过程中，反映坝体状态的各 种 要 素——变形、渗流、应力等等必然会发生改变。

所谓原体观测就是对坝体发生的变形、渗流、应力等现象进行观测，确定这些数据是否超过允许范围，从而预测裂缝、渗流破坏和滑坡是否会出现。

原体观测表明，土坝裂缝是很普遍的。例如，在滑坡或

渗流破坏之前，坝顶或坝体的某些部位将发生程度不等的裂缝。但是，这种裂缝与因变形而产生的裂缝有所不同。因此我们需要对各种不同性质的裂缝加以区别。

目前，对土坝裂缝的预测工作还很不成熟。一方面是因为坝体本身的变化规律很复杂；另一方面，目前土坝观测设备比较落后，而且大都限于表面观测。有些工程的观测设备很少，甚至根本没有观测设备。有些工程虽然埋设了观测设备，但亦未及时进行观测。此外，对观测资料的分析也缺乏经验。上述状况，给裂缝的预测工作带来一定的困难。

本书旨在介绍通过原体观测资料判断坝体裂缝的探索性方法。同时，对裂缝产生的原因及其分类作一些简要的说明。

第一章 土坝裂缝及其规律性

第一节 土体的破坏形式和土的强度特性

土的破坏形式有两种：剪切破坏与张拉破坏。与此相应，用来表徵土体抵抗破坏的能力也有两种指标，这就是抗剪强度指标与抗拉强度指标。对土的抗剪强度特性的研究，相对地说历史较久。而对张拉特性的研究，目前还处于初期阶段。

天然土坡与人工土坡之所以能维持稳定，是因为构成土坡的材料——土具有一定的抗剪强度。土的抗剪强度越高，土坡坡度可以越陡；反之，则越缓。由于土坡稳定问题在工程实践中具有重要意义，所以人们很早就开始致力于土坡稳

定的研究。抗剪强度理论是在实践基础上总结出来的。以抗剪强度理论为基础的一整套稳定分析方法和抗剪强度指标的测试方法，已经成功地解决了一系列工程上的重要问题。

但是在土坝工程的稳定问题解决之后，却突出了另一个新的问题，这就是土坝的变形问题。高大土石坝的坝体往往是由多种土质填筑而成，因而土体变形的不协调，可能导致坝体内部或表面产生裂缝。

土体张拉破坏特性与剪切破坏特性不同。一般剪切破坏的应变量大于张拉破坏的应变量（图1-1）。

目前对土的抗拉特性指标的测定，以及坝体的应力、应变分析还不够成熟。但是，正如抗剪强度的研究和稳定分析方法推动了土坝建设的发展一样，土坝设计走向应力、应变分析的道路之后，也必将使土坝建设产生一个新的飞跃。

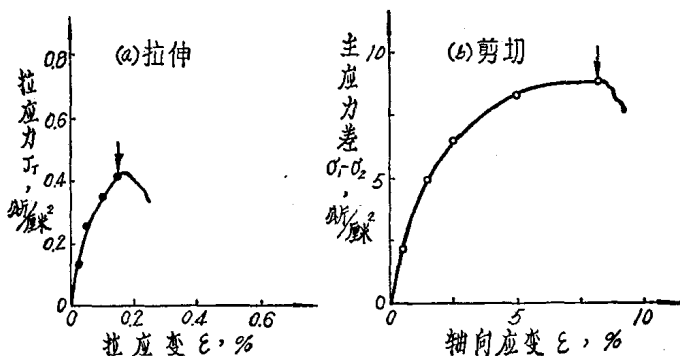


图 1-1 相同土料拉伸试验与剪切试验的比较（粘性土）

第二节 土坝变形及其规律性

土坝裂缝是土坝变形发展的结果。因此，在探讨土坝裂

缝规律时，必须首先了解坝体变形的规律性。

土坝变形可以通过位移观测发现。位移有三个方向：垂直方向位移一般称为沉降；水平位移又包括横向位移和纵向位移两部分。横向位移指垂直于坝轴线的位移，此位移量较大，观测资料也比较多。纵向位移是指平行于坝轴线的位移，此位移量较小，施测较难，观测资料较少。目前原体观测所说的水平位移，一般是指横向位移。

