

HUNNINGTUMIANBAN DUISHIBA JISHU WENJI

混凝土面板堆石坝 技术文集

徐泽平 编译



黄河水利出版社

中国水利水电科学研究院 中国水利水电出版社 水利部成都山地工程研究所

混凝土面板堆石坝 技术文集

2007年 第1期

中国水利水电出版社

混凝土面板堆石坝技术文集

徐泽平 编译

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

混凝土面板堆石坝技术文集/徐泽平编译.
郑州:黄河水利出版社,2003.11
ISBN 7-80621-740-1

I.混… II.徐… III.混凝土面板堆石坝-文集
IV.TV641.4-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第101642号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路11号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrcp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:850 mm × 1 168 mm 1/32

印张:5

字数:125千字

印数:1-1 300

版次:2003年11月第1版

印次:2003年11月第1次印刷

书号:ISBN 7-80621-740-1 / TV-336

定价:15.00元

前 言

碾压式混凝土面板堆石坝是 20 世纪 60 年代后期国际坝工界在扬弃传统的抛填式面板堆石坝优缺点的基础上逐步发展起来的一种新兴坝型，以其投资省、工期短、安全性好、就地取材、施工方便、导流简易、适应性广等优点，受到国内外坝工界的普遍重视。

在面板堆石坝发展的进程中，1985 年在美国底特律举办的面板堆石坝学术研讨会和 1993 年在中国北京举办的高土石坝国际研讨会是两次里程碑式的事件。会议中，来自世界各国的学者和工程技术人员就面板堆石坝的设计、施工和运行管理经验进行了广泛的交流。近年来，随着水电工程建设的发展，混凝土面板堆石坝的技术水平也取得了长足的进步。目前，坝高 187 米的阿瓜米尔巴坝(墨西哥)和坝高 178 米的天生桥坝(中国)均已建成，而世界上最高的水布垭面板堆石坝(中国)亦已开工建设。为进一步推动混凝土面板堆石坝技术的发展，借 2000 年 9 月在北京举办第二十届国际大坝会议之机，中国大坝委员会、中国水力发电工程学会和中国水利学会主办了混凝土面板堆石坝国际研讨会(CFRD '2000)，会议共收到了来自 10 个国家的 55 篇论文，内容涉及了筑坝材料、工程设计、施工技术、监测与运行管理等多个方面，此外，会议期间还印发了国际上著名的面板堆石坝权威库克先生(Mr.J.B.Cooke)的纪念文集。

在 2000 年的混凝土面板堆石坝国际研讨会的论文集和库克纪念文集中，一些外国学者和工程技术专家提交了多篇具有较高水平的论文。这些论文介绍了目前国际上混凝土面板堆石坝技术发展的最新经验，对我国的工程技术人员具有极大的参

考价值。为充分向我国的工程技术人员推介国际上混凝土面板堆石坝的先进技术，进一步促进国内外同行的技术交流，笔者撷取了研讨会论文集和库克纪念文集的部分重要文章进行了编译，希望能以此为国内的相关工程技术人员提供必要的参考和借鉴。

本技术文集共编译了 8 篇文章，其中 6 篇取自研讨会论文集，2 篇取自库克纪念文集。内容涉及了当前国际上混凝土面板堆石坝的最新技术，包括施工中的挤压式挡墙技术、钢纤维混凝土在面板材料中的应用、深厚冲积层上的面板堆石坝、尾矿坝、趾板设计、抗震分析等诸多方面。

在编译出版过程中，得到了中国大坝委员会的支持与帮助，同时，中国水利水电科学研究院的蒋国澄教授、张文正教授、陈愈炯教授、陈祖煜教授、孙东亚博士对论文的编译提出了宝贵的意见，在此一并表示感谢。

真诚地希望读者对文集的缺点和错误提出批评和指正。

编译者

2003 年 8 月

目 录

深厚冲积层上的混凝土面板堆石坝	
..... Guillermo Noguera, Luis Pinilla, Luis San Martin	(1)
混凝土面板堆石坝的施工特点	
..... Bayardo Materon, R.T.Mori	(14)
HEC 在混凝土面板堆石坝上的经验——过去、现在和将来	
..... Sergio Giudic, Richard Herweynen, Peter Quinlan	(61)
Antamina 尾矿坝	
..... Alberto Marulanda P, Fabio Amaya, Mauricio Millan	(81)
采用钢纤维混凝土作为面板堆石坝的面板材料	
..... Ferdinand M.G.Budweg	(99)
面板堆石坝趾板的设计准则及其在塞浦路斯 Kannaviou 坝	
的应用	A.J.Brown, J.D.Gosden (108)
采用有限—无限元和接触面单元的面板堆石坝计算模型	
..... J. Noorzaei, E.Mohammadian	(127)
ITÁ 方法——面板堆石坝过渡层的施工新技术	
..... Fernando Resende, Bayardo Materon	(138)

