

葛洲坝水电译文

长江葛洲坝工程局情报中心

1988

葛洲坝水电译文专集

目 录

混凝土施工

用碾压混凝土加固直布罗陀坝·····	(2)
美国麋溪坝碾压混凝土的施工特点·····	(8)
印度巴克勒坝溢洪道消力池修复方法·····	(12)
玻璃纤维混凝土喷射施工研究及应用实例·····	(18)
硅灰混凝土施工·····	(29)
用化学方法实现混凝土远距离运输·····	(32)
硅灰喷射混凝土在加拿大西部的应用·····	(34)
单轴拉力下的构件裂缝预测·····	(36)

隧洞与土方工程

布鲁克林隧道的灌浆支承·····	(41)
软岩和涌水地区的新奥法施工和变位监测·····	(44)
挖掘机—载重汽车作业配置最优化·····	(51)

金属结构与材料

闸门重量的经验计算公式·····	(59)
罗贡水电站机械设备的新型工艺方案与结构·····	(67)
未来的车用铝材·····	(72)
磁驱动电弧对焊·····	(75)

水力开发与大坝变形测量

国际河流的水力开发·····	(78)
水电工程项目前期准备费用·····	(81)
用大地测量方法测定大坝变形·····	(87)

计算机与自控

个人计算机系统·····	(92)
环形结构的最优编码设计·····	(96)
关于结构程序设计·····	(99)
水力发电厂容许故障控制器·····	(102)
自卸汽车的无人驾驶系统·····	(105)

用碾压混凝土加固直布罗陀坝

N.C.王, F. 渥德滋, B.D.里坡尼

直布罗陀坝是一座等半径混凝土拱坝, 如图 1 所示, 位于加利福尼亚州桑塔巴巴拉北边约 9 英里处。它建于 1920 年, 为市政供水提供水库, 大坝最大坝高 59.2 m, 坝顶高程 427 米, 坝顶长度约 182 米, 坝体厚度不等, 从坝顶的 2 米到坝基的 19.8 米左右 (如图 2 所示)。带闸门控制的溢流式溢洪道, 位于大坝的东南, 由三个 15.8 米和一个 17.6 米宽的弧形闸门室及一个 7.62 米宽的拦污闸室组成。弧形闸门顶端以下的总库容约为 $10.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。

1979 年, 加利福尼亚大坝安全部对直布罗陀大坝作了一次调查, 作为全国大坝检查进程的一部分。用以指导城市重新评估大坝在可能最大洪水期间和历史最强地震的极限

荷载条件下的稳定性。进行了广泛的现场踏勘、实验室试验和稳定研究。还进行了大坝的三维有限元分析。结果表明, 在历史最强地震的荷载下产生的应力会大于混凝土的容许抗拉强度, 大坝的稳定将可能有问题。作为该市主要供水的直布罗陀水库, 经研究提出了一项加固坝体的补救措施。

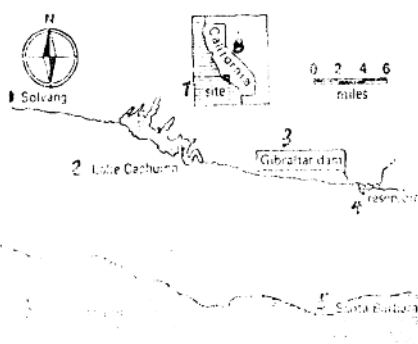


图 1 工程位置

1、索尔文 2、卡舒湖 3、直布罗陀坝 4、水库 5、桑塔巴巴拉 6、太平洋 7、坝址 8、加利福尼亚

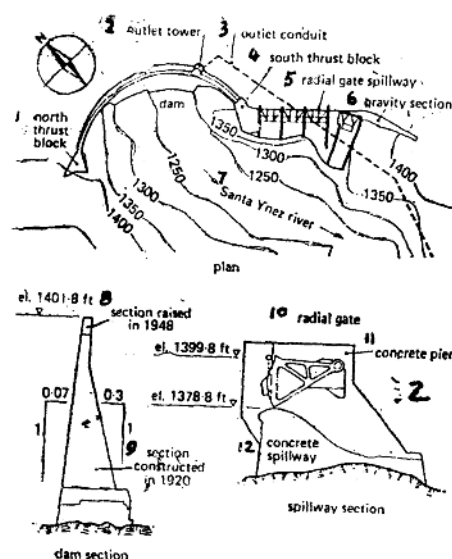


图 2 原坝平面图与剖面图

1、北止推座 2、出口塔 3、泄水管 4、南止推座 5、弧形闸门溢洪道 6、重力段 7、桑塔伊纳兹河 8、1948 年加高的断面 9、1920 年施工的断面 10、弧形闸门 11、混凝土闸墩 12、混凝土溢洪道、

加固方案的评价

为承受相当于最强地震的荷载,提出了加固现有大坝的三项补救方案,它们是:

1、在大坝下游增加一个碾压混凝土的重力式坝段。

2、在大坝下游附设一个加固堆石体。

3、在靠近坝顶的上下游面附设一个以钢筋纤维作加筋的喷混凝土坝垛。

对各加固方案,就各自的总效果、下游地区的地形约束、施工对水库运行的影响、施工材料的可能性和数量、施工的时间和经费、潜在的环境影响等方面进行分项评价,为论证每个方案的可靠性,进行了简单的稳定分析,同时还对预备工程量和投资作了预算。

三个方案中,采用Rcc的方案被认为是最好的措施。这个方案就是贴着大坝下游用Rcc修筑一个重力式断面的加固体,改建后的结构比原大坝更坚固、更庞大,引起的动力反应将小些,地震荷载在大坝中产生的应力将会减小。由于碾压混凝土有一定的强度,Rcc材料可以筑成陡坡,其所需的材料会比土石填筑体少。

特殊的设计研究

从下面两点可以认为推荐的加固方案是好的:

- 混凝土拱坝的抗震性能得到加强;
- RCC施工的运用。

为提供所需的设计资料,在最终设计之前作了两项关于RCC的特殊设计研究,包括评价施工材料和进行RCC配合比设计的室内综合试验及为了将来评价和试验而进行的RCC浇筑施工全面试验的现场研究,

