

ICS 27.140

P 59

备案号: J427—2005

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5215—2005

水工建筑物止水带技术规范

Specification for waterstop of hydraulic structure

2005-02-14 发布

2005-06-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	3
4 总则	5
5 止水带的型式、尺寸和材质	6
5.1 一般规定	6
5.2 橡胶和塑料止水带	7
5.3 铜止水带和不锈钢止水带	9
6 止水带的施工	10
6.1 现场制作和接头	10
6.2 安装、保护和基础连接	10
6.3 质量检查和验收	11
附录 A (资料性附录) 止水带型式及几何可 伸展长度 (L_0)	12
附录 B (资料性附录) 铜止水带的断面尺寸核算方法	15
条文说明	17

前 言

本标准根据原电力工业部《关于下达 1996 年制、修订电力行业标准计划项目的通知》(技综 [1996] 40 号文) 的安排制定的。

止水带已在水工建筑物的接缝止水获得广泛应用。本标准是在总结国内科技成果和工程经验的基础上, 参照国外有关标准, 结合水工建筑物特点制定的。

本标准是水工建筑物接缝止水带的专门标准, 就止水带的结构型式、尺寸设计、材料及施工规定了相应的技术要求、质量检验标准和检验方法。本标准应与水工建筑物的有关设计、施工规范配套使用。

本标准的附录 A 和附录 B 都是资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出、归口并负责解释。

本标准起草单位: 中国水利水电科学研究院。

本标准主要起草人: 贾金生、郝巨涛、陈肖蕾、赵波。

1 范 围

本标准规定了止水带的型式、尺寸、材质和施工要求。

本标准适用于水电水利枢纽工程中 1、2、3 级和坝高 70m 以上的 4、5 级混凝土拱坝、重力坝、面板坝及溢洪道、厂房、水闸、隧洞、渡槽等工程，其他混凝土坝、面板坝及永久水工建筑物可参照使用。对于坝高 200m 以上的混凝土面板堆石坝或有特殊要求的混凝土坝、面板堆石坝及其他水工建筑物，其止水带型式、尺寸、材质和施工，应进行专门研究。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修改版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 1033 塑料密度和相对密度试验方法

GB/T 1040 塑料拉伸性能试验方法

GB/T 1690 硫化橡胶耐液体试验方法

GB/T 2059 铜及铜合金带材

GB 2411 塑料邵氏硬度试验方法

GB/T 2790 胶粘剂 180° 剥离强度试验方法 挠性材料对刚性材料

GB/T 2791 胶粘剂 T 剥离强度试验方法 挠性材料对挠性材料

GB 3280 不锈钢冷轧钢板

GB/T 4509 沥青针入度测定法

GB/T 13477.6 建筑密封材料试验方法 第 6 部分：流动性的测定

GB/T 13477.8 建筑密封材料试验方法 第 8 部分：拉伸黏结性的测定

GB 18173.1 高分子防水材料 第一部分 片材

DL/T 949 水工建筑物塑性嵌缝密封材料技术标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.0.1

