

JTG

中华人民共和国行业标准

JTG XXX - XXXX

公路波纹钢结构涵洞设计与施工技术规范

Specifications for Design and Construction of Highway
Corrugated Steel Pipe Culverts

(征求意见稿)

2021-xx-xx发布

2021-xx-xx实施

中华人民共和国交通运输部发布

前 言

2020 年交通运输部下达《关于做好 2020 年度公路工程行业标准制修订项目准备工作的通知》（交公便字[2020]19 号），安排对《公路波纹钢结构涵洞设计与施工技术规范》进行制订。制订工作中交第一公路勘察设计研究院有限公司主持，西安中交土木科技有限公司、中交第二公路勘察设计研究院有限公司、西安工业大学、中交第三公路工程局有限公司参加，编制过程得到了各省（自治区、直辖市）交通运输主管部门及相关单位的大力支持。

编制本规范旨在加强公路工程波纹钢结构涵洞设计与施工工作，解决目前公路工程波纹钢结构涵洞设计与施工中存在的问题，形成完整的、科学的、系统的、可实现的公路波纹钢结构涵洞设计与施工体系，进一步推进交通强国建设，推动行业建设。

本规范制订的总体思想：严格落实国家有关的法律法规，总结提炼国内、国外成熟的公路工程波纹钢结构涵洞设计与施工的经验做法，吸收转化近年来有关波纹钢结构涵洞方面新技术、新工艺、新材料的科研成果，收集归纳各地方出台的地方标准、政策制度等，以“综合提炼、梳理技术、转化成果、形成体系”为指导思想完成《公路波纹钢结构涵洞设计与施工技术规范》的编制工作。

本规范制定过程中，编写组参考了中交第一公路勘察设计研究院有限公司近年多项相关科研成果，充分借鉴和吸收了国内外的相关标准和先进技术，广泛征求了设计、生产、施工、建设、管理等有关单位和个人的意见，经过反复论证和修改，完成本规范。

本规范共 6 章，包括第 1 章总则、第 2 章术语符号、第 3 章基本规定、第 4 章材料要求、第 5 章设计、第 6 章施工。

请各单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告中交第一公路勘察设计研究院有限公司（地址：西安市科技二路 63 号；邮编：710075；联系人：胡滨，电话：18691522327；E-mail：406955182@qq.com），以便下次修订时参考。

主 编 单 位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

参 编 单 位：西安中交土木科技有限公司

中交第二公路勘察设计研究院有限公司

西安工业大学

中交第三公路工程局有限公司

主 编：

参 编 人 员：

参 加 人 员：

主 审：

参与审查人员：

征求意见稿

目次

1	总则.....	3
2	术语和符号.....	4
2.1	术语.....	4
2.2	符号.....	6
3	基本规定.....	7
4	材料要求.....	9
4.1	主结构材料.....	9
4.2	连接件材料.....	9
4.3	焊接材料.....	10
4.4	防腐耐久材料.....	10
4.5	密封材料.....	11
4.6	结构回填材料.....	11
4.7	圬工结构材料.....	11
5	设计.....	12
5.1	水文计算.....	12
5.2	选型与布设.....	13
5.3	结构验算.....	15
5.4	构造设计.....	18
5.5	耐久性设计.....	22
5.6	基础与回填设计.....	24
6	施工.....	28
6.1	基础施工.....	28
6.2	运输与储存.....	29
6.3	拼装施工.....	29
6.4	回填施工.....	30
6.5	防腐施工.....	32
6.6	质量控制.....	32
附录 A	公路波纹钢结构涵洞不同波形的填土高度.....	37

附录 B 公路波纹钢结构涵洞结构设计——极限状态法.....	39
附录 C 验算参数的计算公式.....	47
本规范用词用语说明.....	49

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为规范公路工程波纹钢结构涵洞设计与施工，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建、改扩建的高速公路、一级及二级公路工程波纹钢结构涵洞设计与施工，其他等级公路可参照执行。

1.0.3 公路波纹钢结构涵洞的设计与施工应遵循安全、耐久、适用、经济、环保的原则，做到因地制宜、便于施工及后期养护。

1.0.4 公路波纹钢结构涵洞设计与施工除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 波纹钢结构涵洞 corrugate steel culvert

用波纹钢结构构件建造的涵洞，周边用结构性回填材料回填压实，以保证土-结构相互作用共同承担荷载的结构物。波纹钢结构分为螺旋波纹钢管、环形波纹钢管和波纹钢板件。

2.1.2 波峰 crest

以结构物顶部为基准，凸起向上部分为波峰。

2.1.3 波谷 trough

以结构物顶部为基准，凹下部分为波谷。

2.1.4 波距 wave pitch

相邻两个波峰（或波谷）之间的距离。

2.1.5 波高 wave depth

波峰与波谷之间的垂直高度。

2.1.6 壁厚 plate thickness

波纹钢管或波纹钢板件的材料厚度。

2.1.7 孔径 diameter

波纹钢圆管涵的波谷所在圆的直径。

2.1.8 失高 rise

闭口截面中心线之间的最大距离，开口截面为拱顶截面中心线与拱脚之间的竖向距离。

2.1.9 覆盖土层 soil cover

从波纹钢管（板）桥涵结构顶点（波峰）到路面结构层底面处的回填材料。

2.1.10 螺旋波纹钢圆管 helical corrugated steel pipe

钢板或钢带经加工制成螺旋形波纹的圆管。

2.1.11 环形波纹钢圆管 annular corrugated steel pipe

钢板或钢带经加工制成环形波纹的圆管。

2.1.12 波纹钢板 corrugated steel plate

钢板按照规定尺寸，经过轧制而形成的波形板状材料。

2.1.13 波纹板件长度 length of corrugated steel plate section

波纹钢板件的中面的弧长。

2.1.14 波纹板件宽度 width of corrugated steel plate section

波纹钢板件的投影宽度。

2.1.15 管节长度 tube segment length

非板片拼装的波纹钢圆管涵结构的一个管节的长度。

2.1.16 柔度系数 flexibility factor

运输、吊装、安装时管节的轴向柔度，柔度系数 $FF = \frac{S^2}{EI}$ ，其中 E 为弹性模量，取值为 $2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$ ； I 为管壁波纹惯性矩（ mm^4/mm ）。

2.1.17 结构性回填区域 structural backfill

为确保波纹钢结构的稳定性和发挥覆土-结构相互作用所需的最小回填范围。

2.1.18 闭口截面结构物 structures with closed conduit

横截面是封闭的结构物，如圆形、椭圆形、梨形等。

2.1.19 最小填土高度 minimum filling height

能够保证波纹钢涵洞正常使用的管顶填土高度的最小值。

2.2 符号

A —— 波纹钢波纹横截面面积 (mm^2) ;

d —— 波高 (mm) ;

E —— 钢的弹性模量 (MPa) ;

FF —— 管节的柔度系数 (mm/N) ;

H_u —— 管顶填土高度 (m) ;

L_c —— 波纹板件长度 (m) ;

L_w —— 波纹板件宽度 (m) ;

L_p —— 管节长度 (m) ;

l —— 波距 (mm) ;

r —— 转角半径 (mm) ;

S —— 孔径或跨径 (mm) ;

t —— 壁厚 (mm) ;

D_a —— 最小覆土厚度 (m) ;

D_h —— 波纹钢管 (板) 涵的有效跨径 (m) , 按波纹钢结构轴线计算;

D_v —— 波纹钢管 (板) 涵的有效矢高 (m) , 按波纹钢结构轴线计算;

D_b —— 波纹钢管 (板) 涵的最小间距 (m) ;

α —— 补角 ($^\circ$) 。

3 基本规定

3.1.1 公路钢波纹钢结构涵洞的设计应符合《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）、《公路涵洞设计规范》（JTG/T 3365-02）的相关规定。

条文说明

规范 JTG D60 及 JTG/T 3365-02 中对设计基准期、涵洞跨径及布置、作用与作用效应组合等做了明确的规定，应予以遵循。

3.1.2 公路波纹钢结构涵洞适用于多种地基条件，下列情况宜优先推荐使用：

- 1 复杂地基或地基变形差异大的涵洞；
- 2 需快速施工的涵洞；
- 3 加固原有涵洞。

条文说明

波纹钢涵洞适应性强，在复杂地基或地基变形差异大等条件下宜优先选用波纹钢涵洞，如软土、膨胀土、湿陷性黄土、多年冻土、岩溶等特殊岩土地区。同时，对于快速施工或加固原有桥涵，采用该结构亦具有明显的优势。

3.1.3 公路波纹钢涵洞应满足以下要求：

- 1 应具有足够的强度；
- 2 结构整体刚度应能满足施工和使用要求；
- 3 内外侧应具有足够的耐腐蚀能力；
- 4 管节或板材之间的连接应符合相应的密封要求。

3.1.4 当路基为高填方或低填方时，采用大孔径波纹钢涵洞应进行专项设计。

条文说明

近些年来，在低填方、高填方等条件下已广泛应用波纹钢涵洞。高填方和低填方指管顶填土高度大于 8.0m 和小于 1.0m 的工况，大孔径钢波纹管指孔径大于等于 7m。

3.1.5 公路波纹钢涵洞宜采用标准孔径（跨径）。

圆管涵的标准孔径为：0.75m、1.00m、1.25 m、1.50 m、2.00 m、2.50 m、

3.00 m、4.00 m、5.00 m。

条文说明

《公路涵洞设计规范》第 3.2.2 中规定的拱涵、波纹钢管（板）涵的标准跨径为 1.50 m、2.00 m、2.50 m、3.00 m、4.00 m、5.00 m 等 6 个级别，本规范为扩大波纹钢涵洞的应用范围，将最小的标准跨径减小到 0.75m。

征求意见稿

4 材料要求

4.1 主结构材料

4.1.1 波纹钢结构主要材料为低碳钢，其材料应符合现行《碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板和钢带》（GB/T 912）和《碳素结构钢》（GB/T 700）的规定，其尺寸、外形、重量及允许偏差应符合现行《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》（GB/T 709）的规定。

