# 《波纹钢板拱桥设计规程》

# 编制说明

标 准 名 称: 波纹钢板拱桥设计规程

项 目 编 号: 2018-ZD-10

制、修订类型: 制定

主要起草单位: 青海省公路建设管理局

归 口 单 位: 青海省交通运输厅

标准起草时间: 2017 年 4 月——2018 年 12 月

# 目　录

一、工作简况……1
（一）任务来源……1
（二）起草单位……1
（三）主要起草人……1
二、制定标准的必要性和意义……3
（一）必要性……3
（二）意义……4
三、主要起草过程……7
（一）前期研究基础……7
（二）成立起草小组，制定编制计划……7
（三）以研究及试验为基础，确定主要技术指标……8
（四）系统归纳总结，拟定标准初稿……9
（五）广泛征求意见，整理标准征求意见稿……9
四、制定（修订）标准原则和依据……10
（一）制定原则……10
（二）制定依据……11
（三）与现行法律、法规、标准的关系……11
五、主要条款说明……11
（一）主要技术指标……13
六、重大意见分歧的处理依据和结果……28
七、采用国际标准或国外先进标准的情况……29
八、预期的经济、社会、生态效益及贯彻实施标准的要求…30
九、其他需要说明的事项……31

# 《波纹钢板拱桥设计规程》编制说明

## 一、工作简况

### （一）任务来源

2018 年 2 月 25 日，由青海省公路建设管理局、正平路桥建设股份有限公司申请地方标准的立项，根据青海省质量技术监督局下达的《关于印发青海省 2018 年地方标准制修订项目计划的通知》（青质监标涵［2018］64 号），批准《波纹钢板拱桥设计规程》（项目计划编号 2018-ZD-10）地方标准的制订。

### （二）起草单位

起草单位：青海省公路建设管理局、正平路桥建设股份有限公司

协作单位：华南理工大学、青海蓝图公路勘察设计有限责任公司、青海路拓工程设施制造有限公司、海东正平管廊设施制造有限公司、青海正通土木工程试验检测有限公司、苏交科集团股份有限公司

### （三）主要起草人

表1

| 姓　名 | 性别 | 职务/职称 | 工作单位 | 任务分工 |
|---|---|---|---|---|
| 苗广营 | 男 | 局长/高工 | 青海省公路建设管理局 | 全面负责 |

续前表 1

| 姓　名 | 性别 | 职务/职称 | 工作单位 | 任务分工 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 祁文斌 | 男 | 技术处处长/高工 | 青海省公路建设管理局 | 数据统计、分析 |
| 辛海生 | 男 | 项目办主任/高工 | 青海省公路建设管理局 | 标准起草，（5.11　波纹钢板圆弧拱结构计算；附录 A 波纹钢板拱结构技术参数） |
| 王丽娜 | 女 | 工程师 | 青海省公路建设管理局 | 标准起草，（5.6 多孔(连拱)结构之间的最小净距；5.9 基础、下部结构设计） |
| 金生光 | 男 | 董事长/高工 | 正平路桥建设股份有限公司 | 标准起草，（1总则、2规范性引用文件、3 术语和定义） |
| 宋方华 | 男 | 总工/高工 | 青海路拓工程设施制造有限公司 | 标准起草，（5.7　线形及引道、5.8　波纹钢板设计参数、5.10 结构上的荷载及作用；5.13 加劲肋板设计；5.15 结构性回填设计；附录 A 波纹钢板拱结构技术参数） |
| 符锌砂 | 男 | 教授级高工/博导 | 华南理工大学 | 标准中的结构验算 |
| 李万财 | 男 | 总工/高工 | 青海蓝图公路勘察设计有限责任公司 | 标准起草，（5.2　波纹钢板拱基本类型；5.3 波纹钢板拱桥布置、5.14　结构耐久性设计；） |
| 祁文锦 | 男 | 总工/工程师 | 海东正平管廊设施制造有限公司 | 标准起草，（4 材料及构件；5.8　波纹钢板设计参数、5.16 附属工程设计） |
| 李　萍 | 女 | 副总工/高级工程师 | 青海正通土木工程试验检测有限公司 | 试验、检测、数据统计、分析，标准起草（5.7　线形及引道） |

续前表 1

| 姓　名 | 性别 | 职务/职称 | 工作单位 | 任务分工 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 张云必 | 男 | 交通安全研究所副主任/工程师 | 苏交科集团股份有限公司 | 标准起草，（波纹钢板拱桥跨径、交角、安全等级，5.5　波纹钢板拱桥净空，5.6　多孔(连拱)结构之间的最小净距） |
| 李百建 | 男 | 博士后 | 华南理工大学 | 标准中的结构验算 |
| 冯晓楠 | 男 | 四级工程师/助理工程师 | 苏交科集团股份有限公司 | 数据统计、分析 |
| 李勇 | 男 | 工程师 | 华南理工大学 | 标准中的结构验算 |

## 二、制定标准的必要性和意义

### （一）必要性

1、波纹钢管(板)结构的工程应用已有百余年的历史，1896年起源于美国。自十九世纪末起，美国、加拿大、英国、日本等国家就开始研制、开发波纹管钢(板)和应用于桥涵工程。美国、加拿大、澳大利亚、德国、韩国、日本等国家的公路涵洞、中小桥、通道等工程早已广泛应用波纹钢结构，并制定了设计、制造及施工安装手册或规范，积累了成熟、可靠的波纹钢板拱结构中小桥的设计方法及修建经验。

2、随着波纹钢结构在世界各地的工程应用，证明了此种结构在各种使用情况下的适用性，且其使用寿命均已超过设计要求，由于其具有许多优越性，目前发达国家和部分发展中国家已基本完善了相关规范、标准，均在各工程建设领域大量采用波纹