即使在静力条件下，土坝的变形也是很复杂的。这主要是由于土的性质相差悬殊、坝体边界条件十分复杂以及施工条件不断变化等所决定的。例如坝体表面和内部变形特性不同，纵、横断面变形分布不同，各种土料的变形规律不同，等等。

一、沉降量的规律性

（一）沉降量的平面分布

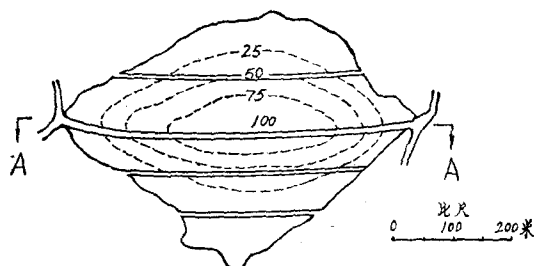
一座建成的土坝，其表面标点的累计沉降量在平面图上可以连成封闭的等值线（图1-2）。从图中可以看出：（1）位于河谷中心最大断面的沉降量最大，说明土坝累计沉降量取决于可压缩土层厚度和上覆荷载大小；（2）沉降等值线最密集的部位在岸坡最陡峻的地段，这反映了坝体与岸坡毗邻处应力应变的剧烈变化。具有特殊形状的河谷，例如坝轴线通过河谷的小丘时，可能绘出两组封闭的等值线。

（二）沉降过程线的形状

在普通座标上，沉降过程线是一条斜率变化很大的曲线，初期很陡，后期平缓。如果改换成半对数座标，曲线斜率变化将大大减小，有可能近似一直线。

在施工期和竣工后较短时间内，坝体沉降速率最大。以坝顶沉降量为例，对不同的坝型，施工期沉降量占稳定沉降

(a) 沉降量等值线



(b) 坝顶纵剖面
(A-A)

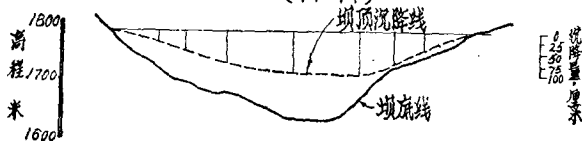


图 1-2 表面标点的沉降量分布
(奥地利界伯奇坝)

量的绝大部分(表1-1)。所谓稳定沉降量一般指每年递增的沉降量小于坝高的0.02%。

(三) 沉降量沿高程的分布

土坝在施工期和竣工后的沉降特点是不同的,亦即表面标点和深层标点的沉降规律不同。假如在土坝施工过程中随坝体升高埋设若干分层沉降标点,则各标点同一时刻的累计沉降量沿高程分布大体上呈一组抛物线。即坝体上、下部沉降量较小,而半坝高处沉降量最大(图1-3)。如果自竣工时刻统计沉降量(即不考虑施工期沉降量),则自坝顶起沿高程大体上呈线性递减分布(图1-4a)。从图中可见,施

表 1-1

分层沉降标点观测成果*

标点 编号	标点埋 设日期	标点埋 设高程 (米)	沉 降 量(厘米)			沉 降 率		土层厚度(米)	
			施工期	竣工后	累计	土柱高 (米)	ρ	对应标 点高程	初始值 B
0 (基岩)	64.12.29	40.887	0	0	0	0	0	—	—
1	65.1.2	44.610	9.7	1.9	11.6	3.72	3.11	40.887~ 44.610	3.7
2	65.1.15	50.461	25.9	3.9	29.8	9.57	3.12	44.610~ 50.461	5.9
3	65.1.26	56.292	36.0	7.1	43.1	15.41	2.78	50.461~ 56.292	5.8
4	65.4.16	61.972	43.2	6.0	49.2	21.09	2.33	56.215~ 61.972	5.8
5	65.5.8	67.500	41.7	8.2	49.9	26.61	1.88	61.864~ 67.500	5.6
6	65.6.2	73.160	38.5	13.3	51.8	32.27	1.61	67.415~ 73.160	5.7
7	65.7.16	78.768	29.6	17.7	47.3	37.88	1.25	73.022~ 78.768	5.7
8	65.7.28	84.440	26.0	19.9	45.9	43.55	1.06	78.700~ 84.440	5.7
9	65.11.12	90.070	16.8	23.4	40.2	49.18	0.82	84.332~ 90.070	5.7
10	66.1.5	95.954	4.6	27.3	31.9	55.07	0.58	89.955~ 95.954	6.0
11	66.2.4	100.492	0	27.3	27.3	59.61	0.46	95.892~ 100.492	4.6
坝顶	66.2.8	102.736	0	25.1	25.1	61.85	0.41	100.480~ 102.736	2.3