室内试验项目

试验的目的是为了提出与研究不同的RCC配合比,以便设计工作度、抗压强度、抗拉强度和应力应变特性。

试验所用的骨料和填料是从桑塔伊纳兹河紧靠直布罗陀坝下游的河床中指定的狭窄区域中开采的。试验拌和物所用的水泥是符合美国试验与材料学会ASTMC150标准的波特兰Ⅱ型低碱水泥,配比设计试验中未用外加剂。这种类型水泥的优点是它的可用性、低水化热和低碱含量。使用的粉煤灰是符合ASTM A618规程的F型。试验配合比设计不采用外加剂,设计含水量的大致范围是根据最大骨料粒径(m.s.a)来确定的,对于3.8厘米的m.s.a,其含水量为118~157公斤/米³。

压实试验类似于普氏击实试验,用以精确选取含水量,无论它大于最优含水量还是小于最优含水量,都准备将它作为试件的强度和工作度的基准。

所有试验都采用符合ASTM D 1557—78规程、直径为15.2厘米的对开模。采用一个4.5公斤的机械锤下落45厘米进行压实。锤的接触面、层厚、每层下落的次数对各个试验都不同。

ASTM D 1557规程给出的压实试验的标准方法限定最大骨料粒径到1.9厘米,压实材料的层厚小于2.54厘米。为了适应RCC的2.8厘米的最大骨料粒径,进行了一次分三层,用标准锤每层下落93次的压实试验,总的压实效果与ASTM D 1557规程方法D相同。结果表明,对于具有最大骨料粒径3.8厘米的级配以及用1.9厘米的来代替的试验,在相同的最优含水量的范围内都达到了完全密度。

在压实试验中发现了一些破碎的骨料,可能是由锤子的边缘造成的,因锤子呈圆弧形,有可能击碎个别的石子。为了避免在RCC的压实试验期间石子被击碎,那样会使试样变弱,降低抗压强度,因此研制了一种带有新接触面的锤子。新锤有一个13.9厘米直径的圆盘,边缘为弧形,锤子的总重依然为4.5公斤,在圆盘和模子的内表面之间有0.6厘米的间隙。

在新锤作用下的压实效果和石子破碎的程度是根据压实试验结果和压实试验前后的骨料级配的对比,来加以评价的。对原来的和压实后的骨料进行的筛分结果比较表明,在最大干容重相同的情况下,利用改型锤所出现的破碎石子明显减少。

上述压实试验提供了以下资料。

- 为最大骨料粒径3.8厘米的级配研究的试验方法,在相同的最优含水量的总范围内,能得到与ASTM 1557规程方法D类似的最大干容重。

- 对于胶凝材料含量试验的范围(按料重4%的水泥和2%的粉煤灰),最优含水量为总干料重7%左右。

- 细料含量约4~7%的级配,减小了最大干容重。

- 含有35~45%的细骨料的级配具有类似的压实特性。

- 用改型锤打击70次可以获得用标准锤打击93次的相同密度,石子破碎率不到30%。

为了试验含水量的影响,设计了6种不同的配合比,此外设计了两组配合比。为了试验胶凝材料含量的影响,R.C.C.料由一台带动力驱动装置的转筒式混凝土搅拌机拌和,用一台直径15.2厘米、高30.4厘米、带有塑料衬垫的圆柱体对开钢模制备试件,改型锤的接触面用于压实拌和料。

根据完成的试验资料,结果表明变化率较低,这反映出实验室制备圆柱体的称量、拌和和压实都相当均匀。胶凝材料含量高的拌和料圆柱体的强度发展一直比较大,胶凝材料含量相同的6种拌和料中,含水量为118公斤/米³、细料含量4%左右的拌和料获得了最大的强度,这种含水量相当于干料总重的8%。6种拌和料180天龄期的无侧限抗压强度大约16.5兆牛/米²,试样在365天龄期的劈裂抗拉强度为1.56~2.6兆牛/米²。

R.C.C.填筑试验

R.C.C.填筑试验的目的是在实际操作之前验证以下几项:

- R.C.C.的施工工艺;

- R.C.C.的几种可能的设计配合比;

- R在R.C.C.和传统混凝土中的钢筋连接;

- 传统混凝土的面层料同老混凝土及R.C.C.的结合强度;

- R.C.C.层间采不采用传统的混凝土垫层料时的结合强度;

- 原坝下游表面的排水技术;

- R.C.C.和传统混凝土的放热。

填筑试验块高1 m,平面尺寸7.6×22.8 m。为了靠着老混凝土模仿浇筑R.C.C.,按建议的直布罗陀坝改建方案,采用了预制的隔墙,混凝土隔墙内表面,即要浇筑R.C.C.的一面,全部采用喷砂处理以提高结合强度,填筑试验的横断面如图3所示。

在初步设计研究阶段,一种意见认为必须在现有结构和新R.C.C.结构之间安装一套排水系统,以集中透过原有坝体的渗水。因此,在填筑试验断面加进了三套不同的排水系统(石笼、因卡排水Enkadrain和米惹排水Miradrain)。

1 zone compacted by small rollers and hand-held vibrators, etc.

6 ft

3 ft

6 in

r.c.c. mix no. 2

r.c.c. mix no. 1

r.c.c. mix no. 3

1 ft

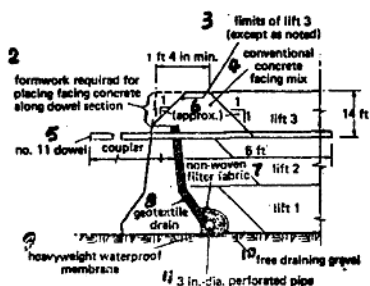
1 ft

25 ft

14 ft

8 ft

0.8



1、用小碾和手扶碾压实区段 2、沿
锚筋段浇筑面层混凝土需要的模板 3、限
制3层(除非另有说明) 4、传统混凝土
面层料 5、11号锚筋 6、(大约)
7、未编织的过滤纤维 8、土工织物排水
9、重质防水薄膜 10、自由排水沙砾层
11、直径3英寸透水管

按40.6厘米左右的预压厚度，用一台推土机摊铺R.C.C料。采用一台11.75吨的双轮振动碾压实，先无振碾压一遍，再振动碾压8遍。靠近混凝土隔墙的R.C.C采用一台Bomag BW60S型后引式双轮碾碾压。从拌和到浇筑的时间一般少于10分钟，从未超过30分钟。

在五条线中的两条装有10个热电偶，一条线在1、2层之间，另一条线在3、4层之间。它们采用T型热电偶线组装，安装有热电偶的每层R.C.C压实之后，在R.C.C和传统混凝土中挖出一条5厘米深的槽，将热电偶装在槽中，再用沙回填到原来的层面高程。