4.1.2 采用连续热镀锌钢板加工波纹钢圆管、波纹钢板件时，其性能、尺寸、外形、重量及允许偏差应符合 GB/T 2518 要求，抗拉强度不小于 350MPa。

4.1.3 波纹钢板件的尺寸及波形允许偏差应满足现行《公路涵洞通道用波纹钢管(板)》（JT/T 791）的相关要求。

4.2 连接件材料

4.2.1 螺栓、螺母的性能指标应符合现行《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角头螺母、垫圈技术条件》（GB/T 1231）中强度性能等级为 8.8 级以上的规定。

4.2.2 螺栓螺母规格为 M12～M24，螺栓长度宜为 30mm～100mm，依钢板厚度等确定。

4.2.3 结构用高强度垫圈应符合现行《钢结构用高强度垫圈形式与尺寸》（GB 1230）的规定。外套箍圈及箍圈法兰的材料采用低碳钢，其化学成分及力学性能应符合现行《碳素结构钢》（GB/T 700）中对应的规定。

4.2.4 法兰的材料采用低碳钢，其化学成分及力学性能应符合现行《碳素结构钢》（GB/T 700）中对应的规定。

4.2.5 法兰用角钢尺寸、重量及允许偏差应符合现行《热轧等边角钢》（GB/T 9787）的规定。

4.3 焊接材料

4.3.1 焊接材料应符合现行《焊接质量要求金属材料的熔化焊》(GB/T12467.1)的规定,焊接材料的质量应符合现行《焊接材料质量管理规范》(JB/T3223)的规定。

4.4 防腐耐久材料

4.4.1 波纹钢板和高强度螺栓、螺母、钢垫圈等金属连接件,应采用热浸镀锌防腐处理,热浸镀锌所用的锌应符合现行《锌锭》(GB/T 470)规定的1号或0号锌,钢表面处理的最低等级为Sa2.5。防腐性能应符合《公路涵洞通道用波纹钢管(板)》(JT/T 791)的相关规定。

4.4.2 当采用热浸镀铝、镀塑、静电喷涂等其他防腐方法代替镀锌时,应有试验验证资料,确保其防腐性能应不低于热浸镀锌方法的相应要求。

4.4.3 在镀锌防腐基础上可采用涂装或喷涂沥青等非金属覆盖层增强耐久防腐性能。

1 采用聚氨酯防腐(防水)时,其质量与技术指标、基本性能应符合现行《聚氨酯防水涂料》(GB/T 19250)的规定。

2 采用沥青涂层防腐(防水)时,宜根据路面要求采用环氧沥青或改性沥青,其性能、质量与技术指标应分别符合现行《环氧沥青防腐涂料》(GB/T 27806)和《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)的规定。

3 采用土工膜防水时,宜采用环保用高密度聚乙烯土工膜,其性能、质量与技术指标应符合现行《土工合成材料聚乙烯土工膜》(GB/T 17643)的规定。

4.4.4 采用其它耐久防腐材料时,应满足波纹钢结构涵洞在设计使用年限内的防腐、抗渗基本要求,采用的材料性能、质量与技术指标应符合现行国家或行业标准的相关规定。

4.5 密封材料

4.5.1 管箍与管节之间、法兰盘之间、翻边结合面之间以及搭接的波纹钢板件之间应采取密封措施。密封材料应具有弹性和不透水性，并应填塞紧密。低温条件下密封材料应具有良好的抗冻、耐寒性能。

4.5.2 密封材料可选用天然橡胶、氯丁橡胶、聚乙烯泡沫或耐候密封胶。应根据不同的区域和气候条件选择相应材料。

4.6 结构回填材料

4.6.1 结构性回填材料宜优先选用级配较好的砾类土、砂类土或石灰土等低压缩性、易压实的填料。

4.6.2 结构性回填材料不得有粒径超过 50mm 的石块、混凝土块、冻土块、高塑性粘土块或其它有害腐蚀材料。

4.7 圬工结构材料

4.7.1 基础、下部结构及附属工程所用钢材、混凝土和砂浆用材料（水泥、细集料、粗集料、水、外加剂、掺合料等）、砌体用料（片石、块石、模板等）的性能、质量技术指标应符合《公路涵洞施工技术规范》（JTG/T F50）的相关规定。

5 设计

5.1 水文计算

5.1.1 波纹钢结构涵洞设计洪水频率应符合表 5.1.1 的规定。

表 5.1.1 涵洞设计洪水频率（年）

公路等级	高速公路	一级公路	二级公路	三级公路
设计洪水频率	1/100	1/100	1/50	1/25

5.1.2 波纹钢结构涵洞宜采用无压力式的。无压力式涵洞内顶点至洞内设计洪水频率标准水位的净高应符合表 5.1.2 的规定。

表 5.1.2 无压力式涵洞内顶点至最高流水面的净高

涵洞类型 涵洞进口净高 (或内径) /h (m)	管涵	拱涵(桥)
$h \leq 3$	$\geq h/4$	$\geq h/4$
$h > 3$	$\geq 0.75\text{m}$	$\geq 0.75\text{m}$

5.1.3 波纹钢结构涵洞孔径设计应满足以下要求：

- 1 必须保证设计洪水以内的各级洪水及流冰、泥石流、漂流物等安全通过，并应考虑壅水、冲刷对上下游的影响，确保附近路堤的稳定。
- 2 应考虑上下游已建或拟建涵洞和水工建筑物的状况及其对河床演变的影响。
- 3 应注意河床地形，不宜过分压缩河道、改变水流的天然状态。
- 4 孔径应根据设计洪水流量、河床地质、河床和锥坡加固形式等条件确定。当涵洞的上游条件许可积水时，依暴雨径流计算的流量可考虑减少，但减少的流量不宜大于总流量的 1/4。
- 5 应用于通道时，其净宽和净空应满足通行要求。

5.1.4 水力计算应符合《公路涵洞设计规范》（JTG/T 3365-02）的相关规定，水力计算时应考虑波纹的综合影响，条件具备时应通过试验合理确定糙率。

5.1.5 涵洞底部纵坡较大、流速较大或山区砂石物质通过量较多时，设计应考虑磨蚀作用。

5.1.6 可根据流量和填土高度等综合选择多孔结构涵洞。

5.2 结构型式与布设

5.2.1 公路波纹钢结构涵洞可采用螺旋波纹钢圆管、环形波纹钢圆管、波纹钢板件三种结构形式。见图 5.2.1-1~图 5.2.1-3 所示。

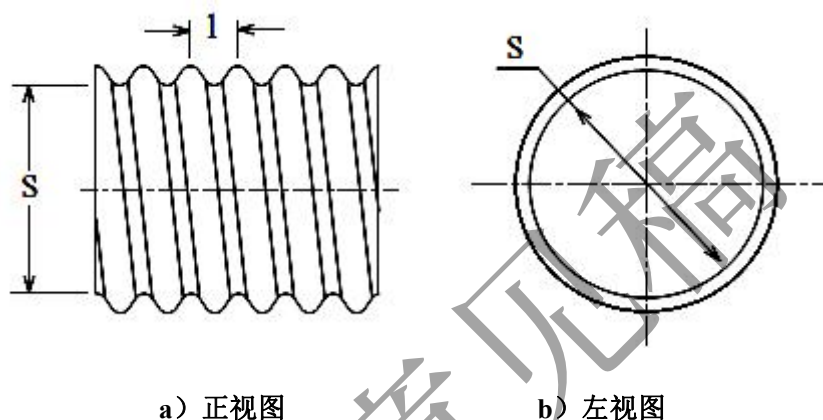


图 5.2.1-1 螺旋波纹钢圆管

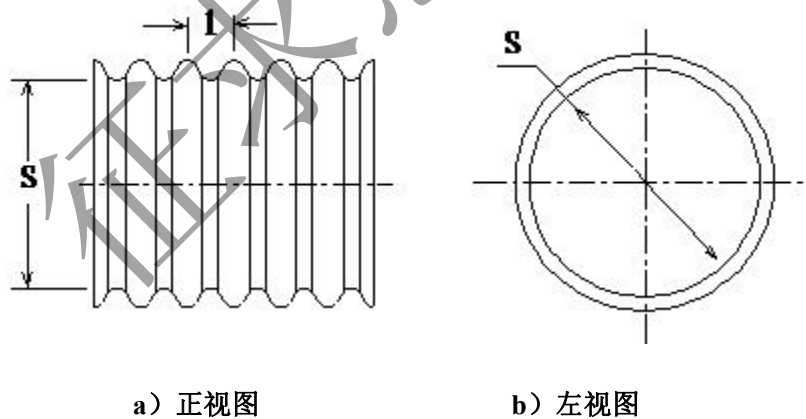


图 5.2.1-2 环形波纹钢圆管

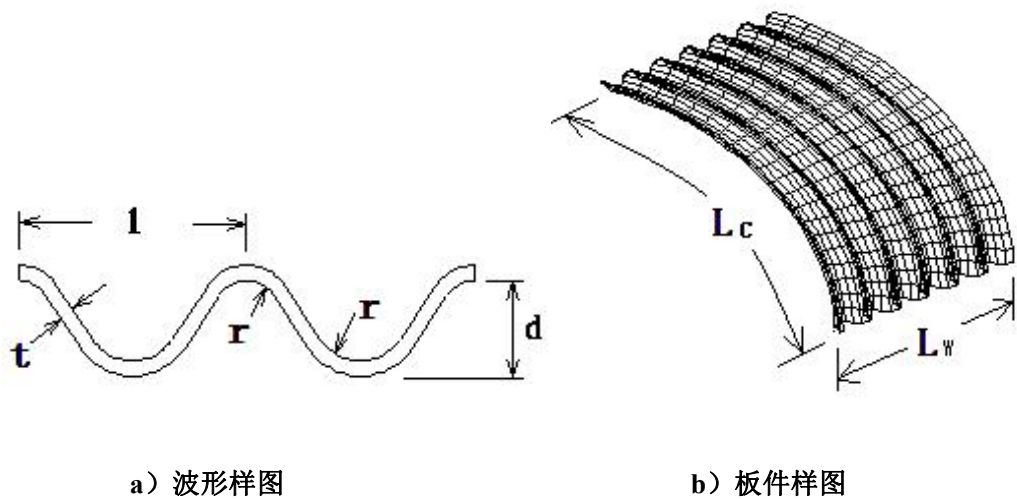


图 5.2.1-3 波纹钢板件

5.2.2 孔径 2m 以下宜采用螺旋波纹钢圆管或环形波纹钢圆管结构形式，孔径或跨径 2m 及 2m 以上宜采用波纹钢板件拼装结构形式。

5.2.3 波纹钢板件拼装的涵洞截面形状采用圆形管。

5.2.4 波纹钢结构涵洞依据不同结构型式、不同填土高度和孔径或跨径选择相应的波形，波形设计参数见表 5.2.5。

表 5.2.5 波纹钢管波形设计参数（单位：mm）

分类	波距 (l)	波高 (d)	壁厚 (t)	波峰波谷 半径 (r)	适用孔径或跨 径 (S)	拼装采用的高强 度螺栓规格
螺旋波纹 钢圆管	68	13	2.0 ~ 4.0	17.5	750~1500	M12
	125	25	2.0 ~ 5.0	40	750~2000	M16
环形波纹 钢圆管	125	25	2.0 ~ 5.0	40	750~2000	—
	150	50	2.0 ~ 6.5	28	1500~2000	—
	200	55	3.0 ~ 6.5	53	1500~2000	—
波纹钢板 件	125	25	2.0 ~ 5.0	40	750~3000	M16
	150	50	2.0 ~ 6.5	28	1500~5000	M20