止水带 waterstop

用于建筑物接缝止水的定型止水材料，材质上可以是天然橡胶、合成橡胶、聚氯乙烯（PVC）、铜和不锈钢材料等。

3.0.2

平板型止水带 flat waterstop

中部为平板的止水带。

3.0.3

变形型止水带 waterstop with central deformation part

能够适应接缝变形的止水带，又可分为封闭型（中心孔等）和开敞型（中心变形体不封口）两种，开敞型包括 W 型、F 型、 Ω 型、波形止水带等。

3.0.4

翼板 wing

止水带两端浇注在混凝土中或安装在混凝土表面上起固定作用的部分。

3.0.5

止水带的几何可伸展长度 geometric stretchable length of waterstop

中心变形部分的几何可伸展长度，各种止水带的几何可伸展长度见附录 A。

3.0.6

止水带肋 ribs of waterstop

为延长渗径、加强锚固，在橡胶止水带、PVC 止水带的翼板

设置的凸起部分。

3.0.7

复合型止水带 composite waterstop

将密封止水材料复合在止水带上，构成的抗绕渗能力更强的止水带。

3.0.8

接缝位移矢径长 vector length of joint displacement

接缝三向变位的矢量和。

4 总 则

4.0.1 为提高水工建筑物接缝止水带的技术水平，防止或减少由于接缝渗漏造成的危害和损失，确保水工建筑物发挥效益，制定本标准。

4.0.2 本标准中的止水带是指橡胶止水带、塑料止水带、铜止水带、不锈钢止水带。

4.0.3 止水带应通过国家计量认证的检验部门检验合格。

4.0.4 止水带应当止水可靠，耐久，安装简便，能与混凝土良好地结合。应鼓励采用经过试验论证或通过技术鉴定的新技术、新材料和新工艺。

4.0.5 除应符合本标准以外，止水带还应符合国家现行有关技术标准的规定。

5 止水带的型式、尺寸和材质

5.1 一般规定

5.1.1 止水带型式和尺寸的确定应考虑下列因素：

1 由接缝变位及缝内水压力引起的最大可能应力应小于材料的设计强度。设计强度的取值应考虑尺寸效应、蠕变等因素的影响。

2 在水压力和接缝位移作用下，止水带应不发生绕渗或尽量避免发生绕渗。

3 应考虑水质对止水带侵蚀的影响。

4 应考虑制造工艺和施工的影响，钢筋混凝土结构中的止水带应考虑钢筋布置的影响。

5 宜选择定型产品。

5.1.2 施工缝可采用平板型止水带。变形缝的止水带可伸展长度应大于接缝位移矢径长。止水带的翼板长度和是否采用复合型止水带，应根据抗绕渗要求确定。

5.1.3 当运行期环境温度较低时，不宜选用 PVC 止水带。当止水带在运行期暴露于大气、阳光下时，应选用抗老化性能强的合成橡胶止水带、铜或不锈钢止水带。采用多道止水带止水并有抗震要求时，宜选用不同材质的止水带。

5.1.4 开敞型止水带的开口朝向宜考虑结构受力和施工的影响。

5.1.5 止水带接头的位置应避开接缝剪切位移大的部位。

5.1.6 止水带离混凝土表面的距离宜为 200mm～500mm，特殊情况下可适当减少。

5.1.7 止水带埋入基岩内的深度可为 300mm～500mm，必要时可插锚筋。止水带距基岩槽壁不得小于 100mm。

5.2 橡胶和塑料止水带

5.2.1 橡胶和 PVC 止水带的厚度宜为 6mm~12mm。当水压力和接缝位移较大时,应在止水带下设置支撑体。

5.2.2 橡胶止水带的物理力学性能应满足表 5.2.2-1 的要求, PVC 止水带的物理力学性能应满足表 5.2.2-2 的要求。

5.2.3 橡胶或 PVC 止水带嵌入混凝土中的宽度一般为 120mm~260mm。中心变形型止水带一侧应有不少于 2 个止水带肋,肋高、肋宽不宜小于止水带的厚度。

5.2.4 作用水头高于 100m 时宜采用复合型止水带,复合用密封材料及复合性能应满足表 5.2.4 的要求。

表 5.2.2-1 橡胶止水带物理力学性能

序号	项 目		单位	指 标			
				B	S	J	
1	硬度(邵尔 A)		度	60±5	60±5	60±5	
2	拉伸强度		MPa	≥15	≥12	≥10	
3	扯断伸长率		%	≥380	≥380	≥300	
4	压缩永久变形	70℃×24h	%	≤35	≤35	≤35	
		23℃×168h	%	≤20	≤20	≤20	
5	撕裂强度		kN/m	≥30	≥25	≥25	
6	脆性温度		℃	≤-45	≤-40	≤-40	
7	热空气老化	70℃×168h	硬度变化(邵尔 A)	度	≤+8	≤+8	
			拉伸强度	MPa	≥12	≥10	
			扯断伸长率	%	≥300	≥300	
		100℃×168h	硬度变化(邵尔 A)	度	—	—	≤+8
			拉伸强度	MPa			≥9
			扯断伸长率	%			≥250
8	臭氧老化 50pphm: 20%, 48h		—	2 级	2 级	0 级	
9	橡胶与金属黏合		—	断面在弹性体内			
注 1: B 为适用于变形缝的止水带, S 为适用于施工缝的止水带, J 为适用于有特殊耐老化要求接缝的止水带。							
注 2: 橡胶与金属黏合项仅适用于具有钢边的止水带。							
注 3: 若对止水带防霉性能有要求时, 应考核霉菌试验, 且其防霉性能应等于或高于 2 级。							
注 4: 试验方法按照 GB18173.2 的要求执行。							

表 5.2.2-2 PVC 止水带物理力学性能

项 目		单位	指标	试验方法
拉伸强度		MPa	≥ 14	GB/T 1040 II 型试件
扯断伸长率		%	≥ 300	
硬度 (邵尔 A)		度	≥ 65	GB 2411
低温弯折		℃	≤ -20	GB 18173.1 试片厚度采用 2mm
热空气老化 70℃ × 168h	拉伸强度	MPa	≥ 12	GB/T 1040 II 型试件
	扯断伸长率	%	≥ 280	
耐碱性 10% Ca(OH) ₂ 常温, (23±2)℃×168h	拉伸强度保持率	%	≥ 80	GB/T 1690
	扯断伸长率保持率	%	≥ 80	

表 5.2.4 复合密封止水材料物理力学性能及复合性能

序号	项 目			单位	指标	试验方法
1	浸泡质量损失率 常温×3600h		水	%	≤2	DL/T 949
			饱和 Ca (OH) ₂ 溶液	%	≤2	
			10%NaCl 溶液	%	≤2	
2	拉伸黏 结性能	常温, 干燥	断裂伸长率	%	≥300	GB/T 13477.8
			黏结性能	—	不破坏	
		常温, 浸泡	断裂伸长率	%	≥300	
			黏结性能	—	不破坏	
		低温, 干燥	断裂伸长率	%	≥200	
			黏结性能	—	不破坏	
		300 次冻融 循环	断裂伸长率	%	≥300	DL/T 949
			黏结性能	—	不破坏	
3	流淌值 (下垂度)			mm	≤2	GB/T 13477.6
4	施工度 (针入度)			1/10mm	≥70	GB/T 4509
5	密度			g/cm ³	≥1.15	GB 1033