对于R.C.C试验层所采用的施工方法没有遇到什么大问题,轻便拌和楼的运行相当成功,用双轮振动碾压实R.C.C也令人满意。强度试验的结果表明采用一台后行碾碾压的R.C.C的强度一般低于试验层其余部分的温度。在厚度超过30.4厘米左右的那些浇筑层的基面上,有出现孔隙的倾向,需要在浇筑和压实期间细心操作以便层间接缝全部连接起来。至今已观察到浇好的表面有微细裂缝。

浇筑在试验层上的三套排水系统对原坝下游表面的排水是有效的。石笼的施工很慢,必须很仔细施工,以防止在钢丝笼顶部

浇筑混凝土时出现孔隙。

传统的面层混凝土和现有的混凝土隔墙连接得很好，虽然传统的面层混凝土和R.C.C的连接发展不好，但是可以通过在传统的面层混凝土料中加超塑化剂予以改进。

几何设计

直布罗陀拱坝的加固将使原拱坝变为拱形重力坝，如图4、图5所示。R.C.C加固断面紧靠着原坝的下游侧，并达到相同的高度。加固后的坝顶宽6 m，下游侧的上部有一段3米高的垂直面，接着是0.8:1 (H:V)的坡度。加固段的体积约为76000米³，原坝的上游面维持不变，溢洪道和左坝座的重力断面也保持不变。

坝体加固区

美国早期的R.C.C坝横断面一般都分成不同的材料区，以适应不同的目的。多数

坝在上游面都有相应的传统混凝土，以提供一道局部的隔墙，防止渗漏，并获得较好的耐久性。同样，多数坝在下游面有一道胶凝材料含量较高的R.C.C料区以提供一道较好的抗侵蚀带，抵抗由于洪水造成的侵蚀（特别是在溢流坝段）较好地解决抗冻融问题。

在直布罗陀坝，预期原混凝土拱坝可提供一道较好的抗渗隔墙。通过原坝的渗流量有限，一般是沿着与混凝土层间接缝相吻合的渗径，这可能是由于大坝原先施工时未有很好处理所致。通过原坝的这些渗流将由一个排水系统集中，排水系统位于原坝和R.C.C坝垛之间的内面。由此看来，尽管有内部排水系统，由于可能没有连接的抗渗隔墙，渗流就可能沿着R.C.C层面发生。于是，因为加固的坝体需要从整体上适应设计的极限荷载条件，因此获得原坝与R.C.C段之间足够的一致连接是不可避免的。所以内表面将浇筑传统混凝土。

下游R.C.C面层混凝土，比内部混凝土的水泥含量高，在构思设计中考虑了这点，

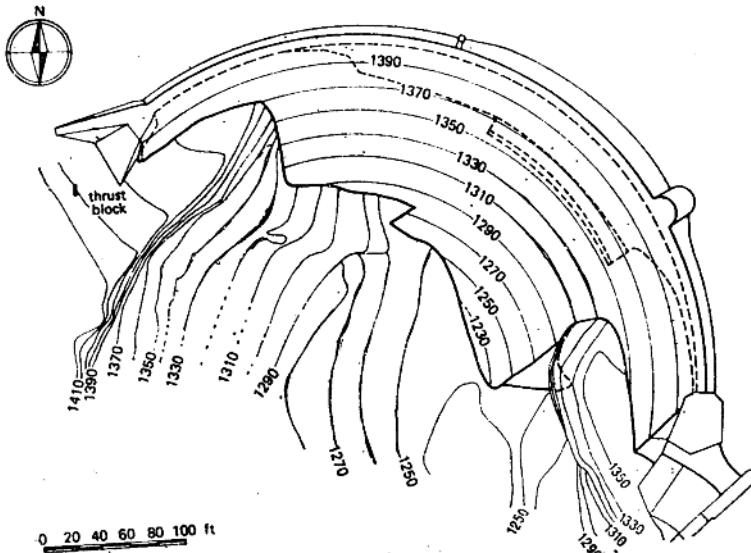


图4
大坝加固
平面图
1、
止推座

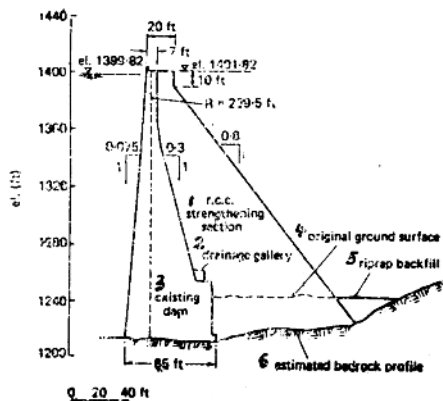


图5 大坝加固横断面

R.C.C.加固断面 2、排水廊道
3、原坝体 4、原地面 5、堆石体
6、测定的基岩剖面

以提供能经受住漫过坝顶的下游防护区。但是加固坝具有和原坝相同的溢流能力，即2464米³/秒。这一洪水重现期在100年以上。另外，大坝所在的气候地带，不存在冻融循环。根据这些，考虑漫过坝顶的概率很低，又不要求下游面有抗冻融循环的能力，因此认为在下游面R.C.C.不需要水泥含量高的材料。

如图5所示，坝脚将修筑一个抛石体，在消力池水平面之上提供一个工作平台，并保护坝脚免遭溢洪所造成的侵蚀和淘刷。

混凝土浇筑

直布罗陀坝加固工程是独特的，它包含一个平面上呈曲线的R.C.C.段，如图4所示。曾考虑过扩建一个下游面笔直的R.C.C.坝垛，然而，在继续保存原坝拱形的方案中，用于加固全部拱的R.C.C.方量最小，而且继续保留原坝有利的拱作用。R.C.C.将沿着原坝相同的曲率中心的弧形浇筑。推荐方

案也适应于将来可能时，大坝加高6米的规划，为拱座和基础抵抗漫顶提供足够的保护。

R.C.C.强度和层间结合是浇筑和压实的函数，犹如是拌和物配比的函数一样。在加固工程的构思设计和初期设计的过程中，都假设R.C.C.应当浇筑和压实到0.3米层厚，以符合现行的R.C.C.筑坝标准。然而，试验浇筑期间所得到的经验表明，这里采用35厘米的层厚不能得到良好的层面粘结，主要是因为骨料在浇筑层底部分离造成的。这个观测结果和美国当时在R.C.C.坝体施工中的研究结果是一致的。美国和日本现在的R.C.C.坝的施工实践表明，如果混凝土料按每厚20厘米摊铺压成0.6米厚（即铺三坯压成一层），骨料的分离最小，碾压密实，层间结合良好。根据至今所得到的观测资料，直布罗陀坝加固工程仍采用这种浇筑、压实方法。

