

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5115—2000

混凝土面板堆石坝接缝止水
技术规范

条文说明

主编单位：中国水力发电工程学会混凝土面板堆石坝专业委员会
批准部门：中华人民共和国国家经济贸易委员会

目 次

1	范围	3
2	引用标准	4
3	术语、符号	5
4	总则	6
5	接缝止水结构	7
6	接缝止水材料	19
7	接缝止水施工	23
8	质量检查与验收	28

1 范 围

按照 DL/T5016 规定范围，以与设计规范相一致。

混凝土面板堆石坝已被广泛应用，至 1999 年底我国已建 40 余座，其中坝高在 100m 以上的坝有 4 座，最大坝高 178m，因此，本标准总结了坝高 200m 以下面板坝已有的成熟经验。坝高 200m 以上的面板坝，国内外都处于起步阶段，且我国在高地震区、陡岸坡及严寒地区筑面板坝的经验不多，规定坝高 200m 以上和有特殊情况和要求（如地震烈度高、岸坡陡等特殊地质和地形条件及严寒地区、抽水蓄能电站等特殊要求）的面板坝，其接缝止水要进行专门研究。

2 引用标准

本标准引用的标准，除按 DL/T600—1996《电力标准编写的基本规定》的要求叙述申明外，还引用了国家标准和行业标准。对正在修订（编）尚未正式颁布实施的标准，仍列出原标准序号。

3 术语、符号

为明确和统一混凝土面板堆石坝接缝的术语和专用止水材料的称谓，便于混凝土面板堆石坝更广泛应用而专立的条文。

4 总 则

4.0.2 混凝土面板堆石坝筑坝技术还在发展之中，其设计和施工仍以经验为主；面板坝的接缝止水尤其是周边缝止水承受多向变位，是可能的主要漏水通道；接缝止水结构不仅与坝高有关，还与坝址的地形、地质条件和施工质量有关；既要有完善的止水措施，又要保证这些措施能够达到预期效果。为此，接缝止水的设计和施工中应在充分研究工程具体条件，积极探索新技术、新材料、新工艺，以完善和提高接缝止水的可靠性；但它们的应用和推广，必须经过试验论证或鉴定，方能在实际工程中应用。

5 接缝止水结构

5.1 接缝止水结构型式

5.1.1 铜止水片压水试验及混凝土中预埋铜片的拉拔试验表明,在 **1.8MPa** 水压力下未发生水力劈裂,铜止水片和混凝土的黏结力达 **1.78MPa**。铜止水片的鼻子使它能适应周边缝的沉降、张开和一定的切向位移,只要施工质量好,它是 **200m** 以内高坝的主要止水防线。但它适应剪切位移的能力差,还需与其他止水结构配合使用。由于铜止水片在施工过程中可能变形,有些国家铜比不锈钢贵,故有用不锈钢止水片的成功实例,国内也开始研究使用不锈钢止水片。如青海黑泉面板坝用不锈钢止水片,但我国采用不锈钢止水片缺乏经验,要仔细选择不锈钢的型号,注意进行技术和经济比较后选用。

袋鼠溪 **Kangaroo Greek (59m)**、小帕拉 **Little Para (53m)** 和法台斯 **Fades (68m)** 等大坝的周边缝仅有 **PVC** 止水带,平达利 **Pindari** 坝加高到 **80m**,仍只有 **PVC** 止水带,坝体漏水量很小。**50m** 以下的坝,周边缝位移小,一道止水能满足防渗要求。**PVC** 止水带价廉,但止水带底部混凝土不易浇筑密实;铜止水片稍贵,施工期需要保护,混凝土浇筑质量较有保证;缝顶用柔性填料止水,施工方便,但成本高。从确保混凝土浇筑质量和减少成本出发,推荐用底部铜止水片。

龙溪 (**58.9m**) 坝、小干沟 (**55m**) 坝和国外许多 **100m** 以下大坝,以及塞沙纳 **Cethena (110m)** 坝、利斯 **Reece (122m)** 坝,只有两道止水,运行良好,故 **50m~100m** 坝用两道止水能满足大坝运行要求。第二道止水的结构与施工经验和经济有关。中部 **PVC** 止水带价廉,要求精细施工;顶部柔性填料止水较贵,密封不易,需与垂直缝底部铜止水片连接或自成表面封闭止水系统;用无黏性填料需与缝底下反滤料(小区料)组成止水系统,

无黏性填料的保护罩稍复杂。三种材料都可行，需视各工程具体条件选择。从提高止水的可靠性出发，第二道止水宜在缝顶加设。

除塞沙纳、利斯和雅肯布 Yacambu (160m) 坝外，100m 以上的坝都有三种材料的止水。室内试验表明，PVC 止水带在 1.3MPa 水压力下会发生绕渗，又要求模板分半，并影响混凝土浇筑质量，100m 以上高坝有不用它的趋势。塞格雷多 Segredo (140m) 和辛戈 Xingo (150m) 坝不设 PVC 止水带，缝顶部同时使用粉细砂和柔性填料止水，故目前仍宜设三种材料止水。周边缝构造见图 1。