深厚冲积层上的混凝土 面板堆石坝

Guillermo Noguera, Luis Pinilla, Luis San Martin

[摘要] 目前, 世界各国对于在岩石地基或稍差一些的地基, 如风化基岩上修建面板堆石坝已积累了颇为丰富的经验, 然而, 对于在冲积层地基上修建面板堆石坝(此时, 需要在面板与垂直防渗墙之间采用适当的方式进行连接)尚无经验。

在过去的十年中, 智利在河床冲积层最大厚度为 30 m 和 113 m 的地基上设计、建造了两座面板堆石坝, 它们分别是圣塔约纳坝和帕克拉罗(Puclaro)坝。这两座坝均采用了深入河床砂砾石的垂直防渗墙设计。在圣塔约纳坝, 防渗墙插入了基岩, 而在帕克拉罗坝, 防渗墙的深度略大于地基冲积层厚度的 50%。对于帕克拉罗坝, 选择不封闭的防渗墙, 是因为在此情况下, 渗流量从经济的角度看已可以忽略不计, 而且竖向的水力梯度也较小。

本文将介绍智利这两座修建于深厚冲积层上的面板堆石坝的主要特点。

1 引言

在常规的面板堆石坝设计中, 一般考虑将趾板与基岩直接相连。而对于修建在冲积层上的面板堆(砾)石坝, 为了减少坝基的渗流, 则需要将混凝土面板与深入到冲积层中的防渗墙连接。坝体的斜向防渗面可以是混凝土或沥青混凝土面板, 但需要通

过趾板与岩石相连或与竖向防渗墙相连。

在智利，通常河谷的冲积层在其低压缩性、强度以及自由排水等特征方面，与坝体填筑的压实砂卵石在质量上是相同的。

垂直防渗墙可以采用直接开挖或采用膨润土泥浆造孔的方式修建。造孔的泥浆随后将被塑性混凝土、普通混凝土或土—水泥—膨润土的混合物所替代。

直到 20 世纪 90 年代中期，采用在冲积层上修建防渗墙的面板堆石坝仅限于低坝或中等高度的坝。1964 年建成的意大利佐罗(Zoccolo)坝是一座重要的坝，其坝高 67 m，采用沥青混凝土面板防渗。1995 年，智利斯塔约纳坝建成，其坝高 106 m，插入基岩的垂直防渗墙高度为 35m。同样也是在智利，坝高 83m，采用高度为 60m 的悬挂式防渗墙的帕克拉罗坝于 1999 年建成。帕克拉罗坝的坝基冲积层厚度为 113m，在设计中选择了 60m 高的防渗墙，以期将渗漏量在经济许可的情况下减至最小。

另一个类似的坝是阿根廷的洛斯卡拉科列斯(Los Caracoles)坝，坝高 131m，防渗墙深 25m，目前正在施工。

对于这些坝，混凝土面板与沿河谷地修建的趾板组合在一起，趾板再与冲积层中的垂直防渗墙相连。水平趾板中有一个特设的连接缝，以承受面板与刚性防渗墙之间产生的差异变形。

以下一些有关斯塔约纳坝和帕克拉罗坝的数据给出了智利在深厚冲积层上修建面板堆石坝的经验。

2 地 质

智利的地貌特点为自安第斯(Andes)山脉朝向太平洋的陡坡地形，大部分河流均发源于海拔 4000 m 的阿根廷边界，并流向太平洋，通常其流程均小于 200 km。因此，地貌在坝趾地质描述中起着相当大的作用。

坝趾区的地层结构为陆相碎屑岩和安山火成岩岩石。整个

地层表现出白垩纪时代强烈的火山活动迹象。在早第三纪晚期，岩层受到冰川体的侵入，并在第四纪冰川的作用下，开始形成河谷。

随着河流的冲积作用，最终形成了目前的河谷形状，并形成了很深且非常透水的河床砂卵石覆盖层。由于河谷的坡度相对较陡，砂卵石层通常具有较低的细粒含量，一般均低于 10%。因此，它非常适用于作为坝体填筑料，而无需另作处理，而且，由于沉积层具有较低的渗透性和压缩性特征，它可以成为很好的面板堆石坝坝基。

