

Gestión de la presa de las Tres Gargantas



Zhaoyin Wang

Ingeniero Civil.
Profesor del
Departamento de
Ingeniería Hidráulica
de la Universidad de
Tsinghua



Guo-An Yu

Ingeniero Civil.
Profesor en el
Departamento de
Ingeniería Hidráulica
de la Universidad de
Tsinghua



Mengzhen Xu

Ingeniera Civil.
Laboratorio (State
Key) de Hidrociencias
e Ingeniería de la
Universidad de
Tsinghua

Resumen

El Proyecto de las Tres Gargantas (TGP) es muy conocido gracias a su gran dimensión e influencia dominante en el desarrollo hidroeléctrico y de gestión fluvial de la China. Los principales objetivos del TGP son el control de inundaciones, generación eléctrica y navegación. La construcción y la gestión del TGP se describen en este artículo.

Palabras clave

Inundación, presa, China, gestión

Abstract

The Three-Gorges Project (TGP) is well known due to its great scale and far-reaching influence in hydro-power development and river management in China. The main purposes of the TGP are flood control, power generation and navigation. The construction and management of the TGP are discussed in this described in this article.

Keywords

Flood, dam, China, management

1. Objetivos de la presa de las Tres Gargantas

El río Yangtze es el más largo y más ancho río de China, con una cuenca de 1,80 millones de km². Su cuenca tiene una altitud que varía desde los 5.000 metros al nivel del mar, con una latitud entre los 25° N y los 35°N. El río fluye a través de la meseta de Qinghai-Tibet, la meseta Yunnan-Guizhou Plateau, Valle de Sichuan, Tres Gargantas, las llanuras de Jiang-Han, las llanuras del bajo Yangtze, y desemboca en el Mar de la China Oriental en Shanghai. Desde su nacimiento hasta Chiang (lugar de la presa de las Tres Gargantas) es el tramo superior, desde Chiang hasta Hukou (Lago Poyang), el tramo medio y desde Hukou a Nanjing es el tramo inferior y mas allá de Nanjiang es el estuario. El río ha tenido las inundaciones mas frecuentes desde la década de los 50, antes de la cual el río Amarillo era el que causaba mas desastres en China. La llanura de Jiang-Han es el área mas amenazada por las inundaciones, debido a que está 10-15 metros por debajo de la cota de inundación. La presa de las Tres Gargantas se construyó en Yichang, inmediatamente aguas arriba del tramo medio del río, lo que permitía el control de las inundaciones, causadas por el tramo superior. El pantano de las Tres Gargantas es una presa tipo río, como muestra la figura 1.

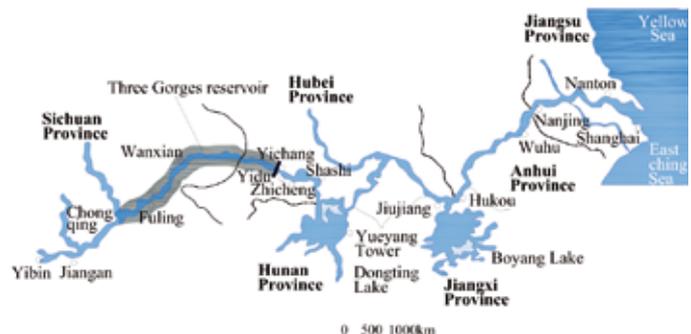


Fig. 1. Situación de la presa de las Tres Gargantas y el pantano

El objetivo más importante del proyecto es mitigar inundaciones. Los registros históricos muestran que durante los 2.000 años que van de la dinastía Han (206 aC-220) hasta los últimos años de la dinastía Qing (1644-1911), hubo graves inundaciones en el río Yangtze 214 veces. El siglo XX experimentó tres inmensas inundaciones, dos de los cuales, una en 1931 y otra en 1935, inundaron 3,4 millones y 1,5 millones de hectáreas de tierras de cultivo y mataron a 145.000 y 142.000 personas respectivamente. Las aguas inundaron en 1954 un área de 3,17 millones de hectáreas de tierras de cultivo y mataron a 30.000 personas. Las pérdidas directas por la inundación llegaron a más de 10 billones de Yuan. Además, el país sufrió incalculables pérdidas indirectas por las inundaciones, como por ejemplo cuando la línea de ferrocarril Beijing-Guangzhou no pudo ofrecer sus servicios normales durante 100 días.

Las inundaciones del río Yangtze se originan principalmente en los ríos Jinsha, Minjiang, Jialing y Hanjiang y los tributarios de los lagos Tongting y Poyang. Las principales áreas de riesgo de inundación se encuentran en la parte media del río, en especial el tramo entre Shashi y Jiujiang. Las inundaciones en el río Yangtze se pueden clasificar en dos tipos básicos: las

inundaciones resultantes de las fuertes lluvias en toda la cuenca del río y las inundaciones resultantes de las precipitaciones locales intensas. La primera es el resultado de fuertes lluvias consecutivas en el curso superior y medio del río Yangtze, como las inundaciones del 1931 y 1954. Como ejemplos del segundo tipo, tenemos las fuertes lluvias en el tramo superior en 1870 y 1896 y las del curso medio en 1935 que causaron inundaciones extremas (Luo y Luo, 1996; Zhou, 1999). En el siglo XX el pico más alto de inundación se produjo en 1954, pero el desastre más grave fue en 1931.

La protección contra las inundaciones en el curso medio tiene una larga tradición. El sistema de control de inundaciones consiste en grandes diques con una longitud total de 3.570 kilómetros de largo, así como más de 30.000 kilómetros de diques a lo largo de los afluentes, lagos, riberas y canales. A escala local, los ayuntamientos construyeron muros de protección y varios lagos artificiales como el Tongting y el Poyang que funcionaban como cuencas de retención de inundaciones, como se muestra en la figura 2. Las cuencas de retención protegían las ciudades y los grandes diques. Lo más importante es la parte de río almacenada en el lago Tongting. El agua de inundación se desvía hacia el lago a través del

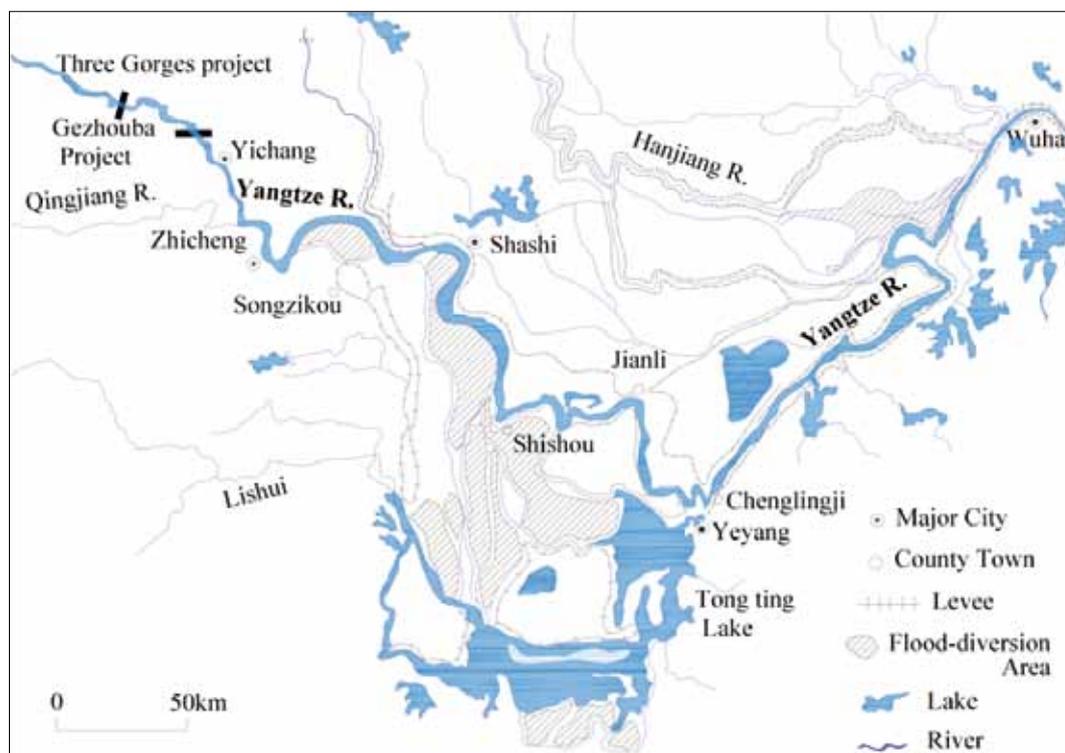


Fig. 2. Sistema de defensa de inundaciones en los cursos medio y bajo del río Yangtze

canal Songzikou y otros dos canales, y fluye de nuevo al río en Chenglingji.

En 1998 se produjo una inundación en el río Yangtze, que dio lugar a graves daños por inundación y afectó a 8 millones de personas. Las fuertes lluvias se produjeron en la zona durante el verano de 1998 a raíz del fenómeno de El Niño más fuerte del siglo, que alcanzó su punto máximo a finales de 1997 y terminó en mayo de 1998. Las lluvias causaron inundaciones en el río Yangtze y muchos de sus afluentes. Alrededor de tres cuartas partes del volumen de inundaciones en Wuhan procedía de los tramos del río aguas arriba de Yichang y el resto procedía del río Hanjiang y el lago Tongting. El período de recurrencia de la inundación de 1998 fue de sólo 8 años en cuanto a la punta máxima. El volumen de escurrimiento de la inundación de 1998, sin embargo, era más grande que la de 1931, pero menor que en 1954. Fue la segunda inundación más grande en volumen en el siglo XX, después de la inundación de 1954 (Ministerio de Recursos Hídricos, 1999). Las fases de las inundaciones en el curso medio del río fueron incluso superiores a las de 1954, aunque la punta máxima y el volumen total de escorrentía fueron menores (Zhou, 1999).

La inundación de 1998 provocó un replanteo en la estrategia de control de inundaciones del río. La nueva estrategia se basa en las siguientes acciones: la construcción del embalse de las Tres Gargantas, el refuerzo y el aumento de la altura de los diques, la reconversión de algunos *polders* en canales para los ríos, el aumento del tamaño del lago Tongting, inundando de nuevo tierras agrícolas en las cercanías del lago para aumentar su capacidad de detención de las inundaciones; dragado del canal principal del río, trasladar a la gente que habitaba en la cercanía de los *polders* contra las inundaciones, y la recuperación y reforestación de la parte alta de la cuenca.

La principal razón detrás de la amenaza de inundaciones graves en los cursos medio e inferior del río Yangtze suele ser el pico y el gran volumen del caudal de agua causado por las lluvias torrenciales en la parte alta y que sobrepasan la capacidad de descarga segura del río. Actualmente, el límite de seguridad para la capacidad de flujo a lo largo de la sección de Jingjiang (incluyendo el flujo hacia el lago Tongting) es de aproximadamente 60.000 m³/s, mientras que para el Wuhan y secciones aguas abajo de Hukou es de 70.000 y 80.000 m³/s, respectivamente. Materiales recogidos desde 1877 muestran que han habido 24 inundaciones en Yichang con caudales máximos por encima de 60.000 m³/s. En los 850 años desde 1153, hubo ocho inundaciones con un flujo máximo superior

a los 80.000 m³/s, y cinco superaron los 90.000 m³/s. Durante las inundaciones de 1860 y 1870 en la Estación Zhicheng, el flujo máximo alcanzó los 110.000 m³/s, obviamente, muy por encima de la capacidad de flujo seguro del río.