钢产品。

3、但由于我国的相关材料、地质、使用环境、荷载、使用条件、关联标准等均与国外存在较大差异，所以并不能直接引用国外的规范（规程）或标准。

（二）意义

1、根据国务院办公厅于2016年发布的《关于大力发展装配式建筑的指导意见》（国办发〔2016〕71号）、交通运输部于2016年发布的《交通运输标准化“十三五”发展规划》（交科技发［2016］15号）和《关于推进公路钢结构桥梁建设的指导意见》（交公路发［2016］115号）的有关精神、青海省交通运输厅于2016年发布的《关于印发推进公路钢结构桥梁建设实施方案的通知》（青交办建管［2016］189号）及《关于推进公路钢结构桥梁建设实施方案》。结合青海省公路建设市场发展需求和高寒地区特殊环境等实际因素，应加快研究、编制并健全装配式桥梁的设计、生产、施工等标准体系。波纹钢板拱桥作为钢结构桥梁其中的一种，为积极推进适用于青海省尤其是高寒区的钢结构桥梁创新发展及标准化建设，根据波纹钢板结构特性，并以省内实际工程项目实施为依托，研究并编制适合于青海省尤其是高寒地区公路中小桥（跨径为8m、10m、13m、16m、20m）的《波纹钢板拱桥设计规程》。

2、波纹钢结构应用于公路中小桥作为一种新型环保的桥梁材料，可发挥其独特的优越性能等重要作用。采用碳素结构钢、

低合金高强度结构钢、耐候结构钢，可再加工制造为高强度的波纹钢板拱结构，相比于传统的钢筋混凝土桥，具有其独特的优势，主要体现在以下 9 个方面：

（1）波纹钢板产品多样化，适用范围广。充分利用钢板的可再加工特性，波纹钢板采用不同的壁厚可适用于不同的跨径、采用不同的曲面（弧形）波纹钢板可适用于不同的拱形、采用不同的板宽可适用于不同的桥宽等，可满足不同的结构、使用功能和强度要求。

（2）对地基要求低，具有较强的抗变形能力。充分发挥钢材抗拉强度高、抗变形能力强的特点，能够满足软土、膨胀土、湿陷性黄土、冻土等不良地质条件下不均匀沉降对结构变形的特殊需求。同时，波纹钢板拱结构对地基扰动小，对土层的热扰动小，特别适用于高寒或冻土地区。

（3）良好的抗震性能。波纹钢板拱结构自重轻，依靠结构的柔性和土与结构的相互作用，可有效减小地震对结构的破坏。用于公路中小桥的构造物时，有利于改善软土地基桥涵与路堤交界处的“错台”、“跳车”现象，提高行车的舒适度与安全性。

（4）工厂化生产。有利于降低成本，质量稳定控制。波纹钢板在工厂集中加工制造成波纹钢板件，生产过程不受环境影响，生产效率高、周期短，并可确保稳定的加工精度和质量。

（5）运输、安装方便。波纹钢板拱结构的自重仅为同等条件下钢筋混凝土结构的 4%～20%，吊装安装无须采用大型起吊设

备。分片波纹钢板件可采用层叠捆扎方式运输。高强螺栓连接安装施工，组装工艺简单、安装方便，减少大量的施工作业人工和机械设备，高寒区冬季可安装施工。

（6）施工简便，大幅缩短工期。波纹钢板拱结构采用变曲面波纹钢板件现场装配化施工，与钢筋混凝土结构相比，工期可缩短至少 50%以上。

（7）低碳环保。波纹钢板拱结构中小桥不需梁板预制场。可大量利用钢产能资源。大量减少了常规建材，如水泥、沙石、钢筋、模板、木材等的使用，有利于环境保护。

（8）利用波纹钢板拱结构，可有效解决寒区钢筋混凝土中小桥因寒冷、大温差、冻胀等因素造成混凝土强度低、裂缝、变形、断裂等破坏与质量通病问题和工后病害养护成本高的问题。

（9）波纹钢板拱结构中小桥可实现标准化设计、工厂化生产、装配化施工、智能化建造、环保化建设、安全化使用的发展趋势。

3、综上所述，波纹钢板结构的功能、独有的特性和优势，青海省目前已形成生产能力及专业性强的波纹钢管（板）产品生产规模，产品种类、规格型号齐全，产品资源可按现行国家相关标准大量生产提供，且已在多项工程中应用。

4、根据青海省推进公路钢结构桥梁建设的需求状况，为规范相应的配套设计技术，建立符合与青海实际尤其是高寒地区相适应的技术标准，特制订《波纹钢板拱桥设计规程》，将有利于

提升波纹钢板拱结构桥梁技术标准化水平，促进波纹钢板拱结构桥梁标准化设计、工厂化制造、装配化施工，提高钢结构桥梁技术水平，获取更高的社会、经济效益，对推动完善青海省钢结构桥梁建设标准、推进钢结构桥梁建设意义重大。

## 三、主要起草过程

### （一）前期研究基础

青海省公路建设管理局是承担青海境域内国省道高速公路、一级、二级等干线公路及独立桥梁和隧道项目的建设管理单位，正平路桥建设股份有限公司是青海省具备公路与市政工程行业资质最全、等级最高的集设计、施工、养护、工程设施制造、试验检测等为一体的企业，且具备“省级企业技术中心”、“公路与市政设施工业化建造技术省级工程研究中心”资格，近年来，青海省公路建设管理局和正平路桥建设股份有限公司重点致力于波纹钢板拱结构桥梁的研究，在波纹钢板拱结构桥梁方面积累了较为丰富的研究基础，尤其是近几年实施的青海省省道 102 线西宁绕城环线平安经互助至大通公路工程 A 标段波纹钢板箱形拱桥梁和扎隆沟至碾伯镇公路工程 B 标段波纹钢板圆弧拱桥梁等项目，为本规程的制定提供了大量、翔实的实验数据和推广应用资料，为制定本地方标准打下了坚实的基础。