同原坝表面接触的传统混凝土和R.C.C.浇筑时，必须得到良好的粘结；无论是传统混凝土还是R.C.C.，要同时使之完全密实。浇筑方法如图6所示。另外，在

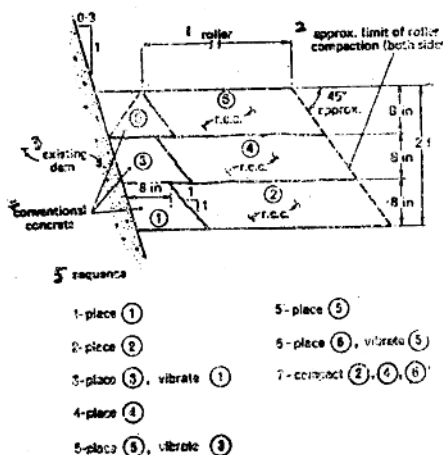


图6 内面混凝土浇筑程序

1、碾压 2、碾压的大致界限（两边） 3、原坝 4、传统混凝土 5、程序

美国麋溪坝碾压混凝土的施工特点

(苏)工程师 A·B·费拉诺夫

在距离罗格河口 3 km 的美德尔福克市上游 43 km 处, 由陆军工程师团设计的一座混凝土重力坝——麋溪坝正在施工之中。此

坝所形成的水库总库容为 1.246 亿 m^3 。水库主要用于河道逐流调节和防洪。除将一部分库水引入灌溉系统外, 还同时向罗格河放

R.C.C 和基岩之间的接触处要浇筑传统混凝土作基底, 采用无论何处都适宜的相同程序。基底混凝土厚度要求 15~30 厘米。加固段顶部垂直的下游面可以采用混凝土预制板, 如图 7 所示。应当按照标准的 R.C.C. 实践, 安装预制混凝土面板。要不然, 预制混凝土板的浇筑能够采用带有拉条的传统混凝土模板。廊道的横断面如图 8 所示。标准尺寸大约为 6 英尺 (185.04 厘米) 宽、8 英尺

(243.84 厘米) 高, 这个大小对于将来所需的不同的倾角的钻孔是合适的。

汪世屏译自《水力与筑坝》

1988 年第 2 期

罗贤玉校

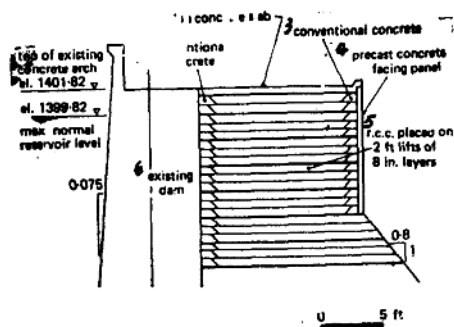


图 7 大坝顶部的混凝土浇筑

1、原混凝土拱坝顶部 2、6 英寸混凝土板 3、传统混凝土 4、预制混凝土面板 5、R.C.C 浇筑层厚 2 英尺, 铺摊厚 8 英寸 6、原坝

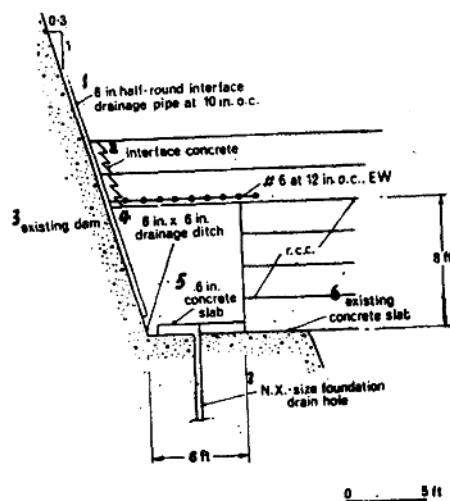


图 8 廊道典型断面

1、6 英寸半圆形内表排水管 2、内表面混凝土 3、原坝 4、6×6 英寸排水沟 5、6 英寸混凝土板 6、原混凝土板 7、H、X 型基础排水孔

水,以便保持罗格河中鱼类生存所必需的水量(为此目的,阿普连盖依特水库与罗斯特——克瑞克水库也向罗格河中放水)。

最初,拟定在已选定的坝轴线上建造一座土石坝,并早已(1975年)准备好了工程招标的有关技术文件。但是,由于当时州政府恐怕区域经济受损而反对建坝,致使招标未成。结果,糜溪坝的设计资料被束之高阁达7年之久。在此期间,陆军工程师团准备设计几座小型的碾压混凝土坝,并且,为了研究碾压混凝土筑坝的可行性,在糜溪坝的坝轴线上进行了现场施工试验。此坝的设计工作却早已在陆军工程师团设计与建造它的第一座碾压混凝土坝——柳溪坝之前便已完成。1982年,分两个试验阶段对新的混凝土施工工艺进行了大规模的试验。在试验过程中,采用不同的施工机械、选取不同配合比的碾压混凝土拌合料等17种方案作了详细地研究比较。经过认真总结的试验成果被用于大坝设计。

糜溪坝最终设计方案吸取了1982年竣工的柳溪坝(高52m,坝顶长543m、混凝土量 33.1万 m^3)的设计、施工,以及头几个月内的运行状况等方面的经验。众所周知,在柳溪坝施工中所采用的是水灰比较小的碾压混凝土料,其胶凝物质含量仅有 66kg/m^3 (其中水泥 47kg/m^3 ,粉煤灰 19kg/m^3)。大坝分层浇筑,层厚30cm,未设横向温度伸缩缝。由于此坝主要用来拦洪,所以,全年大部分时期是在低水头情况下运行。可是,施工中却忽略了对水平施工缝的处理,以及对浇筑层间必要的粘接保证。结果,致使运行初期浇筑层间渗漏严重。

考虑到糜溪坝的作用不完全同于已投入运行的柳溪坝;而且,糜溪坝建在地震活动较强,居民较密集的地区,因此,要求该坝在运行期间具有较高的防渗性和较大的可靠

性。为此,在设计时,选用了较大的坝体横断面,提高碾压混凝土料的胶凝物质含量,制定确保混凝土所应有的防渗性及抗裂性的技术措施。

糜溪坝的坝基为第三纪凝灰岩系,玄武岩和带有小范围玄武岩脉侵入体的角砾状熔岩。根据设计,最大坝高76m,坝顶长785m,混凝土工程量 79万 m^3 。坝体上游为垂直立面,将以常规大体积混凝土浇筑;下游面用碾压混凝土分层铺筑成 $1:0.8$ 坡度的台阶状。坝体内设有宽37m的中央可调式溢洪道。其溢流面为普通混凝土,内部为碾压混凝土。可调节的泄水口为一根直径2.4m的管道。