Actualmente, el lago Tongting sigue siendo una cuenca de detención física importante de las inundaciones en el curso medio del río Yangtze. Durante la temporada de inundaciones, la aportación del río Jingjiang es de un tercio o de una cuarta parte del agua que entra en el lago Tongting. El lago de natural para la retención de las inundaciones puede reducir el flujo máximo del río Jingjiang en aproximadamente 10.000 m³/s. Es obvio que su papel en la regulación y la detención sigue siendo de gran importancia para el control de inundaciones. Sin embargo la capacidad del lago Tongting, se está reduciendo rápidamente debido a la sedimentación y la recuperación de tierras. Basados en la investigación de los especialistas, es necesario aplicar medidas globales de mitigación de inundaciones para resolver los graves problemas de control de inundaciones en el tramo de Jingjiang del río Yangtze, incluyendo el recrecimiento y el refuerzo de los diques, el arreglo y ajuste de las áreas de desviación y detención de las inundaciones, la construcción de embalses en el curso principal y sus afluentes, y la remodelación del cauce de los ríos, así como la mejora de las previsiones de inundaciones. El más importante de todos estos proyectos es la construcción del Proyecto de las Tres Gargantas.

El Proyecto de las Tres Gargantas está situado en el lugar donde el curso medio e inferior del río Yangtze se encuentran. La capacidad total del embalse es de 39 millones de m³ y una capacidad de almacenamiento de control de inundaciones de 22.150 millones de m³, que permiten a la presa controlar eficazmente las inundaciones resultantes de las fuertes lluvias en las áreas del tramo superior. Las Tres Gargantas aumenta la capacidad de control de inundaciones, evita las roturas de los grandes diques de Jingjiang y sus consiguientes destrucciones devastadoras. Al mismo tiempo, mediante el control de manera eficaz de las inundaciones aguas arriba, se pueden paliar las amenazas en Wuhan, y reducir la descarga de agua y arena en el lago Tongting.

De los muchos beneficios que el proyecto de las Tres Gargantas proporciona, la más directa y más obvia es su enorme capacidad para generar electricidad. La central hidroeléctrica del Proyecto de las Tres Gargantas es la mayor del mundo, con una capacidad instalada de 18.200 mW y una generación anual de 84 billones de kWh. Proporciona electricidad, princi-

palmente al centro y este de la China y una pequeña cantidad a la parte oriental de la provincia de Sichuan.

El río Yangtze, con su corriente principal y afluentes que atraviesan 18 provincias y municipios, proporciona unas condiciones de transporte fluvial muy favorables y siempre ha sido la principal arteria de transporte de China uniendo las regiones oriental, central y occidental. Su tramo navegable tiene más de 70.000 km, lo que representa el 70 % del total de la navegación interior de la nación. Su volumen de carga transportada anual es del 80 % de la carga transportada fluvial por el país, dándole el río Yangtze el título de la “vía fluvial dorada”. El tramo del río Yangtze inundado por el embalse de las Tres Gargantas incluye 130 bancos de arena peligrosos y 46 secciones de control de un solo sentido, y que no eran lo suficientemente amplios o profundos para el paso de buques de gran tamaño. El Proyecto de las Tres Gargantas mejora las condiciones de navegación en el tramo de Yichang a Chongqing. Después de la finalización del proyecto los remolcadores de 10.000 toneladas pueden navegar sin trabas hasta Chongqing. Con la construcción de

puertos y la modernización de buques, la capacidad anual de transporte fluvial ha aumentado en 10 veces.

2. Construcción de la presa

Como se muestra en la figura 3, los edificios principales del Proyecto de las Tres Gargantas se componen de la presa, la central hidroeléctrica, y las estructuras para la navegación. La presa de las Tres Gargantas es del tipo de presa convencional de gravedad de hormigón: 2.335 m de longitud y 175 m de altura, con su cota de coronación a 185 m sobre el nivel del mar. La presa se construye de derecha a izquierda (en la foto) en este orden: sección derecha sin aliviadero, elevador de buques, esclusa temporal del buque (durante el período de construcción), sección de la presa sin aliviadero, central derecha de energía, pared guía derecha, aliviadero, sección de ataguías, central izquierda de energía, sección izquierda sin aliviadero. El aliviadero está situado en la sección central del río, compuesto por 27 bloques de presa con 23 desagües de fondo (7x9 m, con una elevación sobre el fondo de 90 m), 22 desagües inferiores (6x8,5 m, con una elevación sobre el fondo de 56 m) y 22 desagües superiores (8 m de ancho,



Fig. 3. Una maqueta del Proyecto de las Tres Gargantas en el río Yangtze, de derecha a izquierda: cinco esclusas de barcos, incluyendo los canales de acceso superior e inferior, el elevador de buques y su canal, la central izquierda de energía, el aliviadero, y la central derecha de energía

con una altura de 158 m) entre ellos. La característica más llamativa de este proyecto es su escala gigantesca. Durante la construcción de la presa de las Tres Gargantas, el volumen del hormigón utilizado era más de 4 millones de m³ por año en los años de máximo apogeo.

Las dos plantas de energía con 26 conjuntos de unidades de generación de energía tienen una capacidad instalada total de 18.200 mW y una producción anual de 84.700 millones de kWh. La central hidroeléctrica del Proyecto de las Tres Gargantas es gigantesca y su capacidad total instalada es la primera del mundo. La capacidad instalada de cada turbo-generador de la central eléctrica de las Tres Gargantas es de 680.000 kW. La central eléctrica de Tres Gargantas produce 500 kV de corriente alterna y 500 kV de corriente continua. La central izquierda de energía tiene 600 m de largo, 35,5 metros de ancho y 30 m de altura con 14 unidades turbo-generador. El centro del turbo-generador está a una altura de 57 m. El diámetro de la turbina es de 9,5 m y la turbina pesa 3.350 toneladas. El generador tiene 23 m de diámetro y un peso de 3.800 toneladas. La revolución nominal de la turbina es de 71,4 revoluciones por minuto.

La estructura de navegación se compone de dos líneas de cinco esclusas de barco permanentes, un elevador de barcos, y una esclusa temporal. La altura total de agua de las esclusas es de 113 m. Las esclusas permiten el paso a barcos de 10.000 toneladas. La capacidad de transporte anual de las esclusas es de 50 millones de toneladas. El tamaño de las esclusas es de 280x34x5 m (largo x ancho x la profundidad mínima sobre el fondo). La zona agua aguas arriba de las esclusas de buques es de 135 a 156 m en el período inicial y 145-175 m cuando se complete el proyecto. El nivel de la corriente más baja es de 62 a 78 metros y la descarga de flujo máximo para la navegación es 56.700 m³/s. El nivel inferior y el nivel de agua más alto de las cinco esclusas son 130-179 m, 119.25-161 m, 98,5 a 140,25 m, 77.75-119.50 m, 57 a 98,75 m, respectivamente.

El TGP está siendo construido en tres fases, como se muestra en la figura 4.

- Fase I (1994-1997). Los preparativos para la construcción de la presa se realizaron en 1993 y 1994. La primera piedra de las obras se colocó el 14 de diciembre de 1994. Había una pequeña isla –isla Zhongbao– en el eje de la presa, que divide el río en dos ramas. La rama derecha –rama Haohe– estaba seca en la temporada de bajo caudal y las inundaciones pasa-

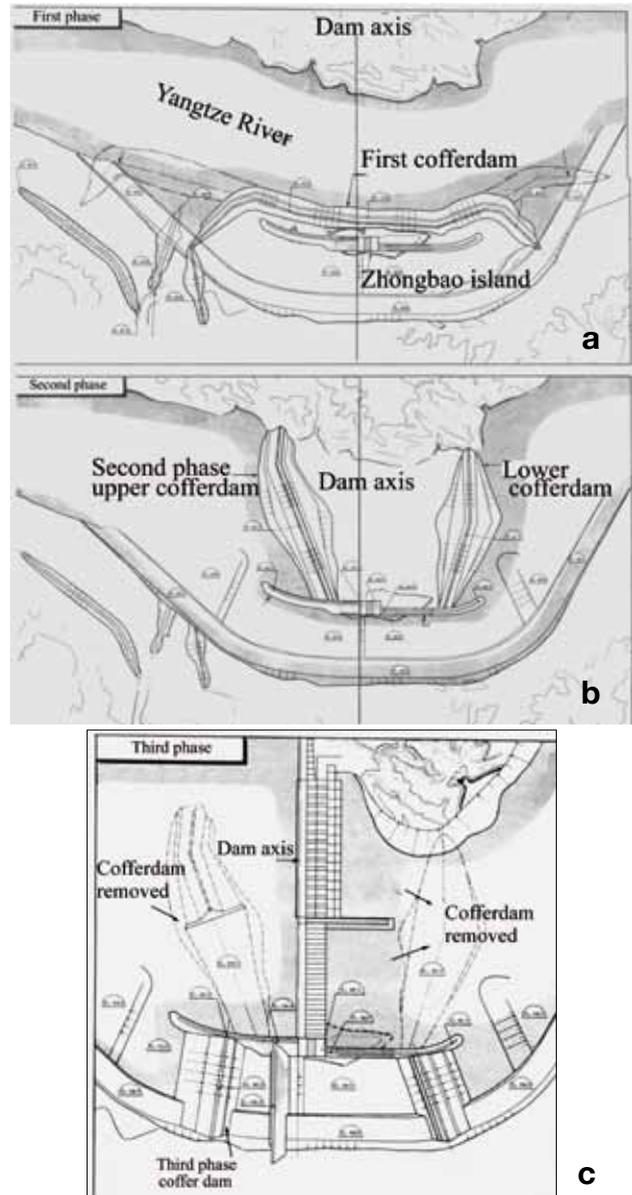


Fig. 4. Las fases sucesivas de la construcción de la TGP: (a) Fase I. Construcción de la ataguía en el canal derecho, excavación del canal abierto y construcción de la presa longitudinal a lo largo del margen derecho de la isla de Zhongbao, (b) Fase II. Construcción de la ataguía en el canal principal del río, construcción la presa y las esclusas permanentes y temporales para los barcos y elevador de barcos, el flujo del agua a través del canal abierto. (c) Fase III. Construcción de la ataguía para cerrar el canal abierto, construcción de la parte derecha de la gran presa, inundación con agua a 135-140 m y comienzo de generación de energía eléctrica, envío del flujo de caudal a través de los desagües de fondo de la presa

ban por ella del proyecto. En la primera fase, una ataguía de tierra fue construida para cerrar el canal de la rama derecha. A lo largo del borde derecho de la isla, una presa longitudinal fue construida dentro de la ataguía. El canal derecho aumentó de profundidad y fue ampliado mediante una excavación para formar un canal abierto capaz de transportar un caudal de 70.000 m³/s. El canal abierto se terminó en 1997 y fue puesto en servicio en mayo de 1997. Los buques comenzaron a navegar a través del canal abierto en julio de 1997. Mientras tanto, las esclusa temporal fue construida en la margen izquierda del canal principal. El río no se redujo sustancialmente y las riadas pasaron a través de la sección del río sin problemas. Las esclusas permanentes se pusieron en funcionamiento en esta fase.

- Fase II (1998-2002). El comienzo de la segunda etapa estuvo marcada por el cierre con éxito de la ataguía de tierra del canal principal el 8 de noviembre de 1997. Un área cerrada apareció en el canal de río y el flujo de agua pasaba a través del canal abierto artificial, tal como se muestra en la figura 4 (b). La presa principal fue construida en el lecho del río en la zona delimitada por la ataguía en el período de 1998 a 2002. En el otoño de 2002 se completó la presa principal así como las cinco esclusas permanentes.