表 5.2.4 (续)

序号	项 目	单位	指标	试验方法
6	复合剥离强度 (常温)	N/cm	>10	对于橡胶、塑料止水带采用 GB/T 2791, 对于金属止水带采用 GB/T 2790
注 1: 常温指 $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 。 注 2: 低温指 $(-20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 。 注 3: 气温温和地区可以不做低温试验、冻融循环试验。				

5.3 铜止水带和不锈钢止水带

5.3.1 铜止水带的厚度宜为 0.8mm~1.2mm。

5.3.2 当剪切位移较大时, 铜止水带断面尺寸的确定遵照附录 B 的方法。

5.3.3 作用水头高于 140m 时宜采用复合型铜止水带, 其复合用材料以及复合性能应满足表 5.2.4 的要求。

5.3.4 使用铜带材加工止水带时, 抗拉强度应不小于 205MPa, 伸长率应不小于 20%, 铜止水带的化学成分和物理力学性能应满足 GB/T 2059 的规定。

5.3.5 不锈钢止水带的拉伸强度应不小于 205MPa, 伸长率应不小于 35%, 其化学成分和物理力学性能须满足 GB 3280 的要求。不锈钢止水带的厚度、断面尺寸、复合型式可参照铜止水带的规定。

6 止水带的施工

6.1 现场制作和接头

6.1.1 铜止水带宜采用带材在现场加工，以减少接头。加工模具、加工工艺方法应确保尺寸准确和止水带不被破坏。

6.1.2 橡胶止水带接头宜采用硫化连接，PVC 止水带接头应采用焊接连接。

6.1.3 铜止水带的接头焊接宜采用搭接或对接在双面进行，搭接长度应大于 20mm。双面焊接实施困难时，应采用单面焊接两遍进行。焊接应采用黄铜焊条。

6.1.4 止水带的接头强度与母材强度之比应满足如下要求：橡胶止水带不小于 0.6，PVC 止水带不小于 0.8，铜止水带不小于 0.7。

6.1.5 止水带的 T 型接头、十字接头宜在工厂整体加工成型。

6.1.6 异种材料止水带的连接可采用搭接，并用螺栓固定或其他方法固定。搭接面应确保不漏水。用螺栓固定时，搭接面之间应夹填密封止水材料。

6.2 安装、保护和基础连接

6.2.1 止水带的安装应符合设计要求，止水带的中心变形部分安装误差应小于 5mm。

6.2.2 施工中应封闭开敞型止水带的开口，防止杂物填塞开口。

6.2.3 采用紧固件固定止水带时，紧固件必须密闭、可靠，宜将紧固件浇筑在混凝土中。采用螺栓固定止水带时，宜用锚固剂回填螺栓孔。紧固件应采取防锈措施。

6.2.4 止水带周围的混凝土施工时，应防止止水带移位、损坏、撕裂或扭曲。止水带水平铺设时，应确保止水带下部的混凝土振

捣密实。

6.2.5 橡胶和 PVC 止水带在运输、储存和施工过程中，应防止日光直晒、雨雪浸淋，并不得与油脂、酸、碱等物质接触。

6.2.6 对于部分暴露在外的止水带，应采取措施进行保护，防止破坏。

6.2.7 采用复合型止水带时，应对复合的密封止水材料进行保护。对于在现场复合的止水带，应尽快浇注混凝土。

6.3 质量检查和验收

6.3.1 橡胶或 PVC 止水带表面不允许有开裂、缺胶、海绵状等影响使用的缺陷，中心孔偏心不允许超过管状断面厚度的 $1/3$ 。止水带表面允许有深度不大于 2mm、面积不大于 16mm^2 的凹痕、气泡、杂质、明疤等缺陷，每延米不超过 4 处。

6.3.2 止水带应有产品合格证和施工工艺文件。现场抽样检查每批不得少于一次。

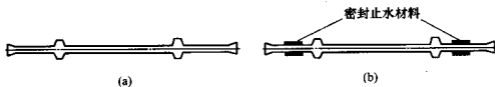
6.3.3 应对止水带各工种施工人员进行培训。

6.3.4 应对止水带的安装位置、紧固密封情况、接头连接情况、止水带的完好情况进行检查。

附录 A

(资料性附录)

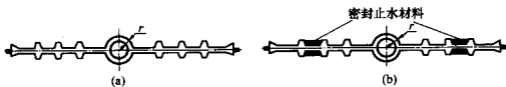
止水带型式及几何可伸展长度 (L_0)