	200	55	3.0~10.0	53	1500~5000	M20
	380	140	3.0~10.0	76	4000~5000	M24
	400	150	3.0~10.0	81	4000~5000	M24

注：壁厚以表面附着防腐材料前的厚度为基准。壁厚设计应考虑受力、变形及防腐要求。

5.2.5 波纹钢结构涵洞布设除应满足现行《公路涵洞设计规范》（JTG/T 3365）规定外，还应满足本节规定。

5.2.6 波纹钢结构涵洞与路线斜交时，洞口可采取斜交正做的方式；当采用斜交洞口时，应进行端部特殊处理。

5.2.7 波纹钢结构涵洞平面沿曲线布设或分岔布设时，可通过弯头、三通等构件连接成整体结构。

5.2.8 当波纹钢结构涵洞纵坡大于 5% 时，应对洞身结构采取相应措施以限制其位移。

5.3 结构设计

5.3.1 波纹钢结构涵洞的结构设计应符合《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）、《公路涵洞设计规范》（JTG/T 3365-02）的规定，应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计，对结构强度、刚度、稳定性和连接强度等分别进行验算。

5.3.2 对跨径较大和填土高度较大的波纹钢结构涵洞，应进行柔度计算及施工阶段强度验算。

5.3.3 波纹钢结构涵洞设计采用的作用及作用效应组合应符合《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）、《公路涵洞设计规范》（JTG/T 3365-02）的规定。

条文说明

波纹管钢结构洞身由于自重较轻，可以不考虑。但是当跨径较大、管壁较厚时应予以考虑。

5.3.4 按设计要求的不同,波纹钢结构涵洞结构形式可分为一般结构和特殊结构。一般结构应为填土高度小于 8m,截面形状为圆形的波纹钢结构涵洞;特殊结构应为填土高度大于 8m,截面形状为圆形的波纹钢结构涵洞。

5.3.5 公路波纹钢结构涵洞结构设计流程如图 5.3.2 所示。

- 1 依现场实际情况、水文资料和计算,初选孔径(跨径、矢高)及截面形式。
- 2 初步确定波形、壁厚等基本参数,见表 5.2.5。
- 3 当波纹钢结构涵洞为一般结构时,应按极限状态法进行结构应变计算,见附录 B,通过后确定结构形式及几何参数;当波纹钢结构涵洞为特殊结构时,应先采用极限状态法进行结构应变初算,通过后根据现场物理参数和力学边界条件,采用有限元进行建模分析和结构验算,两者都通过后方能确定结构形式及几何参数。

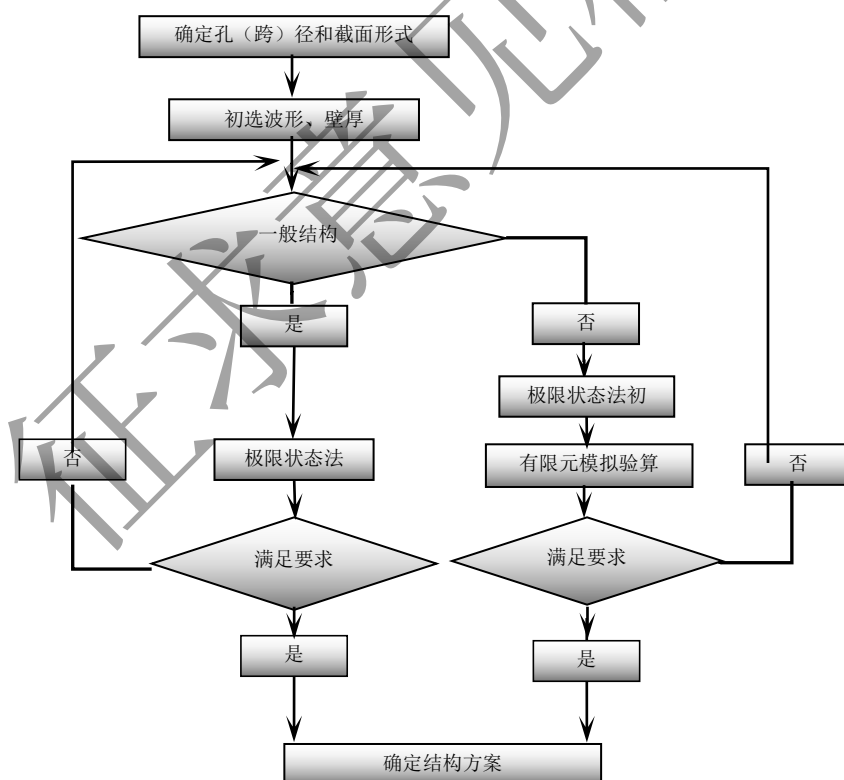


图 5.3.2 结构设计方法流程

5.3.6 公路波纹钢涵洞洞身管壁承载力应满足下式要求:

$$\sigma_d \leq f_d \quad (5.3-1)$$

式中： σ_d --管壁应力设计值；

f_d --管壁材料强度设计值。 σ_d 和 f_d 计算方法见附录 B。

5.3.7 有限元法验算时采用变形和应力控制指标。

1 最大变形控制应符合下列要求：

1) 公路波纹钢结构涵洞结构的管顶（拱顶）挠度容许值为孔径（跨径）的 2/100，截面最大竖向变形应小于管顶（拱顶）的值。

2) 闭合截面管侧水平变形容许值为孔径（跨径）的 1/100。非闭合截面中任意点的水平变形容许值为孔径（跨径）的 2/100。

3) 低填路基时，波纹钢结构顶部的变形应满足路面结构的相关技术要求。

2 最大等效应力控制应符合下列要求：

公路波纹钢结构涵洞结构最大等效应力乘以安全系数的值不得大于板材屈服应力。一般情况下，安全系数取 1.5~2.0，特别重要的结构安全系数取 2.0。

5.3.8 波形参数应根据受力情况确定，不同波形参数适用的最大填土高度和最小填土高度的初选可参考附表 A.01~A.06。

5.3.9 窄路基大孔径波纹钢结构涵洞洞身长度应大于单跨跨径的 1.5 倍。

条文说明

大孔径波纹钢结构涵洞为避免结构轴向失稳，涵洞洞身长度应大于单跨跨径的 1.5 倍。

5.3.10 对于涵顶填土高度小于 1.0m 低填路基的大孔径波纹钢结构涵洞应进行疲劳校验。

条文说明

在涵顶填土高度较低（涵顶填土高度小于 1.0m）时，应对公路波纹钢结构涵洞结构作疲劳校验。疲劳校验宜按《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）中的方法计算。

也可采用容许应力幅验算，应力按弹性状态计算，对非焊接的构件和连接，在应力循环中不出现拉应力的部位可不校验疲劳强度。容许应力幅按构件和连接类别确定。

$$\alpha \Delta \sigma \leq [\Delta \sigma]$$

式中： $\Delta \sigma$ — 正应力幅， $\Delta \sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ ；

$\sigma_{\max}$ — 计算部位应力循环中的预期最大名义拉应力(取正值)；

$\sigma_{\min}$ — 计算部位应力循环中的预期最小名义拉应力或压应力(拉应力取正值，压应力取负值)；

α — 安全等级修正系数，按表 5.1 取值；

$[\Delta \sigma]$ —容许应力幅，按表 5.2 取值。

表 5.1 安全等级修正系数

安全等级	一级公路	二级公路	三级公路
α	1	0.8	0.6

表 5.2 容许应力幅 (N/mm²)

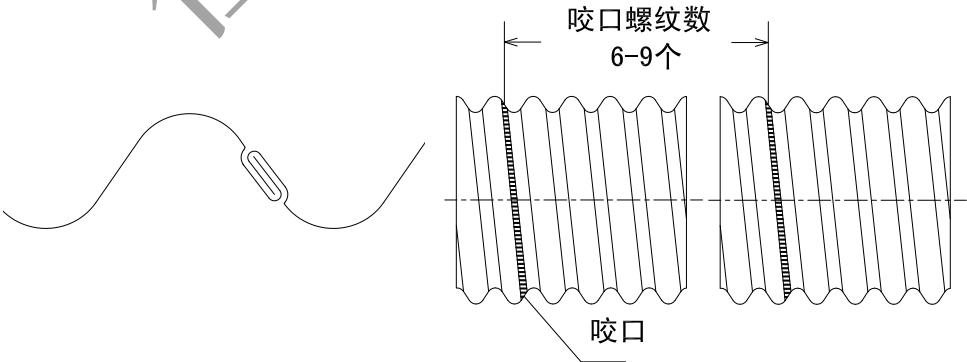
涵洞结构连接形式	有焊缝，焊缝外观质量标准符合二级	有焊缝，焊缝外观质量标准符合一级	咬口连接	螺栓连接
$[\Delta \sigma]$	16	29	29	46

注：焊缝级别依照现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 中规定划分。

5.4 构造设计

5.4.1 螺旋波纹钢圆管的连接应符合下列规定：

1 螺旋波纹钢圆管的加工应采用咬口方式，如图 5.4.1-1 所示。咬口应确保管体强度和防渗，咬口最小间距和相应的螺纹数量应符合表 5.4.1 的规定。



a) 咬口样图

b) 咬口间距示意图

图 5.4.1-1 螺旋波纹钢圆管的咬口方式

表 5.4.1 螺旋波纹钢圆管咬口及管箍连接要求

波形代号	咬口最小间距 (mm)	咬口间螺纹最少 数量 (个)	管箍形式	管箍最小宽度 (mm)
A	610	6	1~2 边连接	410
B	533	7	2~3 边连接	450
C	750	6	2~3 边连接	750