- Fase III (2003-2009). En 2002, la ataguía en el canal principal del río se destruye mediante explosivos y el agua comenzó a fluir a través de los desagües de fondo de la presa. El canal abierto fue cortado por una nueva ataguía, como se muestra en la figura 4 (c). El 7 de noviembre de 2002, se cerró la ataguía del canal abierto. La nueva ataguía fue construida con alturas de 50 y 140 metros de hormigón compactado con rodillo.

Se creó un depósito en conjunción con la presa principal. El nivel del agua se elevó a 135-140 m y los turbogeneradores comenzaron a generar electricidad. La parte derecha de la presa principal fue construida dentro de la ataguía. El agua fluyó a través de los 23 desagües de fondo de la sección del aliviadero. Las esclusas permanentes y el elevador de barcos fueron utilizados por los buques para superar la presa.

3. Gestión de la sedimentación de los embalses

Los principales problemas de sedimentación en el proyecto TGP son: 1) sedimentación en los embalses y poder garantizar la capacidad máxima del embalse para el control de inundaciones; 2) sedimentación en el canal de navegación en la zona de remansos; 3) sedimentación en las proximidades de la presa; y 4) degradación de los márgenes aguas abajo.

1) Sedimentación del embalse y utilización permanente del mismo

El nivel normal de la lámina del embalse (NPL) es de 175 m. El nivel de la lámina al inicio de la temporada de inundaciones (FCL), por lo general en junio, se establece a 145 m. La presa es devuelta al nivel normal de la lámina después de la temporada de inundaciones, por lo general a partir de octubre. La estación hidrológica más cercana a la presa es la estación de Yichang. Antes del proyecto la escorrentía anual media en Yichang era de 450 millones de m³ y la carga anual de sedimentos de 532 millones de toneladas, de los cuales alrededor de 0,8 millones de toneladas era de lecho de grava. El diámetro medio de la carga suspendida era de 0,033 mm y el diámetro medio de carga sedimentada era de 24 mm. Más del 88 % de la carga suspendida era más fina que 0,1 mm. El caudal medio a largo plazo en Yichang era de 14.300 m³/s.

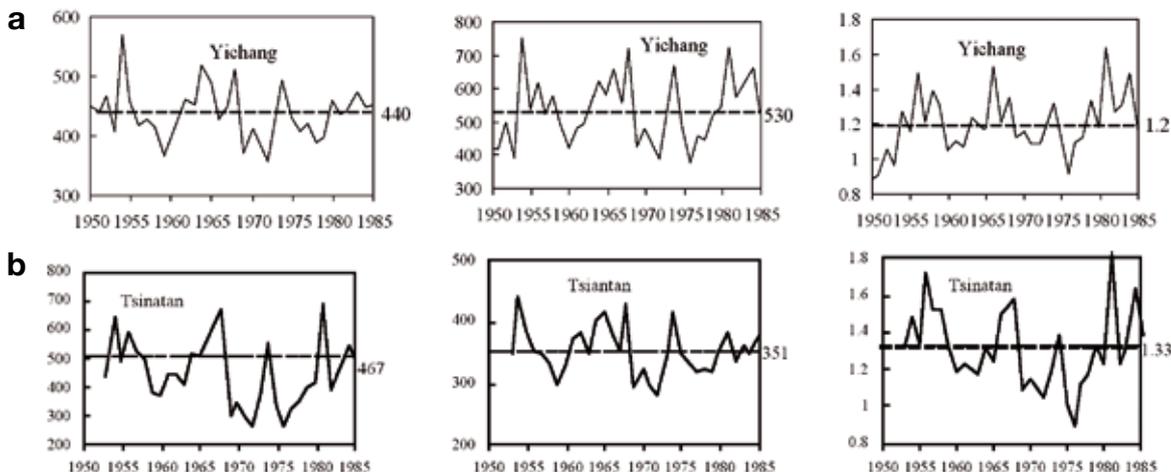


Fig. 5. (a) Escorrentía anual, la carga de sedimentos y la concentración de sedimento en Yichang (1950-1985), (b) la escorrentía anual, la carga de sedimentos y la concentración de sedimento en Tsiantan (1950-1985)

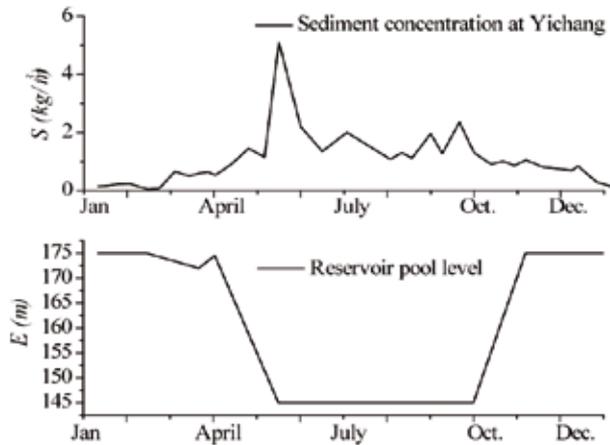


Fig. 6. Proceso de variación típico de la concentración de sedimentos en el lugar de la presa del Proyecto de las Tres Gargantas y el esquema de funcionamiento del nivel de la lámina de agua para el control de la sedimentación

La estación de Tsiantan se encuentra cerca de Chongqing en el extremo superior de la presa. La escorrentía anual, la carga de sedimentos y la concentración media de Tsiantan eran 350 mil m³, 462 millones de toneladas y 1,32 kg/m³, respectivamente. Solo alrededor de 0,3 millones de toneladas correspondían a sedimentos depositados. El diámetro medio de la carga suspendida era de 0,037 mm y el diámetro medio del lecho de grava era de 51 mm. La figura 5 muestra la escorrentía anual, la carga de sedimentos, y la concentración de sedimentos en Yichang y Tsiantan en el período 1950-1985. La carga anual en Yichang oscila entre las 350.000.000 y las 750.000.000 toneladas y en Tsiantan de 250 millones a 700 millones de toneladas.

La estrategia principal para controlar la sedimentación en el embalse de las Tres Gargantas consiste en almacenar las aguas limpias y soltar las aguas turbias. El río Yangtze transporta alrededor del 90 % de su carga anual de sedimentos con solo el 60 % de su volumen anual desde mediados de junio hasta mediados de septiembre, como se muestra en la figura 6. El nivel de la lámina se baja a 145 metros de junio a septiembre permitiendo al agua turbia fluir a través del embalse aguas abajo. El embalse almacena el agua a partir de octubre, cuando el agua de entrada es mucho más limpia. Mediante la aplicación de esta estrategia se puede asegurar una capacidad permanente de 22 mil millones de m³. Los 22 desagües de fondo a una altura de 56 m se utilizaron para descargar agua durante la construcción del proyecto y se

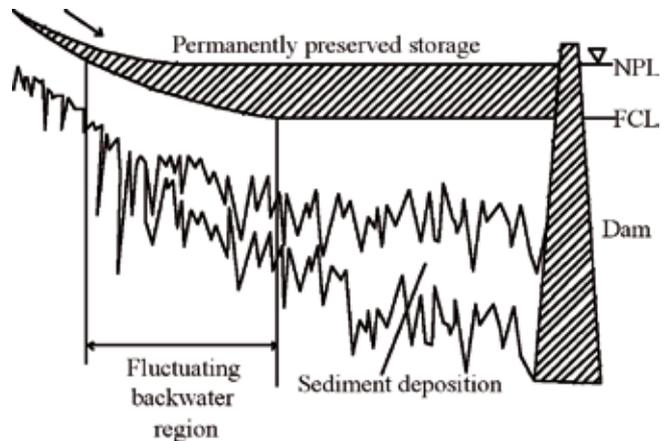


Fig. 7. Diagrama esquemático de los niveles de la lámina de agua y de la curva de la deposición del embalse TGP: NPL = nivel de la lámina normal (175 m); FCL = nivel de la lámina temporada de inundaciones (145 m)

cerrarán al final de la tercera fase de la construcción. Los 23 desagües inferiores se utilizarán de forma permanente para aliviar el caudal de la presa. La altura de los desagües inferiores es de 90 m de profundidad y su capacidad de descarga con alturas de lámina de agua de 130, 140 y 150 m son de 51.000, 60.000, y 64.000 m³/s, respectivamente. Si el caudal no excede 62.000 m³/s, el embalse es gestionado para “almacenar el agua clara y soltar el agua turbia” y el nivel de lámina baja a 145 metros para crear una condición favorable para eliminar el sedimento con el flujo de agua aliviado con un gran descarga. Cuando el caudal entrante excede este valor, el agua se almacena en la presa y el caudal de agua saliente se ajusta de acuerdo a un programa predeterminado con vistas a mantener los posibles daños de la inundaciones en la zona aguas abajo a un mínimo. Al almacenar el agua clara y liberar el agua turbia, tenemos menos depósitos de sedimentos en el embalse, mientras que la presa es todavía capaz de almacenar suficiente agua para la generación de energía en la estación de caudal bajo.

Bajar la lámina de la presa hasta 145 m durante la temporada de inundaciones, consigue que en la mayoría de años el límite superior de deposición esté por debajo de la curva de remanso con su extremo inferior en la LCF (145 m), tal como se muestra en la figura 7. Durante la temporada de bajo caudal, el río lleva pocos sedimentos, pero todavía transporta el 39 % del caudal anual. El agua se almacena en el embalse para la generación de energía y la navegación. La cantidad

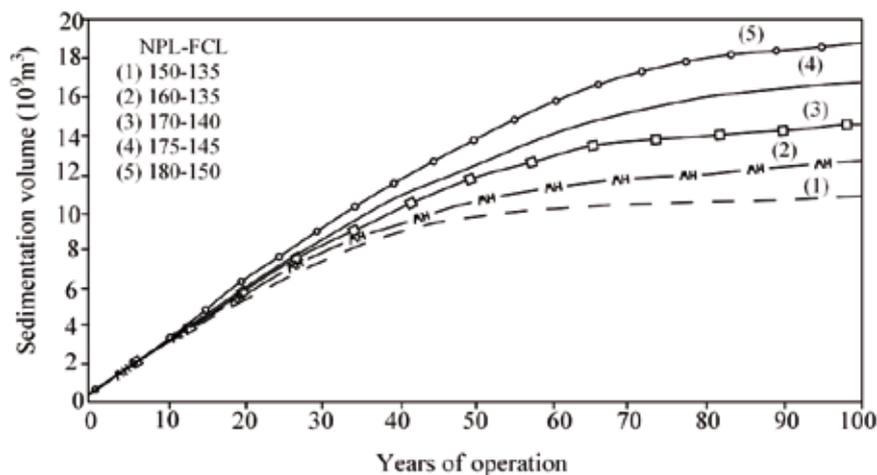


Fig. 8. Sedimentación acumulada en el depósito en el tramo de 0-100 años de funcionamiento del embalse para varios esquemas de nivel operativo de la presa (Panel de sedimentación para TGP, 2002)

de agua necesaria para llenar el embalse a su nivel normal de lámina de agua es inferior a 22 millones de m³, que es sólo una pequeña parte de la escorrentía en la temporada de flujo bajo. Eventualmente, se formará un nuevo canal aluvial en el embalse, como se muestra en la figura 7. La porción de la capacidad original para regulación de inundaciones dependerá, entre otras cosas, de la morfología del embalse. El embalse se parece a una cinta visto en planta. La presa de 700 km de largo es muy uniforme en anchura y tiene en su mayor parte menos de 1.000 m de ancho. Un gran porcentaje tanto del control de las inundaciones como de la capacidad de regulación en la temporada de caudal bajo pueden mantenerse durante mucho tiempo.