(a) 平板型普通止水带; (b) 平板型复合止水带

$$L_0 = 0$$

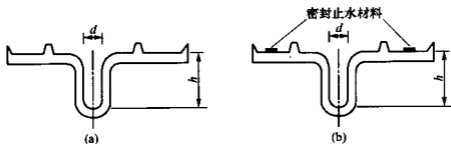
图 A.1 平板型止水带



(a) 中心孔型普通止水带; (b) 中心孔型复合止水带

$$L_0 = r(\pi - 2)$$

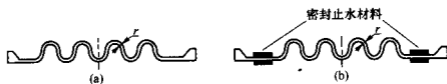
图 A.2 中心孔型止水带



(a) 中心开敞型普通止水带; (b) 中心开敞型复合止水带

$$L_0 = 2h - 0.43d$$

图 A.3 中心开敞型止水带



(a) 波形普通止水带；(b) 波形复合止水带

$$L_0 = 8r(\pi - 2)$$

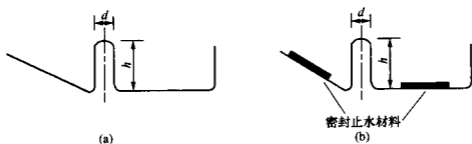
图 A.4 波形止水带



(a) W型普通金属止水带；(b) W型复合金属止水带

$$L_0 = 2h - 0.43d$$

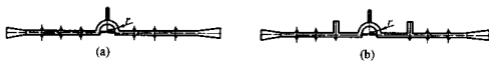
图 A.5 W型金属止水带



(a) F型普通金属止水带；(b) F型复合金属止水带

$$L_0 = 2h - 0.43d$$

图 A.6 F型金属止水带



(a) 654 型止水带； (b) 831 型止水带

$$L_0 = r (\pi - 2)$$

图 A.7 Ω 型止水带

附录 B

(资料性附录)

铜止水带的断面尺寸核算方法

B.1 范 围

本附录适用于接缝剪切位移大于 12mm 的铜止水带断面尺寸校核。附表 B.1 的结果是根据伸长率为 30%、极限拉伸强度为 205MPa 的软铜得到的。

B.2 术 语

B.2.1 等效应力 (σ_e) equivalent stress

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\}}$$

式中:

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ——主应力。

B.2.2 应力水平 stress levels

等于等效应力与止水带标准试片强度之比。标准试片强度按照 GB 2059 确定。

B.2.3 铜止水鼻子直立段高度 (H) straight height of loop part of copper waterstop

与附录 A 中所示金属止水带鼻子高 (h) 的关系是: $H=h-d/2$ 。

B.3 方 法

根据铜止水带的鼻子尺寸、接缝剪切位移值, 通过内差由附表 B.1 查出应力水平。应力水平值宜小于 0.74。

表 B.1 铜止水带在不同接缝剪切位移时的应力水平

序号	H/d	d mm	t mm	H mm	L_0 mm	接缝剪切位移				
						12mm	24mm	36mm	48mm	60mm
1	1.5	20	1.0	30	71	0.702	0.876	破坏	破坏	破坏
2	1.5	30	1.2	45	107	0.624	0.834	0.924	0.969	破坏
3	2.5	20	1.0	50	111	0.627	0.800	0.882	0.968	破坏
4	2.5	30	1.2	75	167	0.426	0.763	0.863	0.849	0.880
5	3.5	20	1.2	70	151	0.498	0.784	0.770	0.860	0.899
6	3.5	30	1.0	105	227	0.412	0.573	0.719	0.749	0.796
7	4.5	20	1.2	90	191	0.421	0.649	0.764	0.791	0.928
8	4.5	30	1.0	135	287	0.299	0.533	0.583	0.653	0.678
注：H——铜止水带鼻子直立段高度； d——铜止水带鼻子的宽度； t——铜止水带的厚度； L_0 ——铜止水带鼻子的展开长度， $L_0 = 2H + d(\pi/2 - 1)$ 。										

水工建筑物止水带 技 术 规 范

条 文 说 明

目 次

1 范围	19
3 术语和定义	20
4 总则	21
5 止水带的型式、尺寸和材质	22
5.1 一般规定	22
5.2 橡胶和塑料止水带	24
5.3 铜止水带和不锈钢止水带	26
6 止水带的施工	30
6.1 现场制作和接头	30
6.2 安装、保护和基础连接	31
6.3 质量检查和验收	32

1 范 围

1.0.2 明确本规范的适用范围。本规范总结了坝高 200m 以下的混凝土面板堆石坝、各类混凝土坝、渡槽、隧洞、水闸等建筑物中的成功经验。对于各类水工建筑物的接缝止水可以用止水承受的外界作用来统一。首先是水压力和接缝位移，其次还有外界环境作用，如干湿交替、冻融交替、高低温、紫外线辐射等。由于混凝土面板堆石坝的面板接缝位移一般比其他坝型的接缝位移都大，相应的接缝止水困难也较大，通过“九五”攻关项目的研究和大量的工程实践取得的经验也最多。因此本规范对于面板坝接缝止水经验给予了很大关注。由于国内外坝高 200m 以上的混凝土面板堆石坝或有特殊要求的坝及其他水工建筑物的接缝止水工程实践还很少，因此提出还应进行专门研究。