无黏性填料的水压试验表明，只要缝底有反滤料，它能使

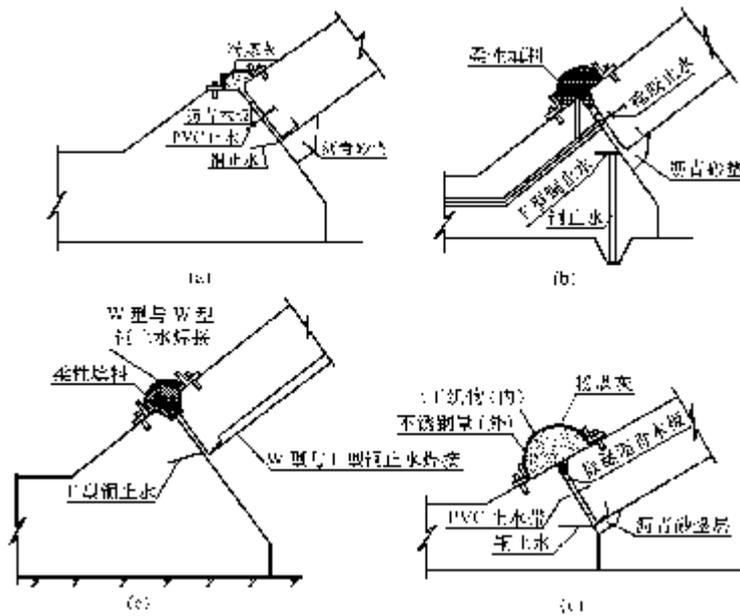


图 1 周边缝构造实例示意图 (一)

(a) 天生桥坝；(b) 莲花坝；(c) 天荒坪下库坝；(d) 阿瓜蜜尔巴坝

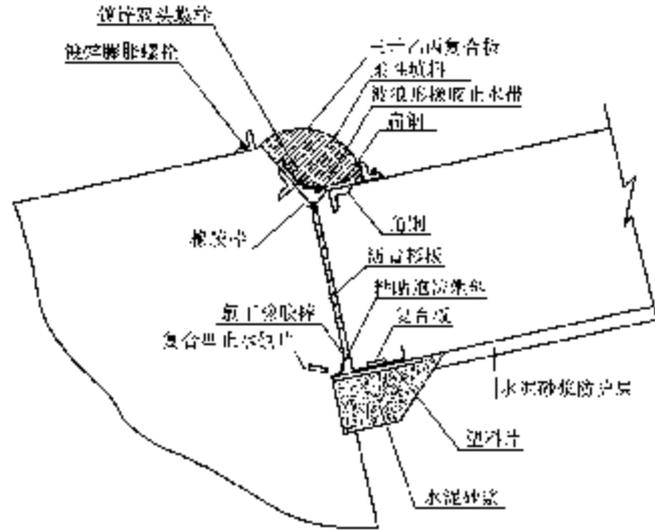


图 1 周边缝构造实例示意图 (二)

(e) 芦山坝

接缝淤塞而自愈止水。希罗罗 Shiroro (140m) 和其他坝用粉细砂水下堵漏获得成功，也证明无黏性填料能够淤塞接缝而自愈止水。这和高土石坝设下游反滤层控制和堵截心墙裂缝的集中渗流相同。330m 高的罗贡坝的成功兴建表明，良好的下游反滤料是土石坝安全的保证，无黏性填料（粉煤灰或粉细砂）和反滤料应是周边缝止水的可靠措施，故规定 100m 以上高坝的周边缝宜设无黏性填料的自愈防渗措施。天生桥 (178m) 和茄子山 (106m) 坝周边缝顶部设无黏性填料和缝底反滤料止水系统。

芦山面板坝将周边缝中部止水带移到表层，止水带两端用扁钢固定在趾板、面板中的预埋角钢上，下部放粗橡胶棒作支撑，从而避免了以前止水带放在中部易绕渗等缺点。

部分已建坝的周边缝构造和运行简况见表 1 和表 2。

表 1 国内 50m 以上混凝土面板坝周边缝情况简表

坝名	坝址	坝高 m	岩性	顶止 水	中止 水	底止 水	沉降 ¹⁾ mm	张开 ¹⁾ mm	切向 ¹⁾ mm	渗流量 ¹⁾ L/s	完建 年份
关门山	辽宁	58.5	安山岩	柔性 填料	橡胶	铜	4.75	2.4	2.8	16→5	1988
成屏	浙江	74.8	凝灰岩	柔性 填料	PVC	铜	-19.1	-6.52	10.7	70→10	1989
龙溪	浙江	59	凝灰岩	柔性 填料		铜	8.43	3.12	2.85	2.67→ 0.7	1990
西北口	湖北	95	灰岩	柔性 填料	PVC	铜	24.3	13.2	7.4	未监测	1990
小干沟	青海	55	砾石	柔性 填料		铜	3.5	3.4	1.9	3→0.9	1990
广蓄 上库	广东	68	花岗岩	柔性 填料	PVC	铜	10.5	3	10.5	1	1992
横山	浙江	70	凝灰岩	柔性 填料	PVC	铜	5.2	8	2.8	难测	1992
十三陵 上池	北京	75	安山岩	柔性 填料	橡胶	铜	2	13	2	5~14 (冬)	1995
万安溪	福建	93.8	花岗岩	柔性 填料	PVC	铜	21.9	3.82	3.1	13→5	1995
东津	江西	85.5	砂岩	柔性 填料		铜	2.3	4.8	1	量水堰 未成	1995
天荒坪 下库	浙江	95	流纹岩	柔性 填料	PVC ²⁾	铜	6.11	8.52	5.74	23→3	1997
泽雅	浙江	78.8	灰岩 板岩	柔性 填料		铜	14.07	8.65	23.00	未监测	1998
古洞口	湖北	120	砾石 灰岩	柔性 填料	PVC	铜	13.13	5.14	3.89	量水井 中无水	1998
天生桥	贵州 广西	178	灰岩砂 泥岩	粉煤灰	PVC ³⁾	铜	14.5	13.56	19.4	41	1999