3 地震活动性

智利位于那智卡(Nazca)板块和南美板块接触边界上，这两大板块以每年 10cm 的速度压紧。这种运动导致了南美板块下的那智卡板块向东收缩。由两个板块的相对运动所引起滑移面上一系列应力和位移变化，是导致圣塔约纳和帕克拉罗坝址区地震的几乎所有的诱因。

自 1906 年 8 月 7 日瓦帕瑞索(Valparaiso)地震后，智利安装了大量的地震观测仪器。通过对地震史料的分析可知，在智利中部，1906~1935 年间，至少发生里氏 7 级以上的地震 16 次、7.5 级以上的地震 9 次、8.3 级以上的地震 4 次。从已有的数据资料可以得出两次同级或更高级的地震发生的时间间隔，如表 1 所示。

表 1

震 级	间隔(年)
7.0	22
7.5	39
8.3	82

根据 1906 年以来的仪器观测资料，震级频率比(采用 Gutenl-

berg 和 Richter 公式)和最大地面加速度衰减(采用 Martin 表达式, 1990)如表 2 所示。对于如此之高的加速度值, 需要坝体上、下游采用较缓的坡度。

表 2

事件加速度	重现期(年)	最大值	
		圣塔约纳	帕克拉罗
最大可能地震 (设计地震)	50	0.27 g	0.25 g
最大可信地震	500	0.56 g	0.54 g

4 圣塔约纳坝和帕克拉罗坝概述

圣塔约纳坝位于华斯科(Huasco)河上, 在瓦楞纳(Vallenar)以东 20 km, 距圣地亚哥(Santiago)660 km(见图 1)。坝址海拔高度为 550 m, 建坝的目的主要是为 12 000 hm² 的土地提供灌溉用水。

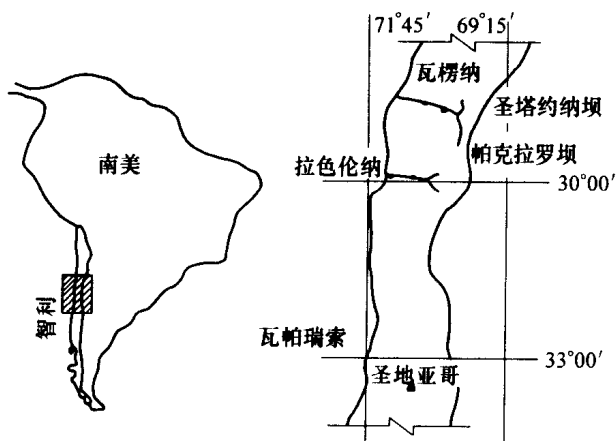


图 1 圣塔约纳坝和帕克拉罗坝的位置图

帕克拉罗坝位于依奎(Elqui)河上, 在拉色伦纳(La Serena)

以东 40 km,距圣地亚哥 500 km(见图 1)。坝址海拔高度为 435m。建坝的目的是改善依奎河谷 21 000 hm² 土地的灌溉条件。

这两座水库所在的区域为内陆型气候,有周期性降雨,但是冬季和干旱的夏季常降雨不足。在沿海地区,年均降雨量为 20 mm,中部地区(库区所在地)年均降雨量为 25 mm,在安第恩(Andean)山区,年均降雨量为 70 mm。

斯塔约纳坝修建在 30 m 厚的冲积砂砾石层上,为 106 m 高的混凝土面板砂砾石坝,其坝顶长 390 m,整个坝体砂砾石填筑方量为 2 700 000 m³,库容为 16 000 m³。帕克拉罗坝也是混凝土面板砂砾石坝,坝高 83 m,坝顶长 640 m,填筑方量 4 630 000 m³,库容为 20 000 m³。