2 螺旋波纹钢圆管管节之间应采用平行式（管箍螺纹与管节螺纹平行）管箍连接，其管箍形式和宽度应符合表 5.4.1 规定，螺旋波纹钢圆管管节之间的连接如图 5.4.1-2 所示，管箍钢板厚度应不小于螺旋波纹钢圆管管节钢板厚度。管箍与管节之间采用垫片密封防漏。采用的高强螺栓规格应符合表 5.2.6 的规定。

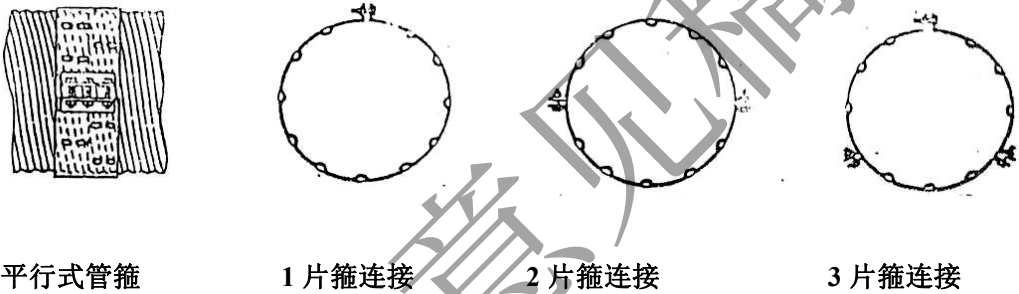


图 5.4.1-2 螺旋波纹钢圆管管节之间的连接示意图

5.4.2 环形波纹钢圆管连接应符合下列规定：

- 1 环形波纹钢圆管的焊缝及两端法兰与管节的焊接应采用电弧焊。焊接及焊接质量应符合《铁路钢桥制造规范》（TB 10212）的规定。
- 2 环形波纹钢圆管管节的连接形式可采用整管法兰连接、半圆管节的翻边连接、管箍连接。
- 3 环形波纹钢圆管管径为 750~2000mm 时，可采用整圆管节，整圆管节之间采用法兰盘对接连接，相互拼接的两个法兰盘之间相对应的连接孔应严格对中，法兰周向连接孔为轴向单排孔，孔距均布。法兰盘之间应采用垫圈密封、防渗。环形波纹钢圆管整圆管节的法兰盘连接如图 5.4.2-1 所示。

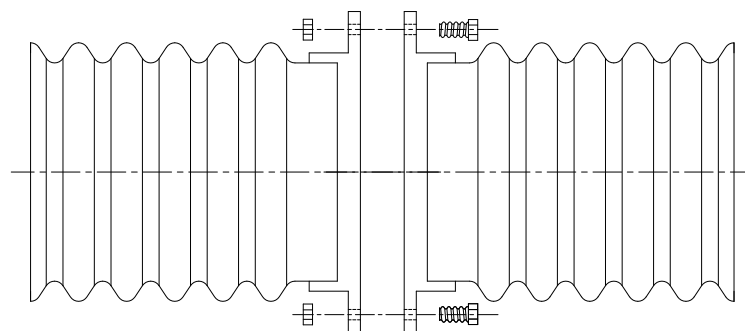


图 5.4.2-1 环形波纹钢圆管整圆管节的法兰盘连接

4 环形波纹钢圆管管径为 750~1500mm 时,可采用半圆管节左右(或上下)翻边连接,相互拼接的两个法兰盘之间相对应的连接孔应严格对中,法兰周向连接孔为纵向单排孔,孔距均布。法兰盘之间采用垫片密封防渗。环形波纹钢圆管半圆管节的翻边连接如图 5.4.2-2 所示。

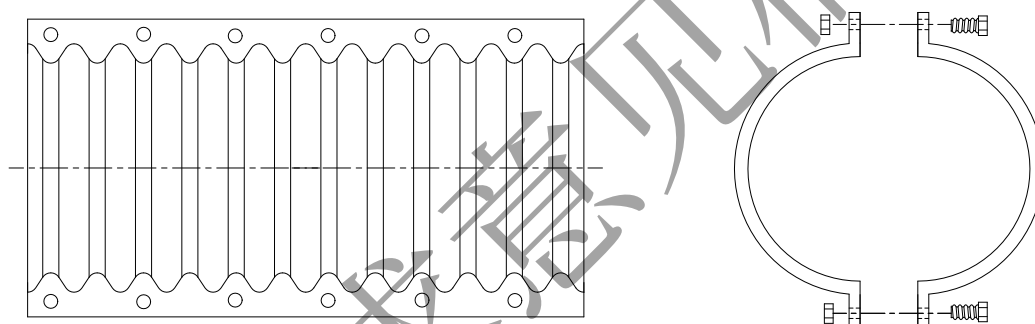


图 5.4.2-2 环形波纹钢圆管半圆管节的翻边连接

5 环形波纹钢圆管管径为 750~1500mm 时,可采用外套与管体相同波形的箍套进行轴向拼接,箍套轴向长度应大于 5 个波距,管箍孔径应为环形波纹钢圆管管节的外径。管箍与管节之间应采用垫片密封防漏。

5.4.3 波纹钢板件之间的连接应符合下列规定:

1 相邻波纹钢板件之间的连接应采用搭接拼装,并用高强螺栓连接,不得采用焊接。重叠部分边缘至最外缘螺栓孔距离应大于 50mm。波纹钢板件螺栓孔的布置示意图如图 5.4.3-1 所示。

2 波纹钢板件搭接拼装时,沿涵洞轴向相邻板件应进行错缝栓接拼装。错缝栓接拼装示意图如图 5.4.3-2 所示。

3 拼装全部完成后，应用定扭气动扳手按预定扭矩再次紧固所有螺栓，保证波纹的重叠部分紧密地嵌套在一起。

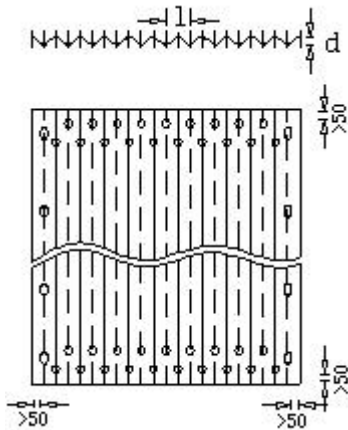


图 5.4.3-1 波纹钢板件螺栓孔的布置示意图

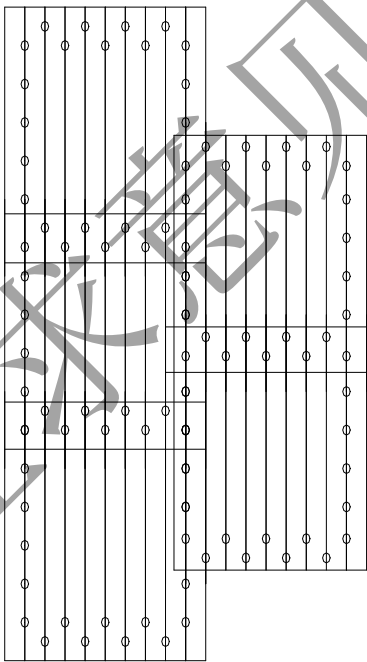


图 5.4.3-2 错缝栓接拼装示意图

- 4 拼装应采取密封措施。密封料应具有弹性和不透水性，并应填塞紧密。
- 5 拼装波纹钢板件采用的高强螺栓规格应符合表 4.2.6 的规定。
- 6 搭接拼装时，应充分考虑水流的自然方向。

5.4.4 螺旋波纹钢圆管及环形波纹钢圆管的管节长度、波纹钢板的单片尺寸可根据现场及生产加工的实际情况进行合理调整。

5.5 耐久性设计

5.5.1 公路波纹钢结构涵洞的螺旋波纹钢圆管、环形波纹钢圆管、波纹钢板件等，应在工厂加工制作后，采用热浸镀锌工艺进行双面镀锌。连接材料也应采用热浸镀锌工艺进行镀锌。镀锌层单面附着量应满足表 5.5.1-1 要求。热浸镀锌层技术质量应满足表 5.5.1-2 的要求。

表 5.5.1-1 镀锌层单面附着量

项 目	要 求
单面附着量	强腐蚀性环境：波纹钢圆管、波纹钢板件和管箍 $\geq 600\text{g/m}^2$ ；螺栓、螺母 $\geq 350\text{g/m}^2$ 。中等腐蚀性和弱腐蚀性环境：波纹钢圆管、波纹钢板件和管箍 $\geq 300\text{g/m}^2$ ；螺栓、螺母 $\geq 175\text{g/m}^2$ 。

表 5.5.1-2 热浸镀锌质量要求

项 目	要 求
镀锌层附着性	镀锌层应与金属结合牢固，经锤击实验不剥离，不凸起。
外观质量	锌层应均匀完整、颜色一致，无漏镀缺陷，表面光滑，不允许有流挂、滴瘤或结块。
锌层均匀性	锌层应均匀，无金属铜的红色沉积物。
锌层耐盐雾性	耐盐雾性试验后，基材不应出现腐蚀现象。

条文说明

1 强腐蚀性环境指金属表面均匀腐蚀 $>0.5\text{mm/年}$ ；中等腐蚀环境指金属表面均匀腐蚀 $0.1\sim 0.5\text{mm/年}$ ；弱腐蚀性环境指金属表面均匀腐蚀 $<0.1\text{mm/年}$ 。

2 当采用热浸镀铝、静电喷涂等其他防腐方法代替镀锌时，应有试验验证资料，确保其防腐性能应不低于表 5.2.1-1 和 5.2.1-2 规定的热浸镀锌方法的相应要求。