### （二）成立起草小组，制定编制计划

为做好《波纹钢板拱结构桥梁设计规程》的编制工作，成立了以青海省公路建设管理局局长苗广营为组长，正平路桥建设股

份有限公司董事长金生光为副组长等 14 人组成的规程起草工作小组，制定了编制计划。

（三）以研究及试验为基础，确定主要技术指标

该项目经过三年的基础研究和试验，在获取大量数据的基础上，确定了主要技术指标。

2016 年，主要以青海省省道 102 线西宁绕城环线平安经互助至大通公路工程 A 标段波纹钢板箱形拱桥梁和扎隆沟至碾伯镇公路工程 B 标段波纹钢板圆弧拱桥梁为依托实施试验工程，并开展设计及优化设计方案研究。

2016 年～2017 年，主要针对依托的试验工程，委托第三方开展桥梁现场监测及监测分析。

2017 年，委托第三方（华南理工大学）对 8m、10m、13m、16m、20m 标准跨径和 90° 与 60° 交角的圆弧拱及 90° 交角的箱形拱进行了结构验算。

根据研究及试验结果，研究筛选了波纹钢板的拱形、跨径、交角、拱顶填土高度等关键技术指标（见表 2、表 3）。

主要技术指标表　　表 2

| 公路等级 | 高速、一级、二级 | 三级、四级 |
|---|---|---|
| 汽车荷载等级 | 公路—Ⅰ级 | 公路—Ⅱ级 |
| 跨径(m) | 8、10、13、16、20 | |
| 波纹钢板结构拱类型 | 圆弧拱、箱形拱 | |
| 交角(°) | 跨径小于等于 16m 的圆弧拱结构的轴线与道路中心线的夹角不小于 60 °<br>跨径 20m 的圆弧拱结构以及箱形拱结构 | |

| | |
|---|---|
| | 的轴线与道路中心线宜正交 |
| 波纹钢板拱宽度(m) | ≥路基宽度 |

续前表 2

| 公路等级 | 高速、一级、二级 | 三级、四级 |
|---|---|---|
| 设计安全等级 | 一级 | |
| 环境类别 | 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)环境类别及其作用等级 | |

波纹钢板拱结构中小桥拱形技术指标及填土高度表　　表 3

| 拱形 | 跨径 $L_K$ (m) | 拱半径 $R$ (mm) | | 矢高 $h_s$ (mm) | 拱顶填土厚度范围 Hmin (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 拱肩 | 拱顶 | | |
| 箱形拱 | 8 | 1245 | 7470 | 2000 | 1.358~1.500 |
| | | 1245 | 7850 | 2185 | |
| | 10 | 1245 | 8560 | 2590 | 0.300~1.500 |
| | | 1245 | 8890 | 2800 | |
| | | 1245 | 9300 | 3000 | |
| | 13 | 1250 | 13000 | 3500 | 0.300~1.500 |
| | 16 | 1250 | 16000 | 4200 | 0.300~1.500 |
| | 20 | 1250 | 19500 | 4800 | 0.300~1.500 |
| 圆弧拱 | 8 | 4000 | | ≤4000 | ≥1.358 |
| | 10 | 5000 | | ≤5000 | ≥1.500 |
| | 13 | 6500 | | ≤6500 | ≥1.500 |
| | 16 | 8000 | | ≤8000 | ≥1.500 |
| | 20 | 10000 | | ≤10000 | ≥1.500 |

（四）系统归纳总结，拟定标准初稿

标准起草小组成员在技术研究及试验的基础上，通过实地调研，全面了解了波纹钢板拱结构，对研究及模拟试验过程中出现的问题进行系统总结归纳，同时查阅了大量的国内外相关文献资料，对标准内容的设立进行了筛选和确定，确定了总则、术语和定义、材料及构件、设计项目内容及技术要求等内容，并拟定了

本标准的初稿。

（五）广泛征求意见，整理标准征求意见稿

在标准初稿完成后，由青海省公路建设管理局组织，于2017年8月下旬征求了青海省交通系统有关专家评审会，听取了与会专家的建议和意见，根据反馈的意见，进一步修改完善后，形成了现在的征求意见稿。由省质量技术监督局于2018年8月在网上发布征求意见稿。

2018年9月20日，由青海省公路建设管理局组织青海省交通建设系统单位组成的5人专家组，对该标准进行复审，随即又向青海省交通建设系统各有关设计、施工、监理等单位发送征求意见函征求意见。随后根据征求到的意见，编制组认真研究并进行了修订。

经省交通厅科技处于2018年11月下旬向省交通运输标准化作业技术委员会秘书处发送征求意见稿，秘书处于12月7日回复了青交标委秘函［2018］23号该三项地方标准的审查意见文件。随即标准研编组组织对征求到的意见进行分析研究后进行了修订。

由青海省交通运输标准化专业技术委员会于2019年2月22日组织送审稿的7人专家审查会，编制组针对专家审查意见进行了认真研究与修订。审查会上，与会专家一致同意通过该标准审查，修订完善 后按规定程序上报。

## 四、制定（修订）标准原则和依据

（一）制定原则

规程的整个起草过程严格按照工作计划进行，并遵循“科学性、合理性、先进性、实用性、普遍性”原则。

（二）制定依据

本规程根据GB/T 1.1《标准化工作导则　第1部分：　标准的结构和编写》、GB/T 20001.6《标准编写规则 第6部分 规程标准》的规定编制。

（三）与现行法律、法规、标准的关系

本规程在编写内容上，以国家和行业现行相关标准为基础，结合青海省交通工程对钢结构桥梁的发展实际情况，针对波纹钢板拱结构桥梁关键技术内容提出的技术指标。在工程应用方面，是为青海省波纹钢板拱结构桥梁工程设计配套性的地方标准。本规程是在国家和交通工程建设行业相关的指导性意见的基础上结合地方实际情况制定出来的，与现行的法律法规没有冲突。