糜溪坝工程正式招标工作是在1986年底进行的。日本的“大林组有限公司”与六家美国的主要公司共同参加投标。结果,日本“大林组有限公司”以最低施工造价——6280万美元获得主承包权。糜溪坝将成为日本公司在美国承建的第一座大坝。在这之前,这家日本公司曾参加过美国的另外五座大坝工程的投标,并三次与一家美国公司竞争,但均未成功。日本的“大林组有限公司”在国内建造的岛地川碾压混凝土坝,已于1981年竣工。正在施工中的大川坝也将于1987年竣工。前一个工程用了四年时间,后一个工程于1977年动工。根据糜溪坝的施工技术条件而签订的承包合同规定,自1988年1月至6月(包括6月)必须完成混凝土工程。如果1988年4月20日以前,该坝未达到487.0m高程(占整个坝高的 $2/3$),公司每天将被罚款约8.69万美元。如果到5月15日以前仍未达到这一高程,陆军工程师团则有权迫使工程停工,并对公司进行整顿到第二年一月。

要指出的是,由陆军工程师团编制的糜溪坝工程造价仅为5490万美元,这与日本公

司在投标中所报的工程预算是有出入的。但这并未妨碍双方签订承包合同。因为,与其它几家美国公司所报的预算造价相比,日本公司的预算造价仍为最低造价(例如:美国别克切尔建筑公司的预算造价为6780万美元,美国麋溪建筑公司为6900万美元)。还应说明的是,在最近几年内,建筑承包公司在招标工作中以高出陆军工程师团所制定的工程造价中标,这还是第一次。看来,这是由于施工技术要求提高了,工程的施工条件比其它已建工程更为复杂的结果。尽管如此,日本“大林组有限公司”新提出的碾压混凝土单位造价(25.6美元/ m^3),还是高出柳溪坝的混凝土单位造价0.8美元。这个公司所作的混凝土预算造价主要是按以下费用计算的:

单位:美元/ m^3

碾压混凝土与垫层混凝土浇筑用施工机械——18.4;

水泥——5.3;

粉煤灰——1.5;

减水剂——0.4。

与柳溪坝混凝土施工工艺所不同的是,麋溪坝采用综合性施工工艺。在这种工艺中,采用一系列别具特色的日本碾压混凝土筑坝方法。尽管麋溪坝并不同于日本的混凝土坝——它几乎是座全碾压混凝土坝,而迄今日本坝的碾压混凝土量还未超过50~60%。

麋溪坝所采用的碾压混凝土料的水灰比较大,水泥用量 $70\text{kg}/\text{m}^3$,粉煤灰 $23\text{kg}/\text{m}^3$,碾压混凝土料由混凝土拌和系统制备,该系统的生产率为 $460\text{m}^3/\text{h}$,由四台强制转桨式拌和机组成。制备好的混合料由皮带输送机运至大坝,再通过移动式转送料斗转入车箱可以倾翻的自卸汽车上,由自卸汽车运到浇筑部位。

在柳溪坝的设计过程中,非常注意对碾

压混凝土浇筑层最佳厚度的选择。问题在于,美国对碾压混凝土坝的施工,一般采用的浇筑层厚度约为 30cm (压实以后)。同时,实践还表明,水平施工缝是坝体渗漏的主要通道(包括柳溪坝在内)。因此,在麋溪坝设计时,专家们首先从增大碾压混凝土浇筑层厚出发,以达到减少水平施工缝数量的目的;其次则对水平施工缝表面进行有效处理。由于水平施工缝减少,从而降低了混凝土浇筑前对已浇层表面进行处理的造价。

设计最后决定,将麋溪坝碾压混凝土浇筑层厚度定为 60cm 。正如陆军工程团的主要专家所说的那样,这一决定并不是简单地借用日本人的经验,因为美国人全都拒绝了日本“大林组有限公司”所提出的将浇筑层厚度定为 75cm 的建议。1985年,陆军工程团曾在麋溪坝的施工现场分别作了浇筑层厚为 30cm 和 60cm 的施工试验。其结果表明,浇筑层厚度采用 60cm ,坝体的抗渗性、混凝土抗压强度、浇筑层间的粘接强度,以及其它特性均未降低。

麋溪坝坝体上游垂直立面采用普通的拼装式钢模板进行浇筑。对于 90cm 宽的上游面防渗体,设计要求采用胶凝物质含量较高的混凝土料进行浇筑,用混凝土搅拌车运输,采用装配在履带推土机上的悬挂插入式振捣器振捣密实。

在进行碾压混凝土施工时,先用履带式推土机将碾压混凝土料按每层 15cm 的厚度连续摊铺4层,然后,用振动碾碾压10次。实践表明,使用履带式推土机薄铺料,在很大程度上消除了自卸汽车卸料过程中所产生的混合料分离现象。同时,履带式推土机在混凝土层上行驶,还有助于混凝土的密实。通过试验证明,对于那些未用履带式推土机按要求进行铺料的部位,即使再用振动碾碾压也难以保证混凝土能达到所要求的密实

度。

麋溪坝混凝土施工工艺的另一个特点是，在每一层浇筑之前，事先在水平施工缝表面铺一层可塑性较大的富砂水泥砂浆垫层。这一点，正如日本筑坝施工中所做的那样。陆军工程师团的专家们认为，铺设垫层，不仅有利于减少混合料的分离，而且还能够保证层间粘接良好。为了使层间更好地结合，还采用真空机仔细清理施工缝表面，并用高、低压水冲洗层面以获得良好的效果。

在美国的混凝土坝施工中，第一次在麋溪坝中设置横向温度伸缩缝，由安装在挖土机机臂上的悬挂式振动切缝机切割成缝。起初，只准备在坝内设四条横缝。后来得知，设置这样的缝，施工造价并不高（仅增加 $0.76\text{美元}/\text{m}^3$ ）因而决定将温度伸缩缝的数量增加到10条。毫无疑问，在坝体内设置温度伸缩缝，将有助于改善建筑物的应力状态，降低温度裂缝对坝体混凝土的破坏程度。