5.5.2 采用连续热浸镀锌钢板及钢带加工波纹钢圆管、波纹钢板件，其加工后的有效锌层厚度和质量应不低于表 5.5.3-1 规定的要求。

5.5.3 分区防腐设计时，不同地区、不同环境条件下的防腐措施可参照表 5.5.3-2 使用。

表 5.5.3-1 不同地区推荐防腐方案

序号	腐蚀等级	腐蚀速率 mm/年	适用场合	内壁防腐方案	外壁防腐方案
1	弱腐蚀性	<0.1	干旱~半干旱地区、弱腐蚀	镀锌层厚 86μm	镀锌层厚 86μm + 热涂沥青层
2	弱腐蚀性	<0.1	其他地区、弱腐蚀	镀锌层厚 86μm + 热涂沥青层	镀锌层厚 86μm + 热涂沥青层
3	中等腐蚀性	0.1~0.5	中等腐蚀	镀锌层厚 86μm + 涂层系统 1 + 热涂沥青层*	镀锌层厚 86μm + 热涂沥青层
4	强腐蚀性	>0.5	一般地区、强腐蚀	镀锌层厚 86μm + 涂层系统 2 + 热涂沥青层*	镀锌层厚 86μm + 涂层系统 1 + 热涂沥青层*
5	强腐蚀性	>0.5	海港地区、强腐蚀	镀锌层厚 86μm + 涂层系统 3 + 聚合物水泥砂浆	镀锌层厚 86μm + 涂层系统 3 + 热涂沥青层*
序号	腐蚀等级	腐蚀速率 mm/年	适用场合	内壁防腐方案	外壁防腐方案
6	—	—	山区冲刷严重地区	镀锌层厚 86μm + 水泥砂浆或混凝土	镀锌层厚 86μm + 热涂沥青层
7	—	—	钢波纹管涵洞腐蚀层的更新或维护	(1) 涂层系统: 底层: 富锌漆 (无机或有机) 厚 75μm, 面层: 氧化橡胶漆、聚胺酯漆、丙烯酸树脂漆、乙烯树脂漆厚 250μm; 或 (2) 喷涂镀锌层厚 250μm。	—

注: 1. 采用涂层 1、涂层 2、涂层 3 系统见表 5.5.3-2, 可根据需要设置热涂沥青层。

2. 采用水泥砂浆后的涂层系统可根据需要设置。

表 5.5.3-2 涂层系统设计使用年限参考

防腐等级	涂层的参考设计使用	配套涂层系统	平均涂层厚度 (μm)	
			(1)	(2)

	年限					
涂层系统 1	<5	面层	I II III IV	油性漆 酚醛树脂漆 醇酸树脂漆 环氧树脂漆	170~190	
		—	—	其他	200	
涂层系统 2	5~10	底层		富锌漆（无机或有机）	40	
		面层	I II III	氧化橡胶漆 聚胺酯漆 乙烯树酯漆	100	
			I II III	橡胶树脂漆（氧化橡胶漆或氧化 碳化聚乙烯漆） 乙烯树酯漆 丙烯酸树酯漆	180~220	
			I II III IV	油性漆 酚醛树脂漆 醇酸树脂漆 环氧树脂漆	190~230	
			—	聚胺酯漆	220~240	
			—	环氧树脂漆	240~260	
防腐 等级	设计使 用年限	配套涂层系统			平均涂层厚度（ μm ）	
					(1)	(2)
涂层系统 3	10~20	底层		富锌漆（无机或有机）	10	75
		面层	I II III IV	氧化橡胶漆 聚胺酯漆 丙烯酸树酯漆 乙烯树酯漆	280	250

注：1. 涂层厚度可按《漆膜厚度测定法》（GB1764）测定。

2. 表列 I、II、III、IV 配套涂料及平均涂层厚度（1）、（2）可任选其中一种。

3. 表列各种涂料，系指该涂料系列中的防锈漆和防腐蚀漆。

5.6 基础与回填设计

5.6.1 地基要求

5.6.1.1 闭口截面结构物宜采用柔性地基，不宜直接置于岩石或混凝土基座上。由于现场条件限制，需要置于岩石或混凝土基座之上时应设置砂砾缓冲层。

地基承载力应满足设计要求。

5.6.1.2 当闭口截面结构物地基处于软土地区时，需对软土路基进行换填。

5.6.1.3 当闭口截面结构物地基处于膨胀土、湿陷性黄土地区时，基础应根据需要作好隔水处理，地基处理方式宜与同路段路基处理方案相同。

5.6.1.4 涵洞顶以上路基填土高度大于 10.0m 时，宜针对具体情况对基础承载力作单独设计。

5.6.1.5 拱式结构的基础应为钢筋混凝土或圬工结构，拱脚与拱座应采用槽钢固定、螺栓连接。

5.6.2 基础设计

5.6.2.1 闭口截面结构物的地基或基础应均匀坚固，其地基或基础的最小厚度与宽度应符合表 2 的规定，以保证提供足够的空间组装波纹钢管及进行周边结构性回填材料的回填压实。

表 5.6.2.1 闭口截面结构物地基基础的最小厚度与宽度

地质条件		基础最小厚度	基础宽度
碎石土、卵石土、砂砾、粗砂		表层夯实可直接将地基作为基础	
中砂、细砂	孔径 $D < 900\text{mm}$	200mm	2D
	孔径 $D = 900 \sim 2000\text{mm}$	300mm	
	孔径 $D > 2000\text{mm}$	0.20D	
岩石地基		200~400mm，但当填土高度大于 5m 时，填土每增高 1.0m，其厚度增加 40mm	2D
软土地基		$(0.3 \sim 0.5) D$ 且不小于 500mm	$(2 \sim 3) D$

5.6.2.2 开口截面钢波纹钢结构涵洞基础的设计应按《公路涵洞地基与基础设计规范》（JTGD63）执行。拱脚处波纹钢结构与刚性基础通过预埋型钢连接件并用螺栓连接，钢板连接件底面应与拱脚处切线垂直。

5.6.3 结构性回填

5.6.3.1 结构性回填的范围如图 所示，应满足下列要求：

- (1) 最小覆土厚度 D_a 可按下式计算并取较大值，且不得小于 0.6m；

$$D_a = \frac{D_h}{6} \left(\frac{D_h}{D_v} \right)^{0.5} \quad (5.6.3-1)$$

$$D_a = 0.4 \left(\frac{D_h}{D_v} \right)^2 \quad (5.6.3-2)$$

(2) 波纹钢管涵的最小间距:

当 $D_h \leq 1m$ 时 $D_b = 0.5m$

当 $1m < D_h \leq 2m$ 时 $D_b = 0.5D_h$

当 $2m < D_h \leq 10m$ 时 $D_b = 0.1D_h$

当 $D_h > 10m$ 时 $D_b = 0.5D_h$

式中: D_a --最小覆土厚度 (m);

D_h --波纹钢管 (板) 涵的有效跨径 (m), 按波纹钢结构轴线计算;

D_v --波纹钢管 (板) 涵的有效矢高 (m), 按波纹钢结构轴线计算;

D_b --波纹钢管 (板) 涵的最小间距 (m);

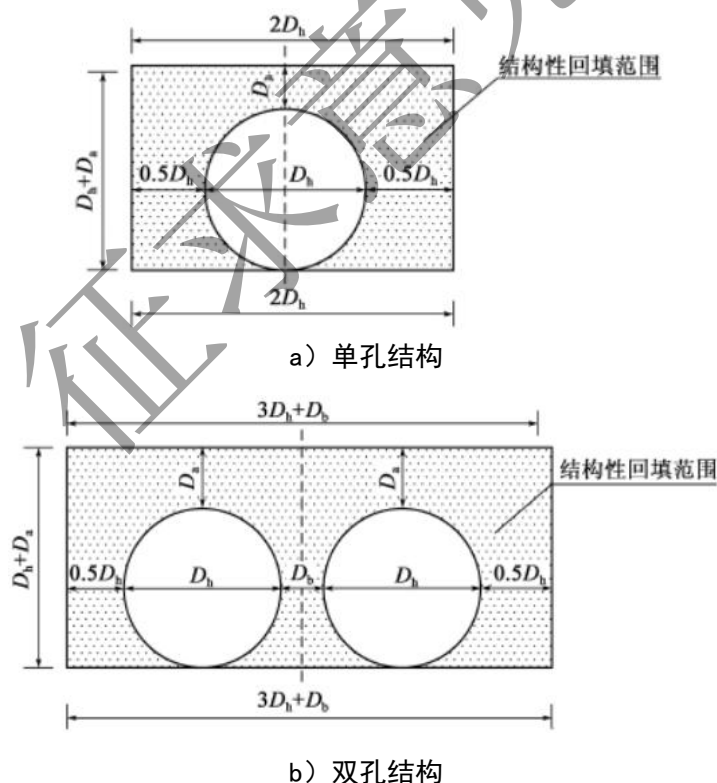


图5.6.3.1 结构性回填范围示意图

5.6.3.2 结构性回填应满足下列规定:

(1) 结构性回填材料宜优先选用天然级配或水稳性好的砾类土、砂类土，或砾、卵石与细粒土的混合料。不得含有有害、腐蚀性材料。

(2) 结构性回填土范围不得采用大型机械填筑、压实。

(3) 对闭口截面结构物管底下方楔形部填料，可采用水密法，并用振荡器振实。

(4) 结构物两侧保持对称、均匀、分层摊铺，逐层压实，每层厚度宜为 150~200mm，其压实度不应小于 96%，夯实高度差应小于一层夯实厚度，由偏土压引起的结构物变形应采取措施消除，校正截面形状后重新实施夯实。

(5) 在回填夯实过程中，从结构物外边缘向外 2.0m 以内的范围内，应严格控制除夯实机械以外的重型机械的运行。夯实侧面时，夯实机械应与结构物的长度方向平行行驶；夯实结构物上方回填土时，应垂直于结构物长度方向行驶。

(6) 结构物顶部填土的最小厚度除满足本规范要求外，尚应符合现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650) 的规定，并进行结构物承载力验算，符合要求后，方可允许车辆通行。

