

# 国际里程碑堆石坝工程

## 墨西哥 El Cajón 大坝



工程的基本情况:	
工程的名称	El Cajón 大坝
地理位置	墨西哥 Nayarit 区的 Santiago 河上 北纬 21° 25' 41" ， 西经 104° 27' 14"
工程主要目的	发电
开工/竣工时间	2003 年 4 月 / 2007 年 8 月
大坝:	
坝型	混凝土面板堆石坝(CFRD)
坝高	188 m
坝顶宽度/ 长度	6 m /550m
坝顶高程	394.5 m
坝体总填筑量	10 172 029 m <sup>3</sup> (堆石), 55 000 m <sup>3</sup> (混凝土)
地基:	
地质情况	工程主体结构修建于 TicU1, TicU2 和 TicU3 三种地层的熔灰岩上。
覆盖层厚度	最大 30m
防渗措施	深层灌浆帷幕
水库:	
集水面积	54 198 km <sup>2</sup>
水库面积	39,82 km <sup>2</sup>
总库容/有效库容	2369 hm <sup>3</sup> / 1316 hm <sup>3</sup>
最高正常蓄水位	391 m
死水位	346 m
泄洪建筑物:	
溢洪道	14 864 m <sup>3</sup> /s, 由 6 个弧形闸门控制

El Cajon 大坝位于 Santiago 河上，在 Aguamilpa 大坝上游 60km 处，位于墨西哥第二大城市 Guadalajara 西北部 250km。

工程的发电厂房装配有两台涡轮式发电机组（混流式水轮机，容量为 750MW），电站年发电量为 1228 GWh。另外，水库还能控制流域内水的下泄，这有利于下游 Aguamilpa 电站的运行。

本工程的业主是 Comision Federal de Electricidad (CFE)，它是墨西哥政府的主要电力公司。工程由 Constructora Internacional de Infraestructura (CIISA) 按照 EPC 合同方式负责施工及资金运作。该公司是一家墨西哥承包商 ICA (Ingenieros Civiles Asociados) 旗下的跨国集团。2004 年“欧元及国际项目财务”杂志 (Euromoney and Project Finance International) 评选 CIISA 在 El Cajón 工程的资金运作为“当年最佳交易”。

## 工程布置

188m 高的混凝土面板堆石坝，坝顶长 550m，需要填筑  $10.3 \times 10^6 \text{ m}^3$  的堆石。混凝土面板的面积为 107,000 平方米。坝体上下游坝坡坡度均为 1:1.4。

导流工程包括在左岸山体内开挖的两条  $14 \times 14 \text{ m}$  的导流隧洞。1 号隧洞长 734m，2 号隧洞长 811m。上游围堰高 48m，而下游围堰只有 15m 高。

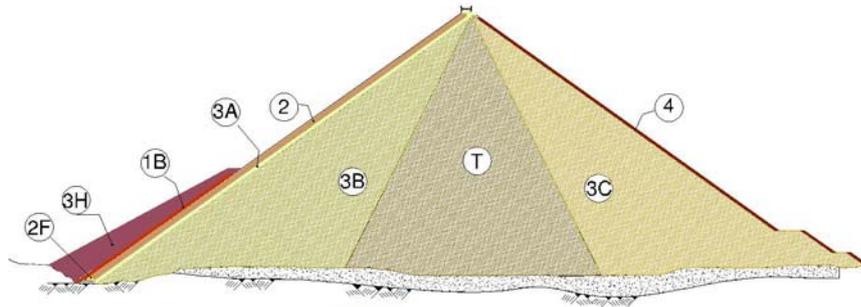


工程平面布置图

位于右岸的发电工程包括：一个独立的混凝土进水口，两条钢衬的发电引水隧洞（每条直径为 9.5m），一个地下厂房（装配两台 375MW 的混流式水轮机）。另外还包括一个调压井和一条长 310m、 $14 \times 14 \text{ m}$  的反 U 型尾水隧洞，组成了整个的发电水流路径。

表面溢洪道坐落于右岸，设计泄洪能力为  $14\,864 \text{ m}^3/\text{s}$ ，对应的设计洪峰流量为  $15\,915 \text{ m}^3/\text{s}$ （属于万年一遇）。溢洪道由六个弧形闸门控制。