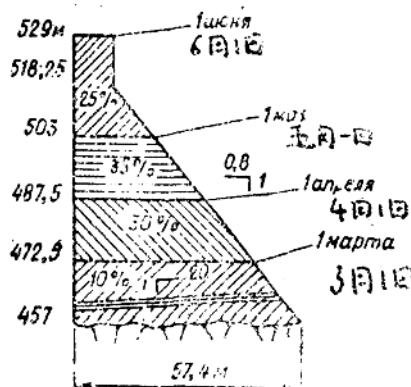
为了防止坝体混凝土中出现温度裂缝，自1988年1月起，改在冬季进行混凝土浇筑。这便使施工复杂化了，因为，俄勒冈洲地区的冬季十分寒冷：1、2月份的平均气温为 -6.1°C ，3月份的平均气温为 -0.6°C ，4月份的平均气温为 5.6°C 。这对于建设者来说，可能会在高强度混凝土施工方面遇到较大的困难。从施工进度表来看，在6个月内应浇筑混凝土 79万 m^3 ，平均月浇筑混凝土应不少于 13.2万 m^3 。为了实现这一目标，整个混凝土施工期间的混凝土浇筑强度必须达到 $4400\text{m}^3/\text{昼夜}$ 。根据陆军工程师团的安排，其中还有2个月的高峰浇筑强度。在最高时，应达到 $9550\text{m}^3/\text{昼夜}$ （也就是24小时连续工作，混凝土浇筑量不得少于 $400\text{m}^3/\text{h}$ ）。

1986年，在工程指挥长与各日本工程师领导下的85名工人分两班工作在施工现场。到1987年初，完成了碾压混凝土围堰工程（ 2.06万 m^3 ），并开始了导流与基坑排水工作。1987年底，工人分三班在现场工作。根据最近所得资料，日本“大林组有限公司”计划在4个月内完成麋溪坝的混凝土工程（见图）。在此施工期内，高峰浇筑强度相应为 6980 、 9550 、 7650 、 $3440\text{m}^3/\text{昼夜}$ 。预计第一个月的混凝土浇筑量约为大坝总工程量的10%，第二个月为30%，第三个月为36%，第四个月为25%。同时，应在1988年6月以前达到麋溪坝的设计坝顶高程。

芮淮丰译自《国外动力建设》

87. 5月号

技校：王大锐



麋溪坝坝体横断面与月浇筑
混凝土工程量



印度巴克勒坝溢洪道消力池修复方法

(总工程师)

R.K. 马拉赫尔特勒等

提要 225.5 m高的巴克勒混凝土坝的溢洪道因多年泄洪而遭受严重的砂砾石磨损。曾研究了多种修复方法以保证在修复时不妨碍位于其两侧的电厂正常发电。本文介绍最终采用的修复方法。

巴克勒坝位于印度的萨特莱河上, 库容为74.35亿 m^3 。位于坝中部的152 m高的溢洪道通过四扇15.24 m宽、14.48 m高的弧形闸门将6776 m^3/s 的最大流量泄入128 m长的消力池。溢洪道正中的一道导墙可使修复工作分两期进行。图1为大坝的总体布置图, 图2为溢洪道和消力池的剖面图。

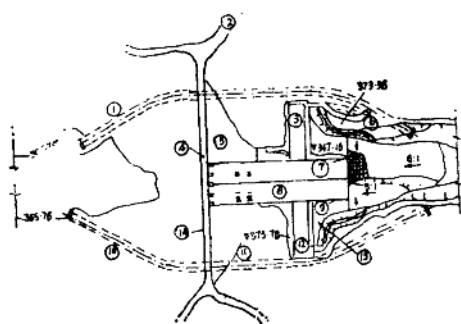


图1 巴克勒坝总体布置图

- ①左导流洞; ②至南戈公路; ③I号厂房;
- ④坝顶高程518.16; ⑤回填高程373.38;
- ⑥公路; ⑦左导墙测点高程362.71; ⑧中心导墙测点高程402.34; ⑨右导墙测点高程441.96; ⑩右导流洞, ⑪坝址; ⑫II号厂房; ⑬衬砌顶部高程347.16; ⑭坝轴线。

潜水员发现护坦底板数处破坏, 深度为5—70cm, 一些部位钢筋外露。起初潜水员采取水下混凝土修复, 并检查了磨损的趋势和修复效果。后来发现洪水很快将大块修补的混凝土掀走了。

图3展示了破坏范围。

因此, 必须寻找一种有效的修补方法以保证新老混凝土之间牢固的粘结。1982—1983年采用了气压沉箱施工技术。

气压沉箱修补方法

这种方法采用26 m高的沉箱, 其外部横断面尺寸为8×8 m, 中心通道为4×4

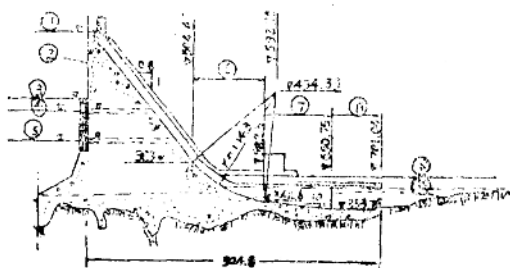


图2 溢洪道剖面图

- ①最高蓄水位515.11; ②坝轴线; ③死水位445.62; ④泄水孔中心高程432.82; ⑤泄水孔中心高程402.38; ⑥曲线段; ⑦斜坡段;
- ⑧水平段; ⑨最高尾水位370.33; ⑩最低尾水位357.22。

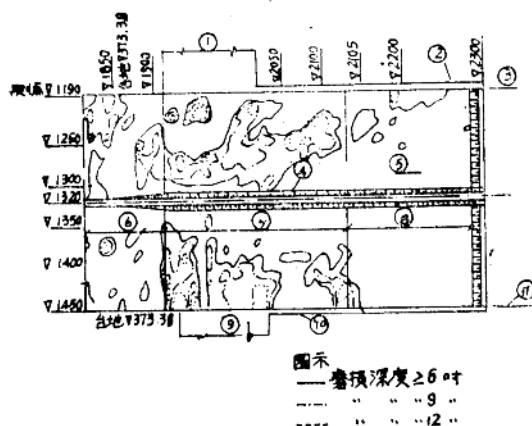


图3 消力池底板破坏状况 (等深线)