3 术语和定义

3.0.1 为了统一术语，这里将铜止水列入止水带范畴。

3.0.3 中部变形型止水带的中部设有几何形状可伸缩的部分，用于吸收接缝位移，减小由于接缝位移对止水带的作用。中部变形型式可以根据接缝位移选择。波形止水带是根据面板堆石坝周边缝的大变形特点提出的，它安装在接缝表面，其波数和波尺寸可以根据接缝位移的大小设计。

3.0.5 把中部几何可伸缩部分展平，伸出的长度就是几何可伸展长度。附录 A 中的几何可伸展长度公式一般是根据中部几何可伸缩部分的内缘边计算的。

4 总 则

4.0.1 明确本规范的编制目的。

4.0.4 止水可靠的含义是：在水压力、接缝位移、外界环境作用下，接缝不漏水。在提出新技术、新材料和新工艺时，应有相应的论证。

4.0.5 其他应遵守的标准有：GB/T 2059《铜及铜合金带材》，GB 3280《不锈钢冷轧钢板》（用于不锈钢止水），GB 18173.2《高分子防水材料 第二部分 止水带》。

5 止水带的型式、尺寸和材质

5.1 一般规定

5.1.1

1 尺寸效应指长止水带强度与标准小试片强度不同的现象，它实际反映的是双向受力和单向受力对材料强度的影响。中国水利水电科学研究院的试验结果表明，长橡胶板的拉伸强度与标准试片的拉伸强度之比约为 0.5。以往对金属材料的研究表明，铜材的屈服强度服从 Mises 准则，即长铜带的强度高于小试片的强度。蠕变效应反映的是长期受力对材料强度的影响。中国水利水电科学研究院对小试片的试验表明，天然橡胶的长期强度与短时受力强度之比约为 0.3。对软铜材料，长期受力的强度与短时受力强度之比约为 0.9，见 5.3.1 条文说明。

2 中国水利水电科学研究院的试验研究表明，当无接缝位移时，H₂-861 止水带出现绕渗的水压力约为 1MPa，埋深 20cm 的铜止水带绕渗水压力约为 1.5MPa。

3 目前还比较缺乏各种液体对止水带的腐蚀研究。对于铜止水带，表 1 的试验结果可供参考。

表 1 紫铜片在 10%NaOH、3%NaCl 溶液和地下水中腐蚀率

溶 液	腐 蚀 率
10%NaOH	2.3×10^{-2} mm/年
3%NaCl	2.2×10^{-2} mm/年
地下水（井水）	2.0×10^{-3} mm/年

4 制造工艺中止水带的接头是重要因素。一般橡胶止水带的

接头强度与母材强度之比可达 0.5~0.7, PVC 止水带可达约 0.8, 铜止水为 0.7~0.8。表 2 给出的是中国水利水电科学研究院的试验成果。美国陆军工程师团的止水带标准给出的要求是: 橡胶止水带的接头强度与母材强度之比不小于 0.5, PVC 止水带不小于 0.57。当混凝土边部配有钢筋时, 为防止钢筋的保护层被破坏, 止水带的端部宜布置在钢筋起始位置的里侧。

表 2 止水带接头强度试验结果

材质	接头方法	母材强度 MPa	接头强度 MPa	接头强度/母材强度 %
铜止水	铜焊一遍	225	165	73.3
	铜焊两遍	225	186	82.7
橡胶止水带	硫化接头仪	21.1	16.7	79.1

5.1.2 对于橡胶或塑料止水带, 当止水带可伸展长度大于接缝位移矢径长时, 接缝位移引起的应力很小。但是对于铜止水带这一要求还不够, 比如, 36mm 的接缝剪切位移, 就可能使鼻部高、宽分别为 30mm、20mm 的铜止水带发生破坏。因此应考虑接缝剪切位移的影响, 考虑方法见附录 B。止水带的翼板型式和长度应确保止水带不发生绕渗。试验研究表明, 在铜止水带翼板上复合密封止水材料可将发生绕渗时的水压力由 1.5MPa 提高到 2.5MPa 以上; 对橡胶或塑料止水带, 则可由 1.0MPa 提高到 1.6MPa。

5.1.3 PVC 止水带随着使用塑化剂种类和数量的不同, 抗老化性能差异很大。PVC 暴露在空气中或经受阳光照射时容易老化。PVC 止水带的低温性能差, 通常当温度低至 6℃时, PVC 就会变脆, 承受接缝拉伸时容易发生断裂。因此, 在低温寒冷地区, 不宜采用 PVC 止水带。橡胶止水带弹性好, 施工中不易损坏, 可以承受较大的接缝位移作用。但是橡胶接头连接比较困难, 同时天然橡