El proceso de sedimentación del embalse TGP ha sido simulado mediante el uso de modelos numéricos unidimensionales. Los datos hidrológicos de 1954, 1955 y 1961-70 se utilizaron para simular 106 años del proceso de sedimentación. Como el período de recurrencia de la inundación de 1954 es de aproximadamente 40 años, el registro de 1954 se introdujo en la serie hidrológica de una manera tal que aparece tres veces en 106 años. Para la simulación de los años de inundación, la presa es gestionada para almacenar el agua de inundación y mitigar las pérdidas por inundaciones en los tramos aguas abajo.

La figura 8 muestra la acumulación de sedimentos en el embalse de 0 a 100 años para diversos esquemas calculados por la Comisión de Conservación del Río Yangtze, en la que 160-135 significa que el nivel de la lámina normal es de 160 m, y en el caso de control de inundación la lámina es de 135 m. La curva 4 es la que se aplica para el esquema con NPL =

175 m y FCL = 145 m. Después de 80 años de operación, la cantidad de sedimentación acumulada se mantiene en equilibrio y aumenta muy lentamente. La sedimentación total en 100 años es de unos 16 mil millones de m³.

Wang y Hu (2010) calcularon la eficiencia de la liberación de sedimentos, E, para diferentes estrategias de gestión de sedimentación de la presa, en el que la eficiencia de la liberación de sedimentos se define como:

$$(1) E = \frac{\text{volumen de sedimento liberado}}{\text{volumen de sedimento entrante}}$$

La eficiencia del sedimento liberado es: 30 %-100 % para almacenar el agua clara y liberando el agua turbia, aumentando con el tiempo de operación; 6 %-36 % para la liberación de corriente de turbidez; 2 %-100 %, en general, pero sobre todo menos de 50 % para caudal a presión y 2.400 %-5.500 % para el vaciar la presa. El vaciado total tiene la mayor eficiencia en la liberación de sedimentos, pero el vaciado puede causar muchos daños ecológicos en los tramos aguas abajo. Los sedimentos en suspensión absorben los contaminantes del agua que fluyen en los ríos y los deposita en el embalse. Un estudio mostró que la concentración de metales pesados (Cr, Cd, Hg, Cu, Fe, Zn, Pb y As) era más alta en el sedimento y más baja en el agua. Invertebrados bentónicos tenían mayores concentraciones de metales pesados en sus tejidos debido a su proximidad a los sedimentos y los peces tenían menores concentraciones de metales pesados (Yi et al., 2008). El vaciado total podría liberar a los contaminantes de los se-

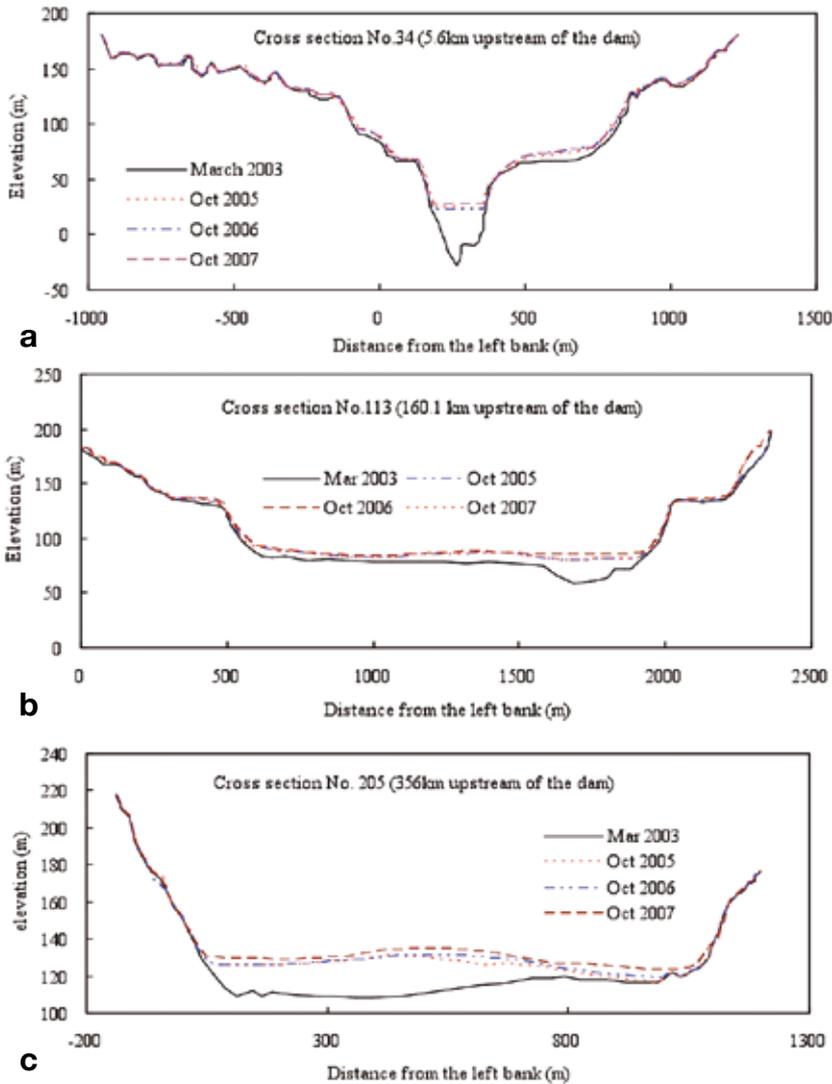


Fig. 9. Secciones transversales en el embalse de las Tres Gargantas en 2003, 2005, 2006 y 2007, a 5,6 km (a), a 160 km (b) y 356 kilómetros (c) de la presa, respectivamente (MWR, 2008)

dimentos y aumentar drásticamente la concentración de contaminantes en el agua. En conclusión, soltar agua a baja densidad de corriente o con flujo a presión tiene una baja eficiencia para liberar sedimentos; el vaciado total puede causar una gran perturbación en el sistema ecológico, por ello la estrategia de almacenar el agua clara y soltar el agua turbia es la mejor estrategia de gestión de la sedimentación.

Con el fin de reducir la tasa de sedimentación en el embalse y desarrollar la energía hidroeléctrica del río, se están construyendo las presas de Xiangjiaba y Xiluodu. La presa Xiangjiaba se encuentra 1.020 kilómetros aguas arriba de la presa de TGP con una capacidad de 5.060 billones de m³. La presa puede

retener sedimentos durante 60 años antes de que alcance el equilibrio. La presa Xiluodu se encuentra 1.180 kilómetros aguas arriba de la presa TGP con una capacidad total de 11570 billones de m³. Esta presa puede retener sedimentos durante 90 años antes de que alcance el equilibrio. Por lo tanto, la tasa de sedimentación de la presa TGP se puede reducir en los primeros 90 años.

En realidad, el embalse de las Tres Gargantas comenzó a llenarse en junio de 2003. En los primeros diez años de funcionamiento del nivel de la lámina de agua se levantó gradualmente después de la terminación de la presa en los intervalos de 135-141 a 145-156 y 145-175 m. Más del 30 % de la carga

de sedimentos entrante se desvía fuera de la presa durante la temporada de inundaciones. La figura 9 (a)-(c) muestra las secciones transversales medidas en el embalse en 2003, 2005, 2006 y 2007, a 5,6 km, a 160 km y 356 km de la presa, respectivamente (MWR, 2007, 2008). Los sedimentos se acumularon en el embalse rápidamente en los dos primeros años (2003-2005) después del inicio de llenado, pero a partir de 2005 a 2007, la cantidad de sedimentación en el embalse se mantuvo relativamente constante.

Una inundación con un caudal máximo de 70.000 m³/s se produjo en 2010, más grande que la inundación en 1998. El embalse fue gestionado para almacenar agua de la inundación. A tal efecto se dejó ir un caudal de agua entre 40.000-45.000 m³/s. Como resultado se mantuvieron los niveles de agua en las estaciones locales en los tramos aguas abajo, bastante por debajo de las fases de alerta de inundaciones. La inundación fue controlada con éxito por la presa y la pérdida de caudal se redujo al mínimo. Aunque el nivel de la lámina era alto durante la estación de las lluvias y los caudales de alta intensidad puntual se almacenaron en el embalse, la pérdida de la capacidad del embalse fue pequeña.

En comparación con el volumen de sedimentación calculado, el volumen de sedimentación medido en los primeros 8 años era menos del 40 % de los resultados simulados. La razón principal fue una gran reducción en la carga de sedimentos entrantes en la presa, debido al sedimento retenido en la presa Xiangjiaba así como en otras numerosas presas de los afluentes de la cuenca hidrográfica (Liu et al., 2008). De hecho, la cantidad de la carga de sedimentos era solo el 40 % de la de 1960. Por otra parte, se extrajeron cada año unos 30 millones de toneladas de arena y grava para su uso como materiales de construcción en la última década, lo que ha reducido la sedimentación en el embalse.

2) La sedimentación en la Región de remansos fluctuantes

La región de remansos fluctuantes es la zona del río con un nivel de inundación entre la LCF y la NPL como se muestra en la figura 7. El centro industrial de Chongqing se encuentra en la región de remanso fluctuante, en la confluencia con el río Jialing, un importante afluente del río Yangtze. Hay un puerto fluvial en Chaotianmen y un puerto de mercancías en Jiulongpo en Chongqing. La terminal marítima de Chongqing-Chaotianmen está a 602 kilómetros de la presa, y cualquier pequeño error en el cálculo del gradiente hidráulico se traducirá en diferencias considerables en las elevaciones del nivel del río.



Fig. 10 La sedimentación en la zona de Chongqing después de 80 años de funcionamiento del embalse de las Tres Gargantas (resultados de los modelos experimentales físicos). Las áreas sombreadas indican los lugares donde se produciría la sedimentación acumulada. G2 - G130 representan las secciones transversales medidas (según Wang et al, 1990)

Dos grandes problemas se abordaron en el estudio de la sedimentación en la zona de remanso fluctuante, a saber: 1) si la sedimentación dejaría un canal adecuado para la navegación de remolcadores de 10.000 toneladas; y 2) si las áreas alrededor de los muelles de las terminales de transporte en el Chongqing podrían quedar libres de depósitos perjudiciales para las operaciones de navegación.

Con respecto al primer problema, los estudios se llevaron a cabo con modelos físicos. Cinco secciones eran críticas para la influencia de la sedimentación en la navegación. Nueve modelos físicos se construyeron y se llevaron a cabo experimentos con modelos a escala. Los resultados muestran que durante el período normal de nivel de la lámina, el canal de 660 km de largo navegación desde Yichang a Chongqing había mejorado mucho. Para todos los esquemas investigados el requisito mínimo de un canal de 3,5 m de profundidad, 100 m de ancho y con un radio de curvatura de 1.000 m para el paso de remolcadores de 10.000 toneladas se cumplía de forma general. En mayo y junio podían ocurrir problemas de navegación en algunas secciones amplias y poco profundas cuando el nivel del agua ha bajado y los sedimentos depositados en el canal aún no han sido arrastrados.