1) 缝的位移和坝的渗水量为施工过程的数量，不是最终值；
 2) 上部无 PVC 止水带，仅下部设；
 3) 中部止水有 PVC 止水带或铜止水片。

表 2 国外 50m 以上混凝土面板坝周边缝情况简表

坝 名	国 家	坝高 m	岩性	顶止水	中止水	底止水	沉陷 mm	张开 mm	切向 mm	渗流量 L/s	完建 年份
阿利亚 (Areia)	巴 西	160	玄武岩	柔性填料	PVC	铜	55	23	25	238→70	1980
塞沙纳 (Cethana)	澳大利亚	110	石英岩		PVC	铜		11	7.5	35→7	1971
安其卡亚 (Anchicaya)	哥伦比亚	140	角页岩		橡胶		106	125	15	1800→180	1974
希罗罗 (Shiroro)	尼日利亚	125	花岗岩		橡胶	PVC	50	30	21	1800→100	1984
利斯 (Reece)	澳大利亚	122	辉绿岩		海普龙	不锈钢	70	9.8		5.5→1	1986
平达利 (Pindari)	澳大利亚	85	斑 岩		PVC					0.3	1995
小帕拉 (Little Para)	澳大利亚	53	板状白云岩		PVC		64	6	36	19.2	1977
袋鼠溪 (Kangaroo)	澳大利亚	59	片 岩		PVC		50	5.5	19	15→1.2	1969
温尼克 (Wimcke)	澳大利亚	85	砂岩泥岩		橡胶	铜	21.5	9	24 ¹⁾	58→18	1979
红树溪 (Mangrove)	澳大利亚	80	砂 岩		橡胶	铜	57	12		6	1981
奥塔迪斯 (Outardes)	加拿大	55	片麻岩		PVC	铜		0.1			1978
格伦尼斯 (Glennise)	澳大利亚	67	凝灰岩		PVC	铜					1983
法台丝 (Fades)	法 国	68	花岗岩		橡胶			10		63→21	1967
西拉塔 (Cirata)	印度尼西亚	125	凝灰角砾岩	柔性填料	海普龙	铜		6		10→2	1987
考兰 (Khao Laem)	泰 国	92	灰 岩	柔性填料	海普龙	铜	8	5	22 ²⁾	250→53	1984
萨尔瓦兴娜 (Salvajina)	哥伦比亚	148	砾 石	柔性填料	PVC	铜	19.7	15	15.4	60	1985

续表

坝名	国家	坝高 m	岩性	顶止水	中止水	底止水	沉陷 mm	张开 mm	切向 mm	渗流量 L/s	完建 年份
格里拉斯 (Golillas)	哥伦比亚	125	砾石	柔性填料	PVC	铜		100	36	1080→650	1978
贝雷 (Bailey)	美国	94.5	砂页岩		PVC	PVC	152			370→60	1979
巴塔艾 (Batang Ai)	马来西亚	80	辉绿岩	柔性填料	PVC	铜				20→25	1985
特罗尔湖 (Rror lake)	美国	59.4	硬砂岩	柔性填料	橡胶	铜				14	1985
马琴托斯 (Mackintosh)	澳大利亚	75	硬砂岩		海普龙	不锈钢	23	5.3	2.3	18→7	1981
默奇松 (Murchison)	澳大利亚	94	流纹岩		PVC	不锈钢	8.5	20	15	14	1982
科特梅尔 (Kotmal)	斯里兰卡	97	花岗岩		橡胶	铜	12	2	4	33→10	1985
克罗蒂 (Crotty)	澳大利亚	80	砾石		PVC	不锈钢	20	1.9	2.9	47	1991
塞格雷多 (Segredo)	巴西	145	玄武岩	柔性填料		铜	2	6		390→45	1992
辛戈 (Xingo)	巴西	150	玄武岩	柔性填料		铜	29	30	45	127→160	1994
阿瓜密尔巴 (Aguamilpa)	墨西哥	187	砾石	粉煤灰	PVC	铜	16	19.1	5.5	258→50	1983
福蒂纳 (Fortuna)	巴拿马	105	花岗岩		PVC	铜					1982
马查丁霍 (Machadiao)	巴西	124	玄武岩	柔性填料	PVC	铜					1993
巴斯塔阳 (Bastyan)	澳大利亚	75	流纹岩		PVC	不锈钢	22	5		7 (1984)	1993
巴昆 (Bakun)	马来西亚	205		柔性填料	PVC	铜片					2003

1) 面板出现结构性裂缝, 渗水量由大变小再变大;
2) 面板出现结构性裂缝。

5.1.2 垂直缝主要经受张开或压缩位移。中、低垂直缝位移小，压性垂直缝只设底部铜止水片就能满足防渗要求。利斯和成屏坝，所有垂直缝只有底部铜止水片，运行良好。高坝张性垂直缝