6 施工

6.1 基础施工

6.1.1 闭合截面地基施工

6.1.1.1 基础承载力小于设计值时,应进行换填,并采用分层碾压,管基表面应与涵洞底部结合紧密,填充密实。

6.1.1.2 特殊地区的地基处理应符合现行《公路路基施工技术规范》(JTG F10)的规定。

6.1.1.3 基础施工时应按照图纸进行纵坡、预拱度的布置,施工完成后应进行复核,确保纵坡、预拱度与设计值保持一致。

6.1.2 开口截面基础施工

6.1.2.1 开口截面波纹钢结构的基础宜为钢筋混凝土结构或圬工结构,混凝土基础浇筑前应预埋连接件。

6.1.2.2 墩台与波纹钢连接时宜采用槽钢进行双面固定,其中螺栓头位于槽钢内侧,螺母位于槽钢外侧。如图 6.1.2.2 所示。

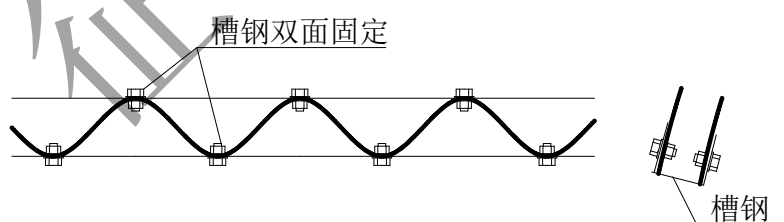


图 6.1.2.2 墩台与波纹钢连接示意图

6.1.2.3 基础施工应符合现行《公路涵洞施工技术规范》(JTG/T 3650)的规定。混凝土浇筑完成后达到设计强度 80%后方可拆模,完全达到设计强度要求后方可进行回填。

6.2 运输与储存

6.2.1 波纹钢管（板）材料运输应满足以下要求：

- 1 波纹钢管（板）及配件出厂前应按现行《公路涵洞通道用波纹钢管（板）》（JT/T 791）的规定进行验收，并附有产品质量合格证书及构建的安装说明
- 2 波纹钢管（板）运输时应注意镀锌层的保护，为避免镀锌层的损坏宜增加垫层。
- 3 运输过程中损坏、变形过大或镀锌层脱落的波纹钢管（板）应进行更换。

6.2.2 波纹钢管（板）材料储存应满足以下要求：

- 1 施工前应规划好波纹钢管（板）的储存位置，应为无腐蚀、无粉尘、干燥、通风良好的室内环境。
- 2 储存叠放时，波纹钢管（板）应按同规格、同曲度进行叠放；波纹管应安全叠放。
- 3 波纹钢管（板）搬动过程中应小心轻放，避免与坚硬尖锐物品混装，避免剧烈冲击，禁止摔、抛、扔，不得损伤镀锌层。

6.3 拼装施工

6.3.1 螺旋波纹钢圆管组装应满足以下要求：

- 1 螺旋波纹钢圆管每节的长度由吊装、运输、安装条件确定。
- 2 螺旋波纹钢圆管采用卡箍连接时，第一节管的端部与边线平齐，将卡箍内垫密封板，卡箍二分之一长度与第一节管端头底部重叠。吊装第二节管放到卡箍上，使两管节端口对齐，镶好密封板，盖上卡箍连接件，对准波峰波谷，连接螺栓紧固密封。其他管节依次连接而成。

6.3.2 环形波纹钢圆管组装应满足以下要求：

- 1 环形波纹钢圆管每节的长度由吊装、运输、安装条件确定。
- 2 环形波纹钢圆管采用上下半圆对接时，螺栓长度和对应位置应满足拼装需求，确保对应拼装；应采取密封防水措施。
- 3 法兰位置的设置应偏离最大等效应力和最大切向应力集中的区域。

6.3.3 波纹钢板片拼装应满足以下要求：

- 1 安装前应核查钢波纹板涵洞标高、纵坡，确定涵洞位置中心线。
- 2 闭合截面结构应以中心轴线中点为基准，由下向上顺次对称拼装；开口截面结构应从拱脚至中心对称拼装。
- 3 螺栓连接时，应对正连接孔，螺栓由内向外插入孔位，外侧应套上垫圈旋上螺母，用套筒扳手预紧螺母。
- 4 顶部板片合拢时，应测定截面尺寸，不符合设计要求时应依次调整预紧螺栓，直至达到设计要求。
- 5 钢波纹板件拼装搭接时，在结构顶部，上部板件应在下部板件外侧。
- 6 波纹钢板拼装时，沿轴向板与板之间应叠缝错位拼装，板片之间搭接长度不小于 50mm。
- 7 拼装完成后，应先检查波纹钢结构涵洞线形，再用定扭气动扳手按预定扭矩紧固所有螺栓，保证波纹的重叠部分紧密嵌套在一起。定扭气动扳手的控制钮距应符合表 6.3.3 的规定。
- 8 拧固螺栓应按设计要求进行初拧和终拧，超过扭矩要求的螺栓必须更换，不得重复使用。
- 9 螺栓拧固完成后，应在波纹钢板连接处和螺栓孔位置采用专业密封胶进行防水处理，防止在波纹钢板连接处或螺栓孔位置发生渗水。

表 6.3.3 定扭气动扳手的控制钮距 (N·m)

螺栓的承载性能等级	螺栓公称直径 (mm)						
	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24
8.8 级	59~81	92~126	141~192	198~270	275~375	363~495	462~630
10.9 级	73~99	116~158	176~240	248~338	341~465	460~627	594~810

6.4 回填施工**6.4.1 涵洞两侧回填**

1 涵洞两侧的回填料宜为砂土、砂砾、砾石、小粒径碎石，不允许有粒径超过 50mm 大石块、尖锐硬物出现。

2 涵洞两侧回填应从结构两侧分层对称施工，压实后厚度小于 30cm，每侧的回填宽度范围不应小于结构两侧填土高度的一倍。

3 涵洞两侧回填时，管周 0.5m 范围内，应严格控制除夯实（压实）机械以外的重型机械通行。周围 10m 范围内的回填施工应禁止采用强夯，避免对波纹钢结构涵洞造成冲击。

3 波纹钢结构涵洞的楔形部位回填应采用“粗沙”水密法振捣密实，条件具备时亦可采用水泥砂浆、液态粉煤灰浇筑。楔形部位密实稳定后，方可进行管侧面回填。

4 拱脚连接处的填料应为砂石混合料、灰土或水泥稳定砂砾，应采用小型夯实机械夯实，压实度应满足设计要求。

5 涵洞两侧压实时，压实机械应与波纹钢结构涵洞轴向平行行驶，严禁垂直与洞身铲倒或倾倒。

6 填挖交界的斜坡面应处理成锯齿或阶梯状并压实。

条文说明

波纹钢结构涵洞在荷载作用下，产生横向变形，在涵侧土体支撑作用下产生环向应力抵抗荷载，故涵洞两侧楔形部位的回填密实尤为重要。

6.4.2 涵洞顶部回填

1 钢波纹板涵洞顶部填筑高度小于 0.5m 时，应禁止压实机械以外的重型机械在结构物上方通行，且不得做振动压实。

2 涵洞上方回填厚度超过最小填土高度后，先采用轻型压路机静压，后采用重型压路机振压。

3 涵洞上方回填土时，压实机械应沿垂直于波纹钢结构涵洞轴线方向行驶。

4 回填施工应符合《公路路基施工技术规范》（JTG F10）的规定。

条文说明

涵顶填土厚度过小时，结构受车辆荷载的影响相对较大，结构易产生较大的变形，故应保证管顶的最小填土厚度。

6.5 防腐施工

6.5.1 波纹钢板件应在工厂镀锌，现场进行二次防腐、防水或涂装，施工应按设计图规定进行。

6.5.2 连接处采用聚氨酯防水层防腐时，宜采用专用机械喷涂，聚氨酯涂层厚度不小于 1.5mm。每一遍喷涂厚度应均匀、无漏喷涂部位，涂层表面应均匀光洁、连续，无肉眼可分辨的小孔、孔隙、裂缝、脱皮及其它缺陷。聚氨酯涂层干燥后再进行下一道防腐层施工。

6.5.3 波纹钢结构涵洞顶部或钢筋混凝土加强层顶面采用环氧沥青或改性沥青涂层防腐(防水)时，宜采用专用机械喷涂，沥青涂层总厚度为 0.5mm~1.0mm。每一遍喷涂厚度应均匀、无漏喷涂部位，涂层表面应均匀光洁、连续，无肉眼可分辨的小孔、孔隙、裂缝、脱皮及其它缺陷。沥青晾干后再进行结构性回填。

6.5.4 防腐涂层施工时，施工现场气温宜为 5℃~38℃，空气相对湿度不宜大于 85%；在有雨、雾、雪、大风和较大灰尘的条件下，禁止户外施工。施工环境温度-5℃~5℃时，应采用低温固化产品或采用其它措施。

6.6 质量控制

6.6.1 反开槽回填的宽度、路堤法的最小宽度应符合表 6.6.1 的规定。

表 6.6.1 反开槽法、路堤法最小宽度

孔径或跨径 S (mm)	反开槽法最小开槽宽度 (mm)	路堤法最小回填宽度 (mm)
$S \leq 1500$	$S+2000$	$S+3000$
$4000 > S > 1500$	$S+3000$	$S+4000$
$S \geq 4000$	$S+4000$	$S+5000$

6.6.2 开口截面波纹钢结构涵洞下部混凝土结构质量控制应符合表 6.6.2 的规定。

表 6.6.2 下部混凝土结构允许偏差

检查项目	规定值或允许偏差
------	----------

混凝土强度 (MPa)		在合格标准内
平面尺寸 (mm)		±50
基础底面高程 (mm)	土质	±50
	石质	+50, -200
基础顶面高程 (mm)		±30
轴线偏位 (mm)		≤25
连接件预埋位置 (mm)		≤5

6.6.3 波纹钢结构涵洞回填土压实度应符合表 6.6.3 的规定。

表 6.6.3 填土压实度要求

位置	压实度
基础	>95%
涵洞两侧	>96%
涵洞顶 50cm	>96%

6.6.4 波纹钢管（板）出厂时，必须附有产品质量合格证书。出厂时成品允许偏差见表 6.6.4。

表 6.6.4 螺旋波纹钢圆管、环形波纹钢圆管、波纹钢板件的尺寸允许偏差

检查项目		规定值或允许偏差
钢板厚度(mm)		不小于设计值
波距(mm)		±3
波高(mm)		±3
波形检测 (mm)		3
波纹钢板件	长度 (%)	±1
	宽度 (%)	±1
镀（涂）层厚度 (μm)		不小于设计值
螺栓孔间距 (mm)		±0.4

孔中心到板边长度 (mm)	+5 -0	
螺栓孔孔径 (mm)	M12	+0.5
	M16	-0
	M20	+0.7
	M24	-0
波形检测可以代替波距、波高检测。		