## 五、主要条款说明

在国内，波纹钢结构最早在20世纪50年代开始有少量使用，但由于诸多原因一直未能得到推广。20世纪90年代，我国逐步开展了公路钢波纹管涵洞的理论研究和试验研究，并在我国北方寒冷和冻土地区开始推广应用。随着公路建设的快速发展、钢材加工工艺特别是防腐技术的提高，波纹钢结构以其良好的力学性能及施工简便、适应性强、耐久性好的特点，正逐步在国内公路建设中发挥着重要作用。尤其是近年来在国内钢材产能过剩的市

场环境下，在国家大力提倡“低碳交通、绿色交通、节能环保”的大背景下，波纹钢结构具有更加优越的性价比和社会效益，在公路、市政等诸多工程建设领域有着广阔的应用前景。

波纹钢板拱结构桥作为钢结构桥梁的其中一个种类，青海省已在公路工程建设中应用。从实践分析，我国公路行业涉及的钢结构桥梁规范、标准基本健全。在波纹钢产品及工程应用方面，现行国家标准《冷弯波纹钢管》GB/T 34567—2017 为波纹钢产品标准，规定了适用于中小桥的大波形（波距 400mm、波高 150mm）波纹钢板产品技术参数；交通运输部颁布的现行行业标准《公路涵洞通道用波纹钢管（板）》JT/T 791—2010 为波纹钢产品加工制造标准，规定了适用于最大内径或跨径为 8.0m 的中波形（波距 200mm、波高 55mm）波纹钢板产品技术参数。但波纹钢板拱结构桥的设计，到目前尚无国家、行业和地方规范（规程）或标准（详见青海省标准化所查新报告）。

如前所述，波纹钢结构是一种非常成熟的结构形式，在国外有着百余年的应用历史和大量的研究成果，不少国家的公路桥梁建设都包含了波纹钢结构。然而，国内尚没有支持这类结构设计的技术标准。近年来的一些应用基本上都是参照加拿大的 CHBDC（桥梁设计规范）中的方法进行结构验算，并根据设计单位和波纹钢产品制造商对这种结构的认识和经验进行设计。

本标准对波纹钢板拱结构参考加拿大的CHBDC（桥梁设计规范），按我国现行国家标准《钢结构设计标准》（GB 50017-2017），

采用承载能力极限状态法验算方法、螺栓连接强度验算按我国现行国家标准《钢结构设计标准》（GB 50017-2017）中相关方法的基础上，考虑国内钢材材料、防腐及密封材料、荷载、产品制造工艺、施工安装工艺及设备等方面的差异性，结合近年来国内已应用的经验，确定适宜的材料和设计方法。

（一）主要技术指标

1、材料及构件

(1) 主体结构材料波纹钢板采用与分析，见表 4。

主体结构材料采用与分析表　　表 4

| 现行国家标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
|---|---|---|---|
| 《碳素结构钢》 | GB/T 700—2006 | Q235（不包括沸腾钢） | 1.范围<br>本标准适用于一般以交货状态使用，通常用于焊接、铆接、栓接工程结构用热轧钢板、钢带、型钢和钢棒。 |
| 《低合金高强度结构钢》 | GB/T 1591—2008 | Q345 | 1. 范围:本标准适用于一般结构和工程用低合金高强度结构钢钢板、钢带、型钢、钢棒等。 |
| 《耐候结构钢》 | GB/T 4171—2008 | Q235NH 、Q355NH | 1.范围<br>本标准适用于车辆、桥梁、集装箱、建筑、塔架和其他结构用具有耐大气腐蚀性能的热轧和冷轧的钢板、钢带和型钢。 |
| 《冷弯波 | GB/T | 波形：波距 | 6.1 条：适用的直径范围为： |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 纹钢管》 | 34567-2017 | 400mm、波高150mm | 8000mm～20000mm。 |

续前表 4

分析结果:

波纹钢板拱桥为非焊接(高强螺栓连接)拱结构,按以下分析结果采用波纹钢板材料:

1、《冷弯波纹钢管》GB/T 34567-2017 产品标准第 4.1 条: 环形波纹钢管、拼装波纹钢管的材料采用碳素结构钢时，其性能应符合 GB/T 700 的要求; ; 采用低合金高强度结构钢时，其性能应符合 GB/T 1591 的要求; 采用耐候结构钢时，其性能应符合 GB/T 4171 的要求。

2、《钢结构桥梁设计规范》JTG D64-2015 第 3.1.2 条: 钢材宜选用 Q235 钢、Q345 钢，其质量应分别符合现行《碳素结构钢》(GB/T 700)和《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591)的规定。其中，Q235 钢中的沸腾钢不宜用于需要验算疲劳且工作温度低于或等于-20℃的非焊接结构（Q235 钢中的沸腾钢脱氧不充分，含氧量较高，内部组织不够致密，硫、磷的偏析大，冲击韧性较低，冷脆性和时效倾向亦大，在低温时和动力荷载作用下易发生脆断，因而对其使用范围加以限制）。

3、《钢结构设计标准》GB 50017-2017 第 4.1 条: 钢材宜选用 Q235、Q355 钢，其质量应分别符合现行国家标准碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。第 4.1.3 条: 处于外露环境，且对耐腐蚀有特殊要求或处于侵蚀性介质环境中的承重结构，可采用 Q235NH、Q355NH 牌号的耐候钢，其质量应符合现行国家标准《耐候结构钢》GB/T 4171 的规定。

4、波纹钢板波形，根据《冷弯波纹钢管》GB/T 34567-2017 第 6.1 条规定: 波距 400mm、波高 150mm 适用于直径范围为 8000mm～20000mm。本标准根据《公路桥涵设计通用规范》JTG D60-2004 第 3.2.5 条的规定，当标准设计或新建桥涵的跨径在 50m 以下时，宜采用标准跨径。因此，本

| |
|---|
| 标准的波纹钢板拱桥梁选用跨径为： 8m、10m、13m、16m、20m。<br>5、不同跨径的波纹钢板厚度：根据波纹钢板截面面积和惯性矩等力学参数，由截面所受应力强度、稳定性、塑性铰验算等决定波纹钢板厚度。 |