## 大坝的分区



大坝的分区  
填筑及压实要求

坝体分区	填筑层厚度(m)	碾的类型	碾压次数
1B	0.3	推土机	NA
2F	0.3	10.6 t 振动碾	6
2	0.3	10.6 t 振动碾	8
3A	0.3	10.6 t 振动碾	8
3B	0.8	10.6 t 振动碾	6
T	1	10.6 t 振动碾	6
3C	1.4	10.6 t 振动碾	6
3H	0.4	推土机	NA
4	NA	由反铲填筑	NA

也有观点认为该部分应该如同反滤层 1B 和 2F 一样进行处理。

## 主要的地质断层

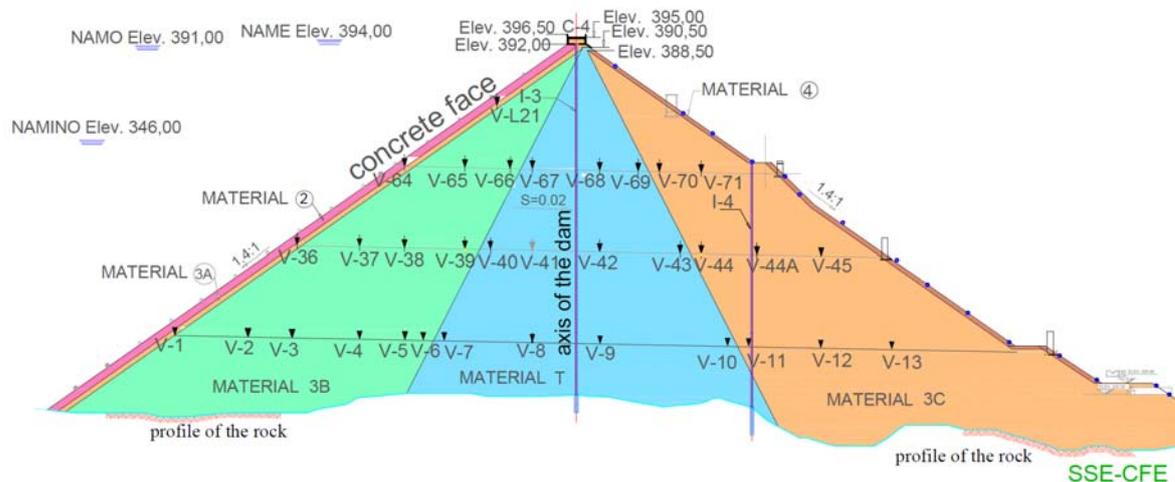
导流后马上进行河床的清理工作。当河床趾板基础开挖到设计高程的时遭遇一个较大的地质断层，称为 Calipso 断层，位于趾板 P9 至 P10A 之间（如下图所示）。于是对河床趾板基础进行再处理，包括回填混凝土，从而将不规则的空洞填平。为了确保混凝土趾板牢固可靠，用 12m 长的锚杆将其锚固在断层两边坚硬的岩石上。