6.6.5 波纹钢结构涵洞拼装应符合下列规定：

- 1 拼装波纹板涵洞在出厂前应进行必要的预拼装。
- 2 波纹钢管（板）运到工地后，应进行检查，如发现变形（超过允许值时），应进行试拼，符合要求后再组织拼装。波纹钢结构涵洞管节成品允许偏差应符合表 6.6.5 的规定。

表 6.6.5 波纹钢结构涵洞管节成品允许偏差

项目	允许偏差	备注
总长度	$\pm 1\%$	拼装期间控制
（跨）直径与矢高	$\pm 2\%$	—
顺直度	$\leq 0.2\%$	—

6.6.6 拼装后的外观质量应符合表 6.6.6 的规定。

表 6.6.6 波纹钢结构涵洞构件的外观质量要求

项目	要求
切口	平直，无明显锯齿状
颜色	表面色泽均匀、无明显缺损
整体外观	表面平整光滑、无损伤、无破裂、无孔洞，波形无明显变形
镀锌层	表面平滑、均匀、无滴瘤、无剥落、无漏镀、无残留的溶剂渣
涂塑层、沥青层	无破裂、无剥离、无孔洞
焊缝表面	无气孔、裂纹、夹渣及飞溅物等缺陷，焊缝处镀锌层符合本标准要求
端面错位	$\leq 5\text{mm}$

6.6.7 施工控制测量应符合下列规定：

- 1 波纹钢结构涵洞施工实测项目及允许偏差见表 6.6.7。

表 6.6.7 波纹钢结构涵洞施工实测项目

检测项目	规定值或允许偏差	备注
基础压实度	≥设计要求	每涵不少于 3 处
轴线偏位 (mm)	≤50	经纬仪测量不少于 3 点
涵底流水面高程 (mm)	≤20	水准仪测量不少于 3 点
涵洞长度 (mm)	≤+100, ≥-50	—
回填压实度	≥设计要求	各层不少于 3 处 大跨径 (大于 2 米) ≥95%
管身顺直, 进出水口平整, 无阻水现象。帽石及一字墙或八字墙等平直, 无翘曲现象。		

6.6.8 截面变形测量与控制应符合下列规定：

- 1 波纹钢结构涵洞在刚组装完毕之后、回填过程中、刚施工完毕后必须测量截面的形状, 应测量三处以上。
- 2 组装完毕后在开始回填前的截面尺寸偏差不应超过孔径或跨径设计值的 $\pm 1\%$ 。
- 3 回填开始至涵顶填土结束波纹钢结构涵洞截面水平方向的尺寸偏差应为设计孔径或跨径值的 $-1\% \sim 1\%$, 最大挠度不应超过设计孔径或跨径值的 $\pm 2\%$ 。如截面变形量超过变形范围时, 应立即终止施工并组织查明原因, 并采取措施将变形量控制在该范围内。

6.7 养护**6.7.1 波纹钢结构涵洞的养护与维修应符合 JTG H10 的规定。**

6.7.2 波纹钢结构涵洞检查分为经常检查和定期检查, 经常检查每月至少进行二次, 在洪水、冰雪前后及行洪其间应加强检查; 定期检查每年至少进行一次, 在发生较大损坏时应增加检查。

6.7.3 波纹钢结构涵洞内出现二次防腐层起皮、脱落时应及时进行清理，并重新进行防腐施工。

6.7.4 做好检查资料，发现破损时应进行及时修复，加强涵洞的经常性保养、维修，对损坏严重的涵洞应及时加固和改建。

征求意见稿

附录 A 公路波纹钢结构涵洞不同波形的填土高度

表 A.0.1 波形 68mm×13mm 结构设计参数参考表

壁厚 (t) mm 孔径 (S) mm	最大填土高度 (m)			最小填土高度 (m)
	2	3	4	
750	20.0	20.0	—	0.3
1000	18.0	18.0	18.0	
1250	15.0	16.0	16.5	
1500	12.0	13.5	14.5	0.4

表 A.0.2 波形 125mm×25mm 结构设计参数参考表

壁厚 (t) mm 孔径 (S) mm	最大填土高度 (m)				最小填土高度 (m)
	2	3	4	5	
1500	10.0	12.0	14.0	16.0	0.4
2000	9.0	10.5	12.0	14.0	
2500	7.5	9.0	10.5	12.0	0.5
3000	6.5	7.5	9.0	10.0	

表 A.0.3 波形 150mm×50mm 结构设计参数参考表

壁厚 (t) mm 孔径 (S) mm	最大填土高度 (m)						最小填土高度 (m)
	2	3	4	5	6	6.5	
1500	16.0	18.0	22.0	25.0	—	—	0.4
2000	13.0	14.0	18.0	20.0	—	—	
2500	10.0	11.0	15.0	18.0	20.0	20.0	0.5
3000	7.0	8.0	12.0	16.0	18.0	18.0	
4000	6.0	6.5	8.0	11.0	13.0	14.0	0.6
5000	—	5.0	6.5	8.0	10.0	11.0	

表 A.0.4 波形 200mm×55mm 结构设计参数参考表

壁厚 (t) mm 孔径 (S) mm	最大填土高度 (m)					最小填土高度 (m)
	3	4	5	6	6.5	
1500	18.0	20.0	—	—	—	0.4
2000	14.0	18.0	20.0	—	—	
2500	11.0	15.0	18.0	20.0	20.0	0.5
3000	8.0	12.0	16.0	18.0	18.0	
4000	6.5	8.0	11.0	13.0	14.0	0.65
5000	5.0	6.5	8.0	10.0	11.0	

表 A.0.5 波形 380mm×140mm 结构设计参数参考表

壁厚 (t) mm 孔径 (S) mm	最大填土高度 (m)					最小填土高度 (m)
	3	4	5	6	6.5	
1500	20.0	21.0	—	—	—	0.4
2000	16.0	19.0	21.0	—	—	
2500	13.0	17.0	20.0	22.0	22.0	0.5
3000	10.0	14.0	16.0	18.0	18.0	
4000	8.0	8.0	11.0	13.0	14.0	0.65
5000	7.0	8.0	8.0	10.0	11.0	

表 A.0.6 波形 400mm×150mm 结构设计参数参考表

壁厚 (t) mm 孔径 (S) mm	最大填土高度 (m)					最小填土高度 (m)
	3	4	5	6	6.5	
1500	19.0	21.0	—	—	—	0.4
2000	16.0	19.0	21.0	—	—	
2500	12.0	16.0	19.0	21.0	21.0	0.5
3000	9.0	13.0	17.0	18.0	19.0	
4000	7.0	9.0	12.0	14.0	15.0	0.65
5000	6.0	7.0	9.0	11.0	12.0	

附录 B 公路波纹钢结构涵洞结构设计——极限状态法

1 计算设计荷载

活载 LL (kPa)

涵洞顶车辆荷载，按车轮着地面的边缘向下 30° 角分散，算出车辆荷载引起的涵顶竖向土压力即为活载 LL 。

恒载 DL (kPa)

$$DL = \sum \gamma_i \cdot h_i \quad (\text{B-1})$$

式中： γ_i ——涵顶各结构层的重度 (kN/m^3)；

h_i ——涵顶各结构层的厚度 (m)。

设计荷载 P_v (kPa)

$$P_v = K(LL + DL) \quad (\text{B-2})$$

式中： K ——荷载系数，按表 B.0.1 取值。

表 B.0.1 荷载系数 K 的取值表

涵顶结构层总厚度 $H_u (= \sum h_i)$		K
$H_u < S$		1.00
$H_u \geq S$	当涵顶填土压实度为 85%时	0.86
	当涵顶填土压实度为 90%时	0.75
	当涵顶填土压实度为 95%时	0.65
注： S 为孔径或跨径 (m)。		

2 计算管壁环向压力 C (kN/m)

$$C = P_v \cdot S / 2 \quad (\text{B-3})$$

3 计算压应力 σ

$$\sigma = C / A \quad (\text{B-4})$$

其中： C ——管壁环向压力 (kN/m)；

A ——波纹横截面单位长度面积 (mm^2/mm)，参照表 B.0.2。

表 B.0.2 波纹钢管（板）截面特性参考表

分类	波 距 (mm)	波 高 (mm)	壁厚 (mm)	波纹横截面 单位长度面 积 A (mm ² /mm)	波纹横截面单 位长度惯性矩 I (mm ⁴ /mm)
螺旋 波纹 钢管	68	13	1.6	1.68	33.12
			2.7	2.45	48.44
			3.2	2.99	59.54
	125	25	2	1.70	134.16
			2.7	2.48	195.62
			3.2	3.03	239.86
			4.2	4.14	329.19
环形 波纹 钢管	125	25	2	1.70	134.16
			3	2.81	222.13
			4	3.92	311.22
			5	5.03	401.50
环形 波纹 钢管	150	50	3	3.18	924.09
			4	4.45	1298.92
			5	5.72	1681.41
			6	6.95	2052.56
			7	8.18	2424.14
	200	55	3	3.03	1152.59
			4	4.23	1613.80
			5	5.43	2080.43
			6	6.59	2528.99
			7	7.76	2979.98
波纹钢 板件	68	13	2	1.68	33.12
			3	2.77	55.09
			4	3.87	77.55
	150	50	3	3.18	924.09
			4	4.45	1298.92

			5	5.72	1681.41
			6	6.95	2052.56
			7	8.18	2424.14
	200	55	3	3.03	1152.59
			4	4.23	1613.80
			5	5.43	2090.43
			6	6.59	2528.99
			7	7.76	2767.13
	380	140	3	4.06	9952.47
			4	5.48	13427.54
			5	6.89	16916.12
			6	8.28	20360.02
			7	9.66	23790.78
波纹钢板件	400	150	3	3.91	10886
			4	5.35	14944
			5	6.81	19060
			6	8.26	23154
			7	9.67	27071

4 计算管(板)壁的抗压强度 f_b

当 $R \leq R_e$ 时

$$f_b = \phi_t F_m \left(F_y - \frac{(F_y K R)^2}{12 E r^2 \rho} \right) \quad (\text{B-5})$$

当 $R > R_e$ 时

$$f_b = \frac{3 \phi_t \rho F_m E}{\left(\frac{K R}{r} \right)^2} \quad (\text{B-6})$$