胶抗臭氧能力差，而且与 PVC 一样，当暴露在空气中或经受阳光照射时易于老化，需要加强施工期间的保护，防止长时间阳光或紫外线照射。合成橡胶的强度略低于天然橡胶，但其抗老化、耐臭氧、耐低温性能均较好。合成橡胶止水带的缺点是价格高，同时接头困难，需用较高的温度和压力进行硫化连接。铜止水带价格昂贵，施工中容易损坏，同时现场接头焊接工艺复杂。尽管如此，由于强度高，抗水压力、抗绕渗能力强，在高坝中仍倾向于采用铜止水带。不锈钢止水带虽然伸长率与铜止水带相当，但由于刚性相对铜止水带较大，当发生位移时混凝土中将承受较大的应力，同时不锈钢止水带的焊接工艺比较复杂，故一般常用于需要与预埋钢构件连接的止水部位。

各种止水材料性能差异很大，各有利弊。三元乙丙橡胶抗老化性能好，但强度低；天然橡胶强度较高，但抗老化特别是抗紫外线照射性能较差。铜止水带、不锈钢止水带强度很高，但延伸率与橡胶、塑料相比相差很大。另外，橡胶止水带和塑料止水带的抗疲劳破坏能力远高于铜止水。因此，采用不同材质的止水带构造多道止水时，止水结构的可靠性较高。

5.1.4 当开敞型止水带的开口朝向下游时，鼻子在水压力作用下易翻转。对于铜止水带，鼻子翻转可能导致止水带破坏。因此开敞型止水带开口朝向上游布置，止水带不易破坏。但这样的缺点是，施工废渣容易进入鼻腔，应注意防护。

5.1.5 接缝剪切位移对止水带、特别是金属止水带影响较大，见 5.1.2 条文说明。

5.2 橡胶和塑料止水带

5.2.1 根据目前橡胶和塑料止水带的缺陷情况和目前生产状况，提出此项要求。对于何时需要在止水带下部设置支撑体，可参考以下方法论证。

首先按照式 (1) 计算所需的止水带厚度 (t)，这一厚度供

选用止水带厚度时参考。如果 t 大于 12mm，则需设置支撑体，且支撑体应能在水压力和接缝张开位移作用下不被压入接缝，为止水带提供有效的支撑。支撑体通常采用橡胶棒或塑料棒，其直径应通过接缝模型压力试验论证后确定。

$$\left. \begin{aligned} t &\geq \max \left(t_0, \frac{\nu}{k_3} t_0 \right) \\ t_0 &= \frac{k_1 P u_1}{2 k_2 k_4 R_0} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中：

- t ——止水带的厚度，mm；
- ν ——橡胶或塑料的泊松比，一般可取 0.5；
- P ——作用在止水带上的可能最大水压力，MPa；
- u_1 ——接缝的设计张开值，mm；
- k_1 ——安全储备系数，可取 1.1~1.2，沉陷、剪切变位大时取大值；
- k_2 ——尺寸效应系数，长橡胶或塑料板强度与标准试片强度之比，可取 0.5，见条文说明 5.1.1 中第 1 条；
- k_3 ——橡胶或塑料止水带接头强度与母材强度之比，宜根据试验确定，当无试验资料时，橡胶止水带采用现场硫化方法接头时，可取 0.5~0.7；PVC 止水带采用焊接方法接头时，可取 0.8，见条文说明 5.1.1 中第 4 条；
- k_4 ——长期强度系数，橡胶或塑料标准试片长期拉伸强度与标准拉伸强度之比，可取 0.3，见条文说明 5.1.1 中第 1 条；
- R_0 ——橡胶或塑料止水带的标准试片拉伸强度，按照 GB/T 528 确定，MPa。

5.2.2 DL/T 5016—1999 中曾规定橡胶止水带应符合 HG 2288—92 的要求。GB 18173.2—2000 颁布后，替代了 HG 2288—92。GB 18173.2

—2000 中不再规定天然橡胶和合成橡胶，而仅对材料的应用场所提出了要求，本规范中的表 5.2.2-1 就引自该标准。国内目前尚无关于 PVC 止水带的标准。本规范中的表 5.2.2-2 是参考了 CRD-C 572—74（见表 3）、国内企业 PVC 止水带的技术指标和 GB 18173.1—2000 制定的。

表 3 PVC 止水带技术指标（CRD-C 572—74）

检验方法	试样数目	要 求
CRD-C573	5（每 61 米）	抗拉强度，C 型试样，大于 12.17MPa
CRD-C573	5（每 61 米）	扯断伸长率，C 型试样，大于 300%
CRD-C570	3（每批）	-37.2℃低温脆性，不破坏，如不裂、不碎
CRD-C571	3（每批）	挠曲刚度，大于 4.13MPa
CRD-C572	5（每批）	加速萃取：扯断伸长率，C 型试样，不小于 280%；抗拉强度，C 型试样，大于 10.3MPa
CRD-C571	3（每批）	碱效应：7 天后的质量变化为 -0.10%~+0.25%；7 天后邵尔硬度值变化小于 ±5
现场及工厂内的止水带接头		
CRD-C573	按指定要求	抗拉强度，C 型试样，大于 6.89MPa