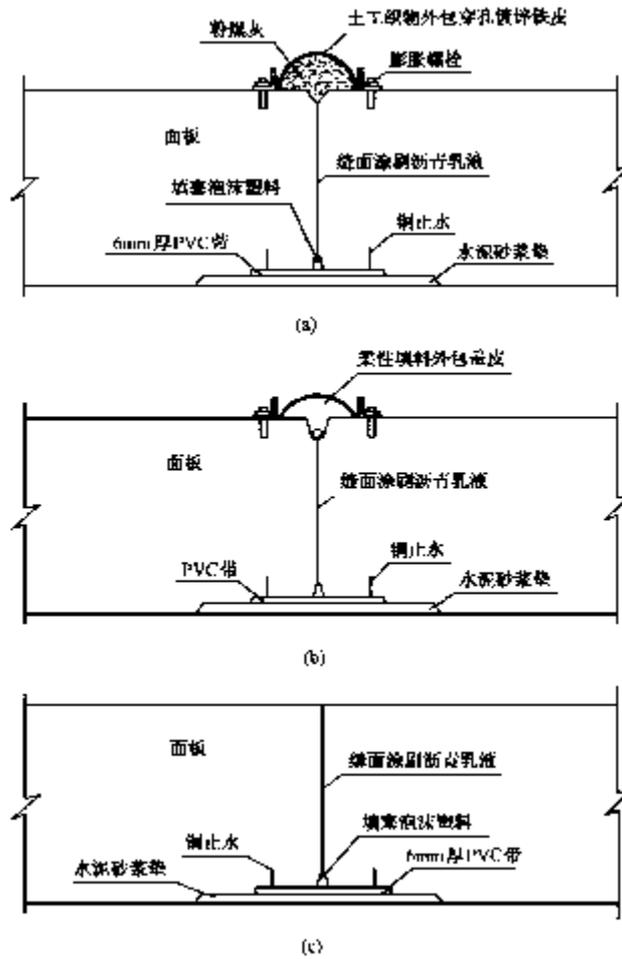


图2 面板坝垂直缝止水结构例图

(a) 张性垂直缝（表面止水为无黏性填料）

(b) 张性垂直缝（表面止水为柔性填料）；(c) 压性垂直缝

位移较大，需加设第二道止水。第二道止水位置和周边缝结构有关，由于顶止水施工方便，第二道止水有用顶部止水的趋势。若周边缝设有底部、中部止水，张性垂直缝的第二道止水也应为顶部止水，参见图 2。

5.1.3 由于防浪墙和面板都在位移，增加了防浪墙底缝设计的难度。若防浪墙底缝高程低于正常蓄水位，此缝损坏后，将导致坝体漏水，其止水结构要专门研究。鉴于在防浪墙浇筑前，面板端面可粘贴预塑柔性填料，再浇防浪墙混凝土。缝内粘贴的预塑柔性填料直接支承在底部铜止水片上，其止水效果可能比缝顶止水好，可研究这种止水结构代替缝顶止水的可行性。

5.1.4 防浪墙墙体接缝的止水片和防浪墙底缝铜止水片或缝内柔性填料连接，以形成封闭止水。

5.1.5 面板和其他建筑物连接的接缝与周边缝一样重要，但它与周边缝有差别。主要是接缝底部堆石体厚度大，缝的位移可能较大，除按周边缝设计外，还要求有减少位移的措施，如设薄层碾压的堆石高密度区。

5.1.6 趾板一般不设伸缩缝，但在断层破碎带或全风化岩石等岩性变化大及地形突变的地方，需设伸缩缝。伸缩缝止水片的一

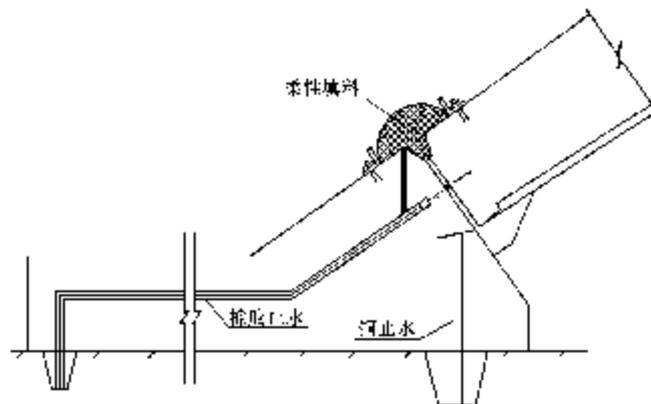


图 3 趾板伸缩缝止水图

端要埋入基岩内，另一端要与周边缝的止水片连接，以构成封闭止水系统。与周边缝止水连接，可以与底部铜止水片连接，也可与中部PVC止水带（如有）连接，当周边缝缝顶有柔性填料时，该填料还应与伸缩缝的止水片连接，如图3。

5.1.7 防渗墙和冲积层的趾板之间位移差别大，坝体的侧压力将影响防渗墙的应力，高坝多在其间设连接板，规定此两接缝的止水结构按周边缝设计。

5.2 接缝止水构造

5.2.1 周边缝缝的宽度大，填缝材料多，如果漏水，渗水量更大，故缝宽一般为12mm宽。一些预计切向位移大的坝，如格里纳斯Galillas（127m）、萨尔瓦兴娜Salvajina（148m）、利斯Reece（122m）和考兰Khao Leam（130m）等坝，铜止水片鼻子宽24mm或更大，前两个坝的缝宽除在缝底部局部加宽外，缝的其余部分仍为12mm，后两个坝的缝宽为24mm。也有的工程铜止水片的鼻子是从12mm向下渐变增大的工程实例。