(2) 波纹钢板连接件采用与分析，见表 5。

波纹钢板连接件采用与分析表　　表 5

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
|---|---|---|---|
| 《钢结构设计标准》 | GB 50017-2017 | 强度等级为 8.8S 或 10.9S。<br>主要规格为 M16、M20、M22、M24、M27、M30 | 螺栓的承载性能等级根据 11.4.2 条确定。<br>螺栓公称直径根据 11.5.1 条 螺栓孔的孔径与孔型结合波纹钢板拱荷载验算等因素选用。<br>采用高强度螺栓连接的理由为根据 11.5.5 条：当型钢构件拼接采用高强度螺栓连接时，其拼接件宜采用钢板。 |
| 《公路钢结构桥梁设计规范》 | JTG D64-2015 | 焊接材料及其技术指标根据 3.1.12 条相关规定选用。 | |
| 因波纹钢板的波纹是由圆弧段和直线段组成，在工厂批量生产，同一种波形尺寸的波纹板圆弧段曲率相同，具有相同厚度、相同曲率的波形不能密封的连接在一起，上下叠合的波纹板在波峰波谷处有缝隙，加上波纹钢板防腐镀锌层较光滑，波纹钢板件搭接连接宜采用承压型连接，根据结构特点也可采用摩擦型连接。 | | | |

(3) 防腐材料及防腐采用与分析，见表 6。

防腐材料及防腐采用与分析表　　表 6

<table>
<tr><th>现行标准名称</th><th>版本号</th><th>采用材料</th><th>采用条款依据</th></tr>
<tr><td rowspan="2">《冷弯波纹钢管》</td><td rowspan="2">GB/T 34567-2017</td><td>防腐层材料采用现行国家标准 GB/T470 规定的 0 号锌或 1 号锌热浸镀锌。</td><td>防腐涂装材料根据 7.2.4 条规定采用。<br>对波纹钢板件防腐热浸镀锌防腐根据 7.2.2 条规定采用;<br>对高强度螺栓连接件防腐热浸镀锌防腐根据 7.2.3 条规定采用;<br>对当采用热浸镀铝、静电喷涂等其他防腐方法代替热浸镀锌防腐,根据 7.2.5 条规定采用。</td></tr>
<tr><td>外观质量标准要求</td><td>波纹钢板件外观质量要求，根据 7.1 条规定采用。</td></tr>
<tr><td colspan="4">波纹钢板件及连接件的热浸镀锌防腐，因镀锌层耐碱性能较差，当遇到碱性环境时镀锌层会加速腐蚀，因此，对与水、土接触部位的波纹钢板还应采用重防腐性能强的聚氨酯、环氧沥青（适用于水下或地下钢结构表面的重防腐涂装）、改性沥青材料或涂装材料等非金属覆盖层进行二次防腐处理。以确保波纹钢结构拱满足设计使用年限要求。</td></tr>
</table>

(4) 接缝防渗密封、防水材料采用与分析，见表 7。

接缝防渗密封、防水材料采用与分析表　　表 7

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用材料 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《公路涵洞通道用波纹钢管(板)》 | JTT 791-2010 | 天然橡胶、氯丁橡胶、聚乙烯泡沫或耐候密封胶 | 根据 6.1.4 条的规定采用。 |
| 《聚氨酯防水涂料》 | GB/T 19250-2013 | 聚氨酯防水涂料 | 根据第 1 条：适用于工程防水用聚氨酯防水涂料。第 5.2.2 条可选性能为“接缝动态变形能力 10000 次无裂纹，桥梁、桥面等动态变形部位”。附录 A 条：产品应用领域包括了桥梁等非直接通行部位、外露通行部位。 |
| 为减少波纹钢板拱上部回填土中的水浸蚀防腐层,采用在回填土层中铺设环保用高密度聚乙烯土工膜(抗渗材料)将水与波纹钢板拱防腐层隔离。通过二次防腐处理和隔离水的双重防腐技术措施。 | | | |

(5) 结构性回填材料采用与分析，见表 8。

结构性回填材料采用与分析表　　表 8

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用材料 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《公路路基设计规范》 | JTG D30-2015 | 面板、加筋带、填料、基础等材料 | 根据 5.4.10 条规定采用。 |

续前表 8

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用材料 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《公路桥涵施工技术规范》 | JTG/T F50-2011 | 钢筋、水泥、砂、碎(砾)石、片(块)石、水、外加剂等材料 | 根据规范相关规定采用 |
| 对于无面板加筋土挡土墙是近年来发展起来的新型加筋支护结构,属于柔性结构。通过反包式土工格栅的加筋锚固作用,约束土体的侧向变形。无面板加筋土挡土墙应用于公路工程的运用使用年限尚不长,其耐久性尚需进一步工程验证。因此，本标准建议不采用无面板加筋土挡土墙。 | | | |

(6) 基础、下部结构及附属工程材料，采用与分析，见表 9。

基础、下部结构及附属工程材料采用与分析表　　表 9

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用材料 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《公路桥涵施工技术规范》 | JTG/T F50-2011 | 钢筋、水泥、砂、碎(砾)石、片(块)石、水、外加剂、掺合料、栏杆(护栏)、锥坡等材料 | 根据规范相关规定采用 |
| 《通用冷弯开口型钢》 | GB/T 6723—2017 | 拱座槽钢 | 根据其范围规定及该标准相关质量选用槽钢。 |
| 《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》 | GB/T 1231—2006 | 拱座地脚螺栓 | 根据 1 条范围,适用于公路桥梁的规定选用。 |

2、设计

（1） 波纹钢板结构中小桥的设计使用年限采用与分析，见表10。

设计使用年限采用与分析表　　表10

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《公路桥涵设计通用规范》 | JTG D60-2015 | 高速公路、一级公路：中桥100年、小桥50年；二级公路及以下等级公路：中桥50年、小桥30年 | 根据1.0.4条的规定采用。 |