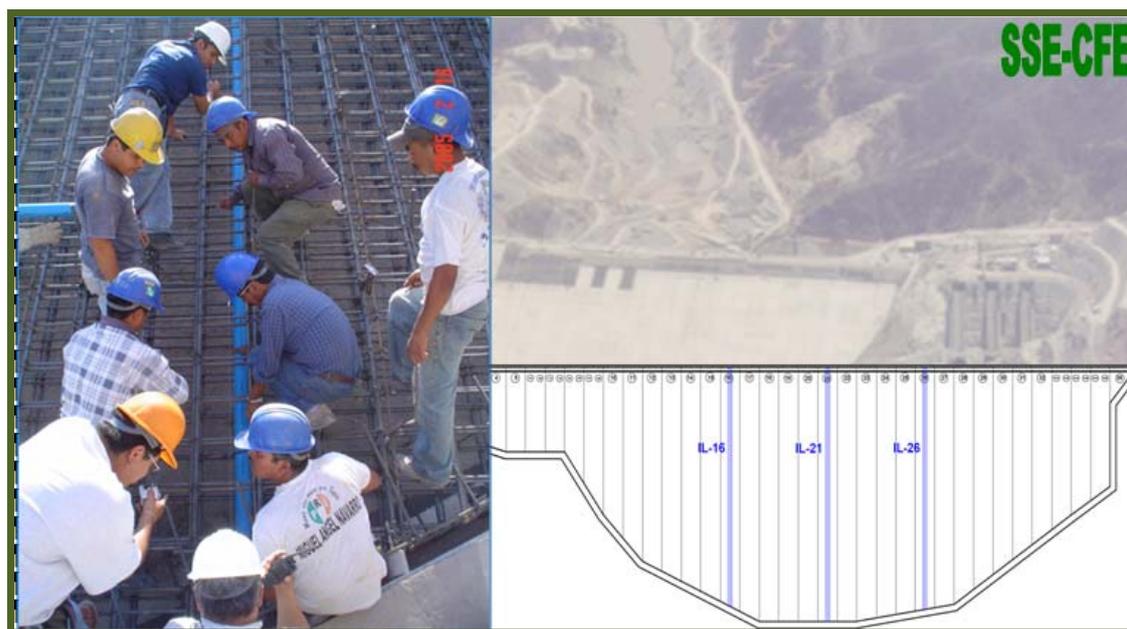
El Cauce 断层

## 大坝运行状况

为了监测大坝的运行，本工程安装了一套大规模的监测系统。



大坝主要坝段 L-21 的监测仪器



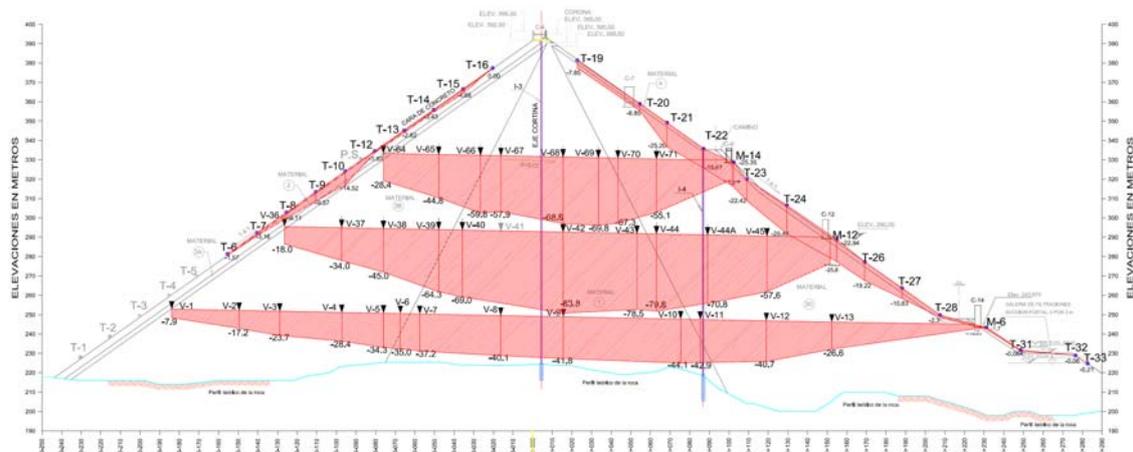
L-16, L-21, L-26 段面板上倾斜计的安装

基于大坝的监测数据以及对大坝进行的周期性检查，可得出的结论是：目前尚没有证据表明在接缝处以及混凝土面板上产生过度的位移。较大的变形产生在混凝土面板的中部，这并没有破坏混凝土面板及接缝的完整性。