胶合板外表面涂刷沥青代替沥青浸渍木板已在一些坝上应用。将木板黏贴在趾板上，可避免钉木板的钉子划破PVC止水带。

5.2.2 铜止水片放在PVC垫片上，目的是避免铜止水片被石块刺破。沥青砂垫直接在面板下，其变形将影响缝的位移。为此，沥青砂砖的尺寸要与周边缝止水片的保护罩尺寸协调；沥青砂砖的变形模量应稍高于垫层料的变形模量。有取沥青砖变形模量为80MPa~100MPa的设计实例，可供参考。为使止水片适应周边缝的位移，应保证水泥浆不进入鼻子内，需将鼻子填满，并在两平段端部用沥青或砂浆止浆条。

5.2.3 F型铜止水片的细部尺寸是塔斯马尼亚水电局及国内一些工程的大样。

5.2.4 即使周边缝顶部面膜能密封柔性填料，若垂直缝只有底部铜止水片，通过局部张开的垂直缝的渗水可能进入周边缝内，使

柔性填料被渗水浮起，失去止水作用。有三种方法截断这种可能的渗水通道：

1) 用PVC止水带（株树桥）或铜止水片（天荒坪），一端与缝顶柔性填料止水连接，另一端与垂直缝底部铜止水片连接，如图4所示：

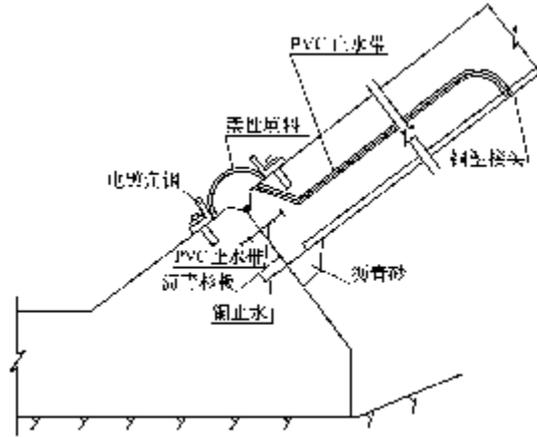


图4 柔性填料止水与面板铜止水片连接图

2) 在周边缝附近的垂直缝内设柔性填料并接底部的铜止水片，并在此段垂直缝顶部设柔性填料止水，一端与周边缝缝顶的柔性填料连接，另一端与柔性填料井连接，如图5所示；

3) 或在所有垂直缝顶部都设柔性填料止水，与周边缝缝顶的柔性填料形成完整的表面止水系统。亚肯布坝只有完整、封闭的表面止水系统，周边缝内填预塑 Progress2000（柔性填料），缝底无止水片就是一例，莲花坝也设完整的表面止水系统。

5.2.5 柔性填料要和一个支撑体构成止水系统。缝口设橡胶棒，可以阻止柔性填料向缝内流动，起支撑体的作用，此作用已被试验证明，阿利亚、白云和西北口等坝采用过。缝顶只有柔性填料止水时，推荐采用。

5.2.6 无黏性填料靠渗水带入缝内，与缝底反滤料形成止水系

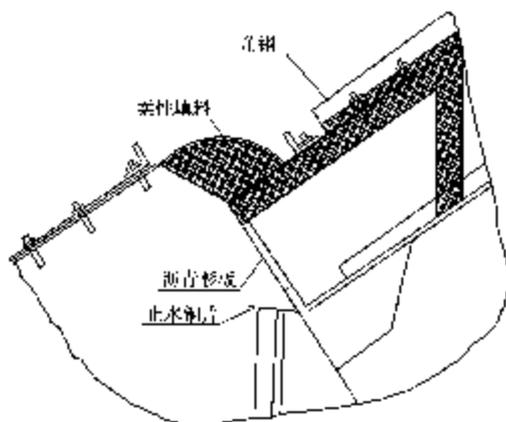


图5 柔性填料止水与铜止水片连接图

统，故保护罩应透水；水位变动时，无黏性填料不应被带出罩外，故需土工布的反滤保护；为使土工布不被内外水压差拉坏，不能只用土工布作保护罩，应用带孔金属片内衬土工布作保护罩。

5.2.7 试验表明，凸面受水压，PVC 止水带的凸面会反转开裂，承受水压力的能力比凹面低，故应使凹面作迎水面。

5.2.8 固定面膜时，若缝两侧混凝土面起伏大，宜用扁钢固定面膜，萨尔瓦兴娜坝就是一例；反之，用角钢固定面膜。根据工程经验，膨胀螺栓的间距不大于 0.5m。水库结冰后，混凝土冻胀使膨胀螺栓松动，在风浪作用下，冰块的反复撞击，角钢被撞松，甚至撞掉，莲花和十三陵面板坝出现过此现象，故不宜用角钢或膨胀螺栓固定面膜。严寒地区固定面膜应专门研究，可试用化学剂黏结，也可把扁钢和螺栓焊接在一起，将其分别焊在趾板和面板的钢筋上，预埋在混凝土内供其后固定面膜。

5.2.9 止水片保护罩有用金属抽屉式和木盒式，各工程可视具体条件选用。由于保护罩会影响碾压，应尽量减少保护罩的尺寸。

5.2.10 垂直缝底部铜止水片一端与周边缝底部铜止水片连接，另一端与防浪墙底缝的铜止水片连接，形成完整的底部止水系统。

若周边缝中部有 PVC 止水带，而垂直缝没有时，渗水会绕过周边缝的 PVC 止水带，需将这个通道堵死。可在垂直缝中部设 5m~10m 长的 PVC 止水带，一端与周边缝中部止水连接，另一端与垂直缝底部铜止水片连接。当有缝顶柔性填料止水时，由于缝顶止水要与垂直缝底部铜止水片连接，可以截断从垂直缝渗水流入周边缝内，这时周边缝的 PVC 止水带不必与垂直缝底部铜止水片连接。