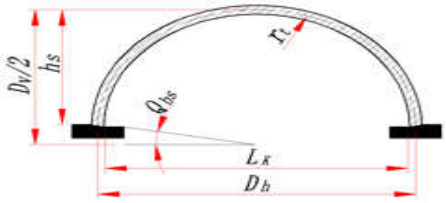
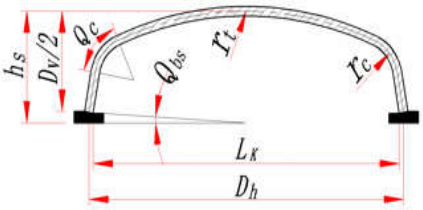
（2）内力验算作用组合与分项系数采用与分析，见表11。

内力验算作用组合方式与分项系数采用与分析表　表11

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《公路桥涵设计通用规范》 | JTG D60-2015 | 基本组合：土的重力分项系数1.2、汽车荷载分项系数1.4；<br>偶然组合：土的重力分项系数1.2、地震作用分项系数1.0 | 根据4.1条的规定采用。 |

（3）波纹钢板拱基本类型采用与分析，见表12。

波纹钢板拱基本类型采用与分析表　表 12

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 第三方结构验算报告 | |  <br>圆弧拱<br>  <br>箱形拱 | 根据第三方机构验算报告：圆弧拱适用于净空相对较高、斜交角 60°（20m 跨径除外）和 90°，拱顶填土高度须大于 1500mm 要求；箱形拱适用于净空相对较低、斜交角 90°，满足拱顶 430～1500mm 低填土高度于要求。<br>采用该两种拱形为已以依托工程开展试验研究的拱形，且能满足高路堤和较低路堤段中小桥布置要求，且具有较强的代表性和适应性。 |

（4）波纹钢板拱桥布置采用与分析，见表 13。

波纹钢板拱桥布置采用与分析表　　表 13

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《公路桥涵设计通用规范》 | JTG D60-2015 | 第 3.2 条规定的相关规定及满足中小桥的设计洪水频率、并采用结构验算得出的斜交角 | 根据第 3.2 条规定、并结合结构验算作斜交角度等采用说明。 |

（5）波纹钢板拱桥跨径、交角、安全等级采用与分析，见表 14。

波纹钢板拱桥跨径、交角、安全等级采用与分析表　表 14

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《公路桥涵设计通用规范》 | JTG D60-2015 | 根据波纹钢板拱结构验算，采用标准跨径为 8m、10m、13m、16m、20m;除标准跨径外，可根据工程现场实际情况灵活采用其他尺寸的跨径。<br>圆弧拱交角采用 60°（不含 20m 跨径）、90°；　箱形拱交角：90°<br>汽车荷载等级：速公路、一级公路、二级公路为公路—Ⅰ级；三级公路、四级公路为公路—Ⅱ级安全等级为一级 | 根据 1.0.5 条、3.3 条、4.1 条、4.3 条规定采用；对交角按标准并根据结构验算选用。 |

（6）波纹钢板拱桥净空采用与分析，见表 15。

波纹钢板拱桥净空采用与分析表　　表 15

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《公路桥涵设计通用规范》 | JTG D60-2015 | 根据波纹钢板拱结构特性、可采用的矢高、拱半径等确定不同拱形；以不同跨径和下部设置实体式钢筋混凝土墩台满足不同桥下通行能力的净高 | 结合 3.4 条相关规定采用。由于箱形拱结构受力的不同，其拱顶填土厚度为 300～1500mm 限制，故在改扩建公路建设中建议拆除重建；圆弧拱填土厚度为≥1.5m，可在公路改扩建工程中利用。 |

（7）线形及引道采用与分析，见表 16。

线形及引道采用与分析表　　表 16

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《公路桥涵设计通用规范》 | JTGD60-2015 | 根据波纹钢板拱桥特点、结合高寒地区路面集雪结冰等因素 | 结合 3.5 条相关规定采用。 |

（8）多孔(连拱)结构之间的最小净距采用与分析，见表 17。

多孔(连拱)结构之间的最小净距采用与分析表　　表 1 7

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| —— | —— | 圆弧拱结构：跨径 $8.0<D_h\leqslant 12.0$，间距采用 1.2；计算跨径 $D_h>12.0$，采用有限元分析确定或 $0.1D_h$（计算跨径）。<br>箱形拱结构：计算跨径 $D_h\leqslant 8.0$，间距采用 1.0；计算跨径 $D_h>8.0$，采用有限元分析确定或 $0.1D_h$（计算跨径）。 | 根据波纹钢板拱类型、计算跨径、拱脚（起拱线）处之间的净距必须满足允许适当的回填要求确定。 |

（9） 波纹钢板设计参数采用与分析，见表 18。

波纹钢板设计参数采用与分析表　　表 18

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《冷弯波纹钢管》 | GB/T34567-2017 | 波距 400mm、波高 150mm、波纹圆弧半径 80mm、板宽 1280mm（净宽≤1200mm）、板长≤6000mm；板厚为根据跨径通过结构验算确定。 | 根据 5.2.3.2.4 条结合我国生产设备技术性能采用 |

（10）波纹钢板几何尺寸、波纹参数允许偏差采用与分析，见表 19。

波纹钢板几何尺寸、波纹参数允许偏差采用与分析表　　表 19

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《冷弯波纹钢管》 | GB/T34567-2017 | 波纹钢板厚度(壁厚)：不小于设计值；波距±3mm、波高±3mm、波纹钢板长±1%、波纹钢板宽±1%。 | 根据 6.2 条采用 |