注 1. 沉降率 $\rho = \frac{\text{沉降量}}{\text{土柱高度}}$ 。

2. 同一时刻相邻两标点高程差即为土层厚度 B (参见附录一)。

工期沉降量在总沉降量 (即稳定沉降量) 中占很大比例。

(四) 土层压缩量沿高程的分布

所谓土层压缩量是指相邻两深层标点的沉降差。如果深

* 根据浙江省横山水库土坝分层沉降管(0+174)整理而得。

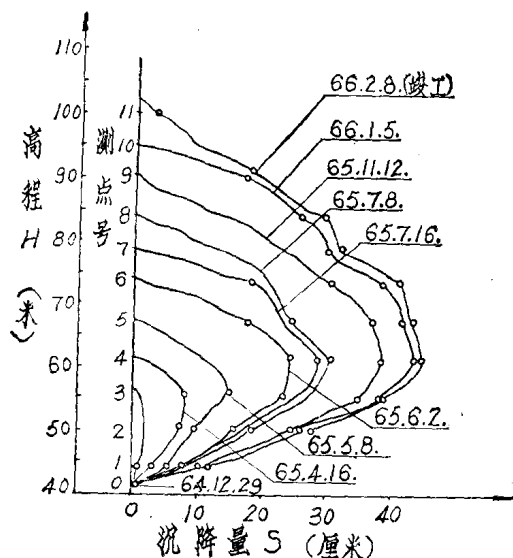
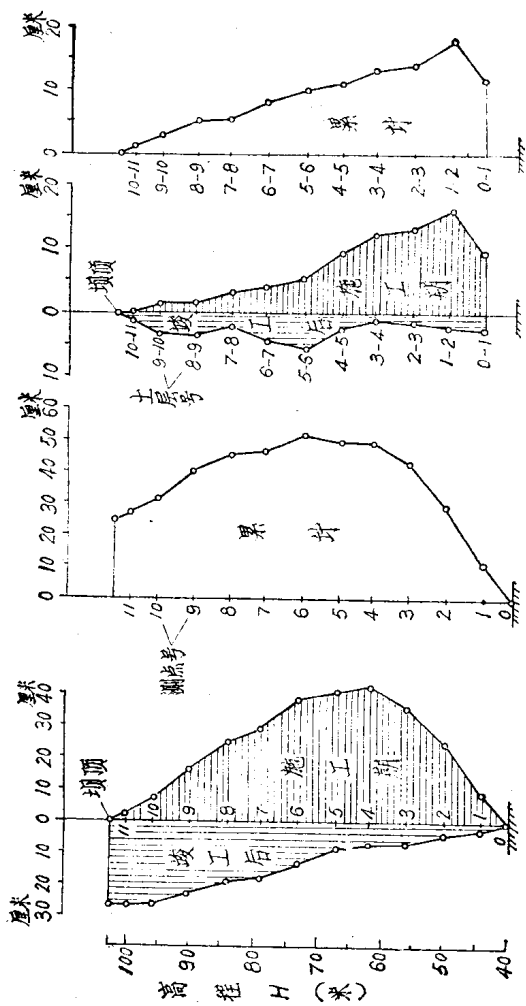


图 1-3 施工期沉降量沿高程的分布
(横山坝)

层标点等间距布点，则各土层压缩量自坝顶起呈线性递增（图1-4b及表1-1）。显然这一规律是与上覆荷载呈线性递增是一致的。根据土的实测压缩量可以计算土的体积压缩系数，因而可以用来核算设计采用的土的性质指标。

（五）不同填筑材料沉降量的分布

在坝体横断面上，各不同材料的填筑区域间，最大沉降量的分布并不一致（图1-5）。从图中可见，最大沉降量发生在坝壳内。但也有相反的情况，即最大沉降量发生在心墙内。这主要视材料性质的差异及变形发展历时而定。各填筑区域间沉降量的差异，是裂缝产生的主要原因。