斯塔约纳坝的平面布置如图 2 所示。右岸布置导流洞,这个导流洞以后将成为永久的泄流洞,左岸为侧槽式溢洪道。

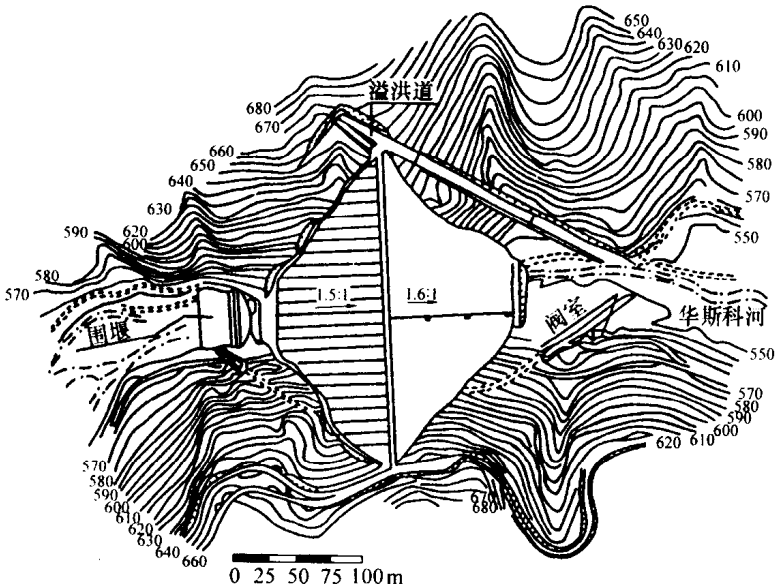


图 2 斯塔约纳坝的平面布置图

帕克拉罗坝的平面布置如图 3 所示。溢洪道位于右岸，导流洞位于左岸。

圣塔约纳坝溢洪道按千年一遇的洪水设计，其相应流量为 $1\ 075\ \text{m}^3/\text{s}$ ，并可泄放万年一遇洪水，相应流量为 $1\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$ 。帕克拉罗坝溢洪道按 2 000 年一遇洪水设计，其相应流量为 $2\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$ ，PMF 的流量为 $3\ 800\ \text{m}^3/\text{s}$ 。

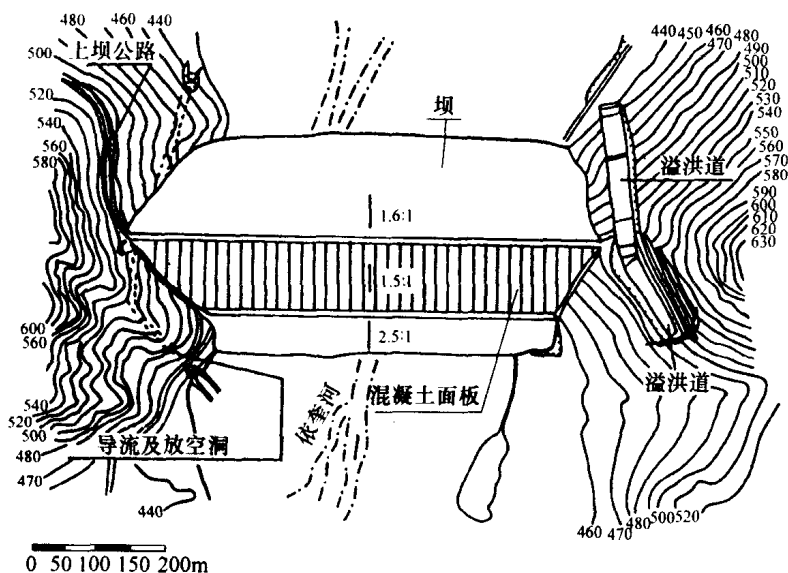


图 3 帕克拉罗坝的平面布置图

圣塔约纳坝坝顶宽为 6 m，帕克拉罗坝的坝顶宽为 8 m。两个坝的防浪墙高度均为 4 m，其上、下游边坡的坡度相同。坝体上游坡比为 1 : 1.5，下游坡比为 1 : 1.6。坝体的总体设计遵循了现代面板堆石坝设计的一般原则，在坝体材料分区和反滤的安排上采用了目前的最新设计思想。

这两座坝均采用连续浇筑的面板，面板宽度为 15 m，面板的厚度按公式 $t=0.3+0.002 H$ 确定。面板混凝土采用火山灰水泥，并进行了引气处理，其 28 天强度为 21 MPa。