（11）波纹钢板的物理性能指标采用与分析，见表 20。

波纹钢板的物理性能指标采用与分析表　　表 20

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《碳素结构钢》 | GB/T 700-2006 | 根据本标准主体结构采用的碳素结构钢（Q235）、低合金高强度结构钢（Q355、Q390、Q420）、耐候结构钢（Q235NH、Q355NH、Q415NH）牌号钢板，采用与现行国家标准对应的屈服强度(MPa)、抗拉强度（MPa）、断后伸长率（%）物理性能指标 | 根据 5.4 条采用 |
| 《低合金高强度结构钢》 | GB/T 1591 — 2018 | | 根据 6.4 条采用 |
| 《耐候结构钢》 | GB/T 4171 — 2008 | | 根据 7.4 条采用 |

（12）基础设计的采用与分析，见表 21。

基础设计的采用与分析表　　表 21

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《公路桥涵地基与基础设计规范》 | JTG D63-2007 | 扩大基础的基础埋置深度、承载力、沉降、稳定性、软弱地基处理、湿陷性黄土地基处理等 | 根据 4.1 条、4.2 条、4.3 条、4.4 条、4.5 条、4.6 条相关规定采用 |
| 对设计使用年限超过 30 年的，不建议采用钢管桩基础。<br>如因特殊条件采用整体式扩大基础和带条形桩帽的桩基础时，应按现行相关国家或行业标准（规范）进行设计与结构验算，并经相关专家论证通过。 | | | |

（13）活载的采用与分析，见表 22。

活载的采用与分析表　　表 22

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《公路桥涵设计通用规范》 | JTG D60-2015 | 汽车荷载的扩散方法和横向布置多车道汽车荷载时的折减系数、扩散压力、车辆冲击扩大系数 | 根据第 4 条相关规定采用 |

（14）地震作用的抗震设防烈度采用与分析，见表23。

地震作用的抗震设防烈度采用与分析表　　表23

| 现行标准名称 | 版本号 | 采用指标 | 采用条款依据 |
| --- | --- | --- | --- |
| 《公路工程抗震规范》 | JTG B02-2013 | 抗震设防烈度大于或等于7度（0.10g）地区的公路波纹钢板拱桥应进行抗震设计，一般可只考虑竖向地震作用。 | 根据第3.1条、第3.5条的规定采用。由于波纹钢板拱结构桥最大跨径为20m，属于非长悬臂、非大跨度桥梁，所以一般可只考虑竖向地震作用。 |

（15）内力和连接强度计算

内力：拱形截面波纹钢结构承载能力极限状态下由恒载和活载引起的的内力，需进行波纹钢板的轴向压应力计算，以确保轴向压应力小于波纹钢板材料屈曲应力和临界屈曲应力的要求。

波纹钢板件连接强度：因波纹钢板的波纹是由圆弧段和直线段组成，在工厂批量生产，同一种波形尺寸的波纹板圆弧段曲率相同，具有相同厚度、相同曲率的波形不能密封的连接在一起，上下叠合的波纹板在波峰波谷处有缝隙，加上防腐镀锌层的存在，一般建议采用承压型连接验算接缝强度，摩擦型连接通过验算接缝强度满足要求时可采用，但还应根据实际结构受力及工况条件合理选用连接方式及连接强度验算。连接应采用高强度（8.8S或10.9S）螺栓连接，并按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017—2017中的规定验算连接强度。

由于箱型拱结构的内力难以确定，尤其是设置加劲肋位置

处，加上波纹钢板拱为柔性结构，在长期行车震动过程中螺帽有可能存在松动因素，因此所以采用等强设计法，即：接缝强度与波纹钢板母材强度相同，箱型波纹钢板结构采用承压型高强度螺栓连接，验算方法依据现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017—2017 中的承压型连接计算方法计算，此验算方法结果为波纹钢板端头连接的高强螺栓数量较非等强验算数量多 2 倍左右。按非等强计算的螺栓数量的连接强度也能满足要求。

波纹钢板拱结构的加劲肋板设计：波纹钢板箱形拱结构是一种近似矩形的波纹钢板－肋组合结构，拱顶相对平坦，这类拱结构需要较大的抗弯能力，通常由抗弯控制设计，通过有限元分析表明，抗弯要求控制设计，不必考虑推力效应与弯矩的组合。通过在拱肩、拱顶连接设置与波纹钢板拱同样的波纹钢曲面板可提高结构拱的抗弯能力。波纹钢板箱形拱结构的挠曲抗力应采用结构板和加筋肋的屈服强度计算。

波纹钢板件极限抗力计算：为确保波纹钢板拱结构的稳定性，验算波纹钢板的极限抗力符合要求。

施工过程验算：波纹钢板拱结构设计时，应限制施工期间不同填土高度时作用在拱顶的施工机械设备轴载。由恒载和施工机械设备产生的弯矩和环向压力组合效应，应不大于截面的塑性抗弯承载力。施工阶段波纹钢板拱结构截面的弯矩与环向压力的组合效应满足≤1.0 的要求。

（16）结构耐久性设计

土壤是对波纹钢板拱结构耐久性的主要因素，主要包括土壤电阻率、酸度（pH 值）、含水率、含盐率等。本标准对以上耐久性影响因素结合设计使用年限、镀锌防腐，分析并规定了腐蚀性等级，并结合防腐材料的性能特点和结构设计使用年限，在波纹钢板件镀锌防腐的基础上，分析并规定了波纹钢板拱不同的现场二次防腐组合。

（17）防渗、防水及防腐设计

根据耐久性设计要求，需对波纹钢板拱结构进行防渗（栓接接缝处防渗漏）、防水及防腐等，针对耐久性设计规定了可靠的防渗、防水及防腐技术措施，以满足或提高结构耐久性并达到设计使用年限要求。

（18）结构性回填设计

结构性回填为波纹钢板拱结构周围按规定方法分层填筑和压实的材料特性和级配符合规定要求的回填土，以保证结构稳定性和发挥土—钢结构相互作用，并避免活载直接作用于波纹钢板拱结构。因此，结构性回填范围内的各分层压实度应从底部至最小回填厚度顶部要求一致。