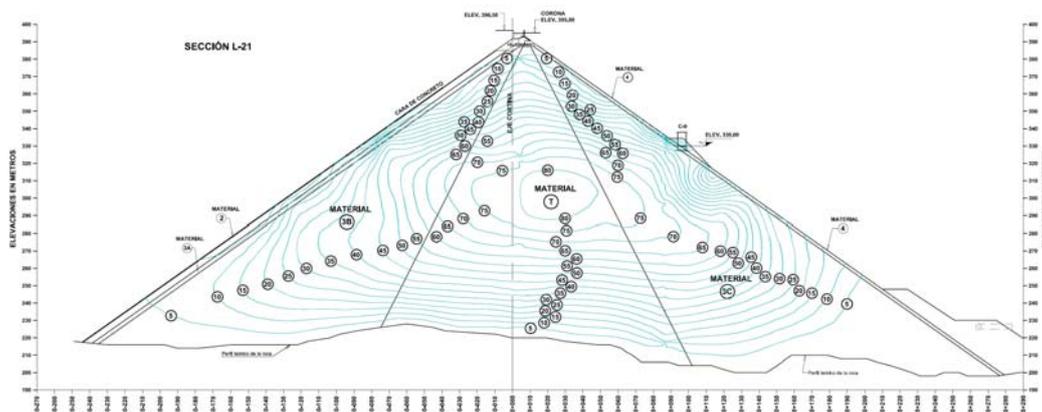
大坝建成后，初次蓄水时，由于水压力初次作用在大坝上，所以产生了最大变形速率。当蓄水完成后（2007年2月），大坝变形速率降低，现在已趋于稳定，没有明显的增加。

位于大坝坡脚处廊道内的渗漏水随库水位的波动时大时小，表明降水和外部因素对其产生的影响很小。记录中的最大流量是 247 L/s，发生在 2007 年 1 月 21 日。目前的流量大约为 40 L/s。

施工期的发生沉降是材料压实的结果。最大值发生在 L-21 坝段：330 高程的 3B 区，沉降 45cm；290 高程的 T 区，沉降 85cm；330 高程的 3C 区，沉降 75cm。



施工期 L-21 坝段的沉降

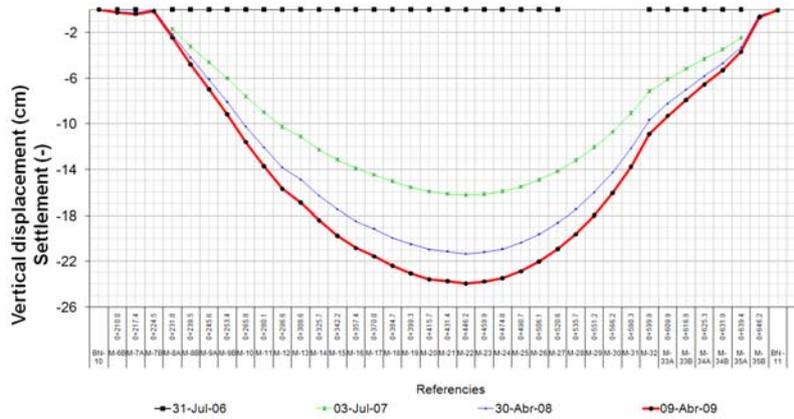


施工期 L-21 坝段沉降等值线图

大坝表面的最大沉降发生在 387 高程的坝中部。从 L-21 坝段的横断面上(381 高程产生最大沉降 21.9cm)得到的监测数据证实了这一结论。最大沉降出现在 387 高程。大坝运行的第一年，最大沉降速度为 16.2 cm/年；2007 年之后沉降速率减小，在 2008 和 2009 年的年末岁初，沉降速率变为 2.6 cm/年。沉降速率仍有减小的趋势。

下游坝坡上的监测点记录的最大沉降量

高程 (m)	沉降量 (cm)	监测点	开始记录的时间	最大值产生时间
387	23.9	21	2006 年 7 月	2009 年 4 月 9 日
330	13.9	16	2006 年 7 月	2009 年 4 月 14 日
290	6.4	14	2006 年 7 月	2009 年 4 月 15 日
245	>1	所有点	2006 年 7 月	2009 年 4 月 16 日



下游坝坡 387 高程的沉降量

## 参与该工程的公司

业主:

Comisión Federal de Electricidad

设计单位:

Basic engineering: Comisión Federal de Electricidad

Detail engineering: Ingetec

承包商:

Constructora Internacional de Infraestructura (CIISA)

Manufactures and assembly firms

Energomachexport Power Machines

Turboatom

Electrosila

Alstom Brasil

VATECH England

ABB Brasil

Duero Ingeniería