5.2.3 止水带嵌入混凝土中长度与其抗绕渗性能有关。止水带在混凝土中的锚固强度和抗绕渗水压力与止水带宽度和翼板肋筋型式有关，同时与止水带材质硬度和止水带与混凝土的黏结强度有关。目前橡胶和塑料止水带，肋高、肋宽偏小，对提高抗绕渗不利，为今后止水带的型式设计更趋合理，这里提出止水带的肋高、肋宽宜不小于止水带厚度的要求。

5.2.4 见 5.1.2 条文说明。

5.3 铜止水带和不锈钢止水带

5.3.1 根据目前铜止水的 application 情况，提出厚度为 0.8mm~1.2mm 的要求。铜止水的厚度也可以参照 5.2.1 条文说明中的方法进行核

算,同时还可以参照表 1 核算铜止水的耐腐蚀性能。使用 5.2.1 条文说明中的式 (1) 时, k_2 可取 1.0, 因为: ① 根据平面应变状态下的等效应力强度准则, 当铜片的泊松比 (ν) 为 0.3~0.5 时, $k_2 = 1.125 \sim 1.155$, 见式 (2); ② 实际铜止水带在受接缝剪切位移作用时, 可能发生屈曲, 偏离平面应变状态, 因此偏于安全地取 $k_2 = 1.0$ 。铜止水带的焊接接头 k_3 可取 0.7~0.8。对于铜片的长期强度, 国外对于 TP₂ 铜材的长期强度试验资料见表 4 和表 5, 可供参考。根据这些资料建立经验公式, 可以推出常温下铜材 228 年的长期强度系数为 0.9。

$$k_2 = \frac{1}{\sqrt{1-\nu+\nu^2}} \quad (2)$$

式中:

k_2 ——止水带的尺寸效应系数;

ν ——材料的泊松比。

表 4 TP₂ 铜材抗拉强度与温度的关系

温 度 ℃	20	300	400	500	600	700	800
拉伸强度 MPa	240	185	165	126	120	46	37

表 5 TP₂ 铜材抗拉强度与荷载历时的关系

温 度 ℃	荷载历时 h			
	1000	10000	30000	100000
100	195	180	170	160
150	170	150	140	120
200	130	110	92	71
250	110	78	60	38

5.3.2 接缝剪切位移将在铜止水带中产生很大的附加应力, 较大

的剪切位移会使铜止水带鼻子发生扭曲。附表 B.1 是根据铜止水带承受接缝剪切位移作用时的大变形有限元数值计算结果得到的。根据应力计算结果计算应力水平时, 没有考虑铜片焊接缺陷、设计安全裕度等因素。数值计算中的计算参数为拉伸强度为 225MPa, 延伸率为 48.5%。

在确定洪家渡面板堆石坝周边缝的铜止水带试验中, 当应力水平为 0.74 时, 两个带焊缝的铜止水带中有一个发生破坏, 铜止水带处于临界破坏状态。

5.3.3 参见 5.1.2 条文说明。铜止水带立腿的作用是在接缝变形过程中, 减小铜止水带翼板与混凝土之间的相对错动, 确保翼板的抗绕渗能力, 同时立腿本身也具有较强的抗绕渗能力。翼板的长度主要取决于铜止水带抗绕渗能力的要求以及确保施工质量的要求。铜止水带鼻子的作用是吸收接缝变形, 以最大限度地减少由接缝变形在铜止水带中产生的附加应力。由于面板坝周边缝的位移, 特别是接缝剪切位移较大, 为了减少由立腿的强约束作用产生的较大附加应力, 通常在趾板一侧除去立腿, 采用 F 型铜止水带。但这时应采取措施, 以弥补由此产生的铜止水带抗绕渗能力的下降。在铜止水带上复合密封止水材料可以提高抗绕渗能力。根据试验结果, 当无接缝位移时, 在混凝土中埋入深度为 20cm 的铜片, 在 1.5MPa 的水压力作用下将发生绕渗。在该铜片上复合宽度为 10cm、厚度为 3mm 的 GB 塑性止水材料, 当铜片与混凝土之间发生 1.0cm 的相对错动时, 在 2.5MPa 的水压力作用下仍然没有发生绕渗。GB 复合型铜止水带已经在芹山面板堆石坝等工程的周边缝中得到应用。

5.3.4 目前工程中一般采用 T_2 、 T_3 软 (M) 态铜材轧制铜止水。与硬态铜相比, 软态铜具有较大的伸长率, 适应接缝变形能力好。同时, 在成形加工时不易发生破坏。DL/T 5115 中曾规定铜片的伸长率不小于 20%, 而 GB/T 2059 规定铜片的伸长率不小于 30%。这里仍沿用 DL/T 5115 的规定, 但工程中应尽量满足 GB/T 2059

中 T₂、T₃ 软 (M) 态铜材的指标要求。

5.3.5 黑泉面板坝和引子渡面板坝的周边缝止水中采用了表 6 中的不锈钢止水带。

表 6 不锈钢止水带物理力学性能

不锈钢牌号	类别	抗拉强度 σ_b MPa	屈服强度 σ_s MPa	延伸率 δ %	弹性模量 E MPa	泊松比 ν
0Cr18Ni9	实测	700	365	59	2×10^5	0.27
	GB 3280	≥ 520	≥ 205	≥ 40	—	—