波纹钢板拱设计基于环向压力理论，拱顶必须有一定的填土厚度使得车轮荷载分布。最小填土厚度建立在对活载下结构性能的长期观察到基础上。通过这些观察，根据形状、荷载与波纹尺寸制定最小填土厚度要求。

对于不同拱形、不同尺寸的结构，适用的最大填土厚度与采用的钢材（屈服强度、弹性模量）、波形（波距、波高）、壁厚、接缝形式、填料类型及施工方法有关。

对于波纹钢板箱形拱的结构性回填厚度范围（跨中拱顶以上），采用加拿大 CHBDC（桥梁设计规范、该验算方法均被各国波纹钢结构工程应用所采用）方法进行波纹钢板箱形拱结构验算，8m 跨径的最小填土厚度为 1.358m、≥10m 跨径的波纹钢板拱结构强制性规定最小填土厚度为 0.30 m，但均确定性规定最大填土厚度不应超过 1.500 m。

对于圆弧拱的结构性回填最小厚度（跨中拱顶以上），采用加拿大 CHBDC（桥梁设计规范、该验算方法均被各国波纹钢结构工程应用所采用）方法进行波纹钢板圆弧拱结构验算，8m 跨径的最小填土厚度为 1.358、≥10m 跨径的波纹钢板拱结构最小填土厚度均超过 1.500 m，但该计算方法规定最小填土厚度 1.500m 即可。

结构性回填范围，根据不同拱形、不同跨径与施工方法等计算确定。

以上结构性回填数据经依托的试验工程采纳应用及监测分析，均符合或满足要求。

## 六、重大意见分歧的处理依据和结果

标准初稿完成后，由青海省公路建设管理局于 2017 年 8 月 26 日组织省交通运输厅相关 7 名专家召开了初稿评审会，会上

由主编单位对初稿各条款进行了讲解，并听取了专家的建议和意见。其中，专家对标准中提出了波纹钢板材料除采用碳素结构钢外，根据波纹钢板拱结构桥梁所处环境、使用功能和耐久性等因素，建议还可采用低合金高强度结构钢和耐候结构钢材料；提出了结构性回填材料的侧墙材料，应根据工程实际情况，除采用加筋土挡墙结构外，建议还可采用钢筋混凝土挡墙、片石混凝土挡墙和浆砌片石挡墙等；对波纹钢板拱桥跨径、交角，提出了考虑波纹钢板与拱形结构受力原理及其他因素等问题，并鉴于国内目前的圆弧拱尚无 30°、45° 交角和箱形拱尚无 30°、45°、60° 交角的波纹钢板拱结构桥梁工程实施与验证，建议圆弧拱只采用 60°（不含 20m 跨径）和 90° 交角、箱形拱只采用 90° 交角，30°、45° 交角建议不采用。

2018 年 9 月 20 日专家评审会意见、2018 年 12 月省交通运输标准化专业技术委员会秘书处审查意见、2019 年 2 月 22 日省交通运输标准化专业技术委员会专家委员会审查意见，均无其他重大意见分歧。

针对以上多次评审、审查等建议或意见，主编单位组织开展了咨询及分析，经讨论研究，并取得一致意见后进行了修订。

## 七、采用国际标准或国外先进标准的情况

在研究制定本标准时查阅了大量的资料，未查到同类（波纹钢板拱结构8m～20m跨径）的国际、国家或行业的设计标准。在

本标准编写过程中，参考了我国现行的有关材料、有关波纹钢产品、有关钢结构设计等规范或标准。

在制定本标准时，对波纹钢板圆弧拱结构采用了加拿大的CHBDC（桥梁设计规范）中的验算方法、螺栓连接强度验算采用了加拿大的CHBDC方法和我国现行国家标准《钢结构设计标准》（GB 50017-2017）中相关的两种方法。

本标准与参考的规范或标准相比，波纹钢板拱结构桥所采用的材料选择、波纹钢板产品参数选择、螺栓连接要求等方面的技术要求更加严格，一定程度上表明本标准更具科学性和先进性。

## 八、预期的经济、社会、生态效益及贯彻实施标准的要求

实施该标准时，应与同时发布的《波纹钢板拱桥施工技术规程》（项目计划编号：2018-ZD-11）和《波纹钢板拱桥质量检验与评定技术指南》（项目计划编号：2018-ZD-09）配套同步实施，并在专业技术人员的指导下严格按规程要求实施。

该标准实施后，有利于提高钢产能资源充分利用、减少交通工程施工污染、提升劳动生产效率和质量安全水平，易于推广标准化设计、工厂化生产、装配化安装，适合规模化建设、规范化管理，经济效益和社会效益显著。根据与钢筋混凝土桥梁经济效益的比较，工期可缩短至少 50%以上，可有效解决青海省高寒区钢筋混凝土桥因寒冷、大温差、冻胀等因素造成混凝土强度低、裂缝、变形、断裂等破坏与质量通病问题和工后病害养护成本高的问题，工程造价可降低 10%左右。

本标准的复审时间为 5 年。(标准通过审查发布后的 5 年)。

## 九、其他需要说明的事项

本标准通过所依托的试验工程，获得了以下成果:

1、实用新型专利 2 项。《一种钢波纹板拱桥结构》(专利号: ZL2016 2 0968065.X);

2、中国公路建设行业协会组织鉴定的科技创新成果奖三等奖 1 项。《现场原位拼装波纹钢板拱桥施工技术》(中路建协科鉴字第 049 号);

3、部级工法 1 项。《现场原位拼装波纹钢板拱桥施工工法》(工法编号: GGG(青)C3058-2017);

4、新技术应用奖 1 项。中国交通运输协会新技术促进分会 2017 年中国路桥隧新技术新产品应用《现场原位拼装波纹钢板拱桥施工技术》“新技术应用奖”。

《波纹钢板结构拱桥设计规程》标准起草组

二 0 一九年三月十日