5.2.11 此系引用塔斯马尼亚水电局及国内一些工程的尺寸要求。

5.2.12 砂浆垫的作用是支承 W 型铜止水片和侧模，是控制面板尺寸的基础。垫层料是无黏性材料，在其上挖槽后作砂浆垫，越挖越松，费工又不能提高砂浆垫的质量，故在坡面挖槽作砂浆垫与直接在坡面上作砂浆垫的功能是一样的。可以研究把砂浆垫直接浇在坡面上，天生桥、塞格瑞多和巴塘艾坝就是这样设计和施工的。

5.2.13 鼻子内填橡胶棒或聚氨酯泡沫后贴胶带纸，目的是阻止水泥浆流入止水片鼻子内，保证止水片能变形自由。

5.2.15 为减少面板的位移，垂直缝都用平接硬缝，缝内不设填充料，地震期间，接缝附近的混凝土有挤坏的实例。天生桥坝地震动力反应分析成果表明，强震时，沿坝轴线方向面板相互挤压。为避免地震期间挤坏面板混凝土，8 度~9 度地震区的混凝土面板堆石坝宜设几条柔性垂直缝。阿瓜密尔巴坝面板设了 5 条柔性垂直缝，缝宽 12.7mm，缝内填沥青浸渍木板。

5.2.16 面板拉应力区内设施工缝，若缝面处理不好，运行期该施工缝可能被拉裂，应尽量避免在拉应力区设施工缝。为简化施工缝处理的工艺，国内已生产建筑用的混凝土黏结剂，可以试用。

5.2.17 混凝土浇筑块存在锐角，锐角处混凝土容易被破坏，应该避免。分期浇筑面板的水平缝，应使缝端面垂直于坡面。

6 接缝止水材料

6.1 一般规定

6.1.2 为保证止水材料质量，必须慎重选择止水材料的生产厂家。选择经国家有关管理部门批准的专业厂家生产的产品，并符合国家或行业标准的止水材料是质量的保证措施。

6.1.3 本条是对铜、PVC 和橡胶等材料制作的止水片（带）的基本要求。

6.1.4 鼓励采用性能优良的新型材料，但对新型材料的选择应经试验论证，并经监理单位同意。

6.2 铜止水片

6.2.1 纯铜带材按 GB/T 2059 标准，其特征性见表 3。

表 3 铜带主要特征

型号	状态	厚度 mm	抗拉强度 MPa	延伸率 %	宽度 mm
T2、T3	M (软)	0.5~1.0	≥196	≥32	≤600
TP1、TP2	Y (半硬)	0.5~1.0	245~343	≥8	

6.2.2 从表 3 可知，铜在 M (软) 状态下，延伸率大于 32%，在 Y (半硬) 状态下，延伸率大于 8%。延伸率大，加工安装过程中容易变形；延伸率小，成型时容易发生裂纹，订货时要提出状态要求。前者需用稍厚的铜片，后者可用稍薄的铜带或稍大的弯曲半径。一般用半硬铜，定货时要求工厂作退火处理，退火温度为 200℃~350℃。铜带的厚度不超过 1mm，弯曲半径为 6mm，延伸率在 20%左右可以满足要求。

6.2.3 铜片厚度基本不影响它适应变形的能力，在相同的弯曲半径下，弯曲部分的应变与它的厚度成正比，故规定厚度不超过

1mm。阿利亚、塞格瑞多坝的铜片厚度约 0.7mm，天生桥坝为 1mm。

6.3 PVC 和橡胶止水带

6.3.1 PVC 止水带尚无行业或国家标准，所列指标系国内外工程指标的综合。现将一些工程的指标列成表 4，由于试验方法不同，表中数值的含义也会有差异，仅供参考。

表 4 PVC 止水带技术指标

项 目	Areia	BatangAi	Reece	Aguamilpa	Salvajina	广蓄	天生桥
拉伸强度 MPa	7	14~16	15	14.4	15.5	14	15
断裂伸长率 %	300	280~350	275	350		300	300
邵尔硬度	65°±5°	55°~65°	75°	78°±3°	83°	65°	55°~65°
密度 g/mL	1.48±0.03	1.33±0.03		1.3			
脆性温度 ℃				-19.5*			
吸水率 %				0.3	0.3		0.3
* Agumilap 止水带按 VINYLEX 公司的资料列出，使用标准 ASTM D746，在 -19.5℃ 通过低温脆性检测。							

为统一检测，建议拉伸强度和断裂伸长率检测使用标准 GB1040，检测邵尔硬度和吸水率分别使用标准 GB2411 和 GB1034，脆性温度检测暂时使用标准 ASTM D746。

综合文献资料，PVC 止水带的物理力学性能如表 5，以便于设计时依据和施工中参考。

表 5 PVC 止水带物理力学性能

项 目		测试方法	性能指标
拉伸强度 MPa		GB1040	>14
断裂伸长率 %		GB1040	≥300
硬度 (邵尔)		GB2411	>65°
密度 g/mL		ASTMD792	1.07
脆性温度 ℃		ASTMD746	≤-37.2
吸水率 %		GB1034	<0.5
挥发损失 %		ASTMD1023—89	<0.5
加速耐碱	质量变化率 %	JISK6773	±5
	强度变化率 %	JISK6773	±20
	伸长变化率 %	JISK6773	±20
加速耐盐	质量变化率 %	JISK6773	±5
	强度变化率 %	JISK6773	±10
	伸长变化率 %	JISK6773	±10