①左厂房; ②左导墙; ③左导墙内侧边; ④中心导墙; ⑤流向; ⑥曲线段底板; ⑦斜坡段底板 (1:10); ⑧水平段底板; ⑨右厂房; ⑩右导墙; ⑪右导墙内侧边。

m。以后为了加速修复工作, 上述尺寸有所改变, 底部断面面积增大到 9.5×9.5 m, 且带4:1 (V:H) 斜坡。沉箱安置在需要修复的底板上, 接着加压将通道内的水排净, 然后将箱底边缘密封以防止水进达沉箱, 最后消除被破坏的混凝土, 浇筑新鲜混凝土。使用塑性环氧作为新老混凝土的粘结剂。当修补深度超过200mm时, 采用适量的插筋或锚筋以增强新老混凝土粘结力。

修补设备

图4为气压沉箱和下沉设备的总体布置图。沉箱为一个正方形双层钢结构。最大深度可使用12节沉箱。每节沉箱外形尺寸为 8×8 m, 其中心通道为 4×4 m。底节沉箱中心孔由上部 4×4 m截面渐变为下部 9.5

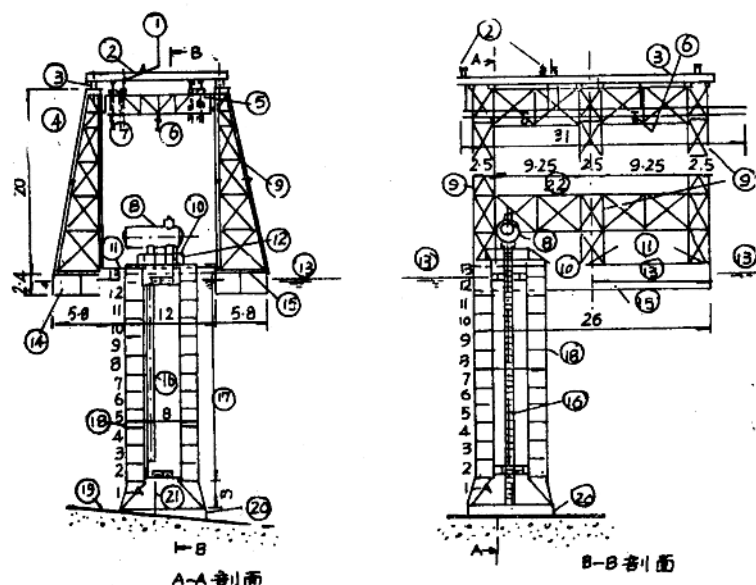


图4 沉箱和下沉设备总体设计图

①吊耳; ②梁; ③梁; ④塔架; ⑤支架; ⑥5吨单机起重机; ⑦25吨链式滑车组; ⑧气阀; ⑨塔; ⑩孔盖; ⑪支撑; ⑫爬梯; ⑬水

位; ⑭浮筒; ⑮浮筒; ⑯爬梯; ⑰12节; 每节2 m; ⑱钢沉箱; ⑲倾斜底面; ⑳底脚板; ㉑爬梯; ㉒塔身支架。

×9.5m截面。中心通道的顶部有一个双层孔盖供固定气闸，以控制工作人员与材料进出沉箱。各节沉箱之间用螺栓联接形成一个整体，以适应修补工作。在进行斜坡段修补工作时，将底脚板连接到底节沉箱上以保持沉箱整体垂直。沉箱拼装节数取决于修补处的工作水深。在承受工作压力时，要镇定沉箱，使其产生40—50t向下的净压力。

为了支承沉箱入水和将沉箱运到修复地点，以及在修复工作结束后拆卸沉箱，安装了一套下沉设备，包括两个相距12m由钢支架定位的26×5.8×2.4m的浮筒（箱），一

台配有8个25t起吊能力的链式滑车组的龙门吊车。下沉设备还配有两台单轨起重设备，以便吊运材料。并设置有8台5t卷扬机用作下沉装置的锚定和牵引。

气闸由一个加压仓和一个减压仓组成，它们位于孔盖板上（图5）。右岸平台上的一个低速电动空压机可在 $3.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 压力条件下，以每分钟提供无油压缩空气 78m^3 的能力连续运行10—15天。一旦密封好以后，仅在沉箱或闸门漏气时需要加气，一般情况下不会超过15立米/分钟。还有一台备用的电动空压机，能力为21米³/分钟。

气压沉箱的运行

沉箱采用充气上浮，防止镇定物的清除过多。约 $1.25\text{kg}/\text{cm}^2$ 气压产生的上浮力为160—200t，足以托浮起沉箱。沉箱浮起之前，先固定尾水位，以保护设备免遭水位突然变化的影响。

一旦沉箱浮起就利用浮箱上的卷扬机将沉箱牵引到预定的位置。

沉箱着地是采用释放沉箱内气压，同时采用链式滑车组帮助下降。然后将水抽入浮箱内，并加上必要的镇定物，以保证总荷载不小于40—50t。

一旦镇定水体达到了规定的荷载并完成了压缩空气的连接工作，即对沉箱加压。将压缩空气输送到沉箱，直至沉箱内的积水排干。然后根据现场条件采用不同的封闭方法封堵底脚板。图6表示了不同条件下的封堵措施。封堵无需百分之百的止水，但要能抵住尾水位波动时所产生的瞬时水压力。

当沉箱内水位降至最低点后，用气/水喷枪冲去混凝土面上的泥砂。再用人工方法或空压器具清除所有的松散、被破坏的或被侵蚀的混凝土。这点是至关重要的。因此，

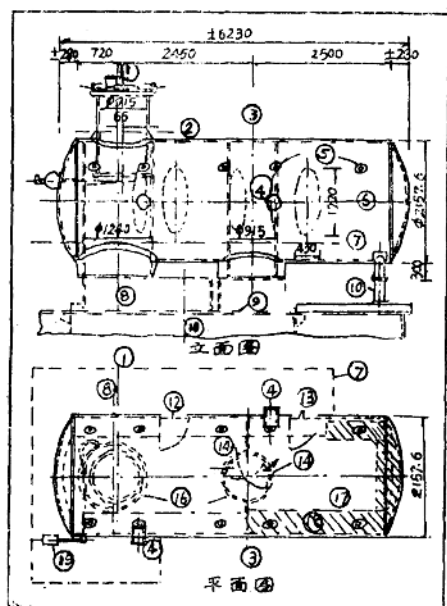


图5 位于沉箱上的气闸
平面和剖面图

- ①吊罐出入仓；②工作平台；③进入竖井；
- ④医疗密封仓；⑤猫眼；⑥壳体中心线；⑦工作平台；⑧材料竖井中心线；⑨孔盖；⑩支柱；⑪沉箱；⑫进口；⑬出口；⑭门；⑮加压仓；⑯孔口；⑰减压仓；⑱侧边平台；
- ⑲平衡重和控制杆。