(b) 压缩量

(c) 沉降量

图 1-4 沉降量及压缩量的分布
(横山坝)

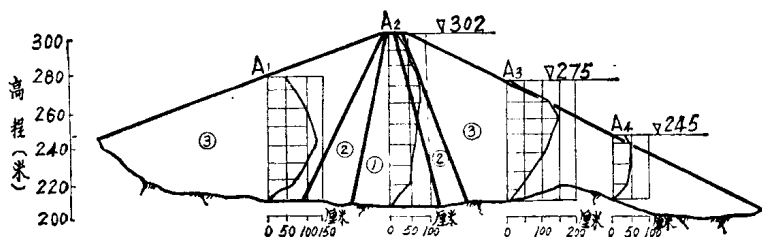


图 1-5 不同填筑材料沉降量的分布

(日本喜撰山坝)

①—粘土心墙；②—反滤层；③—堆石

二、位移量的规律性

(一) 位移的平面分布

位移是由垂直坝轴线与平行坝轴线两个分量组成。图1-6为位移合向量的平面分布。从图中可见：(1)河谷最大断面以横向位移为主，且在坝顶附近横向位移最大；(2)坝顶与岸坡毗邻处以纵向位移为主，位移方向指向河谷中心；(3)低高程位移向量与坝轴线成一交角，指向河谷中心。

(二) 纵向位移和纵向应变分布

在通过坝顶的纵剖面上，可以看到纵向位移与沉降量组成的合向量均指向河谷中心(图1-7a)。岸坡越陡，坝顶的纵向位移越大(图1-7b)。由于坝顶纵向位移的存在，在两岸岸坡附近出现拉应变区，在河谷出现压应变区(图1-7c)。此拉应变区的存在是产生横向裂缝的原因。有限单元法分析结果表明，拉应变区可以从坝顶延伸到一定深度(图1-8)。所以横向缝可能发展到一定深度。

(三) 横向位移及横向应变分布

坝体横向位移除决定于横断面材料性质以及土荷载条件

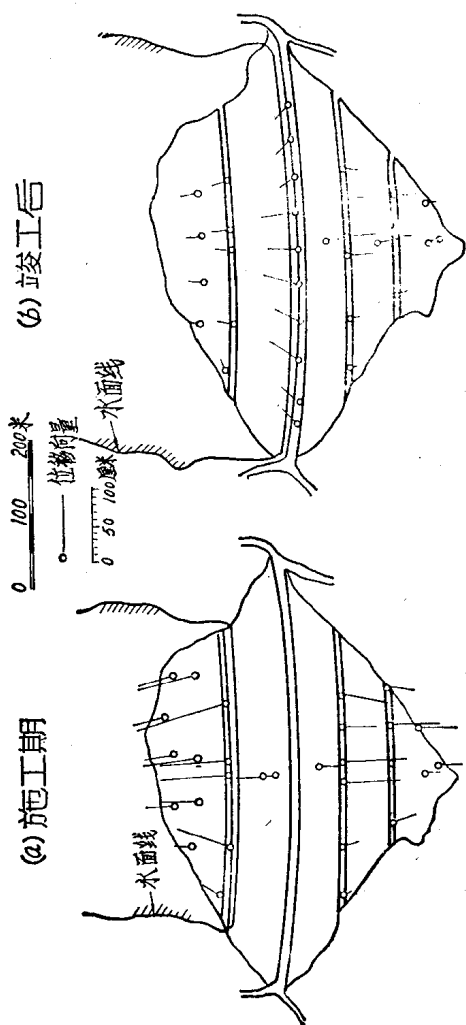


图 1-6 位移合向量的平面分布
(奥地利界伯奇坝)