这两座坝的筑坝材料均为取自河床的砂砾石，其各自的级配曲线如图 4 所示。坝体材料分区及压实要求如图 5 所示。

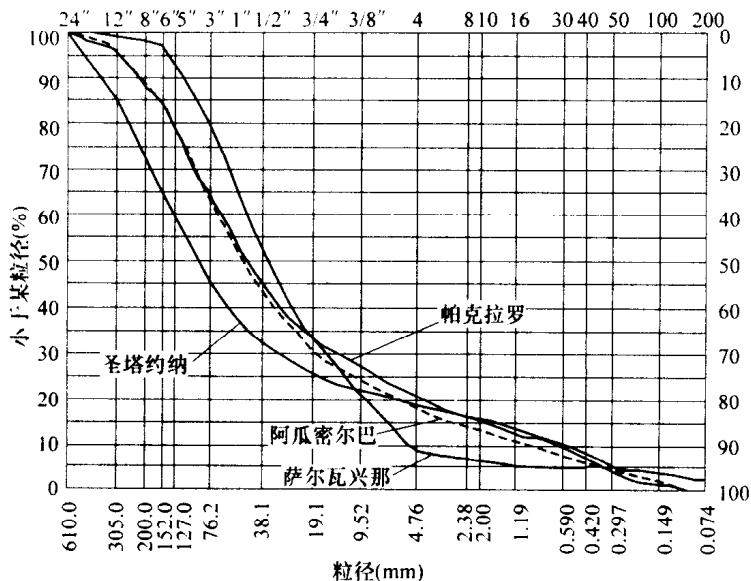


图 4 坝体砂砾石的级配曲线

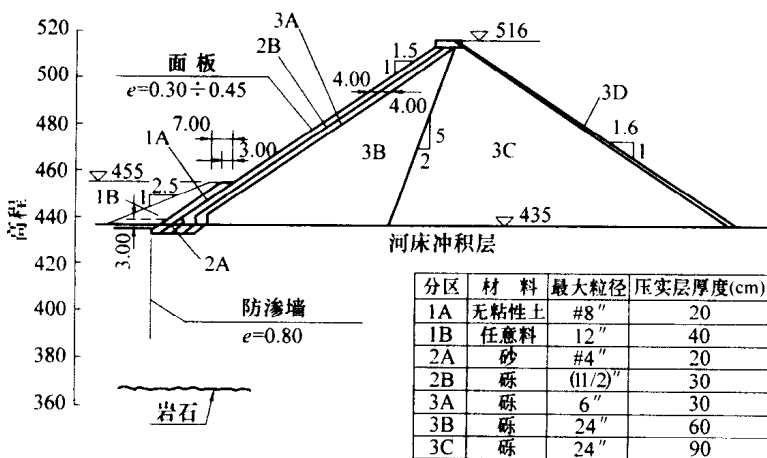


图 5 材料分区及压实要求(单位: m)

砂砾石料的平均特征如下：

坝址河床砂石的天然密度： $1.95\sim 2.2\text{ t/m}^3$ ；

平均上坝填筑密度： 2.3 t/m^3 。

5 防渗墙

圣塔约纳坝防渗墙面积为 700 m^2 ，且深入至基岩，最大深度为 35 m ，设计墙厚为 0.8 m 。

对于帕克拉罗坝，冲积层的最大深度为 113 m ，如采用全封闭防渗墙，防渗墙面积达到 $18\,000\text{ m}^2$ 。考虑到工程造价的因素，而且从渗漏损失上看，墙底渗漏量在 $0.25\text{ m}^3/\text{s}$ 是可以允许的，因此设计中采用 60 m 深的悬挂式防渗墙，设计墙厚为 0.8 m 。此时防渗墙总面积为 $16\,500\text{ m}^2$ 。仅当防渗墙与两岸坝肩相接时，才进行帷幕灌浆处理。悬挂式防渗墙附近的水力梯度很小。

两座坝的防渗墙，其顶部 6 m 范围采用钢筋混凝土，混凝土 28 天龄期强度为 20 MPa ，在这个区域之下，则采用 10 MPa 强度的混凝土。防渗墙上部 6 m 范围内采用钢筋混凝土，主要是考虑墙体要承受与坝体趾板的差异变形，关于这方面的内容，下文将作进一步的论述。

6 河谷趾板

由于防渗墙的压缩性低于坝基冲积层的砂砾石，因此，在水库蓄水时，防渗墙顶将会在与相邻的坝体和面板之间产生不均匀沉降。

由于水荷载的水平分量直接作用于混凝土面板和防渗墙上，因此，防渗墙和坝体的水平位移非常接近，它们之间的差异变形可以忽略不计，但是根据有限元计算分析的结果，防渗墙与坝体间的沉降变形相差较大，如本文第 7 部分所述。根据这些计算分析的结果可以发现，圣塔约纳坝水库第一次蓄水时，