6.3.2 橡胶止水带性能要求表 6.3.2 是引自国家标准 GB18173.2—2000《高分子防水材料 第二部分 止水带》。

6.4 柔性填料

6.4.1 条文中提出柔性止水填料的技术要求，是综合有关文献提出的，便于设计时依据、施工中控制。国外一般选用 SIKA 厂生产的 IGAS 系列产品，国内生产了类似产品，部分指标比 IGAS 更优。柔性填料是在隔水条件下靠水压力压入张开的缝内

达到止水,要保证能进入缝内,其性能应适应坝址的气候环境。水上的柔性填料直接暴露在阳光下或受霜冻,提出相应温度范围的要求。

6.5 无黏性填料

6.5.2 无黏性填料止水的机理是,填料被渗水带入缝内,受缝底反滤料的拦截,淤积在缝内,在渗水压力长期作用下密实,渗透流量逐渐减小,达到止水。为此填料本身要无黏性,粒径要小,容易进入细小的缝内;渗透系数至少要比反滤料小一个数量级,才能在填料内形成较大的渗透压力差,缩短自愈的过程。

6.6 辅助材料

6.6.1 用作面膜的材料较多,我国面板坝工程中实际应用的如条文中所列,尚无具体技术指标,所以条文中规定参照同材质材料执行。国外用加筋海普龙作面膜,可见作面膜材料的抗拉强度应大于 PVC 止水带的值。莲花坝用加筋橡胶带作面膜。国内也有些工程采用三元乙丙片作面膜,以提高面膜的耐老化性能。

6.6.2 做面膜或保护罩用的金属片比作止水片用的重要性低,故规定的厚度稍薄,阿利亚坝作面膜用的镀锌铁片厚 0.5mm。

7 接缝止水施工

7.1 一般规定

7.1.4 铜传热快，高温易氧化和流动，焊接较难。PVC及橡胶止水带连接也容易出现质量问题，保证焊接质量是提高止水材料止水效果的重要措施之一。要提高焊接质量，必须进行焊接试验，以此确定满足焊接质量要求的焊接工艺和焊料。

7.1.5 周边缝下沥青砂的配合比，一般是1:9~1:10，沥青的针入度为50~60，用拌和混凝土的砂，不加其他填充料。砂浆的水泥与砂之比一般为1:3左右。

7.1.7 在浇筑混凝土时，容易引起止水片（带）变形变位，使止水片（带）失效，或由于振捣不密实容易出现绕渗等现象，因此，应指定有经验的施工人员进行铺料、振捣，并有止水片埋设人员监护。

7.1.8 因各种原因，止水设施容易破坏，止水设施应进行保护。止水片（带）的保护应按设计要求施工，当没有止水保护的设计时也应进行必要的保护，以避免对止水片（带）的破坏。

7.2 铜止水片加工与安装

7.2.1 砂浆垫施工平整度控制面板表面的平整度。本条对砂浆垫的平整度的要求是根据施工经验提出来的。对砂浆垫宽度一般按设计要求宽于止水垫片。

7.2.2 如果铺设PVC垫片出现褶曲和空泡，在水压力作用下，垫片被压紧，导致铜止水片局部位移，增加渗水的可能性，故要求垫片与砂浆垫平铺紧密。国内大多数工程采用黏合剂或热沥青将垫片与砂浆粘贴，但也有些工程，如成屏、万安溪等，不粘贴而是直接平铺在砂浆垫下，因此应根据设计要求进行。

7.2.3 铜止水片加工成型方法有冷挤压、热加工和手工成型。冷

挤压容易对铜卷材进行加工成型，从而有效地减少接头数目；热加工和手工成型时，加工件的长度受到限制；手工成型的止水片平整度差。后两种加工方法应予淘汰。冷挤压成型后的止水片长度大，容易发生扭曲变形，为避免发生此现象，尽可能靠近工作面加工，成品出口处设置托架。

7.2.4 铜止水片表面的各种污渍会削弱它和混凝土的黏结力，因此必须清除。

7.2.5 铜止水片连接一般有搭接和对接两种方法。直接连接应搭接后焊接，搭接长度应大于 20mm。试验表明，若焊缝内有夹渣、裂纹，容易漏水，为确保止水效果，故规定双面焊接。但如果确因条件所限搭接焊接不易进行双面焊接时，宜采用钨极氩弧焊的单面焊。采用单面焊接时，应采用双层焊道的方法进行（即焊接一遍后，再在其上加焊一遍）。对于特别重要的工程或质量不易保证时，可以在对缝焊接后焊接与止水片形状相同的贴片，以增加抗拉强度，提高变形能力。

铜止水片焊接方法有气焊、钨极氩弧焊等。气焊焊接残余变形大，接缝性能差，但熔池温度容易控制，受施工现场影响小，价格低。钨极氩弧焊（TIG）用惰性气体保护，惰性气体不溶于液态金属，也不与液态金属产生化学反应，用它能成功地焊接易氧化、化学活动性较强的有色金属和不锈钢，由于它在小电流下能稳定燃烧，适合焊接薄板。国外多用此法焊接，但氩气较贵，焊接成本高，对环境条件要求较高，大型工程在工厂内加工宜采用。手工电弧焊接易出现气孔和裂纹，不应采用。