6 止水带的施工

6.1 现场制作和接头

6.1.1 在金属止水带的成型过程中,加工硬化和加工残余应力是使金属片破坏的重要原因。特别是加工形状复杂的部件,如T型接头、十字接头,更容易使金属片破坏。制定加工工艺时,可采取分级模压、加温的方法减小加工硬化和加工残余应力的影响,必要时可退火消除残余应力。

6.1.2 本标准不推荐采用黏结剂接头方法,因为其黏结强度低,耐老化性能差,随时间容易变硬、变脆。采用硫化、焊接方法时,止水带的接头质量与硫化、焊接工具、模具、焊接工艺等因素有关。

6.1.3 铜止水带常采用黄铜焊条搭接焊接,但应注意减小搭接缝隙,确保焊接质量。无法实施双面焊接时,应在单面焊接两遍。采用单面对焊、焊接两遍的方法简便易行,质量易于保证,但应确保茬口整齐,不留或少留孔隙。试验表明采用单面对焊、焊接两遍的方法,铜片焊缝在连续50次冷弯 $0^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 后,焊缝表面没有裂纹出现。

6.1.4 止水带接头强度与母材强度之比的要求,是根据目前国内常用的硫化、焊接方法的实施效果确定的。另可参见条文说明5.1.1中第4条以及条文说明5.2.2。

6.1.5 应推广止水带T型接头、十字接头采用接头连接件的做法,以提高这些特殊部位的止水效果。接头连接件的质量参见条文说明5.1.1中第4条。

6.1.6 异种材料止水带的连接一般采用搭接,并用螺栓固定的方法进行。根据复合型止水带的研究和实践,这里加上了在搭界面

之间夹填密封材料的要求。芹山面板堆石坝的橡胶止水带和铜止水带之间的接头就采用了这种方法。

6.2 安装、保护和基础连接

6.2.1 本条要求止水带在立模过程中,相对位置要准确,止水带在模板上的固定要牢固。工程中实际存在将止水带吸收变形的部分浇入混凝土中,致使止水带无法适应接缝变形的情况,这是应当避免的。

6.2.2 早期在面板坝的施工中,已有工程采用将铜止水带鼻子的开口端朝向上游布置的做法。由于开口向上,异物或浇筑的混凝土容易落入鼻子内部,后来逐渐为开口向下、朝向下游所代替。但是模型试验结果表明,橡胶止水带向上的鼻子在很小的水压力作用下,就向下游发生翻转,增大了止水带中的附加应力。水布垭面板堆石坝的铜止水带数值分析和模型试验均表明,在接缝剪切位移作用下已经扭曲的铜止水鼻子,在水压力作用下向下游翻转时很容易发生破坏。开口向上的止水带须采取封闭措施。东深渡槽施工时,曾用透明宽胶带对橡胶止水带向上的开口进行封闭,实践证明是切实可行的。

6.2.3 采用膨胀螺栓固定止水片的方法曾在近十年来应用于面板坝工程。但是实践表明,这种螺栓的耐久性不好,易于生锈,同时由于抗冻性差,不少螺栓被冻胀拔出,如十三陵上池、莲花面板堆石坝。膨胀螺栓发生冻胀破坏是由于螺栓孔内进水造成的,为此必须先对螺栓孔用黏结剂,如环氧树脂,进行回填,然后再插入膨胀螺栓。

6.2.4 止水带周围的混凝土是否密实直接关系到止水带的止水效果。在面板坝周边缝止水结构中,正是由于中部止水带下部的混凝土浇筑质量不佳,无法保证其止水效果,致使人们倾向于取消该道止水。止水带水平铺设时与混凝土的结合质量,还可以通过选择合适的止水带型式(如带有立腿的止水带)来解决。

6.2.5 长时间阳光照射会使天然橡胶和PVC止水带老化、变质。在施工期间，这一问题可以通过对这些止水带进行覆盖予以解决，如采用不透光的塑料袋包裹。不透光的塑料袋捆扎、包裹不仅可以解决光线照射引起的老化问题，还可以防止止水带表面被污染，对保持止水带的抗绕渗能力很有好处。施工中应保护塑料袋不被破坏，已经破坏的应及时更换。

6.2.6 对于铜止水带、不锈钢止水带，可以对暴露的止水带部分采用架立模板、方木的方法进行保护。对于橡胶、塑料止水带，见条文说明 6.2.5。

6.2.7 工程中常见对复合密封止水材料缺乏保护，致使复合密封止水材料不能发挥预期作用。

6.3 质量检查和验收

止水带的质量检查至关重要，止水带的止水效果不仅取决于设计、材料，与止水带的施工也有很大关系。工程中不乏由于施工的原因导致止水带不能正常发挥止水作用的例子。为促进止水施工技术的发展，本标准对止水带的质量检查和验收进行了规定。