El problema de la sedimentación alrededor de la terminal marítima es el problema principal. Esta sedimentación varía con la selección de los niveles de la lámina de agua para el proyecto y también con el programa de funcionamiento del

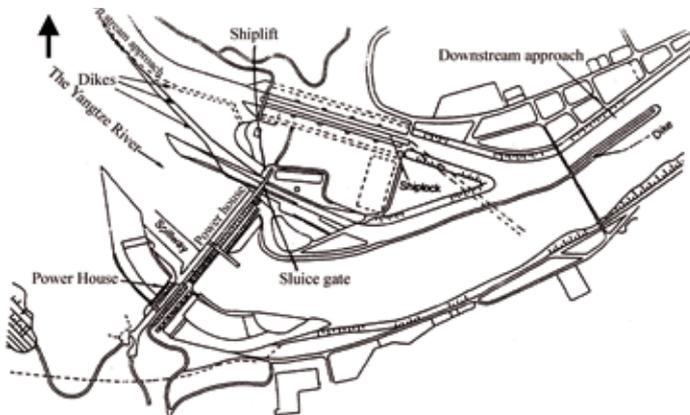


Fig. 11. Disposición de los canales superior e inferior de aproximación, el elevador y la compuerta

embalse. Los sedimentos se depositan en la plataforma de entrada al Puerto de Jiulongpo (Fig. 10), que es el mayor puerto de carga en el suroeste de China, e incluso puede resultar en el cambio del canal de izquierda a derecha después de 80 años de operación de la presa. El puerto de Chaotianmen es el puerto más grande de pasajeros en Chongqing (Fig. 10). Los estudios demostraron que estos problemas pueden ser resueltos mediante la construcción de diques rectos y escolleras para regular el flujo. La prueba demostró que los diques y escolleras podían estrechar el canal y concentrar el flujo, de modo que la velocidad del flujo en el canal de navegación y la zona del puerto podía ser mejorada para evitar que los sedimentos se depositaran.

3) La sedimentación en las inmediaciones de la presa
La disposición de los canales de acceso tiene que adaptarse a un flujo que cambia lentamente durante el período de sedimentación de la presa. Debido al elevado depósito de sedimentos en los diferentes estudios realizados, los métodos para limpiar las entradas son cuestiones importantes en la selección de los diseños de aproximación. La esclusa aguas abajo está en el margen izquierdo, y está protegida por un dique de 3.550 metros de largo a la derecha (Fig. 11). Para la zona de aguas arriba, sin embargo, tanto los remolcadores grandes que utilizan la esclusa como los barcos más pequeños que usan elevador comparten el mismo canal de acceso de modo que debe asegurarse la navegación para todos los barcos.

Debido a que el embalse tiene 700 km de largo, deberá pasar un largo período de tiempo antes de que se depositen en las inmediaciones de la presa cantidades significativas. A partir

de entonces, la sedimentación empezaría a ser el factor dominante de la morfología del canal del río en las inmediaciones de la presa, lo que afecta a los depósitos en los canales de aproximación y el depósito de sedimentos en y alrededor de ellos. Un gran esfuerzo se ha dedicado a la estimación de los depósitos en la zona. Se han aplicado los modelos físicos y matemáticos.

Los ensayos con modelos han demostrado que cuando la deposición de los incrementos aumenta, sobre todo cuando crece el banco de arena situado a la derecha del canal de aproximación aguas arriba, la corriente principal del río frente a la presa puede ser trasladada de forma gradual hacia la izquierda casi 290 m. Esto significa que la ubicación óptima de la entrada del canal de aproximación también cambiaría gradualmente a medida que aumentan los depósitos en la presa. La ubicación óptima de la entrada del canal de acceso es, por lo tanto, un asunto bastante importante. Teóricamente, una ubicación de la entrada al canal de acceso no puede adaptarse a las corrientes cambiantes y es por eso que se prevé la necesidad de reconstruir la entrada del canal de acceso más adelante en una determinada fase de la operación. Como se ha indicado anteriormente, este es un problema único derivado de la navegación en un canal moldeado en un embalse profundo y estrecho por la sedimentación.

La deposición no deseada en los canales de acceso podría ser limpiada por un flujo rápido, complementado por el dragado. En cuanto a la posible obstaculización de la navegación por el depósito, el momento crítico para el canal de acceso aguas arriba es la temporada de inundaciones, mientras que para el canal de acceso aguas abajo es la estación seca.

En cuanto al canal de acceso aguas abajo, el nivel de agua a la salida durante la temporada de inundaciones oscila desde 66,8 hasta 73,7 m, dependiendo de la gestión de la presa de Gezhouba, que está 38 km aguas abajo de la presa de las Tres Gargantas, con una altura del lecho de 56,5 m. Según la investigación, una parte de los sedimentos lavados del canal de acceso aguas arriba se depositaría en el canal de acceso aguas abajo, pero no tendría influencia en la profundidad mínima de 4 m necesaria para la navegación. Al final de la temporada de inundaciones, el nivel del agua puede reducirse a unos 63 m gestionando la presa de Gezhouba. En virtud de este bajo nivel de agua a la salida, la deposición en las principales partes del canal de acceso aguas abajo puede lavarse con el mismo flujo de agua disponible para el lavado del canal de acceso aguas arriba. El dragado se



Fig. 12. (a) Nuevo pueblo construido en la ladera superior a 185 m alrededor de la presa para el reasentamiento de las personas de la zona sumergida, (b) Ayuntamiento de nueva construcción en Kaixian (la ciudad vieja de Kaixian ha sido inundada por las aguas del embalse)

aplicaría entonces para limpiar el depósito remanente. El dragado también es necesario en una parte del río aguas debajo de las esclusas.

4) La degradación de los tramos aguas abajo

En los tramos aguas abajo de las presas de las Tres Gargantas y Gezhouba, el agua clara liberada socavaría el lecho del río. El caudal medio mensual liberado desde el embalse de las Tres Gargantas hacia los tramos aguas abajo es superior al de antes de la presa de enero a mayo, pero es inferior de octubre a noviembre. En la temporada de inundaciones de julio a septiembre permanecerá sin cambios. En términos generales, la capacidad de transporte de sedimentos del flujo no cambia en los tramos aguas abajo. La figura 8 muestra el proceso de variación de la carga anual de sedimentos liberados desde el presa aguas abajo en comparación con la carga de sedimentos anual en Yichang en condiciones naturales (recuperación del registro en el periodo de 1961 a 1970). La carga de sedimentos de los tramos aguas abajo se reduce en gran medida por el embalse en los primeros 50 años. La reducción de la carga debe causar la degradación de los tramos aguas abajo.

Dos modelos numéricos 1-D, IWHR y YVPO, se utilizaron para calcular la cantidad de sedimento barrido desde el lecho del río en el tramo de Yichang a Wuhan. En los primeros 40 años los dos modelos dan los mismos resultados, unos 2,5 billones de toneladas al final del año 20 y 4 billones de toneladas al final de los 40 años. Desde el año 50, sin embargo, los dos modelos dan resultados diferentes. El modelo YVPO predice la

resedimentación del lecho del río a partir de los 50 años, pero el modelo IWHR la predice desde el año 70. La diferencia en el volumen erosionado en el período del año 70-100 de operación es de aproximadamente 1,2 billones de toneladas. El nivel de inundación se reducirá en 3 m en Shashi y en 0,75 m en Wuhan para una inundación de una descarga de 30.000 m³/s.

4. Reasentamiento e impactos ambientales

1) El reasentamiento

Un total de alrededor de 1,2 millones de personas en 19 condados tuvieron que ser desplazadas. Las zonas inundadas incluyeron 23.793 hectáreas de tierras agrícolas (arrozales: 7.380 ha, y tierras de secano: 16.314 ha), y 4.960 hectáreas de plantaciones de cítricos. Por otra parte, 956 kilómetros de carreteras y 941 fábricas y minas fueron inundadas también. Once ciudades y 107 pueblos se han trasladado a nuevos lugares. El reasentamiento de las personas en la zona sumergida se inició a partir de 1989. La política básica era la de reubicar a la mayoría de estas personas en las áreas circundantes. Las áreas sumergidas así como sus alrededores estaban densamente pobladas y poco desarrolladas. En las áreas a desplazar el Producto Interior Bruto (PIB) per cápita es de solo el 45 % de la media nacional y la renta per cápita es de solo el 53 % de la media nacional. Hay un gran margen para el desarrollo de la industria local y la industria del turismo. Más de 80.000 embalses han sido construidos en China y 10 millones de personas han sido desplazadas. El gobierno está llevando a cabo una política de desarrollo del reasentamiento. El punto básico es pasar de una compensación puntual para los colonos a llegar a acuerdos generales

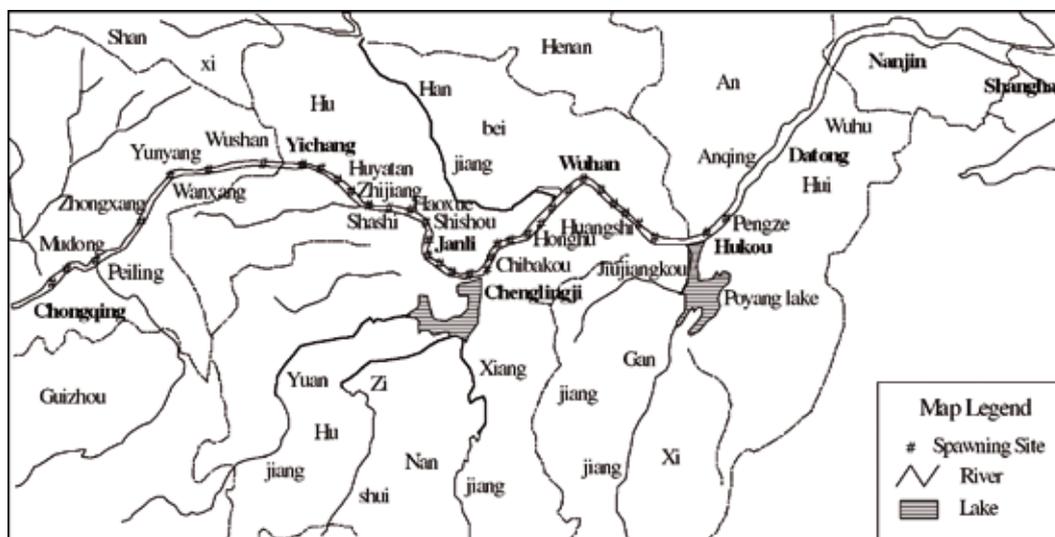


Fig. 13. Sitios de desove de las cuatro principales especies de carpas chinas en el río Yangtze

para permitir mejorar su producción y sus condiciones de vida a largo plazo.

Hay alrededor de 2,7 millones de hectáreas de tierras estériles en el territorio de los 19 municipios, de las que solo el 1 %, alrededor de 27.000 hectáreas, pueden ser cultivadas y utilizadas (Chen y Zhou, 1987). Los experimentos en la zona del embalse indican que las pendientes de tierra estéril pueden ser transformadas en huertos de cítricos en terrazas, lo que permite producir un valor añadido tres veces superior al de las tierras originales. Por lo tanto, el entorno es capaz de acoger a la mayoría de los agricultores reasentados. Por otra parte, el embalse tiene una superficie de agua de 67.000 hectáreas para regadíos, que es un recurso de alta producción.