其中: ϕ_t ——抗压强度的阻抗系数,土—金属结构时取 0.8;

K_2 ——结构与周围土体相对弯曲刚度系数, $K = \lambda \left(\frac{EI}{E_m R_c^3} \right)^{1/4}$;

E_m ——土体弹性模量修正值, $E_m = E_s \left[1 - \left(\frac{R_c}{R_c + 1000H} \right)^2 \right]$;

λ ——计算 K_2 值时的修正系数, $\lambda = 1.22 \left[1.0 + 1.6 \left(\frac{EI}{E_m R_c^3} \right)^{1/4} \right]$;

F_m ——多跨结构时壁强度衰减修正系数, $F_m = (0.85 + \frac{0.3\Delta}{D_h}) \leq 1.0$;

Δ ——多跨结构之间的间距 (m);

D_h ——有效跨径 (m);

E ——钢的弹性模量 (MPa);

E_s ——土的割线模量 (MPa);

F_y ——结构壁冷作屈服强度 (MPa);

H ——覆盖厚度 (m);

I ——波纹横截面单位长度惯性矩 (mm^4/mm);

R ——波纹钢结构涵洞壁的曲率半径 (mm), 即横断面波纹中性轴测量值;

R_e ——等效半径 (mm), $R_e = \frac{r}{K} \left(\frac{6E\rho}{f_y} \right)^{0.5}$;

ρ ——壁压屈应力衰减系数, $\rho = \left(1000 \frac{H}{R_c} \right)^{1/2} \leq 1.0$;

R_c ——拱顶处的曲率半径;

r ——波纹断面的回转半径 (mm)。

当 $\sigma < f_b$ 时, 满足要求。

5 检验施工要求

1) 组合弯矩和轴向推力:

$$\text{当} \left(\frac{P}{P_{pf}} \right)^2 + \left| \frac{M}{M_{pf}} \right| \leq 1.0 \text{ 足要求。} \quad (\text{B-7})$$

$$P = T_D + T_C \quad (\text{B-8})$$

$$P_{pf} = \phi_h A F_y \quad (\text{B-9})$$

式中: P ——波纹钢板截面所受轴向压力, 按式 (C-5) 计算。计算中包含两部分, 分别为图的重力和汽车荷载 (考虑施工机械) 引起的压力。当 $H_c/D_k < 0.2$ 时 $P=0$, H_c 为施工过程中的填土高度。

T_D ——土的重力引起的波纹钢板压力 (kN/m) $T_D = 0.5(1.0 - 0.1C_s)A_f W$;

其中, C_s 为考虑回填土性质与结构尺寸的土压力折减系数; A_f 为考虑结构起拱效应的土压力增大系数; W 为拱上填土每延米的重量 (kN/m);

T_C ——汽车荷载 (考虑施工机械) 引起的波纹钢板压力 (kN/m);

P_{pf} ——波纹钢板截面考虑塑性抵抗系数的设计压力, 按式 (C-6) 计算。

其中, ϕ_h 为波纹钢板材抵抗塑性铰的抗力系数, 取 0.7;

A 为波纹横截面单位长度面积 (mm²/mm); F_y 为结构壁冷作屈服强度 (MPa)。

M ——波纹钢板截面所受弯矩, 由三部分组成, 按式 (C-7) ~ (C-10) 计算。

$$M = M_1 + M_B + M_C \quad (\text{C-7})$$

$$M_1 = K_{M1} R_B \gamma D_h^3 \quad (\text{B-10})$$

$$M_B = -K_{M2} R_B \gamma D_h^2 H_c \quad (\text{B-11})$$

$$M_C = K_{M3} R_L D_h L_C \quad (\text{B-12})$$

式中: M_1 ——波纹钢板涵洞结构在土体均布力作用下跨中截面的弯矩 (kN·m/m);

M_B ——由于周边土体的支撑作用，使波纹钢板涵洞结构跨中截面减小的弯矩（ $\text{kN}\cdot\text{m/m}$ ），是负值；

M_C ——汽车荷载（考虑施工机械）引起的结构跨中截面的弯矩（ $\text{kN}\cdot\text{m/m}$ ）；

L_C ——施工过程中作用于结构上汽车荷载（考虑施工机械）的等效荷载值（ kN/m ）， $L_C = A_C / K_4$ ，其中， A_C 为施工过程中的车辆轴重（ kN/m ）；

γ ——土的单位容重（ kN/m^3 ）；

K_{M1} ， K_{M2} ， K_{M3} ， K_4 ， R_B ， R_L ——计算施工弯矩的参数。其取值方法详见附录 C。

M_{pf} ——波纹钢板截面考虑塑性抵抗系数的设计弯矩，按式（B-13）计算：

$$M_{pf} = \phi_h M_p \quad (\text{B-13})$$

$$M_p = \frac{2I}{d+t} \cdot f_f \quad (\text{B-14})$$

式中： ϕ_h ——波纹钢板材抵抗塑性铰的抗力系数，取 0.7。

M_p ——波纹钢板波纹横截面可承受的塑性弯矩，即依材料极限抗拉强度计算所得的波纹横截面所能承受的最大弯矩（ $\text{kN}\cdot\text{m/m}$ ）；

I ——波纹横截面单位长度惯性矩（ mm^4/mm ）；

d ——波高（ mm ）；

t ——壁厚（ mm ）；

f_f ——钢材料的极限抗拉强度（ MPa ），取 GB/T 700-2006 规范中相关材料参考范围的最小值。

2) 波纹钢板螺栓连接验算：

承压型高强度螺栓的抗剪强度主要由螺栓杆受剪和孔壁承压两种破坏模式控制，因此应分别计算，取其最小值进行设计。

受剪承载力设计值可按式（B-15）计算。

$$N_v^b = n_v \cdot \frac{\pi b^2}{4} \cdot f_v^b \quad (\text{B-15})$$

式中： n_v ——每只螺栓受剪面数量；

b ——螺栓杆直径（mm）；

f_v^b ——高强度螺栓抗剪强度设计值（MPa）。

承压承载力设计值可按式（B-16）计算。

$$N_c^b = b \cdot \sum t \cdot f_c^b \quad (\text{B-16})$$

式中： b ——螺栓杆直径（mm）；

$\sum t$ ——在不同受力方向中一个受力方向承压构件总厚度的较小值（mm）；

f_c^b ——高强度螺栓承压强度设计值（MPa）。

高强度螺栓摩擦型连接应按下列规定计算。

在抗剪连接中，每个高强度螺栓的承载力设计值应按式（B-17）计算：

$$N_v^b = 0.9 n_f \mu P \quad (\text{B-17})$$

式中： n_f ——传力摩擦面数目；

μ ——摩擦面的抗滑移系数，应按表 B.0.3 采用；

P ——一个高强度螺栓的预拉力，应按表 B.0.4 采用。

表 B.0.3 摩擦面的抗滑移系数 μ

在连接处构件接触面的 处理方法	构件的钢号		
	Q235 钢	Q345 钢、Q390 钢	Q420 钢
喷砂（丸）	0.45	0.50	0.50
喷砂（丸）后涂无机富 锌漆	0.35	0.40	0.40
喷砂（丸）后生赤锈	0.45	0.50	0.50
钢丝刷清除浮锈或未经 处理的干净轧制表面	0.30	0.35	0.40

表 B.0.4 一个高强度螺栓的预拉力 P (kN)

螺栓的性能等级	螺栓公称直径 (mm)						
	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
8.8 级	45	80	125	150	175	230	280
10.9 级	60	100	155	190	225	290	355

6 若管壁应力、施工弯矩及螺栓连接强度不满足要求，改变初选方案中结构波形、壁厚重复计算，直至满足要求为止。

征求意见稿

附录 C 验算参数的计算公式

1 施工过程验算中具体参数的计算公式

$$N_f = E_s (1000 D_h)^3 / EI \quad (C-1)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{M1} &= 0.0046 - 0.0010 \lg N_f, \quad N_f \leq 5000 \\ K_{M1} &= 0.0009, \quad N_f > 5000 \end{aligned} \right\} \quad (C-2)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{M2} &= 0.018 - 0.004 \lg N_f, \quad N_f \leq 5000 \\ K_{M2} &= 0.0032, \quad N_f > 5000 \end{aligned} \right\} \quad (C-3)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{M3} &= 0.12 - 0.018 \lg N_f, \quad N_f \leq 100000 \\ K_{M3} &= 0.030, \quad N_f > 100000 \end{aligned} \right\} \quad (C-4)$$

$$\left. \begin{aligned} R_B &= 0.67 + 0.87 \left(\frac{D_v}{2D_h} - 0.20 \right), \quad 0.20 \leq \frac{D_v}{2D_h} \leq 0.35 \\ R_B &= 0.80 + 1.33 \left(\frac{D_v}{2D_h} - 0.35 \right), \quad 0.35 \leq \frac{D_v}{2D_h} \leq 0.50 \\ R_B &= \frac{D_v}{D_h}, \quad \frac{D_v}{D_h} > 0.5 \end{aligned} \right\} \quad (C-5)$$

$$R_L = [0.265 - 0.053 \lg(N_f)] / (H_c / D_h)^{0.75} \leq 1.0 \quad (C-6)$$

其中, D_h , D_v ——波纹钢结构涵洞的有效跨径和有效矢高 (m)。

2 等效线性荷载的参数 K_4 按照表 C.0.1 线性插值取得。

表 C.0.1 等效线性荷载的参数 K_4 的取值

埋深 (m)	K_4 (m)		
	每轴双轮	每轴四轮	每轴八轮
0.3	1.3	1.5	2.6
0.6	1.6	2.0	2.8
0.9	2.1	2.7	3.2
1.5	3.7	3.8	4.1

2.1	4.4	4.4	4.5
3.0	4.9	4.9	4.9

征求意见稿

本规范用词用语说明

1 本规范执行严格程度的用词，采用下列写法：

表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本标准（规范、规程）的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。

在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准、行业标准、地方标准或企业内部标准时，应表述为“应符合《××××××》（×××）的有关规定”。

当引用本标准中的其他规定时，应表述为“应符合本标准（规范、规程、导则）第×章的有关规定”、“应符合本标准（规范、规程、导则）第×.×节的有关规定”、“应符合本标准（规范、规程、导则）第×.×.×条的有关规定”或“应按本标准（规范、规程、导则）第×.×.×条的有关规定执行”。