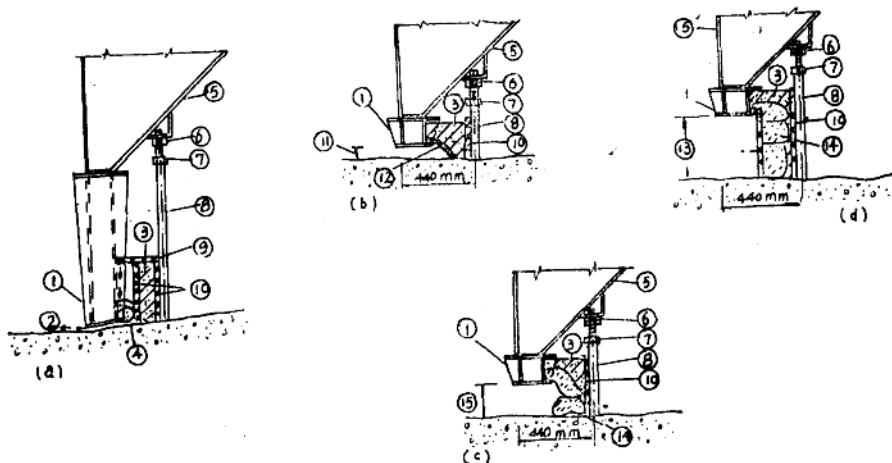


图6 气压沉箱与被破坏混凝土之间的不同封闭措施

①底脚板；②空隙；③粘土；④相隔一定间距装有部分粘土的麻袋；⑤底节沉箱；⑥方螺母；⑦螺栓；⑧钢管；⑨连接木板的木

条；⑩木板；⑪75 mm 以内的间隙；⑫空隙袋；⑬大于300 mm 的间隙；⑭装有部分粘土的麻袋；⑮75—300 mm 的间隙。

在进行修补之前有必要对混凝土进行全面的检查。

考虑到混凝土从沉箱外运进的速度和新鲜混凝土的适用期限，采用了立模分块翻补混凝土。将预拌的环氧粘结料（强度为 27.5 N/mm^2 ）浇注在老混凝土面和施工缝侧边。新鲜混凝土由安装在浮筒上的柴油拌和机拌和，然后用吊罐通过气闸送进沉箱内。

按相反的顺序，从下游边开始拆除封堵材料。集中封堵所用的粘土，放入位于底节沉箱内可移动式工作平台上的木箱内。工作平台内备有管式千斤顶和木板。封堵材料清除后，拔掉所有的电灯，然后给沉箱减压。

一旦工人进入减压仓，沉箱便可开始减压。沉箱内的压力必须高于减压仓内的压力，因为每次减压过程都要利用沉箱内的空气。

一次定位约占地 60 m^2 ，修补工作（包括各种操作、施工过程）所花费时间见表 I。

修补方法

根据混凝土底板的磨损深度，采取不同的修补方法。如果磨损深度在5 cm 以内，直接用环氧混凝土填料补至所需要的高度。如果深度超过5 cm，先填一层环氧涂料，然后上面填补新混凝土。若磨损深度超过20 cm，以0.6 m 间距布置锚筋，并用环氧灌浆固结。所有接缝都采用环氧涂料处理（见表 I）。图7 绘出了修补的一般技术要求。

设备的拆除

按季风季节的推算洪水，需要溢洪道过流，因此在此期间要将设备拆除并将其存放在溢洪道左导墙侧。为了安全，同时为加速安装与拆除，安装了一台工作半径为14 m、起重能力为60 t 的旋转式起重机。

密封材料拆除方法

表 I

混凝土修补所采用的两种环氧成份

C I B A 环 氧	按重量配比	水力涂料 环 氧	按重量配比
GY-250环氧树脂粘合剂	100	水力涂料 树 脂	100
HY-2958硬化剂	16	水力涂料 1号硬化剂	151
石 英 砂	150-250	水力涂料 2号硬化剂	250
细骨料 (直径<5 mm)	400	石英砂	150-250
		细骨料 (直径 5 mm)	400

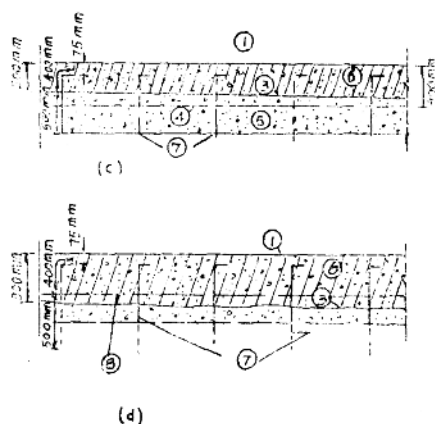
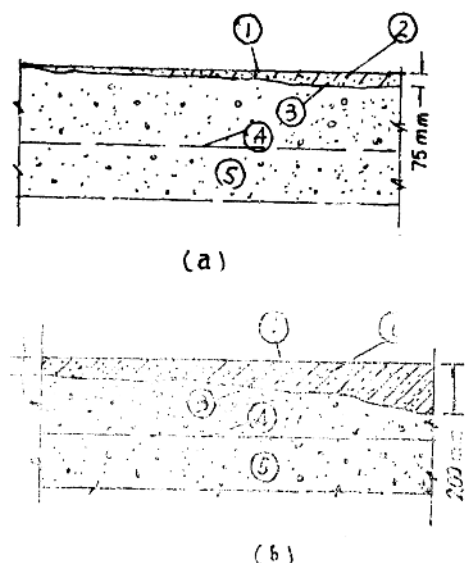


图 7 不同磨损深度的混凝土修补方法

①修补后抹光面；②环氧混凝土；③涂粘结剂的磨损面；④钢筋；⑤原混凝土；⑥普通混凝土（R300，塌落度±60mm），⑦中心间距0.6、长0.9m的φ20锚筋；⑧破坏处必须恢复的钢筋。

表 I 约60m²面积的修复工作所用时间

工 作 项 目	时 间 (h)
沉箱排水、移位和定位	10—16
底节沉箱刃边的封堵	4—8
河床或底板的清理	8—12
实际修补(混凝土浇筑)	48—96
养 护	16
沉箱减压和封堵清除	6
总周期	92—154