También se alienta a las personas reasentadas para establecerse en otras provincias de su elección. El Consejo de Estado ha tomado la decisión de que todos los gobiernos provinciales deberían prestar asistencia para la emigración y el reasentamiento. Un número de provincias y municipios económicamente desarrollados han hecho acuerdos con los condados en el área del embalse para ayudar al reasentamiento. Muchas personas se han realojado en los tramos inferiores del río Yangtze, la isla de Chongming en la desembocadura del río, la Región Autónoma Uygur de Xinjiang, Hainan, Heilongjiang y otras provincias.

La figura 12 (a) muestra las nuevas casas de la zona del embalse para las personas reasentadas y la figura 12 (b) muestra la nueva capital del condado de Kaixian. De la población total

desplazada, los habitantes de las ciudades representan alrededor del 54 %. Los empleados urbanos pueden continuar en los mismos puestos de trabajo. Se necesitan puestos de trabajo para cerca de 300.000 personas que se encontraban en las zonas rurales. Se reasignarán con antelación fondos de reasentamiento para ayudar a la construcción y la educación. Las pérdidas por la inundación serán compensadas mediante la asignación de un porcentaje de los ingresos que se deriven de la generación de energía después de que el proyecto haya arrojado beneficios económicos, que se utilizarán como fondos para el desarrollo económico de las zonas del embalse. El suministro de alimentos para las personas afectadas será garantizado y subvencionado para evitar posibles diferencias de precios entre las raciones del estado y los precios del mercado. Los impuestos serán reducidos o exentos, y las empresas podrán retener una parte mayor de sus ingresos en divisas. Los préstamos, que pueden ser pagados antes de impuestos, serán concedidos para facilitar el desarrollo económico de la zona del embalse.

2) Calidad del agua

La escorrentía anual en la presa es más de 400 billones de m³, y el total de aguas residuales vertidas en el embalse es de unos 1.000 millones de toneladas. A pesar de ello la calidad del agua del río, sigue siendo buena, a excepción de los cinturones de contaminación en las riberas cerca de las ciudades. Por lo general, después del llenado, la contaminación en el embalse empeoró en cierta medida debido a la menor velocidad de flujo y el nivel del agua superior. Por lo tanto es necesario controlar estrictamente la descarga de aguas residuales de

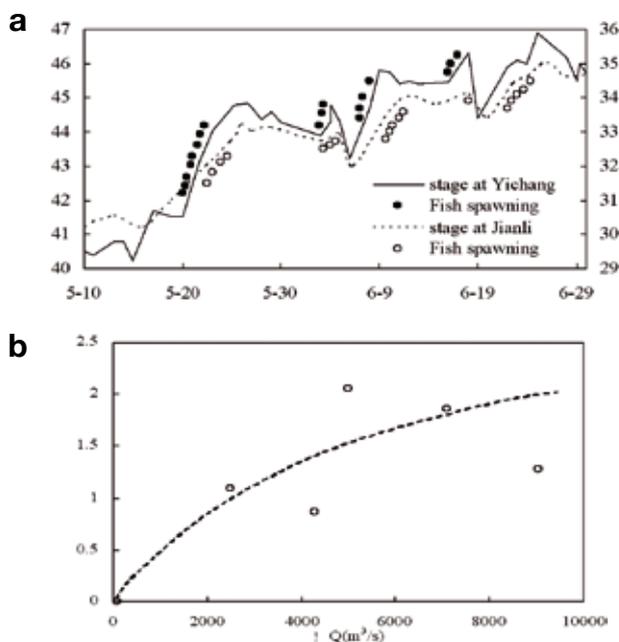


Fig. 14. (a) Variaciones de los niveles en Yichang y Jianli en condiciones naturales y el tiempo de desove de la carpa china, (b) relación entre el incremento de la descarga y el flujo de alevines (Cao et al, 1987)

las fábricas de los alrededores, las minas, pueblos y ciudades, y el tratamiento de las aguas residuales antes de su vertido al río. En una conferencia de prensa el 5 de junio de 2003, la Oficina de Protección del Medio Ambiente del Estado informó que el dique del embalse de TGP no afectará, obviamente, la calidad del agua. La calidad del agua en la presa sigue siendo todavía de Grado III según los estándares chinos de calidad del agua. Solo en algunos lugares, el contenido de bacilos es alto. Un proyecto de control de la contaminación se inició en 2002. Todas las aguas residuales y pluviales deberán ser tratadas después de la finalización del proyecto (Hydroweb China, 2003).

La estratificación térmica en el embalse comienza alrededor de abril y termina en mayo. El agua liberada de los desagües de fondo en este período es más fría que la de antes de la presa, lo que puede provocar un retraso de 20 días en ajustar la temperatura del agua del río al aumento de la temperatura de desove de 18° C. Por otro lado, el flujo regulado es beneficioso para el control de la fiebre del caracol. La zona aguas abajo de la presa, especialmente el lago Tongting y sus alrededores, han sufrido una enfermedad infecciosa conocida

como la fiebre del caracol en la cual la *Oncomelania* es el huésped durante bastante tiempo. Con el llenado del embalse, la fluctuación artificial de los niveles de agua hace que sea difícil para estos caracoles su reproducción. Además, la reducción de las inundaciones de los tramos medio e inferior del río hace que sea más fácil eliminar los caracoles en las áreas pantanosas.

3) Impactos ecológicos

Hay más de 300 especies de peces en el medio y bajo curso del río Yangtze, incluyendo el siluro y la carpa. Después del llenado, los peces de agua dulce que se desarrollaban en los rápidos tienen que moverse aguas arriba para encontrar nuevos hábitats. La superficie del agua ampliada del depósito crea mejores condiciones para la cría acuática en el río y sus afluentes. Las zonas de desove situadas en la sección de la presa están inundadas en parte o en su totalidad. Las piscifactorías han sido trasladadas al extremo superior del embalse, o incluso más lejos.

Hay cuatro especies de carpa en el río Yangtze que tienen la mayor importancia para la pesca de agua dulce. Son la carpa negra (*Mylopharyngodon piceus*), la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idellus*), la carpa plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*), y la carpa de gran cabeza (*Aristichthys nobilis*). La figura 13 muestra los 28 principales sitios de desove de las cuatro especies de carpa en el río Yangtze. Siete sitios de desove han sido inundados por el embalse y el resto se ven afectados por el flujo regulado. Las inundaciones y el aumento del nivel son las principales referencias de la especie para desovar (Yi y Liang, 1964).

La figura 14 (a) muestra las variaciones de los niveles en Yichang y Jianli y la época del desove de los peces, en la que los círculos negros representan el desove de los peces (Cao et al., 1987). La figura 14 (b) muestra la relación entre el incremento de descarga desde cero a diez días y el flujo de los alevines y se puede ver que el flujo de alevines se retrasa de 4-6 días después del aumento del flujo. Las cifras demuestran que el desove de los peces está influenciado por el nivel y el aumento del flujo. Cuanto mayor sea el aumento de la descarga, mayor será el flujo de alevines. El embalse TGP regula la escorrentía y, especialmente, modera el incremento del nivel y el aumento del caudal en mayo, lo que afecta al desove de los peces y reduce el flujo de alevines. Ahora el desove artificial y la piscifactoría han resuelto con éxito el problema. Los efectos del embalse en la pesca se han mitigado al mínimo.

4) Especies acuáticas en peligro de extinción

Hay varias especies importantes en el río, el esturión chino, el delfín *white-flag*, el cocodrilo del Yangtze, la salamandra gigante y la marsopa negra se encuentran entre ellas. El embalse tiene poco impacto en las condiciones de vida del cocodrilo Yangtze, la salamandra gigante, y la marsopa negra. El esturión chino suele nadar río arriba para desovar y luego regresar a sus lugares de origen. La presa de Gezhouba ha hecho imposible para los peces ir aguas arriba y abajo del río durante el período de desove. Pero el esturión ha desovado de forma natural aguas abajo de la presa. La reproducción inducida artificialmente de alevines también ha tenido éxito.

El delfín *white-flag* por lo general vive en meandros y secciones onduladas por debajo de la presa de TGP. Los estudios indican que la especie tiene sus mejores hábitats en los meandros porque se ha acostumbrado a las zonas de remanso creadas por los bancos de los meandros o los bancos de grava y arena en los canales laterales (Chen y Hua, 1987). La regulación del caudal por la presa y la erosión del lecho del río resultante del escaso flujo de sedimentos puede cambiar los procesos fluviales así como algunos meandros y canales del río que podrían ser inestables, lo que puede poner en peligro el hábitat de la especie. Se necesitan más estudios para la protección del delfín *white-flag*. **ROP**

Referencias

- American Society of Civil Engineers published the Guidelines for Retirement of Dams and Hydroelectric Facilities in 1997. (TCGRD, 1997).
- American Water Works Association, 1971. Quality control in reservoirs, *Journal of the American Water Works Association* 63, 597-604.
- Armitage, P.D. 1978. Downstream changes in the composition, number and biomass of bottom fauna in the Tess below Cow Green Reservoir and an unregulated tributary Maize Beck, in the first five years after impoundment, *Hydrobiologia*, 58, 145-156.
- Armitage, P.D. 1979. Stream regulation in great Britain. in *The Ecology of Regulated Streams*, Ward, J.V. and, J. A. eds. Stanford Plenum Press, New York: Pp. 165-182.
- Arumugam, P.T., and Furtado, J.I. 1980. Physico-chemistry, destratification and nutrient udet of a lowland eutrophicated Malaysian reservoir and its limnological implications, *Hydrobiologia*, 70, 11-24.
- Attwell, R.I. 1970. Some effects of Lake Kariba on the ecology of a floodplain of the Mid-Zambezi Valley of Rhodesia. *Biological Conservation*, 2(3), 189-196.
- Banks, J.W. Holden, M. J., and McConnell, R.H. 1965. Fishery report. in *The First Scientific Report of the Kainji Biological Research Team*, WhiteE., ed. Unpublished report of the Ministry of Overseas Development, London: Pp. 21-42.
- Beiningen, K.T. and Ebel, W.J. 1970. Effect of John Day Dam on discharged nitrogen concentrations and salmon in the Columbia River, *Transaction of the American Fisheries Society*, 4, 664-671.
- Bell, H.S. 1947. The effect of entrance mixing on the size of density currents in Shaver Lake, *Trans actions., American. Geophysical, Union*, 28(5), 780-791.
- Blake, R.F. 1977. The effect of the impoundment of Lake Kainji, Nigeria, on the indigenous species of mormyrid fishes. *Freshwater Biology*, 7(1), 37-42.
- Briggs, J.C. 1948. The quantitative effects of a dam upon the bottom fauna of a small California stream. *Transactions of the American Fisheries Society*, 78, 70-81.
- Brooks, A.J. and Woodward, W.B. 1956. Some observations on the effects of water inflow and outflow on the plankton of small lakes. *Journal of Animal Ecology*, 25, 22-25.
- Brooks, N.H. and Koh, R.C.Y. 1969. Selective withdrawal from density stratified reservoirs. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 95, (HY4), 1369-1400.
- Cao, Wenxuan, et al., 1987. Impacts of the Three Gorge Project on Aquatic Ecosystems along the Changjiang River and Possible Countermeasures, in *Environment and Ecology Panel of Chinese Academy of Sciences for the TGP Project* (eds.), Impacts of the Yangtze River Three Gorges Project on Environment and Ecology, Chinese Science Press.
- Chad, B.F. 1995. Anthropological Impact on global heodymanics fue to teservoir eater impoundment,
- Chen Hongzhao and Zhou Huizhen, 1987. Effects of the Three Gorge Project on the land resources in the reservoir area and possible countermeasures, in *Environment and Ecology Panel of Chinese Academy of Sciences for the TGP Project* (eds.), Impacts of the Yangtze River Three Gorges Project on Environment and Ecology, Chinese Science Press (in Chinese).