气焊应预热，预热温度约为 400℃~500℃。气焊常使用焊剂，焊剂主要由硼酸盐、卤化物和它们的混合物组成。焊接时焰芯离开工件表面的距离应保持在 2mm~4mm，焊后沿焊缝两侧 100mm 范围内进行热锤击。可使用紫铜丝或黄铜焊丝。当铜带很薄，为降低气焰温度，可用丙烷和丁烷混合物代替氧—乙炔。十三陵工程用黄铜焊条气焊解决了铜片的焊接工艺问题，用黄铜焊条气焊，不受施工现场影响，焊缝具有较好的塑性，焊接质量满足要求，

价格低。单层焊道焊缝因可能存在薄弱面而强度低，双层焊道焊缝可基本排除薄弱面，提高焊缝强度。

7.2.7 鼻子使铜止水片具有较大变形能力，为达此目的，要防止浇筑混凝土时砂浆或其他物质进入鼻子的空腔内，可采用鼻子内填塞可塑性填料、用胶带封闭等措施。可塑性填料以聚胺酯类泡沫塑料较好，也可用沥青浸渍的泡沫塑料或其他塑料材料。

铜止水片适应剪切位移的能力差，要求鼻子埋设位置正确，如果鼻子埋设成蛇形，剪切位移时容易扭曲，与缝壁挤压，甚至破裂，故规定埋设的精度要求。

周边缝鼻子顶部涂刷沥青漆，以防止鼻子顶部铜片和混凝土黏结，适应坝体变形，但刷漆要薄，避免流淌，污染它处。

7.3 PVC 或橡胶止水带安装

7.3.1 PVC 止水带与混凝土的有效黏结是防止绕渗的关键，使用前应清除止水带上的各种污染物。

7.3.2 PVC 止水带用热黏结或热焊接头，关键是温度的控制。橡胶止水带接头应采用硫化连接，实际应用中接头质量比较可靠。检查接头质量的标准是，接头的抗拉强度不小于材料本身强度的 60%。

7.3.3 PVC 止水带安装的关键是固定其位置，除采用模板夹紧外，一种是在止水带的有效部位外穿细铅丝固定止水带的位置；一种是用细钢筋作托架，支撑止水带。

7.4 异型接头的连接

7.4.1 异型接头的焊缝长，焊缝的延伸率比母材低得多，因而止水连接质量受到影响。在工厂加工异型接头，可冲压成型，又可退火处理，能显著改善接头的质量。十三陵坝的“十”字形和“丁”字形接头用 1.5mm 的软铜冲压、退火而成，接头外观平整，效果好。但由于开挖的局部改变或其他原因，所有异型接头都事前确定并交工厂加工也不现实，故有些异型接头仍需在工地现

场焊接。

7.4.3 PVC 止水带和铜止水片热黏或冷黏后铆接，也可螺栓连接，天生桥坝和辛戈坝用螺栓连接。

7.4.4 铜止水片或 PVC（或橡胶）止水带与柔性填料止水的连接有沥青井式、插入式等方法，应根据设计要求选择。

7.5 柔性填料施工

7.5.1 缝顶槽形尺寸与柔性填料流动有关，应严格按设计图纸施工。

7.5.2 为安装膨胀螺栓时减少对混凝土面板损坏，需要混凝土有一定强度后才能进行。

柔性填料具有憎水性和低熔点，宜在较高的环境温度和无雨天气施工，以保证柔性填料施工质量。根据经验，推荐在日平均气温高于 5℃、无降雨的白天施工，以免影响填筑质量，也有利于安全施工。潮湿天气下或其原因施工难以保证干燥面时，可用潮湿面黏结剂。当分期施工柔性填料时，为避免水进入缝内，其端部需封闭，防止水进入缝内。

7.5.3 保证周边缝位移后柔性填料的止水效果，必须确保柔性填料与混凝土表面的良好黏结。为作到这点，先去掉接触面上的浮浆或松动的混凝土块，用钢丝刷刷净表面，烘干接触面（如果潮湿）后，再按照厂家要求，涂刷黏结剂。注意涂刷的范围应略大于填料填塞需要的范围。我国已开发用于潮湿面的黏结剂，潮湿多雨的地区可以应用。

7.5.7 对缝顶柔性填料密封是保证止水效果的前提，规定了密封填料的措施。面膜要能和接触面贴合，必要时用填料找平；如果接触面起伏大，用扁钢固定面膜，萨尔瓦兴纳坝就是一例，反之，用角钢固定面膜；膨胀螺栓的间距不大于 0.5m。

7.6 无黏性填料施工

7.6.1 与固定柔性填料的面膜不同，不要求保护罩隔水，只要把

保证外罩牢靠地固定即可，按设计要求施工。

7.6.2 斜坡段，无黏性填料要靠保护罩固定，需先固定保护罩，再填无黏性填料。为了要填满密实，应先加水将填料湿润成团填入，必要时还可加水使其进一步密实。当岸坡较缓或河床部分，无黏性填料能在水下自稳时，无黏性填料直接覆盖在缝顶，用土石或砂袋压重保护，不一定要保护罩也可。

8 质量检查与验收

8.0.1 本条要求按全面质量管理的方法对施工的各道工序进行全过程的控制和检查。

8.0.2 止水材料质量是影响接缝止水效果的重要因素，而止水材料供应市场不规范，因此，应严格把关，避免低劣材料进入施工现场。对于每一批材料，除要求有厂家的检测报告外，施工单位和监理单位还应联合进行抽样检查，不合格者，不能使用。

8.0.4 止水安装后及浇筑过程中，指定专人对其进行检查，以便发现问题及时纠正，如混凝土浇筑后出现问题将难以补救。

8.0.6 本条对无黏性填料施工的质量检查项目、方法和要求作了规定。