上游趾板的沉降为 8 cm，帕克拉罗坝相应的沉降为 10 cm。而这两个坝的防渗墙墙顶沉降却都很小，几乎为 0。

通过以上的分析结果可知，在防渗墙顶和坝体混凝土面板之间，应该设置一层柔性单元。在圣塔约纳坝的设计中，这个单元位于防渗墙与坝体面板的趾板之间，两块板的总宽度为 6.0m(如图 6 所示)，帕克拉罗坝河谷趾板见图 7，三块板总宽为 6.5 m。这些连接板水平放置，在纵剖面上，每隔 10 m 有一条接缝。水平板与防渗墙的接头采用与其他接缝相同的止水形式，即铜止水和玛瑞脂填料。连接板采用抗裂加筋设计，如图 8 所示。

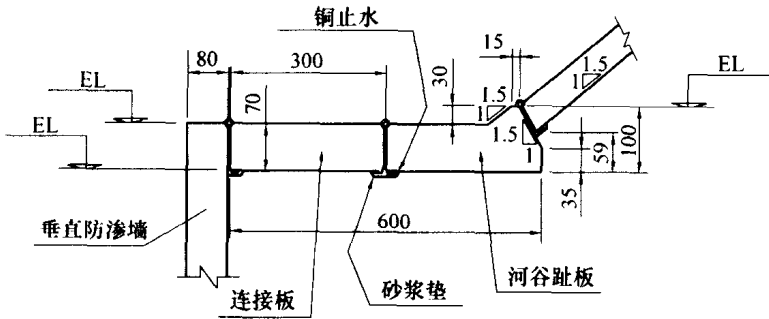


图 6 圣塔约纳坝河谷趾板与垂直防渗墙的连接(单位: cm)

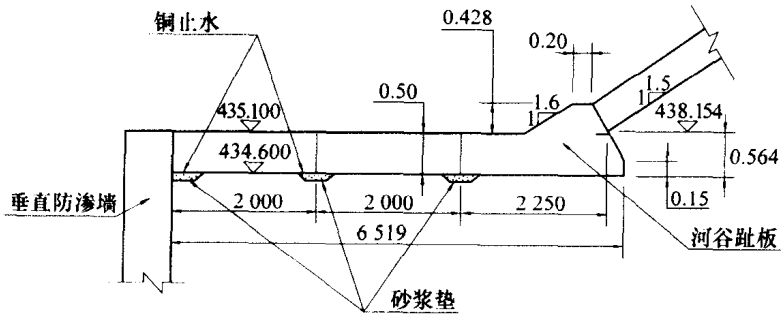


图 7 帕克拉罗坝河谷趾板(单位: cm)

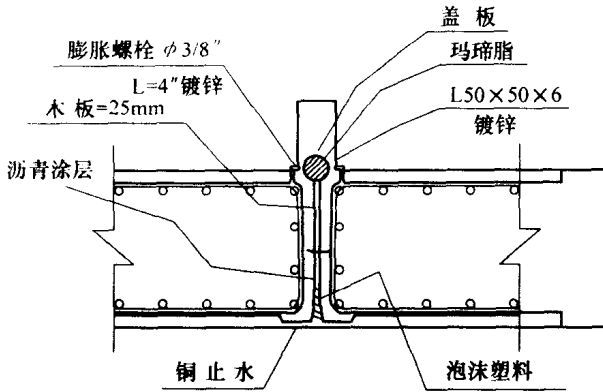


图8 水平缝细部(单位: mm)

连接板的施工在坝体填筑和防渗墙施工结束后进行, 这样一方面可以避免施工期产生的不均匀沉降, 另一方面可以为坝体和防渗墙的施工提供场地。

连接坝肩趾板和防渗墙以及河床段水平趾板的接头由岩基上的空间混凝土结构保护, 如图9所示。

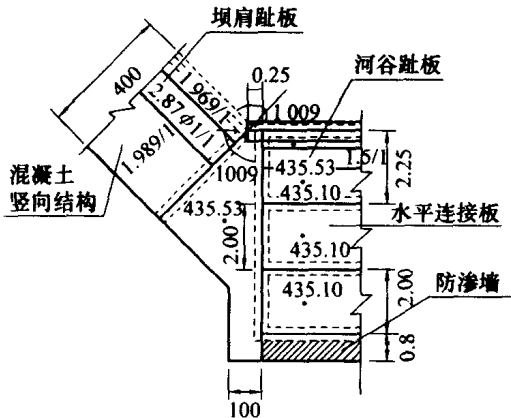


图9 连接坝肩趾板与水平趾板及防渗墙混凝土结构的平面图(单位: m)