Chen, Peixun and Hua, Yuanyu, 1987. Impacts of the Three Gorge Project on white-flag dolphin and species Protection, Chinese Science Press, Vol., 31-34.

Chinese Hydro-Web, 2003. <http://www.Chinawater.com>, on March 2, 2003.

Churchill, M.A. and Nicholas, W.R. 1967, Effects of impoundments on water quality. *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*. 93, (SA6), 73-90.

Décamps, H., Capblancq, J., Casanova, H., and Tourenq, J.M. 1979. Hydrobiology of some regulated rivers in the South-West of France. in *The Ecology of Regulated Streams* Ward, J. V. and Stanford J. A. eds. Plenu, Press, New York, USA: Pp. 273-288.

Derby, R.L. 1956. Chlorination of deep reservoirs for taste and odor control. *Journal of the American Water Works Association*, 48(7), 775-780.

Devine, R.S. 1995. The Trouble With Dams, *Atlantic Monthly*, August 1995.

Dominy, C.L. 1973. Recent changes in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in the light of environmental changes in the Saint John River, New Brunswick, Canada. *Biological Conservation*, 5(2), 105-113.

Dudley, R.G. 1974. Growth of Tilapia of the Kafue floodplain, Zambezi: Predicted effects of the Kafue Gorge Dam. *Transactions of the American Fisheries Society*, 103, 281-291.

Dynesius, M. and Nilsson, C., 1994. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world, *Science*, Vol. 266, 4 November 1994.

Edwards, R.J. 1978. The effect of hypolimnion releases on fish distribution and species diversity. *Transactions of the American Fisheries Society*, 107, 71-77.

Elder, R.A. and Wunderlich, W.O. 1968. Evaluation of Fontana Reservoir field measurements. in *Proceedings of the Specialty Conference on Current Research into the Effects of Reservoirs on Water Quality* Elder, R. A. Krenkel, P. A. Thackston, E. L., eds, Technical Report 17, Department of Environment and Water Resources Engineering, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee: Pp. 221-286.

El-Zarka, and El-Din, S. 1973. Kainji Lake, Nigeria. in *Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects* Ackermann, W. C. White, G. F. Worthington, E. R., eds. Geophysical Monograph 17, American Geophysical Union, Washington, DC, Pp. 197-219

Fan J. and Morris G. L., 1992 a, Reservoir sedimentation I: Delta and density current deposits, *J. of Hydraulic Engineering*, Vol. 118, No.3, pp.354-369.

Fan J. and Morris G. L., 1992 b, Reservoir sedimentation II: Reservoir desiltation and long-term storage capacity, *J. of Hydraulic Engineering*, Vol. 118, No.3, pp.370-384.

Fan, Jiahua et al. 1959. Experimental Study on Density Current. *Chinese Journal of Hydraulic Engineering*, 1959, Vol. 5, pp. 30-48

Fan, Jiahua, 1985. The reservoir sediment problem. *Journal of Hydraulic Engineering*, 24-31. (in Chinese)

Fell, R., Bowles, D.S., Anderson, L.R., and Bell, G., 2000. The status of methods for estimation of the probability of failure of dams for use in quantitative risk assessment. *Proc. International Commission on Large Dams 20th Congress*, Beijing, China.

Ford, M.E. 1963. Air injection for control of reservoir limnology. *Journal of the American Water Works Association*, 55, 267-274.

Foroods. and Ghafouiri, M. 2007. Assessment of causes and effects of disastrous erosion and sediment flows and mitigation measures in Caspian Sea Watersheds-Iran, *Proceedings of UNESCO Expert Meeting on Erosion in Arid and Semi-Arid Areas*, Chalooz, Iran.

Fraser, J.C. 1972. Regulated discharge and the stream environment, in *River Ecology and Man* Oglesby, R. T. Carlson, C. A., and McCann, J. A. eds., Academic Press, New York: Pp. 26-85.

Fruh, E.G. and Clay, H.M. 1973. Selective withdrawal as a water quality management tool for southwestern impoundments. in *Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects* Ackermann, W. C. white, G. F. and Worthington, E. R. Geophysical Monograph 17, American Geophysical Union, Washington, DC, Pp.335-341.

Furness, H.D. 1978. Ecological Studies on the Pongola River Floodplain. Working Document IV, Workshop on Man and the Pongolo Floodplain. C. I. S. R., Pietermaritzburg, South Africa, No. 14/106/7C.*

Ganapati, S.V. 1973. Man-made lakes in South India. in *Man-made Lakes: Their Problems and Environmental Effects* Ackermann, W. C. white, G. F. and Worthington, E. B. eds., Geophysical Monograph 17, American Geophysical Union, Washington, DC, Pp: 65-73.

Garcia M.H., 1994, Depositional turbidity currents laden with poorly sorted sediment, *J. of Hydraulic Engineering*, Vol. 120, pp.1240-1263.

Garton, J.E., Rice, C.E., and Steichen, J.M. 1976. Modification of reservoir water quality by artificial destratification. *Annals of the Oklahoma Academy of Science*, 5, 47-56.

Geng, M., Sun, D., and Ji, H. 2007. Research on the key techniques of sedimentation discharging in Xiaolangdi reservoir, Submitted to *International Journal of Sediment Research*.

Gibbs, R. 1970. Mechanisms controlling world water chemistry, *Science*, 170, 1088-1090.

Gill, D. 1971. Damming the Mackenzie: A theoretical assessment of the long-term influence of river impoundment on the ecology of the Mackenzie River Delta, in *Proceedings of the Peace-Athabaska Delta Symposium*, Water Resources Centre, University of Alberta, Edmonton, Alberta: Canada, Pp. 204-222

Gore, J.A., 1978. A technique for predicting in-stream flow requirements of benthic macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, 8, 141-151.

Gore, J.A. 1980. Ordinal analysis of benthic communities upstream and downstream of a prairie storage reservoir, *Hydrobiologia*, 69, 33-44.

Guo Zhigang, Zhou Bin, Ling Laiwen and Li Degong. 1985. The hyperconcentrated flow and its related problems in operation at Hengshan Reservoir, *Proc. Intern. Workshop on Flow at Hyperconcentrations of Sediment*: 3-1.

Hannan, H.H. 1979. Chemical modifications in reservoir-regulated streams, in *The Ecology of Regulated Streams* (Ward, J. V. and Stanford, J.A., eds). Plenum Press, New York, USA: Pp.75-79.

Hannan, H.H. and Broz, L. 1976. The influence of deep-storage and an underground reservoir on the physico-chemical limnology of a permanent central Texan river. *Hydrobiologia*, 51, 43-63.

He Xiaoyan, Wang Zhaoyin, and Huang Jinchi 2007. An analysis on the temporal and spatial distributions of dam failures in China. Submitted to *International Journal of Sediment Research*.

Heath, W.A., 1961. Compressed air revives polluted Swedish lakes. *Water and Sewage Works*, 108, 200.

Henricson, J., and Muller, K. 1979. Stream regulation in Sweden with some examples from Central Europe. in *The Ecology of Regulated Streams*, Ward, J. V. and Stanford, J. A. eds. Plenum Press, New York, USA, Pp. 183-200

Hergenrader, G.L. 1980. Eutrophication at the Salt Valley Reservoir, 1968-1973, 1: The effects of eutrophication of standing crop and composition of phytoplankton. *Hydrobiologia*, 71, 71-82.

Hill, P., Bowles, D., Jordan, P., and Nathan, R., 2003. Estimating overall risk of dam failure: Practical considerations in combining failure probabilities, *ANCOLD 2003 Risk Workshop*, pp.1-10.

Hilsenhoff, W.L. 1971. Changes in the downstream insect and amphipod fauna caused by an impoundment with a hypolimnion drain. *Annals of the Entomological Society of American*, 64, 743-746.

Hou Suzhen and Jiao Enze, 2003, Analysis on turbidity currents in the Xiaolangdi Reservoir, *Water Resources and Hydropower Engineering*, Vol.34, No. 6, pp.11-14 (in Chinese).

<http://www.irn.org/revival/decom/brochure/rppt2.html>, 2007

Hynes, H.B.N. 1955. Distribution of some freshwater Amphipoda in Britain. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 12, 620-628.

Hynes, H.B.N. 1970. *The Ecology of Running Waters*, Liverpool University Press, Liverpool, England, UK.

Ingols, R.S. 1959. Effect of impoundment on downstream water quality, Catawba River, S.C. *Journal of the American Water Works Association*, 51, 42-46.

International Commission on Large Dams, (ICOLD), 1988. *World Register of Dams*, Annual Report, Paris, pp. 9, 21, 62, 109.

International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation, (IRTCES,) 1985. *Lecture notes of the training course on reservoir sedimentation*, Series of publication, Beijing, China.

International Water Power, 1995. *Dam Construction Handbook 1995*, IWPDC, Sutton, UK, 1995.

Irwin, W.H., Symons, J.M., and Robeck, G.G. 1966. Impoundment destratification by mechanical pumping. *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, 92(6), 21-40.