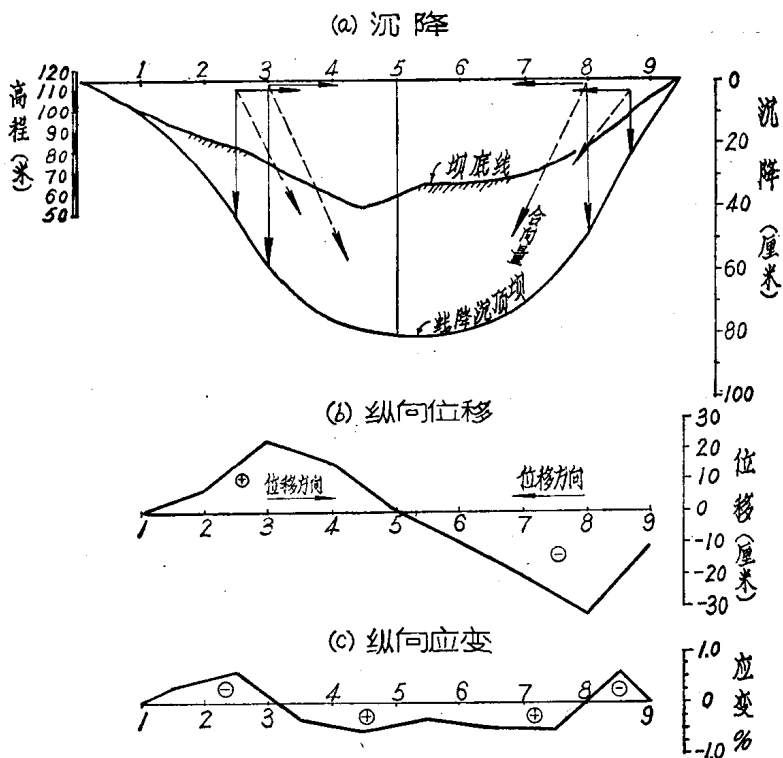


图 1-7 坝顶纵剖面变形特性
(美国列塔克利克坝)

外，还受水荷载强烈的影响。一般说来，低高程的坝面标点的横向位移均分别指向上游或下游（图1-6）。坝顶标点由于受水荷载的影响，可能出现横向位移的回弹现象（图1-9）。由于影响横向位移的因素较多，所以横断面内的应力应变分布也比较复杂。而且靠近坝顶拉应变达到较大的数值（图1-10）。横向位移及横向应变的观测对探讨纵向裂缝具有十分重要的意义。

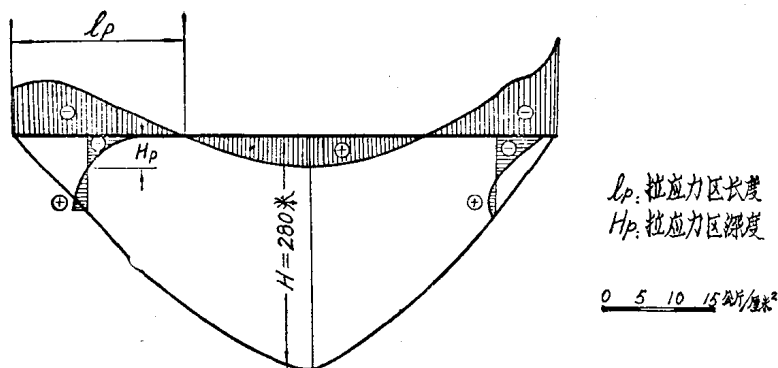


图 1-8 心墙纵剖面拉应力分布示意图
(苏联努列克坝)

第三节 土坝裂缝分类及裂缝形成原因

由于坝体边界条件和应力条件十分复杂，所以坝体裂缝也是复杂的。但正如变形有其规律性一样，土坝裂缝也有其发生和发展的规律。

土坝裂缝可从不同的方面加以分类。例如按其产生原因，可分为变形缝、滑坡缝、渗透（变形）缝和干缩缝 4 种。按裂缝的几何形状，可分为横向缝、纵向缝、水平缝、龟裂缝等等。以下就裂缝的形状加以叙述：

一、纵向缝

纵向缝是指走向平行于坝轴线的裂缝。纵向缝可长达数十米，甚至数百米。纵向缝有两种形式：一种出现在坝面；另一种出现在坝面以下一定的深度，即呈隐蔽的形式出现。

坝顶表面的纵向缝往往是由于坝壳的填筑质量较差，因而坝壳本身可能出现较大的沉降和横向位移，使依附于坝壳