- Jackson, P.B.N., and Rogers, K.H. 1976. Cabora Basin fish populations before and during the first filling phase, *Zoologica Africana*, 11(2), 373-397.
- Jacobs W., Van Kesteren W. G. M. and Winterwerp J. C., 2007, Permeability and consolidation of sediment mixtures as function of sand content and clay mineralogy, *International Journal of Sediment Research*, No.3, pp.180-187.
- Jia, Jinsheng, Yuan, Yulan, and Li, Tiejie, 2004. China's and world's large dams in 2003, *China Water Resources*, No. 13, pp. 25-33.
- Jiao Enze, Miao Fengju, Lin Xiuzhi, 2008, Water and sediment management with reservoirs, Yellow River Press, pp1-230 (in Chinese).
- Kinawy, I.Z. Wafa, T.A. Labib, A.H. and Shenouda, W.E. 1973. Effects of sedimentation in the High Aswan Dam Reservoir, in *Transactions of the Eleventh International Congress of Large Dams*, Madrid, Spain, Vol. 1. International Commission on Large Dams, Paris, France: Pp. 878-898
- Kron, W. 2005. Flood risk = hazard•values•vulnerability, *Water International*, 30, (1), 58-68.
- Lehmann, C., 1927. Über den Einfluss der Talspeuen auf die unterhalb liegende Bachand Flussfischerei, *Zeitschrift für fischerei und deren Hilfswissenschaften*, 25, 467-476. (in German)
- Lehmkuhl, D.M. 1972. Change in thermal regime as a cause of reduction of benthic fauna downstream of a reservoir, *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 29, 1329-1332.
- Lelek, A., and El-Zarka, S. 1973. Ecological comparison of the pre-impoundment and post-impoundment fish fauna of the River Niger and Kainji Lake, Nigeria. in *Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects*, Ackermann, W. C. White, G. F. Worthington E.B., eds, Geophysical Monograph 17, American Geophysical Union, Washington, Pp. 655-690
- Lillehammer, A., and Saltveit, S.J. 1979. Stream regulation in Norway, in *The Ecology of Regulated Streams*, Ward, J. V. and Stanford J. A., eds, Plenum Press, New York: Pp. 201-214
- Liu Cheng, Sui Jueyi and Wang Zhaoyin, 2008, Sediment load reduction in Chinese rivers, *International Journal of Sediment Research*, No.1, pp.44-55.
- Lkwis, D.S.C., 1974. The effects of the formation of Lake Kainji (Nigeria) upon the indigenous fish population. *Hydrobiologia*, 45(2-3), 281-301.
- Lou, W.C., 1981. Mathematical modeling of earth dam breaches, Unpublished Ph.D.Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, CO.
- Lowe, J. and Fox, I. 1995. Sediment management schemes for Tarbela Reservoir , USCOLD Annual Meeting 1995,
- Lu, Minxun, 1981. A preliminary investigation on the fluvial processes of the changing backwater effect reach of Han River in Danjiangkou Reservoir. Yangtze River Water Conservancy and Hydroelectric Power Res.Inst., 29 pp. (in Chinese).
- Luo, Chengzheng and Luo, Jiexiang, 1996. Major Flood Disasters in China, China Bookstore (in Chinese).
- McClure, R.G. and Stewart, K.W. 1976. Life cycle and production of the mayfly *Choroterpes* (*Neochoroterpes*) *mexicanus* Allen (Ephemeroptera: Leptophlebiidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 69, 134-144.
- McCully, 1999. *Silenced Rivers-The Ecology and Politics of Large Dam*, Zed Books, London.
- Melching, C.S., 2006. Dam removal in the United States, Lecture notes for Ph. D. Students, Tsinghua University. Beijing.
- Minckley, W. L., 1964. Upstream movements of *Gammarus* in Doe Run, Kentucky. *Ecology*, 45, 185-197.
- Minckley, W. L. and Deacon, J. C. 1968. Southwestern fishes and the enigma of 'endangered species', *Science*, 159, 1424-1432.
- Ministry of Water Resources of China, 1999. 1998 floods in China, Water and Hydropower Press (in Chinese).
- Morris G..L. Annandale G.. and Hotchkiss R., 2008, Reservoir Sedimentation, in Garcia M.H. ed. *Sedimentation Engineering*, Published by American Society of Civil Engineering.
- Morris, G. L. and Fan, J.H. 1998. *Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use*. McGraw-Hill, New York.
- Motwani, N.P. and Kanwai, Y., 1970. Fish and fisheries of the coffer-dammed right channel of the River Niger at Kainji. in *Kainji Lake Studies, 1: (Ecology)* Visser, S.A., ed. University of Ibadan press Ibadan, Nigeria. Pp. 24-48.
- Mullan, J.W., Starostka, V.J., Stone, J.L., Wiley, R.W., and Wiltzius, W.J., 1976. in *Instream Flow Needs*, Vol. II, Orsborn, J. F. and Allman, c. H. eds. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA Pp: 405-423

MWR (Ministry of Water Resources of China), 2007, China Gazette of River Sedimentation 2006. China Water Resources Press (in Chinese).

MWR (Ministry of Water Resources of China), 2008, China Gazette of River Sedimentation 2007. China Water Resources Press (in Chinese).

Odum, E. P. 1969. the strategy of ecosystem development. *Science*, 164, 262-270.

Okadaand, Baba, K 1982. Sedimentation and slope stability. Technical and environmental effects. General Report, Q.54, Trans.14th ICOLD, Vol.3, Pp: 639-669.

Paerl, H.W. 1988, Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine, and inland waters, *Limnology and Oceanography*, 33(4, Part 2), 823-847.

Pan Jiazheng, and He Jing, 2000. China dam construction in the past 50 years, Chinese Water and Hydro-power Press, Beijing, China (in Chinese).

Pearson, W.D. and Franklin, D.R. 1968. Some factors affecting drift rates of Baetis and Simuliidae in large rivers. *Ecology*, 49, 75-81.

Peřáz, M., Kubíček, F., Marvan, P., and Zelinka, M. 1968. Influence of the Vřr River Valley Reservoir on the hydrobiological and ichthyological conditions in the River Svratka. *Acta Scientiarum Naturalium, Academiae Scientiarum Bohemoslovacae-Brno*, 2, 1-60.

Petts, G.E. 1984. Sedimentation within a regulated river: Afon Rheidol, Wales. *Earth Surface Processes and Landforms*, 9(2), 125-134.

Pfizer, D.W. 1954. Investigation of waters below storage reservoirs in Tennessee, *Transactions of the North American Wildlife Conference*, 19, 271-282.

Qian Ning, Wan Zhaohui, and McNown, J., 1998. *Mechanics of Sediment Movement*, ASCE Press, United States.

Radford, D.S. and Hartland-Rowe, R., 1971. A preliminary investigation of bottom fauna and invertebrate drift in an unregulated and a regulated stream in Alberta. *Journal of Applied Ecology*, 8, 883-903.

Riddick, T.M. 1957. Forced circulation of reservoir waters, *Water Sewage Works*, 104(6), 231-237.

Rogers, H.H., Raynes, J.J., Posey, F.H. and Ruland, W.E. 1973. Lake destratification by underwater air diffusion. in *Man-made Lakes: Their Problems and Environmental Effects* Ackermann, W. C. White, G. F. and Worthington, E. B. eds. Geophysical Monograph 17, American Geophysical Union, Washington, DC Pp. 572-577

Rzoska, J., Brooks, A.J., and Prowse, G.A. 1955. Seasonal plankton development in the White and Blue Nile near Khartoum. *Verhandlungen Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie*, 12, 327-334.

Schmitz, W. R., and Hasler, A. D. 1958. Artificially induced circulation of lakes by means of compressed air, *Science*, 128 (3331), 1088-1089.

Scullion, I.J. 1982. Fish community structures and function along two habitat gradients in a headwater stream. *Ecological Monographs*, 52(4) 394-414.

Sedimentation Panel for TGP, 2002. Comprehensive analysis on "9.5" sedimentation study results for the Three gorges Project on the Yangtze River, Intellectual Copyright Press (in Chinese)

Sreenivasan, A. 1977. Fisheries of the Stanley Reservoir (Mettur Dam) and three other reservoirs of Tamilnadu, India: A case history. *Proceedings of the IPFC Symposium on the Development and Utilization of Inland Fishery Resources*, Colombo, Sri Lanka, October 1976 J.A., eds., Dunn, I., eds. FAO Regional Office for Asia and the Far East, Bangkok, Thailand: 17 Pp: 27-79.

Stanford, J.A. and Ward, J.V. 1979. Stream regulation in North America, in the *Ecology of Regulated Streams*, Ward, J. V., and Stanford, J. A., eds. Plenum Press, New York, USA: xi 398 pp., illustr. Pp. 215-236

Symons, J.M., Werbel, S.R., and Robeck, G.G. 1965. Impoundment influences on water quality. *Journal of the American Water Works Association*, 57(1), 51-75.

Tarzwell, C.M. 1939. Changing the Clinch River into a trout stream, *Transactions of the American Fisheries Society*, 68, 228-233.

Trotzky, H.M. and Gregory, R.W. 1974. The effects of water flow manipulation below a hydroelectric power dam on the bottom fauna of the upper Kennebec River, Maine. *Transactions of the American Fisheries Society*, 103, 318-324.

Turner, R.M. and Karpiscak, M.M. 1980. Recent vegetation changes along the Colorado River between Glen Canyon Dam and Lake Mead, Arizona. U.S. Geological Survey Professional Paper No. 1132, 125 pp.

Vollenweider, R.A. 1968. Scientific Fundamentals of the Autotrophication of Lakes and Flowing Waters with Particular References to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication. Technical Report OAS/CS1/68.27, OECD, Paris France, 159 pp.

Walker, K.F. 1979. Regulated streams in Australia: The Murray-darling River system. in *The Ecology of Regulated Streams* Ward, J. V., and Stanford, J. A., eds. Plenum Press New York: Pp. 143-164

Wang Zhaoyin and Hu Chunhong, 2009, Strategies for managing reservoir sedimentation, *International Journal of Sediment Research*, Vol.24, No.4, pp. 369-384.(SCI)

Wang Zhaoyin and Zhang Xinyu, 1985, Experimental study of empty flushing of cohesive sediment from a reservoir with a physical model, *Journal of Sediment Research*, No.2, pp.62-69 (in Chinese).

Wang Zhao-yin, Lu Xiuzhen, and Zeng Qinghua, 1990. Physical model experimental study on sedimentation in the Chongqing reach of the Yangtze River for the Three Gorges Project-a report for the 175 m scheme, in the *Collection of Research Results on the Sedimentation in the Chongqing reach of the Yangtze River*, China Institute of Water Resources and Hydro-Power Research, Beijing. (in Chinese)

Ward, J.V. 1974. A temperature-stressed ecosystem below a hypolimnial release mountain reservoir. *Archiv fur Hydrobiologie*, 74,247-275.

Ward, J.V. 1976. Effects of flow patterns below large dams on stream benthos. in *Instream Flow Needs*, Vol. II, Orsborn, J. F. and Allman, C. H., eds. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA: Pp. 235-252

Ward, J.V. and Short, R.A. 1978. Macroinvertebrate community structure of four special lotic habitats in Colorado, USA. *Verhandlungen Internationale Vereinigung Fur Theoretische und Angewandte Limnologie*, 20, 1382-1387.

Ward, J.V. and Stanford, J.A. 1979. Ecological factors controlling stream zoobenthos. in *The Ecology of Regulated Streams*, Ward, J. V. and Stanford, J. A., eds. Plenum Press, New York: Pp. 35-56

World Resources Institute, 1994. *World Resources 1994-95*, Oxford University Press, Oxford, 184 p.

Wu Lianchun, Zheng Minsheng and Zheng Hui, 2009? Rising the sediment releasing efficiency and extending the life of the Xiaolangdi Reservoir, *Proceedings of the Special Session for Comprehensive Utilization of Water Resources in the Middle and Lower Reaches of the Yellow River*, 10th China Association for Science and Technology Annual Meeting. Zhenzhou, September 17-19, 2008 (in Chinese).

Wunderlich, W.O. 1971. The dynamics of density-stratified reservoirs. in *Reservoir Fisheries and Limnology*, Special Publication No. 8, American Fisheries Society, Washington, DC, USA: Pp.219-232

Yi Yujun, Wang Zhaoyin, Zhang Kang, Yu Guoan and Duan Xuehua, 2008, Sediment pollution and its effect on fish through food chain in the Yangtze River, *International Journal of Sediment Research*, No.4, pp.338-347.

Yi, B., and Liang, Z., 1964. The natural conditions of the spawning ground and external factors affecting fish spawning in the Yangtze River, *Journal of Hydrobiology*, 5(1)1-15 (in Chinese).

Yi, Yujun, Wang Zhaoyin and Lu Yongjun, 2006. Habitat suitability index model of four major Chinese carp species in the Yangtze River, *River Flow 2006*, Taylor and Francis Group, London, pp. 2195-2201.

Young, W.C., Kent, D.H., and Whiteside, B.G. 1976. The influence of a deep storage reservoir on the species diversity of benthic macro invertebrate communities of the Guadalupe River, Texas, *Texas Journal of Science*, 27, 213-224.

Zhadin, V.I. and Gerd, S.V. 1963. Fauna and flora of the rivers, lakes and reservoirs of the USSR. *Israel Program for Scientific Translations*, Jerusalem. 625

Zhou, Jianjun and Lin, Bingnan, 2002. Effect of DECL scheme on navigation conditions, *China Three Gorges Construction*, No. 6. (in Chinese).

Zhou, Zhide, 1999. 1998 floods in the Yangtze River valley, *International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation*, UNESCO Beijing Office.